

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.08.018

基于惩罚型变权的低丘缓坡开发建设适宜性评价

——以重庆市两江新区为例^①

杨俊^{1,2}, 廖和平^{1,2}, 庄伟³,
潘卓⁴, 李涛^{1,2}, 时仅^{2,5}, 褚远恒^{1,2}

1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学国土资源研究所, 重庆 400715;
3. 西南大学历史文化学院民族学院, 重庆 400715; 4. 西南大学人事处, 重庆 400715;
5. 西南大学数学与统计学院, 重庆 400715

摘要: 为了解低丘缓坡土地利用现状和存在的问题, 探讨低丘缓坡开发建设的可行性, 缓解城镇扩展和耕地保护之间的矛盾, 以重庆两江新区为例, 选取自然生态适宜度、经济社会适宜度 2 个维度 13 项指标, 引入惩罚型变权理论, 探讨低丘缓坡评价指标的权重修正方法, 构建集“基础权重设定”、“权重修正”、“层次分析”等于一体的综合测度模型。结果显示: 研究区西南部经济发达且自然环境基础好, 低丘缓坡普遍适宜于开发建设; 东北部低丘缓坡分布广泛, 因生态环境脆弱、生态保护任务重, 开发建设适宜性较差。研究表明, 基于惩罚型变权的综合评价方法能有效进行适宜性评价, 评价结果更客观。

关键词: 低丘缓坡; 开发建设; 适宜性评价; 惩罚型变权; 两江新区

中图分类号: F301.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)08-0113-07

低丘缓坡的开发利用是一项优势与风险并存的土地利用活动, 在山地上布局城镇、工业、基础设施等建设用地, 其地质灾害防治、生态环境保护与再造等环境问题严峻。土地适宜性评价是评判土地对于某种用途是否适宜及其适宜程度的过程, 已有的土地适宜性评价研究多以农、林、牧业综合适宜性评价为主^[1], 近年来土地适宜性评价对象不断向建设用地领域扩展^[2]。针对低丘缓坡土地资源进行的开发适宜性评价相关研究, 主要涉及低丘缓坡开发利用中造成的生态环境问题和低丘缓坡建设用地开发适宜性及可持续性^[3-4]。但现有成果在指标权重的处理上多采用静态常权评价, 而限制性因子在常权评价中容易被优势因子“中和”, 导致评价结果偏离区域实际, 难以客观评价土地资源开发建设适宜性。

本研究以重庆两江新区为例进行实证分析, 结合区域自然、社会经济特征, 选取符合区域特质的指标构建低丘缓坡开发建设适宜性评价指标体系, 重点讨论评价指标的基础权重设定和基于惩罚型变权的权重修正方法, 对两江新区的低丘缓坡进行开发建设适宜性评价, 以期对土地适宜性评价的指标选取、权重设定、权重修正等做出有益探讨, 为区域低丘缓坡土地的开发利用提供决策参考。

1 评价指标体系构建

1.1 评价目标的多维分解

两江新区的低丘缓坡肩负着开发新区城镇拓展、产业转移的用地使命。本研究以保障粮食和生态安全

^① 收稿日期: 2015-05-27

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAJ11B02)。

作者简介: 杨俊(1990-), 男, 四川宜宾人, 硕士研究生, 主要从事土地利用规划和可持续发展研究。

通信作者: 廖和平, 教授, 博士研究生导师。

为基础,“宜林则林、宜农则农、宜建则建”为原则,以向新区发展提供用地保障为目的,重点评价两江新区低丘缓坡开发建设适宜性,将两江新区低丘缓坡开发建设适宜性评价分为自然生态适宜度和经济社会适宜度两大类,并将自然生态适宜度分解为自然本地指数和生态环境指数,经济社会适宜度分解为发展水平指数和发展潜力指数。

1.2 评价因子识别与选取

基于两江新区土地利用现状、经济发展形势、政策环境等基础条件,本研究遵循主导性、适宜性、可操作性、综合性等原则,将自然生态适宜度、经济社会适宜度分别解析为自然本底指数和生态环境指数、发展水平指数和发展潜力指数等二级维度,选取相对应的指标构建低丘缓坡开发建设适宜性评价指标体系,所选指标对低丘缓坡开发建设均直接产生正向促进或负向抑制作用(表 1)。

表 1 低丘缓坡开发建设适宜性评价指标体系

目标层	一级准则层	二级准则层	指标层	指标解释	属性
适宜性评价	自然生态适宜度	自然本底指数	地质灾害指数/(次·hm ⁻²)	年地灾发生次数/土地总面积	-
			平均高程/m	表示建设难易程度	-
			坡度等级/%	表示开发难易程度	-
		生态环境指数	水源供给能力/%	表示水源供给条件	+
			绿地面积比/%	表示生态环境基础	+
	经济社会适宜度	发展水平指数	城镇化水平/%	表示建设用地扩张压力	+
			人口密度/(人·km ⁻²)	总人口/土地总面积	+
			人均 GDP/(万元·人 ⁻¹)	表示经济发展水平	+
			地均固定资产投资/(万元·hm ⁻²)	表示经济发展动力	+
			企业用地规模/hm ²	表示经济发展吸引力	+
		发展潜力指数	服务设施用地比/%	服务设施用地/土地总面积	+
			交通通达度/%	表示区域间要素的流通难易程度	+
			与城市中心距离/km ²	表示经济辐射能力	+

2 适宜性评价的理论基础与模型设计

2.1 理论基础

变权分析是我国学者汪培庄教授于 19 世纪 80 年代提出的一种综合决策方法^[5],李洪兴^[6]在其基础上通过讨论因素空间的内涵和外延对变权原理进行了系统研究,给出了惩罚型变权、激励型变权和混合型变权的公理化定义,从而使得变权综合理论趋于完善.变权分析的核心是:指标权重依据指标状态值的变化而改变,更好地体现相应指标在决策中的评价作用^[7].变权综合评价可对基础权重进行修正,能够很好地解决加权求和中基础权重不变导致部分决策结果偏差问题^[8],使评价结果更接近实际情况,近年来被广泛应用于土壤质量评价^[9]、生态安全评价^[10-13]、城镇用地扩张生态适宜性评价^[14]、临时用地复垦适宜性评价^[15]等领域。

低丘缓坡开发建设适宜性评价注重生态安全和因地制宜,强调“宜林则林、宜农则农、宜建则建”,保护耕地是其必要前提和灵魂,因此对评价结果影响最大的不是区域开发优势因子,而是限制性因子,该类限制性因子往往决定区域土地资源的开发方式和开发强度,事关土地开发利用效率和土地生态安全.低丘缓坡开发利用形态变化快,动态性特征明显,运用基于惩罚型变权的指标权重修正方法,结合区域实际对限制性因子进行变权处理,可以提高评价结果的影响力.本研究采用惩罚型变权方法的基本思路为:采用层次分析法确定基础权重,根据区域各指标状态值的组合水平,运用惩罚型变权方法增加限制性因子的权重,突显其限制作用。

2.2 模型设计

2.2.1 数据标准化

本研究选取的评价指标分为正向促进和负向限制作用,为消除量纲影响,需通过引入标准值进行数据

标准化处理,使各项指标之间具有同一性和可比性.计算公式如下:

$$M'_{ij} = \frac{M_{ij} - \text{Min}_j}{\text{Max}_j - \text{Min}_j} \quad (\text{正向指标}) \quad (1)$$

$$M'_{ij} = \frac{\text{Max}_j - M_{ij}}{\text{Max}_j - \text{Min}_j} \quad (\text{负向指标}) \quad (2)$$

式中: M'_{ij} 表示标准化处理后第 i 评价单元第 j 指标的标准化值; M_{ij} 表示第 i 评价单元第 j 指标的实际值.

2.2.2 基础权重设定

低丘缓坡开发建设是一项多因素综合作用的土地开发工作,各因素对低丘缓坡开发利用的影响较为复杂.基础权重的设定是低丘缓坡开发建设适宜性评价的前提工作,为增加赋权的科学性,降低主观因素对权重值的影响,本研究运用判断矩阵法进行基础权重设定,将评价指标按照层次结构分组,形成有序的排列状态,用 1—9 相对标度进行定量化测算,通过两两比较得出各指标的相对重要性,计算出各项指标的基础权重.

1) 依次选取指标 X_p 和 X_q 进行成对的重要性比较,用 X_{pq} 表示 X_p 和 X_q 之间的重要性测度值.“1—9 相对标度”的含义见表 2.

表 2 1—9 相对标度及其含义描述

相对标度	相对重要性描述	相对标度	相对重要性描述
1	p, q 两指标同等重要	1/3	p 指标比 q 指标稍不重要
3	p 指标比 q 指标稍重要	1/5	p 指标比 q 指标明显不重要
5	p 指标比 q 指标明显重要	1/7	p 指标比 q 指标强烈不重要
7	p 指标比 q 指标强烈重要	1/9	p 指标比 q 指标极端不重要
9	p 指标比 q 指标极端重要		

2) 组建判断矩阵:

$$\mathbf{X} = (X_{pq})_{n \times n} = \begin{cases} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nn} \end{cases} \quad (3)$$

3) 基础权重矩阵:

$$\mathbf{S} = \{S_1, S_2, \cdots, S_n\} \quad (4)$$

2.2.3 权重修正

根据上述变权思想,当某一因素对评价单元低丘缓坡开发建设的限制性增加时,其权重值也需相应增加.因此,首先,计算出评价指标的权重修正系数,然后,根据评价指标的基础权重和权重修正系数计算出权重修正值.基本思路可用如下公式表达:

1) 权重修正系数:

$$K_{ij} = \begin{cases} 1 & S_{ij} \geq a_j \\ e^{-\theta(S_{ij}-a_j)} & 0 < S_{ij} < a_j \end{cases} \quad (5)$$

式中: K_{ij} 表示第 i 评价单元第 j 指标的权重修正系数; θ 表示变权的惩罚型程度,其取值越大惩罚效果越明显; a_j 取值介于 0 到 1 之间, a_j 即 j 指标标准化值降序排列后占总数三分之二处的临界值;

2) 权重修正值:

$$S'_{ij} = \frac{S_{ij} K_{ij}}{\sum_{i=1}^n S_{ij} K_{ij}} \quad (6)$$

式中: S'_{ij} 表示第 i 评价单元第 j 指标的权重修正值; S_{ij} 表示第 i 评价单元第 j 指标的基础权重值; K_{ij} 表示第 i 评价单元第 j 指标的权重修正系数.

2.3 适宜性评价测度模型

根据惩罚型变权方法,在基础权重设定和权重修正基础上,构建适宜性评价的测度模型:

$$P_i = \sum_{j=1}^n S_{ij}' M_{ij}' \quad (7)$$

式中： P_i 表示 i 评价单元低丘缓坡开发建设适宜度，数值越大表示该区域越适用于开发建设。

3 实证分析

3.1 研究区概况与数据来源

重庆两江新区位于重庆主城区长江以北、嘉陵江以东，规划面积 1 200 km²，包括江北区、渝北区、北碚区 3 个行政区部分区域和北部新区、保税港区，可开发建设用地面积达 550 km²。研究区自然地理环境独特，低丘缓坡开发潜力大。该区域是重庆低丘缓坡土地综合利用试点典型区，区内中梁山、铜锣山、龙王洞山及明月山之间的地形平缓地带，低山丘陵面积广大，2009 年两江新区范围内低丘缓坡荒滩等未利用地总规模为 76 465.90 hm²，占区域土地总面积的 65.30%。研究区建设用地资源短缺，耕地保护任务重大。两江新区在重庆五大功能分区中属于都市功能拓展区，更强调经济体量的增长，叠加国家级新区的优惠政策，区位优势不断突显，未来经济社会发展动力强劲，城镇人口、产业要素迅速集聚增长，对土地开发的刚性需求大。

渝北区在两江新区范围内区位优势明显，对开发建设的需求渐增，低丘缓坡利用效益能有效提升，以该区域为例开展适宜性评价具有代表性。由于低丘缓坡土地分布相对零散，本研究依据现状数据中的建设用地和低丘缓坡土地资源分布情况等基础数据，以乡镇、街道为依托，选取其中具有较高研究价值的 15 个镇街进行实证分析，在镇域基础上评估低丘缓坡土地的开发建设适宜性。

本研究土地利用空间数据来源于渝北区第二次土地调查数据和土地利用总体规划(2006—2020 年)成果，2012 年和 2013 年变更数据，土地整治规划(2011—2015 年)成果；自然、社会经济等数据通过统计年鉴和实地调研取得。

3.2 评价结果分析

依据上述方法设定评价指标的基础权重(表 3)，并在此基础上引入基于惩罚型变权的权重修正方法，分别得到基础权重设定(变权前)和惩罚型变权(变权后)情境下各评价单元适宜性结果(图 1)。对各评价单元变权前后所得结果进行系统聚类分析，根据区段分类得到在不同情境下各评价单元低丘缓坡开发建设适宜性，将各评价单元分为高度适宜开发建设区、中度适宜开发建设区、低度适宜开发建设区和不适宜开发建设区(图 2)。

表 3 低丘缓坡开发建设适宜性指标基础权重设定结果

目标层	一级准则层	一级准则层权重	二级准则层	二级准则层权重	指标层	指标权重
适宜性评价	自然生态适宜度	0.400	自然本底指数	0.281	地质灾害指数	0.098
					平均高程	0.088
					坡度等级	0.095
			生态环境指数	0.119	水源供给能力	0.064
					绿地面积比	0.055
	经济社会适宜度	0.600	发展水平指数	0.379	城镇化水平	0.081
					人口密度	0.078
					人均 GDP	0.070
					地均固定资产投资	0.087
					企业用地规模	0.063
			发展潜力指数	0.221	服务设施用地比	0.068
					交通通达度	0.081
					与城市中心距离	0.072

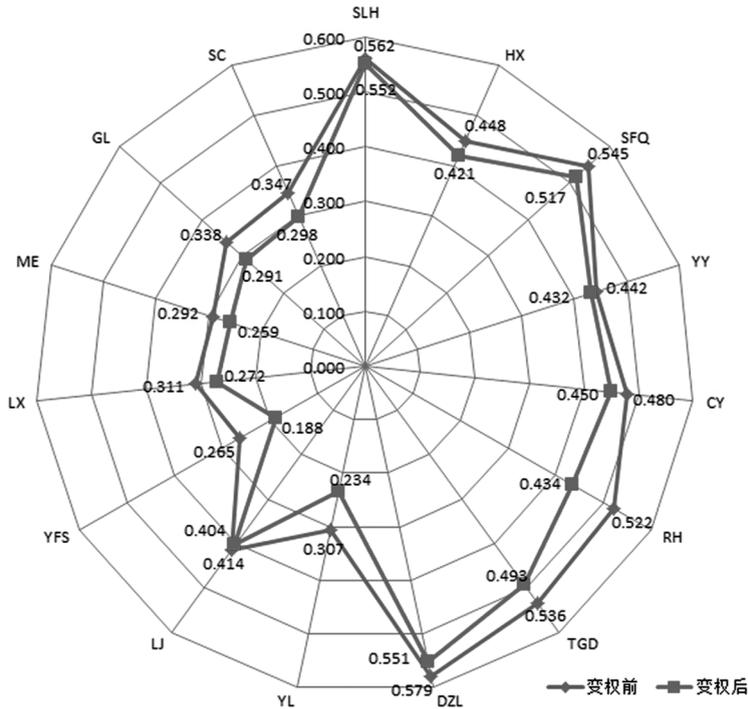


图 1 两江新区渝北区 15 个镇街低丘缓坡开发建设适宜性结果(变权前、后)

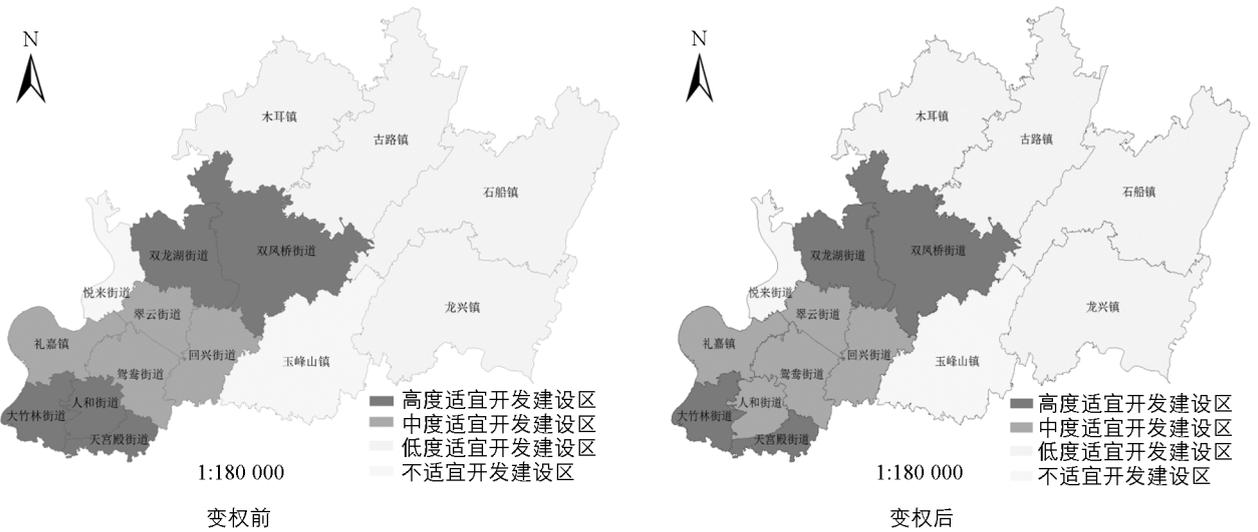


图 2 两江新区渝北区 15 个镇街低丘缓坡开发建设适宜性分区示意图

由图 1,图 2 可知,两江新区所属范围内的渝北 15 个镇街低丘缓坡开发适宜性在基础权重和变权修正 2 种情境下评价结果表现为:

1) 惩罚型变权在一定程度上针对区域限制性因素对评价结果进行了有效修正处理. 各评价单元通过惩罚型变权得到不同程度修正, 限制性因素突出的区域修正幅度较大, 弱化了优势因素对限制性因素的“中和”作用, 使评价结果更加客观. 如玉峰山镇和悦来街道, 靠近区域城市中心, 区位条件优越, 发展水平和潜力指数较高, 若依照常权评价, 其低丘缓坡开发建设适宜性较好. 但该区域分别属于铜梁山和中梁山延展地带, 地形复杂, 滑坡等地质灾害严重, 在惩罚型变权修正情境下, 该区域不适宜进行低丘缓坡开发建设, 这也契合了低丘缓坡以生态安全为原则的开发建设理念.

2) 经济发达地区的低丘缓坡开发建设适宜性普遍较好, 其中大竹林、天宫殿、双凤桥和双龙湖街道的开发建设适宜性在变权前后都很高, 这与其区位优势和自然基础有很大关系. 大竹林和天宫殿街道靠近都市核心区, 经济发展速度快, 低丘缓坡开发需求大, 同时这些区域地形大多相对较平缓, 开发潜力较大, 低

丘缓坡开发后利用效率较高, 双凤桥和双龙湖街道靠近区域行政经济中心, 发展水平较高, 发展潜力较大, 地理基础条件好, 低丘缓坡开发建设适宜性高。

3) 远离经济发达区域的东北部地区, 低丘缓坡土地资源丰富, 但该区域被中梁山、铜锣山和龙王洞山横穿而过, 自然生态保护任务重, 地质灾害较频繁, 低丘缓坡开发建设限制性因素影响较大, 因而其开发建设适宜性较差。

4) 对基础权重进行变权修正后, 部分区域低丘缓坡开发建设适宜性程度发生明显变化。如人和街道, 该区域发展水平和发展潜力大, 低丘缓坡土地资源也相对丰富, 但由于行政范围较小, 且生态保护用地面积比重大, 基于生态安全考虑对评价指标进行了权重修正。因此, 变权修正情境下的开发建设适宜性比未变权修正情境下的更弱。

4 结论与讨论

1) 由以上评价可知, 两江新区低丘缓坡建设开发适宜性较好的区域, 主要分布在经济基础好和发展潜力较大的西南部地区。经济发展水平和潜力对该类型区域低丘缓坡开发建设适宜性的影响较大, 在今后的低丘缓坡开发利用过程中, 应加强耕地保护和生态安全意识, 着重提升开发利用效率, 使低丘缓坡开发建设取得最佳效益。

2) 由测度模型可见, 区域低丘缓坡开发建设适宜性评价是一项多因素作用的综合评价, 由于低丘缓坡土地开发是在考虑耕地保护和生态安全的基础上对未利用地的开发利用, 对区域基础条件要求较为严格, 常权评价在评价过程中因为优势因素作用过大, 限制性因素难以发挥阻碍效果, 导致评价结果被夸大, 不符合区域客观实际。而基于惩罚型变权的权重修正方法能有效发挥限制性因素对评价结果负向作用, 更客观地反映区域实际, 有利于科学评价区域低丘缓坡开发建设潜力, 高效利用低丘缓坡土地资源, 为经济建设提供用地支撑, 为城镇周边优质耕地保护和生态安全建设提供技术支持。鉴于惩罚型变权修正方法能让限制性因素有效发挥阻碍作用, 将成为本研究继续深入的重点方向。

3) 实证研究发现, 针对不同评价区域、主题的基础条件差异, 评价指标选取和评价方法有所不同, 惩罚型变权在基础权重设定的基础上能使评价结果更加客观, 但并不意味着可以忽略基础权重设定的客观性和准确性, 同时由于限制性因素不同, 惩罚程度也存在差异。因此, 如何有效发挥基于惩罚型变权的权重修正方法在评价研究中的限制性作用, 合理选取评价指标、计算基础权重、设定惩罚程度等将是今后研究的难点。

参考文献:

- [1] 倪绍祥. 近 10 年来中国土地评价研究的进展 [J]. 自然资源学报, 2003, 18(6): 672-683.
- [2] 赵琳, 田永中, 唐小龙, 等. 三峡库区城镇建设用地生态适宜性纵横评价——以重庆市涪陵新区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(5): 151-158.
- [3] 刘卫东, 严伟. 经济发达地区低丘缓坡土地资源合理开发利用——以浙江省永康市为例 [J]. 国土资源科技管理, 2007, 24(3): 1-5.
- [4] 姚玉镗. 低丘缓坡地适宜性评价及潜力研究——抚州市为例 [D]. 南昌: 东华理工大学, 2013.
- [5] 汪培庄. 模糊集与随机集落影 [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1985.
- [6] 李洪兴. 因素空间理论与知识表示的数学框架(IX)——均衡函数的构造与 Weber—Fechner 特性 [J]. 模糊系统与数学, 1996, 10(3): 12-19.
- [7] 李德清, 崔红梅, 李洪兴. 基于层次变权的多因素决策 [J]. 系统工程学报, 2004, 19(3): 258-263.
- [8] 杨宝臣, 陈跃. 基于变权和 TOPSIS 方法的灰色关联决策模型 [J]. 系统工程, 2011, 29(6): 106-112.
- [9] 胡月明, 万洪富, 吴志峰, 等. 基于 GIS 的土壤质量模糊变权评价 [J]. 土壤学报, 2001, 38(3): 266-274.
- [10] 吴冠岑, 牛星. 土地生态安全预警的惩罚型变权评价模型及应用——以淮安市为例 [J]. 资源科学, 2010, 32(5): 992-999.
- [11] 赵宏波, 马延吉. 基于变权—物元分析模型的老工业基地区域生态安全动态预警研究——以吉林省为例 [J]. 生态学报, 2014, 34(16): 4720-4733.

- [12] 庄 伟, 廖和平, 杨 伟, 等. 城郊土地生态安全预警系统设计与关键技术研究——以重庆市长生桥镇为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(2): 117—123.
- [13] 郭永奇. 基于惩罚型变权的农地生态安全预警评价——以新疆生产建设兵团为例 [J]. 地域研究与开发, 2014, 33(5): 149—154.
- [14] 舒帮荣, 黄 琪, 刘友兆, 等. 基于变权的城镇用地扩展生态适宜性空间模糊评价——以江苏省太仓市为例 [J]. 自然资源学报, 2012, 27(3): 402—412.
- [15] 丁宁, 金晓斌, 汤小槽, 等. 生态位适宜度变权法在高速铁路临时用地复垦适宜性评价中的应用——以京沪高铁常州段典型制梁场为例 [J]. 资源科学, 2010, 32(12): 2349—2355.

Evaluation on Suitability for Development and Construction in Gentle Hill Based on Punitive Variable Weight

YANG Jun^{1,2}, LIAO He-ping^{1,2}, ZHUANG Wei³,
PAN Zhuo⁴, LI Tao^{1,2}, SHI Jin^{2,5}, CHU Yuan-heng^{1,2}

1. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Institute of Land resources, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. School of History Culture and Ethnology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

4. Personnel Department, Southwest University, Chongqing 400715, China;

5. School of Mathematics and Statistics, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Conducting the research is for ease the contradiction between urban development and cultivated protection effectively, consulting the current situations and issues on land use of gentle hill objectively. This study selects 13 indexes from two dimensions, natural ecological suitability, economic and social suitability, and takes Chongqing Liang Jiang New Area to conduct empirical research, introducing punitive variable weight theory in order to composite evaluation model contained “basis weights set”, “Weight Correction”, “AHP” by discussing the correction method of weights about evaluation index. The result shows that a good foundation of economic development and the natural environment are suitable for the development and construction generally in the southwest region of research area, and northeast region of gentle hill distributed widely, due to the fragile ecological environment and ecological protection task, development and construction of suitable poor. Research result shows that comprehensive evaluation method based punitive variable weights can effectively carry out development and construction suitability evaluation, so that the evaluation more scientific and objective, scientific gentle hill reserve land resources rational development and efficient use.

Key words: gentle hill; development construction; suitability evaluation; punitive variable weight; liang jiang new area

责任编辑 胡 杨

