

不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏品质的影响

黎星延, 黄丽金, 刘汉美, 陶守奎, 姜悦, 於智前, 陈叶珍, 潘永贵

Effect of Chitosan Coating with Different Molecular Weights on the Storage Quality of Postharvest Passion Fruit (*Passiflora edulis* Sims)

LI Xingyan, HUANG Lijin, LIU Hanmei, TAO Shoukui, JIANG Yue, YU Zhiqian, CHEN Yezhen, and PAN Yonggui

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023020261>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

不同分子量壳聚糖的制备及其应用研究进展

Research progress in preparation and application of chitosan with different molecular weight
食品工业科技. 2017(15): 324-328 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.15.061>

不同分子量壳聚糖型SO₂缓释材料性能研究

Properties of Chitosan-type SO₂ Sustained-release Materials with Different Molecular Weights
食品工业科技. 2020, 41(2): 183-188 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.02.029>

魔芋葡甘露聚糖-壳聚糖复合涂膜对北碚447锦橙贮藏品质的影响

Effect of Konjac Glucomannan Combined Chitosan Coating on Storage Quality of Beibei 447 (*Citrus sinensis* L. Osbeck cv. Jinchengbeibei 447)

食品工业科技. 2019, 40(8): 241-246 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.08.041>

壳聚糖-山竹果皮提取液复合涂膜对蓝莓的保鲜效果

Effect of Chitosan-Mangosteen Peel Composite Coating on Blueberry Preservation
食品工业科技. 2021, 42(8): 295-300 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020080159>

魔芋葡甘露聚糖涂膜对采后西番莲果实品质影响

Influence of Konjac Glucomannan Coating on Storage Quality of Harvested Passion Fruits
食品工业科技. 2020, 41(6): 250-253 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.06.042>

黄皮精油-壳聚糖复合涂膜对番木瓜果实常温贮藏品质及生理的影响

Effect of Clausena lansium oil and chitosan compound coating on physiology and quality of papaya fruits at ambient temperature
食品工业科技. 2017(12): 297-301 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.12.054>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

黎星延, 黄丽金, 刘汉美, 等. 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(22): 319–326. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020261

LI Xingyan, HUANG Lijin, LIU Hanmei, et al. Effect of Chitosan Coating with Different Molecular Weights on the Storage Quality of Postharvest Passion Fruit (*Passiflora edulis* Sims)[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(22): 319–326. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020261

· 贮运保鲜 ·

不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏品质的影响

黎星延, 黄丽金, 刘汉美, 陶守奎, 姜悦, 於智前, 陈叶珍, 潘永贵*
(海南大学食品科学与工程学院, 海南海口 570228)

摘要:为研究不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲的保鲜效果, 本文以“钦蜜 9 号”西番莲果实为试材, 分别采用 30、50、100、150 和 200 kDa 分子量的壳聚糖 (1.5%, w/v) 进行涂膜, 以明确不同分子量壳聚糖涂膜对西番莲果实品质的影响。结果表明, 不同分子量壳聚糖涂膜均能延缓西番莲果实的皱缩和果皮转黄, 降低果实的失重率和抑制果实腐烂。其中, 分子量越大的壳聚糖越有利于减轻西番莲果实成熟衰老、皱缩和腐烂, 200 kDa 涂膜果实的失重率在贮藏末期较同期 30 kDa 涂膜果实低近 10%, 并且 150 和 200 kDa 涂膜的果实在贮藏末期均未发生腐烂; 较低分子量 (30 和 50 kDa) 和较高分子量 (150 kDa) 的壳聚糖涂膜则更有助于减缓果实贮藏期间失重、可溶性固形物和可溶性糖代谢以及维持果实可滴定酸、类黄酮和总酚含量, 而 150 kDa 的壳聚糖涂膜在保持维生素 C 含量方面效果最好, 在贮藏末期其含量是同期对照组的 1.12 倍。综上所述, 不同分子量壳聚糖涂膜均有助于延缓西番莲果实衰老, 减缓果实失水皱缩, 保持果实品质, 但具体效果在不同分子量间差别较大, 综合而言, 150 kDa 壳聚糖更适合保持西番莲果实品质。

关键词:西番莲, 壳聚糖, 分子量, 贮藏品质

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)22-0319-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023020261



本文网刊:

Effect of Chitosan Coating with Different Molecular Weights on the Storage Quality of Postharvest Passion Fruit (*Passiflora edulis* Sims)

LI Xingyan, HUANG Lijin, LIU Hanmei, TAO Shoukui, JIANG Yue, YU Zhiqian,
CHEN Yezhen, PAN Yonggui*

(College of Food Science and Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: To study the preservation effect of chitosan coating with different molecular weights on postharvest passion fruit, the "Qinmi No.9" was coated with chitosan of molecular weights of 30, 50, 100, 150 and 200 kDa (1.5%, w/v) to determine the quality of passion fruit during storage. The results showed that chitosan coating with different molecular weights was able to delay the shrinkage and yellowing, reduce the weight loss rate and inhibit the decay of passion fruit. Moreover, chitosan with a larger molecular weight was more conducive to delaying the ripening and senescence of passion fruit, as well as reducing shrinkage, and decay. At the end of storage, the weight loss of fruits coated with 200 kDa chitosan was nearly 10% less than that coated with 30 kDa chitosan, and the fruits coated with 150 and 200 kDa chitosan did not decay. The lower molecular weight (30 and 50 kDa) and higher molecular weight (150 kDa) chitosan were more effective in inhibiting weight loss, total soluble solids and soluble sugar metabolism, and maintaining titratable acid, flavonoid and total phenol contents of fruit during storage. The chitosan with 150 kDa had the best effect in maintaining the vitamin C content, which was 1.12 times higher than the control group at the end of storage. In conclusion, chitosan with different molecular

收稿日期: 2023-02-24

基金项目: 海南省自然科学基金项目 (320RC496)。

作者简介: 黎星延 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 热带果蔬采后生物与技术, E-mail: lixingyan@163.com。

* 通信作者: 潘永贵 (1970-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 热带果蔬采后生物与技术, E-mail: yongui123@126.com。

weights was effective to delay senescence, slow down water loss and shrink of passion fruit and maintain the quality, chitosan with 150 kDa was more suitable to maintain the quality of postharvest passion fruit.

Key words: passion fruit; chitosan; molecular weight; storage quality

西番莲(*Passiflora edulis* Sims.)又称百香果,因其汁液中含有香蕉、菠萝、草莓、苹果、柠檬等多种水果的香气得名,同时果实中富含糖类、维生素等物质^[1-3]。目前全球有大约 400 余个西番莲品种,但仅有 50 余个品种可以食用,其中紫色西番莲和黄色西番莲广泛作为商业化生产的品种^[4]。尽管目前西番莲种植面积在我国不断扩大,但西番莲作为小宗水果,国内外对其采后保鲜研究均严重不足。目前,西番莲最大的采后问题在于极易失水皱缩软化且容易受到病原菌感染而快速腐烂,常温下 2~3 d 就会失去商品价值^[5],由此造成西番莲果实采后损失率预估高达 50% 以上^[6]。涂膜处理对于降低果实采后水分损失、减缓果实成熟衰老以及减少病原菌侵染具有重要的意义,而且还可以提高果实商品价值。同样许多研究表明适宜的涂膜处理有助于减少西番莲果实采后水分损失。用巴西棕榈蜡、橡胶乳和 2% 木薯淀粉溶液对黄果西番莲进行涂膜表明,橡胶乳可以有效地降低西番莲质量损失和皱缩指数,增加西番莲货架寿命 3~4 d^[7]。而在 Da 等^[8]的研究中表明,8%~21% 浓度的巴西棕榈蜡可以有效地减少采后西番莲果实失重,减少萎蔫和腐烂。同时,涂膜剂的浓度也会产生不同的影响。使用 1%, 2% 和 3% 海藻酸钠对西番莲果实涂膜发现 2% 海藻酸钠涂膜能够降低果实的失重率和皱缩指数,较好地维持了果实的贮藏品质^[9]。

壳聚糖是一种安全且环境友好的水溶性低聚糖,具有良好的成膜性能和抑菌活性,是一种优良的可食用性涂层材料^[10],目前在采后果蔬保鲜中已有广泛应用。壳聚糖在果实表面成膜之后能够在一定程度上抑制表皮上的气孔、皮孔与外界交换气体、物质的能力,从而减少果实的水分流失,降低呼吸强度^[11-12]。壳聚糖的抑菌效果不仅与其浓度有关,同时与脱乙酰度和分子量密切相关。Jongsri 等^[13]发现与 40、270 kDa 壳聚糖涂膜相比,360 kDa 壳聚糖涂膜可以维持芒果贮藏期间较低的可溶性固形物含量和较高的可滴定酸含量,延缓芒果果实的成熟,从而延长货架期。在南瓜果实上,分子量为 391 kDa 壳聚糖涂膜的果实腐烂率达到 20%,而采用其降解生成的 122 kDa 壳聚糖涂膜的南瓜果实贮藏期间没有发生腐烂^[14]。类似地,在香蕉果实中,65、265 和 540 kDa 壳聚糖涂膜虽然均能延缓果实失重率和硬度的上升,但 540 kDa 壳聚糖涂膜的保鲜效果更好^[15]。

因此,本研究以“钦蜜 9 号”西番莲果实为试材,研究不同分子量的壳聚糖涂膜在相同浓度条件下对采后西番莲果实贮藏品质的影响,以期壳聚糖涂膜

在采后西番莲果实贮藏保鲜中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

“钦蜜 9 号”西番莲果实 可溶性固形物含量为 21.5%~22%,采自海南省海口市石山镇的商业果园。选取外观整齐,大小一致,无病虫害和机械损伤的果实,于采收后的 2 h 内运抵海南大学食品科学与工程学院热带果蔬采后生物与技术研究实验室,于低温下放置以除去田间热,待用;壳聚糖 上海麦克林生化科技有限公司;咪鲜胺锰盐 美国富美实公司;氢氧化钠 广州化学试剂厂;红菲咯啉 阿拉丁生化科技有限公司;无水乙醇 国药集团;所有试剂均为分析纯。

HWS-300 智能生化培养箱 浙江托普仪器有限公司;PAL-1 数显糖度计 日本 Atago 公司;HH-4 数显恒温水浴锅 常州奥华仪器有限公司;TGL-16M 高速冷冻离心机 上海卢湘仪离心机仪器有限公司;Synergy HT 酶标仪 美国 BioTek 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 原材料处理 将西番莲果实用 0.1%(w/v)的咪鲜胺锰盐溶液浸泡 2 min 进行表面消毒,取出自然晾干后随机分成 6 组,每组 90 个果实。涂膜操作参考陈洪彬等^[16]的方法稍作修改,分别将西番莲果实在蒸馏水、30、50、100、150 和 200 kDa 分子量的壳聚糖溶液中(1.5%, w/v)浸泡涂膜 30 s,取出晾干后装入带孔的保鲜盒(32.5×22.5×10.3 cm)中,每个盒子中装 10 个果实,将其放入 28 ℃,RH 为 85%±5% 下贮藏 12 d,每 3 d 取样并测定有关指标,所有实验均重复 3 次。

1.2.2 测定指标及方法

1.2.2.1 皱缩指数和失重率 皱缩指数参照帅良等^[9]的方法稍作修改。皱缩度:0,无皱缩;1,0%~20% 果皮皱缩;2,20%~40% 果皮皱缩;3,40%~60% 果皮皱缩;4,60%~80% 果皮皱缩;5,80%~100% 果皮皱缩。分别根据以下公式计算皱缩指数(1)和失重率(2):

$$\text{皱缩指数} = \frac{\sum(\text{皱缩度} \times \text{处于该皱缩程度的果实个数})}{\text{总果数}} \quad \text{式(1)}$$

$$\text{失重率}(\%) = \frac{\text{初始西番莲果实质量} - \text{取样当天西番莲果实质量}}{\text{初始西番莲果实质量}} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

1.2.2.2 转黄指数 根据金童等^[17]的办法并稍作修改。转黄级别: 1, 0%~20% 果皮面积为黄色; 2, 20%~40% 果皮面积为黄色; 3, 40%~60% 果皮面积为黄色; 4, 60%~80% 果皮面积为黄色; 5, 80%~100% 果皮面积为黄色。根据公式(3)计算转黄指数:

$$\text{转黄指数}(\%) = \frac{\sum(\text{转黄级别} \times \text{处于该转黄级别的果实个数})}{\text{转黄最高级} \times \text{总果数}} \times 100$$

式 (3)

1.2.2.3 腐烂率 根据公式(4)计算腐烂率:

$$\text{腐烂率}(\%) = \frac{\text{取样当天腐烂果实的个数}}{\text{总果数}} \times 100$$

式 (4)

1.2.2.4 可溶性固形物(TSS)含量测定 取过滤后的西番莲果汁用数显糖度计测定可溶性固形物含量, 结果用 % 表示。

1.2.2.5 可滴定酸和可溶性糖含量测定 取 3 mL 西番莲果汁用蒸馏水定容至 25 mL, 取混合液在 25 °C, 8000×g 条件下离心 10 min, 取 2 mL 上清液与 30 mL 蒸馏水于烧杯中用 0.01 mol/L NaOH 溶液滴定至 pH 计读数为 8.2, 结果以柠檬酸计, 用 % 表示。

可溶性糖含量的测定参照曹建康等^[18]的方法并稍作修改。将西番莲果汁用蒸馏水稀释, 然后将混合液放置在 95 °C 水浴锅中静置 10 min, 随后在 25 °C, 8000×g 条件下离心 10 min, 取上清液为样品待测液。将 0.2 mL 样品待测液与 0.2 mL 蒸馏水、0.1 mL 蒽酮-乙酸乙酯溶液(2%)与 1 mL 浓硫酸混匀, 将反应体系放置在 95 °C 下反应 10 min, 冷却后以蒸馏水作为空白, 测定其在 620 nm 处的吸光值, 结果采用 % 表示。

1.2.2.6 维生素 C(V_C)含量测定 参照陈洪彬等^[16]的方法, 稍作改动。取 1 mL 西番莲果汁与 1 mL 预冷的 TCA(三氯乙酸)溶液(5%)混匀, 然后在 4 °C, 8000×g 条件下离心 10 min, 收集上清液加入 8 mL 的 TCA 溶液混匀, 作为样品待测液。取 1 mL 样品待测液与 1 mL TCA 溶液、1 mL 无水乙醇、0.5 mL 磷酸-乙醇(0.4%)、1 mL BP(红菲咯啉)-乙醇(0.5%)和 0.5 mL 三氯化铁-乙醇溶液(0.03%)混匀, 将反应体系放置在 30 °C 水浴锅中孵育 60 min, 待反应体系冷却至室温, 以 TCA 溶液作为空白, 测定其在 534 nm 处的吸光值, V_C 含量以 mg/100 g 表示。

1.2.2.7 类黄酮和总酚含量 类黄酮含量的测定参照张新业等^[19]的方法并略作修改。取 2 mL 西番莲果汁与 1 mL 预冷的 60% 乙醇溶液混匀, 在 4 °C, 8000×g 条件下离心 10 min, 收集上清液作为样品待测液。将 0.24 mL 样品待测液与 0.06 mL 亚硝酸钠(5%)、0.06 mL 硝酸铝(10%)、0.48 mL 的氢氧化钠溶液(4%)和 0.36 mL 60% 乙醇溶液混匀, 将其放置在 37 °C 下静置 45 min, 冷却后离心, 以 60% 乙醇溶

液作为空白, 测定上清液在 470 nm 处的吸光值, 类黄酮含量以 mg/g 表示。

果汁总酚含量的测定参照 Su 等^[20]的方法并略作修改。取 2 mL 西番莲果汁与 4 mL 预冷的 80% 甲醇溶液混匀, 在 4 °C, 8000×g 的条件下离心 10 min, 收集上清液作为样品待测液。将 0.5 mL 样品待测液与 4 mL 80% 甲醇溶液、0.5 mL 福林酚混匀, 静置 5 min 后再加入 5 mL 碳酸钠溶液(7%), 然后在 25 °C 下避光保存 1 h, 以 80% 甲醇溶液作为空白, 最后测定反应体系在 765 nm 处的吸光值, 总酚含量以 mg/g 表示。

1.3 数据处理

所有指标测定均至少重复 3 次, 结果以平均值±标准差表示。采用 IBM SPSS Statistics 22(SPSS Inc, Chicago, IL, USA)软件进行数据处理和统计分析。采用 Origin 2023(Northampton, MA, USA)软件进行作图, 应用单因素方差分析(One-way ANOVA)在 $P < 0.05$ 水平上检测差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实皱缩指数和失重率影响

如图 1 所示, 随着贮藏时间延长, 所有组别的西番莲果实皱缩指数均呈上升趋势。其中, 未经壳聚糖涂膜的皱缩指数上升最快, 其果实在第 3 d 就出现明显皱缩, 第 3 d 的皱缩指数已经达到 3.7。并且在贮藏前 9 d 均显著($P < 0.05$)高于经过壳聚糖涂膜的果实, 第 9 d 时未涂膜组果实皱缩指数达到 5, 其余涂膜组果实的皱缩指数在 4.2 左右, 涂膜组与未涂膜组间存在显著差异($P < 0.05$); 经壳聚糖涂膜的果实, 前 6 d 中经 30、50 和 100 kDa 涂膜的果实之间皱缩指数没有显著差异($P > 0.05$), 150 和 200 kDa 之间也没有显著差异($P > 0.05$), 但前者的皱缩指数显著($P < 0.05$)大于后者。而在随后的贮藏期间, 经过不同

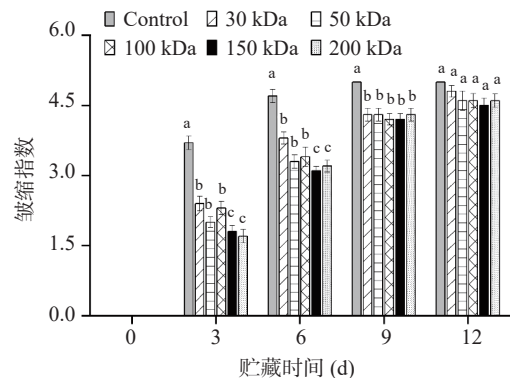


图 1 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏期间皱缩指数影响

Fig.1 Effect of chitosan coating with different molecular weights on the shrinkage index in postharvest passion fruit during storage

注: 同一贮藏天数不同分子量数据差异显著, $P < 0.05$; 图 2~图 10 同。

分子量壳聚糖涂膜的果实之间皱缩指数趋于一致。上述结果表明,在一定的贮藏期内,壳聚糖分子量增大,有助于降低西番莲果实失水皱缩,但随着贮藏时间延长,不同分子量壳聚糖之间控制皱缩能力将逐渐减弱。

采后果实因为蒸腾作用和呼吸作用,果实内部的水分经过表皮的皮孔与气孔不断散发到果实外部,造成果实重量减轻^[21]。由图2所示,虽然随着贮藏时间延长,各组西番莲果实失重率均增加,但在整个贮藏期间,未经壳聚糖涂膜的果实失重率始终快速上升,并显著地高于经过涂膜的果实($P<0.05$)。而对于不同分子量壳聚糖而言,从第6d开始,不同分子量壳聚糖涂膜的果实间失重率出现显著性($P<0.05$)差异。其中在第6d和第9d,30和150 kDa涂膜的果实失重率最低,分别比未涂膜组低了3.45%、3.78%(第6d)和3.46%、3.41%(第9d),其次是100和200 kDa涂膜的果实。但到贮藏结束时,150和200 kDa壳聚糖涂膜的果实失重率仍然显著($P<0.05$)地低于其余果实。类似地,在香蕉果实中,经540 kDa壳聚糖涂膜的果实失重率低于265和65 kDa的果实^[15]。同时,统计分析表明,皱缩指数与失重率呈极显著正相关($r=0.910^{**}$)。该结果进一步证明了壳聚糖涂膜可以抑制果实水分蒸发,减少果实重量减轻,而且高分子量的壳聚糖涂膜延缓失重率效果更好,并且其减轻西番莲果实皱缩主要与控制失水有关。

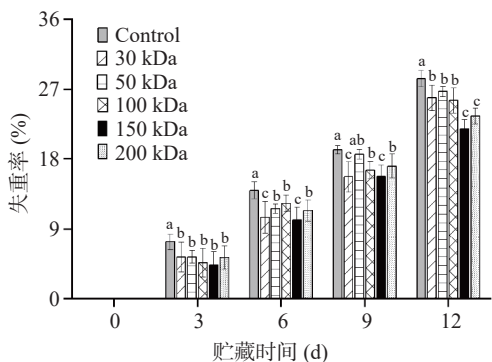


图2 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏期间失重率影响

Fig.2 Effect of chitosan coating with different molecular weights on the weight loss rate in postharvest passion fruit during storage

2.2 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实转黄指数影响

随着果实成熟衰老,西番莲果实表皮色泽逐步由绿变黄。由图3可知,所有西番莲果实转黄指数在贮藏期间呈上升趋势。同样,未经壳聚糖涂膜的果实转黄最快,其在第9d时所有果实已全部转黄。而经不同分子量涂膜的果实则一直推迟到第12d才全部转黄。而经壳聚糖涂膜果实中,30和50 kDa涂膜的果实转黄指数虽然在前9d均低于对照果,并且

第6d时前者涂膜的果实转黄指数仍比同期贮藏的对照果低14%左右,但到第9d时与对照果之间已经无显著性差异($P>0.05$)。而分子量较大的涂膜果实,其转黄指数则进一步得到减缓,尤其是200 kDa涂膜的果实在前6d转黄指数最低,为44%,但与100 kDa的果实间无显著性差异($P>0.05$)。到第9d时,100、150和200 kDa涂膜的果实间已均无显著性差异($P>0.05$)三组果实的转黄指数分别为84%、86%和84%。同样,壳聚糖涂膜延缓果实转色已在芒果^[22]、番茄^[23]、无花果^[24]和柚子^[25]等果实上得到证实。但本研究进一步表明,不同分子量的壳聚糖其控制果实转黄能力存在差异,即高分子量壳聚糖更有助于减缓果实转黄,从而延缓了西番莲果实成熟衰老。统计分析表明,西番莲果实转黄指数与皱缩指数($r=0.935^{**}$)和失重率($r=0.666^{**}$)均呈现极显著($P<0.01$)正相关,表明壳聚糖涂膜减缓了西番莲果实皱缩和失重与延缓了果实成熟衰老有关。

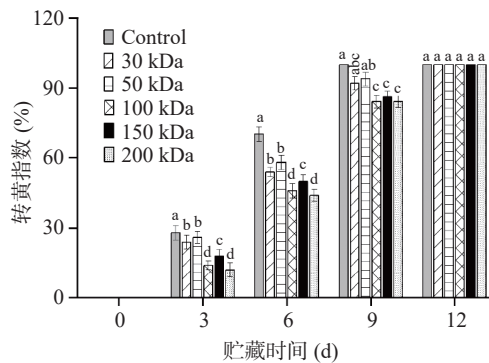


图3 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏期间转黄指数影响

Fig.3 Effect of chitosan coating with different molecular weights on the yellowing index in postharvest passion fruit during storage

2.3 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实腐烂率影响

如图4所示,未经壳聚糖涂膜的和经30和50 kDa

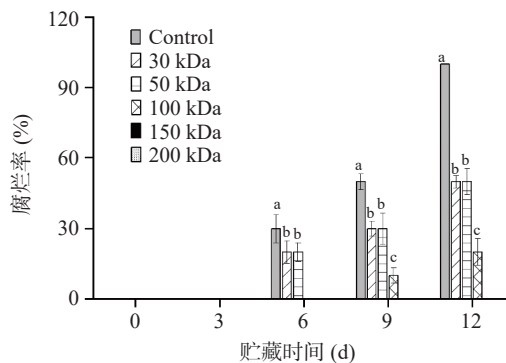


图4 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏期间腐烂率影响

Fig.4 Effect of chitosan coating with different molecular weights on the decay rate in postharvest passion fruit during storage

壳聚糖涂膜的西番莲果实从第 6 d 就开始发生腐烂, 但对照组的腐烂率比 30 和 50 kDa 涂膜组高了 10%; 而经 100 kDa 涂膜的果实推迟到第 9 d 开始发生腐烂。到贮藏结束时, 对照组的果实完全发生腐烂, 30 和 50 kDa 涂膜组的腐烂率为 50%, 100 kDa 涂膜组仅发生轻微腐烂(20%); 而 150 和 200 kDa 涂膜组直到贮藏末期均未发生腐烂。表明壳聚糖涂膜具有明显地抑制果实腐烂作用, 并且随着分子量的提高, 其抑制效果也逐步增强。在采后番茄果实中, 同样发现壳聚糖浓度相同条件下, 高分子量壳聚糖涂膜的番茄果实发病率低于低分子量涂膜的果实^[26]。

2.4 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实 TSS 含量影响

如图 5 所示, 对照组的 TSS 含量在第 6 d 达到峰值, 而 50、150 和 200 kDa 涂膜组的 TSS 含量则推迟到第 9 d 达到峰值。此时, 50、150 和 200 kDa 涂膜组的 TSS 峰值与贮藏初期相比分别高了 4.56%、4.19%、2.23% 和 3.26%。前 6 d, 除了 150 kDa 涂膜的果实, 其余涂膜组的 TSS 含量与对照组间没有显著差异($P>0.05$); 随后直到贮藏结束, 30 和 200 kDa 涂膜组的 TSS 含量比对照组分别高了 2.34% 和 3.66%($P<0.05$), 其余组别间则没有显著差异($P>0.05$)。表明 30 和 200 kDa 涂膜组的西番莲果实能够较好地维持 TSS 的含量, 可能是因为 30 kDa 壳聚糖的分子量较低, 持水性较好, 成膜性好于高分子量壳聚糖, 200 kDa 分子量较高, 透气性差, 二者均能阻止西番莲果实与外界的气体交换, 延缓果实衰老, 从而保持较高的 TSS 含量^[27-28]。在葡萄果实的保鲜中, 150 和 250 kDa 分子量的壳聚糖涂膜延缓 TSS 含量的下降程度优于 50 和 500 kDa 分子量的壳聚糖涂膜^[29], 说明在不同的果实中延缓 TSS 含量下降的壳聚糖分子量有所不同。

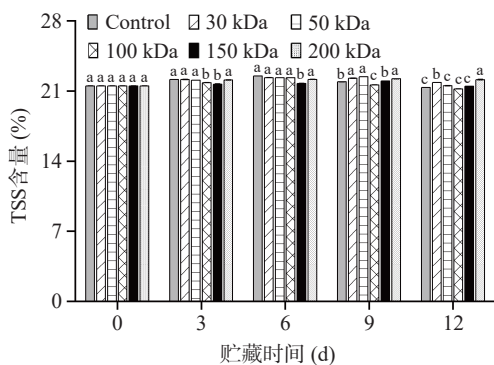


图 5 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏期间 TSS 含量影响

Fig.5 Effect of chitosan coating with different molecular weights on the content of TSS in postharvest passion fruit during storage

2.5 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实可滴定酸和可溶性糖含量影响

如图 6 所示, 对照组和低分子量涂膜的果实

(30~100 kDa)其可滴定酸含量在前 3 d 出现快速下降, 相比 0 d 分别下降了 19.46%、17.93%、19.61% 和 18.57%; 而 150 和 200 kDa 涂膜组则在第 3 d 至第 6 d 出现一个较快速下降。但随后所有果实可滴定酸含量下降均趋缓, 并且从第 6 d 到贮藏结束, 100 和 200 kDa 涂膜的西番莲果实可滴定酸下降较快, 而其余组别均保持了较高的可滴定酸, 并且这些组别间在第 6 d 和第 9 d 差异不显著($P>0.05$)。表明较低分子量和较高分子量的壳聚糖均有助于保持较高的可滴定酸。而在短期贮藏内, 高分子量壳聚糖更能保持较高的可滴定酸。类似的结果在无花果^[24]、滇刺枣^[30] 等果实上均有报道。其原因可能是与壳聚糖涂膜降低了果实呼吸速率, 从而减少了有机酸消耗^[24,30-31]。

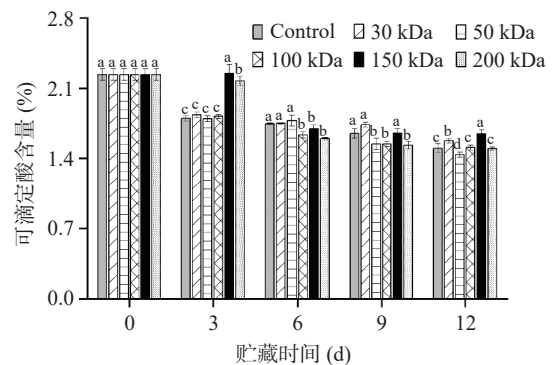


图 6 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏期间可滴定酸含量影响

Fig.6 Effect of chitosan coating with different molecular weights on the content of titratable acid in postharvest passion fruit during storage

西番莲果实中的可溶性糖主要是葡萄糖、果糖和蔗糖^[32]。如图 7 所示, 西番莲果实的可溶性糖含量在贮藏期间则呈先升后降趋势。对照组的可溶性糖含量在第 3 d 达到峰值, 30、100 和 200 kDa 涂膜组在第 6 d 达到峰值, 而 50 和 150 kDa 涂膜组的可溶性糖含量则推迟到第 9 d 才达到峰值, 各组峰值分别是贮藏初期的 1.09(对照组)、1.07(30 kDa)、1.04

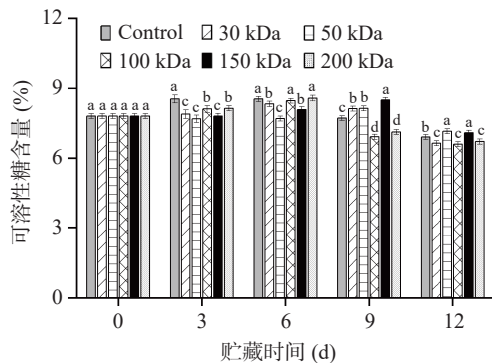


图 7 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏期间可溶性糖含量影响

Fig.7 Effect of chitosan coating with different molecular weights on the content of soluble sugar in postharvest passion fruit during storage

(50 kDa)、1.08(100 kDa)、1.09(150 kDa) 和 1.10(200 kDa)倍。可溶性糖前期含量升高与多糖的降解有关,并且与呼吸作用密切相关。该研究结果表明,壳聚糖涂膜可以延缓糖代谢,减缓可溶性糖的消耗,并且同样呈现出较低分子量的(50 kDa)和较高分子量(150 kDa)的壳聚糖延缓性最好。与本研究结果不同,不同分子量涂膜组的壳聚糖在维持南瓜可溶糖含量方面则没有显著性差异^[14]。

2.6 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实 V_C 含量影响

V_C 含量是衡量果实贮藏品质的指标之一,如图 8 所示,所有西番莲果实 V_C 含量在贮藏期间呈下降趋势。对照组、30 和 50 kDa 涂膜组的 V_C 含量在前 3 d 迅速下降,分别下降到贮藏初期的 37.32%、74.90% 和 80.39%,随后趋于平缓;其余组果实的 V_C 含量在贮藏期间下降缓慢,并且在整个贮藏过程中保持了较高的 V_C 含量。尤其是经 150 kDa 涂膜的西番莲果实除了第 3 d 略低于 100 kDa 涂膜的果实外,在其余贮藏期间均处于最高。到第 12 d 贮藏结束时,对照组的 V_C 含量仅为贮藏初期的 59.12%,而涂膜组的 V_C 含量仍然显著($P < 0.05$)高于对照组,经 150 kDa 涂膜的果实 V_C 含量是对照组的 1.25 倍。在‘Anykšta’品种猕猴桃果实中,中分子量壳聚糖涂膜组在贮藏末期维持的 V_C 含量高于低分子量涂膜组,而在‘VIR2’品种猕猴桃果实中,低分子量壳聚糖涂膜组的果实 V_C 含量最高^[33]。表明在不同的果实中,不同分子量的壳聚糖维持 V_C 含量的效果不同。

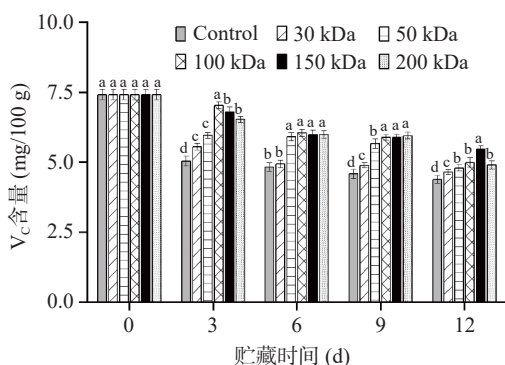


图 8 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏期间 V_C 含量影响

Fig.8 Effect of chitosan coating with different molecular weights on the content of V_C in postharvest passion fruit during storage

2.7 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实类黄酮和总酚含量影响

除了 V_C 含量丰富外,西番莲果实还是类黄酮和酚类的丰富来源。如图 9 所示,西番莲果实的类黄酮含量在贮藏期间呈先上升后下降的变化趋势。其中,对照组果实类黄酮含量在第 6 d 达到峰值;而经过涂膜的西番莲果实中,除了 150 kDa 涂膜的果实

直到第 9 d 才达到峰值外,其余涂膜组果实的类黄酮含量均在第 3 d 就达到峰值,并且经 30 kDa 涂膜的果实其类黄酮含量在整个贮藏过程中均最高。而到贮藏后期(第 9~12 d),高分子量(150 和 200 kDa)壳聚糖涂膜的果实则保持了较高的类黄酮含量,第 9 和第 12 d 时,150 和 200 kDa 涂膜的果实类黄酮含量分别比同期对照组果实高了 13.28%、7.81% 和 0.61%、2.87%。统计分析表明,该阶段其与 30 kDa 涂膜的果实间类黄酮含量差异性不显著($P > 0.05$)。而在整个贮藏过程中,50 和 100 kDa 涂膜的果实类黄酮含量均较低,甚至低于对照果实,50 kDa 涂膜的果实类黄酮含量在贮藏末期比同期对照组果实低了 5.74%。本研究结果表明,中等分子量的壳聚糖涂膜可能会导致果实类黄酮含量下降加快,而低分子量(30 kDa)和高分子量(150 和 200 kDa)壳聚糖则更有助于保持西番莲果实中较高的类黄酮含量,在贮藏末期,30、150 和 200 kDa 涂膜的果实类黄酮含量比同期对照组果实分别高了 1.23%、0.61% 和 2.87%。类似地,在芒果果实中也发现,40 kDa 涂膜组的类黄酮含量在贮藏末期低于对照组,270 和 360 kDa 涂膜组果实的类黄酮含量均高于对照组^[13]。

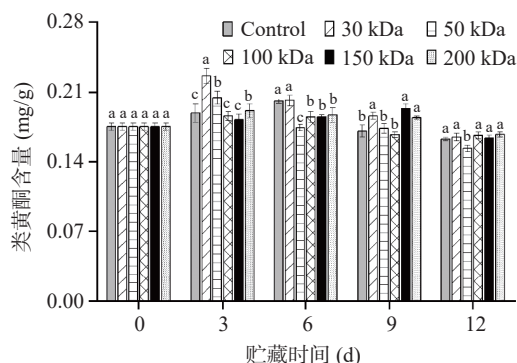


图 9 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏期间类黄酮含量影响

Fig.9 Effect of chitosan coating with different molecular weights on the content of flavonoid in postharvest passion fruit

如图 10 所示,与类黄酮含量变化趋势不同,西番莲果实中总酚含量则随着贮藏时间延长而一直处于下降趋势。其中,对照组果实在第 3 d 就快速下降到贮藏初期的 45.57%,其次是 50 kDa 涂膜组,下降到初期的 58.51%,随后是 30、100 和 200 kDa 涂膜的果实,三者间差异不显著($P > 0.05$),约为贮藏初期的 68.53%、71.10% 和 64.69%;而 150 kDa 涂膜的果实仅下降了 7.07%;在随后贮藏阶段,对照组变化趋于平缓,而 30 和 100 kDa 涂膜的果实第 6 d 进一步快速下降,并与对照组之间差异不显著($P > 0.05$),而此时 150 kDa 涂膜的果实总酚含量仍然最高。而第 9 d 时各组间已无显著性差异($P > 0.05$)。而到贮藏结束(第 12 d)时,50、150 和 200 kDa 壳聚糖涂膜的西番莲果实含量仍然保持了较高的总酚含量。该结果表明,150 kDa 壳聚糖最有助于延缓西番莲果实

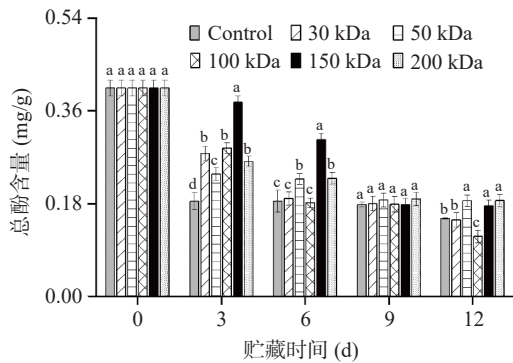


图 10 不同分子量壳聚糖涂膜对采后西番莲果实贮藏期间总酚含量影响

Fig.10 Effect of chitosan coating with different molecular weights on the content of total phenol in postharvest passion fruit

总酚含量下降,其次是 50 和 200 kDa 的壳聚糖,而其余分子量的壳聚糖延缓效果不明显。这与 Zhang 等^[34]的研究结果类似,30 和 120 kDa 涂膜组的油桃果实在贮藏末期的总酚含量均高于对照组,其原因可能是壳聚糖涂膜能够提高果实的抗氧化能力,从而能较好地维持果实中总酚含量。

3 结论

本研究表明,不同分子量的壳聚糖涂膜处理可有效延缓西番莲果实贮藏期间的皱缩和成熟,并显著降低了果实腐烂率。其中对于皱缩指数和腐烂率而言,均随着壳聚糖分子量增大,效果越明显;对于皱缩指数而言,壳聚糖分子量达到 150 kDa 时,其效果与 200 kDa 之间已无显著差异。而对于失重率和果实内部品质,较低分子量的(30~50 kDa)和较高分子量(150 kDa)的壳聚糖均更有助于降低果实代谢,从而抑制了果实中可滴定酸和可溶性糖的消耗,维持了较高的可溶性固形物、类黄酮和总酚含量。此外,在整个贮藏期间,150 kDa 分子量壳聚糖涂膜的果实中 V_C 含量均最高。综上所述,不同分子量的壳聚糖涂膜均可以通过推迟采后西番莲果实的衰老,维持果实品质。但有关不同分子量的壳聚糖涂膜对果实品质影响存在差异,综合而言,150 kDa 壳聚糖更有助于西番莲果实品质保持,但其具体机理需要进一步研究。

参考文献

- [1] 陈怀宇,王钰淇,陈洪彬,等.基于 GC-IMS 分析“黄金”和“紫香”西番莲果实挥发性风味物质的差异[J].中国南方果树,2022,51(6):84-89. [CHEN H Y, WANG Y Q, CHEN H B, et al. Differences of volatile flavour compounds in 'Huangjin' and 'Zixiang' passion fruit based on GC-IMS[J]. South China Fruits, 2022, 51(6): 84-89.]
- [2] 陈丽凤,王则金.西番莲果实采后恒温处理及冷藏工艺研究[J].冷藏技术,2021,44(4):1-5-9. [CHEN L F, WANG Z J. Study on the effect of cold storage of passion fruit[J]. Journal of Refrigeration Technology, 2021, 44(4): 1-5-9.]
- [3] 罗义灿,王运儒,陈永森,等.不同货架期西番莲果实香气成分变化研究[J].保鲜与加工,2022,22(12):68-77. [LUO Y C,

WANG Y R, CHEN Y S, et al. Study on the changes of aroma components in *Passiflora caerulea* L. fruits with different shelf life[J]. Storage and Process, 2022, 22(12): 68-77.]

[4] GOLDENBERG L, FEYGENBERG O, SAMACH A, et al. Ripening attributes of new passion fruit line featuring seasonal non-climacteric behavior[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(7): 1810-1821.

[5] PATEL R. Waxing, lining and polyethylene packaging on the shelf-life and juice quality of passion fruit during storage[J]. Journal of Food Science and Technology -Mysore, 2009, 46(1): 70-74.

[6] OWINO W, SHIBAIRO S, AMBUKO J, et al. Effect of modified atmosphere packaging (map) on the shelf life and postharvest quality of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) [J]. Journal of Postharvest Technology, 2014, 2(1): 25-36.

[7] SILVAL J B D, SOUZA M L D, ARAUJO N S E D, et al. Alternative covering in the shelf life conservation of yellow passion fruit produced in organic system[J]. Revista Brasileira de Fruticultura, 2009, 31(4): 995-1003.

[8] DA M W F, CHAMHUM S L C, ROBERTO C P, et al. Waxes and plastic film in relation to the shelf life of yellow passion fruit[J]. Scientia Agricola, 2003, 60(1): 51-57.

[9] 帅良,杨玉霞,廖玲燕,等.海藻酸钠涂膜对百香果贮藏品质的影响[J].食品工业科技,2016,37(13):332-334,339. [SHUAI L, YANG Y X, LIAO L Y et al. Effects of sodium alginate film on quality of postharvest storage in passion fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(13): 332-334, 339.]

[10] 李莹,杨欣悦,王雪羽,等.壳聚糖复合膜的成膜机理和特性研究进展[J].食品工业科技,2022,43(7):430-438. [LI Y, YANG X Y, WANG X Y, et al. Research progress on the film-forming mechanism and characteristics of chitosan based composite membranes[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(7): 430-438.]

[11] HOSSEINNEJAD M, JAFARI S M. Evaluation of different factors affecting antimicrobial properties of chitosan[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 85: 467-475.

[12] XU D, QIN H R, REN D. Prolonged preservation of tangerine fruits using chitosan/montmorillonite composite coating[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 143: 50-57.

[13] JONGSRI P, WANGSOMBOONDEE T, ROJSITTHISAK P, et al. Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 73: 28-36.

[14] PUGLIESE M A, GOITIA M T, YOSSEN M, et al. Improved postharvest quality in patagonian squash (*Cucurbita moschata*) coated with radiation depolymerized chitosan[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2011, 80: 1406-1413.

[15] WANTAT A, ROJSITTHISAK P, SERAYPHEAP K. Inhibitory effects of high molecular weight chitosan coating on 'Hom Thong' banana fruit softening[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2021, 29, 100731.

[16] 陈洪彬,李书亮,蒋璇颖,等.鱼皮明胶-壳聚糖复合涂膜对“黄金”西番莲的保鲜效果[J].食品与发酵工业,2022,48(18):134-141. [CHEN H B, LI S L, JIANG X L, et al. Effects of fish skin gelatin-chitosan composite coating film on the preservation of passion (*Passiflora caerulea* L.) fruit[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(18): 134-141.]

[17] 金童,韩聪,杨晓颖,等.1-甲基环丙烯和二氧化氯复合处理对冬枣采后生理及贮藏品质的影响[J].食品研究与开发,2020,41(06):25-31. [JIN T, HAN C, YANG X Y, et al. Effects of com-

- bined treatment of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and chlorine dioxide (ClO_2) on postharvest physiology and storage quality of winter jujube[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(6): 25–31.]
- [18] 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: 57–59. [CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 57–59.]
- [19] 张新业, 王雨欣, 孙艳香, 等. 胡萝卜类黄酮含量的测定及 *DcCHS* 基因家族的鉴定分析[J]. *西北农业学报*, 2021, 30(4): 572–581. [ZHANG X Y, WANG Y X, SUN Y X, et al. Determination of flavonoid content in carrot (*Daucus carota* subsp. *sativus*) and identification of *DcCHS* gene family[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2021, 30(4): 572–581.]
- [20] SU Z H, HU M J, GAO Z Y, et al. Apple polyphenols delay senescence and maintain edible quality in litchi fruit during storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2019, 157, 110976.
- [21] ZHONG Z W, ZHOU L, YU K B, et al. Effects of microporous packaging combined with chitosan coating on the quality and physiological metabolism of passion fruit after harvest[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2022, 15(8): 1836–1850.
- [22] 谷会, 方静, 叶建敏, 等. 热处理结合壳聚糖涂膜对‘台农1号’芒果常温贮藏品质的影响[J]. *食品科技*, 2022, 47(6): 37–43. [GU H, FANG J, YE J M, et al. Effect of heat treatment composite chitosan coating on ‘Tainong NO.1’ mango storage quality at room temperature[J]. *Food Science and Technology*, 2022, 47(6): 37–43.]
- [23] 林永艳, 谢晶, 余江涛, 等. 1-MCP 及壳聚糖对蕃茄贮藏品质的影响[J]. *食品与机械*, 2014, 30(1): 169–171, 204. [LIN Y Y, XIE J, YU J T, et al. Effect of 1-MCP and chitosan on tomato quality during storage[J]. *Food & Machinery*, 2014, 30(1): 169–171, 204.]
- [24] SAKI M, VALIZADEHKAJI B, ABBASIFAR A, et al. Effect of chitosan coating combined with thymol essential oil on physicochemical and qualitative properties of fresh fig (*Ficus carica* L.) fruit during cold storage[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2019, 13: 1147–1158.
- [25] NIE Z, HUANG Q, CHEN C, et al. Chitosan coating alleviates postharvest juice sac granulation by mitigating ROS accumulation in harvested pummelo (*Citrus grandis* L. Osbeck) during room temperature storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020, 169, 111309.
- [26] BADAWY M E I, RABEA E I. Potential of the biopolymer chitosan with different molecular weights to control postharvest gray mold of tomato fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 51: 110–117.
- [27] 庄晨俊, 钟宇. 分子量、脱乙酰度与浓度对壳聚糖流变性影响[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(7): 1–6. [ZHUANG C J, ZHONG Y. Effect of molecular weight, degree of deacetylation and concentration on rheological properties of chitosan[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(7): 1–6.]
- [28] 陈西广. 甲壳素/壳聚糖结构形态与生物材料功效学研究[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2020, 50(9): 126–140. [CHEN X G. Progress in the study of chitin/chitosan structure morphology and biomaterial efficacy[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2020, 50(9): 126–140.]
- [29] 高凤菊. 高分子量壳聚糖及其混剂对货架期葡萄的保鲜效果[J]. *保鲜与加工*, 2022, 22(1): 9–15. [GAO F J. Preservation effects of high molecular weight chitosan and mixture on grapes during shelf-life[J]. *Storage and Process*, 2022, 22(1): 9–15.]
- [30] HESAMI A, KAVOOSI S, KHADEMI R, et al. Effect of chitosan coating and storage temperature on shelf-life and fruit quality of *Ziziphus mauritiana*[J]. *International Journal of Fruit Science*, 2021, 21(1): 509–518.
- [31] CHIABRANDO V, GIACALONE G. Effect of different coatings in preventing deterioration and preserving the quality of fresh-cut nectarines (cv Big Top)[J]. *CyTA-Journal of Food*, 2013, 11: 285–292.
- [32] 李巍, 李春俭, 张福锁, 等. 西番莲营养品质与功能性充分研究及应用进展[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(11): 79–92. [LI W, LI C J, ZHANG F S, et al. Research progress on the nutritional quality and functional substances of passionflower and its application[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(11): 79–92.]
- [33] DREVINSKAS T, NAUJOKAITYTE G, MARUSKA A, et al. Effect of molecular weight of chitosan on the shelf life and other quality parameters of three different cultivars of *Actinidia kolomikta* (kiwifruit)[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 173: 269–275.
- [34] ZHANG W L, ZHAO H D, ZHANG J, et al. Different molecular weights chitosan coatings delay the senescence of postharvest nectarine fruit in relation to changes of redox state and respiratory pathway metabolism[J]. *Food Chemistry*, 2019, 289: 160–168.