

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第12期 Vol.31 No.12 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 (SHENTAI XUEBAO)

第31卷 第12期 2011年6月 (半月刊)

目 次

基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例.....	李昊,蔡运龙,陈睿山,等 (3255)
扩散对破碎化景观上宿主-寄生种群动态的影响	苏敏 (3265)
湿地功能评价的尺度效应——以盐城滨海湿地为例	欧维新,叶丽芳,孙小祥,等 (3270)
模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响.....	樊后保,廖迎春,刘文飞,等 (3277)
中国东部森林样带典型森林水源涵养功能.....	贺淑霞,李叙勇,莫菲,等 (3285)
山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应.....	郭东罡,上官铁梁,白中科,等 (3296)
长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响	张焕军,郁红艳,丁维新 (3308)
云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性.....	何彩梅,魏大巧,李海燕,等 (3315)
塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新.....	赵振勇,张科,卢磊,等 (3322)
基于8hm ² 样地的天山云杉林蒸腾耗水从单株到林分的转换	张毓涛,梁凤超,常顺利,等 (3330)
古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应.....	周晓兵,张元明,陶冶,等 (3340)
Pb污染对马蔺生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响	原海燕,郭智,黄苏珍 (3350)
春、秋季节树干温度和液流速度对东北3树种树干表面CO ₂ 释放通量的影响	王秀伟,毛子军,孙涛,等 (3358)
云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰土壤种子库分布格局.....	唐樱殷,沈有信 (3368)
利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数.....	彭焕华,赵传燕,冯兆东,等 (3376)
黑河上游蝗虫与植被关系的CCA分析	赵成章,周伟,王科明,等 (3384)
额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征.....	庞科,姚锦仙,王昊,等 (3391)
九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素.....	王雨,林茂,陈兴群,等 (3399)
东苕溪中下游河岸类型对鱼类多样性的影响.....	黄亮亮,李建华,邹丽敏,等 (3415)
基于RS/GIS公路路域水土流失动态变化的研究——以渝昆高速公路为例	陈爱侠,李敏,苏智先,等 (3424)
流域景观结构的城市化影响与生态风险评价.....	胡和兵,刘红玉,郝敬峰,等 (3432)
基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析.....	高宾,李小玉,李志刚,等 (3441)
若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响.....	李晋昌,王文丽,胡光印,等 (3451)
施用鸡粪对土壤与小白菜中Cu和Zn累积的影响	张妍,罗维,崔晓勇,等 (3460)
基于GIS的宁夏灌区农田污染源结构特征解析.....	曹艳春,冯永忠,杨引禄,等 (3468)
底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响.....	刘岩,周勋波,陈雨海,等 (3478)
不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例	谭德水,江丽华,张骞,等 (3488)
丛枝菌根真菌对低温下黄瓜幼苗光合生理和抗氧化酶活性的影响	刘爱荣,陈双臣,刘燕英,等 (3497)
外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响	彭向永,宋敏 (3504)
专论与综述	
水平扫描技术及其在生态学中的应用前景.....	胡自民,李晶晶,李伟,等 (3512)
研究简报	
昆仑山北坡4种优势灌木的气体交换特征.....	朱军涛,李向义,张希明,等 (3522)
不同比例尺DEM数据对森林生态类型划分精度的影响	唐立娜,黄聚聪,代力民 (3531)
苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局	贾永正,胡海波,张家洋 (3537)
外来种湿地松凋落物对土壤微生物群落结构和功能的影响	陈法霖,郑华,阳柏苏,等 (3543)
深圳地铁碳排放量	谢鸿宇,王习祥,杨木壮,等 (3551)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-06



封面图说:自然奇观红海滩·辽宁省盘锦市——在辽河入海口生长着大片的潮间带植物碱蓬草,举目望去,如霞似火,蔚为壮观,人们习惯地称之为红海滩。粗壮的根系加快着海滩土壤的脱盐过程,掉下的茎叶腐质后肥化了土壤,它是大海的生态屏障。

彩图提供:段文科先生 中国鸟网 <http://www.birdnet.cn> E-mail:dwk9911@126.com

基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析

高宾^{1,2}, 李小玉¹, 李志刚¹, 陈玮¹, 何兴元^{1,*}, 齐善忠²

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 山东师范大学人口资源与环境学院, 济南 250014)

摘要: 以辽宁省锦州湾沿海经济开发区为研究区, 利用 1992、2000 和 2007 年 3 个时期的 TM 遥感影像为数据源, 通过计算各景观格局指数, 引入生态风险指数, 利用 GIS 和地统计学, 对生态风险指数进行采样和空间插值, 得到基于景观格局的生态风险分布图。运用相对指标法对生态风险指数进行分级, 将研究区域划分为低生态风险区、较低生态风险区、中等生态风险区、较高生态风险区和高生态风险区 5 个等级, 在此基础上通过将不同时期的生态风险图层进行叠加运算, 分析了研究区景观生态风险的时空变化情况。结果表明: 近 15a 来研究区生态风险主要以中等程度为主; 处于低、较低生态风险程度的区域面积变化不大, 空间分布也一直位于西部低山丘陵地区; 较高生态风险区域面积增加较为显著, 主要发生在兴城市和绥中县东南沿海地区; 高生态风险区面积随着未利用地和芦苇湿地等高生态脆弱性景观类型面积的减少而略有下降。

关键词: 锦州湾; 景观格局; 生态风险; 变异函数

Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern

GAO Bin^{1,2}, LI Xiaoyu¹, LI Zhigang¹, CHEN Wei¹, HE Xingyuan^{1,*}, QI Shanzhong²

1 Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang, 110016, China

2 College of Population Resource and Environment, Shandong Normal University, Ji'nan, 250014, China

Abstract: The ecological risk assessment is currently the advanced method and concept to study the relationship between regional eco-environment and development, but the theoretical research on it is still in its initial phase at present. The quantitative expressions of risk receptor, risk sources and risk effect are the key problems in the theoretical system of ecology risk assessment. Regional ecological risk assessment offers scientific suggestions for ecological risk management. It is used to describe and evaluate the possibility and degree of damage that might be taken to the structure and function of ecological system by environmental pollution, human activities and natural disasters on regional scale. The human economic activities are mainly carried out on the level of landscape, therefore, landscape has become the appropriate scale to study the impact of human on environment. In the landscape dominated by human activities, the ecological effects generated by different land use patterns and intensities usually are regional and accumulative, and they will be reflected directly on the structure and composition of the ecological system. Therefore, we can assess the various potential human influences and their consequences by the structure of the ecological system. We can establish the relationship between ecological system structure and ecological influences by statistical analysis, and the results can make good help for environmental management and ecological risk decision making.

Taking the coastal economic developing zone in Jinzhou Bay as studying area, using the remote sensing images of Landsat TM in 1992, 2000 and 2007 as the main date source, the ecological risk index was constructed based on the calculation of the landscape pattern indices, and the distribution level of ecological risk was mapped based on ecological risk index values by GIS and geostatistics. The ecological risk of studying area was classified into five levels, i.e. extremely low ecological risk, low ecological risk, moderate ecological risk, high ecological risk and extremely high ecological risk by

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40830746); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-342-3)

收稿日期: 2010-06-21; 修订日期: 2010-12-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hexy@iae.ac.cn

relative index method. And then the temporal and spatial dynamics of ecological risk distribution were analyzed by overlaying the ecological risk maps in different periods. The results show that: (1) Farmland and woodland were the dominated landscape types from 1992 to 2007, but the area decreased slightly, and the fragmentation of them increased. Residential land take the third place, and the area has increased significantly, at the same time, the connectivity also increased continuously. The area of grassland and unused land reduced year by year, and also the fragmentation increased yearly. (2) In recent 15 years, the moderate ecological risk level covered the biggest area of the study area; the area of extremely low risk and low ecological risk had no obviously change and mainly located in western hills; the area of high ecological risk increased significantly and was mainly distributed in southeast coastal zone of Xingcheng and Suizhong; because of the reduction of high ecological vulnerability, i. e. abandoned land and wetland, the area of extremely high ecological risk also decreased slightly. To obtain the sustainable development of regional land resources, the landscape pattern have to be optimized, and the connectivity of landscape patches should be increased.

Key Words: Jinzhou Bay; landscape pattern; ecological risk; semivariogram

生态风险是指生态系统及其组分所承受的风险,指一个种群、生态系统或整个景观的正常功能受到外界胁迫,从而在目前和将来减少该系统内部某些要素或其本身的健康、生产力、遗传结构、经济价值和美学价值的可能性^[1-2]。区域生态风险评价是生态风险评价的一个分支,它是在区域尺度上描述和评价环境污染、人为活动或自然灾害对区域内的生态系统结构与功能等产生不利作用的可能性和危害程度^[3-5]。区域性风险问题是众多因素交互作用的结果,其作用所影响的范围较大,作用时间及其产生的后果也很难预测^[6]。

景观本身是人类经济活动的资源和开发利用的对象,人类的经济活动主要在景观层次上进行,景观已成为研究人类活动对环境影响的适宜尺度。在人为活动占优势的景观内,不同土地利用方式和强度产生的生态影响具有区域性和累积性的特征,并且可以直观地反映在生态系统的结构和组成上,因此,生态风险分析可从区域生态系统的结构出发,综合评估各种潜在生态影响类型及其累积性后果;景观的组分结构特征是最易于保存的景观信息,通过专业判断和统计分析,建立景观组分结构与生态影响类型和强度之间的经验联系,进而可为区域性生态保护提供更可靠的决策依据^[7-9]。同时,景观结构还可以准确的显示出各种生态影响的空间分布和梯度变化特征,使各种空间分析的手段成为可能^[10-13]。

本文综合运用景观生态学原理与空间统计学分析方法,以锦州湾沿海经济区为例,基于其景观结构和土地利用信息,构建景观生态风险指数,对以人类的生活生产活动为主要风险源的土地利用进行生态风险分析,揭示研究区生态风险的时空变化特征及驱动原因,以期为该区域城市化进程中实现生态保护、经济建设和环境管理之间的协调发展提供理论依据和技术支持。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

锦州湾位于渤海辽东湾西侧,依锦州而得名,是环渤海经济圈的重要组成部分和京津唐与东北经济板块交汇的重要节点(图1)。锦州湾沿海经济区($39^{\circ}59'—41^{\circ}25'N$, $119^{\circ}34'—121^{\circ}45'E$)包括葫芦岛的龙港、连山、南票3个市辖区,兴城市,绥中县,锦州的凌河、古塔、太和3个市辖区及凌海市,总面积约 $1.04\times10^4\text{ km}^2$ 。全区地势西高东低,雨热同季,属于温带季风气候,年均气温 $8—9^{\circ}\text{C}$,年均降雨量 $550—630\text{ mm}$ 。区内有葫芦岛港和锦州港2个海港,海运交通便利。该经济开发区是辽西沿海经济区和沈阳经济圈的交汇地带,在整个辽西地区的开放中担负着先行和带动作用,是辽宁省“五点一线”对外开放战略的重要区域,其影响范围辐射内蒙古东部赤峰、通辽、兴安和呼伦贝尔等城市,拥有约 400 km 的海岸线,是中国沿海地区规划布局现代化港口群、产业集群和建设高质量宜居城市的重要区域。

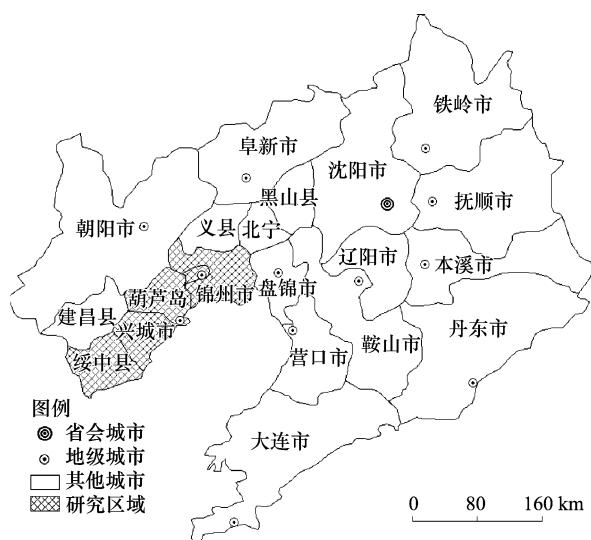


图1 研究区地理位置

Fig. 1 Geographical location of study area

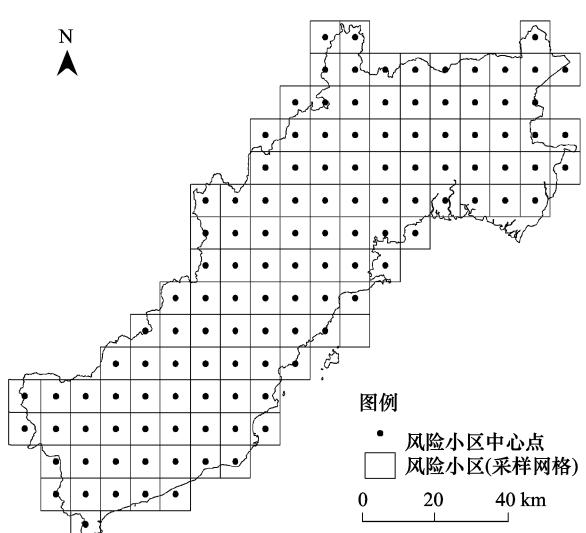


图2 生态风险小区的划分

Fig. 2 Division of the ecological risk area

1.2 研究方法

1.2.1 数据来源与处理

以研究区1992年TM、2000年ETM和2007年TM遥感影像为数据源(时相为植被生长茂盛的6—10月份),同时参考结合了辽宁省行政区划矢量图、辽宁省国土资源遥感系统及其它相关统计资料等基础数据。在ERDAS遥感软件的支持下,以2000年ETM为基准并结合GPS野外调查控制点对1992年和2007年2期的TM影像进行几何校正、图像配准等综合处理。依据全国土地资源分类系统和研究区土地利用现状,将研究区景观类型划分为耕地、林地、草地、淡水水域、盐田及海水养殖水域、城乡建设用地、未利用地和芦苇湿地8类,在ArcGIS软件的支持下,采取人机交互解译,后经GPS野外采样点实地考察校正,得到研究区1992、2000、2007年的景观格局矢量图,最后基于这8种景观类型建立生态风险指数,利用地统计学中的空间分析方法和ArcGIS软件,得到研究区生态风险指数空间分布图,进而对研究区生态风险空间特征的动态变化进行了研究。

1.2.2 景观损失度指数

不同的景观类型在保护物种、维护生物多样性、完善整体结构与功能、促进景观结构自然演替等方面的作用是有差别的,同时,不同的景观类型对外界干扰的抵抗能力也是不同的^[14]。本研究以景观格局指标为依据,通过不同指数的叠加来反映不同景观类型所代表的生态系统在受到自然和人为干扰时其自然属性损失的程度,用景观损失指数 R_i 来表示,它是景观干扰度指数 S_i 和脆弱度指数 F_i 的综合^[15-17]。景观干扰度指数 S_i 通过对景观破碎度指数 C_i 、景观分离度指数 N_i 和景观优势度指数 D_i 三者赋予权重叠加获得;其中,景观优势度 D_i 由斑块频度 Q_i 、斑块密度 M_i 和斑块比例 L_i 决定(表1)。针对研究区的实际情况,借鉴他人的研究成果^[6-7,12],并采用专家咨询法,将研究区景观类型的脆弱性分为8级,由低到高依次为:城乡建设用地,林地,草地,耕地,淡水水域,盐田及海水养殖水面,湿地,未利用地,进行归一化处理后得到各自的脆弱度指数 F_i 。

1.3 区域生态风险分析

1.3.1 风险小区的划分

根据研究区的范围和采样工作量,本研究采用 $10\text{km} \times 10\text{km}$ 的正方形样地对景观损失度指数进行空间化,采样方式为等间距系统采样法,共有风险小区122个。计算每一个风险小区的景观损失度指数,以此为基础计算样地中心点的生态风险值(图2)。

1.3.2 景观生态风险指数

基于景观结构的生态风险指数是由那些与干扰相关联的,能反映生态系统概念及过程、可用于度量生态终点的景观格局指标,如景观优势度、蔓延度、破碎度等构建而成;它便于预测和评价,能够清晰的、定量化描述各种景观类型所代表的生态系统在受到危害性和不确定性因素的作用后可能导致的结果。基于此,本研究利用已经建立的景观干扰度指数和景观脆弱度指数,构建景观生态风险指数,建立景观结构与综合区域生态风险之间的经验联系,用于描述每一个风险小区综合生态损失的相对大小,同时可通过采样方法将景观的空间结构转化为空间化的生态风险变量^[18]。

表1 景观格局指数计算方法

Table 1 Calculation methods of landscape pattern indices

序号 Sequence number	名称 Name	计算方法及含义 Computational method and Meanings
1	景观破碎度指数 C_i	$C_i = ni/A_i$; 其值用来表述整个景观或某一景观类型在给定时间和给定性质上的破碎化程度, 即指在自然或人为干扰作用下, 景观由单一、均质和连续的整体趋向于复杂、异质和不连续的斑块镶嵌体的过程, 此值越大, 表明景观单元内部稳定性越低, 对应的景观生态系统稳定性也越低 ^[16] 。
2	景观分离度指数 N_i	$N_i = li \times A/A_i$, $li = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{ni}{A}}$; 其值表述某一景观类型中不同元素或斑块个体分布的分离程度, 分离程度越大, 表明景观在地域分布上越分散, 景观分布越复杂, 破碎化程度也越高 ^[15] 。
3	景观优势度指数 D_i	$D_i = \frac{(Q_i + M_i)}{4} + \frac{L_i}{2}$; 其值用来衡量斑块在景观中重要地位的一种指标, 其大小直接反映了斑块对景观格局形成和变化影响的大小 ^[17] 。
4	景观干扰度指数 S_i	$S_i = aC_i + bN_i + cD_i$; 其值是用来反映不同景观所代表的生态系统受到干扰(主要是人类活动)的程度 ^[15] 。
5	景观脆弱度指数 F_i	由专家咨询法并归一化获得。它表示景观类型所代表的生态系统在受到外界干扰时的易损性, 此值大小与其在景观自然演替过程中所处的阶段有关, 一般情况下, 处于初级演替阶段、食物链结构简单、生物多样性指数小的生态系统较为脆弱。
6	景观损失度指数 R_i	$R_i = S_i \times F_i$; 表示反映不同景观类型所代表的生态系统在受到自然和人为干扰时其自然属性损失的程度

ni 为景观类型 i 的斑块数; A_i 为景观类型 i 的总面积; li 为景观类型 i 的距离指数; A 为景观总面积; Q_i = 斑块 i 出现的样方数 / 总样方数; M_i = 斑块 i 的数目 / 斑块总数; L_i = 斑块 i 的面积 / 样方的总面积; a , b , c 为相应各景观指数的权重, 且 $a + b + c = 1$, 根据分析权衡, 并结合前人研究成果, 认为破碎度指数最为重要, 其次为分离度指数和优势度指数, 以上 3 种指数分别赋以 0.6, 0.3, 0.1 的权值

景观生态风险指数 ERI 的计算公式为:

$$ERI_i = \sum_{k=1}^N \frac{A_{ki}}{A_k} R_i$$

式中, ERI_i 为第 i 个风险小区的景观生态风险指数, R_i 为 i 类景观的景观损失度指数, A_{ki} 为第 K 个风险小区内景观类型 i 的面积, A_k 为第 K 个风险小区的面积。

1.3.3 空间分析方法

生态风险指数本身是一种空间变量, 其空间变化特征具有结构性和随机性, 可采用地统计学中的变异函数的方法, 借助半方差函数进行区域生态风险程度的空间分析^[19-22]。具体计算公式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2, (i = 1, 2, \dots, N(h))$$

式中, $\gamma(h)$ 为变异函数; h 为步长, 即为了减少各样点组合对的空间距离个数而对其进行分类的样点空间间隔距离; $N(h)$ 为间隔距离为 h 时的样点对数; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别为景观生态风险指数在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 上的观测值。

半方差是度量空间依赖性与空间异质性的一个综合指标, 它具有 3 个重要的参数: 块金值(Nugget)、基台

值(Sill)、变程(Range)。当间隔距离 $h=0$ 时, $\gamma(h)=C_0$, 该值为块金值; 当 h 增大到 A_0 时, $\gamma(h)$ 从非零值达到一个相对稳定的常数, 该常数称为基台值(C_0+C), A_0 为变程, C 为结构方差; 块金值 C_0 表示由随机因素引起的空间异质性, 较大的块金值就预示着较小尺度的某些过程不可忽略; 结构方差 C 表示空间自相关部分引起的空间异质性; 基台值(C_0+C)表示最大变异程度, 基台值越大表示总的空间差异性程度越高; 结构方差与基台值的比例 $C/(C_0+C)$ 是对变量在空间上的可预测性的一种重要度量, 而块金值占基台值的比例 $C_0/(C_0+C)$ 则可用来表示系统变量空间相关程度, 若其小于 25%, 说明变量具有强烈的空间相关性; 若大于 75%, 则表明变量空间相关性很弱^[23]。

2 结果与分析

2.1 景观格局指数的时序变化

利用景观格局指数计算软件 Fragstats 3.3 和 Excel 2003 的统计分析功能, 按照表 1 所给出的计算方法, 得到研究区 1992、2000、2007 年各景观类型的景观格局指数(表 2)。从表 2 中可以看出, 在整个研究期内, 耕地和林地的面积虽然有所变动, 但一直分布较广, 为研究区的主要景观类型; 城乡建设用地次之, 面积呈不断增大的趋势, 草地和未利用地面积最小, 且其面积逐年下降。耕地和林地斑块数目显著增加, 分别由 1992 年的 605 个和 463 个增加至 2007 年的 2101 个和 810 个, 但两者面积却并没有增加, 反而都略有下降, 致使这 2 种景观的破碎度指数 C_i 和分离度指数 N_i 不断增大, 由此可知这 2 种景观类型破碎化程度加深, 分离度增大, 空间分布特征由初期的大片块状集中分布变为小块随机散落分布。与耕地和林地不同, 城乡建设用地自 1992 年起, 其面积和斑块数目都在不断增多, 使得其景观优势度指数 D_i 变化较为明显, 由 1992 年的 0.4379 增加到 2007 年的 0.9836, 增加了近 1.25 倍。整个研究期内, 通过景观干扰度指数 S_i 和景观脆弱度指数 F_i 叠

表 2 景观格局指数

Table 2 Indices of Landscape patter

景观类型 Landscape Type	时间 Time	面积 Area /hm ²	斑块数目 Number /个	破碎度 Fragmentation index	分离度 Abruption index	优势度 Predominance index	干扰度 Obstruction index	脆弱度 Fragility index	损失度 Dammify index
耕地 Farmland	1992	460366	605	0.0013	0.0272	0.5050	0.0595	0.1111	0.0661
	2000	460756	813	0.0018	0.0315	0.5122	0.0617	0.1111	0.0686
	2007	426520	2101	0.0045	0.0548	0.9426	0.0718	0.1111	0.0798
林地 Woodland	1992	440229	463	0.0011	0.0249	0.4763	0.0557	0.0556	0.0310
	2000	423759	510	0.0012	0.0272	0.4696	0.0558	0.0556	0.0310
	2007	422878	810	0.0019	0.0343	0.9508	0.0589	0.0556	0.0327
草地 Grassland	1992	8388	102	0.0122	0.6135	0.1354	0.2049	0.0833	0.1707
	2000	7676	78	0.0102	0.5863	0.094	0.1914	0.0833	0.1595
	2007	670	16	0.0239	3.046	0.0902	0.9305	0.0833	0.7754
淡水水域 Freshwater area	1992	30730	75	0.0024	0.1436	0.2018	0.0647	0.1667	0.1079
	2000	32052	51	0.0016	0.1135	0.1965	0.0547	0.1667	0.0911
	2007	29065	103	0.0035	0.1780	0.8197	0.0779	0.1667	0.1298
城乡建设用地 Residential land	1992	55844	2731	0.0489	0.4768	0.4379	0.2162	0.0278	0.0601
	2000	72766	3067	0.0421	0.3878	0.4487	0.1865	0.0278	0.0518
	2007	120970	3014	0.0249	0.2314	0.9836	0.1271	0.0278	0.0353
未利用地 Unused land	1992	2598	34	0.0131	1.1437	0.0464	0.3556	0.2222	0.7902
盐田及海水养殖 Saltern and Mariculture	2000	1040	18	0.0173	2.0783	0.024	0.6363	0.2222	1.4139
	2007	758	30	0.0396	3.6841	0.1148	1.1320	0.2222	2.5156
湿地 Wetland	1992	33812	18	0.0005	0.0639	0.0645	0.0260	0.1389	0.0360
	2000	32702	20	0.0006	0.0697	0.0578	0.0271	0.1389	0.0376
	2007	32482	22	0.0007	0.0736	0.1639	0.0282	0.1389	0.0392
湿地 Wetland	1992	6652	7	0.0011	0.2027	0.0139	0.0628	0.1944	0.1221
	2000	7870	12	0.0015	0.2243	0.0147	0.0697	0.1944	0.1355
	2007	6629	3	0.0005	0.1332	0.0250	0.0412	0.1944	0.0801

加得到的景观损失度指数 R_i ,未利用地一直为最大,且呈现持续增大的趋势,这主要因为未利用地不断转化为其它景观类型,面积不断减少,斑块支离破碎,数目有所增加(以2000年后最为明显),导致其景观优势度 D_i 不断降低,景观破碎度 C_i 和干扰度指数 S_i 不断增大,另外,其本身的生态脆弱度指数 F_i 较高,居于8种景观类型的首位,也是其景观损失度指数最大的原因之一。

2.2 景观生态风险空间分异

利用地统计学方法进行生态风险的空间分异研究。生态风险的空间异质性主要由随机部分和自相关部分组成,块金值 C_0 表示随机部分的空间异质性;基台值 $C_0 + C$ 表示自相关部分的空间异质性,当取样距离在基台值尺度之内时,生态风险具有自相关性,而当采样距离大于基台值尺度时,生态风险在空间分布则为随机的^[24]。

按照表1所示的方法和生态风险指数 ERI 的计算公式,分别计算出122个风险小区1992、2000和2007年的生态风险指数采样数据,并对其变异函数进行理论模型的最优拟合。由于ArcGIS软件的地统计模块受到数据计算的限制^[25-27],故借用地统计软件GS⁺来完成样本变异函数理论模型的拟合。本研究中步长的划分以10km为间距,即10,20,30,…,100km,共10组组距,100km小于样点间最大距离(212.08km)的一半,符合地统计分析的要求。通过分析比较发现,1992年和2007年用球状模型的拟合效果最为理想,而2000年用高斯模型更为适宜(图3)。研究区生态风险指数的随机变异($C_0/C_0 + C$),1992年为21.21%,2000年为16.13%,2007年为2.5%,呈不断下降趋势,说明在10km以下的小尺度上的随机变异1992年较大,而后逐渐减小,这表明随着社会经济的发展,人类活动对环境影响程度的加深,生态风险指数在小尺度上的随机变异逐步被较大尺度上的空间结构性变异所取代(表3)。

表3 变异函数理论模型的相关参数

Table 3 Parameters of the theoretical model of variogram

年份 Year	模型 Model	块金值 Nugget	基台值 Sill	块金值/基台值 Nugget/Sill	变程 Range/m	决定系数 R^2	残差 RSS
1992	球状模型	0.0098	0.0462	21.21%	146200	0.934	0.00072
2000	高斯模型	0.0039	0.0241	16.13%	70840	0.954	0.00044
2007	球状模型	0.0018	0.0721	2.50%	65500	0.976	0.00001

基于变异函数的理论模型,选取最优拟合模型和相关参数设置,确定插值的栅格大小50m×50m,利用ArcGIS软件的地统计分析模块,对1992年、2000年和2007年的生态风险指数进行了克里格插值(图5)。为了便于比较生态风险 ERI 的大小,本文采用相对指标法对风险小区的生态风险指数进行划分。通过对生态风险指数进行直方图处理,发现其大致符合正态分布,为使划分的风险区更接近客观实际,本研究设定中生态风险区的间隔为0.2,其他生态风险区以0.1的区间间隔等距划分,具体为:高生态风险区($ERI \geq 0.85$)、较高生态风险区($0.75 \leq ERI < 0.85$)、中生态风险区($0.55 \leq ERI < 0.75$)、较低生态风险区($0.45 \leq ERI < 0.55$)和低生态风险区($ERI \leq 0.45$),并对研究区122个风险小区的生态风险指数的分级所占的面积进行了统计(图4)。

如图4所示,1992年研究区内处于低生态风险和较低生态风险等级区域的面积分别为 $275.2 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $231.6 \times 10^3 \text{ hm}^2$,约占全区总面积的26.5%和22.3%,主要分布于葫芦岛市辖的南票区大部、连山区西部及兴城、绥中2县的西部和凌海市西北部低山丘陵地带。这些地区林地和草地景观类型广布,生态风险程度较低。处于中等生态风险程度的区域主要分布于凌海市大部、葫芦岛龙港区、连山区及兴城、绥中两县中部及东部沿海地区,面积约为 $519 \times 10^3 \text{ hm}^2$,这些区域社会经济发达,人口聚集密度大,城建及交通工矿用地广布,斑块分离度高,破碎度大。处于较高和高生态风险等级的区域面积则较小,面积分别为 $7.3 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $3.8 \times 10^3 \text{ hm}^2$,约占全区总面积的1%,主要分布于凌海市东南部,该区域分布有大量景观敏感性和脆弱性程度较高的芦苇湿地,导致了较高的生态风险度。

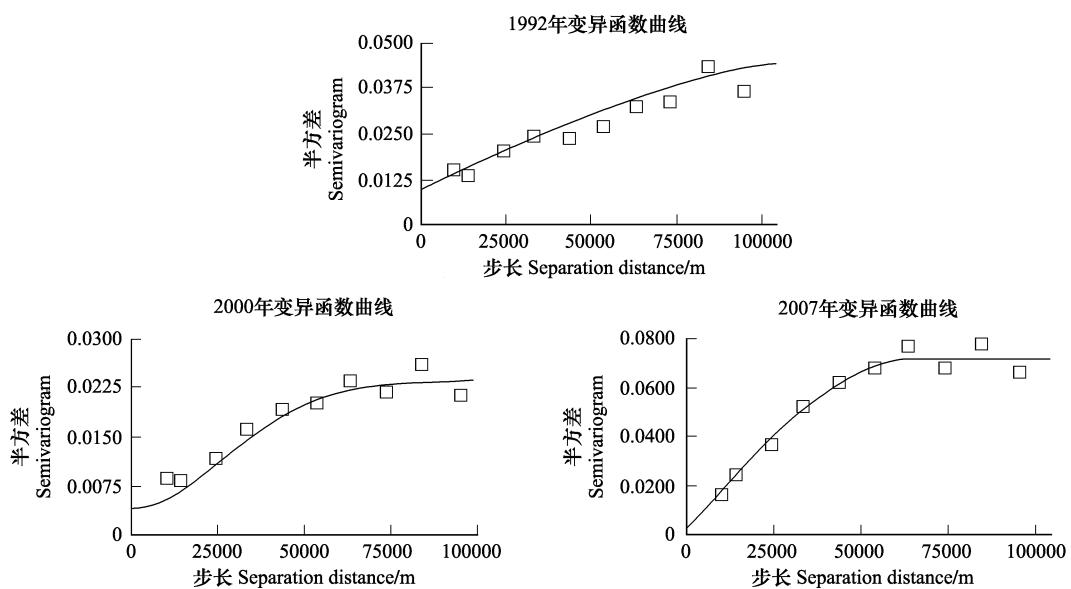


图3 1992、2000和2007年生态风险指数变异函数曲线

Fig. 3 Variance function curve of eco-risk index of 1992, 2000 and 2007

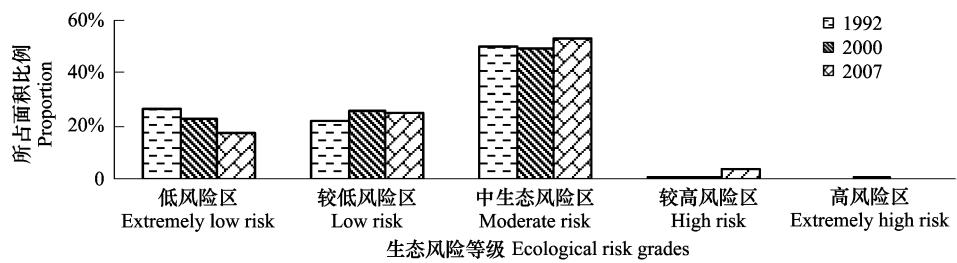


图4 1992、2000和2007年各级生态风险面积比例

Fig. 4 Distribution of the ecological risk grades of 1992, 2000 and 2007

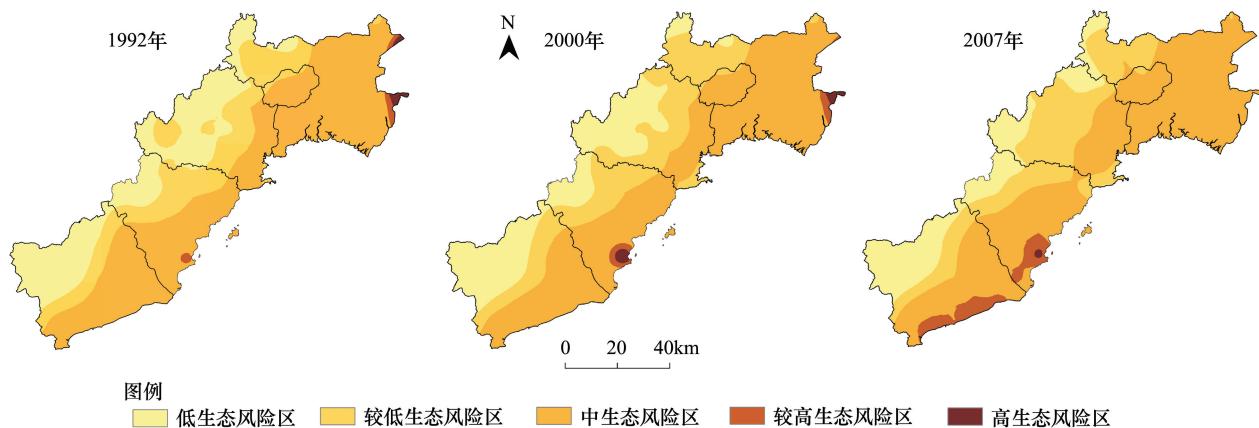


图5 1992年,2000年和2007年生态风险克里格插值空间分布

Fig. 5 Distribution of Kriging interpolation for ecological risk of 1992, 2000 and 2007

与1992年相比,2000年研究区内低生态风险区域的面积减少了 $35.2 \times 10^3 \text{ hm}^2$,而较低生态风险区域面积则有所增加,其占全区总面积的比例由22.3%增加到25.6%,空间位置变动主要表现为向内陆地区延伸扩散,占据部分原来的低生态风险区域,此种变化以凌海市西北部地区表现最为明显。主要原因是,人们在坡度

较缓的坡地及山麓地带毁林、毁草开荒,以生态风险脆弱度指数较高的耕地景观代替原来的林地和草地景观,导致生态风险等级升高。处于较高和高生态风险程度的区域面积较1992年有所增加,其占全区总面积的比例增加到1.5%,以兴城市东南沿海表现最为突出,这一区域海参养殖业发达,盐田及海水养殖规模不断扩大,生态风险敏感性和脆弱性增加,导致生态风险程度升高。处于中等生态风险程度区域的分布范围变化不显著。

2007年,研究区生态风险等级分布状况最明显的变化是处于较高生态风险等级的区域范围显著扩大,面积由2000年的 $10.7 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 增加为 $41.7 \times 10^3 \text{ hm}^2$,涨幅近3倍,此种变化以绥中县东南沿海最为明显。绥中县海岸线长达75km,海域面积辽阔,海洋渔业发达,近年来,随着社会经济的飞速发展,水产品需求量不断增大,该区域的淡水养殖也有了长足的发展,当地农民在部分耕地上开挖水塘,进行淡水、咸水工厂化渔业养殖,到2008年区内无公害水产品养殖面积已达到 $10.3 \times 10^3 \text{ hm}^2$,大量的耕地景观转变为鱼塘等水域景观。但由于缺乏相对适宜的整体规划和统筹安排,这些渔业养殖工厂多呈小规模散落分布,经济效益低下的同时,又占用了大量的耕地资源,生态脆弱性程度较高的水域景观面积增加,生态风险指数增大,生态风险程度加深。由此,在城市化进程中,要十分重视规划统筹,因地制宜发展工农业生产,在发展经济的同时注重保护生态环境。另外,凌海市东南部的较高生态风险等级区域转变为中生态风险区域,这与当地部分芦苇湿地遭到破坏,转变为耕地和城乡建设用地等生态风险指数较小的景观类型的客观实际是相吻合的。

利用GIS软件的空间叠加分析功能,将研究区1992、2000和2007年的生态风险等级分布图进行相互叠加,并对1992—2000年和2000—2007年2个时间段内的各风险等级转化方向和面积进行了定量分析(表4)。

表4 1992—2007年各生态风险等级相互转换

Table 4 Transition of different ecological risk types from 1992 to 2007

转换类型 Transition type	转换面积 Transition area/ hm^2			
	1992—2000	年均转换速/(hm^2/a) Average transition velocity	2000—2007	年均转换速/(hm^2/a) Average transition velocity
12	53.732	6.717	86.203	12.315
21	18.520	2.315	30.415	4.345
23	19.102	2.388	69.377	9.911
32	18.063	2.258	9.384	1.341
34	6.526	0.816	33.587	4.798
35	1.561	0.195	0	0
43	1.681	0.210	4.877	0.697
45	1.921	0.240	0	0
53	0.667	0.083	2.653	0.379
54	0.475	0.059	2.280	0.326

12表示低生态风险转变为较低生态风险,21表示较低生态风险转变为低生态风险,23表示较低生态风险转变为中生态风险,32表示中生态风险转变为较低生态风险,34表示中生态风险转变为较高生态风险,35表示中生态风险转变为高生态风险,43表示较高生态风险转变为中生态风险,45表示较高生态风险转变为高生态风险,53表示高生态风险转变为中生态风险,54表示高生态风险转变为较高生态风险

总体分析表4,从1992到2007年,整个研究区内的生态风险等级由低级别向高级别转变的总面积约为 $272 \times 10^3 \text{ hm}^2$,占研究区总面积的8.73%,而生态风险等级由高级别向低级别转变的总面积却大约仅为 $89 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。这表明在整个研究期内,研究区的生态风险程度虽然在局部地区虽然有所下降,但在整体上显著呈上升趋势的。分阶段来看,研究区内生态风险等级呈上升趋势的面积在1992—2000年期间约为 $82.8 \times 10^3 \text{ hm}^2$,而在2000—2007年期间则达到了 $189.2 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 为前一时段的2.3倍;研究区内生态风险等级呈下降趋势的面积由1992—2000年期间的 $39.4 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 增加为2000—2007年期间的 $49.6 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 。对比上述2个时间段内风险等级年均转化速率可知,2000—2007年间各类型的转换速率均高于前一阶段,如由中等

风险转变为较高风险等级的转换速率是前一时期的 5.87 倍,这与社会经济发展速度越来越快,产业结构调整加快,各种地类之间的转变越来越迅速、越来越复杂是相吻合的。近年来,在“振兴东北老工业基地”和辽宁沿海“五点一线”开发战略的优惠政策推动下,当地社会经济迅猛发展,招商引资规模不断扩大,据统计,1990 年锦州和葫芦岛两市利用外商投资总额约 203 万美元,而到 2005 年则达到 9067 万美元,增长了近 44.66 倍,大量资金涌人在此圈地建厂,修建了大量的工业园区,但由于缺乏相对适宜的统筹规划,导致开发区的建设数量偏多、开发规模偏大,规划总面积过大(平均面积(35km^2)远远超过国家级经济技术开发区的一般核准面积($<10\text{ km}^2$)和高新技术产业开发区的一般核准标准面积($<5\text{km}^2$)),致使研究区东部沿海平原区域建设用地扩张迅速,占用了大量的耕地和林地,此外,港口码头、公路铁路等基础设施的修建对土地的需求量大,大量农村务工人员涌人城市,致使住房用地需求增加,部分耕地被占,转变为城乡建设用地。为缓冲上述区域耕地资源减少的影响,满足人口数目增加和生活水平提高对粮食产量和质量的需求,人们在西部低山丘陵区部分地势比较低缓的坡地及山麓地带毁林、毁草开荒,开垦梯田,种植粮食作物及果树,导致当地景观类型及相应生态风险指数发生改变。

综上,人类活动对于景观结构的干扰程度越来越深,各种地类之间的转变及边界变更越来越复杂,生态风险等级转变速率呈加快的趋势。因此,在该区域快速城市化进程中,应将自然资源、生态环境和社会经济的发展进行耦合研究和综合评价,制定适宜的发展规划,优化产业结构,发展清洁及高新技术产业,调整该区过度依赖资源的经济发展模式和偏重的产业结构,保护生态环境,提高土地资源利用率,因地制宜发展工业及农业生产。

3 结语

本研究基于景观格局的景观干扰度指数和景观脆弱度指数构建了生态风险指数,较客观的反映了研究区的生态风险状况。利用 GS⁺ 软件和 ArcGIS 的地统计模块,对研究区生态风险指数变异函数的理论模型进行了最优拟合并对其进行了空间插值,结果表明,从 1992 年以来,研究区的生态风险程度以低、中等程度为主,但呈上升趋势,总体表现为西部低山丘陵区生态风险程度较低,而东部沿海平原地区较高。由于本研究没能建立起景观结构与具体区域生态问题类型之间的直接关系,构建的生态风险指数也只相当于生态问题可能发生的综合性概率量度,并没有综合考虑社会、经济和生态环境的其他因素,故不具有绝对性。

References:

- [1] Lu H W, Zeng G M, Xie G X, Zhang S F, Huang G H, Jin X C, Liu H L. The regional ecological risk assessment of the Dongting Lake watershed. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12) : 2520-2530.
- [2] Li G Q, An S Q, Chen X L, Zhang J L, Zhang J H, Dan J K, Zhu X L. A summary on ecological risk assessment. *Chinese Journal of Ecology*, 1999, 18(4) : 57-64.
- [3] Hunsaker C T, Granham R L, Suter G W. Assessing ecological risk on a regional scale. *Environmental Management*, 1990, 14(3) : 325-332.
- [4] Barrell S M, Gardner R H, Neill R V. *Ecological Risk Assessment*. Chelsea: Lewis Publishers, 1992.
- [5] Iroum   A, Huber A, Schulz K. Summer flows in experimental catchments with different forest covers chile. *Journal of Hydrology*, 2005, 300(1/4) : 300-313.
- [6] Wang J, Cui B S, Liu J, Yao H R, Zhai H J. The effect of land use and its change on ecological risk in the Lancang River watershed of Yunnan Province at the landscape scale. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(2) : 269-277.
- [7] Zeng H, Liu G J. Analysis of regional ecological risk based on landscape structure. *China Environment Science*, 1999, 19(5) : 454-457.
- [8] Peng J, Wang Y L, Liu S, Wu J S, Li W F. Research on landscape ecology and sustainable land use. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2004, 40(1) : 151-160.
- [9] Wu J G. *Landscape-pattern, Process, Scale and Grade*. Beijing: Higher Education Press, 2000.
- [10] Chen L D, Fu B J. Analysis of impact of human activity on landscape structure in Yellow River Delta — A case study of Dongying region. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 22(4) : 116-120.
- [11] Li X Y, Zhang S W. Analysis on the dynamic trend of ecological security in the west part of Jilin Province, China based on the landscape structure. *Arid Zone Research*, 2005, 22(1) : 57-62.
- [12] Chen P, Pan X L. Ecological risk analysis of regional landscape in inland river watershed of arid area — a case study of Sangong River Basin in Fukang. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(4) : 116-120.
- [13] Manfred W B. The landscape-ecology risk information system for Namiliaconcept, methodology and examples of application. *Applied Geography and*

- Development, 1999, 53(Z3) : 7-25.
- [14] Xu X G, Lin H P, Fu Z Y, Bu R C. Regional ecological risk assessment of wetland in the Huanghe River Delta. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2001, 37(1) : 111-120.
- [15] Li X H, Li J Y. Analysis on regional landscape ecological risk based on GIS — a case study along the lower reaches of the Weihe River. *Arid Zone Research*, 2008, 25(6) : 899-902.
- [16] Wang J Y, Zhao G X, Du C X. Analysis on the regional ecological environment vulnerability based on the information of spatial structure of landscapes — a case study in Kenli country located in the Yellow River Delta. *Arid Zone Research*, 2005, 22(3) : 317-321.
- [17] Xie H L. Regional eco-risk analysis of based on landscape structure and spatial statistics. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10) : 5020-5026.
- [18] Fu Z Y, Xu X G. Regional Ecological risk assessment. *Advance in Earth Sciences*, 2001, 16(2) : 267-271.
- [19] Zang S Y, Liang X, Zhang S C. GIS-based analysis of ecological risk on land-use in Daqing City. *Journal of Natural Disasters*, 2005, 14(4) : 141-145.
- [20] Jing Y P, Zhang S W, Li Y. Ecological risk analysis of rural-urban ecotone based on landscape structure. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(2) : 229-234.
- [21] Yue W Z, Xu J H, Xu L H, Dan W Q, Mei A X. Spatial variance characters of urban synthesis pattern indices at different scales. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11) : 2053-2059.
- [22] Wang B, Wang Y Z, Li D M, Gao Y F, Mao R Z. Spatial variability of farmland heavy metals contents in Qianan City. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(8) : 1495-1500.
- [23] Zhang Y M, Mao R Z, Hu C S, Zhang J B, Zhu A N. Spatial variability of farmland soil nutrients at Taihang piedmont. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(11) : 2049-2054.
- [24] Jia D. *Landscape Ecological Risk Assessment and Landscape Pattern Optimization in Yanqing Sandstorm Region*. Beijing: Beijing Forestry University, 2009.
- [25] Wu X W, Yan L M. Setting parameters and choosing optimum semivariogram models of ordinary kriging interpolation — a case study of spatial interpolation to January average temperature of Fujian province. *Geo-Information Science*, 2007, 9(3) : 104-108.
- [26] Zeng H D. Application of digital terrain information and geostatistics to forest spatial pattern analysis — a case on Wuyi Mt. Area. *Geo-Information Science*, 2005, 7(2) : 82-88.
- [27] Li X, Cheng G D, Lu L. Comparison of spatial interpolation methods. *Advances in Earth Science*, 2000, 15(3) : 260-265.

参考文献:

- [1] 卢宏玮, 曾光明, 谢更新, 张硕辅, 黄国和, 金相灿, 刘鸿亮. 洞庭湖流域区域生态风险评价. *生态学报*, 2003, 23(12) : 2520-2530.
- [2] 李国旗, 安树青, 陈兴龙, 张纪林, 张久海, 谈健康, 朱学雷. 生态风险研究评述. *生态学杂志*, 1999, 18(4) : 57-64.
- [6] 王娟, 崔保山, 刘杰, 姚华荣, 翟红娟. 云南澜沧江流域土地利用及其变化对景观生态风险的影响. *环境科学学报*, 2008, 28(2) : 269-277.
- [7] 曾辉, 刘国军. 基于景观结构的区域生态风险分析. *中国环境科学*, 1999, 19(5) : 454-457.
- [8] 彭建, 王仰麟, 刘松, 吴建生, 李卫锋. 景观生态学与土地可持续利用研究. *北京大学学报: 自然科学版*, 2004, 40(1) : 151-160.
- [9] 邬建国. *景观生态学——格局、过程、尺度与等级*. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [10] 陈立顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析——以山东省东营市为例. *生态学报*, 1996, 22(4) : 116-120.
- [11] 李晓燕, 张树文. 基于景观结构的吉林西部生态安全动态分析. *干旱区研究*, 2005, 22(1) : 57-62.
- [12] 陈鹏, 潘晓玲. 干旱区内陆流域区域景观生态风险分析——以阜康三工河流域为例. *生态学杂志*, 2003, 22(4) : 116-120.
- [14] 许学工, 林辉平, 付在毅, 布仁仓. 黄河三角洲湿地区域生态风险评价. *北京大学学报: 自然科学版*, 2001, 37(1) : 111-120.
- [15] 李谢辉, 李景宜. 基于 GIS 的区域景观生态风险分析——以渭河下游河流沿线区域为例. *干旱区研究*, 2008, 25(6) : 899-902.
- [16] 王介勇, 赵庚星, 杜春先. 基于景观空间结构信息的区域生态脆弱性分析——以黄河三角洲垦利县为例. *干旱区研究*, 2005, 22(3) : 317-321.
- [17] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析. *生态学报*, 2008, 28(10) : 5020-5026.
- [18] 付在毅, 许学工. 区域生态风险评价. *地球科学进展*, 2001, 16(2) : 267-271.
- [19] 贾淑英, 梁欣, 张思冲. 基于 GIS 的大庆市土地利用生态风险分析. *自然灾害学报*, 2005, 14(4) : 141-145.
- [20] 荆玉平, 张树文, 李颖. 基于景观结构的城乡交错带生态风险分析. *生态学杂志*, 2008, 27(2) : 229-234.
- [21] 岳文泽, 徐建华, 徐丽华, 谈文琦, 梅安新. 不同尺度下城市景观综合指数的空间变异特征研究. *应用生态学报*, 2005, 16(11) : 2053-2059.
- [22] 王波, 王元仲, 李冬梅, 高云凤, 毛任钊. 迁安市农田重金属含量空间变异性. *应用生态学报*, 2006, 17(8) : 1495-1500.
- [23] 张玉铭, 毛任钊, 胡春胜, 张佳宝, 朱安宁. 华北太行山前平原农田土壤养分的空间变异性分析. *应用生态学报*, 2004, 15(11) : 2049-2054.
- [24] 贾丹. 延庆风沙区景观生态风险评价及景观格局优化. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [25] 吴学文, 晏路明. 普通 Kriging 法的参数设置及变异函数模型选择方法——以福建省一月均温空间内插为例. *地球信息科学*, 2007, 9(3) : 104-108.
- [26] 曾宏达. 基于 DEM 和地统计的森林资源空间格局分析——以武夷山山区为例. *地球信息科学*, 2005, 7(2) : 82-88.
- [27] 李新, 程国栋, 卢玲. 空间内插方法比较. *地球科学进展*, 2000, 15(3) : 260-265.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 12 June ,2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture	LI Hao, CAI Yunlong, CHEN Ruishan, et al (3255)
The effect of dispersal on the population dynamics of a host-parasite system in fragmented landscape	SU Min (3265)
The effect of spatial scales on wetland functions evaluation: a case study for coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province	OU Weixin, YE Lifang, SUN Xiaoxiang, et al (3270)
Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) seedlings	FAN Houbao, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, et al (3277)
The water conservation study of typical forest ecosystems in the forest transect of eastern China	HE Shuxia, LI Xuyong, MO Fei, et al (3285)
The ecological responses of <i>Pinus tabulaeformis</i> forests in Taiyue Mountains of Shanxi to artificial Harvesting	GUO Donggang, SHANGGUAN Tieliang, BAI Zhongke, et al (3296)
The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil	ZHANG Huanjun, YU Hongyan, DING Weixin (3308)
Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China	HE Caimei, WEI Daqiao, LI Haiyan, et al (3315)
Seedling recruitment in desert riparian forest following river flooding in the middle reaches of the Tarim River	ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, LU Lei, et al (3322)
Scaling up for transpiration of <i>Pinaceae schrenkiana</i> stands based on 8hm permanent plots in Tianshan Mountains	ZHANG Yutao, LIANG Fengchao, CHANG Shunli, et al (3330)
Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert	ZHOU Xiaobing, ZHANG Yuanning, TAO Ye, et al (3340)
Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of <i>Iris lactea</i> var. <i>Chinensis</i>	YUAN Haiyan, GUO Zhi, HUANG Suzhen (3350)
Effects of temperature and sap flow velocity on CO ₂ efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China	WANG Xiuwei, MAO Zijun, SUN Tao, et al (3358)
The soil seed bank of <i>Eupatorium adenophorum</i> along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China	TANG Yingyin, SHEN Youxin (3368)
Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method	PENG Huanhua, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (3376)
The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River	ZHAO Chengzhang, ZHOU Wei, WANG Keming, et al (3384)
Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn	PANG Ke, YAO Jinxian, WANG Hao, et al (3391)
Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China	WANG Yu, LIN Mao, CHEN Xingqun, et al (3399)
Effect of bank type on fish biodiversity in the middle-lower reaches of East Tiaoxi River, China	HUANG Liangliang, LI Jianhua, ZOU Limin, et al (3415)
Study on dynamic changes of soil and water loss along highway based on RS/GIS: an example of Yujing expressway	CHEN Aixia, LI Min, SU Zhixian, et al (3424)
The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment	HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (3432)
Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern	GAO Bin, LI Xiaoyu, LI Zhigang, et al (3441)
Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau	LI Jinchang, WANG Wenli, HU Guangyin, et al (3451)
Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and <i>Brassica sinensis</i> L.	ZHANG Yan, LUO Wei, CUI Xiaoyong, et al (3460)
GIS analysis of structural characteristics of pollution sources in irrigable farmland in Ningxia China	CAO Yanchun, FENG Yongzhong, YANG Yinlu, et al (3468)
Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean	LIU Yan, ZHOU Xunbo, CHEN Yuhai, et al (3478)
<i>In situ</i> study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin	TAN Deshui, JIANG Lihua, ZHANG Qian, et al (3488)
Effects of AM fungi on leaf photosynthetic physiological parameters and antioxidant enzyme activities under low temperature	LIU Airong, CHEN Shuangchen, LIU Yanying, et al (3497)
Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress	PENG Xiangyong, SONG Min (3504)
Review and Monograph	
The horizon scanning technology and its application prospect in Ecology	HU Zimin, LI Jingjing, LI Wei, et al (3512)
Scientific Note	
The gas exchange characteristics of four shrubs on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (3522)
Effect of DEM data at different scales on the accuracy of forest Ecological Classification system	TANG Lina, HUANG Juecong, DAI Limin (3531)
Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province	JIA Yongzheng, HU Haibo, ZHANG Jiayang (3537)
Effects of exotic species slash pine (<i>Pinus elliottii</i>) litter on the structure and function of the soil microbial community	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3543)
The carbon emission analysis of Shenzhen Metro	XIE Hongyu, WANG Xixiang, YANG Muzhuang, et al (3551)

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

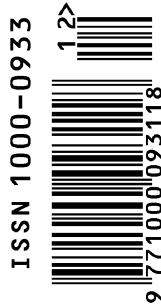
编辑部主任 孔红梅

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 12 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 12 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@ 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