

基于景观适宜性评价的建设用地管制分区研究

陈永生¹, 郭杰^{1,2}, 欧名豪^{1,2}

(1. 南京农业大学 土地管理学院, 江苏 南京 210095;

2. 南京农业大学 农村土地资源利用与整治国家地方联合工程研究中心, 江苏 南京 210095)

摘要: [目的] 开展建设用地适宜性评价并进行评价分区方案优选, 为完善建设用地适宜性评价方法、优化建设用地空间布局提供参考。[方法] 通过构建科学的建设用地适宜性评价指标体系, 合理划定适宜性等级, 根据适宜性等级的不同组合确定建设用地管制分区供选方案, 构造景观生态质量评价模型, 开展供选方案的优选。[结果] 建设用地适宜性评价结果为6级适宜性等级区, 面积分别为6.03, 13.83, 27.75, 45.66, 168.24, 108.05 km²; 适宜性分区方案1具有较高的景观生态质量, 为方案优选结果。[结论] 基于适宜性评价的建设用地管制分区方案具有较低的干扰度、较高的稳定度, 景观生态质量综合指数较高。通过综合比较, 方案1具有较高景观生态质量, 它优化了城乡建设用地拓展空间, 有利于提高景观生态系统的可持续性。

关键词: 建设用地; 适宜性; 景观生态质量; 方案优选

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2016)06-0189-06

中图分类号: F301.2

文献参数: 陈永生, 郭杰, 欧名豪. 基于景观适宜性评价的建设用地管制分区研究[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 189-194. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.06.032

Regulation Zoning of Construction Land Based on Landscape Suitability Evaluation

CHEN Yongsheng¹, GUO Jie^{1,2}, OU Minghao^{1,2}

(1. College of Land Management, Nanjing Agriculture University, Nanjing, Jiangsu

210095, China; 2. State and Local Joint Engineering Research Center of Rural Land Resources

Utilization and Consolidation, Nanjing Agriculture University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

Abstract: [Objective] To carry out construction land suitability evaluation and optimize the evaluation partition scheme, supplying a good reference for promoting suitability evaluation and spatial allocation of construction land. [Methods] A scientific construction land suitability evaluation index system was built to confirm the suitability of grading for potential construction land space. Construction land regulation regions were confirmed alternatively based on different combinations of suitability grades. After that, landscape ecological quality was modeled for selecting the alternative schemes. [Results] The results of construction land suitability evaluation were six-level suitability grade zones, and their area were 6.03, 13.83, 27.75, 45.66, 168.24, 108.05 km². Scheme 1 of suitability zones had higher landscape ecological quality, cond was preferred scheme. [Conclusion] Confirming construction land regulation regions based on suitability grades is an effect way to get lower disturbance degree and improve stability degree. In this case, the comprehensive landscape ecological quality index is higher. After comprehensive contrast, scheme 1 has high landscape ecological quality. Because in this scheme, urban-rural construction land allocation is more reasonable, and it will help to increase the steady of landscape ecosystem.

Keywords: construction land; suitability; landscape ecological quality; optimal scheme selection

中国工业化、城市化进程推动了经济社会快速发展^[1], 但经济发展对资源的过度依赖也导致了建设用地的无序扩张挤占了大量耕地和生态保护空间, 引起土地利用结构和区域生

收稿日期: 2016-01-23

修回日期: 2016-03-20

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于规划控制目标与极限供给情景的建设用地指标区域差别化配置研究: 以江苏省为例”(71303119); 教育部哲学社会科学重大攻关项目(2011JZD031)

第一作者: 陈永生(1991—), 男(汉族), 江苏省南京市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用规划与管理。E-mail: chen Yongsheng_njau@126.com。

通讯作者: 欧名豪(1964—), 男(汉族), 安徽省霍邱县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事土地利用规划与管理研究。E-mail: mhoul@njau.edu.cn。

态景观格局的变化,改变了生态系统的结构和功能,城市生态安全面临巨大压力^[2]。开展建设用地适宜性评价,对合理确定建设用地的规模与空间布局,对均衡经济发展与耕地保护、生态建设的关系,促进协调发展具有重要意义。国内外学者开展了大量建设用地适宜性评价的研究,运用多因子叠加^[3]、生态位模型^[4]、神经网络^[5-6]、模糊综合评判^[7]、情景分析^[8]、不确定性和灰色关联度^[9]等方法,从地形、地貌、地质、水文等自然属性^[10-12]方面构建适宜性评价指标体系开展适宜性评价;然而,建设用地的不合理扩张将影响土地生态系统结构和功能,阻碍能量流动与物质循环,使土地丧失生态保育功能,最终导致自然环境恶化、生态系统破坏以及生物多样性降低^[13-14],因此,本研究将建设用地适宜性评价融合景观可持续性需求,并进行评价结果的景观生态质量分析,以提高评价的科学性和合理性,为完善建设用地适宜性评价方法、优化建设用地布局提供参考。

1 研究区概况

扬州市位于江苏省中部,长江下游北岸、江淮平原南端,境内地势西高东低。该市拥有东郊城市森林公园、润扬湿地森林公园等众多生态安全与自然文化遗产保护区,在调节气候、涵养水源、改善大气、维护生物多样性等方面具有重要作用。然而,随着经济的快速发展,大量农业用地与生态保护空间被建设用地侵占,开展建设用地适宜性评价,并结合景观生态质量评估开展规划方案优选,对协调经济发展与耕地保

护和生态安全关系意义重大。

2 研究方法 with 数据

2.1 研究思路

建设用地适宜性评价是指导用地结构调整和优化建设用地空间布局的基础,而合理的建设用地布局,是协调经济增长与耕地保护、生态安全的重要手段^[15]。本研究从影响建设用地适宜性的自然、区位及生态因素出发,构建建设用地适宜性评价指标体系,利用熵值法确定指标权重,计算适宜性评价综合指数,采用自然断点法综合划定建设用地适宜性等级,根据适宜性等级的不同组合确定建设用地管制区的供选方案。在此基础上,基于景观生态系统稳定性和干扰度,构建景观生态质量评价模型,根据景观生态质量综合指数进行方案优选。

2.2 建设用地适宜性评价

2.2.1 指标体系的构建 合理评价建设用地适宜性,需要有科学的评价指标体系。参考相关研究^[2,15-17],依据主导性、可比性、可操作性的原则,确定自然、区位与生态 3 个一级指标。自然因子主要包括地形条件和水系水域,根据《扬州市市区地质灾害防治规划(2012—2020 年)》,研究区地质构造条件均一,没有断层、地震带的干扰,因此自然因子未考虑地基承载力、土壤渗透性、断层等地质类因素;区位因子主要包括交通区位和繁华度,评价指标包含离交通干线和城区距离等指标;生态因子包括生态保护区、人文自然保护区和基本农田保护区等生态因素(表 1)。

表 1 建设用地适宜性评价指标体系

系统层	一级指标	二级指标	三级指标	属性	权重
建设用地适宜性评价	自然因子	地形条件	高程绝对值	负	0.001 7
			坡度	负	0.000 2
		水系水域	距河流距离	正	0.167 2
			距湖泊水库距离	正	0.061 2
			距洪水调蓄区距离	正	0.102 4
			距主次干路距离	负	0.002 5
	区位因子	交通区位	距快速道路距离	负	0.006 6
			距支路距离	负	0.006 9
			距铁路距离	负	0.016 8
			距高速公路距离	负	0.011 4
		繁华度	距行政中心距离	负	0.010 9
	生态因子	生态保护区	距水源保护区距离	正	0.127 1
			距湿地保护区距离	正	0.060 0
			距生态农业区距离	正	0.078 1
		人文自然保护区	距历史人文保护区距离	正	0.070 7
距自然风景保护区距离			正	0.091 2	
基本农田保护区			距基本农田保护区距离	正	0.184 9

2.2.2 适宜性分值的计算 (1) 指标值标准化。采用极差标准化,消除指标的纲影响,公式为:

$$X'_{ij} = \alpha(x_{ij} - \beta) / (\max x_j - \min x_j) \quad (1)$$

式中: X'_{ij} ——标准化指标值,根据指标属性(表1),当第 j 项标属性为正时, $\alpha = 1$ 且 $\beta = \min x_j$; 当第 j 项标属性为负时, $\alpha = -1$ 且 $\beta = \max x_j$; x_{ij} ——指标初始值; $\min x_j$ ——该项指标的最小值; $\max x_j$ ——该项指标的最大值。

(2) 权重确定。为消除标准化后指标值 $X'_{ij} \leq 0$ 的影响,对于 X'_{ij} 进行坐标平移,其公式为:

$$y_{ij} = X'_{ij} + \delta \quad (2)$$

式中: δ ——平移量, $\delta > \min X'_{ij}$, δ 取值越接近于 $\min X'_{ij}$, 其评价结果越精确。

平移处理后,采用熵值法确定指标权重,可以有效避免主观赋权法中主观因素对指标权重的影响。

(3) 适宜性分级阈值确定。对各评价指标进行加权求和得到适宜性综合分值。由于河流、湖泊等水域无法满足承载建设用地的要求,而自然风光、历史文化等保护区内应严控建设项目落地,该类区域内建设用地适宜性指标值和适宜性综合分值均为 0。除此类区域外,其余区域适宜性分级阈值,可利用自然断点法确定。

2.3 景观生态质量评价

2.3.1 评价指标的选取 景观生态质量指生态系统维持自身结构与功能稳定性的能力,其取决于景观生态系统稳定程度和干扰程度两方面^[18,24]。若干扰程度小于稳定程度,景观生态系统趋于稳定态,景观生态质量较高^[19,20,25-26]。景观生态系统干扰程度与人类土地活动密切相关,不合理的建设行为将造成环境恶化及生物多样性的损失。参考相关文献,选择景观形状指数(LSI)、斑块密度指数(PD)、建设用地干扰度指数(CD)表征景观生态系统受到的干扰程度。景观生态系统的稳定程度与景观空间单元的分布与组合关系密切,优化的景观格局有助于提高景观生态系统的稳定性。参考相关文献,选取景观多样性指数(SHDI)、面积加权平均斑块分维指数(AWMPFD)、景观蔓延度指数(CONTAG)表征景观生态系统的稳定程度。

2.3.2 综合指数的测算 对指标无量纲处理后,运用 Fragstats 计算指标值,并采用熵值法确定指标权重,通过加权求和分别计算景观干扰度与景观稳定度综合分值,景观生态质量综合指数采用景观稳定度指数与干扰度指数相除的形式表示。

2.4 数据获取与处理

高程、坡度数据来源于 1:50 000 扬州市 DEM 数据;河流水系、区位与繁华度、基本农田保护区数据来源于《扬州市土地利用总体规划(2006—2020 年)》和

《扬州市城市总体规划(2011—2020 年)》;生态保护区和自然保护区等数据源于《扬州市生态红线区域保护规划》。统一相关图层的空间投影和坐标系统,以 30 m×30 m 栅格为评价单元,运用 ArcGIS 的 Spatial Analyst 模块,获取适宜性评价指标值;运用 Fragstats 4.1 计算景观质量评价的相关指标值。

3 结果分析

3.1 适宜性评价结果分析

经计算,建设用地适宜性评价结果取值范围 0.00~0.76。水域及保护区严禁建设利用,适宜性为 0,单独划分为一级(VI级),其余区域利用自然断点法确定分区阈值,根据综合适宜指数划分为 5 级(图 1)。

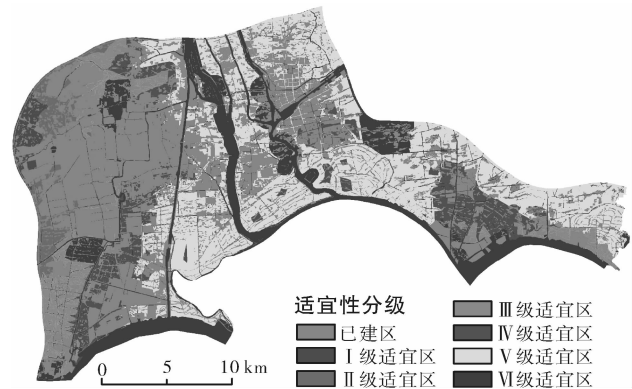


图 1 研究区建设用地适宜性分级结果

扬州市中心城区范围 640.57 km², 已建区 270.99 km², 占中心城区总面积的 42.30%。分析潜在建设用地空间的适宜性评价结果可知, I 级适宜区 6.03 km², 为无限制条件、优先作为建设用地的区域, 占中心城区总面积的 0.94%, 集中分布于中心城区西北部的西湖、新盛等乡镇(街道); II 级适宜区 13.83 km², 为基本无限制条件、适宜作为建设用的区域, 占中心城区的 2.16%, 呈片状分布于邗江区西部的西湖、蒋王、汉河等乡镇(街道); III 级适宜区 27.75 km², 为限制条件较少、可作为建设用地的区域, 占中心城区的 4.33%, 主要呈条带状和团块状分布于邗江区槐泗、平山、城北、瓜洲和江都区大桥等乡镇(街道); IV 级适宜区 45.66 km², 为限制条件较多、可作为建设用地布局的弹性空间, 占中心城区的 7.13%, 主要呈团块状分布于广陵区汤汪、邗江区槐泗、城北、施桥、八里和江都区仙女、大桥等乡镇(街道); V 级适宜区范围最广, 面积 168.24 km², 为限制条件多、一般不作为建设用地的区域, 占中心城区的 26.26%, 相互连接成片集中分布于邗江区东部乡镇、广陵区大部分乡镇和江都区的北部乡镇; VI 级适宜区

108.05 km²,为生态限制因素较多、应当禁止建设的区域,占中心城区的 16.87%,该区河流、湖泊、水库等难以满足承载建设用地的要求,在中心城区各区县均有分布;其还包括重点保护区,为区域内自然风光、历史文化、水源水质、蓄滞洪等保护区。

3.2 基于适宜性评价的管制区方案对比

参照扬州市中心城区土地利用总体规划建设用地管制区方案,根据适宜性评价分级结果,依据适宜性高低组合,形成 5 套建设用地管制区供选方案(表 2)。

表 2 基于适宜性评价的建设用地管制区方案

km²

适宜性分区	方案 1	方案 2	方案 2	方案 4	方案 5
高度适宜区	47.61(I, II, III)	19.86(I, II)	6.03(I)	19.86(I, II)	6.03(I)
中度适宜区	45.66(IV)	73.42(III, IV)	87.25(II, III, IV)	27.75(III)	13.83(II)
低度适宜区	168.24(V)	168.24(V)	168.24(V)	213.91(IV, V)	241.66(III, IV, V)
不适宜区	108.05(VI)	108.05(VI)	108.05(VI)	108.05(VI)	108.05(VI)

注:罗马数字为各方案的适宜性分区由对应的不同适宜性等级组成。

进一步研究供选方案与规划方案的差异。高度适宜区作为建设用地的限制条件少,适合作为新增建设用地的预留空间,因此可对应规划方案的允许建设区;中度适宜区有一定的限制条件,需要经过一定条件改造后,可以满足城乡建设用地需要,可作为城乡建设用地的弹性扩展空间,可对应规划方案的有条件建设区;低度适宜区建设条件较差,或者限制条件较多,一般不宜作为建设用地,可对应限制建设区;不适宜区受生态环境和历史文化保护等限制,应严格禁止建设,可对应禁止建设区。

通过对比基于适宜性评价的供选方案与规划方案发现,高度适宜区,方案 1 与规划方案新增建设用地仅相差 4.88 km²,方案 2,4 均为 19.86 km²,与规划新增建设用地相差 32.63 km²,方案 3,5 为 6.03 km²,与规划新增建设用地相差 46.46 km²;中度适宜区,方案 1 与规划方案有条件建设区相差 16.66 km²,方案 2,3 与规划方案差异较大,方案 4,5 差异较小;低度适宜区,方案 1,2,3 面积相同,与规划限制建设区相差 94.20 km²,方案 4,5 与规划方案相差较小;供选方案的不适宜区面积相同,比规划禁止建设区多 82.42 km²,主要原因是适宜性评价考虑到了更多的生态限制因素,生态安全、自然文化遗产等不宜建设区域均被划入供选方案的不适宜区。从空间分布来看(图 2),高度适宜区,方案 1 主要呈现团块状分布于中心城区西北、西南部的已建区域外围,部分零星分布于中心城区东南部,方案 2,4 主要呈团块状分布于西北部,方案 3,5 集中分布于西北部局部区域;中度适宜区,方案 1,2,3 均呈团块状分部于中心城区东南、西北、西南等区域,与已建成区组合形成

较为规整的块状区域,部分零星分部于中部,方案 4,5 主要分布于西北、西南的部分区域;低度适宜区在中心城区中、东部已建区外围呈片状分布;不适宜区在中心城区中部、南部分布较多,呈现网络状、条带状分布,主要为河流、湖泊、水库等水域,以及自然保护区、森林公园、湿地保护区、水源水质保护区、历史文化保护区等重点保护区域。

3.3 基于适宜性评价的管制区方案优选

从景观干扰度指数来看(表 3),供选方案均显著小于规划方案,其中方案 1 最优。可见,基于建设用地适宜性评价的建设用地管制区供选方案,优化了城乡建设用地拓展空间,斑块的形状相对规则,不同类型的斑块相对集中分布,破碎化程度较低,对于景观的干扰度较低,优于现有规划方案。

从景观稳定度指数来看,方案 1 较高,其余供选方案均接近或略小于规划方案。表明,基于建设用地适宜性评价的建设用地管制区供选方案,没有破坏景观生态系统的稳定性,空间异质性也没有因此而降低,方案 1 有利于提高景观生态系统的稳定性,促进建设用地空间格局向景观高度稳定性方向发展。通过景观生态质量综合指数对比分析,发现供选方案的景观生态质量综合指数值均大于现行规划方案,且方案 1 显著高于其他方案。表明,依据建设用地适宜性评价结果划定建设用地管制区具有较低的干扰度、较高的稳定度,景观生态质量综合指数较高,对优化城乡建设用地格局、保护景观系统联接度、提升生态系统服务功能具有参考价值,可以作为规划编制过程中城乡建设用地空间格局优化的依据。

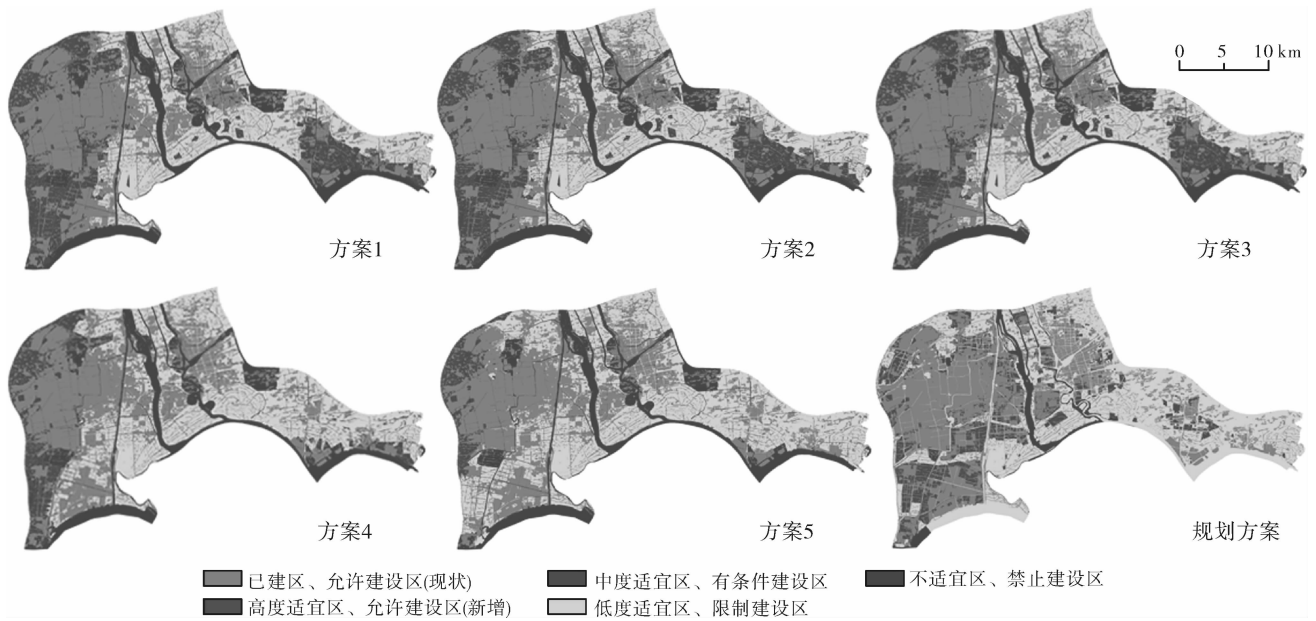


图 2 基于适宜性评价的管制区方案与规划方案对比

表 3 景观生态质量综合指数结果

对比方案	景观干扰度			景观稳定度			干扰度 指数	稳定度指数	综合指数	
	PD	LSI	CD	FRAC_AM	CONTAG	SHDI				
规划 方案	管制区	1.000 0	1.000 0	0.000 0	0.425 7	0.839 9	0.099 9	0.802 6	0.476 2	0.593 3
供选 方案	方案 1	0.000 0	0.000 0	0.104 9	1.000 0	0.000 0	1.000 0	0.020 7	0.592 7	28.609 8
	方案 2	0.105 2	0.069 1	1.000 0	0.831 7	0.234 6	0.411 5	0.265 2	0.436 1	1.644 5
	方案 3	0.089 1	0.061 0	0.702 3	0.841 6	0.058 5	0.508 0	0.197 2	0.401 7	2.036 9
	方案 4	0.212 2	0.120 1	0.702 3	0.366 3	0.486 5	0.275 2	0.266 5	0.382 2	1.434 6
	方案 5	0.399 0	0.218 5	1.000 0	0.000 0	1.000 0	0.000 0	0.434 3	0.407 3	0.937 8

注:PD,LSI,CD,FRAC_AM,CONTAG,SHDI 分别为斑块密度指数、景观形状指数、建设用地干扰度指数、分形维数、景观蔓延度指数、景观多样性指数。

4 讨论与结论

(1) 从自然、区位与生态 3 方面构建评价指标体系,结合熵值法评价建设用地适宜性,对合理确定建设用地的空间布局具有较好的参考价值;基于景观生态学理论,从干扰度和稳定度两方面构造景观生态质量评价模型,测算建设用地管制区供选方案的景观生态质量综合指数,为建设用地空间管制供选方案的优选提供了更为科学、可度量的方法。研究区建设用地适宜性评价结果为 I, II, III, IV, V, VI 级适宜性等级区,面积分别为 6.03, 13.83, 27.75, 45.66, 168.24, 108.05 km²;依适宜性等级高低组合各等级区,形成高度适宜、中度适宜、低度适宜和不适宜 4 类适宜性分区共 5 种分区供选方案,各方案的适宜性分区均不相同,并基于景观生态学理论进行了适宜性分区方案

与规划分区方案的对比优选,对比结果显示方案 1 具有较高的景观生态质量。

(2) 依据建设用地适宜性评价结果划定建设用地管制区,将适宜性分区与建设用地管制分区相对应,选取评价分区方案 1 作为优选结果,此方案具有较低的干扰度、较高的稳定度,景观生态质量综合指数较高,该适宜性评价分区方案有利于优化城乡建设用地格局、提高景观生态系统联接度、提升生态系统服务功能,可为规划编制中建设用地空间格局优化提供参考。

[参 考 文 献]

- [1] 宗跃光,王蓉,汪成刚,等. 城市建设用地生态适宜性评价的潜力—限制性分析:以大连城市化区为例[J]. 地理研究,2007,26(6):1117-1126.

- [2] 李猷,王仰麟,彭建,等. 基于景观生态的城市土地开发适宜性评价:以丹东市为例[J]. 生态学报, 2010, 30(8):2141-2150.
- [3] 王骏骏,江滢,赵国庆,等. 基于 GIS 的用地适宜性评价方法及应用:以新加坡怀化生态工业园概念规划为例[J]. 规划师, 2011, 27(4):52-56.
- [4] 俞艳,何建华. 基于生态位适宜度的土地生态经济适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1):124-128.
- [5] 王艳,宋振柏,吴佩林. 基于 BP 网络的高新技术产业用地适宜性评价[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4):248-250.
- [6] 周秋文,方海川,苏维词. 基于 GIS 和神经网络的川西高原生态旅游适宜度评价[J]. 资源科学, 2010, 32(12):2384-2390.
- [7] 焦利民,刘耀林. 土地适宜性评价的模糊神经网络模型[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2004, 29(6):513-516.
- [8] 宗跃光,徐建刚,尹海伟. 情景分析法在工业用地置换中的应用:以福建省长汀腾飞经济开发区为例[J]. 地理学报, 2007, 62(8): 887-896.
- [9] 周建飞,曾光明,黄国和,等. 基于不确定性的城市扩展用地生态适宜性评价[J]. 生态学报, 2007, 27(2):774-783.
- [10] 尹海伟,张琳琳,孔繁花,等. 基于层次分析和移动窗口方法的济南市建设用地适宜性评价[J]. 资源科学, 2013, 35(3):530-535.
- [11] 陈燕飞,杜鹏飞,郑筱津,等. 基于 GIS 的南宁市建设用地生态适宜性评价[J]. 清华大学学报:自然科学版, 2006, 46(6):801-804.
- [12] 牛叔文,李景满,李升红,等. 基于地形复杂度的建设用地适宜性评价:以甘肃省天水市为例[J]. 资源科学, 2014, 36(10):2092-2102.
- [13] 龚建周,夏北成,陈健飞,等. 基于 3S 技术的广州市生态安全景观格局分析[J]. 生态学报, 2008, 28(9):4323-4333.
- [14] 孙翔,朱晓东,李杨帆. 港湾快速城市化地区景观生态安全评价:以厦门市为例[J]. 生态学报, 2008, 28(8):3563-3573.
- [15] 何丹,金凤君,周璟. 资源型城市建设用地适宜性评价研究:以济宁市大运河生态经济区为例[J]. 地理研究, 2011, 30(4):655-666.
- [16] 齐增湘,廖建军,徐卫华,等. 基于 GIS 的秦岭山区聚落用地适宜性评价[J]. 生态学报, 2015, 35(4):1274-1283.
- [17] 徐理,周勇,许倍慎. 基于土地生态环境质量的建设用地空间管制分区评价[J]. 水土保持通报, 2012, 32(1):222-226.
- [18] 朱永恒,濮励杰,赵春雨. 景观生态质量评价研究:以吴江市为例[J]. 地理科学, 2007, 27(2):182-187.
- [19] 裴欢,魏勇,王晓妍,等. 耕地景观生态安全评价方法及其应用[J]. 农业工程学报, 2014, 30(9):212-219.
- [20] 安静,刘红玉,郝敬锋,等. 南京仙林新市区景观生态质量变化研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2):231-235.

(上接第 188 页)

- [6] Chorley R J, Schumm S A, Sugden D E. Geomorphology[M]. London: Methuen, 1984.
- [7] Church M, Slaymaker O. Disequilibrium of Holocene sediment yield in glaciated British Columbia [J]. Nature, 1989, 337(6206):452-454, 10.
- [8] Xu Jiongxin, Yan Yunxia. Scale effects on specific sediment yield in the Yellow River basin and geomorphological explanations[J]. Journal of Hydrology, 2005, 307(1):219-232.
- [9] 师长兴. 长江上游输沙尺度效应研究[J]. 地理研究, 2008, 27(4):800810.
- [10] Yan Yunxia, Xu Jiongxin. A study of scale effect on specific sediment yield in the Loess Plateau, China [J]. Science in China: Earth Science, 2007, 50(1):102-112.
- [11] 李铁键,王光谦,薛海,等. 黄土沟壑区产输沙特征的空间尺度效应研究[J]. 中国科学(E):技术科学, 2009, 39(6):1095-1103.
- [12] 刘纪根,蔡强国,刘前进,等. 流域侵蚀产沙过程随尺度变化规律研究[J]. 泥沙研究, 2005(4):7-13.
- [13] 闫云霞,许炯心. 黄土高原地区侵蚀产沙的尺度效应研究初探[J]. 中国科学(D):地球科学, 2006, 36(8):767-776.
- [14] 闫云霞,王随继,颜明,等. 海河流域产沙模数尺度效应的空间分异[J]. 地理科学进展, 2014, 33(1):57-64.
- [15] 汪丽娜,王勇,高鹏,等. 黄土高原粗泥沙集中来源区水沙变化特征及趋势性分析[J]. 水土保持通报, 2008, 28(2):11-26.
- [16] 陈浩,周金星,陆中臣,等. 黄河中游流域环境要素对水沙变异的影响[J]. 地理研究, 2002, 21(2):179-187.
- [17] 刘革非,于澎涛,王彦辉,等. 黄土高原泾河流域 1960—2000 年的年输沙量时空变化[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(6):1-7.