

施用不同有机肥对高标准农田土壤理化性质及微生物活性影响研究

牛 岩^{1,2}, 宋欣坤^{1,2}, 孙小梅^{3*}

¹陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

²农业农村部耕地质量监测与保育重点实验室, 陕西 西安

³西京学院土木工程学院, 陕西 西安

收稿日期: 2025年10月1日; 录用日期: 2025年10月29日; 发布日期: 2025年11月7日

摘 要

本研究通过盆栽试验, 系统探究了基于高标准农田土壤, 施用三元复合肥、生态复活素水溶肥与液体有机肥对土壤性质、微生物活性的影响。结果表明, 三元复合肥虽能高效供应速效磷、钾, 但会显著降低土壤pH, 生态复活素水溶肥在维持土壤酸碱平衡方面效果最好, 液体有机肥则能极显著地增加土壤有机质, 激发土壤微生物的氮、磷转化功能。本研究揭示了不同类型肥料在土壤-作物系统中的独特作用机制, 为农业生产中根据目标进行肥料的科学选用与配施提供了重要的理论依据和实践指导。

关键词

有机肥, 土壤, 高标准农田

Study on the Effects of Applying Different Organic Fertilizers on the Physicochemical Properties and Microbial Activity of High-Standard Farmland Soil

Yan Niu^{1,2}, Xinkun Song^{1,2}, Xiaomei Sun^{3*}

¹Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Key Laboratory of Cultivated Land Quality Monitoring and Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xi'an Shaanxi

³School of Civil Engineering, Xijing University, Xi'an Shaanxi

*通讯作者。

文章引用: 牛岩, 宋欣坤, 孙小梅. 施用不同有机肥对高标准农田土壤理化性质及微生物活性影响研究[J]. 世界生态学, 2025, 14(4): 335-340. DOI: 10.12677/ije.2025.144039

Abstract

This study systematically investigated the effects of applying ternary compound fertilizer, ecological revival water-soluble fertilizer, and liquid organic fertilizer on soil properties and microbial activity in high-standard farmland soil through pot experiments. The results showed that while ternary compound fertilizer efficiently supplied available phosphorus and potassium, it significantly reduced soil pH. The ecological revival water-soluble fertilizer demonstrated the best performance in maintaining soil acid-base balance, whereas liquid organic fertilizer markedly increased soil organic matter and stimulated the nitrogen and phosphorus transformation functions of soil microorganisms. This study reveals the unique mechanisms of different types of fertilizers in the soil-crop system, providing an important theoretical basis and practical guidance for the scientific selection and combination of fertilizers in agricultural production based on specific objectives.

Keywords

Organic Fertilizer, Soil, High-Standard Farmland

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

化肥在提高农作物产量方面发挥着重要作用，但其长期过量使用也带来了一系列弊端，如容易导致土壤板结、酸化，破坏土壤团粒结构和微生物群落平衡，降低土壤持续生产力[1]-[3]；同时化肥养分流失还会加剧水体富营养化等环境问题。相比之下，有机肥不仅能全面补充植物所需养分，更能显著改善土壤物理性状，增强土壤保水保肥能力，促进土壤中有益微生物的繁殖，从而培育出健康、肥沃的土壤[4] [5]。此外，有机肥的应用有助于农业废弃物的资源化利用，推动农业生态系统的良性循环[6] [7]。正因化肥与有机肥在作用机理与效应上存在显著差异，系统开展二者的对比研究显得尤为必要。这不仅能科学揭示它们对土壤健康、作物品质及环境影响的深层机制，更能为制定科学施肥方案、优化肥料配比提供关键理论依据，对推动农业减施增效、实现粮食安全与生态环境安全的协调发展具有不可替代的实践指导价值。

2. 研究内容

为系统研究有机肥和化肥施用对土壤和作物的影响，设置盆栽试验，开展肥料施用后对土壤理化性质及土壤微生物生态环境的影响过程及机制研究。通过研究水溶肥施用前后的土壤有机质、全氮、速效氮、有效磷和速效钾含量变化，以及水溶肥施用前后土壤微生物群落的丰度、多样性和组成结构变化，掌握其变化规律，分析其内在影响机制，揭示水溶肥对土壤有机质和土壤微生物的影响。

3. 试验方案

盆栽试验的供试肥料有三元复合肥、生态富活素水溶肥、液态有机肥，三元复合肥中 $N \geq 15\%$ ， $P_2O_5 \geq 15\%$ ， $K_2O \geq 15\%$ 。生态富活素水溶肥、液态有机肥的基本理化性质见表 1。

Table 1. Basic physicochemical properties of fertilizers
表 1. 肥料基本理化性质

指标	生态富活素水溶肥	液态有机肥
pH	9.06	8.36
有机质(g/L)	17.54	3.10
总氮(g/L)	30.47	0.66
总磷(g/L)	14.44	0.09
总钾(g/L)	63.21	10.40

盆栽种植作物为小白菜，试验共设置 3 个处理，施肥处理包括施用三元复合肥、生态富活素水溶肥以及液态有机肥，施用量为 150 kg/亩，施用方式为灌溉施肥和叶面喷施。供试土壤来自陕西省渭南市富平县褚原村，所选地块常年种植蔬菜，土壤较为疏松。每个处理 3 次重复，共设置 9 个盆栽。测定项目包含土壤 pH、养分、土壤微生物群落。

(1) 土壤养分

采集土样除去土壤中的石砾和植物残根等杂物，在阴凉通风处晾晒干，分别过 1 mm、2 mm 筛。测定土壤有机质、全氮、速效氮、有效磷、速效钾。土壤有机质测定采用重铬酸钾外加热法；土壤全氮测定采用凯氏定氮法滴定；土壤速效氮测定采用碱解扩散法；土壤有效磷测定采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法；土壤速效钾测定采用乙酸铵浸提 - 火焰分光光度法。

(2) 土壤微生物群落

采集根际土壤样品，以检测酶活性及微生物群落的变化，观察分析填料中微生态系统的变化。比较不同处理组土壤中细菌、真菌等微生物群落的丰度、多样性和组成结构变化，识别不同环境因素对土壤微生物群落的影响机制，揭示水溶肥施用下对土壤微生物活性及群落的影响。

4. 结果分析

4.1. 施用不同肥料对土壤 pH 的影响

在盆栽试验中，通过种植小白菜并施用不同类型肥料，研究了化肥及有机肥施用对土壤 pH 值的影响。表 2 为施用不同肥料后土壤 pH 值。

Table 2. Soil pH values after application of different fertilizers
表 2. 施用不同肥料后土壤 pH 值

施用肥料类型	土壤 pH
种植前(未施肥)	8.40
三元复合肥-1	7.80
三元复合肥-2	7.67
三元复合肥-3	7.69
生态复活素水溶肥-1	8.10
生态复活素水溶肥-2	8.19
生态复活素水溶肥-3	8.08
液体有机肥-1	8.14
液体有机肥-2	8.18
液体有机肥-3	8.18

实验数据表明，种植前未施肥的土壤 pH 值为 8.4，表明初始土壤呈碱性。施用三元复合肥后，土壤

pH 值显著下降，三个重复组的 pH 分别为 7.8、7.67 和 7.69，平均约为 7.72，显示出较强的酸化作用，这可能与复合肥中某些化学成分的转化有关，这些成分在分解过程中会释放氢离子，从而降低土壤碱性。相比之下，施用生态复活素水溶肥的土壤 pH 值分别为 8.1、8.19 和 8.08，平均约为 8.12，而液体有机肥的 pH 值分别为 8.14、8.18 和 8.18，平均约为 8.17，这两种肥料对土壤 pH 的影响较小，仅使 pH 值轻微下降，仍保持在较高碱性水平，可能与它们含有有机物质或缓冲成分有关，这些成分能减缓酸碱变化，维持土壤相对稳定。

4.2. 施用不同肥料对土壤养分的影响

表 3 为施用不同肥料后土壤养分含量值，从数据来看，不同肥料对土壤养分含量的影响存在明显差异，反映出其养分供应特性和作用机制的不同。

Table 3. Soil nutrient content values after application of different fertilizers
表 3. 施用不同肥料后土壤养分含量值

施用肥料类型	土壤速效钾 (mg/kg)	土壤有机 质(g/kg)	土壤有效磷 (mg/kg)	土壤碱解氮 (mg/kg)	土壤全 氮(g/kg)
种植前(未施肥)	208	16.70	11.0	40.62	1.26
三元复合肥-1	329	18.10	68.9	37.15	1.08
三元复合肥-2	313	22.60	82.4	39.36	1.17
三元复合肥-3	343	18.10	52.6	38.66	1.11
生态复活素水溶肥-1	345	19.20	36.1	41.71	1.18
生态复活素水溶肥-2	139	19.00	21.2	40.25	1.00
生态复活素水溶肥-3	139	17.90	21.7	46.80	1.08
液体有机肥-1	301	24.20	17.9	47.80	1.13
液体有机肥-2	266	19.90	10.4	35.37	1.12
液体有机肥-3	138	19.70	8.2	38.67	0.98

首先，在土壤速效钾方面，种植前的基础值为 208 mg/kg。施用三元复合肥后，三个重复组的速效钾含量分别提升至 329、313 和 343 mg/kg，平均约为 328 mg/kg，表现出显著的增钾效果。生态复活素水溶肥处理中，数据呈现较大变异，分别为 345、139 和 139 mg/kg，平均约为 208 mg/kg，与基础值持平，说明其钾素供应不稳定。液体有机肥处理中，三个重复分别为 301、266 和 138 mg/kg，平均约为 235 mg/kg，虽有一定提升，但效果不如三元复合肥显著且存在样本间差异大的问题。

在土壤有机质方面，基础值为 16.7 g/kg。三元复合肥处理下有机质含量分别为 18.1、22.6 和 18.1 g/kg，平均约为 19.6 g/kg，显示出一定提升。生态复活素水溶肥处理分别为 19.2、19.0 和 17.9 g/kg，平均约为 18.7 g/kg，略有增加。液体有机肥处理分别为 24.2、19.9 和 19.7 g/kg，平均约为 21.3 g/kg，提升最为明显，说明液体有机肥在补充和维持土壤有机质方面具有较好效果。

土壤有效磷的基础值为 11.01 mg/kg。三元复合肥处理下，有效磷含量分别增至 68.94、82.39 和 52.60 mg/kg，平均约为 64.64 mg/kg，增幅极为显著，说明其磷素供应能力强。生态复活素水溶肥处理分别为 36.12、21.16 和 21.68 mg/kg，平均约为 26.32 mg/kg，虽高于基础值，但远低于三元复合肥。液体有机肥处理分别为 17.86、10.41 和 8.24 mg/kg，平均约为 12.17 mg/kg，与基础值相近，说明其对土壤有效磷的提升作用有限。

在氮素方面，土壤碱解氮基础值为 40.62 mg/kg。三元复合肥处理分别为 37.15、39.36 和 38.66 mg/kg，平均约为 38.39 mg/kg，略低于基础值。生态复活素水溶肥处理分别为 41.71、40.25 和 46.80 mg/kg，平均约为 42.92 mg/kg，表现出一定的增氮趋势。液体有机肥处理分别为 47.80、35.37 和 38.67 mg/kg，平均约

为 40.61 mg/kg，与基础值基本持平，但样本间变异较大。土壤全氮的基础值为 1.26 g/kg，所有肥料处理后的全氮含量均低于基础值，其中三元复合肥平均约为 1.12 g/kg，生态复活素水溶肥平均约为 1.09 g/kg，液体有机肥平均约为 1.08 g/kg，说明在试验期间可能存在作物吸收或氮素损失，导致全氮含量普遍下降。

4.3. 施用不同肥料对土壤微生物的影响

表 4 为施用不同肥料后土壤微生物指标值，试验结果显示，不同肥料对土壤微生物群落功能的影响存在显著差异，反映了其作用机制和对土壤生化过程的独特影响。

Table 4. Soil microbial indicator values after application of different fertilizers
表 4. 施用不同肥料后土壤微生物指标值

施用肥料类型	土壤酸性磷酸酶 S-ACP (μmol/d/g)	土壤过氧化氢酶 S-CAT (μmol/d/g)	土壤酸性蛋白酶(U/g)	土壤脱氢酶(U/g)
种植前(未施肥)	11.35	27.99	4.40	17.32
三元复合肥-1	11.48	35.92	2.42	21.85
三元复合肥-2	11.69	45.34	2.70	20.51
三元复合肥-3	11.66	38.92	3.11	21.06
生态复活素水溶肥-1	12.58	26.51	2.31	21.79
生态复活素水溶肥-2	11.24	22.86	2.40	22.13
生态复活素水溶肥-3	11.22	21.71	2.81	20.45
液体有机肥-1	16.39	37.56	8.08	15.36
液体有机肥-2	17.41	32.88	8.53	18.23
液体有机肥-3	17.51	33.68	7.10	15.52

从土壤酸性磷酸酶活性来看，该酶与土壤磷素转化密切相关。种植前的基础值为 11.35 μmol/d/g。施用三元复合肥后，三个重复组的酶活性分别为 11.48、11.69 和 11.66 μmol/d/g，平均约为 11.61 μmol/d/g，与基础值相比仅有轻微提升。生态复活素水溶肥处理分别为 12.58、11.24 和 11.22 μmol/d/g，平均约为 11.68 μmol/d/g，同样变化不大。而液体有机肥处理则表现出显著增强效果，三个重复分别达到 16.39、17.41 和 17.51 μmol/d/g，平均约为 17.11 μmol/d/g，明显高于其他处理，表明液体有机肥能有效刺激土壤中与磷循环相关的微生物活性，促进有机磷的矿化过程。

在土壤过氧化氢酶活性方面，基础值为 27.99 μmol/d/g。三元复合肥处理分别为 35.92、45.34 和 38.92 μmol/d/g，平均约为 40.06 μmol/d/g，显示出显著的促进作用，表明该肥料可能通过改善土壤氧化环境或提供更多底物而增强了微生物的氧化还原代谢。生态复活素水溶肥处理则分别为 26.51、22.86 和 21.71 μmol/d/g，平均约为 23.69 μmol/d/g，反而低于基础值，暗示该肥料可能对参与过氧化氢分解的微生物群落产生了抑制效应。液体有机肥处理分别为 37.56、32.88 和 33.68 μmol/d/g，平均约为 34.71 μmol/d/g，虽高于基础值但不及三元复合肥，说明其对该酶活性有中等程度的促进作用。

土壤酸性蛋白酶活性方面，基础值为 4.40 U/g。三元复合肥处理分别为 2.42、2.70 和 3.11 U/g，平均约为 2.74 U/g，明显低于基础水平。生态复活素水溶肥处理分别为 2.31、2.40 和 2.81 U/g，平均约为 2.51 U/g，同样呈现抑制趋势。相比之下，液体有机肥处理则显著提升了该酶活性，三个重复分别达到 8.08、8.53 和 7.10 U/g，平均约为 7.90 U/g，远高于其他处理，表明液体有机肥能有效激发土壤中与氮素转化相关的微生物功能，促进蛋白质类有机氮的分解。

关于土壤脱氢酶活性，该酶是表征土壤微生物总体代谢活性的重要指标。基础值为 17.32 U/g。三元复合肥处理分别为 21.85、20.51 和 21.06 U/g，平均约为 21.14 U/g，表现出明显的促进效果。生态复活素水溶肥处理分别为 21.79、22.13 和 20.45 U/g，平均约为 21.46 U/g，与三元复合肥效果相当。而液体有机

肥处理则分别为 15.36、18.23 和 15.52 U/g, 平均约为 16.37 U/g, 略低于基础值, 表明该肥料对土壤微生物的整体代谢活性可能产生了轻微抑制, 与其他肥料相比, 其刺激微生物群落结构向不同功能方向演替。

5. 讨论

总体来看, 三元复合肥在短期内对降低土壤 pH 效果显著, 而生态复活素水溶肥和液体有机肥对土壤酸碱度的影响较为温和, 这提示在实际农业生产中, 若需调节碱性土壤, 三元复合肥可能更有效, 但若希望维持土壤原有性质, 则有机类肥料更为适宜。三元复合肥在提升土壤速效钾和有效磷方面效果最为突出, 但对有机质和氮素的提升作用有限; 生态复活素水溶肥在部分样本中表现出较好的钾、氮供应能力, 但稳定性不足; 液体有机肥在提升土壤有机质方面效果最佳, 但对速效磷和钾的供应能力较弱。这些结果说明不同肥料在养分供应上各有侧重, 实际应用中应根据土壤养分状况和作物需求进行合理选择和配施, 以实现养分的均衡供应与土壤肥力的可持续提升。不同肥料对土壤微生物活性的影响呈现出明显的功能特异性。三元复合肥显著增强了过氧化氢酶和脱氢酶活性, 反映出其对土壤微生物氧化代谢和总体代谢活性的促进作用; 生态复活素水溶肥对多数酶活性影响较小或呈抑制趋势, 仅在脱氢酶活性上有所提升; 而液体有机肥则显著提高了酸性磷酸酶和酸性蛋白酶活性, 显示出其在促进土壤磷、氮循环相关微生物功能方面的独特优势。这些结果说明, 肥料类型不仅影响土壤养分有效性, 还通过调控微生物群落功能而深刻影响土壤生态过程, 在实际应用中应根据土壤微生物功能需求和作物生长目标, 选择适当的肥料类型或进行合理配施, 以维持土壤微生物生态系统的健康与功能平衡。

6. 总结

本研究系统比较了三元复合肥、生态复活素水溶肥和液体有机肥对土壤的影响。研究发现, 三元复合肥能显著降低土壤 pH 值, 并大幅提升速效钾和有效磷含量, 但对土壤有机质和全氮的提升有限。生态复活素水溶肥在维持土壤酸碱稳定方面表现最佳。液体有机肥在提升土壤有机质方面效果最突出, 并能显著增强与氮、磷循环相关的土壤微生物酶活性。综合而言, 三种肥料各有侧重, 在实际应用中需根据土壤条件 and 生产目标进行科学选择与配施。

基金项目

陕西省科协企业创新争先青年人才托举计划(项目编号: 20230612)。

参考文献

- [1] 杨通, 谢军红, 汤昕悦, 等. 有机肥替代化肥对旱作饲用玉米产量及农田 CO₂ 排放的影响[J]. 应用生态学报, 2025: 1-11.
- [2] 温雅静. 施用有机肥对沙地柏苗木生长和苗圃土壤理化性质的影响[J]. 山西农业科学, 2025: 1-7.
- [3] 朱徐燕, 吴燕君, 汪群, 叶伟芬, 张舟娜, 华永刚, 洪文英. 不同处理模式对设施菜薹连作障碍的消减效应[J]. 中国蔬菜, 2025: 1-9.
- [4] 金梦娴, 吴晓东, 韦武青, 高英春, 赵琼芬, 苏毅, 徐建军. 多肽植物营养素在小白菜上的应用效果试验[J]. 长江蔬菜, 2025(12): 80-82.
- [5] 苟先涛. 不同生物有机肥对夏季大棚速生小白菜生长的影响[J]. 长江蔬菜, 2025(10): 65-67.
- [6] 余婷, 杨帆, 王慧, 邵钦巧. 不同配比薰衣草秸秆有机肥对小白菜生长质量的影响[J]. 农业技术与装备, 2025(4): 190-192.
- [7] 张玲玲, 马小曼, 朱继妍, 孙星. 三种有机肥施用对盆栽小白菜土壤理化性状的影响[J]. 信阳农林学院学报, 2024, 34(4): 75-79.