

DOI: 10.11766/trxb202204070045

白雪源, 张杰, 崔振岭, 王广进, 吕玉娇, 张福锁. 中低产田评价指标与主要方法研究进展[J]. 土壤学报, 2023, 60(4): 913–924.
BAI Xueyuan, ZHANG Jie, CUI Zhenling, WANG Guangjin, LYU Yujiao, ZHANG Fusuo. Advances in the Indicator and Assessment Approaches of Medium-low Yield Fields[J]. Acta Pedologica Sinica, 2023, 60(4): 913–924.

中低产田评价指标与主要方法研究进展*

白雪源^{1, 2}, 张杰^{3, 2†}, 崔振岭^{1, 2}, 王广进^{1, 2}, 吕玉娇³, 张福锁^{1, 2}

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 中国农业大学国家农业绿色发展研究院, 北京 100193; 3. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 我国中低产田分布广泛, 产能提升潜力巨大, 提高中低产田产能对于保障粮食安全、实现联合国可持续发展目标具有重要意义。明确中低产田的质量等级、面积与空间分布, 开展中低产田评价相关研究是改造中低产田的前提和基础。本文系统梳理了中低产田评价发展历程、划分标准和主要评价方法, 在此基础上探讨了我国中低产田评价的主要不足和发展趋势。现有的中低产田概念以中低产田数量和质量评价为主, 对生态功能和可持续发展能力相关研究仍较少, 耕地指标体系与评价方法尚不统一, 中低产田的时空变化情况尚不清楚。未来中低产田评价相关研究可围绕“数量、质量和生态”三个方面注重中低产田动态变化过程和生产的可持续性, 开展多尺度中低产田评价指标体系构建、多源数据融合、创新中低产田评价方法、时空变化分析等相关研究, 实现不同尺度上的中低产田动态变化分析, 探索绿色高产高效的耕地产能提升路径, 保障粮食安全、促进可持续发展目标的实现。

关键词: 中低产田; 评价指标; 评价方法; 耕地质量

中图分类号: S159 **文献标志码:** A

Advances in the Indicator and Assessment Approaches of Medium-low Yield Fields

BAI Xueyuan^{1, 2}, ZHANG Jie^{3, 2†}, CUI Zhenling^{1, 2}, WANG Guangjin^{1, 2}, LYU Yujiao³, ZHANG Fusuo^{1, 2}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. National Academy of Agriculture Green Development, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 3. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: China's medium-low yield fields are widely distributed and have great potential for land productivity improvement. Improving the land productivity of medium-low yield fields is of great significance for ensuring food security and achieving sustainable development goals (SDGs). Assessing the quality and spatial distribution of medium-low yield fields is the prerequisite and basis for land improvement. This paper systematically reviewed the concept, evaluation indicators, and main

* 国家重点研发计划项目(2021YFD1901001)、国家自然科学基金项目(41901248)、国家留学基金委和海南大学联合资助项目(留金美[2019]13043)共同资助 Supported by the National Key Research and Development Program of China (No. 2021YFD1901001), the National Natural Science Foundation of China (No. 41901248), and the China Scholarship Council and Hainan University (No. 201913043)

† 通讯作者 Corresponding author, E-mail: jiezhang@cau.edu.cn

作者简介: 白雪源(1996—), 男, 山东济宁人, 博士研究生, 主要从事耕地产能研究。E-mail: baixy@cau.edu.cn

收稿日期: 2022-04-07; 收到修改稿日期: 2022-07-07; 网络首发日期(www.cnki.net): 2022-09-26

assessment approaches of medium-low yield fields. The main problems and development trends of the assessment of medium-low yield fields in China are also discussed. The existing concepts of medium-low yield fields focus on quantity and quality, and there are few studies on ecological indicators and sustainable development abilities. The indicators system and assessment approaches are not uniform and the temporal and spatial variation of low- and medium-yielding fields is unclear. In the future, the medium-low yield fields assessment should consider quantity, quality, and ecology indicators. The medium-low yield fields assessment should be focused on the multi-scale assessment indices system construction, multi-source data fusion, assessment methods innovation, and determining the spatial and temporal change in multi scales. It is helpful to explore ways to increase the productivity of green, high-yield, and efficient agricultural production, ensure food security and promote the realization of SDGs.

Key words: Medium-low yield fields; Indicators; Assessment approaches; Cultivated land quality

耕地是人类赖以生存和发展的基础^[1]。近年来,受全球人口不断增长和气候变化的影响,世界粮食供需矛盾日益突出^[2-3]。作为世界上人口最多的国家,中国用全球不足 10%的耕地养活了全世界 16%的人口,这与我国长期在农业领域的投入密不可分^[4-5]。《2019 年全国耕地质量等级情况公报》^[6]显示我国中低产田占耕地总面积的 68.76%,增产潜力巨大。如何进一步改造中低产田,提升中低产田产能,对于保障我国的粮食安全和实现联合国可持续发展的目标至关重要^[7-8]。

明确中低产田的质量等级、面积与空间分布情况,开展中低产田评价相关研究是中低产田改造的前提和基础。自 20 世纪 80 年代起,我国先后开展了多项全国范围中低产田面积与分布的研究,主要包括:1987—1988 年的《我国中低产田分布及粮食增产潜力研究》^[9]、1990—1994 年的全国“四低”“四荒”调查^[10-11]以及农业农村部在 2015 年和 2020 年发布的《关于全国耕地质量等级情况的公报》^[12]和《2019 年全国耕地质量等级情况公报》(图 1)^[6]等。然而,受数据来源与评价方法差异的影响,不同时期的中低产田划分标准与评价方法不一致,不同时期评价结果难以直接对比,中低产田的空间分

布及动态变化情况尚不明确^[13]。随着国家“藏粮于地、藏粮于技”战略的实施,以及中低产田改造的现实需求,中低产田的指标体系和评价方法正不断完善。建立完善的评价指标与方法体系,分析中低产田耕地质量、分布及其动态变化,对于分析其关键驱动因子、探索中国耕地产能提升的有效路径具有重要意义。本研究系统梳理了中低产田主要评价指标与评价方法的研究进展,总结当前中低产田评价的发展趋势,探索分析我国中低产田空间分布和时空变化的有效路径。

1 中低产田评价发展历程

20 世纪以来,德国、美国、加拿大、联合国等国家和组织先后提出了不同耕地地力评价方案和系统,主要包括两种方式:一是根据耕地作物产量确定耕地地力;二是根据耕地土壤性状确定耕地地力^[14]。20 世纪 80 年代以来,为了开发耕地潜在生产能力,提高粮食产量、保障粮食安全,我国先后开展了多次耕地地力与耕地质量评价工作,中低产田的概念也随之得到完善与发展(图 1)。20 世纪 80 年代至 90 年代,我国中低产田评价旨在摸清中

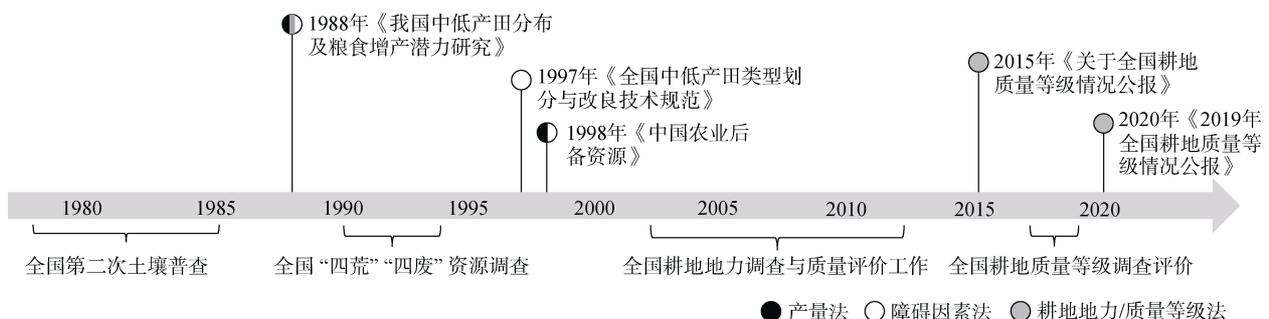


图 1 历史上农业部门中低产田评价研究与方法

Fig. 1 Research and methods for medium-low yield fields assessment carried by the agricultural department

低产田的数量，因此中低产田的定义以产量判断为主，白志礼等^[15]学者认为中低产田的前提是农作物产量低下。随后，在基本掌握我国中低产田状况的基础上，1997年发布的《全国中低产田类型划分与改良技术规范》^[16]将中低产田定义为存在各种制约农业生产的土壤障碍因素，产量相对低而不稳的耕地，主要强调障碍因素对耕地产量的影响以确定不同障碍类型中低产田的改造方法。21世纪以来，在对中低产田的评价与改造的实践过程中，中低产田的概念逐渐深入发展，与耕地地力、耕地质量、耕地产能等概念联系在一起^[6]。张佳宝等^[8]认为基础地力水平低是中低产田的重要特征。曾希柏等^[17]认为中产田与低产田的定义存在差异，影响中产田土壤肥力与作物产量的因素主要来自于耕作、施肥、管理等方面，影响低产田作物长势与产量水平的因素主要来自于耕地障碍因素。这表明我国中低产田评价研究从摸清数量向明确中低产田程度与耕地质量方向发展。目前，我国国家层面的耕地质量评价与监测主要包括农业农村部耕地质量等级调查评价和自然资源部耕地质量等别调查评价与监测^[18]。其中，农业部门从农业生产角度出发，按照耕地质量将耕地划分为高、中及低产田。此外，还有学者从增产潜力的角度提出了中低产田的概念^[19]，表明了改造中低产田、提高粮食生产能力的现实需求。近年来，

国内外学者针对耕地的生态功能和可持续生产能力开展了大量研究^[20-22]。邱文聚等^[23]认为耕地健康产能评价应考虑耕地生产能力、生产环境、自我恢复能力以及农产品品质等方面要素。张甘霖和吴华勇^[24]提出土壤生态系统在粮食安全、生态环境、气候变化和生物多样性等方面对于促进联合国可持续发展目标的实现具有重要作用。

综上所述，我国中低产田评价的目标从摸清数量向明确耕地质量等级发展，中低产田的概念也与耕地质量密切相关。但是由于出发点与面向应用的不同，目前学术界内和部门标准均存在一定差异。通过分析中低产田评价发展历程，耕地生产能力是中低产田的外在表现和主要划分依据，障碍因素是限制其耕地产能提升的主要制约，耕地地力、耕地质量是影响中低产田耕地生产能力的内在因素。随着我国农业发展的绿色转型，中低产田评价应在此基础上考虑生态因素和可持续生产能力，围绕“数量、质量和生态”三个方面开展中低产田评价（图2）。

2 中低产田划分标准

根据中低产田的不同定义，目前中低产田的划分标准主要包括产量指标、障碍因素指标和耕地质量等级指标三个方面。

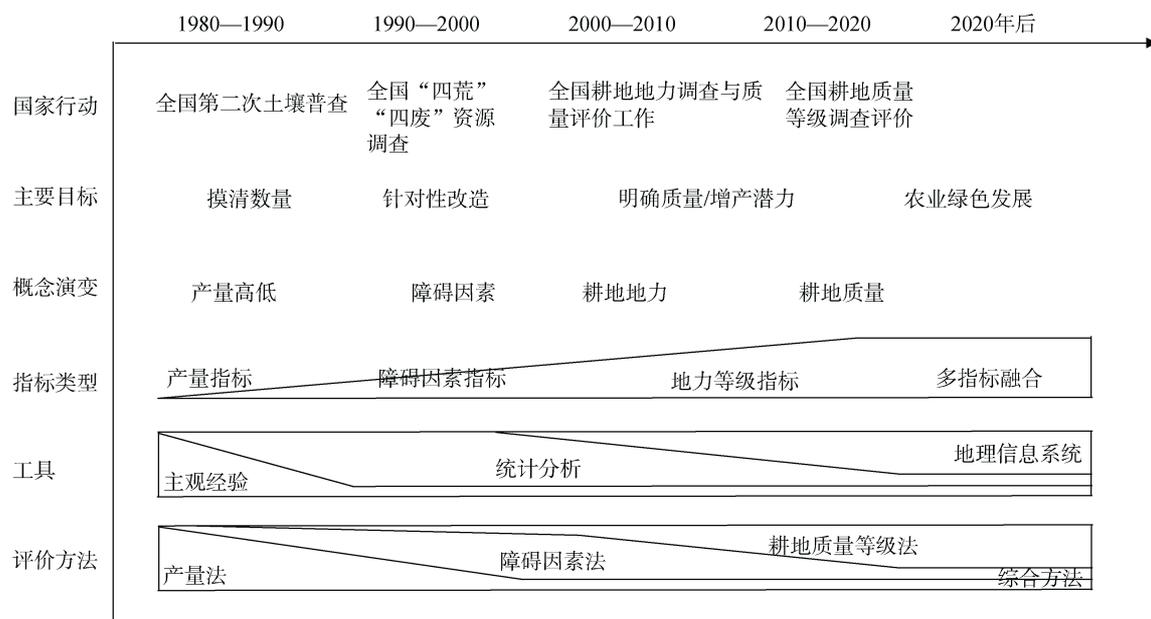


图2 中低产田评价主要目标、概念、指标和方法演变

Fig. 2 Main objectives, concepts, indicators and methods of medium-low yield fields evaluation through history

2.1 产量指标

产量指标指反映单位面积作物产量高低或生产潜力的指标,反映中低产田的生产能力。常见的产量指标包括平均产量、净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)、相对产量等^[11, 19, 25-26]。平均产量根据粮食标准统计单位面积产量计算获得,可直接反映研究区在一段时期内的粮食生产能力^[27]。NPP指单位时间内植物通过光合作用所吸收的碳扣除自身呼吸的碳损耗所剩的部分,直接影响植物干物质量的积累,反映作物产量状况^[28]。相对产量通过区域实际单产与理论单产的比值计算获得,可反映作物的相对生产能力,主要包括相对潜力和潜力产出率等^[11, 29]。产量指标可以反映耕地生产能力的高低,但易受作物栽培、农业管理、极端气候等因素影响,需考虑指标的波动情况。

2.2 障碍因素指标

障碍因素指标以影响耕地生产能力的障碍因素为主,可以直观反映中低产田的成因^[30-31]。我国耕

地的主要障碍因素包括瘠薄、酸化、盐碱、风沙、结构障碍、渍涝、侵蚀、干旱等,障碍因素的分布具有空间异质性^[16-17]。根据自然条件差异,不同地区的中低产田评价中选取的障碍因素存在一定差异,如东北地区的障碍因素主要包括渍涝、瘠薄、侵蚀、盐碱、风沙、水毁等^[32]。障碍因素指标具有明显的区域性,针对性强。但土壤障碍因素只是中低产田的影响因素之一,光温及农业管理、投入等因素同样影响耕地生产能力^[30]。

2.3 耕地质量等级指标

耕地质量等级指标主要考虑影响耕地生产能力的自然和人为因素^[18, 33]。目前常用的耕地质量等级指标主要包括立地条件、剖面性状、耕层理化性状、养分状况、土壤健康、气象条件、生产状况、土壤管理和工程措施等(表1)。指标选取主要取决于不同评价方法与区域自然条件差异,例如我国《耕地质量等级》(GB/T 33469—2016)^[34]规定了立地条件、剖面性状、耕层理化性状、养分状况、土壤

表1 耕地质量等级指标^[31, 34-43]

Table 1 Cultivated Land quality indicators

要素类型 Element types	指标 Indicators
立地条件 Site conditions	地形部位、地貌类型、田面坡度、坡向、海拔高度、成土母质、地下水埋深
剖面性状 Profile conditions	有效土层厚度、剖面构型、质地构型、障碍因素类型、障碍层深度、盐渍化程度
耕层理化性状 Physical and chemical conditions	耕层质地、土壤容重、耕层厚度、酸碱度、阳离子交换量
养分状况 Nutrient conditions	有机质、全氮、有效磷、速效钾、有效锌、水溶态硼含量
土壤健康状况 Soil health conditions	生物多样性、土壤清洁程度、土壤重金属、灌溉水环境质量、土壤蚯蚓
气象条件 Meteorological conditions	年降水量、有效积温、年均温度
生产状况 Production status	熟制、单位面积产值
土壤管理 Soil management conditions	灌溉能力、排水能力、农田林网化率
工程措施 Engineering measures	基础设施占地率、道路通达度、路网密度、田块状况、田块大小、田块集中连片度、田块性状、田块平整度、耕作距离、可否机械化耕作

健康和土壤管理 6 类共 13 个基础性指标和针对区域自然条件特征的 6 个区域补充性指标。国际上如联合国粮农组织 (FAO) 的农业生态区划模型 (Agro-Ecological Zones, AEZ) 主要考虑气象条件、土壤性状、土地利用方面的指标对耕地产能的影响^[44]。根据不同尺度评价的需求选取耕地质量等级指标, 有助于全面反映中低产田耕地质量水平。

2.4 评价指标发展趋势

我国中低产田的评价指标总体经历了产量指标、障碍因素指标到同时考虑地形、土壤、农田管理和工程投入等多方面因素的耕地地力或质量指标的过程, 这与我国耕地质量监测体系的不断完善密不可分^[45-46]。近年来, 耕地质量评价开始加入生物指标和环境指标, 如土壤动物、土壤重金属、灌溉水环境质量等, 以反映土壤健康与环境质量^[36]。在中低产田评价时应从代表性、变异性和成本等方面选取生态学指标^[47-48]。此外, 由于指标间存在复杂的相互关系, 可能存在共线性等问题, 导致计算过程复杂, 评价结果不确定性增加等问题^[22, 49]。因此, 在中低产田评价过程中应考虑不同尺度中低产田评价的主要目的、区域间自然禀赋的差异和指标本身的时空变异特征。现有的指标选取方法以德尔菲法 (Delphi) 为主, 主观性较强^[37, 39]。利用主客观结合的方法针对性地构建评价指标体系有助于快速、准确地反映中低产田的分布及程度, 服务中低产田的管理与改造。

3 中低产田评价方法

历史上, 我国开展过多次全国尺度的中低产田相关评价, 采用了不同的评价指标和方法 (图 1)。目前, 根据选取的评价指标差异, 我国中低产田的评价方法主要分为产量法、障碍因素法和耕地质量等级法三类。

3.1 产量法

产量法主要包括平均单产法^[27]、潜力产出率法^[11]和遥感方法^[25]。平均单产法以平均粮食产量作为划分依据, 简单直接, 易于计算^[50]。该方法通常以县为评价单元, 以区域粮食平均单产为参考值, 在参考值上下浮动一定比例作为中低产田划分标准^[27]。石全红等^[26]利用平均单产法分析了 1985—

2008 年全国中低产田的时空分布变化。虽然平均单产法直观反映了耕地的生产能力, 但是由于不同地区产量水平存在差异, 区域间中低产田划分标准不一致。潜力产出率法通过计算实际单产与理论单产的比值可以反映耕地现实生产能力与生产潜力的差距^[29]。其中, 林鹏生^[11]利用现实气候条件下, 在水分、土壤条件均得到满足的情况下, 种植最适宜作物可获得的耕地最大生产潜力作为理论产量计算潜力产出率, 进行了标准统一的全国尺度的中低产田评价。但是上述两种方法的计算依赖统计数据, 评价只能精确到行政区, 且易受统计偏差的影响。

遥感方法主要利用光能利用率模型进行耕地产能评价, 进而划分中低产田。该模型以遥感和气象数据为基础, 通过光合有效辐射、植被光合有效辐射吸收比例和光能利用效率计算植被 NPP, 最早应用于全球尺度碳循环的研究 (图 3)^[51]。由于 NPP 与产量的关系密切, 近年来, 许多研究应用光能利用率模型开展大尺度产量估测与产能评价, 为中低产田分布提取提供了有效方法^[52-54]。冀咏赞等^[19]利用 MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) 卫星遥感数据结合 VPM 模型 (Vegetation Photosynthesis Model) 计算得到 NPP 后, 以中国耕作制度区划为单位确定中低产田划分标准, 实现了较高分辨率的中低产田空间分布的提取。遥感方法具有空间分辨率高、时效性强的特点, 摆脱了对统计数据的依赖。产量法简单直接、数据获取方便, 可以在短时间内快速了解中低产田的整体情况^[26], 但是对土壤因素考虑较少, 评价结果易受农田管理、自然灾害的影响而不稳定^[55-56]。

3.2 障碍因素法

障碍因素法根据区域主要障碍因素类型确定中低产田评价指标, 并进一步确定障碍等级^[16]。在《全国中低产田类型划分与改良技术规范》(NY/T 310—1996) 中, 首先根据农业区土壤、气候差异, 确定区域耕地障碍类型与评价指标。根据指标值确定耕地是否存在障碍因素, 没有障碍因素或轻微障碍因素的耕地为高产田, 有一种严重障碍因素或两种以上障碍因素的耕地为低产田。现有研究主要通过实地调查和文献统计确定各障碍因素类型的中低产田的面积和分布^[30, 57]。刘时东^[30]整理前人成果, 得出东北地区的主要障碍因素类型的中低产田及其

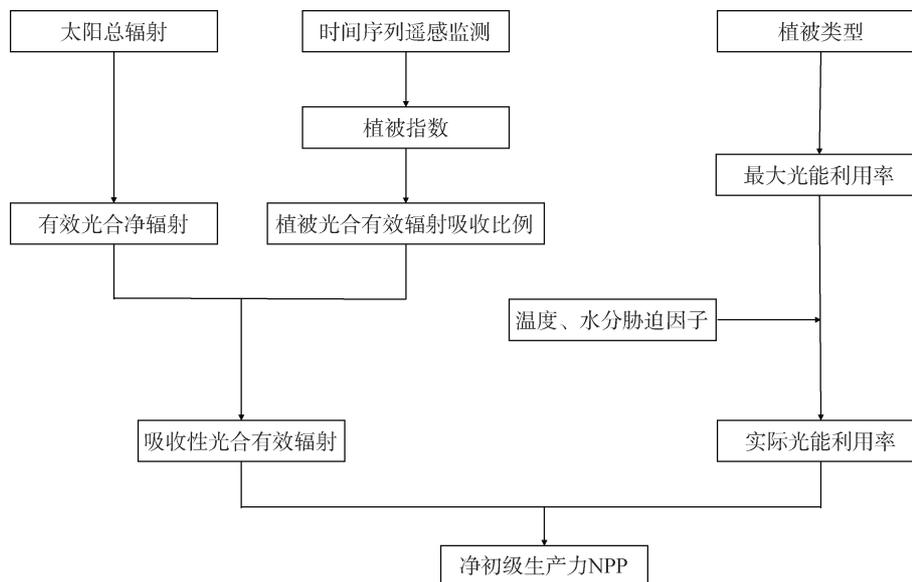


图3 光能利用率模型估测净初级生产力框架图

Fig. 3 The framework for the NPP estimation based on the light use efficiency model

空间分布情况。障碍因素法针对影响中低产田的关键问题选取评价要素，有助于针对性改良，但是仅考虑耕作障碍，对影响耕地生产的光温、管理和投入等因素考虑较少^[30, 58]。

3.3 耕地质量等级法

耕地质量等级法以耕地地力或质量评价结果为标准划分中低产田。目前我国耕地质量评价方法主要包括原农业部制定的《耕地质量等级》(GB/T 33469—2016)和原国土资源部制定的《农用地质量分等规程》(GB/T 28407—2012)^[18]。《耕地质量等级》根据区域自然禀赋、耕作制度差异，将全国划分为9个一级农业区，根据指标影响和区域差异确定区域评价指标，通过德尔菲法和层次分析法确定指标权重。然后，通过隶属度函数和隶属度将不同类型的指标数据归一化到同一维度以计算耕地质量综合得分，并将耕地划分为高、中及低产田^[34]。《农用地质量分等规程》以标准耕作制度为依据，以指定作物的光温生产潜力为基础，通过逐级订正的方法，考虑土地自然质量、土地利用水平和土地经济水平的影响，综合确定农用地质量等级，并将耕地划分为优、高、中及低等地^[59]。两种方法均以土壤要素作为主要数据基础，能较全面地反映耕地质量，但在评价目标、方法和结果上有一定差异。《耕地质量等级》方法侧重耕地生产能力，促进了中低产田的改造和可持续利用，《农用地质量分等规程》方法

侧重耕地的资源属性，促进了我国耕地资源的保护与管理^[60]。

国外常用的耕地地力评价方法还包括 AEZ 模型和土地评价与立地条件分析 (Land Evaluation and Site Assessment, LESA) 等方法。AEZ 模型是 FAO 提出的农业生产潜力评估模型，该方法通过考虑影响作物生产的光、温、水、土、投入水平等要素，采用逐级订正的方法逐步计算光合生产潜力、光温生产潜力、气候生产潜力、土地生产潜力和农业生产潜力^[35, 40]。AEZ 模型与《农用地质量分等规程》方法类似，以光温生产潜力为基础，具有层次性强的特点^[58]。LESA 模型是 19 世纪 80 年代美国农业部提出的耕地地力评价模型，主要包括土地评价 (Land Evaluation, LE) 和立地分析 (Site Assessment, SA) 两个子模型^[61-62]。其中 LE 模型主要包含剖面形状、耕层理化性状、养分性状等指标，反映耕地自然质量水平；SA 模型考虑农田管理方面指标，反映农田管理、土地整治、基础设施建设等因素对耕地的影响。LESA 模型从耕地自然质量水平和农田管理两个方面反映耕地生产能力，突出耕地质量改造工程对耕地地力的影响^[62]。目前，这些方法在已经开始应用于流域尺度中低产田评价^[41]。

3.4 中低产田评价方法对比

在不同的时间和空间尺度上，产量法、障碍因素法和耕地质量等级法表现出了一定的适用性和局

限性(表2)。根据研究目标的差异选取评价方法有助于不同时间和空间尺度的中低产田评价。此外,由于障碍因素、耕地质量和作物产量之间的相互影响和内在联系,不同评价方法的结果也表现出一定的一致性,这为不同评价方法组合,发挥各自优势提供了基础^[63-64]。近年来,随着农业信息技术的发展,

BP神经网络、支持向量机和随机森林等机器学习算法已经应用于耕地质量评价和土地适宜性分析之中,取得了较好的效果^[65-66]。综合应用不同方法及机器学习、大数据分析等新技术,有助于实现标准统一的长时间跨度的全国中低产田动态变化特征分析(图2)。

表2 中低产田评价方法优缺点

Table 2 Advantages and disadvantages of evaluation methods for the medium-low yield fields

评价方法	优点	缺点
Evaluation methods	Advantages	Disadvantages
产量法	以产量指标划分中低产田,简单直接;数据需求量	对土壤条件考虑较少;难以反映中低产田
Yield based method	相对较少,便于大尺度中低产田的划分	成因
障碍因素法	以区域关键障碍因素为对象,针对性较强	对影响耕地生产的光温、管理和投入等因素
Obstacle factors based method		考虑较少
耕地质量等级法	考虑因素多,对影响耕地生产的各方面因素考虑较	数据需求量较大;评价过程复杂且主观性强,
Cultivated land quality based method	为全面。可以根据区域特点针对性地选取评价指标	依赖专家意见;评价较为复杂,工作量大

4 中低产田评价发展趋势及建议

随着我国进入“十四五”时期,经济社会发展全面绿色转型,对于耕地质量评价与中低产田的改造和管理提出了新的要求。耕地质量评价一方面应为提高农业生产效率、促进耕地的信息化与精准化管理;另一方面应体现农业绿色发展导向,促进生态文明建设。因此,我国中低产田评价从数量、质量和生态三个方面开展,注重中低产田的生态功能和可持续生产能力,推动我国农业发展的绿色转型,建议从以下几个方面开展研究工作(图4)。

4.1 构建多尺度中低产田评价指标体系

要实现不同时间和空间尺度的中低产田评价,需针对性地构建评价指标体系。在国家和省域尺度,中低产田评价的主要目的是摸清区域中低产田的总体情况和变化趋势;在流域或县域尺度的主要目的是确定中低产田的具体分布和改造方法,科学指导下中低产田改造和高标准农田建设,促进农业绿色发展。因此,大尺度评价指标体系的构建应选取反映耕地生产能力的指标,如产量、气象条件、地形部位、土壤质地、障碍因素类型和土壤有机质含量等。小尺度评价指标体系应在大尺度的基础上突出障碍程度、土壤养分、土壤健康状况、土壤类型和土壤管理与工程措施水平的区域差异。构建多尺度评价

指标体系有助于针对性地解决不同对象的需求,实现中低产田的精准管理。

4.2 多源数据融合

随着农业大数据与信息化基础设施的不断完善和发展,数字土壤制图、遥感技术和气象模型等技术方法可以为中低产田评价提供空间数据监测。其中,遥感数据已形成了较完整的对地观测体系,可以快速、无损地实现作物长势监测、产量预测与土壤理化性质监测。通过空天地一体化的监测体系可实现全覆盖耕地动态监测^[67-68]。发挥地理信息技术的空间数据管理与分析能力,有效整合多源数据,实现评价指标数据库的构建和空间数据分析,有助于开展不同时间和空间尺度中低产田空间分布的研究。

4.3 创新中低产田评价方法

创新评价指标选取、缺失数据插补、指标权重计算、中低产田划分等方法有助于快速、准确地获取中低产田评价结果^[69-70]。其中,机器学习、深度学习等数据驱动算法可以有效处理多因素影响的耕地质量评价问题。应用机器学习、深度学习模型有助于整合不同评价方法结果、简化评价过程。如何选取有代表性的训练数据,增强模型的泛化能力,对于利用机器学习模型自动、准确地预测中低产田具有重要的意义。

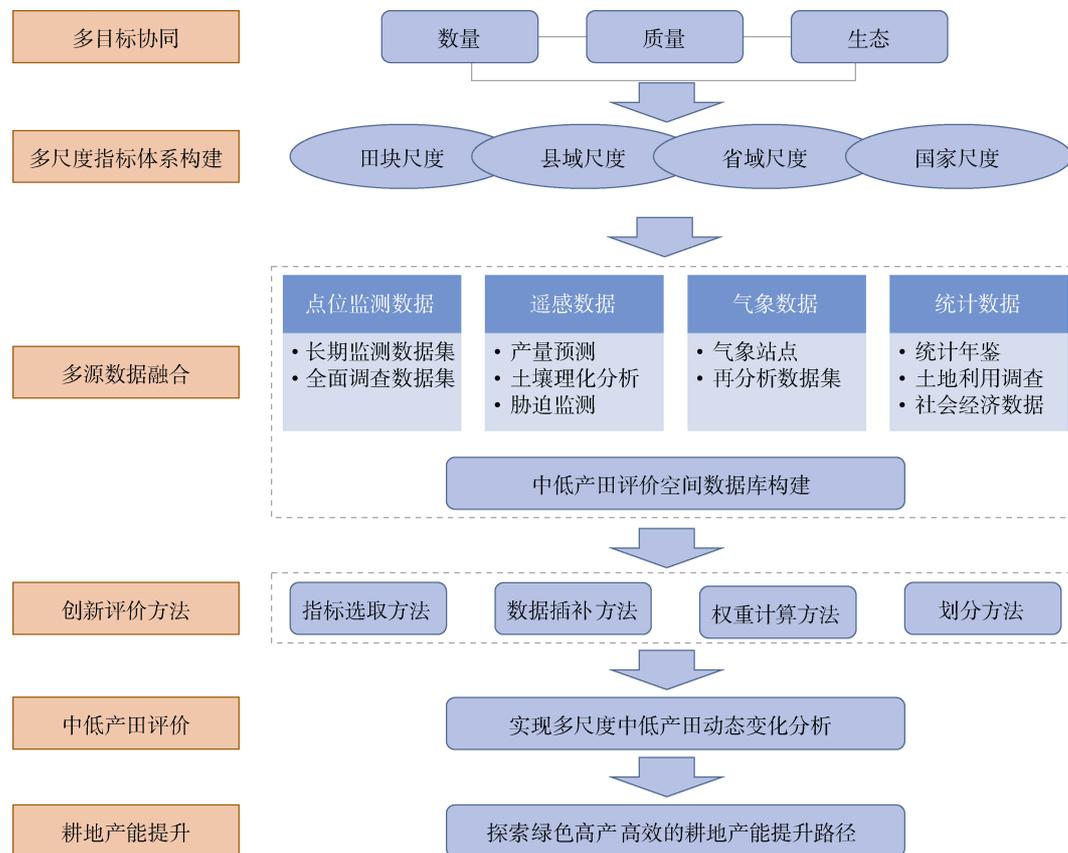


图4 面向绿色高产高效的中低产田评价体系

Fig. 4 The framework of medium-low yield fields assessment for green, high-yield and high-efficiency development

4.4 中低产田时空变化分析

为了提高农业生产能力,我国先后投入了超过8 500亿元资金,对超过6.5亿亩(1公顷=15亩)的中低产田进行了改造,我国中低产田的时空分布特征发生了巨大的变化^[13]。如何发挥不同评价方法的优势,在时间和空间的多重尺度上开展中低产田评价有助于摸清我国中低产田的时空变化特征及其驱动因素。随着国家“藏粮于地、藏粮于技”战略的实施,建立标准统一的中低产田时空分布提取方法,分析典型区域的中低产田在较长时间跨度上的时空变化趋势及其背后的驱动因子,有助于探索区域中低产田改造和耕地产能提升的有效路径。

参考文献 (References)

- [1] Zhang X D, Wu K N, Yang Q J, et al. Progress on connotation and evaluation index system of cultivated land healthy productivity[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2020, 51 (1): 245—252. [张小丹, 吴克宁, 杨淇钧, 等. 耕地健康产能内涵及评价指标体系研究进展[J]. 土壤通报, 2020, 51 (1): 245—252.]
- [2] Heino M, Puma M J, Ward P J, et al. Two-thirds of global cropland area impacted by climate oscillations[J]. Nature Communications, 2018, 9: 1257.
- [3] Lu Y L, Jenkins A, Ferrier R C, et al. Addressing China's grand challenge of achieving food security while ensuring environmental sustainability[J]. Science Advances, 2015, 1 (1): e1400039.
- [4] Zhang F S, Chen X P, Vitousek P. An experiment for the world[J]. Nature, 2013, 497 (7447): 33—35.
- [5] Yun W J. Problems and countermeasures in the development and utilization of cultivated land resource in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2015, 30 (4): 484—491. [郅文聚. 我国耕地资源开发利用的问题与整治对策[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30 (4): 484—491.]
- [6] Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Bulletin of national cultivated land quality grade in 2019[R]. Bulletin of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, 2020, 199(4): 113—121. <http://www.moa.gov.cn/nybgb/2020/202004/202005/P020200508621358445982.pdf>. [中华人民共和国农业农村部. 2019年全国耕地质量等级情况公报[R]. 中华人民共和国农业农村部公报, 2020, 199 (4): 113—121. <http://www.moa.gov.cn/>]

- nybg/2020/202004/202005/P020200508621358445982.pdf.]
- [7] Xu M G, Lu C A, Zhang W J, et al. Situation of the quality of arable land in China and improvement strategy[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2016, 37(7): 8—14. [徐明岗, 卢昌艾, 张文菊, 等. 我国耕地质量状况与提升对策[J]. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(7): 8—14.]
- [8] Zhang J B, Lin X G, Li H. A new generation of controlling technology for the medium and low-yield fields and its potential in large-area balanced grain production increase[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2011, 26(4): 375—382. [张佳宝, 林先贵, 李晖. 新一代中低产田治理技术及其在大面积均衡增产中的潜力[J]. *中国科学院院刊*, 2011, 26(4): 375—382.]
- [9] Research group on the distribution of medium-low yield field and the potential of grain production increase in China. Development and management of medium-low yield fields in China[J]. *Agricultural Regional Planning*, 1991, 12(2): 29—36. [我国中低产田分布及粮食增产潜力研究课题组. 我国中低产田的开发治理[J]. *农业区划*, 1991, 12(2): 29—36.]
- [10] Zhang Q L. Speech by comrade Zhang Qiaoling, director of the national agricultural resources regional planning office, at the national agricultural resources regional planning work conference (May 18, 1994) [J]. *Chinese Agricultural Resources and Regional Planning*, 1994, 15(4): 6—11. [张巧玲. 全国农业资源区划办公室主任张巧玲同志在全国农业资源区划工作会议上的讲话(1994年5月18日)[J]. *中国农业资源与区划*, 1994, 15(4): 6—11.]
- [11] Lin P S. Study on the distribution and possible production increasement of medium and low-yield farmland in China[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008. [林鹏生. 我国中低产田分布及增产潜力研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.]
- [12] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Bulletin of national cultivated land quality grade [R]. Bulletin of the Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2015, 136(1): 58—64. <http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/yi/201712/P020180104766007967269.pdf>. [中华人民共和国农业部. 关于全国耕地质量等级情况的公报[R]. 中华人民共和国农业部公报, 2015, 136(1): 58—64. <http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/yi/201712/P020180104766007967269.pdf>.]
- [13] Zhang F R, Zhang T Z, Li C, et al. Cultivated land of China[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2021: 164—181. [张凤荣, 张天柱, 李超, 等. 中国耕地[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2021: 164—181.]
- [14] Xie J R. Foreign land productivity evaluation methods and progress[J]. *Natural Resources*, 1992, 14(6): 69—74. [谢经荣. 国外土地生产力评价方法及其进展[J]. *自然资源*, 1992, 14(6): 69—74.]
- [15] Bai Z L, Wang Q, Sun Q M. Exploration of the classification of barrier types in medium and low-yield fields[J]. *Agricultural Regional Planning*, 1993, 14(1): 41—44. [白志礼, 王青, 孙全敏. 中低产田障碍类型划分的探讨[J]. *农业区划*, 1993, 14(1): 41—44.]
- [16] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. National type division and improvement technology for medium-low yield field: NY/T 310—1996[S]. Beijing: Standards Press of China, 1997. [中华人民共和国农业部. 全国中低产田类型划分与改良技术规范: NY/T 310—1996[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.]
- [17] Zeng X B, Zhang J B, Wei C F, et al. The status and reclamation strategy of low-yield fields in China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(4): 675—682. [曾希柏, 张佳宝, 魏朝富, 等. 中国低产田状况及改良策略[J]. *土壤学报*, 2014, 51(4): 675—682.]
- [18] Yang Q J, Wu K N, Feng Z, et al. Soil quality assessment on large spatial scales: Advancement and revelation[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2020, 57(3): 565—578. [杨淇钧, 吴克宁, 冯喆, 等. 大空间尺度土壤质量评价研究进展与启示[J]. *土壤学报*, 2020, 57(3): 565—578.]
- [19] Ji Y Z, Yan H M, Liu J Y, et al. A MODIS data derived spatial distribution of high-, medium- and low-yield cropland in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(5): 766—778. [冀咏赞, 闫慧敏, 刘纪远, 等. 基于MODIS数据的中国耕地高中低产田空间分布格局[J]. *地理学报*, 2015, 70(5): 766—778.]
- [20] Shen R F, Yan X Y, Zhang G L, et al. Status quo of and strategic thinking for the development of soil science in China in the new era[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2020, 57(5): 1051—1059. [沈仁芳, 颜晓元, 张甘霖, 等. 新时期中国土壤科学发展现状与战略思考[J]. *土壤学报*, 2020, 57(5): 1051—1059.]
- [21] Bastida F, Zsolnay A, Hernández T, et al. Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective[J]. *Geoderma*, 2008, 147(3/4): 159—171.
- [22] Bünemann E K, Bongiorno G, Bai Z G, et al. Soil quality - A critical review[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2018, 120: 105—125.
- [23] Yun W J, Liang M Y, Tang H Z. Improving the quality of arable land focuses on building healthy capacity[J]. *China Land*, 2015(3): 22—23. [鄯文聚, 梁梦茵, 汤怀志. 提升耕地质量重在健康产能建设[J]. *中国土地*, 2015(3): 22—23.]
- [24] Zhang G L, Wu H Y. From “problems” to “solutions”: Soil functions for realization of sustainable development goals[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 33(2): 124—134. [张甘霖, 吴华勇. 从问题到解决方案: 土壤与可持续发展目标的实现[J]. *中国科学院院刊*, 2018, 33(2): 124—134.]

- [25] Yan H M, Ji Y Z, Liu J Y, et al. Potential promoted productivity and spatial patterns of medium- and low-yield cropland land in China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26 (3): 259—271.
- [26] Shi Q H, Wang H, Chen F, et al. The spatial-temporal distribution characteristics and yield potential of medium-low yielded farmland in China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26 (19): 369—373. [石全红, 王宏, 陈阜, 等. 中国中低产田时空分布特征及增产潜力分析[J]. *中国农学通报*, 2010, 26 (19): 369—373.]
- [27] Pan J, Lv X J, Xiao H, et al. Spatial-temporal distribution characteristics and limiting factors of medium-low yield farmland in Tianjin[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30 (32): 178—183. [潘洁, 吕雄杰, 肖辉, 等. 天津市中低产田时空分布与限制因素研究[J]. *中国农学通报*, 2014, 30 (32): 178—183.]
- [28] Wang H B, Wang W J, Shang L J. Spatial and temporal pattern of cultivated land productivity in Shandong Province from 2000 to 2015[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2020, 25 (3): 128—138. [王赫彬, 王文娟, 商令杰. 2000—2015年山东省耕地产能的时空格局[J]. *中国农业大学学报*, 2020, 25 (3): 128—138.]
- [29] Zhang X L, Xu B G, Fan L Y, et al. Probing into the methodology for classifying causes types of medium-low yield farmland[J]. *Resources Science*, 1999, 21 (4): 35—38. [张晓玲, 徐保根, 樊兰瑛, 等. 中低产田成因类型划分方法的研究[J]. *资源科学*, 1999, 21 (4): 35—38.]
- [30] Liu S D. Study on integrated governance model of medium-low yielded farmland in northeast[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014. [刘时东. 东北地区中低产田综合治理模式研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.]
- [31] Sun Y F, Pei J B, Zhang L J, et al. Assessment of cultivated land quality and obstacle factors zoning of brown earth: A case study of Liaoning Province[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38 (11): 130—137, 144. [孙妍芳, 裴久渤, 张立江, 等. 辽宁棕壤耕地质量评价及障碍因素类型分区研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2017, 38 (11): 130—137, 144.]
- [32] Liu X T, Tong L J, Wu Z J, et al. Analysis and prediction of grain production potential in northeast region[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1998, 18 (6): 501—509. [刘兴土, 佟连军, 武志杰, 等. 东北地区粮食生产潜力的分析与预测[J]. *地理科学*, 1998, 18 (6): 501—509.]
- [33] Yan Y F, Liu J L, Zhang J B. Evaluation method and model analysis for productivity of cultivated land[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30 (5): 204—210. [闫一凡, 刘建立, 张佳宝. 耕地地力评价方法及模型分析[J]. *农业工程学报*, 2014, 30 (5): 204—210.]
- [34] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Cultivated land quality grade: GB/T 33469—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. [国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 耕地质量等级: GB/T 33469—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.]
- [35] Jiang Q O. The estimation of agricultural productivity based on the AEZ model and response to the cultivated land changes[D]. Changsha: Central South University, 2008. [姜群鸥. 基于 AEZ 模型的中国农业生产力的估算及其对耕地利用变化的响应[D]. 长沙: 中南大学, 2008.]
- [36] Chen W G, Kong X B, Liao Y B, et al. Evaluation of cultivated land quality in the Loess Plateau—A case study of Yanchuan County, Shaanxi Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, 28 (2): 375—381. [陈文广, 孔祥斌, 廖宇波, 等. 黄土高原区耕地质量评价——以陕西省延川县为例[J]. *水土保持研究*, 2021, 28 (2): 375—381.]
- [37] Jiang J, Dong B, Zhang R Z. Evaluation of cultivated land fertility in Zhouqu County[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30 (36): 188—192. [江晶, 董博, 张仁陟. 舟曲县耕地地力评价研究[J]. *中国农学通报*, 2014, 30 (36): 188—192.]
- [38] Liang J M, Chen H Y, Chen G X, et al. Evaluation of the farmland productivity in Pearl River Delta plain based on GIS: A case study of Zhongshan, Guangdong[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35 (31): 43—49. [梁金明, 陈华毅, 陈桂贤, 等. 基于 GIS 的珠三角平原耕地地力评价——以广东中山市为例[J]. *中国农学通报*, 2019, 35 (31): 43—49.]
- [39] Mao X, Meng Y S, Zhang D H, et al. Evaluation of cultivated land capacity in the Yangtze River Basin in Anhui Province based on GIS[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40 (7): 110—118, 125. [毛雪, 孟源思, 张东红, 等. 基于 GIS 的皖江流域耕地地力评价研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40 (7): 110—118, 125.]
- [40] Pan P P, Wang X X, Yang G S, et al. Research on temporal and spatial variation of cultivated land quality in the region with rapid development[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2015, 31 (4): 65—70. [潘佩佩, 王晓旭, 杨桂山, 等. 经济快速发展地区耕地质量时空变化格局研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2015, 31 (4): 65—70.]
- [41] Yang H, Zhao Y H, Wang D, et al. Characteristics of spatial distribution of cultivated land grade in Shaanxi Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*,

- 2020, 27(3): 271—276. [杨慧, 赵永华, 王达, 等. 陕西省耕地等别空间特征[J]. 水土保持研究, 2020, 27(3): 271—276.]
- [42] Zhang L J, Wang J K, Pei J B, et al. Evaluation of cultivated land fertility and its obstacle factors diagnosis in the typical black soil area of northeast China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(1): 110—117. [张立江, 汪景宽, 裴久渤, 等. 东北典型黑土区耕地地力评价与障碍因素诊断[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(1): 110—117.]
- [43] Zhang Y, Zhao G X, Wang Z R, et al. Fertility evaluation and characteristics analysis of brown soil cultivated land in Shandong Province[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2018, 35(4): 359—366. [张颖, 赵庚星, 王卓然, 等. 山东棕壤耕地地力评价及其特征分析[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(4): 359—366.]
- [44] Zhong D W, Zhang L Y, Deng C X, et al. Evaluation of cultivated land fertility of Jinsha River basin based on GIS—Taking Yunnan Province of Suijiang County as an example[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2016, 37(1): 9—16. [钟德卫, 张连英, 邓长香, 等. 基于 GIS 的金沙江流域耕地地力评价——以云南省绥江县为例[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(1): 9—16.]
- [45] Zheng M L, Ding S W, Li Z J, et al. Research progress of cultivated land quality monitoring and evaluation[J]. The Administration and Technique of Environmental Monitoring, 2021, 33(3): 9—14. [郑梦蕾, 丁世伟, 李子杰, 等. 耕地质量监测与评价研究进展[J]. 环境监测管理与技术, 2021, 33(3): 9—14.]
- [46] Sun J L, Li D H, Xu S W, et al. Development strategy of agricultural big data and information infrastructure[J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(4): 10—18. [孙九林, 李灯华, 许世卫, 等. 农业大数据与信息化基础设施发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(4): 10—18.]
- [47] Zhu Y G, Peng J J, Wei Z, et al. Linking the soil microbiome to soil health[J]. Scientia Sinica: Vitae, 2021, 51(1): 1—11. [朱永官, 彭静静, 韦中, 等. 土壤微生物组与土壤健康[J]. 中国科学: 生命科学, 2021, 51(1): 1—11.]
- [48] Zhang J Z, Li Y Z, Li Y, et al. Advances in the indicator system and evaluation approaches of soil health[J]. Acta Pedologica Sinica, 2022, 59(3): 603—616. [张江周, 李奕赞, 李颖, 等. 土壤健康指标体系与评价方法研究进展[J]. 土壤学报, 2022, 59(3): 603—616.]
- [49] Hassani A, Azapagic A, Shokri N. Predicting long-term dynamics of soil salinity and sodicity on a global scale[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2020, 117(52): 33017—33027.
- [50] Bi Y Y. Evaluation of several major methods for classifying medium and low-yield fields[J]. Agricultural Regional Planning, 1993, 14(1): 57—60. [毕于运. 关于中低产田几种主要划分方法的评价[J]. 农业区划, 1993, 14(1): 57—60.]
- [51] Potter C S, Randerson J T, Field C B, et al. Terrestrial ecosystem production: A process model based on global satellite and surface data[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1993, 7(4): 811—841.
- [52] Li X Y, Liu L J, Xie J B, et al. Optimizing the quantity and spatial patterns of farmland shelter forests increases cotton productivity in arid lands[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2020, 292: 106832.
- [53] Wang Y L, Xu X G, Huang L S, et al. An improved CASA model for estimating winter wheat yield from remote sensing images[J]. Remote Sensing, 2019, 11(9): 1088.
- [54] Wu X Y, Jin X B, Han B, et al. Characteristics of cultivated land productivity change and potential during 2001—2017 in Sichuan Province, China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(3): 238—249. [吴心怡, 金晓斌, 韩博, 等. 2001—2017 年四川省耕地产能变化与潜力特征分析[J]. 农业工程学报, 2021, 37(3): 238—249.]
- [55] Li S, Lei Y D, Zhang Y Y, et al. Rational trade-offs between yield increase and fertilizer inputs are essential for sustainable intensification: A case study in wheat-maize cropping systems in China. Science of the Total Environment, 2019, 679, 328—336.
- [56] Jian Y W, Fu J, Zhou F. A review of studies on the impacts of extreme precipitation on rice yields[J]. Progress in Geography, 2021, 40(10): 1746—1760. [菅艺伟, 付瑾, 周丰. 极端降水对水稻产量的影响研究综述[J]. 地理科学进展, 2021, 40(10): 1746—1760.]
- [57] Wang Y. Reasonable transformation of medium and low-yielding fields to improve the sustainable production capacity of arable land[J]. Agricultural Economy, 1999(6): 19—20. [王毅. 合理改造中低产田提高耕地持续生产能力[J]. 农业经济, 1999(6): 19—20.]
- [58] Zhao Y F, Cheng D Q, Chen J, et al. Problems and analytical logic in building cultivated land productivity evaluation index system[J]. Acta Pedologica Sinica, 2015, 52(6): 1197—1208. [赵彦锋, 程道全, 陈杰, 等. 耕地地力评价指标体系构建中的问题与分析逻辑[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1197—1208.]
- [59] Wang Q B. Land resource science[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2011. [王秋兵. 土地资源学[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2011.]
- [60] Wen L Y, Kong X B, Zhang B B, et al. Construction and application of arable land quality evaluation system based on sustainable development demand[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(10): 234—242. [温良友, 孔祥斌, 张蚌蚌, 等. 基于可持续发展需求的耕地质量评价体系构建与应用[J].

- 农业工程学报, 2019, 35 (10): 234—242.]
- [61] Steiner F. Agricultural land evaluation and site assessment in the United States: An introduction[J]. Environmental Management, 1987, 11 (3): 375—377.
- [62] Li Z Q, Zhao X Y, Zhang L K, et al. Cultivated land quality grading method based on LESA comprehensive evaluation model[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27 (4): 363—367, 375. [李卓倩, 赵贤好, 张莉坤, 等. 基于 LESA 综合评价模型的耕地质量定级方法[J]. 水土保持研究, 2020, 27 (4): 363—367, 375.]
- [63] Zhang Y L, Huang J C, Yu L, et al. Quantitatively verifying the results' rationality for farmland quality evaluation with crop yield, a case study in the northwest Henan Province, China[J]. PLoS One, 2016, 11 (8): e0160204.
- [64] Ma J N, Zhang C, Lü Y H, et al. Cultivated land quality evaluation based on inversion of NPP based on long-term sequence remote sensing data[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50 (1): 202—208. [马佳妮, 张超, 吕雅慧, 等. 基于长时间序列遥感数据反演 NPP 的耕地质量评价[J]. 农业机械学报, 2019, 50 (1): 202—208.]
- [65] Ye Y, Zhao X J, Hu Y M. Evaluation of cultivated land quality in Pearl River Delta based on GA-BP neural network[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2018, 27 (5): 964—973. [叶云, 赵小娟, 胡月明. 基于 GA-BP 神经网络的珠三角耕地质量评价[J]. 生态环境学报, 2018, 27 (5): 964—973.]
- [66] Taghizadeh-Mehrjardi R, Nabiollahi K, Rasoli L, et al. Land suitability assessment and agricultural production sustainability using machine learning models[J]. Agronomy, 2020, 10 (4): 573.
- [67] Weiss M, Jacob F, Duveiller G. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review[J]. Remote Sensing of Environment, 2020, 236: 111402.
- [68] Liang S L. Some thoughts on the development of quantitative remote sensing in China[J]. National Remote Sensing Bulletin, 2021, 25 (9): 1889—1895. [梁顺林. 中国定量遥感发展的一些思考[J]. 遥感学报, 2021, 25 (9): 1889—1895.]
- [69] Chen Y, Zhou W, Hu Y M, et al. Research on filling methods of missing data in cultivated land quality evaluation[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2021, 38 (6): 1132—1141. [陈宇, 周梧, 胡月明, 等. 耕地质量评价缺失数据填充方法研究[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38 (6): 1132—1141.]
- [70] Zhang M R, Bi R T, Zhao J M, et al. Evaluation on provincial cultivated land fertility using the combination of division areas and decision tree methods—Taken as an example of Shanxi Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2016, 47 (3): 580—587. [张孟容, 毕如田, 赵建民, 等. 基于分区决策树的省级耕地地力评价——以山西省为例[J]. 土壤通报, 2016, 47 (3): 580—587.]

(责任编辑: 卢 萍)