

何羿仪, 黄梅华, 梁晓君, 等. 矮化处理对香蕉果实外观和贮藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(14): 308–317. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090044

HE Yiyi, HUANG Meihua, LIANG Xiaojun, et al. Effects of Dwarfing Treatments on the Appearance and Storage Quality of Banana Fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(14): 308–317. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090044

· 贮藏保鲜 ·

矮化处理对香蕉果实外观和贮藏品质的影响

何羿仪^{1,2}, 黄梅华^{2,3}, 梁晓君^{2,3}, 覃柳燕¹, 马艳碧^{2,3}, 淡明^{2,3}, 李朝生², 韦绍龙², 何全光^{2,3,*}, 封碧红^{1,*}

(1. 广西大学农学院, 广西南宁 530004;

2. 广西农业科学院, 广西南宁 530004;

3. 广西果蔬贮藏与加工新技术重点实验室, 广西南宁 530004)

摘要:目的: 探讨矮化处理对香蕉果实的外观和后熟品质的影响。方法: 以‘桂蕉 9 号’为实验材料, 将矮化剂 (主要成份为烯效唑和磷酸二氢钾) 溶于水后灌根, 香蕉苗长至第 18 片叶时使用矮化剂第一次矮化, 长至第 23 片叶时进行第二次矮化, 果实达到商品饱满度时采收。以果实外观 (果柄长度、蕉指周长) 和后熟品质, 包括果皮颜色 (L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 C^* 值、 h^* 值)、果实硬度、呼吸速率、乙烯释放量、果肉可溶性糖 (果糖、蔗糖、葡萄糖) 含量和有机酸 (草酸、奎宁酸、苹果酸、琥珀酸、 V_C 、柠檬酸、延胡索酸) 含量作为参考指标, 研究矮化处理对香蕉果实贮藏品质的影响。结果: 矮化组和对照组的果柄长度和蕉指周长分别有极显著差异 ($P<0.01$) 和显著差异 ($P<0.05$); 在 22 °C 贮藏条件下, 矮化组和对照果皮色差和硬度的变化总体上无显著差异; 进入跃变期后, 矮化组果实的 CO_2 释放量和乙烯释放量均高于对照组, 但未达到显著水平。矮化组果实的苹果酸含量在整个后熟期间均低于对照组, 并在成熟度 3 级时达到显著水平 ($P<0.05$); 成熟度至 4 级和 5 级时, 矮化组的琥珀酸含量显著低于对照组 ($P<0.05$), 且分别达到极显著差异水平 ($P<0.01$) 和显著差异水平 ($P<0.05$); 奎宁酸含量在果实成熟度 5 级时, 矮化组低于对照组, 并达到显著差异水平 ($P<0.05$)。两组果实果糖、蔗糖、葡萄糖的含量和变化趋势无显著差异; 在成熟度达到 7 级时, 矮化组和对照组的糖酸比无显著差异。结论: 矮化处理缩小了‘桂蕉 9 号’的蕉柄长度和蕉指周长, 改变了部分有机酸的代谢, 但没有显著改变贮藏寿命和食用品质。

关键词: ‘桂蕉 9 号’, 矮化处理, 外观性状, 后熟特性, 贮藏品质

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)14-0308-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023090044



本文网刊:

Effects of Dwarfing Treatments on the Appearance and Storage Quality of Banana Fruit

HE Yiyi^{1,2}, HUANG Meihua^{2,3}, LIANG Xiaojun^{2,3}, QIN Liuyan¹, MA Yanbi^{2,3}, DAN Ming^{2,3}, LI Chaosheng², WEI Shaolong², HE Quanguang^{2,3,*}, FENG Bihong^{1,*}

(1. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530004, China;

3. Guangxi Key Laboratory of Fruits and Vegetables Storage-processing Technology, Nanning 530004, China)

Abstract: Objective: This study investigates the effects of dwarfing treatment on the appearance and postharvest quality of banana fruits. Methods: The experimental material used in this study was 'Guijiao No.9'. A dwarfing agent, primarily composed of uniconazole and potassium dihydrogen phosphate, was dissolved in water and applied to the roots. The banana seedlings undergo their first treatment with the dwarfing agent when they reach the 18th leaf, followed by a second treatment when they reach the 23rd leaf. The fruits were harvested once they reach the desired level of commercial maturity.

收稿日期: 2023-09-06

基金项目: 国家自然科学基金 (31160406); 广西科技重大专项 (桂科 AA20302016-5)。

作者简介: 何羿仪 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 园艺产品采后贮藏与保鲜, E-mail: 1326302542@qq.com。

* 通信作者: 封碧红 (1975-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 园艺产品采后保鲜与生物技术, E-mail: fbh@gxu.edu.cn。

何全光 (1978-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品贮藏加工, E-mail: hqg368@126.com。

Fruit appearance (peduncle length, fruit finger circumference) and postharvest quality, including peel color (value L^* , a^* , b^* , C^* , h^*), fruit hardness, respiration rate, ethylene release, soluble sugar content (fructose, sucrose, glucose), and organic acid content (oxalic acid, quinine acid, malic acid, succinic acid, V_C , citric acid, fumaric acid) in the flesh were taken as reference indicators to study the effects of dwarfing treatment on the storage quality of banana fruits. Results: The peduncle length and finger circumference between the dwarfed group and the control group showed extremely significant differences ($P<0.01$) and significant differences ($P<0.05$), respectively. Under the storage condition of 22 °C, there was no significant difference in peel color chromatism and firmness change between the dwarfed group and the control group. After the climacteric stage, the CO_2 and ethylene production of the dwarfed group were higher than those of the control group, but with no significant difference. The malic acid content in the fruits of the dwarfed group was lower than that of the control group during the entire ripening period and reached a significant level at maturity stage 3 ($P<0.05$). At maturity stages 4 and 5, the succinic acid content in the dwarfed group was significantly lower than that of the control group, with extremely significant differences ($P<0.01$) and significant differences ($P<0.05$) were observed, respectively. The quinine acid content in the dwarfed group was significantly ($P<0.05$) lower than that of the control group at maturity stage 5. There was no significant difference in the content and trend of glucose, fructose, and sucrose between the two groups. Finally, at maturity stage 7, there was also no significant difference in the sugar-acid ratio between the two groups. Conclusion: The dwarfing treatment reduced the peduncle length and fruit finger circumference of Banana 'Guijiao No.9' and altered the metabolism of some organic acids, but did not significantly change the storage life and eating quality.

Key words: 'Guijiao No.9'; dwarfing treatment; appearance traits; ripe characteristics; storage quality

香蕉 (*Musa acuminata* AAA group, Cavendish cultivar) 是广西重点发展的两大优势水果产业之一, 香蕉产业已成为广西农村经济繁荣和农民脱贫致富的重要支柱产业之一。目前广西香蕉种植面积和鲜果产量均位居全国第二位^[1]。'桂蕉 9 号'是由巴西蕉芽变株系选育而来, 具有中抗枯萎病的特性, 是广西目前主栽的抗枯萎病的香牙蕉品种。但香蕉属大型草本果树, 植株假茎高大, 生长周期长, 叶片、果穗管护难度大, 台风等自然灾害风险高, 田间管理周期长, 生产成本投入多。降低香蕉植株假茎高度, 对降低生产成本, 减轻种植风险, 提高种植效益均具有重要意义^[2]。与乔化果树相比, 矮化果树用于建造营养器官的光合产物比较少, 而用于果实生长的光合产物比较多, 从而在同样投入和生物产量近似的情况下, 其经济产量高于乔化果树。主要表现在开花结果早、单位面积产量高、果实品质好、易成花、管理方便等^[3-4]。此外, 矮化处理后的香蕉植株具有抗倒伏、果形整齐等特点, 便于疏果、去蕾、套袋等田间管理, 有利于节省生产成本, 深受果农欢迎。矮化处理技术对香蕉产业的未来而言具有极大潜力^[5]。

矮化剂是植物生长调节剂的一种, 常用的矮化剂有矮壮素、多效唑、烯效唑和比久等一种或多种的组合, 它们的共同效应是缩短节间距、增粗茎秆、加深叶色、加厚叶片、促进根系生长、增强抗逆性等^[6]。矮化剂不仅矮化植株, 同时能够影响作物果实的其他方面, 如多效唑处理会减少向日葵瘦果的产量和重量^[7], 加速番茄果实的成熟和产量^[8], 延长大豆正常代谢活动周期^[9], 显著提高草莓的蛋白质含量^[10], 减轻葡萄果实掉粒程度^[11]等。不同的矮化剂对植物的影响也不相同, 刘明等^[12]使用不同浓度的矮壮素和多效唑试剂处理向日葵植株, 结果表明 300 mg/L 多效唑的矮化效果更佳; 多效唑处理不仅抑制木棉苗

生长高度还抑制了基径增粗, 而矮壮素处理则起到促进基径生长的效果^[13]。关于香蕉成熟过程中的生理和分子生物学机制, 国内外已广泛开展了研究, 随着成熟进程的推进, 香牙蕉的有机酸、可溶性糖含量等会逐步升高^[14]; 果皮颜色褪绿转黄, 果实硬度下降^[15]。在不同贮藏条件对香蕉后熟品质或进程影响方面, 高浓度的乙烯利及较高的贮藏温度可以加快'南天黄'香蕉果实的后熟进程^[15]; 蓝、紫光可延缓后熟, 红、橙光促进后熟, 黄、绿光扰乱后熟^[16]; 高浓度 CO_2 可抑制叶绿素 a 的降解^[17]。分子生物学方面, 香蕉成熟过程中相关基因的表达^[18], 乙烯信号转导的关键通路^[19], 细胞壁中果胶的降解^[20], 初级和次级代谢物的合成和降解反应以及它们之间的相关性^[21], 淀粉和糖代谢^[22], 香气的合成^[23], 香蕉果皮中叶绿素的降解^[24]等机制均得到了一定程度的阐释。

目前矮化处理对香蕉果实贮藏品质的影响研究目前尚不多见, 本实验采用自主研发的矮化剂, 开展矮化处理对香蕉果实外观以及后熟品质影响的研究, 研究结果对于矮化技术在香蕉产业的推广应用具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 材料与仪器

香蕉果实 采自广西隆安县叮当镇基地, 品种 '桂蕉 9 号', 香蕉苗于 2020 年 10 月定植, 实验面积 120 亩, 矮化组 60 亩, 对照组 60 亩; 矮化剂 购于广西丰浩农业科技有限公司, 编号为 0802, 主要成分为烯效唑和磷酸二氢钾; 果糖、蔗糖、葡萄糖、草酸、奎宁酸、苹果酸、琥珀酸、 V_C 、柠檬酸、延胡索酸标准品 购于上海源叶科技有限公司; 其他试剂 购于天津科密欧化学试剂有限公司。

HP-200 精密色差仪 广东三恩时智能科技有限公司; CT3 质构仪 美国博勒飞公司; Check point

3 顶空气体分析仪 丹麦膜康公司; Agilent 6890N 气相色谱仪 美国安捷伦科技有限公司; LC-20A 高效液相色谱仪、ELSD-LT- II 蒸发光检测器、SPD-M20A 二级管阵列检测器 日本岛津公司; 氨基色谱柱 大连依利特分析仪器有限公司; Ultimate AQ-C₁₈ 色谱柱 月旭科技(上海)股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 香蕉矮化处理及贮藏条件 将矮化剂溶于 2 L 水后灌根, 对照施用等量清水。香蕉苗长至第 18 片叶时使用矮化剂第一次矮化, 长至第 23 片叶时第二次矮化, 用量均为 0.25 g/株, 矮化组最终平均高度为 2.65 m, 对照组最终平均高度为 3.10 m。2021年 7 月 13 日现蕾, 2021 年 10 月 12 日采收。分别从生长发育基本一致的矮化处理和对照果树中随机选择三株饱满度在 7~8 成的果实, 采收后装筐, 避免曝晒并立即运送至实验室。落梳清洗后, 去除畸形、特大或特小的果实, 选取无病虫害、无机械损伤的蕉指, 在 22 °C, RH 90%~95% 的环境下贮藏, 矮化组和对照组各重复 3 次。矮化组标记为 T, 对照组标记为 CK。

1.2.2 成熟等级区分 参照 Stover 等^[25]的方法, 按香蕉果皮从绿-黄的颜色分为 1~7 共 7 个成熟等级。成熟等级对应天数如下表 1:

表 1 ‘桂蕉 9 号’果实成熟等级对应天数
Table 1 Days corresponding to fruit ripening class of 'Guijiao No.9'

组别	1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级
CKA	1 d	6 d	24 d	29 d	30 d	31 d	32 d
CKB	1 d	6 d	24 d	29 d	30 d	31 d	32 d
CKC	1 d	6 d	19 d	24 d	29 d	31 d	32 d
TA	1 d	6 d	24 d	29 d	30 d	31 d	32 d
TB	1 d	6 d	24 d	29 d	30 d	31 d	32 d
TC	1 d	6 d	19 d	24 d	29 d	31 d	32 d

1.2.3 果柄长度测定 由于香蕉果穗由上往下发育, 因此由下往上蕉指体型逐步变大, 通过测量比较处理间最小或最大的蕉指果柄长度, 可得知矮化处理对果柄的影响。使用游标卡尺测量果柄的长度, 测量对象为香蕉果穗从下往上数的第一把蕉指(矮化组 T1、对照组 CK1)和第八把蕉指(矮化组 T8、对照组 CK8), 每处理 3 个重复, 第一把每重复测量 10 根, 第八把每重复测量 14 根。

1.2.4 蕉指周长测定 通过测量比较对照和处理间最小一把蕉指的周长, 可得知整体的蕉果相对大小情况。使用皮尺测量蕉指的周长, 测量对象为香蕉果穗从下往上数的第一把蕉指, 测量香蕉果实中部最粗处, 每处理 3 个重复, 每重复测 6 个蕉指。

1.2.5 果皮颜色测定 由于整串香蕉中部的蕉指体型适中, 发育时间接近, 大小均一, 因此贮藏实验的蕉指选择为香蕉果穗从下往上数的第四、第五把蕉指,

使用该部分蕉指完成色差、硬度、呼吸、乙烯和糖酸指标的取样测量。色差测量每处理 3 个重复, 每重复测 3 个蕉指。参照 Pelayo 等^[26]的方法, 测试样品 L*值、a*值、b*值、C*值、h*值。L*值代表的是果皮颜色的明暗度, L*值越大说明颜色越亮, 越小说明颜色越暗; a*值代表红色或绿色物质的浓度, a*值正数说明颜色偏红, 负数说明颜色偏绿; b*值代表黄色或蓝色物质的浓度, b*值正数说明颜色偏黄, 负数说明颜色偏蓝; C*代表色饱和度, 饱和度越高色彩越鲜艳, 饱和度越低, 色彩越暗淡; h*值代表色调角, 越接近 180, 颜色越绿^[27-28]。

1.2.6 果实硬度测定 每处理 3 个重复, 每重复测 3 个值。将样品侧面正中间的果皮剔除, 把样品固定在底座上测试模式选择单次压缩模式, 探头采用 TA41 圆柱形探头来测试果实硬度。测前速率为 2 mm/s, 测试速率设为 2 mm/s, 测后速率与测试速率一致; 测试深度为 1 cm, 停留间隔为 5 s; 数据采集速率为 10 pps; 触发值为 5 g。取测试过程中获得的最大值作为果肉硬度, 单位为 g。

1.2.7 果实呼吸速率测定 呼吸速率采用封罐法。每处理 3 个重复, 每重复测 3 个值。选取 3 个蕉指, 25 °C 下置于 2.5 L 密封罐中, 测定起始时二氧化碳的体积分数, 1 h 后, 测定终止时二氧化碳的体积分数。

呼吸速率按照如下公式计算:

$$R_{CO_2} = \frac{([CO_2]_{t_f} - [CO_2]_{t_i}) \times V}{100M \times (t_f - t_i)} \quad \text{式 (1)}$$

其中, R_{CO_2} 代表二氧化碳生成的速率, mL/(kg·h); $[CO_2]_{t_i}$ 和 $[CO_2]_{t_f}$ 分别代表测量的起始和终止时二氧化碳的体积分数, %; t_i 和 t_f 分别代表测量的起始和终止时间, h; V 是密封盒的自由体积, mL; M 是样品的质量, kg。

1.2.8 果实乙烯释放量测定 乙烯释放量的测定采用封罐法。每处理 3 个重复, 每重复测 3 个值。选取 3 个蕉指, 25 °C 下置于 2.5 L 密封罐中 1 h 后测定。色谱条件: 色谱柱为活性氧化铝毛细管柱 (30 m×0.53 mm×0.25 μm), 柱温为 80 °C, 载气为氦气(He), 火焰离子检测器(FID); 温度 180 °C, 进样口温度 150 °C, 载气流速为 30 mL/min。进样体积 0.5 mL。

乙烯释放量按照如下公式计算:

$$\text{乙烯释放量}(\mu\text{L} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}) = \frac{N \times V}{W \times H} \quad \text{式 (2)}$$

其中, N 代表每毫升气样的乙烯浓度, μL/L; H 代表密封时间, h; V 代表密封罐的空间除去果实体积后剩余的气体体积, L。

1.2.9 果实可溶性糖含量测定 可溶性糖含量测定方法参照国标 GB 5009.8-2016《食品安全国家标准食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》-

高效液相色谱法^[29]进行。每个处理 3 个重复, 每个重复测 3 个值。高效液相色谱条件, 柱温 40 ℃, 流动相为乙腈:水=70:30, 流速为 1.0 mL/min, 进样量 20 μL, 漂移管温度 80~90 ℃, 设定时间 30 min。

测得‘桂蕉 9 号’果肉试样中可溶性糖的峰面积, 并参照国标 GB 5009.8-2016《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》^[29]中的标准曲线法计算出每 100 g 果肉中可溶性糖的含量。

1.2.10 果实有机酸含量测定 有机酸含量测定方法参照国标 GB 5009.157-2016《食品安全国家标准 食品中有机酸的测定》-高效液相色谱法^[30]进行。测量对象为香蕉果穗的第四、第五把蕉指, 每处理 3 个重复, 每重复测 3 个值。高效液相色谱条件, 柱温 40 ℃, 流动相为 0.1% 磷酸:甲醇=97.5:2.5, 流速为 0.8 mL/min, 进样量 20 μL, 紫外检测器波长为 210 nm。

通过液相仪色谱仪测得‘桂蕉 9 号’果肉试样中有机酸的峰面积, 并参照国标 GB 5009.157-2016《食品安全国家标准 食品中有机酸的测定》^[30]中的标准曲线法计算出每 1 kg 果肉中有机酸的含量。

1.3 数据处理

通过 Excel 2013 进行数据的整理, 通过 Graphad 9.4.0 进行数据的柱形图、折线图绘制和对测定结果进行差异显著性分析。采用 t 检验方法, $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 矮化处理对‘桂蕉 9 号’外观性状的影响

2.1.1 矮化处理对香蕉果柄长度的影响 果柄长度决定了香蕉果实的整体形状和耐储运性, 果柄过长, 果实货架期间容易脱把。由图 1a 可知, T1 果柄长度的中位数小于 CK1 果柄长度的中位数, T8 果柄长度的中位数小于 CK8 果柄长度的中位数。CK1 果柄长度在 23 mm 左右较为集中, T1 果柄长度在 19~22 mm 左右较为集中, CK8 果柄长度在 30 mm 左右较为集中, T8 果柄长度在 25 mm 左右较为集中, 从分布情况可以看出矮化组果柄长度比对照组果柄长度短。由图 1b 得知 T1 果柄长度平均值小于 CK1 果柄长度平均值, 两者差异达到极显著水平 ($P < 0.01$); T8 果柄长度平均值小于 CK8 果柄长度平均值, 两者差异达到极显著水平 ($P < 0.01$)。根据上述分析, 矮化组和对照组果柄长度有显著差异。

2.1.2 矮化处理对香蕉蕉指周长的影响 蕉指的周长可以反映香蕉果实的粗细程度。由图 2a 可知, T1 蕉指周长的中位数小于 CK1 蕉指周长的中位数, CK1 蕉指周长在 11.20 cm 左右较为集中, T1 蕉指周长在 10.70 cm 和 11.20 cm 左右较为集中, 从分布情况可以看出矮化植株的蕉指周长比对照植株蕉指周长小。由图 2b 得知 CK1 蕉指周长平均值大于

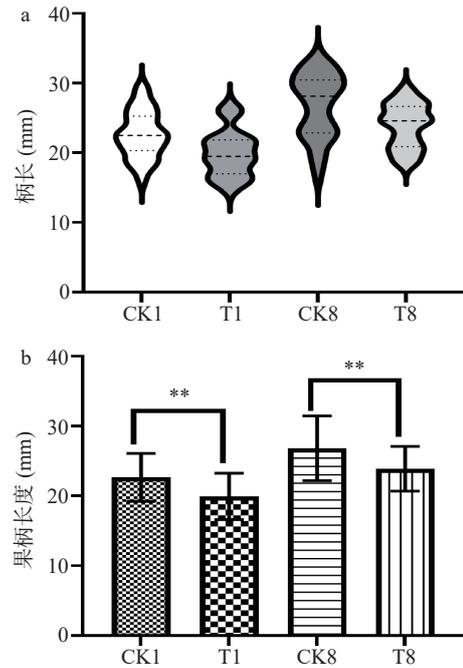


图 1 矮化组和对照组果柄长度分布(a)及果柄长度比较(b)
Fig.1 Comparison of the approximate distribution of petiole length (a) in the dwarfed group and the control group and the mean value of plantain petiole length (b)

注: *表示组间差异显著 ($P < 0.05$), **表示组间差异极显著 ($P < 0.01$); 图 2 同。

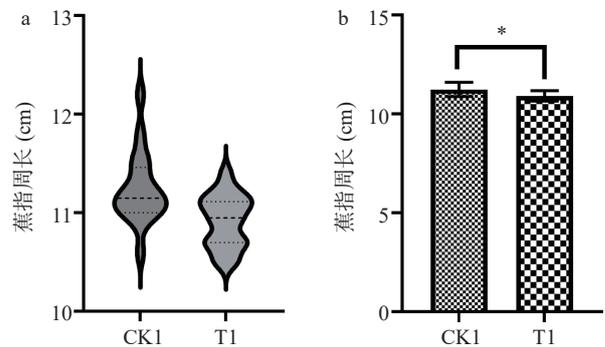


图 2 矮化组和对照组蕉指周长大致分布图(a)以及蕉指周长平均值比较(b)

Fig.2 Approximate distribution of plantain finger girth (a) in the dwarfed group and the control group and comparison of mean plantain finger girth (b)

T1 蕉指周长平均值, 两者差异显著 ($P < 0.05$)。根据上述分析, 矮化处理会显著降低‘桂蕉 9 号’的蕉指周长。

2.2 矮化处理对‘桂蕉 9 号’后熟过程中果皮颜色变化的影响

为了方便比较矮化和对照香蕉果实在贮藏寿命与成熟进程上的差异, 果皮颜色、果实硬度、呼吸速率、乙烯释放速率变化的折线图横坐标为香蕉采摘后的贮藏天数。果皮颜色是果实外观品质的重要指标之一, 香蕉在成熟过程中果皮颜色变化为: 绿色 → 黄绿色 → 黄色^[31]。图 3 为矮化组和对照组香蕉果实贮藏期间外观图。由图 4 得知, 果实随着贮藏时

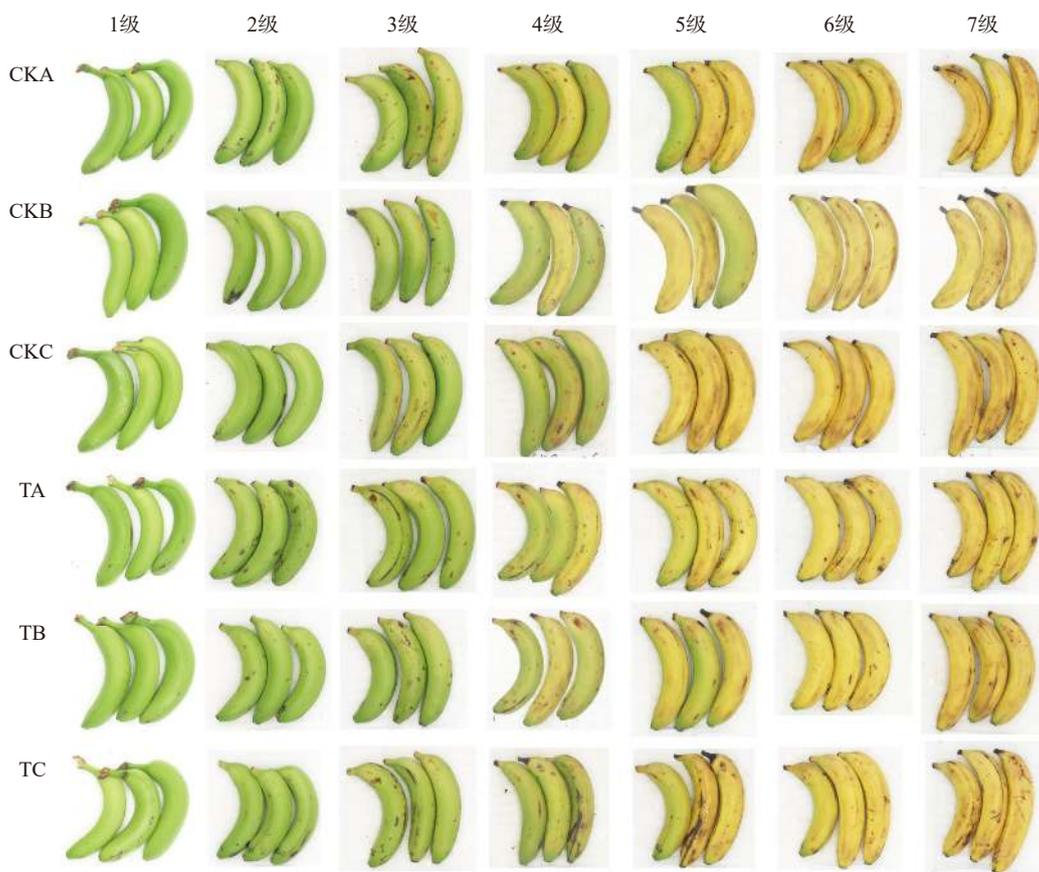


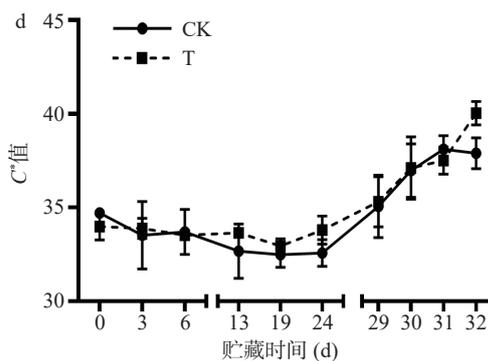
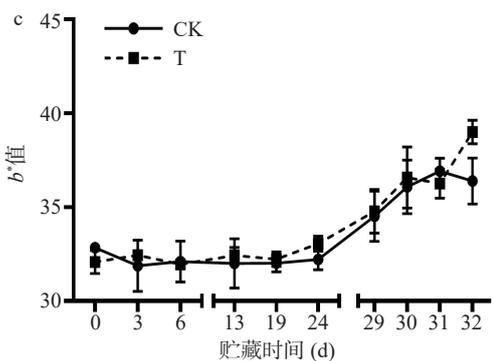
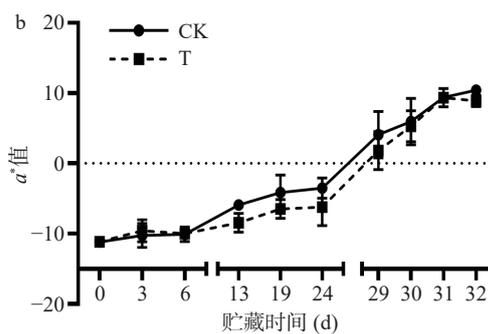
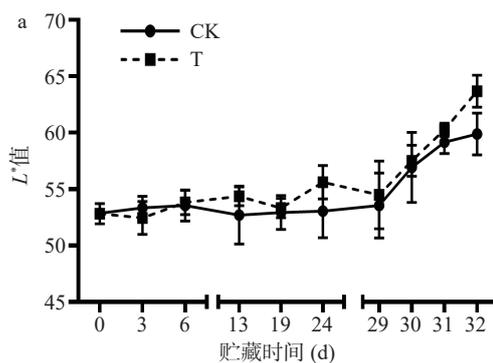
图3 矮化组 and 对照组香蕉果实贮藏期间外观图

Fig.3 Appearance of banana fruit during storage in the dwarfed group and the control group

间的延长, L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 C^* 值整体趋势增大, h^* 值整体趋势减小。矮化组和对照组果皮颜色变化多呈相同趋势。 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 C^* 值在 0~24 d 期间变化较为平缓, 24 d 后呈现逐渐上升趋势; h^* 值呈有序下降趋势。两者果皮颜色变化均无显著差异。

2.3 矮化处理对‘桂蕉 9 号’后熟过程中果实硬度变化的影响

硬度变化可以直观地反映香蕉果实的成熟进程, 并影响果实的食用口感品质^[32-33]。由图 5 得知, 随着果实的成熟, 果肉逐渐变软, 果实硬度逐渐减



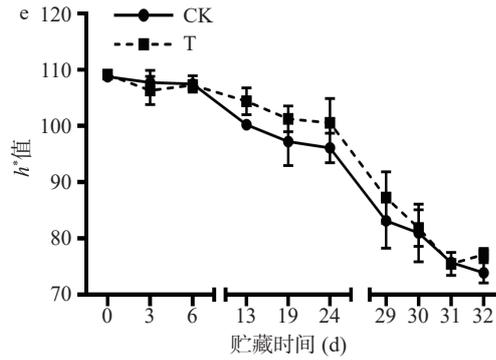


图 4 矮化组和对照组果皮颜色 $L^*(a)$ 、 $a^*(b)$ 、 $b^*(c)$ 、 $C^*(d)$ 、 $h^*(e)$ 值随贮藏时间的变化

Fig.4 Variation in peel colour $L^*(a)$ 、 $a^*(b)$ 、 $b^*(c)$ 、 $C^*(d)$ 、 $h^*(e)$ values with storage time in dwarfed group and the control group

小。矮化组和对照组果实硬度变化呈相同趋势。0~24 d 期间果实的硬度浮动较小, 24 d 后硬度迅速下降, 两者果实硬度变化进程没有显著差异。说明矮化处理对‘桂蕉 9 号’成熟过程中果实硬度变化进程没有显著的影响, 即矮化处理不会影响香蕉的果肉软化。

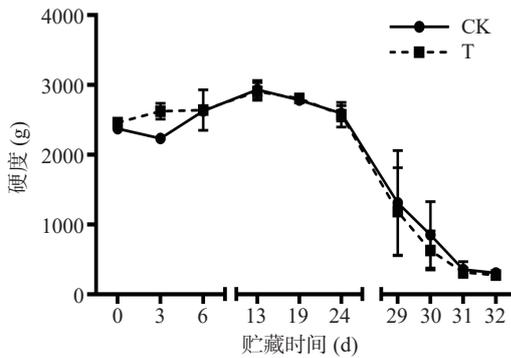


图 5 矮化组和对照组硬度随贮藏时间的变化

Fig.5 Variation in hardness with storage time in dwarfed group and the control group

2.4 矮化处理对‘桂蕉 9 号’后熟过程中呼吸强度和乙烯释放量的影响

呼吸和乙烯的变化可以反映果实的代谢状态, 呼吸或乙烯高峰的出现是跃变型果实进入后熟的标志^[34]。从图 6a、图 6b 可知, 24 d 之后是‘桂蕉 9 号’的跃变时期。由图 6a 可知, 贮藏 0~24 d 期间, 果实 CO₂ 释放量上下轻微浮动, 24 d 后开始迅速上升。总体上看, 矮化处理后的香蕉果实在进入呼吸高峰后(29 d), CO₂ 释放量的平均值高于对照, 但二者 CO₂ 释放量差异不显著。由图 6b 可知, 在贮藏时间 24 d 内, 矮化组和对照组乙烯释放量都极低, 到 24 d 两者开始逐步上升, 贮藏 24 d 后, 矮化组乙烯释放量都高于对照组, 但二者差异不显著。说明矮化处理对‘桂蕉 9 号’成熟过程中果实呼吸的强度和乙烯的释放无显著影响。

2.5 矮化处理对‘桂蕉 9 号’后熟过程中果肉可溶性糖含量变化的影响

香蕉果实品质差异在后熟状态一致的情况下比较才有意义, 因此将可溶性糖和有机酸的含量变化折

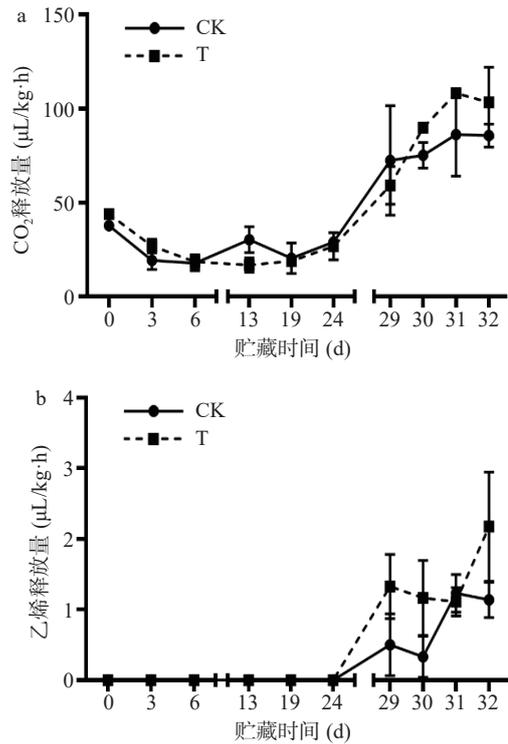
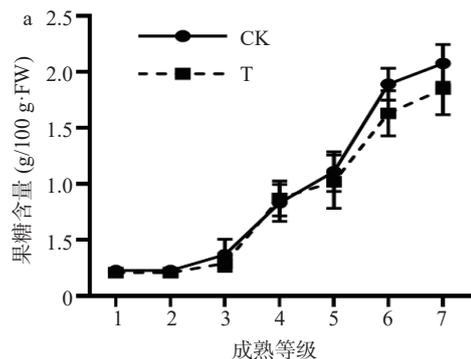


图 6 矮化组和对照组 CO₂(a)、乙烯释放量(b)随贮藏时间的变化

Fig.6 Variation in CO₂ (a) and ethylene release (b) with storage time in dwarfed group and the control group

线图的横坐标展示为香蕉成熟等级。由图 7 可知, 随着成熟级别的增加, 果实果糖含量、蔗糖含量、葡萄糖含量整体呈上升趋势。矮化组和对照组的果糖含量、蔗糖含量、葡萄糖含量变化多呈相同趋势。3 级之后果糖、蔗糖、葡萄糖含量上升速率明显加



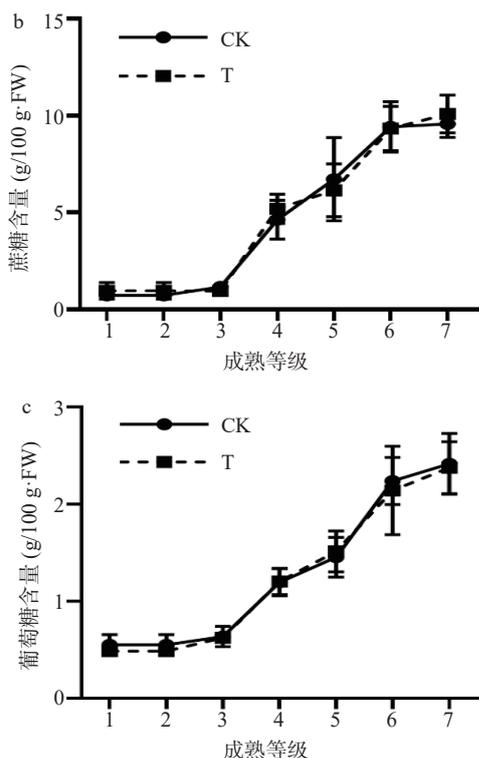


图7 矮化组和对照组果糖(a)、蔗糖(b)、葡萄糖(c)含量随成熟等级的变化

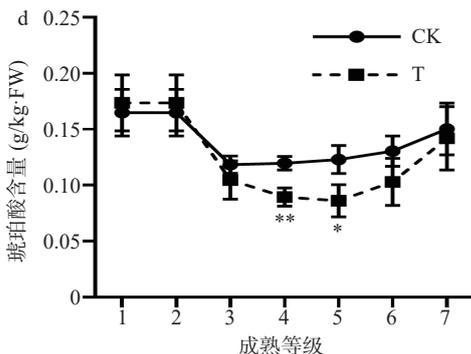
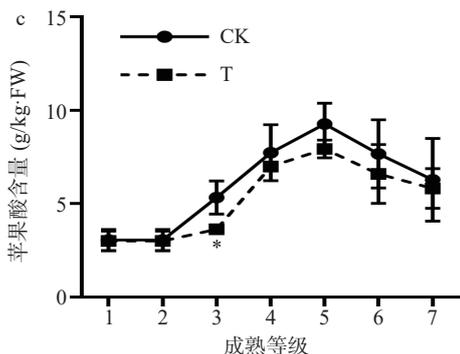
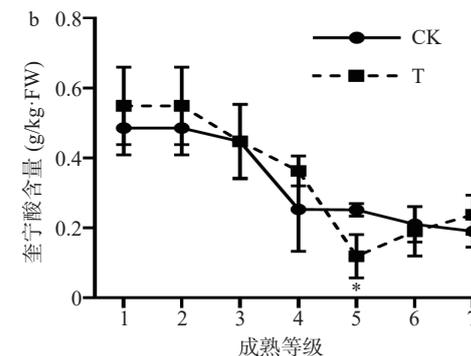
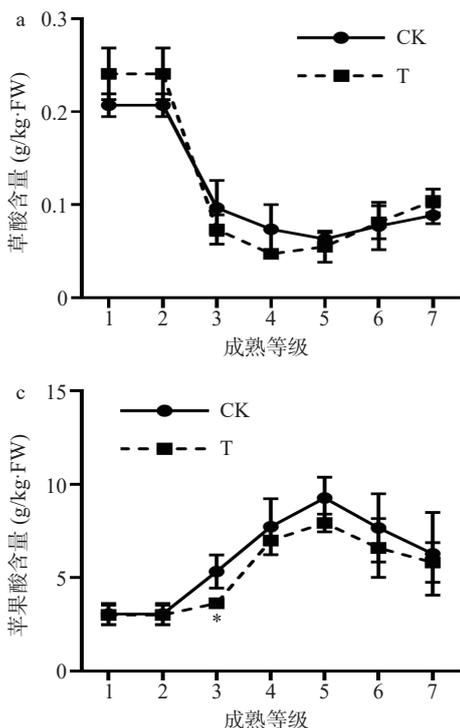
Fig.7 Variation in the content of fructose (a), sucrose (b) and glucose (c) with maturity grade in dwarfed group and the control group

快。矮化组和对照组的果肉果糖含量、蔗糖含量、葡萄糖含量没有显著差异。说明矮化处理对‘桂蕉9号’成熟过程中果实可溶性糖的含量没有显著的影响。

2.6 矮化处理对‘桂蕉9号’后熟过程中果肉有机酸含量变化的影响

有机酸种类和含量影响果实的风味。由图8a

可以看出,矮化组和对照组草酸含量变化总体呈下降的趋势,且2~3级下降幅度较大,3~4级下降幅度较小,4级后缓慢上升。二者草酸的最终含量没有显著差异。矮化组和对照组奎宁酸含量5级之前有序下降(图8b),到达5级时,对照组继续下降,矮化组回调上升。在5级时,对照组奎宁酸含量高于矮化组,且二者达到显著水平($P < 0.05$);7级时,二者奎宁酸含量没有显著差异。矮化组和对照组苹果酸含量变化规律接近(图8c),都呈先升后降的趋势。随着果实成熟,苹果酸逐渐积累,在5级达到最高点后有序下降。同时,对照组苹果酸含量始终高于矮化组,在3级时,两者差异达到显著水平($P < 0.05$)。由图8d可以看出,香蕉果实从2级到3级转变过程中琥珀酸含量迅速下降,之后变化趋势趋于平缓。对照组在3级到6级的转变期间琥珀酸含量整体高于矮化组,并且在4级和5级时分别达到了极显著水平($P < 0.01$)和显著水平($P < 0.05$)。果实达到6级后琥珀酸含量开始回升,7级时含量趋于一致。矮化组和对照组V_C含量变化趋势基本接近(图8e),均呈现出“降-升-降”的趋势:2级~3级略微下降,3级~6级逐步上升,6级到达最高点后下降。二者V_C含量没有显著差异。随着果实后熟,矮化组和对照组柠檬酸含量同时上升(图8f),且矮化组在5级前柠檬酸含量高于对照组,5级~6级时二者柠檬酸含量非常接近,6级后二者柠檬酸含量均下降。二者柠檬酸最终含量没有显著差异。在整个后熟阶段,延胡索酸含量在矮化组和对照组的果实中均呈有序下降的趋势(图8g),4级前矮化组延胡索酸含量平均值比对照组低;4级后矮化组含量比对照组高,但二者差异未达到显著水平。



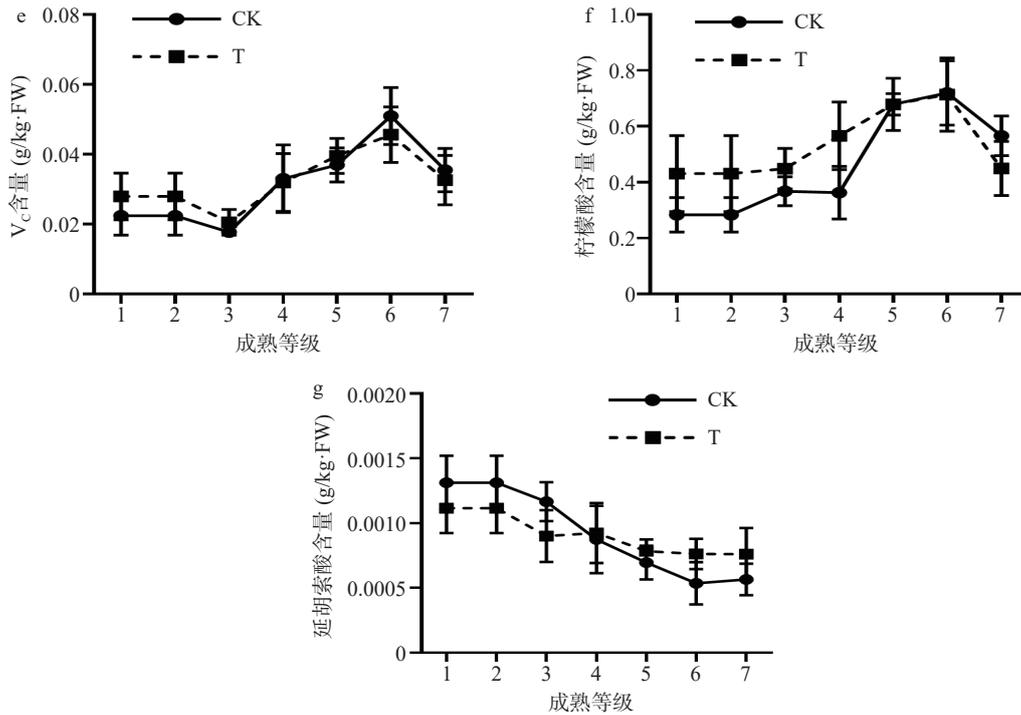


图 8 矮化组和对照组草酸(a)、奎宁酸(b)、苹果酸(c)、琥珀酸(d)、V_C(e)、柠檬酸(f)、延胡索酸(g)含量随成熟等级的变化
Fig.8 Variation in the content of oxalic acid (a), quinic acid (b), malic acid (c), succinic acid (d), V_C (e), citric acid (f), and fumaric acid (g) with maturity grade in dwarfed group and the control group

总体上,矮化和对照组中的草酸、奎宁酸、富马酸、琥珀酸在后熟中逐渐下降,而苹果酸、V_C、柠檬酸在后熟进程中呈现先上升,后下降的趋势。虽然在部分时间点二者的某些有机酸含量差异达到显著水平,但在最终体现果实食用品质的 6~7 级时间点上,矮化组和对照组的各有机酸含量均未出现显著差异,说明矮化处理不会对果实最终的有机酸含量产生显著影响。

2.7 矮化处理对‘桂蕉 9 号’后熟过程中糖酸比的变化影响

将可溶性糖总量和上述 7 种有机酸总量的比值作为糖酸比的参考。由图 9 可知,矮化组和对照组糖酸比及其变化趋势相当接近,都呈现上升趋势。1~3 级浮动不大,3 级之后开始上升,5 级之后迅速上升,7 级时糖酸比达到最高。二者的糖酸比无显著

差异。

3 讨论与结论

研究表明,矮化剂通过阻碍赤霉素的生物合成,导致活性赤霉素的数量减少,从而减缓植物茎端分生组织细胞分裂、伸长和生长速度,并缩短节间距^[6,35]。赤霉素参与香蕉蕉柄的伸长生长,香蕉果皮的扩张,矮化处理抑制赤霉素的合成从而抑制香蕉蕉柄伸长生长以及果皮细胞分裂^[36]。本研究发现,矮化处理缩小了‘桂蕉 9 号’的蕉柄长度和蕉指周长,蕉柄缩短,能有效减轻香蕉货架期的掉果程度。

香蕉为呼吸跃变型果实,通常在果实田间饱满度达到约 7 成时采收,贮藏初期呼吸速率极低,后期呼吸速率迅速升高,出现呼吸跃变^[34]。观察本实验的果皮颜色变化、果实呼吸速率以及乙烯释放量变化折线图可发现,矮化组和对照组的呼吸跃变发生在 24~29 d 之间,即采收贮藏的中后期,与李朋超等^[34]的研究结论一致。在 24~29 d 开始呼吸跃变之时,果皮的颜色由绿色转变为黄绿色,果实硬度迅速下降,呼吸速率上升,乙烯释放量突升,对照组和矮化组出现跃变的时间基本一致,说明矮化处理对香蕉果实的后熟进程没有显著影响,两者的贮藏期没有显著差异。

本研究发现,贮藏 29 d 后,矮化组苹果酸、琥珀酸含量平均值小于对照组,且在后熟过程中矮化组的奎宁酸、琥珀酸、柠檬酸、延胡索酸含量平均值都在不同等级和阶段与对照组存在着差别,但未达到显著水平。果实呼吸作用的强度与果实生命活动的状态有关,当中涉及到呼吸代谢途径的变化^[37],糖酵解-三

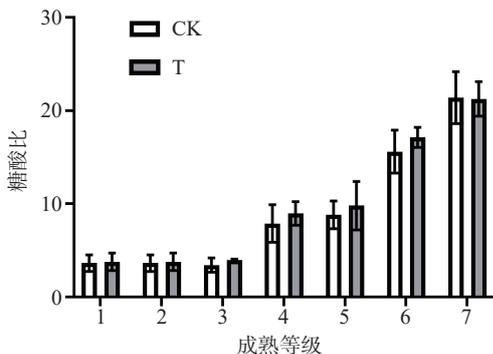


图 9 矮化组和对照组糖酸比随成熟等级的变化
Fig.9 Variation of sugar-acid ratio with maturity grade in dwarfed group and the control group

羧酸(EMP-TCA)循环是呼吸代谢的主途径,苹果酸、琥珀酸、柠檬酸、延胡索酸都是三羧酸循环中的主要反应物^[38]。结合矮化组跃变期间呼吸强度平均值大于对照组,而苹果酸、琥珀酸含量在跃变期间低于对照组以及多种参与代谢活动的有机酸含量在跃变期间的差异情况,可以推测矮化处理的果实在跃变期更多的苹果酸、琥珀酸等有机酸作为底物参与了代谢活动,但最终在适宜食用的6~7级成熟度,矮化和对照的有机酸含量没有显著区别。

成熟香蕉果实中含有蔗糖、葡萄糖和果糖,其中蔗糖含量最高^[39]。本研究结果表明,矮化处理后香蕉果肉中三种主要糖类的相对比例并未改变,且在各个成熟等级中,对照和矮化处理组果实的糖含量差异均不显著,说明矮化处理对‘桂蕉9号’的糖代谢途径没有显著影响。‘桂蕉9号’由巴西蕉芽变选育而来,本研究实验中‘桂蕉9号’后熟末期与前期相比果实里的草酸、奎宁酸、琥珀酸含量减少,苹果酸、柠檬酸含量增加与孙佩光等^[40]对巴西蕉的研究结果基本一致。再根据两者糖和酸的各项指标在成熟度达7级时均无显著差异,说明矮化处理不会影响其食用品质和口感。

总的来说,矮化处理缩小了‘桂蕉9号’的蕉柄长度和蕉指周长,改变了部分有机酸的代谢水平,但没有显著改变贮藏寿命和食用品质。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] 凌荣娟,冯斗,李燕培,等.广西香蕉产业提质增效发展对策研究[J].农业研究与应用,2020,33(5):58-61. [LING Rongjuan, FENG Dou, LI Yanpei, et al. Strategy for the development of Guangxi's banana industry[J]. Agricultural Research and Application, 2020, 33(5): 58-61.]
- [2] 黄相,邹瑜,赵明,等.多效唑对3个香蕉品种旱地栽培的矮化效应[J].中国南方果树,2022,51(4):63-67. [HUANG Xiang, ZOU Yu, ZHAO Ming, et al. Dwarfing effect of polyconazole on three banana varieties grown in dryland[J]. Southern China Fruit trees, 2022, 51(4): 63-67.]
- [3] 程延静,曹格妮,刘丹丹,等.果园矮化和乔化栽培模式的对比分析[J].河北农业,2022(3):84-85. [CHENG Yanjing, CAO Geni, LIU Dandan, et al. Comparative analysis of dwarf and arboricultural patterns in orchards[J]. Hebei Agriculture, 2022(3): 84-85.]
- [4] 王雷存.矮化果树栽植优势多[J].世界热带农业信息,2009(9):27. [WANG Leicun. Dwarf fruit tree planting has many advantages[J]. World Tropical Agricultural Information, 2009(9): 27.]
- [5] 王子齐.台湾推广香蕉矮化品种[J].台湾农业情况,1991(1):35. [WANG Ziqi. Promotion of banana dwarf varieties in Taiwan[J]. Agricultural Situation in Taiwan, 1991(1): 35.]
- [6] 钟颖颖,廖易,陆顺教,等.矮化剂作用机制及其在观赏植物上的研究进展[J].中国农学通报,2020,36(7):69-75. [ZHONG

Yingying, LIAO Yi, LU Shunjiao, et al. Dwarfing agent: Mechanism of action and research progress in ornamental plant[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(7): 69-75.]

[7] KOUTROUBAS S D, DAMALAS C A. Sunflower response to repeated foliar applications of paclobutrazol[J]. *Planta Daninha*, 2015, 33: 129-135.

[8] BEROVA M, ZLATEV Z. Physiological response and yield of paclobutrazol treated tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [J]. *Plant Growth Regulation*, 2000, 30: 117-123.

[9] SANKHLA N, DAVIS T D, UPADHYAYA A, et al. Growth and metabolism of soybean as affected by paclobutrazol[J]. *Plant and Cell Physiology*, 1985, 26(5): 913-921.

[10] 王全智,孙朋朋,吴文文,等.多效唑对桃熏草莓生长与果实品质的影响[J].江苏农业科学,2019,47(21):182-185. [WANG Quanzhi, SUN Pengpeng, WU Wenwen, et al. Influences of paclobutrazol on growth and fruit quality of Toukun strawberry[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(21): 182-185.]

[11] 林旭.矮壮素、多效唑对阳光玫瑰葡萄生长势及果实品质的影响[J].农业科技通讯,2023(2):119-121. [LIN Xu. Effects of Buzonin and Polybulozole on growth potential and fruit quality of Sunshine Rose grape[J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2023(2): 119-121.]

[12] 刘明,张迪,何欢,等.矮壮素和多效唑对观赏向日葵的矮化效应[J].贵州农业科学,2022,50(7):46-50. [LIU Ming, ZHANG Di, HE Huan, et al. Dwarfing effect of chlormequat chloride and polyphenols on ornamental sunflower[J]. *Guizhou Agricultural Science*, 2022, 50(7): 46-50.]

[13] 罗晓滔,赵冬,胡世俊,等.多效唑、矮壮素对木棉苗木矮化效果的研究[J].云南大学学报(自然科学版),2021,43(1):174-181. [LUO Xiaotao, ZHAO Dong, HU Shijun, et al. Study on the effect of poloxamer and chlormequat chloride on dwarfing of cottonwood seedlings[J]. *Journal of Yunnan University (Natural Science Edition)*, 2021, 43(1): 174-181.]

[14] 陈海强,杨公明,梅为云,等.不同品种香蕉果实成熟期主要营养与功能成分含量变化[J].广东农业科学,2014,41(22):24-28. [CHEN Haiqiang, YANG Gongming, MEI Weiyun, et al. Changes of main nutritional and functional components in different varieties of banana during ripening[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(22): 24-28.]

[15] 李芬芳,李奕星,袁德保,等.不同乙烯利浓度及贮藏温度对“南天黄”香蕉果实后熟品质的影响[J].中国南方果树,2022,51(2):72-77. [LI Fenfang, LI Yixing, YUAN Debao, et al. Effects of different ethylene glycol concentrations and storage temperatures on the post-ripening quality of "Nantianhuang" banana fruit[J]. *China Southern Fruit Tree*, 2022, 51(2): 72-77.]

[16] 刘帮迪,张雅丽,柯泽华,等.LED光照对青熟香蕉贮藏中后熟调控的影响[J].农业工程学报,2021,37(20):295-302. [LIU Bangdi, ZHANG Yali, KE Zehua, et al. Effect of LED light on the regulation of post-ripening in the storage and transport of green ripe bananas[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(20): 295-302.]

[17] 宋慕波,帅良,唐路平,等.高浓度CO₂对香蕉和大蕉后熟及果皮叶绿素降解的影响[J].食品工业科技,2017,38(6):313-318. [SONG Mubo, SHUAI Liang, TANG Luping, et al. Effect of high CO₂ on the ripening and peel chlorophyll degradation in banana and plantain fruits[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(6): 313-318.]

[18] YAN S C, CHEN J Y, YU W M, et al. Expression of genes associated with ethylene-signalling pathway in harvested banana

- fruit in response to temperature and 1-MCP treatment[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, 91(4): 650–657.
- [19] KUANG J F, CHEN L, SHAN W, et al. Molecular characterization of two banana ethylene signaling component MaEBFs during fruit ripening[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 85: 94–101.
- [20] KOJIMA K, SAKURAI N, KURAIISHI S. Fruit softening in banana: correlation among stress-relaxation parameters, cell wall components and starch during ripening[J]. *Physiologia Plantarum*, 1994, 90(4): 772–778.
- [21] DE SOUZA A V, DE MELLO J M, DA SILVA FAVARO V F, et al. Metabolism of bioactive compounds and antioxidant activity in bananas during ripening[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(11): e15959.
- [22] MARRIOTT J, ROBINSON M, KARIKARI S K. Starch and sugar transformation during the ripening of plantains and bananas[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1981, 32(10): 1021–1026.
- [23] KLIEBER A, BAGNATO N, BARRETT R, et al. Effect of post-ripening nitrogen atmosphere storage on banana shelf life, visual appearance and aroma[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2002, 25(1): 15–24.
- [24] MOSER S, MÜLLER T, HOLZINGER A, et al. Structures of chlorophyll catabolites in bananas (*Musa acuminata*) reveal a split path of chlorophyll breakdown in a ripening fruit[J]. *Chemistry-A European Journal*, 2012, 18(35): 10873–10885.
- [25] STOVER R H, SIMMONDS N W. Bananas[M]. Longman Scientific & Technical, 1987.
- [26] PELAYO C, DE B VILAS-BOAS E V, BENICHO M, et al. Variability in responses of partially ripe bananas to 1-methylcyclopropene[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, 28(1): 75–85.
- [27] 陈赫楠, 宋廷宇, 张晓明, 等. 套袋对薄皮甜瓜果皮颜色和亮度的影响[J]. *中国蔬菜*, 2015(8): 39–42. [CHEN Henan, SONG Tingyu, ZHANG Xiaoming, et al. Effect of bagging on the colour and brightness of thin-skinned melon rind[J]. *China Vegetables*, 2015(8): 39–42.]
- [28] 淡明, 黄梅华, 梁晓君, 等. 不同催熟条件对香蕉后熟均匀性的影响研究[J]. *热带作物学报*, 2018, 39(6): 1095–1101. [DAN Ming, HUANG Meihua, LIANG Xiaojun, et al. The effect of ethylene ripening conditions on the ripening uniformity of different harvest maturity banana fruit[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2018, 39(6): 1095–1101.]
- [29] 国家食品药品监督管理总局, 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.8-2016 食品安全国家标准食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Medical Products Administration, National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009.8-2016 National food safety standard. Determination of fructose, glucose, sucrose, maltose, lactose in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [30] 国家食品药品监督管理总局, 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.157-2016 食品安全国家标准 食品中有
- 机酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Medical Products Administration, National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009.157-2016 National food safety standard. Determination of organic acid in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [31] GARCIA C V, QUEK S, STEVENSON R J, et al. Characterization of the bound volatile extract from baby kiwi (*Actinidia arguta*) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(15): 8358–8365.
- [32] 曲艳华, 李冬梅, 赵丽君, 等. 野生新疆桃抗酸碱盐性评价[J]. *中国农业大学学报*, 2014(3): 115–120. [QU Yanhua, LI Dongmei, ZHAO Lijun, et al. Evaluation on the resistance of wild *Prunus ferganensis* to acidity, alkalinity and salinity[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2014(3): 115–120.]
- [33] 杨明非, 赵秋雁, 刘广平. 软枣猕猴桃挥发物质的提取及 GC-MS 分析[J]. *植物研究*, 2006, 26(1): 127–129. [YANG Mingfei, ZHAO Qiuyan, LIU Guangping. Analysis of constituents of essential oil by GC-MS from *Actinidia arguta*[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2006, 26(1): 127–129.]
- [34] 李朋超, 孟陆丽, 程谦伟, 等. 不同温度对香蕉果实丙二醛、呼吸速率和能量代谢影响[J]. *食品工业*, 2021, 42(9): 152–157. [LI Pengchao, MENG Luli, CHENG Qianwei, et al. Effects of different temperature on malondialdehyde respiration rate and energy metabolism of banana fruits[J]. *Food Industry*, 2021, 42(9): 152–157.]
- [35] TESFAHUN W. A review on: Response of crops to paclobutrazol application[J]. *Cogent Food & Agriculture*, 2018, 4(1): 1525169.
- [36] DEMIR S, ÇELİKEL F G. Plant height control of *Hyacinthus orientalis* by gibberellin inhibitors[J]. *AGROFOR International Journal*, 2019, 4(2): 86–94.
- [37] 陈烨媚, 张坤, 陈福泉, 等. γ -PGA 涂膜对采后黄金柰果实贮藏品质及呼吸代谢的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(10): 365–371. [CHEN Yemei, ZHANG Shen, CHEN Fuquan, et al. Effect of γ -PGA coating on storage quality and respiratory metabolism of postharvest 'golden younai' plum fruit[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(10): 365–371.]
- [38] 杨文悦, 高美娜, 尹宝颖, 等. 不套袋栽培对红富士苹果果实品质的影响[J]. *北方园艺*, 2021(10): 41–47. [YANG Wenyue, GAO Meina, YIN Baoying, et al. Effect of non-bagging cultivation on fruit quality of red Fuji apples[J]. *Northern Horticulture*, 2021(10): 41–47.]
- [39] 周兆禧, 赵家桔, 马蔚红, 等. 3 个品种香蕉果实中糖酸组分及含量的比较分析[J]. *热带作物学报*, 2011, 32(8): 1453–1456. [ZHOU Zhaoxi, ZHAO Jiaju, MA Weihong, et al. The composition and contents of sugars and acids in three types of bananas[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2011, 32(8): 1453–1456.]
- [40] 孙佩光, 吴琼, 苗红霞, 等. 巴西蕉和粉蕉果实有机酸组分及其含量变化特征[J]. *基因组学与应用生物学*, 2016, 35(11): 3154–3162. [SUN Peiguang, WU Qiong, MIAO Hongxia, et al. Variation characteristics of organic acid components and contents in 'Baxijiao' and 'Fenjiao' fruits[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2016, 35(11): 3154–3162.]