

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

高兆银¹, 王家保², 李 敏¹, 弓德强¹, 陈业渊², 胡美姣^{1*}

1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南海口 571101; 2. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 海南海口 571101

摘 要: 氯吡苯脲 (forchlorfenuron, CPPU) 是杧果生产上使用的膨大剂, 由于使用不规范, 造成了品质下降、果实畸形等诸多问题。本研究选用 12 a 树龄的贵妃杧果树为试材, 在盛花期后 15 d, 喷施不同质量浓度 (10、20、60 mg/L) 的 CPPU, 花后 15、25、35 d 各喷 1 次, 共喷 3 次, 生理成熟期后采摘, 研究 CPPU 对贵妃杧果果实产量、品质和采后贮运特性的影响。结果表明: 幼果期经 10~20 mg/L CPPU 处理后能够增加杧果的果形指数、促进果实膨大和产量增加, 当 CPPU 浓度增加至 60 mg/L 时, 果实膨大明显, 但会导致产量下降。CPPU 处理后, 果实采摘时 (生理成熟期) 果实的叶绿素、类胡萝卜素含量明显升高, 花色苷明显降低, 果皮红度值 (a^*) 偏小, 其颜色偏绿; 完熟期杧果的叶绿素、类胡萝卜素含量高, 花色苷含量低, 高浓度 CPPU 处理果实果面红色偏少, 黄色偏多, 果皮 a^* 值偏小, 部分果实偏绿色; 完熟期的可溶性固形物含量降低, 总酸增加, 固酸比下降, 口感甜度下降, 低浓度影响较小, 高浓度 CPPU 处理对内在影响较大。CPPU 处理可降低杧果采后病害的发生, 果实采后保持较高的硬度, 明显延缓杧果储藏期果实软化, 明显延长了杧果的贮藏时间, 提高了其采后贮运特性。综合以上结论, 幼果期喷施 CPPU 的适宜浓度为 10~20 mg/L, 盛花期后 15~50 d 果实细胞旺盛分裂期效果最佳, 可显著增加单果重和产量, 对果实品质和果实转色影响不显著, 并能延长贮藏时间, 更利于采后贮运保鲜。

关键词: 杧果; 氯吡苯脲; 产量; 果实品质; 果实颜色

中图分类号: S667.7 文献标识码: A

Effects of Forchlorfenuron on Yield, Quality and Storability of Guifei Mango Fruit

GAO Zhaoyin¹, WANG Jiabao², LI Min¹, GONG Deqiang¹, CHEN Yeyuan², HU Meijiao^{1*}

1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China; 2. Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China

Abstract: Guifei mango has bright color and sweet taste, which is deeply loved by consumers. However, the yield and economic benefits of this mango had been seriously affected due to a high fruit abortion rate. Forchlorfenuron (CPPU) is a swelling agent used in the mango industry of Hainan which can improve fruit setting rate, promote fruit enlargement and induce parthenocarp. But, the abuse of CPPU resulted in a higher percentage of abnormal fruit, the decline of quality, stay-green after harvest and flavor change. To find a appropriate dosage, we compared the effects of CPPU spraying with different concentrations on the yield, quality, postharvest storage characteristics and incidence of disease in mango fruit. The experiment was carried out in a demonstration park of mango standardization production, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Dongfang City, Hainan Province. The Guifei mango trees with healthy, consistent size and vigor were selected as the test material. The age of trees is about 12 years. And CPPU aqueous solutions of 10 mg/L, 20 mg/L and 60 mg/L were sprayed on 15, 25 and 35 days after full bloom, respectively. Distilled

收稿日期 2022-08-01; 修回日期 2022-11-28

基金项目 海南省重点研发计划项目 (No. ZDYF2021XDNY287); 国家重点研发计划项目 (No. 2020YFD1000600); 海南省自然科学基金面上项目 (No. 20163101)。

作者简介 高兆银 (1976—), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向: 热带水果品质调控与采后保鲜。*通信作者 (Corresponding author): 胡美 (HU Meijiao), E-mail: humeijiao320@163.com。

water was used as a blank treatment. Six trees were selected for each treatment (3 repetitions). The fruits were harvested at 78 days after flowering, then put into corrugated boxes to avoid damage. All the fruits were brought back to the laboratory and stored in a cold storage at $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ and 80%–90% relative humidity (RH). Fruit color parameters (L^* value, a^* value, b^* value) and pericarp pigments (contents of total chlorophylls, anthocyanins and carotenoids) were measured during harvest and storage to evaluate the effect of CPPU on the fruit color. Fruit firmness and contents of soluble solid content (TSS), titratable acid (TA), vitamin C were measured to evaluate the effect of CPPU on inner quality, postharvest storage characteristics and fruit ripening of mango fruit. In addition, the effects of CPPU on yield, single fruit weight of parthenocarpic fruit/pollinated and fruit-shape index were also studied. Spraying 10 mg/L CPPU solution could significantly improve the average yield (45.73 kg), 34.03% higher than the control (34.12 kg). Spraying a CPPU solution of higher concentration (20 mg/L, 60 mg/L) had no obvious effect on yield increase, or even reduced the yield. Spraying 10 mg/L CPPU solution had little effect on the number of fruits per tree. But if spraying CPPU solution of 20 mg/L and 60 mg/L could significantly reduce the number of fruits per tree by 46.08% and 60.19% compared with the control. Spraying 60 mg/L CPPU solution had the most obvious effect, the single fruit weight of pollinated and parthenocarpic fruit increased by 28.48% and 117.25% respectively. Spraying CPPU solution could increase the fruit-shape index of mango, but there was no significant difference compared with the control. Spraying CPPU had a significant effect on the contents of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin during maturation and ripening of mango. That fruits treated with CPPU had higher chlorophyll and carotenoid content, lower anthocyanin content, and showed a greener color. The chlorophyll content in a mango peel treated with 10 mg/L, 20 mg/L, 60 mg/L CPPU increased by 5.12%, 8.67%, 9.83% and 21.23%, 36.63%, 48.07% respectively during maturation and ripening compared with the control. And the increase of carotenoid content was more obvious treated with 60 mg/L CPPU than that treated with 10 mg/L and 20 mg/L, the carotenoid content increased 22.56% and 18.81% respectively during maturation and ripening compared with the control. Different from chlorophyll and carotenoids, the content of anthocyanins decreased gradually with the increase of CPPU concentration. The content of anthocyanins decreased by 8.94%, 13.62%, 18.30% and 13.83%, 16.19% and 17.58% respectively treated with 10 mg/L, 20 mg/L, 60 mg/L CPPU during maturation and ripening compared with the control. The process of mango fruits from green to yellow was delayed by CPPU spraying during storage. Spraying CPPU solution could increase fruit firmness and titratable acidity (TA) content, reduce soluble solids content (TSS) content and delay fruit ripening. The incidence rate of anthracnose and stem-end rot decreased after CPPU treated. But in all processing, only the fruits treated with CPPU in doses of 10 mg/L were normal during fruits coloring. In addition, spraying CPPU could prolong the storage time of mango fruits, 60 mg/L CPPU treatment could delay the ripening for 4 days. Spraying 10 mg/L CPPU on 15, 25 and 35 days after full bloom stage could increase fruit-shape index, promote fruit enlargement and increase the mango yield. At the same time, the postharvest fruit treated with 10 mg/L CPPU could delay fruit softening and ripening during storage, reduce the occurrence of postharvest diseases, prolong storage time. Nevertheless, the nutritional quality of fruit was also decreased during ripening with the fruit hardness increased and the TSS content decreased. Spraying higher concentration of CPPU solution (20 mg/L, 60mg/L) had no obvious effect on yield increase, or even reduced the yield. Therefore, we suggest that spraying 10 mg/L CPPU solution in mango production, which could improve the yield, prolong the storage time and ensure the postharvest fruit quality.

Keywords: mango; forchlorfenuron (CPPU); yield; fruit quality; fruit color

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.01.017

杧果 (*Mangifera indica* L.) 是世界五大热带水果之一, 种植面积约 568 万 hm^2 , 分布于几乎所有热带、亚热带国家或地区, 素有“热带果王”之美誉。截至 2019 年底, 杧果已是我国第三大热带水果, 面积达 32.28 万 hm^2 , 产值为 190.3 亿元^[1]。近年来, 我国杧果产业蓬勃发展, 经济效益显著提升, 对丰富我国果盘子、提高人民生活品质、实现乡村振兴意义重大。贵妃杧果, 又名红金龙, 是海南的主栽品种之一, 成熟时颜色

鲜艳, 清甜多汁、皮薄, 深受消费者的喜爱。海南省生产上贵妃杧果果实 90% 以上是胚败育果, 单果重约 75 g。因胚败育比例高、果实小严重影响贵妃杧果的产量和经济效益。近年来膨大剂在杧果生产上开始广泛使用, 因使用浓度、使用时期未明确, 在提高经济效益效益的同时, 也导致果实畸形果率增加, 品质严重下降, 造成果实采后滞绿、果实软熟、淡而无味等^[2]。氯吡苯脲 (forchlorfenuron, CPPU) 又名氯吡脲、KT-30 等,

是一种生理活性强、细胞分裂活性高的人工合成的苯基脲类细胞分裂素,广泛应用于葡萄、草莓、苹果、猕猴桃、枇杷、脐橙、甜瓜、西瓜、黄瓜等果蔬生产中,具有提高座果率、促进果实膨大、诱导单性结实等作用^[3]。朱敏等^[4]研究了 CPPU 对芒果的增产效果,发现芒果单果重和产量显著增加,然而,高浓度 CPPU 引发的畸形果数量增加,果实风味变淡,食用品质下降的负面影响不容忽视。本团队在研究芒果幼果细胞分裂的基础上,在细胞旺盛分裂时期喷施 CPPU,优化 CPPU 的使用时间和使用浓度,研究 CPPU 对芒果果实产量、品质和采后贮运特性的影响。以期寻找到既可满足商品果大小要求,又不明显影响果实品质的 CPPU 适宜施用技术。

1 材料与方法

1.1 材料

供试芒果树:树龄约 12 a 的贵妃品种,选择树体大小、树势较一致的芒果树进行试验,本试验综合了 2 a 结果。试验地点位于海南省东方市中国热带农业科学院芒果标准化示范园。CPPU 购于北京亿泰科华生物科技有限公司,纯度 $\geq 98\%$ 。

1.2 方法

1.2.1 处理方法 CPPU 设 3 个浓度 10、20、60 mg/L,即 CPPU10、CPPU20、CPPU60 处理,以清水作对照。每组选 6 株树,3 次重复,随机区组排列;于盛花期后 15、25、35 d 各喷 1 次,共喷 3 次,果实在花后 88 d 采收;放置于 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 80%~90%的冷库中贮藏,用于品质和采后相关指标的检测。

1.2.2 测定指标和方法 参照高兆银等^[5]的方法,测定以下指标:单株果量、单株产、无胚果单果重、有胚果单果重、果形指数、果皮明度值(L^*)、果皮红度值(a^*)、果皮黄度值(b^*)、果皮色素(叶绿素、花色苷、类胡萝卜素)、可溶性固形物(TSS)、硬度、可滴定酸(TA)、维生素 C(VC),并监测采后发病和果实后熟情况。

1.3 数据处理

试验数据采用 Excel 软件进行统计分析,采用 SAS9.1 软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 CPPU 对产量、单果重和果形指数的影响

由表 1 可知,随着 CPPU 浓度的增加,株产

逐渐降低, CPPU10 处理的株产达 45.73 kg,显著高于对照的单株产量(34.12 kg),增产 34.03%;而 CPPU20 处理对单株产量增加不明显,与对照相比差异不显著, CPPU60 处理的株产比对照下降了 7.62%。随着 CPPU 浓度的增加,单株果量逐渐降低, CPPU10 处理的单株坐果量与对照差异不大,但 CPPU20 处理和 CPPU60 处理的单株坐果量比对照分别降低了 46.08%和 60.19%,且差异显著($P<0.05$)。

无论有胚果还是无胚果,随着 CPPU 浓度的增大,单果重逐渐增大,3 个 CPPU 浓度处理的单果重均大于对照,差异均显著($P<0.05$),并且 3 个 CPPU 浓度处理之间单果重也存在显著差异;与对照相比, CPPU60 处理的有胚果单果重增加了 28.48%,无胚果增加了 117.25%。不同浓度 CPPU 处理对无胚果的膨大效果明显高于有胚果;不同浓度 CPPU 处理均增大了果形指数,但与对照相比均无显著差异,而不同浓度 CPPU 处理之间的果形指数差异也不显著; CPPU60 处理的无胚果果形指数比对照增加了 8.86%,果实更加细长(表 1)。

2.2 CPPU 对果皮叶绿素、类胡萝卜素、花色苷含量的影响

CPPU 可显著影响生理成熟期(果实采摘当天)和完熟期(达到最佳可食用状态)果皮叶绿素、类胡萝卜素、花色苷的含量。由表 2 可知,在生理成熟期,随着 CPPU 浓度的升高,芒果果皮叶绿素含量逐渐升高,其果实外观更绿,但与对照相比差异均不显著, CPPU60 处理浓度果皮的叶绿素含量比对照增加了 9.83%。在完熟期,随着 CPPU 施用浓度的升高,芒果果皮叶绿素含量逐渐升高,与对照相比, CPPU10 处理果皮的叶绿素含量差异不显著, CPPU20 和 CPPU60 处理果皮叶绿素含量有显著差异。

由表 2 可知,在生理成熟期,随着 CPPU 施用浓度的升高,芒果果皮类胡萝卜素含量逐渐升高, CPPU10 和 CPPU20 处理果皮的类胡萝卜素含量与对照差异均不显著, CPPU60 处理果皮的类胡萝卜素含量比对照高 22.56%,且差异显著($P<0.05$)。在完熟期,随着 CPPU 施用浓度的升高,芒果果皮类胡萝卜素含量逐渐升高,与对照相比,3 个 CPPU 处理浓度果皮的类胡萝卜素含量均有显著差异,其中 CPPU60 处理浓度果皮的类胡萝卜素含量比对照高 18.81%,且差异显著($P<0.05$)。

表 1 CPPU 对杧果产量及果形指数的影响
Tab. 1 Effects of CPPU treatment on yield and the fruit shape index of mango

处理 Treatment	株产 Yield per tree/kg	坐果量 Fruit set/个	有胚果 Fruit with a seed		无胚果 Fruit without a seed	
			单果重 Mass of single fruit/g	果形指数 Fruit shape index	单果重 Mass of single fruit/g	果形指数 Fruit shape index
CK	34.12±4.26 ^b	385.53±45.54 ^a	326.94±25.53 ^b	1.66±0.13 ^a	75.38±5.01 ^d	1.58±0.12 ^a
CPPU10	45.73±3.57 ^a	379.29±27.54 ^a	387.46±30.26 ^{ab}	1.74±0.14 ^a	103.53±5.48 ^c	1.64±0.13 ^a
CPPU20	36.32±2.88 ^b	207.87±17.39 ^b	403.84±32.05 ^a	1.78±0.14 ^a	145.02±10.15 ^b	1.66±0.13 ^a
CPPU60	31.52±2.46 ^b	153.49±13.78 ^c	420.04±32.81 ^a	1.77±0.14 ^a	163.76±9.96 ^a	1.73±0.13 ^a

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in same column indicate significant difference ($P<0.05$).

表 2 CPPU 对杧果果皮叶绿素、类胡萝卜素、花色苷含量的影响
Tab. 2 Effects of CPPU on contents of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin in mango peel

处理 Treatment	生理成熟期 Maturation			完熟期 Ripening		
	叶绿素 Chlorophyll ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	花色苷 Anthocyanins ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	类胡萝卜素 Carotenoids ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	叶绿素 Chlorophyll ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	花色苷 Anthocyanins ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	类胡萝卜素 Carotenoids ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
CK	128.63±10.05 ^a	19.95±1.56 ^a	29.04±2.27 ^b	9.61±0.75 ^c	29.47±2.30 ^a	66.77±5.03 ^b
CPPU10	135.21±10.56 ^a	18.17±1.42 ^{ab}	30.66±2.39 ^{ab}	11.65±0.91 ^{bc}	25.40±1.98 ^{ab}	75.27±4.37 ^a
CPPU20	139.78±11.09 ^a	17.23±1.37 ^{ab}	32.95±2.6 ^{ab}	13.13±1.04 ^{ab}	24.70±1.96 ^b	76.86±4.14 ^a
CPPU60	141.28±11.03 ^a	16.30±2.23 ^b	34.59±2.70 ^a	14.23±1.11 ^a	24.29±1.90 ^b	79.33±4.21 ^a

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in same column indicate significant difference ($P<0.05$).

由表 2 可知，在生理成熟期，随着 CPPU 施用浓度的升高，果皮花色苷逐渐降低，CPPU10 和 CPPU20 处理果皮的花色苷含量与对照差异不显著，CPPU60 处理果皮的花色苷含量比对照降低 18.30%，差异显著（ $P<0.05$ ）。在完熟期，随着 CPPU 施用浓度的升高，果皮的花色苷逐渐降低，CPPU10 处理果实的花色苷含量与对照差异不显著，而 CPPU20 和 CPPU60 处理浓度果皮的花色苷含量比对照分别降低 16.19%和 17.58%，差异均显著（ $P<0.05$ ）。

2.3 CPPU 对果实颜色的影响

由图 1 和表 3 可知，在生理成熟期和完熟期，对照与不同浓度 CPPU 之间的 L^* 值差异均不显著。在贮藏 3~5 d，对照和 CPPU 处理果皮 L^* 值呈现下降趋势，这可能是采后失水或转色等造成亮度下降，然后随着叶绿素的减少， L^* 值逐渐升高。在果皮 L^* 值上升阶段，同一天对照的 L^* 值最高，随着 CPPU 浓度的增加， L^* 值逐渐降低，对照果皮 L^* 值在贮藏第 11 天时出现下降，CPPU 处理的则一直处于上升趋势。

a^* 值表示杧果从深绿到红色的转变。在生理成熟期，3 个 CPPU 处理浓度的果皮 a^* 值比对照

低，且差异均显著，其中 CPPU60 处理浓度果皮的 a^* 值比对照降低 56.62%，果皮外观更绿。在贮藏期间，对照果皮的 a^* 值上升较快，随着 CPPU 浓度的增加，果皮的 a^* 值升高速度依次延迟，其中 CPPU10 和 CPPU20 处理转色延迟了 2 d，CPPU60 处理延迟了 4 d。在完熟期，3 个 CPPU 浓度处理的果皮 a^* 值与对照相比差异均显著，其中 CPPU20 和 CPPU60 处理浓度的果皮 a^* 值比对照分别降低了 24.58%和 31.06%（图 1，表 3）。

b^* 值表示物体颜色从亮蓝色到焦黄色。在生理成熟期，CPPU10 和 CPPU60 处理浓度的果皮 b^* 值比对照显著增大。在贮藏期间，果皮的 b^* 值呈现先下降后上升的趋势，对照果皮 b^* 值在第 5 天开始迅速上升，而 CPPU 处理的果皮 b^* 值在第 7 天才开始上升，并且随着 CPPU 浓度的增加， b^* 值上升趋势依次延缓。在完熟期，CPPU10 和 CPPU20 处理浓度果皮 b^* 值与对照差异不显著。CPPU60 处理浓度的果皮 b^* 值比对照降低 20.12%，且差异显著（图 1，表 3）。

2.4 CPPU 对果实品质的影响

由图 2 和表 4 可知，在生理成熟期，喷施 CPPU 的果实硬度均高于对照的果实硬度，但差异不显

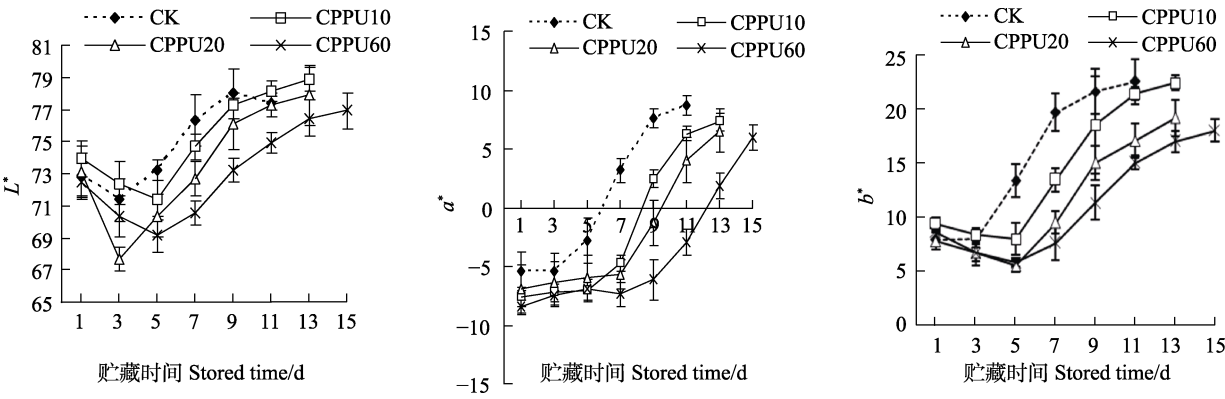


图 1 CPPU 对杧果贮藏期间果皮颜色 L^* 、 a^* 、 b^* 值的影响

Fig. 1 Effects of CPPU on color changing of L^* value, a^* value and b^* value of mango during storage period

表 3 采前喷施 CPPU 生理成熟期和完熟期杧果果实颜色 L^* 、 a^* 、 b^* 的变化

Tab. 3 Effects of spraying CPPU preharvest on L^* value, a^* value and b^* value in mango maturation and ripening period

处理 Treatment	生理成熟期 Maturation			完熟期 Ripening		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
CK	72.89±5.69 ^a	-5.42±0.42 ^a	7.82±0.61 ^b	77.40±6.05 ^a	8.68±0.68 ^a	22.50±1.76 ^a
CPPU10	73.93±7.05 ^a	-7.59±0.59 ^{bc}	9.32±0.35 ^a	78.84±7.52 ^a	7.27±0.57 ^b	22.40±2.14 ^a
CPPU20	73.15±7.05 ^a	-6.93±0.54 ^b	7.69±0.74 ^b	77.88±7.51 ^a	6.55±0.51 ^b	19.13±1.84 ^{ab}
CPPU60	72.52±3.16 ^a	-8.49±0.66 ^c	8.53±0.37 ^{ab}	76.93±3.35 ^a	5.98±0.47 ^b	17.97±0.78 ^b

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in same column indicate significant difference ($P<0.05$).

著。在贮藏期间，从硬度变化速率看，对照在第 3 天至第 7 天硬度快速降低，与对照相比，CPPU 处理的果实硬度下降缓慢，并且随着 CPPU 浓度的增加，该趋势更加明显。如 CPPU60 处理的果实硬度在第 3 天 (19.85 kg/cm^2) 至第 11 天 (4.05 kg/cm^2) 下降较慢。在完熟期，3 个 CPPU 浓度的果实硬度均显著高于对照，但 CPPU 浓度之间不存在显著差异。

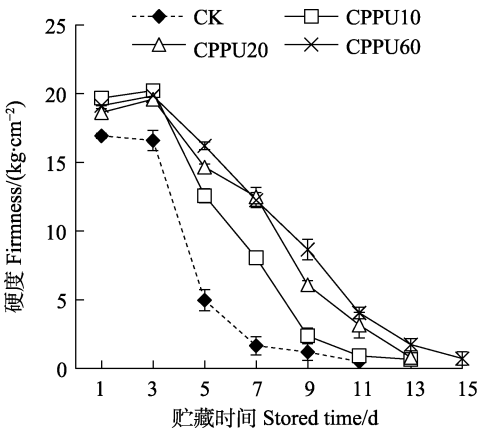


图 2 CPPU 对杧果贮藏期间果实硬度变化的影响

Fig. 2 Effect of CPPU on firmness changing of mango during storage period

由图 3 和表 4 可知，在生理成熟期，喷施不同浓度 CPPU 的果实 TSS 含量均低于对照，但差异不显著。在贮藏期间，对照果实的 TSS 含量上升较快，CPPU 处理果实的 TSS 含量上升比较慢，并且随着 CPPU 浓度的增加，TSS 快速升高阶段被推迟。完熟期 TSS 含量均低于对照，但无显著差异。

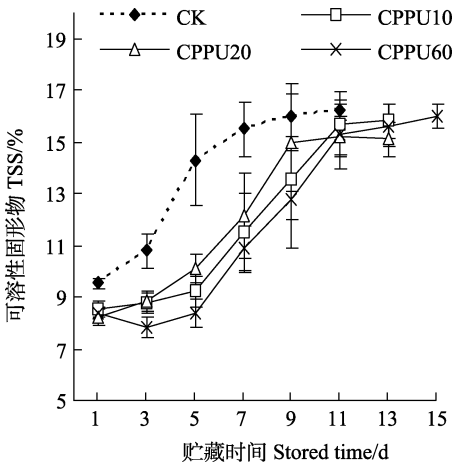


图 3 CPPU 对杧果贮藏期间果实可溶性固形物含量变化的影响

Fig. 3 Effect of CPPU on TSS content of mango during storage period

表 4 CPPU 对杧果果实品质的影响
Tab. 4 Effects of CPPU on the quality of mango fruit

处理 Treatment	硬度 Firmeess/(kg·cm ⁻²)	可溶性固形物 TSS/%	可滴定酸 TA/%	固酸比 TSS/TA	VC /(mg·100g ⁻¹)
CK	0.51±0.04 ^c	16.24±1.70 ^a	0.12±0.01 ^c	135.33±14.13 ^a	19.5±2.04 ^a
CPPU10	0.67±0.06 ^b	15.80±1.51 ^a	0.13±0.01 ^{bc}	120.61±11.51 ^{ab}	21.03±2.01 ^a
CPPU20	0.81±0.08 ^a	15.13±1.46 ^a	0.15±0.01 ^{ab}	99.51±9.60 ^b	21.76±2.10 ^a
CPPU60	0.79±0.04 ^{ab}	16.02±0.70 ^a	0.16±0.01 ^a	99.50±4.34 ^b	23.05±1.00 ^a

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in same column indicate significant difference ($P<0.05$).

在杧果完熟期，喷施不同浓度 CPPU 的 TA 含量均高于对照。与对照相比，CPPU20 和 CPPU60 处理的果实 TA 含量显著增加，CPPU20 和 CPPU60 处理的果实固酸比显著增大。随着 CPPU 处理浓度的增加，果实 VC 含量逐渐增加，但与对照相比，差异均不显著（表 4）。

2.5 CPPU 对杧果采后病害发生率和未能正常转色果实数量的影响

目前，杧果蒂腐病和炭疽病是杧果采后最主要的两大病害。由表 5 可知，随着 CPPU 浓度的增加，杧果采后炭疽病和蒂腐病的发病率逐渐降低，3 个 CPPU 处理的炭疽病和蒂腐病均显著低于对照。

CPPU10 处理与对照的果实均能正常转色，但高浓度的 CPPU20 和 CPPU60 处理表现出部分果实采后不正常转色。转色不正常的主要表征是果实一面完全转黄，而果实的另一面却仍为青绿色，果实硬度较大，在干燥环境条件下不正常转色果实数量增加，如果保湿较好的环境下不正常转色果实数量会较少（表 5）。

表 5 CPPU 对杧果采后病害发生和转色的影响
Tab. 5 Effects of CPPU on disease incidence and color changing of mango

处理 Treatment	炭疽病 Incidence rate of anthrax/%	蒂腐病 Incidence rate of stalk rot/%	不能正常转色 Colors changed improperly/%
CK	0.98±0.08 ^a	1.54±0.12 ^a	0.00 ^c
CPPU10	0.61±0.05 ^b	1.31±0.11 ^b	0.00 ^c
CPPU20	0.55±0.03 ^b	0.68±0.05 ^c	0.83±0.06 ^b
CPPU60	0.41±0.02 ^c	0.66±0.05 ^c	1.77±0.12 ^a

注：同列不同小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。
Note: Different lowercase letters in same column indicate significant difference ($P<0.05$).

2.6 CPPU 对杧果采后贮藏期的影响

从贮藏时间来看，对照果实贮藏 11 d 完全成

熟，CPPU10 和 CPPU20 处理的果实贮藏 13 d 成熟，CPPU60 处理的果实贮藏 15 d 成熟。表明 CPPU 处理果实贮藏时间明显延长。

3 讨论

CPPU 在杧果上的最佳使用时期。杧果果实生长发育呈“S”曲线，即完成受精后进入细胞分裂期，此时期生长缓慢，旺盛的细胞分裂期是使用细胞分裂素的最佳时期，果实细胞分裂结束后进入膨大期，此时期果实细胞快速膨大，此时期喷施细胞分裂素效果不佳，膨大期结束后果实大小基本固定，果实进入品质形成期，此时期如果使用细胞分裂素，会对品质造成严重影响^[6]。我们观测杧果谢花后果肉细胞的分裂情况，发现杧果细胞分裂主要集中在盛花期后 10~50 d，此时期是使用 CPPU 的最佳时期^[7]，如果花期使用 CPPU 处理会造成整个花穗枯萎，花后过早使用会造成坐果率明显降低。

CPPU 促进果实膨大和增产的效果已经在众多蔬果上得到证实，如 CPPU 处理西瓜，产量提高了至少 50%^[8]。但与 CPPU 的使用时期和浓度关系比较大，如在葡萄的花前或花期使用 CPPU 处理，可大幅度地提高坐果率，而在花后使用不能促进坐果，却可以显著促进果实膨大^[9]。朱敏等^[4]在花后 7~56 d 间使用 CPPU 对杧果进行了 7 次喷雾处理，单果重显著增大，但坐果量较对照减少，导致产量无显著增加。本研究中，10~20 mg/L CPPU 处理的产量增加，而 60 mg/L CPPU 处理的产量降低，这可能是高浓度 CPPU 处理具有一定的疏果作用。

根据已有相关文献报道，CPPU 处理能够降低果实品质^[9]。色泽是杧果果实外观品质的重要指标，由叶绿素、类胡萝卜素、花色苷等色素综合作用形成。本研究结果显示，与对照相比，生

理成熟期 CPPU 处理芒果果皮的叶绿素、类胡萝卜素含量明显升高, 花色苷明显降低, 果皮颜色偏绿。完熟期芒果的高浓度 CPPU 处理果实果面红色偏少, 黄色偏多。在夏黑葡萄上使用 CPPU 会降低其 TSS 含量^[10]。但有些水果, 如猕猴桃, CPPU 浓度在 7.5 mg/L 以下时, TSS 含量随浓度的增大而升高, 但高于 7.5 mg/L 时, TSS 含量降低^[11]。本研究中, 芒果完熟期 CPPU 处理的 TSS 含量降低, TA 含量增加, 固酸比下降, 口感甜度下降, 低浓度影响较小, 高浓度影响较大。

CPPU 处理可降低芒果蒂腐病和炭疽病 2 种病害的发生。果实采后保持较高的硬度, 其贮运性就相对较高。如猕猴桃采前施用 20 mg/L CPPU, 在贮藏期间会明显加速果实软化^[11]。而本研究中 CPPU 处理明显延缓了芒果储藏期果实软化, 从而明显延长了芒果的贮藏时间。

综上所述, 幼果期喷施 CPPU 的适宜浓度为 10~20 mg/L, 于盛花期后 15~50 d 细胞旺盛分裂期喷施效果最佳, 可显著增加单果重和产量, 对果实品质和果实转色影响不显著。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业农村部农垦局. 2019 中国农垦统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. 2019 China state farms statistical yearbook[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2020. (in Chinese)
- [2] 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)对芒果果实产量、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)
- [3] 侯勇, 马国瑞, 夏中梅, 曾显斌. CPPU 研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(2): 106-114.
HOU Y, MA G R, XIA Z M, ZENG X B. The research progress of CPPU[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1999, 5(2): 106-114. (in Chinese)
- [4] 朱敏, 邓穗生, 麦贤家, 贺军虎, 陈华蕊, 陈业渊. GA₃ 和 CPPU 对海南贵妃芒果产量和果实品质的影响[J]. 热带作物学报, 2014, 35(9): 1784-1790.
ZHU M, DENG S S, MAI X J, HE J H, CHEN H R, CHEN Y Y. Effects of two plant growth regulators on yield and fruit quality of Hainan Guifei mango (*Mangifera indica* L.)[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2014, 35(9): 1784-1790. (in Chinese)
- [5] 高兆银, 朱敏, 李敏, 弓德强, 冯岗, 赵超, 范盼辉, 陈业渊, 胡美姣. 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)
- [6] 潘宏兵, 杜邦, 罗玲, 钟奇, 李贵利, 李桂珍. 凯特芒果果实生长发育规律研究[J]. 四川农业科技, 2020(5): 20-23.
PAN H B, DU B, LUO L, ZHONG Q, LI G L, LI G Z. The growth rule of mango "Keitt" fruit[J]. Science and Technology of Sichuan Agriculture, 2020(5): 20-23. (in Chinese)
- [7] 付堯, 高兆银, 李敏, 赵德庆, 胡美姣. 石蜡切片法探究芒果果肉细胞的发育规律[J]. 中国南方果树, 2019, 48(4): 29-33, 36.
FU Y, GAO Z Y, LI M, ZHAO D Q, HU M J. Study on development of fruit pulp cell in mango by paraffin section method[J]. South China Fruits, 2019, 48(4): 29-33, 36. (in Chinese)
- [8] MAROTO J V, MIGUEL A, LOPEZ-GALARZA S, SAN BAUTISTA A, PASCUAL B, ALAGARDA J, GUARDIOLA J L. Parthenocarpic fruit set in triploid watermelon induced by CPPU and 2,4-D applications[J]. Plant Growth Regulation, 2005, 45(3): 209-213.
- [9] 高金山, 边庆华, 张永忠, 王敏. 细胞分裂素 CPPU 的研究进展[J]. 农药, 2006, 45(3): 151-153.
GAO J S, BIAN Q H, ZHANG Y Z, WANG M. Research progress on the cytokinin, CPPU[J]. Agrochemicals, 2006, 45(3): 151-153. (in Chinese)
- [10] 张静, 任俊鹏, 杨庆文, 高宇, 吴芸, 刘学平, 陶建敏. CPPU 对夏黑葡萄果实生长的影响[J]. 中国南方果树, 2013, 42(2): 22-25, 29.
ZHANG J, REN J P, YANG Q W, GAO Y, WU Y, LIU X P, TAO J M. Effect of CPPU treatments on fruit growth of "Summer Black" grape[J]. South China Fruits, 2013, 42(2): 22-25, 29. (in Chinese)
- [11] 王玮, 何宜恒, 李桦, 梁春强, 饶景萍. CPPU 处理对 '华优' 猕猴桃品质及耐贮性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 261-266.
WANG W, HE Y H, LI H, LIANG C Q, RAO J P. Effect of 1-(2-Chloropyridin-4-yl)-3-phenylurea (CPPU) treatment on postharvest fruit quality and storability in 'Huayou' kiwifruit[J]. Food Science, 2016, 37(6): 261-266. (in Chinese)