

陈惠,王学军,宋居易,等.壳聚糖涂膜对蚕豆鲜荚采后生理及贮藏品质的影响[J].江苏农业科学,2018,46(24):220-223.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.061

# 壳聚糖涂膜对蚕豆鲜荚采后生理及贮藏品质的影响

陈惠,王学军,宋居易,王永强,吴春芳

(江苏沿江地区农业科学研究所,江苏如皋 226541)

**摘要:**研究不同浓度壳聚糖涂膜处理对蚕豆鲜荚采后生理及贮藏品质的影响。以蚕豆鲜荚为试验材料,壳聚糖浓度分别为 10、15、20 g/L 的溶液对蚕豆鲜荚进行涂膜处理,研究不同浓度的壳聚糖涂膜对采后蚕豆鲜荚多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO) 活性、褐变指数、质量损失率、硬度、维生素 C 含量、叶绿素含量的影响。壳聚糖涂膜处理抑制蚕豆鲜荚的 PPO 活性;减少其褐变指数、质量损失率、硬度的上升幅度;维生素 C 含量、叶绿素含量在整个贮藏阶段均高于对照。10 g/L 壳聚糖溶液涂膜处理蚕豆鲜荚的褐变指数、PPO 活性较低;而用 20 g/L 壳聚糖溶液涂膜处理的质量损失率最低,硬度变化及叶绿素含量损失较少。

**关键词:**蚕豆鲜荚;壳聚糖;采后生理;贮藏品质

**中图分类号:** S643.609+.3; TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0220-04

蚕豆 (*Vicia faba* L.), 别称胡豆、佛豆、利马豆等, 属豆科 (Leguminosae)、蝶形花亚科 (Papilionoideae)、野豌豆属 (*Vicia* L.)<sup>[1]</sup>。它营养丰富, 风味独特, 深受消费者青睐<sup>[2]</sup>, 是我国重要的豆类蔬菜之一。我国蚕豆常年播种面积在 100 万 hm<sup>2</sup> 左右, 产量在 150 万 ~ 200 万 t 之间<sup>[3]</sup>, 其中很大一部分用来以鲜荚形式直接进入市场。由于它采收期较短, 供应相对集中, 且多集中在高温季节, 在采摘后容易褐变、腐烂以及造成一些营养物质损失, 从而严重影响其质量品质及货架期。因

此蚕豆鲜荚贮藏有很大的经济效益, 其贮藏保鲜技术值得研究<sup>[4]</sup>。

近年来涂膜技术在果蔬贮藏保鲜中的应用日益受到重视, 它对于改善果蔬外观及内在品质, 延长果蔬产品的贮藏期和货架期都有重要的作用。随着科技的发展及生活水平的不断提高, 消费者对食品的营养性和安全性等提出了更高的要求, 使用何种涂膜材料既能够达到保鲜效果又能降低环境污染的问题引起人们的重视。食品科学界普遍认为, 开发具有良好的保鲜效果, 且安全性好、可生物降解的食品涂膜剂逐步成为研究的热点<sup>[5]</sup>。

壳聚糖作为一种新型的天然保鲜剂, 来源广泛, 无毒、无污染, 具有良好的生物安全性, 已有越来越多的科研人员致力于壳聚糖膜材料的研究<sup>[6]</sup>。以壳聚糖为主的涂膜保鲜技术应用研究较多, 如壳聚糖涂膜在黄瓜<sup>[7]</sup>、青椒<sup>[8]</sup>、猕猴桃<sup>[9]</sup>等多种果蔬上的研究<sup>[10-12]</sup>。目前, 国内外研究主要采用速冻、防腐剂处理, 热激处理, 包括涂膜等技术在蚕豆籽粒保鲜中应用<sup>[4, 13-15]</sup>, 而蚕豆鲜荚的保鲜研究未见报道。所以本试验立

收稿日期: 2017-07-13

基金项目: 江苏省南通市前沿与关键技术创新项目 (编号: MS22015022); 国家食用豆产业技术体系南通综合试验站项目 (编号: CARS-09-Z11); 江苏省农业科技自主创新资金 [编号: CX(18)2019]。

作者简介: 陈惠 (1975—), 男, 江苏海门人, 副研究员, 主要从事食品加工研究。E-mail: Chenwei55cn@sohu.com。

通信作者: 宋居易, 硕士, 主要从事食品加工及贮藏的研究工作。E-mail: songjuyi526@163.com。

[12] 姜雅静, 蔡皓, 刘晓, 等. 傅里叶变换红外光谱快速鉴别当归与硫磺熏蒸当归的研究 [J]. 中国中药杂志, 2012, 37 (8): 1127-1132.

[13] Barsberg S, Sanadi A R, Jorgensen H. A new density functional theory (DFT) based method for supporting the assignment of vibrational signatures of mannan and cellulose - analysis of palm kernel cake hydrolysis by ATR-FT-IR spectroscopy as a case study [J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 85 (2): 457-464.

[14] 赵海燕, 郭波莉, 魏益民, 等. 近红外光谱对小麦产地来源的判别分析 [J]. 中国农业科学, 2011, 44 (7): 1451-1456.

[15] Chylinska M, Szymanska - Chargot M, Kruk B A. Study on dietary fibre by Fourier transform - infrared spectroscopy and chemometric methods [J]. Food Chemistry, 2016, 196: 114-122.

[16] Schawe R, Fetzter I, Tönniges A, et al. Evaluation of FT-IR spectroscopy as a tool to quantify bacteria in binary mixed cultures [J]. Journal of Microbiological Methods, 2011, 86 (2): 182-187.

[17] 齐路明, 王元忠, 张霁, 等. 薯蓣属 5 种药食同源植物红外光谱鉴别研究 [J]. 食品研究与开发, 2016, 37 (8): 139-143.

[18] 向洋, 凌静. 山药淀粉的研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2009, 30 (1): 147-150.

[19] Wold S, Kettaneh N, Fridén H, et al. Modelling and diagnostics of batch processes and analogous kinetic experiments [J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 1998, 44 (1/2): 331-340.

[20] 袁玉峰, 陶站华, 刘军贤, 等. 红外光谱结合主成分分析鉴别不同产地黄柏 [J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31 (5): 1258-1261.

[21] 张新新, 李雨, 纪玉佳, 等. 主成分-线性判别分析在中药药性识别中的应用 [J]. 山东大学学报 (医学版), 2012, 50 (1): 143-146.

[22] 王晓慧. 线性判别分析与主成分分析及其相关研究评述 [J]. 中山大学研究生学刊 (自然科学、医学版), 2007, 28 (4): 50-61.

足于国内蚕豆产业的现状,研究在低温下,不同浓度壳聚糖涂膜对蚕豆鲜荚的采后生理、营养物质等的影响,为其贮藏技术的发展提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

原料:蚕豆鲜荚,采自江苏沿江地区农业科学试验田;盐酸、丙酮,分析纯。

### 1.2 设备与仪器

DS-1 型高速组织捣碎机,上海标本模型厂;Kangguang SC-80C 型全自动测色色差计,北京康光仪器有限公司;UV-2100 紫外可见分光光度计,尤尼柯(上海)仪器有限公司;EL204 电子天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

### 1.3 方法

1.3.1 壳聚糖涂膜液的制备 称取一定量壳聚糖加入水中,边搅拌边滴加冰乙酸,直至全部溶解,然后用氢氧化钠(NaOH)调节 pH 值至 5~6,加入 0.05% 吐温-20,搅拌均匀,得到透明的保鲜剂溶液,备用。

1.3.2 贮藏试验设计 选取新鲜无损伤蚕豆鲜荚样品,浸没于壳聚糖涂膜液中 5 s,然后在 4℃ 下风干;每个处理组样品控制在 1 000 g,放入 4℃ 低温箱中,从贮藏期开始每隔 4 d 随机取样 1 次,测定相关生理生化指标,每个组重复 3 次。

1.3.3 腐烂指数测定<sup>[16]</sup> 腐烂率指数表示褐变的严重程度,先按豆荚上褐斑面积的大小,将褐变程度分为 4 级,即 0 级无褐斑出现,1 级褐斑面积在 20%,2 级褐斑面积在 20%~40%,3 级褐斑面积超过 40%,然后按下式计算腐烂指数。

腐烂率 =  $\sum[(\text{褐变级别} \times \text{该级豆荚数}) / \text{总豆荚数}] \div 3 \times 100\%$ 。

1.3.4 多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)活性<sup>[17]</sup> 准确称蚕豆鲜荚 5.0 g,加入 4 倍体积的 0.05 mol/L、pH 值为 7.0 的磷酸缓冲液(含 1% PVPP),冰浴研磨 10 min 后,于 4℃ 下 12 000 × g 离心,上清液即为粗酶液。

取 0.2% 的邻苯二酚溶液 3 mL,加 0.8 mL 的 0.1 mol/L、pH 值为 7.0 的磷酸缓冲液,再加入 2 mL 的粗酶液,在 525 nm 处测定吸光度,每 60 s 记录 1 次,共记录 3 min。每克样品每分钟吸光度变化 0.001 为 1 个酶活力单位(U),结果以 U/g 表示。

1.3.5 质量损失率 每隔 4 d 进行蚕豆荚贮藏期间质量损失率的测定,由下式得出蚕豆鲜荚的质量损失率。

$$\text{质量损失率} = \frac{\text{贮前质量} - \text{贮后质量}}{\text{贮前质量}} \times 100\%。$$

1.3.6 叶绿素含量的测定 采用双波法测定<sup>[18]</sup>,将蚕豆清洗整理,称取 5.0 g 左右至研钵中,加入少量碳酸钙中和细胞溶液中的有机酸,再加入 80% 丙酮,研磨成匀浆。在玻璃漏斗底部垫一小团脱脂棉,将匀浆通过脱脂棉过滤到 100 mL 的容量瓶中,用 80% 的丙酮冲洗残渣使之无色,再用 80% 的丙酮定容到 100 mL,即得叶绿素的 80% 丙酮提取液。以 80% 的丙酮溶液作空白,于 663、645 nm 处测得吸光度分别为  $D_{663 \text{ nm}}$  和  $D_{645 \text{ nm}}$ ,代入方程:

$$\text{总叶绿素含量}(\text{mg}/100 \text{ g}) = \frac{(20.2 \times D_{645 \text{ nm}} + 8.02 \times D_{663 \text{ nm}}) \times V \times n}{m}。$$

式中: $m$  为称取的样品质量(g); $V$  为提取液体积(mL); $n$  为稀释倍数; $D_{645 \text{ nm}}$  为样品管在 645 nm 处的吸光度; $D_{663 \text{ nm}}$  为样品管在 663 nm 处的吸光度。

1.3.7 维生素 C 含量的测定 使用紫外快速测定法,以维生素 C 含量作标准曲线( $y = 0.898x - 0.003$ ,  $r^2 = 0.999$ )。称取剪碎混匀的蚕豆籽粒 5.0 g,加入 5 mL 1% 盐酸匀浆,转移至 25 mL 容量瓶中,稀释定容。离心(10 000 r/min)10 min 后,取 0.2 mL 上清液,加入盛有 0.2 mL 10% 盐酸的 10 mL 容量瓶中,定容后以蒸馏水为空白,在 243 nm 处用紫外分光光度计测定吸光度,根据标准曲线,计算维生素 C 含量。

1.3.8 硬度测定<sup>[19]</sup> 采用 GY-1 型果实硬度计测定。每处理分别取 3~5 个蚕豆籽粒,硬度计探针垂直指向果实并施加压力直至探头顶端压入果肉为止,读出指针所显示的最大值。求出每个果实的平均硬度。

1.3.9 数据处理 各指标重复测定 3 次,由 SPSS 17.0 分析处理,数据所得的图由 Excel 绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 壳聚糖对蚕豆鲜荚褐变指数的影响

褐变是蚕豆鲜荚在采摘后极易发生的一种现象,其程度也是蚕豆商品性的一个重要指标。由图 1 可知,随着贮藏时间的增长,蚕豆鲜荚的褐变指数也在上升。在贮藏 0~8 d 中,各处理间的褐变指数值相近;贮藏 8 d 后,对照的褐变指数值高于其余处理;当贮藏 20 d 时,对照褐变指数达 22.2%,且与其余各处理差异明显。在整个贮藏过程中,经壳聚糖涂膜处理的褐变指数的差异不明显,在贮藏 8 d 后 10 g/L 处理的褐变指数均低于其他处理。这主要是因为壳聚糖涂膜处理在一定程度上可以减弱呼吸,延缓后熟,同时壳聚糖还具有抑制蚕豆鲜荚病原菌的作用,因此,能够降低褐变指数。

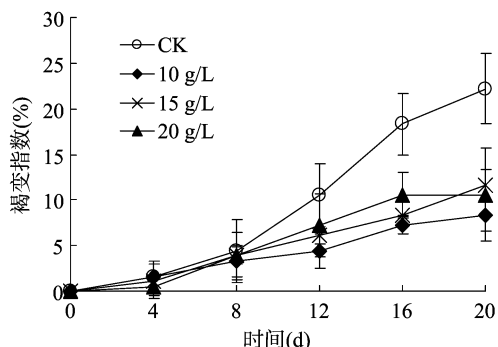


图1 不同浓度壳聚糖溶液对蚕豆鲜荚褐变指数的影响

### 2.2 壳聚糖对 PPO 活性的影响

多酚氧化酶(PPO)是果蔬发生酶促褐变的主要因素之一。由图 2 可知,在贮藏期间,PPO 活性先增加后下降。对照的 PPO 活性高于其余各处理,且与其余各处理的差异明显;10、15、20 g/L 的处理间的差异不明显,但 10 g/L 的 PPO 活性相对较低。

### 2.3 壳聚糖对蚕豆鲜荚质量损失率的影响

果蔬失水会引起形态、质地等多方面的变化,会降低果蔬的新鲜度。蚕豆鲜荚采收后含水量高,但由于组织幼嫩,呼吸作用旺盛,导致水分蒸发,当失水过多时,会造成其萎蔫失鲜、品质下降等,质量损失率可以作为衡量其保鲜效果的一个重

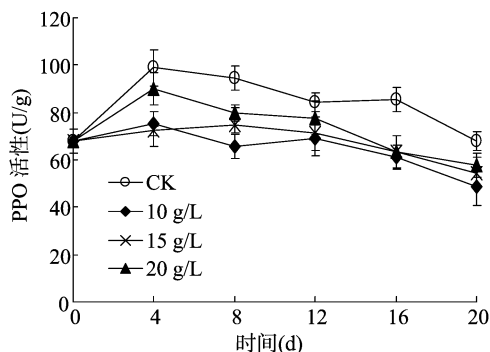


图2 不同浓度壳聚糖溶液对蚕豆鲜荚 PPO 活性的影响

要指标<sup>[20]</sup>。由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,蚕豆鲜荚的质量损失率逐渐增大。其中对照组的损失率大于同期的各处理,在贮藏 20 d 时,达 8.19%,且与其他处理间的差异明显。在整个贮藏期间,20 g/L 处理的质量损失率相对较低,但与 10、15 g/L 处理间差异不明显。由此可知,壳聚糖涂膜处理可以明显减小蚕豆鲜荚质量损失率。

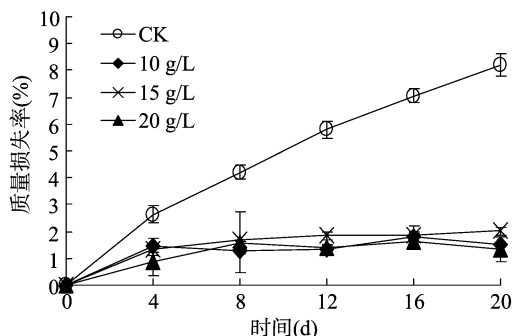


图3 不同浓度壳聚糖溶液对蚕豆鲜荚质量损失率的影响

#### 2.4 壳聚糖对蚕豆籽粒硬度的影响

硬度是果蔬的一个重要品质指标,一般认为硬度变化越小,其贮藏品质越好<sup>[21-22]</sup>。由图 4 可知,在贮藏过程中,蚕豆籽粒的硬度总体上呈上升的趋势,在贮藏 16 d 后,对照的硬度高于其余各处理,且有不断加大趋势。20 g/L 处理的硬度变化最小,说明 20 g/L 壳聚糖涂膜处理效果较好,能更好地延缓蚕豆硬度的上升。另外,各处理在贮藏期间的蚕豆硬度有所增加,这主要与木质化败坏有关<sup>[23]</sup>。

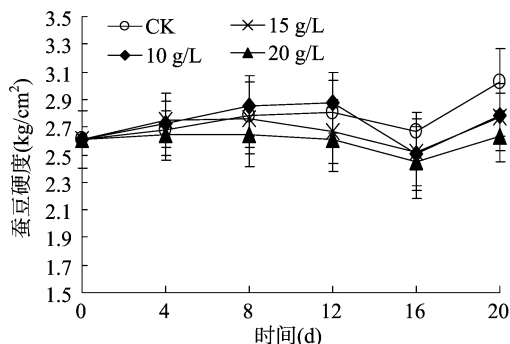


图4 不同浓度壳聚糖溶液对蚕豆籽粒硬度的影响

在贮藏过程中,蚕豆籽粒的硬度逐渐增加,主要是因为其纤维素与木质素含量都逐渐增加,导致蚕豆变硬<sup>[24]</sup>,目前关于木质素生成的主要途径是苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, PAL)、过氧化物酶(peroxidase, POD)负责催

化木质素单体生成木质素大分子,或 PPO 酶参与氧化酚类物质,从而促进木质素的合成<sup>[25]</sup>。

#### 2.5 壳聚糖对蚕豆籽粒维生素 C 含量的影响

维生素 C 是蚕豆籽粒的营养成分之一。由图 5 可知,在贮藏期间,各处理的维生素 C 含量均呈先下降后上升再下降的趋势。在贮藏期间,对照的维生素 C 含量均低于其余各处理,且与各处理间的差异明显。10 g/L 处理的维生素 C 含量相对优于其他的涂膜处理,但与它们之间的差异不明显。说明壳聚糖涂膜处理可有效降低蚕豆籽粒维生素 C 含量的损失。

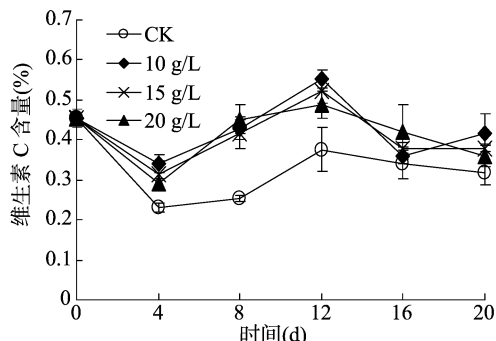


图5 不同浓度壳聚糖溶液对蚕豆鲜荚的维生素C含量的影响

#### 2.6 壳聚糖对蚕豆籽粒叶绿素含量影响

绿色蔬菜中绿色主要来源于叶绿素<sup>[26]</sup>,一般认为,经处理的果蔬与其新鲜状态下的叶绿素含量越接近,其贮藏品质就越好。由图 6 可知,贮藏期间经各处理的蚕豆叶绿素含量大体上先下降,在贮藏后期有轻微的上升。各处理在贮藏 4 d 叶绿素含量相比 0 d 急剧下降,在 4 d 后总体变化平缓。20 g/L 的壳聚糖涂膜处理效果较好,能更好地维持叶绿素的含量。

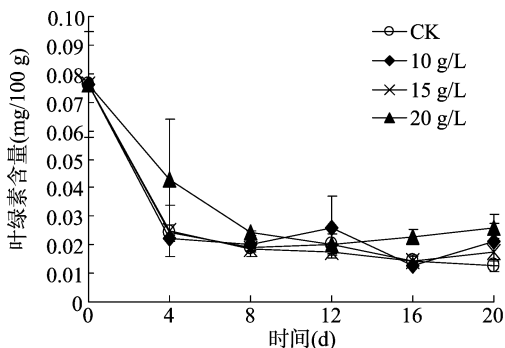


图6 不同浓度壳聚糖溶液对蚕豆鲜荚叶绿素含量的影响

### 3 讨论与结论

蚕豆鲜荚在贮藏过程中色泽比较容易褐变,而在荚内的蚕豆粒色泽变化则较为缓慢,如果剥去豆荚,其豆粒褐变速度则较快,这说明蚕豆外荚对其籽粒有一定的保护作用。而不同浓度的壳聚糖涂膜液对果蔬的保鲜效果有很大影响,浓度太低,不能形成完整的膜,起不到保鲜作用,反之,则成膜过厚或不均匀,导致其变质速度加快。

PPO 是引起果蔬褐变最为重要的酶,本试验显示,经壳聚糖涂膜处理的 PPO 活性明显低于对照,是由于壳聚糖溶液涂膜处理,在蚕豆鲜荚的表面形成半透膜,对  $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{C}_2\text{H}_4$  选择性渗透<sup>[27]</sup>,从而使 PPO 的活性受到一定程度的抑制<sup>[28]</sup>。另外,处理组的 PPO 活性、褐变指数均低于对照,说明 PPO 活

性越小,其褐变指数也随之减少<sup>[21]</sup>。壳聚糖涂膜处理可以明显减小蚕豆鲜荚质量损失率,这主要是由于壳聚糖涂膜处理可以在蚕豆鲜荚表面形成一层透明的薄膜,从而阻碍水分的散失及其的皱缩。这与壳聚糖涂膜处理能有效地控制失水作用研究结果<sup>[11,29-30]</sup>相一致。维生素 C 含量是果蔬重要的一个品质指标,在贮藏期间,涂膜处理的维生素 C 含量均高于对照,主要是因为涂膜能降低其呼吸作用,使蚕豆的衰老延迟<sup>[31]</sup>;贮藏 12 d 时,维生素 C 含量有所增加,可能是因为维生素 C 参与呼吸作用小于合成。叶绿素容易降解,在贮藏期间果蔬的叶绿素含量是逐渐减少的。本试验结果表明,经涂膜处理的叶绿素含量均高于对照,主要是因为蚕豆鲜荚在壳聚糖涂膜处理后,相当于微环境下的自发气调贮藏(modified atmosphere storage,MA),随着 CO<sub>2</sub> 浓度的升高,叶绿含量降解减缓,这与 Kittur 等的研究<sup>[32]</sup>基本一致。在贮藏试验期间,叶绿素含量出现了少量的回升,这可能是因为成熟的蚕豆组织具有合成叶绿素的能力,可以补偿其叶绿素的降解<sup>[33]</sup>。

在低温下,采用不同浓度的壳聚糖涂膜液处理蚕豆鲜荚,测定相关生理及品质指标,壳聚糖涂膜处理抑制蚕豆鲜荚的 PPO 活性;减少其褐变指数、质量损失率、硬度的上升幅度;维生素 C 含量、叶绿素含量在整个贮藏阶段均高于对照。其中 10 g/L 壳聚糖溶液涂膜处理蚕豆鲜荚的褐变指数、PPO 活性均较低;而 20 g/L 壳聚糖溶液涂膜处理的质量损失率最低,叶绿素含量损失及硬度变化较少。

#### 参考文献:

- [1] 郑卓杰. 中国食用豆类学[M]. 北京:中国农业出版社,1997.
- [2] 柴 岩. 中国小杂粮产业发展报告[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- [3] 郭永田. 中国食用豆产业的经济分析[D]. 武汉:华中农业大学,2014.
- [4] 张 兰. 蚕豆采后生理及保鲜技术研究[D]. 南京:南京农业大学,2003.
- [5] 刘晓菲. 壳聚糖/蒙脱土复合膜的制备及性能研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2011.
- [6] 陈志周,牟建楼,臧 蕊,等. 壳聚糖的成膜性及其在食品保鲜、包装上的应用[J]. 纤维素科学与技术,2004,12(3):43-7.
- [7] 袁 唯,邵金良,焦凌梅,等. 壳聚糖涂膜处理黄瓜保鲜作用的研究[J]. 中国食品添加剂,2005(4):18-21.
- [8] 连玉晶. N,O-羧甲基壳聚糖涂膜保鲜剂在油豆角上的应用研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2003.
- [9] Smilanick J L, Denisarrue R. Control of green mold of lemons with *Pseudomonas* species[J]. Plant Disease, 1992, 76(5):481-485.
- [10] 葛水莲,陈建中,李丹花,等. 壳聚糖太行菊精油涂膜对圣女果保鲜效果研究[J]. 食品科技,2017(2):33-37.
- [11] 赵春燕,叶春苗,李成莹,等. 壳聚糖复合涂膜处理对采后杏鲍菇贮藏品质影响[J]. 食品研究与开发,2017(3):202-207.
- [12] 祁岩龙,廖新福,孙丽娜,等. 壳聚糖涂膜对甜瓜采后生理及品质的影响[J]. 新疆农业科学,2011,48(1):116-122.
- [13] 庄应强,费伟英,屠娟丽,等. 9 个鲜食蚕豆品种低温保鲜比较试验[J]. 安徽农学通报,2014(24):130-131.
- [14] 陈 惠,唐明霞,袁春新,等. 响应面法优化速冻蚕豆的微波烫漂工艺[J]. 浙江农业学报,2013,25(6):1373-1377.
- [15] 贾西灵,杨志漠,郭青范,等. 壳聚糖处理对青蚕豆贮藏品质的影响[J]. 北方园艺,2013(12):132-135.
- [16] 郑永华,席巧芳. 枇杷薄膜包装贮藏效果研究[J]. 食品科学,2000,21(9):56-58.
- [17] Amcn R, Ammb M. Influence of controlled atmosphere storage on polyphenoloxidase activity in relation to colour changes of minimally processed ‘Jonagored’ apple [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2001, 36(4):425-432.
- [18] 汪志国,王 静,李国刚. 双波长分光光度法同时测定叶绿素 a、b[J]. 中国环境监测,1999(5):21-22.
- [19] 魏宝东,姜炳义,冯 辉. 番茄果实货架期硬度变化及其影响因素的研究[J]. 食品科学,2005,26(3):249-252.
- [20] Tzoumaki M V, Biliaderis C G, Vasilakakis M. Impact of edible coatings and packaging on quality of white asparagus (*Asparagus officinalis* L.) during cold storage[J]. Food Chemistry, 2009, 117(1):55-63.
- [21] 杨文侠. 哈密瓜涂膜保鲜机理的研究[D]. 北京:中国农业大学,2005.
- [22] 陈 惠,唐明霞,宋居易,等. 烫漂对蚕豆感官品质及过氧化物酶活性的影响[J]. 江苏农业学报,2015,31(3):708-710.
- [23] 杨震峰,王臻哲,金 鑫. 贮藏温度对“宁海白”和“大红袍”枇杷果实品质的影响[J]. 食品科学,2010,31(20):481-484.
- [24] 罗自生. 采后竹笋木质化与内源激素的关系[J]. 中国农业科学,2006,39(4):792-797.
- [25] Campbell M M, Sederoff R R. Variation in lignin content and composition (mechanisms of control and implications for the genetic improvement of plants) [J]. Plant Physiology, 1996, 110(1):3-13.
- [26] 姚晓敏,孙向军,王建强. 绿色蔬菜的脱色机理及护色方法[J]. 食品工业科技,2000,21(5):19-20.
- [27] 袁 志,王明力. 壳聚糖在果蔬贮藏保鲜中的应用研究[J]. 贵州农业科学,2009,37(7):145-147.
- [28] 庞 杰,邹少强,李艺雄,等. 生物保鲜膜低温贮藏龙眼及其保鲜机理[J]. 延边大学农学报,2000(4):250-255.
- [29] Jiang T, Feng L, Li J. Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) treated with chitosan-glucose complex coating under cold storage [J]. Food Chemistry, 2012, 131(3):780-786.
- [30] 邱 苗. 壳聚糖对绿芦笋保鲜和抑菌机理的研究[D]. 杭州:浙江工商大学,2013.
- [31] 刘灿明,熊远福,罗华云. 壳聚糖保鲜椪柑的机理与效果研究[J]. 食品研究与开发,2004,25(2):53-55.
- [32] Kittur F, Saroja N, Habibunnisa, et al. Polysaccharide-based composite coating formulations for shelf-life extension of fresh banana and mango [J]. European Food Research and Technology, 2001, 213(4):306-311.
- [33] Suzuki K, Takeda H, Tsukaguchi T, et al. Ultrastructural study on degeneration of tapetum in anther of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under heat stress [J]. Plant Reproduction, 2001, 13(6):293-299.