

· 园艺 ·

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.20230124



主持人:朱国鹏

## 不同时间催花处理对‘台农17号’菠萝果实品质的影响

吴永旺<sup>1</sup>, 付山<sup>1</sup>, 梁邺<sup>1</sup>, 何善林<sup>1</sup>, 韩泽永<sup>1</sup>, 姚金双<sup>1</sup>, 殷涛<sup>2</sup>, 李婷玉<sup>1</sup>

(1. 海南大学热带农林学院, 海南海口 570208; 2. 海南天地人生态农业股份有限公司, 海南海口 570100)

**摘要:**为明确不同时间催花处理对‘台农17号’菠萝果实的产量、品质及关键内源激素的影响, 通过大田试验分别于2022年8月及9月中旬进行不同时间催花处理(2.0%电石溶液间隔1 d于夜间灌心3~5 s), 统计催花后菠萝的正常果率、植株干物质、产量品质及内源激素含量等差异。结果表明:9月中旬催花处理菠萝果实成熟时长约比8月中旬催花处理的长30 d; 其无冠、多冠等畸形果占比相较8月中旬催花少31.33%; 9月中旬催花处理干物质积累量、产量、糖酸比及可溶性蛋白含量分别比8月中旬催花处理提升了6.63%、25.75%、23.73%、50.36%, 可滴定酸显著降低了14.71%; 不同果型果实的糖组分差异不大, 均以蔗糖积累为主; 不同时间催花处理对正常果、无冠果实的内源激素都有显著性影响, 相较8月中旬催花处理, 9月中旬催花处理显著降低了无冠果的赤霉素、脱落酸、反式玉米素含量, 分别降低了23.81%、41.67%、17.54%, 无冠果茉莉酸含量显著提高了120.93%; 显著降低了正常果脱落酸、水杨酸含量, 分别降低了18.18%、54.81%, 正常果反式玉米素含量显著提高了27.91%。综合分析认为, 9月中旬催花的‘台农17号’菠萝果实品质和产量更好。

**关键词:**菠萝; 不同时间催花处理; 品质; 产量; 内源激素

**中图分类号:** S 668.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7054 (2024) 03-0323-09

吴永旺, 付山, 梁邺, 等. 不同时间催花处理对‘台农17号’菠萝果实品质的影响[J]. 热带生物学报, 2024, 15(3): 323-331. doi:10.15886/j.cnki.rdsxb. 校稿10 20230124-修改稿全文-不同催花时间对‘台农17号’果实品质的影响(V2)

菠萝(*Ananas comosus* L. Merr.)属于凤梨科多年生单子叶草本植物, 原产于南美洲热带和亚热带地区, 是一种重要的热带水果, 具有鲜食、酿酒、榨汁等多方面用途<sup>[1-2]</sup>。菠萝引入中国至今已有400多年历史, 目前中国已成为菠萝生产与消费大国之一, 每年菠萝的消费总量以7.5%的速度增长。菠萝同时也是全球第三大热带水果, 占全球热带水果产量的23%<sup>[3]</sup>, 统计结果显示, 目前全球已超过90个国家和地区种植菠萝, 世界菠萝的生产和贸易整体呈现稳定增长趋势<sup>[4-5]</sup>。‘台农17号’又称金钻菠萝, 最早是由我国台湾省农业试验所凤山热带园艺试验分所选育并推广的优质品种。‘台农

17号’菠萝肉质细腻, 果肉呈黄色或深黄色; 果芯部分稍大, 但硬度适中, 具备可食性, 整体风味与口感上乘, 深受市场青睐。目前金钻菠萝已经在广东、海南、广西和云南等地广泛种植, 尤其是在海南, 已成为该省主栽品种之一<sup>[6-9]</sup>。

刘胜辉等<sup>[10]</sup>研究发现, ‘台农17号’菠萝引种海南后, 在催花方面多依靠‘巴厘’的催花经验, 加上夏季高温等原因, 常发生催花失败, 整体表现为低抽蕾率甚至是不抽蕾, 直接导致了当季菠萝的失收, 严重影响了‘台农17号’菠萝的推广。果实品质方面, 姚艳丽等<sup>[11]</sup>对‘巴厘’菠萝的反季节(5—8月)催花研究发现, 反季节催花的‘巴厘’菠

收稿日期: 2023-11-10

修回日期: 2023-12-06

基金项目: 共建绿色凤梨品牌及创新型人才培养合作协议(RH2100006535); 海南高附加值作物专用肥开发及示范(RH2200004932)

第一作者: 吴永旺(1998-), 男, 海南大学热带农林学院2022级硕士研究生。E-mail: 13036030128@163.com

通信作者: 李婷玉(1989-), 女, 副研究员。研究方向: 农业资源与利用。E-mail: lity@hainanu.edu.cn

萝的维生素C、单果质量、可溶性固形物含量显著低于正造果。鉴于‘台农17号’菠萝夏季催花难的特点及前人对‘台农17号’菠萝不同时间催花处理间果实内在品质变化的关注较少,本研究以‘台农17号’菠萝为研究试材,在前人的基础上进一步研究不同时间催花处理对菠萝果实产量、果实品质及内源激素的影响,为实际生产提供理论支撑。

## 1 材料与方法

**1.1 试验地概况** 田间试验于2021年9月至2023年3月在海南省临高县天地人生态农业股份有限公司菠萝生产基地(19°56'23" N, 109°44'28" E)进行。该区域地处热带季风气候区,雨热充沛、年积温高,年均温度24~25℃,年均降雨1280 mm,年蒸发量为降雨量的2~2.5倍。试验点土壤均为玄武岩砖红壤, pH5.7,有机质含量29.00 g·kg<sup>-1</sup>,土壤全氮含量246.50 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷含量476.20 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾含量138.80 mg·kg<sup>-1</sup>,交换性钙352.60 mg·kg<sup>-1</sup>,交换性镁104.30 mg·kg<sup>-1</sup>。

**1.2 材料** 试材选用海南天地人生态农业股份有限公司的优质菠萝品种——‘台农17号’。电石购买自海南佳腾化工气体有限公司,碳化钙有效成分85%;有机肥产品为羊粪有机肥(N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O≥5%),购买自山东嵘达生物肥业有限公司;缓控释尿素用自新洋丰公司产品,控释周期为120 d;缓控释氮肥与磷肥100%基施,钾肥购买自广西壮达肥业有限公司。

**1.3 试验设计** 试验苗于2021年9月开始定植。共设计2个处理,其中,T1处理(Treatment one):定植后318 d(2022年8月中旬)进行催花;T2处理(Treatment two):定植后350 d(2022年9月中旬)进行催花。两个处理的催花试剂和方式相同,均用2.0%电石溶液间隔1 d于夜间灌心3~5 s,总计催花两次。每个处理3个重复,共6个小区。每个小区面积96 m<sup>2</sup>,长12 m,宽8 m,随机区组排列。采用双行种植,株距与行距分别为33 cm、50 cm,双行种植,亩种植3300株,试验地面积约576 m<sup>2</sup>。

试验地菠萝日常田间管理与生产基地一致,全生育期施肥量分别为N:450 kg·hm<sup>-2</sup>(40%有机替代+60%缓控释尿素基施)、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:160 kg·hm<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O:720 kg·hm<sup>-2</sup>。底肥基施20%;缓慢生长期(Slow growth phase,SGP)、快速生长期(Rapid growth period,RGP)、小果期(Small

fruiting stages,SFS)则以适宜浓度水肥追施,比例分别为10%、40%、30%。

### 1.4 样品采集与指标测定

**1.4.1 样品采集** 不同时间催花处理的田间统计工作于催花后60 d进行,统计对象包括正常果、无冠果、多冠果、未现红4种类型。

在定植后110 d(2021年12月,缓慢生长期)、238 d(2022年5月,快速生长期)、318 d(2022年8月中旬,T1处理催花现红期)、350 d(2022年9月中旬,T2处理催花现红期)、463 d(2023年1月,T1处理收获期)、553 d(2023年3月,T2处理收获期)于每个小区随机采集大小基本一致的3株菠萝植株带回实验室,将植株进行分离、清洗、擦拭干净晾干后称量其鲜质量,再将各部位粉碎后混合均匀取样,记录其生物量大小。

**1.4.2 指标测定** 干物质积累:将粉碎混合的鲜样放于恒温干燥箱中105℃杀青30 min后,再调至75℃将样品烘至恒重,称量其干质量。于果实成熟期在每个小区随机采取10个果实进行产量的测定,并选取3个大小基本一致,统一成熟度的菠萝果实进行外观品质、内在品质、激素等指标测定。试验期间月均温采集:使用试验地田间气象监测站记录并导出数据。糖含量采用手持折光仪测定,可滴定酸含量采用酸碱中和滴定法(以柠檬酸计)测定,还原型维生素C含量采用2,6-二氯酚法测定,可溶性蛋白采用考马斯亮蓝G-250染色法测定,果肉全碳、糖组分(果糖、蔗糖、葡萄糖)采用微量法测定;果肉全氮采用凯氏定氮法测定;赤霉素(Gibberellin A<sub>3</sub>, GA<sub>3</sub>)、脱落酸(Absciscic Acid, ABA)、茉莉酸(Jasmonic Acid, JA)、水杨酸(Salicylic Acid, SA)、反式玉米素(Trans-zeatin, ZA)采用高效液相色谱法(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)测定<sup>[12-13]</sup>。

**1.5 数据分析** 采用IBM SPSS 26.0软件对数据进行统计分析,采用t-检验和单因素方差分析(one-way ANOVA),以及Duncan法进行多重比较(P<0.05),利用软件Origin 2022做图。图标中数据表示为平均值±标准差(Mean ± SD)。

## 2 结果与分析

**2.1 不同时间催花处理对‘台农17号’菠萝现红情况及外观的影响** 不同时间催花对‘台农17号’菠萝现红情况无明显影响。T1、T2处理催花成功率均达

到97.00%以上,但T1处理畸形果数量明显高于T2处理。T2处理下正常果的比例高达96.62%,而T1处理

下正常果仅占66.11%,无冠果占比高达30.37%,明显高于T2处理(0.53%)(图1A、B)。

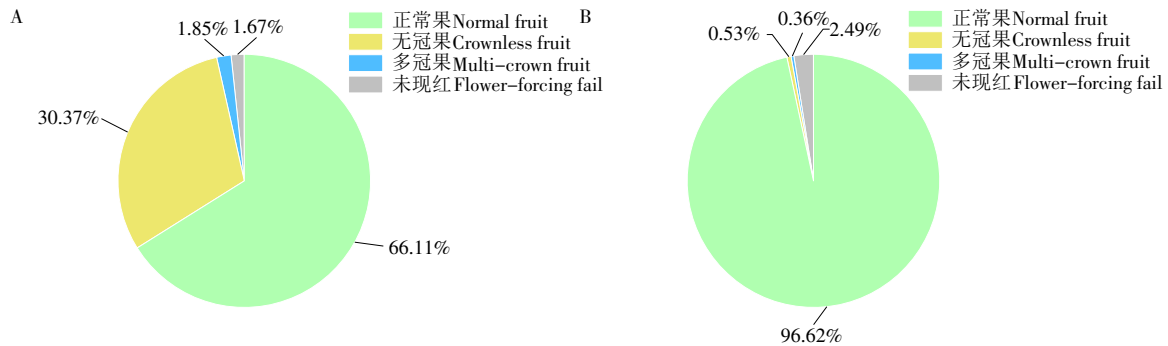


图1 ‘台农17号’不同时间催花处理田间统计结果

Fig. 1 Field statistical analysis of ‘Tainong 17’ flower-forcing treatments at different time

A. T1田间催花结果;B. T2田间催花结果。

A. Fruiting in T1 field flower-forcing treatment; B. Fruiting in T2 field flower-forcing treatment.

不同时间催花对果实外观有较大影响。整体上,T1和T2处理的无冠果的成熟度相对更高,全黄时间更快;果型大小方面,无冠果和正常果的大小相近(图2-A、B),但缺失顶芽覆盖的无冠果裂目现象更严重,果目上的鸡爪痕更多、更明显(图2-C、D)。

**2.2 不同时间催花处理当月日极温变化及催花后月均温变化** T1、T2处理当月的平均最低气温为24℃,平均最高气温分别为32℃、31℃(图3)。不同的是,T1处理催花当月的最高气温除了少数几天外,均维持在32℃~35℃的较高气温,而T2处理在月中催花时最高气温已开始逐渐下降,渐渐低于最高气温平均值(31℃)。

如表1所示,T1处理的果实发育期平均温度(10—11月,24.3℃)高于T2处理(11—翌年1月,18.8℃),但果实成熟期的平均温度(12—翌年1月,16.3℃)低于T2处理(2—3月,21.8℃)。此外,T1处理当月降雨天数近半,多为中雨、大雨和暴雨偏多,而T2处理当月降雨较少,且多为小雨。

**2.3 不同时间催花处理对‘台农17号’菠萝植株干物质积累与果实产量的影响** 不同时间催花处理的‘台农17号’菠萝干物质积累整体呈现上升趋势(图4-A)。图中,T1、T2两处理在催花现红期(Flower-forcing period, FFP)前的干物质积累变化相近;催花现红期至小果期,T1处理的干物质积累量相较于T2处理显著提高了11.16%;果实成熟期(Fruit ripening period, FRP)时,T2处理的干物质积累量显著高于T1处理,提高了6.63%。

不同时间催花处理对‘台农17号’菠萝产量有显著影响( $P < 0.05$ )。由图4-B可知,T2处理产量较高,为75.31 t·hm<sup>-2</sup>,T1处理产量为59.89 t·hm<sup>-2</sup>,两者间存在显著性差异。相较于T1处理,‘台农17号’菠萝产量在T2处理下增产率为25.75%。

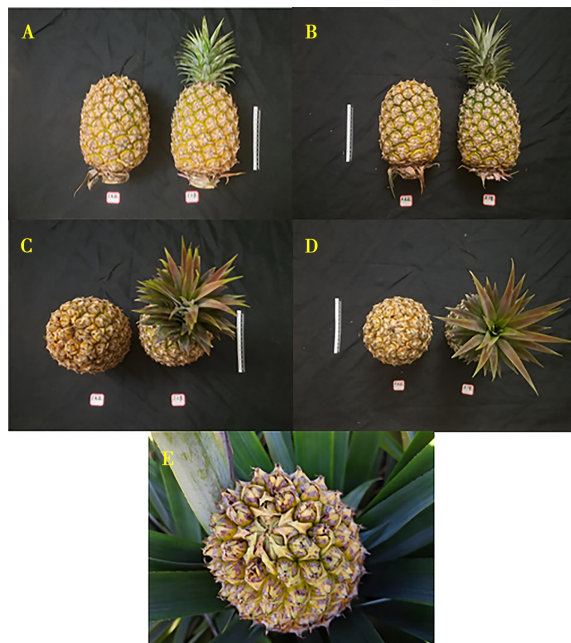


图2 不同时间催花处理的无冠果与正常果差异

Fig. 2 Differences between crownless and normal fruits in flower-forcing treatment at different time

A、C. T1处理无冠果与正常果;B、D. T2处理无冠果与正常果;E. 田间无冠果。

A、C. Crownless and normal fruits in T1 treatment; B, D. Crownless and normal fruits in T2 treatment; E. Crownless fruits in the field

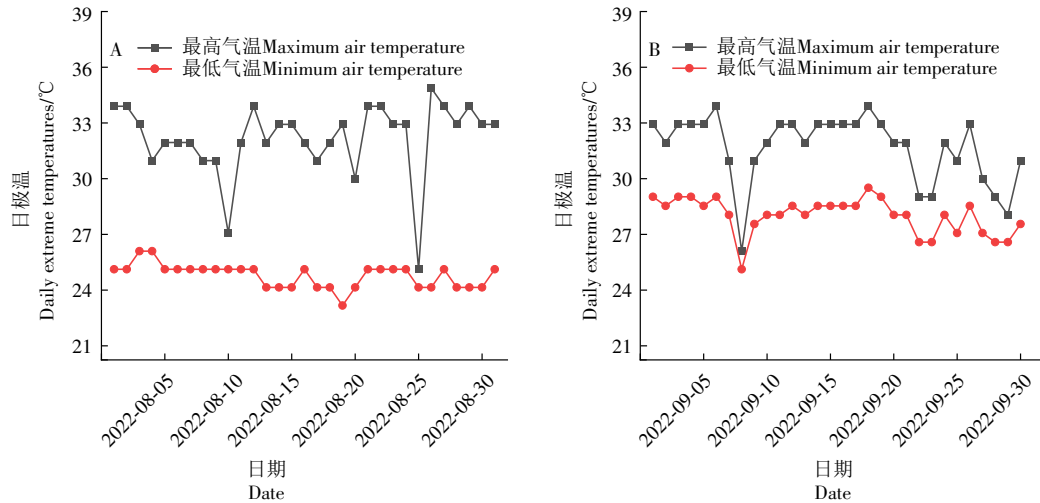


图3 不同时间催花处理当月日极温变化

Fig. 3 The daily extreme temperature change in the month of flower-forcing treatment at different time

A. T1 处理当月日极温; B. T2 处理当月日极温。

A. The daily extreme temperature of the month of treatment in T1; B. The daily extreme temperature of the month of treatment in T2.

表1 催花至果实成熟期每月温度变化

Tab. 1 Monthly temperature changes from flower-forcing to fruit maturing

项目 Item	处理 Treatment	日期 Date									
		2022-08	2022-09	2022-10	2022-11	2022-12	2023-01	2023-02	2023-03		
月极温变化范围 Range of monthly extreme temperature/°C	T1	23.0 ~ 35.0	23.0 ~ 34.0	15.0 ~ 31.0	20.0 ~ 32.0	8.0 ~ 24.0	7.0 ~ 30.0				
	T2		23.0 ~ 34.0	15.0 ~ 31.0	20.0 ~ 32.0	8.0 ~ 24.0	7.0 ~ 30.0	13.0 ~ 34.0	14.0 ~ 38.0		
月均温 Month mean temperature/°C	T1	28.0	27.5	24.0	24.5	16.5	16.0				
	T2		27.5	24.5	24	16.5	16	21	22.5		

注: T1: 2022年8月催花处理; T2: 2022年9月催化处理(下同)。空白: 无此项, 未测。

Note: T1: Flower-forcing treatment in August 2022; T2: Flower-forcing treatment in September 2022 (The same as below).

Black: none, not measured.

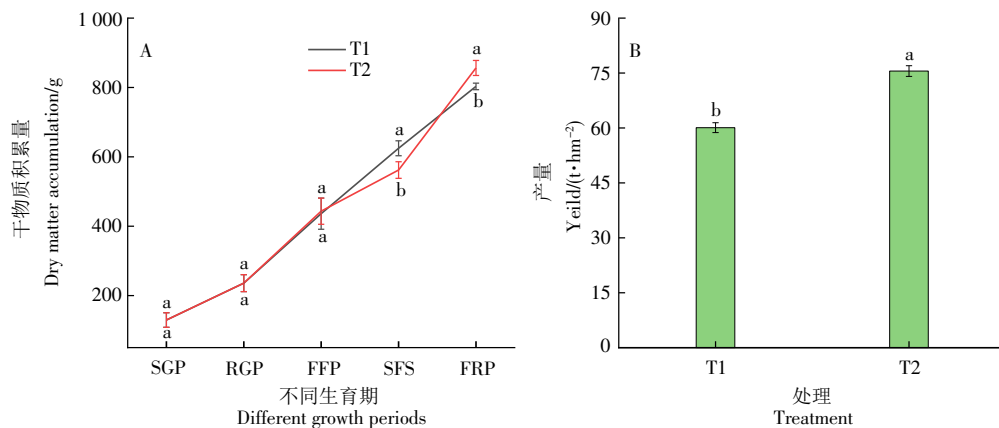


图4 不同时间催花处理下‘台农17号’菠萝植株干物质积累(A)与产量(B)差异

Fig. 4 Differences in dry matter accumulation (A) and yield (B) of pineapple plants in ‘Tainong 17’ under forcing treatment at different time

SGP: 缓慢生长期; RGP: 快速生长期; FFP: 催花现红期; SFS: 小果期; FRP: 果实成熟期。

不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Different lowercase letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).



**2.4 不同时间催花处理对果实内在品质的影响** 9月中旬催花(T2处理)提升了‘台农17号’菠萝的相关品质指标——可滴定酸、糖酸比、可溶性蛋白(表2)。相较于T1处理,T2处理的可溶性

固形物含量与之没有显著差异;果实的糖酸比、可溶蛋白含量分别为31.55、2.06 mg·g<sup>-1</sup>,分别显著提升了23.73%、50.36%;果实可滴定酸为0.58%,显著降低了14.71%。

表2 不同时间催花处理下‘台农17号’菠萝正常商品果实内在品质

Tab. 2 The internal quality of the normal commercial fruit of pineapple ‘Tainong 17’ under treatment at different time

处理 Treatment	可溶性固形物 Soluble solids/%	可滴定酸 Titratable acids/%	糖酸比 Sugar-acid ratio	抗坏血酸 Ascorbic acid/(mg·kg <sup>-1</sup> )	可溶性蛋白 Soluble proteins/(mg·g <sup>-1</sup> )
T1	17.27 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.68 ± 0.04 <sup>a</sup>	25.50 ± 1.50 <sup>b</sup>	336.30 ± 2.07 <sup>a</sup>	1.37 ± 0.09 <sup>b</sup>
T2	18.30 ± 0.50 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.02 <sup>b</sup>	31.55 ± 0.53 <sup>a</sup>	261.30 ± 10.20 <sup>b</sup>	2.06 ± 1.27 <sup>a</sup>

注:不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

不同时间催花处理对菠萝果实糖组分有一定影响(表3)。“台农17号”菠萝果实的糖分积累主要以蔗糖为主,但各果型间的蔗糖含量无显著差异。同时期不同果型间对比结果显示,正常果的果糖显著高于无冠果,两处理的正常果的果糖含量比无冠果分别提升29.66%和9.02%,但不同果型间

葡萄糖含量无明显规律。

同一时间催花处理对不同果型菠萝的果肉碳氮比有显著性差异。均表现为正常果果肉碳氮比显著高于无冠果,分别高28.03%、35.35%。不同时间催花处理的正常果碳氮比及无冠果碳氮比均无显著差异。

表3 不同时间催花处理下‘台农17号’菠萝正常果、无冠果实糖组分及果肉碳氮比

Tab. 3 Sugar components and pulp ratio of carbon to nitrogen of the normal and crownless fruits of ‘Tainong 17’ under forcing treatment at different time

项目 Item	蔗糖 Sucrose/(mg·g <sup>-1</sup> )	葡萄糖 Glucose/(mg·g <sup>-1</sup> )	果糖 Fructose/(mg·g <sup>-1</sup> )	果肉碳氮比 Pulp C/N ratio
T1-无冠果 T1-Crownless fruit	28.66 ± 1.15 <sup>a</sup>	19.96 ± 0.40 <sup>a</sup>	12.24 ± 0.11 <sup>c</sup>	150.43 ± 8.84 <sup>b</sup>
T1-正常果 T1-Normal fruit	31.54 ± 1.07 <sup>a</sup>	12.71 ± 0.32 <sup>b</sup>	15.87 ± 0.28 <sup>a</sup>	192.59 ± 0.26 <sup>a</sup>
T2-无冠果 T2-Crownless fruit	31.98 ± 1.97 <sup>a</sup>	12.17 ± 0.65 <sup>b</sup>	14.75 ± 0.07 <sup>b</sup>	143.87 ± 3.71 <sup>b</sup>
T2-正常果 T2-Normal fruit	31.75 ± 0.34 <sup>a</sup>	15.19 ± 1.58 <sup>b</sup>	16.08 ± 0.37 <sup>a</sup>	194.73 ± 8.89 <sup>a</sup>

注:各糖组分含量均以鲜质量计;不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: The content of each sugar component is based on fresh weight; different lowercase letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ).

**2.5 不同时间催花处理对各果实内源激素的影响** 不同时间催花处理对正常、无冠果实的内源激素含量有明显影响(图5)。无冠果方面,相较8月中旬催花(T1处理),9月中旬催花(T2处理)显著降低了无冠果的GA<sub>3</sub>、ABA、ZA含量,分别降低了23.81%、41.67%、17.54%;JA含量显著提高了120.93%。正常果方面,T2处理显著降低了正常果ABA、SA含量,分别降低了18.18%、54.81%;ZA含量显著提高了27.91%。

同时期催花处理的无冠果和正常果激素含量比较发现:T1处理中,正常果和无冠果的GA<sub>3</sub>、SA、JA、ZA含量存在显著差异。其中,正常果的GA<sub>3</sub>、ZA显著低于无冠果,分别低了42.86%、24.56%;正常果的SA、JA显著高于无冠果,分别高183.93%、65.12%;ABA指标上,正常果和无冠果无显著差异。T2处理中,正常果的ABA、ZA含量显著高于无冠果,分别高28.57%、17.02%;JA含量显著低于无冠果14.74%;正常果与无冠果的GA<sub>3</sub>、SA含量是无显著差异。

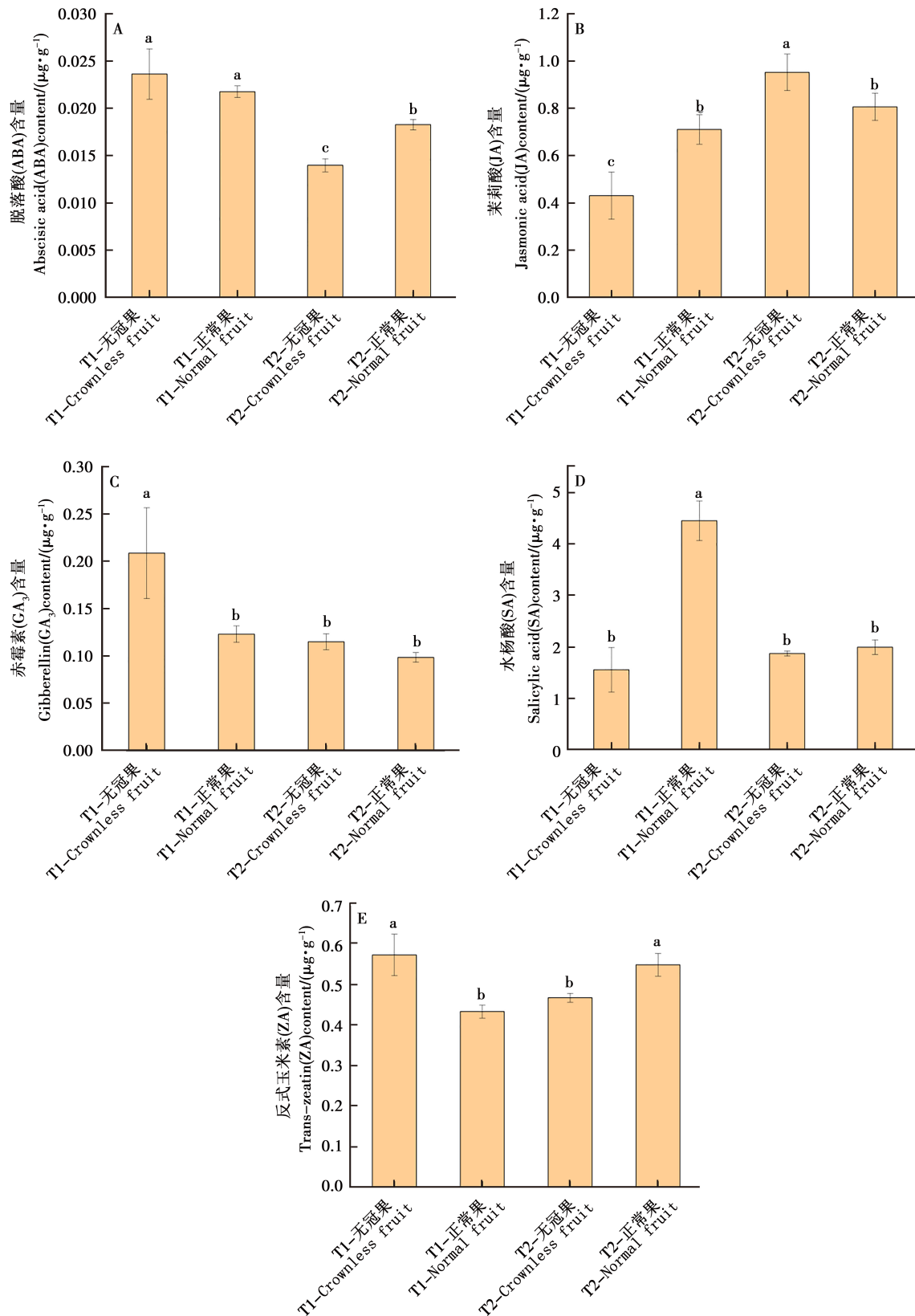


图5 不同时间催花处理果实内源激素含量

Fig. 5 The contents of endogenous hormones in fruits of pineapple treated under flower-forcing at different time

A. ABA 含量; B. JA 含量; C.  $\text{GA}_3$ ; D. SA 含量; E. ZA 含量。A. ABA content; B. JA content; C.  $\text{GA}_3$  content; D. SA content; E. ZA content.

### 3 讨论

果实发育期受生长季节的影响,前人对‘无刺卡因’菠萝的研究发现,冬季2月采收的果实比7月采收的果实发育期长40 d<sup>[14]</sup>。姚艳丽等<sup>[11]</sup>在‘巴厘’菠萝果实品质相关研究中发现,8月催花的果实(冬季果)发育期比5月催花的果实(夏季果)长60 d。而本研究中,9月中旬催花(T2处理)的菠萝果实发育期比8月中旬(T1处理)长约30 d,这与前人研究结果相近。其主要原因可能是冬季低温影响了果实的发育。不同的是,前人研究的所在地是广东省,而海南冬季的温度高于广东,果实整体成熟时间有所缩短。

适宜的温度是花芽分化的关键<sup>[15]</sup>。研究表明,日极端高温大于35℃,日均温大于25℃时,菠萝的花芽分化将受到严重影响<sup>[16]</sup>,这与本研究结果一致。T1处理催花时间正值海南的8月中旬,平均日极端高温约32℃,日均温约28℃,正处于夏季高温。该处理催花产生的无冠果、多冠果等畸形果比例约为32.22%,显著高于T2处理,且裂果目、鸡爪痕问题突出,严重影响商品价值。这可能是果实的花芽分化在高温天气下受到不良影响所致。此外,一定的积温量是保证作物干物质积累和产量的关键。高欢等<sup>[17]</sup>研究发现,低温可抑制作物的生长,显著降低其干物质的积累(30%)。杨锦浩等<sup>[18]</sup>通过对小麦进行夜间增温处理发现,增温可提高作物的干物质积累量和产量。本研究中T1处理的果实发育期平均温度(10—11月,24.3℃)高于T2处理(11—翌年1月,18.8℃),果实成熟期的平均温度(12—翌年1月,16.3℃)低于T2处理(2—3月,21.8℃),本研究中T2处理小果期的干物质积累量低于T1处理,收获期的干物质积累及产量显著高于T1处理,此结果与前人在‘巴厘’菠萝上的相关研究相符<sup>[19]</sup>。除温度影响催花表现外,降雨可能也是重要的影响因素之一。本研究中,相较T2处理,T1处理当月的降雨较多,且多为大雨、暴雨,而每年的5—10月是菠萝的旺盛生长期<sup>[20]</sup>,推测较多的雨水延长了T1处理植株的营养生长,干扰了电石催花的效果,使其由营养生长转向生殖生长受阻。

品质指标是评价果实优劣的重要标准,而糖、酸含量及其比值是果实品质的重要组成成分,总

固形物含量、可滴定酸含量及糖酸比共同形成果实的独特风味<sup>[21]</sup>。一般来说,果实在成熟过程中,糖和酸的积累呈现相关关系,即随着果实成熟度的上升,糖分积累越来越高,有机酸含量下降越来越明显<sup>[22]</sup>。本研究发现,T2处理的果实综合品质更优。相较于T1处理,T2处理的糖酸比及可溶性蛋白含量分别显著提升了23.73%、50.36%,且果实可滴定酸含量显著下降了14.71%。一般认为,果实发育完成需要一定的积温,积温越高,越有利于果实营养物质的积累,其营养和风味更足,产量和品质相对更高。考虑到两处理的果实成熟期气候差异,T1处理果实成熟期正值1月中下旬,气温低、降水少、光照强度相对较弱,远没有T2处理的果实3月中下旬成熟过程中所处的环境条件那么有利于果实生长发育和营养物质的积累。在糖组分方面,菠萝果实在成熟过程中的积累以蔗糖、果糖、葡萄糖为主,其中果糖甜度最高,葡萄糖的风味最好<sup>[23-25]</sup>。张秀梅等<sup>[26]</sup>在‘巴厘’品种菠萝糖分积累的相关研究中发现,菠萝的糖分积累以蔗糖为主,且蔗糖:葡萄糖:果糖为3.71:1.11:1。本研究中,不同时间催花处理果实的糖组分比例与前人研究基本一致。而有机酸含量的高低是自身遗传特性与外界环境条件综合作用的结果<sup>[22]</sup>,由于两个处理的品种、养分管理及栽培条件一致,推测T1处理果实可滴定酸含量更高,退酸效果较差可能与果实成熟阶段的气温有关。此外,前人研究表明,维生素C的合成受高温的抑制,本研究中T1处理的维生素C含量显著高于T2处理,这与T2处理(3月中下旬收获)果实发育至收获期的温度要明显高于T1处理(1月中下旬收获)的实际情况相符。

碳氮比是反映碳、氮代谢协调程度的重要指标之一,可反映出碳、氮源库之间的相对大小和对作物生长发育及产量有影响<sup>[27-28]</sup>。本研究发现,不同果型的菠萝果肉碳氮比有显著差异,T2和T1处理的正常果碳氮比分别显著高于同一处理的无冠果35.35%、28.03%,说明无冠果果实成熟期的碳水化合物化合物的合成受到抑制。T2处理的正常果碳氮比略高于T1处理的正常果,但两者无显著差异。

本研究发现,不同时间催花处理对菠萝的内源激素含量有明显影响,9月中旬催花(T2处理)显著降低了无冠果的GA<sub>3</sub>、ABA、ZA含量,显著提高了无冠果JA含量;正常果方面,九月中旬催花显著

降低了正常果 ABA、SA 含量,显著提高了 ZA 含量。ABA 是一种生长抑制剂,对细胞的分裂和伸长有抑制作用,是调控植株从营养生长向生殖生长转化的重要内源激素;GA<sub>3</sub> 是五大天然植物激素之一,适宜浓度的 GA<sub>3</sub> 具有促进细胞分裂及伸长和提升果实品质的作用<sup>[29-31]</sup>。低水平含量的 ABA、GA<sub>3</sub> 促进菠萝进入花芽分化,有利于花原基形成,并向花分生组织转变<sup>[32-35]</sup>,因此,可推测,相较于 T1 处理,T2 处理的果实 ABA、GA<sub>3</sub> 含量水平更有利于菠萝花芽分化的正常进行,也是高正常果率和高产优质的关键因素。SA 是一种细胞分裂素,具有促进细胞分裂、调控营养物质运输、促进植物新陈代谢等功能,其含量升高对菠萝花芽分化的整个过程都有促进作用,与花原基形成的数量成正相关<sup>[32]</sup>。由此可见,内源激素调控着植物从营养生长向生殖生长的转换,而不同内源激素的明显变化也就成为了处理间果实产量、(内外)品质及干物质积累量差异的重要原因之一。

#### 4 结 论

9月中旬催花(T2处理)提高了‘台农17号’菠萝的正常果率、干物质积累量、产量、果实糖酸比及可溶性蛋白含量,分别显著提高了30.51%、6.63%、25.75%、23.73%、50.36%,可滴定酸显著降低了14.71%。不同果型菠萝的糖分积累均以蔗糖为主。同一时间催花处理对比结果显示,正常果的果糖显著高于无冠果,不同时间催花处理果糖含量比无冠果分别提升29.66%和9.02%。不同时间催花处理的菠萝果肉碳氮比有显著性差异,均表现为正常果高于无冠果,分别高28.03%、35.35%。不同时间催花处理对正常果、无冠果实的内源激素有显著性影响( $P < 0.05$ )。T2处理显著降低了无冠果的GA<sub>3</sub>、ABA、ZA含量,分别降低了23.81%、41.67%、17.54%;无冠果JA含量显著提高了120.93%;显著降低了正常果ABA、SA含量,分别降低了18.18%、54.81%;正常果ZA含量显著提高了27.91%,与8月中旬催花相比,9月中旬催花的果实内源激素含量整体上更加适宜菠萝的生长。鉴于9月中旬催花降低了菠萝果实的无冠果、多冠果等畸形果比例;提高了菠萝的干物质积累和产量以内在品质,因此,‘台农17号’菠萝在9月中旬进行催花更能保证产量与品质。

#### 参考文献:

- [1] 杜召来,刘恩平,刘海清,等.海南省菠萝产业发展现状、问题及对策研究[J].热带农业工程,2015,39(2): 33-39.
- [2] 张锡铜,吴青松,林文秋,等.18份菠萝种质果实外观性状比较分析[J].果树学报,2022,39(1): 78-85.
- [3] 邓春梅,李玉萍,梁伟红,等.我国菠萝产业发展现状及对策[J].山西农业科学,2018,46(6): 1031-1034.
- [4] HASSAN A, OTHMAN Z, SIRIPHANICH J. Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.) [M]/Yahia E M. Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits. Oxford: Woodhead Publishing Limited, 2011: 194-217.
- [5] 石伟琦,孙伟生,习金根,等.我国菠萝产业现状与发展对策[J].广东农业科学,2011,38(3): 181-186.
- [6] 孙伟生,吴青松,刘胜辉,等.台农系列菠萝品种特性的比较分析[J].热带作物学报,2016,37(11): 2050-2055.
- [7] 卢明,副虹伶,洪珊,等.台农17号菠萝裂柄调查及影响因素分析[J].中国南方果树,2017,46(2): 119-123.
- [8] 张瑛,刘业强,苏伟强."台农17号"菠萝组培快繁技术研究[J].广西农业科学,2010,41(4): 310-312.
- [9] 韦巧云,徐健,赵静,等.几个优质菠萝品种在广西龙州的种植表现[J].中国南方果树,2018,47(2): 158-160.
- [10] 刘胜辉,李运合,杨玉梅,等."台农17"菠萝夏季催花技术研究[J].中国南方果树,2019,48(3): 73-75.
- [11] 姚艳丽,朱祝英,杨玉梅,等.不同时期催花对巴厘菠萝果实品质形成的影响[J].中国南方果树,2016,45(2): 101-105.
- [12] 曹慧颖,张立军,骆祯,等.番茄活体再生中反式玉米素含量的变化[J].北方园艺,2015(24): 66-69.
- [13] 王洁,李敏,张宜辉,等.HPLC测定木榄繁殖器官内源ABA和GA<sub>3</sub>含量[J].厦门大学学报(自然科学版),2008,47(5): 752-756.
- [14] 张秀梅,李建国,窦美安,等.不同季节菠萝果实糖积累的差异[J].园艺学报,2010,37(11): 1751-1758.
- [15] 郑宝强,邓茜玫,李奎,等.不同温度处理对石斛兰花芽分化和发育的影响[J].林业科学研究,2017,30(3): 460-464.
- [16] 黄隆军.提高菠萝催花抽蔓率研究[J].中国南方果树,2004,33(4): 41-42.
- [17] 高欢,吴凤芝,周新刚,等.亚低温对不同品种番茄幼苗干物质积累与氮磷吸收及分配的影响[J].西北农业学报,2018,27(7): 994-1001.
- [18] 杨锦浩,李宇星,张月,等.夜间增温对小麦干物质积累、转运、分配及产量的影响[J].核农学报,2022,36(11): 2295-2306.
- [19] 陈菁,孙光明,臧小平,等.巴厘菠萝干物质和NPK养分累积规律研究[J].果树学报,2010,27(4): 547-550.
- [20] 黄慕亚,黄元丰,张新新,等.徐闻县菠萝生产的气候条件分析[J].广东气象,2022,44(5): 39-42.
- [21] SHAW P E, WILSON C W. Determination of organic acids and sugars in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) by high-pressure liquid chromatography[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1981, 32(12): 1242-



- 1246.
- [22] 周先艳, 朱春华, 李进学, 等. 果实有机酸代谢研究进展[J]. 中国南方果树, 2015, 44(1): 120–125.
- [23] 陈海芳, 袁晓丽, 张秀梅. 菠萝品质生理的研究进展及展望[J]. 中国南方果树, 2016, 45(6): 172–177.
- [24] 赵智中, 张上隆, 徐昌杰, 等. 蔗糖代谢相关酶在温州蜜柑果实糖积累中的作用[J]. 园艺学报, 2001, 28(2): 112–118.
- [25] 张上隆, 陈昆松. 果实品质形成与调控的分子生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [26] 张秀梅, 杜丽清, 孙光明, 等. 菠萝果实发育过程中糖积累与其代谢酶的关系[J]. 热带作物学报, 2008, 29(1): 10–13.
- [27] WANG D R, BUNCE J A, TOMECEK M B, et al. Evidence for divergence of response in *Indica*, *Japonica*, and wild rice to high CO<sub>2</sub> × temperature interaction[J]. *Global Change Biology*, 2016, 22(7): 2620–2632.
- [28] KUMAR M, KESAWAT M S, ALI A, et al. Integration of abscisic acid signaling with other signaling pathways in plant stress responses and development[J]. *Plants*, 2019, 8(12): 592.
- [29] 吕祚森. 喷施外源脱落酸对苹果生长发育和果实品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [30] 刘岩, 刘传和, 凡超, 等. 赤霉素对菠萝果实生长发育及品质的影响[J]. 广东农业科学, 2012, 39(12): 42–43.
- [31] 李斯宇, 华敏, 吴晓慧, 等. 外施GA3对台农17号菠萝果实品质及内源激素的影响[J]. 中国果树, 2023(10): 73–78.
- [32] 邓彪, 蔡昭艳, 王小媚, 等. 乙烯利诱导对3个菠萝栽培品种花芽分化形态与内源激素含量的影响[J]. 中国南方果树, 2022, 51(6): 63–70.
- [33] 刘胜辉, 臧小平, 张秀梅, 等. 乙烯利诱导菠萝 [*Ananas comosus*(L.) Merrill]花芽分化过程与内源激素的关系[J]. 热带作物学报, 2010, 31(9): 1487–1492.
- [34] 肖年湘, 郁松林, 王春飞. 6-BA、玉米素对全球红葡萄果实发育过程中糖分含量和转化酶活性的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(3): 227–231.
- [35] 姚艳丽, 付琼, 周迪, 等. 水心病菠萝果实生理指标和内源激素含量变化[J]. 热带作物学报, 2021, 42(9): 2587–2593.

## Effects of flower–forcing treatment at different time on the fruit quality of pineapple ‘Tainong 17’

WU Yongwang<sup>1</sup>, FU San<sup>1</sup>, LIANG Ye<sup>1</sup>, HE Shanlin<sup>1</sup>, HAN Zeyong<sup>1</sup>, YAO Jinshuang<sup>1</sup>, YIN Tao<sup>2</sup>, LI Tingyu<sup>1</sup>

(1. School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570208, China; 2. Hainan TianDiRen Ecological Agriculture Co., Ltd, Haikou, Hainan 570100, China)

**Abstract:** In order to clarify the effects of flower–forcing treatment at different time on the yield, quality and key endogenous hormones of fruits of pineapple ‘Tainong 17’, flower–forcing treatment was carried out at different time in August and mid–September 2022. Pineapple plants were treated with 2.0% calcium carbide solution at night for 3–5 s at an interval of 1 day in the field. The normal fruit rate, plant dry matter, yield quality and endogenous hormone content of pineapple after forced flowering were determined and their differences were statistically analyzed. The results showed that the maturing time of pineapple fruits in mid–September was about 30 days longer than that in mid–August, and that the proportion of deformed fruits without crowns and multiple crowns in mid–September was 31.33% less than in mid–August. The dry matter accumulation, yield, sugar–acid ratio and soluble protein content of the fruits in the mid–September flower–forcing treatment increased by 6.63%, 25.75%, 23.73% and 50.36%, respectively, and the titratable acid decreased by 14.71%. Compared with the flower–forcing treatment in mid–August, the contents of gibberellin, abscisic acid and trans–zeatin in the fruit of the mid–September treatment were significantly reduced, and the contents of jasmonic acid in the deformed fruit without crowns were significantly increased by 120.93%, and the abscisic acid content in the normal fruits was significantly reduced. In the normal fruits the content of salicylic acid was decreased by 18.18% and 54.81%, respectively, and the content of trans–zeatin was significantly increased by 27.91%. Comprehensive analysis showed that the pineapple ‘Tainong 17’ was higher in fruit quality and yield when forced to flower in mid–September.

**Keywords:** pineapple; flower forcing treatment at different time; quality; yield; endogenous hormones