

# 壳聚糖处理延缓采后菜豆豆荚纤维化的研究

缪颖 田维娜 郝长敏 饶雷 曹建康 姜微波\*

(中国农业大学 食品科学与营养工程学院,北京 100083)

**摘要** 以菜豆豆荚为供试材料,探讨1、5和10 g/L壳聚糖涂膜处理对采后菜豆豆荚纤维化的影响。结果表明:壳聚糖涂膜处理能减缓采后菜豆豆荚切割力的增加速度,抑制粗纤维的合成进程。贮藏至第8天,经10 g/L壳聚糖处理的菜豆豆荚其切割力比对照组低12.5%,粗纤维质量分数比对照组低7.4%,这是因为壳聚糖涂膜处理能抑制豆荚过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的增加,从而延缓豆荚纤维化进程。贮藏至第8天,10 g/L壳聚糖涂膜处理的豆荚POD、PPO和PAL活性分别比对照组低21.8%、80.0%和31.8%。壳聚糖涂膜处理效果比较表明,10 g/L壳聚糖涂膜处理延缓纤维化进程的效果最显著。

**关键词** 菜豆; 豆荚; 壳聚糖; 涂膜; 纤维化

中图分类号 TS 255.3

文章编号 1007-4333(2012)01-0132-06

文献标志码 A

## Study on pods fibrosis delaying of postharvest common bean by chitosan treatment

MIAO Ying, TIAN Wei-na, HAO Chang-min, RAO Lei, CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo\*

(College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** To explore the effects of chitosan coating treatment on pods fibrosis of postharvest beans, the common bean pods were dipped into the chitosan solutions of 1, 5 and 10 g/L, respectively. The results indicated that the increase of cutting velocity for crude fibre were inhibited when the common bean pods were treated with chitosan. After eight days storage, the cutting force and the fiber content of the common bean pods with chitosan treatment was 12.5% and 7.4%, respectively, which were both lower than the controls. The reason was that the activity increases of peroxidase (POD), polyphenol (PPO) and phenylalanin ammonialyase (PAL) were inhibited in the chitosan treated pods of common beans, which delays the process of fibre synthesis of common bean pods. After eight days storage, the activities of peroxidase (POD), polyphenol (PPO) and phenylalanin ammonialyase (PAL) in the common bean pods treated with 10 g/L chitosan was 21.8%, 80.0% and 31.8%, respectively, which were lower than those without chitosan treatment. The results showed that the application of 10 g/L chitosan treatment was more effective than other treatments.

**Key words** common bean; pods; chitosan; coating; fibrosis

壳聚糖(chitosan, CTS)是纯天然高分子成膜材料,具有抑菌、调节气体交换、降低失水的功能<sup>[1-2]</sup>,能减缓果蔬组织和结构衰老,近年来广泛应用于龙眼、冬枣、草莓、柑橘、荸荠等果蔬采后贮藏保鲜<sup>[3-7]</sup>。菜豆多以嫩荚作为蔬菜食用,贮藏中极易发生豆荚纤维化现象,肉质变硬,口感变差,极大的限制了菜豆的贮藏销售<sup>[8]</sup>。目前已有关于竹笋、芦笋、

豌豆苗、蕨菜和枇杷采后纤维化调控的研究报道,主要采用1-甲基环丙烯浸泡<sup>[9]</sup>、低压贮藏<sup>[10]</sup>、低温贮藏<sup>[9,11]</sup>、浸水贮藏<sup>[12]</sup>和赤霉素<sup>[11,13]</sup>浸泡等处理方法。有关壳聚糖处理对采后菜豆衰老控制的研究主要集中在壳聚糖能够杀灭菜豆易染病菌<sup>[14]</sup>,提高菜豆贮藏期间营养品质<sup>[15]</sup>上,而壳聚糖处理对采后菜豆豆荚纤维化影响的研究未见报道。

收稿日期:2011-06-15

基金项目:国家“863”计划项目(2008AA100803);中央高校基本科研业务费专项(2010JS075)

第一作者:缪颖,硕士研究生,E-mail:miaoying1988@yahoo.com.cn

通讯作者:姜微波,教授,博士生导师,主要从事果蔬生理采后专业研究,E-mail:jwb@cau.edu.cn

本研究拟采用不同浓度壳聚糖对采后菜豆豆荚涂膜处理,探讨壳聚糖对豆荚切割力、纤维含量、总酚含量及纤维化相关酶活性的影响,以期控制采后菜豆纤维化进程提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及试剂

供试材料:菜豆 (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Shuangqing) 采自北京市小汤山蔬菜基地,采收当天转运至实验室,挑选无病虫害和机械伤的菜豆豆荚备用。壳聚糖购于济南海得贝海洋生物工程有限公司,脱乙酰度 $\geq 95\%$ 。

主要试剂:牛血清蛋白,北京奥博星生物技术有限责任公司;愈创木酚,分析纯,南开大学精细化学实验厂;聚乙二醇(PEG 6000),分析纯,北京鼎国生物技术发展中心;聚乙烯吡咯烷酮(PVP),分析纯,西陇化工股份有限公司;聚乙二醇辛基苯基醚(Triton X-100),化学纯,西陇化工股份有限公司;邻苯二酚,分析纯,天津市津科精细化工研究所;30%过氧化氢,分析纯,北京化工厂;L-苯丙氨酸,分析纯,北京普博欣生物科技有限公司;乙二胺四乙酸(EDTA),分析纯,北京北化精细化学品有限责任公司; $\beta$ -巯基乙醇,化学纯,上海凌峰化学试剂有限公司。其他常用试剂均为分析纯。

仪器设备:TGL-16G-A 高速冷冻离心机,上海安亭科学仪器厂;AR1140/C 型电子精密天平,上海奥豪斯公司;UV-VisT6 型紫外分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;QL-901 旋涡混合器,海门市其林贝尔仪器制造有限公司;DL-01 电热恒温干燥箱,天津市中环电炉有限公司;SK8200H 型超声波清洗仪器,北京东南仪诚公司;FHM-5 型果实硬度计,北京渠道科学器材有限公司; $G_4$  砂芯漏斗,北京康达顺业科技有限公司。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 壳聚糖涂膜处理

用 1、5 和 10 g/L 的壳聚糖溶液(以 1% 的乙酸为溶剂)将菜豆浸没 1 min,以 1% 乙酸溶液浸泡作为对照。取出置于塑料筐中,自然风干后套上黑色塑料袋,置于 20~22 °C、40%~50% 相对湿度贮藏。

#### 1.2.2 切割力测定

豆荚切割力采用 FHM-5 型果实硬度计测定(测头直径 12 mm),剥去豆粒,在豆荚中部取 3 个点测定。每种处理随机取 10 个豆荚进行测定,重复

3 次。

#### 1.2.3 粗纤维质量分数测定

用中性洗涤法<sup>[16]</sup>测定粗纤维含量。准确称取烘干豆荚 0.5 g,放入 50 mL 中性洗涤剂(30 g/L 十二烷基硫酸钠,pH 7)内煮沸 1 h,用 100 目筛网过滤,滤渣转入已烘干至恒重的  $G_4$  砂芯漏斗抽滤,再用热蒸馏水洗涤,洗液用 100 g/L BaCl<sub>2</sub> 检查,至不出现硫酸钡沉淀为止,将  $G_4$  砂芯漏斗放入 100 °C 烘箱烘干,恒重,称重。计算粗纤维质量分数:

$$\text{粗纤维质量分数} / \% =$$

$$\frac{\text{抽滤后漏斗质量} - \text{抽滤前漏斗质量}}{\text{样品质量}} \times 100$$

#### 1.2.4 总酚含量测定<sup>[17-18]</sup>

随机取 1 g 豆荚,加入 25 mL 10 mL/L HCl-甲醇溶液,冰浴条件下研磨匀浆,然后于 4 °C、12 000g 离心 20 min,取上清液于 280 nm 处测定吸光度值,重复 3 次,以 1 g 豆荚鲜重在 280 nm 处的吸光值表示总酚含量。

#### 1.2.5 过氧化物酶(POD)活性测定<sup>[19]</sup>

随机取 2 g 豆荚,加入 5 mL 0.1 mol/L、pH 5.5 的乙酸-乙酸钠缓冲液(含 1 mol 聚乙二醇(PEG 6 000),40 g/L 聚乙烯吡咯烷酮(PVP)和 10 mL/L 聚乙二醇辛基苯基醚(Triton X-100)),冰浴研磨匀浆,然后于 4 °C、12 000g 离心 30 min,收集上清液用于 POD 活性测定。反应体系由 3 mL 25 mmol/L 愈创木酚、200  $\mu$ L 0.5 mol/L 过氧化氢溶液和 10  $\mu$ L 酶液组成。从加入酶液 30 s 开始,记录每 15 s 反应体系在 470 nm 的吸光度值,连续测定 135 s。以上测定重复 3 次。以 1 mg 蛋白质 1 min 吸光值增加 1 为 1 个过氧化物酶活性单位,表示为 U/mg。

#### 1.2.6 多酚氧化酶(PPO)活性测定<sup>[20]</sup>

随机取 2 g 豆荚,加入 5 mL 0.1 mol/L、pH 5.5 的乙酸-乙酸钠缓冲液(含 1 mol 聚乙二醇(PEG 6 000),40 g/L 聚乙烯吡咯烷酮(PVP)和 10 mL/L 聚乙二醇辛基苯基醚(Triton X-100)),冰浴研磨匀浆,然后于 4 °C、12 000g 离心 30 min,收集上清液用于 PPO 活性测定。反应体系由 4 mL 50 mmol/L、pH 5.5 的乙酸-乙酸钠缓冲液、1 mL 50 mmol/L 邻苯二酚溶液和 500  $\mu$ L 酶液组成。加入酶液后 30 °C 水浴 5 min,记录 1 min 反应体系在 420 nm 的吸光度值,连续测定 10 min。以上测定重复 3 次。以 1 mg 蛋白质 1 min 吸光值增加 0.001 为 1 个多酚氧化酶活性单位,表示为 U/mg。

### 1.2.7 苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性测定<sup>[18,21]</sup>

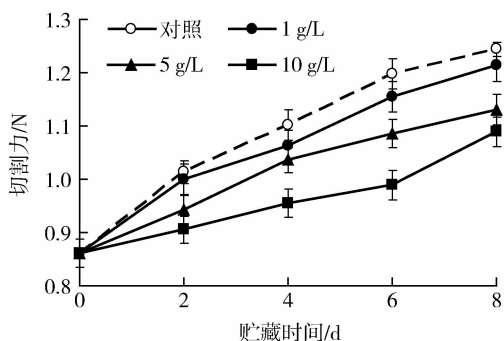
随机取 3 g 豆荚,加入 3 mL 0.1 mol/L、pH 8.8 硼酸缓冲液(含 40 g/L 聚乙烯吡咯烷酮 (PVP),2 mmol/L 乙二胺四乙酸和 5 mmol/L  $\beta$ -巯基乙醇)在冰浴条件下研磨匀浆,然后于 4 °C、12 000g 离心 30 min,收集上清液用于 PAL 活性测定。反应体系由 3 mL 50 mmol/L、pH 8.8 硼酸-硼砂缓冲液、0.5 mL 20 mmol/L L-苯丙氨酸和 300  $\mu$ L 酶液组成。在加入酶液前,反应体系在 37 °C 保温平衡 10 min;加酶液后,立即测定 1 次混合液在 290 nm 吸光度值作为反应堆额初始值,然后在 37 °C 保温 60 min。保温结束,立即再次测定 290 nm 吸光度值作为反应的终止值。以上测定重复 3 次。以 1 mg 蛋白质 1 h 吸光值增加 0.001 为 1 个苯丙氨酸解氨酶活性单位,表示为 U/mg。

Excel 2003 统计分析所有数据,计算标准误差并制图。应用 SPSS 17.0 软件对数据进行方差分析 (ANOVA),利用邓肯氏多重比较对差异显著性进行分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 壳聚糖对菜豆豆荚切割力的影响

贮藏期间,菜豆豆荚切割力值呈快速上升趋势(图 1)。贮藏第 8 天时,对照组豆荚切割力值增加了 44.5%,发生明显纤维化现象,商品率严重下降。这与对竹笋<sup>[22]</sup>的研究结果一致,竹笋在 20 °C 贮藏 12 天后,硬度增加 26.3%。壳聚糖涂膜处理不同时间均能抑制菜豆豆荚切割力值上升,且处理浓度越高,豆荚切割力值越低。5、10 g/L 壳聚糖涂膜延缓



图中竖线代表标准误差; $n=3$ 。下图同。

图 1 壳聚糖涂膜处理对菜豆豆荚切割力的影响

Fig. 1 Effect of chitosan coating on cutting force in common bean pods

豆荚切割力值升高。在贮藏第 6 天和第 8 天,5 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚切割力值分别比对照组低 9.3%和 9.1%;10 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚切割力分别比对照组低 17.4%和 12.5%。采后菜豆豆荚切割力迅速上升,可能与豆荚组织纤维含量升高、细胞壁变厚有关。

### 2.2 壳聚糖对菜豆豆荚粗纤维质量分数的影响

采后菜豆豆荚粗纤维质量分数呈增加趋势,壳聚糖涂膜处理能够延缓粗纤维含量的增加速度(图 2)。贮藏 8 d 后,对照组豆荚粗纤维质量分数增至 36%,而 1 g/L 壳聚糖涂膜处理、5 g/L 壳聚糖涂膜处理和 10 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚粗纤维质量分数分别为 35.3%、34%和 33.3%,与对照相比,粗纤维质量分数差异均达显著水平 ( $P<0.05$ ),分别比对照组降低了 1.9%、5.6%和 7.4%。采后菜豆豆荚粗纤维质量分数增加,表明菜豆采收后,在无外源营养物质供应的条件下,豆荚组织中的粗纤维合成代谢仍在进行。粗纤维大量合成是导致植物组织纤维化的直接原因,因此粗纤维质量分数的高低可作为衡量豆荚纤维化程度的重要指标,粗纤维含量升高使豆荚细胞壁变厚,纤维化程度增加,组织变粗糙,食用品质变差。粗纤维质量分数增加趋势和切割力值增加趋势一致,表明粗纤维的积累可能导致豆荚细胞壁变厚,加速豆荚纤维化进程,这与关于采后绿芦笋<sup>[10]</sup>、竹笋<sup>[23]</sup>的报道结果一致。

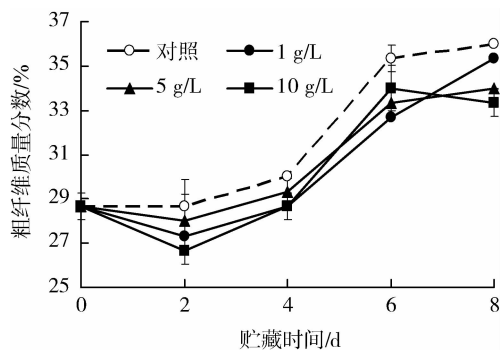


图 2 壳聚糖涂膜处理对菜豆豆荚粗纤维质量分数的影响

Fig. 2 Effects of chitosan coating on cellulose content in common bean pods

### 2.3 壳聚糖对菜豆豆荚总酚含量的影响

菜豆采后豆荚中总酚含量呈持续上升趋势,贮藏期间,壳聚糖涂膜处理处理的豆荚总酚含量始终

高于对照组(图 3)。贮藏第 2、4 和 8 天时,1 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚总酚含量分别高出对照组 63.2%、25.9%和 15.9%。贮藏第 6 和 8 天时,10 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚总酚含量分别高出对照组 38.2%和 27.1%。酚类物质是植物体内生长代谢过程中的次生产物,也是合成粗纤维的前体物质之一。随着贮藏时间的延长,菜豆豆荚总酚含量逐渐增加,说明菜豆豆荚纤维化的进程与酚类物质的积累有关。但是,壳聚糖涂膜处理的豆荚总酚含量均高于对照组,而粗纤维含量低于对照组,说明壳聚糖涂膜处理对菜豆豆荚纤维化的抑制作用可能与其他一些前体物质的积累有关,亦或是壳聚糖涂膜处理抑制了酚类物质合成粗纤维所需酶的活性。

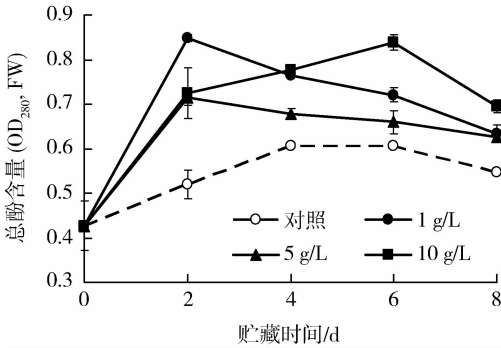


图 3 壳聚糖涂膜处理对菜豆豆荚总酚含量的影响

Fig. 3 Effects of chitosan coating on total phenolic content in common bean pods

### 2.4 壳聚糖对菜豆豆荚过氧化物酶、多酚氧化酶和苯丙氨酸解氨酶活性的影响

菜豆贮藏期间,豆荚过氧化物酶(POD)活性呈持续增加趋势,壳聚糖涂膜处理的豆荚 POD 活性增加较缓慢(图 4)。贮藏前 8 天,10 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚 POD 活性始终低于对照组,1 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚仍保持较高的 POD 活性。贮藏第 4 天和第 8 天,5 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚 POD 活性分别比对照组低 37.3%和 22.6%。贮藏期间,10 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚 POD 活性始终低于对照组,能够抑制豆荚 POD 活性升高。贮藏第 4、6 和 8 天时,10 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚 POD 活性分别比对照组低 56.1%、32.7%和 21.8%。

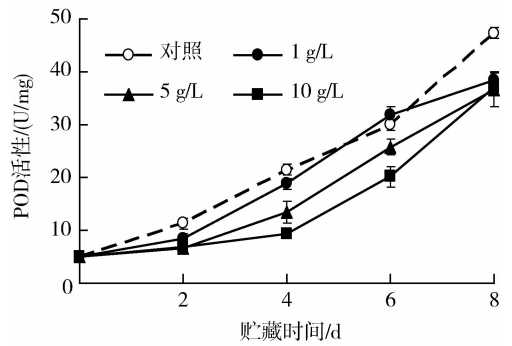


图 4 壳聚糖涂膜处理对菜豆豆荚 POD 活性的影响

Fig. 4 Effects of chitosan coating on activities of POD in common bean pods

菜豆贮藏中对照组豆荚多酚氧化酶(PPO)活性呈上升趋势(图 5)。1 g/L 壳聚糖涂膜处理、5 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚在贮藏前 4 d 内,PPO 活性增加,后略有降低。10 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚在贮藏前 4 d 内,PPO 活性呈缓慢下降趋势,而后又缓慢增加。贮藏期间,壳聚糖涂膜处理的豆荚 PPO 活性在不同时间均明显低于对照组,且 3 种处理相比,10 g/L 壳聚糖涂膜处理降低 PPO 活性效果显著。贮藏 8 d 时,1、5 和 10 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚 PPO 活性分别比对照组降低 43.1%、65.1%、80.0%。

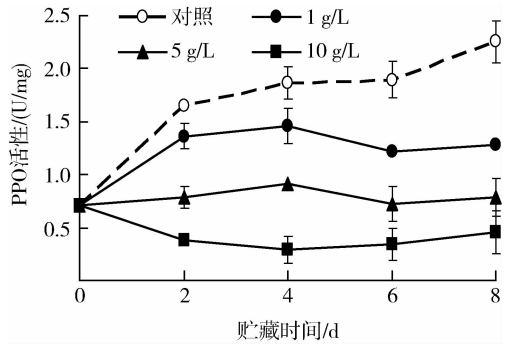


图 5 壳聚糖涂膜处理对菜豆豆荚 PPO 活性的影响

Fig. 5 Effects of chitosan coating on activities of PPO in common bean pods

采后菜豆豆荚苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性呈上升趋势,壳聚糖涂膜处理能够减缓豆荚 PAL 活性的增加(图 6)。贮藏前 8 d,5 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚 PAL 活性均低于对照组。贮藏第 4 和 8 天时,5 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚 PAL 活性分别比

对照组低 20.1% 和 23.3%。贮藏期内, 10 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚 PAL 活性在不同时间均低于对照组。贮藏第 4、6 和 8 天时, 10 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚 PAL 活性分别比对照低 41.6%、36.0%、和 31.8%。而 1 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚仍保持较高的 PAL 活性。

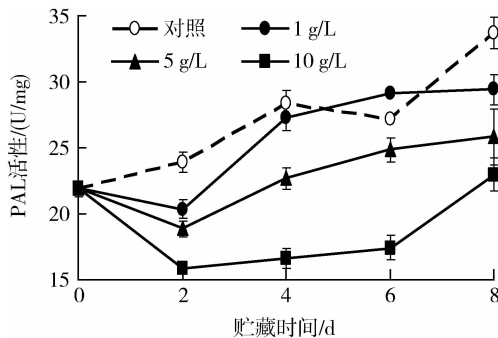


图 6 壳聚糖涂膜处理对菜豆豆荚 PAL 活性的影响

Fig. 6 Effects of chitosan coating on activities of PAL in common bean pods

PAL 催化苯丙氨酸脱氨基, 生成反式肉桂酸, 是植物木质素单体合成的起始酶<sup>[22]</sup>, 直接影响木质素积累。PAL 可能通过多酚→PPO→CAD→POD→纤维素单体→纤维素的合成途径, 参与植物纤维素合成<sup>[24]</sup>。POD 参与木质素单体的氧化聚合反应, 合成木质素大分子<sup>[25]</sup>。PPO、POD 和 PAL 均参与植物体内酚类物质代谢, 是纤维化过程中的关键酶。菜豆采后 POD、PPO 和 PAL 活性急速上升, 导致纤维素含量增加而产生纤维化现象。已有研究表明, 植物体内纤维含量增加与 POD、PPO 和 PAL 活性升高有关<sup>[26-27]</sup>。本试验结果表明, 采后菜豆豆荚切割力值和纤维含量均增加, 说明其在无光照、无外源养分供给条件下, 纤维合成代谢仍在进行, 且纤维化过程相关酶 POD、PPO 和 PAL 活性也均有不同程度增加。已有研究表明, 1-甲基环丙烯和真空包装处理可以降低竹笋 POD、PPO 和 PAL 活性<sup>[26, 28]</sup>。试验结果表明, 1、5 和 10 g/L 壳聚糖涂膜处理均能不同程度抑制采后菜豆豆荚 POD、PPO 和 PAL 活性上升, 且壳聚糖浓度越高, 抑制效果越明显。1 g/L 壳聚糖涂膜处理对抑制 POD、PAL 活性效果不明显; 贮藏期间, 10 g/L 壳聚糖涂膜处理的豆荚 POD、PPO 和 PAL 活性均明显低于对照组, 抑制酶活性效果显著。

### 3 结论

采后菜豆豆荚纤维含量升高, 导致切割力值增加, 影响菜豆食用品质。豆荚中纤维的合成与 POD、PPO 和 PAL 活性升高有关。1、5 和 10 g/L 壳聚糖涂膜处理能够不同程度抑制延缓豆荚切割力值的增加, 抑制 POD、PPO 和 PAL 活性的升高, 减慢豆荚纤维的合成速率, 抑制采后菜豆豆荚纤维化进程, 且壳聚糖质量浓度越高, 对纤维化抑制效果越明显, 10 g/L 壳聚糖涂膜处理可以明显延缓采后菜豆豆荚纤维化进程, 在菜豆贮藏保鲜中具有潜在的应用价值。

### 参考文献

- [1] Chien P J, Chou C C. Antifungal activity of chitosan and its application to control post-harvest quality and fungal rotting of Takan citrus fruit (*Citrus takan Hayata*) [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86: 1964-1969
- [2] Xu Wen Tao, Huang Kun Lun, Guo Feng, et al. Postharvest grapefruit seed extract and chitosan treatments of table grapes to control *Botrytis cinerea* [J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 46: 86-94
- [3] Jiang Yue Ming, Li Yue Biao. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit [J]. Food Chemistry, 2001, 73: 139-143
- [4] 谢春晖, 王兆升, 唐晓珍. 壳聚糖涂膜保鲜冬枣的研究 [J]. 山东农业大学学报, 2010, 41(1): 45-50
- [5] Vu K D, Hollingsworth R G, Leroux E, et al. Development of edible bioactive coating based on modified chitosan for increasing the shelf life of strawberries [J]. Food Research International, 2011, 44: 198-203
- [6] Chien Po Jung, Sheu Fuu, Lin Hung Ren. Coating citrus (*Murcott tangor*) fruit with low molecular weight chitosan increases postharvest quality and shelf life [J]. Food Chemistry, 2007, 100: 1160-1164
- [7] 彭丽桃, 蒋跃明, 杨书珍, 等. 壳聚糖被膜对鲜切荸荠褐变的抑制 [J]. 植物生理学通讯, 2002, 38(6): 554-556
- [8] Armelini J M, Canniatti-Brazaca S G, Spoto M H F, et al. Quantitative descriptive analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under gamma radiation [J]. Journal of Food Science, 2006, 71(1): S8-S12
- [9] Song Li Li, Gao Hai Yan, Chen Hang Jun, et al. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on senescence of peeled water bamboo shoot (*Zizania caduciflora* L.) during different temperature storages [J]. Acta Horticulturae, 2010, 877: 379-382
- [10] Li Wen Xiang, Zhang Min. Effect of three-stage hypobaric

- storage on cell wall components, texture and cell structure of green asparagus[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77: 112-118
- [11] 刘尊英,姜微波,赵玉梅,等. 温度、赤霉素和乙烯处理对采后豌豆苗纤维合成及品质变化的影响. 中国农业大学学报, 2003, 8(1): 75-77
- [12] 李荣峰,苏仕林,马博. 野生蕨菜的采后生理变化及保鲜技术研究[J]. 百色学院学报, 2010, 23(6): 90-93
- [13] 吴锦程,陈伟健,卢海霞,等. GA<sub>3</sub> 对冷藏枇杷果实木质化的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2008, 36(9): 138-144
- [14] Di Piero R M, Garda M V. Chitosan reduces the anthracnose severity and increases the glucanase activity in common bean plants[J]. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 2008, 43(9): 1121-1128
- [15] 连玉晶,赵海田,姚磊. 壳聚糖可食用膜对油豆角贮藏生理的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2006, 25(3): 72-74
- [16] 冯继华,曾静芬,陈茂椿,等. 应用 Van Soest 法和常规法测定纤维素及木质素的比较[J]. 西南民族学院学报:自然科学版, 1994, 20(1): 55-56
- [17] Pirie A, Mullins M G. Changes in anthocyanin and phenolic content of grapevine leaf and fruit tissue treated with sucrose, nitrate and abscisic acid[J]. Plant Physiology, 1976, 58: 468-472
- [18] 曹建康,姜微波,赵玉梅. 果蔬采后生理生化指导[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2007: 142-143
- [19] Srivastava M K, Dwivedi U N. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid[J]. Plant Science, 2000, 158(1/2): 87-96
- [20] Qudsieh H Y M, Yusof S, Osman A, et al. Effect of maturity on chlorophyll, tannin, color, and polyphenol oxidase (PPO) activity of sugarcane Juice (*Saccharum officinarum* Var. Yellow Cane)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50: 1615-1618
- [21] Assis J S, Maldonado R, Muñoz T, et al. Effect of high carbon dioxide concentration on PAL activity and phenolic contents in ripening cherimoya fruit[J]. Postharvest Biology Technology, 2001, 23: 33-39
- [22] Luo Zi Sheng, Xu Xiao Ling, Yan Bi Fang. Accumulation of lignin and involvement of enzymes in bamboo shoot during storage[J]. European Food Research and Technology, 2008, 226: 635-640
- [23] Shen Qun, Kong Fan Chun, Wang Qun. Effect of modified atmosphere packaging on the browning and lignification of bamboo shoots[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77: 348-354
- [24] 余学军,裴贤龙. 不同贮藏条件对绿竹笋酶活性与纤维化的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(3): 380-385
- [25] Boerjan W, Raucher M. Lignin biosynthesis[J]. Annual Review of Plant Biology, 2003, 54: 519-546
- [26] Luo Zi Sheng, Xu Xiao Ling, Cai Zhen Zhen, et al. Effects of ethylene and 1-methylcyclopropene (1-MCP) on lignification of postharvest bamboo shoot[J]. Food Chemistry, 2007, 105: 521-527
- [27] Yang Hu Qing, Zhou Cun Shan, Wu Feng Hua, et al. Effect of nitric oxide on browning and lignification of peeled bamboo shoots[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 57: 72-76
- [28] Luo Zi Sheng, Xu Xiao Ling, Yan Bi Fang. Use of 1-methylcyclopropene for alleviating chilling injury and lignification of bamboo shoot (*Phyllostachys praecox* f. *prevernalis*) during cold storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88: 151-157

责任编辑:刘迎春