

引用格式:李靖,廖和平,蔡进. 基于风险评价的低丘缓坡土地开发建设适宜性情景模拟——以重庆市巴南区为例[J]. 资源科学, 2018, 40(5): 967-979. [Li J, Liao H P, Cai J. Simulation of utilization and construction suitability of gentle hillsides based on risk evaluation in Banan District of Chongqing[J]. *Resources Science*, 2018, 40(5): 967-979.] DOI :10.18402/resci.2018.05.10

基于风险评价的低丘缓坡土地开发建设适宜性情景模拟 ——以重庆市巴南区为例

李 靖¹, 廖和平^{1,2}, 蔡 进¹

(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)

摘 要:低丘缓坡土地开发是缓解用地压力、优化配置土地资源的有效途径,须在适宜性前提下进行以规避潜在风险。将有序加权平均方法(OWA)和GIS平台相结合,以重庆市巴南区为研究实例,从景观风险、社会风险和生态风险3个方面选取了11个指标构建了低丘缓坡土地适宜性评价指标体系,模拟出5种政策情景下的开发建设适宜性情况。结果表明:随着决策风险系数 α 增大,全区低丘缓坡土地开发建设适宜性等级总体更高;不同政策情景下,研究区西部片区的适宜性情况总体优于东部片区,建成区周边区域的适宜性高于偏远区域,在非极端政策情景下,低丘缓坡土地适宜性分区相对破碎;在本轮土地利用总体规划期内,巴南区新增城镇用地布局主要分布在非低丘缓坡区域,对低丘缓坡土地开发建设布局的规划决策总体表现出较为谨慎和保守的态度。研究在一定程度上丰富了低丘缓坡土地适宜性评价的理论和方法,可为类似区域低丘缓坡土地资源利用与管理提供方法借鉴和实践支撑。

关键词:低丘缓坡土地;适宜性评价;有序加权平均方法;GIS;情景模拟;重庆市巴南区

DOI :10.18402/resci.2018.05.10

1 引言

随着中国城镇化和工业化发展不断深入,人口转移、产业升级和基础设施兴建的建设用地需求量不断增加,城市建成区边缘较为平整且适宜开发的土地资源日益紧缺,人地矛盾日渐突出,城市发展面临着拓展空间不足、耕地保护红线和生态破坏等多重压力^[1-5]。在此情况下,低丘缓坡土地的开发和利用作为缓解耕地保护压力、开拓城市发展空间的重要途径日益受到决策层和学界的关注^[6]。低丘缓坡土地通常指的是地表起伏不大、坡度较缓、地面崎岖且由连绵山丘组成的土地资源,一般分布在海拔300m以下,坡度在6°~25°之间的丘陵地带,是未来国土空间优化开发的重心^[7-11]。然而,相较于平原区域,低丘缓坡具有地形复杂、地质地貌多样、生态

敏感性高等特征,其开发建设面临着地质灾害防护难度大、基础设施建设成本偏高、生态环境破坏等多种风险^[12,13]。低丘缓坡土地开发必须因地制宜,以适宜性为前提,规避城镇用地盲目上山可能造成的风险,在此背景下,本文通过空间量化评估土地开发建设潜在的限制性风险因素,实现对低丘缓坡土地开发建设适宜性情景模拟具有重要的理论和现实意义。

土地适宜性评价的主要内容为评估特定区域一定土地类型对于某种用途的适宜程度^[14],是促进合理配置和利用土地资源的科学基础,也是土地利用规划和土地资源管理的重要依据^[15],一直以来都广受学界重视,从传统的农林牧土地适宜性综合评价^[16]到城市开发^[17]、建设用地^[18]、旅游开发^[19]等其他

收稿日期:2017-07-12,修订日期:2018-03-06

基金项目:国家科技支撑计划项目(2013BAJ11B02);教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(16JJD790064)。

作者简介:李靖,男,四川绵阳人,博士生,主要从事国土资源与区域发展研究。E-mail: freelj@qq.com

通讯作者:廖和平, E-mail: liaohp@swu.edu.cn

用途评价的研究层出不穷。不同用途对土地质量的要求不尽相同,土地开发建设适宜性评价对土地质量的要求主要落脚于地形、地貌、地质等自然条件,同时也要评估区位、交通、文化等社会经济条件^[20]。由于低丘缓坡土地具备更为明显的生态敏感性和脆弱性,现有开发建设适宜性评价的相关研究主要从生态适宜性角度出发,评估其开发建设可能带来的生态风险^[21,22],且多集中于自然灾害生态风险以及景观格局变化带来景观生态风险方面^[13],而对由生态环境、社会、经济等多因素构成综合性风险表征还相对欠缺。

研究方法方面,当前低丘缓坡土地开发适宜性评价方法多为静态方式^[23-27],主要是结合专家经验运用层次分析(Antalytic Hierarchy Process, AHP)等方法对指标进行主观赋权,由于低丘缓坡区域内各要素空间异质性更为明显,且不同决策者对各类要素的认知不一,主观赋权必定会导致各类因子在空间集成后得到的评价结果产生一定误差。因此,更有效的多情景动态模拟分析方法亟待运用到低丘缓坡土地适宜性评价中,综合反映受不同决策偏好影响下的评价结果,弱化主观赋权和单一决策可能产生的误差。Yager提出的有序加权平均法(ordered weighted averaging, OWA)通过结合次序权重与准则权重实现模拟不同偏好决策情景^[28,29],能够有效反映评价结果受决策者主观认知的影响。目前,OWA算法已运用到空间视角下的城市水资源管理^[30]、生态安全评价^[31]、地灾防护^[32]、居住区选址^[33,34]等相关研究中并取得了一定进展,将其运用至低丘缓坡土地开发建设适宜性评价中可实现不同决策情景的动态模拟。

鉴于此,本研究选取山地城市区域的典型代表重庆市巴南区为研究区,将GIS空间分析技术手段和OWA算法相结合,模拟并对比分析研究区在不同偏好政策情景下的低丘缓坡土地开发建设适宜性情况,以期类似地区低丘缓坡土地开发建设选址与风险防范提供理论和决策支撑。

2 研究区概况

巴南区位于重庆主城区南部,地处 $106^{\circ}26'2''\text{E}$ — $106^{\circ}59'53''\text{E}$ 、 $29^{\circ}7'44''\text{N}$ — $29^{\circ}45'43''\text{N}$,下辖8个街道办事处,14个镇,全区幅员面积 1822.84km^2 (见

图1)。区域内地质地貌形态多样,有石马向斜、南温泉背斜等10余个向斜和背斜,地势总体北低南高、西低东高,起伏甚大,区内最低点海拔 154m ,位于北部边缘华光村冉家湾,最高处为东南方斗山,海拔 1132m 。境内有大小低山和山脉11座,丘陵地貌遍布于各个向斜与背斜中。全区社会经济发展和土地利用均受地形的影响明显。2015年,巴南区实现GDP568.30亿元,三次产业比例为 $7.9:46.1:46.0$,完成固定资产投资733.50亿元,实际利用内资566.60亿元,实际利用外资24.64亿元,进出口总额为85.64亿元,人口城镇化率达78.28%。当前,巴南区既承载重庆市都市功能南拓,又肩负着耕地保护粮食生产和主城生态屏障的重任,科学合理地开展、利用和保护区内低丘缓坡土地资源将成为必然选择^[35]。

根据2014年土地利用变更调查成果,巴南区拥有农用地 $151\,670.70\text{hm}^2$ 、建设用地 $21\,781.55\text{hm}^2$ 、其他土地 8831.94hm^2 。结合研究区内土地开发利用实际情况,本研究对巴南区低丘缓坡的界定为:海拔 400m 以下,坡度在 $8^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 之间的丘陵区域。因此,

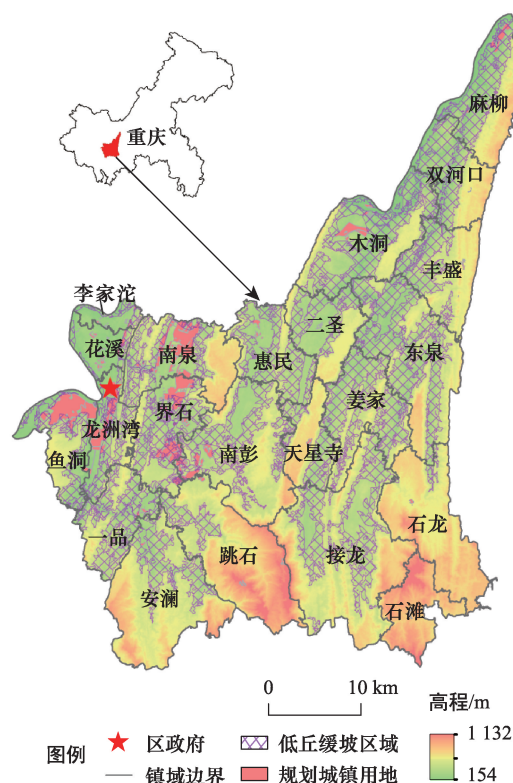


图1 研究区示意

Figure 1 The study area

2018年5月

巴南区低丘缓坡土地规模为 56 216.48hm², 占全区土地总面积的 30.84%, 其空间分布呈现出与平地、高山区域相互交错、彼此割据的特征, 地块破碎程度较高。其土地利用情况, 农用地 44 922.07hm², 建设用地 8511.90hm², 其他土地 2782.51hm²。农用地中以耕地和林地为主, 分别为 18 651.36hm² 和 16 297.90hm²。低丘缓坡区域中的现状城镇用地为 3460.74hm², 仅占低丘缓坡土地的 6.16%, 规划新增城镇用地为 1741.42 hm², 占到规划期内新增城镇用地总量 22.68%。可以发现, 区内低丘缓坡土地资源丰富, 科学、合理地开发利用可以为区域内产业梯度转移和拓展、升级提供广阔的发展空间。

3 研究方法与数据来源

3.1 指标体系构建

低丘缓坡土地作为承载人类活动的自然-经济-社会复合系统的特殊资源载体, 具有高度敏感性特征^[36]。土地开发建设将给该复合系统中所有组成要素造成不同程度的扰动, 通常, 低丘缓坡区域内复合系统对扰动作用的抗干扰能力较弱, 当扰动作用突破适宜性限定阈值将导致复合系统面临变异风险, 引发灾害并威胁人类健康^[37]。在低丘缓坡开发建设过程中, 对地表景观改造将面临来自于基本农田保护、饮用水源保护、地质灾害防范、生态破坏等多方面风险, 本研究结合研究区实际, 基于差异性、可操作性和地块评价的原则选取坡度、农地、林地、农村建设用地、水源保护、农用地利用等、公路通达性、距城镇距离、植被绿度、灾害易发度、距河流距离等 11 个风险评价指标, 分别归纳到景观风险、社会风险和生态风险三个准则层(图 2)。

景观风险层面中, 考虑坡度、农地、林地和农村建设用地四个方面。坡度作为自然基底要素, 低丘

缓坡开发建设将改变原有地表地形, 坡度越大对开发的限制性越强, 开发风险也随之增大; 另外, 开发建设也将全面改变地表覆被现状, 目前未开发建设的低丘缓坡土地表面现状多为农地、林地以及农村建设用地, 选用农地表征农地景观被用于开发建设造成的农业生产及粮食安全风险, 农用地中耕地开发风险大于园地开发风险, 已划定为基本农田的区域开发风险最高; 选用林地表征林地开发风险, 以自然保护区和生态空间管护等级确定风险大小, 保护力度越大风险越高; 选用农村建设用地用来表征农村建设用地的承载强度情况, 承载强度越高风险越大。

社会风险层面中, 考虑水源保护、农用地利用等、公路通达性和距城镇距离等四个方面。饮用水安全与否关系群众健康, 对集中供水保护区的开发建设将不可避免地造成污染, 通常, 离取水区越近开发风险越大; 农用地利用等越高的地块其土地生产效益越高, 开发建设应尽可能避免占用或少占利用等高的农用地地块, 农用地利用等风险值按其利用等大小赋值; 采用距城镇距离和公路通达性表征待开发地块与现状城乡聚落的空间联系程度和交通便利程度, 往往距离城市建成区越近或交通便利程度较高的低丘缓坡地块开发适宜性越高, 反之, 开发距城镇远或通达性不高的地块成本风险相应越大。

生态风险层面中, NDVI 反映植被生物量的空间分布情况, 可以衡量低丘缓坡土地开发的生态成本, 开发 NDVI 值越高的地块生态风险越大; 地质灾害是土地开发建设选址极力避让的重要因素, 开发建设选址应避开地质灾害高发区, 地质灾害风险按其易发程度大小赋值; 选取距河流距离作为评价指

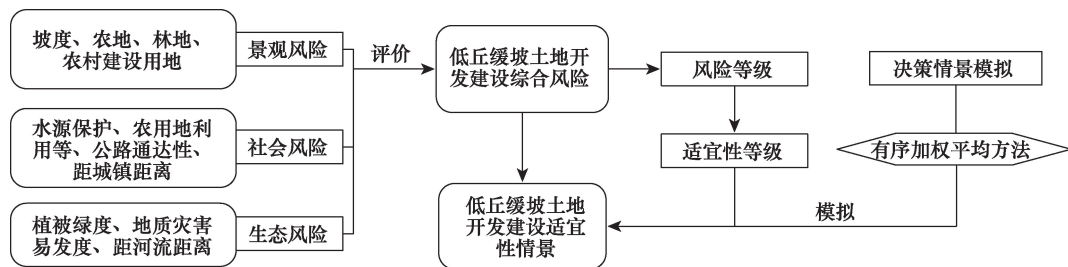


图 2 低丘缓坡土地开发建设适宜性情景模拟框架

Figure 2 Framework for suitability simulation of utilization and construction of gentle hillside

标,主要考虑地块开发建设造成的污染,同时也需要避免洪水灾害,距河流距离越近的生态风险越高。

研究涉及的指标均按一定规则(表1)归一化处理,生成分辨率30m的栅格图层(图3),并统一为西安1980坐标系。运用AHP进行指标间两两比较,确定标度,得到判断矩阵,赋予指标权重,见表1。由计算结果可知,三种风险的AHP判断矩阵一致性指标CR值分别为0.0825、0.0534和0.0825,均小于0.1,通过了一致性检验。

3.2 OWA-GIS方法

3.2.1 OWA算法

有序加权平均算法(OWA)是Yager提出的可以结合准则权重和次序权重实现动态选择决策风险的一种聚合方法^[28,29]。实现原理为:一个 n 维的OWA算子可以写作映射 $R^n \rightarrow R$,假设与 R 相关的 n 维向量 $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 且 $w_j \in [0, 1]$, $\sum w_j = 1$,任意给定 n 个输入参量,输入向量 (X_1, X_2, \dots, X_n) 并通过OWA算子计算聚合如下: $L=OWA(X_1, X_2, \dots, X_n)=\sum w_j b_j$,式中 b_j 是向量 (X_1, X_2, \dots, X_n) 中第 j 大的元素,均按照属性值大小降序排列 $(b_1 \geq b_2 \geq \dots \geq b_n)^{[30]}$ 。

本研究采用的OWA方法主要包含3个步骤:

(1)将评价指标按属性平均值大小降序排列;

(2)采用单调递增规则函数 Q_{RIM} 计算不同风险算子系数下的位序权重 $v_j^{[39]}$,可以表述为:

$$v_j = Q_{RIM}\left(\frac{j}{n}\right) - Q_{RIM}\left(\frac{j-1}{n}\right), j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$Q_{RIM}(r) = r^\alpha \quad (2)$$

式中 v_j 为位序权重; j 为位序数; n 为指标数; r 为自变量; α 为风险程度系数,也可以称为乐观程度系数, α 是根据对指标数值差异和主观权重差异带来决策风险认识而制定, $\alpha \in (0, +\infty)$ 。当 $\alpha=1$ 时,各位序权重相等表明决策者持无偏好态度,集成修正后的权重即准则权重;当 $\alpha < 1$ 时,准则权重位序越高的权重越大,决策者对指标的属性持乐观态度,当 $\alpha > 1$ 时,准则权重位序越低的权重越大,决策者对指标的属性持悲观态度;

(3)集成位序权重与准则权重,得到每一个评价单元的综合OWA计算值^[33],可写为:

$$OWA = \sum_{j=1}^n \left(\frac{u_j v_j}{\sum_{j=1}^n u_j v_j} \right) Z_j \quad (3)$$

式中 u_j 为第 j 个指标准则权重; $u_j \in [0, 1]$; Z_j 为指标属性值($j=1, 2, \dots, n$)。

3.2.2 OWA-GIS方法

所谓OWA-GIS方法是将OWA算子与GIS平台相结合的方法,在运用GIS将所有指标要素层矢量化之后,采用OWA方法对准则与权重进行聚合,在GIS环境下,根据不同的决策风险对指标要素进行加权集成^[31]。本研究中OWA-GIS方法的主要步骤为:

表1 指标体系及归一化方法

Table 1 The index system and the normalization method

准则层	指标层	指标权重	归一化赋值方法
景观风险	坡度	0.128	坡度 $< 8^\circ=0$; $8\sim 25^\circ$:归一化; $> 25^\circ=1$
	农地	0.041	水田=0.9;水浇地=0.8;旱地=0.7;果园=0.5;茶园=0.4;其他园地=0.45;基本农田=1;其他区域=0
	林地	0.021	有林地=0.6;灌木林地=0.5;其他林地=0.55;自然保护区市级=0.9;县级=0.8;建设管制区=0.7;其他区域=0
	农村建设用地	0.030	承载强度 < 60 人/hm ² =0.2; $(60\sim 90)$ 人/hm ² =0.5; > 90 人/hm ² =0.8;非农村建设用地=0
社会风险	水源保护	0.119	饮用水取水区间=1;取水区间上游1km、下游0.5km=0.9;水源保护控制区=0.7;洪水淹没区=0.9;其他区域=0
	农地利用等	0.093	农用地利用等1~15等:归一化;非农用地=0
	公路通达性	0.060	距公路0~2km:归一化; > 2 km=1
	距城镇距离	0.038	距城镇0~2km:归一化; > 2 km=1
生态风险	植被绿度	0.107	平均值 $< 0.45=0$; $0.45\sim 0.8$:归一化; $> 0.8=1$
	地质灾害易发度	0.313	低等=0.2;中等=0.5;高等=0.8;非地质灾害区=0
	距河流距离	0.050	距离 ≤ 0.5 km=1; > 0.5 m=0

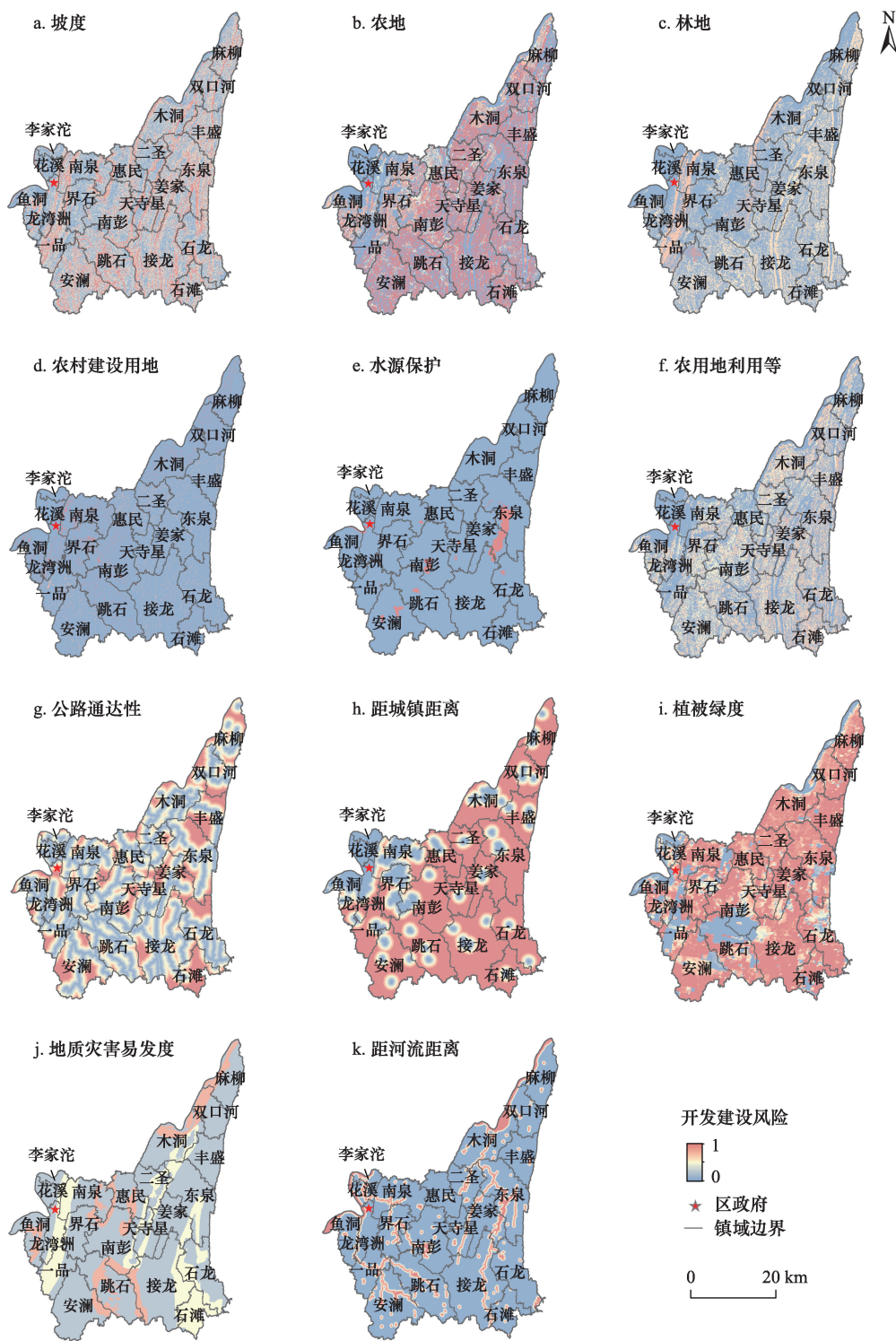


图3 低丘缓坡土地开发建设适宜性评价指标

Figure 3 Suitability evaluation indices of utilization and construction of gentle hillside

(1)根据指标体系建立空间数据库,所有指标要素均处理为面状栅格图层,并根据表1对所有指标图层进行归一化处理;

(2)通过AHP计算各指标的准则权重,按指标属性平均值大小对指标排序,运用公式(1)计算不同决策系数下的次序权重(表2),并将次序权重与

表2 位序权重计算结果

Table 2 Result of the ordered weight

次序权重	最乐观 $\alpha=0.000\ 1$	乐观 $\alpha=0.1$	较乐观 $\alpha=0.5$	无偏好 $\alpha=1$	较悲观 $\alpha=2$	悲观 $\alpha=10$	最悲观 $\alpha=10\ 000$
v_1	1.000	0.787	0.302	0.091	0.008	0.000	0.000
v_2	0.000	0.056	0.125	0.091	0.025	0.000	0.000
v_3	0.000	0.035	0.096	0.091	0.041	0.000	0.000
v_4	0.000	0.026	0.081	0.091	0.058	0.000	0.000
v_5	0.000	0.020	0.071	0.091	0.074	0.000	0.000
v_6	0.000	0.017	0.064	0.091	0.091	0.002	0.000
v_7	0.000	0.015	0.059	0.091	0.107	0.009	0.000
v_8	0.000	0.013	0.055	0.091	0.124	0.031	0.000
v_9	0.000	0.011	0.052	0.091	0.140	0.093	0.000
v_{10}	0.000	0.010	0.049	0.091	0.157	0.251	0.000
v_{11}	0.000	0.009	0.047	0.091	0.174	0.614	1.000

排序后的指标一一对应;

(3)在 ArcGIS 中利用栅格计算器(Raster Calculator)将各指标进行综合加权集成,得到最终的评价图层。

3.3 数据来源

研究开展低丘缓坡土地开发建设适宜性评价将从景观风险、社会风险和生态风险角度展开,分别涉及人口、社会经济、土地利用、地形、植被覆盖、自然保护区、地质灾害、饮用水源保护等多类数据资料。

(1)人口、社会经济发展等数据来源于《重庆市统计年鉴(2016)》^[40]。

(2)数字高程模型(DEM)数据和植被覆盖指数(NDVI)分别来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)的 ASTER GDEM 数据源和 MOD13Q1 数据源,分辨率为 30m。

(3)土地利用数据包含农地、林地、城镇用地、农村建设用地、公路用地、河流水系等矢量数据,主要由重庆市巴南区国土资源分局提供的 2014 年巴南区土地利用变更调查数据、巴南区土地利用总体规划(2006—2020 年)数据、农用地分等定级数据和永久性基本农田划定成果数据提取,林地类型中关于自然保护区和管制区的空间范围分别依据重庆市自然保护名录名单^[41]和重庆“四山管制”规定^[42]矢量化获取。

(4)饮用水源保护范围和地质灾害易发范围分

别依据《重庆市饮用水源保护区划分规定》^[43]和《重庆市巴南区地质灾害防治规划》^[44]矢量化获取。

4 结果分析

4.1 适宜性情景对比分析

通过运用 OWA-GIS 手段,得到 7 种不同偏好决策情景下土地建设适宜性情况。从图 4 可以发现,随着风险系数 α 大小的变化,研究区内土地建设适宜性情景差异显著,总体上看,全区土地建设适宜性情景以风险程度系数 $\alpha=1$ 为分界点,随着 α 由 0.0001 逐渐增大到 10 000,决策者对各类风险要素的限制作用所持态度由“最乐观”逐渐过渡到“最悲观”,相应地,研究区内土地开发建设适宜性从最低逐渐转变到最高。由情景模拟结果可以发现:

当风险程度系数 $\alpha=1$ 时,各指标的次序权重计算值相同,表明决策者对开发建设风险持“无偏好”态度,此时,集成后的综合权重大小完全取决于指标权重。由情景模拟(图 4)可知,巴南区土地开发建设适宜性最高的区域主要集中分布于西北部城镇建成区区域,适宜性最低为地质灾害中、高等易发区内坡度较大的区域;

$\alpha=0.0001$ 和 $\alpha=10\ 000$ 时可实现土地开发建设适宜性的最极端情景模拟,计算结果表明:风险程度系数 $\alpha=0.000\ 1$ 时的次序权重计算结果可反映 α 无限趋近于 0 时的情况,在此情景下,仅风险属性值最大的要素(v_1)被赋予了次序权重 1,其他要素均(v_2 、 v_3 、 \dots 、 v_{11})被赋予次序权重 0,决策者对各风险要素

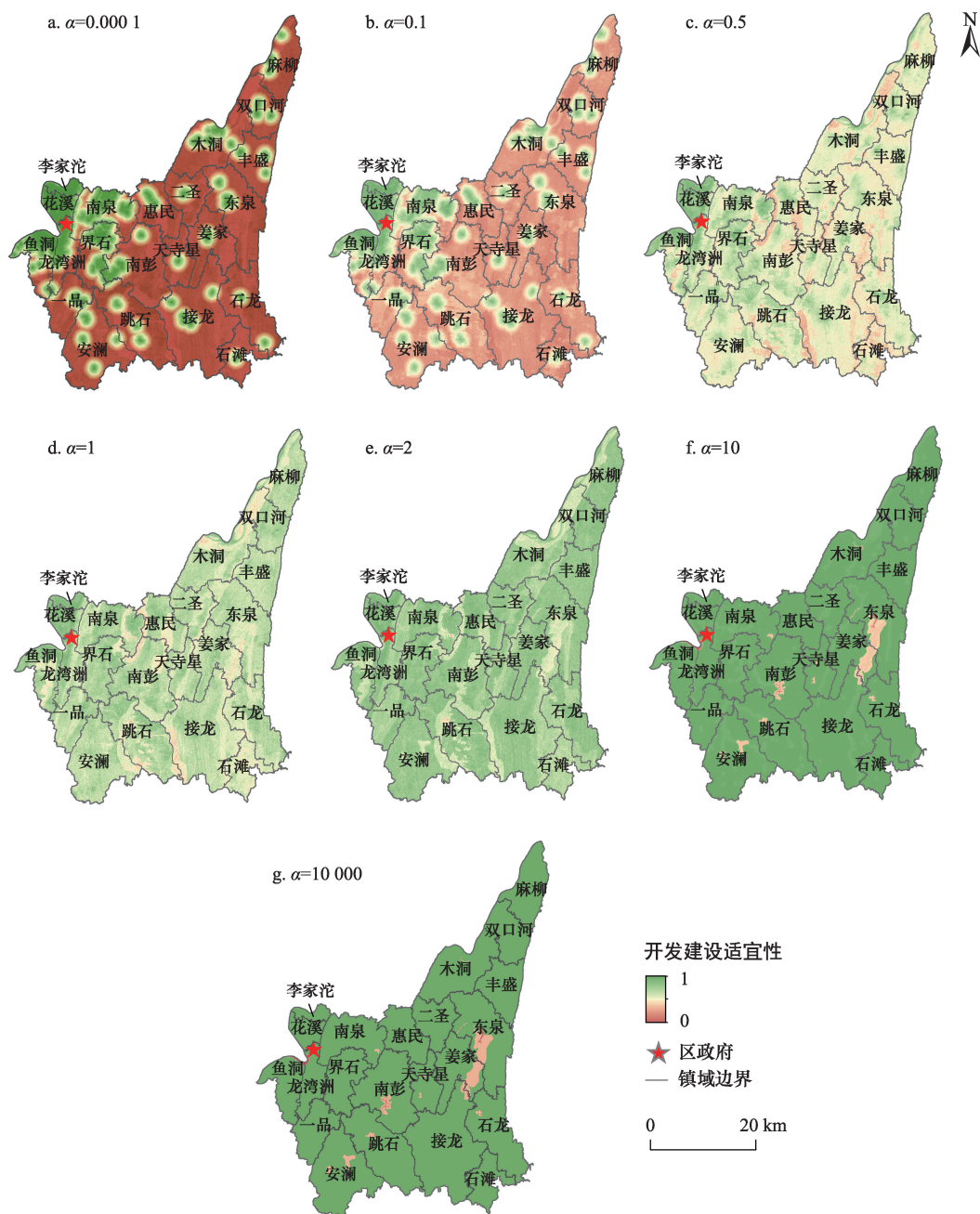


图4 不同决策情景下的适宜性评价情况

Figure 4 Evaluation suitability under different decision scenarios

作为限制条件削弱开发建设适宜性持“最乐观”态度,全区土地开发建设适宜性高的区域面积最小,适宜性高的区域仅分布于城镇建成区以及2km的缓冲区内,而当开发建设选址于城镇建成区2km范围外的适宜性均为0,将面临巨大的风险;然而,风险程度系数 $\alpha=10\ 000$ 时的情况与前者相反,其次序权重计算结果反映 α 趋近于无穷大的情况,决策者

对风险要素的作用持“最悲观”态度,评价要素图层中仅属性值最小的要素(v_{11})被赋予次序权重1,模拟结果表明水源保护区外的土地建设适宜性评价价值均为1,此情景下,全区土地建设适宜性高的区域面积最大;

$\alpha=0.1$ 和 $\alpha=10$ 时可实现土地开发建设适宜性的极端情景模拟,决策者对风险要素的限制作用持

“乐观”和“悲观”态度,对比二者,可以发现当 $\alpha=0.1$ 时,风险属性值最大的要素(v_1)仍被赋予了远高于其他要素的权重,适宜性仅受个别风险要素约束,而当 $\alpha=10$ 时,次序权重风险属性值最小的要素(v_{11})被赋予了远高于其他要素的权重,通常在现实决策中不会出现如此极端的现象;

$\alpha=0.5$ 和 $\alpha=2$ 时,决策者对风险要素的制约作用持“较乐观”和“较悲观”态度。当 $\alpha=0.5$ 时,风险属性值较大的要素如距城镇距离、植被绿度、公路通达性和农地等指标被高度重视,此时适宜性较高的地块集中分布于中心城区及附近的区域,其他区域的适宜性相对较低。当 $\alpha=2$ 时,风险属性值较小的要素如地质灾害、农地、林地、水源保护、农村建设用地、距河流距离等被赋予较大的次序权重,此时全区土地建设适宜性情况普遍较好,仅地质灾害区范围内坡度较大的区域开发建设风险较高。

4.2 低丘缓坡土地适宜性情景分区

通过以上情景对比发现,风险程度系数 α 同样可以用于表征政策偏好情景,研究区低丘缓坡土地建设的适宜性随之调整而呈动态变化态势。根据前文分析,本研究拟将 $\alpha=1$ 时的综合权重用于表征决策者对低丘缓坡土地开发建设过程中面临景观、社会和生态等风险时一种平衡城镇化、工业化、耕地保护和生态安全等发展目标的综合权衡决策。不同于 $\alpha=0.1$ 和 $\alpha=10$, $\alpha=0.5$ 和 $\alpha=2$ 时的综合权重计算结果表明,部分指标作用虽受到明显抑制,但在加权后仍能参与适宜性评价。因此,本研究认为 $\alpha=0.5$ 和 $\alpha=2$ 可分别被视为现实决策中风险控制型和城镇建设型政策的极端状态,命名为“风险控制型极端政策”和“城镇建设型极端政策”。因此,风险控制型政策和城镇建设型政策应介于以上3类情景节点之间,即 $\alpha \in (0.5, 1)$ 时为风险控制型政策, $\alpha \in (1, 2)$ 时为城镇建设型政策。本研究选取 $\alpha=0.8$ 和 $\alpha=1.2$ 分别作为“风险控制型政策”和“城镇建设型政策”的静态表征。

为防止重分类分区时栅格属性值过于偏向某一方向,研究将采用自然间断点分级法(natural breaks)将以上设置的3种开发建设政策情景栅格图按风险属性大小划分为5级,风险属性值越小的开发建设适宜性越高,划分为最适宜区、高适宜区、中

适宜区、次适宜区、不适宜区。转为矢量图后与低丘缓坡区域范围进行叠加,将 10hm^2 以下的图斑融合到相邻面积最大的图斑中,得到不同政策情景下的适宜性分区结果(图5),可以发现,5类设置情景呈现出的适宜性空间差异显著。

4.3 低丘缓坡土地适宜情景模拟结果分析

风险控制型极端政策下,全区低丘缓坡土地开发建设适宜性由中适宜区和次适宜区占主导,主要分布于全区东部。东部槽谷区域虽地势相对平坦,但区域内城镇建成区的辐射能力较弱且地块交通通达性水平总体不高,同时该区域低丘缓坡分布着大量的农田,植被覆盖水平也相对较高。此时,全区最适宜区和高适宜区主要分布在西北部区域,该区域低丘缓坡土地地块开发建设的主要优势为距离城镇建成区近且交通通达性水平高。城镇建设型极端政策下,除地质灾害易发程度较高的区域外,全区适宜性分区由高适宜区和最适宜区占主导。距城镇距离、交通通达性、植被绿度等风险属性值较高的要素均不被决策者重视,东部槽谷区域低丘缓坡土地多被划入高适宜区和最适宜区。平衡型政策下,决策者对各类开发建设的风险要素持更谨慎的态度,适宜性分区格局相对均衡,分区以中适宜区为主。高适宜区和最适宜区主要分布在城镇建成区附近,东部槽谷区域低丘缓坡土地多数被划为了中适宜区。从图5可以看出,相较于以上两类极端情景,现实决策中出现可能性较大的“风险控制型政策”和“城镇建设型政策”($\alpha=0.8$ 和 $\alpha=1.2$)情景下的适宜性分区格局更加接近平衡型决策情景,各类参评风险要素在分区图上的体现程度更高,其主要特征有:中适宜区、高适宜区及次不适宜区的面积比重更大;各级分区空间分布更加零散,图斑更加破碎。

对比分析5类开发建设情景发现,随着 α 增大,政策导向从风险控制型向城镇建设型过渡,适宜性等级较高的分区面积所占比重增大,低丘缓坡土地开发建设适宜性等级总体更高;不同情景下研究区西部片区的适宜性情况总体优于东部片区,同时城镇建成区周边区域的适宜性高于偏远区域;不同政策情景下地质灾害易发度均能在适宜性分区中体现,适宜性级别低于其他区域;不同情景下东部槽谷区域的适宜性分区情况差异明显,对于东部槽谷

2018年5月

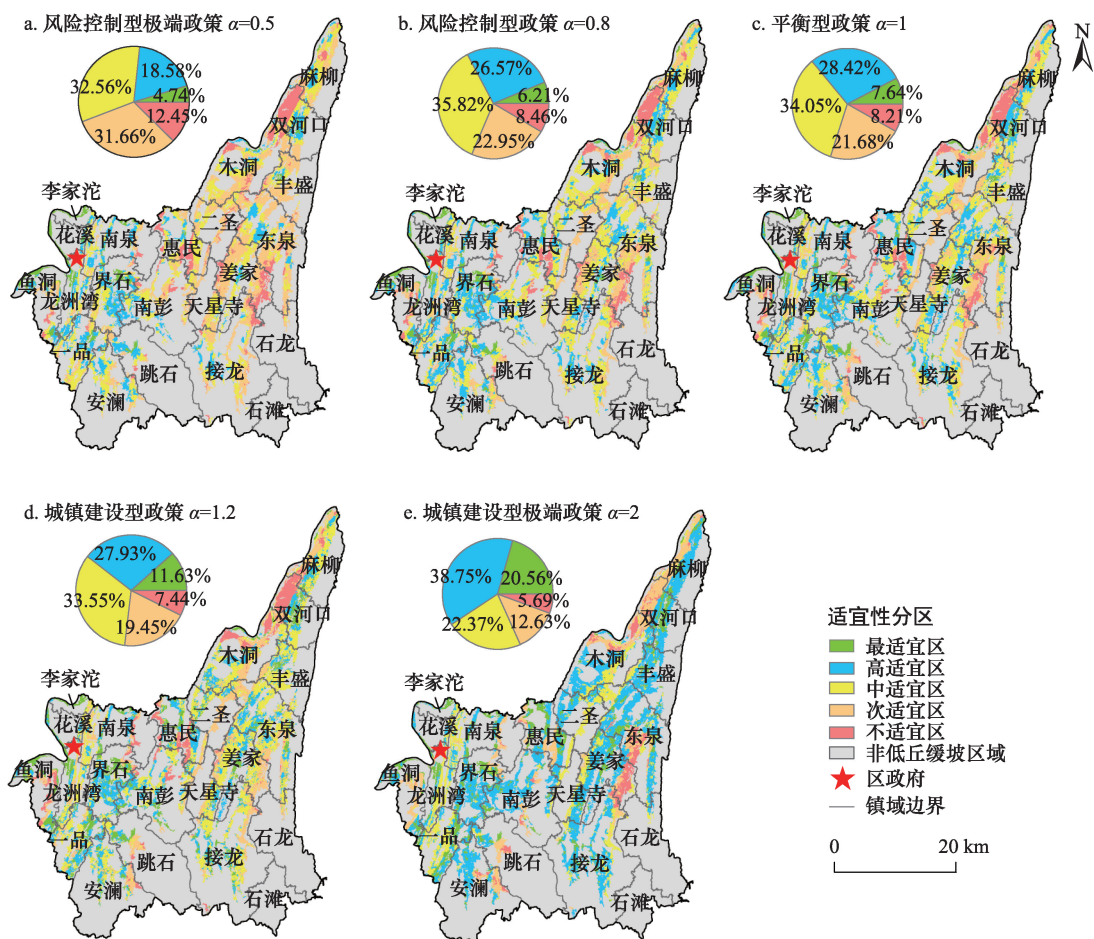


图5 不同政策情景下低丘缓坡开发建设适宜性分区

Figure 5 The utilization and construction suitability division of gentle hillside under different policy scenarios

区域的低丘缓坡土地开发建设应加强论证;在两种极端政策情景下,各级别适宜性分区在空间上的集中连片程度更高,而在另外3种非极端政策情景下,适宜性分区更加零散,地块破碎程度更高。

根据前文分析,巴南区新增规划城镇用地布局在低丘缓坡区域内的总量为1741.42hm²,仅占新增城镇用地总量的22.68%,本轮规划期内对城镇化、

工业化等方面的城镇建设用地保障仍然以占用非低丘缓坡土地为主;与低丘缓坡土地适宜性情景模拟分区图进行叠加分析可以发现(表3),在不同的决策情景中,巴南区规划期内(2006—2020年)新增城镇用地分布在最适宜区的比重呈现出随着 α 增大而增大的态势,值得注意的是,在5类决策情景中,规划新增城镇用地均主要分布在最适宜区、高适宜

表3 不同情景下规划新增城镇用地在低丘缓坡区域中的适宜性分区情况

Table 3 Result of suitability partition of new urban construction land in gentle hillside area under different scenarios (%)

适宜性分区	风险控制型极端政策 $\alpha=0.5$	风险控制型政策 $\alpha=0.8$	平衡型政策 $\alpha=1$	城镇建设型政策 $\alpha=1.2$	城镇建设型极端政策 $\alpha=2$
最适宜区	24.69	25.79	26.68	29.16	35.47
高适宜区	54.41	47.34	43.52	39.03	41.96
中适宜区	15.50	18.57	19.64	20.46	14.06
次适宜区	4.86	7.48	8.91	9.47	7.38
不适宜区	0.54	0.81	1.25	1.88	1.13

区和中适宜区三个分区内,面积比重均约为90%,由此可见,在本轮规划期内,巴南区在对低丘缓坡土地利用规划布局的决策方面总体上仍表现出较为谨慎和保守态度。

5 结论与讨论

5.1 结论

本研究运用AHP方法计算低丘缓坡土地开发建设风险评价指标体系的准则权重,引入OWA算法并借助GIS空间分析手段,将研究区土地开发建设风险评价指标体系中的11个指标按属性平均值大小进行排序,对新位序下的指标赋予不同的次序权重进行加权修正,模拟不同政策情景下的低丘缓坡土地开发建设适宜性情况。研究在一定程度上丰富了低丘缓坡土地资源开发建设适宜性评价的理论和方法,情景模拟结果可为研究区或类似区域在不同决策思路下的低丘缓坡土地资源开发建设和风险防范提供理论参考和决策支撑。

研究得出了以下主要结论:

(1)决策者对评价对象的认知态度或开发政策导向可以以 α 表征,模拟结果显示,随着 α 增大,决策者对风险要素对土地建设适宜性所起的限制作用的态度由乐观转为悲观,政策导向则由风险控制型向城镇建设型转变,全区低丘缓坡土地开发建设适宜性水平不断提升;

(2)从分区结果可以发现,不同政策情景下,距城镇距离和地质灾害易发度均是适宜性分区的重要影响因素,风险属性值大和重要性程度高的要素均能在不同情景中直观体现,在非极端政策情景下,研究区低丘缓坡土地适宜性分区空间分布零散,适宜性分区地块破碎;

(3)与土地利用总体规划的叠加分析发现,在本轮土地利用总体规划期内,巴南区新增城镇用地主要布局在非低丘缓坡区域,对低丘缓坡土地开发建设布局规划总体表现出较为谨慎和保守的态度。

5.2 讨论

(1)在传统静态评价的基础上,采用OWA算法可将决策者偏好带入到权重体系中对原权重进行加权修正以实现动态的多情景模拟,模拟结果更加接近实际,一定程度上弥补了传统静态评价结果的单一性,然而模拟结果的准确性高度依赖指标选取

和AHP确定准则权重的合理性,因此,丰富完善评价指标体系和探索客观赋权法与OWA方法的结合是今后研究的重要内容。

(2)适宜性分区结果可为研究区土地利用规划编制提供不同政策偏好下的低丘缓坡土地开发规模与空间布局的专项研究支撑,可促进区域内低丘缓坡土地资源合理开发与保护。鉴于研究区在现实的政策情景下适宜性等级较高的低丘缓坡地块破碎,今后区域内低丘缓坡土地开发建设决策应优先鼓励发展占地规模不大的工业园区、旅游地产、养老地产等产业项目,以规避大面积开发建设可能带来的风险。

(3)今后可开展关于低丘缓坡土地开发政策与区域城镇化和工业化演进规律、生态环境保护策略等相关因素的多维度耦合系统研究,量化在不同发展阶段耦合系统达到最优运行状态时表征决策者所持态度的决策系数(α 值),进一步提升基于OWA算法的决策情景模拟结果的准确性。

参考文献(References):

- [1] 谭淑豪,曲福田,谭仲春.经济发达地区土地可持续利用主要矛盾及其成因分析[J].中国人口、资源与环境,2001,11(4):78-82. [Tan S H, Qu F T, Tan Z C. Contradictions and their causes of sustainable land use in developed areas of China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2001, 11(4): 78-82.]
- [2] 王素斋.科学发展观视域下中国新型城镇化发展模式研究[D].天津:南开大学,2014. [Wang S Z. Studies on the model of China's new urbanization with scientific outlook on development[D]. Tianjin: Nankai University, 2014.]
- [3] 钟水映,李魁.基于粮食安全的我国耕地保护对策研究[J].中国软科学,2009,(9):1-8. [Zhong S Y, Li K. Countermeasure for farm land protection based on food security[J]. *China Soft Science*, 2009, (9): 1-8.]
- [4] 沈悦,严金明,王晨.大都市边缘区三级基本农田集中保护区分级划定及调控机制[J].农业工程学报,2015,31(20):234-243. [Shen Y, Yan J M, Wang C. Three-level concentrated prime farmland zoning and classified regulatory mechanism in suburb of metropolis[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2015, 31(20): 234-243.]
- [5] 杨玉珍.快速城镇化地区生态-环境-经济耦合协同发展研究综述[J].生态环境学报,2014,23(3):541-546. [YANG Y Z. Coupling and synergetic development of ecological-environment-economy in rapidly urbanizing regions: a review[J]. *Ecology and*

2018年5月

- Environmental Sciences*, 2014, 23(3): 541–546.]
- [6] 刘彦随. 中国土地资源研究进展与发展趋势[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 127–133. [Liu Y S. New progress of land resources studies and related developmental tendencies in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(1): 127–133.]
 - [7] 熊桢, 周元武, 廖长林, 等. 耕地保护背景下破解建设用地瓶颈研究——基于湖北省土地三项试点的考察[J]. 农业经济问题, 2014, 35(2): 59–64. [Xiong A, Zhou Y W, Liao C L, et al. Research on protection of farmland backdrop break the bottleneck of construction land: based on examination of Hubei Land Three Pilot [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2014 (2): 59–64.]
 - [8] 赵力强. 科学开发低丘缓坡 探解保发展保耕地两难——以浙江丽水市为例[J]. 中国国土资源经济, 2013, 26(3): 9–13, 39. [Zhao L Q. Exploiting the slope of low mountains and hills scientifically and solving the problems of protection of both development and cultivated land—taking Lishui City of Zhejiang Province as an example[J]. *Natural Resource Economics of China*, 2013, 26(3): 9–13, 39.]
 - [9] 周骏. 低丘缓坡开发的规划方法研究——以大田县冶铸机械加工城控制性详细规划为例[J]. 规划师, 2011, 27(5): 41–45. [Zhou J. Gentle slope area development planning approach: Datian Mechanical Park example[J]. *Planners*, 2011, 27(5): 41–45.]
 - [10] 吕杰, 袁希平, 甘淑. 低丘缓坡土地资源开发利用战略分析研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(35): 225–229. [Lv J, Yuan X P, Gan S. Research on strategy analysis of low-slop hilly land resources development[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29 (35): 225–229.]
 - [11] 李家志. 以城市规划为导向的统筹低丘缓坡建设[J]. 城市发展研究, 2013, 20(8): 60–63, 76. [Li J Z. Co-ordinate the construction on the hill in urban planning[J]. *Urban Development Studies*, 2013, 20(8): 60–63, 76.]
 - [12] 杨伟, 廖和平, 潘卓, 等. 基于GIS的重庆低丘缓坡土地产业转移适宜度评价[J]. 农业工程学报, 2015, 31(20): 244–252. [Yang W, Liao H P, Pan Z, et al. Research on evaluation of suitability degree of industry transfer in gentle hillside area in Chongqing based on GIS[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2015, 31(20): 244–252.]
 - [13] 彭建, 谢盼, 刘焱序, 等. 低丘缓坡建设开发综合生态风险评价及发展权衡——以大理白族自治州为例[J]. 地理学报, 2015, 70(11): 1747–1761. [Peng J, Xie P, Liu Y X, et al. Integrated ecological risk assessment and spatial development trade-offs in low-slope hilly land: a case study in Dali Bai Autonomous Prefecture, China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(11): 1747–1761.]
 - [14] 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. [Shi T G, Zheng G Q, Wang Z Y, et al. Progress in Research on land suitability evaluation in China[J]. *Progress in Geography*, 2007, 26(2): 106–115.]
 - [15] 黄大全, 张文新, 梁进社, 等. 三明市建设用地开发适宜性评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(增刊 1): 202–207. [Huang D Q, Zhang W X, Liang J S, et al. Suitability evaluation of construction land development in Sanming City of Fujian Province[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(Supp.1): 202–207.]
 - [16] 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. [Ni S X. Progress in the research on land evaluation in China during the latest ten years[J]. *Journal of natural resources*, 2003, 18(6): 672–683.]
 - [17] Gong J Z, Liu Y S, Chen W L. Land suitability evaluation for development using a matter-element model: a case study in Zengcheng, Guangzhou, China[J]. *Land Use Policy*, 2012, 29(2): 464–472.
 - [18] 牛叔文, 李景满, 李升红, 等. 基于地形复杂度的建设用地适宜性评价——以甘肃省天水市为例[J]. 资源科学, 2014, 36(10): 2092–2102. [Niu S W, Li J M, Li S H, et al. Suitability assessment of construction land based on terrain complexity in Tianshui City [J]. *Resources Science*, 2014, 36(10): 2092–2102.]
 - [19] 林森. 基于GIS的重庆市夏季休闲旅游用地选址评价研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013. [Lin S. GIS-based study on the leisure tourism sites siting evaluation of Chongqing[D]. Chongqing: Southwest University, 2013]
 - [20] 李坤, 岳建伟. 我国建设用地适宜性评价研究综述[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2015, 51(s1): 107–113. [Li K, Yue J W. Evaluation of construction land suitability in China: a review[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2015, 51 (s1): 107–113.]
 - [21] 王旭熙, 彭立, 苏春江, 等. 基于景观生态安全格局的低丘缓坡土地资源开发利用——以四川省泸县为例[J]. 生态学报, 2016, 36(12): 3646–3654. [Wang X X, Peng L, Su C J, et al. Development and utilization of low-slope hilly land resources based on a landscape security pattern theory: a case study in Luxian County, Sichuan Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(12): 3646–3654.]
 - [22] 李红波, 张慧, 赵俊三, 等. 基于元胞生态位适宜度模型的低丘缓坡土地开发建设适宜性评价[J]. 中国土地科学, 2014, 28(6): 23–29. [Li H B, Zhang H, Zhao J S, et al. Evaluation on land suitability for development and construction in low hill and gentle slope area based on CA-Niche-Suitability Model[J]. *China Land Sciences*, 2014, 28(6): 23–29.]
 - [23] 黄杉, 陈前虎, 梁影君, 等. 浙江省开化县城关工业区低丘缓坡开发的评价方法与利用策略[J]. 中国土地科学, 2009, 23(6): 31–38. [Huang S, Chen Q H, Liang Y J, et al. Assessment methods and utilization strategies on developing low-slope hilly land in Chengguan Industrial District, Kaihua County, Zhejiang Province [J]. *China Land Science*, 2009, 23(6): 31–38.]
 - [24] 吴海燕, 刘方, 杨莉, 等. 喀斯特地区低丘缓坡资源适宜性评价与研究[J]. 四川农业大学学报, 2013, 31(3): 328–334. [Wu H Y, Liu F, Yang L, et al. An assessment of land resources on the low-slope of mountains and hills in karst areas[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2013, 31(3): 328–334.]
 - [25] 喻忠磊, 张文新, 梁进社, 等. 国土空间开发建设适宜性评价研

- 究进展[J]. 地理科学进展, 2015, 34(9): 1107–1122. [Yu Z L, Zhang W X, Liang J S, et al. Progress in evaluating suitability of spatial development and construction land[J]. *Progress in Geography*, 2015, 34(9): 1107–1122.]
- [26] 杨子生. 山区城镇建设用地适宜性评价方法及应用——以云南省德宏州为例[J]. 自然资源学报, 2016, 31(1): 64–76. [Yang Z S. Land suitability evaluation for urban construction and its application in mountainous areas: a case study in Dehong Dai–Jingpo Autonomous Prefecture, Yunnan Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(1): 64–76.]
- [27] 方婷婷, 程久苗, 费罗成. 繁昌县后备土地资源多宜性评价[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(5): 750–757. [Fang T T, Cheng J M, Fei L C. Research on multi-suitability evaluation of reserved land resources in Fanchang County[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(5): 750–757.]
- [28] Yager R R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking[J]. *IEEE Transactions on systems, Man, and Cybernetics*, 1988, 18(1): 183–190.
- [29] Yager R R. Quantifier guided aggregation using OWA operators[J]. *International Journal of Intelligent Systems*, 1996, 11(1): 49–73.
- [30] Makropoulos C K, Butler D, Maksimovic C. Fuzzy logic spatial decision support system for urban water management[J]. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 2003, 129(1): 69–77.
- [31] 修丽娜. 基于OWA-GIS的区域土地生态安全评价研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2011. [Xiu L N. Evaluating on regional land ecological security based on OWA-GIS[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2011.]
- [32] 陈静, 代兆立, 朱庆杰. 基于GIS的OWA方法在城市防灾规划中的应用[J]. 地理空间信息, 2008, 6(5): 22–24. [Chen J, Dai Z L, Zhu Q J. Application of GIS-based OWA method to land-use planning for disaster prevention[J]. *Geospatial Information*, 2008, 6(5): 22–24.]
- [33] 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.
- [34] 胡卓玮, 刘晓旭, 彭程, 等. 基于次序权重平均法的购房选择地理空间多准则决策[J]. 地理研究, 2013, 32(3): 476–486. [Hu Z W, Liu X X, Peng C, et al. Spatial multi-criteria decision making for house location selection by ordered weighted averaging approach[J]. *Geographical Research*, 2013, 32(3): 476–486.]
- [35] 李靖. 都市功能拓展区城乡建设用地演变机制及利用战略研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015. [Li J. Research on mechanism and using strategic of urban and rural construction land in Urban Expansion Area[D]. Chongqing: Southwest University, 2015.]
- [36] 潘卓. 基于生态位适宜度的两江新区低丘缓坡土地利用情景模拟研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013. [Pan Z. Research on scenario simulation of gentle hillside land use in Liangjiang New Area based on niche fitness[D]. Chongqing: Southwest University, 2013.]
- [37] 陈凤娇. 低丘缓坡山地建设开发景观生态规划研究[D]. 昆明: 云南财经大学, 2014. [Chen F J. Research on ecological landscape planning on utilization and construction of low-hilly mountain[D]. Kunming: Yunnan University of Finance and Economics, 2014.]
- [38] Tesfamariam S, Sadiq R. Probabilistic risk analysis using ordered weighted averaging (OWA) operators[J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2008, 22(1): 1–15.
- [39] 刘焱序, 彭建, 韩忆楠, 等. 基于OWA的低丘缓坡建设开发适宜性评价——以云南大理白族自治州为例[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3188–3197. [Liu Y X, Peng J, Han Y N, et al. Suitability assessment for building land consolidation on gentle hillside based on OWA operator: a case in Dali Bai Nationality Borough in Yunnan, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(12): 3188–3197.]
- [40] 重庆市统计局. 重庆统计年鉴—2016[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [Chongqing Statistics Bureau. Chongqing Statistical Yearbook—2016[M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [41] 重庆市环境保护局. 重庆市自然保护区名录[EB/OL]. (2012–02–10) [2017–05–10]. <http://www.cepb.gov.cn/doc/2012/02/10/74607.shtml>. [Chongqing Environmental Protection Bureau. The list of natural reserves of Chongqing[EB/OL]. (2012–02–10) [2017–05–10]. <http://www.cepb.gov.cn/doc/2012/02/10/74607.shtml>.]
- [42] 重庆市人民政府. 重庆市“四山”地区开发建设管制规定. [EB/OL]. (2007–04–04) [2017–05–10]. <http://www.cq.gov.cn/publicinfo/web/views/Show!detail.action?sid=1099897>. [Chongqing Municipal Government People's Government. The regulation of development and construction of the four-mountains areas in Chongqing [EB/OL]. (2007–04–04) [2017–05–10]. <http://www.cq.gov.cn/publicinfo/web/views/Show!detail.action?sid=1099897>.]
- [43] 重庆市人民政府. 重庆市饮用水水源保护区划分规定. [EB/OL]. (2002–11–22) [2017–05–10]. <http://www.cqwater.gov.cn/zcfg/cqszfgfwj/Pages/2010/08/2005110800000014.aspx>. [Chongqing Municipal Government People's Government. The regulation of drinking water source protection area of Chongqing[EB/OL]. (2002–11–22) [2017–05–10]. <http://www.cqwater.gov.cn/zcfg/cqszfgfwj/Pages/2010/08/2005110800000014.aspx>.]
- [44] 巴南区人民政府. 重庆市巴南区地质灾害防治规划. [EB/OL]. (2015–11–27) [2017–05–10]. <http://www.cq.gov.cn/publicinfo/web/views/Show!detail.action?sid=4102681>. [Banan Municipal Government People's Government. Geological disaster prevention planning of Banan, Chongqing[EB/OL]. (2015–11–27) [2017–05–10]. <http://www.cq.gov.cn/publicinfo/web/views/Show!detail.action?sid=4102681>.]

Simulation of utilization and construction suitability of gentle hillsides based on risk evaluation in Banan District of Chongqing

LI Jing¹, LIAO Heping^{1,2}, CAI Jin¹

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

2. Institute of Land Resources, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Utilizing gentle hillside areas is an effective way to alleviate land use pressure and optimize the allocation of land resources and avoid potential risks. In order to explore dynamic simulation to evaluate suitability of gentle hillsides under different policy scenario, promote scientific and rational use of gentle hillsides and reduce utilization risk, we studied Banan District in Chongqing. Eleven indices were selected to establish the evaluation index system representing landscape risk, social risk and ecological risk. Simulation results of the utilization and construction suitability of gentle hillsides under five policy scenarios were carried out based on OWA (ordered weighted averaging) and GIS (geographical information system) methods. With increasing α (the decision risk coefficient), the level of utilization and construction suitability of gentle hillsides is higher. Suitability of the western part of the study area were overall better than that of the eastern part, while the suitability of areas around streets and towns were better than remote areas. Under non-extreme policy scenarios, suitability partition was more scattered. In the current period of land use planning, new urban construction land was mainly distributed in areas not comprised of gentle hillsides. Land use planning of gentle hillsides present a prudent and conservative attitude. To some extent, this research enriches the theory and methods of suitability evaluation of gentle hillside land. This work provides a reference and practice support for utilization and management of gentle hillsides in similar areas.

Key words: gentle hillside; suitability assessment; ordered weighted averaging; GIS; scenario simulation; Banan District; Chongqing