

纳米二氧化硅改性 LDPE 膜对贡柑贮藏品质的影响

Effect of Nano-SiO₂ Modified LDPE Film on Postharvest quality of Gonggan

宋慕波¹ 方方¹ 罗自生² 李栋²

SONG Mu-bo¹ FANG Fang¹ LUO Zi-shen² LI Dong²

陈振林¹ 禩莉婷¹ 帅良¹ 段振华¹

CHEN Zhen-lin¹ XUAN Li-ting¹ SHUAI Liang¹ DUAN Zhen-hua¹

(1. 贺州学院食品科学与工程技术研究院, 广西 贺州 542899;

2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310058)

(1. Institute of Food Science and Engineering Technology, Hezhou University, Hezhou, Guangxi 542899, China;

2. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058, China)

摘要:为了探索纳米二氧化硅改性低密度聚乙烯薄膜(LDPE)对贡柑的保鲜效果,分别研究了未包装、常规 LDPE 膜包装和纳米二氧化硅改性 LDPE 膜包装三种贮藏方式对贡柑采后贮藏品质的影响。结果表明:两种包装材料均能改善贡柑的贮藏品质,其中纳米二氧化硅改性 LDPE 膜能够更好地延缓贡柑采后失重率、腐烂率的上升和硬度的下降,更好地抑制丙二醛的积累,贮藏后期保持较高的可溶性固形物和可滴定酸含量,并能较好地维持果实抗氧化性能和感官满意度。

关键词:贡柑;纳米二氧化硅;改性薄膜;低密度聚乙烯薄膜;贮藏

Abstract: In order to study the effect of nano-SiO₂ modified low density polyethylene (LDPE) film on Gonggan storage, the influences of unpacked, LDPE film and nano-SiO₂ LDPE film packaging treatments on postharvest quality of Gonggan were investigated. The results showed that both of the packing materials could improve the postharvest quality of Gonggan, and nano-SiO₂ LDPE film was better in slowing down the increase of the decay rate and weight loss ratio, and the decrease of firmness. Moreover, the nano-SiO₂ LDPE film was found to be better in inhibited the accumulation of malonaldehyde (MDA), and maintained higher content of total-soluble solids (TSS) and titratable acid (TA) content at the later period of storage. Furthermore, maintaining higher antioxidant capacity and hedonic

scale of Gonggan fruits were also confirmed.

Keywords: Gonggan; nano-SiO₂; modified film; LDPE film; storage

贡柑(*Citrus sinensis* Osb. 'Gonggan')是橙与橘的杂交种,兼具两者优点,果形、果色俱佳,皮薄肉脆、高糖低酸,有“中国柑王”的美誉^[1]。目前,贡柑在广州和广西有大面积种植,由于品质特征优良很受消费者欢迎。大部分柑橘品种较耐贮藏,简单的采后防腐处理即可常温贮藏 90 d 以上^[2]。在广西的种植区贡柑一般在 12 月中旬采收,由于贡柑耐藏性较差,常温条件下,未经保鲜处理的贡柑贮藏 5~7 d 就会出现明显的品质劣变,尤其是水分的丧失和可溶性固形物的下降,很难贮藏到春节前后上市,严重限制了贡柑产业的发展。

目前研究较多的贡柑保鲜方法主要有低温贮藏^[3]、加冰预冷^[4]和 2,4-D 保鲜剂处理^[5]等,这些保鲜方法在应用过程中操作不便或有安全隐患,因此不能充分地延长贡柑的贮藏时间。由于贡柑采后失水和旺盛的代谢活动对贮藏品质的影响极为明显,运用适当材质的保鲜包装技术有较好的应用前景^[6-8]。低密度聚乙烯薄膜(low density polyethylene, LDPE)是常用保鲜包装材料,具有较好的阻气和阻水性能,能有效降低果蔬采后代谢速率,延缓果蔬衰老和品质劣变^[9-11]。不同的果蔬对贮藏环境中湿度和气体含量要求不同,因此,对常规的保鲜材料进行改性,改善材料的透气和透湿性能是最近果蔬保鲜领域的研究热点。纳米二氧化硅能改善薄膜的机械性能和透气、透湿性能,是目前研究较多的无机纳米材料^[12]。通过纳米技术改性的包装材料表现出抗菌、低透氧、低透湿和强二氧化碳阻隔等对保鲜有利的性质,在杨梅和马蹄等的保鲜研究中已证明其可以有效改善果蔬的贮藏品质,延长贮藏期^[13-15]。

基金项目:广西自然科学基金项目(编号:2015GXNSFBA139082);“广西特聘专家”专项经费资助;广西科学研究与技术开发计划课题(编号:桂科合 14251003);贺州学院博士启动基金(编号:HZUBS201402, HZUBS201405)

作者简介:宋慕波,男,贺州学院讲师,博士。

通信作者:方方(1985-),女,贺州学院讲师,博士。

E-mail: hellenff@163.com

收稿日期:2016-11-07

本试验拟通过研究纳米二氧化硅改性 LDPE 膜对贡柑采收后贮藏品质的影响,已期达到延缓贡柑采收后衰老和品质劣变,延长贮藏时间的目的。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

贡柑:采自广西贺州市钟山县羊头镇老柱村果园,果实九成成熟,大小一致,均匀转黄,无机械伤和病虫害;

LDPE 膜和纳米二氧化硅(纳米 SiO₂)改性 LDPE 膜:由浙江大学罗自生教授课题组研制(参见文献[16])并赠予。LDPE 膜厚度为 40 μm,拉伸强度 21.73 MPa,透氧量 27 415.7 cm³/(m²·d·MPa),水蒸气透过率 4.02 g/(m²·d)。纳米 SiO₂改性 LDPE 膜厚度为 40 μm,拉伸强度 28.92 MPa,透氧量 21 104.7 cm³/(m²·d·MPa),水蒸气透过率 3.86 g/(m²·d);

磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾:分析纯,广州化学试剂厂;

氢氧化钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

愈创木酚:分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司;

硫代巴比妥酸:分析纯,南京奥多福尼生物生物科技有限公司;

聚乙烯吡咯烷酮:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

三氯乙酸:分析纯,广东光华科技股份有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

电子天平:JJ500 型,常熟市双杰测试仪器厂;

电解式高浓度臭氧水机:GCSJ-15-1-7 型,武汉威蒙环保科技有限公司;

物性测定仪:TA XTplus 型,上海超技仪器技术有限公司;

可见分光光度计:722N 型,上海仪电分析仪器有限公司;

高速冷冻离心机:5424R 型,德国艾本德公司;

智能人工气候箱:RXZ-500B 型,宁波江南仪器厂;

手持式糖量计:LH-B55 型,杭州陆恒生物科技有限公司。

1.2 样品处理

贡柑采收后立即运回实验室,用 10 mg/L 臭氧水清洗杀菌后沥干,不包装的对照组置于纸箱中,其余两组分别用常规 LDPE 薄膜袋包装和纳米 SiO₂改性 LDPE 薄膜袋包装。每袋装 15 个贡柑,每组 10 袋,设 3 个平行,共 60 袋,密封后于 4℃贮藏,每隔 3 d 取样一次。

1.3 试验方法

1.3.1 失重率 按照预设时间点对贡柑样品进行称重,失重率按式(1)计算:

$$V = \frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

V——失重率,%;

W₀——果实初重,kg;

W_n——贮藏 n d 后果实重量,kg。

1.3.2 腐烂率 腐烂率按式(2)计算:

$$M = \frac{M_1}{M_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

M——腐烂率,%;

M₀——果实总数,个;

M₁——腐烂果数。

1.3.3 丙二醛(MDA) 采用硫代巴比妥酸法测定^[17]。

1.3.4 果实硬度 硬度测定直接在贡柑整果上测 3 个点,重复 3 次。硬度值使用牛顿(N)表示。

1.3.5 可溶性固形物(TSS) 将贡柑果实放入榨汁机榨好,用四层纱布挤出汁液,用手持式糖量计进行测定,重复 3 次取平均值。

1.3.6 可滴定酸 采用酸碱滴定法测定。

1.3.7 POD 活力 采用愈创木酚法^[18]进行测定。

1.3.8 感官满意度 参照 Obenland 的方法^[19],根据实际情况有所调整。由 20 个经过专业培训的志愿者组成评测小组,每批样品中随机选取 10 个果实进行评价。满意度分 9 个等级,9:极好;5:一般;1:极差。

1.4 数据统计分析

使用 Excel 2013 进行数据处理,所有数据为 3 次重复试验的平均值和标准误差。使用 SPSS 19.0 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 对贡柑贮藏过程中失重率的影响

失重率变化与贡柑的新鲜度密切相关,是评价贡柑采收后品质的重要指标之一。由图 1 可知:随着贮藏时间的延长不同处理组贡柑均有失重现象。对照组贡柑在 3 d 时失重率为 0.92%,之后快速上升,在贮藏 24 d 时失重率达 5.52%,显著高于其它两组(P<0.05)。LDPE 膜和 SiO₂改性 LDPE 膜包装的贡柑失重率上升明显慢于对照,3 d 后两组的失重率都显著低于对照(P<0.05)。两组包装处理贡柑在 15 d 前失重率差异不大,18 d 后 SiO₂改性 LDPE 膜包装组贡柑失重率显著低于 LDPE 膜包装组(P<0.05)。贡柑采收后失重主要是由失水造成的,由于贡柑果皮较薄,与其它柑橘类果实相

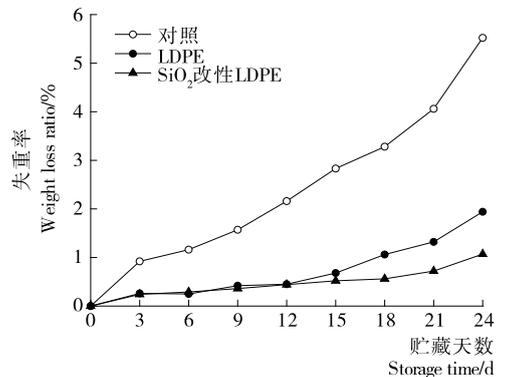


图 1 纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装对贡柑贮藏过程中失重率的影响

Figure 1 Effect of nano-SiO₂ LDPE packaging on the weight loss ratio of Gonggan

比更易失水,造成果实失去光泽并发生皱缩。通过纳米 SiO₂ 改性能有效提高包装材料的阻水性能^[16]。本研究结果表明:经 SiO₂ 改性 LDPE 膜能有效地抑制贡柑水分丧失,显著降低在贮藏过程中的失重率。

2.2 对贡柑腐烂率的影响

贡柑短期贮藏即丧失商品性一方面是水失皱缩,另一方面表现为易软化腐烂,特别是果蒂处易霉烂。由图 2 可知:对照组贡柑在贮藏 6 d 时即出现腐烂果,12 d 后腐烂率快速上升,贮藏 24 d 时腐烂率达 26.5%,显著高于其它两组($P < 0.05$)。LDPE 膜包装组在贮藏 9 d 出现腐烂果,之后腐烂率逐渐上升,贮藏 24 d 腐烂率为 13.3%。纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装组贡柑在贮藏至 18 d 出现腐烂果,之后腐烂率上升缓慢,显著低于其它两组($P < 0.05$)。结果表明:两个包装处理组都能有效地降低,其中 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装的效果最好。

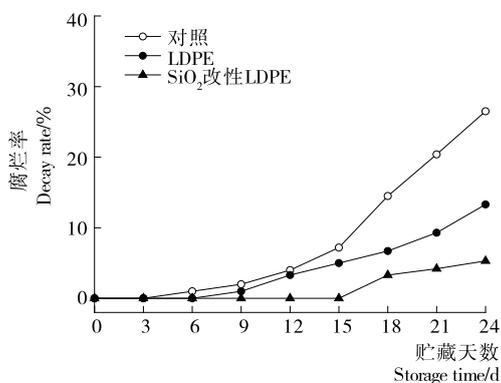


图 2 纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装对贡柑贮藏过程中腐烂率的影响

Figure 2 Effect of nano-SiO₂ LDPE packaging on the decay rate of Gonggan

2.3 对贡柑硬度的影响

贡柑贮藏过程中品质劣变的另一个重要特征是果实快速软化。由图 3 可知:在贡柑贮藏过程中硬度下降明显。对照组贡柑在前 18 d 硬度快速下降,之后硬度变化趋于平稳,贮藏 24 d 后硬度下降到 26.72 N,显著低于其它两组($P < 0.05$)。

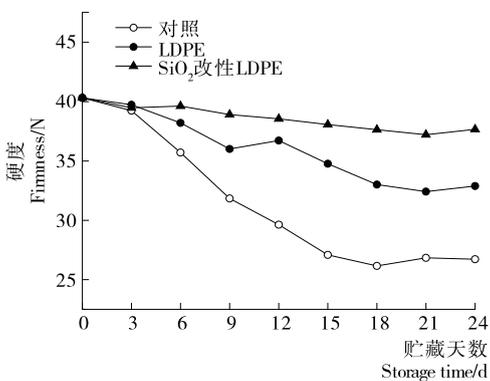


图 3 纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装对贡柑贮藏过程中硬度的影响

Figure 3 Effect of nano-SiO₂ LDPE packaging on the firmness of Gonggan

0.05)。两个包装组硬度的下降均得到了较好的抑制,其中纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装组硬度下降最慢,贮藏 24 d 时硬度为 37.67 N,仅下降了 6.6%,硬度显著高于其它两组($P < 0.05$)。结果表明:两种包装均能抑制贡柑硬度的下降,其中 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装的抑制效果更明显。

2.4 对贡柑可溶性固形物(TSS)含量的影响

果实可溶性固形物(TSS)含量是贡柑品质构成的重要因素,其含量的高低直接影响贡柑的风味品质。由图 4 可知:贡柑果实 TSS 在贮藏过程中变化幅度不大,基本位于 10.5%~11.5%。对照组贡柑贮藏过程中 TSS 变化呈倒“V”形,贮藏前期明显上升,12 d 之后开始逐渐下降,24 d 时 TSS 含量为 10.77%显著低于其它两组($P < 0.05$)。两个包装组贡柑 TSS 在 18 d 前变化较小,18 d 后开始上升,到 24 d 时两个包装组 TSS 含量没有显著差异($P > 0.05$)。结果表明:包装处理能维持贡柑在贮藏过程中 TSS 含量的稳定,在贮藏后期抑制了 TSS 的下降。对照组贡柑 TSS 在贮藏前期快速上升,可能是失水严重,导致 TSS 占比增加,而后期的下降可能是由于呼吸作用的消耗^[20]。

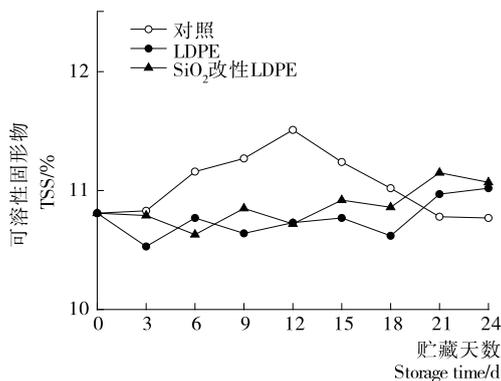


图 4 纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装对贡柑贮藏过程中可溶性固形物的影响

Figure 4 Effect of nano-SiO₂ LDPE packaging on total-soluble solids content of Gonggan

2.5 对贡柑可滴定酸(TA)含量的影响

贡柑采后可滴定酸(TA)含量的下降会导致果实风味变淡。由图 5 可知:对照组贡柑 TA 含量呈先上升后下降的趋势,在贮藏 3~12 d 时 TA 含量显著高于其它两组($P < 0.05$),但在 18 d 后快速下降,24 d 时 TA 含量为 0.316%,显著低于其它组($P < 0.05$)。在贮藏前期,两个包装处理组 TA 含量均呈不断上升趋势,LDPE 膜包装组在 18 d 后开始下降,在贮藏 24 d 时,纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装组的 TA 含量为各组最高。可滴定酸在果实贮藏过程中往往作为呼吸代谢的底物被不断消耗,从而使果实丧失风味,对照组贡柑贮藏后期 TA 含量的下降可能与较高的呼吸速率有关,而对贡柑 TA 含量在贮藏前期的上升可能与严重失水有关,也可能是品质劣变的异常变化^[21]。纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装有利于维持贡柑贮藏后期较高的 TA 含量。

2.6 对贡柑果肉中丙二醛(MDA)含量的影响

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的主要产物之一,其含量

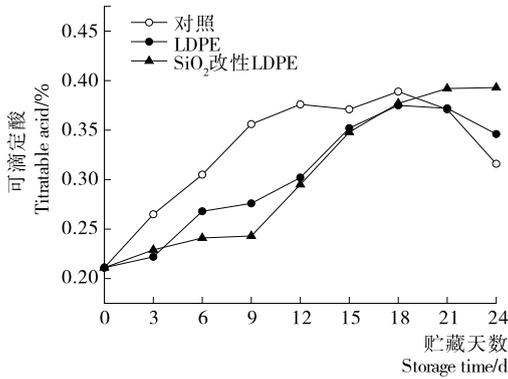


图5 纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装对贡柑贮藏过程中可滴定酸含量的影响

Figure 5 Effect of nano-SiO₂ LDPE packaging on titratable acid content of Gonggan

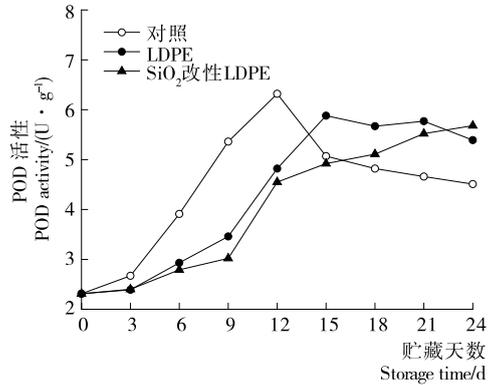


图7 纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装对贡柑贮藏过程中 POD 活性的影响

Figure 7 Effect of nano-SiO₂ LDPE packaging on POD activity of Gonggan

变化是衡量果蔬采后衰老进程的重要指标,与果蔬贮藏过程中的细胞衰老程度和细胞膜透性有关^[22]。由图6可知:贮藏过程中各处理组贡柑 MDA 含量均呈上升趋势。对照组贡柑贮藏 12 d 前 MDA 含量缓慢上升,12 d 后快速上升,24 d 时 MDA 含量为 0 d 时的 4.3 倍,显著高于其它两组($P < 0.05$)。两个包装处理组贡柑 MDA 含量上升明显受到了抑制,其中纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装组 MDA 含量上升最慢,在贮藏 21 d 后显著低于其它两组($P < 0.05$)。结果表明:纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装能更有效地抑制贡柑采后细胞膜脂氧化和 MDA 的积累,这可能与纳米 SiO₂ 改善了 LDPE 膜的透气性能有关。这与用纳米材料包装金针菇^[23]、双胞蘑菇^[24]和西兰花^[25]等的研究结果一致。

2.7 对贡柑果肉中过氧化物酶(POD)含量的影响

过氧化物酶(POD)是果蔬采后衰老的重要指标,同时也是植物细胞的保护酶,能够清除代谢过程中产生的自由基,提升果实硬度,抑制腐烂^[26]。由图7可知:对照组贡柑 POD 活性呈先上升后下降的趋势,其中 0~12 d 活性快速上升,12 d 时达到最大值,显著高于其它两组($P < 0.05$),可能是贮藏过程中膜脂过氧化产生的大量活性氧诱导 POD 活性提高^[27]。对照组贡柑 POD 活性在 12 d 后逐渐下降,到 24 d

时其 POD 活性为各组最低。LDPE 膜包装组贡柑 POD 活性也呈上升趋势,15 d 时达到最大值,之后缓慢下降。纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装组贡柑 POD 活性在整个贮藏期间不断上升,在贮藏后期仍保持较高的 POD 活性。由此可见:纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装能更有效地抑制 POD 活性最大值的出现,并在贮藏后期维持较高的活性,更有利于贡柑的长期贮藏。

2.8 对贡柑感官满意度的影响

感官满意度是对果实风味、出汁率等感官品质的综合评价,是能够全面地衡量贮藏效果的客观指标。由图8可知:对照组贡柑感官满意度下降最快,12 d 时感官评价为“次好和一般”之间,24 d 时满意度下降至“一般”以下。纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装组感官满意度下降最慢,24 d 时满意度为 7.1,仍保持在“好和次好”之间。结果表明:纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装在维持贡柑感官满意度方面效果最好。

3 结论

对采后贡柑进行包装处理能够较好地延缓果实失重和品质下降。相比常规的 LDPE 膜,纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜抑制贡柑失重和腐烂的效果更好,能更好地维持贡柑果实硬度

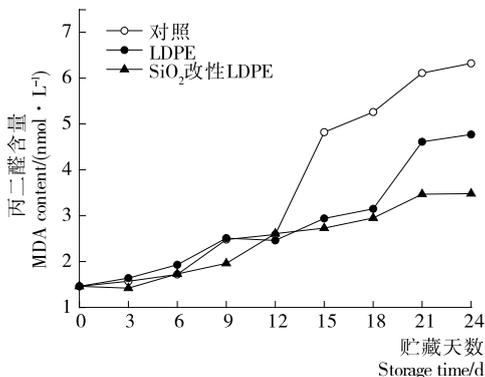


图6 纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装对贡柑贮藏过程中丙二醛含量的影响

Figure 6 Effect of nano-SiO₂ LDPE packaging on the malonaldehyde content of Gonggan

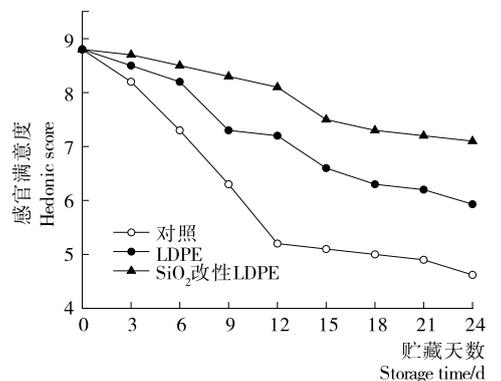


图8 纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜包装对贡柑感官满意度的影响

Figure 8 Effect of nano-SiO₂ LDPE packaging on hedonic score of Gonggan

和延缓膜脂过氧化,保持贮藏后期较高的可溶性固形物、可滴定酸含量和过氧化物酶活性。因此,纳米 SiO₂ 改性 LDPE 膜能更有效地维持贡柑采后贮藏品质和感官满意度,较常规 LDPE 膜有更好的保鲜效果,而且制备技术成熟,成本增加不多。本研究发现对照组贡柑贮藏过程中可溶性固形物和可滴定酸出现异常升高现象,这种现象是否与风味劣变有关还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 吉前华,郭雁君,梁广坚,等. 德庆不同产地贡柑果实品质差异的初步分析[J]. 中国南方果树, 2007, 36(4): 1-5.
- [2] 刘浩强,李鸿筠,向可海,等. 保鲜剂对柑橘贮藏病菌的敏感性及其贮藏保鲜效果[J]. 食品科学, 2014, 35(4): 210-214.
- [3] 柳建良,丘苑新,邹俊祥,等. 采后加冰处理对德庆贡柑贮藏性能 and 果实品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(29): 9 358-9 359.
- [4] 冯叙桥,张百超,赵静,等. 柑桔采后 2,4-D 处理的残留量研究[J]. 西南大学学报:自然科学版, 1992(4): 327-330.
- [5] 柳建良,柳建良,陆益明,等. 不同贮藏温度对贡柑采后生理和贮藏品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(5): 2 035-2 036.
- [6] 付红军,彭湘莲. 壳聚糖涂膜保鲜对金柑采后生理的影响[J]. 食品与机械, 2009, 25(6): 40-42.
- [7] 叶翠层,彭湘莲. 壳聚糖涂膜保鲜对金柑品质的影响[J]. 食品与机械, 2008, 24(3): 52-54.
- [8] 李铁华,张愨. 硅窗气调包装保鲜贮藏茶树菇呼吸特性与贮藏品质的研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(1): 39-43.
- [9] 李文香,樊铭聪,赵淑芳,等. 不同厚度 LDPE 膜对平菇保鲜效果的影响[J]. 包装与食品机械, 2015(6): 6-11.
- [10] 安建申,张愨,陆起瑞,等. 不同厚度薄膜气调包装对水蜜桃贮藏品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(3): 76-79.
- [11] 伍宣池,彭裕锦,何建强. 低密度聚乙烯薄膜袋中香蕉保鲜的研究[J]. 植物生理学报, 1985(6): 29-31.
- [12] HUA You-qing, ZHANG Yan-qi, WU Li-bo, et al. Mechanical and Optical Properties of Polyethylene Filled with Nano-SiO₂ [J]. Journal of Macromolecular Science, part B: physics, 2005, 44(2): 149-159.
- [13] WANG Kai-tao, PENG Jin, SHANG Hai-tao, et al. A combination of hot air treatment and nano-packing reduces fruit decay

and maintains quality in postharvest Chinese bayberries [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(14): 2 427-2 432.

- [14] 徐庭巧,罗自生,解静. 纳米 SiO_x/壳聚糖复合物对鲜切荸荠品质和生理的影响[J]. 中国食品学报, 2011, 11(4): 123-128.
- [15] SIEGEL R W. Nanostructured materials -mind over matter [J]. Nanostructured Materials, 1994, 4(1): 121-138.
- [16] 罗自生,李栋栋,叶轻颀. 纳米二氧化硅改性 LDPE 膜对草莓生理和品质的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(7): 1 232-1 239.
- [17] 许长成,赵世杰,邹琦. 植物组织内丙二醛的分离与鉴定[J]. 植物生理学报, 1992(4): 288-290.
- [18] 李合生,孙群,赵世杰,等. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 125-127.
- [19] OBENLAND D, COLLIN S, MACKEY B, et al. Storage temperature and time influences sensory quality of mandarins by altering soluble solids, acidity and aroma volatile composition [J]. Postharvest Biology & Technology, 2011, 59 (2): 187-193.
- [20] 陈抗君,王翠红,邵海燕,等. 不同包装方法对蓝莓采后贮藏品质和抗氧化活性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(6): 1 230-1 236.
- [21] 丘苑新,柳建良. 芦荟素处理对贡柑糖代谢及其风味品质的研究[J]. 食品研究与开发, 2013(9): 111-114.
- [22] 吴彩娥,王文生,寇晓红. 果实成熟衰老与保护酶系统的关系 [J]. 保鲜与加工, 2000(11): 23-24.
- [23] 单楠,杨芹,杨文建,等. 纳米包装材料延长金针菇贮藏品质的作用[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 262-266.
- [24] 杨文建,单楠,杨芹,等. 纳米包装材料延长双孢蘑菇贮藏品质的作用[J]. 中国农业科学, 2012, 45(24): 5 065-5 072.
- [25] 史君彦,高丽朴,左进华,等. 纳米膜和 PVC 膜包装对西兰花贮藏保鲜的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 255-266.
- [26] ANDERSON M D, PRASAD T K, STEWART C R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings [J]. Plant Physiology, 1995, 109(4): 1 247-1 257.
- [27] DENG Li-li, ZENG Kai-fang, ZHOU Ya-han, et al. Effects of postharvest oligochitosan treatment on anthracnose disease in citrus (*Citrus sinensis*, L. Osbeck) fruit [J]. European Food Research and Technology, 2015, 240(4): 795-804.

(上接第 50 页)

- [6] DOUGLAS F, GAMAL E, DAWEN S. Analytical Methods Non-destructive determination of chemical composition in intact and minced pork using near-infrared hyperspectral imaging [J]. Food Chemistry, 2013, 138(2): 1 162-1 171.
- [7] 林岩,郭培源,王昕琨,等. 基于近红外光谱的猪肉蛋白质及脂肪含量检测[J]. 食品科技, 2014, 39(2): 262-266.
- [8] 黄伟,杨秀娟,曹志勇,等. 应用近红外光谱检测滇南小耳猪肉化学组分含量[J]. 云南农业大学学报:自然科学, 2016, 30(2): 303-309.
- [9] DOUGLAS B, GAMAL E, SUN Da-wen, et al. Near-infrared hyperspectral imaging for grading and classification of pork [J]. Meat Science, 2012, 90: 259-268.

- [10] 孙晓明,卢凌,张佳程,等. 牛肉化学成分的近红外光谱检测方法的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(2): 379-383.
- [11] KAMRUZZAMANA M, GAMAL S, SUN Da-wen. Non-destructive prediction and visualization of chemical composition in lamb meat using NIR hyperspectral imaging and multivariate regression [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 16(2): 218-226.
- [12] AMANILINARES L, GALLO C, ALOMAR D. Identification of cattle, lamb and horse meat by near infrared reflectance or transmittance spectroscopy [J]. Meat Science, 2012, 90: 378-385.
- [13] 陈育涛,朱秋劲,卢开红,等. 近红外光谱对特征部位牛肉的分析[J]. 肉类研究, 2012, 26(3): 34-38.