

武夷山国家公园植物群落物种多样性 沿海拔梯度的变化分析

陈水飞¹, 徐 辉², 林文俊³, 郑 笑¹, 徐鲜钧⁴, 刘文芳⁵, 丁 晖^{1,①}, 陈世品^{3,①}

(1. 生态环境部南京环境科学研究所 国家环境保护武夷山生态环境科学观测研究站 国家环境保护生物安全重点实验室, 江苏 南京 210042;
2. 福建省微生物研究所, 福建 福州 350007; 3. 福建农林大学, 福建 福州 350002; 4. 福建省武夷山生物研究所, 福建 武夷山 354300;
5. 武夷山国家公园科研监测中心, 福建 武夷山 354399)

摘要: 为了解武夷山国家公园沿海拔梯度不同类型植物群落的分布格局, 在海拔 800~2 100 m 间设置 14 个固定样地, 进行群落学调查以及群落的物种多样性和相似性分析。结果表明: 武夷山国家公园调查样地内共有维管植物 89 科 228 属 450 种, 其中, 国家一级重点保护野生植物 1 种; 国家二级重点保护野生植物 12 种; 近危 (NT) 以上等级植物 11 种, 其中极危 (CR) 和濒危 (EN) 等级各 2 种; 中国特有物种 180 种。随着海拔的升高, 武夷山国家公园海拔 800~2 100 m 的植被类型划分为常绿阔叶林 (800~1 200 m)、针阔混交林 (1 300~1 700 m)、矮曲林 (1 800~1 900 m) 和中山草甸 (2 000~2 100 m)。在海拔 800~1 200 以及 1 300~1 700 m 样地, 乔木层中甜槠 [*Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutch.] 和黄山松 (*Pinus taiwanensis* Hayata) 分别具有明显优势。武夷山国家公园植物群落物种多样性的垂直分布存在一定的规律, 乔木层和灌木层的 Shannon-Wiener 指数和 Margalef 丰富度指数整体随海拔的升高而降低, 垂直地带性特征明显。不同海拔区间植物群落的物种相似性差异较大, 海拔 800~1 200 m 常绿阔叶林群落的 Jaccard 相似性指数总体较高, 海拔 1 800~1 900 m 矮曲林群落的 Jaccard 相似性指数最低。综上所述, 武夷山国家公园植物物种丰富, 珍稀濒危植物种类较多, 植被垂直带谱较明显, 利于森林多样性监测以及山地森林群落稳定性维持。

关键词: 武夷山国家公园; 海拔梯度; 植物群落; 物种多样性

中图分类号: Q145+.2; S718.54 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2023)01-0001-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2023.01.01

Variation analysis on species diversity of plant communities along the elevation gradient in Wuyishan National Park CHEN Shuifei¹, XU Hui², LIN Wenjun³, ZHENG Xiao¹, XU Xianjun⁴, LIU Wenfang⁵, DING Hui^{1,①}, CHEN Shipin^{3,①} (1. State Environmental Protection Scientific Observation and Research Station for Ecology and Environment of Wuyi Mountains, State Environmental Protection Key Laboratory on Biosafety, Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China; 2. Fujian Institute of Microbiology, Fuzhou 350007, China; 3. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 4. Wuyishan Biological Institute of Fujian Province, Wuyishan 354300, China; 5. Research and Monitoring Center, Wuyishan National Park, Wuyishan 354399, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2023, 32(1): 1-9

Abstract: To explore the distribution pattern of different types of plant communities along the elevation gradient in Wuyishan National Park, 14 permanent plots were set up at the elevation of 800-2 100 m,

收稿日期: 2022-10-31

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (GYZX200203); 生态环境部事业费项目 (2110404); 福建省林业科研项目 (闽林科便函 [2019]16 号)

作者简介: 陈水飞 (1989—), 男, 江西抚州人, 硕士, 助理研究员, 主要从事植物多样性保护方面的研究。

① 通信作者 E-mail: nldinghui@sina.com; fjesp@126.com

引用格式: 陈水飞, 徐 辉, 林文俊, 等. 武夷山国家公园植物群落物种多样性沿海拔梯度的变化分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2023, 32(1): 1-9.

and community investigation and analyses on species diversity and similarity of community were conducted. The results show that there are 450 species of vascular plants belonging to 228 genera of 89 families in the survey plots of Wuyishan National Park, in which, there are 1 species of national first-class key protected wild plants and 12 species of national second-class key protected wild plants; there are 11 species of near threatened (NT) or higher grades, including 2 critically endangered (CR) species and 2 endangered (EN) species; 180 species are endemic to China. With the increase of elevation, the vegetational type at the elevation of 800–2 100 m in Wuyishan National Park can be divided into evergreen broad-leaved forest (800–1 200 m), coniferous and broad-leaved mixed forest (1 300–1 700 m), elfin woodland (1 800–1 900 m), and middle mountain meadow (2 000–2 100 m). *Castanopsis eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutch. and *Pinus taiwanensis* Hayata in the arbor layer have obvious advantages in the plots at the elevation of 800–1 200 and 1 300–1 700 m respectively. There is a certain regularity in vertical distribution of species diversity of plant communities in Wuyishan National Park, and the Shannon-Wiener index and Margalef richness index of arbor layer and shrub layer decrease with the increase of elevation in general, which shows evident vertical zonal characteristics. There are relatively large differences in species similarity of plant communities among different elevation intervals, and the Jaccard similarity indexes of evergreen broad-leaved forest communities at the elevation of 800–1 200 m are generally high, while that of elfin woodland communities at the elevation of 1 800–1 900 m is the lowest. In conclusion, Wuyishan National Park has abundant plant species, many rare and endangered plant species, and a relatively evident vertical spectrum of vegetation, which are beneficial to the monitoring of forest diversity and the maintainance of stability of mountain forest community.

Key words: Wuyishan National Park; elevation gradient; plant community; species diversity

生物多样性沿海拔梯度的分布格局是生物多样性保护研究的重要组成部分^[1]。海拔梯度包含温度、湿度和光照等环境因子的梯度效应,因此海拔变化也被认为是决定物种多样性分布格局的主导因子之一^[2],研究生物多样性的海拔梯度格局对于揭示生物多样性的环境梯度变化规律具有重要意义^[3-7]。已有研究结果显示:在不同地理位置、不同山脉研究物种多样性沿海拔梯度变化,所得到的变化规律不尽相同,至今还未形成统一的结论^[8]。在山地植物群落中,物种多样性沿海拔梯度的变化规律最常见的为单调下降和单峰曲线^[3,9],也有研究者认为两者并无特定关系^[10]。因而,研究代表性山地植物群落的物种多样性沿海拔梯度的变化规律具有重要意义。

到目前为止,中国生态学研究人员已在中国温带、亚热带和热带地区建立了多种森林植被类型的固定样地。其中亚热带地区已建的样地多属海拔 1 500 m 以下的常绿阔叶林和常绿落叶阔叶混交林,而针对该气候区内沿海拔梯度设置不同类型植物群落样地的相关研究较少^[11-16]。武夷山国家公园位于福建省北部,以武夷山脉北段的黄岗山、诸母岗山系为主体,境内主峰黄岗山海拔 2 158 m,是中国东南大陆的最高峰,素称“华东屋脊”。武夷山国家公园内有中国东南部陆地现存面积最大、保存最完整的中亚热带森林生态系统,森林覆盖率 96.3%,该国家公园

内植被类型多样,包含了中国中亚热带地区所有的植被类型,具有中亚热带地区植被类型的典型性、多样性和系统性。武夷山国家公园最低海拔约 300 m,最高海拔 2 158 m,相对高差约 1 800 m,存在着明显的水热因子组合的垂直变化梯度^[17]。因此,在武夷山国家公园设置涵盖常绿阔叶林、针阔混交林、矮曲林和中山草甸的固定样地,研究植物群落沿海拔梯度的分布格局,不仅可为武夷山地区植物资源保护和未来物种变化提供科学参考,还对阐明山地森林生态系统的形成与群落稳定性的维持具有重要意义,也可为亚热带区域山地群落生物多样性的垂直分布格局研究提供有力的案例。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于武夷山国家公园内,该国家公园位于福建省北部闽赣交界处武夷山脉的偏北段,地处东经 117°27′~117°51′、北纬 27°33′~27°54′之间,属中亚热带季风湿润气候,年平均气温 17.0 ℃~18.4 ℃,年降水量 1 800 mm,年平均日照时数 1 910.2 h,平均空气相对湿度 75%~84%,无霜期 227~246 d^[18]。随海拔的递增,植被垂直带谱明显,从山脚到山顶依次为常绿阔叶林、针阔混交林、矮曲林、中山草甸 4 个群落

外貌特征不同的植被带谱,其分界线清晰可见,在世界同纬度地区十分罕见。

1.2 研究方法

2017年7月至8月,根据武夷山国家公园海拔、植被垂直分布情况以及实际地形条件,按海拔梯度每升高100 m设1个样地的方案设置5个常绿阔叶林样地、5个针阔混交林样地、2个矮曲林样地和2个中山草甸样地,样地概况见表1。每个样地的闭合差均小于1/200,并进行全面的植被群落调查。为方便调查,中山草甸样地均分成面积1 m×1 m的小样方,其他样地均分成面积5 m×5 m的小样方,并进行固定

点标识,每个固定点埋设PVC管并编号,样地设置成永久性样地。

采用每木检尺法进行群落调查,参照HJ 710.1—2014中的方法,详细记录样方内胸径大于等于1 cm的木本植物的种类、株数、所在经纬度、胸径、树高、枝下高、冠幅、物候期及生长状况等信息;灌木和草本记录种类、株数、平均高度和平均盖度等信息,同时记录样方的总盖度和海拔。

检索《Flora of China》(<http://www.iplant.cn/foc/>),核对和记录样地出现的植物种名及其分类地位。

表1 武夷山国家公园沿海拔梯度植物群落样地概况

Table 1 General situations of the plots of plant communities along the elevation gradient in Wuyishan National Park

编号 No.	植被类型 Vegetation type	经度 Latitude	纬度 Longitude	海拔/m Elevation	面积/m ² Area	坡度/(°) Slope	坡向 ¹⁾ Slope aspect ¹⁾	坡位 ²⁾ Slope position ²⁾
P1	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	E117°45'34"	N27°43'15"	800	4 800	23	SE	U
P2	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	E117°45'50"	N27°43'29"	900	4 800	37	SE	M
P3	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	E117°46'23"	N27°44'02"	1 000	4 800	21	SE	M
P4	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	E117°46'09"	N27°43'54"	1 100	4 800	36	SE	M
P5	常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest	E117°46'09"	N27°43'57"	1 200	4 800	28	SE	U
P6	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	E117°44'49"	N27°46'18"	1 300	2 000	23	SE	D
P7	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	E117°44'21"	N27°45'55"	1 400	2 000	26	SE	M
P8	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	E117°44'17"	N27°45'58"	1 500	2 000	54	SE	M
P9	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	E117°44'14"	N27°46'00"	1 600	2 000	34	SE	U
P10	针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest	E117°44'08"	N27°46'03"	1 700	2 000	5	SE	T
P11	矮曲林 Elfin woodland	E117°47'05"	N27°52'07"	1 800	400	10	NW	D
P12	矮曲林 Elfin woodland	E117°46'29"	N27°50'22"	1 900	400	30	S	U
P13	中山草甸 Middle mountain meadow	E117°47'15"	N27°51'33"	2 000	40	5	NE	U
P14	中山草甸 Middle mountain meadow	E117°46'59"	N27°51'22"	2 100	40	15	NW	U

¹⁾SE: 东南 Southeast; NW: 西北 Northwest; S: 南 South; NE: 东北 Northeast.

²⁾U: 上坡 Uphill; M: 中坡 Mesoslope; D: 下坡 Downhill; T: 顶坡 Top of the slope.

1.3 数据处理和分析

乔木层的重要值根据公式“重要值=(相对多度+相对频度+相对显著度)/3”计算,灌木层和草本层的重要值根据公式“重要值=(相对多度+相对频度+相对盖度)/3”计算。参考文献[19]中的方法计算 Shannon-Wiener 指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数,参考文献[20]中的方法计算 Simpson 生态优势度指数。参考文献[21]中的方法计算 Jaccard 相似性指数(C_j),其中, $0.00 \leq C_j < 0.25$,群落间极不相似; $0.25 \leq C_j < 0.50$,群落间中等不相似; $0.50 \leq C_j < 0.75$,群落间中等相似; $0.75 \leq C_j \leq 1.00$,群落间极相似。利用 EXCEL 2010 软件对获得的实验数据进行整理和分析。

2 结果和分析

2.1 物种组成分析

武夷山国家公园沿海拔梯度调查样地内共有维管植物 89 科 228 属 450 种,包括蕨类植物 10 科 22 属 25 种,裸子植物 2 科 3 属 4 种,被子植物 77 科 203 属 421 种。国家一级重点保护野生植物 1 种,为南方红豆杉 [*Taxus wallichiana* var. *mairei* (Lemee et H. Léveillé) L. K. Fu et Nan Li]; 国家二级重点保护野生植物 12 种,分别为伯乐树 (*Bretschneidera sinensis* Hemsl.)、浙江楠 (*Phoebe chekiangensis* C. B. Shang)、中华猕猴桃 (*Actinidia chinensis* Planch.)、香果树

(*Emmenopterys henryi* Oliv.)、长柄石杉 [*Huperzia javanica* (Sw.) Fraser-Jenk.]、金线兰 [*Anoetochilus roxburghii* (Wall.) Lindl.]、浙江金线兰 (*Anoetochilus zhejiangensis* Z. Wei et Y. B. Chang)、春兰 [*Cymbidium goeringii* (Rehb. f.) Rehb. f.]、寒兰 (*Cymbidium kanran* Makino)、蕙兰 (*Cymbidium faberi* Rolfe)、建兰 [*Cymbidium ensifolium* (Linn.) Sw.] 和伞花木 [*Eurycorymbus cavaleriei* (Lévl.) Rehd. et Hand.-Mazz.]。《中国生物多样性红色名录——高等植物卷》评估为近危 (NT) 以上等级植物 11 种, 其中, 极危 (CR) 等级 2 种, 分别为白背瑞木 (*Corylopsis multiflora* var. *nivea* Chang) 和福建假稠李 (*Maddenia fujianensis* Y. T. Chang); 濒危 (EN) 等级 2 种, 分别为浙江金线兰和管叶槽舌兰 [*Holcoglossum kimballianum* (Rehb. f.) Garay]。中国特有物种 180 种。

武夷山国家公园沿海拔梯度植物群落的物种组成见表 2。结果显示: 胸径大于等于 1 cm 的木本植物共有 28 007 株 (包含分支的个体)。随着海拔的升高, 样地内植物科、属、种的数量总体呈减少的趋势。其中, P1 样地内植物的种数和胸径大于等于 1 cm 的木本植物株数均为最高, P13 和 P14 样地均为草本植物, 且种数也较少。

2.2 优势种分析

武夷山国家公园沿海拔梯度植物群落各层次优势种的重要值见表 3。由表 3 可见: 该国家公园海拔 800~1 200 m 的植被类型为常绿阔叶林。该海拔区间的植物群落中, 乔木层中的甜槠 [*Castanopsis eyrei*

(Champ. ex Benth.) Tutch.], 灌木层中的窄基红褐柃 (*Eurya rubiginosa* var. *attenuata* H. T. Chang), 以及草本层中的箬竹 [*Indocalamus tessellatus* (Munro) Keng f.]、肿节少穗竹 [*Oligostachyum oedogonatum* (Z. P. Wang et G. H. Ye) Q. F. Zhang et K. F. Huan] 和里白 [*Hicriopteris glauca* (Thunberg ex Houttuyn) Nakai] 为主要优势种。乔木层中大型乔木甜槠的重要值在海拔 800、900、1 000、1 100 和 1 200 m 的样地中均较高, 分别为 12.44%、13.10%、6.58%、7.60% 和

表 2 武夷山国家公园沿海拔梯度植物群落的物种组成¹⁾
Table 2 Species composition of plant communities along the elevation gradient in Wuyishan National Park¹⁾

编号 No.	海拔/m Elevation	NF	NG	NS	NI
P1	800	56	97	184	4 729
P2	900	49	91	160	3 208
P3	1 000	56	97	167	4 128
P4	1 100	51	92	149	2 805
P5	1 200	56	89	153	3 600
P6	1 300	55	89	130	1 099
P7	1 400	38	79	125	884
P8	1 500	43	61	81	1 441
P9	1 600	39	64	88	1 983
P10	1 700	29	45	66	3 428
P11	1 800	20	25	30	121
P12	1 900	22	34	37	581
P13	2 000	12	19	20	0
P14	2 100	14	25	29	0

¹⁾ NF: 科数 Number of families; NG: 属数 Number of genera; NS: 种数 Number of species; NI: 胸径大于等于 1 cm 的木本植物株数 Individual number of woody plants with diameter at breast height equal to or greater than 1 cm.

表 3 武夷山国家公园沿海拔梯度植物群落各层次优势种的重要值¹⁾

Table 3 Importance values of dominant species in different layers of plant communities along the elevation gradient in Wuyishan National Park¹⁾

编号 No.	海拔/m Elevation	乔木层 Arbor layer		灌木层 Shurb layer		草本层 Herb layer	
		种类 Species	IV/%	种类 Species	IV/%	种类 Species	IV/%
常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest							
P1	800	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	12.44	白背瑞木 <i>Corylopsis multiflora</i> var. <i>nivea</i>	13.33	箬竹 <i>Indocalamus tessellatus</i>	41.33
		杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	6.56	窄基红褐柃 <i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuata</i>	6.87	肿节少穗竹 <i>Oligostachyum oedogonatum</i>	21.19
		满山红 <i>Rhododendron mariesii</i>	5.83	华南蒲桃 <i>Syzygium austrosinense</i>	5.55	里白 <i>Hicriopteris glauca</i>	7.23
P2	900	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	13.10	华南蒲桃 <i>Syzygium austrosinense</i>	8.26	箬竹 <i>Indocalamus tessellatus</i>	65.22
		华南蒲桃 <i>Syzygium austrosinense</i>	8.96	窄基红褐柃 <i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuata</i>	6.55	里白 <i>Hicriopteris glauca</i>	11.28
		小叶青冈 <i>Cyclobalanopsis myrsinifolia</i>	6.15	白背瑞木 <i>Corylopsis multiflora</i> var. <i>nivea</i>	5.19	肿节少穗竹 <i>Oligostachyum oedogonatum</i>	7.47

续表3 Table 3 (Continued)

编号 No.	海拔/m Elevation	乔木层 Arbor layer		灌木层 Shurb layer		草本层 Herb layer	
		种类 Species	IV/%	种类 Species	IV/%	种类 Species	IV/%
P3	1 000	罗浮锥 <i>Castanopsis fabri</i>	7.95	马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	29.88	肿节少穗竹 <i>Oligostachyum oedogonatum</i>	34.22
		甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	6.58	窄基红褐柃 <i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuata</i>	5.09	里白 <i>Hicriopteris glauca</i>	23.40
		马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	5.97	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	3.56	箬竹 <i>Indocalamus tessellatus</i>	22.60
P4	1 100	马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	10.65	窄基红褐柃 <i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuata</i>	13.54	肿节少穗竹 <i>Oligostachyum oedogonatum</i>	62.28
		甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	7.60	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	4.25	箬竹 <i>Indocalamus tessellatus</i>	12.69
		木荷 <i>Schima superba</i>	5.54	尾叶冬青 <i>Ilex wilsonii</i>	4.00	里白 <i>Hicriopteris glauca</i>	6.84
P5	1 200	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	12.43	窄基红褐柃 <i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuata</i>	12.35	里白 <i>Hicriopteris glauca</i>	47.04
		马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	9.79	小叶青冈 <i>Cyclobalanopsis myrsinifolia</i>	9.48	肿节少穗竹 <i>Oligostachyum oedogonatum</i>	30.76
		甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	6.10	贵定栲叶树 <i>Clethra cavaleriei</i>	8.50	狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	6.32
针阔混交林 Coniferous and broad-leaved mixed forest							
P6	1 300	黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	16.74	粉背菝葜 <i>Smilax hypoglauca</i>	6.80	里白 <i>Hicriopteris glauca</i>	57.72
		马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	13.44	窄基红褐柃 <i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuata</i>	6.38	扭瓦韦 <i>Lepisorus contortus</i>	4.69
P7	1 400	格药柃 <i>Eurya muricata</i>	9.52	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	5.24	狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	4.67
		格药柃 <i>Eurya muricata</i>	22.06	光叶山矾 <i>Symplocos lancifolia</i>	8.41	青绿薹草 <i>Carex breviculmis</i>	37.75
		黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	17.26	多脉青冈 <i>Cyclobalanopsis multinervis</i>	8.38	山麦冬 <i>Liriope spicata</i>	31.59
P8	1 500	马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	5.16	粉背菝葜 <i>Smilax hypoglauca</i>	8.07	求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	12.96
		格药柃 <i>Eurya muricata</i>	25.88	多脉青冈 <i>Cyclobalanopsis multinervis</i>	15.80	青绿薹草 <i>Carex breviculmis</i>	28.00
		黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	15.90	尖脉木姜子 <i>Litsea acutivena</i>	13.55	扭瓦韦 <i>Lepisorus contortus</i>	24.93
P9	1 600	马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	6.66	光叶山矾 <i>Symplocos lancifolia</i>	7.28	七星莲 <i>Viola diffusa</i>	14.13
		黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	13.77	窄基红褐柃 <i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuata</i>	18.81	箬竹 <i>Indocalamus tessellatus</i>	62.52
		木荷 <i>Schima superba</i>	5.38	东方古柯 <i>Erythroxylum sinensis</i>	11.74	华东瘤足蕨 <i>Plagiogyria japonica</i>	11.31
P10	1 700	港柯 <i>Erythroxylum sinensis</i>	4.98	光叶山矾 <i>Symplocos lancifolia</i>	6.72	青绿薹草 <i>Carex breviculmis</i>	7.22
		鹿角杜鹃 <i>Rhododendron latoucheae</i>	18.68	东方古柯 <i>Erythroxylum sinensis</i>	17.54	箬竹 <i>Indocalamus tessellatus</i>	49.02
		黄山松 <i>Pinus taiwanensis</i>	15.77	窄基红褐柃 <i>Eurya rubiginosa</i> var. <i>attenuata</i>	15.28	青绿薹草 <i>Carex breviculmis</i>	16.61
P11	1 800	马银花 <i>Rhododendron ovatum</i>	14.63	港柯 <i>Erythroxylum sinensis</i>	9.63	大叶金牛 <i>Polygala latouchei</i>	9.66
		岩柃 <i>Eurya saxicola</i>	39.30	雷公鹅耳枥 <i>Carpinus viminea</i>	24.15	毛竿玉山竹 <i>Yushania hirticaulis</i>	67.34
		华中樱桃 <i>Cerasus conradinae</i>	6.09	铁杉 <i>Tsuga chinensis</i>	21.76	青绿薹草 <i>Carex breviculmis</i>	19.61
P12	1 900	云锦杜鹃 <i>Rhododendron fortunei</i>	6.06	蔓胡颓子 <i>Elaeagnus glabra</i>	13.40	匙叶草 <i>Latouchea fokiensis</i>	3.54
		光亮山矾 <i>Symplocos lucida</i>	14.75	岩柃 <i>Eurya saxicola</i>	33.78	野青茅 <i>Deyeuxia pyramidalis</i>	34.78
		白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	14.62	黄杨 <i>Buxus sinica</i>	18.57	碎米莎草 <i>Cyperus iria</i>	34.06
P13	2 000	宜昌莢蒾 <i>Viburnum erosum</i>	8.44	宜昌莢蒾 <i>Viburnum erosum</i>	16.29	日本麦氏草 <i>Molinia japonica</i>	9.10
		—	—	—	—	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	31.70
		—	—	—	—	榄绿果薹草 <i>Carex olivacea</i>	23.30
P14	2 100	—	—	—	—	沟稈草 <i>Aniselytron treutleri</i>	17.43
		—	—	—	—	沟稈草 <i>Aniselytron treutleri</i>	58.86
		—	—	—	—	芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	12.59
—	—	—	—	—	白舌紫菀 <i>Aster baccharoides</i>	5.77	

¹⁾表中仅列出重要值排名前3的植物种类 Only the plant species with top three importance values are listed in the table. IV: 重要值 Importance value. —: 无分布 No distribution.

6.10%,优势明显。

该国家公园海拔 1 300~1 700 m 的植被类型为针阔混交林。该海拔区间的植物群落中,乔木层中的黄山松 (*Pinus taiwanensis* Hayata)、马银花 [*Rhododendron ovatum* (Lindl.) Planch.]、格药铃 (*Eurya muricata* Dunn),灌木层中的窄基红褐铃,草本层中的箬竹和青绿藁草 (*Carex breviculmis* R. Br.) 为主要优势种。乔木层中大型乔木黄山松的重要值在海拔 1 300、1 400、1 500、1 600 和 1 700 m 的样地中均较高,分别为 16.74%、17.26%、15.90%、13.77% 和 15.77%,优势明显。

该国家公园海拔 1 800~1 900 m 的植被类型为矮曲林。该海拔区间的植物群落中,乔木层中的岩铃 (*Eurya saxicola* H. T. Chang)、光亮山矾 [*Symplocos lucida* (Thunberg) Siebold et Zuccarini] 和白檀 (*Symplocos paniculata* Nakai),灌木层中的雷公鹅耳枥 (*Carpinus viminea* Lindley) 和岩铃,草本层中的毛

竿山玉竹 (*Yushania hirticaulis* Wang et Ye)、野青茅 [*Deyeuxia pyramidalis* (Host) Veldkamp] 和碎米莎草 (*Cyperus iria* Linn.) 为主要优势种。

该国家公园海拔 2 000~2 100 m 的植被类型为中山草甸。该海拔区间的群落中,主要分布芒 (*Miscanthus sinensis* Anderss.)、沟稃草 [*Aniselytron treutleri* (Kuntze) Sojak] 和榄绿果藁草 (*Carex olivacea* Boott) 等草本,没有乔木和灌木树种分布。

2.3 物种多样性分析

为消除不同层次因取样面积不同造成的物种数量上的差异,分别统计武夷山国家公园各样地乔木层、灌木层和草本层物种的 Shannon-Wiener 指数、Margalef 丰富度指数、Pielou 均匀度指数和 Simpson 生态优势度指数,结果见图 1。结果表明:随着海拔的升高,植物群落的物种多样性变化存在一定的规律,其中,乔木层和灌木层的 Shannon-Wiener 指数和 Margalef 丰富度指数整体表现为随海拔的升高而降

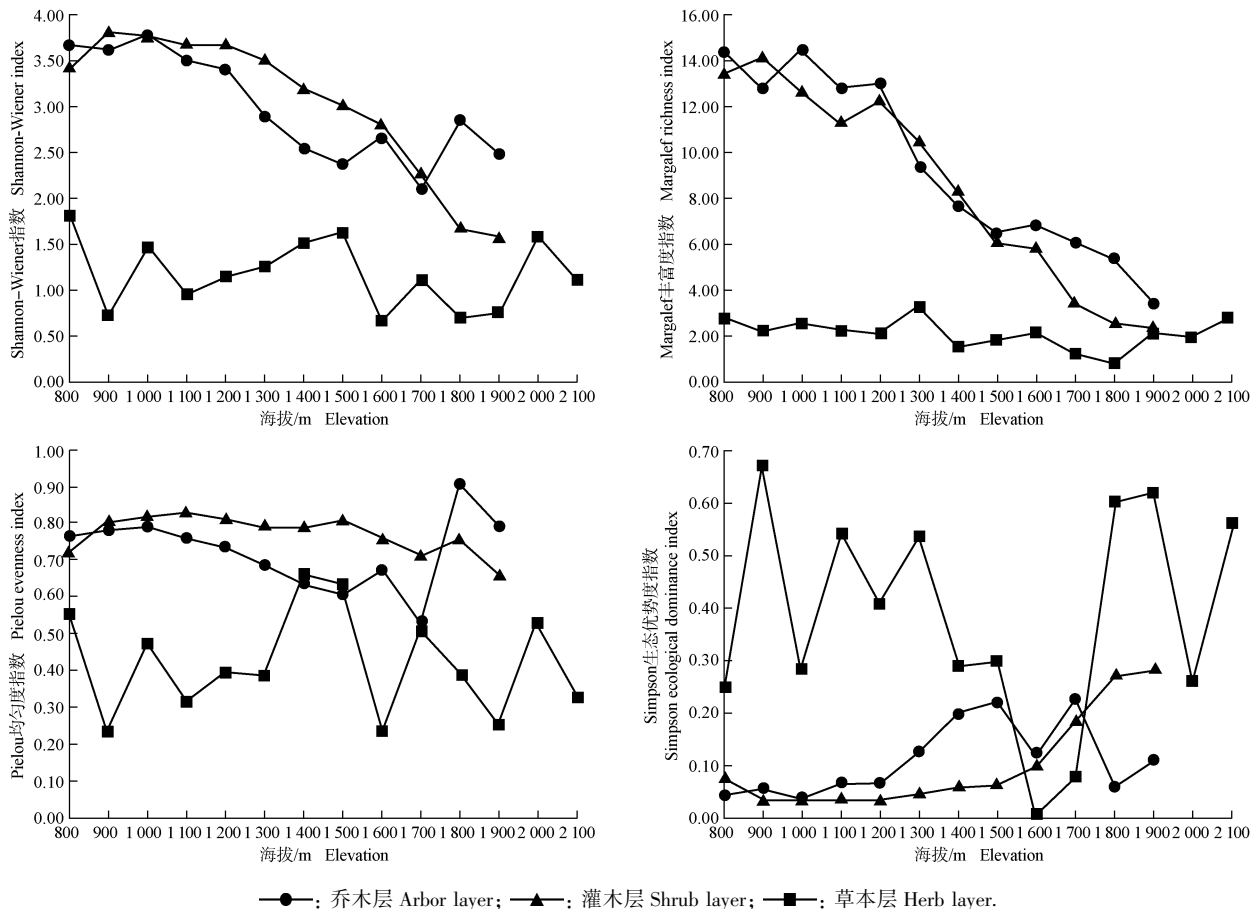


图 1 武夷山国家公园沿海拔梯度植物群落多样性指数的变化

Fig. 1 Changes in diversity indexes of plant communities along the elevation gradient in Wuyishan National Park

低的趋势,表现出较为明显的垂直地带性特征。

海拔 800~1 200 m 的常绿阔叶林群落中,乔木层和灌木层的 Shannon-Wiener 指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数基本在同一水平,且明显高于草本层;乔木层和灌木层的 Simpson 生态优势度指数也基本在同一水平,但明显低于草本层。

海拔 1 300~1 700 m 的针阔混交林群落中,不同层次的 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数总体上由高到低依次为灌木层、乔木层、草本层;乔木层和灌木层的 Margalef 丰富度指数基本在同一水平,且明显高于草本层;海拔 1 300~1 500 m 不同层次的 Simpson 生态优势度指数由高到低依次为草本层、乔木层、灌木层,海拔 1 600~1 700 m 乔木层和灌木层的 Simpson 生态优势度指数较高,草本层的 Simpson 生态优势度指数较低。

海拔 1 800~1 900 m 的矮曲林群落中,不同层次的 Shannon-Wiener 指数、Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数总体上由高到低依次为乔木层、灌木层、草本层,Simpson 生态优势度指数由高到低依次

为草本层、灌木层、乔木层。海拔 2 000~2 100 m 的中山草甸群落仅存在草本层。

2.4 物种相似性分析

武夷山国家公园沿海拔梯度植物群落的物种相似性分析结果见表 4。结果表明:海拔 1 100 m 与 900、1 000、1 200 m 以及 1 000 m 与 1 200 m 植物群落间的 Jaccard 相似性指数均大于等于 0.50 且小于 0.75,表现为中等相似;其余植物群落间的 Jaccard 相似性指数均小于 0.50,表现为中等不相似或极不相似。海拔 800~1 200 m 常绿阔叶林群落的 Jaccard 相似性指数在 4 种植被类型中总体较高,最高值为 0.595,最低值为 0.321,平均值为 0.459;海拔 1 300~1 700 m 针阔混交林群落的 Jaccard 相似性指数的最高值为 0.458,最低值为 0.224,平均值为 0.318;海拔 1 800~1 900 m 矮曲林群落的 Jaccard 相似性指数在 4 种植被类型中最低,为 0.117,2 个矮曲林群落表现为极不相似;海拔 2 000~2 100 m 中山草甸群落的 Jaccard 相似性指数为 0.457,2 个中山草甸群落表现为中等不相似。

表 4 武夷山国家公园沿海拔梯度植物群落的物种相似性分析结果

Table 4 Result of species similarity analysis on plant communities along elevation gradient in Wuyishan National Park

海拔/m Elevation	不同海拔植物群落间的 Jaccard 相似性指数 Jaccard similarity index among plant communities at different elevations													
	800 m	900 m	1 000 m	1 100 m	1 200 m	1 300 m	1 400 m	1 500 m	1 600 m	1 700 m	1 800 m	1 900 m	2 000 m	2 100 m
800	1.000													
900	0.398	1.000												
1 000	0.321	0.476	1.000											
1 100	0.388	0.512	0.524	1.000										
1 200	0.328	0.464	0.584	0.595	1.000									
1 300	0.251	0.237	0.263	0.249	0.279	1.000								
1 400	0.199	0.152	0.165	0.167	0.182	0.347	1.000							
1 500	0.163	0.124	0.153	0.144	0.170	0.317	0.458	1.000						
1 600	0.243	0.193	0.232	0.233	0.255	0.352	0.309	0.320	1.000					
1 700	0.221	0.178	0.195	0.193	0.210	0.224	0.250	0.235	0.363	1.000				
1 800	0.029	0.025	0.053	0.034	0.040	0.032	0.033	0.057	0.054	0.067	1.000			
1 900	0.028	0.020	0.025	0.016	0.027	0.031	0.023	0.026	0.025	0.062	0.117	1.000		
2 000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.096	1.000	
2 100	0.000	0.000	0.005	0.006	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.079	0.457	1.000

3 讨论和结论

物种组成是植物群落的基础,是植物群落的最基本特征之一。武夷山的自然生境保存良好,形成了明显的植被垂直带谱,成为生物多样性的避难所。武夷山国家公园海拔 800~2 100 m 样地内共有维管植物

89 科 228 属 450 种,包括蕨类植物 10 科 22 属 25 种,裸子植物 2 科 3 属 4 种,被子植物 77 科 203 属 421 种,其中国家一级重点保护野生植物 1 种;国家二级重点保护野生植物 12 种;《中国生物多样性红色名录——高等植物卷》评估为近危 (NT) 以上等级植物 11 种;中国特有物种 180 种。样地内植物物种丰富,珍稀濒危植物种类较多,具有较高的保护和研究

价值。

水分和能量条件对物种多样性的分布格局具有重要影响,在水分充足的湿润地区,物种多样性总体上与海拔梯度的能量呈明显的正相关关系,即随着海拔的上升,物种多样性呈单调下降趋势^[22]。海拔梯度作为一种自然地理变化,会导致温度、光照和水分等多种环境因子变化,进而直接或间接的影响植物群落结构。本研究通过研究分析武夷山国家公园 14 个样地植物群落的物种多样性,发现常绿阔叶林的物种多样性明显高于针阔混交林、矮曲林和中山草甸 3 种植被类型。武夷山年降水量 1 800 mm,降水应该不是影响该地区物种多样性分布格局的主要限制因子。因此,推测海拔梯度上能量的递减可能是导致武夷山国家公园植物群落乔木层和灌木层物种多样性随着海拔的升高呈现逐渐降低趋势的主要原因。

Rapoport 法则认为,随着海拔的增加,物种的分布宽度随之增加,物种多样性则随之下降^[23]。武夷山国家公园调查样地内物种多样性的垂直梯度变化规律符合 Rapoport 法则,乔木层和灌木层中的 Shannon-Wiener 指数和 Margalef 丰富度指数整体呈现出随海拔的升高而降低的规律。朱彪等^[24]在广西猫儿山以及唐志尧等^[25]在秦岭太白山的研究结果也表明:Shannon-Wiener 指数和海拔之间有明显的负相关性,与本研究的结果相一致。余娇娥等^[26]研究元谋干热河谷海拔梯度下植物群落特征发现,Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数随着海拔的升高呈现出升高的趋势,这与本文研究结果存在差异。元谋干热河谷属于亚热带干热季风气候,谷底干热以及水热条件沿海拔梯度的急剧变化,年平均降水量为 642.2 mm,年平均蒸发量为 3 911.2 mm,蒸发量大约是降水量的 6 倍,推测这些水热条件的差异性导致了元谋干热河谷与武夷山国家公园植物群落沿海拔梯度变化存在较为明显的差异。在干旱缺水地区,水分往往成为物种多样性分布格局的决定因子,物种多样性与海拔梯度上的降水量往往呈正相关关系,即形成单峰分布格局^[27]。海拔 800~1 200 m 的常绿阔叶林群落中,草本层的 Pielou 均匀度指数低于乔木层和灌木层,说明该海拔区间植物群落草本层分布不均匀,这与草本层植物处于林分下层且林分的郁闭度较高有关,草本层植物能获取的环境资源有限;乔木层的 Simpson 生态优势度指数较低的主要原因是在该海拔区间植物群落中乔木树种的优势地位不明显,乔

木层树种间共享环境资源。海拔 1 300~1 700 m 的针阔混交林群落中,灌木层的 Shannon-Wiener 指数最高,主要原因是在该海拔区间植物群落中灌木层主要由灌丛和乔木幼苗组成,种类丰富;草本层的 Pielou 均匀度指数总体上低于乔木层和灌木层,但差距比常绿阔叶林群落的小,说明在该海拔区间植物群落中,草本层能获取的环境资源比在常绿阔叶林群落中多。海拔 1 800~1 900 m 的矮曲林群落中,草本层的 Simpson 生态优势度指数高于同海拔的乔木层和灌木层,海拔升高到 2 000~2 100 m 时,仅出现草本植物群落,主要原因是在高海拔地区,乔木层和灌木层植物的生长受限,草本植物能够得到更多的生存资源和生长空间。

植物群落相似性指数是体现植物群落间异质性重要标志,也是植物群落生境条件异质性的表现。从 4 种植被类型间的 Jaccard 相似性指数来看,同一种植被类型植物群落间的相似性较高,不同植被类型植物群落间的相似性较低,差异较为明显,表明武夷山国家公园内沿海拔梯度的植物群落所处的环境变化多样,形成了较为明显的植被垂直带谱。海拔 800~1 200 m 常绿阔叶林群落的 Jaccard 相似性指数总体较高,说明常绿阔叶林群落间相似度高于其他 3 种植被类型;海拔 1 800~1 900 m 矮曲林群落的 Jaccard 相似性指数最低,可能是因为海拔 1 800 m 样地和海拔 1 900 m 样地之间有一条山沟,地形和小气候等因子变化较大,从而导致 2 个矮曲林群落物种组成的差异明显。

物种多样性的分布格局与环境条件密切相关,不同气候区域沿海拔梯度的物种多样性变化趋势存在一定差异^[28]。开展武夷山国家公园沿海拔梯度不同植物群落的物种多样性观测和研究,探究武夷山国家公园植物群落物种多样性沿海拔梯度的分布格局,对武夷山生物多样性保护具有重要意义。

致谢: 武夷山国家公园提供试验场地,福建省武夷山生物研究所江宝兴工程师以及福建农林大学马良、林汝强、曾钦滕、连辉、罗开金、张世亮、柳明珠、江淑珍、余秋伍、郭钊翔、罗萧、林汉鹏、付厚华、张中扬、邹福燕、林晟、周宇、陈积衡、余玉云、江宇、陈佳新、林毅喆、程安鹏和杨浩雁等同学参加野外调查和数据整理等工作,在此表示衷心感谢!

参考文献:

- [1] VETAAS O R, GRYTNES J-A. Distribution of vascular plant species richness and endemic richness along the Himalayan elevation

- gradient in Nepal[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2002, 11(4): 291-301.
- [2] 徐远杰,陈亚宁,李卫红,等.伊犁河谷山地植物群落物种多样性分布格局及环境解释[J]. *植物生态学报*, 2010, 34(10): 1142-1154.
- [3] 唐志尧,方精云.植物物种多样性的垂直分布格局[J]. *生物多样性*, 2004, 12(1): 20-28.
- [4] GASTON K J. Global patterns in biodiversity[J]. *Nature*, 2000, 405(6783): 220-227.
- [5] 刘星,李国旗.海拔对贺兰山蒙古扁桃不同花柱型花比例和表型性状的影响[J]. *植物资源与环境学报*, 2022, 31(2): 91-93.
- [6] 柏雨萱,刘丹萍,邢郑瑜,等.栲树叶片中不同类型钙含量对海拔梯度和土壤因子变化的响应[J]. *植物资源与环境学报*, 2022, 31(4): 28-36.
- [7] 何艳华,闫明,张钦弟,等.五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局[J]. *生态学报*, 2013, 33(8): 2452-2462.
- [8] 邓清月,张晓龙,牛俊杰,等.晋西北饮马池山植物群落物种多样性沿海拔梯度的变化[J]. *生态环境学报*, 2019, 28(5): 865-872.
- [9] 蔡蕾,贾程,潘红丽,等.巴郎山高山草甸观赏植物物种多样性沿海拔梯度分布格局[J]. *西部林业科学*, 2017, 46(5): 45-51.
- [10] STEVENS G C. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude[J]. *The American Naturalist*, 1992, 140(6): 893-911.
- [11] LEGENDRE P, MI X, REN H, et al. Partitioning beta diversity in a subtropical broad-leaved forest of China[J]. *Ecology*, 2009, 90(3): 663-674.
- [12] 姚良锦,姚兰,易咏梅,等.湖北七姊妹山亚热带常绿阔叶阔叶混交林的物种组成和群落结构[J]. *生物多样性*, 2017, 25(3): 275-284.
- [13] 丁晖,方炎明,杨新虎,等.黄山亚热带常绿阔叶林的群落特征[J]. *生物多样性*, 2016, 24(8): 875-887.
- [14] 仲磊,张杨家豪,卢品,等.次生常绿阔叶林的群落结构与物种组成:基于浙江乌岩岭9 ha森林动态样地[J]. *生物多样性*, 2015, 23(5): 619-629.
- [15] 卢志军,鲍大川,郭屹立,等.八大公山中亚热带山地常绿落叶阔叶混交林物种组成与结构[J]. *植物科学学报*, 2013, 31(4): 336-344.
- [16] 杨庆松,马遵平,谢玉彬,等.浙江天童20 ha常绿阔叶林动态监测样地的群落特征[J]. *生物多样性*, 2011, 19(2): 215-223.
- [17] 汪荣,潘文斌.武夷山国家级自然保护区植被类型的地形分异[J]. *浙江林学院学报*, 2007, 24(6): 731-735.
- [18] 丁晖,方炎明,杨青,等.武夷山中亚热带常绿阔叶林样地的群落特征[J]. *生物多样性*, 2015, 23(4): 479-492.
- [19] 孙铭隆,陈涵阳,周志强,等.东北不同天然分布区黄檗群落植物多样性分析[J]. *林业世界*, 2022, 11(1): 9-20.
- [20] 阎桂琴,毕润成.山西霍山森林群落物种的多样性和生态优势度[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 1993, 18(2): 173-177.
- [21] JACCARD P. Contribution au problème de l'immigration post-glaciaire de la flore alpine: étude comparative de la flore alpine du massif du Wildhorn, du haut bassin du Trient et de la haute vallée de Bagnes[J]. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 1900, 36: 87-130.
- [22] GLENN-LEWIN D C. Species diversity in the North American temperate forests[J]. *Vegetatio*, 1977, 33(2/3): 153-162.
- [23] 冯建孟,王襄平,方精云.云南独龙江地区种子植物物种多样性垂直分布格局和Rapoport法则的验证[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2006, 42(4): 515-520.
- [24] 朱彪,陈安平,刘增力,等.广西猫儿山植物群落物种组成、群落结构及树种多样性的垂直分布格局[J]. *生物多样性*, 2004, 12(1): 44-52.
- [25] 唐志尧,方精云,张玲.秦岭太白山木本植物物种多样性的梯度格局及环境解释[J]. *生物多样性*, 2004, 12(1): 115-122.
- [26] 余娇娥,司宏敏,吴雪涛,等.海拔梯度下元谋干热河谷植物群落特征[J]. *生态环境学报*, 2018, 27(11): 2017-2022.
- [27] 王国宏.祁连山北坡中段植物群落多样性的垂直分布格局[J]. *生物多样性*, 2002, 10(1): 7-14.
- [28] 张入匀,李艳朋,倪云龙,等.鼎湖山亚热带常绿阔叶林叶功能性状沿群落垂直层次的种内变异[J]. *生物多样性*, 2019, 27(12): 1279-1290.

(责任编辑:张明霞)