

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2026.02.042

CSTR:32310.14.stbcbx.2026.02.042

张宇飞,边振兴.基于山水林田湖草沙生命共同体的东北黑土区耕地系统保护策略与路径[J].水土保持学报,2026,40(2):25-37.

ZHANG Yufei, BIAN Zhenxing. Protection strategies and pathways of cultivated land system in black soil region of northeast China based on mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands-deserts life community[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2026, 40(2): 25-37.

基于山水林田湖草沙生命共同体的东北黑土区 耕地系统保护策略与路径

张宇飞^{1,2}, 边振兴^{1,2}

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161; 2. 辽宁省自然资源厅耕地立体保护与监测重点实验室, 沈阳 110161)

摘要: [目的] 针对东北黑土区耕地因高强度利用产生生物多样性下降等生态问题, 基于山水林田湖草沙生命共同体理念在景观尺度上构建耕地系统保护策略与路径。 [方法] 采用系统归纳与典型案例分折等方法识别黑土区耕地利用中的生态问题, 界定耕地系统内涵并构建耕地系统保护理论框架和实施路径。 [结果] 1) 东北黑土区耕地系统面临的3个主要生态问题为土壤肥力减退与生产力削弱、生态空间萎缩与生物多样性下降及水资源失衡与生态系统功能弱化。 2) 黑土区耕地系统应该在“多要素耦合的整体单元”的理论框架下加以保护, 其中非耕作生境的优化是提升系统稳定性和生态服务功能的关键。 3) 在路径设计上, 需要坚持多要素协同、多尺度统筹与多主体参与, 兼顾生产与生态功能的权衡与协同, 通过工程、技术与制度的复合模式, 推动二者有机统一。 [结论] 黑土区耕地系统保护的成效取决于驱动机制的精准识别、分区施策的差异化管埋、尺度匹配的空间统筹及多主体的协同作用。 研究结果为黑土区耕地系统的整体保护与科学修复提供了理论支撑和实践借鉴, 对保障国家粮食安全与区域生态可持续发展具有重要意义。

关键词: 东北黑土区; 耕地系统; 非耕作生境; 生产功能; 生态功能

中图分类号: F301.21; X171.4 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2026)02-0025-13

Protection Strategies and Pathways of Cultivated Land System in Black Soil Region of Northeast China Based on Mountains-Rivers-Forests- Farmlands-Lakes-Grasslands-Deserts Life Community

ZHANG Yufei^{1,2}, BIAN Zhenxing^{1,2}

(1. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. Key Laboratory of Three-Dimensional Protection and Monitoring of Cultivated Land,

Department of Natural Resources of Liaoning Province, Shenyang 110161, China)

Abstract: [Objective] In the black soil region of northeast China, intensive utilization of cultivated land has led to ecological problems such as declining biodiversity. Based on the life community concept of mountains, rivers, forests, farmlands, lakes, grasslands, and deserts, this study aims to develop protection strategies and pathways for cultivated land systems at the landscape scale. [Methods] Systematic induction and typical case analysis methods were employed to identify ecological problems in cultivated land use within the black soil region, define the connotation of the cultivated land system, and establish a theoretical framework and implementation pathways for cultivated land system protection. [Results] 1) The cultivated land system in the black soil region of northeast China faced three main ecological problems: soil fertility decline and productivity reduction, ecological space shrinkage and biodiversity loss, and water resource imbalance and ecosystem function weakening. 2) The

收稿日期: 2025-10-30

修回日期: 2025-12-07

录用日期: 2025-12-13

网络首发日期(www.cnki.net): 2025-12-31

资助项目: 国家自然科学基金项目(32371656)

第一作者: 张宇飞(1996—), 女, 博士, 讲师, 主要从事耕地生态保护与生物多样性保护研究。E-mail: yufeizhang_syau@163.com

通信作者: 边振兴(1974—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事耕地保护与生态修复研究。E-mail: zhx-bian@syau.edu.cn

http://stbcbx.alljournal.com.cn

cultivated land system in the black soil region should be protected under the theoretical framework of "a holistic unit with multi-element coupling", in which the optimization of non-cultivated habitats was the key to enhancing system stability and ecological service functions. 3) In terms of pathway design, it was necessary to adhere to the principles of multi-element coordination, multi-scale overall planning, and multi-stakeholder participation. Trade-offs and synergies between production and ecological functions should be balanced, and their organic integration could be promoted through a composite model of engineering, technology, and institutions. [Conclusion] The effectiveness of cultivated land system protection in the black soil region depends on the accurate identification of driving mechanisms, differentiated management based on zonal strategies, spatial coordination with scale matching, and the coordinated role of multiple stakeholders. The findings provide theoretical support and practical reference for the holistic protection and scientific restoration of the cultivated land system in the black soil region, which is of great significance for ensuring national food security and promoting regional ecological sustainability.

Keywords: black soil region of northeast China; cultivated land system; non-cultivated habitat; production function; ecological function

Received: 2025-10-30

Revised: 2025-12-07

Accepted: 2025-12-13

Online(www.cnki.net): 2025-12-31

东北黑土区是我国粮食安全的重要战略基石,其独特的土壤资源在保障农业生产中发挥着关键作用。近年来,国家高度重视黑土保护,相继出台多项政策与行动方案。《东北黑土地保护性耕作行动计划(2020—2025年)》明确提出,大力推广免耕、少耕、秸秆覆盖等保护性耕作措施,以遏制耕地退化趋势;同时通过工程化治理与制度创新相结合,着力恢复土壤肥力,并在重点区域建设一批国家级黑土地保护工程试点,取得阶段性成效^[1-2]。总体上,这些政策与工程以提升耕地质量为主要目标。然而,长期高强度利用与不合理耕作导致黑土耕地结构退化、功能弱化及生物多样性下降,严重威胁区域生态系统的可持续性^[3-5]。如何在提升生产能力的同时兼顾生态环境,是实现东北黑土区耕地系统可持续利用的必由之路^[2,4,6]。

东北黑土区耕地周边和内部分布着林地、草地、树篱、沟渠等自然、半自然土地,这些非耕作生境对维护耕地生态环境具有重要作用,但其功能发挥尚未受到足够重视。随着耕地规模化扩张,许多非耕作生境被压缩、破碎或功能退化,生态廊道中断、防护林带老化、沟渠湿地萎缩等现象普遍存在^[7],不仅削弱耕地的物质循环与能量流动,也降低其生物多样性与生态调节能力,导致生态系统稳定性下降。因此,东北黑土区耕地保护应统筹考虑耕地和其周边及内部的自然、半自然土地,注重多要素协同与系统性修复^[1,8]。党的十八届三中全会提出“山水林田湖草沙生命共同体”理念,强调生态系统的各要素是一个不可分割、有机联系并且相互作用的整体^[9]。该理念体现整体化的生态保护与修复思维,为耕地系统保护与生态修复提供理论基础,即耕地的保护与

恢复不能仅关注田块本身,而应兼顾区域生态整体健康^[10-11]。2024年中央一号文件进一步提出要强化耕地数量、质量、生态“三位一体”保护,强调在耕地保护中统筹生产与生态功能,推动耕地由单纯的生产空间向生产-生活-生态复合空间转变^[12],标志着耕地保护工作从注重面积与产能发展到更加注重生态系统健康与可持续利用的阶段。因此,耕地系统可视为一个微型生命共同体,各要素通过能量流动、物质循环和信息传递等方式紧密耦合,任何单元的退化都可能削弱整体功能^[13]。耕地周边的林地、草地、林带、树篱、沟渠等非耕作生境要素不仅承担涵养水源、养分循环和气候调节等多重生态功能,也在保障耕地质量及维持区域生态系统长期稳定性中发挥着不可替代的作用^[14-15]。因此,深入认识非耕作生境的生态功能,开展以“生命共同体”为基底的系统性耕地保护与修复,对推进耕地数量、质量和生态“三位一体”保护、实现耕地永续利用具有重要意义。

基于此,本文在梳理东北黑土区耕地利用主要生态问题的基础上,引入“山水林田湖草沙生命共同体”理念,探讨耕地系统概念、内涵与外延,构建东北黑土区耕地系统保护理论框架,并设计耕地系统保护与修复可实施路径,旨在为东北黑土区耕地系统生产与生态功能协同提升、实现耕地资源可持续利用提供理论基础与实践方案。

1 东北黑土区耕地利用中的生态问题

1.1 耕地基本特征

东北黑土区是中国东北地区以黑土资源为核心的农业主产区,覆盖黑龙江、吉林、辽宁及内蒙古东部地区,总面积约103万km²,是世界四大黑土区之

一。其耕地具体特征包括:1)耕作土壤以黑土为主,具有深厚腐殖质层,土壤肥力高;2)耕地利用强度大,规模化集约化程度均较高;3)耕地周边普遍伴生有农田防护林、灌木丛、沟渠和花草带等非耕作生境,构成耕地与多种生境要素交织的复合农林业景观格局。

1.2 主要生态问题

随着东北地区大规模的垦殖活动,森林、草地和湿地等自然生态系统面积大幅减少,耕地比例显著上升。在长期高强度利用和不合理耕作制度下,黑土地面临着严重的生态退化风险,耕地系统的生态功能不断削弱,主要体现在3个方面:

1) 土壤肥力下降与生产力脆弱

长期的“重用轻养”与高强度耕作使黑土地土壤持续退化。机械化耕作、不合理轮作与垄作方向失衡导致水蚀、风蚀、溶蚀并存,黑土地普遍出现“变薄、变硬、变瘦、变酸”的退化特征。已有研究^[1,16-17]表明,黑土层厚度显著减薄,由原来的50~80 cm逐渐下降至20~30 cm,肥力流失严重。由于团粒结构松散,土壤保水保肥能力减弱,酸化与板结加剧,黑土区约70%的耕地土壤酸度过高($\text{pH}<5.5$)。同时,化肥和农药的过量施用使得黑土中有机质含量下降,远低于历史水平^[1]。

2) 生态空间压缩与生物多样性下降

随着耕地扩张与农业景观均质化,耕地周边及内部林地、草地、沟渠、防护林带、水塘等非耕作生境的面积呈减少趋势,部分区域甚至消失,耕地与周边生态空间的联系被削弱^[18]。生境单一化导致生物多样性下降,特别是天敌昆虫、传粉昆虫、土壤动物及有益微生物等功能群数量锐减,耕地生态系统的稳定性和生态调节能力随之下降^[19-20]。生态廊道断裂、防护林退化、湿地萎缩等现象共同削弱区域生态系统的整体连通性与景观完整性。

3) 水资源失衡与生态韧性下降

森林减少、湿地开垦及地下水过度利用使区域水文循环受到扰动,地表径流减少、地下水位下降,水分供给与生态系统调节功能失衡^[21]。在极端气候频发背景下,农业生产对水资源调节能力的依赖加剧,造成水土资源配置失衡。耕地周边及内部非耕作生境的减少削弱了耕地涵养水源、调节气候和固碳保育等生态系统服务的功能,使耕地生态韧性下降,生产功能稳定性受到影响。

2 东北黑土区耕地系统保护框架构建

2.1 耕地系统内涵演变

耕地系统内涵经历从“生产主体”向“生态-生活复合体”的拓展。早期研究从农业生产角度将耕地系统界定为由气候、土壤、地形、水文等自然因素及

农田基础设施等社会经济因素构成的自然经济复合系统^[22-23]。之后在强调耕地生产功能的基础上,并关注表层土壤、地下层、作物体及大气微环境之间通过能量、物质和信息流相互作用^[4,24-25]。可以看出,以往侧重于垂直空间及其与外界的物质交换与能量流动,但尚未从水平空间上考虑耕地内部要素构成与周边不同类型生境的交互、作用范围及多功能。

目前,耕地保护研究已从生产功能提升拓展到耦合生态服务功能、系统韧性与可持续性维度,形成以多功能性与系统集成作为特征的研究新范式,体现学界对其系统性、完整性与可持续性的不断深化认知^[26-27]。在“山水林田湖草沙是命运共同体”的理念框架下,耕地系统不仅包含以耕地为主体的生产空间,还应将林地、草地、水体、湿地、沟渠等非耕作生境纳入整体考量(图1)。非耕作生境在调节水文循环、维系生物多样性、提升景观连通性等方面发挥着不可替代的作用,在一定的空间范围内,与耕地共同构成一个完整的生态系统。基于这一认识,耕地系统不应局限于“耕作生产单元”及其对应垂直空间的环境与生产要素,而是延伸为由耕地与周边自然、半自然非耕作生境及对应水平空间多种生态要素共同支撑的有机整体,强调耕地与周边生境的整体与协同。耕地系统不仅是由气候、土壤、地形地貌、水文地质等自然要素和农田基础设施构成的生产系统,而且是由耕地与周边和内部自然、半自然生境构成的物质、能量循环作用的生态系统。其应是整个系统内部及系统与其他系统之间不断发生相互联系,在整个系统运行过程中朝着结构稳定性方向优化,具有自组织特征的自然生态-社会经济复合系统。耕地系统内涵扩展使得耕地保护不再局限于“耕地数量与质量”的维度,而是拓展到生态系统服务供给、景观格局优化和系统韧性增强等生态系统层面。

2.2 耕地系统功能构成

2.2.1 耕地的生产功能是核心 耕地生产能力是耕地系统基础与核心功能,直接关系到粮食安全和农业可持续发展^[28]。作为粮食生产的基础载体,耕地通过土壤养分、水分和光能的有效整合,为作物提供必要的生长条件,支撑粮食、经济作物及饲料作物的高效生产。生产功能不仅体现在单一作物产量上,也包括对多种作物的轮作和间作适应能力,以及对农业机械化和现代耕作技术的承载能力^[29-30]。在黑土区等粮食主产区,耕地生产功能的强弱直接决定单位面积粮食产量和区域农业总产能。耕地生产功能不仅是粮食供应的保障,也是耕地系统整体健康和区域农业可持续发展的基础。

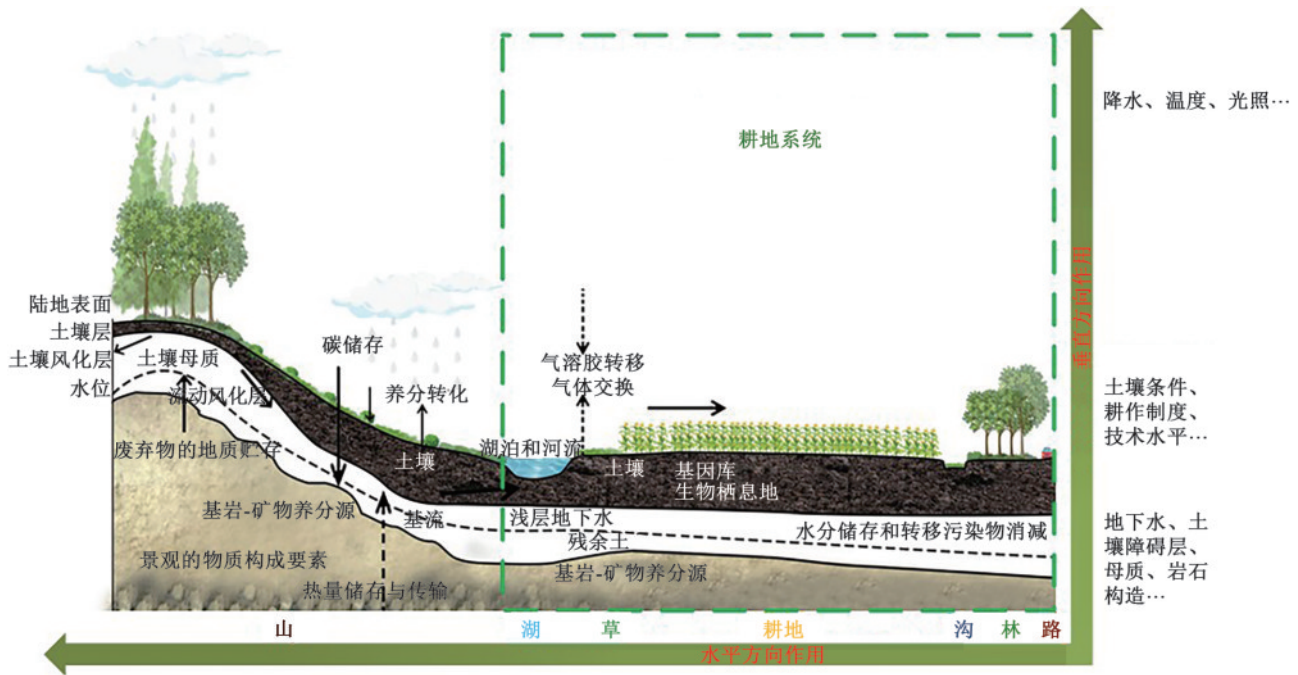


图 1 耕地系统概念

Fig. 1 Concept of cultivated land system

2.2.2 非耕作生境的生态功能是关键 在以耕地为主体的耕地系统中,林地、草地、水体、湿地和沟渠等非耕作生境构成的自然、半自然景观镶嵌体,对维持耕地系统的生态系统服务具有不可替代的作用^[14,31-32]。首先,非耕作生境为鸟类、昆虫和小型哺乳动物提供栖息、繁殖与越冬场所,显著提升耕地系统生物多样性(如地表节肢动物群落丰富度),并增强邻近耕地的天敌多样性和生物防治能力^[33]。已有研究^[34]表明,不同类型的非耕作生境对天敌类群的作用强度与群落组成存在差异,其中林地和草地在提升捕食性节肢动物多样性方面效果尤为显著,而植被盖度与植物多样性则是其产生正向效应的关键影响因素。其次,非耕作生境能丰富耕地景观组成与构成,提升系统稳定性与抵御干扰的能力^[35]。非耕作生境的空间配置、连通性和总体比例决定其对耕地生态功能的贡献,如辽宁省昌图县非耕生境比例维持在20%~30%时更有利于生物多样性和生态系统服务的提升^[36]。

2.2.3 生产与生态功能权衡/协同 耕地系统的生产与生态功能或权衡或协同。一是权衡,体现在集约化高产可能导致土壤肥力下降、生物多样性丧失和生态系统服务减弱;二是协同,合理利用和优化生态过程反过来能够提升产量和农业系统的长期稳定性^[37-39]。具体而言,非耕作生境在这种权衡与协同中起到关键纽带作用。如田埂、林带和草地等生境为天敌昆虫提供栖息地,在维持生物多样性和自然害

虫控制的同时,减少农药使用,降低生产成本,实现生态调节与产量提升的双赢^[40]。但若非耕作生境比例过高,耕地面积降低,影响耕地数量保护和短期内粮食产量,合理配置非耕比有利于耕地系统生产功能和生态功能协同;再如耕地周边水塘、林草带能减少养分流失和阻断面源污染扩展,既提升耕地调节服务,也间接提高供给服务^[41]。由此可见,耕地生产与生态功能并非顾此失彼,可以通过优化非耕作生境的空间配置和功能,在耕地系统尺度上提升二者协同。

未来东北黑土区耕地生产与生态功能协同是耕地可持续利用的核心问题^[42]。有研究^[43-45]表明,生产与生态功能并非完全对立,通过合理的制度设计与技术路径能够实现互促与协同,如推广保护性耕作、秸秆还田与轮作休耕等,不仅有助于提升土壤肥力和保持产能,而且能增强碳汇功能和水土保持效益。通过科学配置耕地与非耕作生境比例,既能保障粮食生产所需的耕地面积,又能发挥生态廊道和屏障作用,提升系统稳定性。

2.3 东北黑土区耕地系统保护理论框架

2.3.1 要素分布与功能联动 基于生态学视角,黑土区耕地系统可视为一个微型“山水林田湖草沙生命共同体”。耕地是核心生产单元,是粮食生产和初级养分循环的主要场所,周边的山体、林地、草地、河流、水塘、沟渠等非耕作生境是耕地系统多种生态系统服务提供者^[46-47]。具体而言,山体与坡地在水源涵养和水土保持中发挥重要作用;林草系统为鸟类、昆

2.3.2 理论框架构建 基于“山水林田湖草沙生命共同体”理念,黑土耕地系统保护应遵循全域统筹与多要素联动的基本原则,以实现复合生态效益^[18]。在此框架下,耕地保护时不仅关注局部的土壤改良与产能维持,更强调不同生态要素之间的相互作用与整体功能效应。通过区域内各要素的协同与反馈,能够显著增强黑土区生态系统的自我调节能力与长期稳定性。实践表明,系统性治理的作用尤为关键。以东北黑土保护工程为例,通过建设坡耕地防护林、实施退耕还林还草和水土保持措施,显著减缓水土流失,促进土壤有机质积累,并逐步恢复耕地的生态功能。而三江平原湿地恢复工程则通过扩大湿地面积、建设河流生态廊道及修复生物栖息地,不仅改善区域水质,还优化水文过程与生物多样性水平。这些案例表明,单一措施难以实现整体功能重

建,必须依托多要素耦合与系统性治理,才能兼顾生产安全与生态安全。与传统以田块为核心的“田间工程”相比,基于“山水林田湖草沙生命共同体”理念的系统保护工程更注重宏观尺度的生态功能提升与区域协同。然而,二者并非对立,而是形成互补:田间工程优化微观耕作环境,系统工程则提供宏观生态安全支撑,共同推动黑土耕地系统的可持续发展。

在理论框架构建中,山、水、林、田、湖、草、沙等要素各具不可替代的功能,但单一要素的独立分析容易导致目标冲突或结果相互矛盾,难以指导实践^[50]。将系统要素划分为生产要素(耕地)与生态要素(非耕作生境),既可明确各类要素的功能定位及相互关系,又有助于将理论分析转化为可操作的保护策略与实施路径。综上所述,黑土耕地系统保护理论框架可以归纳为3层逻辑(图4)。

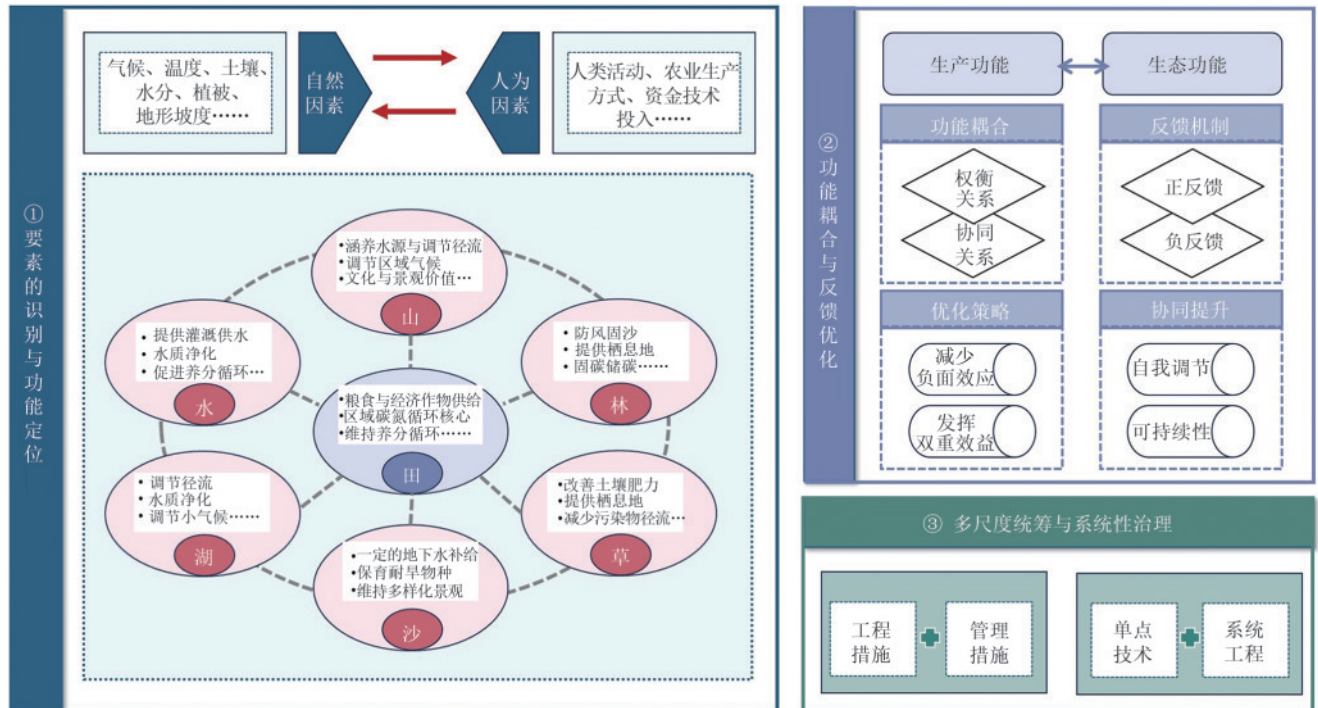


图 4 基于山水林田湖草沙生命共同体的东北黑土区耕地系统保护理论框架

Fig. 4 Theoretical framework for cultivated land system protection in black soil region of northeast China based on life community of mountains, rivers, forests, farmlands, lakes, grasslands, and deserts

第1层是要素的识别与功能定位。在黑土耕地系统中,首先需明确系统要素及其功能属性。将耕地划为生产要素,主要承担粮食生产、初级养分循环及土壤肥力维护等功能;将山、水、林、湖、草、沙等非耕作生境划为生态要素,承担水源涵养、水土保持、碳汇功能、生物多样性维持及生态缓冲等功能。通过识别和分类,可对生产功能和生态功能进行评价,为后续的功能耦合分析提供基础。

第2层是功能耦合与反馈优化。在系统层面,生产功能与生态功能之间存在耦合关系与相互影响。

耕地产能依赖于生态要素提供的水源涵养、养分输入和生物调控服务,而生态功能的维持又受耕地管理方式、作物布局和土壤利用强度的影响。通过功能权衡与协同分析,可识别2类功能潜在的权衡与协同空间进行功能分区,并进一步识别其驱动机制。在此基础上,通过管理措施和生态优化手段削弱负向反馈,促进正向反馈,提升系统的自我调节能力和长期稳定性,实现产量保障与生态安全的协调发展。

第3层是多尺度统筹与系统性治理。耕地系统保护需要兼顾不同空间尺度(田块、小流域、县域等

层面),并调动不同主体(农户、合作社、地方政府与国家层面政策制定者)的积极性,共同构建多元参与的修复路径。需要将要素耦合转化为可实施的治理策略。具体包括工程措施(如坡耕地防护林建设、湿地恢复、退耕还林还草等)和管理措施(如保护性耕作、轮作、秸秆还田等),通过空间布局优化与跨要素协同,实现生产与生态功能的统一。黑土耕地修复不仅是单点技术问题,更是大尺度上的系统工程。

综上,基于“山水林田湖草沙生命共同体”理念的理论框架,不仅提供黑土区耕地系统生态修复的整体思路,也为耕地系统修复路径的提出提供理论支撑和逻辑前提。

3 东北黑土区耕地系统保护路径设计

3.1 耕地系统保护内容

在“山水林田湖草沙生命共同体”理念的指导下,黑土耕地系统的保护需要同时关注耕地本身与非耕作生境的生态功能的协同修复。前者着重于恢复土壤肥力和水土保持功能,后者则强调构建多功能景观格局,以增强系统的整体稳定性和可持续性。

3.1.1 耕地功能保护与质量提升 黑土耕地的核心问题在于土壤肥力下降和结构退化,因此首要任务是提升耕地质量。土地整治与高标准农田建设是提升耕地质量的重要抓手,而以减少土壤扰动为特征的保护性耕作技术,则为退化耕地的修复重建和农田生态系统的可持续发展提供了有效途径^[51-53]:首先,利用农业技术措施能够改善土壤生态环境,如通过秸秆还田、绿肥种植等措施,可以有效提升土壤有机质含量,改善土壤理化性质。同时,构建健康的土壤生物群落、恢复土壤微生物功能,对于增强养分循环和病虫害抑制具有积极作用。其次,要科学调控肥料、农药和种子等物质输入的数量和结构,减少物质输入冗余所带来的面源污染等负面影响,如合理安排化肥农药的施用时间和方式以提高其在生产过程中的利用率。优化作物种植结构,适时安排轮耕休耕,能够维持作物多样性、合理利用土壤养分,恢复耕地地力。目前小流域综合治理模式已在东北部分地区取得成效,结合农田排灌系统的生态化改造,可在防治水土流失的同时,实现农田水分利用效率的提升。例如,黑龙江部分流域通过建设生态沟渠与田间拦截带,实现水土保持与耕地质量双提升。

3.1.2 非耕作生境保护与优化布局 非耕作生境是指分布于农田之间、处于粗放管理状态下的生境类型,通常可分为2类:其一是斑块状生境,包括残留或人工再建的草地、林地、坑塘和湿地等;其二是廊道类生境,如农田防护林、田埂和灌木丛。这些生境在

维系农业景观的稳定性与增强系统的抗风险能力方面具有不可替代的作用。已有研究^[35,54-55]表明,非耕作生境的组成与空间格局对生态功能产生深远影响。其中,非耕作生境比例直接关系到耕地系统中生态功能的发挥,一定比例的非耕作生境才能有效维系生态过程与生物多样性保护^[56-57]。例如,BOSCH-SERRA等^[58]研究发现,超过63%的农田物种在生存上依赖非耕作生境。非耕作生境多样性(如田埂、林网、草地、湿地等类型的组合)能够提供多样化的生境条件,支持捕食性节肢动物、授粉昆虫和鸟类等多类群生物的生存,从而提升害虫控制和授粉服务功能;湿地和小型水体因其水文调节功能和良好的连通性,在改善水质和缓冲径流等方面作用突出^[59]。非耕作生境异质性的增强,例如,连通性的提升,能够强化天敌昆虫和传粉者在农田与非耕作斑块之间的流动性,从而增强耕地系统的稳定性与恢复力。在欧洲国家,非耕作生境的保护和优化布局已被证明能有效转化为生态产品和生态收益,提升农业景观的多功能性和可持续性。欧盟的共同农业政策(CAP)强调通过引入非耕作生境来增强农业景观的生态功能,并通过实施生态补偿机制,鼓励农民在农田中增加非耕作生境的比例,从而实现生态功能的提升和农业生产的可持续发展^[60]。

因此,开展非耕作生境优化配置是维持黑土区耕地系统的必要路径,并且非耕作生境的保护与优化不仅在于维持其面积,更在于通过调整和优化空间格局、科学配置各生境类型,实现多层次的生态功能。例如,通过湿地恢复、林草带建设和生态缓冲区布局,可形成嵌套式的生态网络,从而实现分区治理与功能互补。与此同时,推广生态农业模式,如轮作套种、间作复种等,不仅能够减轻病虫害的发生,还能增加土壤养分多样性,促进农牧循环利用体系的形成。综上,黑土耕地系统保护应兼顾耕地要素与非耕作生境要素的双重目标,通过耕地质量提升、生态环境调控与景观结构优化等多途径协同推进,才能真正实现黑土耕地系统生产与生态保护的协调统一。

3.2 耕地系统保护路径设计

在明确耕地系统保护的内容基础上,结合已构建的理论框架,耕地系统保护的具体实施路径需要从多要素、多尺度、多主体的协同出发,构建农业生产与生态保护的有机结合机制,并通过“工程-技术-制度”的复合模式予以保障(图5)^[61-63]。这种路径不仅强调局部措施的有效性,更突出系统层面的整合与长效运行,旨在实现耕地生产与生态的持续协调发展。

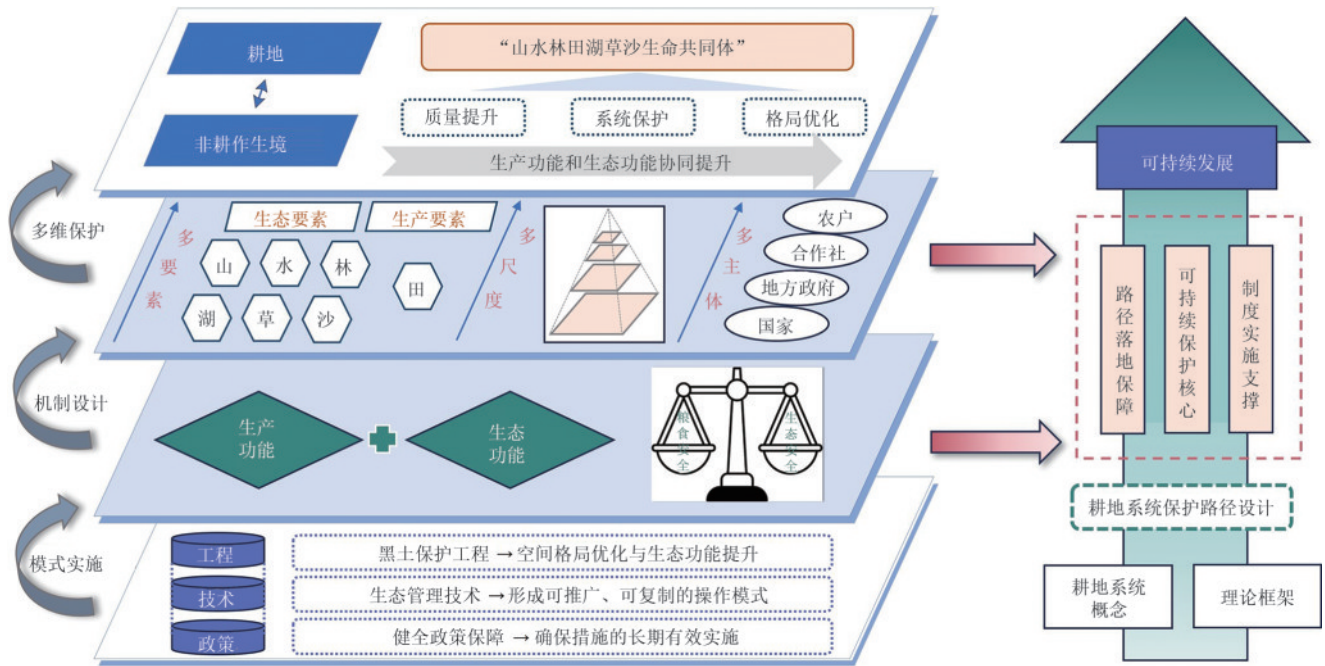


图 5 耕地系统保护路径设计概念

Fig. 5 Conceptual diagram of pathway design for cultivated land system protection

3.2.1 多要素、多尺度与多主体多维保护 黑土耕地系统的修复亟须突破传统以单一要素为核心的治理局限,构建涵盖“山-水-林-田-湖-草-沙”多要素的综合治理框架,实现自然要素的系统性恢复与功能互补。在治理内容上,应充分考虑各类自然要素之间的结构联系和过程耦合,从而避免碎片化治理,推动黑土区整体生态功能的优化与提升。

在空间尺度上,黑土耕地修复不应局限于单一田块,而需在更大范围内实现多层次统筹与纵深延展。具体而言,修复举措应依次向田块-小流域-县域-区域等尺度拓展,形成由点及面、由局部到整体的系统治理格局。例如,通过在小流域范围内统筹水利工程、农田整理和生态护坡等措施,可实现水、土、植被与土地利用方式的协调配置,进而提升流域生态系统整体功能;在县域尺度上,则应通过统一规划耕地保护、湿地恢复与生态屏障建设,推动跨空间层级的综合治理模式落地,以实现自然资源保护与农业生产之间的动态平衡。

在主体参与层面,黑土耕地系统生态修复的系统性与长期性决定其必须依赖多元主体的共同作用与协同治理。例如,农户作为耕地管理与农艺措施实施的直接执行者,其耕作方式和土壤管理行为直接决定修复成效的基层落实;政府则通过制度设计、政策支持、资金投入与监督评估等手段,在宏观层面发挥统筹与引导作用。

3.2.2 生产功能与生态功能协同机制设计 生产功能与生态功能是黑土耕地系统生态保护体系的“双

翼”。在黑土区,生态保护必须与农业生产紧密结合,并通过系统化机制设计实现二者的协同增效。通过“生产-生态”结合的机制,不仅能够保障粮食安全,还能有效降低农业生态风险。例如,在松嫩平原的稻田-湿地生态系统中,水稻田依托湿地带过滤水体,实现产量稳定的同时提升水质净化能力和生物多样性;在黑龙江部分试点区,轮作大豆与玉米并配套秸秆还田,土壤有机质显著提高,同时作物产量和抗病能力均得到增强。

生态保护与农业生产可以通过资源循环和功能互补形成闭环机制。以秸秆还田为例,秸秆不仅提供有机质,改善土壤结构,还能减少化肥使用,降低养分流失和环境负荷;绿色防控、覆盖作物和适度施肥等技术组合,可以在保证生产的同时增强生态系统服务,如土壤固碳、水分保持及生物多样性保护^[64]。

因此,通过制度激励、技术推广和管理优化,将生态功能纳入生产决策,使农田管理、作物布局、养分投入和水资源管理形成闭环。不仅保障粮食安全,也有效降低农业生态风险,从而推动黑土耕地系统的可持续发展。

3.2.3 工程-技术-政策复合模式实施 黑土耕地系统保护不仅依赖单一技术手段,更需构建“工程措施-生态技术-政策保障”相结合的复合模式^[65-66]。在工程层面,应持续推进黑土保护工程和湿地恢复工程,通过坡耕地治理、水利设施建设及湿地保护,实现空间格局优化与生态功能提升;在技术层面,应整合秸秆还田、绿肥利用、生态沟渠建设等多种生态管理技

术,形成可推广、可复制的操作模式;在政策层面,则需通过政策激励、生态补偿机制及法律法规约束,保障措施的长期有效实施。例如,吉林省部分地区通过设立“黑土保护补偿基金”,有效调动农户参与耕地生态管理的积极性。该复合模式的实施,有助于实现耕地系统功能的长期稳定与整体提升,同时为耕地生产与生态功能的协同发展提供制度、技术和工程三位一体的保障。

4 讨论

东北黑土区耕地系统保护在理论与实践上均具备较高可行性,但在具体实施过程中,需要充分考虑生产功能与生态功能之间的耦合关系与权衡机制,明确重点实施方向。耕地系统中的生产-生态关系既存在权衡,也存在协同空间:高强度集约化耕作有可能提升产量却削弱土壤生态功能,而合理利用非耕作生境和优化作物管理则可在增强生态服务的同时维持产量稳定^[67]。因此,实施路径应遵循分区施策原则,在不同空间尺度和耕地类型上制定差异化管理策略。驱动机制是理解和管理这种权衡与协同的核心。在东北黑土区,土壤养分状况、水文条件、作物轮作制度、非耕作生境连通性及政策激励等因素,决定生产与生态功能的权衡与协同空间。例如,土壤有机质和养分水平直接影响作物产量和微生物活性,通过秸秆还田、绿肥利用等措施可以同时提升生产与生态功能;水文条件影响耕地灌溉效率与湿地生态服务,通过调控灌溉与湿地水位可协调产量与生态效益;轮作制度的优化不仅维持土壤健康,也抑制病虫害发生;非耕作生境的空间结构和连通性决定天敌和授粉者在景观中的流动性,从而影响害虫控制和授粉服务;政策激励则通过影响农户管理行为,为功能优化提供制度保障。明确这些驱动因素,有助于界定管理重点和参照标准,实现生产与生态功能的动态平衡。

耕地系统保护的落实应与空间尺度相匹配。在田块尺度,应针对土壤质量、作物类型和微生物条件,制定具体管理措施,如秸秆还田、覆盖作物和轮作制度优化;在小流域与县域尺度,应统筹耕地与非耕作生境配置、生态廊道布局以及水土保持工程,形成跨田块的生态网络;在区域尺度,应通过政策引导、土地规划和生态补偿机制,实现耕地保护与生态系统功能的整体提升。这种尺度匹配不仅有助于解决局部管理与系统功能之间的矛盾,也有利于保障生态与生产目标的长期稳定性^[26,68-69]。

理论成果的转化应与不同耕地系统保护主体的职能相契合。农户作为耕地管理与生产活动的直接

执行者,需要将生态功能纳入日常耕作决策;地方政府通过规划、政策激励和技术服务,实现对区域耕地系统的统筹管理;科研机构则提供监测、评估与技术支撑,为科学决策提供依据。通过多主体协同,将理论指导与实践操作有机结合,可实现东北黑土区耕地系统保护的高效实施,并推动生产功能与生态功能的长期协同发展^[39,65]。

综上所述,东北黑土区耕地系统保护的实施成效取决于对生产功能与生态功能耦合关系的精准把握。通过明确驱动机制、分区施策、尺度匹配以及多主体协同,可以在保障粮食安全的同时提升生态系统服务能力和系统稳定性。未来的研究与实践应进一步强化对非耕作生境优化、土壤管理、水文调控及政策激励等关键因素的综合管理,实现生产与生态功能的动态平衡,为黑土区耕地系统的可持续利用提供长效保障。

5 结论

1)东北黑土区的主要生态问题集中体现为土壤退化、生境简化和水文失衡三大方面,这些问题相互作用、循环叠加,具有明显的系统性与累积性特征,成为制约东北农业可持续发展的关键障碍。

2)在理论框架构建方面,东北黑土区耕地系统应作为多要素耦合的“命运共同体”进行保护,强调生产要素与生态要素的协同作用,通过功能耦合与跨尺度反馈机制,可以实现系统性增效,为保护策略提供理论支撑,尤其是非耕作生境优化被视为提升系统稳定性和生态服务能力的关键。通过加强非耕作生境建设与空间格局优化配置,可实现黑土区耕地系统生产与生态功能的有机协同。

3)在路径设计方面,首先,多要素、多尺度、多主体系统治理是路径落地的保障。黑土区耕地系统保护需统筹耕地和非耕作生境要素的保护,覆盖田块、小流域、县域及区域层面。实现制度激励、技术推广和基层执行闭环,推动各要素系统协同管理。其次,生产功能与生态功能的协同机制设计是可持续性保护的核心。通过秸秆还田、轮作套作及绿色防控技术组合,可以在提升产量的同时增强生态系统服务,实现生产与生态互促。最后,工程-技术-制度复合模式为保护措施提供实施保障。将高标准农田建设、湿地恢复及坡耕地治理等工程措施与生态技术相结合,并通过政策激励和生态补偿机制保障实施,形成可持续、可推广的保护模式。

因此,建议加强区域统筹规划,明确耕地与非耕作生境比例及空间布局;推动多主体协同参与,提高农户、合作社和政府的治理能力;建立长期监测评估

体系,为耕地系统的可持续保护提供科学依据。综上,东北黑土区耕地系统保护的理论和实施路径能够在保障粮食生产的同时维护生态安全,实现生产功能与生态功能的长期协同,为东北黑土区可持续发展提供系统化、可操作的战略方案。

参考文献:

- [1] 张佳宝,孙波,朱教君,等.黑土地保护利用与山水林田湖草沙系统的协调及生态屏障建设战略[J].中国科学院院刊,2021,36(10):1155-1164.
ZHANG J B, SUN B, ZHU J J, et al. Black soil protection and utilization based on harmonization of mountain-river-forest-farmland-lake-grassland-sandy land ecosystems and strategic construction of ecological barrier[J].Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(10): 1155-1164.
- [2] ZHANG Y F, BIAN Z X, GUO X Y, et al. Strategic land management for ecosystem sustainability: Scenario insights from the northeast black soil region[J].Ecological Indicators, 2024, 168: e112784.
- [3] 张慧,刘倩倩,李咏雪.东北黑土区耕地系统健康评价及障碍因子分析:以肇源县为例[J].农业资源与环境学报,2025,42(4):866-876.
ZHANG H, LIU Q Q, LI Y X. Evaluation of cultivated land system health and diagnosis of its obstacle factors in the black soil region of northeast China: A case study of Zhaoyuan County, China [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2025, 42(4): 866-876.
- [4] 汪景宽,徐香菇,裴久渤,等.东北黑土地地区耕地质量现状与面临的机遇和挑战[J].土壤通报,2021,52(3):695-701.
WANG J K, XU X R, PEI J B, et al. Current situations of black soil quality and facing opportunities and challenges in northeast China[J].Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(3): 695-701.
- [5] WANG H, ZHANG C, YAO X C, et al. Scenario simulation of the tradeoff between ecological land and farmland in black soil region of northeast China[J].Land Use Policy, 2022, 114: e105991.
- [6] 孔祥斌,张蚌蚌,温良友,等.基于要素-过程-功能的耕地质量理论认识及其研究趋势[J].中国土地科学, 2018, 32(9): 14-20.
KONG X B, ZHANG B B, WEN L Y, et al. Theoretical framework and research trends of cultivated land quality based on elements-process-function [J]. China Land Science, 2018, 32(9): 14-20.
- [7] 边振兴,姚舒译,刘晓雨,等.基于边缘感知DeepLabV³⁺模型的耕地系统生境类型识别方法[J].农业工程学报, 2025, 41(18): 280-290.
BIAN Z X, YAO S Y, LIU X Y, et al. Habitat type recognition method for cultivated land system based on edge perception DeepLabV³⁺ model [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025, 41(18): 280-290.
- [8] 杨钊,曾晓林,林德洪,等.以流域为单元的山水林田湖草沙一体化保护修复思路与实践:以贵州省洪渡河流域为例[J].山东国土资源,2025,41(4):59-66.
YANG Z, ZENG X L, LIN D H, et al. Integrated protection and restoration ideas and practices of mountains waters forests fields lakes grasses and sands based on watershed units: Taking Hongdu River basin as an example[J].Shandong Land and Resources, 2025, 41(4): 59-66.
- [9] 辛顺杰,连华,梁浩东,等.基于“山水林田湖草沙”生命共同体理念的生态问题识别与修复策略:以甘南洮河流域为例[J].草业科学,2022,39(6):1256-1268.
XIN S J, LIAN H, LIANG H D, et al. Ecological problem identification and restoration strategy based on the mountain-water-forest-field-lake-grass-sand life community concept in Taohe River watershed, Gannan, China [J].Pratacultural Science, 2022, 39(6): 1256-1268.
- [10] 郇文聚,汤怀志,桑玲玲.树立耕地系统认知,完善最严格耕地保护制度[J].中国土地,2022(5):4-7.
YUN W J, TANG H Z, SANG L L. Establish a systematic understanding of cultivated land and improve the strictest tillage and protection system [J]. China Land, 2022(5): 4-7.
- [11] 苏浩,吴次芳.东北黑土区耕地系统健康诊断及其演化特征:以克山县为例[J].经济地理,2023,43(6):166-175.
SU H, WU C F. Diagnosis and evolution characteristics of cultivated land system health condition in the black soil region of northeast China: A case study of Keshan County[J].Economic Geography, 2023, 43(6): 166-175.
- [12] CHENG P, ZHANG Y, LIU K, et al. Continuing the continuous harvests of food production: From the perspective of the interrelationships among cultivated land quantity, quality, and grain yield [J]. Humanities and Social Sciences Communications, 2025, 12: e46.
- [13] 胡月明,杨颖,邹润彦,等.耕地资源系统认知的演进与展望[J].农业资源与环境学报,2021,38(6):937-945.
HU Y M, YANG H, ZOU R Y, et al. Evolution and prospect of systematic cognition on the cultivated land resources[J].Journal of Agricultural Resources and Environment, 2021, 38(6): 937-945.
- [14] 边振兴,冯玉萍,于淼,等.农田中非耕作生境对耕地多功能影响研究[J].中国农业资源与区划,2017,38(4):154-160.
BIAN Z X, FENG Y P, YU M, et al. The effects of non-cropped habitat on the arable land multifunction [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(4): 154-160.
- [15] 周伟,石吉金,范振林.基于粮食安全和生态安全的耕地生态保护研究[J].中国土地科学,2023,37(7):125-134.

- ZHOU W, SHI J J, FAN Z L. Research on ecological protection of cultivated land based on food security and ecological security[J]. *China Land Science*, 2023, 37(7): 125-134.
- [16] 韩贵清, 杨林章. 东北黑土资源利用现状及发展战略[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008.
- HAN G Q, YANG L Z. Utilization status and development strategy of black soil resources in northeast China[M]. Beijing: China Land Press, 2008.
- [17] 孙波, 张旭东, 陆雅海, 等. 耕地地力提升与化肥养分高效利用[M]. 北京: 科学出版社, 2022.
- SUN B, ZHANG X D, LU Y H, et al. Improvement of cultivated land fertility and efficient utilization of chemical fertilizers and nutrients[M]. Beijing: Science Press, 2022.
- [18] 李玉恒, 黄惠倩, 郭桐冰, 等. 多重压力胁迫下东北黑土区耕地韧性研究及其启示: 以黑龙江省拜泉县为例[J]. *中国土地科学*, 2022, 36(5): 71-79.
- LI Y H, HUANG H Q, GUO T B, et al. Research on cultivated land resilience of the black soil region in the northeast China under multiple stresses and its implications: The study of Baiquan County, Heilongjiang Province[J]. *China Land Science*, 2022, 36(5): 71-79.
- [19] MARJA R, TSCHARNTKE T, BATÁRY P. Increasing landscape complexity enhances species richness of farmland arthropods, agri-environment schemes also abundance: A meta-analysis [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2022, 326: e107822.
- [20] DING G Q, YI D, YI J L, et al. Protecting and constructing ecological corridors for biodiversity conservation: A framework that integrates landscape similarity assessment[J]. *Applied Geography*, 2023, 160: e103098.
- [21] LIANG J, LI S, LI X D, et al. Trade-off analyses and optimization of water-related ecosystem services (WRESs) based on land use change in a typical agricultural watershed, southern China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 279: e123851.
- [22] 高士光, 陈亚恒, 许峰. 基于农用地分等成果的耕地整理潜力计算方法: 以衡水市桃城区为例[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(1): 397-401.
- GAO S G, CHEN Y H, XU H. Calculational method study on cultivated land consolidation potential based on agricultural land classification achievement: A case study: Taocheng District, Hengshui City [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(1): 397-401.
- [23] XIAO Y, AN K, XIE G D, et al. Evaluation of ecosystem services provided by 10 typical rice paddies in China [J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2011, 2(4): 328-337.
- [24] LE PROVOST G, THIELE J, WESTPHAL C, et al. Contrasting responses of above- and belowground diversity to multiple components of land-use intensity [J]. *Nature Communications*, 2021, 12: e3918.
- [25] 苏浩, 吴次芳. 东北黑土区耕地系统变化机理[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(6): 243-251.
- SU H, WU C F. Mechanism of cultivated land system change in black soil areas of northeast China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(6): 243-251.
- [26] 莫钧雄, 朱红波, 丁未来, 等. 不同尺度下成渝城市群耕地多功能耦合特征与优化策略[J/OL]. *资源科学*, 2025: 1-19 [2026-03-30]. <https://link.cnki.net/urlid/11.3868.N.20250620.1840.002>.
- MO J X, ZHU H B, DING W L, et al. Coupling characteristics and optimization strategies of multifunctional farmland in the Chengdu Chongqing urban agglomeration at different scales [J/OL]. *Resources Science*, 2025: 1-19 [2026-03-30]. <https://link.cnki.net/urlid/11.3868.N.20250620.1840.002>.
- [27] 吕添贵, 陈安莹, 付舒斐, 等. 长江中游粮食主产区耕地系统韧性的空间关联网络演变特征及驱动因素[J]. *中国土地科学*, 2025, 39(5): 107-119.
- LYU T G, CHEN A Y, FU S F, et al. Spatial correlation network evolution characteristics and driving factors of cultivated land system resilience in the major grain producing areas of the middle reaches of the Yangtze River [J]. *China Land Science*, 2025, 39(5): 107-119.
- [28] 吕立刚, 撤旭, 龙花楼, 等. 耕地多功能供需匹配研究进展与展望[J]. *资源科学*, 2023, 45(7): 1351-1365.
- LV L G, HAN X, LONG H L, et al. Research progress and prospects on supply and demand matching of farmland multifunctions [J]. *Resources Science*, 2023, 45(7): 1351-1365.
- [29] 陈印军, 肖碧林, 方琳娜, 等. 中国耕地质量状况分析 [J]. *中国农业科学*, 2011, 44(17): 3557-3564.
- CHEN Y J, XIAO B L, FANG L N, et al. The quality analysis of cultivated land in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(17): 3557-3564.
- [30] SEPPELT R, ARNDT C, BECKMANN M, et al. Deciphering the biodiversity-production mutualism in the global food security debate [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2020, 35(11): 1011-1020.
- [31] TSCHARNTKE T, BATÁRY P, DORMANN C F. Set-aside management: How do succession, sowing patterns and landscape context affect biodiversity? [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 143(1): 37-44.
- [32] 王嘉怡, 李国煜, 方晓倩, 等. “社会-生态系统”视角下耕地生态系统服务内涵解析与研究框架[J]. *生态学报*, 2024, 44(15): 6881-6891.
- WANG J Y, LI G Y, FANG X Q, et al. Exploring the connotation and research framework of cultivated land ecosystem services from the perspective of social-ecological systems [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(15): 6881-6891.
- [33] ROSENFELD M F, MIEDEMA BROWN L,

- ANAND M. Increasing cover of natural areas at smaller scales can improve the provision of biodiversity and ecosystem services in agroecological mosaic landscapes[J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 303: e114248.
- [34] WANG C Q, BIAN Z X, ZHANG Y F, et al. Direct and indirect effects of linear non-cultivated habitats on epigeic macroarthropod assemblages[J]. *Ecological Indicators*, 2024, 160: e111871.
- [35] 陈航, 肖武, 谭永忠, 等. 林-耕布局优化及其对系统韧性的影响研究: 以浙江省永康市为例[J]. *中国土地科学*, 2024, 38(8): 124-134.
- CHEN H, XIAO W, TAN Y Z, et al. An examination of the layout optimization of forest and farmland and its impact on system resilience: Evidence from Yongkang City, Zhejiang Province[J]. *China Land Science*, 2024, 38(8): 124-134.
- [36] 边振兴, 李晓璐, 于淼. 东北平原典型玉米种植区农业景观植物多样性研究: 以昌图县为例[J]. *中国生态农业学报*, 2018, 26(4): 480-492.
- BIAN Z X, LI X L, YU M. The plant diversity of agro-landscapes in typical maize planting areas in the northeast Plain, China: A case study of Changtu County[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2018, 26(4): 480-492.
- [37] 邓良基, 凌静, 张世熔, 等. 四川旱耕地生产、生态问题及水土流失综合治理研究[J]. *水土保持学报*, 2002, 16(2): 8-11.
- DENG L J, LING J, ZHANG S R, et al. Problem of production and ecology of dry cropland and comprehensive harness of soil and water loss in Sichuan Province[J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2002, 16(2): 8-11.
- [38] JIANG G H, WANG M Z, QU Y B, et al. Towards cultivated land multifunction assessment in China: Applying the "influencing factors-functions-products-demands" integrated framework[J]. *Land Use Policy*, 2020, 99: e104982.
- [39] 周启星, 王琦, 郑泽其, 等. 农业粮食生产中的碳中和与生态修复[J]. *农业环境科学学报*, 2023, 42(1): 1-10.
- ZHOU Q X, WANG Q, ZHENG Z Q, et al. Carbon neutrality and ecological remediation in agricultural grain production [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2023, 42(1): 1-10.
- [40] PARDON P, MERTENS J, REUBENS B, et al. *Juglans regia* (walnut) in temperate arable agroforestry systems: Effects on soil characteristics, arthropod diversity and crop yield[J]. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 2020, 35(5): 533-549.
- [41] 马瑞, 田芷源, 赵艳, 等. 东北黑土典型水蚀区农田侵蚀与退化特征[J]. *水土保持学报*, 2024, 38(5): 71-81.
- MA R, TIAN Z Y, ZHAO Y, et al. Characteristics of erosion and degradation for farmlands in the typical water erosion area of the black soil region, northeast China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2024, 38(5): 71-81.
- [42] FINCH T. Restoring farmlands for food and nature[J]. *One Earth*, 2020, 3(6): 665-668.
- [43] 汤怀志. 耕地生态功能管理不可缺失[J]. *中国土地*, 2017(7): 12-14.
- TANG H Z. Ecological function management of cultivated land is indispensable[J]. *China Land*, 2017(7): 12-14.
- [44] 郎文聚, 李春泽, 张超, 等. 耕地数量-质量-生态一体化调查监测技术体系构建设想[J]. *地理信息世界*, 2022, 29(5): 14-19.
- YUN W J, LI C Z, ZHANG C, et al. Assumption for the integrated investigation and monitoring technical system construction of the cultivated land quantity-quality-ecology[J]. *Geomatics World*, 2022, 29(5): 14-19.
- [45] LIU Y, WAN C Y, XU G L, et al. Exploring the relationship and influencing factors of cultivated land multifunction in China from the perspective of trade-off/synergy[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 149: e110171.
- [46] 叶思菁, 宋长青, 高培超, 等. 地理空间视角下耕地资源新认知体系构建[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(9): 225-240.
- YE S J, SONG C Q, GAO P C, et al. Construction of the new cognitive system for arable land resources from geospatial perspective [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(9): 225-240.
- [47] 任继军, 肖粤新, 孙泽龙, 等. 关于构建自然资源要素综合观测网络的思考: 以长江中下游流域为例[J]. *现代地质*, 2025, 39(2): 384-395.
- REN J J, XIAO Y X, SUN Z L, et al. Reflections on building a comprehensive observation network for natural resource components: A case study of the middle and Lower Yangtze River basin[J]. *Geoscience*, 2025, 39(2): 384-395.
- [48] 刘婉莹, 宋戈, 高佳, 等. 下辽河平原典型地域耕地系统弹性时空分异特征[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(9): 252-260.
- LIU W Y, SONG G, GAO J, et al. Spatiotemporal differentiation of arable land system resilience in the typical areas of lower Liaohe Plain of China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(9): 252-260.
- [49] 刘涵, 王钰, 桑玲玲, 等. 自然资源无缝数据立方体构建与要素智能监测[J]. *测绘科学*, 2023, 48(1): 201-213.
- LIU H, WANG Y, SANG L L, et al. Production of natural resource seamless data cube and intelligent monitoring of natural resource elements[J]. *Science of Surveying and Mapping*, 2023, 48(1): 201-213.
- [50] 边振兴, 刘彬, 管德阳. 基于土地利用变化的东北黑土区景观生态风险评价[J]. *沈阳农业大学学报*, 2025, 56(1): 140-155.
- BIAN Z X, LIU B, GUAN D Y. Landscape ecological risk assessment for the black soil region in northeast China based on land use change[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2025, 56(1): 140-155.
- [51] 唐秀美, 潘瑜春, 郝星耀, 等. 中国耕地整治生态潜力测算方法[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(17): 270-277.

- TANG X M, PAN Y C, HAO X Y, et al. Calculation method of cultivated land consolidation ecological potential in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(17): 270-277.
- [52] PRIYADARSHANA T S, MARTIN E A, SIRAMI C, et al. Crop and landscape heterogeneity increase biodiversity in agricultural landscapes: A global review and meta-analysis [J]. Ecology Letters, 2024, 27(3): ee14412.
- [53] 杨斌, 郭维红, 谭青媛, 等. 高标准农田建设对耕地系统韧性的影响及其机制 [J]. 农业工程学报, 2025, 41(4): 269-278.
- YANG B, GUO W H, TAN Q Y, et al. Impacts of high-standard farmland construction policy on cultivated land system resilience [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025, 41(4): 269-278.
- [54] 黄贤金, 漆信贤, 刘泽森, 等. 面向农食系统碳减排的耕地空间格局优化 [J]. 经济地理, 2024, 44(9): 153-162.
- HUANG X J, QI X X, LIU Z M, et al. Optimization of farmland spatial pattern for carbon emission reduction in the agriculture and food system [J]. Economic Geography, 2024, 44(9): 153-162.
- [55] 唐兰萍, 柯新利, 左成超, 等. 中国耕地系统时空演变对陆地生态系统碳收支的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(10): 278-289.
- TANG L P, KE X L, ZUO C C, et al. Impact of spatial-temporal changes in the cropland system on carbon budget of terrestrial ecosystems in China [J]. Journal of China Agricultural University, 2024, 29(10): 278-289.
- [56] FAHRIG L, BAUDRY J, BROTONS L, et al. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes [J]. Ecology Letters, 2011, 14(2): 101-112.
- [57] TSCHARNTKE T, KLEIN A M, KRUESS A, et al. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity-ecosystem service management [J]. Ecology Letters, 2005, 8(8): 857-874.
- [58] BOSCH-SERRA À D, PADRÓ R, BOIXADERA-BOSCH R R, et al. Tillage and slurry over-fertilization affect oribatid mite communities in a semiarid Mediterranean environment [J]. Applied Soil Ecology, 2014, 84: 124-139.
- [59] MEICHTRY-STIER K S, JENNY M, ZELLWEG-FISCHER J, et al. Impact of landscape improvement by agri-environment scheme options on densities of characteristic farmland bird species and brown hare (*Lepus europaeus*) [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2014, 189: 101-109.
- [60] DÍAZ M, CONCEPCIÓN E D. Enhancing the effectiveness of CAP greening as a conservation tool: A plea for regional targeting considering landscape constraints [J]. Current Landscape Ecology Reports, 2016, 1(4): 168-177.
- [61] 曹优明, 杨扬. “双碳”目标下洛河上游山水林田湖草沙一体化保护与修复技术模式研究 [J]. 中国水土保持, 2025(3): 59-62.
- CAO Y M, YANG Y. Research on the integrated protection and restoration technology model of mountains, waters, forests, fields, lakes, grasses, and sands in the upper reaches of the Luohe River under the goal of carbon neutrality and carbon emission peak [J]. Soil and Water Conservation in China, 2025(3): 59-62.
- [62] 卢泉, 高花彦, 王鹏鹏, 等. 塔里木河流域水-耕地-粮棉系统耦合关系及影响因素分析 [J]. 干旱区地理, 2024, 47(5): 820-829.
- LU Q, GAO H Y, WANG P P, et al. Coupling relationship and influencing factors of water-cropland-grain-cotton system in Tarim River basin [J]. Arid Land Geography, 2024, 47(5): 820-829.
- [63] WANG S L, JIN X B, QU Y B, et al. How to achieve adaptive optimization of cultivated land multifunctionality? Insights from coupled supply-utilization-demand interactions [J]. Habitat International, 2025, 164: e103524.
- [64] 朱雪峰, 张春雨, 郝艳杰, 等. 玉米秸秆覆盖还田量对免耕土壤有机碳中红外光谱特征的影响 [J]. 应用生态学报, 2021, 32(8): 2685-2692.
- ZHU X F, ZHANG C Y, HAO Y J, et al. Effects of corn stover mulch quantity on mid-infrared spectroscopy of soil organic carbon in a no-tillage agricultural ecosystem [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(8): 2685-2692.
- [65] 汤怀志, 鄯文聚, 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.
- TANG H Z, YUN W J, NIU J C. Scientific and technological support path of cultivated land resources protection supervision [J]. China Land, 2023(1): 12-15.
- [66] 郑华健, 文薪荐, 宋兆璞, 等. 以“制度+科技”开创耕地保护新局面 [J]. 中国土地, 2023(10): 31-33.
- ZHENG H J, WEN X J, SONG Z P, et al. Create a new situation of cultivated land protection with “system+science and technology” [J]. China Land, 2023(10): 31-33.
- [67] DELABRE I, RODRIGUEZ L O, SMALLWOOD J M, et al. Actions on sustainable food production and consumption for the post-2020 global biodiversity framework [J]. Science Advances, 2021, 7(12): eabc8259.
- [68] GABRIEL D, SAIT S M, HODGSON J A, et al. Scale matters: The impact of organic farming on biodiversity at different spatial scales [J]. Ecology Letters, 2010, 13(7): 858-869.
- [69] ZHANG Y F, BIAN Z X, WANG S, et al. Effect of agricultural landscape pattern on the qualitative food web of epigeic arthropods in low hilly areas of northern China [J]. Ecological Modelling, 2024, 488: e110574.