

国际景观生态学研究新进展

傅伯杰, 吕一河, 陈利顶, 苏常红, 姚雪玲, 刘 宇

(中国科学院生态环境研究中心 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要:20 世纪 90 年代中期以来, 国际景观生态学发展迅速。景观生态学研究最为活跃的地区集中在北美、欧洲、大洋洲(澳大利亚)、东亚(中国), 表明景观生态学理论、方法和应用的广泛性和越来越高的认知度。从研究内容上看, 景观生态评价、规划和模拟一直占据主导地位, 其次是景观生态保护与生态恢复、景观生态学的理论探讨。随着景观生态学研究的深入, 以科学和实践问题为导向的学科交叉与融合不断加强, 促进了景观生态学新的学科生长点的形成和发展, 主要包括水域景观生态学、景观遗传学、多功能景观研究、景观综合模拟、景观生态与可持续性科学。在全球化背景下, 中国的景观生态学研究也已经取得了长足进展, 国际同行开始关注并在重要学术刊物上评介中国的景观生态学研究, 标志着中国景观生态学已逐步走上国际舞台。然而, 中国景观生态学进一步发展的挑战和机遇并存。中国科学家需要抓住人类对可持续发展和可持续性科学的共同夙求, 放眼国际前沿、服务本土需求, 从中国自身的特色出发, 关注受人类干扰的和以人为主导的景观, 以景观格局与生态过程的多尺度、多维度耦合研究为核心, 区域综合与区内分异并重, 推动综合整体性景观生态学的建立和完善。

关键词:景观生态学; 多功能景观; 景观模型; 可持续性科学

文章编号: 1000-0933(2008)02-0798-07 中图分类号: Q149 文献标识码: A

The latest progress of landscape ecology in the world

FU Bo-Jie, LÜ Yi-He, CHEN Li-Ding, SU Chang-Hong, YAO Xue-Ling, LIU Yu

State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China
Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 0798 ~ 0804.

Abstract: Landscape ecology has experienced tremendous progress internationally since the mid 1990s. The hotspots for landscape ecological research locate mainly in North America, Europe, Oceania (Australia), and East Asia (China). These indicate high acceptance and wide applicability of landscape ecology at the global scale. The dominant research contents of contemporary landscape ecology are landscape assessment/evaluation, landscape planning, and landscape modeling, followed by landscape conservation and ecological restoration, and discussions on the theoretical issues of landscape ecology. With the advancement of landscape ecology, interdisciplinary research has been improved, which facilitates the establishment and development of new growth points in landscape ecology including fluvial landscape ecology, landscape genetics, multifunctional landscape studies, integrative landscape modeling, and landscape sustainability science. In globalizing context, great progress has also been achieved on landscape ecological research in China. International colleague has come to notice and review the development of landscape ecology in China via international journals indicating the coming of an international status for Chinese landscape ecology. However, there are both challenges and opportunities for further development of landscape ecology in China. Chinese scientists need to pay attention to the global pursuit for sustainable development and sustainability science, scan widely the landscape ecology frontiers, and serve

基金项目: 国家自然科学基金创新研究群体资助项目(40621061); 国家自然科学基金资助项目(40571005)

收稿日期: 2008-01-09; 修订日期: 2008-01-11

作者简介: 傅伯杰(1958~), 陕西咸阳人, 博士, 研究员, 主要从事景观生态学理论及应用研究. E-mail: bfu@rcees.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by the National Natural Science Foundation of China(No. 40621061 and 40571005)

Received date: 2008-01-09; **Accepted date:** 2008-01-11

Biography: FU Bo-Jie, Ph. D., Professor, mainly engaged in research on theory and applications of landscape ecology. E-mail: bfu@rcees.ac.cn

for domestic needs in local, national and international affairs on nature-society interactions and sustainable development. Holistic and integrative landscape ecology needs to be established and improved with multi-scale and multidimensional researches on landscape pattern-ecological process interactions as the core themes with equal attention to regional differentiation and cross regional integration. The biophysical and socioeconomic background in China should be fully considered in landscape ecological research. Much importance, therefore, need to be attached on human-disturbed and human-dominated landscapes.

Key Words: landscape ecology; multifunctional landscape; landscape modeling; sustainability science

国际景观生态学协会(IALE)于1982年成立,自此全球景观生态学领域的科技工作者有了自己专门的学术组织,标志着景观生态学新的发展阶段的到来。2007年7月在荷兰的瓦赫宁根召开了主题为“25年的景观生态学:科学原理的实践运用”的第七届国际景观生态学大会,回顾和展示景观生态学在理论、方法和应用方面的成就,并充分研讨景观生态学的未来发展。2007年11月,由国际景观生态学协会中国分会发起,多家单位共同主办和承办的第五届全国景观生态学学术研讨会在北京成功举办,从景观格局变化机制与效应、景观生态评价与规划、生物多样性保护与生态恢复以及景观生态学的理论与方法4个方面就全球化背景下的中国景观生态学发展进行了充分交流。本文通过分析近10年国际景观生态学的进展,简要评述了总体发展态势,介绍了景观生态学的几个新的学科生长点,探讨了新时期中国景观生态学发展所面临的挑战和机遇。

1 国际景观生态学的总体发展态势

景观生态学作为生态学和环境科学领域的一门新兴综合交叉学科,从其诞生到现在,已有60余年的时间。但是直到20世纪80年代,这门学科才逐渐获得了蓬勃发展^[1]。尽管景观生态学在学科特性和理论体系等方面还不够完善,一些争论尚存,但是其原理和方法已经应用到许多领域,尤其在环境科学研究与实践发挥着重要作用^[2]。

欧洲和北美的景观生态学研究基本上引领了国际景观生态学的发展方向。景观生态学起源于欧洲,关注的重点从土地利用规划和设计逐渐扩展到资源开发与管理、生物多样性保护等领域,在理论上强调景观的多功能性、综合整体性、景观与文化的协同,并提出了整体性景观生态学的概念框架^[3~6]。北美的景观生态学在欧洲的影响下,从20世纪80年代初开始发展,并逐渐形成注重数量化和模型建设以及自然景观研究的特色^[7]。尽管欧洲和北美两大学派在发展过程中由于所关注的对象、解决问题的方法等方面的差异而表现出鲜明的个性,但是二者也在不断地相互影响、相互渗透,推动着景观生态学学科体系的不断发展和完善^[8]。从20世纪90年代中期以来的10余年间,以景观生态学为主题的SCI论文发表数不断增长(图1)。从1996到2007的12年共有文章3164篇,来源于以Landscape Ecology、Landscape and Urban Planning、Biological Conservation、Ecology、Forest Ecology and Management、Ecological Applications、Ecological Modelling、Journal of Biogeography、Ekologia、Oikos为首的400余种期刊,这前10位源期刊刊发量约占总数的31%^[9],足以证明景观生态学理论、方法和应用的广泛性和越来越高的认知度。

从研究内容上看,景观生态评价、规划和模拟一直占居主导地位,其次是景观格局、生态过程和尺度,景观生态保护与生态恢复。这3部分内容占到了文献总量的90%以上。主导内容“景观生态评价、规划和模拟”

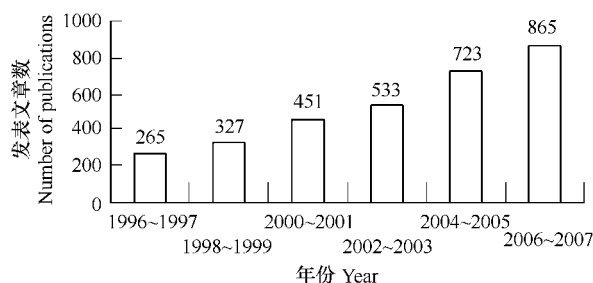


图1 以“景观生态学”为主题的论文发表趋势

Fig. 1 The increasing trend of publications with “Landscape ecology” as the main topic^[9]

的进展特征表现为:(1)在景观生态评价中越来越多地考虑人类活动和社会经济因素的作用^[10, 11];(2)景观规划和设计的科学基础日益得到重视,开始倡导有效地构建基础研究与规划设计之间的桥梁^[12],使科学研究的成果能够更多地应用于实践、发挥其社会价值,同时,使景观规划和设计中能够更多地考虑景观格局与生态过程和景观生态功能的关系,增强规划和设计成果的科学性;(3)景观模拟的研究越来越注重格局与过程的综合。关键科学问题“景观格局、生态过程和尺度”研究的进展表现出如下主要特点:(1)从景观格局的简单量化描述逐渐过渡到以景观格局变化的定量识别为基础并进一步追溯格局变化的复杂驱动机制和综合评价格局发生变化后的生态效应;(2)对格局分析的主要手段“景观指数”的研究进入新的阶段,其尺度变异行为、生态学意义等已经引起了高度关注^[13~18],在已有指数的选择和新指数的构建过程中,学者们更加理性和谨慎;(3)景观格局与生态过程相互作用关系及其尺度效应的研究得到普遍重视,并在不断发展和深化之中。

2 景观生态学的几个新的学科生长点

随着景观生态学研究的深入,以科学和实践问题为导向的学科交叉与融合不断加强,促进了景观生态学新的学科生长点的形成和发展,主要包括水域景观生态学、景观遗传学、多功能景观研究、景观综合模拟、景观生态学与可持续性科学五个方面。

2.1 水域景观生态学

水域景观是一个等级斑块系统,例如河流有其自身结构,包括深槽、浅滩、支流、牛轭湖等,这种异质性的空间格局就构成了独特的河流景观,而且河流景观斑块组成随着水文情势的变化呈现动态性特征。而水域景观生态学定量地描述水域景观中结构与功能的关系,比如异质性、等级性、方向性或不同空间尺度上的过程反馈^[19]。水域景观生态学中的一些主要理论有:河流连续体理论、洪水脉动理论、水域廊道理论等。水域景观生态学作为景观生态学的一个新近分支,景观生态学中的一些基本原理在水域景观生态学中同样适用,如强调空间格局对生态过程的影响。所以,水域景观生态学以景观生态学为基础,同时又发展了景观生态学。水域景观生态学也强调空间异质性、边界效应及斑块间的物质交换、景观的连接度与连通性和生物及其生境的重要性、尺度问题^[20]。

作为生态学、地理学、水文学的结合点,水域景观生态学成功地将斑块格局、等级理论与水域生态系统联系起来。可以把以河流为主要对象的水域景观生态学作为研究景观生态与等级理论的天然实验室。水域景观生态学开始在淡水水体和部分海域得到了应用,主要包括:格局的定量辨识,如海草和河床的空间异质性^[21, 22];格局对过程的影响,如河道结构和水流特征对鱼类洄游和繁殖的影响、对污染物迁移转化的影响等^[23~26];水体中的生境评价、生物多样性保护和生态恢复^[27~29];水生生物资源的利用和管理^[30];景观生态理论在水体景观中的检验,如尺度效应^[31]。

2.2 景观遗传学

景观遗传学是景观生态学和种群遗传学相结合而成的一个研究领域,其核心问题是景观空间异质性与种群空间遗传结构及种群进化之间的关系^[32]。它量化研究景观结构、配置、基质对基因流、空间遗传变异的影响。景观遗传学研究的问题简单来说包括两个方面:一是探测种群遗传的非连续性;二是检测这种不连续性与景观或环境不连续性的关联。可归结为五大类^[33]:(1)定量研究景观要素和景观格局对遗传变异的影响;(2)辨识基因流中的障碍因素;(3)理解源-汇动态机理、生境质量变异和廊道设计;(4)理解生态过程时空尺度;(5)验证种群生态假说。景观遗传学的研究设计很重要,选择能够反映并且易于量化生态过程的适宜尺度、合理整合景观空间数据与种群遗传数据、基于个体或种群的遗传信息获取值得引起关注。

景观遗传学的典型应用包括动植物流行病调查和风险评估^[34, 35]、生物多样性变化的微观机理和管理策略的规划设计,例如大熊猫基因分化的亚种群发展研究及空间管理和行动单元的确定^[36]。分子水平上的微观分析手段与功能强大的景观生态学宏观统计工具结合,促进景观遗传学飞速发展,对理解景观和环境对基因流、种群结构和适应有很大帮助,但它本身不是目的,可以借助景观遗传学更好地描述空间遗传格局,并探索造成这种格局的过程和为基因及物种等的宏观管理提供科学依据。

2.3 多功能景观研究

多功能景观并不是特殊类型的景观,只是对现实景观的功能赋予了人类的价值评判,从而与土地利用决策紧密相关。从抽象的空间观点,景观的多功能性包括 3 个层面^[37]:(1)作为与独立土地单元相关的不同功能空间组合的多功能性(空间独立);(2)作为不同时间,特别是某一周期,同一土地单元不同功能的多功能性(时间独立);(3)作为同一或不同时间,同一或不同土地单元,不同功能综合的多功能性(空间集成或“真多功能性”)。简单说,多功能景观就是为了多种目的对景观中的土地采用多种利用方式同时加以使用的景观。以色列的 Naveh 教授总结性地提出了多功能景观的十大前提^[6]:(1)自组织、非平衡的动态耗散结构;(2)整体大于部分简单加和的有机系统;(3)等级性;(4)自然-文化的复合;(5)人类生态系统形成的有机整体;(6)需要可以被用来同时衡量生物多样性、文化多样性以及景观异质性的跨学科参数;(7)需要超越阿基米德和迪卡尔的逻辑去洞察多功能景观整体性的深邃内涵;(8)可二元感知的自然和认知系统;(9)通过多学科结合的方法评价多功能景观的“软”价值与“硬”价值;(10)生物圈与农业-产业和城市-产业技术圈(technosphere)间的对抗可以通过构建后工业时代人类与自然的共生关系去协调。

多功能景观研究的议题主要包括多功能景观的监测与评价,生物多样性和景观多样性的保护与恢复,多功能景观的规划与管理。多功能景观研究中需要充分考虑人的因素,包括社会经济、文化感知、政策决策等。可以认为,多功能景观研究是景观生态学的综合应用方向,是构建自然景观与人类社会间桥梁的重要基础。

2.4 景观综合模拟

景观格局/土地利用变化模型和生态过程模型的发展推动了景观综合模拟研究。景观格局/土地利用动态模型种类繁多,根据模型特点,可以有如下划分^[38]:空间和非空间模型、动态和静态模型、描述性和寻优决策性模型、演绎式模型和启发式模型、基于行为者和基于栅格的模型、全球模型和区域模型。景观格局/土地利用动态模型的选择主要受两大因素影响:需要解决的理论或现实需求问题的性质及数据的可获得性。动态模型研究的发展还需要面对和解决的问题包括:模型的验证(Validation)、把基于格局和过程的方法相结合、尺度效应和尺度推绎、定性信息的精确化、社会经济和自然环境反馈机制、空间相互作用。

生态过程模型因具体关注对象不同而多样,常见的有通用生态系统模型(General Ecosystem Model)、农作物生长模型(EPIC、Cropsyst、DSSAT)、植物-土壤系统模拟模型(如 CENTURY、DNDC)等。生态过程模型通常需要大量的实测数据支撑,模型开发的原型尺度相对较小,而且对空间异质性考虑不足,因而一定程度上限制了模型的尺度扩展和推广应用^[39]。

景观综合模拟研究的一个典型案例是美国 Patuxent 流域景观综合模型的构建^[40]。Patuxent 流域综合模拟中,生态过程模拟采用改进的通用生态系统模型(GEM),在栅格化景观的像元上重复进行,不同生境和土地利用类型被翻译成参数集,作为 GEM 的输入,不同像元之间以主要为水文过程驱动的水平方向物质流和信息流所连接,模型系统的不同模块间存在一定的信息反馈。按照一定的等级组织和模块化的方式将多种模型进行综合集成是景观综合模型的一个重要发展方向,这一方向的研究刚刚起步,但是已经表现出了良好势头,将会在未来占据重要地位^[41]。

2.5 景观生态与可持续性科学

可持续性科学作为寻求对自然与社会交互作用基本特征深刻理解的新领域正在形成之中。它的基本科学问题包括 7 个方面^[42]:(1)自然与社会的动态相互作用(包括其时滞和惯性)如何更好地纳入到能够对地球系统、人类发展和可持续性进行综合的模型与概念性框架中?(2)包括消费和人口的环境与发展的长期趋势如何影响自然与社会的相互作用?(3)特定地区和特定生态系统类型及人类的生存模式下,决定自然-社会系统脆弱性和恢复力的是什么?(4)可以确定能够指示自然-社会系统严重退化风险显著增加的具有科学意义的“极限”或“边界”吗?(5)什么样的激励结构系统(包括市场、规则、标准和科学信息)能最有效地增进将自然-社会间交互作用引向更可持续发展轨迹的社会能力?(6)当前关于环境和社会状况的监测与报告系统怎样进行集成和拓展,从而能够为实现向可持续性转变的努力提供有用的指导?(7)现今的研究计划、监测、

评价和决策支持等相对独立的活动如何更好地集成到适应性管理和社会认知系统当中?

土地变化科学^[43]作为可持续性科学中的重要组成部分,主要是调查和监测土地利用/覆被变化、评估土地利用/覆被变化对生态系统过程、产品和服务的影响,理解土地利用/覆被变化的自然和社会经济机制。因而,在这些方面与景观生态学的关系尤为密切。景观生态学可以从以下方面对可持续性科学做出重要贡献^[8]:(1)人类景观或区域作为研究和维系可持续性的基本空间单元,是有效研究自然-社会相互关系的最小尺度;(2)景观生态学为解决多尺度上的生物多样性和生态系统功能问题提供了等级性和集成性的生态学基础;(3)景观生态学已经发展了一系列整体性的和人文社会学的方法来研究自然-社会相互关系;(4)景观生态学能够为研究空间异质性或自然和社会经济格局对可持续性的影响提供理论和方法支持;(5)可持续性科学要发展成为一门严谨的学科,必须要定量说明什么是可持续性,景观生态学能够为此提供一套方法和指标;(6)景观生态学为自然-社会相互关系研究中所面临的尺度和不确定性问题的探讨提供理论和方法依据。

3 中国景观生态学:挑战和机遇

经过中国学者的共同努力,中国的景观生态学研究已经取得了长足的进展,逐步走上国际舞台。从 1996 到 2007,以“景观生态学”为主题词检索到的 3164 篇 SCI 论文中,有 96 篇来自中国,约占总数的 3.03%,位列全球第七。排在前六位的依次是美国(46.93%)、澳大利亚(8.57%)、加拿大(8.34%)、英国(7.43%)、德国(5.25%)、法国(4.93%);在发表论文数前十位的机构中,中国科学院以 57 篇,位列第四,其余 9 家单位均为美国的大学和科研机构^[9]。

国际同行已经开始关注并在重要学术刊物上评介中国的景观生态学研究。英国普利茅斯大学地理学院生物地理学教授 Martin Kent 援引傅伯杰研究员等的两篇文章^[1,44],以一个独立小节的篇幅专门评价中国景观生态学的研究进展。Kent 教授评价说^[45]：“近年来,中国学者发表了大量颇具特色的景观生态学论文,例如,中国早期的土地评价研究已经过渡到针对土地覆被快速变化的景观开展应用遥感和地理信息系统技术的研究项目;同时针对快速城市化的景观生态学研究也非常活跃。表明中国学者对景观生态学在环境规划中的潜在价值有了深刻认识”。Kent 教授也同时认为,傅伯杰研究员等对中国景观生态学进展的评述也非常客观、中肯:例如他们指出了景观格局分析中景观指数应用上存在的与整个景观生态学界在这方面类似的局限,并主张通过景观尺度的适当实验研究,揭示格局背后的生态过程和功能含义以及生态过程和功能与空间格局变化的动态相互关系是未来景观生态学研究深入发展的重要方向。这是国际同行在有重要影响的 SCI 刊物上首次对中国的景观生态学研究做出的分析和评价,对中国景观生态学的未来发展有着重要意义。

尽管如此,也必须认识到中国景观生态学发展中的不足^[1]。总体上看,虽然景观生态学在中国的起步不晚于北美,但理论、方法方面的原创性研究尚不多见。中国是一个自然环境复杂多样、人类活动历史悠久、人口众多的发展中国家,文化特征、人地关系也表现出显著的地域差异性。近年来,随着经济社会的快速发展,人地相互作用关系也不断显现出新的特点。自然-社会系统之间相互作用的强度、多样性、复杂性和典型性等方面都不亚于世界上任何其它国度。所有这些都为中国景观生态学的发展创造了得天独厚的条件,也是中国景观生态学发展所面临的重大挑战。

社会发展为中国景观生态学的进步孕育着强劲的需求,主要表现为:科学发展与构建和谐社会的具体落实需要景观生态学的积极参与;环境保护、生态建设和生态文明的实践需要景观生态学的理论、方法支持;国家中长期科技发展规划明确了资源环境领域的重点方向,与景观生态学密切相关。在这样的机遇面前,中国的景观生态学需要放眼国际前沿、服务本土需求,从中国自身的特色出发,关注受人类影响的和以人为主导的景观,以景观格局与生态过程的多尺度、多维度耦合研究为核心,区域综合与区内分异并重,推动综合整体性景观生态学的建立和完善,可能是一条必由之路。

4 结语

国际景观生态学的发展与社会需求相适应,传统领域包括景观生态评价、规划和模拟研究仍然占据优势地位,并且不断得到深化,例如对景观指数应用的理性反思^[13~18]以及图论^[46]和基于矢量的格局分析方法的

引入^[47]等。景观生态学研究在深度和广度上得到加强,促进了新的学科生长点的产生和发展:广度上,开始注重自然与社会经济、人文因子的综合,以解析景观的复杂性;深度上,注重宏观格局与微观过程的耦合,深入的微观观测和实验为宏观格局表征和管理策略的制定提供可靠依据,而宏观格局的规划和管理反过来强化了微观研究的实践意义。从一定意义上讲,景观生态学也是一门“桥梁”性学科,其重要优势在于跨学科的综合交叉和集成能力。景观生态学的未来发展也正取决于这种能力的发展和完善。然而,世界上没有无所不包、无所不能的超级科学^[11],新的学科生长点的产生和发展表明,面向客观问题进行相关学科的交叉和融合是景观生态学发展中务实并且有效的选择。尽管因研究对象、科学问题不同,所涉及到的具体学科和方法可能存在差异,学科交叉和融合的一般性原则应该是相通的,即格局-过程关系、景观功能、尺度及尺度推绎。

在以连通性的改变、速度增长、空间蔓延和多样性降低为特点的全球化发展的背景下,各个尺度上自然生态系统与社会经济系统日益紧密地交织在一起^[48]。国际政治经济和环境变化相互作用并在从全球到国家和局地的每个等级上表现出变化所带来的影响,当这些影响在正反馈机制作用下得到强化时,全球化的压力就会给不同时空尺度上景观对环境演变的恢复力、适应性和社会的适应能力带来严峻挑战。所以,可持续发展和可持续性科学越来越成为人类的共同夙求。响应这种夙求是国际景观生态学发展的必然。中国是资源有限、经济社会尚未充分发展的第三世界国家,但同时更是一个负责任的大国,在国际社会政治、经济、环境和发展中发挥着重要作用,在国际履约和促进地区和区域可持续发展方面付出了巨大努力。中国科学家的团结协作、智慧和努力必将成为推动国际景观生态学发展的重要力量,为景观生态学和可持续性科学的发展做出更大贡献。

References:

- [1] Fu B J, Lu Y H. The progress and perspectives of landscape ecology in China. *Progress in Physical Geography*, 2006, 30: 232—244.
- [2] Fortin M J, Agrawal A A. Landscape ecology comes of age. *Ecology*, 2005, 86: 1965—1966.
- [3] Nassauer J I. Culture and changing landscape structure. *Landscape Ecology*, 1995, 10: 229—237.
- [4] Naveh Z. What is holistic landscape ecology? A conceptual introduction. *Landscape and Urban Planning*, 2000, 50: 7—26.
- [5] Naveh Z. Ten major premises for a holistic conception of multifunctional landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 57: 269—284.
- [6] Bastian O. Landscape Ecology-towards a unified discipline? *Landscape Ecology*, 2001, 16: 757—766.
- [7] Turner M G. Landscape ecology in north America: past, present, and future. *Ecology*, 2005, 86: 1967—1974.
- [8] Wu J. Landscape ecology, cross-disciplinarity, and sustainability science. *Landscape Ecology*, 2006, 21(1): 1—4.
- [9] ISI Web of Knowledge (<http://portal.isiknowledge.com>. Data was retrieved and analyzed on December 19, 2007).
- [10] Tress B, Tress G, D camps H, d'Hauteserre A M. Bridging human and natural sciences in landscape research. *Landscape and Urban Planning*, 2001, 57: 137—141.
- [11] Haber W. Landscape ecology as a bridge from ecosystems to human ecology. *Ecological Research*, 2004, 19: 99—106.
- [12] Opdam P, Foppen R, Vos C. Bridging the gap between ecology and spatial planning in landscape ecology. *Landscape Ecology*, 2002, 16: 767—779.
- [13] Tischendorf L. Can landscape indices predict ecological processes consistently? *Landscape Ecology*, 2001, 16(3): 235—254.
- [14] Wu J, Shen W, Sun W, Tueller P T. Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics. *Landscape Ecology*, 2002, 17(8): 761—782.
- [15] Lausch A, Herzog F. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators*, 2002, 2(1-2): 3—15.
- [16] Fortin M J, Boots B, Csillag F, Rimmel T K. On the role of spatial stochastic models in understanding landscape indices in ecology. *Oikos*, 2003, 102(1): 203—212.
- [17] Li H, Wu J. Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology*, 2004, 19: 389—399.
- [18] Uemaa E, Roosaare J, Mander U. Scale dependence of landscape metrics and their indicator value for nutrient and organic matter losses from catchments. *Ecological Indicators*, 2005, 5(4): 350—369.
- [19] Poole G C. Fluvial landscape ecology: addressing uniqueness within the river discontinuum. *Freshwater Biology*, 2002, 47: 641—660.
- [20] Wiens J A. Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water. *Freshwater Biology*, 2002, 47: 501—515.
- [21] Passy S I. Spatial paradigms of lotic diatom distribution: a landscape ecology perspective. *Journal of Phycology*, 2001, 37: 370—378.
- [22] Teixido N, Garrabou J, Arntz W E. Spatial pattern quantification of Antarctic benthic communities using landscape indices. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, 242: 1—14.

- [23] Hoffman Aaron L, Olden Julian D, Monroe Jeremy B, LeRoy Poff N, Wellnitz Todd, Wiens John A. Current velocity and habitat patchiness shape stream herbivore movement. *Oikos*, 2006, 115(2): 358—368.
- [24] Le Pichon, C line; Gorges, Guillaume; Boët, Philippe; Baudry, Jacques; Goreaud, Fran ois; Faure, Thierry. A spatially explicit resource-based approach for managing stream fishes in riverscapes. *Environmental Management*, 2006, 37(3): 322—335.
- [25] Pittman S J, McAlpine C A, Pittman K M. Linking fish and prawns to their environment: A hierarchical landscape approach. *Marine Ecology Progress Series*, 2004, 283: 233—254.
- [26] Kling G W, Kipphut G W, Miller M M, O'Brien W J. Integration of lakes and streams in a landscape perspective: the importance of material processing on spatial patterns and temporal coherence. *Freshwater Biology*, 2000, 43(3): 477—497.
- [27] Newson M D, Newson C L. Geomorphology, ecology and river channel habitat: mesoscale approaches to basin-scale challenges. *Progress in Physical Geography*, 2000, 24(2): 195—217.
- [28] Scheffer M, Van Geest G J, Zimmer K, Jeppesen E, Soendergaard M, Butler M G, Hanson M A, Declerck S, De Meester L. Small habitat size and isolation can promote species richness: second-order effects on biodiversity in shallow lakes and ponds. *Oikos*, 2006, 112(1): 227—231.
- [29] Poudevigne I, Alard D, Leuven RSEW, Nienhuis P H. A systems approach to river restoration: a case study in the Lower Seine Valley, France. *River Research and Applications*, 2002, 18(3): 239—247.
- [30] Fausch K D, Torgersen C E, Baxter C V, Li H W. Landscapes to Riverscapes: Bridging the Gap between Research and Conservation of Stream Fishes. *Bioscience*, 2002, 52(6): 483—498.
- [31] Olden, Julian D. Critical threshold effects of benthoscape structure on stream herbivore movement. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 2007, 362(1479): 461—472.
- [32] Manel S, Schwartz M K, Luikart G, Taberlet P. Landscape genetics: combining landscape ecology and population genetics. *Trends in Ecology & Evolution*, 2003, 18(4): 189—197.
- [33] Storfer A, Murphy M A, Evans J S, Goldberg C S, Robinson S, Spear S F, Dezzani R, Delmelle E, Vierling L, Waits L P. Putting the 'landscape' in landscape genetics. *Heredity*, 2007, 98(3): 128—142.
- [34] Garrett K A, Hulbert S H, Leach J E, Travers S E. Ecological genomics and epidemiology. *European Journal of Plant Pathology*, 2006, 115 (1): 35—51.
- [35] Reisen W K, Lothrop H D, Presser S B, Hardy J L, Gordon E W. Landscape ecology of arboviruses in southeastern California: Temporal and spatial patterns of enzootic activity in Imperial Valley, 1991—1994. *Journal of Medical Entomology*, 1997, 34(2): 179—188.
- [36] Wan Q H, Fang S G, Wu H, Fujihara T. Genetic differentiation and subspecies development of the giant panda as revealed by DNA fingerprinting. *Electrophoresis*, 2003, 24: 1353—1359.
- [37] Zhou H R. Prospect on multifunctional landscapes of marshes in arid areas. *Arid Land Geography*, 2005, 28(1): 16—20.
- [38] Verberg P H, Kok K, Pontius Jr. R G, Veldkamp A. Modeling land-use and land cover change. In: Lambin E F, Geist H eds. *Land-use and land cover change: local processes and global impacts*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 117—135.
- [39] Li Y H, Chen L D, Fu B J. Analysis of the integrating approach on landscape pattern and ecological processes. *Progress in Geography*, 2007, 26(3): 1—10.
- [40] Costanza R, Voinov A, Boumans R, Maxwell T, Villa F, Wainger L, Voinov H. Integrated Ecological Economic Modeling of the Patuxent River Watershed, Maryland. *Ecological Monographs*, 2002, 72 (2): 203—231.
- [41] Veldkamp A, Lambin E F. Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 85: 1—6.
- [42] Kates R W, Clark W C, Corell R, Hall J M, Jaeger C C, Lowe I, McCarthy J J, Schellnhuber H J, Bolin B, Dickson N M, Faucheux S, Gallopin G C, Gr bler A, Huntley B, J ger J, Jodha N S, Kaspersen R E, Mabogunje A, Matson P, Mooney H, Moore III B, O'Riordan T, Svedin U. Sustainability Science. *Science*, 2001, 292(5517): 641—642.
- [43] Rindfuss R R, Walsh S J, Turner II B L, Fox J, Mishra V. Developing a science of land change: challenges and methodological issues. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 2005, 101: 13976—13981.
- [44] Fu B J, Lu Y H, Chen L D, Li J. Progress and prospects of comprehensive physical geography in China. *Progress in Physical Geography*, 2006, 30(5): 659—672.
- [45] Kent M. Biogeography and landscape ecology. *Progress in Physical Geography*, 2007, 31(3): 345—355.
- [46] Urban D, Keitt T. Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. *Ecology*, 2001, 82: 1205—1218.
- [47] Zhang S, Zhang J, Li F, Cropp R L. Vector analysis theory on landscape pattern (VATLP). *Ecological Modelling*, 2006, 193: 492—502.
- [48] Young O R, Berkhout F, Gallopin G C, Janssen M A, Ostrom E, van der Leeuw S. The globalization of socio-ecological systems: an agenda for scientific research. *Global Environmental Change*, 2006, 16: 304—316.

参考文献:

- [37] 周华荣. 干旱区湿地多功能景观研究的意义与前景分析. *干旱区地理*, 2005, 28(1): 16—20.
- [39] 吕一河, 陈利顶, 傅伯杰. 景观格局与生态过程的耦合途径分析. *地理科学进展*, 2007, 26(3): 1—10.