

猪场沼液与复合肥配施对樱桃番茄生长、品质及土壤肥力的影响

杨欣媛¹, 朱丽霞^{1,2}, 苏钰¹, 叶红丹¹, 张豪然¹, 冯焯禧¹, 陈清森¹

(1. 闽南师范大学生物科学与技术学院 福建漳州 363000; 2. 闽南师范大学闽台特色园林植物
福建省高校重点实验室 福建漳州 363000)

摘要: 本文通过评估猪场沼液作为液态有机肥在设施蔬菜中的应用效果, 明确其与复合肥配施对樱桃番茄生长、果实品质及土壤肥力的影响, 为蔬菜作物绿色高效施肥提供依据。采用田间试验, 设置 4 个处理: CK(不施肥)、T1(50%浓度猪场沼液)、T2(复合肥)和 T3(复合肥+50%浓度猪场沼液), 比较不同处理对樱桃番茄生长性状、生物量、光合特性、养分吸收、果实品质及根区土壤养分含量和酶活性的影响。结果表明, T3 处理综合表现最好, 其次是 T1 处理, CK 最差。与 CK 相比, T3 处理显著提高株高、分枝数、花序数和结果数, 并获得最高单株产量(644.95 g); 同时显著提高净光合速率及氮素吸收量, 显著促进果实可溶性糖、可溶性蛋白、维生素 C 和氨基酸积累。T3 处理显著提高根区土壤酸性磷酸酶和脲酶活性及土壤全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷和速效钾含量。综上, 猪场沼液与复合肥配施可协同促进樱桃番茄生长, 改善果实品质并提升产量和土壤肥力, 适用于畜禽养殖废弃物资源化利用与蔬菜作物的绿色生产。

关键词: 樱桃番茄; 猪场沼液; 复合肥配施; 果实品质; 土壤肥力

中图分类号: S641.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2026)07-161-09

Effects of combined application of pig biogas slurry and compound fertilizer on growth, fruit quality of cherry tomato and soil fertility

Yang Xinyuan¹, Zhu Lixia^{1,2}, Su Yu¹, Ye Hongdan¹, Zhang Haoran¹, Feng Zhuoxi¹, Chen Qingsen¹

(1. College of Biological Science and Technology, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, Fujian, China; 2. Key Laboratory of Fujian and Taiwan Garden Plants, Minnan Normal University, Zhangzhou 363000, Fujian, China)

Abstract: This study aimed to evaluate the application effect of pig farm biogas slurry as a liquid organic fertilizer in protected vegetable production, and to clarify the effects of its combined application with compound fertilizer on the growth, fruit quality of cherry tomato and soil fertility, so as to provide a basis for green and efficient fertilization of vegetable crops. A field experiment was conducted with four treatments: CK(no fertilization), T1 (50% pig farm biogas slurry), T2 (compound fertilizer), and T3 (compound fertilizer+50% pig farm biogas slurry). The effects of different treatments on the growth traits, biomass, photosynthetic characteristics, nutrient uptake, fruit quality of cherry tomato, as well as the nutrients and enzyme activity in the rhizosphere soil were compared. The results showed that, the overall performance of T3 treatment was the best, followed by T1 treatment, and CK was the worst. Compared with CK, T3 significantly increased plant height, branch number, inflorescence number and fruit number, and achieved the highest yield per plant(644.95 g). Meanwhile, T3 significantly increased the net photosynthetic rate and the uptake of nitrogen, and significantly promoted the accumulation of soluble sugar, soluble protein, vitamin C and amino acid in fruits. T3 also significantly enhanced the activity of acid phosphatase and urease in rhizosphere soil, as well as the content of soil total nitrogen, total phosphorus, total potassium, alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus and available potassium. In conclusion, the combined application of pig farm biogas slurry and compound fertilizer can synergistically promote the growth of cherry tomato, improve fruit quality, increase yield and enhance soil fertility, which is suitable for the resource utilization of livestock and poultry breeding waste and green production of vegetable crops.

Key words: Cherry tomato; Pig farm biogas slurry; Combined application of compound fertilizer; Fruit quality; Soil fertility

收稿日期: 2025-12-24; 修回日期: 2026-03-06

基金项目: 福建省科技厅引导项目(2024N0007)

作者简介: 杨欣媛, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为闽台植物生理。E-mail: 1794030100@qq.com

共同第一作者: 朱丽霞, 女, 副教授, 研究方向为土壤生态修复。E-mail: julia404@163.com

通信作者: 陈清森, 男, 副教授, 研究方向为农业产业化管理。E-mail: cqs1913@mnnu.edu.cn

樱桃番茄 (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) 是番茄的重要栽培变种之一, 因其适应性强、风味独特且营养丰富, 在鲜食市场广受欢迎, 是我国重要的设施栽培蔬菜作物^[1]。随着人们对农产品安全 and 环境质量要求的提高, 如何在保障作物产量的同时提升果实品质, 并减少化肥投入带来的面源污染, 已成为蔬菜产业绿色发展的关键问题。樱桃番茄生长迅速, 对氮、磷、钾等养分需求较高^[2-3], 生产中长期依赖化学肥料不仅增加了种植成本, 还易导致土壤板结、次生盐渍化及微生物群落失衡, 影响作物的可持续生产^[4]。因此, 探索利用有机废弃物资源替代部分化肥, 对改善土壤环境、提升蔬菜产量和品质具有重要意义^[5]。

沼液是沼气工程厌氧发酵产生的液体残留物, 富含速效氮、磷、钾及氨基酸、腐殖酸等活性物质^[6-7]。作为一种优质的液态有机肥, 沼液在水稻、蔬菜和果树等作物上的应用已被证明能有效促进作物生长、提高产量并改善土壤理化性质^[8-9]。研究表明, 沼液与化肥配施可显著提高番茄、草莓等果蔬作物的光合性能与产量^[10], 且在调节土壤酶活性

及微生物多样性方面具有积极作用^[11]。然而, 目前关于猪场沼液在樱桃番茄上的应用研究多集中于单一指标的评价, 关于沼液与复合肥配施对樱桃番茄“植株生长-果实品质-土壤肥力”系统的综合影响及协同提升效应尚需深入探究。

鉴于此, 笔者以樱桃番茄为试验对象, 通过田间试验设置不同施肥处理, 系统分析猪场沼液单施及其与复合肥配施对植株生长性状、生物量积累、光合特性、果实品质及根区土壤养分含量和酶活性的影响, 旨在筛选适宜的沼液配施模式, 以期为畜禽养殖废弃物的资源化利用及樱桃番茄的绿色高效生产提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2022 年 10 月至 2023 年 1 月在闽南师范大学植物园内进行。试验区位于福建省漳州市, 属亚热带季风性湿润气候, 气候温和, 雨量充沛, 年均气温 23 ℃, 年日照时数约 2035 h, 年均降水量 1400 mm。试验区土壤理化性质见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性质
Table 1 Basic physicochemical property of the tested soil

指标 Index	w(全氮) Total N content/ (g·kg ⁻¹)	w(全磷) Total P content/ (g·kg ⁻¹)	w(全钾) Total K content/ (g·kg ⁻¹)	w(碱解氮) Alkaline N content/(mg·kg ⁻¹)	w(速效磷) Rapid available P content/(mg·kg ⁻¹)	w(速效钾) Rapid available K content/(mg·kg ⁻¹)	pH
数值 Value	0.88	1.27	13.53	68.50	185.00	130.00	6.32

1.2 材料

供试植物为樱桃番茄 (*Slanum lycopersicum* var. *cerasiforme*), 品种为日本泷井种苗株式会社 (TAKII Seed) 选育的感动 101。猪场沼液取自当地规模化养猪场沼气发酵系统, 经自然沉降后使用, 其 pH 为 7.32, 全氮、全磷和全钾含量(w, 后同)分别为 0.41、0.12、0.64 g·kg⁻¹。供试化肥为市售复合肥 (N-P₂O₅-K₂O=15-15-15)。

1.3 试验设计

试验采用随机区组设计, 共设置 4 个处理: 以不施肥为对照 (CK); T1 为施用 50% 浓度猪场沼液, 每次每株施用量 250 mL; T2 为施用复合肥, 每次每株施用量 250 mL, 质量浓度 0.2%; T3 为复合肥 (125 mL) 与 50% 浓度猪场沼液 (125 mL) 配施。每个处理设 4 个重复, 每个重复为 1 个小区。每小区种植 3 行, 每行 4 株, 定植行距为 50 cm, 株距为 30 cm, 各处理栽培管理条件保持一致。供试植株于 2022 年 9 月下旬定植, 定植后进行常规浇水管

理, 待植株缓苗恢复生长后开始施肥处理。分别于 2022 年 10 月 1 日、10 月 15 日、10 月 30 日、11 月 14 日施肥, 共施肥 4 次, 试验期间除草、灌溉等田间管理措施按照常规栽培方式进行, 直至试验结束。沼液采用灌根方式施用, 复合肥随灌水施入, 每次每株 500 mL, 施肥间隔为 15 d。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长指标及产量的测定 缓苗后, 每小区随机选取 6 株植株挂牌标记。自处理开始后, 每隔 5 d 测定株高、单株分枝数、开花数和结果数, 共连续测定 7 次。在盛果期, 每小区随机选取 6 个成熟果实测定单果质量; 果实完全成熟后, 收获各小区全部果实并称质量, 计算单株产量。

1.4.2 生物量测定 试验结束后, 收获挂牌植株, 分别分离地上部、根系和果实。样品先于 105 ℃ 下杀青 20 min, 随后转至 80 ℃ 烘干至恒质量, 测定各部分干质量。

1.4.3 光合特性指标的测定 于 2022 年 12 月

18—22 日晴天 08:00—12:00,采用 LI-6400XT 便携式光合仪测定植株光合参数,包括净光合速率、胞间二氧化碳浓度、气孔导度和蒸腾速率。选择植株自上而下第 3 片完全展开的功能叶进行测定。每处理测定 3 株,取平均值作为该处理的测定结果。

1.4.4 樱桃番茄养分含量的测定 将烘干至恒质量的植株样品粉碎,过 0.25 mm 筛备用。植株全氮、全磷和全钾通过 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ 消煮法进行消解。其中全氮含量采用凯氏定氮法测定,全磷含量采用钼锑抗比色法(利用紫外-可见分光光度计在 700 nm 波长下比色)测定,全钾含量采用火焰光度法测定^[12]。

1.4.5 果实品质指标的测定 选取同一采收期、成熟度及大小一致且无病虫害的果实进行品质分析。每个处理随机选取 6 株,重复测定 2 次。采用 2,6-二氯酚靛酚法测定维生素 C 含量;采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量;采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白含量;采用茚三酮显色法测定氨基酸含量^[13]。

1.4.6 土壤养分含量的测定 果实采收结束后,采用五点取样法采集植株根区 0~15 cm 土层样品,自然风干,剔除杂质后研磨过筛备用。采用电位法(水土质量比 2.5:1)测定土壤 pH;采用半微量凯氏定氮法测定土壤全氮含量;将土壤样品经氢氧化钠熔融消解后,分别采用钼锑抗比色法和火焰光度计法测定全磷和全钾含量;采用碱解扩散法测定碱解氮含量;采用 $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaHCO}_3$ 浸提-钼锑抗比色法测定速效磷含量;采用 $1.0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NH}_4\text{OAc}$ 浸提-火焰光度计法测定速效钾含量^[12]。

1.4.7 土壤酶活性的测定 土壤样品自然风干、过

筛后,采用苏州科铭生物技术有限公司试剂盒测定土壤酸性磷酸酶(S-ACP)(货号:M1409A)、脲酶(S-UE)(货号:M1401A)和过氧化氢酶(S-CAT)(货号:M1406A)活性,操作步骤按说明书进行。

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2019 整理试验数据和制图,采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。不同处理间差异显著性采用单因素方差分析(ANOVA),处理间均值比较采用 Duncan 分析,显著性水平设为 $P<0.05$ 。

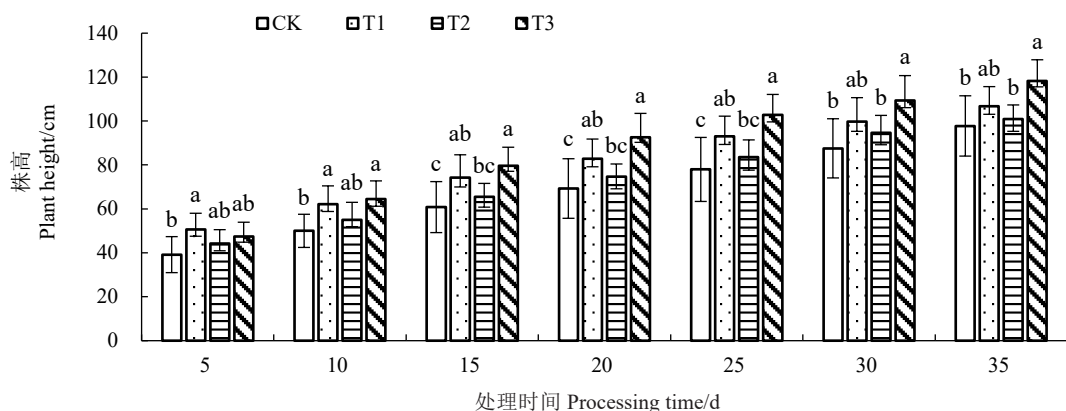
2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对樱桃番茄生长的影响

2.1.1 不同施肥处理对樱桃番茄株高的影响 株高是反映植株营养生长状况的重要指标。由图 1 可知,不同施肥处理下樱桃番茄株高随生育进程均呈持续上升趋势,但不同处理间差异逐渐显现。总体来看,施用猪场沼液的处理(T1 和 T3)在各测定时期均表现出较高的株高增长水平,其中复合肥与猪场沼液配施处理(T3)的促进作用最为明显。

在处理第 20 天,CK、T1、T2 和 T3 处理的株高分别为 69.28、82.83、74.68 和 92.65 cm,其中 T3 处理较 T2 处理和 CK 分别显著增高 24.06%和 33.73%,但与 T1 处理差异不显著;T1 处理较 CK 显著提高 19.56%。以上结果表明,单施猪场沼液或与复合肥配施均可有效促进樱桃番茄株高的增加,其中配施处理的促进效果更为稳定和显著。

2.1.2 不同施肥处理对樱桃番茄分枝数的影响 由图 2 可知,不同施肥处理下樱桃番茄单株分枝数随生育期延长均呈逐渐增加趋势,但各处理间



注:不同小写字母表示同一测定时间不同处理间差异显著($P<0.05$)。图 2~4 同。

Note: Different small letters indicate significant difference among treatments of the same time at $P<0.05$. The same as Fig. 2-4.

图 1 不同施肥处理对樱桃番茄株高的影响

Fig. 1 Effects of different fertilization treatments on the plant height of cherry tomato

分枝形成能力存在明显差异。总体而言,施用猪场沼液的处理(T1和T3)在各测定时期均表现出较多的分枝数,其中复合肥与猪场沼液配施处理(T3)的促进效果最为显著。

在处理后第20天,各处理下樱桃番茄分枝数由多到少依次为T3>T1>T2>CK。与T2处理和CK相比,T3处理分别显著增加21.62%和32.39%;而T3与T1处理之间差异不显著。以上结果表明,猪

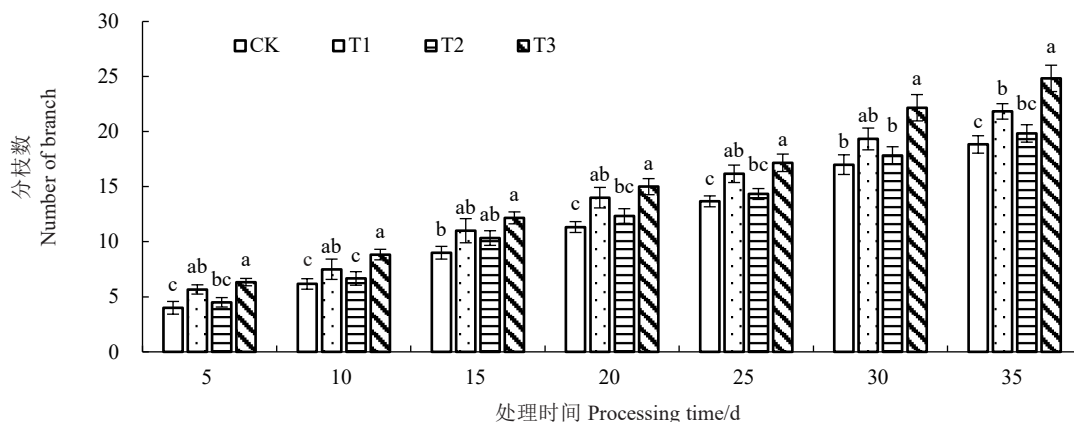


图2 不同施肥处理对樱桃番茄单株分枝数的影响

Fig. 2 Effects of different fertilization treatments on the number of branch per plant of cherry tomato

场沼液与复合肥配施可显著促进樱桃番茄侧枝形成,其效果优于单施复合肥处理;单施猪场沼液也能增加分枝数,但促进作用弱于配施处理。

2.1.3 不同施肥处理对樱桃番茄花序数的影响 由图3可知,不同施肥处理下樱桃番茄单株花序数随生育期推进均呈逐渐增加趋势,但不同处理之间花序形成能力存在显著差异。总体来看,施用猪场沼液的处理(T1和T3)在各测定时期均表现出较多的花序数,其中复合肥与猪场沼液配施处理(T3)的促进作用最为明显。

在处理后第35天,各处理下樱桃番茄花序数多少依次为T3>T1>T2>CK。与CK和T2处理相比,T3处理分别显著增加129.34%和43.44%;T1

处理的花序数也多于T2处理和CK,分别增加31.09%和109.58%。以上结果表明,无论单施猪场沼液还是与复合肥配施,均能显著促进樱桃番茄花序的形成,其中配施处理的促进效果更为显著。

2.1.4 不同施肥处理对樱桃番茄结果数的影响 由图4可知,不同施肥处理下樱桃番茄单株结果数随生育期推进均呈持续增加趋势,但各处理之间结果形成能力存在显著差异。其中,复合肥与猪场沼液配施处理(T3)在整个生育期内均表现出最多的结果数,其次为单施猪场沼液处理(T1),而复合肥单施(T2)和不施肥对照(CK)的结果数相对较少。

在处理后第25天,各处理结果数由多到少依

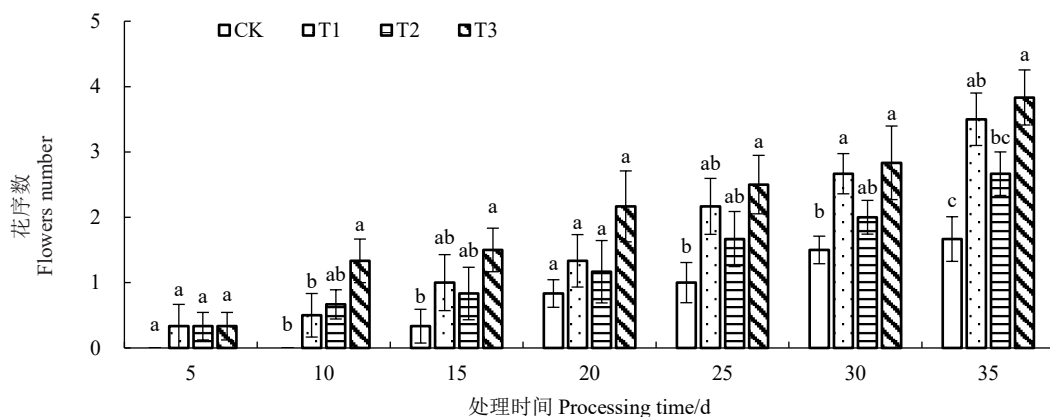


图3 不同施肥处理对樱桃番茄单株花序数的影响

Fig. 3 Effects of different fertilization treatments on the number of flower per plant of cherry tomato

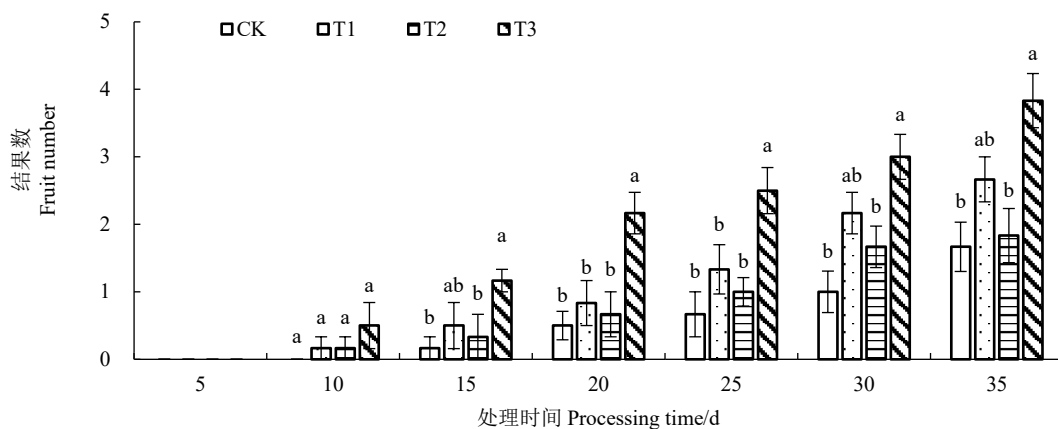


图4 不同施肥处理对樱桃番茄单株结果数的影响

Fig. 4 Effects of different fertilization treatments on fruit number per plant of cherry tomato

次为 $T3>T1>T2>CK$ 。与 CK 和 T2 处理相比, T3 处理分别显著增加 273.13% 和 150.00%; T1 处理分别增加 98.51% 和 33.33%。以上结果表明, 猪场沼液的施用能够促进樱桃番茄果实形成, 且与复合肥配施对结果的促进作用更为显著, 有利于提高单株结果能力和潜在产量水平。

2.2 不同施肥处理对樱桃番茄生物量和单株产量的影响

由表 2 可知, 不同施肥处理对樱桃番茄果实鲜质量、干质量及单株产量均产生显著影响。各处理单果鲜质量和干质量整体均表现为 $T3>T1>T2>CK$ 。其中, 复合肥与猪场沼液配施处理(T3)的单果鲜质量为 13.32 g, 较 T2 处理和 CK 分别显著提高 42.92% 和 52.58%, 与单施猪场沼液处理(T1)差异不显著。T1 处理的单果鲜质量显著高于 T2 处理和 CK, 表明猪场沼液施用有利于促进果实膨大。在单株产量方面, T3 和 T1 处理均显著高于 T2 处理和 CK, 其中 T3 处理的单株产量最高。与单施复合肥和不施肥对照相比, 配施猪场沼液显著增强了樱桃番茄的产量形成能力, 且表现出较强的稳定性。

不同处理对植株生物量的积累亦产生显著影响(表 3)。T3 处理在地上部和地下部鲜质量及干

表2 不同施肥处理对樱桃番茄果实性状和产量的影响

Table 2 Effects of different fertilization treatments on fruit traits and yield of cherry tomato

处理 Treatment	单果鲜质量 Single fruit fresh mass/g	单果干质量 Single fruit dry mass/g	单株产量 Yield per plant/g
CK	8.73±0.88 b	0.79±0.05 c	140.00±42.28 b
T1	12.33±0.43 a	1.13±0.06 a	640.27±153.94 a
T2	9.32±0.71 b	0.85±0.06 b	159.40±32.72 b
T3	13.32±0.54 a	1.41±0.18 a	644.95±218.19 a

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among treatments at $P<0.05$. The same below.

质量方面均处于较高水平, 其中地上部鲜质量和干质量均显著高于 T2 处理和 CK。总体来看, 猪场沼液单施或与复合肥配施均能有效促进樱桃番茄植株生物量积累, 其中配施处理的综合效果最佳。

2.3 不同施肥处理对樱桃番茄光合特性的影响

由表 4 可知, 不同施肥处理对樱桃番茄叶片光合特性产生了显著影响。与 CK 相比, 施用猪场沼液或其与复合肥配施均显著提高了植株的净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率。

在净光合速率方面, T1 和 T3 处理均显著高于

表3 不同施肥处理对樱桃番茄生物量的影响

Table 3 Effects of different fertilization treatments on biomass of cherry tomato plants

处理 Treatment	地上部鲜质量 Aboveground fresh mass/g	地下部鲜质量 Underground fresh mass/g	地上部干质量 Aboveground dry mass/g	地下部干质量 Underground dry mass/g
CK	147.68±18.37 b	13.60±1.12 a	30.68±2.85 b	3.94±0.35 b
T1	324.69±51.88 a	14.15±1.32 a	75.77±12.03 a	5.22±0.52 ab
T2	191.26±38.04 b	14.30±2.07 a	43.50±10.31 b	4.60±0.65 b
T3	407.40±37.46 a	18.53±2.52 a	93.19±7.98 a	6.66±0.83 a

T2 处理和 CK,其中 T1 处理最高($13.79\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$), T3 处理次之($12.11\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$),分别较 CK 显著提高 76.12%和 54.66%,表明猪场沼液施用能够有效增强樱桃番茄叶片的光合碳同化能力。蒸腾速率和气孔导度在 T1 和 T3 处理下显著提高,且均显著高于 T2 处理和 CK。其中,T3 处理的蒸腾速率和气孔导度最高,但与 T1 处理差异不显

著。较高的气孔导度有利于 CO_2 扩散进入叶肉组织,为光合作用提供充足的底物条件。胞间 CO_2 浓度在 T1 和 T3 处理中显著高于 T2 处理和 CK,且 T1 与 T3 处理之间差异不显著。以上结果表明,猪场沼液施用能够改善叶片气体交换状况,降低光合过程中的非气孔限制。单施猪场沼液或与复合肥配施均可显著改善樱桃番茄的光

表 4 不同施肥处理对樱桃番茄叶片光合特性的影响

Table 4 Effects of different fertilization treatments on photosynthetic characteristics of cherry tomato leaves				
处理 Treatment	净光合速率 Photosynthetic rate/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	气孔导度 Stomatal conductance/ ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 Intercellular CO_2 concentration/($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate/ ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
CK	7.83±0.94 c	0.16±0.01 c	187.36±40.93 b	4.79±0.38 b
T1	13.79±1.45 a	0.58±0.17 ab	295.88±22.19 a	9.04±0.33 a
T2	9.12±0.34 c	0.24±0.13 c	210.33±23.01 b	5.68±0.30 b
T3	12.11±0.26 ab	0.67±0.08 a	299.87±5.52 a	9.38±0.71 a

合生理特性,增强叶片的光合潜力和物质合成能力,为后期干物质积累和产量形成奠定了重要的生理基础。

2.4 不同施肥处理对樱桃番茄养分含量的影响

植株养分吸收状况是影响作物生长发育和产量形成的关键因素。由表 5 可知,不同施肥处理对

表 5 不同施肥处理对樱桃番茄植株养分含量的影响

Table 5 Effects of different fertilization treatments on nutrient content of cherry tomato plants (g·kg ⁻¹)			
处理 Treatment	w(全氮) Total N content	w(全磷) Total P content	w(全钾) Total K content
CK	1.42±0.60 c	0.31±0.05 a	47.55±2.78 b
T1	5.16±1.02 ab	0.37±0.03 a	71.41±9.85 a
T2	3.00±1.00 c	0.31±0.06 a	59.43±3.75 ab
T3	6.40±1.21 a	0.44±0.05 a	63.99±4.26 ab

樱桃番茄植株氮、磷、钾养分含量产生了显著影响,其中猪场沼液单施或与复合肥配施均表现出明显的促进作用。

在全氮含量方面,T1 和 T3 处理均显著高于 T2 处理和 CK,其中 T3 处理最高($6.40\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$),分别较 T2 处理和 CK 显著提高 113.33%和 350.70%,表明猪场沼液施用能够有效增强樱桃番茄对氮素的吸收能力,且与复合肥配施时效果更为显著。在全钾含量方面,T1 处理表现最优,其次为 T3 和 T2 处理,均高于 CK,其中 T1 处理较 CK 显著提高 50.18%,说明猪场沼液中富含的可溶性钾及有机配位态钾对作物钾素吸收具有良好的促进作用。各处理间植株全磷含量差异不显著,但 T1 和 T3 处理

高于 T2 处理和 CK,表明猪场沼液施用在一定程度上有利于磷素吸收,但其促进效应相对氮、钾较弱。综合来看,单施猪场沼液或与复合肥配施均可提高樱桃番茄对氮、磷、钾等主要养分的吸收水平,其中复合肥与猪场沼液配施在氮素吸收方面表现出更稳定和协同的促进效应,为植株生长和产量形成提供了充足的养分保障。

2.5 不同施肥处理对樱桃番茄品质的影响

不同施肥处理对樱桃番茄果实品质指标产生了显著影响(图 5)。总体来看,猪场沼液单施或与复合肥配施均能显著改善果实内在品质,其中以复合肥与猪场沼液配施处理(T3)的效果最为突出。

由图 5-A 可知,维生素 C 含量在各处理间差异明显,T1、T2、T3 处理和 CK 的维生素 C 含量分别为 424.34 、 289.04 、 490.34 、 $190.21\ \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。T3 处理最高,其次为 T1 和 T2 处理,均显著高于 CK。其中,T3 处理显著高于单施复合肥和 CK,说明沼液与复合肥配施可有效提升果实的营养价值。由图 5-B 可知,T1、T2、T3 处理和 CK 的可溶性蛋白含量分别为 0.18 、 0.11 、 0.24 、 $0.07\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,其中 T3 处理显著高于其他处理,T1 处理次之,均显著高于 T2 处理和 CK,表明猪场沼液施用有助于增强果实蛋白质合成能力。由图 5-C 可知,T1、T2、T3 处理和 CK 的可溶性糖含量分别为 41.30 、 34.12 、 56.43 、 $26.28\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,T3 处理显著高于 T1、T2 处理和 CK,T1 处理次之,显著高于 CK,表明猪场沼液的施用有利于促进果实糖分的积累。由图 5-D 可知,果实氨基酸含量的变化趋势与可溶性蛋白含量基本一

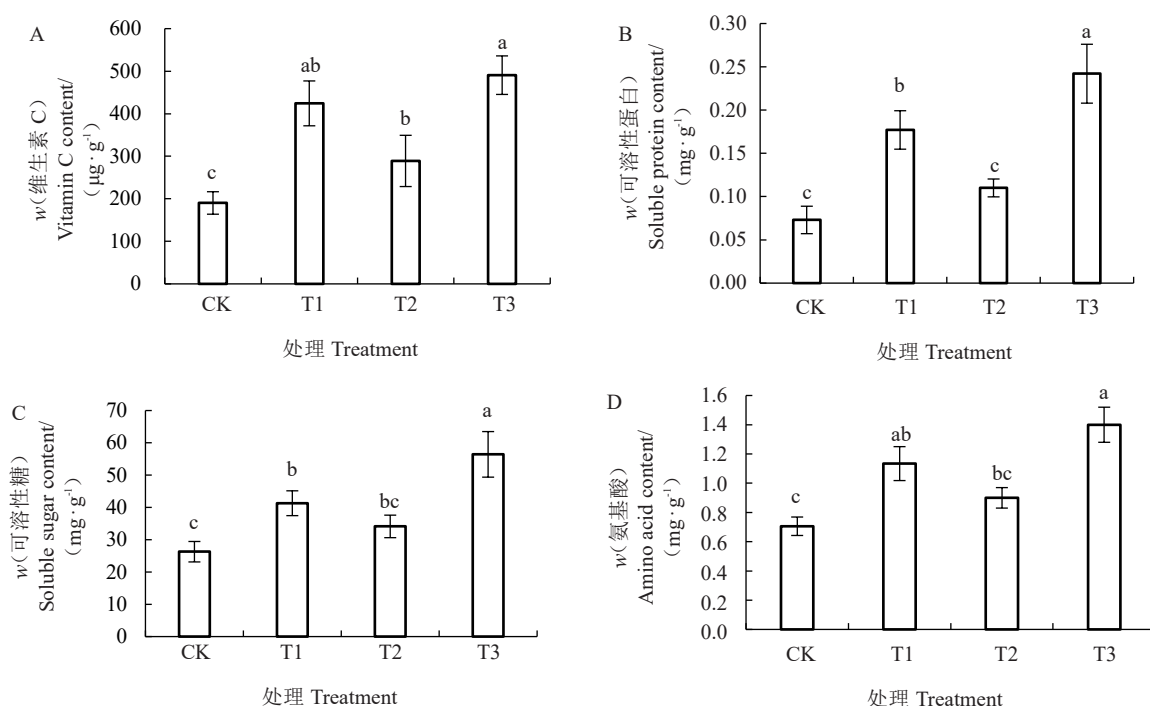


图5 不同施肥处理对樱桃番茄品质的影响

Fig. 5 Effects of different fertilization treatments on fruit quality of cherry tomato

致, T1、T2、T3 处理和 CK 的氨基酸含量分别为 1.13、0.90、1.40、0.71 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$, T3 处理显著高于 T2 处理和 CK, T1 处理显著高于 CK, 说明猪场沼液的施用有利于促进果实含氮化合物的积累。综合来看, 单施猪场沼液或与复合肥配施均可显著提高樱桃番茄果实中可溶性糖、维生素 C、可溶性蛋白和氨基酸含量, 其中复合肥与猪场沼液配施在改善果实品质方面表现出明显的协同优势。

2.6 不同施肥处理对樱桃番茄根区土壤的影响

2.6.1 不同施肥处理对樱桃番茄根区土壤养分含量的影响

不同施肥处理对樱桃番茄根区土壤养分含量产生了显著影响(表 6)。总体来看, 施用猪场沼液、复合肥及其配施均能有效提高土壤氮、磷、钾养分水平, 其中复合肥与猪场沼液配施处理(T3)在多数指标上表现出更为稳定和显著的促进效果。

在土壤全氮含量方面, T1、T2 和 T3 处理均显著高于 CK, 表明不同施肥方式均可有效补充土壤氮素。其中, 沼液单施(T1)和配施处理(T3)的提升幅度略高于单施复合肥, 显示沼液在提高土壤氮素储量方面具有一定优势。土壤全磷和全钾含量在施肥处理下均显著提高, 尤其是 T3 处理在全磷含量上表现最优, 说明复合肥与沼液配施有利于增强土壤磷素积累; 在全钾含量方面, 沼液与复合肥配施处理(T3)提升幅度高于单施复合肥和沼液, 表明沼液配施复合肥在改善土壤钾素供给方面具有积

极作用。

进一步分析速效养分含量发现, 碱解氮、速效磷和速效钾含量在施肥处理下均显著高于 CK。其中, T1 和 T3 处理碱解氮含量的提升幅度显著高于 T2 处理, 表明猪场沼液对土壤速效氮供给的促进作用优于单施复合肥; 而速效磷和速效钾含量均以 T3 处理最高, 显示复合肥与沼液配施在提高土壤速效养分水平方面具有明显的协同效应。

综上所述, 猪场沼液不仅能够直接补充土壤养分, 还可显著改善土壤速效养分供给状况; 其与复合肥的合理配施在增强土壤养分综合供给能力方面表现出更为突出的优势, 为樱桃番茄持续高效生长奠定了良好的土壤养分基础。

2.6.2 不同施肥处理对樱桃番茄根区土壤酶活性的影响

由图 6-A 可知, 土壤酸性磷酸酶活性在 CK、T1、T2、T3 处理下分别为 15.86、15.69、15.58、19.02 $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 其中 T3 处理显著高于其他处理和 CK, 说明配施沼液与复合肥可有效提高土壤酸性磷酸酶活性。由图 6-B 可知, 土壤过氧化氢酶活性在 CK、T1、T2、T3 处理下分别为 39.23、41.02、41.66、45.28 $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 施肥处理均表现出一定的促进作用, 各处理间差异均不显著。由图 6-C 可知, 土壤脲酶活性在 CK、T1、T2、T3 处理下分别为 553.34、684.72、653.35、837.90 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 表明配施处理的提升效果最为显著, 较 CK 显著提高了

表 6 不同施肥处理对樱桃番茄根区土壤养分含量的影响

Table 6 Effects of different fertilization treatments on soil nutrient content in the rhizosphere of cherry tomato						
处理 Treatment	w(全氮) Total N content/ (g·kg ⁻¹)	w(全磷) Total P content/ (g·kg ⁻¹)	w(全钾) Total K content/ (g·kg ⁻¹)	w(碱解氮) Alkaline N content/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效磷) Rapid available P content/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效钾) Rapid available K content/ (mg·kg ⁻¹)
CK	0.84±0.11 b	1.27±0.14 b	11.12±2.10 b	68.03±10.73 c	180.83±25.19 c	127.00±12.79 c
T1	1.28±0.11 a	5.78±0.47 a	18.46±1.34 a	116.08±13.18 a	259.00±34.27 b	173.67±10.38 a
T2	1.18±0.09 a	5.68±1.08 a	19.58±2.13 a	92.18±24.77 b	255.00±48.59 b	159.17±16.20 b
T3	1.26±0.08 a	6.25±0.65 a	19.61±2.51 a	115.33±19.37 a	306.08±22.97 a	179.50±16.03 a

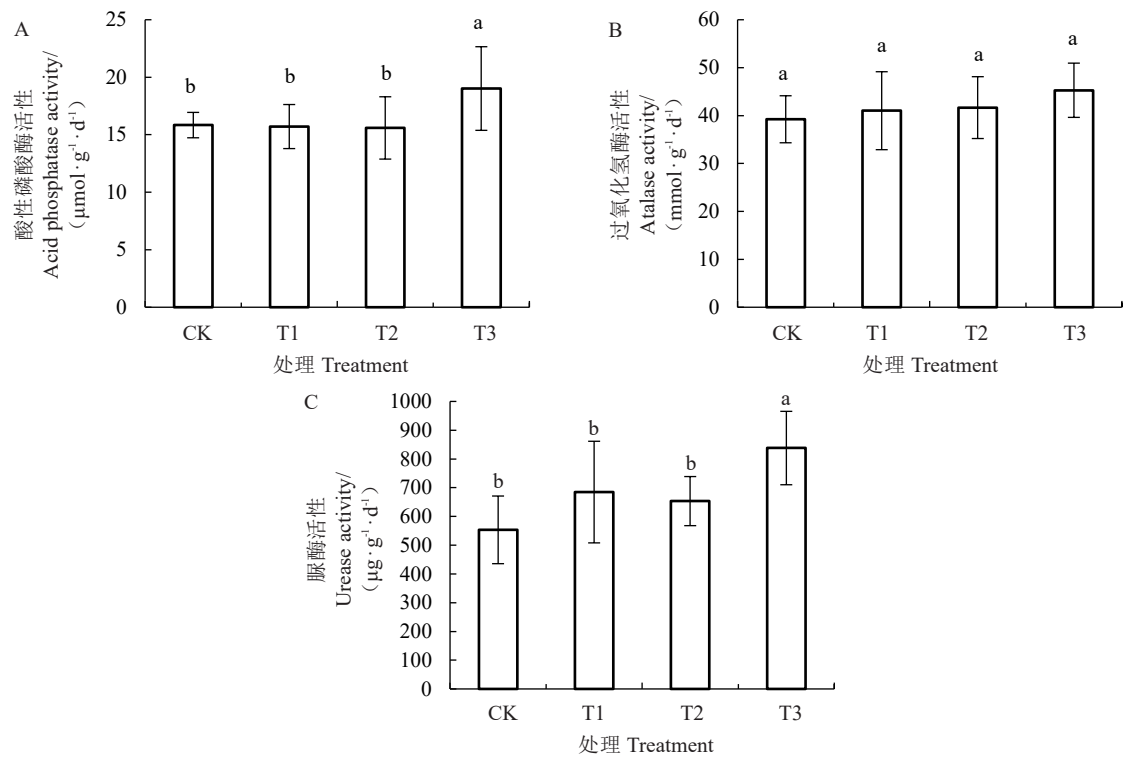


图 6 不同施肥处理对樱桃番茄根区土壤酶活性的影响

Fig. 6 Effects of different fertilization treatments on soil enzyme activity in the rhizosphere of cherry tomato

51.42%。总体来看,沼液与复合肥的合理配施能够显著提高土壤酸性磷酸酶、过氧化氢酶和脲酶活性。

3 讨论

3.1 猪场沼液对樱桃番茄生长和产量形成的促进作用

本研究结果表明,施用猪场沼液可显著促进樱桃番茄的营养生长和产量形成,其中猪场沼液与复合肥配施处理(T3)在株高、分枝数、花序数和果实产量等指标上均表现最优,该结果与有机肥能够提高土壤养分有效性、促进作物营养生长并增强生殖生长能力的研究结论一致^[14]。T3 处理下产量显著提高,主要得益于复合肥提供的速效养分与沼液中

有机质及缓释养分之间的协同作用。复合肥可在作物生长前期快速满足对氮、磷、钾的需求,而沼液能够持续释放养分并改善土壤理化性质,为作物生长提供较为稳定的养分供应环境。研究表明,有机与无机肥配施有利于改善土壤肥力状况、增强养分循环效率,从而实现作物产量和品质的同步提升^[15],此外,有机肥投入还能提高土壤酶活性和微生物活性,促进根系生长并增强光合能力^[16],这可能是本研究中沼液处理显著改善樱桃番茄生长表现的重要原因。

3.2 猪场沼液对樱桃番茄果实品质与养分吸收的影响

本研究发现,猪场沼液施用显著提高了樱桃番茄果实中可溶性糖、可溶性蛋白、维生素 C 和氨基

酸含量,其中以沼液与复合肥配施处理(T3)提升幅度最大,表明该施肥方式有利于果实营养品质的形成。有机肥和沼液可通过改善土壤养分供给条件和促进根际微生物活性,增强作物体内碳氮代谢,从而促进糖类、蛋白质和维生素等营养物质的积累^[17]。本研究中,T3处理提高了植株氮和钾的吸收量,说明沼液在提高养分利用效率和促进养分向果实转运方面具有积极作用。研究表明,有机肥可通过改善根系形态、增强根际酶活性和优化土壤理化性质,促进作物对养分的吸收,有机肥与无机肥的合理配施有助于实现土壤养分释放与作物需肥规律的协调,从而同步提高产量和果实品质^[18]。

3.3 土壤养分富集与生化活性增强效应

本研究结果表明,猪场沼液和复合肥的施用均可显著提高土壤全氮、全磷、全钾以及碱解氮、速效磷和速效钾含量,其中沼液与复合肥配施处理(T3)表现出最稳定和显著的促进效果,这说明猪场沼液不仅能够直接为土壤补充养分,还可通过改善土壤结构和增强养分保持能力,提高养分有效性^[19]。

土壤酶活性是评价土壤肥力和生物活性的重要指标。本研究中,T3处理提高了土壤脲酶、过氧化氢酶和酸性磷酸酶活性,有利于土壤中有机关态氮、磷向植物可吸收形态转化,从而为樱桃番茄生长和养分吸收提供有利条件。

4 结 论

综上所述,50%浓度猪场沼液,尤其在与复合肥配施条件下(T3处理),可显著促进樱桃番茄生长发育和产量形成,提高果实中可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C和氨基酸含量,并增强植株氮、钾养分吸收能力。该施肥方式还能有效提高土壤养分含量和关键酶活性,改善土壤肥力状况。猪场沼液作为液态有机肥资源,与复合肥合理配施可在提高樱桃番茄产量和品质的同时,促进畜禽养殖废弃物资源化利用,对蔬菜作物生产具有一定的应用推广价值。

参考文献

[1] 李翔,鲁素君,唐纪华,等.基于主成分分析和感官鉴定对不同樱桃番茄品种的综合评价[J].中国瓜菜,2025,38(1):72-80.
[2] 魏世晋,李伟,李永慧,等.黄腐酸钾与稻壳生物炭对无土栽培樱桃番茄生长、产量和品质的影响[J].西南农业学报,2025,38(4):715-724.

[3] 叶挺,沈婷婷,王欣怡,等.不同缓释肥对樱桃番茄植株生长及基质养分特性的影响[J].中国瓜菜,2024,37(11):122-131.
[4] 潘博,马新智,刘燕妮,等.设施蔬菜连作障碍成因及综合治理措施[J].现代农业科技,2025(15):40-43.
[5] 窦文娜,傅树豪,曾兆才.化肥减氮配施生物有机肥对设施番茄产量、品质及土壤质量的影响[J].种子科技,2025,43(24):31-33.
[6] 杨天杰,王玉鑫,王佳宁,等.不同基质生物有机肥防控番茄土传青枯病及促生效果研究[J].土壤,2021,53(5):961-968.
[7] 杜彩艳,鲁海燕,熊艳竹,等.连续两年沼液与化肥配施对桃生长及土壤理化性质的影响[J].中国农业科技导报,2023,25(8):165-175.
[8] 温云杰,张纪涛,李琳,等.沼液配施化肥对大葱产量和土壤养分、微生物及酶活性的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2024,32(1):95-105.
[9] 郑健,杨少鸿,宿智鹏,等.生物炭配施沼液对番茄根区土壤养分环境的影响及评价[J].干旱地区农业研究,2023,41(4):96-105.
[10] 张纪涛,史向远,周静,等.沼液配肥对番茄产量与品质及土壤环境的影响[J].西北农业学报,2025,34(6):1057-1064.
[11] 季泓旭,王建东,王传娟,等.沼液配施化肥对盆栽樱桃萝卜生长及品质的影响[J].山东农业科学,2024,56(9):83-90.
[12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
[13] 曹建康,姜微波.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
[14] 赵娜,王小利,何进,等.有机肥替代化学氮肥对黄壤活性有机碳组分、酶活性及作物产量的影响[J].环境科学,2024,45(7):4196-4205.
[15] 王冰,张宇辰,王昕悦,等.持续低量有机肥与化肥配施对绿洲农田土壤肥力和多功能性的影响[J].土壤学报,2025,62(4):1059-1071.
[16] 杨文娜,余砾,罗东海,等.化肥和有机肥配施生物炭对土壤磷酸酶活性和微生物群落的影响[J].环境科学,2022,43(1):540-549.
[17] Liang X Y, Wang H T, Wang C J, et al. Disentangling the impact of biogas slurry topdressing as a replacement for chemical fertilizers on soil bacterial and fungal community composition, functional characteristics, and co-occurrence networks[J]. Environmental Research, 2023, 238(Part 2): 117256.
[18] Bu R Y, Li M, Cheng W L, et al. Subsoil tillage and organic fertilization benefit rice root growth and yield by ameliorating soil compaction and fertility[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2023, 23: 6114-6124.
[19] Mukhtiar A, Mahmood A, Zia A M, et al. Role of biogas slurry to reclaim soil properties providing an eco-friendly approach for crop productivity[J]. Bioresource Technology Reports, 2024, 25: 101716.