

北京大学生物地理学与生态学的发展与成就

刘鸿雁, 唐艳鸿

(北京大学城市与环境学院 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 北京大学的生物地理学研究始于1953年成立的植物地理小组, 1991年拓展为景观生态学教研室, 21世纪初发展为生态学系。半个多世纪以来, 依托地理学系(现城市与环境学院), 北京大学生物地理学与生态学研究团队极大地推动了植被结构、功能和动态研究, 在干旱半干旱区、高山林线等关键地区的植物地理学研究方面取得了开创性的成果, 在此基础上有力地推动了以景观生态学和城市生态学为代表的宏观生态学研究。近年来, 围绕全球变化和生物多样性等全球关注的热点问题, 北京大学生物地理学与生态学研究团队在气候变化及生态响应、碳循环、生物多样性、植物化学计量学等前沿方向开展了开创性的工作, 并服务于气候变化的适应对策、生物多样性保护等国家战略。目前, 北京大学生物地理学与生态学研究在软硬件建设方面都取得了长足的进步, 建设了塞罕坝生态站等观测设施和全国树木生长、森林施肥实验、高山林线监测等平台, 形成并延续了国家自然科学基金委“中国陆地植被的格局与功能”创新研究团队。未来将加强不同尺度生态学研究方法的整合, 同时围绕区域生态退化开展生态修复的支撑研究。

关键词: 北京大学; 生物地理学; 生态学; 回顾; 展望

DOI: 10.11821/dlxb201711006

1 发展脉络

1953年, 北京大学地质地理系建立了植物地理学教研小组, 1991年在这个小组的基础上成立了景观生态学教研室, 在国内最早开展宏观生态学研究。陈昌笃、王恩涌、吴荔明、田连恕、黄润华、崔海亭等学术前辈先后在植物地理教学小组和景观生态学教研室工作, 为学科发展做出了贡献。此后, 研究队伍不断扩大, 2002年6月在上述教研室的基础上成立了生态学系, 方精云担任首任系主任。生态学系目前有在职教员15人, 唐艳鸿担任系主任。

经过65年的发展, 特别是近15年来的发展, 北大生物地理学与生态学已经成为国内综合性研究型大学中首批从事各类生态学专门人才培养和生态学基础与应用研究的机构之一。城市与环境学院招收生态学专业和自然地理专业的博士生、生态学专业的硕士生, 2003年开始招收生态学专业本科生。相应地, 研究领域也逐步扩展, 从生理生态学、群落生态学、景观生态学研究到生物多样性、全球变化以及随后开展的碳循环、生态遥感和全球生态模型研究, 代表了从格局到过程, 从区域到全球的发展方向。2011

收稿日期: 2017-10-16; 修订日期: 2017-11-02

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(41325002); 国家自然科学基金创新群体项目(31621091) [Foundation: National Natural Science Funds for Distinguished Young Scholar, No.41325002; National Natural Science Foundation Innovative Team Project, No.31621091]

作者简介: 刘鸿雁(1968-), 男, 湖南茶陵人, 博士, 教授, 中国地理学会会员(S110004401M), 研究方向为植物地理学、第四纪生态学。E-mail: lhy@urban.pku.edu.cn

年,“中国陆地植被时空格局与生态功能”创新研究群体成功获得国家自然科学基金委支持,并延续至今。

2 主要成就

北京大学的植物地理与生态学研究始终围绕植被的结构、功能和动态开展研究,在此基础上面向全球变化应对、生物多样性保护、可持续发展等国家需求开展了理论与应用结合的研究,主要学术成就可以概括为6个方面:

2.1 气候变化及陆地生态系统响应

国际社会对全球变化尤其是对气候变暖及其机制的争论激烈。方精云团队针对这一热点问题开展了较为系统地分析,其部分研究结果以评述论文的形式分别用中英文发表在“中国科学”上(参见“中国科学:地球科学”2011年41卷10期:“全球变暖、碳排放及不确定性”)。该研究在系统梳理气候变化研究进展的基础上,对全球化石燃料碳排放与大气CO₂浓度之间、大气CO₂浓度与温度变化之间的关系进行了分析,认为全球变暖是客观事实,但全球升温幅度存在不确定性;对于全球变暖的机制,归因于人类活动和自然因素的共同影响,但其相对贡献量难以量化。该研究发表后在国际上引起了强烈反响,被多家研究机构和媒体转载或评述。

方精云和朴世龙等较早地开展了气候变化的生态响应研究。方精云团队应用基于遥感观测的CASA模型^[1-4],整合近20年的卫星遥感植被、气候、土壤和太阳辐射等地面观测数据,研究了中国陆地植被的净初级生产力(NPP)的时空变化及其与环境因子的关系,并发展了区域植被动态变化的评价方法。其核心结论是,20世纪80年代初以来,中国植被NPP在波动中呈增加趋势,生长季节的提前是其增加的主要因素;受土地利用和气候变化的影响,NPP的变化存在巨大的空间异质性;在国家尺度,植被活动滞后于温度变化^[1-2,5]。朴世龙团队的研究进一步发现,大气CO₂浓度升高等导致1982年以来全球大部分地区陆地植被生长总体呈增加趋势^[6]。该文章被评为2016年气候变化领域最受媒体关注的10篇文章之一。

另一方面,各种全球变化过程引起的陆地生态系统响应又会通过生物地球物理过程和生物地球化学过程,来反馈调节气候系统,但相关研究非常匮乏。朴世龙团队与欧美科学家合作,首次利用遥感获取的全球植被叶面积数据驱动地球系统模型,并结合理论模型,探讨了植被变化对地表能量平衡的影响。研究发现,过去30年的陆地植被生长活动增强,通过生物地球物理过程减缓了全球气候变暖,其降温效应相当于全球变暖速率观测值的12%。这主要由植被变化所引起的地表蒸腾增强、大气透明度减弱、大气环流变化所致。该成果不仅有助于了解陆地生态系统变化对气候系统的反馈作用,也为应对气候变暖的宏观决策提供了科学依据^[7]。

近年来物候对气候变化的响应研究颇受生态学家关注,已成为全球变化研究领域的一个新热点。朴世龙团队与欧洲科学家合作,利用欧洲物候观测网1245个站点树木春季展叶物候数据,系统地分析了过去30年全球变暖对欧洲温带地区树木展叶物候的影响及其机制。研究发现,较之于20世纪80-90年代,2000年以后树木春季展叶物候对春季温度的敏感性下降了约40%,这意味着植物物候表现出了对气候变暖的适应性。通过理论模型,研究小组进一步证实了这一现象与过去30年植物休眠期温度上升有关。这一成果不仅改变了目前全球变暖将会持续导致植物春季物候提前的普遍观点,而且有助于深入了解植物对气候变化的响应过程及其机制,为利用物候数据准确重建历史气候提供了重要的理论基础^[8]。

朴世龙课题组还在农业植被响应气候变化方面有突破性进展。他应邀在 *Nature* 杂志上发表了综述论文,系统地分析了气候变化对中国农业和水资源的挑战^[9]。近期,朴世龙课题组通过比较全球范围内大田水稻增温实验和3种模型(经验统计模型和基于站点及全球格点尺度的作物过程模型)的模拟结果,发现经验统计模型和全球作物模型可能低估了增温对全球水稻的减产效应。同时,针对不同全球作物模型模拟结果之间存在较大的不确定性,他们首次结合条件概率的方法,估算未来气候变暖对水稻产量的潜在影响。研究结果表明,未来长期温度升高导致全球水稻的潜在减产效应约为 $8\% \text{ K}^{-1[10-11]}$ 。

方精云课题组一直关注湖泊水体对气候变化的响应。早期比较系统地研究了长江中游湖泊的分布、变化及其对生物多样性的可能影响,尤其对洞庭湖和江汉平原的湖泊变迁进行了较为细致的研究^[12]。近年来开展了内蒙古高原湖泊水位变化的研究,通过遥感影像分析发现开矿和农业活动是内蒙古湖泊面积减小和湖泊干涸的主要原因^[13]。刘鸿雁课题组进一步研究了气候变化影响下中国半干旱区湿地的变化,发现了伴随着湖泊水位的下降,盐化草甸取代了沼泽和低地草甸^[14]。

青藏高原生态系统的敏感性是全球关注的热点之一。贺金生研究组在青海海北建立了国际上先进的全球变化研究实验平台,包括“增温—降水”控制实验、草地 N、P、K 养分添加实验、湿地温室气体排放监测平台。课题组通过连续5年的群落调查和生产力测定,研究了高寒草地植物群落生产力对增温和降水改变的响应,探讨了高寒草甸群落稳定性的控制因子,揭示了气候变暖对高寒生态系统生产力稳定性的影响机制^[15]。课题组进一步结合海北高寒草地生态系统国家野外科学观测研究站32年的生物量监测、控制实验和基于青藏高原相关实验的 Meta 分析,发现尽管在过去32年间生物量没有显著变化趋势,但群落物种组成却发生了显著变化,禾草类生物量显著增加,而莎草类显著降低。由于禾草类根系较莎草类根系分布更深,气候变化引起的禾草类增加使得整个生态系统能够在干旱条件下接收到更深层次的土壤水分^[16]。这在机理上解释了为什么尽管高寒草甸经历了急剧的气候变化,但生物量却相对稳定。

2.2 陆地生态系统碳循环

早在21世纪初,方精云课题组构建了中国第一个国家尺度的陆地碳循环模式;其研究方法被广泛应用,同时也为中国参加国际气候变化谈判提供了实质性科学数据。该课题组在国内率先开展了陆地生态系统碳循环的研究:创建了“连续生物量转换因子法”,使复杂的区域森林生物量的估算简单易行^[3, 17-18];建立了整合草场资源清查、野外实测以及卫星遥感数据为一体的草地碳储量的估算方法^[19-20];提出了基于作物产量指标与遥感信息相结合的农作物碳储量的估算方法^[18],为中国陆地碳循环的研究奠定了方法论基础。2009年,研究组又采用多种方法,进一步系统研究了中国陆地生态系统的碳平衡^[21],受到高度关注,并为中国 CO_2 的减排政策提供依据。2011年,作为首席专家组成员,联合美国等多国专家,牵头对世界森林碳收支进行了估算^[22],在世界范围内引起了热议。2014年,方精云课题组还利用日本森林资源清查数据,发现环境变化(主要包括 CO_2 浓度、氮沉降、温度和降水量)显著促进了森林的生长,森林生长对环境变化的响应随森林类型和年龄的变化而不同^[23]。

区域碳源汇的研究一直是碳循环研究的目标。朴世龙等首次采用自上而下的大气反演模型和自下而上的过程模型及地面资料有机结合的途径,阐明了中国陆地生态系统净吸收的二氧化碳量可以部分抵消其工业源排放量^[21],受到高度关注。朴世龙等还首次提出欧亚大陆和北美大陆碳汇形成机制不一样,并阐明了欧亚和北美大陆春季和秋季温度变化的不同格局可能是导致过去20年欧亚大陆植被生长加速比北美更快的主要原因^[24]。

朴世龙课题组还将研究区拓展到热带,探讨了热带地区生态系统碳汇功能年际变化及其与气候之间的关系,发现最近20年热带地区生态系统碳汇的温度敏感性在增加,其敏感程度主要受降水的调节。这一成果不仅有助于了解热带生态系统碳循环对气候变化的响应过程及其机制,而且为准确估算生态系统碳循环和气候变化之间反馈提供了一个重要的理论基础^[25]。

植物凋落物和木质残体是森林生态系统碳储量和碳汇的重要组分,但由于以往数据不足、缺乏有效的研究方法,致使中国森林植物残体碳储量及其变化缺乏准确的估算,从而限制了中国森林生态系统碳收支的全面评估。方精云课题组对中国森林植被、土壤、凋落物和木质残体碳密度进行了系统调查,并结合森林清查和遥感数据,首次量化了中国森林凋落物碳和木质残体的碳储量及其变化,发现其碳储量约为9.3亿t C,并以每年670万t C的速率增长。该成果填补了中国森林生态系统碳收支研究的空白^[26]。此外,王妮课题组还通过建立全球根和叶凋落物分解的数据库,探讨分解速率常数和气候、初始凋落物质量和生物因子的关系。发现温度在调节叶凋落物分解正反馈方面发挥关键作用,粗根的分解较细根更加受到气候因素的影响。该研究首次提出了未来在预测地下碳排放对气候变化响应时,区分粗根和细根的重要性^[27-28]。

土壤呼吸是陆地生态系统碳释放的重要过程。北京大学在土壤碳循环方面也有长期的研究基础。王妮课题组系统研究了温带季节性积雪覆盖生态系统冬季土壤碳排放对年碳排放的贡献,发现冬季土壤碳排放是不可忽视的地气CO₂交换过程^[29],冬季低温下具有更高的土壤微生物生物量和潜在胞外酶活力,土壤微生物区系组成的改变是影响低温条件下土壤碳排放的一个关键驱动因素,这一结果挑战了传统观念。此外,王妮课题组还通过建立全球森林和草地生态系统土壤呼吸的数据库,量化了土壤碳排放对温度和降水变化的响应,发现土壤碳排放随温度升高呈现出线性增长,但随降水的增加呈现非线性响应^[30-31];根系呼吸比微生物呼吸具有更高的温度敏感性,长期以来采用土壤总呼吸的Q₁₀高估了土壤有机质分解对温度变化的敏感性^[31]。贺金生研究组利用先进的土壤呼吸连续监测技术,首次对青藏高原高寒草甸非生长季的土壤呼吸进行了研究,发现尽管非生长季长达半年左右,但高寒草甸非生长季土壤呼吸量为82~89 g C m⁻² yr⁻¹,占全年呼吸总量的11.8%~13.2%。非生长季年土壤呼吸量可以用土壤表层层积温来很好的预测^[32]。

2.3 生物多样性及其保护

物种多样性的大尺度格局及其成因一直吸引着全球的生态学家和生物地理学家,但由于其复杂性,这一问题仍是生态学的未解难题之一。自20世纪90年代中期开始,方精云课题组致力于中国植物多样性分布规律及其机制的研究,整合各类相关项目,克服重重困难,独自发起并实施了一项浩瀚的多样性研究计划——“北京大学山地植物多样性研究计划”(PKU-PSD计划),生态学系多位在职教员,如沈泽昊、唐志尧、郑成洋、吉成均等参与了该计划。通过近20年的艰苦努力,该计划采用统一的研究方法和技术方案,对遍布全国的65座重要山地和约300个草原地点进行了植物多样性和群落结构的系统调查,共获得森林样方1600多个,草地样方1500余个。同时,方精云、王志恒、唐志尧等与全国各地的科研人员合作,建立了含有全部中国木本植物(共11405种)的“中国木本植物分布数据库”,出版了《中国木本植物分布图集》^[33]。基于这些资料,系统研究了中国山地植物多样性分布格局^[34-37]及植物群落的构建机制^[38],初步阐明了中国山地生物多样性分布格局、物种共存与多样性维持机制。该成果在“生物多样性”上面出版了两本专集,在*Ecography*上出版一本专辑,在多样性格局的形成机制方面取得了一系列重要发现。同时,系统地研究了中国木本植物物种多样性的大尺度地理格局及其成因,

检验了生态学代谢理论对木本植物多样性格局的适用性, 揭示了生态学代谢理论的尺度效应, 发展了其理论框架, 创建了多样性—温度—面积的统一机制性模型^[39]。

在生物多样性的热点地区研究方面, 贺金生课题组对青藏高原高寒草地的生物多样性开展了系列研究, 包括植物^[40]、真菌^[41]、土壤动物^[42]等在青藏高原的分布和主要控制因素。研究组进一步利用野外大范围的调查取样, 结合室内高通量测序等技术, 探讨了生态系统中生物因素(植物、动物、细菌、菌根真菌和古菌多样性)和非生物因素(气候和土壤)对生态系统多功能性的相对贡献^[43]。该研究强调了地上与地下生物多样性对生态系统多功能性的联合效应比两者的单独效应更强^[43]。

生物多样性的形成与维持机制是生态学研究的核心议题。传统观点认为生态位分化是物种共存的基础。王少鹏等基于物种谱系年龄与多度关系, 对中性理论进行了分析检验。理论分析表明, 在不同种化模式下, 中性群落中物种年龄与其种群大小(个体数量)呈负相关或无相关。然而, 巴拿马地区 530 个热带树种的谱系年龄和种群大小呈显著的正相关, 从而否定了中性理论的预测。为此, 该研究引入种化速率的种间差异, 对中性模型进行了理论扩展。在扩展模型中, 种化速率低的物种在群落演化中体现出相对优势, 因而具有较大的种群。这最终导致物种年龄与种群大小呈现正相关, 从而对经验格局给出了机制解释^[44]。

唐志尧课题组通过数字化构建了中国现有自然保护区空间数据库, 在此基础上, 利用精确的物种分布数据, 确定了中国生物多样性分布热点地区及保护空白; 通过分析中国木本植物、兰科植物以及生态系统在保护区中的覆盖状况, 评价了中国现有国家级自然保护区对物种多样性与生态系统多样性的体现程度^[45-49]。

2.4 植物化学计量学

植物化学计量学研究是生态系统功能研究的重要途径。早在 1995 年, 方精云在参加中国首次北极科学考察时就开始关注植物和环境中重要化学元素的分布及相互关系。2005 年, 方精云课题组研究发现中国植物叶片的磷含量显著低于世界平均水平, 导致氮磷比显著高于世界平均值; 中国土壤的磷含量低是导致植物氮磷比偏高的主要原因^[50]。基于中国植物多元素地理格局及其生态驱动机制的研究, 方精云课题组通过植物营养生态学研究的一种新方法提出了植物养分平衡假说——“限制元素稳定性假说”(Stability of Limiting Elements Hypothesis)^[50]。该研究不仅揭示了大尺度环境梯度中植物所受的基本生态化学计量(养分平衡)的限制, 在植物营养领域也有潜在的应用价值。

方精云课题组还将植物化学计量研究由陆地拓展到水体。通过综合全球数据, 发现在氮磷等化学物质的过量输入和复杂的生物地球化学循环过程的共同作用下, 人为活动引起的富营养化导致了淡水水体和水生植物的氮磷含量的增加, 却降低了它们的氮磷比值。这些结果表明人为活动可以改变淡水生态系统的限制因子, 进而影响到淡水生态系统的结构、功能和动态。通过淡水径流输送的方式, 潜在地影响到河口和滨海地区的食物网结构或养分循环。该研究强调了养分管理工作的重要性, 并对控制和治理富营养化具有启示意义^[51]。

唐志尧课题组则将植物化学计量学研究在不同的生命组建水平进行了拓展, 通过大量调查和实测数据, 研究了中国主要陆地植物不同器官之间化学计量特征的关系^[52-54], 并首次开展了群落层次的植物化学计量特征大尺度格局研究^[55]。

2.5 植物地理学研究

北京大学的植被地理学研究具有良好的传统, 尤其是在干旱半干旱区植被地理的研究方面做出了开创性的工作。早在 1961-1965 年, 北京大学自然地理专业组织了毛乌素沙

区自然条件及其改良利用综合考察,陈昌笃负责完成了《毛乌素沙区植被与植物资源》考察报告^[56]。该报告系统地总结了毛乌素沙区的植物区系、植物群落类型、植被演替规律,探讨了植被的水平和垂直分布规律,明确指出了巴彦淖—盐场堡一线为荒漠草原和典型草原的分界线^[57]。20世纪70年代末以来,北京大学植物地理小组系统地开展了新疆的荒漠和草原植被研究。陈昌笃系统地总结了中国的荒漠类型,首次从气候—植被—土壤系统的角度提出了中国的荒漠存在三种主要类型:半荒漠(或草原化荒漠)、普通荒漠(或典型荒漠)、极旱荒漠,并划定了其分布界限^[58]。北京大学植物地理小组还对中国典型荒漠和极旱荒漠的植物区系和群落特征进行了较为系统的研究^[58-60]。崔海亭等参与了内蒙古草场资源遥感应用研究,这是中国最早的生态遥感研究之一。有关干旱、半干旱区的植物地理研究一直得到了延续,刘鸿雁课题组系统地研究了中国北方林草交错带的植被格局与成因^[61-63]。

北京大学植物地理学另一重要的贡献是以林线(高山林线和干旱林线)作为突破口,通过引入孢粉和树木年轮等手段,将植物地理格局与植被历史演化结合起来,在国内率先提倡第四纪生态学研究,从而实现了植物地理学研究与全球变化研究的有机结合^[64]。作为森林生长的极限,林线对气候变化敏感,在全球变化研究中备受关注。早在20世纪80年代,崔海亭提出了高山林线植被的判定标志^[65];90年代开始,崔海亭组织了太白山、五台山高山林线的研究,出版了专著《山地生态学与高山林线研究》^[66]。此后,刘鸿雁等进一步研究了天山、阿尔泰山的高山林线,并探讨了高山林线的森林生长与更新^[67-68]。在高山林线的植被演化方面,提出了东亚夏季风的强弱决定林线植被组成的演化而冬季风的强弱则影响了林线的位置变化^[69]。有关林草交错带的研究也一直延续下来并与全球变化研究结合^[70]。刘鸿雁等对亚洲内陆地区林草交错带(干旱林线)树木生长的系统总结表明,半干旱区树木生长因为生长季前期和初期的干旱自1994年以来出现了显著的生长衰退以至普遍的森林死亡,而在半湿润区则不出现这一现象^[71],该研究被广泛引用并收入IPCC第五次评估报告。基于沉积物孢粉和炭屑的分析,刘鸿雁课题组提出了火等干扰因素在林草交错带植被动态中的决定性作用^[72],据此解释了植被动态对气候变化非线性响应的成因,对预测未来全球变化背景下敏感地区森林的动态具有重要意义^[73]。

在植被—气候关系和植被区划方面,方精云等也提出了创新性的观点。在早期系统地研究了中国植被—气候关系的基础上^[74],他指出了秦岭—淮河一线作为暖温带和亚热带界限是不合理的^[75]。由于温度和降水具有类似的梯度变化,降水也影响到植被的温度地带性。从植被性质以及水热条件来看,长江一线作为中国东部地区亚热带和暖温带的界限具有合理性^[75]。

在植被地理学研究开拓创新的同时,北京大学研究团队坚持在关键地区开展大规模植被调查。半个多世纪以来,在沙地和沙漠植被、山地植被方面积累了大量的基础资料。自2011年以来,刘鸿雁负责领导了十所高校和研究所完成了科技部基础性工作专项“华北地区自然植物群落资源综合考察”,对广义的华北地区的植物群落进行了全面清查、精查和基准点调查,完成植物群落样方10000余个,全面评价了华北地区的植物资源分布及保护利用现状,正在出版著作《华北地区植物群落图志》。方精云、唐志尧、吉成均、郑成洋、朱江玲等参加了该项目。21世纪初以来,沈泽昊课题组全面开展了中国西南干热河谷植物地理学研究,系统地揭示了区域植被和生物多样性格局,探讨了其成因,相关研究成果在《生物多样性》上出版专辑^[76]。除了大规模的野外调查以外,一些新的手段也被引入植物地理学研究,方精云课题组利用星载激光雷达数据,揭示了全球森林冠层高度的地理分布,发现水分是森林高度的主要决定因素^[77]。

2.6 景观生态学与城市生态学

陈昌笃是中国最早倡导景观生态学的学者之一^[78-79]。早在 20 世纪 80 年代, 陈昌笃连续发表了《论地生态学》和《再论地生态学》, 提出了将生态学划分为生物生态学、地生态学、全球生态学的三分法, 并指出三类生态学代表三个空间水平。他进一步提出了地生态研究的 8 个核心问题: 人工生态系统研究、生物指示现象研究、地生态学制图、生态监测、生态预测、生态规划与设计、生态影响评价。他也最早将地生态学的思想应用于城市化等领域^[80]。

过去 20 多年以来, 北京大学景观生态教研室(现生态学系)的师生一直活跃在景观生态学的前沿。曾辉课题组利用遥感、GIS 结合模型方法, 对中国发达地区快速城市化过程的景观动态、机制及其生态效应进行了创新性研究; 其对城乡混合景观动态过程的生态效应的深入研究, 是国内城市景观生态研究领域中的代表性工作^[81]。进入 21 世纪, 随着中国快速城市化和工业化过程的不断推进, 曾辉课题组利用景观生态学基本理论和方法, 开展高强度人为活动区域的生态评价、规划和设计, 为地区社会经济发展提供科学决策依据, 成为北京大学景观生态学研究的一个新的学科发展亮点。山地是中国自然景观的重要特征, 沈泽昊课题组长期研究山地地形复杂性对森林火烧、植物种子扩散与更新动态等空间过程的影响^[82]及其对生物多样性格局的多尺度效应^[83-84], 形成了以山地景观生态为特色的研究方向。

3 学科发展和国际影响

20 世纪 70 年代末期至 90 年代初期, 陈昌笃和崔海亭分别开展干旱区和半干旱区植物地理学研究, 在新疆干旱区的植物区系和植被地理、内蒙古草地资源的遥感研究、北方生态过渡带研究方面做出了突出贡献。1991 年, 以陈昌笃和崔海亭为主要学术带头人, 成立了中国高等院校中的第一个景观生态研究室; 在国内率先倡导开展景观生态学、城市生态学、全球生态学研究, 推动了宏观生态学研究的发展; 并在生物多样性和生态遥感研究领域亦做出突出贡献。陈昌笃曾担任第四届中国生态学会理事长, 在任期间大力推动生态学的理论为可持续发展的实践服务。

20 世纪 90 年代末以来, 通过有效的人才引进, 北京大学不但保持了传统研究领域的优势, 还开辟了一系列与国际前沿接轨的新兴研究方向。学术带头人方精云在国内较早地开展了植被与气候关系的定量化研究; 最早系统地开展了陆地生态系统碳循环的研究。近年来, 方精云领导的研究小组在中国陆地生态系统碳循环和植被生产力方面的研究取得突破性进展, 在国际国内学术界和社会产生了重大影响。朴世龙教授围绕全球变化的生态响应在国际顶尖刊物发表了一系列论文, 产生了广泛的国际影响, 其成果曾被评为“中国高校十大科技进展”。

按照基本科学指标数据库(Essential Science Indicators, ESI)的统计, 北京大学生态学与环境科学的学科排名在全球居前 0.4%, 进入世界一流行列。北大的生态学科与国际著名高校和研究机构有着广泛的合作关系。

4 对国家需求的贡献

北京大学的相关研究工作在气候变化、生物多样性保护、可持续发展等方面始终结合国家需求。在气候变化的应对方面, 方精云参与了对 IPCC 报告的独立调查, 此项工作

不仅对联合国和科学界产生了重要的影响,有助于中国气候变化适应对策的制定。此外,受中国科学院咨询与评议委员会的委托,方精云团队对中国及世界主要国家的碳排放形势进行了深入细致的分析和预测,针对哥本哈根气候谈判,向国务院提交了建议书,就中国政府应采取的立场和应对策略提出了相关建议。建议书引起了中央政府的高度重视,为解决国家重大战略需求发挥了作用。在自然保护方面,由陈昌笃教授主持编撰的一系列关于生物多样性保护文件,如《中国自然保护纲要》^[85]、《中国生物多样性国情咨询报告》^[86],已成为中国生物多样性保护的纲领性文件。在可持续发展的研究方面,早期崔海亭等参与的内蒙古草场资源综合调查与制图、“三北防护林”遥感应用研究获得了国家科技进步三等奖(集体)、教育部和内蒙古自治区的科技进度一等奖,近年来曾辉等相关研究团队曾先后承担了一大批国家和地方的重要科研生产项目,先后6次获得省部级以上的各类科研奖励。

5 未来展望

经过半个多世纪,尤其是最近15年的建设,北京大学的植物地理学研究不仅自身得到了迅速发展,而且推动了生态学的发展。生态学研究的硬件条件得到了根本改善,为学科的未来发展创造了条件。目前已具备植物生理生态学、树轮生态学、植物化学、古生态学等实验条件,群落、景观和生态系统生态学的模型模拟条件。作为北京大学“地表过程与分析模拟教育部重点实验室”的一部分,具备先进的生态学过程分析的实验条件,建设了塞罕坝生态站等观测设施和全国树木生长、森林施肥实验平台,正在建设高山林线监测等平台。

未来的学科发展将紧密结合学科前沿和国家需求,加强一流学科建设。中国得天独厚的自然地理条件和丰富的动植物资源为生物地理学和生态学研究提供了广阔的平台,同时,中国快速经济发展导致的一系列生态与环境问题也为生态学研究带来迫切的需求和巨大的挑战。北京大学未来的生态学研究将充分利用中国的自然研究平台,密切结合社会经济发展中的生态与环境问题,以过去特别是近期的研究积累为基础,加强不同尺度生态学研究方法的整合,重视生态系统与生物多样性理论研究,深化机理机制研究,同时围绕区域生态退化开展生态修复的应用研究。

参考文献(References)

- [1] Fang J Y, Piao S L, Field C, et al. Increasing net primary production in China from 1982 to 1999. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2003, 1(6): 293-297.
- [2] Piao S L, Fang J Y, Ji W, et al. Interannual changes in monthly and seasonal NDVI in China from 1982 to 1999. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, 2003, 108(D14): 4401. doi: 10.1029/2002JD002848.
- [3] Piao S L, Fang J Y, Liu H Y, et al. NDVI-indicated decline in desertification in China in the past two decades. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32: L06402. doi: 10.1029/2004GL021764.
- [4] Piao S L, Fang J Y, He J S. Variations in vegetation net primary production in the Qinghai-Xizang Plateau, China, from 1982 to 1999. *Climatic Change*, 2006, 74: 253-267.
- [5] Fang J Y, Piao S L, He J S. Increasing terrestrial vegetation activity in China, 1982-1999. *Science China Life Science*, 2004, 47: 229-240.
- [6] Zhu Z C, Piao S L, Myneni R B, et al. Greening of the earth and its drivers. *Nature Climate Change*, 2016, 6: 791-795.
- [7] Zeng Z, Piao S L, Li, Li Z X, et al. Climate mitigation from vegetation biophysical feedbacks during the past three decades. *Nature Climate Change*, 2017, 7(6): 432-436.
- [8] Fu Y S, Zhao H F, Piao S L, et al. Declining global warming effects on the phenology of spring leaf unfolding. *Nature*, 2015, 526: 104-107.

- [9] Piao S L, Ciais P, Huang Y. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 2010, 467: 43-51.
- [10] Zhao C, Piao S L, Huang Y, et al. Field warming experiments shed light on the wheat yield response to temperature in China. *Nature Communications*, 2016, 7: 13530. doi: 10.1038/ncomms13530.
- [11] Zhao C, Liu B, Piao S L, et al. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *PNAS*, 2017, 114(35): 9326-9331.
- [12] Zhao S Q, Fang J Y, Miao S L, et al. The 7-decade degradation of a large freshwater lake in Central Yangtze River, China. *Environmental Science & Technology*, 2005, 39: 431-436.
- [13] Tao S L, Fang J Y, Zhao X, et al. Rapid loss of lakes on the Mongolian Plateau. *PNAS*, 2015, 112: 2281-2286.
- [14] Liu H Y, Yin Y, Piao S L, et al. Disappearing lakes in semiarid northern China: Drivers and environmental impact. *Environmental Science & Technology*, 2013, 47: 12107-12114.
- [15] Ma Z Y, Liu H Y, Mi Z R. Climate warming reduces the temporal stability of plant community biomass production. *Nature Communications*, 2017, 8: 15378. doi: 10.1038/ncomms15378.
- [16] Liu H Y, Mi Z R, Lin L, et al. Shifting plant species composition in response to climate change stabilizes grassland primary production. *PNAS*, 2017. doi: 10.1073/pnas.1700299114. (in press)
- [17] Fang J Y, Chen A P, Peng C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, 292: 2320-2322.
- [18] Fang J Y, Song Y C, Liu H Y, et al. Vegetation-climate relationship and its application in the division of vegetation zone in China. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44: 1105-1122.
- [19] Fang J Y, Piao S L, Zhou L, et al. Precipitation patterns alter growth of temperate vegetation. *Geophysical Research Letters*, 2005, 322 (21), 365-370.
- [20] Piao S L, Friedlingstein P, Ciais P, et al. Climate and land use changes have a larger direct impact than rising CO₂ on global river runoff trends. *PNAS*, 2007, 104: 15242-15247.
- [21] Piao S L, Fang J Y, Ciais P, et al. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. *Nature*, 2009, 458: 1009-1013.
- [22] Pan Y, Birdsey B, Fang J Y, et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 2011, 333: 988-993.
- [23] Fang J Y, Kato T, Guo Z, et al. Evidence for environmentally enhanced forest growth. *PNAS*, 2014, 111: 9527-9532.
- [24] Peng S S, Piao S L, Ciais P, et al. Asymmetric effects of daytime and night-time warming on Northern Hemisphere vegetation. *Nature*, 2013, 501: 88-92.
- [25] Wang X H, Piao S L, Ciais P, et al. A two-fold increase of carbon cycle sensitivity to tropical temperature variations. *Nature*, 2014, 506, 212-215.
- [26] Zhu J X, Hu H F, Tao S L, et al. Carbon stocks and changes of dead organic matter in China's forests. *Nature Communication*, 2017, 8: 151. doi: 10.1038/s41467-017-00207-1.
- [27] Zhang X Y, Wang W. The decomposition of fine and coarse roots: their global patterns and controlling factors. *Scientific Reports*, 2015, 5: 9940. doi: 10.1038/srep09940.
- [28] Zhang X Y, Wang W. Control of climate and litter quality on leaf litter decomposition in different climatic zones. *Journal of Plant Research*, 2015, 128(5): 791-802.
- [29] Wang W, Peng S H, Wang T, et al. Winter soil CO₂ efflux and its contribution to annual soil respiration in different ecosystems of a forest-steppe ecotone, North China. *Soil Biology & Biochemistry*, 2010, 42(3): 451-458.
- [30] Wang W, Chen W L, Wang S P. Forest soil respiration and its heterotrophic and autotrophic components: Global patterns and responses to temperature and precipitation. *Soil Biology & Biochemistry*, 2010, 42(8): 1236-1244.
- [31] Wang W, Fang J Y. Soil respiration and human effects on global grasslands. *Global and Planetary Change*, 2009, 67(1/2): 20-28.
- [32] Wang Y H, Liu H Y, Chung H, et al. Non-growing-season soil respiration is controlled by freezing and thawing processes in the summer-monsoon dominated Tibetan alpine grassland. *Global Biogeochemical Cycles*, 2014, 28: 1081-1095.
- [33] Fang Jingyun, Wang Zhiheng, Tang Zhiyao. Atlas of Woody Plants in China. Beijing: Higher Education Press. [方精云, 王志恒, 唐志尧. 中国木本植物分布图集. 北京: 高等教育出版社, 2009.]
- [34] Fang J Y, Shen Z H, Tang Z Y, et al. Forest community survey and the structural characteristics of forests in China. *Ecography*, 2012, 35: 1059-1071.
- [35] Shen Z H, Fei S L, Feng J M, et al. Geographical patterns of community-based tree species richness in Chinese mountain forests: The effects of contemporary climate and regional history. *Ecography*, 2012, 35: 1134-1146.

- [36] Tang Z Y, Fang J Y, Chi X L, et al. Geography, environment, and spatial turnover of species in China's grasslands. *Ecography*, 2012, 35: 1103-1109.
- [37] Tang Z Y, Fang J Y, Chi X L, et al. Patterns of plant beta-diversity along elevational and latitudinal gradients in mountain forests of China. *Ecography*, 2012, 35: 1083-1091.
- [38] Qiao X J, Jabot F, Tang Z Y, et al. A latitudinal gradient in tree community assembly processes evidenced in forests of China. *Global Ecology and Biogeography*, 2015, 24: 314-323.
- [39] Wang Z H, Brown J H, Tang Z Y, et al. Temperature dependence, spatial scale, and tree species diversity in eastern Asia and North America. *PNAS*, 2009, 106: 13388-13392.
- [40] Ma W H, He J S, Yang Y H. Environmental factors co-vary with plant diversity-productivity relationships among Chinese grassland sites. *Global Ecology and Biogeography*, 2010, 19: 233-243.
- [41] Yang T, Adams J, Shi Y, et al. Soil fungal diversity in natural grasslands of the Tibetan Plateau: Associations with plant diversity and productivity. *New Phytologist*, 2017. doi: 10.1111/nph.14606.
- [42] Zhao K, Jing X, Sanders N J, et al. On the controls of abundance for soil-dwelling organisms on the Tibetan Plateau. *Ecosphere*, 2017, 8(7): e01901. doi: 10.1002/ecs2.1901.
- [43] Jing X, Sanders N J, Shi Y, et al. The links between ecosystem multifunctionality and above- and belowground biodiversity are mediated by climate. *Nature Communications*, 2015, 6(6): 8159. doi: 10.1038/ncomms9159.
- [44] Wang S P, Chen A P, Fang J Y, et al. Why abundant tropical tree species are phylogenetically old. *PNAS*, 2013, 110(40): 16039-16043.
- [45] Tang Z Y, Wang Z H, Zheng C Y, et al. Biodiversity in China's mountains. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2006, 4: 347-352.
- [46] Zhang Z J, He J S, Li J S, et al. Distribution and conservation of threatened plants in China. *Biological Conservation*, 2015, 192: 454-460.
- [47] Zhang Z J, Yan Y J, Tian Y, et al. Distribution and conservation of orchid species richness in China. *Biological Conservation*, 2015, 181: 64-72.
- [48] Yan Y J, Li Y, Wang W J, et al. Range shifts in response to climate change of *Ophiocordyceps sinensis*, a fungus endemic to the Tibetan Plateau. *Biological Conservation*, 2017, 206: 143-150.
- [49] Chi X L, Zhang Z J, Xu X T, et al. Threatened medicinal plants in China: distributions and conservation priorities. *Biological Conservation*, 2017, 210: 89-95.
- [50] Han, W X, Fang J Y, Guo D L, et al. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 753 terrestrial plant species in China. *New Phytologist*, 2005, 168: 377-385.
- [51] Yan Z B, Han W X, Penuelas J, et al. Phosphorus accumulates faster than nitrogen globally in freshwater ecosystems under anthropogenic impacts. *Ecology Letters*, 2016, 19(10): 1237-1246.
- [52] Yang X, Tang Z Y, Ji C J, et al. Scaling of nitrogen and phosphorus across plant organs in shrubland biomes across Northern China. *Scientific Reports*, 2014, 4: 5448.
- [53] Yang X, Chi X L, Liu H Y, et al. Variations of leaf N, P concentrations in shrubland biomes across northern China: phylogeny, climate and soil. *Biogeosciences*, 2016, 12(22): 18973-18998.
- [54] Guo Y P, Yang X, Schöb C, et al. Legume shrubs are more nitrogen-homeostatic than non-legume shrubs. *Frontiers in Plant Sciences*, 2017, 8: 1662. doi: 10.3389/fpls.2017.01662.
- [55] Tang Z Y, Xu W T, Zhou G Y, et al. Patterns of plant carbon, nitrogen and phosphorus concentration in relation to productivity in China's terrestrial ecosystems. *PNAS*, 2017. doi: 10.1073/pnas.1700295114.
- [56] Department of Geography, Peking University. *Natural Features and Rehabilitation of Mu Us Sandy Land*. Beijing: Science Press, 1983. [北京大学地理系. 毛乌素沙区自然条件及其改良利用. 北京: 科学出版社, 1983.]
- [57] Chen Changdu. Where is the middle part of border between typical steppe and desert steppe subzones (Ordos). *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1964, 2(1): 143-150. [陈昌笃. 我国典型草原亚地带和荒漠草原亚地带中段(鄂尔多斯地区)的界限在哪里? 植物生态学与地植物学丛刊, 1964, 2(1): 143-150.]
- [58] Chen Changdu. Desert vegetation and its economic development. *Acta Phytocologica Sinica*, 1987, 11(2): 81-91. [陈昌笃. 中国的荒漠植被与经济开发. 植物生态学报, 1987, 11(2): 81-91.]
- [59] Chen Changdu, Zhang Liyun, Hu Wenkang. Fundamental features of psammophytic plant communities, flora and distribution in Gurban Tunggut Desert. *Acta Phytocologica Sinica*, 1983, 7(2): 89-99. [陈昌笃, 张立运, 胡文康. 古尔班通古特沙漠的沙地植物群落、区系及其分布的基本特征. 植物生态学报, 1983, 7(2): 89-99.]
- [60] Liu H Y, Xu L H, Cui H T, et al. Vegetation pattern and conservation strategy of the extremely-arid desert of Anxi

- region, NW China. *Journal of Environmental Sciences*, 2002, 14(3): 380-387.
- [61] Liu H Y, Xu L H, Cui H T, et al. Holocene history of desertification along the woodland-steppe border in northern China. *Quaternary Research*, 2002, 57: 259-270.
- [62] Liu H Y, He S Y, Anenkhonov O, et al. Topography-controlled soil water content and the coexistence of forest and steppe in northern China. *Physical Geography*, 2012, 33: 561-573.
- [63] Qiu S, Liu H Y, Zhao F J, et al. Inconsistent changes of biomass and species richness along a precipitation gradient in temperate steppe. *Journal of Arid Environments*, 2016, 132: 42-48.
- [64] Liu Hongyan. *Quaternary Ecology and Global Change*. Beijing: Science Press, 2002. [刘鸿雁. 第四纪生态学与全球变化. 北京: 科学出版社, 2002.]
- [65] Cui Haiting. On the discrimination of alpine and subalpine zones on mountains in North China. *Chinese Science Bulletin*, 1983, 28(8): 494-497. [崔海亭. 关于华北山地高山带和亚高山带的划分问题. 科学通报, 1983, 28(8): 494-497.]
- [66] Cui Haiting, Liu Hongyan, Dai Junhu. *Mountain Ecology and Alpine Timberline Research*. Beijing: Science Press, 2002. [崔海亭, 刘鸿雁, 戴君虎. 山地生态学与高山林线研究, 北京: 科学出版社, 2002.]
- [67] Wu X C, Liu H Y, He L B, et al. Stand-total tree-ring measurements and forest inventory documented climate-induced forest dynamics in the semi-arid Altai Mountains. *Ecological Indicators*, 2014, 34: 231-241.
- [68] Qi Z H, Liu H Y, Wu X C, et al. Climate-driven speedup of alpine treeline forest growth in the Tianshan Mountains, Northwestern China. *Global Change Biology*, 2015, 21: 816-826.
- [69] Cheng Y, Liu H Y, Wang H Y. Contrasting effects of winter and summer climate on alpine timberline evolution in monsoon-dominated East Asia. *Quaternary Science Review*, 2017, 169: 278-282.
- [70] Liu H Y, Piao S L. Drought threatened semi-arid ecosystems in the Inner Asia. *Agricultural and Forestry Meteorology*, 2013, 178/179: 1-2.
- [71] Liu H Y, Williams A P, Allen C D, et al. Rapid warming accelerates tree growth decline in semi-arid forests of Inner Asia. *Global Change Biology*, 2013, 19: 2500-2510.
- [72] Yin Y, Liu H Y, Hao Q. The role of fire in the late Holocene forest decline in semi-arid North China. *The Holocene*, 2016, 26(1): 93-101.
- [73] Liu H Y, Yin Y, Hao Q, et al. Sensitivity of temperate vegetation to Holocene development of East Asian monsoon. *Quaternary Science Reviews*, 2014, 98: 126-134.
- [74] Fang Jingyun. *Global Ecology: Climate Change and Ecological Response*. Beijing: Higher Education Press, 2002. [方精云. 全球生态学: 气候变化与生态响应. 北京: 高等教育出版社, 2002.]
- [75] Fang, J Y, Liu H Y, Piao S L. Vegetation-climate relationship and its application in vegetation regionalization in China. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(9): 1105-1122.
- [76] Shen Zehao. Plant diversity in the dry valleys of Southwest China: Spatial deviation and determinants for flora and plant communities. *Biodiversity*, 2016, 24(4): 363-366. [沈泽昊. 中国西南干旱河谷的植物多样性: 区系和群落结构的空间分异与成因. 生物多样性, 2016, 24(4): 363-366.]
- [77] Tao S L, Guo Q H, Li C, et al. Global patterns and determinants of forest canopy height. *Ecology*, 2016, 97: 3265-3270.
- [78] Chen Changdu. On geoecology. *Acta Ecologica Sinica*, 1986, 6(4): 289-294. [陈昌笃. 论地生态学. 生态学报, 1986, 6(4): 289-294.]
- [79] Chen Changdu. Theoretical development and application of landscape ecology.//Ma Shijun. *Development Strategy Research of Ecology in China: Vol. 1*. Beijing: China Economic Press, 1991. [陈昌笃. 景观生态学的理论发展与实际应用//马世骏. 中国生态学发展战略研究: 第一集. 北京: 中国经济出版社, 1991.]
- [80] Chen Changdu. Urbanization and its development trend in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(4): 84-89. [陈昌笃. 中国的城市化及其发展趋势. 生态学报, 1991, 11(4): 84-89.]
- [81] Sui D Z, Zeng H. Modeling the dynamics of landscape structure in Asia's emerging Desakota regions: A case study in Shenzhen. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 53: 37-52.
- [82] Han J, Shen Z H, Ying L X. Early post-fire regeneration of a fire-prone subtropical *Pinus* mixed forest in Yunnan, southwest China: the effects of pre-fire vegetation, fire severity and topographic factors. *Forest Ecology & Management*, 2015, 356: 31-40.
- [83] Yang Y, Shen Z H, Han J, et al. Plant diversity along the eastern and western slopes of Baima Snow Mountain, China. *Forests*, 2016, 7: 89-105.
- [84] Xu Y, Shen Z H, Wang Z H, et al. Hotspot analyses indicate substantial conservation gaps for evergreen broadleaved

woody plants in China. Scientific Report, 2017, 7: 1859. doi: 10.1038/s41598-017-02098-0.

- [85] Editorial Board of "China Conservation Strategy". China Conservation Strategy. Beijing: China Environmental Science Press, 1987. [《中国自然保护纲要》编写委员会. 中国自然保护纲要. 北京: 中国环境科学出版社, 1987.]
- [86] Compilation Group of "China's Biodiversity: A Country Study". China's Biodiversity: A Country Study. Beijing: China Environmental Science Press, 1998. [《中国生物多样性保护国情研究报告》编写组. 中国生物多样性保护国情研究报告. 北京: 中国环境科学出版社. 1998.]

Development and achievements of biogeography and ecology at Peking University

LIU Hongyan, TANG Yanhong

(MOE Laboratory for Earth Surface Process, College of Urban and Environmental Sciences,
Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The biogeography research at Peking University commenced in the late 1950s with formation of a Plant Geography Group. It was expanded to the Teaching and Research Section of Landscape Ecology in the late 1980s and further grown into the Department of Ecology at the beginning of the 21st century. As a part of the Department of Geography (Now College of Urban and Environmental Sciences, Peking University), biogeographical and ecological research team of Peking University has greatly improved the research of vegetation structure, function and dynamics with efforts of more than half a century. It has made pioneering achievements on research about plant geography in arid and semiarid areas, timberline and other ecologically important areas. It is among the first institutions in the country to promote macro-ecology including landscape ecology and urban ecology. In recent years, the Peking University research team has carried out pioneering work on global change studies, including climate change and ecological response, carbon cycle, biodiversity conservation, plant stoichiometry, serving the country's policy of mitigating and adapting climate change and conserving biodiversity. Research facilities of Peking University biogeography and ecology team have renewed and built over the last years. The construction of observation facilities in Saihanba Ecological Station, the platforms of forest fertilization experiment, and timberline monitoring strongly enhance the ability of biogeographical and ecological studies. The National Natural Science Foundation Innovation Research Team "Structure and function of terrestrial vegetation in China" has played a role of research integration. In the future, the integration of different scales of ecological research will be strengthened and ecological degradation and restoration will be promoted.

Keywords: Peking University; biogeography; ecology; retrospect; prospect