

# 景观生态学的学科前沿与发展战略

肖笃宁<sup>1,2</sup>, 李秀珍<sup>1</sup>

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

**摘要:**根据美国景观生态学 2001 年年会关于景观生态学的关键议题和研究领域特别专题的讨论, 综合 16 位国际知名专家所发表的关于深化理论、整合协调和方法改进等方面的意见, 深入论述了景观生态学的 6 项关键议题和 10 个优先研究领域。包括通过景观镶嵌体的生态流, 土地利用和土地覆被变化的过程、机制, 非线性动态和景观复杂性, 尺度转换方法论的发展, 景观指标与生态过程, 人类活动与景观生态, 景观格局的优化, 景观保育与可持续性, 资料获取与准确性评价。并对构建中国景观生态学的理论框架提出了初步的想法, 即发展以格局——过程关系为中心的生态空间理论, 以人类活动有序化为中心的景观生态建设理论, 以发挥景观多重价值为中心的景观规划理论。

**关键词:**景观生态; 学科前沿; 核心议题; 中国

## Forefronts and future strategies of landscape ecology

XIAO Du-Ning<sup>1,2</sup>, LI Xiu-Zhen<sup>1</sup> (1. *Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China*; 2. *Cold and Arid Regions Environment & Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1615~1621.

**Abstract:** According to the discussion on key issues and the scopes of landscape ecology during the 16<sup>th</sup> IALE-US annual conference in 2001, 6 key issues and 10 leading topics were explained, which synthesized the opinions on theory and methodology of 16 internationally famed landscape ecologists. The 6 key issues dealt with: (1) interdisciplinarity or transdisciplinarity, with researchers from different fields, planners, managers, social scientists and decision makers working closely together on ecological issues at the scale of landscape; (2) integration between basic research and applications, following the reciprocal, that research guides for applications and applications give feedback to research; (3) conceptual and theoretical developments, to incorporate the rapidly developing science of complexity (such as nonlinear dynamics, hierarchy, and self organization); (4) education and training for students and professionals with different interests and backgrounds; (5) international scholarly communication and collaborations, through regional and international conferences, scholar exchanges and cooperative projects; and (6) a reach out and communication with the public and with decision makers, supported by information technology and Internet.

The top 10 topics included: (1) Ecological flow in land mosaics, including materials (organisms), energy and information flow across landscape mosaics; (2) Consequences, processes and scenarios of landuse/landcover change, in combination with economic geography and resource-economy; (3) non-linear

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(90102004, 40001002, 30270225)

**收稿日期:**2002-11-06; **修订日期:**2003-04-10

**作者简介:**肖笃宁(19~), 男, 湖南长沙人, 研究员, 主要从事景观生态学研究. E-mail: xiaodun@mail. sy. ln. cn

邬建国教授提供宝贵材料, 特此致谢。

**Foundation item:** The National Natural Science Foundation of China(No. 90102004, 40001002, 30270225)

**Received date:** 2002-11-06; **Accepted date:** 2003-04-10

**Biography:** XIAO Du-Ning, Professor, main research field: landscape ecology.

dynamics and landscape complexity, with methods and concepts like self-organization, complex adaptive systems, nonlinear dynamics, phase transition, and metastability; (4) scaling, up or down across heterogeneous landscapes; (5) development of methodology, from spatial sampling, pseudo repetition and auto-correlation to ecological modeling; (6) the relationship between landscape metrics and ecological processes; (7) integration of human activity and landscape ecology, which is increasingly prominent theoretically and practically; (8) optimization of landscape pattern, incorporated in land management and planning; (9) landscape conservation and sustainability, focusing on biodiversity and endangered landscapes; and (10) data sources and accuracy evaluation for the broad-scale patterns and processes involved in landscape ecological research. The authors also expressed preliminary ideas on the establishment of a theoretical frame for landscape ecology in China, covering: (1) the theory of spatial ecology focusing on the relationship between pattern and processes, (2) the theory of landscape construction focusing on ordered human activity, and (3) the theory of landscape planning focusing on the multi-value character of landscapes.

**Key words:** landscape ecology; forefronts; key topics; China  
文章编号:1000-0933(2003)08-1615-07 中图分类号:Q149 文献标识码:A

景观生态学的一个主要目标是认识空间格局与生态过程之间的关系,尺度的重要性,以及在越来越强烈的人类活动作用下所形成的异质性景观中的等级关系<sup>[1~7]</sup>。在过去的 20a 里,各国的景观生态学研究者们通过大量的实践与理论研究已经积累了相当丰富的经验,提出了景观生态学的一般原理<sup>[8~11]</sup>与核心概念<sup>[12]</sup>,初步构筑起景观生态学的理论框架。其中北美学者更多注重生物-自然的研究方法,强调格局、过程、尺度与等级<sup>[13,14]</sup>;欧洲学者则更多注重以社会、经济为核心的景观规划,强调一般系统论和生物控制论共生论<sup>[15]</sup>。而中国学者为使景观生态学理论更好地与中国国情相结合,较多强调对人类活动影响的研究与景观尺度上的生态建设<sup>[16]</sup>。景观生态学的研究对象从山地到平原,从滨海湿地到内陆沙漠,从城市到乡村,从热带到苔原;研究尺度从局地到全球;研究内容从野生动物生境到温室气体排放,从具体案例研究到综合治理研究;研究方法从传统的野外调查到借助高科技手段的遥感、GIS 信息处理。总之,国际上景观生态学的研究呈现出更加多样化的色彩,各国学者在区域生态与全球变化等方面的研究中逐渐形成了自己的特色。

为反映受不同地理、文化背景与研究领域所影响的景观生态学多样性,以及鉴别景观生态学理论和事件上所面临的最重要挑战,美国 2001 年景观生态学年会上进行了一场热烈的专题讨论,名为“Top 10 list of landscape ecology”。在邬建国与 Hobbs 的组织下,有 16 位来自美洲、欧洲和澳洲的知名学者作了专题报告或提交了书面发言,反映出面向 21 世纪的景观生态学学科前沿和研究热点<sup>[17]</sup>。以此会议的材料为基础,本文试作如下归纳介绍和评述。

1 景观生态学的关键议题

从各国学者提出的 34 项专题中,按照对于界定景观生态学学科地位并指导未来发展方向上的重要性,可以归纳出 6 项关键议题。

1.1 交叉学科或跨学科

景观生态学无论是作为生态学的新范式,还是一门横断、交叉学科,都应当从生态学内与外两方面吸收跨学科的营养。O'Neill 新近指出<sup>[18]</sup>应重视经济地理学理论在研究生态空间效应中的作用,如应用中心地理论和区位论有利于在景观规划中优化对资源的利用。正是由于景观生态学的多样化和综合性,不同学科背景的研究者对其特色和学科定位有所不同。有的强调景观生态学是一种空间生态学;有的强调它是生物生态学 and 人类生态学之间的一座桥梁;有的强调它是景观科学的组成部分,是景观地理学的推陈出新;有的强调景观生态学是景观生态学,人们都认为景观生态学是一门新兴的交叉学科,深深地植根于生态学 and 地理学。国际景观生态学会 (IALE) 在 1999 年对会章的修改中更将其定位于自然科学与人文科学

的交叉。因而景观生态学不仅可以指导景观设计、规划和管理工作者,还可以服务于社会学家和决策者。

1.2 综合基础研究和应用

景观生态学是一门源自实际并且应用性很强的学科,应该十分重视理论研究与应用两者之间的互动性综合,研究指导应用,应用反馈于研究。研究项目要更加关注现实世界中存在的问题,如人类生存环境的维护和改善,自然保护与资源的合理利用,规范人类活动的有序化等。加强研究项目的综合性与针对性,才能更好地体现和发扬景观生态学的学科特色。只有用先进的理论和技术进行武装,景观生态学才能真正成为一门可预测和可规划的环境科学。

1.3 概念和理论的发展

作为人类生态系统与自然生态系统的整合(Holistic),Naveh 指出一般系统论、生物控制共生论和生态系统论是景观生态学的概念和理论框架<sup>[19]</sup>。这一观点已得到愈来愈多的认同,近年来运用阈值、非线性和尺度法则,研究作为复杂自适应系统的景观,使得复杂性和非线性动态科学日益成为景观生态学研究理论支撑。

对于景观的理解和认知也不断拓宽,超出了传统的“土地”概念而包括水生环境;超出对特定景观奇特性的认识而更多地进入探索其一般性;由重点研究自然景观转向研究人类主导景观(Human dominated landscape),加强了对人工景观(城市景观)及复杂多变景观的研究;将视觉景观与景观的生态功能相连系,建立景观与文化,自然与文化的空间联接。

1.4 教育和训练

为了更好地实现学科发展与服务社会的目标,有必要加强景观生态学的教育和训练,整合与协调大学教育与专科训练,以满足学生和具有不同兴趣与背景的专业人员之多样化需求。同时在这种教育中要体现出景观生态学的交叉学科性与整体性。美国最新出版的两本景观生态学教材就体现这种特点,一本是Turner、Gardner、和 O'Neill 联合编著的:Landscape ecology in theory and practice<sup>[20]</sup>,包括理论发展、模型研究和结果、经验资料以及问题讨论和进一步阅读的推荐等内容,该书内容系统,理论性强,另一本是Gergel 和 Turner 编写的 Learning landscape ecology-A practical guide to concepts and techniques<sup>[21]</sup>,该书包括 9 篇 20 章,附有 CD-ROM 光盘,对于初学者很有实用价值。

1.5 国际学术联系与协作

多种形式的国际交流与协作,如学术会议、交换访问学者和开展合作研究等,可以交换对于景观生态学的科学创意与文化视点,有力地推动了景观生态学的发展。IALE 及其区域分会近年来的活动十分活跃,除开北美景观生态学会每年春季召开以外,欧洲景观生态学会 1998 年于英国,2001 年于瑞典曾两次召开;亚太区域会议也在我国召开了两次(1998,沈阳;2001,兰州)。IALE 的世界大会 1999 年在美国召开,2003 年将于澳大利亚召开。2002 年 8 月于韩国汉城召开的第 8 届国际生态学大会上以景观生态学为主题的分会就有 4 场之多。

1.6 景观生态学向公众与决策者两端的延伸和联络

景观生态学家需要从事和推进有助于分享周围景观的活动,充分利用信息技术和网络,建立向公众和面向决策者的延伸项目,研究成果要转化为公众易于理解的语言。

2 景观生态学的优先研究领域:定义基础核心和发展前沿

2.1 通过景观镶嵌体的生态流

景观生态学主要研究空间异质性和生态过程,即通过景观的生态流<sup>[10]</sup>,包括能量流动、物质循环和生物迁移。景观的空间异质性体现在不同格局形式的斑块镶嵌,因而需要发展关于空间镶嵌的一般理论,即生物、物质和信息怎样与景观格局相互作用的更好认识与理论。还应该注意综合生物、自然与社会经济过程,使生态流的内涵更加完整。

同时还应加强生态学中不同层次研究之间的联系,将种群、群落和生态系统生态学中的有关内容综合进景观生态学,为种群理论(meta-population theory)为深入了解破碎化景观中的种群行为提供了重要的思路,有助于将土地覆被变化转化成为生物种群的影响。

## 2.2 土地利用和土地覆被变化的过程、机制

土地利用和土地覆被变化是景观变化的核心,涉及到对人类活动影响的量化评价。显然,从经济地理(经济活动怎样作用于空间)与资源经济(土地怎样被利用)的视角来进行研究,有助于分析的深入。从空间尺度来衡量,土地利用的长期变化受经济、气候变化与法律、政策性因素的制约尤其明显。从空间地域着眼,当前对于具有高度动态性或呈现出“混沌”特征的景观,如城乡结合部、农牧交错带、河口三角洲等正成为景观变化研究的热点。对于景观变化驱动力的深入研究导致了土地覆被动力学的建立。

## 2.3 非线性动态和景观复杂性

近年来,包括自组织、SOC、CAS 非线性动态和聚合稳定性在内的复杂性科学概念和理论愈来愈多地被引入景观生态学研究,这对于宏观巨系统的研究有重要的意义。宏观有序不是组成复杂系统的微观单元之间的简单叠加,而是整体作用下的涌现。由于景观系统格局-过程关系的复杂性,大多数已经建立的景观模型基本上属于黑箱操作的模拟模型,今后的研究重点将更多地放在状态过渡和阈值行为上。

## 2.4 尺度

尺度作用与尺度理论不仅是景观生态学,也可以说是整个陆地表层系统研究的核心基础之一。通常自然环境中生源要素(C、N、P、S)与污染物的迁移转化过程属于微观尺度(micro-scale),而环境要素的转化过程属于中观尺度(meso-scale),景观也是属于中观尺度。在景观生态学研究,联合运用野外测定、试验模拟、遥感、GIS 和模型方法进行综合研究已经受到重视<sup>[22]</sup>,目前需要发展和测试新的尺度方法,如 allometric,分维尺度,再规范化、等级模型。利用生态学模型进行尺度上推(Scaling-up)可采用简单聚合方法(Lumping),直接外推法(direct extrapolation)、期望值外推法(extrapolation by expected value)、显示积分法(explicit integration)等<sup>[23]</sup>。但这些方法都不完备,尺度转换问题已成为研究瓶颈,急需发展跨尺度转换信息的方法;已有人提出用生态拓扑学来提供尺度转换相关研究的结构框架。

## 2.5 方法论的发展

景观生态学研究由于实验的困难多采用传统的假说——推理方式,从而带来许多局限,应该更好地综合应用观测、实验和模型化的新方式,发展能有效关注空间自相关、假重复和尺度多重性的采样方法。改进大区域的空间采样技术有很大潜力,可利用适当的统计方法提高资料精度。此外,长期生态研究应扩展至景观尺度;发展可实验的景观生态学(experimental landscape ecology),扩大野外实验的时空范围,从生物体到生态过程<sup>[24]</sup>。

## 2.6 景观指标与生态过程

景观指标可量化反映景观格局和尺度的变化,是景观生态学研究比较成熟的核心领域,通过景观指标描述景观格局具有使数据获得一定统计性质和比较,可分析不同尺度上的格局等优点,长期来一直倍受关注<sup>[25]</sup>。景观指标大致可分为描述景观要素和描述景观总体特征两个层次,目前提出的各种景观指标已近百种,但许多指标来自单纯的数理统计或拓扑计算公式,其生态学意义并不明确。当前急需建立格局和过程的实验关系,确定一些指标选择与变化探测的标准,筛选出一批可以监测和预测景观变化的核心指标,以及反映社会、文化与生态多样性和异质性的综合指标。只有抓住了关键性的景观特征进行研究,才能选择出与生态过程有关的景观格局指标。关于景观指标的评价与新指标的建立要注意其对景观类型、分布和尺度的敏感性,以及与生态过程的相关性;如多样性指标就有只考虑空间的,和既考虑空间又考虑时间的两类。

## 2.7 景观演化与人类活动

将人类及其活动视为景观的综合组分,更加重视人类活动对景观演化的作用,已成为愈来愈多研究者的共识。对于景观的综合分析需要更多的人性化观察<sup>[26]</sup>,由于人与环境的相互作用以及人类对景观变化所产生的巨大影响,人类应被视为特殊物种;必须研究人类活动怎样才能由无序进化为有序,作为连接自然与人类系统的一种系统性观念,“整体景观生态学(holistic landscape ecology)”或许可以对此做出贡献<sup>[27]</sup>。

## 2.8 景观格局的数据

景观管理的基本手段是优化景观格局,通过对原有景观要素的优化组合或引入新的成分。调整或构建

新的景观格局,可以增加景观的异质性和稳定性,创造出优于原有景观生态系统的综合效益,形成新的高效、和谐的人工自然景观或管理景观。这种优化首先是土地利用格局的优化,其次是景观管理、设计与规划的优化<sup>[28]</sup>。在不同地区景观格局优化的重点和目的有所不同,有的是针对生物多样性保育,有的是针对扩大生态系统功能,这都需要比传统方式更多的理论思考和方法指导,以及交叉学科的参与。

2.9 景观保育与可持续性

对于生物多样性和生态系统健康的研究已逐渐延伸到景观层次,景观保育可理解为对于生物多样性保育的特殊景观生态学指导。国际上早在 1991 年即在 IUCN 的 CESP 内成立了“景观保护工作组”,着手编制“受威胁景观红皮书”,其目的是防止和治理景观的破坏和退化,即不适当的人类活动对自然或文化景观所造成的形态与功能上的损失。应用可持续性的概念于景观保护(保育),其内涵扩大为景观的自然、生态、社会、经济和文化组分与尺度的耦合。

关于景观的资源性及其生态系统服务功能的价值评价,尤其需要发展科学的理论基础和方法体系。景观的多重价值或多功能景观理论<sup>[29]</sup>是进行景观评价与规划设计的基础,景观的稀有性、多样性、功效性和宜人性(liveable)更是景观价值的集中体现。

2.10 资料获取与准确性评价

景观生态学由一种“综合整体”的哲学概念走向一门自成体系的独立学科,需要经历建立理论框架和奠定观测、实验基础的艰巨历程,关于前者介绍较多,而后者容易被忽视。由于遥感和 GIS 技术的广泛应用,多尺度的综合性景观监测正在建立;目前关于生物体和物种的基本生物学资料的收集则有待加强;采样和统计方法也需要创新,以避免假重复和空间自相关之类的问题;在数据整合、误差、不确定性分析和准确性评价方面都还需要进行更多的研究。

3 构建中国景观生态学的理论框架

经过近 20a 的学习和实践,中国的景观生态学研究已取得长足发展<sup>[30,31]</sup>,并初步形成了既与国际研究主流接轨又符合中国国情特色的理论体系,主要包括 3 个方面。

3.1 以格局-过程关系为中心的生态空间理论

其主要内容是景观系统的整体性与景观结构的镶嵌性;生态流的空间聚集与扩散,格局与过程的非线性反馈;以及景观生态系统的等级结构性。

这些重要的理论观点既是凝炼了景观生态学的核心基础,又在中國大陸的大量案例研究中有所发展。如关于景观多样性的分析<sup>[32,33]</sup>;源、汇景观的概念及对非点源污染的影响<sup>[34]</sup>;野生动物生境的行为破碎化<sup>[35]</sup>;湿地景观格局对养分去除功能的影响<sup>[36]</sup>等。

3.2 以有序人类活动为中心的景观生态建设理论

景观生态建设是指景观尺度上的生态建设,即指定地域、跨生态系统、适用于特定景观类型的生态建设,该理论的提出适应了国家大规模开展区域生态环境治理的需要<sup>[37]</sup>。

其主要内容是指景观尺度上的生态整合,防范生态风险与保障生态安全<sup>[38]</sup>;通过有序人类活动导控景观演化;调整和重构景观结构,增加景观的异质性和稳定性;广泛应用生态技术,实现生物控制与共生<sup>[39]</sup>。

无序与有序本来是度量系统单元运动状态的物理参数,借用来评价人类活动的生态作用是为了适应可持续发展的需要。有序度要求系统内单元的运动状态数较少,并且单元之间的运动较一致(协调、相关)。故有序人类活动应遵循自然地域分异规律,即因地制宜的适宜原则;以及不超出当地生态承载力的适度原则,才能使经济有效性与生态安全性相结合,实现可持续<sup>[40]</sup>。

3.3 以发挥景观多重价值为中心的景观规划理论

在深刻认识景观的自然性与文化性的基础之上所提出的景观多重价值论,将生态景观与视觉景观予以整合,指出景观具有经济、生态与美学等方面的多重价值。在景观规划和设计中要特别重视对景观宜人性的分析,规划满意景观;运用视觉景观的生态美学原则,进行仿生人工景观的设计<sup>[41,42]</sup>。

作为生态景观数据环境与游憩空间的土地往往具有不同的景观特征与规划要求,适应城市化迅猛发展的形势,城乡一体的景观规划具有很大的市场潜力,需要更加完备的理论来进行指导<sup>[43~45]</sup>。



根据城、乡景观的不同特点,对景观规划也有不同的要求。由于乡村景观是一种小集中大分散的镶嵌格局,具有能量密度低和生态多样性较高的特点,其规划目标是提高土地生产力与人口承载力,同时维护生态安全,提高生态效率。城市景观规划的重点是把自然引入城市和使文化融入建筑,尽量实现城市空间布局的大集中、小分散,多元汇聚与便捷连通,绿色渗透与景观宜人<sup>[46~50]</sup>。

#### 4 中国景观生态学的发展战略

面向 21 世纪的中国景观生态学研究,既要抓住国际研究的前沿和热点,更要注意面对国家需求,不断拓宽应用渠道,使其更具有生命力。不同地区有不同的研究重点,如西部地区为适应大规模区域生态环境建设的需要,加强生态安全的预警与对策研究已成为包括景观生态学在内的宏观生态学研究新热点。在东部地区,则面对着大规模城市化与快速经济发展所带来的生态环境压力,景观生态研究应紧密结合城、乡规划与生态建设来进行。随着社会发展程度与人们对生活质量要求的提高,对多功能景观的规划和设计将愈加受到重视。

从学科发展而言,景观生态学一方面要坚持其开放性,善于从相关学科吸取营养,特别是努力运用 RS、GIS 和空间模拟等新方法和新技术;另一方面要更好地把握与显现自身的特色,深入研究空间格局与生态过程的相互作用与动态反馈,以及自然与人文因素在景观时空演变中的融合。人们对景观的认识本来就是不断深化和发展的,全面建设小康社会和实现可持续发展的社会需求将是包括景观生态学在内的诸多学科发展的巨大推动力。

景观生态学是一门内容丰富、形式生动的新兴学科,它不应当只是停留于少数专业人士的讨论,而应当广辟渠道、走向公众,引起决策者的关注,努力为社会所了解。国外(如欧洲)的研究同样在这方面为我们提供了值得借鉴的经验。

国际景观生态学会中国分会(IALE-China)自 1995 年成立以来,已经成功地组织了多次活动,会员发展至 119 人,成为国际景观生态学会中会员人数居第三位的重要力量。先后召开的几次学术会议分别以生物多样性保护、景观生态建设、生态旅游和生态安全为主题进行了研讨,在“J. of Environmental Sciences”杂志上出版了两期专集(11(2)和 15(2)),翻译出版了“景观生态学论坛”一书,其影响正日趋扩大。但是它仍然存在着活动面较小,与其他学术团体交流、协作不够的缺点,有待克服。

#### References:

- [1] Wu J G. *Landscape ecology: pattern, process, scale and hierarchy*. High Education Press, 2000. 1~71.
- [2] Fu B J, Chen L D, Ma K M, et al. *Theory and application of landscape ecology*, Beijing: Science Press, 2001. 1~145.
- [3] Xiao D N, Li X Z, Gao J, et al. *Landscape ecology*. Beijing: Science Press, 2002.
- [4] Risser P G, Karr J R, Forman R T T. *Landscape ecology: directions and approaches*. A workshop held at Allerton Park, Piatt; County Illinois, 1984. 16.
- [5] Forman R T T and Godron M. *Landscape ecology*. New York: Wiley, 1986.
- [6] Forman R T T. *Land mosaics, the ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [7] Farina A. *Principles and methods in landscape ecology*. Landon: Chapman and Hall, 1998.
- [8] Xiao D N, Li X Z. Core Concepts of landscape ecology. *J. of Environmental Sciences*, 1999, 11(2): 131~135.
- [9] Naveh Z, Lieberman A S. *Landscape ecology: Theory and application*. New York: Springer-Verlag, 1994.
- [10] O'Neill R V. Theory in landscape ecology. In: Wiens J A, Moss M R, eds. *Issues in landscape ecology*. Snowmass Village: International Association for Landscape Ecology, 1999. 1~5.
- [11] Turner M G, Gardner R H and O'Neill R V. *Landscape ecology in theory and practice*. New York: Springer-Verlag, 2001.
- [12] Gergel 万方数据 Turner M G. *Learning landscape ecology: a practical guide to concepts and techniques*. Springer-Verlag, 2002.

[13] King A. Translating models across scales in the landscape. In: Turner M G, Gardner R H, eds. *Quantitative methods in landscape ecology*. 1991. 479~517.

[14] Ims R A. Experimental landscape ecology. In: Wiens J A, Moss M R, eds. *Issues in landscape ecology*. Snowmass Village: International Association for Landscape Ecology, 1999.

[15] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. Classification, application and creation of landscape indices. *Chinese J. of Applied Ecology*, 2002, **13**(1):121~125.

[16] Xiao D N, Leng S Y. National Natural Science Foundation and landscape ecology in China. *Science Foundation in China*, 2001, **6**:346~349.

[17] Cao Y, Xiao D N, Zhao Y, et al. Analysis on landscape ecology literatures in China during recent ten years. *Chinese J. of Applied Ecology*, 2001, **12**(3):474~477.

[18] Fu B J. Landscape diversity analysis and mapping. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, **15**(4):345~350.

[19] Fu B J, Chen L D. Types and ecological meaning of landscape diversity. *Acta Geographica Sinica*, 1996, **51**(5): 454~462.

[20] Chen L D, Fu B J, Zhang S R, et al. Non-point source pollution dynamics and comparison in a heterogeneous landscape. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, **22**(6):808~816.

[21] Hu Y M, Bu R C, Li T S, et al. Behavior habitat fragmentation of wild animals. In: Xiao D N, ed. *Progress in landscape ecological research*. Changsha: Hunan Science & Technology Press, 1999, 173~175.

[22] Li X Z, Xiao D N, Hu Y M, et al. The effect of landscape pattern on the nutrient reduction in the Liaohe Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2001, **56**(1): 32~43.

[23] IALE-China Chapter, translated. *Issues in Landscape Ecology*. Changsha: Hunan Science & Technology Press, 1~11.

参考文献:

[1] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京:高等教育出版社, 2000. 1~71.

[2] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学的原理及应用. 北京:科学出版社, 2001. 1~145.

[3] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻, 等. 景观生态学. 北京:科学出版社, 2002. 1~82.

[15] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观指数分类, 应用及构建研究. 应用生态学报, 2002, **13**(1):121~125.

[16] 肖笃宁, 冷疏影. 国家自然科学基金与中国的景观生态学. 中国科学基金, 2001, **6**:346~349.

[17] 曹宇, 肖笃宁, 赵羿, 等. 近十年来中国景观生态学文献分析. 应用生态学报, 2001, **12**(3):474~477.

[18] 傅伯杰. 景观多样性的分析及其制图研究. 生态学报, 1995, **15**(4):345~350.

[19] 傅伯杰, 陈利顶. 景观多样性的类型及其生态意义. 地理学报, 1996, **51**(5): 454~462.

[20] 陈利顶, 傅伯杰, 张淑荣, 等. 异质景观中非点源污染动态变化比较研究. 生态学报, 2002, **22**(6):808~816.

[21] 胡远满, 布仁仓, 李团胜, 等. 野生动物生境的行为性破碎化研究. 见:肖笃宁主编. 景观生态学研究进展. 长沙:湖南科学技术出版社, 1999. 173~175.

[22] 李秀珍, 肖笃宁, 胡远满, 等. 辽河三角洲湿地景观格局对养分去除功能的影响. 地理学报, 2001, **56**(1): 32~43.

[23] 国际景观生态学会中国分会译. 景观生态学论坛. 长沙:湖南科学技术出版社, 2000. 1~11.