

景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来

陈利顶¹, 刘 洋^{2,3}, 吕一河¹, 冯晓明¹, 傅伯杰¹

(1. 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;

2. 中国科学院城市环境研究所, 厦门 361003; 3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:作为景观格局分析的重要手段,景观格局指数的提出与发展极大地推动了景观生态学的发展,但是由于众多景观格局指数在指示生态学过程方面的不足,近年来景观格局分析已经走入困境。在总结近年来国内外相关研究的基础上,对景观格局分析的现状、困境及未来发展方向进行了综述。景观格局分析仍然是景观生态学的重要方面,景观格局指数仍然是景观格局分析的主要手段。但是如何建立具有生态学意义的景观格局指数和分析方法,如何将景观格局与生态过程联系起来,以及如何将“基质—斑块—廊道”的景观生态学理论应用到实际中是目前景观格局分析面临的主要困境。基于对景观格局分析现状及困境的认识,提出了景观格局分析未来的 5 个发展方向:(1)景观格局分析应该从目前的静态格局描述发展到对动态格局的刻画,只有找到刻画动态格局的方法,才能将格局和过程有机地联系在一起;(2)通过对多种景观格局指数的联合应用,发掘景观格局指数集合体对生态过程的解释能力;(3)发展基于生态过程的景观格局指数和分析方法;(4)通过多维景观格局分析,定量研究景观格局演变与生态过程之间的关系;(5)多尺度景观格局分析,将为解决格局与过程的关系提出有效手段。

关键词:景观格局指数;景观格局分析;困境;发展方向

文章编号:1000-0933(2008)11-5521-11 中图分类号:Q143 文献标识码:A

Landscape pattern analysis in landscape ecology: current, challenges and future

CHEN Li-Ding¹, LIU Yang^{2,3}, LÜ Yi-He¹, FENG Xiao-Ming¹, FU Bo-Jie¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen 361003, China

3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5521 ~ 5531.

Abstract: Landscape pattern metrics, as important means in landscape ecology, has resulted in the prosperity of landscape ecology. However, landscape pattern analysis was criticized recently for its poor correlation with ecological processes. In this paper, the current situation and challenges in landscape pattern analysis was elaborated, and future of landscape pattern analysis was discussed. We believe landscape metrics are still the main method in spatial pattern analysis, and important for landscape ecology. However, three challenges are faced in landscape pattern analysis. How to develop new methods by integrating explicit ecological sense in landscape pattern analysis? How to link landscape pattern and ecological processes? How to apply the theory of “matrix-patch-corridor” in practice? In future, five areas are to be addressed, (1) to develop a

基金项目:中国科学院知识创新工程重要方向性资助项目(kzcx2-yw-421);国家自然科学基金资助项目(40621061;30570319)

收稿日期:2007-11-19; **修订日期:**2008-08-29

作者简介:陈利顶(1965~),男,河南辉县人,博士,研究员,主要从事景观格局与生态过程、土地利用变化的环境效应与区域生态安全研究. E-mail: Liding@rcees.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by Key Project of CAS Knowledge Innovation Program (No. kzcx2-yw-421), and National Natural Science Foundation of China (No. 40621061; 30570319)

Received date:2007-11-19; **Accepted date:**2008-08-29

Biography: CHEN Li-Ding, Ph. D., Professor, mainly engaged in landscape pattern and ecological processes, land use change and its environmental effect, and regional eco-security. E-mail: Liding@rcees.ac.cn

methodology to describe landscape pattern from static to dynamic; (2) to explore the ecological sense of landscape pattern by using a series of landscape metrics; (3) to frame new landscape metrics by integrating an explicit ecological meanings; (4) to conduct landscape pattern analysis at multi-dimensions; (5) to explain the relationship between landscape pattern and ecological processes by multi-scale pattern analysis.

Key Words: landscape metrics; landscape pattern analysis; challenge; perspectives

景观格局是指大小和形状不同的景观要素在空间上的排列^[1],景观要素的组成和构型是其基本特点^[2]。景观要素组成是指景观格局的要素类型以及各类型在景观中所占的比重,而景观要素构型则是指不同景观要素的空间排列方式^[2]。景观异质性是指景观格局在空间和时间上的复杂性和变异性^[3],即景观要素的组成和构型在时空上的变化。景观格局与景观异质性有时会被作为同义词而相互替代^[3]。景观空间格局分析研究景观的结构组成特征及其空间配置关系^[4],并借助一定的手段(如文字、图表、景观格局指数等)对其进行描述。格局分析的目的是从看似无序的景观要素镶嵌中,发现潜在的有意义的规律性,并确定产生和控制空间格局的因子和机制^[4~6]。

景观空间格局、景观功能和景观动态是景观生态学研究的核心内容^[7,8],而对景观格局进行定量分析,则是研究格局与过程相互关系的基础^[9],也是研究景观动态和景观功能的关键^[10]。此外,景观格局分析还在资源管理和生物多样性保护等方面起着重要作用^[3]。也正是这些原因,使景观格局分析自 1980s 以来在北美乃至全球的景观生态学研究一直占据重要地位^[11]。然而,由于多年来景观格局分析一直停留在景观格局特征的描述方面,未能深入反映研究的生态过程,目前受到了非议。但是作者认为景观格局分析,作为景观生态学发展的重要特点,在深化景观生态学发展中仍将起到重要作用,关键在于如何利用现有的景观格局指数,来揭示生态过程。鉴于景观格局分析的重要性,本文系统分析了景观格局分析的现状及其面临的困境,并对未来发展方向进行了分析。

1 景观格局分析的现状

目前景观格局分析可分为两种:泛泛的景观格局分析和针对特定生态过程的景观格局分析。所谓泛泛的景观格局分析是指针对一定的研究区域,利用传统的景观格局指数,描述该区域的景观类型组成和结构特征。这类景观格局分析在早期的研究中占优势,绝大多数的景观格局指数都是在这种景观格局分析过程中提出来的。针对特定生态过程的景观格局分析是在景观生态学家充分认识到格局-过程关系的重要性以后被提出来的,是景观格局分析的更高层次,它将在当前及未来的景观格局分析中占据主导地位。

1.1 景观格局的指数分析方法

现代景观生态学包含了一系列景观空间格局分析的方法^[12],如文字、图表以及景观格局指数等^[4,13,14]。其中,景观格局指数是应用最为广泛的一种^[15~19]。Turner^[11]认为,研究景观空间异质性的成因及其生态学含义首先需要对景观格局进行量化,而景观格局指数是反映景观结构组成、空间配置特征的简单量化指标^[20],可以满足这种需要。此外,利用景观格局指数,还可以实现景观空间格局同时异地、同地异时及异地异时的比较研究^[19]。

(1) 景观格局指数类型

根据描述对象的不同,景观格局指数可以分为描述景观要素的指数和描述景观水平的格局指数。对描述景观要素的格局指数而言,依据指数功能可分为斑块面积指数(如平均斑块面积、斑块密度、最大斑块指数等)、边界形状指数(如边界密度、平均形状指数、平均斑块分维数等)、邻近度指数(如斑块平均邻近距离)和构型指数(如聚集度指数、蔓延度指数);景观水平的格局指数除以上 4 类外,还包括多样性指数,如斑块丰富度指数、香农多样性指数、香农均匀度指数等。随着 GIS 和计算机技术的迅猛发展,一些新的景观格局指数不断产生^[21,22],如孔隙度指数^[23]、聚集度指数^[24]、景观空间负荷对比指数^[25]等。

表1列出了1979~2008年发表的100篇中文文献中使用的主要景观格局指数的情况。从中可以看出,目前主要集中在斑块面积、形状、多样性、空间构型和景观破碎化几个方面(图1)。除了面积方面指数用的稍多(28.97%)外,其他3个方面的指数被使用的频率比较接近。同时,通过统计分析可知,目前景观格局指数在命名上十分混乱,表1仅仅列出了使用次数超过5次的指数,出现在中文文章的景观格局指数名称多达100余个。

(2) 景观格局指数的相关性

景观生态学中存在各种各样的景观格局指数,尽管表现形态不同,但是有许多景观格局指数所表达的含义类同。如景观优势度、景观均匀度及景观多样性指数,均表达了景观中各种类型在格局中所占的优势或平均程度;平均斑块密度、聚集度指数与边界密度指数,斑块形状指数、分维数等等皆表达了相类似的含义。许多研究表明,景观格局指数之间存在较大的相关性,由此导致在进行景观格局分析时,需要对景观格局指数进行筛选,客观反映景观格局的特征。

Riitters等^[26]以85张土地利用图为基础数据,采用相关分析与因子分析法对55个景观指数进行了计算,最后筛选出平均周长面积比、蔓延度、相对斑块面积、分维数、斑块类型数5个格局指数作为反映景观格局特征的指数集。Lausch和Herzog^[27]分别用相关分析和因子分析法、分类树法对德国Espenhain和Leipzig South两个地区景观水平的格局指数进行了筛选,由于两个地区数据来源、数据处理方法等的差异,最终得到的景观格局指数集差异较大。因此,有必要建立一套利用遥感影像计算景观格局指数的标准步骤^[28]。利用统计学方法对格局指数进行筛选,以避免信息重复,在格局分析过程中是非常必要的^[22,27]。而同时,Li和Wu^[15]也指出,在格局指数与生态过程的联系以及格局指数的尺度敏感性问题未得到解决之前,用统计方法计算得到的指数集,其生态学意义常常并不明确或难以解释。

(3) 景观指数与生态过程

景观格局与生态过程之间存在紧密的相互作用关系是景观生态学研究的基本前提^[3],而深入了解和把握这种关系则是景观生态学研究的主要议题^[29]。景观格局分析的最终目的是为了刻画格局与过程之间的相互作用关系^[15]。如果一个格局指数具有一定的生态学意义,且能反映景观格局的部分重要特征,那么

表1 景观格局指数在中文文献使用的频率分析

Table 1 Statistic analysis of the landscape indices used in the referenced Chinese literature

类型 Type	指标 Index	次数 Times	频率 Frequency(%)
面积指数 Area Index	PA	29	5.06
	NP	40	6.98
	PD	40	6.98
	MPS	40	6.98
	LPI	17	2.97
	合计 total	166	28.97
形状指数 Shape Index	AWMSI	8	1.40
	MSI	15	2.62
	AWMPFD	13	2.27
	MPFD	19	3.32
	FDI	29	5.06
	LSI	20	3.49
	PAFRAC	6	1.05
	合计 total	110	19.20
	多样性指数 Diversity Index	SHDI	34
SIDI		5	0.87
Hi		37	6.46
SHEI		17	2.97
Ev		18	3.14
合计 total		111	19.37
空间构型指数 Spatial Configuration Index	PCI	5	0.87
	DI	32	5.58
	CO	6	1.05
	CI	10	1.75
	Is	21	3.66
	CONTAG	17	2.97
	AI	15	2.62
	合计 total	106	18.50
	破碎化指数 Fragmentation Index	ED	23
FN		34	5.93
SL		5	0.87
PLAND		18	3.14
合计 Total		80	13.96
总计 Total		573	100.00

PA:斑块面积 Patch Area; NP:斑块数 Number of patches; PD:斑块密度 Patch density; MPS:平均斑块面积 Mean patch area; LPI:最大斑块指数 Maximum patch index; AWMSI:面积加权平均斑块形状指数 Area-weighted patch shape index; MSI:平均斑块形状指数 Mean patch shape index; AWMPFD:面积加权平均斑块分维数 Area-weighted mean patch fractal dimension; MPFD:平均斑块分维数 Mean patch fractal dimension; FDI:分维数 Fractal dimension index; LSI:景观形状指数 Landscape shape index; PAFRAC:面积/周长分维数 Perimeter-area fractal dimension; SHDI:Shannon 多样性指数 Shannon diversity; SIDI: Simpson 多样性指数 Simpson diversity index; Hi:多样性指数 Landscape diversity; SHEI:Shannon 均匀度指数 Shannon evenness; Ev:均匀度指数 Evenness index; PCI:斑块连通度 Patch cohesion index; DI:优势度 Diversity; CO:结合度 Cohesion index; CI:复杂度 Complexity index; Is:分离度 Landscape isolation; CONTAG:蔓延度 Contagion; AI:聚合度 Aggregation index; ED:边界密度 Edge density; FN:景观破碎度 Landscape fragmentation; SL:内部生境面积破碎化指数 Inner habitat area index; PLAND:斑块所占景观面积的比例 Percentage of landscape types

通过它就可以建立起景观格局与生态过程之间的动态链接^[15,30]。可惜的是,景观格局指数如今已经发展到了数量多、类型少、生态学意义模糊的程度^[22],很多景观指数的结果难以进行生态学解释^[19],导致许多景观格局分析未能从客观上反映待研究的生态过程。

Tischendorf^[9]用景观格局指数定量刻画虚拟景观和现实景观,用扩散成功(dispersal success)、搜索时间(search time)和单元迁入(cell immigration)3个指标作为生态过程(物种迁移)变量,通过模拟4个不同物种在不同景观格局中的迁移扩散,并对不同模拟过程、不同景观的格局指数和生态过程变量进行相关分析,检验格局指数对生态过程的反映能力。结果显示,单个格局指数无法充分解释生态过程,格局指数与生态过程变量的

相关关系随着过程变量的不同而不同,用相同的变量描述同种生态过程可以实现不同研究结果之间的对比。但是试图用单一格局指数来描述与某一特定生态过程相关的景观格局特征,并预测这一过程作用下的景观格局变化,是景观生态学家们研究的目的。如 Verboom 等^[31]创建的连通度指数(connectivity index),通过测量斑块间的连通性,极大地改善了对欧洲五子雀(nuthatch)斑块占有率的预测效果。陈利顶等^[25]以非点源污染作为研究的生态过程,建立了景观空间负荷对比指数,用来描述景观格局对非点源污染过程的影响。实际应用表明,该指数对流域水土流失、非点源污染具有一定的指示作用^[32]。这些指数针对特定的生态过程,能够较为有效地预测有关生态过程的特征。

(4) 景观格局指数与尺度效应

格局与过程之间的相互作用具有强烈的尺度依赖性。尺度的存在根源于地球表层自然界的等级组织和复杂性,尺度本质上是自然界所固有的特征或规律,而为有机体所感知^[33]。因而尺度可分为测量尺度和本征尺度。测量尺度是用来测量过程和格局的,随人类感知能力的发展而不断发展。本征尺度是自然现象固有而独立于人类控制之外的。只有当测量尺度与所研究现象的本征尺度相符时,格局或过程才能被可靠地揭示^[34~36]。景观格局指数对尺度敏感性的原因就在于取样尺度(测量尺度)与研究对象的本征尺度存在差异。因而,使测量尺度不断接近于本征尺度是深刻而准确地揭示自然现象和规律的必然选择。遥感和地理信息系统(GIS)的发展为景观生态学家提供了便利而有效的技术手段^[11,27],在这些技术方法的支持下,近年来,已有许多生态学家对尺度问题做了研究,并提出了一系列探究特征尺度的方法。常见的分析方法包括自相关分析法、半方差函数法、孔隙度指数法、尺度方差和小波分析法等^[33,36]。

尽管尺度分析已经取得了一定进展,但多数研究都侧重于景观的空间尺度辨析,而忽略了时间尺度。同样地,绝大部分景观格局指数也忽略了景观的时间异质性^[3]。事实上,不同等级层次的景观不仅对应着不同的空间尺度,其时间尺度也不尽相同。景观格局是不同景观单元和生态过程在一定时间和一定空间内相互作用的表现,它在空间或时间单方面表现出的特征都不能代表其本质的规律性。判别景观格局的特征尺度是进行格局分析的前提^[3],而这个特征尺度不仅包括空间尺度,还应包含时间尺度,二者缺一不可。

1.2 景观格局分析的特点

从“斑块、廊道、基质”理论出发,景观格局分析的内容可划分为景观要素的空间形态分析、景观要素的空间关系分析和景观要素的空间构型分析三方面^[8]。目前景观格局分析呈现出以下两个特点。

(1) 从一维分析到多维分析

单纯的时间或空间特征都不能全面反映景观格局的整体,因此景观格局分析已经从单一维度(单纯的时间维或空间维)的分析转变为时空结合的多维景观格局分析。这一方面受人类认识规律的影响,即人类对任

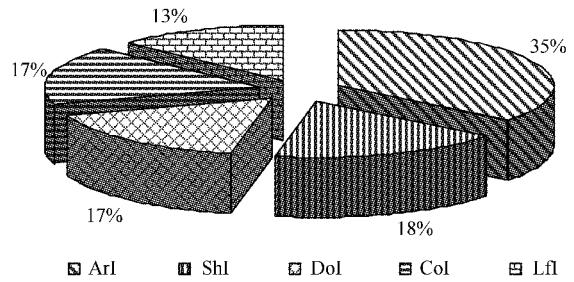


图1 景观格局指数使用频率统计

Fig. 1 Percentage of landscape indices used in referenced Chinese paper

ArI: 面积指数 Area index; ShI: 形状指数 Shape index; DoI: 景观多样性指数 Diversity index; Col: 空间构型指数 Spatial configuration index; LfI: 景观破碎化指数 Landscape fragmentation index

何事物的认识都遵循从简单到复杂、从一维到多维的规律;另一方面则得益于遥感以及地理信息系统技术的发展。遥感技术使同时异地、同地异时等海量景观数据的获取成为可能,而地理信息系统则为处理海量数据提供了技术依托。

通常情况下,这种对景观格局的时空变异分析会与格局变化的驱动力分析结合起来,探究景观格局发生变化的原因及机制,以对景观格局形成更深刻的了解。Wang 等^[37]借用一系列景观格局指数,包括景观类型百分比(PL)、斑块数(NP)、平均斑块面积(MPS)、斑块面积分异系数(PSCV)、面积加权平均形状指数(AWMSI)、面积加权平均斑块分维数(AWMPFD)和香农多样性指数(SDI),分析了青藏高原杜兰县(青海省)1990~2000年之间的景观格局变化特征。结果显示,容易带来较高经济收益的景观类型(如耕地、密林地、高覆盖度草地、水池及建筑用地等),其面积在1990~2000年期间有所上升。这些景观类型多属于人工景观,主要受社会经济发展的驱动,适宜的气候条件加深了这种格局的变化。而对灌木林地、疏林地及中低覆盖度草地等景观类型而言,其面积在1990~2000年期间有所下降。这些景观类型多属于自然景观,自然气候条件是其变化的主要驱动力。类似的研究还有许多,如Liu等^[38]、Ward等^[39]、Xu等^[40]、Başkent和Kadiogullari^[41]等,分别以不同的研究区为对象,探讨了不同景观的时空变异特点,并对其驱动力因子作了分析。

对景观格局的多维分析更能揭示格局与过程的相互作用关系,其不足之处在于对驱动力的分析还停留在定性描述阶段,有时甚至难免有牵强之处。未来研究中应加强对格局变化驱动因子的定量分析,并建立驱动因子与景观格局之间的定量关系。在此基础上,可以通过调整驱动力系统中的可控性因子来实现景观格局的优化,或者对特定因素影响下的景观格局变化进行预测。

(2) 基于整体格局的重点样带分析

生态过程对景观格局的作用经常通过景观的局部地区(如一条样带或者河流、道路两侧一定距离内的缓冲带等)就可以得到显著反映。这样,通过对景观的局部地区(或样带)进行分析,即能体现出景观的主体特征,且更易于分析与解释。这种对局部景观格局进行的分析多见于城市景观生态学,且常常与多维分析相结合,通过剖析城市主导梯度上景观的时空变异特征来反映城市化对城市景观格局的影响。

“梯度范式”的概念最早由McDonnell和Pickett^[42]引入城市景观研究。所谓梯度,是指土地利用程度和人类干扰活动等的变异程度^[43]。Luck和Wu^[44]将梯度范式与景观格局指数分析相结合,研究了美国亚利桑那州Phoenix城区一条“城市-乡村”样带上的景观格局特征,是城市景观格局分析中将梯度范式与景观格局指数相结合的典型案例。近年来,采用这种方法对具有代表性的城市景观格局进行分析的工作逐渐增多,并呈现出与多维分析相结合的趋势^[43,45~47]。景观格局的梯度分析并非仅局限于对城市景观的分析,它在研究河流、道路等带状景观要素对周边的影响,或对沿带状地物分布的景观格局特征进行分析时尤其有用。如毕晓丽等^[48]对泾河沿岸10km缓冲带范围内的景观格局及其驱动力进行了分析。卜心国等^[49]对东莞市轻轨沿线500m缓冲带范围内的土地利用结构和强度进行分析,评价了东莞市轻轨线路规划的合理性。在实际研究中必须注意的是,作为研究对象的局部景观必须能够充分反映景观格局的显著特征或生态过程对景观的主导影响。

2 景观格局分析面临的困境

2.1 建立具有生态学意义的景观格局分析方法

20世纪80年代景观生态学迅速发展初期,景观格局指数在景观格局分析中发挥了重要作用。利用景观格局指数,人们可以将纷繁复杂的自然现象用一些简单的数值表示出来,极大地增强了人类认识自然的能力。同时由于有了简便易行的景观生态学指数和景观格局分析软件的出现,才使得景观生态学得到了蓬勃发展。可以说,景观生态学的特色正是在于提出了一系列的景观生态学指数和发展了景观格局分析的软件。然而,随着景观生态学的不断发展以及人们认识能力的不断提高,景观生态学家已不再满足于单纯的景观格局刻画,逐渐将研究重点转向格局与过程相互作用关系的探讨方面,并希望能够用一系列景观格局指数来表现这种相互关系。遗憾的是,目前绝大部分的景观格局指数还是在景观生态学发展初期创立的,它们大部分来自

于数理统计^[21]和几何特征与空间关系的数学表达,如斑块面积指数、边界形状指数等,指数本身并没有生态学意义^[15,22]。它们所能描述的也只是景观的现状和总体特征,无法反映具体生态过程与景观格局的相互关系,不能满足更高层次景观格局分析的要求。如何建立具有生态学意义的景观格局指数,或者挖掘现有景观格局指数的含义,成为目前景观生态学工作者面临的突出问题之一。

2.2 将景观格局与生态过程联系

在同一研究区域内,可能同时存在多种不同类型的生态过程^[15],如水土流失、物种迁移等。不同的生态过程会与不同性质的景观要素发生作用,具有明显的针对性。探讨不同生态过程与格局的相互作用关系,需要一系列针对特定生态过程且具有明确指示意义的景观格局指数。如针对水土流失的景观格局分析,需要能够反映土地利用类型、结构及其海拔高度和坡度的景观格局指数;而针对物种迁移的景观格局分析,则需要能够反映物种食物的分布、栖息地面积及其连通性的景观格局指数。然而,由于大部分现存的景观格局指数都缺乏明确的生态学意义,使得这种针对特定过程的景观格局分析在现实中较难实现。

另一方面,景观格局指数的数理统计特性,决定了部分格局指数只能反映景观格局的数量变化而不能反映其质量变化。如当某一区域内景观要素的排列组合方式发生变化而要素类型及面积保持不变时,景观的斑块面积指数、多样性指数均保持不变,而此时景观格局对生态过程的作用已经发生了变化。以农业景观对非点源污染的作用为例,耕地一般被认为是非点源污染形成过程中的“源”景观,而林地通常被认为是该过程中的“汇”景观^[18]。当二者保持面积不变而位置发生相互对换后,景观的斑块面积指数和多样性指数仍然保持不变,而此时景观格局对非点源污染的作用已发生了显著变化。如何准确反映格局与过程间的相互作用关系及其动态变化,将二者有机联系起来,是景观格局分析面临的又一难题。

目前在我国开展的大量景观格局分析中,更多的侧重于景观格局指数的计算和分析^[10,48,50~52],将景观格局分析与生态过程相结合的研究相对较少。但仍有大量的景观生态学工作者作了很好的尝试,如:傅伯杰、赵文武等针对黄土高原地区的土壤侵蚀,建立的多尺度景观格局评价指数^[25,32,53,54];曾辉等通过分析斑块边界特征来研究山地森林景观破碎化的过程^[55];李阳兵等针对我国喀斯特地区的石漠化过程进行了比较深入的研究^[56~57];李秀珍、刘红玉等分别研究了湿地景观格局在污水净化方面的作用和湿地景观破碎化对珍稀禽栖息环境的影响^[58~59]。所有这些工作为探讨景观格局与生态过程之间的关系奠定了基础,但是在探讨景观格局指数的生态学意义上还有待深入。

2.3 “基质-斑块-廊道”的格局理论应用于解决实际问题

“基质-斑块-廊道”的格局理论是景观生态学最初提出的经典理论,也是景观格局分析的基础。但是如何将“基质-斑块-廊道”理论更好地应用到解决实际问题中,截至目前仍然缺乏好的实例。与此同时,不同的基质、斑块、廊道的面积比例及其空间分布格局对生态过程的影响,仍然缺乏强有力的实例研究。在将“基质-斑块-廊道”理论应用到实际中之前,需要重点解决四个问题:(1)每一个景观类型在特定生态过程中所起的作用如何?(2)不同景观类型作为基质、斑块或者廊道,所起的作用是否相同?对生态过程的影响性质是否发生了变化?(3)不同景观类型作为基质、斑块、廊道在空间上的组织形式对生态过程的影响到底如何?如何将“基质-斑块-廊道”和特定的生态过程联系在一起?(4)针对特定的生态过程,是否存在一个最佳的“基质-斑块-廊道”模式?如何寻找这样的模式?

3 景观格局分析的未来发展方向

景观格局是各种生态过程在不同尺度上作用的结果^[5,10],景观格局分析的最终目的就是要研究不同尺度上格局与过程之间的相互作用关系。在一定的时间和空间尺度上,选取一系列具有生态学意义的景观格局指数来描述景观格局的时空变异性,并使之与一定的生态过程相联系,解释格局与过程在该尺度上的相互作用关系,是景观生态学家的重要任务。此外,景观生态学是一门新兴的综合性学科^[19],其它相关学科的理论与方法都可以拿来为景观生态学服务。同样,作为景观生态学核心内容的景观格局分析,合理引入其它学科的理论与方法,可以推动其快速发展。为了进一步深化景观生态学的发展,今后的景观格局分析可以从以下几

个方面进行重点突破。

3.1 从静态格局描述到动态格局刻画

格局与过程的相互作用关系固然是景观生态学关注的焦点,但是传统意义上的格局和过程特点迥异。通常所说的景观格局是静态的,无论是利用现有的土地利用现状图、植被类型图,还是利用遥感影像解译的景观类型图,所获得的结果往往是某一瞬间地表覆被的信息特征,由此计算出来的各种景观格局指数只是反映了这一瞬间的格局信息。然而人们所关注的生态过程往往是动态的、发展的,延续了一个季节、一年或者一个时段。试图将计算出来的静态格局指数与一个动态变化的过程联系在一起,是不现实的,也是不科学的。

动态变化过程是一个客观存在的事实,为了将格局与过程联系在一起,需要在格局分析上进行改进。既然生态过程是动态的,能否将静态的格局分析赋予动态变化的属性,使之与生态过程联系起来。只有这样才能将格局分析与生态过程研究有机地结合在一起。静态格局动态化可以从3个方面着手:(1)静态格局的序列组合:可以将不同时期土地利用/覆被类型图组成一个序列,由此可以看出土地利用/覆被的动态变化过程,在此基础上分析景观格局指数的时间动态;(2)静态格局与生态过程关键影响因子的组合:不同景观要素(土地利用类型)的空间组合,在一定程度上形成了一个基本平台,这个格局仅仅是反映了生态过程发生的初始状态,如果在研究过程发生的时段内,将一些关键因子的时间动态变化附加在初始的静态格局上,由此对格局赋予动态的属性。由于在进行格局分析时,除了考虑影响过程的基本格局外,又考虑了生态过程的关键影响因子,这样的复合格局为与过程联系提供了基础;(3)建立过程关键影响因子动态变化图谱,构建新的格局:这是一个新的格局分析方法,可以借用图谱识别方法,如植被指数季节变化、气温(积温)季节变化、降水季节变化,组成一个系列图谱,从而构成一个新的图谱格局,在此基础上,再利用模式识别的方法,找到不同格局的范式或数学表达方式,由此来研究格局与过程的相互作用关系。

3.2 多种景观格局指数的联合应用

景观指数的联合使用对景观格局特征的描述已经取得了一定进展。然而,这些研究多是在未考虑生态过程的情况下,针对具体的景观格局进行的,且针对不同景观格局所得到的指数集也并非完全一致^[27]。未来的景观格局分析需要既能全面反映景观格局特征,又可与具体生态过程相关联的景观格局指数集。针对不同生态过程研究指数集内不同指数的数值范围,建立不同指数值的组合与不同生态过程间的相互对应关系。值得注意的是,在构造指数集的过程中,有必要建立一套利用遥感图像计算景观格局指数的标准步骤^[28]。

多种景观格局指数联合使用的基础是不同的景观格局指数反映了景观格局的不同侧面。为了科学准确地反映一个景观格局的特征,可以有目的地从几个方面选取景观格局指数,如反映景观类型数量的指数,反映景观格局形状的指数,反映景观类型空间分布的指数。在进行比较研究时,通过几个方面格局指数的集合特性来反映一个地区景观格局的特征。在此,需要对筛选出来的格局指数集合,进行生态学意义上的解释,首先找到几个格局指数的集合特性到底指示什么?具有何种意义?

3.3 发展基于过程的格局分析方法

从某种意义上说,目前的景观格局分析仅仅是对一个现状的景观进行综合性的描述,未能客观反映一些典型景观因子,但是作为生态学过程,不同类型的过程受到的影响因子不同,往往具有一些个性化的特征。因此将一个泛泛的反映景观格局特征的指数和一个具有个性化的生态过程联系在一起是不现实的。为此需要针对特征生态过程,通过考虑影响该过程的一些主导因子,结合景观格局分析的方法,建立基于特定生态过程的景观格局指数。

针对特定生态过程的景观格局分析在景观生态学界已经引起了足够的重视,如针对物种迁移、城市化、水土流失等生态过程的景观格局分析逐渐增多。然而,在分析方法方面,将格局与过程相联系的景观格局指数还较少,目前仅有连通度指数^[31]、景观空间负荷对比指数^[25]等。未来研究应致力于构建基于不同生态过程的景观格局指数,并不断改进,扩大其应用范围。目前在这一方面的研究还远远不够。

针对不同尺度研究土地利用与土壤侵蚀的关系是自然地理学研究的前沿领域和热点问题,基于景观生态

学的“尺度-格局-过程”原理,在考虑土地利用、地形、土壤、降雨等影响因素的基础上,应用尺度转换的方法,构建了不同尺度土壤侵蚀评价指数,提出了多尺度土壤侵蚀评价指数的研究思路与方法.多尺度土壤侵蚀评价指数适用于土地利用与土壤侵蚀的关系评价和多尺度土壤侵蚀评价研究,为区域土地利用格局的优化设计和多尺度综合研究提供了新的方法。

3.4 多维景观格局分析

景观的空间异质性并非静止不动,生态过程也是如此^[3]。以往生态学家所分析的景观格局实际上是景观格局动态变化过程中在某一时刻所表现出来的特征。除了开展的水平和时间维的分析外,很少考虑其他因素对景观格局的影响。实际上,景观格局的分析还有一个很重要的维度是垂直方向。无论是研究水土流失,还是研究动物迁移,地形高度、坡度对它们的影响都十分重要,因此在进行景观格局分析时也需要考虑垂直方向上的景观信息。

开展多维景观格局分析,需要考虑两个方面:(1)同一景观要素随着垂直方向的变化,如土地利用类型/覆被类型、叶面积指数随着地形高度的变化。在景观格局分析时,不考虑各种景观要素随着地形高度、坡度的变化,计算出来的景观格局指数将缺乏说服力,也很难和相应的生态过程联系在一起;(2)需要考虑垂直方向上不同景观要素的组合,目前人们所说的景观格局往往局限于土地利用/土地覆被一种要素,其实影响生态过程的要素除了土地利用/土地覆被外,基岩、土壤、地形等要素也会对景观格局产生较大的影响,在多维分析框架下,研究垂直方向上各种要素的空间组合对景观格局特征的影响,将更具有现实意义。

3.5 多尺度景观格局分析

尺度选择是景观格局分析中至关重要的一步^[3],是进行格局分析的前提和基础。对于任何系统的描述都依赖于特定时空范围和组织水平的选择^[60]。只有选择了适宜的研究尺度,对景观格局的分析和过程的研究才有意义。多尺度景观格局分析就是要找到与生态过程相对应的景观格局指数和分析方法,找到研究生态过程的最佳渠道。开展多尺度景观格局分析,可以从3个方面入手:(1)利用多尺度遥感信息源解析景观格局的特征。不同分辨率的遥感信息,反映了景观格局不同尺度的特征,如果将不同遥感信息源解译出来的景观格局指数组成一个系列,可以较好地反映一个地区景观格局随着尺度变化的特征,从而可以找出研究生态过程的相应方法;(2)利用景观格局分析中的粒度分析方法,利用同一信息源,通过变化粒度的大小来计算景观格局指数随着粒度变化的规律,进一步揭示这种景观格局指数随着粒度变化特征所指示的生态学现象;(3)通过变化研究地区的幅度大小来寻找景观格局指数随着幅度变化特征所代表的生态学意义。总之,通过多尺度的景观格局分析,构建一个景观格局指数随着尺度、粒度和幅度变化的特征曲线,从而将特征曲线与相应的生态过程相对应。

总之,景观格局分析成为景观生态生态学发展的驱动力,在今后相当长的时间内还将起到极其重要的作用。但在新的形势下,如何开发景观格局分析及其格局指数的潜力是摆在众多景观生态学工作者面前的一个难题。笔者认为上述五个方面,即“从静态格局分析到动态格局刻画”、“多种景观格局指数的联合使用”、“发展基于过程的景观格局指数”、“多维景观格局分析”和“多尺度景观格局分析”,将是景观格局分析的未来发展方向,也是进一步开挖景观格局分析潜力的着力点。

References:

- [1] Han M, Sun Y N, Xu S G, *et al.* Study on changes of marsh landscape pattern in Zhalong wetland assisted by RS and GIS. *Progress in Geography*, 2005, 24(6):42–49.
- [2] Wagner H H, Fortin M J. Spatial analysis of landscapes: concepts and statistics. *Ecology*, 2005, 86(8):1975–1987.
- [3] Gustafson E J. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? *Ecosystems*, 1998, 1:143–156.
- [4] Cao Y, Ouyang H, Xiao D N, *et al.* Landscape patterns analysis based on APACK for Ejina natural oasis. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(6):776–785.
- [5] Fu B J, Chen L D, Ma K M, *et al.* Theory and application of landscape ecology. Beijing: Science Press, 2001.

- [6] Xiao D N, Li X Z, Chang Y, *et al.* Landscape ecology. Beijing: Science Press, 2003.
- [7] Wiens J A. Landscape ecology: the science and the action. *Landscape Ecology*, 1999, 14:103.
- [8] Chen W B, Xiao D N, Li X Z, *et al.* The characteristics and contents of landscape spatial analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7):1135 — 1142.
- [9] Tischendorf L. Can landscape indices predict ecological processes consistently? *Landscape Ecology*, 2001, 16:235 — 254.
- [10] Zhang M Y, Wang K L, Liu H Y, *et al.* Study on the changes of landscape pattern with elevation in Baiyangdian Watershed. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2005, 19(4):75 — 81.
- [11] Turner M G. Landscape ecology in North America: past, present, and future. *Ecology*, 2005, 86(8):1967 — 1974.
- [12] Haase D. Development and perspectives of landscape ecology. *Landscape Ecology*, 2004, 19:567 — 569.
- [13] Hulshoff R M. Landscape indices describing a Dutch landscape. *Landscape Ecology*, 1995, 10(2):101 — 111.
- [14] Chen W B, Xiao D N, Li X Z. Classification, application, and creation of landscape indices. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(1):121 — 125.
- [15] Li H, Wu J. Use and misuse of landscape indices. *Landscape Ecology*, 2004, 19:389 — 399.
- [16] Fu B J, Lu Y H. The progress and perspectives of landscape ecology in China. *Progress in Physical Geography*, 2006, 30:232 — 244.
- [17] Zhang S, Zhang J, Li F, *et al.* Vector analysis theory on landscape pattern (VATLP). *Ecological Modelling*, 2006, 193:492 — 502.
- [18] Chen L D, Fu B J, Zhao W W. Source-sink landscape theory and its ecological significance. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5):1444 — 1449.
- [19] Lv 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.
- [20] Zhang Q J, Fu B J, Chen L D. Several problems about landscape pattern change research. *Scientia Geographica Sinica*, 2003, 23(3):264 — 270.
- [21] Li X Z, Bu R C, Chang Y, *et al.* The response of landscape metrics against pattern scenarios. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1):123 — 134.
- [22] Bu R C, Hu Y M, Chang Y, *et al.* A correlation analysis on landscape metrics. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10):2764 — 2775.
- [23] Schumaker N H. Using landscape indices to predict habitat connectivity. *Ecology*, 1996, 77:1210 — 1225.
- [24] He H S, DeZonia B, Mladenoff D J. An aggregation index (AI) to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology*, 2000, 15(7):591 — 601.
- [25] Chen L D, Fu B J, Xu J Y, *et al.* Location-weighted landscape contrast index: a scale independent approach for landscape pattern evaluation based on “Source-Sink” ecological processes. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11):2406 — 2413.
- [26] Riitters K H, O'Neill R V, Hunsacker C T, *et al.* A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology*, 1995, 10:23 — 39.
- [27] Lausch A, Herzog F. Applicability of landscape metrics for the monitoring of landscape change: issues of scale, resolution and interpretability. *Ecological Indicators*, 2002, 2:3 — 15.
- [28] Herzog F, Lausch A. Supplementing land-use statistics with landscape metrics: some methodological considerations. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2001, 72:37 — 50.
- [29] Fortin M J, Agrawal A A. Landscape ecology comes of age. *Ecology*, 2005, 86:1965 — 1966.
- [30] Wiens J A, Stenseth N C, Van H B, *et al.* Ecological mechanisms and landscape ecology. *Oikos*, 1993, 66:369 — 380.
- [31] Verboom J, Opdam P, Metz J A J. European nuthatch metapopulations in a fragmented agricultural landscape. *Oikos*, 1991, 61:149 — 156.
- [32] Suo A N, Wang T M, Wang H, *et al.* Empirical study on non-point sources pollution based on landscape pattern & ecological processes theory: a case of soil water loss on the Loess Plateau in China. *Environmental Science*, 2006, 27(12):2415 — 2420.
- [33] Li Y H, Fu B J. Ecological scale and scaling. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12):2096 — 2105.
- [34] Urban D L, O'Neill R V, Shugart H H. Landscape ecology: a hierarchical perspective can help scientists understand spatial patterns. *BioScience*, 1987, 37:119 — 127.
- [35] Wu J. Effects of changing scale on landscape pattern analysis: scaling relations. *Landscape Ecology*, 2004, 19:125 — 138.
- [36] Zhang N. Scale issues in ecology: concepts of scale and scale analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7):2340 — 2355.
- [37] Wang X, Zheng D, Shen Y. Land use change and its driving forces on the Tibetan Plateau during 1990 — 2000. *Catena*, 2007.
- [38] Liu J Y, Zhan J Y, Deng X Z. Spatio-temporal patterns and driving forces of urban expansion in China during the Economic Reform Era. *Ambio*, 2005, 34(6):450 — 455.
- [39] Ward K, Kromroy K, Juzwik J. Transformation of the oak forest spatial structure in the Minneapolis/St. Paul metropolitan area, Minnesota, USA over 7 years. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81:27 — 33.
- [40] Xu C, Liu M, Zhang C, *et al.* The spatiotemporal dynamics of rapid urban growth in the Nanjing metropolitan region of China. *Landscape Ecology*,

2007, 22:925—937.

- [41] Başkent E Z, Kadiogullari A I. Spatial and temporal dynamics of land use pattern in Turkey: a case study in Inegöl. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81:316—327.
- [42] McDonnell M J, Pickett S T A. Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, 1990, 71(4):1232—1237.
- [43] Weng Y C. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81:341—353.
- [44] Luck M, Wu J. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. *Landscape Ecology*, 2002, 17(4):327—339.
- [45] Seto K C, Fragkias M. Quantifying spatiotemporal patterns of urban land-use change in four cities of China with time landscape metrics. *Landscape Ecology*, 2005, 20:871—888.
- [46] Kong F, Nakagoshi N. Spatial-temporal gradient analysis of urban green spaces in Jinan, China. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 78(3):147—164.
- [47] Yu X J, Ng C N. Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban-rural transects: a case study of Guangzhou, China. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 79:96—109.
- [48] Bi X L, Zhou R, Liu L J, *et al.* Gradient variations in landscape pattern along the Jinghe River and their driving forces. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(5):1041—1047.
- [49] Bu X G, Wang Y L, Wu J S, *et al.* Rationality of city railway planning based on land use: a case study in Dongguan city, PRC. *Resources Science*, 2006, 28(2):47—53.
- [50] Wang G X, Liu J Q, Chen L. Comparison of Spatial Diversity of Land Use Changes and the Impacts on Two Typical Areas of Heihe River Basin. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(4):339—348.
- [51] Peng J, Cai Y L, Wang X C. Assessment on land use/cover change in Karst areas based on landscape ecology. *Carsologica Sinica*, 2007, 26(2):137—143.
- [52] Zhang G K, Deng W, Li X G, *et al.* The Dynamic Change of Wetland Landscape Patterns in Xinkai River Basin. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(2):204—210.
- [53] Fu B J, Zhao W W, Chen L D, *et al.* A multiscale soil loss evaluation index. *Chinese Science Bulletin*, 2006, 51(4):448—456.
- [54] Zhao W W, Fu B J, Li Y H, *et al.* Land use and soil erosion at multiscale. *Progress in Geography*, 2006, 25(1):24—33.
- [55] Zeng H, Kong N N, Li S J. 2002. A Fragmentation Study of Mountain Forest Landscape Based on Boundary Characteristics. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11):1803—1900.
- [56] Li Y B, Tan Q, Bai X Y, *et al.* Landscape pattern variation and its ecological effects of Karst area. *Science of Soil and Water Conservation*, 2006, 4(3):42—47.
- [57] Li Y B, Bai X Y, Zhou G F, *et al.* The Relationship of Land Use with Karst in a Typical Karst Area, Rocky Desertification China. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 4(3):42—47.
- [58] Li X Z, Xiao D N, Hu Y M, *et al.* Effect of Wetland Landscape Pattern on Nutrient Reduction in the Liaohe Delta. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(1):32—43.
- [59] Liu H Y, Li Z F, Li X M. Effects of Wetland Landscape Fragmentation on Habitats of Oriental White Storks- A Case Study on Northeastern Sanjiang Plain, China. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(5):817—823.
- [60] Chen L D, Li Y H, Fu B J, *et al.* A framework on landscape pattern analysis and scale change by using pattern recognition approach. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3):663—670.

参考文献:

- [1] 韩敏, 孙燕楠, 许士国, 等. 基于 RS、GIS 技术的扎龙沼泽湿地景观格局变化分析. *地理科学进展*, 2005, 24(6):42—49.
- [4] 曹宇, 欧阳华, 肖笃宁, 等. 基于 APACK 的额济纳天然绿洲景观空间格局分析. *自然资源学报*, 2004, 19(6):776—785.
- [5] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001.
- [6] 肖笃宁, 李秀珍, 常禹, 等. 景观生态学. 北京: 科学出版社, 2003.
- [8] 陈文波, 肖笃宁, 李秀珍. 景观空间分析的特征和主要内容. *生态学报*, 2002, 22(7):1135—1142.
- [10] 张明阳, 王克林, 刘会玉, 等. 白洋淀流域景观空间格局随高程分异研究. *干旱区资源与环境*, 2005, 19(4):75—81.
- [14] 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.
- [18] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义. *生态学报*, 2006, 26(5):1444—1449.
- [19] 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.

- [20] 张秋菊,傅伯杰,陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题. 地理科学, 2003, 23(3):264~270.
- [21] 李秀珍,布仁仓,常禹,等. 景观格局指标对不同景观格局的反应. 生态学报, 2004, 24(1):123~134.
- [22] 布仁仓,胡远满,常禹,等. 景观指数之间的相关分析. 生态学报, 2005, 25(10):2764~2775.
- [25] 陈利顶,傅伯杰,徐建英,等. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法——景观空间负荷对比指数. 生态学报, 2003, 23(11):2406~2413.
- [32] 索安宁,王天明,王辉,等. 基于格局-过程理论的非点源污染实证研究:以黄土丘陵沟壑区水土流失为例. 环境科学, 2006, 27(12):2415~2420.
- [33] 吕一河,傅伯杰. 生态学中的尺度及尺度转换方法. 生态学报, 2001, 21(12):2096~2105.
- [36] 张娜. 生态学中的尺度问题:内涵与分析方法. 生态学报, 2006, 26(7):2340~2355.
- [48] 毕晓丽,周睿,刘丽娟,等. 泾河沿岸景观格局梯度变化及驱动力分析. 生态学报, 2005, 25(5):1041~1047.
- [49] 卜心国,王仰麟,吴健生,等. 基于土地利用的城市轻轨线路规划合理性研究——以东莞市为例. 资源科学, 2006, 28(2):47~53.
- [50] 王根绪,刘进其,陈玲. 黑河流域典型区土地利用格局变化及影响比较. 地理学报, 2006, 61(4):339~348.
- [51] 彭建,蔡运龙,王秀春. 基于景观生态学的喀斯特生态脆弱区土地利用/覆被变化评价. 中国岩溶, 2007, 26(2):137~143.
- [52] 张国坤,邓伟,吕宪国,宋开山,李恒达,张洪岩. 新开河流域湿地景观格局动态变化过程研究. 自然资源学报, 2007, 22(2):204~210.
- [53] 傅伯杰,赵文武,陈利顶,吕一河,王德. 多尺度土壤侵蚀评价指数. 科学通报, 2006, 51(16):1936~1943.
- [54] 赵文武,傅伯杰,吕一河,陈利顶. 多尺度土地利用与土壤侵蚀. 地理科学进展, 2006, 25(1):24~33.
- [55] 曾辉,孔宁宁,李书娟. 基于边界特征的山地森林景观碎裂化研究. 生态学报, 2002, 22(11):1803~1900.
- [56] 李阳兵,谭秋,白晓永,王世杰. 黔中喀斯特地区的景观变化及其生态效应. 中国水土保持科学, 2006.
- [57] 李阳兵,白晓永,周国富,兰安军,龙健,安裕伦,梅再美. 中国典型石漠化地区土地利用与石漠化的关系. 地理学报, 61(6):624~632.
- [58] 李秀珍,肖笃宁,胡远满,王宪礼. 辽河三角洲湿地景观格局对养分去除功能影响的模拟. 地理学报, 2001, 56(1):32~43.
- [59] 刘红玉,李兆富,李晓民. 湿地景观破碎化对东方白鹳栖息地的影响. 自然资源学报, 2007, 22(5):817~823.
- [60] 陈利顶,吕一河,傅伯杰,等. 基于模式识别的景观格局分析与尺度转换研究框架. 生态学报, 2006, 26(3):663~670.