

## 海藻酸钠复合膜对带壳鲜莲贮藏品质的影响

Effect of sodium alginate composite film on preservation of  
shelled seed of Xiang lotus

李向红<sup>1,2</sup> 王建辉<sup>1,2</sup> 靳娜<sup>1,2</sup>

LI Xiang-hong<sup>1,2</sup> WANG Jian-hui<sup>1,2</sup> JIN Na<sup>1,2</sup>

刘永乐<sup>1,2</sup> 俞健<sup>1,2</sup> 王发祥<sup>1,2</sup>

LIU Yong-le<sup>1,2</sup> YU Jian<sup>1,2</sup> WANG Fa-xiang<sup>1,2</sup>

(1. 长沙理工大学食品与生物工程系, 湖南 长沙 410114;

2. 湖南省水生资源食品加工工程技术研究中心, 湖南 长沙 410114)

(1. Department of Food and Biological Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China; 2. Hunan Provincial Engineering Technology Research Center of Aquatic Food Resources Processing, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

**摘要:**以带壳鲜莲为研究对象,于 4℃贮藏条件下,以可溶性固形物含量(SSC)、净光合速率、多酚氧化酶(PPO)活力、过氧化物酶(POD)活力、莲壳色差及感官质量变化为评价指标,研究柠檬酸、EDTA-Na<sub>2</sub>及海藻酸钠不同配比复合膜对带壳鲜莲的护色保鲜效果,采用正交设计筛选保鲜效果最佳的保鲜剂配方。结果表明:复合膜的优化配方为柠檬酸 0.3%,EDTA-Na<sub>2</sub> 0.015%,海藻酸钠 2.5%。经该复合涂膜剂处理后,带壳鲜莲的贮藏品质明显提高,鲜莲净光合速率显著降低( $P<0.01$ ),SSC 和色泽( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ )变化显著减缓( $P<0.01$ ),W 值变化不显著( $P>0.05$ ),PPO 酶活性显著受抑( $P<0.01$ ),POD 酶活性受抑不显著( $P>0.05$ ),但对这两种酶类的活力高峰有一定延迟作用,从而提升带壳鲜莲的贮藏品质,延长其货架期。

**关键词:**带壳鲜莲;海藻酸钠复合膜;贮藏品质

**Abstract:** The effect of different composite films (citric acid, EDTA-Na<sub>2</sub> and alginate) on preservation of fresh lotus was studied. Soluble solids content (SSC), net photosynthetic rate, polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD) activities of fresh lotus seeds and color

variation of fresh lotus shell were investigated at the storage temperature of 4℃. Preservative formula with better preservation effect was selected through orthogonal design. The results showed that the best formula of the composite film was composed of 0.3% of citric acid, 0.015% of EDTA-Na<sub>2</sub> and 2.5% of alginate, which improved the quality of fresh lotus significantly. The composite film had extremely significant effects on SSC,  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  value, PPO activities and sensory quality of fresh lotus ( $P<0.01$ ), and inhibited the net photosynthetic rate of fresh lotus significantly ( $P<0.01$ ), but no significant effect on the W and peroxidase (POD) of fresh lotus ( $P>0.05$ ). These results indicated that the best sodium alginate-based composite film can maintain the storage quality at the maximum extent, and prolong the shelf life of fresh lotus seed.

**Keywords:** Xiang lotus seed with shell; alginate-based composite film; storage quality

鲜莲采收期短,采后不耐贮藏,常温下易软化皱缩,腐败变质,丧失其原有的鲜食风味,直接影响其感官品质及食用价值,采后低温(4℃)带蓬贮藏也仅能维持 15 d<sup>[1]</sup>。目前国内鲜莲研究处于起步阶段,对鲜莲的护色保鲜技术研究尚无报道。

在众多保鲜方法中,可食性膜具有减少果蔬水分损失、抑制呼吸、防止风味成分挥发、抑制褐变和微生物生长的优点<sup>[2]</sup>,海藻酸钠作为可食性膜之一,主要来源于海洋褐藻,由于其独特的胶体性质和生物相容性,被广泛应用于食品领域。Rojas-Grau 等<sup>[3]</sup>研究表明海藻酸钠可维持鲜切苹果较低的呼吸强度,减缓其腐烂进程。胡晓亮等<sup>[4]</sup>研究发现经海藻酸钠 1% 和溶菌酶 0.1% 处理后的马陆葡萄保鲜效果最

**基金项目:**“十二五”国家科技支撑计划项目(编号:2012BAD31B08);国家自然科学基金青年基金项目(编号:31301564,31201427,31101214);湖南省自然科学基金项目(编号:13JJ4054,12JJ6028);湖南省教育厅优秀青年项目(编号:14B009);湖南省教育厅产业化培育项目(编号:2015CY001)

**作者简介:**李向红(1979—),女,长沙理工大学副教授,博士。  
E-mail:xianghongl@163.com

**通讯作者:**刘永乐

**收稿日期:**2015-07-09

好。Tapia 等<sup>[5]</sup>对木瓜进行防腐保鲜研究发现,海藻酸钠 2%和结冷胶 0.5%可降低可溶性固形物损耗,抑制多酚氧化酶活性上升。采用海藻酸钠来保持果蔬品质,减少腐败的发生,已日益受到重视。柠檬酸有很好的防腐作用,且口感良好,EDTA-Na<sub>2</sub>则属于对酶活力有抑制作用的金属螯合类络合剂,能与果蔬中 PPO 的二价铜离子结合<sup>[6-8]</sup>。郑宝东等<sup>[8]</sup>研究表明单一的柠檬酸和 EDTA-Na<sub>2</sub>对速冻建莲 PPO 活性有明显抑制作用。以上几种单一保鲜剂虽然对果蔬的保鲜均具有一定作用,但是各种单一可食材料所成的膜均存在不同的缺陷<sup>[9]</sup>,因此,通过多种单一保鲜剂的组合筛选出最佳复配方案,对增强产品保鲜效果具有重要意义。本研究拟采用以上 3 种不同的可食涂膜材料复配成一种新型可食膜,通过研究经其处理后的带壳鲜莲贮藏品质,同步考察该复合涂膜剂的护色保鲜效果,旨在为鲜莲的贮藏和天然保鲜剂的应用提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜带壳莲子:由湖南省湘潭县湘莲种植基地提供。  
邻苯二酚:分析纯,天津市光复精细化工研究所;  
愈创木酚:分析纯,天津市化学试剂研究所;  
磷酸氢二钠、磷酸二氢钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;  
过氧化氢:分析纯,广东省化学试剂工程技术研究开发中心。

1.2 仪器与设备

九阳料理机:JYL-C012 型,九阳股份有限公司;  
手持糖量计:WYT 型,绍兴市杰联仪器有限公司;  
光合作用测定仪:Yaxin-1101 型,北京雅欣理仪科技有限公司;  
呼吸室:Yaxin-GHS-D1 型,北京雅欣理仪科技有限公司;  
测色色差计:WSC-S 型,上海仪电物理光学仪器有限公司;  
台式低速离心机:LD5-10 型,北京京立离心机有限公司;  
pH 计:DELTA 320 型,梅特勒—托利多(上海)有限公司;  
高速冷冻离心机:Centrifuge 5430R 型,Eppendorf 中国有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程

新鲜莲蓬→去蓬→精选→清洗→沥干→护色处理→沥干→涂膜处理→沥干→装袋→贮藏→定期取样

1.3.2 鲜莲原料处理 新鲜莲蓬,采摘后立即运送回实验室,去蓬,选取成熟度一致、大小均匀、无物理损伤的带壳鲜莲,经不同浓度柠檬酸和 EDTA-Na<sub>2</sub>护色液喷涂处理后,沥干,于不同海藻酸钠涂膜液中分别浸没 5 min,取出,置于网架,风干 2 h,分装于 0.04 mm 聚乙烯薄膜袋中,每袋 500 g,封口,于 RH 为 65%~70%,温度为 4℃恒温条件下贮藏,对照组鲜莲不经任何护色涂膜处理,封口于 4℃低温贮藏,试

验期间定期取样,测定鲜莲各项指标变化。

1.3.3 海藻酸钠复合膜液配方的优化 在鲜莲护色保鲜预试验基础上,进行海藻酸钠复合膜液配方的优化,采用 4 因素 3 水平 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)进行试验设计,具体见表 1、2,以贮藏期间各项生理和品质指标来评价鲜莲护色保鲜贮藏效果的优劣。

表 1 鲜莲护色保鲜试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of orthogonal test on formula of color protection and preservation of fresh lotus %

| 水平 | A 柠檬酸 | B EDTA-Na <sub>2</sub> | C 海藻酸钠 |
|----|-------|------------------------|--------|
| 1  | 0.2   | 0.005                  | 1.5    |
| 2  | 0.3   | 0.015                  | 2.0    |
| 3  | 0.4   | 0.025                  | 2.5    |

表 2 鲜莲护色保鲜复合膜配方的优化试验设计<sup>†</sup>

Table 2 Optimizing experiments on composite color protection and preservation of fresh lotus treatment

| 试验号 | A | B | C |
|-----|---|---|---|
| 1   | 1 | 1 | 1 |
| 2   | 1 | 2 | 2 |
| 3   | 1 | 3 | 3 |
| 4   | 2 | 1 | 2 |
| 5   | 2 | 2 | 3 |
| 6   | 2 | 3 | 1 |
| 7   | 3 | 1 | 3 |
| 8   | 3 | 2 | 1 |
| 9   | 3 | 3 | 2 |

<sup>†</sup> 对照组不经护色涂膜处理。

1.3.4 可溶性固形物含量(SSC)的测定 储藏期间鲜莲含糖量的测定参照文献[10],修改如下:取当天待测莲子去壳去芯研钵磨碎,料液比 1:1(m:V)混合,匀浆 10 s 后 4 000 r/min 离心 10 min,取上层汁液用 WYT 型手持糖量计测定,每个处理平行 3 次。

1.3.5 净光合速率的测定 测定前,将 Yaxin-1101 光合作用测定仪提前充电,闭路方式调零完毕后,取莲子 10 粒,置于呼吸室,待 CO<sub>2</sub>气体体积分数稳定之后,间隔 60 s,记录下样品 CO<sub>2</sub>初始体积分数和终止体积分数,每个样品平行测定 8 次,按式(1)求闭路系统的净光合速率 P<sub>n</sub>:

$$P_n = -\frac{V}{\Delta t} \times \frac{273.15}{T_a} \times \frac{P}{1.013} \times \frac{1}{22.41} \times \frac{10\,000}{A} \times (C_o - C_i) \times 10^{-3} \quad (1)$$

式中:

P<sub>n</sub>——净光合速率,μmol CO<sub>2</sub>/(m<sup>2</sup>·s);  
V——叶室容积与样品容积之差,L;  
Δt——间隔时间,s;  
T<sub>a</sub>——空气温度,K;  
P——大气气压,MPa;  
A——样品总面积,cm<sup>2</sup>;  
C<sub>o</sub>——终止时 CO<sub>2</sub>体积分数,%;  
C<sub>i</sub>——终止时 CO<sub>2</sub>体积分数,%。

1.3.6 外壳色差的测定 于待测当天,待仪器校正稳定后,取样品若干,绞碎外壳,均匀紧密平铺于测试盒内进行测定,记录莲子壳色泽变化,分别用明度  $L^*$ ,红绿色相  $a^*$  ( $+a^*$  表示偏红, $-a^*$  表示偏绿);黄蓝色相  $b^*$  ( $+b^*$  表示偏黄, $-b^*$  表示偏蓝),白度  $W$  表示。每个样品重复测定 5 次。

1.3.7 多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)活力测定

(1) 酶的提取:参照文献[11],修改如下:于取样当天,准确称取鲜莲 5.000 0 g,加少量聚乙烯吡咯烷酮及石英砂,以经预冷的 0.1 mol/L pH 值为 6.4 的磷酸缓冲液 10 mL 将其研磨,4 层纱布过滤后,于 0 ℃,12 000 r/min 离心 10 min,将上清液转至 25 mL 容量瓶,定容,4 ℃ 保存待用。

(2) PPO 活力的测定:于比色皿中加入 0.1 mol/L 邻苯二酚 2.8 mL,0.1 mol/L pH 值为 6.4 的磷酸盐缓冲液 0.2 mL,作为零对照;向另一比色皿中加入 0.1 mol/L 邻苯二酚 2.8 mL,待测酶液 0.2 mL,于 420 nm 处测定体系 180 s 内的吸光值,以每克鲜莲样品每分钟吸收度变化值增加 1 时为 1 个多酚氧化酶活性单位(U)。

(3) POD 活力的测定:于比色皿中加入 1.5% 的愈创木酚 0.5 mL,0.5%  $H_2O_2$  0.2 mL 及 0.1 mol/L pH 值为 6.4 的磷酸盐缓冲液 2.3 mL,作为零对照;向另一比色皿中加入 15% 愈创木酚 0.5 mL,0.5%  $H_2O_2$  0.2 mL,0.1 mol/L 磷酸缓冲液 2.3 mL,酶液 0.2 mL,于 470 nm 处测定体系 180 s 内的吸光值,以每克鲜莲样品每分钟吸收度变化值增加 1 时为 1 个过氧化物酶活性单位(U)。

1.3.8 鲜莲感官鉴评 感官评定参考文献[1],修改如下:组织食品专业人士 15 人,按照表 3 的评分标准定期对贮藏期间鲜莲感官(外观、风味、质感)进行独立评分。根据鉴评小组成员对指标的敏感程度,确定各项权重因子大小,均以感官评分平均值为感官综合评定结果。

表 3 鲜莲贮藏期间感官评分标准<sup>†</sup>

Table 3 The sensory scoring standard of fresh lotus during storage

| 等级及分值     | 外观             | 风味         | 质感  |
|-----------|----------------|------------|-----|
| 优(8~10 分) | 鲜绿色,无腐烂,无菌斑    | 清甜可口,新鲜味十足 | 质脆  |
| 中(4~7 分)  | 微黄色,轻微腐烂,部分有菌斑 | 甜味较淡,新鲜味不足 | 质微脆 |
| 劣(1~3 分)  | 黄褐色,有腐烂,有明显菌斑  | 强烈异味,无新鲜感  | 质软  |

<sup>†</sup> 权重因子:外观 0.4,风味 0.3,质感 0.3。

2 结果与分析

2.1 不同复合膜处理对鲜莲 SSC 的影响

可溶性固形物作为各营养物质变化的综合表现,其高低在一定程度上反映了贮藏过程中果蔬营养物质存留的多寡。由图 1 可知,随着贮藏时间的延长,复合膜组和空白组鲜莲 SSC 总体呈下降趋势,各复合膜组相对空白组鲜莲 SSC 下降更趋缓慢,复合膜处理能显著减缓鲜莲可溶性固形物的流失,有效维持鲜莲 SSC( $P<0.01$ ),其中复合膜组 5 效果最为

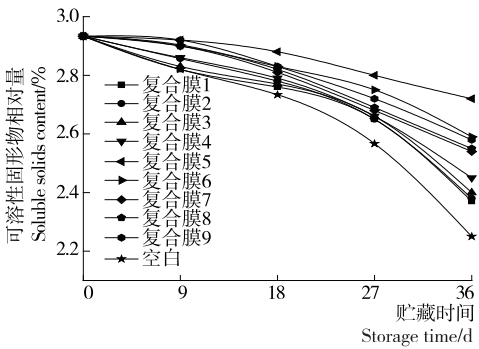


图 1 不同复合膜处理对鲜莲 SSC 的影响

Figure 1 Effects of different alginate-based coating treatment on SSC of fresh lotus seed

显著( $P<0.01$ );贮藏 27 d 时,空白组鲜莲外壳明显褐变,果实略有腐烂,SSC 为 2.57%,而复合膜组 5 为 2.80%,外观偏黄,腐烂不明显。可见,海藻酸钠复合膜可有效减少鲜莲可溶性固形物损失,在一定程度上维持鲜莲营养成分,延缓果实的衰败,且复合膜组 5 最佳。

2.2 不同复合膜处理对鲜莲净光合速率的影响

呼吸速率是影响果蔬货架期的主要因素。由图 2 可知,随着贮藏时间的延长,复合膜组和空白组鲜莲的净光合作用绝对值均逐渐减小,呼吸作用不断减弱,但复合膜处理组鲜莲净光合速率均小于空白组,从 9 d 之后均维持在较低水平,即 $-0.197 \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 左右,而空白组鲜莲 27 d 净光合速率为 $-0.29 \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,仍低于空白组 9 d 后鲜莲的净光合速率,即空白组贮藏期间呼吸作用持续高于复合膜各组,复合膜处理能显著抑制贮藏期间鲜莲的呼吸作用( $P<0.01$ ),其中复合膜组 5 抑制最为显著( $P<0.01$ )。可见,贮藏过程中海藻酸钠复合膜涂膜组呼吸速率明显受抑,可有效抑制带壳鲜莲的呼吸速率,减少鲜莲营养成分损失,延长鲜莲货架期,复合膜组 5 效果最好。

2.3 不同复合膜处理对鲜莲外壳色差的影响

由图 3 可知,贮藏期间鲜莲各复合膜组和空白组莲壳  $L^*$  值变化趋势大体相同,但趋势各异,第 9 天前空白组莲壳  $L^*$  值高于各复合膜组,可能是因为海藻酸钠成膜液本身略显黄色所至;随贮藏时间的延长,空白组鲜莲外观逐渐变暗,

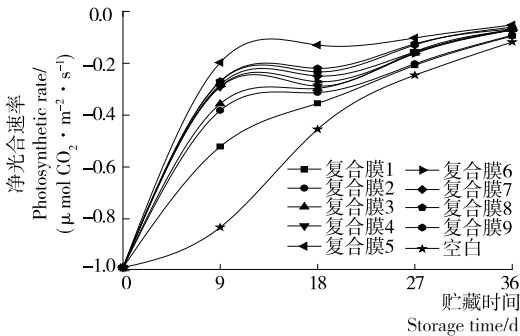


图 2 不同复合膜处理对鲜莲净光合速率的影响

Figure 2 Effects of different alginate-based coating treatment on net photosynthetic rate of fresh lotus seed

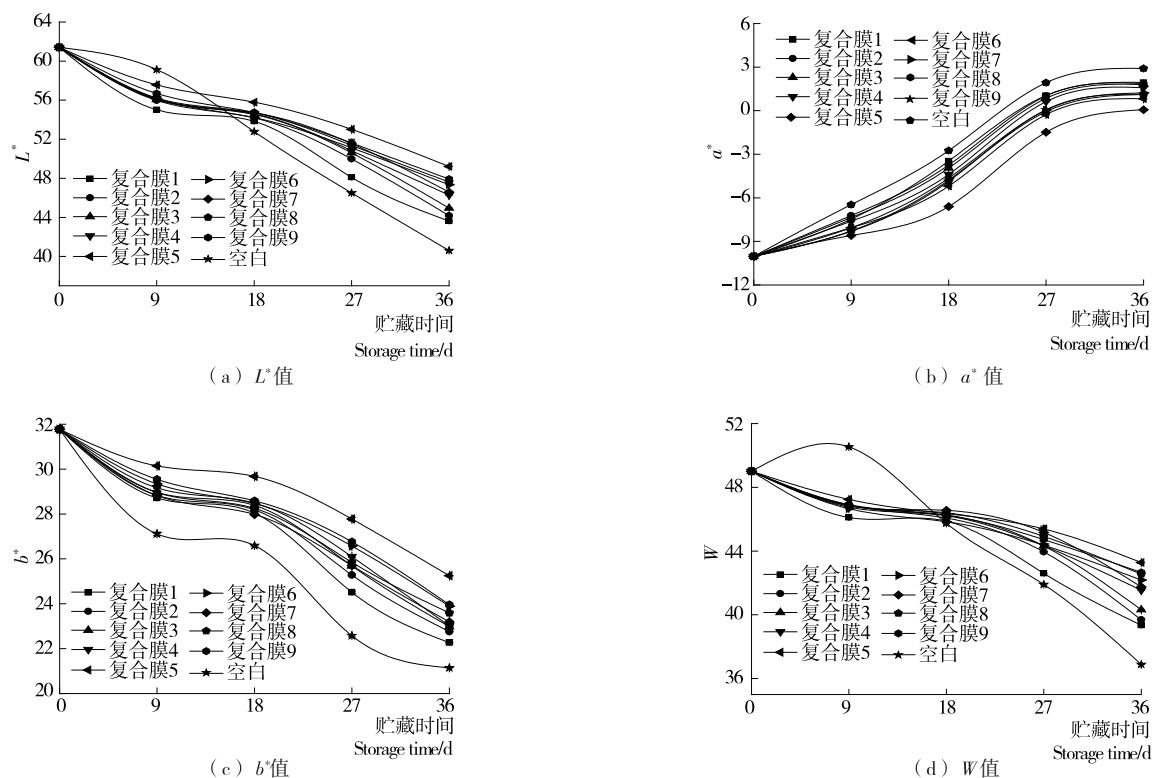


图3 不同复合膜处理对鲜莲莲壳  $L^*$  值、 $a^*$  值、 $b^*$  值和  $W$  值的影响

Figure 3 Effects of different alginate-based coating treatment on  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  and  $W$  of fresh lotus seed

失去光泽,  $L^*$  大幅下降。相对空白组, 各复合膜组尤其是组 5 显著减缓了  $L^*$  的下降速度 ( $P < 0.05$ )。随着贮藏时间的延长, 莲壳偏绿程度逐渐下降, 偏红程度愈加明显, 复合膜组和空白组鲜莲  $a^*$  值逐渐上升, 但各复合膜组上升幅度小于空白组, 以复合膜组 5 为优, 对莲壳  $a^*$  的上升抑制极显著 ( $P < 0.01$ )。各复合膜组, 尤其是组 5 显著减缓了莲壳黄色转变趋势 ( $P < 0.01$ )。随贮藏时间的延长, 莲壳色泽整体影响 ( $W$  值) 逐渐下降, 相较于空白组, 除复合膜组 1 之外, 其余各复合膜组鲜莲  $W$  值下降趋势较缓, 以复合膜 5 组  $W$  值下降最慢。总体而言, 海藻酸钠复合膜组, 尤其是组 5 有利于维持鲜莲的外观品质, 延长鲜莲货架期。

#### 2.4 不同复合膜处理对鲜莲 PPO 活力的影响

PPO 是引起果蔬产生酶促褐变, 导致腐败变质的重要因素<sup>[12]</sup>。在低温贮藏的初始阶段, 由于对低温的不适应, 鲜莲各组 PPO 活性呈略微下降趋势, 而随贮藏时间的延长, 酶活性逐渐得到适应性恢复并升高。由图 4 可知, 空白组 18 d 时 PPO 活力最大, 为 1 660.35 U, 而各复合膜组 PPO 活性高峰出现在 27 d, 较空白组有所推迟。贮藏期间, 复合膜处理明显延迟了鲜莲 PPO 活力高峰的出现, 显著降低了其高峰活力 ( $P < 0.01$ ), 其中, 以复合膜组 5 鲜莲 PPO 活性最低, 效果最为显著 ( $P < 0.01$ )。贮藏后期, 随着鲜莲组织的衰老, 各组鲜莲 PPO 活性逐渐减低。总之, 海藻酸钠复合膜在一定程度上抑制了鲜莲 PPO 活性, 推迟了鲜莲 PPO 活性高峰出现时间, 从而延缓了果实的衰败, 且复合膜组 5 较其它组抑制效果更明显。

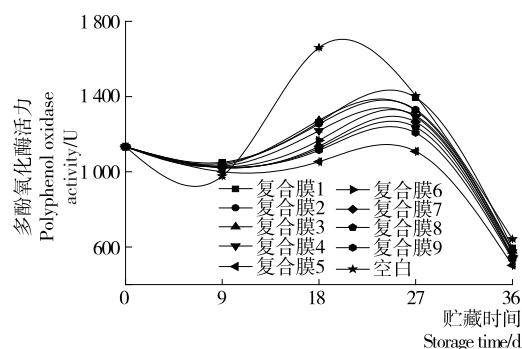


图4 不同复合膜处理对鲜莲多酚氧化酶(PPO)的影响

Figure 4 Effects of different alginate-based coating treatment on polyphenol oxidase(PPO) of fresh lotus seed

#### 2.5 不同复合膜处理对鲜莲 POD 活力的影响

POD 活性在果实贮藏过程中随时间延长而呈上升趋势, 可以看作是果实衰老的指标之一。由图 5 可知, 贮藏期间复合膜组与空白组鲜莲果实 POD 的活力变化趋势相同, 均呈先略微下降后升高再下降的趋势。贮藏前期, 为适应低温环境, 保持果实组织的正常代谢和生命力, 各组鲜莲果实 POD 活力均有所下降。之后空白组鲜莲 POD 活性上升较为迅速, 18 d 时鲜莲 POD 活性上升至 594.94 U, 而海藻酸钠复合膜各组鲜莲 POD 活性上升较为缓慢, 27 d 鲜莲果实 POD 酶活力上升至高峰, 其中复合膜组 5 鲜莲 PPO 活力上升最缓, 27 d 时 POD 活力为 529.43 U。贮藏后期各组鲜莲的 POD 活性逐渐降低, 可能缘于鲜莲果实组织代谢紊乱, 组



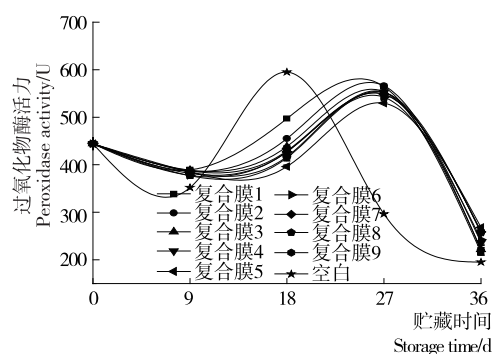


图 5 不同复合膜处理对鲜莲过氧化物酶(POD)的影响

Figure 5 Effects of different alginate-based coating treatment on peroxidase(POD) of fresh lotus seed

织逐渐衰老, POD 丧失了正常功能, 组织中过氧化氢的清理受阻而引起。贮藏期间, 海藻酸钠复合膜(尤其是复合膜组 5)处理在一定程度上推迟了 POD 活性高峰的出现, 延缓鲜莲衰老, 与 Jiang Juan 等<sup>[13]</sup>的研究吻合。

## 2.6 不同复合膜处理对鲜莲感官指标的影响

由图 6 可知, 各组鲜莲感官评分总体呈下降趋势, 采后鲜莲外表翠绿, 莲肉清甜可口, 新鲜质脆, 9 d 时各复合膜组因海藻酸钠自身颜色略带黄, 鲜莲外观几乎无明显变化, 亮度弱于空白组, 但风味更佳, 质感强于空白组; 18 d 时复合膜各组, 尤其是复合膜组 5 尚无菌斑, 质感较硬, 感官评分仍属鉴定等级中等(最高分值 7 分之上), 而空白组红化失鲜, 产生异味, 质地变软, 菌斑迅速增多, 贮藏期间空白组鲜莲感官评分降低较快; 随着贮藏时间的延长, 27 d 时空白组带壳莲子劣化加快, 出现萎蔫褐变, 红化严重, 异味加重, 各复合膜组质感、风味等感官品质也呈下降趋势, 但下降速率较空白组缓慢。贮藏期间, 各复合膜组, 尤其是组 5, 较空白组显著提升了鲜莲感官性能( $P < 0.01$ )。整体而言, 海藻酸钠复合膜能延缓鲜莲品质劣化, 延长带壳莲子贮藏期。各组鲜莲感官评分的变化与其他指标变化基本同步。

## 3 结论

本试验在预试验基础上, 采用正交方法设计了 9 组配方, 考察了各试验组在相同条件下贮藏的带壳鲜莲的 SSC、净光合速率、PPO 和 POD 活力、莲壳色差及感官质量变化, 旨在获得保鲜效果较佳的海藻酸钠复合保鲜剂。利用海藻酸钠复合膜低温贮藏的带壳鲜莲, 感官品质、净光合速率和可

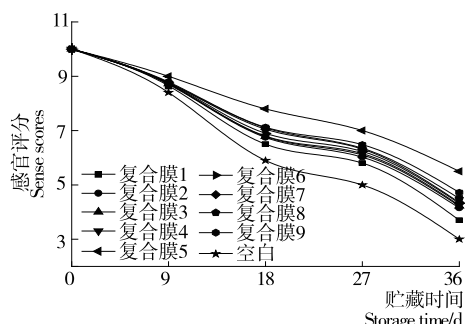


图 6 不同复合膜处理对鲜莲感官指标的影响

Figure 6 Effects of different alginate-based coating treatment on sensory quality of fresh lotus seed

溶性固性物均优于空白对照组, 说明该膜可有效抑制鲜莲呼吸作用, 防止营养成分流失, 起到护色保鲜作用。通过本试验优化筛选出了一种鲜莲贮藏保鲜技术工艺配方: 柠檬酸 0.3%, EDTA- $\text{Na}_2$  0.015%, 海藻酸钠 2.5%, 在一定程度上弥补了国内外研究各种单一可食材料所成的膜存在的缺陷, 为中国水生植物产业新技术的研究提供了理论依据, 但仍需进一步探索其他贮藏保鲜技术对鲜莲采后的影响, 为鲜莲采后贮藏产业化提供更广阔的平台。

## 参考文献

- 王建辉, 靳娜, 刘永乐, 等. 低温处理对湘莲采后生理变化的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 209~213.
- Albanese D, Cinquanta L, Di M M. Effects of an innovative dipping treatment on the cold storage of minimally processed Annurca apples[J]. Food Chemistry, 2007, 105(3): 1 054~1 060.
- Rojas-graü A, Tapia M S, Martin-belloso O. Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(1): 139~147.
- 胡晓亮, 周国燕. 海藻酸钠和溶菌酶复合涂膜对马陆葡萄贮藏的保鲜效果[J]. 食品科学, 2011, 32(20): 271~276.
- Tapia M S, Rojas-graü M A, Carmona A. Use of alginate-and gellan-based coatings for improving barrier, texture and nutritional properties of fresh-cut papaya [J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(8): 1 493~1 503.
- 卢影, 郑建仙. 复合护色液对鲜切苹果的防褐变研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(9): 1 024~1 028.
- Cheema S, Sommerhalter M. Characterization of polyphenol oxidase activity in Ataulfo mango [J]. Food Chemistry, 2015, 171: 382~387.
- 郑宝东. 莲子科学与工程[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 19~20.
- 万丽, 申琳, 赵丹莹, 等. 壳聚糖复合涂膜对鲜切冬枣安全性与贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(4): 277~281.
- 曹健康, 姜微波, 赵玉梅, 等. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 24~25.
- 庄远红, 刘静娜, 林娇芬, 等. 不同护色剂对冻藏双孢蘑菇片防褐效果的研究[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(4): 59~63.
- Sellés-marchart S, Casado-vela J, Bru-martinez R. Effect of detergents, trypsin and unsaturated fatty acids on latent loquat fruit polyphenol oxidase: Basis for the enzyme's activity regulation [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2007, 464(2): 295~305.
- Jiang Juan, Jiang Li, Luo Hai-bo, et al. Establishment of a statistical model for browning of fresh-cut lotus root during storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 92(6): 164~171.