



农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

中国农业自然资源评价指标体系构建研究

刘立程, 孙中孝, 孟超, 蔡玉梅, 张倩

引用本文:

刘立程, 孙中孝, 孟超, 蔡玉梅, 张倩. 中国农业自然资源评价指标体系构建研究[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(2): 468–478.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0109>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

长江经济带农业碳补偿修正测算及分析

曹俊文, 陶强强

农业资源与环境学报. 2021, 38(4): 693–698 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0738>

农业文化遗产地旅游承载力研究——以浙江青田稻鱼共生系统为例

宋雨新, 孙业红, 姚灿灿, 王英

农业资源与环境学报. 2022, 39(5): 894–902 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0400>

耕地资源系统认知的演进与展望

胡月明, 杨颢, 邹润彦, 史舟, 吴文斌, 邬伦, 王璐, 任向宁, 谢英凯, 任少宝, 朱治强, 熊昌盛, 谢夏

农业资源与环境学报. 2021, 38(6): 937–945 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0711>

耕地资源承载力关键影响因素识别与典型评价模型研究进展

孙燕君, 王璐, 刘振华, 文宁, 胡月明, 谢健文, 雷帆, 肖莉, 唐铁

农业资源与环境学报. 2020, 37(6): 829–844 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0467>

耕地质量和产能评价指标体系研究——以广西宾阳县为例

张英, 冯雪珂, 任少宝, 游小敏, 余晨

农业资源与环境学报. 2021, 38(6): 1039–1050 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0540>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

刘立程, 孙中孝, 孟超, 等. 中国农业自然资源评价指标体系构建研究[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(2): 468–478.

LIU L C, SUN Z X, MENG C, et al. Evaluating natural agricultural resources in China: A framework and system of indicators[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(2): 468–478.

中国农业自然资源评价指标体系构建研究

刘立程¹, 孙中孝¹, 孟超^{2,3}, 蔡玉梅^{2,3}, 张倩^{1,4*}

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193; 2. 中国国土勘测规划院, 北京 100035; 3. 自然资源部土地利用重点实验室, 北京 100035; 4. 自然资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193)

摘要:为科学评价、合理利用农业自然资源,加强自然资源统一管理,实现农业高质量可持续发展。通过对比分析国内外农业自然资源评价框架及指标体系的理论研究和应用实践,围绕我国农业自然资源“开发-利用-保护-修复”的动态过程,提出并构建了我国农业自然资源全过程、多维度评价框架及指标体系。结果表明:该框架与指标体系面向气候、土地、水和生物四大农业自然资源在不同阶段的管理目标与核心内容,具体涵盖9个准则层、111个单项指标。研究表明,该概念框架及指标体系具有动态性、全过程性、系统性及与自然资源管理实务充分衔接的特点,具有良好的应用前景,实现了对农业自然资源的立体空间的连动式全面评价。

关键词:农业自然资源;自然资源管理;评价框架;指标体系

中图分类号:F323.21

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2023)02-0468-11

doi: 10.13254/j.jare.2022.0109

Evaluating natural agricultural resources in China: A framework and system of indicators

LIU Licheng¹, SUN Zhongxiao¹, MENG Chao^{2,3}, CAI Yumei^{2,3}, ZHANG Qian^{1,4*}

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. China Land Surveying and Planning Institute, Beijing 100035, China; 3. Key Laboratory of Land Use, Ministry of Natural Resources, Beijing 100035; 4. Key Laboratory for Farmland Quality, Monitoring and Control, Ministry of Natural Resources, Beijing 100193, China)

Abstract: This study aimed to scientifically evaluate and rationally utilize natural agricultural resources, to enhance the unified management of natural resources, and help to achieve high-quality, sustainable agricultural development. Based on comparative analysis of the research and application practices of natural agricultural resource evaluation frameworks and index systems domestically and abroad, this study proposes and constructs a whole process, multi-dimensional evaluation framework, and index system for natural agricultural resources in China based on the dynamic process of “development, utilization, protection, and restoration” of these resources. The framework and index system are oriented to the management objectives and core content of the four major natural agricultural resources, namely, climate, land, water, and biology, at different stages, and cover nine criteria levels and 111 individual indicators. The conceptual framework and index system are dynamic, holistic, systematic, and fully connected with actual natural resource management practices, and have good application prospects and portability, realizing a three-dimensional spatial and continuous comprehensive evaluation of natural agricultural resources.

Keywords: natural agricultural resources; natural resource management; evaluation framework; indicator system

收稿日期:2022-03-08 录用日期:2022-07-11

作者简介:刘立程(1994—),甘肃民勤人,博士研究生,主要从事资源与环境政策研究。E-mail:liulicheng@cau.edu.cn

*通信作者:张倩 E-mail:qian.zhang@cau.edu.cn

基金项目:自然资源部土地利用重点实验室开放基金(JCQQ201505-01)

Project supported: Open Research Project of Key Laboratory of Land Use of Ministry of Natural Resources(JCQQ201505-01)

<http://www.aed.org.cn>

农业自然资源是自然界存在或在一定技术、经济和社会条件下能被人类利用作为农业生产原材料的物质及能量来源^[1]。农业自然资源通常包括提供并保证农业生产的光、温度、水分等气候因子的数量和特征,可供农业生产与人类开发利用的水分来源,耕地、林地、草地等农业生产活动的主要载体,以及作为农业生产经营对象的天然生长植物、动物和农业微生物等四大类,即气候资源、水资源、土地资源和生物资源^[1]。农业自然资源在合理保护与修复下可以不断更新、补给、生长,从而实现永续利用。我国农业自然资源种类繁多、分布广泛、空间结构复杂^[2]。改革开放以来农牧业快速发展致使农业自然资源被大规模开发,农业水土失衡、牧业草畜矛盾、特色种质资源减少、农膜和畜禽粪污等废弃物资源排放剧增、区域生态环境严重破坏等问题相继出现^[3-5]。随着中国生态文明建设的持续推进,“山水林田湖草沙”综合治理理念不断深入贯彻^[6-7],亟需完善农业自然资源统一评价指标体系与评价方法,厘清农业自然资源本底、动态变化以及支撑区域未来发展的潜力,进而实现农业自然资源合理利用,助力高质量农业发展和低碳农业转型^[8-10]。因此,构建一套科学合理、系统全面且便于实际应用的农业自然资源综合评价指标体系,对开展农业自然资源统一管理、实现区域农业资源优化配置具有十分重要的作用。

国内外已有的农业自然资源评价研究主要针对气候资源^[11]、土地资源^[12]、水资源和生物资源某一状态下的单项或综合评价^[13-14],鲜有研究从自然资源开发、利用、保护、修复的动态演进过程出发,全面系统地分析各阶段自然资源评价与管理的核心目标与关键问题。因此,本研究通过对比分析国内外机构或组织开展的农业自然资源评价研究,归纳总结各类评价指标体系的共性与差异、优势与劣势,并在此基础上构建基于“开发-利用-保护-修复”动态演进过程的多目标、多维度农业自然资源评价框架及指标体系。这不仅是对农业自然资源评价体系构建的一次有益尝试,也是与我国自然资源管理实务的充分衔接,对促进我国农业系统可持续发展、实现自然资源统一管理具有一定的理论与实践意义。

1 国内外农业自然资源评价对比分析

欧美国家从20世纪70年代开始对农业自然资源进行研究,一些关注农业生产的国际组织对农业自然资源的研究也有较为长期的积累,形成了一系列评价

指标体系。这些研究主要关注农业生产系统的可持续性^[15]、食物营养充足性、生态系统稳定性^[16]、食物的供应能力^[17]、社会文化福祉、食品安全性^[18]、农业生产系统恢复力^[19]、食物浪费减少等诸多方面^[20-24]。主要选取的指标包括气候指标(气温、降水、风速、潜在蒸散发、实际蒸散发、干旱指数、昼夜温度、生长季长度、相对湿度等)、水文指标(水位线深度、给排水量、地下水水量、灌溉水量等)、土壤指标(有机质含量、土壤pH等)和地形指标(海拔、坡度、起伏度、坡向、地貌类型等)^[25-30](图1)。不同组织和机构所采用的评价方法亦有所差异,联合国粮农组织在南非地区根据农业生态分区模型(Agro-Ecological Zones, AEZ),结合当地的气候数据、土壤属性数据、作物的物候信息、当地农户的农业管理水平等信息,评估了多种作物的生产适宜性以及生产潜力。欧盟开发了一套农业整体评价模型框架(SEAMLESS Integrated Framework),用来事前(Ex-ante)评价自然资源、政策以及生产技术等要素变动对整个农业生产系统的影响,从而遴选未来农业生产的最优策略^[31](图1)。美国农业部对自然资源(洪水灾害、干旱指数、土地利用管理状况、商品粮生产力指数、土壤调查数据、水文数据、高程数据、地表水/地下水数据、水质数据等)进行了长期的观测与研究,并提供了开放数据源,为农业生产的研究打下了坚实的数据基础。总体来看,国外关于农业自然资源调查评价的工作主要是为了构建农业可持续发展的综合策略,提高水资源与土壤的管理水平、提升现有农田的使用强度、提高气候变化的适应能力、保护和恢复自然生态系统,这为构建中国农业自然资源综合评价指标体系提供了良好的借鉴作用。但中国农业生产系统具有多而散、小而杂的特点,农业自然资源复杂性与特殊性兼具,直接沿用国外评价框架难以真正反映中国农业自然资源基底状况与存在问题,因此因地制宜构建基于中国农业系统特点的农业自然资源调查评价框架具有十分重要的意义。

国内对农业自然资源研究始于新中国成立初期,经历了从注重生产性资源到单项资源,再到生态资源的转变(图2)。针对土壤资源,农业部门于1958年和1979年分别开展了第一次、第二次全国土壤普查,并在2022年开展第三次全国土壤普查工作,以全面了解土壤资源在质量方面的家底,为做好土壤污染防治工作打好基础。水资源是重要的农业自然资源,水利部门在1980年、2000年和2017年分别进行了三次全国水资源调查评价工作,并在2010年开展了全国水

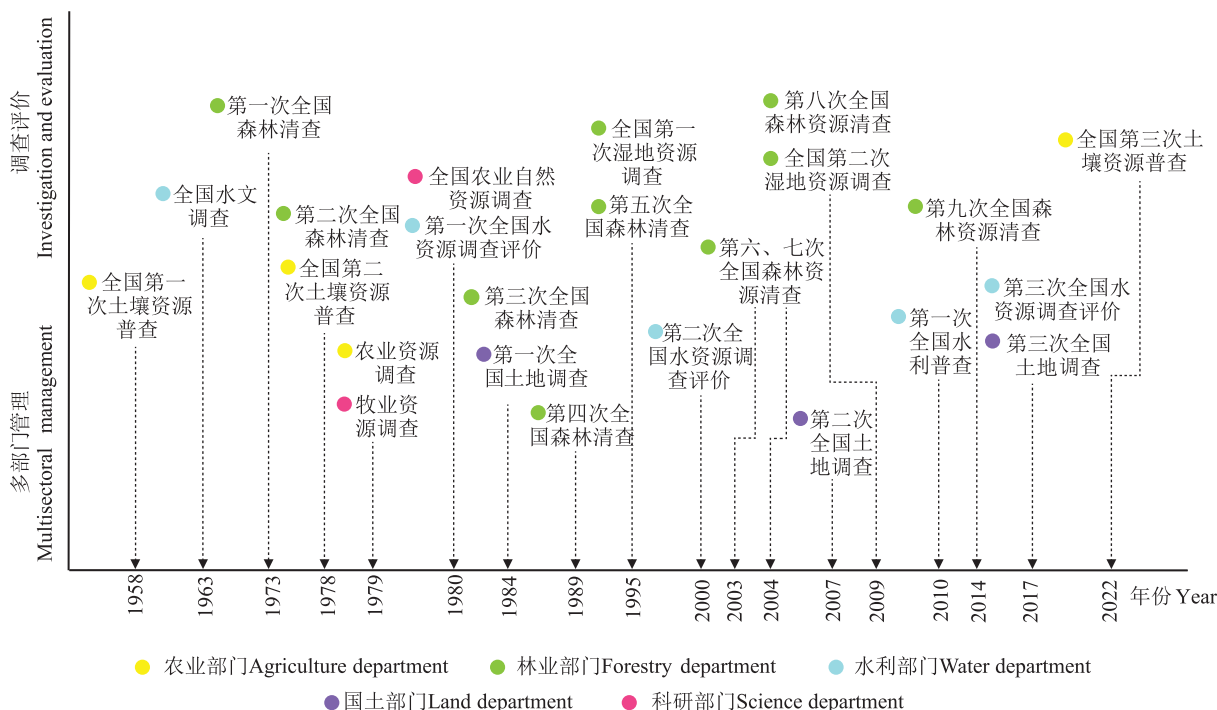


图2 中国农业自然资源评价工作时间脉络

Figure 2 Timeline of natural agricultural resources evaluation in China

国陆地国土利用现状,建立了覆盖国家、省、市、县的四级调查数据库。纵观我国农业自然资源评价时间脉络发现,国内已有农业自然资源评价着重关注水资源和耕地资源等对农业可持续发展有重要支撑的基础性资源,而对森林、草原、湿地等具有良好生态功能的自然资源关注较少。事实上,良好的生态环境是农业自然资源实现高效利用与可持续发展的基础,因此在进行农业自然资源综合评价指标体系构建时,也需对上述生态资源加以考虑。由于当前我国农业发展面临着诸多问题与转型发展挑战,耕地非农化、耕地非粮化、地下水超采严重等问题日渐凸显,因此本研究在借鉴国外经验的同时,探索适合我国国情和发展阶段的指标体系和评价方法,以适应新时期农业可持续发展与生态文明建设的需要。

2 中国农业自然资源评价的概念框架与指标体系构建

2.1 指标体系构建思路

提升自然资源管理能力是完善国家治理体系与提升治理能力现代化的重要组成部分。农业自然资源是我国农业发展的支撑性资源和自然资源管理的关键对象,分为地下资源层、地表基质层、地表覆盖层及利用管理层。地表基质层是地球表层孕育和支撑

土地、水等各类农业自然资源的基础物质。在地表基质层上,按照自然资源在地表的实际覆盖情况,地表可划分为耕地、森林、草原、湿地和水域、建筑等。在地表覆盖层上,叠加各类自然资源日常管理、实际利用等情况,自然资源可分为不同管控类型和范围。这些层次共同构成一个完整的支撑生产、生活、生态的立体空间,实现了对自然资源的立体化、精细化综合管理。因而,本研究构建的农业资源评价框架与指标体系充分考虑这4个层次,兼顾自然资源禀赋现实、管理目标与任务,是一个与现实自然资源立体空间对应的评价设计。

农业自然资源开发是对土地、水、气候等资源通过规划使其服务于人类社会的农业生产活动;农业自然资源利用是在开发的基础上投入人类劳动或生产技术以满足人类生产生活活动对自然资源的消耗。农业自然资源为人类社会提供了种植粮食和维持健康生活所需的一切必要条件,但在资源的开发与演进过程中,会不可避免地产生对资源的滥用及破坏,而土地等自然资源又是有限的,因此为实现资源的可持续利用与发展,必须对农业自然资源加以保护。针对一些损毁严重的农业自然资源,仅凭保护措施已经不能使其恢复自然状态,因此须采取人工干预的生态修复措施促使其生产或生态功能恢复。农业自然资源

是涵盖多种资源的复杂综合系统,且并非某种单一状态,而是开发、利用、保护、修复的综合动态过程,在此动态过程中,不同阶段自然资源对应不同的管理目标,面临不同的关键问题。单一的过程评价势必会掩盖其他资源状态所涵盖问题,因此,本研究以农业自然资源的数量、质量、分布、变化等禀赋特征为基础,重点考量农业自然资源要素之间关系,以及自然资源动态过程与农业经济发展、区域生态环境保护之间关系。同时,本研究还融合了“压力-状态-影响-响应”的评价思路,构建了农业自然资源“开发需求压力-利用保护状态-生态环境影响-修复治理响应”的评价框架(图3)。除了动态性、过程全覆盖的特点之外,该评价框架设计时还秉承了全面评价和重点诊断的思路,在兼顾农业自然资源生产与生态双重功能前提下,设置了基础性和预警性指标。

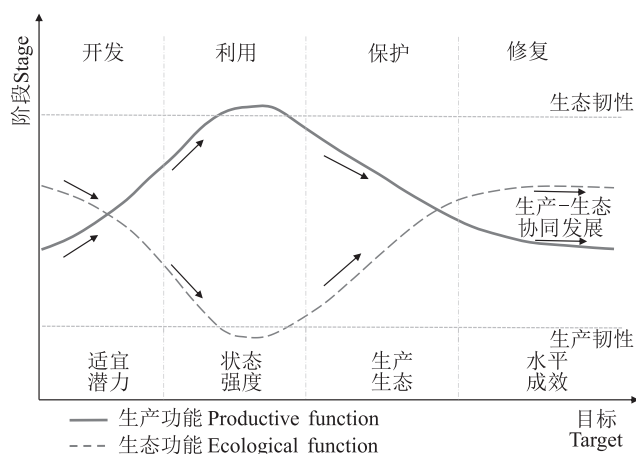


图3 农业自然资源动态演进过程示意图

Figure 3 Sketchmap for dynamic utilization of natural agricultural resources

该指标体系框架针对各类农业自然资源的开发、利用、保护和修复过程,面向资源管理导向,以农业自然资源在动态演进过程中所面临的开发适宜性、资源利用强度、生态功能保护及资源修复成效等问题为指标构建准则(图4),并据此构建多维度、多目标、多尺度的农业自然资源调查监测综合评价指标体系(表1)。另外,在设置基础性指标的同时,本研究增加了农业自然资源的预警性指标,最终构建了包含4大类农业自然资源的4个目标层、9个准则层和111个单项指标的指标体系。

2.2 指标选取依据

农业自然资源在其生命周期循环中,总是处在



图4 农业自然资源评价指标体系框架

Figure 4 Framework of natural agricultural resources evaluation index system

“开发-利用-保护-修复”的某一阶段或阶段间的过渡状态。各类农业自然资源在不同的演进状态下的管理目标和需要解决的关键问题不尽相同,这不仅加大了农业自然资源评价的难度,更给农业自然资源的统一管理带来了挑战。因此本指标体系以问题为导向,立足管理目标,将农业自然资源类型与动态演进过程相结合,依据气候、土地、水和生物资源分别在开发、利用、保护和修复4个阶段所要解决的具体问题选取指标。

开发是农业自然资源动态演进的基础阶段。在开发阶段,气候资源作为农业生产活动的基础性与先决性资源,首先需要明确的是气候资源的开发适宜性,即其可供农业生产利用的基本水热条件,因此选取了年均温、年均降水量、日照时数和无霜期4个指标。土地资源是农业自然资源的重要组成部分,针对土地资源的开发适宜性及开发潜力,考虑到地形和土壤等因素是影响土地可利用程度的重要方面,选取坡度、海拔、土壤有机质等9个指标。水资源是农业生产中必不可少的资源类型,本研究主要考虑可供农业生产利用的地表水及地下水资源。在水资源的开发过程中,考虑到水资源的开发适宜性及潜力,对反映地表河流和地下水的类型指标进行了归纳,选取了水资源总量、地表水资源总量、地下水埋深等9个指标。为评估生物资源开发适宜性及潜力,本研究选取物种丰富度、植被盖度、植被净初级生产力等7个基础指标对其进行评价。

利用是农业自然资源动态演进过程中承上启下

表 1 农业自然资源评价指标体系
Table 1 Natural agricultural resources evaluation index system

目标层 Target	演进过程 Evolutionary process	准则层 Guideline	指标 Indicator	单位 Unit	性质 Property	指标类型 Indicator type	目标层 Target	演进过程 Evolutionary process	准则层 Guideline	指标 Indicator	单位 Unit	性质 Property	指标类型 Indicator type
气候 资源	开发	资源开发 适宜性	年均温	℃	+	基础性			资源利用 转换	耕地非农化率	%	-	预警性
			年均降水量	mm	+	基础性				耕地非粮化率	%	-	预警性
			日照时数	h	+	基础性				退耕还林面积	hm ²	-	预警性
			无霜期	d	+	基础性				退耕还草面积	hm ²	-	预警性
	利用	资源基础 利用状态	有效积温	℃	+	基础性		保护	生产功能 保护	轮作面积	hm ²	+	基础性
			蒸发量	mm	-	基础性				永久基本农田 面积	hm ²	+	基础性
			相对湿度	%	+	基础性				休耕面积	hm ²	+	基础性
			气温日较差	℃	-	预警性				经济林面积	hm ²	-	基础性
	保护	生产功能 保护	气象干旱日数	d	-	预警性			生态功能 保护	人工湿地面积	hm ²	-	基础性
			霜冻日数	d	-	预警性				林木覆盖率	%	+	预警性
			暴雨日数	d	-	预警性				自然保护区 面积	hm ²	+	预警性
			沙尘日数	d	-	预警性				不同土地类型 碳储量	t	-	预警性
	修复	资源修复 潜力	大风日数	d	-	预警性				草原禁牧区 比例	%	+	预警性
			坡度	(°)	-	基础性				天然湿地面积	hm ²	+	预警性
			海拔	m	-	基础性				耕地后备资源 面积	hm ²	+	基础性
			地形起伏度	m	-	基础性		修复	资源修复 潜力	土地盐碱化 面积	hm ²	-	基础性
土地 资源	开发	资源开发 适宜性	有效土层厚度	cm	+	基础性				土地灾毁面积	hm ²	-	基础性
			障碍土层厚度	cm	-	基础性				土壤侵蚀模数	t·km ⁻² · a ⁻¹	-	基础性
			土壤pH	无量纲	+	基础性				化肥施用量	kg	-	基础性
			土壤有机质	g·kg ⁻¹	+	基础性				农药施用量	kg	-	基础性
		资源开发 潜力	土壤有效水分 含量	%	+	基础性				次生林面积	hm ²	-	基础性
			土壤容重	g·cm ⁻³	-	基础性				牲畜超载率	%	-	基础性
			土地总面积	hm ²	+	基础性				退化草原面积	hm ²	-	基础性
			耕地面积	hm ²	+	基础性				退化湿地面积	hm ²	-	基础性
	利用	资源基础 利用状态	耕地自然等	等	+	基础性			资源治理 水平	新增耕地面积	hm ²	+	预警性
			林地面积	hm ²	+	基础性				土壤保持量	t	+	预警性
			森林郁闭度	%	+	基础性				防风固沙量	t	+	预警性
			草地面积	hm ²	+	基础性				新增生态修复 面积	hm ²	+	预警性
		资源利用 强度	草原综合植被 盖度	%	+	基础性				盐碱化土地 减少面积	hm ²	+	预警性
			草地产草量	t	+	预警性				植被净初级生 产力(C)增加值	g·m ⁻²	+	预警性
			耕地面积占比	%	+	预警性				归一化植被 指数增加值	无量纲	+	预警性
			播种面积	hm ²	+	预警性							
			森林覆盖率	%	+	预警性							
			草原载畜量	羊单位	-	预警性							

续表1 农业自然资源评价指标体系

Continued table 1 Natural agricultural resources evaluation index system

目标层 Target	演进过程 Evolutionary process	准则层 Guideline	指标 Indicator	单位 Unit	性质 Property	指标类型 Indicator type	目标层 Target	演进过程 Evolutionary process	准则层 Guideline	指标 Indicator	单位 Unit	性质 Property	指标类型 Indicator type	
水资源	开发	资源开发 适宜性	水资源总量	m ³	+	基础性	生物 资源	开发	资源治理 水平	地下水位下降 深度	cm	-	预警性	
			地表水资源总量	m ³	-	基础性				径流增加量	m ³	+	预警性	
			地下水资源 总量	m ³	+	基础性				水源涵养量	m ³	+	预警性	
			河流泥沙含量	t	-	基础性				新增关闭 机井数	个	+	预警性	
		资源开发 潜力	枯水期	d	-	基础性			资源开发 适宜性	地下水位回升度	cm	+	预警性	
			丰水期	d	+	基础性				物种丰富度	无量纲	+	基础性	
			冰冻期	d	-	基础性				植被盖度	%	+	基础性	
			潜水含水层厚度	m	+	基础性				植被净初级生 产力(C)	g·m ⁻²	+	基础性	
			地下水埋深	m	-	基础性				资源开发 潜力	总初级生产力 (C)	g·m ⁻²	+	基础性
			水资源利用量	m ³	+	基础性				森林蓄积量	m ³	+	基础性	
		资源基础 利用状态	地表水资源利 用量	m ³	+	基础性			资源基础 利用状态	湖塘面积	hm ²	+	基础性	
			地下水资源利 用量	m ³	+	基础性				湖塘水深	m	+	基础性	
			农业耗水量	m ³	-	基础性				作物类型	无量纲	+	基础性	
			单位面积耕地 耗水量	m ³ ·hm ⁻²	-	预警性				森林类型	无量纲	+	基础性	
	利用	资源利用 强度	地下水超采量	m ³	-	预警性	资源利用 强度	草地类型	无量纲	+	基础性			
			机井数量	个	-	预警性		水产养殖类型	无量纲	+	基础性			
			水资源开发利 用率	%	+	预警性		作物产量	t	+	基础性			
			水资源变化率	%	-	预警性		木材产量	m ³	+	基础性			
		保护	生产功能 保护	地下水补给量	m ³	+	预警性	生产功能 保护	牲畜存栏量	头	+	基础性		
				径流减少量	m ³	-	预警性		水产养殖产量	t	+	基础性		
修复	资源修复 潜力	资源修复 潜力	降雨入渗量	m ³	+	预警性	修复	资源治理 水平	作物多样性	无量纲	+	预警性		
						畜产品多样性			无量纲	+	预警性			
						作物单产增加量			t	+	预警性			
						畜禽出栏增加量			头	+	预警性			
										水产品增加量	t	+	预警性	

的阶段,也是最重要的阶段,人类社会通过利用农业自然资源获取生产、生活所需产品及原材料。在农业自然资源的利用阶段,更多的则是关注各类资源的基础利用状态是否合理、利用强度是否超限以及利用效率是否高效等问题。因此,为探究气候资源的基础利用状态,选取了有效积温、蒸发量、相对湿度3个指标。为评估土地资源的利用状态、利用强度与利用转换,在常规的数量、质量类型基础上增加了近年日益重视的耕地非粮化和生态退耕等指标,选取了土地总

面积、耕地自然等别、耕地非粮化率、退耕还林面积等16个指标。水资源短缺及不合理利用一直是学界关注的热点问题,因此在水资源的利用过程中考虑到水资源浪费、地下水超采等方面,选取了水资源利用量、农业耗水量、地下水超采量、机井数量等8个指标。在生物资源的利用过程中,从作物、畜禽、水产等多角度选取作物类型、牲畜存栏量、水产养殖产量等8个指标来表征生物资源的基础利用状态及强度。

保护是对农业自然资源在开发与利用阶段出现

的不合理利用等问题的纠正。在保护阶段,本指标体系根据前期存在的超标、超限等问题选择针对性的指标以反映各类资源的保护状态。在气候资源的保护过程中,选取了可能会对农业生产活动造成影响的气温日较差、气象干旱日数2个指标。土地资源既包含耕地等生产性资源,又包括林地、湿地等生态性资源,因此在其保护过程中,既要注重生产功能的保护又要关注生态功能的保护,进而针对性地选取永久基本农田面积、休耕面积、林木覆盖率等10个指标。在水资源的保护阶段,选取水资源变化率和地下水补给量2个指标来反映水资源的生产功能保护。在生物资源的保护阶段,以多样性为标准并综合考虑其生态功能,选取作物多样性和畜产品多样性2个指标表征生物资源的生产功能保护。

修复是采用人工干预措施,针对在开发利用过程中遭受数量减少、质量下降、环境污染等问题的农业自然资源,使其恢复原有状态与功能,进而被重新开发利用的阶段。在农业自然资源的修复阶段中,主要关注各类资源的修复潜力与治理水平。就气候资源而言,主要选取可能对农业生产造成破坏的有害天气,包括霜冻日数、暴雨日数、沙尘日数和大风日数4个指标,以此反映气候资源的修复潜力。为评估土地资源在修复阶段的潜力及资源治理水平,选取盐碱化土地减少面积、归一化植被指数增加值、化肥施用量等17个指标。在水资源的修复阶段,选取径流减少量、降雨入渗量和地下水位下降深度3个指标说明水资源的修复潜力,选取径流增加量、水源涵养量、新增关闭机井数和地下水位回升度4个指标来表征水资源的治理水平。在生物资源的修复过程中,主要将产量纳入评价范围,选取作物单产增加量、畜禽出栏增加量和水产品增加量3个指标来表征生物资源的治理水平。

2.3 指标体系构建原则

农业自然资源评价指标框架的设计应遵循一定原则,以确保指标体系能够科学、客观、合理、全面地反映农业自然资源数量、质量和动态演进过程。本研究在学习借鉴国内外相关指标框架与评估模型构建经验的同时,遵循科学性、代表性等基本原则^[33-34],针对农业自然资源动态演进特点及存在的主要问题,确定指标框架构建的5项原则:

(1)整体性原则。以“山水林田湖草沙”生命共同体为基本理论,所选取指标应尽可能涵盖农业生产系统的各类生产性与生态性自然资源,要求指标体系既

能够反映单项自然资源种类、数量、质量和空间分布等特征,又可以反映不同自然资源间相互影响、相互作用所引起的动态变化,从而有效掌握自然资源变化规律与发展趋势。

(2)系统性原则。评价指标体系可以充分反映从观察监测、数据获取、资源评价到外业验证、成果应用的全流程,充分表征指标体系各子系统的关联性,确保各动态演进环节充分衔接、协调统一,保证调查数据与指标体系的全生命周期管理与应用。

(3)空间性原则。指标体系构建不仅要考虑评价指标的具体空间坐标、属性特征和功能指示,还要明确通过评价指标获取的监测数据所代表的农业区范围和所反映的农业自然资源变化格局与程度,为综合评价农业自然资源数量、质量变化情况以及预测自然资源变化程度与演进趋势提供全面、翔实的基础数据支撑。

(4)前瞻性原则。农业自然资源的利用状态不是一成不变的,调查评价手段与技术也日新月异,当前无法调查或评价的自然资源属性在未来极有可能获取,因此所选取的评价指标应具有一定的前瞻性和导向性,引导农业自然资源逐步走上可持续发展的道路。

(5)可比性原则。同一种类、同一层次自然资源的评价指标应具有相同的计量单位、计算方法和内涵范围,这不仅能使农业自然资源综合评价结果反映实际情况,而且便于在不同农业区、不同时间跨度以及不同自然资源类型间进行比较,以便通过分析农业自然资源利用的差异及规律,发现资源相对优势状态,反映发展变化趋势。

3 讨论

就自然资源管理本身而言,本研究所构建的基于动态过程的农业自然资源评价指标体系,是我国自然资源调查监测工作的延伸,不仅可以拓展到全域自然资源评价工作当中,也可以拓展到水、森林、草原、湿地资源等专项评价中,最大程度发挥该指标体系的应用潜力。同时,农业自然资源评价是开展自然资源资产价值核算的基础性工作,在准确认识自然资源的数量、质量、结构等特征的基础上,科学分析、客观评价自然资源的本底状况和发展潜力,可为自然资源资产价值的准确测度提供数据支撑。除此之外,农业自然资源为人类生存提供了至关重要的产品和服务,人类又通过对农业自然资源的开发利用活动不断作用于自然生态系统。对不同农业自然资源要素及其演进

过程进行综合分析评价,不仅有利于探索农业生态系统的脆弱性、敏感性和承载边界,更有助于从生命共同体视角科学地研判自然资源要素与社会经济系统的互馈机制,最终实现自然资源的利用与保护的辩证统一和高效管理。综合评价探索农业自然资源合理开发利用方式和路径,既要考虑开发、利用、保护、修复等不同阶段,又要针对气候、土地、水、生物资源等不同要素,还要从各类农业自然资源的数量、质量、结构、生态功能等不同维度,正确研判和评价自然资源开发利用现状、程度和潜力,进而指导农业自然资源节约集约利用。

通过全面评价各类农业自然资源的分布状况、摸清各类农业自然资源家底,分析我国当前农业发展过程中各类资源的开发、利用、保护和修复阶段存在的问题,可以更加科学合理地对未来农业空间进行布局优化,打造高品质的农业空间格局。同时,该指标体系关注了自然资源演进过程中农业自然资源开发适宜性、潜力、利用强度及效率、保护程度、修复潜力及成效等,可以准确识别生态保护亟待加强、资源开发潜力较大、资源修复成效较好的重点区域,从而因地制宜地部署实施生态修复和全域综合整治等重大工程,全面提升区域农业生产与生态环境保护功能。

农业自然资源种类丰富、系统庞杂,本研究基于农业自然资源的整体性、动态化等特点,初步构建了一套农业自然资源综合评价指标体系。虽然农业自然资源处在不断变化的动态演进过程中,但与之对应的是,关于自然资源评价的科技手段也在不断进步。因此在农业自然资源评价指标体系框架构建过程中,除考虑土壤、地形、气候、水文等传统指标外,还应结合中国当前农业自然资源面临问题,将耕地非粮化、耕地非农化、生物多样性纳入指标考核范围。这也是本研究所构建的指标体系前瞻性的体现,相较于土壤有机质、降雨、森林面积、草原面积等易于获取的指标,在当前技术条件下,绿化造林占用耕地面积、轮作区面积、退化湿地面积等指标数据则较难获取或时效性较差。但随着人工智能、云计算等技术的兴起,指标数据获取难度在未来势必降低,从而更好地服务于农业自然资源管理。

4 结论

(1)农业自然资源调查评价在从单项资源评价向综合评价的转变过程中,对自然资源演进的不同状态依然缺乏系统性考量。为此,本研究构建的中国农业

自然资源评估框架与指标体系横向上涵盖自然资源的“开发-利用-保护-修复”动态过程,一方面实现了全链条的覆盖,另一方面,便于衔接自然资源管理中的开发利用、生态修复等实务,回答和破解诸如开发适宜性、利用强度等农业自然资源各阶段需要厘清的关键问题。

(2)农业自然资源评价重视资源的自然属性特征,强调农业自然资源在支撑农业发展中的作用,而评价中的管理需求和目标导向往往被忽略。为此,本研究构建的中国农业自然资源评估框架和指标体系纵向上连接了地下资源层、地表基质层、地表覆盖层、管理决策层4个层次,实现了对农业自然资源立体空间的连动式全面评价。

(3)本研究提出的评价框架还秉承了全面评价和重点诊断的思路,灵活设置了基础性和预警性指标,并且具有区域定制化的特点,可在实际应用中依据不同地区的资源禀赋、管理需求等实际情况进行选择 and 组合,拓展了其应用潜力和便捷性。农业自然资源评价体系承接调查监测,奠定自然资源资产核算基础,助力农业空间布局优化,是农业高质量发展与自然资源统一管理中的重要环节。

参考文献:

- [1] 刘秀珍. 农业自然资源[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2006. LIU X Z. Agricultural natural resources[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2006.
- [2] 崔久富, 郭贯成, 范怀超, 等. 全民所有自然资源资产核算的中国方案——基于土地分等定级的启示[J]. 中国土地科学, 2021, 35(1): 18-25. CUI J F, GUO G C, FAN H C, et al. China's solution to state-owned natural resources assets accounting: Implications from land classification and grading[J]. *China Land Science*, 2021, 35(1): 18-25.
- [3] 王威, 胡业翠. 改革开放以来我国国土整治历程回顾与新构想[J]. 自然资源学报, 2020, 35(1): 53-67. WANG W, HU Y C. The new conception and review of territory consolidation based on the past years of reform and opening-up[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(1): 53-67.
- [4] 孙燕君, 王璐, 刘振华, 等. 耕地资源承载力关键影响因素识别与典型评价模型研究进展[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(6): 829-844. SUN Y J, WANG L, LIU Z H, et al. Research progress on identification of key influencing factors and typical evaluation models of cultivated land resource carrying capacity[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(6): 829-844.
- [5] YAN H, LAI C, AKSHALOV K, et al. Social institution changes and their ecological impacts in Kazakhstan over the past hundred years[J]. *Environmental Development*, 2020, 34: 100531.
- [6] 毕彦杰, 赵晶, 张文鸽, 等. WACM4.0模型模拟内蒙古河套地区山

- 水林田湖草系统水循环[J]. 农业工程学报, 2020, 36(14): 148–158.
- BI Y J, ZHAO J, ZHANG W G, et al. Simulation of hydrological cycle for mountain–water–forest–cropland–lake–grass system in Hetao region, Inner Mongolia of China by WACM4.0 model[J]. *Transactions of the CSAE*, 2020, 36(14): 148–158.
- [7] YANG H, GOU X, YIN D. Response of biodiversity, ecosystems, and ecosystem services to climate change in China: A review[J]. *Ecologies*, 2021, 2(4): 313–331.
- [8] 惠婷, 陈晓楠, 宋健峰. 基于水足迹的作物生产生态效率评价——以陕西省为例[J]. 生态学报, 2021, 41(8): 3078–3091. HUI X, CHEN X N, SONG J F. Assessing crop production eco–efficiency based on water footprints: The case of Shaanxi Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(8): 3078–3091.
- [9] 彭开丽, 张安录. 土地利用变化中农户脆弱性研究——一个理论分析框架及基于中国中部五省的调研实证[J]. 自然资源学报, 2015, 30(11): 1798–1810. PENG K L, ZHANG A L. Farmers' vulnerability in farmland conversion: Analytical framework and empirical research on five provinces in central China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(11): 1798–1810.
- [10] 张贺, 王绍强, 王梁, 等. 自然资源要素综合观测指标体系探讨[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1883–1899. ZHANG H, WANG S Q, WANG L, et al. Discussion on the indicator system of comprehensive observation of natural resource elements[J]. *Resources Science*, 2020, 42(10): 1883–1899.
- [11] RADCLIFFE J C. Influence of Australian Agricultural Council and successors on Australian agriculture, 1980–2014: 3. Managing and using Australia's natural resources for agriculture[J]. *Agricultural Science*, 2020, 31(2): 66–81.
- [12] BARTELMUS P, TARDOS A. Integrated environmental and economic accounting—methods and applications[J]. *Journal of Official Statistics*, 1993, 9(1): 179–188.
- [13] VARDON M, CASTANEDA J P, NAGY M, et al. How the system of environmental–economic accounting can improve environmental information systems and data quality for decision making[J]. *Environmental Science & Policy*, 2018, 89: 83–92.
- [14] BANERJEE O, CICOWIEZ M, HORRIDGE M, et al. A conceptual framework for integrated economic–environmental modeling[J]. *The Journal of Environment & Development*, 2016, 25(3): 276–305.
- [15] LOVEC M, ŠUMRADA T, ERJAVEC E. New CAP delivery model, old issues[J]. *Intereconomics*, 2020, 55(2): 112–119.
- [16] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being[M]. Washington D C: Island Press, 2005.
- [17] MAHON N, CRUTE I, DI BONITO M, et al. Towards a broad-based and holistic framework of sustainable intensification indicators[J]. *Land Use Policy*, 2018, 77: 576–597.
- [18] SCHADER C, GRENZ J, MEIER M S, et al. Scope and precision of sustainability assessment approaches to food systems[J]. *Ecology and Society*, 2014, 19(3): 42.
- [19] OLSSON J A, BOCKSTALLER C, STAPLETON L M, et al. A goal oriented indicator framework to support integrated assessment of new policies for agri–environmental systems[J]. *Environmental Science & Policy*, 2009, 12(5): 562–572.
- [20] DIETRICH J P, BODIRSKY B L, HUMPEHÖDER F, et al. MagPIE 4: A modular open–source framework for modeling global land systems[J]. *Geoscientific Model Development*, 2019, 12(4): 1299–1317.
- [21] WEISS F, LEIP A. Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with the CAPRI model[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, 149: 124–134.
- [22] PUROLA T, LEHTONEN H, LIU X, et al. Production of cereals in northern marginal areas: An integrated assessment of climate change impacts at the farm level[J]. *Agricultural Systems*, 2018, 162: 191–204.
- [23] LEHTONEN H, RANKINEN K. Impacts of agri–environmental policy on land use and nitrogen leaching in Finland[J]. *Environmental Science & Policy*, 2015, 50: 130–144.
- [24] FISCHER G, NACHTERGAELE F O, VAN VELTHUIZEN H, et al. Global Agro–Ecological Zones(GAEZ v4): Model documentation[EB/OL].[2022–02–10]. <https://iiasa.ac.at/Research/LUC/GAEZv4.0>.
- [25] AKPOTI K, KABO–BAH A T, ZWART S J. Agricultural land suitability analysis: State-of-the-art and outlooks for integration of climate change analysis[J]. *Agricultural Systems*, 2019, 173: 172–208.
- [26] SCHAPHOFF S, VON BLOH W, RAMMIG A, et al. LPJmL4: A dynamic global vegetation model with managed land—Part 1: Model description[J]. *Geoscientific Model Development*, 2018, 11(4): 1343–1375.
- [27] NENDEL C, BERG M, KERSEBAUM K C, et al. The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics[J]. *Ecological Modelling*, 2011, 222(9): 1614–1625.
- [28] BOOGAARD H L, VAN DIEPEN C A, ROTTER R P, et al. WOFOST 7.1: User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST control center 1.5[R]. Wageningen: DLO Winand Staring Centre, 1998.
- [29] BONESMO H, BÉLANGER G. Timothy yield and nutritive value by the CATIMO model: I. Growth and nitrogen[J]. *Agronomy Journal*, 2002, 94(2): 337–345.
- [30] JONES J W, HOOGENBOOM G, PORTER C H, et al. The DSSAT cropping system model[J]. *European Journal of Agronomy*, 2003, 18(3/4): 235–265.
- [31] VAN ITTERSUM M K, EWERT F, HECKELEI T, et al. Integrated assessment of agricultural systems: A component–based framework for the European Union (SEAMLESS)[J]. *Agricultural Systems*, 2008, 96(1/2/3): 150–165.
- [32] 蒙古军. 土地评价与管理[M]. 北京: 科学出版社, 2011. MENG J J. Land evaluation and management[M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [33] 傅伯杰, 田汉勤, 陶福祿, 等. 全球变化对生态系统服务的影响[J]. 中国基础科学, 2017, 19(6): 14–18. FU B J, TIAN H Q, TAO F L, et al. The impact of global change on ecosystem services[J]. *China Basic Science*, 2017, 19(6): 14–18.
- [34] 傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系[J]. 生态学报, 2017, 37(2): 341–348. FU B J, YU D D, LÜ N. An indicator system for biodiversity and ecosystem services evaluation in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(2): 341–348.

附表: 全球常用的涉及农业自然资源的评估框架与模型

Attached table: Framework and model of natural agricultural resources assessment indicators

框架模型 Framework model	名称 Name	解释 Explanation
可持续发展目标 Sustainable development goals (SDGS)	SDG2	Sustainable Development Goal 2: 消除饥饿, 实现粮食安全, 改善营养和促进可持续农业目标
	SDG6	Sustainable Development Goal 6: 恢复水生态系统, 改善有效的水管理, 支持发展中国家提高获得水的机会
	SDG15	Sustainable Development Goal 15: 保护、恢复和促进可持续利用陆地生态系统、可持续森林管理, 防治荒漠化、制止和扭转土地退化现象、遏制生物多样性的丧失
指标框架 Indicator framework	CAP	Common Agricultural Policy: 指欧盟的共同农业政策, 该政策旨在稳定欧洲农产品市场, 确保市场在合理的价格下供应正常, 同时保证农民收入水平
	MEA	Millennium Ecosystem Assessment: 千年生态系统评估, 旨在为推动生态系统的保护和可持续利用、促进生态系统对满足人类需求所作的贡献而采取后续行动提供科学基础
	AEIs	Agri-Environmental Indicators: 基于驱动力-压力-状态-影响-反应(DPSIR)框架的农业环境指标
	SAFA	Sustainability Assessment of Food and Agricultural System: 粮食和农业系统可持续性评估准则, 旨在为评估不同环境和工作领域的可持续性提供通用准则
	GAEZ	Global Agro-Ecological Zones: 全球农业生态区, 是一种评估全球土地资源农业利用潜力的方法, 为区域农业的可持续发展规划提供指导分析
	ALSA	Agricultural Land Suitability Analysis: 农作物生产的农业用地适宜性评估, 是一种全球土地利用规划方法, 是确保可持续农业和实现联合国可持续发展目标的关键工具
	SEAMLESS	EU Integrated Assessment of Agricultural System: 欧盟农业系统综合评估, 是欧盟农业环境政策和农业技术创新部门开发的事前综合环境和农业建模评估综合框架
	SES	Social Ecosystem System: 社会生态系统框架, 是以农业可持续为重点的最全面的框架之一
农业生态模型 Agro-ecol models	LPJmL	Lund-Potsdam-Jena managed Land model: 德国波兹坦气候影响研究所(PIK)开发的用于模拟全球陆地碳循环和气候变化下碳和植被模式反应的模型
	MONICA	Simulation Model for Nitrogen and Carbon Dynamics in Agro-ecosystems: 德国莱布尼茨农业景观研究中心(ZALF)开发的用以评估气候变化和土地管理对作物产量、碳平衡和氮效率的影响的模型
	WOFOST	World Food Studies: 世界粮食研究中心(CWFS)和荷兰瓦格宁根大学共同开发的用于模拟作物的物候发育、蒸腾呼吸等过程的机理模型
	CATIMO	Canadian Timothy Model: 挪威作物研究所研发的模拟作物初级生长和营养价值的综合模型
	DSSAT	The Decision Support System for Agrotechnology Transfer: 美国国际开发署授权夏威夷大学研发的模拟作物光合作用、生殖生长发育等基本生态生理过程的综合作物模型
	MAgPIE	Model of Agricultural Production and its Impact on the Environment: 德国波兹坦气候影响研究所(PIK)研发的农业生产及其对环境的影响系统模型
农业经济模型 Agro-econ models	CAPRI	Common Agricultural Policy Regional Impact: 欧盟开发的用于评价全球与区域农业环境政策的经济、社会和环境影响的农业和环境部门模型
	DREMFIA	Dynamic Regional Sector Model of Finnish Agriculture: 芬兰自然资源研究所开发的用于评估不同农业政策对芬兰生产和农业收入的影响的区域农业经济模型
	DEMCROP	Dynamic Economic Model of Farm Management and Crop Rotation: 芬兰自然资源研究所开发评估区域作物轮作、土地利用和其他农场管理选择的动态作物轮作经济模型