

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 9 期 Vol.32 No.9 **2012**

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 32 卷 第 9 期

2012 年 5 月 (半月刊)

目 次

不同土地覆被格局情景下多种生态系统服务的响应与权衡——以雅砻江二滩水利枢纽为例·····	葛 菁, 吴 楠, 高吉喜, 等 (2629)
放牧对小嵩草甸生物量及不同植物类群生长率和补偿效应的影响·····	董全民, 赵新全, 马玉寿, 等 (2640)
象山港日本对虾增殖放流的效果评价·····	姜亚洲, 凌建忠, 林 楠, 等 (2651)
城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系——以北京城区为例·····	仇江啸, 王效科, 逯 非, 等 (2659)
江河源区高寒草甸退化序列上“秃斑”连通效应的元胞自动机模拟·····	李学玲, 林慧龙 (2670)
铁西区城市改造过程中建筑景观的演变规律·····	张培峰, 胡远满, 熊在平, 等 (2681)
商洛低山丘陵区农林复合生态系统光能竞争与生产力·····	彭晓邦, 张硕新 (2692)
基于生物量因子的山西省森林生态系统服务功能评估·····	刘 勇, 李晋昌, 杨永刚 (2699)
不同沙源供给条件下柽柳灌丛与沙堆形态的互馈关系——以策勒绿洲沙漠过渡带为例·····	杨 帆, 王雪芹, 杨东亮, 等 (2707)
桂西北喀斯特区原生林与次生林凋落叶降解和养分释放·····	曾昭霞, 王克林, 曾馥平, 等 (2720)
江西九连山亚热带常绿阔叶林优势种空间分布格局·····	范 娟, 赵秀海, 汪金松, 等 (2729)
秦岭山地锐齿栎次生林幼苗更新特征·····	康 冰, 王得祥, 李 刚, 等 (2738)
极端干旱环境下的胡杨木质部水力特征·····	木巴热克·阿尤普, 陈亚宁, 等 (2748)
红池坝草地常见物种叶片性状沿海拔梯度的响应特征·····	宋璐璐, 樊江文, 吴绍洪, 等 (2759)
改变 C 源输入对油松人工林土壤呼吸的影响·····	汪金松, 赵秀海, 张春雨, 等 (2768)
啮齿动物捕食压力下生境类型和覆盖处理对辽东栎种子命运的影响·····	闫兴富, 周立彪, 刘建利 (2778)
上海闵行区园林鸟类群落嵌套结构·····	王本耀, 王小明, 王天厚, 等 (2788)
胜利河连续系统中蜉蝣优势种的生产量动态和营养基础·····	邓 山, 叶才伟, 王利肖, 等 (2796)
虾池清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗的影响·····	李 婷, 叶 勇 (2810)
澳大利亚亚热带不同森林土壤微生物群落对碳源的利用·····	鲁顺保, 郭晓敏, 芮亦超, 等 (2819)
镜泊湖岩溶台地不同植被类型土壤微生物群落特征·····	黄元元, 曲来叶, 曲秀春, 等 (2827)
浮床空心菜对氮循环细菌数量与分布和氮素净化效果的影响·····	唐莹莹, 李秀珍, 周元清, 等 (2837)
促分解菌剂对还田玉米秸秆的分解效果及土壤微生物的影响·····	李培培, 张冬冬, 王小娟, 等 (2847)
秸秆还田与全膜双垄集雨沟播耦合对半干旱黄土高原玉米产量和土壤有机碳库的影响·····	吴荣美, 王永鹏, 李凤民, 等 (2855)
赣江流域底泥中有机氯农药残留特征及空间分布·····	刘小真, 赵 慈, 梁 越, 等 (2863)
2009 年徽州稻区白背飞虱种群消长及虫源性质·····	刁永刚, 杨海博, 瞿钰锋, 等 (2872)
木鳖子提取物对朱砂叶螨的触杀活性·····	郭辉力, 师光禄, 贾良曦, 等 (2883)
冬小麦气孔臭氧通量拟合及通量产量关系的比较·····	佟 磊, 冯宗炜, 苏德·毕力格, 等 (2890)
专论与综述	
基于全球净初级生产力的能源足迹计算方法·····	方 恺, 董德明, 林 卓, 等 (2900)
灵长类社会玩耍的行为模式、影响因素及其功能风险·····	王晓卫, 赵海涛, 齐晓光, 等 (2910)
问题讨论	
中国伐木制品碳储量时空差异分析·····	伦 飞, 李文华, 王 震, 等 (2918)
研究简报	
森林自然更新过程中地上氮贮量与生物量异速生长的关系·····	程栋梁, 钟全林, 林茂兹, 等 (2929)
连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响·····	华菊玲, 刘光荣, 黄劲松 (2936)
刈割对外来入侵植物黄顶菊的生长、气体交换和荧光的影响·····	王楠楠, 皇甫超河, 陈冬青, 等 (2943)
不同蔬菜种植方式对土壤固碳速率的影响·····	刘 杨, 于东升, 史学正, 等 (2953)
巢湖崩岸湖滨基质-水文-生物一体化修复····· 陈云峰, 张彦辉, 郑西强 (2960)	

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-05



封面图说: 在交配的雨蛙——雨蛙为两栖动物, 世界上种类达 250 种之多, 分布极广。中国的雨蛙仅有 9 种, 除西部一些省份外, 其他各省(区)均有分布。雨蛙体形较小背面皮肤光滑, 往往雄性绿色, 雌性褐色, 其指、趾末端多膨大成吸盘, 便于吸附攀爬。多生活在灌丛、芦苇、高秆作物上, 或塘边、稻田及其附近的杂草上。白天匍匐在叶片上, 黄昏或黎明频繁活动, 捕食能力极强, 主要以昆虫为食。特别是在下雨以后, 常常 1 只雨蛙先叫几声, 然后众蛙齐鸣, 声音响亮, 每年在四、五月份夜间发情交配。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201104010426

仇江啸,王效科,逯非,欧阳志云,郑华. 城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系——以北京城区为例. 生态学报, 2012, 32(9): 2659-2669.

Qiu J X, Wang X K, Lu F, Ouyang Z Y, Zheng H. The spatial pattern of landscape fragmentation and its relations with urbanization and socio-economic developments: a case study of Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(9): 2659-2669.

城市景观破碎化格局与城市化及社会 经济发展水平的关系 ——以北京城区为例

仇江啸^{1,2}, 王效科^{1,*}, 逯非¹, 欧阳志云¹, 郑华¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:快速城市化引发的景观破碎化加剧对于城市生态系统的过程、功能及其所提供的生态服务功能具有显著的影响。以北京市五环内中心城区为例, 采用移动窗口分析、梯度分析与景观指数相结合的方法研究了城市景观破碎化的空间分布格局和内部水平差异, 并以此为基础, 探究景观破碎化与城市化及社会经济发展水平的关系。结果表明: 类型水平上, 城市建筑用地景观比例达 63%, 斑块连通性好, 破碎化程度低, 而绿地景观占 33%, 斑块分布不均匀, 破碎化程度较高。景观水平上, 城市中心和郊区的景观破碎化程度要明显低于城市边缘的城乡过渡区, 沿城市化梯度从中心向外围呈现出先上升后下降的趋势。回归分析结果表明, 景观破碎化程度与城市化水平之间表现出一种倒“U”型关系, 并在城市化水平达 42%—45% 之间, 景观破碎化程度达到峰值。进一步研究表明, 人口密度和家庭户数是导致景观破碎化加剧的直接驱动因素, 而经济的快速增长对景观破碎化程度的提高具有间接的影响。该研究结果不仅能作为城市生态系统监测的重要指标, 还能为城市景观的合理规划提供科学依据, 而且对于促进城市的可持续发展具有重要的意义。

关键词:景观破碎化; 格局分析; 城市化; 社会经济驱动因素; SPOT; 北京

The spatial pattern of landscape fragmentation and its relations with urbanization and socio-economic developments: a case study of Beijing

QIU Jiangxiao^{1,2}, WANG Xiaoke^{1,*}, LU Fei¹, OUYANG Zhiyun¹, ZHENG Hua¹

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

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

Abstract: Substantial attention has been focused on the phenomenon of landscape fragmentation in urban environment that stems from rapid urbanization and social-economic developments. Intensification of landscape fragmentation is increasingly considered as an essential ecological indicator that strongly influences the processes, functions, and services of urban ecosystems. Hence, in this study, on the basis of the interpreted land use map from high resolution SPOT XS imagery, we utilized a series of moving-window analysis and gradient analysis combined with selected landscape metrics to investigate the spatial distribution and local differences of landscape fragmentation; and further examined its relations with urbanization and social and economic developments in Beijing urban region, China. The result shows that, at the patch level, urban built-up

基金项目:国家自然科学基金重点基金(41030744); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-422); 城市与区域生态国家重点实验室自主项目(SKLURE2008-1-01)

收稿日期: 2011-04-01; 修订日期: 2011-06-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangxk@rcees.ac.cn

lands occupied 63% of the entire study area and were well-connected, and less-fragmented. Whereas urban green lands constituted 33% of the area, with the characteristics of uneven distribution, and relatively high fragmentation status. At the landscape level, we found that landscape fragmentation, indicated by metrics of patch density (PD), edge density (ED) and landscape division index (DIVISION), was considerably higher in urbanizing fringes than urban central and rural areas. In the eight directions along the urban-to-rural gradient from the urban center outward, the degree of landscape fragmentation rose initially and fell down afterward, displaying a single peak pattern in urban fringes. Regression analyses indicate that the relationship between the degree of landscape fragmentation and the level of urbanization is significant in form of binomial equation and emerging as inverted “U” pattern in the diagram, exhibiting a threshold for the increase of landscape fragmentation when the degree of urbanization approached 42%—45%. Identification of this threshold suggested that urbanization could pose both positive and negative effects on landscape fragmentation; that is below the threshold, urbanization has positive effects whereas above the value, it imposes negative effects on landscape fragmentation. Further investigations revealed that the social factors of population density and the number of household were the primary direct drivers of landscape fragmentation; while rapid economic development, which accelerates urbanization, has imposed indirect impacts on the intensification of landscape fragmentation. This study developed a framework for analyzing and enhancing our understanding of the nature of landscape fragmentation. Our derived results not only could be used as an important tool for assessing the spatial pattern of urban ecosystem, but also provided scientific basis for effective landscape planning and design of sustainable urban environment.

Key Words: landscape fragmentation; pattern analysis; urbanization; socio-economic drivers; SPOT image; Beijing

城市是人类文明发展到一定阶段的产物,是人口集中、社会、经济、文化活动异常频繁的聚集地,是人类文明的标志^[1]。但随着城市化的快速推进,人类活动剧烈地改变了城市的地表形态和景观格局^[2-3],使得城市景观呈现出“高度破碎化”的显著特征,即由原本单一、均质、整体和连续的自然景观趋向于复杂、异质和不连续的混合斑块镶嵌体。城市景观破碎化的加剧,很大程度上支离了自然生境、简化了物种组成,改变了城市的能流、物流和养分循环的过程,进而影响城市生态系统重要的服务功能,最终危害城市的可持续发展^[4-6],因此,有必要对城市景观破碎化的空间格局,变化机制及其影响因素进行探讨与研究。

近年来,国内外对于城市景观格局的研究方法和量度体系的构建开展了一系列研究^[7],尤其是利用定量的数学方法,包括景观指数和模型,结合遥感技术,开展区域景观格局分析,多时相格局动态变化,以及城市化过程的景观格局变化与模拟研究,取得了很好的结果^[8-12]。但是,关于城市景观破碎化的空间格局,及其对城市化的响应特征和社会经济驱动因素的相关研究则鲜见报道。本文以北京市五环内中心城区为例,基于 SPOT 遥感影像分类的结果,对城市景观破碎化的空间格局和内部水平差异进行了分析,并以此为基础,探讨景观破碎化程度与城市化水平及社会经济发展之间的关系。该研究不仅对于北京城市化过程中有关城市形态和城市空间布局以及城市化相关的生态过程研究具有重要的参考价值,而且从景观生态学的角度,为北京城市生态系统结构和功能的优化,合理的城市发展规划制定及区域可持续发展政策提供了理论参考和决策依据。

1 研究区与数据来源

本文选取北京市五环以内的中心城区作为研究对象,基础数据源为 2002 年获取的 SPOT 遥感影像。研究所采用的 SPOT 遥感影像具有四个多光谱波段和一个全色波段,空间分辨率分别为 10 m 和 2.5 m。原始影像以 1:50 000 的地形图为准,利用多项式和最邻近内插法进行几何精校正,并确保配准误差小于 0.5 个像元,采用的软件为 ERDAS Image 9.1。结合遥感数据的特点及研究区的实际情况,景观的遥感分类采用的是面向对象的影像分析方法,在 Definiens Developer 7.0 软件环境下实现。该方法能够在结构复杂和高度异质的城市环境中能够实现对高分辨率遥感影像的精确分类,分类过程中采用的最近邻和模糊隶属函数相结合的

算法。最终分为建设用地、林地、草地、林草混合用地、水体以及农田六类(图 1),分类的总体分类精度为 88.46%,Kappa 系数为 0.86。研究中利用的社会和经济数据来源于北京市统计年鉴和人口普查数据,并对人口等社会数据进行了空间分布的插值模拟。

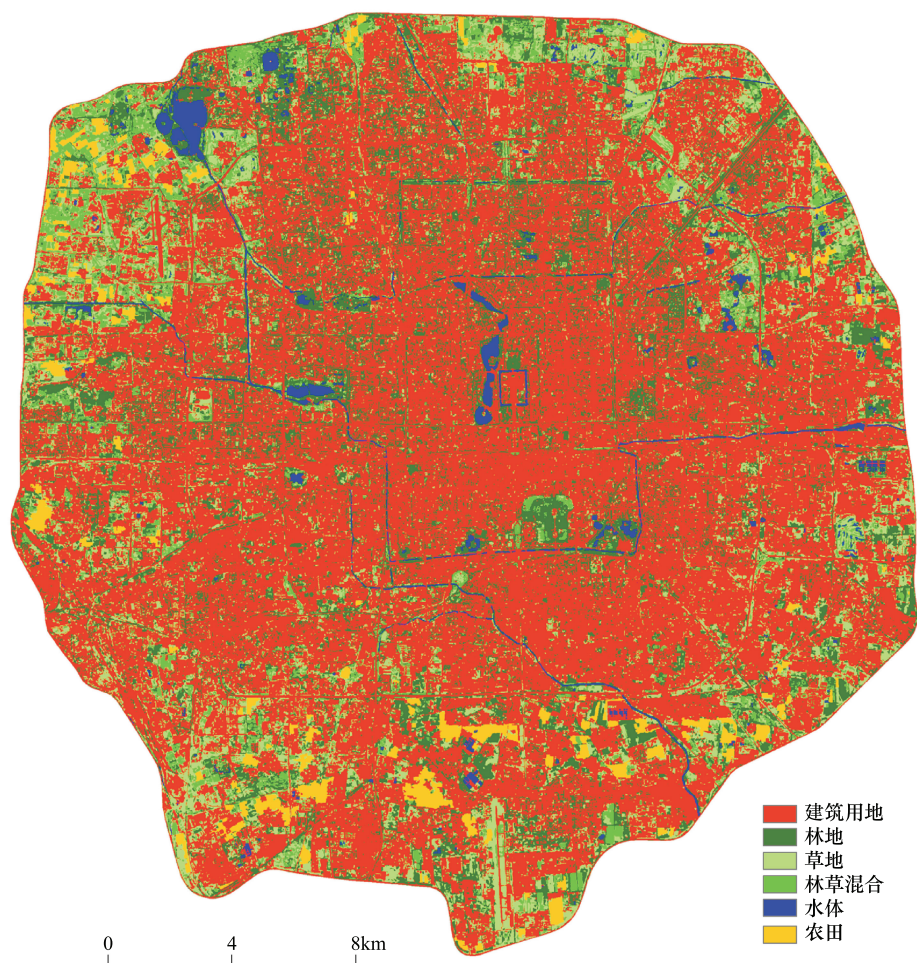


图 1 研究区面向对象景观分类结果

Fig. 1 Object-based imagery classification result for the study area

2 研究方法

2.1 景观破碎化指数

景观分类结果导入 Fragstats3.3 软件进行景观格局分析,由于单一指标对大范围的景观破碎化过程表现出明显的不敏感性和局限性^[8, 13],本文在景观水平上,针对面积、形状和蔓延度等特点选取 3 个不同的景观指数来表征景观破碎化程度,分别为斑块密度(Patch Density, PD)、边缘密度(Edge Density, ED)和景观分离度指数(Landscape Division Index, $DIVISION$),各指数的计算方法如下:

(1) 斑块密度(PD)

$$PD = \frac{\sum_{i=1}^M N_i}{A} \quad (PD > 0)$$

式中, M 为景观的要素类型总数, A 为研究范围景观总面积, N_i 为第 i 类景观要素的斑块数。

(2) 边缘密度(ED)

$$ED = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M P_{ij}}{A} \quad (ED \geq 0)$$

式中, P_{ij} 是景观中第 i 类景观要素斑块与第 j 类景观要素斑块间的边界长度。

(3) 景观分离度(DIVISION)

$$\text{DIVISION} = \left[1 - \sum_{j=1}^n \left(\frac{a_j}{A} \right) \right] \quad (0 \leq \text{DIVISION} < 1)$$

式中, a_j 为景观中斑块 j 或者景观中某类斑块 j 的面积, 当景观中仅有一个斑块时, 景观分离度为 0, 该指数越大, 表明景观内斑块组成越破碎, 景观越复杂。

2.2 分析方法

(1) 采用移动窗口法来计算整个研究区景观破碎化的空间分布格局和内部水平差异, 该方法选取一定大小的分析窗口, 从研究区的左上角开始移动, 每次移动一个栅格, 计算窗口内的景观指数值, 并将该值赋给该窗口的中心栅格, 最终得到各个景观指标的栅格图, 即景观破碎化的空间分布格局(图 2a)。为了能够清楚地表明该指标的变化规律, 选取大小为 1、2 km 和 3 km 的移动窗口分别计算并进行对比分析, 并在景观破碎化空间分布格局的基础上, 设置从城市中心在研究区设置八个方向的样带, 利用 ArcGIS 9.2 的三维分析模块, 得到景观破碎化的从城市中心到外围空间梯度差异(图 2b)。

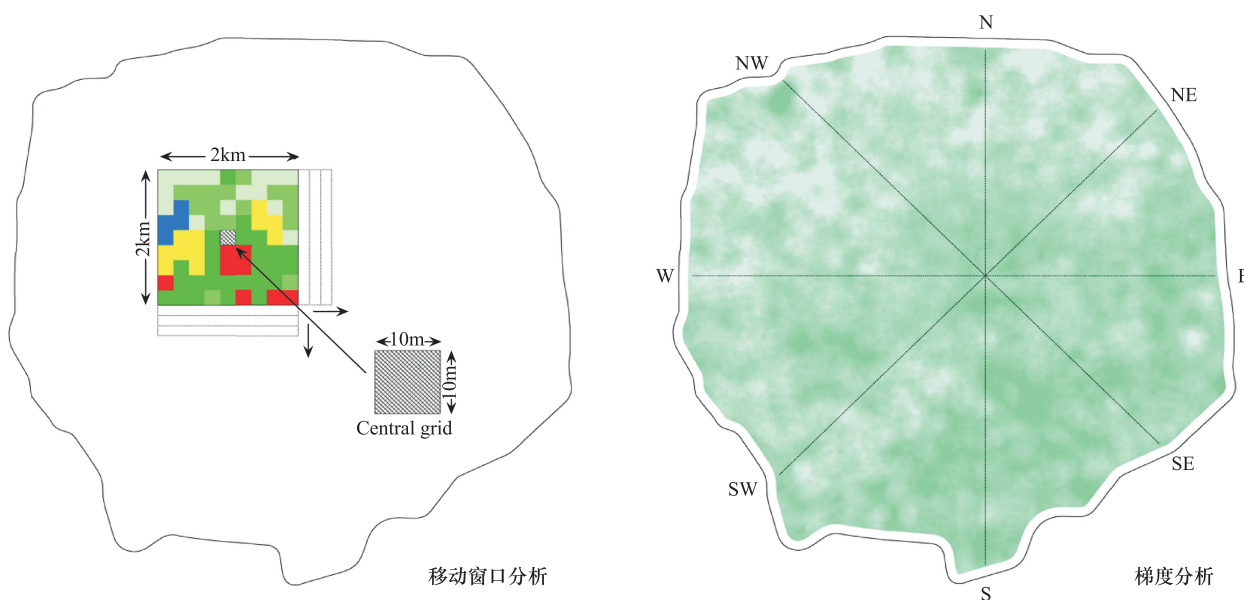


图 2 移动窗口和梯度分析示意图

Fig. 2 Illustration of moving-window and transect analysis

(2) 为了研究城市化水平和景观破碎化程度的关系, 利用 2 km×2 km 的格网, 将整个研究区划分成一系列分析单元, 分别计算各单元的景观破碎化指数(以 PD 为代表)和城市化水平(以建设用地面积比例为代表, PLANDU), 利用相关和回归分析两者之间的关系。

(3) 选取一定的社会和经济指标, 与景观破碎化程度进行相关和回归分析, 研究城市景观破碎化程度与社会经济发展之间的关系。研究社会因素影响时采用格网分析的方法, 基于 2 km×2 km 网格单元开展, 而分析经济因素关系时则是以行政区为基础进行的。

3 结果与分析

3.1 北京市景观格局的总体特征

在类型水平上,城市建筑用地景观所占比例达 63%,尤其是四环以内的建筑用地占了绝大比例,说明北京市中心城区 2002 年的城市化程度较高,该类型斑块连通性好,总体破碎化程度不高。城市绿地景观的覆盖率较低,其中林地、草地和林草混合用地所占比例分别为 17%、11% 和 5%,绿地斑块空间分布不均衡,主要的绿地单元集中在研究区外围,而城市中心绿地分布较少,且以小单元绿地为主,总体的景观结构不合理,主要的绿地类型均显示出较高的破碎化程度。农业用地和水面景观所占的比例相对较小,均为 2%,由于城市的发展与外围扩张,老城区周边近郊与远郊的农田及耕地逐渐被建设用地“蚕食”,剩余的主要农业用地主要分散在四环和五环之间的城市外围区域,破碎化程度不高;水面景观主要以城市湖泊、沟渠及河流为主,从城市中心到外围均有分布。

3.2 景观破碎化的空间格局与梯度变化

移动窗口分析得到斑块密度 PD、边缘密度 ED 和景观分离度指数 DIVISION 的空间分布格局如图 3 所示。总体来说,在景观水平上,城市中心和郊区的景观破碎化程度要显著低于城市化边缘的城乡结合区,在研究区北部的破碎化程度很高,主要原因是该地区城市发展迅速,人类活动和干扰频繁,由此引发的土地利用变化较为剧烈和深刻,景观类型多样,呈交错分布;而在城市中心和研究区南部的景观破碎化程度相对较低,主要是因为该区域的景观单元呈均匀连续分布,结构较为单一。

基于景观破碎化的空间格局,进一步利用梯度分析的方法,得到景观破碎化程度在 8 个方向上的梯度变化(图 4—图 6)。可以看出,沿着城市化梯度从城市中心向外围,斑块密度 PD、边缘密度 ED 和景观分离度指数 DIVISION 表现为先上升后下降的变化趋势,即从城市中心到城市边缘再到郊区,景观破碎化程度先呈指数式增加,在城市边缘区达到峰值,此后到了郊区随着距市中心的距离增加而迅速下降,城市化边缘区的景观破碎化程度比市中心和郊区高出范围介于 20%—40% 之间。该结果不仅表明了景观破碎化在城市化梯度上的内部水平差异,还进一步说明景观破碎化程度最高的地区并不是城市化水平最高的城市中心,而出现在城市边缘,而随着城市化程度的提高,景观破碎化程度也并没有呈现出线性的变化关系,而是一种非线性的单峰特征。

在城市中心,城市化水平最高的地区,建设用地景观占有绝大的比例,斑块大量地连成一片,连通性强,导致景观破碎化程度较低;而在城市化边缘地区,人为干扰比较强烈,人类的活动逐渐把比较均一的非建筑用地景观转变为建筑景观,形成了多样化的景观类型和破碎化的景观类型,以及建设用地和其它用地之间的镶嵌分布,因而景观破碎化程度最高;城市郊区,一般多为大片的自然或农田景观,所以破碎化程度也较低。

该结果还能作为是分析尺度的变化对景观指标影响的一个范例^[14-15],当移动窗口为 1 km 时,景观破碎

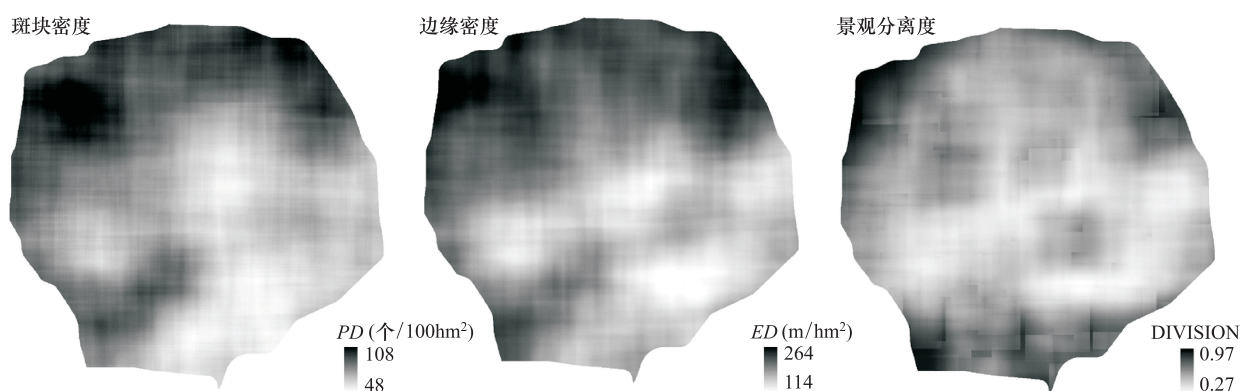


图 3 斑块密度 PD、边缘密度 ED 以及景观分离度 DIVISION 的空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of patch density, edge density and landscape division index

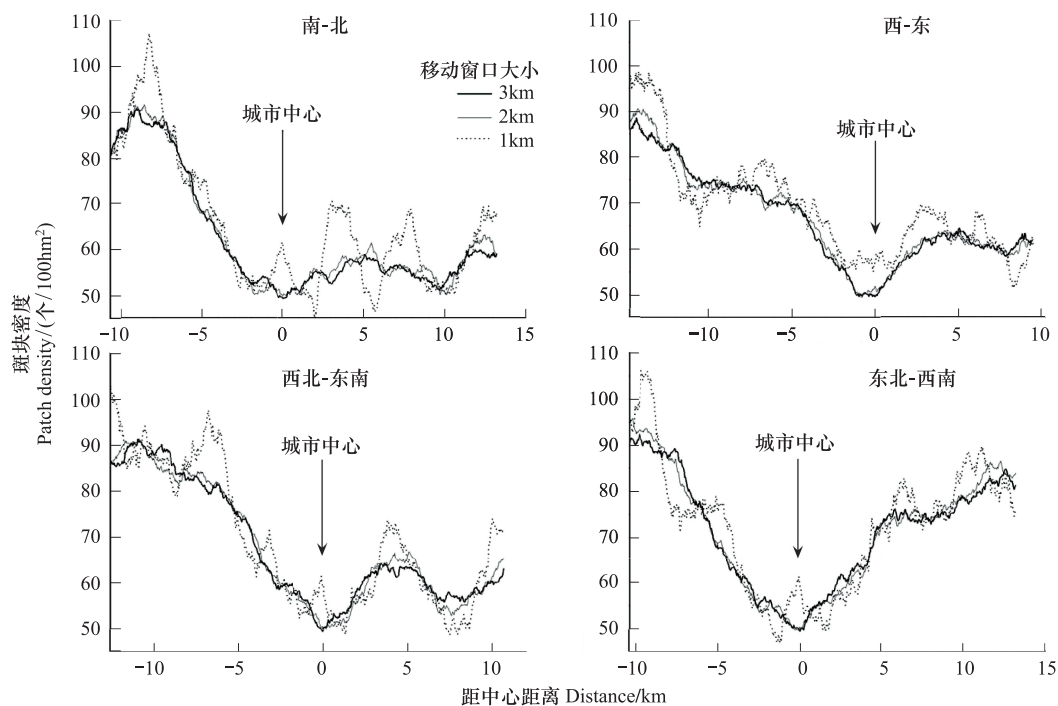


图4 斑块密度在8个城市化方向上梯度变化规律

Fig. 4 Variations of patch density along eight urbanization gradients

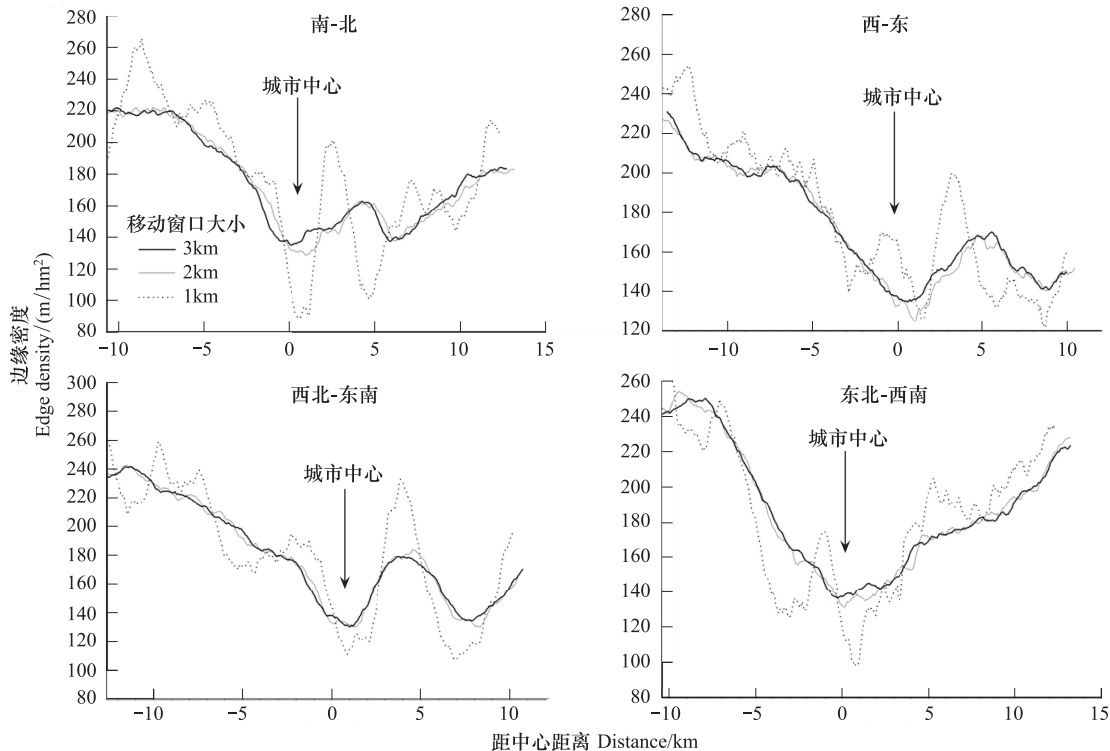


图5 边缘密度在8个城市化方向上梯度变化规律

Fig. 5 Variations of edge density along eight urbanization gradients

化程度在城市化方向上的变化波动较大,梯度变化规律不明显;而当移动窗口逐渐增加,其指示值随着距离变

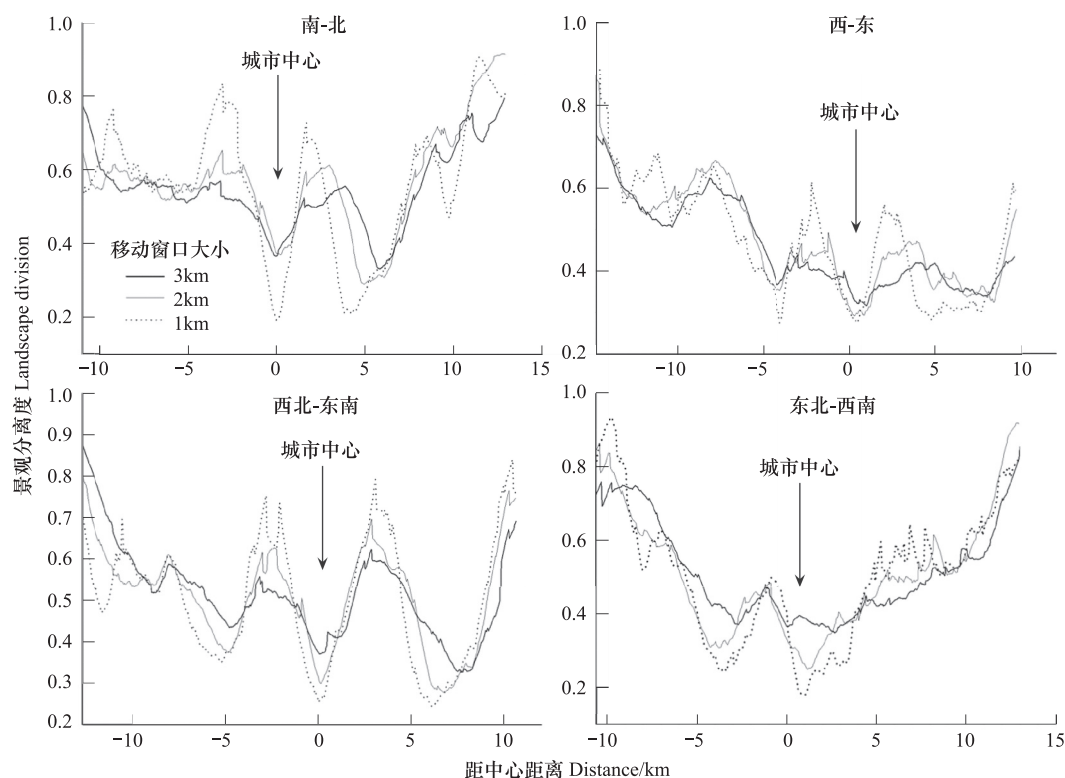


图6 景观分离度在8个城市化方向上梯度变化规律

Fig. 6 Variations of landscape division index along eight urbanization gradients

化的波动会逐渐变小直至趋于稳定,反映出来的梯度变化规律明显。这同时说明分析尺度的变化对于结果具有重要的影响,而在本研究中通过多次实验发现,当移动窗口的大小设置为2 km时,不仅能够反映出景观破碎化程度的梯度变化特征,还能满足后续统计分析中样本单元数量的需求。

3.3 城市化水平与景观破碎化的关系

由相关分析的结果可知,各个景观破碎化指标,即斑块密度 PD、边缘密度 ED 和景观分离度指数 DIVISION,与城市化水平 PLANDU 均具有显著的相关关系(图7),相关系数分别为0.62、0.74和0.96,进一步的回归分析表明他们之间的关系用二元多项式可以达到很好的拟合效果($P < 0.0001$),这说明景观破碎化程度与城市化水平具有密切的关联,两者之间呈现出显著的倒“U”型关系,随着城市化水平的不断提高,景观破碎化程度表现为先上升后下降的变化规律,并且在城市化水平达到42%—45%之间的阈值时达到峰值。两者之间的倒“U”型关系同时从城市形态格局演变的角度反映出景观破碎化的动态变化,具体来说,在城市发展初期,城市化水平较低,由于人类活动的参与,一方面增加了各种类型的斑块,在非城市地区产生各种人为的新斑块,另一方面,强烈的人为干扰也不断支离原本连接在一起的斑块,从而导致景观破碎化程度的逐步加剧;在城市发展中期,城市化达到了一定的水平,在这个发展阶段,由于斑块间的不断扩展,交错渗透及加剧分割,不仅使得斑块的面积不断扩大,而且斑块形状更趋于多样化,复杂化以及高度的破碎化,因而在该阶段景观破碎化程度达到峰值。在城市发展后期,城市化水平到达了较高的水平,斑块之间会出现粘合的状态,即相邻斑块扩大到一定程度后,相互连接成一个大斑块,从而降低景观破碎化程度。

3.4 景观破碎化的社会经济驱动分析

社会和经济的发 展是影响和改变城市景观结构和格局的重要驱动因素。研究表明,交通设施建设和城市的发展是导致景观破碎化的主要原因^[16-18],而这两者又与人类活动密切相关。一方面,一般来说,人口数量越多、人口越集中的地区,对于交通相关设施、交通网络的需求和依赖也相应越多,而城市发展,从某种意义上来说,也是由人口的增长所带动的,人口密度的高低直观地反映了人类活动和干扰强度的高低;另一方面,家

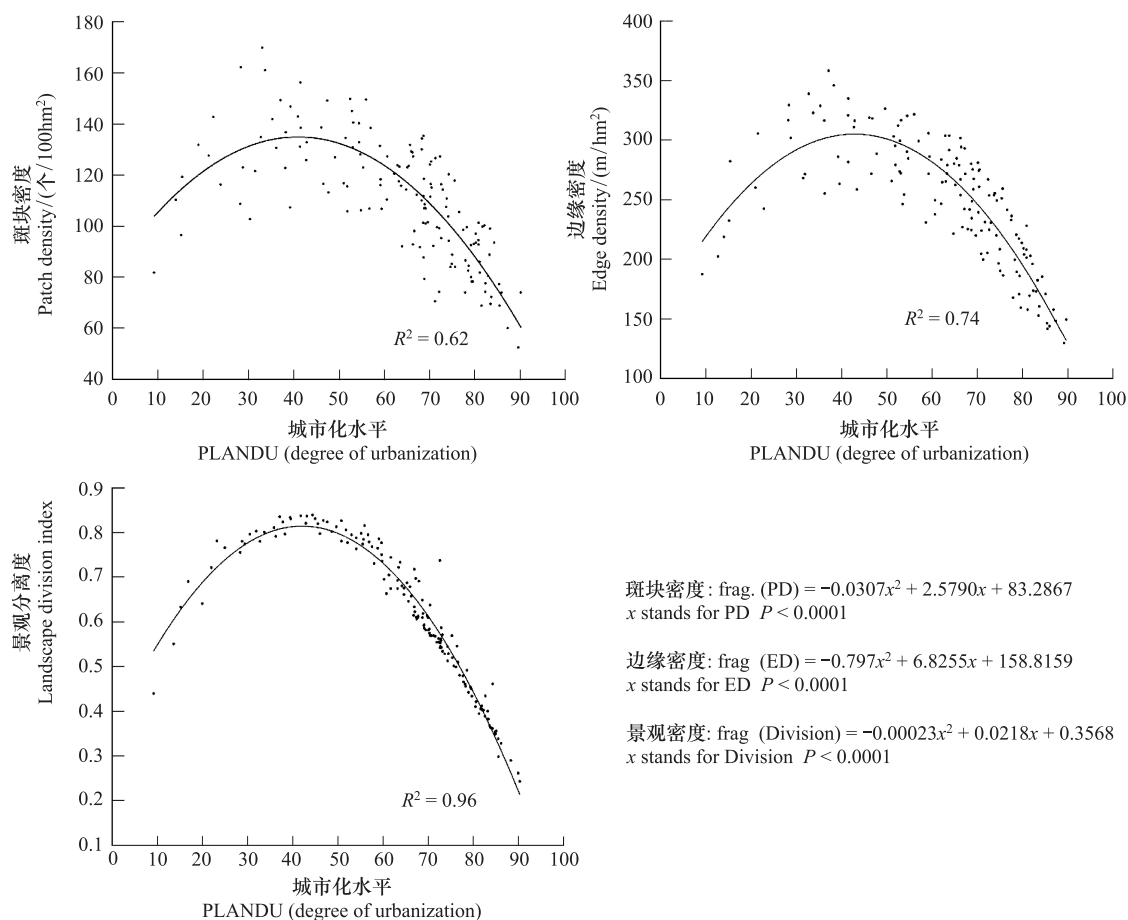


图7 斑块密度、边缘密度和景观分离度与城市化水平之间的关系

Fig. 7 Relations of patch density, edge density and landscape division with level of urbanization

庭户数是决定城市住宅用地的主要因素,而住宅用地的发展则会直接影响城市的用地格局和景观的破碎化程度,所以在本研究中,选取了人口密度和家庭户数这两个指标来分析影响景观破碎化格局的社会因素。相关分析与回归分析的结果表明(图8),由斑块密度所指征的景观破碎化程度与人口密度和家庭户数这两个指标之间具有显著的线性正相关关系,相关系数分别为0.50和0.49,这表明人口是导致城市景观破碎化加剧的主要社会驱动因素。

而对于经济因素,由于数据组织与获取的限制,导致在分析经济指标与景观破碎化的关系时样本数量较少,因而无法进行回归分析,只能够分析两者之间的相关关系。结果表明,所有的经济指标与斑块密度之间没有显著的相关关系,但是财政支出,建筑业总产值以及房地产投资这三个经济指标与城市化水平 PLANDU 之间具有显著的相关关系,相关系数分别为0.86,0.84和0.76,说明这些经济因素是影响城市化水平的重要原因。结合之前得出的城市化与景观破碎化关系的结论,可以说明这些经济因素能够通过改变城市化水平的高低来间接地对景观破碎化程度产生影响。

在快速推进的城市化进程中,由于人口的增加以人们生活水平的提高深刻地影响着土地利用方式^[19]。城市交通干道建设的廊道效应,使得城市道路周围的土地逐渐向城市用地转化,并使得自然廊道不断受到人工廊道的排挤而发生变形、破损断裂甚至完全消失;而住宅区和城市基础设施的建设,不断占用郊区农田和自然植被,这些社会和经济的驱动作用,不断支离和分割城市的景观斑块,使得景观逐渐破碎化^[20-21]。

4 结论与讨论

本研究基于北京市2002年的SPOT遥感影像数据,通过斑块密度PD,边缘密度ED以及景观分离度

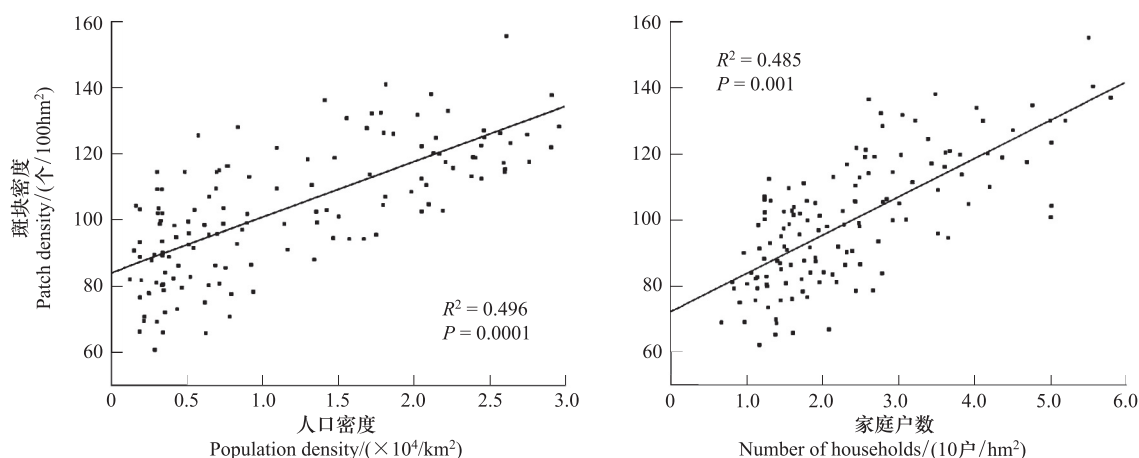


图8 景观破碎化程度与人口密度和家庭户数的关系

Fig. 8 Relations of landscape fragmentation with population density and the number of households

DIVISION 来代表景观破碎化程度,采用移动窗口分析、梯度分析与景观指数相结合的方法,并通过相关与回归等统计分析,对北京中心城区的景观破碎化格局进行了量化分析,结果表明该方法是可行的,不仅可以实现景观破碎化格局的可视化和空间化量度,还能对其与城市化水平以及社会经济发展的关系进行了相应的探讨分析。研究结果不仅有助于掌握城市景观破碎化格局的特征及变化机制,进一步了解城市景观破碎化的驱动因素,而且对于优化城市格局、维持城市生态系统服务功能^[22],促进城市的可持续发展具有重要的意义^[23]。得到主要结论如下:

(1) 研究结果表明,北京城区景观破碎化的空间格局分布呈明显的交替圈层结构,在城市中心和郊区,景观破碎化程度相对较低,而在城市化边缘破碎化程度最高,沿着城市化梯度从城市中心向外,景观破碎化呈现出明显的先增加后减少的单峰特征。该结果对于城市的合理设计和生态规划具有重要的意义。在城市发展过程中,尤其是住宅、公共设施以及道路等的建设,会逐渐占用和“蚕食”城市周边的耕地和城市的绿地资源,使得城市在形态上表现出往外扩张的趋势,从而很大程度上改变了土地利用现状和景观格局,导致景观异质性显著,各类型的斑块分割程度高,相互之间连通性差,破碎化程度加剧,进而减少城市生态系统赖以维持的能流和物质流的供应,影响城市的可持续发展^[10, 24]。研究结果表明,对于景观破碎化程度最为严重的城市化边缘地区,尤其是北京城区的西部和北部,在城市的规划和设计中需要得到足够的重视,在必要时采取相应的规避和保护措施,如扩展绿地斑块或建设绿地廊道连接分离的绿地景观等,来降低其整体的景观破碎化水平。而在城市的中心,尽管景观破碎化程度较低,但该地区斑块类型相对单一,主要是以建设用地占主导,因此,在进行城市景观规划时,有人为地必要引入一定的透水地面,如绿地和水体等,这样的结果虽然带来了景观破碎化的提高,但是对于城市生态系统本身却具有正面的作用。这也从另一方面说明,在评价景观破碎化对于城市景观的指示意义时,不仅需要考虑到破碎化程度本身,还需要考虑所研究的地区以及该地区的景观类型。此外,在景观的管理和维护中应该促进以目标为导向的政策,而不是简单的以需求为导向,在实施基础建设的同时,更需要考虑由此引发的人类活动对于生态廊道,自然生境是否会产生破碎化的影响。从长远发展来看,应该把该景观破碎化程度作为城市生态监测的一种定量性指标纳入可持续发展的指标体系中,从而更有效地指导城市的合理发展与生态规划^[25-27]。

(2) 城市化对于景观破碎化的影响具有一个阈值效应,即景观破碎化的程度随着城市化水平的逐渐升高会表现出先上升后下降的趋势,二元多项式的回归分析表明两者的关系可以用倒“U”型的曲线来表示,而且当城市化水平达到42%—45%之间时,景观破碎化的程度达到峰值。该结果不仅反映了景观破碎化对于城市化的响应特征,而且从另一个角度反映出景观破碎化在城市发展过程中的演变特征,为城市的规划和决策者制定合理的城市发展政策提供科学的理论依据。尤其是在城市发展中期,景观破碎化程度会较高,此时应

该采取相应的措施,如限制部分建设区的增长和开发,鼓励填充式发展以及开发用地的循环利用等来抑制景观破碎化程度的加剧。

(3)本文还对景观破碎化的社会经济驱动因素进行了相应的研究,各指标之间的相关和回归分析结果表明,城市人口增长与经济的快速发展是导致景观破碎化加剧的重要驱动因素,因此对于城市的可持续发展而言,需要考虑人口的增加以及经济的发展对于景观破碎化的影响程度和作用方向,在城市的发展过程中,采取相应的措施优先控制能够很大程度加剧景观破碎化的各种社会和经济因子,如在人口密度超负荷的住宅区或者商业区,应该进行空间格局的优化,增加城市绿地等软性景观的连续度以减少景观的破碎化,从而有效改善城市的生态环境,促进城市生态系统健康、有序的发展^[10, 28]。

References:

- [1] Wang R S. High Efficiency and Harmonious: Controlling Theory and Method of Urban Ecology. Changsha: Hunan University Press, 1988.
- [2] Li W F, Ouyang Z Y, Wang R S, Wang X K. Landscape pattern and their formation of urban ecosystems. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24 (4): 428-432.
- [3] Alberti M. The effects of urban patterns on ecosystem function. International Regional Science Review, 2005, 28(2): 168-192.
- [4] Wu J G. Urban sustainability: an inevitable goal of landscape research. Landscape Ecology, 2010, 25: 1-4.
- [5] Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, Redman C L, Wu J G, Bai X M, Briggs J M. Global change and the ecology of cities. Science, 2008, 319(5864): 756-760.
- [6] Irwin E G, Bockstael N E. The evolution of urban sprawl: evidence of spatial heterogeneity and increasing land fragmentation. Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104(52): 20672-20677.
- [7] Zhao J Z. Dynamics indicator system for measurement of spatial pattern in landscape ecology. Acta Ecologica Sinica, 1990, 10(2): 182-186.
- [8] Jaeger J A G. Landscape division, splitting index, and effective mesh size: new measures of landscape fragmentation. Landscape Ecology, 2000, 15(2): 115-130.
- [9] Weng Y C. Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization. Landscape and Urban Planning, 2007, 81(4): 341-353.
- [10] Wang X L, Xiao D N. Analysis on landscape patterns of Liaohe delta wetland. Acta Ecologica Sinica, 1997, 17(3): 317-323.
- [11] Sun Y J, Wang Q X, Lu Z H. Effects of urbanization on landscape pattern of Beijing. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(7): 1366-1369.
- [12] Guo L, Xia B C, Liu W Q, Jiang X D. Spatio-temporal change and gradient differentiation of landscape pattern in Guangzhou City during its urbanization. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 9(17): 1671-1676.
- [13] Moser B, Jaeger J A G, Tappeiner U, Tasser E, Eisele B. Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the boundary problem. Landscape Ecology, 2007, 22(3): 447-459.
- [14] Luck M, Wu J G. A gradient analysis of urban landscape pattern: a case study from the Phoenix metropolitan region, Arizona, USA. Landscape Ecology, 2002, 17: 327-339.
- [15] Yue W Z, Xu J H, Tan W Q, Zhao J, Shu F L. Spatial scale analysis of the diversities of urban landscape: a case study within the external circle highway of Shanghai City. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(1): 122-128.
- [16] Serrano M, Sanz L, Puig J, Pons J. Landscape fragmentation caused by the transport network in Navarra (Spain): two-scale analysis and landscape integration assessment. Landscape and Urban Planning, 2002, 58(2/4): 113-123.
- [17] Jaeger J A G, Bertiller R, Schwick C. Degree of Landscape Fragmentation in Switzerland: Quantitative Analysis 1885—2002 and Implications for Traffic Planning and Regional Planning (Condensed Version). Neuchâtel: Federal Statistical Office, 2007.
- [18] Jaeger J A G, Schwarz-von Raumer H G, Esswein H, Müller M, Schmidt-Lüttmann M. Time series of landscape fragmentation caused by transportation infrastructure and urban development: a case study from Baden-Württemberg, Germany. Ecology and Society, 2007, 12(1): 22.
- [19] Zhang J T, Pickett S T A. Effects of urbanization on forest vegetation, soils and landscape. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 655-658.
- [20] Mao J X, Yan X P. Corridor effects of the urban transport artery on land use — a case study of the Guangzhou Avenue. Geography and Geo-Information Science, 2004, 20(5): 58-61.
- [21] Zong Y G. The corridor effects in urban ecological landscape planning — a case study on Beijing. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(2): 145-150.
- [22] Wang R S, Wang X R, Hu D, Tang L J. Research on Ecosystem Services of Urban Survival and Development. Beijing: China Meteorological Press, 2004.
- [23] Wu J G. Making the case for landscape ecology: an effective approach to urban sustainability. Landscape Journal, 2008, 27(1): 41-50.

- [24] Breuste J, Niemelä J, Snep R P H. Applying landscape ecological principles in urban environments. *Landscape Ecology*, 1998, 23(10): 1139-1142.
- [25] Jaeger J A G, Bertiller R, Schwick C, Müller K, Steinmeier C, Ewald K C, Ghazoul J. Implementing landscape fragmentation as an indicator in the Swiss Monitoring System of Sustainable Development (MONET). *Journal of Environmental Management*, 2007, 88(4): 737-751.
- [26] Li F, Liu X S, Hu D, Wang R S. Evaluation method and its application for urban sustainable development. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4793-4802.
- [27] Cao Hui, Hu F, Li H X, Liang Z H, Wang Z Z. Evaluation of sustainable development of urban ecosystem in Nanjing City. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(5): 787-792.
- [28] Alberti M, Marzluff J M. Ecological resilience in urban ecosystems: linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems*, 2004, 7(3): 241-256.

参考文献:

- [1] 王如松. 高效、和谐: 城市生态调控原理与方法. 长沙: 湖南大学出版社, 1988.
- [2] 李伟峰, 欧阳志云, 王如松, 王效科. 城市生态系统景观格局特征及形成机制. *生态学报*, 2005, 24(4): 428-432.
- [11] 孙亚杰, 王清旭, 陆兆华. 城市化对北京市景观格局的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(7): 1366-1369.
- [12] 郭冻, 夏北成, 刘蔚秋, 江学顶. 城市化进程中广州市景观格局的时空变化与梯度分异. *应用生态学报*, 2006, 17(9): 1671-1676.
- [15] 岳文泽, 徐建华, 谈文琦, 赵晶, 苏方林. 城市景观多样性的空间尺度分析——以上海市外环线以内区域为例. *生态学报*, 2005, 25(1): 122-128.
- [19] 张金屯, Pickett S T A. 城市化对森林植被、土壤和景观的影响. *生态学报*, 1999, 19(5): 655-658.
- [20] 毛蒋兴, 闫小培. 城市交通干道对土地利用的廊道效应研究——以广州大道为例. *地理与地理信息科学*, 2004, 20(5): 58-61.
- [21] 宗跃光. 城市景观生态规划中的廊道效应研究——以北京市区为例. *生态学报*, 1999, 19(2): 145-150.
- [22] 王如松, 王祥荣, 胡聘, 唐礼俊. 城市生存与发展的生态服务功能研究. 北京: 气象出版社, 2004.
- [26] 李锋, 刘旭升, 胡聘, 王如松. 城市可持续发展评价方法及其应用. *生态学报*, 2007, 27(11): 4793-4802.
- [27] 曹慧, 胡锋, 李辉信, 梁镇海, 王昭昭. 南京市城市生态系统可持续发展评价研究. *生态学报*, 2002, 22(5): 787-792.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 9 May, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses and weigh of multi-ecosystem services and its economic value under different land cover scenarios: a case study from Ertan water control pivot in Yalong River	GE Jing, WU Nan, GAO Jixi, et al (2629)
Influence of grazing on biomass, growth ratio and compensatory effect of different plant groups in <i>Kobresia parva</i> meadow	DONG Quanmin, ZHAO Xinquan, MA Yushou, et al (2640)
Stocking effectiveness of hatchery-released kuruma prawn <i>Penaeus japonicus</i> in the Xiangshan Bay, China	JIANG Yazhou, LING Jianzhong, LIN Nan, et al (2651)
The spatial pattern of landscape fragmentation and its relations with urbanization and socio-economic developments: a case study of Beijing	QIU Jiangxiao, WANG Xiaoke, LU Fei, et al (2659)
Cellular automata simulation of barren patch connectivity effect in degradation sequence on alpine meadow in the source region of the Yangtze and Yellow rivers, Qinghai-Tibetan Plateau, China	LI Xueling, LIN Huilong (2670)
Evolution law of architectural landscape during the urban renewal process in Tiexi District	ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (2681)
Competition for light and crop productivity in an agro-forestry system in the Hilly Region, Shangluo, China	PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (2692)
Evaluation of forest ecosystem services based on biomass in Shanxi Province	LIU Yong, LI Jinchang, YANG Yonggang (2699)
Research on the morphological interactions between <i>Tamarix ramosissima</i> thickets and Nebkhas under different sand supply conditions; a case study in Cele oasis-desert ecotone	YANG Fan, WANG Xueqin, YANG Dongliang, et al (2707)
Litter decomposition and nutrient release in typical secondary and primary forests in karst region, Northwest of Guangxi	ZENG Zhaoxia, WANG Kelin, ZENG Fuping, et al (2720)
Spatial patterns of dominant species in a subtropical evergreen broad-leaved forest in Jiulian Mountain Jiangxi Province, China	FAN Juan, ZHAO Xiuhai, WANG Jinsong, et al (2729)
Characteristics of seedlings regeneration in <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> secondary forests in Qinling Mountains	KANG Bing, WANG Dexiang, LI Gang, et al (2738)
Xylem hydraulic traits of <i>Populus euphratica</i> Oliv. in extremely drought environment	AYOUPU Mubareke, CHEN Yaning, HAO Xingming, et al (2748)
Response characteristics of leaf traits of common species along an altitudinal gradient in Hongchiba Grassland, Chongqing	SONG Lulu, FAN Jiangwen, WU Shaohong, et al (2759)
Changes of carbon input influence soil respiration in a <i>Pinus tabulaeformis</i> plantation	WANG Jinsong, ZHAO Xiuhai, ZHANG Chunyu, et al (2768)
Effects of different habitats and coverage treatments on the fates of <i>Quercus wutaishanica</i> seeds under the predation pressure of rodents	YAN Xingfu, ZHOU Libiao, LIU Jianli (2778)
Nested analysis of urban woodlot bird communities in Minhang District of Shanghai	WANG Benyao, WANG Xiaoming, WANG Tianhou, et al (2788)
Production dynamics and trophic basis of three dominant mayflies in the continuum of Shenglihe Stream in the Bahe River Basin	DENG Shan, YE Caiwei, WANG Lixiao, et al (2796)
Effects of sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on <i>Acanthus ilicifolius</i> seedlings	LI Ting, YE Yong (2810)
Utilization of carbon sources by the soil microbial communities of different forest types in subtropical Australia	LU Shunbao, GUO Xiaomin, RUI Yichao, et al (2819)
Soil microbial community characteristics under different vegetation types at the Holocene-basalt Platform, Jingpo Lake area, Northeast China	HUANG Yuanyuan, QU Laiye, QU Xiuchun, et al (2827)
Effect of <i>Ipomoea aquatica</i> Floating-bed on the quantity and distribution of nitrogen cycling bacteria and nitrogen removal	TANG Yingying, LI Xiuzhen, ZHOU Yuanqing, et al (2837)
Effects of microbial inoculants on soil microbial diversity and degrading process of corn straw returned to field	LI Peipei, ZHANG Dongdong, WANG Xiaojuan, et al (2847)

Effects of coupling film-mulched furrow-ridge cropping with maize straw soil-incorporation on maize yields and soil organic carbon pool at a semiarid loess site of China	WU Rongmei, WANG Yongpeng, LI Fengmin, et al (2855)
Residues and spatial distribution of OCPs in the sediments of Gan River Basin ...	LIU Xiaozhen, ZHAO Ci, LIANG Yu, et al (2863)
Analysis on population fluctuation and properties of the white-backed planthopper in Huizhou in 2009	 DIAO Yonggang, YANG Haibo, QU Yufeng, et al (2872)
Evaluation acaricidal activities of <i>Momordica cochinchinensis</i> extracts against <i>Tetranychus cinnabarinus</i>	 GUO Huili, SHI Guanglu, JIA Liangxi, et al (2883)
Stomatal ozone uptake modeling and comparative analysis of flux-response relationships of winter wheat	 TONG Lei, FENG Zongwei, Sudebilige, et al (2890)

Review and Monograph

Calculation method of energy ecological footprint based on global net primary productivity	 FANG Kai, DONG Deming, LIN Zhuo, et al (2900)
Behavioral patterns, influencing factors, functions and risks of social play in primates	 WANG Xiaowei, ZHAO Haitao, QI Xiaoguang, et al (2910)

Discussion

Spatio-Temporal changing analysis on carbon storage of harvested wood products in China	 LUN Fei, LI Wenhua, WANG Zhen, et al (2918)
---	---

Scientific Note

Variations in allometrical relationship between stand nitrogen storage and biomass as stand development	 CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2929)
Effect of continuous cropping of sesame on rhizospheric microbial communities	 HUA Juling, LIU Guangrong, HUANG Jinsong (2936)
Effects of clipping on the growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence of invasive plant, <i>Flaveria bidentis</i>	 WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, CHEN Dongqing, et al (2943)
Influence of vegetable cultivation methods on soil organic carbon sequestration rate	 LIU Yang, YU Dongsheng, SHI Xuezheng, et al (2953)
Integrated matrix-hydrology-biological remediation technology for bank collapse lakeside zone of Chaohu Lake	 CHEN Yunfeng, ZHANG Yanhui, ZHENG Xiqiang (2960)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 9 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 9 (May, 2012)

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:100071	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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.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