

我国生物地理学研究进展

冷疏影¹, 李新荣², 李彦³, 许皓³, 康慕谊⁴, 江源⁴, 殷秀琴⁵, 陶岩⁵, 辛未冬⁵

- (1. 国家自然科学基金委员会地球科学部, 北京 100085;
2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000;
3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011;
4. 北京师范大学资源学院, 北京 100875;
5. 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024)

摘要: 生物地理学研究是生物学和地理学交叉非常明显的部门自然地理学学科, 它具有很强的基础研究特点, 同时研究成果也具有很大的应用潜力。近年来, 我国生物地理学基础研究在国家自然科学基金委等部门的支持下, 在山地植被与地理环境、干旱半干旱区植被与地理环境、植物区系、植物物候、土壤动物与土壤生态功能、土壤生物结皮等方面开展了全面而深入的研究。同时拓展了传统生物地理学的研究方向, 在植物地理学与全球变化、植物地理学与生物多样性保护、植物地理学与生态系统管理等方面也开展了大量研究。尤为可贵的是干旱半干旱区土壤生物结皮研究、典型温带荒漠区原生荒漠植被对水分改变的响应与适应研究取得了令国内外关注的高水平研究成果。

关键词: 生物地理学; 植物地理学; 动物地理学; 生物土壤结皮; 荒漠灌木; 国家自然科学基金

1 我国生物地理学基础研究近年来总体发展趋势

生物地理学研究是生物学和地理学交叉非常明显的部门自然地理学学科, 它具有很强的基础研究特点。自 2000 年起, 国家自然科学基金委员会地球科学部通过资助项目的引导作用加强了对生物地理学研究方向的引导, 并加大了对研究项目的经费支持力度, 使该方向的研究较 2000 年以前不仅申请和资助的项目数量均有大幅度增加, 且在某些领域进展突出, 取得了国际关注的研究成果, 有 2 人分别于 2007 年和 2008 年获得国家杰出青年基金资助。2000-2005 年的 6 年中共资助生物地理学项目 28 项, 占自然地理学资助项目数的 10.9%。而 2006-2008 年的近 3 年中就资助 36 项, 占自然地理学资助项目数的 12.5%。如果从 2000 年生物地理学资助项目数占自然地理学资助项目数的 6.3% 看, 2008 年生物地理学资助项目数占自然地理学资助项目数的比例已提高到 10.3%。国内植物地理学研究主要集中在中国科学院的部分研究所和全国高等院校的有关院、系。在地理学内部真正开展了较为集中的研究并对动物地理学有所贡献的学科领域很少, 但是对土壤动物与土壤生态功能的研究可以称作其一。从 2000-2008 年国家自然科学基金委员会地球科学部资助的生物地理学项目依托单位看 (表 1), 64 个项目集中在 22 个单位。共有 47 人先后获得资助, 其中有 1 人获得 4 项资助, 15 人获得 2 项资助, 31 人获得 1 项资助。从事植物地理学基础研究的力量主要集中在中国科学院的几个研究所和北京大学、北京师范大学等单位; 从事动物地理学基础研究的力量则更为有限。当然, 由于学科交叉等原因, 从事生物地理学研究的人员也会从国家自然科学基金委生命科学部获得研究经费资助, 但是这部分人数非常少, 而且往往学科出身背景是生态学而不是地理学。

收稿日期: 2009-05-15; 修订日期: 2009-07-10

作者简介: 冷疏影, 博士, 研究员。中国地理学会会员 (S110001475M), 目前主要从事国家自然科学基金地理学项目管理工
作, 曾从事植物地理学、土地利用等相关研究。E-mail: lengsy@nsfc.gov.cn

表 1 2000–2008 年国家自然科学基金委地球科学部资助的生物地理学项目
 Tab. 1 Biogeography programs funded by the Department of Earth Sciences,
 National Natural Science Foundation of China (2000–2008)

获资助 项目数	主要学科方向	主要研究区域和研究对象	项目负 责人数	依托单位
15	生物地理学, 生态水文学	腾格里沙漠生物土壤结皮, 沙地植被, 黑河流域植被	11	中国科学院寒区旱区 环境与工程研究所
10	植物地理学, 生态学	山地植被 (秦岭、五台山等), 温带草地、人工林 C 收 支, 植物物候	7	北京大学
8	植物地理学, 生态学	山地植被 (小五台山、东灵山、秦岭、中条山、贺兰山 等), 沙地植被 (毛乌素沙地等), 速生人工林固 C (新疆)	5	北京师范大学
3	植物地理学	六盘山山地植被, 青藏高原树线	2	中国科学院地理科学 与资源研究所
3	植物地理学, 生态学	太湖湖泊藻类群落演替, 水华与环境	2	中国科学院南京地理 与湖泊研究所
3	植物地理学, 生态水文学	荒漠植物型态可塑性 (准噶尔盆地, 梭梭根), 荒漠植物 水盐胁迫下的生理生态 (塔里木河下游, 胡杨等)	2	中国科学院新疆生态 与地理研究所
3	植物地理学,	植物群落种子对环境的适应进化 (内蒙古高原和东北 地区的森林、草原、荒漠、沙地), 植物分布与环境 (孑 遗植物冷杉, 水青冈)	2	中国科学院植物研究 所
2	动物地理学	东北森林系统、松嫩草地土壤动物及其生态功能	1	东北师范大学
2	动物地理学	大兴安岭森林系统土壤动物功能, 黑龙江省土壤动物区 系	1	哈尔滨师范大学
2	植物地理学	青藏高原植物区系与植物多样性	1	中国科学院昆明植物 研究所
2	植物地理学, 景观生态学	黄河三角洲水禽生境, 东北森林对气候变化的响应预测 (林分、景观尺度耦合)	2	中国科学院沈阳应用 生态研究所
1	土壤动物地理 学	海南桉树人工林土壤动物	1	海南师范大学
1	植物地理学	东亚植物区系成分历史迁移 (鄂报春、伯乐树)	1	华南农业大学
1	植物地理学	我国北方沙地植物物种替代 (沙蒿)	1	内蒙古师范大学
1	动物地理学	动物地理区系 (闪蛱蝶亚科)	1	山西省农业科学院植 物保护研究所
1	生物地理学	生物地理分布、协同进化 (马先蒿属植物、传粉昆虫)	1	四川大学
1	植物地理学, 古生态学	冰期时我国东南沿海和大陆架的植被类型 (深海钻孔 中的花粉)	1	同济大学
1	植物地理学	青藏高原高山林线与土壤低温阈值	1	中国科学院青藏高原 研究所
1	植物地理学	内蒙古东部天然樟子松林	1	中国科学院生态环境 研究中心
1	植物地理学, 植物生理学	青藏高原高山林线与植物体内 C	1	中国科学院水利部成 都山地灾害与环境研 究所
1	植物地理学	滇南原始山地雨林植被	1	中国科学院西双版纳 热带植物园
1	植物地理学, 植物生理学	羊草与大针茅的生态可塑性	1	中国科学院研究生院

虽然植物地理学发展状况好于动物地理学, 但总体上我国生物地理学基础研究队伍还很小, 生物地理学的发展状况令人担忧。一方面我们强调地理学发展已经到了必须加强生物过程研究的阶段, 否则就会造成对生物圈认识的缺失, 而且无法完成对地表要素相互作用规律的深入揭示; 另一方面, 自然地理学自身培养从事生物地理学基础研究的队伍没有得到发展。尽快吸纳生物学背景的学者加入生物地理学研究队伍, 招收更多的生物学本科生进入自然地理学硕士和博士生队伍是提高我国生物地理学研究水平的关键。

2 我国生物地理学基础研究近年来主要研究方向

近年来我国生物地理学基础研究主要围绕以下几个方面展开：

2.1 山地植被与地理环境的关系研究

山地植被与地理环境的关系研究一直是生物地理学研究的核心内容，近年来随着野外考察装备和观测手段的现代化，使得对极端环境下山地植被与生境关系的研究开始深入，也使得对不同类型山地植被与生境关系的比较研究成为现实。山地植被与地理环境的关系研究主要包含三个方面：(1) 山地效应对植被景观作用的机理研究；(2) 山地生境特征与植物物种多样性和分布的关系研究；(3) 高山林线变化及其影响因素研究。

2.2 干旱半干旱区植物群落与地理环境的关系研究

干旱半干旱区植物生长受到水分条件的强烈制约，因此对干旱半干旱区植被类型和分布规律的研究是以往生物地理学研究的核心内容。近年来由于野外观测手段的提高、野外控制实验和室内模拟实验的开展，对干旱半干旱区植物群落与地理环境的关系研究取得了长足进展。概括起来主要包含三个方面：(1) 沙地植物群落演替与景观优化研究；(2) 荒漠植被建群种生理生态特性和功能的研究；(3) 植物群落 C 收支与水分的关系研究。

2.3 植物区系与地理环境的关系研究

植物区系与地理环境的关系是植物地理学研究的经典问题，其关注的时间尺度也 longer。近年来随着分子生物学和系统发育研究手段的引入，以及结合全球变化研究，使得对这一经典问题的研究更加深入，同时也更具时代特点。植物区系与地理环境的关系研究主要包含三个方面：(1) 植物物种亲缘关系及演替成因；(2) 植物区系组成与气候变化关系；(3) 特殊生境下植物多样性的起源及进化机制。

2.4 植物物候研究

对植物物候的研究是揭示植物与其生存环境关系的重要方面，在以往的植物地理学研究中曾经受到重视，但是也曾一度荒废。近年来这方面的研究重新开展起来，除了延续传统的观测方法外，还结合遥感手段，加强了植物物候期与生长季节时空格局对气候变化响应的模拟预测研究。

2.5 土壤动物与土壤生态功能研究

与植物地理学研究相比，我国的动物地理学研究一直发展非常缓慢且后继乏人。近年来动物地理学基础研究主要集中在土壤动物与土壤生态功能方面，涉及到的研究区域包括东北松嫩平原等。研究方向可概括为：(1) 土壤动物区系组成及其分异规律；(2) 土壤动物在土壤养分循环和能量流动中的作用；(3) 土壤动物多样性及其生态功能。

2.6 生物土壤结皮研究

生物土壤结皮是干旱半干旱区荒漠地表景观的重要组成部分。作为生物地理学和土壤地理学交叉研究的重要领域之一，生物土壤结皮研究是重要的前沿方向，在国外已有大量研究报道。我国从事该方向研究的人数虽然不多，起步也较晚，但是依托中亚及我国北方广袤的温性荒漠区，取得了独特的令国际同行关注和赞赏的研究结果。主要研究方向包括：(1) 干旱半干旱区生物土壤结皮演替及对荒漠生态系统恢复的作用；(2) 生物土壤结皮在荒漠生态系统土壤过程中的作用；(3) 生物土壤结皮在土壤水文过程中的作用；(4) 生物土壤结皮中土壤地球化学循环过程中的作用；(5) 生物土壤结皮中荒漠生态系统生物过程中的作用。

总体上看，在过去的几年里，我国生物地理学基础研究呈现出以下特点：(1) 注重学科交叉，更多地引入生态学、分子生物学和系统发育的研究方法；(2) 注重多种手段采集数据，野外原位测定、野外控制实验和室内模拟实验相互补充；(3) 注重研究对象和研究尺度的连接，从植被类型拓展到植物群落、建群种、植物体、以至植物器官的生理生态

功能；(4) 山地植被研究的区域更广泛、类型更多样；(5) 荒漠植被研究的问题更明确、结果更深入。

3 我国生物地理学研究近年来取得的突出进展

近年来我国生物地理学虽然在上述诸多方面开展了研究，新建了多个野外长期观测台站，取得了大量观测、实验和模拟数据，但是总体来看，分支方向发展水平还很不平衡，发展速度也差异较大。下面主要针对近年来取得重要进展的几方面成果进行介绍，包括干旱半干旱区生物土壤结皮研究，荒漠植被对水分改变的响应与适应研究，植物区系、植物生态地理学研究，以及土壤动物与土壤生态功能研究。其中有些成果受到国际同行关注并产生了一定国际影响，有些成果深化了国内相关领域的研究或填补了研究的空白。

3.1 干旱半干旱区生物土壤结皮研究

生物土壤结皮 (biological soil crust, BSC) 是由隐花植物如蓝藻、绿藻、地衣、苔藓类和土壤中微生物，以及相关的其它生物体通过菌丝体、假根和分泌物等与土壤表层颗粒胶结而形成的十分复杂的复合体，是干旱半干旱荒漠地表景观的重要组成部分之一^[1-3]，其覆盖面积占干旱区地表面积的 40%，是土壤地理学和生物地理学研究的前沿科学问题之一。

就全球而言，来自美国、澳大利亚、以色列和德国的学者做了大量的工作。直至本世纪初，来自中亚和中国在这方面的研究报道相对较少^[4, 5]。近年来我国 BSC 的大量研究被国外同行引用和认可^[6-8]。广袤的中亚及我国北方温性荒漠区 BSC 的研究是对全球 BSC 研究的重要补充^[3, 9]。

3.1.1 我国主要研究进展 近年来我国 BSC 的研究进展主要体现在以下几个方面：

我国学者^[4, 9, 10]在腾格里沙漠利用近 50 年的定位监测研究了草原化荒漠景观沙埋后经人工生态建设，BSC 拓殖和演替的过程，证实了 BSC 在荒漠生态恢复中的作用。

在古尔班通古特沙漠和腾格里沙漠的研究表明，BSC 对矿物有明显的生物侵蚀作用，创造了有利于荒漠表层土壤原生矿物风化的条件，降低土壤粒径的同时增加了土壤养分。BSC 对矿物风化的促进作用而非降尘捕获是荒漠土壤形成的主要原因^[11, 12]。

李新荣等^[10]和王新平等^[13]提出了 BSC 在土壤生态水文过程，特别是对降水入渗的影响是取决于降水强度、区域的降水量和结皮层下土壤基质的理化性质以及隐花植物组成差异的综合评价观点。BSC 促使了年降水 < 200 mm 沙地土壤有效水分含量的浅层化，影响了沙地植被的组成和格局^[14]，较好地揭示了我国沙区人工植被向特定生物气候区地带性植被的演替规律^[15]。

李新荣等人研究表明，BSC 通过改变土壤性状而影响维管束植物的萌发、定居和存活^[4, 16, 17]。他们提出了 BSC 对荒漠昆虫多样性的贡献假说并通过实验进行了验证^[18]，认为在极端环境下 BSC 中隐花植物的生态功能的重要性不亚于高等植物^[19]。

从 2000 年以来我国学者在国际 SCI 刊物发表有关 BSC 研究论文 100 余篇，大量成果被国际知名刊物和生态学研究系列专著引用^[7, 20-23]。在多项国家自然科学基金的资助下，“干旱沙区生物土壤结皮生态与水文功能的研究”获甘肃省 2009 年度自然科学一等奖。

3.1.2 前沿与展望 以往的水文过程研究、水量平衡和水循环的试验研究中均忽视了 BSC 的存在和其在植被—土壤系统中的重要作用。因此，考虑 BSC 这一重要环节的干旱区水循环研究是全面理解干旱区生态水文过程的重要前提之一。

目前对基于全球变化背景下 BSC 的组成、结构、功能演变，以及对荒漠生态系统的长期反馈作用，特别是对其维持生态系统稳定性的机理的研究仍很少涉及^[7]。相关研究对

判别荒漠系统退化以及荒漠化发生和发展具有重要的理论指导意义。

目前很少考虑 BSC 在荒漠系统中固碳与呼吸作用对碳循环的贡献。为此, 对 BSC 生态系统管理, 包括利用遥感技术监测^[9], 判别区域尺度上的时空变化也是未来前沿问题。

此外, 从应用的角度, 在国内如何从实验阶段进入到多途径、综合手段相结合的应用推广阶段, 以 BSC 为材料固定流沙, 恢复沙化土地, 仍然需要攻克技术难点。

3.2 典型温带荒漠区原生荒漠植被对水分改变的响应与适应研究

由于荒漠长期处于水分匮乏状态, 降水的改变将意味着塑造荒漠生境和影响荒漠区植物生长发育的基本物理与化学环境因子的改变。以准噶尔盆地荒漠为代表的我国温带荒漠是地球上最典型的温带荒漠生态系统之一, 多枝怪柳 (*Tamarix ramosissima*) 和梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 是准噶尔盆地原生荒漠灌木植物群落最为典型的两个建群种。

国内外在荒漠植物适应性用水策略、降水变化与植物响应、以及优势种生理生态学等方面均开展了大量研究。

3.2.1 我国主要研究进展 对我国典型温带荒漠区原生荒漠植被对水分改变的响应与适应研究表明, 荒漠区灌木应对水分胁迫和环境水分有效性的改变时, 具有高效的自我协调与适应能力: 在个体水平上的自我调节, 体现为荒漠植被优势种的形态可塑性^[24]; 群落水平上的动态主要是个体变化所致, 生理调节作用对此的直接贡献微弱; 生理生态、个体形态与群落水平的适应机制相互协调, 共同构成用水与碳获取的最优策略。主要研究进展体现为以下两方面:

(1) 对梭梭研究表明^[24], 浅根系植物对降水的响应是显著的。较强的气孔控制和有效的形态调节, 是其适应降水变化的两个主要机制。梭梭各个尺度上原有的碳水平衡, 都受到降水变化的扰动。降水变化对梭梭群落碳同化的影响取决于降水变化量及其时间分布。可以认为, 同化器官/根面积比值为 0.4 是梭梭在水分条件较为缓和时的常数。

(2) 对多枝怪柳研究表明^[25], 个体形态适应是深根系植物用水策略的最主要机制。生理和个体水平的策略往往可以保证其在利用地下水维持水分平衡的同时最优化碳获取, 降水改变将不会轻易扰动其现有的碳水平衡。然而, 深根系植物地下水位的变化将直接影响其存活。多枝怪柳群落碳收支增减在 6-8 月间与地下水位波动较为一致, 5-7 月地下水位在 3-4 m 区间内波动对群落碳吸收的负面影响不显著。当水位进一步下降至 4.5 m 左右, 对群落碳同化造成影响。

3.2.2 前沿与展望 当环境因子改变时, 植物体生理水平上的调节与个体水平上的形态适应的协调性, 一直是亟待解决的科学问题, 而以荒漠区植物为对象的研究则更具特殊性。未来的研究可尝试以荒漠植物优势种为研究对象, 对生理、个体、群落水平的碳水平衡进行整合研究, 从多时间尺度和多空间尺度上去理解植物对环境水分条件改变的响应与适应机制, 并探索不同尺度的机制之间的内在联系。

未来的研究中有待于在分子水平上更深入地揭示荒漠植物适应水分等环境因子胁迫和改变的机理; 个体形态水平上地上/地下部分相结合的思路, 值得在荒漠区其它建群种的研究中推广, 并进一步重视全球气候变化背景下以根系为核心的地下生物过程的研究。

3.3 植物区系、植物生态地理学研究

植物地理学 (Plant Geography, Geobotany, Phytogeography) 属于自然地理学的分支学科, 是研究生物圈中各种植物和各种植被的地理分布规律、生物圈各结构单元 (各地区) 的植物种类组成、植被特征及其与自然环境之间相互关系的科学^[26]。

近年来, 植物地理学除了继续强调一些传统的研究内容外, 主要加强了对以下几个方面的研究^[27]: 基因分析 (genetic analysis) 和人类进化 (human evolution), 干扰理论 (disturbance studies), 以及自然保护区设计 (design of reserves)。

3.3.1 我国主要研究进展 在植物区系地理学研究方面, 吴征镒先生揭示了东亚植物区

系中一些主要特征成分和重要类群的形成与发展过程^[28]；苏培玺研究了中国西北荒漠区C₄木本植物的地理分布及其与气候的关系^[29]；孙航讨论了横断山区植物区系成分^[30]；刘念和王东分别对苏铁科植物和青藏高原的水生植物进行了植物地理学研究。

在植物地理学与物候学及与全球变化的关联研究方面，郑景云探讨了中国木本植物对全球增暖的响应阈值问题^[31]；张一平讨论了热带地区引种的一些植物的物候长期变化特征及其对植物迁地保护的意义^[32]。

在植物地理学与生态岛和生物入侵研究方面，孙娟揭示了金佛山自然保护区外来植物入侵的机理。戴君虎研究了六盘山岛状植被的生态格局及其形成机理^[33]。

在植物地理学与自然地带属性特征研究方面，康慕谊辨析了秦岭地区的生态自然地带有过渡性特征，揭示了此种过渡特征对安排区域大农业生产具有重要指导意义^[34]。

植被自然带分布规律和区域分异学说以及植物地理学的相关研究进展对于在我国西部和北部等生态敏感和脆弱地区的防护林体系建设、大农业生产布局，以及全国各地的自然保护区建设均发挥了重要的指导作用。

3.3.2 前沿与展望 有望取得突破的科学问题包括：人工植被的地带性特征及地域分异规律烙印；植被与土壤、气候等其他自然地理现象间的共轭联系；人类进化史与地理环境及区域植被组成变迁的关系；以流域为单元的植被恢复或保育与水环境污染和水生态恶化综合治理。

3.4 土壤动物与土壤生态功能研究

土壤动物是陆地生态系统的重要组成部分，土壤动物生态地理研究已经成为动物地理学研究的热点和前沿^[35, 36]。土壤动物生态地理学研究更多的还是以传统理论为主。近年来，生物多样性中性理论的发展激发了人们进一步研究宏观生态格局的兴趣^[37]。未来的发展就是把中性理论和生态位理论结合起来作为一种广义的生态过程去解释生物多样性格局的形成机制。

在方法和技术方面，土壤动物的研究同样采用传统方法并根据研究区的实际情况对其改进，如中国科学院寒区旱区环境与工程研究所对沙漠地区土壤大型土壤动物采样工作改变传统的手捡法而采用陷阱法和诱捕法，取得了明显的效果。

3.4.1 我国主要研究进展 在土壤动物的生物指示作用研究方面，Liang等(2007)发现食物网结构指数(SI)是东北草原土壤扰动的较好指标^[38]。Gao等(2007)等发现蚯蚓对重金属毒性的响应能为土壤污染提供早期警示信号^[39]。

在植被对土壤动物群落的影响研究方面，殷秀琴、董炜华等发现公路边坡的植被恢复的时间不同，大型土壤动物类群数差异显著，个体数差异不显著，中小型土壤动物类群数和个体数差异均显著；土壤动物的类群和密度明显增加^[40, 41]。张雪萍等发现火烧后6-7年是中小型土壤动物发展的盛期，随后土壤动物类群和数量开始减少并趋于稳定^[42]。

在土壤动物的功能类群及功能作用研究方面，Song等发现马陆对土壤环境中Ca和Mg强烈富集，而蚯蚓与马陆和蜈蚣相对Fe有一定的富集^[43]。殷秀琴等发现在较缓的丘陵坡面上，N、P、K、Ca、Mg和Fe 6种营养元素的纵向分异并不十分显著^[44]。土壤动物可以通过其新陈代谢活动加速凋落物—土壤动物—土壤亚系统中营养元素的循环速率^[45]。吴纪华等发现，食细菌线虫和食真菌线虫都有助于土壤氮素等养分矿化，从而促进植物生长^[46]。

在土壤生物多样性与全球变化研究方面，我国从热带、亚热带到温带，从森林、草地、沙漠到湿地、农田乃至城市等诸多生态系统都开展了土壤动物生态分布和时空动态方面的研究^[47-51]。

3.4.2 前沿与展望 我国土壤动物生态地理研究已开展近30年。从目前的发展来看，未来的发展趋势及学科前沿主要有以下几个方面：长期定位观测与研究；反映环境变化

的生物指示研究; 对全球变化的响应研究; 动物入侵对生态系统功能的影响研究。

参考文献 (References)

- [1] West N E. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions. *Advances in Ecological Research*, 1990, 20: 179-223.
- [2] Eldridge D J, Greene R S B. Microbiotic soil crusts: A view of their roles in soil and ecological processes in the rangelands of Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 1994, 32: 389-415.
- [3] Belnap J, Lange O L. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Berlin: Springer-Verlag, 2001.
- [4] Li X R, Zhou H Y, Wang X P et al. The effects of sand stabilization and revegetation on cryptogam species diversity and soil fertility in Tengger Desert, northern China. *Plant and Soil*, 2003, 251: 237-245.
- [5] Budel B. Ecology and diversity of rock-inhabiting cyanobacteria in tropical regions. *European Journal of Phycology*, 2000, 34: 361-370.
- [6] Patrick E. Researching crusting soils: themes, trends, recent developments and implications for managing soil and water resources in dry areas. *Progress in Physical Geography*, 2002, 26: 442-461.
- [7] Bowker M A. Biological soil crust rehabilitation in theory and practice: An underexploited opportunity. *Restoration Ecology*, 2007, 15: 13-23.
- [8] Vies H. Understanding dryland landscape dynamics: Do biological crusts hold the key? *Geography Compass*, 2008, (2/3): 899-919.
- [9] Li X R, Chen Y W, Yang L W. Cryptogam diversity and formation of soil crusts in temperate desert. *Annals of Arid Zone*, 2004, 43: 335-353.
- [10] Li X R, Wang X P, Li T et al. Microbiotic soil crust and its effect on vegetation and habitat on artificially stabilized desert dunes in Tengger Desert, North China. *Biology and Fertility of Soils*, 2002, 35: 147-154.
- [11] Chen R Y, Zhang Y M, Li Y et al. The variation of morphological features and mineralogical components of biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert of northwestern China. *Environmental Geology*, 2008, doi: 10.1007/s00254-008-1410-1.
- [12] Li X R, Xiao H L, He M Z. Sand barriers of straw checkerboards for habitat restoration in extremely arid desert regions. *Ecological Engineering*, 2006, 28: 149-157.
- [13] Wang X P, Li X R, Xiao H L. Effects of surface characteristics on infiltration pattern in an arid shrub desert. *Hydrological Processes*, 2007, 21: 72-79.
- [14] Li X R, Kong D S, Tan H J et al. Changes in soil and in vegetation following stabilisation of dune in southeastern fringe of the Tengger Desert, China. *Plant and Soil*, 2007, 300: 221-231.
- [15] Li X R, Xiao H L, Zhang J G et al. Long-term ecosystem effects of sand-binding vegetation in the Tengger Desert, northern China. *Restoration Ecology*, 2004, 12: 376-390.
- [16] Li X R, Jia X H, Zerb Stefen. Effects of biological soil crusts on seed bank, germination and establishment of two annual plant species in the Tengger Desert (N China). *Plant and Soil*, 2005, 277: 375-385.
- [17] Su Y G, Li X R, Cheng Y W. Effects of biological soil crusts on emergence of desert vascular plants in North China. *Plant Ecology*, 2007, 191: 11-19.
- [18] Li X R, Chen Y W, Su Y G et al. Effects of biological soil crust on desert insect diversity: evidence from the Tengger Desert of northern China. *Arid Land Research and Management*, 2006, 20: 1-18.
- [19] Li Xinrong, Chen Yingwu, Jia Rongliang. Biological soil crusts: A significant food source for insects in the arid desert ecosystems. *Journal of Desert Research*, 2008, 28(2): 245-248. [李新荣, 陈应武, 贾荣亮. 生物土壤结皮: 荒漠昆虫食物链的重要构建者. *中国沙漠*, 2008, 28(2): 245-248.]
- [20] Bowker M A. Wildfire-resistant biological soil crusts and fire-induced loss of soil stability in Palouse prairies, USA. *Applied Soil Ecology*, 2004, 26: 41-52.
- [21] Bowker M A, Belnap J, Davidson D W et al. Evidence for micronutrient limitation of biological soil crusts: Importance to arid-land restoration. *Ecological Applications*, 2005, 15: 1941-1951.
- [22] Ravi S, D'Odorico P, Zobeck T M et al. Feedbacks between fires and wind erosion in heterogeneous arid lands. *Journal of Geophysical Research*, 2007, doi: 10.1029/2007JG000474.
- [23] Breckle S W, Yair A, Veste M. *Arid dunes ecosystems: Ecological Studies 200*. Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag, 2008. 450-453.
- [24] Xu Hao, Li Yan. Water use strategy of three central Asian desert shrubs and their responses to rain pulse events. *Plant and Soil*, 2006, 285: 5-17.
- [25] Xu Hao, Li Yan, Xu Guiqing et al. Ecophysiological response and morphological adjustment of two Central Asian desert shrubs towards variation in summer precipitation. *Plant, Cell and Environment*, 2007, 30: 399-409.

- [26] Wu Jihua, Zhang Kun, Jiang Yuan et al. *Geobotany*. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2004. [武吉华, 张坤, 江源等. 植物地理学. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2004.]
- [27] MacDonald Glen. *Biogeography: Introduction to Space, Time and Life*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [28] Wu Zhengyi, Sun Hang, Zhou Zhekun et al. Origin and differentiation of endemism in the flora of China. *Acta Botanica Yunnanica*, 2005, 27(6): 577-604. [吴征镒, 孙航, 周浙昆等. 中国植物区系中的特有性及其起源与分化. 云南植物研究, 2005, 27(6): 577-604.]
- [29] Su Peixi, Chen Huaishun, An Lizhe et al. Carbon assimilation characteristics of plants in oasis-desert ecotone and their response to CO₂ enrichment. *Science in China: Series D*, 2004, 47(suppl.1): 39-49.
- [30] Sun Hang, Li Zhimin. Qinghai-Tibet Plateau uplift and its impact on Tethys flora. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(6): 852-862. [孙航, 李志敏. 古地中海植物区系在青藏高原隆起后的演变和发展. 地球科学进展, 2003, 18(6): 852-862.]
- [31] Zheng Jingyun, Ge Quansheng, Zhao Huixia. Changes of plant phenological period and its response to climate change for the last 40 years in China. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2003, 24(1): 28-32. [郑景云, 葛全胜, 赵会霞. 近40年中国植物物候对气候变化的响应研究. 中国农业气象, 2003, 24(1): 28-32.]
- [32] Song Fuqiang, Zhang Yiping. Response of phenology to climate change//Duan Changqun. *Advances in Ecological Sciences*. Beijing: Higher Education Press, 2005. [宋福强, 张一平. 物候对气候变化响应的研究. 段昌群主编. 生态科学进展. 北京: 高等教育出版社, 2005.]
- [33] Dai Junhu, Bai Jie, Shao Liyang et al. A primary analysis of the flora on Liupan Mountains: Its nature and characteristics. *Geographical Research*, 2007, 26(1): 91-100. [戴君虎, 白洁, 邵力阳等. 六盘山植物区系基本特征的初步分析. 地理研究, 2007, 26(1): 91-100.]
- [34] Kang Muyi, Zhu Yuanqin. Discussion and analysis on the geo-ecological boundary in Qinling Range. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2774-2784. [康慕谊, 朱源秦. 秦岭山地生态分界线的论证. 生态学报, 2007, 27(7): 2774-2784.]
- [35] Fu S L, Zou X M, Coleman D. Highlights and perspectives of soil biology and ecology research in China. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, Available online.
- [36] Coleman D C. From peds to paradoxes: Linkages between soil biota and their influences on ecological processes. *Soil Biology & Biochemistry*, 2008, 40: 271-289.
- [37] Wu Jianguo (ed.) *Lectures in Modern Ecology (III): Advances and Key Topics*. Beijing: Higher Education Press, 2007: 29-44. [邬建国 主编. 现代生态学讲座 (III): 学科进展与热点论题. 北京: 高等教育出版社, 2007: 29-44.]
- [38] Liang W J, Zhong S, Hua J F et al. Nematode faunal response to grassland degradation in Horqin Sandy Land. *Pedosphere*, 2007, 17: 611-618.
- [39] Gao Y H, Sun Z J, Sun X S et al. Toxic effects of albendazole on adenosine triphosphatase activity and ultrastructure in *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2007, 67: 378-384.
- [40] Yin Xiuqin, Gu Wei, Dong Weihua et al. The community change and diversity of soil fauna after artificial vegetation restoration in highway slope. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4295-4305. [殷秀琴, 顾卫, 董炜华等. 公路边坡人工恢复植被后土壤动物群落变化及多样性. 生态学报, 2008, 28(9): 4295-4305.]
- [41] Dong Weihua, Yin Xiuqin, Gu Wei et al. Characteristics of soil fauna community related to vegetation succession alongside roads. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(4): 678-685. [董炜华, 殷秀琴, 顾卫等. 公路路域植被不同演替阶段土壤动物群落特征. 土壤学报, 2008, 45(4): 678-685.]
- [42] Zhang Xueping, Zhang Shuhua, Li Jingke. Eco-geographical analysis of soil animals in burned forest areas in Greater Hinggan Mountains. *Geographical Research*, 2006, 25(2): 327-334. [张雪萍, 张淑花, 李景科. 大兴安岭火烧迹地土壤动物生态地理分析. 地理研究, 2006, 25(2): 327-334.]
- [43] Song Bo, Yin Xiuqin, Zhang Yu et al. Dynamics and relationship of Ca, Mg, Fe in litter, soil fauna and soil in *Pinus koraiensis*-broadleaf mixed forest. *Chinese Geographical Science*, 2008, 18(3): 284-290.
- [44] Yin Xiuqin, Qiu Lili, Yang Lingbin et al. The relation and difference in nutritional elements in forest litter-macrofaunas-soil system. *Geographical Research*, 2006, 25(2): 320-326. [殷秀琴, 邱丽丽, 杨令宾等. 森林凋落物—土壤动物—土壤系统中营养元素含量关系及分异. 地理研究, 2006, 25(2): 320-326.]
- [45] Yin Xiuqin, Song Bo, Qiu Lili. Dynamic characteristics of N, P, K in the litter-soil fauna-soil system of mixed *Pinus koraiensis* forest. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(1): 128-134. [殷秀琴, 宋博, 邱丽丽. 红松阔叶混交林凋落物—土壤动物—土壤系统中N、P、K的动态特征. 生态学报, 2007, 27(1): 128-134.]
- [46] Wu Jihua, Song Ciyu, Chen Jiakuan. Effect of microbivorous nematodes on plant growth and soil nutrient cycling: A review. *Biodiversity Science*, 2007, 15(2): 124-133. [吴纪华, 宋慈玉, 陈家宽. 食微线虫对植物生长及土壤养分循环的影响. 生物多样性, 2007, 15(2): 124-133.]
- [47] Tang Benan, Tang Min, Chen Chunfu et al. Characteristics of soil fauna in the Dongjiao coco forest ecosystem in Hainan. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 26-32. [唐本安, 唐敏, 陈春福等. 海南东郊椰林生态系统土壤动物群落

特征. 生态学报, 2006, 26(1): 26-32.]

- [48] Yi Lan, You Wenhui. Community structure and seasonal change of soil animals in *Castanopsis fargesii* forest at Tiantong, Zhejiang Province. *Journal of East China Normal University: Natural Science*, 2006, (2): 112-120. [易兰, 由文辉. 浙江天童栲树林土壤动物群落结构及其季节变化. 华东师范大学学报, 2006, (2): 112-120.]
- [49] Wang Zhenzhong, Zhang Youmei, Li Zhongwu. Structural characteristics of fauna in forest red soils in the low mountain and hilly region of middle Hunan. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(6): 1097-1103. [王振中, 张友梅, 李志武. 湘中低山丘陵红壤森林生态系统土壤动物群落结构的特征. 土壤学报, 2007, 44(6): 1097-1103.]
- [50] Zhang Xueping, Zhang Wu, Cao Huicong. Geo-ecology of soil fauna in different tundras in Da Xinganling Mountains. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(6): 996-1003. [张雪萍, 张武, 曹会聪. 大兴安岭不同冻土带土壤动物生态地理研究. 土壤学报, 2006, 43(6): 996-1003.]
- [51] Zhang Xueping, Huang Lirong, Jiang Liqu. Characteristics of macro-soil fauna in forest ecosystem of northern Da Hinggan Mountains. *Geographical Research*, 2008, 27(3): 509-518. [张雪萍, 黄丽荣, 姜丽秋. 大兴安岭北部森林生态系统大型土壤动物群落特征. 地理研究, 2008, 27(3): 509-518.]

Recent Progress in Biogeography in China

LENG Shuying¹, LI Xinrong², LI Yan³, XU Hao³, KANG Muyi⁴,
JIANG Yuan⁴, YIN Xiuqiu⁵, TAO Yan⁵, XIN Weidong⁵

- (1. Department of Earth Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China;
2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China;
3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;
4. College of Resources Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;
5. College of Urban and Environmental Sciences, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: The fundamental research of biogeography in China is mainly supported by the National Natural Science Foundation of China in which the Department of Earth Sciences plays a dominant part. In the past few years, the objectives of plant geography study are mainly focused on alpine vegetation as well as arid and semi-arid land vegetation. The relationships between biodiversity, vegetation, alpine timberline and the effect of mountains are the main topics of alpine vegetation study. More and more field work and comparative studies have been conducted on various mountain types and regions. The limitation of water and salt to plants and the adaptation of the physiological and ecological function of these plants to the habitats are the main topics of plant geography study in arid and semi-arid areas. These studies show concerns for a wide range of fields, including plants, populations, biological communities and ecosystems. There are some advances in the studies of biological soil crust as well as of the ecophysiological response and morphological adjustment of desert shrubs with the variation of summer precipitation. However, zoogeography has not been extensively studied as plant geography has in the geographical community of China. In this field much emphasis is placed on soil animals and soil ecological function. Although biogeography study has made much progress in recent years, some curious problems should be solved to promote its development in the future. These problems are as follows. The number of professional researchers of biogeography is too small; potential researchers of biogeography with the background of geography are unlikely to get systematic trainings of biological sciences; the development is not balanced between the sub-branches of biogeography.

Key words: biogeography; plant geography; zoogeography; biological soil crust; desert shrubs; National Natural Science Foundation of China