

生物有机肥配施化肥对旱寒区温室西葫芦土壤酶活性及产量的影响

陈修斌^{1,2}, 郭海霞¹, 石礼霞¹, 许耀照^{1,2}, 祁世明^{1,2}

(1. 河西学院农业与生态工程学院 甘肃张掖 734000; 2. 河西学院河西走廊精准设施园艺工程技术研究中心 甘肃张掖 734000)

摘要: 为筛选出旱寒区温室西葫芦生产中化肥减量配施生物有机肥的适宜用量指标,以西葫芦品种京葫1号为试材,采用田间试验,设置7个处理,研究生物有机肥配施化肥对土壤脲酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶与蔗糖酶活性及西葫芦产量的影响。结果表明,采用化肥减量30%平衡施肥配施 $3.0\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 生物有机肥(T3)处理的土壤脲酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶与蔗糖酶活性均显著高于其他6个处理,且在不同生长阶段均呈先升高后降低的变化规律;T3处理的西葫芦蔓长、蔓粗、最大叶面积、单株结瓜数、单株产量及折合 667 m^2 产量均显著高于其他处理,分别为 63.25 cm 、 1.85 cm 、 738.26 cm^2 、 13.25 个、 3.85 kg 与 $6\ 845.30\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$,较平衡施肥分别显著提高 15.67% 、 18.59% 、 8.81% 、 24.65% 、 33.22% 和 33.22% ;同时,T3处理的增产值与施肥利润最高,分别为 $10\ 596.88\text{ 元}\cdot 667\text{ m}^2$ 与 $9522\text{ 元}\cdot 667\text{ m}^2$ 。不同处理随着化肥减量与生物有机肥用量的增加,能够改进西葫芦果实的品质并能够显著降低硝酸盐含量。综上,采用化肥减量30%平衡施肥配施 $3.0\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 生物有机肥能有效提高土壤酶活性和西葫芦产量及经济效益,可在旱寒区温室中推广应用。

关键词: 西葫芦; 化肥减量; 生物有机肥; 土壤酶活性; 产量

中图分类号: S642.6

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)01-102-07

Effects of bio-organic fertilizer combined with chemical fertilizer on soil enzyme activity and yield of greenhouse squash in arid and cold regions

CHEN Xiubin^{1,2}, GUO Haixia¹, SHI Lixia¹, XU Yaozhao^{1,2}, QI Shiming^{1,2}

(1. College of Agriculture and Ecological Engineering, Hexi University, Zhangye 734000, Gansu, China; 2. Hexi Corridor Precision Facilities Horticultural Engineering Technology Research Center, Hexi University, Zhangye 734000, Gansu, China)

Abstract: In order to screen out the appropriate dosage indicators for reducing chemical fertilizer and applying bio-organic fertilizer in greenhouse squash production in arid and cold regions, the squash variety Jinghu 1 was used as the test material, and field experiments were conducted with 7 treatments to study the effects of bio-organic fertilizer combined with chemical fertilizer on soil enzyme activity and yield during squash growth. The results showed that the activity of urease, catalase, alkaline phosphatase, and sucrase in the soil treated with 30% reduction in fertilizer and balanced fertilization combined with $3.0\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ bio-organic fertilizer were significantly higher than those in the other six treatments, and showed a changing pattern of increasing at first and then decreasing at different growth stages; The vine length, vine thickness, maximum leaf area, number of fruits per plant, yield per plant, and equivalent yield of 667 m^2 of squash treated with T3 were significantly higher than those of other treatments, which were 63.25 cm , 1.85 cm , 738.26 cm^2 , 13.25 , 3.85 kg , and $6\ 845.30\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$, respectively. Compared with balanced fertilization, the yield of squash treated with T3 was significantly increased by 15.67% , 18.59% , 8.81% , 24.65% , 33.22% , and 33.22% , respectively; Meanwhile, the yield increase and fertilization profit of T3 treatment were the highest, at $10\ 596.88\text{ Yuan}\cdot 667\text{ m}^2$ and $9522\text{ Yuan}\cdot 667\text{ m}^2$, respectively. Different treatments can improve the quality of squash fruit and significantly reduce nitrate content with the reduction of chemical fertilizers and the increase of bio-organic fertilizer dosage. In summary, using 30% reduction in chemical fertilizers and balanced fertilization with $3.0\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ bio-organic fertilizer can effectively improve soil enzyme activity, squash yield, and economic benefit, and can be promoted and applied in greenhouse of arid and cold areas.

Key words: Squash; Fertilizer reduction; Biological organic fertilizer; Soil enzyme activity; Yield

收稿日期: 2025-03-06; 修回日期: 2025-06-25

基金项目: 河西学院校长基金创新团队项目(CXTD2024001)

作者简介: 陈修斌, 男, 教授, 研究方向为设施园艺作物栽培与生理。E-mail: 617190368@qq.com

张掖市地处河西走廊中部,为温带大陆性干旱气候,平均海拔 1400 m,境内地势平坦,日照充足,年平均日较差 14 °C,年平均气温 7.7 °C,≥10 °C 的活动积温 2980 °C,是典型的旱寒农业区^[1]。随着农业种植结构的调整,日光温室蔬菜种植已成为繁荣农业经济和实现乡村振兴的支柱产业。西葫芦 (*Cucurbita pepo* L.)是日光温室中种植的主要蔬菜,但生产中农民普遍盲目使用大量化肥,导致土壤养分的内在平衡遭到破坏,土壤肥力衰退,并造成环境污染^[2],严重影响西葫芦栽培的经济效益。生物有机肥兼具生物肥和有机肥的功效,养分全面且均衡,肥效持续时间长^[3],施用后有利于土壤微生物生长和繁殖,促进微生物介导的土壤中难溶性养分转化^[4],生物有机肥替代化肥可改良土壤环境^[5],具有促进作物生长、提高作物产量和品质及增强农作物抗性等特点^[6]。

土壤中酶对作物根域土壤环境变化反应较为敏感,其活性是反映土壤中物质代谢的主要指标^[7]。郑剑超等^[8]研究表明,在设施番茄栽培中减少 20% 的化肥用量配施有机肥,可以提高土壤脲酶、蔗糖酶和过氧化氢酶活性;李建欣等^[9]研究表明,在菌渣有机肥使用量为 1200 kg·667 m² 时,可以显著提高设施栽培黄瓜土壤中的过氧化氢酶、蔗糖酶和脲酶活性;童芳等^[10]研究发现,辣椒短期连作会使土壤中的蔗糖酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性显著降低,而多酚氧化酶活性呈先降后升的趋势。张富鑫等^[11]研究表明,在化肥减量 45.3% 的条件下,用缓释肥部分替代化肥,土壤中脲酶、蔗糖酶、碱性磷酸酶和过氧化氢酶活性分别提高 15.9%、80.0%、9.9% 和 121.3%。丁卓玛^[12]研究表明,在土壤含水率达到 80% 的灌水量时,土壤中脲酶、磷酸酶、蔗糖酶、β-葡萄糖苷酶和过氧化氢酶活性最高;李瑞霞等^[13]研究表明,化肥施用量减少 25% 并配施 1880 kg·hm⁻² 的贵州木霉微生物有机肥,显著提高土壤脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性,增强盐土的可耕种能力,进而提高番茄产量与品质;秦秦等^[14]研究表明,在化肥减量 30% 基础上配施适量生物有机肥,可维持稻田土壤酶活性,减轻酸化程度,并保障养分供应;但生物有机肥施用量过高,对土壤酶活性和养分含量提升无显著效果,还会加重酸化,降低肥力。也有研究表明,生物有机肥可显著提高猕猴桃根系土壤酶活性^[15],促进莴笋的干物质积累^[16]。当前,国内外学者有关土壤酶活性的研究主要集中在番茄、黄瓜、辣椒及甘蓝等作物上,而且大多定量研究集中在化

肥减量增施有机肥对土壤酶活性变化的影响方面,关于西葫芦在平衡施肥条件下通过化肥减量增施有机肥对土壤酶活性影响方面的研究鲜见报道。鉴于此,笔者通过研究生物有机肥部分替代化肥对土壤酶活性及西葫芦产量的影响,揭示其对西葫芦生长的作用机制,筛选出西葫芦产量和品质最佳时的生物有机肥部分替代化肥的用量,以期改善旱寒区温室土壤肥力状况及实现西葫芦高产优质化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2024 年 3—8 月在甘肃省张掖市甘州区党寨镇绿之源农业发展有限公司日光温室内进行。供试土壤为灌漠土,有机质含量(w,后同)10.12 g·kg⁻¹,全氮含量 1.03 g·kg⁻¹,全磷含量 2.68 g·kg⁻¹,全钾含量 13.27 g·kg⁻¹,碱解氮含量 54.28 mg·kg⁻¹,速效磷含量 6.78 mg·kg⁻¹,速效钾含量 146.28 mg·kg⁻¹,pH 8.82,全盐含量 0.87 g·kg⁻¹,容重 1.23 g·cm⁻³,总孔隙度 50.26%。

1.2 材料

供试西葫芦品种为京葫 1 号,由京研益农(北京)种业科技有限公司生产;供试生物有机肥种类为星硕生物有机肥(有效菌数≥0.5 亿·g⁻¹,其中枯草芽孢杆菌数≥0.5 亿·g⁻¹,解淀粉芽孢杆菌数≥0.2 亿·g⁻¹;有机质含量≥40%,水分含量≤30%)由甘肃星硕生物科技有限公司生产;氮肥为尿素(含 N 46%,由内蒙古鄂尔多斯联合化工有限公司生产)、磷肥为过磷酸钙(含 P₂O₅ 16%,由钟祥市楚明磷化有限公司生产)、钾肥为硫酸钾(含 K₂O 52%,由唐山三孚钾肥有限公司生产)。

1.3 试验设计

试验共设 7 个处理,CK1:对照(不施肥);CK2:当地常规施肥(尿素 600 kg·hm⁻²+过磷酸钙 1125 kg·hm⁻²+硫酸钾 525 kg·hm⁻²);处理 T1:平衡施肥(尿素 767 kg·hm⁻²+过磷酸钙 1359 kg·hm⁻²+硫酸钾 233 kg·hm⁻²);处理 T2:化肥减量 20%平衡施肥+1.5 t·hm⁻²生物有机肥;处理 T3:化肥减量 30%平衡施肥+3.0 t·hm⁻²生物有机肥;处理 T4:化肥减量 40%平衡施肥+4.5 t·hm⁻²生物有机肥;处理 T5:化肥减量 50%平衡施肥+6.0 t·hm⁻²生物有机肥。采用随机区组排列试验设计,小区面积 12 m²,各处理重复 3 次;基于土壤养分平衡理论,根据西葫芦对氮、磷、钾的需求量和土壤供肥能力,西葫芦

目标产量设计为 105 t·hm⁻², 确定试验中各处理肥料施用量。各处理施肥模式见表 1。

西葫芦于 2024 年 3 月 15 日育苗, 4 月 20 日定植, 5 月 10 日始收, 8 月 25 日拉秧。采用高畦种

植, 畦面宽度 1 m、沟宽 0.5 m, 长度 8 m, 株距 50 cm, 保苗数 1778 株·667 m⁻², 采用膜下滴管技术。生物有机肥和磷肥全部作为基肥一次性施入, 氮肥和钾肥 1/3 作为基肥施入, 剩余 2/3 在生育期

表 1 各处理施肥模式
Table 1 Fertilization modes for each treatment

处理 Treatment	生物有机肥用量 Application amount of bio-organic fertilizer/(t·hm ⁻²)	化肥比率 Fertilizer ratio	化肥用量 Fertilizer usage/(kg·hm ⁻²)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK1	0.0	0	0	0	0
CK2	0.0	100%常规施肥 100% conventional fertilization	276.00	180.00	273.00
T1	0.0	100%平衡施肥 100% balanced fertilization	352.95	217.50	121.05
T2	1.5	化肥减量 20%平衡施肥 Fertilizer reduction 20% balanced fertilization	282.36	174.00	96.84
T3	3.0	化肥减量 30%平衡施肥 Fertilizer reduction 30% balanced fertilization	247.06	152.25	84.74
T4	4.5	化肥减量 40%平衡施肥 Fertilizer reduction 40% balanced fertilization	211.77	130.50	72.63
T5	6.0	化肥减量 50%平衡施肥 Fertilizer reduction 50% balanced fertilization	176.48	108.75	60.52

随水追施, 其余生产管理措施与常规相同。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 土壤酶活性测定 在西葫芦生长前期(6 月 10 日)、中期(7 月 10 日)、末期(8 月 10 日), 采集各处理距滴灌带距离 10 cm 附近 0~20 cm 土层土样, 取 5 点进行混合, 经室内自然风干后, 采用靛酚蓝比色法测定土壤脲酶活性, 采用高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶活性, 采用磷酸苯二钠法测定磷酸酶活性, 采用 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定蔗糖酶活性^[17]。

1.4.2 植物学性状与产量测定 在西葫芦生长末期(8 月 18 日), 每个处理标记 5 株, 用卷尺测定蔓长, 用游标卡尺测定蔓粗与叶片最大叶面积^[18]; 每次收获时按不同处理统计植株的结瓜数和单株产量, 最后折合成 667 m²产量。

1.4.3 果实品质指标测定 于西葫芦结果末期(8 月 20 日), 每个处理随机选取 5 个果实, 测定可溶性糖、维生素 C、可溶性固形物、可溶性蛋白和硝酸盐含量^[19], 每个处理 3 次重复。

1.5 数据分析

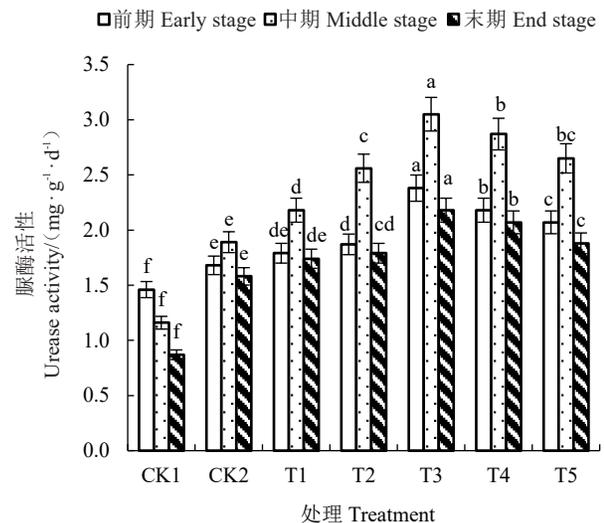
采用 DPS 9.50 和 Microsoft Excel 2010 软件进行数据计算与分析, 采用 Duncan's 法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤脲酶与过氧化氢酶活性的影响

不同处理对温室西葫芦土壤脲酶活性的影响

见图 1, 对照 CK1 的脲酶活性在西葫芦生长前期、中期、末期呈降低的趋势, 分别为 1.46、1.16 与 0.87 mg·g⁻¹·d⁻¹。其他处理(CK2、T1、T2、T3、T4 与 T5)土壤中脲酶活性在生长前期、中期、末期均呈先升高后降低的变化趋势; 除 T1 处理外, T2、T3、T4 与 T5 处理均显著高于同时期的 CK2; 不同处理中以 T3 处理的脲酶活性在前期、中期与末期最高, 分别为 2.38、3.05 与 2.18 mg·g⁻¹·d⁻¹, 均显著高于其他 6 个处理。



注: 不同小写字母表示同一时期的不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments of the same stage at 0.05 level. The same below.

图 1 不同处理对土壤脲酶活性的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on soil urease activity

从各处理对土壤过氧化氢酶活性的影响(图2)来看,不同处理之间均呈显著差异水平。CK1 在西葫芦生长的不同阶段呈降低的趋势;其他处理均呈中期>末期>前期的变化规律,并且随着化肥用量的递减呈先升高后降低的趋势,以化肥减量30%配施生物有机肥的T3处理最高,在生长前期、中期、末期分别为45.28、63.52和52.47 mL·g⁻¹·h⁻¹,较CK2分别显著提高68.70%、78.28%和55.84%。

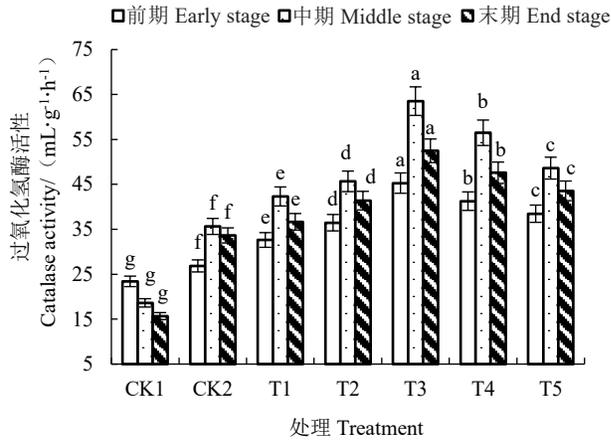


图2 不同处理对土壤过氧化氢酶活性的影响
Fig. 2 Effects of different treatments on soil catalase activity

2.2 不同处理对土壤碱性磷酸酶和蔗糖酶活性的影响

各处理对土壤碱性磷酸酶活性的影响见图3,随着西葫芦的生长,CK1的碱性磷酸酶活性逐渐降低,其他处理均呈中期>末期>前期的变化规律,以T3处理最高,显著高于其他6个处理,在前期、中期、末期较CK2分别显著提高63.48%、137.88%和125.20%。

不同处理土壤中蔗糖酶活性的变化如图4所示,其在不同生长阶段的变化趋势与土壤碱性磷酸酶活性相似,随着化肥减量的施用呈先升高而后降低的趋势,以T3处理最高,分别为1.88、3.10和2.86 mg·g⁻¹·d⁻¹,均显著高于同一时期的其他6个处理。

2.3 不同处理对西葫芦农艺性状及产量的影响

不同处理对西葫芦农艺性状及产量的影响如表2所示,随着生物有机肥用量增加与化肥减量的施用,各处理的西葫芦农艺性状及产量均呈先升高后降低的变化趋势,以T3处理的效果最优,均显著高于其他6个处理,其蔓长、蔓粗、最大叶面积、单株结瓜数、单株产量及折合667 m²产量,分别为63.25 cm、1.85 cm、738.26 cm²、13.25个、3.85 kg与

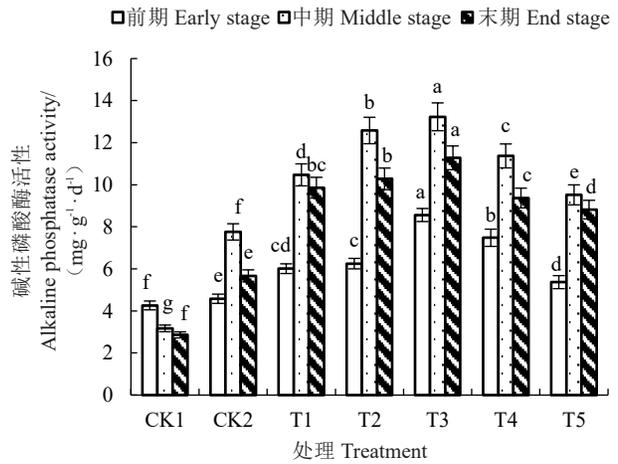


图3 不同处理对土壤碱性磷酸酶活性的影响
Fig. 3 Effects of different treatments on soil alkaline phosphatase activity

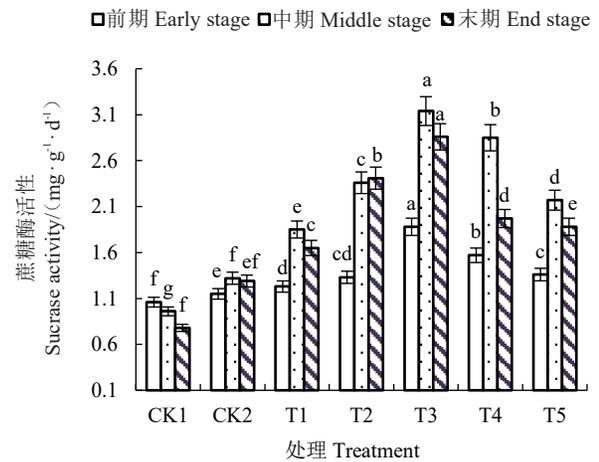


图4 不同处理对土壤蔗糖酶活性的影响
Fig. 4 Effects of different treatments on soil sucrase activity

6 845.30 kg·667 m²,较CK2分别显著提高15.67%、18.59%、8.81%、24.65%、33.22%和33.22%。

2.4 不同处理对西葫芦品质的影响

不同处理对西葫芦品质指标的影响见表3,在不同处理中,随着化肥减量与生物有机肥用量的增加,西葫芦果实中维生素C、可溶性糖、可溶性固形物、可溶性蛋白含量均呈先升高后降低的趋势,以T3处理最高,分别为7.85 mg·100 g⁻¹、1.56%、3.85%和7.85 mg·g⁻¹,较CK2分别显著提高21.14%、14.70%、43.66%和19.48%;而果实内硝酸盐含量随着生物有机肥施用量的增加呈降低趋势,单施化肥CK2的西葫芦果实中硝酸盐含量最高,达416.52 μg·g⁻¹,显著高于其他处理,较不施肥的CK1显著提高49.64%,与施用生物有机肥最

表2 不同处理对西葫芦农艺性状及产量的影响

Table 2 Effects of different treatments on agronomic traits and yield of squash

处理 Treatment	蔓长 Vine length/cm	蔓粗 Vine thickness/cm	最大叶面积 Maximum leaf area/cm ²	单株结瓜数 Number of fruits per plant	单株产量 Yield per plant/kg	产量 Yield/(kg·667 m ²)
CK1	52.35±1.47 e	1.48±0.02 f	587.67±13.68 g	9.45±0.34 e	2.36±0.31 e	4 196.08±18.75 g
CK2	54.68±2.24 cd	1.56±0.03 e	678.49±15.51 d	10.63±0.25 de	2.89±0.27 d	5 138.42±20.14 e
T1	60.43±1.32 bc	1.63±0.03 d	687.48±16.84 c	11.67±0.41 cd	3.08±0.22 c	5 476.24±15.36 d
T2	61.64±2.12 b	1.76±0.14 b	708.37±15.28 b	12.36±0.35 b	3.38±0.34 b	6 009.64±14.73 b
T3	63.25±1.32 a	1.85±0.13 a	738.26±14.17 a	13.25±0.21 a	3.85±0.27 a	6 845.30±18.67 a
T4	55.36±2.42 c	1.68±0.05 c	648.96±12.38 e	11.85±0.34 c	3.27±0.15 bc	5 814.06±20.14 c
T5	53.28±1.87 de	1.65±0.02 cd	613.58±17.53 f	10.87±0.28 d	2.75±0.18 de	4 889.50±17.48 f

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

表3 不同处理对西葫芦品质的影响

Table 3 Effects of different treatments on the quality of squash

处理 Treatment	w(维生素 C) Vitamin C content/ (mg·100 g ⁻¹)	w(可溶性糖) Soluble sugar content/%	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	w(可溶性蛋白) Soluble protein content/(mg·g ⁻¹)	w(硝酸盐) Nitrate content/ (μg·g ⁻¹)
CK1	6.25±0.01 g	1.24±0.04 g	2.54±0.02 e	6.53±0.01 g	278.34±3.26 e
CK2	6.48±0.02 f	1.36±0.05 f	2.68±0.03 de	6.57±0.03 f	416.52±4.15 a
T1	6.67±0.03 e	1.38±0.03 e	2.79±0.04 cd	6.85±0.02 e	387.41±3.63 b
T2	6.86±0.02 d	1.40±0.01 d	2.88±0.04 c	7.26±0.03 d	348.85±4.15 c
T3	7.85±0.04 a	1.56±0.02 a	3.85±0.04 a	7.85±0.03 a	316.74±3.68 d
T4	7.67±0.03 b	1.48±0.03 b	3.67±0.02 ab	7.68±0.04 b	267.45±4.17 f
T5	7.35±0.04 c	1.43±0.02 c	3.32±0.02 b	7.45±0.02 c	246.78±3.62 g

多的 T5 处理相比,显著提高 68.78%,不同处理间差异显著。

2.5 不同处理对西葫芦经济效益的影响

从各处理对西葫芦经济效益分析(表 4)可以看出,不施肥的 CK1 的西葫芦产量与产值分别为 4 196.08 kg·667 m²和 16 784.32 元·667 m²,单施用化肥的 CK2 与 CK1 相比,产量与产值分别提高

942.34 kg·667 m²和 3 769.36 元·667 m²。所有处理中,以 T3 处理的西葫芦产量、产值、增产量、增产值与施肥利润最高,分别为 6 845.30 kg·667 m²、27 381.20 元·667 m²、2 649.22 kg·667 m²、10 596.88 元·667 m²和 9 522.00 元·667 m²,肥料投资效率以 T1 处理最高,达 12.03、其次是 T3 处理,达 8.86。

表4 不同处理对西葫芦经济效益的影响

Table 4 Effects of different treatments on the economic benefits of squash

处理 Treatment	产量 Yield/ (kg·667 m ²)	产值 Output value/ (Yuan·667 m ²)	增产量 Yield increase/ (kg·667 m ²)	增产值 Increase value/ (Yuan·667 m ²)	施肥成本 Fertilization cost/ (Yuan·667 m ²)	施肥利润 Fertilization profit/ (Yuan·667 m ²)	肥料投资效率 Fertilizer investment efficiency
CK1	4 196.08	16 784.32					
CK2	5 138.42	20 553.68	942.34	3 769.36	450.50	3 318.86	7.37
T1	5 476.24	21 904.96	1 280.16	5 120.64	392.75	4 727.89	12.03
T2	6 009.64	24 038.56	1 813.56	7 254.24	874.88	6 379.36	7.29
T3	6 845.30	27 381.20	2 649.22	10 596.88	1 074.88	9 522.00	8.86
T4	5 814.06	23 256.24	1 617.98	6 471.92	1 274.88	5 197.04	4.08
T5	4 889.50	19 558.00	693.42	2 773.68	1 474.88	1 298.80	0.88

注:尿素 3.2 元·kg⁻¹,过磷酸钙 1.5 元·kg⁻¹,硫酸钾 6 元·kg⁻¹,生物有机肥 2.0 元·kg⁻¹,西葫芦价格 4.0 元·kg⁻¹。

Note: Urea is 3.2 Yuan·kg⁻¹, superphosphate is 1.5 Yuan·kg⁻¹, potassium sulfate is 6 Yuan·kg⁻¹, bio-organic fertilizer is 2.0 Yuan·kg⁻¹, and the price of squash is 4.0 Yuan·kg⁻¹.

3 讨论与结论

土壤酶作为一种生物催化剂,催化土壤系统内的各类生物化学反应^[20],直接影响土壤能量代谢、有机碳含量、物质转化及养分释放和固定^[21]。脲酶可将土壤中的尿素水解成作为植物氮源之一的氨^[22],过氧化氢酶通过分解过氧化氢来反映土壤的氧化还原能力;平衡施肥条件下,可以改善土壤的供肥环境,提高土壤酶活性^[23]。本试验中,没有施肥的CK1,其脲酶与过氧化氢酶活性随着西葫芦生长,活性呈降低趋势,究其原因没有施肥处理,其土壤养分随着植株生长量的增大而被植物体吸收,植株生长势逐渐减弱从而导致酶活性降低;而施用有机肥的各处理,在西葫芦生长的不同阶段,其活性均呈中期>前期>末期的变化规律,主要是生物有机肥含有大量有机质,在一定范围内,有机肥配施比例越大,土壤酶活性越高^[24],以化肥减量30%配施生物有机肥的T3处理在不同阶段酶活性显著高于其他处理,说明此处理与土壤组成的生物环境最适宜,土壤营养保持平衡,进而促进了脲酶与过氧化氢酶活性增强,与彭宇等^[25]在辣椒方面的研究结果一致。碱性磷酸酶可促进有机磷化合物水解,为植物提供必要的营养,促进生长发育;蔗糖酶活性与土壤微生物数量及土壤呼吸强度有关,蔗糖酶发生酶促反应促进土壤有机碳、有机氮化合物分解^[26],本试验中碱性磷酸酶和蔗糖酶活性随着生物有机肥用量增大,在西葫芦生长的前期、中期与末期均呈先升高后降低的趋势,说明不同处理因化肥与生物有机肥用量不同,影响了土壤理化性状^[27],而良好的土壤环境等多因子结合进一步促进碱性磷酸酶与蔗糖酶活性的提高^[28]。

研究表明,与化肥相比,施入适量的有机肥能提高作物产量,但过量施入有机肥也会使产量下降^[29]。本试验结果表明,施用化肥的CK2与不施肥的CK1相比,西葫芦在蔓长、蔓粗、最大叶面积、单株结瓜数、单株产量等农艺性状及产量上要高,说明施用化肥促进了作物对养分吸收及植株形态构建与产量增加;随着化肥减量与配施生物有机肥用量的增加,施用生物有机肥的各处理(T2、T3、T4、T5)与单施化肥的CK2相比,西葫芦的蔓长、蔓粗、最大叶面积、单株结瓜数和单株产量在不断增加,当达到T3处理用量时,其各性状指标表现均最高,其后均呈下降趋势。究其原因,在T3处理下,西葫芦植株对养分吸收达到平衡状态,促进了植株生长

势的增强与结果能力的提高,与张国红^[30]在番茄、文春燕等^[31]在水稻上的研究结果相吻合。

张培等^[32]研究发现,大棚番茄增施生物有机肥后,果实中硝酸盐含量降低,维生素C、可溶性糖、可溶性固形物含量等增加,作物品质改善;周清华等^[33]研究发现,减施化肥配施生物有机肥时,可以显著提高茄子维生素C、可溶性糖含量,显著降低茄子硝酸盐含量,提高茄子的品质。本研究中,从T1到T5的各处理,西葫芦果实中维生素C、可溶性糖与可溶性蛋白含量均高于常规施肥CK2,而硝酸盐含量呈现降低的趋势,果实中可溶性固形物含量以T3处理最高,说明增施生物有机肥后,提高了土壤速效养分含量,当化肥用量与生物有机肥用量适宜的时候,土壤营养环境保持平衡,外源施肥量与土壤组成的供肥环境相耦合,产生了叠加效应,促进了西葫芦植株对养分的吸收,果实品质得到改善。

综上所述,采用化肥减量30%平衡施肥配施3.0 t·hm⁻²生物有机肥的T3处理,能够显著提高西葫芦土壤中的脲酶、过氧化氢酶、碱性磷酸酶和蔗糖酶活性,并且在西葫芦结瓜的前期、中期与末期均呈先升高后降低的变化规律;且在T3处理下,西葫芦生长与产量得到显著提高,果实品质显著改善,施肥利润最高,可作为旱寒区温室西葫芦生产的推荐施肥方案。

参考文献

- [1] 李海波,李鹏,陈学红,等.河西走廊旱区籽用琉璃苣丰产栽培技术[J].陕西农业科学,2014,60(12):114-115.
- [2] 赵根厚,张桂莲,谭明星.设施蔬菜施肥存在的问题及对策[J].中国果菜,2012(1):16-17.
- [3] 张俊峰,颜建明,张玉鑫,等.生物有机肥部分替代化肥对日光温室番茄生长与光合特性及肥料利用率的影响[J].北方园艺,2022(11):44-50.
- [4] 李小萌,陈效民,曲成闯,等.生物有机肥与减量配施化肥对连作黄瓜养分利用率及产量的影响[J].水土保持学报,2020,34(2):309-317.
- [5] 朱利霞,曹萌萌,桑成琛,等.生物有机肥替代化肥对玉米土壤肥力及酶活性的影响[J].四川农业大学学报,2022,40(1):67-72.
- [6] 付丽军,张爱敏,王向东,等.生物有机肥改良设施蔬菜土壤的研究进展[J].中国土壤与肥料,2017(3):1-5.
- [7] 张传更,高阳,张立明,等.水分管理措施对施用有机肥麦田土壤酶活性和微生物群落结构的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(2):38-44.
- [8] 郑剑超,李明,董飞,等.减施化肥增施有机肥和菌肥对番茄产量及土壤微生物和酶活性的影响[J].中国农学通报,2024,40(9):48-54.
- [9] 李建欣,葛桂民,申爱民,等.菌渣有机肥对设施土壤微生物、

- 酶活性及黄瓜品质和产量的影响[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(8): 57-61.
- [10] 童芳, 李屹, 陈来生, 等. 连作对设施辣椒土壤酶活性和微生物群落结构的影响[J]. 西北农业学报, 2023, 32(8): 1231-1249.
- [11] 张富鑫, 颜建明, 刘阳, 等. 不同施肥模式对结球甘蓝产量、养分吸收利用及土壤酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022(6): 73-81.
- [12] 丁卓玛. 灌水量对寒旱区土壤酶活性和设施辣椒产量及养分利用的影响[J]. 西北园艺, 2024(9): 45-48.
- [13] 李瑞霞, 陈巍, 蔡枫, 等. 贵州木霉 NJAU4742 生物有机肥对番茄种植的影响[J]. 南京农业大学学报, 2017, 40(3): 464-472.
- [14] 秦秦, 宋科, 孙丽娟, 等. 生物有机肥与化肥减量配施对稻田土壤酶活性和土壤肥力的影响[J]. 上海农业学报, 2022, 38(1): 21-26.
- [15] 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.
- [16] 张迎春, 颜建明, 李静, 等. 生物有机肥部分替代化肥对莴笋及土壤理化性质和微生物的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(4): 196-205.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [18] 李昌纬. 农业化学研究法实习指导[M]. 北京: 北京农业出版社, 1993.
- [19] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [20] SONG Y Y, SONG C C, YANG G H, et al. Changes in labile organic carbon fractions and soil enzyme activities after marshland reclamation and restoration in the sanjiang plain in Northeast China[J]. Environmental Management, 2012, 50(3): 418-426.
- [21] FANSLER S J, SMITH J L, BOLTON H, et al. Distribution of two C cycle enzymes in soil aggregates of a prairie chronosequence [J]. Biology and Fertility of Soils, 2005, 42(1): 17-23.
- [22] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [23] 言议超. 平衡施肥对吴茱萸林土壤酶活性及植株生长的影响研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2012.
- [24] 刘增兵, 束爱萍, 刘光荣, 等. 有机肥替代化肥对双季稻产量和土壤养分的影响[J]. 江西农业学报, 2018, 30(11): 35-39.
- [25] 彭宇, 闫会转, 肖中林, 等. 不同施肥处理对盆栽辣椒土壤酶活性及土壤微生物含量的影响[J]. 新疆农业科学, 2022, 59(9): 2200-2208.
- [26] 张丽莉, 张玉兰, 陈利军, 等. 稻-麦轮作系统土壤糖酶活性对开放式 CO₂ 浓度增高的响应[J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 1019-1024.
- [27] 荆瑞勇, 曹焜, 刘俊杰, 等. 东北农田黑土土壤酶活性与理化性质的关系研究[J]. 水土保持研究, 2015, 2(4): 132-137.
- [28] 刘强, 李苗苗, 何亚兰, 等. 黄土丘陵区不同施肥措施对土壤肥力及土壤酶活性的影响[J]. 北方园艺, 2023(21): 78-85.
- [29] 孙利萍, 赵增寿, 高敏丽, 等. 不同有机肥种类及施用量对番茄产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2018, 31(6): 30-32.
- [30] 张国红. 施肥水平对日光温室番茄生育和土壤环境的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [31] 文春燕, 熊运华, 王萍, 等. 减施化肥配施不同有机肥对优质籼稻产量和品质的影响[J]. 土壤, 2023, 55(2): 280-287.
- [32] 张培, 胡栋, 陈曦, 等. 不同生物有机肥在大棚番茄上施用效果初报[J]. 中国农技推广, 2020, 36(8): 61-63.
- [33] 周清华, 杨柳, 王东歧, 等. 减施化肥配施生物有机肥可以改善茄子品质[J]. 农业与技术, 2023, 43(7): 51-53.