

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

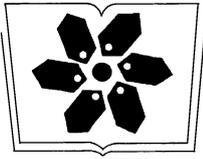
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第4期 Vol.33 No.4 **2013**

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 33 卷 第 4 期 2013 年 2 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 森林水源涵养功能的多尺度内涵、过程及计量方法 王晓学,沈会涛,李叙勇,等 (1019)
- 植物叶片水稳定同位素研究进展 罗 伦,余武生,万诗敏,等 (1031)
- 城市景观格局演变的生态环境效应研究进展 陈利顶,孙然好,刘海莲 (1042)
- 城市生物多样性分布格局研究进展 毛齐正,马克明,邬建国,等 (1051)
- 基于福祉视角的生态补偿研究 李惠梅,张安录 (1065)

个体与基础生态

- 土著菌根真菌和混生植物对羊草生长和磷营养的影响 雷 垚,郝志鹏,陈保冬 (1071)
- 干旱条件下 AM 真菌对植物生长和土壤水稳定性团聚体的影响 叶佳舒,李 涛,胡亚军,等 (1080)
- 转 *mapk* 双链 RNA 干扰表达载体黄瓜对根际土壤细菌多样性的影响 ... 陈国华,弭宝彬,李 莹,等 (1091)
- 北京远郊区臭氧污染及其对敏感植物叶片的伤害 万五星,夏亚军,张红星,等 (1098)
- 茅苍术叶片可培养内生细菌多样性及其促生潜力 周佳宇,贾 永,王宏伟,等 (1106)
- 低温对蝶蛹金小蜂卵成熟及其数量动态的影响 夏诗洋,孟玲,李保平 (1118)
- 六星黑点豹蠹蛾求偶行为与性信息素产生和释放的时辰节律 刘金龙,荆小院,杨美红,等 (1126)
- 氟化物对家蚕血液羧酸酯酶及全酯酶活性的影响 米 智,阮成龙,李姣蓉,等 (1134)
- 不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响 梁俊平,李 健,李吉涛,等 (1142)

种群、群落和生态系统

- 生态系统服务多样性与景观多功能性——从科学理念到综合评估 吕一河,马志敏,傅伯杰,等 (1153)
- 不同端元模型下湿地植被覆盖度的提取方法——以北京市野鸭湖湿地自然保护区为例
..... 崔天翔,官兆宁,赵文吉,等 (1160)
- 基于光谱特征变量的湿地典型植物生态类型识别方法——以北京野鸭湖湿地为例
..... 林 川,官兆宁,赵文吉,等 (1172)
- 浮游植物群落对海南小水电建设的响应 林彰文,林 生,顾继光,等 (1186)
- 菹草种群内外水质日变化 王锦旗,郑有飞,王国祥 (1195)
- 南方红壤区 3 种典型森林恢复方式对植物群落多样性的影响 王 芸,欧阳志云,郑 华,等 (1204)
- 人工油松林恢复过程中土壤理化性质及有机碳含量的变化特征 胡会峰,刘国华 (1212)
- 不同区域森林火灾对生态因子的响应及其概率模型 李晓炜,赵 刚,于秀波,等 (1219)

景观、区域和全球生态

- 快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析——以东莞市为例 杨青生,乔纪纲,艾 彬 (1230)
- 海岸带生态系统健康评价中能质和生物多样性的差异——以江苏海岸带为例
..... 唐得昊,邹欣庆,刘兴健 (1240)
- 干湿交替频率对不同土壤 CO₂ 和 N₂O 释放的影响 欧阳扬,李叙勇 (1251)

西部地区低碳竞争力评价..... 金小琴,杜受祜 (1260)

基于 HEC-HMS 模型的八一水库流域洪水重现期研究 郑 鹏,林 韵,潘文斌,等 (1268)

基于修正的 Gash 模型模拟小兴安岭原始红松林降雨截留过程 柴汝杉,蔡体久,满秀玲,等 (1276)

长白山北坡不同林型内红松年表特征及其与气候因子的关系..... 陈 列,高露双,张 贇,等 (1285)

资源与产业生态

河西走廊绿洲灌区循环模式“农田-食用菌”生产系统氮素流动特征 李瑞琴,于安芬,赵有彪,等 (1292)

施肥对旱地花生主要土壤肥力指标及产量的影响..... 王才斌,郑亚萍,梁晓艳,等 (1300)

耕作措施对土壤水热特性和微生物生物量碳的影响..... 庞 绪,何文清,严昌荣,等 (1308)

基于改进 SPA 法的耕地占补平衡生态安全评价 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1317)

学术争鸣

基于生态-产业共生关系的林业生态安全测度方法构想 张智光 (1326)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿须知 (I)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-02



封面图说: 石羊河——石羊河流域属大陆性温带干旱气候,气候特点是:日照充足、温差大、降水少、蒸发强、空气干燥。石羊河源出祁连山东段,河系以雨水补给为主,兼有冰雪融水成分。上游的祁连山区降水丰富,有雪山冰川和残留林木,是河流的水源补给地。中游流经河西走廊平地,形成武威和永昌等绿洲,下游是民勤,石羊河最后消失在腾格里沙漠中。随着石羊河流域人水矛盾的不断加剧,水资源开发利用严重过度,荒漠化日趋严重,民勤县的生态环境已经相当恶化,继续下去将有可能变成第二个“罗布泊”。

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

DOI: 10.5846/stxb201203010274

杨青生, 乔纪纲, 艾彬. 快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析——以东莞市为例. 生态学报, 2013, 33(4): 1230-1239.

Yang Q S, Qiao J G, Ai B. Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(4): 1230-1239.

快速城市化地区景观生态安全时空演化过程分析 ——以东莞市为例

杨青生^{1,*}, 乔纪纲¹, 艾彬²

(1. 广东商学院资源与环境学院, 广州 510320; 2. 中山大学地理与规划学院, 广州 510275)

摘要: 依托“压力—状态—响应”概念框架模型, 建立景观生态安全评价指标体系, 以东莞市为例, 研究区域景观生态安全时空发展变化过程, 揭示快速城市化地区生态安全发展变化的规律。结果表明: 1988、1997 和 2005 年东莞市的平均生态安全综合指数分别为 0.497、0.436 和 0.395, 区域总体生态安全从中高安全状态逐步降低到中低安全状态; 生态中低安全的区域空间上从“市中心—镇中心”沿“市中心—镇中心—道路”不断扩张。采用以像元为中心的公里网格滑动模板的指标作为像元的评价指标, 可以有效解决景观结构指数等指标的计算, 在生态安全等级划分时边界过度很平滑, 景观尺度的生态安全评价可以为生态可持续发展政策的制定提供科学依据。

关键词: 景观生态安全; “压力—状态—响应”模型; 东莞市

Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City

YANG Qingsheng^{1,*}, QIAO Jigang¹, AI Bin²

1 School of Resources and Environment, Guangdong University of Business Studies, Guangzhou 510320, China

2 School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: Based on the “pressure-state-response” conceptual framework, an evaluation system is proposed to study landscape ecological security dynamics from 1988 to 2005 in Dongguan City, a fast-growing city in Guangdong Province, China. The pressure index, which describes the pressure that human activities exert on the environment, consists of urban development intensity, population density, distance to major transportation routes, distance to nearest city center and distance to nearest town center. The landscape security state index, which relates to the quality of the environment, is composed of landscape patch density, ecological service value, and landscape vulnerability. The response index, which reflects the reaction of human beings to landscape dynamics, is defined as adjusted intensity of natural reserve districts, forest, park, and crop lands. The evaluation units are Landsat TM pixels and the fundamental data set is obtained by classifying raw TM data. Transportation and city-center location data are obtained from topographic maps. Population, environmental protection, planning, and other data are obtained from the Dongguan statistical yearbook and the Dongguan Department of Environmental Protection. The results for Dongguan City indicate that the pressure index was 0.317, 0.394, and 0.472 in 1988, 1997 and 2005 respectively, which means the landscape pressure increased from 1988 to 2005. The landscape security state indicator was 0.473, 0.406 and 0.365 in 1988, 1997 and 2005, which means landscape security became more insecure. The response to ecological security dynamics was steady from 1988 to 2005. The weighted sum of

基金项目: 国家自然科学基金(40801236); 广东省人文社科重大攻关项目(2012ZGXM_0009)

收稿日期: 2012-03-01; **修订日期:** 2012-12-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qsyang2002@163.com

the pressure index, the landscape security state index, and the response index is the integrated ecological security index which was 0.497, 0.436 and 0.395 in 1988, 1997 and 2005. In short, ecological security declined from 1988 to 2005. The districts with middle-low ecological security expanded outwards from primarily town center locations in 1988 to outlying urban areas and along major transportation routes by 2005. The high ecological security districts, which consist of reservations, forest land, parks, and rivers, were steady from 1988 to 2005. The study indicates that the pixel evaluation unit based on 1 km×1 km neighborhoods is useful for calculating urban development intensity and landscape patch density, and in smoothing the ecological security grade boundary.

Key Words: landscape ecological security; pressure-state-response (PSR); Dongguan City

近年来,随着建设用地迅速扩张,土地利用格局不断变化,产生了环境污染、森林植被退化、水土流失、土地荒漠化、热岛效应以及生物多样性减少等全球性和区域性的生态安全问题,这些问题又严重威胁着人类生存环境和经济社会的可持续发展^[1-2]。生态环境和人类社会的交互式复杂关系,使得生态安全成为了研究的热点问题,美国在 1997 年将生态安全提高到国家战略高度,以保持区域生态可持续发展^[3]。生态安全是指在人的生活、健康、安乐、基本权利和生活保障来源、必要资源、社会次序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态,包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全。生态安全一方面强调生态系统自身健康、完整和可持续性,同时又强调生态系统对人类提供的生态服务或为人类生存安全提供保障的能力,而为人类提供的生态服务又是以生态系统自身的健康、完整性和可持续性为基础的^[3-4]。因此,生态安全的评价主要集中在土地、水、森林等自然资源和人口、人均 GDP、人均医院床位数等人文资源的数量和质量及其可持续性评价,如李月成研究了我国北方 13 省市的生态安全动态变化^[5],Huang 等研究了新疆北屯绿洲的生态安全格局^[6],Singandhupe 等研究了印度第 12 农业-生态区 2025 年的水和食物安全情景^[7],Wu 等用模糊优化方法对安徽省的生态安全进行了预警^[8],Su 等对上海市的生态安全进行了评价^[9],Zhao 等对我国西藏拉孜县的生态安全进行了评价^[10],任志远等对陕西省生态安全进行了定量分析^[11],王振祥等对安徽省沿淮地区的生态安全进行了评价^[12]。这些研究极大地推动了区域尺度上生态安全的评价、预警研究,区域及更大尺度上的生态安全研究可以从宏观上评价区域的生态安全,数据主要来源于统计年鉴。为了使生态安全规划能够得到有效的实施,精细尺度上生态安全的研究就成为了一个非常好的选择。越来越多的学者采用景观生态学的理论和方法从景观尺度上研究生态安全,景观生态安全主要包括景观自身的稳定性、景观的风险性、健康度及景观可持续地为人类提供生态服务的功能,如喻锋等研究了皇甫川流域的景观生态安全格局^[13],龚建周等研究了广州市的生态安全景观格局^[14],俞孔坚等研究了北京市生态安全格局及城市增长预警^[15],李绥等研究了南充城市的景观生态安全格局^[16],孙翔等研究了厦门市的生态安全景观格局^[17]。这些研究为景观尺度上的生态安全提供了基本方法和思路,推动了生态安全的景观格局研究。景观生态安全的评价主要以像元为评价单元,评价单元的非空间统计指标及景观格局指标主要采用行政区尺度上的数据插值获取,插值的数据精度依赖于插值方法及样点(区)的选择。如果能获取更精细的非空间指标和景观格局指标值,得到的评价结果会更为客观。因此,景观尺度上的生态安全评价指标如何投影到评价单元上,快速城市化地区景观生态安全时空变化规律及其成因等需要深入研究。从景观尺度评价区域生态安全状况,掌握景观退化和生态安全变化的规律,可以为生态可持续发展的政策制定提供科学的决策依据。

本文结合 RS、GIS 和景观生态学理论和方法,以城市化快速发展的东莞市为例,以遥感数据和 GIS 数据为主要数据源,采用“压力—状态—响应”(Pressure-State-Response,简称 PSR)框架模型,构建区域景观生态安全评价指标体系,对不同时间和空间上的景观生态安全状况进行对比,实现生态安全动态与演化趋势研究,揭示快速城市化地区景观生态安全的时空变化规律。

1 研究区概况

东莞市位于广东省中南部,珠江口东岸,北接广州南邻深圳,经济发展区位优势明显。2010 年全市完成

生产总值 4246.25 亿元,比上年增长 10.3%。其中,第一产业增加值 16.64 亿元,增长 1.9%;第二产业增加值 2183.18 亿元,增长 16.8%;第三产业增加值 2046.43 亿元,增长 3.9%。2010 年末,全市建成区土地面积 798.48 km²,公共设用地面积 61.31 km²。随着广州和深圳市产业结构的不断调整,东莞市面临着良好的发展机遇,过去 20a 中东莞的经济得到了飞速发展,与之相适应的城市建设用地规模快速增长,已经带来了一系列资源环境问题^[18]。采用合理的方法评价经济社会快速发展地区的生态环境问题,可以为区域可持续发展政策制定提供科学依据。

2 景观生态安全评价

2.1 景观生态安全评价指标体系

2.1.1 评价单元确定

生态安全评价单元的选择对评价结果有重要的影响,在区域、国家乃至全球尺度上,评价单元往往以行政单元为尺度,评价结果可以反映区域的生态安全状况,而无法反映生态安全在区域内的差异。为了研究生态安全在区域内的差异,景观尺度上的生态安全评价成为了必然的选择,龚建周等采用像元为评价单元评价广州市的景观生态安全状况^[19];喻峰等采用像元为评价单元研究了皇甫川流域的生态安全^[13],孙翔等以像元为评价单元研究了厦门市的景观生态安全^[17]。以像元为评价单元,每个像元只有一类地类,无法计算建设用地开发强度、景观结构等指标。目前主要通过选取不同行政区的数据计算建设用地开发强度、景观结构等指标,然后采用空间插值计算每个评价单元的值。采用插值获取的指标精度依赖于插值方法和样点(区)的选择,如果以每个像元的特定距离的邻域为范围,获取特定尺度的区域作为该像元的开发强度、景观结构等指标,研究结果会更为客观。为了确定像元的邻域范围,根据龚建周等在广州市景观粒度效应的研究,广州市景观在幅度 1000 m 时等级结构明显,可以选取 1000 m 作为景观分析的数据粒度^[14],考虑到东莞市和广州市相邻,快速城市化是景观变化的主要动力之一,结合东莞市建设用地主要沿道路和镇中心扩展的特征,以遥感影像的像元为基本评价单元,像元的尺度是 30 m×30 m。评价时,采用景观粒度效应显著的 1 km×1 km 公里网格值作为每个像元的指标值。这种评价单元有利于解决建设用地开发利用强度、景观结构指数等指标的计算,可以利用翔实的高分辨率土地分类数据,同时,与公里网格评价单元相比,这种评价单元在生态安全等级划分时不同级别之间的边缘非常平滑。

2.1.2 评价指标体系

借鉴国内外学者研究生态安全主要采用的“压力—状态—响应”模型^[9-10,20-23],建立东莞市景观生态安全评价指标体系。PSR 模型由环境压力、环境状态和社会响应指标组成。其中,环境压力描述人类直接或者间接带给环境的压力,包括土地等自然资源数量和质量减少;环境状态描述环境的现状、资源的数量和质量,以及资源环境随时间的变化状态;社会响应描述人类对环境变化响应和关注的程度^[24]。

景观生态安全评价指标体系构建需要充分体现景观生态学研究的重点,即景观结构、功能、景观斑块动态演替,景观系统的完整性和稳定性,干扰的阻抗和可恢复性;同时设计的指标可空间量化,能充分反映景观的时空演替;指标具有系统性和代表性^[17]。东莞市景观生态压力主要来自于快速城市化带来的建设用地快速扩张占据大量生态用地,生态景观不断被城市景观代替,景观的稳定性不断下降,生态服务功能不断降低。为了表征快速城市化对景观造成的压力,选取景观扰动最主要的要素:建设用地开发强度、人口密度,以及建设用地扩展的中心和轴线“离商业服务业中心的距离和离交通干道的距离”作为景观生态安全压力指数评价指标;景观安全状态主要考虑景观自身的结构完整性、稳定性以及生态服务功能和景观可恢复性,选择景观结构安全性、功能安全性和景观脆弱性为评价指标;景观响应指数主要考虑人类对景观变化的反馈机制,选择功能区调控力度作为评价指标。指标的权重采用特尔斐法确定,东莞市景观生态安全评价指标及权重见表 1。

(1) 景观生态压力指标

结合东莞市的实际,环境压力主要由快速城市化过程中的人口急速增长、建设用地快速扩张形成的,景观

生态压力评价指标由建设用地开发利用强度、人口密度、离交通干道的距离和离商业服务业中心的距离构成。其中,建设用地开发利用强度计算如下:

$$\text{Deve}_{i,j}^t = \frac{S_{i,j}^t(S = \text{built})}{S_{i,j}} \quad (1)$$

式中, $\text{Deve}_{i,j}^t$ 是评价单元 (i,j) 在 t 时刻的建设用地开发强度, $S_{i,j}^t(S = \text{built})$ 为评价单元 (i,j) 在 t 时刻的建设用地面积, $S_{i,j}$ 为评价单元 (i,j) 的总面积。建设用地开发利用强度越大,生态环境承受的压力越大。

表 1 东莞市景观生态安全评价指标体系

Table 1 Landscape ecological security evaluation system

目标 Goal	项目 Criteria	权重 Weight	评价指标 Index	权重 Weight
综合景观生态安全指数 Landscape ecological security (LES)	景观生态压力指数	0.35	建设用地开发利用强度 (P1)	0.3
			人口密度 (P2)	0.3
			离交通干道的距离 (P3)	0.2
			离商业服务业中心距离 (P4)	0.2
	景观安全状态指数	0.5	景观斑块密度 (S1)	0.4
	功能安全性		生态系统服务价值 (S2)	0.4
	景观脆弱性		景观脆弱度 (S3)	0.2
	景观响应指数	0.15	功能区调控力度 R1	1.0

人口密度按下式计算:

$$\text{Popu}_{i,j}^t = \frac{N_{i,j}^t}{S_{i,j}} \quad (2)$$

式中, $\text{Popu}_{i,j}^t$ 是评价单元 (i,j) 在 t 时刻的人口密度, $N_{i,j}^t$ 为评价单元 (i,j) 在 t 时刻的人口数, $S_{i,j}$ 为评价单元 (i,j) 的总面积。人口密度越大,生态环境承受压力越大。

离交通干道的距离选择离省道和国道的距离、离高速公路的距离和离铁路的距离,加权计算得到离交通干道的距离,通过下式计算:

$$\text{Distran}_{i,j}^t = \omega_{\text{disroad}} \times \text{Disroad}_{i,j}^t + \omega_{\text{disexpr}} \times \text{Disexpr}_{i,j}^t + \omega_{\text{disrail}} \times \text{Disrail}_{i,j}^t \quad (3)$$

式中, $\text{Distran}_{i,j}^t$ 是评价单元 (i,j) 在 t 时刻到交通干道的距离, $\text{Disroad}_{i,j}^t$ 是评价单元 (i,j) 在 t 时刻到省道、国道的最短距离, $\text{Disexpr}_{i,j}^t$ 是评价单元 (i,j) 在 t 时刻到高速公路的最短距离, $\text{Disrail}_{i,j}^t$ 是评价单元 (i,j) 在 t 时刻到铁路的最短距离, ω_{disroad} 、 ω_{disexpr} 和 ω_{disrail} 分别为到省道、国道,高速公路和铁路最短距离变量的权重,分别取值 0.4、0.4 和 0.2。计算时,为了消除量纲的影响,对 $\text{Disroad}_{i,j}^t$ 、 $\text{Disexpr}_{i,j}^t$ 和 $\text{Disrail}_{i,j}^t$ 需要归一化处理。 $\text{Dis}_{i,j}^t$ 越小,离交通干道的距离越近,城市扩展和噪音压力越大。

离商业服务业中心距离用下式计算:

$$\text{Discent}_{i,j}^t = \text{Disurban}_{i,j}^t \times \omega_{\text{disurban}} + \text{Distown}_{i,j}^t \times \omega_{\text{distown}} \quad (4)$$

式中, $\text{Discent}_{i,j}^t$ 是评价单元 (i,j) 在 t 时刻商业服务业中心的距离, $\text{Disurban}_{i,j}^t$ 表示评价单元 (i,j) 在 t 时刻到市中心的距离, $\text{Distown}_{i,j}^t$ 表示评价单元 (i,j) 在 t 时刻到镇中心的距离, ω_{disurban} 、 ω_{distown} 为权重,分别取值 0.4 和 0.6。计算时,为了消除量纲的影响,对 $\text{Disurban}_{i,j}^t$ 和 $\text{Distown}_{i,j}^t$ 需要归一化。 $\text{Discent}_{i,j}^t$ 越小,离商业服务业中心距离越近,城市发展速度越快,人口密集,生态环境承受压力越大。

景观生态压力指数可通过下式计算:

$$\text{LSP}_{i,j}^t = \text{Deve}_{i,j}^t \times \omega_{\text{deve}} + \text{Popu}_{i,j}^t \times \omega_{\text{popu}} + (1 - \text{Distran}_{i,j}^t) \times \omega_{\text{distran}} + (1 - \text{Discent}_{i,j}^t) \times \omega_{\text{discent}} \quad (5)$$

式中, $\text{LSP}_{i,j}^t$ 表示评价单元 (i,j) 在 t 时刻的景观压力指数, ω_{deve} 、 ω_{popu} 、 ω_{distran} 和 ω_{discent} 分别表示建设用地开发利用程度、人口密度、离交通干道的距离和离商业服务业中心距离的权重。 $\text{LSP}_{i,j}^t$ 越大,说明评价单元 (i,j) 在 t 时刻的景观生态环境压力就越大。

(2) 景观安全状态指标

景观安全状态指标主要考虑景观生态的结构安全性、功能安全性和景观脆弱性。其中,景观结构安全性由景观斑块密度来度量,景观斑块密度通过下式计算:

$$PD_{i,j}^t = \frac{N_{i,j}^t}{S_{i,j}} \quad (6)$$

式中, $PD_{i,j}^t$ 表示评价单元(i,j)在 t 时刻的斑块密度, $N_{i,j}^t$ 表示评价单元(i,j)在 t 时刻的斑块数, $S_{i,j}$ 表示评价单元(i,j)的面积。景观斑块密度越高,说明景观越破碎,稳定性越差,景观安全性越低。

景观功能安全性由景观生态系统服务价值度量,生态系统服务价值反映生态系统为人类社会提供的直接或间接的各种服务,生态系统服务价值的计算采用谢高地等提出的方法,结合东莞市实际进行^[25],生态系统服务价值越高,景观功能越安全。

景观脆弱性反映尽管自我维持、自我调节和抵抗外界压力与扰动情况,参考孙翔等在厦门市的研究^[17],通过评价不同土地利用类型对城市扩张的抵抗能力和自我维持能力,结合东莞市实际,未利用地、基塘和耕地被开发为建设用地的概率较大,而园地、林地开发为建设用地的概率较小,按照不同类型土地发展为建设用地的概率进行景观脆弱性赋值,即,按照未利用地、建设用地、水体、耕地、园地、草地和林地的顺序分别赋值 1、2、3、4、5、6 和 7。值越小,景观越脆弱,抵抗外界压力与扰动能力越小,安全性越低。

景观安全状态指数通过下式计算:

$$LSS_{i,j}^t = (1 - PD_{i,j}^t) \times \omega_{pd} + ES_{i,j}^t \times \omega_{es} + LV_{i,j}^t \times \omega_{lv} \quad (7)$$

式中, $LSS_{i,j}^t$ 表示评价单元(i,j)在 t 时刻的景观生态安全状态, $PD_{i,j}^t$ 表示评价单元(i,j)在 t 时刻的景观斑块密度, $ES_{i,j}^t$ 表示评价单元(i,j)在 t 时刻的生态系统服务价值, $LV_{i,j}^t$ 表示评价单元(i,j)在 t 时刻的景观脆弱性, ω_{pd} 、 ω_{es} 和 ω_{lv} 表示各指标的权重。 $LSS_{i,j}^t$ 越高,说明景观安全状态越好。

(3) 景观响应指标

景观响应指数反映人类对景观变化的关注和响应程度,参考孙翔等在厦门市的研究,结合研究区实际,选择不同时期对生态功能区的调控力度来反映。运用德尔菲法,对不同功能区的响应指数赋值如表 2。景观生态响应指数越大,景观生态安全程度越高。

表 2 不同功能区的响应指数

Table 2 Response of human beings to different function districts

功能区 Functional districts	自然保护区 Nature reserve	森林公园 Forest park	基本农田 Cropland	建成区 Built areas
1988	0.8	0.7	0.7	0.3
1997	0.9	0.8	0.8	0.5
2005	0.9	0.8	1.0	0.7

结合上述景观生态压力指数、景观安全状态和景观响应指数,综合景观生态安全指数可通过下式计算:

$$LES_{i,j}^t = (1 - LSP_{i,j}^t) \times \omega_{lsp} + LSS_{i,j}^t \times \omega_{LSS} + LSR_{i,j}^t \times \omega_{lsp} \quad (8)$$

式中, $LES_{i,j}^t$ 是评价单元(i,j)在 t 时刻的景观生态安全指数, $LSR_{i,j}^t$ 表示评价单元(i,j)在 t 时刻的景观生态响应指数, ω 为权重。 $LES_{i,j}^t$ 越高,表明景观生态压力越小,景观生态安全状态越好,人类对景观变化的响应越积极,景观安全性越高。计算时,所有指标采用式(9)归一化。

$$x' = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (9)$$

2.2 数据来源及处理

研究的基础数据来源于 Landsat TM 卫星遥感数据(1988 年 12 月 10 日,1997 年 8 月 6 日和 2005 年 10 月 22 日),卫星轨道号为 122/44,该景遥感影像覆盖了东莞市全部区域。采用监督分类方法分类对遥感数据,得

到 7 类土地利用类型,1988 年、1997 年和 2005 年分类精度分别达到 81%、81.2% 和 81.4%。人口数据来自于东莞市统计年鉴,道路交通资料和自然保护区、森林公园等资料采用城市规划及环境保护规划等相关规划资料。

距离变量采用 ArcGIS 9.3 中的空间分析的 Euclidean 工具计算,人口密度通过建设用地密度加权的反距离权重插值计算,景观斑块密度运用 Fragstats3.3 软件计算。不同图层之间的加权运算通过 ArcGIS9.3 的空间分析工具计算。

2.3 结果及分析

2.3.1 景观生态压力变化及空间分异

景观生态压力指数从 1988 年到 2005 年不断增加,由 1988 年的 0.317 增加到 0.472,生态景观承受的压力不断增大。景观生态压力指数的最小值由 1988 年的 0.068 减小到 2005 年的 0.011,最大值由 0.958 增加到 0.970,表明景观生态压力指数越来越像两个极化方向发展,过去景观生态压力较大的地方随着不断发展压力越来越大,自然保护区和森林公园等景观生态压力比较小的地区随着保护程度的不断提高,景观承受的压力越来越小(图 1)。

在空间上,景观压力增大的地区主要表现为沿道路发展的轴线模式和沿市中心—镇中心—道路发展的点轴扩展模式,这与东莞市建设用地沿道路—镇中心发展的模式基本一致。景观压力的最高值从 1988 年的“市中心—镇中心”高值区发展到 1997 年的“市中心—镇中心—道路”高值区,2005 年成为“市中心”集中高值区。

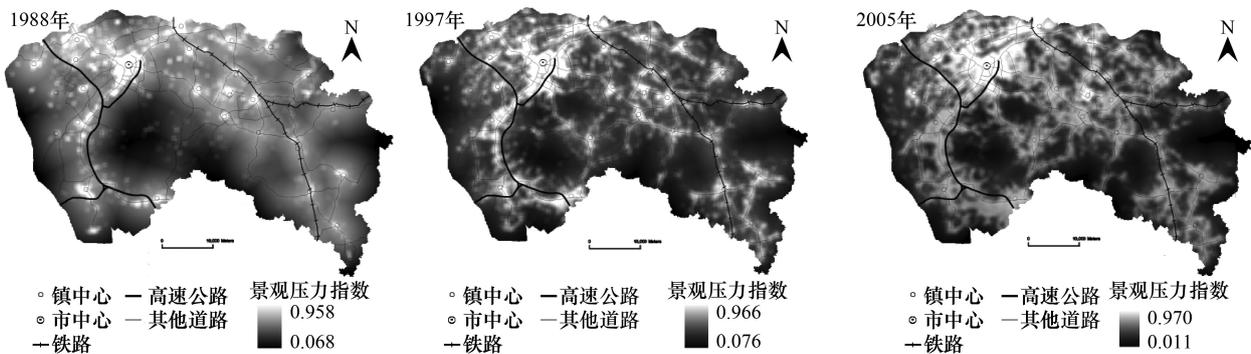


图 1 东莞市景观生态压力分布图

Fig. 1 Landscape pressure distribution in Dongguan City

2.3.2 景观安全状态变化及空间分异

景观安全状态指数从 1988 年的 0.473 减小到 2005 年的 0.375,表明景观的结构稳定性不断降低,景观破碎度不断增加,生态服务价值功能不断减少,景观脆弱性不断增加。景观生态安全状态指数的最小值从 1988 年的 0.125 降低到 2005 年的 0.033,最大值从 0.933 降低到 0.917,表明景观结构稳定性、生态服务功能均向低值方向发展(图 2)。

空间分布上,景观结构稳定的地区集中在东莞市自然保护区、清溪森林公园、观音山森林公园、大屏樟森林公园、莲花山森林公园、大岭山森林公园、同沙森林公园和樟木头林场。道路周围和市中心、镇中心周围的景观破碎度越来越大、生态结构稳定性越来越低,生态服务功能越来越小。

2.3.3 景观响应变化及空间分异

对东莞市 1988、1997 和 2005 年的景观响应指数赋值,得到景观生态响应变化空间分布(图 3)。随着经济的不断发展,景观生态服务功能的不断降低,各级政府非常重视对自然保护区、森林公园的保护,景观响应变化较小。在空间上,自然保护区和森林公园,以及水系分布区响应指数较高,其他地区响应指数较低。

2.3.3 综合景观生态安全指数变化

根据式(8)计算东莞市 1988、1997 和 2005 年的综合景观生态安全指数并进行分级(图 4,表 3)。结合东

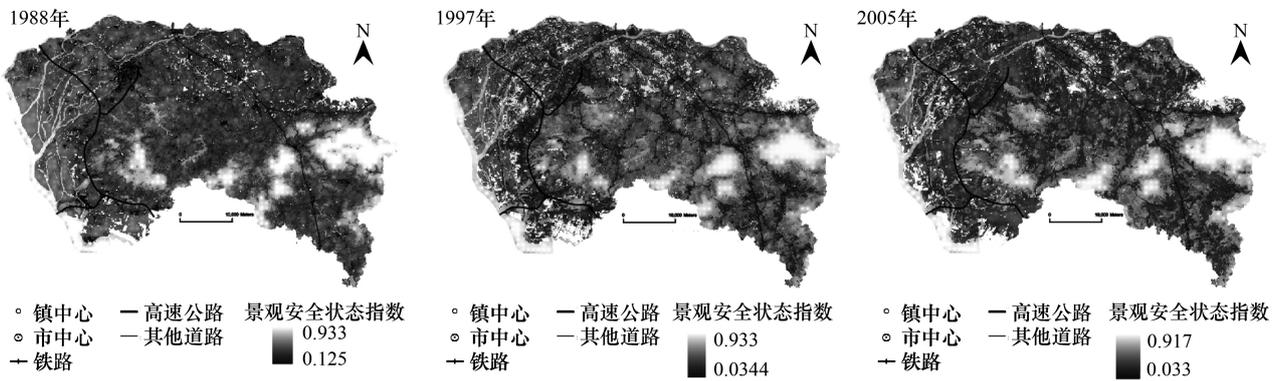


图2 东莞市景观安全状态指数

Fig. 2 Landscape security state distribution in Dongguan City

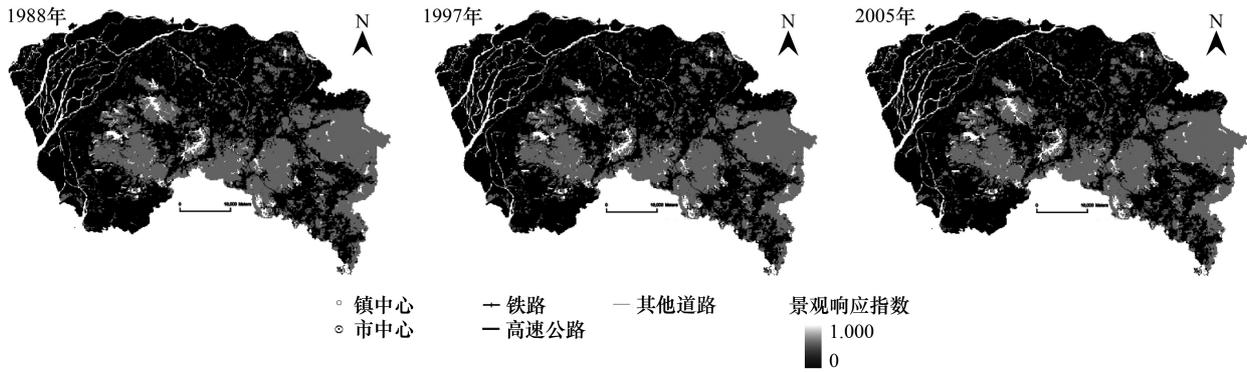


图3 东莞市景观生态响应指数

Fig. 3 Landscape response distribution in Dongguan City

莞市实际,将景观生态综合指数分为4个级别,一级(低安全)、二级(中低安全)、三级(中高安全)和四级(高安全)。分级阈值通过案例判断的方法来确定,即选择不同年份的综合指数和对应的公里网格遥感影像,结合对实地情况的描述,通过专家打分划分案例的生态安全级别,采用相邻案例间的显著分割点作为分级的阈值,各级别间的阈值分别为0.35、0.42和0.55。

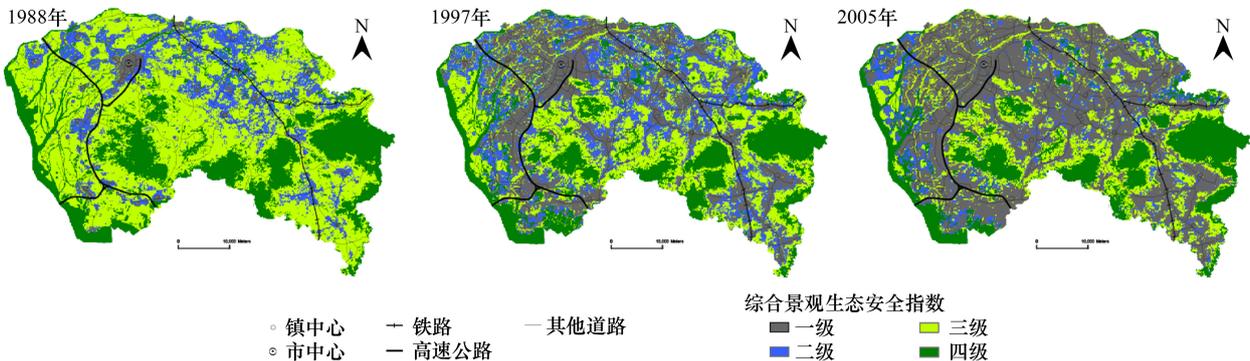


图4 东莞市景观生态安全综合指数

Fig. 4 Integrated landscape ecological security dynamics in Dongguan City

东莞市综合景观生态安全指数从1988年的0.497降低到1997年的0.436,到2005年的0.395,景观生态安全分别处于中高安全状态、中高安全状态和中低安全状态,景观尺度上的生态安全越来越低。综合景观生态安全指数的最小值从1988年的0.137减小到2005年的0.098,最大值从0.841降低到0.788,表明景观尺

度上的生态安全整体向低值区发展。生态低安全(一级)的区域从 1988 年的 3.70% 增加到 1997 年的 27.93%,到 2005 年的 48.35%,生态低安全区域到 2005 年几乎占了全市面积的一半(表 4),生态中低安全(二级)区域从 1988 年的 16.00% 降低到 2005 年的 9.96%,而中高安全(三级)区域从 1988 年的 53.55% 降低到 2005 年的 20.77%,高安全(四级)区域从 1988 年的 26.74% 降低到 2005 年的 20.92%。

表 3 东莞市综合景观生态安全指数统计

Table 3 Statistics of integrated landscape ecological security index

综合景观生态安全指数 Landscape ecological security	1988	1997	2005
最小值 Minimum	0.137	0.092	0.098
最大值 Maximum	0.841	0.813	0.788
平均值 Average	0.497	0.436	0.395
标准差 Standard deviation	0.099	0.136	0.158

表 4 生态安全分级面积统计

Table 4 Statistics of ecological security level areas

生态安全级 Ecological security level	指数范围 Index interval	1988 年		1997 年		2005 年	
		面积 Areas/km ²	/%	面积 Areas/km ²	/%	面积 Areas/km ²	/%
一级 level 1	<0.35	91.68	3.70	691.33	27.93	1196.97	48.35
二级 level 2	0.35—0.42	396.10	16.00	497.85	20.11	246.53	9.96
三级 level 3	0.42—0.55	1325.75	53.55	729.25	29.46	514.20	20.77
四级 level 4	>0.55	662.06	26.74	557.16	22.51	517.89	20.92
合计 Sum		2475.59	100	2475.59	100	2475.59	100

2.4 讨论

(1) 东莞市景观生态安全变化的特征分析

从 1988 年到 2005 年,东莞市综合景观生态安全指数越来越低,表明区域生态安全不断降低。生态低安全(一级)区域增加幅度最大,达到 44.65%,增加的低生态安全(一级)区域主要来自于生态中低安全(二级)和生态中高安全(三级)区域的减少,分别减少 6.04% 和 22.78%,而高生态安全(四级)区域基本保持稳定。

生态安全变化在空间上表现为:景观结构和生态服务功能稳定的地区是生态高安全(四级)区域,主要集中在南部和东南部,包括东莞市自然保护区、清溪森林公园、观音山森林公园、大屏樟森林公园、莲花山森林公园、大岭山森林公园、同沙森林公园和樟木头林场。景观结构越来越不稳定,破碎度越来越高,生态服务功能不断降低,景观受到胁迫越来越大的区域主要是建设用地聚集发展的区域,集中分布在市中心、镇中心和道路周围的区域,景观生态安全不断降低的区域与城市扩张的区域相一致。

生态安全变化在土地利用类型上表现为:生态高安全区域(四级)主要是森林公园、自然保护区和水系,在城市化过程中保持了相对稳定的景观结构和生态服务功能;生态低安全(一级)区域主要是聚集的建设用地,生态中低安全(二级)区域主要是建设用地相对分散的区域,生态中高安全(三级)区域主要是耕地、园地和草地。在东莞市,耕地、园地和草地往往是城市化过程中首先转换为城市用地的土地类型,也是生态安全变化最剧烈的地类。因此,景观生态安全最主要的变化是中低安全(二级)和中高安全(三级)区域的大量减少而生态低安全(一级)区域大量增加。

(2) 东莞市景观生态安全变化的成因分析

快速城市化是形成区域景观生态安全变化的主要成因之一。改革开放以来,由于廉价的劳动力和优惠的土地、税收政策的吸引,越来越多的工业企业进入东莞市,导致了工业用地、商业服务业用地的高速扩张。随着企业对劳动力需求的加剧,越来越多的人口高速聚集到东莞市,加速了商住用地的进一步扩张。建设用地的高速扩张占据了大量的农用地,生态景观受到的胁迫越来越大,景观结构稳定性逐步降低,生态服务功能不

断降低,景观生态安全逐步降低。

(3) 保持景观生态安全的建议

东莞市景观生态安全变化中,“源景观”(主要包括森林公园、自然保护区)和景观廊道(主要河流)在快速城市化过程中受到的胁迫相对较小,保持相对稳定的景观结构和生态服务功能,而生态安全的降低主要是耕地、园地和草地等生态景观不断减小,建设用地不断增加造成的。为保持区域内较好的生态安全状态,需要继续保护生态“源景观”和景观廊道,进一步降低人类对自然景观的胁迫;同时,以新一轮土地利用总体规划为依据,加强建设用地复垦的力度,尽可能减少建设用地总量,增加生态用地数量,增强景观生态服务功能。考虑到建设用地开发强度对景观生态安全的影响,进一步调整建设用地的空间布局,通过城市规划,分区域分产业门类控制建设用地密度,进一步增加城市绿地,增加城市和工业区内部生态用地的比例,通过调整建设用地空间布局增加局部景观的生态服务功能达到增加总体生态安全的目的。

3 结论

为研究城市化快速发展地区的生态安全时空发展变化过程,基于 PSR 概念框架模型,以 30 m×30 m 像元为基本评价单元,以评价单元为中心的 1 km×1 km 的滑动模板的值作为该评价单元的指标值,在景观尺度上建立生态安全评价指标体系,以城市化快速发展的东莞市为例,评价了 1988—2005 年的景观生态安全程度。研究表明,采用的以像元为中心的 1 km×1 km 的滑动模板的值作为该评价单元的指标值,可以有效解决景观结构、建设用地开发利用强度等指标的计算问题,而且生态安全分级时各级间边界更为光滑;景观尺度上的生态安全评价可以反映生态安全的时空变化规律,为生态安全的区域可持续发展政策制定提供科学依据。

致谢:感谢加拿大莱斯布里奇大学地理系 Ian MacLachlan 教授润色英文摘要,特此致谢。

References:

- [1] Costanza R, Norton B, Haskell B J. Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management. Washington DC: Island Press, 1992: 1-1.
- [2] Wang G X, Cheng G D, Qian J. Several problems in ecological security assessment research. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(9): 1551-1556.
- [3] Pirages D. Demographic change and ecological security. Environmental Change and Security Program (ECSP) Report 3, 1997: 37-38.
- [4] Chen X, Zhou C H. Review of the studies on ecological security. Progress in Geography, 2005, 24(6): 8-20.
- [5] Li Y C. The dynamic change of ecological security in northern China. Geographical Research, 2008, 27(5): 1150-1160.
- [6] Huang J F, Wang R H, Zhang H Z. Analysis of patterns and ecological security trend of modern oasis landscapes in Xinjiang, China. Environmental Monitoring and Assessment, 2007, 134(1/3): 411-419.
- [7] Singandhupe R B, Nanda P, Panda D K, Swain M. Analysis of water and food security scenarios for 2025 with the podium model: the case of agro-ecological region 12 of India. Irrigation and Drainage, 2008, 57(4): 385-399.
- [8] Wu K Y, Hu S H, Sun S Q. Application of fuzzy optimization model in ecological security pre-warning. Chinese Geographical Science, 2005, 15(1): 29-33.
- [9] Su S L, Li D, Yu X, Zhang Z H, Zhang Q, Xiao R, Zhi J J, Wu J P. Assessing land ecological security in Shanghai (China) based on catastrophe theory. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2011, 25(6): 737-746.
- [10] Zhao Y Z, Zou X Y, Cheng H, Jia H K, Wu Y Q, Wang G Y, Zhang C L, Gao S Y. Assessing the ecological security of the Tibetan plateau: methodology and a case study for Lhaze County. Journal of Environmental Management, 2006, 80(2): 120-131.
- [11] Ren Z Y, Huang Q, Li J. Quantitative analysis of dynamic change and spatial difference of the ecological safety: the case of Shaanxi Province. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(4): 597-606.
- [12] Wang Z X, Zhu X D, Shi L, Li Y F, Wang J Q, Jia L Q. Ecological security assessment model and corresponding indicator system of the regions along Huaihe river in Anhui Province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(12): 2431-2435.
- [13] Yu F, Li X B, Wang H, Yu H J. Land use change and eco-security assessment of Huangfuchuan watershed. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(6): 645-653.
- [14] Gong J Z, Xia B C, Chen J F, Lin M Z. Dynamic analysis of the Guangzhou landscape eco-security pattern based on 3S technology. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4323-4333.
- [15] Yu K F, Wang S S, Li D H, Li C B. The function of ecological security patterns as an urban growth framework in Beijing. Acta Ecologica Sinica,

- 2009, 29(3): 1189-1204.
- [16] Li S, Shi T M, Fu S L, Zhou L, Liu M, Wang W. landscape ecological security pattern during urban expansion of Nanchong City. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(3): 734-740.
- [17] Sun X, Zhu X D, Li Y F. Landscape ecological security assessment in rapidly urbanizing bay-area: a case study of Xiamen City, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3563-3573.
- [18] Li X, Yeh A G O. Application of remote sensing for monitoring and analysis of urban expansion — A case study of Dongguan. *Geographical Research*, 1997, 16(4): 56-61.
- [19] Gong J Z, Xia B C, Liu Y S. Study on spatial-temporal heterogeneities of urban ecological security of Guangzhou based on spatial statistics. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(20): 5626-5634.
- [20] Shi X Q, Zhao J Z, Ouyang Z Y. Assessment of eco-security in the Knowledge Grid e-science environment. *Journal of Systems and Software*, 2006, 79(2): 246-252.
- [21] Dai F Q, Nan L, Liu G C. Assessment of regional ecological security based on ecological footprint and influential factors analysis: a case study of Chongqing Municipality, China. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2010, 17(5): 390-400.
- [22] Huang B R, Ouyang Z Y, Zheng H, Zhang H Z, Wang X K. Construction of an eco-island: a case study of Chongming Island, China. *Ocean and Coastal Management*, 2008, 51(8/9): 575-588.
- [23] Su S L, Chen X, De Gloria S D, Wu J P. Integrative fuzzy set pair model for land ecological security assessment: a case study of Xiaolangdi Reservoir Region, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2010, 24(5): 639-647.
- [24] OECD. OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development, 1993, 5.
- [25] Xie G D, Lu C X, Leng Y F, Zhen D, Li S C. Ecological assets valuation of the Tibetan plateau. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 189-196.

参考文献:

- [2] 王耕绪,程国栋,钱鞠.生态安全评价研究中的若干问题. *应用生态学报*, 2003, 14(9): 1551-1556.
- [4] 陈星,周成虎.生态安全:国内外研究综述. *地理科学进展*, 2005, 24(6): 8-20.
- [5] 李月臣.中国北方13省市生态安全动态变化分析. *地理研究*, 2008, 27(5): 1150-1160.
- [11] 任志远,黄青,李晶.陕西省生态安全及空间差异定量分析. *地理学报*, 2005, 60(4): 597-606.
- [12] 王振祥,朱晓东,石磊,李杨帆,汪家权,贾良清.安徽省沿淮地区生态安全评价模型和指标体系. *应用生态学报*, 2006, 17(12): 2431-2435.
- [13] 喻锋,李晓兵,王宏,余弘婧.皇甫川流域土地利用变化与生态安全评价. *地理学报*, 2006, 61(6): 645-653.
- [14] 龚建周,夏北成,陈健飞,林媚珍.基于3S技术的广州市生态安全景观格局分析. *生态学报*, 2008, 28(9): 4323-4333.
- [15] 俞孔坚,王思思,李迪华,李春波.北京市生态安全格局及城市增长预警. *生态学报*, 2009, 29(3): 1189-1204.
- [16] 李绥,石铁矛,付士磊,周乐,刘森,王伟.南充城市扩展中的景观生态安全格局. *应用生态学报*, 2011, 22(3): 734-740.
- [17] 孙翔,朱晓东,李杨帆.港湾快速城市化地区景观生态安全评价——以厦门市为例. *生态学报*, 2008, 28(8): 3563-3573.
- [18] 黎夏,叶嘉安.利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩张过程——以东莞市为例. *地理研究*, 1997, 16(4): 56-61.
- [19] 龚建周,夏北成,刘彦随.基于空间统计学方法的广州市生态安全空间异质性研究. *生态学报*, 2010, 30(20): 5626-5634.
- [25] 谢高地,鲁春霞,冷允法,郑度,李双成.青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 4 February, 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Concepts, processes and quantification methods of the forest water conservation at the multiple scales WANG Xiaoxue, SHEN Huitao, LI Xuyong, et al (1019)
- Advances in the study of stable isotope composition of leaf water in plants LUO Lun, YU Wusheng, WAN Shimin, et al (1031)
- Eco-environmental effects of urban landscape pattern changes: progresses, problems, and perspectives CHEN Liding, SUN Ranhao, LIU Hailian (1042)
- An overview of advances in distributional pattern of urban biodiversity MAO Qizheng, MA Keming, WU Jianguo, et al (1051)
- Ecological compensation boosted ecological protection and human well-being improvement LI Huimei, ZHANG Anlu (1065)

Autecology & Fundamentals

- Effects of indigenous AM fungi and neighboring plants on the growth and phosphorus nutrition of *Leymus chinensis* LEI Yao, HAO Zhipeng, CHEN Baodong (1071)
- Influences of AM fungi on plant growth and water-stable soil aggregates under drought stresses YE Jiashu, LI Tao, HU Yajun, et al (1080)
- The effect of transgenic cucumber with double strands RNA of *mapk* on diversity of rhizosphere bacteria CHEN Guohua, MI Baobin, LI Ying, et al (1091)
- The ambient ozone pollution and foliar injury of the sensitive woody plants in Beijing exurban region WAN Wuxing, XIA Yajun, ZHANG Hongxing, et al (1098)
- Diversity and plant growth-promoting potential of culturable endophytic bacteria isolated from the leaves of *Atractylodes lancea* ZHOU Jiayu, JIA Yong, WANG Hongwei, et al (1106)
- Effects of the low temperature treatment on egg maturation and its numerical dynamics in the parasitoid *Pteromalus puparum* (Hymenoptera: Pteromalidae) XIA Shiyang, MENG Ling, LI Baoping (1118)
- Circadian rhythm of calling behavior and sexual pheromone production and release of the female *Zeuzera leuconotum* Butler (Lepidoptera: Cossidae) LIU Jinlong, JING Xiaoyuan, YANG Meihong, et al (1126)
- Influence of fluoride on activity of carboxylesterase and esterase in hemolymph of *Bombyx mori* MI Zhi, RUAN Chenglong, LI Jiaorong, et al (1134)
- Effects of water temperature on the embryonic development, survival and development period of larvae of ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*) reared in the laboratory LIANG Junping, LI Jian, LI Jitao, et al (1142)

Population, Community and Ecosystem

- Diversity of ecosystem services and landscape multi-functionality: from scientific concepts to integrative assessment LÜ Yihe, MA Zhimin, FU Bojie, et al (1153)
- Research on estimating wetland vegetation abundance based on spectral mixture analysis with different endmember model: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing CUI Tianxiang, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1160)
- Identifying typical plant ecological types based on spectral characteristic variables: a case study in Wild Duck Lake wetland, Beijing LIN Chuan, GONG Zhaoning, ZHAO Wenji, et al (1172)
- Responses of phytoplankton community to the construction of small hydropower stations in Hainan Province LIN Zhangwen, LIN Sheng, GU Jiguang, et al (1186)
- Diurnal variation of water quality around *Potamogeton crispus* population WANG Jinqi, ZHENG Youfei, WANG Guoxiang (1195)
- Effects of three forest restoration approaches on plant diversity in red soil region, southern China WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1204)
- Dynamics of soil physical-chemical properties and organic carbon content along a restoration chronosequence in *Pinus tabulaeformis* plantations HU Huifeng, LIU Guohua (1212)
- Probability models of forest fire risk based on ecology factors in different vegetation regions over China LI Xiaowei, ZHAO Gang, YU Xiubo, et al (1219)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Landscape ecological security dynamics in a fast growing urban district: the case of Dongguan City YANG Qingsheng, QIAO Jigang, AI Bin (1230)
- The difference between exergy and biodiversity in ecosystem health assessment: a case study of Jiangsu coastal zone TANG Dehao, ZOU Xinqing, LIU Xingjian (1240)
- Impacts of drying-wetting cycles on CO₂ and N₂O emissions from soils in different ecosystems OUYANG Yang, LI Xuyong (1251)
- Evaluation of low-carbon competitiveness in Western China JIN Xiaoqin, DU Shouhu (1260)
- Flood return period analysis of the Bayi Reservoir Watershed based on HEC-HMS Model ZHENG Peng, LIN Yun, PAN Wenbin, et al (1268)
- Simulation of rainfall interception process of primary Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains by using the modified Gash model CHAI Rushan, CAI Tiju, MAN Xiuling, et al (1276)
- Characteristics of tree-ring chronology of *Pinus koraiensis* and its relationship with climate factors on the northern slope of Changbai Mountain CHEN Lie, GAO Lushuang, ZHANG Yun, et al (1285)

Resource and Industrial Ecology

- Nitrogen flows in "crop -edible mushroom" production systems in Hexi Corridor Oasis Irrigation Area LI Ruiqin, YU Anfen, ZHAO Youbiao, et al (1292)
- Effects of fertilization on soil fertility indices and yield of dry-land peanut WANG Caibin, ZHENG Yaping, LIANG Xiaoyan, et al (1300)
- Effect of tillage and residue management on dynamic of soil microbial biomass carbon PANG Xu, HE Wenqing, YAN Changrong, et al (1308)
- Evaluation of eco-security of cultivated land requisition-compensation balance based on improved set pair analysis SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1317)

Opinions

- Methodology for measuring forestry ecological security based on ecology-industry symbiosis: a research framework ZHANG Zhiguang (1326)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于1981年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,300页,国内定价90元/册,全年定价2160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33卷 第4期 (2013年2月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 4 (February, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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: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@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.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	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 90.00 元