

基于 GIS 的城市建设用地适宜性评价理论与应用

王海鹰, 张新长*, 康停军

(中山大学地理科学与规划学院, 广东广州 510275)

摘要: 以 GIS 和 RS 技术为支撑, 利用德尔菲法确定影响城市建设用地生态适宜性的自然、社会经济和生态安全等因素, 采用层次分析法计算相关影响因子权重。遵循生态保护优先的原则, 建立了一套城市建设用地生态适宜性评价模型体系和方法, 据此划分研究区城市基本生态控制区域, 为合理有效地规划城市土地资源提供建议。

关键词: GIS; 层次分析法; 生态适宜性评价

中图分类号: X171.4; F293.2 文献标识码: A 文章编号: 1672-0504(2009)01-0014-04

在我国快速城市化进程中, 城市盲目扩张不仅造成土地资源浪费, 而且造成城市生态环境破坏。随着可持续发展战略在我国现代化建设中的全面实施, 如何合理规划、开发和利用资源, 科学、有效地保护城市生态环境, 实现我国城市快速、健康的发展, 成为当今人们日益关注的重大课题。为了有效保护城市生态环境, 需对城市建设用地进行生态适宜性评价, 依此确定城市的基本生态控制线。土地生态适宜性评价方法由美国宾夕法尼亚大学麦克哈格教授于 1960 年提出^[1], 目前, 已应用于农^[2]、林、牧及城市用地等多个研究领域。

城市建设用地生态适宜性评价是在调查分析城市自然、社会经济条件的基础上, 根据生态保护和修建的要求进行全面、综合的质量评价, 以确定土地的适宜程度。本文利用德尔菲法确定城市建设用地生态适宜性的自然、社会经济和生态安全等影响因素, 采用层次分析法(AHP)计算相关影响因子权重, 建立了一套城市建设用地的生态适宜性评价模型体系和方法, 据此划分研究区城市基本生态控制区域, 从保护城市生态环境的角度提出城市土地利用建议, 为城市发展提供有益尝试和补充。

1 评价原则与体系

1.1 评价原则

在适宜性评价过程中, 指标的选取和标准化、权重的确定及如何将 GIS 和决策过程结合始终是评价方法研究的关键^[3]。本文以城市建设用地生态适宜性评价为主要研究对象, 确定以下评价原则: 1) 生态优先原则, 如果发现某区域有重要的生态价值, 此因素具有优先决定权, 严格限制在此类区域的开发; 2)

综合性原则, 依据城市用地的综合特征确定指标体系, 同时要注意指标的全面性、代表性等; 3) 因地制宜原则, 所选因素应与区域的资料、技术水平相协调, 应采用最接近研究区土地利用状况、现实性较好的数据进行评价。

1.2 评价体系

本文综合考虑研究区的城市发展目标、城市用地现状以及当前城市建设中出现的问题, 以麦克哈格适宜性评价理论为指导, 遵循生态优先原则并根据指标间的层次关系, 最终确立符合本次研究的指标评价体系, 将城市建设用地生态适宜性影响因素分为自然因素、社会经济因素、生态安全因素^[4]。

首先从保护城市生态与社会经济安全的角度对研究区内的植被及景观分布进行调研, 获得具有生态保护价值、历史文化价值的区域范围, 如基本农田保护、自然保护区、保护水域、人文景观等; 其次从自然因素考虑评价指标的选取, 包括地形地质、水域、植被等因素^[5]; 再次, 从社会经济因素考虑评价指标的选取, 包括土地利用现状、建成区、交通区位优势等。

根据以上评价原则和指标分析, 将自然因素、社会经济因素、生态安全因素 3 方面 16 个单因子构成生态适宜性评价指标体系(图 1), 其中, A 为目标层, B 为中间层, C 为指标层。

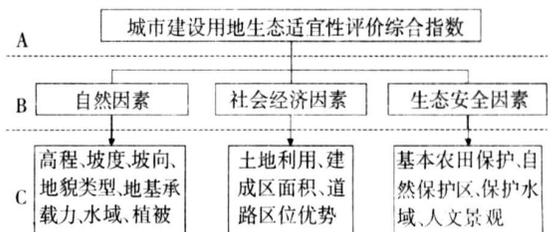


图 1 城市建设用地生态适宜性评价综合指数体系
Fig. 1 System of evaluation on ecological applicability for urban construction land

收稿日期: 2008-12-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(40471106); "985 工程"项目"GIS 与遥感的地学应用创新平台"(10520320040006)

作者简介: 王海鹰(1980-), 男, 博士研究生, 研究方向为城市 GIS、三维虚拟城市。*通讯作者 E-mail: ceeszx@mail.sysu.edu.cn

2 评价模型与方法

2.1 适宜性评价模型

采用多因素综合评价模型评价各因子的综合适宜性^[6,7]。本文提出城市建设用地适宜性评价模型如下:

$$S = \sum_{i=1}^n B_i W_i \quad (1)$$

式中: S 为生态适宜性综合评价指数; B_i 为第 i 种评价因素的得分(无量纲); W_i 为第 i 种评价因素的权重; n 为参与评价的因素数量。

2.2 建设用地的评价等级

城市建设用地评价通常是根据建设用地的自然条件、社会经济条件和当地法律法规所确定的生态保护措施,并结合修建要求进行综合分析^[8,9]。本文按照建设用地的生态适宜性程度将其划分为 5 个等级:最适宜、较适宜、基本适宜、不适宜和不可用地(表 1)。将不适宜用地和不可用地划为基本生态控制区域,在此区域内禁止一切建设活动,以确保生态安全;将最适宜用地和较适宜用地划为建设控制区域,建设用地一般不能超越此区域;将基本适宜用地划为生态缓冲区域,用于基本生态控制区域和建设控制区域的隔离,确保两者有一个缓冲空间。

表 1 建设用地适宜性等级体系

Table 1 Grade system of ecological applicability for construction land

适宜等级	等级说明	建设区划分	生态控制划分
最适宜	应优先作为建设用地	适建区	建设控制区域
较适宜	适于作为建设用地		
基本适宜	作为建设用地效果不明显		生态缓冲区
不适宜	一般不作为建设用地	限建区	基本生态控制
不可用地	不能作为建设用地	禁建区	区域

2.3 指标定量分级标准

评价因子确定后,应对研究区的自然和社会经济条件等进行综合调查,并经反复论证^[10,11]。依据各评价因子对城市建设用地的影响程度,将其划分为多个生态适宜性等级(表 2)。本文确定评价因子适宜性评价值为 5 级,用 5、4、3、2、1 代表评价因子生态适宜性分值。

2.4 评价指标权重确定方法

为确保评价因子权重的科学性和准确性,运用层次分析法对各层指标的相对重要性进行两两比较、判断,并保持判断矩阵的一致性,最后得出各个指标的权重值^[12,13]。

2.4.1 确定权重的原理

(1)建立层次结构模型,分析各指标间的关系,据此构建多层次指标体系(图 1)。层次结构一般划分为:目标层,该层只有一个元素,一般是分析问题的预定目标与理想结果;准则层,包含为实现目标所

涉及的中间环节,它由若干层次组成,包括需考虑的准则、子准则;指标层,包括为实现目标可供选择的各种措施、决策方案等。

表 2 生态适宜性评价因子等级划分标准

Table 2 Standard of grade for evaluation factors of ecological applicability

影响因素	评价指标	分类条件	评价分值	
自然因素	高程 C1(m)	> 200	1	
		100 ~ 200	3	
		60 ~ 100	4	
		< 60	5	
		> 25	1	
	坡度 C2(°)	15 ~ 25	3	
		7 ~ 15	4	
		0 ~ 7	5	
		S/H	5	
		SW/SE	4	
	坡向 C3	W/E	3	
		EN/NW	2	
		N	1	
		平原、盆地、谷地	5	
	地貌类型 C4	丘陵	2	
		山地、水域	1	
B1	地基承载力 C5(t/m ²)	> 25	5	
		18 ~ 25	4	
		10 ~ 18	3	
		< 10	1	
河流 C6	> 200 m 缓冲区	5		
	140 ~ 200 m 缓冲区	4		
	100 ~ 140 m 缓冲区	3		
	60 ~ 100 m 缓冲区	2		
	< 60 m 缓冲区	1		
湖泊、水库、海域 C7	> 3 km 缓冲区	5		
	2 ~ 3 km 缓冲区	4		
	1.5 ~ 2 km 缓冲区	3		
	1 ~ 1.5 km 缓冲区	2		
植被 C8	< 1 km 缓冲区	1		
	荒地, 植被覆盖较差	5		
	荒山灌木草丛区	4		
	经济林	3		
	自然密林	1		
社会经济因素	B2	工矿、居民地	5	
		旱地	4	
		草地	3	
		林地	2	
		水田、水域	1	
	建成区 C10	市区建成区	5	
		2 km 缓冲区	4	
		> 2 km 缓冲区	1	
		1 km 缓冲区	5	
		1 ~ 2 km 缓冲区	4	
国道、省道 C11	> 2 km 缓冲区	2		
	0.5 km 缓冲区	5		
	0.5 ~ 1 km 缓冲区	3		
县道、乡道 C12	> 1 km 缓冲区	2		
	基本农田保护 C13	旱田、水田	2	
生态安全因素	自然保护区 C14	自然保护区	1	
	保护水域 C15	河流、湖泊、水库等	1	
	B3	人文景观 C16	人文景观	1

(2)构建比较判断矩阵 A。同一层次的指标对上层次某因素而言,进行两两比较。确定思维判断量化标度方法,采用重要程度 1~9 标度表。a_{ij} 一般取 1、3、5、7、9 等级标度,其意义为:1 表示两元素

具有相同的重要性, 3 表示前者稍重要, 5 表示前者明显重要, 7 表示前者强烈重要, 9 表示前者极端重要; 而 2、4、6、8 为上述判断的中间值。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

显然, 判断矩阵必须满足

$$\begin{cases} a_{ij} = 1/a_{ji} = w_i/w_j (i \neq j) \\ a_{ij} = 1 (i = j) \end{cases} (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

(3) 层次单排序。对判断矩阵 A, 计算满足 $AW = \lambda_{\max} W$ (λ_{\max} 为 A 的最大特征根, W 为对应于 λ_{\max} 的正规化特征向量, W 的分量 W_i 就是对应元素单排序的权重值)。应用方根法求解归一化特征向量和特征值, 即首先计算判断矩阵每一行标度的乘积的 n 次方根 $\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i}$ ($M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}$ 为判断矩阵每一行元素的值); 将方根向量进行归一化处理, 得到特征向量 W 的第 i 个分量 $W_i = \bar{W}_i / \sum_{i=1}^n \bar{W}_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$); 最后计算判断矩阵的最大特征根 $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n (AW)_i / (nW_i)$ ($(AW)_i$ 为向量 AW 的第 i 个分量)。

为了检验判断矩阵的一致性, 需计算其一致性指标: $CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$, 并将 CI 与平均随机一致性指标 RI 进行比较 (表 3), 记为 CR。当 $CR = CI / RI < 0.10$ 时, 认为判断矩阵具有令人满意的一致性。

表 3 平均随机一致性指标
Table 3 Mean random consistency index

矩阵阶数 n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

(4) 层次总排序。利用层次单排序的结果, 可以计算相对上一层次本层次所有元素重要性的权值, 即为层次总排序; 对层次总排序结果进行一致性检验, 当一致性指标符合标准时, 则认为层次总排序结果可以接受。

$$B_n = \sum_{j=1}^m a_j b_{nj} \quad (3)$$

式中: B_n 为指标层权重, a_j 为准则层各因素相对于目标层的权重, b_{nj} 为指标层各因素相对于准则层的权重。显然:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_j b_{ij} = 1 \quad (4)$$

总排序一致性公式:

$$CR = \frac{\sum_{j=1}^m (a_j CI_j)}{\sum_{j=1}^m (a_j RI_j)} \quad (5)$$

当 $CR < 0.10$ 时, 认为总排序具有满意的一致性, 即得到评价指标的权重。

2.4.2 确定权重 应用层次分析法逐步求出评价

体系中各个一级指标和二级指标的权重 (表 4)。

表 4 评价指标权重总排序
Table 4 Total order of evaluation factors weight

	自然因素 B1	社会经济因素 B2	生态安全因素 B3	C 层总排序权重
	0.3325	0.1396	0.5278	
高程 C1	0.2153	0	0	0.071587
坡度 C2	0.2085	0	0	0.069326
坡向 C3	0.0544	0	0	0.018088
地貌类型 C4	0.1579	0	0	0.052502
地基承载力 C5(v/m^2)	0.1173	0	0	0.039002
河流 C6	0.0579	0	0	0.019252
湖泊、水库、海域 C7	0.0579	0	0	0.019252
植被 C8	0.1308	0	0	0.043491
土地利用现状 C9	0	0.1069	0	0.014923
建成区 C10	0	0.3416	0	0.047687
国道、省道 C11	0	0.3832	0	0.053495
县道、乡道 C12	0	0.1682	0	0.023481
基本农田保护 C13	0	0	0.1088	0.057425
自然保护区 C14	0	0	0.4100	0.216398
保护水域 C15	0	0	0.2693	0.142137
人文景观 C16	0	0	0.2119	0.111841

3 案例分析

深圳市位于经济快速发展的珠三角地区, 北与东莞市、惠州市接壤, 南与香港新界相邻, 东临大亚湾和大鹏湾, 西濒珠江口伶仃洋。全市陆地面积 1 952 84 km^2 , 海岸线长 260 km。区内东南高、西北低, 大部分为低山丘陵地, 中间为平缓的台地, 西部沿海一带为滨海平原。利用指标体系与评价模型对深圳市建设用地进行生态适宜性评价, 并根据评价结果提取深圳市基本生态控制区域。

利用 PCI 遥感影像软件处理 TM 遥感影像, 通过对影像多波段融合、校正、配准、目视解译得到研究区域的植被、水域、建成区面积、道路等评价因子信息。利用 ArcGIS 软件从土地利用现状图中获得工矿、居民地、旱地、草地、林地等土地利用类型信息, 从 1:25 万地形图中提取高程、坡度、坡向与地貌类型等评价指标信息。利用相关图件资料, 得到地基承载力、保护区、人文景观、保护水域、基本农田保护等信息。在 ArcGIS 的支持下, 转化为与国家 1:25 万基础地形数据库一致的投影坐标系, 并将图层转换为 GRID 格式, 格网大小取 50 m \times 50 m, 根据生态适宜性评价因子等级划分标准 (表 2) 对其分类赋值。

在评价过程中, 为了体现生态保护优先的原则, 首先利用 ArcGIS 软件对生态安全因素的基本农田保护、自然保护区、保护水域和人文景观 4 个指标进行 Mosaic 操作得到保护区范围; 将这 4 个因子代入式 (1) 进行加权叠加操作^[14], 得到生态安全因子图; 利用保护区范围 Exaction 其它的指标图层, 并将其

它指标代入式(1)进行加权叠加操作, 得到自然与社会因子图; 然后将生态安全因子图和自然与社会因子图进行 Mosaic 相加, 得到多因子加权叠加的城市建设用地综合适宜性评价价值。采用 K-means 聚类法分为 5 类: 最适宜用地、较适宜用地、基本适宜用地、不适宜用地、不可用地。

最后, 根据建设用地适宜性等级体系(表 1)对其进行重分类, 将不适宜用地、不可用地划为基本生态控制区域, 将最适宜用地、较适宜用地划分为建设控制区域, 将基本适宜用地列为生态缓冲区域。利用 ArcGIS 输出分类结果(图 2), 从图 2 可以看出, 利用该模型方法确定的基本生态控制区域与现行深圳市基本生态控制线基本吻合, 说明该模型具有一定的实用性和科学性。

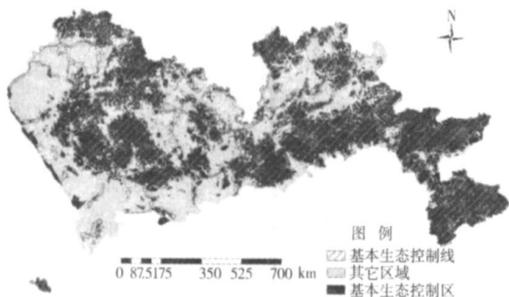


图 2 深圳市基本生态控制区域
Fig 2 Fundamental ecological control area of Shenzhen

4 结语

相对于传统的数值评价方法, 基于 RS 和 GIS 的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结合, 能够简单、直观、方便和快速地实现定量分析。本研究在生态调查的基础上, 综合考虑影响城市建设用地的自然、社会、生态等因素, 遵循“生态优先”的原则选取评价指标。采用层次分析法确定各评价指标的权重, 减少了权重评价的主观性。运用多因素综合评价模型对城市建设用地生态

适宜性进行评价, 在此基础上结合实际情况划分基本生态控制区域和建设控制区域, 从保护城市生态安全的角度提出城市土地利用建议, 对城市建设用地的科学评价以及今后城市发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] MCHARG I L. Design with Nature[M]. New York: Natural History Press, 1969. 15-40.
- [2] ZHENG Y, HU Y C, LIU Y S, et al. Spatial analysis and optimal allocation of land resource based on land suitability evaluation in Shandong Province[J]. Transaction of the CSAE, 2005, 21(2): 60-65.
- [3] 唐宏, 盛业华, 陈龙乾. 基于 GIS 的土地适宜性评价中若干技术问题[J]. 中国土地科学, 1999, 13(6): 36-39.
- [4] 李忠武, 阳小聪, 李裕元, 等. 地貌在城市建设用地生态适宜性分区中的影响研究——以浏阳河流域为例[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2008, 35(10): 65-69.
- [5] 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.
- [6] 汪成刚, 宗跃光. 基于 GIS 的大连市建设用地生态适宜性评价[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2007, 30(1): 109-114.
- [7] 李忠武, 曾光明, 张华, 等. GIS 支持下的红壤丘陵区脆弱生态环境综合评价——以长沙市为例[J]. 生态环境, 2004, 13(3): 358-361.
- [8] 刘贵利. 城乡结合部建设用地适宜性评价初探[J]. 地理研究, 2000, 19(1): 80-85.
- [9] 许嘉巍, 刘惠清. 长春市城市建设用地适宜性评价[J]. 经济地理, 1999, 19(6): 101-104.
- [10] 陈桂华, 徐樵利. 城市建设用地质量评价研究[J]. 自然资源, 1997(5): 22-30.
- [11] 梁涛, 蔡春霞. 城市土地的生态适宜性评价方法——以江西萍乡市为例[J]. 地理研究, 2007, 26(4): 782-787.
- [12] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 1996.
- [13] 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1989.
- [14] 黄杏元. 地理信息系统概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.

Theory and Application of Evaluation on Ecological Applicability for Urban Construction Land Based on GIS

WANG Hai-ying, ZHANG Xin-chang, KANG Ting-jun

(Institute of Geography Science and Planning, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract With the implementation of the strategy for sustainable development in China's modernization, how to plan, develop and utilize the resources rationally, protect urban ecological environment with scientific and effective methods, and realize the rapid and healthy and sustainable development, has become a major issue increasingly concerned by people. In this paper, with RS and GIS as the technology support, Delphi-method was used to determine influential factors about ecological suitability in urban construction land, such as natural, social, economic and ecological safety factors etc. And the analytic hierarchy process (AHP) was used to calculate the weights of the related influential factors. Keeping the priority of the ecological conservation principle, a set of system and evaluation model for evaluation on ecological applicability of urban construction land were established. Using this model system and methods to define the ecological control area can provide important opinions about rational arrangement of urban land use.

Key words: geographic information system; analytic hierarchy process; evaluation on ecological applicability