

低温贮藏对南丰蜜桔中橘小实蝇的致死作用 及其对南丰蜜桔糖酸含量的影响*

吴家展** 王广利 汪 涛
路 天 王建国 李伟军 李小珍***
(江西农业大学农学院, 南昌 330045)

摘 要 【目的】柑橘重大害虫橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 已经传入江西南丰蜜桔产区, 影响南丰蜜桔的生产、贮藏和出口。研究低温对南丰蜜桔果实中橘小实蝇卵和幼虫的致死作用, 及其对南丰蜜桔果实糖/酸含量的影响, 有利于发展南丰蜜桔鲜果的低温贮藏技术, 为南丰蜜桔鲜果的安全出口提供信息。【方法】将接入橘小实蝇卵和幼虫的南丰蜜桔和健康的南丰蜜桔成熟果实, 分别放置在温度为 3 和 5 °C 的冷库, 测定不同贮藏时间下橘小实蝇卵和幼虫的死亡率以及南丰蜜桔果实内可溶性糖和可滴定酸的含量。【结果】南丰蜜桔中橘小实蝇 2-3 龄幼虫对低温 3 和 5 °C 的耐受力强。低温条件下, 延长南丰蜜桔贮藏时间, 果实内部橘小实蝇卵和幼虫的死亡率提高。低温 3 °C 条件下, 南丰蜜桔果实内部 50% 橘小实蝇卵和幼虫死亡的处理时间为 2.37-3.15 d, 全部个体死亡的处理时间为 11 d; 5 °C 条件下, 50% 个体死亡的处理时间为 3.07-3.87 d, 全部个体死亡的时间为 13 d。健康南丰蜜桔鲜果在低温 3 和 5 °C 条件下, 延长贮藏时间, 失重率和可溶性糖含量提高, 可滴定酸含量下降。低温 3 和 5 °C 贮藏 13 d, 南丰蜜桔果实表面无冻伤; 可溶性糖含量较高, 分别达到 16.65% 和 17.03%; 可滴定酸含量低, 分别为 1.18% 和 1.16%。【结论】南丰蜜桔在低温 3 和 5 °C 条件下贮藏 13 d, 既能彻底杀灭果实内部橘小实蝇卵和幼虫, 又能较好地保持南丰蜜桔成熟果实品质, 是南丰蜜桔的理想贮藏条件。

关键词 橘小实蝇; 低温处理; 南丰蜜桔; 果实品质; 贮藏时间

The effects of low temperature storage on *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in Nanfeng tangerines, and on tangerine sugar and acid content

WU Jia-Zhan** WANG Guang-Li WANG Tao
LU Tian WANG Jian-Guo LI Wei-Jun LI Xiao-Zhen***
(College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract [Aim] To determine the effect of low temperature storage on *Bactrocera dorsalis* (Hendel) eggs and larvae in Nanfeng tangerines, and on the soluble sugar and titratable acid levels of tangerines. [Methods] Tangerines that were infested with *B. dorsalis* eggs and larvae and non-infested tangerines were stored in a low temperature storage facility at 3 and 5 °C, after which the mortality rate of *B. dorsalis*, and the soluble sugar and titratable acid levels of the tangerines were measured after different storage durations. [Results] 2nd and 3rd instar larvae of *B. dorsalis* were more resistant to storage at 3 or 5 °C than eggs or 1st instar larvae. Mortality of eggs and larvae increased with storage time. At 3 °C, tangerines had to be stored for 2.37-3.15 days to kill 50% of eggs and larvae, and for 11 days to achieve 100% mortality. At 5 °C, tangerines had to be stored for 3.07-3.87 days to achieve 50% mortality, and for 13 days to achieve 100% mortality. Over time, the weight loss and soluble sugar content of non-infested tangerines increased, but the titratable acid content declined. After storage at 3

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金项目 (32360713); 江西省教育厅科技计划项目 (GJJ190201, GJJ210443)

**第一作者 First author, E-mail: 1664486161@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lxziiz@163.com

收稿日期 Received: 2022-10-10; 接受日期 Accepted: 2022-12-15

or 5 °C for 13 days tangerines had no signs of frost bite, high soluble sugar content (16.65% at 3 °C and 17.03% at 5 °C), but low titratable acid content (1.18% at 3 °C and 1.16% at 5 °C). **[Conclusion]** Storing Nanfeng tangerines at 3 and 5 °C for 13 days killed 100% of *B. dorsalis* eggs and larvae without adversely affecting fruit quality.

Key words *Bactrocera dorsalis*; cold treatment; Nanfeng tangerine; fruit quality; storage time

橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 是果蔬作物上的重大害虫, 具有极强的传播和扩张能力 (胡凯平等, 2019)。橘小实蝇最早于 1912 年在中国台湾发现 (Li *et al.*, 2019), 如今已经传入到我国福建、广东、广西和云南等 17 个南方省 (直辖市、自治区), 为传入地区的寄主如柑橘、番石榴、芒果和杨桃等带来重大影响 (杨海燕等, 2021)。2005 年橘小实蝇在江苏苏州和无锡橘园发生, 2006 年在上海橘园发生, 柑橘产量损失 20%-30% (周国梁等, 2006; 袁梦等, 2008); 2008-2009 年橘小实蝇在福州杨桃园发生, 以甲基丁香酚为诱剂雄性成虫密度达到 968.33 头/诱捕器/7 d (郑思宁, 2013)。20 世纪 90 年代, 橘小实蝇传入江西赣南地区, 并迅速扩张到南丰蜜桔产区 (万宣伍, 2012; 钟德志和钟春晖, 2012)。南丰蜜桔是江西省抚州市南丰县特产, 中国国家地理标志产品, 种植面积 4.67 万 hm^2 , 年产量 75 万吨, 出口量 6 万-7 万吨, 销往全国和国外 40 多个国家和地区 (刘晓斌, 2013)。橘小实蝇对南丰蜜桔产区的入侵影响到南丰蜜桔的田间生产, 更影响到南丰蜜桔的销售, 尤其是对外出口。多年来, 美国、日本、欧盟和韩国等高端国际农贸市场, 以我国柑橘产区发生橘小实蝇, 卵和幼虫容易随果实传播扩散为由, 限制从我国柑橘产区 (包括南丰蜜桔生产基地) 进口新鲜柑橘及相关水果产品 (黄爱梅等, 2012)。因此, 杀灭受害果实内的橘小实蝇卵和幼虫是防止橘小实蝇向外传播扩张的重要途径, 也是保障南丰蜜桔安全顺利出口的重要措施。

杀灭新鲜水果内橘小实蝇卵和幼虫的常用方法有低温、熏蒸、气调、热处理、微波、辐射、激素调节以及多种方法的组合处理 (Willink *et al.*, 2006; APHIS, 2012)。其中, 低温冷藏处理新鲜水果因操作简单, 成本低廉, 无毒无残留, 为多数国家和地区接受利用。采用低温冷藏技术处

理水果, 既要评价低温对水果携带害虫的杀灭效果, 也要评价低温对果实品质和损伤的影响 (Lahoz-Beltra *et al.*, 1996)。评价低温对害虫的杀灭效果时, 需要选择适宜的低温, 然后测试每个低温不同贮藏时间对害虫不同发育阶段的致死效果; 评价低温对果实品质的影响时, 需要检测被处理水果的外观、重量、糖度和酸度等性状指标 (冯双庆和赵玉梅, 2001)。目前, 已有一些研究评价了低温冷藏对水果内有害生物的杀灭作用: 在 1.5 °C 条件下处理脐橙 14 d, 能够将脐橙果实内部的地中海实蝇 *Ceratitis capitata* 全部杀灭 (Armstrong *et al.*, 1995); 在 3 °C 条件下处理柠檬 14 d, 可将果实内部昆士兰果实蝇 *Bactrocera tryoni* 全部杀灭 (De Lima *et al.*, 2007); 在蒸热果实中心温度升至 46.5 °C 时保持 10 min, 随后再将果实移至 2 °C 下冷处理 40 h, 可将荔枝鲜果中的橘小实蝇卵和幼虫全部杀灭 (段殿勋等, 1996)。然而, 较少有研究既探讨低温对果实内部实蝇的杀灭作用, 又探讨低温对水果果实品质的影响。橘小实蝇入侵南丰蜜桔产区的时间短, 未查阅到低温冷藏对接入南丰蜜桔果实内部橘小实蝇卵和幼虫致死作用的研究报道。

既要保障果实品质, 又要杀灭果实内部害虫, 选择合适的低温至关重要。目前, 国内外对实蝇类害虫的低温处理条件一般控制在 1-6 °C (EPPO, 2021)。南丰蜜桔皮薄, 能够忍受的贮藏低温约为 3 °C, 更低的温度易导致果皮腐烂 (陈明等, 2009)。据此, 本研究选择 3 和 5 °C 作为低温冷藏处理条件, 25 °C 为对照, 探索不同处理时间对南丰蜜桔果实内橘小实蝇卵和幼虫的致死作用, 及其对南丰蜜桔果实品质 (失重率、可溶性糖和可滴定酸) 的影响。研究结果有利于南丰蜜桔的低温保存, 也可服务南丰蜜桔鲜果的安全销售和对外出口。

1 材料与方法

1.1 供试虫源和果实

橘小实蝇虫源采自江西南丰蜜桔生产基地,室内人工饲养2代,扩大种群规模,作为供试虫源。成虫饲料:南丰蜜桔、啤酒酵母和白糖混合物(重量比为3:1)和自来水,同时放在自制橘小实蝇养虫箱(长×宽×高=78 cm×50 cm×55 cm)。幼虫饲料:啤酒酵母20 g、白糖30 g、对羟基苯甲酸甲酯0.4 g、山梨酸0.4 g、吸水纸20 g、麦麸150 g和水500 mL,按比例配制混匀,卵和初孵幼虫转入人工饲料。饲养条件:温度(25±2)℃,湿度60%-90%,成虫自然光照条件,幼虫培养容器上覆盖黑布遮光。

南丰蜜桔成熟果实采自江西省南丰县柑桔研究所果园,当天运至实验室。挑选大小均匀、无病虫害、成熟度一致的果实,用于接入橘小实蝇卵和幼虫,并用于进行低温处理实验。

1.2 接虫入果

将产卵杯放入饲养大量成虫的养虫箱,成虫产卵6 h后收集卵,将卵转入人工饲料饲养。在25℃条件下,培养2 d获得1龄幼虫,饲养3 d获得2龄幼虫,饲养4-5 d获得3龄幼虫(吴佳教等,2000)。用刀片将南丰蜜桔果实表面切开,切口呈正三角形,边长1 cm,深度1 cm。用软毛笔蘸水将培养的橘小实蝇卵、1龄幼虫、2龄幼虫和3龄幼虫,分别接入果实切口内,每个果实接入卵20粒或幼虫10头,切口朝上。接入卵、1龄、2龄和3龄幼虫的果实数量分别为600个(处理550个,对照50个),12 h待幼虫蛀入果肉组织后,进行低温处理。

1.3 低温处理

低温冷库温度设置为3℃,将分别接入卵、1龄、2龄和3龄幼虫的南丰蜜桔果实直接放入冷库,4 h后待果心温度达到设定温度时,开始计时。冷库放置1 d后,每天取出接入卵、1龄、2龄和3龄幼虫的南丰蜜桔果实各25个,连续取15 d。取出的果实在25℃条件下放置24 h,检查果实内卵的孵化数以及各龄幼虫的存活数。

计数卵的孵化数时,挑开接卵果实,用软毛笔分开组织,发现1龄幼虫数量视为卵的孵化数;计数各龄幼虫存活数时,挑开接入幼虫的果实,用软毛笔轻触幼虫,幼虫能够轻微蠕动,即视为存活幼虫。冷库温度设置为5℃时,处理方法同上。对照温度设置为25℃,处理接入卵、1龄、2龄和3龄幼虫的果实各50个,3 d后计数果实内活虫数或脱果化蛹数量。低温处理和对照实验,共用到卵量12 000粒,1龄、2龄和3龄幼虫各6 000头。

1.4 果实品质测试

在低温处理接入南丰蜜桔的橘小实蝇卵和幼虫的同时,研究低温3、5℃和对照25℃条件下,不同贮藏时间南丰蜜桔果实品质的变化。

1.4.1 失重率测定 从带回实验室的南丰蜜桔果实中,随机选取5个作为一个重复,标号后测试重量(g)。然后在低温3℃条件下贮藏1、3、8、13和20 d后,分别称重。低温3、5和对照25℃条件下,均重复4次,测试方法同上。

1.4.2 可溶性糖测定 南丰蜜桔鲜果15箱,每箱200个,冷库低温3、5和对照25℃条件下各贮藏5箱,贮藏时间1、3、8、13和20 d。在每个温度下、每个时间段内,均重复4次。

采用蒽酮比色法测定南丰蜜桔果实内的可溶性糖含量(李晓旭和李家政,2013)。南丰蜜桔去皮,取果肉组织20 g,匀浆,加入蒸馏水20 mL,搅拌均匀后在10 000 r/min条件下离心10 min,取上清液。再次向离心管剩余的沉淀中,加入蒸馏水20 mL,相同条件下离心,取上清液,合并2次上清液,移至250 mL容量瓶中,制成南丰蜜桔果肉组织可溶性糖提取液。取2 mL可溶性糖提取液,加入浓度为15 mg/mL的蒽酮试剂0.5 mL,冷水浴中加入浓硫酸5 mL,摇匀。迅速放入温度为80℃的水浴锅中15 min,流动水冷却至室温,在620 nm处测定其吸光度。由标准线性方程求出可溶性糖浓度。

1.4.3 可滴定酸测定 处理条件和取样方法同1.4.2。采用酸碱滴定法(李娜等,2016)分别测定低温3、5和对照25℃条件下,贮藏1、3、8、

13 和 20 d, 南丰蜜桔果实内的可滴定酸含量。取南丰蜜桔果肉组织 20 g, 充分匀浆, 纱布过滤后取 10 mL 果汁原液, 加蒸馏水稀释并定容至 100 mL。稀释液转入锥形瓶, 滴入 1 滴 1%酚酞指示剂, 用已标定的 NaOH 溶液滴定, 至溶液转为红色 30 s 不褪色为止。重复 4 次。记录滴定消耗的 NaOH 溶液体积, 根据消耗的体积计算样品果汁中的可滴定酸含量。

1.5 数据分析

采用 SPSS 17.0 软件对数据进行统计分析。橘小实蝇的校正死亡率 (%) = (处理死亡率 - 对照死亡率) / (1 - 对照死亡率) × 100。南丰蜜桔果实失重率 (%) = (贮前重量 - 贮后重量) / 贮前重量 × 100。以橘小实蝇校正死亡率经过平方根反正弦转换数据为因变量 (Y), 以低温处理时间为自变量 (X), 参考张文彤和董伟 (2013) 方法建立线性相关回归方程, 同时计算 LT₅₀ 和 LT₉₅。采用 One-way ANOVA 中的 Tukey's 检验,

分析南丰蜜桔鲜果分别在 25 °C (对照温度)、3 和 5 °C (处理温度) 条件下贮藏 13 d 的失重率、可溶性糖含量和可滴定酸百分含量的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 低温对南丰蜜桔内橘小实蝇的致死作用

在低温 3 和 5 °C 条件下, 低温处理时间越长, 橘小实蝇卵和幼虫的实际和校正死亡率越高。低温 3 °C 处理南丰蜜桔果实内的橘小实蝇卵 9 d, 1 龄幼虫 8 d, 2 龄幼虫 10 d, 3 龄幼虫 11 d, 橘小实蝇对应虫态个体全部死亡。低温 5 °C 处理南丰蜜桔果实内的橘小实蝇卵 12 d, 1 龄幼虫 11 d, 2 龄和 3 龄幼虫 13 d, 橘小实蝇对应虫态个体全部死亡 (表 1)。因此, 要全部杀灭南丰蜜桔果实内的橘小实蝇卵和幼虫, 低温 3 °C 条件下最少需要处理 11 d, 5 °C 条件下最少需要处理 13 d。

表 1 南丰蜜桔果实内橘小实蝇卵和幼虫在低温 3 和 5 °C 处理不同时间的死亡率
Table 1 Mortality rate of *Bactrocera dorsalis* eggs and larvae in Nanfeng tangerine fruits at 3 and 5 °C for different treatment time

处理温度 (°C) Temperature (°C)	处理时间 (d) Exposure time (d)	死亡率 (%) Mortality rates (%)							
		卵 Egg		1 龄 1st instar		2 龄 2nd instar		3 龄 3rd instar	
		实际 Actual	校正 Positive	实际 Actual	校正 Positive	实际 Actual	校正 Positive	实际 Actual	校正 Positive
3	1	56.28	12.91	18.02	10.38	14.03	11.79	15.24	11.82
	2	58.03	16.39	67.45	64.42	26.54	24.63	25.54	22.53
	3	65.99	32.25	68.64	65.72	45.37	43.95	30.17	27.35
	4	68.49	37.23	89.46	88.49	63.78	62.84	45.81	43.62
	5	84.77	69.66	97.12	96.85	65.59	64.69	55.75	53.96
	6	92.89	85.84	98.67	98.64	70.67	69.91	76.43	75.48
	7	97.85	95.72	99.45	99.42	82.45	81.99	91.55	91.21
	8	98.02	97.69	100.00	100.00	89.17	88.89	93.56	93.30
	9	100.00	100.00	—	—	97.92	97.87	97.67	97.58
	10	—	—	—	—	100.00	100.00	98.68	99.34
	11	—	—	—	—	—	—	100.00	100.00
5	1	50.46	1.31	12.25	4.08	9.68	7.33	12.37	8.83
	2	51.35	3.09	22.78	28.38	22.58	20.56	21.43	18.26

续表 1 (Table 1 continued)

处理温度 (°C) Temperature (°C)	处理时间 (d) Exposure time (d)	死亡率 (%) Mortality rates (%)							
		卵 Egg		1 龄 1st instar		2 龄 2nd instar		3 龄 3rd instar	
		实际 Actual	校正 Positive	实际 Actual	校正 Positive	实际 Actual	校正 Positive	实际 Actual	校正 Positive
5	3	52.25	5.24	53.14	40.85	25.50	23.45	23.86	21.45
	4	55.87	12.09	60.55	56.88	37.10	35.46	32.24	29.50
	5	61.11	22.53	72.02	69.41	53.23	52.01	50.03	48.01
	6	64.45	29.18	76.83	74.67	68.55	67.73	65.12	63.71
	7	69.60	39.44	79.40	77.48	74.19	73.52	70.54	69.35
	8	77.78	55.74	85.52	84.17	80.54	80.03	78.57	77.70
	9	87.08	84.26	96.33	95.99	90.98	90.74	86.72	86.18
	10	98.72	97.45	98.75	98.33	95.94	95.83	92.86	92.57
	11	97.74	95.50	100.00	100.00	97.86	97.83	96.98	96.90
	12	100.00	100.00	—	—	98.89	98.67	99.55	99.33
	13	—	—	—	—	100.00	100.00	100.00	100.00
25 (CK)		49.80	—	8.52	—	2.54	—	3.88	—

构建了橘小实蝇卵和幼虫校正死亡率平方根反正弦转换数据与低温处理时间之间的线性回归方程。结果表明,校正死亡率平方根反正弦转换数据与低温处理时间之间呈正相关,除 3 °C 处理 1 龄幼虫外,其余回归方程的相关系数均大于 0.95。在低温 3 °C 条件下,橘小实蝇卵、1 龄、2 龄和 3 龄幼虫的 LT₅₀ 值分别为 2.37、2.42、2.79 和 3.15 d, LT₉₅ 值为 6.03、6.80、7.69 和 8.04 d。

在低温 5 °C 条件下,橘小实蝇卵、1 龄、2 龄和 3 龄幼虫的 LT₅₀ 值分别为 3.87、3.07、3.61 和 3.63 d, LT₉₅ 值为 7.92、8.12、9.24 和 9.19 d。与 5 °C 相比,3 °C 处理的橘小实蝇卵、1 龄、2 龄和 3 龄幼虫其 LT₅₀ 值分别缩短 1.49、0.64、0.82 和 0.48 d, LT₉₅ 值分别缩短 1.89、1.32、1.55 和 1.14 d (表 2)。以上研究表明橘小实蝇卵、1 龄、2 龄和 3 龄幼虫尤其卵和 1 龄幼虫对低温敏感。

表 2 橘小实蝇卵和幼虫校正死亡率 (Y) 与低温处理时间 (X) 的线性回归分析
Table 2 Linear regression analyses between positive mortality of *Bactrocera dorsalis* eggs, larvae and low-temperature treatment time

处理温度 (°C) Temperature (°C)	发育阶段 Developmental stage	回归方程 Regression equation	相关系数 r Related coefficient	LT ₅₀ (d)	LT ₉₅ (d)	全部死亡时间 (d) Time of all death (d)
3	卵 Egg	$Y=0.21+0.12X$	0.99	2.37	6.03	≥9
	1 龄幼虫 1st instar	$Y=0.20+0.11X$	0.89	2.42	6.80	≥8
	2 龄幼虫 2nd instar	$Y=0.24+0.09X$	0.98	2.79	7.69	≥10
	3 龄幼虫 3rd instar	$Y=0.18+0.10X$	0.98	3.15	8.04	≥11
5	卵 Egg	$Y=0.07+0.11X$	0.99	3.87	7.92	≥12
	1 龄幼虫 1st instar	$Y=0.23+0.09X$	0.96	3.07	8.12	≥11
	2 龄幼虫 2nd instar	$Y=0.21+0.08X$	0.98	3.61	9.24	≥13
	3 龄幼虫 3rd instar	$Y=0.27+0.08X$	0.99	3.63	9.19	≥13

2.2 低温影响南丰蜜桔果实品质

新鲜完整的南丰蜜桔鲜果在低温 3 和 5 °C 贮藏 13 d 内, 未发现烂果、坏果; 贮藏时间延长到 20 d, 个别果实表面出现水渍状溃烂痕迹。

以温度 25 °C 贮藏处理为对照, 研究了低温 3 和 5 °C 贮藏不同时间南丰蜜桔果实失重率、可溶性糖含量和可滴定酸含量的变化。延长贮藏时间, 南丰蜜桔鲜果的失重率升高。对照 25 °C 条件下, 南丰蜜桔鲜果贮藏 13 d 的失重率为 4.30%; 低温 3 和 5 °C 条件下贮藏 13 d 的失重率则分别为 1.44% 和 1.82% (图 1: A)。对照 25 °C 条件下贮藏 13 d 的失重率显著高于低温 3 和 5 °C 条件下贮藏 13 d 的失重率 ($F=18.11$; $df=2, 9$;

$P<0.01$)。南丰蜜桔鲜果贮藏 8-13 d, 可溶性糖含量较高, 可滴定酸含量较低。低温 3 和 5 °C 条件下贮藏 13 d, 可溶性糖含量分别为 16.65% 和 17.03%, 与对照 25 °C 贮藏处理 13 d 不存在显著差异 ($F=1.29$; $df=2, 9$; $P=0.32$) (图 1: B); 可滴定酸含量分别为 1.18% 和 1.16%, 与对照 25 °C 贮藏处理 13 d 亦不存在显著差异 ($F=0.42$; $df=2, 9$; $P=0.67$) (图 1: C)。因此, 南丰蜜桔在低温 3 和 5 °C 条件下, 贮藏 8-13 d, 南丰蜜桔果实表观形态良好, 失重率低, 可溶性糖含量高, 可滴定酸含量低, 是较为理想的低温贮藏条件。

综合评价, 既要彻底杀灭南丰蜜桔果实内部可能存在的橘小实蝇卵和幼虫, 又要保持良好的南丰蜜桔果实品质, 宜在低温 3-5 °C 条件下处理 13 d。

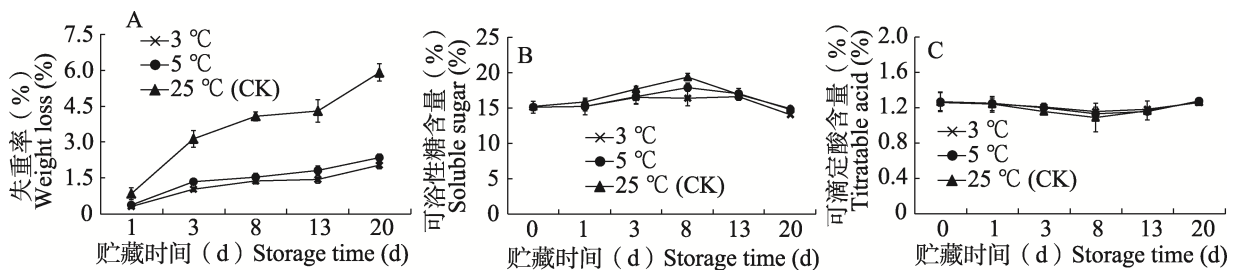


图 1 低温贮藏不同时间南丰蜜桔失重率 (A)、可溶性糖 (B) 和可滴定酸百分含量 (C) 的变化 (%)

Fig. 1 Change of weight loss rate (A), soluble sugar (B) and titratable acid percent content (C) in Nanfeng tangerine fruits under low temperature

0 代表新鲜果实。0 represents fresh fruits.

3 讨论

橘小实蝇对江西南丰蜜桔产区的入侵, 影响了南丰蜜桔的田间生产和鲜果出口。目前, 南丰蜜桔主要出口到越南、菲律宾、泰国、缅甸和印度尼西亚等东南亚各国, 出口美国、欧盟、日本和韩国等高端市场的销量有限 (刘晓斌, 2013)。低温贮藏南丰蜜桔能够延长南丰蜜桔的保质期, 也能够杀灭鲜果可能携带的橘小实蝇卵和幼虫, 防止橘小实蝇随南丰蜜桔的调运进行远距离传播。研究南丰蜜桔鲜果在适宜低温条件下的贮藏时间, 对抑制橘小实蝇卵和幼虫随南丰蜜桔的传播扩张, 延长南丰蜜桔的品质, 促进南丰蜜桔的安全出口有积极意义。

低温贮藏是水果进出境检疫处理的重要手

段, 已应用于多种水果携带的橘小实蝇检疫处理, 实现了多种水果的安全对外出口 (段殿勋等, 1996; 彭发青等, 2001)。不同水果品种对低温的耐受性不同, 贮藏水果时低温温度设置亦不相同, 低温贮藏时间亦存在差异。前期研究表明, 采用低温贮藏处理手段完全杀灭水果中的橘小实蝇, 杀灭龙眼内的橘小实蝇在 1 °C 条件下需要贮藏 14 d (梁广勤等, 1999), 芦柑内的橘小实蝇 1.7-1.9 °C 贮藏 12 d (陈华忠等, 2002), 沙田柚内的橘小实蝇 1.7-1.8 °C 贮藏 12 d (梁帆等, 2005), 枇杷内的橘小实蝇 1.5 °C 贮藏 12 d (詹开瑞等, 2013)。南丰蜜桔鲜果不耐低温, 理想的低温贮藏温度为 3-6 °C (陈明等, 2009), 因此本研究选择 3 和 5 °C 作为低温处理条件。本研究表明, 延长低温贮藏时间, 接入南丰蜜桔

果实内部橘小实蝇卵和幼虫的死亡率提高, 在 3 °C 条件下贮藏 9 d, 95%橘小实蝇卵和幼虫死亡; 贮藏 11 d, 全部橘小实蝇卵和幼虫死亡; 在 5 °C 条件下贮藏 10 d, 95%橘小实蝇卵和幼虫死亡; 贮藏 13 d, 全部橘小实蝇卵和幼虫死亡。与芦柑和沙田柚等水果相比 (陈华忠等, 2002; 梁帆等, 2005), 贮藏南丰蜜桔的温度高 1-2 °C, 但全部杀灭接入南丰蜜桔中橘小实蝇卵和幼虫的时间相似 (11-14 d)。笔者从橘园捡拾受橘小实蝇危害的南丰蜜桔落果, 在低温 (3±1) °C 冰箱内放置 13 d, 未发现活虫。

南丰蜜桔果实内部的橘小实蝇卵和幼虫不同虫态对低温的耐受能力存在差异。研究表明, 橘小实蝇 3 龄幼虫在 3 和 5 °C 条件下的存活能力强, 卵和 1 龄幼虫的存活能力弱。本研究结果与梁帆等 (2005) 等采用低温贮藏处理接入沙田柚中的橘小实蝇卵和幼虫的结果一致。詹开瑞等 (2013) 采用熏蒸剂溴甲烷 CH_3Br 处理接入枇杷中的橘小实蝇卵和幼虫, 亦得到相同结果。上述结果表明, 与其他虫态相比, 橘小实蝇 3 龄幼虫抗逆能力强, 低温杀灭橘小实蝇 3 龄幼虫, 是彻底杀灭橘小实蝇卵和幼虫的重要指标。

南丰蜜桔新鲜果实在低温 3-5 °C 贮藏 8 d, 失重率较低, 含糖量最高, 含酸量最低, 是最为理想的低温贮藏条件。然而, 这一处理条件未能将果实内部的橘小实蝇卵和幼虫彻底杀灭, 并不是理想的橘小实蝇低温检疫处理条件。贮藏时间延长到 13 d, 低温对南丰蜜桔色泽、糖、酸等指标性状影响小, 同时能够将橘小实蝇卵和幼虫彻底杀灭。因此, 从出口角度来看, 本研究认为南丰蜜桔在 3-5 °C 条件下贮藏 13 d, 方能达到橘小实蝇检疫处理的要求, 亦能在一定程度上维持果实的良好品质。本研究确立的橘小实蝇低温处理条件, 可为南丰蜜桔出口过程中保质保鲜和橘小实蝇的检疫处理提供信息。

参考文献 (References)

- APHIS (Animal and Plant Health Inspection Service, USDA), 2012. Treatment Manual. Washington, USA: USDA. 1-9.
- Armstrong JW, Silva ST, Shishido VM, 1995. Quarantine cold treatment for Hawaiian carambola fruit infested with Mediterranean fruit fly, melon fly, or oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) eggs and larvae. *Journal of Economic Entomology*, 88(3): 683-687.
- Chen HZ, Zhang QY, Fang YW, Lin ZJ, Yu JM, Ruan LY, Wang LS, Xia HM, 2002. Cold treatment to kill oriental fruit flies inoculated into ponkan. *Plant Quarantine*, 16(1): 1-4. [陈华忠, 张清源, 方元炜, 林振基, 余建明, 阮丽玉, 王立生, 夏宏明, 2002. 芦柑接入桔小实蝇的低温杀虫处理试验. 植物检疫, 16(1): 1-4.]
- Chen M, Xiang ML, Chen JY, Huang ZJ, 2009. Study on the storage characteristics of Nanfeng citrus. *Modern Horticulture*, 8: 6-7. [陈明, 向妙莲, 陈金印, 黄紫娟, 2009. 南丰蜜桔果实贮藏特性的研究. 现代园艺, 8: 6-7.]
- De Lima CD, Jessup AJ, Cruickshank L, Walsh CJ, Mansfield ER, 2007. Cold disinfestation of *Citrus* (*Citrus* spp.) for Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) and Queensland fruit fly (*Bactrocera tryoni*) (Diptera: Tephritidae). *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 35(1): 39-50.
- Duan DX, Liang GQ, Liang F, Yao WG, Zhang ZX, Xu W, Pang YM, Yue MG, Zhong GQ, He SQ, Zhong AQ, Li KY, Liang GZ, 1996. Test on treatment of vapor heat combined with extended cold storage against pest in Litchi. *China Entry Exit Animal and Plant Inspection*, 4(3): 25-27. [段殿勋, 梁广勤, 梁帆, 姚文国, 张遵雄, 徐伟, 庞云明, 越明刚, 钟国强, 何胜强, 钟安琪, 李坤元, 梁国真, 1996. 荔枝蒸热和低温综合杀虫处理试验. 中国进出境动植物检疫, 4(3): 25-27.]
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization), 2021. List of pests recommended for regulation as quarantine pests. 2022.10.05. https://www.eppo.int/ACTIVITIES/plant_quarantine/A1_list.
- Feng SQ, Zhao YM, 2001. Freshness Preservation Technology and Conventional Testing Methods for Fruits and Vegetables. Beijing: Chemical Industry Press. 33-38. [冯双庆, 赵玉梅, 2001. 果蔬保鲜技术及常规测试方法. 北京: 化学工业出版社. 33-38.]
- Hu KP, Wang JG, Li XZ, 2019. Occurrence characteristics and control strategies of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in Jiangxi. *Forest Pest and Disease*, 38(2): 43-46. [胡凯平, 王建国, 李小珍, 2019. 江西境内橘小实蝇的发生特点与控制对策. 中国森林病虫害, 38(2): 43-46.]
- Huang AM, Wang BQ, Jiang WJ, 2012. Competition ability and expanding export of citrus in Jiangxi. *Plant Quarantine*, 26(2): 78-80. [黄爱梅, 王柏青, 江望锦, 2012. 江西柑桔竞争力及扩大出口对策的分析. 植物检疫, 26(2): 78-80.]
- Lahoz-Beltra R, Hameroff SR, Dayhoff JE, 1996. Tolerance of red-fleshed grapefruit to a constant or stepped temperature, forced-air quarantine heat treatment. *Postharvest Biology and*

- Technology*, 7(1): 151–159.
- Li N, Yang XX, Dai SM, Li RH, Jiang H, Luo YX, Alessandra G, Deng ZN, 2016. Establishment of non-destructive system for fruit quality grading of ‘Bingtang’ sweet orange and its application on packing line. *Scientia Agricultura Sinica*, 49(1): 132–141. [李娜, 杨星星, 戴素明, 李荣华, 姜航, 罗跃雄, 亚历山德拉·金蒂来, 邓子牛, 2016. 冰糖橙果实品质无损伤在线检测分级技术的建立与应用. 中国农业科学, 49(1): 132–141.]
- Li XX, Li JZ, 2013. Determination of the content of soluble sugar in sweet corn with optimized anthrone colorimetric method. *Storage and Process*, 13(4): 24–27. [李晓旭, 李家政, 2013. 优化蒽酮比色法测定甜玉米中可溶性糖的含量. 保鲜与加工, 13(4): 24–27.]
- Li XZ, Yang HY, Wang T, Wang JG, Wei HY, 2019. Life history and adult dynamics of *Bactrocera dorsalis* in the citrus orchard of Nanchang, a subtropical area from China: implications for a control timeline. *Science Asia*, 45(3): 212–220.
- Liang F, Liang GQ, Wu JJ, Zhao JP, Zhong XJ, Guo Q, 2005. Study on treatment of pomelo fruit with oriental fruit fly. *Plant Quarantine*, 19(4): 211–214. [梁帆, 梁广勤, 吴佳教, 赵菊鹏, 钟小坚, 郭权, 2005. 沙田柚低温杀虫处理试验研究. 植物检疫, 19(4): 211–214.]
- Liang GQ, Liang F, Yang GH, Wu JJ, Situ BL, Zhang ZH, 1999. The study of cold storage quarantine treatment controlling oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) in longan. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 21(1): 33–36. [梁广勤, 梁帆, 杨国海, 吴佳教, 司徒保禄, 张志红, 1999. 低温处理接入龙眼桔小实蝇杀虫试验研究. 江西农业大学学报, 21(1): 33–36.]
- Liu XB, 2013. Analysis on the production and marketing of Nanfeng orange in Jiangxi Province. *Agricultural Products Market*, 8: 25–26. [刘晓斌, 2013. 江西南丰蜜桔产销解析. 农产品市场周刊, 8: 25–26.]
- Peng FQ, Zhao YL, Hu JB, Yue ZX, 2001. Treatment technology of fruit pests and its development prospect. *Plant Quarantine*, 15(6): 363–367. [彭发青, 赵艳丽, 胡加彬, 岳忠贤, 2001. 水果的除害处理技术及其发展前景. 植物检疫, 15(6): 363–367.]
- Wan XW, 2012. Inference on the origin, colonization routes and dispersal patterns of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel), based on molecular markers. Doctor dissertation. Chongqing: Southwest University. [万宣伍, 2012. 基于分子标记的桔小实蝇起源地推断、扩散路径重构及扩散模式研究. 博士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Willink E, Gastaminza G, Salvatore A, Gramajo MC, Aceñolaza M, Avila R, Favre P, 2008. Quarantine cold treatments for *Ceratitis capitata* and *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae) for citrus in Argentina: Conclusions after 10 years of research. Proceeding of the 7th International Symposium on Fruit of Economic Importance. Salvador, Brazil: 285–293.
- Wu JJ, Liang F, Liang GQ, 2000. Study on the relation between developmental rate of oriental fruit fly and its ambient temperature. *Plant Quarantine*, 14(6): 321–324. [吴佳教, 梁帆, 梁广勤, 2000. 桔小实蝇发育速率与温度关系的研究. 植物检疫, 14(6): 321–324.]
- Yang HY, Hu KP, Song SL, Wang GL, Xu Y, Wang JG, Li XZ, 2021. Isolation and identification of cultivable bacteria in the female and male adult reproductive system of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae). *Journal of Environmental Entomology*, 43(5): 1250–1256. [杨海燕, 胡凯平, 宋水林, 王广利, 徐业, 王建国, 李小珍, 2021. 橘小实蝇雌雄成虫生殖系统中可培养细菌的分离鉴定. 环境昆虫学报, 43(5): 1250–1256.]
- Yuan M, Wang B, Song CB, Rong XL, Yin Y, 2008. Effect of climate factors and host plants on population dynamics of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in Suzhou. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 36(22): 9619–9621. [袁梦, 王波, 宋采博, 荣秀莲, 尹颖, 2008. 气候因子和寄主植物对苏州桔小实蝇种群动态的影响. 安徽农业科学, 36(22): 9619–9621.]
- Zhan KR, Ye JX, Chen Y, Zhang XY, 2013. Cold treatment against oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* in loquat fruit. *Journal of Biosafety*, 22(2): 132–135. [詹开瑞, 叶剑雄, 陈艳, 张晓燕, 2013. 低温处理对枇杷中橘小实蝇的杀灭效果. 生物安全学报, 22(2): 132–135.]
- Zhang WT, Dong W, 2013. Advanced Course of SPSS Statistical Analysis (2nd edition). Beijing: Higher Education Press. 193–194. [张文彤, 董伟, 2013. SPSS 统计分析高级教程 (第2版). 北京: 高等教育出版社. 193–194.]
- Zheng SN, 2013. Population dynamics and density of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in different habitats. *Acta Ecologica Sinica*, 33(24): 7699–7706. [郑思宁, 2013. 不同生境中橘小实蝇种群动态及密度的差异. 生态学报, 33(24): 7699–7706.]
- Zhong DZ, Zhong CH, 2012. Occurrence regularity of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in navel orange orchard in southern Jiangxi. *Zhejiang Citrus*, 29(3): 37–38. [钟德志, 钟春晖, 2012. 赣南脐橙园柑橘小实蝇发生规律. 浙江柑橘, 29(3): 37–38.]
- Zhou GL, Ye J, Yuan P, Pan SH, 2006. The invasive mechanism of *Bactrocera dorsalis* in Shanghai. *Plant Quarantine*, 20(增刊): 44–46. [周国梁, 叶军, 袁平, 潘士华, 2006. 橘小实蝇在上海局部暴发成因分析. 植物检疫, 20(增刊): 44–46.]