

秸秆还田技术对土壤肥力影响机制研究

易堂辉¹ 邹慧¹ 黄仇花²

1 乐安县农业农村局 2 乐安县鳌溪镇便民服务中心

DOI:10.12238/as.v8i9.3336

[摘要] 秸秆还田技术作为提升土壤肥力的关键农业技术,通过改善土壤理化性质、促进微生物活动及增加有机质含量等途径,能够显著增强土壤生产力。本文系统分析了秸秆还田技术对土壤养分循环、微生物群落结构及物理结构的综合影响机制,重点探讨了不同还田方式(粉碎还田、覆盖还田和深翻还田)对土壤肥力的差异化作用。研究表明,秸秆还田技术能有效促进有机质积累,调控碳氮比平衡,增强磷钾等矿质养分的释放效率;同时通过优化微生物群落结构和提升酶活性,能够改善土壤生物化学环境;在物理结构方面,秸秆还田技术可以显著提高团聚体稳定性和孔隙度,增强土壤保水能力和抗侵蚀性能。针对不同生态区域特点,本文提出了因地制宜的秸秆还田技术优化方案,为推进农业可持续发展提供了重要的理论支撑和实践指导。

[关键词] 秸秆还田; 土壤肥力; 有机质; 微生物群落; 养分循环

中图分类号: S15 **文献标识码:** A

Study on the Impact Mechanism of Straw Returning Technology on Soil Fertility

Tanghui Yi¹ Hui Zou¹ Zhanghua Huang²

1 Le'an County Agriculture and Rural Bureau 2 Convenience Service Center in Aoxi Town, Le'an County

[Abstract] Straw returning to the field is a key agricultural technology for improving soil fertility. By improving soil physical and chemical properties, promoting microbial activity, and increasing organic matter content, it significantly enhances soil productivity. This article systematically analyzes the comprehensive impact mechanism of straw returning on soil nutrient cycling, microbial community structure, and physical structure, with a focus on exploring the differential effects of different returning methods (crushing returning, covering returning, and deep plowing returning) on soil fertility. Research has shown that returning straw to the field can effectively promote organic matter accumulation, regulate carbon nitrogen balance, and enhance the release efficiency of mineral nutrients such as phosphorus and potassium; Simultaneously improving soil biochemical environment by optimizing microbial community structure and enhancing enzyme activity; In terms of physical structure, returning straw significantly improves aggregate stability and porosity, enhances soil water retention capacity and erosion resistance. Based on the characteristics of different ecological regions, this article proposes an optimized plan for straw returning technology that is tailored to local conditions, providing important theoretical support and practical guidance for promoting sustainable agricultural development.

[Key words] straw returning to the field; Soil fertility; Organic matter; Microbial community; Nutrient cycle

秸秆还田技术是实现农业废弃物资源化利用的重要途径,在改善土壤质量、提高作物产量方面发挥着关键作用。秸秆富含碳、氮、磷等多种营养元素,其分解过程能够有效促进土壤养分循环,增强土壤保水保肥能力。随着农业可持续发展理念的深入,秸秆还田技术已成为推动绿色农业发展的重要举措。然而,秸秆还田对土壤肥力的影响机制涉及多因素复杂交互作用,包括还田方式的选择、气候条件的适应以及土壤类型的匹配等。当前研究显示,不同还田方式对土壤肥力的改善效果存在显著差

异,需要根据具体农业生产条件进行优化选择。本文通过系统分析秸秆还田的技术机理和实践效果,旨在深入探讨其在土壤改良方面的综合作用,为优化农业管理措施、提高资源利用效率提供科学依据,从而推动现代农业向更加生态、高效的方向发展。

1 秸秆还田技术对土壤养分循环的影响

1.1 有机质积累与碳氮比调控

秸秆还田技术可以显著增加土壤有机质含量,其分解过程中释放的碳源为微生物活动提供能量,促进土壤碳库的稳定。秸

秆碳氮比通常较高,在分解初期可能导致土壤有效氮暂时固定,但随着腐殖化进程的推进,氮素逐渐矿化并释放。合理调控秸秆碳氮比(如添加氮肥或与绿肥混合还田)可缓解氮素竞争,提高养分利用效率。

秸秆还田技术对土壤有机质的影响具有长期性和累积性。研究表明,连续三年秸秆还田可使土壤有机质含量提高12%-18%。不同秸秆类型对有机质积累的贡献存在差异,如水稻秸秆的木质素含量较高,分解速度较慢,有利于形成稳定的有机质;而豆科作物秸秆氮含量较高,分解速度快,更易转化为活性有机质。在碳氮比调控方面,当秸秆碳氮比大于25:1时,微生物分解过程中会固定土壤中的无机氮,导致作物短期内可利用氮素不足。因此,在实际应用中需根据秸秆类型和作物需求,通过添加尿素等氮源将碳氮比调节至20-25:1的适宜范围。

1.2 磷钾等矿质养分的释放

秸秆中磷、钾等矿质元素在微生物作用下逐步转化为植物可利用形态。秸秆还田后,土壤磷酸酶活性增强,促进有机磷矿化;钾离子则通过淋溶和交换作用进入土壤溶液,改善作物钾素供应。长期秸秆还田可减少化学磷钾肥的依赖,降低农业生产成本。

秸秆中磷的释放过程受多种因素影响。秸秆还田初期,磷主要以有机形态存在,需通过磷酸酶的作用逐步水解为有效磷。研究表明,秸秆还田可使土壤有效磷含量提高15%-25%^[1]。钾的释放相对较快,因为秸秆中80%以上的钾为水溶性钾,在还田后2-3周内即可释放。不同作物秸秆的养分含量差异显著,如水稻秸秆的钾含量(1.5%-2.0%)明显高于小麦秸秆(0.8%-1.2%)。因此,在实际应用中应根据秸秆养分特性配施相应的矿质肥料,实现养分均衡供应。

2 秸秆还田技术对土壤微生物群落的影响

2.1 微生物多样性及功能群变化

秸秆还田技术可以为土壤微生物提供丰富的底物,显著提高细菌、真菌及放线菌的丰度。纤维素分解菌和固氮菌等功能微生物的增殖加速秸秆降解,同时促进氮素生物固定。高通量测序研究表明,秸秆还田土壤中Chloroflexi和Proteobacteria门细菌占比增加,与有机质分解密切相关^[2]。

微生物群落对秸秆还田的响应具有明显的时序特征。还田初期(0-30天),以r-策略细菌(如Proteobacteria)为主,这些细菌生长快,能快速利用易分解有机物;还田中后期(30-90天),K-策略微生物(如Actinobacteria)逐渐占据优势,负责分解难降解的木质素和纤维素。真菌群落的变化同样显著,秸秆还田后子囊菌门和担子菌门的相对丰度提高,这些真菌能产生纤维素酶和木聚糖酶,是秸秆降解的关键功能群。此外,丛枝菌根真菌的丰度增加,可增强作物对磷等难移动养分的吸收能力。

2.2 酶活性与生物化学过程

秸秆还田技术通过刺激土壤酶活性(如脲酶、蔗糖酶和脱氢酶)驱动养分转化。脲酶活性提升加速尿素水解,蔗糖酶促进碳代谢,而脱氢酶反映微生物总体活性。这些生化过程共同优化土

壤微环境,为作物根系生长创造有利条件。

酶活性变化与秸秆分解过程密切相关。还田后7-14天, β -葡萄糖苷酶和纤维二糖水解酶活性显著升高,促进纤维素分解;21-28天时,过氧化物酶和酚氧化酶活性达到峰值,负责降解木质素^[3]。这些酶活性的时空变化规律为确定最佳追肥时间提供了依据。例如,在纤维素分解高峰期补充氮肥,既能满足微生物需求,又可防止氮素固定对作物的不利影响。此外,秸秆还田还能提高土壤中性磷酸酶活性20%-35%,促进有机磷向有效磷转化。

3 秸秆还田技术对土壤物理结构改良的影响

3.1 团聚体稳定性与孔隙度提升

秸秆分解产物(如多糖和腐殖酸)作为胶结物质促进土壤团聚体形成,提高水稳性团聚体比例。秸秆覆盖还田可减少雨滴对表土的击打,防止结皮形成;深翻还田则增加深层土壤孔隙度,改善通气性和透水性。

秸秆还田技术对土壤团聚体的影响主要体现在 $>0.25\text{mm}$ 水稳性团聚体比例的增加。研究表明,连续秸秆还田3年后,土壤大团聚体比例可提高15%-30%。这些团聚体的形成主要得益于秸秆分解过程中产生的多糖类物质,这些物质作为天然胶结剂,将微团聚体粘结成大团聚体。在孔隙结构方面,秸秆还田使土壤总孔隙度提高5%-8%,其中通气孔隙的增加尤为明显。深翻还田结合秸秆深埋可在20-30cm土层形成稳定的生物孔隙,这些孔隙由秸秆分解后留下的通道和根系生长形成,显著改善深层土壤的通气透水性^[4]。

3.2 保水能力与抗侵蚀效应

秸秆还田土壤的持水能力较传统耕作提高15%~30%,因其有机质增加增强了土壤持水孔隙数量。在坡地农田中,秸秆覆盖可降低径流速率,减少水土流失达40%以上,对生态脆弱区土壤保护尤为重要。

秸秆还田技术通过多种机制改善土壤水分状况。首先,有机质增加提高了土壤的持水能力,特别是田间持水量和萎蔫系数之间的有效水含量增加显著。其次,秸秆覆盖层可减少土壤水分蒸发,在干旱季节使耕层土壤含水量提高2-4个百分点。在抗侵蚀方面,秸秆覆盖使雨滴击溅作用减弱60%以上,地表径流速度降低30%-50%。值得注意的是,秸秆还田的抗侵蚀效果与覆盖量密切相关,当覆盖量达到3-5吨/公顷时,可有效控制轻度至中度水土流失。

4 不同还田方式的技术特点与适用条件

4.1 粉碎还田技术

粉碎还田是将秸秆机械粉碎后直接混入土壤的方式,适用于玉米、小麦等大田作物。粉碎长度以5-10cm为宜,过短会增加能耗,过长影响混匀效果。该方式能快速增加土壤有机质,但需配合深翻作业防止秸秆集中堆积。

粉碎还田的技术要点包括粉碎粒度控制和还田深度调节。理想的粉碎粒度应确保85%以上的秸秆长度小于10cm,这样才能保证秸秆与土壤充分接触,加速分解。还田深度一般控制在15-20

cm, 过浅易导致秸秆集中在表层, 影响播种质量; 过深则可能造成秸秆在缺氧环境下产生有害物质。在北方干旱区, 粉碎还田需配合镇压保墒, 防止土壤过松导致失墒; 在南方多雨区, 则要注意排水防渍, 避免秸秆厌氧分解产生有机酸危害作物。

4.2 覆盖还田技术

覆盖还田是将秸秆覆盖于地表, 主要用于果树、经济作物及保护性耕作系统。该方式具有保墒、抑草和防蚀的多重功效, 但可能延缓春季地温回升, 需根据气候条件调整覆盖厚度。

覆盖还田的技术参数包括覆盖厚度、覆盖时间和覆盖方式。在北方寒旱区, 春季覆盖厚度以3-5cm为宜, 过厚会延缓地温回升; 夏季可增至5-8cm以增强保墒效果。覆盖时间应根据作物生长周期调整, 如果园宜在春季施肥后覆盖, 大田作物则在收获后立即覆盖。覆盖方式有全园覆盖和行间覆盖两种, 水资源紧张地区建议采用行间覆盖, 以减少蒸发面积。值得注意的是, 覆盖还田可能增加某些病虫害的越冬基数, 需加强病虫害监测与防治。

4.3 深翻还田技术

深翻还田结合深翻作业将秸秆埋入20-30cm土层, 适用于黏重土壤改良。该方式促进深层土壤熟化, 但能耗较高, 需根据土壤类型选择性采用。

深翻还田的关键在于掌握深翻深度和时期。在犁底层较浅的土壤中, 深翻深度以打破犁底层为宜, 一般不超过30cm; 对于有黏化层的土壤, 可适当加深至35-40cm。深翻时期应选择土壤宜耕期内, 土壤含水量控制在田间持水量的60%-70%时进行, 过干过湿都会影响深翻质量。在实施深翻还田时, 应配合施用腐熟剂加速秸秆分解, 避免秸秆在深层土壤中分解过慢造成“底墒亏损”现象。对于pH值偏低的土壤, 深翻前需施用石灰调节酸碱度, 创造有利于微生物活动的环境。

5 秸秆还田技术优化建议

5.1 区域化技术模式

根据不同生态区特点制定差异化还田方案。东北黑土区宜采用粉碎+深翻模式, 促进土壤培肥; 西北干旱区推荐覆盖还田, 配合保墒措施; 南方水稻田适用粉碎还田, 但需注意排水晒田促进分解。

在具体实施中, 东北地区应抓住秋季土壤封冻前的适宜时期进行还田作业, 配合施用腐熟菌剂加速秸秆分解。西北干旱区可采用“覆盖+集雨”技术模式, 通过秸秆覆盖减少蒸发, 结合集雨技术提高水分利用效率。南方双季稻区应重点优化晚稻秸秆还田技术, 利用冬闲期充分腐解, 避免影响早稻生长。黄淮海平原小麦-玉米轮作区, 宜采用玉米秸秆粉碎还田+小麦秸秆覆盖的复合模式, 实现周年均衡还田^[5]。

5.2 配套措施完善

推广秸秆腐熟剂使用, 缩短分解周期; 研发高效还田机具, 提高作业质量; 建立秸秆还田与施肥的协同技术, 实现养分高效利用。加强农民技术培训, 促进秸秆还田技术规范应用。

在腐熟剂应用方面, 应根据秸秆类型选择专用菌剂。水稻秸秆宜选用木质素分解能力强的白腐菌制剂, 小麦秸秆则适用纤维素分解菌为主的复合菌剂。还田机具研发应注重多功能集成, 如开发集粉碎、深翻、镇压于一体的复式作业机械。在养分协同方面, 建立以秸秆养分含量为基础的配方施肥技术, 根据秸秆还田量调整化肥用量。此外, 应建立秸秆还田效果监测体系, 定期检测土壤有机质、团聚体等指标, 动态调整还田策略。

6 结论与展望

6.1 结论

研究表明, 秸秆还田技术通过多途径协同作用显著提升土壤肥力。在养分循环方面, 有效促进有机质积累, 优化碳氮比平衡, 能够增强磷钾等矿质养分的释放效率; 在微生物群落方面, 显著提高生物多样性, 增强酶活性, 可以改善土壤生物化学环境; 在物理结构方面, 明显提高团聚体稳定性和孔隙度, 有助于增强土壤保水能力和抗侵蚀性能。不同还田方式各具特色, 需根据区域特点选择适用技术。

6.2 展望

未来研究应重点关注秸秆还田技术的精细化与智能化发展。一方面需要加强不同生态区适宜还田模式的优化研究, 建立更加精准的技术参数体系; 另一方面应深入探索秸秆还田与其他农业措施的协同效应, 形成综合技术方案。同时, 要加大智能监测技术和专用农机装备的研发力度, 提升技术应用的便捷性和有效性。此外, 还应加强技术推广体系建设, 通过示范展示和培训指导, 促进秸秆还田技术的规范化应用, 为农业绿色发展和生态文明建设提供有力支撑。

[参考文献]

- [1]郭立新, 李诗白. 秸秆还田技术在土壤修复领域应用研究进展[J]. 长春理工大学学报(自然科学版), 2023, 46(05): 105-114.
- [2]张慧, 苏光秋. 酸性土壤玉米根际土壤细菌群落对秸秆还田和调理剂的响应[J]. 福建农业学报, 2021, 36(4): 473-479.
- [3]赵宇航, 殷浩凯, 解文艳. 长期玉米秸秆还田对褐土细菌群落和酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2024, 30(5): 996-1007.
- [4]范龙. 生物炭施用对双季稻产量形成及氮素利用的影响[D]. 湖南农业大学, 2018.
- [5]刘凡渝. 冬小麦-夏玉米两茬秸秆直接还田技术与效益分析[J]. 科学种养, 2021, (07): 21-23.

作者简介:

易堂辉(1969--), 男, 汉族, 江西人, 大专, 中级农艺师, 研究方向: 农业。

邹慧(1979--), 女, 汉族, 江西人, 本科, 中级农艺师, 研究方向: 农业。

黄仇花(1972--), 女, 汉族, 江西人, 大专, 中级农艺师, 研究方向: 农业。