

Effects of long-term straw returning to the field with chemical fertilizer on organic carbon components and crop yield in tidal soil

Junfeng Zhao

Liu Tun Town People's Government, Puyang County, Henan Province, Puyang, Henan, 457100, China

Abstract

Long-term straw incorporation into soil is a crucial measure for improving soil quality and promoting sustainable agriculture, particularly significant in humid soil regions with low organic matter content and weak structure. As an organic carbon input carrier, straw can enhance soil structure and increase organic carbon accumulation, but its decomposition is often limited by nitrogen deficiency. Therefore, the application of chemical fertilizers becomes a key factor in regulating carbon and nitrogen cycles. Based on long-term field trials, this study analyzes the effects of different straw incorporation and nitrogen fertilizer combinations on total organic carbon, easily oxidizable carbon, humic carbon, and microbial carbon components, while evaluating their impacts on crop growth, yield, and fertilizer efficiency. Results show that straw incorporation significantly increases organic carbon content in humid soils and improves active carbon pools. Moderate nitrogen fertilization promotes effective straw decomposition and carbon stabilization, whereas excessive fertilization exacerbates carbon mineralization. A balanced combination of straw incorporation and chemical fertilization can achieve synergistic effects of "carbon enhancement, yield improvement, and efficiency increase," contributing to the development of green, high-yield, and carbon-sink agricultural models in humid soil regions.

Keywords

Straw returning to field; Fertilizer application; Loam soil; Organic carbon components; Crop yield

长期秸秆还田配施化肥对潮土有机碳组分及作物产量的影响

赵俊锋

河南省濮阳县柳屯镇人民政府, 中国·河南 濮阳 457100

摘要

长期秸秆还田是提升土壤质量和促进可持续农业的重要措施, 对于有机质含量偏低、结构较弱的潮土区域尤其意义。秸秆作为有机碳输入载体, 可改善土壤结构、提升有机碳累积, 但其分解常受氮素不足限制, 因此配施化肥成为调控碳氮循环的关键。基于长期定位试验分析, 研究不同秸秆还田与氮肥组合对有机碳总量、易氧化碳、腐殖质碳及微生物量碳等碳库组分的影响, 并评估其对作物生长、产量及肥料利用效率的效应。结果表明, 秸秆还田显著提高潮土有机碳含量, 促进活性碳库改善; 适量氮肥有助于秸秆有效分解与碳稳定化, 而过量施肥反而加剧碳矿化。合理配比的秸秆还田与化肥施用可实现“增碳、提产、提效”协同, 有助于构建潮土区绿色高产与碳汇农业模式。

关键词

秸秆还田; 化肥配施; 潮土; 有机碳组分; 作物产量

1 引言

潮土广泛分布于我国北方半湿润农业区, 是粮食生产的重要耕作土壤类型。然而, 长期依赖化肥驱动的集约化农业系统导致土壤有机质下降、团聚体结构退化、土壤碳库稳定性降低等问题, 致使土壤肥力和耕地质量下降, 引发作物产量波动和农业可持续性风险。近年来, 国家“双碳”战略和绿色农业政策背景下, 秸秆资源化利用受到高度重视。秸

秆作为农田有机碳和养分的重要来源, 其还田对改善土壤理化性质、促进团聚体形成、增强微生物活性、提升土壤碳汇潜力具有积极作用。然而, 秸秆在分解过程中需要大量氮源以支撑微生物代谢, 因此秸秆还田配施适量化肥成为调控土壤碳氮平衡、实现有机碳积累和作物产量提升的关键措施。已有研究表明, 秸秆还田与化肥协同施用能够提高土壤活性有机碳含量, 增强土壤酶活性和微生物代谢强度, 但不同施肥量、不同耕作制度及不同作物轮作结构均会影响其效果。因此, 有必要基于长期定位数据, 对秸秆还田与化肥配施对潮土有机碳组分演变及作物产量形成的影响进行系统研究, 为潮土农业区构建绿色高效种植制度提供参考 [1]。

【作者简介】赵俊锋 (1979—), 男, 中国河南濮阳人, 本科, 农艺师, 从事农学研究。

2 长期秸秆还田对潮土有机碳总量的影响

2.1 有机碳积累特征

长期试验表明,与单施化肥处理相比,秸秆还田可显著提高潮土土壤有机碳总量。秸秆中含有纤维素、半纤维素和木质素等结构性碳组分,进入土壤后逐渐转化为腐殖质碳并参与土壤碳库稳定化过程。研究显示,秸秆连续还田6年以上后,土壤有机碳含量可较单施化肥提高10%~25%,且增长率随施用年限延长呈现递增趋势。长期有机碳输入使土壤碳库从“外源补给量主导”逐步转变为“稳定储积结构主导”,有助于增强潮土固碳能力。

2.2 碳氮协同调控机理

秸秆分解是碳氮耦合过程,微生物降解秸秆时需额外氮源支撑其细胞合成和酶活性,因此若氮素不足,易出现微生物与作物竞争氮素的情况,导致短期内作物生长受限。适量配施氮肥能够提高微生物代谢速率,加快秸秆分解与腐殖质生成,提升土壤碳库转化效率。长期试验表明,当秸秆与氮肥氮素输入比例维持在3:1~5:1之间时,有机碳积累效果最佳,既可避免氮素浪费,又可促进碳高效固存。由此可见,秸秆还田与化肥施用需协同设计,以实现碳氮平衡、促进土壤养分循环和碳库稳定化[2]。

2.3 土壤结构改善效应

秸秆在分解过程中产生的多糖和腐殖质等胶结物质能够与矿物颗粒结合,促进水稳性团聚体形成,从而改善潮土易板结、结构疏松性较差的问题。团聚体的增多增加了土壤孔隙度,提高通气性和透水性,使土壤具备更好的持水保肥能力。与此同时,改善后的土壤结构有利于根系更深层次生长,提高根际吸收能力和抗逆性。土壤结构提升还能够降低有机碳矿化速率,使碳以更稳定的形态存储于团聚体内部。因此,秸秆还田不仅改善了土壤物理结构,也在长期上促进土壤碳固定能力增强,形成“结构改善—碳库稳定—肥力提升”的正向反馈机制。

3 长期秸秆还田对潮土有机碳组分结构的影响

3.1 易氧化有机碳的提升

易氧化有机碳是土壤活性碳库的重要组成部分,主要由易降解的多糖、蛋白质及部分低分子有机酸构成,能够直接参与微生物代谢与植物根际养分吸收过程,因而其含量变化可敏感反映土壤碳循环过程及肥力状况。长期试验结果表明,在潮土体系中施用秸秆还田处理较单施化肥处理显著提高易氧化有机碳含量,增幅通常在15%~30%之间。这一现象说明秸秆中的易分解组分能够较快地转化为可供微生物利用的碳源,增强了土壤中可代谢底物的供给能力,从而提高了微生物群落活性,促进土壤养分的转化与释放。与此同时,秸秆分解过程中形成的部分有机酸类物质还能溶解部分难利用矿物元素,使磷钾等养分活化程度提高[3]。

3.2 微生物量碳的响应特征

微生物量碳(MBC)是衡量土壤微生物生物量及其代谢活性的核心指标,代表着土壤中以微生物体形式暂时储存的动态有机碳库,对碳氮周转过程具有桥接与调控作用。研究表明,在秸秆还田的条件下,配施适量氮肥能够显著提高土壤微生物量碳含量,使微生物对秸秆碳源的利用效率得到提升。秸秆提供充足碳源,而氮肥的补充解决了微生物分解过程中氮素需求不足的问题,从而使微生物群落快速繁殖、酶活性增强、胞外分泌物增加。这些分解产物进一步参与形成腐殖质和团聚体结构,有助于有机碳的稳定与长期储存。长期定位试验显示,秸秆与氮肥协同施用处理下的MBC含量较单施化肥提高约20%~40%,表明该管理模式能有效促进土壤生物活性增强与碳氮耦合效率提升。此外,微生物群落结构也呈现优化趋势,优势类群由快速代谢型向代谢稳定型逐步转变,使土壤碳库更加稳定,有利于提升潮土碳固定能力及土壤生态功能。

3.3 腐殖质碳与稳定性碳的形成

腐殖质碳是土壤中以腐殖酸、富里酸和胡敏质形式存在的稳定性较高的碳组分,是决定土壤长期碳汇能力和肥力保持能力的关键。长期秸秆还田使大量外源有机质进入土壤体系,经过微生物分解、再合成及缩合反应,逐渐形成结构复杂、芳香化程度较高的腐殖质碳。研究表明,持续多年秸秆还田处理显著提高腐殖质碳与稳定性碳比例,增强土壤中有机碳的“惰性库”成分,使有机碳由活性易降解形态向难降解固存形态转化。这一转化过程有利于增强土壤长期保肥能力,提高土壤胶体结构稳定性,促进大团聚体形成,进而改善潮土抗侵蚀能力和氧化稳定性[4]。

4 秸秆还田配施化肥对作物生长及产量的影响

4.1 对作物生长状况的影响

秸秆还田通过增加外源有机质输入,改善土壤团聚体结构,增强土壤孔隙度和通气性,使根系所处的根际环境更加稳定和健康。同时,秸秆分解释放出的有机酸、多糖及微生物代谢产物,可促进土壤中部分难溶性养分的活化,提高氮、磷、钾等养分的可利用性,从而增强作物早期生长活力。在长期耕作系统中,秸秆还田改善了土壤保水保肥能力,使得作物叶片含氮量增加、叶面积指数提高、净光合速率增强,表现为生长势更均衡、群体结构更合理。这说明秸秆还田不仅改善土壤理化性质,而且通过影响根-冠关系调控作物的整体生长过程,对作物形成健壮群体结构和协调的生长发育具有重要意义。

4.2 对作物产量的影响

长期定位试验结果显示,秸秆还田配施化肥与单施化肥相比,在多数潮土区均表现出显著的增产效果,增产幅度一般在8%~22%之间。其主要原因在于秸秆作为稳定碳源,为土壤提供了持续性有机质补给,提高土壤肥力基础,使土

壤中氮、磷、钾和微量元素在作物生长期内的供应更加平稳,减少了因一次性施肥引起的养分供需峰值矛盾,有利于作物持续稳长。此外,秸秆还田促进土壤团聚体形成,改善根际环境,使根系吸收面积扩大,有利于增强光合产物向穗部或籽粒的分配,促进籽粒灌浆和干物质积累。研究还表明,长期秸秆还田可提高千粒重、穗粒数等关键产量构成指标;对于玉米、小麦等作物,秸秆还田能够延缓功能叶衰老、延长光合利用期,从而提高生物量和经济产量。由此可见,秸秆还田配施化肥不仅提升了土壤供肥能力,还通过改善作物生理生态特性促进了产量形成,体现出长期生态和经济效益的协同统一 [5]。

4.3 对肥料利用效率的优化

秸秆在土壤中分解过程中与氮素发生竞争与耦合,形成了“微生物吸收—再矿化释放”的动态氮循环机制,使氮素释放更加缓慢且持续,从而有效提高化肥氮的利用效率。长期定位试验表明,秸秆还田条件下,化肥施用量可减少10%~20%而不影响产量,氮肥偏生产力和氮素回收率均显著提升。这是因为秸秆分解提高了微生物量氮和土壤有机氮库,使部分氮素以有机态暂时固定在生物体内,避免氮素在施用初期出现淋失、挥发和反硝化造成的损失;随着生育期推进,这些氮素逐渐矿化释放,形成与作物吸氮规律相匹配的“渐进式供应”。此外,秸秆还田改善了土壤结构,提高肥料在土体中的缓冲能力,减少养分冲刷和无效扩散,使化肥利用更加稳定和高效。因此,秸秆还田在提高肥料利用效率、降低农业生产成本和促进绿色农业发展等方面具有可持续性价值。

5 不同秸秆还田模式的优化策略

5.1 合理控制化肥施用量

在秸秆等外源碳持续输入条件下,化肥施用宜从“足量保产”转向“匹配供需”。依据作物需肥规律与土壤供肥能力,建议在常规用量基础上下调一成至一成五,并采用“基追结合、分次小量”的时空管理,以减少氮素瞬时过剩造成的碳矿化脉冲与脱氮损失。同步开展土壤速测与叶色诊断,动态修正施肥强度;对高肥力地块强化秸秆氮素替代系数核算,适当削减化肥输入;在易失氮土壤中辅以脲酶、硝化抑制剂与缓释配方,提升氮素滞留时间,保障作物吸收与微生物同化的协同,实现“稳碳、稳产、减排”的综合效益。

5.2 增强微生物活性

秸秆分解及其碳氮耦合过程以微生物为核心驱动力,

需通过“底物供给—群落优化—环境调控”协同发力。可在还田前进行条垄堆沤或接种纤维素、木质素定向分解菌群,缩短起始滞后期;配施含多糖、氨基酸的有机复合菌剂与少量易降解碳源,促进胞外酶合成与微生物量碳提升;维持适宜水分与通气,构建微好氧微域,避免厌氧积水抑制酶活。与生物炭、小分子有机酸协同施用,可增强矿物结合与微团聚体保护,降低碳的“原位”再矿化风险。通过上述策略,推动“快分解—稳固存—高循环”的良性微生物过程。

5.3 构建“秸秆—养分—团聚体”稳定结构

秸秆输入提供胶结物与微生物代谢产物,是形成稳定团聚体与长期碳库的物质基础。以免耕或少耕为骨架,配合覆盖作物与保残覆盖,减少耕扰对微团聚体的破坏,延长有机胶结剂半衰期;在耕层均匀混 *incorporation* 的同时,分层配置钙镁等二价阳离子与适量有机—无机复合肥,促进有机质—矿物复合体与 >0.25 毫米水稳性团聚体生成;通过轮作豆科、浅根与深根作物,构建不同根系分泌物与孔隙结构的“立体网络”,提升持水与通气。该“结构—功能—过程”一体化路径,可同步实现碳固定、氮素缓释与根域环境优化,支撑潮土长期肥力提升与稳产增效。

6 结语

长期秸秆还田配施化肥能够显著改善潮土有机碳组分结构,提高土壤生物活性与肥力水平,同时促进作物产量提升与肥料利用效率优化,是实现潮土区绿色农业、碳汇农业与高效生产相统一的重要路径。未来应加强秸秆分解调控机制研究、碳库转化动态监测及区域化栽培制度优化,以形成可推广、可复制的可持续耕作模式,为农业生态系统稳固与国家粮食安全提供支撑。

参考文献

- [1] 许伟佳,陈林,李敬王,等.秸秆还田配施不同激发剂对潮土有机碳和微生物群落的影响[J].江苏农业学报,2023,39(02):383-392.
- [2] 薛旭杰,康晓晗,石小霞,等.长期施肥和秸秆还田对设施蔬菜土壤有机碳的影响[J].农业工程学报,2022,38(S1):98-105.
- [3] 王峰宇,廉宏利,孙悦,等.秸秆还田深度对春玉米农田土壤有机碳、氮含量和土壤酶活性的影响[J].农业资源与环境学报,2021,38(04):636-646.
- [4] 窦春宇,郭赛楠,高玉婷,等.秸秆还田及有机肥替代化肥对(土娄)土物理肥力及作物产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2025,31(06):1056-1072.
- [5] 胡永升.有机无机配施对不同利用方式下土壤有机碳组分、团聚体及作物产量的影响[D].西北农林科技大学,2023.