

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第5期 Vol.33 No.5 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 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第5期 2013年3月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 氮沉降对森林土壤有机质和凋落物分解的影响及其微生物学机制 王晶苑, 张心昱, 温学发, 等 (1337)
工业大麻对重金属污染土壤的治理研究进展 梁淑敏, 许艳萍, 陈 裕, 等 (1347)
最佳管理措施评估方法研究进展 孟凡德, 耿润哲, 欧 洋, 等 (1357)
灌木年轮学研究进展 芦晓明, 梁尔源 (1367)

个体与基础生态

- 华北落叶松夜间树干液流特征及生长季补水格局 王艳兵, 德永军, 熊 伟, 等 (1375)
土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响 裴 斌, 张光灿, 张淑勇, 等 (1386)
湖北石首麋鹿昼间活动时间分配 杨道德, 李竹云, 李鹏飞, 等 (1397)
三种杀虫剂亚致死浓度对川硬皮肿腿蜂繁殖和搜寻行为的影响 杨 桦, 杨 伟, 杨春平, 等 (1405)

种群、群落和生态系统

- 三沙湾浮游动物生态类群演替特征 徐佳奕, 徐兆礼 (1413)
滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解 郭绪虎, 肖德荣, 田 昆, 等 (1425)
安徽新安江干流滩涂湿地草本植物区系及物种多样性 杨文斌, 刘 坤, 周守标 (1433)
湿地芦苇根结合好气细菌群落时空分布及其与水质因子的关系 熊 薇, 郭逍宇, 赵 霖 (1443)
三种温带树种叶片呼吸的时间动态及其影响因子 王兆国, 王传宽 (1456)
不同土壤水分条件下杨树人工林水分利用效率对环境因子的响应 周 洁, 张志强, 孙 阁, 等 (1465)
不同生态区域沙地建群种油蒿的钙组分特征 薛苹苹, 高玉葆, 何兴东 (1475)
藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落功能结构的影响 薛会英, 胡 锋, 罗大庆 (1482)
铜尾矿废弃地土壤动物多样性特征 朱永恒, 沈 非, 余 健, 等 (1495)
环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响 马 驿, 彭金菊, 王 芸, 等 (1506)
基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算 孙才志, 高 翳, 朱正如 (1513)

景观、区域和全球生态

- 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案 苏泳娴, 张虹鸥, 陈修治, 等 (1524)
不同护坡草本植物的根系特征及对土壤渗透性的影响 李建兴, 何丙辉, 谌 芸 (1535)
京沪穗三地近十年夜间热力景观格局演变对比研究 孟 舟, 王明玉, 李小娟, 等 (1545)
窟野河流域河川基流量变化趋势及其驱动因素 雷泳南, 张晓萍, 张建军, 等 (1559)
模拟氮沉降条件下木荷幼苗光合特性、生物量与 C、N、P 分配格局 李明月, 王 健, 王振兴, 等 (1569)
铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响 王维奇, 李鹏飞, 曾从盛, 等 (1578)

资源与产业生态

- 食用黑粉菌侵染对茭白植株抗氧化系统和叶绿素荧光的影响 闫 宁, 王晓清, 王志丹, 等 (1584)

- 佛手低温胁迫相关基因的差异表达 陈文荣,叶杰君,李永强,等 (1594)
美洲棘薺马对不同蔬菜寄主的偏好性 朱亮,石宝才,官亚军,等 (1607)
茉莉酸对棉花单宁含量和抗虫相关酶活性的诱导效应 杨世勇,王蒙蒙,谢建春 (1615)
造纸废水灌溉对毛白杨苗木生长及养分状况的影响 王烨,席本野,崔向东,等 (1626)
基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率 赵晨,王远,谷学明,等 (1636)

研究简报

- 太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征 周彬,韩海荣,康峰峰,等 (1645)
基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析 贾宝全 (1654)
薇甘菊萎焉病毒感染对薇甘菊光合特性和 4 种酶活性的影响 王瑞龙,潘婉文,杨娇瑜,等 (1667)
第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)
中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说:美丽的油松松枝——油松又称红皮松、短叶松。树高可达 30m,胸径达 1m。其树皮下部灰褐色,裂成不规则鳞块;针叶 2 针一束,暗绿色,较粗硬;球果卵形或卵圆形,长 4—7cm,有短柄,与枝几乎成直角。油松适应性强,根系发达,树姿雄伟,枝叶繁茂,有良好的保持水土和美化环境的功能,是中国北方广大地区最主要的造林树种之一,在华北地区无论是山区或平原到处可见,人工林很多,一般情况下在山区生长最好。在山区生长的油松,多在阴坡、半阴坡,土壤湿润和较肥沃的地方。

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/stxb201205160733

苏泳娴, 张虹鸥, 陈修治, 黄光庆, 叶玉瑶, 吴旗韬, 黄宁生, 匡耀求. 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案. 生态学报, 2013, 33(5): 1524-1534.

Su Y X, Zhang H O, Chen X Z, Huang G Q, Ye Y Y, Wu Q T, Huang N S, Kuang Y Q. The ecological security patterns and construction land expansion simulation in Gaoming. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1524-1534.

佛山市高明区生态安全格局和 建设用地扩展预案

苏泳娴^{1,2,3}, 张虹鸥^{1,*}, 陈修治^{1,2,3}, 黄光庆¹, 叶玉瑶¹, 吴旗韬¹, 黄宁生², 匡耀求²

(1. 广州地理研究所, 广州 510070; 2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州五山 510640;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 城市生态环境问题已上升到生态安全的层面。以人类生存安全和理想人居环境为目标, 基于空间数据和统计资料, 利用景观安全格局原理和地理信息系统空间分析方法, 构建了包含基本保障格局-缓冲格局-最优格局3个级别的水安全格局、地质灾害安全格局、大气安全格局、生物保护安全格局和农田安全格局, 叠加得到高明区综合生态安全格局, 在此基础上提出了高明区建设用地扩展最优方案和生态功能分区。结果显示, 并非生态安全格局水平越高, 城乡发展模式越优, 缓冲生态安全格局下的高明区建设用地扩展模式, 最可能实现生态安全保护与城镇扩展的和谐发展。综合生态安全格局明确了区域的生态环境敏感区和生态服务功能重要区, 为区域生态功能分区提供了新的思路。

关键词: 生态安全格局; 建设用地扩展预案; 生态功能分区; 佛山市高明区

The ecological security patterns and construction land expansion simulation in Gaoming

SU Yongxian^{1,2,3}, ZHANG Hong' ou^{1,*}, CHEN Xiuzhi^{1,2,3}, HUANG Guangqing¹, YE Yuyao¹, WU Qitao¹,
HUANG Ningsheng², KUANG Yaoqiu²

1 *Guangzhou Institute of Geography, Guangzhou 510070, China*

2 *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China*

3 *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*

Abstract: High intensity of human activities and inappropriate land-use modes bring an enormous pressure on the susceptible urban ecosystem. Recently, urban ecological and environmental problems have risen to the urban ecological security level in China, especially in economic-developed regions, such as the Changjiang Delta regions and Pearl River Delta regions. So, construction of a good regional ecological security pattern has become an effective means to protect the urban and rural ecological security, to create an optimum urban development mode for such regions and to control the rapid and disordered urban expansion. Aiming to protect the subsistence security of human beings and create an ideal human settlement, we firstly identified the key points (sources) and ecological processes (landscape-resistance surfaces) for the regional ecological security pattern using the landscape security pattern theory and GIS spatial analysis method on the basis of the terrain, land-use and statistical data. Then, we built five ecological security patterns (the water, geological disasters, air, the biology and the farmland safety pattern), which contain three-level security patterns such as the Basic

基金项目: 国家自然科学基金项目(41001385; 40771218); 广东省科技计划项目(2011B031100003)

收稿日期: 2012-05-16; 修订日期: 2012-12-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hozhang@gdas.ac.cn

protection ecological security, the Buffer ecological security and the Optimum ecological security pattern for each element. Next, we overlaid the five ecological security patterns and developed a comprehensive three-level ecological security patterns for Gaoming district of Foshan City. Furthermore, we simulated four urban expansion patterns separately under the Inertial urban development pattern and the three-level ecological security patterns. Results showed that the urban regions always spread along the road and the original urban regions randomly. Open spaces, such as the farmlands and woodlands, were always firstly occupied due to the disordered urban expansion under the inertial development pattern. So the ecosystem security under the Inertial urban development pattern can not be basely protected. While under the Basic, the Buffer and the Optimum ecological security patterns, the integrity and connectivity of the whole ecological system can be progressively improved and the connectivity among towns will be progressively reduced. Integrating from different simulation results, the urban development pattern of Gaoming under Buffer ecological security pattern was the best one to protect the ecological safety and meet the needs of urban expansion simultaneously. It indicated that higher level of ecological security pattern did not mean a more optimum urban and rural development model. On the basis of the Buffer ecological security pattern simulation, we then divided the region of Gaoming into three ecological zones (the ecological zone with low mountains and hills, the eastern plains ecological zone along the Xijiang River, and the tableland-valley agriculture and forestry ecological zone). We further subdivided the three ecological zones into 12 sub-ecological zones and 12 ecological function zones using the hierarchical classification method. Then, the three-level ecological function zone patterns (ecological zones, ecological sub-zones and ecological function zones) of Gaoming were finally developed. It can be clearly seen that the comprehensive ecological security pattern of Gaoming clarified the most sensitive area of the ecology and environment and the most important regions of the ecological functions. Hence, the comprehensive ecological security pattern provided a new method for regional ecological function zoning.

Key Words: ecological security pattern; construction land expansion simulation; regional ecological function zoning; Gaoming district of Foshan City

随着城市化进程的加快,高强度的人类活动和不合理的土地利用,使脆弱的城市生态环境面临巨大压力,湿地萎缩、水土流失、洪涝灾害加剧等生态环境问题上升到城市生态安全的层面。生态安全是指人类生活、生产的基本保障和来源以及适应环境变化的能力等不受威胁的状态^[1]。研究认为^[1]城市生态系统遵循景观生态学“格局-过程-功能”原则,于是城市生态安全格局逐渐成为城市生态安全研究的新视角。景观安全格局理论认为,通过景观过程模拟(如城市扩展、物种迁移、灾害扩散等),能够识别出与景观过程安全、健康有关的关键性景观元素、空间位置及联系,这些关键性景观元素、空间位置和联系所形成的格局就是生态安全格局^[2],城市生态安全格局就是城市点、线、面组成的自然生命支持系统的关键性格局,其合理构建对于维护城市生态系统结构和过程的健康与完整具有重要意义。

20世纪60年代,Warntz^[3]提出根据景观生态过程阻力表面来构建生态安全格局方法,具有启发意义。80年代,俞孔坚首次提出生态安全格局理念^[2],并将城市生态安全格局研究成果应用于城市空间发展预景、禁建区和绿地系统构建以及城市风貌规划等方面^[4]。李月辉等^[5]选择6个生态控制因子在沈阳市构建了包括优先发展、适合发展、限制发展和严禁发展等4个等级的生态安全格局,揭示了生态安全保障下沈阳市空间扩展的趋势。肖笃宁^[6]在对兰州市土地利用、生态价值以及社会经济驱动因素分析和评估的基础上,建立了由生态保障体系、缓冲体系以及过滤体系构成的区域生态安全格局,指出生态缓冲体系是兰州市区域生态安全格局建设的关键。国外生态安全格局研究主要以“生态基础设施”、“绿色基础设施”、“绿道”等概念出现,以区域和城市尺度的研究居多。

目前关于生态安全格局的研究仅仅考虑了水、生物保护、地质灾害、自然景观等因子,没有考虑到保障人类粮食安全的农田因素和影响人类人居环境的大气因素。可持续的生态安全格局应当同时保障人类生存安

全和人类生境安全两个方面。人类生境安全是指人类生活空间和周边环境的安全,即,确保一定空间范围内对人类健康、生活质量起作用的生态环境要素不受威胁和破坏的一种良好状态。人类生存安全是指人类自身生命的安全,即确保人类生命和重要财产不受威胁和破坏的一种良好状态。因此,本研究基于景观安全格局原理和方法,对佛山市高明区自然生态本底进行系统分析,运用地理信息系统的空间分析技术,从水安全、地质灾害安全角度构建区域人类生存安全格局,从大气安全、生物保护安全、农田安全角度构建区域人类生境安全格局,最终叠加得到整个区域的综合生态安全格局,并提出生态安全格局约束下的高明区建设用地扩展预景和生态功能分区。建设用地在本文中主要指建成区和工业用地,不包括交通用地。

1 研究区域概况

佛山市高明区(图1)地处广东省中部,东北濒临西江,地理坐标为东经 $112^{\circ}22'34''$ — $112^{\circ}55'06''$,北纬 $22^{\circ}38'46''$ — $23^{\circ}01'05''$,下辖荷城、杨和、明城、更合一街三镇,总面积 960 km^2 ,常住人口约30万,2008年生产总值344.4亿元。区内水系众多,野生动植物丰富。西、北面环山,东、中部低洼,独特的地势使得雨季易引起西江水倒灌和高明河洪水溢出。近年来桉树林的大面积种植和矿山的开采,加剧地质灾害的发生。研究表明局限于城市一隅来追求最优化的城市发展模式难以达到预期效果,只有在城乡之间以及城镇之间建立开放式、网络化的物流能流交换机制,才有可能实现城乡系统生态化趋向。高明区作为城镇化发展的“后起地区”,识别、整合城乡资源,构建城乡生态安全格局,引导、约束未来城镇扩展,具有重要的意义。

2 研究方法与技术路线

以人类生存安全和理想人居环境为目标,从单一因子出发,识别水安全、地质灾害安全、大气安全、生物保护安全、农田安全等关键点(源)和生态过程(景观阻力面),构建包含基本保障格局、缓冲格局、最优格局3个级别的水安全格局、地质灾害安全格局、大气安全格局、生物保护安全格局、农田安全格局,叠加构建高明区综合生态安全格局。进一步以现有建设用地为源,分别在“惯性发展”、“基本保障生态安全格局”、“缓冲生态安全格局”、“最优生态安全格局”的约束下模拟建设用地扩展,提出城镇发展最优方案,最后进行生态功能区划分。其中,基本保障生态安全格局内重要的生态要素或人类生命安全可以得到最基本的保障,若人类活动干扰逼近该区域,则整个城乡系统处于低安全水平;缓冲生态安全格局是缓冲人类活动对自然生态系统空间胁迫的格局;最优生态安全格局内所有生态要素得到很好的保护,生态系统的各种生态功能最为完善,人类可以安全、健康、可持续的发展。

3 高明区生态安全格局分析

3.1 水安全格局

湿地是存储地表水的主要载体,当降雨、汇流量超过湿地的容水量时,便会爆发洪水,因此,湿地是洪水的源与汇。本文结合高明区高程和土地利用数据,利用地理信息系统的水文分析模型,确定径流汇水点(即洪水的易发点),并参照历史洪涝灾害数据,模拟西江倒灌、高明河洪水溢出以及山溪洪水爆发过程,得到不同洪水频率下的洪涝淹没范围。本文将10、20、50年一遇洪涝的淹没范围作为洪水“基本保障格局”、“缓冲格局”、“最优格局”的构建依据。由于饮用水源和备用饮用水源的保护是整个区域可持续发展的保障,本文在构建洪水安全格局的基础上,叠加饮用水源及备用饮用水源,最终形成水安全格局(图3)。

3.2 地质灾害安全格局

高明区地质灾害类型主要包括崩塌、滑坡和地面塌陷。崩塌、滑坡属岩土体位移灾害,地面塌陷属地面变

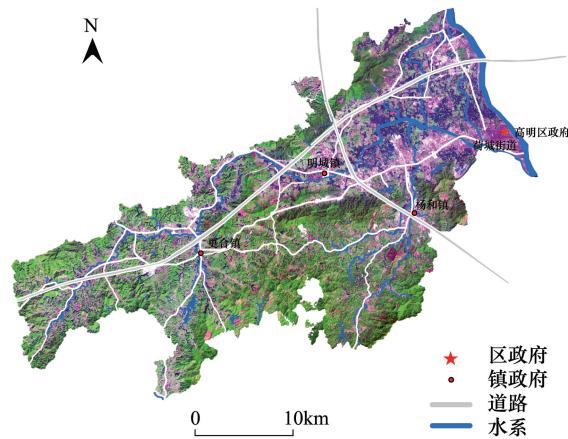


图1 高明区2008年TM遥感影像

Fig. 1 TM imagery of Gaoming in 2008

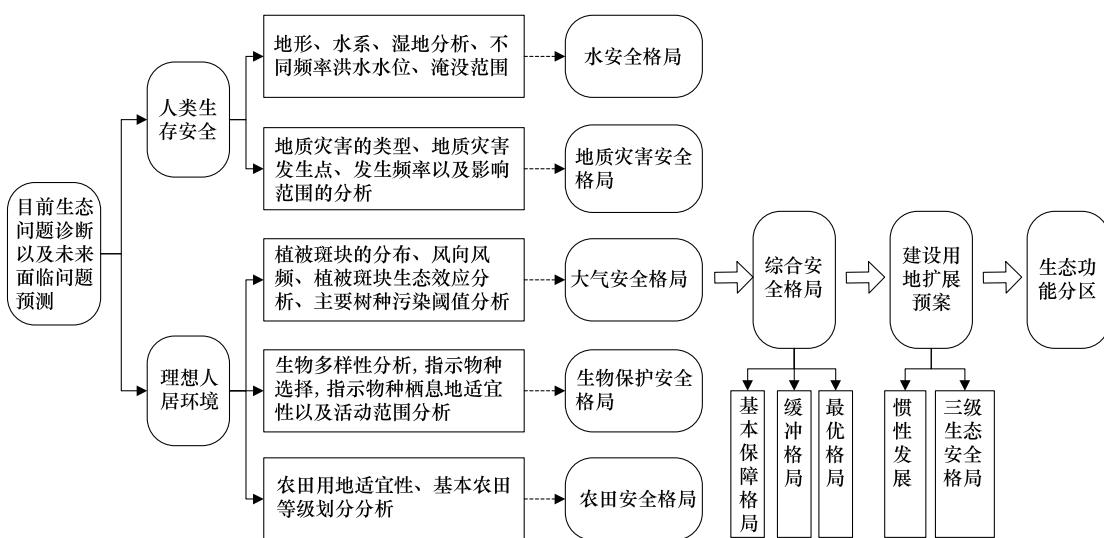


图2 技术路线

Fig. 2 Technology Route

形灾害。分析高明区122处已发生地质灾害点发现,岩土体位移灾害主要受高程、坡度、地形起伏度、岩土体性质、植被覆盖情况和人类工程活动的影响;地面变形灾害则与岩溶的发育程度、地形地貌条件、第四系覆盖层厚度、地下水条件和人类工程活动有着密切关系。本文根据致灾因子对地质灾害的致灾程度以及各致灾因子内部类型对地质灾害的敏感性,分别进行赋值(表1)。最终叠加得出高明区岩土体位移灾害和地面变形灾害的敏感性分布图,划分地质灾害的基本保障格局、缓冲格局和最优格局三级格局(图4)。

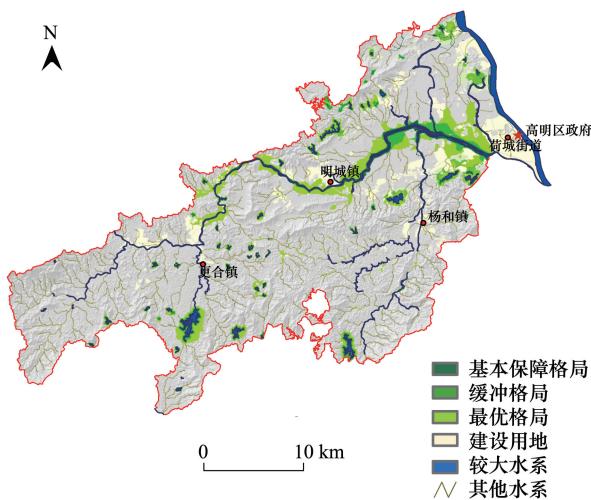


图3 水安全格局

Fig. 3 Flood and storm water security pattern

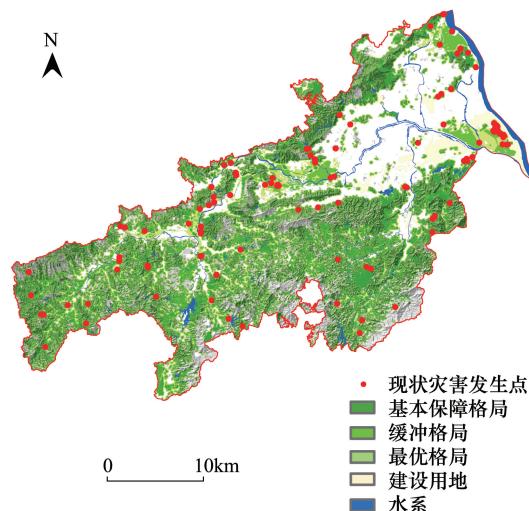


图4 地质灾害安全格局

Fig. 4 Geological disaster security pattern

3.3 大气安全格局

绿地能够释氧固碳、降温增湿、降噪抗污,是改善城市生态环境的重要景观类型。但当大气污染物浓度超过绿地斑块内优势树种的忍耐限度时,绿地生态功能将会受到严重影响。因此,要发挥绿地斑块“空气库”的作用,关键是在一定范围内禁止和限制污染源。高明区大型绿地斑块的先锋树种为马尾松,马尾松对SO₂比较敏感,当大气中SO₂浓度达到0.66 mg/m³时,SO₂将对马尾松产生慢性伤害,浓度达到1.31 mg/m³时,产生急性伤害,浓度达到3.39 mg/m³时,4h便能达到伤害阈值^[7]。污染物从排放源扩散到空间任意一点的浓

表1 地质灾害影响因子及敏感性

Table 1 Influence factors and susceptibilities of geological hazards

地灾类型 Geological hazards type	影响因子 Factors	敏感性赋值 Susceptibility values				权重 Weight
		1000	100	10	1	
岩土体位移 灾害 Rock-soil mass displacement disaster	岩土体类型	层状碳酸盐岩 岩性组	层状片岩、板岩、 千枚岩岩性组	层状碎屑岩岩性组	砂类土、粘性土、淤 泥类土土体、块状侵 入岩岩性组	0.3
	地形地貌	标高>200 m 起伏度>200 m 坡度≥30°	标高 100—200 m 起 伏度 50—100 m 坡度 15—30°	标高 50—100 m 起伏度 10—50 m 坡 度 5—15°	标高<50 m 起伏度<10 m, 坡度 <5°	
	植被覆盖	NDVI<0.2	0.3>NDVI≥0.2	0.5>NDVI≥0.3	NDVI>0.5	
	人类工程活 动条件	城镇用地、工矿用 地、公路用地	居民用地、水工建筑 用地	水田、旱地、其他农 用地	林地、草地、河流	
地面变形灾害 Ground deformation disaster	岩溶发育 程度	岩溶强发育, 发育带 >10 m	岩溶中等发育, 发育 带 5—10 m	岩溶弱发育, 发育带 3—5 m	岩溶不发育, 发育带 <3 m	0.25
	第四系覆盖 层厚度	砂层或软土层, 厚度 <10 m	双层或多层砂土层, 厚度 10—20 m	可塑粘性土体, 厚度 20—30 m	基岩或硬塑土地, 厚 度>30 m	
	地形地貌	低洼地带邻近地面 表水体	平原、谷地、低阶地	山前缓坡、中高阶地	台地、高阶地丘陵	
	人类工程活 动条件	人类工程活动强烈	人类工程活动较 强烈	人类工程活动强度 一般	人类工程活动弱	

度与风速、风向风频等气候条件有关。本文结合高明区常年风向风频,以大型绿地斑块为源,利用公式(1)^[8]计算斑块边缘 SO₂ 浓度为 0.66、1.31 mg/m³ 和 3.39 mg/m³ 时对应的各风向污染源距离,作为划分大气“基本保障格局”、“缓冲格局”、“最优格局”的依据(图 5)。

$$\bar{C} = \sqrt{(2/\pi)} \times [(n \times f \times Q)/2\pi\mu x\sigma_z] \times \exp(-h_e^2/2\sigma_z^2) \quad (1)$$

式中, \bar{C} 是污染物从排放源扩散到空间中任意点的地面浓度, mg/m³; n 是风向数量, 本文考虑了 16 个风向, 取值 16; f 是各风向在一定时间段内所占的比例, $f_N = 4.1$, $f_{NNE} = 2.3$, $f_{NE} = 8.9$, $f_{ENE} = 2.3$, $f_E = 6.0$, $f_{ESE} = 4.3$, $f_{SE} = 10.9$, $f_{SSE} = 4.5$, $f_S = 9.8$, $f_{SSW} = 2.5$, $f_{SW} = 7.2$, $f_{WSW} = 1.5$, $f_W = 5.1$, $f_{WNW} = 1.9$, $f_{NW} = 11.7$, $f_{NNW} = 5.6$; Q 是连续恒定点污染源的排放强度, 根据高明区工业废气 SO₂ 产生量, 取值 4006.94 mg/s; μ 是平均风速, 根据高明区气象资料, 取全年平均风速为 2.1 m/s; h_e 是点源的有效高度, 高明区工业以低架源为主, 以厂房高度为依据取值 5 m; σ_z 是铅直扩散参数的平均值, m, 根据高明区气象资料, 全年各季均以中性大气稳定为主, D 类占 65.0%, 选用 Briggs^[9] 城市 D 类大气稳定度下的扩散公式计算 σ_z 值, $\sigma_z = 0.14x(1 + 3 \times 10^{-4}x)^{(-1/2)}$; x 是污染源到空间中某一点的水平距离, 本文指绿地斑块边缘到污染源的距离。

工业污染源对城镇建成区的影响也十分重要: SO₂ 浓度为 10—15 mg/L, 人类呼吸道纤毛运动和粘膜分泌功能均受到抑制; 浓度达 20 mg/L 时, 引起咳嗽并刺激眼睛; 浓度为 100 mg/L 时, 支气管和肺部组织将明显受损。本文选取 10 mg/L、20 mg/L、100 mg/L 作为阈值, 来控制污染源远离城镇建成区的距离, 用以制约城镇建成区和工业污染源的扩展。

3.4 生物保护安全格局

由于人类活动的干扰, 高明区原生性森林面积不断缩减, 野生动物逐渐消失。目前较高质量的原生性森林主要分布在西、南、中、北部海拔较高的山地, 是野生动物栖息地的优先选择。景观生态学认为^[10], 保证最小适生面积和生境之间的连通性是物种生存的必要条件, 景观类型与保护源地的特征越接近, 其对生态流的阻力也越小。本文选取原生性森林作为生物种群源地, 以土地覆盖类型作为阻力因子, 根据不同土地覆盖类型与源地的差异, 赋予 0—500 的阻力系数(表 2), 运用地理信息系统的最小阻力模型, 构建野生动物的三级安全格局: 基本保障格局(即保护野生动物得以生存的最基本栖息地)、缓冲格局(即保护野生动物最基本栖

息地之间的连通性)、最优格局(即同时保护野生动物现有和潜在栖息地)。由于生态交错带能控制或调节横穿生态带的各种生态流^[11],本文把低山丘陵区与平原区之间的生态交错带也划入基本保障格局(图6)。

表2 野生动物空间运动阻力因子(土地覆盖类型)与阻力系数

Table 2 Space motion resistance factors (land cover) and resistance coefficients of wild animals

土地覆盖类型 Land cover	阻力系数 Resistance coefficients	土地覆盖类型 Land cover	阻力系数 Resistance coefficients
有林地 Closed forest land	0	水体 Water	10
灌木林 Shrub forest	10	果园、草地 Orchard or meadow	30
水田 Paddy field	100	旱地 Nonirrigated farmland	300
建设用地 Building land *	400	公路 Load	500

* 这里建设用地不包括公路用地

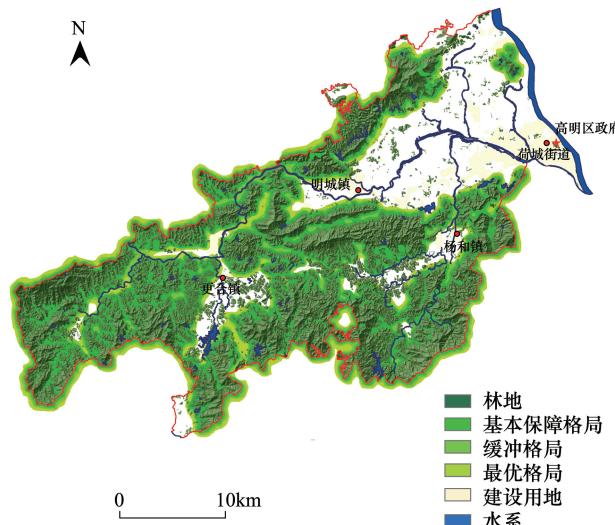


图5 大气安全格局

Fig. 5 Atmosphere security pattern

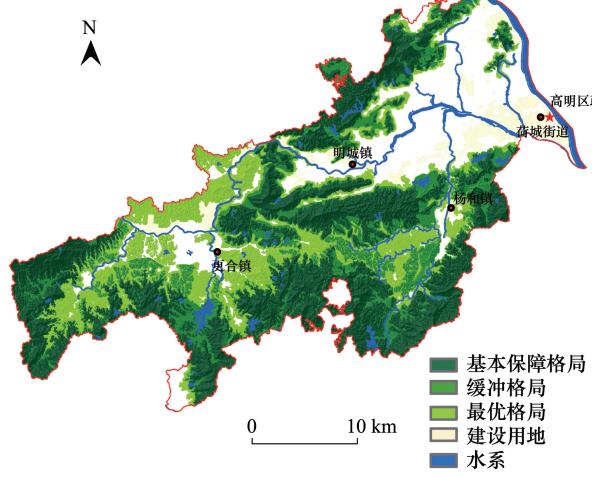


图6 生物保护安全格局

Fig. 6 Biological conservation security pattern

3.5 农田安全格局

随着城镇用地逐渐向外扩展,城镇外围的高产良田和蔬菜地等耕地往往被优先占用。然而在城镇发展地区,土质优良的耕地并不多,把它放弃而作非农业使用是种浪费。因此,生态安全格局的构建要考虑保障人类粮食安全的农田保护安全格局。本文对土壤、岩性、地下水位、坡度和土地利用现状等农田用地适宜性影响因子进行分级(表3)和叠加分析,把适宜性最高的土地作为一级农田用地,叠加基本农田保护现状图,提取目前基本农田中的一级农田用地,以其作为源,以农田用地适宜性分析结果为阻力面,模拟高明区农田保护安全格局(图7)。

3.6 综合生态安全格局

将水安全格局、地质灾害安全格局、大气安全格局、生物保护安全格局、农田安全格局等5个单因子安全格局进行等权重叠加,基于“木桶”原理,构建了高明区综合生态安全格局(图8)。其中,基本保障生态安全格局由生态系统最重要的源和关键地区组成,是生态安全格局的“核心区”,是城镇发展不可逾越的生态底线,在城市规划中应纳入禁止或限制建设区;缓冲生态安全格局是包围在基本保障生态安全格局外的“缓冲区”,应纳入限制建设区;最优生态安全格局是自然生态系统与城镇系统物质与能量的汇聚、交流之地,是生态安全格局的“实验区”,可以进行有条件的开发建设活动^[9]。

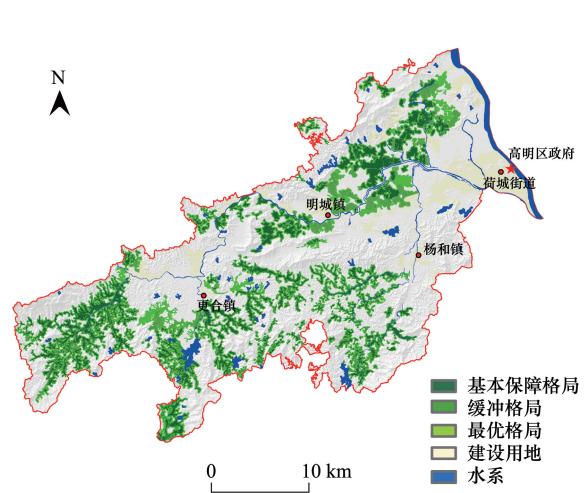


图7 农田安全格局

Fig. 7 Farmland security pattern

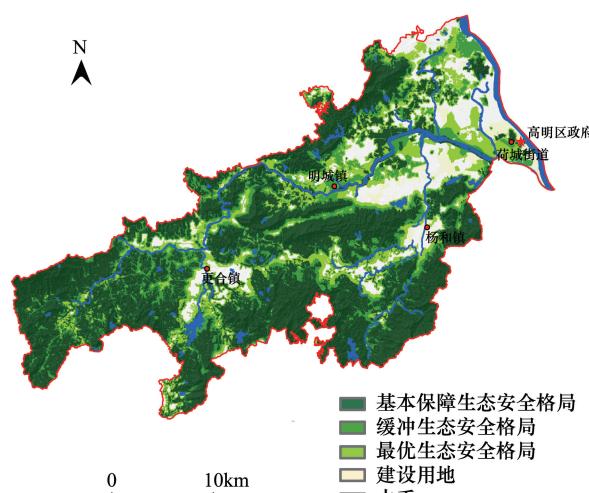


图8 综合生态安全格局

Fig. 8 Comprehensive ecological security pattern

表3 高明区的农田用地适宜性

Table 3 Farmland suitability of Gaoming

影响因子 Factors	用地适宜性 Land use suitability
土壤类型 Soil type	赤潮土>潴育水稻土>页赤红壤>麻赤红壤>潜育型水稻土
岩土性质 Geotechnical engineering property	砂类土、粘性土、淤泥类土多层土体>层状碎屑岩岩性组>砂类土、粘性土双层土体>层状碳酸盐岩>层状片岩、板岩、千枚岩岩性组>块状侵入岩岩性组
地下水位 Groundwater level	平原、谷地、低阶地>低洼地带>山前缓坡、中高阶地>台地、高阶地丘陵
坡度 Terrain slope	>25°
土地利用现状 Land use	水田、旱地

4 建设用地扩展预案

本文分别构建了“惯性发展”、“基本保障生态安全格局”、“缓冲生态安全格局”和“最优生态安全格局”下高明区建设用地扩展的4个预案,探索城乡一体化下高明区城镇未来空间增长的各种可能性。“惯性发展”是依据当前一段时间的发展趋势,预测未来的发展情景,本文通过对高明区近年来建设用地的扩展趋势分析发现,建设用地扩展主要受地价、距离等经济因素的影响,于是根据各影响因子对建设用地扩展的影响程度进行阻力赋值(表4),模拟了惯性发展下建设用地的扩展格局(图9)。由于工业会对城镇产生大气污染,两者的扩展会互相约束,因此,在3种安全格局下,为了更好的模拟城镇区与工业用地的扩展,本文以现在工业用地为源,构建工业用地对城镇区扩展约束的大气安全格局,然后叠加到综合安全格局(见3.6部分),作为城镇区扩展的各级生态约束,模拟得到3个级别生态安全格局下的城镇用地发展格局,再以城镇区用地格局作为工业用地扩展的约束,模拟3级生态安全格局下的工业用地扩展格局,最后将城镇区用地扩展格局和工业用地扩展格局进行叠加,得到3级生态安全格局下的建设用地扩展格局(图9)。

可见,“惯性发展”下,高明区建设用地沿交通干线呈“摊大饼”形态扩展,各镇街建设用地连片发展,农田、森林等大型开放空间要么被环绕其中,要么被排斥于城市之外,生态服务功能受到损害。“基本保障生态安全格局”下,东部平原地区建设用地依然连片发展,而西部山区则以自身为中心扩展,重要的生态要素、生态敏感区得到保护,但各生态斑块之间连通性差,可提供建设用地规模422.79 km²。“缓冲生态安全格局”下,各城镇被洪泛区、农田、林地等生态用地所隔开,阻止了建设用地的无序蔓延,生态保护区与建设用地之间得到良好的过渡,可提供建设用地282.35 km²。“最优生态安全格局”下,建设用地被各类生态用地分割而呈

现零星状分布,各类生态用地得到最大限度的保护和联通,但各镇之间的相互联系较弱,可提供建设用地 151.68 km^2 。对比发现,生态安全格局约束下的建设用地扩展比“惯性发展”下更加健康有序,“缓冲生态安全格局”下的建设用地发展最能达到经济-生态-社会效益的平衡,是未来城镇发展的最优约束模式。

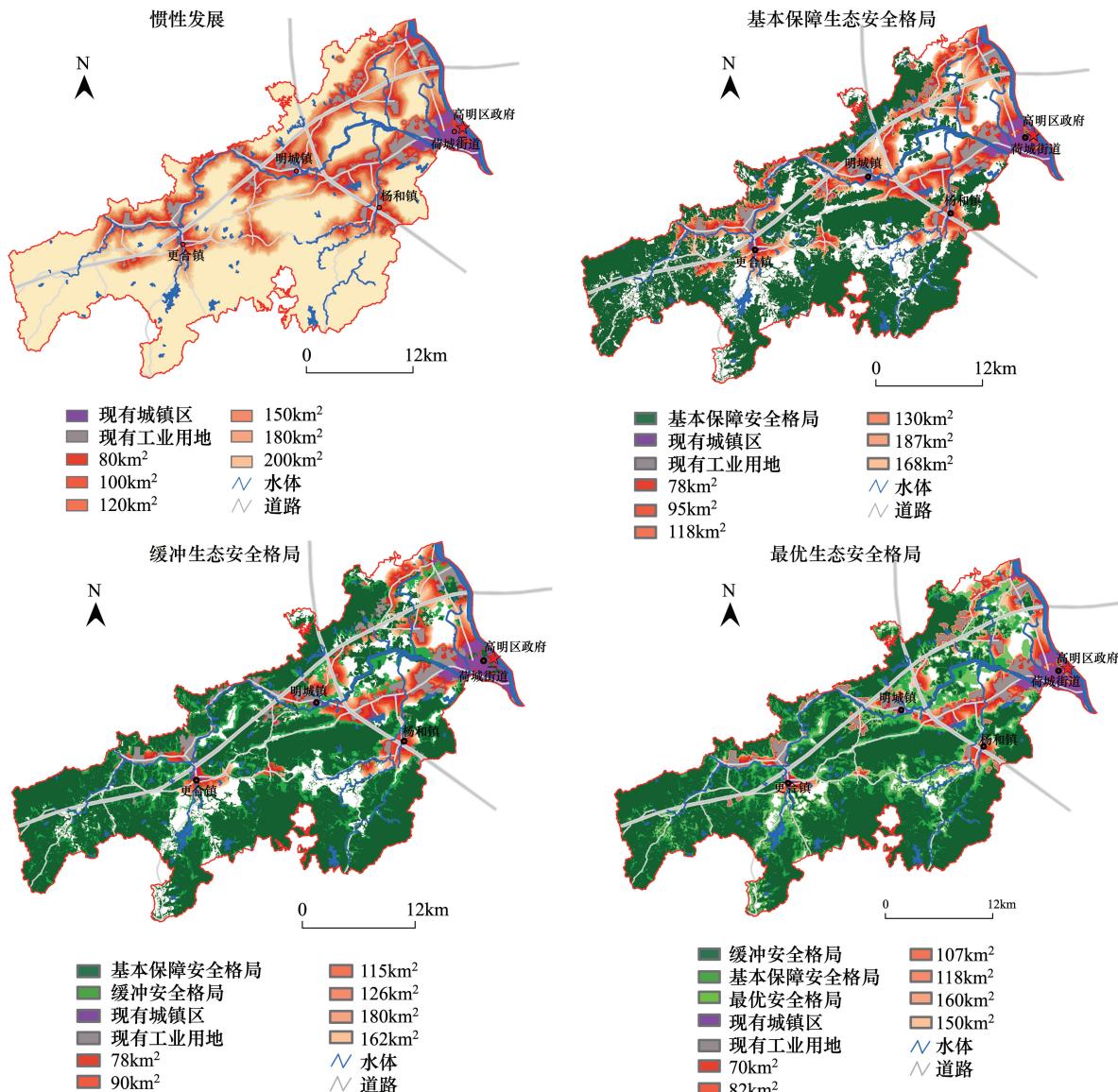


图9 建设用地的扩展模拟

Fig. 9 Simulation of the construction land expansion under each level patterns

考虑了工业用地与城镇区在大气方面相互制约的安全格局,工业用地和城镇区用地的扩展不再像“惯性发展”那样连成一片,而会彼此避开、相互牵制,使得建设用地以更为高效、紧凑、集约的方式扩展。“惯性发展”模式下,建设用地继续以自身为中心扩展,周边的水体和农田将首先受到侵占,而在农田安全格局下,建设用地沿水系和道路网扩展的同时,农田将不会受到侵占,低洼地区和建设用地间隙的成片农田构筑了半天然的灾害缓冲屏障。可见,考虑了大气和农田生态安全的建设用地扩展预案更能保障城乡生态系统的安全和健康,形成紧凑、合理的建设用地布局(图10)。

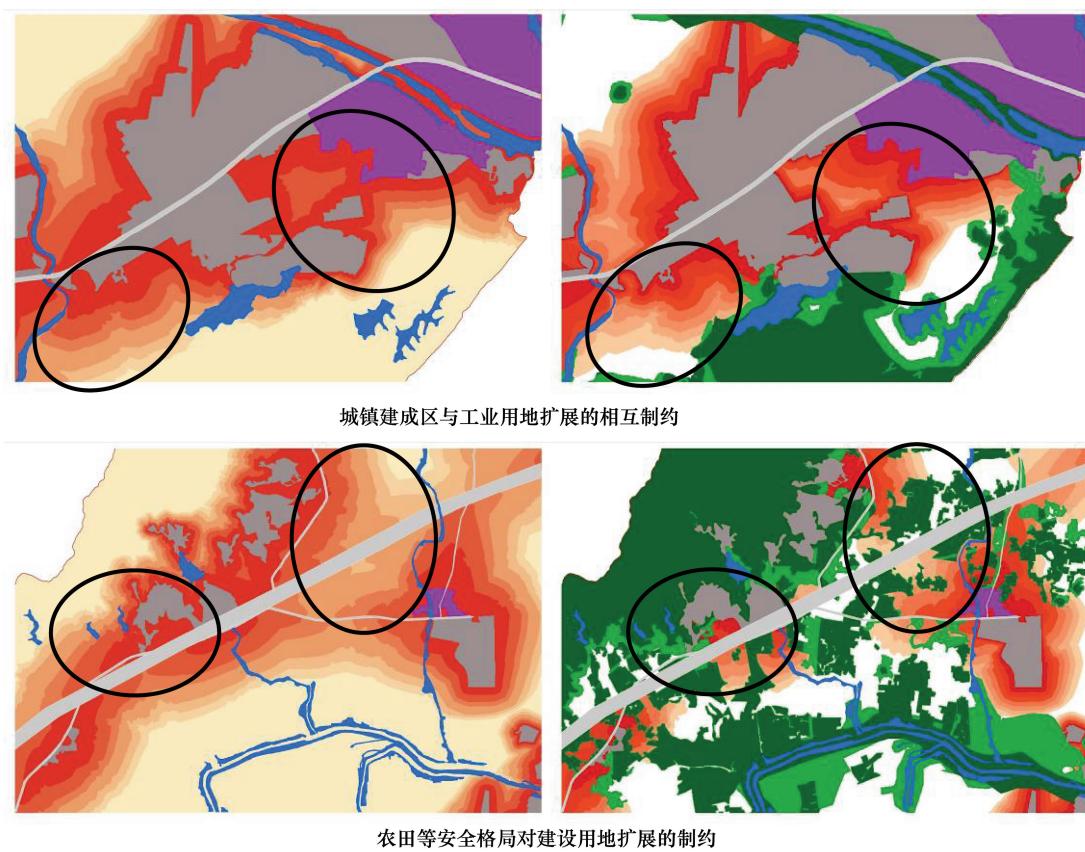


图 10 惯性发展下和缓冲生态安全格局下建设用地扩展的对比

Fig. 10 Compare the construction land expansion under the buffer security ecological pattern with that under the inertial development pattern

表 4 建设用地扩展阻力

Table 4 The resistances of construction land expansion

情景模拟 Scenario simulation	因子 Factor	等级 Ranges	阻力值 Resistance value
惯性发展 Inertial development pattern	主要道路(缓冲区) Main roads (buffer zone)	0—10 m 10—20 m ... 190—200 m	10 20 ... 200
	主要水系 Main water system	500 m	500
	现有建设用地 Existing construction land	0—100 m 100—200 m ... 1900—2000 m	10 20 ... 200
	坡度 Slope	<5° 5°—10° 10°—25° >25°	0 25 100 500
约束下的发展 Development based on ecological security pattern	城镇区扩展 Urban area expansion	基本保障生态安全格局 Buffer ecological security pattern 最优生态安全格局 Industrial constraint atmospheric safety pattern 0—50 m 50—100 m	1000 100 10 1000 100

续表

情景模拟 Scenario simulation	因子 Factor	等级 Ranges	阻力值 Resistance value
		100—150 m	10
工业用地扩展	基本保障生态安全格局		1000
	缓冲生态安全格局		100
	最优生态安全格局		10
城镇区扩展	0—500 m	1000	
	500—1000 m	100	
	1000—1500 m	10	

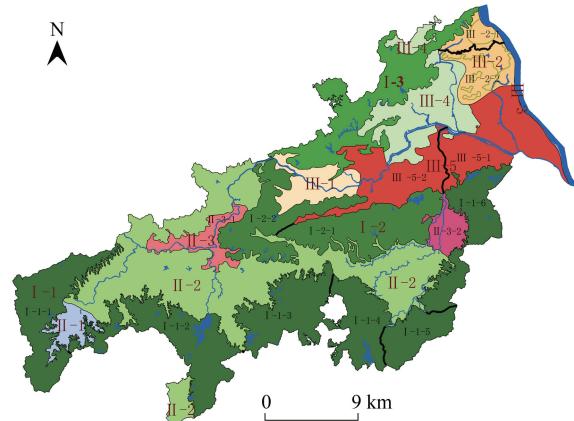
5 城乡生态功能分区

高明区缓冲生态安全格局分别从水、地灾、大气、生物、农田等方面确定了整个区域的生态环境敏感区和生态功能重要区,能满足生态安全条件下城镇空间的发展需要,为生态功能分区提供了重要的依据。本文根据各因子缓冲生态安全格局和高程分布,把高明区划分为以生物保护安全格局、地质灾害安全格局为主的低山丘陵生态区,以农田安全格局、大气安全格局、水安全格局为主的台地河谷农林业环境及水资源保护区,和以城镇发展为主的东部沿江平原生态区,并依据5个因子在各生态区所占比例和分布情况,划分出12个生态亚区和12个生态功能区(图11)。

低山丘陵生态区位于高明河等主要河流的发源地,是重要的水源涵养地,未来应以保护原生林和引导次生林向常绿阔叶林改造为主。台地河谷农林业环境以及水资源保护区集中于西部和南部的台地河谷,毗邻森林公园、自然保护区、水源保护区,该区应在保护自然生态环境的基础上,适度发展生态型的农林业生产,并严格控制建设用地规模。东部沿江平原生态区地势平坦、水网密布、系统稳定性好,较适宜用于城镇发展和农业生产,应加强水源地及周边敏感区生态环境治理,积极发展生态型农业、工业和服务业。

6 结论和讨论

本研究选取水文、地质灾害、大气、生物保护、农田等5个因子构建了高明区综合生态安全格局。结果表明,“惯性发展”下,城镇扩展主要受经济利益的驱动,形成沿道路和地形无序蔓延的环状或线状形态,农用地和林地等开放空间被侵占,基质破碎化严重,生态健康和安全得不到保障。“基本保障、缓冲、最优生态安全格局”下,整个生态系统的完整性和联通性逐级提高,而城镇之间的联系逐级降低,综合比较“基本保障、缓冲、最优生态安全格局下”的建设用地扩展发现,缓冲生态安全格局下,高明区城乡发展和生态保护能够得到最好的平衡,可见并非生态安全格局水平越高,城乡发展



I 低山丘陵生态区

- I -1西部、南部低山丘陵水源涵养与生物多样性保护生态亚区
- I -1香山生物多样性保护生态功能区
- I -1-2雅岭山脉水土保持与深步水库水源涵养生态功能区
- I -1-3云勇森林公园水土保持与生物多样性保护生态功能区
- I -1-4西坑公园水源涵养与水土保持生态功能区
- I -1-5皂幕山水土保持与生物多样性保护生态功能区
- I -1-6鹰塘-三洲森林公园水土保持与生物多样性保护生态功能区
- I -2中部丘陵水土保持与生物多样性保护生态亚区
- I -2-1鹿洞山生物多样性与水土保持生态功能区
- I -2-2明阳塔丘陵台地生物多样性与水土保持生态功能区
- I -3北部丘陵水源涵养与水土保持生态亚区

II 台地河谷农林业环境以及水资源保护区

- II -1高明河游水源涵养生态功能区
- II -2台地河谷生态农林业混合生态功能区
- II -3更合镇城镇发展功能区
- II -4杨梅镇城镇发展功能区

III 东部沿江平原生态区

- III -1岩溶盆地生态农林业混合生态亚区
- III -2东部沿江丘陵-岩溶盆地生态农林业生态亚区
- III -2-1东部沿江丘陵水土保持与生物多样性保护生态功能区
- III -2-2东部沿江岩溶盆地生态农林业生态功能区
- III -3西江水源保护生态亚区
- III -4东部平原生态农林业生态亚区
- III -5东部平原城镇发展功能生态亚区
- III -5-1荷城城镇发展功能区
- III -5-2明城镇发展功能区

图11 “缓冲生态安全格局”下的生态功能分区

Fig. 11 Ecological function regionalization based on buffer security ecological pattern

模式越优。基于缓冲生态安全格局构建高明区生态功能分区,突破了传统的生态功能分区方法,为区域生态功能分区提供了新的思路。作者认为,因子选择和单因子生态安全格局的划分是影响整个生态安全格局合理性和建设用地扩展预案可靠性的关键,但目前国内关于这方面的研究不多,仍处于探索阶段。本文首次考虑了大气和农田安全来构建综合生态安全格局,结果明显优于没有考虑大气和农田因素的安全格局,因此,有必要深入研究生态安全格局因子选取方法,构建一套完善的生态安全格局指标体系。

References:

- [1] 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.
- [2] Yu K J. Security patterns and surface model in landscape ecological planning. *Landscape and Urban Planning*, 1996, 36(1): 1-17.
- [3] Warntz W. Geography and the Properties of Surfaces, Spatial Order-Concepts and Applications [D]. Harvard: Harvard University, 1967.
- [4] Yu K J, Li D H, Liu H L, Cheng J. Growth pattern of Taizhou city based on ecological infrastructure: a negative approach physical urban planning. *City Planning Review*, 2005, 29(9): 76-80.
- [5] Li Y H, Hu Z B, Gao Q, Xiao D N, Hu Y M, Mu Y, Guan Z X, Zhang X Y. Ecological safety pattern of spatial extension in Shenyang City. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(6): 875-881.
- [6] Fang S B, Xiao D N, An S Q. Regional ecosecurity pattern in urban area based on land use analysis: a case study in Lanzhou. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(12): 2284-2290.
- [7] Liu H T, Li Y C. Atmosphere SO₂ pollution and decline of masson pine (*Pinus mssoniana*) forest in Nanshan, Chongqing. *Acta Ecologica Sinica*, 1990, 10(4): 305-311.
- [8] National Environmental Protection Bureau, Chinese Research Academy of Environmental Sciences. *City Air Pollution Control Methods Manual*. Beijing: China Environmental Science Press, 1991.
- [9] Briggs G A. Diffusion Estimates for Small Emissions. U. S.: National Oceanic and Atmospheric Administrator, 1973.
- [10] Li X W, Hu Y M, Xiao D N. Landscape ecology and biodiversity conservation. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(3): 399-407.
- [11] Zhu F M, An S Q, Guan B H, Liu Y H, Zhou C F, Wang Z S. A review of ecotone: concepts, attributes, theories and research advances. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 3032-3038.

参考文献:

- [1] 肖笃宁,陈文波,郭福良.论生态安全的基本概念与研究方法.应用生态学报,2002,13(3):354-358.
- [4] 俞孔坚,李迪华,刘海龙,程进.基于生态基础设施的城市空间发展格局——“反规划”之台州案例.城市规划,2005,29(9):76-80.
- [5] 李月辉,胡志斌,高琼,肖笃宁,胡远满,穆阳,关竹心,张小云.沈阳市城市空间扩展的生态安全格局.生态学杂志,2007,26(6):875-881.
- [6] 方淑波,肖笃宁,安树青.基于土地利用分析的兰州市城市区域生态安全格局研究.应用生态学报,2005,16(12):2284-2290.
- [7] 刘厚田,李一川.重庆南山大气SO₂污染与马尾松衰亡的关系.生态学报,1990,10(4):305-311.
- [8] 国家环境保护局,中国环境科学研究院.城市大气污染总量控制方法手册.北京:中国环境科学出版社,1991.
- [10] 李晓文,胡远满,肖笃宁.景观生态学与生物多样性保护.生态学报,1999,19(3):399-407.
- [11] 朱芬萌,安树青,关保华,刘玉虹,周长芳,王中生.生态交错带及其研究进展.生态学报,2007,27(7):3032-3038.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 5 March, 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The effect of nitrogen deposition on forest soil organic matter and litter decomposition and the microbial mechanism WANG Jingyuan, ZHANG Xinyu, WEN Xuefa, et al (1337)
Advances and the effects of industrial hemp for the cleanup of heavy metal pollution LIANG Shumin, XU Yanping, CHEN Yu, et al (1347)
A review for evaluating the effectiveness of BMPs to mitigate non-point source pollution from agriculture MENG Fande, GENG Runzhe, OU Yang, et al (1357)
Progresses in dendrochronology of shrubs LU Xiaoming, LIANG Eryuan (1367)

Autecology & Fundamentals

- The characteristics of nocturnal sap flow and stem water recharge pattern in growing season for a *Larix principis-rupprechtii* plantation WANG Yanbing, DE Yongjun, XIONG Wei, et al (1375)
Effects of soil drought stress on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities in *Hippophae rhamnoides* Linn. seedlings PEI Bin, ZHANG Guangcan, ZHANG Shuyong, et al (1386)
Diurnal activity time budget of Père David's deer in Hubei Shishou Milu National Nature Reserve, China YANG Daode, LI Zhuyun, LI Pengfei, et al (1397)
Sublethal effects of three insecticides on the reproduction and host searching behaviors of *Sclerodermus sichuanensis* Xiao (Hymenoptera: Bethyidae) YANG Hua, YANG Wei, YANG Chunping, et al (1405)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal succession of zooplankton in Sansha Bay, Fujian XU Jiayi, XU Zhaoli (1413)
Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China GUO Xuhu, XIAO Derong, TIAN Kun, et al (1425)
The flora and species diversity of herbaceous seed plants in wetlands along the Xin'anjiang River from Anhui YANG Wenbin, LIU Kun, ZHOU Shoubiao (1433)
Spatial-temporal variation of root-associated aerobic bacterial communities of *phragmites australis* and the linkage of water quality factors in constructed wetland XIONG Wei, GUO Xiaoyu, ZHAO Fei (1443)
Temporal dynamics and influencing factors of leaf respiration for three temperate tree species WANG Zhaoguo, WANG Chuankuan (1456)
Environmental controls on water use efficiency of a poplar plantation under different soil water conditions ZHOU Jie, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (1465)
An analysis of calcium components of *Artemisia ordosica* plant on sandy lands in different ecological regions XUE Pingping, GAO Yubao, HE Xingdong (1475)
Effects of alpine meadow plant communities on soil nematode functional structure in Northern Tibet, China XUE Huiying, HU Feng, LUO Daqing (1482)
Soil fauna diversity of abandoned land in a copper mine tailing area ZHU Yongheng, SHEN Fei, YU Jian, et al (1495)
Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities MA Yi, PENG Jinju, WANG Yun, et al (1506)
Estimation of ecological water demands based on ecological water table limitations in the lower reaches of the Liaohe River Plain, China SUN Caizhi, GAO Ying, ZHU Zhengru (1513)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The ecological security patterns and construction land expansion simulation in Gaoming SU Yongxian, ZHANG Hong'ou, CHEN Xiuzhi, et al (1524)
Root features of typical herb plants for hillslope protection and their effects on soil infiltration LI Jianxing, HE Binghui, CHEN Yun (1535)

- The dynamic change of the thermal environment landscape patterns in Beijing, Shanghai and Guangzhou in the recent past decade ...
..... MENG Dan, WANG Mingyu, LI Xiaojuan, et al (1545)
- Change trends and driving factors of base flow in Kuye River Catchment
..... LEI Yongnan, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al (1559)
- Photosynthetic characteristics, biomass allocation, C, N and P distribution of *Schima superba* seedlings in response to simulated
nitrogen deposition LI Mingyue, WANG Jian, WANG Zhenxing, et al (1569)
- Effect of iron slag adding on methane production, oxidation and emission in paddy fields
..... WANG Weiqi, LI Pengfei, ZENG Congsheng, et al (1578)
- Resource and Industrial Ecology**
- Antioxidative system and chlorophyll fluorescence of *Zizania latifolia* Turcz. plants are affected by *Ustilago esculenta* infection
..... YAN Ning, WANG Xiaoqing, WANG Zhidan, et al (1584)
- Analysis of cold-regulated gene expression of the Fingered Citron (*Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle)
..... CHEN Wenrong, YE Jiejun, LI Yongqiang, et al (1594)
- Hosts preference of *Echinothrips americanus* Morgan for different vegetables ... ZHU Liang, SHI Baocai, GONG Yajun, et al (1607)
- Induction effects of jasmonic acid on tannin content and defense-related enzyme activities in conventional cotton plants
..... YANG Shiyong, WANG Mengmeng, XIE Jianchun (1615)
- Effects of irrigation with paper mill effluent on growth and nutrient status of *Populus tomentosa* seedlings
..... WANG Ye, XI Benye, CUI Xiangdong, et al (1626)
- Water use efficiency of Jiangsu Province based on the data envelopment analysis approach
..... ZHAO Chen, WANG Yuan, GU Xueming, et al (1636)
- Research Notes**
- Characteristics of precipitation distribution in *Pinus tabulaeformis* plantations under different canopy coverage in Taiyue Mountain
..... ZHOU Bin, HAN Hairong, KANG Fengfeng, et al (1645)
- Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing JIA Baoqun (1654)
- Effects of *Mikania micrantha* wilt virus infection on photosynthesis and the activities of four enzymes in *Mikania micrantha* H. B. K.
..... WANG Rui long, PAN Wanwen, YANG Jiaoyu, et al (1667)

《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研工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,300页,国内定价90元/册,全年定价2160元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第5期 (2013年3月)

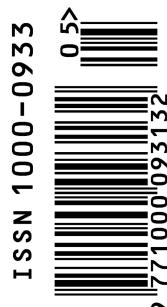
ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 5 (March, 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
主 编	王如松
主 管	中国科学技术协会
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
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717
印 刷	北京北林印刷厂
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
订 购	全国各地邮局
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
广 告 经 营	京海工商广字第8013号
许 可 证	

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
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
Domestic	All Local Post Offices in China
Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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