丑橘携带柑橘大实蝇溴甲烷检疫熏蒸技术研究

曹 悦[1,2],张 琴[3],李柏树[2],王勇涛[4],邵宝林[5],陈乃中[2],杨 定[1],李 丽[2*],刘 涛[1,2]

(1.中国农业大学,北京 100193;2.中国检验检疫科学研究院,北京 100020;3.成都国际旅行保健中心,四川成都 610041;4.成都海关,四川成都 610041;5.成都海关技术中心,四川成都 610041)

摘要 [目的]研究了15 ℃条件下溴甲烷熏蒸处理对柑橘大实蝇[*Bactrocera minax*(Enderlein)]3龄幼虫的杀灭效果以及对春见[(*Citrus reticulata*×*C.sinensis*)cv.Okitsu No.44]、不知火[(*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate*]2种丑橘品质的影响,为开发出口丑橘检疫处理技术提供理论依据。[方法]以春见、不知火2个品种的丑橘为研究对象,分别用6、12、18、24、30、36 g/m^{3}的溴甲烷熏蒸,然后放置储存在不同条件下;采用毒力测定和品质测定法对其灭虫效果以及其对水果品质的影响进行研究。[结果]毒力测定结果表明,随溴甲烷熏蒸浓度的提高,柑橘大实蝇的死亡率逐渐升高;在95%置信区间内,溴甲烷杀灭99.996 8%柑橘大实蝇3龄幼虫所需的浓度-时间乘积约为125 g·h/m^3。品质测定结果表明,溴甲烷熏蒸对2种丑橘的色泽、可溶性糖含量、总酸度等指标无显著影响,但与对照组(CK)相比各溴甲烷熏蒸组丑橘在冷藏后的货架期有较高的腐烂率,这种不利影响可以通过熏蒸后常温储运来克服。[结论]溴甲烷熏蒸可用于出口丑橘中柑橘大实蝇的检疫处理,但处理后应在15 ℃以上储运,以避免在货架期内腐烂。

关键词 丑橘;柑橘大实蝇;溴甲烷;品质

中图分类号 S431 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)04-0181-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.04.047

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research on the Phytosanitary Fumigation Technology with Methyl Bromide for *Bactrocera minax* (Enderlein) in Ugly Tangerine

CAO Yue[1,2], ZHANG Qin[3], LI Bai-shu[2] et al (1.China Agricultural University, Beijing 100193; 2.Chinese Academy of Inspection and Quarantine, BeiJing 100020; 3.Chengdu International Travel Health Center, Chengdu, Sichuan 610041)

Abstract [Objective] To study the killing efficacy of methyl bromide fumigation at 15 ℃ against third-instar larvae of *Bactrocera minax* (Enderlein) and its influences on the quality of two varieties of ugly tangerine fruits including (*Citrus reticulata*×*C.sinensis*) cv.Okitsu No.44 and (*C. unshiu*× *C.sinensis*)× *C. reticulate*, and provide the theoretical basis for the development of the phytosanitary treatment technology of tangerine fruits for export. [Method] Two varieties of ugly tangerine fruits including (*Citrus reticulata*×*C.sinensis*) cv.Okitsu No.44 and (*C. unshiu*× *C.sinensis*)× *C. reticulate* were fumigated with 6, 12, 18, 24, 30 and 36 g/m^3 methyl bromide respectively, and then stored under different conditions. The toxicity test and quality determination was made to study the killing efficacy against *B. minax* (Enderlein) and the influences on the fruit quality. [Result] The toxicity test results showed that the mortality of *B.minax* (Enderlein) gradually increased with the increase of the fumigation concentration of methyl bromide. Probability value analysis results showed that, at 95% confidence level, the time-concentration product of methyl bromide required for killing 99.996 8% third-instar larvae of *B. minax* (Enderlein) was about 125 g · h/m^3. Quality determination results showed that methyl bromide fumigation had no significant effect on the color, soluble sugar content and total acidity of the two varieties of ugly tangerine fruits. However, compared with the control group(CK), ugly tangerine fruits in methyl bromide fumigation group had higher decay rate during the shelf life after the cold storage, but this adverse effect could be overcome by storage and transportation at room temperature after fumigation. [Conclusion] Methyl bromide fumigation could be used for the phytosanitary treatment of *B.minax* (Enderlein) in exported tangerine fruits, however the treated fruits should be stored at above 15 ℃ so as to avoid the decay during the shelf life.

Key words Ugly tangerine; *Bactrocera minax* (Enderlein); Methyl bromide; Quality

我国是柑橘的重要原产地,国内柑橘种类繁多,资源丰富,栽培面积及产量均位居世界首位,市场上具有重要的经济地位[1]。丑橘,又名丑柑,属于杂柑的一种,是芸香科(Crustacean)柑橘属(*Citrus* L.)植物的一种新型水果[2],主要有春见[(*Citrus reticulata*×*C.sinensis*)cv.Okitsu No.44]、不知火[(*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate*]2个品种。不知火是一种起源于日本的杂交柑橘,最早于2000年引入我国四川省;春见是以"清见"橘橙与"F-2432"椪柑杂交育成的后代,目前广泛种植于四川、江西、湖南等地[3]。因春见甜度高,且具有极佳的口感,近年来深受国内外消费者的喜爱[4]。然而,柑橘果实容易受多种有害生物的侵袭,特别是实蝇类有害生物可对果树生产造成毁灭性灾害,并对果实的对外销售造成严重影响[5]。柑橘大实蝇[*Bactrocera minax*(Enderlein)]又名橘大实蝇,隶属双翅目实蝇科寡鬃实蝇亚科,俗称"柑蛆",是我国特有害虫。该虫卵孵化后,幼虫在果瓤内蛀食危害,使被害果由硬变软且弹性增大,直至脱落腐烂[6],危害严重,且发生范围广,防控难度大,严重威胁四川、重庆、湖南等地区柑橘产业的发展[7-8]。同时,它也是一种国际检疫性害虫,被美国、澳大利亚、尼泊尔等国家检疫部门关注[5,9]。因此,在出口前对丑橘携带的柑橘大实蝇进行检疫处理显得尤为重要。目前,柑橘大实蝇检疫处理技术常见的有热处理、冷处理、辐照处理和熏蒸处理等[10]。研究表明,热处理柑橘大实蝇需将水果果心温度升至46 ℃以上才能达到杀灭效果[11],但丑橘为温带水果,对高温的耐受性较差;冷处理通常需将水果温度降至2.2 ℃以下维持12 d以上,但由于柑橘大实蝇具有越冬习性,因此冷处理对其杀灭效果也并不理想[12];辐照处理虽然能够有效阻止柑橘大实蝇羽化,但消费者对辐照食品的接受程度有限,且辐照处理会对部分柑橘的

基金项目 中国检科院基本科研业务费项目(2018JK025);海关总署科技计划项目(2019HK031);国家市场监管总局技术保障专项(2021)。

作者简介 曹悦(1997—),女,山东临沂人,硕士研究生,研究方向:农产品采后处理和检疫处理技术。*通信作者,副研究员,硕士,从事动植物产品生物污染物防控研究。

收稿日期 2021-05-24;**修回日期** 2021-07-01

品质造成损伤[13],因此综合考虑经济性和技术可行性,通过熏蒸处理来处理丑橘携带的柑橘大实蝇较为可行。溴甲烷具有穿透性强、高效广谱、扩散迅速等特点,是口岸中应用最广泛的熏蒸剂。虽然溴甲烷因破坏大气臭氧层受到《蒙特利尔议定书》管控,但鉴于目前尚缺乏理想的替代技术,其在进出口检疫领域的应用还处于豁免状态[14]。研究表明,溴甲烷对芒果、枇杷、柑橘中所携带的实蝇类害虫[如番石榴实蝇、桔小实蝇等]均有很好的杀灭效果[15-16],且对多种柑橘的品质均无不利影响[17],但目前溴甲烷对丑橘中携带的柑橘大实蝇的杀灭效果研究尚未见报道。笔者以春见、不知火 2 种丑橘为研究对象,分别用 6、12、18、24、30、36 g/m^3 浓度的溴甲烷熏蒸,然后放置储存在不同条件下;采用毒力测定和品质测定法对其灭虫效果和水果品质的影响进行研究,以期为开发出口丑橘检疫处理技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试丑橘带虫果由果农直接采自四川省江油市果园。其余品质的春见、不知火丑橘采自四川省蒲江县,选择无损伤、成熟度均匀、大小均一、果形端正的果实备用。

供试溴甲烷(纯度 99.5%,25 kg)购自连云港死海溴化物有限公司[12]。

1.2 试验方法

1.2.1 柑橘大实蝇的溴甲烷熏蒸。熏蒸采用改造过的配有内置小风扇的 6 L 玻璃真空干燥器进行[18]。每个干燥器装有 9 个带虫果,装载率为 40%~50%。装有带虫果的干燥器先置于恒温箱(KBF720,WTC Binder,德国)中平衡至 15 ℃,再采用负压投药,溴甲烷浓度依次设置为 6、12、18、24、30、36 g/m^3,处理时间 2.5 h,并设置对照组(CK),重复 3 次。熏蒸开始后 10 min 及 1.0、2.5 h 时,使用气相色谱仪检测溴甲烷气体浓度,测定方法参考张凡华等[19]。熏蒸结束后,带虫果在室温下通风散气 4 h,置于室温 48 h 后,计算死亡率,用钝器刺探后无反应则认为试虫死亡。

1.2.2 丑橘的熏蒸处理。熏蒸在配有风扇的 55 L(高 37.5 cm,长 45 cm,宽 33 cm)不锈钢熏蒸箱中进行。挑选春见、不知火 2 个品种的丑橘各 36 个,装入熏蒸箱中,在恒温箱内平衡 12 h 至 15 ℃。加盖密封熏蒸箱,开启风扇,分别使用 24、36、48 g/m^3 的溴甲烷在 15 ℃下熏蒸处理 2.5 h,对照组不作熏蒸处理但在同样的条件下置于熏蒸箱中。熏蒸结束后,丑橘通风散气 4 h,分别置于表 1 中的储藏条件下,并进行品质测定。

表 1 溴甲烷熏蒸丑橘的处理及储藏条件

Table 1 Treatment and storage conditions of ugly tangerine fruits fumigated with methyl bromide

丑橘品种 Tangerine varieties	处理方式 Treatment methods	储藏条件 Storage conditions
春见(*Citrus reticulata* × *C. sinensis*) cv.Okitsu No.44	24 g/m^3,2.5 h	5 ℃下 14 d,15 ℃下 5 d
不知火(*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate*	36 g/m^3,2.5 h	15 ℃下 10 d
	48 g/m^3,2.5 h	15 ℃下 10 d

1.2.3 丑橘品质的测定。经过不同处理的 2 个品种丑橘分别在 5 ℃下存放 14 d 时、5 ℃下存放 14 d 后 15 ℃下存放 5 d 时以及 15 ℃下存放 10 d 时,进行丑橘品质测定。

1.2.3.1 色泽测定。参考张凡华等[19]的方法,在丑橘果皮赤道面对称选取 4 点,使用色差计(Minolta CR-10,日本美能达公司)测定,用 $L*$ $a*$ b 系统表示。

1.2.3.2 硬度测定。参考赵天泽等[20]的方法,使用质构仪(GY-1,牡丹江市机械研究所)测定硬度。选取丑橘果实赤道面 3 个位置,用直径 2 mm 圆柱形探头穿刺,穿刺距离 10 mm,穿刺速度 1 mm/s,记录穿刺过程中最大力(单位为 N)。

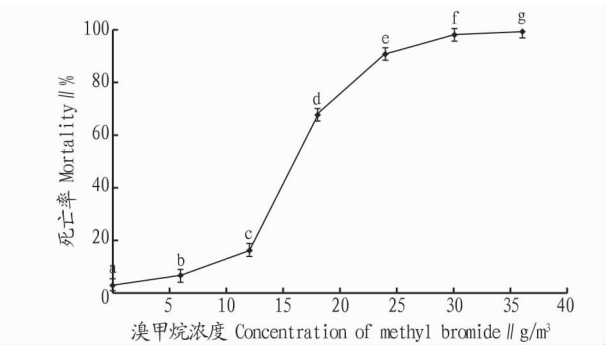
1.2.3.3 糖度测定。参考赵天泽等[20]的方法,将丑橘去皮并榨汁,取澄清果汁,使用手持式糖度仪(Pocket PAL-1,日本爱拓)测定糖度,每个丑橘重复测定 3 次,取平均值。

1.2.3.4 酸度测定。参考赵天泽等[20]的方法,将丑橘去皮并榨汁,取澄清果汁 0.3 mL,用蒸馏水稀释至 30 mL,使用酸度计(GMK-855,韩国 G-WON 公司)测定酸度,每个丑橘重复测定 3 次,取平均值。

1.2.4 数据分析。试验数据使用 Microsoft Excel 2007 软件进行统计,计算平均值和标准差,使用 SPSS 23.0 软件 Duncan 检验法对相关指标进行差异显著性分析,使用 PoloPlus 软件进行概率值分析。

2 结果与分析

2.1 溴甲烷熏蒸对柑橘大实蝇的杀灭效果 为测定不同浓度溴甲烷对柑橘大实蝇的杀灭效果,在 2.5 h 熏蒸时间下,使用一系列浓度的溴甲烷对 1 954 头幼虫进行熏蒸处理,各浓度梯度溴甲烷熏蒸处理柑橘大实蝇 3 龄幼虫的死亡率变化如图 1 所示。从图 1 可以看出,随着溴甲烷浓度的提高,幼虫死亡率也随之提高,且各处理组间幼虫死亡率存在显著差异(F=622.824,P<0.05)。当熏蒸浓度达到 36 g/m^3 时,幼虫死亡率在 99%以上。



注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05)

Note:Different small letters indicated significant difference(P<0.05)

图 1 15 ℃条件下不同浓度溴甲烷熏蒸柑橘大实蝇 3 龄幼虫死亡率的变化

Fig.1 The mortality changes of the 3rd-instar larvae of *B.minax* (Enderlein) fumigated with different concentrations of methyl bromide at 15 ℃

进一步的概率值分析结果表明,达到国际贸易中普遍要

求的 99.996 8%杀灭率所需的平均熏蒸浓度的 95%置信区间为 45.83~58.04 g/m^3,浓度-时间乘积(CT)约 125 g·h/m^3。

2.2　丑橘溴甲烷熏蒸处理过程中的浓度变化　投药后,由于丑橘装载率约 50%,初始浓度约为设计投药浓度的 180%[20]。随着熏蒸的进行,溴甲烷浓度逐渐下降。投药量分别为 24、36、48 g/m^3 的处理 CT 分别为 87.10、134.80、182.40 g·h/m^3,满足了杀灭柑橘大实蝇的要求(表 2)。

2.3　溴甲烷熏蒸对丑橘储藏期间色泽的影响　溴甲烷熏蒸对春见、不知火丑橘储藏期间色泽的影响如表 3 所示。由表 3 可知,随着储藏时间的延长,2 种丑橘的色泽保持稳定。对照组与各处理组丑橘的 L、a、b 3 个指标均无显著差异,表明 15 ℃溴甲烷熏蒸处理对储存期间丑橘色泽无显著影响。

表 2　熏蒸过程中溴甲烷浓度衰减结果

Table 2　Attenuation results of methyl bromide concentration during the fumigation process

投药量 Dose g/m^3	不同时间溴甲烷浓度 Methyl bromide concentrations at different time // g/m^3			CT g·h/m^3
	10 min	1.0 h	2.5 h	
24	40.70±1.83	36.10±0.91	27.20±0.57	87.10±1.73
36	66.30±0.68	53.20±1.56	42.50±1.06	134.80±1.17
48	89.30±2.30	72.40±2.36	57.40±1.00	182.40±4.43

表 3　储藏期间溴甲烷熏蒸对春见、不知火果皮色泽的影响

Table 3　Effects of methyl bromide fumigation on the peel colour and luster of (*Citrus reticulata*×*C.sinensis*) cv.Okitsu No.44 and (*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate* during the storage

品种 Varieties	色差指标 Color Difference indices	组别 Group	5 ℃14 d	5℃14 d+15 ℃5 d	15 ℃10 d
春见 (*Citrus reticulata*×*C.sinensis*) cv. Okitsu No.44	L	CK	57.93±0.81 a	59.30±0.96 a	56.03±2.25 a
		24 g/m^3 组	58.37±0.32 a	57.67±1.18 a	53.60±1.19 a
		36 g/m^3 组	59.97±0.23 a	57.80±0.85 a	54.03±0.52 a
		48 g/m^3 组	56.87±1.66 a	57.57±0.87 a	57.00±0.46 a
	a	CK	38.37±0.22 a	37.93±1.84 a	39.33±1.07 a
		24 g/m^3 组	38.63±0.77 a	39.10±0.29 a	37.50±1.04 a
		36 g/m^3 组	39.07±0.88 a	38.83±0.35 a	37.10±0.55 a
		48 g/m^3 组	38.13±1.39 a	36.63±0.83 a	37.97±0.83 a
	b	CK	58.37±1.37 a	60.67±2.23 a	56.50±3.92 a
		24 g/m^3 组	59.20±0.59 a	59.97±2.04 a	52.90±1.85 a
		36 g/m^3 组	61.67±0.24 a	58.77±1.45 a	52.63±0.90 a
		48 g/m^3 组	57.17±2.92 a	58.03±1.25 a	57.20±1.17 a
不知火 (*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate*	L	CK	60.63±0.18 a	60.07±0.41 a	61.00±1.48 a
		24 g/m^3 组	61.40±0.67 a	61.37±1.39 a	59.03±0.56 a
		36 g/m^3 组	60.13±0.09 a	62.70±0.31 a	61.77±0.44 a
		48 g/m^3 组	60.23±1.14 a	61.80±0.65 a	58.17±0.37 a
	a	CK	30.03±1.07 a	31.50±1.55 a	29.63±0.72 a
		24 g/m^3 组	29.43±1.48 a	31.47±1.99 a	27.37±0.20 a
		36 g/m^3 组	30.13±0.74 a	30.03±1.70 a	28.47±0.64 a
		48 g/m^3 组	28.87±0.54 a	29.73±2.15 a	28.67±1.47 a
	b	CK	63.20±0.23 a	62.37±0.79 a	68.83±1.42 a
		24 g/m^3 组	64.40±0.64 a	64.40±2.18 a	60.17±1.53 a
		36 g/m^3 组	62.73±0.78 a	66.53±0.50 a	67.43±1.07 a
		48 g/m^3 组	63.00±1.25 a	64.67±0.54 a	60.40±1.01 a

注:同列相同小写字母表示差异不显著(P>0.05)

Note:The same small letters in the same column indicated no significant difference(P>0.05)

2.4　溴甲烷熏蒸对丑橘储藏期间可溶性糖含量的影响　溴甲烷熏蒸对储藏期间春见、不知火丑橘可溶性糖含量的影响结果如表 4 所示。由表 4 可知,随着温度和储藏时间的增加,春见和不知火丑橘可溶性糖含量升高。同时,对不同丑橘品种的分析显示各个储藏条件下春见的可溶性糖含量均高于不知火,且存在显著差异(F=13.782,P<0.05),表明春见更甜。丑橘在储藏期间对照组与处理组的可溶性糖含量均无显著差异(F=26.346,P=0.271),表明 15 ℃溴甲烷处理对丑橘储存期间可溶性糖含量无显著影响。

2.5　溴甲烷熏蒸对丑橘储藏期间总酸度的影响　溴甲烷熏蒸处理后丑橘在不同储藏期间总酸度的变化如表 5 所示。由表 5 可知,不同储藏条件下 2 种丑橘总酸度基本不变。对 2 个品种丑橘进行分析发现,各个储藏条件下不知火总酸度高于春见,且存在显著差异(F=33.873,P<0.05),表明不知火更酸。对照组丑橘储藏期间总酸度与各处理组相比无显著差异(F=56.424,P=0.358),表明 15 ℃溴甲烷处理对丑橘储存期间总酸度无显著影响。

2.6　溴甲烷熏蒸对丑橘储藏期间硬度的影响　溴甲烷处理后 2 种丑橘在不同储藏期间的硬度变化如表 6 所示。由表 6 所示,随着温度和储藏时间的增加,2 种丑橘硬度保持稳定。对 2 个品种丑橘的分析显示,冷藏后进行常温储藏(5 ℃ 14 d+15 ℃ 5 d)的不知火硬度显著高于春见(F=34.145,P=0.005),表明该处理组春见比不知火更软。相同储藏条件下,丑橘在储藏期间各处理组硬度与对照组相比无显著差异(F=5.015,P=0.851),说明 15 ℃溴甲烷熏蒸处理对不同储藏期间丑橘的果实硬度无显著影响。

表 4 储藏期间溴甲烷熏蒸对春见、不知火可溶性糖含量的影响

Table 4 Effects of methyl bromide fumigation on the content of soluble sugar in (*Citrus reticulata*×*C. sinensis*) cv. Okitsu No.44 and (*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate* during the storage

品种 Varieties	组别 Group	可溶性糖含量 Soluble sugar content//%		
		5 ℃14 d	5 ℃14 d+15 ℃5 d	15 ℃10 d
春见(*Citrus reticulata*×*C.sinensis*)cv. Okitsu No.44	CK	13.50±0.26 a	13.60±0.56 a	14.67±0.35 a
	24 g/m³ 组	13.60±0.12 a	13.87±0.44 a	13.67±0.64 a
	36 g/m³ 组	13.63±0.15 a	13.37±0.27 a	13.97±0.85 a
	48 g/m³ 组	13.70±0.20 a	13.83±0.46 a	14.13±0.90 a
不知火(*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate*	CK	12.97±0.67 b	13.13±0.64 b	13.57±0.42 b
	24 g/m³ 组	12.30±0.00 b	13.00±0.65 b	13.20±0.10 b
	36 g/m³ 组	12.93±0.68 b	12.50±0.15 b	13.60±0.36 b
	48 g/m³ 组	12.93±0.68 b	13.17±0.57 b	13.67±0.37 b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different small letters in the same column indicated significant difference($P<0.05$)

表 5 储藏期间溴甲烷熏蒸对春见、不知火总酸度的影响

Table 5 Effects of methyl bromide fumigation on total acidity of (*Citrus reticulata*×*C.sinensis*) cv. Okitsu No.44 and (*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate* during the storage

品种 Varieties	组别 Group	总酸度 Total acidity//%		
		5 ℃14 d	5 ℃14 d+15 ℃5 d	15 ℃10 d
春见(*Citrus reticulata*×*C.sinensis*)cv. Okitsu No.44	CK	0.92±1.30 b	0.81±0.05 b	0.94±0.10 b
	24 g/m³ 组	0.84±0.07 b	0.78±0.04 b	0.96±0.09 b
	36 g/m³ 组	0.89±0.06 b	0.80±0.06 b	0.87±0.08 b
	48 g/m³ 组	0.92±0.06 b	0.73±0.20 b	1.02±0.06 b
不知火(*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate*	CK	1.22±0.04 a	1.06±0.09 a	1.38±0.19 a
	24 g/m³ 组	1.14±0.07 a	1.07±0.12 a	1.24±0.08 a
	36 g/m³ 组	1.19±0.08 a	0.95±0.07 a	1.30±0.17 a
	48 g/m³ 组	1.15±0.06 a	1.06±0.13 a	1.41±0.17 a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different small letters in the same column indicated significant difference($P<0.05$)

表 6 储藏期间溴甲烷熏蒸对春见、不知火硬度的影响

Table 6 Effects of methyl bromide fumigation on the hardness of (*Citrus reticulata*×*C.sinensis*) cv. Okitsu No.44 and (*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate* during the storage

品种 Varieties	组别 Group	硬度 Hardness//N		
		5 ℃14 d	5 ℃14 d+15 ℃5 d	15 ℃10 d
春见(*Citrus reticulata*×*C.sinensis*)cv. Okitsu No.44	CK	4.59±0.31 a	4.00±0.85 b	5.14±0.24 a
	24 g/m³ 组	4.62±0.63 a	3.64±1.01 b	4.48±0.57 a
	36 g/m³ 组	3.89±0.13 a	4.21±0.17 b	4.69±0.49 a
	48 g/m³ 组	4.66±0.08 a	4.42±0.91 b	4.73±0.45 a
不知火(*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate*	CK	5.26±0.44 a	4.82±0.65 a	4.57±0.39 a
	24 g/m³ 组	4.38±0.28 a	5.22±1.31 a	5.11±0.95 a
	36 g/m³ 组	4.85±0.50 a	4.59±0.61 a	5.44±0.69 a
	48 g/m³ 组	4.50±0.53 a	5.05±0.34 a	5.56±0.70 a

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different small letters in the same column indicated significant difference($P<0.05$)

2.7 溴甲烷熏蒸对丑橘储藏期间腐烂率的影响 溴甲烷处理后丑橘在不同储藏期间腐烂率变化如表 7 所示。由表 7 可知,在低温储藏期和常温储藏期,丑橘的腐烂率维持在较低水平(<5%),各处理组与对照组之间无显著差异($F=34.963$,$P=0.132$);冷藏后进行常温储藏组丑橘果实腐烂率提高,处理组与对照组相比,各处理组的腐烂率显著提高($F=32.141$,$P<0.05$)。这表明低温和常温对储藏期间丑橘果实的腐烂率无影响,但低温后进行常温储藏,会使得果实明显腐烂。另外,对不同品种的丑橘进行分析后显示春见的腐烂率显著高于不知火($F=6.913$,$P=0.006$),表明春见更容易腐烂。

表 7 溴甲烷熏蒸对春见、不知火不同储藏期间腐烂率的影响

Table 7 Effect of methyl bromide fumigation on the decay rate of (*Citrus reticulata* × *C. sinensis*) cv. Okitsu No. 44 and (*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate* during the storage

品种 Varieties	组别 Group	腐烂率 Decay rate//%		
		5 ℃14 d	5 ℃14 d+15 ℃5 d	15 ℃10 d
春见(*Citrus reticulata*×*C.sinensis*)cv. Okitsu No.44	CK	2.67±0.33 a	8.00±0.58 c	1.33±0.33 a
	24 g/m³ 组	2.33±0.67 a	25.67±0.33 b	1.33±0.31 a
	36 g/m³ 组	2.33±0.33 a	28.67±0.88 ab	1.67±0.33 a
	48 g/m³ 组	3.00±0.58 a	30.00±1.00 a	2.33±0.33 a
不知火(*C.unshiu*×*C.sinensis*)×*C.reticulate*	CK	1.67±0.33 b	8.67±0.88 c	0.33±0.33 b
	24 g/m³ 组	1.67±0.33 b	24.30±1.45 b	0.67±0.67 b
	36 g/m³ 组	1.33±0.13 b	23.33±3.18 b	1.33±0.13 b
	48 g/m³ 组	2.00±0.58 b	24.42±1.33 b	1.33±0.42 b

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)

Note: Different small letters in the same column indicated significant difference($P<0.05$)

3 讨论

随着国际贸易自由化,越来越多的水果被运往世界各地,其中柑橘类水果因其口感清甜被国内外消费者广泛喜爱,然而在进出口检疫中大量携带检疫性有害生物的水果被退运或销毁,造成了很大的经济损失[21]。为了推动我国柑橘类水果的出口贸易,笔者以丑橘携带的柑橘大实蝇为研究对象,开展了溴甲烷熏蒸技术研究,并评估了不同熏蒸条件和储藏条件对丑橘品质的影响。

前人研究表明许多实蝇类害虫如地中海实蝇[*Ceratitis capitata*(Diptera:Tephritidae)],桔小实蝇[*Bactrocera dorsalis*(Diptera:Tephritidae)]等在溴甲烷熏蒸下的最耐受虫态为 3 龄[22-23],因此该试验采用柑橘大实蝇的 3 龄幼虫作为目标虫态,其熏蒸处理指标也适用于对柑橘大实蝇卵和低龄期幼虫的检疫处理。该研究结果表明在溴甲烷 15 ℃熏蒸条件下,完全杀灭柑橘大实蝇所需要的浓度、时间分别为 50 g/m³、2.5 h,这与前人研究报道的溴甲烷熏蒸处理杀灭实蝇所需的浓度、时间[24]相符。蒋小龙等[15]研究显示芒果杀灭桔小实蝇类的浓度、时间分别为 30 g/m³、3.5 h;詹开瑞等[16]研究发现枇杷中桔小实蝇溴甲烷熏蒸处理所需浓度、时间分别为 32 g/m³、4 h;杨文寿[11]对番石榴实蝇[*Bactrocera correcta*(Diptera:Tephritidae)]的溴甲烷熏蒸处理所需浓度、时间分

别为 45 g/m^3、2 h,从而提示了不同实蝇对溴甲烷的耐受性较为一致,熏蒸技术指标可以互相参考。

研究表明,过量的溴甲烷熏蒸容易导致水果品质受损,导致经济损失[25-26]。比如,溴甲烷(40 g/m^3,2 h)熏蒸的山竹在储藏 14 d 后果皮变红,外观发生了改变[19];使用 32 g/m^{3}的溴甲烷处理鳄梨 4 h,会导致部分品种鳄梨的果肉部分劣变[27];50 g/m^3 的溴甲烷常温熏蒸柑橘类水果 2 h 后,琯溪白蜜柚和南丰蜜橘均在储藏期表皮明显出现褐斑[17]。该试验中在不同的储藏条件下 2 个品种丑橘的品质指标变化一致。溴甲烷熏蒸处理组在不同储藏条件下果实可溶性糖含量、总酸度、色泽、硬度均无显著差异,这一结果与此前笔者的研究结果相符[18-19],但冷藏后放置常温储藏期的处理组腐烂率发生了增加,而低温和常温处理组腐烂率并无显著差异,这与之前对南丰蜜橘的研究[28]相一致,可能是因为水果采后的贮藏期间,溴甲烷熏蒸加速了乙烯信号通路引发的果实细胞膨压和结构的改变[29-31],但造成这一现象的原因仍然需要进一步研究。

4　结论

为了防止出口丑橘中携带柑橘大实蝇这一检疫性有害生物,使用 50 g/m^3 左右的溴甲烷熏蒸 2.5 h,可以达到完全杀灭柑橘大实蝇的效果,可用于出口丑橘检疫处理,但在丑橘检疫处理后的储藏期应采用常温保存并快速运输,以避免对果实品质造成负面影响。

参考文献

[1] 解淑慧,邵兴锋,王鸿飞,等.纳米保鲜包装对柑橘果实贮藏品质的影响[J].食品工业科技,2014,35(1):326-329.

[2] 叶青青,李亚娜,何宸.不同处理对丑橘品质的影响[J].食品科技,2017,42(4):46-49.

[3] 郭文武,叶俊丽,邓秀新.新中国果树科学研究 70 年——柑橘[J].果树学报,2019,36(10):1264-1272.

[4] 樊迎,王雪婷,郭雅娴,等.响应面优化丑橘皮精油提取及其抑菌性[J].食品工业,2020,41(5):134-138.

[5] 王兴辉,唐俊,张娟,等.柑橘大实蝇绿色防控田间试验初报[J].湖南农业科学,2019(2):64-66.

[6] 马靖艳.怀化地区柑桔大实蝇发生规律、生物学及其防控技术研究[D].长沙:湖南农业大学,2014.

[7] 吕志藻.宜昌地区柑橘大实蝇羽化、交配和产卵习性的观察[J].植物检疫,2006,20(4):215-216.

[8] 遇和平,周长华,陈世林.不同饲养方式对柑橘大实蝇羽化的影响[J].湖北植保,2020(6):49-50.

[9] XIA Y L,MA X L,HOU B H,et al.A review of *Bactrocera minax*(Diptera:Tephritidae)in China for the purpose of safeguarding[J].Advances in entomology,2018,6(2):35-61.

[10] 李柏树,詹国平,王跃进,等.桔小实蝇、木瓜实蝇和番石榴实蝇耐热性的热动力学分析[J].昆虫学报,2013,56(12):1404-1412.

[11] 杨文寿.番石榴实蝇的溴甲烷检疫处理技术研究[D].荆州:长江大学,2013.

[12] DREW R A I,DORJI C,ROMIG M C,et al.Attractiveness of various combinations of colors and shapes to females and males of *Bactrocera minax*(Diptera:Tephritidae)in a commercial mandarin grove in Bhutan[J].Journal of economic entomology,2006,99(5):1651-1656.

[13] OSTERHOLM M T,NORGAN A P.The role of irradiation in food safety[J].The New England journal of medicine,2004,350(18):1898-1901.

[14] 张瑞峰,程瑜,王巧丽,等.溴甲烷在检疫处理用途的全球趋势及我国应对措施[J].植物检疫,2015,29(5):1-5.

[15] 蒋小龙,任丽卿,肖枢,等.桔小实蝇检疫处理技术研究[J].西南农业大学学报,2002,24(4):303-306.

[16] 詹开瑞,张晓燕,陈艳,等.枇杷中桔小实蝇溴甲烷熏蒸处理[J].植物检疫,2013,27(4):42-44.

[17] 李柏树,李丽,高明,等.溴甲烷熏蒸对几种柑橘果实储藏品质的影响[J].植物检疫,2018,32(5):46-49.

[18] 张凡华,刘涛,李丽,等.溴甲烷熏蒸对不同苹果品种贮藏品质的影响[J].食品科技,2011,36(10):30-34,40.

[19] 张凡华,刘波,王跃进.溴甲烷熏蒸处理对苹果、山竹贮藏品质的影响[J].食品科学,2009,30(12):285-288.

[20] 赵天泽,高明,张广平,等.磷化氢熏蒸对南洋臀纹粉蚧的杀灭效果和对进口菠萝品质的影响研究[J].植物检疫,2019,33(2):48-52.

[21] USDA.Treatment manual[EB/OL].(2012-05-23)[2020-11-17].http://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/ports/downloads/treatment.pdf.

[22] 黄爱梅,李星,江望锦,等.进出境柑桔冷处理技术要求[J].广东农业科学,2012,39(24):121-123.

[23] 梁帆,梁广勤,吴佳教,等.沙田柚低温杀虫处理试验研究[J].植物检疫,2005,19(4):211-214.

[24] DOHINO T,HALLMAN G J,GROUT T G,et al.Phytosanitary treatments against *Bactrocera dorsalis*(Diptera:Tephritidae):Current situation and future prospects[J].Journal of economic entomology,2017,110(1):67-79.

[25] 白桦,张成标,张瑞峰.樱桃中苹果蠹蛾溴甲烷熏蒸试验研究[J].植物检疫,2011,25(3):22-24.

[26] CHAPLIN G R,RIPPON L E,SINGH G,et al.Fruit injury and residues resulting from methyl bromide fumigation of avocados[J].Australian journal of experimental agriculture,1981,21(113):610-613.

[27] CARRILLO D,RODA A,SARMIENTO C,et al.Impact of oriental fruit fly postharvest treatments on avocado[J].American journal of plant sciences,2017,8(3):549-560.

[28] LI L,ZHANG G P,LI B S,et al.Postharvest treatment of mandarin fruit using a combination of methyl bromide and phosphine against *Bactrocera dorsalis*(Diptera:Tephritidae)[J].Pest management science,2020,76(5):1938-1943.

[29] LIU T,LI L,ZHANG F H,et al.Effect of low-temperature phosphine fumigation on the survival of *Bactrocera correcta*(Diptera:Tephritidae)[J].Journal of economic entomology,2015,108(4):1624-1629.

[30] SERAPIAN T,PRAKASH A.Comparative evaluation of the effect of methyl bromide fumigation and phytosanitary irradiation on the quality of fresh strawberries[J].Scientia horticulturae,2016,201:109-117.

[31] ZHANG F H,WANG Y J,LIU T,et al.Effects of low temperature phosphine fumigation on postharvest quality of white chrysanthemum 'Dabaiju'[J].Scientia horticulturae,2012,142:92-97.