



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ : "ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ"
ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΛΩΡΙΔΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ
ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΒΟΣΚΗΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ
ΤΩΝ ΥΠΑΛΠΙΚΩΝ ΛΙΒΑΔΙΩΝ ΤΩΝ ΒΟΥΝΩΝ
"ΚΕΡΚΙΝΗ" ΚΑΙ "ΤΖΕΝΑ" ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ
ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ**

**Παναγιώτης Ι. Μπόκος
Δασολόγος - ΜΔΕ "Επιστήμη Ζωικής Παραγωγής"**

Θ ε σ σ α λ ο ν ί κ η , 2014

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΧΛΩΡΙΔΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ
ΧΗΜΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΒΟΣΚΗΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ
ΤΩΝ ΥΠΑΛΠΙΚΩΝ ΛΙΒΑΔΙΩΝ ΤΩΝ ΒΟΥΝΩΝ
"ΚΕΡΚΙΝΗ" ΚΑΙ "ΤΖΕΝΑ" ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ
ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ**

Επταμελής Εξεταστική Επιτροπή:

Κωνσταντίνος Παπανικολάου, Καθηγητής του τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ.

Μαρία Γιακουλάκη, Επίκουρος Καθηγήτρια του τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Α.Π.Θ.

Αλιφραγκής Δημήτριος, Καθηγητής του τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Α.Π.Θ.

Ντότας Δημήτριος, Καθηγητής του τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ.

Αυδή Μελπομένη, Καθηγήτρια του τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ.

Σινάπης Ευθύμιος, Αν. Καθηγητής του τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ.

Βατζιάς Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής του τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ.

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Η έγκριση της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής από το τμήμα της Γεωπονίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέως».

(N. 5343/1932, άρθρο 202, παρ.2)

**Στα τρία μου αγγελοῦδια
Γιώτα, Γιάννη-Γαβρίλο και Μαρία
και στη γυναίκα μου Αναστασία**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ξεκινώντας τη διαδικασία εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής η οποία συνέπεσε με την έναρξη της μεγάλης οικονομικής κρίσης που μαστίζει ακόμα τη χώρα μας, δε φανταζόμουν τις αμέτρητες δυσκολίες, οικονομικές και μη, που θα συναντούσα για να φτάσω στον τελικό στόχο. Φτάνοντας τώρα στο τέλος μετά από αμέτρητες ώρες εργασίας τόσο στην ύπαιθρο και στα εργαστήρια όσο και στο γραφείο για τη μελέτη ενός ιδιαίτερα μεγάλου αριθμού βιβλιογραφικών πηγών προκειμένου να επιτευχθεί ο σκοπός της παρούσας διατριβής συνειδητοποιώ πόσοι άνθρωποι στάθηκαν δίπλα μου και με βοήθησαν, ο καθένας με τον τρόπο του.

Κατόπιν τούτου, θεωρώ ελάχιστο χρέος μου να ευχαριστήσω αυτούς τους ανθρώπους που με βοήθησαν για την πραγματοποίηση αυτού του πονήματος, και ειδικότερα:

- ❖ Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον επιβλέποντά με Καθηγητή, κ. Κωνσταντίνο Παπανικολάου για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου το θέμα, την αμέριστη συμπαράσταση του και την πολύτιμη επιστημονική καθοδήγηση σε όλα τα στάδια εκπόνησης αυτής της διατριβής.
- ❖ Ευχαριστώ θερμά τα μέλη της Συμβουλευτικής Επιτροπής, κα Μαρία Γιακουλάκη Επίκουρο Καθηγήτρια της Σχολής Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Α.Π.Θ. για την επιστημονική καθοδήγησή της και την πολύτιμη βοήθειά της στη διεκπεραίωση ενός τμήματος των αναλύσεων της λιβαδικής παραγωγής οι οποίες έγιναν με προσωπική της μέριμνα στο εργαστήριο λιβαδοπονίας χωρίς την οποία θα ήταν αδύνατη η ολοκλήρωση αυτής της διατριβής. Τον κ. Δημήτριο Αλιφραγκή, Καθηγητή της Σχολής Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Α.Π.Θ. για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις του καθώς και για την πολύτιμη βοήθειά του στην εκπόνηση τμήματος των εδαφολογικών αναλύσεων και τον προσδιορισμό των ανόργανων στοιχείων της λιβαδικής βλάστησης.
- ❖ Θερμές ευχαριστίες επίσης θέλω να εκφράσω στον κ. Στέφανο Σγαρδέλη Καθηγητή της Σχολής Θετικών Επιστημών του τμήματος Βιολογίας του Α.Π.Θ. για την πολύτιμη συνδρομή του κατά τη συγγραφή της υπό δημοσίευσης εργασίας στο περιοδικό Journal of Mountain Science καθώς και για την βοήθειά του στη στατιστική επεξεργασία και την αποτίμηση των μοντέλων πρόβλεψης που εφαρμόστηκαν.
- ❖ Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα πρέπει να εκφράσω, στο γεωλόγο Χρήστο Λάκη μέλος Ε.Ε.ΔΙ.Π. του εργαστηρίου εφαρμοσμένης εδαφολογίας της Γεωπονική Σχολής Α.Π.Θ. για τη βοήθειά του και την επιστημονική του καθοδήγηση στις εδαφολογικές αναλύσεις που έγιναν στο αντίστοιχο εργαστήριο καθώς και στην Δρ. Αγάπη Παπαζαφειρίου για τις πολύτιμες συμβουλές τις στην εκτίμηση των εδαφολογικών αποτελεσμάτων αλλά και την αгаστή συνεργασία που είχαμε κατά τη συγγραφή εργασιών.
- ❖ Θα ήταν παράλειψη να μην εκφράσω τις ευχαριστίες μου στο προσωπικό του Εργαστηρίου Εδαφολογίας του Τμήματος Φυτικής Παραγωγής του Τ.Ε.Ι. Θεσσαλονίκης, ξεκινώντας από το Διευθυντή του Εργαστηρίου Δρ. Ν. Καραγιαννίδη, Καθηγητή, το Δρ. Στ. Στεφάνου Καθηγητή Εφαρμογών και την κα Α. Τσανακτσίδου ΕΤΠ για την πολύτιμη βοήθειά τους κατά τη διάρκεια εργαστηριακών αναλύσεων των δειγμάτων λιβαδικής βλάστησης και εδαφικών δειγμάτων.

- ❖ Τέλος θα πρέπει να ευχαριστήσω την κα Κυριακή Κιτικίδου, Επίκουρο Καθηγήτρια της Σχολής Επιστημών Γεωπονίας & Δασολογίας του Δ.Π.Θ. για την πολύτιμη συμβολή της στη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων, η βοήθειά της ήταν καθοριστική για την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.
- ❖ Η διδακτορική αυτή διατριβή ίσως να μην είχε εκπονηθεί αν δεν μου είχε χορηγηθεί εκπαιδευτική άδεια από την υπηρεσία μου, γι'αυτό ευχαριστώ θερμά τον πρώην Διευθυντή μου στην Διεύθυνση Δασών Ν. Ευβοίας κ. Στυλιανό Τριμήντζιο ο οποίος με τη σύμφωνη γνώμη του συνέτεινε στη χορήγηση της άδειας αυτής από την πρώην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδος.

Κλείνοντας θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου, στους γονείς μου Γιάννη και Παναγιώτα για τις συμβουλές τους που ακόμα ηχούν στα αυτιά μου και την καθοδήγηση τους από τα παιδικά μου ακόμα χρόνια. Ακόμα περισσότερο θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, τα τρία παιδιά μου και τη γυναίκα μου, στους οποίους αφιερώνω την παρούσα διδακτορική διατριβή ως το ελάχιστο για το χρόνο που τους στέρησα μακριά τους.

Παναγιώτης Ι. Μπόκος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	13
2. 1. Έδαφος, χλωρίδα και βλάστηση λιβαδικών οικοσυστημάτων	13
2. 2. Επίδραση βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων στη χλωριδική σύνθεση, στη φυτοποικιλότητα και στην αφθονία των ειδών	15
2. 2. 1. Επίδραση εδαφικών παραγόντων στη φυτοποικιλότητα	15
2. 2. 2. Επίδραση της τοπογραφίας στον αριθμό των ειδών και τη βοτανική σύνθεση	18
2. 2. 3. Επίδραση της βόσκησης και των επεμβάσεων κοπής στη φυτοποικιλότητα	18
2. 2. 4. Επίδραση της λιβαδικής παραγωγής-παραγωγικότητας στον αριθμό και στην ποικιλότητα των ειδών και στη βοτανική σύνθεση	19
2. 3. Λιβαδική παραγωγή	24
2. 4. Παράγοντες που επιδρούν στη χημική σύσταση της βλάστησης	25
2. 4. 1. Βοτανική Σύνθεση	25
2. 4. 2. Φαινολογικό στάδιο των φυτών	27
2. 4. 3. Τοπογραφική θέση	28
2. 5. Τα ανόργανα στοιχεία στη λιβαδική παραγωγή	30
2. 5. 1. Αβιοτικοί παράγοντες που επηρεάζουν την συγκέντρωση των ανόργανων στοιχείων στη βλάστηση	31
2. 5. 1. 1. Το pH του εδάφους	31
2. 5. 1. 2. Η οργανική ουσία του εδάφους	32
2. 5. 1. 3. Θερμοκρασία, υγρασία και φως	
2. 5. 2. Βιοτικοί παράγοντες που επηρεάζουν την συγκέντρωση των ανόργανων στοιχείων στη βλάστηση	35
2. 5. 2. 1. Διαφοροποίηση της συγκέντρωσης των ανόργανων στοιχείων ανάλογα με το είδος του φυτού	35
2. 5. 2. 2. Επίδραση του φαινολογικού σταδίου και μετακίνηση των ανόργανων στοιχείων στα εσωτερικά όργανα του φυτού	36
2. 6. Τα ανόργανα στοιχεία στη θρέψη των ζώων	40
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	43
3. 1. ΥΛΙΚΑ	43
3.1.1. Περιοχή Μελέτης	43
3. 1. 2. Κλίμα	44
3. 1. 3. Χλωρίδα και βλάστηση	47
3. 2. ΜΕΘΟΔΟΙ	49
3. 2. 1. Συλλογή φυτών – ταξινόμηση	49
3. 2. 2. Δειγματοληψία λιβαδικής παραγωγής	49
3. 2. 3. Χημικές Αναλύσεις	50
3. 2. 3. 1. Έδαφος	50
3. 2. 3. 2. Λιβαδική παραγωγή	51
3. 2. 4. Στατιστική ανάλυση	51
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	55
4. 1. Έδαφος	55
4. 2. Χλωρίδα και βλάστηση	59
4. 3. Λιβαδική παραγωγή υπαλπικών λιβαδιών	68
4.4. Περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής σε αζωτούχες ουσίες	73
4. 5. Περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε κυτταρικά τοιχώματα	74
4. 6. Συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ανόργανα στοιχεία	76
4. 6. 1. Κάλιο	76

4. 6. 2. Ασβέστιο	77
4. 6. 3. Μαγνήσιο	78
4. 6. 4. Φωσφόρος	79
4. 6. 5. Νάτριο	80
4. 6. 6. Σίδηρος	81
4. 6. 7. Ψευδάργυρος	81
4. 6. 8. Χαλκός	82
4. 6. 9. Μαγγάνιο	83
5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ	85
5. 1. Χλωρίδα και βλάστηση	85
5. 3. Λιβαδική παραγωγή υπαλπικών λιβαδιών	90
5.4. Περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής σε αζωτούχες ουσίες	93
5. 5. Περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε κυτταρικά τοιχώματα	95
5. 6. Συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ανόργανα στοιχεία	99
5. 6. 1. Κάλιο	99
5. 6. 2. Ασβέστιο	101
5. 6. 3. Φωσφόρος	104
5. 6. 4. Μαγνήσιο	107
5. 6. 5. Νάτριο	109
5. 6. 6. Σίδηρος	111
5. 6. 7. Ψευδάργυρος	113
5. 6. 8. Χαλκός	115
5. 6. 9. Μαγγάνιο	119
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	123
7. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	126
8. SUMMARY	129
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	132
10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	159

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΟ = Αζωτούχες Ουσίες

ΞΟ = Ξηρή Ουσία

στρ = Στρέμμα

ΤΑ= Τραχείτης, Ανδεσίτης (Τζένα περιοχή)

ADF = Acid Detergent Fiber (ινώδεις ουσίες αδιάλυτες σε όξινο απορρυπαντικό διάλυμα (όξινο σαπούνι, pH = 0)

Ha = Εκτάριο (= 10 στρέμματα)

HP= Λιβαδική παραγωγή (Herbage production)

G=Γνεύσιος (Μπέλες περιοχή)

mg/kg = χιλιοστόγραμμα ανά χιλιόγραμμα

mS/cm = miliSiemens/centimeter

NDF = Neutral Detergent Fiber (ινώδεις ουσίες αδιάλυτες σε ουδέτερο απορρυπαντικό διάλυμα (ουδέτερο σαπούνι, pH=7)

p = Επίπεδο σημαντικότητας

r = Συντελεστής συσχέτισης

R² = Συντελεστής προσδιορισμού

S.E. = Τυπικό σφάλμα (Standard Error)

EC= Ηλεκτρική αγωγιμότητα

N= Άζωτο (Nitrogen)

OM= Οργανική ουσία (Organic matter)

K = Κάλιο (Potassium)

Na = Νάτριο (Sodium)

Ca = Ασβέστιο (Calcium)

Mg= Μαγνήσιο (Magnesium)

P = Φωσφόρος (Phosphorus)

Fe = Σίδηρος (Iron)

Zn = Ψευδάργυρος (Zinc)

Cu = Χαλκός (Copper)

Mn = Μαγγάνιο (Manganese)

TR= Συνολικός αριθμός ειδών

FR= Αριθμός πλατύφυλλων ειδών

GR= Αριθμός αγρωστωδών ειδών

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι φυσικοί βοσκότοποι στην Ελλάδα καλύπτουν περίπου το 40% της ελληνικής επικράτειας (ΕΣΥΕ, 2000) και αξιοποιούνται από την ποιμενική αιγοπροβατοτροφία και τη βοοτροφία εκτατικής εκτροφής. Τα εκτατικά αυτά συστήματα εκτροφής, αξιοποιούν τη λιβαδική βλάστηση παράγοντας ζωοκομικά προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας. Εντούτοις, υπάρχει η δυνατότητα η συμβολή τους αυτή στο εθνικό εισόδημα να αυξηθεί με την εφαρμογή μικρών σχετικά βελτιωτικών εργασιών, ορθολογικής διαχείρισης και σχεδιασμένων συστημάτων βόσκησης.

Οι φυσικοί βοσκότοποι στην Ελλάδα εκτείνονται από την παραθαλάσσια έως την αλπική ζώνη. Σύμφωνα με στοιχεία της Ε.Σ.Υ.Ε. διακρίνονται σε βοσκότοπους της χαμηλότερης ζώνης (0-600 μ), της μεσαίας (600-800 μ) και της υψηλής ζώνης (800 μ και άνω). Οι βοσκότοποι στην υψηλή ζώνη καταλαμβάνουν το 50 % της συνολικής έκτασης των φυσικών βοσκοτόπων και παράγουν το 53 % της συνολικής λιβαδικής παραγωγής. Αντίθετα, οι βοσκότοποι της μεσαίας ζώνης (32 %) και της χαμηλότερης ζώνης (18 %) υπολείπονται κατά πολύ της υψηλής ζώνης και παράγουν το 33 % και το 14 % αντίστοιχα της συνολικής λιβαδικής παραγωγής (Σαρλής, 1998).

Το ανώτερο τμήμα της υψηλής ζώνης είναι η υπαλπική ζώνη η οποία χαρακτηρίζεται ως ζώνη των ορέων και εκτείνεται πάνω από τα όρια του δάσους. Οι Αθανασιάδης κ. ά. (2001) ονομάζουν τη ζώνη αυτή "ανωδασική" τοποθετούν τα δασοόρια στα ελληνικά βουνά στα 1700-2000μ. Σε πολλά βουνά της Βόρειας Ελλάδας, τα δασοόρια βρίσκονται σε μικρότερα υψόμετρα. Η έκταση τους υπολογίζεται περίπου σε 372.000 εκτάρια, τα οποία αντιπροσωπεύουν το 22,3% των συνολικών βοσκοτόπων στην Ελλάδα (Παπαναστάσης και Πίττας, 1984).

Η επίδραση του κλίματος στη λιβαδική παραγωγή και στη χημική σύσταση της χλωρίδας των φυσικών βοσκοτόπων είναι σημαντική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η λιβαδική παραγωγή των ποολίβαδων και φρυγανολίβαδων της χαμηλής και μεσαίας ζώνης να καλύπτει τις διατροφικές ανάγκες των ζώων μόνο κατά την περίοδο της άνοιξης. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η ύλη αυτή ξηραίνεται και είναι χαμηλής θρεπτικής αξίας με αποτέλεσμα να είναι ακατάλληλη να καλύψει τις ανάγκες των βόσκοντων ζώων (Παπαναστάσης, 1982; Papachristou, 2000; Mountousis et al., 2008). Η χρησιμότητα επομένως των υπαλπικών λιβαδιών έγκειται στο γεγονός ότι η περίοδος βόσκησης τους εκτείνεται την καλοκαιρινή περίοδο έως αρχές του φθινοπώρου, διάστημα κατά το οποίο η παραγωγή των λιβαδιών αυτών είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες συντήρησης των ζώων (Παπαναστάσης, 1982; Mountousis et al., 2008). Για το λόγο αυτό είναι συνήθως συνδεδεμένα με τη μετακινούμενη νομαδική κτηνοτροφία, όπου τα κοπάδια των ζώων εισέρχονται στα υπαλπικά λιβάδια στις αρχές του καλοκαιριού και κατεβαίνουν πάλι στα λιβάδια των χαμηλότερων υψομέτρων το φθινόπωρο. Επομένως η διατήρηση της εκτατικής κτηνοτροφίας στην υπαλπική ζώνη εξυπηρετεί εκτός από τον οικονομικό σκοπό της παραγωγής ποιοτικών προϊόντων και εξασφάλιση εισοδήματος σε ένα κομμάτι του πρωτογενή τομέα αλλά και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας και την προστασία από φυσικούς κινδύνους (από πυρκαγιές κ.ά.) (Zervas, 1998; Hadjigeorgiou et al., 2005; Chatzitheodoridis et al., 2007).

Η τοπογραφική διαμόρφωση των φυσικών βοσκοτόπων και κυρίως των υπαλπικών ποικίλλει έντονα. Η πλειονότητα αυτών χαρακτηρίζεται από μία συνεχή εναλλαγή ισχυρών κλίσεων, μεγαλύτερων από 20 %. Στα περισσότερα ορεινά σκελετικά συγκροτήματα ασβεστόλιθων, τα εδάφη τα οποία σχηματίζονται είναι σχετικά αβαθή, ελαφρώς όξινα και με

ικανοποιητικές φυσικοχημικές ιδιότητες. Αντίθετα, στα ορεινά συγκροτήματα που επικρατούν πυριγενή, μεταμορφωσιγενή πετρώματα τα εδάφη, που σχηματίζονται είναι πολύ βαθύτερα και περισσότερο όξινα.

Οι κλιματικές συνθήκες στις χαμηλότερες ζώνες επίσης ποικίλλουν και δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως ευμενείς για υψηλή λιβαδική παραγωγή. Η ξηρή περίοδος του θέρους και οι πολύ χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα περιορίζουν την αυξητική δραστηριότητα. Το κλίμα της υπαλπικής ζώνης, από την Στερεά Ελλάδα και βορειότερα, κατάσσεται στο Dfb-Dfc κατά Κορpen κλίμακα και χαρακτηρίζεται ως Ηπειρωτικό αξηρικό κλίμα με θερμό θέρος. Η μέση θερμοκρασία αέρος δεν ξεπερνά τους 10 °C, ενώ η μέση ελάχιστη του ψυχρότερου μήνα του έτους, τον Ιανουάριο, πέφτει αρκετά κάτω από το μηδέν (Παπαναστάσης, 1982). Το ετήσιο ύψος βροχής μπορεί να φτάσει τα 2000mm από το οποίο ένα τμήμα πέφτει την καλοκαιρινή περίοδο, διατηρώντας σε υψηλό επίπεδο την ποσότητα και την ποιότητα της λιβαδικής παραγωγής.

Η χλωρίδα της χώρας μας χαρακτηρίζεται ως πλούσια. Στους βοσκοτόπους απαντώνται πολλά είδη της οικογένειας των αγρωστωδών και των ψυχανθών, καθώς και πλατύφυλλες πόες διαφόρων οικογενειών. Στα υπαλπικά λιβάδια απαντώνται κατά βάση πολυετή ποώδη είδη (Παπαναστάσης, 1982, Ιώβη, 2001). Εντούτοις, όμως, συχνή είναι και η παρουσία ξυλωδών ειδών, όπως τα *Juniperus communis* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Astragalus angustifolius* Lam., *Bruckenthalia spiculifolia* (Salisb.) Reichenb. και *Rosa* sp. (Καραγιαννακίδου και Παπαδημητρίου, 2001).

Η λιβαδική παραγωγή, κυμαίνεται μεταξύ ευρέων ορίων, ανάλογα με την κλιματική ζώνη που αναπτύσσονται τα λιβαδικά οικοσυστήματα, τη συγκεκριμένη σύνθεση της βλάστησης, τις ιδιότητες του εδάφους και το βαθμό χρησιμοποίησής τους από τα βόσκοντα ζώα (Παπαναστάσης και Νοϊτσάκης, 1992). Στα υπαλπικά ποολίβαδα τα όρια αυτά επηρεάζονται κατά βάση από τη φύση του μητρικού πετρώματος, από το βάθος του εδάφους και την τοπογραφία και κατά δεύτερο λόγο από τις κλιματικές συνθήκες. Η ετήσια παραγωγή τους μεταβάλλεται εποχιακά με ελάχιστο κατά τη χειμερινή περίοδο και μέγιστο κατά τη θερινή. Η ένταση βόσκησης, όμως, αλλά και το είδος των βόσκοντων ζώων έχουν μεγάλη επίδραση όχι μόνο στη χλωριδική ποικιλότητα αλλά και στην αειφόρο ανάπτυξη του λιβαδικού οικοσυστήματος. Η διαχείριση των φυσικών βοσκοτόπων γίνεται σε μεγάλο βαθμό χωρίς κανένα σύστημα, με αποτέλεσμα άλλοτε η βοσκοφόρτωση να είναι μεγαλύτερη της βοσκοϊκανότητας και άλλοτε το αντίθετο. Από τα ανωτέρω, συνάγεται ότι βασικό σημείο-κλειδί για τη διατήρηση της απόδοσης σε επιθυμητά επίπεδα είναι η ορθολογική διαχείριση των λιβαδιών μέσω της οποίας εξασφαλίζεται η αειφορία τους.

Η επίτευξη του σκοπού αυτού προϋποθέτει τόσο τη γνώση της εποχικότητας της ποιότητας και ποσότητας της λιβαδικής παραγωγής σε συγκεκριμένα οικολογικά περιβάλλοντα αλλά και τις αντίστοιχες θρεπτικές ανάγκες των αγροτικών ζώων. Επιπλέον, η χορήγηση συμπληρωματικής τροφής που συχνά απαιτείται για να αντισταθμίσει στα ζώα τις ανεπάρκειες σε θρεπτικά συστατικά της λιβαδικής παραγωγής αποδεικνύει τη μη ορθολογική διαχείριση του φυσικού διατροφικού πόρου των λιβαδικών οικοσυστημάτων (McDowell, 1985).

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η καταγραφή της χλωρίδας των υπαλπικών περιοχών της Τζένας και του Μπέλες καθώς και η διερεύνηση των αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων που καθορίζουν τη χλωριδική σύνθεση και τον αριθμό των φυτικών ειδών (α - ποικιλότητα) των συγκεκριμένων υπαλπικών περιοχών. Επίσης, μελετήθηκε η επίδραση του

φαινολογικού σταδίου της βλάστησης και των εδαφικών και τοπογραφικών παραμέτρων στη χημική σύσταση της λιβαδικής παραγωγής των τριών λειτουργικών ομάδων (αγρωστόδη, πλατύφυλλα, ψυχανθή).

2. ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1. Έδαφος, χλωρίδα και βλάστηση λιβαδικών οικοσυστημάτων

Έδαφος είναι το επιφανειακό στρώμα της γης που αποτελείται από ανόργανα και οργανικά συστατικά στηρίζοντας την ανάπτυξη των φυτών παρέχοντας τους όλα τα θρεπτικά συστατικά που χρειάζονται για την επιβίωσή τους (Αλιφραγκής, 2008).

Καθοριστικό παράγοντα σχηματισμού του εδάφους αποτελεί το μητρικό υλικό ή τα πετρώματα με τις προσμείξεις που το αποτελούν. Τα πετρώματα θεωρούνται φυσικά μείγματα διαφόρων ορυκτών, τα οποία με την επίδραση των παραγόντων της εδαφογένεσης συντελούν στη σταδιακή διαδικασία σχηματισμού του εδάφους. Επομένως, το έδαφος μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το αποτέλεσμα της μακροχρόνιας επίδρασης του κλίματος, των οργανισμών και του ανάγλυφου στο μητρικό πέτρωμα. Ανάλογα με τις συνθήκες σχηματισμού τους τα πετρώματα διακρίνονται σε πυριγενή, ιζηματογενή και μεταμορφωμένα ή κρυσταλλοσχιτώδη (Αλιφραγκής, 2008).

Η ικανότητα αυτή του εδάφους να αποθηκεύει και να ανακυκλώνει τα θρεπτικά στοιχεία τα οποία προκύπτουν από τη διάσπαση οργανικών ουσιών και την αποσάθρωση των πετρωμάτων, καθορίζει την ανάπτυξη της χλωρίδας και γενικότερα τη λιβαδική παραγωγή ενός λιβαδικού οικοσυστήματος. Ιδιαίτερης σημασίας ιδιότητα του εδάφους είναι η γονιμότητά του, η οποία αναφέρεται στην παροχή των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά σε τέτοιες αναλογίες μεταξύ τους, ώστε να διασφαλίζουν την ανάπτυξη τους. Άλλες καθοριστικής σημασίας ιδιότητες του εδάφους είναι η υδατοδιαπερατότητα και η υδατοχωρητικότητα. Η υδατοδιαπερατότητα σχετίζεται με την καθοδική κίνηση του νερού διεισδύοντας στη μάζα των οριζόντων του εδάφους και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η μηχανική σύσταση, η δομή, η συμπίεση, η ομοιογένεια των οριζόντων του εδάφους, η κατάσταση της επιφάνειάς του και η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Η κατάσταση της επιφάνειάς του εδάφους στα φυσικά λιβάδια εξαρτάται από τη συμπίεσή του από τα ζώα και κατ' επέκταση από τον υψηλό βαθμό βοσκοφόρτωσης (Σαρλής, 1998). Επίσης, το μειωμένο σε βάθος ριζικό σύστημα των φυτών καθώς και η μειωμένη επιφάνεια διαπνοής του φυλλώματός τους, που οφείλονται σε βαριά βόσκηση μειώνουν, τη διαπερατότητα του εδάφους. Η ποσότητα του νερού που συγκρατείται από το έδαφος εξαρτάται από το ύψος και την ένταση των βροχοπτώσεων, το βάθος, την συγκέντρωση στο σκελετικό υλικό, το πορώδες, την οργανική ουσία, τη συμπίεση, την ορυκτολογική σύσταση, την κατανομή των πόρων, την κοκκομετρική σύσταση, τη φυτοκάλυψη κ.ά. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες συντελούν στη διαφοροποίηση της εδαφικής υγρασίας (Cable, 1980).

Επομένως, το έδαφος είναι ο βασικότερος παράγοντας, ο οποίος καθορίζει την παραγωγικότητα και σε μεγάλο βαθμό τη χλωριδική σύνθεση και την ποικιλότητα ενός λιβαδιού. Παράλληλα, η αλληλεπίδραση κλίματος, εδάφους και τοπογραφίας προσδιορίζει τον τύπο της λιβαδικής βλάστησης και τη λιβαδική παραγωγή (Holechek et al., 1995). Το ανάγλυφο και γενικότερα η τοπογραφική διαμόρφωση μιας περιοχής επηρεάζει αντίστοιχα με το έδαφος τη βλάστηση, διαμορφώνοντας σε αλληλεπίδραση με άλλους παράγοντες το μικροκλίμα του εκάστοτε λιβαδικού οικοσυστήματος. Ειδικότερα, η τοπογραφική διαμόρφωση επηρεάζει την κατανομή των βροχοπτώσεων, τη θερμοκρασία και την υγρασία αέρα καθώς και τις επικαθήσεις του χιονιού. Έτσι π.χ. για το Β. Ημισφαίριο η βόρεια και ανατολική έκθεση μίας περιοχής παρουσιάζει περισσότερη υγρασία από τη νότια και δυτική έκθεση, επειδή υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας και εξατμίσεως (Roche and Busacca, 1987). Αποτέλεσμα αυτού είναι η χλωρίδα και η παραγωγή της νότιας έκθεσης να διαφέρει από αυτή της βόρειας έκθεσης. Συνεπώς τα ορεινά και υπαλπικά λιβάδια με διαφορετικές εκθέσεις

μπορούν να χρησιμοποιηθούν εποχιακά από τα βόσκοντα ζώα εκμεταλλευόμενα τη διαφορετική σύνθεση και χημική σύσταση της χλωρίδας καλύπτοντας επαρκώς τις ανάγκες τους.

Ορισμένα χαρακτηριστικά του εδάφους που συνδέονται άμεσα με την παραγωγικότητα των λιβαδιών είναι η κοκομετρική σύσταση, το βάθος, το pH, η οργανική ουσία, η γονιμότητα κ.ά. (Παπαναστάσης και Νοϊτσάκης, 1992).

Η κοκομετρική σύσταση αφορά στην συγκέντρωση του εδάφους σε άργιλο, ιλύ και άμμο. Παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγικότητα του εδάφους, γιατί επηρεάζει όλες τις άλλες φυσικές και χημικές ιδιότητές του. Εδάφη με υψηλή συγκέντρωση σε άργιλο είναι γενικά πλουσιότερα σε θρεπτικά στοιχεία, όπως άζωτο, φωσφόρο και κάλιο, αλλά έχουν μικρή υδατοδιαπερατότητα σε σχέση με τα αμμώδη εδάφη (Παπαμίχος, 1990). Αντίθετα, τα εδάφη με υψηλή συγκέντρωση σε άμμο είναι φτωχότερα σε θρεπτικά στοιχεία, καθώς έχουν μειωμένη συγκράτηση του νερού και των θρεπτικών στοιχείων επιτρέποντας την ταχύτερη διείσδυση του νερού σε σχέση με τα αργιλώδη εδάφη (Murdog and Frye, 1983). Αποτέλεσμα αυτού είναι οι φυτοκοινότητες, που αναπτύσσονται σε αυτά τα εδάφη να είναι χαμηλής παραγωγικότητας (Zhu and Chen, 1994). Η καλύτερη ισορροπία μεταξύ δέσμευσης θρεπτικών στοιχείων και διηθητικότητας του νερού επιτυγχάνεται στα μέτρια εδάφη. Η διηθητικότητα του νερού και ο αερισμός του εδάφους επηρεάζονται επίσης και από τη δομή, δηλαδή η συσσωμάτωση των μεμονωμένων κόκκων του εδάφους και ο σχηματισμός μεγαλύτερων μονάδων (Παπαναστάσης και Νοϊτσάκης, 1992). Το βάθος του εδάφους λειτουργεί ως περιοριστικός παράγοντας στην παραγωγικότητα ενός λιβαδιού. Αβαθή εδάφη σε περιόδους ξηρασίας έχουν λιγότερα αποθέματα νερού σε σύγκριση με βαθύτερα εδάφη, ενώ σε περιόδους έντονης βροχόπτωσης σε τέτοια εδάφη, ιδιαίτερα με κλίση, δημιουργείται έντονη επιφανειακή απορροή, που οδηγεί σε διάβρωση (Gómez et al., 1999). Τα βαθύτερα εδάφη έχουν κατά κανόνα αυξημένη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών επηρεάζοντας έμμεσα την φυτοποικιλότητα. Από την άλλη, η μείωση της διαθεσιμότητας των εδαφικών πόρων και της οργανικής ουσίας σε συνδυασμό με το βάθος του εδάφους δίνει τη δυνατότητα να συνυπάρχουν επιπολαιόριζα φυτικά είδη με λιγότερο απαιτητικά βαθύρριζα είδη, αντισταθμίζοντας έτσι τη μείωση της φυτοποικιλότητας στα βαθιά εδάφη (Berendse, 1988).

Το pH του εδάφους επιδρά σε ένα μεγάλο αριθμό διεργασιών, που συμβαίνουν στο έδαφος, πολλές από αυτές σχετίζονται με τη διαθεσιμότητα των μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων και το βαθμό πρόσληψης τους από τα φυτά (Scheffer and Schachtschabel, 1989). Σε χαμηλό pH συνήθως αυξάνεται η διαθεσιμότητα πολλών στοιχείων. Αυτό οφείλεται στην εντονότερη υδρόλυση πρωτογενών και δευτερογενών ορυκτών. Ωστόσο, στα ισχυρώς όξινα εδάφη αυξάνεται η διαθεσιμότητα κάποιων ιχνοστοιχείων, όπως του Mn, Fe και Zn, όπου μπορεί να φτάσει σε επίπεδα τοξικότητας για τα φυτά (Touzen, 2003; Riesen and Feller, 2005). Στα ουδέτερα εδάφη τα περισσότερα θρεπτικά στοιχεία έχουν τη μεγαλύτερη διαθεσιμότητα για τα φυτά όπου η δραστηριότητα των μικροοργανισμών του εδάφους είναι επίσης πολύ υψηλή (Holechek et al., 1989; Rieley and Page, 1990). Ο Schaffers (2002) αναφέρει μια παραβολική σχέση του pH με την παραγωγή ποολίβαδου, όπου προσεγγίζει το μέγιστο σε τιμές λίγο κάτω του 6. Εντούτοις, οι Critchley et al. (2002a) αναφέρουν ότι το εδαφικό pH είναι ίσως η πιο σημαντική παράμετρος του εδάφους, η οποία καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη χλωριδική ποικιλότητα και τη βοτανική σύνθεση των λιβαδιών. Έτσι, τα αγρωστώδη αναπτύσσονται σε χαμηλό pH ή σε όξινα εδάφη, ενώ τα ψυχανθή προτιμούν υψηλό pH και απαντώνται σε ελαφρώς όξινα, ουδέτερα ή και βασικά εδάφη (Murphy et al., 1984). Αναφέρεται ότι σε όξινα εδάφη αναπτύσσονται φυτά μικρότερης θρεπτικής αξίας όπως τα είδη *Agrostis capillaris* L., *Stipa* spp. ή ανεπιθύμητα όπως το *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn in Decken (Liacos and Papanastasis, 1986). Αντίθετα, τα περισσότερα ετήσια είδη μηδικής απαντώνται σε ελαφρώς όξινα μέχρι ουδέτερα

εδάφη. Τα περισσότερα, όμως, λιβαδικά φυτά έχουν ένα σχετικά ευρύ φάσμα αντοχής στην αντίδραση του εδάφους. Ωστόσο, η βέλτιστη παραγωγή του άσπρου τριφυλλίου παρατηρήθηκε, όταν το pH ήταν 6,0 ή μεγαλύτερο (Pearson and Hoveland, 1984). Αντίστοιχα οι Koch and Estes (1986) διαπίστωσαν ότι η κάλυψη ψυχανθών αυξήθηκε, όταν εφαρμόστηκε ασβέστωση του εδάφους, το οποίο αύξησε το pH από 5,5 σε 6.

Από τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους, το άζωτο φαίνεται ότι είναι αυτό που ασκεί τη μεγαλύτερη επίδραση στην αύξηση των φυτών και γενικότερα στην παραγωγή ενός λιβαδιού. Εντούτοις, μείωση της ανοργανοποίησης της οργανικής ουσίας μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερη απελευθέρωση του διαθέσιμου N για τα φυτά (Cadish et al., 1994). Σύμφωνα με το Schaffers (2002), σε φυσικά οικοσυστήματα με κυρίως όξινες εδαφικές συνθήκες η υπέργεια παραγωγή εμφανίζεται να επηρεάζεται κυρίως από την ανοργανοποίηση του N. Υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου στο έδαφος αυξάνουν τη βιομάζα των αγρωστωδών και ταυτόχρονα μειώνουν την παρουσία των ψυχανθών και πλατύφυλλων πόων λόγω της αύξησης της ανταγωνιστικής ικανότητας των κυρίαρχων αγρωστωδών, ενώ τα ψυχανθή αυξάνονται με τη προσθήκη φωσφόρου και καλίου (Tilman, 1985; Bobbink, 1991 Elisseou et al., 1995, Mamolos et al., 1995). Παράλληλα ο McLachlan (1980) αναφέρει ότι η εφαρμογή Ca αυξάνει το σχηματισμό των φυματίων του *Trifolium repens* L., ενώ ο Mills (1984) βρήκε ότι η προσθήκη στο έδαφος ασβεστίου και φωσφόρου ευνοεί την εγκατάσταση του *Trifolium pratense* L.. Παράλληλα ο Marschner (1995) αναφέρει ότι ο φώσφορος είναι αναγκαίος για τη δημιουργία φυματίων, ενώ οι Janssens et al. (1998) βρήκαν ότι συγκεντρώσεις εδαφικού P κάτω από 10 ppm μειώνουν την κάλυψη των ψυχανθών κάτω από 20%. Παρατήρησαν επίσης ότι ιδανικές τιμές του εδαφικού P για την ανάπτυξη των ψυχανθών κυμαίνονταν μεταξύ 40-50 ppm όπου πάνω από το όριο αυτό μειωνόταν δραματικά εκ νέου η ανάπτυξή τους. Επίσης ο Tilman (1982) διαπίστωσε ότι εκτός από το N και το P, η προσθήκη Ca επίσης βελτιώνει τη σύνθεση της βλάστησης και αυξάνει την παραγωγή. Εντούτοις, οι Τζιάλλα κ.ά. (2000) βρήκαν ότι σε ποολίβαδο με όξινο έδαφος, η προσθήκη Ca παρόλο που μετάβαλε τη σύνθεση χλωρίδας δεν αύξησε την παραγωγή υπέργεια βιομάζας λόγω του ότι το έδαφος ήταν γόνιμο και επομένως η προσθήκη Ca δεν επηρέασε τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων.

2.2. Επίδραση βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων στη χλωριδική σύνθεση, στη φυτοποικιλότητα και στην αφθονία των ειδών

2.2.1. Επίδραση εδαφικών παραγόντων στη φυτοποικιλότητα

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα το εδαφικό pH καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη χλωριδική ποικιλότητα αλλά κυρίως τη βοτανική σύνθεση των λιβαδιών. Ο Marrs (1993) αναφέρει ότι η λιβαδική φυτοποικιλότητα είναι γενικά μεγαλύτερη στα ουδέτερα ή αλκαλικά εδάφη σε σχέση με τα όξινα εδάφη. Πολλοί ερευνητές αναφέρουν θετική σχέση του pH με τον αριθμό των ειδών που μειώνεται σε έντονα αλκαλικά εδάφη (Bedford et al., 1999; Roem and Berendse, 2000; Critchley et al., 2002a; Schuster and Diekmann, 2003; Crawley et al., 2005). Μια πιθανή εξήγηση για το πρότυπο αυτό του αριθμού των ειδών (άλφα ποικιλότητα) σε τοπικό επίπεδο κατά μήκος της διαβάθμισης του pH είναι οι διαφορές που υπάρχουν στη δεξαμενή των ειδών της ευρύτερης περιοχής, μεταξύ ασβεστόφιλων και ασβεστόφοβων ειδών δηλαδή, τα είδη προσαρμόζονται αντίστοιχα σε υψηλό ή χαμηλό pH του εδάφους. Αυτή η διαφορά έχει προταθεί ότι είναι το αποτέλεσμα εξελικτικών και ιστορικών διεργασιών που λειτουργούν σε περιφερειακή κλίμακα (Grime, 1973; Grime, 1979; Partel, 2002; Ewald, 2003). Ο Partel (2002) σε μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σε παγκόσμια κλίμακα, διαπίστωσε ότι τοπικά υπάρχουν θετικές σχέσεις μεταξύ του αριθμού των ειδών και του pH οι οποίες είναι πιο συχνές σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, όπου στο Πλειστόκαινο η εξελικτική διαδικασία έλαβε μέρος σε περιοχές με ανανεωμένα

ασβεστολιθικά εδάφη. Παρόλο όμως που η σχέση του pH με τον αριθμό των ειδών είναι ξεκάθαρη ειδικά ανάμεσα σε ένα μεγάλο φάσμα τύπων χλωρίδας, αυτό το πρότυπο μπορεί να μην ισχύει πάντοτε σε πιο συγκεκριμένους λιβαδικούς τύπους σε τοπικές καταστάσεις. Έτσι οι Chytry et al. (2003) βρίσκουν διαφορετικές σχέσεις ανάλογα με το λιβαδικό τύπο, ενώ σε κάποιους λιβαδικούς τύπους οι σχέσεις είναι μάλλον ασήμαντες. Οι Janssens et al. (1998) παρόλο που βρίσκουν τον υψηλότερο αριθμό ειδών σε τιμές pH μεταξύ 6-7, ωστόσο δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ τους επιβεβαιώνοντας την προηγούμενη αναφορά. Οι Gusewell et al. (2005) σε υγρά αποστραγγιζόμενα λιβάδια της Ελβετίας αναφέρουν μια διαφορετική σχέση, όπου ο αριθμός των ειδών μειώνεται όσο αυξάνεται το pH, σε ένα μικρό φάσμα όξινων συνθηκών, ενώ στη συνέχεια παρατηρείται αύξηση του αριθμού ειδών, καθώς οι τιμές του pH προσεγγίζουν ουδέτερες ή ελαφρώς αλκαλικές τιμές. Παρόμοια σχέση βρήκαν και οι Merunkova et al. (2012) σε υπαλπικά λιβάδια των Λευκών Καρπάθων ορέων, εντούτοις όμως, όταν ενοποιούν διαφορετικές περιοχές παρατηρείται αρνητική συσχέτιση του pH με τον αριθμό των ειδών το οποίο πιθανόν οφείλεται σε άλλους παράγοντες όπως η υγρασία εδάφους. Πρόσθετα, αρκετοί ερευνητές έχουν επισημάνει τον καθοριστικό ρόλο του pH στη βοτανική σύνθεση των ειδών σε διαφορετικού τύπου περιβάλλοντα (Dodd et al., 1994; Roem and Berendse, 2000; Critchley et al., 2002a; Marini et al., 2007).

Υπάρχει μια γενική άποψη ότι στις μεσοτροφικές φυτοκοινωνίες η χλωριδική ποικιλότητα μειώνεται σε γόνιμα εδάφη (Vitousek, 1994; Tilman, 1997; Bobbink et al., 1998; Aerts, 1999; Grime 2001). Στις συνθήκες αυξημένης γονιμότητας ευνοούνται λίγα ανταγωνιστικά είδη, τα οποία είναι ικανά να εκμεταλλευτούν ραγδαία τους διαθέσιμους εδαφικούς πόρους και το φως, παράγοντας υψηλή βιομάζα και περιορίζοντας έτσι τα λιγότερο ανταγωνιστικά είδη (Al-Mufti et al., 1977; Grime, 1979). Αντίθετα, σε φτωχά εδάφη μόνο λίγα είδη μπορούν να επιβιώσουν. Συνεπώς υψηλή φυτοποικιλότητα έχει παρατηρηθεί σε ενδιάμεσες εδαφικές συνθήκες (Al Mufti et al., 1977; Grime, 1979; Vermeer and Berendse, 1983; Marrs, 1993) όπου μεγάλος αριθμός ειδών μπορεί να συνυπάρξει. Επίσης η διαφοροποίηση των θρεπτικών συστατικών που ασκούν περιοριστική δράση στην αφθονία των ειδών μπορεί να μεταβάλλει τη βοτανική σύνθεση σε μια φυτοκοινωνία (Koerselman and Meuleman, 1996). Πολλοί πειραματικοί σχεδιασμοί που είχαν γίνει ακόμα και με μικρές λιπάνσεις N έδειξαν μείωση του αριθμού των ειδών (Elisseou et al., 1995; Marrs, 1993; Mountford et al., 1993; Tallowin et al., 1994). Είχε επίσης παρατηρηθεί ότι ο αριθμός των πλατύφυλλων ποών μειωνόταν, όταν οι λιπάνσεις N υπέρβαιναν τα 75 kg N/ ha (Tallowin et al., 1999). Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγουν και οι Henry et al. (1999), οι οποίοι όμως διαπίστωσαν ότι τα είδη *Ambrosia artemisiifolia* L., *Agrostis capillaris* L. and *Carex* sp., εμφάνισαν υψηλότερο αριθμό ατόμων στις υψηλότερες προσθήκες N. Οι Janssens et al. (1998) σε μελέτη μεταανάλυσης από διαφορετικού τύπου λιβαδιών διαπίστωσαν ότι ο υψηλότερος αριθμός των ειδών ήταν όταν οι συγκεντρώσεις του συνολικού εδαφικού N προσέγγιζαν το όριο 0,5%, ενώ σε υψηλότερες τιμές υπήρξε ραγδαία μείωση του αριθμού των ειδών. Μεγάλη έρευνα έχει γίνει επίσης στην Κεντρική και Δυτική Ευρώπη για την επίδραση του εδαφικού N στον αριθμό των φυτικών ειδών, όπου φάνηκε ότι η συνολική ελάττωση στα είδη οφείλεται στη μεγάλη μείωση του αριθμού των πλατύφυλλων ειδών (Stevens et al., 2006; Dupre et al., 2010; Stevens et al., 2010). Αντίθετα, οι Dupre et al. (2010) αναφέρουν μια σημαντική αύξηση του αριθμού των αγρωστωδών ειδών σε λιβάδια της Γερμανίας σε όξινες εδαφικές συνθήκες. Παρόμοια αποτελέσματα αλλά μικρής αύξησης των αγρωστωδών ειδών βρήκαν οι Stevens et al. (2006) και οι Stevens et al. (2010). Όλοι οι προηγούμενοι ερευνητές παρατήρησαν ισχυρή επέκταση - κάλυψη των αγρωστωδών και συμπεραίνεται ότι οι αυξημένες συγκεντρώσεις αζώτου ευνόησαν είδη όπως *Agrostis capillaris* L. and *Festuca rubra* L. εις βάρος πλατύφυλλων ειδών. Μια πιθανή εξήγηση ήταν ότι σε όξινα εδάφη τα αγρωστώδη είναι περισσότερο ικανά σε σχέση με τα πλατύφυλλα να

χρησιμοποιούν το διαθέσιμο N με αποτέλεσμα τη γρηγορότερη ανάπτυξη και την καταστολή των δυκοτυλίδων ειδών μικρότερου ύψους (Pepler-Lisbach and Peterson, 2001).

Την επίδραση του εδαφικού P στην αφθονία των ειδών έχουν περιγράψει οι Janssens et al. (1998) που βρήκαν μια παραβολική σχέση μεταξύ του εδαφικού P και του αριθμού των ειδών διαπιστώνοντας ότι ο μέγιστος αριθμός ειδών επιτυγχάνεται σε συγκέντρωση εκχυλίσμου P 40 ppm, ενώ τιμές > 50 ppm ο αριθμός των ειδών μειώνεται. Αντίστοιχα οι Peeters et al. (1994) αναφέρουν ότι για τιμές P>50 ppm ο αριθμός των ειδών μειώνεται στα 10 είδη. Οι Marini et al. (2007) σε φυσικά λιβάδια των Άλπεων βρήκαν την ίδια παραβολική σχέση με μέγιστο αριθμό ειδών σε συγκέντρωση P τα 25 ppm. Οι Critchley et al. (2002a) επιβεβαιώνουν την προηγούμενη σχέση σε λιβάδια ασβεστολιθικών εδαφών και διαπιστώνουν την παρουσία υψηλού αριθμού ειδών σε χαμηλές συγκεντρώσεις P<15 mg/l. Οι Bobbing et al. (1991) επίσης, αναφέρουν ότι μικρή προσθήκη P μπορεί να μειώσει τον αριθμό των πλατύφυλλων ειδών, ενώ τα αγρωστώδη δεν εμφάνισαν καμιά διαφορά. Ωστόσο, ο ρόλος της μυκόρριζας καθώς και η σχέση N/P του εδάφους, παίζουν σημαντικό ρόλο στην πρόσληψη του εδαφικού P από τα φυτά, επηρεάζοντας αντίστοιχα τη παραγωγή και τον αριθμό των ειδών (Karanika, et al. 2008).

Η επίδραση του εδαφικού καλίου στη φυτοποικιλότητα δε φαίνεται να είναι σημαντική. Ειδικότερα οι Peeters et al. (1994) αναφέρουν την εμφάνιση υψηλού αριθμού ειδών σε σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις K (100-200 mg/kg). Παρόμοια, και οι Janssens et al. (1998) και οι Critchley et al. (2002a) βρήκαν υψηλότερο αριθμό φυτικών ειδών σε τιμές K=200 mg/kg όπου παρατηρείται το άριστο επίπεδο θρέψης των φυτών, ενώ διαπίστωσαν σε τιμές >300 mg/kg μείωση του αριθμού ειδών. Οι Marini et al. (2007) σε λιβάδια των Άλπεων διαπιστώνουν αντίστοιχο όριο τα 140 mg/kg K για μέγιστο αριθμό ειδών. Έτσι μπορεί να υποθεθεί ότι σχετικά υψηλές τιμές K συμβαδίζουν με υψηλές τιμές αφθονίας ειδών. Αυτό εξηγείται από την υψηλή κινητικότητα του στο έδαφος. Έτσι, παρόλο που το K μπορεί να εκπλυθεί πολύ περισσότερο από το P, οι απώλειες του από την έκπλυση είναι πολύ μικρότερες συγκριτικά με αυτά που παίρνει το φυτό και εξάγονται με τη παραγωγή βιομάζας (μέχρι και 200 kg/ha) (Kayser and Isselstein, 2005). Επομένως η ασθενής επίδραση του στοιχείου αυτού στην αφθονία των ειδών ήταν πιθανόν εξαιτίας της μετακίνησης στη βιομάζα και στην υψηλή κινητικότητά του. Παράλληλα όμως, σημασία στη θρέψη των φυτών, δεν έχει μόνο το K που βρίσκεται στο εδαφικό διάλυμα ή είναι προσροφημένο στα κολλοειδή αλλά και αυτό που μπορεί να κινητοποιηθεί, όπως για παράδειγμα το δεσμευμένο στους ενδοκρυσταλλικούς χώρους του βερμικουλίτη. Επίσης μεγάλη σημασία έχει η σχέση K/NH₄ στην πρόσληψη του K. Στα ανωτέρω πιθανά οφείλονται οι διαφοροποιήσεις που παρατηρήθηκαν σε κάποιες μελέτες που εμφάνισαν διαφορετικές συσχετίσεις του K με τον αριθμό των ειδών. Ο Austrheim (2002) σε υπαλπικά λιβάδια της Νορβηγίας βρήκε αρνητική γραμμική συσχέτιση του K με τον αριθμό των ειδών, παρόλο που οι συγκεντρώσεις K εκτείνονταν μεταξύ 113-240 mg/kg, ενώ, αντίθετα, οι Amorim and Batalha (2008) σε διαφορετικού τύπου ποολίβαδα της Βραζιλίας με έντονα όξινα εδαφικές συνθήκες βρήκαν θετική γραμμική συσχέτιση του K με τον αριθμό των ειδών. Άλλα θρεπτικά στοιχεία όπως το Mg και το Ca δεν παρουσιάζουν σημαντική επίδραση στον αριθμό των ειδών, παρόλο που το Ca μπορεί να επιδράσει θετικά σε όξινα εδάφη στον αριθμό των ειδών, καθώς σχετίζεται άμεσα με το pH του εδάφους (Roem and Berendse, 2000; Schuster and Diekmann, 2005).

2.2.2. Επίδραση της τοπογραφίας στον αριθμό των ειδών και στη βοτανική σύνθεση

Άλλη σημαντική περιβαλλοντική μεταβλητή που επιδρά στον αριθμό των ειδών και στη βοτανική σύνθεση είναι η τοπογραφία μιας περιοχής και συγκεκριμένα, το υψόμετρο, η κλίση και η έκθεση. Οι διαβαθμίσεις του υψομέτρου όπως και το γεωγραφικό πλάτος δεν

αποτελούν καθαυτό περιβαλλοντικές μεταβλητές (Kerr, 2001). Έτσι, το υψόμετρο καθορίζει πολλές περιβαλλοντικές μεταβλητές που αλλάζουν με διαφορετικό τρόπο. Υπάρχει μια επικρατούσα θεωρία η οποία υποστηρίζεται από πολλές μελέτες ότι η μεγαλύτερη αύξηση του αριθμού των ειδών εμφανιζόταν σε ενδιάμεσες υψομετρικές διαβαθμίσεις (Odland and Birks, 1999; Grytnes and Vetaas, 2002; Grytnes, 2003; Carpenter, 2005). Έτσι, η σχέση του υψομέτρου με τον αριθμό των ειδών εμφανίζει μια παραβολική τάση που οι τιμές του αριθμού των ειδών αυξάνονται μέχρι κάποιο υψόμετρο, το οποίο ποικίλλει ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, και μετά μειώνονται σταδιακά. Αντίθετα, άλλοι ερευνητές αναφέρουν είτε αρνητική συσχέτιση του αριθμού των ειδών με το υψόμετρο ενώ άλλοι δεν βρήκαν σχέση (Ohlemuller and Wilson, 2000; Austrheim, 2002). Συνεπώς σε μια στενή υψομετρική διαβάθμιση των ορεινών, υπαλπικών και αλπικών λιβαδιών η σχέση μεταξύ υψομέτρου και αριθμού ειδών ήταν αρνητική όπως αναφερόταν από τους Vazquez and Givnish (1998), Chen and Zhang (2000) και Carpenter (2005). Οι Vrahnakis et al. (2003) σε μελέτη που έκαναν στο όρος Τυμφρηστό από 1400μ έως τα 2200μ, βρήκε αρνητική σχέση του αριθμού των ειδών με το υψόμετρο. Εντούτοις, από κάποιους ερευνητές βρέθηκε μια αύξηση των αγρωστωδών σε υψομετρικές διαβαθμίσεις ορεινών και υπαλπικών λιβαδιών (Chen and Zhang, 2000; Malen and Pickering, 2008).

Ο Perring (1959) έχει στο παρελθόν περιγράψει τις επιδράσεις της έκθεσης και της κλίσης του εδάφους στη βοτανική σύνθεση σε πολλά λιβάδια ασβεστολιθικού εδάφους στην Αγγλία. Οι Rykälä et al. (2005) και οι Klimek et al. (2007) σε εγκατελειμένους αγρούς και ποολίβαδα της Κεντρικής Ευρώπης αναφέρουν ότι οι περιοχές με εδαφική κλίση και με μεγαλύτερη ακτινοβολία έχουν υψηλότερο αριθμό ειδών από επίπεδες εκτάσεις με μικρότερη ακτινοβολία. Οι Marini et al. (2007) σε λιβάδια των Άλπεων βρήκαν ότι το υψόμετρο και η κλίση επηρεάζουν σημαντικά τη βοτανική σύνθεση όχι όμως και τον αριθμό των ειδών. Ο Rodwell (1992) αναφέρει ότι κλιματικοί και τοπογραφικοί παράγοντες, όπως κλίση και έκθεση, ήταν περισσότερο σημαντικοί για τη διαφοροποίηση που παρουσιάζει η χλωριδική σύνθεση μεταξύ ποολίβαδων. Οι Gong et al. (2008) σε ορεινά λιβάδια της Μογγολίας βρήκαν υψηλότερο ποσοστό C₃ φυτών στις βόρειες εκθέσεις απ'ότι στις νότιες εκθέσεις, ενώ αναφέρουν ότι τα C₄ φυτά λόγω της καλύτερης αξιοποίησης της εδαφικής υγρασίας και του αζώτου μπορεί να θεωρηθούν ως δείκτες στους συγκεκριμένους ξηροθερμικούς οικοτόπους. Οι Klimek et al. (2007) βρήκαν ότι το υψόμετρο, η κλίση και η ηλιακή ακτινοβολία ήταν οι σημαντικότερες μεταβλητές από αυτές που είχαν επιλεγεί που καθόριζαν τη βοτανική σύνθεση. Εντούτοις, όμως, το στατιστικό τους μοντέλο εξηγούσε μόνο ένα μικρό ποσοστό του μηχανισμού ελέγχου της βοτανικής σύνθεσης. Οι Bennie et al. (2006) αναφέρουν ότι σε ποολίβαδα ασβεστολιθικών εδαφών η μεγαλύτερη εδαφική κλίση επηρεάζει τη χλωριδική σύνθεση. Επίσης, διαπίστωσαν μικρότερες μεταβολές στη βοτανική σύνθεση, στις νότιες εκθέσεις οι οποίες απολάμβαναν υψηλότερη ακτινοβολία που είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της εδαφικής υγρασίας και τη διατήρηση μόνο ανεκτικών ειδών χωρίς παρουσία κυρίαρχων ατόμων.

2.2.3. Επίδραση της βόσκησης και των επεμβάσεων κοπής στη φυτοποικιλότητα

Η βόσκηση και η κοπή της λιβαδικής παραγωγής επιδρούν σημαντικά στην ποικιλότητα και στη σύνθεση των ειδών σε ένα λιβάδι. Επομένως η βόσκηση των ζώων, με την επιλεκτική αποφύλλωση εξαιτίας των διατροφικών επιλογών, με την συμπίεση του εδάφους βοηθώντας στην ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών του εδάφους αλλά και στη διασκόρπιση των σπόρων βοηθώντας στον αναπαραγωγικό κύκλο των φυτών, μπορεί να διατηρήσει ή να αυξήσει τη χλωριδική ποικιλότητα (Rook & Tallowin, 2003). Το προηγούμενο μπορεί να συμβεί με χαμηλά επίπεδα βοσκοφόρτωσης σε εκτατικά ή και σε πιο εντατικά συστήματα βόσκησης. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει μετά από μερικούς κύκλους

βόσκησής, ακόμα και όταν η αρχική κατάσταση είναι σχετικά ομοιογενούς βοτανικής δομής (Garcia et al., 2005). Είναι πλέον καλά τεκμηριωμένο ότι μεγάλα μηρυκαστικά είναι σε θέση να ενισχύσουν τη φυτοποικιλότητα, καθώς δρουν κυρίως πάνω στα κυρίαρχα φυτικά είδη, σε χαμηλό επίπεδο βοσκοφόρτωσης αλλά αυτή μειώνεται σε υψηλότερα ποσοστά (Olf and Ritchie, 1998). Σε αντίθεση τα μικρά μηρυκαστικά έχουν περισσότερο επιλεκτική βόσκηση με αποτέλεσμα να μειώνουν την ποικιλότητα (Edwards and Crawley, 1999). Επίσης η γονιμότητα, η υγρασία και η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους, που υποστηρίζουν την παραγωγή σε συνδυασμό με το βαθμό βόσκησής μπορούν να επηρεάσουν ανάλογα τη φυτοποικιλότητα. Αυτά θα μπορούσαν να εξηγήσουν προφανείς αντιφάσεις που παρατηρούνται στη βιβλιογραφία σχετικά με τις επιπτώσεις της βόσκησής στη φυτοποικιλότητα. Παράλληλα σε μια παγκόσμια έρευνα χορτολιβαδικών εκτάσεων, οι δύο κύριοι παράγοντες που εξηγούν την επίδραση της βόσκησής στον αριθμό των ειδών των φυτών, ήταν το επίπεδο βοσκοφόρτωσης και η διάρκεια βόσκησής στο στάδιο αναβλάστησης των φυτών μεταξύ των περιόδων βόσκησής (Plantureux, 1996).

Οι Ιόβη κ.ά. (2003) σε υπαλπικά λιβάδια του όρους Γράμμου βρήκαν υψηλότερη ποικιλότητα σε υψηλή βοσκοφόρτωση παρά σε χαμηλή βοσκοφόρτωση. Αντίθετα, στην Ελβετία η μετατροπή των θεριζομένων υπαλπικών λιβαδιών σε βοσκότοπους με μικρή ένταση βόσκηση οδήγησε σε απώλεια της ποικιλότητας και διαφοροποίηση της βοτανικής σύνθεσης (Fisher and Wipf, 2002). Η μέση απώλεια ανήλθε σε 10 πολυετή είδη φυτών στα 50 χρόνια της βόσκησής, ενώ παρατηρήθηκε μείωση της κάλυψής και του αριθμού των πλατύφυλλων ειδών προς όφελος των αγρωστωδών.

Σπάνια η κοπή της βλάστησής έχει αποδειχθεί ότι είναι ιδιαίτερα συνδεδεμένη με την ποικιλότητα των ειδών. Οι Zechmeister et al. (2003) βρήκαν ότι, όταν ο αριθμός των επεμβάσεων ετησίως αυξήθηκε από 2 σε 3, ο συνολικός αριθμός των φυτών και βρυόφυτων σε λιβάδια της Αυστρίας μειώθηκε από 11,3 - 5,6 ανά m². Όταν μόνο μία επέμβαση πραγματοποιήθηκε, ο αριθμός των ειδών ήταν 7,1, υποδεικνύοντας ότι απαιτείται η ελάχιστη συχνότητα επεμβάσεων για τη διατήρηση της φυτοποικιλότητας.

2.2.4. Επίδραση της λιβαδικής παραγωγής¹-παραγωγικότητας² στον αριθμό και στην ποικιλότητα των ειδών και στη βοτανική σύνθεση

Οι σχέσεις μεταξύ του αριθμού των ειδών και της παραγωγής αποτελεί ένα μακροχρόνιο ενδιαφέρον για τους οικολόγους, και η διαλεύκανση των μηχανισμών που οδηγούν σε αυτές τις σχέσεις είναι θεμελιώδους σημασίας για τον καθορισμό της βιοποικιλότητας (Connell and Orias, 1964). Εντούτοις, η προσοχή των επιστημόνων έχει επικεντρωθεί στη γενική μορφή της σχέσης του αριθμού ειδών ή της φυτοποικιλότητας με την παραγωγικότητα και στο είδος των μηχανισμών που παράγουν τα πρότυπα αυτά (Abrams, 1995; Waide et al., 1999). Ο αριθμός των ειδών αναφέρεται συχνά ότι αρχικά αυξάνεται και στη συνέχεια μειώνεται με την αύξηση της φυτικής παραγωγής ενός οικοσυστήματος, δημιουργώντας μια παραβολική (humpshaped ή unimodal) σχέση (Grime, 1973; Grime, 1979; Huston, 1979; Tilman, 1982). Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή το αίτιο του ανταγωνιστικού αποκλεισμού της επιλογής των ειδών δημιουργεί αυτή την παραβολική σχέση. Έτσι σε χαμηλή παραγωγικότητα, το στρες και η έλλειψη πόρων περιορίζουν τον αριθμό των ειδών που μπορεί να επιβιώσουν, και καθώς αυξάνεται η παραγωγικότητα, ο αριθμός των ειδών αυξάνεται μέχρι του σημείου που η πολύ υψηλή παραγωγικότητα μειώνει

¹ Παραγωγή: Το σύνολο της υπέργειας βιομάζας σε μια χρονική στιγμή σε ένα λιβαδικό οικοσύστημα

² Παραγωγικότητα: Η παραγωγή ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου

τον αριθμό των ειδών, επειδή είτε ο ανταγωνισμός είναι πιο έντονος (Grime 1973, 1979) ή επειδή η υψηλή παραγωγικότητα οδηγεί σε μείωση της ετερογένειας των περιοριστικών πόρων (Huston, 1979; Tilman, 1982; Tilman and Pacala, 1993). Πολλές έρευνες στο παρελθόν έχουν τεκμηριώσει την επίδραση της παραγωγικότητας του εδάφους στη χλωριδική ποικιλότητα (Tilman and Pacala, 1993; Huston, 1994; Huston and DeAngelis 1994; Rosenzweig, 1995; Leibold, 1999; Dodson et al., 2000).

Ο Abrams (1995) ανέφερε ότι υπάρχουν πολλοί λόγοι για να περιμένουμε και άλλες μορφές της σχέσης της παραγωγικότητας με την ποικιλότητα εκτός από μια παραβολική σχέση. Μια άλλη θεωρία προβλέπει μια θετική σχέση μεταξύ της παραγωγικότητας και του αριθμού των ειδών. Η βάση για αυτή τη θεωρία είναι ότι, επειδή η πιθανότητα αποφυγής της εξάλειψης κάποιων ειδών εξαρτάται από το μέγεθος του πληθυσμού (Coleman et al., 1982), απαιτείται ένας ελάχιστος αριθμός ατόμων για κάθε είδος, επειδή κάθε άτομο απαιτεί μια ελάχιστη ροή ενέργειας, επομένως περιβάλλοντα με περισσότερη διαθέσιμη ενέργεια μπορεί να υποστηρίξουν περισσότερα άτομα και περισσότερα είδη (Wright, 1983). Μια δεύτερη εξήγηση για αυτή τη θεωρία είναι ότι, σε ψυχρά κλίματα στα πιο ζεστά και πιο παραγωγικά περιβάλλοντα, η εξέλιξη ήταν ταχύτερη και ως εκ τούτου, περισσότερα είδη ήταν σε θέση να συσσωρευτούν (Rensch, 1959; Rohde, 1992). Υψηλότερος ρυθμός εξέλιξης μπορεί να συμβεί σε πιο παραγωγικά περιβάλλοντα, λόγω του μικρότερου κύκλου ζωής ή του μεγαλύτερου ποσοστού μετάλλαξης (Rohde, 1978). Η μεγαλύτερη ποικιλότητα που συναντάται σε παλαιότερα εδάφη (Ashton, 1992) είναι επίσης σύμφωνη με αυτή τη θεωρία.

Παλαιότερα ο Terborgh (1973) είχε προτείνει ότι η ελάττωση του αριθμού των ειδών σε πολύ παραγωγικά ενδιαιτήματα μπορεί να οφείλεται στη μικρή χωρική έκταση, χωρική απομόνωση και εφήμερη ύπαρξη αυτών των ενδιαιτημάτων. Οι Taylor et al. (1990) υποστήριξαν ότι ο αριθμός των ειδών σε κάθε συγκεκριμένο ενδιαιτήμα εξαρτάται από το μέγεθος της δεξαμενής των ειδών που υφίστανται και τα οποία μπορούν να εμφανιστούν στο συγκεκριμένο οικοτόπο, το οποίο επιβεβαίωσαν αργότερα και άλλοι ερευνητές (Weiher, 1999; Safford et al., 2001; Hillebrand Blenckner, 2002; Weiher and Howe, 2003). Στη συνέχεια οι Gilman and Wright (2006) διαπίστωσαν ότι παρόλο που οι περισσότεροι ερευνητές συμφωνούν για τη συνεισφορά της παραγωγής στο πρότυπο με τον αριθμό των ειδών, οι διαδικασίες που ανταποκρίνονται σε εκείνα τα πρότυπα παραμένουν σε μεγάλο βαθμό ανεξήγητες, ενώ πολλές ανταγωνιστικές υποθέσεις παραμένουν πλασματικές (Willig et al., 2003; Currie et al., 2004; Evans et al., 2005). Δεν είναι επίσης γνωστό εάν η ποικιλία των σχέσεων μεταξύ της παραγωγής και του αριθμού των ειδών που παρατηρείται σε διαφορετικές κλίμακες μπορούν να αποδοθούν σε ένα μόνο μηχανισμό ή αν διάφοροι μηχανισμοί αλληλεπιδρούν με διαφορετικούς τρόπους σε διαφορετικές κλίμακες. Έχει επισημανθεί ότι σε παραγωγικά περιβάλλοντα μπορεί να δημιουργούνται αντίξοες συνθήκες για τα φυτά που οφείλονται στο περιβαλλοντικό στρες το οποίο μπορεί να δημιουργεί την ισχυρή επιλογή που επιτρέπει μόνο ένα μικρό αριθμό ειδών να προσαρμοστούν σε αυτές τις συνθήκες (Terborgh, 1973; Gough et al., 1994). Για παράδειγμα, οι θέσεις με υψηλά επίπεδα αλατότητας, κακής αποστράγγισης ή άλλων διαταραχών μπορεί να είναι στρεσογόνο για τα περισσότερα είδη φυτών, αλλά μπορεί επίσης να έχουν υψηλή θρεπτική κατάσταση, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή παραγωγικότητα (Garcia et al., 1993; Grace, 1999; Rey-Banayas and Scheiner, 2002).

Οι Grace (1999) και Waide et al. (1999), μελετώντας τη σχέση της παραγωγικότητας, με την πολυμορφία ποωδών φυτικών κοινοτήτων κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι κυριαρχεί η προηγούμενη παραβολική σχέση (humpshaped ή unimodal). Οι Mittelbach et al. (2001) αναφέρουν ότι ένα δυνητικό πρόβλημα με τις μελέτες των Grace (1999) και Waide et al. (1999), είναι ότι στηρίχθηκαν κυρίως σε δημοσιευμένες αναλύσεις για να αξιολογηθεί κατά

πόσον η σχέση παραγωγικότητας και ποικιλότητας ήταν παραβολικού σχήματος ή όχι. Εντούτοις, όμως πολλές από αυτές τις αρχικές αναλύσεις πάσχουν από μεθοδολογία και στατιστική επεξεργασία παρουσιάζοντας κάποιες διαφοροποιήσεις στο τελικό αποτέλεσμα. Έτσι, οι Mittelbach et al. (2001) σε μια μελέτη μετανάλυσης ποικίλων εργασιών διαπίστωσαν ότι η παραβολική σχέση μεταξύ της παραγωγικότητας (η οποία εκφραζόταν με διαφορετικές μορφές από τη βιομάζα όπως βροχόπτωση, εξατμισιοδιαπνοή, εδαφικά θρεπτικά συστατικά) και του αριθμού των ειδών κυριάρχησαν σε όλες τις κλίμακες εκτός από την παγκόσμια κλίμακα. Το επόμενο πιο συχνό πρότυπο μεταξύ της παραγωγικότητας και της αφθονίας ειδών ήταν η θετική σχέση η οποία συνεπικρατούσε σε παγκόσμια κλίμακα με την παραβολική σχέση. Εντούτοις, όταν χρησιμοποιήθηκε η υπέργεια βιομάζα στη σχέση με τον αριθμό των ειδών, η παραβολική αυτή σχέση εμφανιζόταν μόνο σε τοπική κλίμακα, ενώ παραβολικές σχέσεις σε μεγαλύτερες κλίμακες εμφανίζονταν μόνο, όταν υποκαθιστόταν η βιομάζα με τη βροχόπτωση ή την εξατμισιοδιαπνοή. Οι Gilman and Wright (2006) αναφέρουν, όμως, ότι η βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισιοδιαπνοή μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως υποκατάστατα της παραγωγικότητας μόνο, όταν το νερό λειτουργεί ως περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των φυτών. Ωστόσο, η παραγωγικότητα εξαρτάται από τη διαθέσιμη ενέργεια, και όχι από το νερό, όταν το νερό υπερβαίνει τη ζήτηση για διαπνοή, και η παραγωγικότητα μπορεί συχνά να μειώνεται, καθώς αυξάνεται η βροχόπτωση σε δροσερά κλίματα ή όσο αυξάνει η νεφοκάλυψη και η πτώση της θερμοκρασίας με το υψόμετρο (Kay et al., 1997; Rey-Banayas and Scheiner, 2002; Whittaker and Heegaard, 2003).

Προηγούμενες μελέτες (Rosenzweig and Abramsky, 1993; Wright et al., 1993; Waide et al., 1999) υποδηλώνουν ότι η μορφή της σχέσης παραγωγικότητας - ποικιλότητας μπορεί να αλλάξει με την κλίμακα ή μπορεί να επηρεαστεί από άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Για παράδειγμα, οι Wright et al. (1993), Huston (1994) και Rosenzweig (1995) έχουν μελετήσει πρότυπα που προκύπτουν σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες. Ο Huston (1994) και Rosenzweig (1995) επίσης, έχουν προσπαθήσει να συνδέσουν τη χωρική κλίμακα ενός προτύπου με την οικολογική ή εξελικτική λειτουργία των μηχανισμών που λειτουργούν σε αυτή την κλίμακα. Ομοίως, οι Moore and Keddy (1989) έχουν υποστηρίξει τη σημαντικότητα να ελέγχονται οι σχέσεις της παραγωγικότητας - ποικιλότητας σε διαφορετικές οικολογικές κλίμακες, αποδεικνύοντας ότι τα πρότυπα αυτά στα φυτά που αναπτύσσονται σε υγρές περιοχές διαφέρουν μέσα στην ίδια περιοχή σε σχέση με συνδυασμό πολλών τύπων της κοινότητας. Φυσικά, η ταξινόμηση των προτύπων με βάση οικολογικά προσδιορισμένες κλίμακες συχνά θα σχετίζονται με μεγάλες γεωγραφικές περιοχές.

Οι Whittaker and Heegaard (2003) αναφέρουν ότι υπάρχουν δύο σημαντικά στοιχεία της χωροταξικής κλίμακας τα οποία επιδρούν στη συσχέτιση μεταξύ του αριθμού ειδών και της παραγωγής, είναι το μέγεθος του δείγματος και η μέγιστη απόσταση μεταξύ των δειγμάτων. Επομένως, επειδή τα φυτά διαφέρουν στο μέγεθος ανταποκρινόμενα στη γονιμότητα του εδάφους, τότε η εγκατάσταση μικρού μεγέθους πλαισίου δειγματοληψίας (quadrats) θα οδηγήσει σε σχετικά λίγα άτομα του δείγματος σε χαμηλή βιομάζα των φυτών (γιατί τα φυτά έχουν ένα σταθερό ελάχιστο υπέργειο μέγεθος) και σχετικά λίγα άτομα με υψηλή βιομάζα, γιατί τα φυτά είναι μεγαλύτερα σε υψηλότερη παραγωγικότητα και έτσι υπάρχουν λιγότερα άτομα σε ένα δεδομένο μικρού μεγέθους δείγματος (Stevens and Carson, 1999a). Έτσι, αν υπάρχει μια θετική σχέση μεταξύ του αριθμού των ατόμων κάθε φυτού και του αριθμού των ειδών σε μια δειγματοληπτική επιφάνεια, το οποίο είναι ένα συχνό εύρημα, τότε η παραβολική σχέση μεταξύ του αριθμού ειδών και της βιομάζας είναι το πιο πιθανό πρότυπο. Την ίδια διαπίστωση έχει κάνει και ο Oksanen (1996) το οποίο θα μπορούσε να παρέχει εξηγήσεις γιατί μικρής κλίμακας μελέτες των φυτών βρίσκουν τόσο συχνά το παραβολικό αυτό πρότυπο.

Αποτέλεσμα της χωροταξικής επιλογής ήταν τα ευρήματα των Moore and Keddy (1989) οι οποίοι είχαν βρει μια σημαντική παραβολική (humped) σχέση μεταξύ του αριθμού των ειδών και της υπέργειας φυτικής βιομάζας, όταν συνδύαζαν δεδομένα από 15 υγρά λιβάδια στον ανατολικό Καναδά. Ωστόσο, δεν διαπίστωσαν σημαντική σχέση μέσα σε μια φυτοκοινότητα ή τύπο βλάστησης. Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν οι ter Heerd et al. (1991), Gross et al. (2000) και Grytnes (2000) οι οποίοι δεν μπόρεσαν να βρουν την παραβολική σχέση μέσα σε μια λιβαδική περιοχή, παρά μόνο όταν συνδύαζαν πολλές περιοχές μαζί. Το προηγούμενο είναι πιθανόν να ισχύει, διότι υπάρχει λιγότερη διακύμανση στην παραγωγή μέσα σε ένα λιβαδικό τύπο μιας περιοχής από ό,τι σε ένα μεγαλύτερο φάσμα φυτοκοινοτήτων, με αποτέλεσμα μια μικρότερη συνολική ανταπόκριση στον αριθμό των ειδών. Ομοίως, σε τοπική και περιφερειακή κλίμακα, οι Gilman and Wright (2006) αναφέρουν ότι οι περισσότερες μελέτες που περιλαμβάνουν ένα μίγμα ποωδών φυτών, θάμνων και δέντρων δείχνουν μια μείωση στον αριθμό των ειδών με υψηλή παραγωγικότητα σε σχέση με εκείνες τις μελέτες που περιλάμβαναν δείγμα αποτελούμενο μόνο από θάμνους ή δέντρα ή ποώδη φυτά. Έτσι σε περιφερειακές και τοπικές κλίμακες ο συνδυασμός λιβαδικών τύπων δημιουργεί παραβολικά πρότυπα, ενώ, αντίθετα, όταν η σχέση παραγωγικότητας με τον αριθμό ειδών εφαρμόζοταν σε μεμονωμένους λιβαδικούς τύπους, οι θετικές σχέσεις ήταν κυρίαρχες. Μια άλλη εξήγηση είναι ότι το πρότυπο μεταξύ του αριθμού των ειδών και της παραγωγής που εμφανιζόταν μέσα σε μια περιοχή μπορεί να ήταν επηρεασμένο από διαδικασίες οι οποίες διαφέρανε σε σχέση με το συνδυασμό πολλών λιβαδικών περιοχών (Moore and Keddy, 1989). Επίσης πολλοί συγγραφείς έχουν υποστηρίξει ότι οι έρευνες που έκαναν σε περιορισμένο εύρος παραγωγικότητας είναι λιγότερο πιθανό να ανιχνεύσουν παραβολικό πρότυπο σε σχέση με μελέτες που διεξήχθησαν σε ένα ευρύ φάσμα παραγωγικότητας (Begon et al., 1990; Rosenzweig, 1995; Huston 1994; Guo and Berry, 1998).

Αρκετοί συγγραφείς έχουν προτείνει ότι σε παγκόσμια κλίμακα, ο αριθμός των ειδών αυξάνεται με την αύξηση της παραγωγής, το οποίο έρχεται σε αντίθεση με το παραβολικό σχήμα που παρατηρείται σε περιφερειακές και τοπικές κλίμακες (Rosenzweig and Abramsky, 1993; Wright et al., 1993; Waide et al., 1999). Αργότερα οι Gilman and Wright (2006) διαπίστωσαν ότι συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των ειδών και της παραγωγικότητας δεν σημαίνει απαραίτητα ότι οι διαδικασίες που ελέγχουν τον αριθμό των ειδών οφείλονται στην παραγωγικότητα. Χωρική ετερογένεια, ιστορικά αποτελέσματα, διαταραχές και στρες του φυτού μπορούν να συνδιακυμαίνονται με την παραγωγικότητα και με αυτό τον τρόπο να επηρεάσουν τα παρατηρούμενα πρότυπα. Έτσι οι ίδιοι συγγραφείς λαμβάνοντας υπόψη τα προηγούμενα σε μια μεταγενέστερη ανασκόπηση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν από τους Mittelbach et al. (2001) συμπεριλαμβανόμενων και νεότερων εργασιών βρήκαν τελείως διαφορετικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα σε παγκόσμια, ηπειρωτική και περιφερειακή κλίμακα στα πρότυπα που εμφανίζονταν υπήρχε μια ξεκάθαρη θετική σχέση της παραγωγικότητας με τον αριθμό των ειδών, ενώ η παραβολική σχέση έλειπε σχεδόν εντελώς. Αυτό συνεπάγεται ότι τα πιο παραγωγικά περιβάλλοντα του πλανήτη για την ανάπτυξη των φυτών είναι επίσης τα πιο πλούσια σε αριθμό ειδών (Phillips et al., 1994). Σε τοπική κλίμακα η θετική με την παραβολική σχέση εμφάνιζε παρόμοια συχνότητα. Αυτά τα αποτελέσματα διαφέρουν ουσιαστικά από τα προηγούμενα των Rosenzweig (1995), Waide et al (1999), Mittelbach et al (2001), που έχουν βρει μια επικράτηση της παραβολικής σχέσης, ειδικά σε μικρές χωρικές κλίμακες.

Σύμφωνα με τη θεωρία του Grime (1973), η υψηλή παραγωγικότητα σε κλίμακες μικρής χωρικής έκτασης επιδρά αρνητικά στην ποικιλότητα εξαιτίας της έντασης του ανταγωνισμού ή της μειωμένης ετερογένειας από την παροχή των πόρων στο οικοσύστημα,

τότε θα αναμενόταν ο ανταγωνιστικός αποκλεισμός να είναι μεγαλύτερος σε υψηλής παραγωγικότητας οικοσυστήματα σε παγκόσμια κλίμακα και η ποικιλότητα ή η αφθονία των ειδών να ήταν ιδιαίτερα μειωμένη σε αυτές τις περιοχές. Ως εκ τούτου, η θεωρία πρόβλεψε της παραβολικής σχέσης εξαιτίας του αυξημένου ανταγωνισμού σε υψηλή παραγωγικότητα είναι ασυμβίβαστη με την αποκλειστικά θετική σχέση που βρέθηκε στην ηπειρωτική και στην παγκόσμια κλίμακα από τους Gilman and Wright (2006). Μια εξήγηση που δίνεται από τους συγγραφείς αυτούς ήταν ότι οι θετικές σχέσεις που εμφανίζονται στην ηπειρωτική και παγκόσμια κλίμακα οφείλονται στη μεγαλύτερη χωρική ετερογένεια στις υγρές τροπικές περιοχές αναιρώντας τη θεωρία του ανταγωνιστικού αποκλεισμού (Rohde, 1992), επηρεάζοντας θετικά την ποικιλότητα η ανταπόκριση της ενέργειας του περιβάλλοντος (Wright et al., 1993). Μια άλλη εξήγηση ήταν σύμφωνα με τη θεωρία της εξέλιξης, η οποία λαμβάνει χώρα ταχύτερα σε πιο παραγωγικά περιβάλλοντα οδηγώντας σε μεγαλύτερα ποσοστά της ειδογένεσης και αφθονίας των ειδών (Rohde, 1992; Losos and Schuller, 2000; Hubbell, 2001; Wright et al., 2003; Gillooly et al., 2005). Περιβάλλοντα με υψηλότερη παραγωγικότητα μπορεί να παράγουν μεγαλύτερα ποσοστά μοριακής εξέλιξης, διότι τα ποσοστά μεταβολής είναι υψηλότερα, και το ποσοστό υποκατάστασης του νουκλεοτιδίου συσχετίζεται με το μεταβολικό ρυθμό (Rohde, 1992; Gillooly et al., 2005). Αυξημένη συσσώρευση φυτικών ειδών έχει συνδεθεί με ραγδαίο ρυθμό μοριακής εξέλιξης (Palumbi, 1996; Barraclough and Savolainen, 2001; Webster et al., 2003) και υπάρχουν κάποια στοιχεία που υποστηρίζουν την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ του ρυθμού της μοριακής εξέλιξης και της παραγωγικότητας (Wright et al., 2003; Gillooly et al., 2005). Υπάρχουν επίσης δεδομένα ότι η ποικιλομορφία σε παραγωγικές τροπικές περιοχές είναι μεγαλύτερη από ότι σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη (Briggs, 1999; Cardillo, 1999; Buzas et al., 2002). Έτσι, σε ηπειρωτική και σε παγκόσμια κλίμακα, υψηλότερη παραγωγικότητα μπορεί να παράγει μεγαλύτερα ποσοστά μοριακής εξέλιξης, ειδογένεσης, και αφθονίας ειδών. Οι παραβολικές σχέσεις σε μικρότερες κλίμακες μπορούν επίσης να είναι σύμφωνες με αυτή τη θεωρία, καθώς η πυκνότητα των φυτών αυξάνεται με τον αριθμό των ειδών όσο η παραγωγικότητα αυξάνεται και στη συνέχεια, εφόσον η βιομάζα και η παραγωγικότητα εξακολουθούν να αυξάνονται η πυκνότητα και ο αριθμός των φυτών αρχίζουν να μειώνονται (Tilman and Pacala, 1993).

Άλλες μελέτες έχουν επιβεβαιώσει μια ισχυρή σχέση της δεξαμενής των ειδών σε περιφερειακή κλίμακα με τις παραγωγικότητες ιδιαίτερων οικοτόπων και την επίδραση που ασκούν στον αριθμό των ειδών σε τοπική κλίμακα (Gough et al. 1994, Safford et al. 2001). Οικότοποι που εμφανίζουν μικρή ποικιλότητα εντός μιας ευρύτερης περιοχής είναι επίσης πιθανό να είναι πιο απομονωμένοι από άλλους, έτσι ο εποικισμός από άλλους οικότοπους μπορεί να είναι περιορισμένος. Ομοίως, η αρνητική σχέση μεταξύ της βροχόπτωσης και του αριθμού των ειδών που αναφέρθηκε από τους Porembski et al. (1995) μπορεί να αντανάκλα στη μειωμένη έκταση των οικοτόπων εποικισμού που σχετίζεται με την αύξηση των βροχοπτώσεων. Ως εκ τούτου, είναι δυνατόν κάποια πρότυπα που δημιουργούνται (παραβολικό, θετικό, αρνητικό ή κανένα) μεταξύ της σχέσης του αριθμού των ειδών και της παραγωγικότητας θα μπορούσαν να είναι λόγω των επιπτώσεων της διαθέσιμης περιοχής οικοτόπων και του μεγέθους της δεξαμενής των ειδών σε περιφερειακή κλίμακα που συνδέονται με ιδιαίτερες παραγωγικότητες, παρά από ένα άμεσο αποτέλεσμα της παραγωγικότητας.

2. 3. Λιβαδική παραγωγή

Συνήθως, η λιβαδική παραγωγή αναφέρεται στην ποσότητα της ξηράς ουσίας που συγκομίζεται από την κοπή σε ύψος 5 εκ. από το επίπεδο του εδάφους (Odum, 1971; Tallowin and Jefferson, 1999). Η λιβαδική παραγωγή παρουσιάζει πολύ μεγάλη διακύμανση ανάλογα με τις κλιματικές και τις φυσικές συνθήκες (διάβρωση εδάφους, υπερβόσκηση). Ο

Coupland (1992) σε βιβλιογραφική ανασκόπηση αναφέρει ότι η λιβαδική παραγωγή σε φυσικά λιβάδια ποικίλει από 2,4 έως 34 t ΞΟ/ha, με τις υψηλότερες τιμές να σημειώνονται στις τροπικές περιοχές, στις οποίες έχει αναφερθεί παραγωγή έως και 80 t ΞΟ/ha, εφόσον υπάρχει επάρκεια σε νερό και εφαρμοστεί λίπανση (Snaydon, 1991). Στην Ευρώπη, η ετήσια παραγωγή των λιβαδιών αναφέρεται ότι κυμαίνεται μεταξύ 5 – 12 t ΞΟ/ha (Givens et al., 2000). Σε πεδινά λιβάδια της Βρετανίας η παραγωγή κυμαίνεται μεταξύ 1,5 - 6,0 t ΞΟ/ha (Tallowin and Jefferson, 1999). Αντίθετα σε ξηροθερμικά περιβάλλοντα η παραγωγή κυμαίνεται από 1 - 2 t ΞΟ/ha (Gintzburger, 1986).

Η λιβαδική παραγωγή των ελληνικών βοσκοτόπων κυμαίνεται μεταξύ ευρέων ορίων και είναι συνάρτηση της περιοχής, του είδους του λιβαδιού και των ιδιαίτερων συνθηκών κάθε περιοχής. Οι παράγοντες που έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στην παραγωγή των υπαλπικών λιβαδιών είναι η φύση του μητρικού πετρώματος και κυρίως το βάθος και ο τύπος του εδάφους και δευτερευόντως οι κλιματικές συνθήκες. Σε σύγκριση με τα ποολίβαδα των χαμηλότερων υψομετρικών περιοχών, τα υπαλπικά λιβάδια φαίνεται ότι είναι παραγωγικότερα κυρίως, επειδή το ύψος των κατακρημνισμάτων κατά την αυξητική περίοδο είναι υψηλότερο. Γενικά, όμως, η ετήσια λιβαδική παραγωγή σε πολύ παραγωγικά εδάφη με βάθος μεγαλύτερο των 30 εκ μπορεί να ξεπεράσει τα 400 kg ΞΟ/στρ, ενώ σε αβαθή εδάφη με βάθος εδάφους μικρότερο των 15 εκ μπορεί να μην υπερβαίνει τα 100 kg ΞΟ/στρ. (Παπανικολάου, 2001; Papanastasis et al., 2002). Ο Παπαναστάσης (1982) διαπίστωσε ότι υπήρχε ισχυρή θετική συσχέτιση της λιβαδικής παραγωγής με το υψόμετρο, καθώς σε ποολίβαδα της υπαλπικής ζώνης του Μενοίκιου όρους βρήκε υψηλότερη παραγωγή σε σχέση με τα ποολίβαδα της μεσαίας και της χαμηλής ζώνης. Σύμφωνα με τους Παπαναστάση και Νοιτσάκη (1992) η λιβαδική παραγωγή σε πεδινά, ημιορεινά και υπαλπικά ποολίβαδα της Μακεδονίας βρέθηκε ότι ήταν 160, 220 και 380 kg ΞΟ/στρ, αντίστοιχα. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Mountousis et al. (2009), σε λιβάδια του όρους Βαρνούντα της Δυτικής Μακεδονίας με τη μέγιστη μηνιαία λιβαδική παραγωγή να είναι 200 kg ΞΟ/στρ. και 250 kg ΞΟ/στρ. για τη χαμηλή και την υπαλπική ζώνη, αντίστοιχα. Επίσης οι Mountousis et al. (2008) σε ορεινά λιβάδια της Σιάτιστας βρήκαν μέγιστη μηνιαία λιβαδική παραγωγή 94 και 204 kg ΞΟ/στρ στην ημιορεινή και ορεινή ζώνη, αντίστοιχα. Ωστόσο οι Παπανικολάου κ.ά. (2002) σε ποολίβαδα του Νομού Φλώρινας βρήκαν παραπλήσιες τιμές της παραγωγής στην πεδινή και την υπαλπική ζώνη. Ενώ ο Ρούκος (2010) σε ορεινά ποολίβαδα του νομού Πρέβεζας βρήκε υψηλότερη μέση ετήσια λιβαδική παραγωγή στη χαμηλή ζώνη 176 kg ΞΟ/στρ από ό,τι στην υψηλή-ορεινή ζώνη 150 kg ΞΟ/στρ. Η υψηλότερη παραγωγή των πεδινών ποολίβαδων σε σχέση με τα υπαλπικά αποδόθηκε στην υψηλή βροχόπτωση που δέχεται κάθε έτος η περιοχή της Δυτικής Ελλάδος.

Ο εποχικός χαρακτήρας της λιβαδικής παραγωγής μέσα στο έτος επηρεάζεται από την κατανομή της βροχόπτωσης κατά την αυξητική περίοδο (Παπαναστάσης, 1982; Holechek et al., 1995; Tallowin and Jefferson, 1999; Πλατής κ.ά., 2000). Όπως σε όλα τα ποολίβαδα, έτσι και στα υπαλπικά η ετήσια παραγωγή μεταβάλλεται εποχιακά με ελάχιστο κατά τη χειμερινή και μέγιστο κατά τη θερινή περίοδο. Το μέγιστο δεν εκδηλώνεται την ίδια περίοδο σε όλα τα υπαλπικά λιβάδια, γιατί εξαρτάται από την κατανομή των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Οι Πλατής κ.ά. (2003) σε δύο υπαλπικά λιβάδια της Βλάστης Κοζάνης αναφέρουν ότι το μέγιστο της λιβαδικής παραγωγής πραγματοποιείται τον Ιούνιο, η Στόλιου (2012) αναφέρει μηνιαία μέγιστη παραγωγή σε υπαλπικά λιβάδια των ορέων Βόρα και Ολύμπου τον μήνα Ιούλιο, ενώ σε υπαλπικά λιβάδια των ορέων Μενοίκιο (Παπαναστάσης 1982) και Βαρνούντα (Mountousis et al. 2009), αναφέρεται μέγιστη μηνιαία παραγωγή τον Αύγουστο μήνα. Στα λιβάδια που το μέγιστο πραγματοποιείται τον Ιούνιο συνήθως προκύπτει και ένα δεύτερο μέγιστο το Σεπτέμβριο, όταν μεσολαβήσουν βροχοπτώσεις προς το τέλος του καλοκαιριού (Πλατής κ.α., 2000; Papanastasis et al., 2002). Επίσης έχουν

παρατηρηθεί αυξομειώσεις στη συνολική ή τη μέγιστη μηνιαία λιβανική παραγωγή του ίδιου λιβαδιού σε διαφορετικά έτη. Οι Πλάτης κ.α. (2003) βρήκαν σημαντικές μεταβολές στη μέγιστη μηνιαία λιβανική παραγωγή σε μελέτη τριών συνεχόμενων ετών που έκαναν σε δύο υποαλπικά λιβάδια του όρους Ήσκιος της Πλαστής Κοζάνης (55, 56, 147 kg ΞΟ/στρ και 21, 45, 70 kg ΞΟ/στρ, αντίστοιχα για κάθε λιβάδι). Οι Skapetas et al. (2004) σε υπαλπικό λιβάδι του ίδιου όρους βρήκαν ότι η ετήσια παραγωγή του σε τρία συνεχή έτη ήταν 191, 208, 174 kg ΞΟ/στρ, ενώ η μέγιστη μηνιαία παραγωγή τριών ετών καταγράφηκε τον Ιούλιο μήνα και ήταν 119, 85, 74 kg ΞΟ/στρ. Ομοίως και ο Μουντούσης (2008) σε υπαλπικά λιβάδια του όρους Βαρνούντα της Φλώρινας σε μετρήσεις δύο συνεχόμενων ετών αναφέρει μέγιστη μηνιαία παραγωγή 194 και 249 kg ΞΟ/στρ αντίστοιχα για κάθε χρονιά. Εντούτοις, ο ίδιος ερευνητής διαπίστωσε ότι υπήρχαν μεγαλύτερες διαφορές στη λιβαδική παραγωγή στις χαμηλότερες υψομετρικές ζώνες από ό,τι στην υπαλπική. Οι διαφορές που βρήκαν οι προηγούμενοι ερευνητές αποδόθηκαν αποκλειστικά στις κλιματικές συνθήκες που μπορεί να ποικίλλουν από έτος σε έτος και είναι ένας παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη στη διαχείριση της βόσκησης.

2. 4. Παράγοντες που επιδρούν στη χημική σύσταση της βλάστησης

2. 4. 1. Βοτανική Σύνθεση

Η βοτανική σύνθεση είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επιδρά στη χημική σύσταση της λιβαδικής παραγωγής των ποωδών φυτών. Οι ανάγκες των ζώων σε πρωτεΐνες συνήθως εκφράζονται ως αζωτούχες ουσίες (ΑΟ). Σύμφωνα με το Minson (1990), η μέση συγκέντρωση σε ολικές αζωτούχες ουσίες των αγρωστωδών κυμαίνεται από 10 – 13 % ΞΟ, στα ψυχανθή ανέρχεται περίπου στα 16-17 % ΞΟ, ενώ στα πλατύφυλλα είδη παρατηρήθηκαν ενδιάμεσες τιμές ανάμεσα στα αγρωστώδη και στα ψυχανθή (Meyer and Brown, 1985; Ruyle 1993). Οι Holechek et al. (2001) αναφέρουν επίσης ότι, τα μεγάλου ύψους αγρωστώδη παρέχουν χαμηλότερα επίπεδα αζωτούχων ουσιών από τα μικρού ύψους αγρωστώδη, επειδή τα πρώτα έχουν μικρότερη αναλογία φύλλων/βλαστών από εκείνα των κοντών αγρωστωδών. Ο Biddiscombe (1987) επίσης υποστηρίζει ότι λόγω της μικρότερης συγκέντρωσης σε αζωτούχες ουσίες, τα μονοετή φυτά και άλλα πρώιμα είδη, τείνουν να μειώσουν την θρεπτική αξία της λιβαδικής παραγωγής.

Το 75% περίπου της πρωτεΐνης της τροφής υφίσταται διάσπαση από τους μικροοργανισμούς και μόλις το 25% καταφέρνει και διαπερνά τη μεγάλη κοιλία άθικτη συνιστώντας την μη αποδομήσιμη πρωτεΐνη (Broderick, 1994; Merchen and Bourquin, 1994). Το ποσοστό της μη αποδομήσιμης πρωτεΐνης μπορεί να ποικίλλει όχι μόνο ανάμεσα στις λειτουργικές ομάδες των αγρωστωδών ή ψυχανθών αλλά ανάμεσα και στα είδη των ίδιων ομάδων. Έτσι η μη αποδομήσιμη πρωτεΐνη στο *Bromus inermis* Leyss. ανήλθε σε 20% έναντι 51% για το *Panicum virgatum* L., ενώ στο *Bromus inermis* Leyss. το ποσοστό της μη αποδομήσιμης πρωτεΐνης παρέμεινε σταθερό με την ωριμότητα, ενώ στο *Panicum virgatum* L. αυξήθηκε έως και 70%. (Mullahey et al., 1992). Αντίστοιχα σε ψυχανθή είδη, οι Albrecht and Broderick (1990) αναφέρουν ότι η συγκέντρωση του *Trifolium pratense* L. σε μη αποδομήσιμη πρωτεΐνη είναι υψηλότερη σε σχέση με τη *Medicago sativa* L. και το *Trifolium repens* L. Επίσης, είδη με μέτρια επίπεδα σε τανίνες, όπως το *Lotus corniculatus* L. και το *Onobrychis viciifolia* Scop., η *Medicago falcata* L. παρουσιάζουν υψηλότερο ποσοστό μη αποδομήσιμης πρωτεΐνης από τα είδη που δεν περιέχουν τανίνες, όπως το *Medicago sativa* L. (Albrecht and Broderick, 1990; Broderick and Buxton, 1991).

Τα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών παρέχουν τις απαραίτητες ινώδεις ουσίες για την κανονική λειτουργία της μεγάλης κοιλίας των μηρυκαστικών. Τα κυτταρικά τοιχώματα, που

αποτελούνται από δομικούς υδατάνθρακες, υπολογίζεται ότι αντιπροσωπεύουν το 40 έως 80% της οργανικής ουσίας των λιβαδικών φυτών (Buxton, 1996). Ένας παράγοντας στον οποίο είναι πιθανό να οφείλονται οι διαφορές στην συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε NDF μεταξύ διαφορετικών περιοχών και υψομετρικών ζωνών είναι η βοτανική σύνθεση (Vazquez-de-Aldana et al., 2000; Bruinenberg et al., 2002). Έχει βρεθεί ότι στη βορειοδυτική Ελλάδα η πεδινή και η ημιορεινή ζώνη κυριαρχούνται από θερμόβια (C_4) λιβαδικά είδη σε αντίθεση με την ορεινή ζώνη που χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενός μείγματος θερμόβιων-ψυχρόβιων (C_4 - C_3) ειδών ανάλογα με τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες (Παπαναστάσης και Νοϊτσάκης, 1992). Όμως, η διακύμανση της συγκέντρωσης σε NDF στα θερμόβια (C_4) είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα ψυχρόβια (C_3) φυτά (Ford et al., 1979). Επομένως υφίσταται σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των τριών λειτουργικών ομάδων των αγρωστωδών, ψυχανθών και πλατύφυλλων ειδών αλλά και μεταξύ των πολυετών και ετησίων ειδών (Holechek et al., 2001). Έτσι η συγκέντρωση των αγρωστωδών σε NDF, ADF και ημικυτταρίνες είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτή των ψυχανθών και των πλατύφυλλων ποών, ενώ αντίθετα η συγκέντρωση σε λιγνίνη είναι μικρότερη από αυτή των πλατύφυλλων και των ψυχανθών (Van Soest, 1982; McCollum et al., 1985; Tufarelli et al., 2010; Ρούκος, 2010; Foroughbakhch et al., 2012). Ωστόσο οι Marten et al. (1987) αναφέρουν ότι στα πολυετή ποώδη πλατύφυλλα είδη η συγκέντρωση σε κυτταρικά τοιχώματα ποικίλλει ανάμεσα στα είδη, ενώ κάποια είδη μπορεί να έχουν παρόμοια θρεπτική αξία με τα ψυχανθή. Η υψηλότερη συγκέντρωση των αγρωστωδών σε NDF και ADF οφείλεται στην υψηλότερη αναλογία βλαστών/φύλλων που έχουν τα αγρωστώδη σε σχέση με τις άλλες λειτουργικές ομάδες αλλά και στα ανατομικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν (Buxton and Redfearn, 1997). Οι Arzani et al. (2006) αναφέρουν ότι τα αγρωστώδη έχουν κοίλους βλαστούς οι οποίοι μπορεί να περιέχουν υψηλότερο ποσοστό ινωδών ουσιών σε σχέση με άλλα είδη και σε αυτό είναι πιθανό να οφείλεται η υψηλότερη συγκέντρωση σε ADF. Οι Hart et al. (1983) σε φυσικά λιβάδια των Η.Π.Α., βρήκαν ότι το συγκέντρωση σε NDF των φυτών *Carex* spp. και των λοιπών αγρωστωδών ήταν 20% υψηλότερο από ό,τι στα πλατύφυλλα φυτά του είδους *Sphaerulcea coccinea* (Pursh.) Rydb. Οι Smith et al. (1986) διαπίστωσαν ότι τα τροπικά αγρωστώδη είχαν υψηλότερες τιμές κυτταρικών τοιχωμάτων στο στάδιο της ωρίμανσης από ό,τι τα αγρωστώδη που αναπτύσσονται σε θερμές περιοχές.

Ο Van Soest (1994) αναφέρει ότι στα περισσότερα ποώδη ψυχανθή, η συγκέντρωση σε ADF είναι περίπου 100 g/kg ΞΟ μικρότερη από την αντίστοιχη του NDF. Στην περίπτωση των αγρωστωδών, η παραπάνω διαφορά ανέρχεται στα 200 g/kg ΞΟ περίπου, αναδεικνύοντας την υψηλότερη ημικυτταρίνη που έχουν τα αγρωστώδη. Οι Bourquin et al. (1994) αναφέρουν ότι η συγκέντρωση σε ημικυτταρίνες της *Dactylis glomerata* L. έφτανε ως και 300 g/kg ΞΟ. Οι Sanderson et al., (1989) παρατήρησαν μια διακύμανση της συγκέντρωσης του NDF στο *trifolium repens* L. μεταξύ 314 και 668 g/kg ΞΟ μεταξύ δύο ετών, ενώ στους βλαστούς παρουσίαζε ακόμα μεγαλύτερες διακυμάνσεις μεταξύ 210 και 680 g/kg ΞΟ. Ο Buxton (1990) αναφέρει ότι η συγκέντρωση των βλαστών σε NDF στα αγρωστώδη *Dactylis glomerata* L., *Bromus inermis* Leyss., *Festuca arundinacea* Schreb. και *Phalaris arundinacea* L. ήταν περίπου 700 g/kg ΞΟ, όταν τα φυτά βρίσκονταν στο στάδιο της ανθοφορίας σε σύγκριση με τα 500 g/kg ΞΟ στα φύλλα. Στη μηδική, κατά το μέσο στάδιο της ανθοφορίας, η συγκέντρωση σε NDF των βλαστών κυμαίνεται από 450–700 g/kg και των φύλλων περίπου στα 250 g/kg (Buxton and Hornstein, 1986; Buxton et al., 1985).

Ένα από τα προβλήματα επομένως της βόσκησης σε λιβάδια με διαφορετική βοτανική σύνθεση είναι ότι, σε δεδομένη χρονική στιγμή, το στάδιο ωρίμανσης διαφέρει μεταξύ διαφορετικών φυτικών ειδών (Bruinenberg et al., 2002). Ακόμη και μέσα στο ίδιο φυτό εμφανίζεται διαφορετική πεπτικότητα μεταξύ βλαστών (Van Loo, 1993) και φύλλων (Groot and Neuteboom, 1997), εξαιτίας του διαφορετικού σταδίου ανάπτυξής τους. Επομένως, η

παρατηρούμενη διαφορά στη θρεπτική αξία της λιβαδικής παραγωγής που αποτελείται από διαφορετικά είδη φυτών είναι αναμενόμενη εξαιτίας των διαφορετικών ειδών φυτών, της πεπτικότητας των κυτταρικών τοιχωμάτων και της συγκέντρωσης της βλάστησης σε αζωτούχες ουσίες (Pearson et al., 2006).

2. 4. 2. Φαινολογικό στάδιο των φυτών

Ο βαθμός ωρίμανσης των φυτών επιδρά στη χημική σύσταση των ιστών τους περισσότερο από κάθε άλλο παράγοντα, ενώ το περιβάλλον και οι αγρονομικοί παράγοντες προκαλούν ετήσιες και εποχικές επιδράσεις στη χημική σύσταση ακόμα και όταν τα φυτά συγκομίζονται στο ίδιο στάδιο ανάπτυξης (Buxton, 1996). Επομένως, όσο η θερμοκρασία αυξάνεται και τα φυτά αναπτύσσονται και ωριμάζουν, το συγκέντρωση σε κυτταρικά τοιχώματα αυξάνεται, ενώ μειώνεται το συγκέντρωση των κυττάρων (Bosch et. al, 1992). Αυτό το πρότυπο έχει αναφερθεί σε φυσικά ποολίβια που παρουσιάζουν διαφορετική βοτανική σύνθεση (Γιακουλάκη και Νάσσης 1988) και ρυθμό ανάπτυξης ή είναι σε διαφορετική υψομετρική ζώνη εξάπλωσης στην Ελλάδα (Skarpetas et al., 2004; Μουντούσης, 2008, Ρούκος, 2010) αλλά και σε λιβάδια άλλων χωρών και διαφορετικών κλιματικών συνθηκών (Pérez-Corona et al., 1998; Ganskopp and Bohnert, 2001; El-Shatnawi et al., 2004; Thorvaldsson et al., 2007). Ωστόσο κάποιοι ερευνητές έχουν βρει ότι η συγκέντρωση των φυτών σε ημικυτταρίνη δεν επιβεβαιώνει το προηγούμενο πρότυπο (Pérez-Corona et al., 1998; Sultan et al., 2007; Hussain and Durrani, 2009).

Οι Cherney et al. (1990) βρήκαν ότι τα κυτταρικά τοιχώματα ήταν χαμηλότερα στην ταξιανθία του φυτού από ό,τι σε οποιοδήποτε άλλο μορφολογικό τμήμα του, επίσης αναφέρουν ότι τα κυτταρικά τοιχώματα ήταν υψηλότερα στα στελέχη από ό,τι στους κολεούς των φύλλων. Οι Moreira et al. (2004) επίσης αναφέρουν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης των φυτών σε κυτταρικά τοιχώματα κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου εξαρτάται από το τμήμα του φυτού. Γενικά όσο τα φυτά πλησιάζουν στο τελευταίο στάδιο ανάπτυξης τόσο μειώνεται η αναλογία φύλλων/βλαστών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται το συγκέντρωση σε κυτταρικά τοιχώματα στους βλαστούς και στα φύλλα (Buxton, 1996). Στη μηδική μία εβδομάδα πριν το στάδιο των οφθαλμών, τα φυτά έχουν αναλογία φύλλων / μίσχων 1,4 η οποία συνήθως μειώνεται στο 0,5 ή λιγότερο κατά τη διάρκεια των επόμενων εβδομάδων (Albrecht et al., 1987).

Σύμφωνα με το Van Soest (1994), η συγκέντρωση των φυτών σε κυτταρικά τοιχώματα σχετίζεται αρνητικά με την πρόσληψη τροφής, ενώ η συγκέντρωση σε ADF σχετίζεται αρνητικά με την πεπτικότητα των λιβαδικών φυτών. Οι Black et al. (1980), βρήκαν ότι η πεπτικότητα της ΕΟ, των ΑΟ και των ινωδών ουσιών μειώνεται σημαντικά με την ωρίμανση των φυτών. Η μείωση αυτή ήταν μεγαλύτερη στην περίπτωση της πεπτικότητας των ΑΟ, η οποία είχε μέγιστη τιμή 0,528 στο αρχικό βλαστικό στάδιο και μόλις 0,148 στο στάδιο αμέσως μετά την άνθιση. Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρουν οι Buxton and Marten (1989), καθώς η πεπτικότητα των φυτών *Dactylis glomerata* L., *Bromus inermis* Leyss., *Festuca arundinacea* Schreb. και *Phalaris arundinaceae* L. μειωνόταν γραμμικά κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο από 4 μέχρι και 6 g / kg / ημέρα ανάλογα με τον αριθμό των παραφυάδων, αντίστοιχα. Για την ίδια περίοδο η μείωση της πεπτικότητας της μηδικής (*Medicago sativa* L.) ήταν 3 g / kg / ημέρα (Buxton et al., 1985). Οι Fick et al. (1994) αναφέρουν ότι υπάρχει υψηλή αρνητική συσχέτιση μεταξύ της ηλικίας και της πεπτικότητας των λιβαδικών φυτών που αναπτύσσονται την άνοιξη, αν και ο ρυθμός μείωσης παρουσιάζει διακύμανση ανάλογα με τη γεωγραφική θέση. Ειδικότερα, βρήκαν ότι η μείωση αυτή ανέρχεται σε 3 και 5 g / kg / ημέρα για το Μάιο και τον Ιούνιο, αντίστοιχα. Ωστόσο, οι Tallowin and Jefferson (1999) ανέφεραν ότι μπορεί να παρουσιαστούν διαφορές στη

συγκέντρωση των κυτταρικών τοιχωμάτων μεταξύ των ετών, που πιθανόν να οφειλόταν στη διακύμανση των κλιματικών συνθηκών που επικράτησαν κατά την ανάπτυξη των φυτών και οι οποίες επηρέασαν το στάδιο ωρίμανσης των φυτών κατά το στάδιο της συλλογής. Στα ίδια συμπεράσματα κατέληξαν και ο Μουντούσης (2008) και Roukos (2010) οι οποίοι διαπίστωσαν ότι σε χρονιές ξηρές και με υψηλές θερμοκρασίες η συγκέντρωση των φυτών σε NDF μπορεί να παρουσιάσει διαφορά μέχρι και 100 g / kg στον ίδιο μήνα κοπής μεταξύ δύο ετών.

Επίσης, η συγκέντρωση των ΑΟ είναι υψηλότερη στο νεαρό στάδιο των λιβαδικών φυτών κατά τη διάρκεια ανάπτυξης των φύλλων το οποίο συνοδεύεται από υψηλή μιτωτική και ενζυματική δραστηριότητα και παράγει πρωτεΐνες. Αυτός είναι ο λόγος που οι ΑΟ είναι πιο υψηλές στο αρχικό στάδιο της ανάπτυξης του φυτού παρά στο ώριμο στάδιο (Ammar et al., 2004). Η μείωση της συγκέντρωσης σε ΑΟ με τη σταδιακή ωρίμανση συμβαίνει τόσο επειδή μειώνονται οι ΑΟ στα φύλλα και στους βλαστούς, όσο και γιατί οι βλαστοί με τη μικρότερη συγκέντρωση σε ΑΟ καταλαμβάνουν μεγαλύτερη αναλογία της βιομάζας στα πιο ώριμα φυτά (Buxton, 1996; Frost et al., 2008). Μάλιστα, υπολογίζεται ότι η μέση μείωση της συγκέντρωσης σε ΑΟ με την πρόοδο της ωρίμανσης των διάφορων λιβαδικών φυτών κυμαίνεται στο 1 g / kg / ημέρα (Minson, 1990). Η μείωση των ΑΟ σε συνδυασμό με την αύξηση της βιομάζας κατά τη διάρκεια της φαινολογικής ανάπτυξης του φυτού (dilution effect) έχει αναφερθεί και από άλλους συγγραφείς (Duru and Ducrocq, 1997; Hejman et al., 2010). Εντούτοις, έχει διαπιστωθεί ότι η μηνιαία μεταβολή της συγκέντρωσης σε NDF της λιβαδικής παραγωγής κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου ακολουθεί ακριβώς την αντίθετη τάση της συγκέντρωσης σε ΑΟ (McDonald et al., 1995).

Δεδομένα των Fick and Onstad (1988) για τη μηδική δείχνουν ότι υπάρχει μεγαλύτερος ρυθμός πτώσης της συγκέντρωσης σε ΑΟ κατά το νεαρό στάδιο ανάπτυξης των φυτών και μετριασμός του ρυθμού πτώσης όσο τα φυτά πλησιάζουν στην ωρίμανση. Οι ίδιοι ερευνητές, αναφέρουν ότι στη μηδική ηλικίας 35 ημερών ο ρυθμός μείωσης της συγκέντρωσης σε ΑΟ ανέρχεται σε 2,8 g / kg / ημέρα, ενώ ο ρυθμός αύξησης της συγκέντρωσης σε NDF είναι 3,8 g / kg / ημέρα. Οι ρυθμοί αυτοί δύναται να τροποποιηθούν από περιβαλλοντικούς και αγρονομικούς παράγοντες.

Σε λιβάδια του Νομού Ιωαννίνων παρατηρήθηκε αυξημένο ποσοστό ΑΟ στην αρχή της βλαστικής περιόδου και σταδιακή πτώση στη συνέχεια, ενώ οι ινώδεις ουσίες μεγιστοποιήθηκαν, όταν οι ΑΟ βρίσκονταν στο ελάχιστο (Τζιάλλα κ.ά., 2000α). Παρόμοια αποτελέσματα αναφέρονται και από τους Μουντούσης (2008) σε λιβάδια του Νομού Φλώρινας και Ρούκος κ.ά. (2006) σε λιβάδια του Νομού Πρέβεζας, με τις διαφορές που εντοπίζονται στη χημική σύσταση της λιβαδικής παραγωγής να αποδίδονται στο φαινολογικό στάδιο των λιβαδικών φυτών.

2. 4. 3. Η τοπογραφική θέση

Η τοπογραφία, με βάση το υψόμετρο, την έκθεση και την κλίση του εδάφους επηρεάζουν το τοπικό κλίμα μεταβάλλοντας κλιματικές παραμέτρους όπως η βροχόπτωση και η θερμοκρασία αέρα (Holechek et al., 1995), καθώς και τις ιδιότητες του εδάφους και τον τύπο της βλάστησης (Brubaker et al., 1993; Oztas et al., 2003; Yimer et al., 2006). Η αλληλεπίδραση κλίματος και τοπογραφίας συμβάλλει στη διαφοροποίηση της χλωριδικής σύνθεσης στο λιβαδικό οικοσύστημα όπου συνυπάρχουν είδη φυτών διαφορετικής χημικής σύστασης και θρεπτικής αξίας με διαφορετικό βαθμό επιλεξιμότητας από τα βόσκοντα ζώα. Οι διαφορές στη θρεπτική αξία μεταξύ των τοπογραφικών θέσεων, όπως υποδεικνύονται από την πρωτεΐνη, σχετίζονται με τις διαφορές στο φαινολογικό στάδιο των λιβαδικών φυτών και στη βοτανική σύνθεση (Lyttleton, 1973; Norton, 1982; Perez Corona et al., 1995).

Επίσης, η τοπογραφική θέση των βοσκοτόπων εξαιτίας της αλληλεπίδρασης των τοπικών κλιματικών συνθηκών με τις ιδιότητες του εδάφους, επηρεάζουν το φαινολογικό στάδιο των λιβαδικών φυτών και κατ'έπекταση τη λιβαδική παραγωγή και τη χημική της σύσταση (Gintzburger, 1986; Kirby et al., 1989; Pérez-Corona et al., 1998; Vázquez-de-Aldana et al., 2000, Mutanga et al., 2004). Αντίστοιχα σε λιβάδια στη χώρα μας ορισμένοι ερευνητές διαπίστωσαν ότι υπάρχει διαφοροποίηση των εδαφικών και κλιματικών συνθηκών σε κάθε υψομετρική ζώνη, η οποία επηρεάζει σημαντικά τη χημική σύσταση και κατ'έπекταση και τη θρεπτική αξία της λιβαδικής παραγωγής (Μουντούσης, 2008; Ρούκος, 2010).

Οι Perez Corona et al. (1998) μελέτησαν την επίδραση του φαινολογικού σταδίου των λιβαδικών φυτών και της υψομετρικής ζώνης στην παραγωγή βιομάζας, στην συγκέντρωση σε πρωτεΐνη, λιγνίνη, κυτταρίνη, ημικυτταρίνες και σε ανόργανα στοιχεία σε δείγματα λιβαδικής παραγωγής που συλλέχθηκαν από λιβάδια της Ισπανίας. Οι ερευνητές αυτοί βρήκαν ότι η συγκέντρωση σε ΑΟ μειωνόταν καθώς προχωρούσε το φαινολογικό στάδιο των φυτών, ενώ η συγκέντρωση σε ινώδεις ουσίες έτεινε να αυξηθεί. Η τοπογραφική θέση επέδρασε σημαντικά στη μέγιστη παραγωγή βιομάζας, στην συγκέντρωση σε ινώδεις ουσίες και σε ΑΟ. Ο Μουντούσης (2008) σε φυσικά λιβάδια του όρους Βαρνούνα διαπίστωσε, ότι η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ΑΟ μειωνόταν όσο τα φυτά πλησίαζαν στο στάδιο πλήρους ωρίμανσης. Σε δύο συνεχόμενα έτη δειγματοληψίας η μείωση αυτή των ΑΟ ήταν μικρότερη στα λιβάδια της ενδιάμεσης ζώνης με την υπαλπική ζώνη να ακολουθεί παρότι οι καιρικές συνθήκες ήταν διαφοροποιημένες ανάμεσα στα δύο έτη αποδεικνύοντας ότι η βοτανική σύσταση έχει περισσότερο σημαντικό ρόλο. Επίσης ταχύτερη μείωση των ΑΟ παρατηρήθηκε στα λιβάδια με δυτική έκθεση, ακολουθούμενα από τη νότια και ανατολική έκθεση, αντίστοιχα. Την αντίθετη πορεία ακολούθησε η μεταβολή του συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ινώδεις ουσίες. Αντίθετα ο Ρούκος (2010) σε λιβάδια της Πρέβεζας βρήκε μικρότερη μείωση των ΑΟ στην υψηλότερη ζώνη παρότι όλες οι υψομετρικές ζώνες δέχονταν εξίσου σημαντικές βροχοπτώσεις. Οι Bertrand et al (2008) σε λειμώνες του Καναδά διαπίστωσαν ότι σε βόρειες εκθέσεις με υψηλή φωτοπερίοδο και θερμοκρασίες ημέρας 17°C και νύχτας 5°C η παραγωγή και η θρεπτική αξία του *Phleum pratense* L. ήταν υψηλότερη σε σχέση με τις νότιες εκθέσεις όπου η θερμοκρασία ημέρας και νύχτας ήταν υψηλότερες. Επίσης βρήκαν ότι η θρεπτική αξία και η συγκέντρωση των ανόργανων στοιχείων στο φυτό μειωνόταν σε θερμοκρασίες ημέρας 28°C και νύχτας 15°C, παρατήρησαν, όμως, ότι οι μη δομικοί υδατάνθρακες ήταν υψηλότεροι στις χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Η μικρή απόδοση των ζώων κατά τη διάρκεια της περιόδου ξηρασίας οφείλεται στην ανεπάρκεια πρωτεΐνης, ενέργειας και ανόργανων στοιχείων (Le Houérou, 1980a; McDowell et al., 1985). Οι ΑΟ των ώριμων λιβαδικών φυτών μειώνονται 1 – 2% κατά τη διάρκεια της περιόδου ξηρασίας ιδιαίτερα σε τοποθεσίες με απότομες κλίσεις εδάφους, η πρωτεΐνη και ο φωσφόρος είναι συχνά λιγότερο από 1 g/kg ΞΟ, το Ca κυμαίνεται μεταξύ 1,5 – 3,0 g/ kg ΞΟ (Le Houérou, 1980b).

Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης επηρεάζεται από την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος (Nelson and Moser, 1994). Οι Kerhart et al. (1992) διαπίστωσαν ότι επιβολή σκιάς σε πέντε πολυετή ποώδη φυτά μείωσε δραματικά την παραγωγή, ελάχιστα τη συγκέντρωση σε NDF, ενώ αύξησε την πεπτικότητα της λιβαδικής παραγωγής κατά 5% και την συγκέντρωση σε ΑΟ κατά 26%. Οι Samarakoon et al. (1990a) διαπίστωσαν επίσης ότι η πεπτικότητα της ΞΟ των ποωδών φυτών, που αυξήθηκαν κάτω από σκιά, ήταν ελαφρώς υψηλότερη από την αντίστοιχη των ίδιων φυτών που αυξήθηκαν υπό πλήρη φωτισμό. Αντίστοιχα, οι Thorvaldsson et al. (2007), παρατήρησαν προοδευτική μείωση της πεπτικότητας της ΞΟ και της πεπτικότητας του NDF με την αύξηση της θερμοκρασίας στο αγρωστώδες *Phleum pratense* L.

Η ποιότητα της λιβαδικής παραγωγής υποβάλλεται σε ημερήσια διακύμανση με την υψηλότερη τιμή να παρατηρείται στο μέσο του απογεύματος. Υπάρχει γενικά η εκτίμηση ότι η συγκέντρωση των NDF και ADF της λιβαδικής παραγωγής μειώνεται κατά τις απογευματινές ώρες σε σχέση με τις πρωινές ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας (Huntington and Burns, 2007). Αντίθετα, η συγκέντρωση των μη δομικών και υδατοδιαλυτών υδατανθράκων στους ιστούς του *Phleum pratense* L. βρέθηκε χαμηλή το πρωί, ενώ υψηλότερες τιμές παρατηρήθηκαν κατά τις απογευματινές ώρες της ημέρας (Bertrand et al., 2008). Αντίστοιχα οι Lechtenberg et al. (1971), παρομοίως, βρήκαν ότι η πεπτικότητα της μηδικής ήταν 1,6% μεγαλύτερη προς το τέλος του απογεύματος απ' ό,τι το πρωί πριν από την ανατολή. Ο Heide (1985) παρατήρησε μια τριπλάσια αύξηση στο μέσο ύψος των βλαστών του *Phleum pratense* L., καθώς η φωτοπερίοδος αυξήθηκε από 8 σε 24 ώρες. Οι μεγάλες περιόδους φωτός συντελούν στην παραγωγή υψηλής ποιότητας λιβαδικής παραγωγής λόγω της μεγαλύτερης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, η οποία αυξάνει στη συνέχεια τα διαλυτά σάκχαρα που μετριάζουν τη συγκέντρωση σε NDF (Buxton and Fales, 1994). Αρκεί να αναφερθεί ότι οι Bertrand et al. (2008) σε λειμώνες του βόρειου Καναδά παρατήρησαν ότι η συγκέντρωση της λιγνίνης στους ιστούς του *Phleum pratense* L. μειώθηκε μέχρι και 25% με μια αύξηση της φωτοπερίοδου μόνο κατά δύο ώρες. Οι Juan et al. (1993) αναφέρουν, ότι η ανάπτυξη της μηδικής κάτω από φωτοπερίοδο 16 ωρών παρουσίασε υψηλότερη αναλογία φύλλων/βλαστών από τα αντίστοιχα φυτά που αναπτύχθηκαν κάτω από φωτοπερίοδο 13 ωρών. Φαίνεται, λοιπόν, ότι η παραγωγή αυξάνεται και η μορφολογία των φυτών αλλάζει κάτω από μεγάλες φωτοπερίόδους, ενώ ακόμα και μια μικρή αύξηση της φωτοπερίοδου μπορεί να επιδράσει θετικά στην πεπτικότητα της οργανικής ουσίας (Deinum et al., 1981).

2. 5. Τα ανόργανα στοιχεία στη λιβαδική παραγωγή

Οι αζωτούχες ουσίες και τα κλάσματα των ινωδών ουσιών είναι οι κύριοι παράγοντες που έχουν συνδεθεί τόσο με την ποιότητα (Ballard et al., 1990; Perez Corona et al., 1995) όσο και με την πρόσληψη και την πεπτικότητα της λιβαδικής παραγωγής (Cherney and Mertens, 1998). Ωστόσο, πολύ λιγότερη προσοχή έχει δοθεί στα ανόργανα στοιχεία, τα οποία επηρεάζουν την ποιότητα της λιβαδικής παραγωγής και μπορούν να μειώσουν την πρόσληψη τροφής, να επιδράσουν αρνητικά στη μικροβιακή ανάπτυξη και στη δραστηριότητα της μεγάλης κοιλίας, γεγονός που οδηγεί σε μείωση της πεπτικότητας των τροφών, όταν τα επίπεδά τους είναι χαμηλά (Leng, 1990; Provenza, 1995).

Τα ανόργανα στοιχεία είναι σημαντικά για την ανάπτυξη και το μεταβολισμό των φυτών (Καράταγλης, 1995). Τα θρεπτικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τα φυτά διακρίνονται σε μακροστοιχεία όπως είναι ο P, το K, το Ca, το Mg και το S και σε μικροστοιχεία ή ιχνοστοιχεία όπως ο σίδηρος Fe, το μαγγάνιο Mn, ο χαλκός Cu, το βόριο B, το μολυβδαίνιο Mo, το χλώριο Cl, ο ψευδάργυρος Zn, το κοβάλτιο Co, και το νικέλιο Ni. Τα στοιχεία αυτά βρίσκονται στο έδαφος με διάφορες χημικές μορφές. Ορισμένες απ' αυτές είναι προσιτές στα φυτά με αποτέλεσμα να προσλαμβάνονται απ' αυτά, ενώ άλλες δεν είναι προσιτές και δεν μπορούν να προσληφθούν (Αλιφραγκής 2008).

Η πρόσληψη των ανόργανων στοιχείων από τα φυτά επηρεάζεται από ένα μεγάλο αριθμό παραγόντων που καθορίζουν τόσο το είδος και την ποσότητα της πρόσληψης όσο και τη μορφή της πρόσληψης. Οι σπουδαιότεροι από τους παράγοντες αυτούς είναι η διαφορετική συγκέντρωση σε ανόργανα στοιχεία, η οποία εξαρτάται κυρίως από το γεωλογικό υπόβαθρο, το pH, τις συνθήκες εδαφικής υγρασίας και θερμοκρασίας, την οργανική ουσία, το είδος του φυτού και τις μυκόρριζες (Αλιφραγκής 2008). Οι επιδράσεις

αυτών των παραγόντων ποικίλλουν σημαντικά από το ένα στοιχείο στο άλλο, καθώς και ο σχετικός βαθμός της αποτελεσματικότητάς τους.

2. 5. 1. Αβιοτικοί παράγοντες που επηρεάζουν την συγκέντρωση των ανόργανων στοιχείων στη βλάστηση

2. 5. 1. 1. Το pH του εδάφους

Το pH του εδάφους επηρεάζει τη διαλυτότητα και την κινητικότητα των θρεπτικών στοιχείων και συνεπώς την πρόσληψή τους από τα φυτά (Fageria et al., 1990; Fageria et al., 1997). Έτσι η διαθεσιμότητα των Fe, Mn, Cu και Zn συνήθως μειώνεται όσο το pH αυξάνεται. Ενώ, αντίθετα, στα μακροστοιχεία K, Ca, Mg και το Mo η βιοδιαθεσιμότητα τους αυξάνεται όσο αυξάνεται η τιμή του pH (Reid and Horvath, 1980).

Η πρόσληψη του Cu από τα φυτά αυξάνεται, όταν το pH αυξάνεται σε ένα εύρος μεταξύ 4 έως 7 (Cavallaro and McBride, 1984). Επίσης η οργανική ουσία επιδρά σημαντικά στην μορφή των ιχνοστοιχείων Cu, Fe, Mn. Καθώς όσο αυξάνεται το pH το μέγεθος των μακρομορίων των οργανικών κolloειδών, τα οποία είναι ενωμένα με τα ιχνοστοιχεία μειώνεται, αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα πρόσληψης (Geering and Hodgson, 1969). Η διαλυτότητα του Fe μπορεί να μειωθεί δέκα φορές περισσότερο για κάθε βαθμό αύξησης του pH σε ένα φάσμα μεταξύ 4 και 9 σε σχέση με των Mn, Cu, και Zn (Lindsay, 1979). Επομένως σε όξινα υγρά εδάφη ο Fe^{+3} μετατρέπεται σε Fe^{+2} , ο οποίος είναι διαθέσιμος για τα φυτά. Αντίθετα, η μικρότερη διαλυτότητα του Fe εμφανίζεται σε τιμές pH ανάμεσα 7,5 και 8,5 σε ασβεστολιθικά εδάφη (Lindsay, 1991).

Η μείωση του εδαφικού pH αυξάνει, επίσης, τη διαλυτότητα του Mn, επομένως και τη διαθεσιμότητα του για τα φυτά. Η αύξηση του pH αυξάνει τη ποσότητα των οργανομεταλλικών ενώσεων Mn, οι οποίες είναι χαμηλής διαθεσιμότητας για τα φυτά (Shuman, 1991). Οι Fageria and Gheyi (1999) αναφέρουν ότι η διαλυτότητα του Mn αυξανόταν 1,6 φορές για κάθε βαθμό μείωσης του pH σε όξινα, αεριζόμενα και στραγγιζόμενα εδάφη, δείχνοντας ότι η οξύτητα και ο αερισμός του εδάφους είναι σημαντικοί παράγοντες για τη διαθεσιμότητα του Mn για τα φυτά. Τα Mn, Cu και Fe είναι περισσότερο διαθέσιμα για τα φυτά υπό αναερόβιες συνθήκες ή σε πλημμυρισμένα εδάφη (Ponnamperuma, 1972).

Το pH του εδάφους είναι η πιο σημαντική από οποιαδήποτε άλλη παράμετρο για τον έλεγχο της κινητικότητας του Zn στο έδαφος (Anderson and Christensen, 1988). Η αύξηση του pH του εδάφους σε τιμές μεγαλύτερες του 5,5 γενικά μειώνει τη διαθεσιμότητα του Zn στα φυτά (Saeed and Fox, 1977) και τέτοιες μειώσεις συνήθως οφείλονται στο σχηματισμό συμπλοκών ενώσεων εσωτερικής στοιβάδας με ένυδρα οξείδια του Al, Fe και Mn, οι οποίες είναι αδιάλυτες (Moraghan and Mascagni 1991). Επομένως, η προσρόφηση του ψευδάργυρου είναι ένας σημαντικός παράγοντας, που συμβάλλει σε χαμηλές συγκεντρώσεις Zn ειδικά σε εδάφη, που παρουσιάζουν ανεπάρκεια. Ωστόσο, ο βαθμός σχηματισμού συμπλοκών του Zn με τα ένυδρα οξείδια του Fe και του Al επηρεάζεται από τη φύση των αργιλικών ορυκτών, τις συνθήκες της επιφάνειας και το pH (Harter, 1991). Σε ορισμένες περιπτώσεις, όταν το pH του εδάφους είναι υψηλότερο από 7 μπορεί να αυξηθεί η συγκέντρωση Zn λόγω της διαλυτοποίησης της OM, σχηματίζοντας $Zn(OH)^+$ παρουσιάζει όμως αυξημένη συμπλοκοποίηση του Zn με ένα κατώτερο θετικό φορτίο (Barber, 1995). Επίσης, σταδιακή μείωση της κινητικότητας του Zn όσο αυξάνεται το pH του εδάφους έχει αποδοθεί στο σχηματισμό αδιάλυτων ενώσεων όπως $ZnCO_3$ (Stahl and James, 1991). Καθώς η υψηλή συγκέντρωση ανθρακικού ασβεστίου στο έδαφος μπορεί να μειώσει τη διαθεσιμότητα του Zn, ειδικά σε υψηλές τιμές του pH του εδάφους.

2. 5. 1. 2. Η οργανική ουσία εδάφους (ΟΜ)

Στα όξινα εδάφη σχηματίζονται φουλβικά οξέα όπου μαζί με τα μέταλλα δημιουργούν σύμπλοκες διαλυτές ενώσεις που μερικές από αυτές όπως ιοντικοί δεσμοί με χαμηλού μοριακού βάρους οργανικά οξέα (οξικό, κιτρικό, μηλικό) είναι άμεσα προσίτες από τα φυτά.

Ο χαλκός είναι στενά συνδεδεμένος με τις οργανικές ενώσεις του εδάφους, περισσότερο από τα άλλα ιχνοστοιχεία, και γενικά οι μορφές αυτές είναι μη διαθέσιμες για τα φυτά (Mathur and Levesque, 1983). Χαμηλά επίπεδα Cu στο έδαφος με υψηλή περιεκτικότητα σε ΟΜ σε συνδυασμό με αδιάλυτες μορφές συμπλόκων, οδηγεί σε ανεπάρκεια Cu σε ορισμένα φυτά (Moraghan and Mascagni, 1991). Οι Alva et al. (2000) αναφέρουν ότι σε όξινα αμμώδη εδάφη το μεγαλύτερο τμήμα του συνολικού Cu ήταν οργανικά δεσμευμένο. Η διαλυτότητα του Cu στο έδαφος συνήθως μειώνεται με συμπλοκοποίηση με σωματίδια αργίλου-χούμου ή και το σχηματισμό αδιάλυτων χουμικών συμπλόκων (Stevenson and Fitch, 1981). Συμπλοκοποίηση του Cu με την ΟΜ εμφανίζεται κυρίως σε τιμές pH διαλύματος πάνω από 6,5 (Barber, 1995). Η διάσπαση των φυτικών υπολειμμάτων από τα μικρόβια του εδάφους μπορεί να απελευθερώσει σημαντικές ποσότητες Cu, αλλά μπορεί να δημιουργηθούν σύμπλοκα με συστατικά που παράγονται κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης της ΟΜ, τα οποία δεν είναι σε διαθέσιμες μορφές για τα φυτά (Moraghan and Mascagni, 1991).

Ο σίδηρος σχηματίζει σταθερά σύμπλοκα με οργανικές ενώσεις του εδάφους (Barber, 1995). Οργανικά οξέα και φαινόλες που σχηματίζουν διαλυτά σύμπλοκα με το Fe απελευθερώνονται όταν η ΟΜ αποσυντίθεται. Αυτά τα σύμπλοκα του Fe ενισχύουν τη κινητικότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα του (Lindsay, 1991). Η βιοδιαθεσιμότητα του Fe επηρεάζεται περισσότερο από το pH του εδάφους από ότι από το συγκέντρωση σε ΟΜ. Μορφές συμπλόκων σιδήρου με φουλβικά και χουμικά οξέα είναι πιο σταθερές σε σύγκριση με τα άλλα μέταλλα, και η αποτελεσματικότητα αυτών των συμπλόκων αυξάνει με την αύξηση του pH (Stevenson, 1991). Η προσθήκη ΟΜ στο έδαφος οδηγεί σε αναγωγικές συνθήκες και ο Fe αλλάζει μορφή από λιγότερο διαλυτός σε ανταλλάξιμος και οργανικής μορφής (Shuman 1991). Επιπλέον, η διαθεσιμότητα Fe βελτιώθηκε με την προσθήκη της ΟΜ σε αποστραγγισμένα αλλά και σε εδάφη κατακλυσμένα από νερό (Tisdale et al., 1985).

2. 5. 1. 3. Θερμοκρασία, υγρασία και φως

Η θερμοκρασία και η υγρασία είναι σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών του εδάφους (Cooper, 1973; Fageria et al., 1997). Η διαθεσιμότητα των περισσότερων θρεπτικών συστατικών τείνει να μειώνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και υγρασία εδάφους εξαιτίας της μειωμένης δραστηριότητας των ριζών και το χαμηλό ρυθμό διάλυσης και διάχυσης των θρεπτικών ουσιών. Επίσης μπορεί να παρατηρηθεί έκπλυση των θρεπτικών συστατικών σε υγρές περιοχές από συνεχείς βροχοπτώσεις. Σε εδάφη με χαμηλή υγρασία, τα κolloειδή σωματίδια μπορεί να ακινητοποιηθούν (Harmsen and Vlek, 1985).

Η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει την κινητικότητα και να αυξομειώσει τη διαλυτότητα του οργανικά δεσμευμένου στο έδαφος Cu καθώς και την πρόσληψή του από τα φυτά (Stevenson and Fitch, 1981; Moraghan and Mascagni, 1991). Για παράδειγμα, η αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ 8-20 °C προκαλεί αυξημένη πρόσληψη του Cu από τα φυτά, που αναπτύσσονται σε όξινα οργανικά εδάφη (MacMillan and Hamilton, 1971). Η υγρασία του εδάφους δεν είχε επίδραση στη διαθεσιμότητα και πρόσληψη του Cu από το *Trifolium hybridum* L. (Kubota et al., 1963), αλλά η πρόσληψή του από το ετήσιο *Lolium sp* αυξήθηκε,

όταν οι ρίζες είχαν πρόσβαση σε νερό (Nambiar, 1977). Ωστόσο, όμως, σε εδάφη με χαμηλή υγρασία, σε πείραμα με εφαρμογή χαλκού, τα φυτά είχαν μικρότερη πρόσληψη (Mortvedt, 2000).

Η ανεπάρκεια σιδήρου, η οποία εμφανίζεται κυρίως σε ασβεστολιθικά και αλκαλικά εδάφη, συνήθως ενισχύεται από τη χαμηλή θερμοκρασία και υψηλή υγρασία εδάφους ή σε συμπίεσμένα εδάφη (Marschner, 1995). Οι χαμηλές θερμοκρασίες του εδάφους μειώνουν την ανάπτυξη των ριζών και τη μεταβολική δραστηριότητα τους, ενώ αυξάνεται η διαλυτότητα του CO₂ προκαλώντας ανασταλτική δράση για την πρόσληψη του σιδήρου (Inskeep and Bloom, 1986). Εδάφη πλούσια σε Fe μπορεί να δημιουργήσουν σύμπλοκες αδιάλυτες ενώσεις με το P με αποτέλεσμα να μην είναι διαθέσιμος ο P για τα φυτά (Moraghan and Mascagni, 1991). Όταν η απορρόφηση του Fe από τις ρίζες των φυτών περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό, περιορισμένη ανάπτυξη των ριζών στα ξηρά επιφανειακά στρώματα (ζώνη με υψηλή συγκέντρωση Fe) μπορεί εν μέρει να εξηγήσει την εμφάνιση της ανεπάρκειας Fe για ορισμένα φυτά, που αναπτύσσονται σε θερμές και ξηρές συνθήκες (Moraghan and Mascagni, 1991). Αύξηση της έντασης του φωτός ενίσχυσε την απελευθέρωση των phytosiderophores³ από τις ρίζες των αγρωστωδών, το οποίο θα μπορούσε να αυξήσει την πρόσληψη των Fe και Zn (Cakmak et al., 1998). Όξινα ξηρά αλλά και κατακλυσμένα από νερό εδάφη αυξάνουν τον κίνδυνο τοξικότητας Fe (Sahrawat, 1979), δεδομένου ότι ενισχύεται η συσσώρευση υψηλών ποσών διαλυτού Fe⁺², ιδιαίτερα σε όξινα εδάφη. Η καλή αποστράγγιση του εδάφους αυξάνει την οξείδωση του σιδήρου και η τοξικότητα του μειώνεται, (Gunawardena et al., 1982). Υψηλά επίπεδα Mn, Ca και Mg μπορεί να μειώσουν την πιθανότητα τοξικότητας του Fe για τα φυτά, που αναπτύσσονται σε όξινα εδάφη.

Χαμηλή θερμοκρασία του εδάφους μπορεί να προκαλέσει ανεπάρκεια Mn. Οι συγκεντρώσεις Mn στα φύλλα είναι συχνά μικρότερες σε χαμηλές από ό,τι σε υψηλές θερμοκρασίες του εδάφους (Rufty et al., 1979). Υψηλές θερμοκρασίες του εδάφους μπορεί να αυξήσουν την διαλυτότητα του Mn και να ενισχύσουν τη διαθεσιμότητα του (Moraghan and Mascagni, 1991). Οι Reid and Racz (1985) διαπίστωσαν, όταν η θερμοκρασία του εδάφους αυξανόταν από 10 έως 25°C, τριπλασιάστηκε η συσσώρευση του Mn στους βλαστούς του κριθαριού που καλλιεργούνταν σε οργανικά εδάφη, ενώ η σόγια που καλλιεργήθηκε σε ασβεστολιθικά εδάφη στους 16°C ανέπτυξε σοβαρά συμπτώματα τοξικότητας Mn (Moraghan et al., 1986). Υπερβολική υγρασία ακόμα και για σχετικά σύντομες χρονικές περιόδους οδηγεί σε ενισχυμένη συσσώρευση Mn, το οποίο μπορεί να προκαλέσει ενδεχομένως τοξικότητα (Moraghan and Mascagni, 1991; Siman et al., 1974). Σε εδάφη με υψηλές συγκεντρώσεις σιδήρου θα μπορούσε να οδηγήσει σε ανταγωνισμό Mn με Fe (Vlamis and Williams, 1964). Η έλλειψη μαγγανίου σπάνια έχει παρατηρηθεί στην καλλιέργεια του ρυζιού (Siman et al., 1974). Επίσης, η έλλειψη μαγγανίου σε λειμώνες στη Σουηδία εξαφανίστηκε, όταν ακολουθούσαν βροχοπτώσεις μετά από μια ξηρή περίοδο (Stahlberg and Sombatpanit, 1974). Υψηλή και χαμηλή ένταση φωτός μπορεί να εντείνει την ανεπάρκεια μαγγανίου ή να εμφανίσει φαινόμενα τοξικότητας στα φυτά. Υψηλή ένταση φωτός διεγείρει την απορρόφηση του Mn και επιτείνεται η τοξικότητα (Horiguchi, 1998), ενώ οι El-Jaoual and Cox (1998) απέδωσαν τα χλωρωτικά συμπτώματα μαγγανίου στα φύλλα στην οξείδωση της χλωροφύλλης. Αντίθετα, μειωμένη ένταση του φωτός φάνηκε να μειώνει τις συγκεντρώσεις Mn στα φύλλα μέσω της μείωσης των υδάτινων μεταφορών από το έδαφος και της αύξησης της φυλλικής επιφάνειας (Campbell and Nable, 1988).

Θερμοκρασίες κάτω από το βέλτιστο όριο ανάπτυξης των φυτών μπορεί να μειώσουν την πρόσληψη ψευδαργύρου από το έδαφος, όταν όμως η θερμοκρασία αυξήθηκε αντίστοιχα

³ phytosiderophores: Εκρίσεις των ριζών όπως ένζυμα και φαινόλες οι οποίες διευκολύνουν την πρόσληψη κυρίως των ιχνοστοιχείων

αυξήθηκαν και οι συγκεντρώσεις Zn στους ιστούς των φυτών (Martin et al., 1965). Επίσης, η προσθήκη P προκάλεσε ανεπάρκεια Zn σε χαμηλή θερμοκρασία του εδάφους. Χαμηλές θερμοκρασίες εδάφους σε συνδυασμό με πολύ υγρές συνθήκες προκαλούν ανεπάρκεια Zn, που σχετίζεται με τη μειωμένη ανοργανοποίηση του ψευδαργύρου και μειωμένη ανάπτυξη των ριζών (Moraghan and Mascagni, 1991). Οι αρνητικές επιπτώσεις των χαμηλών θερμοκρασιών στο ριζικό σύστημα του φυτού επιδρούν στη συσσώρευση Zn στους ιστούς της υπέργειας βιομάζας που οφειλόταν εν μέρει στη μειωμένη μετατόπιση από τις ρίζες στους βλαστούς (Edwards and Kamprath, 1974). Τα ίδια αποτελέσματα είχαν παρατηρηθεί και σε φυτά που αναπτύσσονταν σε ξηρές συνθήκες, καθώς η κίνηση του Zn προς τις ρίζες γίνεται, κυρίως με διάχυση (Warncke and Barber, 1972). Η μυκόρριζα, η οποία συνδέεται με τις ρίζες ενισχύει την πρόσληψη του Zn, ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες εδάφους μπορεί να μειώσουν σημαντικά τον αποικισμό των ριζών με μυκόρριζα και να προκαλέσουν μείωση στην πρόσληψη ψευδαργύρου (Clark and Zeto, 2000). Οι Moraghan and Mascagni, (1991) αναφέρουν ότι η έλλειψη ψευδαργύρου ήταν μικρότερη για φυτά που μεγάλωναν σε συνθήκες δροσερές και χαμηλού φωτός σε σύγκριση με τις βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης. Σε συνθήκες πλήρους κατάκλισης του εδάφους από νερό, ο Zn μπορεί να εμφανίζεται με τη μορφή του ZnS ή να σχηματίζει οργανικά σύμπλοκα που μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της διαθεσιμότητας του (Sajwan and Lindsay, 1988). Η προσθήκη οργανικής ουσίας μπορεί να μειώσει την απορρόφηση ψευδαργύρου από τα φυτά λόγω των διεργασιών οξειδοαναγωγής και τη συσσώρευση του Fe^{+2} (Giordano et al., 1974).

2. 5. 2. Βιοτικοί παράγοντες που επηρεάζουν την συγκέντρωση των ανόργανων στοιχείων στη βλάστηση

Έχει παρατηρηθεί ένα ευρύ φάσμα των συγκεντρώσεων ανόργανων στοιχείων στη βλάστηση ακόμα και ίδιων βιοκλιματικών περιοχών (Reid και Horvath, 1980; McDowell, 1992). Η συγκέντρωση ανόργανων στοιχείων στα φυτά από διάφορες περιοχές του κόσμου εξαρτάται από την αλληλεπίδραση διάφορων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένου του εδάφους, τα είδη των φυτών, το τμήμα του φυτικού ιστού, το στάδιο ωριμότητας, την παραγωγικότητα του λιβαδιού και το κλίμα. Ο παράγοντας των εδαφικών συνθηκών, οι οποίες επηρεάζουν την απορρόφηση των ανόργανων στοιχείων από τα φυτά περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα.

2. 5. 2. 1. Διαφοροποίηση της συγκέντρωσης των ανόργανων στοιχείων ανάλογα με το είδος του φυτού

Είναι γνωστό ότι τα αγρωστώδη έχουν γενικά μικρότερες συγκεντρώσεις μακροστοιχείων, εκτός από το νάτριο, σε σχέση με τα ψυχανθή και τα πλατύφυλλα είδη, ενώ τα πλατύφυλλα είδη έχουν συνήθως υψηλότερες συγκεντρώσεις φωσφόρου και καλίου αλλά μικρότερες συγκεντρώσεις ασβεστίου και μαγνησίου από τα ψυχανθή και εμφανίζουν τη χαμηλότερη συγκέντρωση νατρίου από τις άλλες δύο ομάδες (Elliot, 1986; McDowell, 2003). Ο Minson (1990) σε συγκριτική μελέτη της συγκέντρωσης διάφορων κατηγοριών φυτών σε ανόργανα στοιχεία, που αναπτύσσονται σε περιοχές διαφορετικού κλίματος αναφέρει, ότι τα ψυχανθή τροπικών περιοχών έχουν μικρότερη συγκέντρωση ασβεστίου από τα ψυχανθή άλλων περιοχών, ενώ στη συγκέντρωση μαγνησίου δεν παρατήρησε διαφορές. Στα αγρωστώδη είδη δεν βρήκε επίσης διαφορές στο ασβέστιο μεταξύ περιοχών διαφορετικού κλίματος αλλά, αντίθετα, βρήκε υψηλότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου στις τροπικές περιοχές. Ωστόσο, οι Lanyon and Smith (1985) αναφέρουν ότι τα τροπικά ψυχανθή έχουν χαμηλότερη συγκέντρωση καλίου από τα ψυχανθή θερμών περιοχών. Ο McDowell (2003) αναφέρει ότι η τροπική βλάστηση περιείχε λιγότερο νάτριο και φώσφορο από τα ψυχανθή ζεστών περιοχών. Οι Chiy and Phillips (1993) βρήκαν σημαντικές διαφορές στη

συγκέντρωση νατρίου ακόμα και μεταξύ των αγρωστώδων ειδών αναφέροντας κατά φθίνουσα σειρά τα είδη *Lolium perenne* L. > *Dactylis glomerata* L. > *Festuca pratensis* Huds. > *Phleum pratense* L.. Μεγάλες διαφορές παρατηρούνται και μεταξύ των ψυχανθών, όπως αναφέρουν οι Underwood and Suttle (1999), όπου το *Trifolium subterraneum* L. και το *Trifolium repens* L. είχαν σημαντικά υψηλότερο νάτριο από το *Medicago sativa* L. και το *Trifolium pratense* L. Οι ίδιοι συγγραφείς αναφέρουν ότι τα αγρωστώδη έχουν υψηλότερη συγκέντρωση νατρίου σε σχέση με τα ψυχανθή, το οποίο επιβεβαιώνεται και από άλλους ερευνητές (Vazquez de Aldana et al., 1993; Pérez-Corona et al., 1998).

Ο MacPherson (2000) σε ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με την συγκέντρωση σε ιχνοστοιχεία της λιβαδικής βλάστησης αναφέρει ότι σε λιβάδια της Μ. Βρετανίας τα πλατύφυλλα είδη καθώς και τα αρωματικά φυτά είχαν υψηλότερη συγκέντρωση χαλκού από τα αγρωστώδη, ενώ τα ψυχανθή, παρόλο που είχαν υψηλότερη συγκέντρωση χαλκού από τα αγρωστώδη, υπολείπονταν έναντι των πλατύφυλλων ειδών. Αντίθετα, ο Minson (1990) αναφέρει ότι τα ψυχανθή που αναπτύσσονται σε τροπικές περιοχές έχουν μικρότερη συγκέντρωση χαλκού από τα αγρωστώδη. Επίσης στην Κένυα οι Maskall and Thornton (1989) βρήκαν υψηλότερα επίπεδα χαλκού στα αγρωστώδη απ' ό,τι σε πλατύφυλλα είδη. Ωστόσο, μεγάλες διαφορές έχουν βρεθεί στις συγκεντρώσεις χαλκού μεταξύ των αγρωστώδων ειδών (Jumba et al., 1995), αλλά και μεταξύ του ίδιου είδους το οποίο έχει αναπτυχθεί σε διαφορετικά εδαφοκλιματικά περιβάλλοντα (Montalvo-Hernandez et al., 1984).

Οι Underwood and Suttle (1999) αναφέρουν ότι τα πλατύφυλλα και αρωματικά φυτά έχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις σιδήρου από τα ψυχανθή και τα αγρωστώδη, ενώ τα αγρωστώδη έχουν τις χαμηλότερες τιμές. Η Kabata-Pendias (2001) αναφέρει ότι οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται μεταξύ των φυτών οφείλονται στην ικανότητά τους να απορροφούν Fe η οποία δεν είναι πάντα σταθερή και επηρεάζεται από τις μεταβαλλόμενες συνθήκες του εδάφους και του κλίματος και από τα στάδια της ανάπτυξης των φυτών. Σε γενικές γραμμές, όμως συμφωνεί ότι ορισμένα πλατύφυλλα, συμπεριλαμβανομένων και των ψυχανθών, συσσωρεύουν περισσότερο σίδηρο από ό,τι τα αγρωστώδη. Ωστόσο, αγρωστώδη που αναπτύσσονταν σε εδάφη με μητρικό πέτρωμα Σερπεντίτη βρέθηκε να έχουν συγκεντρώσεις μέχρι και 3580 ppm.

Ο MacPherson (2000) αναφέρει ότι, όταν οι συγκεντρώσεις μαγγανίου στους φυτικούς ιστούς δεν ξεπερνούν τα 60 mg/kg, τα αγρωστώδη και τα ψυχανθή που αναπτύσσονται στην ίδια περιοχή δεν παρουσιάζουν διαφοροποίηση στις συγκεντρώσεις μαγγανίου. Όμως, σε υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης του μετάλλου τα αγρωστώδη συνήθως συσσωρεύουν υψηλότερα επίπεδα μαγγανίου από τα ψυχανθή (Reay and Marsh, 1976; Metson et al., 1979). Από τα αγρωστώδη τα είδη *Dactylis glomerata* L. και *Agrostis spp.* εμφανίζουν υψηλότερες συγκεντρώσεις από τα είδη *Festuca arundinacea* Schreb. και *Bromus spp.*, ενώ τα είδη *Phleum pratense* L. και *Poa spp.* συνήθως έχουν τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις μαγγανίου. Από τα ψυχανθή έχει αναφερθεί ότι το *Trifolium repens* L. έχει υψηλότερες συγκεντρώσεις από τη *Medicago sativa* L., ενώ μερικά είδη του γένους *Lupinus sp.* βρέθηκε να έχουν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις εξαιτίας του βαθέος ριζικού τους συστήματος (Gladstones and Loneragan, 1970). Παράλληλα η Kabata-Pendias (2001) αναφέρει ότι η τιμές του μαγγανίου παρουσιάζουν μεγάλη παραλλακτικότητα μεταξύ των ειδών που αναπτύσσονται σε ίδια εδάφη ακόμα και στις ίδιες οικογένειες όπως στα ψυχανθή στα οποία αναφέρει διακύμανση μεταξύ 30 ppm στο *Medicago truncatula* Gaertn. και 500 ppm στο *Lupinus albus* L..

Ο MacPherson (2000) αναφέρει ότι τα ψυχανθή τείνουν να συσσωρεύουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου απ' ό,τι τα αγρωστώδη, ειδικά, όταν τα εδάφη που

αναπτύσσονται περιέχουν υψηλότερα επίπεδα ψευδαργύρου, τότε η διαφορά αυξάνεται. Ωστόσο, σε παλαιότερες έρευνες που είχαν γίνει τη δεκαετία του '60, οι Underwood and Suttle (1999) αναφέρουν αντικρουόμενα αποτελέσματα. Επίσης ο Minson (1990) διαπιστώνει ότι μεταξύ τροπικών ειδών υπήρχαν μικρές διαφορές στη συγκέντρωση Zn. Άλλοι ερευνητές, όμως, έχουν βρει μεγάλες διαφορές μεταξύ ειδών που αναπτύσσονται στην ίδια περιοχή παρόλο που η σειρά κατάταξης των ειδών μπορεί να μην συμφωνούν με άλλες μελέτες (Perdomo et al., 1977). Η Kabata-Pendias (2001) αναφέρει ότι οι συγκεντρώσεις Zn παγκοσμίως στα αγρωστώδη και τα ψυχανθή είναι σχετικά σταθερές, και τα μέσα επίπεδα στα αγρωστώδη κυμαίνονταν 12 - 47 ppm και στα ψυχανθή κυμαίνονταν από 24 έως 45 ppm.

2. 5. 2. 2. Επίδραση του φαινολογικού σταδίου στη μετακίνηση των ανόργανων στοιχείων στα εσωτερικά όργανα του φυτού

Οι Reid and Horvath (1980) σε ανασκόπηση της βιβλιογραφίας των ανόργανων στοιχείων στα λιβαδικά είδη αναφέρουν ότι γενικά υφίσταται μείωση της συγκέντρωσης των μακροστοιχείων, εκτός του μαγνησίου και του ασβεστίου, με την προοδευτική ωρίμανση των φυτών. Ωστόσο, ο Gomide (1969) βρήκε ότι το ασβέστιο επηρεάστηκε ελάχιστα από την προοδευτική ωρίμανση των φυτών, ενώ τα υπόλοιπα ανόργανα στοιχεία έχουν αρνητική συσχέτιση με το φαινολογικό στάδιο του φυτού.

Στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου των φυτών που λαμβάνει χώρα η κυτταροδιαίρεση και επιμήκυνση των κυττάρων, η συγκέντρωση του φωσφόρου αυξάνεται και η κατανομή του στα φύλλα και τους νεαρούς βλαστούς είναι ομοιόμορφη (Underwood and Suttle, 1999). Με την πρόοδο της ωριμότητας των φυτών όμως μειώνεται σημαντικά, ειδικά κατά τις ξηρές περιόδους. Αυτό έχει αποδοθεί στην υψηλή κινητικότητα του στοιχείου αυτού μέσα στο φυτό (Dierenfeld et al., 1995; Underwood and Suttle, 1999; Ndebele et al., 2005). Οι Hejerman et al. (2010) αναφέρουν ότι προχωρημένο στάδιο ωρίμανσης των φυτών μπορεί να οδηγήσει σε υψηλό ποσοστό βλαστών στη συνολική βιομάζα οι οποίοι είναι φτωχοί σε φώσφορο καθώς και σε σημαντική απομάκρυνση του φωσφόρου από τη ξηρή βιομάζα, εξαιτίας της μετακίνησης του από τον υπεργείο βλαστό στις ρίζες.

Οι Underwood and Suttle (1999) υποστηρίζουν ότι οι διαφορές που παρατηρήθηκαν στη συγκέντρωση ασβεστίου της βλάστησης σε πειραματικές επιφάνειες οφείλονταν στη διαφορετική ωριμότητα των φυτών. Ενώ βρήκε ότι τα φύλλα είχαν διπλάσιες ποσότητες ασβεστίου απ'ό,τι οι βλαστοί και ως εκ τούτου, η συγκέντρωση ασβεστίου αυξανόταν, όταν εφαρμοζόταν λίπανση με άζωτο και μειωνόταν σταδιακά με την αύξηση της ωριμότητας. Αντίθετα, υπάρχουν κάποιοι ερευνητές (Ashraf et al., 2005; Khan et al., 2005; Shammat et al., 2009) που αναφέρουν ότι η συγκέντρωση ασβεστίου αυξανόταν με την προοδευτική αύξηση της ωριμότητας και ιδιαίτερα στο στάδιο της ανθοφορίας που εμφάνιζε τη μέγιστη τιμή κατά τη δημιουργία του γυρεοσωλήνα (Καράταγλής, 1995). Επίσης ο Sousa (1978) αναφέρει ότι η έλλειψη κινητικότητας του ασβεστίου μέσα στους ιστούς του φυτού έχει ως αποτέλεσμα να ενσωματώνεται στους παλιούς ιστούς και βλαστούς, όσο τα φυτά ωριμάζουν, έτσι τα νέα φυτά έχουν μικρότερη συγκέντρωση ασβεστίου.

Σύμφωνα με τον McDowell (2003), το στάδιο ωριμότητας είναι ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει τη συγκέντρωση καλίου στα φυτά. Η λιβαδική βλάστηση στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης μπορεί να περιέχει 1-5% κάλιο και είναι από τις πλουσιότερες πηγές καλίου για τα βόσκοντα ζώα. Το κάλιο εμφανίζει σημαντική κινητικότητα μέσα στους ιστούς του φυτού και είναι μετακινούμενο από τους παλιούς στους γρήγορα αναπτυσσόμενους ιστούς (Gomide et al., 1969; Grings et al., 1996). Ο Robinson (1985) αναφέρει ότι στο *Lolium perenne* L. οι συγκεντρώσεις καλίου ήταν υψηλότερες κατά τη διάρκεια της περιόδου της άνοιξης σε σχέση με την καλοκαιρινή περίοδο. Οι απώλειες του

καλίου που παρατηρούνται κατά την αύξηση της ωριμότητας αποδίδονται στη μετακίνησή του προς το ριζικό σύστημα (Blue and Tergas, 1969). Η μείωση της συγκέντρωσης καλίου με την ηλικία του φυτού φαίνεται να είναι λιγότερο έντονη στην τροπική βλάστηση σε σχέση με τη βλάστηση εύκρατων περιοχών, ενώ η μείωση θα επηρεαστεί κυρίως από το επίπεδο N και τη διαθεσιμότητα του καλίου στο έδαφος (Cherney et al., 1998).

Σύμφωνα με τους Wilkinson et al. (1990) το μαγνήσιο συνδέεται με τη χλωροφύλλη και είναι δομικό στοιχείο των ριβοσωμάτων τα οποία εμπεριέχονται στους νεαρούς ιστούς και ιδιαίτερα στα φύλλα του φυτού. Οι Montalvo et al. (1987), όμως, βρήκαν ότι οι βλαστοί του *Pennisetum purpureum* Schumach. περιείχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου από,τι τα φύλλα στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης. Ο Minson (1990) παρατήρησε ότι οι εποχιακές διακυμάνσεις δεν επηρεάζουν σημαντικά τη συγκέντρωση μαγνησίου στη βλάστηση, αν και οι Underwood and Suttle (1999) αναφέρουν σε μελέτες που έγιναν αρκετά παλαιότερα σε λιβάδια στην Αγγλία ότι στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου οι τιμές του μαγνησίου ήταν χαμηλές. Οι ίδιες έρευνες έδειξαν ότι τα επίπεδα του μαγνησίου μειώνονταν με την αύξηση της ωριμότητας, αλλά η μείωση αυτή ήταν περισσότερο ήπια από,τι στα άλλα μακροστοιχεία.

Οι Underwood and Suttle (1999) αναφέρουν ότι σε πολλές περιπτώσεις η συγκέντρωση του νατρίου μειώνεται με την αύξηση της ωριμότητας των αγρωστωδών, ενώ στα ψυχανθή η μείωση αυτή είναι πολύ μικρότερη. Οι Morris et al. (1980) σε λιβάδια της Καλιφόρνιας αναφέρουν ακόμα και πενταπλάσιες συγκεντρώσεις νατρίου κατά την έναρξη της βλαστικής περιόδου την άνοιξη σε σχέση με το φθινόπωρο. Αντίθετα, άλλοι ερευνητές έχουν διαπιστώσει αύξηση των επιπέδων του νατρίου με την προοδευτική αύξηση της ωριμότητας της βλάστησης (Perez Corona et al., 1998; Ashraf et al., 2005; Khan et al., 2005).

Σύμφωνα με τη Kabata-Pendias (2001) ο χαλκός έχει χαμηλή κινητικότητα σε σχέση με τα άλλα ανόργανα μέσα στους ιστούς του φυτού και περισσότερο εμφανίζεται να παραμένει στις ρίζες και στα φύλλα μέχρι να ξεραθούν, ενώ μόνο μικρές ποσότητες μπορεί να κινηθούν στα νέα όργανα του φυτού. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του χαλκού στους βλαστούς παρατηρούνται στη φάση της έντονης ανάπτυξης του φυτού και όταν υπάρχει ικανοποιητική απορρόφηση από το έδαφος (Kabata-Pendias, 2001). Αντίστοιχα, ο MacPherson (2000) αναφέρει ότι τα φύλλα των αγρωστωδών, που αναπτύσσονται σε εύκρατες περιοχές είχαν 35% περισσότερο χαλκό από τους βλαστούς, ενώ η διαφορά αυτή μειωνόταν σημαντικά στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης. Ο ίδιος συγγραφέας αναφέρει ότι η μείωση της συγκέντρωσης του χαλκού με την αύξηση της ωριμότητας οφείλεται στη μειωμένη αναλογία φύλλων/βλαστών. Επίσης η ταξιανθία των αγρωστωδών είχε παρόμοια συγκέντρωση με τα φύλλα. Υπάρχει, επομένως, η τάση ο χαλκός να συσσωρεύεται στα αναπαραγωγικά όργανα του φυτού, αλλά αυτό ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των διάφορων ειδών (Kabata-Pendias, 2001). Στα ψυχανθή εύκρατης ζώνης στα φύλλα είχαν παρατηρηθεί υψηλότερα επίπεδα χαλκού από τους βλαστούς, όμως, στα ψυχανθή της τροπικής ζώνης δεν υπήρχαν διαφορές μεταξύ των φύλλων και των βλαστών (Hendricksen and Minson, 1980). Η πτωτική τάση της συγκέντρωσης του χαλκού με την ηλικία των φυτών έχει επιβεβαιωθεί και από άλλους ερευνητές. Συγκεκριμένα, οι MacDonald and Wilson (1980) βρήκαν ότι η συγκέντρωση του χαλκού σε νεαρά φυτά της *Avena sativa* L. ήταν 9,4 ppm και έπεφτε στα 3,2 ppm στο στάδιο γαλακτικής υψής των καρπών. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί και σε διαφορετικά είδη φυτών, όπως ελώδη, αναρριχώμενα και βρύα. Οι Kincaid and Cronrath (1983) αναφέρουν ότι σημαντικό ποσοστό του χαλκού ήταν συνδεδεμένο στα κυτταρικά τοιχώματα στα φύλλα της μηδικής, το οποίο εμποδίζει τη μετακίνηση του στοιχείου. Επομένως οι νέοι ιστοί είναι επιρρεπείς σε ανεπάρκειες του στοιχείου αυτού. Υπάρχει γενικά μια διχογνωμία σχετικά με το αν επηρεάζει το έδαφος περισσότερο ή το είδος του φυτού τη

συγκέντρωση του χαλκού στους φυτικούς ιστούς. Οι Anke et al. (1975) βρήκαν σημαντική διαφοροποίηση στις συγκεντρώσεις του χαλκού στο κόκκινο τριφύλλι που αναπτυσσόταν σε διαφορετικά εδάφη, ενώ, αντίθετα, οι Kähäri and Nissinen (1978) βρήκαν σχετικά ομοιόμορφες συγκεντρώσεις στο *Phleum pratense* L. παρότι προερχόταν από διαφορετικά εδάφη.

Η Kabata-Pendias (2001) αναφέρει ότι ο σίδηρος δε μετακινείται εύκολα μέσα στους φυτικούς ιστούς, έτσι η ανεπάρκεια του εμφανίζεται αρχικά στα νεότερα τμήματα του φυτού και σε παλαιότερες έρευνες έχει βρεθεί ότι τα επίπεδα του σιδήρου ήταν σχετικά χαμηλά στους φυτικούς ιστούς που είχαν έντονη ανάπτυξη (Scheffer et al., 1979). Τόσο η πρόσληψη σιδήρου από το έδαφος όσο και η μετακίνησή του μεταξύ των φυτικών οργάνων επηρεάζονται ιδιαίτερα από διάφορα φυτά και περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως το pH του εδάφους, η συγκέντρωση του ασβεστίου και φωσφόρου και το ποσοστό διαφόρων βαρέων μετάλλων. Σε γενικές γραμμές, ένας υψηλός βαθμός οξειδωσης του Fe και ο ανταγωνισμός των κατιόντων άλλων ιχνοστοιχείων με το Fe^{+2} για τις ίδιες θέσεις δέσμευσης των ενώσεων χηλικής μορφής είναι υπεύθυνα για μια χαμηλή πρόσληψη Fe και για μια διαταραχή της μετακίνησης του Fe στο εσωτερικό των φυτών. Σε συνθήκες έλλειψης Fe, ρίζες ορισμένων φυτών μπορεί να αναπτύξουν διάφορους μηχανισμούς για την αυξημένη διαλυτότητα του σιδήρου (Marschner, 1995). Οι phytosiderophores που απελευθερώνονται από τις ρίζες των αγρωστωδών στη ριζόσφαιρα επηρεάζουν σημαντικά τη διαθεσιμότητα και την πρόσληψη του Fe και πιθανώς άλλων μετάλλων (Reichman and Parker, 2005).

Ο Van Goor (1974) ανέφερε μια πολύ χαμηλή συγκέντρωση Mn στο φλοιό από ό,τι στα φύλλα των φυτών και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι μικρή μετακίνηση του μαγγανίου γίνεται μέσω του φλοιού και σ' αυτό οφείλεται η χαμηλή συγκέντρωσή του στους καρπούς. Ο ίδιος συγγραφέας υποστηρίζει ότι το Mn συνήθως μετακινείται στους μεριστωματικούς ιστούς, και παρατήρησε ότι ως επί το πλείστον η συγκέντρωσή του αυξάνεται στους νέους αυξανόμενους ιστούς. Ωστόσο, οι Heenan and Campbell (1980) αναφέραν ότι, όταν υπήρχαν υψηλές συγκεντρώσεις μαγγανίου στο έδαφος, τα φύλλα συσσωρεύουν υψηλότερες συγκεντρώσεις με την αύξηση της ηλικίας, αλλά μόνο μικρές ποσότητες μετατοπίζονταν από τα ώριμα φύλλα στα νεαρά, όταν υπήρχε ανεπάρκεια του στοιχείου στο έδαφος. Έτσι, το Mn φάνηκε να έχει χαμηλή κινητικότητα, όταν η πρόσληψη από το έδαφος ήταν περιορισμένη. Η συγκέντρωση του Mn παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις στα διάφορα όργανα του φυτού αλλά και εντός της βλαστικής περιόδου. Ο MacPherson (2000) από παλαιότερες έρευνες που είχαν γίνει παρουσίασε αντικρουόμενα αποτελέσματα σχετικά με τις συγκεντρώσεις του Mn στα φύλλα και στους βλαστούς. Συγκεκριμένα σε έξι είδη ετήσιων φυτών τα φύλλα είχαν υψηλότερα επίπεδα από τους βλαστούς αλλά σε πολυετή αγρωστώδη είδη παρατηρήθηκαν τα ανάποδα αποτελέσματα. Οι Scheffer et al. (1979) ανέφεραν σχετικά χαμηλό επίπεδο Mn στο κριθάρι κατά τη διάρκεια της έντονης ανάπτυξης του και ότι περισσότερο συσσωρευόταν στα ώριμα φύλλα και στους βλαστούς. Παράλληλα ο Sousa (1978) αναφέρει υψηλότερη συγκέντρωση μαγγανίου στη βλάστηση κατά την καλοκαιρινή περίοδο και το απέδωσε στο μικρό βαθμό μετακίνησης του στοιχείου και στη συσσώρευσή του στα ώριμα όργανα των φυτών. Αντίθετα, ο Minson (1990) παρατήρησε ότι η ωριμότητα της βλάστησης είχε μικρή επίδραση στη συγκέντρωση του μαγγανίου. Παράλληλα, και άλλοι ερευνητές βρήκαν ότι το στάδιο ωρίμανσης είχε μικρές αυξομειώσεις στη συγκέντρωση του μαγγανίου σε ψυχανθή είδη (MacPherson, 2000). Επομένως θα πρέπει να τονιστεί, ότι η συγκέντρωση του μαγγανίου στα φυτά δεν είναι μόνο αποτέλεσμα των φυτικών χαρακτηριστικών, αλλά εξαρτάται από τα αποθέματα του εδάφους στο στοιχείο αυτό και από τη διαθεσιμότητά του στα φυτά. Γενικότερα, έχει παρατηρηθεί μεγάλη συσσώρευση μαγγανίου σε φυτά που αναπτύσσονται σε όξινα και πλημμυρισμένα εδάφη (Mengel and Kirkby, 1978).

H Kabata-Pendias (2001) αναφέρει ότι ο ψευδάργυρος έχει μεγάλη κινητικότητα μέσα στους ιστούς των φυτών, καθώς βρίσκεται συνδεδεμένος με άλλα οργανικά συστατικά στο φλοιό αλλά και σε άλλους ιστούς του φυτού, ενώ, όταν η πρόσληψη ψευδαργύρου από το έδαφος είναι υψηλή, μπορεί να μετακινείται απ' τις ρίζες και να συσσωρεύεται στα ανώτερα μέρη του φυτού. Ο Tinker (1981) ανέφερε ότι το ποσοστό του ψευδαργύρου που είναι δεσμευμένο σε σύμπλοκα αποτελεί περισσότερο από το ήμισυ του συνολικού μετάλλου που υπάρχει στο φυτό. Ο MacPherson (2000) σε ανασκόπηση της βιβλιογραφίας αναφέρει ότι τα φύλλα των αγρωστωδών έχουν υψηλότερα επίπεδα ψευδαργύρου απ' ό,τι οι βλαστοί, ενώ οι ταξιανθίες είχαν την υψηλότερη συγκέντρωση απ' όλα τα τμήματα του φυτού. Ωστόσο, στο λευκό τριφύλλι η συγκέντρωση ψευδαργύρου στην ταξιανθία δεν διέφερε σημαντικά με αυτή των φύλλων και των μίσχων μαζί. Επομένως, παρόλο που θα αναμενόταν ότι με την αύξηση της ωριμότητας τα επίπεδα ψευδαργύρου θα μειώνονταν εξαιτίας της αύξησης του ποσοστού των βλαστών (McDowell, 2003), εντούτοις, το αποτέλεσμα αυτό δεν ήταν πάντα επιβεβαιωμένο. Οι Scheffer et al. (1979) ανέφεραν υψηλότερη συγκέντρωση ψευδαργύρου των φύλλων και των μεσογονάτιων διαστημάτων του κριθαριού κατά τη διάρκεια της έντονης ανάπτυξης, το οποίο κατέδειξε μια μεγάλη διακύμανση του επιπέδου του ψευδαργύρου εντός του φυτού κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Αντίστοιχα, οι Gladstones et al. (1970) σε διαφορετικές λιβαδικές περιοχές, βρήκαν ότι η συγκέντρωση ψευδαργύρου μειωνόταν με την αύξηση της ωρίμανσης της λιβαδικής βλάστησης μέχρι και 50%, ενώ δεν επηρεαζόταν από την εφαρμογή λίπανσης ψευδαργύρου στο έδαφος. Οι Fleming and Murphy (1968) σε πείραμα με μίξη αγρωστωδών αναφέρουν υψηλή συγκέντρωση ψευδαργύρου στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου με σταδιακή μείωση στη συνέχεια, αλλά την επόμενη χρονιά παρατήρησαν ότι τα επίπεδα ψευδαργύρου δεν μεταβάλλονταν καθόλη την περίοδο του πειράματος. Αντίθετα, οι Ylärinta et al. (1979) ανέφεραν ότι η διακύμανση της συγκέντρωσης ψευδαργύρου στο σιτάρι είναι εκπληκτικά μικρή, ενώ είχε παρατηρηθεί μικρή αύξηση της συγκέντρωσης κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης. Στο συμπέρασμα αυτό κατέληξαν και άλλοι ερευνητές (Gomide et al., 1969; Hendricksen and Minson, 1980), καθώς δεν βρήκαν διαφορές ανάλογα με το στάδιο ωρίμανσης ακόμα και σε διαφορετικά είδη φυτών. Έχει παρατηρηθεί ότι, όταν η πρόσληψη ψευδαργύρου από το έδαφος είναι υψηλή, σε πολλά είδη φυτών γίνεται κινητοποίηση σημαντικών ποσοτήτων ψευδαργύρου από τα ώριμα φύλλα σε νεότερους αναπτυσσόμενους ιστούς, αλλά, όταν η πρόσληψη ψευδαργύρου από το έδαφος είναι ανεπαρκής, τότε στα ίδια είδη φυτών παρουσιάζεται ελάχιστη ή μηδενική κινητοποίηση του μετάλλου από τα ώριμα φύλλα (Kabata-Pendias, 2001). Ίσως το επίπεδο πρόσληψης ψευδαργύρου από τα φυτά να εξηγεί το γεγονός ότι μερικοί συγγραφείς έχουν διαπιστώσει μια μέτρια κινητικότητα του ψευδαργύρου μέσα στο φυτό.

2. 6. Τα ανόργανα στοιχεία στη διατροφή των ζώων

Στα ζώα τα ανόργανα στοιχεία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη τους, την αναπαραγωγή, την καλή και την ορθή λειτουργία του ζωικού σώματος (McDowell, 2003). Ο φυσιολογικός ρόλος των ανόργανων στοιχείων είναι εξαιρετικά σημαντικός, καθώς μερικά από αυτά, όπως τα μακροστοιχεία, συμμετέχουν στις λειτουργίες των ενζύμων και των ορμονών, συμβάλλουν στη μεταβίβαση των ερεθισμάτων μέσω του νευρικού συστήματος, εξασφαλίζουν την αποταμίευση της ενέργειας και, τέλος, ασκούν ρυθμιστική δράση στην ωσμωτική πίεση, στο pH και στην κολλοειδή κατάσταση στον οργανισμό (Λιαμάδης, 2003). Το Ca, ο P και το Mg, όπως και άλλοι ανόργανοι ηλεκτρολύτες (Na, K, Cl), απαντούν στα σωματικά κύτταρα και τα υγρά σε πυκνότητες τέτοιες, ώστε να είναι αποφασιστικής σημασίας για τη διατήρηση ζωτικών λειτουργικών ιδιοτήτων. Έτσι εξηγείται γιατί η πτώση του επιπέδου του Ca και του Mg στο αίμα κάτω από ορισμένα επίπεδα συνοδεύεται από σοβαρές διαταραχές στη νευρομυϊκή λειτουργία (Underwood and Suttle, 1999; Λιαμάδης, 2003). Η πρόσληψη της τροφής μειώνεται, όταν η διατροφή των ζώων είναι ελλειμματική σε

ανόργανα στοιχεία. Ο Ternouth (1991) αναφέρει ότι τα βόσκοντα ζώα μειώνουν την πρόσληψη τροφής, όταν η διατροφή τους είναι ελλιπής σε φωσφόρο. Η επίδραση αυτή στην πρόσληψη της τροφής εξαρτάται από το ποσοστό ανεπάρκειας του στοιχείου και επιδεινώνεται, επειδή τα ζώα δεν καλύπτουν πλέον τις απαιτήσεις τους σε ενέργεια και πρωτεΐνη. Όταν η συγκέντρωση σε ανόργανα στοιχεία αυξάνεται ή η ισορροπία ανιόντων-κατιόντων (π.χ. Na+K-Cl) βελτιώνεται, τότε η πρόσληψη της τροφής αυξάνεται γραμμικά, αλλά κατόπιν μειώνεται, καθώς η συγκέντρωση των ανόργανων συνεχίζει να αυξάνεται ή αλλάζει η ισορροπία των ηλεκτρολυτών (Ross et al., 1994).

Τα μηρυκαστικά που βόσκουν στα λιβάδια στηρίζονται κατά κύριο λόγο στη βόσκηση για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες τους σε ανόργανα στοιχεία. Η διαθεσιμότητα των ανόργανων στοιχείων στη βοσκήσιμη ύλη είναι επομένως σπουδαίας σημασίας για τη διατροφή των μηρυκαστικών ζώων. Ωστόσο, η λιβαδική παραγωγή δεν μπορεί να ικανοποιήσει πλήρως τις ανάγκες τους καθόλη τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου των φυτών ή μπορεί να καλύψει τις ανάγκες σε συγκεκριμένες φάσεις του βιολογικού τους κύκλου. Οι Corah and Dargatz (1996) αναφέρουν σε φυσικά λιβάδια στις Η.Π.Α. ότι η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Mg κάλυπτε τις ανάγκες των αγελάδων κατά τη διάρκεια της κύησης όχι, όμως, και της γαλακτοπαραγωγής. Ο McDowell (2003) αναφέρει ότι οι ανάγκες των ζώων κατά το στάδιο της γαλακτοπαραγωγής σε ανόργανα στοιχεία σπάνια καλύπτονται από τη λιβαδική βλάστηση και είναι αναγκαία η χρησιμοποίηση συμπληρωμάτων για να διατηρηθεί η παραγωγικότητα σε υψηλά επίπεδα.

Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ανόργανων στοιχείων επιδρούν σημαντικά στην ικανότητα της βλάστησης να καλύψει τις απαιτήσεις των μηρυκαστικών ιδιαίτερα σε ιχνοστοιχεία, ενώ ακόμα και μια μικρή αλλαγή στη συγκέντρωση ενός στοιχείου μπορεί να σημαίνει μια ταλάντευση από την ανεπάρκεια ενός στοιχείου στην υπερβολή της προσφοράς ενός άλλου. Η διαθεσιμότητα του χαλκού στη διατροφή των ζώων επηρεάζεται από τις αλληλεπιδράσεις του με το μολυβδαίνιο (Mo), το θείο (S), και το σίδηρο (Fe). Ο Suttle (1981) βρήκε ότι η χλωρή βλάστηση αγρωστωδών έχει χαμηλότερη βιοδιαθεσιμότητα χαλκού από την ενσιρωμένη και την ξηρή βλάστηση, ενώ τα είδη της οικογένειας Brassicaceae έχουν υψηλότερη διαθεσιμότητα του στοιχείου αυτού. Η υψηλή συγκέντρωση σε σίδηρο της βλάστησης την άνοιξη είχε κατηγορηθεί από τους Jarvis and Austin (1983) για την ανεπάρκεια χαλκού στα βοοειδή, αλλά παρόλο που μεμονωμένα ζώα παρουσίασαν κάποια κλινικά σημάδια, δεν καταγράφηκε σημαντική συνολική καθυστέρηση της ανάπτυξης. Συγκεντρώσεις σιδήρου μεγαλύτερες από 300 ppm έχουν αναφερθεί ότι έχουν επιβλαβή επίδραση στη διαθεσιμότητα Cu. Οι McFarlane et al. (1991) κατέγραψαν ανεπάρκεια Cu στη βόσκηση βοοειδών σε εδάφη με υψηλή συγκέντρωση σε σίδηρο. Η απορρόφηση του μαγγανίου από το ζωικό οργανισμό φαίνεται να είναι μικρή και επηρεάζεται αρνητικά από υψηλές συγκεντρώσεις Ca, P και Fe. Η περίσσεια φωσφόρου φαίνεται να είναι μεγαλύτερος αναστολέας απ'ότι το ασβέστιο και φαίνεται να επιδρά στο έντερο (Wedekind and Baker, 1990). Ο Bremner (1970) ανέφερε ότι μόνο 10% του μαγγανίου στη μεγάλη κοιλία των προβάτων ήταν σε διαλυτή μορφή, σε σύγκριση με περίπου 50% του διατροφικού μαγγανίου που ήταν υδατοδιαλυτό. Επίσης, άλλοι ερευνητές έχουν δείξει ότι στα ενήλικα βοοειδή από το μαγγάνιο που προσλαμβάνεται, δεν απορροφάται περισσότερο από το 1% (Henry, 1995).

Παγκοσμίως, η πιο συνηθισμένη ανεπάρκεια ανόργανου στοιχείου στα ζώα είναι αυτή του φωσφόρου (Underwood, 1981; Hale and Olson, 2001). Το μεγαλύτερο αρνητικό οικονομικό αποτέλεσμα της ανεπάρκειας φωσφόρου είναι η αναπαραγωγική δυσλειτουργία σε βοοειδή. Συγκεκριμένα έχει αναφερθεί σε τροπικές περιοχές που η βλάστηση είναι ανεπαρκής σε φώσφορο ότι οι αγελάδες γαλακτοπαραγωγής δεν εισέρχονται στο στάδιο οίστρου μέχρις ότου τα επίπεδα του P του σώματος αποκατασταθούν, είτε με τη διακοπή της

παραγωγής γάλακτος ή με τη χορήγηση συμπληρωμάτων φωσφόρου (Ganskopp and Bohnert, 2003). Η μηδική έχει υψηλή συγκέντρωση ασβεστίου αλλά μερικές μελέτες αναφέρουν ότι μικρό ποσοστό είναι διαθέσιμο εξαιτίας της παρουσίας οξαλικών οξέων (McDowell, 2003). Παράλληλα υψηλή συγκέντρωση οξαλικών έχει αναφερθεί στα τροπικά αγρωστώδη. Σε σύγκριση με το φώσφορο, ανεπάρκεια ασβεστίου παρατηρείται σπάνια κατά τη βόσκηση των ζώων, με εξαίρεση τις αγελάδες γαλακτοπαραγωγής ή ζώων που βόσκουν σε όξινα, αμμώδη ή οργανικά εδάφη σε υγρές περιοχές, όπου η βλάστηση αποτελείται κυρίως από ταχείας ανάπτυξης αγρωστώδη (Underwood, 1981). Ωστόσο, η αποτελεσματικότητα του ασβεστίου, και επομένως η βιοδιαθεσιμότητά του στα μηρυκαστικά, εξαρτάται από την παρουσία επαρκούς επιπέδου φωσφόρου, βιταμίνης D, καλσιτονίνης και παραθυρεοειδούς ορμόνη (PTH). Η Καλσιτονίνη και η PTH μετατρέπουν τη βιταμίνη D στην ενεργή της μορφή (Khan et al., 2006a) που παίζει σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση και χρησιμοποίηση του ασβεστίου και του φωσφόρου. Έχει διαπιστωθεί ότι η σχέση Ca:P στα μηρυκαστικά είναι δυνατόν να αποκλίνει από το άριστο 2:1 μέχρι και 7:1 χωρίς δυσμενείς επιδράσεις αρκεί να προσλαμβάνεται αυξημένη βιταμίνη D (Λιαμάδης, 2003). Αντίστοιχα, ο Ternouth (1990) αναφέρει ότι η σχέση μπορεί να είναι μέχρι και 10:1 χωρίς καμία σοβαρή επίπτωση, εφόσον η πρόσληψη φωσφόρου είναι επαρκής.

Ο McDowell (2003) αναφέρει ότι η βιοδιαθεσιμότητα του μαγνησίου στη λιβαδική βλάστηση κυμαίνεται από 10-25%. Οι Mayland et al. (1976) διαπίστωσαν ότι η βιοδιαθεσιμότητα του μαγνησίου μειωνόταν, όταν η ηλιοφάνεια ήταν χαμηλή ή η βλάστηση αναπτυσσόταν υπό σκιά. Ο McDowell (2003) αναφέρει ότι εφαρμογή λίπανσης με άζωτο ή κάλιο δεν μειώνει μόνο τη συγκέντρωση μαγνησίου στη βλάστηση αλλά και το ποσοστό απορρόφησης του, ενώ, αντίθετα, η απορρόφηση του αυξάνεται με την αύξηση της ωριμότητας της βλάστησης. Αντίστοιχα, οι Perdomo et al. (1977) μελετώντας την πεπτικότητα πέντε μακροστοιχείων στα πρόβατα σε τρία στάδια ανάπτυξης τριών ειδών τροπικής βλάστησης διαπίστωσαν ότι πεπτικότητα και κατακράτηση των ασβεστίου, φωσφόρου και νατρίου μειωνόταν με την αύξηση της ωριμότητας, ενώ, αντίθετα, η διαθεσιμότητα του μαγνησίου αυξανόταν και στα τρία είδη.

Η τετανία από χόρτο βοσκής, που οφείλεται στην έλλειψη μαγνησίου ή στη χαμηλή βιοδιαθεσιμότητα, είναι ένα σοβαρό πρόβλημα των μηρυκαστικών βόσκησης σε πολλά μέρη του κόσμου, εμφανίζεται νωρίς την άνοιξη, όταν τα λιβαδικά φυτά αναπτύσσονται γρήγορα και οι απαιτήσεις των βοοειδών γαλακτοπαραγωγής είναι οι μέγιστες. Η ευαισθησία στην τετανία είναι αυξημένη σε μεγαλύτερης ηλικίας μηρυκαστικά, λόγω της μειωμένης ικανότητας με την αύξηση της ηλικίας να κινητοποιούν μαγνήσιο από τα οστά (McDowell and Valle, 2000). Καθοριστικός παράγοντας της θρεπτικής αξίας του χόρτου βοσκής που χορηγείται ή βόσκειται από τις αγελάδες είναι ο δείκτης τετανίας (Grass Tetany, GT). Η τετανία βοσκής στις αγελάδες προκαλείται από την ανισορροπία των στοιχείων K, Ca και Mg στη τροφή. Ο δείκτης τετανίας βοσκής (GTI – Grass tetany Index) καθορίζεται από την ακόλουθη εξίσωση (Kemp and t'Hart, 1957): $GT\ index = K^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$. Ο κίνδυνος τετανίας βοσκής αυξάνεται δραματικά, όταν ο δείκτης υπερβαίνει την τιμή 2,2 ειδικά για τις αγελάδες στην αρχή στην εναρκτήρια φάση της γαλακτοπαραγωγής (Jefferson et al., 2001).

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3. 1. ΥΛΙΚΑ

3. 1. 1. Περιοχή μελέτης

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στα υψαλικά λιβαδικά οικοσυστήματα των ορέων Τζένα (γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 13'$, γεωγραφικό πλάτος : $41^{\circ} 09'$) και Μπέλες (γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 53'$, γεωγραφικό πλάτος : $41^{\circ} 20'$). Το όρος Τζένα βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του Νομού Πέλλας το οποίο αποτελεί το φυσικό όριο της Ελλάδας με της Π.Γ.Δ.Μ. Στη γείτονα χώρα αποκαλείται Kozhuf. Από την πλευρά της Ελλάδας, εμφανίζει ιδιαίτερα έντονο ανάγλυφο, καθώς ανέρχεται απότομα από την πεδιάδα της Αριδαίας. Αντιθέτως, από την πλευρά της Π.Γ.Δ.Μ., το ανάγλυφο, αν και πολυσχιδές, είναι ηπιότερο. Οι κλίσεις στην νότια πλευρά είναι ιδιαίτερα έντονες (60 - 80%), με αποτέλεσμα τη χαμηλή κάλυψη από βλάστηση και την εμφάνιση έντονων χειμαρρικών φαινομένων, όπως φαίνεται από το σύμπλεγμα των



Εικόνα 3.1.1. Οι περιοχές έρευνας στο γεωγραφικό χώρο της Ελλάδας

κώνων απόθεσης των χειμάρρων σε όλη την πεδινή περιοχή. Το υψόμετρο της περιοχής κυμαίνεται από 200 έως 2.171, με ψηλότερες κορυφές την Τζένα (2.068 μέτρα) στο ελληνικό τμήμα και το Zelen Breg (2.171 μέτρα) στην Π.Γ.Δ.Μ. Γεωτεκτονικά, η περιοχή ανήκει στη Ζώνη του Πάικου. Η τοπογραφική διαμόρφωση είναι αποτέλεσμα της γεωδυναμικής της περιοχής, η οποία, πιθανόν, κατά το Ανώτερο Ιουρασικό, να αποτελούσε τμήμα νησιωτικού τόξου με έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Η ανάδυση της οροσειράς ξεκίνησε κατά το τέλος του Ιουρασικού και ολοκληρώθηκε περί το τέλος του Ηώκαινου. Τα κύρια ηφαιστειακά πετρώματα που κυριαρχούν στην υπαλπική ζώνη είναι ο τραχείτης και ο ανδεσίτης. Το κύριο ορυκτό των τραχειτών είναι οι αλκαλιούχοι άστριοι, ενώ των ανδεσιτών είναι τα πλαγιόκλαστα και οι πυρόξενοι (Αλιφραγκής, 2008).

Το όρος Κερκίνη ή Μπέλες αποτελεί κορυφογραμμή η οποία είναι το φυσικό όριο μεταξύ Ελλάδας, Π.Γ.Δ.Μ. και Βουλγαρίας. Η οροσειρά βρίσκεται βορειοανατολικά της λίμνης Δοϊράνης και έχει μήκος περίπου 60 χλμ και πλάτος 7 με 9 χλμ. Το υψηλότερο σημείο της βρίσκεται στην κορυφή Καλαμπάκα, στα 2.029 μέτρα, ενώ το γενικότερο υψόμετρο ποικίλλει μεταξύ των 300 και 1900 μέτρων πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Η κορυφογραμμή ακολουθεί μια γενική κατεύθυνση Α - Δ σαν τείχος προς βορρά, ενώ στην περιοχή κοντά στη λίμνη Δοϊράνη κινείται προς τα Ν - ΝΔ. Στο τμήμα των συνόρων με την Π.Γ.Δ.Μ. που βρίσκεται στο Β - ΒΑ άκρο του Νομού Κιλκίς, το μεγαλύτερο υψόμετρο είναι 1.845 μ. Χαρακτηριστικό γνώρισμα του όρους Κερκίνη είναι το εντονότατο ανάγλυφο εκατέρωθεν των συνόρων. Γεωτεκτονικά, η περιοχή ανήκει στη Σερβομακεδονική μάζα και ειδικότερα στη σειρά του Βερτίσκου (Μουντράκης, 1985). Η σειρά αυτή χαρακτηρίζεται από την παρουσία μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων όπως γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστόλιθων και μαρμάρων. Επίσης, στους ανώτερους ορίζοντες απαντούν πετρώματα που προέρχονται από τη μεταμόρφωση βασικών πυριγενών πετρωμάτων. Εκτός από μεταμορφωμένα πετρώματα, σε μικρή έκταση εμφανίζονται όξινα πυριγενή πετρώματα, καθώς και μετατεκτονικά και βραδυτεκτονικά ιζήματα του Πλειστόκαινου (λιμναίες και χερσαίες αποθέσεις: άργιλοι, πηλοί, άμμος, κροκαλοπαγή, κοκκινοχώματα κ.λπ.). Στο υπαλπικό τμήμα της περιοχής της έρευνας κυριαρχούν οι γνεύσιοι και σε μικρότερο ποσοστό οι αμφιβολιτικοί γνεύσιοι. Η ορυκτολογική τους σύσταση είναι, χαλαζίας, καλιούχοι άστριοι, γρανάτης και όξινα πλαγιόκλαστα.

3. 1. 2. Κλίμα

Οι περιοχές της Τζένα και του Μπέλες, όπως και άλλοι ορεινοί όγκοι στη Β. Ελλάδα, παρουσιάζουν ιδιαίτερα κλιματολογικά χαρακτηριστικά διαφορετικά εκείνων του Ελληνικού Μεσογειακού τύπου κλίματος. Το κλίμα πλησιάζει προς το ηπειρωτικό - μεσευρωπαϊκό τύπο (Παπαναστάσης, 1982) με κύρια χαρακτηριστικά τον ιδιαίτερα ψυχρό και υγρό χειμώνα και το σχετικά ξηρό καλοκαίρι. Ορισμένες, μάλιστα, φορές το χειμώνα παρατηρούνται πάρα πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, γεγονός ιδιαίτερα ασυνήθιστο για τα Ελληνικά δεδομένα. Για τον καθορισμό των κλιματικών συνθηκών, που επιδρούν στο περιβάλλον του λιβαδικών οικοσυστημάτων του όρους Τζένα χρησιμοποιήθηκαν τα κλιματικά στοιχεία του Μετεωρολογικού Σταθμού (Μ.Σ.) Βόρας (υψόμ. 2090μ, 40°56 N και 21°48 E), ενώ για το όρος Μπέλες χρησιμοποιήθηκαν τα κλιματικά στοιχεία του Μετεωρολογικού Σταθμού (Μ.Σ.) Κιλκίς (υψόμ. 290 μ, 41°00 N, 22°30 E). Ενδεχομένως τα στοιχεία του Μ.Σ. Κιλκίς να μην ανταποκρίνονται ακριβώς στις κλιματικές συνθήκες, που υπάρχουν στην περιοχή έρευνας του Μπέλες, αλλά χρησιμοποιούνται αναγκαστικά από έλλειψη άλλων πιο αντιπροσωπευτικών. Τα βασικά κλιματικά δεδομένα του Μ.Σ. Βόρα και Κιλκίς για το χρονικό διάστημα 2007–2012, συνοψίζονται ως εξής:

- Η θερμοκρασία αέρα παρουσιάζει κορύφωση τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο με μέση μηνιαία τιμή 13,5°C και 26°C για τους Μ.Σ. Βόρα και Κιλκίς αντίστοιχα κατά τη διάρκεια

του έτους. Ψυχρότερος μήνας ήταν ο Φεβρουάριος με μέση μηνιαία τιμή $-4,8^{\circ}\text{C}$ για τον Μ.Σ. Βόρα, ενώ για τον Μ.Σ. Κιλκίς ήταν ο Ιανουάριος με μέση μηνιαία τιμή $4,2^{\circ}\text{C}$. Είναι βέβαιο πως οι επιμέρους τιμές των θερμοκρασιών για την περιοχή μελέτης του Μπέλες πρέπει να είναι μικρότερες.

• Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής για την περίοδο 2007-2012 ανέρχεται σε 810,7 mm για τον Μ.Σ. Βόρα και 565,6 mm για τον Μ.Σ. Κιλκίς. Η δε ετήσια πορεία του ύψους βροχής παρουσιάζει πολλαπλή διακύμανση και στους δυο Μ.Σ. με κύριο μέγιστο κατά το μήνα Μάιο με 96 mm και κύριο ελάχιστο κατά το μήνα Αύγουστο με 22,6 mm για το Μ.Σ. Βόρα και αντίστοιχα κύριο μέγιστο το μήνα Ιούνιο 79,5 mm και κύριο ελάχιστο κατά το μήνα Ιούλιο με 17,7 mm για το Μ.Σ. Κιλκίς.

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής του όρους Τζένα είναι μεταβατικό, από μεσογειακό προς ηπειρωτικό. Η εγγύτητα με τη θάλασσα γίνεται αντιληπτή κυρίως στο νότιο τμήμα, ενώ στο βόρειο τμήμα υπερισχύει ο ηπειρωτικός χαρακτήρας. Με βάση, όμως, τα παραπάνω κλιματικά δεδομένα θερμοκρασίας αέρα και βροχόπτωσης του Μ.Σ. Βόρα και σύμφωνα με την κατά Κόρπεν μέθοδο κατάταξη του κλίματος, το υπαλπικό τμήμα της Τζένα μπορεί να υπαχθεί στον τύπο κλίματος Dsc που χαρακτηρίζεται από έντονη χειμερινή περίοδο που επικρατούν ψυχροί βόρειοι άνεμοι, με πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και έντονες χιονοπτώσεις. Το καλοκαίρι οι άνεμοι προκαλούν συχνά βροχοπτώσεις και για το λόγο αυτό, ιδιαίτερα στην ορεινή και υπαλπική περιοχή, η θερινή περίοδος είναι σχετικά δροσερή και μικρής διάρκειας. Το κλίμα αυτό εμφανίζει έντονα τα στοιχεία του ηπειρωτικού κλίματος. Με το συνδυασμό, επίσης, των στοιχείων βροχόπτωσης και θερμοκρασίας αέρα δημιουργήθηκε το βροχοθερμικό διάγραμμα της υπαλπικής περιοχής του Βόρα (Διάγ. 3.1.2.2.), με το οποίο απεικονίζεται το μέγεθος και η διάρκεια της ξηρής περιόδου.

Πίνακας 3.1.2.1. Μέση μηνιαία θερμοκρασία από τους Μ.Σ. Βόρας και Κιλκίς για τη περιοχή της Τζένα και του Μπέλες αντίστοιχα, για το χρονικό διάστημα 2007-2012

Μ.Σ.	ΕΤΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΒΟΡΑΣ	2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2008	-	-3,9	-0,9	2,2	6,6	10,9	12,7	14	8,2	5,6	1,3	-3,6
	2009	-2,7	-6,7	-3,7	1,4	7,6	10,6	13,3	12,2	8,6	4,8	3,6	-1
	2010	-5,2	-3,7	-1,9	1,7	6,9	10,1	12,3	14,6	6	3,9	3,8	-4,9
	2011	-3,2	-2,4	-2,3	0,7	3*	9,9	13,4	13,3	10,7	2,9	1	-2,2
	2012	-7,3	-7,1	-1	2,3	6,2	13	15,7	-	-	-	-	-3,4
	Μ.Ο.	-4,6	-4,8	-2,0	1,7	6,1	10,9	13,5	13,5	8,4	4,3	2,4	-3,0
	Τ.Σ.	2,1	2,0	1,1	0,7	1,8	1,2	1,3	1,0	1,9	1,2	1,5	1,5
ΚΙΛΚΙΣ	2007	6,8	6,3	9	12,7	18,6	24	27,1	25,6	19	14,5	7,8	3,5
	2008	4	6,4	10,2	13,1	17,7	22,9	25	26,6	19	15,4	10	6,6
	2009	4,2	4,3	7,9	12,9	18,8	22,3	25,4	24,7	19,8	14,9	11,1	7,7
	2010	4,3	6,1	8,4	13,3	18,1	21,9	24,6	27	20,2	12,4	13,4	5,8
	2011	4,4	5,2	8,1	11,9	16,7	21,6	25,7	24,9	22,7	12,7	8	5,3
	2012	1,6	3,1	9,4	13,3	17,5	24,3	28,1	26,2	21,3	17,6	11,8	3,8
	Μ.Ο.	4,2	5,2	8,8	12,9	17,9	22,8	26,0	25,8	20,3	14,6	10,4	5,5
	Τ.Σ.	1,6	1,3	0,9	0,5	0,8	1,1	1,3	0,9	1,4	1,9	2,2	1,6

Πίνακας 3.1.2.2. Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής από τους Μ.Σ. Βόρας και Κιλκίς για τη περιοχή της Τζένα και του Μπέλες αντίστοιχα για το χρονικό διάστημα 2007-2012

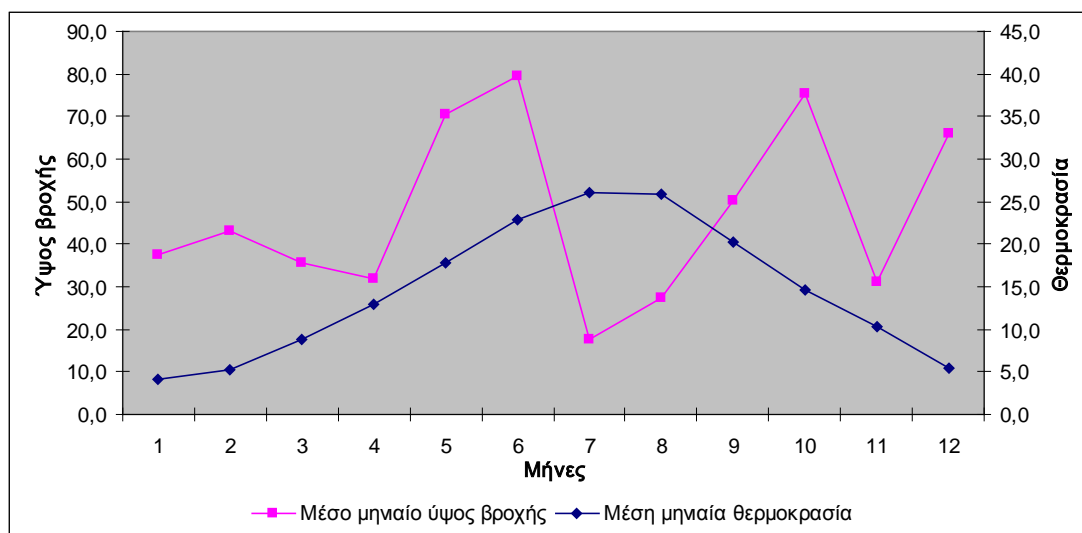
Μ.Σ.	ΕΤΗ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΥ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
ΒΟΡΑΣ	2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2008	-	25	74,2	70,8	56,2	29,5	28,8	2,2	115	37,4	46,8	149,6
	2009	237,4	53,6	82,4	62,8	125,2	91,8	2,4	41	3,2	185	209,2	167
	2010	78,3	110	40,6	87	99,6	94	89	25,2	23,6	38,4	107,4	49,4
	2011	32,2	81,2	65,6	30,2	29,6	16,8	26,4	22	64,8	32,8	4,8	35,4
	2012	17	68,4	35,4	161,4	169,5	4,4	8	-	-	-	-	77,6
	M.O.	91,2	67,6	59,6	82,4	96	47,3	30,9	22,6	51,6	73,4	92	95,8
	T.Σ.	100,9	23,9	22	55,7	58,5	47,8	34,4	10,2	31,4	86,3	102,2	59,1
ΚΙΛΚΙΣ	2007	15	24,8	21,8	10,4	85,4	77,4	0	0,6	-	70,4	34,8	14
	2008	26,6	18,8	14,4	60,4	45,6	82,4	9,6	0	85,4	15,2	17,4	35,4
	2009	91	15,2	44	35,4	20,4	93,8	9,4	66,8	19,2	39,4	38,6	160,6
	2010	30,8	139,5	70,4	28,2	35,2	123,9	77,2	1,8	26,8	246,4	41,6	45,6
	2011	22,1	32	33,2	18,8	101,6	89,8	9,8	69,2	50,2	42,4	19,4	56,6
	2012	38,8	29,2	30	38,6	134,5	9,6	0	26,2	69	37,4	35,2	83,2
	M.O.	37,4	43,2	35,6	32	70,4	79,5	17,7	27,4	50,1	75,2	31,2	65,9
	T.Σ.	27,5	47,6	19,79	17,4	44	37,9	29,5	32,9	27,8	85,7	10,2	51,7

M.O. =Μέσος όρος, T.Σ.= Τυπικό σφάλμα

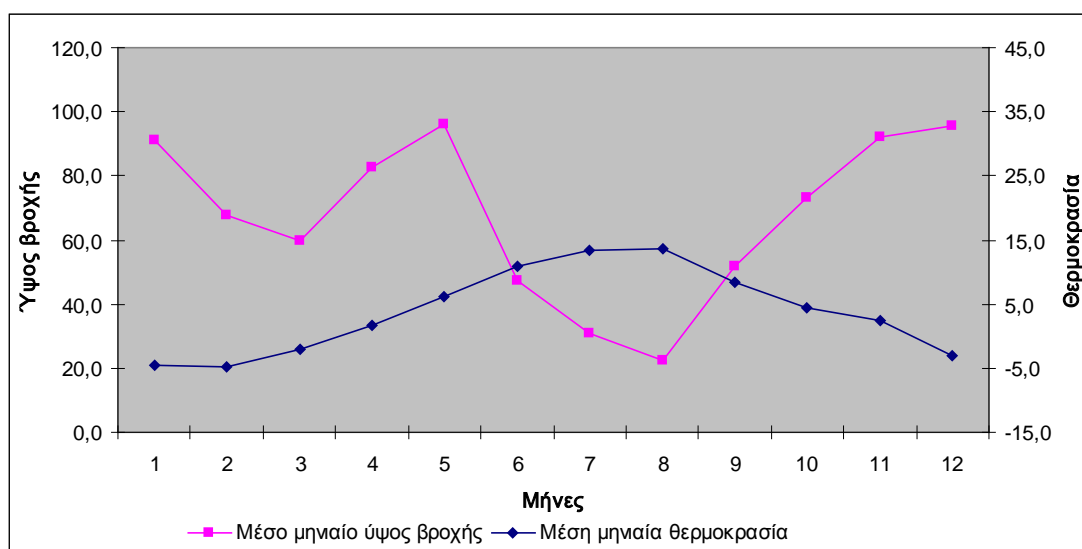
Πηγή: Αστεροσκοπείο Αθηνών

* Οι αριθμοί με κόκκινο χρώμα αντικατοπτρίζουν την περίοδο έρευνας

Αντίστοιχα τα κλιματικά δεδομένα θερμοκρασίας αέρα και βροχόπτωσης του Μ.Σ. Κιλκίς (Διάγ. 3.1.2.1.), κατατάσσουν το κλίμα της ευρύτερης περιοχής στον τύπο κλίματος Csa το οποίο εμφανίζει ήπιο χειμώνα με μεγάλες διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων μεταξύ των εποχών του έτους με ξηρό και ζεστό καλοκαίρι. Ο Φωτιάδης (2004) μετά από επεξεργασία των στοιχείων από τους μετεωρολογικούς σταθμούς του Μελανθίου, Σερρών, Μεταξόχωριου, Άνω Θεοδωρακίου και Λαχανά συμπεραίνει ότι η ευρύτερη περιοχή ανήκει στον κλιματικό τύπο Cfa-Csa. Αυτός ο τύπος κλίματος δεν είναι αντιπροσωπευτικός της περιοχής έρευνας του υπαλπικού τμήματος του όρους Μπέλες, καθώς λόγω της διαφοράς υψομέτρου θα έχει επίδραση στη θερμοκρασία. Συγκεκριμένα η θερμοκρασία του αέρα ελαττώνεται σε συνάρτηση με το υψόμετρο κατά μέσο όρο 0,6°C ανά 100μ. Η ελάττωση αυτή είναι ταχύτερη στις νότιες εκθέσεις, οι οποίες κυριαρχούν στην περιοχή έρευνας υπαλπικού τμήματος όρους Μπέλες και βραδύτερη κατά το χειμώνα σε σύγκριση με το καλοκαίρι.



Διάγραμμα 3.1.2.1. Ομβροθερμικό διάγραμμα Μ.Σ. Κιλκίς για τη περίοδο 2007-2012
(Πηγή: Αστεροσκοπείο Αθηνών)



Διάγραμμα 3.1.2.2. Ομβροθερμικό διάγραμμα Μ.Σ. Βόρας για τη περίοδο 2007-2012
(Πηγή: Αστεροσκοπείο Αθηνών)

3. 1. 3. Χλωρίδα και βλάστηση

Είναι γνωστό ότι η βλάστηση είναι αποτέλεσμα της επίδρασης της χλωρίδας, του κλίματος, της τοπογραφίας, της γεωλογίας και ειδικότερα του μητρικού πετρώματος, του εδάφους και βιοτικών παραγόντων, κυρίως της βόσκησης και ανθρωπογενών επεμβάσεων. Τα διάφορα χλωριδικά στοιχεία συγκροτούν, μεμονωμένα ή κατά ομάδες, φυτοκοινωνίες που χαρακτηρίζουν τη βλάστηση μιας περιοχής. Η βλάστηση διακρίνεται σε διαπλάσεις που διαφέρουν μεταξύ τους χλωριδικά, φυσιογνωμικά και οικολογικά.

Η βλάστηση που απαντάται στις περιοχές έρευνας των υπαλπικών ορέων Τζένα και Μπέλες ανήκουν στην Αλπική ζώνη *Astragalo-Acantholimonetalia* και ειδικότερα στην υποζώνη *Junipero-Daphnion* η οποία εμφανίζεται στα πυριτικά πετρώματα των ορέων της βόρειας Ελλάδας (Σαρλής, 1998; Horvat et al., 1974). Η ζώνη αυτή εμφανίζεται πάνω από το δασικό

όριο και περιλαμβάνει χαμηλούς θάμνους νανοειδούς, έρπουσας μορφής και ποώδη βλάστηση, που σε πολλές περιπτώσεις έχει υποβαθμιστεί λόγω υπερβόσκησης. Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην υπαλπική ζώνη με χαρακτηριστικό τους ισχυρούς ανέμους και τις χαμηλές θερμοκρασίες αναγκάζοντας τις φυτοκοινωνίες αυτές να συμπεριφέρονται ξηροφυτικά. Επομένως, υφίσταται μια κυριαρχία των καλούμενων ορεοφύτων κυρίως των ημικρυπτοφύτων και γεωφύτων, τα οποία εντάσσονται σε ενώσεις των τάξεων *Daphno-Festucetalia* Quezel 64, *Trifolietalia* *parnassi* Quezel 64 καθώς και *Arrhenatheretalia* *Pawlowski* 26 (Σαρλής, 1998).

Το μεγαλύτερο τμήμα της υπαλπικής ζώνης του όρους Μπέλες καλύπτεται από το *Juniperus communis* *sp. nana*. Η κοινότητα που σχηματίζει το *Juniperus communis* *sp. nana* φυσιογνωμικά διακρίνεται από την εμφάνιση του είδους σε πυκνούς θαμνοειδείς σχηματισμούς μικρού ύψους. Η κοινότητα αυτή εμφανίζεται σε πετρώματα γνευσίων και κυριαρχούν χαρακτηριστικά είδη της κλάσης *Festuco-Brometea*. Η *Juncus effusus*-*Cardamine acris* κοινότητα εμφανίζεται στο όρος Μπέλες σε μορφή κηλίδων κατά μήκος ρεματιών-ρυακίων ή σε περιοχές που κατακλύζονται από νερό την άνοιξη και το φθινόπωρο. Επειδή τα περισσότερα είδη της κοινότητας είναι χαρακτηριστικά της *Molinio-Arrhenatheretea*, η κοινότητα αυτή εντάσσεται στην ανωτέρω κλάση (Φωτιάδης, 2004).

Στην υπαλπική περιοχή του όρους Τζένα υφίστανται δύο κοινότητες βλάστησης:

α) Θαμνώνες και ερεικώνες υπαλπικής - ψευδαλπικής ζώνης

β) Χορτολίβαδα υπαλπικής - ψευδαλπικής ζώνης

Στους θαμνώνες και ερεικώνες περιλαμβάνονται οι χαμηλοί, συνήθως πυκνοί, θαμνώνες της εξωδασικής ζώνης στους οποίους κυριαρχούν τα θαμνώδη είδη: *Juniperus nana* (Siebold ex Endl.) Miquel, *Vaccinium myrtillus* L., *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., *Bruckenthalia spiculifolia* (Salisb.) Rchb. Από τα ποώδη είδη απαντούν συχνά τα: *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin., *Luzula luzuloides* Lam., *Campanula rotundifolia* L., *Galium breviramosum* Krendl κ.ά. Στα ποολίβαδα περιλαμβάνεται μεγάλης ποικιλίας γλωρίδα, που αναπτύσσεται σε αλκαλικούς τυρφώνες έως και χέρσα υπαλπικά εδάφη. Επικρατέστερα είδη των υγρότερων θέσεων είναι τα *Eriophorum latifolium* Hoppe, *Blysmus compressus* (L.) Panz. ex Link., *Carex ferruginea* Scop., *Trifolium badium* Schreb., *Dactylorhiza cordigera* (Fr.) Soó κ.ά., ενώ των ξηρότερων θέσεων τα *Festuca koritnicensis* Hayek & Vetter, *Plantago atrata* HOPPE, *Carex caryophyllea* LATOURR, *Gentiana verna* L., *Luzula campestris* (L.)DC. κ.ά. Η υπαλπική ζώνη του όρους Τζένα καλύπτει περίπου 1285 Ha ή το 25,83% της συνολικής ορεογραφικής έκτασης. Τα ποολίβαδα της υπαλπικής ζώνης καλύπτουν περίπου 405 Ha ή το 36% της υπαλπικής ζώνης και το 9,31% της συνολικής έκτασης, ενώ οι θαμνώνες και ερεικώνες καλύπτουν 880 Ha ή το 64% της υπαλπικής ζώνης και το 16,52% της συνολικής έκτασης (Χασάπης κ.α., 2013).

3. 2. ΜΕΘΟΔΟΙ

3. 2. 1. Συλλογή φυτών – ταξινόμηση

Για τον προσδιορισμό και την ταξινόμηση της χλωρίδας της υπαλπικής περιοχής των ορέων Τζένα και Μπέλες, πραγματοποιήθηκε συλλογή φυτικών δειγμάτων με τη βοήθεια εκριζωτήρα. Τα χλωριδικά δεδομένα προσδιορίστηκαν σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια από την αρχή μέχρι το στάδιο της ανθοφορίας της αυξητικής περιόδου για τον προσδιορισμό της χλωριδικής σύνθεσης. Αντίστοιχα, προσδιορίστηκε το ποσοστό κάλυψης των ειδών για την κάθε λειτουργική ομάδα σύμφωνα με τη μέθοδο Braun-Blanquet (1964). Τα φυτά που συλλέγονταν, τοποθετούνταν κάθε ένα σε λευκό πορώδες χαρτί για τη μετέπειτα ξήρανσή τους. Για κάθε φυτό σημειωνόταν η ημερομηνία, το υψόμετρο και η κλίση του εδάφους. Τα συλλεχθέντα δείγματα φυλάσσονταν σε ξηρό μέρος μέχρι πλήρους αποξήρανσής τους. Ο προσδιορισμός των φυτικών δειγμάτων έγινε κυρίως με τη βοήθεια των συγγραμμάτων *Mountain Flora of Greece* (Strid, 1986; Strid and Tan, 1991), *Flora Hellenica* (Strid and Tan, 1997), *Flora Europaea* (Tutin et al., 1964-1980).

3. 2. 2. Δειγματοληψίας λιβαδικής παραγωγής

Η δειγματοληψία υπαίθρου πραγματοποιήθηκε τα έτη 2011 και 2012 από το Μάιο μέχρι και το Σεπτέμβριο. Το Νοέμβριο του 2010 επιλέχθηκαν 12 δειγματοληπτικές επιφάνειες σε ένα τμήμα της υπαλπικής ζώνης για κάθε όρος. Οι επιφάνειες περιφράχθηκαν από μεταλλικό πλέγμα διαστάσεων 4X4μ και ύψους 1,5 μ από την επιφάνεια του εδάφους, ώστε να αποτραπεί η βόσκηση. Οι δειγματοληπτικές επιφάνειες τοποθετήθηκαν σε αντιπροσωπευτικά σημεία των λιβαδιών δημιουργώντας 4 τριάδες, ξεκινώντας για κάθε τριάδα από το μεγαλύτερο υψόμετρο προς το χαμηλότερο σημείο της κλιτύς το οποίο κατέληγε. Οι υψομετρικές θέσεις αλλά και οι οριζόντιες αποστάσεις κατά μήκος των ισοϋψών για κάθε τριάδα επιφανειών δεν ήταν σταθερές, καθώς καθορίζονταν ανάλογα με την ομοιομορφία ή όχι της βλάστησης και του εδάφους και των τοπογραφικών χαρακτηριστικών. Επομένως η κατανομή των δειγματοληπτικών επιφανειών για τη μελέτη της χλωρίδας έγινε με τέτοιο τρόπο, ώστε να καλύπτει ένα συνδυασμό τοπογραφικών και χλωριδικών διαφορών που παρουσιάζουν οι υπαλπικές ζώνες των περιοχών έρευνας. Οι δειγματοληπτικές επιφάνειες του όρους Τζένα είχαν έκθεση βορειοανατολική, ενώ στο όρος Μπέλες είχαν ανατολική-νότια. Το υψομετρικό εύρος στην περιοχή έρευνας της υπαλπικής ζώνης του όρους Τζένα εκτεινόταν μεταξύ 1770-1900 μ., ενώ αντίστοιχα στο όρος Μπέλες ήταν 1680-1790μ. Οι διαφορές υψομέτρου, που παρουσιάζονται μεταξύ των δύο λιβαδικών τόπων των δύο ορέων οφείλονται στις διαφορετικές επεκτάσεις του δασοορίου στο κάθε όρος αλλά και τη διαφορά υψομέτρου των δύο βουνών, ορίζοντας έτσι την εγκατάσταση των δειγματοληπτικών επιφανειών από τις παρυφές του δασοορίου προς τα ανάντι της κλιτύς. Σε κάθε θέση των επιφανειών καταγράφηκαν επίσης η κλίση καθώς και το υψόμετρο, τα οποία θα ελήφθησαν υπόψη κατά το στάδιο της στατιστικής επεξεργασίας. Η λιβαδική παραγωγή μετρήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο της πλήρους συγκομιδής (Odum, 1971; Cook and Stubbendieck, 1986; Σαρλής, 1998). Οι δειγματοληπτικές επιφάνειες (κλωβοί) διαιρέθηκαν σε 5 ίσα τμήματα και κάθε τμήμα σε επί μέρους 10 υποτμήματα. Συνολικά κάθε κλωβός διαιρέθηκε σε 50 ίσα τμήματα. Τη δεύτερη εβδομάδα κάθε μήνα από το Μάιο μέχρι και το Σεπτέμβριο (περίοδος βόσκησης) κατά τα έτη 2011 και 2012, γινόταν δειγματοληψία λιβαδικής παραγωγής από 10 διαφορετικά σημεία εντός κάθε κλωβού προκειμένου να υπάρχει ομοιογένεια. Για τη διευκόλυνση της δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε μεταλλικό πλαίσιο διαστάσεων 0,60cm x 0,54cm. Ωστόσο, το δεύτερο έτος δειγματοληψίας λόγω χιονόπτωσης και αμελητέας λιβαδικής παραγωγής το Μάιο μήνα και στις δύο περιοχές δεν πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία της βλάστησης. Η συλλογή των δειγμάτων λιβαδικής

παραγωγής πραγματοποιήθηκε με αποκοπή της υπέργειας βιομάζας με ψαλίδι, σε ύψος 2 cm από την επιφάνεια του εδάφους. Το δεύτερο χρόνο δειγματοληψίας, το 2012, η λιβαδική παραγωγή χωρίστηκε σε τρεις λειτουργικές ομάδες: αγρωστώδη, ψυχανθή και πλατύφυλλα και ολόκληρη η διαχείριση - εργαστηριακές αναλύσεις ακολουθούσε αυτή τη διαδικασία αντίστοιχα. Τα δείγματα τοποθετούνταν σε χάρτινες σακούλες γνωστού βάρους. Κατόπιν, τα δείγματα από όλες τις θέσεις δειγματοληψίας μεταφέρονταν στο εργαστήριο. Εν συνεχεία γινόταν ο διαχωρισμός της νεκρής από τη ζωντανή υπέργεια βιομάζα. Ακολούθως γινόταν αφαίρεση των περιδόφυτων, τα οποία ήταν ανεπιθύμητα για τα αγροτικά ζώα. Στη συνέχεια η λιβαδική παραγωγή επανατοποθετούνταν στις σακούλες και αυτές ζυγίζονταν με ζυγό ακριβείας. Τα δείγματα τοποθετούνταν στο ξηραντήριο, για αποξήρανση στους 65°C (Deinum and Maassen, 1994), μέχρι σταθερού βάρους. Η ζύγιση επαναλαμβανόταν μετά την ξήρανση για τον υπολογισμό της ξηρής ουσίας. Έπειτα γινόταν άλεση των δειγμάτων σε μύλο με μεταλλική σίτα με οπές διαμέτρου 1,5 mm και αποθήκευση σε πλαστικά δοχεία.

3. 2. 3. Χημικές αναλύσεις

3. 2. 3. 1. Έδαφος

Η συλλογή των δειγμάτων του εδάφους πραγματοποιήθηκε το Νοέμβριο του 2010. Από κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια (πειραματικό κλωβό) έγινε λήψη εδαφικού προφίλ στρώματος εδάφους (0-20 cm). Συνολικά συλλέχτηκαν 12 εδαφικά δείγματα σε κάθε λιβάδι. Η λήψη των εδαφικών προφίλ έγινε με πατόφτυαρο κάθετα προς την επιφάνεια του εδάφους, ώστε να παρθούν αντιπροσωπευτικά δείγματα από βάθος 0-20cm. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε καθαρές σακούλες και μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Δασικής Εδαφολογίας του τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του ΑΠΘ. Σε κάθε εδαφικό προφίλ έγινε διαχωρισμός σε δύο δείγματα, βάθος 0-10 cm και βάθος 10-20 cm και ακολούθησε απομάκρυνση των χαλικιών και των υπολειμμάτων φυτικής ύλης. Κατόπιν, τα δείγματα του εδάφους αεροξηράθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου (25±5 °C) (Dane and Torp, 2002) και εν συνεχεία αλέστηκαν σε ανοξείδωτη χαλύβδινη συσκευή άλεσης με μεταλλική σίτα με οπές 2,0 mm και αποθηκεύτηκαν σε αριθμημένα πλαστικά δοχεία για περαιτέρω ανάλυση. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις ισχύουσες μεθοδολογίες (SSSA, Methods of Soil Analysis, 1996) και προσδιορίστηκαν οι φυσικές και χημικές ιδιότητες που αναφέρονται αμέσως παρακάτω. Η μηχανική (κοκκομετρική) ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του υδρομέτρου (Bouyoucos, 1962). Πριν γίνει ο προσδιορισμός των εδαφικών τεμαχιδίων, απομακρύνθηκε η οργανική ουσία με υπεροξείδιο του υδρογόνου (H₂O₂) και θέρμανση και απομακρύνθηκαν τα ελεύθερα οξείδια σιδήρου με διθειονικό νάτριο (Na₂S₂O₄). Κατόπιν με την παραπάνω μέθοδο υπολογίστηκε το εκατοστιαίο ποσοστό άμμου, ιλύος και αργίλου στο έδαφος (Ryan et al., 2001). Το pH του εδάφους μετρήθηκε σε υδατικό διάλυμα χρησιμοποιώντας αναλογία εδάφους/νερού ίση με 1:1 (Thomas, 1996). Πριν τη μέτρηση του pH, το pHμετρο ρυθμίστηκε με τη βοήθεια δυο διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης pH = 4 και pH =7. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους μετρήθηκε σε εκχύλισμα πάστας κορεσμού με τη χρήση αγωγιμόμετρου (Ryan et al., 2001). Ο προσδιορισμός της οργανικής ουσίας έγινε με τη μέθοδο της υγρής οξείδωσης (Walkley Black, 1934). Για τον προσδιορισμό του συνολικού αζώτου N χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της υγρής οξείδωσης Kjeldahal σύμφωνα με την οποία μετατρέπονται όλες οι μορφές αζώτου πλην νιτρικών σε αμμωνία και στη συνέχεια σε δεύτερο στάδιο γίνεται ο προσδιορισμός της (Bremner, 1959). Ο διαθέσιμος φωσφόρος P προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του Olsen με εκχυλιστικό διάλυμα 0,5 N NaHCO₃ pH=8,5, κατόπιν έγινε αναγωγή με τροποποιημένη μπλε μέθοδο φωσφομολυβδαινικού διαλύματος (Alifragis and Paramichos 1995) και μετρήθηκε φασματομετρικά στα 710 nm. Τα ανταλλάξιμα κατιόντα Ca, Mg, K

προσδιορίστηκαν με εκχύλιση διαλύματος οξικού αμμωνίου $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N (pH 7). Το διάλυμα του εκχυλίσματος κορεσμού μετρήθηκε σπεκτροφωτομετρικά στην ατομική απορρόφηση. Για τον προσδιορισμό των ιχνοστοιχείων εδάφους Cu, Zn, Mn και Fe έγινε εκχύλιση με DTPA και το διήθημα μετρήθηκε σπεκτροφωτομετρικά.

3. 2. 3. 2. Λιβαδική παραγωγή

Ο προσδιορισμός των αζωτούχων ουσιών (ΑΟ), των κλασμάτων των ινωδών ουσιών (NDF, ADF, ADL), της τέφρας και των ανόργανων στοιχείων των δειγμάτων της λιβαδικής παραγωγής πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τις μεθόδους του AOAC (1999). Ειδικότερα ο προσδιορισμός των αζωτούχων ουσιών (ΑΟ) πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο Kjeldahl. Μετά την υγρή καύση του δείγματος παρουσία καταλύτη θειικού χαλκού (CuSO_4), θειικού καλίου (K_2SO_4) και θειικού οξέος (H_2SO_4), μέσα σε φιάλες πέψεως, κάθε φιάλη τοποθετούνταν στη συσκευή απόσταξης, όπου με τη βοήθεια του Η/Υ της συσκευής ακολουθούσε αυτόματη απόσταξη και τιτλοδότηση. Κατά τη διαδικασία αυτή υπολογίστηκε το συνολικό άζωτο (N) του δείγματος. Οι ΑΟ υπολογίστηκαν ως το γινόμενο $\text{N} \times 6,25$. Η παραλαβή της τέφρας, πραγματοποιήθηκε με καύση (αποτέφρωση) γνωστού βάρους ξηρού δείγματος σε φούρνο πυρακτώσεως, στους 600°C για τρεις ώρες. Κατά την παραλαβή της τέφρας έγινε διαλυτοποίηση με πυκνό υδροχλωρικό οξύ (HCl) και ογκομέτρηση σε φιάλες των 50 ml. Το διάλυμα διηθήθηκε σε πλαστικές φιάλες και χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των ανόργανων στοιχείων. Ο προσδιορισμός του συγκέντρωσης της λιβαδικής παραγωγής σε κάλιο (K) και νάτριο (Na), έγινε με τη χρήση φλογοφωτομέτρου. Ο προσδιορισμός του φωσφόρου (P) πραγματοποιήθηκε με τη χρήση φασματοφωτομέτρου (Khalil and Manan, 1990), ενώ τέλος ο προσδιορισμός του ασβεστίου (Ca), του μαγνησίου (Mg) και των ιχνοστοιχείων σίδηρος (Fe), ψευδάργυρος (Zn), χαλκός (Cu) και μαγγάνιο (Mn) πραγματοποιήθηκε με τη χρήση σπεκτροφωτόμετρου ατομικής απορρόφησης (AOAC, 1999). Κάθε δείγμα αναλύθηκε εις διπλούν και ως μέτρηση λήφθηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων. Τα μακροστοιχεία εκφράστηκαν ως εκατοστιαίο ποσοστό (%) της ΞΟ, ενώ τα ιχνοστοιχεία ως ppm ΞΟ. Ο προσδιορισμός του NDF, του ADF και του ADL πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη μέθοδο των Goering and Van Soest (1970), με τη χρήση της συσκευής ANKOM Technology.

3. 2. 4. Στατιστική ανάλυση

Με απώτερο σκοπό την πρόβλεψη του αριθμού των ειδών (species richness) ή δείκτη α - ποικιλότητας (index alpha- diversity) σε τοπικό επίπεδο μεταξύ των δύο λιβαδικών περιοχών διερευνήθηκαν οι πιθανοί παράγοντες που σύμφωνα με τη βιβλιογραφία θεωρείται ότι επηρεάζουν τόσο το συνολικό αριθμό ειδών όσο και τον αριθμό ειδών ανά λειτουργική ομάδα. Επειδή η σχέση του αριθμού ειδών με ορισμένους παράγοντες, όπως για παράδειγμα με την παραγωγικότητα, ενδέχεται να μην είναι γραμμική αλλά μονοκόρυφη ή και δικόρυφη χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη γενικευμένα αθροιστικά μοντέλα (Generalized Additive Models GAM, Hastie and Tibshirani, 1990). Τα Γενικευμένα Αθροιστικά Μοντέλα, που στο εξής θα αναφέρονται ως Γ.Α.Μ., περιλαμβάνουν συνήθως ένα σύνολο γραμμικών όρων που αναφέρονται και ως παραμετρικοί όροι και ένα σύνολο μη γραμμικών όρων. Η διαφορά από τα μοντέλα μη γραμμικής παλινδρόμησης που προσαρμόζουν μη γραμμικές συναρτήσεις στα δεδομένα είναι ότι στα Γ.Α.Μ. οι μη γραμμικοί όροι δεν έχουν παραμετρική μορφή, δηλαδή δεν είναι μαθηματικές συναρτήσεις, αλλά είναι καμπύλες εξομάλυνσης (smooth parts) που παράγονται από τα δεδομένα. Ως αποτέλεσμα, τα Γ.Α.Μ. είναι πολύ ευέλικτα στην απόδοση των μη γραμμικών αποκρίσεων της εξηρημένης μεταβλητής (Wood, 2006) και είναι ιδιαίτερος χρήσιμα για τις περιπτώσεις που δεν έχουμε κάποιο θεωρητικό λόγο να επιλέξουμε κάποια συγκεκριμένη μη γραμμική συνάρτηση. Δεδομένου ότι η εξαρτημένη

μεταβλητή είναι ο αριθμός ειδών, δηλαδή ασυνεχής μεταβλητή που εκφράζει το πλήθος των παρατηρήσεων η κατανομή σφάλματος που επιλέχθηκε ήταν η οιωνή-Poisson (quasi-Poisson) που έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από την Poisson. Το πρόβλημα με την κατανομή Poisson είναι ότι είναι μονοπαραμετρική με τη μέση τιμή να συμπίπτει με τη διακύμανση. Αυτό συνεπάγεται γραμμικού τύπου αύξηση της διακύμανσης με την αύξηση του μέσου όρου, κάτι που δεν παρατηρείται συνήθως στα εμπειρικά δεδομένα. Η αρνητική διωνυμική κατανομή που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά είναι ιδιαίτερος πολύπλοκη. Για την προσαρμογή των Γ.Α.Μ. χρησιμοποιήθηκε το πακέτο mgcv (Wood, 2006) στο R (R Core Team 2012). Το πακέτο mgcv περιλαμβάνει λειτουργίες για τη βελτιστοποίηση των μοντέλων υπολογίζοντας αυτόματα τον αριθμό και τη θέση των κόμβων που διαμορφώνουν τους όρους εξομάλυνσης. Υπάρχει, όμως, και η δυνατότητα να οριστεί ο αριθμός των κόμβων από τον χρήστη, ώστε να αποφευχθεί η υπερπροσαρμογή του μοντέλου.

Για να αποτιμηθεί η επίδραση των πιθανών παραγόντων πρόβλεψης του αριθμού των ειδών χρησιμοποιήθηκε μια ιεραρχική προσέγγιση μοντελοποίησης, παρόμοια με εκείνη των Diaz et al. (2007), de Vries et al. (2012) και de Vries et al. (2013). Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή ορίζουμε εκ των προτέρων μια ιεραρχία πιθανών παραγόντων και διαμορφώνουμε το μοντέλο σταδιακά προσαρμόζοντας τις ομάδες των παραγόντων διαδοχικά. Στο ανώτερο επίπεδο της ιεραρχίας συμπεριλήφθησαν οι τοπογραφικές μεταβλητές, όπως το υψόμετρο, η έκθεση και κλίση οι οποίες αποτελούσαν την πρώτη ομάδα των πιθανών παραγόντων πρόβλεψης. Ο παράγοντας "περιοχή-Βουνό" είχε επίσης συμπεριληφθεί για να ενσωματωθούν οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της αλληλεπίδρασης του τοπικού κλίματος, της γεωλογίας, της υδρολογίας και της διαχείρισης στον αριθμό ειδών. Οι ιδιότητες του εδάφους, όπως η κοκκομετρική σύσταση, το pH, η συγκέντρωση των θρεπτικών συστατικών (N, P και K) και η συγκέντρωση σε οργανική ουσία εμπεριέχονταν στη δεύτερη ομάδα. Στην ίδια ομάδα συμπεριλήφθησαν οι τιμές των δύο πρώτων αξόνων της ανάλυσης κυρίων παραγόντων (PCA, Principal Component Analysis) για τα εδαφικά χαρακτηριστικά. Οι άξονες αυτοί είναι μεταξύ τους ανεξάρτητοι και συνοψίζουν τις ομοιότητες και διαφορές των δειγμάτων ως προς τα εδαφικά χαρακτηριστικά. Για την απόδοση των αξόνων χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση RDA (Representational Difference Analysis) του πακέτου vegan (Oksanen, 2012) στο R. Στην τρίτη ομάδα παραγόντων πρόβλεψης συμπεριλήφθησαν δείκτες της χλωριδικής σύνθεσης των δειγμάτων, όπως οι δύο πρώτοι άξονες της ανάλυσης αντιστοιχιών (Detrended Correspondence Analysis DCA, Hill and Gauch, 1980). Για την απόδοση αυτών των αξόνων χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση decorana του Vegan. Τέλος, στη τελευταία ομάδα παραγόντων πρόβλεψης συμπεριλήφθησαν δείκτες της βλάστησης, όπως η κάλυψη ανά λειτουργική ομάδα βλάστησης και η μέση λιβαδική παραγωγή.

Η σειρά της ιεραρχίας διατηρήθηκε, έτσι ώστε οι παράγοντες που προστέθηκαν αργότερα στη διαδικασία μοντελοποίησης να μην επηρεάσουν εκείνους που είχαν επιλεγεί προηγουμένως (de Vries et al., 2013). Με άλλα λόγια, η λογική της ιεραρχικής προσέγγισης είναι να διασφαλίσει ότι, αν ένας παράγοντας των ανώτερων ιεραρχικών επιπέδων ερμηνεύει σημαντικό τμήμα της διακύμανσης της εξηρημένης μεταβλητής, τότε θα αποκλείσει την επιλογή του όποιου άλλου παράγοντα κατώτερου επιπέδου που συσχετίζεται με τον πρώτο. Για παράδειγμα, αν το pH συνεισφέρει σημαντικά στην πρόβλεψη του αριθμού ειδών και επίσης στην εκτίμηση της λιβαδικής παραγωγής τότε η λιβαδική παραγωγή δε θα αποτελέσει σημαντικό παράγοντα πρόβλεψης του αριθμού ειδών δεδομένου ότι οι επιπτώσεις της εκφράζονται ήδη από το pH. Σε όλη την ιεραρχία, οι ιδιότητες σε ένα ορισμένο επίπεδο, είναι πιθανό να επηρεαστούν από εκείνες σε χαμηλότερο επίπεδο, αλλά όχι από αυτές σε υψηλότερο επίπεδο. Πιθανές εξαιρέσεις στον κανόνα αυτό μπορεί να είναι οι σχέσεις μεταξύ της ανάπτυξης της βλάστησης και των ιδιοτήτων του εδάφους και η σχέση ανάμεσα στη

χλωριδική σύνθεση και τη λιβαδική παραγωγή. Για την πρώτη περίπτωση, δεδομένου ότι οι ιδιότητες του εδάφους μετρήθηκαν πριν την αυξητική περίοδο, θεωρούμε ότι η ανάπτυξη της βλάστησης ήταν πιο πιθανό να εξαρτάται από την αρχική συγκέντρωση σε θρεπτικά συστατικά του εδάφους από ό,τι το αντίστροφο. Για τη δεύτερη περίπτωση, η αιτιότητα δεν είναι πολύ σαφής, θα μπορούσε να είναι πιο πιθανό η κάλυψη των λειτουργικών ομάδων και η λιβαδική παραγωγή να εξαρτάται από τα συγκεκριμένα είδη που απαντούν σε ένα δείγμα, αλλά η υψηλή παραγωγή ή η κάλυψη κάποιων παραγωγικών ειδών μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την εμφάνιση πολλών άλλων.

Η παραπάνω διαδικασία υλοποιήθηκε ιεραρχικά ξεκινώντας από την πρώτη ομάδα και συνεχίζοντας για κάθε επόμενη ομάδα λαμβάνοντας υπόψη μόνο τους παράγοντες που ήταν σημαντικοί και βελτίωναν την πιθανοφάνεια (Likelihood) του μοντέλου. Ωστόσο, ορισμένοι παράγοντες πρόβλεψης ενδέχεται να μην εμφανίστηκαν στο τελικό μοντέλο, αλλά μπορεί να επηρέασαν άλλους σημαντικούς παράγοντες πρόβλεψης. Επομένως, για να ελεγχθούν αυτές οι έμμεσες συνέπειες, η ίδια ιεραρχική μέθοδος χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογήσει την επίδραση του "περιοχή-Βουνό" και της τοπογραφίας στις ιδιότητες του εδάφους, τα αποτελέσματα της τοπογραφίας και των ιδιοτήτων του εδάφους στη χλωριδική σύνθεση και τα αποτελέσματα της τοπογραφίας, των ιδιοτήτων του εδάφους και της χλωριδικής σύνθεσης στην παραγωγή βιομάζας. Τέλος, σε κάθε βήμα ελέγχθηκε εάν η αλληλεπίδραση των μη γραμμικών όρων με το "περιοχή-Βουνό" βελτίωνε το μοντέλο. Ο έλεγχος αυτός έγινε, ώστε να διαπιστωθεί εάν η απόκριση του αριθμού ειδών ήταν παρόμοια στα δύο βουνά ή όχι. Για να αξιολογηθεί η επίδραση του "περιοχή-Βουνό" και της τοπογραφίας στις ιδιότητες του εδάφους χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση `manyglm` του πακέτου `mvabund` (Wang et al., 2012). Η συνάρτηση αυτή προσαρμόζει γραμμικά μοντέλα για την πρόβλεψη μιας πολυμεταβλητής δομής (πολλές εξαρτημένες μεταβλητές που ενδεχομένως αλληλεξαρτώνται). Αν οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι κατηγορικές, τότε η ανάλυση αυτή είναι ανάλογη της πολυμεταβλητής ανάλυσης διακύμανσης. Η συνάρτηση `manyglm` του ίδιου πακέτου με διωνυμική κατανομή σφάλματος χρησιμοποιήθηκε για να προβλέψει τη χλωριδική σύνθεση ανά δειγματοληπτική επιφάνεια από τα τοπογραφικά και εδαφικά δεδομένα. Και στις δύο περιπτώσεις η σημαντικότητα των παραγόντων πρόβλεψης αξιολογήθηκε με βάση το στατιστικό LR (Likelihood Ratio) που υπολογίστηκε με δειγματοληψία (1000 επαναλήψεις) επί των υπολοίπων (1000 re-sampling iterations using residual re-sampling). Για την επιλογή μεταβλητών χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο AIC sum.

Για τον έλεγχο σημαντικών συσχετίσεων των τοπογραφικών παραγόντων με τους άξονες της PCA και των τοπογραφικών και των εδαφικών ιδιοτήτων με τους άξονες της DCA χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση `envfit` του `vegan`. Η δοκιμή Mantel χρησιμοποιήθηκε για να αποτιμήσει τη συσχέτιση μεταξύ των ιδιοτήτων του εδάφους (Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ δειγμάτων) και της χλωριδικής σύνθεσης (απόσταση Bray-Curtis).

Χρησιμοποιήθηκε CCA (Canonical Correspondence Analysis) (CCA, Ter Braak, 1986) για την κατάρτιση των επιφανειών απόκρισης πάνω από το πεδίο του συντονισμού των δύο πρώτων αξόνων της CCA. Η `vegan` εφαρμογή για CCA που ακολουθήθηκε ήταν των Legendre and Legendre (2012). Η λειτουργία `multipatt` του πακέτου `indicspec` (De Cáceres et al. 2010) χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των ειδών-δεικτών των ομάδων του δείγματος που ορίζεται σύμφωνα με τη CCA.

Για την εκτίμηση της χωροταξικής εναλλαγής των ειδών (ένδειξη της βήτα-ποικιλότητας) χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης χλωριδικής ομοιότητας Jaccard με την συνάρτηση λειτουργία `betadiver` του `vegan`. Επιπλέον, υπολογίστηκε ο δείκτης N^* (Lazarina et al., 2013) με χρήση της συνάρτησης που παρέχουν οι συγγραφείς και βασίζεται στη συνάρτηση `specaccum` του `vegan`. Όταν λαμβάνεται ένα δείγμα από μια περιοχή, όλα τα είδη που

καταγράφονται σε αυτό το πρώτο δείγμα είναι νέες εγγραφές ειδών. Λαμβάνοντας όλο και περισσότερα δείγματα οι καταγραφές ειδών σε κάθε δείγμα είναι όλο και πιο πιθανό να ανήκουν σε είδη που έχουν ήδη βρεθεί στα προηγούμενα δείγματα.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των συστατικών της λιβαδικής παραγωγής υποβλήθηκαν σε επεξεργασία ξεχωριστά ανά έτος δειγματοληψίας. Το πρώτο έτος τα δεδομένα για κάθε "περιοχή-Βουνό" υποβλήθηκαν σε πολυπαραγοντική ανάλυση διακύμανσης με 12 σημεία δειγματοληψίας (δειγματοληπτικές επιφάνειες) με τους μήνες δειγματοληψίας ($n=5$) ως κύριους παράγοντες και την κλίση εδάφους και το υψόμετρο ως υποπαράγοντες. Αντίστοιχα το δεύτερο έτος τα δεδομένα για κάθε λειτουργική ομάδα ομαδοποιήθηκαν και υποβλήθηκαν σε ανάλυση διακύμανσης σύμφωνα με την τεχνική των συνδυασμένων παραγόντων (Snedecor and Cochran, 1980) σε ομάδες με υπο-ομάδες (split-plot experiment) με τους μήνες δειγματοληψίας ($n=4$) και την "περιοχή-Βουνό" ($n=2$) ως κύριους παράγοντες και το υψόμετρο ως υποπαράγοντα. Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με τη χρήση του στατιστικού πακέτου Statistical Package for Social Sciences (SPSS 2003, Κιτικίδου, 2005). Ο προσδιορισμός των στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των μέσων όρων των τριών λειτουργικών ομάδων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των Ελάχιστων Σημαντικών Διαφορών - Least Square Differences (LSD) του Fischer (Fischer, 1966) για επίπεδο σημαντικότητας 5% ($P<0,05$), ενώ μεταξύ των δύο βαθών εδάφους και των δύο "περιοχών-Βουνών" manova ανάλυση ήταν εφαρμοσμένη. Όλα τα "±" που αναφέρονται στην παρούσα ανάλυση αναφέρονται στο τυπικό σφάλμα (SEM – standard error of the mean) των εκτιμώμενων μέσων όρων. Επίσης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση συσχέτισης (Pearson's correlation) προκειμένου να εξετασθούν οι σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων της λιβαδικής παραγωγής καθώς και οι σχέσεις με τις τοπογραφικές και εδαφικές παραμέτρους.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Έδαφος

Από τις εδαφικές αναλύσεις των λιβαδιών των δύο ορέων και τη στατιστική ανάλυση που ακολούθησε προέκυψαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των εδαφικών ιδιοτήτων στις δύο λιβαδικές περιοχές αλλά και μεταξύ των δύο βαθών εδάφους (Πίνακας Π. 2.). Συγκεκριμένα, στο βάθος 0-10 cm το pH ήταν σημαντικά υψηλότερο $p < 0,01$ στα εδάφη από γνεύσιο (G) και κυμάνθηκε μεταξύ 5,27-6,83 και στα εδάφη από τραχείτη-ανδεδίτη (TA) μεταξύ 4,50-5,59. Επίσης, τα ποσοστά άμμου ήταν σημαντικά υψηλότερα στο γνεύσιο $p < 0,001$ και κυμάνθηκαν μεταξύ 73,44-79,44%, ενώ στον τραχείτη-ανδεδίτη μεταξύ 47,44-67,26%. Εντούτοις, το ολικό άζωτο N ήταν σημαντικά υψηλότερο $p < 0,01$ στα εδάφη από TA και κυμάνθηκε μεταξύ 0,38-0,69%, ενώ στα εδάφη από G κυμάνθηκε από 0,19-0,69%. Αντίστοιχα, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο περιοχών, στα ιχνοστοιχεία του χαλκού Cu, του ψευδάργυρου Zn και του μαγγανίου Mn. Συγκεκριμένα και τα τρία αυτά ιχνοστοιχεία Cu, Zn και Mn ήταν σημαντικά υψηλότερα $p < 0,05$ στα εδάφη από TA και κυμάνθηκαν αντίστοιχα μεταξύ 0,79-3,36 ppm, 1,96-14,76 ppm και 8,0-254,75 ppm, ενώ στα εδάφη από G ήταν αντίστοιχα για το Cu 0,36-1,12 ppm, το Zn 0,64-9,60 ppm και το Mn 15,20-107,75 ppm. Επίσης, τα ποσοστά ιλύος και αργίλου ήταν σημαντικά υψηλότερα $p < 0,001$ στα εδάφη από TA και κυμάνθηκαν μεταξύ 29,82-46,62% για την ιλύς και 1,32-8,92% για την άργιλο, ενώ στα εδάφη από G ήταν για την ιλύς 14,04-25,52% και για την άργιλο 0,74-3,30% (Πίνακας Π. 2.).

Για το βάθος 10-20 cm βρέθηκε ότι το ποσοστό άμμου ήταν σημαντικά υψηλότερο $p < 0,001$ στα εδάφη από G το οποίο κυμάνθηκε μεταξύ 73,44-88,90%, ενώ στα εδάφη από TA ήταν από 37,80-57,80%. Αντίθετα το ολικό άζωτο, ο χαλκός, το μαγγάνιο, η άργιλος και η ιλύς ήταν σημαντικά υψηλότερα $p < 0,05$ στα εδάφη από TA. Το εύρος τιμών στα εδάφη από TA και στα εδάφη από G αντίστοιχα ήταν για το άζωτο 0,29-0,48% και 0,14-0,35%, για το χαλκό 0,56-3,52 ppm και 0,26-0,69 ppm, για το μαγγάνιο 5,6-191,4 ppm και 11,8-35,4 ppm, για την άργιλο 0,96-12,56% και 0,76-3,32% και για την ιλύς 39,64-55,64% και 9,4-23,42% (Πίνακας Π. 2.). Το βάθος του εδάφους είχε σημαντική επίδραση στα εδαφικά χαρακτηριστικά, συγκεκριμένα, η EC, η OM, το N, το Ca, το Mg, το K, ο Cu, το Mn, ο Zn και ο Fe ήταν σημαντικά υψηλότερα στο βάθος 1, ενώ μόνο το ποσοστό αργίλου ήταν σημαντικά υψηλότερο στο βάθος 2 (Πίνακας Π. 2.).

Ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής άμμου, ιλύος και αργίλου στο έδαφος τα διάφορα εδάφη διακρίνονται σε 12 κατηγορίες μηχανικής σύστασης σύμφωνα με το τρίγωνο μηχανικής σύστασης των εδαφών, που χρησιμοποιείται από το Υπουργείο Γεωργίας των Η.Π.Α. (USDA, 1998). Με βάση αυτό το σύστημα τα εδάφη από TA κατατάσσονται στα αμμοπηλώδη, ενώ τα εδάφη από G στα πηλοαμμώδη.

Η PCA ανάλυση εφαρμόστηκε στα εδαφικά στοιχεία που επηρέαζαν τη χλωριδική ποικιλότητα και σύνθεση. Η διαγραμματική απεικόνιση των εδαφικών δειγμάτων από τις δειγματοληπτικές επιφάνειες που περιλαμβάνεται στους δύο άξονες της PCA φαίνεται στο Διάγραμμα 4.1. Ο πρώτος άξονας της PCA αντιπροσώπευε 39,23% και ο δεύτερος το 33,97% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων. Είναι φανερό ότι υπάρχει ξεκάθαρος διαχωρισμός των δειγμάτων ανάμεσα στις δύο περιοχές. Ωστόσο, μόνο το υψόμετρο εμφανίζει σημαντική συσχέτιση ($R^2 = 0,6$, $p < 0,001$) με τους άξονες της PCA.

Πίνακας Π 2. Διακύμανση των εδαφικών χαρακτηριστικών των υπαλπικών λιβαδιών των εδαφών που προέρχονται από ΤΑ και από G ανά βάθος εδάφους (Μέσοι όροι ± Τυπικό σφάλμα)

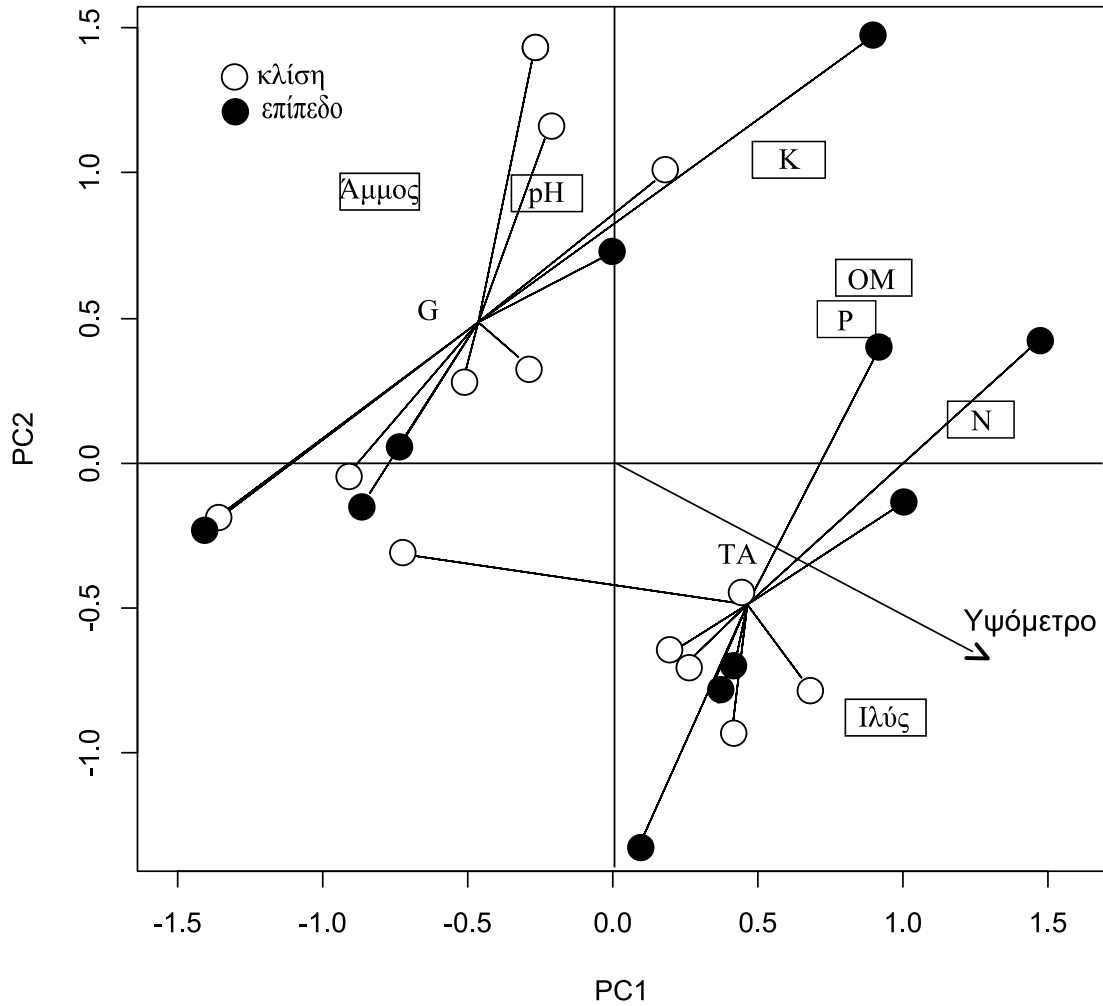
	ΤΑ (Τραχείτης-Ανδεσίτης)				G (Γνεύσιος)			
	Βάθος 0-10 cm		Βάθος 10-20 cm		Βάθος 0-10 cm		Βάθος 10-20 cm	
	Εύρος	Μ.Ο. ±Τ.Σ.	Εύρος	Μ.Ο. ±Τ.Σ.	Εύρος	Μ.Ο. ±Τ.Σ.	Εύρος	Μ.Ο. ±Τ.Σ.
pH	4,50-5,59	5,13±0,32 ¹	4,73-6,19	5,24±0,45	5,27-6,83	5,75±0,47 ²	5,21-6,35	5,59±0,35
Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC) ms/cm	0,08-0,54	0,23±0,13 ^a	0,06-0,24	0,15±0,06 ^b	0,05-0,41	0,19±0,13 ^a	0,08-0,18	0,12±0,04 ^b
Οργανική Ουσία (OM) %	6,10-12,62	9,30±1,8 ^a	3,08-7,52	4,79±1,42 ^b	3,42-13,70	8,31±3,31 ^a	2,90-7,28	4,93±1,14 ^b
N%	0,38-0,69	0,62±0,11 ^{2a}	0,29-0,48	0,35±0,06 ^{2b}	0,19-0,69	0,39±0,15 ^{1a}	0,14-0,35	0,27±0,06 ^{1b}
P ppm	1,15-34,53	8,94±10,56	0,74-38,10	7,11±11,85	1,25-16,15	6,36±4,14	0,72-9,47	3,79±2,75
Ca cmol/ Kg	1,38-36,63	15,64±10,11 ^a	0,21-19,00	8,05±6,61 ^b	1,02-33,93	15,19±9,42 ^a	0,45-23,06	9,78±6,06 ^b
Mg cmol/Kg	0,46-4,37	2,28±1,01 ^a	0,26-3,76	1,33±1,13 ^b	0,20-6,50	2,43±1,78 ^a	0,78-5,22	2,14±1,34 ^b
K cmol/Kg	0,18-0,95	0,45±0,27 ^a	0,07-0,67	0,26±0,21 ^b	0,18-1,08	0,52±0,32 ^a	0,16-0,69	0,36±0,20 ^b
Cu ppm	0,79-3,36	1,63±0,71 ^{2a}	0,56-3,52	1,32±0,85 ^{1b}	0,36-1,12	0,65±0,21 ^{1a}	0,26-0,69	0,47±0,15 ^{2b}
Zn ppm	1,96-14,76	8,22±3,95 ^{2a}	0,94-7,62	2,74±2,42 ^b	0,64-9,60	3,42±2,77 ^{1a}	0,53-2,38	1,27±0,50 ^b
Mn ppm	8,00-254,75	131,06±81,71 ^{2a}	5,60-191,40	64,53±53,76 ^{1b}	15,20-107,75	54,61±27,96 ^{1a}	11,80-35,4	23,8±7,75 ^{2b}

Fe ppm	96,40-532,50	234,83±128,89 ^a	72,60-358,0	175,02±92,42 ^b	70,80-272,50	153,47±59,85 ^a	54,8-184,4	106,77±39,25 ^b
Άμμος %	47,44-67,26	56,26±6,38 ¹	37,80-57,80	50,65±6,30 ¹	73,44-79,44	76,19±2,04 ²	73,44-88,9	79,14±4,59 ²
Ίλύς %	29,82-46,62	39,94±5,15 ²	39,64-55,64	44,39±4,66 ²	14,04-25,52	21,16±2,96 ¹	9,4-23,42	19,11±4,25 ¹
Άργιλος %	1,32-8,92	3,80±2,17 ^{2b}	0,96-12,56	4,96±3,35 ^{2a}	0,74-3,30	1,46±0,87 ^{1b}	0,76-3,32	1,75±0,97 ^{1a}

a, b: μέσοι όροι στην ίδια γραμμή με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ των βαθών σε κάθε περιοχή (P<0,05).

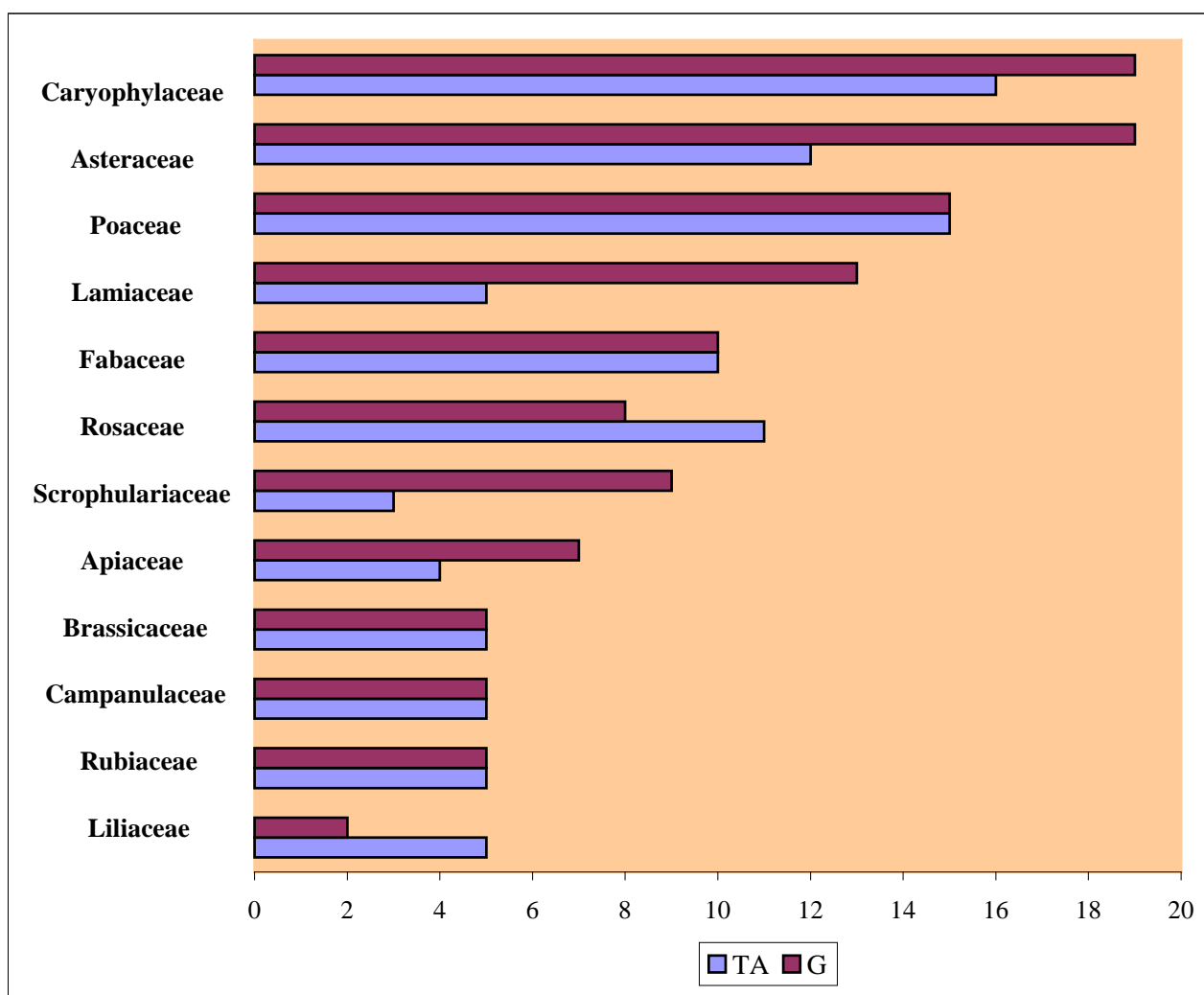
1, 2: μέσοι όροι στην ίδια γραμμή με διαφορετικό αριθμό διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ των περιοχών (P<0,05).

Διάγραμμα 4.1. Principal component analysis (PCA) για τις εδαφικές ιδιότητες των δειγμάτων των δειγματοληπτικών επιφανειών (κύκλοι) των εδαφών από ΤΑ (όρος Τζένα) και από G (όρος Μπέλες). Οι δειγματοληπτικές επιφάνειες από κάθε περιοχή συνδέονται με το σημείο αναφοράς της ομάδας των επιφανειών με διακεκομμένες γραμμές. Το βέλος δείχνει τη συσχέτιση του υψόμετρου με τους άξονες της PCA.



4. 2. Χλωρίδα και βλάστηση

Στα υπαλπικά λιβάδια των εδαφών από ΤΑ καταγράφηκαν 150 είδη που ανήκουν σε 83 γένη και 33 οικογένειες, ενώ τα αντίστοιχα στοιχεία για τα υπαλπικά λιβάδια στα εδάφη από G ήταν 165 είδη, 107 γένη και 36 οικογένειες. Η πλήρης λίστα των ειδών αναφέρεται στο Παράρτημα του Πίνακα Π.1. Τα περισσότερα taxa ανήκουν στις οικογένειες Caryophyllaceae (16 στον ΤΑ και 19 στο G), Asteraceae (12 έναντι 19), Poaceae (15 έναντι 15), Lamiaceae (5 έναντι 13), Fabaceae (10 έναντι 10), Rosaceae (11 έναντι 9), Scrophulariaceae (3 έναντι 9), Apiaceae (4 έναντι 7), Brassicaceae (5 έναντι 5), Campanulaceae (5 έναντι 5), Rubiaceae (5 έναντι 5) και Liliaceae (5 έναντι 3) οικογένειες (Διάγραμμα 4.2.1.). Οι οικογένειες Dipsacaceae, Globulariaceae, Gesneriaceae, Primulaceae, Euphorbiaceae, Ramnaceae και Cistaceae εμφανίστηκαν μόνο στα υπαλπικά λιβάδια με ΤΑ, ενώ οι οικογένειες Polygonaceae, Athyriaceae, Violaceae, Plumbaginaceae, Geraniaceae, Onagraceae, Convolvulaceae, Orobanchaceae και Parnaciaceae εμφανίστηκαν μόνο στα εδάφη από G (Πίνακας Π.1.).



Διάγραμμα 4.2.1. Οικογένειες που εμφανίζονται στα υπαλπικά λιβάδια των εδαφών από ΤΑ και G και περιλαμβάνουν περισσότερα από 5 TAXA

Η χλωριδική ομοιότητα των δύο υπαλπικών περιοχών ήταν πολύ μικρή, δεδομένου ότι υπήρχαν μόνο 31 είδη τα οποία ήταν κοινά και ο αντίστοιχος δείκτης ομοιότητας Jaccard ήταν 0,11. Εντός των πειραματικών επιφανειών και των δύο περιοχών βρέθηκαν 113 από τα 284 συνολικά είδη, 48 είδη αποκλειστικά στα εδάφη από ΤΑ και 48 αποκλειστικά στα εδάφη από G και 17 είδη κοινά στις δύο λιβαδικές περιοχές. Ο δείκτης ομοιότητας Jaccard των ειδών σε αυτήν την περίπτωση ήταν λίγο υψηλότερος 0,15. Η μέση ομοιότητα Jaccard μεταξύ των δειγμάτων στα εδάφη από G ήταν 0,14 και μεταξύ των δειγμάτων στα εδάφη από ΤΑ ήταν 0,18. Ο μέσος όρος ομοιότητας Jaccard μειώθηκε σε 0,1, όταν συνενώθηκαν τα δείγματα από τις δύο περιοχές. Ο δείκτης N^* είχε μέση τιμή 7,7 και 6,9 στις υπαλπικές περιοχές των εδαφών από G και από ΤΑ αντίστοιχα, και έφτασε μέχρι 11,8 στο ενοποιημένο σύνολο των δειγμάτων. Και οι δύο δείκτες συμφωνούν ότι υπήρχε υψηλή χωρική ετερογένεια στη χλωριδική σύνθεση, όταν τα δείγματα από τις δύο περιοχές συνενώθηκαν.

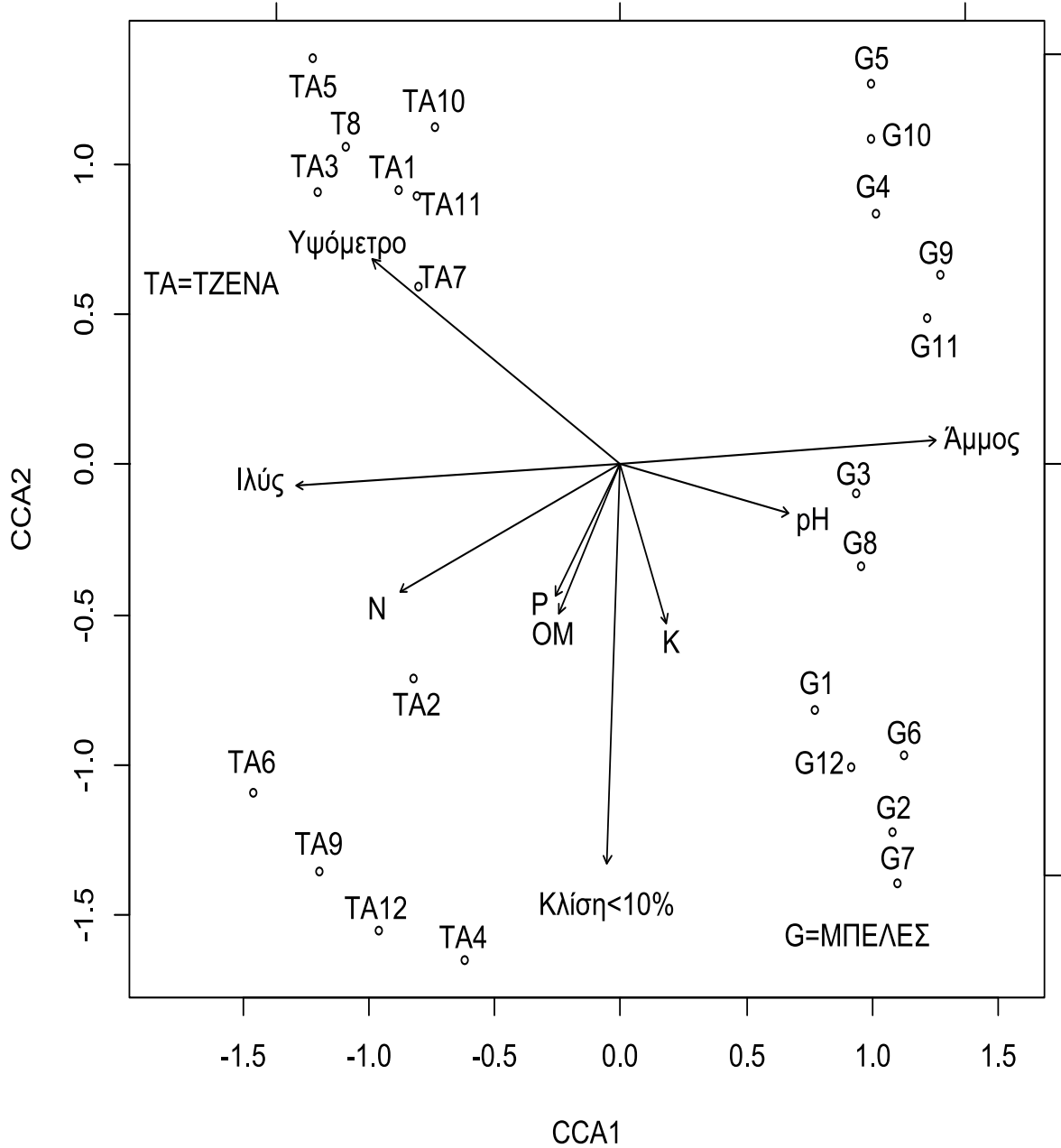
Η ερμηνεία της Canonical Correspondence Analysis (CCA) της χλωριδικής σύνθεσης και των περιβαλλοντικών μεταβλητών, στον καθορισμό του αριθμού, της κάλυψης των ειδών και της μηνιαίας λιβαδικής παραγωγής

Η υψηλή χλωριδική ανομοιότητα μεταξύ των δειγμάτων από τα εδάφη των περιοχών από ΤΑ και από G εξηγείται στο πρώτο άξονα της CCA, όπου τα δείγματα είναι πλήρως διαχωρισμένα ανάλογα με το βουνό από όπου προήλθαν (Διάγραμμα 4.2.2.) Αυτή η σημαντική διαφοροποίηση σχετίζεται με διαφορές στα χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους (αμμοπηλώδη τα εδάφη από ΤΑ και πηλοαμμώδη τα εδάφη από G) το pH (αύξηση προς τα δείγματα των εδαφών από G) και η συγκέντρωση σε N (αυξάνεται προς τα δείγματα των εδαφών από ΤΑ) και εν μέρει με το υψόμετρο (υψηλότερο στην περιοχή των εδαφών από ΤΑ). Απέναντι από το δεύτερο άξονα στα δείγματα υπάρχει διαχωρισμός σύμφωνα με την τοπική κλίση και το υψόμετρο. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους που ποικίλλουν με την κλίση, ήταν η συσσωρευμένη οργανική ουσία, ο P και το K, όλα έχουν υψηλότερες τιμές σε επίπεδες θέσεις.

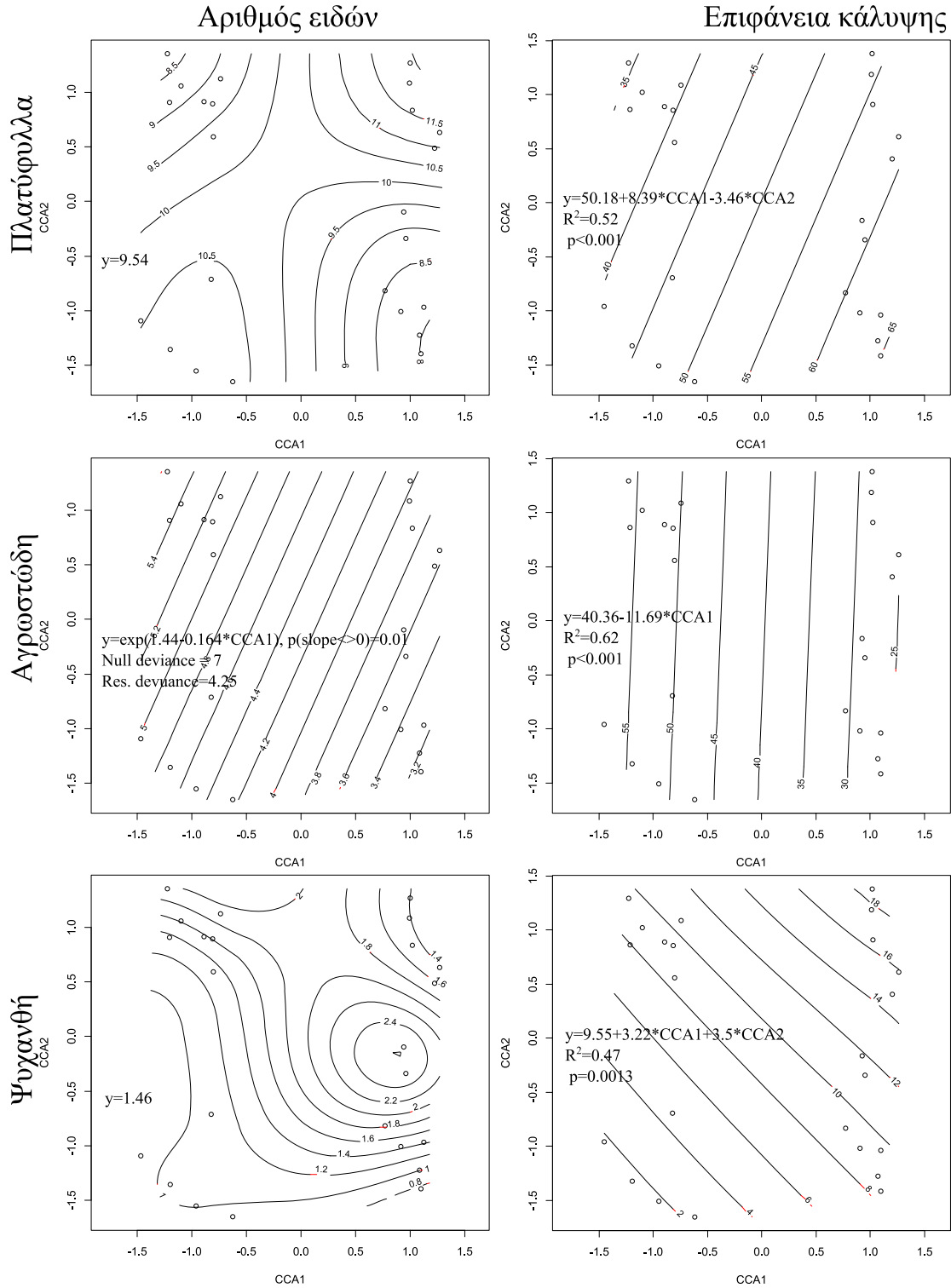
Τα είδη δείκτες για τις τέσσερις ομάδες (2 περιοχές X 2 διαβαθμίσεις κλίσεων) που σχηματίζεται στους άξονες της CCA παρουσιάζονται στον Πίνακα Π.3. Γραμμικές συσχετίσεις που υπάρχουν με τις παραπάνω μεταβλητές και τους άξονες της CCA εμφανίζονται επίσης σε κάθε περίπτωση στο Διάγραμμα 4.2.3. Με τους αριθμούς των ειδών, η μόνη σημαντική συσχέτιση είναι εκείνη των αγρωστωδών με τον πρώτο άξονα της CCA υποδεικνύοντας μία διαφορά του αριθμού των ειδών μεταξύ των δύο περιοχών (υψηλότερες τιμές στα εδάφη από ΤΑ).

Για τα πλατύφυλλα και τα ψυχανθή οι συσχετίσεις δεν ήταν γραμμικές, τα δείγματα των δειγματοληπτικών επιφανειών που συντονίζονται στα άκρα και των δύο αξόνων περιέχουν λιγότερα είδη πλατύφυλλων από εκείνα που συντονίζονται προς το κεντρικό τμήμα του πεδίου συντονισμού. Για τα ψυχανθή, η απάντηση είναι ακόμα πιο περίπλοκη, αλλά ο πολύ μικρός αριθμός των ειδών των ψυχανθών δεν επιτρέπει καμία περαιτέρω αξιολόγηση. Όσον αφορά την επιφάνεια κάλυψης, οι απαντήσεις ήταν γραμμικές και σημαντικές για τον πρώτο άξονα (διαφορές μεταξύ περιοχών) σε όλες τις περιπτώσεις. Τα πλατύφυλλα έδειξαν υψηλότερη κάλυψη ($p < 0,001$) καθώς και τα ψυχανθή ($p < 0,01$) στα εδάφη από G, ενώ, αντίθετα, τα αγρωστώδη στα εδάφη από ΤΑ ($p < 0,001$). Η κάλυψη των πλατύφυλλων και ψυχανθών συσχετίζονται σημαντικά με το δεύτερο άξονα της CCA (αποτελέσματα της τοπικής κλίσης), η κάλυψη των πλατύφυλλων ήταν υψηλότερη ($p < 0,05$) στις δειγματοληπτικές επιφάνειες με χαμηλή κλίση, ενώ τα ψυχανθή έδειξαν την αντίθετη τάση ($p < 0,05$) (Διάγραμμα 4.2.3.)

Διάγραμμα 4.2.2. Canonical Correspondence Analysis (CCA) των δειγματοληπτικών επιφανειών της χλωριδικής σύνθεσης των δύο περιοχών των εδαφών από TA και από G σε συνδυασμό με τους τοπογραφικούς παράγοντες (υψόμετρο και κλίση εδάφους), κοκκομετρική σύσταση (άμμος και ιλύς) και εδαφικών στοιχείων (pH, οργανική ουσία, K, N και P).



Διάγραμμα 4.2.3. Μεταβολές του αριθμού των ειδών και της κάλυψης των πλατύφυλλων, αγρωστώδων και ψυχανθών στο επίπεδο των δύο αξόνων της CCA



Η Detrended Correspondence Analysis (DCA) axes για την απόδοση της χλωριδικής σύνθεσης.

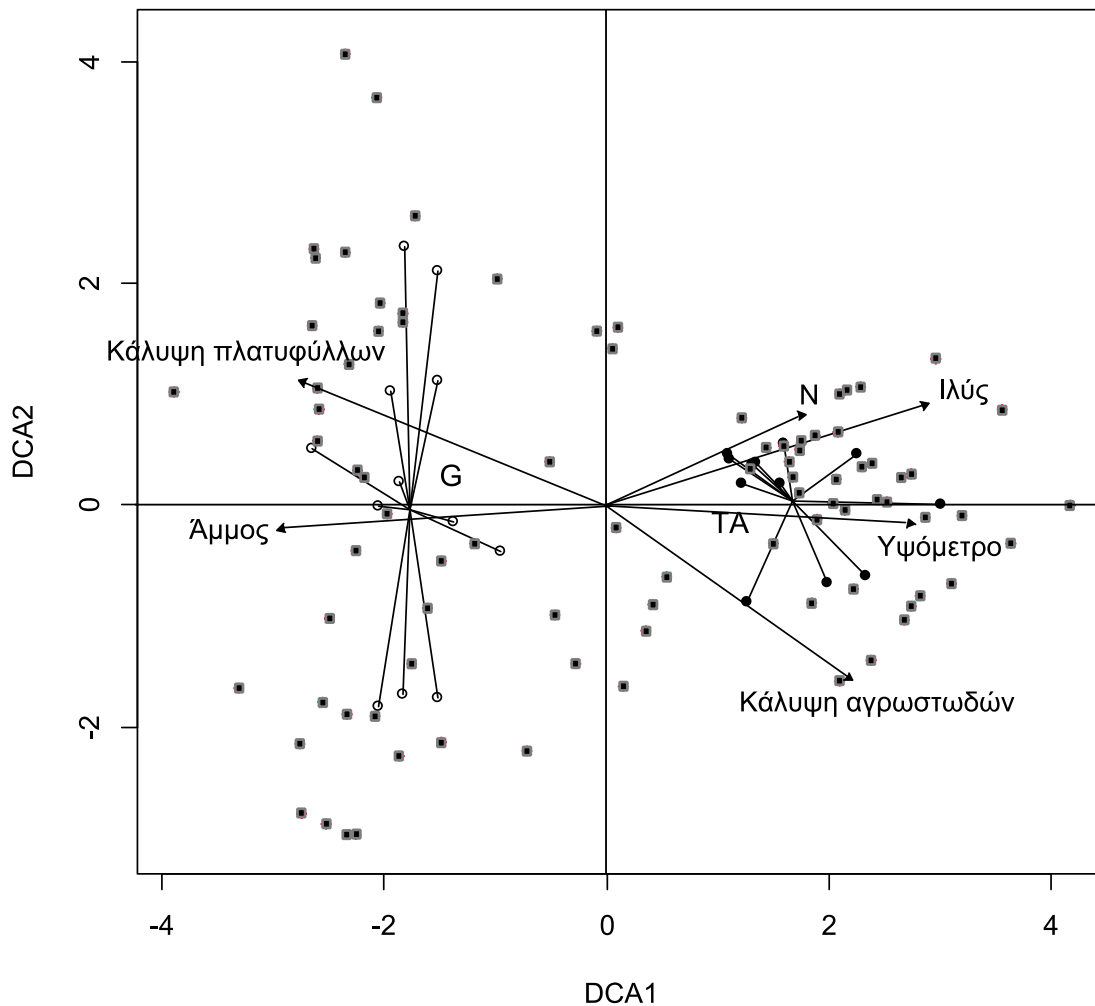
Η Detrended Correspondence analysis (DCA, Hill and Gauch 1980) ήταν χρησιμοποιημένη για να αποδοθεί η χλωριδική σύνθεση των φυτικών ειδών σε συνδυασμό με τις εδαφικές και τοπογραφικές μεταβλητές. Πρόσθετα, ένα ιεραχικό αθροιστικό μοντέλο ήταν διαμορφωμένο για να προβλεφθεί η χλωριδική σύνθεση διαμέσου του δεύτερου άξονα Ψ της DCA axes από τις περιβαλλοντικές μεταβλητές. Στο Διάγραμμα 4.2.4. φαίνεται η κατανομή των δειγμάτων της χλωριδικής σύνθεσης κατά τους δύο άξονες DCA axes. Οι χαρακτηριστικές ρίζες των δύο αξόνων ήταν 0,77 και 0,52 και τα μήκη των αξόνων 5,66 και 4,15. Διαμέσου του πρώτου άξονα X υπήρχε σαφής διαχωρισμός των δειγμάτων σύμφωνα με τις δύο περιοχές. Ο δεύτερος άξονας Ψ υπολόγιζε κυρίως τη χλωριδική διαφοροποίηση των δειγμάτων της περιοχής των εδαφών από G (ανώτερη υψομετρική ζώνη σ' αυτή τη περιοχή), ενώ στην περιοχή των εδαφών από TA τα δείγματα ήταν συγκεντρωμένα γύρω από το κέντρο. Σημαντικές συσχετίσεις με τους άξονες της DCA axes υπήρχαν με το ποσοστό της ιλύος ($R^2=0,78$, $p=0,001$), το ποσοστό της άμμου ($R^2=0,73$, $p=0,001$), το εδαφικό N ($R^2=0,39$, $p=0,006$) και το υψόμετρο ($R^2=0,35$, $p=0,009$), αλλά σε όλες τις περιπτώσεις ήταν κυρίως με τον άξονα X της DCA.

Το Mantel test έδειξε σημαντική συσχέτιση της χλωριδικής σύνθεσης με τις εδαφικές ιδιότητες (Mantel $r=0,2$, $p=0,009$). Οι σημαντικές παράμετροι στο gam model που προέβλεπε την τιμή των δειγμάτων του δεύτερου άξονα Ψ της DCA axis (ερμηνεύει το 76.6%, της συνολικής διακύμανσης $R^2_{adj}=0.69$) ήταν η οργανική ουσία ($p=0.003$) και το υψόμετρο για κάθε περιοχή ($p<0,001$ για το G και $p=0,027$ για το TA). Οι τιμές της χλωριδικής σύνθεσης DCA2 αυξανόταν γραμμικά με το υψόμετρο στα εδάφη από TA, ενώ στα εδάφη από G υψηλότερες τιμές της χλωριδικής σύνθεσης DCA2 προβλεπόταν είτε σε υψόμετρο χαμηλότερο από τα 1710 μ. είτε σε υψόμετρο υψηλότερο από τα 1770μ.

Μοντέλο πρόβλεψης του αριθμού των ειδών

Η ανάλυση της διακύμανσης για την ακολουθία των παραμέτρων του μοντέλου που εφαρμόστηκε για να προβλέψει το συνολικό αριθμό των ειδών (TR), τον αριθμό των πλατύφυλλων ειδών (FR) και τον αριθμό των αγρωστώδων ειδών (GR), καθώς και συνοπτικά στατιστικά στοιχεία των αντίστοιχων τελικών προτύπων δίδονται στους Πίνακες Π.4. (α και β) αντίστοιχως. Στο τελικό μοντέλο για το TR (Πίνακας Π. 4a1) οι παράμετροι που διατηρούνται ως σημαντικοί προγνωστικοί παράγοντες ήταν το pH μεταξύ των ιδιοτήτων του εδάφους, η χλωριδική σύνθεση (DCA2) και η εμφάνιση του αγρωστώδους *Agrostis capillaris* L. ανάμεσα στους περιγραφικούς δείκτες της χλωριδικής σύνθεσης και η μέση μηνιαία HP. Για το FR, οι όροι που διατηρούνται στο τελικό μοντέλο ήταν το pH και το εδαφικό N μεταξύ των ιδιοτήτων του εδάφους, η χλωριδική σύνθεση (DCA2) και η μέση μηνιαία HP (Πίνακας Π. 4a2), ενώ για τα αγρωστώδη (GR, Πίνακας Π. 4a3) οι όροι που διατηρήθηκαν ήταν το υψόμετρο μεταξύ των τοπογραφικών παραγόντων, το εδαφικό N μεταξύ των ιδιοτήτων του εδάφους και η μέση μηνιαία HP. Η παράμετρος της χλωριδικής σύνθεσης δεν ήταν σημαντική ως σημαντικός προγνωστικός παράγοντας του GR. Ο παράγοντας της περιοχής-Βουνό δεν συμπεριλήφθηκε άμεσα ή σε αλληλεπίδραση με άλλες παραμέτρους, σε κάθε μοντέλο. Τα ποσοστά που εξηγούνται από τα μοντέλα ήταν 93,6 % για το TR, 95,7 % για το FR και 89,5 % για GR. Το τελικό μοντέλο για το TR (Πίνακας Π. 4β1) προβλέπει μεγαλύτερο αριθμό ειδών για επιφάνειες που έχουν χαμηλή τιμή σε DCA2, και όπου το αγρωστώδες *Agrostis capillaris* L. ήταν απών. Η επίδραση του pH ήταν αρκετά περίπλοκη (Διάγραμμα 4.2.5.α), εμφανίζοντας έναν ελάχιστο αριθμό ειδών σε περίπου $pH=6,2$ και ένα μέγιστο περίπου σε $pH=5$. Διαχωρισμός των δύο περιοχών (ουσιαστικά προσαρμόζεται σε

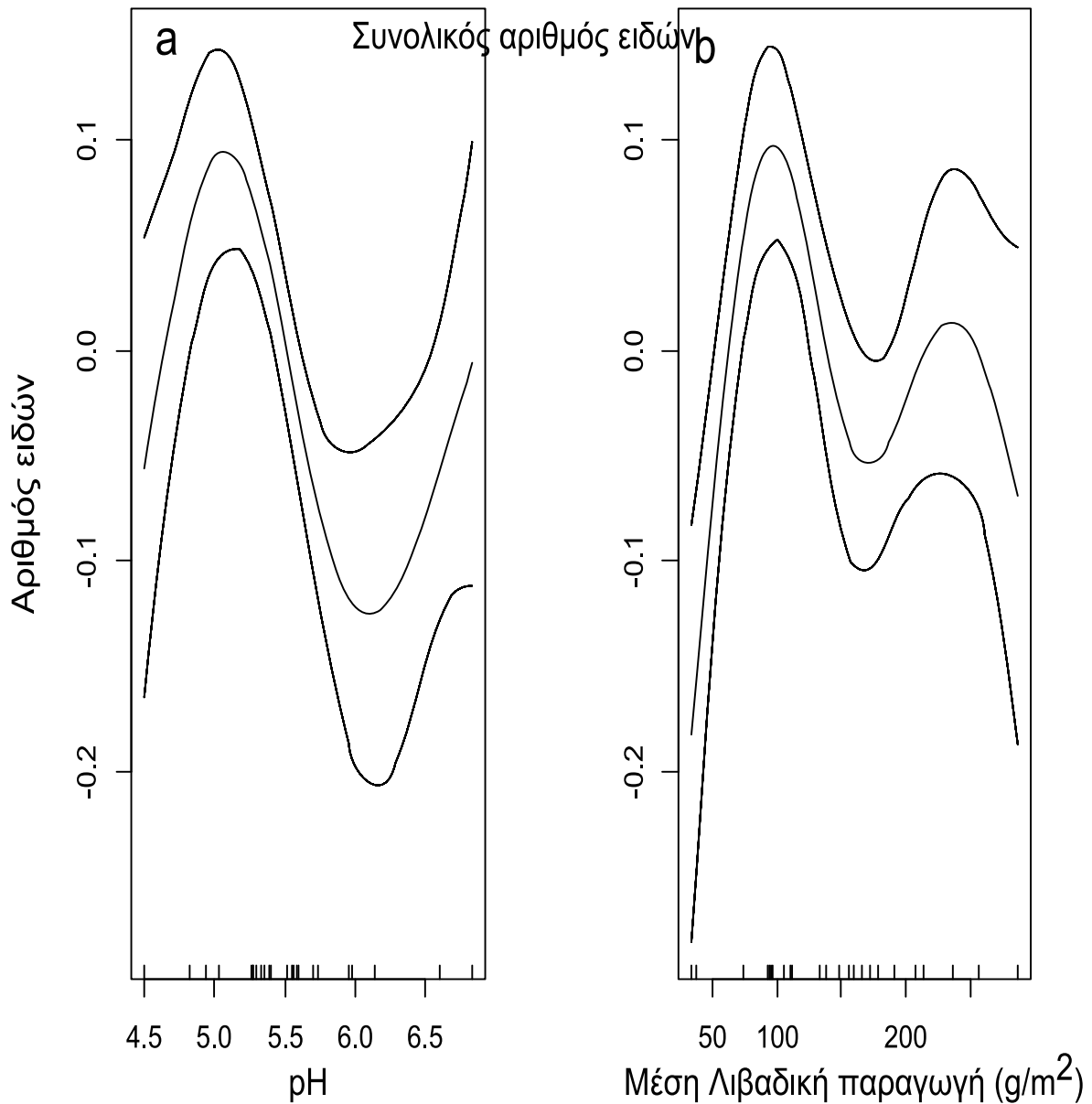
Διάγραμμα 4.2.4. Detrended correspondence analysis (DCA) για τη χλωριδική σύνθεση των δειγματοληπτικών επιφανειών των περιοχών στα εδάφη από G (όρος Μπέλες, ανοικτοί κύκλοι) και στα εδάφη από TA (όρος Τζένα, κλειστοί κύκλοι). Τα μικρά τετράγωνα αντιπροσωπεύουν τα φυτικά είδη. Τα βέλη δείχνουν τη συσχέτιση των περιβαλλοντικών μεταβλητών με τους άξονες συντονισμού.



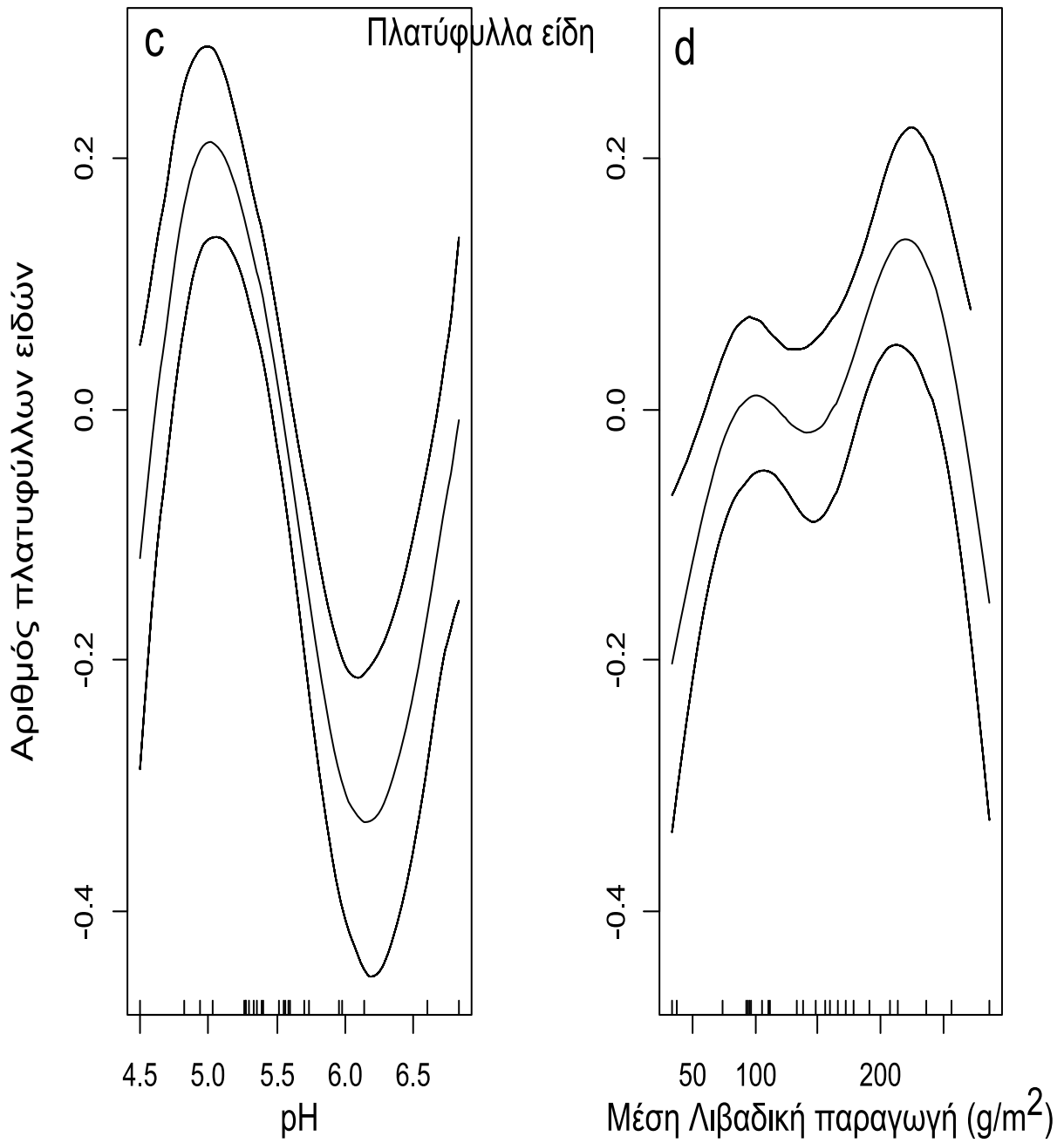
διαφορετικές περιοχές pH) δεν βελτίωσε τη συνολική πρόβλεψη, αν και φάνηκε ότι η μέγιστη τιμή οφειλόταν εξαιτίας των δειγμάτων στην περιοχή των εδαφών από TA και το ελάχιστο στην περιοχή των εδαφών από G. Σχετικά με την επίδραση της HP (Διάγραμμα 4.2.5.b) υπήρχαν δύο κορυφές για το TR σε περίπου $HP = 100 \text{ g/m}^2$, και η δεύτερη σε περίπου $HP = 220 \text{ g/m}^2$. Το μοντέλο για το FR προέβλεπε μια υψηλότερη τιμή για τις περιοχές με χαμηλότερη συγκέντρωση σε εδαφικό N (Πίνακας Π. 4.β2). Οι επιδράσεις της DCA2 (Πίνακας Π. 4.β2), του pH (Διάγραμμα 4.2.6.c) και της HP (Διάγραμμα 4.2.6.d) ήταν παρόμοια με εκείνη της προηγούμενης περίπτωσης, αλλά η δεύτερη κορυφή του FR της $HP = 220 \text{ g/m}^2$ ήταν πολύ υψηλότερη από την πρώτη (Διάγραμμα 4.2.6.d). Για το GR (Πίνακας Π. 4. b3) προβλεπόταν ότι η αύξηση της συγκέντρωσης σε N του εδάφους και η αύξηση του υψομέτρου (Διάγραμμα 4.2.7.) μέχρι το 1820 m. (παρέμενε σταθερή στη συνέχεια) αύξανε την τιμή του GR. Ένα μέγιστο του GR είχε προβλεφθεί για τη $HP = 100 \text{ g/m}^2$, που συμπίπτει

με την πρώτη κορυφή του TR (Διάγραμμα 4.2.7.). Αντίθετα, σε τιμές HP υψηλότερες από 200 g/m^2 ο GR προβλεπόταν να είναι σε χαμηλά επίπεδα.

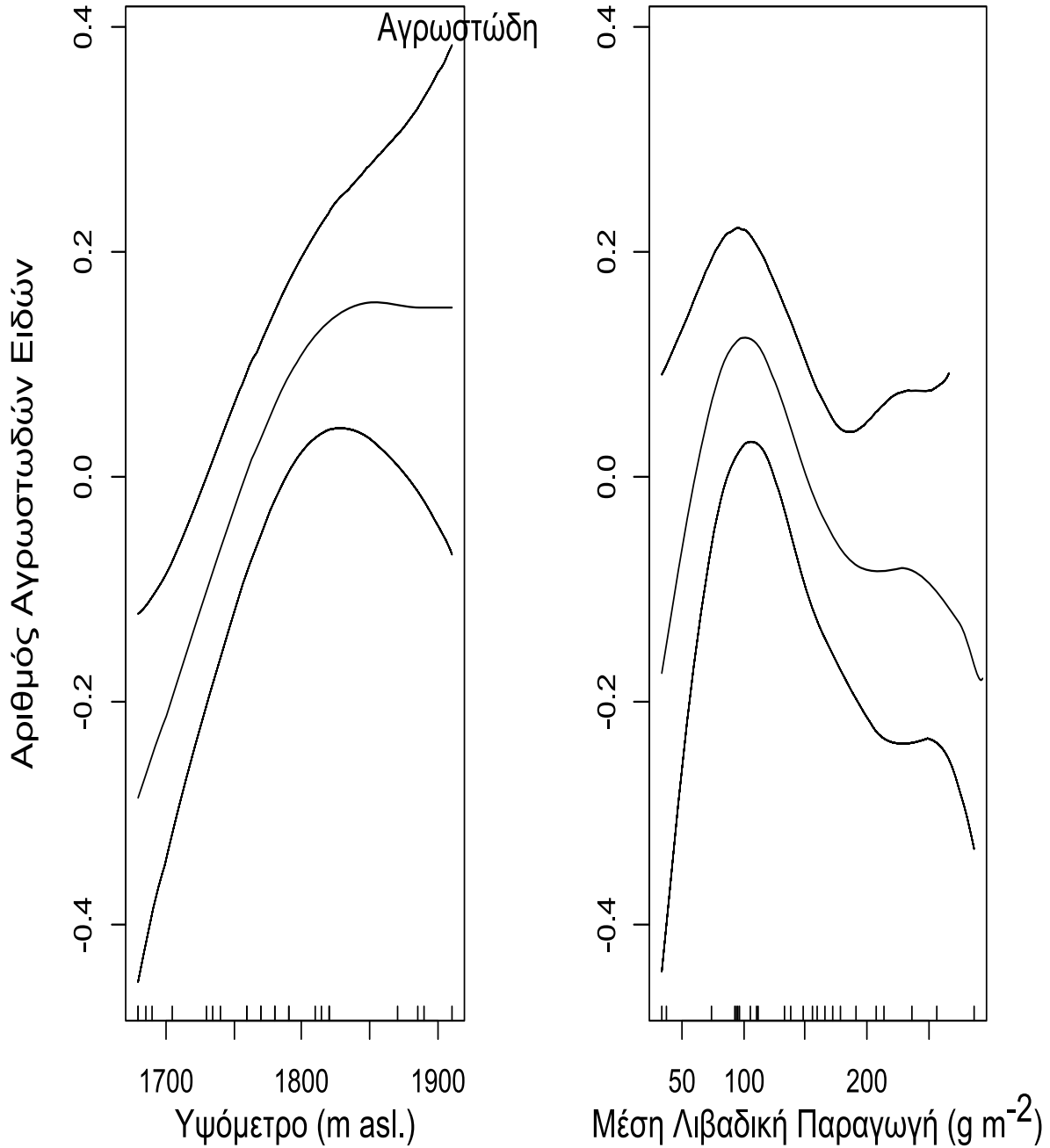
Διάγραμμα 4.2.5. Επίδραση του pH και της μέσης λιβαδικής παραγωγής στο συνολικό αριθμό των ειδών στις δύο υπαλπικές περιοχές των εδαφών από ΤΑ και G, μέσα από το GAM (Γενικευμένο αθροιστικό μοντέλο).



Διάγραμμα 4.2.6. Επίδραση του pH και της μέσης λιβαδικής παραγωγής στον αριθμό των πλατύφυλλων ειδών στις δύο υπαλπικές περιοχές των εδαφών από TA και G, μέσα από το GAM (Γενικευμένο αθροιστικό μοντέλο).



Διάγραμμα 4.2.7. Επίδραση του υψόμετρου και της μέσης λιβαδικής παραγωγής στον αριθμό των αγρωστωδών ειδών στις δύο υποαλπικές περιοχές των εδαφών από TA και G, μέσα από το GAM (Γενικευμένο αθροιστικό μοντέλο).



4. 3. Λιβαδική παραγωγή υπαλπικών λιβαδιών

α) Πρώτο έτος δειγματοληψίας

Η μέγιστη τιμή της λιβαδικής παραγωγής (HP) κατά το πρώτο έτος δειγματοληψίας και στις δύο περιοχές ήταν το μήνα Ιούλιο με μια ανεπαίσθητη αύξηση στην περιοχή των εδαφών από ΤΑ τον Αύγουστο (Πίνακας Π. 5.). Η HP το Μάιο και τον Ιούνιο παρουσίασε σημαντική συσχέτιση με τους δύο άξονες της CCA, αλλά από τον Ιούλιο ως το Σεπτέμβριο είχε σημαντική συσχέτιση μόνο με το δεύτερο άξονα της CCA (Διάγραμμα 4.3.1.). Στην έναρξη της αυξητικής περιόδου (Μάιος-Ιούνιος) η HP ήταν υψηλότερη στα εδάφη από G από ό,τι στα εδάφη από ΤΑ ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.5.), η διαφορά αυτή οφειλόταν στην παραγωγή των επιφανειών με κλίση εδάφους μεταξύ των δύο περιοχών, ενώ η παραγωγή ήταν υψηλότερη σε επιφάνειες που είχαν μικρές τοπικές κλίσεις. Μετά τον Ιούλιο, οι διακυμάνσεις στην HP ήταν μόνο από τις επιφάνειες με κλίσεις, ενώ οι δειγματοληπτικές επιφάνειες σε επίπεδες θέσεις είχαν μικρότερες διακυμάνσεις (Διάγραμμα 4.3.2.). Σε δειγματοληπτικές επιφάνειες με κλίσεις η HP εκτιμάται ότι θα μειωθεί κατά 50 g/m^2 , το οποίο ήταν πιο έντονο στα εδάφη της περιοχής από ΤΑ (μια περαιτέρω μείωση κατά 63 g/m^2). Οι μέσες μηνιαίες τιμές (\pm τυπικό σφάλμα) της παραγωγής από την κάθε περιοχή και την κλίση απεικονίζεται στο Διάγραμμα 4.3.2.

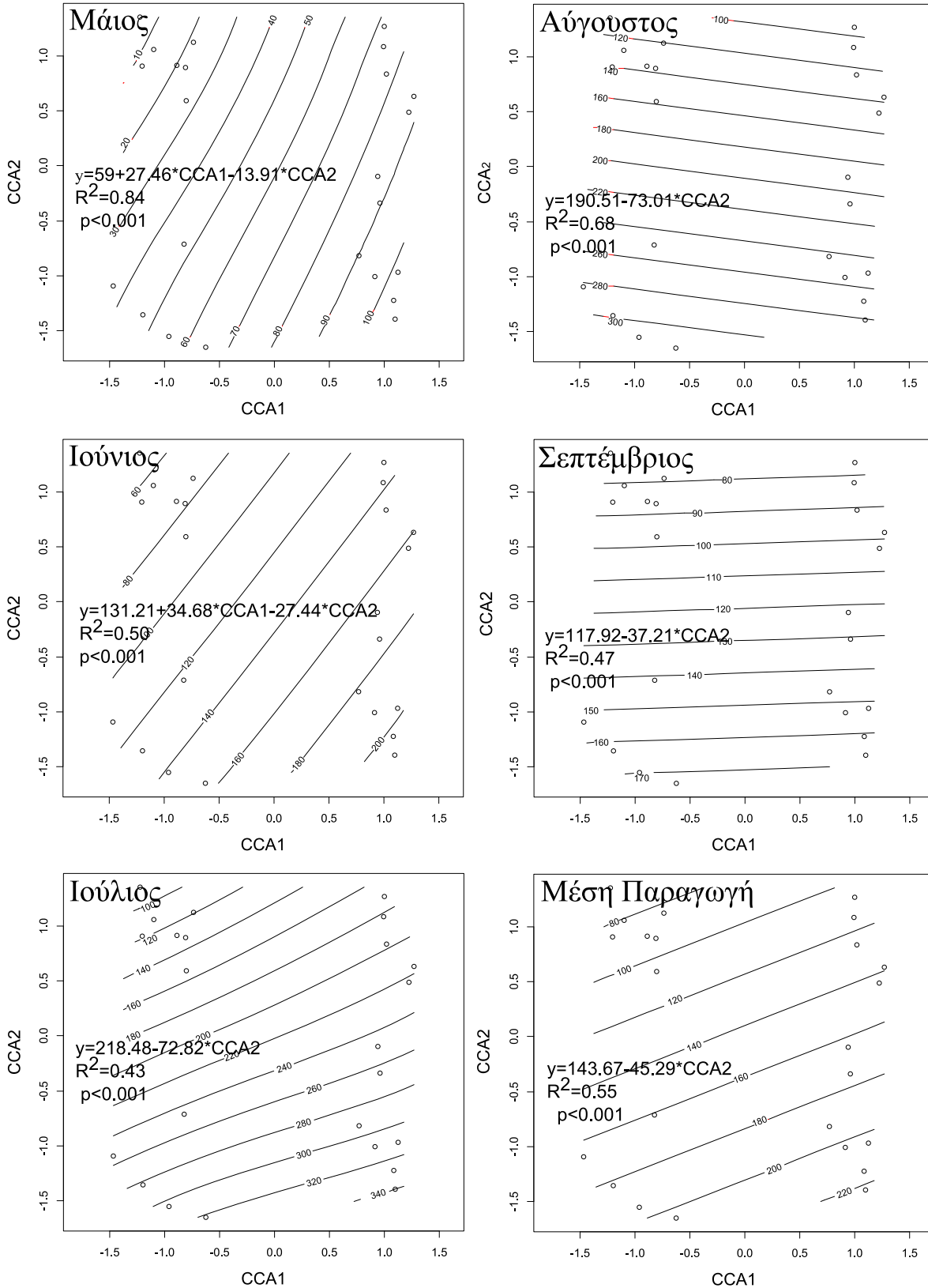
Η HP στα εδάφη της περιοχής από ΤΑ επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής ($p < 0,05$), το υψόμετρο ($p < 0,001$), καθώς και από την αλληλεπίδραση “ μήνας x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.6.). Αντίστοιχα στα εδάφη της περιοχής από G η HP επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής ($p < 0,05$), το υψόμετρο ($p < 0,01$), την κλίση ($p < 0,001$), καθώς και από τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) και “ μήνας x κλίση ” ($p < 0,001$) (Πίνακας Π.7.).

Η HP στα εδάφη από ΤΑ εμφάνισε σημαντικές συσχετίσεις με τα στοιχεία του φυτικού υλικού και συγκεκριμένα είχε θετικές συσχετίσεις με το μήνα κοπής $r = 0,386$, το συγκέντρωση της παραγωγής σε κάλιο $r = 0,382$, σε ασβέστιο $r = 0,427$, σε μαγνήσιο $r = 0,361$, σε φώσφορο $r = 0,555$ και σε ψευδάργυρο $r = 0,382$, ενώ εμφάνισε αρνητικές συσχετίσεις με το υψόμετρο $r = -0,471$, τη κλίση εδάφους $r = -0,446$, το συγκέντρωση της παραγωγής σε ΟΑΟ $r = -0,392$, σε σίδηρο $r = -0,365$ και σε χαλκό $r = -0,409$ (Πίνακας Π. 8.). Αντίθετα με τα εδαφικά χαρακτηριστικά, δεν υπήρξαν σημαντικές συσχετίσεις και συγκεκριμένα υπήρξε σημαντική θετική συσχέτιση μόνο με τον εδαφικό ψευδάργυρο $r = 0,262$ και το ποσοστό της άμμου $r = 0,316$ και αρνητική συσχέτιση με το ποσοστό αργίλου $r = -0,30$ (Πίνακας Π. 10.)

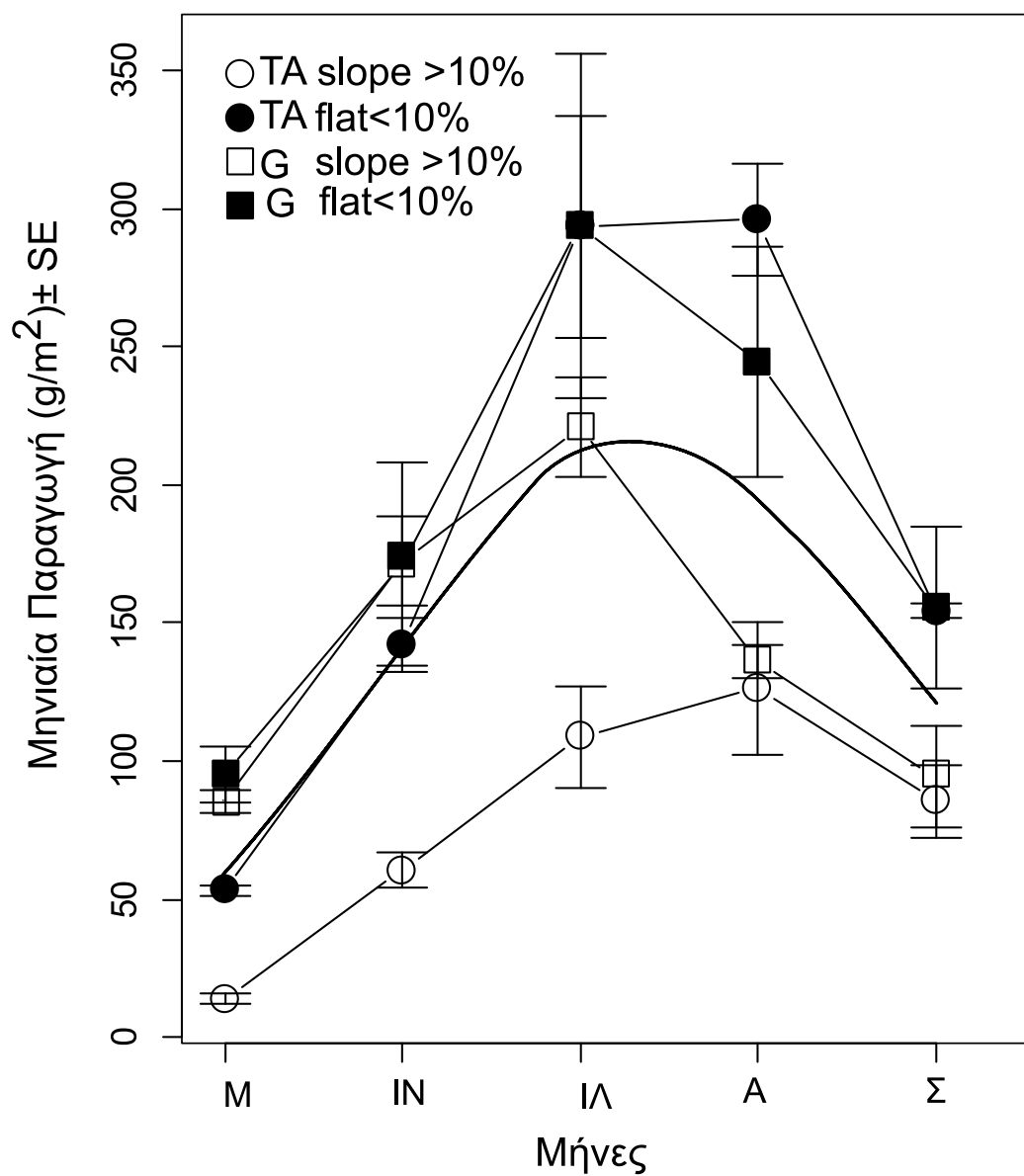
Αντίστοιχα η HP στα εδάφη από G εμφάνισε σημαντικές συσχετίσεις με τα στοιχεία του φυτικού υλικού και συγκεκριμένα είχε σημαντική θετική συσχέτιση με το υψόμετρο $r = 0,24$, με το συγκέντρωση της παραγωγής σε φώσφορο $r = 0,285$ και σε μαγγάνιο $r = 0,282$, ενώ εμφάνισε σημαντική αρνητική συσχέτιση με το Ca:P $r = -0,285$ (Πίνακας Π. 9.). Αντίθετα με την περιοχή των εδαφών από ΤΑ, στην περιοχή των εδαφών από G υπήρξαν σημαντικές συσχετίσεις της λιβαδικής παραγωγής με όλα τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους εκτός του σιδήρου. Συγκεκριμένα, είχε θετικές συσχετίσεις με την OM $r = 0,581$, το ολικό άζωτο $r = 0,575$, το φώσφορο $r = 0,405$, το ασβέστιο $r = 0,405$, το μαγνήσιο $r = 0,411$, το κάλιο $r = 0,437$, το χαλκό $r = 0,480$, το ψευδάργυρο $r = 0,304$, το μαγγάνιο $r = 0,435$ και το ποσοστό της ιλύς $r = 0,347$. Ενώ είχε σημαντική αρνητική συσχέτιση με το ποσοστό της αργίλου $r = -0,310$ (Πίνακας Π. 11.).

Διάγραμμα 4.3.1. Μηνιαίες μεταβολές της λιβαδικής παραγωγής στο επίπεδο των δύο αξόνων της CCA

Λιβαδική Παραγωγή



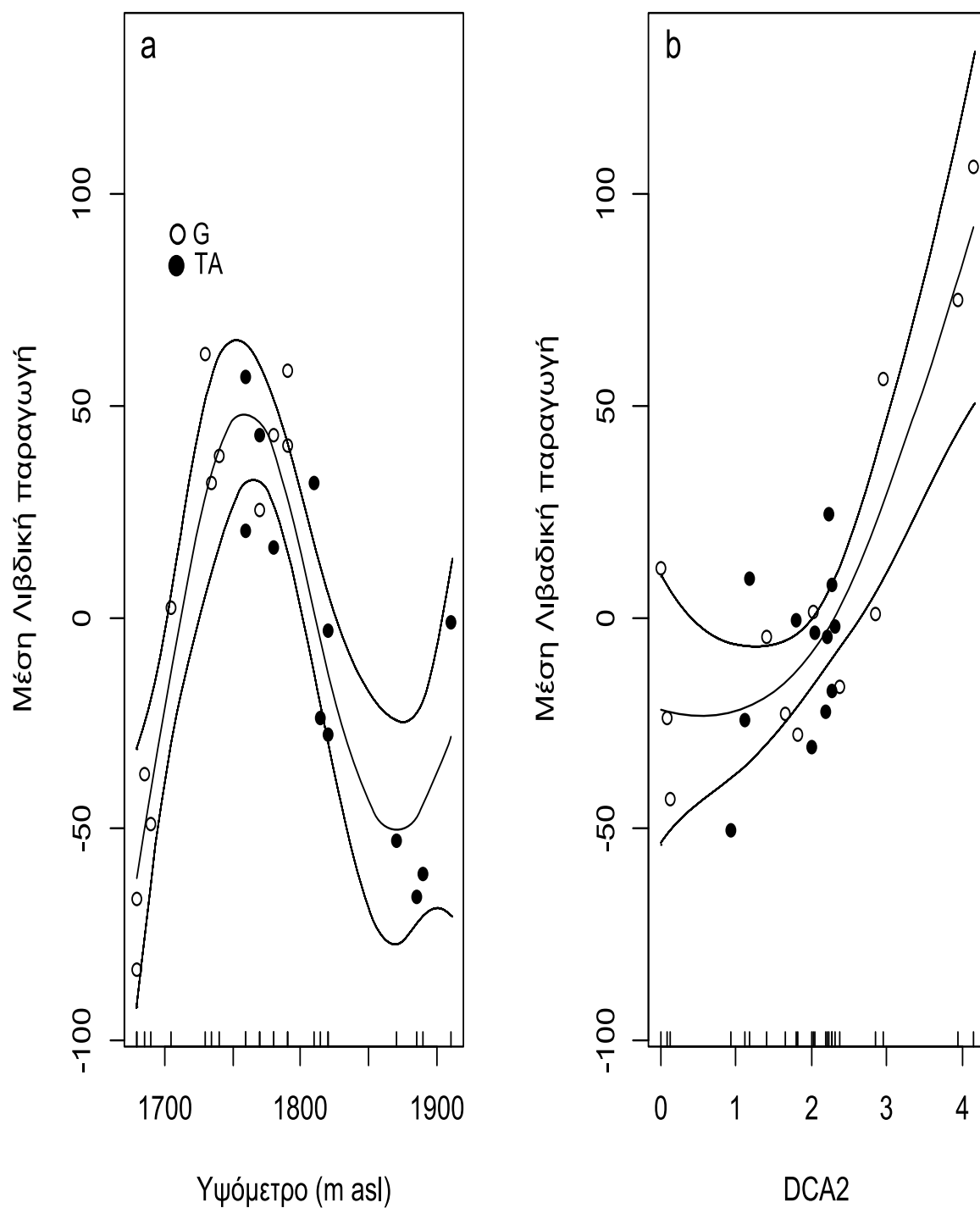
Διάγραμμα 4.3.2. Μηνιαίες μεταβολές της λιβαδικής παραγωγής (Μ.Ο. ± Τ.Σ.) για κάθε περιοχή και κλίση. Η διακεκομμένη γραμμή περιγράφει την επίδραση του μήνα



Μοντέλο πρόβλεψης της μέσης HP υπαλτικών λιβαδιών

Η ακολουθία των παραμέτρων που επιλέχθηκαν του ιεραρχικού μοντέλου πρόβλεψης της μέσης HP παρέχονται στον Πίνακα Π.12. Οι παράμετροι που διατηρούνται στο τελικό μοντέλο ως σημαντικοί προγνωστικοί παράγοντες της HP ήταν η κλίση και το υψόμετρο μεταξύ της ομάδας τοπογραφίας, το εδαφικό K μεταξύ των ιδιοτήτων του εδάφους και ο δεύτερος άξονας της DCA, ο οποίος περιγράφει τη χλωριδική σύνθεση (Πίνακα Π.12. β). Η HP σε δειγματοληπτικές επιφάνειες με απότομη κλίση μειώθηκε κατά περίπου 50 g/m^2 . Το εδαφικό K χρησιμοποιήθηκε, καθώς ήταν μια γραμμική παράμετρος, που επηρέαζε θετικά τη HP και στις δύο περιοχές. Το υψόμετρο εμφανίστηκε ως σημαντικός παράγοντας πρόβλεψης της HP που προβλεπόταν να είναι χαμηλή σε επιφάνειες με χαμηλό ή υψηλό υψόμετρο και κατά ανώτατο όριο περίπου 1760 m (Διάγραμμα 4.3.3.a). Αξιοσημείωτο είναι ότι η ανταπόκριση του υψομέτρου διέφερε ανάμεσα στις δύο περιοχές (Διάγραμμα 4.3.3.a). Η αύξηση του υψομέτρου φάνηκε να ευνοεί τη HP στα εδάφη από G, ενώ, αντίθετα, επιδρούσε αρνητικά στα εδάφη από TA. Ωστόσο, ο παράγοντας υψόμετρο, όταν εφαρμόζοταν ξεχωριστά για κάθε περιοχή, δεν βελτίωνε τις τιμές πρόβλεψης. Το μοντέλο πρόβλεψης θεωρεί σαν σημαντικό παράγοντα το υψόμετρο ανεξάρτητα από την περιοχή-Βουνό (η οποία δεν ήταν σημαντικός παράγοντας). Προφανώς το υψόμετρο και όχι ο παράγοντας περιοχή-Βουνό ήταν σημαντικός παράγοντας πρόβλεψης της HP. Τέλος, μια υψηλότερη HP είχε προβλεφθεί για τις δειγματοληπτικές επιφάνειες με υψηλότερες τιμές χλωριδικής σύνθεσης (DCA2) (Διάγραμμα 4.3.3.b).

Διάγραμμα 4.3.3. Επίδραση του υψόμετρου και της χλωριδικής σύνθεσης (DCA 2) στην πρόβλεψη της μέσης λιβαδικής παραγωγής σε ένα γενικευμένο αθροιστικό μοντέλο (GAM).



β) Δεύτερο έτος δειγματοληψίας

Κατά το δεύτερο έτος, όπου η παραγωγή είχε χωριστεί σε τρεις ομάδες, η μέγιστη τιμή της συνολικής λιβαδικής παραγωγής και στις δύο περιοχές ήταν το μήνα Αύγουστο. Ωστόσο, η μέγιστη τιμή της λιβαδικής παραγωγής ανά ομάδα διέφερε χρονικά εντός της περιόδου αλλά και μεταξύ των δύο περιοχών. Συγκεκριμένα, τα αγρωστώδη εμφάνισαν μέγιστη παραγωγή και στις δύο περιοχές το μήνα Αύγουστο. Αντιθέτως, η παραγωγή των πλατύφυλλων και των ψυχανθών στα εδάφη από ΤΑ εμφάνισαν μέγιστο στο ξεκίνημα της περιόδου τον Ιούνιο, ενώ στα εδάφη από G το μήνα Αύγουστο και Ιούλιο, αντίστοιχα. Η παραγωγή μεταξύ των ομάδων και στις δύο περιοχές εμφάνισε σημαντικές διαφορές, όπου εμφανίζεται η παραγωγή των αγρωστωδών να είναι σημαντικά υψηλότερη $p < 0,05$ από τις δύο άλλες ομάδες και τα ψυχανθή να έχουν τη χαμηλότερη παραγωγή $p < 0,05$ (Πίνακας Π. 13.). Οι μηνιαίες σημαντικές διαφορές ανά ομάδα εμφανίζονται στον Πίνακα Π.13. Επίσης η παραγωγή των πλατύφυλλων και των ψυχανθών εμφανίζεται σημαντικά υψηλότερη $p < 0,01$ στην G, αντιθέτως, στα αγρωστώδη η παραγωγή ήταν σημαντικά υψηλότερη $p < 0,05$ στην ΤΑ.

Η υπαλπική λιβαδική παραγωγή των αγρωστωδών επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής $p < 0,001$ και το υψόμετρο $p < 0,001$, καθώς και από την αλληλεπίδραση “περιοχή x υψόμετρο” $p < 0,05$ (Πίνακας Π. 14.). Η υπαλπική λιβαδική παραγωγή των πλατύφυλλων επηρεάστηκε σημαντικά από το υψόμετρο $p < 0,001$ (Πίνακας Π. 15.), ενώ η υπαλπική λιβαδική παραγωγή των ψυχανθών δεν επηρεάστηκε από κανέναν παράγοντα εκτός της περιοχής (Πίνακας Π. 16.).

Η υπαλπική λιβαδική παραγωγή των αγρωστωδών εμφάνισε σημαντικές συσχετίσεις με τα εδαφικά χαρακτηριστικά και συγκεκριμένα είχε θετική συσχέτιση με την ΟΜ $r = 0,39$, το άζωτο $r = 0,39$, το κάλιο $r = 0,46$, το ασβέστιο $r = 0,24$, το μαγνήσιο $r = 0,44$, το φώσφορο $r = 0,43$ και το ψευδάργυρο $r = 0,30$ ενώ είχε σημαντική αρνητική συσχέτιση με την κλίση εδάφους $r = -0,30$ (Πίνακας Π. 16.). Η υπαλπική λιβαδική παραγωγή των πλατύφυλλων εμφάνισε σημαντικές θετικές συσχετίσεις με το pH $r = 0,27$, την ΟΜ $r = 0,39$, το κάλιο $r = 0,53$, το μαγνήσιο $r = 0,43$, το ασβέστιο $r = 0,37$, το φώσφορο $r = 0,26$ και το ποσοστό της άμμου $r = 0,25$ ενώ είχε σημαντικές αρνητικές συσχετίσεις με το υψόμετρο $r = -0,27$, την κλίση εδάφους $r = -0,49$ και τα ποσοστά ιλύς $r = -0,24$ και αργίλου $r = -0,34$ (Πίνακας Π. 17.). Ομοίως, η υπαλπική λιβαδική παραγωγή των ψυχανθών εμφάνισε συσχετίσεις με τα ίδια εδαφικά στοιχεία που εμφάνισε η παραγωγή των πλατύφυλλων, ενώ είχε επιπλέον αρνητική συσχέτιση με χαλκό $r = -0,33$ (Πίνακας Π. 16.).

4. 4. Περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής σε αζωτούχες ουσίες

Και στα δύο έτη δειγματοληψίας, το περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής σε αζωτούχες ουσίες (ΑΟ) ήταν μεγαλύτερο στην αρχή της αυξητικής περιόδου των φυτών και μειωνόταν όσο τα φυτά ωρίμαζαν (Πίνακες Π. 5., Π. 13.). Κατά το πρώτο έτος το περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής σε ΑΟ στα εδάφη από ΤΑ επηρεάστηκε σημαντικά ($p < 0,01$) από το υψόμετρο, καθώς επίσης και από την αλληλεπίδραση “υψόμετρο x κλίση” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π. 6.). Αντιθέτως, το περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής σε ΑΟ στα εδάφη από G δεν επηρεάστηκε από κανένα παράγοντα (Πίνακας Π. 7.). Η ανάλυση διακύμανσης έδειξε ότι οι ΑΟ μεταξύ των δύο περιοχών εμφάνισαν σημαντικές διαφορές ($p < 0,05$) όλους τους μήνες πλην του Μαΐου. Ωστόσο, η μέση περιεκτικότητα σε ΑΟ δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των δύο περιοχών το πρώτο έτος δειγματοληψίας (Πίνακας Π. 5.).

Η ανάλυση της συσχέτισης (Πίνακες Π.8., Π.9) έδειξε, ότι το περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής σε ΑΟ στις δύο περιοχές εμφάνισαν σημαντικές συσχετίσεις με τις

συγκεντρώσεις των στοιχείων του φυτικού υλικού και συγκεκριμένα είχαν σημαντικές θετικές συσχετίσεις με το κάλιο, με το νάτριο, το χαλκό και το GTI, ενώ είχαν σημαντικές αρνητικές συσχετίσεις με το μήνα κοπής, με το ασβέστιο, με το ψευδάργυρο, το μαγγάνιο, με το Ca:P και το K:Na, επίσης, υπήρξε αρνητική συσχέτιση των ΑΟ με την παραγωγή στα εδάφη από ΤΑ και με το μαγνήσιο στα εδάφη από G. Αντίθετα, με τα εδαφικά χαρακτηριστικά δεν υπήρξαν σημαντικές συσχετίσεις σε καμία από τις δύο περιοχές (Πίνακες Π.10, Π.11).

Στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας, το περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής των ψυχανθών σε ΑΟ καθώς και οι μηνιαίες τιμές και στις δύο υπαλπικές περιοχές ήταν σημαντικά υψηλότερο ($p < 0,05$) από ό,τι στα αγρωστώδη και στα πλατύφυλλα (Πίνακας Π. 13). Μεταξύ των δύο περιοχών, στις τιμές των ΑΟ δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές σε καμία ομάδα. Το συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών σε ΑΟ επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής $p < 0,001$, το υψόμετρο $p < 0,001$ καθώς και από τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x περιοχή ” $p < 0,01$ και “ μήνας x περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π. 14). Το περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής των πλατύφυλλων και των ψυχανθών σε ΑΟ επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής $p < 0,001$, και το υψόμετρο $p < 0,001$ (Πίνακες Π. 15., Π.16.). Η ανάλυση συσχέτισης έδειξε σημαντικές αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ του περιεχομένου της λιβαδικής παραγωγής σε ΑΟ των αγρωστωδών και ψυχανθών με το μήνα κοπής, την κλίση εδάφους και με το υψόμετρο, αντίθετα στα πλατύφυλλα υπήρξαν αρνητικές συσχετίσεις μόνο με το μήνα κοπής και την κλίση εδάφους. Ωστόσο, μόνο στα ψυχανθή βρέθηκαν σημαντικές θετικές σχέσεις με εδαφικά χαρακτηριστικά και συγκεκριμένα με την περιεκτικότητα του εδάφους σε ΟΜ, τη συγκέντρωση του εδάφους σε άζωτο, φώσφορο, κάλιο, ασβέστιο, ψευδάργυρο και το ποσοστό άμμου, επίσης βρέθηκαν σημαντικές αρνητικές συσχετίσεις με το ποσοστό της ιλύος και της αργίλου. (Πίνακας Π. 17.).

4. 5. Περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε κυτταρικά τοιχώματα

Περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε NDF

Η περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε NDF παρουσίασε αύξηση, όσο τα φυτά ωρίμαζαν εμφανίζοντας την ελάχιστη τιμή του στην αρχή της περιόδου δειγματοληψίας του δεύτερου έτους. Το συγκεκριμένο πρότυπο με μικρές παραλλαγές εμφανίστηκε και στις τρεις ομάδες φυτών και στις δύο περιοχές (Πίνακας Π. 13.). Η μέση περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών σε NDF καθώς και οι μηνιαίες τιμές και στις δύο υπαλπικές περιοχές ήταν σημαντικά υψηλότερες ($p < 0,05$) από ό,τι στα ψυχανθή και στις πλατύφυλλες πόες (Πίνακας Π. 13.). Επίσης η μέση περιεκτικότητα σε NDF μεταξύ των ψυχανθών και των πλατύφυλλων στην περιοχή των εδαφών από ΤΑ δεν διέφερε σημαντικά ($p > 0,05$), ενώ στα εδάφη από G η τιμή του NDF των ψυχανθών ήταν σημαντικά υψηλότερη ($p < 0,05$) από αυτή των πλατύφυλλων. Μεταξύ των δύο περιοχών υπήρξαν σημαντικές διαφορές μόνο στη μέση περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε NDF στα πλατύφυλλα εμφανίζοντας υψηλότερη τιμή ($p < 0,05$) στην περιοχή των εδαφών από ΤΑ, αντίθετα στα αγρωστώδη και στα ψυχανθή δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$) μεταξύ των δύο περιοχών (Πίνακας Π. 13.).

Η περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών σε NDF επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής ($p < 0,001$) καθώς και από τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x περιοχή ” ($p < 0,05$) και “ μήνας x περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π. 14.). Η περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής των πλατύφυλλων σε NDF επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής ($p < 0,01$) και την αλληλεπίδραση “ περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π. 15.). Αντίστοιχα, η περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής των ψυχανθών σε

NDF επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής ($p < 0,001$) και το υψόμετρο ($p < 0,001$) (Πίνακας Π. 16.). Η ανάλυση συσχέτισης (Πίνακας Π. 17.) έδειξε σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ της περιεκτικότητας της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών σε NDF με το μήνα κοπής, αντίστοιχα στα πλατύφυλλα και ψυχανθή υπήρξε θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, το υψόμετρο και την κλίση εδάφους. Επιπλέον, στα πλατύφυλλα υπήρξε θετική συσχέτιση με τη συγκέντρωση του εδάφους σε άζωτο και το ποσοστό της ιλύος, ενώ στα ψυχανθή με τη συγκέντρωση του εδάφους σε μαγνήσιο. Αρνητικές συσχετίσεις υπήρξαν στα αγρωστώδη με την συγκέντρωση του εδάφους σε χαλκό, ψευδάργυρο, μαγγάνιο, και με το ποσοστό της ιλύος και στα πλατύφυλλα με την συγκέντρωση του εδάφους σε χαλκό και με το ποσοστό της άμμου. Όλες οι συσχετίσεις εμφανίζονται στο Πίνακα Π. 17.

Περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε ADF

Η περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε ADF παρουσίασε το ίδιο πρότυπο με το NDF παρουσιάζοντας προοδευτική αύξηση με την ωρίμανση των φυτών των τριών ομάδων και στις δύο περιοχές (Πίνακας Π. 13.). Η μέση περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής των ψυχανθών σε ADF καθώς και οι μηνιαίες τιμές και στις δύο υπαλπικές περιοχές ήταν σημαντικά χαμηλότερες ($p < 0,05$) σε σχέση με τα αγρωστώδη και τα πλατύφυλλα (Πίνακας Π. 13.). Παρόλο που στα εδάφη της περιοχής από G το ADF των αγρωστωδών είχε σημαντικά υψηλότερη τιμή ($p < 0,05$) από τα πλατύφυλλα, εντούτοις, στα εδάφη της περιοχής από TA δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$) μεταξύ των αγρωστωδών και των πλατύφυλλων. Μεταξύ των δύο περιοχών υπήρξαν σημαντικές διαφορές μόνο στη μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών σε ADF ($p < 0,01$) εμφανίζοντας υψηλότερη τιμή στα εδάφη της περιοχής από G, αντίθετα στα πλατύφυλλα και στα ψυχανθή δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$) μεταξύ των δύο περιοχών (Πίνακας Π. 13.).

Η περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών, πλατύφυλλων και ψυχανθών σε ADF επηρεάστηκε σημαντικά μόνο από το μήνα κοπής ($p < 0,001$) (Πίνακες Π. 14, Π.15, Π.16.). Η ανάλυση συσχέτισης έδειξε σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ της περιεκτικότητας της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών σε ADF με το μήνα κοπής και το ποσοστό του εδάφους σε άμμο, ενώ είχε σημαντική αρνητική συσχέτιση με το υψόμετρο, την συγκέντρωση του εδάφους σε άζωτο, φώσφορο, χαλκό, ψευδάργυρο, μαγγάνιο και το ποσοστό της ιλύος. Στα πλατύφυλλα υπήρξε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, το υψόμετρο, την ΟΜ εδάφους και την συγκέντρωση του εδάφους σε άζωτο και μαγνήσιο. Στα ψυχανθή υπήρξε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, το pH του εδάφους, την ΟΜ του εδάφους, τη συγκέντρωση του εδάφους σε μαγνήσιο καθώς και το ποσοστό του εδάφους σε άμμο, ενώ σημαντική αρνητική συσχέτιση είχε μόνο με το ποσοστό της ιλύος. Όλες οι συσχετίσεις εμφανίζονται στο Πίνακα Π. 17.

Περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε ADL (λιγνίνη)

Η περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε ADL παρουσίασε παρόμοια μεταβολή με αυτή των προηγούμενων κλασμάτων των κυτταρικών τοιχωμάτων (NDF και ADF). Υψηλότερες τιμές σε ADL καταγράφηκαν το τελευταίο μήνα της αυξητικής περιόδου, το Σεπτέμβριο σε όλες τις λειτουργικές ομάδες και στις δύο περιοχές (Πίνακας Π.13.). Η μέση περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών σε ADL καθώς και οι μηνιαίες τιμές και στις δύο υπαλπικές περιοχές ήταν σημαντικά χαμηλότερες ($p < 0,05$) σε σχέση με τα ψυχανθή και τα πλατύφυλλα (Πίνακας Π.13.). Επίσης παρατηρήθηκε ότι στα εδάφη της περιοχής από TA τα πλατύφυλλα είχαν σημαντικά υψηλότερη τιμή ($p < 0,05$) σε ADL από τα ψυχανθή, ενώ στα εδάφη της περιοχής από G μεταξύ των πλατύφυλλων και των ψυχανθών δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$). Μεταξύ των δύο περιοχών υπήρξαν

σημαντικές διαφορές στη μέση περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών σε ADF ($p < 0,001$) και στα ψυχανθή ($p < 0,05$) εμφανίζοντας υψηλότερη τιμή και στις δύο ομάδες στα εδάφη της περιοχής από G, αντίθετα, στα πλατύφυλλα δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$) μεταξύ των δύο περιοχών (Πίνακας Π.13.).

Ο μήνας κοπής ήταν ο μόνος παράγοντας ο οποίος επηρέασε σημαντικά τη περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε ADL των αγρωστωδών ($p < 0,01$), πλατύφυλλων ($p < 0,001$) και ψυχανθών ($p < 0,001$), ενώ στα πλατύφυλλα υπήρξε επιπλέον σημαντική επίδραση του υψομέτρου ($p < 0,01$) (Πίνακες Π.14., Π.15., Π.16.). Σημαντική συσχέτιση υπήρξε μεταξύ των εδαφολογικών χαρακτηριστικών και της περιεκτικότητας της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών, πλατύφυλλων και ψυχανθών σε ADL. Συγκεκριμένα, στα αγρωστώδη υπήρχε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, το pH εδάφους και το ποσοστό του εδάφους σε άμμο, ενώ αρνητική σημαντική συσχέτιση εμφάνισε με το υψόμετρο, την συγκέντρωση του εδάφους σε άζωτο, φώσφορο και τα τέσσερα ιχνοστοιχεία καθώς και με τα ποσοστά της ιλύος και της αργίλου. Στα πλατύφυλλα υπήρξε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, το υψόμετρο, την κλίση εδάφους, την OM εδάφους και την συγκέντρωση του εδάφους σε άζωτο και μαγνήσιο, ενώ αρνητική συσχέτιση είχε με τον εδαφικό χαλκό. Στα ψυχανθή υπήρξε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, την OM εδάφους, την συγκέντρωση του εδάφους σε μαγνήσιο καθώς και το ποσοστό του άμμου, ενώ αρνητική συσχέτιση είχε με το ποσοστό της ιλύος και της αργίλου. Όλες οι συσχετίσεις εμφανίζονται στο Πίνακας Π. 17.

4. 6. Συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ανόργανα στοιχεία

4. 6. 1. Κάλιο

Η διακύμανση της συγκέντρωσης της λιβαδικής παραγωγής σε κάλιο (K) κατά τη διάρκεια της περιόδου ωρίμανσης των φυτών ήταν παρόμοια και στις δύο περιοχές (Πίνακας Π.5.). Κατά το πρώτο έτος η συγκέντρωση K της λιβαδικής παραγωγής και στις δύο περιοχές δεν επηρεάστηκε από κανένα παράγοντα (Πίνακες Π.6, Π.7.). Η μέση συγκέντρωση K της λιβαδικής παραγωγής δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των δύο περιοχών, ωστόσο, τους μήνες Μάιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο ήταν σημαντικά υψηλότερη στα εδάφη από G $p < 0,05$ (Πίνακας Π.5.).

Η συγκέντρωση K της λιβαδικής παραγωγής στα εδάφη που προέρχονται από ΓΑ εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με τη λιβαδική παραγωγή, με τις ΑΟ της λιβαδικής παραγωγής, με την συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε φώσφορο, νάτριο, χαλκό και το δείκτη GTI, ενώ είχε αρνητική συσχέτιση με το υψόμετρο, την κλίση του εδάφους, την συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε σίδηρο, μαγνήσιο και το δείκτη Ca:P (Πίνακας Π.8.). Από τα εδαφικά χαρακτηριστικά είχε θετική συσχέτιση με το φώσφορο, το ασβέστιο, το ψευδάργυρο και το ποσοστό άμμου, ενώ είχε αρνητική συσχέτιση με το χαλκό και το ποσοστό αργίλου (Πίνακας Π.10.).

Αντίστοιχα η συγκέντρωση K της παραγωγής στα εδάφη που προέρχονται από G εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με την περιεκτικότητα σε ΑΟ της λιβαδικής παραγωγής, τη συγκέντρωση σε νάτριο, σε χαλκό και το δείκτη GTI, ενώ παρουσίασε αρνητική συσχέτιση μόνο με την κλίση εδάφους (Πίνακας Π.9.). Επίσης εμφάνισε σημαντικές θετικές συσχετίσεις με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC), την OM εδάφους, τη συγκέντρωση εδάφους σε ολικό άζωτο, φώσφορο, ασβέστιο, μαγνήσιο, χαλκό, ψευδάργυρο, μαγνήσιο και σίδηρο (Πίνακας Π.11.).

Στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας, η μέση συγκέντρωση Κ της λιβαδικής παραγωγής διάφερε σημαντικά μεταξύ των τριών λειτουργικών ομάδων αλλά και μεταξύ των δύο περιοχών. Στα εδάφη από ΤΑ τα αγρωστώδη εμφάνισαν σημαντικά μικρότερη τιμή $p < 0,05$ από τις δύο άλλες ομάδες, ενώ μεταξύ των πλατύφυλλων και ψυχανθών δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές. Στα εδάφη με G τα πλατύφυλλα είχαν σημαντικά υψηλότερη τιμή $p < 0,01$ από τις δύο άλλες ομάδες οι οποίες δεν παρουσίασαν μεταξύ τους σημαντικές διαφορές (Πίνακας Π.13.). Η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Κ μεταξύ των δύο περιοχών εμφάνισε σημαντικές διαφορές και συγκεκριμένα ήταν σημαντικά υψηλότερη $p < 0,05$ στα αγρωστώδη και στα πλατύφυλλα στα εδάφη από G απ'ό,τι στα εδάφη από ΤΑ, ενώ στα ψυχανθή δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές (Πίνακας Π.13.).

Η συγκέντρωση Κ των αγρωστωδών, πλατύφυλλων και ψυχανθών των υπαλπικών λιβαδιών επηρεάστηκε από το μήνα κοπής και το υψόμετρο $p < 0,001$, ενώ στα πλατύφυλλα επηρεάστηκε επίσης από την αλληλεπίδραση “ μήνας x περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) (Πίνακες Π.14., Π.15, Π.16.). Η ανάλυση συσχέτισης έδειξε σημαντικές αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ της συγκέντρωσης Κ της λιβαδικής παραγωγής και των τριών ομάδων, με το μήνα κοπής, το υψόμετρο και την κλίση εδάφους, επιπλέον στα αγρωστώδη και πλατύφυλλα βρέθηκαν αρνητικές συσχετίσεις με το ποσοστό ιλύος και αργίλου και στα πλατύφυλλα με το άζωτο εδάφους. Σημαντικές θετικές συσχετίσεις εμφάνισε η συγκέντρωση Κ στα αγρωστώδη με το pH, τη συγκέντρωση του εδάφους σε Κ και το ποσοστό άμμου, ενώ στα πλατύφυλλα υπήρξε θετική συσχέτιση μόνο με το ποσοστό εδάφους σε άμμο. Όλες οι συσχετίσεις εμφανίζονται στο Πίνακα Π. 17.

4. 6. 2. Ασβέστιο

Η διακύμανση της συγκέντρωσης του ασβεστίου (Ca) στη λιβαδική παραγωγή παρουσίασε διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας. Το πρώτο έτος εμφάνισε προοδευτική αύξηση από το ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου των φυτών με υψηλότερη τιμή τον Αύγουστο και στις δύο περιοχές (Πίνακας Π.5.), ενώ το δεύτερο έτος τα αγρωστώδη και ψυχανθή παρουσίασαν υψηλότερη τιμή στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου, τον Ιούνιο, ενώ τα πλατύφυλλα τον Ιούλιο και στις δύο περιοχές (Πίνακας Π.13.). Κατά το πρώτο έτος δειγματοληψίας η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Ca στα εδάφη από ΤΑ επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής ($p < 0,001$), το υψόμετρο ($p < 0,01$) και τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x υψόμετρο ” ($p < 0,001$), “ μήνας x κλίση ” ($p < 0,001$) και “ μήνας x υψόμετρο x κλίση ” ($p < 0,001$) (Πίνακας Π.6.). Στα εδάφη από G επηρεάστηκε μόνο από τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x κλίση ” ($p < 0,001$) και “ μήνας x υψόμετρο x κλίση ” ($p < 0,001$) (Πίνακας Π.7.). Η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Ca διέφερε σημαντικά μεταξύ των δύο περιοχών ($p < 0,01$) εμφανίζοντας υψηλότερη τιμή στα εδάφη από G, παράλληλα τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Σεπτέμβριο η τιμή Ca ήταν σημαντικά υψηλότερη στα εδάφη από G $p < 0,05$ (Πίνακας Π.5.).

Η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Ca στα εδάφη από ΤΑ εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, τη λιβαδική παραγωγή, τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε μαγνήσιο, σε ψευδάργυρο και τους δείκτες Ca:P και K:Na, ενώ είχε αρνητική συσχέτιση με την κλίση εδάφους, με τη περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε ΑΟ, με τη συγκέντρωση σε χαλκό και το δείκτη GTI (Πίνακας Π.8.). Από τα εδαφικά χαρακτηριστικά είχε θετική συσχέτιση με το pH εδάφους, την συγκέντρωση του εδάφους σε ασβέστιο, μαγγάνιο και χαλκό (Πίνακας Π.10.).

Αντίστοιχα, η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Ca στα εδάφη από G εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε μαγνήσιο, φώσφορο, σίδηρο, ψευδάργυρο, μαγγάνιο και το δείκτη Ca:P, ενώ

παρουσίασε αρνητικές συσχετίσεις με την περιεκτικότητα σε ΑΟ, χαλκό και το δείκτη GTI (Πίνακας Π.9.). Από τα εδαφικά χαρακτηριστικά εμφάνισε μόνο αρνητικές συσχετίσεις με την συγκέντρωση του εδάφους σε χαλκό και σίδηρο (Πίνακας Π.11.).

Στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας, η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Ca διάφερε σημαντικά μεταξύ των τριών λειτουργικών ομάδων και στις δύο περιοχές αλλά όχι μεταξύ των δύο περιοχών. Στα εδάφη από ΤΑ τα ψυχανθή είχαν σημαντικά υψηλότερη τιμή σε Ca ($p < 0,001$) από τις δύο άλλες ομάδες, ενώ, αντίθετα, τα αγρωστώδη εμφάνισαν τη μικρότερη τιμή ($p < 0,001$). Αντίστοιχα στα εδάφη από G τα αγρωστώδη εμφάνισαν τη μικρότερη τιμή ($p < 0,001$) μεταξύ των ομάδων, αλλά μεταξύ των πλατύφυλλων και ψυχανθών δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές. Η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Ca μεταξύ των δύο περιοχών δεν εμφάνισε σημαντικές διαφορές σε καμία από τις ομάδες (Πίνακας Π.13.).

Η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών, πλατύφυλλων και ψυχανθών σε Ca επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής ($p < 0,001$), ενώ των ψυχανθών επηρεάστηκε επιπλέον από το υψόμετρο ($p < 0,01$) και των πλατύφυλλων από την αλληλεπίδραση “ περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) (Πίνακες Π.14, Π.15., Π.16.). Η ανάλυση συσχέτισης έδειξε σημαντικές αρνητικές συσχετίσεις ($p < 0,001$, $p < 0,01$) μεταξύ της συγκέντρωσης Ca της λιβαδικής παραγωγής και των τριών ομάδων με το μήνα κοπής, ενώ στα πλατύφυλλα βρέθηκε επίσης αρνητική συσχέτιση με το εδαφικό μαγνήσιο, το σίδηρο και το ποσοστό αργίλου του εδάφους, ενώ στα ψυχανθή υπήρξε επίσης αρνητική συσχέτιση με το υψόμετρο και την κλίση εδάφους. Θετικές συσχετίσεις βρέθηκαν στα πλατύφυλλα με το pH εδάφους και στα ψυχανθή με το κάλιο του εδάφους (Πίνακας Π.17.).

4. 6. 3. Μαγνήσιο

Η διακύμανση της συγκέντρωσης του μαγνησίου (Mg) της λιβαδικής παραγωγής παρουσίασε διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας. Στο πρώτο έτος εμφάνισε υψηλότερη τιμή τον Ιούλιο στα εδάφη από ΤΑ και το Σεπτέμβριο αντίστοιχα στα εδάφη από G, ενώ το δεύτερο έτος τα αγρωστώδη και πλατύφυλλα παρουσίασαν υψηλότερη τιμή στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου, τον Ιούνιο, ενώ τα ψυχανθή το Σεπτέμβριο και στις δύο περιοχές (Πίνακες Π.5., Π.13). Κατά το πρώτο έτος δειγματοληψίας, η ανάλυση διακύμανσης έδειξε ότι η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Mg στα εδάφη από ΤΑ επηρεάστηκε σημαντικά από το υψόμετρο ($p < 0,05$) και τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x κλίση ” ($p < 0,05$) και “ μήνας x υψόμετρο x κλίση ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.6.). Στα εδάφη από G επηρεάστηκε από το μήνα κοπής ($p < 0,05$) και τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x κλίση ” ($p < 0,05$), “ μήνας x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) και “ μήνας x υψόμετρο x κλίση ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.7.). Η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Mg δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο περιοχών ($p > 0,05$), ωστόσο, τους μήνες Ιούνιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο η τιμή του Mg ήταν σημαντικά υψηλότερη στα εδάφη από G ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.5.).

Η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Mg στα εδάφη από ΤΑ εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με τη λιβαδική παραγωγή, το συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε φώσφορο και ασβέστιο, ενώ είχε αρνητική συσχέτιση μόνο με το δείκτη GTI (Πίνακας Π.8.). Από τα εδαφικά χαρακτηριστικά είχε θετική συσχέτιση με το pH εδάφους, τον εδαφικό φώσφορο, κάλιο και μαγνήσιο (Πίνακας Π.10.). Αντίστοιχα η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Mg στα εδάφη από G εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ασβέστιο, φώσφορο και σίδηρο, ενώ παρουσίασε αρνητική συσχέτιση με την κλίση εδάφους, με την συγκέντρωση σε ΑΟ και το δείκτη GTI (Πίνακας Π.9.). Με τα εδαφικά χαρακτηριστικά δεν υπήρχαν σημαντικές συσχετίσεις (Πίνακας Π.11.).

Στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας, η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Mg διάφερε σημαντικά μεταξύ των τριών λειτουργικών ομάδων και στις δύο περιοχές (Πίνακας Π.13.). Τα αγρωστώδη εμφάνισαν τη μικρότερη τιμή ($p < 0,001$) μεταξύ των ομάδων και στις δύο περιοχές, ενώ τα ψυχανθή στα εδάφη της περιοχής από TA και τα πλατύφυλλα στα εδάφη της περιοχής από G είχαν σημαντικά υψηλότερη τιμή ($p < 0,001$, $p < 0,05$) αντίστοιχα από τις δύο άλλες ομάδες. Η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Mg μεταξύ των δύο περιοχών παρουσίασε σημαντικές διαφορές ($p < 0,01$) μόνο στα πλατύφυλλα, εμφανίζοντας υψηλότερη τιμή στα εδάφη από G (Πίνακας Π.13.).

Η συγκέντρωση Mg της υπαλπικής λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής και το υψόμετρο ($p < 0,001$), ενώ επηρεάστηκε και από τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x περιοχή ” ($p < 0,001$), “ μήνας x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) και “ μήνας x περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,001$) (Πίνακας Π.14.). Στα πλατύφυλλα επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής και το υψόμετρο ($p < 0,001$) και από τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x περιοχή ” ($p < 0,05$) και “ μήνας x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.15.), ενώ στα ψυχανθή επηρεάστηκε από το μήνα κοπής και το υψόμετρο ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.16.). Η ανάλυση συσχέτισης έδειξε σημαντικές αρνητικές συσχετίσεις μεταξύ της συγκέντρωσης Mg της υπαλπικής λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών με το μήνα κοπής, το υψόμετρο και την κλίση εδάφους. Στα πλατύφυλλα βρέθηκε επίσης σημαντική αρνητική συσχέτιση με το μήνα κοπής, το υψόμετρο και την κλίση εδάφους και επιπλέον με τη συγκέντρωση του εδάφους σε χαλκό και τα ποσοστά εδάφους σε άργιλο και ιλύ, ενώ, αντίθετα, υπήρξε θετική συσχέτιση με το ποσοστό του εδάφους σε άμμο. Στα ψυχανθή υπήρξε σημαντική αρνητική συσχέτιση με την κλίση εδάφους και το pH εδάφους. Όλες οι συσχετίσεις εμφανίζονται στο Πίνακα Π. 17.

4. 6. 4. Φωσφόρος

Η διακύμανση της συγκέντρωσης του φωσφόρου (P) της λιβαδικής παραγωγής κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου ήταν παρόμοια μεταξύ των δύο περιοχών και μεταξύ των ομάδων, ενώ παρουσίασε μικρή διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας. Στο πρώτο έτος εμφάνισε υψηλότερη τιμή τον Ιούλιο στα εδάφη από TA και τον Ιούνιο αντίστοιχα στα εδάφη από G, ενώ το δεύτερο έτος και οι τρεις ομάδες παρουσίασαν υψηλότερη τιμή στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου, τον Ιούνιο και χαμηλότερη το Σεπτέμβριο και στις δύο περιοχές (Πίνακες Π.5., Π.13.). Κατά το πρώτο έτος δειγματοληψίας, η ανάλυση διακύμανσης έδειξε ότι η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε P στα εδάφη από TA δεν επηρεάστηκε από κανένα παράγοντα, ενώ στα εδάφη από G επηρεάστηκε μόνο από το υψόμετρο ($p < 0,05$) (Πίνακες Π.6., Π.7.). Η μέση συγκέντρωση σε P της λιβαδικής παραγωγής δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο περιοχών ($p > 0,05$) (Πίνακας Π.5.).

Η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε P στα εδάφη από TA εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με τη λιβαδική παραγωγή, τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε κάλιο, μαγνήσιο και νάτριο, ενώ είχε σημαντική αρνητική συσχέτιση με την κλίση εδάφους, τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε σίδηρο και το δείκτη Ca:P (Πίνακας Π.8.). Από τα εδαφικά χαρακτηριστικά η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε P είχε θετική συσχέτιση με τη συγκέντρωση του εδάφους σε φώσφορο, κάλιο και ψευδάργυρο και αρνητική συσχέτιση με το ποσοστό του εδάφους σε άργιλο (Πίνακας Π.10.). Αντίστοιχα η συγκέντρωση P της λιβαδικής παραγωγής στα εδάφη από G εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με τη λιβαδική παραγωγή, με τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ασβέστιο, μαγνήσιο και νάτριο, ενώ παρουσίασε σημαντική αρνητική

συσχέτιση με τους δείκτες GTI και K:Na (Πίνακας Π.9.). Με τα εδαφικά χαρακτηριστικά δεν υπήρχαν σημαντικές συσχετίσεις (Πίνακας Π.11.).

Στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας, η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής των πλατύφυλλων σε P και στις δύο περιοχές εμφάνισαν την υψηλότερη τιμή ($p < 0,001$, $p < 0,05$) σε σχέση με τις άλλες δύο ομάδες φυτών, ενώ μεταξύ των αγρωστωδών και των ψυχανθών δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές. Η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε P μεταξύ των δύο περιοχών δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$) σε καμία λειτουργική ομάδα. (Πίνακας Π.13.).

Η συγκέντρωση P της υπαλπικής λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών, πλατύφυλλων και ψυχανθών επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής και το υψόμετρο ($p < 0,001$), επίσης των αγρωστωδών επηρεάστηκε επιπλέον από τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x περιοχή ” ($p < 0,05$) και “ περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,001$). Στα πλατύφυλλα επηρεάστηκε επίσης σημαντικά από την αλληλεπίδραση “ περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) (Πίνακες Π.14, Π.15., Π.16.). Η ανάλυση συσχέτισης έδειξε σημαντικές αρνητικές συσχετίσεις της συγκέντρωσης P της υπαλπικής λιβαδικής παραγωγής και των τριών ομάδων με το μήνα κοπής, και την κλίση εδάφους. Στα ψυχανθή υπήρξε σημαντική θετική συσχέτιση με τον εδαφικό φώσφορο (Πίνακας Π.17.).

4. 6. 5. Νάτριο

Η διακύμανση της συγκέντρωσης του νατρίου (Na) της λιβαδικής παραγωγής κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου ήταν παρόμοια μεταξύ των δύο περιοχών με μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ομάδων, ενώ παράλληλα δεν παρουσίασε σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας (Πίνακες Π.5., Π.13.). Στο πρώτο έτος εμφάνισε υψηλότερη τιμή τον Ιούλιο στα εδάφη από TA και τον Ιούνιο αντίστοιχα στα εδάφη από G. Στο δεύτερο έτος στα εδάφη από G και οι τρεις ομάδες παρουσίασαν υψηλότερη τιμή στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου, τον Ιούνιο, ενώ χαμηλότερη ήταν το Σεπτέμβριο, στα εδάφη από TA τα αγρωστώδη και τα πλατύφυλλα εμφάνισαν υψηλότερη τιμή τον Ιούλιο και τα ψυχανθή τον Ιούνιο (Πίνακας Π.13.). Κατά το πρώτο έτος δειγματοληψίας, η ανάλυση διακύμανσης έδειξε ότι η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Na και στις δύο περιοχές επηρεάστηκε μόνο από τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x κλίση ” ($p < 0,05$, $p < 0,01$) και “ μήνας x υψόμετρο x κλίση ” ($p < 0,05$, $p < 0,01$) (Πίνακες Π.6., Π.7.). Η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Na δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο περιοχών ($p > 0,05$) (Πίνακας Π.13.).

Η συγκέντρωση σε Na της λιβαδικής παραγωγής στα εδάφη από TA εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με τη συγκέντρωση σε AO, με τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε κάλιο, φώσφορο, χαλκό και με το δείκτη GTI, ενώ είχε σημαντική αρνητική συσχέτιση με το μήνα κοπής, το μαγγάνιο και το δείκτη K:Na (Πίνακες Π.8.). Με τα εδαφικά χαρακτηριστικά είχε σημαντική θετική συσχέτιση με τον εδαφικό φώσφορο (Πίνακες Π.10.). Αντίστοιχα η συγκέντρωση σε Na της λιβαδικής παραγωγής στα εδάφη από G εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με τη περιεκτικότητα της λιβαδικής παραγωγής σε AO, με τη συγκέντρωση σε κάλιο, φώσφορο και χαλκό, ενώ παρουσίασε σημαντική αρνητική συσχέτιση με το μήνα κοπής, την κλίση εδάφους και το δείκτη K:Na (Πίνακες Π.9.). Από τα εδαφικά χαρακτηριστικά εμφάνισε σημαντική αρνητική συσχέτιση μόνο με το ποσοστό του εδάφους σε άργιλο (Πίνακας Π.11.).

Στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας, η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Na στα εδάφη από TA δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών λειτουργικών ομάδων ($p > 0,05$). Στα εδάφη από G τα αγρωστώδη είχαν υψηλότερη τιμή ($p < 0,05$) από τα

πλατύφυλλα, αντίθετα, μεταξύ αγρωστωδών και ψυχανθών αλλά πλατύφυλλων και ψυχανθών δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$). Η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Na μεταξύ των δύο περιοχών δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές ($p > 0,05$) σε καμία ομάδα (Πίνακας Π.13.).

Το συγκέντρωση Na της υπαλπικής λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής ($p < 0,001$) και από τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x περιοχή ” ($p < 0,001$), “ περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,001$) και “ μήνας x περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,01$) (Πίνακας Π.14.). Στα πλατύφυλλα επηρεάστηκε επίσης από το μήνα κοπής ($p < 0,001$) και από την αλληλεπίδραση “ περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.15.). Στα ψυχανθή επηρεάστηκε από το μήνα κοπής ($p < 0,05$) και από όλες τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x περιοχή ” ($p < 0,01$), “ μήνας x υψόμετρο ” ($p < 0,01$), “ περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,01$) και “ μήνας x περιοχή x υψόμετρο ” ($p < 0,01$) (Πίνακας Π.16.). Η ανάλυση συσχέτισης έδειξε σημαντικές αρνητικές συσχετίσεις της συγκέντρωσης Na της υπαλπικής λιβαδικής παραγωγής και των τριών ομάδων με το μήνα κοπής, ενώ επιπλέον στα ψυχανθή υπήρξε σημαντική αρνητική συσχέτιση με την OM εδάφους (Πίνακας Π.17.).

4. 6. 6. Σίδηρος

Η διακύμανση της συγκέντρωσης σιδήρου (Fe) της λιβαδικής παραγωγής κατά τη διάρκεια της περιόδου ωρίμανσης των φυτών ήταν παρόμοια μεταξύ των δύο περιοχών εμφανίζοντας υψηλότερη τιμή το Σεπτέμβριο στα εδάφη από TA και τον Αύγουστο αντίστοιχα στα εδάφη από G (Πίνακας Π.5.).

Κατά το πρώτο έτος δειγματοληψίας, η ανάλυση διακύμανσης έδειξε ότι το συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Fe στα εδάφη από TA επηρεάστηκε από το υψόμετρο ($p < 0,01$) και τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x κλίση ” ($p < 0,05$) και “ μήνας x υψόμετρο x κλίση ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.6.). Στα εδάφη από G επηρεάστηκε επίσης από τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x κλίση ” ($p < 0,01$) και “ μήνας x υψόμετρο x κλίση ” ($p < 0,01$) (Πίνακας Π.7.). Η μέση συγκέντρωση Fe διαφέρει σημαντικά μεταξύ των δύο περιοχών ($p < 0,05$) εμφανίζοντας υψηλότερη τιμή στα εδάφη από TA, παράλληλα τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο η τιμή του Fe ήταν σημαντικά υψηλότερη στα εδάφη από TA ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.5.).

Η συγκέντρωση Fe της λιβαδικής παραγωγής στα εδάφη από TA εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με το υψόμετρο και την κλίση εδάφους, ενώ είχε σημαντική αρνητική συσχέτιση με τη λιβαδική παραγωγή, με τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε κάλιο, φώσφορο και με το δείκτη GTI (Πίνακας Π.8.). Με τα εδαφικά χαρακτηριστικά είχε σημαντική θετική συσχέτιση με το pH του εδάφους και την συγκέντρωση του εδάφους σε χαλκό, ενώ είχε αρνητική συσχέτιση με το ποσοστό του εδάφους σε άμμο (Πίνακας Π.10.). Αντίστοιχα, η συγκέντρωση Fe της λιβαδικής παραγωγής στα εδάφη από G εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, με τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ασβέστιο και μαγνήσιο, ενώ παρουσίασε σημαντική αρνητική συσχέτιση με το δείκτη GTI (Πίνακας Π.9.). Από τα εδαφικά χαρακτηριστικά εμφάνισε σημαντική αρνητική συσχέτιση μόνο με το ποσοστό του εδάφους σε άργιλο (Πίνακας Π.11.).

4. 6. 7. Ψευδάργυρος

Η διακύμανση της συγκέντρωσης ψευδαργύρου (Zn) της λιβαδικής παραγωγής κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου των φυτών ήταν παρόμοια μεταξύ των δύο περιοχών με μικρές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ομάδων, ωστόσο παρουσίασε σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας. Στο πρώτο έτος εμφάνισε υψηλότερη τιμή τον Αύγουστο στα εδάφη από TA και τον Ιούλιο αντίστοιχα στα εδάφη από G (Πίνακας Π.5.).

Στο δεύτερο έτος στα εδάφη από G η συγκέντρωση Zn των πλατύφυλλων και των ψυχανθών παρουσίασαν υψηλότερη τιμή Zn στο τέλος της αυξητικής περιόδου και συγκεκριμένα τον Αύγουστο και το Σεπτέμβριο, αντίστοιχα. Αντίθετα, τα αγρωστώδη εμφάνισαν υψηλότερη τιμή τον Ιούνιο στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου (Πίνακας Π.13.). Παράλληλα στα εδάφη της περιοχής από TA τα αγρωστώδη και τα ψυχανθή εμφάνισαν υψηλότερη τιμή τον Ιούνιο, ενώ, αντίθετα, τα πλατύφυλλα εμφάνισαν υψηλότερη τιμή τον τελευταίο μήνα της αυξητικής περιόδου (Πίνακας Π.13.).

Κατά το πρώτο έτος δειγματοληψίας, η ανάλυση διακύμανσης έδειξε ότι η συγκέντρωση Zn της λιβαδικής παραγωγής στα εδάφη από TA δεν επηρεάστηκε από κανέναν παράγοντα (Πίνακας Π.6.). Αντίθετα, στα εδάφη από G επηρεάστηκε από το μήνα κοπής ($p < 0,05$), το υψόμετρο ($p < 0,05$) και την αλληλεπίδραση “ μήνας x υψόμετρο ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.7.). Η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Zn δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των δύο περιοχών ($p > 0,05$), ωστόσο, τους μήνες Ιούνιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο η τιμή του Zn ήταν σημαντικά υψηλότερη στα εδάφη από TA, ενώ το μήνα Ιούλιο ήταν σημαντικά υψηλότερη στα εδάφη από G ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.5.).

Η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Zn στα εδάφη από TA εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, τη λιβαδική παραγωγή, τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ασβέστιο και μαγγάνιο, ενώ είχε σημαντική αρνητική συσχέτιση με τις ΑΟ της λιβαδικής παραγωγής, με τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε χαλκό και με το δείκτη GTI (Πίνακας Π.8.). Η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Zn με τα εδαφικά χαρακτηριστικά είχε σημαντική θετική συσχέτιση με την συγκέντρωση του εδάφους σε χαλκό και σε μαγγάνιο (Πίνακας Π.10.). Αντίστοιχα, η συγκέντρωση σε Zn στα εδάφη από G εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, με τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ασβέστιο, ενώ παρουσίασε σημαντική αρνητική συσχέτιση με το δείκτη GTI. (Πίνακας Π.9.) Με τα εδαφικά χαρακτηριστικά δεν παρουσίασε σημαντικές συσχετίσεις.

Στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας, η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών σε Zn και στις δύο περιοχές έρευνας εμφάνισε σημαντικά χαμηλότερη τιμή σε σχέση με τις άλλες δύο ομάδες, ενώ μεταξύ των αγρωστωδών και των ψυχανθών στα εδάφη από TA δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές. Αντίθετα, στα εδάφη από G τα ψυχανθή είχαν την υψηλότερη τιμή ($p < 0,05$) μεταξύ των τριών ομάδων. Η μέση συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Zn ήταν σημαντικά υψηλότερη στα εδάφη από TA και για τις τρεις λειτουργικές ομάδες (Πίνακας Π.13.).

Η συγκέντρωση της υπαλπικής λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών σε Zn επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής ($p < 0,001$) και από την αλληλεπίδραση “ μήνας x περιοχή ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.14.). Αντίθετα, τα πλατύφυλλα και τα ψυχανθή δεν επηρεάστηκαν από κανέναν παράγοντα (Πίνακες Π.15., Π.16.). Σημαντικές θετικές συσχετίσεις υπήρχαν μεταξύ της συγκέντρωσης Zn των αγρωστωδών, με το υψόμετρο, στα πλατύφυλλα με την κλίση εδάφους, ενώ στα ψυχανθή με το υψόμετρο και τη κλίση εδάφους. Αντίθετα, αρνητικές συσχετίσεις εμφανίστηκαν στα αγρωστώδη με το μήνα κοπής και στα ψυχανθή με το ποσοστό αργίλου του εδάφους (Πίνακας Π.17.).

4. 6. 8. Χαλκός

Η συγκέντρωση χαλκού (Cu) της λιβαδικής παραγωγής παρουσίασε πανομοιότυπη διακύμανση μεταξύ των δύο περιοχών το πρώτο έτος, εμφανίζοντας προοδευτική μείωση από το ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου των φυτών που είχε την υψηλότερη τιμή και στις δύο περιοχές (Πίνακας Π.5.). Το δεύτερο έτος στα εδάφη από TA τα ψυχανθή παρουσίασαν

υψηλότερη τιμή στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου, τον μήνα Ιούνιο, ενώ τα αγρωστώδη και τα πλατύφυλλα τον Ιούλιο. Στα εδάφη από G και οι τρεις λειτουργικές ομάδες εμφάνισαν την υψηλότερη τιμή στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου, το μήνα Ιούνιο (Πίνακας Π.13.).

Κατά το πρώτο έτος δειγματοληψίας η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Cu στα εδάφη από TA επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής ($p < 0,01$) και τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x υψόμετρο ” ($p < 0,01$), “ μήνας x κλίση ” ($p < 0,001$) και “ μήνας x υψόμετρο x κλίση ” ($p < 0,001$) (Πίνακας Π.6.). Στα εδάφη από G επηρεάστηκε από το μήνα κοπής ($p < 0,05$), το υψόμετρο ($p < 0,001$), την κλίση εδάφους ($p < 0,01$) και από τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x υψόμετρο ” ($p < 0,05$), “ υψόμετρο x κλίση ” ($p < 0,01$) και “ μήνας x υψόμετρο x κλίση ” ($p < 0,001$) (Πίνακας Π.7.). Η μέση συγκέντρωση Cu της λιβαδικής παραγωγής δε διέφερε σημαντικά μεταξύ των δύο περιοχών ($p > 0,05$) εκτός από το μήνα Μάιο που εμφάνισε υψηλότερη ($p < 0,05$) τιμή στα εδάφη από TA, ενώ τους άλλους μήνες δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές (Πίνακας Π.5.).

Η συγκέντρωση Cu της λιβαδικής παραγωγής στα εδάφη από TA εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με τις ΑΟ της λιβαδικής παραγωγής, με τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε κάλιο, νάτριο και το δείκτη GTI, ενώ είχε αρνητική συσχέτιση με το μήνα κοπής, την παραγωγή λιβαδικής παραγωγής, τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ασβέστιο, ψευδάργυρο, μαγγάνιο και το δείκτη K:Na (Πίνακας Π.8.). Με τα εδαφικά χαρακτηριστικά δεν εμφάνισε σημαντική συσχέτιση.

Αντίστοιχα, η συγκέντρωση Cu της λιβαδικής παραγωγής στα εδάφη από G εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ΑΟ, κάλιο, νάτριο και το δείκτη GTI, ενώ παρουσίασε σημαντική αρνητική συσχέτιση με το μήνα κοπής, με τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ασβέστιο, μαγγάνιο και το δείκτη K:Na (Πίνακας Π.9.). Με τα εδαφικά χαρακτηριστικά δεν εμφάνισε σημαντική συσχέτιση.

Στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας, η μέση συγκέντρωση Cu της λιβαδικής παραγωγής των ψυχανθών και των πλατύφυλλων δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές και στις δύο περιοχές. Αντίθετα, τα αγρωστώδη εμφάνισαν σημαντικά χαμηλότερη τιμή είτε απ'τα πλατύφυλλα στα εδάφη από G είτε απ'τα ψυχανθή στα εδάφη από TA. Η μέση συγκέντρωση Cu της λιβαδικής παραγωγής των ψυχανθών ήταν σημαντικά υψηλότερη στα εδάφη από TA, ενώ για τις άλλες δύο λειτουργικές ομάδες δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των περιοχών έρευνας (Πίνακας Π.13.).

Η συγκέντρωση Cu της υπαλπικής λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών και των πλατύφυλλων επηρεάστηκε σημαντικά μόνο από το μήνα κοπής ($p < 0,001$) και ($p < 0,05$) αντίστοιχα (Πίνακες Π.14., Π.15.), ενώ των ψυχανθών επηρεάστηκε από το μήνα κοπής ($p < 0,01$) και από την αλληλεπίδραση “ μήνας x περιοχή ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.16.). Σημαντικές θετικές συσχετίσεις εμφάνισαν η συγκέντρωση Cu της λιβαδικής παραγωγής στα αγρωστώδη με την συγκέντρωση του εδάφους σε Cu και το ποσοστό του εδάφους σε άργιλο, στα πλατύφυλλα με την κλίση εδάφους, ενώ στα ψυχανθή με το υψόμετρο. Αντίθετα, αρνητικές συσχετίσεις εμφανίστηκαν και στις τρεις λειτουργικές ομάδες με το μήνα κοπής και επιπλέον στα αγρωστώδη με το ποσοστό του εδάφους σε άμμο (Πίνακας Π.17.).

4. 6. 9. Μαγγάνιο

Το συγκέντρωση μαγγανίου (Mn) της λιβαδικής παραγωγής παρουσίασε ακριβώς αντίθετη τάση απ'ό,τι αυτή του χαλκού εμφανίζοντας προοδευτική αύξηση από το ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου των φυτών που είχε την υψηλότερη τιμή και στις δύο περιοχές το πρώτο έτος δειγματοληψίας (Πίνακας Π.5.). Το δεύτερο έτος η συγκέντρωση Mn στα αγρωστώδη δεν παρουσίασε διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου και στις

δύο περιοχές, ενώ, αντίθετα, στα πλατύφυλλα και τα ψυχανθή οι τιμές του μετάλλου παρουσίασαν προοδευτική αύξηση καταγράφοντας την υψηλότερη τιμή στο τέλος της αυξητικής περιόδου, τον μήνα Αύγουστο (Πίνακας Π.13.).

Κατά το πρώτο έτος δειγματοληψίας η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Mn στα εδάφη από TA επηρεάστηκε σημαντικά από το υψόμετρο ($p < 0,001$), την κλίση εδάφους και την αλληλεπίδραση “ υψόμετρο x κλίση ” ($p < 0,001$) (Πίνακας Π.6.). Στα εδάφη από G επηρεάστηκε από το το υψόμετρο ($p < 0,001$) και από τις αλληλεπιδράσεις “ μήνας x κλίση ” ($p < 0,05$) και “ μήνας x υψόμετρο x κλίση ” ($p < 0,05$) (Πίνακας Π.7.). Η μέση συγκέντρωση Mn διαφέρει σημαντικά μεταξύ των δύο περιοχών ($p < 0,001$) εμφανίζοντας υψηλότερη τιμή στα εδάφη από TA, ενώ όλους τους μήνες εκτός από το μήνα Μάιο εμφάνισε υψηλότερη ($p < 0,05$) τιμή στα εδάφη από TA (Πίνακας Π.5.).

Η συγκέντρωση Mn της λιβαδικής παραγωγής στα εδάφη από TA εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, την κλίση εδάφους, με τη συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ψευδάργυρο, ενώ είχε αρνητική συσχέτιση με τις ΑΟ της λιβαδικής παραγωγής, τη συγκέντρωση της παραγωγής σε κάλιο, νάτριο, χαλκό και το δείκτη GTI (Πίνακας Π.8.). Με τα εδαφικά χαρακτηριστικά η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Mn εμφάνισε σημαντική αρνητική συσχέτιση με το pH εδάφους, τη συγκέντρωση εδάφους σε φώσφορο και ασβέστιο (Πίνακας Π.10.). Αντίστοιχα η συγκέντρωση Mn της λιβαδικής παραγωγής στα εδάφη από G εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής, το υψόμετρο, την κλίση εδάφους, με τη λιβαδική παραγωγή και με το συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ασβέστιο, ενώ παρουσίασε σημαντική αρνητική συσχέτιση με το συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ΑΟ και σε χαλκό (Πίνακας Π.9.). Με τα εδαφικά χαρακτηριστικά η συγκέντρωση Mn της υπαλπικής λιβαδικής παραγωγής εμφάνισε σημαντική θετική συσχέτιση με την συγκέντρωση του εδάφους σε φώσφορο, μαγνήσιο, χαλκό, ψευδάργυρο και το ποσοστό του εδάφους σε ιλύ (Πίνακας Π.11.).

Στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας, η μέση συγκέντρωση Mn της λιβαδικής παραγωγής των πλατύφυλλων στα εδάφη από TA ήταν σημαντικά υψηλότερο απ’ό,τι στις άλλες δύο λειτουργικές ομάδες οι οποίες δεν εμφάνισαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Αντίθετα, στα εδάφη από G τα πλατύφυλλα εμφάνισαν σημαντικά υψηλότερη τιμή απ’τα ψυχανθή αλλά με τα αγρωστώδη δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές (Πίνακας Π.13.). Η μέση συγκέντρωση Mn της λιβαδικής παραγωγής ήταν σημαντικά υψηλότερη στα εδάφη από TA και για τις τρεις λειτουργικές ομάδες (Πίνακας Π.13.).

Η συγκέντρωση Mn της υπαλπικής λιβαδικής παραγωγής των ψυχανθών και των πλατύφυλλων επηρεάστηκε σημαντικά από το μήνα κοπής ($p < 0,001$) και ($p < 0,01$) και από την αλληλεπίδραση “ μήνας x περιοχή ” ($p < 0,01$) και ($p < 0,05$) αντίστοιχα (Πίνακες Π.15., Π.16.), ενώ των αγρωστωδών δεν επηρεάστηκε από καμία παράμετρο (Πίνακας Π.14.). Σημαντικές θετικές συσχετίσεις εμφάνισαν η συγκέντρωση Mn των πλατύφυλλων και των ψυχανθών με το μήνα κοπής και το υψόμετρο, ενώ στα αγρωστώδη μόνο με το υψόμετρο. Αντίθετα, αρνητικές συσχετίσεις εμφανίστηκαν και στις τρεις λειτουργικές ομάδες με την κλίση εδάφους, επιπλέον στα αγρωστώδη με την συγκέντρωση του εδάφους σε Ca και Mg καθώς και με το ποσοστό του εδάφους σε άργιλο και στα πλατύφυλλα και ψυχανθή με την συγκέντρωση του εδάφους σε Ca και P αντίστοιχα (Πίνακας Π.17.).

5. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5. 1. Χλωρίδα και βλάστηση

Η αξιολόγηση της χλωρίδας των λιβαδιών μιας περιοχής, έχει μεγάλη επιστημονική και πρακτική σημασία και αποσκοπεί στην καλύτερη αξιοποίησή της. Επομένως, η γνώση του χλωριδικού δυναμικού των περιοχών μελέτης και οι πιθανοί παράγοντες που το επηρεάζουν, βοηθά περισσότερο στην διαχείριση. Η χλωριδική σύνθεση και η χλωριδική ποικιλότητα μιας περιοχής είναι σημαντικές παράμετροι της λιβαδικής κατάστασης και επηρεάζουν κατ' επέκταση τη χημική σύσταση και την ποιότητα της βοσκήσιμης ύλης. Επομένως από την ανάλυση της δομής της χλωρίδας, παρέχονται και πληροφορίες για την εκτίμηση της νομής των επικρατέστερων φυτών και την αξιοποίησή τους στη διατροφή των αγροτικών ζώων.

Η οικογένεια των Caryophyllaceae ήταν η πολυπληθέστερη στην περιοχή μελέτης ΤΑ με 16 διαφορετικά είδη, ακολουθούμενη από αυτή των Poaceae με 15 είδη και των Asteraceae με 12 είδη, αντίστοιχα στην περιοχή Γ οι οικογένειες των Caryophyllaceae και Asteraceae είναι οι πολυπληθέστερες με 19 είδη και έπονται τα Poaceae με 15 είδη .

Η Στόλιου (2011) σε υπαλπικά λιβάδια των ορέων Βόρα και Ολύμπου με διαφορετικά γεωλογικά υποστρώματα με τις περιοχές της παρούσας μελέτης βρίσκει επίσης τις οικογένειες των Asteraceae και Caryophyllaceae να έχουν τα περισσότερα είδη. Η Ιόβη (2003) σε υπαλπικά λιβάδια στο όρος Γράμμος αναφέρει κυρίαρχες οικογένειες κατά σειρά τις Asteraceae, Poaceae και Caryophyllaceae, αντίθετα, η ίδια ερευνήτρια σε υπαλπικά λιβάδια στα Πιέρια όρη αναφέρει πολυπληθέστερη οικογένεια την Poaceae και ακολουθούσαν η Asteraceae και Caryophyllaceae (Ιόβη, 2001). Η κυριαρχία των αγρωστωδών και αγρωστιδόμορφων ειδών έχει αναφερθεί επίσης από τους Παπαδημητρίου κ.α., (1997) σε υπαλπικά λιβάδια του όρους Παγγαίου.

Η μικρή συμμετοχή και κάλυψη των ψυχανθών στη λιβαδική σύνθεση που βρέθηκε στις δειγματοληπτικές επιφάνειες και στις δύο περιοχές πιθανόν να οφείλεται στο όξινο pH (Murphy et al., 1984) και στη χαμηλή συγκέντρωση εδαφικού φωσφόρου (Νάστης και Τσιουβάρας, 1991). Αντίστοιχα η υψηλότερη κάλυψη των ψυχανθών στην περιοχή Γ οφείλεται μάλλον στο υψηλότερο pH και τη μικρότερη συγκέντρωση εδαφικού αζώτου. Ωστόσο, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις αζώτου, το όξινο pH και το υψηλότερο ποσοστό ιλύ στα εδάφη από ΤΑ όπως φαίνεται από την CCA ανάλυσης, ευνοούν την κυριαρχία και τον αριθμό των αγρωστωδών ειδών, ενώ το υψόμετρο, όπως είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο από το μοντέλο πρόβλεψης, αυξάνει επίσης τον αριθμό των αγρωστωδών ειδών. Παρολαυτά η ένταση της βόσκησης καθώς και το είδος των ζώων μπορεί να επηρεάσει την επιφάνεια κάλυψης των λειτουργικών ομάδων (Θεοδωρίδης και Κούκουρα, 2006). Η έρευνα των προηγούμενων ερευνητών έδειξε ότι σε διαφορετικά υπαλπικά λιβάδια της Κεντρικής Πίνδου η κάλυψη των πλατύφυλλων υπερτερούσε έναντι των αγρωστωδών, αντίθετα σε υπαλπικά λιβάδια του Ολύμπου και της Όθρυς η κάλυψη των αγρωστωδών ήταν υψηλότερη απ' ό,τι των πλατύφυλλων. Οι Πλατής κ.α. (2003) διαπίστωσαν ότι σε αβόσκητα υπαλπικά λιβάδια δύο περιοχών του όρους Άσκιου (Βλάστης Κοζάνης) κυριαρχούσαν οι πλατύφυλλες πόες, ενώ η βόσκηση αύξησε την κάλυψη των αγρωστωδών και πλατύφυλλων στο πρώτο λιβάδι, ενώ στο δεύτερο αυξήθηκε η κάλυψη των αγρωστωδών εις βάρος των ψυχανθών και των πλατύφυλλων ποών.

Τα είδη των αγρωστωδών που απαντούν στα λιβάδια των δύο υπό μελέτη περιοχών εντάσσονται στα ψυχρόβια και αντέχουν στις ακραίες ψυχρές θερμοκρασίες του χειμώνα. Μπορούν, να αυξάνονται ακόμα και κατά τη χειμερινή περίοδο και νωρίς την άνοιξη όπως για παράδειγμα η *Dactylis glomerata* L. Πολλά από αυτά τα αγρωστώδη είναι παραγωγικά σε

βοσκήσιμη ύλη και με υψηλή θρεπτική αξία και συνάμα ανθεκτικά στη βόσκηση (Σαρλής, 1998). Επίσης με τη φυτοκάλυψή τους συγκρατούν και προστατεύουν το έδαφος με τις πυκνές λόγχμες των φυλλωμάτων και το θυσανώδες ριζικό τους σύστημα που αναπτύσσεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και έτσι τα είδη αυτά μπορούν να αναπτυχθούν καλύτερα σε αβαθή εδάφη, σε σχέση με άλλες κατηγορίες φυτών (Korner, 2003). Η κάλυψη επιφάνειας των αγρωστωδών στις υπό μελέτη περιοχές δεν επηρεάστηκε από τις τοπογραφικές παραμέτρους, ωστόσο η κλίση του εδάφους εμφανίζει σημαντική συσχέτιση με τα πλατύφυλλα και τα ψυχανθή. Στην ΤΑ στις επιφάνειες με μεγάλη κλίση εδάφους τέσσερα από τα πέντε είδη δείκτες, δηλαδή τα *Achillea ageratifolia* (Griseb.) Heimer, *Genista depressa* Bieb., *Thesium arvense* Horvatovsky, *Centaurea grbavacensis* και *Carex kitaibeliana* Degen ex Becherer, είναι είδη που μπορούν να αναπτυχθούν σε φτωχά και διαβρωμένα εδάφη. Η θετική συσχέτιση της κλίσης με την κάλυψη των ψυχανθών πιθανά να οφείλεται στο γεγονός ότι στις επιφάνειες με αυξημένες κλίσεις εδάφους δεν υπήρχαν έντονα κυρίαρχα είδη λόγω φτωχότερου εδάφους και χαμηλότερης υγρασίας (Bennie et al., 2006), όπως τα αγρωστώδη *Carex kitaibeliana* Degen ex Becherer and *Phleum montanum* C. Koch (Πίνακας Π.3.) δίνοντας τη δυνατότητα στα ψυχανθή είδη να εξαπλώνονται περισσότερο. Συγκεκριμένα, τα ψυχανθή *Genista depressa* Bieb. και *Vicia canescens* τα οποία εμφανίζονται στο Πίνακα Π.3. είναι συνηθισμένο να έχουν εξάπλωση σε φτωχότερα εδάφη και με μεγαλύτερες κλίσεις (Σαρλής, 1998).

Στις επιφάνειες με μικρές κλίσεις εδάφους υπήρχαν πέντε είδη δείκτες της G - Flat, συμπεριλαμβανομένων τα *Agrostis capillaris* L. και *Chamaecytisus supinus* L., είδη που ευδοκιμούν σε βαθιά, γόνιμα εδάφη, επιτυγχάνοντας υψηλή παραγωγή βιομάζας και τελικά κυριαρχούν στις θέσεις που καταλαμβάνουν (Ruijvent and Berendse, 2003). Ωστόσο, κάποια είδη, όπως το *Lilium martagon* L. το οποίο εμφανίζεται στις ίδιες επιφάνειες μπορεί να ανεχτεί την κυριαρχία άλλων ειδών, τα οποία παράγουν έντονη υπέργεια βιομάζα, πιθανόν εξαιτίας των υψηλών βλαστών που έχει, καθιστώντάς το έτσι ανταγωνιστικό στο φως από τα άλλα κυρίαρχα είδη (Παπανικολάου προσωπική επικοινωνία). Από την άλλη πλευρά, στην ΤΑ στις επιφάνειες με μικρή κλίση εδάφους (ΤΑ - Flat), υπήρχαν 15 είδη δείκτες, αλλά τα έντονα ανταγωνιστικά είδη της οικογένειας Poaceae απουσίαζαν.

Η επίδραση του υψομέτρου στη χλωριδική σύνθεση έχει διαπιστωθεί και από άλλους ερευνητές (Klimek et al., 2007, Marini et al., 2007). Σε αυτό συμφωνούν οι Lobo et al. (2001), οι οποίοι αναφέρουν ότι από τις πιο σημαντικές μεταβλητές που σχετίζονται με τη διαφοροποίηση της βλάστησης είναι αυτές που σχετίζονται με το υψόμετρο (υψομετρικό εύρος και μέγιστο υψόμετρο). Ωστόσο, οι Klimek et al. (2007) αναφέρουν ότι το στατιστικό τους μοντέλο εξηγούσε μόνο ένα μικρό ποσοστό της βοτανικής σύνθεσης αιτιολογώντας ότι οι μηχανισμοί που ελέγχουν τη χλωριδική σύνθεση είναι περισσότερο περίπλοκοι σε σχέση με τον αριθμό των ειδών. Αντίστοιχα ο Økland (1999) αναφέρει ότι το υψηλό ποσοστό της διακύμανσης που δεν ερμηνεύεται στα δεδομένα της χλωριδικής σύνθεσης είναι συνηθισμένο ανάμεσα στα μοντέλα διαγραμματικής απεικόνισης. Εντούτοις, η DCA ανάλυση στην παρούσα έρευνα εξηγεί σε υψηλό ποσοστό ότι οι παράμετροι της ΟΜ του εδάφους και το υψόμετρο στα υπαλπικά λιβάδια καθορίζουν τις τιμές της χλωριδικής σύνθεσης. Αντίστοιχα η Sebastia (2004) σε υπαλπικά λιβάδια διαπίστωσε την ιδιαίτερη σημασία των τοπογραφικών και εδαφικών χαρακτηριστικών ως κύριους περιβαλλοντικούς παράγοντες οι οποίοι εξηγούσαν σε υψηλό ποσοστό τη δομή της βλάστησης. Επιπλέον, η ίδια ερευνήτρια βρήκε υψηλή συσχέτιση της οργανικής ουσίας του εδάφους με τη σύνθεση της βλάστησης παρουσιάζοντας υψηλή διακύμανση σε ξηροθερμικές φυτοκοινωνίες. Την επίδραση του υψομέτρου, της οργανικής ουσίας και άλλων εδαφικών παραμέτρων στη χλωριδική σύνθεση και την ποικιλότητα διαπίστωσαν και οι Παπάς και Κούκουρα (2006) σε ορεινά λιβάδια του όρους Όθρυς επιβεβαιώνοντας τα δικά μας αποτελέσματα.

Στη μελέτη αυτή διερευνήθηκαν οι πιθανοί παράγοντες πρόβλεψης του αριθμού των ποωδών ειδών (δείκτης α - ποικιλότητας) στις δύο υπαλπικές περιοχές. Ο αριθμός των ειδών εξαρτάται από το μέγεθος της δειγματοληπτικής επιφάνειας που διατηρήθηκε σταθερή (16 m²) και το περιφερειακό σύνολο (δεξαμενή) ειδών. Επειδή δεν υπήρχε μεγάλη διαφορά στο συνολικό αριθμό των ειδών μεταξύ των δύο περιοχών, θεωρήθηκε ότι η ευρύτερη περιοχή δεν ήταν ένας παράγοντας ο οποίος καθόριζε τις διαφορές στον πλούτο των ειδών στις δύο περιοχές. Η χλωριδική σύνθεση, ωστόσο, έδειξε σημαντικές διαφορές στις δύο περιοχές. Υπήρχε ένας υψηλός αριθμός ειδών μεταξύ των περιοχών, καθώς και εντός των δειγματοληπτικών επιφανειών.

Τα ιεραρχικά μοντέλα gam που χρησιμοποιήθηκαν έδειξαν ότι οι διαφορές στον αριθμό των ειδών μπορούν να εξηγηθούν από ένα συνδυασμό αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων. Συγκεκριμένα το υψόμετρο, το pH του εδάφους, η συγκέντρωση του εδάφους σε N και η χλωριδική σύνθεση των δειγματοληπτικών επιφανειών ήταν σημαντικοί προγνωστικοί παράγοντες είτε στον αριθμό των πλατύφυλλων, στον αριθμό των αγρωστωδών ή στο συνολικό αριθμό των ειδών. Επιπλέον, η μέση μηνιαία λιβαδική παραγωγή διατηρείται κατά τη διάρκεια της προσέγγισης στην ιεραρχική μοντελοποίηση.

Ο παράγοντας "περιοχή" είχε συμπεριληφθεί στον κατάλογο των παραγόντων πρόβλεψης και ήταν ο πρώτος παράγοντας για να ξεκινήσει η ακολουθία του μοντέλου. Ο σκοπός ήταν να συλλεχθούν τα μακροχρόνια αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης μεταξύ της γεωλογίας, του κλίματος και της βόσκησης για τον πλούτο των ειδών. Επίσης, πίσω από τον παράγοντα "περιοχή" σαφείς διαφορές ως προς την έκθεση, το μητρικό υλικό του εδάφους και σε ένα βαθμό την κοκκομετρική σύσταση του εδάφους δεν ήταν προφανείς. Ωστόσο, ο παράγοντας "περιοχή" δε συμπεριλήφθηκε τελικά άμεσα ως προγνωστικός παράγοντας στο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε.

Το υψόμετρο διατηρήθηκε ως προγνωστικός παράγοντας και είχε θετική επίδραση στην αφθονία των ειδών των αγρωστωδών και ήταν επίσης ένας σημαντικός παράγοντας πρόβλεψης της HP, επηρεάζοντας έτσι έμμεσα τον αριθμό των πλατύφυλλων ειδών και το συνολικό αριθμό των ειδών. Αρκετές μελέτες έδειξαν ότι ο πλούτος των φυτικών ειδών μεγιστοποιείται στα μέσα ύψη (Odland and Birks, 1999; Grytnes and Vetaas, 2002; Grytnes, 2003; Carpenter, 2005). Έτσι, σε ένα στενό εύρος υψομετρικών διαβαθμίσεων στις ορεινές - υπαλπικές ζώνες, η σχέση μεταξύ υψομέτρου και του συνολικού πλούτου των φυτικών ειδών αναμένεται να είναι αρνητική, όπως έχει αναφερθεί από Vazquez and Givnish (1998), Chen and Zhang (2000), Βραχνάκης κ. α. (2003) και Carpenter (2005). Ωστόσο κάποιοι ερευνητές (Chen and Zang, 2000; Malen and Pickering, 2008), όταν μελετήθηκαν μόνο τα αγρωστώδη είδη, παρατήρησαν αύξηση του αριθμού των ειδών με το υψόμετρο, όπως παρατηρήθηκε και στην παρούσα μελέτη. Οι Παπάς και Κούκουρα (2006) σε έρευνα τους στο όρος Όθρυς βρήκαν σημαντικά υψηλότερο αριθμό ειδών στα ορεινά ποολίβαδα υψομέτρου 1200-1500μ σε σχέση με χαμηλότερες υψομετρικές ζώνες. Επίσης παρατήρησαν ότι ο αριθμός των αγρωστωδών ειδών ήταν υψηλότερος στα ορεινά λιβάδια από ό,τι στα χαμηλότερου υψομέτρου λιβάδια εξαιτίας της σημαντικής αύξησης των πολυετών αγρωστωδών.

Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε έδειξε ότι το pH του εδάφους ήταν σημαντικός προγνωστικός δείκτης του αριθμού των πλατύφυλλων ειδών και του συνολικού αριθμού των ειδών. Και στις δυο περιπτώσεις, η επίδραση του pH ήταν περίπλοκη με ένα μέγιστο σε pH= 5 με 5,3 και ένα ελάχιστο περίπου σε pH= 6. Μια παρόμοια σχέση αναφέρθηκε από τους Gusewell et al. (2005) σε λιβάδια της Ελβετίας σε εδάφη με τιμές pH που κυμαίνονταν 4-7 και από τους Merunkova et al. (2012) στα δυτικά Καρπάθια. Ο αριθμός των φυτικών ειδών είναι γενικά υψηλότερος σε ουδέτερα ή αλκαλικά εδάφη σε σύγκριση με τα όξινα (Matts,

1993). Αρκετοί συγγραφείς ανέφεραν μια θετική σχέση μεταξύ του pH του εδάφους και του πλούτου των ειδών, η οποία μειώνεται σε τιμές έντονου αλκαλικού pH (Bedford et al., 1999; Critchley et al., 2002b; Schuster and Diekmann, 2003; Crawley et al., 2005). Ωστόσο, αυτό το γενικό πρότυπο μπορεί να μην ισχύει πάντα σε συγκεκριμένους τύπους λιβαδιών, όπως έχει ήδη αναφερθεί από άλλους ερευνητές (Janssens et al., 1998; Chytry et al., 2003; Merunkova et al., 2012). Έτσι η επίδραση του pH που παρατηρήθηκε στο δικό μας μοντέλο θα μπορούσε να οφείλεται στο στενό εύρος pH του εδάφους στις δειγματοληπτικές επιφάνειες από τις οποίες μόνο τρεις, όλες από την περιοχή G, είχαν pH > 6. Τα περισσότερα είδη φυτών που φύονταν στα πολύ όξινα εδάφη αυτής της μελέτης ήταν οξίφυλλα και ο αριθμός των ασβεστόφοβων ειδών μειωνόταν όσο το pH αυξανόταν μέχρι το όριο pH = 6. Σε υψηλότερες τιμές pH > 6 ο αυξημένος αριθμός των ειδών πιθανότατα οφειλόταν σε μια σειρά από πλατύφυλλα είδη, τα οποία είναι γνωστό ότι προτιμούν πιο ουδέτερα εδάφη. Συγκεκριμένα, στις τρεις δειγματοληπτικές επιφάνειες με pH > 6 βρέθηκε μια σειρά από πλατύφυλλα είδη που είναι οριακά ασβεστόφυλλα, όπως *Salvia argentea* L., *Hypericum barbatum* Jacq., *Campanula persicifolia* L., *Campanula rotundifolia* L., *Campanula servicaria* L. και *Ranunculus acris* L. και μερικά ανεκτικά σε ελαφρώς αλκαλικά εδάφη, όπως *Veronica Barrelieri* Schott ex Roemer & Schultes και *Plantago holosteum* Scop. Τέλος, η εμφάνιση αυτής της σιμοειδούς καμπύλης πρότυπο δείχνει μια κατάσταση που εμφανίζεται σε ένα πολύ μικρό εύρος pH του εδάφους σε αυστηρά όξινο περιβάλλον.

Μεταξύ των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους, μόνο η συγκέντρωση του N διατηρήθηκε στο τελικό μοντέλο πρόβλεψης για τα αγρωστώδη και τα πλατύφυλλα είδη. Η αρνητική επίδραση της αυξανόμενης συγκέντρωσης του εδαφικού αζώτου στον αριθμό των φυτικών ειδών έχει αναφερθεί από διάφορους ερευνητές (Aerts et al., 2003; Marini et al., 2007; Klimek et al., 2007; Stevens et al., 2010). Η μείωση αυτή του αριθμού των φυτικών ειδών οφείλεται στην έντονη μείωση του αριθμού των πλατυφύλλων ειδών (Stevens et al., 2006; Dupre et al., 2010; Stevens et al., 2010). Στην έρευνα αυτή επιβεβαιώθηκε μόνο για τη λειτουργική ομάδα των πλατύφυλλων. Αντιθέτως, τα αποτελέσματα έδειξαν μια σημαντική θετική σχέση του αριθμού των αγρωστωδών ειδών με το άζωτο του εδάφους. Οι Stevens et al. (2006) και οι Stevens et al. (2010) βρήκαν μια ασθενής επίδραση, ενώ οι Dupre et al. (2010) ανέφεραν ότι ο αριθμός των αγρωστωδών ειδών αυξήθηκε έντονα σε ημι - φυσικά λιβάδια όξινου εδάφους. Ωστόσο, και οι δύο προηγούμενοι ερευνητές βρήκαν μια ισχυρή αύξηση της κάλυψης των αγρωστωδών με το άζωτο του εδάφους και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η αύξηση του N ευνόησε τα αγρωστώδη, όπως η *Agrostis capillaris* L. και η *Festuca rubra* L., εις βάρος των πλατύφυλλων ειδών. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι σε όξινα εδάφη, τα αγρωστώδη είναι πιο ικανά από τα πλατύφυλλα να εκμεταλλευτούν πιο γρήγορα το διαθέσιμο N, με αποτέλεσμα την ταχύτερη ανάπτυξη και την καταστολή των δικοτυλήδων ειδών με μικρότερο ύψος (Pepler - Lisbach and Peterson, 2001).

Η συγκέντρωση K και P του εδάφους, η συγκέντρωση σε οργανική ουσία και οι αναλογίες άμμου ή ιλύς το καθένα μόνο του ή ως γραμμικός συνδυασμός (PCA άξονες) δεν συμπεριελήφθησαν άμεσα ως προγνωστικοί παράγοντες σε οποιοδήποτε μοντέλο. Το αναφερόμενο παραβολικό πρότυπο (humped shape), σε ένα ευρύ φάσμα λιβαδικών οικοτόπων, μεταξύ του εδαφικού P και του αριθμού των ειδών (Janssens et al., 1998, Marini et al., 2007) δεν επιβεβαιώθηκε στα λιβάδια μας. Ωστόσο, μια τέτοια σχέση υπήρξε μεμονωμένα μόνο στα εδάφη από TA η οποία δεν υπήρχε, όταν εφαρμοζόταν και στις δύο περιοχές μαζί. Η έλλειψη άμεσης σχέσης μεταξύ K του εδάφους και του αριθμού ειδών πιθανόν να οφείλεται στην αρκετά υψηλή κινητικότητα του K στο έδαφος και στη μετακίνησή του προς τους φυτικούς ιστούς καθώς και στην ταχεία εξάντληση του, όταν η βιομάζα παρακμάζει (Kayser and Isselstein, 2005). Ωστόσο, το K ήταν ένας σημαντικός προγνωστικός παράγοντας της HP (Van der Woude et al, 1994), έτσι ώστε η επίδρασή της

στον αριθμό των ειδών μπορεί να θεωρηθεί ως έμμεσος. Επίσης, ένα τέτοιο αποτέλεσμα δεν ήταν γραμμικό παρατηρώντας τη σχέση της αύξησης της HP με το K και τη μη γραμμική ανταπόκριση του αριθμού των ειδών με τη HP (Διαγράμματα 4.2.5., 4.2.6.). Έτσι, συνδυάζοντας τα δύο παραπάνω αποτελέσματα, μπορεί να υποθεθεί ότι μέτρια υψηλές συγκεντρώσεις K είναι συμβατές με τις υψηλές τιμές του αριθμού ειδών (Janssens et al., 1998). Με τον ίδιο τρόπο, η οργανική ουσία, που ήταν σημαντικός προγνωστικός δείκτης της DCA2, μπορεί να θεωρηθεί ως ένας παράγοντας που τελικά επηρεάζει το συνολικό αριθμό και των πλατύφυλλων ειδών, τα οποία ήταν σημαντικά εξαρτημένα από τις τιμές της DCA2.

Η HP διατηρήθηκε ως σημαντικός μη γραμμικός προγνωστικός παράγοντας σε όλα τα μοντέλα των ειδών. Αρκετοί ερευνητές συσχετίζουν τη μέγιστη μηνιαία παραγωγή που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου (Garcia et al., 1993; Guo and Berry, 1998; Bergamini et al., 2001) ή τη συνολική παραγωγή για κάθε μήνα (Bischoff et al., 2005) με τον αριθμό των ειδών. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης παρέχουν υποστήριξη στο παραβολικό μοντέλο (humped shape) (Al-Mufti et al., 1977; Grime, 1979; Gross et al., 2000; Poldini et al., 2011), έτσι στα πρότυπα για τα πλατύφυλλα και τα αγρωστώδη είδη παρατηρήθηκε μια κορυφή, ενώ για το σύνολο του αριθμού των ειδών υπήρχαν δύο κορυφές: μία που αντιστοιχεί σε σχετική αιχμή των αγρωστωδών και το άλλο σε εκείνη των πλατύφυλλων ειδών. Επιπλέον, αναφορές των Rosenzweig and Abramsky (1993) και των Waide et al. (1999) υποστηρίζουν ότι η μορφή της σχέσης παραγωγικότητας ποικιλότητας εξαρτάται από την κλίμακα παρατήρησης και μπορεί να επηρεαστεί και από άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ειδικότερα, οι Mittelbach et al. (2001) διαπίστωσαν ότι οι humped shape σχέσεις ήταν κυρίαρχες για τα φυτά, ιδιαίτερα σε τοπική έως και περιφερειακή κλίμακα. Η μείωση του πλούτου των ειδών με την αύξηση της παραγωγής μετά από ένα ορισμένο επίπεδο παραγωγής αποδίδεται στην επικράτηση μερικών ειδών στα πιο γόνιμα εδάφη, που είναι σε θέση να αξιοποιηθούν οι διαθέσιμοι πόροι γρήγορα (Grime, 1979). Από την άλλη πλευρά, οι Diaz et al. (2007), χρησιμοποιώντας την υπέργεια βιομάζα και τις ιδιότητες του εδάφους για την πρόβλεψη λειτουργικής ποικιλομορφίας, διαπιστώθηκε ότι τα μοντέλα πρόβλεψης τους δε βελτιώνονταν χωρίς την ένταξη ιδιοσυγκρασιακών παραγόντων, όπως η χλωριδική σύνθεση ή η αφθονία ενός είδους. Στην παρούσα έρευνα, η εμφάνιση της *Agrostis capillaris* L. είχε σημαντική αρνητική επίδραση στη συνολική αφθονία των ειδών. Ομοίως, οι Reinvent and Berendse (2003) βρήκαν μια αρνητική σχέση μεταξύ της υπέργειας βιομάζας του είδους αυτού και του αριθμού των ειδών. Επιπλέον, οι Kennedy et al. (2004) παρατήρησαν ότι η *Agrostis capillaris* L. είχε σημαντική όξινη επίδραση στο pH του εδάφους και μια αρνητική επίδραση στη μικροβιακή δραστηριότητα που ενδέχεται να επηρεάζουν τον πλούτο των ειδών. Άλλα είδη επίσης μπορεί να συμπεριφερθούν σαν την *Agrostis capillaris* L. στις υπό μελέτη περιοχές, αλλά δεν είχαν προσδιοριστεί από τα δεδομένα μας, καθώς ήταν μόνο ποσοτικά τα οποία δεν επιτρέπουν μια πιο λεπτομερή ανάλυση των προτύπων κυριαρχίας που θα μπορούσε να εξηγήσει τη μείωση του αριθμού των ειδών σε εξαιρετικά παραγωγικές θέσεις. Για παράδειγμα, η *Festuca paniculata* (L.) Schinz & Thell., ένα είδος που υπήρχε στις δειγματοληπτικές επιφάνειες των υπό μελέτη περιοχών, έχει αναφερθεί από τους Qettier et al. (2007) ότι έχει αρνητική επίδραση στη συνολική αφθονία ειδών στους τόπους που καταλαμβάνει. Το είδος αυτό έχει μια σειρά από χαρακτηριστικά που το καθιστούν ικανό να παρεμποδίζει την εκμετάλλευση των θρεπτικών συστατικών από τα άλλα είδη εξαιτίας μιας ταχείας παγίδευσης των θρεπτικών συστατικών (Baptist et al., 2012) και την παραγωγή αλληλοπάθειας (Viard - Cretat et al., 2009).

Οι δειγματοληπτικές επιφάνειες με υψηλή παραγωγή και χαμηλό αριθμό ειδών προέρχονται από τα εδάφη από G, ενώ αντίστοιχα οι επιφάνειες με χαμηλή παραγωγή από τα εδάφη από TA και ειδικότερα εκείνες με απότομη κλίση. Οι σημαντικές παραβολικές σχέσεις (humped shape) που διαπιστώθηκαν ήταν μόνο όταν οι επιφάνειες δειγματοληψίας και από τις δύο περιοχές είχαν συνενωθεί. Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν οι ter Heerd et al.

(1991), οι Gross et al. (2000) και οι Grytnes (2000) οι οποίοι δεν μπόρεσαν να βρουν την παραβολική σχέση μέσα σε μια λιβαδική περιοχή, αλλά μόνο, όταν συνδύαζαν πολλές περιοχές μαζί. Το προηγούμενο μπορεί να ισχύει διότι υπάρχει μικρότερη διακύμανση στην παραγωγή μέσα σε ένα λιβαδικό τύπο μιας περιοχής από ό,τι σε ένα μεγαλύτερο φάσμα φυτοκοινοτήτων, με αποτέλεσμα μια μικρότερη συνολική ανταπόκριση στον αριθμό των ειδών. Επομένως, η συγκέντρωση των δειγματοληπτικών επιφανειών δημιουργεί ένα ευρύτερο φάσμα τιμών της παραγωγής συμπεριλαμβανομένων των περιπτώσεων από την εξαιρετικά χαμηλή μέχρι τα υψηλά επίπεδα παραγωγής. Επίσης, πολλοί συγγραφείς έχουν υποστηρίξει ότι οι έρευνες που έκαναν σε περιορισμένο εύρος παραγωγικότητας είναι λιγότερο πιθανό να ανιχνεύσουν παραβολικό πρότυπο σε σχέση με μελέτες που διεξήχθησαν σε ένα ευρύ φάσμα παραγωγικότητας (Begon et al., 1990, Rosenzweig, 1995, Huston, 1994, Guo and Berry, 1998). Παράλληλα σε μια humped shape σχέση μεταξύ της παραγωγής και της αφθονίας των ειδών, όλα τα είδη των γραμμικών εξαρτήσεων (αρνητικό, θετικό ή καμία σχέση) είναι παρατηρημένα, όταν μόνο ένα μικρό τμήμα της διαβαθμισμένης παραγωγής μελετάται (Gillman and Wright, 2006). Επομένως, αν κάποιος εστιάσει στο κατώτερο τμήμα της βαθμιαία αυξανόμενης παραγωγής, τότε θα παρατηρήσει τον αριθμό των ειδών να αυξάνεται με την παραγωγή. Εάν εστιάσει μόνο στο ενδιάμεσο τμήμα της παραγωγής, τότε η αφθονία των ειδών φαίνεται να είναι ανεξάρτητη από την παραγωγή, ενώ στο ανωτέρω τμήμα της υψηλής παραγωγής η αφθονία των ειδών φαίνεται να μειώνεται με την παραγωγή.

5. 2. Λιβαδική παραγωγή

Οι παράγοντες που έχουν τη μεγαλύτερη επίδραση στην παραγωγή των υπαλπικών λιβαδιών είναι η φύση του μητρικού πετρώματος και κυρίως το βάθος και ο τύπος του εδάφους και δευτερευόντως οι κλιματικές συνθήκες (Παπαναστάσης, 2003). Σε σύγκριση με τα ποολίβαδα των χαμηλότερων υψομετρικά περιοχών, τα υπαλπικά λιβάδια φαίνεται ότι είναι παραγωγικότερα, κυρίως, επειδή το ύψος των κατακρημνισμάτων κατά την αυξητική περίοδο είναι υψηλότερο (Pérez Corona, 1993). Σύμφωνα με τους George et al. (2001), ενώ οι βροχοπτώσεις καθορίζουν την αρχή και το τέλος της περιόδου ανάπτυξης των φυτών, η θερμοκρασία καθορίζει συνήθως το ποσοστό της παραγόμενης λιβαδικής παραγωγής κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου. Ειδικότερα, ο ρυθμός αύξησης των λιβαδικών φυτών κατά τη διάρκεια του πρώτου σταδίου αύξησης επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του αέρα, ενώ η υγρασία του εδάφους, οι θρεπτικές ουσίες και η διαχείριση καθορίζουν την ποσότητα της ξηρής ουσίας που παράγεται (Frank and Ries, 1990). Με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα παρατηρήθηκε αύξηση της ανάπτυξης των φυτών και στις δύο περιοχές παρουσιάζοντας για το σύνολο της λιβαδικής παραγωγής κορύφωση το πρώτο έτος τον Αύγουστο και Ιούλιο μήνα στα εδάφη από ΓΑ και στα εδάφη από G αντίστοιχα, ενώ το δεύτερο έτος τον Αύγουστο και στις δύο περιοχές (για το σύνολο της παραγωγής). Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας συνήθως το μέγιστο της λιβαδικής παραγωγής στα υπαλπικά λιβάδια στην Ελλάδα εμφανίζεται τους προαναφερόμενους μήνες (Παπαναστάσης, 1982; Skapetas et al., 2004; Mountousis et al., 2009; Στόλιου, 2012). Ωστόσο, υπήρχαν περιπτώσεις που το μέγιστο πραγματοποιήθηκε τον Ιούνιο, ενώ στη συνέχεια προέκυψε ένα δεύτερο μέγιστο το Σεπτέμβριο, όταν μεσολάβησαν βροχοπτώσεις προς το τέλος του καλοκαιριού (Πλατής κ.ά., 2000; Papanastasis et al., 2002).

Η μέγιστη μηνιαία παραγωγή (250 kg/στρ) καθώς και η μέση μηνιαία παραγωγή του πρώτου έτους (166 kg/στρ) στα εδάφη από G έχει παραπλήσιες τιμές με την παραγωγή υπαλπικών λιβαδιών του όρους Βαρνούντα (249 kg/στρ και 172 kg/στρ αντίστοιχα) (Μουντούσης, 2008) το οποίο έχει ίδιο γεωλογικό υπόστρωμα με τα εδάφη από G. Η Στόλιου (2012) σε υπαλπικά λιβάδια του Ολύμπου τα οποία έχουν ασβεστολιθικό πέτρωμα και διαφορετικές εδαφικές ιδιότητες, αναφέρει παραπλήσιες τιμές λιβαδικής παραγωγής με τα

εδάφη από G (246 kg/στρ και 165 kg/στρ αντίστοιχα). Αντίθετα, η ίδια ερευνήτρια σε υπαλπικά λιβάδια του Βόρα με ίδιο μητρικό πέτρωμα γενέσιους βρήκε μικρότερη παραγωγή (209 kg/στρ και 148 kg/στρ) σε σχέση με τα εδάφη από G, αλλά ήταν παραπλήσια με την παραγωγή του πρώτου έτους των εδαφών από TA (197 kg/στρ και 124 kg/στρ) των περιοχών έρευνας. Παράλληλα οι Πλατής κ.ά. (2003) σε λιβάδι του όρους Άσκιου (Βλάστης) με γεωλογικό πέτρωμα γενέσιο και γρανίτη και παρόμοια εδαφικά χαρακτηριστικά με τα εδάφη από G της περιοχής έρευνας, σε ευρήματα παρατηρήσεων τριών ετών αναφέρουν πολύ μικρότερη παραγωγή και από τις δύο περιοχές της παρούσας έρευνας. Οι ίδιοι ερευνητές και οι Skarpetas et al., (2004) στο ίδιο όρος αλλά σε θέσεις με ασβεστολιθικό μητρικό πέτρωμα σε ευρήματα τριών ετών αναφέρουν τη μέγιστη μηνιαία παραγωγή να εκτείνεται από 55-147 kg/στρ, η οποία υπολείπεται έναντι της παρούσας έρευνας και στις δύο περιοχές.

Η επίδραση επίσης της τοπογραφίας μιας περιοχής επηρεάζει τη λιβαδική παραγωγή, καθώς επιδρά στη γονιμότητα του εδάφους και στο μικροκλίμα του οικοτόπου. Στις υπό μελέτη περιοχές η στατιστική επεξεργασία έδειξε ότι οι παράγοντες υψόμετρο και κλίση εδάφους επιδρούν σημαντικά στη διαμόρφωση της μέσης μηνιαίας μεταβολής της παραγωγής στις δύο περιοχές όπως εμφανιζόταν στο μοντέλο πρόβλεψης, και καθορίζουν τις διαφορές μεταξύ των δύο περιοχών. Η θετική σχέση του υψομέτρου με την παραγωγή έχει αναφερθεί και από άλλους ερευνητές (Παπαναστάση και Νοιτσάκη, 1992, Μουντούσης, 2008). Στην παρούσα έρευνα το πρότυπο μεταξύ υψομέτρου και παραγωγής δεν ήταν γραμμικό αλλά ακολουθούσε παραβολική τροχιά δείχνοντας μια σχέση σε ένα μικρό φάσμα υψομετρικής διαβάθμισης συγκρίνοντας με τη γραμμική σχέση, που ανέφεραν οι προηγούμενοι ερευνητές.

Το εδαφικό K από τις εδαφικές παραμέτρους, αποδείχτηκε ο σημαντικότερος παράγοντας πρόβλεψης της λιβαδικής παραγωγής επιβεβαιώνοντας τα ευρήματα από άλλους ερευνητές (Papanastasis and Koukoulakis, 1988; Van der Woude et al., 1994; Koerselman and Meuleman, 1996). Το εδαφικό K που απορροφάται από το φυτά ενεργοποιεί πολλά ενζυμικά συστήματα τα οποία συμμετέχουν στο μεταβολισμό ενέργειας, στη σύνθεση αμύλου, ενώ επιδρά στη σύνθεση των πρωτεϊνών προάγοντας επομένως την ανάπτυξη του φυτού (Humphreys, 1984). Παρόλο που από τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους, το άζωτο φαίνεται ότι είναι αυτό που ασκεί τη μεγαλύτερη επίδραση στην αύξηση των φυτών και γενικότερα στην παραγωγή ενός λιβαδιού στην παρούσα έρευνα δεν ήταν επιβεβαιωμένη σύμφωνα με το μοντέλο πρόβλεψης παρά τη συσχέτιση που υπήρξε στα εδάφη από G. Η μείωση της ανοργανοποίησης της οργανικής ουσίας μπορεί να οδηγήσει σε μικρότερη απελευθέρωση του διαθέσιμου N για τα φυτά (Cadish et al., 1994). Σύμφωνα με το Schaffers (2002) σε φυσικά οικοσυστήματα με όξινες εδαφικές συνθήκες, όπως τα υπαλπικά λιβάδια των περιοχών μελέτης, η υπέργεια παραγωγή εμφανίζεται να επηρεάζεται κυρίως από την ανοργανοποίηση του N. Ο παράγοντας της οργανικής ουσίας του εδάφους στην παρούσα έρευνα επηρέαζε επίσης έμμεσα την παραγωγή, καθώς ήταν ένας από τους παράγοντες που επιδρούσε σημαντικά στις τιμές της χλωριδικής σύνθεσης. Αυτός πιθανόν ήταν ένας λόγος για τη μειωμένη παραγωγή στα εδάφη από TA παρά τη σημαντικά υψηλότερη συγκέντρωση εδαφικού N σε σχέση με τα εδάφη από G.

Κατά το δεύτερο έτος δειγματοληψίας παρατηρήθηκε μείωση της συνολικής μέσης ετήσιας παραγωγής κατά 13% και 17% στα εδάφη από TA και στα εδάφη από G, αντίστοιχα σε σχέση με το πρώτο έτος. Η χαμηλότερη λιβαδική παραγωγή κατά το δεύτερο έτος δειγματοληψίας μπορεί να αποδοθεί στην πολύ χαμηλή βροχόπτωση σε σχέση με το προηγούμενο έτος. Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξε και ο Μουντούσης (2008), καθώς το δεύτερο έτος δειγματοληψίας στην υπαλπική ζώνη βρήκε χαμηλότερη μέση ετήσια παραγωγή κατά 22% σε σχέση με το πρώτο έτος, ενώ διαπίστωσε ότι η μείωση ήταν εντονότερη στις χαμηλότερες υψομετρικές ζώνες. Επομένως, η υψηλότερη θερμοκρασία δεν

έχει πάντοτε ως αποτέλεσμα μεγαλύτερη παραγωγή βιομάζας (Zha et al., 2005). Όταν η θερμοκρασία δεν περιορίζει την ανάπτυξη των φυτών, τότε η μειωμένη βροχόπτωση μπορεί να μετατρέψει τη θερμοκρασία σε περιοριστικό παράγοντα ανάπτυξης (Knapp, 1985).

Η σαφή υπεροχή της παραγωγής των αγρωστωδών στα υπαλπικά λιβάδια των δύο περιοχών έναντι των άλλων λειτουργικών ομάδων είναι καταγεγραμμένη και από άλλους ερευνητές σε ορεινά λιβάδια της Βορείου Ελλάδος (Τζιάλλα κ.α., 2000; Κουτσούκης κ.α., 2010; Roukos 2011). Αυτή η παρατήρηση εξηγείται από τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα των αγρωστωδών ειδών στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα στις περιοχές μελέτης και γενικά στις ορεινές και υπαλπικές ζώνες (Παπανικολάου και Κοκκίνη, 1984). Αυτά τα είδη έχουν μεγαλύτερη προσαρμοστική ικανότητα, ιδίως στη βόσκηση από τα πρόβατα και έχουν μεγαλύτερη ικανότητα αναγέννησης (Biswell and Liacos, 1977) σε σύγκριση με τα ψυχανθή και άλλα πλατύφυλλα είδη τα οποία έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία σε χαμηλές θερμοκρασίες και στη βόσκηση. Επίσης, οι Skapetas et al., (2004) αναφέρουν ότι το μοτίβο της αναβλάστησης πολλών ψυχανθών ειδών, όπου το σημείο αναβλάστησης είναι μερικά εκατοστά πάνω από το έδαφος, είναι ένα μειονέκτημα στην προσαρμογή της βόσκησης. Επιπλέον, τα πρόβατα δείχνουν μεγαλύτερη προτίμηση για τα πλατύφυλλα, και ιδιαίτερα για τα ψυχανθή (Papanikolaou et al. 1993). Αντίστοιχα οι Papanastasis et al. (2002) και οι Πλατής κ.ά. (2003) ανέφεραν ότι η υπερβόσκηση ειδικά με πρόβατα σε ορισμένα υπαλπικά λιβάδια, έχει ως συνέπεια τη μείωση της φυτοποικιλότητας ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά τα πλατύφυλλα και τα ψυχανθή. Επίσης, ο Παπαναστάσης (2003) αναφέρει ότι τα μεγάλα ζώα και ιδιαίτερα τα ιπποειδή, τα οποία σε μεγάλο βαθμό καταναλώνουν τα σκληρά αγρωστώδη, έχουν περιοριστεί με αποτέλεσμα να έχει χειροτερέψει η λιβαδική κατάσταση των υπαλπικών λιβαδιών. Η κυριαρχία σε πολλά υπαλπικά λιβάδια σκληρών αγρωστωδών, όπως είναι η *Nardus stricta* L., η *Festuca varia* L. και η *Sesleria spp.*, εμποδίζουν την ανάπτυξη των "μαλακότερων" αγρωστωδών και άλλων πλατύφυλλων συμπεριλαμβανομένων και των ψυχανθών, τα οποία αποτελούν την πλέον κατάλληλη τροφή για τα μικρά μηρυκαστικά.

Έχει αναφερθεί από πολλούς ερευνητές ότι υψηλές συγκεντρώσεις αζώτου στο έδαφος αυξάνουν τη βιομάζα των αγρωστωδών και ταυτόχρονα μειώνουν την παρουσία των ψυχανθών και πλατύφυλλων λόγω της αύξησης της ανταγωνιστικής ικανότητας των κυρίαρχων αγρωστωδών, ενώ τα ψυχανθή αυξάνονται με την προσθήκη φωσφόρου και ασβεστίου (Tilman, 1985; Bobbink, 1991; Elisseou et al., 1995; Mamolos et al., 1995). Αντίστοιχα ο P είναι αναγκαίος για τη δημιουργία φυματίων στα ψυχανθή (Marschner, 1995), ενώ οι Janssens et al., 1998 βρήκαν ότι συγκεντρώσεις εδαφικού P κάτω από 10 ppm μειώνουν την κάλυψη των ψυχανθών κάτω από 20%, αντιθέτως, όταν η συγκέντρωση P κυμαίνονταν μεταξύ 40-50 ppm, η ανάπτυξη των ψυχανθών εμφάνιζε τα υψηλότερα όρια, ενώ πάνω από το όριο αυτό μειωνόταν δραματικά εκ νέου η ανάπτυξη τους. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι πάνω από αυτά τα όρια, τα παραγωγικά αγρωστώδη αναπτύσσονται έντονα και εμποδίζουν την ανάπτυξή των ψυχανθών. Επίσης, η επίδραση του pH είναι καθοριστική για τη σύνθεση της βλάστησης σε μια περιοχή. Έχει αναφερθεί ότι τα αγρωστώδη αναπτύσσονται σε όξινα εδάφη, ενώ τα ψυχανθή προτιμούν υψηλότερο pH και απαντώνται σε ελαφρώς όξινα, ουδέτερα ή και βασικά εδάφη (Murphy et al., 1984). Η μηνιαία παραγωγή των πλατύφυλλων παρουσίασε εντελώς αντίθετη τάση μεταξύ των δύο περιοχών, καθώς στα εδάφη από G εμφάνισε προοδευτική αύξηση παράλληλα με την παραγωγή των αγρωστωδών, ενώ, αντίθετα, στα εδάφη από TA παρουσίασε προοδευτική μείωση. Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι σε όξινα εδάφη, τα αγρωστώδη είναι πιο ικανά από τα πλατύφυλλα να εκμεταλλευτούν πιο γρήγορα το διαθέσιμο N, με αποτέλεσμα την ταχύτερη ανάπτυξη και την καταστολή των δικοτυλήδων ειδών με μικρότερο ύψος (Peppler - Lisbach and Peterson, 2001). Ο ανταγωνισμός μεταξύ των ειδών και η κυριαρχία των αγρωστωδών, στα εδάφη από TA μπορεί να εξηγήσει τη μειωμένη παραγωγή των

πλατύφυλλων κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου. Οι Τζιάλα κ.ά. (2000) σε πειραματικό σχεδιασμό σε ποολίβαδο υγρής περιοχής βρήκαν ότι η προσθήκη αζώτου αύξησε τη βιομάζα των ειδών της οικογένειας Poaceae, αντίθετα, δεν επηρέασε τη βιομάζα των ειδών της οικογένειας Cyperaceae παρατηρώντας ότι η υγρασία αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τα είδη της οικογένειας αυτής και τα καθιστά περισσότερο ανταγωνιστικά. Επειδή στα εδάφη από G η συμμετοχή των Cyperaceae στην παραγωγή των αγρωστωδών ήταν σημαντική μπορεί να εξηγήσει ως ένα βαθμό τη μειωμένη κάλυψη των αγρωστωδών και παρά την υψηλότερη παραγωγή σε σχέση με τα πλατύφυλλα εξαιτίας της χαμηλής υγρασίας εδάφους, που αναφέρθηκε παραπάνω. Επομένως, ο συνδυασμός των ανωτέρω παραμέτρων μπορεί να εξηγήσει σε μεγάλο βαθμό τις μεταβολές της παραγωγής, που υπάρχουν σε κάθε ομάδα και τις διαφορές που υπάρχουν, μεταξύ των δύο περιοχών.

5. 3. Περιεχόμενο λιβαδικής παραγωγής σε αζωτούχες ουσίες

Το περιεχόμενο των λιβαδικών φυτών σε αζωτούχες ουσίες (ΑΟ) είναι ένας από τους σημαντικούς παράγοντες, που καθορίζουν την ποιότητα της παραγόμενης λιβαδικής παραγωγής. Βοσκήσιμη ύλη που αποτελείται από φυτά που βρίσκονται στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης περιέχει μεγαλύτερες ποσότητες αζωτούχων ουσιών σε σχέση με αυτή που στη σύνθεσή της περιλαμβάνει λιβαδικά φυτά που έχουν ήδη ολοκληρώσει την αυξητική τους περίοδο. Οι εποχιακές αλλαγές των ΑΟ κατά τη διάρκεια διαφορετικών φαινολογικών σταδίων έχουν αναφερθεί από αρκετούς ερευνητές (White, 1983; Akbarinia and Koocheki, 1992; Buxton, 1996; Arzani et al., 1998). Η περιεκτικότητα των ΑΟ είναι υψηλότερη στο νεαρό στάδιο των λιβαδικών φυτών κατά τη διάρκεια ανάπτυξης των φύλλων το οποίο συνοδεύεται από υψηλή μιτωτική και ενζυματική δραστηριότητα και παράγει πρωτεΐνες. Αυτός είναι ο λόγος που οι ΑΟ είναι υψηλές στο αρχικό στάδιο της ανάπτυξης του φυτού παρά στο ώριμο στάδιο (Ammar et al., 2004). Η μείωση της συγκέντρωσης σε ΑΟ με τη σταδιακή ωρίμανση συμβαίνει τόσο επειδή μειώνονται οι ΑΟ στα φύλλα και στους βλαστούς, όσο και γιατί οι βλαστοί με τη μικρότερη συγκέντρωση σε ΑΟ καταλαμβάνουν μεγαλύτερη αναλογία της βιομάζας στα πιο ώριμα φυτά (Buxton, 1996; Arzani et al., 2004; Frost et al., 2008; Bovolenta et al., 2008). Συγκεκριμένα οι Arzani et al. (2004) σε έρευνά τους σε υπαλπικά λιβάδια στα όρη Ζάγκρος αναφέρουν ότι υπήρχαν σημαντικές διαφορές στις ΑΟ μεταξύ φύλλων, βλαστών και άνθεων όλων των ειδών σε όλα τα στάδια ανάπτυξης. Μάλιστα, υπολογίζεται ότι η μέση μείωση της περιεκτικότητας σε ΑΟ με την πρόοδο της ωρίμανσης διάφορων λιβαδικών φυτών κυμαίνεται στο 1 g / kg / ημέρα (Minson, 1990). Γενικά το περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής σε ΑΟ μειώνεται σημαντικά κατά το τέλος καλοκαιριού μέχρι τις αρχές φθινοπώρου. Αυτό συμβαίνει διότι, αυξάνονται τα μεσογονάτια τμήματα του βλαστού και πέφτουν τα φύλλα προς το τέλος του καλοκαιριού εξαιτίας της ξηρασίας (González-Andrés and Ortiz, 1996). Η μείωση των ΑΟ σε συνδυασμό με την αύξηση της βιομάζας κατά τη διάρκεια της φαινολογικής ανάπτυξης του φυτού (dilution effect) έχει αναφερθεί και από άλλους συγγραφείς (Duru and Ducrocq, 1997; Hejzman et al., 2010).

Το περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής και των δύο περιοχών σε ΑΟ, ήταν υψηλότερο στην αρχή της αυξητικής περιόδου των λιβαδικών φυτών και στα δύο έτη δειγματοληψίας. Κατόπιν το ποσοστό αυτό μειώθηκε με την ανάπτυξη των φυτών, εμφανίζοντας την ελάχιστη τιμή κατά το μήνα Σεπτέμβριο, εκτός από τα ψυχανθή στα εδάφη από ΤΑ τα οποία είχαν ελάχιστη τιμή το μήνα Αύγουστο. Το περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής σε ΑΟ σε κάθε λειτουργική ομάδα δεν παρουσίασε διαφορές μεταξύ των περιοχών. Αντίθετα μεταξύ των λειτουργικών ομάδων τα ψυχανθή είχαν την υψηλότερη τιμή σε ΑΟ και στις δύο περιοχές με τα πλατύφυλλα να έπονται και τα αγρωστώδη να έχουν τη χαμηλότερη τιμή (Krysl et al., 1984; Meyer and Brown, 1985; Ruyle, 1993). Έχει

διαπιστωθεί ότι τα αγρωστώδη έχουν μικρότερη αναλογία βάρους φύλλων/βλαστούς από τα πλατύφυλλα είδη κατά το στάδιο ανάπτυξης των φυτών το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη χαμηλότερη συγκέντρωση σε ΑΟ (Buxton, 1996; Pérez-Corona et al., 1998; Vázquez-de-Aldana et al., 2000; Brueland et al., 2003; Kaya et al., 2004). Επίσης, οι Smith et al. (1986) αναφέρουν ότι οι ΑΟ των αγρωστωδών μειώνονται σημαντικά, όταν τα φυτά ολοκληρώσουν την αυξητική τους περίοδο και η μείωση αυτή είναι ταχύτερη απ' ό,τι στα ψυχανθή. Το ίδιο αποτέλεσμα διαπιστώθηκε στην παρούσα έρευνα όπου η μείωση των ΑΟ, όταν ολοκληρώθηκε η αυξητική τους περίοδο, των αγρωστωδών ήταν 67% και 64% στα εδάφη από ΤΑ και στα εδάφη από G, αντίστοιχα και στα πλατύφυλλα ήταν 45% και 41%. Αντίθετα στα ψυχανθή οι μειώσεις ήταν 33% και 27% στα εδάφη από ΤΑ και από G, αντίστοιχα, επιβεβαιώνοντας παλαιότερες μελέτες (Stoddart et al., 1975). Παράλληλα οι Fick and Onstad (1988) αναφέρουν για τη μηδική ότι υπάρχει μεγαλύτερος ρυθμός πτώσης της συγκέντρωσης σε ΑΟ κατά το ανώριμο στάδιο και μετριασμός του ρυθμού πτώσης όσο τα φυτά ωριμάζουν. Το ίδιο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε και στις δύο περιοχές όχι μόνο για τα ψυχανθή αλλά και για τα πλατύφυλλα είδη. Από τα στοιχεία αυτά επίσης φαίνεται ότι η μείωση του ποσοστού των ΑΟ και για τις τρεις ομάδες ήταν εντονότερη στα εδάφη από ΤΑ σε σχέση με τα εδάφη από G. Ωστόσο, το πρώτο έτος δειγματοληψίας η μείωση του ποσοστού των ΑΟ στο σύνολο της λιβαδικής παραγωγής ήταν εντονότερη στα εδάφη από G απ' ό,τι στα εδάφη από ΤΑ. Μια πιθανή εξήγηση μπορεί να είναι η αλληλεπίδραση της χλωριδικής σύνθεσης της λιβαδικής παραγωγής με τις εδαφοκλιματικές παραμέτρους οι οποίες επηρεάζουν το φαινολογικό στάδιο της βλάστησης και επομένως την συγκέντρωση σε ΑΟ.

Οι Πλατής κ.α. (2003) σε υπαλπικά λιβάδια του Άσκιου όρους στην περιοχή της Βλάστης βρήκαν παρόμοιες τιμές ΑΟ με τα ευρήματα της παρούσας έρευνας μέχρι το στάδιο ανθοφορίας-καρποφορίας των φυτών, όμως, στο τελευταίο στάδιο που τα φυτά παρακαμάζουν έντονα (Αύγουστο-Σεπτέμβριο) οι τιμές των ΑΟ δε μειώθηκαν περαιτέρω σημειώνοντας χαμηλότερη τιμή το μήνα Ιούλιο και όχι το Σεπτέμβριο όπως στην παρούσα έρευνα. Οι Skarpetas et al., (2004) στο ίδιο βουνό βρήκαν ότι η τιμή των ΑΟ μειώθηκε από 10,6% σε 6,0% κατά τους μήνες Ιούνιο – Οκτώβριο καταγράφοντας χαμηλό το μήνα Σεπτέμβριο, τιμές σημαντικά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες των λιβαδιών που βρήκαν οι προηγούμενοι ερευνητές. Επίσης, παρόλο που η χλωριδική σύνθεση μεταξύ των τριών λειτουργικών ομάδων της προηγούμενης έρευνας ήταν παρόμοια με αυτήν των εδαφών από ΤΑ οι τιμές των ΑΟ ήταν σημαντικά χαμηλότερες στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης των φυτών, ενώ ήταν παρόμοιες στο τελευταίο στάδιο ανάπτυξης των φυτών. Οι Τζιάλλα κ.α. (2000) σε υπαλπικά λιβάδια στο Μέτσοβο αναφέρουν χαμηλότερη τιμή ΑΟ το μήνα Ιούλιο, ενώ είχαν υψηλότερες τιμές ΑΟ στο τελευταίο στάδιο ανάπτυξης των φυτών σε σχέση με τις περιοχές έρευνας. Ο Μουντούσης (2008) σε υπαλπικά λιβάδια του όρους Βαρνούντα βρήκε χαμηλότερη τιμή ΑΟ το μήνα Σεπτέμβριο, το οποίο ήταν σύμφωνο με τα ευρήματα των περιοχών έρευνας. Εντούτοις, αναφέρει χαμηλότερες τιμές στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης των φυτών και υψηλότερες στο τελευταίο στάδιο ωριμότητας. Οι Bonolenta et al. (2008) σε υπαλπικά λιβάδια της βορειοανατολικής Ιταλίας αναφέρουν εφάμιλλες τιμές ΑΟ για τα αγρωστώδη και τα πλατύφυλλα είδη στο στάδιο της ανθοφορίας με τις περιοχές της παρούσας έρευνας. Οι Arzani et al. (2006) σε υπαλπικά λιβάδια του όρους Ζάγκρος στο Ιράν βρήκαν ότι οι τιμές ΑΟ μετά την ανθοφορία των φυτών κυμαίνονταν για τα αγρωστώδη από 7,8-9,5%, τα πλατύφυλλα από 7,1-13,4% και τα ψυχανθή από 14,6-18,5%. Οι τιμές αυτές ήταν παρόμοιες ή λίγο μικρότερες από τις τιμές ΑΟ που παρατηρήθηκαν στα λιβάδια των περιοχών μελέτης, κατά το μήνα Ιούλιο (όταν τα περισσότερα είδη βρίσκονταν στο στάδιο ανθοφορίας).

Για τα αναπτυσσόμενα βοοειδή κρεοπαραγωγικής κατεύθυνσης, σωματικού βάρους 200-250 kg που έχουν μέση ημερήσια αύξηση βάρους περίπου 0,5 kg, οι απαιτήσεις τους σε

ΑΟ ανέρχονται σε 8,2 % ΞΟ (NRC, 1996). Για τις προβατίνες μέσου ζωντανού βάρους 50 kg, οι ημερήσιες πρωτεϊνικές ανάγκες συντήρησης ανέρχονται σε 9,5% ΞΟ (NRC, 1985). Οι ανάγκες αυτές καλύπτονται στα λιβάδια και των δύο περιοχών μελέτης για τα βοοειδή και τα πρόβατα κατά τους τρεις πρώτους μήνες και τα δύο έτη δειγματοληψίας παρά τη διαφοροποίηση των κλιματικών συνθηκών μεταξύ των δύο ετών. Για το υπολειπόμενο διάστημα απαιτείται χορήγηση πρωτεϊνικών συμπληρωμάτων για να καλυφθούν οι διατροφικές ανάγκες των ζώων. Σύμφωνα με το Versoe et al. (1961), αν το περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής σε ΑΟ είναι χαμηλότερο από 7%, περιορίζεται σημαντικά η παραγωγικότητα των ζώων και η χορήγηση πρωτεϊνικών συμπληρωμάτων βοηθά στην ικανοποίηση των θρεπτικών αναγκών. Από την Ελληνική βιβλιογραφία υπάρχουν κάποιες αναφορές που επιβεβαιώνουν τα ευρήματα της παρούσας έρευνας (Μουντούσης, 2008; Τζιάλλα κ.ά., 2000; Skapetas et al., 2004; Πλατής κ.ά., 2003), ωστόσο ο Παπαναστάσης (1982) σε έρευνα του στο Μενοίκιο όρος αναφέρει ότι μπορεί να καλυφθούν οι ανάγκες κυοφορίας των βόσκοντων ζώων μέχρι τον Ιούλιο μήνα, ενώ οι ανάγκες συντήρησης μπορεί να καλυφθούν μέχρι και το τέλος του καλοκαιριού. Επίσης, τα βοσκόσιμα λιβάδια μέτριας βοσκοφόρτωσης έχουν υψηλότερη συγκέντρωση ΑΟ σε όλα τα στάδια ανάπτυξης της βλάστησης, απ' ό,τι τα λιβάδια που έχει περιοριστεί η βόσκηση, λόγω της συνεχούς αναβλάστησης (Τζιάλλα κ.ά. 2000).

Ωστόσο, η επιλεκτική βόσκηση των ζώων σε σχέση με την επιλογή όχι μόνο συγκεκριμένων φυτικών ειδών αλλά και τμημάτων των φυτών μπορεί να καλύψει τις απαιτούμενες ανάγκες των ζώων. Οι McDowell and Valle (2000) διαπίστωσαν ότι κατά τη διάρκεια της βόσκησης τα μηρυκαστικά τείνουν να επιλέγουν υψηλότερη σε πρωτεΐνες και ιδιαίτερα εύπεπτη σε κλάσματα κυτταρικών τοιχωμάτων βοσκήσιμη ύλη. Ο Coughenour (2008) αναφέρει, επίσης, ότι η συμπεριφορά βόσκησης και η επιλογή φυτικών ειδών ειδικά από τα πρόβατα και τις αίγες εξαρτάται κυρίως από την χωρική κατανομή των θρεπτικών συστατικών της βλάστησης.

5. 4. Περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής σε κυτταρικά τοιχώματα

Είναι γνωστό ότι με την ανάπτυξη των φυτών, η αναλογία των κυτταρικών τοιχωμάτων στη βοσκήσιμη ύλη αυξάνει, ενώ η αναλογία του κυτταρικού περιεχομένου μειώνεται. Το ανωτέρω έχει διαπιστωθεί σε έρευνες στην Ελλάδα (Τζιάλλα κ.ά., 2000; Ρούκος κ.ά., 2006; Μουντούσης 2008) και σε άλλες περιοχές (Osborn, 1980; Bosch et al., 1992; Pérez Corona et al., 1998; Vazquez-de-Aldana et al., 2000; El-Shatnawi et al., 2004). Το NDF είναι το κλάσμα των ινωδών ουσιών που θεωρείται ως το περιεχόμενο του φυτικού υλικού σε κυτταρικά τοιχώματα και αποτελείται κυρίως από κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη και ελάχιστη πρωτεΐνη (VanSoest, 1994; Λιαμάδης, 2003). Αντίστοιχα, το ADF είναι το κλάσμα των ινωδών ουσιών που περιέχει την κυτταρίνη και τη λιγνίνη, η οποία είναι πρακτικά άπεπτη από τα μηρυκαστικά αγροτικά ζώα (Λιαμάδης, 2003). Το περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής σε NDF, ADF και ADL αυξήθηκε κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης των λιβαδικών φυτών στις δύο περιοχές έρευνας και στις τρεις λειτουργικές ομάδες καταγράφοντας χαμηλότερη τιμή στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου. Παρόμοια τάση εμφάνισαν και τα αποτελέσματα των Skapetas et al. (2004) σε υπαλπικά λιβάδια του όρους Άσκιου στη Βλάστη Κοζάνης με παρόμοια βοτανική σύνθεση με τις περιοχές της παρούσας έρευνας. Ωστόσο, οι τιμές του NDF της λιβαδικής παραγωγής των προηγούμενων ερευνητών για τους μήνες Ιούνιο - Σεπτέμβριο παρουσίασαν μεταβολή 84%, του ADF 66% και ADL 72% το οποίο δε συνάδει με τα ευρήματα των περιοχών της παρούσας έρευνας. Οι Πλατής κ.α. (2003) σε υπαλπικά λιβάδια του ίδιου όρους με τους προηγούμενους ερευνητές αναφέρουν για τους ίδιους μήνες τιμές NDF της λιβαδικής παραγωγής που εκτείνονται μεταξύ 55-70% ΞΟ, σαφώς μικρότερης διακύμανσης, οι οποίες και είναι παραπλήσιες με τα

αποτελέσματα των περιοχών της παρούσας έρευνας. Ο Μουντούσης (2008) σε υπαλπικά λιβάδια του όρους Βαρνούντα βρήκε διαφοροποίηση του περιεχομένου της λιβαδικής παραγωγής σε NDF και ADF μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας, διαπιστώνοντας ότι το δεύτερο έτος με υψηλότερη ξηρασία είχε σαφώς υψηλότερες τιμές οι οποίες το εξεταζόμενο διάστημα Ιούνιο - Σεπτέμβριο δεν παρουσίασαν μεγάλη μεταβολή, επιβεβαιώνοντας ως ένα βαθμό τα ευρήματα της παρούσας έρευνας. Αντίστοιχα και ο Ρούκος (2010), σε έρευνά του σε ορεινά λιβάδια της Πρέβεζας όπου η συμμετοχή στην παραγωγή της κάθε λειτουργικής ομάδας είναι συναφή με τις περιοχές της παρούσας έρευνας, αναφέρει μέσες τιμές δύο ετών για τα NDF, ADF της λιβαδικής παραγωγής για το διάστημα Ιουνίου-Σεπτεμβρίου να εκτείνονται μεταξύ 53,1-57,4% και 34,4-40% ΞΟ, αντίστοιχα. Το μέγιστο πραγματοποιήθηκε το μήνα Αύγουστο, ενώ οι τιμές ήταν ελαφρώς χαμηλότερες από αυτές των περιοχών έρευνας. Ο ίδιος ερευνητής σε άλλη έρευνά του (Roukos et al. 2011) σε ορεινά λιβάδια της Δ. Ελλάδος αναφέρει στο στάδιο της ανθοφορίας για το NDF στα αγρωστώδη ελαφρώς χαμηλότερες τιμές, ενώ για τα πλατύφυλλα και ψυχανθή υψηλότερες τιμές σε σχέση με την παρούσα έρευνα. Για τα ADF και ADL των αγρωστωδών και πλατύφυλλων αναφέρει χαμηλότερες τιμές, ενώ για τα ψυχανθή παρόμοιες τιμές. Οι διαφορές αυτές πιθανά να οφείλονται στις υψηλότερες βροχοπτώσεις που δέχονται οι περιοχές της Δ. Ελλάδος αλλά και στις διαφορές που παρατηρούνται μεταξύ των ειδών ειδικά στην ομάδα των πλατύφυλλων.

Οι υψηλότερες τιμές NDF και ADF των αγρωστωδών και αντίθετα η μικρότερη συγκέντρωση σε λιγνίνη έναντι των πλατύφυλλων και ψυχανθών έχει επιβεβαιωθεί στο παρελθόν από πολλούς ερευνητές σε διαφορετικά κλιματεδαφικά περιβάλλοντα (Van Soest, 1982; Holechek et al., 1989; Tufarelli et al., 2010; Roukos, 2011; Foroughbakhch et al., 2012). Η υψηλότερη συγκέντρωση των αγρωστωδών σε NDF, ADF οφείλεται στην υψηλότερη αναλογία βλαστών/φύλλων που έχουν τα αγρωστώδη σε σχέση με τις άλλες λειτουργικές ομάδες αλλά και στα ανατομικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν (Buxton and Redfearn, 1997). Ο Buxton (1990) αναφέρει ότι η περιεκτικότητα των βλαστών σε NDF στα αγρωστώδη *Dactylis glomerata* L., *Bromus inermis* Leyss., *Festuca arundinacea* Schreb. και *Phalaris arundinacea* L. ήταν περίπου 70% ΞΟ, όταν τα φυτά βρίσκονταν στο στάδιο της ανθοφορίας, σε σύγκριση με το 50% ΞΟ στα φύλλα. Οι Arzani et al. (2006) αναφέρουν ότι τα αγρωστώδη έχουν κοίλους βλαστούς και κλαδίσκους οι οποίοι μπορεί να περιέχουν υψηλότερο ποσοστό ινωδών ουσιών σε σχέση με άλλα είδη και σε αυτό να οφείλεται η υψηλότερη περιεκτικότητα σε ADF. Τα ανωτέρω ήταν επιβεβαιωμένα και στην παρούσα έρευνα, ωστόσο, στα εδάφη από ΤΑ η περιεκτικότητα του ADF δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των αγρωστωδών και των πλατύφυλλων ίσως λόγω της ποικιλογένειας των πλατύφυλλων ειδών η οποία πιθανόν ήταν επηρεασμένη από τον ανταγωνισμό μεταξύ των ειδών και την κυριαρχία των αγρωστωδών. Οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως χαμηλή υγρασία εδάφους, αλλά και ο ανταγωνισμός μεταξύ των ειδών για το νερό μπορεί να αυξήσουν την περιεκτικότητα των κυτταρικών τοιχωμάτων στα φυτά (El-Shatnawi et al., 2004). Ο Bohn (1990) αναφέρει ότι τα φυτά σε στρεσογόνες καταστάσεις παράγουν περισσότερους κλαδίσκους με αυξημένη περιεκτικότητα σε NDF, ADF και λιγνίνη. Στην προκειμένη περίπτωση, η κυριαρχία των αγρωστωδών και ο ανταγωνισμός με τα πλατύφυλλα για την υγρασία του εδάφους (εξαιτίας των ελάχιστων βροχοπτώσεων εκείνο το έτος) είχε ως αποτέλεσμα, όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, τη συνεχή μείωση της παραγωγής των πλατύφυλλων και την επιβίωση κάποιων σκληρανθεκτικών ειδών με υψηλή αναλογία βλαστών/φύλλων. Αντίστοιχα οι Roukos et al. (2011) σε έρευνα τους σε λιβάδια της Δυτικής Ελλάδος τριών υψομετρικών ζωνών βρήκαν υψηλότερες τιμές NDF και ADF στα αγρωστώδη στη χαμηλή και μεσαία ζώνη αλλά στην ορεινή ζώνη (> 1200μ.) δεν παρατήρησαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τριών λειτουργικών ομάδων. Παράλληλα, οι Vazquez-de-Aldana et al. (2008) σε 20 ετή έρευνα σε φυσικά λιβάδια στη δυτική Ισπανία σε δύο υψομετρικές ζώνες βλάστησης βρήκαν υψηλότερη περιεκτικότητα σε NDF στην χαμηλή

ζώνη βλάστησης, όπου κυριαρχούσαν τα αγρωστώδη και τα ψυχανθή, ενώ τα πλατύφυλλα είχαν τη μικρότερη συμμετοχή στη παραγωγή. Ωστόσο, η περιεκτικότητα σε ADF δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο ζωνών παρόλο που στην ορεινή ζώνη η κυριαρχία των πλατύφυλλων στην παραγωγή ήταν σημαντικά υψηλότερη σε σχέση με τα αγρωστώδη και η συμμετοχή των ψυχανθών ήταν αμελητέα, επιβεβαιώνοντας τα ευρήματα στα εδάφη από ΤΑ.

Τα ψυχανθή εμφανίζουν τη χαμηλότερη περιεκτικότητα σε κλάσματα ADF και στις δύο περιοχές έρευνας, ενώ η περιεκτικότητα σε NDF των ψυχανθών παρόλο που ήταν μικρότερη από αυτή των αγρωστωδών, ήταν υψηλότερη από αυτή των πλατύφυλλων στα εδάφη από G, ενώ στα εδάφη από ΤΑ δεν είχε σημαντικές διαφορές. Αυτό δείχνει την υψηλότερη περιεκτικότητα των ψυχανθών σε ημικυτταρίνες σε σχέση με τα πλατύφυλλα. Η περιεκτικότητα σε ADL εμφάνισε σημαντικές διαφορές μεταξύ των λειτουργικών ομάδων και είχε διαφοροποιήσεις σε κάθε περιοχή. Η κοινή διαπίστωση ήταν ότι τα αγρωστώδη είχαν τη χαμηλότερη τιμή σε ADL σε σχέση με τα πλατύφυλλα και τα ψυχανθή. Ωστόσο, στα εδάφη από ΤΑ τα πλατύφυλλα εμφάνισαν υψηλότερη τιμή από τα ψυχανθή, ενώ στα εδάφη από G δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Οι Bovelenta et al. (2008) σε αλπικά λιβάδια της Βορειοανατολικής Ιταλίας βρήκαν ότι το *Trifolium repens* L. είχε υψηλότερο περιεχόμενο σε NDF και χαμηλότερο σε ADF από τα πλατύφυλλα είδη *Alchemilla vulgaris* L. και *Leontodon hispidus* L., ενώ είχε χαμηλότερο περιεχόμενο και στα δύο κλάσματα των κυτταρικών τοιχωμάτων από το πλατύφυλλο *Potentilla aurea* L. Το περιεχόμενο σε λιγνίνη ήταν σημαντικά υψηλότερο στο *Trifolium repens* L. σε σχέση με τα τρία πλατύφυλλα είδη. Αντίστοιχα οι Tufarelli et al. (2010) σε υπαλπικά λιβάδια στα Απέννινα όρη, παρόλο που δε βρήκαν διαφορές στο περιεχόμενο σε NDF και ADL μεταξύ των πλατύφυλλων και ψυχανθών, εντούτοις διαπίστωσαν ότι το περιεχόμενο σε ADF ήταν υψηλότερο στα πλατύφυλλα απ'ό,τι στα ψυχανθή. Οι Arzani et al. (2006) σε μελέτη τους σε υπαλπικά λιβάδια του όρους Ζάγκρος του Ιράν αναφέρουν μεγάλη παραλλακτικότητα της περιεκτικότητας σε ADF σε ένα ευρύ φάσμα πλατύφυλλων ειδών, το οποίο εκτεινόταν μεταξύ 26,9-47,4%, ενώ τα ψυχανθή είδη είχαν μικρότερο φάσμα τιμών. Συγκεκριμένα, τα είδη *Centaurea spp* και *Silene spp*, τα οποία υπήρχαν και στις περιοχές της παρούσας έρευνας είχαν τις υψηλότερες τιμές. Ωστόσο, οι μέσες τιμές των δύο ομάδων δεν είχαν σημαντικές διαφορές. Οι Roukos et al. (2011) αναφέρουν υψηλότερη τιμή λιγνίνης για τα ψυχανθή με τα πλατύφυλλα να έπονται και τα αγρωστώδη να έχουν τη χαμηλότερη τιμή. Οι Vazquez-de-Aldana et al. (2008) σε έρευνα σε δύο υψομετρικές ζώνες βλάστησης βρήκαν υψηλότερη περιεκτικότητα σε λιγνίνη στην ορεινή ζώνη βλάστησης όπου κυριαρχούσαν τα πλατύφυλλα στη σύνθεση του λιβαδιού, σε σχέση με τα αγρωστώδη και τα ψυχανθή, τα οποία είχαν τη μεγαλύτερη συμμετοχή στη χαμηλή ζώνη.

Οι διαφορές που εμφανίστηκαν στο περιεχόμενο σε ADF και ADL των αγρωστωδών μεταξύ των δύο περιοχών οφείλεται πιθανόν σε συνδυασμό κλιματεδαφικών-τοπογραφικών παραγόντων και διαφορές στη χλωριδική σύνθεση των αγρωστωδών στις δύο περιοχές. Οι Hart et al. (1983) σε φυσικά λιβάδια των Η.Π.Α., βρήκαν ότι το περιεχόμενο σε ADF και λιγνίνη του είδους *Carex spp*. στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης ήταν σημαντικά υψηλότερο σε σχέση με άλλα αγρωστώδη της οικογένειας *poaceae*, ενώ στη συνέχεια η διαφορά αυτή εξαλειφόταν. Η μεγάλη διαφορά που παρατηρήθηκε τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο στις τιμές των ADF και ADL των αγρωστωδών μεταξύ των δύο περιοχών πιθανόν να οφείλεται στη σημαντική συμμετοχή των αγρωστιδόμορφων ειδών των οικογενειών *Cyperaceae* και *Juncaceae* στην παραγωγή των αγρωστωδών στα εδάφη από G. Επίσης ένας άλλος παράγοντας που φαίνεται να επηρεάζει τα κλάσματα των κυτταρικών τοιχωμάτων διαφορετικά για την κάθε λειτουργική ομάδα είναι το υψόμετρο. Συγκεκριμένα, στα αγρωστώδη υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ του υψόμετρου και των ADF ($r = -0,29$

$p < 0,01$) και ADL ($r = -0,44$ $p < 0,001$). Οι Xu et al. (2002) αναφέρουν ότι η μείωση της θερμοκρασίας με την αύξηση του υψομέτρου έχει ως αποτέλεσμα να μειώνει την αναπνοή των φυτών το οποίο θα μπορούσε να μειώσει ορισμένους δομικούς υδατάνθρακες όπως κυτταρίνη, ημικυτταρίνες και λιγνίνη, επειδή η χαμηλή θερμοκρασία εμποδίζει τη λιγνινοποίηση των κυτταρικών τοιχωμάτων. Οι Zhao and Zhou (1999) ανέφεραν ότι η χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος προκαλεί μειωμένη μεταβολική δραστηριότητα, η οποία αυξάνει το κυτταρικό περιεχόμενο σε πρωτεΐνες και διαλυτούς υδατάνθρακες, ενώ μειώνει τα δομικά συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος δηλ. την κυτταρίνη και λιγνίνη. Έτσι η αρνητική επίδραση του υψομέτρου στα κυτταρικά τοιχώματα των αγρωστωδών είναι ένας ακόμα παράγοντας στον οποίο πιθανά να οφείλονται οι διαφορές μεταξύ των δύο περιοχών, καθώς η υπαλπική περιοχή της Τζένα είναι συνέχεια υψομετρικά της υπαλπικής περιοχής του Μπέλες, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η αρνητική επίδραση του υψομέτρου στα κυτταρικά τοιχώματα των αγρωστωδών ειδών έχει επιβεβαιωθεί και από άλλους ερευνητές σε μεγαλύτερες διαβαθμίσεις υψομέτρου (Anderson, 1985; Bertrand et al., 2008; Roukos et al., 2011) οι οποίοι βρήκαν ότι τα αγρωστώδη που αναπτύσσονται σε υψηλές θερμοκρασίες περιέχουν υψηλότερη περιεκτικότητα κυτταρικών τοιχωμάτων από εκείνα που αναπτύσσονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Η ταυτοποίηση των ειδών *Vicia canescens* Labill., *Chamaecytisus supinus* L. και *Trifolium spp.* σε δειγματοληπτικές επιφάνειες που ήταν τα μοναδικά είδη στην G περιοχή καθώς και τα είδη *Genista spp.* και *Trifolium spp.* αντίστοιχα στην TA περιοχή μπορεί να εξηγήσει ως ένα βαθμό τις διαφορές στη περιεκτικότητα σε ADL μεταξύ των δύο περιοχών. Συγκεκριμένα τα είδη *Vicia canescens* Labill. και *Chamaecytisus supinus* L. εμφανίζουν υψηλότερη τιμή ADL αλλά και ADF (παρόλο που δεν ήταν στατιστικά σημαντικό) από τα είδη *Genista spp.* και *Trifolium spp.* τα οποία αποτελούν την παραγωγή των ψυχανθών στα εδάφη από TA. Συγκεκριμένα το είδος *Chamaecytisus supinus* L. είναι πολυετές ψυχανθές το οποίο έχει ξυλοποιημένους βλαστούς επηρεάζοντας αυξητικά το ποσοστό των κυτταρικών τοιχωμάτων. Επίσης οι Mirzaei et al. (2014) αναφέρουν τιμές ADF της *Vicia canescens* Labill. για τα διάφορα στάδια ανάπτυξης μεταξύ 33-44% οι οποίες είναι υψηλότερες από τις τιμές που αναφέρονται για τα διάφορα είδη τριφυλλίου και είναι παραπλήσιες (31-44%) με αυτές των εδαφών από G. Αντίστοιχα και οι τιμές ADL που βρέθηκαν στα εδάφη από G για τη *Vicia canescens* Labill. ήταν υψηλότερες από τις τιμές ADL των ειδών τριφυλλίου. Αντίθετα η περιεκτικότητα σε ADF και ADL του *Genista spp.* ήταν παρόμοια με αυτό των *Trifolium spp.*

Στο παρελθόν έχει αναφερθεί ότι τα υψηλά επίπεδα του N στο έδαφος είχαν ως αποτέλεσμα να μειωθεί η περιεκτικότητα σε λιγνίνη στους βλαστούς των φυτών (Brown et al., 1984). Επιπρόσθετα, οι Bélanger and McQueen (1998) παρατήρησαν ότι η επίδραση αυτή του εδαφικού N στην περιεκτικότητα της βλάστησης σε NDF ήταν μεγαλύτερη στα αρχικά στάδια ανάπτυξης του φυτού και εξαλειφόταν φτάνοντας στο τελικό στάδιο ωρίμανσης. Πρόσφατες μελέτες επίσης έδειξαν ότι η αύξηση του αζώτου και του φωσφόρου του εδάφους μειώνει την περιεκτικότητα των κυτταρικών τοιχωμάτων των αγρωστωδών (Avarvarei and Chelariu, 2011; Tarcau et al. 2012). Ωστόσο, στο σύνολο της λιβαδικής παραγωγής μπορεί να μην εμφανιστεί διαφοροποίηση στις τιμές των κυτταρικών τοιχωμάτων εξαιτίας της αύξησης της παραγωγής των αγρωστωδών συνεισφέροντας περισσότερο στο σύνολο της λιβαδικής παραγωγής (Tesema et al., 2010). Τα παραπάνω επιβεβαιώθηκαν στην παρούσα έρευνα, καθώς υπήρξαν ισχυρές αρνητικές συσχετίσεις του N και P του εδάφους με το NDF και ADL των αγρωστωδών. Αντιθέτως, η σημαντική θετική συσχέτιση του N του εδάφους με όλα τα κλάσματα των κυτταρικών τοιχωμάτων στα πλατύφυλλα ενισχύει την αντίθεση της φύσης των ευρημάτων σε αυτόν τον τομέα (Peyraud and Astigarraga, 1998). Μια πιθανή εξήγηση μπορεί να είναι ότι η αύξηση του αζώτου στο έδαφος και η μείωση της κλίσης επηρεάζουν

θετικά την παραγωγή και συνεπώς την κυριαρχία των αγρωστωδών όπως φαίνεται από τις συσχετίσεις που υφίστανται στο Πίνακα Π. 17. Επομένως, η αύξηση του ανταγωνισμού για θρεπτικά συστατικά, υγρασία και φως, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, μπορεί να οδηγήσει τα πλατύφυλλα κάτω από τέτοια πίεση να αυξήσουν την περιεκτικότητά τους σε κυτταρικά τοιχώματα (Bohn, 1990; El-Shatnawi et al., 2004).

Για τα παχυνόμενα μηρυκαστικά έχει προταθεί ότι η βέλτιστη περιεκτικότητα σε NDF της λιβαδικής παραγωγής κυμαίνεται από 150 – 200 g NDF/ kg ξηράς ουσίας έως 700 – 750 g NDF / kg ξηράς ουσίας για τα ώριμα βοοειδή κρεοπαραγωγικής κατεύθυνσης (Buxton, 1996). Στα πρόβατα δεν έχει καθοριστεί κάποιο βέλτιστο επίπεδο της συγκέντρωσης σε NDF (Mertens, 1997). Εντούτοις, περιεκτικότητες NDF υψηλότερες από 60% μπορεί να οδηγήσουν σε μια μείωση της κατανάλωσης τροφής των βόσκοντων ζώων λόγω υπερπλήρωσης της μεγάλης κοιλίας (Mertens, 1994). Στην παρούσα έρευνα, οι συγκεντρώσεις σε NDF των αγρωστωδών και των δύο περιοχών ήταν μεγαλύτερες από το όριο αυτό σε όλη την περίοδο βόσκησης. Οι Roukos et al. (2011) βρήκαν παρόμοια αποτελέσματα, ωστόσο, όμως, βρήκαν ότι η υψηλότερη in vitro πεπτικότητα NDF στα αγρωστώδη σε σχέση με τα πλατύφυλλα και τα ψυχανθή μπορεί να αντισταθμίσει εν μέρει τη μείωση στην κατανάλωση τροφής.

5. 5. Συγκέντρωση λιβαδικής παραγωγής σε ανόργανα στοιχεία

5. 5. 1. Κάλιο

Το κάλιο (K) είναι ένα από τα τρία θρεπτικά στοιχεία που χρειάζονται τα φυτά σε μεγάλες ποσότητες. Στους φυτικούς ιστούς περιέχεται σε μεγάλα ποσοστά ενεργοποιώντας διάφορα ένζυμα του κυττάρου τα οποία συμμετέχουν στο μεταβολισμό ενέργειας, τη σύνθεση αμύλου, τη φωτοσύνθεση, ενώ επιδρά στη σύνθεση των πρωτεϊνών (Αλιφραγκής, 2008). Στον οργανισμό των ζώων το K έχει ως βασικό ρόλο τη ρύθμιση της οσμωτικής πίεσης εντός των κυττάρων, και την κολλοειδή κατάσταση των κυτταρικών πρωτεϊνών, την ερεθισιμότητα των κυττάρων και την ηλεκτροφυσιολογική κατάστασή τους (Λιαμάδης, 2003). Σε αντίθεση με το Ca, το P και το Mg, τα οποία απαντώνται κυρίως στο σκελετό των ζώων, το K βρίσκεται σε ευρεία κλίμακα στα υγρά και τους μαλακούς ιστούς.

Η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε K παρουσίασε διαφοροποίηση στη διακύμανση της τιμής μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας, έτσι το πρώτο έτος δειγματοληψίας στα εδάφη από ΓΑ εμφάνισε ελάχιστη τιμή το μήνα Σεπτέμβριο και μέγιστο τον Ιούλιο. Αντίθετα στα εδάφη από G εμφάνισε ελάχιστο τον Ιούλιο και μέγιστο στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου. Στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας και οι τρεις λειτουργικές ομάδες εμφάνισαν μέγιστο στην αρχή της περιόδου δηλ. το μήνα Ιούνιο και η τιμή μειωνόταν προοδευτικά με το στάδιο ωρίμανσης των φυτών καταγράφοντας ελάχιστο στο τέλος της περιόδου και στις δύο περιοχές. Το φαινόμενο αυτό της εποχιακής διακύμανσης συνδέεται με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή και κάθε χρονιά και ιδιαίτερα από την πορεία της θερμοκρασίας και της υγρασίας του εδάφους. Σύμφωνα με τον McDowell (2003), το στάδιο ωριμότητας είναι ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας επηρεάζοντας τη συγκέντρωση καλίου στα φυτά περισσότερο και από τη συγκέντρωση καλίου του εδάφους. Η λιβαδική βλάστηση στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης μπορεί να περιέχει 1-5% K και είναι από τις πλουσιότερες πηγές καλίου για τα βόσκοντα ζώα. Το K εμφανίζει σημαντική κινητικότητα μέσα στους ιστούς του φυτού και είναι μετακινούμενο από τους παλιούς στους γρήγορα αναπτυσσόμενους ιστούς (Gomide et al., 1969; Grings et al., 1996). Ωστόσο, οι Halgerson et al. (2004) και οι Markovic et al. (2009) βρήκαν στη μηδική υψηλότερη συγκέντρωση K στους βλαστούς και κλαδίσκους σε σχέση με τα φύλλα σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του φυτού, ενώ τα άλλα ανόργανα στοιχεία ήταν υψηλότερα στα φύλλα απ' ό,τι στους βλαστούς. Ο Robinson

(1985) αναφέρει ότι στο *Lolium perenne* L. οι συγκεντρώσεις καλίου ήταν υψηλότερες κατά τη περίοδο της άνοιξης σε σχέση με την καλοκαιρινή περίοδο. Οι απώλειες του K που παρατηρούνται κατά την αύξηση της ωριμότητας αποδίδονται στη μετακίνηση του προς το ριζικό σύστημα (Blue and Tergas, 1969). Τα ανωτέρω επιβεβαιώνουν την πτωτική τάση που παρουσίασε η συγκέντρωση του K και στις δύο περιοχές το δεύτερο έτος δειγματοληψίας. Επιπλέον, η μικρότερη εδαφική υγρασία το δεύτερο έτος εξαιτίας του αμελητέου ύψους βροχής επηρέασε την προσρόφηση του K από τις ρίζες των φυτών (Mengel and von Braunschweig, 1972; Ramírez-Orduña et al., 2005). Σύμφωνα με τους Ohno et al. (1985) η υγρασία εδάφους ασκεί ισχυρή επίδραση στην κινητικότητα του K στο έδαφος οδηγώντας σε μεγαλύτερη πρόσληψη K από τα φυτά. Ο Ρούκος (2010) σε έρευνα του σε ορεινά λιβάδια του Ν. Πρέβεζας συμπεριλαμβάνοντας στις μετρήσεις του τη θερμοκρασία αέρα και το ύψος βροχής διαπίστωσε ότι η συγκέντρωση K της λιβαδικής παραγωγής εμφανίζει ισχυρή θετική συσχέτιση με το ύψος βροχής, ενώ, αντίθετα, βρήκε σημαντική αρνητική συσχέτιση με τη θερμοκρασία αέρα. Οι ανωτέρω διαπιστώσεις μπορεί να εξηγήσουν αφενός τις διακυμάνσεις της τιμής το πρώτο έτος δειγματοληψίας, που οι καλύτερες συνθήκες εδαφολογικής υγρασίας ειδικά στα εδάφη από G διατήρησαν τις τιμές σε αρκετά υψηλά επίπεδα μέχρι το τέλος της αυξητικής περιόδου και αφετέρου τη σημαντική διαφοροποίηση της διακύμανσης, που υπήρξε το δεύτερο έτος δειγματοληψίας.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις K στη λιβαδική παραγωγή που βρέθηκαν τους μήνες Μάιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο στο πρώτο έτος δειγματοληψίας στα εδάφη από G, οφείλονται στην υψηλότερη συμμετοχή των πλατύφυλλων και ψυχανθών στο σύνολο της λιβαδικής παραγωγής στην περιοχή των εδαφών από G απ' ό,τι στα εδάφη από TA αλλά ίσως και στην υψηλότερη συγκέντρωση εναλλακτικού K στο έδαφος, στα εδάφη από G παρόλο που δεν ήταν στατιστικά σημαντικό ($p=0,085$). Αντίστοιχα στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας οι υψηλότερες συγκεντρώσεις K των αγρωστωδών και πλατύφυλλων στα εδάφη από G σε σχέση με τις αντίστοιχες στα εδάφη από TA μπορεί να οφείλονται αφενός στη διαφορετική χλωριδική σύνθεση των δύο περιοχών για την κάθε ομάδα και αφετέρου στην κοκκομετρική σύσταση του εδάφους της κάθε περιοχής. Τα εδάφη με υψηλή συγκέντρωση σε άμμο, όπως είναι τα εδάφη από G, επιτρέπουν στα ανόργανα στοιχεία να μετακινούνται πιο εύκολα σε σχέση με τα πηλώδη ή αργιλώδη εδάφη και να απορροφούνται πιο εύκολα (Greene, 2000). Οι θετικές συσχετίσεις του K στα αγρωστώδη και πλατύφυλλα των υπαλπικών λιβαδιών των δύο περιοχών με το ποσοστό άμμου του εδάφους και οι αρνητικές συσχετίσεις με το ποσοστό της ιλύος και της αργίλου ενισχύουν την προηγούμενη άποψη.

Η έρευνα σε υπαλπικά ή ορεινά λιβάδια στην Ελλάδα σχετικά με την συγκέντρωση των ανόργανων στοιχείων στη λιβαδική παραγωγή και ειδικότερα σε κάθε λειτουργική ομάδα φυτών είναι περιορισμένη (Υiakoulaki and Nastis, 1993). Οι Mountousis et al. (2009) σε υπαλπικά λιβάδια του όρους Βαρνούντα, παρόμοιου γεωλογικού υπόβαθρου και κοκκομετρικής σύστασης με τα εδάφη από G της περιοχής έρευνας, αναφέρουν παραπλήσιες τιμές K λιβαδικής παραγωγής με τις τιμές των εδαφών από G. Επίσης, οι Mountousis et al. (2008) σε ορεινά λιβάδια της περιοχής Σιάτιστας βρήκαν ελαφρά υψηλότερες συγκεντρώσεις K λιβαδικής παραγωγής και από τις δύο περιοχές της παρούσας έρευνας, αναφέρουν, όμως, υψηλότερη τιμή στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου και προοδευτική μείωση της τιμής με την αύξηση της ωριμότητας των φυτών, παρόμοιο πρότυπο με αυτό των περιοχών έρευνας του δεύτερου έτους δειγματοληψίας. Οι Roukos et al. (2011) σε ορεινά λιβάδια της Δ. Ελλάδας στο στάδιο της ανθοφορίας βρήκαν ότι τα ψυχανθή είχαν την υψηλότερη συγκέντρωση σε σχέση με τα πλατύφυλλα και τα αγρωστώδη, ενώ μεταξύ των άλλων δύο ομάδων δεν παρατηρήθηκαν διαφορές. Αξίζει να αναφερθεί ότι η συγκέντρωση K μεταξύ των αγρωστωδών και ψυχανθών και στις δύο περιοχές της παρούσας έρευνας δεν παρουσίασε διαφορές μέχρι το μήνα Ιούλιο που ήταν το στάδιο πλήρους ανθοφορίας για όλα τα φυτά,

αλλά και τον Αύγουστο μόνο στα εδάφη από G, το οποίο έρχεται σε διαφωνία με τα αποτελέσματα των προηγούμενων ερευνητών, επίσης, οι τιμές που αναφέρουν για την κάθε ομάδα ήταν μικρότερες από αυτές της παρούσας έρευνας. Οι Garcia-Giudad et al. (1997) σε ορεινά λιβάδια της Ισπανίας ξηροθερμικού περιβάλλοντος βρήκαν παραπλήσιες τιμές K για κάθε ομάδα με τις τιμές της περιοχής των εδαφών από G. Επίσης συμφωνούν με τα ευρήματα της περιοχής στα εδάφη από G, καθώς αναφέρουν υψηλότερες συγκεντρώσεις στα πλατύφυλλα είδη σε σχέση με τα αγρωστώδη και τα ψυχανθή, ενώ μεταξύ των αγρωστωδών και ψυχανθών δεν υπήρχαν διαφορές. Παρόμοια αποτελέσματα βρήκαν και οι Grbesa et al. (1992) αναφέροντας ότι είδη της οικογένειας Brassicaceae είχαν υψηλότερες τιμές K από τα αγρωστώδη και ψυχανθή. Αντίστοιχα οι Pirhofer-Walzl et al. (2011) σε πειραματικό σχεδιασμό με μίξη των τριών λειτουργικών ομάδων ανέφεραν ότι η μέση συγκέντρωση του K στα πλατύφυλλα είδη ήταν υψηλότερη απ'ό,τι στα ψυχανθή, ενώ τα αγρωστώδη είχαν τη μικρότερη τιμή, επιβεβαιώνοντας επίσης τα αποτελέσματα της περιοχής στα εδάφη από G. Αντίθετα, οι Γάκης και Ματζανάς (2003) σε πειραματικές επιφάνειες και ευρήματα τριών ετών με δύο επαναλήψεις κοπών δεν βρήκαν διαφορές στη συγκέντρωση K μεταξύ των ειδών *Lolium perenne* L. και *Trifolium repens* L. Εντούτοις στις επιφάνειες που κυριαρχούσε το *Trifolium repens* L., η ποώδη βλάστηση είχε υψηλότερη συγκέντρωση K από τις επιφάνειες που κυριαρχούσε το *Lolium perenne* L. Οι Drysdale et al. (1980) και Reid and Horvath (1980) σε ορεινά ποολίβαδα αναφέρουν υψηλότερη συγκέντρωση των ψυχανθών σε σχέση με τα αγρωστώδη χωρίς, όμως, να συμμετέχουν στην έρευνα πλατύφυλλα είδη, το οποίο ήταν σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της περιοχής στα εδάφη από TA.

Συμπερασματικά οι όποιες διαφορές που υπάρχουν στη βιβλιογραφία πιθανόν οφείλονται στις διαφορές των εδαφικών χαρακτηριστικών αλλά και στις κλιματικές συνθήκες, που υφίστανται σε κάθε περιοχή, καθώς και στη χλωριδική σύνθεση που απαρτίζει τη βοσκήσιμη ύλη ακόμα και την κάθε λειτουργική ομάδα (Brady, 1974; Reid and Horvath, 1980; Mayland et al., 1990; Fulkerson et al. 2007).

Οι ημερήσιες ανάγκες σε K των αναπτυσσόμενων βοοειδών είναι περίπου 0.6 – 0.7 % ΞΟ (NRC, 2000). Αντίστοιχα οι ανάγκες των προβάτων σε K κυμαίνονται μεταξύ 0.5 – 0.8 % ΞΟ (NRC, 1985). Από την παρούσα έρευνα διαπιστώνεται ότι τα λιβάδια και των δύο περιοχών μελέτης καλύπτουν επαρκώς τις ανάγκες σε K των βοοειδών και των προβάτων που βόσκουν σε αυτά, καθ' όλη την περίοδο βόσκησης εκτός από το δεύτερο έτος και για το μήνα Σεπτέμβριο μόνο για τα αγρωστώδη. Παρόμοια διαπίστωση είχαν κάνει οι Ganskopp and Bohnert (2003) σε στεπνώδη φρυγανολίβαδα στις ΗΠΑ όπου η συγκέντρωση σε K σε 7 διαφορετικά είδη αγρωστωδών το μήνα Σεπτέμβριο δεν ξεπερνούσε το 0,5% ΞΟ. Γενικά όμως είναι διαπιστωμένο ότι η συγκέντρωση σε K του χόρτου βοσκής είναι σχετικά υψηλή (1 – 2% ή παραπάνω) και συνεπώς η ποσότητα K, που η βλάστηση παρέχει στα βόσκοντα ζώα, είναι μεγαλύτερη από οποιαδήποτε άλλη ανόργανη ουσία (Greene, 2000, Λιαμάδης, 2003).

5. 5. 2. Ασβέστιο

Το ασβέστιο θεωρείται βασικό θρεπτικό στοιχείο για τα φυτά. Το ασβέστιο που προσλαμβάνουν τα φυτά από το έδαφος συσσωρεύεται κυρίως στους μεσοκυττάριους χώρους των φυτών καθώς και στον κυτταρικό χυμό υπό μορφή οξαλικού ασβεστίου (Αλιφραγκής, 2008). Στον οργανισμό των ζώων το Ca (μαζί με το φωσφόρο) είναι από ποσοτική άποψη ένα από τα κυριότερα ανόργανα στοιχεία, διότι απαντά σε μεγάλες ποσότητες. Είναι μάλιστα χαρακτηριστικό ότι το 99% του συνολικού ασβεστίου του ζωικού οργανισμού βρίσκεται στο σκελετό και στα δόντια (Λιαμάδης, 2003).

Η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Ca παρουσίασε διαφοροποίηση στη διακύμανση της τιμής μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας. Έτσι το πρώτο έτος

δειγματοληψίας και στις δύο περιοχές εμφάνισε ελάχιστη τιμή στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου το μήνα Μάιο και μέγιστη το μήνα Αύγουστο. Στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας και οι τρεις λειτουργικές ομάδες εμφάνισαν μέγιστο στην αρχή της περιόδου δηλ. το μήνα Ιούνιο και η τιμή μειωνόταν προοδευτικά με το στάδιο ωρίμανσης των φυτών καταγράφοντας ελάχιστο στο τέλος της περιόδου και στις δύο περιοχές. Οι Reid and Horvath (1980) σε ανασκόπηση της βιβλιογραφίας των ανόργανων στοιχείων στα λιβαδικά είδη αναφέρουν ότι γενικά υφίσταται μείωση της συγκέντρωσης του ασβεστίου με την προοδευτική ωρίμανση των φυτών. Οι Pelletier et al. (2006) διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση ασβεστίου του *Phleum pratense* L. μειωνόταν με την αύξηση της παραγωγής εξαιτίας της αραιώσης (dilution effect) του ανόργανου στοιχείου στους ιστούς του φυτού. Επίσης, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα σε συνδυασμό με τη χαμηλή υγρασία εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της πρόσληψης ανόργανων στοιχείων από το φυτό (Bertrand et al., 2008), καθώς η θερμοκρασία μέσω θερμικού στρες προκαλεί αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη της ρίζας των φυτών και στη ρύθμιση της πρόσληψης ανόργανων στοιχείων από το έδαφος (Wang et al., 2006). Οι Underwood and Suttle (1999) υποστηρίζουν ότι οι διαφορές, που παρατηρήθηκαν στη συγκέντρωση ασβεστίου της βλάστησης σε πειραματικές επιφάνειες οφείλονταν στη διαφορετική ωριμότητα των φυτών, καθώς βρήκαν ότι τα φύλλα είχαν διπλάσιες ποσότητες ασβεστίου απ'ό,τι οι βλαστοί και μειωνόταν σταδιακά με την αύξηση της ωριμότητας.

Η προοδευτική μείωση της τιμής του ασβεστίου με την αύξηση της ωριμότητας των φυτών έχει διαπιστωθεί επίσης και από άλλους ερευνητές (Pérez-Corona et al., 1998; George et al., 2001; Ganskopp and Bohnert, 2003; Pelletier et al., 2006; Bertrand et al., 2008; Ρούκος, 2011; Στόλιου, 2013) επιβεβαιώνοντας τα ευρήματα του δεύτερου έτους της έρευνας και για τις τρεις λειτουργικές ομάδες των δύο περιοχών. Αντίθετα, ο Gomide (1969) διαπίστωσε ότι το ασβέστιο είναι ελάχιστα επηρεασμένο από την προοδευτική ωριμότητα των φυτών, ενώ τα υπόλοιπα ανόργανα στοιχεία είχαν αρνητική συσχέτιση με το φαινολογικό στάδιο του φυτού. Επίσης, ο Sousa (1978) αναφέρει ότι η έλλειψη κινητικότητας του ασβεστίου μέσα στους ιστούς του φυτού έχει ως αποτέλεσμα να ενσωματώνεται στους παλιούς ιστούς και βλαστούς όσο τα φυτά ωριμάζουν, έτσι τα νέα τμήματα των φυτών έχουν μικρότερη συγκέντρωση ασβεστίου. Παράλληλα υπάρχουν αρκετοί ερευνητές σε περιοχές με διαφορετικές εδαφικές και κλιματικές συνθήκες (Whitehead, 2000; Ashraf et al., 2005; Khan et al., 2005; Shamat et al., 2009; Mountousis et al., 2008) που αναφέρουν ότι η συγκέντρωση ασβεστίου στους φυτικούς ιστούς αυξανόταν με την προοδευτική αύξηση της ωριμότητας και ιδιαίτερα στο στάδιο της ανθοφορίας που εμφάνιζε τη μέγιστη τιμή κατά τη δημιουργία του γυρεοσωλήνα (Καράταγλης 1995). Ο Μουντούσης (2008) σε υπαλπικά λιβάδια του όρους Βαρνούντα παρατήρησε αυξομειώσεις της συγκέντρωσης του ασβεστίου στη βοσκήσιμη ύλη καθόλη τη διάρκεια ανάπτυξης εμφανίζοντας τη μέγιστη τιμή στην αρχή της αυξητικής περιόδου των λιβαδικών φυτών με σταδιακή μείωση στη συνέχεια και ένα δεύτερο υψηλό το μήνα Αύγουστο και κατόπιν εκ νέου μείωση, καθώς τα φυτά βρίσκονταν στο στάδιο της παραγωγής των σπόρων. Ο προηγούμενος ερευνητής διαπίστωσε ότι η διακύμανση και γενικότερα η τάση, που παρουσίασε η τιμή του ασβεστίου της λιβαδικής παραγωγής διέφερε ανάλογα με την υψομετρική ζώνη. Σε υποτροπικές περιοχές σε ορεινά λιβάδια του Πακιστάν όπου κυριαρχούσαν τα αγρωστώδη είδη οι Sultana et al. (2008), βρήκαν ότι η συγκέντρωση Ca της βλάστησης αυξανόταν σταδιακά με το φαινολογικό στάδιο, αλλά δεν βρήκαν διαφοροποίηση της διακύμανσης του μετάλλου ανάλογα με το υψόμετρο. Ωστόσο, η Στόλιου (2013) σε υπαλπικά λιβάδια του Ολύμπου και του Βόρα το ίδιο έτος δειγματοληψίας παρατήρησε μεγάλη διαφοροποίηση στη διακύμανση της τιμής του ασβεστίου της λιβαδικής παραγωγής κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών ανάμεσα στις δύο περιοχές το οποίο το απέδωσε στο διαφορετικό μητρικό πέτρωμα και στη συγκέντρωση του εδάφους σε ανθρακικό ασβέστιο. Από την άλλη πλευρά, οι Ganskopp and Bohnert (2003) σε φρυγανολίβαδα στις ΗΠΑ διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση αλλά και η διακύμανση του

ασβεστίου της λιβαδικής παραγωγής μεταξύ δύο συνεχόμενων ετών αλλά και μεταξύ 7 διαφορετικών αγρωστωδών ειδών παρουσίασε μεγάλες διαφορές. Η επίδραση της υγρασίας εδάφους και της θερμοκρασίας καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την απόθεση και την κατανομή του ασβεστίου στους φυτικούς ιστούς (Grunes and Welch, 1989). Σύμφωνα με τους Armstrong and Kirkby (1979) και Karlen et al. (1980) υψηλότερη υγρασία εδάφους έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζεται μικρότερη συγκέντρωση ασβεστίου στους φυτικούς ιστούς σε σχέση με μικρότερη υγρασία εδάφους. Επιπροσθέτως, οι Armstrong and Kirkby (1979) διαπίστωσαν ότι η μικρότερη υγρασία εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερες συγκεντρώσεις ασβεστίου στα νεαρά φύλλα σε σχέση με υψηλότερη υγρασία εδάφους, παρόλο που στους βλαστούς και τις ρίζες δεν βρήκαν διαφορές. Ωστόσο, όταν η υγρασία εδάφους ήταν υψηλότερη υπήρχε υψηλότερη απόθεση ασβεστίου στους βλαστούς σε σχέση με όταν ήταν μικρότερη. Τα προηγούμενα ήταν σε αντιστοιχία με τα ευρήματα της παρούσας έρευνας, καθώς η χαμηλότερη υγρασία στο δεύτερο έτος σε σχέση με το πρώτο έτος δειγματοληψίας στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερες τιμές Ca. Ένας άλλος λόγος που μπορεί να δικαιολογήσει τις υψηλότερες τιμές Ca στους φυτικούς ιστούς στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας ιδιαίτερα στο ξεκίνημα της βλαστικής περιόδου είναι, ότι η περίφραξη των επιφανειών απελευθέρωσε τα φυτά από εξωτερικές επιδράσεις συμβάλλοντας στο γεγονός να υπάρχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις Ca στους φυτικούς ιστούς. Οι Grunes and Welch (1989) ανέφεραν θετική επίδραση της θερμοκρασίας στην απόθεση Ca στους φυτικούς ιστούς, συγκεκριμένα σε σιτηρά που αναπτύσσονταν το χειμώνα και η θερμοκρασία στη ριζόσφαιρα αυξανόταν από 8 στους 16°C, αυξάνονταν αντίστοιχα οι συγκεντρώσεις Ca, K, Mg στο φυτό. Ωστόσο, ο Minson (1990) σε μια πλειάδα εργασιών σχετικά με την επίδραση της θερμοκρασίας στην συγκέντρωση Ca στους φυτικούς ιστούς αναφέρει ότι τα αποτελέσματα δεν ήταν ξεκάθαρα. Ο ίδιος συγγραφέας, όμως, διαπιστώνει ότι σε κάποιες έρευνες η συγκέντρωση Ca αυξανόταν με τη μείωση της θερμοκρασίας αρκεί άλλοι εδαφικοί παράγοντες, όπως το εδαφικό N ή το K, να μη μεταβάλλονταν. Παράλληλα, ο Ρούκος (2010) σε ορεινά λιβάδια της Δυτικής Ελλάδας βρήκε ισχυρή αρνητική συσχέτιση της θερμοκρασίας με τη συγκέντρωση Ca της λιβαδικής παραγωγής, ενώ, αντίθετα, βρήκε θετική συσχέτιση με το ύψος βροχής αποδεικνύοντας ότι ο συνδυασμός των δύο κλιματικών παραμέτρων επιδρά ανάλογα. Επομένως, τα προηγούμενα μπορούν να εξηγήσουν ως ένα βαθμό τη διαφοροποίηση των διακυμάνσεων και της τιμής του ασβεστίου μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας.

Η υψηλότερη συγκέντρωση του ασβεστίου στη λιβαδική παραγωγή στα εδάφη από G σε σχέση με τα εδάφη από TA, οφείλεται στη μεγαλύτερη συμμετοχή των πλατύφυλλων και ψυχανθών στη λιβαδική παραγωγή, τα οποία έχουν υπερδιπλάσια συγκέντρωση σε ασβέστιο από τα αγρωστώδη. Εντούτοις, καμία λειτουργική ομάδα μεταξύ των δύο περιοχών δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές το δεύτερο έτος δειγματοληψίας. Οι Kendall and Stringer (1985) επισημαίνουν ότι οι διαφορές στη χημική σύσταση στους ιστούς του τριφυλλιού και των αγρωστωδών εξηγούνται από τις μορφολογικές διαφορές των ριζών τους, ενώ οι Amogy and Dafey (1984) και οι Van Keuren and Hoveland (1985) αναφέρουν ότι η εναλλακτική ικανότητα των ριζών του τριφυλλιού ήταν αρκετά υψηλότερη από αυτή των περισσότερων αγρωστωδών. Οι Roukos et al. (2011) σε ορεινά λιβάδια της Δ. Ελλάδας στο στάδιο της ανθοφορίας βρήκαν ότι τα αγρωστώδη είχαν τη μικρότερη συγκέντρωση σε σχέση με τα πλατύφυλλα και τα ψυχανθή, ενώ μεταξύ των δύο άλλων ομάδων δεν παρατηρήθηκαν διαφορές. Οι συγκεντρώσεις, όμως, του ασβεστίου ήταν πολύ μικρότερες απ'ότι των περιοχών έρευνας. Επίσης και οι Garcia-Giudad et al. (1997) σε ορεινά λιβάδια της Ισπανίας ξηροθερμικού περιβάλλοντος σε παρατηρήσεις τεσσάρων ετών αναφέρουν μικρότερες τιμές ασβεστίου για κάθε λειτουργική ομάδα. Ωστόσο, βρήκαν υψηλότερες τιμές ασβεστίου για τα ψυχανθή, με τα πλατύφυλλα να έπονται και τα αγρωστώδη να έχουν σημαντικά μικρότερες τιμές από τις δύο προηγούμενες ομάδες. Αντίστοιχα και οι Grunes and Welch (1989)

αναφέρουν ότι τα ψυχανθή είχαν σημαντικά υψηλότερες τιμές Ca από αυτές των αγρωστωδών, ενώ παρατηρούν ότι η συγκέντρωση του Ca ποικίλλει σημαντικά μεταξύ των ψυχανθών ειδών ή ακόμα και των αγρωστωδών ειδών.

Για τα αναπτυσσόμενα βοοειδή, τα οποία ζυγίζουν περίπου 200-300 kg και έχουν μέση ημερήσια αύξηση βάρους περίπου 0,5 kg (NRC, 1996), οι απαιτήσεις τους σε Ca ανέρχονται σε 0,30 % ΞΟ. Οι ανάγκες συντήρησης των προβάτων σε Ca ανέρχονται σε 0,20 % ΞΟ (NRC, 1985). Γίνεται συνεπώς φανερό, ότι τα λιβάδια και των δύο περιοχών μελέτης υπερκαλύπτουν τις ανάγκες σε Ca τόσο των βοοειδών όσο και των προβάτων. Ωστόσο, η περίσσεια Ca που παρατηρείται στη λιβαδική παραγωγή σε όλη την αυξητική περίοδο μπορεί να προκαλέσει μείωση της απορρόφησης ιδιαίτερα του P και μερικών ιχνοστοιχείων.

5. 5. 3. Φώσφορος

Ο φώσφορος (P) αποτελεί θρεπτικό στοιχείο των φυτών, γιατί είναι βασικό συστατικό διαφόρων οργανικών ενώσεων που παίζουν σημαντικό ρόλο στο μεταβολισμό τους και στη μεταφορά ενέργειας στα κύτταρα, όπως είναι η ATP (Adenosine Triphosphate) η οποία παράγεται κατά τη φωτοσύνθεση και την αναπνοή των φυτών. Η ATP βοηθά στην πρόσληψη και μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων. Επιπλέον ο P είναι βασικό συστατικό του DNA και του RNA (Αλιφραγκής, 2008). Στο ζωικό οργανισμό όπως το ασβέστιο έτσι και ο P είναι σημαντικό στοιχείο, καθώς αποτελεί βασικό συστατικό της δομής των οστών. Ο P που δε βρίσκεται στα οστά απαντάται στους μαλακούς ιστούς με τη μορφή φωσφοπρωτεϊδών, νουκλεοπρωτεϊδών, νουκλεϊνικών οξέων, ATP κλπ. συμμετέχοντας στο μεταβολισμό των υδατανθράκων, λιπών και πρωτεϊνών καθώς και στη διατήρηση της οξεοβασικής ισορροπίας του οργανισμού (Λιαμάδης, 2003).

Η διακύμανση της συγκέντρωσης του P της λιβαδικής παραγωγής κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου των φυτών ήταν παρόμοια μεταξύ των δύο περιοχών στο σύνολο της λιβαδικής παραγωγής αλλά και μεταξύ των ομάδων. Παράλληλα η διακύμανση του P μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας εμφάνισε παρόμοια τάση, ωστόσο η μεταβολή των τιμών του P μεταξύ της υψηλότερης και χαμηλότερης τιμής κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου ήταν μεγαλύτερη το δεύτερο έτος δειγματοληψίας. Αξιοσημείωτο γεγονός είναι η έλλειψη συσχετίσεων της συγκέντρωσης P της λιβαδικής παραγωγής με τις τοπογραφικές και εδαφικές παραμέτρους στα εδάφη από G, σε αντίθεση με τα εδάφη από TA, το οποίο συνδέεται με το γεγονός ότι ορισμένοι άλλοι παράγοντες παίζουν ρόλο στην πρόσληψή του. Η επίδραση της μυκόρριζας και η αποτελεσματικότητα του μύκητα σε αμμώδη και όξινα εδάφη είναι ιδιαίτερα σημαντική στην πρόσληψη του P (Karanika et al., 2008).

Μεγάλες ποσότητες P βρίσκονται αποθηκευμένες με τη μορφή αποθησαυριστικών ουσιών. Από τα σημεία αυτά γίνεται μετακίνησή του προς τους φυτικούς ιστούς που φωτοσυνθέτουν. Η εσωτερική μετακίνηση αυτή συνδέεται με τις συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας του εδάφους. Σύμφωνα με τους Underwood and Suttle (1999) στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου των φυτών, που λαμβάνει χώρα η κυτταροδιαίρεση και επιμήκυνση των κυττάρων, η συγκέντρωση του P αυξάνεται και η κατανομή του στα φύλλα και στους νεαρούς βλαστούς είναι ομοιόμορφη. Με την πρόοδο της ωριμότητας των φυτών, όμως, παρακμάζει σημαντικά ειδικά κατά τις ξηρές περιόδους. Αυτό έχει αποδοθεί στην υψηλή κινητικότητα του στοιχείου αυτού μέσα στο φυτό (Dierenfeld et al., 1995; Underwood and Suttle, 1999; Ndebele et al., 2005). Οι Hejzman et al. (2010) αναφέρουν ότι σε προχωρημένο στάδιο ωρίμανσης των φυτών μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική απομάκρυνση του φωσφόρου από την ξηρή βιομάζα και σε υψηλό ποσοστό βλαστών στη συνολική βιομάζα, οι οποίοι είναι φτωχοί σε φώσφορο. Σύμφωνα με τους Reid and Horvath (1980) η θερμοκρασία και η υγρασία εδάφους επηρεάζει την πρόσληψη P από τα φυτά σε μεγαλύτερο βαθμό σε

σχέση με τα άλλα ανόργανα στοιχεία. Ο Minson (1990) αναφέρει, από παλαιότερες έρευνες, που είχαν γίνει ότι η μεγάλη μείωση της εδαφικής υγρασίας μείωσε τη συγκέντρωση του P στο αγρωστώδες *Lolium perenne* L. από 0,26 σε 0,18%. Πρόσθετα οι Nye and Tinker (1977) αναφέρουν ότι η απορρόφηση του P από τα φυτά σε χαμηλές θερμοκρασίες γίνεται με πολύ αργό ρυθμό εξαιτίας του περιορισμού της αύξησης των ριζών και της μείωσης της διαπερατότητας των μεμβρανών, εξηγώντας τη μειωμένη τιμή P στις περιοχές έρευνας το μήνα Μάιο το πρώτο έτος δειγματοληψίας και την απότομη αύξηση τον Ιούνιο. Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες, όμως, μπορεί να οδηγήσουν σε αντίθετα αποτελέσματα, όπως αναφέρουν οι Jumba et al. (1996) οι οποίοι σε τροπικές περιοχές διαπίστωσαν ότι η υψηλή ένταση φωτός - ακτινοβολίας και θερμοκρασίας τους καλοκαιρινούς μήνες είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της συγκέντρωσης του P στη λιβαδική παραγωγή, το οποίο είναι σύμφωνο με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Παράλληλα, σε παλαιότερες έρευνες οι Gross and Jung (1981) βρήκαν ότι μία μέση αύξηση της θερμοκρασίας κατά 7,5°C οδήγησε σε μείωση της συγκέντρωσης του P στα είδη *Poa pratense* L. και *Trifolium pratense* L. σε 51 και 20%, αντίστοιχα.

Η συγκέντρωση P της λιβαδικής παραγωγής δεν διαφέρει μεταξύ των δύο περιοχών παρότι η χλωριδική σύνθεση των δύο περιοχών διαφέρει σημαντικά τόσο σε επίπεδο ειδών όσο και στη συμμετοχή που έχει η κάθε λειτουργική ομάδα στην παραγωγή. Αυτό πιθανά οφείλεται στο γεγονός ότι η ποσοστιαία συμμετοχή των πλατύφυλλων στη συνολική λιβαδική παραγωγή, τα οποία είχαν την υψηλότερη συγκέντρωση σε P σε σχέση με τα αγρωστώδη και τα ψυχανθή, δεν είχε μεγάλη διαφοροποίηση μεταξύ των δύο περιοχών. Αντίστοιχα η συγκέντρωση P για κάθε λειτουργική ομάδα δεν εμφάνισε διαφορές μεταξύ των δύο περιοχών. Ο Μουντούσης (2008) σε όξινα αμμοπηλώδη εδάφη υπαλπικών λιβαδιών του όρους Βαρνούντα, όπως τα εδάφη από ΤΑ της περιοχής έρευνας, αναφέρει παρόμοια μέση μηνιαία τιμή P της λιβαδικής παραγωγής με τα αποτελέσματα της αντίστοιχης περιοχής έρευνας. Αντίστοιχα η Στόλιου (2013) σε υπαλπικά λιβάδια του όρους Βόρα με ίδιο γεωλογικό υπόστρωμα (Γνεύσιος) με την υπαλπική περιοχή του Μπέλες βρήκε παρόμοιες τιμές P στη βοσκήσιμη ύλη με τα εδάφη από G της περιοχής έρευνας. Οι Drysdale et al. (1980) και Reid and Horvath (1980) σε ορεινά ποολίβαδα αναφέρουν υψηλότερη συγκέντρωση σε P των ψυχανθών σε σχέση με τα αγρωστώδη χωρίς όμως να συμμετέχουν στην έρευνα τα πλατύφυλλα είδη. Παράλληλα και οι García-Ciudad et al. (1997) αναφέρουν υψηλότερες τιμές P στα ψυχανθή σε σχέση με τα αγρωστώδη, ενώ μεταξύ των ψυχανθών και των πλατύφυλλων δεν βρήκαν διαφορές. Ο Minson (1990) σε ανασκόπηση της βιβλιογραφίας που συμπεριέλαβε πολλά δείγματα ερευνών από περιοχές διαφορετικού εδαφοκλιματικού περιβάλλοντος βρήκε ότι η μέση τιμή P των ψυχανθών ήταν ελαφρώς υψηλότερη από αυτή των αγρωστωδών. Ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι η συντριπτική πλειοψηφία των δειγμάτων και των δύο ομάδων αναφερόταν σε τιμές P, που κυμαίνονταν μεταξύ 0,30-0,80% Ξ.Ο. το οποίο υποδηλώνει εγκατελημμένους βοσκότοπους στους οποίους είχε εφαρμοστεί λίπανση στο παρελθόν και τα ψυχανθή ανταποκρινόνταν αποτελεσματικότερα στη συγκέντρωση P στους φυτικούς ιστούς. Αντιθέτως, οι Roukos et al. (2011) σε ορεινά ποολίβαδα στο στάδιο της ανθοφορίας δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές στην συγκέντρωση P μεταξύ και των τριών λειτουργικών ομάδων, παρόλο που η συγκέντρωση των πλατύφυλλων ήταν ελαφρά υψηλότερη από αυτή των αγρωστωδών και των ψυχανθών. Έρευνα των Shamati et al. (2009) σε ξηροθερμικό περιβάλλον αναφέρει ότι δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στην συγκέντρωση σε P μεταξύ των αγρωστωδών και των ψυχανθών. Παρόμοια διαπίστωση έκαναν οι Ogebe et al. (1995) που σε έρευνά τους σε τρεις περιοχές στη Νιγηρία με διαφορετικές εδαφικές ιδιότητες δεν βρήκαν διαφορές στην συγκέντρωση P της λιβαδικής παραγωγής των αγρωστωδών και των ψυχανθών σε καμία περιοχή, το οποίο ήταν σε αντιστοιχία με τα ευρήματα της παρούσας έρευνας και των δύο περιοχών. Οι Pirhofer-Walzl et al. (2011) σε πειραματικό σχεδιασμό με αγρωστώδη, ψυχανθή και πλατύφυλλα

διαπίστωσαν ότι η μέση συγκέντρωση του P στα πλατύφυλλα είδη ήταν υψηλότερη απ'ό,τι στα ψυχανθή, ενώ μεταξύ των ψυχανθών και των αγρωστωδών δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές επιβεβαιώνοντας επίσης τα αποτελέσματα των περιοχών έρευνας.

Για τα αναπτυσσόμενα βοοειδή τα οποία ζυγίζουν περίπου 200-300 kg και έχουν μέση ημερήσια αύξηση βάρους περίπου 0,5 kg (NRC, 1996), οι απαιτήσεις τους σε P ανέρχονται σε 0,14-0,15% ΞΟ. Οι ανάγκες συντήρησης των προβάτων σε P ανέρχονται σε 0,16 % ΞΟ (NRC, 1985). Στα λιβάδια των δύο περιοχών, αν θεωρηθεί ότι τα βόσκοντα ζώα καταναλώνουν αντιπροσωπευτικά τα συλλεγόμενα δείγματα της λιβαδικής παραγωγής, η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε P ήταν οριακά επαρκής να καλύψει τις ανάγκες των βοοειδών και προβάτων μόνο κατά το πρώτο έτος δειγματοληψίας καθόλη τη διάρκεια βόσκησης πλην του μήνα Μαΐου και για τις δύο περιοχές και του Σεπτεμβρίου μόνο στην περιοχή των εδαφών από ΤΑ. Αντίθετα, το δεύτερο έτος δειγματοληψίας μόνο το μήνα Ιούνιο και για τις τρεις λειτουργικές ομάδες των δύο περιοχών ήταν επαρκές να καλύψουν τις ανάγκες των βόσκοντων ζώων, γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη χορήγησης συμπληρωμάτων φωσφόρου στα ζώα που βόσκουν στην περιοχή. Αξίζει επίσης να αναφερθεί η επίδραση του εδάφους στην ικανοποιητική απορρόφηση του P απ' τα φυτά και κατά συνέπεια στην επάρκεια για την κάλυψη αναγκών των βόσκοντων ζώων. Έλλειψη αφομοιώσιμου P από τα φυτά είναι πιθανόν να παρατηρηθεί σε αμμώδη όξινα εδάφη καθώς και σε εδάφη πλούσια σε Fe και Mn (Αλιφραγκής, 2008), όπως τα εδάφη και των δύο περιοχών έρευνας και ιδιαίτερα των εδαφών από ΤΑ. Η μεγάλη παραλλακτικότητα της συγκέντρωσης σε P, που παρουσιάζει η λιβαδική παραγωγή σε πολλές περιοχές παγκοσμίως οφείλεται κυρίως στις εδαφοκλιματικές συνθήκες της κάθε περιοχής, την εποχή δειγματοληψίας καθώς και στη χλωριδική σύνθεση της βλάστησης. Εντούτοις, η πιο συνηθισμένη ανεπάρκεια στα αγροτικά ζώα σε θρεπτικά στοιχεία, που βόσκουν σε φυσικούς βοσκότοπους, είναι η ανεπάρκεια σε φωσφόρο (Underwood, 1981; McDowell, 2003). Κατά συνέπεια στα αγροτικά ζώα αυτά, πρέπει να χορηγούνται συμπληρώματα φωσφόρου, ώστε να καλύπτουν τις θρεπτικές τους ανάγκες (Greene, 2000). Ωστόσο, σε πειραματικούς σχεδιασμούς σε βλάστηση που είχε γίνει εφαρμογή φωσφόρου στο έδαφος, αυξάνοντας την συγκέντρωση του P στη βλάστηση, είχε παρατηρηθεί η προτίμηση των ζώων και η ικανότητά τους να επιλέγουν λιβαδική βλάστηση που είχε αυξημένη συγκέντρωση P (Jones and Betteridge, 1994). Σε παλαιότερη έρευνα του Engels (1981) βρέθηκε διπλάσια έως τριπλάσια αύξηση στα επίπεδα φωσφόρου σε δείγματα από συρίγγια που είχαν τοποθετηθεί στον οισοφάγο, σε σύγκριση με δείγματα βλάστησης που είχαν ληφθεί με το χέρι την ίδια χρονική στιγμή. Το πρόβλημα προκύπτει, όταν η βλάστηση περιέχει μείγμα από νεαρό, ώριμο και γηρασμένο υλικό ή από ένα μείγμα φυτικών ειδών τα οποία διαφέρουν στη συγκέντρωση του φωσφόρου και στη γευστικότητα (McLean et al. 1990). Πιο πρόσφατες εργασίες των Semelova et al. (2008) παρατήρησαν την επιλεκτική βόσκηση σε μια ευρύτερη περιοχή από μηρυκαστικά σε επιφάνειες βλάστησης από εγκαταλειμμένα πειράματα λίπανσης P. Πρόσθετα οι Schutz et al. (2006) ανέφεραν ότι η επιλεκτική βόσκηση φυτικών ειδών πλούσια σε P από ελάφια σε ποολίβαδα των Άλπεων αντικατοπτρίζει την έλλειψη P για τα μηρυκαστικά από τη συνολική κατανάλωση βιομάζας.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το Ca και ο P αποτελούν δύο από τα σημαντικότερα μακροστοιχεία που είναι χρήσιμα στο ζωικό οργανισμό. Η ιδανική σχέση Ca:P στα μηρυκαστικά έχει βρεθεί ότι είναι 2:1, ωστόσο στα βόσκοντα ζώα στα λιβάδια μπορεί να κυμαίνεται από 1:1 μέχρι και 7:1, χωρίς να παρατηρούνται ιδιαίτερα προβλήματα στα ζώα εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων βιταμίνης D που προσλαμβάνουν την περίοδο της βόσκησης (Λιαμάδης, 2003). Επίσης, ο Ternouth (1990) αναφέρει ότι η σχέση Ca:P μπορεί να ανέλθει ακόμα και πάνω από 10:1 χωρίς σοβαρές συνέπειες για την ανάπτυξη των ζώων αρκεί τα επίπεδα P να είναι επαρκές. Από τα δεδομένα της παρούσας έρευνας και στις δύο

περιοχές το πρώτο έτος δειγματοληψίας προκύπτει ότι στο σύνολο της λιβαδικής παραγωγής μόνο το μήνα Σεπτέμβριο η σχέση $Ca:P > 7$ προσεγγίζει όρια επικινδυνότητας εξαιτίας της χαμηλής συγκέντρωσης P. Στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας προκύπτει ότι η μέση αναλογία $Ca:P$ στα λιβάδια και των δύο περιοχών στις λειτουργικές ομάδες των πλατύφυλλων και ψυχανθών υπερβαίνει κατά πολύ το ανεκτό όριο 7:1, ενώ, αντίθετα, στα αγρωστώδη, τα οποία έχουν τη μεγαλύτερη συμμετοχή στη λιβαδική παραγωγή, η μέση αναλογία $Ca:P$ είναι < 7 και στις δύο περιοχές.

5. 5. 4. Μαγνήσιο

Το μαγνήσιο (Mg) αποτελεί σημαντικό στοιχείο τόσο για τα φυτά όσο και για τα ζώα. Τα φυτά χρειάζονται μικρότερες ποσότητες Mg σε σχέση με το Ca. Στα φυτά αποτελεί δομικό συστατικό της χλωροφύλλης και ο ρόλος του στη φωτοσύνθεση είναι σημαντικός, ενώ λειτουργεί ως ενεργοποιητής πολλών ενζύμων (Αλιφραγκής, 2008). Είναι απαραίτητο συστατικό στη σύνθεση των πρωτεϊνών (Καράταγλης, 1995), ενώ παίζει σημαντικό ρόλο στη μεταφορά του P και των καρβοξυλικών ομάδων (Marschner, 1995). Στο ζωικό οργανισμό είναι σημαντικό στοιχείο για δύο κυρίως λόγους: α) αποτελεί συστατικό των οστών και των δοντιών και β) συμμετέχει ενεργά σε διάφορες λειτουργίες του οργανισμού, η σπουδαιότερη από τις οποίες είναι ότι δρα ως ενεργοποιητής πολλών ενζύμων ή ενζυμικών συστημάτων και ιδιαίτερα εκείνων, που συνδέονται με το μεταβολισμό των υδατανθράκων (Λιαμάδης, 2003).

Τα πράσινα φυλλώδη φυτά είναι μια εξαιρετική πηγή Mg για τα ζώα. Σύμφωνα με τους Wilkinson et al. (1990) το μαγνήσιο συνδέεται με τη χλωροφύλλη και είναι δομικό στοιχείο των ριβοσωμάτων τα οποία εμπεριέχονται στους νεαρούς ιστούς και ιδιαίτερα στα φύλλα του φυτού. Οι Montalvo et al. (1987), όμως, βρήκαν ότι οι βλαστοί του *Pennisetum purpureum* L. περιείχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις μαγνησίου απ' ό,τι τα φύλλα στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης. Ενώ ο Georgievskii (1982) αναφέρει ότι η συγκέντρωση Mg δεν διέφερε μεταξύ των φύλλων και των βλαστών. Αντίθετα, με τους προηγούμενους ερευνητές οι Markovic et al. (2009) και οι Halgerson et al. (2004) στο είδος *Medicago sativa* L. βρήκαν διπλάσιες τιμές Mg στα φύλλα απ' ό,τι στους βλαστούς σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του φυτού. Ο Minson (1990) παρατήρησε ότι οι εποχιακές διακυμάνσεις δεν επηρεάζουν σημαντικά τη συγκέντρωση μαγνησίου στη βλάστηση, αν και οι Underwood and Suttle (1999) αναφέρουν σε μελέτες που έγιναν αρκετά παλαιότερα σε λιβάδια στην Αγγλία ότι στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου οι τιμές του μαγνησίου ήταν χαμηλές. Οι ίδιες έρευνες έδειξαν ότι τα επίπεδα του μαγνησίου μειώνονταν με την αύξηση της ωριμότητας αλλά η μείωση αυτή ήταν περισσότερο ήπια απ' ό,τι στα άλλα μακροστοιχεία. Οι Soultan et al. (2009) σε χορτολίβαδα υποτροπικού προς εύκρατου περιβάλλοντος και υψομέτρου μεταξύ 800-2000μ. στο Πακιστάν παρατήρησαν ότι τα επίπεδα Mg στη λιβαδική παραγωγή μειωνόταν εξίσου στα φύλλα και τους βλαστούς με την αύξηση της ωριμότητας.

Η διακύμανση της τιμής του Mg ήταν παρόμοια με αυτή του Ca, καθώς υπήρξε διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας, ενώ επίσης υπήρξε διαφορετική διακύμανση μεταξύ των λειτουργικών ομάδων, ωστόσο, δεν υπήρξε διαφοροποίηση της διακύμανσης μεταξύ των δύο περιοχών έρευνας. Οι διακυμάνσεις της τιμής του Mg μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας πιθανόν συνδέεται με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν και ιδιαίτερα από την πορεία της θερμοκρασίας και υγρασίας του εδάφους και κυρίως την περίοδο στην οποία το έδαφος αποκτά τις άριστες τιμές για τη βιολογική δραστηριότητα. Οι Ganskopp and Bohnert (2003) παρατήρησαν παρόμοιες διακυμάνσεις στη συγκέντρωση του Ca και του Mg στους ιστούς 7 αγρωστώδων ειδών σε όλη την αυξητική περίοδο και στα δύο έτη δειγματοληψίας, εντούτοις, η διακύμανση της τάσης και των δύο μακροστοιχείων διέφερε μεταξύ των δύο ετών για τα 3 από τα 7 αγρωστώδη είδη. Η διαπίστωση αυτή δείχνει ότι

μπορεί να υπάρχει διαφοροποίηση στην εποχιακή διακύμανση της τιμής του Mg μεταξύ των ετών δειγματοληψίας όχι μόνο στη λιβαδική παραγωγή ή στις λειτουργικές ομάδες αλλά και μεταξύ των ειδών τα οποία επηρεάζουν την εποχιακή διακύμανση του Mg ανάλογα με τη συμμετοχή τους στη παραγωγή. Οι Armstrong and Kirkby (1979) σε πειραματικό σχεδιασμό τους βρήκαν ότι η υψηλή εδαφική υγρασία είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης του Mg στους υπέργειους φυτικούς ιστούς έως και 100% σε σχέση με εδάφη χαμηλής υγρασίας. Παράλληλα διαπίστωσαν ότι στο χειρισμό με υψηλή υγρασία εδάφους τα νεαρά φύλλα είχαν διπλάσια συγκέντρωση Mg από τα ώριμα φύλλα, ενώ οι βλαστοί είχαν υψηλότερη συγκέντρωση Mg από τα νεαρά φύλλα. Αντίθετα, στο χειρισμό με χαμηλή υγρασία δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στη συγκέντρωση Mg μεταξύ των νεαρών-ώριμων φύλλων και βλαστών αλλά στις ρίζες η συγκέντρωση Mg ήταν τριπλάσια και τετραπλάσια απ' ό,τι στους βλαστούς και τα φύλλα αντίστοιχα, αποδεικνύοντας ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του Mg ήταν αποθηκευμένο στις ρίζες. Σε λιβάδια των Ιμαλαΐων οι Singh and Mishra (1987) βρήκαν ότι η συγκέντρωση Mg στα αγρωστώδη είδη είχε αρνητική συσχέτιση με τη θερμοκρασία. Παράλληλα, ο Ρούκος (2010) διαπίστωσε ότι η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Mg είχε θετική συσχέτιση με το ύψος βροχής, ενώ, αντίθετα, είχε αρνητική συσχέτιση με τη θερμοκρασία. Τα ανωτέρω μπορεί να δικαιολογήσουν ως ένα βαθμό τη διαφοροποίηση της διακύμανσης του Mg μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας.

Η συγκέντρωση Mg των ψυχανθών ήταν διπλάσια απ' ό,τι των αγρωστωδών και στις δύο περιοχές έρευνας επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα άλλων ερευνητών. Ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι στα εδάφη από G τα πλατύφυλλα είχαν υψηλότερη συγκέντρωση Mg και από τις δύο λειτουργικές ομάδες, αντίθετα στα εδάφη από TA τα ψυχανθή είχαν υψηλότερη τιμή Mg από τα πλατύφυλλα. Οι Garcia-Giudad et al. (1997) σε έρευνα τεσσάρων ετών ανέφεραν ότι η μέση ετήσια τιμή του Mg των ψυχανθών ήταν υψηλότερη από των πλατύφυλλων. Ωστόσο στα δύο έτη δειγματοληψίας η διαφορά στη συγκέντρωση του Mg μεταξύ των ψυχανθών και των πλατύφυλλων δεν ήταν σημαντική. Οι Roukos et al. (2011) στο στάδιο της ανθοφορίας βρήκαν υψηλότερη τιμή Mg των ψυχανθών σε σχέση με τα αγρωστώδη και τα πλατύφυλλα. Οι Drysdale et al. (1980) και οι Reid and Horvath (1980) επίσης ανέφεραν υψηλότερες συγκεντρώσεις Mg των ψυχανθών σε σχέση με των αγρωστωδών. Στις έρευνες αυτές, όμως, δεν συμμετείχαν πλατύφυλλα είδη. Ωστόσο, οι Pirhofer-Walzl et al. (2011) σε πειραματικές επιφάνειες με μίξη από αγρωστώδη, ψυχανθή και πλατύφυλλα είδη διαπίστωσαν ότι η μέση συγκέντρωση του Mg στα πλατύφυλλα είδη ήταν υψηλότερη απ' ό,τι στα ψυχανθή στην τρίτη κοπή. Αντίθετα, στην πρώτη κοπή δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση του Mg μεταξύ των πλατύφυλλων και των ψυχανθών. Οι Fisher and Baker (1996) σε φυσικά ποολίβαδα διαπίστωσαν ότι τα πλατύφυλλα είδη, είχαν μεγαλύτερη συγκέντρωση σε Mg σε σχέση με τα συνηθισμένα αγρωστώδη και ψυχανθή είδη τα οποία καλλιεργούνται στους βοσκότοπους. Αντίστοιχα και οι Pinto et al. (2002) ανέφεραν ότι η παρουσία κάποιων ειδών εκτός των αγρωστωδών και ψυχανθών μπορεί να αυξήσει τη συγκέντρωση του Mg στη λιβαδική παραγωγή. Επομένως, η μεγάλη ποικιλομορφία των πλατυφύλλων ειδών, μπορεί να εξηγήσει σε μεγάλο βαθμό τις διαφορές που παρουσιάζονται στη συγκέντρωση των ανόργανων στοιχείων μεταξύ διαφορετικών περιοχών ή και μεταξύ των λειτουργικών ομάδων, όπως διαπιστώθηκε και στην παρούσα έρευνα. Η θετική συσχέτιση που εμφάνισε η συγκέντρωση Mg των πλατύφυλλων με το ποσοστό άμμου του εδάφους πιθανά να είναι ένας δεύτερος λόγος, στον οποίο οφείλεται η υψηλότερη συγκέντρωση Mg των πλατύφυλλων στα εδάφη από G σε σχέση με τα εδάφη από TA. Καθώς τα εδάφη από G περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό άμμου επιτρέποντας στα ανόργανα στοιχεία να μετακινούνται πιο εύκολα σε σχέση με τα πηλώδη ή αργιλώδη εδάφη και να απορροφούνται πιο εύκολα (Greene, 2000).

Η συνιστώμενη συγκέντρωση σε Mg της τροφής των αναπτυσσόμενων βοοειδών είναι 0,10% ΞΟ (NRC, 2000), ενώ οι ανάγκες συντήρησης για τα πρόβατα είναι 0,12% ΞΟ (NRC, 1985). Γίνεται συνεπώς αντιληπτό, ότι οι ανάγκες συντήρησης των προβάτων και των βοοειδών κρεοπαραγωγής σε Mg, που βόσκουν στα λιβάδια των δύο περιοχών καλύπτονται επαρκώς καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου βόσκησης. Ωστόσο, στα αγρωστώδη είδη το μήνα Σεπτέμβριο και στις δύο περιοχές δεν καλύπτονται οι ανάγκες των ζώων, όμως με την επιλεκτική βόσκηση πλατύφυλλων ειδών ακόμα και τις αυξητικές περιόδους με έντονες ξηροθερμικές συνθήκες, όπως το δεύτερο έτος δειγματοληψίας, μπορεί να καλυφθούν οι ανάγκες των ζώων. Σύμφωνα με τους Dua and Care (1995) και Λιαμάδη (2003) η βιοδιαθεσιμότητα του Mg των ζωοτροφών μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από άλλα διατροφικά συστατικά. Υψηλά επίπεδα K, αμμωνίας και φωσφορικών αλάτων μπορεί να μειώσουν την απορρόφηση του Mg στη μεγάλη κοιλία. Επίσης, τα επίπεδα Ca και ευδιάλυτων υδατανθράκων μπορεί αντίστοιχα να αυξήσουν ή να μειώσουν τη διαθεσιμότητα του Mg. Επομένως, το Mg πρέπει να υπολογίζεται σε σχέση με το K και το Ca, διότι υπάρχει ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των ανόργανων στοιχείων (Underwood and Suttle, 1999). Έχει αναφερθεί ότι, όταν η σχέση $K / (Ca + Mg)$ (σε χιλιοστοϊσοδύναμα) υπερβαίνει την τιμή 2,2, μπορεί να επισπεύσει την εμφάνιση της διατροφικής νόσου τετανίας βοσκής (Grunes et al. 1970; Metson et al. 1979). Στα λιβάδια των περιοχών έρευνας ο δείκτης τετανίας GTI ήταν κάτω από τα επιτρεπτά όρια, ενώ εμφάνισε πτωτική τάση κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου, το οποίο ήταν σε συμφωνία με τα ευρήματα των Karlen et al. (1980) οι οποίοι βρήκαν ότι ο δείκτης GTI ήταν υψηλότερος στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου των φυτών και ότι η υψηλότερη υγρασία αυξάνει την τιμή του δείκτη τετανίας εξαιτίας της αύξησης του K.

5. 5. 5. Νάτριο

Το νάτριο στο ζωικό οργανισμό απαντάται κυρίως έξω από τα κύτταρα με βασικό φυσιολογικό προορισμό τη ρύθμιση της οσμωτικής πίεσης των εξωκυτταρικών υγρών, στη σύνθεση του αίματος και του σιέλου. Εμπλέκεται επίσης στην διατήρηση της οξεοβασικής ισορροπίας και την ισορροπία του νερού (Underwood and Suttle, 1999; Edmades and O' Connor, 2003; Λιαμάδης, 2003). Έχει επίσης ένα ειδικό ρόλο στη μετάδοση των νευρικών διαβιβαστών και στη σύσπαση των μυών (Towers and Smith, 1983). Το Na δε θεωρείται ότι είναι σημαντικό στοιχείο για την ανάπτυξη των φυτών (Marschner, 1995). Εντούτοις, παρόμοια με το ρόλο του στο μεταβολισμό των ζώων, οι λειτουργίες του Na στο φυτό συμβάλουν στη διατήρηση της οσμωτικής πίεσης και της ισορροπίας του ύδατος και στο μηχανισμό μεταφοράς του μέσα στο φυτό (Edmeades and O' Connor, 2003).

Η τιμή του Na στο σύνολο της λιβαδικής παραγωγής και σε κάθε λειτουργική ομάδα παρουσίασε πτωτική τάση στα δύο έτη δειγματοληψίας εμφανίζοντας ισχυρές αρνητικές συσχετίσεις με το μήνα κοπής. Μεταξύ των δύο περιοχών εμφανίστηκε χρονική διαφοροποίηση στο μέγιστο της τιμής που στα εδάφη από TA ήταν το μήνα Ιούλιο για το σύνολο της λιβαδικής παραγωγής του πρώτου έτους δειγματοληψίας και για τα αγρωστώδη και τα πλατύφυλλα το δεύτερο έτος. Αντίστοιχα στα εδάφη από G το μέγιστο της συγκέντρωσης σε Na ήταν το μήνα Ιούνιο και τα δύο έτη δειγματοληψίας και για τις τρεις λειτουργικές ομάδες. Ο Minson (1990) αναφέρει ότι η συγκέντρωση του Na μειώνεται με την ωριμότητα των φυτών. Συγκεκριμένα από παλαιότερες έρευνες που έγιναν στα αγρωστώδη είδη *Lolium spp.*, *Dactylis glomerata* L., *Phleum pratense* L. και *Festuca spp.* βρέθηκαν μειώσεις στη συγκέντρωση του Na από 33 ως 72 % από τη μέγιστη τιμή. Οι Reid and Hogvath (1980) σε αγρωστώδη και ψυχανθή σε τροπικές περιοχές διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση του Na μειωνόταν με την αύξηση της ωριμότητας επιβεβαιώνοντας τα ευρήματα της παρούσας έρευνας. Ωστόσο, σε κάποιες άλλες έρευνες σε αγρωστώδη

τροπικών περιοχών, όπως στα *Digitaria decumbens* Stent και *Lablab purpureus* (L.) Sweet δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στο Na με την ωριμότητα (Poppi et al., 1981; Hendricksen and Minson, 1985). Επίσης οι Ganskopp and Bohnert (2003) βρήκαν αντίθετες τάσεις στις διακυμάνσεις του Na στους ιστούς 7 αγρωστωδών ειδών μεταξύ δύο ετών δειγματοληψίας.

Τα φυτικά είδη ποικίλλουν ευρέως στην ικανότητά τους να προσλαμβάνουν Na και αυτό να μετακινείται στο υπέργειο τμήμα του φυτού. Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν δύο κατηγορίες φυτών τέτοια είναι τα είδη που συσσωρεύουν και απορροφούν το Na το οποίο μετατοπίζεται ελεύθερα στο βλαστό και ονομάζονται "νατρόφιλα" (Smith et al., 1980). Αντίθετα, τα περισσότερα είδη φυτών δεν συσσωρεύουν και δεν είναι σε θέση να απορροφούν εύκολα Na, αλλά απορροφούν εύκολα K και ονομάζονται "νατρόφοβα" (Smith et al., 1980; Youssef, 1988). Στα νατρόφοβα είδη το Na που προσλαμβάνουν συνήθως διατηρείται στη ρίζα με σχετικά μικρή μετατόπιση προς τους βλαστούς (Subbarao et al., 2003). Οι Chiy and Phillips (1993) βρήκαν σημαντικές διαφορές στη συγκέντρωση νατρίου ακόμα και μεταξύ των αγρωστωδών ειδών αναφέροντας κατά φθίνουσα σειρά *Lolium perenne* L. > *Dactylis glomerata* L. > *Festuca pratensis* Huds. > *Phleum pratense* L.. Μεγάλες διαφορές υπήρχαν και ανάμεσα στα είδη των ψυχανθών, οι Underwood and Suttle (1999) αναφέρουν ότι το *Trifolium subterraneum* L. και το *Trifolium repens* L. είχαν σημαντικά υψηλότερο νάτριο από το *Medicago sativa* L. και το *Trifolium pratense* L. Εντούτοις, ο Minson (1990) αναφέρει ότι μεταξύ των αγρωστωδών υπάρχουν είδη που είναι νατρόφιλα και νατρόφοβα αλλά μεταξύ των ψυχανθών δεν υπάρχουν είδη που συσσωρεύουν Na. Ο ίδιος συγγραφέας αναφέρει ότι τα αγρωστώδη έχουν υψηλότερη συγκέντρωση νατρίου σε σχέση με τα ψυχανθή, το οποίο επιβεβαιώνεται και από άλλους ερευνητές (Reid and Horvath 1980, Vadzquez de Aldana et al. 1993, Pérez-Corona et al. 1998). Ωστόσο, στην παρούσα έρευνα δεν κατέστη δυνατόν να επιβεβαιωθεί, καθώς δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στην τιμή του Na μεταξύ αγρωστωδών και ψυχανθών και στις δύο περιοχές. Αντίθετα, οι Garcia-Giudad et al. (1997) βρήκαν ότι τα αγρωστώδη είχαν μικρότερη συγκέντρωση Na μεταξύ και των τριών λειτουργικών ομάδων, ενώ μεταξύ των ψυχανθών και των πλατύφυλλων δεν παρατηρήθηκαν διαφορές. Οι Pirhofer-Walzl et al. (2011) σε πειραματικές επιφάνειες με μίξη αγρωστωδών, ψυχανθών και πλατύφυλλων ποών διαπίστωσαν ότι η μέση συγκέντρωση του Na δεν διέφερε σημαντικά μεταξύ των τριών λειτουργικών ομάδων. Οι Tufarelli et al. (2010) σε έρευνα τους σε υπαλπικά λιβάδια στα Αππένινα όρη δεν βρήκαν διαφορές στην τιμή Na μεταξύ πλατύφυλλων και ψυχανθών ειδών. Οι πρόσφατες τελευταίες αυτές έρευνες είναι σε αντιστοιχία με τα ευρήματα της παρούσας έρευνας και των δύο περιοχών.

Παρόμοιες τιμές Na στη λιβαδική παραγωγή υπαλπικών και ορεινών λιβαδιών στη Βόρεια Ελλάδα έχουν βρεθεί και από άλλους ερευνητές (Μουντούσης, 2008; Mountousis et al., 2008). Η συγκέντρωση Na στη λιβαδική παραγωγή ποικίλλει ανάλογα με το επίπεδο τόσο του διαθέσιμου Na και K στο έδαφος, τα οποία λειτουργούν ανταγωνιστικά και υποκαθιστούν το ένα από το άλλο, αλλά και με τα φυτικά είδη που συσσωρεύουν Na (Marschner, 1995). Παράλληλα τα νατρόφοβα είδη που δε λειτουργούν συσσωρευτικά, δεν επηρεάζονται από τις αλλαγές στο έδαφος σε Na και K και δεν υποκαθιστούν το ένα με το άλλο στοιχείο ακόμα και αν υπάρχει ανεπάρκεια σε κάποιο από αυτά (Minson, 1990; Edmeades and O' Connor, 2003). Επομένως, οι αμελητέες συγκεντρώσεις εδαφικού Na και στις δύο περιοχές έρευνας σε συνδυασμό με τα προαναφερόμενα επηρέασαν σε μεγάλο βαθμό τη συγκέντρωση Na στους φυτικούς ιστούς. Οι McDowell (1992) αναφέρουν ότι μια από τις πιο διαδεδομένες ελλείψεις ανόργανων στοιχείων στα βόσκοντα ζώα παγκοσμίως είναι το Na. Για τα αναπτυσσόμενα βοοειδή, οι απαιτήσεις τους σε Na ανέρχονται σε 0,06% ΞΟ (NRC, 1996), ενώ οι ανάγκες συντήρησης των προβάτων ανέρχονται σε 0,09 % ΞΟ (NRC, 1985). Στα λιβάδια των δύο περιοχών και για τις τρεις λειτουργικές ομάδες, όπως είναι

κατανοητό, η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Na υπολείπεται κατά πολύ των συνιστώμενων απαιτήσεων για τη διατροφή τόσο των βοοειδών όσο και των προβάτων καθόλη τη διάρκεια βόσκησης. Τέλος, υψηλά επίπεδα K συνδυασμένα με χαμηλά επίπεδα Na της λιβαδικής βλάστησης μειώνουν την απορρόφηση του Na από το ζωικό οργανισμό. Παράλληλα έχει βρεθεί ότι ο δείκτης K:Na (σε χιλιοστοϊσοδύναμα) που συχνά αναφέρεται ως "bloat index", όταν υπερβαίνει την τιμή 20, μπορεί να αυξήσει τις ανάγκες των ζώων σε χλωριούχο νάτριο εξαιτίας της αύξησης της ποσότητας του Na που αποβάλλεται από το σώμα (Smith and Middleton, 1978). Στα λιβάδια των περιοχών έρευνας ο δείκτης K:Na τους μήνες Μάιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο υπερέβαινε τα ανωτέρω επιτρεπτά όρια. Ωστόσο, ο Λιαμάδης (2003) αναφέρει ότι ο δείκτης K:Na μπορεί ακόμα και να υπερβεί την τιμή 50 χωρίς να υπάρχει καμιά αρνητική επίδραση και ούτε αυξάνεται η αποβαλλόμενη ποσότητα Na από το ζωικό σώμα, εφόσον έχουν καλυφθεί οι ανάγκες των ζώων σε Na. Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα, ότι είναι απαραίτητη η χορήγηση άλατος (χλωριούχου νατρίου) στα βόσκοντα ζώα σε επαρκείς ποσότητες και καθ' όλη την περίοδο βόσκησης και ειδικότερα τους προαναφερόμενους μήνες, ώστε να ικανοποιηθούν οι ανάγκες τους σε Na.

5. 5. 6. Σίδηρος

Ο σίδηρος (Fe) στα φυτά παίζει σπουδαίο ρόλο στις αντιδράσεις μετατροπής ενέργειας, στην αναγωγή των NO_3^- και SO_4^{2-} καθώς και στην αζωτοδέσμευση και στο σχηματισμό της χλωροφύλλης (Αλιφραγκής, 2008). Στο ζωικό οργανισμό ο Fe αποτελεί βασικό συστατικό της αιμογλοβίνης, της μυογλοβίνης και διαφόρων οξειδωτικών ενζύμων. Επίσης, σημαντικός είναι ο φυσιολογικός ρόλος του Fe στην οξειδωτική φωσφορυλίωση, στη μεταφορά ηλεκτρονίων και στη δράση της υπεροξειδάσης (Λιαμάδης, 2003).

Η συγκέντρωση σε Fe της λιβαδικής παραγωγής παρόλο που δεν επηρεάστηκε από το μήνα κοπής και στις δύο περιοχές, παρουσίασε διαφοροποίηση στη διακύμανση ανάμεσα στις δύο περιοχές. Στα εδάφη από ΤΑ μετά το ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου το Μάιο μήνα, υπήρξε απότομη μείωση της τιμής τον Ιούνιο, ενώ έπειτα ακολούθησε ανοδική τάση καταγράφοντας υψηλότερη τιμή το Σεπτέμβριο. Στα εδάφη από G, αντιθέτως, ακολούθησε ανοδική τάση από το ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου μέχρι τον Αύγουστο. Η Kabata-Pendias (2001) αναφέρει ότι οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται μεταξύ των φυτών οφείλονται στην ικανότητά τους να απορροφούν Fe, η οποία δεν είναι πάντα συνεπής και επηρεάζεται από τις μεταβαλλόμενες συνθήκες του εδάφους και του κλίματος, καθώς και από τα στάδια ανάπτυξης των φυτών. Η ίδια ερευνήτρια αναφέρει ότι ο Fe δε μετακινείται εύκολα μέσα στους φυτικούς ιστούς, έτσι η ανεπάρκεια του εμφανίζεται αρχικά στα νεότερα τμήματα του φυτού. Σε παλαιότερες έρευνες έχει βρεθεί ότι τα επίπεδα του σιδήρου ήταν σχετικά χαμηλά στους φυτικούς ιστούς που είχαν έντονη ανάπτυξη (Scheffer et al. 1979). Οι Markovic et al. (2007) αναφέρουν υψηλότερες τιμές των ιχνοστοιχείων στα φύλλα απ'ότι στους βλαστούς στη μηδική, ενώ η συγκέντρωση του Fe και στα δύο τμήματα του φυτού μειωνόταν με την αύξηση της ωριμότητας. Στο ίδιο αποτέλεσμα είχε καταλήξει σε παλαιότερη έρευνα ο Fleming (1970) διαπιστώνοντας ότι ο Fe της λιβαδικής παραγωγής εμφάνιζε μείωση με την αύξηση της ωριμότητας. Αντίθετα, οι Cuesta et al. (1993) και Tiffany et al. (1999) σε ποολίβαδα της Φλόριδας όπου επικρατούσε το αγρωστώδες *Paspalum notatum* Flügge βρήκαν ότι το φαινολογικό στάδιο δεν επηρέασε την συγκέντρωση σε Fe και τα δύο έτη δειγματοληψίας. Ομοίως, οι Khan et al. (2006a) σε ξηρά και άγονα ορεινά θαμνολίβαδα του Πακιστάν, όπου κυριαρχούσαν τα χαμηλού ύψους αγρωστώδη, δεν βρήκαν επίδραση της εποχής στην συγκέντρωση του Fe. Τα αποτελέσματα των δύο προηγούμενων ερευνών ήταν σε αντιστοιχία με αυτά της παρούσας έρευνας. Παράλληλα, ο Smith (1970) διαπίστωσε ότι αγρωστώδη είδη, που αναπτύσσονταν σε υψηλότερες θερμοκρασίες ημέρας-νύχτας είχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις Fe απ' ό,τι όταν αναπτύσσονταν σε σημαντικά

χαμηλότερες θερμοκρασίες, το οποίο επιβεβαιώνει επίσης τη σταδιακή ανοδική τάση της συγκέντρωσης του Fe της λιβαδικής παραγωγής, που παρατηρήθηκε και στις δύο περιοχές έρευνας. Οι Ganskopp and Bohnert (2003) σε έρευνα τους δύο ετών με 7 είδη αγρωστωδών βρήκαν σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ των δύο ετών στην τιμή και στη διακύμανση του Fe. Το πρώτο έτος δειγματοληψίας παρατήρησαν αύξηση της συγκέντρωσης του Fe απ' το ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου μέχρι το μήνα Αύγουστο για όλα τα είδη των αγρωστωδών, το οποίο ήταν σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της περιοχής στα εδάφη από G. Αντίθετα, το δεύτερο έτος δειγματοληψίας στην ίδια έρευνα η τιμή του Fe δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές με το φαινολογικό στάδιο και η συγκέντρωση ήταν σημαντικά μικρότερη από το πρώτο έτος.

Οι Garcia-Giudad et al. (1997) βρήκαν ότι τα πλατύφυλλα είχαν την υψηλότερη συγκέντρωση Fe από όλες τις λειτουργικές ομάδες, ενώ στα αγρωστώδη και στα ψυχανθή δε βρέθηκαν διαφορές μεταξύ τους. Αντίστοιχα οι Drysdale et al. (1980) και οι Boila et al. (1985) δεν βρήκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ αγρωστωδών και ψυχανθών. Οι Underwood and Suttle (1999) αναφέρουν ότι τα πλατύφυλλα και τα αρωματικά φυτά έχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις σιδήρου από τα ψυχανθή και τα αγρωστώδη, ενώ τα αγρωστώδη έχουν τις χαμηλότερες τιμές. Η Kabata-Pendias (2001) αναφέρει ότι οι διακυμάνσεις, που παρατηρούνται μεταξύ των φυτών οφείλονται στην ικανότητά τους να απορροφούν Fe, η οποία δεν είναι πάντα συνεπής και επηρεάζεται από τις μεταβαλλόμενες συνθήκες του εδάφους και του κλίματος και από τα στάδια ανάπτυξης των φυτών. Σε γενικές γραμμές, όμως συμφωνεί ότι ορισμένα πλατύφυλλα, συμπεριλαμβανομένων και κάποιων ψυχανθών, συσσωρεύουν περισσότερο σίδηρο από ό,τι τα αγρωστώδη. Ωστόσο, αγρωστώδη που αναπτύσσονταν σε εδάφη με μητρικό πέτρωμα Σερπεντίτη βρέθηκε να έχουν συγκεντρώσεις μέχρι και 3580 ppm.

Στα εδάφη από TA της παρούσας έρευνας υπήρξε υψηλότερη συγκέντρωση Fe στη λιβαδική παραγωγή απ' ό,τι στα εδάφη από G παρότι υπήρχε μεγαλύτερη συμμετοχή των πλατύφυλλων και ψυχανθών στη συνολική παραγωγή στα εδάφη από G περιοχή απ' ό,τι στα εδάφη από TA. Παρόλο που δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο περιοχών στη συγκέντρωση Fe του εδάφους ($p=0,123$ για το βάθος 0-10 cm και $p=0,073$ για το βάθος 10-20 cm), ωστόσο, η μέση τιμή στα εδάφη από TA ήταν 52 και 66% υψηλότερη για τα βάθη 0-10 cm και 10-20 cm αντίστοιχα από αυτή στα εδάφη από G. Επίσης, το μικρότερο pH στα εδάφη από TA είχε ως αποτέλεσμα την υψηλότερη απορρόφηση του Fe από τα φυτά. Στους ανωτέρω λόγους πιθανά να οφείλονται οι υψηλότερες τιμές Fe της λιβαδικής παραγωγής στα εδάφη της περιοχής από TA.

Μικρή έρευνα έχει γίνει για τη σύσταση της λιβαδικής παραγωγής σε ιχνοστοιχεία σε υπαλπικά ή ορεινά λιβάδια στην Ελλάδα. Ο Μουντούσης (2008) σε υπαλπικά λιβάδια του όρους Βαρνούντα βρήκε σημαντικά χαμηλότερες τιμές Fe καθόλη τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου, ενώ και οι Mountousis et al (2008) σε ορεινά λιβάδια της Δυτικής Μακεδονίας βρήκαν επίσης χαμηλότερες τιμές Fe από τις περιοχές της παρούσας έρευνας, οι οποίες δεν κάλυπταν τις ανάγκες των βόσκοντων ζώων. Ωστόσο, η έλλειψη Fe στα αγροτικά ζώα, που βόσκουν σε φυσικούς βοσκότοπους, είναι ασυνήθιστη, διότι οι περισσότερες βοσκές περιέχουν περισσότερο Fe από τον απαραίτητο για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες των ζώων (McDowell and Valle, 2000; Manske, 2002; Lalman, 2004). Οι απαιτήσεις των βοοειδών κρεοπαραγωγής σε Fe είναι περίπου 50 mg/kg ΞΟ (NRC, 2000), ενώ των προβάτων κυμαίνονται είναι 30 mg/kg ΞΟ (NRC, 1985). Επομένως, είναι πασιφανές ότι οι ανάγκες συντήρησης των προβάτων και των βοοειδών κρεοπαραγωγής σε Fe, που βόσκουν στα λιβάδια των δύο περιοχών καλύπτονται επαρκώς καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου βόσκησης. Ωστόσο, οι Mtui et al. (2007) αναφέρουν κάτω των επιτρεπτών ορίων Fe στο αίμα

αγελάδων, που έβοσκαν σε βοσκότοπους την περίοδο βόσκησης με υψηλές βροχοπτώσεις παρόλο, που στη βλάστηση την ίδια περίοδο αναφέρεται 270 ppm συγκέντρωση Fe. Αντίθετα, την ξηρή περίοδο βόσκησης που η συγκέντρωση της βλάστησης ήταν σημαντικά χαμηλότερη σε Fe, 170 ppm, τα επίπεδα στο αίμα ήταν πάνω από τα φυσιολογικά όρια.

5. 5. 7. Ψευδάργυρος

Ο ψευδάργυρος (Zn) είναι στοιχείο απαραίτητο σε όλα τα φυτά, συμμετέχει σε λειτουργίες που σχετίζονται με το μεταβολισμό των υδατανθράκων, πρωτεϊνών, ενώ επιταχύνει την παραγωγή των αυξινών, του RNA και τη σποροπαραγωγή (Καρατάγλης, 1995). Στο ζωικό οργανισμό απαντάται περισσότερο στους επιδερμικούς ιστούς, στα οστά, τα ζωτικά όργανα, στο αίμα και άλλα όργανα. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι αποτελεί απαραίτητο στοιχείο διαφόρων ενζύμων και είναι βασικό συστατικό της RNA και DNA πολυμεράσης (Λιαμάδης, 2003).

Η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Zn το πρώτο έτος δειγματοληψίας εμφάνισε υψηλότερη τιμή τον ίδιο μήνα που κορύφωσε η λιβαδική παραγωγή για κάθε περιοχή. Ωστόσο, παρατηρήθηκε διαφοροποίηση στις μηνιαίες αυξομειώσεις μεταξύ των δύο περιοχών. Στα εδάφη από TA παρόλο που ο μήνας κοπής δεν είχε επίδραση, η τιμή του Zn εμφάνισε αυξητική τάση μέχρι το μήνα Αύγουστο, ενώ, αντίθετα, στα εδάφη από G η επίδραση του μήνα κοπής ήταν σημαντική, καθώς υπήρξε απότομη αύξηση με υπερτριπλασιασμό της τιμής το μήνα Ιούλιο. Το δεύτερο έτος δειγματοληψίας υπήρξαν διαφοροποιήσεις μεταξύ των τριών ομάδων, καθώς τα αγρωστώδη εμφάνισαν υψηλότερη τιμή στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου, ενώ τα πλατύφυλλα στο τέλος αυτής και στις δύο περιοχές. Ως εκ τούτου η συγκέντρωση των φυτικών ειδών σε Zn στα φυσικά λιβάδια επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένου του είδους των φυτών, του σταδίου ωριμότητάς τους και της συγκέντρωσης του εδάφους σε Zn (Manske, 2002).

Υψηλές τιμές του pH του εδάφους (> 5,5) γενικά μειώνουν την κινητικότητα και διαθεσιμότητα του Zn στα φυτά (Anderson and Christensen, 1988; Stahl and James, 1991). Σε όξινες εδαφικές συνθήκες, όπως των περιοχών έρευνας, τα ιόντα Zn^{+2} προσροφούνται από τα κολλοειδή του εδάφους λιγότερο σε σχέση με τα άλλα μέταλλα γι' αυτό το λόγο παρουσιάζουν αυξημένη κινητικότητα και προσροφούνται ευκολότερα από τα φυτά (Αλιφραγκής, 2008). Επίσης, αυξημένα επίπεδα οργανικής ουσίας στο έδαφος αυξάνουν τις ανταλλάξιμες και οργανικές μορφές Zn και μειώνουν τα οξειδία του Zn στο έδαφος, λόγω των αναγωγικών συνθηκών που ενισχύουν τη βιοδιαθεσιμότητα του Zn. Επομένως, γίνεται κατανοητό ότι οι εδαφικές συνθήκες και των δύο περιοχών έρευνας ενόησαν σε μεγάλο βαθμό την αύξηση της συγκέντρωσης Zn στους φυτικούς ιστούς.

Χαμηλές θερμοκρασίες εδάφους κάτω από το βέλτιστο όριο ανάπτυξης των φυτών μπορεί να μειώσουν την απορρόφηση ψευδαργύρου από το έδαφος ή ακόμα και να μειωθεί η μετατόπιση του μετάλλου από τις ρίζες στους βλαστούς, όταν, όμως, η θερμοκρασία αυξανόταν, αντίστοιχα αυξήθηκαν και οι συγκεντρώσεις Zn στους ιστούς των φυτών (Martin et al., 1965; Edwards and Kamprath, 1974). Ο Smith (1970) αναφέρει ότι αγρωστώδη είδη που αναπτύσσονταν σε θερμοκρασίες ημέρας-νύχτας 32° και 24°C, αντίστοιχα είχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις Zn απ' ό,τι όταν αναπτύσσονταν σε θερμοκρασίες 18° και 10° C, αντίστοιχα. Τα ίδια αποτελέσματα είχαν παρατηρηθεί και σε φυτά που αναπτύσσονταν σε ξηρές συνθήκες, καθώς η κίνηση του Zn προς τις ρίζες γίνεται, κυρίως με διάχυση (Warncke and Barber, 1972). Τα ανωτέρω συμφωνούν με τις χαμηλότερες τιμές Zn που βρέθηκαν το πρώτο έτος στο ξεκίνημα της βλαστικής περιόδου σε σχέση με τα επόμενα στάδια ωρίμανσης στις περιοχές της παρούσας έρευνας κατά το πρώτο έτος δειγματοληψίας, ενώ με τη σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας, αυξήθηκε αντίστοιχα και η συγκέντρωση Zn της λιβαδικής

παραγωγής μέχρι το στάδιο ωρίμανσης των φυτών. Αντίθετα, το δεύτερο έτος οι ξηροθερμικές συνθήκες που επικρατούσαν είχαν ως αποτέλεσμα τις μειωμένες τιμές Zn σε σχέση με το προηγούμενο έτος δειγματοληψίας, ενώ η αύξηση της ωριμότητας επίδρασε αρνητικά μόνο στα αγρωστώδη είδη.

Η Kabata-Pendias (2001) αναφέρει ότι ο ψευδάργυρος έχει μεγάλη κινητικότητα μέσα στους ιστούς των φυτών, καθώς βρίσκεται συνδεδεμένος με άλλα οργανικά συστατικά στο φλοιό αλλά και σε άλλους ιστούς του φυτού, ενώ, όταν η πρόσληψη ψευδαργύρου από το έδαφος είναι υψηλή, μπορεί να μετακινείται απ' τις ρίζες και να συσσωρεύεται στα ανώτερα μέρη του φυτού. Οι βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με την επίδραση της ωριμότητας των φυτών στην συγκέντρωση Zn είναι αντικρουόμενες. Ο MacPherson (2000) σε ανασκόπηση παλαιότερων εργασιών αναφέρει ότι τα φύλλα αγρωστωδών έχουν υψηλότερα επίπεδα ψευδαργύρου απ' ό,τι οι βλαστοί και οι μίσχοι, ενώ οι ταξιανθίες είχαν την υψηλότερη συγκέντρωση απ' όλα τα τμήματα του φυτού. Οι Markovic et al. (2007) αναφέρουν υψηλότερες τιμές όλων των ιχνοστοιχείων στα φύλλα απ' ό,τι στους βλαστούς στη μηδική, ενώ ο Fe και ο Zn μειωνόταν με την αύξηση της ωριμότητας. Επομένως, παρόλο που θα αναμενόταν ότι με την αύξηση της ωριμότητας τα επίπεδα ψευδαργύρου θα μειώνονταν εξαιτίας της αύξησης του ποσοστού των βλαστών (McDowell, 2003), εντούτοις, το αποτέλεσμα αυτό δεν ήταν πάντα επιβεβαιωμένο. Το ίδιο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε στις περιοχές της παρούσας έρευνας που στα αγρωστώδη είδη και των δύο περιοχών υπήρξε σταδιακή μείωση της τιμής του Zn με την ωριμότητα, ενώ, αντίθετα, στα πλατύφυλλα και ψυχανθή είδη παρατηρήθηκαν διακυμάνσεις στις τιμές του μετάλλου στο τελευταίο στάδιο ωρίμανσης των φυτών. Οι Kabata-Pendias and Pendias (1992) αναφέρουν υψηλές συγκεντρώσεις Zn σε ώριμα και γηρασμένα φύλλα των φυτών. Οι Scheffer et al. (1979) ανέφεραν υψηλότερη συγκέντρωση ψευδαργύρου των φύλλων και των μεσογονάτιων διαστημάτων του κριθαριού κατά τη διάρκεια της έντονης ανάπτυξης. Παράλληλα οι Ylärinta et al. (1979) παρατήρησαν μικρή αύξηση της συγκέντρωσης του ψευδαργύρου στο σιτάρι κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης. Αντίστοιχα οι Cuesta et al. (1993) σε ποολίβαδα της Φλόριδας βρήκαν υψηλότερες τιμές Zn στο αρχικό ή κύριο στάδιο της αυξητικής περιόδου σε σχέση με το τελευταίο στάδιο ωρίμανσης της βλάστησης. Σε νεότερες έρευνες οι Khan et al. (2007) και οι Pirhofer-Walzl et al. (2011) σε πειραματικές επιφάνειες με μίξη από αγρωστώδη, ψυχανθή και πλατύφυλλα είδη αναφέρουν αύξηση της τιμής του Zn της λιβαδικής παραγωγής με την ωριμότητα. Ενώ οι Pirhofer-Walzl et al. (2011) βρήκαν επίσης ότι τα αγρωστώδη και τα πλατύφυλλα είχαν υψηλότερες τιμές Zn στην τρίτη κοπή απ' ό,τι στην πρώτη κοπή αλλά στα ψυχανθή δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων. Ωστόσο, κάποιοι άλλοι ερευνητές διαπίστωσαν μείωση της τιμής του Zn της λιβαδικής παραγωγής που κυριαρχούσαν τα αγρωστώδη είδη με την αύξηση της ωριμότητας (Perez-Corona et al., 1998). Αντίστοιχα οι Ganskopp and Bohnert (2003) σε διαφορετικά αγρωστώδη είδη παρατήρησαν μείωση της συγκέντρωσης Zn με την αύξηση της ωριμότητας των φυτών το οποίο ήταν σε συμφωνία με την πτωτική τάση της τιμής του Zn που παρουσιάστηκε στα αγρωστώδη είδη και στις δύο περιοχές της παρούσας έρευνας. Οι Gladstones et al. (1970) σε παλαιότερη έρευνα βρήκαν ότι η συγκέντρωση ψευδαργύρου μειωνόταν με την αύξηση της ωρίμανσης της λιβαδικής βλάστησης, ενώ δεν επηρεαζόταν από την εφαρμογή λίπανσης ψευδαργύρου στο έδαφος. Σε πρόσφατες έρευνες στην Ελλάδα ο Μουντούσης (2008) σε λιβάδια τριών υψομετρικών ζωνών του όρους Βαρνούντα βρήκε και στις τρεις ζώνες σταδιακή μείωση της τιμής του Zn με την ανάπτυξη των φυτών, παρουσιάζοντας μια απότομη εκτίναξη της τιμής τον μήνα Αύγουστο και επίσης απότομη μείωση τους υπολοίπους μήνες της βλαστικής περιόδου. Σε ορεινά λιβάδια της Σιάτιστας οι Mountousis et al. (2008) βρήκαν αρνητική συσχέτιση της συγκέντρωσης του Zn της λιβαδικής παραγωγής με το μήνα κοπής αλλά παρατηρήθηκε σταδιακή αύξηση στο τέλος της αυξητικής περιόδου (Σεπτέμβριο-Οκτώβριο) που εμφανίστηκε στα πλατύφυλλα είδη και των

δύο περιοχών της παρούσας έρευνας. Αντίθετα, οι Tiffany et al. (1999) σε ποολίβαδα της Φλόριδα αναφέρουν ότι η συγκέντρωση Zn της λιβαδικής παραγωγής σε δείγματα που ελήφθησαν σε δύο έτη δειγματοληψίας δεν επηρεάστηκε από το φαινολογικό στάδιο της βλαστησης. Στο ίδιο συμπέρασμα είχαν καταλήξει παλαιότερα και άλλοι ερευνητές (Gomide et al., 1969; Hendricksen and Minson, 1980), καθώς δεν βρήκαν διαφορές ανάλογα με το στάδιο ωρίμανσης ακόμα και σε διαφορετικά είδη φυτών. Η Kabata-Pendias (2001) αναφέρει ότι, όταν η πρόσληψη ψευδαργύρου από το έδαφος είναι υψηλή, σε πολλά είδη φυτών γίνεται κινητοποίηση σημαντικών ποσοτήτων ψευδαργύρου από τα ώριμα φύλλα σε νεότερους αναπτυσσόμενους ιστούς, αυξάνοντας επομένως τη συγκέντρωση του Zn στους φυτικούς ιστούς με την ανάπτυξη των φυτών. Όταν, όμως, η πρόσληψη ψευδαργύρου από το έδαφος είναι ανεπαρκής τότε στα ίδια είδη φυτών παρουσιάζεται ελάχιστη ή μηδενική κινητοποίηση του μετάλλου από τα ώριμα φύλλα, εμφανίζοντας έτσι σταδιακή μείωση της τιμής του Zn στους φυτικούς ιστούς με την ανάπτυξη της βλαστικής περιόδου. Εξηγώντας έτσι σε μεγάλο βαθμό τα αντικρουόμενα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας αλλά και τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας.

Ο MacPherson (2000) αναφέρει ότι τα ψυχανθή τείνουν να συσσωρεύουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ψευδαργύρου απ' ό,τι τα αγρωστώδη, ειδικά, όταν τα εδάφη που αναπτύσσονται περιέχουν υψηλότερα επίπεδα ψευδαργύρου, τότε η διαφορά αυξάνεται. Επίσης και οι Garcia-Giudad et al. (1997) βρήκαν ότι τα αγρωστώδη είδη είχαν την μικρότερη συγκέντρωση Zn από όλες τις λειτουργικές ομάδες, ενώ στα πλατύφυλλα και τα ψυχανθή δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Η διαπίστωση των προηγούμενων ερευνητών συμφωνεί απόλυτα με τα αποτελέσματα στις δύο περιοχές, εντούτοις, η διαφορά αυτή δεν υπήρξε στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης αποδεικνύοντας ότι το στάδιο ωρίμανσης σε συνδυασμό με τις κλιματικές συνθήκες επιδρούν σε μεγάλο βαθμό μόνο στα αγρωστώδη είδη. Οι Drysdale et al. (1980) σε ποολίβαδα του Καναδά σε δειγματοληψία δύο ετών, βρήκαν υψηλότερες τιμές Zn στα ψυχανθή σε σχέση με τα αγρωστώδη μόνο το πρώτο έτος δειγματοληψίας, ενώ το δεύτερο έτος δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές. Στην παρούσα έρευνα το γεγονός ότι ο εδαφικός Zn ήταν σημαντικά υψηλότερος στα εδάφη από TA απ' ό,τι στα εδάφη από G το οποίο επηρεάζει την τιμή του μετάλλου και στις τρεις λειτουργικές ομάδες, αλλά απ' την άλλη η υψηλότερη συμμετοχή των πλατύφυλλων και ψυχανθών στη λιβαδική παραγωγή στα εδάφη από G σε σχέση με τα εδάφη από TA μπορεί να αποδώσει τις ασήμαντες διαφορές που παρουσιάζει η μέση συγκέντρωση Zn της λιβαδικής παραγωγής μεταξύ των δύο περιοχών ($p > 0,05$). Το ανωτέρω καταδεικνύει ότι η χλωριδική σύνθεση παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο με την συγκέντρωση του εδάφους σε Zn στη συγκέντρωση του μετάλλου στη λιβαδική παραγωγή.

Οι απαιτήσεις των βοοειδών κρεοπαραγωγής σε Zn είναι 30 mg/kg ΞΟ (NRC, 2000). Οι αντίστοιχες απαιτήσεις των προβάτων κυμαίνονται μεταξύ 20 - 33 mg/kg ΞΟ (NRC, 1985). Από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας είναι πασιφανές ότι η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε Zn υπερκάλυπτε τις ανάγκες των βοοειδών και προβάτων που έβοσκαν και στις δύο περιοχές έρευνας καθόλη την περίοδο βόσκησης και τα δύο έτη δειγματοληψίας.

5. 5. 8. Χαλκός

Ο χαλκός (Cu) στα φυτά είναι σημαντικό στοιχείο για τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης, το μεταβολισμό των πρωτεϊνών και των υδατανθράκων καθώς και τη δέσμευση του αζώτου (Αλιφραγκής, 2008). Στα ζώα λαμβάνει μέρος στη σύνθεση της αιμοσφαιρίνης και σε διάφορες οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις (Manske, 2002; Λιαμάδης, 2003).

Η συγκέντρωση των ποωδών ειδών σε Cu στα φυσικά λιβάδια εμφανίζει μεγάλη διακύμανση και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι το είδος των φυτών της περιοχής, οι κλιματικές και εδαφικές συνθήκες, το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και η διαθεσιμότητα του στοιχείου στο έδαφος (Underwood, 1981). Σημαντικοί εδαφικοί παράγοντες που επιδρούν στην πρόσληψη του Cu από τα φυτά είναι το pH και η οργανική ουσία. Στα όξινα εδάφη παρατηρείται αυξημένη απορρόφηση Cu από τα φυτά, ωστόσο, οι Alva et al. (2000) αναφέρουν ότι σε όξινα αμμώδες εδάφη το μεγαλύτερο τμήμα του συνολικού Cu ήταν οργανικά δεσμευμένο και γενικά οι μορφές αυτές είναι μη διαθέσιμες για τα φυτά (Mathur and Levesque, 1983), αλλά διαλύεται, όταν το pH του εδάφους αυξάνεται. Αντίστοιχα οι Moraghan and Mascagni (1991) αναφέρουν ότι χαμηλά επίπεδα Cu στο έδαφος με υψηλή οργανική ουσία σε συνδυασμό με αδιάλυτες μορφές συμπλόκων, οδηγούν σε ανεπάρκεια Cu σε ορισμένα φυτά. Επομένως, η υψηλή οργανική ουσία των εδαφών των περιοχών έρευνας πιθανόν να είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την διαθεσιμότητα του μετάλλου και επομένως τις συγκεντρώσεις του Cu στα υπαλπικά λιβάδια των δύο περιοχών. Ωστόσο, η μη ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ της συγκέντρωσης Cu και των εδαφικών παραμέτρων πιθανόν να οφείλεται στην εσωτερική μετακίνηση του μετάλλου από τις θέσεις που αποθηκεύονται οι αποθησαυριστικές ουσίες (ρίζα, στέλεχος) καθώς και από το στάδιο στο οποίο ωριμάζουν οι σπόροι.

Η θερμοκρασία μπορεί να επηρεάσει επίσης την κινητικότητα και να αυξομειώσει τη διαλυτότητα του οργανικά δεσμευμένου στο έδαφος Cu, καθώς και την απόκτησή του από τα φυτά (Moraghan and Mascagni, 1991; Stevenson and Fitch, 1981). Για παράδειγμα, η αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ 8-20⁰C προκαλεί αυξημένη πρόσληψη του Cu από τα φυτά που αναπτύσσονται σε όξινα οργανικά εδάφη (MacMillan and Hamilton, 1971). Ωστόσο, ο Smith (1970) αναφέρει ότι τα αγρωστώδη είδη *Bromus inermis* Leyss., και *Phleum pratense* L. που αναπτύσσονταν σε θερμοκρασίες ημέρας-νύχτας 32⁰ και 24⁰C αντίστοιχα, είχαν μικρότερες συγκεντρώσεις Cu απ' ότι όταν αναπτύσσονταν σε θερμοκρασίες 18⁰ και 10⁰ C αντίστοιχα. Αντίθετα, βρέθηκαν υψηλότερες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων Zn, Mn και Fe στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Επίσης, η υγρασία του εδάφους επιδρά στην πρόσληψη του μετάλλου, καθώς σε παλαιότερη έρευνα διαπιστώθηκε ότι στο αγρωστώδες *Lolium spp* αυξήθηκε η συγκέντρωση Cu στους ιστούς, όταν οι ρίζες είχαν πρόσβαση σε νερό (Nambiar, 1977). Παράλληλα οι Sprinkle et al. (2000) σε βοσκότοπους της Αριζόνα όπου η βλάστηση ήταν ελλειμματική σε Cu διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση του μετάλλου στη βλάστηση αυξανόταν, όταν αυξανόταν η υγρασία εδάφους ανεξάρτητα απ' την εποχή του έτους. Αντίθετα, σε εδάφη με χαμηλή υγρασία σε πείραμα με εφαρμογή Cu τα φυτά είχαν μικρότερη πρόσληψη (Mortvedt, 2000). Οι ανωτέρω διαπιστώσεις έρχονται σε συμφωνία με τα ευρήματα της παρούσας έρευνας στην οποία διαπιστώθηκε η αντίθετη τάση διακύμανσης της συγκέντρωσης του Cu με τα άλλα ιχνοστοιχεία.

Σύμφωνα με τη Kabata-Pendias (2001) ο Cu έχει χαμηλή κινητικότητα σε σχέση με τα άλλα ανόργανα στοιχεία μέσα στους φυτικούς ιστούς και περισσότερο εμφανίζεται να παραμένει στις ρίζες και στα φύλλα μέχρι να ξεραθούν, ενώ μόνο μικρές ποσότητες μπορεί να κινηθούν στα νέα όργανα του φυτού. Οι Markovic et al. (2007) αναφέρουν υψηλότερες τιμές όλων των ιχνοστοιχείων στα φύλλα απ' ό,τι στους κλαδίσκους και τους βλαστούς στη μηδική, ωστόσο στο Cu δεν παρατηρήθηκαν διαφορές με το στάδιο ωρίμανσης των φυτών. Αντίστοιχα ο MacPherson (2000) αναφέρει ότι τα φύλλα των αγρωστώδων που αναπτύσσονται σε εύκρατες περιοχές είχαν 35% περισσότερο Cu από τους βλαστούς, ενώ η διαφορά αυτή μειωνόταν σημαντικά στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης. Ο ίδιος συγγραφέας αναφέρει ότι η μείωση της συγκέντρωσης του χαλκού με την αύξηση της ωριμότητας οφείλεται στη μειωμένη αναλογία φύλλων/βλαστούς. Παράλληλα, η Kabata-Pendias (2001)

αναφέρει ότι οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του Cu στους βλαστούς είναι πάντοτε στη φάση έντονης ανάπτυξης του φυτού και όταν υπάρχει ικανοποιητική απορρόφηση από το έδαφος. Η πτωτική τάση της συγκέντρωσης του Cu όσο αυξάνεται η ηλικία των φυτών έχει επιβεβαιωθεί από αρκετούς ερευνητές, συγκεκριμένα ο Sousa (1978) αναφέρει ότι ο Cu είναι συνδυασμένος με τους νέους ιστούς των φυτών και όσο τα φυτά ωριμάζουν μετακινείται από το υπέργειο μέρος του φυτού προς το ριζικό σύστημα. Οι MacDonald and Wilson (1980) βρήκαν ότι η συγκέντρωση του Cu σε νεαρά φυτά της *Avena sativa* L. ήταν 9,4 ppm και έπεφτε στα 3,2 ppm στο στάδιο γαλακτικής υψής των καρπών. Σε παλαιότερη έρευνα ο Fleming (1970) αναφέρει ότι ο Fe και ο Cu της λιβαδικής παραγωγής εμφανίζει μείωση με τη αύξηση της ωριμότητας. Οι Cuesta et al. (1993) σε ποολίβαδα της Φλόριδας όπου κυριαρχούσε το αγρωστώδες *Paspalum notatum* (Flugge) βρήκαν ότι η εποχή επηρέασε την συγκέντρωση σε Cu της λιβαδικής παραγωγής εμφανίζοντας υψηλότερες τιμές στο αρχικό στάδιο της αυξητικής περιόδου σε σχέση με το τελευταίο στάδιο ωρίμανσης της βλάστησης. Οι Perez-Corona et al. (1998) σε δασολίβαδα της Ισπανίας μεσογειακών ξηροθερμικών συνθηκών σε διαφορετικές υψομετρικές διαβαθμίσεις βρήκαν απότομη μείωση της τιμής του Cu με την αύξηση της ωριμότητας της βλάστησης. Σε παρόμοια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Ganskopp and Bohnert (2003) σε έρευνα τους δύο ετών με 7 είδη αγρωστωδών σε στεπνώδη φρυγανολίβαδα των ΗΠΑ. Οι Khan et al. (2006a) σε ξηρά και άγονα ορεινά θαμνολίβαδα του Πακιστάν όπου κυριαρχούσαν τα χαμηλού ύψους αγρωστώδη, παρόλο που δεν βρήκαν σημαντική επίδραση της εποχής στην συγκέντρωση του Cu της λιβαδικής παραγωγής, εντούτοις η τιμή του μειωνόταν με την αύξηση της ωριμότητας. Οι Kincaid and Cronrath (1983) αναφέρουν ότι σημαντικό ποσοστό του Cu ήταν συνδεδεμένο με τα κυτταρικά τοιχώματα στα φύλλα της μηδικής, το οποίο εμποδίζει την κίνηση του μετάλλου. Επομένως, οι νέοι ιστοί είναι επιρρεπείς σε ανεπάρκειες από το στοιχείο αυτό.

Το συγκεκριμένο αυτό πρότυπο της πτωτικής τάσης της συγκέντρωσης του Cu με το φαινολογικό στάδιο, που εμφανιζόταν στη βιβλιογραφία ήταν επιβεβαιωμένο και στην παρούσα έρευνα των δύο περιοχών και στα δύο έτη δειγματοληψίας, αν και στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας παρατηρήθηκε ηπιότερη πτώση της συγκέντρωσης του μετάλλου ιδιαίτερα στα εδάφη από ΓΑ μεταξύ των λειτουργικών ομάδων. Ωστόσο, σε ορεινά λιβάδια της Σιάτιστας οι Mountousis et al. (2008) παρατήρησαν απότομη εκτίναξη της συγκέντρωσης του Cu της λιβαδικής παραγωγής τον μήνα Αύγουστο, ενώ τους υπόλοιπους μήνες δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές μεταβολές. Επίσης, σε έρευνα στην Βόρεια Ελλάδα ο Μουντούσης (2008) σε λιβάδια τριών υψομετρικών ζωνών του όρους Βαρνούντα βρήκε ότι στην υπαλπική ζώνη η υψηλότερη τιμή του Cu καταγράφηκε στο τέλος της αυξητικής περιόδου το μήνα Σεπτέμβριο, ενώ, αντίθετα, στις χαμηλότερες ζώνες η υψηλότερη τιμή του Cu ήταν στην αρχή της αυξητικής περιόδου εμφανίζοντας ένα δεύτερο υψηλό το μήνα Σεπτέμβριο. Παράλληλα, ο ίδιος ερευνητής βρήκε σημαντική επίδραση του έτους δειγματοληψίας στην συγκέντρωση Cu της λιβαδικής παραγωγής, καθώς το δεύτερο έτος που επικρατούσαν έντονες ξηροθερμικές συνθήκες η τιμή του μετάλλου στη βλάστηση εμφανιζόταν σημαντικά υψηλότερη απ' ό,τι στο πρώτο έτος δειγματοληψίας. Αντίστοιχο ήταν το αποτέλεσμα στα υπαλπικά λιβάδια των δύο περιοχών έρευνας που στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας βρέθηκαν υψηλότερες τιμές Cu σε σχέση με το πρώτο έτος δειγματοληψίας.

Ο MacPherson (2000) σε ανασκόπηση για τα ιχνοστοιχεία της λιβαδικής βλάστησης αναφέρει ότι σε λιβάδια της Μ. Βρετανίας τα πλατύφυλλα είδη καθώς και τα αρωματικά φυτά είχαν υψηλότερη συγκέντρωση χαλκού από τα αγρωστώδη, ενώ τα ψυχανθή παρόλο που είχαν υψηλότερη συγκέντρωση χαλκού από τα αγρωστώδη υπολείπονταν έναντι των πλατύφυλλων ειδών. Ωστόσο, οι Garcia-Giudad et al. (1997) βρήκαν ότι τα αγρωστώδη είδη είχαν τη μικρότερη συγκέντρωση Cu από όλες τις λειτουργικές ομάδες, ενώ τα ψυχανθή είχαν την υψηλότερη τιμή, με τα πλατύφυλλα να έχουν ενδιάμεσες τιμές μεταξύ των αγρωστωδών

και των ψυχανθών. Οι Drysdale et al. (1980) σε ποολίβαδα του Καναδά δειγματοληψίας δύο ετών βρήκαν υψηλότερες τιμές Cu στα ψυχανθή σε σχέση με τα αγρωστώδη και τα δύο έτη δειγματοληψίας. Οι Garmo et al. (1986) σε υπαλπικές και αλπικές δασώδεις περιοχές της νότιας Νορβηγίας βρήκαν ελαφρώς υψηλότερες συγκεντρώσεις Cu στα πλατύφυλλα είδη απ' ό,τι στα ψυχανθή, ενώ τα αγρωστώδη είδη είχαν τη μικρότερη τιμή. Παράλληλα οι ίδιοι ερευνητές βρήκαν ότι κάποια πλατύφυλλα είδη, όπως τα *Ranunculus acris* L. και *Ranunculus glacialis* L., είχαν τις υψηλότερες τιμές από όλα τα είδη, ενώ το αγρωστώδες *Poa alpina* L. είχε παραπλήσιες συγκεντρώσεις με τα ψυχανθή και τα πλατύφυλλα.

Στις περιοχές της παρούσας έρευνας εμφανίστηκε η μέση μηνιαία συγκέντρωση του Cu των αγρωστωδών να υπολείπεται εν μέρη απ' αυτές των πλατύφυλλων ή των ψυχανθών χωρίς όμως να είναι ξεκάθαρο, αφού διαφοροποιούταν ανάλογα με την περιοχή, ενώ μέχρι το στάδιο της ανθοφορίας δεν παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των λειτουργικών ομάδων. Αντίστοιχα οι Pirhofer-Walzl et al. (2011) σε πειραματικές επιφάνειες με μίξη διάφορων ειδών διαπίστωσαν ότι στην πρώτη κοπή τα αγρωστώδη είχαν τη μικρότερη τιμή σε Cu, ενώ μεταξύ των πλατύφυλλων και των ψυχανθών δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές. Αντίθετα, στην τρίτη κοπή βλάστησης μεταξύ των ψυχανθών και των αγρωστωδών δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές. Ωστόσο, σε τροπικές περιοχές έχει αναφερθεί από διάφορους ερευνητές ότι τα τροπικά ψυχανθή έχουν μικρότερη συγκέντρωση Cu από τα αγρωστώδη (Maskall and Thornton, 1989; Minson, 1990).

Η σημαντικά υψηλότερη εδαφική συγκέντρωση Cu στα εδάφη από TA σε σχέση με τα εδάφη από G και η υψηλότερη συμμετοχή των ψυχανθών και πλατύφυλλων στη λιβαδική παραγωγή στα εδάφη της περιοχής από G σε σχέση με την περιοχή των εδαφών από TA μπορεί να ερμηνεύσουν ως ένα βαθμό τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Γενικά, υπάρχει μια διχογνωμία σχετικά με το αν επηρεάζει το έδαφος περισσότερο ή το είδος του φυτού τη συγκέντρωση του Cu στους φυτικούς ιστούς. Οι Anke et al. (1975) βρήκαν σημαντική διαφοροποίηση στις συγκεντρώσεις του Cu στο *Trifolium pratense* L. από διαφορετικά εδάφη, ενώ, αντίθετα, οι Kähäri and Nissinen (1978) βρήκαν σχετικά ομοιόμορφες συγκεντρώσεις στο *Phleum pratense* L. παρότι ήταν από διαφορετικά εδάφη. Επίσης, μεγάλες διαφορές έχουν βρεθεί στις συγκεντρώσεις Cu μεταξύ των αγρωστωδών ειδών (Jumba et al., 1995), αλλά και μεταξύ του ίδιου είδους το οποίο έχει αναπτυχθεί σε διαφορετικά εδαφοκλιματικά περιβάλλοντα (Montalvo-Hernandez et al., 1984). Επομένως, στην παρούσα έρευνα μπορεί να υποτεθεί ότι η υψηλότερη συγκέντρωση Cu των ψυχανθών στα εδάφη της περιοχής από TA οφείλεται στην παρουσία κυρίως των *Trifolium sp.* και *Genista sp.* τα οποία αποτελούσαν την παραγωγή των ψυχανθών στη συγκεκριμένη περιοχή σε σχέση με τα εδάφη από G, όπου κυριαρχούσαν τα είδη *Vicia canescens* Labill και *Chamaecytisus supinus* L. και λιγότερο είδη τριφυλλιών. Τα ανωτέρω καταδεικνύουν ότι η διαφορετική χλωριδική σύνθεση ακόμα και ανάμεσα σε κάθε λειτουργική ομάδα μπορεί να εξισορροπήσει σε μεγάλο βαθμό τις διαφορετικές εδαφικές συγκεντρώσεις Cu τα οποία μπορούν να δικαιολογήσουν τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας.

Η συγκέντρωση σε Cu στα φυσικά λιβάδια είναι συχνά χαμηλότερη από τις ανάγκες των βόσκοντων ζώων (Pérez-Corona et al., 1998; McDowell, 2003). Οι διατροφικές ανάγκες των αναπτυσσόμενων βοοειδών κρεοπαραγωγής σε Cu ανέρχονται σε 10 mg/kg ΕΟ (NRC, 2000). Οι αντίστοιχες απαιτήσεις των προβάτων κυμαίνονται μεταξύ 7 – 11 mg/kg ΕΟ (NRC, 1985). Ο Λιαμάδης (2003) αναφέρει ότι οι ημερήσιες ανάγκες των προβάτων είναι ως 5 mg/kg ΕΟ, καθώς τα περιθώρια ασφάλειας ανάμεσα στα κανονικά και τα τοξικά επίπεδα του Cu στο σιτηρέσιο των προβάτων είναι πολύ περιορισμένα. Επίσης, ελαττωμένη απορρόφηση του Cu από το ζωικό οργανισμό μπορεί να προκαλέσει η αυξημένη συγκέντρωση και διαθεσιμότητα σε Mo και θειικά άλατα. Το Mo ασκεί περιοριστική επίδραση στη

συγκράτηση του Cu στο ζωικό σώμα, ενώ τα θειικά άλατα μπορεί να επιδεινώσουν ή και να βελτιώσουν τις τοξικές επιδράσεις του Ωμό ανάλογα με τις εφεδρείες του ζώου σε Cu (Λιαμάδης, 2003). Γίνεται συνεπώς αντιληπτό ότι η συγκέντρωση σε Cu της λιβαδικής παραγωγής και των δύο περιοχών ήταν επαρκής να καλύψει τις ανάγκες των αναπτυσσόμενων βοοειδών μόνο το δεύτερο έτος δειγματοληψίας και καθόλη τη διάρκεια βόσκησης για τα είδη των ψυχανθών και πλατύφυλλων, ενώ στα αγρωστώδη είδη μέχρι το στάδιο της ανθοφορίας. Αντίστοιχα οι ελάχιστες ανάγκες των προβάτων καλύπτονταν καθόλη τη διάρκεια βόσκησης κατά το δεύτερο έτος δειγματοληψίας και μόνο τους μήνες Μάιο και Ιούνιο το πρώτο έτος δειγματοληψίας και στις δύο περιοχές. Ωστόσο, οι Khan et al. (2008) σε βοσκότοπο σε περιοχή του Πακιστάν με τροπικό κλίμα διαπίστωσαν ότι οι τιμές του Cu στον ορό του αίματος των ζώων ήταν εντός των επιτρεπτών ορίων παρόλο που κατά την ίδια περίοδο (ξηρή με ελάχιστες βροχοπτώσεις και χαμηλές θερμοκρασίες) η συγκέντρωση σε Cu της βλάστησης ήταν ανεπαρκής για να καλύψει τις ανάγκες των αιγών και προβάτων. Πρόσθετα, από τους ίδιους ερευνητές βρέθηκε για τα ζώα που δεν ήταν στο στάδιο της γαλακτοφορίας ότι οι τιμές του Cu στον ορό του αίματος των ζώων την ξηρή περίοδο ήταν σημαντικά υψηλότερες από αυτές κατά την υγρή περίοδο (με τις υψηλές βροχοπτώσεις) που η βλάστηση εμφανιζόταν επαρκής σε Cu για να καλύψει τις ανάγκες των ζώων. Ίδια αποτελέσματα βρήκαν και οι Pastrana et al. (1991) που σε βοσκότοπους τροπικού κλίματος στην Κολομβία τα επίπεδα Cu στο αίμα και στο ήπαρ των προβάτων ήταν υψηλότερα την περίοδο που η βλάστηση εμφάνιζε τη χαμηλότερη συγκέντρωση και ανεπάρκεια στο μέταλλο. Πρόσθετα, στα επίπεδα Fe και Mn στο αίμα των ζώων οι ίδιοι ερευνητές δεν παρατήρησαν διαφορές μεταξύ των δύο περιόδων παρόλο που στη βλάστηση οι συγκεντρώσεις των μετάλλων αυτών παρουσίασαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των περιόδων μελέτης. Επίσης, αξίζει να αναφερθεί ότι ο Cu που περιέχεται στη νωπή βλάστηση είναι ελάχιστα διαθέσιμος από τον ζωικό οργανισμό σε σχέση με το ξηρό χόρτο βοσκής που έχει κοπεί στο ίδιο φαινολογικό στάδιο (Reid and Horvath, 1980).

5. 5. 9. Μαγγάνιο

Στα φυτά το μαγγάνιο (Mn) αποτελεί συστατικό της χλωροφύλλης (Dykstra and Sabourin, 2003) και συμμετέχει ενεργά στην απελευθέρωση του οξυγόνου κατά τη φωτοσύνθεση καθώς και στο μεταβολισμό και αφομοίωση του αζώτου. Στο ζωικό οργανισμό δρα ως ενεργοποιητής ενζύμων και συμμετέχει στο μεταβολισμό των λιπιδίων και των υδατανθράκων. Γενικά, είναι απαραίτητο ανόργανο στοιχείο συμβάλλοντας στον κανονικό σχηματισμό των οστών, στην ανάπτυξη και την αναπαραγωγή του ζώου (Underwood, 1981).

Η συγκέντρωση του Mn της λιβαδικής παραγωγής καταγράφει σταδιακή ανοδική τάση κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου και στις δύο περιοχές έρευνας εμφανίζοντας ισχυρή θετική συσχέτιση με το μήνα κοπής. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε στο τέλος της αυξητικής περιόδου και η μικρότερη στο ξεκίνημα αυτής, αντίστοιχα και στις δύο περιοχές. Ωστόσο, στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας υπήρξαν διαφοροποιήσεις μεταξύ των λειτουργικών ομάδων. Στα ψυχανθή και πλατύφυλλα η τιμή του Mn εμφάνισε αυξητική τάση καταγράφοντας την υψηλότερη τιμή στο τέλος της αυξητικής περιόδου το μήνα Σεπτέμβριο και στις δύο περιοχές έρευνας. Αντίθετα, στα αγρωστώδη η τιμή του Mn παρουσίασε ανεπαίσθητη μεταβολή κατά τη διάρκεια του φαινολογικού σταδίου εξίσου και στις δύο περιοχές. Είναι επομένως διακριτό ότι η συγκέντρωση του Mn της λιβαδικής παραγωγής και των λειτουργικών ομάδων εκτός των αγρωστωδών συμβαδίζει με το φαινολογικό στάδιο της βλάστησης, ενώ παρουσιάζει αντίθετη εντελώς τάση με την συγκέντρωση του Cu της λιβαδικής παραγωγής.

Το όξινο εδαφικό pH αυξάνει τη διαλυτότητα, κινητικότητα και επομένως τη διαθεσιμότητα του Mn για τα φυτά. Οι Fageria and Gheyi (1999) αναφέρουν ότι η διαλυτότητα του Mn αυξανόταν 1,6 φορές για κάθε βαθμό μείωσης του pH σε όξινα, αεριζόμενα και στραγγιζόμενα εδάφη, αποδεικνύοντας ότι η οξύτητα και ο αερισμός του εδάφους είναι σημαντικά για τη διαθεσιμότητα του Mn για τα φυτά. Θετικές συσχετίσεις μεταξύ του Mn και της οργανικής ουσίας δείχνει ότι το Mn έχει μια ισχυρή συγγένεια με την οργανική ουσία και οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Mn που βρέθηκαν στην επιφάνεια του εδάφους σε σύγκριση με χαμηλότερα στρώματα είναι πιθανόν να οφείλονται στην υψηλότερη συγκέντρωση της οργανικής ουσίας στους επιφανειακούς ορίζοντες (Zhang et al., 1997b). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και στα εδάφη των περιοχών έρευνας όπου η εδαφική συγκέντρωση του Mn αυξάνεται με την οργανική ουσία και μειώνεται με το βάθος του εδάφους. Ωστόσο η μορφή του Mn^{+2} σχηματίζει σύμπλοκα με καρβοξυλομάδες της οργανικής ουσίας, το οποίο εξηγεί γιατί συνδέεται ασθενώς με την οργανική ουσία σε σύγκριση με το Fe, Cu και Zn (Bloom, 1981). Οι παράγοντες της θερμοκρασίας και υγρασίας εδάφους καθώς και της έντασης φωτός επηρεάζουν σημαντικά τη συσσώρευση Mn στους φυτικούς ιστούς (Moraghan and Mascagni, 1991). Οι Reid and Racz (1985) διαπίστωσαν, όταν η θερμοκρασία του εδάφους αυξανόταν από 10 έως 25°C, ότι τριπλασιάστηκε η συσσώρευση του Mn στους βλαστούς του κριθαριού που καλλιεργούνταν σε οργανικά εδάφη. Ο Smith (1970) επίσης αναφέρει ότι τα είδη *Bromus inermis* Leyss., *Phleum pratense* L. και *Medicago sativa* L. που αναπτύσσονταν σε θερμοκρασίες ημέρας-νύχτας 32⁰ και 24⁰C αντίστοιχα είχαν υψηλότερες συγκεντρώσεις Mn απ' ό,τι όταν αναπτύσσονταν σε θερμοκρασίες 18⁰ και 10⁰ C αντίστοιχα. Επίσης, υψηλή ένταση φωτός διεγείρει την απορρόφηση του Mn και μπορεί να δημιουργήσει φαινόμενα τοξικότητας (Horiguchi, 1998). Τα ανωτέρω μπορούν να δικαιολογήσουν ως ένα βαθμό τις ελαφρώς υψηλότερες τιμές του μετάλλου το δεύτερο έτος δειγματοληψίας εξαιτίας των υψηλότερων θερμοκρασιών και έντασης φωτός.

Η συγκέντρωση του Mn παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις στα διάφορα όργανα του φυτού αλλά και εντός της βλαστικής περιόδου. Ο Van Goor (1974) υποστηρίζει ότι το Mn συνήθως μετακινείται στους μεριστωματικούς ιστούς και παρατήρησε ότι η συγκέντρωση του αυξάνεται στους νέους αυξανόμενους ιστούς. Ωστόσο, οι Heenan and Campbell (1980) διαπίστωσαν ότι, όταν υπήρχαν υψηλές συγκεντρώσεις Mn στο έδαφος, τα φύλλα συσσώρευαν υψηλότερες συγκεντρώσεις με την αύξηση της ηλικίας, αλλά μόνο μικρές ποσότητες μετατοπίζονταν από τα ώριμα στα νεαρά φύλλα όταν ήταν σε ανεπάρκεια στο έδαφος. Έτσι, το Mn φάνηκε να έχει χαμηλή κινητικότητα στους φυτικούς ιστούς, όταν η πρόσληψη από το έδαφος ήταν περιορισμένη. Οι διαπιστώσεις των προηγούμενων ερευνητών συμφωνούν με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας των δύο περιοχών, καθώς η υψηλή συγκέντρωση Mn του εδάφους πιθανά επηρέασε θετικά την αυξητική τάση του μετάλλου στη βλάστηση με το στάδιο ανάπτυξης. Ο MacPherson (2000) από παλαιότερες έρευνες που είχαν γίνει ανέφερε αντικρουόμενα αποτελέσματα σχετικά με τις συγκεντρώσεις του Mn στα φύλλα και στους βλαστούς. Συγκεκριμένα, σε έξι είδη φυτών τα φύλλα είχαν υψηλότερα επίπεδα από τους βλαστούς αλλά σε πολυετή αγρωστώδη είδη παρατηρήθηκαν τα ανάποδα αποτελέσματα. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι η συγκέντρωση του Mn στα αγρωστώδη είδη έχει θετική σχέση με το φαινολογικό στάδιο εξαιτίας της αύξησης της αναλογίας βλαστών:φύλλα με την αύξηση της ωριμότητας, το οποίο δεν επιβεβαιωνόταν απόλυτα στη παρούσα έρευνα. Ωστόσο, στο πρώτο έτος δειγματοληψίας που υπήρξε αυξητική τάση του Mn στη λιβαδική παραγωγή με την αύξηση της ωρίμανσης της βλάστησης, ειδικά στα εδάφη από ΤΑ και εφόσον η συμμετοχή των αγρωστωδών στη λιβαδική παραγωγή είναι πολύ υψηλή, μπορεί να υποθεθεί ότι υπήρξε ανοδική τάση του Mn και στα αγρωστώδη είδη. Αντίστοιχα οι Ganskopp and Bohnert (2003) σε έρευνα τους δύο ετών με 7 είδη αγρωστωδών βρήκαν στα 6 από τα 7 είδη το πρώτο έτος δειγματοληψίας μια αύξηση της συγκέντρωσης

του Mn απ' το ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου μέχρι το τελευταίο στάδιο ωρίμανσης και στη συνέχεια μικρή πτώση της τιμής. Αντίθετα, οι ερευνητές το δεύτερο έτος δειγματοληψίας διαπίστωσαν ότι η συγκέντρωση του μετάλλου δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές με το φαινολογικό στάδιο, το οποίο ήταν σε συμφωνία με την τάση που παρουσίασε η τιμή του μετάλλου στα αγρωστώδη είδη το δεύτερο έτος στην παρούσα έρευνα. Οι Scheffer et al. (1979) ανέφεραν σχετικά χαμηλό επίπεδο Mn στο κριθάρι κατά τη διάρκεια της έντονης ανάπτυξης του και ότι περισσότερο συσσωρευόταν στα ώριμα φύλλα και στους βλαστούς. Παράλληλα, ο Sousa (1978) αναφέρει υψηλότερη συγκέντρωση μαγγανίου στη βλάστηση κατά την ξηρή περίοδο και το απέδωσε στο μικρό βαθμό μετακίνησης του μετάλλου και στη συσσώρευση του στα ώριμα όργανα των φυτών. Οι Cuesta et al. (1993) σε ποολίβαδα της Φλόριδας αναφέρουν επίσης ότι το Mn ήταν υψηλότερο στο τελευταίο στάδιο ωρίμανσης από ότι στα άλλα στάδια ανάπτυξης και τα δύο έτη δειγματοληψίας. Σε διαφορετικούς βοσκότοπους τροπικού κλίματος στην Κολομβία οι Pastrada et al. (1991) αναφέρουν υψηλότερες τιμές Mn στη βλάστηση την ξηρή περίοδο στο τελευταίο στάδιο ωρίμανσης της βλάστησης σε σχέση με το αρχικό στάδιο ανάπτυξης την υγρή περίοδο. Οι Shamat et al. (2009) σε βοσκότοπους του Σουδάν βρήκαν ότι η συγκέντρωση σε Mn της βλάστησης ήταν υψηλότερη κατά την ξηρή περίοδο στο τελευταίο στάδιο ωρίμανσης των φυτών σε σχέση με την υγρή περίοδο στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης, παρόλο που το εδαφικό Mn ήταν αυξημένο κατά την υγρή περίοδο. Αντίστοιχα, σε υποτροπικές περιοχές σε ορεινά λιβάδια όπου κυριαρχούσαν τα αγρωστώδη είδη οι Soultan et al. (2008) βρήκαν ότι η συγκέντρωση σε Mn της βλάστησης αυξανόταν με το φαινολογικό στάδιο. Αντίθετα, σε έρευνα στη Βόρεια Ελλάδα ο Μουντούσης (2008) βρήκε αρνητική συσχέτιση της συγκέντρωσης του Mn της λιβαδικής παραγωγής με το μήνα κοπής και το φαινολογικό στάδιο της βλάστησης καθώς και με το υψόμετρο, όπου η λιβαδική βλάστηση των υπαλπικών λιβαδιών είχε τη μικρότερη συγκέντρωση Mn σε ένα ευρύ φάσμα υψομετρικών διαβαθμίσεων. Το ίδιο αποτέλεσμα με τον προηγούμενο ερευνητή βρήκαν οι Mountousis et al. (2008) σε ορεινά λιβάδια της Δ. Μακεδονίας. Παρολαυτά οι προηγούμενες δύο έρευνες αναφέρουν χαμηλές συγκεντρώσεις Mn μικρότερες των 25 ppm το οποίο πιθανόν να οφείλεται σε χαμηλά επίπεδα Mn στο έδαφος. Ο Minson (1990) σε ανασκόπηση παλαιότερων ερευνών των ιχνοστοιχείων στη λιβαδική βλάστηση καταλήγει στο συμπέρασμα ότι οι μεταβολές της συγκέντρωσης του Mn στη βλάστηση κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου δεν οφειλόνταν στα είδη που απαρτίζαν τη χλωρίδα αλλά στις διαφορές της διαθεσιμότητας του εδαφικού Mn από τα φυτά στα διάφορα στάδια της φαινολογίας της βλάστησης.

Ο Minson (1990) αναφέρει ότι, όταν οι συγκεντρώσεις μαγγανίου στους φυτικούς ιστούς δεν ξεπερνούν τα 60 mg/kg, τα αγρωστώδη και ψυχανθή που αναπτύσσονται στην ίδια περιοχή δεν παρουσιάζουν διαφοροποίηση στις συγκεντρώσεις του Mn. Όμως, σε υψηλότερες τιμές συγκέντρωσης τα αγρωστώδη συνήθως συσσωρεύουν υψηλότερα επίπεδα μαγγανίου από τα ψυχανθή (Reay and Marsh, 1976; Metson et al., 1979) το οποίο ήταν επιβεβαιωμένο στην παρούσα έρευνα και στις δύο περιοχές μόνο στο ξεκίνημα της αυξητικής περιόδου. Οι Garcia-Giudad et al. (1997) σε πολυετή έρευνα σε ορεινά ξηροθερμικά λιβαδικά οικοσυστήματα βρήκαν ότι τα ψυχανθή είδη είχαν τη μικρότερη συγκέντρωση Mn από όλες τις λειτουργικές ομάδες, ενώ μεταξύ των αγρωστωδών και των πλατύφυλλων δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές. Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξαν και οι Garmo et al. (1986) σε έρευνα τους σε υπαλπικές και αλπικές δασώδεις περιοχές της νότιας Νορβηγίας. Οι Drysdale et al. (1980) και οι Boila et al. (1985) σε ποολίβαδα της περιοχής Μανιτόμπα του Καναδά βρήκαν επίσης υψηλότερες τιμές Mn στα αγρωστώδη σε σχέση με τα ψυχανθή. Εντούτοις, στην παρούσα έρευνα η μέση μηνιαία συγκέντρωση του Mn των αγρωστωδών δεν παρουσίασε σημαντικές διαφορές με αυτή των ψυχανθών και στις δύο περιοχές, ενώ, αντίθετα, τα πλατύφυλλα είχαν σημαντικά υψηλότερη συγκέντρωση Mn και στις δύο περιοχές έρευνας από τα ψυχανθή. Παράλληλα, η Kabata-Pendias (2001) αναφέρει ότι η

τιμές του μαγγάνιου παρουσιάζουν μεγάλη παραλλακτικότητα μεταξύ των ειδών που αναπτύσσονται σε ίδια εδάφη ακόμα και στις ίδιες οικογένειες.

Η σημαντικά υψηλότερη εδαφική συγκέντρωση Mn στα εδάφη από TA δικαιολογεί σε μεγάλο βαθμό την υψηλότερη συγκέντρωση Mn της λιβαδικής παραγωγής και των λειτουργικών ομάδων της περιοχής των εδαφών από TA σε σχέση με την περιοχή των εδαφών από G. Η συγκέντρωση σε Mn της λιβαδικής παραγωγής κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου κυμάνθηκε μεταξύ 144,7-332,8 ppm και 70,53-192,7 ppm για τις περιοχές των εδαφών από TA και G αντίστοιχα, ενώ το δεύτερο έτος δειγματοληψίας οι συγκεντρώσεις του μετάλλου ήταν λίγο υψηλότερες ανάλογα με την κάθε λειτουργική ομάδα, αλλά ήταν εντός των επιτρεπτών ορίων για την ανάπτυξη των φυτών. Παρόμοιες συγκεντρώσεις Mn στη βοσκήσιμη ύλη βρήκε η Παπαζαφειρίου (2012) στην περιοχή Τενάγη των Φιλιππων, παρόλο που το εδαφικό Mn ήταν πολύ μικρότερο από αυτό των περιοχών της παρούσας έρευνας. Ωστόσο, ο Μουντούσης (2008) και οι Mountousis et al. (2008) σε ορεινά και υπαλπικά λιβάδια της Β. Ελλάδος βρήκαν συγκεντρώσεις Mn στη βοσκήσιμη ύλη μικρότερες των 25 ppm καθόλη την αυξητική περίοδο της βλάστησης οι οποίες δεν κάλυπταν το μεγαλύτερο διάστημα της βόσκησης τις ανάγκες των ζώων.

Οι απαιτήσεις των αναπτυσσόμενων βοοειδών ανέρχονται σε 20 mg / kg Mn ΞΟ, ενώ οι αγελάδες που βρίσκονται στο στάδιο της κνοφορίας και της γαλακτοπαραγωγής χρειάζονται περίπου 40 mg /kg Mn ΞΟ (NRC, 2000). Οι απαιτήσεις των προβάτων σε Mn κυμαίνονται επίσης μεταξύ 20-40 mg /kg ΞΟ (NRC 1985). Όπως είναι πασιφανές οι ανάγκες των ζώων σε Mn που βόσκουν στα υπαλπικά λιβάδια των δύο περιοχών έρευνας υπερκαλύπτονται και τα δύο έτη δειγματοληψίας.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα έρευνα, σχετικά με τη χλωρίδα και τη χημική σύσταση της λιβαδικής παραγωγής στα υπαλπικά λιβάδια των δύο όρεων Μπέλες και Τζένα, συνοψίζονται ως ακολούθως:

- Το διαφορετικό γεωλογικό υπόστρωμα του κάθε όρους επηρεάζει αντίστοιχα την εδαφική σύσταση των δύο υπαλπικών περιοχών. Τα εδάφη των υπαλπικών λιβαδιών και των δύο περιοχών είναι όξινα, ωστόσο, το pH ήταν σημαντικά υψηλότερο στα εδάφη από G. Η κοκκομετρική σύσταση παρουσιάζει διαφοροποίηση, καθώς τα εδάφη από TA χαρακτηρίζονται αμμοπηλώδη ενώ τα εδάφη από G ως πηλοαμμώδη. Επίσης, το ολικό N, ο Cu, ο Zn, το Mn ήταν σημαντικά υψηλότερα στα εδάφη από TA.
- Η χλωρίδα των δύο λιβαδικών περιοχών παρουσιάζει μεγάλη διαφοροποίηση στα είδη που τις απαρτίζουν, καθώς μόνο 31 είδη TAXA βρέθηκαν κοινά μεταξύ των δύο περιοχών. Ο αντίστοιχος δείκτης ομοιότητας Jaccard ήταν 0.11 αποδεικνύοντας ότι υπήρχε υψηλή χωρική ετερογένεια στη χλωριδική σύνθεση μεταξύ των δύο υπαλπικών λιβαδικών περιοχών.
- Ο διαχωρισμός των ειδών στις τρεις λειτουργικές ομάδες (αγρωστώδη, ψυχανθή και πλατύφυλλα) έδειξε ότι μόνο ο αριθμός των αγρωστωδών ειδών ήταν σημαντικά υψηλότερος στα εδάφη από TA. Αντίθετα, η επιφάνεια κάλυψης των λειτουργικών ομάδων παρουσίασε διαφορές μεταξύ των δύο περιοχών. Συγκεκριμένα, τα πλατύφυλλα καθώς και τα ψυχανθή έδειξαν σημαντικά υψηλότερη κάλυψη στα εδάφη από G, ενώ, αντίθετα, τα αγρωστώδη στα εδάφη από TA. Η κάλυψη των πλατύφυλλων και ψυχανθών συσχετίζονται σημαντικά με την τοπική κλίση, καθώς η κάλυψη των πλατύφυλλων ήταν σημαντικά μεγαλύτερη στις δειγματοληπτικές επιφάνειες με μικρή κλίση, ενώ τα ψυχανθή έδειξαν ακριβώς την αντίθετη τάση ανεξάρτητα της περιοχής.
- Η χλωριδική σύνθεση έδειξε σημαντική συσχέτιση με τις εδαφικές ιδιότητες. Οι σημαντικές παράμετροι ήταν η οργανική ουσία και το υψόμετρο για κάθε περιοχή. Οι τιμές της χλωριδικής σύνθεσης (DCA2) αυξανόταν γραμμικά με το υψόμετρο στα εδάφη από TA, ενώ στα εδάφη από G υψηλότερες τιμές της χλωριδικής σύνθεσης προβλεπόταν είτε σε υψόμετρο χαμηλότερο από τα 1710 μ. είτε σε υψόμετρο υψηλότερο από τα 1770μ.
- Τα γενικευμένα αθροιστικά μοντέλα πρόβλεψης του αριθμού των ειδών και της λιβαδικής παραγωγής, που εφαρμόστηκαν στα πλαίσια αυτής της έρευνας περιείχαν σημαντικές παραμέτρους της ιεραρχικής ακολουθίας, οι οποίες για τον αριθμό των ειδών διέφεραν ανάμεσα στις λειτουργικές ομάδες ή και στο σύνολο. Επομένως, οι διαφορές στον αριθμό των ειδών μπορούν να εξηγηθούν από ένα συνδυασμό αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων. Συγκεκριμένα, το υψόμετρο, το pH του εδάφους, η συγκέντρωση του εδάφους σε N, η χλωριδική σύνθεση των δειγματοληπτικών επιφανειών, η μέση μηνιαία παραγωγή και το αγρωστώδες *Agrostis capillaris* L. ήταν σημαντικές προγνωστικές παράμετροι, οι οποίοι συμμετείχαν στον προσδιορισμό του αριθμού των πλατύφυλλων, αγρωστωδών καθώς και στο συνολικό αριθμό των ειδών. Αντίστοιχα η κλίση και το υψόμετρο, το εδαφικό K και η χλωριδική σύνθεση ήταν σημαντικές προγνωστικές παράμετροι για την πρόβλεψη της λιβαδικής παραγωγής. Επίσης, είναι σημαντικό ότι η επιλογή και συμπεριφορά όλων

των παραμέτρων, που συμμετείχαν στα μοντέλα συμφωνούν σε πολύ μεγάλο βαθμό με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Ένα άλλο στοιχείο το οποίο ενισχύει την εφαρμογή των μοντέλων, ήταν ότι η παράμετρος "περιοχή" δεν συμπεριλήφθηκε άμεσα ή σε αλληλεπίδραση με άλλες παραμέτρους, σε κάθε μοντέλο, ενώ, όταν γινόταν διαχωρισμός των δύο περιοχών, δεν βελτίωνε τη συνολική πρόβλεψη. Ωστόσο, τα μοντέλα που παρουσιάζονται θεωρούνται λειτουργικά και αξιόπιστα μόνο κάτω από τις συνθήκες των εδαφοκλιματικών περιοχών, που παρήχθησαν τα πρωτογενή δεδομένα. Φυσικά περισσότερη έρευνα είναι αναγκαία για τη διεύρυνση της χρήσης των μοντέλων αυτών και σε άλλες περιοχές ή και κάτω από άλλες συνθήκες. Θα μπορούσαν ίσως να εισαχθούν στα μοντέλα πρόβλεψης και μετεωρολογικά στοιχεία, όπως η θερμοκρασία και η βροχόπτωση για τη δημιουργία περισσότερο δυναμικών προσομοιώσεων.

- Η καμπύλη μεταβολής της λιβαδικής παραγωγής κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου εμφανίζει τη μέγιστη τιμή της κατά τους θερινούς μήνες, Ιούλιο - Αύγουστο στις δύο περιοχές. Ωστόσο, ο ακριβής χρόνος εμφάνισης της μέγιστης παραγωγής είναι διαφορετικός στις τρεις λειτουργικές ομάδες και μεταξύ των δύο περιοχών. Σε αυτό συντελούν κατά κύριο λόγο η επιφάνεια κάλυψης, που καταλαμβάνει η κάθε λειτουργική ομάδα και οι διαφορετικές συνθήκες ανταγωνισμού, που επικρατούν ανάλογα με την έλλειψη σε εδαφική υγρασία και θρεπτικά συστατικά. Εντούτοις, σύμφωνα με τα ευρήματα της παρούσας έρευνας παρόλη τη διαφορετική χλωριδική σύνθεση και κάλυψη των φυτικών ειδών, που παρουσιάζουν οι δύο υπαλπικές περιοχές, θα μπορούσε να γενικευτεί ότι στα υπαλπικά λιβάδια τα αγρωστώδη συνεισφέρουν το μεγαλύτερο μέρος της λιβαδικής παραγωγής, ενώ το ποσοστό της συμμετοχής τους αυξάνεται προοδευτικά με το φαινολογικό στάδιο των φυτών.
- Το συγκέντρωση της συνολικής λιβαδικής παραγωγής και για κάθε λειτουργική ομάδα σε αζωτούχες ουσίες δεν διέφερε μεταξύ των δύο περιοχών. Επίσης, η μείωση των αζωτούχων ουσιών με το φαινολογικό στάδιο των φυτών ήταν σαφώς εντονότερη στα αγρωστώδη είδη.
- Η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής της κάθε λειτουργικής ομάδας σε NDF, ADF, ADL αυξήθηκε με την πάροδο της αυξητικής περιόδου των φυτών. Τα αγρωστώδη είχαν υψηλότερη συγκέντρωση σε NDF και ADF από τα πλατύφυλλα και τα ψυχανθή, ενώ αντίθετα είχαν μικρότερη συγκέντρωση σε ADL. Τα αγρωστώδη παρουσίασαν σημαντική διαφοροποίηση στις τιμές των ADF και ADL μεταξύ των δύο περιοχών. Επίσης, τα πλατύφυλλα εμφάνισαν σημαντικές διαφορές στις τιμές των NDF και τα ψυχανθή στις τιμές των ADL μεταξύ των δύο περιοχών. Οι διαφορές αυτές πιθανόν οφείλονται στη χλωριδική σύνθεση των ειδών που απαρτίζουν την κάθε λειτουργική ομάδα σε αλληλεπίδραση με τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους της κάθε περιοχής.
- Η τάση της διακύμανσης που παρουσίασαν οι τιμές των ανόργανων στοιχείων της λιβαδικής παραγωγής μεταξύ των δύο περιοχών ήταν παρόμοια. Αντίστοιχα στο δεύτερο έτος δειγματοληψίας μεταξύ των λειτουργικών ομάδων αλλά και μεταξύ των δύο περιοχών οι διακυμάνσεις των ανόργανων στοιχείων κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου δεν είχαν διαφοροποιήσεις πλην των ιχνοστοιχείων Zn και Mn της ομάδας των αγρωστωδών και του Mg των ψυχανθών, τα οποία παρουσίασαν διαφορές με τις άλλες λειτουργικές ομάδες και στις δύο περιοχές. Επιπροσθέτως, στα ανόργανα K, Mg, Ca και Zn της λιβαδικής παραγωγής εμφανίστηκε μεγάλη διαφοροποίηση της τάσης διακύμανσης μεταξύ των δύο ετών δειγματοληψίας, παρόλο

που το δεύτερο έτος αναφερόταν σε λειτουργικές ομάδες. Το γεγονός αυτό πιθανόν οφειλόταν στη διαφοροποίηση των καιρικών συνθηκών μεταξύ των δύο ετών επηρεάζοντας την υγρασία εδάφους και τη θερμοκρασία και κατ' επέκταση τη διαθεσιμότητα των ανόργανων στοιχείων του εδάφους απ' τα φυτά.

- Η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ανόργανα στοιχεία και οι διαφορές που παρουσιάζονται μεταξύ των δύο περιοχών φαίνεται ότι καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την αλληλεπίδραση της χλωριδικής σύνθεσης και του επιπέδου συγκέντρωσης του κάθε στοιχείου στο έδαφος. Συνοπτικά, τα αγρωστώδη είδη είχαν τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε όλα τα ανόργανα στοιχεία εκτός από το Na και το Mn ανεξάρτητα με την περιοχή. Ωστόσο, οι διαφορές που εμφανίστηκαν σε κάποια ανόργανα στοιχεία των πλατύφυλλων και των αγρωστωδών μεταξύ των δύο περιοχών οφείλονται αφενός στη διαθεσιμότητα του κάθε στοιχείου στο έδαφος και αφετέρου στη χλωριδική σύνθεση μεταξύ των πλατύφυλλων ειδών κυρίως, όπου κάποια είδη μπορούν να συσσωρεύουν κάποιο στοιχείο περισσότερο από κάποια άλλα. Επίσης, διαπιστώθηκε ότι η συγκέντρωση των ανόργανων στοιχείων στα αγρωστώδη μειωνόταν περισσότερο με την αύξηση της ωριμότητας σε σχέση με τα πλατύφυλλα και τα ψυχανθή.
- Η λιβαδική παραγωγή και των δύο περιοχών φαίνεται ότι είναι επαρκής για να καλύψει τις ανάγκες των βόσκοντων ζώων σε όλη την περίοδο βόσκησης σε ανόργανα στοιχεία εκτός από το P και το Na, ενώ ο Cu μόνο το δεύτερο έτος δειγματοληψίας είναι επαρκής. Επομένως, πιθανόν η χορήγηση συμπληρώματος των προαναφερόμενων στοιχείων να είναι αναγκαία. Ωστόσο, η διαφοροποίηση των καιρικών συνθηκών μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει την επάρκεια κάποιων ανόργανων στοιχείων. Επίσης, περισσότερη έρευνα χρειάζεται σχετικά με τα επίπεδα των ελλειμματικών αυτών στοιχείων στο ζωικό οργανισμό αλλά και με τις τροφικές συνήθειες των ζώων κατά τη βόσκηση για να ταυτοποιηθεί αν πραγματικά είναι αναγκαία η χορήγηση συμπληρώματος.

7. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Συγκριτική μελέτη της χλωρίδας και της χημικής σύστασης της βοσκήσιμης ύλης των υπαλπικών λιβαδιών των βουνών "Κερκίνη" και "Τζένα" με διαφορετικό γεωλογικό υπόβαθρο

Παναγιώτης Ι. Μπόκος

Τα υπαλπικά λιβάδια στην Ελλάδα αντιπροσωπεύουν το 22,3% της συνολικής βοσκόμενης έκτασης. Η χρησιμότητα των υπαλπικών λιβαδιών έγκειται στο γεγονός ότι η περίοδο βόσκησης τους εκτείνεται την καλοκαιρινή περίοδο έως τις αρχές του φθινοπώρου, διάστημα κατά το οποίο η παραγωγή βλάστησης των πεδινών λιβαδιών είναι χαμηλής θρεπτικής αξίας. Σε αντίθεση η παραγωγή των υπαλπικών λιβαδιών την περίοδο αυτή είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες συντήρησης των ζώων. Για το λόγο αυτό είναι συνήθως συνδεδεμένα με τη μετακινούμενη νομαδική κτηνοτροφία που τα κοπάδια των ζώων εισέρχονται στα λιβάδια αρχές του καλοκαιριού και κατεβαίνουν πάλι στα χαμηλότερα υψόμετρα το φθινόπωρο.

Η παρούσα έρευνα πραγματοποιήθηκε τα έτη 2011 και 2012 στα υπαλπικά λιβάδια των βουνών Τζένα και Κερκίνη (Μπέλες). Ειδικότερα, στις δύο υπαλπικές περιοχές έγιναν μετρήσεις των εδαφικών παραμέτρων, καταγραφή της χλωρίδας και της βλάστησης καθώς και εκτίμηση των βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων που επιδρούν στη χλωριδική σύνθεση, στο δείκτη α-ποικιλότητας (αριθμός των ειδών σε κάθε λειτουργική ομάδα) και στη λιβαδική παραγωγή. Επίσης, προσδιορίστηκαν οι μηνιαίες μεταβολές της χημικής σύστασης της λιβαδικής παραγωγής των δύο υπαλπικών περιοχών.

Για τη διερεύνηση των παραμέτρων που επηρεάζουν τη χλωριδική σύνθεση και τη χημική σύσταση της λιβαδικής παραγωγής των δύο υπαλπικών περιοχών επιλέχτηκαν 12 δειγματοληπτικές επιφάνειες οι οποίες τοποθετήθηκαν αντιπροσωπευτικά στα υπαλπικά λιβάδια του κάθε όρους. Οι επιφάνειες περιφράχτηκαν από μεταλλικό πλέγμα διαστάσεων 4X4μ και ύψους 1,5 μ από την επιφάνεια του εδάφους, ώστε να αποτραπεί η βόσκηση. Οι δειγματοληπτικές επιφάνειες του όρους Τζένα (Τραχείτης-Ανδρσίτης, περιοχή) είχαν έκθεση βορειοανατολική, ενώ, αντίθετα, στο όρος Μπέλες (Γνεύσιος, περιοχή) είχαν νοτιοανατολική. Το υψομετρικό εύρος στην περιοχή έρευνας της υπαλπικής ζώνης του όρους Τζένα εκτεινόταν μεταξύ 1770-1900 μ., ενώ αντίστοιχα στο όρος Μπέλες ήταν 1680-1790μ. Οι διαφορές υψομέτρου που παρουσιάζονταν μεταξύ των δύο λιβαδικών υπαλπικών περιοχών οφείλονταν στις διαφορετικές επεκτάσεις του δασοορίου στο κάθε βουνό αλλά και τη διαφορά υψομέτρου των δύο βουνών. Η δειγματοληψία της λιβαδικής παραγωγής γινόταν τη δεύτερη εβδομάδα κάθε μήνα από Μάιο μέχρι και Σεπτέμβριο (περίοδος βόσκησης). Το δεύτερο έτος δειγματοληψίας η λιβαδική παραγωγή χωρίστηκε σε τρεις λειτουργικές ομάδες: αγρωστώδη, ψυχανθή και πλατύφυλλα και ολόκληρη η διαχείριση - εργαστηριακές αναλύσεις ακολούθησε αυτή τη διαδικασία αντίστοιχα. Τα φυτικά είδη προσδιορίστηκαν σε κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια από την αρχή μέχρι το στάδιο της ανθοφορίας της αυξητικής περιόδου για τον προσδιορισμό της χλωριδικής σύνθεσης. Αντίστοιχα προσδιορίστηκε το ποσοστό κάλυψης των ειδών για τη κάθε λειτουργική ομάδα σύμφωνα με τη μέθοδο Braun-Blanquet.

Από την κάθε δειγματοληπτική επιφάνεια πριν από το πρώτο έτος δειγματοληψίας της λιβαδικής παραγωγής έγινε επιφανειακή εδαφοτομή 0-20 cm και προσδιορίστηκαν το pH, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οργανική ουσία, το συνολικό N, ο διαθέσιμος P, το ανταλλάξιμο K, Ca και Mg, τα ιχνοστοιχεία Cu, Zn, Fe, Mn καθώς και η μηχανική σύσταση. Επίσης, εκτός απ' τη λιβαδική παραγωγή προσδιορίστηκαν το περιεχόμενο της σε αζωτούχες ουσίες, τα κλάσματα των κυτταρικών τοιχωμάτων NDF, ADF και ADL τα μακροστοιχεία (K, Na, Ca, P, και Mg) και τα ιχνοστοιχεία (Fe, Zn, Cu και Mn).

Από τα αποτελέσματα των εδαφικών αναλύσεων προέκυψαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των εδαφικών παραμέτρων στις δύο λιβαδικές περιοχές. Συγκεκριμένα, το pH $p < 0,01$, το ποσοστό άμμου $p < 0,001$ ήταν υψηλότερα στα εδάφη από γνεύσιο (G). Αντίθετα, το ολικό άζωτο N $p < 0,01$, τα Cu, Zn και Mn $p < 0,05$ καθώς και τα ποσοστά ιλύς και αργίλου $p < 0,001$ ήταν υψηλότερα στα εδάφη από τραχείτη-ανδεσίτη (TA).

Στα υπαλπικά λιβάδια των εδαφών από TA καταγράφηκαν 150 είδη που ανήκουν σε 83 γένη και 33 οικογένειες, ενώ τα αντίστοιχα στοιχεία για τα υπαλπικά λιβάδια των εδαφών από G ήταν 165 είδη, 107 γένη και 36 οικογένειες. Η χλωριδική ομοιότητα των δύο υπαλπικών περιοχών ήταν πολύ μικρή, δεδομένου ότι υπήρχαν μόνο 31 είδη από κοινού και ο αντίστοιχος δείκτης ομοιότητας Jaccard ήταν 0,11. Τα πλατύφυλλα έδειξαν υψηλότερη κάλυψη ($p < 0,001$) καθώς και τα ψυχανθή ($p < 0,01$) στα εδάφη από G, ενώ, αντίθετα, τα αγρωστώδη στα εδάφη από TA ($p < 0,001$). Η κάλυψη των πλατύφυλλων και ψυχανθών συσχετίστηκε σημαντικά με την κλίση του εδάφους, καθώς η κάλυψη των πλατύφυλλων ήταν υψηλότερη ($p < 0,05$) στις δειγματοληπτικές επιφάνειες με χαμηλή κλίση, ενώ τα ψυχανθή έδειξαν την αντίθετη τάση ($p < 0,05$).

Τα γενικευμένα αθροιστικά μοντέλα GAM χρησιμοποιήθηκαν για να προβλεφθεί η χλωριδική σύνθεση των φυτικών ειδών, ο συνολικός αριθμός των ειδών (δείκτης β-ποικιλότητας) αλλά και για κάθε λειτουργική ομάδα καθώς και η μέση μηνιαία λιβαδική παραγωγή. Σημαντικοί παράμετροι για την χλωριδική σύνθεση ήταν η οργανική ουσία και το υψόμετρο. Για το συνολικό αριθμό των ειδών σημαντικές παράμετροι πρόβλεψης ήταν το pH, η χλωριδική σύνθεση, η λιβαδική παραγωγή και το αγρωστώδες *Agrostis capillaris* L. Αντίστοιχα για τον αριθμό των πλατύφυλλων ειδών ήταν το pH, το εδαφικό N, η χλωριδική σύνθεση και η λιβαδική παραγωγή.

Για την υπαλπική λιβαδική παραγωγή σημαντικές παράμετροι στο μοντέλο πρόβλεψης ήταν το υψόμετρο, η κλίση του εδάφους, το εδαφικό K και η χλωριδική σύνθεση, ενώ η παράμετρος "περιοχή-Βουνό" δεν ήταν σημαντική. Στην έναρξη της αυξητικής περιόδου (Μάιος-Ιούνιος) η λιβαδική παραγωγή ήταν υψηλότερη στα εδάφη από G από ό,τι στα εδάφη από TA ($p < 0,05$), η διαφορά αυτή οφειλόταν στην παραγωγή των επιφανειών με κλίση εδάφους μεταξύ των δύο περιοχών, ενώ η παραγωγή ήταν υψηλότερη σε επιφάνειες που είχαν μικρές τοπικές κλίσεις. Το δεύτερο έτος δειγματοληψίας η παραγωγή των πλατύφυλλων και των ψυχανθών εμφανίζεται υψηλότερη $p < 0,01$ στα εδάφη από G, αντίθετως στα αγρωστώδη η παραγωγή ήταν υψηλότερη $p < 0,05$ στα εδάφη από TA. Επίσης, η παραγωγή των αγρωστωδών ήταν υψηλότερη $p < 0,05$ από τις δύο άλλες ομάδες και τα ψυχανθή είχαν τη χαμηλότερη παραγωγή $p < 0,05$ και στις δύο περιοχές έρευνας.

Το περιεχόμενο της λιβαδικής παραγωγής αλλά και ανά λειτουργική ομάδα σε αζωτούχες ουσίες δεν παρουσίασε διαφορές μεταξύ των δύο περιοχών, ενώ οι αζωτούχες ουσίες και στις τρεις λειτουργικές ομάδες επηρεάστηκαν από το μήνα κοπής $p < 0,001$ και το υψόμετρο $p < 0,001$. Το συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής στα κλάσματα των κυτταρικών τοιχωμάτων, NDF, ADF και ADL αυξάνονταν όσο τα φυτά ωρίμαζαν με τις

μέγιστες τιμές να εμφανίζονται το τελευταίο μήνα της αυξητικής περιόδου, ακολουθώντας αντίθετη τάση από τις αζωτούχες ουσίες. Μεταξύ των δύο περιοχών υπήρξαν σημαντικές διαφορές στα NDF στα πλατύφυλλα εμφανίζοντας υψηλότερη τιμή ($p<0,05$) στα εδάφη από ΤΑ, στα ADF στα αγρωστώδη ($p<0,01$) εμφανίζοντας υψηλότερη τιμή στα εδάφη από G και στα ADL στα αγρωστώδη ($p<0,001$) και στα ψυχανθή ($p<0,05$) εμφανίζοντας υψηλότερη τιμή και στις δύο ομάδες στα εδάφη από G.

Οι διακυμάνσεις που παρουσίασαν οι τιμές των ανόργανων στοιχείων της λιβαδικής παραγωγής μεταξύ των δύο περιοχών ήταν παρόμοιες. Το δεύτερο έτος δειγματοληψίας μεταξύ των λειτουργικών ομάδων αλλά και μεταξύ των δύο περιοχών οι διακυμάνσεις των ανόργανων στοιχείων κατά τη διάρκεια της αυξητικής περιόδου δεν είχαν διαφοροποιήσεις πλην των ιχνοστοιχείων Zn και Mn της ομάδας των αγρωστωδών τα οποία παρουσίασαν διαφορές με τις άλλες λειτουργικές ομάδες και στις δύο περιοχές. Τα αγρωστώδη είδη είχαν τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις σε όλα τα ανόργανα στοιχεία εκτός από το Na και το Mn ανεξάρτητα από την περιοχή. Η συγκέντρωση των αγρωστωδών σε K και των πλατύφυλλων σε Mg και K ήταν σημαντικά υψηλότερα στα εδάφη από G, ενώ η συγκέντρωση σε Zn Mn και των τριών λειτουργικών ομάδων των αγρωστωδών, των πλατύφυλλων σε Zn, Mn και των ψυχανθών σε Zn, Mn, Cu ήταν υψηλότερη στα εδάφη από ΤΑ.

Η λιβαδική παραγωγή ήταν ικανή να καλύψει τις πρωτεϊνικές ανάγκες των βοοειδών και των προβάτων μόνο κατά τους πρώτους μήνες της αυξητικής περιόδου της βλάστησης και στις δύο περιοχές. Παράλληλα, η συγκέντρωση της λιβαδικής παραγωγής σε ανόργανα στοιχεία φαίνεται ότι είναι επαρκής για να καλύψει τις ανάγκες των βόσκοντων ζώων σε όλη την περίοδο βόσκησης εκτός από το P και το Na, ενώ ο Cu μόνο το δεύτερο έτος δειγματοληψίας ήταν επαρκής. Επομένως, πιθανόν να είναι αναγκαία η χορήγηση πρωτεϊνούχου συμπληρώματος σε συνδυασμό με τα προαναφερόμενα ανόργανα στοιχεία για να καλυφθούν οι ανάγκες των βόσκοντων ζώων. Ωστόσο, η διαφοροποίηση των καιρικών συνθηκών μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει την επάρκεια κάποιων ανόργανων στοιχείων.

8. SUMMARY

Comparative study of flora and chemical composition in herbage production of the sub-alpine grasslands of mountains "Kerkini" and "Jena" with a different geological background

Παναγιώτης Ι. Μπόκος

Sub-alpine grasslands in Greece represent 22.3% of the country's total pasture lands. Their significance lies in the fact that the grazing period ranges from summer, till early fall, a period during which the yield of lowland grasslands is of low nutritional value. On the contrary sup-alpine grasslands' yield during this period is enough to cover the maintenance needs of the animals. That is why they are usually associated with transhumance pastoralism system, where the animal herds enter the grasslands in the early summer and migrate again to the lower altitudes when autumn begins.

The present study took place in the sub-alpine grasslands situated on the mountains Jena and Kerkini (Beles) during the years 2011 and 2012. Specifically in the two regions the soil parameters were recorded, together with the flora and the vegetation, and the biotic and abiotic factors that affect floristic composition, the biodiversity index (number of species in each functional group) and herbage production were estimated. Also the monthly changes of the chemical composition in the herbage production of the two sub-alpine areas were determined.

Twelve sampling surfaces were selected to study the parameters that affect floristic and chemical composition of the two sub-alpine areas. The sampling areas were representative of the sub-alpine grasslands of each mountain. The surfaces were fenced using a metal fence 4x4, and 1.5m high in order to block grazing. The sampling areas on mountain Jena (TA grasslands) had NE aspect, while on mountain Beles (G grasslands) the aspect was SE. The altitude in the study area of mountain Jenna ranged from 1770 to 1900 m and in Belles from 1680 to 1790 m respectively. The differences in altitude that appear between the two sub-alpine grassland areas are due to the different forest line borders on each mountain, as well as the different total altitudes of the mountains. Sampling was conducted each second week of the month starting from May and ending in September (grazing period). The second year of the study the herbage production was divided into three functional groups: grasses, legumes and forbs. The herbage species were determined in each sampling surface from the start up to blooming in the growth period in order to determine the floristic composition. The percentage of coverage for the species was also determined for each functional group according to the Braun-Blanquet method.

In each sampling area, a soil sample was collected from 0-20 cm and pH, electric conductivity, organic matter content, total N, available P, exchangeable K, Ca and Mg, the micronutrients Fe, Zn, Cu and Mn, as well as the soil texture were determined. Also, apart from herbage production, crude protein content, fraction of cell walls NDF, ADF and ADL,

the macro-nutrients (K, Na, Ca, P, and Mg) and micronutrients (Fe, Zn, Cu and Mn) were determined.

The results of the analyses showed that there are significant differences between the soil parameters of the two grassland areas. Specifically pH ($p < 0.01$) and sand percentage ($p < 0.001$) were higher in G grasslands, while total N ($p < 0.01$), Cu, Zn and Mn ($p < 0.05$) as well as clay and silt percentage ($p < 0.001$) were higher in TA grasslands.

In the TA subalpine grasslands 150 species were recorded, that belong to 83 genera and 33 families. In the G grasslands 165 species, 107 genera and 36 families were recorded respectively. Floristic similarity between the two grasslands was very low, as there were only 31 common species and the Jacard similarity index was 0.11. The forbs displayed higher coverage ($p < 0.001$) as well as legumes ($p < 0.01$) in G grasslands, while in TA grasslands the coverage of grasses was higher ($p < 0.001$). Forbs and legumes coverage was correlated to slope, as forbs coverage was higher ($p < 0.05$) in the sampling areas that were placed in low gradient sites with the legumes displaying the opposite trend.

Generalized additive models (G.A.M.) were used to predict floristic composition of plant species, total number of species (biodiversity index) as well as for each functional group, and mean monthly herbage production. Important prediction parameters for floristic composition were organic matter content and altitude. For the total number of species important prediction parameters were pH, floristic composition, herbage production and the presence of the grass *Agrostis capillaris* L. For the number of forbs species the important prediction parameters were pH, soil N, floristic composition and herbage production.

For the sub-alpine herbage production important parameters in the prediction model were altitude, surface gradient, soil K and floristic composition, while the parameter “area – mountain” was not important. In the beginning of the growth period (May – June), herbage production was higher in G grasslands compared to the TA ones ($p < 0.05$). This difference is due to the low production in areas of high gradient compared to the high production in the areas of low, local, gradients. During the second year of the study forbs and legumes production is higher ($p < 0.01$) in G grasslands. On the contrary in grasses production was higher ($p < 0.05$) in TA grasslands. Also, grass production was higher ($p < 0.05$) in both TA and G grasslands compared to the other two functional groups, while legume production was the lowest ($p < 0.05$).

There were no significant differences in crude protein content between the two areas in total, while they in the separate functioning groups they were affected by the cutting month ($p < 0.001$) and the altitude ($p < 0,001$). The herbage content in cell walls' NDF, ADF and ADL increased as the plants matured, with the maximum values appearing in the last month of the growing period, an opposite trend from the one observed in crude protein. Between the two areas significant differences were observed in the NDF in broadleaf plants, with the TA grasslands showing a higher value ($p < 0,05$), in the ADF with the G grasslands showing a higher value both in grasses ($p < 0,05$) and in legumes ($p < 0,05$).

The fluctuations observed in the values of the inorganic elements between the two areas followed a similar pattern. During the second year of sampling, the range of values of the inorganic elements during the growth period showed no differences either between functional groups or areas of study, except Zn and Mn in the grasses group that differed from the other groups in both areas of study. Grasses presented the lowest concentrations in all inorganic elements except Na and Mn, regardless of the study area. Grasses content in K and forbs plants in Mg and K were significantly higher in the G area, while the content of Zn and

Mn in all functional groups was higher in the TA area, together with the content of legumes in Cu.

Herbage production is capable of covering the protein needs of cattle and sheep only during the first months of the plant growing period in both areas of study. Additionally, its content in inorganic nutrients seems to be enough to cover the needs of all the animals during the grazing period, except P and Na, while Cu was adequate only in the second year of sampling. Therefore the need for a protein supplement may be necessary combined with the above mentioned elements, although the differentiation in weather conditions may increase or reduce the adequacy of some of the inorganic nutrients.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abrams, P. A., 1995. Monotonic or unimodal diversity-productivity gradients: what does competition theory predict? *Ecology* 76:2019–2027
- Aerts, R., 1999. Interspecific competition in natural plant communities: mechanisms, trade-offs, and plant-soil feedbacks. *J. Exp. Bot.* 50: 29–37.
- Aerts, R., Caluwe H., Beltman B., 2003. Is the relation between nutrient supply and biodiversity co-determined by the type of nutrient limitation. *Oikos* 101: 489–498.
- Αθανασιάδης, Ν., Ε. Ελευθεριάδου, Κ. Θεοδωρόπουλος, 2001. Χλωρίδα και βλάστηση της Ελλάδος. Θεσσαλονίκη 76 σελ.
- Akbarinia, A. and A. Koocheki, 1992. Investigation on effects of different harvesting stages on growth, productivity and quality of some barley's varieties. *Journal of Pejouhesh and Sazandegi* 15:40–43
- Albrecht, K.A., W.F. Wedin, D.R. Buxton, 1987. Cell-wall composition and digestibility of alfalfa stems and leaves. *Crop Sci.*, 27: 735-741
- Αλιφραγκής, Δ., 2008. Το έδαφος. Γένεση - Ιδιότητες - Ταξινόμηση. Τόμος 1. Εκδόσεις Αιβάζη. Θεσσαλονίκη. 582 σελ.
- Αλιφραγκής, Δ. και Παπαμίχος Ν., 1995. Περιγραφή-Δειγματοληψία, Εργαστηριακές ασκήσεις δασικών εδαφών και φυτικών ιστών. Εκδόσεις Δεδούση. Θεσσαλονίκη σελ. 181
- Al-Mufti, M. M., Sydes C. L., Fumess S. B., Grime J. P., Band S. R., 1977. A quantitative analysis of shoot phenology and dominance in herbaceous vegetation. *Journal of Ecology* 65, 759–791.
- Alva, A. K., Huang B., Paramasivam S., 2000. Soil pH affects on copper fractionation and phytotoxicity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 955–962
- Ammar, H., Lopez S., Gonzalez J.S., Ranilla, M.J., 2004. Seasonal variations in the chemical composition and in vitro digestibility of some Spanish leguminous shrub species. *Animal Feed Science Technology* 115, 327–340
- Amorim, PK. and Batalha, MA., 2008. Soil chemical factors and grassland species density in Emas National Park (central Brazil). *Braz. J. Biol.*, 68(2): 279-285
- Amory D.E. and Dafey J. E., 1984. Absorption and exchange of Ca, Mg and K ions on the root cell walls of clover and ryegrass. *Plant and soil* 80: 181-190
- Anderson, J.E., 1985. The influence of aging on forage quality of individual switchgrass leaves and stems. In: *Proceedings of the 15th International Grassland Congress, Kyoto, Japan.* The National Grassland Research Institute, Tochigi-Ken, Japan, pp. 329–337
- Anderson, P. R., and Christensen, T. H., 1988. Distribution coefficient of Cd, Co, Ni, and Zn in soils. *J. Soil Sci.* 39, 15–22.
- Anke, M., Groppe, B., Lüdke, H., Grün, M., and Kleemann, J., 1975. Die Spurenelementversorgung der Wieder-käuer in der Deutschen Demokratischen Republik. *Kupferversorgung, Arch. Tierernaehr.*, 25, 257.
- Armstrong, M. J. and Kirkby E. A., 1979. The influence of humidity on the mineral composition of tomato plants with special reference to calcium distribution. *Plant and Soil* 52, 427-435
- Arzani, H., Basiri, M., Khatibi, F. and G. Ghorbani, 2006. Nutritive value of some Zagros Mountain rangeland species. *Small Rumin. Res.* 65: 128-135
- Arzani H., A. Nikkhah, and Z. Arzani. 1998. Forage quality in three provinces of Semnan, Markazi and Lorestan Rangelands, Final report, Determining economic property size project. Tehran, Iran: College of Natural Resources, University of Tehran
- Arzani, H., Zohdi M., Fish E., Zahedi Amiri Gh., Nikkhah A., Wester D., 2004. Phenological effects on forage quality of five grass species. *J. Range Manage.* 57, 624–629

- Ashraf, M.Y., K. Akhtar, G. Sarwar and M. Ashraf, 2005. Role of rooting system in salt tolerance potential of different guar accessions. *Agronomy for Sustainable Development*, 25: 243-249
- Ashton, P. S., 1992. Species richness in plant communities. Pages 4–22 in S. K. Jain, editor. *Conservation biology: the theory and practice of nature preservation and management*. Chapman and Hall, New York, New York, USA
- Austrheim, G., 2002. Plant diversity patterns in semi-natural grasslands along an elevational gradient in southern Norway. *Plant Ecology* 161: 193–205
- Avarvarei, B.V. and Chelariu E. L., 2011. Influence of fertilization upon forage quality on a permanent grassland of *Agrostis capillaris* L. – *Festuca rubra* L., *Animal Science Series*, 54: 49-53
- Ballard, R.A., R.J. Simpson, G.R. Pearce, 1990. Losses of digestible components of annual ryegrass (*Lolium rigidum* Gaudin) during senescence. *Australian Journal of Agricultural Research*, 41: 719-731.
- Baptist, F., Secher-Fromell H., Viard-Cretat F., Aranjuelo I., Clement J.C., Creme A., Desclos M., Laine P., Nogues S., Lavorel S., 2012. Carbohydrate and nitrogen stores in *Festuca paniculata* under mowing explain dominance in subalpine grasslands. *Plant Biology* 15: 395–404
- Barber, S. A., 1995. “Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach,” 2nd edition. Wiley, New York
- Barracough, T. G., and V. Savolainen, 2001. Evolutionary rates and species diversity in flowering plants. *Evolution* 55: 677–683.
- Bedford, B.L., Walbridge M.R., Aldous A., 1999. Patterns in nutrient availability and plant diversity of temperate North American wetlands. *Ecology* 80: 2151-2169
- Begon, M., J. L. Harper, and C. R. Townsend, 1990. *Ecology*. Second edition. Blackwell Scientific, Boston, Massachusetts, USA.
- Bélanger, G., McQueen, R.E., 1998. Analysis of the nutritive value of timothy grown with varying N nutrition. *Grass Forage Science* 53, 109–119.
- Bennie, J., Hill M., Baxter R. Huntley B., 2006. Influence of slope and aspect on long-term vegetation change in British chalk grasslands. *Journal of Ecology* 94, 355–368.
- Berendse, F., 1982. Competition between plant populations with different rooting depths. III. Field Experiments. *Oecologia* 53:50-55.
- Bergamini, A., Pauli D., Peintinger M., Schmid B., 2001. Relationships between productivity, number of shoots and number of species in bryophytes and vascular plants. *Journal of Ecology* 89: 920–929
- Bertrand, A., G. F. Tremblay, S. Pelletier, Y. Castonguay, G. Bélanger, 2008. Yield and nutritive value of timothy as affected by temperature, photoperiod and time of harvest. *Grass and Forage Science*, 63, 421–432
- Biddiscombe, E.F., 1987. The productivity of mediterranean and semiarid grasslands. p. 19-25. In: R.W. Snaydon (ed.). *Ecosystems of the World 17B. Managed grasslands*. Analytical studies. Elsevier Sci.Publ., Amsterdam.
- Bischoff, A., Augeb H., Mahnc E.G., 2005. Seasonal changes in the relationship between plant species richness and community biomass in early succession. *Basic and Applied Ecology* 6: 385-394
- Biswell, H., Liakos, L., 1977. *Range Management*, p. 539. Thessaloniki
- Black, J. R., L. O. Ely, M. E. McCullough and E. M. Sudweeks, 1980. Effects of Stage of Maturity and Silage Additives upon the Yield of Gross and Digestible Energy in Sorghum Silage. *Journal of Animal Science*, 50:617-624.
- Blue, W.G. and L.E. Tergas, 1969. Dry season deterioration of forage quality in the wet-dry tropics. *Soil and Crop Sci. Soc. Fla. Proc.*, 29: 224

- Bobbink, R., 1991. Effects of nutrient enrichment in dutch chalk grassland. *J. Appl. Ecol.* 28, 28–41.
- Bobbink, R., Hornung, M. and Roelofs, J. G. M., 1998. The effects of air-borne pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. – *J. Ecol.* 86: 717–738.
- Bohn, P.J., 1990. Investigation in to effect of phenolic acids on forage digestibility dissertation. *Sci. Eng.*, 50: 4282-4283.
- Boila, R.J., Devlin, T.J., Drysdale, R.A. and Lillie, L.E., 1985. Geographical variability of the zinc, manganese and iron concentrations of forages grown in northwestern Manitoba. *Can. J. Anim. Sci.*, 65: 861-870.
- Bosch, M.W., S. Tamminga, G. Post, C.P. Leffering, J.M. Muylaert, 1992. Influence of stage of maturity of grass silages on digestion processes in dairy cows. 1. Composition, nylon bag characteristics, digestibility and intake. *Liv. Prod. Sci.*, 32: 245–264.
- Bourquin, L.D., E.C. Tibgemeyer, J.V. Milgen, J.C. Fahey Jr., 1994. Forage level and particle size effects on orchard grass digestion by steers: II. Ruminal digestion kinetics of cell wall components. *J. Anim Sci.*, 72: 759-67
- Bouyoukos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal* 54: 464-465
- Bovolenta, S., Spanghero, M., Dovier, S., Orlandi, D., F. Clementel, 2007. Chemical composition and net energy content of alpine pasture species during the grazing season, *Anim. Feed Sci. Technol.* 146: 178-191
- Brady, N. C., 1974. The nature and properties of soils. 8th ed. MacMillan Publishing Co. New York.
- Βραχνάκης Μ., Παπαγεωργίου Α., Μίγδου Ε., Ιόβη Κ., Μπερδελή Μ., 2003. Μεταβολή στη φυτοποικιλότητα των ψευδαλπικών λιβαδιών του Τυμφρηστού κατά την υψομετρική διαβάθμιση. Σελ. 447-452. (Πλατής Π., Παπαχρήστου Θ. εκδότες). Πρακτικά 3ου Πανελληνίου συνέδριου λιβαδοπονίας, Καρπενήσι 2002. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία.
- Braun-Blanquet, J., 1964. *Pflanzensoziologie. Grundzuge der Vegetationskunde* 3. Aufl. Springer Verlag, Berlin/Wien/New York
- Bremner, J.M., 1965. Total nitrogen. *Agronomy* 9: 1149-78
- Bremner, I., 1970. Zinc, copper and manganese in the alimentary tract of sheep. *British Journal of Nutrition*, 24, 769–783.
- Briggs, J. C., 1999. Coincident biogeographic patterns: Indo-West Pacific. *Evolution* 53:326–335
- Broderick, G.A., 1994. Quantifying forage protein quality. In: G.C. Fahey, Jr. et al. (Editors), *Forage quality, evaluation and utilization*. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 200-228.
- Broderick, G.A. and D.R. Buxton, 1991. Genetic variation in alfalfa for ruminal protein degradability. *Can. J. Plant Sci.*, 71: 755-760.
- Brown, P.H., R.D. Graham, D.G. Nicholas, 1984. The effect of manganese and nitrate supply on the level of phenolics and lignin in young wheat plant. *Plant Soil*, 81: 437-440
- Brubaker, S. C., A.J. Jones, D.T. Lewis, and K. Frank. 1993. Soil Properties Associated with Landscape Position. *Soil Science Society of America Journal* 57:235-239
- Brueland, B.A., K.R. Harmony, K.J. Moore, J.R. George, E.C. Brummer, 2003. Development morphology of smooth brome grass growth following spring grazing. *Crop. Sci.* 43: 1789-1796
- Bruinenberg, M. H. H. Valk, H. Korevaar, P. C. Struik, 2002. Factors affecting digestibility of temperate forages from seminatural grasslands: a review *Grass and Forage Science*, vol. 57: 292–301
- Buxton, D.R., 1990. Cell-wall components in divergent germplasm of four perennial forage grass species. *Crop Sci.*, 29: 213-219.

- Buxton, D.R., 1996. Quality-related characteristics of forages as influenced by plant environment and agronomic factors. *Animal Feed Science and Technology* 59: 37-49
- Buxton D.R. and S.L. Fales, 1994. Plant environment and quality. In: Fahey G.C. (ed.) *Forage quality, evaluation and utilization*, pp. 155–199. Madison, WI: American Society of Agronomy
- Buxton, D.R. and G.C., Marten, 1989. Forage quality of plant parts of perennial grasses and relationship to phenology. *Crop Science*, 29: 429-435
- Buxton, D.R. and J.S. Homstein, 1986. Cell-wall concentration and components in stratified canopies of alfalfa, birdsfoot trefoil and red clover. *Crop Sci.*, 26: 180-184
- Buxton, D.R., J.S. Homstein, W.F. Wedin, G.C. Marten, 1985. Forage quality in stratified canopies of alfalfa, birdsfoot trefoil and red clover. *Crop Sci.* 25: 273-279
- Buxton, D.R. and D.D. Redfearn, 1997. Plant Limitations to Fiber Digestion and Utilization. *J. Nutr.* 127: 814S–818S
- Buzas, M. A., L. S. Collins, S. J. Culver, 2002. Latitudinal difference in biodiversity caused by higher tropical rate of increase. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 99:7841–7843
- Cable, D., 1980. Seasonal patterns of soil water recharge and extraction on semidesert ranges. *Journal of range management* 33: 9-15
- Cadish, G., Giller K. E., Urquiaga S., Miranda C. H. B., Boddey R. M., Schunke R. M., 1994. Does phosphorus supply enhance soil-N mineralization in Brazilian pastures? *European journal of Agronomy*, 3, 339–345
- Γάκης, Σ. και Ματζανάς Κ., 2003. Υπέργεια παραγωγή και χημική σύσταση της ποώδους βλάστησης σε ένα δασολιβαδικό σύστημα της Βορείου Ελλάδος. Σελ. 263-269. (Πλατής Π., Παπακρήστου Θ. εκδότες). Πρακτικά 3ου Πανελληνίου συνέδριου λιβαδοπονίας, Καρπενήσι 2002. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία.
- Cakmak, I., Erenoglu, B., Gul'ut, K. Y., Derici, R., and Romheld, V., 1998. Light-mediated release of phytosiderophores in wheat and barely under iron or zinc deficiency. *Plant Soil* 202, 309–315
- Campbell, L. C., and Nable, R. O., 1988. Physiological function of manganese in plants. In "Manganese in Soils and Plants" (R. D. Graham, Ed.), pp. 139–154. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands
- Cardillo, M., 1999. Latitude and rates of diversification in birds and butterflies. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 266:1221–1225.
- Carpenter, C., 2005. The environmental control of plant species density on a Himalayan elevation gradient. *Journal Biogeography* 32: 999–1018
- Cavallaro, N., and McBride, M. B., 1984. Zinc and copper status and fixation by an acid soil clay: Effect of selective dissolutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48, 1050–1054
- Chatzitheodoridis, F., Michailidis, A., Theodossiou G., 2007. Comparative Analysis of sheep - Goat Farming in a Typical Greek Island: Economy and Environment, *Applied Economics and Policy Analysis*, 1(1-2): 191 – 200.
- Chen, T., and Zhang J., 2000. Plant species diversity of Shenweigou in Guandi mountains (Shanxi, China) I. richness, evenness and diversity indexes. *Chinese Journal of Applied and Environmental* 6(5): 406-411
- Cherney, J.H., D.J.R. Cherney, T.W. Bruulsema, 1998. Potassium management. In *Grass for Dairy Cattle*, eds. JH Cherney and DJR Cherney, 137—160
- Cherney, D.J.R., D.R. Mertens, J.E. Moore, 1990. Intake and digestibility by withers as influenced by forage morphology at three levels of forage offering. *J. Animal Sci.*, 68(12): 4387-4399.

- Cherney, D.J.R. and D.R. Mertens, 1998. Modelling grass utilization for dairy cows. In: Cherney, J.H. and Cherney, D.J.R. (eds) *Grass for Dairy Cattle*. CAB International, Wallingford, Oxon, UK, pp. 351–371
- Chiy, P.C. and Phillips, C.J.C., 1993. Sodium fertilizer application to pasture. 1. Direct and residual effects on pasture production and composition. *Grass and Forage Science* 48, 189–202
- Clark, R. B., and Zeto, S. K., 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *J. Plant Nutr.* 23, 867–902
- Coleman, B.D., Mares M.A., Willig M.R., Hsieh Y., 1982. Randomness, area and species richness. *Ecology* 63:1121-33
- Connell, J.H., Orias E., 1964. The ecological regulation of species diversity. *American Naturalist* 98: 399–414
- Cook, W.C. and J. Stubbendieck, 1986. *Range Research: Basic Problems and Techniques*. Soc. Range Manage. Denver, Colorado. 317 p.
- Cooper, A. J., 1973. “Root Temperature and Plant Growth. Research Review No. 4.” Commonwealth Bureau of Horticultural and Plantation Crops, East Malling, Maidstone, Kent, UK.
- Corah, L. R., and D. Dargatz, 1996. Forage analyses from cow/calf herds in 18 states. Beef Cow/Calf Health and Productivity Audit (CHAPA). USDA Animal and Plant Health Inspection Service, Veterinary Services, National Health Monitoring System, USDA, Washington, DC.
- Coughenour, M.E., 2008. Causes and consequences of herbivore movement in landscape ecosystems. In: Galvin K.A., Reid R.S., Behnke R.H. and Hobbs N.T. (eds) *Fragmentation in semi-arid and arid landscapes. Consequences for human and natural systems*, pp. 45–91. Dordrecht, The Netherlands: Springer
- Coupland, R.T., 1992. Approach and generalizations. In: Coupland, R.T. (ed.) *Natural Grasslands. Introduction and Western Hemisphere. Ecosystems of the World 8A*, Elsevier, Amsterdam, pp. 1–6.
- Crawley, M.J., Johnston A.E., Silvertown J., Dodd M., de Mazancourt C., Heard M.S., Henman D.F., Edwards G.R., 2005. Determinants of species richness in the Park Grass Experiment. *Am. Nat.* 165: 179–192
- Critchley, C.N.R., B.J. Chambers, J. A. Fowbert, A. Bhogal, S. C. Rose, R. A. Sanderson, 2002a. Plant species richness, functional type and soil properties of grasslands and allied vegetation in English Environmentally Sensitive Areas. *Grass and Forage Science*, 57:82–92.
- Critchley, C. N. R., B. J. Chambers, J. A. Fowbert, R. A. Sanderson, A. Bhogal, S. C. Rose., 2002b. Association between lowland grassland plant communities and soil properties. *Biological Conservation*, 105:199–215.
- Cuesta, P.A., L. R. McDowell, W. E. Kunkle, F. Bullock, A. Drew, N. S. Wilkinson, F. G. Martin, 1993. Seasonal variation of soil and forage mineral concentrations in north florida. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 24:3-4, 335-347
- Currie, D. J., G. G. Mittelbach, H. V. Cornell, R. Field, J. Guegan, B. A. Hawkins, D. M. Kaufman, J. T. Kerr, T. Oberdorff, E. M. O’Brien, J. R. G. Turner, 2004. Predictions and tests of climate-based hypotheses of broadscale variation in taxonomic richness. *Ecology Letters* 7: 1121–1134.
- Dane, J.H., C. Topp, 2002. *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. The Soil Science Society of America Book Series, Vol. 5. Madison. USA. 1692 p.
- Deinum B., De Beyer J., Norfeldt P.H., Kornher A., Ostgard O. and Van Bogaert G., 1981. Quality of herbage at different latitudes. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 29: 141–150.

- De Cáceres M., Legendre P., Moretti M., 2010. Improving indicator species analysis by combining groups of sites. *Oikos* 119(10): 1674-1684
- De Vries, F.T., Manning P., Tallowin J., 2012. Abiotic drivers and plant traits explain landscape-scale patterns in soil microbial communities. *Ecology Letters* 15: 1230-1239.
- De Vries, F.T., Thébault E, Liiri M., 2013. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110: 14296-14301
- Diaz, S., Lavorel S., de Bello F., Quetier F., Grigulis K., Robson M., 2007. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 104: 20684–20689
- Dierenfeld, E.S., R. du Toit, W.E. Braselton, 1995. Nutrient composition of selected browses consumed by black rhinoceros in the Zimbabwe valley. *Zimbabwe Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 26: 220-230
- Dodd, M.E., Silvertown J., McConway K., Potts J., Crawley M., 1994a. Application of the British National Vegetation Classification to the communities of the Park Grass Experiment through time. *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica, Praha*, 29, 321–334.
- Dodd, M.E., J. Silvertown, K. McConway, J. Potts, M. Crawley, 1994b. Stability in the plant communities of the Park Grass Experiment: the relationship between species-richness, soil pH and biomass variability. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*, 346, 185-193.
- Dodson, S. I., S. E. Arnott, K. L. Cottingham, 2000. The relationship in lake communities between primary productivity and species richness. *Ecology* 81:2662–2679
- Drysdale, R.A., Devlin, T.J., Lillie, L.E., Fletcher, W.K. Clark, K.W., 1980. Nutrient concentrations in grass and legume forages of northwestern Manitoba. *Can. J. Anim. Sci.*, 60: 991-1002
- Dua, K. and A.D. Care, 1995. Impaired absorption of magnesium in the etiology of grass tetany. *Brit. Vet. J.*, 151: 413-26
- Dupre, C., Stevens C.J., Ranke T., 2010. Changes in species richness and composition in European acidic grasslands over the past 70 years: the contribution of cumulative atmospheric nitrogen deposition. *Global Change Biology* 16: 344-357
- Duru, M., Ducrocq H., 1997. A nitrogen and phosphorus herbage nutrient index as a tool assessing the effect of N and P supply on the dry matter yield of permanent pastures. *Nutr Cycl Agroecosystem* 47:59–69
- Dykstra, M.D. and M. Sabourin, 2003. Iron and manganese deficiencies of landscape ornamentals. Pest Diagnostic Clinic Laboratory Services Division, Publ. PDCF – 043. University of Guelph, Ontario – Canada. *Web: www.uoguelph.ca/pdc.*
- Edmeades, D.C. and O' Connor M.B., 2003. Sodium requirements for temperate pastures in New Zealand: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 46: 37 – 47.
- Edwards, G.R. and Crawley, M.J., 1999. Herbivores, seed banks and seedling recruitment in mesic grassland. *Journal of Ecology*, 87, 423–435.
- Edwards, J. H., and Kamprath, E. J., 1974. Zinc accumulation by maize seedlings as influenced by phosphorus, temperature and light intensity. *Agron. J.* 66, 479–482
- El-Jaoual, T., and Cox, D. A., 1998. Manganese toxicity in plants. *J. Plant Nutr.* 21, 353–386
- Elisseou, G.C., D. S. Veresoglou, and A. P. Mamolos, 1995. Vegetation productivity and diversity of acid grasslands in northern Greece as influenced by winter rainfall and limiting nutrients. *Acta Oecologica*, 16:687–702
- Elliot, R., 1986. The use of green forage material to improve the nutritional status of animals fed low quality crop residues. In *Ruminant Feeding Systems utilizing fibrous agricultural residues* (ed. R.M. Dixon). Canberra, ACT, Australia, pp: 49-67.

- El-Shatnawi, M.K., H.M. Saoub, N.I. Haddad, 2004. Growth and chemical composition of wild oat (*Avena fatua*) under Mediterranean conditions. *Grass Forage Sci.*, 59: 100-103
- Engels, E.A.N., 1981. Mineral status and profiles (blood, bone and milk) of the grazing ruminant with special reference to calcium, phosphorus and magnesium. *South African Journal of Animal Science* 11, 171–182.
- Evans, K. L., P. H. Warren, K. J. Gaston, 2005. Species energy relationships at the macroecological scale: a review of the mechanisms. *Biological Review* 80:1–25.
- Ewald, J., 2003. The calcareous riddle: Why are there so many calciphilous species in the Central European flora? *Folia Geobot.* 38:357-366
- Fageria, N. K., Baligar V. C., Edwards D. G., 1990. Soil-Plant nutrient relationships at low pH stress. In “Crops as Enhancers of Nutrient Use” (V. C. Baligar and R. R. Duncan, Eds.), pp. 475–507. Academic Press, San Diego
- Fageria, N. K., Baligar V. C., Jones C. A., 1997. “Growth and Mineral Nutrition of Field Crops,” 2nd edition. Dekker, New York.
- Fageria, N. K., and Gheyi H. R., 1999. “Efficient Crop Production.” Federal University of Paraiba, Campina Grande, Brazil.
- Fick, G.W. and D.W. Onstad, 1988. Statistical models for predicting alfalfa herbage quality from morphological or weather data. *Journal of Production Agriculture*, 1:160-166
- Fick, G.W., P.W. Wilkens, J.H. Cherney, 1994. Modeling forage quality changes in the growing crop. In: G.C. Fahey, Jr et al. (Editors), *Forage quality, evaluation and utilization*. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 757 – 795
- Fisher, R. A., 1966. *The design of experiments*. 8th ed. Hafner, New York.
- Fisher, G.E.J. and L.J. Baker., 1996. The chemical composition of forb species in grassland. In: Parente, G., Frame, J., Orsi, S. (Eds.), *Grassland and Land Use Systems*. Proceedings of the 16th General Meeting of the European Grassland Federation, ERSA, Gorizia, Italy, pp. 429–432.
- Fischer, M. and Wipf S., 2002. Effect of low intensity grazing on the species rich-vegetation of traditionally mown subalpine meadows. *Biological conservation*, 104, 1–11.
- Fleming, G.A. 1970. The influence of stage of maturity and season on trace element levels in perennial ryegrass. *Agricultural Digest* 19, 25–32
- Fleming, G.A. and Murphy W.E., 1968. The uptake of some major and trace elements by grasses as affected by season and stage of maturity. *Journal of the British Grassland Society* 23, 174–185.
- Ford, C.W., Morrison, I.M., Wilson, J.R., 1979. Temperature effects on lignin, hemicellulose and cellulose in tropical and temperate grasses. *Aust. J. Agric. Res.* 30, 621–633.
- Foroughbakhch, R., J.L. Hernandez-Pinero, A. Carrillo-Parra, 2012. Nutrient profile, floristic compositions and preference index of shrubs and herbs consumed by goats in semiarid region of Northeastern Mexico. *J. Anim. Vet. Adv.*, 11: 1299- 1305
- Φωτιάδης, Γ., 2004. Καθορισμός των δασικών φυτοκοινωνιολογικών μονάδων του Ελληνικού τμήματος του όρους Μπέλες και της οροσειράς των Κρουσίων. Διδακτορική διατριβή. 383 σελ.
- Frank, A.B. and R.E. Ries, 1990. Effect of soil water, nitrogen, and growing degree-days on morphological development of crested and western wheatgrass. *J. Range Manage.* 43(3): 257-260.
- Frost, W., and S. Edinger, 1991. Effects of tree canopies on soil characteristics of annual Rangeland. *Journal Range Management* 44:286-288
- Fulkerson, W.J., J.S. Neal, C.F. Clark, A. Horadagoda, K.S. Nandra, I. Barchia, 2007. Nutritive value of forage species grown in the warm temperate climate of Australia for dairy cows: Grasses and legumes. *Livestock Science*, 107: 253–264

- Ganskopp, D. and D. Bohnert, 2001. Nutritional dynamics of 7 northern Great Basin grasses. *J. Range Manage.* 54: 640–647.
- Ganskopp, D., and D. Bohnert, 2003. Mineral concentration dynamics among 7 northern Great Basin grasses. *J. Range Manage.* 56: 174-184.
- Garcia, F., Carrere P., Soussana J. F., Baumont R., 2005. Characterisation by fractal analysis of foraging paths of ewes grazing heterogeneous swards. *Applied Animal Behaviour Science.* 93 : 19–37
- García-Ciudad, A., A. Ruano-Ramos, B.R. Vázquez de Aldana, B. García-Criado, 1997. Interannual variations of nutrient concentrations in botanical fractions extensively managed grasslands. *Animal Feed Science Technology.* 66: 257-269.
- Garcia, L. V., T. Maranon, A. Moreno, and L. Clemente, 1993. Above-ground biomass and species richness in a Mediterranean salt marsh. *Journal of Vegetation Science* 4:417–424
- Garmo, T. H., Frosli A., Hoie R., 1986. Levels of Copper, Molybdenum, Sulphur, Zinc, Selenium, Iron and Manganese in Native Pasture Plants from a Mountain Area in Southern Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica* 36:2, 147-161
- Geering, H. R., and Hodgson J. F., 1969. Micronutrient cation complexes in soil solution. III. Characterization of soil solution ligands and their complexes with Zn^{2+} and Cu^{2+} . *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 33, 54–59.
- George, M., J. Bartolome N. McDougald, M. Connor, C. Vaughn, G. Markegard, 2001. Annual range forage production. Oakland: University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Publ. 8018. 1-9
- Georgievskii, V. I., 1982. Biochemical regions. Mineral composition of feeds. In: *Mineral Nutrition of Animals.* (Eds.): V.I. Georgievskii. B.N. Annenkov and V.I. Samokhin. Butterworths London
- Gillman, L.N. and Wright S.D., 2006. The influence of productivity on the species richness of plants: a critical assessment. *Ecology* 87: 1234–1243
- Gillooly, J. F., A. P. Allen, G. B. West, J. H. Brown, 2005. The rate of DNA evolution: Effects of body size and temperature on the molecular clock. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 102:140–145.
- Gintzburger, G., 1986. Seasonal variation in above-ground annual and perennial phytomass of an arid rangeland in Libya. *Journal of Range Management*, 39: 348-353
- Gladstones, J.S. and Loneragan J.F., 1970. Nutrient elements in herbage plants in relation to soil adaptation and animal nutrition. In: *Proceedings of the XI International Grassland Congress*, pp. 350–396.
- Giordano, P. M., Noggle J. C., Mortvedt J. J., 1974. Zinc uptake by rice as affected by metabolic inhibitors and competing cations. *Plant Soil* 41, 637–646
- Goering, K.H and P.J. Van Soest, 1970. Forage fibre analyses (apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agricultural Handbook*, U.S. Department of Agriculture, No 379.
- Gómez, J.A., J.V. Giráldez, M. Pastor, E. Fereres, 1999. Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. *Soil Tillage Res.* 52: 167-175.
- Gomide, J.A., Noller, C.H., Mott, G.O., Conrad, J.H., Hill, D.L., 1969. Mineral composition of six tropical grasses as influenced by plant age and nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 61, 120–123.
- Gong, X., H. K. Brueck, K.M. Giese, L. Zhang, B. Sattelmacher, S. Lin, 2008. Slope aspect has effects on productivity and species composition of hilly grassland in the Xilin River Basin, Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments*, 72:483–493.
- González-Andrés, F. and J.M. Ortiz. 1996. Potential of *Cytisus* and allied genera (Genistaceae: Fabaceae) as forage shrubs. 2. Chemical composition of the forage and conclusions. *New Zealand J. Agric. Res.* 39: 205–213

- Gough, L., J. B. Grace, K. L. Taylor, 1994. The relationship between species richness and community biomass: the importance of environmental variables. *Oikos* 70: 271–279.
- Grace, J. B., 1999. The factors controlling species density in herbaceous plant communities: an assessment. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution, and Systematics* 2:1–28.
- Grbesa, D., Cmojevic, Z., Laskarin, Z. Posavac, J., 1992. Mineral composition of some fresh herbage of grasses, legumes and cruciferae and its value for ruminants. *Krmiva*, 34: 127–134.
- Greene, L.W., 2000. Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. *J. Anim. Sci.* 78 (E-Suppl.): E13
- Grime, J.P., 1973. Control of species density in herbaceous vegetation. *J. Environm. Managem.* 1 : 151-167.
- Grime J.P., 1979. *Plant strategies and vegetation processes*. Wiley, Chichester.
- Grime, J. P., 2001. *Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties*. Wiley.
- Grings, E.E., Haferkamp, M.R., Heitschmidt, R.K., Karl, M.G., 1996. Mineral dynamics in forages of the Northern Great Plains. *J. Range Manage.* 49, 234–240.
- Gross, C. F. and Jung G. A., 1981. Season, Temperature, Soil pH, and Mg Fertilizer Effects on Herbage Ca and P Levels and Ratios of Grasses and Legumes. *Agronomy Journal*, 73:629–634.
- Gross, K. L., M. R. Willig, L. Gough, R. Inouye, S. B. Cox, 2000. Patterns of species density and productivity at different spatial scales in herbaceous plant communities. *Oikos* 89:412–427.
- Groot, J.C.J. and J.H. Neutboom, 1997. Composition and digestibility during ageing of Italian ryegrass leaves of consecutive insertion levels. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 75: 227–236.
- Grunes, D. L., Stout P. R., Brownell J. R., 1970. Grass tetany of ruminants. *Adv. Agron.* 22:331.
- Grunes, D.L. and Welch, R.M., 1989. Plant contents of magnesium, calcium and potassium in relation to ruminant nutrition. *J. Anim. Sci.*, 67: 3485-3494.
- Grytnes, J. A., 2000. Fine-scale vascular plant species richness in different alpine vegetation types: relationships with biomass and cover. *Journal of Vegetation Science* 11: 87–92.
- Grytnes, J.A. and Vetaas O.R., 2002. Species richness and altitude, a comparison between simulation models and interpolated plant species richness along the Himalayan altitudinal gradient, Nepal. *American Naturalist*, 159: 294–304.
- Grytnes, J.A., 2003. Species-richness patterns of vascular plants along altitudinal transects in Norway. *Ecography* 26: 291– 300
- Gunawardena, I., Virmoni, S. S., Sumo, F. J., 1982. Breeding rice for tolerance to iron toxicity. *Oryza* 19, 5–12
- Guo, Q. and Berry W.L., 1998. Species richness and biomass: dissection of the humped-shaped relationship. *Ecology* 79: 2555-2559
- Gusewell, S., Bailey K.M., Roem W.J., Bedford B.L., 2005. Nutrient limitation and botanical diversity in wetlands: can fertilisation raise species richness? *Oikos* 109: 71-80
- Hadjigeorgiou, I., K.J.P. Osoro, Fragoso de Almeida, G. Molle, 2005. Southern European grazing lands: Production, environmental and landscape management aspects. *Livestock Production Science*, 96: 51-59
- Hale, C. and K.C. Olson, 2001. *Mineral supplements for beef cattle*. Missouri Extension Service, Columbia, MU. Publication G2081.
- Halgerson, J.L., Sheaffer, C. C., Martin, N. P., Peterson, P. R., Weston S.J., 2004. Near-infrared reflectance spectroscopy prediction of leaf and mineral concentrations in alfalfa. *Agronom. J.*, 96, 344-351
- Harmsen, K., and Vlek P., 1985. The chemistry of micronutrients in soil. *Fert. Res.* 7, 1–42.

- Hart, R.H., O.M. Abdalla, D.H. Clark, M.B. Marshall, M.H. Hamid, J.A. Hager, J.W. Waggoner Jr., 1983. Quality of Forage and Cattle Diets on the Wyoming High Plains. *J. Range Manage.* 36: 46-51.
- Harter, R.D., 1991. Micronutrient adsorption-desorption reactions in soils. In "Micronutrients in Agriculture," 2nd edition (J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch, Eds.), pp. 59–87. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Hastie, T. and Tibshirani R., 1990. Generalized Additive Models. CRC Press.
- Heenan, D. P. and Campbell L. C., 1980. Transport and distribution of manganese in two cultivars of soybean. *Aust. J. Agric. Res.*, 31, 943
- Heide, R.K., Hay R.K.M., H. Baugeröd, 1985. Specific daylength effects on leaf growth and dry matter production in high-latitude grasses. *Annals of Botany*, 55, 579–586
- Hejzman, M., Szaková J., Schellberg J., Tlustoš P., 2010. The Rengen Grassland Experiment: relationship between soil and biomass chemical properties, amount of elements applied, and their uptake. *Plant Soil* (2010) 333:163–17
- Hendricksen, R.E. and Minson D.J., 1980. The feed intake and grazing behaviour of cattle grazing a crop of *Lablab purpureus* cv. Rongai. *Journal of Agricultural Science* 95, 547–554.
- Hendricksen, R.E. and Minson D.J., 1985. Growth, canopy structure and chemical composition of *Lablab purpureus* cv. Rongai at Samford, SE Queensland. *Tropical Grasslands* 19, p 81-87
- Henry, P.R., 1995. Manganese bioavailability. In: Ammerman, C.B., Baker, D.H. and Lewis, A.J. (eds) *Bioavailability of Nutrients for Animals*. Academic Press, San Diego, USA, pp. 239–256.
- Henry, M., Stevens H., Carson W., 1999. Plant density determines species richness along an experimental fertility gradient. *Ecology* 80: 455-465.
- Hill, M.O. and Gauch H.G., 1980. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. *Vegetatio* 42: 47–58
- Hillebrand, H. and T. Blenckner, 2002. Regional and local impact on species diversity—from pattern to processes. *Oecologia* 492:479–491
- Holechek, J. L., Estell, R. E., Kuykendall, C. B., Valdez, R., Cardenas, M. and Nunez-Hernandez, G. 1989. Seeded wheatgrass yield and nutritive quality on New Mexico big sagebrush range. *J. Range Manage.* 42:118-122.
- Holechek, J.L., R.D. Pieper, C.H. Herbel, 1995. *Range management: Principles and Practices*. 2nd Edition. Prentice Hall Publications
- Holechek, J.L., Pieper, R.D., Herbel, C.H., 2001. *Range management principles and practices*. Prentice Hall, Englewood Cliff, 587 pp.
- Horiguchi, T., 1998. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. VII. Effect of light intensity on manganese-induced chlorosis. *J. Plant Nutr.* 11, 235–240.
- Horvat, I., V. Glavač, H. Ellenberg, 1974. *Vegetation Sudosteupopas*. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart
- Hubbell, S. P., 2001. *The unified neutral theory of biodiversity and biogeography*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA
- Humphreys, L.R., 1984. *Tropical pastures and fodder crops*. Longman Group U.K. Ltd. Longman House, Burnt Mill, Harlow Essex CM 20 2J. E. England.
- Huntington, G.B. and Burns J.C., 2007. Afternoon harvest increases readily fermentable carbohydrate concentration and voluntary intake of gamagrass and switch grass baleage by beef steers. *Journal of Animal Science*, 85, 276–284.
- Hussain, F and Durrani J. M., 2009. Nutritional evaluation of some forage plants from harboi rangeland, kalat, pakistan. *Pak. J. Bot.*, 41(3): 1137-1154

- Huston, M. A., 1979. A general hypothesis of species diversity. *American Naturalist* 113:81–101
- Huston, M. A., 1994. *Biological diversity: the coexistence of species in changing landscapes*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Huston, M. A., and D. L. DeAngelis, 1994. Competition and coexistence: the effects of resource transport and supply rates. *American Naturalist* 144:954–977.
- Θεοδωρίδης, Ι. και Κούκουρα Ζ., 2006. Μακροχρόνια επίδραση της βόσκησης στην ποικιλότητα υπαλπικών λιβαδιών, σελ. 125-229. (Παπαναστάσης Β. εκδότης). Πρακτικά 5ου Πανελληνίου Λιβαδοπονικού Συνεδρίου, Ηράκλειο 2006. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία.
- Inskeep, W. P., and Bloom, P. R. 1986. Effects of soil moisture on soil pCO₂, soil solution bicarbonate, and iron chloris in soybeans. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50, 946–952
- Ιόβη, Κ., 2001. Συμβολή στη μελέτη της χλωρίδας και της ποικιλότητάς της στους λιβαδικούς οικοτόπους των Πιερίων ορέων. Μεταπτυχιακή διατριβή
- Ιόβη, Κ., Βραχνάκης Μ., Παπαναστάσης Β., 2003. Χλωριδική ποικιλότητα ψευδαλπικών λιβαδιών Γράμμου. Σελ. 463-468. (Πλατής Π., Παπαχρήστου Θ. εκδότες). Πρακτικά 3ου Πανελληνίου λιβαδοπονικού συνεδρίου, Καρπενήσι 2002. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία.
- Janssens, F., Peters A., Tallowin J.R., Bakker J.P., Bekker R., Fillat F., Oomes M.J., 1998. Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant Soil* 202: 69-78.
- Jarvis, S.C. and Austin A.R., 1983. Soil and plant factors limiting the availability of copper to a beef suckler herd. *Journal of Agricultural Science*, 101, 39–46.
- Jefferson, P.G., H.F. Mayland, K.H. Asay, J.D. Berdhal, 2001. Variation in mineral concentration and grass tetany potential among Russian wildrye accessions. *Crop Science*, 41: 543–548.
- Jones, R.J. and Betteridge K., 1994. Effect of superphosphate and its component elements (phosphorus, sulfur and calcium), on the grazing preference of steers on a tropical grass–legume pasture grown on a low phosphorus soil. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 34, 349–353
- Juan, N.A., C.C. Sheaffer, D.K. Barnes, D.R. Swanson, J.H. Halgerson, 1993. Leaf and stem traits and herbage quality of multifoliolate alfalfa. *Agron. J.* 85:1121–1127
- Jumba, I.O., Suttle, N.F., Hunter, E.A. and Wandiga, S.O., 1995. Effects of soil origin and mineral composition and herbage species on the mineral composition of forages in the Mount Elgon region of Kenya. 2. Trace elements. *Tropical Grasslands* 29, 47–52.
- Jumba, I.O., N.F. Suttle, S.O. Wandiga, 1996. Mineral composition of tropical forages in the Youssef F.G. and Braithwaite, R.A.I. 1987. The mineral profile of some tropical grasses in Trinidad, *Tropical Agriculture*, 64(2): 112-128.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias, 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press Inc., Boca Raton, FL.
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias, 2001. *Trace Elements in Soils and Plants*. 3rd edition. CRC Press LLC. pp 403
- Kähäri, J. and Nissinen, H., 1978. The mineral element contents of timothy (*Phleum pratense* L.) in Finland. *Acta Agric. Scand. Suppl.*, 20-26
- Καραγιαννακίδου, Β. και Μ. Παπαδημητρίου, 2001. Βιοποικιλότητα θαμνωδών ειδών στα ανώτερα ορεινά και υπαλπικά λιβάδια της Β.Α. Ελλάδος σελ. 193-203. Η λιβαδοπονία στο κατώφλι του 21ου αιώνα (Παπαχρήστου Θ., Ντίνη-Παπαναστάση Ο. εκδότες). Πρακτικά 2ου Πανελληνίου Λιβαδοπονικού Συνεδρίου. Ιωάννινα 2000
- Καράταγλης, Σ., 1995. Φυσιολογία Φυτών. Εκδόσεις Art of Text. Θεσσαλονίκη. 351 σελ.
- Karanika, E.D., A.P. Mamolos, D.A. Alifragis, K.L. Kalburtji, D.S. Veresoglou, 2008. Arbuscular mycorrhizas contribution to nutrition, productivity, structure and diversity of

- plant community in mountainous herbaceous grassland of northern Greece. *Plant Ecology*, 199: 225-234
- Karlen, D. L., R. Ellis, Jr., D. A. Whitney, D. L. Grunes, 1980. Influence of soil moisture on solution cation concentrations and the tetany potential of wheat forage. *Agron. J.* 72:73.
- Kay, R. F., R. H. Madden, C. V. Schaik, and D. Higdon, 1997. Primate species richness is determined by plant productivity: implications for conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)* 94:13023–13027
- Kaya, I., A. Öncüer and Y. Ünal, 2004. Nutritive value of pastures in Kars district. I. Botanical and nutrient composition at different stages of maturity. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 28: 275-280
- Kayser M. and Isselstein J., 2005. Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. *Grass and Forage Science* 60: 213-224
- Kendall, W.A., and Striger W. C., 1985. Physiological aspects of clover. In: *Clover Science and Technology*. (Taylor N.L., ed.), No 25, Agronomy, American Society of Agronomy Inc. Pub. Madison, Wisconsin USA.
- Kephart, K.D., D.R., Buxton, S.E., Taylor, 1992. Growth of C3 and C4 Perennial Grasses under Reduced Irradiance. *Crop Science*, 32:1033-1038
- Kerr, J., 2001. Global biodiversity patterns: from description to understanding. *Trends in Ecology and Evolution*, 16, 424–425.
- Khalil, I.A. and F. Manan, 1990. *Chemistry-one (Bio-analytical chemistry)* (2nd ed.). Peshawar: Taj kutab Khana.
- Khan, Z. I., Ashraf M., Hussain A., Ahmad1 K., Javed I., Valeem E. E., 2008. A comparative study on mineral status of blood plasma of small ruminants and pastures in Punjab, Pakistan. *Pak. J. Bot.*, 40(3): 1143-1151
- Khan, I. Z., Ashraf M., Valeem E., 2006a. Forage mineral status evaluation: the influence of pastures. *Pak. J. Bot.*, 38(4): 1043-1054
- Khan, Z. I., Ashraf M., Hussain A., McDowell L. R., 2006b. Seasonal Variation of Trace Elements in a Semiarid Veld Pasture , *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37:9-10, 1471-1483
- Khan, Z.I., A. Hussain, M. Ashraf, M.Y. Ashraf and L.R McDowell, 2005. Macro mineral status of grazing sheep in Punjab, Pakistan. *Small Ruminant Research*, 68: 279-284.
- Kincaid R. L. and J. D. Cronrath, 1983. Amounts and Distribution of Minerals in Washington Forages. *Journal of Dairy Science*, 66: 821-824
- Kirby, D.G., D.M. Green, T.S. Mugs, 1989. Nutrient composition of selected emergent macrophytes in Northern prairie wetlands. *J. Range Management* 42:323-326
- Κιτκίδου, Κ., 2005. Εφαρμοσμένη Στατιστική με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Klimek, S., Richter A., Hofmannb M., Isselsteinb J., 2007. Plant species richness and composition in managed grasslands: The relative importance of field management and environmental factors. *Biological conservation* 134: 559 –570
- Knapp, A.K., 1985. Effect of fire and drought on the ecophysiology of *Andropogon gerardii* and *Panicum virgatum* in tallgrass prairie. *Ecology*, 66: 1309-1320
- Koch, D.W. and G.O. Estes, 1986. Liming rate and method in relation to forage establishment-crop and soil chemical responses. *Agron. J.* 78:567-571.
- Koerselman, W. and Meuleman A.F.M., 1996. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology* 33, 1441–1450.
- Korner, Ch., 2003. *Alpine Plant Life* (2end ed.) Springer, Berlin, pp. 110.
- Κουτσούκης, Χ., Κανδρέλης Σ., Ρούκος Χ., Παπανικολάου Κ., Μαντζούτσος Ι., 2010. Παραγωγή και θρεπτική αξία λιβαδικής παραγωγής ποολίβαδων σε διαφορετικές υψομετρικές ζώνες της Ηπείρου και της Θεσσαλίας. Σελ. 123-128. (Σιδηροπούλου Α.,

- Μαντζανάς Κ. και Ισπικούδης Ι. εκδότες). Πρακτικά 7ου Πανελληνίου λιβαδοπονικού συνεδρίου, Ξάνθη 2010. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία.
- Krysl, L.J., M.E. Hubbert, F.B. Sowell, G.E. Plumb, J.K. Jewett, M.A. Smith and J.W. Waggoner, 1984. Horse and cattle grazing in the Wyoming Red Desert II, Dietary quality. *J. Range Management* 37: 72–77.
- Kubota, J., Lemon E. R., Allaway W. H., 1963. The effect of soil moisture content upon the uptake of molybdenum, copper, and cobalt by alsike clover. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27, 679–683.
- Lalman, D., 2004. Vitamin and Mineral Nutrition of Grazing Cattle. Oklahoma Cooperative Extension Service. Publ. E-861. Oklahoma State University. *Web: <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-2032/E-861web.pdf>*
- Lanyon, L.E. and Smith, F.W., 1985. Potassium nutrition of alfalfa and other forage legumes: temperate and tropical. In: Munson, R.D. (ed.) Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 861–894
- Lazarina, M., Sgardeli V., Kallimanis A.S., Sgardelis S.P., 2013. An effort-based index of beta diversity. *Methods in Ecology and Evolution* 4: 217–225
- Lechtenberg, V.L., D.A. Holt, H.W. Youngberg, 1971. Diurnal Variation in Nonstructural Carbohydrates, In Vitro Digestibility, and Leaf to Stem Ratio of Alfalfa. *Agronomy Journal*, 63:719-724.
- Le Houérou, H.N., 1980a. Background and justification, p. 3. In: H.N. Le Houérou (ed.), Proc. Int. Symp. on Browse in Africa. Int. Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia
- Le Houérou, H.N., 1980b. The role of browse in the management of natural grazing lands, p. 329-338. In: H.N. Le Houérou (ed.), Proc. Int. Symp. on Browse in Africa. Int. Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia.
- Legendre, P. and Legendre L. 2012. Numerical Ecology. 3rd English ed. Elsevier
- Leibold, M. A., 1999. Biodiversity and nutrient enrichment in pond plankton communities. *Evolutionary Ecology Research* 1:73–95.
- Leng, R. A., 1990. Factors affecting the utilization of 'poor- quality' forage by ruminants particularly under tropical conditions. *Nutritional Research Review*, 3: 277-303.
- Li, M., 1993. Leaf photosynthetic nitrogen use efficiency of C3 and C4 Cyperus species. *Photosynthetica* 29 (1), 117–130.
- Liacos, L.G. and V.P. Papanastasis, 1986. Organic and inorganic fertilization compared in a natural mediterranean grassland. *Grass For. Sci.* 41: 353-357.
- Λιαμάδης, Α.Γ., 2003. Φυσιολογία Θρέψεως ζωικού οργανισμού, Τόμος 2, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Lindsay, W.L., 1991. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soil. In "Micronutrients in Agriculture," 2nd edition (J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch, Eds.), pp. 89–112. Soil Science Society of America, Madison, WI
- Lobo, J.M., I. Castro, J.C. Moreno, 2001. Spatial and environmental determinants of vascular plant species richness distribution in the Iberian Peninsula and Balearic Islands. *Biological Journal of the Linnean Society*, 73: 233 – 253.
- Losos, B. J. and D. Schuller, 2000. Analysis of an evolutionary species-area relationship. *Nature* 408:847–850
- Lyttleton, J.M., 1973. Proteins and nucleic acids. p. 63-103. In: G W Butler and R Bailey (editors). Chemistry and Biochemistry of Herbage. Volume 1. Academic Press, London
- MacDonald, R.C. and Wilson, K.R., 1980. Dry matter yields, digestibilities, mineral levels and cattle growth rates on greenfeed oats at different stages of development. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture* 8, 105–109

- MacPherson, A., 2000. In "Forage Evaluation in Ruminant Nutrition." (D. I. Givens, E. Owen, R. F. E. Axford, and H. M. Omed, eds.). CAB International, Bangor, UK.
- MacMillan, K. A., and Hamilton H. W., 1971. Carrot response to soil temperature and copper, manganese, zinc and magnesium. *Can. J. Soil Sci.* 51, 293–297
- Mallen-Cooper, J. and Pickering C.M., 2008. Linear declines in exotic and native plant species richness along an increasing altitudinal gradient in the Snowy Mountains, Australia. *Austral Ecology* (2008) 33: 684–690
- Mamolos, A.P., Veresoglou D.S., Barbayiannis N., 1995. Plant species abundance and tissue concentrations of limiting nutrients in low-nutrient grasslands: a test of competition theory. *Journal of Ecology*, 83: 485–495.
- Manske, L.L., 2002. Mineral Requirements for Beef Cows Grazing Native Rangeland. NDSU Dickinson Research Extension Center. Grassland Section. Annual Report. Dickinson, ND. 8p.
- Marini, L., Scotton M., Klimek S., Isselstein J., Pecile A., 2007. Effects of local factors on plant species richness and composition of Alpine meadows. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119: 281–288.
- Marković, J., Štrbanović R., Cvetković M., Anđelković B., Živković B., 2009. Effects of growth stage on the mineral concentrations in alfalfa (*medicago sativa* L.) leaf, stem and the whole plant. *Biotechnology in Animal Husbandry* 25 (5-6), p 1225-1231.
- Marrs, R.H., 1993. Soil fertility and nature conservation in Europe: theoretical considerations and practical management solutions. *Advances in Ecological Research* 24: 241–300.
- Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd ed. Academic Press, London. 889 p.
- Marten, G.C., Sheaffer, C.C., Wyse, D.L., 1987. Forage nutritive value and palatability of perennial weeds. *Agron* 79, 980–986
- Martin, W. E., McLean, J. G., and Quick, J. 1965. Effect of temperature on the occurrence of phosphorus-induced zinc deficiency. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29, 411–413
- Maskall, J.E. and Thornton I., 1989. The mineral status of Lake Nakuru National Park, Kenya: a reconnaissance survey. *African Journal of Ecology* 27, 191–200.
- Mathur, S. P., and Levesque M. P., 1983. The effects of using copper for mitigating histosol subsidence on. 2. The distribution of copper, manganese, zinc and iron in an organic soil, mineral sublayers, and their mixtures in the context of setting a threshold of phytotoxic soil-copper. *Soil Sci.* 135, 166–176
- Mayland, H.F., Grunes, D.L., Lazar V.A., 1976. Grass tetany hazard of cereal forages based upon chemical composition. *Agronomy Journal* 68, 665.
- Mayland, H. F., L. W. Greene, D. L. Robinson and S. R. Wilkinson, 1990. Grass Tetany: A review of Mg in the soil-plant-animal continuum. In: *Proc. Pacific Northwest Anim. Nutr. Conf.*, Vancouver, BC. pp 29-41.
- McCollum, F.T., M.L. Galyean, L.J. Krysl, J.D. Wallace, 1985. Cattle Grazing Blue Grama Rangeland I. Seasonal Diets and Rumen Fermentation. *J. Range Manage.* 38: 539-543.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., and C.A. Morgan, 1995. *Animal Nutrition* 5th Edition, Longman, UK
- McDowell, L.R., 1985. *Nutrition of grazing ruminants in warm climates*. Academic Press, Orlando
- McDowell, L.R., 1992. *Minerals in animals and livestock nutrition*. Academic press Inc., San Diego, California, USA
- McDowell, L.R., 2003. *Minerals in animal and human nutrition*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier
- McDowell, L.R. and G. Valle, 2000. Major minerals in forages. In: D.I. Givens, E. Owen, R.F.E. Axford, and H.M. Omed (Eds) *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. CABI Publishing, New York, pp. 373-397.

- McFarlane, J.D., Judson, J.D., Turnbull, R.K., Kempe, B.R., 1991. An evaluation of copper-containing soluble glass pellets, copper oxide particles and injectable copper as supplements for cattle and sheep. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 31, 165–174.
- McLachlan, K.D., 1980. Nutrient problems in sown pasture on an acid soil. 2 Role of lime and superphosphate. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 20: 568-575.
- McLean, R.W., Hendricksen R.E., Coates D.B., Winter W.H., 1990. Phosphorus and beef production in northern Australia. 6. Dietary attributes and their relation to cattle growth. *Tropical Grasslands* 24, 197–208.
- Mengel, K. and Kirkby E. A., 1978. *Principles of Plant Nutrition*, International Potash Institute, Worblaufen - Bern, pp 593.
- Mengel, K. and von Braunschweig L., 1972. The effect of soil moisture upon the availability of K and its influence on the growth of young maize plants (*Zea mays* L.). *Soil science* 114(2) 142-148
- Merchen, N.R. and L.D. Bourquin, 1994. Processes of digestion of forage based diets by ruminants. In: G.C. Fahey, Jr. Et al. (Eds), *Forage quality, evaluation and utilization*. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 564-612
- Mertens, D. R., 1997. Creating a System for Meeting the Fiber Requirements of Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 80:1463-1481.
- Mertens, D.R., 1994. Regulation of forage intake. In: Fahey, G.C., Collins, M., Mertens, D.R. and Moser, L.E. (eds) *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. ASA, CSSA and SSSA, Madison, Wisconsin, pp. 450–493.
- Merunková K., Preislerová Z., Chytrý M., 2012. White Carpathian grasslands: can local ecological factors explain their extraordinary species richness? *Preslia* 84: 311–325.
- Metson, A.J., Gibson, E.J., Hunt, J.L., Saunders, W.M.H., 1979. Seasonal variations in the chemical composition of pasture. III. Silicon, aluminium, iron, zinc, copper and manganese. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 22, 309–318.
- Meyer, M.W. and R.D. Brown, 1985. Seasonal Trends in the Chemical Composition of Ten Range Plants in South Texas. *J. Range Manage.* 38: 154-157
- Mills, T.A., 1984. Improving hill land pasture with grazing animals. MS. Thesis. West Virginia Univ. Morgantown, W. Va.
- Minson, D.J., 1990. *Forage in ruminant nutrition*. Academic Press Inc., London, UK., 483.
- Mittelbach, G. G., C. F. Steiner, S. M. Scheiner, K. L. Gross, H. L. Reynolds, R. B. Waide, M. R. Willig, S. I. Dodson, and L. Gough, 2001. What is the observed relationship between species richness and productivity? *Ecology* 82:2381–2396
- Montalvo-Hernandez, M.I., Garcia-Ciudad, A., Garcia-Criado B., 1984. In: Riley, H. and Skjelvag, A.O. *The Impact of Climate on Grass Production and Quality*. Norwegian Agricultural Research Station, As, Norway, pp. 407–411.
- Montalvo, M. I., Viega J. V., McDowell, L. R., Ocumpaugh, W. R., Mott, G. O., 1987. Mineral content of dwarf Pennisetum purpureum under grazing condition. *Nutr. Rev. Int.* 35, 157.
- Μουντράκης, Μ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδος. Θεσσαλονίκη. σελ.207
- Moore, D. R. J. and P. A. Keddy, 1989. The relationship between species richness and standing crop in wetlands: the importance of scale. *Vegetatio* 79:99–106
- Moraghan, J. T., Freeman, T. P., Whited, D., 1986. Influence of FeEDDHA and soil temperature on the growth of two soybean varieties. *Plant Soil* 95, 57–67
- Moraghan, J. T. and Mascagni H. Jr., 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In “*Micronutrients in Agriculture*,” 2nd edition (J.

- J. Mortvedt F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch, Eds.), pp. 371–425. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
- Moreira, F.B., I.N. Prado, U. Cecato, F.Y. Wada, I.Y. Mizubuti, 2004. Forage evaluation, chemical composition, and in vitro digestibility of continuously grazed star grass. *Anim. Feed Sci., Technol.*, 113: 239–249.
- Mortvedt, J. J., 2000. Bioavailability of micronutrients. In “Hand book of Soil Science.” (M. E. Sumner, Ed.), pp. D71–D88. CRC Press, Boca Raton, FL
- Morris, J.G., Delmas, R.E. and Hull, J.L. (1980) Salt supplementation of range beef cows in California. *Journal of Animal Science* 51, 71–73.
- Mountford, J. O., Lakhani K. H., Kirkham F., 1993 Experimental assessment of the effects of nitrogen addition under hay-cutting and aftermath grazing on the vegetation of meadows on a Somerset peat moor. *J. Appl. Ecol.* 30, 321–332
- Μουντούσης, Ι., 2008. Χλωρίδα και βλάστηση των λιβαδικών οικοσυστημάτων του όρους Βαρνούνας και εποχική μεταβολή της θρεπτικής αξίας της λιβαδικής παραγωγής. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Γεωπονική Σχολή Τομέας Ζωικής Παραγωγής. 217 σελ.
- Mountousis, I., K. Papanikolaou, G. Stanogias, F., Chatzitheodoridis, C. Roukos, 2008. Seasonal variation of chemical composition and dry matter digestibility of rangelands in NW Greece. *Journal of Central European Agriculture*, 9(3): 547-556.
- Mountousis, I., Papanikolaou K., Stanogias G., Roukos Ch., Chatzitheodoridis F. and Papazafiriou A., 2008. Monthly variations of mineral content in semi-arid rangelands in western macedonia – Greece. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 14 (4), 361-372
- Mountousis, I., Papanikolaou K., Stanogias G., Roukos Ch., Chatzitheodoridis F., Papazafiriou A., 2009. Mineral content of the herbage material in pastures of Mt.Varnoudas NW Greece. *Agronomy Research* 7(2), 837-846
- Mtui, D. J., L. S.B. Mellau, F. P. Lekule, M. N. Shem, M. Hayashida and T. Fujihara, 2007. Seasonal influence on mineral concentrations in dairy cows’ blood and feed resources collected from Morogoro, Tanzania. *Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.5 (3&4) : 274 - 280*
- Mullahey, J.J., S.S. Waller, K.J. Moore, L.E. Moser, T.J. Kloptenstein, 1992. In situ ruminal protein degradation of switchgrass and smooth bromegrass. *Agron J.* 84: 183-188.
- Murdock, L.W. and W.W. Frye, 1983. Erosion: its effect on soil properties productivity and profit. University of Kentucky, College of Agriculture, Kentucky.
- Murphy, W.M., Dugdate D.T., Ross D.S., 1984. Fertilizer and lime – pellet requirements for seed of white clover used for improving permanent pastures. *Grass and Forage Science* 39: 281-284
- Mutanga, O., H.H.T. Prins, A.K. Skidimore, S. Van Wieren, R. Grant, M. Peel, H. Biggs, 2004. Explaining grass – nutrient patterns in a savanna rangeland of southern Africa. *J. Biogeogr.* 31: 819-829.
- Νάσσης, Α.Σ. και Τσιουβάρας Κ.Ν., 1991. Διαχείριση και Βελτίωση Λιβαδιών. Θεσσαλονίκη.
- National Research Council (NRC), 1985. Nutrient Requirements of Sheep, 6th revised edition. National Academy Press, Washington, DC, 97 pp.
- National Research Council (NRC), 1996. National Research Council. Nutrient requirements of beef cattle. 7th revised edition National Academy of Sciences, Washington, DC, USA.
- Nambiar, E. K. S., 1977. The effects of drying on the topsoil and of micronutrients in the subsoil on micronutrient uptake by an intermittently defoliated ryegrass. *Plant Soil* 46, 185–193.
- Ndebele, N., J.P. Mtimuni, I.D.T. Mpofo, S. Makuza, P. Mumba, 2005. The status of selected minerals in soils, forage and Beef Cattle tissues in a semi-arid region of Zimbabwe. *Tropical Animal Health and Production*, 37: 381-393.

- Nelson, D.J. and Moser L.E., 1994. Plant factor affecting forage quality. In: Fahey G.C. (ed.) Forage quality, evaluation and utilization, pp. 115–154. Madison, WI: American Society of Agronomy
- Norton, B.W. 1982. Differences between species in forage quality. p.89-110. In: J.B. Hacker (ed.). Nutritional limits to animal production from pastures. CAB, Farnham Royal
- Nye, P.H. and Tinker, P.B., 1977. Solute Movement in the Soil--Root System. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 342 pp.
- Odland A. and Birks H.J.B., 1999. The altitudinal gradient of vascular plant species richness in Aurland, western Norway. *Ecography* 22: 548–566
- Odum, E.P., 1971. Fundamentals of ecology. 3rd edition. W. B. Saunders Co., Philadelphia and London. 544 pp
- Ogebe, P., Ayoade J., McDowell L., Wilkinson N., Martin F., 1995. Mineral concentrations of forages and soils in Benue State, Nigeria. I. Macrominerals and forage in vitro organic matter digestibility and crude protein concentrations. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 26:13-14
- Ohlemüller, R. and Wilson J.B., 2000. Vascular plant species richness along latitudinal and altitudinal gradients: a contribution from New Zealand temperate rainforests. *Ecology Letters*, 3, 262–266
- Ohno, T., D. L. Grunes, C. A. Sanchirico, 1985. Nitrogen and potassium fertilization and environmental factors affecting the grass tetany hazard of wheat forage. *Plant and Soil* 86,173-184
- Økland, R.H., 1999. On the variation explained by ordination and constrained ordination axes. *Journal of Vegetation Science* 10, 131–136.
- Oksanen, J., 1996. Is the humped relationship between species richness and biomass an artefact due to plot size? *Ecology* 84: 293-29.
- Oksanen J., Blanchet F.G., Kindt R., Legendre P., Minchin P.R., O'Hara R.B., Simpson G.L., Solymos P., Henry M., Stevens H., Wagner H., 2012. *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.0-5. <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>
- Olf, H. and Ritchie M. E., 1998. Effects of herbivores on grassland plant diversity. *Trends in Ecology and Evolution*, 13(7), 261–165.
- Osbourn, D.F., 1980. The feeding value of grass and grass products. In: Holmes W. (ed.) *Grass: Its Production and Utilization*, pp. 70–124. Oxford: Blackwells for British Grassland Society
- Oztas, T., A. Koc, B. Comakli, 2003. Changes in vegetation and soil properties along a slope on overgrazed and eroded rangelands. *Journal of Arid Environments* 55:93–100
- Palumbi, S. R., 1996. What can molecular genetics contribute to marine biogeography? An urchin's tale. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 203:75–92
- Papachristou, T.G., 2000. Forage resources of Greece and their relation to grazing animals, p. 283-290. In: *Livestock Production and Climatic Uncertainty in the Mediterranean* (F. Guesous, N. Rihani, A. Ilham eds). International Symposium, Agadir, Morocco, October 22-24 1998. EAAP publication No 94, Wageningen Pers.
- Παπαδημητρίου, Κ., Καραγιαννακίδου Β., Παπαναστάσης Β., 1997. Βλάστηση και παραγωγή των υπαλπικών λιβαδιών του όρους Παγγαίου. Σελ. 67-77. (Παπαναστάσης Β. εκδότης). Πρακτικά 1ου Πανελληνίου λιβαδοπονικού συνεδρίου, Δράμα 1996. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία.
- Παπαμίχος, Ν., 1990. Δασικά Εδάφη. Β' έκδοση. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη
- Παπαναστάσης, Β.Π., 1982. Παραγωγή των ποολιβαδων σε σχέση με τη θερμοκρασία αέρα και τη βροχή στη Βόρειο Ελλάδα. Διατριβή για υφηγεσία. Θεσσαλονίκη

- Παπαναστάσης, Β.Π., 2003. Οικολογία και Διαχείριση των ψευδαλπικών λιβαδιών, σελ. 437-447. (Πλατής Π. και Παπαχρήστου Θ. εκδότες). Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Λιβαδοπονικού Συνεδρίου. Καρπενήσι 2002
- Papanastasis, V., and Koukoulakis P., 1988. Effects of fertilizer application to grasslands in Greece. *Grass and forage science*, 43: 151-158
- Παπαναστάσης, Β.Π. και Β. Νοϊτσάκης, 1992. Λιβαδική Οικολογία. Θεσσαλονίκη. 244 σελ.
- Papanastasis, V., Vrachnakis M., Iovi K., Platis P., Karalazos A., Hatziminaoglou I., 2002. Dynamics of herbage production in a grazed of mountain grassland in Greece vol. 7, p. 348-349. Proceeding of the 19th General Meeting of the European Grassland Federation. Multifunction Grasslands: Quality Forage, Animal Products and Landscapes, La Rochelle France.
- Παπανικολάου, Κ., Καραλάζος Α., Ντότας Δ., Νίτας Δ., 1993. Ικανότητα βόσκησης και διακυμάνσεις ποιότητας της λιβαδικής παραγωγής και συμπεριφορά βόσκησης προβάτων και αιγών σε θαμνολίβαδα που έχουν καεί. *Επιθεώρηση Ζωοτεχνικής Επιστήμης*, 12: 63-64
- Papanikolau, K. and Kokkini S., 1984. Adaptive plant evolution in the alpine environment of the Greek mountains. *Tasks for Vegetation Science* (Ed. H. Lieth): Being Alive on Land (Eds. Margaris, Arrianoutsou-Faraggitaki, Oechel), Netherlands, pp. 21-31.
- Παπανικολάου, Κ., Δ. Ντότας, Χ. Ρούκος, Β. Παππά-Μιχαηλίδου, 2001. Ο ρόλος των υπαλπικών και αλπικών λιβαδιών στην ανάπτυξη της βιολογικής κτηνοτροφίας στην Ελλάδα. *Περίληψη. Επιθεώρηση Ζωοτεχνικής Επιστήμης, Ειδική έκδοση No 26*, σελ. 29-30.
- Παπανικολάου, Κ., Ι. Νικολακάκης, Α., Ιμαμίδου, Β., Παππά, και Β. Ντότας, 2002. Χλωριδική και χημική σύνθεση της λιβαδικής παραγωγής των βοσκοτόπων του Νομού Φλωρίνης και η σημασία τους στην ανάπτυξη της βιολογικής κτηνοτροφίας. *Περίληψη. Επιθεώρηση Ζωοτεχνικής Επιστήμης, Ειδική έκδοση No 27*, σελ. 48-49
- Παπάς, Ι. και Κούκουρα Ζ., 2006. Επίδραση των αβιοτικών παραγόντων στην ποικιλότητα των ποολίβαδων. Σελ. 59-64. (Παπαναστάσης Β. και Παρίση Ζ. εκδότες). Πρακτικά 5ου Πανελληνίου λιβαδοπονικού συνεδρίου, Ηράκλειο 2006. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία.
- Παπαζαφειρίου, Α. 2011. Επίδραση των εδαφικών χαρακτηριστικών στη μεταφορά βαρέων μετάλλων στην τροφική αλυσίδα μέσω της βοσκήσιμης υλης σε περιοχές της Ελλάδας. Διαδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Γεωπονική Σχολή Τομέας Ζωικής Παραγωγής. Σελ. 239.
- Partel, M., 2002. Local plant diversity patterns and evolutionary history at the regional scale. *Ecology* 83: 2361-2366.
- Pastrana, R., McDowell L.R., Conrad J.H. and Wilkinson N.S., 1991. Mineral status of sheep in the Paramo region of Colombia. II. Trace minerals. *Small Ruminant Research* 5, 23-34
- Pearson, R.W. and C.S. Hoveland, 1984. Lime needs of forage crops. pp. 301-322. In: D.A. Mays (ed.). *Forage fertilization*. Amer. Soc. Agron. Madison, Wis
- Pearson, R.A., R.F. Archibald, R.H. Muirhead, 2006. A comparison of the effect of forage type and level of feeding on the digestibility and gastrointestinal mean retention time of dry forages given to cattle, sheep, ponies and donkeys. *Br. J. Nutr.* 95: 88-98.
- Peeters, A., Janssens F. and Decamps C., 1994. Importance of soil phosphorus on botanical diversity. *Proc of the XVth general meeting of the European Grassland Federation*, 171-174.
- Peppler-Lisbach C. and Petersen J., 2001. Synopsis der Pflanzengesellschaften Deutschlands Heft 8. Calluno-Ulicetea (G3), Teil 1: Nardetalia strictae. *Borstgrasrasen*, Gottingen
- Perdomo, J.T., Shirley, R.L., Chicco C.F., 1977. Availability of minerals in four tropical forages fed freshly chopped to sheep. *Journal of Animal Science* 45, 1114-1119.

- Pérez Corona, M.E., A. Garcia-Ciudad, B. Garcia-Criado, B.R. Vázquez de Aldana, 1995. Patterns of aboveground herbage production and nutritional quality structure on semiarid grasslands. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26:1323-1341
- Pérez-Corona, M.E., B.R. Vázquez-de-Aldana, B. García-Criado, A. García-Ciudad, 1998. Variations in nutritional quality and biomass production of semiarid grasslands. *J. Range Management*, 51: 570-576
- Perring, F., 1959. Topographical gradients of chalk grassland. *Journal of Ecology*, 47, 447–481.
- Peyraud, J.L. and Astigarraga L., 1998. Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and animal nutrition and N balance. *Animal Feed Science and Technology* 72: 235–259
- Pinto, M., G. Besga and M. Rodríguez. 2002. Chemical composition of species-rich pastures. *FAO REU Technical series*, 64:233-237
- Pirhofer-Walzl, K., Søgaard, K., Høgh-Jensen, H., Eriksen, J., Sanderson, M. A., Rasmussen, J. and Rasmussen, J., 2011. Forage herbs improve mineral composition of grassland herbage. *Grass and Forage Science*, 66: 415–423.
- Plantureux, S. (1996). Biodiversité, type de sol et intensité de l'exploitation des prairies permanentes du plateau lorrain. *Acta Botanica Gallica*, 143 (4/5), 403–410
- Πλατής, Π.Δ., Θ.Γ. Παπαχρήστου, Β.Π Παπαναστάσης, 2000. Αγρομετεωρολογικά μοντέλα πρόβλεψης του ύψους της παραγωγής και της ποιότητας διαφόρων βοσκοτόπων. Τελική έκθεση προγράμματος Μέτρο 8.2, υπ.8, Β' ΚΠΣ 1994-99. Υπουργείο Γεωργίας – Ι.Δ.Ε. (ΕΘΙΑΓΕ) Θεσσαλονίκη, σελ. 46.
- Πλατής, Π., Παπαναστάσης Β., Παπαχρήστου Θ., Τσιόντσης Α., Κανδρέλης Α., 2003. Εποχιακή μεταβολή ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών λιβαδικής παραγωγής ποολίβαδων της ψευδαλπικής και χαμηλής ζώνης σελ 161-165. (Πλατής Π., Παπαχρήστου Θ. εκδότες). Πρακτικά 3ου Πανελληνίου λιβαδοπονικού συνεδρίου, Καρπενήσι 2002. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία.
- Poldini, L., Sbrulino G., Buffa G., Vidali M., 2011. Correlations among biodiversity, biomass and other plant community parameters using the phytosociological approach: A case study from the south-eastern Alps. *Plant Biosystems* 145: 131–140
- Ponnamperuma, F. N., 1972. Chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.* 24, 29–95.
- Poppi, D. P., D. J. Minson, J. H. Ternouth, 1981a. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. I. The voluntary intake, digestibility and retention time in the reticulo-rumen. *Aust. J. Agric. Res.* 32:99-108.
- Porembski, S., G. Brown, W. Barthlott, 1995. An inverted latitudinal gradient of plant diversity in shallow depressions on Ivorian inselbergs. *Vegetatio* 117:151–163.
- Provenza, F.D., 1995. Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *J. Range Manage.* 48: 2-17.
- Pykälä, J., Luoto, M., Heikkinen R.K., Kontula T., 2005. Plant species richness and persistence of rare plants in abandoned semi-natural grasslands in northern Europe. *Basic and Applied Ecology*, 6, 25–33.
- Quetier, F., Thebault A., Lavorel S., 2007. Plant traits in a state and transition framework as markers of ecosystem response to land-use change. *Ecological Monographs* 77(1): 33–52
- Ramírez-Orduña, R., R.G. Ramírez, H. González-Rodríguez, G.F.W. Haenlein, 2005. Mineral content of browse species from Baja California Sur, Mexico. *Small Ruminant Research* 57: 1-10
- R Core Team, 2013. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- Reay, P.F. and Marsh B., 1976. Element composition of ryegrass and red clover leaves during a growing season. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 19, 469–472.

- Reichman, S.M. and Parker D.R., 2005. Probing the diurnal patterns of phytosiderophore release in wheat (*Triticum aestivum*). ICOBTE, 8 Int. Conf. Book Abstr. 476–477, Adelaide.
- Reid, R.L. and Horvath, D.J., 1980. Soil chemistry and mineral problems in farm livestock: a review. *Journal of Animal Feed Science and Technology* 5, 95–167.
- Reid, J. M., and Racz, G. J., 1985. Effects of soil temperature on manganese availability to plants grown on an organic soil. *Can. J. Soil Sci.* 65, 769–775
- Rensch, B., 1959. *Evolution above the species level*. Methuen, London
- Rey-Banayas, J. M., and S. M. Scheiner, 2002. Plant diversity, biogeography and environment in Iberia: patterns and possible causal factors. *Journal of Vegetation Science* 13: 245–258.
- Rieley, J.O. and Page S.E., 1990. *Ecology of Plant Communities. A Phytosociological Account of the British Vegetation*. Longman Scientific & Technical, Harlow. p 198.
- Riesen, O. and U. Feller, 2005. Redistribution of nickel, cobalt, manganese, zinc and cadmium via the phloem in young and maturing wheat. *Journal of Plant Nutrition* 28: 421–430
- Robinson, D.L., 1985 Potassium nutrition of forage grasses. In: Munson, R.D. (ed.) *Potassium in Agriculture*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, pp. 895–903.
- Roche, C.T. and A. Busacca, 1987. Soil-Vegetation Relationships in a Subalpine Grassland in Northeastern Washington. *Northwest Science*, 61, 139–147.
- Rodwell, J.S., 1992. *Grassland and Montane Communities*. *British Plant Communities*, vol. 3. Cambridge University Press, Cambridge.
- Roem, W.J. and Berendse F., 2000. Soil acidity and nutrient supply ratio as possible factors determining changes in plant species diversity in grassland and heathland communities. *Biological Conservation* 92: 151–161.
- Rohde, K., 1978. Latitudinal gradients in species diversity and their causes. I. A review of the hypotheses explaining the gradients. *Biologisches Zentralblatt* 97:393–403.
- Rohde, K., 1992. Latitudinal gradients in species diversity: the search for the primary cause. *Oikos* 65:514–527.
- Rook, A. J. and Tallwin J. R., 2003. Grazing and pasture management for biodiversity benefit. *Animal Research* 181–189.
- Rosenzweig, M. L., 1995. *Species diversity in space and time*. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Rosenzweig, M. L., and Z. Abramsky, 1993. How are diversity and productivity related? Pages 52–65 in R. E. Ricklefs and D. Schluter, editors. *Species diversity in ecological communities*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Ross, J.G., J.W. Spears, J.D. Garlich, 1994. Dietary electrolyte balance effects on performance and metabolic characteristics in finishing steers. *J. Anim. Sci.* 72: 1600–1607
- Ρούκος, Χ., 2010. Εποχική και καθ' ύψους διακύμανση της χημικής σύστασης και της θρεπτικής αξίας λιβαδικής παραγωγής λιβαδιών της Ηπείρου και απεικόνιση της σε γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών. Διδακτορική διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Γεωπονική Σχολή Τομέας Ζωικής Παραγωγής. Σελ. 366
- Ρούκος, Χ., Κ. Παπανικολάου, Ι. Μουντούσης. 2006. Μηνιαίες και καθ' ύψος μεταβολές στην παραγωγή και τη χημική σύσταση της λιβαδικής παραγωγής σε λιβάδι του Ν. Πρέβεζας. *Επιθεώρηση Ζωοτεχνικής Επιστήμης*, 35: 15–30
- Roukos, C., K. Papanikolaou, A. Karalazos, A. Chatzipanagiotou, I. Mountousis, A. Mygdalia 2011. Changes in nutritional quality of herbage botanical components on a mountain side grassland in North-West Greece. *Animal Feed Science and Technology*, 169 (1–2): 13
- Ruijven, J.V. and Berendse F., 2003. Positive effects of plant species diversity on productivity in the absence of legumes. *Ecology Letters* 6: 170–175
- Rufty, T. W., Jr., Miner, W. S., Raper, C. D. Jr., 1979. Temperature effects on growth and manganese tolerance in tobacco. *Agron. J.* 71, 638–644

- Ruyle, G., 1993. Nutritional value of range forage for livestock. In Gum, R., Ruyle, G. and R. Rice (Eds). Arizona Ranchers' Management Guide. Arizona Cooperative Extension. The University of Arizona. 4p.
- Ryan, J., G. Estefan, A. Rashid, 2001. Soil and Plant Analysis Laboratory Manual. 2nd Edition. ICARDA, Aleppo, Syria
- Saeed, M. and Fox R. L., 1977. Relations between suspension pH and zinc solubility in acid and calcareous soils. *Soil Sci.* 124, 199–204
- Safford, H. D., M. Rejma'nek, E. Hadac, 2001. Species pools and the “hump-back” model of plant species diversity: an empirical analysis at a relevant spatial scale. *Oikos* 95: 282–290.
- Sahrawat, K. L., 1979. Iron toxicity to rice in an acidic sulfate soil as influenced by water regimens. *Plant Soil* 51, 143–144
- Sajwan, K. S. and Lindsay W. L., 1988. Effect of redox, zinc fertilization and incubation time on DTPA-extractable zinc, iron and manganese. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19, 1–11
- Samarakoon, S. P., H.M. Shelton, J.R. Wilson, 1990a. Voluntary feed intake by sheep and digestibility of shaded *Stenotaphrum secundatum* and *Pennisetum clandestinum* herbage. *Journal of Agricultural Science*, 114: 143-150.
- Sanderson, M.A., J.S. Hornstein, W.F. Wedin, 1989. Alfalfa morphological stage and its relation to *In-situ* digestibility of detergent fiber fractions of stem. *Crop Sci.*, 29(13): 15-19.
- Σαρλής, Γ., 1998. Βελτίωση και διαχείριση φυσικών βοσκοτόπων. Εκδόσεις Σταμούλη Αθήνα. 341 σελ.
- Schaffers, A., 2002. Soil, biomass, and management of semi-natural vegetation. *Plant Ecology* 158: 229–246.
- Scheffer, F. and Schachtschabel P., 1989. *Lehrbuch der Bodenkunde*. 12th edn. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- Scheffer, K., Stach W., and Vardakis F., 1979. Über die Verteilung der Schwermetallen Eisen, Mangan, Kupfer und Zink in Sommergesternpflanzen, *Landwirtsch. Forsch.*, 2, 326
- Schuster, B. and Diekmann M., 2003. Changes in species density along the soil pH gradient - Evidence from German plant communities. *Folia Geobotanica* 38: 367-379
- Schuster, B. and Diekmann M., 2005. Species richness and environmental correlates in deciduous forests of Northwest Germany. *Forest Ecology and Management* 206: 197–205
- Schutz, M., Risch A.C., Achermann G., Thiel-Egenter C., Page- Dumroese D.S., Jungensen M.F., Edwards P.J., 2006. Phosphorus translocation by red deer on a subalpine grassland in the Central European Alps. *Ecosystems* 9:624–633
- Sebastian, M. T., 2004. Role of topography and soils in grassland structuring at the landscape community scales. *Basic and Applied Ecology*, 5 (4): 331 – 346.
- Semelova, V., Hejzman M., Pavlu V., Vacek S., Podrazsky V., 2008 The grass garden in the Czech Republic: residual effect of long-term organic fertilization after 60 years. *Agric Ecosyst Environ* 123:337–342.
- Shamat, A.M., Babiker, I.A, Mukhtar, A.M.S. and Ahmed, F.A., 2009. Seasonal and Regional Variations in Mineral Content of Some Important Plants Specie Selected by Camels (*Camelus dromedaries*) in Arid and Semi-arid Lands (ASAL) of Sudan. *Journal of Applied Sciences Research*, 5(10): 1676-1684.
- Shuman, L. M., 1991. Chemical forms of micronutrients. *In* “Micronutrients in Agriculture,” 2nd edition (J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch, Eds.), pp. 113–144. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.
- Siman, A., Craddock, F. W., and Hudson, A. W., 1974. The development of manganese toxicity in pasture legumes. *Plant Soil* 41, 129–140.
- Singh, B. R. and Mishra V. K., 1987. Mineral content of grasses and grasslands of the himalayan region: 2 concentration of trace and major elements in grasses in relation to soil properties and climatic factors. *Soil Science*, 143(4), 242

- Skapetas, B., D. Nitas, A. Karalazos, I. Hatziminaoglou, 2004. A study on herbage mass production and quality for organic grazing sheep in a mountain pasture of northern Greece. *Small Rumin. Res.* 87: 277-281
- Smith, D., 1970. Influence of cool and warm temperatures and temperature reversal at inflorescence emergence on yield and chemical composition of timothy and brome grass at anthesis. *Proc. XI Int. Grassl. Congr., Surfers Paradise, Queensland*, pp. 510-514.
- Smith, B., P.S. Leung, G. Love, 1986. *Intensive Grazing Management: Forages, animals, Men, Profits*. The Graziers, Honolulu Hawaii, 350 pp
- Smith, G. S., Middleton, K. R., 1978. Sodium and potassium content of topdressed pastures in New Zealand in relation to plant and animal nutrition. *New Zealand journal of experimental agriculture* 6: 217-225.
- Smith, G. S., Middleton, K. R., and Edmonds, A. S., 1980. Sodium nutrition of pasture plants. I. Translocation of sodium and potassium in relation to transpiration rates. *New Phytol.* 84 : 603–612.
- Snaydon, R.W., 1991. The productivity of C3 and C4 plants: a reassessment. *Functional Ecology* 5: 321–330
- Snedecor, G.W. and W.G. Cochran, 1980. *Statistical methods*. 7th edition. Iowa State University Press, Ames, Iowa.
- Soil Science Society of America (SSSA), 1996. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. American Society of Agronomy. 1172 pp
- Sousa, J.C. de., 1978. Interrelationships among mineral levels in soil, forage and animal tissues on ranches in Northgen Mato Grosso, Brazil. Ph.D. dissertation, Univ. Of Florida, Gainesville, Florida.
- Sprinkle, J. E., Bicknell E. J., Noon T. H., Reggiardo C., Perry D. F. Frederick H. M., 2000. Variation of trace minerals in forage by season and species and the effects of mineral supplementation upon beef cattle production. *Proceedings, Western Section, American Society of Animal Science*. 51, 277-280
- SPSS. 2003. *SPSS Categories 12.0. A Software Package, Version 12.0*, Chicago, SPSS Inc.
- Stoddart, L.A., Smith, A.D., Box, T.W., 1975. *Range management*, third ed. McGraw-Hill Book Company, New York, 532 pp.
- Stahlberg, S. and Sombatpanit S., 1974. Manganese relationships of soil and plant. I. Investigation and classification of Swedish manganese-deficient soils. *Acta Agric. Scand.* 24, 179–194
- Stahl, R. S. and James B. R., 1991. Zinc sorption by b horizon soils as a function of pH. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 1287–1290
- Stevens C.J., Dise N.B., Gowing D.J., Mountford J.O., 2006. Loss of forb diversity in relation to nitrogen deposition in the UK: regional trends and potential controls. *Global Change Biology* 12: 1823-1833.
- Stevens, M. H. H., and W. P. Carson, 1999a. Plant density determines species richness along an experimental fertility gradient. *Ecology* 80:455–465
- Stevens C., Duprè C., Dorland E., Gaudnik C., Gowing D.J.G., Bleeker A., Diekmann M., Alard D., Bobbink R., Fowler D., Corcket E., Mountford O., Vandvik V., Aarrestad P.A., Muller S., Disem N.B., 2010. Nitrogen deposition threatens species richness of grasslands across Europe. *Environmental Pollution* 158: 2940-2945
- Stevenson, F. J. 1991. Organic matter-micronutrient reactions in soils. In “*Micronutrients in Agriculture*,” 2nd edition (J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman, and R. M. Welch, Eds.), pp. 145–186. *Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, WI
- Stevenson, F. J. and Fitch A., 1981. Reactions with organic matter. In “*Copper in Soils and Plants*,” (J. F. Loneragan, A. D. Robson, and R. D. Graham, Eds.), pp. 265–285. Academic Press, Sydney, Australia.

- Στόλιου, Π., 2012. Συγκριτική μελέτη της χλωρίδας και της χημικής σύστασης της λιβαδικής παραγωγής των υποαλπικών-αλπικών λιβαδιών δυο βουνών με διαφορετικό γεωλογικό υπόστρωμα. Μεταπτυχιακή διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης Γεωπονική Σχολή Τομέας Ζωικής Παραγωγής. Σελ. 99
- Strid, A. (ed.), 1986. Mountain Flora of Greece, Vol. 1. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 819 p.
- Strid, A. and K. Tan (eds.), 1991. Mountain Flora of Greece. Vol. 2. Edinburgh University Press, Edinburgh. 974p.
- Strid, A. and K. Tan (eds.), 1997. Flora Hellenica, Vol. 1. Koeltz Scientific Books, D-6240 Königstein, Germany. 547p.
- Stoddart, L.A., A.D. Smith, Th.W. Box., 1975. Range Management, 3rd Edition. McGraw-Hill book Co. N.Y.
- Subbarao G. V., Ito O., Berry W. L., Wheeler R. M., 2003. Sodium—A functional plant nutrient. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(5):391–416
- Sultan J.I., Rahim I., Nawaz H., Yaqoob M., 2007. Nutritive value of marginal land grasses of northern grasslands of Pakistan. *Pak. J. Bot.*, 39(4): 1071-1082
- Sultan J.I., Rahim I., Nawaz H., Yaqoob M., Javed A.I., 2008. Mineral composition, palatability and digestibility of free rangeland grasses of northern grasslands of Pakistan. *Pak. J. Bot.*, 40(5): 2059-2070
- Sultan J.I., Rahim I., Yaqoob M., Mustafa M.I., Nawaz H., Akhtar P., 2009. Nutritional evaluation of herbs as fodder source for ruminants. *Pak. J. Bot.*, 41(6): 2765-2776
- Suttle, N.F., 1981. Predicting the effects of molybdenum and sulphur concentrations on the absorbability of copper in grass and forage crops to ruminants. In: Howell, J.McC., Gawthorne, J.M. and White, C.L. (eds) Trace Elements in Man and Animals Australian Academy of Science, Canberra, Australia, pp. 545–548.
- Tallowin, J. R. B., Mountford J. O., Kirkham F.W., Smith R., Lakhani K. H., 1994. The effect of inorganic fertilizer on a species-rich grassland – implications for nature conservation. In *Grassland and Society*. Eds. L 't Manneetje and J Frame. pp 332–337. Proc 15th General Meeting of the European Grassland Federation. Wageningen, NL.
- Tallowin, J. R. B. and R. G. Jefferson, 1999. Hay production from lowland semi-natural grasslands: a review of implications for ruminant livestock systems. *Grass and Forage Science*, 54:99-115
- Tarcău D., Cucu-man S., Stavarache M., Samuil C., Vîntu V., 2012. Mineral versus organic fertilization. Effect on the quality of forages produced on a grassland of *Nardus stricta* L. *Lucrări Științifice – vol. 55, seria Agronomie*
- Taylor, K. L., L. W. Aarssen, C. Loehle, 1990. On the relationship between r/K selection and environmental carrying capacity: a new habitat template for plant life history strategies. *Oikos* 58:239–250.
- Ter Braak, C.J.F., 1986. Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167-1179
- ter Heerdt, G. N. J., J. P. Baker, J. De Leeuw, 1991. Seasonal and spatial variation in living and dead plant material in a grazed grassland as related to plant species diversity. *Journal of Applied Ecology* 28:120–127.
- Terborgh, J., 1973. On the notion of favorableness in plant ecology. *American Naturalist* 107:481–501.
- Tergas, L.E. and Blue W.G., 1971. Nitrogen and phosphorus in Jaraguagrass (*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf) during the dry season in a tropical savanna as affected by nitrogen fertilization. *Agronomy Journal* 63, 6–9.
- Ternouth, J.H., 1990. Phosphorus and beef production in northern Australia. 3. Phosphorus in cattle—a review. *Trop. Grass.*, 24:159-69.

- Ternouth, J.H., 1991. The kinetics and requirements of phosphorus in ruminants. p. 143-151. In Y.W. Ho, H.K. Wang, N. Abdullah and Z.A. Tajuddin (eds.) Recent Advances on the Nutrition of Herbivores. Malaysian Soc. Anim. Prod.
- Tessema, Z., Ashagre A., Solomon M., 2010. Botanical composition, yield and nutritional quality of grassland in relation to stages of harvesting and fertiliser application in the highlands of Ethiopia. *African Journal of Range & Forage Science*, 27:3, 117-124
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In D.L. Sparks (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 3, SSSA, Madison, WI, 475-490 pp
- Thorvaldsson, G., G. F. Tremblay, H.T. Kunelius, 2007. The effects of growth temperature on digestibility and fibre concentration of seven temperate grass species. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*, 57, 322-328
- Tiffany, M.E., McDowell L.R., O'Connor G.A., Martin F.G., Wilkinson N.S., 1999. Variation of forage and extractable soil minerals over two grazing seasons in North Florida. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 30:19-20, 2743-2754
- Tilman, D., 1982. *Resource Competition and Community Structure*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, USA.
- Tilman, D., 1985. The resource-ratio hypothesis of plant succession. *The American Naturalist*, 125: 827-852.
- Tilman, D., and S. Pacala, 1993. The maintenance of species richness in plant communities. In R. E. Ricklefs and D. Schluter, editors. Pages 13-25. *Species diversity in ecological communities: historical and geographical perspectives*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Tilman, D., 1997. Community invasability, recruitment limitation, and grassland biodiversity. *Ecology* 78: 81-92.
- Tinker, P. B., 1981. Levels, distribution and chemical forms of trace elements in food plants, *Philos. Trans. R. Soc. London*, 294b, 41.
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., and Beaton, J. D., 1985. "Soil Fertility and Fertilizers," 4th edition, MacMillan, New York.
- Towers, N. R. and Smith G. S., 1983. Sodium. In: The mineral requirements of grazing animals. Grace, N. D. ed. New Zealand Society of Animal Production. Occasional Publication No. 9.
- Tufarelli, V., Cazzato E., Ficco A., Laudadio V., 2010. Evaluation of Chemical Composition and *In vitro* Digestibility of Appennine Pasture Plants Using Yak (*Bos grunniens*) Rumen Fluid or Faecal Extract as Inoculum Source. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* Vol. 23, No. 12 : 1587 - 1593
- Tutin, T., V. Heywood, N. Burges, D. Valentine, S. Walters and D. Webb (eds.) 1964-1980. *Flora Europaea*, Vol. 1-5. Cambridge
- Tuzen, M., 2003. Determination of heavy metals in soil mushroom and plant samples by atomic absorption spectrometry. *Microchemical Journal* 74: 289-297
- Τζιάλλα, Χ., Παπακώστα Δ., Βερεσόγλου Δ., 2000. Η προσθήκη Ca, N και P σε κυριαρχούμενο από είδη Cyperaceae λιβάδι του λεκανοπεδίου Ιωαννίνων σελ. 219-223. (Παπαχρήστου Θ., Παπαναστάση Ο. εκδότες). Πρακτικά 2ου Πανελληνίου λιβαδοπονικού συνεδρίου, Ιωάννινα 2000. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία.
- Τζιάλλα, Χ., Κασούμη Μ., Γούλας Χ., 2000. Παραγωγή και ποιότητα λιβαδικής παραγωγής λιβαδιών σε δύο διαφορετικά κλιματολογικά περιβάλλοντα του Νομού Ιωαννίνων σελ. 109-112. (Παπαχρήστου Θ., Παπαναστάση Ο. εκδότες). Πρακτικά 2ου Πανελληνίου λιβαδοπονικού συνεδρίου, Ιωάννινα 2000. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία.
- Underwood, E.J., 1981. *The mineral nutrition of livestock*. Commonwealth Agr. Bureaux, London, 180 p.

- Underwood, E.J. and N.F. Suttle., 1999. The mineral nutrition of livestock. 3rd edition. CAB International, Wallingford, UK
- Van Der Woude, B.J., Pegtel D.M., Bakker J.P., 1994. Nutrient limitation after long-term nitrogen fertiliser application in cut grasslands. *Journal of Applied Ecology* 31: 405–412
- Van Goor, B. J., 1974. Distribution of mineral nutrients in the plant in relation to physiological disorder, 19th Int. Horticultural Congr., Warsaw, p 217.
- Van Keuren, R. W. and Hoveland C.S., 1985. Clover management and utilization. In : *Clover Science and Technology*. (Taylor N.L., ed.), No 25, Agronomy, American Society of Agronomy Inc. Pub. Madison, Wisconsin USA
- Van Loo, E.N., 1993. On the relation between tillering, leaf area dynamics and growth of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). Ph.D. thesis, Wageningen.
- Van Soest, P.J., 1982. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. O&B Books, Inc., Corvallis, Ore
- Van Soest, P.J., J.D. Robertson, B.A. Lewis, 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharide in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.*, 74: 3583-3597
- Van Soest, P.J., 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press, Ithaca, New York, 476 pp.
- Vázquez-De-Aldana, B. R., García-Ciudad A., García-Criado B., 2008. Interannual variations of above-ground biomass and nutritional quality of Mediterranean grasslands in Western Spain over a 20-year period. *Australian Journal of Agricultural Research* 59, 769-779.
- Vazquez de Aldana B. R., Garcia-Ciudad, M. E. Pérez-Corona, B. García-Criado, 1993. Elemental content in grassland of semiarid zones: effect of topographic position and botanical composition. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 24, 1975-1989.
- Vazquez-de-Aldana, B. R., A. García-Ciudad, M. E. Pérez-Corona, B. García-Criado, 2000. Nutritional quality of semi-arid grassland in western Spain over a 10-year period: changes in chemical composition of grasses, legumes and forbs. *Grass and Forage Science*, 55: 209-220.
- Vazquez, J.A. and Givnish T.J., 1998. Altitudinal gradients in tropical forest composition, structure, and diversity in the Sierra de Monantlán. *Journal of Ecology* 86: 999–1020
- Vermeer, J.G. and Berendse F., 1983. The relationship between nutrient availability, shoot biomass and species richness in grassland and wetland communities. *Vegetatio* 53, 121–126.
- Versoe, J.E., D.E. Tribe, G.R. Pearce, 1961. Herbage as a source of digestible OM and digestible N for the grazing sheep. *Australian Journal of Agricultural Research*, 12, 689-695
- Viard-Cretat, F., Baptist F., Secher-Fromell H., Gallet Ch., 2012. The allelopathic effects of *Festuca paniculata* depend on competition in subalpine grasslands. *Plant Ecology* 213:1963–1973
- Vitousek, P. M., 1994. Beyond global warming. *Ecology and global change. Ecology* 75: 1861–1876.
- Vlams, J., and Williams D. E., 1964. Iron and manganese relations in rice and barley. *Plant Soil* 20, 221–231
- Waide, R. B., M. R. Willig, C. F. Steiner, G. G. Mittelbach, L. Gough, S. I. Dodson, G. P. Juday, R. Parmenter, 1999. The relationship between primary productivity and species richness. *Annual Review of Ecology and Systematics* 30:257–300.
- Walkley, A. and Black I. A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Science* 37: 29-38
- Wang, H., Y. Inukai and A. Yamauchi, 2006. Root development and nutrient uptake. *Critical Reviews in Plant Science*, 25: 279–301.
- Wang, Y., Naumann U., Wright S.T., Warton D.I., 2012. mvabund– an R package for model-based analysis of multivariate abundance data. *Methods in Ecology and Evolution*, 3: 471–474

- Warncke, D. D. and Barber S. A., 1972. Diffusion of zinc in soil: I. The influence of soil moisture. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36, 39–42.
- Webster, A. J., R. J. H. Payne, M. Pagel, 2003. Molecular phylogenies link rates of evolution and speciation. *Science* 301:478
- Wedekind, K.J. and Baker D.H., 1990b Effect of varying calcium and phosphorus level on manganese utilization. *Poultry Science* 69, 1156.
- Weiherr, E., 1999. The combined effects of scale and productivity on species richness. *Journal of Ecology* 87:1005–1011.
- Weiherr, E. and A. Howe, 2003. Scale-dependence of environmental effects on species richness in oak savannas. *Journal of Vegetation Science* 14:917–920.
- White, L. M., 1983. Seasonal changes in yield, digestibility, and crude protein of vegetative and floral tillers of two grasses. *Journal of Range Management* 36:402–404
- Whitehead, D.C., 2000. Nutrient elements in grassland: soil–plant–animal relationships. Wallingford, Oxon, UK: CABI Publishing.
- Whittaker, R. J., and E. Heegaard 2003. What is the observed relationship between species richness and productivity? *Comment. Ecology* 84:3384–3390
- Wilkinson, S. R., Welch R. M., Mayland H. F., Grunes D. L., 1990. Magnesium in Plants: Uptake, Distribution, Function, and Utilization by Man and Animals. V. 26, Marcel Dekker, inc New York and Basel.
- Willig, M. R., D. M. Kaufman, R. D. Stevens, 2003. Latitudinal gradients of biodiversity: patterns, process, scale, and synthesis. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 34:273–309
- Wood, S.N., 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC Press
- Wright, D. H., 1983. Species-energy theory: An extension of species-area theory. *Oikos* 41:496–506.
- Wright, D. H., D. J. Currie, B. D. Maurer, 1993. Energy supply and patterns of species richness on local and regional scales. Pages 66–74 in R. E. Ricklefs and D. Schluter, editors. *Species diversity in ecological communities*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, USA.
- Wright, S. D., R. D. Gray, and R. C. Gardner, 2003. Energy and the rate of evolution: inferences from plant rDNA substitution rates in the western Pacific. *Evolution* 57:2893–2898.
- Χασάπης, Μ., Θεοδωρόπουλος Κ., Ελευθεριάδου Ε., 2013. Χαρτογράφηση της βλάστησης του όρους Τζένα (Β. Ελλάδα). 16ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο. Θεσσαλονίκη 2013.
- Xu, S.X., Zhao, X.Q., Sun, P., Zhao, T.B., Zhao, W., Xue, B., 2002. A simulative study on effects of climate warming on nutrient contents and in vitro digestibility of herbage grown in Qinghai- Xizang plateau. *J. Integr. Plant Biol.* 44, 1357–1364.
- Yiakoulaki, M.D. and A.S. Nastis., 1993. Mineral content of selected forage species common in the mediterranean shrublands. 7th meeting of the FAO subnetwork on ‘‘Mediterranean pastures and fodder crops’’. Chania, Crete. REUR Technical Series 28. FAO, Rome. pp. 137-140.
- Yimer, F., S. Ledin, A. Abdelkadir, 2006. Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in the south-eastern highlands of Ethiopia. *Forest Ecology and Management* 232: 90–99.
- Ylärinta, T., Jansson H., Sippola J., 1979. Seasonal variation in micronutrient contents of wheat, *Ann. Agric. Fenn.*, 18, 218
- Youssef, F.G., 1988. Some factors affecting the mineral profiles of tropical grasses. *Outlook on Agriculture*. 17, 104-111.

- Zechmeister, H. G., Schmitzberger I., Steurer B., Peterseil J., Wrбка T., 2003. The influence of land-use practices and economics on plant species richness in meadows. *Biological conservation*, 114, 165–177.
- Zha, Y., Gao, J., Y. Zhang, 2005. Grassland productivity in an alpine environment in response to climate change. *Area*, 37(3): 332-340.
- Zhang, M., Alva, A. K., Li, Y. C., Calvert, D. V., 1997a. Chemical association of Cu, Zn, Mn and Pb in selected sandy citrus soils. *Soil Sci.* 162, 181–188
- Zhao, X.Q. and Zhou, X.M., 1999. Ecological basis of alpine meadow ecosystem management in Tibet: Haibei alpine meadow ecosystem research station. *Ambio* 28, 642–647.
- Zervas, G., 1998. Quantifying and optimizing grazing regimes in Greek mountain systems. *Journal of Applied Ecology*, 35: 983–986.
- Zhu, Z.D. and G.T. Chen, 1994. *Sandy desertification in China*, Science Press, Beijing

10. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας Π.1. Φυτικά TAXA που εμφανίζονται στα υπαλπικά λιβαδικά οικοσυστήματα των όρεων Τζένα και Μπέλες

TZENA	ΜΠΕΛΕΣ
<p>Οικ. Poaceae Bellardiochloa variegata (Lam.) Kerguelen Bromus cappadocicus subsp. Lacmonicus (Hauskn.) P.M. Smith Bromus riparius Rehm. Dactylis glomerata L. Eriophorum latifolium Hoppe Festuca koritnicensis Hayek & Vetter Festuca paniculata (L.) Schinz & Thell. Festuca varia Haenke Koeleria lobata (Bieb.) Roemer & Schultes Nardus stricta L. Phleum alpinum L. Poa molinerii Balbis Sesleria robusta Schott, Nyman & Kotschy Sesleria tenerrima (Fritsch) Hayek Stipa pennata subsp. Pulcherrima (C. Koch) Freitag</p> <p>Οικ. Cyperaceae Blysmus compressus (L.) Panzer ex Link Carex ferruginea Scop. Carex kitaibeliana subsp. Kitaibeliana Degen ex Becherer Carex paniculata L.</p> <p>Οικ. Juncaceae Luzula spicata (L.) Dc.</p>	<p>Οικ. Poaceae Agrostis capillaris L. Agrostis castellana Boiss. & Reuter Arrhenatherum elatius (L.) P. Beauv. Ex J. & C. Presl Bellardiochloa variegata (Lam.) Kerguelen Calamagrostis arundinacea (L.) Roth Dactylis glomerata L. Descampsia cespitosa (L.) P. Beauv. Festuca koritnicensis Hayek & Vetter Festuca peristerea (Vetter) Markgr.-Dannenb. Koeleria lobata (Bieb.) Roemer & Schultes Melica siliata L. Nardus stricta L. Phleum montanum C. Koch Phleum hirsutum Honckeney Secale montanum Guss.</p> <p>Οικ. Cyperaceae Carex ovalis Good. Carex pallescens L.</p> <p>Οικ. Juncaceae Juncus thomasi Ten.</p> <p>Luzula campestris (L.) Dc. Luzula luzuloides (Lam.) Dandy & Wilmott Luzula spicata (L.) Dc.</p>

Ouk. Fabaceae

Anthyllis aurea Welden
 Anthyllis vulneraria subsp. Bulgarica (Sagorski)
 Astragalus angustifolius Lam.
 Astragalus depressus L.
 Genista depressa Bieb.
 Lotus corniculatus L.
 Onobrychis alba subsp. Laconica (Orph. ex Boiss) Hayek
 Trifolium heldreichianum Hausskn
 Trifolium noricum Wulfen
 Trifolium pallescens Schreber

Ouk. Aspleniaceae

Asplenium viride Hudson

Ouk. Santalaceae

Thesium arvense Horvatovsky
 Thesium linophyllum subsp. Linophyllum L
 Thesium parnassi A, DC

Ouk. Caryophyllaceae

Arenaria cretica Sprengel
 Minuartia setacea (Thuill) Hayek
 Minuartia garckeana (Ascherson & Sint) Mattf
 Cerastium banaticum subsp. banaticum
 Cerastium rectum Friv.
 Paronychia macedonica Chaudhri
 Silene bupleuroides subsp. staticifolia
 Silene ciliata Pourret
 Silene pusilla subsp. Albanica Waldst. & Kit.
 Silene radicata Boiss. & Heldr.
 Silene roemerii Friv.

Ouk. Fabaceae

Chamaecytisus supinus L.
 Chamaespartium sagittale L.
 Coronilla varia L.
 Genista depressa Bieb.
 Genista carinalis Griseb.
 Lathyrus pratensis L.
 Trifolium alpestre L.
 Trifolium pallescens Schreber
 Trifolium noricum Wulfen
 Vicia canescens Labill.

Ouk. Aspleniaceae

Asplenium septentrionale (L) Hoffm

Ouk. Athyriaceae

Athyrium filix-femina (L) Roth
 Cystopteris fragilis (L) Bernh
 Cystopteris dickiana Sim

Ouk. Aspidiaceae

Driopteris filix-mas (L) Schott

Ouk. Santalaceae

Thesium linophyllum subsp. Linophyllum montanum Celak

Ouk. Polygonaceae

Polygonum alpinum All
 Rumex acetosella subsp. Acetoselloides (Balansa) Den Nijs
 Rumex scutatus L.
 Rumex obtusifolius subsp. Transiens (Simonkai) Rech. Fil.

Silene saxifraga L.
Silene supina Bieb.
Dianthus deltoides subsp. *Deltoides* L.
Saponaria bellidifolia Sm.
Scleranthus perennis subsp. *Marginatus* (Guss.) Arcangeli

Ouk. Ranunculaceae

Anemone nemorosa L.
Ranunculus psilostachys Griseb.
Ranunculus sartorianus Boiss. & Heldr.
Thalictrum minus subsp. *saxatile*

Ouk. Brassicaceae

Cardamine raphanifolia subsp. *acris* (Griseb.) O.E.
Arabis alpina L.
Arabis bryoides Boiss.
Iberis saxatilis L.
Iberis sempervirens L.

Ouk. Crassulaceae

Jovibarba heuffelii (Schott) A. & D. Love
Sedum atratum L.
Sedum ochroleucum Chaix

Ouk. Saxifragaceae

Saxifraga aizoides L.
Saxifraga exarata Vill.
Saxifraga porophylla subsp. *Grisebachii* (Degen & Dorfler)

Saxifraga scardica Griseb.

Ouk. Rosaceae

Ouk. Caryophyllaceae

Minuartia saxifraga (Friv.)
Stellaria graminea L.
Cerastium decalvans Schlosser & Vuk
Cerastium banaticum (Rochel) Heuffel
Cerastium fontanum Baumg.
Sagina procumbens L.
Silene bupleuroides L.
Silene balcanica (Urum.) Hayek
Silene waldsteinii Griseb.
Silene lerchenfeldiana Baumg.
Silene armeria L.
Silene compacta Fischer
Silene asterias Griseb.
Silene roemerii Friv.
Silene pusilla Waldst. & Kit.
Dianthus petraeus subsp. *Orbelicum* (Velen.)
Dianthus pinifolius Sibth. & Sm.
Dianthus giganteus D' Urv.
Scleranthus perennis subsp. *Marginatus* (Guss.) Arcangeli

Ouk. Ranunculaceae

Ranunculus acris L.
Ranunculus serbicus Vis.
Aquilegia aurea Janka
Thalictrum minus subsp. *olympicum* (Boiss. & Heldr.) Strid.

Ouk. Brassicaceae

Erysimum drenowskii Degen
Erysimum cuspidatum (Bieb.) Dc.

Rosa pulverulenta Bieb.

Dryas octopetala L.

Geum coccineum Sibth. & Sm.

Geum montanum L.

Potentilla recta L.

Alchemilla indivisa (Hayek) Rothm.

Alchemilla lanuginosa Rothm.

Alchemilla serbica (Paulin)

Amelanchier ovalis subsp. *Ovalis* Medicus

Cotoneaster integerrimus Medicus

Cotoneaster nebrodensis (Guss.) C. Koch

Οικ. Linaceae

Linum tenuifolium L.

Οικ. Euphorbiaceae

Euphorbia baselices Ten.

Euphorbia glabriflora Vis.

Οικ. Polygalaceae

Polygala nicaeensis subsp. *Mediterranea* Chodat

Οικ. Rhamnaceae

Rhamnus alpinus L.

Rhamnus pumilus

Οικ. Thymelaeaceae

Daphne oleoides

Οικ. Hypericaceae

Hypericum barbatum Jacq.

Hypericum olympicum L.

Cardamine glauca Sprengel.

Alyssoides utriculata (L.) Medicus

Alyssum murale Waldst. & Kit.

Οικ. Crassulaceae

Jovibarba heuffelii (Schott) A. & D. Love

Sedum telephium L.

Sedum album L.

Οικ. Saxifragaceae

Saxifraga bryoides L.

Saxifraga paniculata Miller

Οικ. Parnassiaceae

Parnassia palustris L.

Οικ. Rosaceae

Rosa pulverulenta Bieb.

Rosa pendulina L.

Rosa pimpinellifolia L.

Rosa canina L.

Rosa agrestis Savi

Geum rivale L.

Alchemilla lanuginosa Rothm.

Cotoneaster nebrodensis (Guss.) C. Koch

Οικ. Geraniaceae

Geranium macrorrhizum L.

Οικ. Linaceae

Linum catharticum L.

Оук. Cistaceae

Helianthemum alpestre (Jacq.)Dc.
Helianthemum canum subsp. Canum (L.) Baumg.

Оук. Apiaceae

Seseli peucedanoides (Bieb.)
Bupleurum falcatum subsp. Cernuum (Ten.) Argangeli
Carum rigidulum subsp. Bulgaricum Hartvig
Carum strictum (Griseb.) Boiss.

Оук. Ericaceae

Bruckenthalia spiculifolia (Salisb.) Reichenb.
Arctostaphylos uva-ursi (L.) Sprengel
Vaccinium myrtillus L.
Vaccinium uliginosum subsp. Microphyllum (Lange) Bocher

Оук. Primulaceae

Androsace villosa L.

Оук. Gentianaceae

Gentiana asclepiadea L.
Gentiana verna subsp. Balcanica Pritchard
Gentianella bulgarica (Velen.) Holub
Gentianella crispata (Vis.)

Оук. Boraginaceae

Onosma heterophyllum Griseb.
Myosotis alpestris subsp. alpestris

Оук. Lamiaceae

Sideritis scardica Griseb.

Оук. Polygalaceae

Polygala major Jacq.

Оук. Thymelaeaceae

Daphne oleoides

Оук. Hypericaceae

Hypericum maculatum Crantz
Hypericum barbatum Jacq.
Hypericum olympicum L.

Оук. Violaceae

Viola stojanovii W. Becker
Viola tricolor L.

Оук. Onagraceae

Epilobium obscurum Schreber

Оук. Apiaceae

Chaerophyllum aureum L.
Smyrnum perfoliatum L.
Pimpinella tragium Vill.
Seseli rigidum Waldst. & Kit.
Ferulago sylvatica (Besser) Reichenb.
Pencedanum aequiradium Velen.
Heracleum sphondylium subsp. Ternatum (Velen.) Brummit

Оук. Ericaceae

Bruckenthalia spiculifolia (Salisb.) Reichenb.
Vaccinium vitis-idaea L.
Vaccinium myrtillus L.

Stachys alopecurus (L.) Bentham

Stachys iva Griseb.

Micromeria cristata (Hampe) Griseb.

Thymus praecox subsp. *Jankae* (Celak.) Jamas

Ouk. Scrophulariaceae

Veronica jacquini Baumg.

Veronica orsiniana subsp. *Orsiniana* Ten.

Pedicularis leucodon subsp. *Leucodon* Griseb.

Ouk. Globulariaceae

Globularia cordifolia L.

Ouk. Gesneriaceae

Ramonda nathaliae Pancic & Petrovic

Ouk. Rubiaceae

Asperula aristata subsp. *Nestia* (Rech. Fil.) Ehrend. & Krendl

Asperula purpurea subsp. *Apiculata* (Sibth. & Sm.) Ehrend.

Asperula purpurea subsp. *Purpurea* (L.) Ehrend.

Galium anisophyllum subsp. *Plebeium* (Boiss. & Heldr.) Ehrend.

Galium oreophilum Krendl

Ouk. Plantaginaceae

Plantago argentea Chaix

Plantago atrata subsp. *Atrata* Hoppe

Ouk. Dipsacaceae

Knautia ambigua (Friv.) Boiss. & Orph.

Scabiosa columbaria subsp. *Columbaria* L.

Scabiosa crenata subsp. *Crenata* Cyr.

Scabiosa graminifolia subsp. *Graminifolia* L.

Ouk. Plumbaginaceae

Armeria canescens (Host) Boiss.

Ouk. Gentianaceae

Gentiana verna subsp. *Balkanica* Pritchard

Ouk. Convolvulaceae

Convolvulus boissieri subsp. *Parnasicus* (Boiss. & Orph.)

Ouk. Boraginaceae

Symphytum tuberosum subsp. *augustifolium* (A. Kerner) Nyman

Myosotis nemorosa Besser

Ouk. Lamiaceae

Teucrium chamaedrys L.

Scutellaria alpina L.

Scabiosa triniifolia Friv.

Stachys officinalis (L.) Trevisan

Stachys tymphaea Hausskn.

Stachys plumosa Griseb.

Nepeta nuda L.

Acinos alpinus subsp. *Nomismophyllum* (Rech. Fil.)

Origanum vulgare L.

Thymus sibthorpii Bentham

Thymus degenii Braun

Thymus thracinus Velen.

Salvia argentea L.

Ouk. Scrophulariaceae

Verbascum longifolium subsp. *Herbaceo-bacteatum* Murb.

Scrophularia scopoli Hoppe

Linaria genistifolia (L.) Miller

Scabiosa triniifolia Friv.

Ouk. Campanulaceae

Campanula formanekiana Degen & Dorfler

Campanula spatulata subsp. *Spatulata* Sibth. & Sm.

Asyneuma limonifolium (L.) Janchen

Jasione laevis subsp. *Orbiculata* (Griseb. Ex Velen.) Tutin

Edraianthus graminifolius (L.) A. Dc.

Ouk. Asteraceae

Aster alpinus L.

Achillea ageratifolia subsp. *Aizoon* (Griseb.) Heimerl

Achillea fraasii Schultz Bip.

Centaurea affinis subsp. *Affinis* Friv.

Centaurea grbavacensis (Rohlena) Stoj. & Acht.

Calycocorsus stipitatus (Jacq.) Rauschert

Hieracium alpicola Schleicher ex Steudel & Hochst.

Hieracium pannosum Boiss.

Inula hirta L.

Antennaria dioica (L.) Gaertner

Tephrosia integrifolia subsp. *Aucheri* (Dc.) Nordenstam

Crepis viscidula subsp. *Viscidula* Froelich

Hypochoeris maculata L.

Ouk. Liliaceae

Muscari neglectum Guss.

Allium cupani subsp. *Cupani* Rafin.

Allium macedonicum Zahar.

Allium moschatum L.

Colchicum macedonica Kosanin

Ouk. Orchidaceae

Veronica barrelieri Schott ex Roemer & Schultes

Euphrasia pectinata Ten.

Euphrasia salisburgensis Funck ex Hoppe

Pendicularis brachyodonta subsp. *Moesiaca* (Stadlm.) Hayek

Rhinanthus rumelicus Velen.

Veronica jacquinii Baumg.

Ouk. Orobanchaceae

Orobanche gracilis Sm.

Ouk. Rubiaceae

Asperula aristata subsp. *Thessala* (Boiss. & Heldr.) Hayek

Asperula aristata subsp. *Condensata* (Heldr. Ex Boiss.) Ehrend. & Krendl

Asperula purpurea subsp. *Purpurea* (L.) Ehrend.

Galium helenicum Krendl

Crusiatia glabra (L.) Ehrend.

Ouk. Plantaginaceae

Plantago holosteum Scop.

Plantago lanceolata L.

Ouk. Campanulaceae

Campanula persicifolia L.

Campanula cervicaria L.

Campanula rotundifolia L.

Asyneuma canescens (Waldst. & Kit.) Griseb. & Schenk

Edraianthus graminifolius (L.) A. Dc.

Ouk. Asteraceae

Inula hirta L.

Achillea stricta (Koch) Schleicher ex Gremli

Achillea crithmifolia Waldst. & Kit.

Gymnadenia frivaldii Hampe ex Griseb.
Orchis pallens Mantissa

Doronicum austriacum Jacq.
Senecio hercynicus Herborg.
Carlina vulgaris susp. Intermedia (Schur) Hayek
Carduus kermeri subsp. Scardicus (Griseb.) Kazmi
Cirsium appendiculatum Griseb.
Centaurea napulifera Rochel
Leontodon hispidus L.
Leontodon crispus subsp. Asper (Waldst.& Kit.) Rohlena
Crepis conyzifolia (Gouan) A. Kerner
Crepis viscidula subsp. Viscidula Froelich
Hieracium cynosum subsp. Sabinum (Sebastiani) Nageli & Peter
Hieracium sparsum Friv.
Antennaria dioica (L.) Gaertner
Tephroses integrifolia subsp. Aucheri (Dc.) Nordenstam
Centaurea affinis subsp. Affinis Friv.
Hypochoeris maculata L.

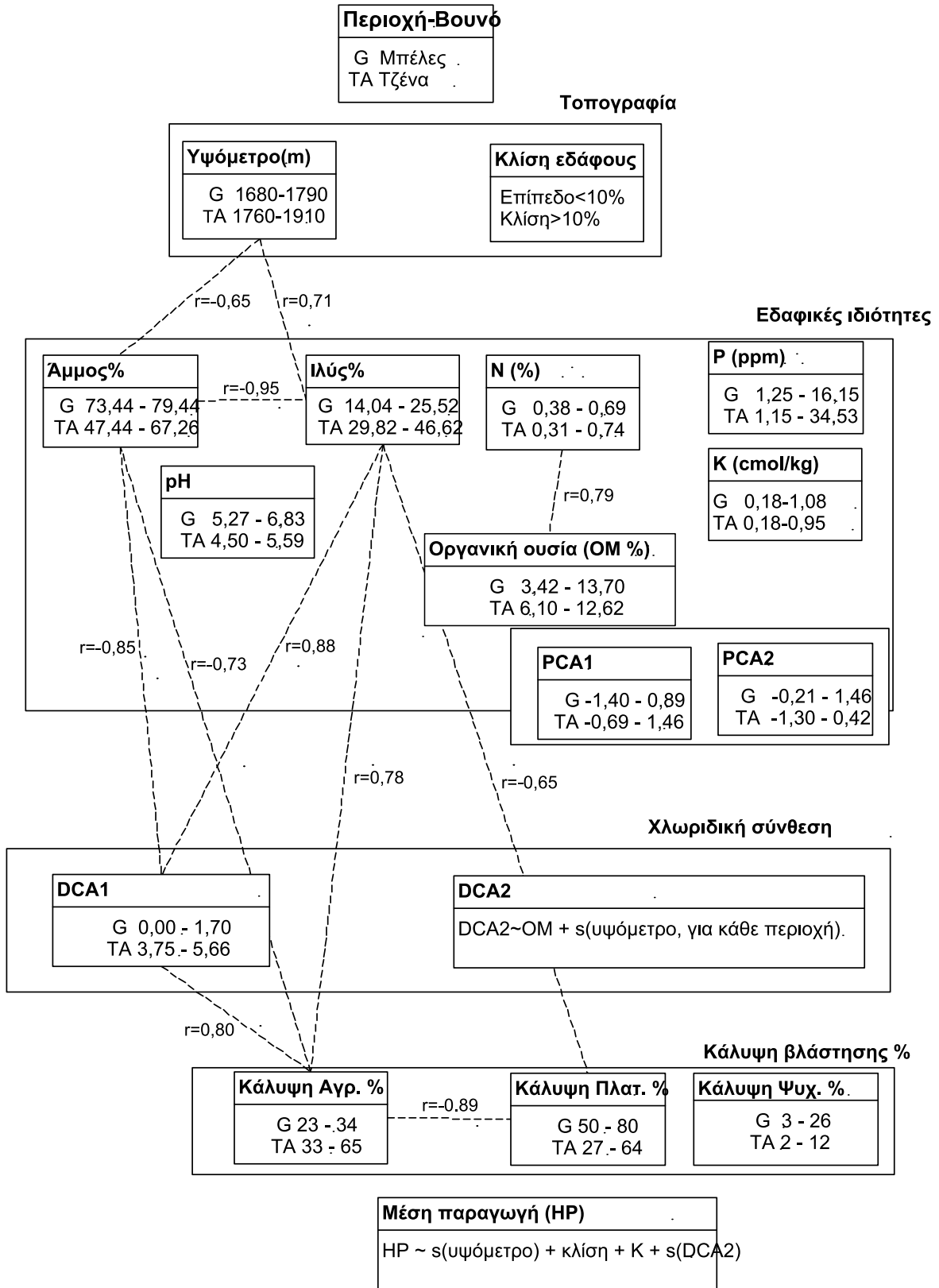
Ouk. Liliaceae

Lilium martagon L.
Lilium carniolicum subsp. Albanicum (Griseb.) Hayek

Ouk. Orchidaceae

Orchis pallens Mantissa

Διάγραμμα 3.2.4. . Απεικόνιση του Ιεραρχικού Γενικευμένου Αθροιστικού Μοντέλου (Γ.Α.Μ.) και οι πιθανοί παράμετροι πρόβλεψης του αριθμού των φυτικών ειδών.



Πίνακας Π.3. Είδη δείκτες των υπαλπικών λιβαδιών των εδαφών από ΤΑ και G σύμφωνα με την κλίση εδάφους

Ομάδες/είδη	IndV	p		Ομάδες/είδη	stat	p	
G-Flat				G-Slope			
<i>Chamaecytisus supinus</i> L.	0.926	0.005	**	<i>Veronica barrelieri</i> Schott ex Roemer & Schultes	0.730	0.035	*
<i>Lilium martagon</i> L.	0.816	0.005	**	<i>Festuca peristerea</i> (Vetter) Markgr.-Dannenb.	0.707	0.025	*
<i>Agrostis capillaris</i> L.	0.707	0.02	*	<i>Phleum montanum</i> C. Koch	0.707	0.025	*
<i>Linum catharticum</i> L.	0.707	0.02	*	<i>Silene armeria</i> L.	0.707	0.025	*
TA-Flat	stat	p		<i>Silene balcanica</i> (Urum.) Hayek	0.707	0.02	*
<i>Aster alpinus</i> L.	0.894	0.005	**	<i>Vicia canescens</i> Labill.	0.707	0.02	*
<i>Scabiosa triniifolia</i> Friv.	0.894	0.005	**	TA-Slope	stat	p	
<i>Iberis saxatilis</i> L.	0.775	0.015	*	<i>Achillea ageratifolia</i> subsp. <i>aizoon</i> (Griseb.) Heimer	1	0.005	**
<i>Plantago argentea</i> Chaix	0.775	0.015	*	<i>Genista depressa</i> Bieb.	0.926	0.005	**
<i>Ranunculus sartorianus</i> Boiss. & Heldr.	0.775	0.005	**	<i>Asplenium viride</i> Hudson	0.913	0.005	**
<i>Bromus riparius</i> Rehm.	0.696	0.02	*	<i>Thesium arvense</i> Horvatovsky	0.756	0.02	*
<i>Poa molinerii</i> Balbis	0.696	0.02	*	<i>Carex kitaibeliana</i> Degen ex Becherer	0.655	0.05	*
<i>Sesleria robusta</i> Schott, Nyman & Kotschy	0.696	0.015	*	G	stat	p	
<i>Allium macedonicum</i> Zahar.	0.632	0.03	*	<i>Plantago holosteum</i> Scop.	0.816	0.01	**
<i>Amelanchier ovalis</i> subsp. <i>ovalis</i> Medicus	0.632	0.045	*	<i>Festuca koritmicensis</i> Hayek & Vetter	0.707	0.045	*
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.) Sprengel	0.632	0.045	*	<i>Viola stojanovii</i> W. Becker	0.645	0.045	*
<i>Bromus cappadocicus</i> subsp. <i>lacmonicus</i> (Hauskn.) P.M. Smith	0.632	0.035	*	TA	stat	p	
<i>Carex paniculata</i> L.	0.632	0.025	*	<i>Achillea fraasii</i> Schultz Bip.	0.866	0.005	**
<i>Galium oreophilum</i> Krendl	0.632	0.04	*	Flat	stat	p	
<i>Globularia cordifolia</i> L.	0.632	0.03	*	<i>Orchis pallens</i> Mantissa	0.785	0.02	*
G-Flat+TA-Slope	stat	p		G-Slope+TA-Flat	stat	p	
<i>Nardus stricta</i> L.	0.877	0.005	**	<i>Silene pusilla</i> subsp. <i>albanica</i> Waldst. & Kit.	0.739	0.045	*
<i>Bellardiochloa variegata</i> (Lam.) Kerguelen	0.784	0.04	*				

Πίνακας Π. 4. Παράμετροι πρόβλεψης του GAM μοντέλου: 1) του συνολικού αριθμού των ειδών, 2) του αριθμού των πλατυφύλλων, 3) του αριθμού των αγρωστωδών ειδών στις περιοχές έρευνας.

α) Στάδια του Γ.Α.Μ. μοντέλου και το ποσοστό της διακύμανσης που εξηγεί				
1. Συνολικός αριθμός ειδών (TR)				
Μοντέλα	Παράμετροι	Pr(>X ²)	R ²	% Dev.Exp
0	TR		0.00	0.00
1	pH	<0.001	0.43	51.5
2	pH + DCA2	<0.001	0.75	80.2
3	pH + DCA2 + HP	<0.001	0.82	89.1
4	pH + DCA2 + HP + Agrostis capillaris	0.003	0.89	93.6
2. Αριθμός πλατυφύλλων ειδών (FR)				
Μοντέλα	Παράμετροι	Pr(>X ²)	R ²	% Dev.Exp
0	FR		0.00	0.00
1	pH + Νεδάφ.	<0.001	0.59	69.7
2	pH + Νεδάφ. + DCA2	<0.001	0.90	93.3
3	pH + Νεδάφ. + DCA2+ HP	0.027	0.92	95.7
3. Αριθμός αγρωστωδών ειδών (GR)				
Μοντέλα	Παράμετροι	Pr(>X ²)	R ²	% Dev.Exp
0	GR		0.00	0.00
1	Υψόμετρο + Ν εδάφ.	<0.001	0.62	70.6
2	Υψόμετρο + Ν εδάφ. + HP	0.016	0.83	89.5

Ο πίνακας συνεχίζεται στην επόμενη σελίδα

β) Παράμετροι που συμμετείχαν στο τελικό μοντέλο πρόβλεψης				
1. Συνολικός αριθμός ειδών (TR)				
Παραμετρικές μεταβλητές	Συντελεστές	s.e.	t	Pr(> t)
Intercept	2.74	0.01	221.17	<0.001
DCA2	-0.09	0.01	-5.79	<0.001
Agrostis capillaris	-0.14	0.05	-2.99	0.01
Μη παραμετρικές μεταβλητές με καμπύλες εξομάλυνσης	edf	Ref.df	F	p
pH	3.50	3.86	7.74	0.002
HP	3.88	3.99	6.82	0.003
2. Αριθμός πλατυφύλλων ειδών (FR)				
Παραμετρικές μεταβλητές	Συντελεστές	s.e.	t	Pr(> t)
Intercept	2.43	0.05	45.78	<0.001
N εδάφ.	-0.38	0.11	-3.59	0.004
DCA2	-0.13	0.02	-6.47	<0.001
Μη παραμετρικές μεταβλητές με καμπύλες εξομάλυνσης	edf	Ref.df	F	p
HP	3.83	3.98	5.39	0.009
pH	4.78	5.79	15.42	<0.001
3. Αριθμός αγρωστωδών ειδών (GR)				
Παραμετρικές μεταβλητές	Συντελεστές	s.e.	t	Pr(> t)
Intercept	1.14	0.09	12.66	<0.001
N εδάφ.	0.54	0.18	3.04	0.009
Μη παραμετρικές μεταβλητές με καμπύλες εξομάλυνσης	edf	Ref.df	F	p
Υψόμετρο	3.93	4.69	8.36	<0.001
HP	2.88	3.34	4.95	0.012

s.e.: Standard error (Τυπικό σφάλμα)

Pr, p : επίπεδο σημαντικότητας

Edf, Ref. df: Οι υπολογισμένοι βαθμοί ελευθερίας

Dev.Expr.: Το ποσοστό της διακύμανσης που εξηγεί το GAM μοντέλο

DCA2: Είναι ο δεύτερος άξονας, Ψ της DCA ανάλυσης

Πίνακας Π. 5. Μηνιαίες μεταβολές της χημικής σύστασης της ΞΟ της λιβαδικής παραγωγής των υαλπικών λιβαδιών των περιοχών έρευνας σε εδάφη που προέρχονται από ΤΑ και από G.

	ΜΗΝΕΣ					Μ.Ο.±Τ.Σ.
	Μ	ΙΝ	ΙΑ	Α	Σ	
Παραγωγή Kg/στρ.						
ΤΑ	31,38±20,06a	97,36±43,49a	193,90±111,35	206,19±94,85	119,47±37,55	129,66±61,46a
G	89,98±20,37b	172,01±70,35b	249,58±121,59	188,87±89,67	128,80±68,13	165,85±74,02b
ΑΟ %						
ΤΑ	17,83±5,37	14,76±1,19b	8,46±0,76b	7,54±0,75b	5,40±1,63b	10,80±1,94
G	18,77±3,2	13,48±2,1a	9,70±1,43a	6,34±1,93a	4,24±0,74a	10,50±1,90
Κ %						
ΤΑ	1,66±0,48a	1,60±0,58	1,79±0,62	1,45±0,51a	1,14±0,72a	1,53±0,58
G	2,12±0,59b	1,76±0,59	1,59±0,37	1,85±0,48b	1,72±0,43b	1,81±0,50

	MHNEΣ					
	M	IN	IA	A	Σ	M.O.±T.Σ.
Ca %						
TA	0,37±0,15	0,47±0,20a	0,66±0,37a	0,88±0,22	0,85±0,31a	0,65±0,25a
G	0,44±0,15	0,76±0,23b	0,86±0,29b	1,11±0,38	1,09±0,32b	0,85±0,28b
Mg %						
TA	0,117±0,02	0,133±0,04a	0,158±0,03	0,148±0,05a	0,144±0,04a	0,14±0,03
G	0,137±0,04	0,175±0,06b	0,173±0,03	0,195±0,03b	0,202±0,06b	0,18±0,04
P %						
TA	0,094±0,02	0,202±0,06	0,238±0,12	0,146±0,06	0,118±0,08	0,16±0,07
G	0,088±0,02	0,219±0,02	0,202±0,04	0,175±0,06	0,155±0,07	0,17±0,04
Na %						
TA	0,041±0,013	0,043±0,015	0,051±0,013	0,025±0,007a	0,017±0,009a	0,035±0,011
G	0,040±0,018	0,052±0,016	0,050±0,008	0,031±0,009b	0,027±0,006b	0,040±0,011

MHNEΣ						
	M	IN	IA	A	Σ	M.O.±T.Σ.
Fe ppm						
TA	140,83±38,5b	109,44±28,96	125,83±54,15	139,72±40,95	155,56±74,72b	134,28±47,45a
G	80,83±42,65a	92,50±63,37	106,39±51,38	121,67±63,81	108,06±25,35a	101,89±49,31b
Zn ppm						
TA	77,31±35,94	98,56±49,51b	191,94±58,87a	383,19±274,59b	176,97±72,15b	185,59±98,21
G	75,69±44,39	71,81±24,59a	252,89±92,71b	141,58±54,08a	127,61±62,13a	133,92±55,58
Cu ppm						
TA	10,46±1,4b	8,00±1,2	5,31±1,03	3,09±1,41	0,88±0,20	5,51±1,28
G	8,25±2,69a	7,48±1,62	5,04±1,19	3,05±1,44	1,02±0,50	4,96±1,80
Mn ppm						
TA	144,17±70,53	180,00±62,94b	263,89±78,37b	315,22±132,91b	332,78±109,86b	247,21±90,92a
G	110,56±34,46	119,17±39,48a	164,72±54,89a	185,00±55,58a	196,67±77,47a	155,22±52,37b

Περιοχές	ΜΗΝΕΣ					Μ.Ο.±Τ.Σ.
	Μ	ΙΝ	ΙΑ	Α	Σ	
Ca:P						
ΤΑ	3,98±1,23a	2,40±0,90a	3,38±1,99	7,04±3,28	11,01±7,42	5,56±2,97
Γ	5,10±1,58b	3,47±1,12b	4,30±1,30	6,98±3,1	8,98±4,99	5,77±2,48
GTI meq						
ΤΑ	1,54±0,33	1,25±0,32b	1,06±0,28b	0,71±0,32	0,54±0,31	1,02±0,31
Γ	1,78±0,57	0,94±0,43a	0,77±0,26a	0,76±0,46	0,64±0,16	0,98±0,38
K:Na meq						
ΤΑ	25,55±8,25a	22,53±5,51	20,74±4,35	34,90±12,2	42,92±19,01	29,33±9,86
Γ	34,54±8,76b	20,42±6,02	19,39±5,59	36,05±7,28	37,30±6,78	29,54±6,88

a,b: Μέσοι όροι στην ίδια στήλη με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ των δύο περιοχών
 $P < 0,05$

Πίνακας Π. 6. Επίδραση της εποχής δειγματοληψίας και της τοπογραφίας στην ποσότητα και στη χημική σύσταση της λιβαδικής παραγωγής της υπαλπικής περιοχής στα εδάφη από ΤΑ

Παράμετρος	Παραγωγή	ΑΟ	K	Ca	Mg	P	Na	Fe	Zn	Cu	Mn	Ca:P	GTI	K:Na
Μήνας (M)	*			***						**				
Υψόμετρο (Y)	***	**		**	*			**			***		*	
Κλίση (K)											***		*	
ΜΧΥ	*			***						**				
ΜΧΚ				***	*		*	*		***				***
ΥΧΚ		*									***		*	
ΜΧΥΧΚ				***	*		*	*		***				***

Πίνακας Π.7. Επίδραση της εποχής δειγματοληψίας και της τοπογραφίας στην ποσότητα και στη χημική σύσταση της λιβαδικής παραγωγής της υπαλπικής περιοχής στα εδάφη από G

Παράμετρος	Παραγωγή	ΑΟ	K	Ca	Mg	P	Na	Fe	Zn	Cu	Mn	Ca:P	GTI	K:Na
Μήνας (M)	*				*				*	*				
Υψόμετρο (Y)	**					*			*	***	***			
Κλίση (K)	***									**				
ΜΧΥ	*				*				*	*				
ΜΧΚ				**	*		**	**			*			**
ΥΧΚ	***									**				
ΜΧΥΧΚ				**	*		**	**		***	*			**

Επίπεδο σημαντικότητας: ***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$.

Πίνακας Π. 8. Σχέση της εποχής δειγματοληψίας και της τοπογραφίας με την ποσότητα και τη χημική σύσταση της λιβαδικής παραγωγής της υπαλπικής περιοχής στα εδάφη από ΤΑ

	Μήνας	Υψόμετ	Κλίση	Παραγ	ΑΟ	Κ	Ca	Mg	P	Na	Fe	Zn	Cu	Mn	Ca:P	GTI	K:Na
Μήνας	1																
Υψόμετρο	0	1															
Κλίση	0	0	1														
Παραγωγή	,386(**)	-,471(**)	-,446(**)	1													
ΑΟ	-,797(**)	-,013	-,065	-,392(**)	1												
Κ	-,178	-,356(**)	-,573(**)	,382(**)	,324(**)	1											
Ca	,538(**)	-,094	-,262(*)	,427(**)	-,559(**)	,115	1										
Mg	,200	-,020	-,226	,361(**)	-,266	,221	,385(**)	1									
P	,016	-,218	-,424(**)	,555(**)	,055	,636(**)	,196	,454(**)	1								
Na	-,445(**)	-,120	-,224	,154	,501(**)	,653(**)	-,263	,167	,548(**)	1							
Fe	,053	,378(**)	,367(**)	-,365(**)	-,191	-,464(**)	,033	,237	-,379(**)	-,280	1						
Zn	,437(**)	-,054	-,021	,382(**)	-,395(**)	-,267	,508(**)	,268	,107	-,253	,158	1					
Cu	-,832(**)	,038	-,023	-,409(**)	,822(**)	,357(*)	-,507(**)	-,142	,078	,590(**)	-,061	-,396(**)	1				
Mn	,478(**)	,011	,342(**)	,170	-,695(**)	-,394(**)	,231	,114	-,157	-,415(**)	,159	,363(**)	-,539(**)	1			
Ca:P	,385(**)	,166	,097	-,122	-,481(**)	-,588(**)	,480(**)	-,070	-,601(**)	-,675(**)	,287(*)	,243	-,479(**)	,311(*)	1		
GTI	-,599(**)	-,219	-,191	-,122	,748(**)	,587(**)	-,653(**)	-,298(*)	,238	,614(**)	-,367(**)	-,535(**)	,688(**)	-,491(**)	-,668(**)	1	
K:Na	,279(**)	-,161	-,233(*)	,197	-,342(*)	,206	,431(**)	-,042	-,015	-,572(**)	-,182	-,028	-,438(**)	,175	,248	-,146	1

Επίπεδο σημαντικότητας: **: p<0,01, *: p<0,05.

Πίνακας Π. 9. Σχέση της εποχής δειγματοληψίας και της τοπογραφίας με την ποσότητα και τη χημική σύσταση της λιβαδικής παραγωγής της υπαλπικής περιοχής στα εδάφη από G

	Μήνας	Υψόμετ	Κλίση	Παραγ	ΑΟ	K	Ca	Mg	P	Na	Fe	Zn	Cu	Mn	Ca:P	GTI	K:Na
Μήνας	1																
Υψόμ	0	1															
Κλίση	0	0	1														
Παραγ	,141	,285(*)	-,124	1													
ΑΟ	-,833(**)	,003	-,114	-,046	1												
K	-,115	-,278	-,472(**)	,030	,311(*)	1											
Ca	,489(**)	-,082	,040	-,070	-,572(**)	-,132	1										
Mg	,308(**)	-,212	-,335(**)	,028	-,307(*)	,213	,513(**)	1									
P	,085	,048	-,117	,286(*)	-,124	-,121	,334(*)	,439(**)	1								
Na	-,337(**)	-,136	-,356(**)	,275	,554(**)	,398(**)	-,118	,252	,389(**)	1							
Fe	,287(**)	-,146	,043	-,094	-,172	-,033	,445(**)	,402(**)	,129	,148	1						
Zn	,270(*)	-,119	-,011	,251	-,214	-,103	,396(**)	,112	,169	,135	,204	1					
Cu	-,716(**)	,124	-,101	,041	,862(**)	,328(*)	-,442(**)	-,133	-,026	,668(**)	-,021	-,209	1				
Mn	,449(**)	,412(**)	,243(*)	,285(*)	-,486(**)	-,048	,300(*)	,024	,081	-,252	,140	,236	-,332(*)	1			
Ca:P	,295(**)	-,038	,128	-,285(*)	-,465(**)	-,081	,579(**)	,093	-,495(**)	-,425(**)	,262	,217	-,411(**)	,191	1		
GTI	-,449(**)	-,074	-,198	-,054	,606(**)	,590(**)	-,782(**)	-,464(**)	-,432(**)	,179	-,365(*)	-,307(*)	,450(**)	-,222	-,373(**)	1	
K:Na	,201	-,059	,048	-,274	-,335(*)	,264	,048	-,071	-,499(**)	-,746(**)	-,119	-,234	-,448(**)	,263	,397(**)	,199	1

Επίπεδο σημαντικότητας: **: p<0,01, *: p<0,05.

Πίνακας Π. 10. Συσχέτιση των εδαφικών χαρακτηριστικών με την ποσότητα και τη χημική σύσταση της λιβαδικής παραγωγής της υπαλλικής περιοχής στα εδάφη από ΤΑ

	pH	EC	OM	N	P	Ca	Mg	K	Cu	Zn	Mn	Fe	Άμμος	Άργιλος	Ιλύς
Παραγωγή	-,011	,141	,067	-,004	,193	,090	,053	,155	-,173	,262(*)	,083	-,089	,316(**)	-,297(**)	-,238(*)
AO	,084	-,045	,019	,009	,133	,084	,095	,110	-,085	,035	-,074	,035	,028	-,058	-,002
K	,116	,069	,023	-,059	,220(*)	,211(*)	,072	,155	-,262(*)	,227(*)	,035	-,098	,232(*)	-,308(**)	-,116
Ca	,360(**)	,164	-,025	,032	,133	,359(**)	,121	,094	,216(*)	,172	,274(**)	-,177	-,018	-,009	,013
Mg	,210(*)	,048	,018	,037	,369(**)	,111	,210(*)	,287(**)	-,044	,203	-,009	-,020	-,009	-,082	,054
P	,164	,101	,023	-,013	,431(**)	,102	,137	,280(**)	-,137	,308(**)	,035	-,050	,145	-,224(*)	-,059
Na	,075	,011	,035	-,011	,221(*)	,069	,100	,187	-,191	,144	-,062	-,032	,098	-,178	-,021
Fe	,240(*)	,007	,033	,112	,096	,048	,148	,172	,269(*)	-,021	,004	-,086	-,245(*)	,194	,185
Zn	,169	,181	-,032	,062	,184	,082	,086	,077	,296(**)	,179	,251(*)	-,042	-,046	,090	-,006
Cu	,060	,011	-,007	-,013	,057	,018	,017	,045	,001	,036	,010	-,045	-,035	-,004	,048
Mn	-,380(**)	,072	-,001	-,042	-,244(*)	-,422(**)	-,199	-,129	-,082	-,041	-,008	-,095	-,044	,012	,059
Ca:P	,099	,000	-,052	,021	-,231(*)	,093	,006	-,136	,301(**)	-,145	,134	-,074	-,213(*)	,267(*)	,115
GTI	-,166	-,031	,027	-,066	,070	-,117	-,039	,041	-,258(*)	,069	-,109	,024	,171	-,175	-,108
K:Na	-,029	-,007	-,017	-,091	-,103	,056	-,105	-,100	-,083	-,003	,040	-,083	,097	-,081	-,071

Επίπεδο σημαντικότητας: **: p<0,01, *: p<0,05.

Πίνακας Π. 11. Συσχέτιση των εδαφικών χαρακτηριστικών με την ποσότητα και τη χημική σύσταση της λιβαδικής παραγωγής της υπαλλικής περιοχής στα εδάφη από G

	pH	EC	OM	N	P	Ca	Mg	K	Cu	Zn	Mn	Fe	Άμμος	Άργιλος	Ιλύς
Παραγωγή	,163	,235	,581(**)	,575(**)	,405(**)	,405(**)	,411(**)	,437(**)	,480(**)	,304(*)	,435(**)	,290	,049	-,310(*)	,347(*)
AO	,027	,034	,088	,105	,109	,018	,074	,108	,059	,058	,043	,029	,003	-,199	-,046
K	,164	,314(*)	,483(**)	,494(**)	,485(**)	,481(**)	,567(**)	,250	,414(**)	,429(**)	,455(**)	,550(**)	-,275	-,211	,245
Ca	,096	-,067	-,159	-,132	-,210	-,182	-,151	-,014	-,279	-,157	-,188	-,294	,166	-,080	-,176
Mg	-,100	-,140	,159	,086	,080	,022	,045	-,131	-,091	-,110	-,033	,127	-,068	-,172	-,078
P	-,060	-,075	,034	,012	,159	-,070	-,033	-,035	-,053	-,079	-,096	-,006	-,069	-,150	-,068
Na	-,010	,035	,228	,241	,207	,121	,233	,125	,119	,121	,124	,194	-,031	-,399(**)	-,059
Fe	-,249	-,230	-,306(*)	-,284	-,268	-,305(*)	-,245	-,177	-,193	-,150	-,227	-,127	,016	-,122	-,428(**)
Zn	,184	,208	,016	,066	,079	,065	,130	,120	,078	,181	,118	,040	-,008	-,012	,038
Cu	,079	,094	,202	,233	,212	,124	,169	,243	,170	,129	,129	,065	-,001	-,254	,058
Mn	-,019	,192	,166	,217	,336(*)	,239	,253	,237	,419(**)	,274	,229	,226	-,056	-,068	,313(*)
Ca:P	,050	-,029	-,168	-,135	-,301(*)	-,113	-,097	-,042	-,179	-,093	-,102	-,221	,271	-,003	-,057
GTI	-,008	,153	,200	,218	,266	,259	,298(*)	,113	,294	,264	,248	,350(*)	-,203	-,071	,133
K:Na	,083	,143	,086	,074	,115	,204	,142	,007	,142	,145	,160	,192	-,182	,268	,218

Επίπεδο σημαντικότητας: **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$.

Πίνακας Π. 12. Παράμετροι πρόβλεψης του GAM μοντέλου της μέσης λιβαδικής παραγωγής (HP) στις περιοχές έρευνας.

α) Στάδια του Γ.Α.Μ. μοντέλου και το ποσοστό της διακύμανσης που εξηγεί				
Μοντέλα	Παράμετροι	Pr(>X ²)	R ²	% Dev.Exp.
0	HP		0,00	0,00
1	Υψόμετρο + Κλίση εδάφ.	<0,001	0,58	65,0
2	Υψόμετρο + Κλίση εδάφ.+ Κ εδάφ.	<0,001	0,73	79,4
3	Υψόμετρο + Κλίση εδάφ.+ Κ εδάφ. + DCA2	<0,001	0,88	92,0

β) Παράμετροι πρόβλεψης στο τελικό Γ.Α.Μ. μοντέλο 3				
Παραμετρικές μεταβλητές:				
	Συντελεστές	s.e.	t κριτήριο	Pr(> t)
Intercept	133,49	12,70	10,51	<0,001
Κλίση εδάφ.	-51,33	12,03	-4,27	<0,001
Κ εδάφ.	0,21	0,05	4,48	<0,001
Μη παραμετρικές μεταβλητές με καμπύλες εξομάλυνσης:				
	Edf	Ref.df	F κριτήριο	p
Υψόμετρο	3,45	3,81	10,77	<0,001
DCA2	2,20	2,68	8,30	0,002

s.e.: Standard error (Τυπικό σφάλμα)

Pr, p : επίπεδο σημαντικότητας

Edf, Ref. df: Οι υπολογισμένοι βαθμοί ελευθερίας

Dev.Exp.: Το ποσοστό της διακύμανσης που εξηγεί το GAM μοντέλο

DCA2: Είναι ο δεύτερος άξονας της DCA ανάλυσης

Πίνακας Π.13. Μηνιαίες μεταβολές της χημικής σύστασης επί της ΞΟ της παραγωγής της κάθε λειτουργικής ομάδας των περιοχών έρευνας.

Περιοχή- Βουνό	Ομάδα	ΜΗΝΕΣ				M.O.±T.A.
		ΙΝ	ΙΛ	Α	Σ	
Παραγωγή kg / στρ.						
ΤΑ	Αγρ.	62,87±20,45a	97,55±45,39a	98,12±36,24a	60,58±18,71a	79,73±14,6a
	Πλατ.	30,82±21,28b	26,23±19,54b	23,55±16,33b	20,47±18,88b	25,26±3,81b
	Ψυχ.	6,92±9,83c	4,92±3,30b	5,31±4,32b	3,87±4,46c	5,02±3,23c
G	Αγρ.	58,05±17,40a	82,65±36,91a	104,70±40,00a	59,98±15,34a	76,34±18,25a
	Πλατ.	40,05±25,87a	44,24±36,50b	52,03±35,29b	39,54±28,20b	44,12±38,45b
	Ψυχ.	22,96±15,09b	31,27±20,34b	27,93±15,06b	19,14±11,03c	25,32±4,63c
ΑΟ %						
ΤΑ	Αγρ.	11,62±2,99a	9,88±2,38a	5,32±1,02a	3,82±0,68a	7,71±2,84a
	Πλατ.	12,94±2,78a	11,84±2,41b	7,19±2,31b	7,18±3,27b	9,72±2,40b
	Ψυχ.	17,92±3,51b	16,6±1,50c	12,19±1,13c	14,79±1,27c	15,42±2,05c
G	Αγρ.	11,63±1,12a	9,77±1,18a	6,17±1,54a	4,24±0,96a	7,96±2,66a
	Πλατ.	13,26±1,62b	10,21±1,18a	7,63±2,77b	7,41±2,68b	9,91±1,98b
	Ψυχ.	17,33±3,31c	16,08±3,69b	13,01±1,41c	12,41±1,06c	14,41±1,71c
Κ %						
ΤΑ	Αγρ.	1,56±0,50	1,09±0,29a	0,57±0,25a	0,25±0,10a	0,86±0,44a
	Πλατ.	1,86±0,70	1,43±0,46b	1,20±0,51b	0,69±0,43b	1,28±0,38b
	Ψυχ.	1,36±0,41	1,11±0,25ab	1,07±0,51b	0,74±0,24b	1,08±0,26b
G	Αγρ.	1,92±0,48a	1,78±0,61	0,78±0,27a	0,37±0,06a	1,23±0,61a
	Πλατ.	2,41±0,36b	2,49±1,11	1,64±0,65b	0,90±0,36b	1,85±0,53b
	Ψυχ.	2,01±0,49a	1,89±0,63	0,96±0,22a	0,62±0,14c	1,36±0,52a
Ca %						
ΤΑ	Αγρ.	1,45±0,84a	0,63±0,14a	0,47±0,14a	0,46±0,16a	0,75±0,40a
	Πλατ.	1,62±0,75ab	1,68±0,68b	1,67±0,79b	1,23±0,26b	1,55±0,19b
	Ψυχ.	2,81±1,27b	2,22±0,80c	1,92±1,05b	1,27±0,39b	2,06±0,55c
G	Αγρ.	1,39±0,35a	0,69±0,23a	0,35±0,06a	0,37±0,04a	0,71±0,41a
	Πλατ.	1,83±0,52b	2,07±0,76b	1,66±0,51b	1,36±0,27b	1,73±0,26b
	Ψυχ.	2,40±0,81b	2,11±0,90b	1,70±0,51b	1,25±0,33b	1,87±0,43b
Mg %						

TA	Αγρ.	0,142±0,02a	0,124±0,02a	0,10±0,02a	0,077±0,01a	0,111±0,02a
	Πλατ.	0,215±0,03b	0,212±0,04b	0,198±0,06b	0,174±0,04b	0,199±0,02b
	Ψυχ.	0,203±0,05b	0,204±0,05b	0,217±0,10b	0,30±0,07c	0,230±0,04c
G	Αγρ.	0,163±0,03a	0,134±0,01a	0,098±0,02a	0,083±0,01a	0,119±0,03a
	Πλατ.	0,258±0,03b	0,257±0,03b	0,241±0,07b	0,207±0,05b	0,241±0,02b
	Ψυχ.	0,209±0,03c	0,212±0,04c	0,217±0,05b	0,247±0,05b	0,221±0,02c
P %						
TA	Αγρ.	0,170±0,08	0,119±0,05a	0,091±0,05a	0,059±0,02a	0,110±0,04a
	Πλατ.	0,223±0,086	0,169±0,06b	0,139±0,05b	0,104±0,05b	0,159±0,04b
	Ψυχ.	0,169±0,05	0,137±0,03ab	0,098±0,02a	0,104±0,02b	0,127±0,03a
G	Αγρ.	0,171±0,04a	0,113±0,02a	0,090±0,03a	0,064±0,01a	0,109±0,04a
	Πλατ.	0,227±0,03b	0,133±0,03b	0,133±0,02b	0,106±0,03b	0,150±0,05b
	Ψυχ.	0,169±0,03a	0,120±0,03ab	0,096±0,02a	0,100±0,02b	0,121±0,03a
Na %						
TA	Αγρ.	0,026±0,013	0,027±0,008	0,016±0,008	0,013±0,003a	0,020±0,006
	Πλατ.	0,018±0,005	0,022±0,007	0,015±0,002	0,012±0,003ab	0,017±0,003
	Ψυχ.	0,029±0,017	0,022±0,004	0,016±0,006	0,017±0,004b	0,021±0,005
G	Αγρ.	0,031±0,009a	0,024±0,006a	0,014±0,003	0,012±0,002a	0,020±0,007a
	Πλατ.	0,021±0,007b	0,018±0,003b	0,013±0,003	0,012±0,002a	0,016±0,003b
	Ψυχ.	0,020±0,006b	0,017±0,005b	0,017±0,007	0,016±0,004b	0,018±0,001ab
Zn ppm						
TA	Αγρ.	72,55±11,01	63,83±17,50	37,17±11,43a	51,21±21,13a	56,19±13,35a
	Πλατ.	81,72±27,07	71,66±16,74	73,11±18,11b	89,28±34,76b	78,94±7,10b
	Ψυχ.	80,75±31,34	72,08±14,05	71,46±17,80b	64,45±13,76ab	72,19±5,78b
G	Αγρ.	50,12±10,61a	30,88±6,11a	20,81±3,80a	22,91±3,23a	31,18±11,56a
	Πλατ.	61,78±6,28b	58,02±13,09b	58,22±14,75b	63,34±9,15b	60,34±2,29b
	Ψυχ.	50,95±11,22a	48,25±16,62b	57,39±20,48b	49,60±10,67c	51,55±3,51c
Cu ppm						
TA	Αγρ.	13,66±3,12a	15,68±10,43	6,87±3,35a	7,96±1,21a	11,04±3,72a
	Πλατ.	13,52±3,00a	18,34±14,90	10,17±1,87b	11,61±2,81b	13,41±3,08ab
	Ψυχ.	28,72±7,58b	15,70±6,17	11,45±2,94b	15,38±4,23c	17,81±6,52b

G	Αγρ.	13,73±2,23	10,89±2,54	9,35±6,12	8,26±3,64	10,56±2,06a
	Πλατ.	17,14±4,19	15,27±11,20	10,17±1,90	9,99±2,00	13,14±3,13b
	Ψυχ.	13,57±4,30	11,46±7,79	10,45±2,84	9,89±2,20	11,34±1,40ab
Mn ppm						
TA	Αγρ.	302,75±98,77a	305,33±70,49	289,11±66,03ab	293,53±66,67a	297,68±6,61a
	Πλατ.	341,44±171,25a	373,67±169,64	384,22±145,03a	510,25±151,43b	402,40±64,23b
	Ψυχ.	130,50±18,11b	245,67±83,20	273,89±66,15b	351,50±71,96a	250,39±79,33a
G	Αγρ.	214,73±50,52a	183,97±58,99ab	197,72±40,60	206,23±43,17	200,66±11,36ab
	Πλατ.	170,70±38,19b	189,33±67,40b	228,19±48,35	251,10±60,00	209,83±31,59a
	Ψυχ.	121,90±15,20c	133,61±23,56a	212,67±77,07	223,53±67,24	172,93±45,52b
NDF %						
TA	Αγρ.	61,71±3,88a	64,61±3,89a	65,17±1,97a	66,30±1,74a	64,45±1,70a
	Πλατ.	46,55±6,09b	44,99±4,40b	48,20±5,11b	50,44±6,54b	47,55±2,02b
	Ψυχ.	36,13±0,41c	44,93±6,17b	52,86±3,81c	52,20±4,31b	46,53±6,76b
G	Αγρ.	62,37±1,72a	66,81±2,78a	66,20±1,52a	67,79±1,25a	65,79±2,05a
	Πλατ.	42,27±3,24b	42,61±4,48b	45,03±6,06b	47,19±5,52b	44,27±1,99b
	Ψυχ.	45,19±4,94c	49,01±5,53c	46,31±1,45b	49,56±3,28b	47,51±1,82c
ADF %						
TA	Αγρ.	35,30±3,17a	38,76±5,20a	38,98±1,40a	40,81±1,47a	38,46±1,99a
	Πλατ.	36,39±5,99a	37,63±3,37a	43,44±6,03b	44,25±7,35b	40,18±3,75a
	Ψυχ.	27,71±2,15b	33,45±3,84b	36,29±4,81a	34,09±5,36c	32,89±3,17b
G	Αγρ.	39,14±1,95a	40,85±2,86a	42,19±1,11a	43,26±1,34a	41,36±1,54a
	Πλατ.	36,43±3,08b	37,98±4,48a	38,43±5,75b	41,75±4,07ab	38,65±1,94b
	Ψυχ.	30,96±3,41c	35,16±5,12b	38,92±4,01b	39,62±4,03b	36,17±3,45c
ADL %						
TA	Αγρ.	4,99±1,28a	6,33±1,74a	6,87±1,72a	7,30±1,38a	6,37±0,87a
	Πλατ.	13,18±5,16b	14,28±4,95b	19,24±6,19b	21,39±7,14b	16,97±3,53b
	Ψυχ.	6,70±2,19a	10,70±3,06c	14,01±4,28c	15,15±3,64c	11,64±3,29c
G	Αγρ.	8,16±1,51a	8,99±1,61a	9,14±1,48a	9,52±1,24a	8,92±0,49a
	Πλατ.	12,39±3,33b	15,22±4,92b	12,98±4,41b	17,10±4,81b	14,42±1,87b
	Ψυχ.	10,51±1,75b	15,34±2,63b	14,56±4,48b	16,16±3,72b	14,15±2,17b

a, b,c: μέσοι όροι στην ίδια στήλη με διαφορετικό γράμμα διαφέρουν στατιστικά σημαντικά σε κάθε λειτουργική ομάδα (P<0,05).

Πίνακας Π.14. Επίδραση της εποχής δειγματοληψίας, του υψομέτρου και της περιοχής-Βουνό στην παραγωγή και τη χημική σύσταση των αγρωστωδών στα υπαλπικά λιβάδια των περιοχών έρευνας.

Παράμετρος	Παραγωγή	AO	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	NDF	ADF	ADL
Μήνας (M)	***	***	***	***	***	***	***	***	***	NS	***	***	**
Περιοχή-Βουνό (B)	*	NS	NS	*	NS	NS	NS	***	NS	***	NS	**	***
Υψόμετρο (Y)	***	***	***	***	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
M x B	NS	**	*	NS	NS	***	***	*	NS	NS	*	NS	NS
M x Y	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
B x Y	*	NS	***	NS	NS	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS
M x B x Y	NS	*	NS	NS	NS	***	**	NS	NS	NS	*	NS	NS

Επίπεδο σημαντικότητας: ***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$, NS: Μη σημαντικό (Not Significant)

Πίνακας Π.15. Επίδραση της εποχής δειγματοληψίας, του υψομέτρου και της περιοχής-Βουνό στην παραγωγή και τη χημική σύσταση των πλατυφύλλων στα υπαλπικά λιβάδια των περιοχών έρευνας.

Παράμετρος	Παραγωγή	ΑΟ	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	aNDF	ADF	ADL
Μήνας (M)	NS	***	***	***	**	***	***	NS	*	**	**	***	***
Περιοχή-Βουνό (B)	*	NS	NS	*	NS	**	NS	*	NS	***	*	NS	NS
Υψόμετρο (Y)	***	***	***	***	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**
M x B	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
M x Y	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
B x Y	NS	NS	*	NS	*	NS	*	NS	NS	NS	*	NS	NS
M x B x Y	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Επίπεδο σημαντικότητας: ***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$, NS: Μη σημαντικό (Not Significant)

Πίνακας Π.16. Επίδραση της εποχής δειγματοληψίας, του υψομέτρου και της περιοχής-Βουνό στην παραγωγή και τη χημική σύσταση των ψυχανθών στα υπαλπικά λιβάδια των περιοχών έρευνας.

Παράμετρος	Παραγωγή	AO	P	K	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Mn	aNDF	ADF	ADL
Μήνας (M)	NS	***	***	***	***	*	*	NS	**	***	***	***	***
Περιοχή-Βουνό (B)	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	***	NS	NS	*
Υψόμετρο (Y)	NS	***	***	***	**	*	NS	NS	NS	NS	***	NS	NS
M x B	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	*	**	NS	NS	NS
M x Y	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
B x Y	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS
M x B x Y	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Επίπεδο σημαντικότητας: ***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$, NS: Μη σημαντικό (Not Significant)

Πίνακας Π. 17. Συσχετίσεις της χημικής σύστασης της υπαλπικής λιβαδικής παραγωγής για κάθε λειτουργική ομάδα με τις τοπογραφικές και εδαφικές παράμετρος

Παράμετρος	Λειτουργική Ομάδα	Μήνας	Υψόμετρο	κλίση	pH	OM	N	P	K	Mg	Ca	Cu	Zn	Mn	Fe	Άμμος	Άργιλος	Ιλύς
HP	A			-0,30***		0,39***	0,39***	0,43***	0,46***	0,44***	0,24*		0,30*					
	Π		-0,27*	-0,49***	0,27*	0,39***		0,25*	0,53***	0,43***	0,37***					0,26*	-0,34***	-0,24*
	Ψ		-0,50***	-0,18*	0,41*	0,3**		0,21*	0,48***	0,53***	0,22*	-0,33**				0,56***	-0,49***	-0,48***
P	A	-0,64***		-0,22**														
	Π	-0,53***		-0,3***														
	Ψ	-0,49***		-0,41***				0,22*										
K	A	-0,74***	-0,3**	-0,22**	0,22*				0,21*							0,22*	-0,23*	-0,21*
	Π	-0,54***	-0,47***	-0,32***			-0,22*									0,28**	-0,27**	-0,31**
	Ψ	-0,67***	-0,31**	-0,28**														
Ca	A	-0,65***																
	Π	-0,23**	-0,21*		0,22*					-0,21*					-0,36**		-0,21*	
	Ψ	-0,43***	-0,34***	-0,28**					0,22*									
Mg	A	-0,71***	-0,24*	-0,22**														
	Π	-0,35***	-0,59***	-0,48***									-0,35**			0,38***	-0,36***	-0,43***
	Ψ	0,18*		-0,36***	-0,27*													
Na	A	-0,59***																
	Π	-0,57***																
	Ψ	-0,20*					-0,27*											
Zn	A	-0,33**	0,34**															
	Π			0,38*														
	Ψ		0,33**	0,37**														-0,27*
Cu	A	-0,30**										0,35**				-0,25*	0,32**	
	Π	-0,20*		0,32**														
	Ψ	-0,22*	0,28*															
Mn	A		0,49*	-0,28*						-0,27*	-0,33**							-0,26*
	Π	0,20*	0,63**	-0,44**							-0,33**							

	Ψ	0,38**	0,34**	-0,42**				-0,29*										
AO	A	-0,79***		-0,18*														
	Π	-0,58***	-0,25*	-0,28***														
	Ψ	-0,46***	-0,45***	-0,32***		0,23*	0,28*	0,22*	0,33**		0,26*		0,26*		0,41***	-0,34***	-0,41***	
NDF	A	0,44***										-0,29*	-0,30*	-0,27*			-0,21*	
	Π	0,3***	0,30**	0,19*			0,23*					-0,26*				-0,26*	0,29**	
	Ψ	0,35***	0,23*	0,47***						0,26*								
ADF	A	0,42***	-0,29**				-0,32**	-0,27*				-0,42**	-0,40**	-0,33**		0,36***	-0,37***	
	Π	0,4***	0,23*			0,27**	0,28**			0,2*								
	Ψ	0,46***			0,25*	0,39***				0,24*						0,23*	-0,24*	
ADL	A	0,25**	-0,44***		0,26*		-0,42***	-0,33**				-0,45**	-0,44**	-0,32**	-0,27*	0,61***	-0,44***	-0,63***
	Π	0,32***	0,35***	0,22*		0,27**	0,31**			0,23*		-0,27*						
	Ψ	0,37***				0,32**				0,25*						0,29*	-0,25*	-0,25*

Επίπεδο σημαντικότητας: ***: $p < 0,001$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,05$