

中国山地城镇的土地适宜性评价研究

——以重庆市武隆县为例

朱康文^{1,2,3}, 周梦甜^{1,2,3}

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 400047; 2. 三峡生态环境遥感研究所,
重庆 400047; 3. 重庆市高校 GIS 应用研究重点实验室, 重庆 400047)

摘要:以重庆市武隆县为研究区域,采用 25 m×25 m 栅格大小,针对中国山地城镇的特点,综合运用 GIS 和 RS 技术,构建土地适宜性评价模型,参与评价的弹性因子包括:距离城镇的距离、距离主要道路的距离、高程、地表起伏度、坡度和各种土地利用现状,采用层次分析法(AHP)确定各因子的权重,权重结果分别为 0.253 3,0.211 6,0.093 0,0.136 9,0.206 9,0.098 3,刚性因子包括基本农田、重要生态用地和各类保护区,刚性因子作为评价的限制因素。综合运用 ArcGIS 10.0 软件的数据管理和空间分析功能,结合选取的评价因子建立武隆县土地适宜性评价数据库,为武隆县城镇建设提供数据支撑。研究表明:适宜建设用地和较适宜建设用地面积分别为 46.78,70.11 km²,占总面积的比例分别为 1.62%,2.43%。

关键词:适宜性评价; AHP; GIS; 承载力; 武隆县

中图分类号:P964

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)02-0178-06

Land Suitability Evaluation of Mountainous Towns in China

—A Case Study in Wulong County, of Chongqing

ZHU Kangwen^{1,2,3}, ZHOU Mengtian^{1,2,3}

(1. College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University,
Chongqing 400047, China; 2. Institute of Eco-environment Remote Sensing in Three Gorges
Reservoir, Chongqing 400047, China; 3. Key laboratory of GIS Application, Chongqing 400047, China)

Abstract: Taking Wulong County, Chongqing Municipality as a case, using the data of 25 m × 25 m raster, based on the integrated use of GIS and RS technology, we built land suitability evaluation model for the Chinese mountainous town. The elasticity factors involved in the evaluation model include the distance from the town, the distance from the main road, elevation, the waviness of land surface, slope and the present situation of land use. The weighting elasticity factors were 0.253 3, 0.211 6, 0.093 0, 0.136 9, 0.206 9 and 0.098 3, respectively. The rigidity factors involved in the evaluation model include the basic farmland, the ecological land and the protected areas. According to integrated use of the data management and spatial analysis function of Arcgis 10.0 software, combining with the selection of evaluation factors, we established the land suitability evaluation database of Wulong County, and provided data support for the construction of Wulong County. The results showed that the suitable and slightly suitable land for construction areas were 46.78 and 70.11 km², respectively, percentages of total area was 1.62% and 2.43%, respectively.

Keywords: suitability evaluation; AHP; GIS; carrying capacity; Wulong County

土地适宜性分析指在考虑人类一些未来活动、需求或者规划而确定的最适合的土地利用空间模式,即土地对某种用途的适应情况^[1-2]。目前基于 GIS 技术的土地适宜性评价应用领域主要包括动植物的栖息地^[3-4]、农业种植类型^[5-6]、景观评价及规划^[7]、区域

规划^[8]和环境影响评价^[9]等。

GIS 技术的广泛运用为土地适宜性评价提供了一个有力的工具,其强大的空间分析功能使土地适宜性评价变得更易于实现,随着 RS 技术的发展,多源多时相的遥感数据源也为土地适宜性评价提供了丰

富的数据源^[10]。不少学者尝试运用不同方法^[11-15]进行土地适宜性评价,目前常用的土地适宜性评价方法^[16-17]主要是多因子综合权重叠加分析法,多指标决策模型和人工智能^[18-19]的方法,多因子综合权重叠加分析法是目前最常用的土地适宜性评价方法。因子权重大小的确定方法常用的有专家打分法、主成分分析法、层次分析法(AHP)等。其中 AHP 相比其他方法可以有效的减少人为主观因素的影响,提高决策过程的客观性和科学性。

随着中国城镇化进程加速,由城市建设带来的人地矛盾、人居安全、生态环境等问题日益增多^[20]。城市的发展速度加快导致城市用地不断外扩,需要大量的城市建设用地,而对于大部分地区尤其是山地城镇,适宜发展建设的区域是非常有限的,往往通过占用耕地以满足城市发展的需要,这与我们国家一致提倡的可持续发展战略是相矛盾的,因此为了解决这一问题,设计出更合理的城镇发展空间布局,非常有必要对武隆县的土地资源进行适宜性评价。

本研究在综合考虑武隆县各局统计数据、武隆县目前城市发展情况、目前武隆县现有规划数据、未来规划情况等资料情况下,研究中采用 25 m×25 m 栅格大小以保证评价精度,采用 GIS、RS 与 AHP 方法相结合的方法对武隆县土地资源进行适宜性评价研究,为城市建设规划工作者提供用力的资料,对武隆县生态城镇的建设布局有很大的现实意义。

1 研究区概况

重庆市划分为都市功能核心区、都市功能拓展区、城市发展新区、渝东北生态涵养发展区、渝东南生态保护发展区五大功能区,武隆县作为重庆市渝东南生态保护发展区最主要区县之一,位于东经 107°13′—108°05′,北纬 29°02′—29°40′,年均气温为 17.4℃,年均降水量 1 094.4 mm,东邻彭水,南接贵州省道真县,西靠南川、涪陵,北抵丰都,县境东西长 82.7 km,南北宽 75 km,距重庆主城 139 km,幅员面积 2 901.3 km²,辖 26 个乡镇,187 个行政村,2011 年全县常住人口 34.85 万,地处世界上最大的喀斯特高原—中国南方喀斯特高原丘陵地区,武陵山脉与大娄山脉的交汇地带,属川东平等褶皱地带,地势东宽西窄,东北高,西南低,境内地形起伏大,山高坡陡,地貌类型多样。武隆县位于重庆市一小时经济圈边缘,客观上已进入重庆市“三环”,既将成为重庆市主城新的卫星城,也是重庆市一小时经济圈的重要组成部分,即将成为重庆市经济的战略支点,地区生产总值增速进入重庆市前 10 位,武隆县对于重庆市的城市建设和经

济发展都处于非常重要的战略地位。

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

本研究采用的数据主要包括:1) 遥感数据包括:重庆市 2012 年土地利用基础数据、重庆市 25 m×25 m 栅格大小的 DEM 数据、TM 遥感影像数据;2) 在 ArcGIS10.0 软件中结合高清影像及已有成果对居民点及道路进行矢量化,获得武隆县居民点、道路、水系等矢量数据;3) 运用 ArcGIS 10.0 中的 Spatial Analyst Tools/Euclidean Distance 工具分别计算距离城镇的距离、距离主要道路的距离,运用 Spatial Analyst Tools/Slope 工具提取出坡度,运用 Spatial Analyst Tools/Neighborhood 工具提取最大和最小高程点计算地表起伏度,运用 Spatial Analyst Tools/Reclassify 工具对弹性因子(距离城镇的距离、距离主要道路的距离、高程、地表起伏度、坡度和各种土地利用现状)进行重分类并生成评价因子图;4) 根据土地利用现状图提取出刚性因子(基本农田、重要生态用地和各类保护区)并生成评价因子图;5) 运用 AHP(层次分析法)对弹性因子的权重进行确定,运用 Spatial Analyst Tools/Map Algebra/Raster Calculator 工具进行权重叠加产生适宜性评价图,将其转为矢量图,采用 Analysis Tools/Overlay/Update 工具将刚性因子叠加在适宜性评价图上产生土地适宜性评价结果图;6) 运用 Spatial Analyst Tools/Reclassify 工具根据适宜性分级标准提取出武隆县城镇建设可用土地空间大小,参考国家和重庆市人均建设用地标准,根据人均建设用地空间指标计算武隆县土地空间承载能力,分析目前武隆县城市发展需要注意的问题及提供相应的方案。

2.2 适宜性评价模块

土地适宜性评价模型主要包括评价因子提取模块、权重确定模块和空间叠加分析模块(图 1),其中评价因子提取模块主要包括基础数据的处理以及各评价因子的提取,权重确定模块主要是参考目前研究区的发展情况及城镇发展要求确定各评价因子的权重,空间叠加分析模块主要是将前两个模块的结果通过 ArcGIS 10.0 空间分析功能融合在一起产生土地适宜性评价结果图。

2.2.1 评价因子选择 土地适宜性评价因子的选择主要考虑以下四个方面因素:建设经济性、建设安全性、用地现状、生态保护。因子分为弹性因子和刚性因子,本研究的因子选取结果如表 1 所示:

2.2.2 层次分析法 层次分析法(AHP)是上世纪

70 年代中期由美国运筹学家托马斯·塞蒂^[21]正式提出。土地适宜性评价是一个涉及多准则、多层次、多要素的复杂决策过程,层次分析法对于解决评价过程中的因子权重问题非常适用^[14-15],且运用层次分析法进行权重值的确定,能够有效地减少传统的土地适宜性评价过程中人为主观性的干扰,提高评价结果的科学性和准确性。

AHP 层次分析结构模型如图 2 所示,模型由下至上分为 3 层,底层为需要确定权重的因子,中间为影响顶层变化的影响因素,顶层为目标层。模型中各要素之间的关系通过对研究区实际情况的了解和已有成果以及城镇发展规划来确定。

2.2.3 多因子综合权重叠加分析法 多因子综合权重叠加分析法是根据不同评价因子对评价目标影响大小赋予适当的权重,然后将评价因子进行加权叠加分析,得到一个综合的土地适宜性值(式 1)^[22-23]。优点是容易理解和操作,因而被广泛使用。使用该方法时需要因地制宜选择合适的评价因子,选用适当的方

法确定各评价因子的权重。同时该方法假定各个评价因子之间没有相关性,并对各评价因子进行归一化消除量纲后进行运算。

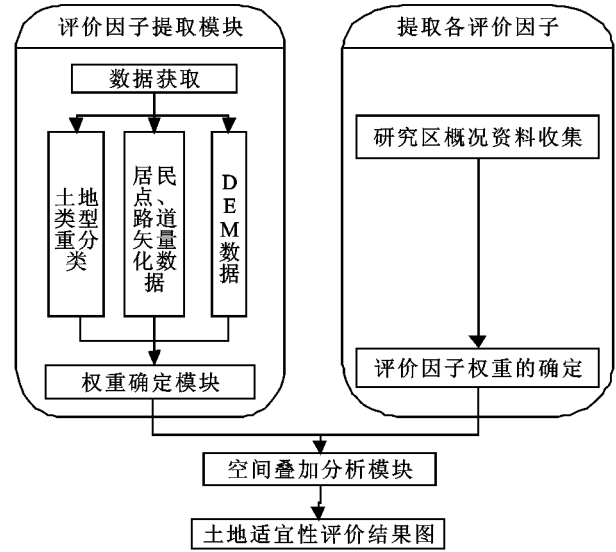


图 1 土地适宜性评价模型

表 1 评价因子

因子名称		因子描述	因子类型
建设经济因子	城镇与区位因子	距离城镇的距离	弹性
	交通因子	距离主要道路的距离	
		高程	
建设安全因子	地形因子	地表起伏度	弹性
		坡度	
		各种土地利用现状	
用地因子	土地利用因子	基本农田	刚性
生态保护因子	农地保护因子		
	重要生态用地	面积较大或专门划定的生态林、重要河流、水库等	
	各类保护区	自然保护区、风景名胜区、森林公园、饮用水源地等	

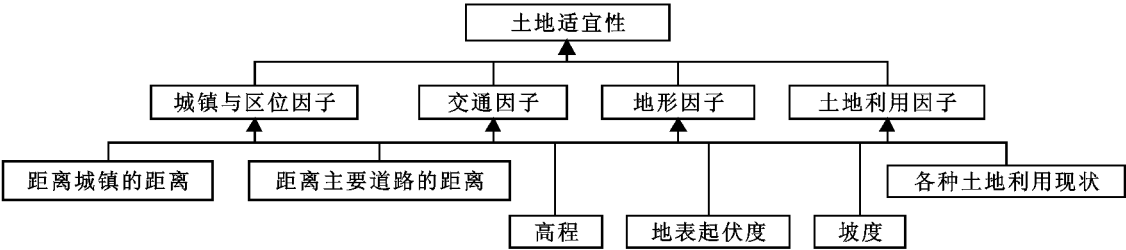


图 2 AHP 层次结构模型

$$S=\sum_{i=1}^nf_iw_i$$
(1)

式中:S——适宜性型号评价指数; f_i ——第 i 种评价因素的得分(无量纲); w_i ——第 i 种评价因素的权重; n ——参与评价的弹性因子数量。

2.2.4 土地空间承载力评价方法 土地承载力的研究早期主要是集中于农业土地的可供养人口研究方面^[24],评价方法基本上都是根据耕地的生物生产量来确定^[25]。随着土地承载力研究的不断深入,研究范围由单一的耕地扩展到各类用地,内容由人口扩展到各种人类活动。在武隆县土地适宜性评价的基础

上,参考国家和重庆市人均建设用地标准,以武隆县适宜和较适宜建设用地面积作为武隆县城镇建设可用空间,进而计算武隆县土地空间承载力。

3 结果与分析

3.1 AHP 分析结果

模型的一致性检验的结果为:总的一致性检验值为 $CR=0.09$,其中 $CR_1=0.05$, $CR_2=0.03$, $CR_3=0.06$, $CR_4=0.05$,此结果均在一致性检验的范围内。弹性因子的权重结果如表 2 所示。

表 2 因子权重

弹性因子	距离城镇的距离	距离主要道路的距离	高程	地表起伏度	坡度	各种土地利用现状
权重	0.2533	0.2116	0.093	0.1369	0.2069	0.0983

AHP 方法产生的权重结果可以看出距离城镇的距离的权重最大,说明其对城镇发展用地的选取影响最大,权重最小的是高程和土地利用现状,说明它们对适宜性评价的影响较小。

3.2 GIS 单因子提取分析

对本研究所选取的单因子分布进行适宜性分级,

各因子分级的划分主要参考国内外已有研究成果以及咨询相关专家。

分级评估原则为:因子打分的分值在 1~10 之间,分值高低反映适宜开发或适宜保护的程 度,适宜保护的得分低,适宜建设开发的得分高(表 3),单因子评价空间分布如附图 2 所示。

表 3 单因子分类评估

城镇与 区位因子	交通 因子	高程 因子	坡度 因子	地形起 伏度因子	土地利用 现状因子	适宜性 赋值	适宜性 等级
0~2 km	0~1 km	<500 m	0°~10°	0~50 m	城镇居民点用地	10	适宜建设用地
2~3 km	1~2 km	500~800 m	10°~15°	50~100 m	旱地	8	较适宜建设用地
3~4 km	2~3 km	800~1000 m	15°~20°	100~150 m	灌木林、低覆盖度草地	5	基本适宜建设用地
4~5 km	3~5 km	100~1500 m	20°~25°	150~200 m	水田、疏林地、中覆盖度草地	3	不宜建设用地
>5 km	>5 km	>1500 m	>25°	>200 m	有林地、水域、高覆盖度草地	1	不可建设用地

城镇与区位因子在分析时主要考虑了镇政府驻地以上级别的城镇,对全区土地与这些城镇的区位关系进行了评价;交通因子主要考虑了县级以上公路的可达性对城镇总体规划建设用地适宜性的影响;高程因子主要是利用密度分割方法将全区地面高程分为 5 级,并根据专家意见进行赋值;坡度因子中把坡度分为 5 级别分别分析不同坡度分级下城镇总体规划建设用地适宜性;地表起伏度因子主要是把其分为 5 级分别分析不同起伏度分级下城镇总体规划建设用地适宜性;土地利用现状因子主要是根据不同的土地利用方式来确定城镇总体规划建设用地的适应性特征;基本农田因子在本研究中主要是根据国土部门规定的武隆县基本农田指标,然后结合专家知识对基本农田的空间分布数据进行提取。提取方法:1) 现有的水田都化归为基本农田(约 103.3 km²);2) 坡度<18°,高程在 1 200 m 以下的旱地化归为基本农田(约 400.34 km²)。此处,基本农田空间数据的提取是利用遥感解译的土地利用现状图获得的,提取的基本农田总面积约等于国土部门规定的武隆县基本农田指标 509.94 km²;重要生态因子主要是提取面积>3 km² 的林地和主要河流及湖泊、水库等作为严格加以保护的区域参与建设用地适宜性评价分析;各类保护区因子主要包括白马山自然保护区和黑叶猴自然保护区。

3.3 GIS 多因子叠加分析

根据式 1,结合权重结果利用 GIS 技术的空间叠

加分析功能分别对参评的弹性因子进行加权叠加分析,并对结果按照均分法进行分级评价(表 4),然后与刚性因子进行叠加,最终得出武隆县城镇建设用地适宜性评价结果(表 5,附图 3)。

表 4 土地适宜性评价分级表

综合得分范围	适宜性等级
8~10	适宜建设用地
6~8	较适宜建设用地
4~6	基本适宜建设用地
2~4	不宜建设用地
0~2	不可建设用地

根据武隆县土地适宜性评价结果,武隆县城镇建设用地适建区的面积为 116.89 km²,占总面积的 4.05%,适建区主要分布在水系附近以及原有居民点比较集中的区域,说明山地城镇中,尤其在经济发展还不是太好的情况下,很少会出现城镇建设用地突然出现在离水系、交通线或者离居民点很远的位置,整个区域面积来说,不宜建设用地和不可建设用地面积达到了 80%左右,反映出山地城镇大部分面积都不适宜用于建设城镇,考虑到作为重庆市渝东南生态保护发展区的主要区县之一,需要进一步控制生态用地的范围,加上地质灾害等因素的影响将是适宜建设用地面积进一步缩小,所以在以后的发展中提高土地利用集约度是非常有必要的。

3.4 土地空间承载力的计算

根据国家和重庆市的相关规范标准,设定武隆县

城镇规划人均用地指标为 150 m²/人。按目前适建区(适宜和较适宜建设用地)116.89 km²,同时考虑部分区域可能由于地质灾害或其他原因无法进行建设,粗略以 93.51 km²(按适建区的 80%计算)作为最终的适建区空间。

由此可推算出武隆县土地空间承载力约能承载 62.34 万人。2011 年的武隆县常住人口 34.85 万人,

剩余人口容量约 27.49 万人,目前可用于城市建设的土地资源相对整个人口规模来说还是比较充足的,但是考虑到武隆县在重庆市所处的生态地位,作为渝东南生态保护发展区的主要区县之一势必要求在城镇建设方面充分考虑对生态环境的影响,为了城镇的可持续发展有必要了解整个区域内的适宜建设用地的分布情况,提高土地资源利用率。

表 5 土地适宜性评价结果

类型	面积/km ²	比例/%	建设区划分	生态控制划分
适宜建设用地	46.78	1.62	适建区	建设控制区域
较适宜建设用地	70.11	2.43		
基本适宜建设用地	461.24	15.96	—	生态缓冲区
不宜建设用地	644.18	22.29	限建区	基本生态控制区域
不可建设用地	1667.06	57.70	禁建区	

4 结论与讨论

采用 AHP 与 GIS 空间分析功能相结合的方法应用在山地城镇土地适宜性评价方面可以说是一种创新,因为山地城镇本身由于多种因素的限制,使其在城镇建设发展方面没有太大的优势,本研究结合了相关的现状及规划情况,在 25 m 高分辨率下,综合考虑多种因子对武隆县土地适宜性评价的影响,在精度和可靠性上都有很大的提升,由于之前权重确定方法基本都是基于专家打分或者人为主观判断降低了结果的科学性,而采用 AHP 方法确定权重可以减少人为主观因素的影响,提高分析的精度,因此能更好的为政府决策提供可靠的依据。

通过分析表 5 和附图 4 可以看出,区域内不可建设用地面积占了全区总面积的 57.70%;不适宜面积的比例为 22.29%,由此可见,武隆 80%以上的土地面积不适宜城镇建设。武隆县城镇发展适宜和较适宜用地,约 46.78 km² 和 70.11 km²,占全区是比例分别为 1.62%和 2.43%,结合目前武隆县城镇分布情况可以发现本研究土地适宜性评价结果精度较高,与现实人口分布趋势一致,说明运用 AHP 结合 Arc-GIS 软件的空间叠加分析进行城镇建设适宜性评价是可行的,武隆县城镇发展适宜和较适宜用地空间上主要分布在现有主要城镇及其周边地势平坦,现有城镇发展基础较好和交通网络较发达的区域,如巷口镇、仙女山镇、白马镇、土坎乡、江口镇等片区,适宜和较适宜用地分布相对比较集中,这样更有利于城镇发展的需要,也说明本研究进行的山地城镇土地适宜性评价结果与现实城镇布局有很好重合度,反映出本研

究评价精度较高。

土地适宜性评价的研究正朝着精确化、动态化和综合化的方向发展,在大空间尺度的适宜性研究是热点领域,但是大空间尺度下往往导致评价精度较差,中心尺度的适宜性研究虽然复杂但精度较高,如何将不同尺度下的适宜性评价方法与体系综合运用,提高评价精度并减少计算过程的繁杂步骤是未来土地适宜性评价需要关注的问题。本研究采用多因子叠加权重的方法,并综合考虑现状情况和各部门规划方案的基础上进行的适宜性评价,实现了中小尺度范围内高分辨率、高精度的适宜性评价结果。由于山地城镇存在较多的突发性地质灾害的影响,对本研究的结果精度有一定的影响,由于大多数地质灾害都是偶尔事件,在实际分析中很难界定,故没有考虑其对结果的影响,只是对最终评价结果进行了 80%的折合,在以后的研究中将深入考虑这方面的问题。

参考文献:

[1] Hopkins L D. Methods for generating land suitability maps: a comparative evaluation[J]. Journal of the American Institute of Planners,1977,43(4):386-400.

[2] Collins M G, Steiner F R, Rushman M J. Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements [J]. Environmental management,2001,28(5):611-621.

[3] Pereira J M C, Duckstein L. A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation[J]. International Journal of Geographical Information Science,1993,7(5):407-424.

[4] Store R, Kangas J. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat

- suitability modelling[J]. *Landscape and urban planning*, 2001, 55(2): 79-93.
- [5] Cambell J C, Radke J, Gless J T, et al. An application of linear programming and geographic information systems: cropland allocation in antique[J]. *Environment and Planning A*, 1992, 24(4): 535-549.
- [6] Kalogirou S. Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2002, 26(2): 89-112.
- [7] Miller W, Collins M G, Steiner F R, et al. An approach for greenway suitability analysis[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 42(2): 91-105.
- [8] Klopatek J M. Some thoughts on using a landscape framework to address cumulative impacts on wetland food chain support[J]. *Environmental Management*, 1988, 12(5): 703-711.
- [9] Dong J, Zhuang D, Xu X, et al. Integrated evaluation of urban development suitability based on remote sensing and GIS techniques: a case study in Jingjinji Area, China[J]. *Sensors*, 2008, 8(9): 5975-5986.
- [10] Kalogirou S. Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2002, 26(2): 89-112.
- [11] Chen Y, Yu J, Khan S. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2010, 25(12): 1582-1591.
- [12] Joerin F, Thériault M, Musy A. Using GIS and out-ranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment[J]. *International Journal of Geographical information science*, 2001, 15(2): 153-174.
- [13] Banai-Kashani R. A new method for site suitability analysis: The analytic hierarchy process[J]. *Environmental Management*, 1989, 13(6): 685-693.
- [14] Malczewski J. Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2006, 8(4): 270-277.
- [15] 邱炳文, 池天河, 王钦敏, 等. GIS在土地适宜性评价中的应用与展望[J]. *地理与地理信息科学*, 2004, 20(5): 20-23.
- [16] 史同广, 郑国强, 王智勇, 等. 中国土地适宜性评价研究进展[J]. *地理科学进展*, 2007, 26(2): 106-115.
- [17] 刘耀林, 焦利民. 基于计算智能的土地适宜性评价模型[J]. *武汉大学学报: 信息科学版*, 2005, 30(4): 283-287.
- [18] 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.
- [19] 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): 109-115.
- [20] 封志明, 杨艳昭, 张晶. 中国基于人粮关系的土地资源承载力研究: 从分县到全国[J]. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 865-875.
- [21] 陈颖, 吴柏清, 邹卓阳, 等. 基于GIS的土地适宜性评价: 以四川省马尔康县为例[J]. *水土保持研究*, 2010, 17(4): 100-103.
- [22] 刘忠秀, 谢爱良. 区域多目标土地适宜性评价研究: 以临沂市为例[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(1): 176-178.
- [23] 罗雁文, 魏晓, 王良健, 等. 湖南省各市(州)土地资源承载力评价[J]. *经济地理*, 2009, 29(2): 284-289.
- [24] 岳晓燕, 宋伶英. 土地资源承载力研究方法的回顾与展望[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(1): 254-257.
- [25] 王书华, 毛汉英, 赵明华. 略论土地综合承载力评价指标体系的设计思路: 我国沿海地区案例分析[J]. *人文地理*, 2005, 16(4): 57-61.