DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2026.0121

微生物有机肥对土壤酶活性及南瓜产量、品质的影响

丁　林[1],张金霞[2],任芳芳[2],唐仲霞[1]

(1.甘肃省水利科学研究院　兰州　730000;　2.甘肃农业大学　兰州　730070)

摘　要:微生物有机肥在改善土壤环境、提高农作物产量和品质、提高土地生产力等方面效果显著,是有效的化肥替代品,全国各地均开展了相应的研究并大力推广应用。为了进一步研究施用不同用量及配比微生物有机肥条件下土壤酶活性在时间和空间的分布与变化特征,以及对南瓜产量、品质、水肥利用效率的影响,探索适宜的微生物有机肥施用方案,在民勤绿洲红崖山灌区开展了施用微生物有机肥对南瓜不同生育期土壤酶活性及其空间分布特征、南瓜产量、品质、肥料偏生产力和灌溉水分利用效率等指标影响的研究。结果表明,与全施化肥(CK)相比,在全部施用微生物有机肥情况下,适宜的施肥量使南瓜地土壤脲酶、蔗糖酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性在不同生育期及不同深度土层均有所提高,明显提高了南瓜产量及单瓜质量。施用微生物有机肥显著提高了南瓜果肉中可溶性糖、维生素C和可溶性固形物含量,提高了肥料偏生产力及灌溉水分利用效率。综合来看,F2W和F3W的效果更优。在南瓜种植中,建议采用灌水定额525 $m^3 \cdot hm^{-2}$,灌水4次,微生物有机肥底肥施用量4800~5700 $kg \cdot hm^{-2}$,追施液体微生物有机肥2次,每次施用量450~600 $kg \cdot hm^{-2}$的模式。

关键词:南瓜;微生物有机肥;土壤酶活性;产量;品质;水肥利用效率

中图分类号:S642.1　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1673-2871(2026)10-115-09

Effects of microbial organic fertilizer on soil enzyme activity and pumpkin yield and quality

Ding Lin[1], Zhang Jinxia[2], Ren Fangfang[2], Tang Zhongxia[1]

(*1. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China*)

Abstract: In order to investigate the effects of different microbial organic fertilizers on the spatiotemporal dynamics of soil enzyme activity, pumpkin yield and quality, and water and fertilizer use efficiency, and to identify an optimal application strategy, a field experiment was conducted in the Hongyashan irrigation district of Minqin oasis. The study systematically analyzed the changes in soil enzyme activity across different soil layers and pumpkin growth stages, as well as indicators including pumpkin yield, quality, fertilizer partial productivity, and irrigation water use efficiency. The results showed that under full application of microbial organic fertilize, compare to CK, the appropriate application rate significantly enhanced the activities of soil urease, sucrase, phosphatase and catalase at various growth stages and soil depths, and markedly increased pumpkin yield and average fruit mass. Meanwhile, the content of soluble sugar, vitamin C, and soluble solids in pumpkin pulp were also improved, and both fertilizer partial productivity and water use efficiency were enhanced. Overall, F2W and F3W exhibited superior performance. Therefore, it is recommended that in pumpkin cultivation, an irrigation quota of 525 $m^3 \cdot hm^{-2}$ be applied over four irrigation events, with a basal application of 4800-5700 $kg \cdot hm^{-2}$ of solid microbial organic fertilizer, supplemented by two topdressings of liquid microbial organic fertilizer at a rate of 450-600 $kg \cdot hm^{-2}$ each time.

Key words: Pumpkin; Microbial organic fertilizer; Soil enzyme activity; Yield; Quality; Efficiency of water and fertilizer utilization

土壤酶能促进土壤有机质的转化,直接作用于土壤代谢,其活性水平在一定程度上反映了土壤的肥力状况[1],对土壤中的物质循环和能量转换具有至关重要的催化功能[2]。根据土壤中特定的酶活性,可以评估土壤的肥力状况,为农业生产提供科学依据[3-5]。施用微生物有机肥可以优化土壤的物

收稿日期:2026-02-05;**修回日期:**2026-04-17

基金项目:甘肃省重点研发计划(25YFFA070)

作者简介:丁　林,男,正高级工程师,主要从事节水灌溉理论技术及旱区水资源利用方面的研究。E-mail:gssskyd@sohu.com

理化学特性，改善土壤微生物群落结构，增强土壤酶活性[6]。有研究表明，与施用化肥相比，微生物有机肥能够显著提高土壤脲酶、蔗糖酶和磷酸酶活性，且有机肥施入量越多，土壤酶活性越高[7-12]。生物有机肥与化肥的混合施用能显著提高土壤脲酶和磷酸酶活性[13-14]。施用微生物肥还可提高土壤蛋白酶、过氧化氢酶活性[15]。另有研究表明，施用微生物肥可有效提高甜高粱产量[16]，有机水溶肥可改善土壤微生态环境，显著提升辣椒的产量和品质[17]。微生物肥替代部分化肥处理增加了黄瓜叶片中叶绿素含量，提高了黄瓜中可溶性糖、可溶性蛋白质、可溶性固形物、维生素 C 等含量，提升了黄瓜商品率[18]，还可提高贝贝南瓜土壤酶活性、微生物数量及产量[19]。本研究在南瓜全生育期全部施用微生物有机肥，通过与施用化肥处理比较，选择参与土壤氮素转化、碳代谢、磷素活化及氧化还原过程，能敏感反映土壤微生物活性、有机质矿化速率及土壤综合肥力水平的脲酶、蔗糖酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性等指标，探讨不同施肥水平下土壤酶活性在时间及空间的变化特征、南瓜产量及品质的变化特征，探讨微生物有机肥对土壤肥力及作物产量品质的提升效应，探寻适宜的微生物有机肥施用量，为微生物有机肥高效利用及作物优质高产种植提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于 2023 年 4 月至 2024 年 9 月连续 2 年在甘肃省灌溉试验中心站进行。试验区地处民勤绿洲和腾格里沙漠交界地带，属典型的大陆性荒漠气候。区内气候干燥，风沙多，降水稀少，蒸发量大。多年平均气温 7.8 ℃，多年平均湿度 45%，多年平均降水量 110 mm，多年平均蒸发量 2644 mm。试验区土质 0~60 cm 为黏壤土，60 cm 以下逐渐由黏壤土变为砂壤土。试验区地下水埋深 30 m，矿化度 0.91 g·L^{-1}[20]。试验区土壤理化性质见表 1。

表 1 试验区土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties of experimental area

指标 Index	比重 Specific gravity/（g·cm^{-3}）	孔隙率 Porosity/%	田间持水率 Field water holding capacity/%	*w*（有机质）Organic matter content/%	*w*（全氮）Total nitrogen content/%	*w*（全磷）Total phosphorus content/%	*w*（全钾）Total potassium content/%	*w*（碱解氮）Alkaline dissolved nitrogen content/（mg·kg^{-1}）	*w*（速效磷）Quick-release phosphorus content/（mg·kg^{-1}）	*w*（速效钾）Quick-release potassium content/（mg·kg^{-1}）	pH
数值 Value	2.61	42.8	23.00	0.55	0.05	0.12	1.65	20.46	18.10	154	8.04

1.2 试验设计

试验材料为甜美南瓜，有机肥为复合微生物肥，由兰州欣达立水肥一体化服务有限公司生产，试验设 4 个处理，各处理肥料用量均换算为 N+P_2O_5+K_2O 纯量，其中微生物有机肥处理为 F1W（固态底肥氮磷钾养分量 195 kg·hm^{-2}），F2W（固态底肥氮磷钾养分量 240 kg·hm^{-2}），F3W（固态底肥氮磷钾养分量 285 kg·hm^{-2}）。生育期随水追肥 2 次，追肥全部为微生物有机液体肥，追肥时间为伸蔓期和膨大期，对照处理 CK 的底肥、追肥均为化肥（表 2）。液体微生物有机肥的有效成分为：N+P_2O_5+K_2O 含量（*w*，后同）≥18%，有效菌（枯草芽孢杆菌+地衣芽孢杆菌）≥0.5 亿•mL^{-1}，氨基酸含量≥3%[20]。固态有机肥底肥有效成分主要为有机质，N、P、K 含量为 1.7%、2.4%、0.9%，化肥主要为磷酸二铵和尿素，磷酸二铵：N+P_2O_5 含量为 14%+39%=53%，由贵州开磷集团有限公司生产，每袋 40 kg。尿素：N 含量 46%，由宁夏和宁化学有限公司生产，每袋 40 kg。

表 2 南瓜微生物有机肥试验设计

Table 2 Experimental design for microbial organic fertilizer of pumpkin

处理 Treatment	设计灌水定额 Design irrigation water quota/（m^3·hm^{-2}）	底肥（固态）用量 Amount of base fertilizer（solid form）used/（kg·hm^{-2}）	追肥（液态）总量 Total fertilizer application（liquid）dosage/（kg·hm^{-2}）	追肥次数 Frequency of fertilization	灌水次数 Frequency of irrigation
F1W	525	195	54	2	4
F2W	525	240	81	2	4
F3W	525	285	108	2	4
CK	525	399	138	2	4

每个处理3个重复，共12个小区，每个小区面积90 m^2，试验田用井水灌溉，灌溉方式为膜垄沟灌，全生育期共灌水4次，灌水定额525 $m^3 \cdot hm^{-2}$。南瓜采用垄沟种植，垄宽200 cm，沟宽50 cm，沟深40 cm，在沟顶两侧各种1行，株距30 cm。

1.3　测试项目及方法

灌水量：每个试验小区用独立闸阀控制灌溉，灌水量由水表精确测量。

土壤样品取样方法：在南瓜各个生育期内，每个小区2株南瓜连线的中点取土样。取土深度设定为100 cm，每20 cm一层分层取样装入样品袋标记，在静置风干后过筛（≤1 mm），4 ℃保存备用。

脲酶活性：采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定，以24 h后1 g土壤中NH_3-N的质量（mg）表示[21-22]。

蔗糖酶活性：采用二硝基水杨酸比色法测定，以24 h后1 g土壤中葡萄糖的质量（mg）表示[22-24]。

磷酸酶活性：采用磷酸苯二钠比色法测定，以24 h后1 g土壤中释放出的酚的质量（mg）表示[22,24]。

过氧化氢酶活性：采用高锰酸钾滴定法测定，以1 g干土1 h内消耗0.1 $mol \cdot L^{-1}$ $KMnO_4$的体积表示（mL）。

产量：南瓜成熟后按试验小区单采单收。使用电子秤（精度0.01 g）称质量并计算每个小区的南瓜产量，并根据3个重复计算每个处理的平均产量。

品质：南瓜成熟后每个小区选取3个南瓜测定各品质指标含量。采用试剂盒（北京盒子生工科技有限公司）测定南瓜的可溶性糖、维生素C以及可溶性固形物含量。

肥料偏生产力（*PFP*）采用公式 $PFP=Y/F$ 计算，式中，Y 是作物产量，F 是纯养分（指N、P_2O_5和K_2O）投入量。

灌溉水分利用效率=单位灌溉水量/单位作物产量。

1.4　数据分析与处理

土壤酶活性不同生育期作图数据为各土层酶活性的平均值，不同土层数据为各生育期数据的平均值。用Excel 2016进行数据处理和制图，采用DPS 18.10进行方差分析，采用LSD多重比较方法进行差异显著性分析。

2　结果与分析

2.1　微生物有机肥对土壤脲酶活性的影响

由图1可知，脲酶活性在南瓜生育前期逐渐升高，伸蔓期达到最大值，生育后期逐渐降低。各处理下土壤脲酶活性在土壤表层最高，随土层深度的增加而逐渐降低。在南瓜各生育期，施用微生物有机肥处理的脲酶活性均明显高于CK，其中F3W处理在伸蔓期土壤脲酶活性处于最高值，较CK高25.22%；在不同微生物有机肥施肥水平下，各处理不同生育期土壤脲酶活性差异不明显，F3W处理在生育旺盛期略高于其他处理。就不同土层深度来看，施用生物有机肥可以提高各土层土壤脲酶活性，尤其在土壤60 cm以下提高幅度较大，在地下80 cm土层F1W、F2W、F3W处理分别较CK提高29.06%、35.12%和41.53%。在不同微生物有机肥施肥水平下，F3W处理土壤脲酶活性在各土层均较高，尤其在土壤表层20 cm表现突出，较F1W和

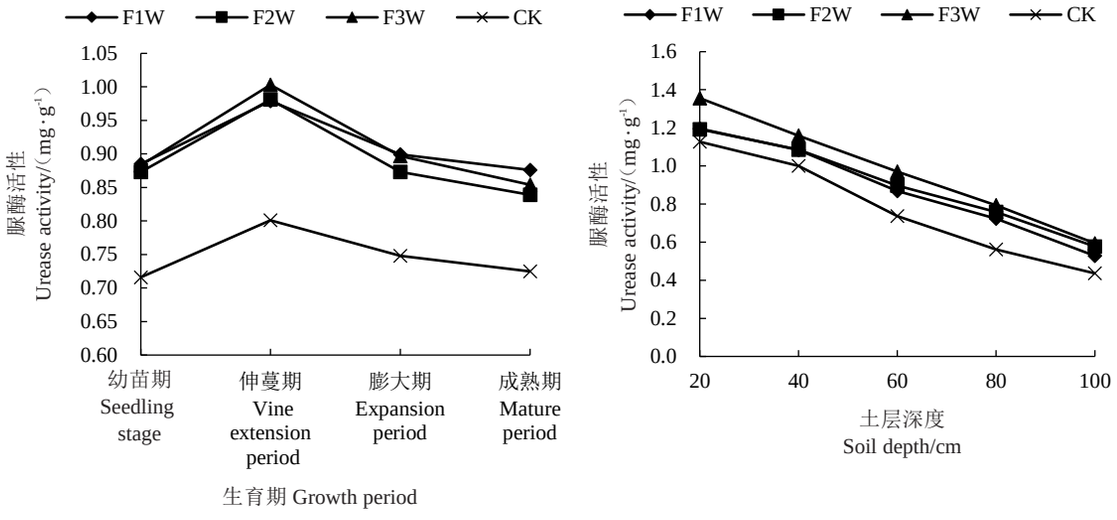


图1　微生物有机肥处理下土壤脲酶活性在时间和空间上的变化

Fig. 1　Changes in soil urease activity over time and space under microbial organic fertilizer treatment

F2W 分别提高 13.38%和 13.66%。

2.2 微生物有机肥对土壤蔗糖酶活性的影响

由图 2 可知，南瓜地土壤蔗糖酶活性在幼苗期—膨大期逐渐升高，膨大期—成熟期逐渐降低。在施用微生物有机肥处理下均大于 CK，且在果实膨大期差距最大，F1W、F2W、F3W 分别较 CK 提高 45.66%、107.61%和 86.09%。不同微生物有机肥处理间蔗糖酶活性在生育中后期也形成明显差异，F2W 处理蔗糖酶活性最高，在膨大期较 F1W 和 F3W 分别提高 42.53%和 11.57%，在成熟期分别提高 35.40%和 39.03%。蔗糖酶活性随土层深度的增加而逐渐降低，各处理变化趋势均一致，表层降幅（0~40 cm）大于深层（60~100 cm）。施用微生物有机肥处理的蔗糖酶活性明显高于 CK 处理，在土壤表层表现最为突出，在 20 cm 处，F1W、F2W、F3W 处理较 CK 分别提高 46.98%、64.76%和 76.23%。不同微生物有机肥施用量处理间在 80 cm 土层以上对蔗糖酶活性的影响较明显，其中在 20 cm 和 60 cm 处差异较大，F3W 较 F1W、F2W 分别提高 19.90%、6.96%和 24.12%、60.69%。

2.3 微生物有机肥对土壤磷酸酶活性的影响

由图 3 可知，磷酸酶活性在南瓜幼苗期—膨大期逐渐升高，膨大期—成熟期逐渐降低。各处理下磷酸酶活性在土壤表层最高，随着土层深度的增加逐渐降低。在南瓜全生育期，不同处理下磷酸酶活性高低均为 F3W＞F2W＞F1W，在磷酸酶活性最高的膨大期 F3W 较 F2W、F1W、CK 分别提高 22.06%、77.66%和 84.04%，F3W 和 F2W 处理对磷酸酶活性提高作用较明显，而 F1W 与 CK 无明显差异。不同土层深度微生物有机肥处理的磷酸酶

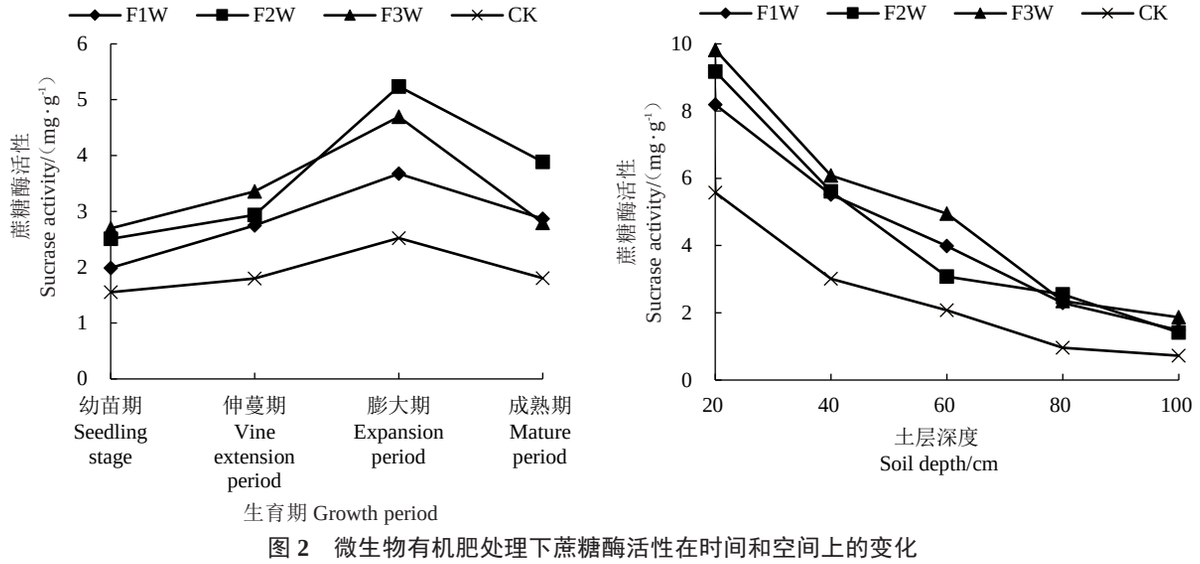


图 2　微生物有机肥处理下蔗糖酶活性在时间和空间上的变化

Fig. 2　Changes in sucrose activity over time and space under microbial organic fertilizer treatment

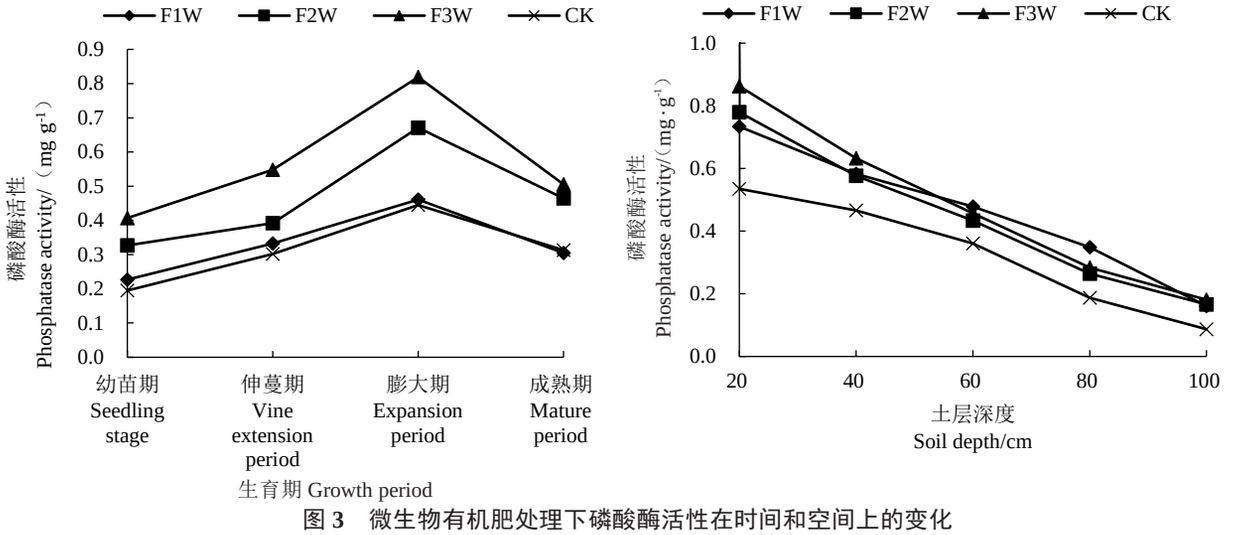


图 3　微生物有机肥处理下磷酸酶活性在时间和空间上的变化

Fig. 3　Changes in phosphatase activity over time and space under microbial organic fertilizer treatment

活性均高于CK，且在土壤表层20 cm差异最大，F1W、F2W、F3W分别较CK提高37.20%、45.61%和61.31%，其他土层磷酸酶活性随微生物有机肥施入量的增加而升高，到100 cm土层时不同微生物有机肥处理间已无明显差异。

2.4　微生物有机肥对土壤过氧化氢酶活性的影响

由图4可知，过氧化氢酶活性在南瓜生长旺盛期较高，而在苗期和生育后期则较低。不同施肥模式下过氧化氢酶活性差异较大，较CK在各生育期均有提高，在差异较大的膨大期，F3W、F2W和F1W处理较CK分别提高46.48%、50.27%和25.95%。在施用微生物有机肥处理下，F2W和F3W在各生育期均无明显差别，在差异较大的伸蔓期，F3W、F2W处理较F1W处理分别提高20.01%和19.03%。各处理下过氧化氢酶活性在土壤表层最高，随着土层深度的增加逐渐降低。不同土层深度微生物有机肥处理的过氧化氢酶活性均高于CK，在各土层均是F3W最高，与F1W和CK在各土层均有明显差异，但与F2W在0~60 cm土层差异不明显，而在80~100 cm土层差异较明显。

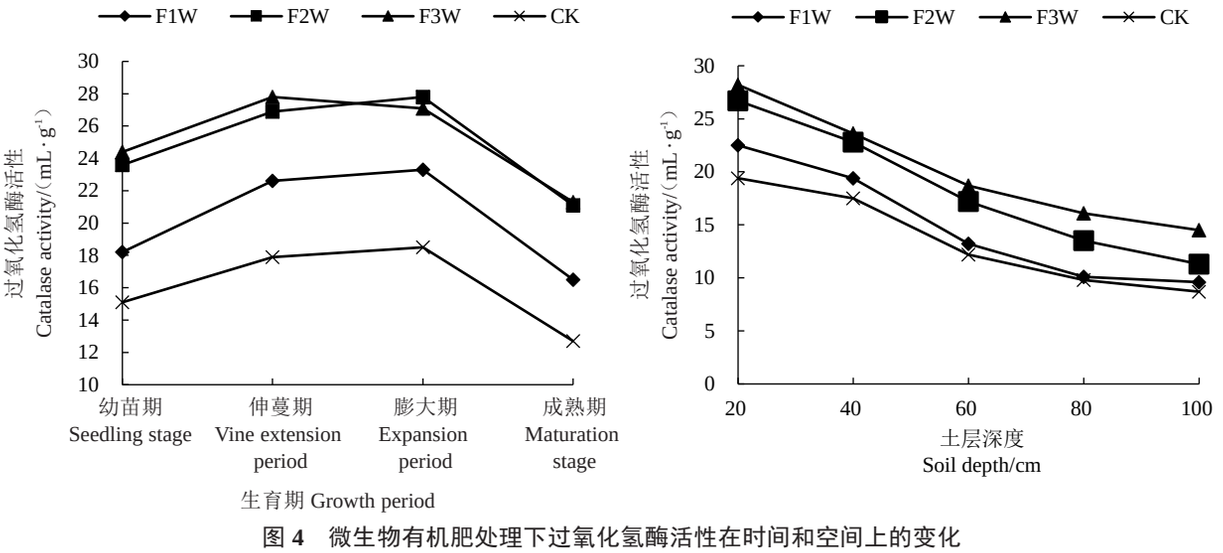


图4　微生物有机肥处理下过氧化氢酶活性在时间和空间上的变化

Fig. 4　Changes in catalase activity over time and space under microbial organic fertilizer treatment

2.5　微生物有机肥对南瓜产量的影响

由图5可知，微生物有机肥施用均对南瓜产量具有明显影响。不同处理下南瓜产量高低依次为F2W>F3W>F1W>CK。F2W处理下南瓜产量最高，两年分别为30 726.13 kg·hm^{-2}和31 950.43 kg·hm^{-2}，与其他处理有明显差异，F3W处理产量次之，F2W与F1W、F3W和CK相比，2023年产量分别提高了23.24%、17.97%和27.39%，2024年产量分别提高了18.98%、18.82%和28.33%。可以看出在不同施肥水平下，南瓜产量随微生物有机肥施用量的增加而呈现出先升高后降低的变化规律。不同处理南瓜单瓜质量变化规律与产量变化一致，也是F2W最高，F3W次之，F2W与F1W、F3W和CK相比，2023年单瓜质量分别提高了25.22%、16.13%和30.91%，2024年单瓜质量分别提高了23.73%、18.70%和31.53%。综上说明，在适宜的施肥量（F2W）下，施用微生物有机肥可提高南瓜产量及单瓜质量。

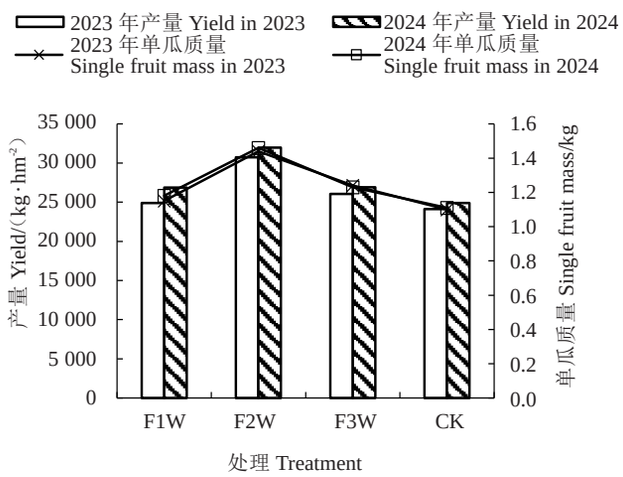
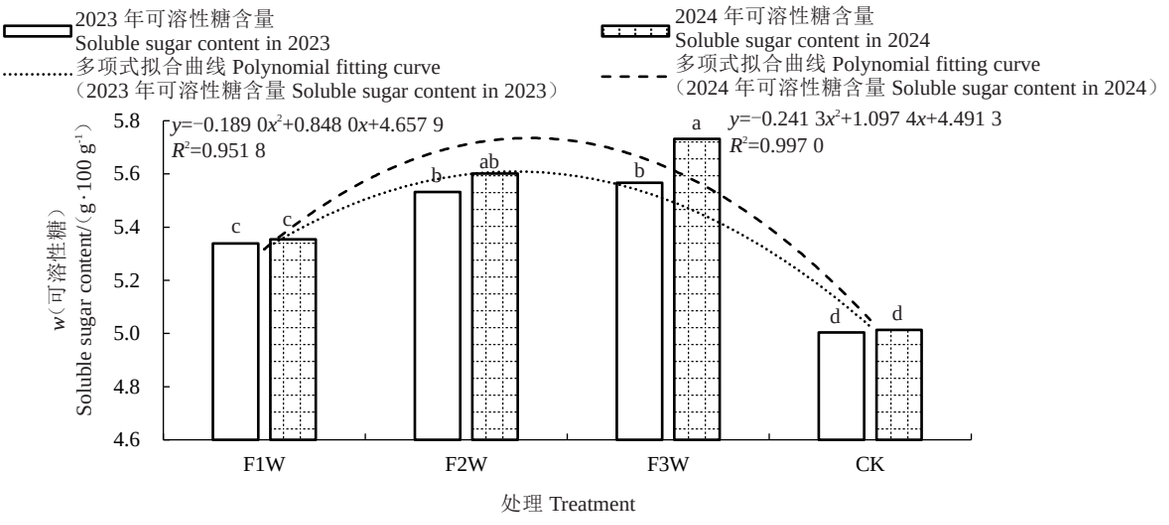


图5　南瓜产量的变化

Fig. 5　Changes in pumpkin yield

2.6　微生物有机肥对南瓜品质的影响

由图6~8可知，与CK相比，施用微生物有机肥对南瓜可溶性糖、维生素C和可溶性固形物含量均有显著影响。两年平均可溶性糖含量较CK提高6.74%~12.79%，维生素C含量较CK提高10.34%~36.98%，可溶性固形物含量较CK提高4.40%~12.23%。在施用微生物有机肥条件下，F2W和



注：不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

图 6　南瓜可溶性糖含量的变化

Fig. 6　Changes in the soluble sugar content of pumpkin

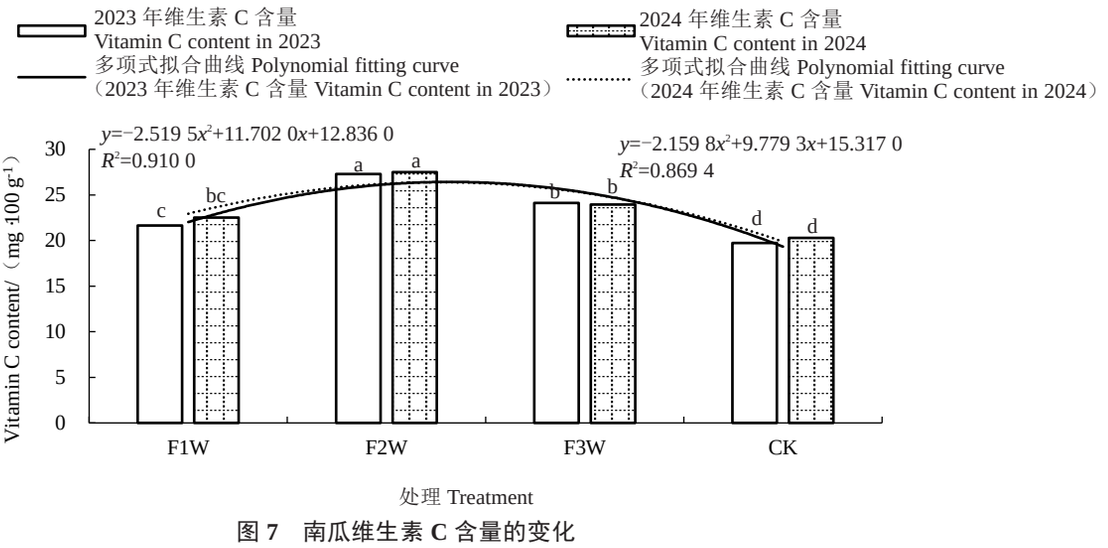


图 7　南瓜维生素 C 含量的变化

Fig. 7　Changes in vitamin C content of pumpkin

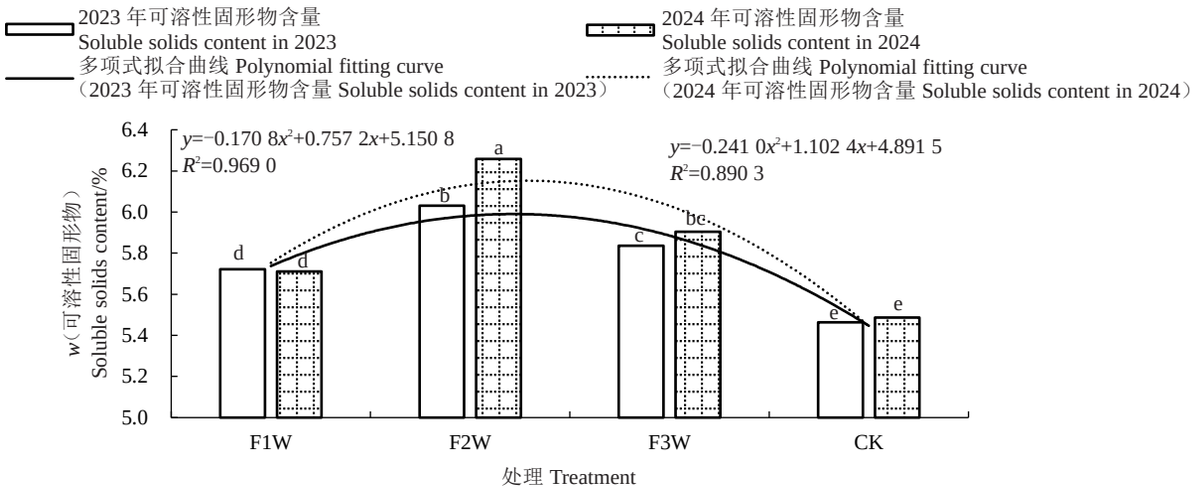


图 8　南瓜可溶性固形物含量的变化

Fig. 8　Changes in soluble solids content of pumpkin

F3W 处理间可溶性糖含量 2 年均无显著差异，但与 F1W 均有显著差异，其中 2 年最高的都是 F3W，分别达到了 5.567 和 5.732 g·100 g^{-1}，F2W 次之，F3W 较 F1W 分别提高 4.27%、7.06%。维生素 C 含量在 F2W 和 F1W 间有显著差异，2 年最高的都是 F2W，分别达到了 27.306 和 27.506 mg·100 g^{-1}，F3W 次之，F2W 较 F1W 分别提高 26.20%和 22.18%。可溶性固形物含量在 F2W 和 F1W、F3W 间均有显著差异，2 年最高的均是 F2W，分别达到了 6.031%和 6.258%，F3W 次之，F2W 较 F1W 分别提高 5.41%和 9.58%。

由图 6~8 中的拟合方程可知，南瓜可溶性糖、维生素 C 和可溶性固形物含量拟合方程呈二次抛物线，其 R^2 值均可达到 0.85 以上，拟合良好，可根据拟合方程预测不同施肥量下南瓜品质的变化。说明施用微生物有机肥可提高南瓜可溶性糖、维生素 C 和可溶性固形物含量，但施用量要保持在合理范围（F2W 和 F3W 之间），过量施肥反而会降低南瓜品质。

2.7　微生物有机肥对肥料偏生产力和灌溉水分利用效率的影响

由表 3 可知，CK 施用纯肥料量最大，但其肥料偏生产力较低，肥料利用效率不高，而施用微生物有机肥处理的肥料偏生产力均显著高于 CK，其中 F1W 和 F2W 处理较 CK 提高 1 倍以上。在施用微生物有机肥处理间，施肥量越少，肥料偏生产力越高，其中 F1W 和 F2W 处理均显著高于 F3W 处理。就灌溉水分利用效率来说，2 年均是 F2W 最高，与其他处理有显著差异，较 CK 分别显著提高 27.45%和 28.48%。虽然各处理灌溉定额均相同，但由于适宜的水肥组合提高了南瓜产量，使水肥利用效率显著提高。

由以上分析可得，在灌水定额 525 $m^3 \cdot hm^{-2}$ 下，保证南瓜产量、品质及水肥利用效率最优的微生物有机肥处理为 F2W 和 F3W，施用范围为：底肥施用量 4800~5700 kg·hm^{-2}，在伸蔓期和膨大期追肥 2 次，施用量 450~600 kg·hm^{-2}。

表 3　南瓜肥料偏生产力和灌溉水分利用效率

Table 3　Fertilizer partial productivity of pumpkin and irrigation water utilization efficiency

处理 Treatment	2023 年肥料偏生产力 Fertilizer partial productivity in 2023/(kg·kg^{-1})	2024 年肥料偏生产力 Fertilizer partial productivity in 2024/(kg·kg^{-1})	2023 年灌溉水分利用效率 Irrigation water utilization efficiency in 2023/(kg·m^{-3})	2024 年灌溉水分利用效率 Irrigation water utilization efficiency in 2024/(kg·m^{-3})
F1W	100.06 a	107.85 a	4.75 b	5.12 b
F2W	95.72 ab	99.53 ab	5.85 a	6.09 a
F3W	66.27 c	68.42 c	4.96 b	5.12 b
CK	44.92 d	46.36 d	4.59 bc	4.74 bc

注：同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

3　讨论与结论

土壤酶活性水平不仅反映出土壤物质和能量转化的强度，也是衡量土壤养分水平及生态环境状况的有效标准，在土壤生态系统的代谢活动中发挥着至关重要的作用[22,24]。本研究中施用微生物有机肥可提高土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性，在南瓜生育期呈先升高后降低的变化趋势，土壤酶活性随土层深度的增加而逐渐降低，在 0~20 cm 土层呈最大值。这与邓亚琴等[25]、常文颖等[26]、Liu 等[27]的有机肥提高土壤脲酶活性，与撒晓梅等[28]、侯晓萌等[29]的有机肥提高土壤蔗糖酶活性和施肥量降低酶活性相应降低，与赵文举等[30]、邱诗春等[31]的施用有机肥显著提高土壤碱性磷酸酶活性的研究结论是一致的。土壤酶活性还与微生物有机肥施用量有关，施用量越大，土壤酶活性越高，但超过一定范围后土壤酶活性就不再随有机肥施用量增加而增高，本研究中施肥量在 F2W 和 F3W 之间时，土壤酶活性无明显差异，即施肥量要控制在这个范围内，不宜过多施肥。本研究结果表明，与对照相比，施用微生物有机肥明显提高了南瓜产量和品质，这与有关学者在小麦、番茄、西芹、苹果、茄子、生菜、辣椒等作物上的研究结果相似[32-37,17]。本研究在干旱内陆河石羊河流域下游开展，降水、土壤等对试验结论影响不大。对南瓜底肥及追肥全部施用微生物有机肥，与相关研究对照处理[22,38-39]相比，南瓜产量无差异，品质及水肥利用效率还有所提升。另外，南瓜产量与品质指标与有机肥施用量呈单峰变化趋势，峰值最高时为适宜施肥量，本研究中施肥量在 F2W 时，南瓜产量处于最高值，施肥

量在F2W和F3W之间时，南瓜品质指标处于较高值，说明要保持南瓜高产优质，有机肥施用量要保持在合理区间。综上说明本研究结论是可靠的，推荐的微生物有机肥底肥和追肥施用量及次数是适宜的，可帮助用户制定适宜的有机肥施肥方案。由于本试验在特定区域开展，推荐的微生物有机肥施用方案不能完全应用于其他类似地区，还需要根据实际情况对相关参数进行修正，但整体研究结论对制定不同作物不同栽培模式下有机肥施用方案具有一定指导意义。在未来农业发展中，对农田质量、作物品质及农业生产高质量发展的需求会不断增加，全面施用有机肥将成为农业可持续发展的重要内容。因此，对有机肥施用的内在机制、适宜不同作物及种植模式的施肥方案、微生物群落变化等还需进行深入研究，以引导有机肥合理高效利用。

本试验主要研究了施用微生物有机肥对土壤脲酶、蔗糖酶、磷酸酶和过氧化氢酶在南瓜全生育期和土层深度上的变化趋势及其对南瓜产量、品质、肥料偏生产力及灌溉水分利用效率的影响，主要研究结论如下：

（1）施用适量的微生物有机肥可明显提高土壤脲酶、磷酸酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性，在南瓜生育期表现为先升高后降低的趋势，在0~100 cm土层中随土层深度的增加而逐渐降低，在0~20 cm土层最高。

（2）施用微生物有机肥均对南瓜产量具有明显影响，较CK处理均有所提高，不同施肥水平下，南瓜产量和单瓜质量随施肥量的增加而呈现出先增高后降低的变化规律。在适宜的施肥量（F2W）下，南瓜产量及单瓜质量均与其他处理有明显差异。

（3）与CK相比，施用微生物有机肥可显著提高南瓜可溶性糖、维生素C和可溶性固形物含量，但施用量要保持在合理范围内，过量施用微生物有机肥反而会降低南瓜品质。

（4）施用微生物有机肥处理的肥料偏生产力均显著高于CK，且施用微生物有机肥量越少，肥料偏生产力越高。适宜的水肥组合提高了南瓜产量，使水肥利用效率明显提高。在灌水定额525 $m^3 \cdot hm^{-2}$条件下，微生物有机肥底肥施用量为4800~5700 $kg \cdot hm^{-2}$，在伸蔓期和膨大期追肥2次，施用量为450~600 $kg \cdot hm^{-2}$时能保证南瓜产量、品质及水肥利用效率处于较高水平。

参考文献

[1] 崔红标，田超，周静，等.纳米羟基磷灰石对重金属污染土壤Cu/Cd形态分布及土壤酶活性影响[J].农业环境科学学报，2011，30(5)：874-880.

[2] 姜勇，梁文举，闻大中.免耕对农田土壤生物学特性的影响[J].土壤通报，2004，35(3)：347-351.

[3] Coser T R，Gerosa Ramos M L，Amabile R F，et al.Microbial biomass nitrogen in cerrado soil with nitrogen fertilizer application[J].Pesquisa Agropecuaria Brasileira，2007，42(3)：399-406.

[4] Mijangos I，Perez R，Albizu I，et al.Effects of fertilization and tillage on soil biological parameters[J].Enzyme and Microbial Technology，2006，40(1)：100-106.

[5] 苏天明，莫艳兰，李杨瑞，等.施用甘蔗酒精废液对土壤水解酶活性的影响[J].西北农业学报，2008，17(3)：199-204.

[6] 张忠学，冯子珈，齐智娟，等.节水灌溉下复合微生物有机肥对水稻光合与产量的影响[J].农业机械学报，2019，50(7)：313-321.

[7] 孙薇，钱勋，付青霞，等.生物有机肥对秦巴山区核桃园土壤微生物群落和酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报，2013，19(5)：1224-1233.

[8] 曲成闯，陈效民，韩召强，等.施用生物有机肥对黄瓜不同生育期土壤肥力特征及酶活性的影响[J].水土保持学报，2017，31(6)：279-284.

[9] 李娟，赵秉强，李秀英，等.长期不同施肥条件下土壤微生物量及土壤酶活性的季节变化特征[J].植物营养与肥料学报，2009，15(5)：1093-1099.

[10] 杨永辉，张运红，高翠民，等.长期增施有机肥对土壤物理特征、微生物生物量碳氮及土壤酶活性的影响[J].干旱地区农业研究，2025，43(3)：107-115.

[11] 孙家骏，付青霞，谷洁，等.生物有机肥对猕猴桃土壤酶活性和微生物群落的影响[J].应用生态学报，2016，27(3)：829-837.

[12] 张静，杨江舟，胡伟，等.生物有机肥对大豆红冠腐病及土壤酶活性的影响[J].农业环境科学学报，2012，31(3)：548-554.

[13] 贺文员，宋清晖，杨尚霖，等.生物有机肥对水稻土壤酶活性及微生物群落结构的影响[J].中国农学通报，2019，35(27)：106-113.

[14] 宋震震，李絮花，李娟，等.有机肥和化肥长期施用对土壤活性有机氮组分及酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报，2014，20(3)：525-533.

[15] 王丹，赵亚光，马蕊，等.微生物菌肥对盐碱地枸杞土壤改良及细菌群落的影响[J].农业生物技术学报，2020，28(8)：1499-1510.

[16] Wu Q C，Chen Y，Dou X H，et al.Microbial fertilizers improve soil quality and crop yield in coastal saline soils by regulating soil bacterial and fungal community structure[J].Science of the Total Environment，2024，949：175127.

[17] 王翰霖，张铃雅，贾爱平，等.有机水溶肥对露地辣椒品质及土壤的影响研究[J].中国果菜，2025，45(7)：51-56.

[18] 刘赵帆，柳发财，李喜娥，等.降低化肥用量、配施微生物菌肥对设施黄瓜生长、品质及产量的影响[J].中国瓜菜，2024，37

（3）：71-79

[19] 周琦，刘强，张靖，等.有机肥替代化肥对土壤生物学特性及南瓜产量的影响[J].中国农业科技导报（中英文），2025，27（7）：190-203.

[20] 丁林，王文娟，梁仲锷，等.不同水肥处理对膜下滴灌玉米农田养分及产量品质的影响[J].水利规划与设计，2023（3）：37-42.

[21] 陈海雁，杨长明，李建华.不同河岸带植物根际丁草胺降解特性差异及其微生物学机制[J].生态环境，2008，17（6）：2201-2206.

[22] 任芳芳.灌水定额和微生物有机肥对土壤酶活性及南瓜水肥高效利用的影响[D].兰州：甘肃农业大学，2024.

[23] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京：农业出版社，1986.

[24] 李慧杰.施肥对枣园土壤肥力及肥料利用率的影响[D].陕西杨凌：西北农林科技大学，2012.

[25] 邓亚琴，徐智，张勇，等.土壤微生物生物量氮对不同腐熟度有机肥的响应及对土壤矿质氮的调控作用[J].应用生态学报，2023，34（1）：137-144.

[26] 常文颖，何倩，李俊华.滴灌条件下穴施生物有机肥对土壤酶活性时空动态分布的影响[J].干旱地区农业研究，2019，37（2）：102-107.

[27] Liu Q，Mu X M，Zhao G J，et al. Effects of fertilization on soil water use efficiency and crop yield on the Loess Plateau，China[J]. Applied Ecology and Environmental Research，2020，18（5）：6555-6568.

[28] 撒晓梅，丁琴，李明.蚯蚓粪和微生物菌剂对土壤养分及红地球葡萄生理特性的影响[J].甘肃农业大学学报，2025，60（1）：158-165.

[29] 侯晓萌，孔涛，霍宏亮，等.微生物菌剂对小叶杨复垦区土壤理化性质和酶活性的影响[J].林业科学研究，2022，35（3）：55-62.

[30] 赵文举，吴克倩，俞海英，等.水肥耦合对炭基质栽培番茄产量品质的影响及驱动因子[J].农业工程学报，2025，41（3）：199-207.

[31] 邱诗春，周静，卿晨，等.有机肥用量对水稻产量、净光合速率及土壤生物活性的影响[J].江苏农业科学，2023，51（22）：107-113.

[32] 耿丽平，李小磊，赵全利，等.添加微生物菌剂对小麦产量及土壤生物学性状的影响[J].江苏农业科学，2017，45（5）：50-54.

[33] Wu Y，Yan S C，Fan J L，et al. Combined effects of irrigation level and fertilization practice on yield，economic benefit and water-nitrogen use efficiency of drip-irrigated greenhouse tomato[J]. Agricultural Water Management，2022，262（2）：107401.

[34] 杨静宜.滴灌条件下不同水肥耦合对西芹生长生理、养分吸收、产量及品质的影响[D].兰州：甘肃农业大学，2018.

[35] 游宇，林显凤，张云梅，等.有机肥替代化肥施用对苹果产量和品质的影响及土壤养分的变化[J].农学学报，2025，15（11）：35-40.

[36] 申正香，谈守玮.景电灌区化肥减量配施生物有机肥对茄子生长特性、产量及品质的影响[J].节水灌溉，2022（6）：72-77.

[37] 任宇泽，申丽霞，刘淑慧，等.滴灌无机肥配施水溶性有机肥对大棚生菜产量和品质的影响[J].节水灌溉，2024（9）：96-103.

[38] 杨晓婷，张恒嘉，张明，等.灌水频率与灌水量对南瓜耗水特征与水生产力的影响[J].华北农学报，2016，31（4）：192-198.

[39] 尹萌.有机肥-灌溉协同对民勤绿洲土壤性质与南瓜提质增效的调控效应[D].兰州：甘肃农业大学，2025.