

基于 AHP-CV 组合赋权的 低丘缓坡土地建设适宜性评价^①

周文韬^{1,2}, 张文君^{1,2}, 邓云涛^{1,2}, 刘祥龙^{1,2}, 杨元继^{1,2}

1. 西南科技大学 环境与资源学院, 四川 绵阳 621010; 2. 国家遥感中心绵阳科技城分部, 四川 绵阳 621010

摘要: 为合理高效利用低丘缓坡土地资源, 优化土地配置、解决人地矛盾, 以四川省内江市为研究区, 构建低丘缓坡土地适宜性评价层次模型, 分别采用层次分析法(AHP)和变异系数法(CV)确定评价因子主客观权重, 借助 GIS 空间分析功能和叠加分析法, 对研究区进行适宜性评价, 将内江市低丘缓坡土地分为高度适宜、一般适宜、勉强适宜和不适宜 4 个等级, 其分别占低丘缓坡土地比例的 30.92%, 42.40%, 22.66% 和 4.02%。结果表明, 全市低丘缓坡土地适宜性处于偏上水平, 具有较高发展潜力, 适宜开发建设。

关键词: 低丘缓坡土地; 层次分析法; 变异系数法; 适宜性评价; GIS

中图分类号: F301; X141

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2021)06-0098-07

低丘缓坡土地一般指海拔不高于 500 m、坡度小于 25° 的丘陵, 具有海拔高低起伏不大、坡度平缓、地面崎岖不平的特点^[1]。随着我国人口增长和经济发展水平迅速提升, 土地资源愈发稀缺、人地矛盾日益突出已经成为约束经济发展的重要因素, 丰富的山地资源没有得到充分的利用, 结合我国土地利用率低的特点, 合理开发建设低丘缓坡土地可以有效缓解土地资源供应紧张的问题。第二次世界大战结束后, 部分国家为追求各自经济利益, 加大对低丘缓坡土地资源开发利用, 如日本山地植树造林、意大利开垦山地丘陵发展农业等^[2]。国内近年一系列的研究对低丘缓坡土地开发建设起到很大推动作用, 如张晓平等^[3]根据低丘缓坡土地具有多宜性特点, 构建低丘缓坡土地资源综合适宜性评价指标体系; 蒋佳佳等^[4]以生态保护为基本目标, 测算综合生态适宜度, 为平衡“生态-经济”效应兼顾的低丘缓坡土地提供科学依据。四川省位于我国西南部, 地处长江上游, 地貌复杂, 其中山地和丘陵占全省总面积的 84.5%, 人口密集, 城镇密布, 开展低丘缓坡土地建设极为重要。

本文以内江市为例, 根据当地实际情况, 借助 ArcGIS 空间分析功能, 结合层次分析法(AHP)和变异系数法(CV)建立低丘缓坡土地适宜性评价模型, 以为低丘缓坡土地开发建设提供更多参考。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况与范围界定

内江市(29°5′-30°2′N, 104°14′-105°26′E)位于四川省东南部, 地处沱江(长江一级支流)下游中段, 东与重庆相邻, 南与泸州相接, 西与自贡接壤, 北与资阳相邻^[5]。其地形多以丘陵为主, 海拔 350~450 m

① 收稿日期: 2020-01-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC150540202); 国家自然科学基金面上项目(41871174)。

作者简介: 周文韬, 硕士研究生, 主要从事地理信息工程与遥感应用的研究。

通信作者: 张文君, 教授。

的丘陵约占90%。全市总面积达5385 km²,下辖2区(市中区、东兴区)3县(隆昌县、资中县、威远县)。国内对低丘缓坡土地定义有不同的界定,蒋佳佳等根据《城市用地竖向规划规范》(CJJ 83-99)规定,以及对建设用地需求较大的现状,将海拔500 m视为低丘缓坡土地区域的海拔上限;杨远琴等^[6]结合研究区实际情况,选用海拔500 m以下、坡度低于25°的区域作为低丘缓坡土地资源。

内江市海拔约在211~894 m(图1),地势相对平缓,由于自然资源部规定25°以上的陡坡禁止开垦,因此本文选择海拔500 m以下、坡度6°~25°的区域作为研究区域(图2),研究区面积1568.63 km²,占内江市总面积约29.20%。

1.2 数据来源

本文研究数据主要包括:①内江市DEM,来源于地理空间数据云平台,通过区域位置提取像素大小为30 m×30 m的坡度、坡向及高程;②2017年9月成像的Sentinel-2遥感影像图,来源于欧洲航天局哨兵官网(<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>),借助ENVI 5.0完成辐射定标、大气校正等预处理;③内江市道路、区县行政界线等来源于研究区1:50 000数字化矢量图。

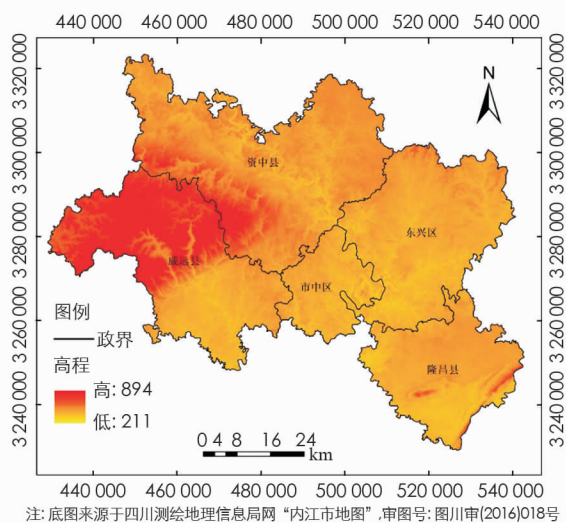


图1 研究区地形图

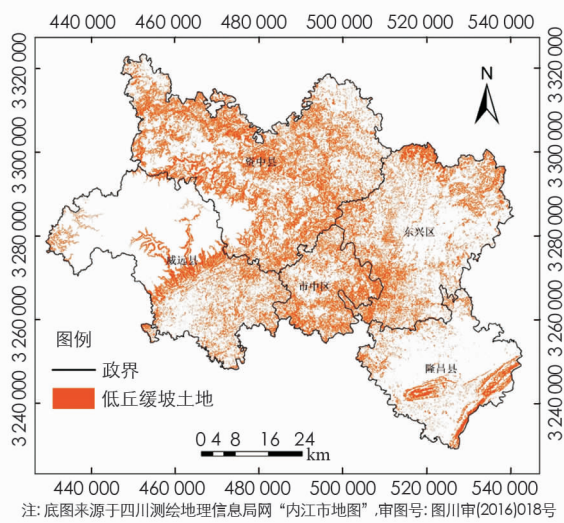


图2 低丘缓坡土地区域图

2 构建评价模型与评价方法

2.1 评价模型的构建

低丘缓坡土地的开发建设是自然、社会、生态与人各种因素共同作用的结果,本文选取评价因子主要遵循4个原则:①全面性原则:利用土地适宜性评价的复杂性特征选取评价因子;②主导性原则:选取对低丘缓坡土地适宜性评价起主导作用的因子;③稳定性原则:选取长期稳定的因子;④可操作性原则:选取目前能够获取信息的因子^[7]。

本文根据土地开发适宜性所要求的地形、环境等条件,结合内江市低丘缓坡土地资源特点,建立内江市低丘缓坡土地评价指标体系。本文的层次模型分为决策层、准则层和方案层3个层次,其中决策层为低丘缓坡土地适宜性,准则层由地形条件、生态环境因素和交通构成,坡度、高程、地灾易发性等9个指标共同构成方案层。图3为低丘缓坡土地适宜性评价体系。

2.2 评价方法及计算指标权重

评价方法上主要有主观赋权法和客观赋权法两大类。主观赋权法主要有层次分析法(AHP)、德尔菲法(Delphi)等,客观赋权法主要有熵值法、神经网络分析法、主成分分析法(PCA)、变异系数法(CV)等。

2.2.1 层次分析法

层次分析法(AHP)是一种主观确定权重的方法,其优点在于可将问题分解,构建出评价模型,比较各

因子重要程度, 构建权重矩阵, 并排序做出决策^[8].

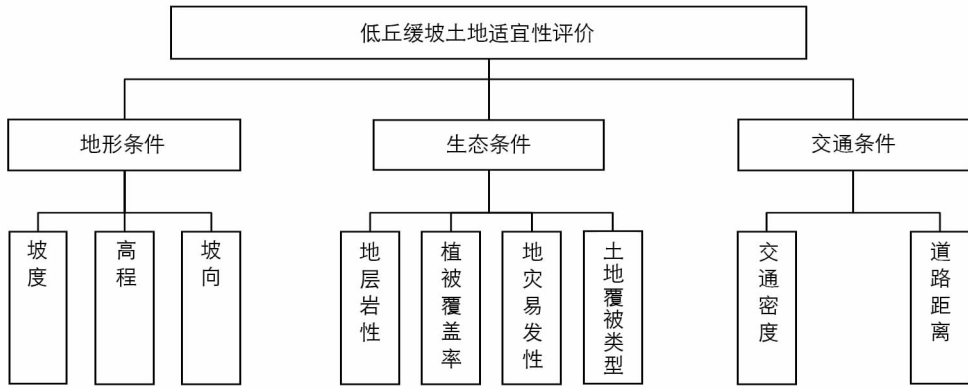


图 3 低丘缓坡土地适宜性评价体系

1) 建立层次结构模型. 将评价指标进行分层, 分为决策层、准则层和方案层.

2) 构造判断矩阵. 运用 1—9 级标度法, 用数字表示各评价因子间的相对重要性. 为使评价结果更具客观性, 通过专家打分, 并对评价因子两两比较, 构成判断矩阵 D .

$$D = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & \cdots & D_{1x} \\ D_{21} & D_{22} & \cdots & D_{2x} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ D_{x1} & D_{x2} & \cdots & D_{xx} \end{bmatrix}$$

3) 权重计算.

计算权重向量的近似值: $\bar{w}_j = \sqrt[x]{\prod_{i=1}^x D_{ij}}$, 其中 $(j = 1, 2, \dots, x)$

归一化处理: $w_j = \bar{w}_j / \sum_{k=1}^x \bar{w}_k$, $W = (w_1, w_2, \dots, w_x)^T$

4) 一致性检验.

计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max} = \frac{1}{x} \sum_{j=1}^x \frac{(DW)_j}{w_j}$

计算一致性检验指标 $CI = \frac{\lambda_{\max} - x}{x - 1}$

一致性检验公式为: $CR = CI/RI$. 其中 CR 为检验系数, CI 为一致性检验指标, $RI = \frac{CI_1 + CI_2 + \cdots + CI_x}{x}$ 为一致性指标. 当 $CR < 0.1$ 时, 认为该结果满足一致性; 当 $CR > 0.1$ 时, 调整判断

矩阵内各项评价指标的数值, 并计算至满足一致性检验.

2.2.2 变异系数法

变异系数法(CV) 是一种客观计算权重的方法, 它可以直接利用各项评价因子所包含的信息, 通过计算得到各项指标的权重^[9]. 过程如下:

计算变异系数: $V_i = \frac{S_i}{X_i}$, 其中, S_i 是第 i 个指标的标准差; X_i 是第 i 个指标的平均值. 归一化计算权重:

$w_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$, 其中, V_i 是第 i 个因子的变异系数.

2.2.3 指标权重

本文根据低丘缓坡土地适宜性评价体系模型, 在 YAAHP 软件中建立层次结构模型(图 3), 得到专家打分结果并输入判断矩阵, 通过一致性检验得出主观权重(表 1).

单一的层次分析法主观因素影响较大, 因此结合变异系数法(CV)进行客观赋权. 在 ArcGIS10.2 中, 每个评价指标的栅格图层属性中根据系统自动统计的各个图层的平均值和标准差, 使用变异系数法计算变异系数, 经归一化处理得到客观权重(表 2):

表 1 层次分析法(AHP)评价因子权重表

准则层	准则层权重	评价因子	因子权重 w_j
地形条件 B_1	0.428 6	坡度 C_{11}	0.211 5
		高程 C_{12}	0.133 2
		坡向 C_{13}	0.083 9
生态条件 B_2	0.428 6	地层岩性 C_{21}	0.105 4
		植被覆盖率 C_{22}	0.058 3
		地灾易发性 C_{23}	0.182 5
		土地利用类型 C_{24}	0.082 4
交通条件 B_3	0.142 9	交通密度 C_{31}	0.071 4
		道路距离 C_{32}	0.071 4

表 2 变异系数法(CV)评价因子权重表

评价因子	平均值 \bar{X}_i	标准差 S_i	变异系数 V_i	权重 w_i
坡度 C_{11}	2.272 20	0.943 6	0.415 3	0.122 8
高程 C_{12}	2.171 26	0.650 1	0.299 4	0.088 6
坡向 C_{13}	2.482 8	1.140 5	0.459 4	0.135 9
地层岩性 C_{21}	2.375 1	0.928 7	0.391 0	0.115 7
植被覆盖率 C_{22}	1.806 1	0.848 2	0.469 6	0.138 9
地灾易发性 C_{23}	2.531 4	0.964 7	0.381 1	0.112 7
土地利用类型 C_{24}	3.482 4	0.751 6	0.215 8	0.063 8
交通密度 C_{31}	3.719 3	0.523 1	0.140 6	0.041 6
道路距离 C_{32}	1.413 4	0.860 2	0.608 6	0.180 0

将 AHP 权重与 CV 权重求平均值得到组合权重 w , 如表 3 所示:

表 3 组合权重表

评价因子	AHP 权重 w_j	CV 权重 w_i	组合权重 w
坡度 C_{11}	0.211 5	0.122 8	0.167 2
高程 C_{12}	0.133 2	0.088 6	0.110 9
坡向 C_{13}	0.083 9	0.135 9	0.109 9
地层岩性 C_{21}	0.105 4	0.115 7	0.110 5
植被覆盖率 C_{22}	0.058 3	0.138 9	0.098 6
地灾易发性 C_{23}	0.182 5	0.112 7	0.147 6
土地利用类型 C_{24}	0.082 4	0.063 8	0.073 1
交通密度 C_{31}	0.071 4	0.041 6	0.056 5
道路距离 C_{32}	0.071 4	0.180 0	0.125 7

3 适宜性评价结果与分析

3.1 确定评价单元及适宜性等级

本文基于 Arcgis10.2, 参考已有文献, 并根据内江市低丘缓坡土地特性, 为确保计算的精度和效率, 将研究区地形图、土地利用类型图、生态环境图和交通等所有图件统一划分像元大小为 30 m×30 m 的评价单元, 每个因子根据对应的适宜性高低分类为 4 个等级, 分别赋值 7, 5, 3, 1, 采用叠加分析法, 在 Arcgis10.2 栅格计算器中按照评价层次模型进行综合叠加分析, 公式如下:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot q_i$$

其中 n 表示指标个数; x_i 表示第 i 个评价指标的分值; q_i 表示第 i 个评价因子的权重; S 表示各评价因

子量化值之和。

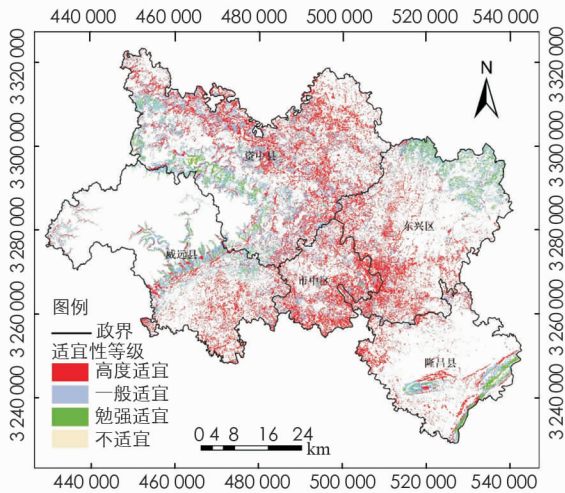
本文依据“土地评价纲要”评价系统划分低丘缓坡土地适宜性类型,将其划分为 4 类^[10],如表 4。

表 4 低丘缓坡土地适宜性等级

适宜性级别	适宜性分值	适宜性级别含义
高度适宜	7	无限制性,可持久利用,不会降低生产力和效益,不需增加其他费用。
一般适宜	5	有限制性,按规定可持久利用,会出现较少降低生产力和效益,增加其他费用仍能获取收益。
勉强适宜	3	有较强限制性,对土地持续利用影响很大,会较大程度降低生产力和效益,加大投资力度勉强合理。
不适宜	1	土地无法持续利用,限制性强,不适宜开发。

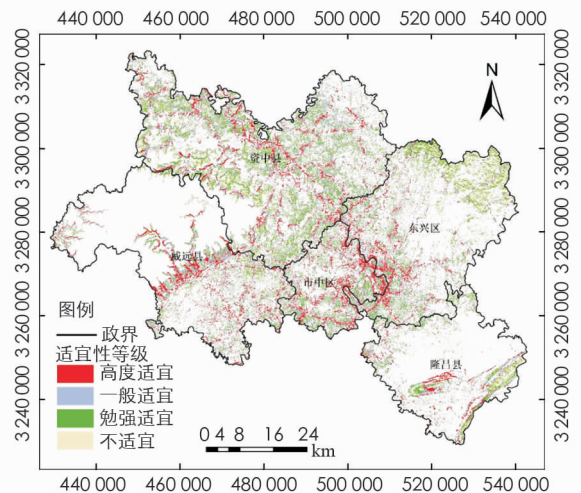
3.2 适宜性分析

为分析内江市各区县低丘缓坡土地建设适宜性区域,借助 ArcGIS10.2 栅格计算器和重分类^[11],选择可以在数据值差异相对较大的位置设置等级界限的自然间距分类法,依次将低丘缓坡土地建设适宜区分为高度适宜区、一般适宜区、勉强适宜区和不宜区^[12-13],结合低丘缓坡土地区域图(图 2),分别得到内江市层次分析法赋权低丘缓坡土地适宜性结果图(图 4)和变异系数法赋权低丘缓坡土地适宜性结果图(图 5)。



注:底图来源于四川测绘地理信息局网“内江市地图”,审图号:图川审(2016)018号

图 4 层次分析法赋权适宜性结果

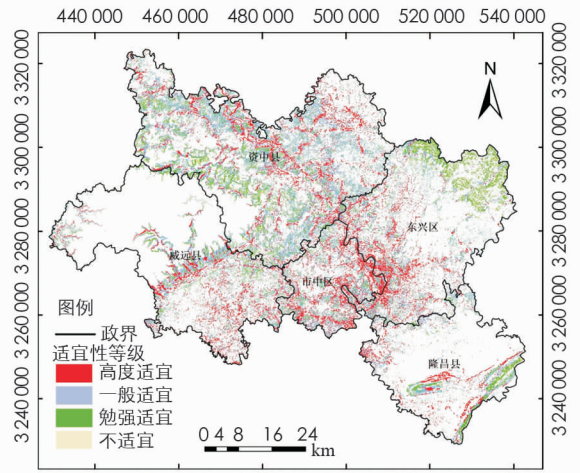


注:底图来源于四川测绘地理信息局网“内江市地图”,审图号:图川审(2016)018号

图 5 变异系数法赋权适宜性结果

从图 4 和图 5 可以看出,由层次分析法求得的结果受专家主观因素影响较多,高度适宜区主要集中在市中区与东兴区交界处以及资中县北部。变异系数法赋权则更为客观,结果显示各适宜度分布较为均匀,故将 2 种方法结合,突出本次研究的客观性和主导性^[14],得到内江市低丘缓坡土地适宜性区域划分图(图 6)。

其中资中县高度适宜区主要分布在资中县北部及中部地区;威远县北部及西北地区地势较高、坡度较大,低丘缓坡土地较少,故威远县高度适宜区主要集中在威远县东南部及中部地区;隆昌县高度适宜区主要分布在隆昌县中部,所属龙市镇;东兴区高度适宜区分布较分散,主要集中在东兴区西南部,与市中区交界处;市中区高度适宜区占



注:底图来源于四川测绘地理信息局网“内江市地图”,审图号:图川审(2016)018号

图 6 内江市低丘缓坡土地适宜性区域划分图

比最高且分布较均匀,大面积区域主要集中在市中区与东兴区交界处,凌家镇中部、伏龙乡北部、沱江乡东南部及白马镇均有大面积适宜区。内江市各区县适宜性等级分区占比见表 5。

表 5 内江市各区县适宜性等级分区

区县名	高度适宜 /km ²	一般适宜 /km ²	勉强适宜 /km ²	不适宜 /km ²	低丘缓坡土地 面积/km ²	区县总面积 /km ²	低丘缓坡占 总面积比/%
市中区	81.68	72.06	23.38	2.25	179.38	402.22	44.59
东兴区	104.65	125.03	95.74	23.31	348.73	1 161.17	30.03
资中县	165.73	307.86	154.91	25.13	653.64	1 725.37	37.88
威远县	88.99	106.58	50.88	7.36	253.82	1 288.38	19.70
隆昌县	44.04	53.55	30.53	4.94	133.07	795.09	16.74
内江市	485.09	665.08	355.44	62.99	1 568.63	5 372.23	29.20

4 结 论

本文以内江市为例,综合考虑内江市地形、生态、交通等因素的影响,选取了 9 个评价因子,构建低丘缓坡土地适宜性层次模型,运用层次分析法(AHP)和变异系数法(CV)分别计算评价因子主客观权重及组合权重。在 ArcGIS 空间分析及统计功能支持下,根据相关低丘缓坡土地资源界定的规定,充分考虑地形条件、生态条件及交通等因素,分析计算出内江市低丘缓坡土地资源共 1 568.63 km²,约占内江市总面积 29.20%。结果显示,全市高度适宜区面积为 485.09 km²,占低丘缓坡土地资源面积约 30.92%;一般适宜区面积为 665.08 km²,占比约 42.40%;勉强适宜区面积为 355.44 km²,占比约 22.66%;不适宜区面积为 62.99 km²,占比约 4.02%。

参考文献:

- [1] 钊丹旭. 基于云南省城镇化空间差异的低丘缓坡山地开发研究 [D]. 昆明: 云南财经大学, 2014.
- [2] 李 可, 邓文胜, 刘 海. 基于 GIS 的郧县低丘缓坡土地开发建设适宜性评价 [J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2014, 36(3): 283-288.
- [3] 张晓平, 何昌明, 胡紫红, 等. 低丘缓坡土地资源综合适宜性评价研究 [J]. 生态经济, 2019(3): 166-169.
- [4] 蒋佳佳, 邵景安, 谭少军, 等. 重庆两江新区低丘缓坡开发建设生态适宜性评价 [J]. 地理研究, 2019, 38(6): 1403-1419.
- [5] 陈朝亮, 彭树宏, 钱 静, 等. 基于 AHP-Logistic 熵权模型的西南浅丘区地质灾害分布特征研究——以内江市为例 [J]. 长江科学院院报, 2020, 37(2): 55-61.
- [6] 杨远琴, 任 平, 洪步庭. 基于生态安全格局的三峡库区腹地低丘缓坡土地开发利用 [J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 305-310, 317.
- [7] 董张玉, 刘殿伟, 王宗明, 等. 遥感与 GIS 支持下的盘锦湿地水禽栖息地适宜性评价 [J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1503-1511.
- [8] 严嘉伦, 林俊光, 楼可炜, 等. 基于 AHP-变异系数法的楼宇型综合能源系统评价体系 [J]. 热力发电, 2019, 48(12): 25-30.
- [9] 丁 赞, 沈 铭. 基于层次分析法和变异系数法的黄冈市地质环境承载力研究 [J]. 资源环境与工程, 2019, 33(S01): 70-74, 91.
- [10] 曾红春. 基于 GIS 的平果县土地利用适宜性评价 [D]. 北京: 中国地质大学, 2018: 21-22.
- [11] 乔如峰. 环县低丘缓坡土地资源利用适宜性评价研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [12] 迪力沙提·亚库甫, 严金明, 李 强. 基于生态导向与自然条件约束的青海省国土空间开发适宜性评价研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2019, 35(3): 94-98, 111.

- [13] 原文超, 徐明德, 杨 晨, 等. 基于适宜性评价的土地利用分区研究——以山西省汾阳市为例 [J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(2): 210-217, 225.
- [14] 王义保, 杨婷惠, 王世达. 基于组合赋权和灰色关联的城市公共安全感评价 [J]. 统计与决策, 2019(18): 45-50.

On Evaluation of Suitability for Land Construction of Low Hill and Gentle Slope Based on AHP-CV Combined Weight

ZHOU Wen-tao^{1,2}, ZHANG Wen-jun^{1,2},
DENG Yun-tao^{1,2}, LIU Xiang-long^{1,2}, YANG Yuan-ji^{1,2}

1. School of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan 621010, China;

2. Mianyang S&T City Division, the National Remote Sensing Center of China, Mianyang Sichuan 621010, China

Abstract: In order to use the land resources of low hills and gentle slopes reasonably and efficiently, the scientific basis is provided for optimizing the land allocation and solving the contradiction between men and lands. Taking Neijiang city of Sichuan Province as the research area, a hierarchical model for evaluating the suitability of land in low hills and gentle slopes was constructed, and AHP and CV were used to determine the subjective and objective weight of the evaluation factors. The results show that the suitability of the low hills and gentle slopes of the city is at the upper level, with high development potential and suitable for development and construction.

Key words: land of low hills and gentle slopes; AHP; CV; suitability evaluation; GIS

责任编辑 胡 杨