

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

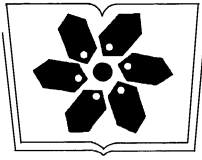
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **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 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说:石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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/stxb201205070663

南颖, 吉喆, 冯恒栋, 张冲冲. 基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价. 生态学报, 2013, 33(15): 4790-4798.

Nan Y., Ji Z., Feng H. D., Zhang C. C. On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4790-4798.

基于遥感和地理信息系统的图们江地区 生态安全评价

南 颖*, 吉 喆, 冯恒栋, 张冲冲

(延边大学理学院地理系, 延吉 133002)

摘要: 利用遥感及统计数据, 基于压力-状态-响应(P-S-R)模型选取 22 个评价指标构建生态安全评价体系对图们江地区进行基于空间的生态安全评价。结果表明: 研究区生态安全水平呈现出明显的空间差异性, 表现为区域内东西两端生态安全水平较高并向中部过渡。各生态安全等级的面积大小排序为: 较安全>临界安全>安全>较不安全>不安全, 所占比例分别为 49.56%, 33.89%, 9.14%, 6.48%, 0.94%。另外统计了基于行政单元的平均生态安全指数和等级, 发现各县市的生态安全水平和等级构成都有所不同, 各县市生态安全水平状态排序为珲春>图们>安图>汪清>延吉>龙井>和龙。整体来看, 研究区生态环境质量较好, 生态系统服务功能及抗干扰能力较强, 生态问题较少, 生态灾害较少。

关键词: 生态安全评价; 遥感与地理信息系统(RS&GIS); 压力-状态-响应(P-S-R)模型; 图们江地区

On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS

NAN Ying*, JI Zhe, FENG Hengdong, ZHANG Chongchong

The Department of Geography, Yanbian University, Yanji 133002, China

Abstract: Global change and problems related to sustainable development have increased to the point where they have become the core of a wide variety of scientific research all over the world, with research related to ecological stability having become the most important part of resolving these crucial issues. Past research related to ecological stability had no widely used and accepted methodology and lacked repeatability and consistent tactics. Therefore, techniques required for research related to regional ecological stability need further study and exploration. The Tumen River serves as a border between China and North Korea and for 15km, North Korea and Russia. This study of the Tumen River region primarily used remote sensing images and related statistical data to develop an evaluation index system which included 22 evaluation indices and was established based on a proportional specimen resistance (PSR) model. Using the index system, the analytic hierarchy process was used to assign weights and then an ecological stability index (ESI) was computed; the ESI values were divided into 5 grades and used to spatially assess the ecological stability of the Tumen River Region. The results show that the ecological stability of this region primarily falls into grade IV which indicates that the regional is generally ecologically stable, with grade V being the most stable and secure. The spatial areas of land classified in each grade were ranked as follows: IV>III>V>II>I with the percentages of 49.56%, 33.89%, 9.14%, 6.48%, and 0.94% of the total land area in the Tumen River Region in each rank, respectively. The ESI revealed some significant spatial differences; the ecological stability was high in the east and west but was low in the middle of the region. Based on topography, areas with a high ecological stability grade were concentrated in the flat plains and valleys while areas with a low grade were concentrated

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41071333, 41110006)

收稿日期: 2012-05-07; 修订日期: 2012-09-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: nanying@ybu.edu.cn

in the steep hilly areas at higher altitudes. Areas strongly affected by anthropogenic activities were in the low ecological stability grades. Also, the mean ESI and the ecological stability grades were counted and analyzed based on administrative divisions. The ecological stability and the structure of the grades varied from city to city and ranked as follows: Hunchun > Tumen > Antu > Wangqing > Yanji > Longjing > Helong. There were also some differences in structure of the ecological stability grade of every city. The differences were primarily caused by serious human impacts and some natural factors so the ecological stability was low in some residential areas and some areas around traffic routes. But in some cities or counties the ecological stability was better than expected because the environmental protection policies and measures were relatively well implemented in these cities. So, it is necessary to pay attention to the policies related to ecological protection to ensure the ecological stability of the region which can also promote sustainable development of the region. Generally, in Tumen River Region, the eco-environmental quality was good, the ecosystem services were stable and the ability of the ecosystem to deal with stress was high. Also, there were rare negative ecological issues and ecological disasters in the region.

Key Words: eco-stability assessment; remote sensing and GIS; PSR model; Tumen River Region

全球环境变化与可持续发展是当前人类社会面临的两大重要挑战^[1-2]。20 世纪 80 年代以来对生态安全的研究和追求已成为全世界的共识,我国 2000 年底颁布的《全国生态环境保护纲要》中,已明确将“国家生态环境安全”提到了战略的高度^[3]。在此大背景下,我国学者进行了大量的研究,总结我国生态安全研究其研究成果覆盖生态安全的概念、评价、格局、预警等各个方面,研究尺度多样^[4-11]。在各种尺度的生态安全概念中,区域生态安全处于核心的地位,加强区域生态安全的研究,有利于理论方法的突破和经验的累积以及实现生态问题的解决。

图们江地区因其蕴涵着丰富的自然资源,对东北亚地区生态安全发挥着重要作用。同时,图们江地区作为面向东北亚开放的重要门户以及东北亚经济技术合作的重要平台,已成为国内外关注的焦点。2009 年国务院已正式批复《中国图们江区域合作开发规划纲要——以长吉图为开发开放先导区》,标志着长吉图开发开放先导区建设已上升为国家战略。长吉图先导区的开放对图们江地区提出了长期整体规划。本区域虽然生态环境总体状况较好,但面临全面开发还没有生态安全方面相关研究。本研究正是以此为契机,拟以生态安全为导向,通过对该区域进行基于空间的生态安全综合评价,为该区域今后的生态保护与恢复、开发管理与政策制定提供科学的参考依据。

1 研究区及数据

本文研究区为图们江地区,包括除敦化外的延边朝鲜族自治州的 7 个县市(延吉市、龙井市、图们市、珲春市、和龙市、汪清县、安图县),位于吉林省东部,是中、俄、朝三国交界,面临日本海,位于北纬 41°59′—44°30′,东经 127°27′—131°18′之间,整体地势西高东低,珲春部分最低(图 1)。整个地貌呈山地、丘陵、盆地 3 个梯度,山岭多分布在周边地带,丘陵多分布在山地边沿,盆地主要分布在江河两岸和山岭之间。地处北半球中温带,属于中温带湿润季风气候。主要特点是季风明显,春季干燥多风,夏季温热多雨,秋季凉爽少雨,冬季寒冷期长。

本文采用的数据包括遥感影像数据、DEM 数据和统计数据。遥感影像数据为 2010 年 Landsat-5 TM 影像,共包括 5 景,轨道号分别为 114/30、115/30、115/31、116/30、116/31,影像覆盖整个研究区。对这些影像进行波段选取、几何校正、图像增强、影像镶嵌裁剪及解译等处理,采用 CART 决策树方法进行影像分类,从中提取土地利用/覆盖信息,经过精度验证总精度达到 90.8%,为生态安全评价部分指标提供数据基础。研究区 DEM 数据来自于 NASA 网站提供的 ASTER 全球 DEM 数据,分辨率为 30 m,作为生态安全评价的地形指标。长期对本研究区的研究积累,形成了涵盖区域自然和人文方面的专题数据库,此数据库中的道路、城镇等数据也作为参评指标基础数据。另外生态安全评价部分参评指标数据来源于统计年鉴,统计数据主要来源于《2010 延边统计年鉴》和同时期延边州各县市统计年鉴^[12]。

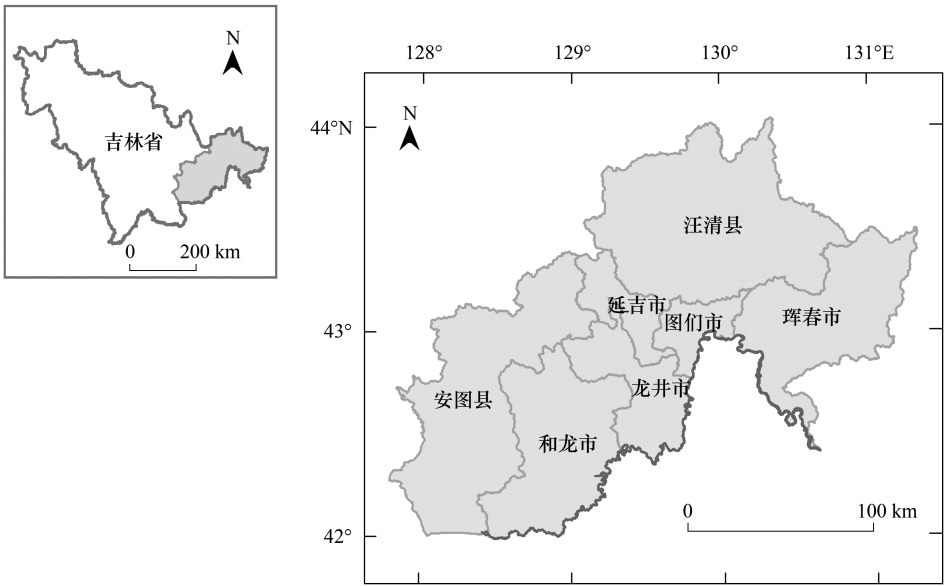


图1 研究区域图

Fig.1 Study area

2 图们江地区生态安全评价

2.1 评价指标体系的构建

建立科学合理的指标体系,是生态安全评价结构是否准确、合理的关键,也是生态安全评价是否能继续进行的关键。对于区域生态安全评价,研究区所处的环境和经济社会条件不同,选择的指标体系也有所差异。联合国经济合作开发署(OECD)建立的P-S-R模型,即压力-状态-响应模型,在生态安全评价研究中被广泛的承认和使用。该模型从生态系统压力、生态系统状态和人文环境响应3个方面构建指标体系。压力指标指人类活动给系统造成的负荷;状态指标指环境质量、自然资源与生态系统的状况;响应指标指人类面临环境问题时所采取的对策与措施,这一框架模型具有非常清晰的因果关系,即人类活动对环境施加了一定的压力;因为这个原因,环境状态发生了一定的变化;而人类社会应当对环境的变化作出响应,以恢复环境质量或防止环境退化。该模型具有综合性、适用范围广的特点^[13]。

本文借鉴已有区域生态安全评价研究的指标体系^[14-17],在P-S-R的基础上,根据研究区的实际特点,考虑数据的可获取性和完备性情况,兼顾自然、经济和社会3个方面因素,筛选出具有代表性的22个指标,构建评价指标体系。体系分为目标层、准则层和指标层3个层次,如表1所示。

表1 生态安全评价指标体系
Table 1 Evaluation index system of ecological security

目标层 Target layer	准则层 Criterion layer	代码 Code	指标层 Index layer	趋向 Trend	数据来源 Data source	权重 Weight
生态安全综合 指数 ESI(A)	生态压力 指标 P(B1)	C1	人口密度	负向	统计数据	0.0183
		C2	城市化率	负向	统计数据	0.0116
		C3	经济密度	负向	统计数据	0.0136
		C4	单位面积耕地化肥施用量	负向	统计数据	0.0223
		C5	工业分布密度	负向	统计数据	0.0080
		C6	道路影响度	负向	专题数据	0.0435
		C7	城镇影响度	负向	专题数据	0.0461
	生态状态 指标 S(B2)	C8	地形位指数	负向	DEM 数据	0.0549
		C9	景观多样性	正向	遥感调查	0.0497

续表						
目标层 Target layer	准则层 Criterion layer	代码 Code	指标层 Index layer	趋向 Trend	数据来源 Data source	权重 Weight
	生态响应 指标 R(B3)	C10	土地利用类型	正向	遥感调查	0.0631
		C11	植被覆盖率	正向	遥感调查	0.0738
		C12	生态弹性度	正向	遥感调查	0.0782
		C13	生物丰度	正向	遥感调查	0.1163
		C14	年降水量	正向	观测数据	0.1036
		C15	人均粮食产量	正向	统计数据	0.0427
		C16	工业固体废弃物利用率	正向	统计数据	0.0650
		C17	工业废水排放达标率	正向	统计数据	0.0627
		C18	农业机械化水平	正向	统计数据	0.0437
		C19	水土协调度	正向	统计数据	0.0294
		C20	人均 GDP	正向	统计数据	0.0235
		C21	环保支出占 GDP 比例	正向	统计数据	0.0188
		C22	自然保护区面积	正向	统计数据	0.0112

2.2 部分评价指标说明

在上述指标体系中,部分指标需要通过一定的计算公式计算,表 2 列出了这些指标的具体计算公式及说明。

表 2 部分评价指标说明
Table 2 Some Indexes explanation

代码 Code	指标 Index	计算公式及说明 Formula and explanation
C2	城市化率	城市人口/总人口
C3	经济密度	GDP/面积
C6	道路影响度	$P = 100^{(1-R_i)}$, 其中 $R_i = d_i/d$, R_i 为影响半径, d_i 为缓冲区距离, d 为影响距离; $d = s/2l$, s 为区域面积, l 为道路总长度
C7	城镇影响度	$P = 100^{(1-R_i)}$, 其中 $R_i = d_i/d$, R_i 为影响半径, d_i 为缓冲区距离, d 为影响距离; $d = \sqrt{s/\pi \times n}$, s 为区域面积, n 为城镇数
C8	地形位指数	$T = \log[(\frac{E}{E} + 1) \times (\frac{S}{S} + 1)]$, 其中 E 为高程, S 为坡度
C9	景观多样性	$H = - \sum_{i=1}^n P_i \times \ln P_i$, 反映景观复杂程度
C11	植被覆盖率	$f = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}$, 其中 NDVI 为归一化植被指数
C12	生态弹性度	$ECO = D_i \sum_{i=1}^n S_i \times P_i$, 其中 ECO 为生态弹性度; S_i 为土地利用类型 i 面积覆盖百分比; P_i 为土地利用类型 i 的弹性分值; D_i 为多样性指数
C13	生物丰度	生物丰度指数=(0.35×林地+0.21×草地+0.28×水域湿地+0.11×耕地+0.04×建设用地+0.01×未利用地)/区域面积
C19	水土协调度	有效灌溉面积/年末耕地面积

2.3 确定评价单元

本研究生态安全评价是基于像元的,采用 100 m×100 m 的栅格作为基本的评价单元,运用 GIS 工具得到每一个评价单元的相关指标数值,以每一个评价单元作为信息的空间载体。针对不同数据源的评价指标,根据不同的空间精度的特点,采用不同的量化方法:

(1)对于以行政区为统计单元的统计指标,如人口密度、人均 GDP 等,采用矢量化方法进行量化,再将

矢量转化为栅格,并重采样到 100 m×100 m 的栅格。

(2) 对于栅格数据,如土地利用类型、景观多样性等数据,直接重采样到 100 m×100 m 的栅格。

(3) 对于观测数据,如降雨数据,观测的空间点状数据进行空间插值处理,之后再重采样到 100 m×100 m 的栅格。

2.4 指标量化

根据不同指标数据的来源与数据特征,使用不同的方法对其进行标准化量化,使其标准化到 0—100 之间。具体采用的方法分为极差法和分等级赋值法。

(1) 极差法 一般情况下安全水平量度的指标可划分为正向指标和负向指标,正向指标的指标数值越大,越安全。相反,负向指标的指标数值越大,越不安全。对两种指标的标准化处理方法有所不同,具体如下:

$$\text{正向指标} \quad Z_i = (x_i - x_{\min}) \times 100 / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (1)$$

$$\text{负向指标} \quad Z_i = (x_{\max} - x_i) \times 100 / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (2)$$

式中, Z_i 为第 i 个指标的标准值; x_i 为第 i 个指标的实际值; $x_{\max}$ 为实际值的最大值; $x_{\min}$ 为实际值的最小值。

(2) 分等级赋值法 对于不适合极差法标准化的指标,本文只涉及到土地利用类型指标,则利用专家知识,采用分等级赋值的方法进行标准化。根据土地利用类型进行生态安全等级划分赋值,具体标准的选取情况见表 3。

表 3 分等级赋值的标准

Table 3 Standard of value assignment

代码 Code	指标 Index	不安全 Insecurity 10	较不安全 Less insecurity 30	临界安全 Criticality 50	较安全 Less Security 70	安全 Security 90
C10	土地利用类型	未利用地	耕地、建设用地	草地	林地	水体

2.5 评价指标权重的确定

通过层次分析法确定各评价指标的权重。层次分析法确定权重的具体步骤如下:

(1) 构造判断矩阵 表示针对上一层中的某元素而言,评定该层次中各有关元素的相对重要程度。

(2) 重要性排序 根据线性代数知识,利用方程 $BW = \lambda_{\max} W$ 计算出该判断矩阵的最大特征值及对应的特征向量。所求特征向量即为各评价因素的重要性排序,归一化后,也就是权重分配。

(3) 一致性检验 权重分配是否合理需要对判断矩阵进行一致性检验和随机性检验。

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

式中,当 $CI=0$ 时,判断矩阵具有完全一致性;反之, CI 越大,一致性越差。将 CI 与平均随机一致性指标 RI 进行比较。其比值称为判断矩阵的一致性比例,写作 $CR = CI/RI$ 。当 $CR < 0.10$ 时,则认为判断矩阵通过了一致性检验,否则就需要调整判断矩阵直到满意为止。

经计算 $CI=0.0898$, $RI=1.3749$, $CR=0.0653 < 0.10$,通过一致性检验。最终权重计算结果如表 1 所示。

2.6 生态安全指数计算

采用综合指数法计算生态安全指数。综合指数法是生态安全评价研究中广泛使用的计算方法,它能在一定程度上反映系统生态安全的状态,尤其能够运用于区域之间生态系统安全水平的对比分析。其主要思想即将确定的各单项参评指标的权重值同相应的指标数值相乘,然后求指数和,即得到评价区的生态安全指数,从而实现区域生态安全的定量化评价。其公式如下:

$$ESI = \sum_{i=1}^n Z_i \times W_i \quad (4)$$

式中, ESI 为生态安全指数; Z_i 为各指标标准值; W_i 为各指标的权重。

利用 ArcGIS 下空间分析模块按照综合指数模型将参评指标进行加权空间叠加,计算研究区每个评价单

元的生态安全指数。

为了利于更加直观的分析评价结果,为生态安全指数划分等级制定评判标准。结合现有文献研究并根据本研究区的生态安全水平,将生态安全指数划分为 5 个等级,分别为 I 不安全、II 较不安全、III 临界安全、IV 较安全和 V 安全。生态安全等级越高表示生态安全状况越好,反之就越差。其中不安全等级生态环境非常恶劣,系统服务功能严重退化,生态结构严重不完整,生态恢复与重建很困难,极易发生生态灾害。较不安全等级生态环境质量较差,系统服务功能有较大退化,生态结构破坏较大,受外界干扰恢复困难,生态问题较大,易发生生态灾害。临界安全等级生态环境质量一般,处于安全与不安全之间,系统服务功能受到一定程度破坏,已有退化,生态结构有变化,抵御外界干扰能力较差,自我恢复能力差,生态问题显著,生态灾害时有发生。较安全等级生态环境质量较好,系统服务功能较为完善,抵御外界干扰能力较强,生态结构较完整,受干扰后一般可恢复,生态问题较少,生态灾害较少。安全等级生态环境质量好,系统服务功能基本完善,基本未受到破坏,生态结构完整,抵御外界干扰能力强,受干扰后可恢复,生态问题不显著,生态灾害少。按照评判标准对评价结果进行分级,得到生态安全评价等级图如图 2 所示。

3 图们江地区生态安全评价结果分析

3.1 基于像元水平的评价结果分析

研究区生态安全指数值的范围为 27.53—76.88,平均指数为 60.47,整体上区域处于 IV 等级较安全状态。通过统计,综合评价结果如表 4 所示。

表 4 生态安全综合评价结果表
Table 4 Results of eco-security assessment

等级 Grade	状态 State	指数 Index	面积/hm ² Area	面积百分比/% Percentages of area
I	不安全	<40	29209	0.94
II	较不安全	40—50	201886	6.48
III	临界安全	50—60	1056108	33.89
IV	较安全	60—70	1544725	49.56
V	安全	≥70	284723	9.14

由图 2 和表 4 可以看出,研究区内各生态安全等级的面积大小排序为:较安全>临界安全>安全>较不安全>不安全。研究区内生态安全状态以较安全等级 IV 为主,其面积高达 1544725 hm²,比例占总面积的 49.56%,说明区内土地生态环境质量较好,系统服务功能较为完善,抵御外界干扰能力较强,生态结构较完整,受干扰后一般可恢复,生态问题较少,生态灾害较少。此等级大面积分布在图们江下游地区,主要是平原、平坦丘陵及沟谷地区,土地覆盖以森林、湿地为主。处于临界安全等级 III 的面积 1056108 hm²,占总面积 33.89%,处于该等级的地区生态环境质量一般,系统服务功能受到一定程度破坏,已有退化,生态结构有变化,抵御外界干扰能力较差,自我恢复能力差,生态问题显著,生态灾害时有发生。临界安全状态多分布于图们江中上游山地地区。安全等级 V 的地区面积为 284723 hm²,占总面积比例为 9.14%,该状态地区生态环境

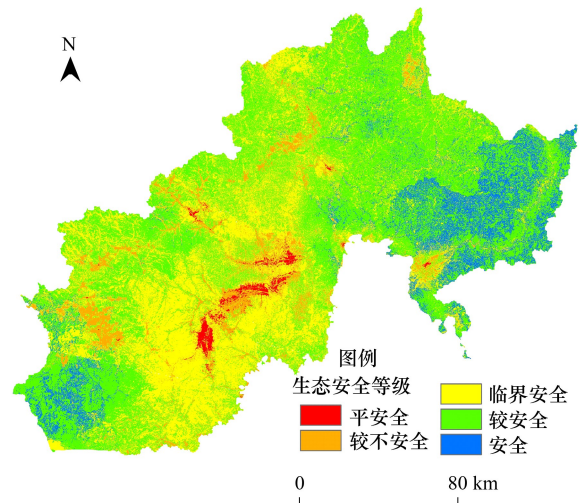


图 2 生态安全等级图
Fig. 2 Grades of ecological security

质量好,系统服务功能基本完善,基本未受到破坏,生态结构完整,抵御外界干扰能力强,受干扰后可恢复,生态问题不显著,生态灾害少。该状态地区主要分布在图们江下游,土地覆盖类型主要为森林、湿地、水体等自然土地覆盖类型。分布较少的为较不安全等级Ⅱ和不安全等级Ⅰ,占总面积比例分别为6.48%和0.94%。较不安全等级的生态环境质量较差,系统服务功能有较大退化,生态结构破坏较大,受外界干扰恢复困难,生态问题较多,易发生生态灾害。该状态地区主要分散分布在道路、城镇周围影响带,以及人为开发利用较严重地区。不安全等级面积最小,处于不安全状态的地区生态环境非常恶劣,系统服务功能严重退化,生态结构严重不完整,生态恢复与重建很困难,极易发生生态灾害。该状态地区主要分布在城市地区、道路沿线以及人为破坏严重的用地类型地区。区域整体上呈现出东西两端生态水平高,中部水平低的状态,在地形上表现为平原、沟谷地区高,山地地区低的态势,除地形因素影响之外,人类活动较集中的地区生态安全等级较低,而自然特别是未遭人为破坏的地区的生态安全等级较高。由此可看出影响区域内生态安全的主要原因是人为因素。在人为活动驱使下,使得土地覆盖类型的结构和组成发生改变,从而对生态系统产生深远的影响,进而使得区域内生态水平产生空间差异性。

3.2 基于行政单元的评价结果分析

以研究区的行政区划单元为单位,通过统计各行政单元的平均生态安全指数反映该行政区的生态安全状况,如图3所示。基于平均生态安全指数,各行政区排列的顺序为:珲春>图们>安图>汪清>延吉>龙井>和龙,即生态安全状态依次降低,环境质量、生态系统服务功能、生态结构、抗外界干扰能力和恢复能力呈依次降低的态势。

各行政单元的生态安全等级构成也有所差异,这些差异反映出各行政区内的人口增长、社会经济发展和生态环境质量的差异造成的生态安全状态的空间分异。

由图4中可以看出各县市的生态安全等级构成差异较大:7个县市中和龙、龙井、延吉生态安全等级构成表现出一定的相似性,均以临界安全等级为主,该等级所占比例分别为65.44%、51.28%和49.34%,其次占比例较多的是较安全等级,3个县市中较安全等级所占比例较多的是延吉,其次是龙井和和龙。同时3个县市都

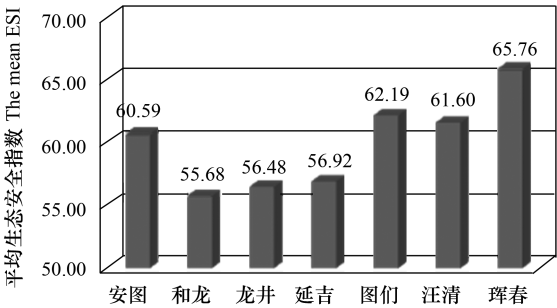


图3 基于行政区的平均生态安全指数
Fig.3 Statistics of the mean ESI based on administrative divisions

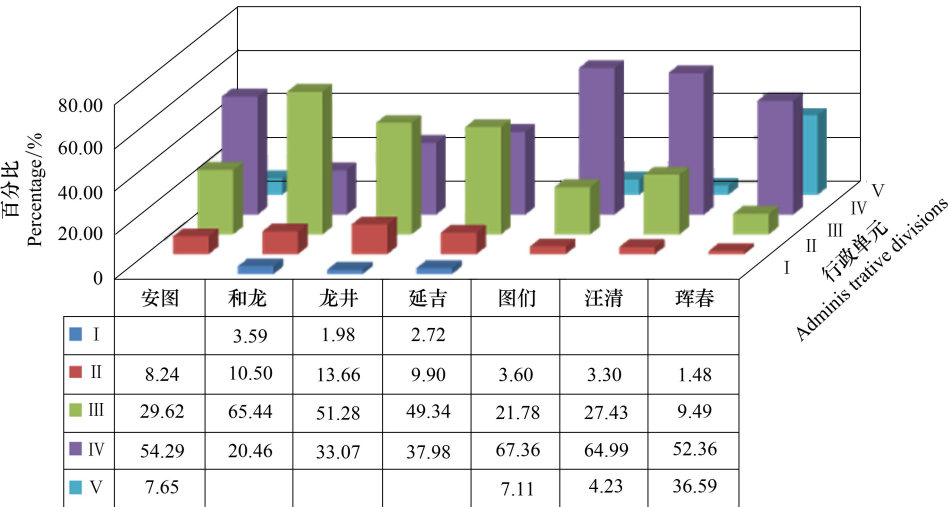


图4 基于行政区的生态安全等级
Fig.4 Structure of the ecological security grades based on administrative divisions

有少量的较不安全和不安全等级分布,但都不存在安全等级。从整体看,这3个县市的生态安全水平与其他县市相比偏低。安图、图们、汪清3个县市的生态安全等级构成特征相似,表现为较安全等级占主体,所占比例分别为54.29%、67.36%和64.99%,其次为临界安全等级,少量分布等级极端的安全等级,而较不安全等级比例较小,并且不存在不安全等级。这3个县市整体生态安全水平较高,生境质量较高,抗干扰能力和恢复能力较强。珲春的生态安全等级构成特征表现为在安全和较安全等级上集中,两个等级所占比例分别为52.36%和36.59%,临界安全和较不安全等级只占到9.49%和1.48%,不存在不安全等级,整体生态安全水平高,生境质量高,抗干扰能力和恢复能力强。

4 结论及讨论

本文基于压力-状态-响应(P-S-R)模型构建生态安全评价体系对图们江地区进行基于空间的生态安全评价。研究区生态安全状态以较安全等级Ⅳ为主,整体上说明区内生态环境质量较好,系统服务功能较为完善,抵御外界干扰能力较强,生态结构较完整,受干扰后一般可恢复,生态问题较少,生态灾害较少。在空间上呈现出区域东西两端生态安全水平高,中部较低的趋势。生态安全等级较高地区集中在地势平坦的平原、沟谷处,而生态安全等级较低的地区主要集中在海拔和坡度较大的山地地区。同时在人为影响强烈的地区生态安全水平和等级都表现出极低的水平。通过统计各行政单元的平均生态安全指数反映各行政区的生态安全状况,平均生态安全指数大小的排列顺序是珲春>图们>安图>汪清>延吉>龙井>和龙,即生态安全状态依次降低,环境质量、生态系统服务功能、生态结构、抗外界干扰能力和恢复能力呈依次降低的态势。各个县市所呈现的生态安全等级构成也有所差异,这些差异产生的原因除上述的地形等自然因素影响外,人为因素也成为主要驱动因素。人为干扰越强的地区,对生态系统的影响也越为严重,从而在生态安全方面表现为水平较低;而未受人类活动干扰或影响较少的地区,生态系统仍处于自然状态,表现出的生态安全水平较高。然而另一个方面,在社会经济发展水平高的地区,相应的对生态环境保护的政策措施也相对完善,这就使得在对抗生态环境破坏和干扰时,其反应能力和恢复能力也就越强,因而从另外一个方面提升了该地区的生态安全水平。由评价结果可以看出虽然区域生态安全状态较好,但仍有部分地区生态安全水平较低,区域内生态安全水平处于部分不平衡状态,因此,在区域开发建设时应注意这方面因素,从政策制定和实施层面重视生态环境保护是确保区域生态安全,推动区域可持续发展的重要保障,应继续给予生态安全等级较低的地区和县市相应的政策支持,以保证区域内生态安全水平的协调统一。

本文以栅格和行政区为评价单元进行生态安全评价,避免了单由统计数据评价的片面性,但统计数据是以市(县)为统计单元的,导致评价结果在空间上有明显的行政区边界差异,如果可以进一步获得镇、乡等更小行政单元的统计数据,将会大大提高评价结果的空间精度。在生态安全评价框架方面,在目前的研究中尚未形成完善的评价体系和方法范式,所以本研究最大程度上吸取了前人的研究成果,同时结合本研究区的实际情况选择了评价体系、方法,尽可能的保证了研究的科学性和合理性,但并不具有广泛推广性,在今后的研究中有待进一步完善。

References:

- [1] Steffen W, Sanderson R A, Tyson P D, Jäger J, Matson P A, Moore III B, Oldfield F, Richardson K, Schellnhuber H J, Turner B L, Wasson R J. Global change and earth system: A planet under pressure. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001.
- [2] Li J Y, Chen P Q, Ge Q S, Fang X Q. Global change and human activities: priorities of the global change research in next phase in China. *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(4): 371-377.
- [3] State Council of China. Outline of the National Ecological and Environmental Protection. 2000. [2012-02-17] <http://www.sepa.gov.cn/eic/650771262846533632/20021129/1036174.html>.
- [4] Xiao D N, Chen W B, Guo F L. On the basic concepts and contents of ecological security. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(3): 354-358.
- [5] Qu G P. The Problems of ecological environmental have become a popular subject of country safety. *Environmental Protection*, 2002, (5): 1-5.
- [6] Qu G P. Some problems of affecting ecological safety in China. *Environmental Protection*, 2002, (7): 3-6.

- [7] Qu G P. Strategic points and countermeasures of ecological safety in China. *Environmental Protection*, 2002, (8): 3-5.
- [8] Shi P J, Wang J A, Feng W L, Ye T, Chen J, Liu J. Responst of eco-environmental security to land use/cover changes and adjustment of land use policy and pattern in China. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(2): 111-118.
- [9] 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.
- [10] Guo M, Xiao D N, Li X. Changes of landscape pattern between 1986 and 2000 in Jiuquan oasis, Heihe River basin. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 457-466.
- [11] Meng Z X, Li C Y, Deng Y L. Ecological security early-warning and its ecological regulatory countermeasures in the Tuojiang River Basin. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2009, 25(2): 1-8.
- [12] Statistics Bureau of Yanbian Korean Autonomous Prefecture. Statistical Yearbook of Yanbian. China International Book Press, 2010: 1-2.
- [13] Allen H, Albert A, Eric R, Dirk B, Richard W. Environment Indicators: A systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development. World Resource Institute, 1995.
- [14] Huang N, Liu D W, Wang Z M. Ecological security in the middle and lower reaches of the Liaohe River. *Resources Science*, 2008, 30(8): 1243-1251.
- [15] Li X Y, Wang Z M, Zhang S W. Assessment on ecological security in west Jilin Province. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(6): 954-960.
- [16] Zuo W, Zhou H, Wang Q, Li S, Zhang G L. Comprehensive assessment and mapping of the regional ecological safety—a case study of Zhongxian County, Chongqing City. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(2): 203-207.
- [17] Sun X R, Shao C F. Study on the variation trends of regional environmental risk for Tianjin Binhai new area based on DPSIR Model. *Research of Environmental Sciences*, 2010, 23(1): 68-73.

参考文献:

- [2] 李家洋,陈泮勤,葛全胜,方修琦. 全球变化与人类活动的相互作用——我国下阶段全球变化研究工作的重点. *地球科学进展*, 2005, 20(4): 371-377.
- [3] 中国国务院. 全国生态环境保护纲要. 2000. [2012-02-17]. <http://www.sepa.gov.cn/eic/650771262846533632/20021129/1036174.html>.
- [4] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 354-358.
- [5] 曲格平. 关注生态安全之一: 生态环境问题已经成为国家安全的热门话题. *环境保护*, 2002, (05): 1-5.
- [6] 曲格平. 关注生态安全之二: 影响中国生态安全的若干问题. *环境保护*, 2002, (07): 3-6.
- [7] 曲格平. 关注生态安全之三: 中国生态安全的战略重点和措施. *环境保护*, 2002, (08): 3-5.
- [8] 史培军, 王静爱, 冯文利, 叶涛, 葛怡, 陈婧, 刘婧. 中国土地利用/覆盖变化的生态环境安全响应与调控. *地球科学进展*, 2006, 21(2): 111-118.
- [9] 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.
- [10] 郭明, 肖笃宁, 李新. 黑河流域酒泉绿洲景观生态安全格局分析. *生态学报*, 2006, 26(2): 457-466.
- [11] 孟兆鑫, 李春艳, 邓玉林. 沱江流域生态安全预警及其生态调控对策. *生态与农村环境学报*, 2009, (02): 1-8.
- [12] 延边朝鲜族自治州统计局. 延边统计年鉴. 中国国际图书出版社, 2010: 1-2.
- [14] 黄妮, 刘殿伟, 王宗明. 辽河中下游流域生态安全评价. *资源科学*, 2008, 30(8): 1243-1251.
- [15] 李晓燕, 王宗明, 张树文. 吉林省西部生态安全评价. *生态学杂志*, 2007, 26(6): 954-960.
- [16] 左伟, 周慧, 王桥, 李硕, 张桂兰. 区域生态安全综合评价与制图——以重庆市忠县为例. *土壤学报*, 2004, 41(2): 203-207.
- [17] 孙晓蓉, 邵超峰. 基于 DPSIR 模型的天津滨海新区环境风险变化趋势分析. *环境科学研究*, 2010, 23(1): 68-73.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《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,探索生态学奥秘,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

本期责任副主编 赵景柱

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15期 (2013年8月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 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@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 90.00 元