

不同施肥措施对小麦玉米轮作地土壤肥力及产量的影响

史 韵

(山东省临沂市临沭县农业农村局, 山东 临沂 276700)

摘要:为达到耕地化肥减量增效,提高农作物产量的目的,利用有机肥和菌肥部分替代复合肥,研究其对小麦玉米轮作地土壤肥力和产量的影响。结果表明,有机肥和菌肥部分替代复合肥,可以有效提升小麦玉米轮作地的土壤酶活性和土壤肥力;小麦产量与土壤中全氮含量、碱解氮含量、速效磷含量、有机质含量、脲酶活性、碱性磷酸酶活性呈正相关,与蔗糖酶活性呈负相关;玉米产量与土壤中全氮含量、碱解氮含量、速效磷含量、有机质含量、脲酶活性、碱性磷酸酶活性、蔗糖酶活性呈负相关;小麦种植季适合施加有机肥或者菌肥,玉米种植季适合施加复合肥;建议采用150 kg/hm²菌肥+450 kg/hm²复合肥的施肥方式为小麦玉米轮作地的推荐施肥方案,一个轮作周期内的粮食总产量相比仅施用复合肥提高7.2%。

关键词:有机肥;菌肥;复合肥;酶活性;土壤肥力;小麦玉米轮作地

中图分类号:S158

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2026)01-0046-07

Study on the Effects of Different Fertilization Measures on Soil Fertility and Yield in Wheat-Maize Rotation Fields

SHI Yun

(Agriculture and Rural Bureau of Linshu County, Linyi 276700, China)

Abstract: To achieve the goal of reducing chemical fertilizer application rate while improving its efficiency in farmland and increasing crop yields, a comparative study on soil fertility and yield was conducted in wheat-maize rotation fields by partially substituting compound fertilizer with organic fertilizer or microbial fertilizer. The results showed that partial replacement of compound fertilizer with organic fertilizer or microbial fertilizer for nutrient management in wheat-maize rotation fields can effectively enhance soil enzyme activity and soil fertility indicators. Wheat yield was positively correlated with soil total nitrogen content, available nitrogen content, available phosphorus content, organic matter content, urease activity, and alkaline phosphatase activity, but negatively correlated with soil invertase activity. In contrast, corn yield was negatively correlated with soil total nitrogen content, available nitrogen content, available phosphorus content, organic matter content, urease activity, alkaline phosphatase activity, and invertase activity. Specifically, it is suitable to apply organic fertilizer or microbial fertilizer during the winter wheat planting season, whereas compound fertilizer is more appropriate during the summer corn planting season. It is recommended to adopt a fertilization regime of 150 kg/ha microbial fertilizer combined with 450 kg/ha compound fertilizer as the optimal fertilization scheme for wheat-maize rotation fields. Compared with the treatment of applying only compound fertilizer, the total grain yield within one rotation cycle increased by 7.2%.

Key words: Organic fertilizer; Bacterial fertilizer; Compound fertilizer; Enzyme activity; Soil fertility; Wheat-maize rotation field

化肥的使用为提高粮食产量解决粮食危机做

出了巨大贡献,我国自20世纪80年代开始逐渐推广使用化肥,通过各种措施并济,解决了14亿人的吃饭问题^[1]。然而,化肥的不合理使用也引发了一系列的问题,尤其是农家肥与化肥的不合理混用,导致农作物养分需求不平衡,降低了土壤养分供应能力和资源利用率。为了实现农业的可

收稿日期:2025-03-11

基金项目:山东省乡村振兴科技创新提振行动计划项目(2021TZXD007)

作者简介:史 韵(1974-),女,高级农艺师,主要从事土壤肥料方面的研究。

持续发展,农业农村部下发了关于减少化肥使用量,合理利用有机营养资源,利用有机肥和无机肥组合替代化肥的行动计划,因此,不同施肥措施下土壤肥力的研究成为关注的焦点^[2-3]。

北方地区主产玉米、小麦、花生、大豆等作物,尤以小麦玉米轮作地居多^[4-5]。张慧芋等^[6]对不同施肥方式下华北小麦玉米轮作种植系统土壤有机碳库的变化进行了研究,发现磷、钾肥在小麦季和玉米季按2:1分配,配合两季作物450 kg/hm²的总施氮量,能够显著提升土壤肥力。曹兵等^[7]探讨不同配比的控释掺混肥减氮和一次性施肥对作物产量、氮挥发损失和施肥经济效益的影响,认为包膜尿素与普通尿素在小麦、玉米季按照5:5、3:7,或者按照7:3、5:5的比例掺混一次性基施的效果最佳。吕金岭等^[8]探究了聚脲甲醛缓释肥减量施用配合深耕对小麦和玉米作物产量、氮肥利用效率以及矿质养分迁移的影响,得出聚脲甲醛缓释肥在玉米季深耕条件下,表现出了很好的增产效果。黄艳岚等^[9]研究得出,在75%复合肥+25%有机肥的施肥方式下,马铃薯产量以及茎叶、薯块的氮积累量分别较仅施用复合肥时提高了3.59%、78.60%和29.37%。许丽等^[10]研究认为,生物菌肥等量替代15%氮磷钾复合肥可显著提高土壤速效养分含量,并能显著提高小麦和玉米的产量。上述研究均表明,利用有机或者菌肥配施复合肥是可行的,对于粮食增产和土壤肥力提升有积极作用,但是不同地区由于土壤理化性质和气候条件不同,研究结论存在一定的差异^[11-12]。

本研究在山东省临沂市临沭县小麦玉米轮作地进行了有机肥和菌肥部分替代复合肥后的土壤肥力测试,以期为该地区进行土壤保护和合理施肥提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验区位于山东省东南部临沂市临沭县,全年平均气温14.3℃,日照时数2 459 h,积温4 238.1~4 345.5℃·d,无霜期244 d,降水量1 000.4 mm,主要集中在5—9月份,年均蒸发量为1 116.5 mm,主要集中在4—6月份。试验区0~20 cm深度耕层土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷含量分别为11.50 g/kg、0.88 g/kg、0.81 g/kg、41.14 mg/kg和14.6 mg/kg。

1.2 试验材料

试验地属于小麦玉米轮作区,小麦选用烟农

21,属于中晚熟多穗型品种;玉米品种选用农大372,生育期约105 d。

试验肥料:有机肥,购自山东启鲁化工科技有限公司,氮磷钾总含量≥5%,有机质含量≥45%;复合肥,购自临沂经济技术开发区科达化肥有限公司,氮磷钾总含量≥45%,N:P₂O₅:K₂O=2:1:1;菌肥,购自济南铭润化工有限公司,氮磷钾总含量≥8%,有机质含量≥40%,有效活菌数≥20亿CFU/g。有机肥和菌肥作为基肥,复合肥作为种肥。

1.3 试验设计

试验区随机划分为21个小区,每个小区面积约200 m²,共设7个处理,每个处理3次重复(间隔重复)。各处理的具体情况见表1。

于2022年9月底,在小麦播种前对试验区深施基肥,播种方式为机械化宽窄行探墒沟播,宽行和窄行分别为25 cm和12 cm;2023年6月上旬小麦成熟收割后,采用机械化硬茬播种和种肥同穴技术种植玉米,并施用种肥。

表1 施肥方案设计
Table 1 Fertilization scheme design

处理 Treatment	基肥种类 Types of base fertilizers	基肥数量 Quantity of base fertilizer	种肥种类 Types of fertilizers	种肥数量 Quantity of seed fertilizer
S ₁	复合肥	300	复合肥	450
S ₂	有机肥	150	复合肥	450
S ₃	有机肥	300	复合肥	450
S ₄	有机肥	450	复合肥	450
S ₅	菌肥	150	复合肥	450
S ₆	菌肥	300	复合肥	450
S ₇	菌肥	450	复合肥	450

1.4 指标测定

在小麦拔节期、抽穗期和成熟期,玉米苗期和成熟期钻取土壤,深度15~20 cm,取得土壤样品后去除石块和其他杂质,风干后过1 mm和0.25 mm筛,对土壤的脲酶活性(靛酚比色法)、碱性磷酸酶活性(磷酸苯二钠比色法)、蔗糖酶活性(5-二硝基水杨酸比色法)、有机质含量(重铬酸钾容量法)、碱解氮含量(碱解扩散法)、速效磷含量(0.5 mol/L NaHCO₃浸提-钼锑抗比色法)和全氮含量(半微量开氏法)进行测定^[13-14]。

2 结果与分析

2.1 不同施肥措施对小麦玉米轮作地土壤酶活性的影响

2.1.1 不同施肥措施对小麦玉米轮作地土壤脲酶活性的影响

由图1可知,仅施用复合肥处理(S₁),各阶段的土壤脲酶活性均低于其他处理,表明利用有机肥或者菌肥部分替代复合肥作为基肥时,能够有效提高土壤的脲酶活性。在小麦拔节期,S₇处理的脲酶活性最高,达到0.27 mg/(g·d),较S₁处理高58.8%,在小麦抽穗期,S₄处理的脲酶活性最高,达到0.24 mg/(g·d),较S₁处理高166.7%,在小麦成熟期,S₅处理的脲酶活性最高,达到0.22 mg/(g·d),较S₁处理高83.3%,在玉米苗期,也是S₅处理的脲酶活性最高,达到0.27 mg/(g·d),较S₁处理高68.8%,在玉米成熟期,S₅处理的脲酶活性最高,为0.17 mg/(g·d),为S₁处理的17倍。在仅施用复合肥的情况下,玉米成熟期,土壤中脲酶活性会降低,但是施用有机肥或者菌肥部分替代复合肥之后,能够显著改善土壤中的脲酶活性,尤以S₄、S₅和S₇的效果明显。

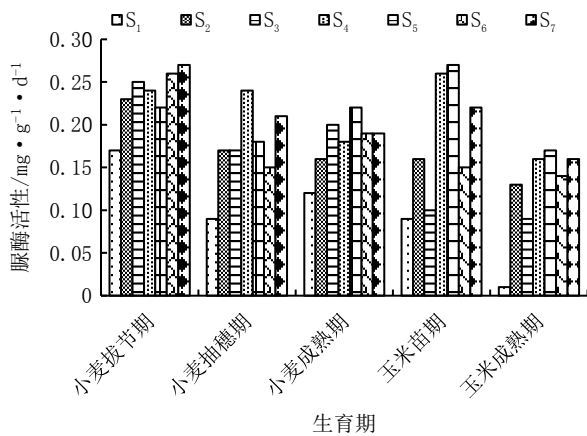


图1 不同施肥措施对土壤脲酶活性的影响

Fig.1 The impact of different fertilization measures on soil urease activity at various stages

2.1.2 不同施肥措施对小麦玉米轮作地土壤碱性磷酸酶活性的影响

由图2可知,在小麦拔节期、抽穗期以及成熟期同种施肥措施下,土壤中的碱性磷酸酶活性相差不大,表明小麦生长对土壤中碱性磷酸酶活性的影响不大。在小麦拔节期,碱性磷酸酶活性的排序为:S₇>S₆>S₄>S₃>S₅>S₂>S₁,在小麦抽穗期,碱性磷酸酶活性的排序为:S₄>S₇>S₃>S₆>S₁=S₂>S₅,在小麦成熟期,碱性磷酸酶活性的排序为:S₅>S₆>S₃>S₄>

S₇>S₂>S₁。在同种施肥措施条件下,玉米成熟期的碱性磷酸酶活性显著低于苗期,表明玉米生长会消耗土壤中的碱性磷酸酶,其中S₅处理的碱性磷酸酶活性最高,在苗期和成熟期分别达到了1.4 mg/(g·d)和0.82 mg/(g·d),为S₁处理的1.4倍和8.2倍;S₄处理的碱性磷酸酶活性也较高,在苗期和成熟期分别达到1.31 mg/(g·d)和0.8 mg/(g·d),为S₁处理的1.3倍和8.0倍,这说明施用有机肥或者菌肥部分替代复合肥,能够显著提升土壤中的碱性磷酸酶活性,可以充分保证养分的供应。

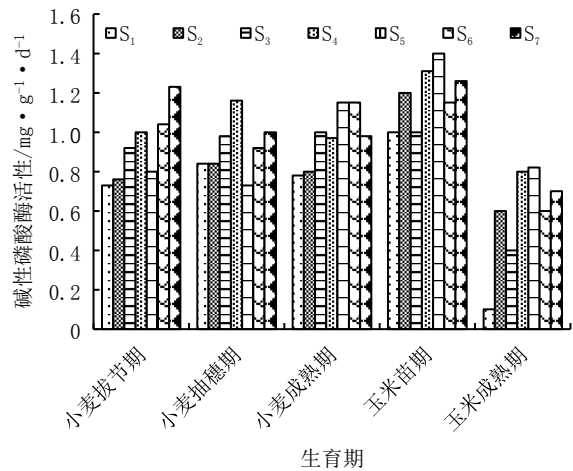


图2 不同施肥措施对土壤碱性磷酸酶活性的影响

Fig.2 The impact of different fertilization measures on alkaline phosphatase activity at various stages of soil

2.1.3 不同施肥措施对小麦玉米轮作地土壤蔗糖酶活性的影响

由图3可知,S₁、S₆处理的蔗糖酶活性在小麦成熟期最高;S₂、S₃处理的蔗糖酶活性在小麦抽穗和成

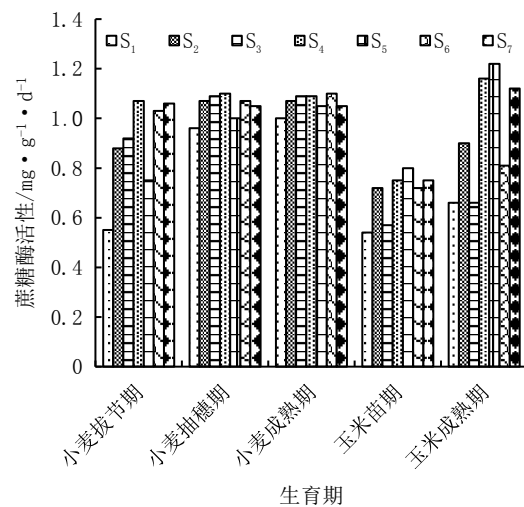


图3 不同施肥措施对土壤蔗糖酶活性的影响

Fig. 3 The impact of different fertilization measures on soil invertase activity at various stages

熟期最高;S₄、S₅、S₇处理的蔗糖酶活性在玉米成熟期最高。在全生育期内,S₁处理的蔗糖酶活性最低,表明施用有机肥或者菌肥部分替代复合肥,能显著提高土壤中的蔗糖酶活性,其中是S₄、S₇处理较突出。

2.2 不同施肥措施对小麦玉米轮作地土壤养分含量的影响

2.2.1 不同施肥措施对小麦玉米轮作地土壤全氮含量的影响

由图4可知,在小麦拔节期,S₇处理的全氮含量最高;在小麦抽穗期,S₅处理的土壤全氮含量最高;在小麦成熟期,S₄处理的土壤全氮含量最高;在玉米苗期和成熟期,S₅处理的土壤全氮含量最高。从整体结果来看,施用有机肥或者菌肥替代复合肥作为基肥,能够更好地维持土壤中的全氮含量。对比菌肥和有机肥的提升效果,发现菌肥替代复合肥后,对土壤中的全氮含量提升效果更好。

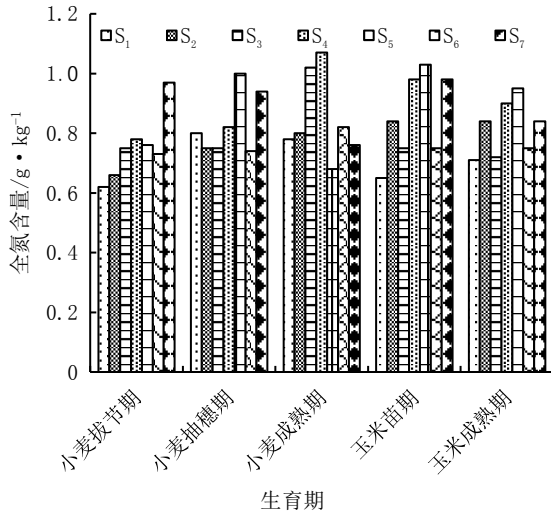


图4 不同施肥措施对土壤全氮含量的影响

Fig.4 The impact of different fertilization measures on total nitrogen content in soil at various stages

2.2.2 不同施肥措施对小麦玉米轮作地碱解氮含量的影响

由图5可知,在小麦拔节期,S₇处理的土壤碱解氮含量最高;抽穗期S₅处理的土壤碱解氮含量最高;成熟期S₄处理的土壤碱解氮含量最高;在玉米苗期和成熟期,S₅处理的土壤碱解氮含量最高。从整体结果来讲,采用有机肥或者菌肥替代复合肥,能够提高土壤碱解氮含量,这是因为在施加足够多的有机肥/菌肥后,释放的碱解氮能够弥补复合肥减量的效果,满足作物对氮素的吸收要求。

2.2.3 不同施肥措施对小麦玉米轮作地土壤速效磷含量的影响

由图6可知,在小麦生育期内,同种施肥措施

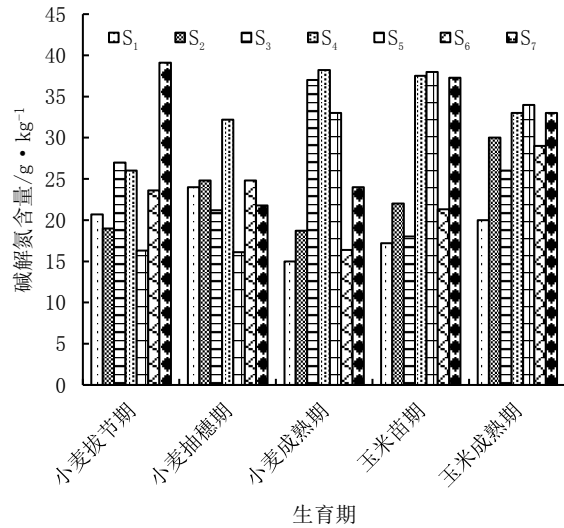


图5 不同施肥措施对各阶段土壤碱解氮含量的影响
Fig. 5 The impact of different fertilization measures on soil available nitrogen content at various stages

条件下,土壤中速效磷在小麦成熟期达到较高值;在玉米生育期内,同种施肥措施条件下,土壤中速效磷在玉米苗期达到较高值,即土壤中速效磷在小麦和玉米轮作的间隙达到较高值。在小麦拔节期,S₄处理的土壤速效磷含量最高;在小麦抽穗期,S₃处理的土壤速效磷含量最高;在小麦成熟期,S₅处理的土壤速效磷含量最高;在玉米苗期和成熟期内,S₅处理的土壤速效磷含量最高。由于有机肥和菌肥改善了土壤速效磷供应机制,除了有机质自身带有的无机磷之外,有机质还会在土壤中产生分解,形成一种能够与土壤中难溶性磷酸盐发生化学反应的有机酸,这些有机酸通过螯

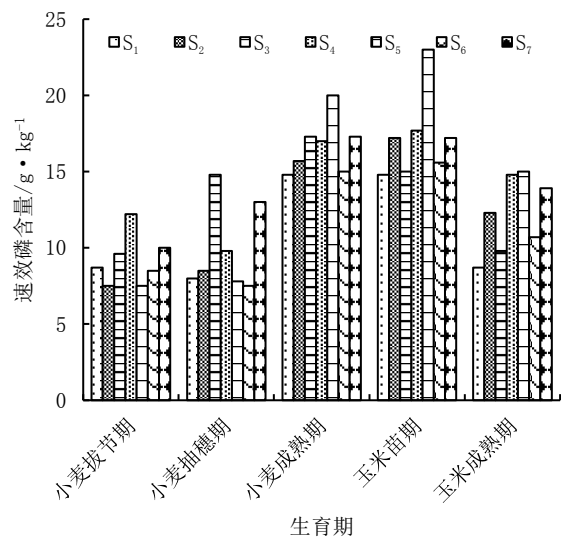


图6 不同施肥措施对土壤速效磷含量的影响
Fig. 6 The impact of different fertilization measures on the available phosphorus content in soil at various stages

合作用溶解土壤中的难溶性磷酸盐,将固态磷转变为可吸收的速效磷^[15-16],因此有机肥和菌肥对于玉米种植期内土壤中速效磷含量的提升效果比较明显。

2.2.4 不同施肥措施对小麦玉米轮作地土壤有机质含量的影响

由图7可知,在小麦拔节期,S₇处理的土壤有机质含量最高;在小麦抽穗期,S₃处理的土壤有机质含量最高;在小麦成熟期,S₅处理的土壤有机质含量最高;在玉米苗期和成熟期,S₅处理的土壤有机质含量最高。施用有机肥和菌肥部分替代复合肥,土壤中的有机质含量均有不同程度的提高,这是因为有机肥和菌肥中含有大量的有机质,能够为小麦和玉米生长提供足够的养分。但是菌肥和有机肥的施入量并不是越多越好。相对而言,S₃、S₅处理的替代效果较为合理。

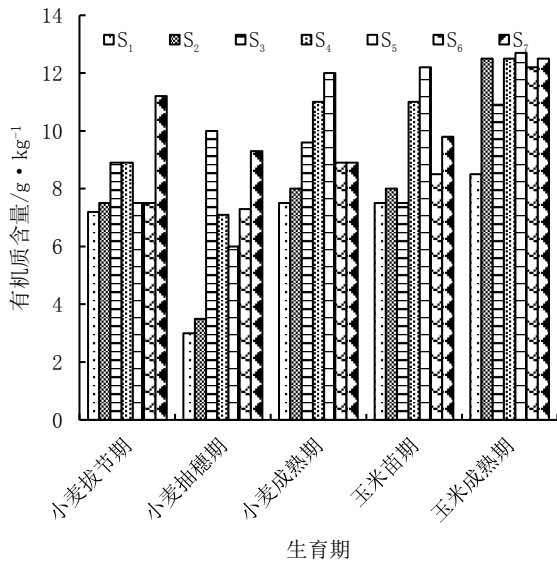


图7 不同施肥措施对土壤有机质含量的影响
Fig.7 The impact of different fertilization measures on soil organic matter content at various stages

2.3 不同施肥措施对小麦玉米轮作地作物产量的影响

由图8可知,在7种施肥措施条件下,S₅处理的产量最大,其中玉米产量达到6 175.7 kg/hm²,小麦产量达到5 900.2 kg/hm²,总产量为12 075.9 kg/hm²;S₁处理的玉米产量5 930.7 kg/hm²,小麦产量5 337.3 kg/hm²,总产量11 268.0 kg/hm²。S₅处理比S₁处理的产量高7.2%。粮食总产量排序为:S₅>S₇>S₂>S₄>S₆>S₁>S₃,采用菌肥部分替代复合肥对粮食产量提升效果更好。

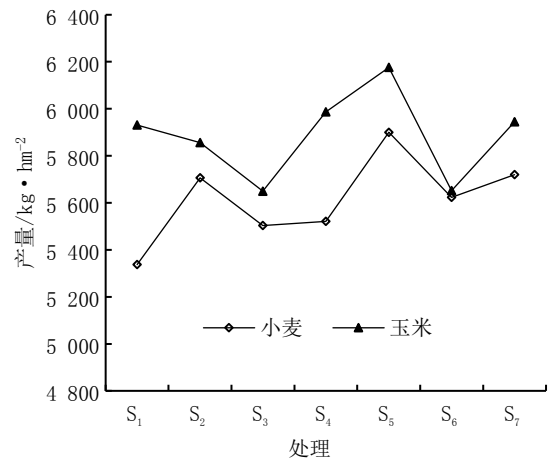


图8 不同施肥处理对粮食总产量的影响
Fig.8 The impact of different fertilization measures on total grain yield

2.4 土壤肥力与产量的相关性分析

分别对小麦和玉米成熟期产量与土壤肥力各指标的相关性进行了分析,结果见表2。小麦产量与土壤中全氮含量、碱解氮含量、速效磷含量、有机质含量、脲酶活性、碱性磷酸酶活性等呈正相关,与蔗糖酶活性呈负相关;玉米产量与土壤中全氮含量、碱解氮含量、速效磷含量、有机质含量、脲酶活性、碱性磷酸酶活性、蔗糖酶活性均呈

表2 土壤肥力与产量相关性分析

Table 2 Correlation analysis between soil fertility and yield

	全氮含量 Total nitrogen content	碱解氮含量 Alkaline hydrolyzed nitrogen content	速效磷含量 Rapidly available phosphorus content	有机质含量 Organic matter content	脲酶活性 Urease activity	碱性磷酸酶活性 Alkaline phosphatase activity	蔗糖酶活性 Sucrase activity
小麦	0.757	0.075	0.178	0.530	0.015	0.883	-0.053
玉米	-0.693	-0.887	-0.610	-0.635	-0.744	-0.930	-0.975

负相关。因此,在小麦耕种季节,应通过有机肥或者菌肥补充土壤中的养分含量,在玉米种植季

节,采用传统复合肥即可。

3 讨论与结论

土壤肥力是决定作物产量的基本条件,通过增施有机肥可以有效改善土壤的理化性质,防止土壤退化,提高土壤肥力,并且生物有机无机复合肥混施的效果要优于其他肥料。王立刚等^[16]通过对有机肥的长期研究,也证实了有机肥可以显著提升浅层土壤的养分和肥力。本研究中 S_5 处理(菌肥 150 kg/hm^2 +复合肥 450 kg/hm^2)在小麦成熟期、玉米苗期和玉米成熟期的土壤脲酶活性和碱性磷酸酶活性最高;在玉米苗期和成熟期的土壤蔗糖酶活性最高;在小麦抽穗期、玉米苗期和成熟期, S_5 处理的土壤全氮含量最高;在玉米苗期和成熟期, S_5 处理的土壤碱解氮含量最高;在小麦成熟期、玉米苗期和成熟期, S_5 处理的土壤速效磷含量和有机质含量最高。从土壤酶活性和土壤养分监测结果来看, S_5 处理对于土壤肥力的影响最为明显。与此同时, S_5 处理的粮食总产量相比仅施用复合肥时提高了7.2%,这是因为通过有机无机肥料的混施,不仅提供了丰富的能源、有效提高土壤养分,而且为土壤带来丰富的微生物,通过影响代谢过程,从而达到激发土壤微生物活性的目的,能够显著提升土壤的肥力^[18]。因此通过菌肥部分替代复合肥的措施是科学合理的。

(1)利用菌肥或者有机肥部分替代复合肥,可以有效提升土壤中的酶活性和肥力指标,但是替代量并不是越多越好,过量替代反而会影响营养成分的释放与吸收。

(2)不同施肥措施对粮食产量影响较大,采用菌肥部分替代复合肥对于粮食产量提升效果优于有机肥部分替代的效果。

(3)小麦产量与土壤中全氮含量、碱解氮含量、速效磷含量、有机质含量、脲酶活性、碱性磷酸酶活性等呈正相关,与蔗糖酶活性呈负相关;玉米产量与土壤中全氮含量、碱解氮含量、速效磷含量、有机质含量、脲酶活性、碱性磷酸酶活性、蔗糖酶活性均呈负相关关系,因此,在玉米种植季,不宜过多使用有机肥或者菌肥。

(4)从综合提升效果来看,小麦玉米轮作地推荐采用 150 kg/hm^2 菌肥+ 450 kg/hm^2 复合肥的施肥方式,粮食总产量相比仅施用复合肥作基肥提高7.2%。

参考文献:

- [1] 万思琦,袁媛,张庆,等.云南省化肥施用与水稻产量耦合性研究[J].中国热带农业,2024(3):76-83.
WAN S Q, YUAN Y, ZHANG Q, et al. A study on the coupling

between fertilizer application and rice yield in Yunnan Province [J]. China Tropical Agriculture, 2024, (3): 76-83. (in Chinese)

- [2] 刘高远,和爱玲,杜君,等.有机肥替代化肥对砂姜黑土区小麦-玉米轮作系统 N_2O 排放的影响[J].中国农业科学,2023,56(16):3156-3167.
LIU G Y, HE A L, DU J, et al. Effect of organic fertilizer replacing chemical fertilizer on nitrous oxide emission from wheat-maize rotation system in lime concretion black soil[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(16): 3156-3167. (in Chinese)
- [3] 刘燕.秸秆菌肥替代化肥对玉米生长及土壤特性的影响[J].农业开发与装备,2024(2):211-213.
LIU Y. The impact of straw fungus fertilizer as a substitute for chemical fertilizer on corn growth and soil characteristics[J]. Agricultural Development & Equipments, 2024(2): 211-213. (in Chinese)
- [4] 刘蕊,曹议丹,钱麟君,等.水肥优化配施腐解剂对小麦-玉米轮作体系对土壤养分含量和作物产量的影响[J].山东农业科学,2023,55(11):128-137.
LIU R, CAO Y D, QIAN L J, et al. Effects of optimal water and fertilizer management combined with straw-decomposing agent on soil nutrient content and crop yield in wheat-maize rotation system[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2023, 55(11): 128-137. (in Chinese)
- [5] 李凌云,和爱玲,杨焕焕,等.氮肥减施对黄褐土区小麦-玉米轮作体系产量和氮素吸收利用的影响[J].河南农业科学,2023,52(11):21-32.
LI L Y, HE A L, YANG H H, et al. Effect of reduction of nitrogen fertilizer rate on yield and nitrogen utilization of wheat-maize rotation system in yellow-cinnamon soil area[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(11): 21-32. (in Chinese)
- [6] 张慧宇,田园,张晶,等.优化施肥促进华北麦玉轮作体系土壤有机碳积累[J].农业环境科学学报,2024,43(10):2339-2349.
ZHANG H Y, TIAN Y, ZHANG J, et al. Optimized fertilization promoted soil organic carbon accumulation in wheat-maize rotation system in north China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2024, 43(10): 2339-2349. (in Chinese)
- [7] 曹兵,高玮,李洪杰,等.控释掺混肥对小麦-玉米轮作体系产量、氮肥利用效率及氨挥发的影响[J].植物营养与肥料学报,2024,30(5):873-885.
CAO B, GAO W, LI H J, et al. Effects of blended application of coated and common urea on yield, nitrogen use efficiency and ammonia volatilization in winter wheat-summer maize rotation system[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2024, 30(5): 873-885. (in Chinese)
- [8] 吕金岭,尤克,何斌,等.聚脲甲醛缓释肥减量深施对小麦和玉米产量及氮肥吸收率的影响[J].中国土壤与肥料,2024(3):96-103.
LYU J L, YOU K, HE B, et al. Effects of deep application with reduced dosage of polyurea formaldehyde slow-release fertilizer on yield and nitrogen absorption of wheat and maize[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2024(3): 96-103. (in Chinese)

- [9] 黄艳岚,张超凡,张道微,等.有机肥替代化肥对马铃薯产量、氮肥利用和土壤养分的影响[J].湖南农业科学,2022,(6):25-28.
HUANG Y L, ZHANG C F, ZHANG D W, et al. Effects of organic fertilizer instead of chemical fertilizer on potato yield, nitrogen utilization efficiency and soil nutrients[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2022(6): 25-28. (in Chinese)
- [10] 许丽,孙青,宗睿,等.生物菌肥等量替代氮磷钾复合肥对冬小麦和夏玉米产量及土壤肥力的影响[J].山东农业科学,2019,51(4):85-88.
XU L, SUN Q, ZONG R, et al. Effects of biological bacterial fertilizer replacing equivalent proportion of nitrogen-phosphorus-potassium compound fertilizer on yields and soil fertility of winter wheat and summer maize[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2019, 51(4): 85-88. (in Chinese)
- [11] 张平良,刘晓伟,曾骏,等.长期施用有机肥对西北半干旱区小麦田土壤团聚体分布及其有机碳的影响[J].中国土壤与肥料,2024(4):1-8.
ZHANG P L, LIU X W, ZENG J, et al. Effects of long-term organic manure application on the distribution and organic carbon content of soil aggregates in wheat field of northwest semi-arid region[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2024(4): 1-8. (in Chinese)
- [12] 李之霖,范燕敏,樊婕,等.化肥配施有机肥对喀什地区冬小麦产量及肥料利用率的影响[J].山东农业大学学报(自然科学版),2024,55(2):177-183.
LI Z L, FAN Y M, FAN J, et al. Effects of combined application of chemical fertilizer and organic fertilizer on winter wheat yield and fertilizer utilization efficiency in the Kashi Region[J]. Journal of Shandong Agricultural University(Natural Science Edition), 2024, 55(2): 177-183. (in Chinese)
- [13] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986:294-297.
- [14] 骆东奇,白洁,谢德体.论土壤肥力评价指标和方法[J].土壤与环境,2002(2):202-205.
LUO D Q, BAI J, XIE D T. Research on evaluation norm and method of soil fertility[J]. Ecology and Environment Sciences, 2002(2): 202-205. (in Chinese)
- [15] 邢亚楠,郭莉,马晓慧,等.两种耕作方式下不同施肥处理对水稻麦长管蚜发生及产量的影响[J].东北农业科学,2024,49(2):36-40.
XING Y N, GUO L, MA X H, et al. Effects of different fertilization treatments on occurrence and yield of *Sitona avenae*(fabricius)under two tillage methods[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(2): 36-40. (in Chinese)
- [16] 丰明,葛维德,王英杰,等.减施氮肥增施生物菌肥对3种不同类型荞麦农艺性状及产量的影响[J].东北农业科学,2023,48(5):17-20,26.
FENG M, GE W D, WANG Y J, et al. Effects of reducing nitrogen fertilizer application and increasing bio-bacterial fertilizer application on agronomic traits and yield of three different types of buckwheat[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2023, 48(5): 17-20, 26. (in Chinese)
- [17] 王立刚,李维炯,邱建军,等.生物有机肥对作物生长、土壤肥力及产量的效应研究[J].土壤肥料,2004(5):12-16.
WANG L G, LI W J, QIU J J, et al. Effect of biological organic fertilizer on crops growth, soil fertility and yield[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2004(5): 12-16. (in Chinese)
- [18] 李兴吉,刘松涛,程松,等.吉林西部不同培肥方式对玉米产量及土壤理化性状的影响[J].东北农业科学,2022,47(1):57-60,126.
LI X J, LIU S T, CHENG S, et al. Effect of different soil amendment practices on grain yield of maize soil physical and chemical properties in western Jilin Province[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2022, 47(1): 57-60, 126. (in Chinese)

(责任编辑:范杰英)