doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2025.10.060

基于多源数据和模糊聚类的高标准农田建设等级评定及其关键影响因素分析

郭梦雨[1]　陈　正[2]　汤怀志[1]　夏秋乐[1]　沐　青[2]　周　同[2]

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 农业农村部工程建设服务中心, 北京 100081)

摘要: 高标准农田建设评价对于明确高标准农田建设状况、强化高标准农田建设监管具有重要意义,但目前面临着数据来源多样、难以统一应用于评价等问题。本研究从农田基础设施建设工程、农田地力提升工程以及工程建后管理层面构建了高标准农田建设综合评定指标体系,基于多源数据和模糊聚类,提出了一套多源数据处理的方法体系,并在西南 LP 县进行了应用。结果表明:高标准农田建设等级评定多源数据通过模糊聚类将其分为定性数据、定量数据以及直观数据 3 类。其中,定性数据模糊化处理方法通常为分级打分法;定量数据模糊化处理方法包括模糊隶属函数、最小-最大标准化等方法;直观数据模糊化处理方法通常为景观指数分析后采用分级打分法。西南 LP 县 2019 年 5 标段高标准农田建设项目 80 个评定单元大多处于三等及以上水平,总体建设水平较高。单因素评定与高标准农田建设综合评定具有一定代表性。农田基础设施建设工程质量和农田地力提升工程质量在高标准农田建设综合评定中具有较为重要的影响。通过随机森林模型筛选出对综合评定结果影响较大的 5 个关键影响因素,包括排水能力、灌溉能力、耕作田块面积、道路可达性以及田块标准化程度,构成高标准农田建设综合评定最小数据集。研究结果可为探索适用于全国大尺度范围的高标准农田建设等级评定及关键影响因素分析提供方法参考。

关键词: 高标准农田; 多源数据; 模糊隶属度; 等级评定; 西南 LP 县

中图分类号: S28　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2025)10-0662-09　　**OSID**:

Evaluation of Well-facilitated Farmland Construction Grade Based on Multi-source Data and Fuzzy Clustering and Its Key Impact Factor Analysis

GUO Mengyu[1]　CHEN Zheng[2]　TANG Huaizhi[1]　XIA Qiuyue[1]　MU Qing[2]　ZHOU Tong[2]

(1. *College of Land Science and Technology*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100193, *China*
2. *Center of Engineering and Construction Service*, *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: The evaluation of well-facilitated farmland construction was significant for clarifying the construction status of well-facilitated farmland and strengthening the supervision of well-facilitated farmland construction. However, problems such as diverse data sources and difficulty in unified application to evaluation were encountered. A comprehensive evaluation index system for well-facilitated farmland construction was constructed from the aspects of farmland infrastructure construction projects, farmland fertility improvement projects, and post-construction management. Based on multi-source data and fuzzy clustering, a multi-source data processing method system was applied in Southwest LP County. The results showed that fuzzy clustering was used to divide the comprehensive evaluation of well-facilitated farmland construction data into qualitative, quantitative, and intuitive data. Among them, the fuzzy processing method of qualitative data was usually a graded scoring method; the fuzzy processing methods of quantitative data included fuzzy membership function, minimum - maximum standardization, and so on. The fuzzy processing method of intuitive data was usually the grading scoring method after landscape index analysis. Most of the 80 evaluation units of well-facilitated farmland construction projects in Southwest LP County in 2019 were found to be at the third-class or above level, and the overall

收稿日期: 2024-07-12　修回日期: 2024-10-17

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1500201)和国家自然科学基金项目(69191019)

作者简介: 郭梦雨(2001—),女,硕士生,主要从事农田建设评价研究,E-mail: guomengyu@cau.edu.cn

通信作者: 汤怀志(1984—),男,副教授,主要从事耕地健康与生态良田建设研究,E-mail: tanghz@cau.edu.cn

construction level was good. The comprehensive evaluation of single factor and well-facilitated farmland construction was shown to have certain representativeness. The quality of farmland infrastructure and fertility improvement projects was found to significantly impact the comprehensive evaluation of well-facilitated farmland construction. Five key factors affecting the comprehensive evaluation results were selected by the random forest model, including drainage capacity, irrigation capacity, cultivated field area, road accessibility, and field standardization degree, which constituted the minimum data set for the comprehensive evaluation of well-facilitated farmland construction. The research results provided a method reference for exploring the evaluation of well-facilitated farmland construction grade and key influencing factors suitable for large-scale nationwide application.

Key words: well-facilitated farmland; multi-source data; fuzzy membership degree; grade estimation; Southwest LP County

0　引言

高标准农田建设评价对于明确高标准农田建设状况、强化高标准农田建设监管具有重要意义，关系到粮食生产能力、农业抗灾减灾能力以及农业生产效率的水平状况[1-2]。2024 年中央一号文件提出，加强农业基础设施建设，“强化高标准农田建设全过程监管，确保建一块、成一块”，通过科学规划和综合治理，推进农业现代化，保障国家粮食安全和农业可持续发展。高标准农田建设工程旨在通过改善田土、优化水利设施、加强道路[3]和电网建设、推广科技和创新管理等措施[4-6]，全面提升农田的综合生产能力[7]和可持续管理水平。高标准农田建设评价是对已经完成的高标准农田建设田块进行的一种综合评价，属于后评价范畴，涉及土壤质量、水资源管理[8]、生态环境保护[9]、经济效益和社会效益等多个维度和指标，指标来源包括统计数据、遥感数据、地面观测和问卷调查等多种途径，其性质既包含定量也包含定性，涵盖物理、化学、生物和社会经济等多个方面[10]。因此，如何准确、客观地将多源数据纳入高标准农田建设评价过程中，实现建后综合效益评价是一个至关重要的问题。

随着 GB/T 33130—2016《高标准农田建设评价规范》出台，高标准农田建设评价研究日益增多，许多学者采用不同方法评估高标准农田建设的综合水平，主要包括层次分析法、模糊综合评价法[11]、物元模型[12]等。WANG 等[2]通过建立一个基于经济、社会和生态效益的熵权评价指标体系和模型评估 2013—2020 年中国高标准农田开发的水平和成效。TIAN 等[13]构建基于物元扩展模型和 TOPSIS 模型的高标准农田开发效率评价系统，旨在评估高标准农田开发项目的土壤效率、基础设施效率以及经济和社会效率，得出土壤效率的影响相对较小，道路通达率、灌溉保证率和公众满意度是对各效率影响最大的指标。WANG 等[14]研究了高标准农田建设项目区的耕地质量等级调查和评价过程，通过进行土壤样本收集、田间调查，科学评估高标准农田建设效果。SONG 等[15]探讨了基于行政村单元的高标准基本农田建设的耕地质量评价方法和建设规划，以促进决策和实施过程。王旭莲等[16]聚焦于永久基本农田图斑，运用田块划分、层次分析法以及加权求和的综合评价模型，对建设高标准农田的适宜性进行评估。陈文广等[17]在地块尺度上开展永久基本农田非粮化特征、驱动与管控研究，提出地块属性特征对于制定相应管控策略具有重要的现实意义。李少帅等[18]基于农田田块尺度，从田块规模、田块形态、农田道路、灌排设施和农田防护等方面构建了一套高标准农田建设合规性评价指标体系，并以吉林省松原市土地整治项目区为例进行试验实证。由于目前高标准农田综合评定数据的多源性和复杂性，将多源数据合理纳入高标准农田综合评定过程十分重要。目前关于高标准农田建设综合评定的研究大多聚焦在评定指标以及评定方法选择上，在田块尺度上针对多源数据纳入以及开展高标准农田建设综合评定的研究较少。

因此，本文以西南 LP 县为例，结合 GB/T 30600—2022《高标准农田建设 通则》以及实际项目工程实施清单，构建一套系统的高标准农田建设综合评定指标体系。针对高标准农田建设综合评定过程中涉及的多源数据问题，通过应用模糊逻辑等理论方法，整合分类多源数据，以实现以田块为基本单元的高标准农田建设综合评定。为区域高标准农田建设质量的客观评定提供依据，有助于优化资源配置，进一步促进农业可持续发展和粮食安全保障。

1　材料与方法

1.1　研究区概况

西南 LP 县地处 CQ 市西北部，隶属于全国高标准农田七大建设分区中的西南区。本研究以西南 LP 县 2019 年度高标准农田建设项目的 5 标段作为

研究区。根据项目竣工图等资料,项目建设内容包括土地平整工程、土壤改良工程、灌溉与排水工程、田间道路工程、农田防护与生态环境保持工程以及后期的建后管理等。其中,土地平整工程包括条田整治、撂荒地整治等;土壤改良工程增施有机肥、种植豆科植物等增加土壤肥力、消除障碍土层、改良土壤;灌溉与排水工程新建不同规格的排水沟、灌溉管道、沉砂池、闸阀井及多类型出水口等设施;田间道路工程新建和维修不同宽度的机耕道和耕作道,以及设置农机通道、涵管、交叉口、错车道及人行过沟板等设施;农田防护与生态环境保持工程新建耕地质量监测点、增加农田林网防护面积等。此外还涉及到工程建后管理层面的效益提升。研究区区位示意图见图 1。

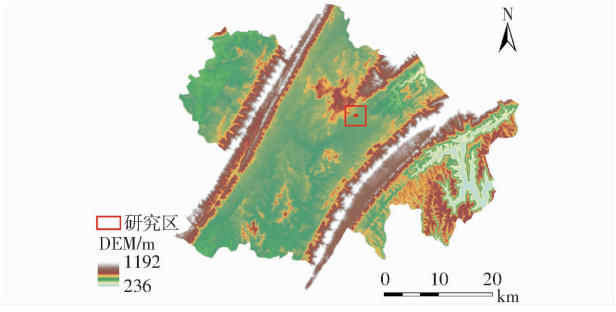


图 1 研究区区位示意图

Fig. 1 Location of study area

1.2 研究方法

1.2.1 多源数据模糊隶属度

高标准农田建设评定数据的数据来源通常包括实地测算、项目资料、遥感影像测算、实地调查、问卷调查等,获取的数据具有多源性。根据多源数据的不同来源及属性特征,将多源数据进行模糊聚类;结合多源数据模糊聚类结果及数据特点,采用模糊隶属度方法,确定多源数据的隶属度。由于多源数据来源多样,结构和性质可能差异显著,直接的、硬划分聚类方法可能无法有效捕捉数据的内在结构和模糊性。模糊聚类方法[19-20]是根据多源数据的来源及数据特点,对其进行重新归类处理,以便于对多源数据进行模糊化处理,确定模糊隶属度,其核心在于处理和分析具有不确定性和模糊性的数据,适用于多源数据的融合与分析。

1.2.2 模糊综合评价法

模糊综合评价法[21-22]是在多重因素交织作用的环境中,借助模糊数学的理论框架,对对象进行全面评定的方法。该方法通过构建评价指标体系,确定各指标隶属度,并赋予相应权重,进而对研究对象进行多层次、多标准的综合评判。其关键步骤包括权重分配以及模糊化处理。本文采用层次分析法(Analytic hierarchy process,AHP)计算指标权重,当一次性比率(CR)均远小于 0.1 时,表示通过一致性检验。将定量指标值转换为隶属度进行模糊化处理,采用加权求和法计算综合评定结果。

1.2.3 随机森林模型

随机森林[23]是一种综合决策树学习模型,具有很高的分类准确率,能够有效处理多元数据集,对异常值和噪声有很强的鲁棒性,进行数据剖析的过程中给出变量重要性评分(Variable importance measure, VIM)。结果中的变量重要性指数(Percentage increase in mean squared error, %IncMSE)是衡量每个自变量对因变量解释度的一种方法,%IncMSE 越大,表明某个指标在解释高标准农田建设综合效益方面所起的作用越大。通过使用随机森林模型,对指标重要性进行排序,以进行指标降维。

1.3 数据来源

本研究数据主要包括西南 LP 县行政区划数据、2019 年 5 标段高标准农田建设项目竣工验收数据以及 2019 年耕地质量评价指标数据。其中,西南 LP 县行政区划数据与 2019 年 5 标段高标准农田建设项目竣工验收数据均来源于西南 LP 县高标准农田建设项目资料。评定指标数据中,田面坡度指标来源于 2018 年 LP 县土地变更调查数据,海拔、有效土层厚度、障碍因素、耕层质地、土壤容重、土壤 pH 值、有机质含量、有效磷含量、速效钾含量、农田林网化率来源于《西南 LP 县 2019 年耕地质量评价报告》数据及补充化验结果,该报告的数据成果是基于项目竣工后的实地采样以及数据提取分析所形成,本文通过选取距离田块最近的数据成果确定指标数值。耕作田块面积数据通过叠加竣工图在 ArcGIS 10.7 软件中计算得出;田块标准化程度数据通过遥感影像结合景观指数分析得出,其中景观指数在 Fragstats 软件中计算得出;道路可达性数据通过判断评定单元与田间道、生产路间的紧邻关系得出;田面平整度与路面平整度数据通过 2019 年 LP 县高标准农田项目设计报告得出;灌溉能力、排水能力、水土保持情况、生物多样性维持情况、农业机械化水平、新技术应用情况、定位观测情况以及田间工程运行管护数据通过实地调研获得;土地确权登记与上图入库数据通过 2019 年 LP 县高标准农田项目竣工验收报告获得。

2 高标准农田建设综合评定指标体系构建

2.1 评定单元

评定单元是质量评定系统中的最小单元,评定

单元内的地形、土壤、气候等自然和社会经济特征相对统一。当前，评定单元选择通常局限于网格划分、耕地图斑以及行政村落 3 个维度。然而，网格化分存在土地被分割的问题，耕地图斑则分布零散，而行政村落在细致分析时往往忽视了内部不同田块的特性差异[24]。因此，在本文的高标准农田建设综合评定中，以田间灌排、道路、田坎等固定设施围成的耕地立地条件基本一致、生产措施相同的耕作田块作为评定单元，更能明显反映高标准农田建设后的影响效果。结合研究区高标准农田竣工图以及建后 2020 年 10 月的遥感影像图，将研究区划分为 80 个评定单元，见图 2。

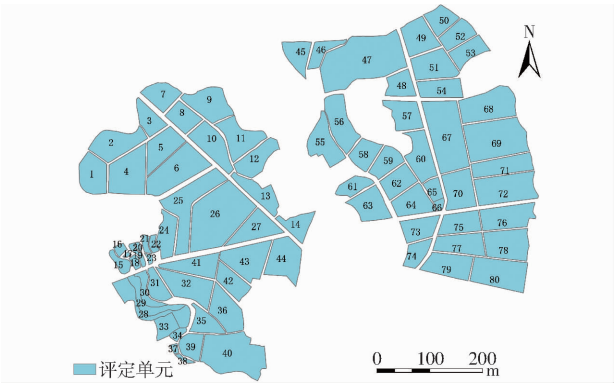


图 2　评定单元

Fig. 2　Evaluation unit

2.2　高标准农田建设评定指标体系构建

高标准农田建设综合评定指标体系应以多维度为指导[25]、与 GB/T 30600—2022《高标准农田建设通则》以及实际项目工程实施清单相结合，在重点考虑工程建设对高标准农田建设成效影响的同时，也关注项目建设后的管理层面对整体效果的影响。农田基础设施建设工程评定指标体系根据高标准农田基础设施建设工程类别确定指标，包括田块整治工程、灌溉与排水工程、田间道路工程以及农田防护与生态环境保护工程。农田地力提升工程评定指标体系反映高标准农田建设对耕地质量的影响，包含土壤改良工程、土壤培肥工程以及障碍土层消除工程。工程建后管理评定指标体系以反映项目完成后的管理情况为目标，分为土地权属确认与地类变更、耕地质量评价监测与信息化管理、建后管护以及农业科技配套与应用 4 个层面。立足于高标准农田建设项目的全过程视角，通过结合 GB/T 33469—2016《耕地质量等级》及文献查阅、专家咨询、实地调研等[26-27]方法，从各类工程和管理方式等多个角度开展指标遴选，构建一套系统的评定指标体系。

从目标层、准则层、因子层以及指标层构建评定指标体系，结合 GB/T 33469—2016《耕地质量等级》从农田基础设施建设工程建设、农田地力提升工程建设、工程建后管理 3 个层面制定指标，评定指标共 26 个。农田基础设施建设工程评定是指高标准农田建设过程中的田、水、路、林 4 方面基础设施工程的建设情况；农田地力提升工程建设评定是指高标准农田建设后，通过地力提升等工程，对耕地质量的改善情况；工程建后管理评定是对高标准农田建设项目完成后的管理效果进行评估。具体评定指标见表 1。

表 1　高标准农田建设综合评定指标体系

Tab. 1　Well-facilitated farmland construction comprehensive evaluation index system

目标层	准则层	因子层	指标层
高标准农田建设综合评定	农田基础设施建设工程	田块整治工程	耕作田块面积、田块标准化程度、田面平整度、海拔、田面坡度
		灌溉与排水工程	灌溉能力、排水能力
		田间道路工程	道路可达性、路面平整度
		农田防护与生态环境保护工程	农田林网化率、水土保持情况、生物多样性维持情况
	农田地力提升工程	障碍土层消除工程	有效土层厚度、障碍因素、耕层质地、土壤容重
		土壤改良工程	土壤 pH 值
		土壤培肥工程	有机质含量、有效磷含量、速效钾含量
	工程建后管理	农业科技配套与应用	农业机械化水平、新技术应用情况、定位观测情况
		土地权属确认与地类变更	土地确权登记
		耕地质量评价监测与信息化管理	上图入库
		建后管护	田间工程运行管护

3　结果分析

3.1　多源数据模糊处理结果

将多源数据模糊聚类分为定性数据、定量数据以及直观数据 3 类，其中定性数据包括实测数据、项目资料数据、遥感影像测算数据、实地调查数据、实地访问与直观感受数据以及问卷调查数据；定量数据包括实测数据以及遥感影像测算数据；直观数据包括遥感影像测算数据。根据数据所属的不同类别，结合模糊聚类结果及数据特点，对数据进行模糊化处理，得出各指标数据的模糊隶属度。其技术路线见图 3。

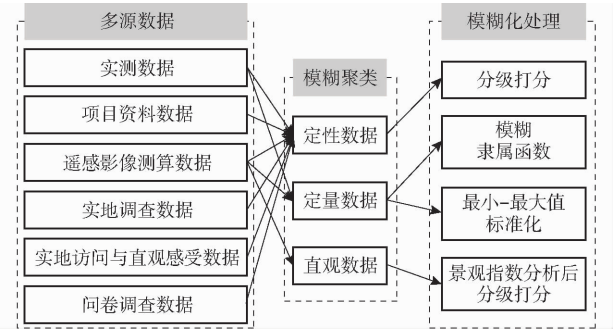


图 3 高标准农田建设评定多源数据处理技术路线

Fig. 3 Well-facilitated farmland construction evaluation multi-source data processing technology roadmap

定性数据常通过分级打分法确定指标隶属度。实测数据中,耕层质地属于定性数据,将耕层质地按照砂土、砂壤、轻壤、中壤、重壤、黏土划分为 6 个等级进行分级打分;障碍因素属于定性数据,将其分为“有”、“无”2 个等级进行分级打分;田面坡度属于定量数据,但在评定过程中,常将田面坡度划分为≤2°、2°~6°、6°~15°、15°~25°、≥25°共 5 个等级并进行分级打分。项目资料数据中,田面平整度、路面平整度以及农田林网化率属于定性数据,通过将文本描述进行分级打分计算隶属度。遥感影像测算数据中,道路可达性数据属于定性数据,通过遥感影像结合项目竣工图,将紧邻生产路的田块规定为“非常满意”、只紧邻田间道的田块规定为“满意”,进行分级打分计算隶属度。实地调查数据中,土地确权登记、上图入库、田间工程运行管护均为定性数据,通过分级打分的方式,确定指标隶属度。实地访问与直观感受数据中,水土保持情况、生物多样性维持情况属于定性数据,通过对实地进行考察获取的数据进行分级打分确定隶属度。问卷调查数据中,灌溉能力、排水能力[28]、农业机械化水平、新技术应用情况、定位观测情况属于定性数据,通过分级打分计算隶属度。

定量数据通过模糊隶属函数和最小-最大标准化(Min-max scaling)处理确定指标隶属度。实测数据中的定量数据通过模糊隶属函数确定指标隶属度。其中,有效土层厚度、有机质含量、速效钾含量均是非线性变化,且越大越好,最终趋近于平缓,为戒上型函数;土壤容重、土壤 pH 值、有效磷含量均是非线性变化,且存在一个最佳中间值,越大或越小均不佳,为峰型函数;海拔是线性变化,且越高越差,为负直线型函数;根据各指标隶属函数,确定指标隶属度。对于实地不易观测的指标数据,采用遥感影像的方式进行获取计算,耕作田块面积为定量指标,对其进行最小-最大标准化处理确定隶属度。

直观数据常通过景观指数分析后分级打分确定指标隶属度。田块标准化程度通过遥感影像结合景观指数分析,将建设前后的田块破碎情况进行对比,并通过提取典型田块形状,进行等级区分,以此通过更加直观的方式简化高标准农田建设评定。将田块形状规整,接近长方形或梯形,边界清晰的田块定义为“好”;将田块形状较为规整,接近其他四边形,边界基本清晰的田块定义为“中”;将田块形状较不规则,为三角形或不规则多边形,边界不清晰的田块定义为“差”。

综上,本研究将高标准农田建设综合评定常用的多源数据分为定量数据、定性数据以及直观数据 3 类,定量数据采用模糊隶属函数法以及最小-最大标准化进行数据处理,定性数据采用分级打分进行数据处理,直观数据采用景观指数法分析后进行分级打分处理,进而实现多源数据纳入高标准农田建设综合评定过程中。

3.2 高标准农田建设等级评定结果

3.2.1 综合评定结果

高标准农田建设综合得分为 69.48~84.93 分(满分为 100 分),总体处于中上等水平。其中,评定单元 67 得分最高,评定单元 16 得分最低。采用自然断点法划分高标准农田建设综合评定结果等级,将 80.64~100 分划分为一等,78.13~80.64 分划分为二等,75.61~78.13 分划分为三等,72.95~75.61 分划分为四等,0~72.95 分划分为五等。其中,一等最好,五等最差。从整体评定结果来看,高标准农田建设综合评定结果较好,大多处于三等以上水平。其中,一等评定单元数量为 7 个,约占总评定单元数量的 8.75%;二等评定单元数量为 9 个,占比约 11.25%;三等评定单元数量为 35 个,占比约 43.75%;四等评定单元数量为 19 个,占比约 23.75%;五等评定单元数量为 10 个,占比约 12.50%,具体见图 4。

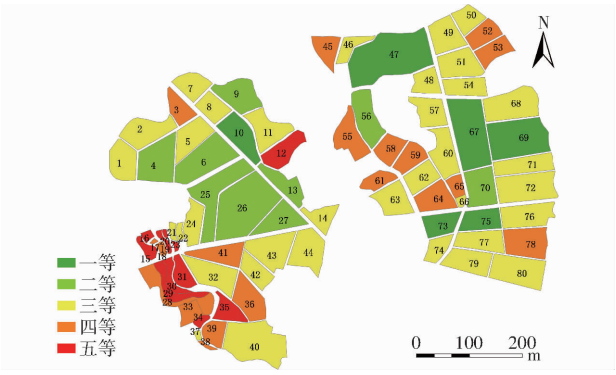
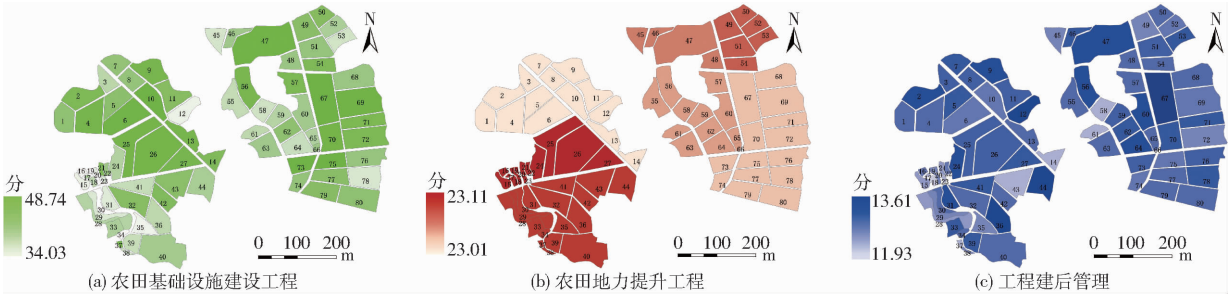


图 4 西南 LP 县高标准农田建设综合评定结果

Fig. 4 Comprehensive evaluation results of well-facilitated farmland construction in Southwest LP County

3.2.2　单因素评定结果

在高标准农田建设综合评定过程中，通过层次分析法确定准则层权重，结果表明 CR 远小于 0.1，通过一致性检验。其中农田基础设施建设工程权重为 0.539 0，单因素总分为 53.90 分；农田地力提升工程权重为 0.297 2，单因素总分为 29.72 分；工程建后管理权重为 0.163 8，单因素总分为 16.38 分。单因素评定结果表明，农田基础设施建设工程各评价单元评定结果得分为 34.03 ~ 48.74 分，评定单元 75 得分最高，评定单元 19 得分最低（图 5a）。农田基础设施建设工程各评价单元得分总体存在一定差异，得分较高的评定单元主要分布在该项目西北部、东部以及北部部分区域，得分较低的评定单元主要分布在该项目西南部。农田地力提升工程评定结果得分为 23.01 ~ 23.11 分，评定单元 15 ~ 27 得分最高，评定单元 1 ~ 14 得分最低（图 5b）。农田地力提升工程各评价单元得分总体差异较小，但存在明显的区域性，得分较高的评定单元主要分布在该项目西南部，得分较低的评定单元主要分布在该项目西北部。工程建后管理各评价单元得分为 11.93 ~ 13.61 分，评定单元 67 得分最高，评定单元 18 得分最低（图 5c）。工程建后管理得分较为均匀，区域差异不显著。总体而言，农田基础设施建设工程的建设情况在较大程度上造成了高标准农田建设成效的差异，且农田基础设施建设工程评定结果与综合评定结果最为接近。



(a) 农田基础设施建设工程　(b) 农田地力提升工程　(c) 工程建后管理

图 5　西南 LP 县高标准农田建设单因素评定结果

Fig. 5　Single factor evaluation results of well-facilitated farmland construction in Southwest LP County

3.2.3　因素交互结果

高标准农田建设以工程为核心，通过农田基础设施建设工程质量和农田地力提升工程建设质量双变量分析可以得出（图 6），评定单元 4、6、9、13、25、26、27 农田基础设施建设工程质量和农田地力提升工程建设质量均位于较高水平，而评定单元 29 ~ 31、35、36、39、41 农田基础设施建设工程质量和农田地力提升工程建设质量均同时处于较低水平。评定单元 15 ~ 21、23、24、28、33、38 农田基础设施建设工程质量较差而农田地力提升工程质量较好，评定单元 47、56、67、69、70、73、75 农田基础设施建设工程质量较好而农田地力提升工程质量较差。通过双变量结果分析结合高标准农田建设综合评定结果可以得出，农田基础设施建设工程质量和农田地力提升工程质量均处于较高水平时，其综合评定结果也处于较高水平；农田基础设施建设工程质量和农田地力提升工程质量均处于较低水平时，其综合评定结果大多也处于较低水平；农田基础设施建设工程质量对综合评定结果影响较大。结果表明，农田基础设施建设工程质量和农田地力提升工程质量在高标准农田建设综合评定中具有较为重要的影响，在开展高标准农田建设效益综合评定时，应注意纳入工程建设指标。通过双变量分析，验证了高标准农田建设工程是提升高标准农田建后效益的核心影响因素，对于耕地条件自身较差、不易改善等区域，通过高标准农田建设工程可以在建设后期达到较好水平。

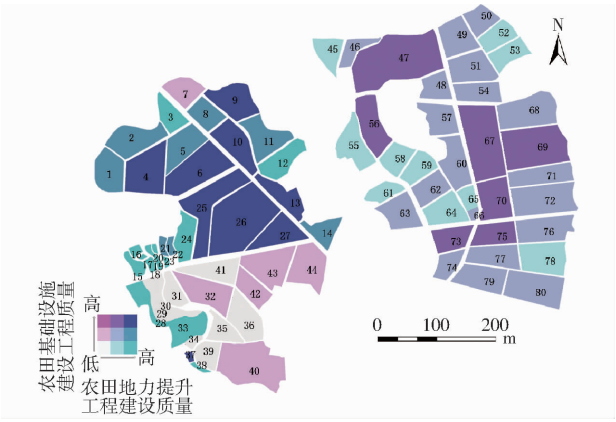


图 6　西南 LP 县高标准农田建设双变量评定结果

Fig. 6　Bivariate evaluation result of well-facilitated farmland construction in Southwest LP County

4　讨论

4.1　关键影响因素分析

通过随机森林模型计算% IncMSE，衡量每个自变量对因变量的解释度。结果表明，田面平整度、田面坡度、路面平整度、障碍因素、耕层质地、土壤容重、土壤 pH 值、土地确权登记、上图入库以及田间工程运行管护 10 个指标% IncMSE 为 0，新技术应用

情况、定位观测情况% IncMSE 为负值,表明这 12 个指标与高标准农田建设综合效益相关性很低,对高标准农田建设综合效益预测几乎没有贡献,可能引入噪声或不相关信息。因此,排除上述指标后,对其余的 14 个指标进行重要性排序(图 7),筛选出% IncMSE最大的 5 个指标构建最小数据集。

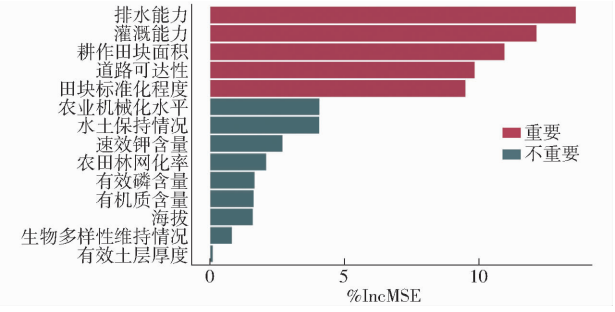


图 7 指标重要性排序

Fig. 7 Index importance ranking diagram

通过指标重要性排序,筛选出对综合评定结果影响较大的 5 个关键影响因素,包括排水能力、灌溉能力、耕作田块面积、道路可达性以及田块标准化程度,构成高标准农田建设综合评定最小数据集。

4.2 多源数据处理方法合理性分析

在高标准农田建设的综合评定过程中,常面临评定要素多样性、评定对象多层级性、评定影响因素模糊性以及定性指标难以量化的难题,难以用绝对的“非此即彼”来准确地描述客观现实,经常存在“亦此亦彼”的模糊现象。模糊综合评价能实现定性与定量因素的有效整合,增加评估过程中的信息量,有助于提升评定的精确度和可靠性。本研究利用模糊隶属度方法对多源数据进行归一整合,并将其应用于高标准农田建设综合评定。体现了模糊逻辑在处理不确定性和模糊信息方面的优势,也展示了其在农业领域特别是高标准农田评定中的实际应用价值。BELLMAN 等[29]于 1970 年首次提出的模糊集合理论为处理不确定性信息提供了强有力的理论基础,并提出了模糊最大最小法。ATANASSOV[30]首先对模糊集理论进行了拓展,提出直觉模糊理论;XU[31]将算术加权平均算子和有序加权算术平均算子推广到直觉模糊研究领域,提出了直觉模糊加权平均(Intuitionistic fuzzy weighted averaging,IFWA)算子、直觉模糊有序加权平均(Intuitionistic fuzzy ordered weighted averaging,IFOWA)算子和直觉模糊混合平均(Intuitionistic fuzzy hybrid averaging,IFHA)算子。从研究内容上看,不管是基于传统模糊集理论的集成算子研究,还是其扩展研究,都已经比较成熟。

在此理论指导下,通过模糊隶属度方法有效整合了来源多样的数据。该方法的应用,与 AHAMED 等[32]在使用模糊隶属度分类确认分配像素有明显相似性,都显示出模糊逻辑在评价模型方面的应用潜力。本研究的数据整合方法与毛俊华[33]智慧医院多源异构数据整合系统中使用模糊逻辑整合多源数据的研究理论基础相近。然而,本研究在数据模糊处理和隶属度函数的选取上进行了简化创新,提高了数据整合效率。同时本研究通过引入更为复杂的数据来源和多维度评定指标,进一步丰富了评定内容。

4.3 单因素评定结果和综合评定结果关系

西南 LP 县高标准农田建设综合评定结果整体较好,大体呈“东高西低”趋势,主要受地形的影响较大。在丘陵山地地区,因地面不平坦、存在一定高差等因素,导致高标准农田建后田块较为细碎、形状较为不规则,影响整体建后效果。本次评定对农田基础设施建设工程、农田地力提升工程以及工程建后管理 3 个单因素大致以 5∶3∶2的重要性赋予评定,从农田基础设施建设工程评定结果来看,其评定结果也大体呈现“东高西低”趋势,整体情况与综合评定结果相近,均为在丘陵山地地区评定结果较差。从农田地力提升工程评定结果来看,其评定结果存在明显区域性,在丘陵山地地区评定结果较好。从工程建后管理评定结果来看,其评定结果较为均匀,区域差异不显著。

因此,单因素评定结果与综合评定结果整体较为相近,农田地力提升工程也进一步提高了评定单元的综合结果,表明单因素与高标准农田建设综合评定具有一定的代表性。这种趋势进一步说明了指标选择的完整性以及方法选择的可靠性。模糊综合评价模型在整合不同因素时是有效的,能适当反映各个单因素变化对总体评定结果的影响,可使用单因素作为快速判断或预测高标准农田建设质量的依据,从而为决策提供支持。由于数据限制,本研究仅在西南 LP 县验证了等级评定方法体系的合理性,具有一定的区域局限性,后续应进一步加强数据获取途径,扩大研究尺度,进一步从全国大尺度范围验证方法的有效性与普适性。

5 结论

(1)构建了高标准农田建设综合评定指标体系,针对高标准农田建设综合评定过程中涉及的多源数据问题,提出了适用于高标准农田建设综合评定的方法,并在西南 LP 县进行了验证,可为后续高标准农田建设评定实施提供依据。

(2)高标准农田建设综合评定多源数据一般包

括实测数据、项目资料数据、遥感影像数据、实地调查数据、实地访问与直观感受数据以及问卷调查数据 6 种，通过模糊聚类将其分为定性数据、定量数据以及直观数据 3 类。其中，定性数据模糊化处理方法通常为分级打分法；定量数据模糊化处理方法包括模糊隶属函数、最小-最大标准化等方法；直观数据模糊化处理方法通常为景观指数分析后采用分级打分法。

(3)结合案例分析，验证了多源数据处理方法在高标准农田建设综合评定过程中的可操作性与简便性，可有效开展高标准农田建设综合评定。通过案例分析得出，西南 LP 县 2019 年 5 标段高标准农田建设项目 80 个评定单元大多处于三等及以上水平，总体建设水平较高。单因素与高标准农田建设综合评定具有一定的代表性。农田基础设施建设工程质量和农田地力提升工程质量在高标准农田建设综合评定中具有较为重要的影响。

(4)通过随机森林模型筛选出对综合评定结果影响较大的 5 个关键影响因素，包括排水能力、灌溉能力、耕作田块面积、道路可达性以及田块标准化程度，构成高标准农田建设综合评定最小数据集，为后续评定体系简化提供方法参考。

参 考 文 献

[1] 汤怀志，郧文聚. 新时期耕地保护需要“生态良田工程”[J]. 中国农业综合开发，2022(1)：11 - 13.

[2] WANG Y，LI G Q，WANG S W，et al. A comprehensive evaluation of the benefit of high-standard farmland development in China [J]. Sustainability，2022，14(16)：10361.

[3] 袁翠霞，赵春江，任艳敏，等. 基于 U - Net 网络的高标准农田道路识别方法[J]. 农业机械学报，2023，54(5)：163 - 169，218.
YUAN Cuixia，ZHAO Chunjiang，REN Yanmin，et al. Recognition method of high-standard farmland road based on U - Net[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculural Machinery，2023，54(5)：163 - 169，218. (in Chinese)

[4] 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-facilitied capital farmland assignment based on land quality evaluation and LISA[J]. Transactions of the Chinese Society for Agriculural Machinery，2017，48(6)：109 - 115. (in Chinese)

[5] 汤怀志，郧文聚，牛佳程. 耕地资源保护监督的科技支撑路径[J]. 中国土地，2023(1)：12 - 15.

[6] 陈正，刘瀛弢，贺德俊，等. 中国高标准农田建设现状与发展趋势[J]. 农业工程学报，2023，39(18)：234 - 241.
CHEN Zheng，LIU Yingtao，HE Dejun，et al. Current situation and development trend of well-facilitated farmland construction in China[J]. Transactions of the CSAE，2023，39(18)：234 - 241. (in Chinese)

[7] HAO S，WANG G G，YANG Y T，et al. Promoting grain production through high-standard farmland construction：evidence in China[J]. Journal of Integrative Agriculture，2024，23(1)：324 - 335.

[8] XIONG Y F，LI Y N. Study on water-saving irrigation for high standard farmland construction [J]. Academic Journal of Environment & Earth Science，2021，3(1)：1 - 5.

[9] FENG Y Q，LI X T，ZHOU X P. Evaluation of ecological benefits of high-standard farmland construction and analysis of regional differences between the east and the west-based on the study of Jintang County in Sichuan Province and Yongtai County in Fujian Province[C]// 2019 3rd International Conference on Education，Economics and Management Research (ICEEMR 2019)，2020：670 - 674.

[10] LI H Q，ZHAO Y Y，ZHENG F. The framework of an agricultural land-use decision support system based on ecological environmental constraints[J]. Science of the Total Environment，2020，717：137149.

[11] SHI W J，TAO F L，LIU J Y，et al. Has climate change driven spatio-temporal changes of cropland in northern China since the 1970s? [J]. Climatic Change，2014，124(1)：163 - 177.

[12] YANG A Z，WEI Y X，ZHANG Z X，et al. Application of fuzzy matter-element model based on entropy weight coefficient method in evaluation of comprehensive governance modes on sloping farmland[C]// 2012 IEEE Symposium on Robotics and Applications (ISRA). IEEE，2012：634 - 637.

[13] TIAN J S，JIANG Z H，GUO J C，et al. Efficiency of high-standard farmland development based on matter-element extension and TOPSIS modeling[J]. Applied Ecology & Environmental Research，2019，17(5)：11303 - 11316.

[14] WANG Z，WEI J. Study on the investigation and evaluation process of cultivated land quality grade in well-facilitated farmland construction project area[J]. Academic Journal of Science and Technology，2022，3(3)：168 - 170.

[15] SONG W，WU K，ZHAO H F，et al. Arrangement of high-standard basic farmland construction based on village-region cultivated land quality uniformity[J]. Chinese Geographical Science，2019，29：325 - 340.

[16] 王旭莲，陈梦军. 高标准农田建设的适宜性评价分析[J]. 安徽农学通报，2024，30(8)：80 - 84.
WANG Xulian，CHEN Mengjun. Analysis of suitability evaluation of high standard farmland construction [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin，2024，30(8)：80 - 84. (in Chinese)

[17] 陈文广，廖宇波，孔祥斌，等. 基于地块尺度的永久基本农田非粮化特征、驱动与管控[J]. 农业机械学报，2023，54(6)：114 - 124.

CHEN Wenguang, LIAO Yubo, KONG Xiangbin, et al. Characteristics, drivers and control of non-grain production on permanent basic farmland based on plot scale[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023, 54(6): 114 - 124. (in Chinese)

[18] 李少帅,郧文聚,曹文静,等. 基于田块尺度的高标准农田建设空间形态判别研究[J]. 农业机械学报,2018,49(7):112 - 118.
LI Shaoshuai, YUN Wenju, CAO Wenjing, et al. Spatial morphology identification of well-facilitated farmland based on patch size[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(7): 112 - 118. (in Chinese)

[19] LIU H, QIU G X, LI X J, et al. Objective evaluation of knitted yarn quality based on fuzzy kernel C-means[C]// International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering. IEEE, 2010, 2: 45 - 48.

[20] 雷宇. 基于模糊聚类分析法的东风水库除险加固效果评价方法[J]. 水利科学与寒区工程,2023,6(11):141 - 143.
LEI Yu. Evaluation method on reinforcement effect of Dongfeng reservoir based on fuzzy cluster analysis method[J]. Hydraulic Science and Cold Zone Engineering, 2023, 6(11): 141 - 143. (in Chinese)

[21] 董光龙,赵轩,刘金花,等. 基于耕地质量评价与空间集聚特征的基本农田划定研究[J]. 农业机械学报,2020,51(2):133 - 142.
DONG Guanglong, ZHAO Xuan, LIU Jinhua, et al. Prime cropland assignment based on cultivated land quality evaluation and spatial cluster pattern[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(2): 133 - 142. (in Chinese)

[22] YANG W Q, LI C. Quality evaluation of physical education in colleges and universities based on fuzzy logic[J]. Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering, 2024, 24(1): 165 - 181.

[23] 李光华,李俊清,张亮,等. 一种融合蚁群算法和随机森林的特征选择方法[J]. 计算机科学,2019,46(增刊2):212 - 215.
LI Guanghua, LI Junqing, ZHANG Liang, et al. Feature selection method based on ant colony optimization and random forest [J]. Computer Science, 2019, 46(Supp. 2): 212 - 215. (in Chinese)

[24] 汤峰,徐磊,张蓬涛,等. 县域高标准基本农田建设适宜性评价与优先区划定[J]. 农业工程学报,2019,35(21): 242 - 251.
TANG Feng, XU Lei, ZHANG Pengtao, et al. Suitability evaluation and priority area delineation of high standard basic farmland construction at county level[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(21): 242 - 251. (in Chinese)

[25] 华炯. 中国高标准农田绩效评价指标体系初探[J]. 农业经济,2024(1):113 - 114.

[26] 曾吉彬,邵景安,谢德体. 基于遥感影像的重庆高标准基本农田建设难度与时序分析[J]. 农业工程学报,2018,34(23):267 - 278.
ZENG Jibin, SHAO Jing'an, XIE Deti. Study on difficulty and time sequence of construction of high standard basic farmland in Chongqing based on remote sensing images[J]. Transactions of the CSAE, 2018, 34(23): 267 - 278. (in Chinese)

[27] 施秞超,金晓斌,韩博,等. 面向资源认知变化的耕地评价研究进展与展望[J]. 中国农业大学学报,2024,29(8): 237 - 250.
SHI Youchao, JIN Xiaobin, HAN Bo, et al. Progress and future directions in cultivated land assessment research: a focus on changes in resource cognition[J]. Journal of China Agricultural University, 2024, 29(8): 237 - 250. (in Chinese)

[28] 林建平,黄坤,邓爱珍,等. 耦合耕地综合质量和空间连通性的基本农田划定研究[J]. 农业机械学报,2024,55(7):221 - 231,251.
LIN Jianping, HUANG Kun, DENG Aizhen, et al. Basic farmland demacration coupling comprehensive quality and spatial connectivity of cultivated land[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(7): 221 - 231, 251. (in Chinese)

[29] BELLMAN R E, ZADEH L A. Decision-making in a fuzzy environment[J]. Management Science, 1970, 17(4): 141 - 164.

[30] ATANASSOV K T. Intuitionistic fuzzy sets[M]// Intuitionistic fuzzy sets: theory and applications. Heidelberg: Physica-Verlag HD, 1999: 1 - 137.

[31] XU Z S. Intuitionistic fuzzy aggregation operators[J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2007, 15(6): 1179 - 1187.

[32] AHAMED T R N, RAO K G, MURTHY J S R. GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis[J]. Agricultural Systems, 2000, 63(2): 75 - 95.

[33] 毛俊华. 基于模糊聚类的智慧医院多源异构数据整合系统[J]. 电子设计工程,2022,30(7):120 - 124.
MAO Junhua. Multi-source heterogeneous data integration system of smart hospital based on fuzzy clustering[J]. Electronic Design Engineering, 2022, 30(7): 120 - 124. (in Chinese)