

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第23期 Vol.31 No.23 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 23 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

不同海拔高度高寒草甸光能利用效率的遥感模拟·····	付 刚,周宇庭,沈振西,等 (6989)
天山雪岭云杉大气花粉含量对气温变化的响应·····	潘燕芳,阎 顺,穆桂金,等 (6999)
春季季风转换期间孟加拉湾的初级生产力·····	刘华雪,柯志新,宋星宇,等 (7007)
降水量对川西北高寒草甸牦牛粪分解速率的影响 ·····	吴新卫,李国勇,孙书存 (7013)
基于 SOFM 网络对黄土高原森林生态系统的养分循环分类研究·····	陈 凯,刘增文,李 俊,等 (7022)
不同油松种源光合和荧光参数对水分胁迫的响应特征 ·····	王 琰,陈建文,狄晓艳 (7031)
盐生境下硅对坪用高羊茅生物学特性的影响 ·····	刘慧霞,郭兴华,郭正刚 (7039)
高温胁迫对不同种源希蒙得木叶片生理特性的影响·····	黄激激,张念念,胡庭兴,等 (7047)
黄土高原水土保持林对土壤水分的影响 ·····	张建军,李慧敏,徐佳佳 (7056)
青杨雌雄群体沿海拔梯度的分布特征·····	王志峰,胥 晓,李霄峰,等 (7067)
大亚湾西北部春季大型底栖动物群落特征·····	杜飞雁,林 钦,贾晓平,等 (7075)
湛江港湾浮游桡足类群落结构的季节变化和影响因素·····	张才学,龚玉艳,王学锋,等 (7086)
台湾海峡鲈鱼种群遗传结构·····	张丽艳,苏永全,王航俊,等 (7097)
洱海入湖河流苴河下游氮磷季节性变化特征及主要影响因素·····	于 超,储金宇,白晓华,等 (7104)
转基因鱼试验湖泊铜锈环棱螺种群动态及次级生产力·····	熊 晶,谢志才,蒋小明,等 (7112)
河口湿地植物活体-枯落物-土壤的碳氮磷生态化学计量特征 ·····	王维奇,徐玲琳,曾从盛,等 (7119)
EDTA 对铅锌尾矿改良土壤上玉米生长及铅锌累积特征的影响 ·····	王红新,胡 锋,许信旺,等 (7125)
不同包膜控释尿素对农田土壤氮挥发的影响·····	卢艳艳,宋付朋 (7133)
垄作栽培对高产田夏玉米光合特性及产量的影响·····	马 丽,李潮海,付 景,等 (7141)
DCE 不同施用时间对小麦生长期 N ₂ O 排放的影响 ·····	纪 洋,余 佳,马 静,等 (7151)
氮肥、钙肥和盐处理在冬小麦融冻胁迫适应中的生理调控作用 ·····	刘建芳,周瑞莲,赵 梅,等 (7161)
东北有机及常规大豆对环境影响的生命周期评价 ·····	罗 燕,乔玉辉,吴文良 (7170)
土壤施硒对烤烟生理指标的影响·····	许自成,邵惠芳,孙曙光,等 (7179)
不同种植方式对花生田间小气候效应和产量的影响·····	宋 伟,赵长星,王月福,等 (7188)
西花蓟马的快速冷驯化及其生态学代价·····	李鸿波,史 亮,王建军,等 (7196)
温度对麦长管蚜体色变化的影响·····	邓明明,高欢欢,李 丹,等 (7203)
不同番茄材料对 B 型烟粉虱个体发育和繁殖能力的影响 ·····	高建昌,郭广君,国艳梅,等 (7211)
基于生态系统受扰动程度评价的白洋淀生态需水研究·····	陈 贺,杨 盈,于世伟,等 (7218)
两种典型养鸡模式的能值分析 ·····	胡秋红,张力小,王长波 (7227)
四种十八碳脂肪酸抑藻时-效关系分析的数学模型设计 ·····	何宗祥,张庭廷 (7235)
流沙湾海草床重金属富集特征·····	许战州,朱艾嘉,蔡伟叙,等 (7244)
基于 QuickBird 的城市建筑景观格局梯度分析 ·····	张培峰,胡远满,熊在平,等 (7251)
景观空间异质性及城市化关联——以江苏省沿江地区为例·····	车前进,曹有挥,于 露,等 (7261)
基于 CVM 的太湖湿地生态功能恢复居民支付能力与支付意愿相关研究·····	于文金,谢 剑,邹欣庆 (7271)
专论与综述	
北冰洋海域微食物环研究进展·····	何剑锋,崔世开,张 芳,等 (7279)
城市绿地的生态环境效应研究进展·····	苏泳娴,黄光庆,陈修治,等 (7287)
城市地表灰尘中重金属的来源、暴露特征及其环境效应 ·····	方凤满,林跃胜,王海东,等 (7301)
研究简报	
三峡库区杉木马尾松混交林土壤 C、N 空间特征 ·····	林英华,汪来发,田晓堃,等 (7311)
广州小斑螟发生与环境因子的关系·····	刘文爱,范航清 (7320)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 39 * 2011-12



封面图说:黄河的宁夏段属于中国的半荒漠地区,这里气候干燥、降水极少(250mm 以下)、植被缺乏、物理风化强烈、风力作用强劲、其蒸发量超过降水量数十倍。人们从黄河中提水引水灌溉土地,就近形成了荒漠中的绿洲。有水就有生命,有水就有绿色。这种独特的条件形成了人与沙较量的生态关系——不是人逼沙退就是沙逼人退。

彩图提供:陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

车前进, 曹有挥, 于露, 宋正娜, 董雅文. 景观空间异质性及城市化关联——以江苏省沿江地区为例. 生态学报, 2011, 31(23): 7261-7270.

Che Q J, Cao Y H, Yu L, Song Z N, Dong Y W. Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization: an example from Yangtze River in Jiangsu Province. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(23): 7261-7270.

景观空间异质性及城市化关联 ——以江苏省沿江地区为例

车前进^{1,2}, 曹有挥^{1,*}, 于露^{1,2}, 宋正娜^{1,2}, 董雅文¹

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 空间异质性是揭示地理现象空间分异规律的重要标志。基于高分辨率卫星遥感影像数据, 利用景观生态指数和统计学方法, 构建景观空间异质性综合模型, 定量测度了江苏省沿江地区景观空间异质性特征及城市化关联, 并基于二者的相关性将研究区域划分为 6 个异质性梯度区, 提出了应对城市化干扰的景观空间协调对策。结果表明: 景观空间异质性综合模型是对景观斑块结构、形态、数量 3 个组分特征的反映, 是揭示景观连通性、稳定性和破碎化的重要依据; 景观空间异质性与 3 个城市化参数之间存在显著的正相关, 城镇空间扩张模式和城镇人口的集聚强度对景观空间异质性影响较大; 景观空间异质性梯度分异与区域开发强度、开发时序存在显著的耦合关系; 同时, 面对城市化的干扰, 应该实施保护生态景观空间、减少建设空间与其它景观的接触概率和实施差别化的城市化战略等政策协调城市化发展与景观生态保护之间的矛盾。

关键词: 景观; 空间异质性; 城市化; 关联; 江苏沿江地区

Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization: an example from Yangtze River in Jiangsu Province

CHE Qianjin^{1,2}, CAO Youhui^{1,*}, YU Lu^{1,2}, SONG Zhengna^{1,2}, DONG Yawen¹

1 Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China

Abstract: Spatial heterogeneity is an important concept in ecology and geography. Landscape spatial heterogeneity is defined as the spatial variation of land use patch types, composition and properties. This has important consequences for landscape connectivity, stability and fragmentation and can determine the functions and processes of ecosystems. Landscape spatial heterogeneity emerges from the interaction between human activities and natural ecosystem dynamics. However, with social and economic development as well as human population growth, the human influence is growing stronger. Analysis of spatial heterogeneity is helpful as it can reveal spatial geographical differentiation. Using high-resolution satellite remote sensing data, along with landscape ecological index methods and statistics, a landscape spatial heterogeneity model was constructed. The model was used to quantitatively estimate landscape spatial heterogeneity characteristics and urban connections along the Yangtze River in Jiangsu Province, and to divide the study area into six regions along a heterogeneity gradient. The results showed that the landscape spatial heterogeneity model provides a valid and comprehensive representation of three characteristics of the landscape—patch structure, shape and quantity—which determine connectivity and stability. There was a significant positive correlation between the landscape spatial heterogeneity index and three urban parameters. The correlation coefficient between the landscape spatial heterogeneity index and concentration intensity of the urban population was 0.854. The correlation coefficient between the landscape spatial heterogeneity index and urban spatial

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40871070); 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCY2-YW-339)

收稿日期: 2010-10-08; **修订日期:** 2011-05-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yhciao@niglas.ac.cn

expansion pattern was 0.672. Thus, the urban spatial expansion pattern and concentration intensity of the urban population had strong effects on landscape spatial heterogeneity. There was a significant simultaneous increase between landscape spatial heterogeneity and three urban parameters, which indicated that urbanization has a variable effect on landscape spatial heterogeneity. There were couplings among landscape heterogeneity gradient differentiation, regional development strength and development sequence. Areas of high heterogeneity, such as Nanjing, Suzhou and Wuxi, are the developed regions with the greatest pace of development in Jiangsu Province, and even China. Areas of low heterogeneity, such as Xinghua, Haian, Ruzhou, are distributed in the middle of Jiangsu Province where the level of urbanization is lower and the economy develops at a slower pace. These findings help understand the relationship between economic development and environmental degradation for this area. It is proposed that landscape protection, reduction of construction land and other landscape contact probabilities, and the implementation of differentiated strategies for the city could reduce the conflict between urban development and environmental protection. To preserve the ecological landscape, we should focus on land protection and corridor construction to enhance connectivity. We should also protect forest parks, wetlands and water conservation areas to reduce landscape fragmentation and maintain biodiversity. To reduce construction land and other landscape contact probabilities, we should implement smart growth strategies to prevent further urban sprawl when re-developing urban land-use patterns.

Key Words: landscape; spatial heterogeneity; urbanization; relation; Jiangsu Province along the Yangtze River

空间异质性是生态学与地理学研究的重要理论问题^[1-2]。景观空间异质性是土地利用斑块类型、组合以及属性在空间上的变异程度,是影响景观连通性、稳定性以及破碎化空间格局的原动力^[3-5],对生态系统的功能和过程有着重要影响^[6]。在人类与自然环境交互作用的复合生态系统中,景观空间异质性是人为和自然两个方面力量共同作用的结果,并且随着社会经济发展和人口增长,“人为干扰作用”越来越强烈^[7-8],在众多的“人为干扰作用”中,城市化则是最为显著的因素^[9-11]。国内外学者对于景观空间异质性与城市化关联研究已取得较多进展,但略显不足^[12-19]。首先,在研究思路,多采用单项指数来度量景观空间异质性特征,较少集成各类指数构建综合模型,景观空间异质性反映了景观斑块空间结构、空间形态、空间关联三个组分的特征,因此,与城市化关联的研究也必须从上述三个方面入手;其次,从研究手段来看,遥感和 GIS 技术的应用为景观空间异质性研究提供了新视角,但基于高分辨率卫星遥感影像数据评价大尺度范围内景观空间变异规律及城市化关联的研究报导甚少。基于此,本文利用江苏省沿江地区高分辨率的卫星遥感影像数据,通过测算不同景观指数间的相关性,构建景观空间异质性综合模型,并将其与可量化的城市化要素进行关联分析,旨在揭示快速城市化驱动下江苏沿江地区景观空间分异规律,以此为江苏省沿江地区经济发展与土地持续利用的相互协调提供借鉴。

本文所指的江苏沿江地区包括南京、镇江、常州、扬州、泰州、南通、无锡、苏州地区,下辖 8 个市区以及句容、扬中、丹阳、江阴、张家港、常熟、太仓、仪征、江都、泰兴、靖江、如皋、通州、海门、启东等 31 个县(市),总面积 4.96 万 km²。该区位于长江三角洲平原地区,以低山、缓岗和平原为主,属亚热带湿润季风气候,气候温和,雨量适中,四季分明。该区处于我国沿海与沿江生产力布局主轴线的结合部,是长江三角洲的重要组成部分,是我国经济最为发达的地区之一,2008 年,总人口达到 4070 万,地区生产总值 23983.78 亿元,分别占长江三角洲地区的 48.5% 和 44.5%。

1 数据处理与研究方法

1.1 数据来源及处理

本研究的基础数据为 1:50000 地形图、2007 年 SPOT2/4 卫星遥感影像(全色,10 m 空间分辨率)和 LANDSAT TM 卫星遥感影像(多光谱,30 m 分辨率)的融合影像。通过最近邻算法,进行几何校正,误差控制在 1 个象元之内。在 ERDAS9.0 软件支持下通过目视判读获取了建设空间、生态空间和农业空间的 3 大类用

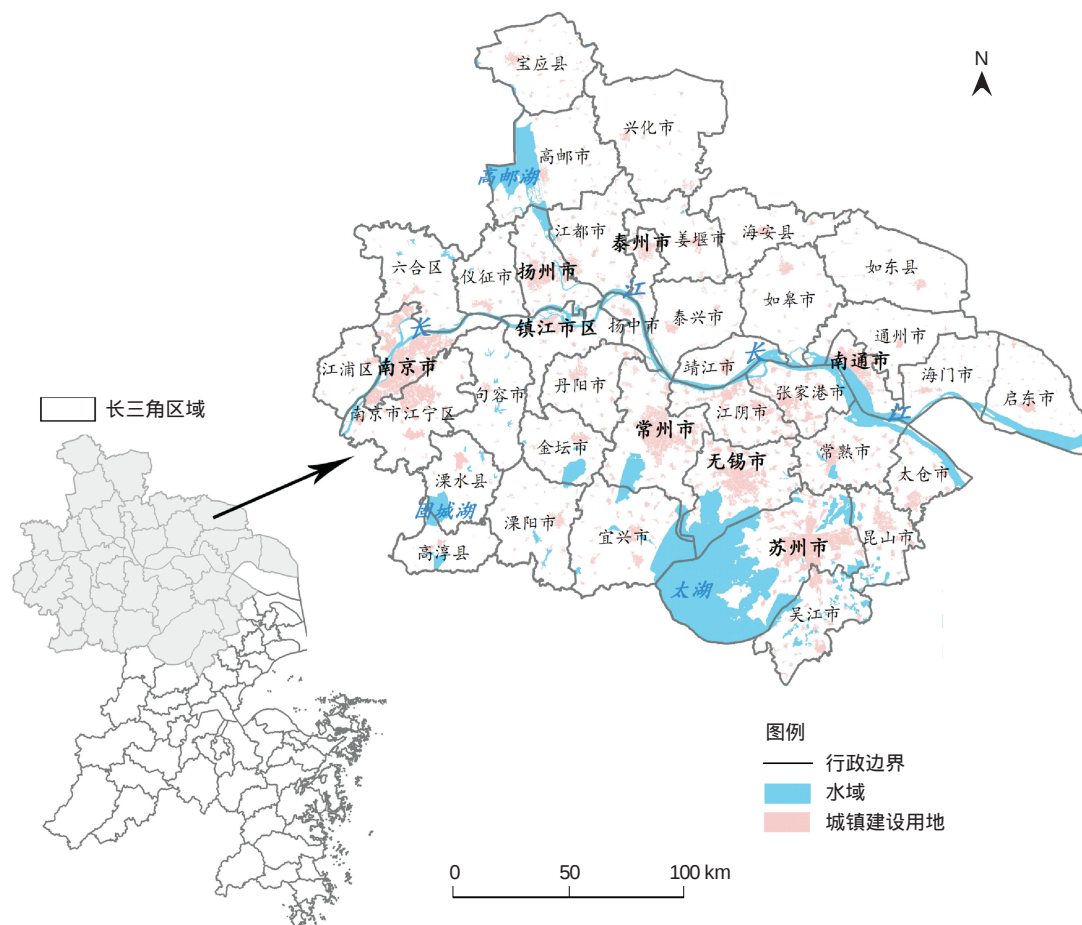


图 1 2007 年研究区域区位与城镇用地空间分布

Fig. 1 The spatial distribution of urban land in the study area in 2007

地信息。其中,建设空间包括城镇建设用地、农村居民点、独立工矿用地、交通用地,农业空间包括种植农用空间和养殖水面,生态空间则细分为林地、湿地和水域。为了便于景观指数的测算,将解译的各类用地数据转化为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 的 grid 格式。

1.2 景观空间异质性综合模型

为更好测度江苏省沿江地区景观空间异质性,本文构建空间异质性综合模型。从景观指数的特点来看,景观指数之间具有相关性,组分特征之间同样具有相关性,因此,可以选取反映空间异质性特征的景观指数,测度其对空间异质性的贡献率,以此确定异质性综合模型的参数。本文选择斑块密度(PD)、景观形态指数(SHAPE)、分形维数(FRAC)、空间临近指数(CONTIG)、连通性指数(CONTAG)、沾粘度指数(COHENSION)、多样性指数(SHDI)、均匀度指数(SHEI)、集聚度指数(AI)、混布与并列指数(IJI)10项指标,采用因子分析法确定上述10项指标对于景观空间异质性的贡献率,采用主成分分析法提取反映景观空间异质性的各个组分特征,以此构建景观空间异质性综合模型。利用SPSS软件进行因子分析与主成分分析,采用39个县(市)行政区作为景观异质性分区的基本单元。

1.3 城市化测度指标

城市化测度选取城镇人口集聚度(UI)、城镇用地密度(UD)、城镇空间蔓延度(UE)作为与景观异质性相互关联的指标,并与景观异质性进行聚类,得到景观异质性综合分区。城镇人口集聚度为区域非农人口与总人口的比重,反映了区域城镇人口的集聚水平;城镇用地密度为区域内城镇用地的面积占区域总面积的比重;城镇空间蔓延度主要利用相关维数来反映,其计算公式为 $N = ae^D + c$, a 被称为形状因子,是局部偏离的综合

指标, c 为常量, D 为相关维数, ε 为度量尺度, D 取值位于 0—2 之间, 愈接近 2, 蔓延趋势愈显著^[20,21]。城镇用地数据基于遥感影像解译数据。人口数据来自《2007 年江苏省统计年鉴》和各个县市统计年鉴。

2 景观空间异质性与城市化关联分析

2.1 景观空间异质性综合模型的构建

分别测算县(市)评价单元中的景观斑块密度指数(PD)、形态指数(SHAPE)、分形维数(FRAC)、空间邻近指数(CONTIG)、邻通性指数(CONTAG)、沾粘度指数(COHENSION)、多样性指数(SHDI)、均匀度指数(SHEI)、集聚度指数(AI)、混布与并列指数(IJI)。对上述指数进行主成分分析, 其中, KMO 值=0.70, 表明因子分析的结果较好; Bretlett 球度检验的相伴概率为 0.000, 小于显著水平 0.05; 提取公因子方差较大(见表 3), 适合进行因子分析, 同时, 根据表 1 中特征值的变化(特征值>1)提取三类主成分, 三类主成分的累积贡献率达到了 84.716%。从表 2 中可以看出, CONTAG、SHDI、SHEI、IJI 在第一主成分上有较高载荷, 说明第一主成分反映了景观斑块结构的信息, 将其定义为结构主成分(STRUCTURE); SHAPE、FRAC、CONTIG、COHENSION 在第二主成分上有较高载荷, 主要反映了斑块形态方面的信息, 称为形态主成分(MORPHOLOGY); PD 和 AI 主要反映了斑块数量方面的信息, 称为数量主成分(NUMBER)。

表 1 基于主成分分析的总方差分解

Table 1 Total variance explained based on principal component analysis

主成分 Component	因子贡献及贡献率 Initial Eigen values		
	特征值 Total	方差贡献率% of variance	累积贡献率 Cumulative/%
1	4.131	41.311	41.311
2	2.549	25.490	66.801
3	1.792	17.915	84.716
4	0.509	5.086	89.803
5	0.404	4.037	93.840
6	0.317	3.168	97.008
7	0.135	1.349	98.357
8	0.122	1.221	99.578
9	0.030	0.305	99.883
10	0.012	0.117	100.000

根据各个因子在主成分载荷矩阵中的贡献率除以主成分相对应的特征值开平方根得到 3 个主成分中每个变量所对应的系数, 形成结构、形态、数量 3 个空间异质性组分方程, 即:

$$X_{\text{STRUCTURE}} = -0.038X_{\text{PD}} + 0.0246X_{\text{SHAPE}} - 0.051X_{\text{FRAC}} + 0.145X_{\text{CONTIG}} - 0.450X_{\text{CONTAG}} - 0.173X_{\text{COHENSION}} \\ + 0.477X_{\text{SHDI}} + 0.479X_{\text{SHEI}} + 0.063X_{\text{AI}} + 0.442X_{\text{IJI}}$$

$$X_{\text{MORPHOLOGY}} = 0.117X_{\text{PD}} - 0.603X_{\text{SHAPE}} + 0.587X_{\text{FRAC}} + 0.436X_{\text{CONTIG}} - 0.103X_{\text{CONTAG}} - 0.419X_{\text{COHENSION}} \\ + 0.061X_{\text{SHDI}} + 0.066X_{\text{SHEI}} - 0.138X_{\text{AI}} - 0.020X_{\text{IJI}}$$

$$X_{\text{NUMBER}} = 0.621X_{\text{PD}} - 0.004X_{\text{SHAPE}} - 0.036X_{\text{FRAC}} + 0.264X_{\text{CONTIG}} + 0.148X_{\text{CONTAG}} + 0.284X_{\text{COHENSION}} \\ + 0.025X_{\text{SHDI}} - 0.011X_{\text{SHEI}} - 0.651X_{\text{AI}} - 0.187X_{\text{IJI}}$$

以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重计算推导景观异质性模型, 即:

$$X = \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} \right) X_{\text{STRUCTURE}} + \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} \right) X_{\text{MORPHOLOGY}} + \left(\frac{\lambda_3}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3} \right) X_{\text{NUMBER}}$$

其中, 3 个主成分的特征根 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 分别为 4.131、2.549、1.792, 则景观异质性模型为:

$$X = 0.148X_{\text{PD}} + 0.192X_{\text{SHAPE}} + 0.144X_{\text{FRAC}} + 0.258X_{\text{CONTIG}} - 0.219X_{\text{CONTAG}} - 0.150X_{\text{COHENSION}} \\ + 0.256X_{\text{SHDI}} + 0.251X_{\text{SHEI}} + 0.127X_{\text{AI}} + 0.249X_{\text{IJI}}$$

由上述推论可知:空间异质性指数(X)是斑块结构($X_{\text{STRUCTURE}}$)、形态($X_{\text{MORPHOLOGY}}$)以及数量(X_{NUMBER})特征的综合反映。按照方差贡献率可以发现,结构主成分的贡献率最大,达到了 41.31%,形态主成分的贡献率大为 25.49%,数量主成分为 17.92%,这说明结构与形态是影响空间异质性的主要方面(表 1)。系统分析各个组分中高载荷因子可以发现: $X_{\text{STRUCTURE}}$ 中 CONTAG、SHDI、SHEI、IJI 主要反映了景观斑块的排列与组合特征,重点反映景观连通性; $X_{\text{MORPHOLOGY}}$ 中 SHAPE、FRAC、CONTIG、COHENSION 反映了景观斑块的边界以及斑块组织关系,即景观复杂性; X_{NUMBER} 中 PD 和 AI 则反映了斑块的碎化和集聚程度,即景观破碎化。因此,景观空间异质性综合模型是对景观斑块结构、形态、数量 3 个组分特征的反映,能够解释景观连通性、稳定性和破碎化现象。

表 2 主成分载荷矩阵
Table 2 Component Matrix

指标因子 Factors	主成分 1Component1	主成分 2Component2	主成分 3Component3
斑块密度 PD	-0.077	0.187	0.831
景观形态指数 SHAPE	0.050	0.962	-0.005
分形维数 FRAC	-0.104	0.937	-0.048
空间临近指数 CONTIG	0.295	0.696	0.354
连通性指数 CONTAG	-0.915	-0.164	0.198
沾粘度指数 COHESI	-0.351	-0.669	0.380
多样性指数 SHDI	0.970	0.098	0.033
均匀度指数 SHEI	0.973	0.106	-0.015
集聚度指数 AI	0.129	-0.220	0.871
混布与并列指数 IJI	0.899	-0.032	0.250

表 3 公因子方差
Table 3 Communalities

指标因子 Factors	初始公因子方差 Initial	提取公因子方差 Extraction	指标因子 Factors	初始公因子方差 Initial	提取公因子方差 Extraction
斑块密度 PD	1.000	0.732	景观形态指数 SHAPE	1.000	0.927
分形维数 FRAC	1.000	0.891	空间临近指数 CONTIG	1.000	0.696
连通性指数 CONTAG	1.000	0.902	沾粘度指数 COHESI	1.000	0.715
多样性指数 SHDI	1.000	0.953	均匀度指数 SHEI	1.000	0.958
集聚度指数 AI	1.000	0.824	混布与并列指数 IJI	1.000	0.872

2.2 景观空间异质性与城市化关联评价与分析

2.2.1 景观空间异质性与城市化关联评价

利用综合模型计算各评价单元的空间异质性指数 X ,对 X 和城镇人口集聚度(UI)、城镇用地密度(UD)和城镇空间蔓延度(UE)进行 Pearson 相关分析(表 4)。结果表明, X 与 UI、UD 和 UE 均具有正相关性,与 UE 相关性最强,达到了 0.854,与 UD 和 UE 相关性也分别达到了 0.672 和 0.591,这说明城市化与景观空间异质性存在一定的关联效应,尤其是城镇用地的空间蔓延(UE)和城镇人口集聚强度(UI)与景观空间异质性关联效应最为显著(表 4),这说明城市化的发展与景观空间异质性的格局演化具有显著的同向性。分别比较城镇用地的空间蔓延、城镇用地密度与空间异质性的关系,可以发现:有序而大规模的城镇建设未必会增加景观空间异质性,而城镇空间的无序开发则必然加剧景观空间的异质性特征。

2.2.2 景观空间异质性综合分区

基于 39 个评价单元的空间异质性指数(X)与城镇人口集聚度(UI)、城镇用地密度(UD)和城镇空间蔓延度(UE),采用 SPSS 软件的组内连接法进行聚类,选择分 6 类为最终分类结果。统计各聚类 4 项指标以及空间异质性各组分中高载荷因子的平均取值(表 5)。结果表明:景观空间异质性与城镇空间蔓延度、城镇人口

集聚强度、城镇用地密度呈显著的同步增长趋势,这说明城市化对于景观空间异质性的形成存在特点的梯度效应。基于聚类结果,按空间异质性指数高低将研究区域划分为 6 类异质性梯度区(图 2):高异质区域、较高异质区域、中异质区域、较低异质区域、低异质区域、弱异质区域。通过评价各类异质区域用地状况和景观指数的变化(表 6),分析城市化驱动下的景观空间异质性的梯度差异。

表 4 X 和 UI、UD、UE 相关性
Table 4 Correlations among of X, UI, UD and UE

		城镇人口集聚度 UI	城镇用地密度 UD	城镇空间蔓延度 UE	空间异质性指数 X
UI	Pearson 相关系数	1	0.752 **	0.809 **	0.672 **
	双侧检验水平		0.000	0.000	0.000
	参与分析样本数量	39	39	39	39
UD	Pearson 相关系数	0.752 **	1	0.765 **	0.591 **
	双侧检验水平	0.000	0.000	0.000	0.000
	参与分析样本数量	39	39	39	39
UE	Pearson 相关系数	0.809 **	0.765 **	1	0.854 **
	双侧检验水平	0.000	0.000		0.000
	参与分析样本数量	39	39	39	39
X	Pearson 相关系数	0.672 **	0.591 **	0.854 **	1
	双侧检验水平	0.000	0.000	0.000	
	参与分析样本数量	39	39	39	39

* * 表示在 0.01 水平上双侧显著

表 5 不同梯度区聚类分析结果统计
Table 5 Cluster results for X, UI, UD and UE

		Means 平均取值	类型区 1 Clusters 1	类型区 2 Clusters 2	类型区 3 Clusters 3	类型区 4 Clusters 4	类型区 5 Clusters 5	类型区 6 Clusters 6
		UI	0.476	0.507	0.458	0.555	0.615	0.750
		UD	0.026	0.047	0.040	0.075	0.197	0.263
		UE	0.565	0.921	0.943	1.099	1.316	1.641
		X	11.196	12.963	14.525	14.913	15.805	18.041
结构主成分因子	CONTAG	6.64	6.23	6.17	5.86	5.68	5.21	
Component of structure	SHDI	0.84	1.04	1.11	1.22	1.27	1.43	
	SHEI	0.43	0.53	0.57	0.60	0.62	0.71	
	IJI	46.48	54.19	58.26	61.14	62.80	71.23	
形态主成分因子	SHAPE	1.30	1.35	1.35	1.37	1.41	1.43	
Component of morphology	FRAC	1.01	1.03	1.06	1.06	1.07	1.09	
	CONTIG	0.26	0.29	0.31	0.29	0.33	0.34	
	COHESI	9.95	9.95	9.94	9.94	9.95	9.91	
规模主成分因子	AI	8.79	8.80	8.95	8.75	8.95	9.03	
Component of number	PD	4.35	2.07	2.34	2.64	3.99	4.82	
类别数量 Species number		5	6	6	6	9	7	

高异质区域 该区域包括无锡市区、苏州市区、南京市区、常州市区、昆山市、南通市区和吴江市,城镇蔓延度为 1.641,城镇人口集聚度为 0.75,城镇用地密度为 0.263,城市化水平最高。通过分析该类地区各主成分因子可以发现:在结构主成分中,SHDI、SHEI、IJI 分别为 1.43、0.71 和 71.23,均大于其它梯度区,CONTAG 为 5.21,小于其他梯度区,这表明该区域景观混杂程度高,连通性差;在形态主成分中,SHAPE、FRAC、CONTIG、COHESI 均高于其他梯度区,边界最为复杂性,不同景观的接触概率大,稳定性较差;在规模主成分

两个区域的景观连通性较好,斑块复杂程度和破碎化较低。

弱异质区域 该区包括海安、如东、兴化、通州和南京江浦区,城市化水平低,其中,城镇蔓延度为 0.565,城镇人口集聚度为 0.476,城镇用地密度仅为 0.026,城镇建设用地空间分布零散,且密度低,景观的连通性较好,破碎化程度低,生态空间与农业空间的连通性好,受城市化干扰程度最小。

表 6 各类异质区域景观组成

Table 6 Landscape composition for various of heterogeneous regions

景观 Landscape	高 High	较高 Comparative high	中 Medium	较低 Comparative low	低 Low	弱 Weak
建设空间 Building land	29.75	21.02	17.03	13.48	13.82	12.15
城镇用地 Urban land	17.75	9.16	5.21	3.52	3.74	2.20
农村居民点 Rural residential	5.16	5.76	7.16	6.91	6.88	7.37
独立工矿用地 Mining land	2.61	1.92	1.50	0.52	1.39	0.79
交通用地 Traffic land	4.23	4.18	3.16	2.53	1.81	1.79
农业空间 Agricultural land	31.84	48.28	59.30	60.46	65.53	76.10
生态空间 Ecological land	33.73	27.27	20.16	17.45	16.96	6.68

3 城市化干扰的景观响应与协调对策

3.1 城市化干扰下的景观响应

景观空间异质性是一种城市化结果,是城市化干扰的景观响应。总体而言,景观空间异质性梯度分异与区域开发强度、开发时序存在显著的耦合关系:①高异质地区是江苏省乃至全国开发最早、发展速度最快、开发强度最高的区域,南京市作为省会城市,一直是开发的重点;苏锡常地区作为我国乡镇企业的发源地,乡村工业化成为推动城市化的主要动力,“乡乡点火、村村冒烟”的城市化发展模式直接导致分散无序的农村工业格局,该区域城市化干扰强度最大,对整个景观造成的负面生态效应最为剧烈。②较高异质和中异质区域各个单元均占据长江岸线资源,1990 年代我国政府建设上海国际航运中心的战略决策极大推动了长江沿线港口的发展,沿线城镇加快了主城区与港区的对接式扩展,城镇空间扩张显著,区域城市化水平较高,尤其是长江南岸地区,由于较好的交通区位和工业基础,成为大耗能耗水企业区位的首选,独立工矿用地、交通用地比重高,对农业空间和生态空间的分割严重。③较低异质区域、低异质区域以及弱异质区域主要位于苏中地区,苏中和苏南由于长江天堑的阻隔,形成了经济发展的极大差异,特别是上海龙头的辐射作用,在带动了苏南经济发展的同时,对苏中的辐射带动作用十分微弱,这使得苏中地区城市化发展较为缓慢,区域开发的强度对于景观胁迫程度较弱。因此,研究结果对于认知城市化发展与景观生态保护的相互关系具有重要作用。

3.2 城市化干扰下景观空间协调发展对策

3.2.1 保护生态景观空间

景观空间异质性是生态空间战略选择的重要依据,在区域生态安全格局创建中,景观空间异质性是辨识生态冲突、空间组织要素及生物多样性的基础。对于景观空间异质性所揭示的景观连通性、稳定性和破碎化等现象,应顺应城市化干扰的已形成景观特征,力争在维持现有景观功能的基础上实现生态功能的修复与重构:①注重生态廊道与防护林保护和建设,增强景观连通性。重点加强高水河、夹江、京杭大运河、九圩港、如海运河、泰州引江河、通启运河、望虞河、新通扬运河、里下河等处清水通道维护区保护,以河流及其两侧的绿带为主体,构建绿色水生态廊道体系(水廊),充分发挥长江及其他内河网生态服务功能;重点建设南京化工园区、仪征、扬州之间的生态隔离带,江阴、张家港、常熟、太仓的临江基础产业带与沪宁线之间的生态隔离带,泰州、靖江、如皋之间的生态隔离带,以及大型城镇外围的森林走廊,减缓经济发展带来的生态环境压力。②注重自然保护区、森林公园、湿地、水源涵养区的生态保护,维护生态空间的稳定性,减少景观破碎化,保持生物多样性。重点保护常熟西南部湖荡、邵伯湖重要湖荡湿地,以及天星洲、双山岛等洲岛等重要湿地,逐步建立滨江湿地自然保护区;重点保护启东长江口(北支)湿地省级自然保护区和镇江豚类自然保护区以及南京

止马岭自然保护区,维护自然保护区的稳定性。

3.2.2 减少建设空间与其他景观的接触概率

从各区来看,城镇用地扩张模式与景观空间异质性指数密切相关,城市化水平是促使城镇用地扩展的最主要驱动力,城市化的景观空间异质性干扰主要体现在城镇用地与各类用地之间的转换过程,两者相互作用的强度和范围参数可用它们的接触机会表示。计算城镇空间 1km 缓冲区内各类用地的面积,分析城镇空间扩展与其他用地空间的接触机会,接触机会与概率通过缓冲区内不同用地的比重来表示(表 7),可以发现,高异质区域、较高异质区域、中异质区域中生态空间的接触机会明显偏大,分别达到了 0.21 和 0.16 和 0.14,城镇空间的无序蔓延必然对该地的生态安全造成较大危害;其此,城镇空间的无序蔓延可能影响地区的粮食安全,通过接触机会可以看出,除高异质地区外,农业空间的接触机会均超过 0.6。一般来说,城镇用地规模越大,其周长也越大,与生态用地接触面相应也会增加。然而,分散无序且斑块破碎化严重的城镇用地比同样面积的规则积聚的城镇用地的周长更大,分散的大量小斑块比同等面积的少量大斑块的周长明显偏大,从而对景观空间破碎化的影响更为明显^[21]。因此,城镇空间的发展应预防摊大饼式的无序蔓延,减少城镇空间与其它空间的接触概率。

表 7 城镇空间扩展与其他景观用地的接触机会/%

Table 7 Accessibility between urban spatial expansion and other landscape sites

景观 Landscape	高 High	较高 Comparative high	中 Medium	较低 Comparative low	低 Low	弱 Weak
生态空间 Ecological land	0.21	0.16	0.14	0.07	0.09	0.06
农业空间 Agricultural land	0.52	0.67	0.67	0.60	0.73	0.75
农村居民点 Rural residential	0.09	0.08	0.09	0.07	0.09	0.09

3.2.3 实施差别化的城市化推进战略

进一步分析可以发现,江苏沿江地区城市化的增长模式更多倚重于土地资源的大量消耗,尤其是高异质区域和较高异质区域,如南京市、无锡市、苏州市等,城镇空间陆域比重已经超过了区域总面积的 30%,正在经历以土地高消耗换经济高速发展的阶段,这种城市化增长方式必然使得区域城镇空间蔓延、土地资源短缺、生态环境恶化,应加快该地区资源环境观念和经济发展方式的转变,改变倚重于土地、劳动力和其他自然资源的高投入、高消耗、高增长的发展模式,增强技术创新的贡献率,应该通过增加现有建设用地的利用效率满足城镇发展对建设用地的需求,遵循填充式开发和再开发城镇土地利用模式,坚决抑制城市的蔓延。其他区域,如中异质区、较低异质区、低异质区等,有较好的农业基础和生态条件,应根据需求划定城市增长区和管理区,保护生态空间和农业空间,适当加大区域的开发密度,减少城市蔓延,促进紧凑城镇空间的形成,实行精明增长。

4 结论

揭示人-地系统相互作用的空间分异规律是地理学研究的重要内容。空间异质性正是反映地理事物空间分异规律的重要标志。本文基于 SPSS 软件对 PD、SHAPE、FRAC、CONTIG、CONTAG、COHENSION、SHDI、SHEI、AI、IJI 等 10 项指标进行主成分分析,依据景观指数之间的相关性,构建了景观空间异质性综合模型 X ,对 X 与城市化水平(UI)、城镇用地密度(UD)和城镇空间扩展指数(UE)3 个城市化参数进行聚类,反映了城市化驱动下的景观空间异质性的梯度特征。得出如下结论:

- (1) 景观空间异质性模型是对景观异质特征的综合反映,能够揭示景观连通性、稳定性和破碎化等现象;
- (2) X 与 UI、UD、UE3 个城市化参数之间存在正相关性,相关系数分别 0.672、0.591、0.854,说明城市化是造成景观空间异质性的重要原因,其中,城镇空间扩张模式和人口的集聚特征对景观空间异质性影响较大,城镇空间的无序蔓延和城镇人口的集聚加速了景观的破碎化、降低了景观的连通性;
- (3) 依据 X 与 UI、UD、UE 聚类结果,将研究区域 39 个县市单元分为高异质区、较高异质区、中异质区、较

低异质区、低异质区、弱异质区 6 个梯度区,不同梯度区形成与区域开发强度、开发时序存在显著的耦合关系。高异质性区和较高异质性区生态空间的接触机会大,应该通过增加现有建设用地的利用效率满足城镇发展对建设用地的需求,遵循填充式开发和再开发城镇土地利用模式,坚决抑制城市的蔓延。其他区域,农业空间的接触机会较大,应根据需求划定城市增长区和管理区,保护生态空间和农业空间,实行精明增长。同时,应采取保护生态景观空间、减少建设空间与其他景观的接触概率等策略以协调城市化发展与景观生态保护之间的矛盾。

References:

- [1] Anselin L, Getis A. Spatial statistical analysis and geographic information systems. *The Annals of Regional Science*, 1992, 26(1): 19-33.
- [2] Kareiva P. Space: the final frontier for ecological theory. *Ecology*, 1994, 75(1): 1-2.
- [3] Pickett S T A, Cadanasso M L. Landscape ecology, spatial heterogeneity in ecological system. *Science*, 1995, 269(5222): 331-334.
- [4] Kolasa J, Pickett S T A. *Ecological Heterogeneity*. New York: Springer-Verlag, 1991: 56-96.
- [5] Li H, Reynolds J F. On definition and quantification of heterogeneity. *Oikos*, 1995, 73(2): 280-284.
- [6] Fu B J, Chen L D, Ma K M, Wang Y L. *Landscape Ecology Principles and Applications*. Beijing: Science Press, 2001: 73-106.
- [7] Forman R T T, Gordon M. *Landscape Ecology*. New York: JohnWiley and Sons, 1986: 10-30.
- [8] Forman R T T, Baudry J. Hedgerows and hedgerow networks in landscape ecology. *Environmental Management*, 1984, 8(6): 499-510.
- [9] Huang J C, Fang C L. Analysis of coupling mechanism and rules between urbanization and eco-environment. *Geographical Research*, 2003, 22(2): 211-220.
- [10] Liu Y B, Li R D, Song X F. Grey associative analysis of regional urbanization and eco-environment coupling in China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2): 237-247.
- [11] Dibari J N. Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of urbanization on landscape structure: the case of Tucson, Arizona, USA. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 79(3/4): 308-310.
- [12] Blair R B. Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications*, 1997, 6(2): 506-519.
- [13] Blair R B, Launer A E. Butterfly diversity and human land use: species assemblages along an urban gradient. *Biological Conservation*, 1997, 80(1): 113-115.
- [14] Borgmann K L, Rodewald A D. Forest restoration in urbanizing landscapes: interactions between land uses and exotic shrubs. *Restoration Ecology*, 2005, 13(2): 334-340.
- [15] Williams N S G, Morgan J W, McDonnell M J, McCarthy M A. Plant traits and local extinction in natural grassland along urban-rural gradient. *Journal of Ecology*, 2005, 93(6): 1203-1213.
- [16] Bennett E M. Soil phosphorus concentrations in Dane County, Wisconsin, USA: an evaluation of the urban-rural gradient paradigm. *Environmental Management*, 2003, 32(4): 476-487.
- [17] Snyder C D, Youtng J A, Vilella R, Lemarié D P. Influences of upland and riparian land use patterns on stream biotic integrity. *Landscape Ecology*, 2003, 18(7): 647-664.
- [18] Olff H, Rotchie M E. Fragmented nature: consequences for biodiversity. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 58(2/4): 83-92.
- [19] Deng J S, Wang K, Hong Y, Qi J G. Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 92(3/4): 187-198.
- [20] Frankhauser P. Fractal geometry of urban patterns and their morphogenesis. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 1998, 2(2): 127-145.
- [21] Thomas I, Frankhauser P, Biernacki C. The morphology of built-up landscapes in Wallonia (Belgium): a classification using fractal indices. *Landscape and Urban Planning*, 2008, 84(2): 99-115.

参考文献:

- [6] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 王仰麟. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001: 73-106.
- [9] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析. *地理研究*, 2003, 22(2): 211-220.
- [10] 刘耀彬, 李仁东, 宋学峰. 中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析. *地理学报*, 2005, 60(2): 237-247.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 23 December, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Satellite-based modelling light use efficiency of alpine meadow along an altitudinal gradient	
.....	FU Gang, ZHOU Yuting, SHEN Zhenxi, et al (6989)
Changes in the concentrations of airborne <i>Picea schrenkiana</i> pollen in response to temperature changes in the Tianshan Mountain area	PAN Yanfang, YAN Shun, MU Guijin, et al (6999)
Primary production in the Bay of Bengal during spring intermonsoon period	
.....	LIU Huaxue, KE Zhixin, SONG Xingyu, et al (7007)
Effect of rainfall regimes on the decomposition rate of yak dung in an alpine meadow of northwest Sichuan Province, China	
.....	WU Xinwei, LI Guoyong, SUN Shucun (7013)
SOFM-based nutrient cycling classification of forest ecosystems in the Loess Plateau	
.....	CHEN Kai, LIU Zengwen, LI Jun, et al (7022)
Characterization of the responses of photosynthetic and chlorophyll fluorescence parameters to water stress in seedlings of six provenances of Chinese Pine (<i>Pinus tabulaeformis</i> Carr.)	WANG Yan, CHEN Jianwen, et al (7031)
Effect of silicon supply on Tall Fescue (<i>Festuca arundinacea</i>) growth under the salinization conditions	
.....	LIU Huixia, GUO Xinghua, GUO Zhenggang (7039)
Effects of high-temperature stress on physiological characteristics of leaves of <i>Simmondsia Chinensis</i> seedlings from different provenances	HUANG Weiwei, ZHANG Niannian, HU Tingxing, et al (7047)
Soil moisture dynamics of water and soil conservation forest on the Loess Plateau	ZHANG Jianjun, LI Huimin, XU Jiajia (7056)
The distribution of male and female <i>Populus cathayana</i> populations along an altitudinal gradient	
.....	WANG Zhifeng, XU Xiao, LI Xiaofeng, et al (7067)
Analysis on the characteristics of macrobenthic community in the North-west Daya Bay of South China Bay in spring	
.....	DU Feiyan, LIN Qin, JIA Xiaoping, et al (7075)
The effects of season and environmental factors on community structure of planktonic copepods in Zhanjiang Bay, China	
.....	ZHANG Caixue, GONG Yuyan, WANG Xuefeng, et al (7086)
Population genetic structure of <i>Pneumatophorus japonicus</i> in the Taiwan Strait	
.....	ZHANG Liyan, SU Yongquan, WANG Hangjun, et al (7097)
Seasonal variation of nitrogen and phosphorus in Miju River and Lake Erhai and influencing factors	
.....	YU Chao, CHU Jinyu, BAI Xiaohua, et al (7104)
Population dynamics and production of <i>Bellamyia aeruginosa</i> (Reeve) (Mollusca: Viviparidae) in artificial lake for transgenic fish, Wuhan	XIONG Jing, XIE Zhicai, JIANG Xiaoming, et al (7112)
Carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometric ratios among live plant-litter-soil systems in estuarine wetland	
.....	WANG Weiqi, XU Linglin, ZENG Congsheng, et al (7119)
Effects of EDTA on growth and lead-zinc accumulation in maize seedlings grown in amendment substrates containing lead-zinc tailings and soil	WANG Hongxin, HU Feng, XU Xinwang, et al (7125)
Effects of different coated controlled-release urea on soil ammonia volatilization in farmland	LU Yanyan, SONG Fupeng (7133)
Effects of ridge planting on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize in high-yield field	
.....	MA Li, LI Chaohai, FU Jing, et al (7141)
Effect of timing of DCD application on nitrous oxide emission during wheat growing period	
.....	JI Yang, YU Jia, MA Jing, et al (7151)
The role of the fertilizing with nitrogen, calcium and sodium chloride in winter wheat leaves adaptation to freezing-thaw stress	
.....	LIU Jianfang, ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, et al (7161)
Environment impact assessment of organic and conventional soybean production with LCA method in China Northeast Plain	
.....	LUO Yan, QIAO Yuhui, WU Wenliang (7170)
Effects of selenium added to soil on physiological indexes in flue-cured tobacco	
.....	XU Zicheng, SHAO Huifang, SUN Shuguang, et al (7179)
Influence of different planting patterns on field microclimate effect and yield of peanut (<i>Arachis hypogaea</i> L.)	
.....	SONG Wei, ZHAO Changxing, WANG Yuefu, et al (7188)
Rapid cold hardening of Western flower thrips, <i>Frankliniella occidentalis</i> , and its ecological cost	
.....	LI Hongbo, SHI Liang, WANG Jianjun, et al (7196)

- Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae* (F.) DENG Mingming, GAO Huanhuan, LI Dan, et al (7203)
- Development and reproduction of *Bemisia tabaci* biotype B on wild and cultivated tomato accessions
..... GAO Jianchang, GUO Guangjun, GUO Yanmei, et al (7211)
- Study on ecological water demand based on assessment of ecosystem disturbance degree in the Baiyangdian Wetland
..... CHEN He, YANG Ying, YU Shiwei, et al (7218)
- Emergy-based analysis of two chicken farming systems: a perspective of organic production model in China
..... HU Qiuhong, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (7227)
- Mathematical model design of time-effect relationship analysis about the inhibition of four eighteen-carbon fatty acids on toxic
Microcystis aeruginosa HE Zongxiang, ZHANG Tingting (7235)
- Enrichment of heavy metals in the seagrass bed of Liusha Bay XU Zhanzhou, ZHU Aijia, CAI Weixu, et al (7244)
- A gradient analysis of urban architecture landscape pattern based on QuickBird imagery
..... ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (7251)
- Landscape spatial heterogeneity is associated with urbanization: an example from Yangtze River in Jiangsu Province
..... CHE Qianjin, CAO Youhui, YU Lu, et al (7261)
- CVM for Taihu Lake based on ecological functions of wetlands restoration, and ability to pay and willingness to pay studies
..... YU Wenjin, XIE Jian, ZOU Xinqing (7271)
- Review and Monograph**
- Progress in research on the marine microbial loop in the Arctic Ocean HE Jianfeng, CUI Shikai, ZHANG Fang, et al (7279)
- Research progress in the eco-environmental effects of urban green spaces
..... SU Yongxian, HUANG Guangqing, CHEN Xiuzhi, et al (7287)
- Source, exposure characteristics and its environmental effect of heavy metals in urban surface dust
..... FANG Fengman, LIN Yuesheng, WANG Haidong, et al (7301)
- Scientific Note**
- Spatial structures of soilcarbon and nitrogen of China fir and Masson pine mixed forest in the Three Gorger Reservoir Areas
..... LIN Yinghua, WANG Laifa, TIAN Xiaokun, et al (7311)
- The relationship between *Oligochroa cantonella* Caradja and environmental factors LIU Wenai, FAN Hangqing (7320)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 23 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 23 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元