

植物生长调节剂+叶面肥对台农 1 号芒果无胚果果实膨大及品质的影响

黄琦¹, 吴然¹, 陆英¹, 杨振荣¹, 王皆胜¹, 陆惠琼¹, 张汉莉²

1. 广西百色市芒果研究中心, 广西百色 533000; 2. 百色市农产品质量安全检测中心, 广西百色 533000

摘要: 本研究通过探索在坐果适当时机喷施不同植物生长调节剂+叶面肥药肥组合对台农 1 号芒果无胚果果实膨大及品质的影响, 为台农 1 号芒果无胚果优质高产栽培技术提供科学依据, 为其他中小型芒果无胚果科学膨大用药肥提供参考。2022—2024 年, 以台农 1 号芒果无胚果作为试验材料, 设置 4 个叶面喷施处理方案: (1) 对照 (CK), 喷施叶面肥; (2) T₁ 处理, 喷施赤霉素 (GA₃) + 叶面肥; (3) T₂ 处理, 喷施 GA₃ + 植物生长调节剂 + 叶面肥; (4) T₃ 处理, 喷施复配植物生长调节剂成品 + 叶面肥, 测定和分析台农 1 号芒果无胚果生长发育及果实品质指标。结果表明: 在果实纵径 6~10 mm 开始连续喷施 GA₃ + 植物生长调节剂 + 叶面肥 4 次, 成熟后 T₁~T₃ 处理的青果单果质量均大于 100 g, 而 CK 青果单果质量为 67.55 g, 膨果效果明显, 其中 T₃ 处理青果单果质量较 CK 提高 98.98%; T₁~T₃ 处理显著提高钙含量; T₁~T₃ 处理显著降低青果果实密度、失重率、总酸含量、维生素 C 含量; T₁~T₃ 处理对果形指数影响不显著; T₂ 处理显著降低可溶性固形物含量, T₁、T₃ 处理对可溶性固形物含量影响不显著; T₁、T₃ 处理显著提高固酸比, 其中 T₁ 处理固酸比较 CK 显著提高 45.34%, T₂ 处理对固酸比影响不显著; T₁、T₃ 处理显著提高镁含量, T₂ 处理对镁含量影响不显著; T₁、T₂ 处理显著降低钾含量, T₃ 处理对钾含量影响不显著; 各处理台农 1 号芒果无胚果果实均未检出所使用植物生长调节剂残留。根据台农 1 号芒果无胚果果实品质综合评分, T₁ 处理果实品质最好, 其次是 T₃ 处理, 但 T₁ 处理完熟后单果质量低于 100 g, 不能够完全满足市场对单果质量的要求, 综合考虑, 在台农 1 号芒果无胚果生产中推荐应用 T₃ 处理的药肥组合。

关键词: 台农 1 号芒果; 无胚果; 植物生长调节剂; 膨大; 品质

中图分类号: S667.7 文献标志码: A

Impact of Plant Growth Regulators Combined with Foliar Fertilizers on Fruit Expansion and Quality of Seedless Fruits of Tainong No.1 Mango

HUANG Qi¹, WU Ran¹, LU Ying¹, YANG Zhenrong¹, WANG Jiesheng¹, LU Huiqiong¹, ZHANG Hanli²

1. Mango Research Center of Baise, Baise, Guangxi 533000, China; 2. Agricultural Product Quality and Safety Testing Center of Baise, Baise, Guangxi 533000, China

Abstract: The effects of spraying different combinations of plant growth regulators and foliar fertilizers at the appropriate fruit-setting time on the fruit expansion and quality of seedless fruits of Tainong No.1 mango were studied to provide a scientific basis for the high-quality and high-yield cultivation techniques of seedless fruits of Tainong No.1 mango, and to offer a reference for the scientific application of fertilizers for the expansion of seedless fruits of other small-and medium-sized mangoes. From 2022 to 2024, the seedless fruits of Tainong No.1 mango were used and four foliar spraying treatment schemes were set up, the control group (CK) with foliar fertilizer, T₁ treatment with gibberellic acid + foliar fertilizer, T₂ treatment with gibberellic acid + plant growth regulator + foliar fertilizer, and T₃ treatment

收稿日期 2025-02-12; 接受日期 2025-03-20

基金项目 国家现代农业产业技术体系广西芒果创新团队建设项目 (No. nycytxgxcxtd-2021-06-05); 百色市科学研究与技术开发计划课题 (百科 20222032)。

作者简介 黄琦 (1977—), 女, 本科, 高级农艺师, 研究方向: 果树栽培技术研究与推广, E-mail: 27252634@qq.com。

with compound plant growth regulator product + foliar fertilizer. The growth and development and fruit quality indicators of the seedless fruits were measured and analyzed. The results showed that when the fruits were 6-10 mm in size, spraying gibberellic acid + plant growth regulator + foliar fertilizer four times, the single-fruit weight of green fruits in T_1 and T_3 treatments was greater than 100 g, while the average single-fruit weight of green fruits in CK was 67.55 g, and the fruit-expanding effect was obvious. Among them, the average single-fruit weight of green fruits in T_3 treatment increased by 98.98% compared with CK. T_1 and T_3 treatments significantly increased the calcium content. T_1 and T_3 treatments significantly decreased the average density, weight loss rate, total acid content, and vitamin C content of green fruits. T_1 and T_3 treatments had no significant effect on the fruit shape index. T_2 treatment significantly decreased the soluble solid content, while T_1 and T_3 treatments had no significant effect on the soluble solid content. T_1 and T_3 treatments significantly increased the solid-acid ratio. Among them, T_1 treatment significantly increased the solid-acid ratio, which was 45.34% higher than CK, and T_2 treatment had no significant effect on the solid-acid ratio. T_1 and T_3 treatments significantly increased the magnesium content, while T_2 treatment had no significant effect on the magnesium content. T_1 and T_2 treatments significantly decreased the potassium content, while T_3 treatment had no significant effect on the potassium content. No residues of the used plant growth regulators were detected in the fruits. 1 mango in each treatment. Comprehensive score of the fruit quality of the fruits revealed the fruit quality of T_1 treatment was the best, followed by T_3 treatment. However, the single-fruit weight of T_1 treatment after full ripening was less than 100 g, which could not fully meet the market's requirement for single-fruit weight. The fertilizer combination of T_3 treatment is recommended for the production of seedless fruits of Tainong No.1 mango.

Keywords: Tainong No.1 mango; seedless fruits; plant growth regulators; expansion; quality

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.07.013

台农 1 号芒果果实外形美观, 味香, 清甜爽口, 纤维极少, 果汁多, 糖分高, 果皮稍厚, 较耐炭疽病, 耐运输贮藏^[1], 兼具鲜食、加工的良好特性。截至 2023 年, 台农 1 号芒果在百色市种植面积约 4.10 万 hm^2 , 占百色芒果总种植面积(约 8.58 万 hm^2)的 47.67%, 是百色芒果的主栽品种, 其无胚果凭借风味浓郁、质优、量大等优势, 成为全国各大芒果加工企业的首选果品, 近年需求量剧增。据调查, 加工企业采购一般要求单果质量在 100 g 以上, 而台农 1 号芒果无胚果在自然生长的情况下, 质量普遍仅约 30 g^[2]; 同时加工企业也反映, 当前部分芒果种植户为追求无胚果单果质量, 在生产台农 1 号芒果无胚果过程中有频繁、超大剂量使用赤霉酸 (GA_3)、氯吡脲 (CPPU)、噻苯隆 (TDZ) 等植物生长调节剂膨大果实现象, 导致部分无胚果果皮滞绿^[3], 难以完全后熟, 品质风味达不到加工要求, 对百色芒果品牌造成一定负面影响。因此, 引导果农在台农 1 号芒果无胚果生产中科学合理地使用植物生产调节剂, 是百色台农 1 号芒果无胚果提质增效的关键。针对此问题, 2022—2024 年笔者开展喷施不同植物生长调节剂+叶面肥对台农 1 号芒果无胚果果实膨大及品质影响的研究。

植物生长调节剂对水果果实膨大效果明显, 已在葡萄^[4]、猕猴桃^[5]、无花果^[6]、荔枝^[7]、芒果

等多种水果上广泛应用。近年来有植物生长调节剂在芒果上的应用报道, 田庆恒等^[8]认为紫花芒果花后喷施 4 次 5.00 mg/kg 的 0.2% TDZ 溶液, 对芒果产量和品质的提高效果显著。高兆银等^[3, 9-10]在贵妃芒果上的研究结果表明, 在谢花后 15、25、35 d 各喷施 1 次 5~10 mg/L TDZ 可增加芒果产量, 促进果实膨大, 增产效果显著; 在幼果期喷施 10~20 mg/L 的 CPPU, 盛花期后 15~50 d 果实细胞旺盛分裂期效果最佳, 可显著增加单果质量和产量; 在采前喷施 GA_3 质量浓度以 50 mg/L 为宜, 可以增加芒果产量、拉长果实、提高果实色泽, 对果实品质影响较小, 不会诱导果实采后滞绿。郭利军等^[2]的研究结果表明 CPPU 具有诱导单性结实和促进果实膨大的效果, 但不合理使用会出现果实品质及风味下降等问题, 台农 1 号芒果在花后 7、21 d 各喷施 1 次 32 mg/L CPPU 能显著提高单果质量, 但对果形指数和果实品质影响不明显; 黄杰等^[11]的研究结果表明在台农 1 号芒果上使用生长调节剂主要是促进无胚果果实单果质量的增加, 芒果总体品质并未得到提高; 冯志中等^[12-13]的研究结果表明烯效唑+调环酸钙复配在台农 1 号芒果上表现出良好的控梢效果; 在台农 1 号芒果果实膨大期使用 2~8 mL/L CPPU+30 mg/L GA_3 、1~4 mL/L TDZ+30 mg/L GA_3 复配药剂对芒果果实膨大增产效果显著, 显著增加果实

商品性和可食率。华敏等^[14]的研究结果表明在台农 1 号芒果第一次生理落果期结束前喷施 200 mg/L 吲熟酯和 50 mg/L 萘乙酰胺, 均有较好的疏果效果, 有效提高单果质量, 且不影响果实内在品质; 钟维^[15]提出在台农 1 号芒果无胚果果实膨大期施用果大块 500 倍液+GA 600~1500 倍液+苄氨基嘌呤 (BA) 800 倍液+金果果补力 800 倍液+糖醇钙 800 倍液, 7~10 d 喷施 1 次, 连续喷施 4~5 次的用药复配组合, 但未验证膨果效果及果实品质情况。

前人的研究多数集中在单一植物生长调节剂或是简单复配单一剂量的作用效果, 缺乏对不同植物生长调节剂在不同物候期使用药剂数量及不同浓度组合的具体应用实践研究。在实际生产中, 单一植物生长调节剂及简单复配的单一剂量使用往往无法全面满足无胚果膨大和品质提升的需求, 需要根据芒果膨大规律调整药剂组合及浓度才能在保证果实品质的基础上得到理想的膨大效果, 而复配使用不同调节剂可能产生协同增效或减效作用, 需要进行试验验证, 此前对此鲜有报道。本研究着重对应用于台农 1 号芒果无胚果膨果期不同复配组合的植物生产调节剂+叶面肥的实效验证, 通过观测、收集台农 1 号芒果果实生长数据, 明确膨果施药时机; 在台农 1 号芒果膨果期适宜时机施用植物生长调节剂+叶面肥不同组合处理, 分析其无胚果膨大效果及果实耐贮性、单果质量、密度、失重率、总酸、可溶性固形物、维生素 C (Vc)、硼、钙、钾、镁、植物生长调节剂残留等指标, 系统评价 3 个处理和 CK 的膨果效果及对果实品质的影响, 为生产上合理、有效使用植物生长调节剂膨大台农 1 号芒果无胚果、提高果实品质提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

试验地设在百色市右江区永乐镇百色市芒果研究中心永乐科研基地。选取 20 年生, 树势较一致的台农 1 号芒果植株为试验对象。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 (1) 果实纵径、横径增长曲线数据采集试验。测定 2022—2024 年台农 1 号芒果喷施植物生长调节剂+叶面肥膨大无胚果 3 个处理和对照的果实生长纵径、横径, 各处理随机选

取 20 个果实进行排序标识, 从果实纵径约 10 mm 开始用游标卡尺测量直至采摘, 采摘当天做最后一次测量, 每次测量时间间隔约 7 d。

(2) 植物生长调节剂+叶面肥组合膨果试验。2022—2024 年开展植物生长调节剂+叶面肥不同组合膨大台农 1 号芒果无胚果试验, 每年度试验根据前一年度试验结果调整本年度处理用药组合, 2024 年试验处理及药肥组合如下: (1) CK, 叶面肥; (2) T₁, GA₃+叶面肥; (3) T₂, GA₃+植物生长调节剂+叶面肥; (4) T₃, 复配植物生长调节剂成品+叶面肥。试验设 3 个处理, 1 个对照, 每个处理 1 株树 3 个重复; 对照组不使用生长调节剂, 其他农艺措施与 3 个处理一致; 在果实纵径约 6 mm 时施第 1 次药, 视天气情况施用 4~6 次, 每次间隔 7~10 d, 宜在天气晴好时施药, 如遇不良天气顺延; 气温较高, 施药间隔时间适当缩短, 气温较低, 施药间隔时间适当延长; 果期根部冲施水溶肥 2 次。2024 年分 4 次施药: 4 月 9 日 (第 1 次)、4 月 18 日 (第 2 次)、4 月 26 日 (第 3 次)、5 月 6 日 (第 4 次), 详见表 1。第 1 次施用药剂成分及含量为: 3% GA₃、2% BA、肽钙镁威 (Taigaimeimei, 氨基酸≥100 g/L, Ca+Mg≥30 g/L); 第 2 次施用药剂成分及含量为: 3% GA₃、2% BA、0.1% CPPU、0.1% CPPU+0.4% GA、糖醇钙 (Calcium polyol, 钙含量≥180g/L)、耐普 9 (Nepu 9, Ca+Mg≥100g/L、N≥110g/L)、费拉罗微量元素水溶肥 (Feilaluo TE WSF, Cu+Fe+Mn+Zn+B≥100 g/L); 第 3 次施用药剂成分及含量为: 3% GA₃、2% BA、0.1% CPPU、50% TDZ、0.7% NAA+0.5% CPPU、24-表芸·噻苯隆 (24-EBL+TDZ 0.01%, 24-表芸素内酯+0.49% 噻苯隆)、0.1% CPPU+0.4% GA、果丰 99 微生物菌肥 (Guofeng 99 EM, 有效活菌数≥2.0 亿/mL); 第 4 次施用药剂成分及含量为: 0.1% CPPU、50% TDZ、NAA 0.7%+CPPU 0.5%、24-表芸·噻苯隆 (24-EBL+TDZ, 24-表芸素内酯 0.01%+TDZ 0.49%)、糖醇钙 (Calcium polyol, 糖醇含量≥100 g/L, 钙含量≥180g/L)、百科丰硼锌钙 (Baikefeng B+Zn+Ca, 氨基酸≥100 g/L, Mn+Zn≥20 g/L)。4 月 11 日根部冲施 0.50~0.75 kg/株含氨基酸水溶肥 1 次, 5 月 10 日根部冲施 0.50~0.75 kg/株含氨基酸水溶肥+0.40~0.60 kg/株高钾型速溶肥 1 次。

表 1 施药情况

Tab. 1 Application status

单位: mL/L

次数	处理 Treatment	药剂浓度 Pesticede concentration							
		GA ₃		BA			Taigaimeiwei		
第 1 次	CK	0.00			0.00			0.80	
	T ₁	0.80			0.00			0.80	
	T ₂	0.80			1.00			0.80	
	T ₃	0.80			1.00			0.80	
第 2 次	处理 Treatment	药剂浓度 Pesticede concentration							
		GA ₃	BA	CPPU	GA+CPPU	Calcium polyol	Nepu 9	Feilaluo TE WSF	
第 2 次	CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.83	0.50	
	T ₁	1.20	0.00	0.00	0.00	0.80	0.83	0.50	
	T ₂	1.20	1.00	1.60	0.00	0.80	0.83	0.50	
	T ₃	1.20	0.00	0.00	1.00	0.80	0.83	0.50	
第 3 次	处理 Treatment	药剂浓度 Pesticede concentration							
		GA ₃	BA	CPPU	TDZ	CPPU+NAA	24-EBL+TDZ	GA+CPPU	Guofeng 99EM
第 3 次	CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
	T ₁	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83
	T ₂	1.60	1.00	2.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.83
	T ₃	1.25	0.00	0.00	0.00	0.40	0.40	1.00	0.83
第 4 次	处理 Treatment	药剂浓度 Pesticede concentration							
		CPPU	TDZ	CPPU+NAA	24-EBL+TDZ	Calcium polyol	Baikefeng B+Zn+Ca		
第 4 次	CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	1.00		
	T ₁	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	1.00		
	T ₂	1.60	0.03	0.00	0.00	0.80	1.00		
	T ₃	0.00	0.00	0.67	0.33	0.80	1.00		

1.2.2 指标测定 果实品质是由众多外观及内在的复合评价因子构成,且各因子所占权重不同^[16]。本研究根据需选择单果质量、果实密度、失重率、果形指数、好果率、可溶性固形物、总酸、Vc、硼、钙、钾、镁等指标进行检测与评价,同时监测 GA、TDZ、CPPU、6-苄基腺嘌呤等指标的残留量,确保质量安全。

(1) 单果质量与果实密度。平均单果质量采用称量法测定,用电子天平直接称量;果实密度采用直接测量法测定,用电子天平称量果实质量,将果实完全没入装满水容器中用另一容器收集溢出水量,通过量杯测量体积,按以下公式计算:果实密度=质量/体积。

(2) 失重率。采摘后称取青果单果质量、完熟果单果质量,按以下公式计算同一果实失重率,失重率=(青果单果质量-完熟果单果质量)/青果单果质量×100%。

(3) 果形指数。果实纵径、横径用数显游标

卡尺测取,并按以下公式计算:果形指数=果实纵径/果实横径。

(4) 好果率^[17]。表面腐烂 10%以下定位为好果,每 2 d 观察 1 次,好果率=好果数/总果数×100%。

(5) 可溶性固形物的测定。果实完熟后榨汁,使用数显糖度计进行测定。

(6) 总酸、Vc、硼、钙、钾、镁的测定。总酸参照《食品中总酸的测定 第二法》(GB 12456—2021)标准进行测定、Vc 参照《食品中抗坏血酸的测定 第三法》(GB 5009.86—2016)标准进行测定,硼、钙、钾、镁参照《食品中多元素的测定 第一法》(GB 5009.268—2016)标准进行测定。

(7) 植物生长调节剂残留指标。GA、TDZ、CPPU 参照《植物源性食品中 331 种农药及其代谢物残留量的测定 液相色谱-质谱联用法》(GB 23200.121—2021)标准进行测定,6-苄基腺嘌呤参照《出口水果蔬菜中脱落酸等 60 种农药残留量

的测定 液相色谱-质谱质谱法》(SN/T 4591—2016) 标准进行测定。

1.3 数据处理

采用 Excel 2019 软件对数据进行统计、制图, 采用 SPSS 26.0 软件对数据进行显著性分析、主成分分析。

2 结果与分析

2.1 台农 1 号芒果果实纵径、横径增长曲线

2022—2024 年台农 1 号芒果果实纵径、横径增长情况见图 1。图 1 为取各处理纵径、横径 2 个相邻测量值的增量为基点绘制而成。2022 年, 试验地芒果坐果时间约为 4 月 1—6 日, 数据采集从 4 月 17 日开始; 果实膨大最高值出现在 5 月中旬, 历时约 40 d; 果实膨大减缓时间约为 5 月下旬, 历时约 58 d。2023 年, 芒果坐果时间约为 3 月 19—25 日, 数据采集从 4 月 4 日开始; 果实膨

大最高值出现在 4 月下旬, 历时约 40 d; 果实膨大减缓时间约为 5 月中旬, 历时约 60 d。2024 年, 芒果坐果时间约为 3 月 26 日至 4 月 1 日, 数据采集从 4 月 17 日开始; 果实膨大最高值出现在 5 月上旬, 历时约 35 d; 果实膨大减缓时间约为 5 月下旬, 历时约 65 d。

由图 1 可知, 台农 1 号芒果果实纵、横径增长时间基本一致, 坐果后约 40 d 是果实快速膨大期, 坐果后约 65 d 果实横、纵径逐渐停止增长。百色市 2022 年 2—6 月整个芒果坐果期降水量较大, 2022 年 9 月至 2023 年 6 月芒果秋梢生长、花果期极度干旱, 2023 年 12 月至 2024 年 2 月芒果花芽分化期有多次短时气温骤升骤降的大温差, 2024 年 5—7 月芒果果实生长后期及采收期有大量降水, 2022—2024 年百色芒果坐果期遇到 3 种不同的极端天气, 果实横、纵径增长受到很大影响, 但各处理的生长趋势基本一致。

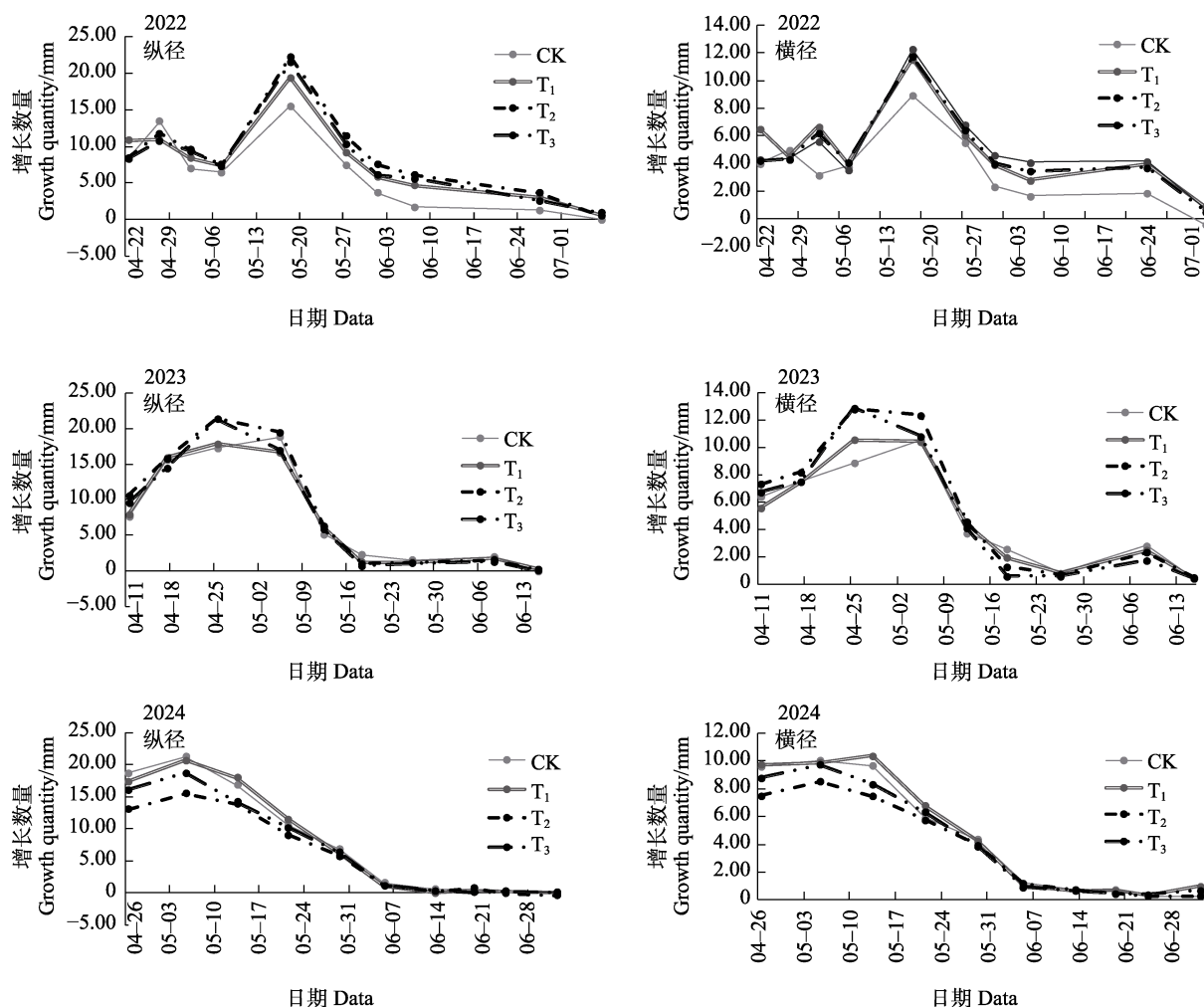


图 1 2022—2024 年台农 1 号芒果果实横、纵径增长曲线

Fig. 1 Growth curves of transverse and longitudinal diameters of Tainong No.1 Mango fruits from 2022 to 2024

2.2 不同处理对台农 1 号芒果无胚果果实耐贮性的影响

2024 年 7 月 9 日，分别采摘各处理无明显病斑、机械伤的芒果果实 30 个，整齐排列纸箱存放在不通风的室内，不做催熟处理，观测常温下各处理与对照组的自然软熟及存贮情况。由表 2 可知，常温存贮 6 d 后，超过 50%好果率的有 T₁、T₂ 处理，T₁~T₃ 处理耐贮性均优于 CK，说明喷施植物生长调节剂+叶面肥对延长果实货架期有一定影响。

表 2 不同处理台农 1 号芒果无胚果果实好果率
Tab. 2 Percentage of good quality seedless fruits of Tainong No.1 mango in different treatments

处理 Treatment	好果率 Good fruit rate/%			
	0 d	3 d	5 d	6 d
CK	100	100	78.79	30.30
OT ₁	100	100	93.55	70.97
T ₂	100	100	96.15	50.00
T ₃	100	100	97.22	44.44

2.3 不同处理对台农 1 号芒果无胚果果实外在品质的影响

由表 3 可知，T₂、T₃ 处理显著提高青果和完熟果单果质量，其中 T₃ 处理较 CK 提高 98.98%，T₁ 处理对青果和完熟果单果质量影响不显著；

T₁~T₃ 处理显著降低青果密度，T₃ 处理显著降低完熟果密度，T₂、T₃ 处理对完熟果密度影响不显著，其中 CK 的青果和完熟果密度最高、变化最大，T₁~T₃ 处理完熟果果实剖面无霉心等现象；T₁~T₃ 处理显著降低失重率，其中 T₁ 处理失重率最低，较 CK 降低 83.42%；T₁~T₃ 处理对果形指数影响不显著。

2.4 不同处理对台农 1 号芒果无胚果果实内在品质的影响

由表 4 可知，T₁~T₃ 处理显著降低 Vc 含量，其中 T₂ 处理较 CK 降低 18.99%；T₂ 处理显著降低可溶性固形物含量，T₁、T₃ 处理对可溶性固形物含量影响不显著；T₁~T₃ 处理显著降低总酸含量，其中 T₁ 处理较 CK 降低 33.10%；T₁、T₃ 处理显著提高固酸比，其中 T₁ 处理较 CK 提高 45.34%，T₂ 处理对固酸比影响不显著；T₁~T₃ 处理显著提高钙含量影响，其中 T₁ 处理较 CK 提高 21.62%；T₁ 处理显著提高硼含量，T₂ 处理显著降低硼含量，T₃ 处理对硼含量影响不显著；T₁、T₃ 处理显著提高镁含量，T₂ 处理对镁含量影响不显著；T₁、T₂ 处理显著降低钾含量，T₃ 处理对钾含量影响不显著。总的来看，喷施植物生长调节剂+叶面肥处理能显著提高钙含量，显著降低总酸、Vc 含量；不同处理对可溶性固形物、固酸比、硼、镁含量有一定的影响。

表 3 不同处理台农 1 号芒果无胚果果实外在品质
Tab. 3 External qualities of seedless fruits of Tainong No.1 mango in different treatments

处理 Treatment	青果单果质量 Weight per green fruit/g	青果密度 Density of green fruit/(g·m ⁻³)	完熟果单果质量 Weight per fully ripe fruit/g	完熟果密度 Density of fully ripe fruit/(g·m ⁻³)	失重率 Weight loss rate/%	果形指数 Fruit shape index
CK	67.55±10.46 ^c	1.06±0.01 ^a	59.32±9.84 ^c	1.04±0.01 ^a	12.31±1.55 ^a	1.65±0.09 ^a
T ₁	102.20±16.34 ^{bc}	1.04±0.03 ^b	95.83±16.08 ^{bc}	1.03±0.01 ^a	6.33±2.11 ^c	1.64±0.12 ^a
T ₂	129.71±15.87 ^b	1.03±0.01 ^{bc}	127.05±15.46 ^b	1.03±0.01 ^a	2.04±0.28 ^d	1.61±0.09 ^a
T ₃	134.41±13.19 ^a	1.02±0.01 ^d	119.03±12.44 ^a	1.01±0.01 ^b	11.49±1.17 ^b	1.64±0.15 ^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）。
Note: Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant difference among treatments (P<0.05).

表 4 不同处理台农 1 号芒果无胚果果实内在品质
Tab. 4 Internal qualities of seedless fruits of Tainong No.1 mango in different treatments

处理 Treat- ment	Vc 含量 V _c content/ [mg·(100 g) ⁻¹]	可溶性固形物含量 Soluble solids content/(Brix)	总酸含量 Total acid content/ (g·kg ⁻¹)	固酸比 Solid acid ratio	钙含量 Ca content/ (mg·kg ⁻¹)	硼含量 B content/ (mg·kg ⁻¹)	镁含量 Mg content/ (mg·kg ⁻¹)	钾含量 K content/ (mg·kg ⁻¹)
CK	23.70±0.17 ^a	22.89±1.72 ^a	5.77±0.07 ^a	3.97±0.33 ^b	111.00±4.64 ^c	2.79±0.18 ^b	120.00±6.31 ^b	1.69×10 ³ ±84.36 ^a
T ₁	18.40±0.28 ^c	22.24±0.67 ^a	3.86±0.05 ^c	5.77±0.24 ^a	135.00±1.48 ^a	3.77±0.05 ^a	134.00±2.43 ^a	1.53×10 ³ ±30.66 ^{bc}
T ₂	19.20±0.37 ^b	20.04±0.30 ^b	5.31±0.08 ^b	3.78±0.05 ^b	127.00±7.04 ^{ab}	2.43±0.18 ^c	117.00±7.37 ^b	1.42×10 ³ ±87.40 ^c
T ₃	18.60±0.35 ^c	23.57±2.16 ^a	4.36±0.01 ^c	5.41±0.51 ^a	125.00±2.72 ^b	2.70±0.18 ^{bc}	137.00±4.16 ^a	1.59×10 ³ ±41.40 ^{ab}

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（P<0.05）。
Note: Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant difference among treatments (P<0.05).

2.5 不同处理台农 1 号芒果无胚果果实植物生长调节剂残留情况

参照《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》(GB 2763—2021) [18], 国家标准未规定 TDZ、CPPU 在芒果上残留限量, 赖灯妮等[19]认为葡萄、猕猴桃的食用量、食用部位与芒果无明显差异, 故其残留限量应与芒果类似, 据此, TDZ 指标可参照葡萄的最大残留限量值 0.05 mg/kg, CPPU 参照猕猴桃、葡萄上的最大残留限量 0.05 mg/kg, T₁~T₃ 处理及 CK 均未检出; GA、6-苄基腺嘌呤国家无相关限量标准规定。T₁~T₃ 处理和 CK 均未检出 TDZ、CPPU、GA、6-苄基腺嘌呤, 说明合理使用植物生长调节剂不会对芒果质量安全产生影响[20]。

2.6 不同处理台农 1 号芒果无胚果果实品质评价因素的主成分分析

根据表 2~表 4 结果, 剔除变异系数小于 10% 的青果平均密度、完熟果平均密度、果形指数、钾 4 项指标, 对 4 个处理的台农 1 号芒果无胚果果实的 11 项指标进行主成分分析结果(表 5)表明, 前 3 个主成分的特征值均大于 1.000, 累积方差贡献率达 100.00%, 说明前 3 个主成分包含 11 项指标的 100.00% 信息。第 1 主成分综合了可溶性固形物、固酸比、硼、钙、镁、青果单果质量、失重率、6 d 好果率 8 个指标, 第 2 主成分综合了总酸、完熟果单果质量 2 个指标, 第 3 主成分综合了 Vc 一个指标; 主成分中载荷为正值的

代表该指标对该主成分产生正面影响, 反之, 为负值的代表该指标对该主成分产生负面影响。

2.7 对不同处理台农 1 号芒果无胚果果实品质的综合评分

根据主成分分析结果对不同处理果实品质进行综合评价, 计算各主成分得分及综合得分, 结果如表 6 所示。综合得分为: T₁>T₃>T₂>CK, 说明合理施用植物生长调节剂能够提高台农 1 号芒果无胚果的单果质量, 改善果实品质, 其中 T₁ 处理效果最好, 其次是 T₃ 处理。

表 6 不同处理台农 1 号芒果无胚果果实品质的综合评价
Tab. 6 Comprehensive evaluation of fruit quality of seedless fruits of Tainong No.1 mango in different treatments

处理 Treatment	F ₁	F ₂	F ₃	F	排序 Ranking
CK	-3.3052	1.0370	-0.3853	-1.5006	4
T ₁	2.3965	0.9618	-1.2692	1.4089	1
T ₂	-0.1084	-2.8021	-0.0807	-0.9614	3
T ₃	1.0171	0.8032	1.7352	1.0531	2

3 讨论

根据其生理作用将植物生长调节剂可分为生长促进剂、生长抑制剂和生长延缓剂 3 类, 植物生长促进剂对作物植株器官生长发育、花芽分化、提高坐果、果实膨大, 以及促进蛋白质含量和减少落花落果等方面都具有非常显著的作用[21]。本研究主要应用赤霉素、BA、TDZ、CPPU、奈乙酸等生长促进剂型的植物生长调节剂复配组合来开展台农 1 号芒果无胚果的膨果试验, 2024 年膨果用药试验时间选择在 4 月 9 日至 5 月 6 日, 植物生长调节剂+叶面肥的 3 个处理果实与 CK 的果实纵径、横径增长速率及趋势基本重合, 所选施药时机符合果实膨大生长规律, 即果实膨大上升期, 结果表明果实膨大上升期喷施植物生长调节剂+叶面肥处理膨大果效果显著, 与冯志中等[13]的研究结果一致。

果实的耐贮性与失重率密切相关, 本研究中喷施植物生长调节剂+叶面肥处理的台农 1 号芒果果实耐贮性与失重率基本呈正相关, 失水率越高, 其耐贮性受到一定影响[22]; 由于 2024 年百色挂果后期恰逢降水丰富, 果实的耐贮性受到较大影响。各处理对果形指数影响不显著, 说明植物生长调节剂的用量适当, 未造成异形果等果实变形情况。

表 5 主成分因子载荷矩阵
Tab. 5 Load matrix of principal component factor

指标 Index	主成分因子 Principal component factor		
	1	2	3
总酸	-0.050	0.921	0.386
可溶性固形物	0.792	0.607	0.060
固酸比	-0.952	0.243	-0.185
Vc	0.538	0.572	-0.619
硼	0.962	-0.187	-0.198
钙	0.704	0.635	0.317
镁	0.644	-0.505	0.575
青果单果质量	0.636	-0.626	0.450
完熟果单果质量	-0.402	0.831	0.385
失重率	0.892	-0.050	-0.449
6 d 好果率	0.820	0.122	0.343
特征值	5.907	3.500	1.594
累积方差贡献率/%	53.697	85.513	100.00

糖酸含量、糖酸比是评价果实品质和风味的重要指标之一^[23], 本研究中 T_1 、 T_3 处理显著提高固酸比, 说明能够显著改善果实品质, T_2 处理因总酸与可溶性固形物含量同时显著降低, 因此对固酸比的影响不显著。 T_1 处理含有赤霉素, T_2 、 T_3 处理含有赤霉素、TDZ、CPPU 等药剂复配使用, $T_1 \sim T_3$ 处理显著降低总酸含量, T_2 处理显著降低可溶性固形物含量, T_1 、 T_3 处理对可溶性固形物含量影响不显著, 与冯志中等^[13]在台农 1 号芒果果实膨大上使用 TDZ、CPPU 都能显著降低可溶性固形物的研究结果基本一致; T_1 、 T_3 处理显著提高固酸比, T_2 处理对固酸比影响不显著, 这与程大伟等^[24]在红艳葡萄上使用赤霉素、TDZ 降低可溶性固形物含量、总酸含量, 提高固酸比含量的研究结果基本一致, 与朱学慧等^[25]在无核白鸡心葡萄上使用赤霉素能提高固酸比的研究结果基本一致。

本研究中 $T_1 \sim T_3$ 处理显著降低 Vc 含量, 与韩凤波等^[26]在酸浆果上使用 GA_3 能显著降低 Vc 含量的研究结果一致。本研究中各处理的果实含钙量与固酸比无明显线性关系, 与李华东等^[27]关于果肉钙含量的增加可明显提高可溶性糖及糖酸比的研究结论不相符, 这可能与本研究各处理还涉及使用多种植物生长调节剂、地域气候等对果实糖酸的影响有关。

根据对各处理台农 1 号芒果无胚果果实品质的综合评分可知, T_1 处理的果实品质最优、 T_3 处理次之, 但 T_1 处理对单果质量影响不显著, T_3 处理较 T_1 处理青果平均单果质量显著提高 31.52%。 T_3 处理果实膨大及果实品质综合评分优于 T_2 处理, 说明 T_3 复配植物生长调节剂成品的复配增效作用比自行复配的要稳定和有效^[28]。

在台农 1 号芒果果实约 6~10 mm 时开始喷施 GA_3 +叶面肥处理、 GA_3 +植物生长调节剂+叶面肥处理、复配植物生长调节剂成品+叶面肥处理 4 次, 每次间隔 7~10 d, 能够膨大无胚果果实, 并提高果实品质。其中, GA_3 +叶面肥处理果实品质评分最高, 复配植物生长调节剂成品+叶面肥处理次之, 但二者膨果效果具有显著差异; 单果质量是台农 1 号芒果无胚果商品性的重要指标, 据市场调查结果得知, 其无胚果单果质量达到 100 g 以上才具有商品性, T_1 处理完熟后单果质量低于 100 g, 不能够完全满足市场对单果质量的要求, 结合果实膨大效果考虑, 在台农 1 号芒果无胚果

的生产中推荐采用复配植物生长调节剂成品+叶面肥处理, 以达到提质增产增收的目的。

参考文献

- [1] 欧世金, 黄台明, 李峰, 国亚慧, 罗聪. 台农 1 号芒果实生物学特性探讨[C]. 中国园艺学会热带南亚热带果树分会第四届学术研讨会论文集, 2012: 132-137.
OU S J, HUANG T M, LI F, GUO Y H, LUO C. Study on biological characteristics of fruit in *Mangifera indica* L. cv. 'Tainong No.1'[C]. Proceedings of the Fourth Academic Symposium of the Tropical and Sub-tropical Fruit Tree Branch of the Chinese Society for Horticultural Science, 2012: 132-137. (in Chinese)
- [2] 郭利军, 范鸿雁, 邓会栋, 罗志文, 何舒, 胡福初, 王祥和, 何凡, 华敏. 氯吡苯脲和吲熟酯对台农 1 号芒果果实发育及品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(6): 266-268.
GUO L J, FAN H Y, DENG H D, LUO Z W, HE S, HU F C, WANG X H, HE F, HUA M. Effects of Forchlorfenuron and Ethychlozate on the fruit development and quality of Tainong No.1 mango[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, 44(6): 266-268. (in Chinese)
- [3] 高兆银, 朱敏, 李敏, 弓德强, 冯岗, 赵超, 范盼辉, 陈业渊, 胡美娇. 喷施噻苯隆 (TDZ) 对芒果果实产量、品质和采后贮藏特性的影响[J]. 果树学报, 2018, 35(4): 481-490.
GAO Z Y, ZHU M, LI M, GONG D Q, FENG G, ZHAO C, FAN P H, CHEN Y Y, HU M J. Effects of Pre-harvest spraying with TDZ on yield, quality and storability of mango fruit[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(4): 481-490. (in Chinese)
- [4] 赵茂香, 郑伟尉, HAFIZ U J. 赤霉素及噻苯隆处理对‘夏黑’葡萄果实品质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2021(1): 19-23.
ZHAO M X, ZHENG W W, HAFIZ U J. Effects of GA_3 and TDZ on fruit quality of 'Summer Black' grapevine[J]. Sino-overseas Grapevine & Wine, 2021(1): 19-23. (in Chinese)
- [5] 杨清, 蔚玉红, 张才喜, 许文平, 王世平. 施用钙、硼对猕猴桃果实品质及贮藏性的影响[C]. 园艺学进展(第八辑): 中国园艺学会第八届青年学术讨论会暨现代园艺论坛论文集, 2008(8): 34-38.
YANG Q, WEI Y H, ZHANG C X, XU W P, WANG S P. Influence of calcium, boron applications on the quality and storage of kiwifruit[C]. Advances in Horticulture (volume VIII): Proceedings of the 8th Youth Academic Symposium of the Chinese Society for Horticultural Science and the Modern Horticulture Forum, 2008(8): 34-38. (in Chinese)
- [6] 苏宇霞, 余丽萍, 刘厚基, 吴翠云, 马全会, 王振磊. 植物生长调节剂对设施无花果生长及果实品质的影响[J]. 经

- 吉林研究, 2024, 42(1): 284-293.
- SU Y X, YU L P, LIU H J, WU C Y, MA Q H, WANG Z L. Effects of plant growth regulators on growth and fruit quality of facility figs[J]. Non-wood Forest Research, 2024, 42(1): 284-293. (in Chinese)
- [7] 严婷婷, 王满青, 董余思, 杨明超, 周文静, 周瑞云, 陈哲, 胡福初, 王祥和. 复合植物生长调节剂对荔枝开花及坐果的影响[J]. 中国果树, 2024(4): 83-88, 95.
- YAN T T, WANG M Q, DONG Y S, YANG M C, ZHOU W J, ZHOU R Y, CHEN Z, HU F C, WANG X H. Effects of compound plant growth regulators on flowering and fruit setting of litchi[J]. China Fruits, 2024(4): 83-88, 95. (in Chinese)
- [8] 田庆恒, 李钊阳, 唐良德, 吴建辉. 0.2%噻苯隆可溶液剂对芒果产量和品质的影响[J]. 广东农业科学, 2020, 47(8): 97-102.
- TIAN Q H, LI Z Y, TANG L D, WU J H. Effects of Thidiazuron 0.2% SL on yield and quality of mango[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2020, 47(8): 97-102. (in Chinese)
- [9] 高兆银, 王家保, 李敏, 弓德强, 陈业渊, 胡美姣. 氯吡苯脲对贵妃杧果果实产量、品质和采后贮运特性的影响[J]. 热带作物学报, 2024, 45(1): 162-168.
- GAO Z Y, WANG J B, LI M, GONG D Q, CHEN Y Y, HU M J. Effects of Forchlorfenuron on yield, quality and storability of Guifei mango fruit[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2024, 45(1): 162-168. (in Chinese)
- [10] 高兆银, 胡美姣, 朱敏, 李敏, 文婕, 范盼辉, 弓德强, 陈业渊, 赵超. 采前喷施赤霉素(GA₃)对杧果果实产量、品质和采后贮藏特性的影响[J]. 果树学报, 2017, 34(6): 744-751.
- GAO Z Y, HU M J, ZHU M, LI M, WEN J, FAN P H, GONG D Q, CHEN Y Y, ZHAO C. Effects of pre-harvest GA₃ spraying on yield, quality and storability of mango fruit[J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(6): 744-751. (in Chinese)
- [11] 黄杰, 韦爱琳, 费用红, 罗思良, 苏伟强. 生长调节剂对台农一号杧坐果及无胚果果实品质的的影响[J]. 现代农业科技, 2018(10): 140-141.
- HUANG J, WEI A L, FEI Y H, LUO S L, SU W Q. Effects of growth regulators on the fruit setting of Tainong No.1 mango and the fruit quality of its seedless fruits[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2018(10): 140-141. (in Chinese)
- [12] 冯志中, 李志辉, 贺保国, 牛杰, 郑先福. 4种植物生长调节剂对台农芒果控梢效果及开花的影响[J]. 现代农业科技, 2020(2): 95-102.
- FENG Z Z, LI Z H, HE B G, NIU J, ZHENG X F. Effects of 4 plant growth regulators on controlling shoot and flowering of parthenon mango[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(2): 95-102. (in Chinese)
- [13] 冯志中, 李志辉, 贺保国, 王文朝, 牛杰, 郑先福. 植物生长调节剂对台农果实膨大效果及品质的影响[J]. 农业科技通讯, 2022(3): 167-169.
- FENG Z Z, LI Z H, HE B G, WANG W C, NIU J, ZHENG X F. Effects of plant growth regulators on the fruit expansion and quality of Tainong mango[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2022(3): 167-169. (in Chinese)
- [14] 华敏, 邓会栋, 郭利军, 冯学杰, 陈黎明. 机械疏花与化学疏果对‘台农1号’芒无胚果单果质量及品质的影响[J]. 中国热带农业, 2021(4): 41-46.
- HUA M, DENG H D, GUO L J, FENG X J, CHEN L M. Effects of mechanical flower thinning and chemical fruit thinning on average seedless fruit weight and quality of ‘Tainong No.1’ mango[J]. China Tropical Agriculture, 2021(4): 41-46. (in Chinese)
- [15] 钟维. 右江河谷流域“台农1号”无胚芒果栽培技术简介[J]. 南方农业, 2022, 16(11): 55-58.
- ZHONG W. Brief introduction to the cultivation techniques of "Tainong No.1" seedless mango in the Youjiang River Valley Basin[J]. Southern Agriculture, 2022, 16(11): 55-58. (in Chinese)
- [16] 辛明, 张娥珍, 何全光, 阳仁桂, 罗慧馨, 黄振勇, 苏燕竹, 黄茂康. 芒果果实品质评价因子的选择[J]. 南方农业学报, 2014, 45(10): 1818-1824.
- XIN M, ZHANG E Z, HE Q G, YANG R G, LUO H X, HUANG Z Y, SU Y Z, HUANG M K. Selection of evaluation factors for mango fruit quality[J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 45(10): 1818-1824. (in Chinese)
- [17] 杨穗珊, 朱梦, 常秀亭, 罗小菊, 寇力丹, 谢作蓉. 海南酸瓜源植物乳杆菌与壳聚糖复合处理对芒果保鲜效应研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(18): 146-153.
- YANG H S, ZHU M, CHANG X T, LUO X J, KOU L D, XIE Z R. Research on the preservation effect of mango treated with a combination of Lactobacillus plantarum derived from Hainan sour gourd and chitosan[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(18): 146-153. (in Chinese)
- [18] 中华人民共和国国家卫生健康委员会, 中华人民共和国农业农村部, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准食品中农药最大残留限量: GB 2763—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- National Health Commission of the People's Republic of China, Ministry of Agriculture, Rural Affairs of the People's Republic of China, State Administration of Market supervision. National food safety standard-maximum residue limits for pesticides in food: GB 2763—2021[S]. Beijing: Standards Press of China, 2021. (in Chinese)

- [19] 赖灯妮, 张群, 尚雪波, 谭欢, 潘兆平, 周雨佳, 彭清辉. 植物生长调节剂在果蔬中的应用与安全性分析研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(11): 451-459.
- LAI D N, ZHANG Q, SHANG X B, TAN H, PAN Z P, ZHOU Y J, PENG Q H. Research progress on the application and safety analysis of plant growth regulator in fruits and vegetables[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(11): 451-459. (in Chinese)
- [20] 张义, 刘云利, 刘子森, 韩帆, 严攀, 贺锋, 吴振斌. 植物生长调节剂的研究及应用进展[J]. 水生生物学报, 2021, 45(3): 700-708.
- ZHANG Y, LIU Y L, LIU Z S, HAN F, YAN P, HE F, WU Z B. The research and application progress of plant growth regulators[J]. Anta Hydrobiologica Sinica, 2021, 45(3): 700-708. (in Chinese)
- [21] 刘祥宇. 植物生长调节剂在农业生产中的应用探讨[J]. 南方农业, 2021, 15(18): 6-7.
- LIU X Y. Discussion on the application of plant growth regulators in agricultural production[J]. Southern Agriculture, 2021, 15(18): 6-7. (in Chinese)
- [22] 卫赛超, 谢晶. 模拟运输时间对芒果低温贮藏过程中生理与品质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(3): 43-50.
- WEI S C, XIE J. Effect of simulated transport time on physiology and quality of mango during low-temperature storage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 38(3): 43-50. (in Chinese)
- [23] 秦巧平, 林飞凡, 张岚岚. 枇杷果实糖酸积累的分子生理机制[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(3): 453-457.
- QIN Q P, LIN F F, ZHANG L L. Review of studies on the accumulation mechanisms of sugar and organic acids in *Eriobotrya japonica* fruit[J]. Journal of Zhejiang A & F university, 2012, 29(3): 453-457. (in Chinese)
- [24] 程大伟, 何莎莎, 谷世超, 李明, 郭西智, 顾红, 陈锦永. GA₃和TDZ对‘红艳无核’葡萄果实品质的影响[J]. 果树学报, 2021, 38(2): 212-221.
- CHENG D W, HE S S, GU S C, LI M, GUO X Z, GU H, CHEN J Y. Influence of GA₃ and Tdz on fruit quality of ‘Hongyan Wuhe’ grape[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(2): 212-221. (in Chinese)
- [25] 朱学慧, 谢辉, 韩守安, 王敏, 白世践, 马云龙, 王艳蒙, 麦斯乐, 潘明启, 张雯. 两种植物生长调节剂对无核白鸡心葡萄果实品质的影响[J]. 浙江农业学报, 2024, 36(6): 1309-1319.
- ZHU X H, XIE H, HAN S A, WANG M, BAI S J, MA Y L, WANG Y M, MAI S L, PAN M Q, ZHANG W. Effect of two plant growth regulators on the fruit quality of ‘Centennial Seedless’ grapes[J]. Anta Agriculturae Zhejiangensis, 2024, 36(6): 1309-1319. (in Chinese)
- [26] 韩凤波, 曾祥云. 植物生长调节剂对酸浆果实生长及维生素C含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(2): 156-158.
- HAN F B, ZENG X Y. Effects of plant growth regulators on the growth of *Physalis alkekengi* L. fruits and the content of vitamin C[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2013, 41(2): 156-158. (in Chinese)
- [27] 李华东, 白亭玉, 郑妍, 张贺, 林电. 土壤施钙对芒果果实钾、钙、镁含量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014(6): 76-80.
- LI H D, BAI T Y, ZHENG Y, ZHANG H, LIN D. Effects of Calcium application in soil on the contents of potassium, calcium, magnesium and the quality of mango fruits[J]. Soils And Fertilizers Sciences in China, 2014(6): 76-80. (in Chinese)
- [28] 程晟, 刘娜. 乙烯利、多效唑、吲哚乙酸复配对玉米生长生理及产量构成影响的研究[J]. 农业技术与装备, 2017(11): 17-21.
- CHENG S, LIU N. Study on the effects of ethephon paclobutrazol and indoloacetic acid on the growth physiology and yield components of maize[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2017(11): 17-21. (in Chinese)