Problems and Prospects of Green Fertilizer Industry Development under the Background of Ecological Revitalization

Linfei Wu Li Zhuang Mengyi Chen Jianhong Wang*

Institute of Environmental Resources and Soil Fertilizers, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou, Zhejiang, 310021, China

Abstract

Ecological revitalization serves as the core foundation for rural revitalization. As an agricultural resource that integrates traditional wisdom with modern ecological concepts, green fertilizer differs from the single-fertilizer approach of chemical fertilizers by offering multiple functions including soil enrichment, pollution control, ecological restoration, and biodiversity conservation, making it a key solution to agricultural non-point source pollution and a driving force for ecological revitalization. Drawing on scientific research, practical experience, and literature review, this paper systematically examines the central role of green fertilizer in supporting ecological revitalization, identifies industry development bottlenecks, outlines future development pathways, and provides a scientific basis for the high-quality development of the green fertilizer industry.

Keywords

green manure; industrial development; ecological revitalization; soil health; ecological restoration

生态振兴背景下绿肥产业发展面临的问题与前景展望

吴林妃 庄俐 陈梦轶 王建红*

浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所，中国·浙江 杭州 310021

摘要

生态振兴是乡村振兴的核心基石。绿肥作为融合传统智慧与现代生态理念的农业资源，不同于化肥的单一供肥模式，兼具土壤培肥、污染防控、生态修复、生物多样性保护等多重功能，是破解农业面源污染、赋能生态振兴的关键抓手。本文结合科研实践与文献资料，系统梳理绿肥支撑生态振兴的核心作用，剖析产业发展瓶颈，研判未来发展路径，为绿肥产业高质量发展提供科学依据。

关键词

绿肥；产业发展；生态振兴；土壤健康；生态修复

1 引言

乡村振兴战略是新时代“三农”工作总抓手，生态振兴是乡村振兴的核心基石。习近平总书记指出：“良好生态环境是农村最大优势和宝贵财富。要守住生态保护红线，推动乡村自然资本加快增值，让良好生态成为乡村振兴的支撑点”[2]。当前，我国农村生态环境面临耕地退化、农业面源污染、生态系统脆弱等多重挑战，《2023年中国生态环境状况公报》显示，我国21.3%的耕地有机质含量偏低，农业面源污染贡献了全国总氮、总磷排放量的40%以上，耕地生态修复任务艰巨。

绿肥是以新鲜植株就地翻压、沤堆还田为用途的栽培植物，栽培利用历史追溯至先秦[3]。不同于化肥的单一供肥模式，绿肥兼具土壤培肥、污染防控、生态修复、生物多样性保护等多重功能，深度参与农田物质循环，同步释放生态、经济、社会效益，是破解农田生态难题、赋能生态振兴的关键抓手。现阶段绿肥产业发展仍存在多重桎梏，综合价值未能充分释放。本文结合科研实践与文献资料，系统梳理绿肥支撑生态振兴的核心作用，剖析产业发展瓶颈，研判未来发展路径，为绿肥产业高质量发展提供科学依据。

2 绿肥在生态振兴中的多元核心价值

2.1 维护土壤健康，破解耕地退化难题

土壤是农业生产基础，当前我国耕地面临有机质下降、酸化、盐碱化、重金属累积等多重问题，全国

【基金项目】财政部和农业农村部—国家现代农业产业技术体系建设专项资金（项目编号：CARS-22）。

【作者简介】吴林妃（1975-），女，中国浙江新昌人，硕士，副研究员，从事土壤肥料科研管理。

农区绿肥适宜种植潜力面积为3340万hm²，推行绿肥轮作是修复耕地的核心技术手段[4]。紫云英、黄花苜蓿等豆科绿肥依靠根瘤菌固氮，活化土壤磷钾养分；翻压腐解生成腐殖质，优化土壤团粒结构，提升保水保肥能力[5]。同时缓冲土壤酸碱度、激活土壤酶活性，改善作物根际环境，为作物生长创造良好条件。

绿肥还田可为土壤微生物提供丰富碳源与氮源，优化微生物群落结构，强化农田氮转化功能。连续三年配施生物炭与绿肥翻压，可提升土壤有益微生物丰度，抑制镰刀菌等土传致病菌，减少农药投入。在重金属污染耕地修复方面，绿肥具备低成本、无二次污染优势：商陆、东南景天、伴矿景天等超富集植物可吸收土壤镉、铅、锰，通过地上部收割实现重金属移出；紫云英、苕子依靠根系分泌物钝化重金属，降低其有效性，降低作物吸收风险。推广绿肥种植能够实现用地养地结合，持续维护土壤健康。

2.2 削减面源污染，夯实农业低碳生态屏障

农业面源污染（化肥流失、温室气体排放）是农村生态治理重点，绿肥通过源头减量与过程调控实现双重治污效果。在减少化肥流失方面，绿肥的“养分替代”作用显著，每亩紫云英鲜草量可达2吨，还田后可减少20%化肥投入[6]。果园间作绿肥可持续供给氮磷养分，降低化学肥料施用强度。同时绿肥构建复合植被层，为瓢虫、草蛉等天敌昆虫提供栖息地与食物来源，构建自然控害体系，减少农药使用。果园种植白三叶草可使蚜虫发生率降低37%～52%，农药使用次数减少2～3次/年；梨园长期种植苕子、苜蓿可推迟虫害爆发高峰，提升天敌多样性[7]。

“双碳”减排层面，绿肥通过光合作用固碳，植株残体还田转化为土壤有机碳，实现长效碳封存。连续5年种植绿肥农田土壤有机碳年均提升0.1%～0.2%，每公顷年固碳1～2吨。稻肥轮作可降低稻田甲烷排放34%～80%，旱地绿肥减少氧化亚氮排放18%～40%，通过优化土壤碳氮比抑制温室气体生成[8]。

在西南石漠化、水土流失严重等生态脆弱地区，绿肥的“生态修复”作用不可或缺。种植田菁、木豆等耐旱、耐瘠薄绿肥，结合微地形改造，雨水截留率提升25%～30%，土壤侵蚀模数降低40%～50%，同步改良瘠薄土地，支撑经济林木种植，形成生态修复与产业发展良性循环。

2.3 保护生物多样性，稳定农田生态系统

绿肥重构农田立体植被景观，全方位提升农田生物群落多样性。植物群落层面：果园套种苜蓿、三叶草形成“果树＋草本”双层植被，田间植物种类由1～2种增至3～4种；稻田冬播紫云英构建稻肥轮作体系，提升全年植物丰富度。动物群落层面：紫云英、苜蓿花期持续供给蜜源，田间蜜蜂数量提升3～5倍，传粉昆虫多样性增加40%～60%，兼顾绿肥结实与主作物授粉；地表覆盖提升蚯蚓数量20%～30%，疏松改良土壤；绿肥田吸引农田鸟类栖息觅食，增强生态系统抗干扰能力。微生物群落层面：不同绿肥功能互补，豆科富集固氮菌、十字花科活化解磷菌、禾本科促进纤维素分解菌增殖；多品种混播实现菌群功能互补，极端气候下生物多样性越丰富，土壤肥力恢复更快，农业生态系统越稳定。

3 绿肥产业发展面临瓶颈问题

3.1 价值认知不足，产业内生经济动力薄弱

绿肥生态效益周期长、收益隐性，基层认知存在明显偏差。农户普遍仅将绿肥视作传统农家肥，忽视碳汇、重金属修复、面源污染治理等深层价值，生产中偏好化肥速效增产效果，长期忽视耕地养护[9]。同时绿肥种植成本偏高，种子、整地、翻压叠加劳动力成本上涨，但生态收益无法即时变现；冬闲田种植绿肥存在土地竞争矛盾，挤占油菜、小麦等经济作物种植空间，短期收入下降进一步降低农户种植意愿，形成“重化肥、轻绿肥”生产习惯。

3.2 专用绿肥品种匮乏，育种研发进度滞后

现有种质资源难以匹配差异化区域与治理需求，主要存在三方面问题：一是区域适配品种稀缺，我国南北气候、土壤差异巨大，通用型品种无法适配南方丘陵、北方旱地、西南石漠化等特殊场景；二是多功能复合品种不足，育种长期侧重供肥单一功能，兼具重金属修复、水土保持、景观观赏的复合型种质稀缺，现有修复型绿肥生物量低、景观绿肥培肥效果弱；三是品种更新缓慢，绿肥育种周期5～8年，科研投入有限，年均审定新品种仅5～8个，远低于主粮作物，难以适配绿色农业发展需求。

3.3 技术集成碎片化，规模化应用受限

绿肥应用涉及“种植—还田—利用”全链条，需与主作物生产、生态修复等技术协同，但当前技术体系存在明显短板。一是技术碎片化，缺乏系统集成。现有技术多为单一环节技术，如仅关注绿肥种植或还田技术，忽视与主作物轮作、间作、套作的系统集成方案。稻田绿肥还田后未调整水稻施肥量与种植密度，导致水稻贪青晚熟、倒伏；果园绿肥刈割管理不当，会与果树争夺水肥光照。二是机械化程度低，种植成本高。绿肥播种、收割，还田等环节机械化技术落后，南方丘陵山地地形复杂，大型机械难以进入，仍以人工为主。人工播种效率仅0.1~0.2公顷/天，机械化效率可达20~30公顷/天，人工成本比机械化高5~8倍；人工翻压效率0.05~0.1公顷/天，机械化效率可

达3~5公顷/天，人工成本占总投入的60%以上[10]。无人机飞播、粉碎还田机械购置成本高，普及率不足。三是基层农技服务薄弱，缺少针对性系统培训，农户粗放管理导致死苗缺苗，大幅降低绿肥产出与应用效果。

3.4 政策支持不足，推广机制不健全

绿肥生态价值属于公共产品，依赖政策与市场化机制支撑，现有配套体系存在多重短板。一是政策扶持短期化、覆盖窄，多为地方临时性种植补贴，缺少国家级长效政策；扶持仅覆盖种植环节，碳汇交易、深加工、生态补偿缺少政策激励。二是绿肥生态效益未纳入地方考核，基层重视程度不足。生态价值市场化渠道缺失，绿肥固碳、污染治理无统一核算定价标准，未接入全国碳市场，农户无法通过生态服务增收；三是农技推广力量不足。每万名农户仅配备3～4名农技人员，多数缺少绿肥专业知识；家庭农场、合作社等新型经营主体示范推广占比不足10%，规模化示范效应难以形成。

4 绿肥产业发展途径与前景展望

4.1 定向培育多功能专用品种，实现种质精准适配

依托基因编辑、合成生物学等现代生物技术，推动绿肥育种向功能定制化转型[11]。重金属污染区培育兼具固氮与重金属富集的杂交品种；石漠化、水土流失区域选育耐瘠固土抗逆种质；农文旅融合区域研发长花期、景观肥效两用绿肥。同步聚合抗病、抗旱、抗虫性状，培育多抗复合型品种，持续降低农田化学投入。

4.2 推广智慧化成套技术，提升机械化标准化水平

搭建物联网、大数据绿肥智慧管控平台，依靠田间传感器实时监测土壤、绿肥生长指标，输出精准播种、刈割、还田方案。研发绿肥专用精量播种机、智能粉碎还田一体机，集成北斗导航实现作业参数自动调控，降低人工成本。针对设施农业、山地修复等场景编制标准化技术规程，简化农户操作门槛，推动技术落地普及。

4.3 打通生态价值市场化通道，延伸三产融合产业链

完善碳汇交易、生态补偿机制，统一农田绿肥固碳核算标准，支持经营主体开发碳汇项目，依托碳市场实现生态收益变现；生态敏感区将绿肥纳入专项生态补偿。同时将规范化绿肥应用作为绿色、有机农产品认证加分项，依靠农产品溢价反哺绿肥生产。纵深延伸全产业链：一产打造“绿肥饲草+畜禽养殖”种养循环；二产开发绿肥天然色素、生物有机肥等高附加值产品；三产发展绿肥花海观光、农业科普研学项目，推动农文旅融合，实现生态、经济、社会效益协同增效[12]。

4.4 培育专业化服务主体，构建社会化推广体系

转变农户自主种植传统模式，大力扶持专业化绿肥生产服务企业，提供飞播、机械化翻压、田间管护一站式服务，政府依据绿肥产出发放专项补助，解决推广落地“最后一公里”。参照化肥、有机肥产业扶持模式，规模化培育绿肥社会化服务企业，推动绿肥产业标准化、集约化发展，持续夯实耕地质量提升产业支撑。

5 结语

生态振兴是乡村全面振兴的必经之路，绿肥作为土壤改良、污染阻控、生物多样性保育多功能生态资源，在乡村绿色发展中具备不可替代的战略价值。当前产业虽面临认知偏差、种质滞后、技术碎片化、政策市场机制不完善等制约，但伴随生物育种、智慧农机、生态市场化机制持续创新，绿肥产业将朝着功能精准化、应用智能化、价值多元化、经营专业化稳步发展。未来政府、科研院所、农业企业、农户需多方协同，依靠科技创新突破技术瓶颈，依托制度创新完善政策保障，借助模式创新激活市场动能，充分释放绿肥综合效益，为美丽中国建设、农业可持续高质量发展筑牢生态根基。

参考文献

[1] 习近平。让良好生态成为乡村全面振兴的重要支撑 [EB/OL]. 新华网，2025-04-01.

[2] 许颖。乡村振兴视域下农村生态环境治理的问题分析与实践路径[J]。生态经济，2025，41（10）230-231。

[3] 焦彬。论我国绿肥的历史演变及其应用 [J]. 中国农史，1984，(1):54-57.

[4] 曹卫东*，周国朋†，高嵩涓。绿肥内源驱动土壤健康的作用与机制[J]. 植物营养与肥料学报，2024，30(7）：1274–1283。

[5] 王慧，韩上，唐杉，等。紫云英翻压还田对稻田土壤团聚体组成及其碳氮的影响 [J]. 土壤学报，2023,60 (3): 868-880.

[6] 王建红，冯含笑，曹凯，等。我国南方紫云英还田的水稻产量和效益的量化研究 [J]. 植物营养与肥料学报，2025，31 (4):819-828.

[7] 张涛。果园行间间作绿肥与农作物周年绿色覆盖对土壤养分的影响和经济效益研究 [D]. 西北农林科技大学，2025.

[8] 卫月勇，赵杰。梨园种植绿肥对春季梨树蚜虫及其天敌的影响 [J]. 上海农业科技，2021 (3):115-116.

[9] 张俊飚，何可。“双碳”目标下的农业低碳发展研究：现状、误区与前瞻 [J]. 农业经济问题，2022 (9):35-46.

[10] 陈义凯。化肥减量背景下农户绿肥属性偏好及种植意愿研究 ——以紫云英为例 [D]. 江西财经大学，2024.

[11] 吴林妃，刘宁，徐静，等。乡村振兴背景下浙江省绿肥种植利用发展策略创新思考 [C]. 浙江省乡村振兴战略研讨会论文集，2025:93-104.

[12] 赵艳丽，王新，杨帆。新质生产力背景下乡村全面振兴所面临的现实阻力与实现路径[J]. 农业经济。2026(1): 62-64.