

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2026.06.003

钱卫, 付世军, 程籍, 等. 喷布轻质碳酸钙和果胶对柑橘果实日灼病和品质的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2026, 48(6): 27-41.

喷布轻质碳酸钙和果胶对 柑橘果实日灼病和品质的影响

钱卫¹, 付世军², 程籍², 庞尧¹, 王余富²,
曲亦曼¹, 陈盈盈¹, 赵天一¹, 杨万云¹,
凌丽俐¹, 何义仲¹, 彭良志¹, 淳长品¹

- 西南大学 柑桔研究所/国家柑桔工程技术研究中心, 重庆 400712;
- 重庆市开州区农业发展服务中心, 重庆 405400

摘要: 为探究“轻质碳酸钙+果胶”的组合对防控柑橘果实日灼病的效果, 以龙回红脐橙和金秋砂糖橘为试验材料, 在高温天气来临前进行处理, 检测每日气温、降雨量、果面温度、日灼率、日灼指数、果面相对叶绿素 (SPAD) 和果实品质等。结果表明: 各处理均能显著降低果面温度、日灼率和日灼指数; 在龙回红脐橙中, 4% 轻质碳酸钙+1% 果胶处理 2 次的日灼发生率最低, 为 2.47%; 4% 轻质碳酸钙+1.5% 果胶处理 2 次的日灼综合指数最低, 为 0.015。在金秋砂糖橘中, 4% 轻质碳酸钙+1.5% 果胶处理 2 次的防日灼效果最好, 日灼率和日灼指数分别为 20.43% 和 0.115。果面轻质碳酸钙脱落所需降雨量与果胶含量呈显著正相关 ($p < 0.01$)。喷布轻质碳酸钙能显著降低果面相对叶绿素, 增加硬度和皮厚, 果实成熟后龙回红脐橙的 L^* 值略微下降, a^* 值提高, 除维生素 C 外其他内在品质无显著差异。主成分分析表明, 4% 轻质碳酸钙和 1.5% 果胶处理 2 次的综合得分最高。因此, 轻质碳酸钙+果胶的处理在果实防日灼病方面效果显著, 且对果实品质无不良影响。在柑橘果实日灼病易发地区, 推荐喷布 4% 轻质碳酸钙+1.5% 果胶进行防控。

关键词: 日灼; 龙回红脐橙; 金秋砂糖橘; 轻质碳酸钙; 果胶;
降雨量

中图分类号: S666

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2026)06-0027-15

Effects of Spraying Light Calcium Carbonate and Pectin on Sunburn and Quality of Citrus Fruits

收稿日期: 2026-01-04

基金项目: 国家重点研发计划项目(2024YFD2300800, 2021YFD1600805); 国家现代农业产业技术体系(CARS-26); 重庆市开州区柑橘基地科教合作项目(柑橘新品种及新技术引进与示范推广)。

作者简介: 钱卫, 硕士研究生, 主要从事果树栽培与生理研究。

通信作者: 淳长品, 副研究员。

QIAN Wei¹, FU Shijun², CHENG Ji², PANG Yao¹,
WANG Yufu², QU Yiman¹, CHEN Yingying¹,
ZHAO Tianyi¹, YANG Wanyun¹, LING Lili¹,
HE Yizhong¹, PENG Liangzhi¹, CHUN Changpin¹

1. Citrus Research Institute, Southwest University/National Citrus Engineering Research Center, Chongqing 400712, China;

2. Kaizhou District Agricultural Development Service Center of Chongqing, Chongqing 405400, China

Abstract: To explore the effect of the combination of light calcium carbonate and pectin on preventing and controlling sunburn in citrus fruits, Longhuihong navel orange and Jinqiu shatangju were used as test materials and treated before the arrival of high-temperature weather. Daily temperature, rainfall, fruit surface temperature, sunburn incidence, sunburn index, fruit surface relative chlorophyll content (SPAD), and fruit quality were measured. The results showed that all treatments significantly reduced the fruit surface temperature, sunburn incidence and sunburn index. For Longhuihong navel orange, the treatment with 4% light calcium carbonate+1% pectin applied twice showed the lowest sunburn incidence of 2.47%, while the treatment with 4% light calcium carbonate+1.5% pectin applied twice presented the lowest comprehensive sunburn index of 0.015. For Jinqiu shatangju, the treatment with 4% light calcium carbonate+1.5% pectin applied twice achieved the optimal sunburn control performance, with the sunburn incidence and sunburn index reaching 20.43% and 0.115, respectively. There was a significant positive correlation ($p < 0.01$) between the rainfall required for the shedding of light calcium carbonate on the fruit surface and the pectin content. Spraying light calcium carbonate significantly reduced relative chlorophyll content on the fruit surface, with increases in fruit firmness and peel thickness. After fruit ripening, the L^* value of Longhuihong navel orange decreased slightly while the a^* value increased slightly. Except for vitamin C, there were no significant differences in other internal fruit quality indicators. Principal component analysis indicated that the treatment with 4% light calcium carbonate combined with 1.5% pectin applied twice obtained the highest comprehensive score. Therefore, the combined treatment of light calcium carbonate and pectin exhibits a remarkable effect on preventing citrus fruit sunburn and exerts no adverse impact on fruit quality. In sunburn-prone citrus producing areas, spraying 4% light calcium carbonate+1.5% pectin is recommended for sunburn prevention and control.

Key words: sunburn; Longhuihong navel orange; Jinqiu shatangju; light calcium carbonate; pectin; rainfall

日灼病是柑橘生产中常见的生理性病害,在全国各柑橘产区均有发生,普遍发生在7—9月的伏旱高温期,轻度日灼会导致果皮呈黄褐色、果实畸形、囊瓣枯水、品质降低^[1],重度日灼会导致直接落果或腐烂^[2],严重危害产区的果实品控和产量稳定^[3],已成为制约柑橘优质丰产的关键瓶颈因素之一。因此,研发经济高效、绿色安全的日灼病防控技术,是当前柑橘生产管理中的迫切需求。

研究发现,通过喷水^[4]、施肥^[5]、果实套袋^[6]、贴纸^[7]、套纸罩^[8]、覆盖遮阳网^[9-10]和果实涂白^[11-12]等防控日灼病的方法,均能起到一定的效果,但大部分措施存在综合成本较高、操作繁琐等问题,难以实现生产上的大规模推广应用。其中,果实喷涂白剂是最经济有效的方法。传统涂白剂以石灰水为主,其颗粒大容易堵塞喷头,果面覆盖不均,长期使用易使土壤碱化^[13],且黏着剂使用浓度较高,采收时果面仍残留难以清洗,严重降低果实商品性。

轻质碳酸钙经煅烧、消化、碳化等工艺制成^[14], 颗粒较石灰更细更均匀, 是替代传统石灰水的理想材料, 但是单独喷布后仍易被雨水冲刷, 难以长期维持对日灼病的防控效果。果胶是一种天然大分子多糖, 在柑橘类果皮中含量丰富, 兼具安全无毒与优良黏附特性^[15], 可作为绿色黏着剂提升轻质碳酸钙附着性, 提高防效。然而, 目前关于“轻质碳酸钙+果胶”复配涂白剂的研究存在明显不足, 二者复配的最优浓度配比、适宜喷施次数尚不清楚, 田间应用效果与经济效益有待验证。

不同柑橘品种的耐日灼能力有着显著的差异, 杂柑、宽皮橘和橙类的果实日灼率普遍偏高^[16]。金秋砂糖橘和龙回红脐橙因日灼发生十分严重, 已造成巨大的经济损失。基于此, 本研究以金秋砂糖橘和龙回红脐橙为试材, 采用喷雾器喷布“轻质碳酸钙+果胶”复配涂白剂, 系统探究不同浓度配比、喷施次数对柑橘果实日灼病防控效果, 进而得到最优浓度配比、适宜喷施次数, 明确复配剂脱落率与降雨量的相关性, 分析果胶对轻质碳酸钙在果面附着性的提升作用, 探究不同处理对果实内在及外观品质的影响, 核算综合经济效益。本研究旨在筛选高效、经济、果面易清洗的绿色防灼方案, 为柑橘日灼病绿色防控提供科学理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料及其处理

供试材料为龙回红脐橙(*Citrus sinensis* Osbeck cv. “Longhuihong”)和金秋砂糖橘(*Citrus reticulata* cv. “Jinqiu shatangju”), 分别种植于重庆市北碚区西南大学柑桔研究所返溪苑和重庆市江津区归来果园, 树龄为 10~12 年, 株行距 3 m×4.5 m。选择树高、树冠大小和结果量一致的无病虫害植株作为试验树, 在 2023 年 7~9 月果实膨大期进行处理, 试验期间进行统一管理。共设置 13 个处理和 1 个对照(表 1), 其中 12 个处理为“轻质碳酸钙+果胶”的组合, 1 个为商品涂白剂。轻质碳酸钙粒径 1 250 目, 果胶为南宝树脂公司桂洁果胶。使用农用锂电池背负式高压喷雾器对树冠外围的果实进行喷布处理, 果面覆盖度为 50% (轻质碳酸钙占果面的面积), 果面覆盖率可通过喷头挥动次数控制, 覆盖率 50% 需要挥动喷头 5 次。每个处理各 6 株树, 单株重复。每次采样时, 从果树 4 个方位采取大小一致的 12 个果实, 用于果实品质分析。

表 1 试验设计与处理

处理编号	成分	喷布次数	喷布时间 1	喷布时间 2
QG4-2-1	4% 轻质碳酸钙, 2% 果胶	1	7.23	—
QG4-2-2		2	7.23	8.17
QG4-1.5-1	4% 轻质碳酸钙, 1.5% 果胶	1	7.23	—
QG4-1.5-2		2	7.23	8.17
QG4-1-1	4% 轻质碳酸钙, 1% 果胶	1	7.23	—
QG4-1-2		2	7.23	8.17
QG2-2-1	2% 轻质碳酸钙, 2% 果胶	1	7.23	—
QG2-2-2		2	7.23	8.17
QG2-1.5-1	2% 轻质碳酸钙, 1.5% 果胶	1	7.23	—
QG2-1.5-2		2	7.23	8.17
QG2-1-1	2% 轻质碳酸钙, 1% 果胶	1	7.23	—
QG2-1-2		2	7.23	8.17
P	商品涂白剂	2	7.23	8.17
CK	对照(空白)	—	—	—

注: 处理编号第 1 个数字表示轻质碳酸钙浓度, 第 2 个数字表示果胶浓度, 第 3 个数字表示喷布次数。

1.2 试验内容与方法

1.2.1 果园每日最高温度测定

使用精创 GSP-6 温湿度记录仪采集温度数据,挂在树冠中上部向阳无遮挡的位置,每隔半小时收集 1 次数据。

1.2.2 果面温度测定

选定高温晴朗天气,在 13:00—15:00 时段,用福禄克(FLUCK 62MAX)红外测温仪对各处理果实向阳面进行温度测定。

1.2.3 降雨量的记录和处理脱落的观察

记录每日果园降雨量,观察处理果实果面试剂脱落情况,并记录从处理到药剂基本脱落所需的降雨量。

1.2.4 清洗时间的统计

将果实完全浸没在清水中 30 s 后,设定清洗时间,用抹布进行擦洗,晾干后若无白色斑点残留,则清洗干净,对照组也按同样方法对果面污物进行清洗。

1.2.5 果实日灼率和日灼程度的统计

高温天气结束后,对每棵树的果实日灼情况进行统计。日灼病分级标准参照王敏等^[17]的方法并做了一定的修改。

$$R = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (1)$$

式中: R 为果实日灼发生率; n 为日灼果数; N 为统计数。

$$I = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4}{4N} \quad (2)$$

式中: I 为果实日灼综合指数; n_1 为 1 级果数; n_2 为 2 级果数; n_3 为 3 级果数; n_4 为 4 级果数; N 为统计数。

1.2.6 经济效益的计算

日灼果按市场接受度,1 级果的商品价值为正常果的 90%、2 级果为 50%、3 级果和 4 级果为 0。总利润和总收入的计算如下。

$$\pi = r - c \quad (3)$$

式中: π 为总利润; r 为总收入; c 为总成本。

$$r = p \times m \times \frac{100 - 0.1p_1 - 0.5p_2 - p_3 - p_4}{100} \quad (4)$$

式中: r 为总收入; p 为售价; m 为 667 m² 产量; p_1 为 1 级果占比; p_2 为 2 级果占比; p_3 为 3 级果占比; p_4 为 4 级果占比。

1.2.7 果面叶绿素和色差的测定

从田间采集果实,并清洗干净,每株树选取 8 个果实,使用 CR-10 手持式色差仪(日本美能达)测定 L* (亮度)、a* (红色)、b* (黄色),以标准白板为参考。然后在果面削下约 1 mm 厚的果皮,使用 SPAD-502 型叶绿素仪(日本 KONICA MINOLTA)进行果面相对叶绿素含量测定。

1.2.8 果实品质的测定

采集树冠外围向阳面成熟果实测定果实外观和内在品质。每个处理 3 株树,龙回红脐橙每株树采 4 个果实,12 个果实混为一个样品;金秋砂糖橘每株树采 8 个果实,24 个果实混为一个样品。用游标卡尺测定

果皮厚度, 用硬度计(艾德堡 GY-4, 探头直径 3.5 mm)测定果皮硬度, 用电子天平测定果实、果皮和果渣的重量, 并计算可食率和出汁率。用 PAL-1 数显糖度仪(日本 ATAGO)测定可溶性固形物(TSS)含量, 采用 NaOH 中和滴定法测定可滴定酸(TA)含量, 采用 2, 6-二氯吡啶酚钠滴定法测定维生素 C(Vc)含量。

1.2.9 数据分析

使用 Excel 软件对数据进行统计, 使用 R 语言进行显著性分析, 运用 Origin 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 果园每日最高温度及分析

从图 1 可以看出, 7 月下旬到 9 月两地温度变化趋势一致, 但日间最高温仍有差异。重庆市北碚区果园气温有 21 d 超过 38 °C, 其中有 4 d 超过 40 °C; 而同一时期重庆市江津区果园气温有 22 d 超过 38 °C, 其中有 12 d 超过 40 °C。

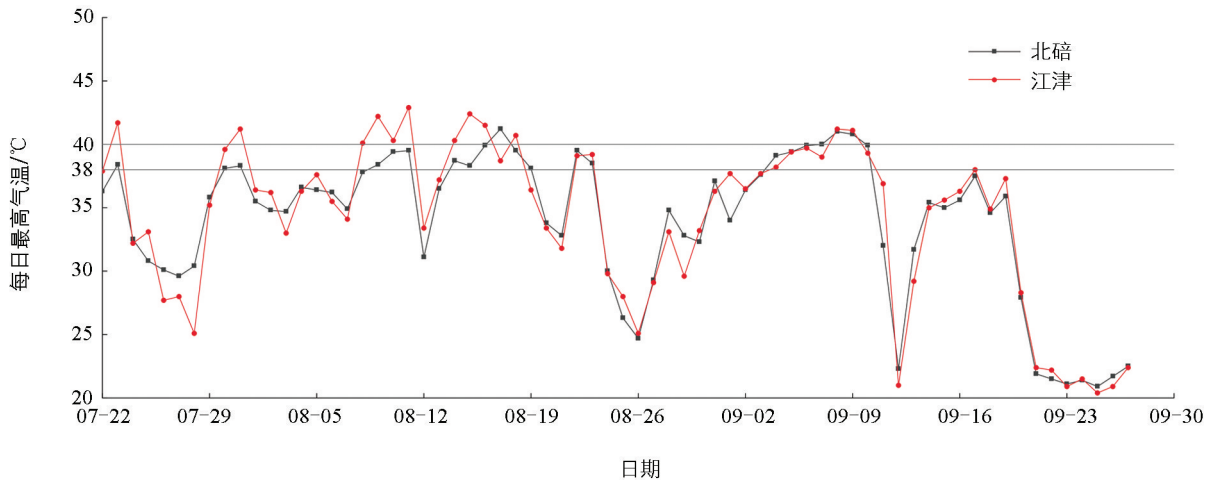
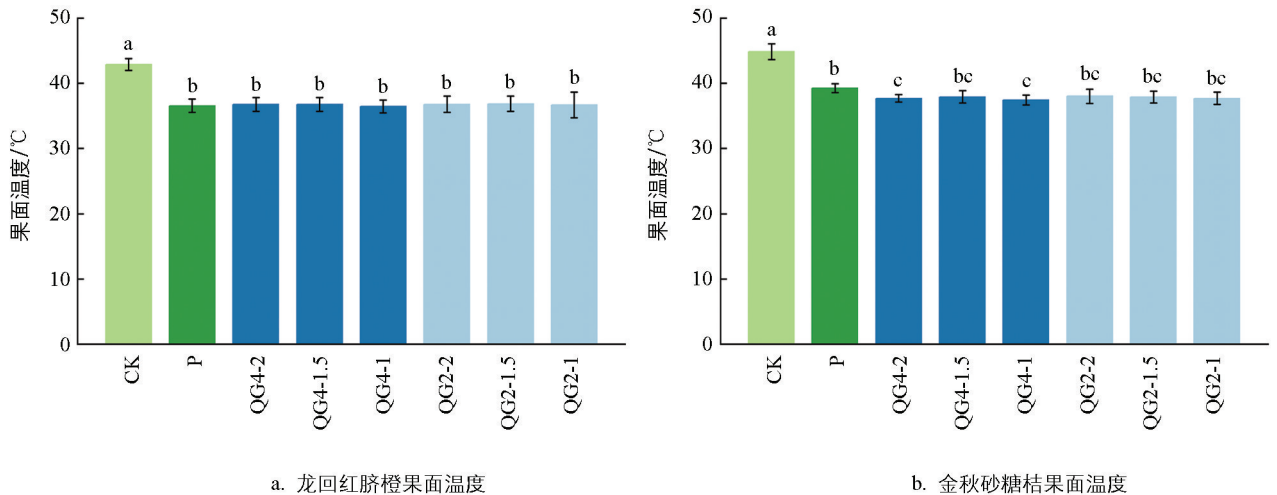


图 1 不同果园的每日最高气温变化

2.2 不同处理对果面温度的影响

在高温晴天 13:00—15:00, 与对照相比, 不同处理均能显著降低龙回红脐橙和金秋砂糖橘果面温度。龙回红脐橙不同处理间无显著性差异, 金秋砂糖橘中 QG4-2 和 QG4-1 处理温度显著低于商品处理。与对照相比, 龙回红脐橙果面温度平均降低 6.2 °C(图 2a), 金秋砂糖橘果面温度平均降低 7.1 °C(图 2b)。

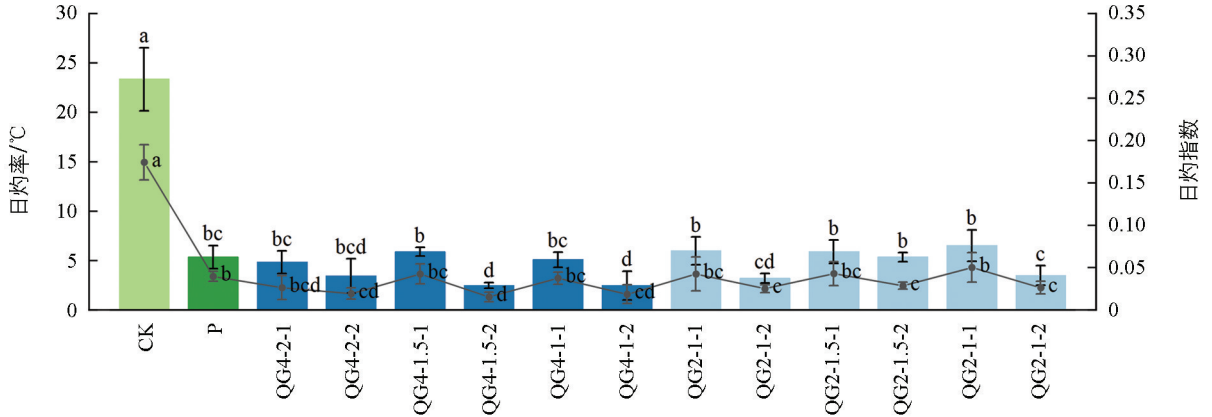


不同小写字母表示存在显著性差异($p < 0.05$)。下同。

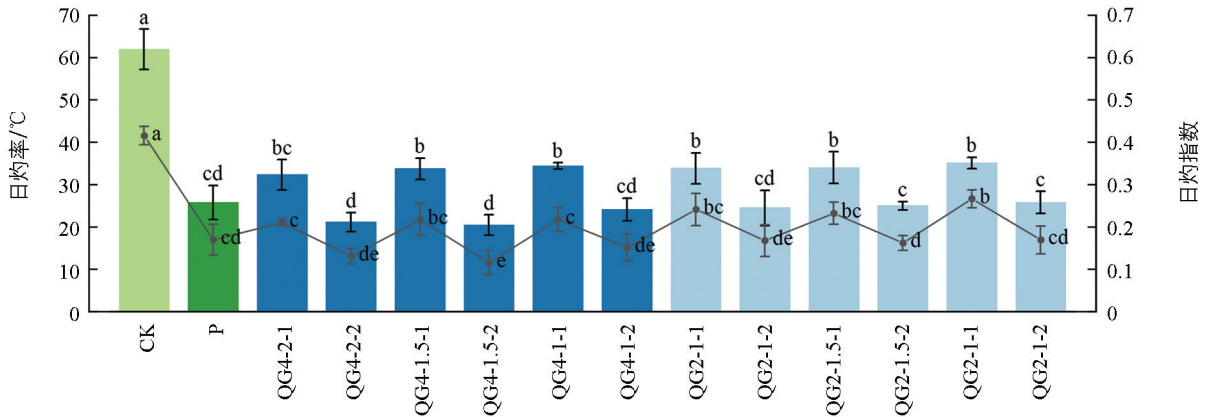
图 2 不同处理果面温度

2.3 不同处理对果实日灼率和日灼综合指数的影响

如图 3 所示,各试验处理可显著降低龙回红脐橙和金秋砂糖橘果实日灼率和日灼综合指数。龙回红脐橙和金秋砂糖橘对照果实日灼率分别为 23.35%、61.94%,日灼指数分别为 0.174、0.416。在龙回红脐橙的所有处理中,以 QG4-1-2 的日灼率最低,为 2.47%,与对照相比降低了 89.42%。处理 QG4-1.5-2 的日灼综合指数最低,为 0.015,与对照相比降低了 91.38%。金秋砂糖橘处理中,QG4-1.5-2 的防日灼效果最好,日灼率和日灼综合指数分别为 20.43%和 0.115,与对照相比分别降低了 67.02%和 72.36%。研究结果表明:相同喷布次数下,轻质碳酸钙和果胶浓度越高,其日灼率和日灼程度越低,且喷布 2 次处理效果都优于喷布 1 次的处理。商品处理虽然也能有效防止柑橘果实日灼病,且效果好于部分“轻质碳酸钙+果胶”喷布 1 次的处理,但仍不及喷布 2 次的处理。



a. 龙回红脐橙日灼率和日灼指数



b. 金秋砂糖桔日灼率和日灼指数

图 3 不同处理的果实日灼率和日灼综合指数

2.4 累计降雨量及清洗时间与药剂脱落的关系

从图 4 可以看出,重庆市北碚区和江津区降雨量主要集中在 7 月和 9 月,而 8 月和 10 月相对较少,从 7 月 22 日至 10 月 29 日两地的总降雨量分别为 668.5 mm 和 544.2 mm。两地降雨趋势略有差异,从 7 月到 9 月初,江津区的降雨量更多,而从 9 月中开始,北碚降雨量比江津区多,此后北碚的累积降雨量始终比江津多 100 mm 左右。

表 2 显示,随着轻质碳酸钙和果胶的浓度增加,冲刷脱落所需降雨量也随之增加,且龙回红脐橙脱落所需降雨量更多。进一步相关性分析表明,降雨量与果胶呈极显著正相关($r=0.863, p<0.01$),与轻质碳酸钙相关性也呈正相关,但相关性不显著(表 3)。果实采收后仅有 4%轻质碳酸钙和 2%果胶的处理清洗果

面所需时间最多为 15 s, 其余处理均为 10 s, 而对照仅需要 2 s(表 2)。

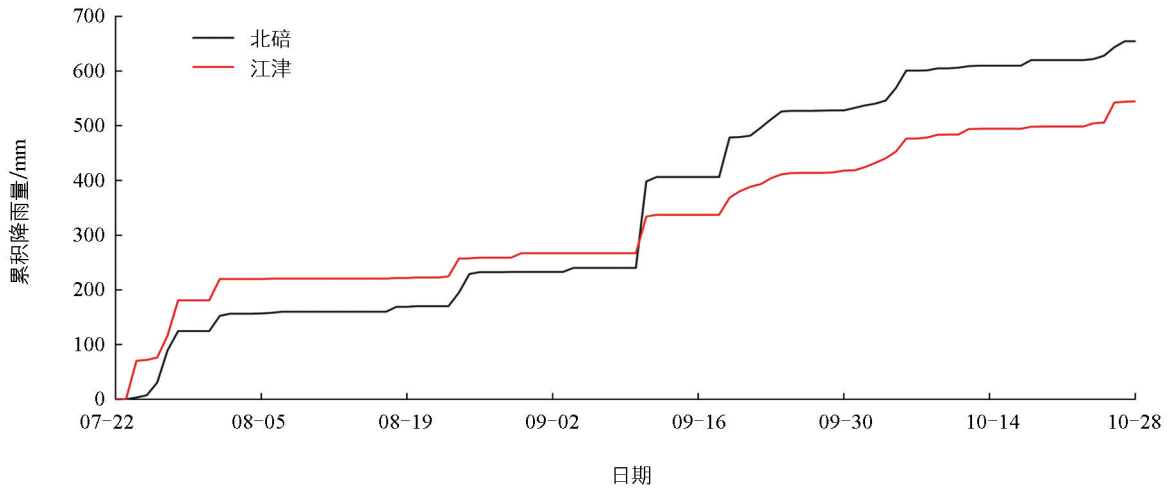


图 4 7 到 10 月北碚和江津累计降雨量变化

表 2 各品种处理的附着物脱落所需最大降雨量和采后清洗时间

处理	龙回红脐橙/mm	金秋砂糖橘/mm	清洗时间/s
CK	—	—	2.0
P	—	—	10.0
QG2-1-1	232.3	193.5	10.0
QG2-1.5-1	246.2	274.1	10.0
QG2-2-1	367.4	323.7	10.0
QG4-1-1	246.2	219.8	10.0
QG4-1.5-1	320.7	274.1	10.0
QG4-2-1	449.7	337.4	15.0

表 3 脱落所需最大降雨量与轻质碳酸钙和果胶的相关性

	轻质碳酸钙	果胶	脱落所需最大降雨量
轻质碳酸钙	1	—	0.253
果胶	—	1	0.863**
脱落所需最大降雨量	0.253	0.863**	1

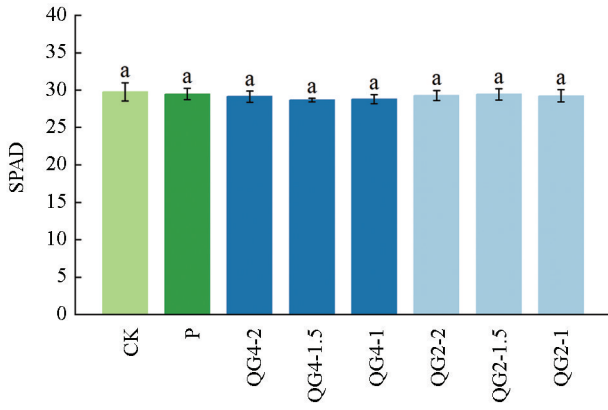
注: 独立样本 t 检验, * 表示在 $p < 0.05$ 水平具有显著性, ** 表示在 $p < 0.01$ 水平具有显著性。

2.5 不同处理对果面相对叶绿素的影响

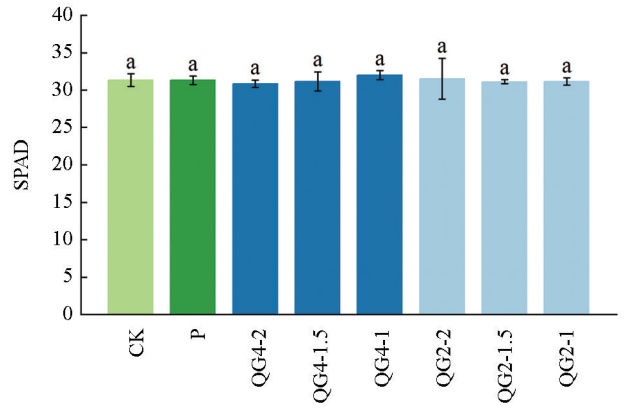
如图 5 所示, 不同处理喷布一周后(7 月末)龙回红脐橙和金秋砂糖橘果面相对叶绿素含量均无显著差异; 但处理 2~3 月后, 龙回红脐橙 QG2-2 处理的果面相对叶绿素含量略低于对照, 其余处理均显著低于对照, 金秋砂糖橘则表现为所有处理的果面相对叶绿素含量均显著低于对照。果面相对叶绿素含量的加速降解, 表明其果实转色进度加快, 各处理可有效促进果实转色。

2.6 喷布轻质碳酸钙对成熟期果实品质的影响

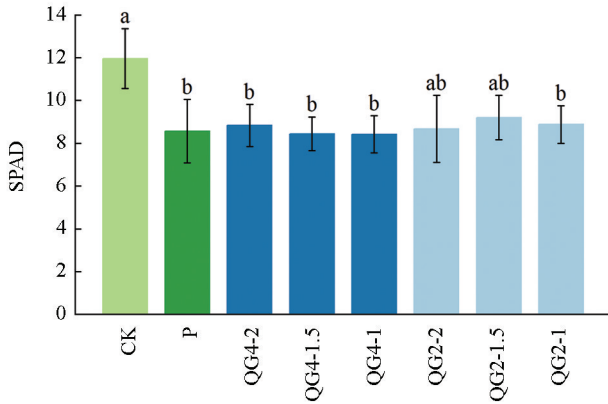
不同处理龙回红脐橙果实外在品质分析结果见表 4, 各处理在果实成熟期能显著增加龙回红脐橙的硬度和皮厚, 与对照相比, 果皮硬度平均提升 8.6%~16.7%, 果皮厚度平均增加了 3.5%~9.1%。外观色差方面, L^* 值平均下降了 0.3%~9.8%, 除处理 QG2-1-1, 其他处理 a^* 值上升了 0.3%~17.8%, 表明各处理可降低果实亮度、增加红色度, 促进着色更深, 改善商品外观, 提升商品价值。由表 5 可见, 处理 QG2-1.5-1 的果实维生素 C 含量显著降低, 但 QG4-1.5-2、QG4-1-1 及 QG2-2-1 等部分处理的维生



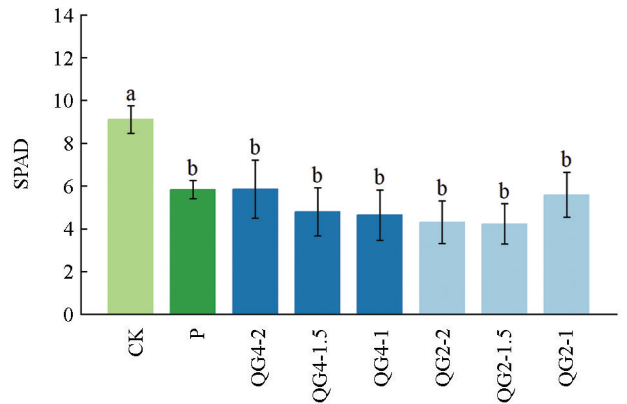
a. 7月龙回红脐橙果面SPAD



b. 7月金秋砂糖桔果面SPAD



c. 10月龙回红脐橙果面SPAD



d. 10月金秋砂糖桔果面SPAD

图 5 7 月和 10 月龙回红脐橙和金秋砂糖橘的果面相对叶绿素 (SPAD)

素 C 含量略有提升,但与 CK 相比均无显著差异;各处理可滴定酸和可溶性固形物略有差异,但与 CK 相比也无显著差异。

表 4 不同处理龙回红脐橙果实外在品质分析结果

处理	硬度/($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$)	皮厚/mm	L*	a*	b*
CK	23.07±0.73a	5.38±0.16a	67.16±2.51d	14.35±0.55a	66.85±2.96a
P	25.05±0.21b	5.77±0.05c	65.01±4.03abcd	14.33±0.47a	66.48±2.88a
QG4-2-1	26.71±0.52de	5.87±0.08c	65.88±3.90bcd	15.94±0.46bcd	66.83±2.26a
QG4-2-2	26.40±0.94de	5.70±0.06bc	66.58±3.36cd	16.79±0.54d	66.72±2.96a
QG4-1.5-1	25.36±0.83bc	5.57±0.41b	65.72±5.02bcd	15.65±0.45bc	66.73±2.98a
QG4-1.5-2	26.61±0.52de	5.77±0.17c	66.56±2.68cd	16.90±0.69d	67.20±2.53a
QG4-1-1	25.67±0.73bed	5.70±0.20bc	61.41±4.00ab	14.59±0.48a	67.03±2.32a
QG4-1-2	26.92±0.62e	5.87±0.10c	64.26±3.86abcd	14.92±0.51ab	66.79±2.66a
QG2-2-1	26.71±0.31e	5.68±0.19bc	65.87±1.35bcd	14.39±0.44a	66.85±1.66a
QG2-2-2	26.50±0.73de	5.70±0.17bc	66.62±2.99cd	15.73±0.35bc	66.51±2.50a
QG2-1.5-1	25.67±0.83bcd	5.80±0.09c	60.55±3.73a	14.86±0.57ab	66.80±3.21a
QG2-1.5-2	26.40±0.42de	5.69±0.13bc	66.99±1.15d	15.31±0.39ab	66.99±1.93a
QG2-1-1	26.09±0.42cde	5.71±0.09bc	61.97±2.93abc	14.25±0.48a	66.72±2.51a
QG2-1-2	26.09±0.31cde	5.71±0.04bc	66.83±2.32d	16.45±0.56cd	66.99±1.95a

表 5 不同处理龙回红脐橙果实内在品质分析结果

处理	可食率/ %	出汁率/ %	可溶性固形物/ %	可滴定酸/ %	维生素 C/ (mg · mL ⁻¹)
CK	72.74±0.52a	51.34±3.05ab	12.00±0.26ab	0.54±0.05abc	0.56±0.02bc
P	70.70±11.51a	53.45±11.35ab	12.07±0.06b	0.50±0.03ab	0.59±0.01c
QG4-2-1	70.16±4.59a	48.73±8.37ab	12.10±0.26b	0.51±0.02abc	0.53±0.04ab
QG4-2-2	72.26±4.72a	53.38±7.22ab	12.40±0.26b	0.48±0.02a	0.53±0.01ab
QG4-1.5-1	74.35±2.04a	54.47±2.53ab	12.07±0.06b	0.49±0.06ab	0.54±0.03abc
QG4-1.5-2	70.79±0.85a	52.13±1.81ab	11.93±0.06ab	0.50±0.02ab	0.57±0.02c
QG4-1-1	76.68±2.25a	60.76±3.68b	11.87±0.06ab	0.58±0.09bc	0.57±0.02c
QG4-1-2	68.53±3.27a	45.23±4.02a	11.83±0.06ab	0.58±0.01bc	0.53±0.03ab
QG2-2-1	71.06±3.02a	47.94±4.88ab	11.97±0.15ab	0.59±0.02c	0.56±0.02c
QG2-2-2	70.88±2.85a	51.51±7.60ab	11.80±0.00ab	0.56±0.04abc	0.55±0.01abc
QG2-1.5-1	70.07±1.09a	49.82±4.11ab	11.73±0.06a	0.58±0.03bc	0.51±0.02a
QG2-1.5-2	72.45±0.52a	52.03±0.72ab	12.03±0.06ab	0.59±0.04c	0.55±0.04bc
QG2-1-1	71.42±3.17a	51.69±7.01ab	11.90±0.00ab	0.55±0.04abc	0.52±0.03ab
QG2-1-2	71.98±0.67a	54.28±3.28ab	11.83±0.06ab	0.56±0.02abc	0.54±0.03abc

如表 6 所示, 各处理在果实成熟期也能显著增加金秋砂糖橘的硬度和皮厚, 相比对照果皮硬度平均提升 5.9%~28.2%, 果皮厚度平均增加了 8.7%~31.2%。与龙回红脐橙不同, 各处理金秋砂糖橘果实并无显著的色差变化规律, 推测原因可能是其成熟期早, 着色过快, 各处理的调控作用被品种自身着色规律掩盖。与龙回红脐橙相同, 金秋砂糖橘中也有部分处理(如 QG2-1.5-2)的维生素 C 含量显著降低, 但 QG4-1-1 的维生素 C 含量有显著提升。金秋砂糖橘各处理可溶性固形物与龙回红脐橙结果类似(表 7)。

表 6 不同处理金秋砂糖橘果实外在品质分析结果

处理	硬度/(kg · cm ⁻²)	皮厚/mm	L*	a*	b*
CK	8.83±0.83a	1.38±0.12a	38.82±0.53a	31.42±0.56a	6.81±0.17a
P	9.35±0.62ab	1.75±0.19b	39.51±1.17a	31.94±1.67a	6.58±0.08a
QG4-2-1	10.81±1.46ab	1.81±0.14b	40.66±1.22a	32.47±1.37a	6.84±0.42a
QG4-2-2	10.19±0.73ab	1.67±0.15ab	39.22±1.05a	30.54±0.58a	6.52±0.16a
QG4-1.5-1	9.56±1.14ab	1.79±0.11b	39.40±1.95a	32.12±1.48a	6.74±0.24a
QG4-1.5-2	10.71±0.52b	1.63±0.12ab	38.50±0.99a	31.43±3.14a	6.79±0.53a
QG4-1-1	10.19±0.83ab	1.50±0.21ab	39.15±0.57a	30.26±0.92a	6.87±0.57a
QG4-1-2	11.12±1.14b	1.64±0.16ab	38.05±2.68a	32.02±2.93a	6.77±0.31a
QG2-2-1	11.33±1.46b	1.69±0.31ab	38.83±3.28a	30.12±2.99a	6.46±0.38a
QG2-2-2	11.02±0.94b	1.81±0.27b	38.59±3.38a	32.06±2.48a	6.66±0.49a
QG2-1.5-1	9.46±1.14ab	1.76±0.18b	39.32±1.71a	31.60±2.65a	6.80±0.46a
QG2-1.5-2	10.39±1.77ab	1.79±0.31b	39.95±1.49a	31.11±2.00a	6.81±0.25a
QG2-1-1	10.39±1.97ab	1.65±0.28ab	38.75±1.55a	30.42±2.67a	6.79±0.40a
QG2-1-2	10.29±1.46ab	1.74±0.35b	39.83±1.73a	32.87±3.95a	7.04±0.59a

表 7 不同处理金秋砂糖橘果实内在品质分析结果

处理	可食率/ %	出汁率/ %	可溶性固形物/ %	可滴定酸/ %	维生素 C/ (mg · mL ⁻¹)
CK	78.86±1.09a	55.73±7.10ab	9.77±0.09ab	0.33±0.01a	0.36±0.01cd
P	78.11±2.67a	61.03±4.39b	10.00±0.64ab	0.34±0.01a	0.36±0.01abcd
QG4-2-1	76.94±0.47a	60.21±7.23b	9.67±0.26ab	0.32±0.03a	0.37±0.00bcde
QG4-2-2	77.83±0.27a	60.05±4.70ab	9.23±0.59a	0.31±0.03a	0.36±0.00cd
QG4-1.5-1	78.30±0.69a	55.29±8.2ab	10.13±0.73ab	0.40±0.02a	0.35±0.02abcd
QG4-1.5-2	77.29±0.48a	54.76±4.05ab	9.73±0.66ab	0.36±0.02a	0.35±0.00abc
QG4-1-1	77.53±0.17a	56.58±1.17ab	10.70±0.64b	0.35±0.02a	0.38±0.01e
QG4-1-2	76.22±4.56a	51.42±5.11ab	9.73±0.39ab	0.33±0.05a	0.37±0.01d
QG2-2-1	76.77±0.44a	48.50±0.73a	9.90±0.50ab	0.37±0.03a	0.37±0.00de
QG2-2-2	78.12±0.15a	53.45±9.16ab	9.83±0.45ab	0.34±0.02a	0.35±0.01abc
QG2-1.5-1	79.38±1.14a	56.76±0.55ab	9.93±0.31ab	0.31±0.01a	0.34±0.00ab
QG2-1.5-2	78.68±0.54a	57.68±0.11ab	10.07±0.54ab	0.32±0.00a	0.34±0.01a
QG2-1-1	76.95±0.62a	54.77±2.9ab	9.70±0.43ab	0.31±0.01a	0.34±0.01abc
QG2-1-2	77.28±0.90a	51.88±1.81ab	9.37±0.26a	0.35±0.02a	0.36±0.01abcd

2.7 经济效益

配制 50 L 药剂能喷 50 株树(约 667 m²),各处理所需的材料费用见表 8;人工费用为每天 100 元(6 h),可完成 120 株树的喷施工作,667 m²人工费为 41.60 元,据此计算各处理总成本。龙回红脐橙和金秋砂糖橘每 667 m²平均产量分别为 1 500 kg 和 2 000 kg,售价分别为 5 元/kg 和 8 元/kg,根据平均各级日灼果占比(表 8)及其商品价值,计算出各处理果品所得的总收入,并进一步计算出总利润。

表 8 各处理成本构成(667 m²)及各级日灼果占比

处理	材料费/ 元	人工费/ 元	1 级果占比/%		2 级果占比/%		3、4 级果占比/%	
			龙回红	金秋	龙回红	金秋	龙回红	金秋
CK	0.00	0.00	3.45	8.31	4.97	20.65	18.00	32.97
P	248.80	83.20	0.00	5.52	1.22	6.13	4.13	14.13
QG4-2-1	9.67	41.60	1.08	6.11	2.80	7.63	0.95	18.59
QG4-2-2	19.34	83.20	0.00	4.02	2.59	6.36	0.85	10.76
QG4-1.5-1	9.25	41.60	0.68	7.14	1.75	9.58	3.44	17.03
QG4-1.5-2	18.50	83.20	0.00	6.93	1.28	4.50	1.19	9.00
QG4-1-1	8.83	41.60	0.00	8.42	1.27	8.79	3.81	17.22
QG4-1-2	17.66	83.20	0.00	5.45	0.00	5.83	2.47	12.85
QG2-2-1	5.67	41.60	1.00	3.91	0.71	6.80	4.27	23.11
QG2-2-2	11.34	83.20	0.00	2.83	0.46	7.49	2.73	14.19
QG2-1.5-1	5.25	41.60	0.00	5.04	1.52	9.28	4.37	19.69
QG2-1.5-2	10.50	83.20	0.72	5.01	3.16	6.08	1.45	13.93
QG2-1-1	4.83	41.60	0.00	3.81	0.82	5.02	5.69	26.28
QG2-1-2	9.66	83.20	0.00	4.36	0.00	6.19	3.48	15.22

如表 9 所示, 龙回红脐橙处理中, 所得收入最高的为 QG4-2-2(4%轻质碳酸钙+2%果胶处理 2 次), 其次是 QG4-1.5-2(4%轻质碳酸钙+1.5%果胶处理 2 次), 但是利润最高的处理是 QG4-2-2(4%轻质碳酸钙+2%果胶处理 1 次)。金秋砂糖橘处理中, QG4-1.5-2(4%轻质碳酸钙+1.5%果胶处理 2 次)所得收入和利润都是最高的, 其次是 QG4-2-2(4%轻质碳酸钙+2%果胶处理 2 次)。在两个品种的试验中, 收入和利润最低的处理均为对照, 且均出现了和日灼率较为一致的趋势, 即喷布 2 次的处理效果基本上显著优于喷布 1 次的处理。

表 9 各处理经济效益分析

元

处理	总成本	总收入		总利润	
		龙回红	金秋	龙回红	金秋
CK	0.00	5 938.08	8 939.74	5 938.08	8 939.74
P	332.00	7 144.27	13 159.39	6 812.27	12 827.39
QG4-2-1	51.27	7 315.35	12 317.44	7 264.08	12 266.17
QG4-2-2	102.54	7 339.46	13 705.67	7 236.92	13 603.13
QG4-1.5-1	50.85	7 170.82	12 394.63	7 119.97	12 343.78
QG4-1.5-2	101.70	7 362.64	14 089.51	7 260.94	13 987.81
QG4-1-1	50.43	7 166.52	12 406.95	7 116.09	12 356.52
QG4-1-2	100.86	7 315.06	13 390.31	7 214.20	13 289.45
QG2-2-1	47.27	7 145.82	11 695.77	7 098.55	11 648.50
QG2-2-2	94.54	7 278.24	13 085.81	7 183.70	12 991.27
QG2-1.5-1	46.85	7 115.14	12 026.10	7 068.29	11 979.25
QG2-1.5-2	93.70	7 267.23	13 205.13	7 173.53	13 111.43
QG2-1-1	46.43	7 042.26	11 332.92	6 995.83	11 286.49
QG2-1-2	92.86	7 238.80	12 999.27	7 145.94	12 906.41

2.8 主成分分析

将日灼率、日灼指数、清洗时间、果面 SPAD、果实硬度、皮厚、L* 值、a* 值、b* 值、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C 和总利润共 13 个指标进行主成分分析, 其中 4 个主成分的累计贡献率达 84.37%, F1 的贡献率为 41.15%, F2 的贡献率为 19.44%, F3 的贡献率为 12.73%, F4 的贡献率为 11.04%, 能基本覆盖所有指标信息。主成分分析得分如表 10, 其中得分最高的处理是 QG4-1.5-2(4%轻质碳酸钙和 1.5%果胶喷布 2 次), 最低的是 CK, 且 2 次处理的综合得分普遍高于 1 次处理。

表 10 不同处理的综合评价及排名

处理	PC1(F1)	PC2(F2)	PC3(F3)	PC4(F4)	综合得分(F)	排名
CK	-0.41	0.16	1.39	0.82	0.15	14
P	1.61	0.43	0.72	1.36	1.17	9
QG4-2-1	1.86	0.13	1.33	0.79	1.24	7
QG4-2-2	1.86	-0.25	0.78	0.76	1.07	10
QG4-1.5-1	1.36	0.43	1.18	0.99	1.07	10
QG4-1.5-2	1.87	0.42	1.87	0.89	1.41	1
QG4-1-1	1.14	1.45	1.22	1.15	1.22	8
QG4-1-2	1.73	1.01	1.24	0.51	1.33	2

续表 10

处理	PC1(F1)	PC2(F2)	PC3(F3)	PC4(F4)	综合得分(F)	排名
QG2-2-1	1.35	1.19	1.32	0.97	1.26	5
QG2-2-2	1.75	0.73	1.16	0.72	1.29	4
QG2-1.5-1	1.42	0.97	0.85	0.08	1.06	12
QG2-1.5-2	1.68	0.61	1.57	0.9	1.31	3
QG2-1-1	1.24	0.92	0.83	0.16	0.96	13
QG2-1-2	1.68	0.21	2.02	0.56	1.25	6

3 讨论与结论

3.1 讨论

本研究中喷布不同浓度的轻质碳酸钙能显著降低龙回红脐橙和金秋砂糖橘的果面温度,显著减少果实日灼率和日灼指数,有效防控柑橘果实日灼病。高温和强光会大幅度提高果面温度、破坏细胞结构与功能,造成柑橘果实日灼^[18],因此减少光照和降低温度是防控日灼病的核心途径。已有研究证明,喷布石灰水^[17]、高岭土^[19]和碳酸钙^[20]都可以通过物理遮挡或反射紫外线及可见光,减少果实对光能的吸收,从而降低果面温度,达到防控日灼病的效果。轻质碳酸钙因粒径小、比表面积大^[21],白度 $\geq 93\%$ ^[22],具有更强的散射和漫反射能力,所以降温效果更优。其中,高浓度(4%)处理对日灼病的防护效果更好,这与胡丽鹏等^[23]的研究结果一致。

轻质碳酸钙促进柑橘果皮叶绿素降解,加速转色进程,改善果实品质。果实成熟后龙回红脐橙的果皮亮度(L*值)略微下降、红度(a*值)略微上升,而韩玉侠等^[24]报道在苹果上的喷布碳酸钙能显著提高果实亮度和红度,可改善果实品质。Teixeira等^[25]、王海华等^[26]分别用碳酸钙处理菠萝和茂谷柑果实,发现果皮硬度显著增加,且对可食率无不良影响。本研究发现轻质碳酸钙显著增加柑橘果皮硬度和厚度,增强了果实对日灼病的抵抗力,降低日灼危害^[27],提高果实采后耐贮藏性^[28-29]。Tasi等^[20]和Yamaga等^[30]的研究表明,碳酸钙处理对柑橘果实的可溶性固形物、可滴定酸含量均并未产生显著影响,同时处理对果实品质的影响随柑橘品种的不同呈现出差异化趋势,另有研究指出,石灰水处理可提高果实可溶性固形物、可滴定酸和维生素C含量^[17]。轻质碳酸钙在果实表面形成的防护层具有遮光作用,从而抑制维生素C的积累^[31];短期遮阴可促进果实糖积累,而长期遮阴会影响光合产物分配比率,降低果实糖含量^[32]。本研究结果显示,喷布轻质碳酸钙后,多种生理效应的叠加致使果实的内在品质产生一定差异,其中可溶性固形物、可滴定酸和维生素C含量均未达显著差异水平,可能与本试验药剂喷布时期和浓度有关,相关的规律有待进一步研究。

黏着剂选择与喷布次数是影响日灼病防控持续性的核心因素。轻质碳酸钙喷布后易受降雨冲刷和果实膨大影响,果实表面防护层的完整性逐渐被破坏,防控效果随之衰减。Yamaga等^[30]证明对柑橘叶片施用不同浓度碳酸钙后,各浓度处理的叶片L*值随时间呈下降趋势,推测其反光降温能力同步衰减,这与本研究结果一致。为解决这一问题,选用了天然食用级果胶作为黏着剂,与纯丙烯酸酯乳胶^[33]、植物基建筑胶^[34]等材料相比,兼具安全性高、环境友好、成本低廉的优势。药剂脱落所需降雨量与果胶浓度呈极显著正相关($r=0.863, p<0.01$),证实果胶可增强药剂附着性,提升整体防日灼能力^[35]。可根据产区降雨量与果实采收期灵活调整浓度,例如多雨地区或者晚熟品种选用2%果胶,少雨地区及早熟品种选用1%~1.5%果胶即可满足需求。此外,1次或2次喷布处理均能显著防控日灼病,而补喷可直

接延长或刷新有效防护的时长。因此,考虑到人工、药剂及采后清洗成本,过高浓度药剂或过多喷布次数并不适用于规模化生产场景,需要对防控效果和防控成本进行平衡,才能得到更高的经济效益。目前的商品涂白剂存在价格昂贵、使用复杂、防效不稳定等问题,且难以适应生产实践中的具体情况,无法因地制宜地使用,导致使用者难以获得理想的经济效益。而本研究简化了涂白剂成分,降低了防控成本,证明了防效的稳定性,同时可根据实际生产需求灵活调整涂白剂各成分浓度和喷布次数,有效提升使用者的经济效益。

龙回红脐橙与金秋砂糖橘的日灼率和药剂附着性都存在显著差异:龙回红脐橙对照平均日灼率(23.35%)远低于金秋砂糖橘(61.94%),而药剂脱落所需降雨量更高。从形态特征来看,龙回红脐橙枝条叶片紧凑,果实多下垂生长,叶片可遮挡部分阳光和雨水,既减少了阳光直射从而降低了果面温度,又减缓了药剂冲刷的速度;而金秋砂糖橘枝条疏松,果实外露,接收太阳辐射更强,药剂脱落更快。生理因素是导致两者日灼率不同的核心原因,龙回红脐橙果皮更厚,硬度更高,可有效减缓果实表面热量传递^[36],减少高温损伤,同时,龙回红脐橙果面蜡质含量更高^[37-39],能形成致密保护屏障,缓解强光与高温胁迫^[40-41];而金秋砂糖橘果皮抗氧化能力较弱^[42],且成熟期(10—11月)更接近于日灼病高发期,果面叶绿素降解快,光保护作用减弱,活性氧大量积累,更容易发生日灼病^[43-44]。环境因素方面,重庆江津产区(金秋砂糖橘种植地)最高气温超过40℃的高温天数(12 d)显著多于重庆北碚产区(龙回红脐橙种植地,4 d),持续极端高温进一步加剧了日灼风险。基于上述差异,对于果实暴露程度高、抗日灼能力弱的品种及高温天数多的地区,宜采用4%轻质碳酸钙+2%果胶喷布2次的方案,必要时雨后及时补喷;并根据实际应用场景,适当降低药剂浓度或减少喷布次数,以降低防控成本。

3.2 结论

在高温强光胁迫下,喷布轻质碳酸钙和果胶的组合处理能有效降低果面温度,从而降低果实日灼率和日灼程度,其中高浓度轻质碳酸钙和高浓度果胶组合对日灼病防控效果更好。采收期大部分轻质碳酸钙已脱落,采后可轻松洗掉。各处理组合均能降低相对果面叶绿素,增加果皮厚度和硬度,降低L*值,提高a*值。使用轻质碳酸钙+果胶的组合处理效果更好,其中4%轻质碳酸钙与果胶的组合处理具有更高的经济效益,在川渝地区的夏季特殊高温时,喷布2次的防控效果和经济效益比只喷1次更好。主成分分析表明综合防控效果最好的处理是4%轻质碳酸钙+1.5%果胶喷布2次,该处理兼具防控效果显著、经济效益高、果实品质好等优势,适宜在生产中推广应用;也可根据柑橘品种特性和产区气候条件,以经济效益为导向,灵活调整果胶浓度和喷布次数。

参考文献:

- [1] 吴玉婷,彭良志,刁莉华,等. 伏旱高温期不同品种柑桔果面温度日变化[J]. 中国南方果树, 2012, 41(4): 21-24.
- [2] 刘克均. 温州蜜柑日灼落果原因调查(摘要)[J]. 柑桔科技通讯, 1976, 5(2): 27.
- [3] RODRIGUEZ J, ANORUO A, JIFON J, et al. Physiological Effects of Exogenously Applied Reflectants and Anti-Transpirants on Leaf Temperature and Fruit Sunburn in Citrus [J]. Plants, 2019, 8(12): 549.
- [4] SONG Y Y, PARK M Y, YANG S J, et al. Effects of Microspraying of Water and Coating by White Materials on Fruit Sunburn Occurrence for 'Fuji'/M. 9 Apple Tree [J]. Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 2010, 12(2): 76-82.
- [5] LIU X M, YIN L C, DONG Z H, et al. Magnesium Application Mitigates Sunburn Damage in Citrus Fruits by Enhancing Photosynthetic Efficiency and Antioxidant Defense [J]. Scientia Horticulturae, 2025, 351: 114408.

- [6] 蒯传化, 刘三军, 杨朝选, 等. 套袋葡萄日灼病的发生与防治 [J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2009(9): 27-30.
- [7] 邓运埔. 贴纸法防治柑桔日灼病 [J]. 福建农业, 1997(1): 21.
- [8] 张建光, 刘玉芳, 孙建设, 等. 苹果套纸罩对防止果实日灼的效应 [J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 99-100.
- [9] DAYIOGLU A, HEPAKSOY S. Effects of Shading Nets on Sunburn and Quality of 'Granny Smith' Apple Fruits [J]. Acta Horticulturae, 2016(1139): 523-528.
- [10] 赖恒鑫, 李文广, 彭良志, 等. 不同颜色遮阳网防止脐橙高温日灼的效应 [J]. 果树学报, 2022, 39(7): 1241-1251.
- [11] 李平, 覃霞, 李雨桥, 等. 一种柑橘防日灼喷白方法: CN114736562A [P]. 2022-07-12.
- [12] CHABBAL M D, PICCOLI A B, MARTINEZ M S, et al. . Kaolin Applications to Control Sunburn in 'Okitsu' Mandarin [J]. Cultivos Tropicales, 2014, 35(1): 50-56.
- [13] 郭晓方, 卫泽斌, 薛建华, 等. 石灰水对混合试剂洗脱土壤重金属淋洗效果的影响 [J]. 土壤, 2017, 49(1): 129-134.
- [14] 李怡暄, 刘佳玲, 张晨硕, 等. 轻质碳酸钙增白的研究进展 [J]. 煤炭与化工, 2023, 46(5): 153-155, 160.
- [15] XIANG T T, YANG R W, LI L Q, et al. Research Progress and Application of Pectin: A Review [J]. Journal of Food Science, 2024, 89(11): 6985-7007.
- [16] 王欣锐, 邱洁雅, 何义仲, 等. 重庆忠县主栽柑橘品种夏季高温日灼情况调查 [J]. 中国果业信息, 2025, 42(10): 65-69.
- [17] 王敏, 邱洁雅, 何义仲, 等. 石灰水质量浓度和喷布覆盖率对柑橘日灼程度和品质的影响 [J]. 果树学报, 2020, 37(10): 1518-1527.
- [18] 郝燕燕, 李文来, 常月梅. 果实日烧发生机理及防止措施 [J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2006, 26(3): 296-299.
- [19] GLENN D M, PRADO E, EREZ A, et al. A Reflective, Processed-Kaolin Particle Film Affects Fruit Temperature, Radiation Reflection, and Solar Injury in Apple [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2002, 127(2): 188-193.
- [20] TSAI M S, LEE T C, CHANG P T. Comparison of Paper Bags, Calcium Carbonate, and Shade Nets for Sunscald Protection in 'Murcott' Tangor Fruit [J]. Hort Technology, 2013, 23(5): 659-667.
- [21] 韩金荣. 轻质碳酸钙的应用及其发展前景 [J]. 石油化工应用, 2009, 28(2): 4-5, 17.
- [22] 曹继伟. 沉淀法制备蛋壳源轻质碳酸钙及微细化的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [23] 胡丽鹏, 李其明, 赵战马, 等. 不同植物遮阳剂对柑橘日灼、果实品质及光合作用的影响 [J]. 中国南方果树, 2025(1): 21-24.
- [24] 韩玉侠, 李前进, 刘向阳, 等. 苹果喷施碳酸钙保护剂与果实套袋效应的比较试验 [J]. 落叶果树, 2024, 56(4): 31-34.
- [25] TEIXEIRA G C M, JUNIOR J S P, MATTIUZ B H, et al. Spraying of Calcium Carbonate Nanoparticles on Pineapple Fruit Reduces Sunburn Damage [J]. South African Journal of Botany, 2022, 148: 643-651.
- [26] 王海华, 梁剑锋. 轻质碳酸钙防治茂谷柑果实日灼病试验初报 [J]. 南方园艺, 2014, 25(5): 19-20, 25.
- [27] 吴卓群. 温州蜜柑与椪柑果皮日灼表型及生理指标差异分析 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2023.
- [28] 顾雪娇, 王婷, 柯甫志, 等. 温州蜜柑宫川耐浮皮芽变系果实浮皮特性和耐贮性研究 [J]. 果树学报, 2022, 39(3): 464-473.
- [29] 韦壮敏, 胡艺帆, 向思敏, 等. 不同栽培方式和采后处理对春橙 1 号果实贮藏品质的影响 [J]. 农业研究与应用, 2024, 37(3): 250-258.
- [30] YAMAGA I, IWATA M, ASAMA M, et al. Calcium Carbonate Treatments Affect Cultivation Environment around the Fruit Surface and Mitigate Sunburn Formation and Rind Puffing of Satsuma Mandarin Fruits [J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2025, 66(2): 233-243.

- [31] LADO J, ALÓS E, RODRIGO M J, et al. Light Avoidance Reduces Ascorbic Acid Accumulation in the Peel of Citrus Fruit [J]. *Plant Science*, 2015, 231: 138-147.
- [32] ZAMAN F, LIU D H, LIU Y Z, et al. Short-Day Shading Increases Soluble Sugar Content in Citrus Fruit Primarily through Promoting Sucrose Distribution, Starch Degradation and Sucrose Storage Ability [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2025, 223: 109779.
- [33] 王海华, 梁剑锋, 张艳兰, 等. 自制涂白剂防止默科特桔果实日灼病的效果与安全性评价 [J]. *中国南方果树*, 2016, 45(4): 43-44, 48.
- [34] 赖碧丹, 王博, 刘震, 等. 茂谷柑果实涂白剂所用黏着剂的选择 [J]. *中国南方果树*, 2018, 47(1): 30-31, 34.
- [35] 王海华, 梁剑锋. 自制加胶水涂白剂防默科特桔果实日灼试验初报 [J]. *中国南方果树*, 2014, 43(4): 45-46.
- [36] 吴卓群, 陈鹏旭, 陈思怡, 等. 温州蜜柑与椪柑果实日灼发生差异及机制 [J]. *园艺学报*, 2024, 51(12): 2743-2757.
- [37] WANG J Q, HAO H H, LIU R S, et al. Comparative Analysis of Surface Wax in Mature Fruits between Satsuma Mandarin (*Citrus unshiu*) and 'Newhall' Navel Orange (*Citrus sinensis*) from the Perspective of Crystal Morphology, Chemical Composition and Key Gene Expression [J]. *Food Chemistry*, 2014, 153: 177-185.
- [38] 袁高鹏, 淳长品, 彭良志, 等. '纽荷尔'脐橙及其芽变品种'龙回红'脐橙的比较研究 [J]. *果树学报*, 2017, 34(9): 1117-1124.
- [39] 杨绿竹, 王馨雨, 王蓉蓉, 等. 柑橘果皮角质层及其对采后贮藏保鲜影响的研究进展 [J]. *食品科学*, 2020, 41(7): 234-244.
- [40] 刘春燕, 杨志, 黎积誉, 等. 日灼对石榴果皮蜡质结构和组分的影响 [J]. *果树学报*, 2024, 41(7): 1378-1386.
- [41] DOMANDA C, PARADISO V M, MIGLIARO D, et al. Epicuticular Waxes: A Natural Packaging to Deal with Sunburn Browning in White Grapes [J]. *Scientia Horticulturae*, 2024, 328: 112856.
- [42] WAN J F, LI J, CHEN J Z, et al. A Comparison of Pericarp Anatomy and Antioxidant Responses after Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) and Orange (*Citrus sinensis* Osbeck) Fruits Sunburned [J]. *Fruits*, 2024, 79(4): 1-7.
- [43] 尹略丞. 镁对柑橘耐受日灼能力的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2024.
- [44] 林玲, 宋伟, 彭震宇, 等. 不同柑橘品种高温日灼情况调查及灾后减损措施 [J]. *现代园艺*, 2024, 47(3): 71-72, 83, 94.

责任编辑 王新娟