DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2026.0044

不同叶面肥对露地越冬樱桃番茄生长、产量和果实品质的影响

邹晓颖[1],刘玉丹[2],邵建明[2],邹优永[2],宋世威[1]

(1.华南农业大学园艺学院 广州 510642; 2.茂名市农业科技推广中心 广东茂名 525099)

摘 要:以千禧樱桃番茄为材料,喷施清水为对照(CK),研究腐殖酸水溶肥(T1)、有机水溶肥 A(T2)、有机水溶肥 B(T3)、鱼蛋白水溶肥(T4)、海藻精水溶肥(T5)、红糖水溶肥(T6)和磷酸二氢钾(T7)共 7 种叶面肥对华南露地越冬栽培樱桃番茄生长、产量和果实品质的影响,以筛选对樱桃番茄增产和品质提升效果最佳的叶面肥。结果表明,与 CK 相比,叶面肥处理使樱桃番茄株高、叶片 SPAD 值分别提高了 5.82%~27.95%、1.06%~10.25%,且可以显著增加樱桃番茄果实的维生素 C、可溶性蛋白、总黄酮、还原性糖、可溶性糖含量,提高了果实糖酸比,并促进果实的成熟转色。除红糖水溶肥(T6)外,其余叶面肥处理较 CK 增产 5.43%~22.38%。主成分分析表明,有机水溶肥 B(T3)的综合评价得分最高,对促进樱桃番茄增产提质的效果最佳,可在实际生产中推广应用。

关键词:樱桃番茄;叶面肥;生长;产量;品质

中图分类号:S641.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-2871(2026)10-139-07

Effects of different foliar fertilizers on the growth, yield and fruit quality of open-field overwintering cherry tomato

Zou Xiaoying[1], Liu Yudan[2], Shao Jianming[2], Zou Youyong[2], Song Shiwei[1]

(*1. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong , China; 2. Maoming Agricultural Science and Technology Extension Center, Maoming 525099, Guangdong, China*)

Abstract: To screen for high-quality foliar fertilizers suitable for overwintering cherry tomato cultivation in open fileds in South China, Qianxi cherry tomato was used at the test material, with clear water spraying as the control(CK). The effects of seven foliar fertilizers: Humic acid water-soluble fertilizer(T1), organic water-soluble fertilizer A(T2), organic water-soluble fertilizer B(T3), fish protein water-soluble fertilizer(T4), seaweed extract water-soluble fertilizer(T5), brown sugar water-soluble fertilizer(T6), and potassium dihydrogen phosphate(T7) on plant growth, yield, and fruit quality were comparatively analyzed. The results showed that compared with the control(CK), all foliar fertilizer treatments increased plant height and leaf SPAD values by 5.82%-27.95% and 1.06%-10.25%, respectively. Meanwhile, they significantly increased the contents of vitamin C, soluble protein, total flavonoids, reducing sugar, and soluble sugar in the fruit, improved the fruit sugar-acid ratio, and promoted fruit ripening and color conversion. Except for brown sugar water-soluble fertilizer (T6), all other foliar fertilizer treatments increased yield by 5.43%-22.38% compared with CK. Principal component analysis indicated that organic water-soluble fertilizer B(T3)received the highest comprehensive evaluation score, demonstrating the most significant effect on increasing yield and improving quality of cherry tomato, and thus it is suitable for promotion and application in practical production.

Key words: Cherry tomato; Foliar fertilizer; Growth; Yield; Quality

樱桃番茄(*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*)为茄科番茄属的栽培变种,是世界范围内广泛栽培的水果型蔬菜之一[1]。樱桃番茄的生育期长,对肥料的需求量大,及时追肥是保证其产量和品质的必要措施。追肥的方式主要包括根部追肥与根外追肥,其中根外追肥以喷施叶面肥为主。叶

收稿日期:2026-01-16;**修回日期:**2026-04-02

基金项目:国家重点研发计划(2023YFD2300702);国家大宗蔬菜产业技术体系(CARS-23-B11)

作者简介:邹晓颖,男,在读硕士研究生,主要从事蔬菜栽培生理研究。E-mail:2137767113@qq.com

通信作者:宋世威,男,教授,主要从事蔬菜生理及分子生物学研究。E-mail:swsong@scau.edu.cn

面肥的种类繁多，依据主要成分可分为无机矿质类、有机矿质类、植物生长调节剂类、微生物类、氨基酸类、腐殖酸类、甲壳素类、海藻素类等[2-3]。叶面肥具有吸收快、靶向性强、利用率高、环境友好等优点，喷施叶面肥是促进作物生长发育、提高作物产量和品质的重要措施之一[4-5]。氨基酸叶面肥广泛应用于果树、蔬菜与大田作物中，具有促进作物养分吸收利用与生长发育、改善果实品质、增加作物产量、增强植株抗逆性等作用[6-8]。腐殖酸叶面肥亦广泛应用于作物栽培中，显著促进作物增产提质[9-11]。海藻肥在草莓[12-13]、番茄[14-15]生产中均有应用，可显著提高果实的产量与品质。叶面喷施磷酸二氢钾可促进作物开花与坐果，提高产量与品质[16-17]。

广东粤西地区越冬露地樱桃番茄产业近年来发展迅速，已成为当地冬种特色产业的重要组成部分，也是全国樱桃番茄的优势产区。目前，市场上的叶面肥种类繁多，质量参差不齐，生产者盲目施用叶面肥的情况普遍存在，科学选用合适叶面肥仍缺乏系统指导。前人关于番茄叶面肥的应用研究多集中于设施栽培的环境条件下，且研究对比的叶面肥种类较为单一，针对华南地区反季节越冬露地栽培的樱桃番茄叶面肥应用研究鲜有报道。本研究以当地主栽的樱桃番茄品种千禧为材料，研究 7 种不同类型的叶面肥对樱桃番茄生长、产量与果实品质的影响，以期筛选出效果最优的叶面肥种类，为露地越冬樱桃番茄的优质高效栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验基地位于广东省茂名市电白区新华农场，海拔 61.6 m，属南亚热带季风气候，年均日照时长约 2161 h，年均气温约 24 ℃，无霜期约为 363 d，年均降雨量约为 1 548.9 mm。试验地块土壤质地为砂壤土，前茬种植水稻，土壤 20 cm 深度处的 pH 为 6.45，碱解氮含量（w，下同）78.89 mg·kg^{-1}，有效磷含量 257.00 mg·kg^{-1}，速效钾含量 88.79 mg·kg^{-1}，交换性钙含量为 1 329.71 mg·kg^{-1}，交换性镁含量为 87.68 mg·kg^{-1}，有机质含量 15.34 g·kg^{-1}。

1.2 试验材料及设计

供试品种为千禧樱桃番茄嫁接苗，由茂名中盈农业科技公司提供。试验时间为 2024 年 10 月至 2025 年 3 月。试验地整地时统一施用优质有机肥 250 kg·667 m^{-2}、有机无机复混肥 150 kg·667 m^{-2}、复合肥（15-5-25）30 kg·667 m^{-2} 作为基肥。试验樱桃番茄采用露地高畦栽培，畦高 0.4 m，畦面宽 0.8 m，沟宽 0.8 m，单个小区面积约 20 m^2（包括畦和沟）；单行种植，南北向，株距 0.6 m，行距 2 m，采取随机区组设计，每个小区定植 20 株，每组处理 3 次重复，共 60 株。于 2024 年 10 月 13 日定植。试验叶面肥信息及喷施浓度或含量如表 1 所示，共 8 个处理，其中 CK 为喷施清水处理，各处理于植株初花期（2024 年 11 月 16 日）进行喷施，每 10 d 喷施 1 次，共喷施 6 次，每次喷施以叶片充分湿润而出现液滴为准。各处理的其余田间栽培管理措施均一致。于植株的盛果期对其生长、产量与果实品质指标进行测定。

1.3 试验指标测定

1.3.1 生长指标 于植株盛果期，每个处理随机挑选 6 株长势均匀的植株测量生长指标。使用卷尺测量植株的株高、主茎生长点倒数第六节位处复叶的叶长（复叶叶柄基部至叶尖长度）和叶宽（复叶最宽处长度），使用游标卡尺测量植株的主茎基部茎粗（嫁接口上 10 cm 处的主茎直径），使用 SPAD-502Plus（KONICA MINOLTA）测量植株主茎生长点倒数第六节位处功能叶的 SPAD 值。

1.3.2 果实外观与产量指标 外观指标：于植株盛果期，各处理随机选取 10 个成熟度一致的果实进行测定，使用游标卡尺测量果实横径、纵径、并计算果形指数（纵径/横径），使用色差仪测量果皮的 L^*、a^*、b^* 的值，并计算色彩饱和度 $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$。产量测定：使用电子天平测量单果质量，定期采收各小区成熟的果实并记录质量，计算平均单株产量与小区产量，再折算为 667 m^2 产量。每次测产时，统计各处理的裂果数并计算裂果率，裂果率/%=（裂果数/总调查果数）×100。

1.3.3 果实品质 于植株盛果期，各处理随机选取 10 个成熟的果实进行测定。采用 ATAGO PAL-BX/ACID3 糖酸一体机测定可溶性固形物含量；采用 GY-4 数显水果硬度计测定果实硬度；采用蒽酮比色法测定果实可溶性糖含量，采用 3,5-二硝基水杨酸法测定还原性糖含量，采用氢氧化钠滴定法测定可滴定酸含量，采用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量，采用钼蓝比色法测定维生素 C 含量，采用水杨酸法测定硝酸盐含量[18]；采用分光光度法测定果实番茄红素含量[19]；采用分光光度法测定果实总黄酮含量[20]。糖酸比=可溶性糖含量/可滴定酸含量；固酸比=可溶性固形物含量/可滴定酸含量。

表 1　叶面肥处理信息

Table 1　Foliar fertilizer treatment information

处理 Treatment	叶面肥种类 Foliar fertilizer type	稀释倍数 Dilution ratio	主要有效成分 Main effective ingredient
CK	清水 Water		
T1	腐殖酸水溶肥 Humic acid water-soluble fertilizer	1000	氮浓度（ρ，后同）≥150 g·L^{-1}，磷浓度≥150 g·L^{-1}，钾浓度≥150 g·L^{-1}，有机质+腐殖酸浓度≥150 g·L^{-1} N concentration≥ 150 g·L^{-1}, P_2O_5 concentration≥ 150 g·L^{-1}, K_2O concentration≥150 g·L^{-1}, Organic matter+Humic acid concentration≥ 150 g·L^{-1}
T2	有机水溶肥 A Organic water-soluble fertilizer A	1000	有机质≥150 g·L^{-1}，氮浓度≥100 g·L^{-1}，磷浓度≥100 g·L^{-1}，钾浓度≥100 g·L^{-1} Organic matter concentration ≥ 150 g·L^{-1}, N concentration≥ 100 g·L^{-1}, P_2O_5 concentration≥ 100 g·L^{-1}, K_2O concentration≥ 100 g·L^{-1}
T3	有机水溶肥 B Organic water-soluble fertilizer B	500	有机质≥120 g·L^{-1}，氮+钾浓度≥60 g·L^{-1}（含甜菊糖） Organic matter concentration ≥ 120 g · L^{-1}, N+K_2O concentration≥ 60 g·L^{-1}（have stevia sugar）
T4	鱼蛋白水溶肥 Fish protein water-soluble fertilizer	1000	氨基酸≥100 g·L^{-1}，钙浓度≥50 g·L^{-1}，锰+锌+硼+钼浓度≥20 g·L^{-1} Amino acid concentration≥100 g·L^{-1}, Ca concentration≥50 g·L^{-1}，Mn+Zn+B+Mo concentration≥20 g · L^{-1}
T5	海藻精水溶肥 Seaweed extract water-soluble fertilizer	2000	海藻酸含量（w，后同）≥25%，腐殖酸含量≥3%，氮含量≥1.5%，磷含量≥2%，钾含量≥18% Seaweed acid content ≥25%, Humic acid content≥ 3%，N content≥ 1.5%, P_2O_5 content≥ 2%, K_2O content≥18%
T6	红糖水溶肥（自制） Brown sugar water-soluble fertilizer（self-made）	红糖 300 倍+尿素 500 倍+磷酸二氢钾 500 倍 Brown sugar 300×+Ureas 500×+Potassium dihydrogen phosphate 500×	红糖、尿素总氮含量≥46%，磷酸二氢钾：磷含量≥52%、钾含量≥34% Brown sugar, Urea: N content≥46%, Potassium dihydrogen phosphate: P_2O_5 content≥52%, K_2O content≥34%
T7	磷酸二氢钾 Potassium dihydrogen phosphate	333	磷酸二氢钾：磷含量≥52%，钾含量≥34% Potassium dihydrogen phosphate: P_2O_5 content≥52%, K_2O content≥ 34%

1.4　数据处理

采用 WPS Office 进行数据的收集整理与绘图，采用 SPSS 27.0 进行数据分析，采用 Duncan 新复极差法进行多重比较。

2　结果与分析

2.1　喷施不同叶面肥对樱桃番茄生长的影响

由表 2 可知，各叶面肥处理均显著提高了樱桃番茄的株高，与 CK 相比，提高了 5.82%~27.95%，其中 T3 处理的株高最大，为 153.8 cm。T3 处理的茎粗最大，为 14.68 mm，比 CK 提高了 6.15%。除 T5 处理外，其余处理的叶长均比 CK 大。T1 处理的叶宽显著大于 CK，其余处理的叶宽与 CK 无显著差异。各叶面肥处理叶片的 SPAD 值均高于 CK，比 CK 提高 1.06%~10.25%，其中 T6 处理的最高，为 55.18。

表 2　叶面肥对樱桃番茄生长的影响

Table 2　Effects of foliar fertilizers on the growth of cherry tomato

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	SPAD 值 SPAD value
CK	120.20±1.47 e	13.83±0.26 bcd	19.60±0.36 cd	13.40±0.19 b	50.05±0.68 d
T1	130.80±1.83 bcd	14.12±0.30 abc	20.70±0.27 a	13.90±0.19 a	51.82±0.99 bcd
T2	130.20±1.64 cd	14.23±0.13 ab	20.50±0.24 ab	13.30±0.11 b	50.58±0.88 cd
T3	153.80±2.17 a	14.68±0.23 a	20.40±0.23 abc	13.30±0.23 b	53.77±0.71 ab
T4	135.50±1.75 bc	13.77±0.24 bcde	20.40±0.27 abc	13.20±0.18 b	52.95±0.94 abc
T5	136.30±1.67 b	13.50±0.15 cde	19.30±0.24 d	12.90±0.23 b	52.58±0.91 abcd
T6	127.20±1.83 d	13.15±0.13 e	20.10±0.30 abcd	13.10±0.29 b	55.18±1.09 a
T7	131.30±2.54 bcd	13.20±0.17 de	19.70±0.26 bcd	12.90±0.15 b	53.12±1.02 abc

注：同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

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

2.2 喷施不同叶面肥对樱桃番茄果实外观品质的影响

由表3可知，T1处理的果实横径、纵径分别为29.98、35.94 mm，比CK显著增加了5.56%、6.11%。T3处理果形指数最小，果实偏圆形；T5处理的果形指数最大，果实偏椭圆形。各叶面肥处理的果皮*L**值均低于CK，但*a**值与色彩饱和度*C**均显著高于CK，分别较CK提高了6.52%~16.13%、6.02%~14.56%，各处理的*b**值除T2外均与CK无显著差异。

表3 叶面肥对樱桃番茄果实外观品质的影响

Table 3 Effects of foliar fertilizers on fruit appearance quality of cherry tomato

处理 Treatment	横径 Transverse diameter/mm	纵径 Vertical diameter/mm	果形指数 Fruit shape index	*L**	*a**	*b**	*C**
CK	28.40±0.22 cd	33.87±0.30 d	1.19±0.01 bc	34.30±0.23 a	15.19±0.21 c	8.58±0.27 b	17.45±0.26 c
T1	29.98±0.25 a	35.94±0.38 ab	1.20±0.02 b	33.85±0.19 abc	16.83±0.46 ab	8.80±0.16 b	18.99±0.46 ab
T2	29.80±0.20 ab	35.05±0.27 bc	1.18±0.01 bc	34.09±0.22 ab	17.64±0.22 a	9.40±0.17 a	19.99±0.25 a
T3	29.73±0.34 ab	34.27±0.27 cd	1.16±0.02 c	33.76±0.30 abc	16.81±0.41 ab	8.92±0.22 ab	19.03±0.45 ab
T4	29.23±0.29 ab	36.29±0.39 a	1.24±0.01 a	33.30±0.30 c	16.56±0.17 ab	8.65±0.08 b	18.68±0.15 b
T5	28.05±0.28 d	35.19±0.31 bc	1.26±0.01 a	33.41±0.21 bc	16.61±0.43 ab	8.97±0.15 ab	18.88±0.43 ab
T6	29.00±0.34 bc	34.31±0.30 cd	1.18±0.01 bc	33.76±0.20 abc	17.07±0.34 ab	8.83±0.15 b	19.22±0.36 ab
T7	29.50±0.26 ab	35.13±0.31 bc	1.19±0.01 bc	34.00±0.17 abc	16.18±0.23 b	8.96±0.15 ab	18.50±0.25 b

2.3 喷施不同叶面肥对樱桃番茄裂果率、产量的影响

由表4可知，与CK相比，叶面肥处理使樱桃番茄的裂果率降低了0.86~7.93百分点。各叶面肥处理的单果质量均大于CK，比CK增大2.45%~19.83%，其中T1处理的单果质量最大，为18.13 g。除T6处理外，其余叶面肥处理产量较CK增产5.43%~22.38%，其中T7处理667 m^2产量最高，为2 195.76 kg·667 m^{-2}，其次为T3、T1、T4、T2、T5处理。

表4 叶面肥对樱桃番茄裂果率与产量的影响

Table 4 Effects of foliar fertilizers on fruit cracking rate and yield of cherry tomato

处理 Treatment	裂果率 Fruit cracking rate/%	单果质量 Single fruit mass/g	产量 Yield/（kg·667 m^{-2}）	较CK增产 Yield more than CK/%
CK	15.23	15.13±0.31 d	1 794.23±24.03 e	
T1	11.43	18.13±0.29 a	2 114.39±11.48 b	17.84
T2	13.02	16.84±0.43 b	1 958.31±22.62 c	9.14
T3	14.37	16.47±0.27 bc	2 141.07±23.51 b	19.33
T4	13.10	16.80±0.52 b	2 093.05±14.07 b	16.65
T5	9.43	15.50±0.28 cd	1 891.61±6.35 d	5.43
T6	7.30	16.18±0.44 bcd	1 684.84±5.15 f	−6.10
T7	7.69	17.05±0.44 b	2 195.76±18.84 a	22.38

2.4 喷施不同叶面肥对樱桃番茄果实品质的影响

2.4.1 对果实营养品质的影响 由表5可知，与CK相比，叶面肥处理使樱桃番茄果实的维生素C含量提高了6.24%~31.03%，可溶性蛋白含量（除T5外）提高了2.28%~34.19%，总黄酮含量提高了9.68%~25.81%。T3处理的果实番茄红素含量最高，为38.43 mg·100 g^{-1}，较CK增加32.56%。各叶面肥处理的果实硝酸盐含量较CK降低了4.64%~14.10%，其中T2处理的硝酸盐含量最低，为132.65 mg·kg^{-1}。T1、T3、T4、T5处理的果实硬度均显著小于CK。

2.4.2 对果实糖酸风味的影响 由表6可知，T5、T6处理的果实可溶性固形物含量均显著高于CK，分别较CK提高了3.90%、5.58%。叶面肥处理的果实还原性糖与可溶性糖含量分别较CK提高了1.28%~21.17%、1.86%~26.36%。与CK相比，T1、T2、T4、T7处理显著降低了樱桃番茄果实的可滴定酸含量，其中T1处理的可滴定酸含量最低，为0.41%，较CK低8.89%。叶面肥处理使樱桃番茄果

表 5　叶面肥对樱桃番茄果实营养品质的影响

Table 5　Effects of foliar fertilizers on fruit nutritional quality of cherry tomato

处理 Treatment	*w*（维生素 C）Vitamin C content/（mg·100 g^{-1}）	*w*（可溶性蛋白）Soluble protein content/（mg·100 g^{-1}）	*w*（总黄酮）Total flavonoids content/（mg·g^{-1}）	*w*（番茄红素）Lycopene content/（mg·100 g^{-1}）	*w*（硝酸盐）Nitrate content/（mg·kg^{-1}）	果实硬度 Fruit firmness/（kg·cm^{-2}）
CK	22.59±0.09 c	14.45±0.61 b	0.31±0.01 c	28.99±0.69 bcd	154.43±1.76 a	8.73±0.13 a
T1	26.79±0.69 b	14.90±0.88 b	0.39±0.01 a	36.77±0.75 a	132.96±2.60 e	7.65±0.19 b
T2	24.00±0.83 c	18.52±0.30 a	0.34±0.01 bc	30.73±0.66 b	132.65±1.27 e	8.75±0.19 a
T3	27.45±0.50 ab	19.39±0.69 a	0.38±0.01 a	38.43±0.81 a	147.26±3.47 ab	7.67±0.31 b
T4	27.99±0.20 ab	15.56±0.35 b	0.37±0.02 ab	28.42±0.30 cd	133.94±3.12 de	7.45±0.24 b
T5	26.66±0.68 b	14.42±0.64 b	0.36±0.01 ab	24.88±0.32 e	144.17±3.31 abc	7.55±0.17 b
T6	29.60±0.21 a	14.78±0.35 b	0.34±0.01 bc	30.07±0.62 bc	137.00±4.29 cde	8.65±0.12 a
T7	26.19±0.72 b	16.12±1.35 b	0.34±0.01 bc	28.04±0.21 d	142.63±3.68 bcd	8.32±0.25 a

表 6　叶面肥对樱桃番茄果实糖酸风味的影响

Table 6　Effects of foliar fertilizers on the sugar-acid flavor of cherry tomato fruit

处理 Treatment	*w*（可溶性固形物）Soluble solids content/%	*w*（还原性糖）Reducing sugar content/（mg·g^{-1}）	*w*（可溶性糖）Soluble sugar content/%	*w*（可滴定酸）Titratable acid content/%	糖酸比 Sugar-acid ratio	固酸比 Solid-acid ratio
CK	9.49±0.11 c	25.74±0.13 d	6.45±0.05 e	0.45±0.01 a	14.33±0.24 c	21.09±0.31 b
T1	9.51±0.10 c	29.65±0.37 ab	7.38±0.16 bc	0.41±0.01 c	18.00±0.41 ab	23.20±0.34 a
T2	9.37±0.08 c	26.48±0.81 cd	6.81±0.09 de	0.42±0.01 bc	16.21±0.49 b	22.31±0.15 ab
T3	9.64±0.09 bc	29.21±0.62 b	7.85±0.03 ab	0.45±0.01 a	17.44±0.17 ab	21.42±0.52 ab
T4	9.49±0.07 c	28.88±0.31 b	7.34±0.28 c	0.42±0.01 bc	17.48±0.89 ab	22.60±0.19 ab
T5	9.86±0.15 ab	27.97±0.33 bc	6.57±0.08 de	0.45±0.02 a	14.60±0.68 c	21.91±0.71 ab
T6	10.02±0.11 a	31.19±0.80 a	8.15±0.25 a	0.44±0.01 abc	18.52±0.70 a	22.77±0.45 ab
T7	9.62±0.07 bc	26.07±0.70 d	7.03±0.12 cd	0.42±0.01 bc	16.74±0.47 b	22.90±0.66 ab

实糖酸比较 CK 提高了 1.88%~29.24%，其中 T6 处理的糖酸比最高，为 18.52。T1 处理的固酸比最高，为 23.20，显著高于 CK，其余各处理间的固酸比无显著差异。

2.5　不同叶面肥处理的樱桃番茄果实指标主成分分析

2.5.1　主成分分析　对样本数据进行 KMO 检验（Kaiser-Meyer-Olkin）和巴特利球形检验（Bartlett's Test of Sphericity），结果表明，KMO 值为 0.581，大于 0.5，且巴特利球形检验的显著性小于 0.001，说明样本数据适合进行主成分分析（Principal components analysis，PCA）。对樱桃番茄果实的 9 个指标进行主成分分析，共提取出 3 个特征值大于 1 的主成分，累计方差贡献率达 77.71%（表 7）。PC1 的特征值为 3.46，方差贡献率为 38.43%，其中贡献度最大的指标为糖酸比，载荷值为 0.867，其次为维生素 C 含量、可溶性固形物含量、总黄酮含量、番茄红素含量，载荷值分别为 0.834、0.790、0.737、0.719，表明 PC1 主要与樱桃番茄果实的营养风味相关。PC2 的特征值为 2.04，方差贡献率为 22.62%，其中贡献

表 7　樱桃番茄果实指标旋转后的成分矩阵、特征值及方差贡献率

Table 7　Rotated component matrix, eigenvalue, and variance contribution rate of cherry tomato fruit indicators

指标 Index	主成分 Principal component		
	PC1	PC2	PC3
番茄红素含量 Lycopene content（X_1）	0.719	0.039	0.498
可滴定酸含量 Titratable acid content（X_2）	0.313	0.849	−0.205
可溶性蛋白含量 Soluble protein content（X_3）	0.279	0.657	0.336
可溶性糖含量 Soluble sugar content（X_4）	0.189	0.116	0.879
糖酸比 Sugar−acid ratio（X_5）	0.867	0.171	0.067
维生素 C 含量 Vitamin C content（X_6）	0.834	0.319	0.212
总黄酮含量 Total flavonoids content（X_7）	0.737	0.434	0.224
产量 Yield（X_8）	−0.337	0.738	0.472
可溶性固形物含量 Soluble solids content（X_9）	0.790	−0.074	−0.048
特征值 Eigenvalue	3.46	2.04	1.50
方差贡献率 Variance contribution rate/%	38.43	22.62	16.66
累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%	38.43	61.05	77.71

度最大的为可滴定酸含量，载荷值为0.849，其次为产量和可溶性蛋白含量，载荷值分别为0.738、0.657，说明PC2主要与果实可滴定酸含量和产量相关。PC3的特征值为1.50，贡献率为16.66%，其中贡献度最大的指标为可溶性糖含量，载荷值为0.879，说明其主要代表可溶性糖含量。

2.5.2 不同叶面肥综合得分评价 对样本指标进行标准化处理后，根据各指标的成分得分系数矩阵，构建各主成分得分函数：

$F1=0.185X_1+0.035X_2-0.020X_3-0.054X_4+0.273X_5+0.227X_6+0.178X_7-0.260X_8+0.228X_9$；

$F2=-0.174X_1+0.539X_2+0.229X_3-0.152X_4-0.010X_5+0.053X_6+0.133X_7+0.390X_8-0.127X_9$；

$F3=0.320X_1-0.405X_2+0.096X_3+0.684X_4-0.088X_5+0.002X_6-0.002X_7+0.265X_8-0.119X_9$。

式中，X_1~X_9为樱桃番茄果实9项指标的标准化数据。再根据各主成分的方差贡献率所占权重，构建综合得分评价函数：$F=0.495F1+0.291F2+0.214F3$，计算各处理的综合得分（表8），排名从高到低依次为T3（有机水溶肥B）、T6（红糖水溶肥）、T1（腐殖酸水溶肥）、T4（鱼蛋白水溶肥）、T7（磷酸二氢钾）、T2（有机水溶肥A）、T5（海藻精水溶肥）、CK（清水）。综合得分排名越高，说明相应的叶面肥对提高樱桃番茄果实品质与产量的效果越好。值得注意的是，T6（红糖水溶肥）排名第二，说明其对提高樱桃番茄果实品质的效果较好，但因其导致了减产，在实际生产中需谨慎使用。综合果实品质与产量分析考虑，T3（有机水溶肥B）、T1（腐殖酸水溶肥）、T4（鱼蛋白水溶肥）对促进樱桃番茄增产提质的效果更好，实际生产应用价值更大。

表8 不同叶面肥主成分分析的得分

Table 8 Score of principal component analysis for different foliar fertilizers

处理 Treatment	*F*1	*F*2	*F*3	综合得分 *F* Comprehensive score *F*	排名 Rank
CK	−1.233	−0.514	−1.708	−1.126	8
T1	0.368	1.517	−0.504	0.516	3
T2	−0.153	−0.220	−0.773	−0.305	6
T3	0.278	1.383	0.524	0.652	1
T4	0.161	0.145	0.477	0.224	4
T5	−0.476	−1.182	1.062	−0.352	7
T6	2.086	−1.137	−0.238	0.649	2
T7	−1.031	0.009	1.161	−0.258	5

3 讨论与结论

叶面肥可促进植株的生长发育，改善植株的营养状态，为作物的增产提质提供保障[2,5]。本研究结果表明，喷施不同的叶面肥对樱桃番茄的生长有显著的促进作用，其中T3（有机水溶肥B）处理的效果最佳，这与前人在番茄[21]、菜心[22]上喷施叶面肥的研究结果相似。在本研究中，各叶面肥处理均提高了樱桃番茄的叶片SPAD值，这与前人在番茄[23]上喷施生物刺激素的研究结果相似。

樱桃番茄易裂果，喷施适合的叶面肥是降低裂果率的重要措施之一[24]。本研究结果表明，喷施叶面肥在一定程度上降低了樱桃番茄果实的裂果率，前人研究也得出相似的结果[25]。大多数叶面肥处理提高了樱桃番茄的产量，但生产者较为普遍采用的自制红糖水溶肥处理（T6）却使产量降低了6.10%。这可能是由喷施浓度不适宜、叶片吸收红糖效率低、红糖堵塞叶片气孔等造成的。

果实的外观品质直接影响果实的商品价值。本研究结果表明，T3（有机水溶肥B）处理果实偏圆形；T5（海藻精水溶肥）处理果实偏椭圆形，这可能与叶面肥中有效活性成分的差异相关，这与前人在葡萄[26]、小型西瓜[27]上喷施叶面肥的研究结果相似。研究发现，喷施叶面肥可促进果实着色[28]。本研究也得出相似的结果，不同叶面肥处理有提高樱桃番茄果皮a^*值以及色彩饱和度的作用，促进了果实的成熟与着色。

研究表明，叶面肥在提高作物营养品质方面的效果显著[4,29]。本研究结果表明，各叶面肥处理在不同程度上均改善了樱桃番茄果实的营养品质，这与前人在白菜[30]、红蒜[31]上的研究结果相似。果实的糖酸含量是影响其风味口感的重要指标。本研究结果表明，叶面肥处理在不同程度上增加了樱桃番茄果实的可溶性糖与还原性糖含量，并降低了可滴定酸含量，提高了果实的糖酸比，这与前人在番茄上的研究结果相似[21,32]。衡量樱桃番茄果实品质的指标众多，不同指标间存在一定的相关性，多指标容易造成信息的重叠冗余，为了更加清晰地了解何种叶面肥对促进樱桃番茄增产提质的效果更好，本试验采用了主成分分析法对樱桃番茄果实指标进行提取分析并排名，使分析结果更加客观。

主成分综合评价得分表明，T3（有机水溶肥B）处理对促进露地越冬樱桃番茄的生长发育和增产提质的综合效果最佳，与CK相比，其显著促进了樱

桃番茄株高、茎粗以及SPAD值的增大，显著提高了果皮的*a**值与色彩饱和度，显著提高果实的维生素C、可溶性蛋白、总黄酮、可溶性糖、还原性糖含量以及糖酸比，并降低了果实的硝酸盐含量，显著提高了果实产量。此外，T1（腐殖酸水溶肥）和T4（鱼蛋白水溶肥）处理的效果也较出色，可在实际生产中推广应用。

参考文献

[1] 沈衡，王琳，李骞，等.番茄风味和功能性成分研究进展[J].园艺学报，2024，51（2）：423-438.

[2] 李小明，龙惊惊，周悦，等.叶面肥的应用及研究进展[J].安徽农业科学，2017，45（3）：127-130.

[3] 张强，常瑞雪，胡兆平，等.生物刺激素及其在功能水溶性肥料中应用前景分析[J].农业资源与环境学报，2018，35（2）：111-118.

[4] 侯晨薇，郭亚晴，程诚，等.叶面肥在农业生产中的作用与机制研究进展[J].中国农学通报，2025，41（11）：132-139.

[5] 李燕婷，李秀英，肖艳，等.叶面肥的营养机理及应用研究进展[J].中国农业科学，2009，42（1）：162-172.

[6] El-Khayat L，Elbagory M，Elsadek M，et al.Enhancing growth，yield，and antioxidant activity of bitter gourd（*Momordica charantia* L.）through amino acid foliar spray application[J].Horticulturae，2024，10（1）：41.

[7] Abdelkader M，Voronina L，Baratova L，et al.Biostimulants-based amino acids augment physio-biochemical responses and promote salinity tolerance of lettuce plants（*Lactuca sativa* L.）[J].Horticulturae，2023，9（7）：807.

[8] 朱承俭，韩瑞民.氨基酸叶面肥在果树上的应用效果分析[J].河南农业，2020（10）：26-27.

[9] Huang G J，Miao H F，Chen Y Q，et al.Spraying humic acid regulator on cultivated *Codonopsis pilosula*（Franch.）Nannf.to improve yield of active constituents[J].Frontiers in Plant Science，2024，15（1）：1381182.

[10] 李香宇，张星星，夏杜菲，等.喷施新型腐植酸对谷子籽粒产量和品质的影响[J].中国农业大学学报，2024，29（6）：68-76.

[11] 关峰，刘义梅，汪安斌，等.腐植酸水溶肥对高海拔烤烟生长及品质的影响[J].中国土壤与肥料，2024（5）：136-142.

[12] 姜洁，龚一富，郭蓉，等.海藻生物肥对草莓产量和品质的影响[J].核农学报，2019，33（5）：1032-1037.

[13] Li J，Brecht J K，Kim J，et al.Seaweed extract and microbial biostimulants show synergistic effects on improving organic strawberry production[J].HortScience，2024，59（8）：1114-1126.

[14] 王强，石伟勇.海藻肥对番茄生长的影响及其机理研究[J].浙江农业科学，2003（2）：67-70.

[15] 金昊宇.叶面喷施海藻生物肥对水果番茄生长、品质和生理生化的影响[D].浙江宁波：宁波大学，2019.

[16] 刘会云，胡冬南，郭晓敏，等.磷酸二氢钾对油茶开花与保果的影响[J].经济林研究，2022，40（2）：17-30.

[17] Saleh M M S，Ashour N E，El-Sheikh M H，et al.Foliar sprays of potassium dihydrogen phosphate and their impact on yield，fruit quality and controlling powdery mildew disease of thompson seedless grapevines[J].American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences，2007，2（2）：133-140.

[18] 王学奎，黄见良.植物生理生化实验原理与技术[M].北京：高等教育出版社，2015.

[19] 李毅琳，胡敏予，瞿树林，等.番茄红素简便测定方法的应用与分析[J].食品科学，2007（3）：268-270.

[20] 丁志忠，卢新生，刘伯渠.植物中黄酮类化合物提取分离和结构测定方法研究[J].山东化工，2023，52（9）：124-127.

[21] 王超，张宗翊，赵宝龙，等.不同叶面肥对温室番茄生长和果实品质的影响[J].中国瓜菜，2024，37（12）：126-132.

[22] 胡芳，梁柏可，刘建国，等.“金村秋”叶面肥对菜心生长及品质的影响[J].山东农业科学，2024，56（8）：117-122.

[23] 方雪娟，宋梦圆，高丽红，等.多效唑和两种生物刺激素对基质培番茄生长、产量和品质的影响[J].中国蔬菜，2023（10）：67-73.

[24] 马吉林，郝佳玉，姚旭东，等.喷施不同钙硼肥对口感型番茄裂果和品质的影响[J].北京农学院学报，2023，38（3）：65-69.

[25] 杨帆.不同外源物质处理对番茄裂果及相关性状的影响[D].南京：南京农业大学，2022.

[26] 涂海华，周坚，毛宇，等.天然海藻肥对“夏黑”葡萄植株生长及果实品质的影响[J].中国土壤与肥料，2019（4）：213-217.

[27] 刘敏德，何声团.不同叶面肥组合对小型西瓜长势和品质的影响[J].北方园艺，2017（22）：59-62.

[28] 唐岩，孙燕霞，宋来庆，等.‘红侠’钾肥促进富士苹果果实着色试验[J].烟台果树，2021（1）：12-13.

[29] 高程斐，肖雪梅，高志建.不同种类叶面肥对设施番茄营养品质及产量的影响[J].中国瓜菜，2026，39（3）：149-157.

[30] 王立平，李旭军，季卫，等.叶面喷施氨基酸水溶肥料对大白菜产量和维生素C含量的影响[J].中国蔬菜，2009（24）：69-71.

[31] 王梦丽，韦静静，周世洋，等.生物刺激素对麻江红蒜生长及产量和品质的影响[J].中国蔬菜，2024（1）：81-89.

[32] 潘烨，谢贞清，金娟.鱼蛋白有机肥料对番茄果实甜度及风味的影响[J].农业工程技术，2021，41（10）：62-64.