

何咏梅, 王俊文, 白 鹏, 等. 沼液部分替代化肥及钾肥减量对西葫芦果实品质和土壤性质的影响[J]. 江苏农业学报, 2025, 41(1): 161-168.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2025.01.018

沼液部分替代化肥及钾肥减量对西葫芦果实品质和土壤性质的影响

何咏梅¹, 王俊文¹, 白 鹏¹, 冯俊芳¹, 武 玥¹, 胡琳莉¹, 张国斌¹, 吕 剑¹, 刘泽慈¹, 郁继华^{1,2}

(1. 甘肃农业大学园艺学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 省部共建干旱生境作物学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为明确沼液部分替代化肥及钾肥减量对西葫芦产量、品质及土壤理化性质的影响, 实现西葫芦的优质可持续生产, 本研究设置当地常规化肥对照(CK)、化肥平衡施肥(T0)、沼液部分替代化肥平衡施肥(T1)、沼液部分替代化肥及钾肥减量 20%(T2)、沼液部分替代化肥及钾肥减量 33%(T3) 5 个施肥处理, 分析沼液部分替代化肥及钾肥减量对西葫芦产量、品质及土壤理化性质、酶活性的影响。结果表明, 沼液部分替代化肥及钾肥减量处理(T1~T3 处理)的西葫芦经济产量显著高于 CK, 其中 T2 处理的经济产量最高, 比 CK 提高 6.19%。T2 处理西葫芦果实的维生素 C 含量、可溶性蛋白含量和可溶性糖含量分别比 CK 提高 6.17%、173.68% 和 87.95%, 而硝酸盐含量下降 64.04%; T2 处理西葫芦果实的氮、磷、钾、镁、铁、锰、锌等矿质营养元素含量显著高于 CK。T2 处理土壤全磷含量、全钾含量、速效磷含量、速效钾含量及有机质含量分别比 CK 提高 26.01%、37.44%、32.62%、24.10%、104.76%, 而酸碱度由弱碱性趋向中性。T2 处理土壤过氧化氢酶、碱性磷酸酶以及脲酶的活性均比 CK 显著提高。综上, 本研究中沼液部分替代化肥及钾肥减量 20% 处理能够在降低化肥用量的同时, 有效提高西葫芦的经济产量、品质及土壤酶活性, 改善土壤理化性状。本试验结果为沼液部分替代化肥及钾肥减量和西葫芦优质可持续生产提供了依据。

关键词: 西葫芦; 沼液; 钾肥减量; 产量; 品质; 土壤理化性质

中图分类号: S642.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2025)01-0161-08

Effects of partial replacement of chemical fertilizers by biogas slurry and reduction of potassium fertilizer on zucchini fruit quality and soil characteristics

HE Yongmei¹, WANG Junwen¹, BAI Peng¹, FENG Junfang¹, WU Yue¹, HU Linli¹, ZHANG Guobin¹, LYU Jian¹, LIU Zeci¹, YU Jihua^{1,2}

收稿日期: 2024-03-09

基金项目: 甘肃省教育厅“双一流”科研重点项目(GSSYLXM-02); 甘肃农业大学伏羲青年英才培养计划项目(Gaufx-04Y01); 甘肃省拔尖领军人才培养计划项目(GSBJLJ-2021-14); 现代丝路寒旱农业科技支撑项目(GSLK-2021-6)

作者简介: 何咏梅(1998-), 女, 甘肃古浪人, 硕士研究生, 主要从事蔬菜逆境生理及果实品质调控研究。(E-mail) 1912887569@qq.com

通讯作者: 武 玥, (E-mail) wuy@gsau.edu.cn

(1. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. State Key Laboratory of Aridland Crop Science, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to clarify the effects of partial replacement of chemical fertilizers by biogas slurry and potassium fertilizer reduction measures on the yield and quality of zucchini and soil physical and chemical properties, and to achieve high-quality sustainable production of

zucchini, five fertilization treatments were set up in this study, including local conventional chemical fertilizer control (CK), balanced fertilization of chemical fertilizers (T0), partial replacement of chemical fertilizers by biogas slurry (T1), partial replacement of chemical fertilizers by biogas slurry and 20% reduction of potassium fertilizer (T2) and partial replacement of chemical fertilizers by biogas slurry and 33% reduction of potassium fertilizer (T3). The effects of partial replacement of chemical fertilizers with biogas slurry and potassium fertilizer reduction measures on the yield and quality of zucchini, and soil physical and chemical properties and enzyme activity were analyzed. The results showed that the economic yield of zucchini in T1, T2 and T3 treatments was significantly higher than that in CK, and the economic yield in T2 treatment was the highest, which was 6.19% higher than that in CK. The vitamin C content, soluble protein content and soluble sugar content of zucchini fruits in T2 treatment were 6.17%, 173.68% and 87.95% higher than those in CK, respectively, while the nitrate content decreased by 64.04%. The contents of mineral elements and nutrient elements such as nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, iron, manganese and zinc in zucchini fruits in T2 treatment were significantly higher than those in CK. The soil total phosphorus content, total potassium content, available phosphorus content, available potassium content and organic matter content of T2 treatment were 26.01%, 37.44%, 32.62%, 24.10% and 104.76% higher than those of CK, respectively, while the pH value changed from weak alkaline to neutral. The activities of soil catalase, alkaline phosphatase and urease in T2 treatment were significantly higher than those in CK. In summary, in this study, partial replacement of chemical fertilizers with biogas slurry and 20% reduction of potassium fertilizer treatment can not only reduce the amount of chemical fertilizers, but also effectively improve the economic yield and quality of zucchini, enhance soil enzyme activity, and improve soil physical and chemical properties. The results of this experiment provide a basis for the partial replacement of chemical fertilizers with biogas slurry and reduction of potassium fertilizer and the sustainable production of zucchini with high quality.

Key words: zucchini; biogas slurry; potassium fertilizer reduction; yield; quality; physical and chemical properties of soil

随着设施农业的发展,中国的蔬菜产量得到了极大的提升。但生产过程中,种植者为片面追求产量,过量施用化学肥料及施肥配比不合理的现象普遍存在。不合理的施肥措施不仅导致肥料浪费流失、土壤养分失衡、肥料利用率低下,同时还引起耕地质量的退化、土壤微生物菌落结构的失衡,最终影响蔬菜作物的生长和产量稳定^[1-3]。因此,合理优化蔬菜作物的施肥方式,对蔬菜产业的可持续发展至关重要^[4-5]。为实现作物的合理施肥,根据作物对不同营养元素的需求和土壤养分供给能力建立的平衡施肥技术在作物生产中得到越来越多的应用^[6]。平衡施肥技术既能确保作物的生长和发育所需的各种营养元素得到充分满足,又能减少肥料的浪费及其对环境的污染,有利于农业的可持续发展。

近年来,随着消费者对安全优质农产品需求的增加,利用有机肥料替代或部分替代无机肥料已成为农业生产的研究热点。有机肥替代化肥一方面能提高土壤有机质含量、增加土壤微生物多样性和丰富度、改善土壤微生物群落结构^[7-9],另一方面还能提高作物产量、减少氨气、氮氧化物等气体的排放

量^[10]。沼液是通过沼气池对畜禽粪便等有机废弃物进行厌氧发酵后残留的产物,富含丰富的营养元素及多种促进作物生长的成分,是一种养分均衡的绿色有机肥料^[11-12]。施用沼液不仅可以促进作物的生长、改善土壤结构、提高农产品的品质和土壤微生物多样性^[13-15],还可以实现养殖业及种植业废弃物的资源化利用,减少农作物种植过程中的化肥消耗,降低农业生产成本,促进农业生产的可持续发展^[16]。目前,施用沼液对作物生长和土壤微生物群落的影响已有较多研究^[17-19],但在平衡施肥的基础上,分析沼液部分替代化肥及钾肥减量对蔬菜产量、品质影响的研究较少。

西葫芦 (*Cucurbita pepo* L.) 是葫芦科一年生蔬菜作物,广泛种植于中国北方地区,是主要的设施蔬菜作物之一^[20]。西葫芦含有较多维生素 C、葡萄糖等营养物质,具有除烦止渴、润肺止咳、清热利尿、消肿散结的功效。本研究基于平衡施肥理论,通过沼液部分替代化肥及钾肥减量处理,分析不同的施肥方案对西葫芦产量、品质和土壤理化性质的影响,筛选出适宜的西葫芦沼液配施化肥的运筹方案,以促进西葫芦的优质生产及设施耕地的可持续利用。

1 材料与方法

1.1 试验材料及试验地概况

供试西葫芦品种为欧美特。供试沼液由甘肃康源现代农业有限公司生产,主要原料为牛粪及大白菜尾菜。沼液 N 含量 0.15 g/L, P_2O_5 含量 37.30 g/L, K_2O 含量 217.23 g/L。供试化肥为尿素(N 含量 46%)、磷酸二铵(N 含量 18%、 P_2O_5 含量 46%)、复合肥(N 含量 15%、 P_2O_5 含量 5%、 K_2O 含量 25%)。

试验于 2023 年 4 月至 2023 年 8 月在甘肃康源现代农业有限公司塑料大棚内进行。大棚长度 35 m,宽 8 m。试验田地势平缓、肥力水平和理化性质均匀,土壤全氮含量 0.67 g/kg,全磷含量 6.73 g/kg,全钾含量 10.56 g/kg,碱解氮含量 91.00 mg/kg,速效磷含量 63.82 mg/kg,速效钾含量 565.67 mg/kg,有机质含量 9.86 g/kg,pH 值 7.85,电导率 0.271 mS/cm。

1.2 试验设计

2023 年 4 月 20 日开始西葫芦育苗,待幼苗长至两叶一心时(5 月 6 日)进行移栽定植。每棚种植 3 垄,一垄双行,每行定植 45 株,株距和行距均为 0.6 m。每处理种植 1 个大棚,每垄为 1 个重复。

考虑到试验地区每生产 1 000 kg 西葫芦需氮(N) 4.70 kg、磷(P_2O_5) 2.20 kg、钾(K_2O) 5.65 kg^[21],根据目标产量 9.0 t/hm²及当地 N、 P_2O_5 、 K_2O 的理论利用率、土壤养分供给量,得到平衡施肥的方案:N 1 262.10 kg/hm²、 P_2O_5 1 193.55 kg/hm²、 K_2O 1 258.50 kg/hm²。试验设 5 个肥料运筹处理,分别为当地常规化肥对照(CK);化肥平衡施肥(T0);沼液部分替代化肥的平衡施肥(T1);沼液部分替代化肥+钾肥减量 20%(T2);沼液部分替代化肥+钾肥减量 33%(T3)。其中 T0~T3 处理总 N 量和总 P_2O_5 量一致。各处理施肥总量如表 1 所示。定植前各处理统一基施 892.80 kg/hm² 磷酸二铵,自 2023 年 5 月 20 日起每 14 d 追肥一次,共 6 次。每次等量追肥。各处理基肥及追肥化肥用量如表 2 所示。

1.3 测定指标与方法

各处理每垄随机标记 3 株,当西葫芦果实呈深绿色、质地变硬、表面光滑、长度约 15~20 cm 时开始采摘,每 3 d 采摘一次,记录每株采摘果实数量与重量,直至整株无经济价值果实时拉秧。拉秧时(8

月 15 日)称取标记植株上无经济价值的果实重量,并与采摘的具有经济价值的果实重量累计得到整株生物产量。结果盛期(8 月 1 日)每处理选取 9 个果实称取单果鲜重后整个放入干燥箱于 105 ℃ 杀青 30 min 后,80 ℃ 烘干 5 d 至果实重量恒定后称得单果干重。对烘干的样品经过消煮后,使用 ZEE nit 700P 原子吸收光谱仪(德国 Analytik Jena AG 公司产品)测定果实 Ca、Mg、Fe、Cu、Mn、Zn 等矿质元素的含量;按照周卫^[22]的方法测定果实含氮量、含磷量和含钾量。结果盛期(8 月 1 日)每处理随机采摘 30 个西葫芦果实,每个果实取 1/4 榨碎混匀取样测定西葫芦果实的品质指标。按照赵海云等^[23]方法测定果实的可溶性糖含量,根据齐芳芳^[24]的方法测定果实的可溶性蛋白含量和维生素 C 含量,按照李国富^[25]的方法测定果实的硝酸盐含量。

表 1 不同处理施肥总量

Table 1 Total amount of fertilization in different treatments

处理	N 总量 (kg/hm ²)	P_2O_5 总量 (kg/hm ²)	K_2O 总量 (kg/hm ²)
CK	1 747.95	1 445.70	1 612.50
T0	1 262.10	1 193.55	1 258.50
T1	1 262.10	1 193.55	1 258.50
T2	1 262.10	1 193.55	1 006.50
T3	1 262.10	1 193.55	839.10

CK:当地常规化肥对照;T0:化肥平衡施肥;T1:沼液部分替代化肥的平衡施肥;T2:沼液部分替代化肥+钾肥减量 20%;T3:沼液部分替代化肥+钾肥减量 33%。

表 2 不同处理基肥及追肥总用量

Table 2 Total amount of basal and top dressing fertilizer for different treatments

处理	基肥(kg/hm ²)	追施化肥量(kg/hm ²)			追施沼液 总量 (L/hm ²)
	磷酸二铵	尿素	磷酸二铵	复合肥	
CK	892.80	741.30	1 548.90	6 450.00	0
T0	892.80	301.20	1 154.70	5 033.85	0
T1	892.80	1 920.40	1 232.25	0	5 793.00
T2	892.80	1 874.10	1 326.15	0	4 633.50
T3	892.80	1 849.80	1 388.70	0	3 862.50

CK、T0、T1、T2、T3 见表 1 注。

西葫芦拉秧后(2023 年 8 月 15 日),采用五点法采集西葫芦根系外围约 5 cm 处 10~15 cm 深度的土壤样品,自然风干后过 35 目筛,分离得到粒径小于 35 目的土壤细粒部分,用于测定土壤理化性质。参照铁建中等^[26]的方法测定土壤 pH 值、电导率、有机质含量、碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量。

参照周卫^[22]方法测定土壤全氮含量、全磷含量和全钾含量。使用酶检测试剂盒(苏州格锐思生物科技有限公司产品)检测土壤脲酶、碱性磷酸酶、过氧化氢酶、蔗糖酶的活性。

1.4 数据处理与分析

使用 SPSS 25.0(美国 SPSS Institute Inc.产品)软件进行试验数据的方差分析,利用 Duncan's 检验法进行处理间差异显著性比较($P<0.05$),采用 Origin 2022 软件制图。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对西葫芦产量和干鲜重的影响

不同施肥处理对西葫芦单果干鲜重和产量的影响

表 3 不同施肥处理对日光温室西葫芦单果干鲜重和产量的影响

Table 3 Effects of different fertilization treatments on single fruit dry weight, single fruit fresh weight and yield of zucchini in solar greenhouse

处理	单果鲜重 (g)	单果干重 (g)	果实含水率 (%)	生物产量 (t/hm ²)	经济产量 (t/hm ²)
CK	289.39±3.57c	13.10±0.20b	95.30±0.30c	126.19±6.65a	85.28±1.47c
T0	347.48±10.01b	13.45±0.13b	96.00±0bc	137.61±9.21a	86.33±0.62bc
T1	431.27±14.06a	14.21±0.13a	96.70±0.30ab	143.22±8.34a	89.25±0.56ab
T2	352.67±5.93b	13.20±0.11b	96.00±0bc	143.11±4.71a	90.55±0.54a
T3	337.16±5.96b	9.87±0.15c	97.00±0a	135.79±1.24a	88.95±1.16ab

CK、T0、T1、T2、T3 见表 1 注。同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 不同施肥处理对西葫芦果实品质的影响

不同施肥处理对西葫芦果实品质的影响如表 4 所示。从表中可以看出,沼液部分替代化肥及钾肥减量处理能够不同程度上提高西葫芦果实品质。T1 处理的可溶性固形物含量分别比当地常规化肥对照(CK)及化肥平衡施肥处理(T0 处理)提高 71.19%和 43.45%。沼液部分替代化肥及钾肥减量处理(T1、T2、T3 处理)的果实维生素 C 含量均显著高于 CK 及 T0 处理。其中,T1、T2、T3 处理的维生素 C 含量分别比 CK 提高 3.03%、6.17%和 3.03%。

表 4 不同施肥处理对西葫芦果实品质的影响

Table 4 Effects of different fertilization treatments on zucchini fruit quality

处理	可溶性固形物含量 (%)	维生素 C 含量 (mg/g)	可溶性蛋白含量 (mg/g)	可溶性糖含量 (mg/g)	硝酸盐含量 (μg/g)
CK	2.43±0.36c	9.24±0.06c	0.57±0.12b	1.53±0.28c	200.48±1.57a
T0	2.90±0.05bc	8.99±0.05c	0.83±0.08b	2.34±0.14bc	88.29±4.92c
T1	4.16±0.21a	9.52±0.12b	1.05±0.08ab	2.90±0.06b	57.49±5.75d
T2	3.43±0.18ab	9.81±0.06a	1.56±0.22a	3.94±0.31a	72.10±2.06cd
T3	3.07±0.08bc	9.52±0.09b	0.93±0.21ab	2.45±0.44bc	121.62±6.21b

CK、T0、T1、T2、T3 见表 1 注。同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

响如表 3 所示。与当地常规化肥对照(CK)相比,T0~T3 处理的单果鲜重均有显著升高。其中,T1、T0、T2、T3 处理的单果鲜重分别比 CK 增加 49.03%、20.17%、21.87%和 16.51%。T3 处理和 T1 处理的果实含水率显著高于 CK,而 T2 和 T0 处理的果实含水率与 CK 无显著差异。各处理的生物产量差异不显著。沼液部分替代化肥及钾肥减量的 T1、T2 和 T3 处理经济产量分别比 CK 提高 4.66%、6.19%和 4.32%。上述结果说明,沼液部分替代化肥及钾肥减量处理不能有效提高西葫芦的生物产量,但能提高果实的商品性。

T2 处理的果实可溶性蛋白含量分别比 CK 和 T0 处理提高 173.68%和 87.95%,T2 处理的可溶性糖含量亦显著高于 CK 和 T0 处理,增量分别为 157.52%和 68.38%。T1、T2、T3 处理西葫芦果实的硝酸盐含量均显著低于 CK。与 T0 处理的果实硝酸盐含量相比,T1 处理下降,T3 处理增加,而 T2 处理无显著差异。上述结果说明适宜的沼液部分替代化肥及钾肥减施处理可以显著提高西葫芦果实的可溶性固形物含量、维生素 C 含量、可溶性蛋白含量和可溶性糖含量,降低果实硝酸盐含量。

2.3 不同施肥处理对西葫芦果实矿质营养元素含量的影响

沼液部分替代化肥及钾肥减量施肥处理(T1、T2、T3处理)能够不同程度促进西葫芦果实矿质营养元素的积累(表5)。其中,T2处理的果实含氮量分别比化肥平衡施肥处理(T0处理)和当地常规化肥对照(CK)增加79.31%和44.44%。T1处理的果实含磷量分别比T0处理和CK提升29.52%和71.97%。T2处理的果实含钾量分别比T0处理和CK提高91.54%和177.78%。以上结果说明,沼液部分替代化肥及钾肥减量处理能够促进西葫芦果实对养分的吸收和积累,尤其对钾的积累最为明显。

沼液部分替代化肥及钾肥减量处理(T1、T2、T3处理)的西葫芦果实含Cu量与化肥平衡施肥处理(T0处理)和当地常规化肥对照(CK)无显著差异。T1和T2处理的果实Mg含量显著高于CK。T2处理的果实Fe含量分别比T0处理和CK增加27.46%和24.98%;T2处理果实Zn含量分别比T0处理和CK提高44.38%和45.08%。T2处理和T3处理的果实Mn含量分别比CK提高44.60%和49.64%;T3处理Ca含量比T0处理提高42.86%(表5)。以上结果说明,沼液部分替代化肥及钾肥减量处理能够促进西葫芦果实的矿质营养元素积累,有利于果实营养品质的形成。

表5 不同施肥处理对西葫芦果实矿质营养元素含量的影响

Table 5 Effects of different fertilization treatments on the contents of mineral elements and nutrient elements in zucchini fruits

处理	氮含量 (g/kg)	磷含量 (g/kg)	钾含量 (g/kg)	钙含量 (g/kg)	镁含量 (g/kg)	铁含量 (mg/kg)	铜含量 (mg/kg)	锰含量 (mg/kg)	锌含量 (mg/kg)
CK	0.72b	4.21c	0.90b	0.25ab	0.11b	53.88b	39.48a	4.17b	8.23b
T0	0.58b	5.59b	1.30b	0.21b	0.12ab	52.83b	38.54a	4.97ab	8.28b
T1	0.78ab	7.24a	1.63ab	0.26ab	0.13a	53.74b	39.32a	5.33ab	8.99b
T2	1.04a	6.64ab	2.50a	0.28ab	0.13a	67.34a	39.70a	6.03a	11.94a
T3	0.72b	5.79b	1.53ab	0.30a	0.12ab	57.28ab	39.17a	6.24a	9.80b

CK、T0、T1、T2、T3见表1注。同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.4 不同施肥处理对土壤理化性质的影响

不同施肥处理对土壤理化性质的影响如表6所示。从表中可以看出,T1和T2处理土壤全氮含量显著高于T0和T3处理。T1、T2和T3处理的土壤碱解氮含量比T0处理分别提高27.08%、21.88%和18.75%。T2处理的土壤全磷含量比CK和T0处理分别增加26.01%和33.30%,T2处理的土壤速效磷含量比CK和T0处理分别增加32.62%和23.03%。

同样,T2处理的土壤全钾含量和速效钾含量亦显著高于CK和T0处理。其中,T2处理的土壤全钾含量和速效钾含量比CK分别增加37.44%和24.10%。T2处理的土壤有机质含量比T0处理和CK分别提高64.93%和104.76%。T1和T2处理的土壤pH值低于CK,更接近中性。不同施肥处理下土壤电导率为0.19~0.25 mS/cm,其中,T1处理显著高于T2、T3处理及CK。

表6 不同施肥处理对土壤理化性质的影响

Table 6 Effects of different fertilization treatments on soil physicochemical properties

处理	全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	碱解氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	有机质含量 (g/kg)	pH值	电导率 (mS/cm)
CK	0.80±0.0ab	9.69±0.69bc	10.23±0.22b	127.16±3.08ab	117.44±6.74b	599.00±4.16b	11.76±1.98c	7.97±0.13a	0.19±15.01b
T0	0.67±0.03b	9.16±0.38c	10.83±0.99b	112.00±7.28b	126.59±7.99b	602.67±3.52b	14.60±1.62bc	7.78±0.03ab	0.22±10.17ab
T1	0.86±0.05a	12.03±0.34ab	12.56±0.73ab	142.33±2.33a	138.07±3.91ab	644.00±53.59ab	21.05±3.13ab	7.65±0.05b	0.25±11.86a
T2	0.87±0.03a	12.21±0.54a	14.06±0.88a	136.50±3.50a	155.75±4.62a	743.33±12.55a	24.08±4.24a	7.69±0.06b	0.21±11.84b
T3	0.68±0.03b	11.48±0.68abc	11.10±0.40b	133.00±4.04a	130.73±9.76b	666.00±1.53ab	18.40±0.50abc	7.77±0.02ab	0.19±0.69b

CK、T0、T1、T2、T3见表1注。同一列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.5 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

不同施肥处理对土壤酶活性的影响有较大影响。T1 处理的土壤蔗糖酶活性比化肥平衡施肥处理(T0 处理)和当地常规化肥对照(CK)分别增加 22.62% 和 35.67%。T2 处理的土壤碱性磷酸酶活性比 T0 处理和 CK 分别提高 22.72% 和 33.19%。

T2 处理的土壤脲酶活性亦比 T0 处理和 CK 分别提高 6.93% 和 4.62%。沼液部分替代化肥及钾肥减量处理(T1、T2、T3 处理)的土壤过氧化氢酶活性均显著高于 CK 和 T0 处理。其中,T2 处理的土壤过氧化氢酶活性比 T0 处理和 CK 分别提高 21.54% 和 19.00%,增加最为显著(表 7)。

表 7 不同施肥处理对土壤酶活性的影响

Table 7 Effects of different fertilization treatments on soil enzyme activities

处理	蔗糖酶活性 [mg/(d·g)]	碱性磷酸酶活性 [nmol/(h·g)]	脲酶活性 [μg/(d·g)]	过氧化氢酶活性 [μmol/(h·g)]
CK	34.96±2.12b	886.16±19.26c	467.17±0.66bc	479.73±13.28c
T0	38.68±2.62b	961.74±3.94bc	457.09±8.12c	469.71±20.05c
T1	47.43±1.71a	1 093.75±30.67ab	474.85±4.14ab	561.83±16.01a
T2	41.57±1.53ab	1 180.28±51.53a	488.77±5.27a	570.90±28.33a
T3	41.12±1.00ab	898.13±57.52c	462.32±4.16bc	554.91±34.94ab

CK、T0、T1、T2、T3 见表 1 注。同一列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

3 讨论

蔬菜生产过程中,种植者为追求高产量和高收益,在栽培过程中往往会施用过量化肥。然而长期过量施用化肥会降低肥料利用效率,造成养分流失及土壤理化性状变劣,因此有机肥部分替代化肥成为提高土壤有机质含量、改善微生物群落结构和有效降低化肥施用量的重要措施,同时施用有机肥还能促进作物生长、提高产量和品质^[27]。畜禽粪便及蔬菜废弃物在厌氧发酵过程中,发酵底物中部分可溶性物质进入沼液,因此沼液含有丰富的营养元素,是一种广受欢迎的有机肥^[18,28]。前人研究结果表明,沼液配施化肥能够显著提高土壤有机质含量,有助于培肥土壤,增加土壤速效养分含量和持续的营养供应能力,提高土壤相关酶的活性及肥料利用效率^[29-34],同时还能改善土壤结构和孔隙度,降低土壤容重,增加土壤饱和导水率和保湿能力^[35]。本研究结果表明,利用沼液部分替代化肥及钾肥减施 20% 的处理不但能有效降低化肥施用量,还能显著提高西葫芦的单果重和经济产量,其原因在于施用沼液能有效提高土壤碱解氮含量、速效磷含量、速效钾含量和有机质含量,促进作物生长。同时,T2 处理还能显著提高土壤蔗糖酶活性、碱性磷酸酶活性、脲酶活性及过氧化氢酶活性。这与其他学者在芦笋^[36]、柑橘^[37]、葡萄^[38]、苹果^[39]等作物的研究结果

一致。沼液配施化肥还能增强土壤微生物多样性^[40]。而土壤微生物多样性的增加和土壤酶活性的提高有利于养分的转化和循环,促进土壤难溶性磷、钾的释放和转化^[41]。本试验结果表明,化肥减量配施沼液处理下土壤 pH 值由偏碱性向中性回调,这可能是由于沼液和化肥配施促进了养分的协调,避免了单一养分过剩引起的土壤碱化。这与 Du 等^[42]的研究结果一致。

本试验结果表明,沼液部分替代化肥及钾肥减量 20% 施肥(T2 处理)能显著提高西葫芦果实的可溶性固形物含量、维生素 C 含量、可溶性糖含量和可溶性蛋白含量,降低硝酸盐含量,即沼液部分替代化肥及钾肥减量处理能有效改善西葫芦品质。其主要原因可能是沼液部分替代化肥及钾肥减量处理下土壤酶活性提高,养分转化和循环加快,为作物提供更多营养元素^[43]。这与其他学者在香瓜茄^[44]、萝卜^[18]、紫花苜蓿^[45]等作物中的研究结果一致。此外,本试验中 T2 处理还能显著提高西葫芦果实中的氮、磷、钾及 Mg、Fe、Mn、Zn 等矿质营养元素含量,这与 Wu 等^[46]、Islam 等^[47]的研究结果一致。

4 结论

沼液部分替代化肥及钾肥减量 20% 处理不但能有效减少农田化肥施用量,还能有效提高西葫芦的产量、品质及土壤养分含量和酶活性。因此,沼液

部分替代化肥及钾肥减量 20%处理为本研究最优沼液施肥方案。

参考文献:

- [1] 祝海燕,王海峰,李春燕. 过量施用钾肥对寿光设施果菜类蔬菜的影响[J]. 中国蔬菜,2015(11):93-95.
- [2] 李志伟. 氮磷过量对植物生长的影响及有机肥的调控作用[D]. 保定:河北农业大学,2010.
- [3] 郭熙盛,吴礼树. 施用氮钾肥料对蔬菜品质影响的研究进展[J]. 华中农业大学学报,2002,21(6):593-598.
- [4] 李锐妍,邓兰生. 有机无机肥施用方式对土壤碳固存的影响[J]. 耕作与栽培,2023,43(4):1-5,16.
- [5] 程泰鸿,吴吉,梁涛,等. 重庆市露地蔬菜生产施肥现状与活性氮损失及温室气体排放估算[J]. 农业环境科学学报,2022,41(6):1380-1390.
- [6] 郭炜,于洪久,张楠,等. 平衡施肥对春玉米产量及肥料利用效率的影响[J]. 黑龙江农业科学,2021(1):31-33.
- [7] 安祥瑞,江尚煮,谢昶琰,等. 减施化肥配施有机肥对荔枝园土壤微生物区系的影响[J]. 应用生态学报,2022,33(4):1099-1108.
- [8] 孔德宁,康国栋,李鹏,等. 化肥减施条件下配施有机肥对旱地紫色土有机碳活性组分的影响[J]. 生态学杂志,2021,40(4):1073-1080.
- [9] 靳晓拓,马继勇,周彦好,等. 化肥减量配施有机肥下芒果园土壤细菌多样性及群落结构特征[J]. 热带作物学报,2019,40(6):1205-1212.
- [10] 熊于斌,余顺平,杨娅,等. 不同比例化肥减量配施有机肥对植烟土壤有机碳固存的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文),2024,32(2):262-272.
- [11] 郭全忠,龚晓松,刘化隆. 长期施用沼液对设施菜田土壤养分和盐分累积量的影响[J]. 西北农业学报,2020,29(1):127-134.
- [12] 杨建霞,王秀文,宁海军,等. 沼液不同施用量对大棚甜瓜生长发育及果实品质的影响[J]. 北方园艺,2020(22):60-65.
- [13] 艾俊国. 沼液与化肥不同配比对春玉米生长发育、产量及品质的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2014.
- [14] 吴飞龙,林代炎,叶美锋,等. 基于能值分析的沼液不同利用方式的效益评价研究[J]. 中国农学通报,2013,29(5):149-154.
- [15] 张全国,杨茹,李改莲,等. 沼液复合型杀虫剂的药效研究[J]. 安徽农业科学,2007,35(1):136-137.
- [16] 韩敏琦,杨林林,杨胜敏. 滴灌在北方山区玫瑰种植上的应用效益初探[J]. 种子科技,2019,37(12):146,149.
- [17] 王俊伟,韩晓飞. 沼液替代化肥对西瓜产量、品质与土壤肥力影响的试验研究[J]. 智慧农业导刊,2023,3(5):24-28.
- [18] 韩晓飞,李潇然,王俊伟. 沼液替代化肥对露地萝卜产量、品质和土壤理化性质的影响[J]. 中国农学通报,2023,39(22):34-39.
- [19] 牛艳蕾,张凯歌,盛艳,等. 沼液施用对花椰菜产量与土壤环境的影响[J]. 贵州农业科学,2023,51(8):37-45.
- [20] 姚文英,彭翠兰,杨海俊,等. 不同有机肥用量树叶复混基质对西葫芦的育苗效果[J]. 新疆农业科学,2021,58(2):247-253.
- [21] 高璠. 兰州露地番茄、娃娃菜等高原夏菜高效施肥技术规范综述[J]. 农业科技与信息,2015(24):79-82.
- [22] 周卫. 土壤农化分析试验方法的改进与探索[J]. 农业技术与装备,2019(10):70,72.
- [23] 赵海云,姜成英,戚建莉,等. 油橄榄落果规律及果实发育期叶片可溶性糖、淀粉、内源激素含量变化[J]. 中国果树,2022(10):43-48,109.
- [24] 齐芳芳. 蔬菜中维生素C含量测定方法的研究[J]. 现代食品,2023,29(16):206-208.
- [25] 李国富. 鹤山市18种蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐及V_C含量研究[J]. 现代农业科技,2017(5):238-240.
- [26] 铁建中,刘亚昱,高雪琴,等. 种养废弃物堆肥对日光温室西葫芦养分利用和土壤性质的影响[J]. 浙江农业学报,2023,35(6):1427-1439.
- [27] 肖阳. 农业绿色发展背景下我国化肥减量增效研究:以河南省为例[D]. 北京:中国农业科学院,2018.
- [28] NKO A R. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review [J]. Agronomy for Sustainable Development,2014,34(2):473-492.
- [29] VERLEYSEN K, COPPITERS D, PARENTE A, et al. How can power-to-ammonia be robust? Optimization of an ammonia synthesis plant powered by a wind turbine considering operational uncertainties[J]. Fuel,2020,266:117049.
- [30] YOU L, YU S Q, LIU H Y, et al. Effects of biogas slurry fertilization on fruit economic traits and soil nutrients of *Camellia oleifera* Abel[J]. PLoS One,2019,14(5):e0208289.
- [31] 徐坚,叶波,顾艳红,等. 沼液不同施用方式对杨梅土壤及果实品质的影响[J]. 浙江农业科学,2023,64(9):2173-2176.
- [32] 俄胜哲,丁宁平,李利利,等. 长期施肥条件下黄土高原黑垆土作物产量与土壤碳氮的关系[J]. 应用生态学报,2018,29(12):4047-4055.
- [33] YU F B, LUO X P, SONG C F, et al. Concentrated biogas slurry enhanced soil fertility and tomato quality [J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Plant Soil Science,2010,60(3):262-268.
- [34] 巩闪闪. 不同土地利用方式下土壤酶活性和活性碳、氮组分的季节变化特征研究[D]. 郑州:河南农业大学,2021.
- [35] GARG R N, PATHAK H, DAS D K, et al. Use of flyash and biogas slurry for improving wheat yield and physical properties of soil [J]. Environmental Monitoring and Assessment,2005,107(1/2/3):1-9.
- [36] 柴彦君,张睿,江建锋,等. 沼液化肥配施对芦笋地土壤肥力及芦笋品质的影响[J]. 农业工程学报,2023,39(5):120-127.
- [37] 刘银秀,罗高斌,叶子豪,等. 沼液施用年限对红美人柑橘果实品质及土壤肥力的影响[J]. 浙江农业科学,2022,63(1):86-89,93.
- [38] 毛宁,杨建霞,张希彪,等. 不同沼液处理对葡萄栽培土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 天津农业科学,2020,26(8):41-45.
- [39] 王桂芳. 沼液配施钾肥对苹果园土壤酶活性和土壤微生物数量及果实品质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [40] 高丽超,郑文魁,郭新送,等. 控释肥配施玉米秸秆对麦季土壤

- 酶活性及养分的影响[J]. 水土保持学报, 2022, 36(6): 356-363.
- [41] 李明瑞, 王小利, 段建军, 等. 有机肥替代化肥对土壤养分、酶活性及水稻产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(13): 230-235.
- [42] DU Z J, XIAO Y T, QI X B, et al. Peanut-shell biochar and biogas slurry improve soil properties in the North China Plain; a four-year field study[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 13724.
- [43] 岳宗伟, 李嘉骁, 孙向阳, 等. 化肥有机肥配施对土壤性质、樱桃果实品质和产量的影响[J]. 浙江农业学报, 2023, 35(9): 2192-2201.
- [44] 陈年来, 毛昊昊, 陈思瑾, 等. 叶面喷施沼液肥对温室香瓜茄叶片光合特性、果实产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜, 2021, 34(4): 88-93.
- [45] 马 钊, 郑桂亮, 何 峰, 等. 施用有机无机复混肥对盐碱地紫花苜蓿生产性能、营养品质和土壤养分含量的影响[J]. 草地学报, 2019, 27(2): 466-472.
- [46] WU J, YANG Q, YANG G, et al. Effects of biogas slurry on yield and quality of oil-seed rape[J]. Journal of Plant Nutrition, 2013, 36(13): 2084-2098.
- [47] ISLAM M R, RAHMAN S M E, RAHMAN M M, et al. The effects of biogas slurry on the production and quality of maize fodder[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2010, 34(1): 91-99.

(责任编辑: 石春林)