

农产品贮藏加工

纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄的保鲜效果研究

蒋佳男, 李海登, 李喜宏, 张子楹

(天津科技大学 食品生物与技术学院, 天津 300457)

摘要: **目的** 针对果蔬保鲜时存在的失水、霉变和腐烂等现象, 以聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯 (polyadipate/butylene terephthalate, PBAT)、聚乳酸 (polylactic acid, PLA) 为基材, 添加纳米 TiO₂ 作为功能助剂, 研发具有抑菌功能的 PBAT/PLA 纳米活性包装材料, 并研究其对葡萄贮藏期的影响。**方法** 采用共混熔融吹塑工艺, 通过调控基材配伍, 实现包装对果蔬表面的抑菌作用, 研制出纳米 TiO₂ 可降解包装膜, 并以葡萄为实验材料, 利用该保鲜膜对其进行自发气调贮藏, 通过测定葡萄果实的好果率、质量损失率、可溶性固形物含量、总酸含量、过氧化氢酶活性和花青素含量等指标, 研究保鲜膜对葡萄贮藏品质的影响。**结果** 实验结果表明, 该保鲜膜的力学性能和透气透湿性能均良好, 当纳米 TiO₂ 添加量 (以质量分数计) 为 1% 时对葡萄的保鲜效果最佳, 贮藏 28 d 后葡萄好果率为 81.8%, 质量损失率为 12.8%, 过氧化氢酶活性为 0.0438 U/(min·g), 花青素含量为 0.87 mg/g。**结论** 纳米 TiO₂ 可降解包装膜可明显减少葡萄掉粒, 抑制葡萄腐败, 减缓霉变速度, 保持较高的花青素含量, 对葡萄具有较好的保鲜效果。

关键词: 抑菌保鲜膜; 纳米 TiO₂; PBAT/PLA; 葡萄; 保鲜

中图分类号: S609⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)21-0001-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.21.001

Preservation Effect of Nano-TiO₂ Degradable Packaging Materials on Grapes

JIANG Jia-nan, LI Hai-deng, LI Xi-hong, ZHANG Zi-ying

(College of Food Science and Biotechnology, Tianjin University of Science & Technology, Tianjing 300457, China)

ABSTRACT: The work aims to develop the PBAT/PLA nano-active packaging material with antibacterial function, with polyadipate/butylene terephthalate (PBAT) and polylactic acid (PLA) as substrates, and nano-TiO₂ as a functional additive, and study its effect on grape storage period, so as to solve the problems of water loss, mildew and decay in the preservation of fruits and vegetables. The blending melt blow molding process was adopted and the substrate compatibility was controlled to achieve the antibacterial effect of packaging on the surface of fruits and vegetables. The nano-TiO₂ degradable packaging film was developed. With the grapes as experimental materials, the packaging film was used for the modified atmosphere storage of the grapes. The effects of packaging films on grape storage quality were studied by measuring the fruit yield, weight loss rate, soluble solid content, total acid content, catalase activity and anthocyanin content. The experimental results showed that, the mechanical properties and breathability and water vapor permeability of the packaging films were good. When the addition amount of nano-TiO₂ was 1% (in mass fraction), the fresh-keeping effect of the grape was the best. After 28 days of storage, the grape yield rate was 81.8%, the weight loss rate was 12.8%,

收稿日期: 2019-06-25

基金项目: “十三五”国家重点研发计划 (2018YFD0401305-4)

作者简介: 蒋佳男 (1995—), 女, 天津科技大学硕士研究生, 主攻食品科学。

通信作者: 李喜宏 (1960—), 男, 博士, 天津科技大学教授, 主要研究方向为农产品加工及贮藏。

the catalase activity was 0.0438 U/(min·g), and the anthocyanin content was 0.87 mg/g. Nano-TiO₂ degradable packaging film can significantly reduce grape granules, inhibit grape spoilage, slow down the rate of mildew, maintain high anthocyanin content, and has good preservation effect on grapes.

KEY WORDS: antibacterial plastic wrap; nano-TiO₂; PBAT/PLA; grape; preservation

可降解材料指一段时间内在热力学和动力学意义上均可降解的材料,影响其降解的因素有温度、分子量、材料结构等^[1]。基于国际食品包装材料向可降解、可循环利用材料发展的趋势,我国也将环保型绿色食品包装材料作为研究的热点方向^[2-3]。其中,以生物降解材料为基料制备的可降解包装膜代替不可降解或难降解塑料保鲜膜,对建设环境友好型社会具有重要意义,也具有相当大的发展潜力^[4-5]。

PLA (polylactic acid) 作为广泛的生物降解材料,经 FDA 的认证可以直接接触食品。PLA 包装材料不但具有较好的力学性能和阻隔性,还能延长果蔬的贮藏期^[6]。PBAT 也是可用于包装、医疗和农用等领域的生物降解材料,既有较好的延展性,也有较好的耐热性和耐冲击性^[7]。目前国内以 PLA 为主要基材的果蔬包装材料较为少见,因其具有熔体强度较低,吹膜成型效果较差,韧性较差,且工艺复杂、成本高等缺点^[8],加入 PBAT (Polyadipate/butylene terephthalate) 可以增强材料的机械强度^[9],同时加入功能性抗菌剂使包装材料具有抗菌功效,可抑制细菌的生长^[10-11]。纳米 TiO₂ 具有降解有机污染物、抑制细菌生长和繁殖等高效功能,甚至可以分解细菌死亡之后产生的内毒素。将纳米 TiO₂ 作为抗菌材料,具有广谱、安全、长效、无污染等特点,是应用开发前景非常广阔的新型多功能材料^[12-15]。

葡萄是最不耐贮藏的水果之一,采后果粒容易出现脱落、失水、腐烂变质、果梗变干等现象,导致葡萄的货架期较短,且贮运困难,因此研究葡萄的保鲜技术成为当前的热点^[16-19]。文中实验针对果蔬保鲜时存在的失水、霉变和腐烂等现象,选择 PBAT, PLA 作为基材,添加纳米 TiO₂ 作为功能性抗菌剂,采用共混熔融吹塑工艺,研发具有抑菌功能的可降解纳米活性包装材料,并以葡萄为实验材料,利用该保鲜膜对其进行自发气调贮藏,通过测定保鲜膜的物理性能,以及葡萄果实的好果率、质量损失率、可溶性固形物含量、总酸含量、过氧化氢酶活性和花青素含量等指标,研究纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄品质变化的影响,旨在为果蔬贮藏提供理论依据和技术支持。

1 实验

1.1 材料与试剂

材料:聚乳酸(PLA, NatureWorks LLC 4032D,

美国)、聚己二酸/对苯二甲酸丁二酯(PBAT, Ecoflex C1200 F Blend, 德国)、纳米 TiO₂(酷尔化学科技(北京)有限公司)、聚乙二醇(上海麦克林生化科技有限公司)。试剂:氢氧化钠、酚酞、氯化钡均为分析纯,由天津市北方天医化学试剂厂提供。

实验材料葡萄购于天津滨海新区金元宝农贸市场。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:切料机(KS-20), 昆山科信橡塑机械有限公司;小型实验吹膜机(FYC-25), 佛山市顺德区均富机电设备有限公司;电子万能试验机(CMT4503), 美特斯工业系统(中国)有限公司;气体透过测试仪(GDP-C), Bruugger Feinmechanik Gmph;紫外分光光度计(UV-2550PC), 日本岛津公司。

1.3 方法

1.3.1 纳米 TiO₂ 可降解包装材料的制备

以 PBAT 和 PLA 为基材(基材混合质量比为 70:30), 添加纳米 TiO₂ 作为抗菌剂, 聚乙二醇作为增韧剂(质量分数为 0.3%), 采用单螺杆挤出机造粒后, 采用 90 mm 单螺杆吹塑机吹塑成膜(厚度约为 0.075 mm)。

根据功能助剂添加比例的不同分为 3 组, 组 1、组 2、组 3 的纳米 TiO₂ 质量分数分别为 0.5%, 1%, 2%, 其他成分含量相同。

1.3.2 纳米 TiO₂ 对包装材料性能的影响

将吹塑成型的保鲜膜在干燥室干燥 12 h, 在电子万能试验机上进行力学性能试验, 拉伸强度和断裂伸长率按 GB/T 1040.2—2006 进行测量。用长 150 mm、宽 20 mm 的长方形模具裁膜, 环境温度为(23±2), 相对湿度为 45%~55%, 拉伸速度为 150 mm/min。

1.3.3 包装材料对葡萄贮藏品质的影响

挑选大小均一、果梗鲜绿、无机械损伤、无病虫害侵染、果实色泽鲜亮且相近的葡萄, 将挑选的葡萄均分为 7 组, 每组的 50 g, 分别装入含和不含纳米 TiO₂ 的 PBAT/PLA 包装材料中, 以封口机封口, 每个处理组做 3 次平行实验, 在 5℃ 下贮藏, 每隔 7 d 取样 1 次。

1.4 指标测定

力学性能(包括拉伸强度和断裂伸长率)按 GB/T 1040.2—2006 进行试验。O₂ 透过率、水蒸气透过率

分别利用透气性测定仪和水分渗透分析仪来测定。贮藏性能（包括葡萄果实好果率、质量损失率、可溶性固形物含量、总酸含量、过氧化氢酶活性和花青素含量）依据曹建康^[20]的方法进行测定。

1.5 数据处理

数据采用 Excel 2016 软件进行统计学分析, 并进行差异显著性分析, 以确定各个指标的每个平均值之间差异的显著性。

2 结果与分析

2.1 纳米 TiO₂ 对包装材料物理性能的影响

由表 1 中可看出, 添加纳米 TiO₂ 的 PBAT/PLA 包装材料, 其拉伸强度和断裂伸长率会随着纳米 TiO₂ 含量的变化而变化, 说明加入的纳米 TiO₂ 对 PBAT/PLA 包装材料有明显的改性作用, 不同含量的

纳米 TiO₂ 对材料的力学性能有不同程度的影响。当纳米 TiO₂ 的质量分数由 0.5% 升至 1% 时, 包装材料的力学性能得到增强, 这可能是由于添加纳米 TiO₂ 后使复合材料的延展性得到提高, 摩擦因数减小^[11]。当纳米 TiO₂ 的质量分数达到 2% 时, 材料的断裂伸长率和拉伸强度均降低, 这是由于过多的纳米 TiO₂ 粒子产生了团聚现象, 材料界面的缺陷增多, 导致材料界面强度降低^[15]。

包装材料的 O₂ 透过率和水蒸气透过率反映了材料对袋内气体环境和水分的控制能力, 是影响袋内果蔬品质的重要性能参数^[21]。由表 1 可知, 当纳米 TiO₂ 的质量分数增加至 2% 时, 包装材料的 O₂ 透过率显著下降 ($P < 0.05$), 原因可能是纳米粒子使包装材料微孔半径变小, 透气性下降。另外, 材料的水蒸气透过率则没有明显变化, 说明纳米 TiO₂ 的添加对 PBAT/PLA 包装材料的水蒸气透过率无明显影响, 这与叶轻颀^[22]的实验结果相同。

表 1 纳米 TiO₂ 可降解包装材料的物理性能分析

Tab.1 Analysis on physical properties of nano-TiO₂ degradable packaging materials

组别	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%	O ₂ 透过率/(cm ³ ·m ⁻² ·(24 h) ⁻¹ ·(0.1 MPa) ⁻¹)	水蒸气透过率/(g·m ⁻² ·(24 h) ⁻¹)
对照	22.84±0.3	569.14±4.6	1302.3±23.3	316.55±8.7
1	14.25±0.1	487.12±8.8	1022.4±10.1	297.63±1.6
2	15.771±0.4	506.41±10.3	1002.3±11.2	296.2±6.7
3	11.63±0.7	347.97±5.1	997.3±20.7	290.8±4.5

2.2 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄贮藏效果的影响

2.2.1 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄果实好果率的影响

好果率是葡萄作为商品进行外在品质评价的重要指标。由图 1 可知, 在葡萄贮藏期间, 含有纳米 TiO₂ 的 PBAT/PLA 包装材料组好果率明显高于对照组 ($P < 0.05$), 表明含纳米 TiO₂ 的 PBAT/PLA 包装材料具有良好的防腐抗菌能力。在贮藏前 7 d, 组 2 和组 3 的好果率差异不显著 ($P > 0.05$), 但均大于空白对照组。在贮藏 28 d 后, 组 2 的好果率为 81.8%, 明显高于对照组 (58.5%), 且高于组 1 和组 3。由此可知, 纳米 TiO₂ 的质量分数为 1% 的 PBAT/PLA 包装膜处理能有效减缓葡萄果实的腐败变质, 延长葡萄贮存期。

2.2.2 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄质量损失率的影响

从图 2 可以看出, 随着贮藏时间的增加, 葡萄质量损失率整体呈上升趋势。葡萄果实质量减小的原因主要是贮藏期间果实的蒸腾作用和呼吸作用消耗了水分及干物质。文中实验表明, 在贮藏前 7 d 不同实

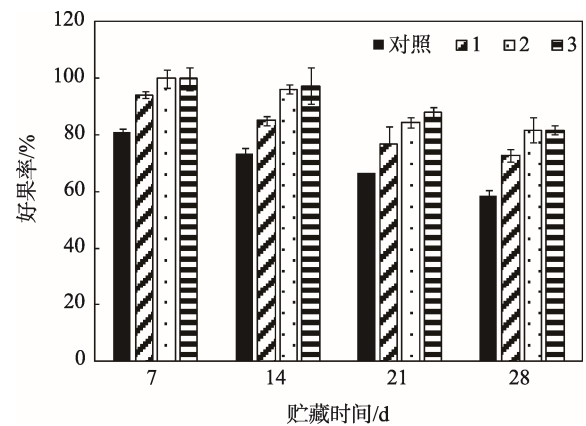


图 1 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄果实好果率的影响
Fig.1 Effect of nano-TiO₂ degradable packaging materials on fruit yield of grape

验组葡萄果实的质量损失率无明显差异 ($P > 0.05$), 贮藏 28 d 后, 空白对照组的质量损失率明显高于其他使用抗菌包装材料的实验组 ($P < 0.05$), 实验组间质量损失率差异则并不显著 ($P > 0.05$)。结果表明, 含有纳米 TiO₂ 的 PBAT/PLA 包装膜保水性更好, 这可能是由于加入纳米 TiO₂ 后增强了 PBAT 与 PLA 分子间的作用力, 使其排列紧密, 阻止了葡萄水分的蒸腾和散失, 减缓了葡萄质量损失的速率^[18]。

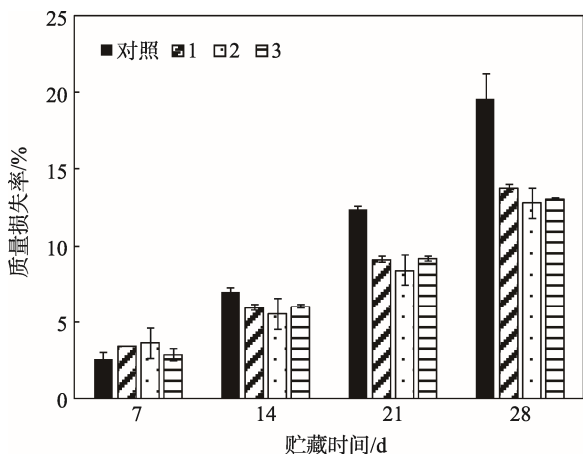


图2 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄质量损失率的影响
Fig.2 Effect of nano-TiO₂ degradable packaging materials on grape weight loss rate

2.2.3 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄可溶性固形物的影响

可溶性固形物含量 (TSS) 能直接反映葡萄成熟程度和品质状况,体现葡萄果实中淀粉转化为可溶性糖的程度^[23]。由图 3 可知,在贮藏期间葡萄果实内的有机物不断被消耗,TSS 总体呈下降趋势。对照组葡萄在 5 °C 下贮藏 7 d 后,TSS 急剧减少,贮藏到 21 d 后趋于稳定,TSS 约为 13.7 mg/g。相较于对照组,实验组在每个检测时间点的 TSS 明显较高 ($P < 0.05$),说明纳米 TiO₂ 可以有效调节葡萄内外气体的交换,减缓葡萄果实的新陈代谢,从而减少 TSS 的消耗^[24]。在贮藏后期,对比不同纳米 TiO₂ 含量样品的 TSS,发现组 2,即纳米 TiO₂ 的质量分数为 1% 的包装材料其 TSS 明显高于其他 2 组 ($P < 0.05$) 约为 16.3 mg/g,表现出较好的防腐保鲜效果。

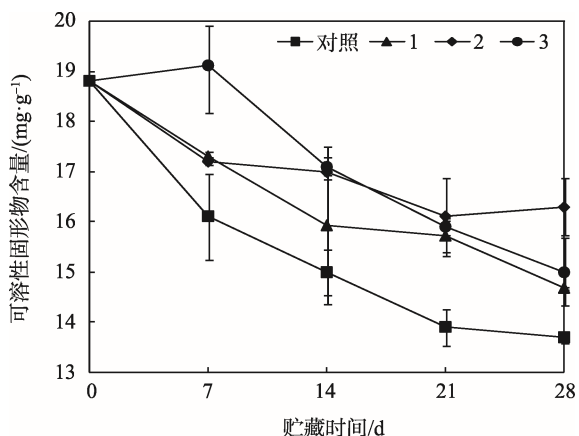


图3 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄可溶性固形物含量的影响

Fig.3 Effect of nano-TiO₂ degradable packaging materials on soluble solids in grapes

2.2.4 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄总酸的影响

由图 4 可知,在整个贮藏过程中,葡萄的总酸含

量整体趋势较平稳。含纳米 TiO₂ 的 PBAT/PLA 包装膜处理后葡萄的总酸含量总体高于对照组。实验表明,对照组中葡萄组织被氧化分解,表面微生物出现腐败现象,总酸含量降低得较多。添加抗菌物质纳米 TiO₂ 的实验组表面杂菌生长受到抑制,从而降低了葡萄中营养物质的消耗量,表现出较高的总酸含量^[1]。另外,组 2 在贮藏 28 d 后表现出较高的总酸含量 (147.2 mg/kg),说明纳米 TiO₂ 的质量分数为 1% 的包装膜抑制果实霉变的作用较强,有利于保持葡萄品质。

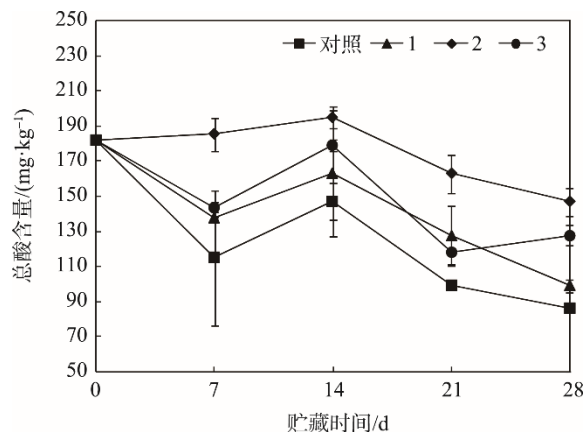


图4 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄总酸的影响
Fig.4 Effect of nano-TiO₂ degradable packaging materials on total acid of grape

2.2.5 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄过氧化氢酶活性的影响

过氧化氢酶 (CAT) 活性越高,表明果实衰老速度得到减缓,是判断果实衰老的标志之一^[24]。将葡萄于 5 °C 恒温冷库中贮藏 28 d,每隔 7 d 对其 CAT 活性进行检测,结果见图 5。在贮藏初期,葡萄果实的 CAT 活性较高,随着贮藏时间的增加,CAT 活性呈线性降低趋势,这与赵鑫^[25]在对低温保藏黑提葡萄的研究中的结论一致。在贮藏至 28 d 时,对照组葡萄果实的 CAT 酶活性较小,为 0.0339 U/(min·g),而组 2 的 CAT 酶活性为 0.0438 U/(min·g),明显高于对照组 ($P < 0.05$)。从图 5 中还可以明显看出,纳米 TiO₂ 含量高的组果实 CAT 活性较高,且组 2 的效果最佳。这也说明纳米 TiO₂ 的质量分数为 1% 的可降解包装材料可维持贮藏后期较高的 CAT 活性,降低 H₂O₂ 对葡萄组织造成的侵害,对葡萄果实的保鲜性能较好,有利于延缓葡萄果实的衰老^[22]。

2.2.6 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄花青素含量的影响

维持花青素含量对葡萄果实贮藏保鲜具有重要意义,葡萄的食用价值受到花青素含量的影响^[26]。由图 6 可见,在 28 d 的贮藏期内,花青素的消耗量大于合成量,整体呈下降趋势。在贮藏 28 d 时,组 1 处理组葡萄的花青素含量为 0.71 mg/g,高于对照组

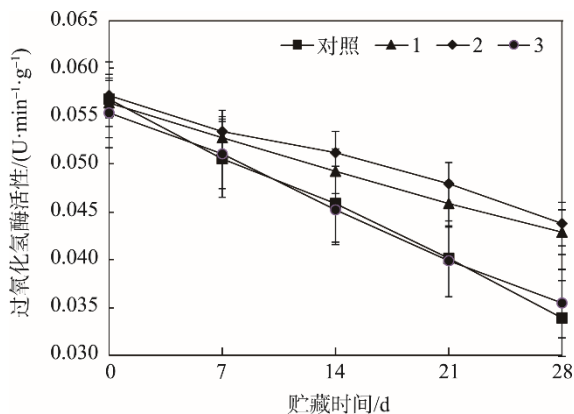


图 5 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄过氧化氢酶活性的影响

Fig.5 Effect of nano-TiO₂ degradable packaging materials on grape catalase activity

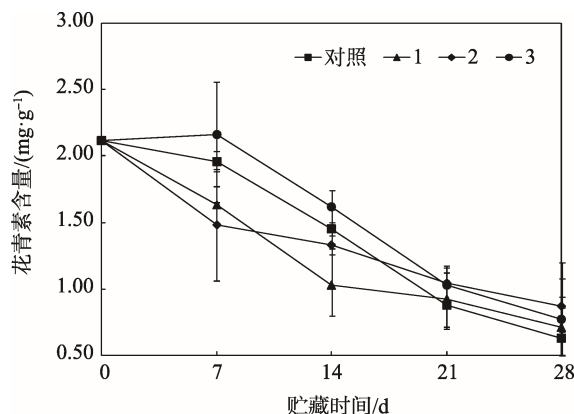


图 6 纳米 TiO₂ 可降解包装材料对葡萄花青素含量的影响
Fig.6 Effect of nano-TiO₂ degradable packaging materials on anthocyanin content of grape

葡萄果实的花青素含量(0.63 mg/g),说明含纳米 TiO₂ 的 PBAT/PLA 包装膜处理能保持葡萄较高的花青素含量,减缓葡萄果实在贮藏期间品质的下降趋势^[27]。对比不同纳米 TiO₂ 含量的包装膜实验组可以看出,不同含量纳米 TiO₂ 的包装材料在贮藏前期效果差异明显 ($P < 0.05$),后期则无明显差异 ($P > 0.05$),贮藏前期添加质量分数为 2% 纳米 TiO₂ 的 PLA/PBAT 包装膜表现出高于其他 2 组的花青素含量,而添加质量分数为 1% 纳米 TiO₂ 的包装膜在贮藏后期表现出更强的维持花青素含量的能力。

3 结语

以 PLA, PBAT 为基材,添加功能性抗菌剂纳米 TiO₂ 的质量分数为 1% 时,制备的抗菌可降解包装材料拉伸强度及断裂伸长率较好,同时具有一定的水分和气体阻隔作用,能够显著减缓葡萄掉粒及水分散失,抑制葡萄腐败,减缓霉变速率。葡萄在贮藏 28 d 后,质量分数为 1% 纳米 TiO₂ 的可降解包装材料组的好果率达到 80% 以上,质量损失率仅为 13%,外观

保持较好,总酸质量分数为 14.7%,可溶性固形物质量分数为 16.3%,同时保持了较高的过氧化氢酶活性及花青素含量,对葡萄具有较好的保鲜效果,并为下一步纳米抗菌可降解包装材料在果蔬的贮藏保鲜方面的应用研究奠定基础。

参考文献:

- [1] 李月明,张泓,周三九,等.可降解壳聚糖淀粉抗菌复合膜对红提葡萄保鲜效果的研究[J].食品安全质量检测学报,2017(5):67—72.
LI Yue-ming, ZHANG Hong, ZHOU San-jiu, et al. Study on the Fresh-Keeping Effect of Degradable Chitosan Starch Antibacterial Composite Membrane on Red Grape[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017(5): 67—72.
- [2] 于艳梅.载那他霉素壳聚糖淀粉复合抗菌薄膜对巨峰葡萄保鲜效果评价[D].哈尔滨:黑龙江大学,2013:1—5.
YU Yan-mei. Evaluation of the Preservation Effect of Natamycin Chitosan Starch Composite Antibacterial Film on Jufeng Grape[D]. Harbin: Heilongjiang University, 2013: 1—5.
- [3] 周晓媛,蔡佑星,邓靖,等.果蔬保鲜膜的保鲜机理与研究进展[J].食品研究与开发,2008,29(11):148—152.
ZHOU Xiao-yuan, CAI You-xing, DENG Jing, et al. Preservation Mechanism and Research Progress of Fruit and Vegetable Preservative Films[J]. Food Research and Development, 2008, 29(11): 148—152.
- [4] LI L H, DENG H R, LIU Z L, XIN L. Synthesis and Characterization of Chitosan/ZnO Nanoparticle Composite Membranes[J]. Carbohydrate Research, 2010, 345(8): 994—998.
- [5] SANYANG M L, SAPUAN S M, JAWAID M, et al. Development and Characterization of Sugar Palm Starch and Poly (Lactic Acid) Bilayer Films[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 146: 36—45.
- [6] DIL E J, VIRGILIO N, FAVIS B D. The Effect of the Interfacial Assembly of Nano-Silica in Poly(Lactic Acid)/Poly(Butylene Adipate-Co-Terephthalate) Blends on the Morphology, Rheology and Mechanical Properties[J]. European Polymer Journal, 2016, 85: 635—646.
- [7] 颜祥禹. PLA/PBAT 基可生物降解共混薄膜的制备及性能研究[D].长春:长春工业大学,2017:36—38.
YAN Xiang-yu. Preparation and Properties of PLA/PBAT Biodegradable Blended Film[D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2017: 36—38.
- [8] 耿佚雯,李卫红,汪瑾,等.国内聚乳酸复合改性的研究现状[J].化工时刊,2018,32(6):36—39.
GENG Yi-wen, LI Wei-hong, WANG Jin, et al. Current Research Status of Composite Modification of Polylactic Acid in China[J]. Chemical Journal, 2018, 32(6): 36—39.
- [9] 张明. PLA/PBAT 复合包装薄膜的制备与性能及其中助

- 剂向食品模拟物的迁移[J]. 绿色包装, 2018, 36(12): 76.
ZHANG Ming. Preparation and Properties of PLA/PBAT Composite Packaging Film and Migration of its Promoters to Food Simulators[J]. Green Packaging, 2018, 36(12): 76.
- [10] 陈丽, 李喜宏, 胡云峰, 等. 富士苹果 PVC/TiO₂ 纳米保鲜膜研究[J]. 食品科学, 2001, 22(7): 74—76.
CHEN Li, LI Xi-hong, HU Yun-feng, et al. Study on Fushi Apple PVC/TiO₂ Nano-Preservative Film[J]. Food Science, 2001, 22(7): 74—76.
- [11] 王雪芳, 王鸿博, 傅佳佳, 等. TiO₂/聚乳酸复合纳米纤维膜对草莓保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(20): 366—368.
WANG Xue-fang, WANG Hong-bo, FU Jia-jia, et al. Study on Fresh-Keeping Effect of TiO₂/Polylactic Acid Composite Nanofiber Membrane on Strawberry[J]. Food Science and Technology, 2014, 35(20): 366—368.
- [12] JOSHI P. Composite of Tio₂ Nanofibers and Nanoparticles for Dye-Sensitized Solar Cells with Significantly Improved Efficiency[J]. Energy & Environmental Science, 2010, 3(10): 1507—1510.
- [13] 何娉婷. TiO₂ 纳米粒子和纳米管的生物学效应及其在 PP 复合材料中抗菌作用的研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.
HE Ping-ting. Biological Effects of TiO₂ Nanoparticles and Nanotubes and their Antibacterial Activity in PP Composites[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2012.
- [14] 施春荧. 纳米 TiO₂/聚合物保鲜膜的制备及其在毛叶枣保鲜中的应用[D]. 海口: 华南热带农业大学, 2006: 14—16.
SHI Chun-ying. Preparation of Nano-TiO₂/Polymer Fresh-Keeping Film and its Application in Fresh-Keeping of Maoye Jujube[D]. Haikou: South China Tropical Agricultural University, 2006: 14—16.
- [15] 袁志, 王明力, 陈万明, 等. 纳米 TiO₂ 壳聚糖复合保鲜膜性能及抑菌研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(34): 218—225.
YUAN Zhi, WANG Ming-li, CHEN Wan-ming, et al. Properties and Antibacterial Activities of Nano-TiO₂ Chitosan Composite Preservative Film[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(34): 218—225.
- [16] VLASSI E, VLACHOS P, KORAROS M. Effect of Ozonation on Table Grapes Preservation in Cold Storage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(6): 2031—2038.
- [17] 张昆明, 朱志强, 张平, 等. 冰温结合气调包装对葡萄贮藏保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(1): 126—130.
ZHANG Kun-ming, ZHU Zhi-qiang, ZHANG Ping, et al. Effects of Ice Temperature and Modified Atmosphere Packaging on Grape Storage and Fresh-Keeping Effect[J]. Food Research and Development, 2011, 32(1): 126—130.
- [18] 石磊, 王世平, 顾介明. 不同浓度壳聚糖膜对葡萄保鲜效果的研究[J]. 山东农业科学, 2009(8): 99—101.
SHI Lei, WANG Shi-ping, GU Jie-ming. Study on the Fresh-Keeping Effect of Different Concentration of Chitosan Membrane on Grape[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2009(8): 99—101.
- [19] 李丽梅, 关军锋, 及华, 等. MA 包装对巨峰葡萄贮藏品质的影响[J]. 河北农业科学, 2005, 9(2): 34—36.
LI Li-mei, GUAN Jun-feng, JI Hua, et al. Effect of MA Packaging on Storage Quality of Jufeng Grape[J]. Hebei Agricultural Sciences, 2005, 9(2): 34—36.
- [20] 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: 118—120.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Physiological and Biochemical Experiment Guidance of Postharvest Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 118—120.
- [21] WU Y, WELLER C L, HAMOUZ F, et al. Moisture Loss and Lipid Oxidation for Precooked Ground-Beef Patties Packaged in Edible Starch-Alginate-Based Composite Films[J]. Journal of Food Science, 2001, 66(3): 8.
- [22] 叶轻飏. 纳米粒子改性 LDPE 薄膜的研制和保鲜性能研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 47—50.
YE Qing-yang. Preparation and Preservation Performance of Nanoparticle-Modified LDPE Film[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014: 47—50.
- [23] 许蕙金兰, 吴培文, 陈仁驰, 等. 贮藏温度对巨峰葡萄采后生理和贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(21): 199—204.
XU Hui-jin-lan, WU Pei-wen, CHEN Ren-chi, et al. Effects of Storage Temperature on Postharvest Physiology and Storage Quality of Jufeng Grape[J]. Food Research and Development, 2018, 39(21): 199—204.
- [24] 陈浩, 张润光, 付露莹, 等. 1-MCP 与 Na₂S₂O₅ 复合保鲜剂对‘红提’葡萄采后生理及贮藏品质的影响[J]. 中国农业科学, 2019, 52(7): 1192—1204.
CHEN Hao, ZHANG Run-guang, FU Lu-ying, et al. 1-MCP and Na₂S₂O₅ Compound Preservatives on Postharvest Physiology and Storage Quality of 'Hongti' Grapes[J]. Agricultural Science of China, 2019, 52(7): 1192—1204.
- [25] 赵鑫. 黑提葡萄采后贮藏过程中品质变化的研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2016.
ZHAO Xin. Study on the Quality Change of Heiti Grape during Postharvest Storage[D]. Shihezi: Shihezi University, 2016.
- [26] 张纪娟. 羟乙基纤维素/壳聚糖涂膜液对葡萄的保鲜作用[J]. 山东食品发酵, 2014(4): 31—34.
ZHANG Ji-juan. Fresh-Keeping Effect of Hydroxyethyl Cellulose/Chitosan Coating Solution on Grapes[J]. Shandong Food Fermentation, 2014 (4): 31—34.
- [27] NGUYEN V L N, JOLY C, DANTIGNY P. Active packaging with antifungal activities[J]. International Journal of Food Microbiology, 2016, 220: 73—90.