

基于不确定性的城市扩展用地生态适宜性评价

周建飞¹, 曾光明¹, 黄国和¹, 李忠武¹, 焦 胜², 唐 琳¹

(1. 湖南大学环境科学与工程学院, 长沙 410082 2. 湖南大学建筑学院, 长沙 410082)

摘要 针对土地适宜性评价中采用定性和单因素方法而产生的主观、片面和精度低等缺点, 分析了土地适宜性评价中的不确定性因素, 并提出基于不确定性和灰色系统关联度的土地生态适宜性评价模型。结合长沙市生态规划, 在野外生态调查的基础上, 依据稳定性、独立性、主导性和综合性原则选取坡度、地基承载力、土壤生产力、植被、土壤渗透性、地表水、居民点用地程度、景观价值等土地生态适宜性评价因子。在地理信息系统 (GIS) 和遥感 (RS) 的支持下, 定量地获取各评价因子信息; 采用 AHP 法确定各评价因子的权重; 并运用改进的土地生态适宜性评价模型对长沙市城市扩展用地进行定性定量的评价, 最终得到长沙市最适宜用地、适宜用地、基本适宜用地、不适宜用地、不可用地分别占总用地的 14.77%、16.64%、24.07%、30.91%、13.61%, 说明长沙市适宜开发的土地较多 (最适宜、适宜和基本适宜用地占 55.48%)。根据评价结果提出的相应对策, 对城市用地的可持续性发展具有指导意义。

关键词 不确定性; 土地生态适宜性评价模型; 城市扩展用地; 灰色评价; 遥感; 地理信息系统

文章编号 1000-0933 (2007) 02-0774-10 中图分类号 Q147 X171 文献标识码 A

The ecological suitability evaluation on urban expansion land based on uncertainties

ZHOU Jian-Fei¹, ZENG Guang-Ming¹, HUANG Guo-He¹, LI Zhong-Wu¹, JIAO Sheng², TANG Lin¹

¹ College of Environmental Science and Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China

² College of Architecture, Hunan University, Changsha, 410082, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (2) 0774 ~ 0783.

Abstract : Land suitability evaluation is used to define a land's suitability for certain use by synthetically evaluating its hydrology, geography, terrain, geology, biology, human culture etc. At present it has been widely used in the filed of agriculture, forest, urban expansion land and so on. However, the qualitative method and single factor method adopted in land suitability evaluation are of disadvantages of subjectivity, unilateralism and low precision; meanwhile, they are of many uncertainties in quantifying factors, and modern information technologies, such as remote sensing, are rarely applied to evaluation. Compared with the traditional numerical evaluation, land suitability evaluation based on Remote Sensing (RS) and Geography Information System (GIS) is more simple, intuitionistic, convenient and fast in evaluating the land's suitability as it is the integration of ground information obtainment, numerical calculation and space data analysis.

In the process of evaluating land's suitability, uncertainties occurs in classified quantification; for example, the

基金项目 国家杰出青年科学基金资助项目 (50425927, 50225926) 2000 年教育部高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目; 国家重点基础研究 973 发展计划资助项目 (2005CB724203) 湖南省科学技术厅科技计划资助项目 (05SK3082)

收稿日期 2005-12-15; 修订日期 2006-05-22

作者简介 周建飞 (1981 ~) 男, 湖南郴州人, 硕士生, 主要从事城市生态规划研究. E-mail: jfzhou@yeah.net

Foundation item : This work was financially supported by National Natural Foundation of China for Distinguished Young Scholars (No. 50425927, 50225926); Teaching and Research Award Program for Outstanding Young Teacher in High Education Institution of MOE China (TRAPOYT); National Basic Research Program, China (973 Program) (No. 2005CB724203) and Hunan Province Science&Technology Office (No. 05SK3082)

Received date 2005-12-15; **Accepted date** 2006-05-22

Biography ZHOU Jian-Fei, Master candidate, mainly engaged in urban ecological planning. E-mail: jfzhou@yeah.net

difference in the same classification but at different levels can not be distinguished , and the difference among different classifications in the boundary is overextended. Based on the analysis of uncertainties , grey correlation analysis is brought forward to modify Land Suitability Evaluation Model (LSEM). In the Ecological Planning for Changsha Eco-city , some land ecological suitability evaluation factors are selected after ecological investigation under the principle of stability , independence , dominance and integration , which are slope , carrying capacity of foundation , vegetation , soil productivity , soil permeability , surface water , extent of resident land use and landscape value. The information of some evaluation factors such as vegetation , surface water , extent of resident land use and landscape is quantitatively obtained by interpreting Landsat-5 TM remote sensing image data ; and the information of soil productivity , soil permeability and carrying capacity of foundation is obtained by field sampling and investigating ; other information such as topographic map is collected. All usable information is input to computer to build the GIS database. The weights of factors used for evaluation are decided by the method of AHP (Analytical Hierarchy Process). Changsha urban expansion land ecological suitability is qualitatively and quantitatively evaluated by the modified land suitability evaluation model. As a result , the percentage of the highly suitable land , suitable land , moderately suitable land , not suitable land and permanently not suitable land respectively is 14.77% , 16.64% , 24.07% , 30.91% and 13.61% ; most of the land is suitable for construction (the total percentage of highly suitable , suitable and moderately suitable land is 55.48%). The effective strategies based on the evaluation results can be used as the reference for urban land planning and land evaluation.

Key Words : uncertainty ; land ecological suitable evaluation model ; urban expansion land ; grey evaluation ; remote sensing (RS) ; geography information system (GIS)

土地适宜性评价是指通过对土地的水文、地理、地形、地质、生物、人文等特征的综合评价来确定其对某种用途的适宜度^[1]。土地适宜性评价最早使用于麦克哈格及其同事在纽约斯塔腾岛 (Staten Island) 的土地利用规划中^[2]。目前,土地适宜性评价已发展成为包括宜农^[3~5]、宜牧、宜林^[6]、城市扩展用地等多方面的研究领域。现有的土地适宜性评价定性的研究较多,但是定量的研究较少^[5];对评价因子的量化处理还存在较大的主观不确定性;较少利用现代信息技术(如遥感)。遥感(RS)具有强大的地面信息提取功能,而地理信息系统(GIS)的空间叠加分析功能为区域土地适宜性评价提供了关键技术支持^[7]。相对于传统的纯数值评价方法,基于RS和GIS的土地适宜性评价方法将地面信息的获取、数值计算和空间数据的处理有机地结合起来,能够简单、直观、方便和快速的对土地适宜性进行定量分析,从而极大地提高评价效率。

在城市发展的过程中,对城市扩展用地进行生态适宜性评价是减少生态环境的破坏和实现科学合理用地的前提。本文是在考虑不确定性的前提下,利用改进的土地生态适宜性评价模型并结合RS和GIS来建立定性、定量的城市扩展用地生态适宜性评价过程,对城市用地规划和评价具有一定的指导意义。

1 土地生态适宜性评价模型

1.1 土地适宜性评价过程

通常,土地适宜性评价过程主要包括以下几个步骤:

- (1)选取评价因素 本研究中是通过解译遥感影像数据获取地表的植被、土地利用现状等信息,通过野外实地调查获取土壤、地质等信息;然后经过GIS软件处理获得每一个评价因子专题图。
- (2)单因素评价 根据单因素评价标准,逐一给每一因素图中图形单元打分,得到单因素适宜性评价图。评价分值采用5、3、1三级,分别表示某种评价因子对某种土地利用适宜的高低。
- (3)确定各因素权重 权重确定通常有专家打分法、层次分析法(AHP)、主成分分析法等^[6]。
- (4)综合评价 应用传统的用于土地适宜性的数学模型^[8]

$$S_i = \sum_{k=1}^n w_k \times C_i(k)$$

(1)

式中, i 为栅格编号; k 为评价因子编号; n 为评价因子总数; S_i 为第 i 个栅格的综合评价价值; w_k 为第 k 个因素的权重; $C_i(k)$ 为第 i 个栅格的第 k 个评价因子适宜度评价。

1.2 基于不确定性分析的土地适宜性评价模型

(1)式所述的土地适宜性评价数学模型明显存在两个方面的不确定性。一是同一级别内的不同类别在评分的时候没有显示出区别而产生的不确定性,比如坡度因素,一般按照 $0^\circ \sim 5^\circ$ 为最适宜, $5^\circ \sim 8^\circ$ 为适宜, $8^\circ \sim 15^\circ$ 为基本适宜, $15^\circ \sim 25^\circ$ 为不适宜, 大于 25° 为最不适宜来划分坡度因素的土地适宜性的等级; 其中 8.01 和 14.99 同属一个级别, 但是 8.01 和 14.99 的适宜程度显然是不同的。另一个问题是不同级别的分界处的评分过分拉大而产生的不确定性, 例如坡度中的 7.99 和 8.01 本来没有多大的区别, 但是却分别被划分在“适宜”和“基本适宜”两个级别中。目前减少不确定性的方法有随机数学方法^[9]、模糊数学方法^[10]以及灰色系统方法等。本文中使用灰色系统方法中的灰色关联度^[11]对评价模型(1)进行修正。

基于不确定性和灰色关联度的土地适宜性评价模型的评价步骤:

(1)与前面 1.1 所述相同。

(2)确定最优指标集 $C^*(k)$ (即参考数列) 选择第 k 个评价因子最理想的属性数据值。

(3)计算关联系数(度)

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |C^*(k) - C'_i(k)| + \sigma \max_i \max_k |C^*(k) - C'_i(k)|}{|C^*(k) - C'_i(k)| + \sigma \max_i \max_k |C^*(k) - C'_i(k)|} \quad (2)$$

式中, $\xi_i(k)$ 表示第 i 个栅格第 k 个评价因子与第 k 个评价因子最优值的关联度, $\xi_i(k) \in [0, 1]$ 是一个无量纲的值; $C'_i(k)$ 表示第 i 个栅格第 k 个评价因子的属性值; σ 是分辨系数, $\sigma \in [0, 1]$; 且 σ 一般取 0.5。

(4)改进后的土地适宜性的数学模型为

$$S_i = \sum_{k=1}^n w_k \times \xi_i(k) \quad (3)$$

其计算结果为(不可用地)0~1(最适宜用地)之间。

2 长沙市城市扩展用地生态适宜性综合评价研究

2.1 研究区域背景资料

长沙市位于湖南省东部偏北、湘江下游,居湘东山地、湘中丘陵与洞庭湖平原结合部,是湖南省省会,其地理位置为东经 $111^\circ 53' \sim 114^\circ 15'$, 北纬 $27^\circ 51' \sim 28^\circ 40'$ 。全市现辖芙蓉、天心、岳麓、开福、雨花 5 个区和长沙、望城、宁乡 3 个县及浏阳市,总面积为 11819.5 km^2 。长沙市地质构造形迹复杂,地层褶皱,断裂发育;属低山丘陵区,东北、西北两端山地环绕,地势高峻,向中部倾斜而趋于平缓;南部丘岗起伏,北部平坦开阔,地势由南向北倾斜;海拔高程在 $23.5 \sim 1607.9 \text{ m}$ 之间。山地面积约占全市总面积的 29.5%,丘陵占 17.2%,岗地占 23.3%,平原占 25.3%。从地型地貌特征来看,属于红壤丘陵区。长沙市属亚热带季风湿润气候,多年平均降雨量为 1483.6 mm ,降水主要集中在 4~7 月份。区域内植物属亚热带常绿阔叶林植物群落,植物种类繁多,群落交错,分布混杂。

2.2 研究方法

基于 RS 和 GIS 技术,在野外生态调查和收集图件资料以及相关文本资料的基础上,依据稳定性、独立性、主导性和综合性原则^[12]以及对土地利用方式影响的显著性和资料的可利用性选取坡度、地基承载力、地表植被状况、土壤渗透性、地表水、居民点用地程度、景观价值等土地生态适宜性评价因子。利用 ERDAS IMAGINE 遥感图像处理软件解译长沙市 2000 年 5 月 Landsat-5 TM 遥感数据,得到研究区域的植被、居民点用地程度、地表水、景观类型等评价因子信息;通过野外实地采样和调查得到土壤类型、土壤有机质含量、土壤母岩母质和地质等信息。本研究中上述资料及地形图等其他相关资料均来源于长沙市环境科学研究所,通过扫描和屏幕数字化方式输进计算机,然后在地理信息系统软件 ARCGIS 的支持下,进行数据编辑,并将其转化为和国家 1:25 万基础地形数据库一致的投影坐标系统得到评价所需的各评价因子信息。最后将不同的

空间数据离散为 100 m × 100 m 的栅格,再运用改进的土地生态适宜性模型和 GIS 的空间分析功能分别计算出每个栅格的土地生态适宜性综合评价结果,而后制定分级标准,按照聚类分析法得到长沙市城市扩展用地生态适宜性分级图并计算各级面积数。长沙市城市扩展用地生态适宜性评价技术路线如图 1 所示。

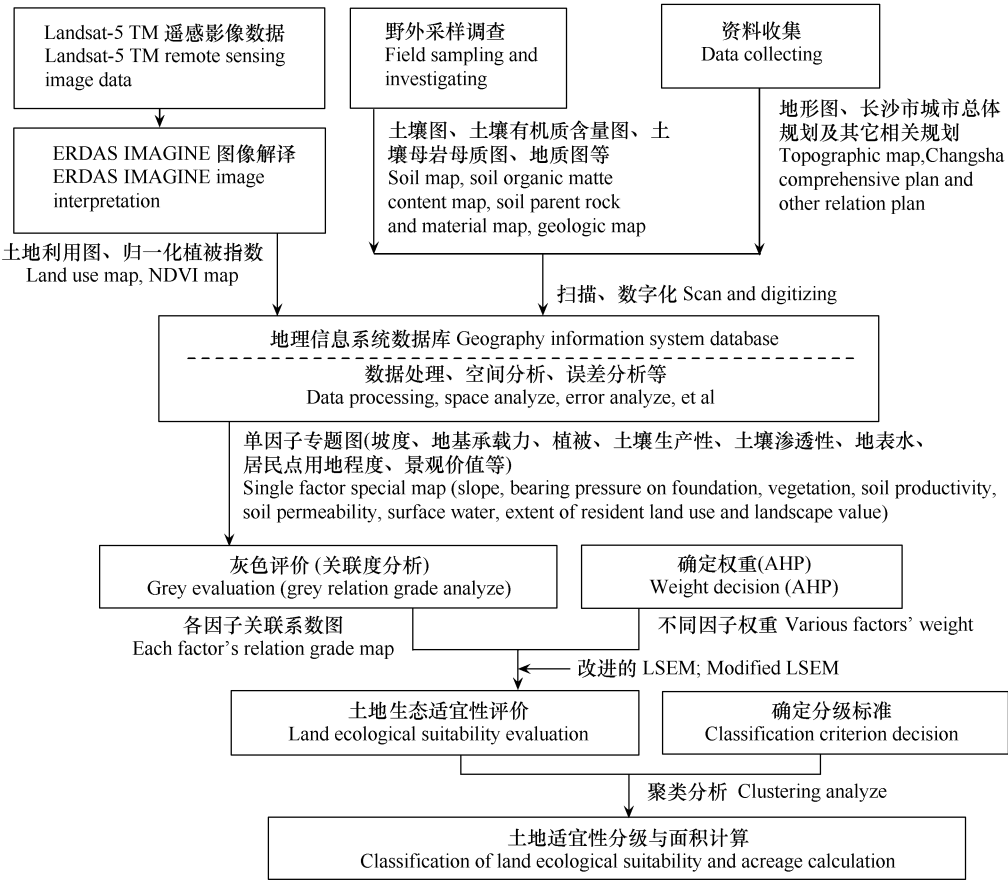


图 1 长沙市城市扩展用地生态适宜性评价技术路线

Fig.1 The technology course of Changsha urban expansion land ecological suitability evaluation

2.3 评价方法

2.3.1 单因子评价信息的获取

(1) 坡度

影响建设投资、开发强度的重要控制指标之一。本研究中使用长沙市 1:25 万地形图,通过扫描和屏幕数字化方式输进计算机,然后在地理信息系统软件 ARCGIS 的支持下,进行数据编辑,并将其转化为和国家 1:25 万基础地形数据库一致的投影坐标系统得到 1:25 万长沙市数字地形图 (DEM)。再用 ARCGIS 的 Spatial Analyst/Surface Analysis 模块提取坡度得到坡度图 (如图 2 所示)。

(2) 地基承载力

城市发展必须考虑的工程因素之一,影响到城市用地选择和建设项目的合理分布以及工程建设,和地质构造有关。目前确定地基承载力的主要方法有根据载荷试验的 p-s 曲线来确定、根据设计规范确定或根据地基承载力理论公式确定等^[3]。本研究采用长沙市 1:25 万地质图,参照《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)列出的各类岩土的地基承载力经验值,查各表估算地基承载力的基本值或标准值,得到长沙市地基承载力分布图。

(3) 土壤生产性

良田和高生产力的土地是开发建设过程中必须重视的问题,土壤生产性是综合反映土地生产力的指标。

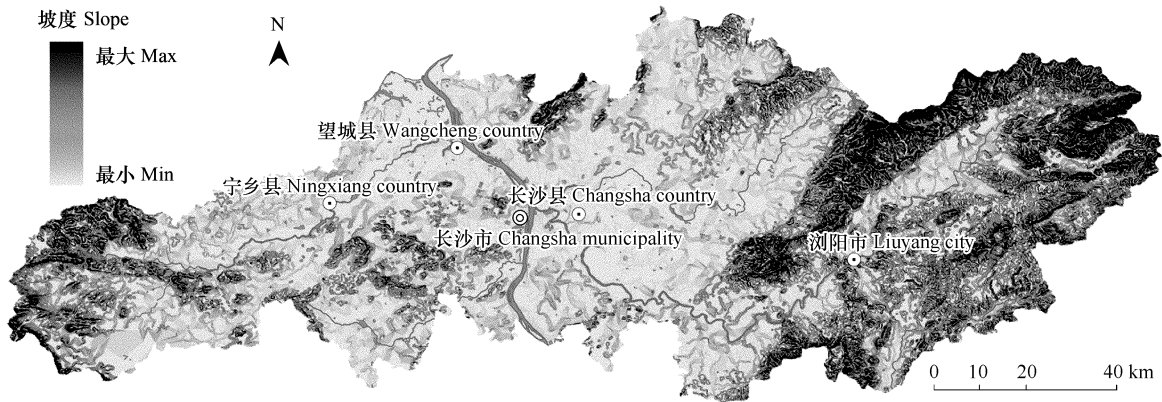


图2 长沙市坡度图

Fig.2 Slope map of Changsha City

决定土壤生产性的因素包括土壤的有机质含量、土壤的母质来源、土壤质地以及土壤的水气热状况等，其中最重要的因素是土壤有机质水平的高低^[4]。本研究通过实地采样和调查得到长沙市土壤有机质含量图、土壤母岩母质图和土壤类型图^①，由此确定长沙市土壤生产性等级分布图。

(4) 植被

是把自然引入城市的重要因素，它的存在与保护使城市居民对自然的感受增强，并能提高生活质量，是保护城市生态系统生物多样性和改善环境质量的重要场所。

在本研究中，采用反映地表植被覆盖状况的植被指数来代表植被因子。植被指数提取的方法很多，最为常用的一种方法是通过遥感影像处理软件对遥感影像不同波段进行处理，从而得到各类植被指数^[15,16]。本研究中所用的 Landsat-5 TM 遥感影像，共有 7 个波段，其中 TM3 (波长 0.63 ~ 0.69 μm) 为红光波段，是叶绿素主要吸收波段；TM4 (波长 0.76 ~ 0.90 μm) 为近红外波段，对绿色植被的差异敏感，是植被通用波段。

归一化植被指数 NDVI 的定义是

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \tag{3}$$

式中，NIR 代表近红外波段，Red 代表红光波段。

本研究中利用遥感影像处理软件 ERDAS IMAGINE 从长沙市 Landsat-5 TM 遥感影像数据 (4 景 2000 年 5 月 23 日的 Landsat-5 的 TM 影像，轨道号为 123-40, 123-41, 124-40, 124-41) 中提取 DNVI 植被指数，得到长沙市归一化植被指数分布图。

(5) 土壤渗透性

充足的地下水源对维持本地水文平衡极为重要，在开发建设中应保护渗透性土壤，使之成为地下水回灌场地，顺应水循环过程。土壤渗透性同时也是地下水污染敏感性的间接指标，渗透性越大，地下水越易被污染。土壤渗透性与土壤质地、结构、盐分含量、含水量以及湿度等有关，可通过达西 (Darcy) 公式计算^[7]。本研究中通过室外渗透筒法实地测量长沙市各种土壤类型的渗透性，结果表明砂土、砂壤、壤土、粘土的土壤渗透性依次变小；结合长沙市土壤类型分布图得到长沙市土壤渗透性等级分布图。

(6) 地表水

在提高城市景观质量，改善城市空间环境，调节城市温、湿度，维持正常的水循环等方面起着重要作用，同时也是引起城市水灾、易被污染的因子。合理的开发和保护能为水生生物提供栖息地，增加岸边植被生物多样性，并且为居民提供休闲、游憩环境。从遥感解译的土地利用现状图得到的长沙市地表水分布图，沿地表水

① 资料由长沙市环境保护研究所提供

表 2 长沙市城市扩展用地生态适宜性评价指标权重值

Table 2 The weight of evaluation factors in Changsha urban expansion land suitability evaluation								
评价子系统 Evaluate subsystem	生物和水资源子系统 Biology and water resource subsystem			土地资源子系统 Land resource subsystem			社会人文子系统 Society and human culture subsystem	
子系统因子 Subsystem factor	B ₁			B ₂			B ₃	
因子权重 Weight of factor	0.2605			0.6334			0.1061	
子因子 Sub factor	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
子因子权重 weight of sub factor	0.0679	0.1650	0.0276	0.0662	0.4036	0.1636	0.0796	0.0265

2.3.3 单因子加权叠加获得综合适宜度

选取各评价因子的最佳值 (最适合城市建设的值)作为参考值分别计算每个栅格各生态评价因子的相关系数 ,得到各评价因子相关系数图。然后再将它们和表 2 所确定的 8 个评价因子的权重代入公式 (3)进行加权叠加 ,得到各栅格的综合评价值 S_i 。整个计算过程均在 ARCGIS 平台下 ,利用 GIS 的空间分析功能运算得到结果。在对结果反复分析、实地调查对比的基础上 ,参照 FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)的土地适宜性分级标准^[21-22] ,根据各评价单元的综合得分 ,利用 SPSS 统计软件 K-Means 聚类分析法 ,将长沙市城市扩展用地的生态适宜性分为五级并确定分级标准如表 3 所示。

根据上述分级标准 ,对综合适宜度叠加结果分级处理 ,得到长沙市城市扩展用地生态适宜度分级评价结果 (图 4 所示) ,并计算各级的面积。

表 3 长沙市城市扩展用地生态适宜性综合分类标准

Table 3 The integrated classification criterion of Changsha urban expansion land suitability evaluation		
土地生态适宜级 Land ecological suitability classification	土地生态适宜度 Land ecological suitability degree	特点 Characteristic
最适宜用地 (S1) Highly suitable land	0.830 < SL ≤ 1	土地开发的环境补偿费用低 ,环境对人工破坏或干扰的调控能力强 ,自动恢复快。 Low environment compensate expense for land development , strong accommodate ability for human's destroy and interference , automatically renew quickly.
适宜用地 (S2) Suitable land	0.758 < SL ≤ 0.830	土地开发的环境补偿费用低 ,环境对人工破坏或干扰的调控能力较强 ,自动恢复较快。 Comparatively low environment compensate expense for c , comparatively strong accommodate ability for human's destroy and interference , automatically renew comparatively quickly.
基本适宜用地 (S3) Moderately suitable	0.696 < SL ≤ 0.758	土地开发的环境补偿费用中等 ,环境对人工破坏或干扰的调控能力中等 ,自动恢复慢。 moderate environment compensate expense for land development , moderate accommodate ability for human's destroy and interference , automatically renew slowly.
不适宜用地 (N1) Not suitable land	0.604 < SL ≤ 0.696	土地开发的环境补偿费用高 ,环境对人工破坏或干扰的调控能力弱 ,自动恢复难。 High environment compensate expense for land development , feebleness accommodate ability for human's destroy and interference , automatically renew badly.
不可用地 (N2) Permanently not suitable land	0 < SL ≤ 0.604	土地开发的环境补偿费用很高 ,环境对人工破坏或干扰的调控能力很弱 ,自动恢复很难。 Very high environment compensate expense for land development , very feebleness accommodate ability for human's destroy and interference , can not automatically renew.

3 结果分析

长沙市城市扩展用地生态适宜性评价结果表明最适宜用地、适宜用地、基本适宜用地共计 6561.27 km² , 占总用地的 55.48% ,集中分布在长沙市区中心江河下游和湘江两岸 ,说明长沙市适宜开发的土地较多。但是在开发的过程中一定要注意科学规划、合理开发 ,注意生态环境的保护。

(1)最适宜用地

1746.46km² ,占总用地的 14.77% ,一般为坡度小于 3°的区域 ,无自然植被或荒山区域 ,低产田地分布区及景观差的区域。主要分布在捞刀河下游平原、沩水的下游平原的南部地区 ,从行政区域来看主要有望城县、

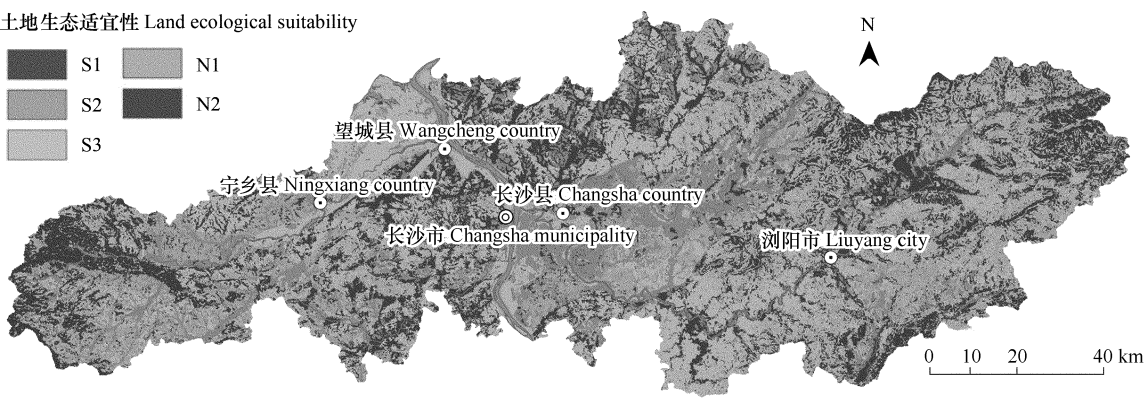


图4 长沙市城市扩展用地生态适宜度分区

Fig. 4 The classified figure of Changsha urban expansion land suitability evaluation

S1 :最适宜用地 ;S2 :适宜用地 ;S3 :基本适宜用地 ;N1 :不适宜用地 ;N2 :不可用地

S1 : Highly suitable land ;S2 : Suitable land ;S3 : Moderately suitable land ;N1 : Not suitable land ;N2 : Permanently not suitable land

市区河西岳麓山以北区域以及长沙县北部和长沙市区临近地带 ,也包括浏阳市市区以及古港至官渡镇一段沿河平原地带。该区地势平坦 ,生态环境较差 ,敏感性低 ,生态系统服务功能价值低 ,从生态环境保护的角度来讲 ,适宜城市的发展。

(2)适宜用地

1968.04km² ,占总用地的 16.64% ,原则上坡度小于 5° ,低产田区域 ,居民点较集中区域。主要分布在浏阳河流域长沙县境内、捞刀河的中上游平原以及长沙市市区范围。该区生态敏感性中等 ,系统稳定性较好 ,外界的开发建设活动对它的影响不大 ,可以作为城市扩展用地。对于该区域开发利用要给予合理的引导 ,注意新区建设生态环境标准与生态化趋势相符合、生态破坏和生态补偿相符合、城市内部绿地建设与大地园林化及城市林业生态圈融为一体 ,充分利用水网、绿地等对长沙市生态环境的改善和净化作用 ,城市建设做到依山就势而建 ,尽可能地减少对大自然的破坏。

(3)基本适宜用地

2846.77km² ,占总用地的 24.07% ,一般坡度 8° ~ 15° ,低中产田区 ,居民点较集中区域。主要分布在浏阳河中段平原、洃水下游的北部地区以及境内各山间盆地。该区抵抗外来干扰的能力较强 ,同时生态系统服务功能价值一般 ,经一定的工程措施和环境补偿措施后可以作为城市发展用地 ,但应该严格控制城市建设的占用量 ,避免过度开发而破坏该区的水源保护基地 ;

(4)不适宜用地

3655.91km² ,占总用地的 30.91% ,一般为坡度大于 15° 且植被良好区域 ,高中产田区 ,溪流影响区。主要分布在浏阳河、捞刀河、靳江和洃水上游水源地的山区 ,坡度较大 ,植被覆盖度较高。该区生态敏感性强 ,系统稳定性较差 ,对外来的干扰抵抗力弱 ,同时或这些地区对长沙市的发展具有比较重要的生态服务功能 ,从生态学及保护生产性土地的观点来讲是不宜用于发展用地 ,该区内以保护为主 ,部分地区可在合理引导下适度发展 ,但要严格控制城市建设用地的开发、严格控制该区域的人口发展规模 ,积极调整该区域内的产业结构 ,发展生态型产业 ,保护生态环境。

(5)不可用地

1609.54km² ,占总用地的 13.61% ,一般为坡度大于 25° 的坡地、溪流水域及植被景观优良的区域。主要分布在浏阳河、捞刀河、靳江和洃水上游水源地的山区 ,坡度较大 ,植被覆盖度高 ,包括大围山森林公园、黑麋峰森林公园、天际岭国家森林公园、石燕湖生态公园、岳麓山风景区 (4A) 。该区生态敏感性最强 ,系统稳定性差 ,很容易受到外来干扰的影响 ,或该区的生态服务功能最重要 ,完全不适宜城市发展 ,是重点保护区域 ,该区域内应禁止一切有损生态系统的开发活动 ,对已经存在的有污染的、对生态系统影响较大的工矿企业应坚

决予以搬迁,对已破坏的生态环境要作好生态恢复工作。

4 讨论

(1)相对于传统的纯数值评价方法,基于遥感(RS)和地理信息系统(GIS)的土地生态适宜性评价将地面信息的获取、数值计算和空间数据的处理有机地结合起来,能够简单、直观、方便和快速地实现定量分析。长沙市城市扩展用地生态适宜性评价,在生态调查的基础上,选取评价因子,通过遥感解译获取部分评价因子的量化值,采用层次分析法(AHP)确定各评价因子的权重,引入灰色关联度分析改进传统的土地生态适宜性评价模型,对城市扩展用地生态适宜性进行评价;同时针对评价结果提出相应的发展对策。其评价方法、过程和结果为城市发展用地的科学合理评价提供了有效的方法和模式,对城市用地规划和评价有借鉴意义。

(2)采用灰色关联度分析法在一定程度上解决了单因素评价中存在的确定性,提高了评价结果的科学性和合理性。然而这种不确定性在数理上是无法消除的,为了尽可能地降低其不确定性,对于坡度、归一化植被指数等连续型的数据在离散化时尽可能多地均衡取样,并且在计算关联系数之前对原始数据进行标准化处理。

(3)从数学上来讲,基于灰色关联度分析的土地生态适宜性评价要求各评价因子是相互独立的,以避免同一因素被重复考虑的可能,而实际上许多因子之间还是存在一定的直接的或间接的关系。解决这一问题一方面在评价因子的选取上要坚持独立性原则,另一方面可在层次分析过程中采用黄光宇提出的“生态因子组合法”^[1],将存在一定联系的因子划分在一个子系统中联合考虑。

(4)对城市建设用地的生态适宜性评价是科学合理用地的前提,通过对城市扩展用地进行生态适宜性分区能为城市的发展方向和建设用地选择提供决策支持,减少决策失误而产生的对城市生态环境的破坏。本研究中所提出的采用多因素综合评价方法,综合考虑影响城市用地发展的坡度、地基承载力、土壤、景观等多种因素;减少不确定性的单因子量化方法,使评价结果更加可靠;考虑主观判断和系统复杂性的多层次权重分析法,减少了权重评价的主观性;以遥感和地理信息系统为技术支持,提高了评价的效率,并将评价结果以图形方式直观的表现出来,都具有实际操作性和一定的指导意义。

(5)长沙市城市扩展用地生态适宜性分区评价结果与长沙市城市发展现状基本保持一致;同时与《长沙市城市总体规划》(2003~2020年)提出的“一主、两次、四组团”(“一主”为河东主城区,“两次”为河西、新马新城,“四组团”为暮云、捞霞、高新、含浦组团)的城市空间结构控制性原则与控制要点相符合,与长沙市扩城用地相符合,说明《长沙市城市总体规划》(2003~2020年)中的“一主、两次、四组团”的思想和发展用地是科学的。

References :

- [1] Huang G Y, Chen Y. Ecocity :Theory and Design Approach. Beijing :Science Press ,2002. 101 — 108.
- [2] McHarg I L. Design with Nature. New York :Doubleday/Natural History Press ,1969.
- [3] Sicat R S ,Carranza E J M ,Nidumolu U B. Fuzzy modeling of farmers ' knowledge for land suitability classification. Agricultural Systems ,2005 ,83 (1) :49 — 75.
- [4] Kalogirou S. Expert systems and GIS :an application of land suitability evaluation. Computers ,Environment and Urban Systems ,2002 26 :89 — 112.
- [5] Zhang H Q. An integrated evaluation of citrus land suitability in country-level area supported by GIS. Resources Science ,1998 20 (1) :62 — 70.
- [6] Zheng Y ,Hu Y C ,Liu Y S ,et al. Spatial analysis and optimal allocation of land resource based on land suitability evaluation in Shangdong Province. Transaction of the CSAE ,2005 ,21 (2) :60 — 65.
- [7] Nisar A T R ,Gopal R K ,Murthy J S R. GIS based fuzzy membership model for crop land suitability analysis. Agricultural Systems ,2000 ,63 (2) :75 — 95.
- [8] Rossiter D G. A theoretical framework for land evaluation. Geoderma ,1996 72 :165 — 190.
- [9] Tian Z ,Xiao H Y ,Wen X B. Bases of Stochastic Mathematics. Beijing :Higher Education Press ,2005. 222 — 239.
- [10] Yang L B ,Gao Y Y. Theory and Application of Fuzzy Mathematics. Guangzhou :South China University of Technology Press 2003.

[11] Zeng G M , Yang C P , Zhuo L. Grey theory and method in environment system. Beijing : Science & Technology Press , 1994. 58 — 70.

[12] Shen Q J. Urban Ecology and Urban Environment. Shanghai : Tongji University Press , 1998. 363 — 369.

[13] Du S B , Tian X K , Xu Z. Foundation and Basement. Xuzhou : China University of Mining and Technology Press , 1999. 54 — 60.

[14] Liu K F , Han J , Liu J B. Soil Fertilizer Science. Beijing : China Meteorological Press 2001.

[15] Gupta R K , Vijayan D , Prasad T S , *et al.* Role of Bandwidth in Computation of NDVI From Landsat TM and NOAA AVHRR Bands. Advances in Space Research 2000 26 (7) : 1141 — 1144.

[16] Guo K , Sun P X , Liu W G. Abstracting Vegetation Index From Remote Sensing Images Using ERDAS IMAGINE. West-China exploration Engineering , 2005 , 6 : 210 — 212.

[17] Zhang W Z. Groundwater and Soil water Dynamics. Beijing : Water and Electric Power Press , 1996.

[18] Saaty T L. The Analytical Hierarchy Process. New York : McGraw Hill , 1980. 13 — 50.

[19] Li Z W , Zeng G M , Jiao S , *et al.* Integrated assessment of ecology and environment of hilly region of red soil based on GIS : a case study in Changsha. Ecology and Environment 2004 13 (3) : 358 — 361.

[20] Hou K F. Environment System Engineering. Beijing : Beijing Institute of Technology Press , 1992. 29 — 53.

[21] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). A framework for land evaluation. Soils bulletin , No 32. Rome : FAO. 1976.

[22] Messing I , Fagerström M H H , Chen L D , *et al.* Criteria for land suitability evaluation in a small catchment on the Loess Plateau in China. Catena , 2003 54 : 215 — 234.

参考文献：

[1] 黄光宇 陈勇. 生态城市理论与规划设计方法. 北京 科学出版社 2002. 101 ~ 108

[5] 张红旗. GIS 支持的县级区域柑桔土地适宜性综合评价. 资源科学 , 1998 20 (1) : 62 ~ 70.

[6] 郑宇 胡业翠 刘彦随 等. 东省土地适宜性空间分析及其优化配置研究. 农业工程学报 2005 21 (2) 60 ~ 65.

[9] 田铮 肖华勇 温显斌. 随机数学基础. 北京 高等教育出版社 2005. 222 ~ 239.

[10] 杨纶标 高英仪. 模糊数学原理与应用. 广州 华南理工大学出版社 2003.

[11] 曾光明 杨春平 卓利. 环境系统灰色理论与方法. 北京 科学技术出版社 , 1994. 58 ~ 70.

[12] 沈清基. 城市生态与城市环境. 上海 同济大学出版社 , 1998. 363 ~ 369.

[13] 杜蜀宾 田新奎 徐卓. 地基与基础. 北京 中国矿业大学出版社 , 1999. 54 ~ 60.

[14] 刘克锋 韩劲 刘建斌. 土壤肥科学. 北京 气象出版社 2001.

[15] 郭凯 孙培新 刘卫国. 利用 ERDAS IMAGINE 从遥感影像中提取植被指数. 西部探矿工程 2005 6 210 ~ 212.

[17] 张蔚榛. 地下水与土壤水动力学. 北京 水利电力出版社 , 1996.

[19] 李忠武 曾光明 焦胜 等. GIS 支持下的红壤丘陵区脆弱生态环境综合评价. 生态环境 2004 13 (3) 358 ~ 361.

[20] 侯克复. 环境系统工程. 北京 北京理工大学出版社 , 1992. 29 ~ 53.