

耦合耕地综合质量和空间连通性的基本农田划定研究

林建平¹ 黄坤¹ 邓爱珍² 张运平¹ 袁浩¹ 冯桂贤¹ 张佩怡¹ 支超¹

(1. 赣南师范大学地理与环境工程学院, 赣州 341000; 2. 江西应用技术职业学院, 赣州 341000)

摘要: 保护集中连片的优质耕地对于保障国家粮食安全具有重要意义。本文以江西省兴国县为例,从耕地的自然质量、立地条件、生态条件3个层面系统构建耕地综合质量评价指标体系;基于TOPSIS(Technique for order preference by similarity to an ideal solution)综合评价法对耕地综合质量进行评价,引入耕地连片度、耕地空间连通格局分析了耕地空间集聚特征,综合耕地质量及其连通特征划定永久基本农田。结果表明:从耕地综合质量来看,兴国县耕地质量由高到低划分为4个质量等级,面积分别为6204.95、16031.72、19321.79、3573.76 hm²,占总耕地面积的13.75%、35.52%、42.81%、7.92%。总体来看,兴国县中等质量耕地居多,占比为78.33%。从耕地连通性来看,兴国县耕地连片程度由高到低划分为5个等级,其中一级~五级连片耕地面积分别为24731.44、6199.73、3131.54、7397.71、3671.80 hm²,分别占耕地总面积的54.80%、13.73%、6.94%、16.39%、8.14%,耕地存在不同程度破碎化。将耕地质量三等以上、连片程度四级以上耕地划入基本农田,面积为37029.62 hm²,占耕地总面积的82.05%,与原有划定基本农田相比,实现了划定后永久基本农田“总体稳定、布局优化、质量有提升”的目标。

关键词: 永久基本农田; 熵权TOPSIS模型; 耕地综合质量; 空间连通性

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2024)07-0221-11

OSID:



Basic Farmland Demarcation Coupling Comprehensive Quality and Spatial Connectivity of Cultivated Land

LIN Jianping¹ HUANG Kun¹ DENG Aizhen² ZHANG Yunping¹ YUAN Hao¹
FENG Guixian¹ ZHANG Peiyi¹ ZHI Chao¹

(1. School of Geography and Environmental Engineering, Gannan Normal University, Ganzhou 341000, China

2. Jiangxi College of Applied Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: Protecting high-quality concentrated and contiguous farmland is crucial for ensuring national food security. Taking Xingguo County in Jiangxi Province as a case study, an index system for evaluating comprehensive farmland quality was systematically constructed based on natural quality, site conditions, and ecological conditions. Utilizing the technique for order preference by similarity to an ideal solution (TOPSIS) comprehensive evaluation method, farmland quality was assessed. Farmland spatial aggregation characteristics were analyzed through farmland contiguity and spatial connectivity patterns, leading to the demarcation of permanent basic farmland based on comprehensive quality and connectivity. Results indicated that Xingguo County's farmland quality was divided into 4 grades, with areas of 6204.95 hm², 16031.72 hm², 19321.79 hm², and 3573.76 hm², representing 13.75%, 35.52%, 42.81%, and 7.92% of the total farmland area respectively, with the majority falling in the medium quality range at 78.33%. In terms of farmland connectivity, the area was classified into 5 contiguity levels, with areas of 24731.44 hm², 6199.73 hm², 3131.54 hm², 7397.71 hm², and 3671.80 hm², accounting for 54.80%, 13.73%, 6.94%, 16.39%, and 8.14% of total farmland area, revealing varying degrees of fragmentation. Farmland of grade three or above and contiguity level four or above was designated as permanent basic farmland, covering 37029.62 hm², or 82.05% of the total area. This delineation achieved the goal of "overall stability, optimized layout, and improved quality" compared

收稿日期: 2023-11-08 修回日期: 2024-01-20

基金项目: 江西省高校人文社会科学研究项目(GL21129)、江西省大学生创新训练项目(S202310418015)、赣南师范大学地理与环境工程学院地理学科建设开放项目(200084)和赣南师范大学研究生创新基金项目(YCX23A043)

作者简介: 林建平(1977—),男,讲师,博士,主要从事土地管理与国土空间规划研究,E-mail: linjianping0530@163.com

with previous permanent basic farmland designations.

Key words: basic permanent farmland; entropy weight TOPSIS model; comprehensive quality of cultivated land; spatial connectivity

0 引言

耕地是我国最为宝贵的资源,是确保国家粮食安全、加快推进农业农村现代化的有力保障,是深化农业供给侧结构性改革、促进经济高质量发展的重要基础,更是实施乡村振兴、促进生态文明建设的必然要求^[1]。永久基本农田是最优质、最精华、生产能力最好的耕地,划定并守住永久基本农田控制线,对维护国家粮食安全、稳定粮食生产能力、实现重要农产品有效供给具有重要意义^[2]。然而,现阶段永久基本农田划定缺乏科学、客观的标准,一些地方将城市周边、平原地区的成片优质高产耕地留作建设用地,而将区位条件及质量较差的耕地划入基本农田。同时,部分地方为追求利益,在基本农田划定中不同程度存在“重数量轻质量、划远不划近、划劣不划优、划零不划整”等问题,造成永久基本农田碎片化,严重威胁我国粮食安全。将基本农田“划足、划实、划优、划好”,使基本农田向“优质、集中、连片”的集聚方向发展,从而促进农业先进技术的推广应用、实现粮食的高产稳产,成为土地利用科学领域研究的热点问题。

围绕永久基本农田划定,学者从数量、质量、决策模型及空间布局等方面进行了重点研究并取得了丰硕成果。在数量划定方面,钟太洋等^[3]基于人口对农产品的需求及农田的产出能力,提出综合考虑粮食作物播种面积比例、单产水平、复种指数以及城乡居民对农产品的消费、城市化水平等因素的区域人均基本农田需求面积模型。在综合质量划定上^[4],学者依据农用地分等成果^[5],结合耕地立地条件、生态^[6]等目标,从不同角度构建耕地质量综合评价体系,并选取综合质量等别高的耕地划入永久基本农田。在划定模型上,基于综合评价或约束控制,提出了 TOPSIS 模型^[7]、生态位模型^[8]、综合指数评价法^[9]、贝叶斯网络模型^[10]等评价方法。在空间布局方面,一些研究者综合考虑耕地集聚度等^[11],提出了空间聚类法^[12]、四象限法^[13]、多目标粒子群^[14]等方法,对基本农田划定空间进行了研究。

目前,有关永久基本农田划定的研究虽取得了较大进展,但多是从耕地数量、质量、生态、区位某一方面或某几方面进行研究,缺少系统研究尤其是较少考虑耕地空间连通性、连片度,导致划定的基本农

田分散和破碎化。在实际划定过程中,也出现了耕地入选基本农田条件模糊、技术方法单一等问题^[11],导致划定的基本农田质量不高、位置偏远、破碎度高而易造成耕地“弃耕”、“撂荒”、“非粮化”、“非农化”甚至被周边其他土地侵吞等问题。解决这些问题,有助于提高基本农田划定的合理性与科学性。因此,系统研究耕地“数量、质量、生态”保护体系,同时关注耕地空间集聚性及其连通性,将“优质集中”的耕地划入基本农田,不仅能克服以往基本农田斑块零散分布的问题,而且有利于实现耕地的集聚保护,促进农业产业化、规模化。为此,本文以江西省赣州市兴国县为例,从耕地自然质量、立地条件、生态条件和聚集度等方面,系统构建耕地“数量、质量、生态”等评价指标,并借助熵权 TOPSIS 法对耕地综合质量进行评价,充分考虑耕地连片度,将耕地空间连通性和耕地综合质量耦合到基本农田划定中,以实现耕地“质量筛选、连片优先、规模约束”的基本农田划定目标,为永久基本农田划定提供新视角。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

研究区位于江西省赣州市兴国县,地处江西省中南部、赣州市北部,地理位置为东经 115°01′~115°51′,北纬 26°03′~26°41′。兴国县地貌以低山、丘陵为主,地势由东北西边缘逐渐向中南部倾斜,形成以县城为中心的小盆地,是典型的山区县(图 1)。全县国土面积 3 215 km²,耕地面积 45 132.22 hm²,占土地总面积的 9.9%;森林覆盖率保持在 75.36%,形成“七山一水一分田,一分道路和庄园”的土地利用格局。兴国县为亚热带季风湿润气候,气候温和,雨量充沛,光照充足,四季分明,无霜期长,年平均气温为 18.8℃,年平均降雨量为 1 515.6 mm,年平均无霜期 284 d。全县辖 25 个乡镇、1 个经济开发区、303 个行政村、20 个城市社区。2022 年末,户籍总人口 86.02 万人,其中城镇人口 23.5 万人,乡村人口 62.51 万人,实现地区生产总值 241.04 亿元,按可比价增长 5.1%。

1.2 数据来源及处理

采用兴国县 2022 年土地利用现状变更图作为工作底图,以土地利用现状矢量数据所确定的耕地图斑作为划定单元,数据主要来源于兴国县第三次

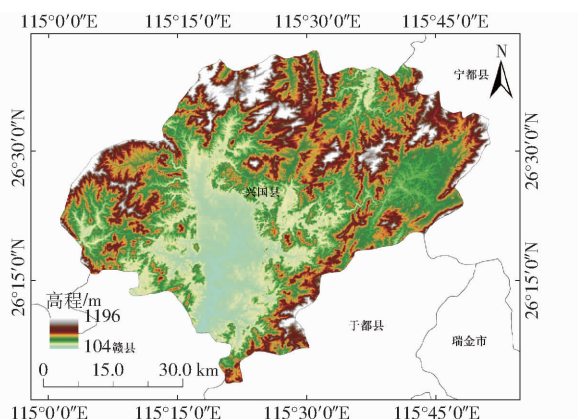


图 1 研究区地形地貌图

Fig. 1 Topographical and geomorphological map of study area

全国国土调查、耕地质量等别更新成果、兴国县土地利用总体规划(2006—2020年)、土壤类型图、数字

高程等,各类数据具体信息如表 1 所示。其中,田块至城镇、村庄、公路的距离等以兴国县第三次全国国土调查数据库为基础,利用 ArcGIS 近邻分析工具计算得到。土壤厚度、质地、有机质含量、酸碱度、土壤重金属污染状况等指标主要从兴国县耕地资源质量等别更新数据库中提取。兴国县土壤类型、质地等从江西省土壤类型分布图中提取。兴国县分辨率 30 m × 30 m 的数字高程模型(DEM)数据从地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)下载,并从中提取坡度和地形起伏信息等。现状基本农田从兴国县土地利用总体规划数据库中提取。社会经济统计数据如退耕还林、建设占用等,均从《兴国县统计年鉴》中提取。运用 ArcGIS 软件对上述数据资料中的矢量数据、统计数据、文本数据等进行前期处理和分析,完成空间制图。

表 1 研究数据

Tab. 1 Research data

数据类别	数据详情	数据来源	用途
土地利用数据	兴国县第三次全国国土调查数据库		
	2022 年土地利用现状变更图	兴国县自然资源局	提取耕地、城镇用地、交通用地、水域等
	兴国县耕地资源质量等别更新数据库	江西省土壤类型分布图	耕地自然质量、立地条件、生态条件
空间规划数据	江西省土壤类型数据库		
	兴国县土地利用总体规划数据库(2006—2020年)	兴国县自然资源局	分析基本农田保护现状 基本农田划定结果对比
自然地理数据	DEM 数据(30 m)	地理空间数据云 (http://www.gscloud.cn)	提取坡度、坡向、高程等 分析耕地质量
社会经济数据	《兴国县统计年鉴》	兴国县统计局	基本农田规模预测等

2 研究方法

2.1 研究思路

主要研究内容包括:①系统构建涵盖耕地自然质量、立地条件、生态环境“数量、质量、生态”三位一体耕地综合质量评价指标体系。②基于熵权 TOPSIS 综合评价法评价各地块耕地综合质量。③引入耕地空间连片性及 FMSPA (Farmland morphological spatial pattern analysis) 模型分析,综合分析耕地连通性。④将耕地综合质量与连通性进行叠加分析,设定域值,按照上位国土空间规划要求数量划定永久基本农田,为永久基本农田划定提供科学、合理的路径。具体技术流程见图 2。

2.2 耕地综合质量评价体系构建及分级

2.2.1 耕地综合质量评价体系构建

耕地是一个复合系统,是集自然、社会、经济和生态等因子组合而成的有机整体^[15]。评价指标体系构建合理与否是耕地综合质量评价的基础,直接关系到评价结果的准确性和科学性。依据第

三次全国国土调查耕地资源质量分类工作方案、基本农田划定技术规程、农用地分等规程等相关规定,在遵循评价指标选取科学性、全面性、可操作性原则的基础上,参考文献[16-17],从耕地自然质量、立地条件、生态条件 3 方面选取 15 个指标构建耕地综合质量评价指标体系,评价耕地综合质量(表 2)。

(1)耕地自然质量。耕地自然质量强调耕地背景条件,是形成耕地生产力的基础。本文参考 GB/T 28407—2012《农用地质量分等规程》及国内外学者的研究成果^[18],选取坡度、土壤厚度、土壤 pH 值、土壤质地以及土壤有机质含量 5 个指标来表征耕地自然质量。坡度过大会导致水土流失;土壤厚度对作物根系生长影响较大;质地直接影响土壤保水保肥能力;土壤有机质含量越大,土壤肥力越高;土壤酸碱度越适中,耕地自然条件越好。

(2)耕地立地条件。稳定的立地条件是永久基本农田划定重要基础条件。传统的基本农田划定过多地依赖于耕地质量条件,而对耕地立地条

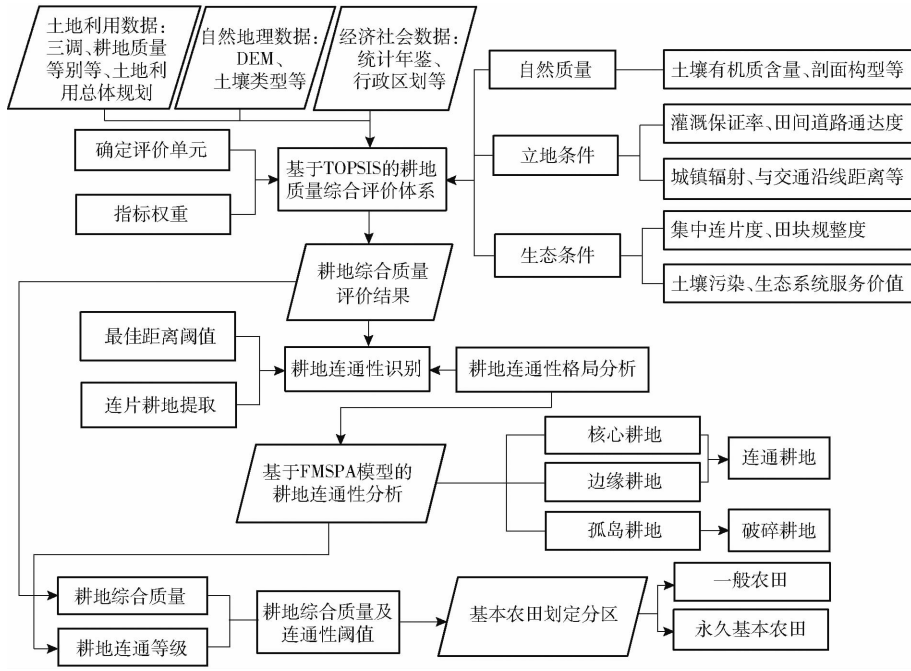


图2 永久基本农田划定技术流程图

Fig. 2 Technical flowchart of permanent basic farmland demarcation

表2 耕地综合质量评价指标体系

Tab. 2 Index system of cultivated land comprehensive quality evaluation

目标层 A	准则层 B(权重)	指标层 C	指标含义	效应
耕地自然质量 B_1 (0.45)		坡度 C_1 ($^{\circ}$)	反映耕地所属地表单元陡缓程度	负
		土壤厚度 C_2 (cm)	土壤层和松散的母质层之和	正
		土壤质地 C_3	耕层土壤中不同直径矿物颗粒的组合状况,分为壤质、黏质、砂质土壤,其中壤土水土保持性最强,肥力最好	正
		土壤有机质含量 C_4 (g/kg)	单位质量土壤中所含有机物质质量	正
		土壤 pH 值 C_5	耕层土壤的酸碱程度	正
永久基本农田 优化布局 A B_2 (0.30)		灌溉条件 C_6	反映耕地灌溉抗旱能力	正
		排水条件 C_7	反映耕地排涝能力	正
		道路密度 C_8 (km/km^2)	反映道路通达性,为道路长度与图斑面积比值	正
		耕作距离(与村庄距离) C_9 (m)	耕地与农村居民点距离,影响耕作的便利度和耕作条件	负
		与交通沿线距离 C_{10} (m)	耕地与交通沿线之间的最短距离,计算式为 $G = \begin{cases} 0.1 & (x > 3000 \text{ m}) \\ 1 - 0.9(x - 500)/2500 & (500 \text{ m} \leq x \leq 3000 \text{ m}) \\ 1 & (x < 500 \text{ m}) \end{cases}$	负
耕地生态条件 B_3 (0.25)		与城镇距离 C_{11} (m)	耕地所处中心城镇的辐射缓冲区	负
		耕地破碎度 C_{12}	用于量化耕地破碎度	负
		田块规整度 C_{13}	描述田块几何形状复杂性的度量,用分形维数(FRAC)表示为 $FRAC = \frac{2\ln(P/4)}{\ln a}$, P 为地块周长, a 为地块面积	正
		土壤重金属污染状况 C_{14}	全国土壤污染详查的土壤环境质量类别,从好至差分为绿色、黄色、红色	正
		生态系统服务价值 C_{15}	耕地的利用现状类型,从好至差分为水田、水浇地、旱地	正

注:研究区耕地土壤 pH 值在 4.0~6.5 之间,属于酸性土壤,土壤 pH 值越大,对应分值越高,因此土壤 pH 值为正向效应。

件考虑较少,导致基本农田被频繁调整、补划及破坏^[19]。本文从耕地耕作便利度和区位条件两方面构建耕地立地条件。耕作便利度包括灌溉条件、排水条件及道路密度等指标,灌溉条件直接影响土壤

水分含量;农田排水是防止土地退化、改造盐碱地和涝渍的重要手段;道路密度影响农机耕作。区位条件包括耕地与村庄、城镇和交通沿线距离 3 项指标,主要反映耕作便利度和机械化适宜程度等。耕地到

村庄的距离越小越便利且成本越低,有利于耕地管护;城镇化对耕地利用的劳动力集约度、农药化肥集约度和农业机械集约度均有重要影响;耕地与交通沿线距离越近,成本越低,越适宜机械化。

(3)耕地生态条件。耕地生态条件是实现耕地资源保护、农业生产发展、粮食安全保障的重要因素。作为生态系统的重要组成部分,耕地的生态状况直接影响土壤的结构和功能。耕地生态条件包括耕地的景观形态及耕地生态质量。景观生态包括耕地破碎度和田块规整度。零散的耕地会影响工作效率,增加劳动成本。田块越规整越有利于农业规模化经营,越不容易因经济发展而被置换,从而提高农业生产效率和基本农田的稳定性^[20]。耕地生态质量包括土壤重金属污染状况和生态系统服务价值。土地重金属污染程度反映全国土壤污染详查的土壤环境质量类别;生态系统服务价值用耕地利用现状

类型表示,分为水田、水浇地、旱地,不同类型耕地具有不同的生态服务价值。

2.2.2 兴国县耕地综合质量指标分级及权重确定

耕地参评因子指标分级及其权重确定是耕地综合质量评价的基础。本文在对耕地自然质量评价因子进行量化时,各项因子的赋值方法参考 GB/T 28407—2012《农用地质量分等规程》,以兴国县2022年耕地质量等别成果为数据源进行分级。

耕地立地条件中灌溉条件和排水条件分为充分满足、基本满足、一般满足和不满足;机耕道路可达性、与交通主干道距离属于线状指标,通过直线衰减法赋值;与农村居民点距离、城镇距离属于点状指标,采用指数衰减法赋值。耕地生态条件评价因子中,对于土壤重金属污染状况,采用极值法进行标准化处理;对于耕地破碎度、田块规整度、生态系统服务价值则使用等级赋分法(表3)。

表3 兴国县耕地综合质量评价指标分级标准及权重

Tab.3 Classification standard and weights of cultivated land comprehensive quality evaluation in Xingguo County

目标层 A	准则层 B (权重)	指标层 C	指标分级标准					权重
			一级	二级	三级	四级	五级	
永久基本农田优化布局 A	B ₁ (0.45)	坡度 C ₁ /(°)	0~2	2~6	6~15	15~25	>25	0.06
		耕地自然质量 土壤厚度 C ₂ /cm	≥100	60~100	0~60			0.07
		土壤质地 C ₃	壤质	黏质	砂质			0.11
		土壤有机质含量 C ₄ /(g·kg ⁻¹)	≥20	10~20	0~10			0.13
		土壤 pH 值 C ₅	6.5~7.5	5.5~6.5	7.5~8.5	<5.5	≥8.5	0.08
	灌溉条件 C ₆	充分满足	基本满足	一般满足	不满足		0.05	
		排水条件 C ₇	充分满足	基本满足	一般满足	不满足	0.05	
	B ₂ (0.30)	道路密度 C ₈ /(km·km ⁻²)	>0.91	0.78~0.91	0.60~0.78	0~0.60		0.05
		耕作距离(与村庄距离) C ₉ /m	0~500	500~1000	1000~1500	1500~2000	>2000	0.08
		与交通沿线距离 C ₁₀ /m	0~1000	1000~3000	>3000			0.03
		与城镇距离 C ₁₁ /m	0~2000	2000~4000	4000~6000	6000~8000	>8000	0.05
		耕地破碎度 C ₁₂	0~0.002	0.002~0.004	>0.004			0.09
	B ₃ (0.25)	耕地生态条件 田块规整度 C ₁₃	0~1.02	1.02~1.3	>1.3			0.06
		土壤重金属污染状况 C ₁₄	绿色	黄色	红色			0.06
		生态系统服务价值 C ₁₅	水田	水浇地	旱地			0.04

2.3 熵权 TOPSIS 评价方法

永久基本农田划定是一个多目标决策过程。熵权 TOPSIS 模型方法^[21]又称为逼近理想排序法或优劣解距离法,是多目标优化的一种数学方法,与灰色关联度分析方法类似,其通过计算每个方案与最优方案和最劣方案的距离,得到评价对象与最优方案的接近程度,若方案接近正理想解,又远离负理想解,则认为方案最优;若方案远离正理想解,又接近负理想解,则方案最差。本文利用熵权 TOPSIS 方法,系统分析影响耕地质量各指标与理想状态的差距,将各耕地地块综合质量从高到低进行排序反映耕地状况。熵权 TOPSIS 模型计

算步骤如下:

(1) 决策矩阵构建

以第三次全国国土调查耕地图斑为评价单元(a),从耕地自然质量、立地条件、生态条件等方面构建评价指标(b),建立评价矩阵

$$X_{ab} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1b} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2b} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{a1} & x_{a2} & \cdots & x_{ab} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中 x_{ab} ——第 a 个评价单元第 b 个评价指标

(2) 数据标准化处理

考虑到各评价因子属性特征不同,本文采用

封闭区间 $[0, 100]$ 实现指标属性值与耕地质量评价得分的转换。100表示最佳状态,0表示不适宜状态,0~100表示中间状态。处理后得到标准化矩阵

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1b} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2b} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ y_{a1} & y_{a2} & \cdots & y_{ab} \end{bmatrix} \quad (2)$$

(3) 指标权重计算

传统 TOPSIS 模型在确定指标权重时主要依靠专家意见,主观性较强,而指标权重对排序结果有较大的影响,为避免主观因素造成的误判,本文运用熵权 TOPSIS 模型确定各指标权重^[22]。熵权法是一种较为客观的赋权方法,其基本思路是依据评价指标数值自身变异程度计算其信息熵。一般来说,若某个指标信息熵越小,表明该指标变异程度越大,提供的信息量越多,在综合评价中起的作用越大,其权重也就越大。该方法客观性较强,能够反映数据间细微差异,不会因差异过小导致无法辨别,能够全面、系统反映信息,可以在一定程度上消除主观因素,提高评价科学性和合理性。熵权法计算公式为

$$w_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (0 \leq w_i \leq 1) \quad (3)$$

其中

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}$$

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}} \quad \sum_{i=1}^m w_i = 1$$

$$k = \frac{1}{\ln n}$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min |x_{ij}|}{\max |x_{ij}| - \min |x_{ij}|}$$

式中 w_i ——第 i 项指标权重

r_{ij} ——标准化值(采用极值法)

H_i ——第 i 项指标的熵

f_{ij} ——第 i 项指标下第 j 个单元指标的标准
化值在整个地块图斑序列中的比重,
并假定当 $f_{ij} = 0$ 时, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$

k ——玻尔兹曼常量

(4) 加权矩阵构造

由上述熵权模型得出的指标权重可以表示为 $g = [g_1 \ g_2 \ \cdots \ g_n]$,将规范化矩阵与相应的权重相乘,构成加权矩阵 R ,即

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

(5) 理想解确立

为确定评价单元整体优劣顺序,定义

$$\begin{cases} r_i^+ = \max(r_{ij}) \\ r_i^- = \min(r_{ij}) \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

式中 r_i^+ ——各属性值达到各决策点的最优值,即“正理想点”

r_i^- ——各属性值达到各决策点的最劣值,即“负理想点”

将单元评价与理想值进行比较,以其接近程度作为评价标准。

(6) 距离计算

在确定理想解的基础上计算各评价单元与最优值和最劣值的距离,即

$$\begin{cases} d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2} \\ d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2} \end{cases} \quad (5)$$

式中 d_i^+ ——评价对象与正理想解的距离

d_i^- ——评价对象与负理想解的距离

(7) 评价单元对理想点的接近度可以用相对接近度 S_i 表示,计算式为

$$S_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (6)$$

S_i 越大,表示耕地质量越好,其中 d_i^+ 越小,表示越靠近正理想解,耕地质量越好; d_i^- 越大,表示离负理想解越远,耕地质量越好。

2.4 耕地连通性

耕地连通性是指耕地地块在空间上的相连程度,耕地斑块之间的空间距离越小连通性越高。通常情况下,道路、河流会阻断耕地的连通性,一般而言,若2个耕地斑块之间的空间距离小于规定的阈值,则可以认为它们之间是连通的。为探究耕地连通程度,本文采用缓冲区分析法,通过设置耕地连通距离阈值和连片规模阈值,识别并提取连片耕地。在此基础上,运用耕地形态学空间格局分析方法,划分耕地景观类型,分析耕地空间连通性格局。

(1) 连通性阈值及规模确定

科学确定耕地斑块之间的连通距离阈值,是识别与分析耕地空间连通性的首要工作^[23]。本文参考 GB/T 21010—2017《土地利用现状分类》和 JTGB 01—2020《公路工程技术标准》,将耕地连通距离阈

值设定为宽度 30 m, 即相邻耕地斑块被河流、道路等若分隔距离小于 30 m, 则认为其相互连通。为定量、定位地提取研究区连片耕地, 运用 ArcGIS 缓冲区分析工具, 以 15 m 为缓冲半径, 采用融合方式生成缓冲区, 将原始耕地图层与缓冲区图层进行空间叠加和属性连接, 将落在同一个缓冲区范围内的耕地斑块赋上相同的标识码以表示它们是连通的。在连通规模选取上, 考虑到兴国县为丘陵山区, 耕地较为细碎, 选取 3.33 hm² 作为耕地连片规模阈值。若相邻耕地斑块间的距离在 30 m 以内且耕地斑块面积之和不小于 3.33 hm², 则认为其构成连片耕地。

(2) 耕地空间连通格局

为进一步从空间格局与形态方面反映耕地的连通性水平及空间分异特征和分布规律, 同时验证连片耕地提取结果的准确性, 借鉴景观生态学中的形态学空间格局分析方法 (Morphological spatial pattern analysis, MSPA) 进行耕地空间连通格局分析^[24]。MSPA 分析能够识别目标像元集与结构要素之间的空间拓扑关系, 并将目标像元分为核心、斑块、孔隙、边缘、桥接、环道和支线 7 种类型。耕地景观是一种特殊的景观类型, 其空间连通性是基于空间距离的耕地斑块的相对相连度, 是一种实体性连通, 不涉及生态学中对生物迁徙、能量传输等考量。因而, 本文在 MSPA 方法的基础上, 参考 QIANWEN 等^[25]研究成果构建耕地形态学空间格局分析 (FMSPA), 以不同的耕地景观类型表征耕地空间连通性水平差异, 进而分析研究区耕地空间连通性格局, 该模型将耕地划分为核心耕地 (Matrix farmland)、边缘耕地 (Edge farmland) 和孤岛耕地 (Island farmland) 3 类, 其中: 核心耕地和边缘耕地一起构成连通耕地景观, 而孤岛耕地则表示破碎的耕地景观组分。将兴国县耕地图斑作为 FMSPA 分析的前景值, 其他类型土地作为背景值, 数据输入 Guidos 2.8 软件中, 采用八邻域连接方式对耕地景观格局进行分析, 经对比分析, 将像元大小设置为 20 m × 20 m 时所得到的 FMSPA 结果最为恰当。

3 结果与分析

3.1 基于 TOPSIS 模型的耕地综合质量评价

运用 TOPSIS 法进行耕地综合质量评价。根据式 (5) 计算兴国县各耕地评价单元的最优解 ($k_{1max}, k_{2max}, k_{3max}, k_{4max}, k_{5max}, k_{6max}, k_{7max}, k_{8max}, k_{9max}, k_{10max}, k_{11max}, k_{12max}, k_{13max}, k_{14max}, k_{15max}$) = (100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100, 100), 最劣解 ($k_{1min}, k_{2min}, k_{3min}, k_{4min}, k_{5min}, k_{6min}, k_{7min}, k_{8min}, k_{9min}, k_{10min}, k_{11min}, k_{12min}, k_{13min}, k_{14min}, k_{15min}$) =

(20, 40, 20, 40, 20, 40, 40, 40, 20, 40, 20, 40, 40, 40, 40), 经计算得到兴国县各耕地图斑的 S_i 在 0.62 ~ 1 之间, 采用自然间断点分级法 (Jenks), 耕地综合质量由高到低划分为 4 个质量等级 (表 4), 面积分别为 6 204.95、16 031.72、19 321.79、3 573.76 hm², 占耕地总面积的 13.75%、35.52%、42.81%、7.92%。从耕地综合质量分布格局来看 (图 3), S_i 高值耕地 ($S_i > 0.73$) 主要集中分布在兴国县中部、东部及北部部分城镇中心周围, 呈小范围聚集分布; S_i 低值耕地 ($S_i \leq 0.73$) 主要聚集分布于兴国县西部, 整体呈中、东部高, 周边和北部低的分布特征。

表 4 兴国县耕地综合质量评价等级

Tab. 4 Comprehensive quality evaluation of cultivated land in Xingguo County

耕地质量等级	S_i	面积/hm ²	占比/%
一等地	0.83 ~ 1.00	6 204.95	13.75
二等地	0.78 ~ 0.83	16 031.72	35.52
三等地	0.73 ~ 0.78	19 321.79	42.81
四等地	0.62 ~ 0.73	3 573.76	7.92

3.2 耕地连通性评价

3.2.1 耕地连片性提取

对研究区耕地空间连通性进行识别与评价, 共识别出 6 462 个连片耕地, 按照连片规模对其进行分级统计 (表 5)。由表 5 可知, 连片规模达到 200 hm² 以上的一级连片耕地 33 片, 面积 24 731.44 hm², 占兴国县耕地总面积的 54.80%, 主要位于兴国县中部及县城周边; 连片规模在 66.67 ~ 200 hm² 的二级连片耕地 58 片, 面积 6 199.73 hm², 占兴国县耕地总面积的 13.74%; 连片规模在 33.33 ~ 66.67 hm² 的三级连片耕地 68 片, 面积 3 131.54 hm², 占兴国县耕地总面积的 6.94%; 连片规模在 3.33 ~ 33.33 hm² 的四级连片耕地 800 片, 面积 7 397.71 hm², 占兴国县耕地总面积的 16.39%; 连片规模小于 3.33 hm² 的五级连片耕地 5 503 片, 面积 3 671.80 hm², 占兴国县耕地总面积的 8.14%, 总体上, 兴国县碎片化耕地较多。从连片耕地空间分布来看, 兴国县连片耕地呈东多西少、北多南少、中心多四周少的分布特征 (图 4a)。

3.2.2 耕地空间连通性格局分析

依据耕地形态学空间格局 (FMSPA) 特征将耕地划分为 3 种景观类型, 其中, 核心耕地、边缘耕地、孤岛耕地分别占耕地总面积的 47.51%、44.40% 和 8.09% (图 4b)。从图 4b 可以看出, 兴国县核心耕地特征明显, 在东部及县城周边呈集中分布状态, 边缘耕地分布在核心耕地周围, 孤岛耕地呈零散分布

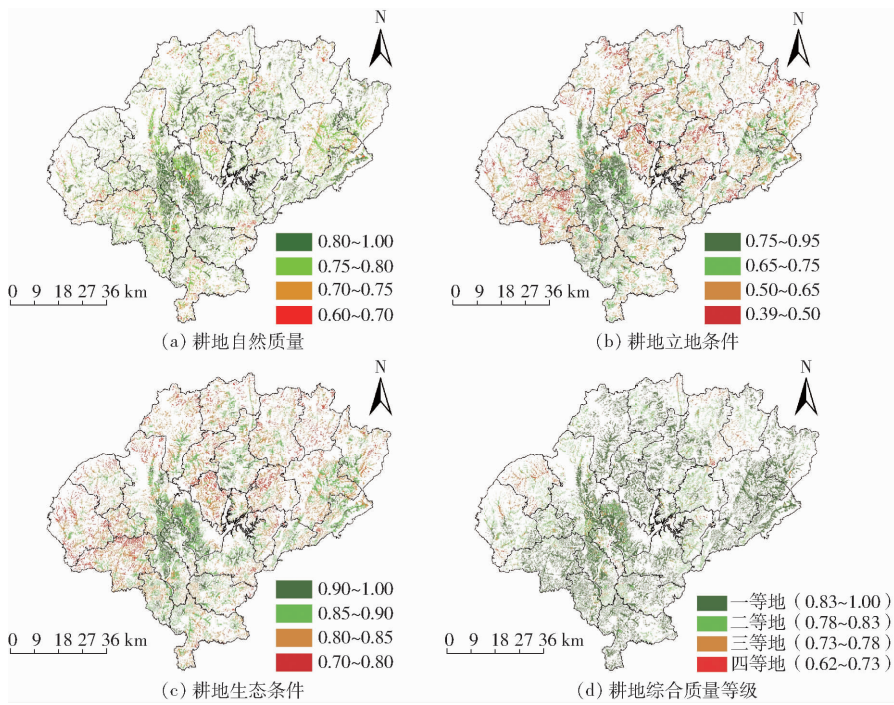


图3 兴国县耕地综合质量评价结果

Fig. 3 Results of comprehensive quality evaluation of cultivated land in Xingguo County

表5 兴国县连片耕地规模分级统计

Tab. 5 Statistics on area of contiguous farmland in Xingguo County

连片等级	连片规模/ hm ²	连片数量	面积/ hm ²	占耕地总面积 比例/%
一级连片	≥200.00	33	24 731.44	54.80
二级连片	66.67 ~ 200.00	58	6 199.73	13.73
三级连片	33.33 ~ 66.67	68	3 131.54	6.94
四级连片	3.33 ~ 33.33	800	7 397.71	16.39
五级连片	0 ~ 3.33	5 503	3 671.80	8.14
总计		6 462	45 132.22	100

状态,主要位于丘陵山区沟谷地区。为进一步验证连片耕地提取结果的准确性,将耕地景观类型划分结果与连片耕地提取结果进行属性连接,以“MAJORITY”统计类型计算确定值栅格中与输出像元同属一个区域的所有像元中最常出现的值,结果

表明,6 462个连片耕地中分别有456、523、5 483个连片在FMSPA中被划为核心耕地、边缘耕地和孤岛耕地,即共有979个连片规模大于等于3.33 hm²连片耕地在FMSPA中被判定为连通耕地,结果一致性达到95.01%。综上,基本农田划定以核心耕地和边缘耕地为底板,以连片耕地为重点划入对象,可保证基本农田斑块具备较高的空间聚集程度。

3.3 兴国县永久基本农田划定结果

将耕地综合质量等级划分结果与耕地连片等级划分结果进行叠加分析,结果如表6所示。从表6可看出,耕地质量为一等地中,连片度为四级以上(连片程度大于等于3.33 hm²)耕地面积为6 143.84 hm²,占耕地总面积的13.61%,高质量耕地集中连片趋势明显,表明耕地的综合质量属性与空间属性保持

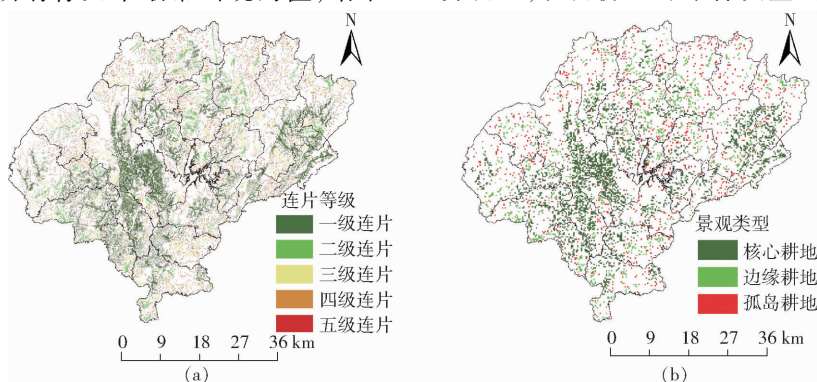


图4 兴国县耕地空间连片等级及耕地形态学空间格局分析结果

Fig. 4 Spatial contiguous grade maps of farmland in Xingguo County and results of spatial pattern analysis of farmland morphology

了较好的统一,此部分耕地为基本农田优先划定区。耕地质量为二等地中,连片度为四级以上耕地面积为 15 446.93 hm²,占耕地总面积的 34.23%,此部分耕地质量较好,连片程度较高,是基本农田重点划入区。耕地质量为三等地中,连片度为四级以上耕地面积为 15 438.85 hm²,占耕地总面积的 34.21%,此部分耕地质量一般,连片程度较好,是基本农田划入适宜区。耕地质量为四等地中,连片

度为五级(连片规模为 0~3.33 hm²)耕地总面积为 4 430.79 hm²,占耕地总面积的 9.82%,此部分耕地质量较差,耕地细碎,是基本农田划入的不适宜区。将耕地质量等级为三等以上、连片程度四级以上耕地划入基本农田,总面积为 37 029.62 hm²,占耕地总面积的 82.05%,略高于上级下达的基本农田保护面积指标,可较好地完成永久基本农田保护(图 5)。

表 6 兴国县耕地质量等级与空间连通等级叠加分析统计

Tab.6 Statistics of superposition analysis of cultivated land quality grade and spatial connectivity grade in Xingguo County

连片等级	一等地		二等地		三等地		四等地	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
一级连片	5 341.32	11.84	10 513.45	23.30	7 208.10	15.97	1 668.57	3.70
二级连片	518.68	1.15	2 304.13	5.11	2 722.57	6.03	654.34	1.45
三级连片	129.69	0.29	1 133.40	2.50	1 514.51	3.36	353.94	0.78
四级连片	154.15	0.34	1 495.95	3.31	3 993.67	8.85	1 753.94	3.89
五级连片	61.12	0.13	584.79	1.30	1 852.57	4.10	1 173.33	2.60
总计	6 204.96	13.75	16 031.72	35.52	17 291.42	38.31	5 604.12	12.42

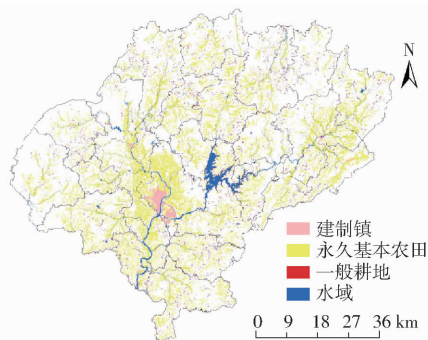


图 5 兴国县永久基本农田划定结果

Fig.5 Delineation results of permanent basic farmland in Xingguo County

将新划定的永久基本农田与原有基本农田进行叠加分析,其中,原有基本农田保持不变面积 32 663.83 hm²,一致性占比 88.21%;同时,调出耕

地质量小于四等、连片度小于 3.33 hm²耕地面积 4 365.79 hm²;调进耕地质量等级和连片度高的耕地划入永久基本农田面积(4 412.31 hm²),实现了划定后永久基本农田“总体稳定、布局优化、质量有提升”的目标(图 6, A、B、C、D 为 4 个调入调出典型地块,其中 A、D 为细碎地块调出基本农田, B、C 为集中连片调入地块)。

4 讨论

“优先保留高等级、集中连片耕地”是基本农田划定工作中的一项原则,划定永久基本农田保护区从本质上要求在识别基本农田保护图斑时需同时考虑耕地图斑质量及其空间聚散关系。传统基于质量排序的识别方法虽然可以保证识别的基本农田图斑具有较高质量,但可能会因为缺少对空间关系的整

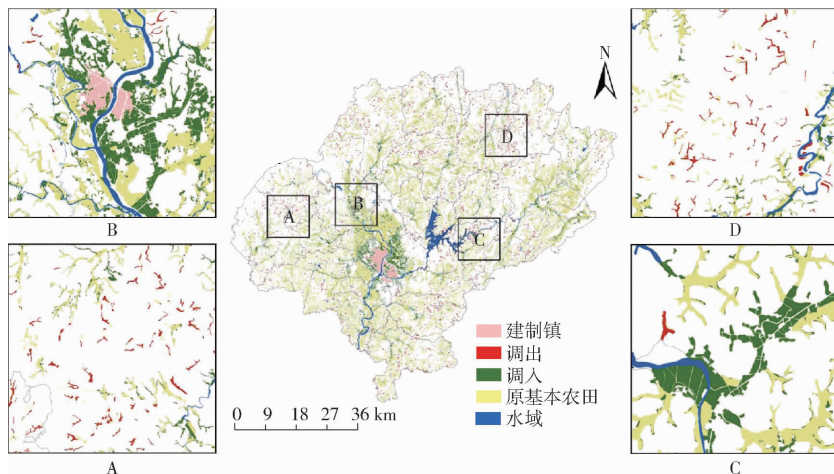


图 6 兴国县永久基本农田调整优化结果

Fig.6 Adjustment and optimization of permanent basic farmland in Xingguo County

体考虑而损失空间集聚连片性。本文从健全耕地“数量、质量、生态、空间”四位一体耕地保护角度出发,构建永久基本农田建设划定评价指标体系,将集中连片、规模较好,有良好的水利与道路密度、水土保持设施的耕地划入基本农田,保持了基本农田量足质优,基本农田布局更加优质集中。

在耕地资源质量等别更新成果的基础上,考虑耕地的基础评价指标(自然质量、区位条件、建设水平),融入灌排条件、道路通达度、耕作距离、与城镇距离等立地条件,加入耕地破碎度、田块规整度、土壤重金属污染状况及生态系统服务价值等耕地生态环境等因素的影响,使耕地综合质量评价结果更贴切于“数量、质量、生态”三位一体保护的目标。

采用熵权法确定各指标的影响权重,借助TOPSIS方法,可以对多个评价对象进行相对优劣的评价,对耕地综合质量优劣排序,使评价结果更加客观、全面。TOPSIS方法考虑了评价对象与最优解、最劣解的距离,具有较强的实用性。将熵权法应用于TOPSIS模型,可以克服权重主观性较大的问题,提高评价结果的准确性。

在永久基本农田划定过程中,以连通性作为基本农田划界的优先标准,将高等级连片农田优先划入基本农田,较好地满足了“集中连片、便于耕种”的要求,可解决当前基本农田分散细碎问题,有利于农业先进技术的推广应用,促进规模经营,降低生产成本,减少劳动力,拓宽增收途径,促进产业结构升级。

构建了结合永久基本农田综合划定的方法体系,将特征评价、空间优化等环节有效衔接,形成一套技术流程,为基本农田划定提供更清晰的技术指导。将本研究划定成果与原规划划定成果进行对比发现,本研究划定的基本农田在规模、质量、空间布局方面都具有一定的优势,更加符合基本农田“优质集中”的要求,为永久基本农田的划定提供了新思路。

5 结论

(1) TOPSIS分析结果表明,兴国县耕地质量由高到低划分为4个质量等级,面积分别为6 204.95、16 031.72、19 321.79、3 573.76 hm^2 ,占总耕地面积的13.75%、35.52%、42.81%、7.92%,中等质量耕地居多,占78.33%。

(2) 对研究区耕地空间连通性进行识别与评价,兴国县一级~五级连片耕地面积分别为24 731.44、6 199.73、3 131.54、7 397.71、3 671.80 hm^2 ,分别占耕地总面积的54.80%、13.73%、6.94%、16.39%、8.14%,耕地存在一定程度破碎化。采用域值和规模方法确定耕地连通的连通性与FMSPA方法高度一致,证明该方法的可行性和有效性。

(3) 将耕地质量三等以上、连片程度四级以上耕地划入基本农田,面积为37 029.62 hm^2 ,占耕地总面积的82.05%,将耕地空间连通性和耕地综合质量耦合到基本农田划定中,可实现永久基本农田划定“总体稳定、布局优化、质量有提升”的目标。

参 考 文 献

- [1] 梁晓玲,王璐,黎诚,等. 基于数量、质量、生态三位一体的永久基本农田快速优化布局研究[J]. 农业资源与环境学报, 2021,38(6):946-956.
LIANG Xiaoling, WANG Lu, LI Cheng, et al. Research on the rapid optimization of the layout of permanent basic farmland based on quantity, quality, and ecology[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2021, 38(6): 946-956. (in Chinese)
- [2] 申杨,龚健,叶菁,等. 基于“双评价”的永久基本农田划定研究——以黄石市为例[J]. 中国土地科学, 2021,35(7):27-36.
SHEN Yang, GONG Jian, YE Jing, et al. Study on permanent basic farmland demarcation based on “Double Evaluation”: a case study of Huangshi City[J]. China Land Science, 2021,35(7):27-36. (in Chinese)
- [3] 钟太洋,黄贤金,马其芳,等. 区域人均基本农田需求面积测算模型及应用——以江苏省为例[J]. 自然资源学报, 2006,21(5):717-726.
ZHONG Taiyang, HUANG Xianjin, MA Qifang, et al. Theoretical model and its application of regional per capita basic farmland area: a case study of Jiangsu Province[J]. Journal of Natural Resources, 2006,21(5):717-726. (in Chinese)
- [4] 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 CSAE, 2014,30(1):200-210. (in Chinese)
- [5] 柯新利. 关于耕地保护与利用的新思考[J]. 中国土地, 2023(9):28-31.
- [6] 杨建宇,杜贞容,杜振博,等. 基于耕地质量评价和局部空间自相关的高标准农田划定[J]. 农业机械学报, 2017,48(6):109-115.
YANG Jianyu, DU Zhenrong, DU Zhenbo, et al. Well-facilitated capital farmland assignment based on land quality evaluation

- and LISA[J]. *Translations of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017,48(6):109-115. (in Chinese)
- [7] 杨建宇,张欣,徐凡,等.基于TOPSIS和局部空间自相关的永久基本农田划定方法[J].*农业机械学报*,2018,49(4):172-180.
YANG Jianyu, ZHANG Xin, XU Fan, et al. Demarcation method of permanent prime cultivated land based on TOPSIS[J]. *Translations of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2018,49(4):172-180. (in Chinese)
- [8] 黄海潮,温良友,孔祥斌,等.中国耕地空间格局演化对耕地适宜性的影响及政策启示[J].*中国土地科学*,2021,35(2):61-70.
HUANG Haichao, WEN Liangyou, KONG Xiangbin, et al. The impact of spatial pattern evolution of cultivated land on cultivated land suitability in China and its policy implication[J]. *China Land Science*, 2021,35(2):61-70. (in Chinese)
- [9] 姜芸,王军,滕浩,等.基于TOPSIS模型的典型黑土区耕地质量评价及土壤侵蚀耦合协调分析[J].*农业工程学报*,2023,39(12):82-94.
JIANG Yun, WANG Jun, TENG Hao, et al. Coupling coordination analysis of the quality evaluation of cultivated land and soil erosion in typical black soil areas using TOPSIS method[J]. *Transactions of the CSAE*, 2023,39(12):82-94. (in Chinese)
- [10] 关小东,何建华.基于贝叶斯网络的基本农田划定方法[J].*自然资源学报*,2016,31(6):1061-1072.
GUAN Xiaodong, HE Jianhua. Prime farmland protection zoning based on Bayesian network [J]. *Journal of Natural Resources*, 2016,31(6):1061-1072. (in Chinese)
- [11] CHEN Y, YAO M, ZHAO Q, et al. Delineation of a basic farmland protection zone based on spatial connectivity and comprehensive quality evaluation: a case study of Changsha City, China[J]. *Land Use Policy*, 2021,101:105145.
- [12] 杨建新,刘静,龚健,等.不同空间聚类算法在识别优质集聚基本农田图斑中的应用及对比研究[J].*中国土地科学*,2022,36(1):107-117.
YANG Jianxin, LIU Jing, GONG Jian, et al. Application and comparison of spatial clustering algorithms in prioritizing protected plots of basic farmland[J]. *China Land Science*, 2022,36(1):107-117. (in Chinese)
- [13] 李龙,吴大放,刘艳艳.基于四象限法的城市周边永久基本农田划定研究——基于自然质量和建设稳定性[J].*中国农业资源与区划*,2020,41(5):87-97.
LI Long, WU Dafang, LIU Yanyan. Study on permanent basic farmland demarcation around the city with the four quadrant method—based on natural quality and construction stability [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2020,41(5):87-97. (in Chinese)
- [14] 王华,陈梦奇,蔡恩香,等.基于多目标粒子群优化算法的永久基本农田划定模型[J].*农业机械学报*,2021,52(8):138-146.
WANG Hua, CHEN Mengqi, CAI Enxiang, et al. Permanent basic farmland delineation model based on multi-objective particle swarm optimization algorithm[J]. *Translations of the Chinese society for Agricultural Machinery*, 2021,52(8):138-146. (in Chinese)
- [15] 吕振宇,牛灵安,郝晋珉.中国基本农田的研究综述[J].*江苏农业科学*,2017,45(20):24-27.
LÜ Zhenyu, NIU Ling'an, HAO Jinmin. A review of research on basic farmland in China[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2017,45(20):24-27. (in Chinese)
- [16] 曹丽萍,罗志军,冉凤维,等.基于耕地质量和空间集聚格局的县域基本农田划定[J].*水土保持研究*,2018,25(4):349-355.
CAO Liping, LUO Zhijun, RAN Fengwei, et al. Distribution of prime farmland based on cultivated land quality and spatial agglomeration pattern at county scale[J]. *Research on Soil and Water Conservation*, 2018,25(4):349-355. (in Chinese)
- [17] 翁睿,金晓斌,张晓琳,等.集成“适宜性-集聚性-稳定性”的永久基本农田储备区划定[J].*农业工程学报*,2022,38(2):269-278.
WENG Rui, JIN Xiaobin, ZHANG Xiaolin, et al. Delimitating permanent prime farmland reserve areas on the perspective of suitability-cluster-stability[J]. *Transactions of the CSAE*, 2022,38(2):269-278. (in Chinese)
- [18] 罗倩,张威,邵景安,等.武陵山区县域尺度永久基本农田划定优化[J].*中国农业资源与区划*,2021,42(7):48-57.
LUO Qian, ZHANG Wei, SHAO Jing'an, et al. Optimization of permanent basic farmland delineation at county scale in Wuling Mountain area [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021,42(7):48-57. (in Chinese)
- [19] 李文博.基于立地条件与地化特征的黑土区城郊耕地质量变化研究[D].长春:吉林大学,2018.
LI Wenbo. Research on the quality change of peri-urban cropland in the black soil area based on stand conditions and geochemical characteristics[D]. Changchun:Jilin University, 2018. (in Chinese)
- [20] 钱凤魁,逢然然,于洋,等.辽宁省不同地貌区耕地景观格局与耕地质量空间关联特征及作用机制[J].*中国生态农业学报(中英文)*,2023,31(1):113-124.
QIAN Fengkui, PANG Ranran, YU Yang, et al. Spatial correlation characteristics and mechanism of cultivated land landscape pattern and cultivated land quality in different geomorphic areas of Liaoning Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2023,31(1):113-124. (in Chinese)

220 – 227.

HOU Mengjing, YIN Jianpeng, GE Jing, et al. Land cover remote sensing classification method of alpine wetland region based on random forest algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(7): 220 – 227. (in Chinese)

- [27] 简海燕. 充分利用气候资源为发展袁州优质高产油茶服务[J]. 经营管理者, 2009(16): 156 – 157, 151.
JIAN Haiyan. Making full use of climate resources for the development of high-quality and high-yield *Camellia oleifera* in Yuanzhou[J]. Manager' Journal, 2009(16): 156 – 157, 151. (in Chinese)
- [28] 刘卓. 袁州区油茶产业发展对策研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2012.
LIU Zhuo. The research on the development countermeasure of *Camellia oleifera* industry in Yuanzhou District[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2012. (in Chinese)
- [29] BRUZZONE L, ROLI F. An extension of the Jeffreys – Matusita distance to multiclass cases for feature selection[J]. IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing, 1995, 33(6): 1318 – 1321.
- [30] KONONENKO I. Estimating attributes: analysis and extensions of RELIEF[C]// Proceedings of the 1994 European Conference on Machine Learning, 1994: 171 – 182.
- [31] KIRA K, RENDELL L A. The feature selection problem: traditional methods and a new algorithm[C]// AAAI, 1992: 129 – 134.
- [32] 姚新华, 金佳, 徐飞飞, 等. 太湖流域果树提取的光谱和纹理特征选择研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(10): 1596 – 1606.
YAO Xinhua, JIN Jia, XU Feifei, et al. Research on spectral and texture feature selection for fruit tree extraction in the Taihu Lake Basin[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(10): 1596 – 1606. (in Chinese)
- [33] BREIMAN L. Random forest[J]. Machine Learning, 2001, 45(1): 5 – 32.
- [34] LIN W Y, WANG F, CHENG M M, et al. CODE: coherence based decision boundaries for feature correspondence[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 40(1): 34 – 47.
- [35] 严恩萍, 棘玉, 尹显明, 等. 基于无人机影像自动检测冠层果的油茶快速估产方法[J]. 农业工程学报, 2021, 37(16): 39 – 46.
YAN Enping, JI Yu, YIN Xianming, et al. Rapid estimation of *Camellia oleifera* yield based on automatic detection of canopy fruits using UAV images[J]. Transactions of the CSAE, 2021, 37(16): 39 – 46. (in Chinese)
- [36] LECHNER M, DOSTÁLOVÁ A, HOLLAUS M, et al. Combination of Sentinel – 1 and Sentinel – 2 data for tree species classification in a central European biosphere reserve[J]. Remote Sensing, 2022, 14(11): 2687.
- [37] MOHAMMADPOUR P, VIEGAS D X, VIEGAS C. Vegetation mapping with random forest using Sentinel 2 and GLCM texture feature—a case study for Lousã Region, Portugal[J]. Remote Sensing, 2022, 14(18): 4585.
- [38] 杨振兴, 文哲, 张贵, 等. 基于 Sentinel – 2A 数据的森林覆盖变化研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(8): 53 – 62.
YANG Zhenxing, WEN Zhe, ZHANG Gui, et al. Research on forest cover change based on Sentinel – 2A data[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2020, 40(8): 53 – 62. (in Chinese)
- [39] 左继林, 温强, 王波, 等. 赣区油茶主栽良种花期调查[J]. 福建林业科技, 2023, 50(2): 116 – 122.
ZUO Jilin, WEN Qiang, WANG Bo, et al. Reliminary examination on the florescence of the main varieties of *Camellia oleifera* of Jiangxi Region[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2023, 50(2): 116 – 122. (in Chinese)

(上接第 231 页)

- [21] 李龙, 王兆林, 吴大放, 等. 基于 TOPSIS 模型的村域高标准基本农田建设时序与整治模式[J]. 水土保持研究, 2020, 27(3): 286 – 293.
LI Long, WANG Zhaolin, WU Dafang, et al. Study on timing sequence and regulation mode of high standard basic farmland construction in village based on TOPSIS model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(3): 286 – 293. (in Chinese)
- [22] 梁昌勇, 戚筱雯, 丁勇, 等. 一种基于 TOPSIS 的混合型多属性群决策方法[J]. 中国管理科学, 2012, 20(4): 109 – 117.
LIANG Changyong, QI Xiaowen, DING Yong, et al. A hybrid multi criteria group decision making with TOPSIS method[J]. Chinese Journal of Management Science, 2012, 20(4): 109 – 117. (in Chinese)
- [23] 李梦洋, 李欣腾, 陈荣清. 基于多阈值的基本农田空间连片性分析[J]. 江西科学, 2017, 35(4): 516 – 522.
LI Mengyang, LI Xinteng, CHEN Rongqing. Spatial contiguity analysis of basic farmland based on multiple thresholds[J]. Jiangxi Science, 2017, 35(4): 516 – 522. (in Chinese)
- [24] 林晋大, 多玲花, 邹自力. 城市扩张背景下景观破碎化动态演变及空间自相关分析——以南昌市为例[J]. 水土保持研究, 2022, 29(4): 362 – 369.
LIN Jinda, DUO Linghua, ZOU Zili. Dynamic evolution and spatial autocorrelation analysis of landscape fragmentation under the background of urban expansion—a case study of Nanchang City[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(4): 362 – 369. (in Chinese)
- [25] QIANWEN C, PENGHUI J, LINGYAN C, et al. Delineation of a permanent basic farmland protection area around a city centre: case study of Changzhou City, China[J]. Land Use Policy, 2017, 60: 73 – 89.