

# 海藻酸钠/冬凌草提取物复合膜的制备和应用

纠敏<sup>1</sup>, 孟媛媛<sup>1</sup>, 李桂霞<sup>1</sup>, 齐龙升<sup>1</sup>, 钟强<sup>1</sup>, 汪伦记<sup>1,2,\*</sup>

(1. 河南科技大学 食品与生物工程学院 食品加工与安全国家级实验教学示范中心, 河南 洛阳 471023;

2. 河南科技大学 食品与生物工程学院 微生物资源开发与利用重点实验室, 河南 洛阳 471023)

**摘要:**为开发新型可降解抗菌包装材料,以海藻酸钠和冬凌草提取物为原料制备复合膜,测试了冬凌草提取物对复合膜的厚度、力学性质、透光率和水蒸气透过率的影响,并考察了制备的复合膜对砂糖橘的保鲜效果。试验结果表明,冬凌草提取物能显著降低复合膜的透光率和水蒸气透过率,当其质量分数大于0.5%,会降低复合膜的机械性能。海藻酸钠-冬凌草提取物复合膜处理显著降低了砂糖橘贮藏期间的腐烂指数和失重率,减缓了可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸及V<sub>C</sub>含量的下降( $P<0.05$ ),具有较好的保鲜效果。

**关键词:**冬凌草提取物;海藻酸钠;复合膜;物理特性;砂糖橘;保鲜效果

## Preparation and Application of Alginate/*Rabdosia rubescens* Extract Composite Membrane

JIU Min<sup>1</sup>, MENG Yuan-yuan<sup>1</sup>, LI Gui-xia<sup>1</sup>, QI Long-sheng<sup>1</sup>, ZHONG Qiang<sup>1</sup>, WANG Lun-ji<sup>1,2,\*</sup>

(1. National Experimental Teaching Demonstration Center of Food Processing and Safety, College of Food and

Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, Henan, China; 2. Key

Laboratory of Microbial Resources Exploitation and Utilization, College of Food and Bioengineering, Henan

University of Science and Technology, Luoyang 471023, Henan, China)

**Abstract:** In order to obtain new degradable antimicrobial packaging material, the films were prepared by incorporated different volume fraction *Rabdosia rubescens* extract into alginate solution, and then the physical properties of film thickness, transparency, water vapor permeability and mechanical prop were studied. The fresh-keeping effect of the film on shatang mandarin was investigated. The results showed that *R. rubescens* extract had significant effects on the transparency and water vapor permeability of the film, when its mass fraction was more than 0.5%, it reduced the mechanical properties of the film. After coating with this film, preservation of shatang mandarin were measured by determining their sensory quality and quality index during the storage period. The results showed that the composite coating had better preservation effect, it could significantly decrease disease index and weight loss rate as well as decay fruit rate and delay the decrease of titratable acids, vitamin C, soluble sugar, and soluble solids content ( $P<0.05$ ).

**Key words:** *Rabdosia rubescens* extract; alginate; films; physical properties; shatang mandarin; preservation

引文格式:

纠敏, 孟媛媛, 李桂霞, 等. 海藻酸钠/冬凌草提取物复合膜的制备和应用[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(13): 133-137, 206

JIU Min, MENG Yuanyuan, LI Guixia, et al. Preparation and Application of Alginate/*Rabdosia rubescens* Extract Composite Membrane[J]. Food Research and Development, 2019, 40(13): 133-137, 206

基金项目: 河南省自然科学基金项目(182300410081); 河南省大学生创新训练项目(201810464039)

作者简介: 纠敏(1971—), 女(汉), 副教授, 硕士生导师, 博士, 研究方向: 天然产物开发与利用。

\* 通信作者: 汪伦记(1972—), 男(汉), 副教授, 硕士生导师, 博士, 研究方向: 天然活性成分功能与应用。

我国是世界上果蔬生产大国,也是消费大国。但果蔬生长的季节性强,新鲜果蔬水分含量多,采后生理活动旺盛,易破损腐烂,因此,给果蔬的采后处理、贮藏保鲜造成困难。由于贮藏不善,或生理与微生物病害的影响,往往导致大量果蔬的腐烂损失。在众多影响新鲜果蔬品质的因素中,采后病害引起的腐烂是导

致贮藏损失最重要的原因。目前,已发展出多种的果蔬贮藏保鲜技术,如冷藏保鲜<sup>[1-2]</sup>、气调贮藏<sup>[3]</sup>、化学方法保鲜<sup>[4-5]</sup>、涂膜保鲜<sup>[6-8]</sup>等。但目前生产实践中仍然主要依靠化学杀菌剂。杀菌剂的长期和大量使用,严重污染环境,有害于人类健康。因此,开发绿色、安全、高效的果蔬贮藏技术已迫在眉睫。

草本植物提取物,具有低毒高效、且残留少、环境友好、选择性强、病原菌难以产生抗药性。在可食用膜中添加草本植物提取物用于果蔬保鲜,具有明显的防腐效果,已成为开发新型涂膜保鲜剂的一个重要发展方向<sup>[9-10]</sup>。我国有丰富的中草药资源,许多中草药如大黄、黄连、五倍子等有广泛的杀菌抑菌性,对果蔬采后病菌有较好的抑制作用。目前,已有丁香、大黄、五倍子、高良姜、肉桂等提取液与其他保鲜物质间的复配物涂膜用于苹果、番荔枝、枇杷、梨等果实的贮藏保鲜,并取得良好效果的报道<sup>[11-14]</sup>。

冬凌草是我国的特色中草药,1972年从民间被发掘出来,其主要活性成分为冬凌草甲素<sup>[5]</sup>。冬凌草甲素为贝壳杉烯骨架的四环二萜类化合物,无色棱柱状结晶,味道极苦,不溶于水,溶于乙醚、甲醇、乙醇等有机溶剂,具有抗炎、抗菌、抗氧化和抗肿瘤等多种药理活性<sup>[6]</sup>。据研究,冬凌草对番茄灰霉病菌和苹果炭疽病菌等植物病原菌的菌丝生长和孢子萌发具有一定的抑制作用<sup>[7]</sup>。但是,目前有关冬凌草用于果蔬保鲜的研究鲜有报道。本文以海藻酸钠为成膜剂,冬凌草提取物作为抑菌剂,甘油为增塑剂,氯化钙作为交联剂,对海藻酸钠/冬凌草提取物复合膜的物理特性进行了分析,并考察了其对于砂糖橘的保鲜效果,以期冬凌草应用于果蔬的防腐保鲜提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料

冬凌草地上部分,采自河南省济源市,由河南科技大学食品与生物工程学院原江锋副教授鉴定,干燥后经中药粉碎机粉碎,过60目筛放入干燥器中备用;砂糖橘:市售,挑选大小、色泽均匀、无病、虫、伤的果实。

2,6-二氯酚靛酚、海藻酸钠、抗坏血酸、葡萄糖、氯化钡、草酸、葱酮、无水乙醇、甲醇、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、甘油、氯化钠等均为分析纯;国药集团化学试剂有限公司。

#### 1.1.2 主要仪器设备

BSA224S 电子天平:德国 Sartorius;UV752 紫外可见分光光度计:上海精密科学仪器有限公司;RE-5298

旋转蒸发仪:上海亚荣生化仪器厂;H-2050R 低温超速离心机:湖南湘仪离心机仪器有限公司;LDZX-30KBS 立式压力蒸汽灭菌锅:上海申安医疗器械厂;中药粉碎机:北京科伟永兴仪器有限公司;DHG-9246A 电热鼓风干燥箱:上海精宏实验设备有限公司;LRH-250F 生化培养箱:上海一恒科学仪器有限公司;SW-CJ-2D 超净工作台:上海苏净实业有限公司;螺距测微计:德国(masterproof)麦思德;Instron5544 型质构仪:美国 Instron 公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 冬凌草醇提物的制备

称取制备的冬凌草 30 g,放入回流装置的提取瓶中,加入 95%的乙醇 300 mL,把回流装置放入超声波发生器中进行超声乙醇回流提取,提取温度 40℃、每次提取时间 30 min、超声功率 150 W,提取 2 次,合并两次滤液,减压抽滤,滤液经 45℃旋转蒸发仪浓缩制得浸膏,浸膏经真空干燥制成固体粉末。

#### 1.2.2 海藻酸钠/冬凌草醇提物复合膜制备

称取 2 g 海藻酸钠溶解于 80℃ 100 mL 蒸馏水溶液中,充分搅拌至溶液澄清。冷却至 25℃左右,分别加入质量分数为 0.125%、0.25%、0.5%、1%和 2%的冬凌草醇提物,接着加入质量分数 1%的甘油,在磁力搅拌器上充分搅拌溶解,静置过夜脱气。然后取 10 mL 加入 18 cm×10 cm 的干净玻璃板上流延成膜,放入 40℃的烘箱中烘干,然后加入质量分数 2%的氯化钙交联 2 min,用蒸馏水冲洗干净,揭膜晾干,25℃下平衡 24 h 备用。

#### 1.2.3 海藻酸钠/冬凌草醇提物复合膜的物理特性分析

##### 1.2.3.1 复合膜厚度测定

使用精确度为 0.001 mm 的螺旋测微计在膜的中心及四角测厚度,求平均数,单位 mm。

##### 1.2.3.2 复合膜机械性能测定

根据参考文献[18]分别测定膜的抗拉伸强度(MPa)和断裂延伸率(%).对每个处理的样品做 3 平行。抗拉伸强度和断裂延伸率的公式分为式(1)和式(2)所示:

$$ST = \frac{Fm}{LW} \quad (1)$$

式中:ST 为抗拉伸强度,MPa;Fm 为膜断裂时承受最大拉力,N;L 为膜的厚度,m;W 为膜的宽度,m。

$$TS = \left( \frac{L_{\max}}{L_0} - 1 \right) \quad (2)$$

式中:TS 为断裂延伸率,%;L<sub>max</sub> 为膜断裂时达到最大长度,m;L<sub>0</sub> 为膜的初始长度,m。

##### 1.2.3.3 透光率测定

根据参考文献[19]测量复合膜透光率。每个处理

重复3次。复合膜的透光率公式为:

$$T/\% = \frac{T_r}{T_0} \times 100 \quad (3)$$

式中: $T_r$ 是薄膜在560 nm下的透过率; $T_0$ 是空白对照,为不放薄膜时比色皿的透过率(其透过率为100%)。

#### 1.2.3.4 水蒸汽透过率的测定

根据参考文献[20]测定复合膜的水蒸汽透过率(water vapor permeability, WVP), WVP计算公式为:

$$WVP = \frac{\Delta m \cdot X}{S \cdot \Delta P \cdot t} \quad (4)$$

式中: $X$ 为膜的平均厚度,mm; $S$ 为有效面积 $1.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ; $\Delta m$ 为两次质量之差,g; $t$ 为间隔时间,h; $\Delta P$ 为膜两侧的蒸汽压差,由于膜两侧环境湿度梯度为100%, $\Delta P=3.2 \text{ kPa}$ (22℃)。

#### 1.2.4 海藻酸钠/冬凌草提取物复合膜对砂糖橘保鲜效果的研究

试验分为3组,即未经涂膜处理的对照组(CK)、海藻酸钠涂膜组和冬凌草-海藻酸钠保鲜剂涂膜组。制备的涂膜溶液对砂糖橘浸泡3 min涂膜,自然风干。用0.004 mm带孔的聚乙烯包装,橡皮筋封紧袋口并标上记号,25℃左右贮藏。每组3个平行,每个平行10个砂糖橘<sup>[21]</sup>。

##### 1.2.4.1 贮藏效果测定

失重率:采用称重法。

失重率/ $\% = (\text{样品上一次质量} - \text{样的后一次质量}) / \text{样品初始质量} \times 100 \quad (5)$

好果率/ $\% = (\text{总果数} - \text{总烂果数}) / \text{总果数} \times 100 \quad (6)$

##### 1.2.4.2 果实品质分析

从每个处理中随机抽取10个果实,经捣碎机破碎,低温离心,取上清液进行果实品质分析。采用数显折光仪测定可溶性固形物含量,酸碱滴定法测定可滴定酸度,蒽酮比色法测定总糖含量,2,6-二氯酚靛酚滴定法测定抗坏血酸的含量<sup>[22]</sup>;每次平行测定10次,取平均值。

#### 1.2.5 数据处理

试验数据以 $\bar{x} \pm SD$ 的形式表示。统计采用SPSS18.0 for windows软件包,组间分析采用One-Way ANOVA两两比较得到相应的 $P$ 值, $P < 0.05$ 为显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 冬凌草提取物对复合膜厚度、透光率和水蒸气透过率的影响

海藻酸钠是一种从海带或藻类植物中提取的天然多糖,具有优良的成膜性、透气性、保湿性、生物降解性和生物相容性等优点,在果蔬的保鲜中常用作成膜

基质材料<sup>[23]</sup>。由于具有亲水性基团,其阻湿性较差,冬凌草醇提取物对复合膜厚度、透光率和水蒸气透过率的影响见表1。

表1 冬凌草醇提取物对复合膜厚度、透光率和水蒸气透过率的影响  
Table 1 Effect of *R. rubescens* extract on thickness, transparency and water vapor permeability of film

冬凌草醇提取物添加量/ $\%$	复合膜厚度/mm	复合膜透光率/ $\%$	水蒸气透过率/ $(\text{g} \cdot \text{mm}/\text{m}^2 \cdot \text{kPa} \cdot \text{h})$
0.125	0.024±0.003 <sup>a</sup>	86.40±1.82 <sup>a</sup>	0.216±0.005 <sup>a</sup>
0.25	0.027±0.002 <sup>a</sup>	82.00±1.58 <sup>a</sup>	0.181±0.008 <sup>ab</sup>
0.5	0.031±0.002 <sup>ab</sup>	76.20±1.92 <sup>b</sup>	0.135±0.008 <sup>b</sup>
1	0.034±0.003 <sup>b</sup>	64.20±2.28 <sup>c</sup>	0.117±0.004 <sup>c</sup>
2	0.035±0.002 <sup>b</sup>	44.00±2.23 <sup>d</sup>	0.101±0.004 <sup>c</sup>

注:同一列不同小写字母表示有显著性差异( $P < 0.05$ )。

从表1可以看出,添加不同质量浓度的疏水性较强的冬凌草提取物,能显著降低复合膜的水蒸气透过率( $P < 0.05$ )。应用于果蔬保鲜时,能通过降低果蔬气体交换,减小水分蒸腾,保持其饱满的外表与硬度。但随着冬凌草提取物添加量增加,复合膜的厚度逐渐增加,透光率显著下降( $P < 0.05$ )。膜厚度的增加会导致膜的脆性增加,给应用带来困难,同时也会导致膜制备的成本的增加。复合膜透光率的下降是由于冬凌草提取物呈现深绿色的缘故。

### 2.2 冬凌草提取物对复合膜机械特性的影响

拉伸强度和延展性是评价包装材料机械性能的重要指标<sup>[18]</sup>。海藻酸钠透湿性强,溶液具有一定黏度,具有良好的成膜性,形成的膜也具有较好的拉伸性能。冬凌草提取物对复合膜机械性能的影响见表2。

表2 冬凌草醇提取物对复合膜机械性能的影响

Table 2 Effect of *R. rubescens* extract on mechanical properties of film

冬凌草醇提取物添加量/ $\%$	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/ $\%$
0.125	19.44±2.40 <sup>a</sup>	24.8±0.84 <sup>a</sup>
0.25	23.04±1.49 <sup>ab</sup>	24.4±1.14 <sup>a</sup>
0.5	27.12±1.19 <sup>b</sup>	23.0±1.58 <sup>a</sup>
1	23.46±1.57 <sup>ab</sup>	20.4±1.14 <sup>ab</sup>
2	21.77±1.50 <sup>ab</sup>	18.0±1.22 <sup>b</sup>

注:同一列不同小写字母表示有显著性差异( $P < 0.05$ )。

由表2可知,添加冬凌草提取物改变了复合膜的拉伸强度和断裂伸长率。随着冬凌草提取物添加量的增加,复合膜的抗拉伸强度增大,这可能是由于冬凌草提取物的加入,通过分子间的相互作用,有利于海藻酸钠的规整排列,并使结晶发生了变化,但随着冬凌草添加量继续增加,其质量分数大于0.5%时,复合膜拉伸强度呈下降趋势,这可能由于冬凌草提取物的

添加量继续增加使得水分不能和增塑剂形成氢键,导致复合膜的含水量少故容易出现断裂,进而丧失应有的弹性,使得复合膜的抗拉伸强度下降。随着冬凌草提取物添加量的增加,复合膜的断裂拉伸率有所降低。这是由于冬凌草添加量的增加,海藻酸钠分子在成膜过程中的定向排列稳定性变强,最终形成的复合膜结构比较有序,且致密性高,刚性强。

王大海等<sup>[17]</sup>报道冬凌草中抑菌活性成分对灰霉菌和炭疽病菌等的菌丝生长和孢子萌发具有一定的抑制活性,其  $EC_{50}$  值在 668 mg/L~3 869 mg/L 之间。因此,复合膜应用于水果保鲜时,冬凌草提取物添加量少,导致抑菌活性成分不能有效抑制霉菌对砂糖橘的侵染;添加量过多,复合膜较厚,拉伸强度和断裂伸长率降低,会导致应用困难。综合考虑复合膜的抑菌活性、阻湿性和机械性能,选择添加质量分数为 1% 的冬凌草提取物制备的复合膜进行砂糖橘的保鲜试验。

### 2.3 海藻酸钠-冬凌草醇提物复合膜对砂糖橘贮藏效果的影响

水分是果实的主要成分,是衡量果实新鲜度、味道等一项重要指标。在果实贮藏期间,呼吸作用消耗果实体内的水分和蒸腾作用使果实水分减少,失重率不断的增加,影响水果的贮藏,缩短其贮藏时间<sup>[24]</sup>。海藻酸钠-冬凌草醇提物复合膜对砂糖橘贮藏效果的试验结果见图 1。

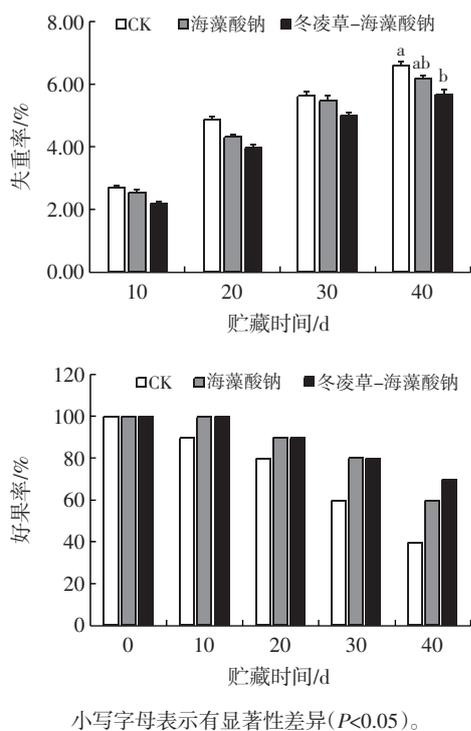


图 1 海藻酸钠-冬凌草醇提物复合膜对砂糖橘贮藏效果的影响  
Fig.1 Effect of alginate coating enriched with *R. rubescens* extract on storage of shatang mandarin

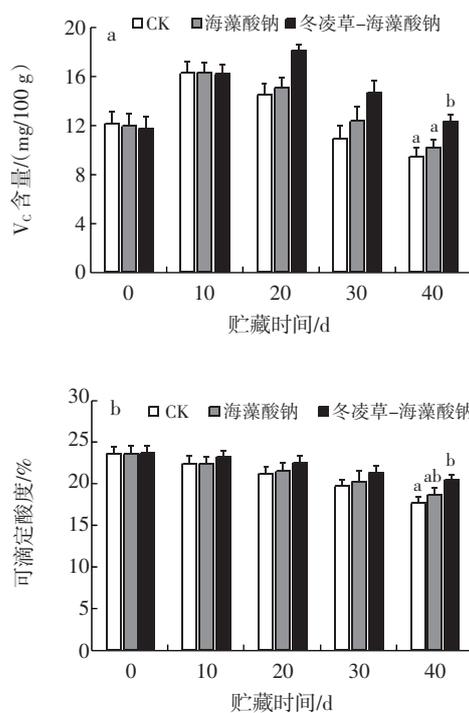
由图 1 可知,常温贮藏时各组砂糖橘失重率逐渐增加。其中,空白对照组的砂糖橘失重率明显高于其他处理组,贮藏至第 40 天时失重率已达到 6.8%。而冬凌草提取物复合涂膜组失重率一直处于较低的水平,到第 40 天时,失水率为 5.87%,保水效果最好( $P < 0.05$ )。

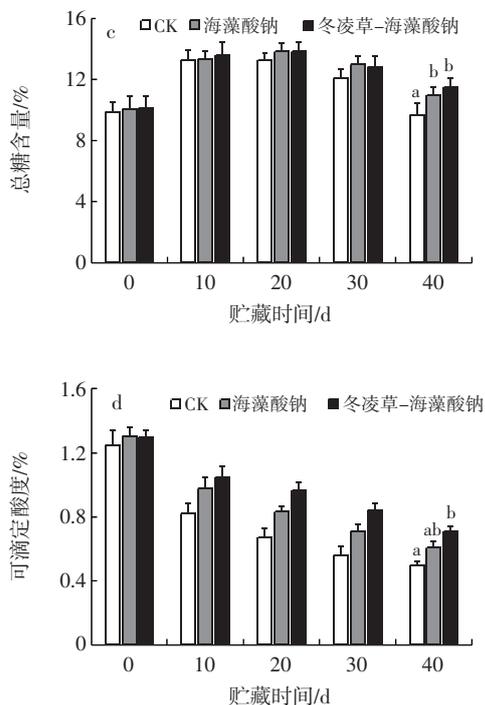
冬凌草提取物-海藻酸钠复合膜对砂糖橘好果率的试验见图 1。从图 1 可知,各组的好果率均呈现下降趋势。其中,空白对照组在第 10 天已出现腐烂现象,贮藏至 20 d 时,涂膜组砂糖橘均出现腐烂情况。贮藏至 40 d 时,空白对照组的好果率已下降至 62%,冬凌草提取物/海藻酸钠复合涂膜组的好果率为 88%,显著高于对照组。试验结果表明冬凌草提取物/海藻酸钠复合涂膜能更好地保持果实的质量,提高果实的好果率,延长果实的货架期。

### 2.4 海藻酸钠/冬凌草醇提物复合膜对砂糖橘贮藏品质的影响

$V_C$  对维持生物体正常的生理功能有重要作用,是人体必需的营养素,也是水果中含量较高的营养成分之一,水果的贮藏品质和维生素 C 的含量有密切关系。海藻酸钠-冬凌草醇提物复合膜对砂糖橘贮藏品质的影响见图 2,海藻酸钠-冬凌草醇提物复合膜对砂糖橘维生素 C 的含量影响见图 2a。

由图 2a 可以看出砂糖橘中  $V_C$  含量呈现先上升后下降的趋势,贮藏到 40 d 时,空白对照组的  $V_C$  含量为 9.23 mg/100 g,而复合涂膜组砂糖橘  $V_C$  含量和对照组





小写字母表示有显著性差异( $P < 0.05$ )。

图2 海藻酸钠-冬凌草醇提取物复合膜对砂糖橘贮藏品质的影响  
Fig.2 Effect of alginate coating enriched with *R. rubescens* extract on storage quality of shatang mandarin

相比存在显著的差异,高达 12.17 mg/100 g ( $P < 0.05$ )。

可溶性固形物是蔬果中用来衡量其营养成分的一个重要指标。海藻酸钠-冬凌草醇提取物复合膜对砂糖橘可溶性固形物的含量影响见图 2b。由图 2b 中可知,砂糖橘贮藏前期可溶性固形物会先增加,随着果实渐渐成熟,可溶性固形物不再增加,还会作为呼吸强度的能量来源而不断被消耗,贮藏后期可溶性固形物含量降低。在试验中,复合涂膜处理的砂糖橘贮藏到 40 d 时,可溶性固形物含量显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ),这表明,涂膜处理降低了砂糖橘的生理活性,延缓了果实的后熟过程。

糖是维持果实生理活性重要的能量,由图 2c 可知,砂糖橘中的总糖含量在贮藏过程中呈先上升再下降的变化,这是因为贮藏的砂糖橘,随着贮藏时间的延长而逐渐成熟,果实中相关成分转化为糖类,糖分逐渐积累到最高值,到后期由于呼吸作用的消耗,总糖含量开始下降。贮藏到 40 d 时,复合涂膜组砂糖橘的总糖含量高于对照组 ( $P < 0.05$ ),试验表明,冬凌草提取物和海藻酸钠复合膜能有效的延缓糖分的消耗。

复合膜对砂糖橘可滴定酸含量的影响见图 2d,由图 2d 可知,不同处理组砂糖橘可滴定酸含量在贮藏过程中呈下降趋势,这是由于果实贮藏期间合成酸的酶

活性下降,呼吸作用导致有机酸降解为其他小分子物质。复合涂膜组可滴定酸含量显著高于对照组,能减少总酸的降解量,延缓贮藏时间。

### 3 结论

本文研究了不同质量分数的冬凌草提取物对冬凌草提取物-海藻酸钠复合膜物理特性的影响。结果表明冬凌草提取物显著降低复合膜的透光率和水蒸气透过率 ( $P < 0.05$ )。在海藻酸钠中加入冬凌草提取物能改善复合膜的阻湿性,但其质量分数大于 0.5 % 时,会降低复合膜的机械性能。对制备的海藻酸钠-冬凌草提取物复合涂膜溶液对砂糖橘的保鲜试验结果表明,复合膜抑制了果实的采后腐烂及水分损失,失重率显著低于空白对照组 ( $P < 0.05$ ),同时延缓了可溶性固形物、可溶性糖的含量、可滴定酸及  $V_c$  含量的下降,具有较好的保鲜效果。

### 参考文献:

- [1] VINA, SZ, CHAVES AR. Antioxidant responses in minimally processed celery during refrigerated storage[J]. Food Chemistry, 2006, 94(1): 68-74
- [2] SIM HL, HONG YK, YOON WB, et al. Behavior of *Salmonella* spp. and natural microbiota on fresh-cut dragon fruits at different storage temperatures[J]. International Journal of Food Microbiology, 2013, 160(3): 239-244
- [3] SIMOES ADN, ALLEND A, TUDELA JA, et al. Optimum controlled atmospheres minimise respiration rate and quality losses while increase phenolic compounds of baby carrots[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(1): 277-283
- [4] CLIFF M, LOK S, LU CW, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on the sensory, visual, and analytical quality of greenhouse tomatoes[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 53(1): 11-15
- [5] FREIMAN ZE, RODOV V, YABLOVITZ Z. Preharvest application of 1-methylcyclopropene inhibits ripening and improves keeping quality of 'Brown Turkey' figs (*Ficus carica* L.)[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 138(1): 266-272
- [6] OMS-OLIU G, SOLIVA-FORTUNY R, MARTI-BELLOSO O. Using polysaccharide-based edible coatings to enhance quality and antioxidant properties of fresh-cut melon[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 1862-1870
- [7] BONILLA J, ATARES L, VARGAS M, et al. Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: possibilities and limitations[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 110(2): 208-213
- [8] 段丹萍, 鲁丽莎, 王海宏, 等. 果蔬涂膜保鲜技术研究现状与应用前景[J]. 保鲜与加工, 2009, 9(6): 1-6

- antioxidant properties of pullulan film containing sweet basil extract and an evaluation of coating effectiveness in the prolongation of the shelf life of apples stored in refrigeration conditions[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2014, 23: 171-181
- [33] Wu S J, Chen J H. Using pullulan-based edible coatings to extend shelf-life of fresh-cut 'Fuji' apples[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2013, 55: 254-257
- [34] Jafari S M, Khanzadi M, Mirzaei H, et al. Hydrophobicity, thermal and micro-structural properties of whey protein concentrate-pullulan-beeswax films[J]. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 2015, 80: 506-511
- [35] Bercea M, Biliuta G, Avadanei M, et al. Self-healing hydrogels of oxidized pullulan and poly(vinyl alcohol)[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2019, 206: 210-219
- [36] Liang Y P, Zhao X, Ma P X, et al. pH-responsive injectable hydrogels with mucosal adhesiveness based on chitosan-grafted-dihydrocaffeic acid and oxidized pullulan for localized drug delivery [J]. *Journal Of Colloid And Interface Science*, 2019, 536: 224-234
- [37] Chen F, Yu S, Liu B, et al. An Injectable Enzymatically Crosslinked Carboxymethylated Pullulan/Chondroitin Sulfate Hydrogel for Cartilage Tissue Engineering[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 20014
- [38] 陈宏洋, 张航, 李星星, 等. 生物素化乙酰普鲁兰多糖耦联 CD3 纳米粒的制备及 T 细胞摄取效应[J]. *医学研究生学报*, 2018, 31(10): 1014-1019
- [39] Ravi P R, Vats R, Balija J, et al. Modified pullulan nanoparticles for oral delivery of lopinavir: Formulation and pharmacokinetic evaluation[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 110: 320-328
- [40] Yuan L, Cao Y, Luo Q, et al. Pullulan-Based Nanoparticle-HSA Complex Formation and Drug Release Influenced by Surface Charge[J]. *Nanoscale Research Letters*, 2018, 13: 317
- [41] Mocanu G, Nichifor M, Picton L, et al. Preparation and characterization of anionic pullulan thermoassociative nanoparticles for drug delivery[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2014, 111: 892-900
- [42] Dionisio M, Cordeiro C, Remunan-Lopez C, et al. Pullulan-based nanoparticles as carriers for transmucosal protein delivery[J]. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2013, 50(1): 102-113
- [43] Wang X, Zhang D, Wang J, et al. Succinyl pullulan-crosslinked carboxymethyl chitosan sponges for potential wound dressing[J]. *International Journal Of Polymeric Materials And Polymeric Biomaterials*, 2017, 66(2): 61-70
- [44] Fernandes S C M, Sadocco P, Causio J, et al. Antimicrobial pullulan derivative prepared by grafting with 3-aminopropyltrimethoxysilane: Characterization and ability to form transparent films[J]. *Food Hydrocolloids*, 2014, 35: 247-252
- [45] Soni S R, Kumari N, Bhunia B K, et al. Synthesis and characterization of a non-cytotoxic and biocompatible acrylamide grafted pullulan-Application in pH responsive controlled drug delivery[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 120 (Pt A): 753-762

收稿日期:2019-02-05

(上接第 137 页)

- [9] CAMPOS CA, GERSCHENSON LN, FLORES SK. Development of edible films and coatings with antimicrobial activity [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2010, 4(6): 845-879
- [10] 马丽娜, 胡军华, 雷慧德. 草本植物提取物在果蔬贮藏中的研究进展[J]. *农药*, 2009, 48(4): 239-241, 264
- [11] 苟亚峰, 冯俊涛, 马志卿, 等. 丁香叶油及其与壳聚糖和 CaCl<sub>2</sub> 复配对砀山酥梨的保鲜效果[J]. *核农学报*, 2008, 22(5): 674-678
- [12] 孙允静, 饶景萍, 李珊珊, 等. 魔芋葡甘聚糖-中草药复合涂膜对嘎啦苹果贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(8): 264-268
- [13] 郭守军, 杨永利, 李少娟, 等. 中草药复合涂膜保鲜剂对枇杷的研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(7): 522-525
- [14] 潘显辉, 郭守军, 杨永利, 等. 中草药复合涂膜保鲜剂对番荔枝耐藏性的影响[J]. *食品科学*, 2009, 30(22): 373-378
- [15] CHEN S, GAO J, HALICKA HD, et al. The cytostatic and cytotoxic effects of Oridonin (Rubescenin), a diterpenoid from *Rubdosia rubescens*, on tumor cells of different lineage[J]. *International Journal of Oncology*, 2005, 26(3): 579-588
- [16] LI DH, HAN T, LIAO J, et al. Oridonin, a promising ent-kaurane diterpenoid lead compound [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, 17(9): 1395-1413
- [17] 王大海, 姬志勤, 魏少鹏, 等. 冬凌草中抑菌成分研究[J]. *农药*, 2010, 49(6): 410-412
- [18] 邹小波, 王圣, 石吉勇, 等. 天然花青素提取物与壳聚糖明胶复合膜的制备和表征[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(17): 294-300
- [19] 吕飞, 丁玉庭, 叶兴乾. 含肉桂油和 Nisin 的海藻酸钠薄膜保鲜黑鱼性能分析[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(5): 146-1
- [20] KHOSHGOZARAN-ABRAS S, AZIZI MH, HAMIDY Z, et al. Mechanical, physicochemical and color properties of chitosan based-films as a function of *Aloe vera* gel incorporation [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 87(3): 2058-2062
- [21] 解淑慧, 王维琴, 叶卫东, 等. 纳米 TiO<sub>2</sub>-壳聚糖复合涂膜对砂糖橘的保鲜效果[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(4): 219-223
- [22] 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
- [23] 高翠丽, 李传平, 李倩, 等. 海藻酸钠在食品保鲜中的应用研究[J]. *青岛大学学报(工程技术版)*, 2013, 28(1): 77-83
- [24] 赵珊, 贡汉生, 田亚晨, 等. 苯乳酸-海藻酸钠涂膜保鲜剂的制备及其在甜樱桃保鲜中的应用[J]. *食品科学*, 2018, 39(11): 221-226

收稿日期:2018-12-17