



基于 AHP-GIS 的地表基质适宜性评价 ——以吉林省双辽-东丰地区为例

周业泽^{1,2}, 高远^{1,2}, 裴阳^{1,2}, 秦天^{1,2}, 刘万涛^{1,2}, 关雨男^{1,2}, 寇福建^{1,2}

1. 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北廊坊 065000;
2. 中国地质调查局梨树黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 吉林四平 136000

摘要: 以双辽-东丰地区为研究对象, 利用 GIS 空间分析和层次分析法(AHP), 评价地表基质是否适宜支撑该地区的林地、草地、耕地等土地利用类型。选取地形、地表基质物理特征、化学特征、气候特征等 4 个方面共 12 项指标, 构建地表基质适宜性评价模型。评价结果表明: 区域内地表基质适宜性整体良好, I、II 级区域总面积为 5 072.78 km², 占比 41.55%, 主要分布于研究区中部平原地区和东南部沟谷地区; III 级区域总面积为 3 609.91 km², 占比 29.57%, 呈零星状分布于研究区全域; IV、V 级区域总面积为 3 525.84 km², 占比 28.88%, 集中分布于研究区西部平原地区, 分布东南部丘陵地区。与传统土地利用适宜性评价相比, 此评价嵌入了地表基质相关指标, 以期地表基质调查服务支撑国土空间综合利用找寻突破点, 为地表基质适宜性评价下一步工作提供思路。
关键词: 地表基质; 层次分析法; GIS; 适宜性评价; 吉林省

SUITABILITY EVALUATION OF GROUND SUBSTRATE BASED ON AHP-GIS: A Case Study of Shuangliao-Dongfeng Region in Jilin Province

ZHOU Ye-ze^{1,2}, GAO Yuan^{1,2}, PEI Yang^{1,2}, QIN Tian^{1,2}, LIU Wan-tao^{1,2}, GUAN Yu-nan^{1,2}, KOU Fu-jian^{1,2}

1. Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, CGS, Langfang 065000, Hebei Province, China;
2. Lishu Field Scientific Observation and Research Station for Earth Critical Zone of Black Soil, CGS, Siping 136000, Jilin Province, China

Abstract: Taking Shuangliao-Dongfeng region as the study object, the GIS spatial analysis and analytic hierarchy process (AHP) are used to evaluate whether the ground substrate is suitable for the land use types such as forest land, grassland and cultivated land in the region. The evaluation model of ground substrate suitability is constructed with 12 indexes from 4 aspects including terrain, physical and chemical properties of ground substrate, and climate characteristics. The evaluation results show that the overall suitability of ground substrate in the region is good, and the total area of Grade I and II is 5 072.78 km², accounting for 41.55%, mainly distributed in the central plain and southeastern gully area. The total area of Grade III is 3 609.91 km², accounting for 29.57%, distributed sporadically throughout the study area. The total area of Grade IV and V is 3 525.84 km², accounting for 28.88%, concentrated in the western plain area, with minors distributed in the southeastern hilly area. Compared with the traditional evaluation of land use suitability, the evaluation of this study embeds the related indicators of ground substrate to seek a breakthrough for the comprehensive utilization of land space by ground substrate survey and provide ideas for the following work of ground substrate suitability evaluation.

Key words: ground substrate; AHP; GIS; suitability evaluation; Jilin Province

收稿日期: 2023-08-14; 修回日期: 2023-10-29. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局自然资源综合调查项目“辽河平原梨树地区黑土地地表基底层调查”(DD20211590).

作者简介: 周业泽(1992—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事地表基质调查研究, 通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号, E-mail//278146584@qq.com

通信作者: 秦天(1989—), 男, 工程师, 主要从事地表基质调查和自然资源监测研究, 通信地址 河北省廊坊市广阳区广阳道 93 号, E-mail//tianqinhj@163.com

0 引言

2020年1月,自然资源部在《自然资源调查监测体系构建总体方案》中将地表基质层定义为地球表层孕育和支撑耕地、森林、草原、水、湿地等各类自然资源的基础物质,是承接地上资源与地下资源的纽带^[1]。地表基质层调查是自然资源立体综合调查监测体系的重要组成部分,同时,地表基质层调查是对地球系统科学理论的探索完善,其调查数据与成果可以对自然资源统一管理、国土空间综合利用提供支撑服务^[2-4]。

目前对于各种用地类型和自然资源的评价研究工作已取得了较为丰富的成果^[5-6],例如评价在不同研究区域内植被的生态适宜性^[7-9],评价不同区域内的土地利用适宜性等^[10]。关于适宜性评价的方法,已有研究包括GIS空间分析法^[11-13]、遥感分析法^[14]、层次分析法^[15]、综合指标评价法^[16-18]、功能区划法^[19]等。可以看出,适宜性评价工作已较为成熟,这些研究主要包括人文与环境适应性评价^[20-21]、国土空间规划适宜性评价与优化^[22-25]、土地利用类型适宜性评价^[26-29]等。但关于地表基质适宜性评价的服务支撑目标、评价体系构建及指标选取方面相关研究还较为缺乏。为此,本文以双辽-东丰地区为研究区,利用地表基质调查数据和已有成果资料,基于GIS空间分析和层次分析法(AHP),评价地表基质是否适宜支撑该地区的林地、草地、耕地等土地利用类型,为地表基质调查评价工作的理论研究与实践提供参考。

1 研究区概况

研究区位于吉林省与内蒙古、辽宁交界处,主要包括双辽市、公主岭市、伊通满族自治县、东丰县,总面积12 228 km²(图1)。区域内地势呈东南高、西北低,海拔高度在100~1 000 m之间。地貌类型较丰富,东南部属长白山余脉的丘陵地区,西北部为松辽平原重要组成部分,接壤科尔沁草原,地势平坦,南部沿东辽河为典型河漫滩地貌。区域内大部分被第四系沉积物所覆盖,仅在东南部伊通、东丰地区出露少量强风化砂岩和花岗岩,第四系以风积砂土、冲洪积砂土、黏土和残破砾石为主。研究区是我国主要的黑土地带,土地资源比较丰富,农业生产条件得天独厚,主要种植玉米、大豆、水稻等粮食作物和花生、葵花籽等经济作物,现有耕地面积9 228.15 km²,占总面积约76%。境内主要

河流有东辽河、招苏台河以及条子河等。研究区地处东部季风区和中温带半湿润地区,大陆性气候明显,四季分明。春季干燥多大风,夏季湿热多降雨,秋季温凉多早霜,冬季漫长而寒冷,年平均气温6.0℃。7月份最热,月平均气温23.59℃,极端最高气温为36.1℃。多年平均降水量为566.85 mm,最大降水量为737.4 mm,最小降水量为379.4 mm,降雨主要集中在6—8月份,可占全年降水量的60.56%。

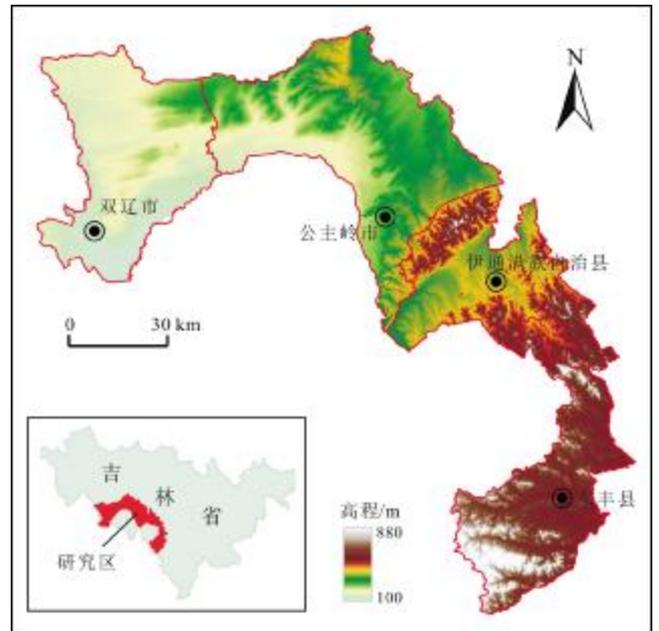


图1 研究区地理位置图

Fig. 1 Geographical location map of the study area

2 数据来源及处理

地形数据:来源于中国地理空间数据平台2018年90 m分辨率数字高程模型(DEM)。利用ArcGIS地理处理工具,得到高程、坡度、坡向数据。

气象数据:来源于中国科学院资源环境科学与数据中心的“中国气象要素年度空间插值数据集(2020年度)”中的平均气温、平均降雨量数据。

土地利用数据:来源于中国科学院资源环境科学与数据中心的“中国多时期土地利用遥感监测数据集(2020年度)”,精度为90 m分辨率。使用ArcGIS软件重分类方法对其土地利用类型进行归并。

实测数据:调查点位在兼顾不同地貌类型、土壤类型、地表基质类型的基础上均匀布设,平均约每16 km²一个点位,共计817个点位。调查内容主要包括地表

基质土层厚度、垂向结构等，并采取配套样品进行质地、全碳、有机质含量等分析测试。利用 Excel 进行数据汇总处理，再使用 ArcGIS 软件中 Kriging 插值法进行插值获得栅格数据。

3 研究方法

3.1 适宜性评价工作流程

为确保评价的科学性、规范性和可操作性，能够通过评价结果来判断地表基质是否能够支撑耕地、林地、草地等用地类型使用，本研究以《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术指南》为基础，结合地表基质野外调查数据和已收集的部分成果资料，利用层次分析法对公主岭市、双辽市、伊通满族自治县、东丰县共计 12 228 km² 地表基质适宜性进行了探索评价。评价工作流程见图 2。

3.2 指标因子的确定

影响地表基质适宜性的因子复杂多样，从自然生态因素的角度来看，地表基质对用地类型适宜程度与地形、地表基质特征、气候等要素有密切关系。综合考虑地表基质的差异性、现实性和针对性，最终选取评价因子涉及地形特征、地表基质物理特征、地表基质化学

特征、气候特征 4 个方面，共计 12 项指标(图 3)。

1)地形:采用坡度、坡向、高程 3 个指标因子来反映地形条件。坡度对于地表基质适宜性的影响主要体现在土壤侵蚀作用和上覆植被生长方面。坡度越大，地形起伏越大，土壤侵蚀作用越明显，则易发生水土流失，当坡度大于 20°时，已不适合进行农业耕作；坡度越小，地形越平坦，有利于植被生长、农田灌溉和耕作等。坡向控制每日光照时长和土壤中水分含量，不同坡向间温度和降水量有明显差别。高程对植被生长的环境同样会产生影响，不同海拔高度其水分和热量分布情况也有所差异。

2)地表基质物理特征:采用表层质地、表层容重、地表基质垂向结构、有效土层厚度 4 个指标因子对物理特征进行评价。土壤质量受质地直接影响，如砂土一般缺乏有机质，水分和营养元素易流失；黏土虽然有机质含量高，营养元素不易随水分流失，但由于土壤黏粒含量过高，水分无法下渗，易造成淹水影响植物根系生长；壤土则两者兼顾，是植被生长最佳的土壤质地。表层容重能够指示表层土壤的松紧、疏密程度，土壤越疏松多孔，容重越小；土壤越紧实，容重越大。有效土层越厚，植物根系越易向深处生长，则越易吸收土壤中

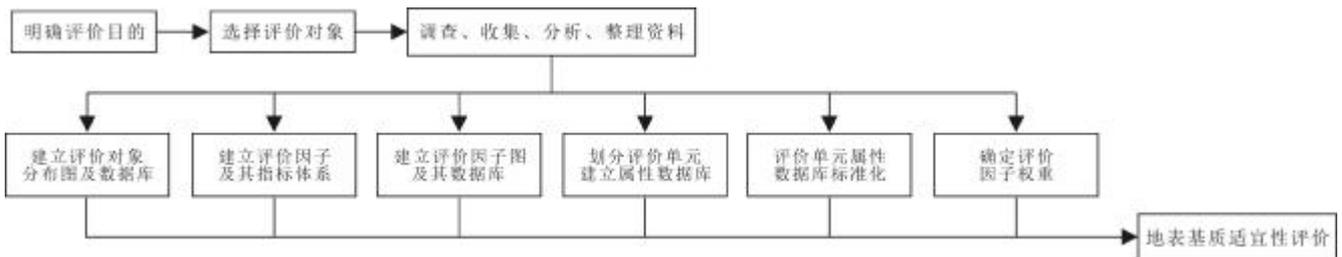


图 2 地表基质适宜性评价工作流程

Fig. 2 Workflow of ground substrate suitability evaluation

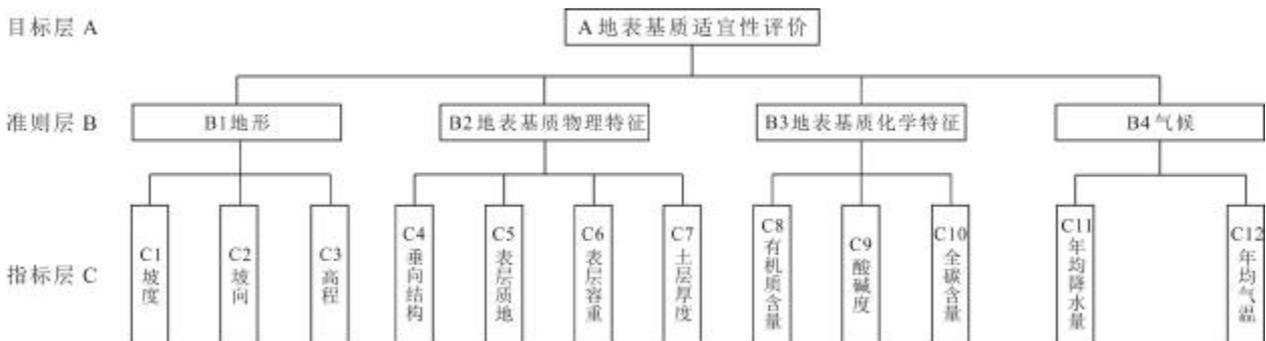


图 3 地表基质适宜性评价指标体系

Fig. 3 Suitability evaluation index system for ground substrate

的水分和养分. 地表基质垂向结构能够反映出地表基质垂向上的变化趋势, 不同的地表基质垂向结构对上覆植被生长影响很大, 如壤土-黏土类垂向结构, 上层壤土适合空气、水分、微生物等进行物质交换, 下层黏土防止各类营养元素流失, 为最适合植被生长的垂向结构类型.

3) 地表基质化学特征: 采用有机质含量、pH 值、全碳含量 3 个指标因子对物理特征进行评价. 不同地区土壤 pH 不同, 植被生长需要适宜的土壤 pH 范围, 若 pH 过高或过低均会影响植被的长势. 土壤有机质是提供植被生长所需营养的主要来源, 在一定范围内, 有机质的含量与土壤肥力正相关. 全碳含量包括土壤有机碳和无机碳含量, 全碳含量越高, 其地表基质中碳储量则越高, 能够直接反映生态系统中的初级生产力规模和数量.

4) 气候: 采用降水、气温 2 个指标因子来反映气候状况. 干旱与霜冻是植被生存的主要威胁, 降水是植物生长所需水分的主要来源, 降水多少对植被的生长具有直接影响. 气温过低所导致的霜冻会对植被造成一定危害, 而在一定范围内, 气温越高越利于植被生长.

3.3 指标因子权重确定

权重确定是此次研究的一个重要步骤, 其设定直

接影响地表基质适宜性的评价结果. 依据专家打分法对各影响因子重要程度进行打分, 创建判别矩阵, 并对矩阵的一致性进行检验. 该矩阵最大特征值 $\lambda_{\max}=4.0665$, $CR=0.0249<0.1$, 因此通过一次性检验. 使用 YAAHP 软件最终得到 12 项评价因子的权重值(表1), 明确地表基质物理特征的权重占 39.46%, 地表基质化学特征的权重占 15.56%, 地形因素的权重占 37.65%, 气候因素的权重占 7.33%. 地表基质物理特征对当前地表基质适宜性影响最大, 气候因素对当前地表基质适宜性影响最小. 具体影响力排序为: 地表基质物理特征(0.394 6)>地形(0.376 5)>地表基质化学特征(0.155 6)>气候(0.073 3).

4 适宜性评价模型的建立

评价模型主要使用的是多因素综合分析方法. 根据地表基质是否适宜支撑林地、草地、耕地等土地利用类型选取相应的影响因子, 各个评价因子的分值则反映其在评价单元内对地表基质适宜性产生的作用程度. 首先对相应的评价因子等级进行 {1, 2, 3, 4, 5} 量化赋值, 然后将各评价因子利用 GIS 技术进行空间加权叠加, 计算出地表基质适宜性综合指数, 再根据不同植被覆盖类型生长对地表基质、地形、气候等因素要求

表 1 地表基质适宜性评价因子权重

Table 1 Factor weight of ground substrate suitability evaluation

目标层	准则层	准则层权重	指标层	指标层权重	指标层对总目标层的权重
地表基质适宜性评价	地形	0.3765	坡度	0.6491	0.2444
			坡向	0.2790	0.1050
			高程	0.0719	0.0271
	地表基质物理特征	0.3946	质地	0.2632	0.1038
			有效土层厚度	0.0573	0.0226
			垂向结构	0.5017	0.1980
			容重	0.1778	0.0702
	地表基质化学特征	0.1556	有机质含量	0.5278	0.0821
			全碳	0.3325	0.0517
			pH 值	0.1396	0.0217
			降水	0.8333	0.0611
			气温	0.1667	0.0122
气候	0.0733				

表2 地表基质适宜性因子量化标准

Table 2 Factor quantification criteria of ground substrate suitability evaluation

量化分值	5	4	3	2	1	
地形	坡度/(°)	<5	5~10	10~15	15~20	>20
	坡向/(°)	S (157.5~202.5)	SW/SE (112.5~157.5/ 202.5~247.5)	W/E (67.5~112.5/ 247.5~292.5)	NW/NE (22.5~67.5/ 292.5~337.5)	N (337.5~22.5)
	高程/m	归一化处理, 高程越小越适宜				
地表基质物理特征	质地	壤土	壤质黏土/黏质壤土	黏土/砂质壤土	砂质黏土/壤质砂土	砂土/粗骨土/岩石/砾质
	垂向结构	壤土-黏土/ 壤土-壤土	黏土-壤土/砂土- 壤土/壤土-砂土	壤土-岩石/砂土- 黏土/砂土-壤土	黏土-岩石/砂土- 岩石/砂土-砂土	粗骨土-粗骨土/ 粗骨土-岩石
	容重	1.1~1.3	1.0~1.1/ 1.3~1.4	0.9~1.0/ 1.4~1.5	0.8~0.9/ 1.5~1.6	<0.8/ >1.6
	有效土层厚度/cm	归一化处理, 有机质含量越高越适宜				
地表基质化学特征	有机质含量/10 ⁻³	归一化处理, 有机质含量越高越适宜				
	pH 值	6.5~7.0	6.0~6.5/ 7~7.5	5.0~6.0/ 7.5~8.5	4.5~5.0/ 8.5~9.0	<4.5/ >9.0
	全碳/%	归一化处理, 全碳含量越高越适宜				
气候	降水/mm	归一化处理, 降水越大越适宜				
	气温/°C	归一化处理, 气温越高越适宜				

高低,利用 ArcGIS 软件中自然间断点分级法将地表基质适宜性综合指数分为 5 个不同的适宜性等级(表 2)。V 级评分值最低,为待保护用地,IV 级为仅适宜草地,III 级为适宜林地、草地等生态用地,II 级为基本适宜所有类型用地,I 级评分值最高,为适宜所有类型用地。每个单元的地表基质适宜性水平是由多个评价因子综合作用的结果,其综合作用程度由单元因素总分值决定。地表基质适宜性评价综合指数的计算采用加权求和法。

$$\text{计算公式为: } D = \sum_{i=1}^n w_i f_{ij}$$

式中: D 为评价单元的综合分值; i 为评价指标编号; j 为评价单元编号; w_i 为第 i 个评价指标的权重; f_{ij} 为第 j 个评价单元内第 i 个评价指标的分值; n 为评价指标总数。

5 结果与分析

5.1 土地利用现状分析

根据收集数据获得 2020 年双辽-东丰地区土地利用类型分布情况(表 3),可知用地类型中占比最大的为耕地,面积约 8 322.34 km²,占比 67.57%;其次为

林地,面积约 2 291.64 km²,占比 18.61%;再次为城镇建设用地,面积约为 937.75 km²,占比 7.61%;草地、水体、裸地分布面积较少,共占比 6.21%。

表3 双辽-东丰地区各土地利用面积

Table 3 Areas of various land use types in Shuangliao-Dongfeng region

土地利用/覆盖类型	面积/km ²	占比/%
耕地	8322.34	67.57
林地	2291.64	18.61
草地	219.59	1.78
水体	276.02	2.24
建设用地	937.75	7.61
裸地	269.03	2.18

从研究区土地利用分布现状(图 4)可知,耕地作为占比最大的用地类型基本覆盖全区,但大部分集中于研究区中西部,主要是因为该地区为东辽河冲积平原,地势平坦,适合进行大面积农作物耕种,只有少量在东南部呈零星状分布;林地则集中于东南部地区,该区域为长白山余脉,呈低山丘陵地貌,大型

农具无法使用,因此受人为因素影响较少;城镇建设用地基本围绕市(县)分布,其余则零星分布于较平坦地区;草地在研究区内分布最少,基本仅在研究区西部与内蒙古自治区科尔沁草原接壤处零星分布;裸地较为特殊,呈东西向条带状集中分布于研究区西北部,通过实地调查发现裸地主要为沙地和盐碱地,其上覆植被十分稀疏,植物基本无法生长。

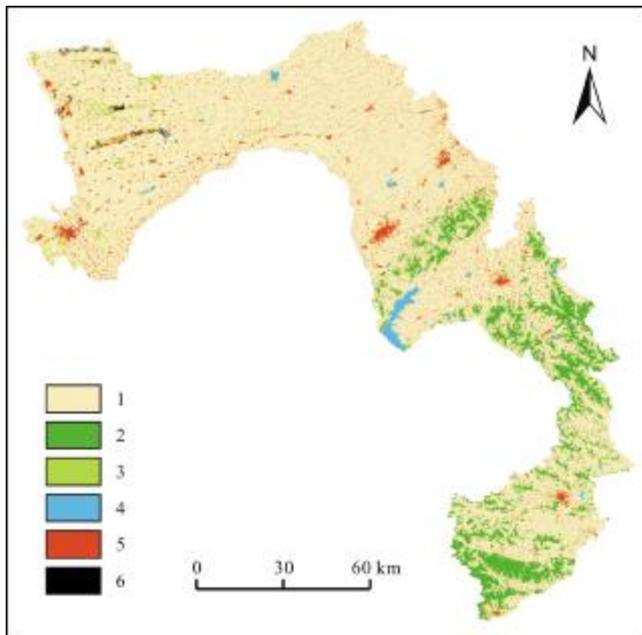


图4 双辽-东丰地区土地利用现状分布

Fig. 4 Distribution of land use status in Shuangliao-Dongfeng region

1—耕地(cultivated land); 2—林地(forest land); 3—草地(grassland); 4—水域(water area); 5—建设用地(construction land); 6—未利用地(unused land)

5.2 指标层评价分析

1)地形特征:对区内海拔高度进行分析,西部、中部高程较低,在 99.0~256.8 m 之间,属于地形平坦的冲积平原地区,能够达到 5 评分;而由西向东南方向高程逐渐增高,由平原过渡为低山丘陵地区,基本在 3~4 评分;在东南部部分地区高程可达到 730.2~888.0 m,评分则在 1~2(图 5a)。从地形数据分析,全区地形坡度基本较为平缓,坡度小于 5° ,可达到 5 评分;仅于东南部低山丘陵地区,部分坡度较大,达到 3~5 评分(图 5b)。根据坡向数据可知,坡向分布沿山麓或坡地起伏延伸明显呈东西向带状分布,不同坡向影响植被受光照时长与土壤水分含量,向阳坡(南坡)能达到较高评

分,而背光坡(北坡)评分则较低(图 5c)。

2)地表基质物理特征:对表层土壤砂粒含量与黏粒含量数据进行处理,得到区内表层土壤质地分布。可知区域西部与东南部主要分布壤土,评分为 5;中部主要分布黏质壤土与砂质壤土,评分为 3~4;中部地区则集中分布少量砂土,为 1 评分(图 5d)。对区域内有效土层厚度进行分析,其主要受地形因素影响。中西部冲积平原地区厚度普遍较大,基本大于 300 cm,评分能够达到 4~5 评分;而东南部低山丘陵地区,厚度普遍较小,在 0~300 cm 区间,评分为 1~3(图 5e)。对区域内地表基质垂向结构分布进行分析,中部平原地区土层较厚,主要为壤土-壤土或壤土-黏土类型,评分达到 5;东南部丘陵地区土层较薄,岩石出露较浅,为壤土-岩石或砂土-岩石类型,因此评分较低,为 2~3;而西部平原地区主要受沙化、盐碱化作用影响,垂向结构类型较为复杂,主要为砂土-砂土、砂土-壤土、壤土-砂土、壤土-壤土等,评分为 2~5(图 5f)。对区域内容重进行分析,中西部地区受沙化作用影响,土壤中砂质含量较高,其容重较高,其评分基本为 1~3;而东南部丘陵地区,由于受人为活动影响较小,容重较符合植被生长要求,评分为 4~5(图 5g)。

3)地表基质化学特征:对表层土壤有机质含量进行分析,可知中部和西部地区有机质含量低,仅 $4.3 \times 10^{-3} \sim 19.9 \times 10^{-3}$,评分为 1~2,其原因可能为该区域基本为耕地,常年受耕作活动影响,有机质消耗速度较快;东南部地区有机质含量较高,达 $19.9 \times 10^{-3} \sim 43.5 \times 10^{-3}$,评分为 3~5(图 5h),其原因可能为该区域主要为林地,受人为活动影响较少,适合有机质积累。表层土壤中全碳含量分布基本与有机质含量分布规律一致,含量呈东高西低趋势(图 5i)。对区域内土壤酸碱度(pH)进行分析,中部地区 pH 值适中,评分为 4~5,适宜各种植被生长;西北部地区 pH 值较高,均大于 7.5,评分为 1~3,可见该区域受盐碱化作用较为强烈;而东南部地区 pH 值相对较低,一般在 5~6 之间,评分基本为 3,这主要由于该地区土地利用类型基本为林地,枯落物分解产生有机酸进入土壤层所致(图 5j)。

4)气候特征:对区域内年平均降水进行分析,可见降水量呈明显阶梯式分布,自西向东降水量逐渐增加,最低为 482.3 mm,最高为 1 060.8 mm,评分为 1~5 分(图 5k)。区域内年平均气温与年平均降水量呈相反趋

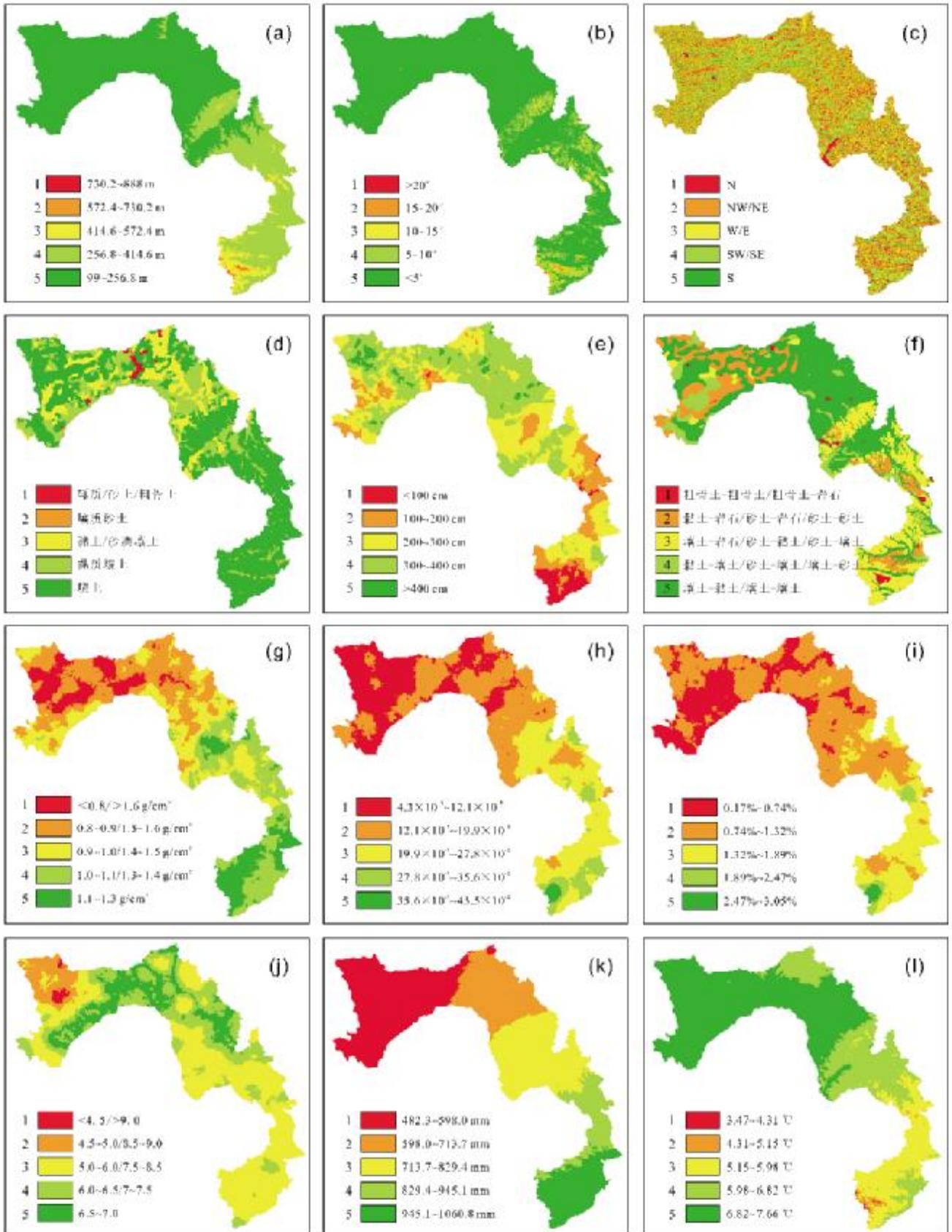


图5 指标层评价分析

Fig. 5 Evaluation and analysis of index layer

a—高程(elevation); b—坡度(slope gradient); c—坡向(slope aspect); d—表层质地(surface soil texture); e—有效土层厚度(effective soil thickness); f—垂向结构(vertical structure); g—容重(unit weight); h—有机质含量(organic content); i—全碳含量(total carbon content); j—pH 值(pH value); k—年平均降水(average annual precipitation); l—年平均气温(average annual temperature); 1~5—量化评分(quantitative score)

表 4 双辽-东丰地区地表基质适宜性综合评价分级标准

Table 4 Grading criteria of ground substrate suitability evaluation in Shuangliao-Dongfeng region

评价等级	等级说明	阈值划分
V-待保护用地	地表基质物理及化学特征、地形特征、气候特征等各项因子得分均较低,已不适宜各种植被生长,应采取保护措施	2.0447~3.2143
IV-仅适宜草地	大多数因子得分均较低,已不适合耕地或林地等条件限制相对较多的用地,可种植草地缓慢恢复生态环境	3.2143~3.5381
III-适宜林草等生态用地	少数因子得分低,对生产用地农作物生长已产生限制,适宜林地、草地等生长需求条件较低的生态用地	3.5381~3.8034
II-基本适宜所有类型用地	大多数因子得分较高,只有个别因子得分相对较低,基本适宜各种用地类型需求	3.8034~4.0757
I-适宜所有类型用地	地表基质物理及化学特征、地形特征、气候特征等各项因子得分均较高,适合各种用地类型需求	4.0757~4.8368

势分布,中部、西部平原地区气温较高,一般在 5.98~7.66 °C 之间,评分为 4~5;而东南部低山丘陵地区气温相对较低,在 3.47~5.98 °C 之间,评分为 1~3(图 51).

5.3 评价分级阈值确定

根据各个评价指标分级标准及得分赋值,利用 ArcGIS 软件对栅格数据进行重分类分析,得到单项因子的评价结果,再利用栅格计算器进行多因子加权综合分析,得到研究区地表基质对用地类型的适宜性评价结果,其适宜性值在 2.0447~4.8368 范围之间(图 6).使用 ArcGIS 自然间断点分级法分析得出阈值区域,最

终得到研究区地表基质对用地类型的适宜性分级标准(表 4).

5.4 地表基质适宜性评价结果分析

综合地表基质物理特征、地表基质化学特征、地形特征、气候特征 4 个准则层因子进行多因子叠加分析,对双辽-东丰地区地表基质适宜性进行研究.根据表 4 中数据对双辽-东丰地区地表基质适宜性综合评价结果进行分析,从而得到双辽-东丰地区地表基质适宜性空间分布(图 7).

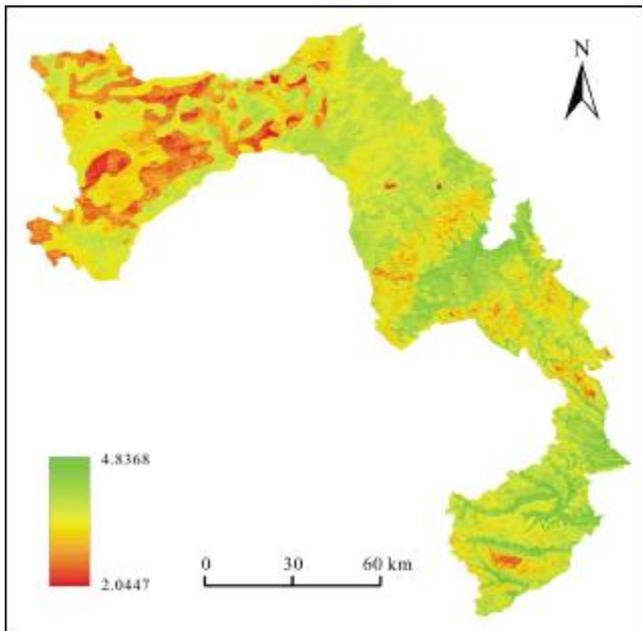


图 6 双辽-东丰地区地表基质适宜性评价分值
Fig. 6 Evaluation score of ground substrate suitability in Shuangliao-Dongfeng region

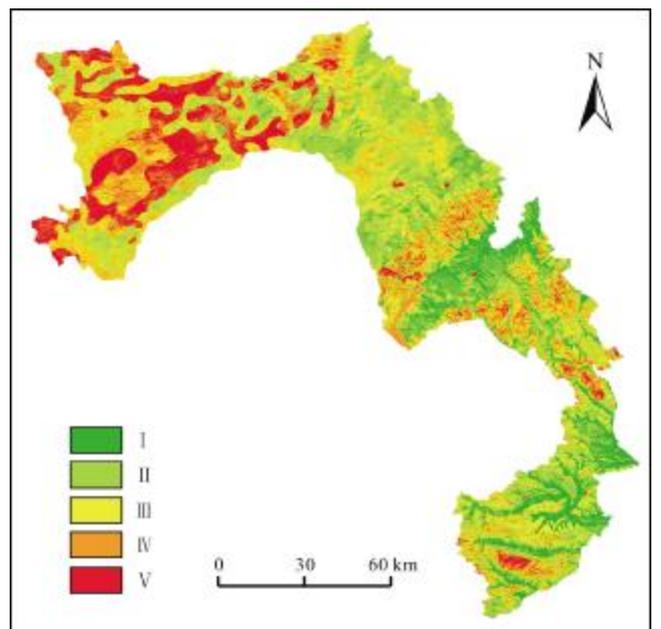


图 7 双辽-东丰地区地表基质适宜性空间分布
Fig. 7 Distribution of ground substrate suitability in Shuangliao-Dongfeng region
I—V: 评价等级 (evaluation grade)

根据图7所示,研究区地表基质适宜性评价整体良好。结合表5可知,不同评价等级区域所受限制因素不同,具体分析如下。

表5 双辽-东丰地区地表基质适宜性分析结果

Table 5 Analysis result of ground substrate suitability in Shuangliao-Dongfeng region

评价等级	面积/km ²	占总面积比例/%
V-待保护用地	1326.70	10.87
IV-仅适宜草地	2199.14	18.01
III-适宜林草等生态用地	3609.91	29.57
II-基本适宜所有类型用地	3520.043	28.83
I-适宜所有类型用地	1552.74	12.72

1) 地表基质 I 级区域总面积为 1 552.74 km²,占研究区总面积 12.72%,主要分布于中部平原地区和东南部沟谷区域。该区域主要特征为坡度较小,地形平坦,地表基质物理、化学特征均满足各类土地利用需求,且年平均降水量与气温较为适宜。

2) 地表基质 II 级区域总面积为 3 520.04 km²,占研究区总面积 28.83%,主要分布于区域内中部地区,较少分布于东南部区域。造成该区域评价稍低的因素较少,主要受地表基质物理特征与化学特征影响,使其能够基本满足所有类型用地需求。

3) 地表基质 III 级区域总面积为 3 609.91 km²,占比最大,约 29.57%,该分区呈零星状分布于研究区全域。造成其评价较低因素稍多,但不同区域受不同因素限制,中部、西部地区主要受容重、有机质含量、全碳含量、年平均降水等因素限制,东南部地区主要受高程、有效土层厚度、年平均气温等因素限制。由于农作物生长对各项因素需求较高,若继续在此区域进行农业耕作,可能会出现农作物长势差、产量低等现象。因此建议该区域种植林草为主,种植农作物为辅,以维护生态环境平衡。

4) 地表基质 IV 级区域总面积为 2 199.14 km²,占研究区总面积 18.01%,主要分布于研究区西部、东南部少数区域。其评价低主要受地形、地表基质物理化学、气候等多种因素综合影响,如东南部丘陵地区地形坡度较陡,易发生水土流失现象,土层较薄导致植物根系无法向下生长延伸汲取水分与养分;西部受盐碱化与沙化作用影响,导致土壤 pH 值较高等。因此建议该

评价区域种植对生长环境需求最低的草类,以防止环境继续恶化。

5) 地表基质 V 级区域总面积 1 326.70 km²,占研究区总面积 10.87%,集中分布于研究区西部及东南部小面积区域。西部区域因长期受沙化、盐碱化作用影响,各项要素评分均较低,已不适宜生长任何植被,因此建议将此区域规划为生态保护区,采取必要保护措施(盐碱化治理等)防止生态劣化向东部蔓延。而东南部小面积 V 级区域主要由于坡度陡,无法蓄水保土,且基岩裸露或出露较浅,土层较薄,其地表基质垂向结构基本为砂土-岩石或粗骨土-岩石类型,已无法支持各类植被的生长。

6 结论与讨论

1) 本文将评价地表基质是否适宜支撑林地、草地、耕地等土地利用类型作为目标,以双辽-东丰地区为研究区,通过利用地表基质调查数据和已有成果资料,基于 GIS 空间分析和层次分析法,从自然生态因素的角度出发,选取地形特征、地表基质物理特征、地表基质化学特征、气候特征 4 个方面,12 个因素作为评价指标,确定各项指标权重,构建地表基质适宜性评价模型,最终得到双辽-东丰地区地表基质适宜性评价结果。其中,准则层因素具体影响力排序为:地表基质物理特征(0.394 6)>地形(0.376 5)>地表基质化学特征(0.155 6)>气候(0.073 3)。

2) 依照研究区实际情况,利用 ArcGIS 软件中自然间断点分级法将地表基质适宜性综合指数分为 5 个不同的适宜性等级。结果表明,研究区地表基质适宜性评价整体良好,并针对各个等级区域分布情况、主要影响指标进行分析。其中, I、II 级区域总面积为 5 072.78 km²,占比 41.55%,适宜耕地、林地、草地等所有类型用地,主要分布于研究区中部平原地区和东南部沟谷地区; III 级区域总面积为 3 609.91 km²,占比 29.57%,适宜林地、草地等生态用地,呈零星状分布于研究区全域; IV、V 级区域 3 525.84 km²,占比 28.88%,集中分布于研究区西部,少量分布于东南部丘陵地区,此等级区域生态环境已出现问题,应采取保护措施进行生态修复,防止生态问题继续恶化。

3) 结合双辽-东丰地区土地利用类型分布情况,耕地面积约 8 322.34 km²,而地表基质适宜性评价结

果中 I、II 级适宜耕地等所有类型用地面积仅为 5 072.78 km²。其中有 3 249.56 km² 面积已不适宜进行农业耕作用地,主要分布于研究区西部地区,该区域受沙化、盐碱化作用影响严重,各项指标得分均较低,农作物产量因此降低。应及时采取土地盐碱化及沙化治理措施,规划种植林草,提高植被覆盖率,防止水土流失,避免生态环境进一步恶化。

4)总体来说,地表基质适宜性评价目前还处于试点阶段,相关的实践案例较少,其评价体系构建还处于探索阶段。本文中地表基质适宜性评价是在土地利用评价的基础上嵌入地表基质相关指标,以期利用层次分析法和 GIS 技术来评价地表基质是否适宜支撑林地、草地、耕地等土地利用类型,为地表基质调查服务支撑国土空间综合利用找寻突破点,为地表基质适宜性评价下一步工作提供思路。下一步研究中应根据不同地区特点,针对不同生态问题选取相对应评价指标,构建完善地表基质适宜性评价体系,并梳理出生产、生活和生态用地在开发保护中的问题与冲突,为国土空间优化路径和规划目标落实提供切实可行的建议。

参考文献(References):

- [1]自然资源部.自然资源部关于印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》的通知[EB/OL].https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/18/content_5470398.htm, 2020-01-17.
Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Natural Resources on the issuance of *The Overall Plan for the Construction of the Natural Resources Survey and Monitoring System* [EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-01/18/content_5470398.htm, 2020-01-17. (in Chinese)
- [2]葛良胜,杨贵才.自然资源调查监测工作新领域:地表基质调查[J].中国国土资源经济,2020,33(9):4-11,67.
Ge L S, Yang G C. New field of natural resources survey and monitoring: Ground substrate survey[J]. *Natural Resource Economics of China*, 2020, 33(9): 4-11, 67.
- [3]王子垚.中国土地适宜性评价研究进展[J].农业与技术,2020,40(4):36-41.
Wang Z Y. Research progress of land suitability evaluation in China [J]. *Agriculture and Technology*, 2020, 40(4): 36-41. (in Chinese)
- [4]侯红星,葛良胜,孙肖,等.地表基质在中国黑土地资源调查评价中的应用探讨——基于黑龙江宝清地区地表基质调查[J].自然资源学报,2022,37(9):2264-2276.
Hou H X, Ge L S, Sun X, et al. A study on the application of ground substrate in the survey and evaluation of China's black soil resources: Based on ground substrate survey in Baoqing, Heilongjiang Province [J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(9): 2264-2276.
- [5]Bhagat R M, Singh S, Sood C, et al. Land suitability analysis for cereal production in Himachal Pradesh (India) using geographical information system [J]. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 2009, 37(2): 233-240.
- [6]申世广,王浩,荚德平,等.基于GIS的常州市绿地适宜性评价方法研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2009,33(4):72-76.
Shen S G, Wang H, Jia D P, et al. Land suitability evaluation methods for urban green space system planning based on GIS in Changzhou City [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2009, 33(4): 72-76.
- [7]Holzkämper A, Calanca P, Fuhrer J. Identifying climatic limitations to grain maize yield potentials using a suitability evaluation approach[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013, 168: 149-159.
- [8]Mendas A, Delali A. Integration of multicriteria decision analysis in GIS to develop land suitability for agriculture: Application to durum wheat cultivation in the region of Mleta in Algeria[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2012, 83: 117-126.
- [9]Sarkar A, Ghosh A, Banik P. Multi-criteria land evaluation for suitability analysis of wheat: A case study of a watershed in eastern plateau region, India[J]. *Geo-Spatial Information Science*, 2014, 17(2): 119-128.
- [10]Dengiz O. Land suitability assessment for rice cultivation based on GIS modeling[J]. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2013, 37(3): 326-334.
- [11]韩慧杰,夏学齐,吴海东,等.基于GIS和土地质量地球化学数据的水稻种植适宜性评价——以安徽省青阳县为例[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(4):591-600.
Han H J, Xia X Q, Wu H D, et al. Evaluation of rice planting suitability using GIS and geochemical land quality data: A case study of Qingyang County, Anhui Province [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(4): 591-600.
- [12]邱炳文,池天河,王钦敏,等. GIS 在土地适宜性评价中的应用与展望[J].地理与地理信息科学,2004,20(5):20-23,44.
Qiu B W, Chi T H, Wang Q M, et al. Application of GIS and its prospect in land suitability assessment [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2004, 20(5): 20-23, 44.
- [13]林燕,白秀佳,叶泽宇,等.基于ArcGIS的南通市农业生产适宜性评价[J].地质通报,2021,40(6):968-977.
Lin Y, Bai X J, Ye Z Y, et al. Assessment of agricultural production suitability in Nantong City based on ArcGIS technology [J]. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(6): 968-977.
- [14]吴兆萍,吴振宇,黄涛.基于遥感和GIS的彭阳县土地适宜性评价[J].宁夏工程技术,2020,19(2):163-167,172.
Wu Z P, Wu Z Y, Huang T. Land suitability evaluation of Pengyang

- County based on remote sensing and GIS[J]. *Ningxia Engineering Technology*, 2020, 19(2): 163-167, 172.
- [15]张炳江. 层次分析法及其应用案例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- Zhang B J. Hierarchical analysis and its application cases[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2014. (in Chinese)
- [16]唐常春, 孙威. 长江流域国土空间开发适宜性综合评价[J]. *地理学报*, 2012, 67(12): 1587-1598.
- Tang C C, Sun W. Comprehensive evaluation of land spatial development suitability of the Yangtze River Basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(12): 1587-1598.
- [17]孙静, 杨俊, 席建超. 中国海洋旅游基地适宜性综合评价研究[J]. *资源科学*, 2016, 38(12): 2244-2255.
- Sun J, Yang J, Xi J C. The comprehensive evaluation of suitability of marine tourism base in China[J]. *Resources Science*, 2016, 38(12): 2244-2255.
- [18]董斌, 陈立平, 钱国英. 基于遥感的层次分析法和模糊数学模型综合评价森林资源生态适宜性[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(3): 468-476.
- Dong B, Chen L P, Qian G Y. Synthetic evaluation of ecological suitability of forest resources by analytic hierarchy process and fuzzy mathematics model based on remote sensing data [J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(3): 468-476.
- [19]高俊刚, 吴雪, 张懿锂, 等. 基于等级层次分析法的金沙江下游地区生态功能分区[J]. *生态学报*, 2016, 36(1): 134-147.
- Gao J G, Wu X, Zhang Y L, et al. Ecological function regionalization in the lower Jinsha River basin using analytic hierarchy process method[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(1): 134-147.
- [20]钟珊, 赵小敏, 郭熙, 等. 基于空间适宜性评价和人口承载力的贵溪市中心城区城市开发边界的划定[J]. *自然资源学报*, 2018, 33(5): 801-812.
- Zhong S, Zhao X M, Guo X, et al. Delimitation of urban growth boundary based on spatial suitability evaluation and population carrying capacity in Guixi County[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(5): 801-812.
- [21]张美慧, 李霖, 马建芳. 面向城市尺度的人居环境自然适宜性评价[J]. *地理与地理信息科学*, 2022, 38(3): 91-96, 128.
- Zhang M H, Li L, Ma J F. Evaluation on natural suitability of human settlements in urban scale[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2022, 38(3): 91-96, 128.
- [22]张云路, 李雄, 孙松林. 基于“三生”空间协调的乡村空间适宜性评价与优化——以雄安新区北沙口乡为例[J]. *城市发展研究*, 2019, 26(1): 116-124.
- Zhang Y L, Li X, Sun S L. Evaluation and optimization of rural space suitability based on “the production, living and ecological space coordination”: Take Beishakou Township, the Xiongan New Area as an example[J]. *Urban Development Studies*, 2019, 26(1): 116-124.
- [23]唐常春, 孙威. 长江流域国土空间开发适宜性综合评价[J]. *地理学报*, 2012, 67(12): 1587-1598.
- Tang C C, Sun W. Comprehensive evaluation of land spatial development suitability of the Yangtze River Basin[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(12): 1587-1598.
- [24]纪学朋, 黄贤金, 陈逸, 等. 基于陆海统筹视角的国土空间开发建设适宜性评价——以辽宁省为例[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(3): 451-463.
- Ji X P, Huang X J, Chen Y, et al. Comprehensive suitability evaluation of spatial development and construction land in the perspective of land-ocean co-ordination: A case study of Liaoning Province, China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(3): 451-463.
- [25]吴艳娟, 杨艳昭, 杨玲, 等. 基于“三生空间”的城市国土空间开发建设适宜性评价——以宁波市为例[J]. *资源科学*, 2016, 38(11): 2072-2081.
- Wu Y J, Yang Y Z, Yang L, et al. Land spatial development and suitability for city construction based on ecological-living-industrial space: Take Ningbo City as an example [J]. *Resources Science*, 2016, 38(11): 2072-2081.
- [26]马昊好, 李炫, 朱磊, 等. 多视角县级空间开发适宜性评价方法对比研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(11): 193-199.
- Ma J Y, Li X, Zhu L, et al. Comparative study on appropriateness evaluation methods of spatial development at county level in different perspectives[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(11): 193-199.
- [27]李娅, 谭秋, 王丽双, 等. 县域农业土地利用适宜性评价与优化研究——以山西省原平市为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(1): 91-99.
- Li Y, Tan Q, Wang L S, et al. Research on suitability evaluation and optimization of agricultural land use in county region: A case study of Yuanping City, Shanxi Province [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(1): 91-99.
- [28]田恬, 谷达华, 郑财贵, 等. 基于土地资源限制性等级的重庆市建设用地开发适宜性评价[J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(11): 26-34.
- Tian T, Gu D H, Zheng C G, et al. Evaluation on development suitability of construction land in Chongqing based on restrictive grade of land resources[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(11): 26-34.
- [29]谢斯琦, 冶建明. 基于 AHP-GIS 的干旱区城乡建设用地适宜性评价——以新疆昆玉市为例[J]. *上海国土资源*, 2022, 43(4): 79-85.
- Xie S Q, Ye J M. Suitability evaluation of urban and rural construction land in arid region based on AHP-GIS: Taking Kunyu City of Xinjiang as an example[J]. *Shanghai Land & Resources*, 2022, 43(4): 79-85.