

尤 笛,蒋金豹,郭海强,等. 低丘缓坡地空间拓展的主成分聚类分析评价[J]. 江苏农业科学,2018,46(2):212-216.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.02.054

低丘缓坡地空间拓展的主成分聚类分析评价

尤 笛¹, 蒋金豹¹, 郭海强¹, 尤 倩²

[1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京 100083; 2. 沈阳工业大学理学院,辽宁沈阳 110870]

摘要:土地资源紧缺制约着社会经济的发展,开发低丘缓坡地是解决人地矛盾、优化土地配置的有效举措。以福建省邵武市为研究区域,从空间区位、自然地理、社会经济、生态环境 4 个方面构建评价指标体系。基于 GIS 和 RS 技术,综合运用主成分分析法(principal component analysis,PCA)对邵武市低丘缓坡地进行适宜性综合评价,并通过 K-均值聚类分析(K-means clustering analysis)将建设用地适宜性分为 4 类。结果表明,福建省邵武市低丘缓坡土地资源总面积为 119 512.71 hm²,占邵武市总面积的 41.83%;其中最适宜、较适宜面积达 44 529.57 hm²,占低丘缓坡资源的 37.26%,集中分布在中心城区附近,涉及主要乡(镇)有城郊镇、水北镇等。该评价结果与规划文本相吻合,不仅能为邵武市开发低丘缓坡地提供合理的科学依据,还能为各乡(镇)制定区域规划政策指引方向。

关键词:低丘缓坡;适宜性评价;主成分分析;K-均值聚类分析;规划文本;定量分析;定性分析;政策建议

中图分类号: F323.212 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)02-0212-05

在国家“一带一路”战略构想下,国家发展和改革委员会等联合发布《推动共建丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动》,打造以福建省为“海上丝路”核心的经济枢纽。福建省有着“八山一水一分田”的地理格局,境内山地丘陵约占 90%,建设用地严重不足,无法承载 21 世纪海上丝绸之路核心区的建设。解决这一问题的关键就是加快土地后备资源的开发,即低丘缓坡的建设用地空间拓展。为此,

收稿日期:2016-08-11

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项(编号:201411003)。

作者简介:尤 笛(1991—),女,辽宁鞍山人,硕士研究生,主要从事土地利用、多光谱及高光谱遥感等理论及应用研究。E-mail:1530678555@qq.com。

2014 年 4 月在福建省国土资源厅下发《关于创建节地型、生态型低丘缓坡土地开发利用示范(片)区的通知》后,将邵武市确定为低丘缓坡地示范区。而在开发低丘缓坡地之前,须要对其建设用地的空间拓展进行适宜性评价,以期提供科学合理的参考。低丘缓坡指地形起伏适中,坡度小于 25°且具备一定成片开发利用规模的山坡地和荒滩区域^[1],广泛分布在我国东南沿海,浙闽交界的武夷山脉区域。近年来,低丘缓坡土地资源的适宜性评价越来越受到学者的关注。罗鹏等基于“3S”技术,结合特尔斐法、层次分析法对浙江金衢地区低丘红壤土地的开发利用潜力进行综合评价^[2];朱晓芸以浙江省余姚市为例,在 GIS 和 RS 支持下,充分考虑地形、植被覆盖、土壤及区位等因素,对研究区低丘缓坡耕地开发利用潜力

[2] Kamali M, Pour M S, Moud A A M. Copper effects on growth parameters of hollyhock (*Althaea rosea* L.) [J]. Journal of Ornamental and Horticultural Plants, 2012, 2(2): 95-101.

[3] 李月灵. 接种丛枝菌根真菌对海州香薷耐受铜胁迫的影响及机制[D]. 上海:上海师范大学,2014:59-73.

[4] 柯文山,席红安,杨 毅,等. 大冶铜绿山矿区海州香薷(*Elsholtzia haichowensis*)植物地球化学特征分析[J]. 生态学报, 2001, 21(6): 907-912.

[5] 柯文山,熊治廷,金则新,等. 海州香薷(*Elsholtzia haichowensis* Sun)不同生态型 Cu 吸收和酸性磷酸酶活性差异[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3172-3181.

[6] Ke W S, Xiong Z T, Chen S J, et al. Differences of Cu accumulation and Cu-induced ATPase activity in roots of two populations of *Elsholtzia haichowensis* Sun [J]. Environmental Toxicity, 2008, 23(2): 193-199.

[7] 周 旋,何正飏,康宏樟,等. 温带-亚热带栓皮栎种子形态的变异及其与环境因子的关系[J]. 植物生态学报, 2013, 37(6): 481-491.

[8] 王桔红,杜国祯,崔现亮,等. 青藏高原东缘 61 种常见木本植物种子萌发特性及其与生活史的关联[J]. 植物生态学报, 2009, 33

(1): 171-179.

[9] 武高林,杜国祯. 植物种子大小与幼苗生长策略研究进展[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1): 191-197.

[10] 张丽坤,王 朔,冯玉龙. 紫茎泽兰种子形态特征和萌发特性与其入侵性的关系[J]. 生态学报, 2014, 34(13): 3584-3591.

[11] 陈俊任,柳 丹,吴家森,等. 重金属胁迫对毛竹种子萌发及其富集效应的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(22): 6501-6509.

[12] 张凡凡,于 磊,鲁为华,等. 不同驯化年限野生线叶野豌豆种子特性及幼苗耐寒性[J]. 草业科学, 2013, 30(11): 1771-1777.

[13] 陈 伟,张苗苗,宋阳阳,等. 重金属胁迫对 4 种草坪草种子萌发的影响[J]. 草地学报, 2013, 21(3): 556-563.

[14] 鱼小军,张建文,潘涛涛,等. 铜、镉、铅对 7 种豆科牧草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草地学报, 2015, 23(4): 793-803.

[15] 王 丹,魏 威,王松山,等. 铜、铬单一及复合污染对小白菜种子萌发及根长的生态毒性[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(12): 63-68, 74.

[16] 徐 池. 重金属 Cu 对蚯蚓的驯化研究[D]. 南京:南京农业大学, 2012: 38-46.

[17] 李 洋,于丽杰,金晓霞. 植物重金属胁迫耐受机制[J]. 中国生物工程杂志, 2015, 35(9): 94-104.

进行评价^[3];徐萍等通过对浙江省低丘缓坡开发利用现状的评价,提出低丘缓坡农业资源高效集约利用的对策措施^[4]。上述研究主要针对农用地适宜性进行评价,但对低丘缓坡建设用地适宜性评价的研究较少,且已有研究常用特尔斐法(delphi method)^[5]、层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)确定权重^[6],然后将多个指标叠加得出评价结果分值,有一定的主观片面性。此外,在评价指标体系的构建上也主要从地形地貌、地质灾害角度来考虑^[7],指标体系不够全面。本研究在传统土地适宜性评价的基础上,多角度考虑空间区位、自然地理、社会经济、生态环境等因素,采用主成分分析法(principal component analysis, PCA)对福建省邵武市低丘缓坡建设用地的适宜性进行综合评价^[8],并通过 K -均值(K -means)聚类分析将评价结果分为 4 个适宜性等级^[9]。该方法不仅能消除指标之间的相关性,还能避免确定权重的主

观性。

1 研究区及数据处理

1.1 研究区概况

邵武素有“铁城”之称,史称南武夷,隶属于福建省南平市,位于福建省西北部,东北邻南平市的建阳区,东南连顺昌县,南接三明市的将乐县、泰宁县,西与江西省黎川县毗邻,西北与光泽县交界。境内东西宽 115 km,南北长 120 km,占地面积 2 859.4 km²。全境大部分由山地、丘陵构成,地形由西南和东北向中部河谷倾斜,四界接壤处地势均较高,1 000 m 以上的山峰有 130 座,森林覆盖率达 75.7%。其中中山(海拔 800 m 以上)和低山(海拔 500~800 m)约占全市总面积的 39.7%,高丘陵(海拔 250~500 m)和丘陵约占 41.6%,低丘缓坡资源非常丰富(图 1)。

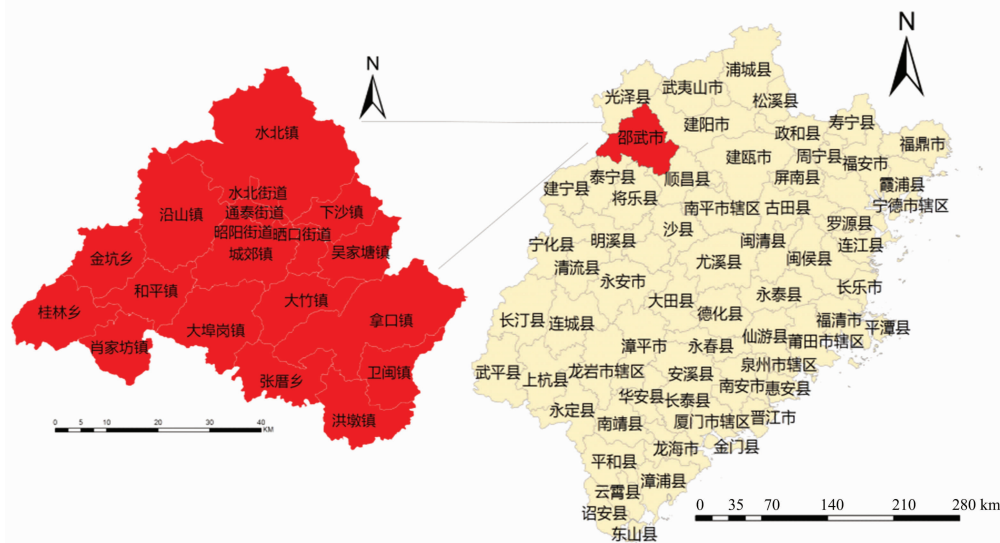


图1 邵武市地理区位

1.2 数据处理及评价流程

根据福建省城乡规划设计研究院提供的邵武市低丘缓坡范围剔除了禁止开发区(3 个刚性因子区域),以 30 m×30 m 栅格为评价单元,对所有弹性因子数据进行标准化处理,以消除量纲不同和量级差异的影响。为了研究方便,将适度指标“坡向”转化为正向指标^[10],这样所有指标只有正向指标和负向指标。转化方法如下:将坡向定性分为阴坡、半阴坡、半阳坡、阳坡 4 类(图 2),并分别赋予分值 1、3、5、7 分,这样坡向指标的相关性就转化为正相关,即正向指标。

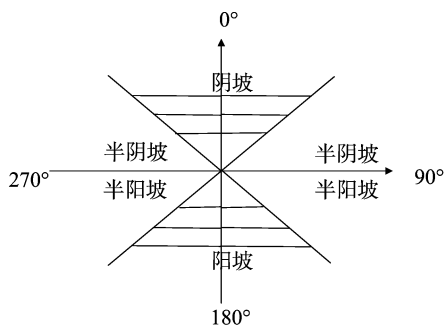


图2 坡向分类示意

常用的标准化处理方法有均值化法、等测度法、极差正规化法等。本研究采用极差正规化法进行标准化^[11],公式如下:当指标是正向指标(即正相关)时,

$$x'_{ij} = (x_{ij} - \min x_{ij}) / (\max x_{ij} - \min x_{ij}); i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (1)$$

当指标是负向指标(即负相关)时,

$$x'_{ij} = (\max x_{ij} - x_{ij}) / (\max x_{ij} - \min x_{ij}); i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (2)$$

这样 x'_{ij} 的值转化为 0~1 之间,且与原始数据 x_{ij} 分布相同(图 3)。

2 主成分聚类分析评价

2.1 选取评价指标

选取评价指标对评价结果的合理性影响很大。本着科学性、完整性、层次性、可比性等原则,结合邵武市独特的地形地貌,从空间区位、自然地理、社会经济、生态环境 4 个方面选取 12 个弹性因子和 3 个刚性因子构建了评价指标体系^[12](表 1)。

2.2 主成分综合评价

PCA 是通过正交变换将多个指标转化为保留原始变量绝大部分信息的少数指标,以达到削弱噪声和数据降维的一

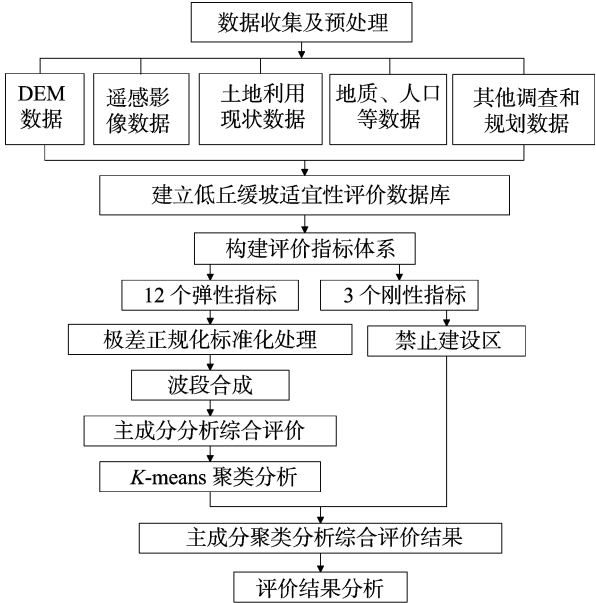


图3 主成分聚类分析评价流程

表1 邵武市低丘缓坡地评价指标体系

指标类型	评价因子	因子类型	相关性
空间区位	交通可达性(m)	弹性	-
	城镇影响度(m)	弹性	-
	城镇化水平(%)	弹性	+
自然地理	高程(m)	弹性	-
	坡向	弹性	+
	地质灾害易发性	弹性	-
	距断裂带距离(m)	弹性	+
	坡度(°)	弹性	-
社会经济	乡镇财政收入(亿元)	弹性	+
	* 风景名胜	刚性	
	人口密度(人/km ²)	弹性	+
生态环境	* 基本农田保护	刚性	
	* 森林禁止开发区	刚性	
	距河流距离(m)	弹性	+
	植被覆盖度(%)	弹性	-

注:“+”表示正相关,“-”表示负相关。刚性因子,即风景名胜及特殊用地、基本农田保护区、森林禁止开发区,是明文规定的禁止开发区,所以将这3个因子直接划为建设用地禁止开发区,即不适宜建设区。实际参与主成分评价的只有12个弹性因子。

种统计方法^[13]。由于评价指标很多且彼此之间有一定的相关性,从而反映的信息有所重叠,且在确定权重时也存在主观片面性,而主成分分析恰好能解决这些问题^[14]。

评价原理如下^[15]:(1)设评价单元数为 n ,每个评价单元 p 个指标。当前 $k(k < p)$ 个主分量的方差贡献率累计达到85%时,选取前 k 个因素 F_1, F_2, \dots, F_k 为第1、第2、 \dots 、第 k 个主成分。这 k 个主分量基本保留了原始评价指标 x_1, x_2, \dots, x_p 的信息。 F_1, F_2, \dots, F_k 分别表示为:

$$F_1 = a_{11}x_1 + a_{21}x_1 + \dots + a_{p1}x_p; \quad (3)$$

$$F_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{p2}x_p; \quad (4)$$

$$F_k = a_{1k}x_1 + a_{2k}x_2 + \dots + a_{pk}x_p。 \quad (5)$$

式中: a_{ij} 表示第 i 个评价单元在第 j 个主因子上的权重系数。

(2)把不同主分量特征值的方差贡献率 $\beta_i(i = 1, 2, \dots,$

$k)$ 作为加权系数,利用综合评价函数 $F = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \dots + \beta_k F_k$ 计算各评价单元的分值。

根据上述原理,将12个弹性指标合成1个多波段数据后,再进行PCA处理,得到各主成分的特征值和贡献率(表2)。

表2 各主成分的特征值及贡献率

主成分	特征值	贡献率(%)	累积贡献率(%)
Z_1	0.100 2	23.08	23.08
Z_2	0.094 7	21.8	44.88
Z_3	0.073 2	16.85	61.73
Z_4	0.044 4	10.22	71.95
Z_5	0.040 7	9.38	81.33
Z_6	0.025 0	5.75	87.08
Z_7	0.020 5	4.71	91.79
Z_8	0.011 8	2.71	94.50
Z_9	0.010 5	2.43	96.93
Z_{10}	0.006 5	1.48	98.41
Z_{11}	0.004 7	1.07	99.48
Z_{12}	0.002 2	0.52	100.00

注: $Z_1 \sim Z_{12}$ 分别表示前12个主成分。

由表2可知,前6个主成分方差累积贡献率87.08% > 85%,基本保留了原始变量的所有信息,所以选取前6个主成分代表所有变量信息。根据主成分综合评价公式 $F = \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \dots + \beta_k F_k$,建立综合评价模型:

$$F = 0.230\ 8F_1 + 0.218\ 0F_2 + 0.168\ 5F_3 + 0.102\ 2F_4 + 0.093\ 8F_5 + 0.057\ 5F_6。$$

得到的主成分综合评价结果见图4。

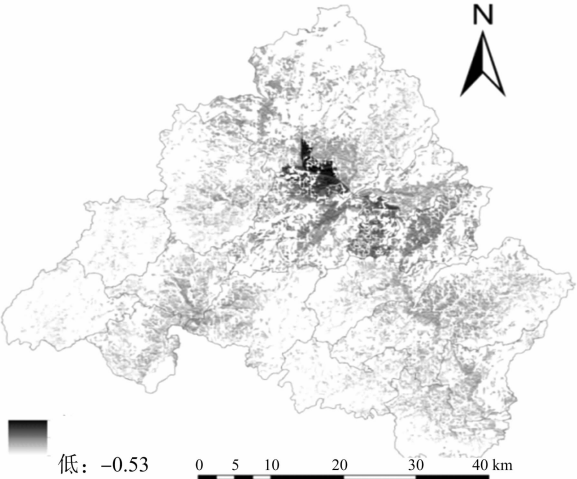


图4 主成分综合评价结果

2.3 K-means 聚类分析

聚类分析是一种探索性的分析,它将数据划分到不同的类,类内的对象有很大相似性,而类间的对象有很大差异性。其中K-means使用较广泛,其运算简洁快速,在分类的过程中它能从样本数据出发自动进行分类,而不需要样本先验信息^[16]。聚类步骤如下:(1)聚类中心初始化;(2)计算待分类对象与聚类中心的欧式距离,依据就近原则将待分类对象归类;(3)计算各初始类别的均值作为新的聚类中心;(4)按照新聚类中心重新聚类,如此反复循环,直至聚类中心不再变化

或小于给定阈值时,终止循环。

根据 K -means 聚类算法,将主成分综合评价结果进行 K -means 聚类,分为最适宜、较适宜、一般适宜、不适宜 4 类。再将主成分评价前剔除的风景名胜及特殊用地、基本农田保护区、森林禁止开发区这些划分为不适宜区进行合并,最终形成分级评价结果(图 5)。

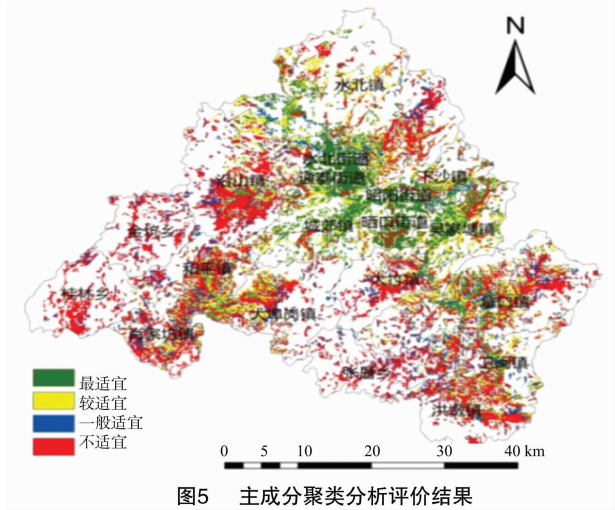


图5 主成分聚类分析评价结果

3 评价结果与分析

根据 ArcGIS 区域分析功能,得到邵武市各乡(镇)适宜性建设评价结果(表 3)。

3.1 定性分析

由图 5 可知,适宜建设的低丘缓坡地主要集中在中心城区,此区域交通便利,是铁路、公路交通枢纽所在地;具有人口密集、基础设施齐全、城镇化水平较高、财政收入较高、地势平坦等优点,不管是从社会经济角度考虑还是从施工难度来看,

都较适宜开发建设用地。根据现有资料,此地带地质灾害易发性较小,生态敏感性较弱,开发过程中不易破坏生态系统,这样既可以实现城镇的可持续发展,又节约了为恢复生态建设所需的成本。不适宜区主要分布在邵武市的周边,这些地区海拔较高、坡度较大、森林覆盖度较大、社会经济水平较低,开发起来不仅对施工技术要求较高、成本较高,还会破坏生态环境,引发地质灾害,导致环境的恶性循环。

3.2 定量分析

由表 3 可知,邵武低丘缓坡面积为 119 512.71 hm²,其中最适宜建设面积为 18 983.88 hm²,占低丘缓坡地的 15.88%,占邵武市总面积 6.64%;较适宜建设面积为 25 545.69 hm²,占低丘缓坡地的 21.37%,占邵武市总面积 8.93%;一般适宜建设面积为 27 415.53 hm²,占低丘缓坡地的 22.94%,占邵武市总面积 9.59%;不适宜建设面积为 47 567.61 hm²,占低丘缓坡地的 39.80%,占邵武市总面积 16.64%。水北镇、拿口镇、沿山乡低丘缓坡资源最丰富,分别占总低丘缓坡面积的 15.79%、13.86%、9.23%,合计达 38.88%。最适宜建设面积最大的是城郊镇,占最适宜建设总面积的 20.69%;较适宜建设面积最大的是水北镇,占较适宜建设总面积的 21.80%;一般适宜建设面积最大的也是水北镇,占一般适宜建设总面积的 18.21%;不适宜建设面积最大的是拿口镇,占不适宜建设总面积的 13.97%。

3.3 适宜性区域分析及建议

最适宜建设面积较大的乡(镇)主要有城郊镇、吴家塘镇、水北镇、晒口街道。其中水北镇是邵武市占地面积最大的乡镇,位于邵武市北部,富屯溪、鹰厦铁路、316 国道、205 省道贯穿境内,交通便利;城郊镇位于邵武市中部,距邵武市人民政府很近,平均海拔 300 m,境内溪流交错,京福高速公路引线横穿全境,是邵武市低丘缓坡开发项目片区;吴家塘镇是综

表 3 邵武市各乡镇低丘缓坡地适宜建设统计分析

乡镇 (街道)	各等级面积(hm ²)					比例 (%)
	最适宜	较适宜	一般适宜	不适宜	合计	
洪墩镇	67.77	1 032.93	1 597.41	3 604.86	6 302.97	5.27
水北街道	1 080.36	0.00	0.00	0.72	1 081.08	0.90
拿口镇	1 154.97	3 997.62	4 765.59	6 643.08	16 561.26	13.86
大埠岗镇	241.20	1 793.16	1 760.40	3 271.05	7 065.81	5.91
金坑乡	0.00	0.54	722.88	2 492.91	3 216.33	2.69
水北镇	2 718.45	5 569.74	4 992.39	5 587.83	18 868.41	15.79
通泰街道	1 422.54	0.00	0.00	75.33	1 497.87	1.25
晒口街道	2 674.44	0.00	0.00	372.69	3 047.13	2.55
和平镇	288.27	1 621.44	2 015.28	3 261.24	7 186.23	6.01
张厍乡	0.00	22.59	1 121.13	2 492.01	3 635.73	3.04
肖家坊镇	17.82	1 076.31	1 776.06	3 373.74	6 243.93	5.22
城郊镇	3 927.87	2 626.02	1 138.59	842.49	8 534.97	7.14
卫闽镇	240.30	1 365.48	1 528.83	1 926.36	5 060.97	4.23
大竹镇	236.25	1 151.01	1 415.52	2 674.89	5 477.67	4.58
桂林乡	0.00	86.13	523.35	2 983.77	3 593.25	3.01
下沙镇	1 087.56	1 286.82	1 242.09	827.28	4 443.75	3.72
沿山镇	288.81	2 027.70	2 503.80	6 210.45	11 030.76	9.23
吴家塘镇	3 042.27	1 888.20	312.21	920.97	6 163.65	5.16
昭阳街道	495.00	0.00	0.00	5.94	500.94	0.42
合计	18 983.88	25 545.69	27 415.53	47 567.61	119 512.71	100.00

合性的企业乡镇,已经初步形成邵武铁路线上一座新兴的集镇;晒口街道位于邵武市中心城区,地势平坦,基础设施完备,常住人口较多。这些区域最适宜开发建设用地,应进一步加强土地节约集约利用,充分挖掘土地利用潜力,优化产业空间格局,如靠近城区的低丘缓坡地适宜开发为商住用地或生产用地,临近工业园区的低丘缓坡地应因地制宜开发为工业基地,为人们提供更多的空间发展。

较适宜建设区主要分布在邵武北部的水北镇,东南部 的拿口镇、吴家塘镇,城区的城郊镇,西部的沿山镇,西南部的大埠岗乡、肖家坊镇、和平镇。其中,水北镇北部海拔较高,且森林覆盖 率较大;拿口镇人口密集,距市区较近,距地质灾害易发区较远,且不易发生地震;大埠岗镇地势由东向西逐渐倾斜,有名胜古迹位于其中;肖家坊镇地处武夷山脉南麓,距离市区较远,境内有将石自然保护区、鸡公山、天成岩,可以就地取材、因地制宜,发展旅游业;和平镇全境属于丘陵地带,境内山区、半山区、平原各占 1/3,平均海拔 320 m,距离市区较远,交通便利,是一个古镇。这些区域可以作为建设用地的备选资源,进行低强度、低密度开发,可以因地制宜发展旅游业,比如适当开发些农家乐用地,景区内部和附近的低丘缓坡地可以建设些浏览和配套服务设施,提高景区的服务质量,这样不仅优化城市结构,还会拉动乡镇居民经济收入,提高居民的生活水平。

一般适宜建设区零星分布在邵武北部的水北镇,东南部的拿口镇,西南部的沿山镇,南部的和平镇、肖家坊镇、大埠岗乡、洪墩镇以及卫闽镇,这些乡镇人口密度、乡镇收入水平相对较低,海拔较高、坡度较大、森林覆盖率高 达 70%,开发建设用地需要很高的技术和成本,应该以生态保护为原则,加强生态景观建设同时防止地质灾害的基础设施建设,尽可能少地破坏原始地形。

不适宜建设区主要分布在拿口镇、沿山镇、水北镇、洪墩镇、肖家坊镇、和平镇、大埠岗乡、大竹镇等,其中沿山镇、洪墩镇森林资源丰富,覆盖率达 76%,是邵武市林业重镇;大竹镇有生态公益林 2 800 hm²,竹山面积 1 466.67 hm²,属于重点保护林业带。这些乡镇如果进行开发建设不仅会导致地质灾害的发生,还会破坏生态环境。建议禁止在该区域进行建设用地的开发建设,应该以生态景观恢复和生物多样性保护为主,尽可能保持原始风貌,实现自然与社会和谐、友好发展。

4 结论

本研究结合邵武市独特的地形地貌,从空间区位、自然地理、社会经济、生态环境 4 个方面全面构建评价指标体系,采用主成分分析和均值聚类初步评价邵武市低丘缓坡地空间拓展的适宜性。该方法不仅能最大比例地保留原始信息,还能客观确定权重,避免主观随意性。研究结果表明适宜建设区

主要分布在主城区附近,涉及的乡(镇)主要有城郊镇、晒口街道、水北镇、吴家塘镇,占低丘缓坡地的 15.88%,占邵武市总面积的 6.64%,与规划文本相吻合。该评价结果不但可以为邵武市低丘缓坡地空间拓展的开发潜力和方向提供宏观把握,还可以为各乡(镇)区域发展政策的制定提供可行性建议。

参考文献:

- [1] 古艳,余万军. 浅析 GIS 技术在低丘缓坡建设适宜性评价中的应用[J]. 商业经济,2017(5):111-114.
- [2] 罗鹏,俞志强,殷国庆,等. 基于 3S 技术的金衢地区低丘红壤开发利用潜力评价[J]. 浙江农业学报,2007,19(2):101-105.
- [3] 朱晓芸. 低丘缓坡土地资源开发利用评价研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.
- [4] 徐萍,卫新,王美青,等. 浙江省低丘缓坡农业资源高效集约利用的路径与对策研究[J]. 中国农业资源与区划,2013,34(3):73-77.
- [5] Keeney S, Hasson F, McKenna H P. A critical review of the delphi technique as a research methodology for nursing[J]. International Journal of Nursing Studies,2012,38(2):195-200.
- [6] Lee Y, Kozar K A. Investigating the effect of website quality on e-business success:an analytic hierarchy process (AHP) approach[J]. Decision Support Systems,2006,42(3):1383-1401.
- [7] 袁泉,黄义忠,谢小棠,等. 云南省罗平县基于 GIS 低丘缓坡建设用地适宜性评价的研究[J]. 浙江农业科学,2014(3):408-411.
- [8] Stacklies W, Redestig H, Scholz M, et al. pcaMethods - a bioconductor package providing PCA methods for incomplete data[J]. Bioinformatics,2007,23(9):1164-1167.
- [9] Hartigan J A, Wong M A. A K-means clustering algorithm[J]. Applied Statistics,1979,28(1):100-108.
- [10] 叶宗裕. 关于多指标综合评价中指标正向化和无量纲化法的选择[J]. 浙江统计,2003(4):24-25.
- [11] 汪丽. 白银市低丘缓坡土地建设开发适宜性评价研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2013.
- [12] 孙晓莉. 基于 GIS 的低丘缓坡建设用地适宜性评价[J]. 贵州大学学报(自然科学版),2013,30(2):131-134.
- [13] 鲍艳,胡振琪,柏玉,等. 主成分聚类分析在土地利用生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报,2006,22(8):87-90.
- [14] 丛明珠,欧向军,赵清,等. 基于主成分分析法的江苏省土地利用综合分区研究[J]. 地理研究,2008,27(3):574-582.
- [15] 张雪波,肖世青,杜先锋,等. 基于主成分分析法的安溪铁观音香气质量评价模型的构建[J]. 食品科学,2012,33(22):225-230.
- [16] 公丽艳,孟宪军,刘乃侨,等. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J]. 农业工程学报,2014,30(13):276-285.