

基于反规划和最小累积阻力模型的土地生态适宜性评价 ——以昆明市为例

付野^{1,2} 艾东^{1,2*} 王数^{1,2} 方一舒^{1,2}

(1. 中国农业大学 土地科学与技术学院, 北京 100193;

2. 自然资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193)

摘要 为确定昆明市空间布局,利用最小累积阻力模型和 ArcGIS 的空间分析方法,对昆明市全域的土地生态适宜性进行评价分区。结果表明:1)昆明市生态保护核心区面积为 7 032.11 km²,占全区面积的 34.75%,为基本农田保护区和生态红线保护区,对保证粮食安全、维护生物多样性及水源涵养具有重要作用;2)昆明市生态保护涵养区面积为 4 444.31 km²,占全市面积的 21.15%,集中分布在北部的东川区、寻甸县、禄劝县以及富民县;3)生产生态扩展区面积为 7 711.87 km²,占全市面积的 36.70%,主要分布在建设开发区外围,包括禄劝县西南部,富民县东北部和西南部,寻甸县西南部,东川区东部,石林县东南部,晋宁县,西山区等地;4)建设开发核心区面积为 1 554.98 km²,占全市面积的 7.40%,集中分布在昆明市的都市核心区。

关键词 土地生态适宜性; 最小累积阻力模型; 反规划; 土地利用

中图分类号 Q149;F301.24

文章编号 1007-4333(2019)12-0136-09

文献标志码 A

Ecological suitability of land based on the model of anti-planning and minimum cumulative resistance: A case study of Kunming City

FU Ye^{1,2}, AI Dong^{1,2*}, WANG Shu^{1,2}, FANG Yishu^{1,2}

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Key Laboratory for Agriculture Land Quality Monitoring and Control of Ministry of Natural and Resources, Beijing 100193, China)

Abstract To determine the spatial layout of Kunming, the land ecological suitability of Kunming is evaluated and divided by using the minimum cumulative resistance model and the spatial analysis method of ArcGIS. The results show that: 1) The area of ecological protection core area of Kunming is 7 032.11 km², accounting for 34.75% of the total area. Basic farmland protection areas and ecological red line protection areas play an important role in ensuring food security, maintaining biodiversity and water conservation; 2) Kunming's production ecological protection and conservation area is 4 444.31 km², accounting for 21.15% of the city's total area, which is concentrated in Dongchuan District, Xundian County, Luquan County and Fumin County in the north; 3) The area of production ecological expansion area is 7 711.87 km², accounting for 36.70% of the city's total area, which is mainly distributed in the periphery of the construction and development zone, including the southwest of Luquan County, the northeast and southwest of Fumin County, southwest of Xundian County, east of Dongchuan District, southeast of Shilin County, Jinning County, Xishan District, etc.; 4) The core area of construction and development is 1 554.98 km², accounting for 7.4% of the city's total area, which is mainly distributed in the urban core area of Kunming. This study combines the anti-planning method with the minimum cumulative resistance model to provide reference for the spatial planning layout of Kunming.

Keywords ecological suitability of land; minimum cumulative resistance model; anti-planning; land use

收稿日期: 2018-12-21

基金项目: 昆明市国土空间规划研究 201811-14

第一作者: 付野, 硕士研究生, E-mail: 18611491252@163.com

通讯作者: 艾东, 副教授, 主要从事空间规划、土地整治研究, E-mail: aidong@cau.edu.cn

近年来,国家对于空间规划越来越重视,多次在重大政策、会议上提到有关于空间规划的要求。第十八次全国代表大会明确提出“大力推进生态文明建设,优化国土空间开发格局”的规划大旗;随后通过的《关于全面深化改革若干重大问题的决定》明确提出“推进国家治理体系和治理能力现代化”、“建立空间规划体系,划定生产、生活和生态空间开发管制界限,落实用途管制”,将空间规划作为优化国土空间开发格局的重要抓手;《生态文明体制改革总体方案》进一步细化空间规划体系的构建,提出了“构建以空间治理和空间结构优化为主要内容,全国统一、相互衔接、分级管理的空间规划体系”,并强调“整合各部门分头编制的各类空间性规划,编制统一的规划”;在此基础上,中央城市工作会议提出以主体功能区规划为基础统筹各类空间性规划,增强城市规划的科学性和权威性,推进“多规合一”;2016年发布的《关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》提出“加强城市总体规划和土地利用总体规划的衔接,推进两图合一”,至此“多规合一”被逐步落实,“九龙治水”的时代宣告结束;而随着《深化党和国家机构改革方案》的公布,新组建的自然资源部成为“建立空间规划体系并监督实施”的主管部门,顺应了各界关于推进“多规合一”的呼声,开启了空间规划和空间治理的新时代^[1-3];十九大报告中又提出了构建节约资源和保护环境的空间格局的新要求。可见,空间规划已经成为支撑国家发展的重要力量,对于国家的发展具有重大意义。

土地生态适宜性评价是从生态保护和土地可持续利用的角度对不同土地利用方式的适宜程度进行定量分析^[4],识别最佳的土地利用方式,明确空间格局,进而达到优化空间结构的目标。在如今构建节约资源和保护环境的空间格局的大背景下,土地生态适宜性评价是优化空间结构的必要手段,是科学制定空间规划的重要依据。

近年来,学者们对土地生态适宜性进行了大量研究,徐保根等^[5]利用区域可拓模型,选取指标,确定指标经典域、节域和非域,对山西省隰县农业综合发展研究试区土地生态适宜性进行评价,并确定塬地、沟地、坡地不同植物综合生态适宜性;王介勇等^[6]利用 Arcgis 的空间分析功能,选取坡度、人口、交通等 8 个因子分析了海南岛工业用地的生态适宜性,并划分了限制区、不适宜利用区、基本适宜区和优先开发区 4 个分区;刘孝富等^[7]运用最小累积阻

力模型计算了厦门市生态保护用地和城镇用地扩张 2 个过程的阻力面,并通过对两者的差值比较,将厦门市划分为禁止开发、限制开发、重点开发、优化开发 4 个适宜性分区;吴金华等^[8]利用变异系数法确定指标权重,利用 Arcgis 的分区统计功能进行土地生态敏感性评价。

目前,土地生态适宜性评价已广泛应用于城市总体规划^[4,9]、土地利用总体规划^[10-11]、土地整治工程中^[12]。随着空间规划时代的到来,土地生态适宜性评价在空间规划制定过程中的作用显得愈加重要。本研究考虑到昆明市不仅是滇中城市群发展的核心地带,也是滇中生态屏障建设的重要组成部分,从土地生态的管理属性、社会属性与自然属性多维度选取适宜性评价指标,构建阻力面运用最小累积阻力模型对昆明市进行土地生态适宜性分区,以期对昆明市空间规划布局提供借鉴参考。

1 研究区概况与数据来源及处理

昆明市地处云贵高原中部,位于 $102^{\circ}10' \sim 103^{\circ}40'E$, $24^{\circ}23' \sim 26^{\circ}22'N$,是滇中城市群的核心区,其行政区划如图 1 所示。昆明地势总体北高南低,地貌以湖盆岩溶高原为主;年降水量 1 035 mm,具有典型的温带气候特点;日照长、霜期短、年平均气温 $15^{\circ}C$,年均日照 2 200 h 左右,无霜期 240 d 以上;全市面积 21 013.28 km^2 ,2016 年末常住人口为 672.80 万,地区生产总值(GDP)4 300.43 亿元。昆明市是长江经济带上游地区重要的生态保护屏障,也是面向东南亚、南亚乃至中东、南欧和非洲的前沿和门户,经济建设与生态保护都是未来昆明市发展的主要方向。

本研究的数据主要包括 2016 年昆明市土地利用变更调查数据库、昆明市规划数据库、昆明市地质灾害数据、昆明市 2015 和 2016 年 Landsat8 OLI 遥感影像数据、ASTER 30 m 数字高程数据、昆明市 2015 年降雨差值数据、MODIS NDVI 中国月合成产品、人口与 GDP 数据。数据来源于资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)、地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)、昆明市国土资源局。

对研究区遥感影像首先进行几何精校正、多光谱波段融合、图像裁剪、大气辐射校正预处理,然后利用 ENVI 5.1 软件通过监督分类和目视解译相结合的方法得到研究区土地利用图;NDVI 月合成数据通过 ENVI 5.1 的波段计算器计算年平均值,获

得研究区 NDVI 年平均值数据;DEM 数据通过影像拼接和裁剪得到研究区 DEM 数据。利用重采样工具(Resample)将各栅格数据精度调整为 250 m×

250 m,利用七参数,将地理坐标系统一为 GCS_WGS_1984,投影坐标系为 WGS_1984_UTM_Zone_48N。

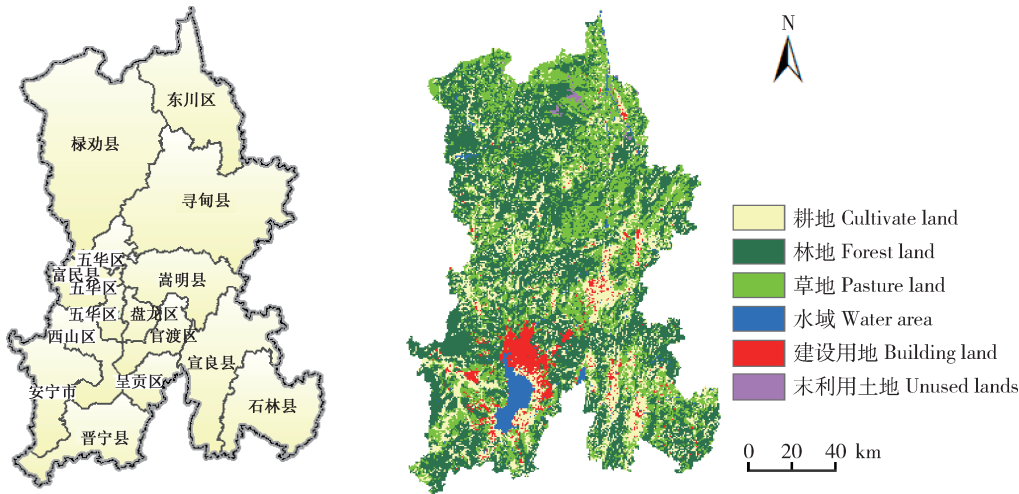


图 1 昆明市行政区划及遥感解译图

Fig.1 Administration map of Kunming and Remote sensing interpretation

2 研究方法

2.1 最小累积阻力模型

最小累积阻力模型起源于 Knaapen 等^[13]对一下对物种扩散的研究,后经国内学者^[14-15]的不断完善。“源”“汇”景观理论认为,异质景观可以分为“源”与“汇”2 种景观,其中“源”景观包括可以促进景观类型发展的过程,而“汇”景观包括阻碍景观类型发展的过程。虽然“源”和“汇”景观具有相反的性质,但在一个过程中的“源”景观可能成为另一个过程中的“汇”景观^[16]。“源”和“汇”之间的转换是作为控制和覆盖空间的竞争过程而发生的,这种竞争过程是通过克服各种阻力来实现的。而最小累积阻力模型正是从“源”与“汇”的相互转换出发,计算“源”在向“汇”转换的过程中,克服所有同质或异质景观单元阻力所用的最小成本,其计算公式为:

$$MCR = f_{\min}(\sum_{j=n}^{i=1} D_{ij} \times R_i)$$

式中:MCR 代表最小累积阻力, f 是某处正相关的函数,反映了空间中任何点的最小阻力与从任何点从“源”到“汇”的过程与景观基面的特征之间的关系, $\min$ 表示被评价单元对不同景观源的阻力值取最小值, D_{ij} 为“源” j 到“汇” i 的距离, R_i 为阻力系数。

2.2 确定分区

将式(1)计算得到的两类扩张的最小累积阻力

值相减,得到最小累积阻力差值,表达式为:

$$MCR_{\text{差值}} = MCR_{\text{生态}} - MCR_{\text{建设}} \tag{2}$$

当差值为负值时,意味着生态保护用地比建设用地更容易扩张,则此栅格适宜作为生态保护用地;相反,当差值为正值时,适宜作为建设开发用地;当差值为零时,为二者的分界线。据此初步将昆明市土地分为适宜生态用地和建设用地两类。在此基础上,通过自然断点法,确定突变点,对初步分级结果进一步细分。

3 评价过程

3.1 技术路线

目前,对于土地生态适宜性评价主要分为土地水平过程评价和垂直过程评价两类^[17],多是对研究区的自然状态进行评价,很少涉及管理因素。本研究在评价中考虑管理要素,在对研究区自然适宜性水平过程评价的基础上,借鉴“反规划”理念,将管理要素作为限制开发因素在垂直过程评价中对其扣除,综合得到最终评价结果。具体过程如图 2 所示。

3.2 评价指标获取

水平过程评价指标包括地形因子、降雨因子、植被覆盖因子、道路因子、人口数量因子、GDP 因子、地质灾害因子、土地利用因子。垂直过程评价指标包括基本农田保护区因子、生态红线因子。

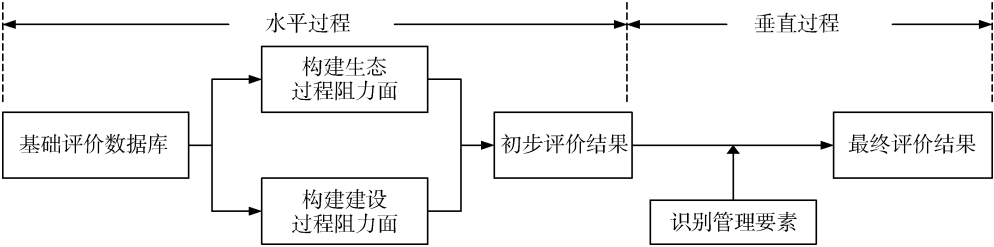


图 2 技术路线

Fig. 2 Research technology roadmap

1)地形因子。地形因子是影响人类生活、生产的一个十分重要的因子,交通建设、企业选址、农业生产等人类活动都受到地形因子的影响。本研究通过计算地形位指数^[18]表征研究区地形状况。首先从研究区 DEM 数据中提取坡度数据,然后运用式(3)计算得到研究区地形位指数。地形位指数越大,表明研究区地形越复杂。

$$T = \log \left[\left(\frac{E}{\bar{E}} + 1 \right) \times \left(\frac{S}{\bar{S}} + 1 \right) \right] \quad (3)$$

T 为地形位指数, E 和 $\bar{E}$ 分别为研究区高程值和平均高程值, S 和 $\bar{S}$ 为研究区坡度值和平均坡度值。具体操作通过 ArcGIS 10.2 栅格计算器(Raster Calculator)完成。

2)植被覆盖因子。植被覆盖度可定义为单位面积上的植被覆盖面积,其是评估生态环境的一个重要参数^[19]。本研究在获得研究区年平均 NDVI 值的基础上,利用式(4)计算得到研究区植被覆盖数据。植被覆盖值越大,表明区域植被越多。

$$N = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min}) \quad (4)$$

N 为植被覆盖指数, $NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 分别为研究区年平均 NDVI 最大值和最小值。具体计算通过 ENVI 5.1 波段计算器(Band Math)完成。

3)降雨因子。降雨是导致土壤侵蚀和突发地质灾害的主要原因,对开发建设具有一定影响,同时,降雨有助于绿色植被的生长,对于保护生态环境有一定的好处。鉴于昆明市降雨多,雨季长的特点,将降雨作为一项评价因素进行考虑。降雨越大的地方越不利于人类生活,不易于进行开发建设。本研究的降雨数据来源于资源环境科学数据中心。

4)道路因子。本研究中的道路因子主要考虑距国道和省道的距离。交通是影响区域经济发展的主要因素之一,可达性高的区域具有较高的区位优势,

更适宜进行开发建设。道路数据来源于 2016 年昆明市变更调查数据库,运用 ArcGIS 10.2 多环缓冲区工具生成不同距离的缓冲区。

5)人口数量因子。从区域尺度到全国尺度,人口对城镇化水平和建设用地开发具有显著的影响^[20-22],在适宜性评价中不能忽略人口对地类变化的影响,人口数量越多,越易于进行开发建设。本研究的人口数据来源于资源环境科学数据中心。

6)GDP 因子。GDP 是城镇发展、土地利用变化的驱动力之一^[23-25]。GDP 越发达的地区,经济水平越高,建设用地的开发意愿和程度也越大。本研究的 GDP 数据来源于资源环境科学数据中心。

7)地质灾害因子。昆明市地质灾害分布广、种类多、危害大和致灾重,包括:滑坡、泥石流、崩塌、地裂缝、地面塌陷、地面沉降和石漠化等,其中危害性最大的是滑坡、泥石流。本研究地质灾害数据来自昆明市国土资源局提供的地质灾害图,经过矢量化得到。

8)土地利用因子。土地利用因子为 Landsat8 OLI 遥感影像解译结果,分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地六大类。经验证分类结果达到需要的精度要求。

9)其他因子均来自昆明市规划数据库。

3.3 评价指标体系构建

根据前人经验^[26-27],分别用 1、2、3、4、5 表示 5 个不同的等级评价单因子阻力,分值越低,阻力越小。各单因子等级划分采用 Arcgis 中的重分类工具,按照自然断点法进行分级。根据对不同转化过程的难易程度,赋予不同的阻力等级,具体见表 1。

3.4 确定扩张“源”

本研究认为城市的发展是对生态保护与建设开发 2 个过程的取舍,故本研究的扩张“源”包括生态用地和建设用地两部分。

表1 阻力评价体系
Table 1 Resistance evaluation system

阻力因素 Resistance factor	阻力因子 Resistance element	扩张类型 Type of expansion	阻力等级 Resistance level				
		城镇 Town	5	4	3	2	1
		生态保护 Ecological protection	1	2	3	4	5
自然生态属性	地形位指数		0.62~1.00	0.49~0.62	0.37~0.49	0.25~0.37	0~0.25
	土地利用方式	林地、水域		草地	耕地	未利用地	建设用地
	地灾情况	高易发			中易发		低易发
	植被覆盖度		0.82~1.00	0.71~0.82	0.57~0.71	0.36~0.57	0~0.36
	降水/mm		>926	862~926	730~862		
	人口		<586	286~2 962	2 962~9 068	9 068~26 691	>26 691
社会属性	GDP/万元		<800	800~1 155	1 155~1 794	1 794~2 615	>2 615
	距道路距离/m		>2 000	1 000~2 000	500~1 000	100~500	0~100

建设开发“源”地主要是基于 Landsat8 OLI 多光谱遥感影像的解译结果,将建设用地作为建设开发的扩张“源”,其对应的主要是城镇用地和农村居民点用地。

生态保护“源”地主要考虑重要生态用地。生态用地是指生产性用地和承载力用地以外,以提供生态产品、环境调节和生物保育等生态服务功能为主要用途,对维持区域生态平衡和可持续发展具有重要作用的土地利用类型^[28]。主要包括:林地、草地和水域等具有生态功能的土地类型。本研究根据生态用地的定义基于对遥感解译数据和变更调查数据的叠加分析,提取两数据中重合的林地,水域作为生态保护“源”地。

3.5 基于反规划的土地生态适宜性分区确定

反规划是应对城市无序扩张的一种物质空间规划途径,本质上是通过不对建设区域的控制来进行城市空间规划的方法^[29]。为了保证分区划定结果的客观性和科学性,本研究从土地利用的管理属性出发,选取基本农田保护区和生态红线保护区 2 个重要指标,作为禁止开发指标对土地生态适宜性评价结果进行进一步细分。具体方法通过 Arcgis 的空间叠加分析完成。

4 评价结果

4.1 最小阻力值计算

根据式(2)分别计算 2 种“源地”扩张的最小累积阻力值,结果如图 3 所示。可以看出,从“源”向外扩张过程受到的累积阻力逐渐增加。进一步依据式(3)计算二者最小累积阻力差值,见图 4。

4.2 确定分区

当差值为负值时,将此栅格划为生态保护区;相反,当差值为正值时,将此栅格划为建设开发区。其中,生态保护区面积为 18 740.44 km²,占全域面积的 89.18%,建设开发区面积为 2 272.84 km²,占全域面积的 10.82%。

4.3 确定综合评价结果

采用 ArcGIS 中的自然断点法,对生态保护区进一步细分,划分出生产生态区和生态保护区两类。在此基础上,借鉴反规划思想将基本农田保护区和生态红线保护区作为禁止开发因子在适宜性评价结果中进行扣除,按照阻力差值划分出生态保护核心区、生态保护涵养区、生产生态扩展区以及建设开发核心区,得到最终的土地生态适宜性分区结果(表 2 和图 5)。

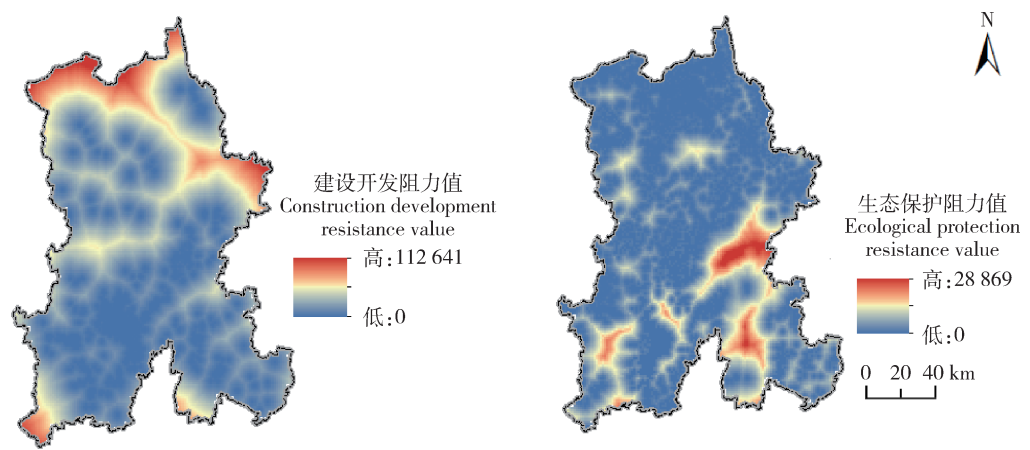


图 3 2 种扩张过程的最小累积阻力值

Fig. 3 Minimum cumulative resistance value of two kinds of expansion

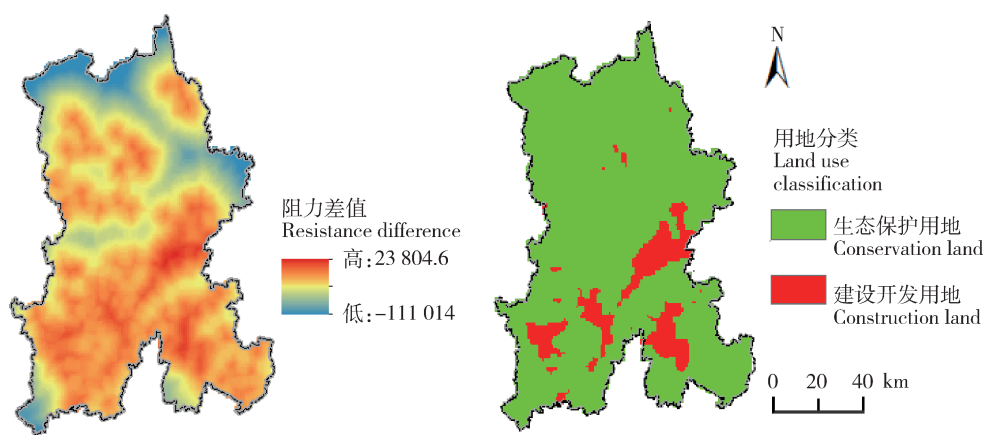


图 4 最小累积阻力差值及初步分区结果

Fig. 4 Difference of minimum cumulative resistance values and preliminary partition result

表 2 生态适宜性分级

Table 2 Ecological suitability classification

生态适宜性分区	阻力差值分区
Ecological suitability	Resistance difference partition
生态保护区	−111 014.00~−22 160.05
生产生态区	−22 160.05~0.00
建设开发区	0.00~23 804.00

从适宜性分区结果来看,昆明市土地生态适宜性呈圈状,阶梯扩散的特征。以地形平坦的官渡、盘龙等区为生态适宜性低值区,逐步向地形陡峭的禄劝县、东川区等生态适宜性高值区扩张。生态保护核心区面积 7 032. 11 km²,占全区面积的 34. 75%,包括基本农田保护区和生态红线保护区。该区域以优质耕地、林草地和水域水面为主,是维持昆明市生

态环境良好的核心地区,对于维护生物多样性、粮食安全以及水源涵养具有重要作用。

生态保护涵养区面积为 4 444. 31 km²,占全市面积的 21. 15%,主要分布在北部的东川区、寻甸县、禄劝县以及富民县。其中东川区、寻甸县和禄劝县是昆明市脱贫攻坚工作的重点区域,这些区域海拔高,地形起伏度大,地质灾害频发,生态环境脆弱,不适宜进行开发建设,应大力保护该区域的生态环境,大力发展生态旅游业及特色农业。该区域苗族、彝族聚居,人文资源丰富,可以充分利用其特有的少数民族文化资源,打造绿色人文生态城镇。

生产生态扩展区面积最大,为 7 711. 87 km²,占全市面积的 36. 70%,主要分布在建设开发区外围,包括禄劝县西南部,富民县东北部和西南部,寻甸县西南部,东川区东部,石林县东南部,晋宁县,西山区等地。这些区域人口较少,地势平坦,不仅适宜进行

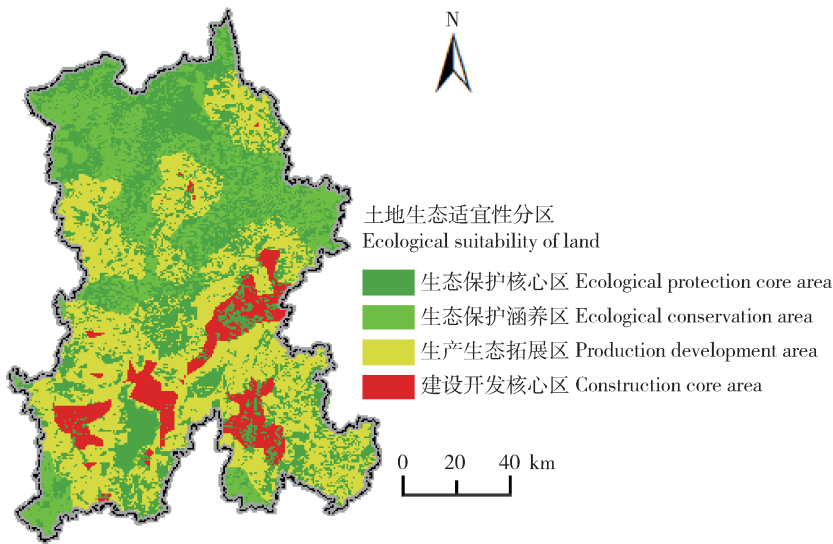


图5 土地生态适宜性分区结果

Fig. 5 Results of land ecological suitability zoning

农业生产,也适宜开发成为牧草地,同时部分临近建设开发核心区的土地也有成为建设用地的可能性,在以后的城市扩张中要明确城市开发边界,控制城市扩张规模。

建设开发核心区面积最小,为1 554.98 km²,占全市面积的7.40%,集中分布在盘龙区、官渡区、嵩明县、呈贡区、安宁市和宜良县。这片区域主要是昆明市的都市核心规划区,地形平坦,地质灾害易发度低,降雨丰富,道路通达性高,人口聚集,经济发展较好,是经济发展中城乡资源优化配置的重点区域。

5 结论与讨论

将反规划思想与最小累积阻力模型结合,通过从自然、社会、管理属性选取指标,对昆明市土地生态适宜性进行评价,并进一步划分出不同适宜性分区,明确了昆明市开发与保护的空間格局。结果如下:

1)从分区上看,昆明市的空间格局呈现典型的南北差异特征。南部以建设开发核心区和生产生态拓展区为主,建设开发核心区在昆明市中南部的嵩明县、五华区等滇池周边区域,面积最少,占全域面积的7.40%;生产生态拓展区在建设开发核心区的外围,适宜进行农业生产,面积最大占全域面积的36.70%;北部以生态保护涵养区和生态保护核心区为主,生态保护涵养区集中连片分布,占全域面积的21.15%,而生态保护核心区零散分布,占全域面积

的34.75%,两区面积之和占到全域面积的一半以上。

2)从空間格局上看,昆明市未来的发展中心在中南部的官渡区、呈贡区、宜良县、嵩明县和安宁市5个区域,上述区域地形平坦,交通便利,具有较大的发展潜力。但必须注意的是,上述区域有一部分紧邻滇池,包括呈贡区、安宁市和官渡区,这些区域在未来的发展过程中要严格控制开发规模,保证滇池水域良好的生态环境。

将反规划方法与最小累积阻力模型结合,有机的将水平过程与垂直过程统一,在一定程度上弥补了传统方法的不足,但也存在着一定不足:第一,在土地适宜性评价中综合运用了矢量数据与栅格数据,而不同类型数据间的转换存在一定的误差;第二,在阻力值的确定以及划定生态适宜性分区的过程中存在一定的主观性。在以后的研究中要加强对数据类型转换、阻力值赋值以及生态适宜性区划分的研究,避免因数据转换和主观性而带来的误差。

参考文献 References

[1] 郝庆. 对机构改革背景下空间规划体系构建的思考[J]. 地理研究, 2018(10): 1938-1946
Hao Q. The construction of spatial planning system under the background of institutional reform[J]. *Geographical Research*, 2018(10): 1938-1946 (in Chinese)
[2] 许景权, 沈迟, 胡天新, 杜澍, 张晓明. 构建我国空间规划体系的总体思路 and 主要任务[J]. 规划师, 2017(2): 5-11

- Xu J Q, Shen C, Hu T X, Du S, Zhang X M. General concept and main tasks of building spatial planning system in China [J]. *Planners*, 2017(2): 5-11 (in Chinese)
- [3] 顾朝林. 论中国“多规”分立及其演化与融合问题[J]. 地理研究, 2015(4): 601-613
- Gu C L. On the separation of China's spatial plans and their evolution and integration[J]. *Geographical Research*, 2015 (4): 601-613 (in Chinese)
- [4] 梁涛, 蔡春霞, 刘民, 彭小雷. 城市土地的生态适宜性评价方法: 以江西萍乡市为例[J]. 地理研究, 2007(4): 782-788
- Liang T, Cai C X, Liu M, Peng X L. Study on methodology of ecological suitability assessment of urban land use: An example of Pingxiang[J]. *Geographical Research*, 2007(4): 782-788 (in Chinese)
- [5] 徐保根, 薛继斌. 区域土地生态适宜性可拓评价模型及其应用[J]. 中国生态农业学报, 2006(2): 210-212
- Xu B G, Xue J B. The expandable evaluation model of regional land ecological suitability and its application[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006(2): 210-212 (in Chinese)
- [6] 王介勇, 刘彦随, 张富刚. 海南岛土地生态适宜性评价[J]. 山地学报, 2007(03): 290-294
- Wang J Y, Liu Y S, Zhang F G. GIS-based ecological suitability evaluation of industrial land use: A case study of ainan sland [J]. *Journal of Mountain Science*, 2007 (3): 290-294 (in Chinese)
- [7] 刘孝富, 舒俭民, 张林波. 最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用: 以厦门为例[J]. 生态学报, 2010(2): 421-428
- Liu X F, Shu J M, Zhang L B. Research on applying minimal cumulative resistance model in urban land ecological suitability assessment: As an example of Xiamen City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010(2): 421-428 (in Chinese)
- [8] 吴金华, 李纪伟, 朱鸿儒. 基于 ArcGIS 区统计的延安市土地生态敏感性评价[J]. 自然资源学报, 2011(7): 1180-1188
- Wu J H, Li J W, Zhu H R. Land ecological sensitivity evaluation of an'an based on zonal statistics of ArcGIS[J]. *Journal of Natural Resources*, 2011 (7): 1180-1188 (in Chinese)
- [9] 王玉国, 尹小玲, 李贵才. 基于土地生态适宜性评价的城市空间增长边界划定: 以深汕特别合作区为例[J]. 城市发展研究, 2012(11): 76-82
- Wang Y G, Yin X L, Li G C. Delimitation of urban growth boundary based on land ecological suitability evaluation: A case of henshan special corporation zone[J]. *Urban Studies*, 2012 (11): 76-82 (in Chinese)
- [10] 赵珂, 吴克宁, 朱嘉伟, 吕巧灵, 张雷. 土地生态适宜性评价在土地利用规划环境影响评价中的应用: 以安阳市为例[J]. 中国农学通报, 2007(6): 586-589
- Zhao K, Wu K N, Zhu J W, Lv Q L, Zhang L. Application of land ecologic suitability evaluation in environmental impact assessment (EIA) of land use planning: With nyang as an example[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007(6): 586-589 (in Chinese)
- [11] 杨轶, 赵楠琦, 李贵才. 城市土地生态适宜性评价研究综述[J]. 现代城市研究, 2015(4): 91-96
- Yang Y, Zhao N Q, Li G C. Study on urban land ecological suitability assessment[J]. *Modern Urban Research*, 2015(4): 91-96 (in Chinese)
- [12] 谭少军, 邵景安. 基于生态适宜性评价的西南丘陵区土地整治工程布局研究[J]. 地理研究, 2018(4): 659-677
- Tan S J, Shao J A. Land consolidation project layout based on ecological suitability evaluation in hilly areas of southwest China [J]. *Geographical Research*, 2018 (4): 659-677 (in Chinese)
- [13] Knaapenm J P, Schefferb M, Harms B. Estimating habitat isolation in landscape planning [J]. *Landscape and Urban Planning*, 1992, 23(1): 1-16
- [14] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报, 1999 (1): 10-17
- Yu K J. Landscape ecological security patterns in biological conservation[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999 (1): 10-17 (in Chinese)
- [15] 赵小娜, 宫雪, 田丰昊, 李明玉. 延龙图地区城市土地生态适宜性评价[J]. 自然资源学报, 2017(5): 778-787
- Zhao X N, Gong X, Tian F H, Li M Y. The urban land ecological suitability evaluation of anji-ongjing-umen region [J]. *Journal of Natural Resources*, 2017 (5): 778-787 (in Chinese)
- [16] Li F, Ye Y, Song B, Wang R S. Evaluation of urban suitable ecological land based on the minimum cumulative resistance model: A case study from Changzhou, China [J]. *Ecological Modelling*, 2015, 318(SI): 194-203
- [17] 吕剑成, 周磊, 洪武扬, 李满春, 黄秋昊. 城市土地生态适宜性分区划分研究: 以常州市武进区为例[J]. 长江流域资源与环境, 2015(9): 1560-1567
- Lv J C, Zhou L, Hong W Y, Li M C, Huang Q H. Zoning division research of urban land ecological suitability: A case study of Wujin district, Changzhou City [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015 (9): 1560-1567 (in Chinese)
- [18] 曲衍波, 齐伟, 商冉, 李乐. 基于 GIS 的山区县域土地生态安全评价[J]. 中国土地科学, 2008(04): 38-44
- Qu Y B, Qi W, Shang R, Li L. A study on land eco- security evaluation in mountainous area at county level based on GIS [J]. *China Land Science*, 2008(4): 38-44 (in Chinese)
- [19] 唐世浩, 朱启疆, 周宇宇, 白香花. 一种简单的估算植被覆盖度和恢复背景信息的方法[J]. 中国图象图形学报, 2003(11): 80-84
- Tang S H, Zhu Q J, Zhou Y Y, Bai X H. A simple method to estimate crown cover fraction and rebuild the background information[J]. *Journal of Image and Graphic*, 2003(11): 80-84 (in Chinese)

- [20] 吴一凡,刘彦随,李裕瑞. 中国人口与土地城镇化时空耦合特征及驱动机制[J]. 地理学报, 2018(10):1865-1879
Wu Y F, Liu Y S, Li Y R. Spatio-temporal coupling of demographic-landscape urbanization and its driving forces in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018(10):1865-1879 (in Chinese)
- [21] 高金龙,包蔷薇,刘彦随,陈江龙. 中国县域土地城镇化的区域差异及其影响因素[J]. 地理学报, 1-16
Gao J L, Bao J W, Liu Y S, Chen J L. Regional disparity and the influencing factors of land urbanization in China at the county level, 2000—2015[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018(12):1-16 (in Chinese)
- [22] 李进涛,刘彦随,杨园园,刘继来. 1985-2015年京津冀地区城市建设用地时空演变特征及驱动因素研究[J]. 地理研究, 2018(1):37-52
Li J T, Liu Y S, Yang Y Y, Liu J L. Spatial-temporal characteristics and driving factors of urban construction land in Beijing-Tianjin-Hebei region during 1985—2015[J]. *Geographical Research*, 2018(1):37-52 (in Chinese)
- [23] 王海军,刘艺明,张彬,徐姗,贾克敬,洪松. 基于 Logistic-GTWR 模型的武汉城市圈城镇用地扩展驱动力分析[J]. 农业工程学报, 2018(19):248-257
Wang H J, Liu Y M, Zhang B, Xu S, Jia K J, Hong S. Analysis of driving forces of urban land expansion in wuhan metropolitan area based on Logistic-GTWR model[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018(19):248-257 (in Chinese)
- [24] 徐小明,杜自强,张红,冯凌,申小雨. 晋北地区 1986—2010 年土地利用/覆被变化的驱动力[J]. 中国环境科学, 2016(7):2154-2161
Xu X M, Du Z Q, Zhang H, Feng L, Shen X Y. Quantitative analysis on driving forces of land use/cover change in north Shanxi province during 1986—2010[J]. *China Environmental Science*, 2016(7):2154-2161 (in Chinese)
- [25] 陈春,冯长春. 中国建设用地增长驱动力研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010(10):72-78
Chen C, Feng C C. Driving forces for construction land expansion in China[J]. *China Population, Resources And Environment*, 2010(10):72-78 (in Chinese)
- [26] 王琦,付梦娣,魏来,韩煜,史娜娜,李俊生,全占军. 基于源-汇理论和最小累积阻力模型的城市生态安全格局构建:以安徽省宁国市为例[J]. 环境科学学报, 2016(12):4546-4554
Wang Q, Fu M D, Wei L, Han Y, Shi N N, Li J S, Quan Z J. Urban ecological security pattern based on source-sink landscape theory and MCR model: A case study of Ningguo City, Anhui Province[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016(12):4546-4554 (in Chinese)
- [27] 李健飞,李林,郭砾,杜世宏. 基于最小累积阻力模型的珠海市生态适宜性评价[J]. 应用生态学报, 2016(1):225-232
Li J F, Li L, Guo L, Du S H. Assessment on the ecological suitability in Zhuhai city, Guangdong, China, based on minimum cumulative resistance model[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016(1):225-232 (in Chinese)
- [28] 喻锋,李晓波,张丽君,徐卫华,符蓉,王宏. 中国生态用地研究:内涵、分类与时空格局[J]. 生态学报, 2015(14):4931-4943
Yu F, Li X B, Zhang L J, Xu W H, Fu R, Wang H. Study of ecological land in China: conception, classification, and spatial temporal pattern[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015(14):4931-4943 (in Chinese)
- [29] 俞孔坚,李迪华,韩西丽. 论“反规划”[J]. 城市规划, 2005(9):64-69
Yu K J, Li D H, Han X L. On the “Negative Planning”[J]. *City Planning Review*, 2005(9):64-69 (in Chinese)

责任编辑:王燕华