



引文格式: 刘婷, 施招, 王步清, 等. 基于地表基质调查的耕地适宜性评价: 以宁乡市为例[J]. 西北地质, 2026, 59(2): 290–303. DOI: 10.12401/j.nwg.2025063

Citation: LIU Ting, SHI Zhao, WANG Buqing, et al. Suitability Evaluation of Cultivated Land Based on Ecology-Supporting Sphere Survey: A Case Study of Ningxiang City[J]. Northwestern Geology, 2026, 59(2): 290–303. DOI: 10.12401/j.nwg.2025063

基于地表基质调查的耕地适宜性评价: 以宁乡市为例

刘婷¹, 施招^{1,*}, 王步清¹, 许开宏¹, 饶宸¹, 兰建梅²

(1. 中国地质调查局长沙自然资源综合调查中心, 湖南 长沙 410600; 2. 自然资源部洞庭湖流域生态保护修复工程创新中心, 湖南 长沙 410007)

摘要: 地表基质是自然资源的重要部分, 是支撑和孕育各类自然资源与生态环境的基础物质。笔者以宁乡市为例, 基于该地区地表基质调查成果由上至下从表层形态、理化性质、内部结构 3 个层面构建了包含 10 项评价指标的耕地适宜性评价体系, 在服务生态文明建设的基础上对现有的耕地资源进行了整体分析。研究表明, ①宁乡市耕地适宜性总体上等级较高, 适宜地区面积约为 1 164.67 km², 占总面积的 40.08%, 适宜性水平呈现东高西低的分布趋势。②叠加土地利用现状, 发现适宜等级的耕地集中在东北部和东南局部, 较适宜的耕地主要分布在西南 4 个乡镇, 较不适宜与不适宜的耕地则主要集中在中部和东南部的大屯营和道林两镇, 优质的后备耕地资源主要分布在东部地形平坦的地区。③通过探究影响耕地利用的因子, 提出适宜的耕地需加强保育措施, 保证高产田稳产; 较适宜的耕地需开展坡耕地治理、改善土壤酸碱度; 较不适宜和不适宜的耕地需加强矿山管控修复、保水保肥以及适当调酸; 后备耕地开发重点应放在东北部乡镇, 东南与西南各乡镇建议加强生态环境的保护与改善, 促进土地可持续利用。研究结果可为宁乡市下一步的耕地整治与开发提供依据。

关键词: 地表基质调查; 耕地适宜性评价; 物元模型; 生态源地

中图分类号: P69; P964

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2026)02-0290-14

Suitability Evaluation of Cultivated Land Based on Ecology-Supporting Sphere Survey: A Case Study of Ningxiang City

LIU Ting¹, SHI Zhao^{1,*}, WANG Buqing¹, XU Kaihong¹, RAO Chen¹, LAN Jianmei²

(1. Changsha General Survey of Natural Resources Center, Changsha 410600, Hunan, China; 2. Technology Innovation Center for Ecological Conservation and Restoration in Dongting Lake Basin, Ministry of Natural Resources, Changsha 410007, Hunan, China)

Abstract: Ecology-supporting sphere is an important part of natural resources, and it is the basic material that supports and nurtures various natural resources and ecological environment. Taking Ningxiang City as an exam-

收稿日期: 2024-02-03; 修回日期: 2025-02-19; 责任编辑: 曹佰迪

基金项目: 中国地质调查局项目“湘江下游自然资源综合调查”(DD20220874), 自然资源部洞庭湖流域生态保护修复工程技术创新中心开放课题(2023016)联合资助。

作者简介: 刘婷(1997-), 女, 助理工程师, 从事自然资源调查监测工作。E-mail: liuting_yid@163.com。

* 通讯作者: 施招(1991-), 男, 工程师, 从事自然资源调查监测工作。E-mail: shizhao1991@foxmail.com。

© Editorial Office of *Northwestern Geology*. OA under CC BY-NC-ND

ple, this paper constructs a cultivated land suitability evaluation system with 10 evaluation indexes from the surface form, physical and chemical properties, and internal structure, and analyzes the existing cultivated land resources on the basis of serving the construction of ecological civilization. The results showed that: ① In general, Ningxiang City had a high suitability level of cultivated land, and the suitable area was about 1 164.67 km² accounting for 40.08%. The suitability level showed a distribution trend of high in the east and low in the west. ② Superimposing the land use status, it is found that the cultivated land of suitable grade is concentrated in the northeast and parts of southeast. The more suitable cultivated land is mainly distributed in the southwest towns. The less suitable and unsuitable cultivated land is mainly concentrated in the central and south-southeast regions. High-quality reserve cultivated land resources are mainly distributed in the towns with relatively flat terrain in the east. ③ Through exploring the factors that affect the utilization of cultivated land, the suitable cultivated land conservation measures should be strengthened to ensure the stable yield of high-yield fields. The more suitable cultivated land needs to carry out slope farmland management and improve soil pH. And the less suitable and unsuitable cultivated land should strengthen mine restoration, water and fertilizer conservation and acid regulation. In order to promote the sustainable development of land, the emphasis of reserve cultivated land development should be placed on the towns in the northeast, and the towns in the southeast and southwest should strengthen the protection of ecological environment. These results can provide the basis for the next cultivated land regulation and development in Ningxiang city.

Keywords: ecology-supporting sphere survey; cultivated land suitability evaluation; matter-element analysis model; ecological source

自20世纪60年代以来,全球人均耕地数量从4 100 m²减少到了2 100 m²(王晓青等, 2019)。调查结果显示,2019年底中国人均耕地面积仅有906.67 m²,还不足世界平均水平的40%(朱隽等, 2022)。此外耕地资源空间分布不均衡,总体质量不高,以及存在的土壤污染、地质灾害等问题也显著影响着中国耕地的生产力(王玉军等, 2019),耕地资源的提质增量刻不容缓。积极开展耕地适宜性评价,深入分析其限制性因子,对保障粮食产量、提升耕地质量十分关键。

《自然资源调查监测体系构建总体方案》中首次提出了地表基质的概念(自然资源部官网, 2020)。地表基质指土地内涵中除去大气、地表覆盖的植物、动物以及生物圈的部分,主要由自然作用或人类活动形成的可以支撑森林、农田、水等各类自然资源的基础物质(董天钰等, 2023),是地上、地下资源物质的连接纽带(侯红星等, 2021; 袁国礼等, 2023)。由于地表基质层在自然资源状态禀赋和生长演化中占有根、源、储、汇地位,对其开展调查十分必要。地表基质调查重点开展垂向结构、地表地形地貌及其物质运移方式、理化性质和本底特征、土地开发利用情况等方面调查。相比于立地层、土壤层等传统概念,对地表基质层的调查在覆盖范围和垂向深度上都超越了传统概念的

特定指向。

现有的耕地适宜性评价已经将地表基质层的部分指标考虑进耕地的影响因素,如将地形地貌作为自然因素(奉婷等, 2014; Zhu et al., 2022)、将水土污染作为生态因素(刘需珈等, 2015),但还未做系统考量。根据地表基质调查,着眼于服务农业生产,有必要将地表基质层中影响耕地条件的因素构建评价体系,系统探究对土地利用的约束作用。笔者以湖南省主要粮食作物种植区宁乡市为例,拟从其地表基质调查结果出发,开展面向耕地的适宜性评价。通过物元评价方法,结合生态源地分布对当前土地利用现状提出优化建议,并根据耕地限制因子研究给出耕地质量优化措施,进而从耕地质量与空间分布两个层面得到宁乡市耕地资源优化路径。

1 研究区域及数据来源

1.1 研究区概况

研究区包括宁乡市全域29个乡镇,总面积约为2 906 km²。宁乡市位于长沙市西部,东临望城区,南接湘潭、娄底两市,西、北与益阳市毗邻,具体地理位置(图1)。研究区属于中亚热带向北亚热带过渡的大

陆性季风气候,四季分明,寒冷期短,炎热期长,雨水充足。地处湘中丘陵向滨湖平原的过渡地区,整个地势自西向东按低山、丘陵、岗地、平原逐级倾斜。宁乡境内地质构造复杂,西部属雪峰山弧形构造东缘;西南跨越印支期之沩山花岗岩体;东部斜贯 NNE 向

断陷红盆和断续出现的 NE 向构造;北东部为较大范围的第四系堆积掩盖,属于“洞庭凹陷”南缘。成土母质多样,山地土壤以红壤为主,成土母岩多为花岗岩、砂砾岩、板页岩、第四纪红色黏土及石灰岩等(蒋凯, 2020)。

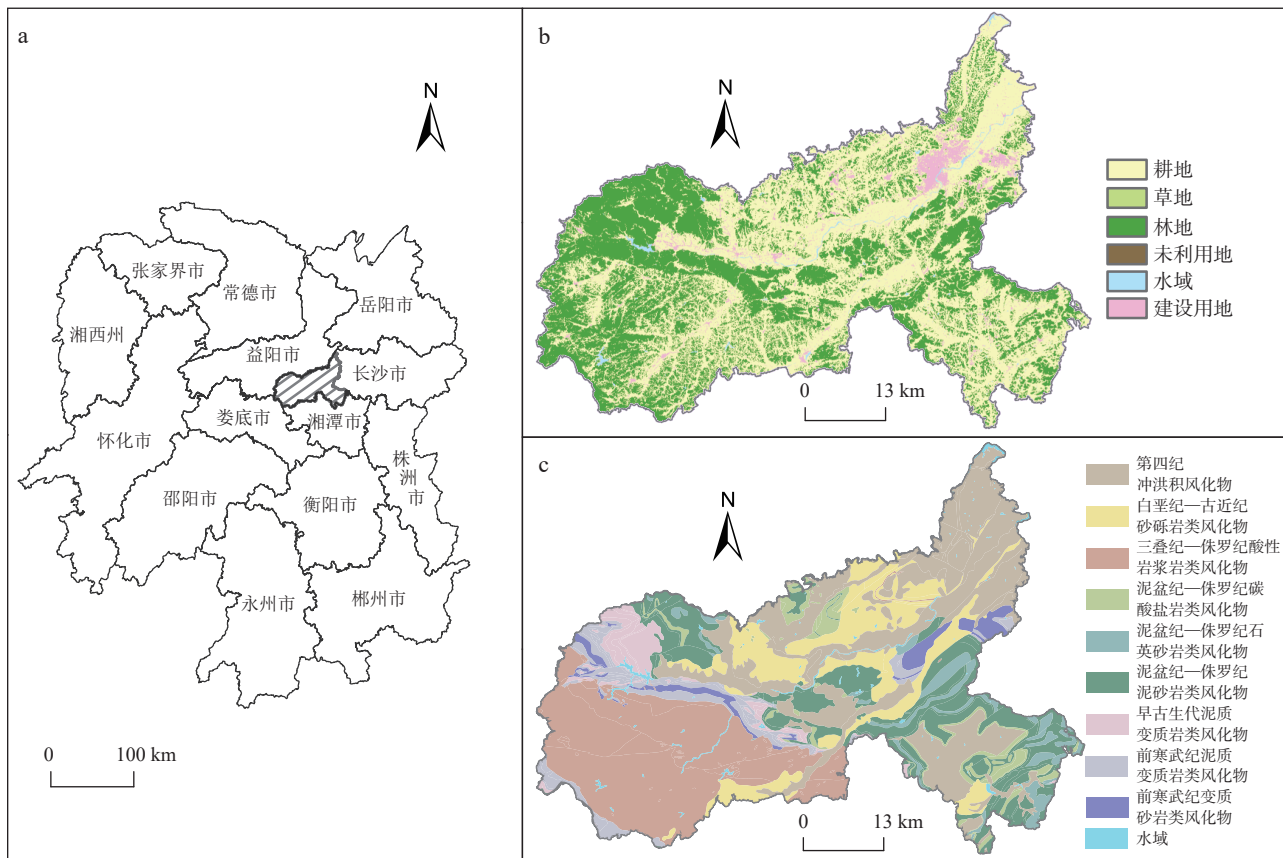


图1 研究区地理位置(a)、土地利用(b)与成土母质分布图(c)

Fig. 1 (a) Geographical location, (b) land use and (c) parent material distribution map of the study area

宁乡是全国重要的商品粮生产基地和农产品后勤基地,粮食产量常年居于全省前列,连续多年获评全国粮食生产先进县,在保障粮食安全方面责任重大。2020 年宁乡市第三次国土调查数据成果反映出耕地“非粮化”趋势明显,生态状况在局部地区不稳定、节约集约用地水平不高等方面的问题。近年来,宁乡市不断探索一二三产业融合发展模式,聚焦提质增效,更好利用土地资源(唐运军, 2023)。

1.2 数据来源

研究中涉及的数据主要包括研究区行政区划图、土地利用图、地形数据、土壤数据、地灾数据。其中行政区划图来源于第三次全国国土调查。土地利用数据来源于武汉大学 1985~2022 年中国 30 m 年度土地覆被数据集,本研究选取 2022 年数据,空间分辨率

为 30 m。地形数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(<https://www.gscloud.cn/>),包括高程和坡度数据。土壤质地数据来源于时空三极环境大数据平台(<https://poles.tpdac.ac.cn/>)与实地调查;土壤侵蚀程度数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>);土层厚度、土壤养分元素(N、P、K)含量、土壤 pH 值、土壤重金属元素(As、Cd、Cr 等系列元素)含量数据均源自于实地调查采样数据。地灾数据包括滑坡灾害点矢量数据与塌陷灾害点矢量数据,均来源于湖南省自然资源厅。

2 耕地适宜性评价

耕地适宜性评价结果由先初评再修正的处理顺

序得来。首先根据评价指标体系采用物元模型法对宁乡市耕地适宜性进行评价, 再对研究区生态源地以及各指标中的不适宜情况采用一票否决的形式对初评结果进行修正。

2.1 耕地适宜性评价体系

2.1.1 评价指标选择

基于相关文献, 综合考量已有的耕地适宜性评价指标、地表基基层调查情况以及研究区实地情况。采用德尔菲专家打分法, 对所有汇总指标进行打分, 通过对结果的筛选整理, 笔者从表层形态、理化性质、内部结构方面构建基于地表基质调查的耕地适宜性评价指标体系: ①表层形态是地表基质层最直接的表现形式, 高程(安磊等, 2023)、坡度(王玉军, 2017)对耕地利用有直接影响; ②理化性质是指示地表基质孕育与支撑功能的重要因素, 土壤质地(吴克宁等, 2019)、土层厚度(牟笑然, 2016)、土壤 pH 值(唐宗等, 2020)、土壤污染程度(王罗其等, 2022)、土壤养分丰缺程度(王玉军, 2017)等直接影响耕地质量; ③内部结构是地表基质层直接影响耕地产量的重要因素, 对于耕地而言是指相关地质灾害的易发程度, 如滑坡易发程度、塌陷易发程度(赵东亮等, 2021)。根据以上 3 个准则层, 考虑到研究区的实际情况及数据的可得性, 建立基于地表基质调查的耕地适宜性评价指标体系(表 1)。

土壤养分丰缺程度可以根据《土地质量地球化学评价规范(DZ/T 0295—2016)》, 在氮(N)、磷(P)、钾(K)土壤单指标数据基础上计算可得。土壤污染程度选取铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)、砷(As)、汞(Hg)作为土壤污染影响因子, 根据《土壤环境质量农用地土壤

表 1 基于地表基质调查的耕地适宜性评价指标体系

Tab. 1 Cultivated land suitability evaluation index system based on ecology-supporting sphere survey

目标层	准则层	指标层
耕地适宜性	表层形态	高程
		坡度
		土壤 pH 值
		有效土层厚度
	理化性质	土壤质地
		土壤侵蚀程度
		土壤养分丰缺程度
		土壤污染程度
		滑坡易发程度
	内部结构	塌陷易发程度

污染风险管控标准(试行)》(GB15618—2018), 对单个元素的土壤污染程度运用内梅罗公式计算, 得出多元素土壤污染程度(王罗其等, 2022)。滑坡与塌陷易发程度可由距灾害点的距离反映(赵东亮等, 2021)。

分析各评价指标对耕地利用适宜性的影响, 依据相关规程标准, 参考相关文献, 结合研究区实际情况, 制定各评价指标划分标准(表 2)。

2.1.2 指标权重计算

在多指标评价中, 需要考虑评价指标的相对重要性, 即指标权重。为保证赋权的合理性, 笔者综合采用主观赋权法即 AHP 法和客观赋权法即熵值法确定本次耕地适宜性指标权重(Ameen et al., 2019; 贾丽娜等, 2024)。结合两种方法的优点, 进行算术平均值计算, 作为多因子评价最终的权重值(表 3)。

表 2 基于地表基质调查的耕地适宜性评价指标划分标准

Tab. 2 Classification criteria of cultivated land suitability evaluation indexes based on ecology-supporting sphere survey

准则层	指标层	适宜	较适宜	较不适宜	不适宜
表层形态	高程(m)	< 100	100~200	200~500	> 500
	坡度(°)	< 5	5~15	15~25	> 25
	土壤 pH 值	[6.0,7.9)	[5.5,6.0) ∪ [7.9,8.5)	[5.0,5.5)	< 5.0
	有效土层厚度(cm)	≥120	100~120	60~100	≤60
理化性质	土壤质地	壤土	黏壤土	黏土	砂土
	土壤侵蚀程度	未侵蚀或微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀以上
	土壤养分丰缺程度	丰富	较丰富	较缺乏	缺乏
	土壤污染程度	未污染	轻度污染	中度污染	强度污染
内部结构	滑坡易发程度(m)	> 1 500	1 000~1 500	500~1 000	< 500
	塌陷易发程度(m)	> 3 000	2 000~3 000	1 000~2 000	< 1 000

表 3 各评价指标综合权重值

Tab. 3 Comprehensive weight value of each evaluation index

指标层	AHP法	熵权法	算数平均值
高程	0.015 3	0.039 6	0.027 5
坡度	0.263 8	0.042 3	0.153 1
土壤pH值	0.061 5	0.202 1	0.131 8
土壤质地	0.151 1	0.204 6	0.177 8
有效土层厚度	0.212 6	0.193 7	0.203 2
土壤养分丰缺程度	0.080 8	0.134 4	0.107 5
土壤污染程度	0.114 1	0.012 2	0.063 2
土壤侵蚀程度	0.042 4	0.029 6	0.036
滑坡易发程度	0.032 9	0.059 7	0.046 2
塌陷易发程度	0.025 5	0.081 8	0.053 7

2.2 评价方法

物元模型源于蔡文(1994)提出的可拓学,是用形式化的模型来探讨事物拓展的可能性,并且探索创新的规律和方法,主要应用于不相容的复杂问题(郭彦龙等, 2015)。在地质领域,由于地质要素的不相容性比较显著,物元模型被广泛使用,成为最适宜本研究的评价模型(张以晨, 2012)。

2.2.1 构建评价物元并划分评价单元

具体到耕地的适宜性评价而言,将某一个评价单元的某一项评价指标的某一个适宜性级别作为一个待评物元,故对应于一项评价指标的 4 个适宜性级别(即适宜、较适宜、较不适宜、不适宜),一个评价单元就存在 4 个待评物元。考虑到基础数据的特点和多因素叠加分析的可行性,评价采用网格法划分评价单元,使用 100 m×100 m 的网格单元对研究区进行划分。

2.2.2 确定评价经典域和节域

经典域表示评价目标各个适应性等级对应的各项评价指标所规定的量值范围,节域则表示为各项评价指标的所有量值范围。经典域可用物元的形式描述,采用标准化评分法确定各指标经典域(符海月等, 2011),消除不同特征量纲与尺度的不同。对收集到的数据进行处理,获取各参评指标的经典域(表 4)。

2.2.3 量化评价指标及建立评价物元关联函数

根据评价指标数据来源和分级标准,在确定经典域的基础上,采用百分制量化,100 分表示最适宜,0 分表示不适宜,介于 0~100 之间的分数则表示处于中间状态(安磊等, 2023)。本研究采用数据标准化法、

表 4 评价指标经典域与节域范围

Tab. 4 The range of classic domain and segment domain of evaluation index

指标层	经典域范围				节域范围
	适宜	较适宜	较不适宜	不适宜	
高程	(90,100)	(80,90)	(52,80)	(0,52)	(0,100)
坡度	(90,100)	(70,90)	(55,70)	(0,55)	(0,100)
土壤pH值	(80,100)	(55,80)	(25,55)	(0,25)	(0,100)
土壤质地	(90,100)	(60,90)	(40,60)	(0,40)	(0,100)
有效土层厚度	(75,100)	(45,75)	(20,45)	(0,20)	(0,100)
土壤养分丰缺程度	(80,100)	(45,80)	(15,45)	(0,15)	(0,100)
土壤污染程度	(85,100)	(40,85)	(10,40)	(0,10)	(0,100)
土壤侵蚀程度	(90,100)	(70,90)	(30,70)	(0,30)	(0,100)
滑坡易发程度	(15,100)	(10,15)	(5,10)	(0,5)	(0,100)
塌陷易发程度	(7,100)	(4,7)	(2,4)	(0,2)	(0,100)

空间分析法、赋值法等进行量化,最终得到研究区坡度、高程、土壤 pH 值、土壤质地、土壤侵蚀度、土层厚度、养分丰缺度、土壤污染程度、滑坡易发程度、塌陷易发程度 10 项参评指标的分值(图 2a~图 2j)。

在评价物元、经典域、节域、量化分值的基础上,建立关联度函数。根据关联度计算公式得出每个评价指标对于不同适宜性等级的关联度。

$$|x_0| = |a - b| \quad (1)$$

$$p(x, x_0) = \left| x - \frac{1}{2}(a + b) \right| - \frac{1}{2}(b - a) \quad (2)$$

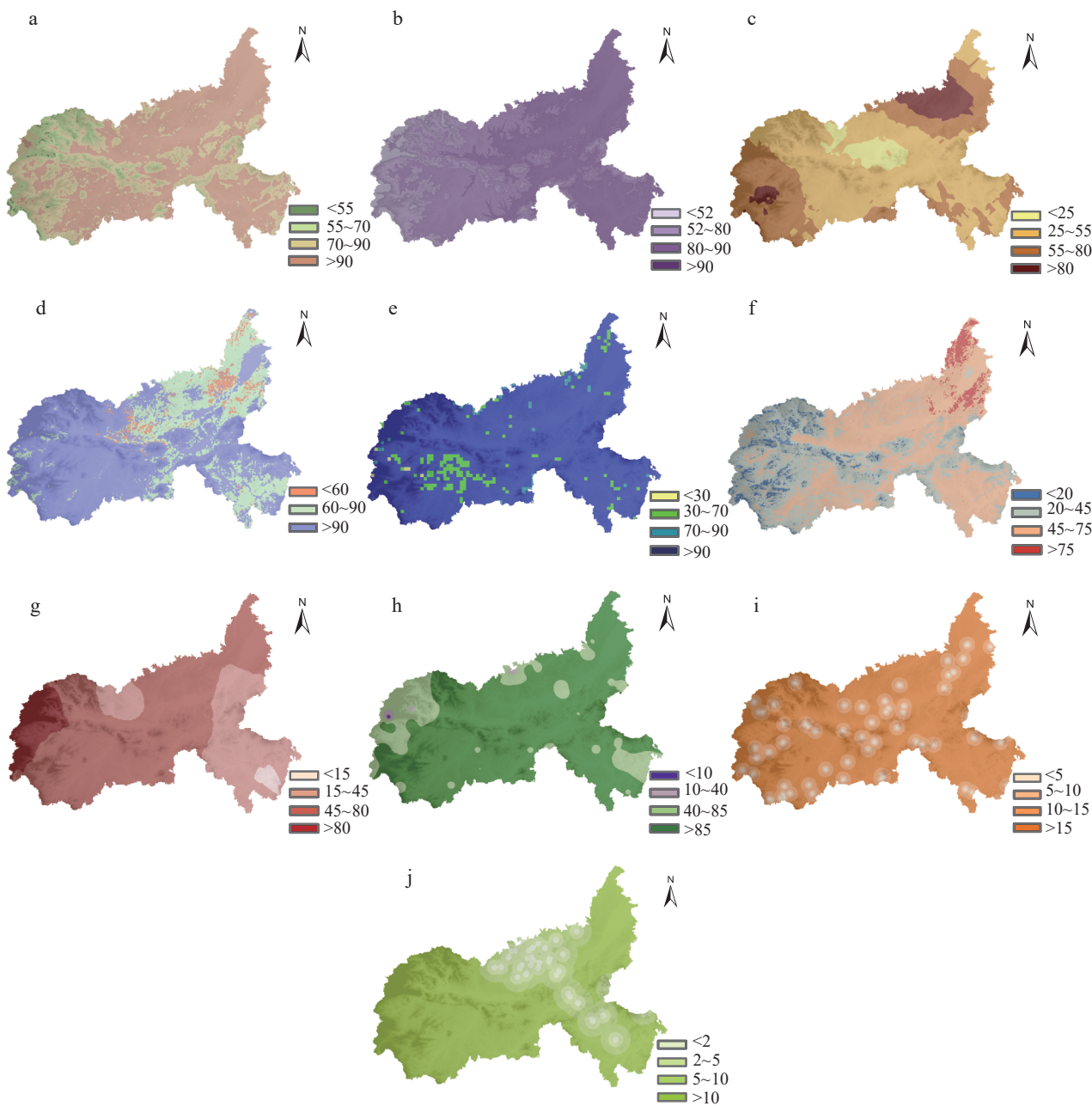
$$G_{ijk}(x_{ijk}) = \begin{cases} \frac{-p(x_{ijk}, x_{0ijk})}{|x_{0ijk}|}, & x \in x_0 \\ \frac{p(x_{ijk}, x_{0ijk})}{p(x_{ijk}, x_{pij}) - p(x_{ijk}, x_{0ijk})}, & x \notin x_0 \end{cases} \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, t$$

式中: $G_{ijk}(x_{ijk})$ 为第 i 个评价单元第 j 个评价指标关于评价目标的第 k 个适宜性评价等级的关联度; x_{ijk} 、 x_{0ijk} 、 x_{pij} 分别为评价指标的实际量值、经典域以及节域取值范围。

2.2.4 综合关联度计算与定级

基于耕地适宜性评价物元关联函数和评价指标权重,可进一步计算评价综合关联度,即第 i 个评价单元 N_i 相对第 k 个适宜性评价等级的关联度 $G_{ik}(N_{ik})$ 。



a.坡度; b.高程; c.土壤 pH 值; d.土壤质地; e.土壤侵蚀度; f.土层厚度; g.养分丰缺度; h.土壤污染程度;
i.滑坡易发程度; j.塌陷易发程度

图2 参评指标空间分布图

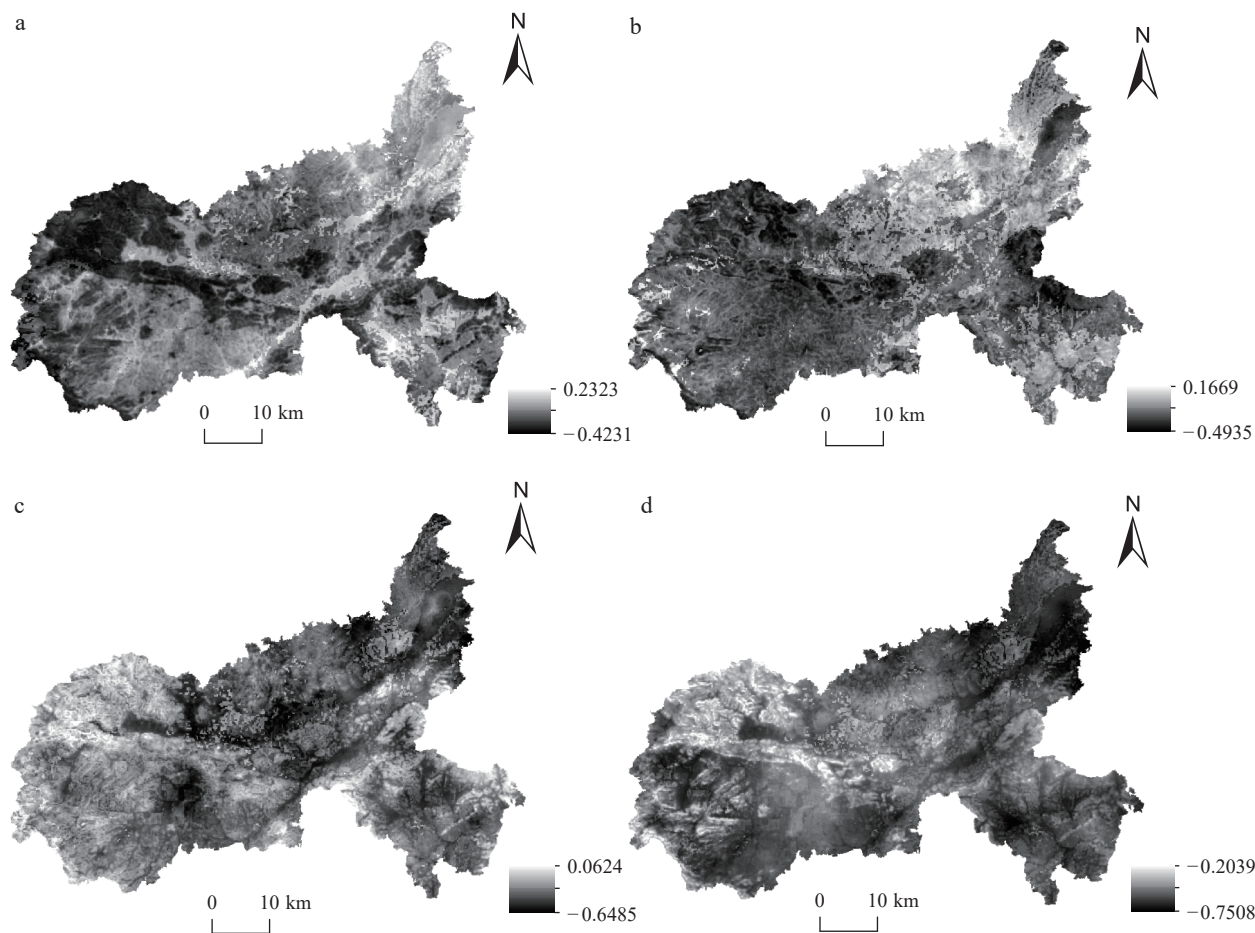
Fig. 2 Spatial distribution of participating indicators

$$G_{ik}(N_{ik}) = \sum_{j=1}^n W_j G_{ijk}(x_{ijk}) \quad (4)$$

$$i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n; k=1, 2, \dots, t$$

式中: 关联度 G 的大小反映了评价对象属于某一耕地适宜性评价等级的程度, 分为适宜、较适宜、较

不适宜、不适宜等 4 级综合关联度(图 3a~图 3d)。当 $G \geq 1$, 表示评价对象超过该等级标准; 当 $1 > G \geq 0$, 表示评价对象符合该等级标准; 当 $0 > G \geq -1$, 表示评价对象虽不符合该等级标准, 但具备达到该等级的条件; 当 $G < -1$, 则表示评价对象完全不符合该等级标准。



a.适宜关联度; b.较适宜关联度; c.较不适宜关联度; d.不适宜关联度

图3 综合关联度分布图

Fig. 3 Comprehensive correlation degree distribution map

2.3 生态源地识别

MSPA 依托形态学原理,能够从像元层面识别生境斑块对景观连通性起重要作用的区域,强调结构性连接。本研究将林地、水体、草地设为前景,其他土地利用类型设为背景。前景景观被划分为 7 种类型(高宇等, 2019),核心区作为较大的生境斑块,是生态网络中的潜在源地。景观连接度是景观促进或阻碍生物体或某种生态过程在斑块间运动的程度,其既考虑结构连接度,又体现功能连接度(梁国付等, 2014),是识别高质量源地的有效补充。考虑到 PC 指数综合了更丰富的连接模型且不受相邻斑块存在的影响(Saura et al., 2007),笔者选择 PC 指数评价景观连通度,识别研究区生态源地。

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \times a_j \times p_{ij}^*}{A_L^2} \quad (5)$$

$$dPC = \frac{PC - PC_{remove,k}}{PC} \times 100 \quad (6)$$

式中: n 为斑块总数, a_i 、 a_j 为斑块 i 、 j 的面积; p_{ij}^* 表示物种在斑块 i 、 j 之间扩散的最大概率; A_L 为景观总面积。 PC_{remove} 表示从景观中移除该斑块后的 PC 值, dPC 表示移除斑块对维持景观连通性的重要程度,其值越大则该斑块对整体景观的贡献越大。生态源地具备良好的生态质量,是物种生境选择的基础(吴健生等, 2013),根据结果选取 $dPC > 1$ 的核心区斑块作为研究区的重要生态源地。

3 结果与分析

3.1 研究区生态源地空间分布

以 2022 年研究区林地、草地、水体为前景,利用 Guidos Toolbox 软件进行 MSPA 分析。根据分析结果,设定距离阈值为 1 500 m,连通概率为 0.5,借助 Conefor2.6 软件计算核心区潜在源地斑块重要性,选取 $dPC > 1$

的 22 个生态斑块作为研究区范围内的生态源地(图 4)。

据源地分布和面积可知(图 4), 生态源地占整个研究区面积的 17.57%, 主要分布在西部山区与横亘在中部的山地, 涵盖了沩山风景名胜区、湖南香山国家森林公园、花明楼风景名胜区等研究区范围内生物多

样性最丰富的区域, 能够在一定程度上表明识别的生态源地符合宁乡市的实际情况。由于生态源地对生态系统的稳定和调节具有至关重要的作用, 是守住绿水青山的关键, 为了保障耕地资源的永续利用, 这些生态源地不宜作为耕地开发对象。

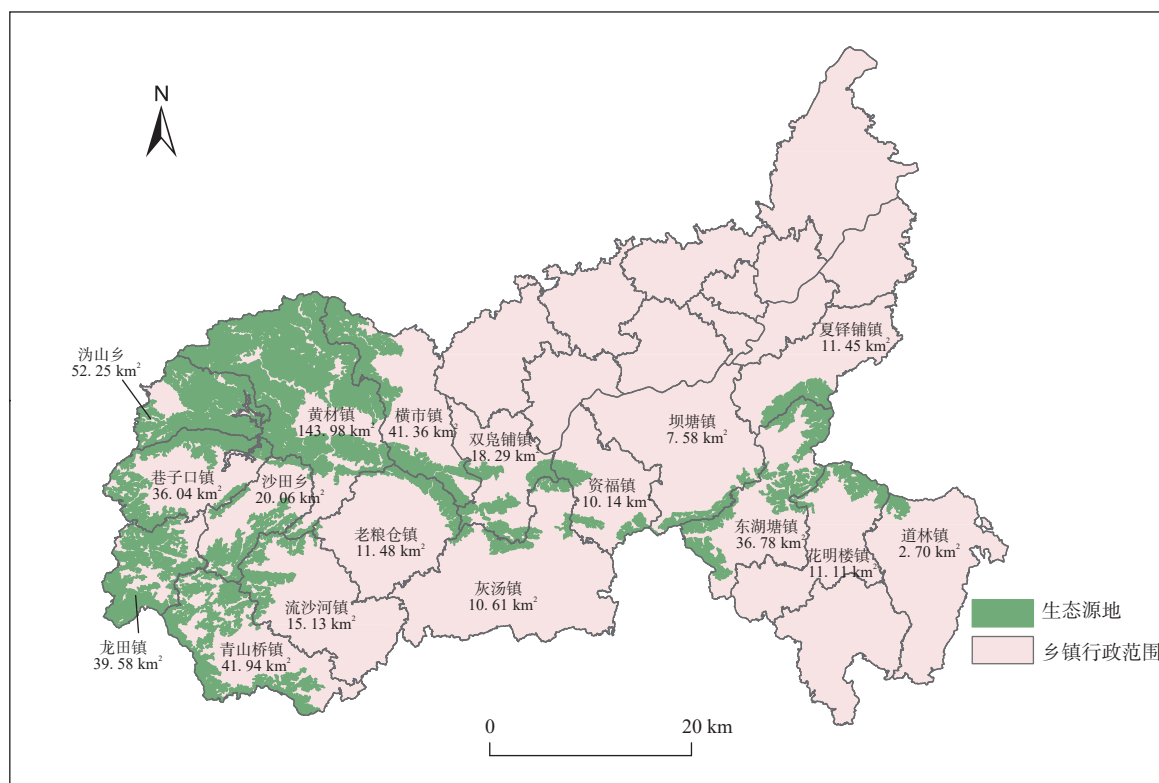


图4 研究区生态源地分布图

Fig. 4 Ecological source distribution map of the study area

3.2 耕地适宜性评价结果

3.2.1 研究区耕地适宜性分级

比较各评价单元不同适宜性等级的综合关联度, 对于某一评价单元, 其综合关联度最大的适宜性等级为该评价单元的适宜性初评结果, 最后按照各指标的不适宜情况与生态源地范围进行修正, 获取最终评价结果(图 5)。

宁乡耕地适宜性等级划分结果表明, 适宜地区主要连片分布在研究区东北与东南地势平坦区域, 面积约为 1 164.67 km², 较适宜地区主要分布在西南丘陵广布地区, 面积约为 535.48 km², 较不适宜与不适宜地区主要分布在西部与中部低山丘陵地带, 面积分别为 183.26 km² 与 840.43 km²。面积上, 研究区耕地适宜性较高的地区占总评价区域面积的一半以上, 总的来说宁乡是耕地与潜在耕地资源较丰富的地区。同时, 经

计算现状耕地中等级为适宜与较适宜的地区占总耕地面积的 76%, 说明本次耕地适宜性研究具有一定的科学性, 能够说明宁乡市耕地具体状况。

3.2.2 评价结果与土地利用现状空间叠加分析

将耕地适宜性等级分布图与土地利用现状图进行叠加, 现状耕地的适宜性分布状况(图 6a), 其中等级为适宜与较适宜的现状耕地主要分布在供水条件较好、地势低平地区, 其具有耕地开发的天然优势, 是高标准农田建设主要对象。较适宜耕地面积为 284.59 km², 是耕地质量提升的重要地区。当前等级为较不适宜与不适宜的现状耕地面积共有 289.23 km², 多位于低山丘陵边缘, 这些地区地块零散, 坡度较陡, 不利于开垦种植。另外中部、东南部地形较平缓地区也存在大量等级偏低的现状耕地, 其原因主要在于当地较低的 pH 值与土壤养分丰度。非耕地中适宜性等级较

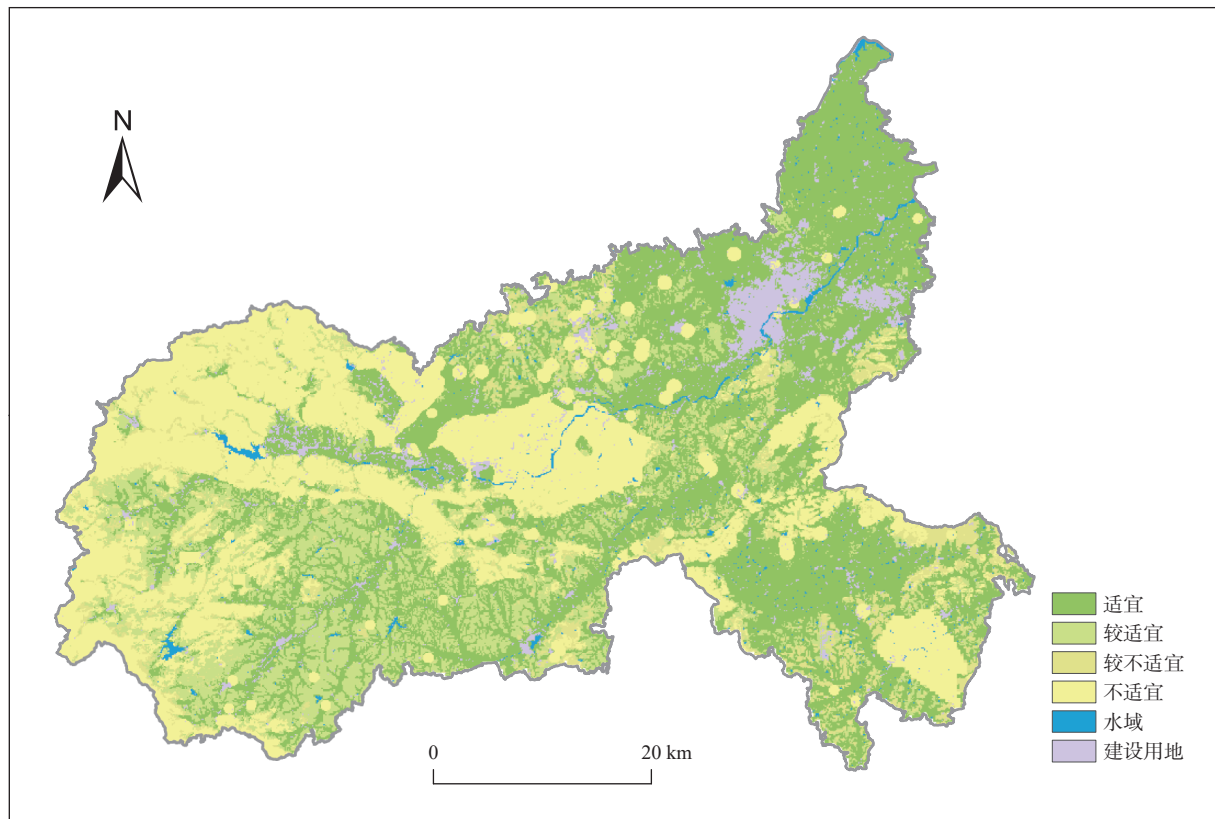


图5 研究区耕地适宜性等级分布图

Fig. 5 Grade distribution map of cultivated land suitability in the study area

高的区域(图 6b),能够作为耕地后备资源。其中,适宜等级的土地主要零散分布在东北部与东南部,面积约为 223.42 km^2 ;较适宜等级的土地则主要位于广大的西南部地区,面积为 250.89 km^2 。从面积上看它们是可观的后备耕地资源,但统计发现这些地区林木茂盛,耕地的开发需要注意到对生态稳定的影响。

3.2.3 各乡镇适宜性等级统计分析

为进一步明晰宁乡各乡镇耕地适宜性的具体面积,将叠加结果以乡镇为单位统计分析(表 5)。

将研究区 29 个乡镇的适宜性情况进行统计,其中值得关注的是,拥有较大面积较适宜等级现状耕地的乡镇有灰汤镇、流沙河镇、老粮仓镇、青山桥镇,面

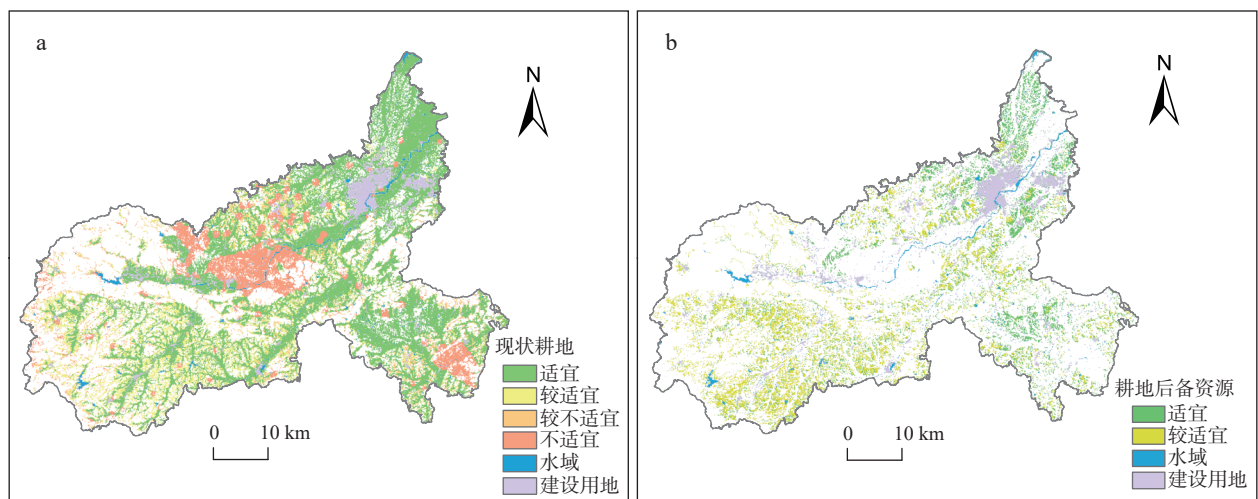


图6 耕地适宜性(a)与土地利用现状叠加分析图(b)

Fig. 6 Overlay analysis diagram of (a) cultivated land suitability and (b) land use

积均超过了 20 km²。这些土地面积大, 有较高提质潜力, 在经过全面改良之后, 将有效提升宁乡耕地质量, 应列为耕地提质重点。适宜性等级较低的耕地主要集中在大成桥镇、双凫铺镇、喻家坳乡、大屯营镇、道林镇, 耕地面积均超过 20 km², 对于这些耕地可在一些耕作条件便利的地区采用针对性的优化措施。其中大屯营和道林镇位于东南角, 是传统的农业大镇, 拥有良好的耕作基础; 大成桥镇、喻家坳乡、双凫铺

镇则由于其矿产资源开采与环境客观因素, 耕作条件改善存在一定阻碍。当前适宜等级的非耕地主要集中在花明楼镇、夏铎铺镇、双江口镇、灰汤镇, 面积均超过了 15 km²; 较适宜等级的非耕地主要集中在青山桥镇、流沙河镇、灰汤镇, 面积均超过 25 km²。这些土地具有较大的优质后备耕地资源潜力, 同时在后备耕地资源的开发上, 还是应遵循生态系统稳定、适宜性等级优先的原则。

表 5 研究区各乡镇适宜性等级面积统计表

Tab. 5 Statistical table of suitability grade area of each township in the study area

研究区	适宜等级耕地面积(km ²)	较适宜等级耕地面积(km ²)	较不适宜等级耕地面积(km ²)	不适宜等级耕地面积(km ²)	适宜等级非耕地面积(km ²)	较适宜等级非耕地面积(km ²)
总面积	941.25	284.59	74.43	214.80	223.42	250.89
坝塘镇	60.50	15.67	3.78	15.93	10.94	16.37
白马桥街道	9.18	1.21	0.01	0.12	2.26	1.35
城郊街道	11.77	0.26	0	1.38	4.74	0.61
大成桥镇	12.63	3.60	1.04	28.73	2.56	2.59
大屯营镇	40.72	9.63	9.35	12.43	7.28	6.16
道林镇	47.83	8.02	7.63	18.05	8.74	6.88
东湖塘镇	53.07	5.25	2.18	2.99	14.48	6.93
横市镇	29.13	4.89	2.21	17.11	4.14	4.91
花明楼镇	60.69	4.52	2.32	1.63	17.25	5.09
黄材镇	25.85	12.62	4.14	4.17	4.91	11.73
灰汤镇	73.04	44.34	5.54	4.14	16.53	33.15
回龙铺镇	41.58	5.74	0.02	6.37	7.58	5.60
金洲镇	36.34	0.91	0.02	0.68	9.11	0.55
菁华铺乡	40.60	2.42	0	2.22	13.45	2.59
老粮仓镇	41.89	29.57	0.87	0.78	7.67	23.15
历经铺街道	18.05	0.68	0.24	0.53	4.77	1.79
流沙河镇	35.60	35.12	1.62	2.56	7.89	32.98
龙田镇	4.10	7.92	3.16	3.72	0.37	4.64
煤炭坝镇	21.30	11.17	5.42	11.37	4.03	5.77
青山桥镇	16.68	20.24	4.53	3.42	6.24	26.64
沙田乡	12.28	11.89	1.92	2.91	4.40	11.92
双凫铺镇	18.20	5.25	1.63	23.96	2.40	4.05
双江口镇	108.64	1.38	0	0.82	28.39	1.90
沔山乡	1	1.67	3.15	3.77	0.35	1.55
夏铎铺镇	40.20	3.77	2.22	0.75	16.92	6.27
巷子口镇	14.06	17.96	4.43	2.97	2.65	14.25
玉潭街道	5.98	0.07	0	0.03	3.12	0.07
喻家坳乡	33.31	9.95	4.86	21.24	6.48	5.88
资福镇	27.03	8.86	1.41	17.32	3.78	5.53

3.3 耕地适宜性限制因子分析

为了探究宁乡各地耕地适宜性的主要影响因子与其空间分布状况,在评价指标百分制量化的基础上,

分别统计各个指标在不同乡镇范围内的平均值,参考各指标不适宜与较不适宜等级的经典域范围,筛选分值较低的指标作为其耕地适宜性限制因子(图 7)。

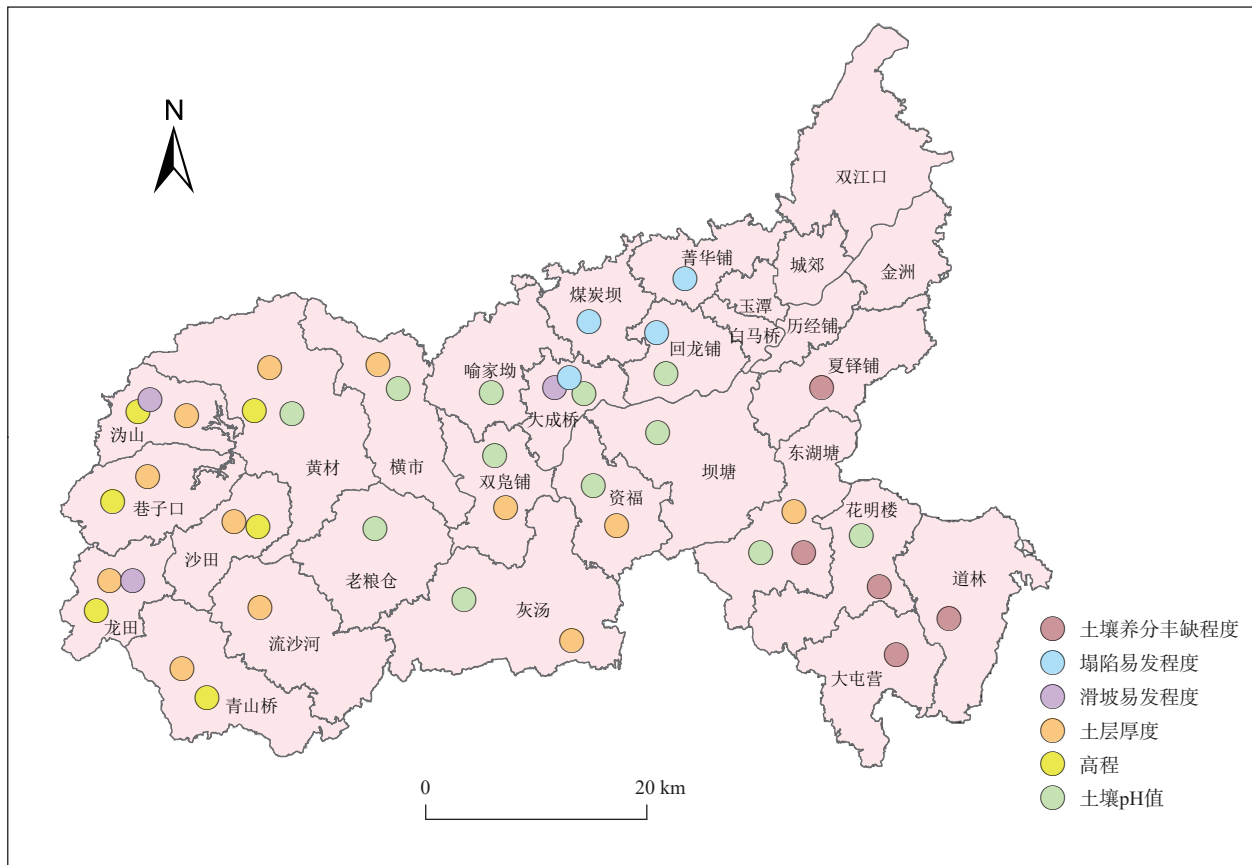


图7 宁乡耕地适宜性主要限制因子分布图

Fig. 7 Distribution map of limiting factors of cultivated land suitability in study area

根据研究区主要限制性因子分布图发现,宁乡市东北部耕地适宜性最好,在局部地区会受到土壤养分和地质塌陷的影响。其中,双江口镇农业条件较佳,但未来需提高土壤养护意识,避免长期超负荷利用。东南部地区也有较大面积的适宜土地,但由于受到土壤养分以及地形致使土层厚度偏薄的影响,存在明显的不适宜地区。中部地区主要因煤炭坝镇、大成桥镇、回龙铺镇的地质塌陷问题以及双凫铺镇、大成桥镇、坝塘镇等周边乡镇土壤 pH 值偏低的问题,其耕地适宜性评价结果并不十分理想。西部地区拥有较大面积的低山丘陵,不平坦的地形使得该地区海拔较高、土层厚度偏薄且滑坡时有发生,是限制其开发耕地的主要原因。其中,西南部的地形地貌影响逐渐降低,因而存在较大面积的较适宜土地。

4 讨论

当前在中国耕地数量刚性减少,粮食需求不断增加的前提下,不仅要做到高产田的稳产保育和中低产田的地力提升,还要做到后备耕地资源的补充,与此同时生态环境也是不可忽视的考虑因素。

根据评价结果与统计分析,宁乡高适宜性等级的耕地集中在东部双江口镇、金洲镇、东湖塘镇等地,这些地区地形平缓,广布第四纪冲洪积物,土壤深厚,耕地所受到的限制因素不多,影响较小,是研究区高产田的主要所在地。科学合理的耕作制度与施肥方式,避免土壤超负荷高产、土壤碳耗竭是其保育的关键。

此外,宁乡在耕地提质方面,较适宜耕地主要集中在西南 4 个乡镇,由于宁乡西南部属低山丘陵地貌,

且存在大面积的花岗岩, 并不易风化, 因此针对该地区土层厚度偏薄的问题可以尝试通过季作物收获后秸秆粉碎还田、科学整治坡耕地、升级水土流失拦截技术等方式加以缓解。并且该地区成土母质为酸性岩浆岩风化物, 土壤环境偏酸, 可以通过施入腐熟农家肥、泥炭土等来调节土壤酸碱度。对于适宜等级偏低的耕地, 其中面积较大的大屯营镇和道林镇作为传统农业大镇, 长期的耕作可能使得土壤中的养分无法得到有效补充, 水土流失也可能导致养分的缺失。可以稳妥推进轮作休耕耕地管理, 增加有机质与绿肥的施入, 增强土壤保水保肥能力。中部地区大成桥镇及周边乡镇存在过较大范围的矿场资源开采, 致使塌陷灾害时有发生, 政府部门需采取措施整顿石料开采, 对相关区域进行生态修复。同时双凫铺镇、喻家坳乡等地均表现出红壤酸性较强的特征, 为提高粮食产量, 需重视矿山整治并进行土壤调酸, 进而提高土地生产力。

在耕地数量提升方面, 适宜的耕地后备资源主要集中在研究区东侧, 包括双江口镇、金洲镇、菁华铺乡、夏铎铺镇、花明楼镇以及东湖塘镇。其中双江口镇、金洲镇作为粮食生产重镇, 土壤条件最佳, 后备耕地资源潜力大。菁华铺乡与双江口镇相接, 除开西部受到塌陷的影响, 也存在较大面积的第四纪冲洪积物, 其土壤与地形条件也较合适。夏铎铺镇相对而言地形起伏更大, 范围内的基岩相对来讲风化程度不算高, 建议将平坦地区作为后备耕地。这几个乡镇交通便利, 靠近宁乡与长沙主城区, 发展农业也具有一定的区位优势, 能够将其作为优质后备耕地资源。东湖塘镇与花明楼镇东西相连, 地形丘陵环绕, 中部低平开阔, 可进行耕地资源的开发。但考虑到花明楼镇境内风景名胜较多, 东湖塘镇与之毗邻, 应加强绿色生态管理, 有效保护和合理利用风景名胜资源, 适当规划耕地资源。较适宜的耕地后备资源集中在西南多个乡镇, 这里的地形地貌与土壤条件整体不如东部地区, 耕地资源利用需因地制宜, 如谷地适合水稻种植或稻+产业, 缓坡地区适合旱作玉米, 土豆, 马铃薯等。不宜大力开发坡耕地, 否则将加重水土流失, 造成耕地资源的破坏。

通过对整个宁乡地区进行耕地适宜性评价, 笔者从全局上了解了宁乡耕地资源的分布情况。但是没有充分考虑到不同区域的作物类型及种植结构的差异, 未来研究中还要将作物生长要求与当地土壤肥力结合, 从耕地适宜性综合评价延伸至作物种植适宜性

研究, 从而为当地耕地资源的利用提供更加具体和实际的指导。此外, 地表基质作为自然资源领域的新概念, 随着对其调查与机理的深入论证, 还需要不断完善基于地表基质条件的评价体系。数据的可获得性是影响较大范围耕地适宜性综合评价的重要因素。本研究采用的土地利用数据栅格单元为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$, 土壤质地数据分辨率为 250 m , 土壤侵蚀数据分辨率为 1 km , 在进行叠加运算前, 将它们重采样成 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 栅格, 每个栅格数据的准确度会降低, 影响评价结果。

5 结论

(1) 笔者将耕地适宜性等级分为适宜、较适宜、较不适宜、不适宜等4级。经物元评价与一票否决的原则, 结果表明整体上, 宁乡耕地适宜性等级较高, 适宜地区面积约为 $1\,164.67\text{ km}^2$, 较适宜地区面积约为 535.48 km^2 , 较不适宜地区面积约为 183.26 km^2 , 不适宜地区面积约为 840.43 km^2 。空间分布上, 适宜地区集中在东部, 河流两岸冲积平原上; 较适宜地区集中在西南部, 低丘缓坡处; 较不适宜地区集中在西部与中部低山丘陵山麓坡脚地带; 不适宜地区集中在坡度陡峻的山地丘陵以及中部和东南局部地区。

(2) 叠加土地利用现状, 统计发现约 300 km^2 的较适宜等级耕地可为宁乡耕地质量提升做出重要贡献, 这类土地主要分布在灰汤镇、流沙河镇、老粮仓镇、青山桥镇等地; 超过 280 km^2 的较不适宜与不适宜耕地, 需要采取针对性措施改善耕作环境, 保障现有耕地资源, 这类土地主要分布在道林镇、大屯营镇、喻家坳乡、大成桥镇等地; 超过 200 km^2 的适宜非耕地能够划为优质的后备耕地资源, 这类土地主要分布在双江口镇、菁华铺乡、夏铎铺镇、东湖塘镇、花明楼镇等地。

(3) 探究制约耕地资源质量与开发的主要影响因素, 分析表明适宜等级耕地可能存在潜在的养分含量下降、流失的风险, 需要提升耕地养护意识; 较适宜耕地分布广的地区主要受制于土层厚度与土壤酸碱度, 可以通过科学治理坡耕地、中和土壤酸度等改善缓坡耕作条件; 较不适宜与不适宜耕地集中的地区主要受制于土层厚度、土壤养分、土壤酸碱度以及塌陷灾害, 通过深耕有机肥保水保肥、适当调酸、加强矿山整治修复恢复耕地肥力。对于可作为后备耕地的土地, 综合考虑区位交通、耕作条件与生态需求建议将重点放

在东部的双江口镇、菁华铺乡和夏铎铺镇,东南与西南各乡镇可适度开发。

利益冲突声明(Conflict of Interests):

所有作者声明不存在利益冲突。

All authors disclose no relevant conflict of interests.

参考文献(References):

- 安磊,朱骥,邓馥荣.石家庄市耕地适宜性评价[J].河北地质大学学报,2023,46(2):78-86.
- AN Lei, ZHU Ji, DENG Furong. Suitability Evaluation of Cultivated Land in Shijiazhuang[J]. Journal of Hebei Geology University, 2023, 46(2): 78-86.
- 蔡文.物元模型及其应用[M].北京:科学技术文献出版社,1994.
- 董天钰,刘晓煌,常铭,等.浅析地表基质的本质内涵及研究方向[J].西北地质,2023,56(4):213-217.
- DONG Tianyu, LIU Xiaohuang, CHANG Ming, et al. Analysis on the Essential Connotation and Research Direction of Surface Substrate[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(4): 213-217.
- 奉婷,张凤荣,李灿,等.基于耕地质量综合评价的县域基本农田空间布局[J].农业工程学报,2014,30(1):200-210.
- FENG Ting, ZHANG Fengrong, LI Can, et al. Spatial distribution of prime farmland based on cultivated land quality comprehensive evaluation at county scale[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(1): 200-210.
- 符海月,李满春,胡伟,等.三河市土地适宜性物元分析及对策研究[J].土壤通报,2011,(6):1299-1307.
- FU Hai yue, LI Manchun, HU Wei, et al. Matter-element Analysis for Land Suitability and Corresponding Policies in Sanhe City, Hebei Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, (6): 1299-1307.
- 高宇,木皓可,张云路,等.基于 MSPA 分析方法的市域尺度绿色网络体系构建路径优化研究—以招远市为例[J].生态学报,2019,39(20):7547-7556.
- GAO Yu, MU Haoke, ZHANG Yunlu, et al. Research on construction path optimization of urban-scale green network system based on MSPA analysis method: Taking Zhaoyuan City as an example[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(20): 7547-7556.
- 郭彦龙,卫海燕,顾蔚,等.基于模糊物元模型的桃儿七潜在地理分布研究[J].生态学报,2015,35(3):770-778.
- GUO Yanlong, WEI Haiyan, GU Wei, et al. Potential distributions of Sinopodophyllum hexandrum based on fuzzy matter element model[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 770-778.
- 侯红星,张蜀冀,鲁敏,等.自然资源地表基底层调查技术方法新经验—以保定地区地表基底层调查为例[J].西北地质,2021,54(3):277-288.
- HOU Hongxing, ZHANG Shuji, LU Min, et al. Technology and Method of the Ground Substrate Layer Survey of Natural Resources: Taking Baoding Area as an Example[J]. Northwestern Geology, 2021, 54(3): 277-288.
- 贾丽娜,陈世昌.基于 AHP 和 GIS 的舟曲地质灾害易发性评价[J].西北地质,2024,57(1):23-33.
- JIA Lina, CHEN Shichang. Geological Hazard Susceptibility Evaluation Based on AHP and GIS in Zhouqu County, Gansu[J]. Northwestern Geology, 2024, 57(1): 23-33.
- 蒋凯.湘中稻田系统灌溉水人工湿地拦截效果与土壤镉平衡分析[D].长沙:中南林业科技大学,2020,1-61.
- JIANG Kai. Analysis of cadmium interception effect and soil cadmium balance in irrigation wetland of paddy field system in central Hunan[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2020, 1-61.
- 梁国付,许立民,丁圣彦.道路对林地景观连接度的影响—以巩义市为例[J].生态学报,2014,34(16):4775-4784.
- LIANG Guofu, XU Limin, DING Shengyan. Impacts of roads on woodland landscape connectivity: a case study of Gongyi City, Henan Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(16): 4775-4784.
- 刘需珈,吴克宁,赵华甫,等.基于耕地综合质量的基本农田布局优化:以河南省温县为例[J].中国土地科学,2015,29(2):54-59.
- LIU Peijia, WU Kening, ZHAO Huaifu, et al. Spatial Allocation Optimization of Prime Farmland Based on Cultivated Land Comprehensive Quality: A Case Study of Wen County, Henan Province[J]. China Land Sciences, 2015, 29(2): 54-59.
- 牟笑然.滇东岩溶高原农业用地区耕地后备资源开发适宜性评价与分区研究[D].南京:南京农业大学,2016,1-101.
- MOU Xiaoran. Research on Reserve Cultivated Land Resources Development of Suitability Assessment and Development Division of Eastern Yunnan Agriculture in Karst Plateau Region[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016, 1-101.
- 唐运军.打造水稻优质高效示范区助力乡村振兴—以湖南省宁乡市为例[J].中国农业综合开发,2023,239(5):57-59.
- TANG Yunjun. Build high-quality and efficient rice demonstration areas to help rural revitalization: Taking Ningxiang city as an Example[J]. Agricultural Comprehensive Development in China, 2023, 239(5): 57-59.
- 唐宗,周悟,杨颖,等.基于交互效应 Logistic 回归模型的耕地质量评价方法研究[J].生态环境学报,2020,29(12):2394-2403.
- TANG Zong, ZHOU Wu, YANG Hao, et al. Evaluation of cultivated land quality based on interactive Logistic regression model[J].

- Ecology and Environmental Sciences, 2020, 29(12): 2394–2403.
- 王罗其, 傅伟军, 叶正钱, 等. 基于地理信息系统和遥感技术的山核桃产区林地土壤质量退化评价[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2022, 48(2): 216–226.
- WANG Luoqi, FU Weijun, YE Zhengqian, et al. Evaluation of soil quality degradation in Chinese hickory production area based on geographic information system and remote sensing technologies[J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences), 2022, 48(2): 216–226.
- 王晓青, 史文娇, 邢晓旭等. 高标准农田建设适宜性评价、效益评价及影响因素解析的研究方法综述[J]. 中国农学通报, 2019, 35(19): 131–142.
- WANG Xiaoqing, SHI Wenjiao, XING Xiaoxu, et al. High-standard Farmland: A Review of Methods on Construction Suitability Evaluation, Benefit Evaluation and Influencing Factors[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(19): 131–142.
- 王玉军, 刘琼, 欧名豪. 基于地质环境适宜性的基本农田布局优化研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(14): 252–260.
- WANG Yujun, LIU Qiong, OU Minghao. Optimization of prime farmland layout on basis of geological environment suitability [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(14): 252–260.
- 王玉军. 基于地质环境约束的区域土地利用布局优化研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017, 1–203.
- WANG Yujun. Optimization of the Regional Land Use Distribution on the Basis of Geological Environment Evaluation[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017, 1–203.
- 吴健生, 张理卿, 彭建, 等. 深圳市景观生态安全格局源地综合识别[J]. 生态学报, 2013, 33(13): 4125–4133.
- WU Jiansheng, ZHANG Liqing, PENG Jian, et al. The integrated recognition of the source area of the urban ecological security pattern in Shenzhen[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(13): 4125–4133.
- 吴克宁, 赵瑞. 土壤质地分类及其在我国应用探讨[J]. 土壤学报, 2019, 56(1): 227–241.
- WU Kening, ZHAO Rui. Soil Texture Classification and Its Application in China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2019, 56(1): 227–241.
- 袁国礼, 侯红星, 刘建宇, 等. 服务生态文明的生态地质调查工作方法浅析以地表基质调查为例[J]. 西北地质, 2023, 56(3): 30–38.
- YUAN Guoli, HOU Hongxing, LIU Jianyu, et al. Introduction to the Methods of Ecology–Geological Survey for Servicing Ecological Civilization: Example from Ecology–Supporting Sphere Survey[J]. Northwestern Geology, 2023, 56(3): 30–38.
- 张以晨. 吉林省地质灾害调查与区划综合研究及预报预警系统建设[D]. 长春: 吉林大学, 2012, 1–126.
- ZHANG Yichen. Research on geological disaster survey and zoning in Jilin and forecasting and early warning system construction [D]. Changchun: Jilin University, 2012, 1–126.
- 赵东亮, 兰措卓玛, 侯光良, 等. 青海省河湟谷地地质灾害易发性评价[J]. 地质力学学报, 2021, 27(1): 83–95.
- ZHAO Dongliang, LAN Cuozhuoma, HOU Guangliang, et al. Assessment of geological disaster susceptibility in the Hehuang Valley of Qinghai Province[J]. Journal of Geomechanics, 2021, 27(1): 83–95.
- 朱隽, 常钦. 节约集约用地严守耕地红线[N]. 人民日报, 2022-6-27.
- 自然资源部官网. 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]. 自然资源部官网, 2020. http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117_2498071.html.
- Ameen R F M, Mourshed M. Urban sustainability assessment framework development: The ranking and weighting of sustainability indicators using analytic hierarchy process[J]. Sustainable Cities and Society, 2019, 44: 356–366.
- Saura S, Pascual-Hortal L. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study[J]. Landscape and Urban Planning, 2007, 83(2/3): 91–103.
- Zhu X, Xiao G, Wang S. Suitability evaluation of potential arable land in the Mediterranean region[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 313: 115011.