

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性·····	王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征·····	冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析·····	薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护·····	刘吉平,吕宪国 (5894)
江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 ·····	王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度·····	朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 ·····	林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划·····	李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素·····	周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式·····	韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子·····	李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响·····	蓝文陆 (5970)
万仙山油松径向生长与气候因子的关系 ·····	彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 ·····	高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性·····	王亚婷,范连连 (5992)
遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响·····	刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响·····	韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应·····	王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 ·····	吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性·····	蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化·····	赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性·····	杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较·····	张继义,赵哈林 (6060)
滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应·····	单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联·····	赵成章,任 珩 (6080)
延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 ·····	龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 ·····	王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 ·····	杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响·····	张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
锌对两个品种茄子果实品质的效应·····	王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
Cd ²⁺ 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 ·····	钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 ·····	薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd^{2+} 的生物吸附特性	李维焕,孟 凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子	苏玉萍,林 慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用	杨瑶君,刘 超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响	何 超,孟泉科,花 蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响	汪 洋,王 刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变	程 琳,李 锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例	赵 丹,李 锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例	张 勃,刘秀丽 (6251)
专论与综述	
孤立湿地研究进展	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型	孙 军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展	文 娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展	白 杨,黄宇驰,王 敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



封面图说: 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

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

张小飞,王如松,李正国,李锋,吴健生,黄锦楼,于盈盈. 城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例. 生态学报, 2011, 31(20): 6204-6214.

Chang H F, Wang R S, Li Z G, Li F, Wu J S, Huang J L, Yu Y Y. Comprehensive assessment of urban ecological risks: the case of Huaibei City. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 6204-6214.

城市综合生态风险评价 ——以淮北市城区为例

张小飞¹, 王如松¹, 李正国², 李 锋^{1,*}, 吴健生³, 黄锦楼¹, 于盈盈¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室, 北京 100081; 3. 北京大学深圳研究生院, 深圳 518055)

摘要:城市面临复杂的生态风险, 为了保障城市安全, 需要对单一灾害或污染源的生态风险评估结果进行整合。基于城市复合生态系统特性, 将当前城市地域常见的生态风险区分为自然灾害、环境污染及生态退化等 3 种主要类型, 以土地利用单元作为风险受体, 整合自然、人文、景观及环境因子, 在现有生态风险评价研究方法基础上, 构建了城市综合生态风险评价的空间分析框架。研究中选择淮北市城区作为研究区, 针对研究区内存在的洪涝、干旱、水污染、大气污染、采煤塌陷及生态服务降低等生态风险类型, 定量评价其空间差异, 并提出相应的风险防范措施。案例分析结果表明, 研究区综合生态风险较高的区域包括龙河、岱河、龙岱河与闸河等过境河流流经塌陷密集带的河段, 北湖、东湖、中湖及南湖等人工湖泊沿岸, 化家湖湖岸, 及土型、新蔡、北杨新杨煤矿及其外围地区。由降低生态风险保障城市生态安全角度, 在未来城市的整体规划中, 建议结合城市外围绿地与城市内部的高风险区域, 划定禁建或限建区域, 共同构建淮北城市生态风险防范的空间结构。

关键词:城市生态系统; 综合生态风险; 土地利用类型; 淮北市

Comprehensive assessment of urban ecological risks: the case of Huaibei City

CHANG Hsiaofei¹, WANG Rusong¹, LI Zhengguo², LI Feng^{1,*}, WU Jiansheng³, HUANG Jinlou¹, YU Yingying¹

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

2 Key Laboratory of Resources Remote Sensing and Digital Agriculture, Ministry of Agriculture (MOA), Beijing 100081, China

3 Graduate School of Shenzhen, Peking University, Shenzhen 518055, China

Abstract: Ecological risk is defined as the probability that a specific population, landscape, or ecosystem in a dangerous environment has its health, productivity, hereditary features, or economic and aesthetic values affected. Various and complex ecological risks occur widely in urban ecosystem. Conventional assessments for single types of ecological risks are not comprehensive enough to evaluate the degree of ecological risk, and are also unsuitable to meet the multiple needs of sustainable urban development and management. In this paper, a research framework has been formulated to evaluate urban ecological risks spatially and more comprehensively. The framework has five steps: identification of potential risk types, selection of influential factors, exposure analysis, effect analysis, and putting forward of mitigation measures.

First, three primary kinds of ecological risks, including natural disasters, environmental pollution, and ecological degeneration are considered. Selecting factors of the natural environment, social economy, landscape, and pollution would be used to explain the influence of spatial characteristics. Exposure analysis showed frequency, range, and duration of each risk based on the weather record, Annual Report of Environment Quality, and other statistical data from government

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(973 计划)(2010CB951502); 国家自然科学基金重点项目(71033005); 国家自然科学基金项目(41001381); “十一五”国家科技支撑计划项目(2007BAC28B04)

收稿日期: 2011-06-21; 修订日期: 2011-07-11

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

departments.

The effect analysis integrated the results of exposure degree, effect of environmental factors, and degree of vulnerability. Degree of vulnerability depends on risk object characteristics. Land use unit is suitable to be the object for illustrating the degree of risk influence directly and linking with urban planning. Considering function and land cover, land use types would be categorized as high density building area, medium density building area, low density building area, traffic land, forest land, grassland, cultivated land, garden land, water, and unused land.

The urban core area of Huaibei city has been chosen to test this framework. Major ecological risks in Huaibei include flood, drought, water pollution, air pollution, land subsidence, and ecological service degradation. Single and comprehensive ecological risk degrees have been calculated. Based on these, spatial strategies of urban ecological planning are proposed that incorporate these assessment results. Three risk levels were recognized in this study area by our comprehensive ecological risk assessment. In high risk areas land use for urban expansion and construction should be limited in future planning, vegetation cover should be restored, and climate change and environmental quality should be monitored to protect the urban ecological environment and the lives and health of human beings. Medium risk areas require a different building code for each risk category when building and constructing to ensure the safety of infrastructure such as traffic, energy, and water. Furthermore, an environmental impact assessment should be undertaken and approved to guide building. High density development should be limited to low risk areas, although the need for land use management after planning remains.

The framework of comprehensive ecological risk assessment integrated different risks of natural disasters, environmental pollution, and ecological degeneration. Land use units have been used as the risk objects and which can be directly used as the ecological background for urban planning in the future. Also, it is simple to adjust when land use changes, and when different planning scenarios require new decisions. Furthermore, it can highlight spatial variation of ecological risks and make suggestions for efficient mitigation. There are still some difficulties in the study, i. e. the considerations of the degree of vulnerability are complicated, and have to integrate the opinions of experts, local residents, and governments. For governments, the degree of vulnerability is linked with financial expenditure; for residents, it depends on the safety of life and belongings; and for different experts, it involves natural capital, environmental quality, human health, and so on.

Key Words: urban ecosystem; comprehensive ecological risks; landuse types; Huaibei City

生态风险是生态系统暴露在某种危险环境状态下的可能性,指一个种群、生态系统或整个景观的正常功能受外界胁迫,从而在目前和将来破坏或减小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]。生态风险评价是定量化的评估发生生态环境灾害的机率^[2-5]。目前生态风险评价涉及层面相当广泛,有从个别产业角度,探讨农业、矿产、旅游等开发对环境影响,例如农药使用对水系及土壤的影响范围^[6],开矿产生的重金属污染对周围土壤与植被的破坏^[7],旅游开发对社会、经济及自然生态带来的冲击^[8];有从规划角度,探讨不同情景方案带来景观及区域土地利用结构的改变,例如不同的道路网络方案对森林、冠丛、耕地产生的影响^[9];或由城市环境角度,分析发展与建设带来的环境污染,例如城市交通废气产生的重金属残留^[10]。随着风险源的复杂性与影响范围在空间上的重合性,风险的分析也扩展至多风险、多受体的领域,例如孙洪波等便以人类活动为切入点,建立经济快速发展地区,土地利用活动驱动下的综合生态风险评价^[11]。

全球暖化与气候变化是当前生态、环境、城市规划乃至产业发展等领域研究的热点问题^[12-13],其衍生的风险防范与适应研究更是上述领域的重要议题。城市涵盖了全球主要的人口,其应对各项风险的能力将影响国家、区域乃至人类的未来发展。防灾与减灾是缓解风险影响的重要内容,城市所面临的风险已不仅仅为单一的自然灾害,也有可能并发环境污染与生态退化,对人类生存健康带来影响,因而对可能的灾害风险进行

综合评估尤为重要。

本研究针对城市面临的风险类型,将不同土地利用单元作为风险受体,整合自然、人文、景观及环境因子,在现行生态风险评价方法基础上,构建城市综合生态风险空间评价方法。研究选择淮北市城区作为研究区,通过对区内不同生态风险空间差异的定量评价,进而判定城市发展所面临的高风险区域,为城市规划与风险管理提供参考依据。

1 城市生态风险

城市生态系统是由社会、经济及自然子系统所构成,子系统功能的健全直接影响城市运转,同时由于子系统结构及功能差异,在面对生态风险时产生的影响也不相同。由于城市生态系统的特殊性,其所面临的生态风险也与其它生态系统有所不同,一方面由城市发展角度,来自气候、地质灾害的风险,对城市建设带来一定的限制;另一方面,随着人口与产业的集聚,开发建设也对城市影响范围的环境带来冲击,进而威胁人居环境及人类健康^[14-15]。在经营管理与空间规划的过程中,除了各别风险的防范,同时也须对不同的风险进行综合的分析与对策研拟。基于风险来源的差异,可将城市生态系统所面临的风险类型分为自然灾害风险、环境污染风险及生态功能与服务退化风险三种主要类型。自然灾害风险会因所处地域不同而有所差异,在沿海地区最常受到洪水、台风、海啸、风暴潮、泥石流等自然灾害袭击^[16-18]。环境污染风险中以工农业产生的废物对城市环境的影响最为严重,工业油污、化学及金属物质将造成空气、土壤与水源污染,将对人体产生长期影响并危害后代健康^[19]。随着城市空间扩展与资源开发利用,人类经济、社会活动改变区域物质能量流,进而影响区域生态过程,造成生态退化的结果,包括残留自然区域的破碎化及孤立化^[20],局地与区域气候变化等问题^[21-23]。

2 城市综合生态风险评价方法

有鉴于城市发展对风险管理的迫切性,及目前多数生态风险缺乏实测或可空间化的数据可提供城市经营与规划参考,本研究在国内外生态风险评价研究基础上,整合自然因子、社会经济因子与土地利用特征,提出城市综合生态风险评价空间分析方法(图1),尝试结合GIS的空间分析功能,对城市综合生态风险发生概率进行空间定量评价。

在风险受体的选择上,由于不同的单元对于风险的脆弱程度各有不同,因此在风险受体的选择上,需能直观反应其受风险影响的程度并与城市功能有直接联系。城市土地利用单元可满足上述条件,并能直接指导城市空间的未来发展,因此本研究选择其作为生态风险受体。

在风险类型识别的基础上,城市生态风险分析包括因子分析、暴露分析、影响分析。其中因子分析是对个别风险影响因子的判别,不同的风险性质,遭遇不同自然环境、社会经济状态、景观格局、城市环境等空间特征,将造成不同的影响结果。暴露分析是通过气象、环境及其它相关报告及数据进行整理,以获得个别风险发生频率、影响范围及持续时间的信息。影响分析则是通过整合暴露分析结果与受体脆弱程度,量化不同风险在空间上的影响程度。

本研究单一风险影响的计算公式为:

$$RISK = EF \times VD \quad (0 \leq EF \leq 1) \quad (0 \leq RISK \leq 10) \quad (1)$$

式中, EF 为环境影响因子, VD 为不同土地利用类型的脆弱程度。 EF 是通过相关的影响因子进行空间分析所得,为使不同风险间具有一定的可比性, EF 值经过标准化处理,在此将其值设定为0至1之间。不同土地利用类型的脆弱程度(VD)则依据不同土地利用类型对风险的脆弱程度进行打分,本研究中,将土地利用分为10类,脆弱度最高者为10,最低者为1。

综合生态风险(Comprehensive Ecological Risk, CER)发生概率则为标准化后单一生态风险发生概率的总和,计算公式为:

$$CER = \sum OF \times EF \times VD \quad (0 \leq EF \leq 1) \quad (2)$$

式中, OF 为风险发生频率,其具体取值可从城市统计及环境质量报告中获得。整合单一风险发生概率的计

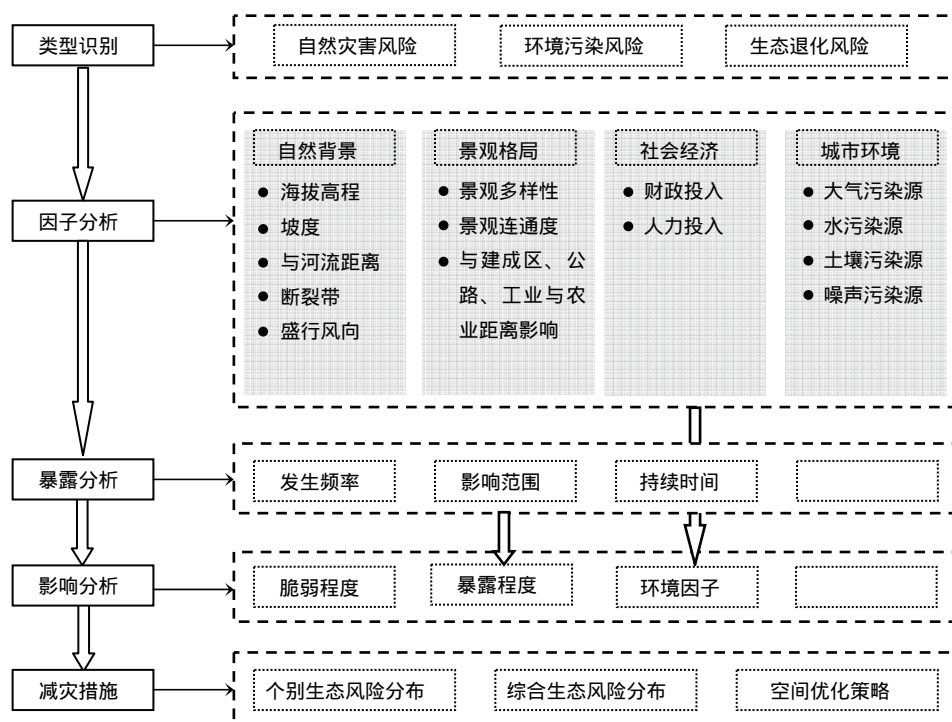


图1 城市综合生态风险评价研究框架

Fig.1 Framework of comprehensive urban ecological risk assessment

算结果可获得研究区综合风险的空间分布差异分析,判断城市的高风险区域,并针对其原因制定风险防范方案与城市发展的保障措施。

2.1 自然灾害风险

在自然风险影响因子分析时,除了与风险源的距离,需综合考虑坡度、海拔高度、降雨分布、低温分布、季节风向、断裂带等区域自然特性的影响。在风险受体脆弱程度的判定中,自然灾害主要影响居民生命财产和社会经济活动,例如洪涝、干旱、冻害等主要造成农作物损失,地震、泥石流则对建筑物、交通等造成伤害,因此在进行脆弱性的判定时,需依据风险的差异进行评估。

2.2 环境污染风险

在环境污染风险分析时,除了与风险源的类型,包括工业污染源、农业污染源、大气污染源等,尚需综合考虑影响污染扩散的因素,例如季节风向、水流方向。进行脆弱性的判定时,除了受污染直接影响的区域,同时需考虑对人体健康及人居环境的影响。以水污染为例,水体及水生物种受影响程度最大,其次则是受污染水体间接影响的区域。

2.3 生态退化风险

进行开发建设风险分析时,主要考虑开发行为的强度、范围和社会经济活动的影响,因子包括建成区、交通用地的密度、距离,人流、物流的空间分布。在脆弱性的判定上,则依据风险的特性有所不同,例如资源开采所造成的危害中,人居环境及自然环境的影响皆较大;而生态服务的降低则主要影响自然生态系统,间接影响人居环境。

3 案例分析

3.1 研究区概况

淮北市位于安徽省北部,为典型的资源城市,随着经济结构调整以及资源型产品供求关系的重大变化,面临经济衰退、接续产业难以发展、生态环境恶化、低收入和高失业等一系列问题^[24]。在自然条件方面,淮北地势平坦,储水排灌能力较差的特点,近50a来具有旱多涝重,旱涝交织的特点^[25]。地表水体的大面积污染,工

业的发展成为影响大气环境的主要因素,近几年降水有酸化趋势。长期以来的煤矿开采,地表大面积下沉,对原本地面上的建筑物、耕地、河流、土壤及交通带来影响。另外,城市的建设与道路的开发也对周围森林、草地、农田及水域等用地的服务功能造成冲击。本文选择淮北市主城区为研究区(图2),探讨其主要面临的旱涝、水污染、大气污染、采煤塌陷及生态服务降低等风险。计算过程中,就当前土地利用分类体系中各类用地的功能特性,整合为高密度建成区、中密度建成区、低密度建成区、交通、水域、林地、草地、耕地、园地和未利用地等类型。

3.2 自然灾害风险空间差异

根据淮北市的自然灾害发生记录(1957—2006),区内每年都发生不同程度的旱涝灾害。其中有33a持续干旱3个月以上或有持续5旬的特大旱,水涝则相对较少,其中涝灾严重的有8a^[25],旱涝灾害对淮北市经济建设的影响甚大。本研究基于用地类型及其生态特性,将淮北市土地利用现状调查数据归纳为10大类,通过专家问卷,评价主要用地类型对洪涝及旱灾风险的脆弱性,以判断其受影响程度的差异,其中脆弱性最高者为10分(表1)。

(1) 洪涝(Flood, F) 风险

选择高程(Elevation, ELE)及与河流距离(Distance to River, DtR)两个因子,说明研究区洪涝风险的空间差异(图3a)。计算公式如下:

$$RISK_F = EF_F \times VD_F$$
$$EF_F = 1 / (ELE \times DtR) \quad (0 \leq EF_F \leq 1)$$

表1 淮北市自然灾害风险下主要用地类型的脆弱程度

Table 1 Vulnerability degree of major land use type under natural disaster in Huaibei

风险类型 Risk type	建成区 Building area			交通用地 Traffic land	林地 Forest land	草地 Grassland	耕地 cultivated land	园地 Garden Land	水体 Water	未利用地 Unused land
	高密度 High density	中密度 Middle density	低密度 Low density							
洪涝风险 Flood	8	7	6	5	2	3	10	9	1	4
旱灾风险 Drought	4	3	2	1	8	7	10	9	6	5

分析结果表明,研究区潜在洪涝风险程度较高的区域位于河流沿岸及北湖、东湖、中湖及南湖等地势较低的地区。其中闸河与龙岱河间的农地受洪涝影响的可能性较高,相山东侧的高密度建成区由于地势相对较高,洪涝发生的可能性较低。为降低洪涝威胁,于未来的城市规划过程中应加强闸河与龙岱河间农田排水水渠等基础设施的建设,对洪涝威胁较大的区域进行流域全面性评估,改善农田水利;另外在北湖、东湖、中湖及南湖外围地势相对较低的区域,由于人工塌陷地并未与联外河流相接,排水能力相对较低,应避免规划高密度

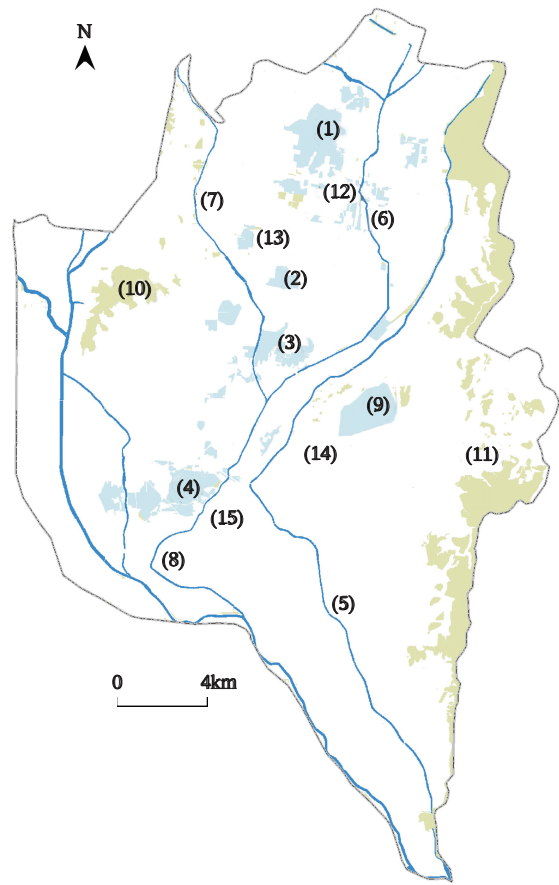


图2 淮北主城区重要地点空间位置

Fig. 2 Position of key points in the core area of Huaibei city

(1)北湖 North lake (2)东湖 East lake (3)中湖 Center lake (4)南湖 South lake (5)闸河 Zha river (6)龙河 Long river (7)岱河 Dai river (8)龙岱河 Longdai river (9)化家湖 Huajia lake (10)相山 Xiang mountain (11)龙脊山 Long Ji mountain (12)朔里 Shuoli (13)房庄 Fangzhuang (14)土型 Tuxing (15)列山 Lieshan

建成区。

(2) 旱灾(Drought, D) 风险

本研究选择高程因子(ELE)与汇水面积(Area of Water Accumulation, AWA)两个因子,说明研究区旱灾风险的空间差异(图 3b)。计算公式如下:

$$RISK_D = EF_D \times VD_D$$

$$EF_D = ELE / AWA \quad (0 \leq EF_D \leq 1)$$

分析结果表明,从自然地势与水文条件因素考虑,研究区范围内以西侧相山及东侧老龙脊、大太山、鹰山等高程高于 120m 的区域发生干旱的可能性较高。从不同用地对水资源的依赖角度考虑,在农业发展上,闸河与龙岱河间的耕地地势平坦,需水量大且不易储水,受干旱的威胁较大;在城市中心区,目前的居民生活饮用水水源主要仰赖地下水供给,并无立即的威胁,但就未来长远的城市发展,人口与产业成长势必带来水资源需求的增加。在未来规划上,建议结合产业与人口方案,妥善规划东湖、南湖等较大面积人工湖泊,一方面提高城市生态环境质量,另一方面也为城市发展提供一定的水资源储备与调节。

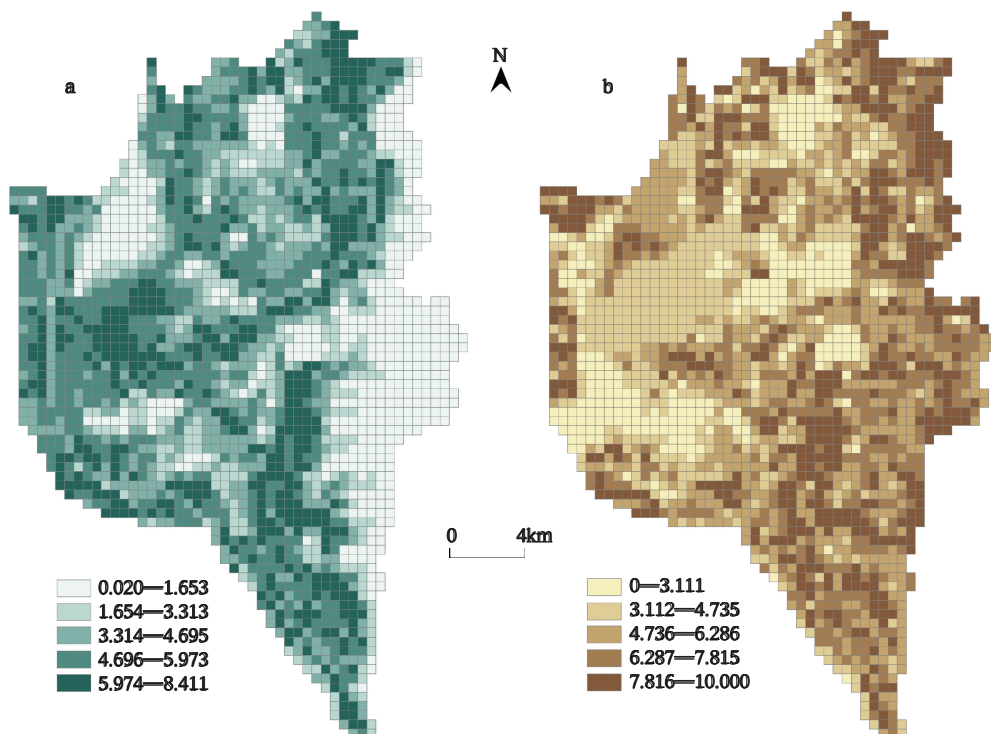


图 3 洪涝风险程度(a)与干旱风险程度(b)空间分布(0—10,无量纲)

Fig. 3 Spatial distribution of risk degree of flood (a) and drought (b) (0—10, dimensionless)

3.3 环境污染风险空间差异

淮北市环境污染风险类型主要为水污染及大气污染两类。本研究基于用地类型及其生态特性,通过专家问卷,评价主要用地类型对水污染及大气污染风险的脆弱性,以判断其受影响程度的差异,其中脆弱性最高者为 10 分(表 2)。

(1) 水污染(Water pollution, WP) 风险

本研究选择水体密度(Density of Wetland, DoW)、工业区密度(Density of Industry, DoI)、农业用地密度(Density of Cropland, DoC)、建成区密度(Density of Residence, DoR)因子,说明研究区水污染风险的空间差异(图 4a)。计算公式如下:

$$RISK_{WP} = EF_{WP} \times VD_{WP}$$

$$EF_{WP} = DoW \times (DoI + DoC + DoR) \quad (0 \leq EF_{WP} \leq 1)$$

表2 淮北市环境污染风险下主要用地类型的脆弱程度

Table 2 Vulnerability degree of major land use type under environmental pollution in Huaibei

风险类型 Risk type	建成区 Building area			交通用地 Traffic land	林地 Forest land	草地 Grassland	耕地 cultivated land	园地 Garden land	水体 water	未利用地 Unused land
	高密度 High density	中密度 Middle density	低密度 Low density							
水污染风险 Water pollution	5	4	3	1	9	8	7	6	10	2
大气污染风险 Air Pollution	10	9	8	1	7	4	5	6	3	2

分析结果表明,研究区水污染风险的来源主要来自工业区、采矿及部分的农业化学药物的使用,其中龙河北部与闸河及岱河的土楼至列山区段间,由于煤矿开采密集,对水资源质量造成威胁,岱河北部受工业发展影响较大,而西山至王庄段间的闸河水质则受两侧农业活动的影响较大。在未来城市发展规划中,为降低水污染风险,除发展低污染产业,推广有机农业外,亦应加强污水处理厂等基础设施的建设,以降低城市生活污水、工业污水对区域水质带来的影响。

(2) 大气污染(Air Pollution, AP) 风险

本研究选择交通路线密度(Density of Traffic Lines, $DoTL$)、工业区密度(Density of Industry, DoI)、距工业区距离(Distance to Industry, DI)、距交通路线距离(Distance to Traffic Lines, $DtTL$),说明研究区大气污染风险的空间差异(图4b)。计算公式如下:

$$RISK_{AP} = EF_{AP} \times VD_{AP}$$

$$EF_{AP} = (DoTL + DoI) / (DtTL + DI) \quad (0 \leq EF_{AP} \leq 1)$$

分析结果表明,研究区大气污染风险较大的区域主要位于相山西侧的城市中心区、工业区及朔里等煤矿及其周边区域。淮北市环境空气的首要污染物是颗粒物,大量土地季节性裸露,在一定气象条件下,造成自然扬尘,污染环境空气。加上淮北属能源型城市,许多矿山位于市区周围,且市区的各类锅炉均以燃煤为主,煤矸石电厂与工业污染所产生的二氧化硫也对研究区的大气环境造成污染。城市的快速发展,许多老企业位于市区,也是造成环境空气污染的主要因素。在未来的城市发展规划上,建议逐步转移污染及相对落后的产业,并对城市电力及热力订定长期发展方案,转变高污染的生产方式,提高区域整体环境质量。

3.4 生态退化风险空间差异

淮北市生态退化风险主要包括采煤塌陷和生态服务降低等两类。本研究基于用地类型及其生态特性,通过专家问卷,评价主要用地类型对采煤塌陷与生态服务降低的脆弱性,以判断其受影响程度的差异,其中脆弱性最高者为10分(表3)。

表3 淮北市生态退化风险下主要用地类型的脆弱程度

Table 3 Vulnerability degree of major land use type under ecological degradation in Huaibei

风险类型 Risk type	建成区 Building area			交通用地 Traffic land	林地 Forest land	草地 Grassland	耕地 Cultivated land	园地 Garden land	水体 Water	未利用地 Unused land
	高密度 High density	中密度 Middle density	低密度 Low density							
采煤塌陷 Mining Siding	10	7	6	8	3	2	5	4	9	1
生态服务降低 Ecological service degrading	4	3	2	1	9	8	6	7	10	5

(1) 采煤塌陷(Mining Siding, MS) 风险

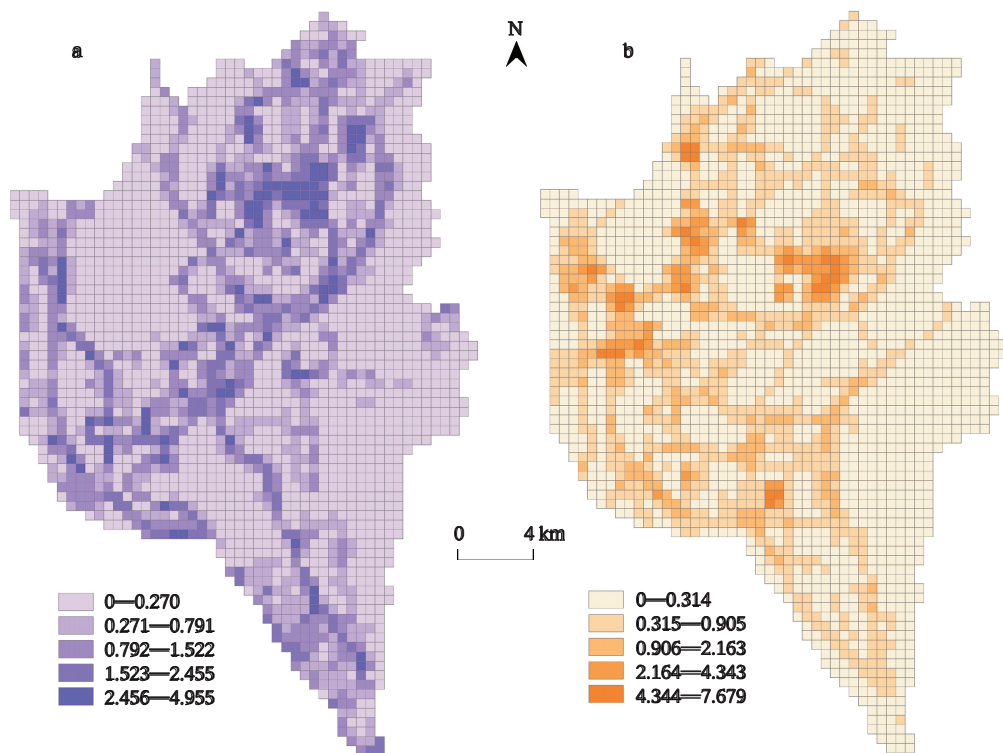


图4 水污染风险程度(a)与大气污染风险程度空间分布(b)(0—10,无量纲)

Fig. 4 Spatial distribution of risk degree of water pollution (a) and air pollution (b) (0—10, dimensionless)

淮北矿区是我国重要的十大煤炭生产基地之一,长期以来因采煤塌陷引起地貌变形、房屋倒塌、生态环境恶化等灾害,严重影响了当地工农业生产和居民生活。本研究在塌陷范围的基础上,选择距塌陷区距离(Distance to Subsiding Area, $DtSA$)说明研究区采煤塌陷(Mining Siding, MS)风险的空间差异(图5a)。计算公式如下:

$$RISK_{MS} = EF_{MS} \times VD_{MS}$$

$$EF_{MS} = 1/DtSA \quad (0 \leq RD_{MS} \leq 1)$$

分析结果表明,研究区塌陷风险较高的区域位于北湖、东湖、中湖及南湖及其外围地区构成的连片带状区域,虽距离城市中心区较远,但对于带状区域上的农村居民点及农地仍带来较大的影响。部分煤矿仍会造成新的塌陷,产生更大面积迫切需要进行修复的土地。目前政府已对现有的塌陷土地进行补偿与修复,但仍存在部分塌陷形成水面和沼泽地。由于区内水系、交通、植被、土壤系统遭到破坏,生态环境和生产条件恶化,土地效益低下,在未来城市规划中,建议将城市道路两侧的塌陷地复垦治理为建设用地,可提升土地利用效益并对城市未来发展提供一定的基础,而在人工湖外围的塌陷地,则建议结合人工湿地的整体规划,在保障生态服务功能的前提下,有条件的进行经济开发。

(2) 生态服务降低(Ecological Service Degrading, ESD)

生态服务的降低来自人为活动对自然生态系统的影响,在空间上主要为城市建设对自然用地的侵占,因而通过建设用地增长方式预测,可反推生态服务退化的强度与空间位置。本研究选择距建成区距离(Distance to Residence, DtR)、距交通路线距离($DtTL$)、距工业区距离(Distance to Industry, DtI)说明研究区生态服务降低风险的空间差异(图5b)。计算公式如下:

$$RISK_{ESD} = EF_{ESD} \times VD_{ESD}$$

$$EF_{ESD} = DtR + DtTL + DtI \quad (0 \leq RD_{ESD} \leq 1)$$

分析结果表明,研究区生态服务降低风险较高的区域集中于东北至西南的塌陷带,包括龙河、岱河、龙岱河等过境河流,东湖、中湖至南湖间零星的森林、园地及大面积农地,另外化家湖及其外围山体也由于道路的开发对自然生态环境带来一定的影响。在西北部也由于城市区的扩展,面对较大的生态服务降低风险。在未来的城市发展规划中,为保障区域良好的生态环境与经济发展,建议结合研究区及外围山水资源、生态环境与城市建设需求进行综合评价,明确生态控制范围,以确保生态服务功能,平衡发展与保育的冲突。

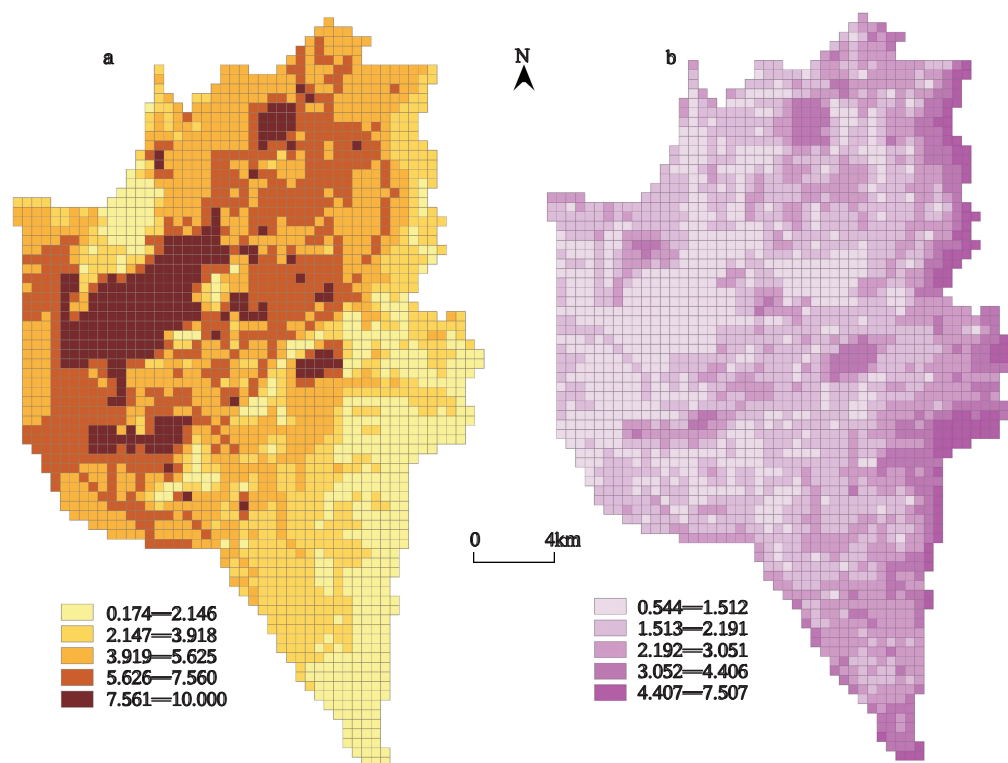


图5 地表塌陷风险程度(a)与生态服务退化风险程度(b)的空间分布(0—10,无量纲)

Fig. 5 Spatial distribution of risk degree of land subsidence (a) and ecological service degradation (b) (0—10, dimensionless)

3.5 综合生态风险空间差异

在完成淮北市旱涝、水与大气污染、采煤塌陷及生态服务降低等典型生态风险评估的基础上,分析其对当前土地利用的空间影响,并将不同风险的年发生频率进行空间叠加,以获得研究区综合生态风险程度的空间分布。其中,洪涝风险年平均发生概率为40%、旱灾风险年平均发生概率为66%;根据2001—2005年淮北市环境质量报告书中劣V类水质断面占25.0%,与大气污染轻微污染(Ⅲ1级)的天数占9.1%为水污染及大气污染发生概率;采煤塌陷和生态服务退化等风险主要受人为活动的影响,属于持续发生的生态风险,但由于安全管理不同,国营与私营煤矿风险发生概率存在差异,受限于数据较难获得,计算时以等概率视之。在上述单因子生态风险评价的基础上,通过标准化处理与线性加权得到综合生态风险的空间分布结果,并按风险程度划分等级(图6)。

从空间分析结果来看,研究区综合生态风险较高的区域包括龙河、岱河、龙岱河等过境河流流经塌陷密集带的河段,北湖、东湖、中湖及南湖等人工湖泊沿岸和化家湖湖岸,及土型、新蔡等煤矿及其外围地区。生态风险相对较低的区则位于西侧相山及东侧老龙脊等山体。

为减缓或降低研究区生态风险危害,在未来的土地利用规划中,建议于高度风险区域结合市域保护区规划,限制土地开发建设活动,恢复山体植被覆盖,并限制人为活动,结合气候及环境污染风险监测,以降低风险发生的影响;中度风险区域应结合主要风险类型,在建筑规范符合抵御风险标准、基础设施安全获得提升及资源能源利用获得保障的前提下,结合环境影响评估与可行性研究进行开发,以促进城市空间的有效利用;对于

低生态风险区域可适度进行高密度开发,通过土地的使用管理,保障城市功能运转。在未来城市的整体规划中,建议结合城市外围绿地与城市内部的高风险区域,划设禁建或限建区域,共同构建淮北城市生态风险防范的空间结构。

4 结论与讨论

相较于单一灾害或风险的城市生态风险评价,本研究基于城市复合生态系统特性,针对城市面临的各种生态风险类型,构建多风险的城市综合生态风险评价框架体系。研究选择土地利用斑块为受体,有利于加强城市土地管理空间优化布局与城市规划之间的联系,以期为城市空间发展提供策略依据。同时结合未来土地利用变化对评价结果进行更新,可对未来不同用地方案的选择提供科学依据。

研究选择淮北主城区作为研究区进行了案例分析,本研究所提的风险评价方法,在计算操作上仍存在深化改善的空间。首先,关于不同土地利用的脆弱程度,目前采用专家打分方法进行定量评估,未来亦可结合专家、当地居民及政府管理部门意见,对其进行进一步修正;其次,由于风险间相互作用的复杂性,目前在综合生态风险的评估分析中采用的空间叠加仍存在较大不确定性;关于实测数据与评价结果之间的联系,目前只采用简化的估算方法,在后续研究中将进行进一步补充完善。例如,研究中通过插值来反映生态风险的空间分布,但仍存在空间解释性不足的问题。受限于目前研究区数据不足,对于土地利用类型进行简化,并忽略单元内部差异,下一步计划结合研究区不同季节风向、过境水量和空气污染、水污染等更及时且动态的实测数据对风险评价结果进行修正;另外,本研究对经济效益低下、传统文化精神丧失等城市特殊风险的量化,仍未有突破,将于后续工作中尝试加以分析。另外,由于淮北市的煤矿开采主要是在地面下,其造成的塌陷区影响多种土地利用类型,且塌陷范围大过现有采矿用地面积,因此在本文的土地利用分类中并未强调采矿用地,因而较难体现淮北市资源型城市特色。

References:

- [1] Zhou Q X, Wang R S. Ecological risk assessment of urbanization processes — a case study. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(4): 337-342.
- [2] Freedman B. *Environmental Science: A Canadian Perspective*. Scarborough: Prentice Hall, 1998: 509-523.
- [3] Harwell M A, Gentile J H, Bartuska A, Harwell C C, Myers V, Obeysekera J, Ogden J C, Tosini S C. A science-based strategy for ecological restoration in South Florida. *Urban Ecosystems*, 1999, 3(3/4): 201-222.
- [4] Schweiger E W, Leibowitz S G, Hyman J B, Foster W E, Downing M C. Synoptic assessment of wetland function: a planning tool for protection of wetland species biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 2002, 11(3): 379-406.
- [5] Xu X G, Lin H P, Fu Z Y. Probe into the method of regional ecological risk assessment—a case study of wetland in the Yellow River Delta in China. *Journal of Environmental Management*, 2004, 70(3): 253-262.
- [6] Schriever C A, Liess M. Mapping ecological risk of agricultural pesticide runoff. *Science of the Total Environment*, 2007, 384(1/3): 264-279.
- [7] Li Z Q, Hou J Y, Wang J Z. Potential ecological risk assessment model for heavy metal contamination of agricultural soils in mining areas. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(5): 509-516.
- [8] Petrosillo I, Zurlini G, Grato E, Zaccarelli N. Indicating fragility of socio-ecological tourism-based systems. *Ecological Indicators*, 2006, 6(1):

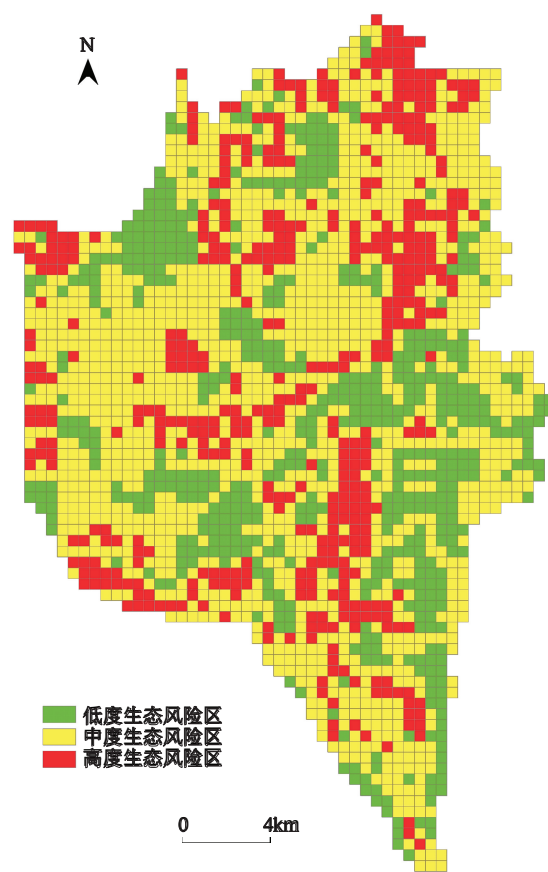


图6 综合生态风险程度空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of comprehensive ecological risk degree

104-113.

- [9] Liu S L, Cui B S, Dong S K, Yang Z F, Yang M, Holt K. Evaluating the influence of road networks on landscape and regional ecological risk — a case study in Lancang River Valley of Southwest China. *Ecological Engineering*, 2008, 34(2): 91-99.
- [10] Shi G T, Chen Z L, Wang L, Zhang J, Li H W, Xu S Y. Heavy metal pollution and the ecological risk in dust of Shanghai urban parks. *Urban Environment and Urban Ecology*, 2006, 19(4): 40-43.
- [11] Sun H B, Yang G S, Zhu T M, Su W Z, Wan R R. Assessment of land use ecological risks in rapidly developing regions: a case study on Kunshan City. *Resources Science*, 2010, 32(3): 540-546.
- [12] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Summary for Policy Makers*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [13] UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). *Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries*. 2007. [2011-05-12]. <http://unfccc.int/resource/docs/publications/impacts.pdf>.
- [14] Najem G R, Louria D B, Lavenhar M A, Feuerman M. Clusters of cancer mortality in New Jersey municipalities; with special reference to chemical toxic waste disposal sites and per capita income. *International Journal of Epidemiology*, 1985, 14(4): 528-537.
- [15] Sun X L, Fang C L. Model and application of ecological risk appraisal in the course of urbanization in arid area. *Arid Land Geography*, 2006, 29(5): 668-674.
- [16] 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.
- [17] Li X R. The main types, characteristics and countermeasures of geological hazards in coastal cities. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 1997, 8(2): 92-94.
- [18] Wu J S, Wang Y L, Nan L, Li Z G, Li L. Influence of natural disasters on urban development in Shenzhen. *Journal of Natural Disasters*, 2004, 13(2): 39-45.
- [19] Wang Z G. *Environmental Medicine*. Beijing: Peking University Medical Press, 2001: 5-7.
- [20] Song Z Q, Wang Y L. Progress in research on ecological impact of urban landscape structure. *Progress in Geography*, 2004, 23(2): 97-106.
- [21] Marzluff J M, Bowman R, Donnelly R. A historical perspective on urban bird research: trends, terms, and approaches//Marzluff J M, Bowman R, Donnelly R, eds. *Avian Ecology and Conservation in an Urbanizing World*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001: 1-15.
- [22] Zhou H M, Zhou C H, Ge W Q, Ding J C. The surveying on thermal distribution in urban based on GIS and remote sensing. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(2): 189-197.
- [23] Weng Q. A remote sensing-GIS evaluation of urban expansion and its impact on surface temperature in the Zhujiang Delta, China. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(10): 1999-2014.
- [24] Zhang R G. Economy reforming experience of resources cities and indication. *Ecological Economy*, 2008, (12): 82-84.
- [25] Zhang P, Wang F H, Wu Z L, Zhu Z. Climatic analysis of drought and flood transfer in Huaibei city. *Express Water Resources and Hydropower Information*, 2008, 29(S1): 139-140, 151-151.

参考文献:

- [1] 周启星, 王如松. 城镇化过程生态风险评价案例研究. *生态学报*, 1998, 18(4): 337-342.
- [7] 李泽琴, 侯佳渝, 王奖臻. 矿山环境土壤重金属污染潜在生态风险评价模型探讨. *地理科学进展*, 2008, 23(5): 509-516.
- [10] 史贵涛, 陈振楼, 王利, 张菊, 李海雯, 许世远. 上海城市公园灰尘重金属污染及其潜在生态风险评价. *城市环境与城市生态*, 2006, 19(4): 40-43.
- [11] 孙洪波, 杨桂山, 朱天明, 苏伟忠, 万荣荣. 经济快速发展地区土地利用生态风险评价——以昆山市为例. *资源科学*, 2010, 32(3): 540-546.
- [15] 孙心亮, 方创琳. 干旱区城市化过程中的生态风险评价模型及应用——以河西地区城市化过程为例. *干旱区地理*, 2006, 29(5): 668-674.
- [16] 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.
- [17] 李相然. 沿海城市环境地质灾害的主要类型、特点及防灾对策研究. *中国地质灾害与防治学报*, 1997, 8(2): 92-94.
- [18] 吴健生, 王仰麟, 南凌, 李正国, 李莉. 自然灾害对深圳城市建设发展的影响. *自然灾害学报*, 2004, 13(2): 39-45.
- [19] 王振刚. *环境医学*. 北京: 北京医科大学出版社, 2001: 5-7.
- [20] 宋治清, 王仰麟. 城市景观及其格局的生态效应研究进展. *地理科学进展*, 2004, 23(2): 97-106.
- [22] 周红妹, 周成虎, 葛伟强, 丁金才. 基于遥感和 GIS 的城市热场分布规律研究. *地理学报*, 2001, 56(2): 189-197.
- [24] 张汝根. 资源型城市经济转型经验及启示. *生态经济*, 2008, (12): 82-84.
- [25] 张屏, 汪付华, 吴忠连, 朱珠. 淮北市旱涝急转型气候规律分析. *水利水电快报*, 2008, 29(增刊): 139-140, 151-151.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 20 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port	WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)
Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer	FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)
Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (<i>Rhinopithecus bieti</i>) using landscape genetics	XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)
Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain	LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)
Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu	WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)
Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China	ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)
Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security: a case study of Jiansanjiang land reclamation area ...	LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)
Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern	LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)
Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province	ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)
Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)
Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau	LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)
Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts	LAN Wenlu (5970)
Response of radial growth Chinese pine (<i>Pinus tabulaeformis</i>) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province	PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)
Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China	GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)
Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute	WANG Yating, FAN Lianlian (5992)
Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant <i>Thuja sutchuenensis</i>	LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)
Effects of shading on growth and quality of triennial <i>Clematis manshurica</i> Rupr.	HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)
Allelopathic effect of extracts from <i>Artemisia sacrorum</i> leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain	WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)
Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China	WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)
Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of <i>Stipa</i> L. in alpine grassland in northern Tibet in China	CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)
Water consumption and annual variation of transpiration in mature <i>Acacia mangium</i> Plantation	ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)
Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, <i>Vitex negundo</i> var. <i>heterophylla</i> , to different light environments in the field	DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land: determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu: a FACE study	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd ²⁺	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd ²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i>	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth (Lepidoptera: Tortricidae)	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks: the case of Huaibei City	CHANG Hsiaofoei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent: a case study in Ningguo City, China	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model: a case study of Gansu Province, China	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
Review and Monograph	
A prospect for study on isolated wetland	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

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 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 20 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@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