

无核蜜橘商品化处理适用果蜡筛选

Screening of wax on commercialization process of mandarin fruit

马佳宏¹ 曾凯芳^{1,2} 邓丽莉^{1,2}

MA Jia-hong¹ ZENG Kai-fang^{1,2} DENG Li-li^{1,2}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400715)

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Special Food Engineering and Technology Research Center, Chongqing 400715, China)

摘要:以果蜡 A、果蜡 B、果蜡 C 和果蜡 D 4 种商品化果蜡,对北碚产无核蜜橘进行涂膜处理,通过测定不同果蜡处理对无核蜜橘贮藏品质的影响,探讨无核蜜橘果实商品化处理适宜的果蜡。结果表明:果蜡 C 及果蜡 A 能够有效降低贮藏蜜橘失重率,但果实腐烂率较高;果蜡 D 对果实转黄有一定的抑制效果,但果蒂褐变严重、果实腐烂率较高。果蜡 B 能有效地抑制果实转黄,延缓果蒂褐变,使果实保持较好的色泽,提高消费者接受度,还能有效地抑制贮藏前期蜜橘腐烂,保持贮藏期间蜜橘果实较高的可溶性固形物、可滴定酸和抗坏血酸含量。即果蜡 B 能够在一定程度上保持采后蜜橘的感官品质及营养价值,是北碚产无核蜜橘果实适宜的商品化果蜡。

关键词:果蜡;蜜橘;贮藏品质;商品化处理

Abstract: Mandarin fruits (*Citrus reticulata* Blanco) were treated with wax A, wax B, wax C and wax D respectively. In order to screen the best wax for the commercialization process of mandarin orange, the effects of different wax treatment on the storage quality of postharvest mandarin orange were measured. The results showed that wax C and wax A effectively reduced the weight loss of fruits, but the disease incidence was severely. Wax D effectively inhibited the yellowing of mandarin fruits, while the browning of the stem end and the disease incidence were severely. Wax B effectively inhibited the yellowing of mandarin fruits, the browning of the stem end, kept a good color and improved the consumer acceptance of fruit. Besides, it could inhibit the decay of fruits and maintain the content of soluble solids, titratable acidity and ascorbic acid in fruits. It was

suggested that wax B could keep the sensory quality and nutritional value of mandarin fruit during storage. Thus, it was suitable on the commercialization process of mandarin fruit.

Keywords: wax; mandarin fruit; storage quality; commercialization process

柑橘由于其皮薄、呼吸强度较大、采收期(大致为 9~10 月)气候较为炎热等特点,极易在贮藏及运输过程中受微生物侵染而腐烂变质,导致经济损失^[1-2]。打蜡是柑橘商品化处理过程中的主要环节之一。打蜡处理不仅能够有效提高柑橘光泽度,还能有效降低果实蒸腾作用、防止腐烂、减少营养损失、延长果实的货架期等。研究^[3]表明,常温条件下,采用 Decco Fruitshine402F、FMC890、自制果蜡处理默科特,能够有效地降低果实失重率,提高亮度。张云贵等^[4]采用 Budshine A、以色列蜡、意大利蜡等 8 种不同的蜡液处理温州蜜柑,均能够有效地改善果实色泽,降低呼吸速率。打蜡处理不仅能在短时间内抑制锦橙的呼吸强度,还能抑制果肉中 POD 和 APX 活性,有利于保持果实的生理活性,延缓衰老^[5]。采用 Sta-Fresh 2952(FMC)果蜡处理菠萝,能有效减缓其硬度下降、颜色的改变。此外,果蜡还能在一定程度上保持生物膜和细胞的完整性,进而减少冷藏条件下菠萝黑心病的发生^[6]。还有研究^[7]表明将蜡与不同的盐复配处理柑橘,能够显著降低柑橘腐烂率。不同种类的柑橘与蜡最适的盐类也不同,此结论也在木瓜^[8]和柠檬^[9]上得到了证实。采用果蜡处理锦橙能够通过增加柠檬烯、 α -水芹烯等的含量,减少月桂烯、芳樟醇等的含量,而影响果实的风味^[10]。上述研究结果表明,适宜的打蜡处理对于控制蜜橘果实贮藏病害、延缓蜜橘果实的贮藏品质损失可能具有一定的作用。

但不同果蔬品种其适宜果蜡不同。如 Citrus clear 果蜡在贮藏期间能够较好地保持芦柑果实外观及风味,保鲜效果最好,而 Castke873 和“仙亮”果蜡反而会使果皮失水,出现皱缩、褐斑^[11]。此外,不适宜的果蜡处理可能会引起果蔬体内

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目课题(编号:2015BAD16B07);重庆市社会民生科技创新专项项目(编号:cstc2015shmszx80004);重庆市科委柑桔主题专项课题(编号:cstc2016shms-ztxx80005)

作者简介:马佳宏,女,西南大学在读本科生。
通信作者:邓丽莉(1983—),女,西南大学讲师,博士。
E-mail: denglili_@163.com

收稿日期:2017-04-30

异味物质的产生,降低其风味价值。目前,市场上蜡液的主要成分多为虫胶蜡和树蜡,尽管其能够在一定程度上提高果蔬亮度,但都存在透气性较差的缺点,易造成果蔬体内异味物质的增加^[12]。采用蜡液处理柑橘,在一定程度上堵塞了表皮气孔,限制了果蔬体内与外界环境中的气体交换,造成柑橘进行无氧呼吸,体内乙醇、乙醛含量增加,使果实产生异味,表皮形成褐斑。随着蜡液用量的增加,柑橘贮藏时腐烂、褐斑的情况更加严重^[13]。因此,为了能够最大程度地发挥出蜡液的效果,对于不同的果蔬产品选择其适宜的果蜡就显得极为重要。本研究主要探讨适于重庆市北碚产无核蜜橘商品化处理的适宜果蜡,以减少蜜橘在贮藏过程中的腐烂,提高其经济价值,为其以后适宜果蜡的选择提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

蜜橘:早熟无核蜜橘,采自重庆市北碚区歇马镇果园。果实为果肉成熟、果皮色泽呈绿色。采收当日立即运回实验室,于 5~8℃ 条件下预冷处理 24 h。挑选成熟度一致,中等大小、无病虫害、机械伤的健康果实作为试验材料;

氯酸钠、氢氧化钠、酚酞、草酸、2,6-二氯靛酚、抗坏血酸、乙醇、碳酸氢钠、氯化钡等;分析纯,市售。

果蜡 A、果蜡 B、果蜡 C、果蜡 D:市售。

1.1.2 主要仪器设备

电热恒温水浴锅:DZKW-S-4 型,北京市永光明医疗仪器厂;

赫西高速冷冻离心机:3H16R1 型,湖南赫西仪器装备有限公司;

紫外可见分光光度计:UV1000 型,上海天美科学仪器有限公司;

冰箱:BCD-248 型,河南新飞电器有限公司;

手持式折射仪:PAL-1 型,日本 ATAGO 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 果实处理 将试验果实用 2% NaClO 溶液浸泡 1 min 后,自来水冲洗干净,自然晾干后手工涂蜡(将纱布在果蜡溶液中浸湿后,均匀涂抹于果实表面),自然晾干后,单果包装置于塑料筐内,每种处理用果 90 个,于室温条件下贮藏,每 7 d 观察测定一次。取赤道部分果肉,切成小块,冻藏于-40℃ 冰箱,用于后续指标分析。以不涂蜡为对照。

1.2.2 失重率的测定 采用称重法。失重率按式(1)计算:

$$c = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:

c——失重率,%;

m₁——贮藏果实的原始重量,g;

m₂——贮藏后果实重量,g。

1.2.3 果实色泽指数的测定 参考文献[14]。

1.2.4 果蒂褐变指数的测定 参考文献[15]。

1.2.5 果实腐烂率 按式(2)计算:

$$A = \frac{X_1}{X_2} \times 100\%, \tag{2}$$

式中:

A——腐烂率,%;

X₁——腐烂果实个数;

X₂——贮藏果实的总个数。

1.2.6 果实呼吸速率测定 参考文献[16]⁴⁶⁻⁴⁹。

1.2.7 果肉可溶性固形物含量的测定 取一定质量的混匀果肉,匀浆,纱布或滤纸过滤,用折射仪测定果实可溶性固形物含量。

1.2.8 果肉可滴定酸含量的测定 参考文献[16]²⁸⁻³⁰。

1.2.9 果肉抗坏血酸含量的测定 参考文献[16]³⁴⁻³⁷。

1.3 数据处理

用 Excel 2016 对所得数据进行统计分析;应用 SPSS Statistics 19 软件对数据进行方差分析(P<0.05 表示差异显著)。

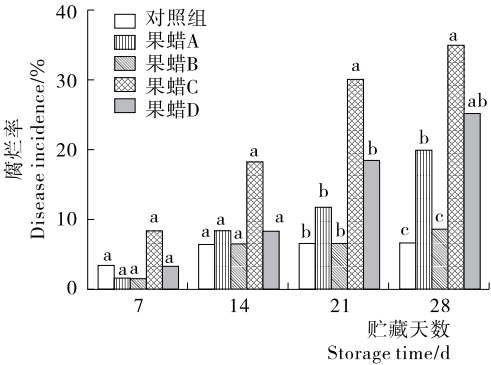
2 结果与分析

2.1 果蜡处理对贮藏蜜橘腐烂率的影响

由图 1 可知,随着贮藏时间的延长,对照组与处理组果实的腐烂率呈现上升趋势。整个贮藏过程中,果蜡 C 处理组果实的腐烂率都显著高于其他处理组,且在贮藏后期与其他处理组差异显著(P<0.05)。贮藏 21 d 时,果蜡 C 处理组果实腐烂率分别比对照组、果蜡 A、果蜡 B、果蜡 D 高出 350%,157.1%,350%,63.6%。综上,果蜡 A、果蜡 C 和果蜡 D 在一定程度上均有促进果实发病的作用,果蜡 B 前期有抑制发病的作用,但中后期与对照无差异,既不抑制发病也不促进发病。

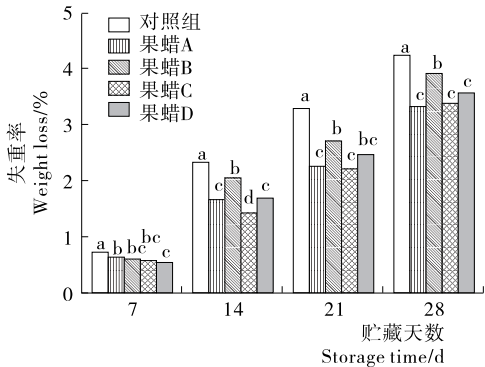
2.2 果蜡处理对贮藏蜜橘果实失重率的影响

由图 2 可知,随贮藏期延长,对照组和处理组果实的失重率都呈现上升的趋势。在贮藏过程中各处理组的失重率均小于对照组,以果蜡 C 的效果最为显著,果蜡 B 的效果最弱,但各处理组与对照组均存在显著性差异(P<0.05)。随着贮藏时间的延长,果蜡处理组果实之间失重率差异越来越



同天数标注不同字母表示有显著差异(P<0.05)

图 1 果蜡处理对贮藏蜜橘腐烂率的影响
Figure 1 Effect of wax treatment on rot rate of mandarin fruit



同天数标注不同字母表示有显著差异($P<0.05$)

图 2 果蜡处理对贮藏蜜橘果实失重率的影响

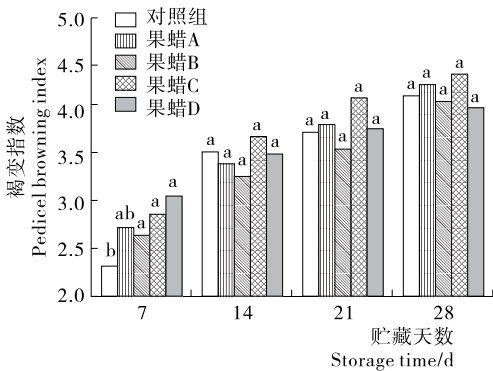
Figure 2 Effect of wax treatment on weight loss of mandarin fruit

小,但仍与对照组呈显著性差异($P<0.05$)。综上,4 种果蜡均能够有效地延缓蜜橘果实贮藏过程中失重率的增加,其中果蜡 A 和果蜡 C 效果较好。

2.3 果蜡处理对贮藏蜜橘果实成熟衰老特性的影响

2.3.1 果蒂褐变指数 果实离开母体后,会不断地消耗自身营养,从而导致果蒂发生褐变、发霉等现象。所以果蒂褐变指数能有效反映果实成熟衰老情况^[17]。由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,对照组及处理组果实的果蒂褐变指数都呈现上升的趋势。贮藏前期果蒂褐变指数变化较大,处理后期变化趋势逐渐变缓。贮藏第 7 天时,对照组果实的果蒂褐变指数显著低于其他处理组,说明果蜡对于果蒂的褐变可能起到了一定的促进作用。贮藏中后期,果蜡 B 的果实褐变指数低于对照果实,其次是果蜡 D,但与其他处理组无显著差异。综上,果蜡 B 对贮藏期间蜜橘果实果蒂的褐变具有一定的抑制作用,但与对照相比无显著差异。

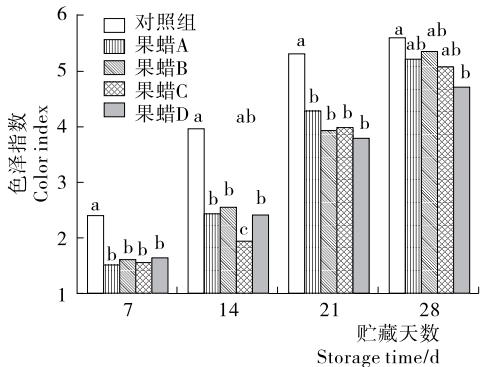
2.3.2 色泽指数 由图 4 可知,在贮藏过程中,随着贮藏时间的延长,对照组和处理组果实的色泽指数均呈现上升趋势。对照组的色泽指数在整个贮藏过程中一直显著高于其他处理组($P<0.05$),在贮藏前期更为明显。4 组果蜡均能延缓果实的成熟衰老进程。贮藏前期(7~21 d)果实色泽变化



同天数标注不同字母表示有显著差异($P<0.05$)

图 3 果蜡处理对贮藏蜜橘果蒂褐变指数的影响

Figure 3 Effect of wax treatment on the pedicel browning of mandarin fruit



同天数标注不同字母表示有显著差异($P<0.05$)

图 4 果蜡处理对贮藏蜜橘果实色泽指数的影响

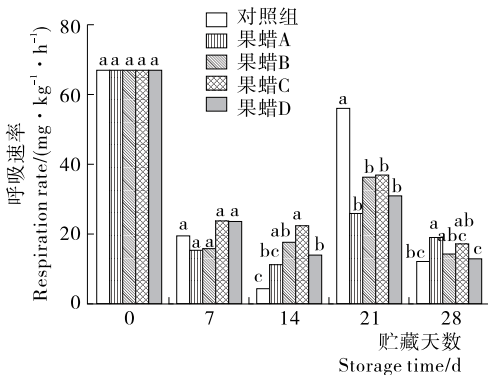
Figure 4 Effect of wax treatment on color index of mandarin fruit

较快,贮藏后期变化较慢。贮藏第 14 天时,对照组果实色泽指数比果蜡 C 处理组的高 50.3%($P<0.05$);贮藏前中期,果蜡 B 处理组果实色泽指数一直低于对照组,且与对照组差异显著($P<0.05$);贮藏第 21 天时,对照组果实色泽指数比果蜡 B 处理组高 25.7%。综上,果蜡处理对蜜橘果实色泽转化有明显的减缓作用,能够延缓蜜橘果实的成熟衰老过程。贮藏前期果蜡 C 效果较好,贮藏后期果蜡 D 效果较好。

2.3.3 呼吸速率 由图 5 可知,在贮藏过程中,果实的呼吸速率呈波动型变化。贮藏前期,各处理组无显著性差异;贮藏第 14 天时,对照组显著低于其他处理组($P<0.05$),果蜡 C 的呼吸速率最高;贮藏第 21 天时,各组均达到呼吸高峰,但各处理组的呼吸高峰显著低于对照组($P<0.05$),对照组比果蜡 A 高 156.8%。综上,果蜡处理有降低果实呼吸高峰的作用,能够在贮藏过程中减缓营养物质的消耗速度。

2.4 果蜡处理对贮藏蜜橘果实营养品质的影响

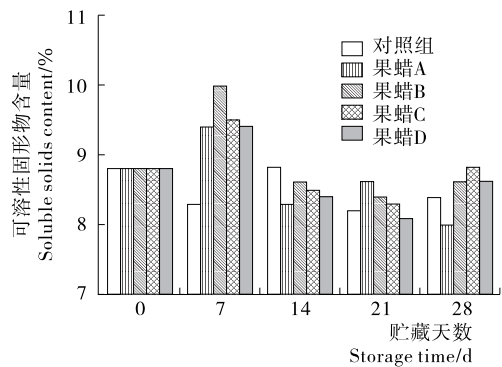
2.4.1 可溶性固形物(SSC)含量 由图 6 可知,随贮藏期延长,对照组和处理组果实的可溶性固形物含量呈波动变化,果蜡处理有延缓可溶性固形物含量降低的趋势。贮藏第 7 天,4 组果蜡处理组果实的可溶性固形物含量均达到峰值,分别比对照组高 13.3%,20.5%,14.5%,13.3%;贮藏第 14



同天数标注不同字母表示有显著差异($P<0.05$)

图 5 果蜡处理对贮藏蜜橘呼吸速率的影响

Figure 5 Effect of wax treatment on the respiration rate of mandarin fruit

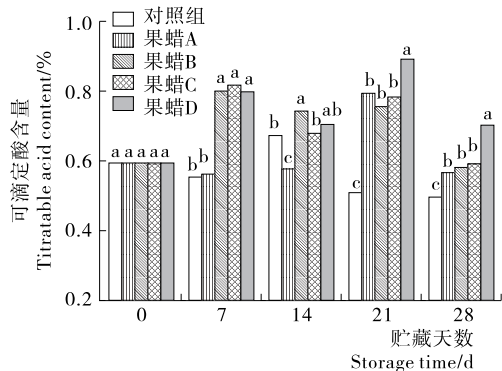


同天数标注不同字母表示有显著差异(P<0.05)
图 6 果蜡处理对贮藏蜜橘可溶性固形物含量的影响
Figure 6 Effect of wax treatment on soluble solids content of mandarin fruit

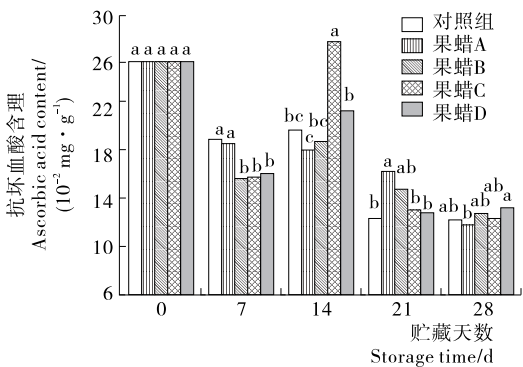
天时,对照组可溶性固形物含量达到最高值,且峰值低于各果蜡处理组。果蜡 B 和果蜡 C 延缓果实可溶性固形物含量降低的效果最好。

2.4.2 可滴定酸(TA)含量 由图 7 可知,随着贮藏时间的延长,果实的可滴定酸含量呈现波动变化。果蜡 A 处理组果实可滴定酸含量在第 21 天达到峰值,比对照组高 55.2%,差异显著(P<0.05),此后迅速下降。在整个贮藏过程中,与其他组相比,果蜡 D 处理组果实可滴定酸含量均保持较高,在第 21 天达到峰值,然后逐渐下降。但第 28 天时,仍然显著高于其他处理组,比对照组高 39.6%(P<0.05)。整个贮藏过程中,果蜡 B 处理组果实可滴定酸含量均显著高于对照组(P<0.05),在第 7 天和第 21 天分别比对照高 43.6%,48.8%(P<0.05)。综上所述,果蜡能在一定程度上提高贮藏期内果实的可滴定酸含量,并延缓其降解速率,保持果实较高的可滴定酸含量,其中果蜡 D 效果最好。

2.4.3 抗坏血酸含量 由图 8 可知,随贮藏期的延长,对照组及处理组果实抗坏血酸含量总体呈下降趋势。贮藏第 14 天时,对照组及各处理组蜜橘中抗坏血酸含量有所增加,特别是果蜡 C,比 7 d 时高 72.5%。贮藏第 7 天时,对照组和果蜡 A 显著高于其他处理组(P<0.05)。贮藏后期各组果实抗坏血酸含量大致为 12~15 mg/100 g,贮藏第 21 天时,果蜡



同天数标注不同字母表示有显著差异(P<0.05)
图 7 果蜡处理对贮藏蜜橘可滴定酸含量的影响
Figure 7 Effect of wax treatment on titratable acid content of mandarin fruit



同天数标注不同字母表示有显著差异(P<0.05)
图 8 果蜡处理对贮藏蜜橘抗坏血酸含量的影响
Figure 8 Effect of wax treatment on ascorbic acid content of mandarin fruit

B 处理组果实抗坏血酸含量与对照无显著性差异。综上所述,果蜡处理对于贮藏蜜橘抗坏血酸含量无显著影响。

3 结论

本试验结果表明:果蜡 A、果蜡 C 能够有效地延缓贮藏蜜橘失重率的上升,但果蜡 C 腐烂率过高。果蜡 B 能够有效延缓果蒂褐变,维持较高的可溶性固形物含量、保持较好的新鲜度,并且还能够有效地降低蜜橘果实的腐烂率,减少经济损失。综上所述,果蜡 B 能在一定程度上减缓蜜橘果实衰老,使其保持较高的食用品质及营养价值,是北碚产无核蜜橘适宜的商品化处理果蜡。

打蜡处理是柑橘采后保鲜处理的主要措施之一,不仅能够保持果实色泽,还能够维持其营养价值。但也存在一定的问题,如国产果蜡质量良莠不齐,打蜡处理后果实腐烂率较高、产生异味等。今后应着重开发新型、安全、优质的可食用蜡,以提高其在果蔬保鲜中的效果。

参考文献

[1] 陈楚英. 新余蜜橘贮藏特性和保鲜技术的研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2013: 1-7.
[2] 邓雨艳, 曾凯芳. 柑橘果实采后侵染性病害防治技术研究进展[J]. 食品科技, 2008(4): 211-214.
[3] 张葵, 张义刚, 周心智, 等. 不同果蜡处理对默科特柑橘常温贮藏效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(5): 13-16.
[4] 云贵, 明昊, 李晓林, 等. 不同涂蜡处理对温州蜜柑贮藏期间果实的影响[J]. 西南农业大学学报, 2000, 22(5): 406-409.
[5] 白昌华, 田世平, 欧毅, 等. 采后涂蜡对甜橙果实某些生化特性的影响[J]. 西南农业学报, 1994, 7(2): 61-66.
[6] HU Hui-gang, LI Xue-ping, DONG Chen, et al. Effects of wax treatment on the physiology and cellular structure of harvested pineapple during cold storage[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(26): 6 613-6 619.
[7] YOUSSEF K, LIGORIO A, NIGRO F, et al. Activity of salts incorporated in wax in controlling postharvest diseases of citrus fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 65: 39-43.

(下转第 193 页)

[J]. 食品与机械, 2009, 25(5): 178-184.

[6] MARIA Marcella ttipodo, FRANCESCO Lanuzza, GIUSEPPE Micali, et al. Citrus waste recovery; a new environmentally friendly procedure to obtain animal feed[J]. Bioresource Technology, 2004, 91(2): 111-115.

[7] 高彦祥, 方政. 酶解锦橙皮渣制取饮料浑浊剂的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(4): 193-197.

[8] 韩春然, 张帅, 叶瞰昊. 乳酸发酵橘皮果酱的研制[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(12): 122-124.

[9] 刘新, 李新生, 吴三桥, 等. 响应面法优化柑橘果渣酶解工艺[J]. 食品科学, 2012, 33(4): 86-90.

[10] 尹颖, 陆胜民, 陈剑兵, 等. 柑橘皮渣制备低分子果胶及其抗癌活性的评价[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(3): 614-618.

[11] 张其圣, 陈功, 吴厚玖. 酶法处理柑橘果渣回收果汁技术与中试试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 340-346.

[12] 高彦祥, 方政. 柑橘类果汁加工副产品综合利用研究进展[J]. 饮料工业, 2005, 8(1): 1-7.

[13] 薛山. 柑橘皮渣中非水溶性抗氧化膳食纤维提取工艺优化[J]. 食品与机械, 2016, 32(8): 151-155.

[14] 耿敬章, 刘军海, 吴三桥. 柑橘皮渣橘皮苷的提取及其抑菌性质研究[J]. 食品工业, 2014, 35(8): 87-91.

[15] 袁亚宏, 王周利, 李彩霞, 等. 鲜榨苹果汁的理化特性和感官品质相关性[J]. 食品科学, 2012, 33(19): 1-5.

[16] OLUWASEUN P Bamidele, MOFOLUWASO B Fasogbon. Chemical and antioxidant properties of snake tomato (*Trichosanthes cucumerina*) juice and Pineapple (*Ananas comosus*) juice blends and their changes during storage[J]. Food Chemistry, 2017, 220: 184-189.

[17] ZHANG Hui, WANG Zhang, XU Shi-ying. Optimization of processing parameters for cloudy ginkgo (*Ginkgo biloba* Linn.) juice[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80: 1 226-1 232.

[18] CAPOUNOVA D, DRDAK M. Comparison of some commercial pectic enzyme preparations applicable in wine technology [J]. Czech J Food Sci, 2002, 20(4): 131-134.

[19] 卢锋波, 刘桂玲, 王烁, 等. 响应面法优化果胶酶酶解提取黑莓花色苷的工艺参数[J]. 食品科学, 2010, 31(16): 11-15.

(上接第 136 页)

[8] GAMAGAE S U, SIVAKUMAR D, WIJESUNDERA R L C. E-valuation of post-harvest application of sodium bicarbonate-incorporated wax formulation and *Candida oleophila* for the control of anthracnose of papaya [J]. Crop Protection, 2004, 23 (7): 575-579.

[9] EL-MOUGY N S, EL-GAMAL N G, ABD-EL-KAREEM F. Use of organic acids and salts to control postharvest diseases of lemon fruits in Egypt[J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2008, 41(7): 467.

[10] 白昌华, 田世平, 欧毅, 等. 涂蜡甜橙贮藏期间果皮中烯醇类香气成分的变化(简报)[J]. 植物生理学通讯, 1994(4): 272-274.

[11] 王玉玲, 蓝炎阳. 三种果蜡在芦柑保鲜的应用研究[J]. 福建热作科技, 2012(3): 18-21.

[12] 姜楠, 王蒙, 韦迪哲, 等. 果蜡保鲜技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015(2): 596-601.

[13] 王文果. 涂蜡对柑桔类果实货架期的保鲜效果及经济价值[J]. 中国农村科技, 2005(8): 18.

[14] 曾凯芳. 套袋, SA 和 INA 对芒果 (*Mangifera indica* L) 果实采后抗病性和品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2005: 19.

[15] KNIGHT T G, KLIEBER A, SEDGLEY M. Structural basis of the rind disorder oleocellosis in Washington navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) [J]. Annals of Botany, 2002, 90 (6): 765-773.

[16] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.

[17] 李芋萱, 曾凯芳, 邓丽莉. 外源 L-Arg 处理对蜜橘果实贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2015(24): 313-318.

(上接第 143 页)

[13] 关志强, 王秀芝, 李敏, 等. 荔枝果肉热风干燥薄层模型[J]. 农业机械学报, 2012, 43(2): 151-159.

[14] AKPMAR E K, BICER Cetinkaya F. Modeling of thin layer drying of parsley leaves in a convective dryer and under open sun [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 75(4): 308-315.

[15] BRUCE D M. Exposed layer barley drying-three model fitted to new data up to 150 °C [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1985, 32: 337-347.

[16] MIDILLI A, KUCUK H, YAPAR Z. A new model for single-layer drying [J]. Drying Technology, 2002, 20 (7): 1 503-1 513.

[17] WANG Zheng-fu, SUN Jun-hong, LIAO Xiao-jun, et al. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace[J]. Food Research International, 2007, 40: 39-46.

[18] 杨玲, 陈建, 杨屹立, 等. 甘蓝型油菜籽热风干燥特性及其数学模型[J]. 现代食品科技, 2014, 30(8): 144-146.

[19] 种翠娟, 朱文学, 刘云宏, 等. 胡萝卜薄层干燥动力学模型研究[J]. 食品科学, 2014, 35(9): 24-29.

[20] 孟岳成, 王君, 房升, 等. 熟化红薯热风干燥特性及数学模型适用性[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 387-392.

[21] PETERMAN M A, CLINE D J, HANSON T R, et al. Coloration characteristics of mechanically processed channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fillets held in refrigerated storage for seven days[J]. Journal of Applied Aquaculture, 2013, 25(3): 239-247.

[22] VARNALIS A I, BRENNAN J G, MACDOUGALL D B. The influence of blanching and initial drying on the permeability of the partially dried layer to water vapour[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 48(4): 369-378.

[23] 黄枝梅. 南瓜热风干燥特性与动力学模型[J]. 包装与食品机械, 2014, 32(1): 23-27.

[24] LIU Li-jun, WANG Yu-xin, ZHAO Dan-dan, et al. Effect of carbonic maceration pre-treatment on drying kinetics of chilli (*Capsicum annuum* L.) flesh and quality of dried product[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7(9): 2 516-2 527.