

鱼腥草提取液-壳聚糖抗菌复合膜对 低温贮藏蓝莓的保鲜作用

霍若冰, 李洋*, 徐瞳晖, 李庆鹏, 王磊明, 张群利, 陈春晟

(东北林业大学工程技术学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要: 为了提高蓝莓保鲜效果, 该研究制备含有不同质量浓度鱼腥草提取液的抗菌复合膜。实验测试薄膜的拉伸强度、断裂伸长率、光线透过率、水蒸气透过率和抗菌率, 并将蓝莓果实涂膜处理后存储于 4 °C 冷藏条件下, 测定各组蓝莓果实的硬度、失重率、总可溶固体物 (TSS)、可滴定酸 (TA)、花青素含量、抗坏血酸 (Vc) 含量、丙二醛 (MDA) 含量和多酚氧化酶 (PPO) 活性等指标。研究发现: 当鱼腥草提取液浓度为 0.06 g/mL 时, 抗菌率提高至 77.40%, 薄膜拉伸强度提高至 21.92 MPa, 断裂伸长率为 17.13%, 光线透过率为 80.20%, 水蒸气透过率为 2.55×10^{-10} g/(m·s·Pa), 综合性能表现最佳; 经 20 d 贮藏后, 蓝莓果实的硬度为 1.17 kg/cm², 失重率为 5.80%, 可溶性固形物为 0.13%, 可滴定酸降低至 4.57×10^{-2} mmol/g, 花青素含量提高至 2.40 mg/g, Vc 含量为 19.50 mg/100 g, 丙二醛含量为 13.30 μmol/g, 多酚氧化酶活性为 3600 U/(min·mg)。研究表明: 添加 0.06 g/mL 鱼腥草提取液能有效提升抗菌复合膜的综合性能, 对蓝莓具有较好的保鲜效果, 可以有效地维持蓝莓果实品质, 延长货架期近 10 d。

关键词: 鱼腥草提取液; 壳聚糖; 涂膜; 保鲜效果; 蓝莓

文章编号: 1673-9078(2022)08-153-162

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.8.1057

The Fresh-keeping Effect of Antibacterial *Houttuynia Cordata* Extract-chitosan Composite Film on Blueberries Stored at A Low Temperature

HUO Ruobing, LI Yang*, XU Tonghui, LI Qingpeng, WANG Leiming, ZHANG Qunli, CHEN Chunsheng

(College of Engineering and Technology, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In order to improve the preservation of blueberries, antibacterial composite films containing different concentrations of *Houttuynia cordata* extracts were prepared in this study. The tensile strength, elongation at break, light transmittance, water vapor transmittance and antibacterial rate of the films were examined. The blueberry fruits were coated with a film and stored under refrigeration conditions (at 4 °C), and the indices such as firmness, weight loss, total soluble solids (TSS), titratable acid (TA), content of anthocyanins, ascorbic acid (Vc) content, malondialdehyde (MDA) content and polyphenol oxidase (PPO) activity were determined. The study showed that when the concentration of *Houttuynia cordata* extract was 0.06 g/mL, the antibacterial rate increased to 77.40%, the tensile strength of the film increased to 21.92 MPa, the elongation at break was 17.13%, the light transmittance was 80.20%, and the vapor transmission rate was 2.55×10^{-10} g/(m·s·Pa), indicating the best overall performance; after 20 days of storage, the firmness of the blueberry fruit was 1.17 kg/cm², the weight loss rate was 5.80%, and TSS content was 0.13%, TA was reduced to 4.57×10^{-2} mmol/g, the anthocyanin content increased to 2.40 mg/g, Vc content was 19.50 mg/100 g, MDA content was 13.30 μmol/g, PPO activity was 3600 U/min·mg. The research has shown that the addition of *Houttuynia cordata* extract at

引文格式:

霍若冰,李洋,徐瞳晖,等.鱼腥草提取液-壳聚糖抗菌复合膜对低温贮藏蓝莓的保鲜作用[J].现代食品科技,2022,38(8):153-162

HUO Ruobing, LI Yang, XU Tonghui, et al. The fresh-keeping effect of antibacterial *houttuynia cordata* extract-chitosan composite film on blueberries stored at a low temperature [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(8): 153-162

收稿日期: 2021-09-22

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目 (LH2021C016); 中央高校基本科研业务费专项资金项目 (2572017C005)

作者简介: 霍若冰 (1997-), 女, 硕士, 研究方向: 冷链物流保鲜, E-mail: 15663460106@163.com

通讯作者: 李洋 (1980-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 冷链物流, E-mail: 378918917@qq.com

0.06 g/mL could effectively improve the comprehensive performance of the antibacterial composite film, provide a greater preservative effect on blueberries, thus effectively maintain the quality of blueberries and extend their shelf life by almost 10 days.

Key words: *Houttuynia cordata* extract; chitosan; coating; fresh-keeping effect; blueberry

蓝莓 (*Vaccinium* spp.) 为杜鹃花科越橘属植物, 因其风味独特, 营养丰富, 抗氧化活性高, 被联合国粮农组织列为人类五大健康食品之一^[1], 堪称“世界水果之王”。蓝莓采后易受到微生物的侵染, 从而使蓝莓表面出现凹陷、破损, 严重时可造成全果腐烂, 加上储存不当、运输条件限制等问题, 蓝莓果实会发生水分流失、汁液渗漏和发霉变质的情况。已有研究表明, 蓝莓贮藏过程中, 风味和品质的变化对消费者的可接受度及满意度有重要影响^[2]。

近年来, 为了减少果蔬采后的品质损失, 从而保持其营养价值并延长货架期, 部分学者针对果蔬的不同贮藏方式和保鲜技术进行了相关的研究, 低温贮藏复合涂膜保鲜逐渐成为发展趋势^[3]。涂膜保鲜是以多糖、蛋白质和脂质等主要原料与天然活性物质混合配置, 通过喷涂或浸渍的方式, 在果蔬表皮形成一层保护膜, 可减少果蔬水分流失并抑制微生物的存活^[4]。目前已有用于蓝莓、草莓和杨梅等的研究^[5-7], 这些研究结果均表明, 低温贮藏复合涂膜保鲜技术可以有效减少果实水分流失、延缓果实衰老和延长货架期。对于蓝莓采后出现的微生物侵染及呼吸作用增强的问题, 低温贮藏复合涂膜保鲜技术可以有效隔绝气体, 防止外源微生物侵染, 同时还能够延缓生理生化过程, 因此涂膜保鲜研究的必要性不言而喻。

鱼腥草是一种天然的抗生素, 现代药理实验表明, 鱼腥草具有多种生物活性, 因此添加天然中草药成分的保鲜技术具有抗菌消炎和抗病毒等优势。其中, 以鱼腥草为原料提取的精油对很多细菌都有一定的抑制作用^[8]。课题组前期研究发现, 鱼腥草提取液对蓝莓具有良好的保鲜效果, 并且随着鱼腥草提取液浓度的增加, 保鲜效果越明显^[4]。

因此本文提出添加鱼腥草提取液制备抗菌复合膜, 通过测定薄膜的性能, 并结合低温贮藏方式探究蓝莓复合保鲜技术, 来揭示不同浓度鱼腥草提取液对蓝莓保鲜效果的影响, 旨在有效维持蓝莓果实品质, 延长货架期, 为我国蓝莓产业的健康发展提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

北村蓝莓, 采摘于哈尔滨市红旗乡中沃蓝莓基地, 采摘后立刻放入 4 °C 冷藏箱中运回实验室。选取成熟

度相同、大小基本一致、平均单果质量为 1.4~1.8 g 且没有机械损伤的蓝莓果实作为实验材料。鱼腥草购于京东商城, 送至实验室后放在 4 °C 的冰箱内备用。

壳聚糖购于浙江澳兴生物科技有限公司; 如无其他说明, 所用化学检测试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

LD-05 型计算机测控拉力试验机, 长春市明月小型试验机有限责任公司; WO2 水蒸气透过率测试仪, 济南兰光机电技术有限公司; 2XWGT-S 透光率雾度测定仪, 上海仪电物理光学仪器有限公司; SPX-250BIII 生化培养箱, 天津市泰斯特仪器有限公司; FA2004B 电子天平, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; T6 紫外分光光度计, 南京菲勒仪器有限公司; TGL-20B 高速台式离心机, 上海安享科学仪器厂; GY-14 果实硬度计, 浙江托普云农科技股份有限公司; BCD-215SEBB 多层温度冰箱, 青岛海尔股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 鱼腥草提取液的抗菌性测定

菌液的制备: 参照国家标准 GB/T 20944.1-2007^[9], 用接种环取金黄色葡萄球菌标准菌以划线法接种到琼脂培养基平皿上, 在 37 °C 下培养 24 h; 将平皿上的典型菌落接种在胰蛋白胨大豆肉汤培养基中, 培养条件为: 温度 37 °C, 振动频率 110/min, 时间 18 h; 用蒸馏水将其稀释至 1.0×10^8 CFU/mL, 于 4 °C 下保存备用。

将鱼腥草洗净后置于 65 °C 真空干燥箱中烘干, 粉碎研磨后, 使用 95% 的乙醇溶液进行提取, 质量浓度分别为 0.02、0.06、0.10 g/mL。

将圆形薄片试纸放入质量浓度分别为 0、0.02、0.06 和 0.10 g/mL 的鱼腥草提取液中浸透, 随后将其放入含等浓度金黄色葡萄球菌的培养皿中, 经过 1 d 的观察后采用游标卡尺测量抑菌圈直径, 同时采用紫外分光光度计对抗菌率进行测定, 在吸光度值为 600 nm 条件下, 重复 5 次, 取平均值, 抗菌率按公式 (1) 计算^[10]。

$$\text{抗菌率} = \frac{OD_1 - OD}{OD_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

OD_1 ——初始吸光度值;

OD ——24 h 吸光度值。

1.3.2 涂膜保鲜液的制备

取 0.017 g/mL 壳聚糖、0.012 g/mL 明胶和 0.003 g/mL 甘油混合成配置溶液,分别添加质量浓度分别为 0、0.02、0.06、0.10 g/mL 的鱼腥草提取液制备涂膜保鲜液。根据添加鱼腥草提取液浓度的不同,分为 4 个实验组。

1.3.3 抗菌复合膜性能测定

采用流延法制备抗菌复合膜。将涂膜保鲜液置于 50 ℃、100 Hz 超声清理器中超声脱气 5 min,排除气泡后,取适量的保鲜液倒入直径为 75 mm 的玻璃平皿中,使其均匀流延,冷却静置 10 min,置于 50 ℃真空干燥箱中烘干 8~10 h,揭膜备用^[11]。

机械性能的测定:采用 LD-05 型计算机测控拉力试验机(长春明月小型试验机有限公司),参照国家标准 GB/T 1040.3-2006 测定薄膜的拉伸强度和断裂伸长率^[12]。拉伸强度和断裂伸长率分别按照公式(2)、公式(3)计算。

$$\sigma = \frac{P}{b \times d} \quad (2)$$

式中:

σ —拉伸强度, MPa;

P —断裂载荷, N;

b —薄膜宽度, mm;

d —薄膜厚度, mm。

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

ε —断裂伸长率, %;

L_0 —薄膜原始标记线之间的距离, mm;

L —薄膜断裂时标记线之间的距离, mm。

水蒸气透过率的测定:参照马清华等^[13]的测试方法,采用透湿杯称重法测试原理,将薄膜裁剪为直径 75 mm 的试样,装夹在 3 个透湿杯中,分别放入 WO2 水蒸气透过率测试仪内部的透湿杯托架上测试。水蒸气透过率按照公式(4)计算。

$$WVTR = \frac{W \times x}{t \times A \times \Delta P} \quad (4)$$

式中:

$WVTR$ —水蒸气透过率, g/(m·s·Pa);

W —透过薄膜的水的质量, g;

x —薄膜的厚度;

t —水分透过薄膜的时间, s;

A —薄膜试样的透过面积, m²;

ΔP —薄膜两侧水分蒸气压差, Pa。

透光率的测定:参考国家标准 GB/T 2410-2008

^[14],选取表面均匀、无气泡和划痕的薄膜,裁剪为直径 50 mm 的试样,采用 2XWGT-S 透光率雾度测定仪测试,每个试样平行测定 5 次,取其平均值。透光率按照公式(5)计算。

$$T_t = \frac{T_2}{T_1} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

T_t —光线透过率, %;

T_2 —透过试样的光通量;

T_1 —入射光通量。

由于薄膜各指标具有不同的量纲和数量级。直接使用原始值进行分析,无法突出薄膜正向指标与负向指标的数据特点。因此,为保证结果的可靠性,使抗菌复合膜性能指标具有综合评判性,对其进行标准化处理。Z-score 标准化公式^[15]如公式(6)所示。

$$y_i = (x_i - \mu) / \sigma \quad (6)$$

式中:

y_i —标准化数值;

x_i —指标实际值;

μ 和 σ —样本的均值和标准差。

1.3.4 蓝莓品质检测

将 4 组涂膜保鲜液分别倒入 5 mL 的喷雾瓶中,喷洒于蓝莓表面进行涂膜。每组供试验的蓝莓果实 30 颗,单颗果实的喷涂量约为 0.15 mL,喷涂在蓝莓上的雾滴大小均匀。待蓝莓果实表皮均匀地粘上雾滴,保鲜液不沿果实表皮下流时,喷涂结束。喷涂后的蓝莓于 25 ℃条件下静置在培养皿中,待保鲜液在蓝莓表皮形成薄膜时,放入 4 ℃冰箱内备用。

参照曹建康等^[16]的方法,测定蓝莓可溶性固形物(TSS)、可滴定酸(TA)、花青素、Vc、丙二醛(MDA)含量和多酚氧化酶(PPO)活性。蓝莓硬度采用质构仪进行测定,选用直径为 2 mm 的圆形探头,测试速度为 0.5 mm/s,触发力为 5 g,测试位置为蓝莓果实侧面部分,每次随机取 20 颗蓝莓果实进行测定,计算平均硬度, kg/cm²;蓝莓失重率测定依据为:失重率=(贮前蓝莓质量-测定时蓝莓质量)/贮前蓝莓质量×100%,每组测 5 次,取其平均值^[17]。

1.3.5 感官评价

参照徐瞳晖等^[18]的方法稍作改进,进行感官评价。将蓝莓果实用不同的数字进行标记,选择具有一定专业知识的 30 人作为评判人员,要求评判员从质地、腐烂度、色泽、气味等方面给出综合感官评分,依据评判员的评分,总得分为各项数之和,后取平均值。感官评分标准见表 1。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

感官指标	评分标准	得分
质地	果实完整, 有弹性、软硬适中	9~7
	果实偏软、回弹性减弱	6~4
	果实软塌、回弹不明显, 质地黏连	3~1
腐烂度	无腐烂, 果蒂完整	9~7
	轻微感染, 果蒂有烂点	6~4
	果蒂腐烂明显, 不可食用	3~1
色泽	果实明亮有光泽	9~7
	果实明亮, 蜡质层增多, 光泽度下降	6~4
	果实表面暗沉, 无光泽	3~1
气味	具有果实的香气, 气味浓郁	9~7
	果实的香气变淡, 气味清香	6~4
	具有的果实香气不明显, 混杂其他气味	3~1

1.4 数据统计与分析

采用 IBM SPSS Statistics 25 进行数据统计分析, 利用 Origin 2018 绘图。

2 结果与讨论

2.1 鱼腥草提取液的抗菌性分析

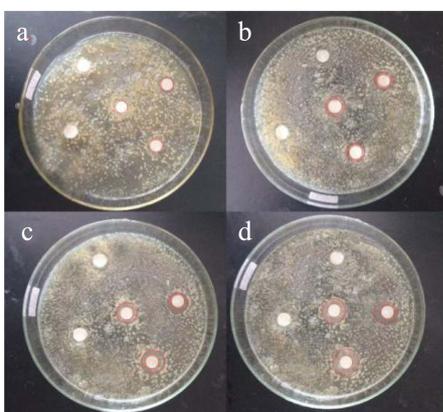


图 1 鱼腥草提取液抗菌性测定

Fig.1 Houttuyniae extract determination of antimicrobial properties

注: a 为 0 g/mL 鱼腥草提取液; b 为 0.02 g/mL 鱼腥草提取液; c 为 0.06 g/mL 鱼腥草提取液; d 为 0.10 g/mL 鱼腥草提取液。

通过试验测试鱼腥草提取液的抗菌性, 如图 1 所示, 随鱼腥草提取液浓度的增加, 圆形薄片试纸周围的抑菌圈面积增加, 金黄色葡萄球菌无法生存, 当鱼腥草提取液浓度为 0.02、0.06、0.10 g/mL 时, 抑菌圈直径分别为 1.3、1.7、1.9 cm。试验表明鱼腥草提取液具有良好的抗菌性, 并且随着浓度的增加, 抗菌性逐

渐增强^[19]。这主要是因为鱼腥草中的主要成分癸酰乙醛和月桂醛, 对金黄色葡萄球菌有抑制作用。

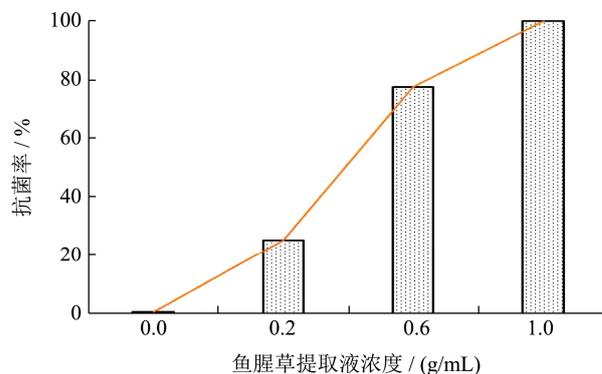


图 2 不同浓度鱼腥草提取液的抗菌率

Fig.2 The inhibitory rates of different concentration of Houttuyniae cordata extract

如图 2 所示, 当鱼腥草提取液浓度为 0.02 g/mL 时, 抗菌率为 25.10%, 随着鱼腥草提取液浓度的升高, 抗菌性逐渐增强, 当鱼腥草提取液浓度为 0.10 g/mL 时, 抗菌率接近 100%。鱼腥草是一种多年生草本植物, 且提取液成分对金黄色葡萄球菌有抑制作用, 因此可以使用鱼腥草提取液作为助剂制备抗菌复合膜。

2.2 不同浓度鱼腥草提取液对抗菌复合膜性能的影响

拉伸强度是薄膜最重要的力学性能, 反映其单位面积截面所能承受的拉力。研究表明, 添加不同浓度的植物提取物, 薄膜的拉伸强度会得到提升^[20]。由表 2 可知, 不含鱼腥草提取液的抗菌复合膜的拉伸强度为 12.02 MPa, 当鱼腥草提取液浓度逐渐增加时, 抗菌复合膜的拉伸强度可增至 25.20 MPa。分析原因可能是随着浓度的增加, 鱼腥草中的主要化学成分癸酰乙醛和月桂醛与壳聚糖分子有机结合会改变薄膜的机械性能。

断裂伸长率能反映薄膜的延展性与韧性, 刘光发等^[21]研究发现随肉桂-柠檬草植物精油添加量越多, 断裂伸长率会逐渐减小。当植物精油中的化学成分和壳聚糖有机结合后, 会使薄膜脆性增强, 易发生断裂。本实验也证明, 断裂伸长率随提取物浓度的增加而降低。当鱼腥草提取液浓度不断增大时, 断裂伸长率由 25.11%降低至 14.32%。

本实验结果也与张智宏等^[22]在壳聚糖中添加不同比例的植物抗菌因子会使复合膜的抗拉强度升高, 而使得断裂伸长率降低的结果相同。原因可能是鱼腥草中的化学成分与壳聚糖分子中氨基葡萄糖有机结合后, 诱导聚合物分子的重排。

表2 抗菌复合膜的性能

Table 2 Properties of antibacterial composite membrane

指标	鱼腥草提取液浓度/(g/mL)			
	0	0.02	0.06	0.10
拉伸强度/MPa	12.02±0.05 ^d	16.03±0.04 ^c	21.92±0.03 ^b	25.20±0.09 ^a
断裂伸长率/%	25.11±0.09 ^a	20.03±0.33 ^b	17.13±0.07 ^c	14.32±0.04 ^d
光线透过率/%	85.30±0.09 ^a	81.20±0.14 ^b	80.20±0.16 ^c	75.50±0.14 ^d
水蒸气透过率/[×10 ⁻¹⁰ g/(m·s·Pa)]	3.13±0.61 ^a	2.61±0.51 ^b	2.55±1.30 ^b	2.32±0.81 ^c
抗菌率/%	2.50±0.71 ^d	25.10±0.67 ^c	77.40±1.39 ^b	98.90±0.11 ^a

注：表中数据表示为均值±标准偏差，同行不同的肩标小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

不同浓度鱼腥草提取液对抗菌复合膜的光学性能和阻隔性的影响见表2，光线透过率和水蒸气透过率均逐渐降低。当鱼腥草提取液的浓度不断增大时，光线透过率从85.30%下降到75.50%；水蒸气透过率从 3.13×10^{-10} g/(m·s·Pa)下降至 2.32×10^{-10} g/(m·s·Pa)，分析原因可能是薄膜中存在的孔隙、气泡、裂痕等微观结构对薄膜中的水分子有一定影响，并且鱼腥草提取液在薄膜中分布不均匀也对水蒸气阻隔的效果有影响。吴琼^[23]也得到了与本文相似的研究结果。

本试验中鱼腥草提取液大于0.06 g/mL后，涂膜的光线透过率低于80%，影响其外观质量。除鱼腥草提取液的性状对薄膜透光率的影响之外，在干燥过程中，由于薄膜内的分子聚集，可能会增加对可见光的散射，因此薄膜会变得不透明，影响其光学性能，这与徐甜等^[24]以天然植物精油为助剂所制备的复合涂膜的性能保持一致。

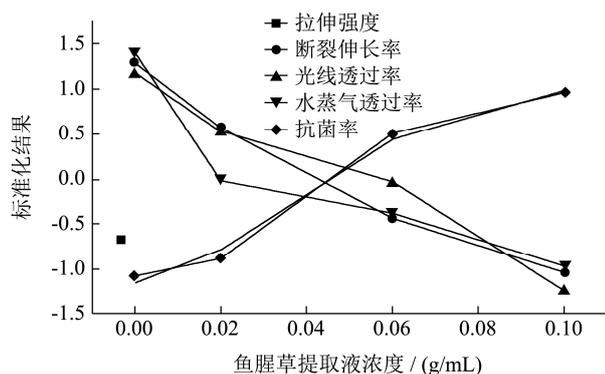


图3 不同浓度鱼腥草提取液对于抗菌复合膜性能的影响

Fig.3 Effect of different concentrations of *Houttuynia cordata* extract on the performance of antibacterial composite membrane

为综合评价不同浓度鱼腥草提取液对抗菌复合膜性能指标的影响，对拉伸强度、断裂伸长率、光线透过率、水蒸气透过率、抗菌率的数据进行标准化处理。如图3所示，薄膜的拉伸强度、抗菌率随鱼腥草浓度的增加呈现上升趋势，当鱼腥草提取液浓度大于0.06 g/mL时，指标数值增幅减缓；而薄膜的断裂伸长率、

光线透过率、水蒸气透过率随鱼腥草浓度的增加呈现下降趋势，当鱼腥草提取液浓度大于0.06 g/mL时，指标数值降幅较大。对抗菌复合膜来讲，拉伸强度、断裂伸长率、光线透过率、抗菌率均为正向指标，水蒸气透过率为负向指标，而当鱼腥草提取液浓度大于0.06 g/mL时，断裂伸长率、光线透过率过低，会影响薄膜的质量。

2.3 不同浓度鱼腥草提取液对蓝莓品质的影响

2.3.1 不同浓度鱼腥草提取液对蓝莓硬度的影响

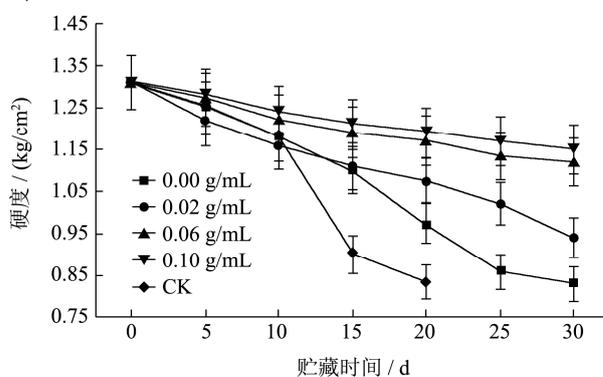


图4 蓝莓在贮藏期间硬度的变化

Fig.4 The hardness changes of blueberries during storage

硬度与蓝莓的货架期密切相关，是评价蓝莓品质的重要指标^[25]。如图4所示，蓝莓的硬度随时间的变化呈逐渐降低的趋势，对照组和0 g/mL鱼腥草提取液组处理的蓝莓在10 d后下降速率较快。15 d后，添加鱼腥草提取液的抗菌复合膜包覆下的蓝莓随着鱼腥草提取液质量浓度的增加，硬度损失逐渐降低；在第20~25 d时，涂膜处理组的蓝莓果实的硬度下降速率增快。但当鱼腥草提取液浓度大于0.06 g/mL时，未对硬度指标有显著影响 ($p > 0.05$)。这表明鱼腥草提取液可减缓细菌对蓝莓的侵害，尤其是蓝莓根蒂部位的侵害。同时还可减缓蓝莓中明胶层和纤维素的分解。

由于在 4 °C 冷藏条件下贮藏 20 d 时, 未处理的蓝莓果实腐烂率达到 60% 以上, 故其硬度、失重率、可溶固体物 (TSS)、花青素、可滴定酸 (TA)、维生素 C (Vc)、丙二醛 (MDA) 和多酚氧化酶 (PPO) 的试验周期定为 20 d。

2.3.2 不同浓度鱼腥草提取液对蓝莓失重率的影响

水分是维持细胞生命活动的主要成分, 当蓝莓内部水分充足时, 才能使蓝莓显示出一定的弹性和硬度^[26]。如图 5 所示, 未经处理的蓝莓失重率增速最快 ($p < 0.05$), 20 d 后损失近 1/5 的质量, 失重率达到 19%。涂膜后对蓝莓的失重率有显著影响, 壳聚糖涂膜可降低蓝莓的呼吸强度, 从而降低蓝莓表皮的水蒸气透过率, 减少水分散失。在壳聚糖中添加鱼腥草提取液后, 蓝莓的失重率随着浓度的增加而降低, 当鱼腥草提取液浓度大于 0.06 g/mL 时, 未对失重率有显著影响 ($p > 0.05$), 且在第 25 d 时, 0.06 g/mL 鱼腥草提取液组更低, 失重率为 7%。蒋小飞等^[27]研究结果也表明添加鱼腥草挥发油可以提升水果的保鲜效果。这是因为在果蔬表面形成薄膜后, 果实的呼吸强度降低, 从而抑制水分的蒸发。

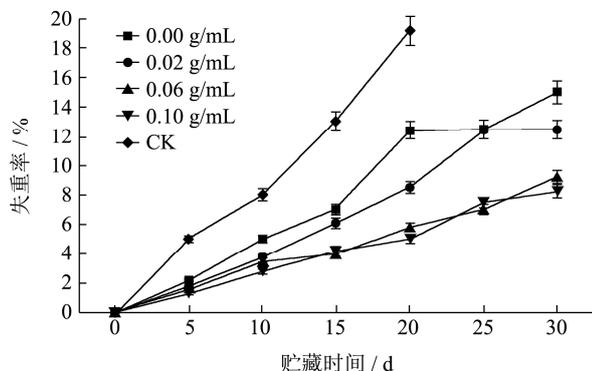


图 5 蓝莓在贮藏期间失重率的变化

Fig.5 The weight loss rate of blueberries during storage

2.3.3 不同浓度鱼腥草提取液对蓝莓可溶性固形物的影响

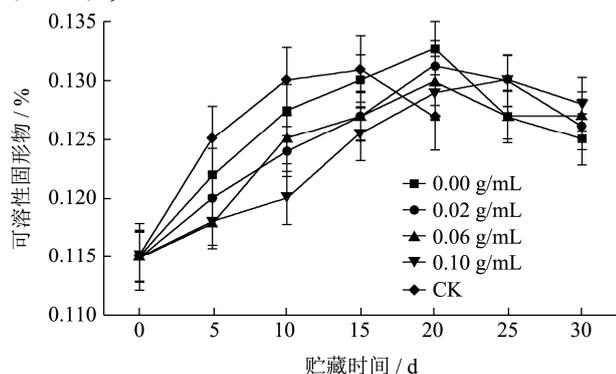


图 6 蓝莓在贮藏期间可溶性固形物的变化

Fig.6 The TSS changes of blueberry during storage

可溶性固形物 (TSS) 是评价水果品质的重要标准, 如图 6 所示, TSS 呈现先上升后下降的趋势, 随着时间的增加, 分解形成的可溶性糖会小于呼吸消耗的可溶性糖。实验结果表明, 涂膜处理会影响 TSS 达到峰值的时间, 添加鱼腥草提取液可以有效减缓 TSS 的下降。还有部分原因是蓝莓在贮藏期间的呼吸也需消耗糖类提供能量, 可溶性固溶物的含量是呼吸速率有效体现, 涂膜处理在蓝莓表面形成阻隔后, 对呼吸速率有降低作用。

2.3.4 不同浓度鱼腥草提取液对蓝莓可滴定酸的影响

可滴定酸 (TA) 的含量对蓝莓的口感有很大影响。如图 7 所示, 蓝莓果实中可滴定酸含量随时间呈先下降后升高的趋势。这是因为随着果实的成熟, 有机酸被逐渐分解为糖类, 由酸涩逐渐变甜, 但随着时间的增加在呼吸作用下, 部分糖类会转化成立酸类物质, 可滴定酸的含量便出现上升的趋势^[28]。与此同时, 薄膜可以减少氧气的渗入, 从而抑制蓝莓的呼吸作用, 使得贮藏期内还原糖的消耗量减少。从图中可以看出添加鱼腥草提取液可以降低蓝莓的可滴定酸含量, 与对照组相比差异显著 ($p < 0.05$), 经贮藏 20 d 后, 各组分的 TA 含量均达到最低值, 分别为 4.90×10^{-2} 、 4.62×10^{-2} 、 4.57×10^{-2} 、 4.44×10^{-2} 和 5.10×10^{-2} mmol/g。

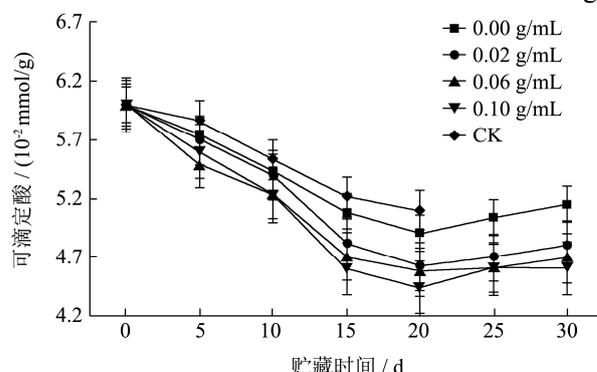


图 7 蓝莓在贮藏期间可滴定酸的变化

Fig.7 The TA changes of blueberry during storage

2.3.5 不同浓度鱼腥草提取液对蓝莓花青素的影响

花青素是天然抗衰老抗氧化的营养成分, 是评价蓝莓果实品质的重要指标。蓝莓果实经不同处理后的花青素含量如图 8 所示, 0~20 d 内花青素含量逐渐增加, 20 d 后开始减少, 各组分蓝莓果实的花青素含量在第 20 d 时分别为 2.21、2.24、2.40、2.54 和 2.14 mg/g。这可能是由于蓝莓具有晚熟特点, 花青素在贮藏期间会逐渐产生。当鱼腥草提取液浓度大于 0.06 g/mL 时, 对花青素含量影响不大, 整体来看, 鱼腥草提取液对花青素含量的降低具有减缓作用。

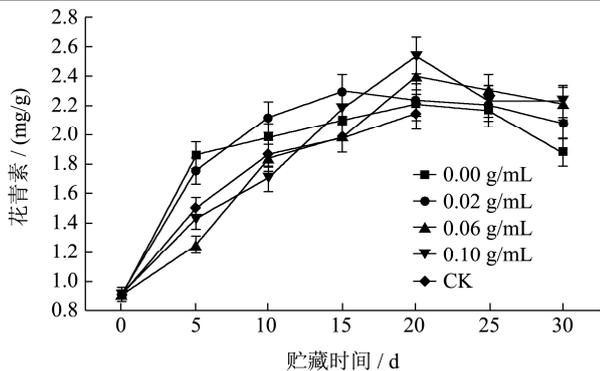


图8 蓝莓在贮藏期间花青素的变化

Fig.8 The anthocyanins changes of blueberry during storage

2.3.6 不同浓度鱼腥草提取液对蓝莓 Vc 含量的影响

Vc 是果蔬中的重要营养成分, 具有抗氧化性。如图 9 所示, 涂膜处理对 Vc 含量的变化有显著影响 ($p < 0.05$), 可有效抑制 Vc 的减少, 添加鱼腥草提取液后, 效果更佳。在第 20 d 时, CK 组和 0 g/mL、0.02 g/mL、0.06 g/mL、0.10 g/mL 鱼腥草提取液组的 Vc 含量分别为 15.52、16.24、18.28、19.50 和 20.50 mg/100 g。分析原因一方面可能是鱼腥草提取液的主要成分为醛类化合物, 具有还原性, 可以减少 Vc 的氧化; 另一方面鱼腥草中的化学成分可减缓蓝莓中明胶层和纤维素的分解, 且涂膜后使果实内部形成低氧环境, 抑制 Vc 的氧化。

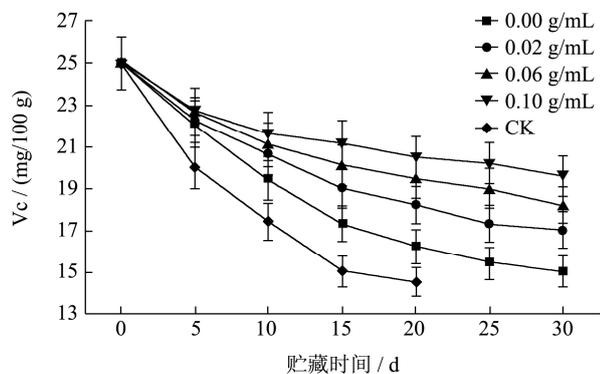


图9 蓝莓在贮藏期间 Vc 含量的变化

Fig.9 The Vc contents changes of blueberry during storage

2.3.7 不同浓度鱼腥草提取液对蓝莓丙二醛的影响

丙二醛 (MAD) 是细胞膜脂发生过氧化反应形成的, 其含量越高, 表明果实成熟度或腐烂度越高^[29]。蓝莓在 0~5 d 内 MAD 的含量迅速增加, 在第 5 d 时, 0、0.02、0.06、0.10 g/mL 鱼腥草提取液组和 CK 组的 MAD 含量分别为 13.61、12.83、11.70、10.66 和 13.41

μmol/g, 随后呈现缓慢上升的趋势, 如图 10 所示。最初是由于成熟度的增加, 后期则是因为蓝莓的腐烂程度加重。涂膜处理后对 MAD 的增加有较强的抑制作用, 一方面可能是因为鱼腥草提取液的主要成分也是醛类, 或成为被氧化的替代物; 另一方面可能是涂膜中的氨基具有还原性, 减缓 MAD 的氧化反应速率。

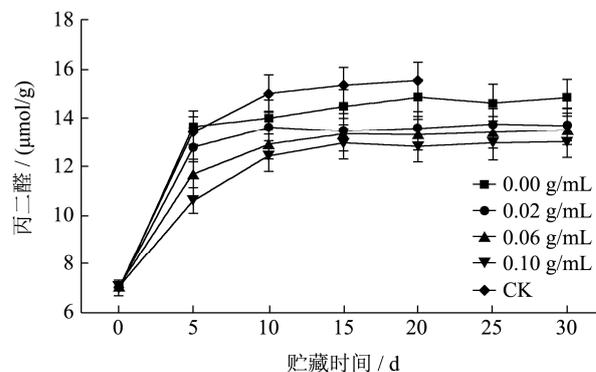


图10 蓝莓在贮藏期间丙二醛的变化

Fig.10 The MAD changes of blueberry during storage

2.3.8 不同浓度鱼腥草提取液对蓝莓多酚氧化酶的影响

多酚氧化酶 (PPO) 是引起果蔬发生酶促褐变的主要物质。如图 11 所示, 0~10 d 内 PPO 均呈明显的上升趋势, 各组间差异不明显 ($p > 0.05$), CK 组的 PPO 活性在贮藏第 10 d 时达到峰值。涂膜处理对蓝莓中 PPO 活性的降低有减缓作用, 添加鱼腥草提取液后随浓度的增加, 减缓效果逐渐增强。0.06 g/mL 和 0.10 g/mL 鱼腥草提取液处理组均在贮藏第 20 d 时达到峰值, 分别为 3600 U/(min·mg) 和 3650 U/(min·mg)。但当鱼腥草提取液浓度大于 0.06 g/mL 时, 对 PPO 活性影响很小 ($p > 0.05$)。

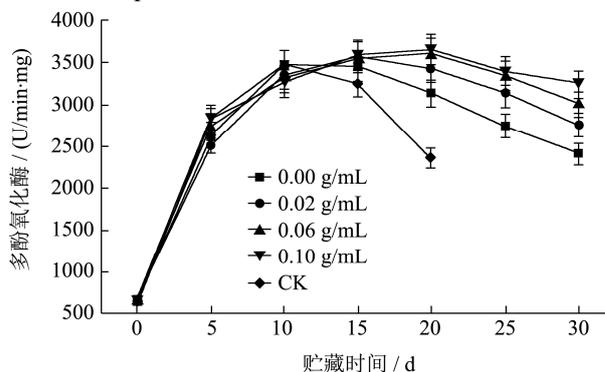


图11 蓝莓在贮藏期间多酚氧化酶的变化

Fig.11 The PPO changes of blueberry during storage

2.3.9 不同浓度鱼腥草提取液对蓝莓感官评价的影响

表 3 蓝莓品质指标的相关性分析

Table 3 The indices correlation analysis of blueberry quality

	硬度	失重率	TSS	花青素	Vc	TA	MDA	PPO
硬度	1							
失重率	-0.979**	1						
TSS	-0.256	0.312	1					
花青素	0.864*	-0.901**	-0.690	1				
Vc	-0.651	0.705	0.849*	-0.931**	1			
TA	0.673	-0.661	-0.728	0.855*	-0.929**	1		
MDA	-0.706	0.776*	0.830*	0.962**	0.954**	-0.809*	1	
PPO	-0.134	0.210	0.980**	-0.596	0.767*	-0.614	0.771*	1

注: **表示极显著相关 ($p<0.01$); *表示显著相关 ($p<0.05$)。

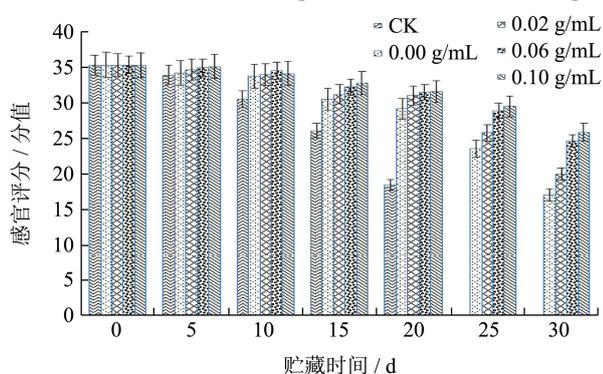


图 12 蓝莓在贮藏期间感官评分的变化

Fig.12 The sensory score changes of blueberry during storage

随着贮藏时间的延长, 蓝莓的感官评分整体呈下降趋势, 如图 12 所示。贮藏初始阶段, 各组蓝莓的色泽明亮, 质地良好, 具有一定的果实香气。在 15~20 d, 对照组蓝莓的感官评分在快速下降, 而涂膜处理组蓝莓的感官评分均下降缓慢, 这与蓝莓品质指标变化基本趋势一致。贮藏期第 20 d 时, 对照组蓝莓腐烂程度高, 果实表面出现大量粘液, 并伴有异味, 感官评分为 18.5 分。相比之下, 涂膜处理组蓝莓的感官品质依然保持较好, 其感官评分也显著高于对照组 ($p<0.05$), 0.06 g/mL 鱼腥草提取液处理组的感官评分为 31.5 分。这说明涂膜处理更能保持采后蓝莓的质地、外观和气味等感官品质, 同时降低腐烂程度, 提高蓝莓的商品价值。

2.4 蓝莓品质指标间相关性

相关性分析表明 (见表 3), 蓝莓果实的失重率与硬度 ($r=-0.979$)、花青素 ($r=-0.901$) 呈极显著负相关, 间接反映失重率会对硬度和花青素产生影响; 花青素与 Vc 呈极显著负相关 ($r=-0.931$), 与丙二醛呈极显著正相关 ($r=0.962$); 多酚氧化酶活性与可溶性固形物呈极显著相关 ($r=0.980$)。各品质指标间有一定的相关性, 一个指标的变化也会引起其他指标随之

变化。

2.5 鱼腥草提取液对蓝莓品质的贡献率分析

由于 4 组试验中鱼腥草提取液的浓度不同, 对蓝莓果实品质的贡献率也不相同。贡献率的定义式如公式 (7) 所示^[17]。

$$W = \left| \frac{\sum_{j=1}^n \frac{a_{ij} - b_{ik}}{na_{ij}}}{n} \right| \quad (7)$$

式中:

W——保鲜指标贡献率;

a_{ij} ——未处理组数据 ($i=1,2,\dots,7; j=1,2,\dots,8$);

b_{ik} ——实验组数据 ($i=1,2,\dots,7; k=1,2,\dots,4$);

n——周期数。

由表 4 可以看出鱼腥草提取液浓度对蓝莓硬度、失重率、Vc 和多酚氧化酶的影响较大, 对可溶固体物影响最小, 添加鱼腥草提取液的壳聚糖涂膜在一定程度上提高了对果实品质的贡献率, 但当鱼腥草提取液浓度大于 0.06 g/mL 时, 对蓝莓品质的贡献率增幅较小。

表 4 鱼腥草提取液对蓝莓品质的贡献率

Table 4 Contribution rate of *Houttuynia cordata* extract to blueberry quality

	0 g/mL	0.02 g/mL	0.06 g/mL	0.10 g/mL
硬度	0.1233	0.1930	0.2955	0.3208
失重率	0.3575	0.4366	0.5681	0.5797
可溶性固形物	0.0039	0.0043	0.0077	0.0124
可滴定酸	0.0317	0.0676	0.0905	0.0895
Vc	0.0159	0.0370	0.0503	0.0635
花青素	0.0748	0.1153	0.0467	0.0734
丙二醛	0.0471	0.0884	0.1210	0.1477
多酚氧化酶	0.0749	0.1216	0.1695	0.1959
平均贡献率	0.0911	0.1330	0.1687	0.1854

3 结论

以鱼腥草提取液为助剂制备抗菌复合膜可有效延长蓝莓采后货架期,维持蓝莓品质,提升保鲜效果。实验结果表明,抗菌复合膜的拉伸强度和抗菌率随鱼腥草浓度的增加呈现上升趋势,而薄膜的断裂伸长率、光线透过率、水蒸气透过率随鱼腥草浓度的增加呈现下降趋势,当鱼腥草提取液浓度为 0.06 g/mL 时,薄膜各项指标的综合性能表现良好;而当鱼腥草提取液浓度大于 0.06 g/mL 时,薄膜的断裂伸长率过低,延展性较差,聚合物分子的重排会使薄膜脆性增强发生断裂,同时分子重排聚集也会增加薄膜对可见光的散射,影响薄膜的光学性能。从蓝莓品质指标方面考虑,当鱼腥草提取液浓度大于 0.06 g/mL 时,对蓝莓具有较好的保鲜效果。综上所述,添加鱼腥草提取液能有效提高薄膜综合性能,维持蓝莓果实的品质和营养价值,可延长货架期近 10 d。当添加量在 0.06 g/mL 时,蓝莓的保鲜效果与薄膜综合性能最佳。

参考文献

- [1] Chu W J, Gao H Y, Chen H J, et al. Effects of cuticular wax on the postharvest quality of blueberry fruit [J]. Food Chemistry, 2018, 239: 68-74
- [2] Chiabrandi V, Giacalone G, Rolle L. Mechanical behaviour and quality traits of highbush blueberry during postharvest storage [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 89(6): 989-992
- [3] 邹小波,杨志坤,石吉勇,等.阿拉伯胶/白色玫瑰茄提取物复合涂膜对低温贮藏蓝莓保鲜效果的影响[J].食品科学,2019,40(7):204-211
ZOU Xiaobo, YANG Zhikun, SHI Jiyong, et al. Preservation effect of gum Arabic edible coating incorporated with white Roselle extract (*Hibiscus sabdariffa* L.) on cold-stored blueberries [J]. Food Science, 2019, 40(7): 204-211
- [4] 王磊明,李洋,张茜,等.抗菌性折耳根提取液对蓝莓保鲜效果的影响[J].食品研究与开发,2017,38(17):194-199
WANG Leiming, LI Yang, ZHANG Xi, et al. Fresh-keeping of antibacterial *Houttuynia* extract to blueberries [J]. Food Research and Development, 2017, 38(17): 194-199
- [5] 沈春华,李立,杜云飞.PLA/PHA 活性抗菌薄膜对蓝莓低温保鲜效果的影响[J].食品与机械,2018,34(7):121-126
SHEN Chunhua, LI Li, DU Yunfei. Effect of PLA/PHA active films on preservation of blueberries during cold storage [J]. Food & Machinery, 2018, 34(7): 121-126
- [6] 王兢业.1-MCP 与壳聚糖/纳米 SiO₂ 复合涂膜处理对草莓冷藏品质和生理代谢影响[D].扬州:扬州大学,2019
WANG Jingye. Effects of 1-MCP and chitosan/nano-SiO₂ composite coating on cold storage quality and physiological metabolism of strawberry [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2019
- [7] 李菲菲,李先信,谭振华,等.多糖复合涂膜保鲜剂对不同杨梅品种低温贮藏品质的影响[J].中国农学通报,2015,31(28):259-265
LI Feifei, LI Xianxin, TAN Zhenhua, et al. Effect of compound coating antistaling agent of polysaccharide treatment on the storage quality of different Chinese bayberry cultivars under low temperature [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(28): 259-265
- [8] 张薇,卢芳国,潘双银,等.鱼腥草中挥发油的提取分析及其抗菌抗病毒作用的研究[M].北京:高等教育出版社,2008
ZHANG Wei, LU Fangguo, PAN Shuangyin, et al. Extraction and Analysis of Volatile Oil in *Houttuynia cordata* and Its Antibacterial and Antiviral Effects [M]. Beijing: Higher Education Press, 2008
- [9] GB/T 20944.1-2007,纺织品抗菌性能的评价第 1 部分:琼脂平皿扩散法[S]
GB/T 20944.1-2007, Evaluation of Antibacterial Properties of Textiles, Part 1: Agar Plate Diffusion Method [S]
- [10] 王磊明,李洋,张茜,等.壳聚糖-肉桂精油复合膜对蓝莓保鲜效果的影响[J].食品科技,2017,42(9):14-21
WANG Leiming, LI Yang, ZHANG Xi, et al. Effects of composite membrane of chitosan and cinnamon essential oil on preservation of blueberries [J]. Food Science and Technology, 2017, 42(9): 14-21
- [11] 张盼,王俊平.壳聚糖-普鲁兰多糖复合抗菌保鲜膜对冷鲜牛肉的保鲜效果[J].中国食品学报,2020,20(6):194-201
ZHANG Pan, WANG Junping. Effect of chitosan-pullulan composite antibacterial-films on fresh-keeping of chilled beef [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(6): 194-201
- [12] GB/T 1040.3-2006,塑料拉伸性能的测定第 3 部分:薄膜和薄片的试验条件[S]
GB/T 1040.3-2006, Plastics-Determination of Tensile Properties-Part 3: Test Conditions for Films and Sheets [S]
- [13] 马清华,蔡铭,谢春芳,等.聚乙烯醇基 SiO₂/TiO₂ 纳米包装膜制备及对双孢菇保鲜效果[J].食品科学,2020,41(9):182-187
MA Qinghua, CAI Ming, XIE Chunfang, et al. Evaluation of polyvinyl alcohol-based SiO₂/TiO₂ nanocomposite films and their preservation effect on *Agaricus bisporus* [J]. Food Science, 2020, 41(9): 182-187

- [14] GB/T 2410-2008,透明塑料透光率和雾度的测定[S]
GB/T 2410-008, Determination of Light Transmittance and Haze of Transparent Plastics [S]
- [15] 张彬.外文电子期刊全文数据库评价模型[D].南京:南京农业大学,2007
ZHANG Bin. Foreign electronic journal full-text database evaluation model [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2007
- [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,2013
CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Guidance on Postharvest Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2013
- [17] 李洋,张茜,陈业莉,等.贮运过程中振动损伤对蓝莓品质的影响[J].林业科学,2020,56(9):40-50
LI Yang, ZHANG Xi, CHEN Yeli, et al. Effect of vibration damage on blueberry quality during storage and transportation [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2020, 56(9): 40-50
- [18] 徐瞳晖,李洋,霍若冰,等.基于感官评价的蓝莓消费者满意度预测模型[J].森林工程,2021,37(2):110-116
XU Tonghui, LI Yang, HUO Ruobing, et al. Prediction model of consumers' overall satisfaction of blueberries based on sensory evaluation [J]. Forest Engineering, 2021, 37(2): 110-116
- [19] 王磊明.蓝莓鲜果冷链贮藏保鲜技术研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2018
WANG Leiming. Study on storage and freshness preservation of blueberry fresh fruit cold chain [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2018
- [20] 常馨月,吴天宇,刘文华,等.杨树花提取物对决明子胶/羧甲基淀粉钠复合膜性能影响的研究[J].森林工程,2021,37(5): 37-42
CHANG Xinyue, WU Tianyu, LIU Wenhua, et al. Effect of plant aspen flower extract on the properties of CG/CMS composite film [J]. Forest Engineering, 2021, 37(5): 37-42
- [21] 刘光发,司汶,高文华,等.肉桂/柠檬草精油抗菌膜对甜樱桃的保鲜效果[J].包装工程,2018,39(7):65-71
LIU Guangfa, SI Wen, GAO Wenhua, et al. Effects of antimicrobial film containing combined essential oil of cinnamon and lemon grass on preservation of sweet cherry [J]. Packaging Engineering, 2018, 39(7): 65-71
- [22] 张智宏,程春生,覃宇悦,等.壳聚糖/柠檬草精油复合膜的制备及性能研究[J].食品工业科技,2013,34(9):150-153
ZHANG Zhihong, CHENG Chunsheng, QIN Yuyue, et al. Preparation of chitosan/lemongrass essential oil and research of composite film character [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(9): 150-153
- [23] 吴琼.壳聚糖/海藻酸钠复合保鲜膜的制备与应用研究[D].青岛:中国海洋大学,2014
WU Qiong. Study on preparation and application of edible fresh-keeping films based on chitosan and alginate [D]. Qingdao, Ocean University of China, 2014
- [24] 徐甜,高成成,汤晓智.壳聚糖/植物精油可食性抗菌膜研究进展[J].食品工业科技,2018,39(18):323-329,335
XU Tian, GAO Chengcheng, TANG Xiaozhi. Research progress of edible antimicrobial films based on chitosan and essential oil [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(18): 323-329, 335
- [25] Duan J Y, Wu R Y, Strik B C, et al. Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59(1): 71-79
- [26] 李琛,刘颖,翁桢,等.贮运环境对葡萄品质的影响[J].现代食品科技,2013,29(2):230-235
LI Chen, LIU Ying, WENG Zhen, et al. The influence of storage and transport environment on grape quality [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(2): 230-235
- [27] 蒋小飞,张小菊,方荣美.鱼腥草挥发油与黄连生物碱复合保鲜涂膜液对芒果的保鲜效果[J].江苏农业科学,2018,46(8):195-198
JIANG Xiaofei, ZHANG Xiaoju, FANG Rongmei. Effect of volatile oil from *Houttynia cordata* and flavine alkaloids compound fresh coating liquid on fresh-keeping of mango [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(8): 195-198
- [28] Hancock J, Callow P, Serçe S, et al. Effect of cultivar, controlled atmosphere storage, and fruit ripeness on the long-term storage of highbush blueberries [J]. Hort Technology, 2008, 18(2): 199-205
- [29] 张巍,刘运伟,徐宜彬,等.棚式栽培钙果果实品质特性分析[J].森林工程,2021,37(4):27-32
ZHANG Wei, LIU Yunwei, XU Yibin, et al. Analysis on fruit quality characteristics of calcium fruit in shed cultivation [J]. Forest Engineering, 2021, 37(4): 27-32