

钟芳洁, 周炳贤, 冯棋琴, 等. 复合天然保鲜剂制备及对树仔菜保鲜效果研究 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(3): 308–316. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050157

ZHONG Fangjie, ZHOU Bingxian, FENG Qiqin, et al. Study on Preparation of Compound Natural Preservative and Its Effect on Preservation of *Sauropus androgynus*(L.) Merr.[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(3): 308–316. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050157

· 贮运保鲜 ·

复合天然保鲜剂制备及对树仔菜保鲜效果研究

钟芳洁, 周炳贤, 冯棋琴*, 陈汉鹏, 胡 烨, 李振鑫
(海南医学院公共卫生学院, 海南海口 571199)

摘 要: 为了筛选出适于树仔菜的复合天然保鲜剂, 本实验以海南树仔菜为实验材料, 在单因素实验的基础上进行正交试验, 考察壳聚糖、茶树油纳米乳液、茶皂素复配溶液处理对储存期间树仔菜叶绿素含量、 V_C 含量、感官品质及失重率的影响。再以蒸馏水处理组作对照, 比较最佳配方的复合天然保鲜剂与传统化学保鲜剂(二氧化氯)对树仔菜的保鲜效果。结果表明, 复合保鲜剂最佳配方为茶皂素 2 mg/mL、茶树油纳米乳液 4 mg/mL、壳聚糖 15 mg/mL, 用该配方处理树仔菜, 储存 6 d, 其叶绿素和 V_C 损失较少, 失重率低, 能较好地保持其感官品质, 保鲜效果的综合评分为 86.05 分。复合天然保鲜剂和化学保鲜剂的保鲜效果均明显优于对照组, 且复合天然保鲜剂的保鲜效果略优于传统化学保鲜剂, 尤其在保持叶绿素含量及减少失重方面效果更佳。本实验筛选的复合天然保鲜剂对树仔菜有良好的保鲜效果, 在树仔菜的绿色保鲜上具有巨大的应用前景。

关键词: 复合天然保鲜剂, 树仔菜, 茶皂素, 茶树油纳米乳液, 壳聚糖

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)03-0308-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021050157

本文网刊:



Study on Preparation of Compound Natural Preservative and Its Effect on Preservation of *Sauropus androgynus*(L.) Merr.

ZHONG Fangjie, ZHOU Bingxian, FENG Qiqin*, CHEN Hanpeng, HU Ye, LI Zhenxin

(School of Public Health, Hainan Medical University, Haikou 571199, China)

Abstract: The study aimed to screen out the compound natural preservative suitable for *Sauropus androgynus*(L.) Merr.. In this experiment, the Hainan *Sauropus androgynus*(L.) Merr. was as experiment material, and three natural preservatives were investigated by $L_9(3^4)$ orthogonal test based on single factor experiment. The effects of chitosan, tea tree oil nanoemulsion and tea saponin solution on chlorophyll content, V_C content, sensory quality and weight loss rate of *Sauropus androgynus*(L.) Merr. during storage were investigated. Then the distilled water treatment group was used as the control, the preservation effect was compared between the natural preservative and the traditional chemical preservative(chlorine dioxide). The results showed that the optimal compound preservative formula was tea saponin 2 mg/mL, tea tree oil nanoemulsion 4 mg/mL and chitosan solution 15 mg/mL. With this formula, the contents of chlorophyll and V_C lost less, and the weight loss rate was low, and the sensory quality of *Sauropus androgynus*(L.) Merr. could be maintained well after 6 days storage. The comprehensive score of preservation effect was 86.05. The preservation effects of the compound natural preservative and the chemical preservative were better than that of the control group, and the preservation effect of compound natural preservative was slightly better than that of traditional chemical preservative, especially in maintaining chlorophyll content and reducing weight loss. The compound natural preservative selected in this experiment has a good effect on the preservation of *Sauropus androgynus*(L.) Merr.. And it has great application prospect as the green preservative

收稿日期: 2021-05-20

基金项目: 国家大学生创新创业项目(201911810009); 海南省自然科学基金项目(20168273)。

作者简介: 钟芳洁(1998-), 女, 本科, 研究方向: 食品营养, E-mail: floeyuse@163.com。

* 通信作者: 冯棋琴(1982-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 食品营养, E-mail: fengqiqin1842@163.com。

of *Sauropus androgynus*(L.) Merr..

Key words: compound natural preservative; *Sauropus androgynus*(L.) Merr.; tea saponin; tea tree oil nanoemulsion; chitosan

树仔菜(*Sauropus androgynus*(L.) Merr.)原名守宫木,又称五指山野菜、天绿香、绿兰菜、越南菜等,为大戟科守宫木属多年生常绿小灌木,其顶端幼嫩茎叶可作蔬菜食用,质地脆爽,味道清香,口感独特^[1-3]。其主产于南洋群岛和东南亚,在我国海南、云南等地有野生,也有零散栽培^[3]。海南民间有用树仔菜煲骨头汤食用的习俗,认为其具有清热、解毒、消肿的作用^[1]。研究发现,树仔菜富含多种人体必需的矿物质和蛋白质, V_C 含量也高于一般蔬菜;还具有抗氧化、降血压、抗炎等保健作用;其叶子和根还被用来缓解发烧、治疗耳痛及泌尿系统等疾病;是集美食、食疗、药用为一体的珍稀驯化野菜^[1,4-7]。随着人们对“天然绿色食品”的追求,树仔菜的市场需求越来越大,海南树仔菜种植面积迅速扩增,已被列为海南省重点开发的无公害高效农产品,出岛量大,是当地农民重要的收入来源^[3]。但树仔菜不耐储存、保鲜,邓爱妮等^[8]研究发现,按传统低温保鲜方法储存 2 d, V_C 含量开始下降,储存 4 d 下降明显,严重影响树仔菜的品质。但目前市面上尚未见专用于树仔菜的保鲜剂,且常见的蔬菜保鲜剂多是化学保鲜剂。随着人们对食品安全要求的提高,研究和开发适用于蔬菜保鲜的绿色、天然保鲜剂,对减少蔬菜损耗、增加经济收益及促进绿色食品发展具有重要意义。

壳聚糖、茶树油纳米乳液和茶皂素均是效果较佳的天然保鲜剂。ALI 等^[9]用 1.0%~2.0% 壳聚糖溶液处理新鲜木瓜,发现能有效延迟木瓜的成熟期,降低失重率,对硬度、表皮感官色泽的保持效果较好。赵博^[10]发现壳聚糖和生姜大蒜提取物的复配液对草莓保鲜效果优于壳聚糖的单独使用。SATHIYAS-EELAN 等^[11]用壳聚糖-茶树油纳米乳处理鲜切红甜椒,可使其在 4 ℃ 储存 18 d,有效地延长了保质期。张文婷^[12]发现茶皂素对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌有明显的抑制作用;李迅^[13]将茶皂素用于草莓保鲜,可减少草莓储存期间的腐烂率、失重、 V_C 损失、硬度变化、总酸变化,延长草莓保质期。

本研究以海南树仔菜为对象,以叶绿素含量、 V_C 含量、失重率及感官评分为评价指标,考察茶皂素、茶树油纳米乳液和壳聚糖三种天然保鲜剂复配对树仔菜保鲜效果的影响,筛选出最佳复配比例,并与传统保鲜剂进行对比,评价其保鲜效果,以期树仔菜的绿色保鲜开辟一条新途径。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

树仔菜 海口市南北蔬菜批发市场(由五指山种植基地当天采摘供货);茶皂素 食品级,广东洋虎生物科技有限公司;茶树油(互叶白千层油) 食品

级,陕西圣莱元生物科技有限公司;壳聚糖(脱乙酰度 92%) 食品级,山东卫康生物医药科技有限公司;吐温 80 西陇化工股份有限公司;抗坏血酸标准品 纯度 $\geq 99\%$,天津市大茂化学试剂厂;二氧化氯化学保鲜剂 山西可利尔生物科技有限公司。

TDL-40B 大型低速水平离心机 上海安亭科学仪器厂;SCIENTZ-1200E 超声波细胞粉碎机、SCIENTZ-48L 冷冻型高通量组织研磨器 宁波新芝生物科技股份有限公司;722N 可见分光光度计 上海仪电分析仪器有限公司;HR3865 破壁料理机 飞利浦(中国)投资有限公司;DF101S 集热式恒温磁力搅拌器 江苏科析仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理 将市场购回的树仔菜去除机械损伤部分后,按试验设计分组,每组(1 kg)分别均匀喷洒 30 mL 一定浓度的保鲜剂,于 25 ℃ 室温下晾干 20 min,用 PE 保鲜袋包装后置于 4 ℃ 冰箱保存。

1.2.2 茶树油纳米乳液制备 称取 20 g 茶树油和 30 g 吐温 80(表面活性剂)混匀,作为油相;无水乙醇为助表面活性剂,按表面活性剂:助表面活性剂为 7:1(质量比),称取无水乙醇 4.3 g,用 50 mL 去离子水混匀,用去离子水定容至 100 mL,作为水相。用玻璃棒匀速搅拌油相并缓慢加入上述 100 mL 水相,再加入搅拌子,放至磁力搅拌器搅拌 2 min 至均匀,形成粗乳液^[14]。最后使用超声波细胞粉碎机对粗乳液进行超声匀质(超声功率 405 W, 15 min,同时冰水浴降温^[15])。在纳米乳溶液的基础上直接加入去离子水以配制不同浓度的茶树油纳米乳溶液。

1.2.3 单因素实验

1.2.3.1 不同浓度茶皂素处理对树仔菜保鲜效果的影响 参考相关研究^[16-18]的方法,将不同浓度(0.5、1、2、4、8 mg/mL)的茶皂素水溶液分别均匀喷洒于各组树仔菜上,晾干,各处理组取适量进行第一次指标(叶绿素含量、 V_C 含量、质量及感官评分)测定,其余用 PE 保鲜袋包装置于 4 ℃ 的冰箱中储存,于第 6 d(前期预实验发现从第 6 d 开始检测样品的叶绿素含量、 V_C 含量、失重率及感官评分,不同处理组间差异较大,故选取第 6 d 的测定结果作为评价依据)再次测定上述指标;每个处理组重复测 3 次,取平均值;用上述测定结果计算综合评分。考察不同浓度茶皂素对树仔菜保鲜效果的影响。

1.2.3.2 不同浓度茶树油纳米乳液处理对树仔菜保鲜效果的影响 参考钟业俊等^[19]的方法,将不同浓度(1、2、3、4、5 mg/mL)的茶树油纳米乳液水溶液均匀喷洒于树仔菜上,晾干,包装冷藏,分别于第 1、6 d

测定各指标,操作同 1.2.3.1。考察不同浓度茶树油纳米乳对树仔菜保鲜效果的影响。

1.2.3.3 不同浓度壳聚糖处理对树仔菜保鲜效果的影响 参考闫安等^[16]和刘亚平^[20]的方法,将不同浓度(5、10、15、20、25 mg/mL)壳聚糖水溶液均匀喷洒于树仔菜上,晾干,包装冷藏,分别于第 1、6 d 测定各指标,操作同 1.2.3.1。考察不同浓度壳聚糖对树仔菜保鲜效果的影响。

1.2.4 正交试验 在单因素结果的基础上,以茶皂素浓度(A)、茶树油纳米乳液浓度(B)和壳聚糖浓度(C)为因素,以综合评分为评价指标,进行 $L_9(3^4)$ 正交试验,以确定最佳配方。试验因素水平见表 1。

表 1 正交试验因素水平表
Table 1 Factors and levels of orthogonal test

水平	因素		
	A茶皂素 (mg/mL)	B茶树油纳米乳液 (mg/mL)	C壳聚糖 (mg/mL)
1	1	3	10
2	2	4	15
3	4	5	20

1.2.5 复合天然保鲜剂与传统化学保鲜剂对树仔菜的保鲜效果比较 将等量的上述最佳配方的复合天然保鲜剂、传统化学保鲜剂(二氧化氯,浓度 0.25 mg/mL)、蒸馏水(空白对照组)分别均匀喷洒于等量的树仔菜上,晾干,各组取适量树仔菜测定储存第 1 d 的指标(包括叶绿素含量、 V_C 含量、质量及感官评分),包装冷藏,于第 6 d 再次测定上述指标,每个指标重复测 3 次,取平均值。用第 1 d 和第 6 d 的测定结果计算综合评分,作为保鲜效果评判的依据。

1.2.6 指标测定

1.2.6.1 叶绿素含量、 V_C 含量和失重率的测定 叶绿素含量参照 NY/T3082-2017《水果、蔬菜及其制品中叶绿素含量的测定 分光光度法》^[21] 进行测定; V_C 含量参照 GB5009.86-2016《食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定》^[22] 中 2,6-二氯酚酚滴定法进行测定;失重率(%)的计算公式为失重率(%)=(第 1 d 质量-第 6 d 质量)/第 1 d 质量 $\times 100$ 。

1.2.6.2 感官评价 挑选经过培训的 10 名预防医学专业学生组成感官评价小组,对树仔菜感官品质进行评价,评价标准见表 2。

1.2.6.3 综合评价 利用上述指标第 1 d 和第 6 d 的测定结果计算变化率,设叶绿素含量变化率、 V_C 含量变化率、感官评分变化率、失重率占比分别为 0.1、0.3、0.3、0.3(各处理组的树仔菜在贮存 6 d 后,树仔菜色泽均保持较好,呈翠绿色,叶绿素变化对贮存期间树仔菜的色泽的影响不大。因此,在综合评价时,叶绿素变化占比设置较低),计算综合评分,公式如下:

$$\begin{aligned} \text{综合评分} = & 100 - \frac{(\text{叶}_{1d} - \text{叶}_{6d})}{\text{叶}_{1d}} \times 100 \times 0.1 - \\ & \frac{(V_{C1d} - V_{C6d})}{V_{C1d}} \times 100 \times 0.3 - \\ & \frac{(M_{1d} - M_{6d})}{M_{1d}} \times 100 \times 0.3 - \\ & \frac{(\text{感}_{1d} - \text{感}_{6d})}{\text{感}_{1d}} \times 100 \times 0.3 \end{aligned}$$

式中: 叶_{1d} 、 叶_{6d} 表示第 1 d 和第 6 d 的叶绿素含量, mg/100 g; V_{C1d} 、 V_{C6d} 表示第 1 d 和第 6 d 的 V_C 含量, mg/100 g; 感_{1d} 、 感_{6d} 表示第 1 d 和第

表 2 树仔菜感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation standards for *Sauropus androgynus*(L.) Merr.

项目	评分标准	分值
总体色泽	颜色鲜绿,有光泽	21~25
	颜色偏暗,光泽较差	16~20
	部分枝叶发黄或呈深绿,颜色暗淡	11~15
	枝叶为浓暗绿色,呈不可食用状态	5~10
枝干质地	枝干直挺,脆嫩,易折断	21~25
	枝干直挺,较脆,较易折断	16~20
	枝干稍软,易弯曲,不易折断	11~15
	枝干软塌,不易折断	5~10
菜叶形态	菜叶挺立,呈自然生长形态	21~25
	菜叶较为挺立,部分菜叶软塌、掉落	16~20
	菜叶大部分萎蔫、低垂、掉落	11~15
	菜叶全部萎蔫、低垂、掉落、腐烂	5~10
气味	清淡的自身气味	21~25
	蔬菜自身气味稍变浓郁	16~20
	气味较为浓郁,稍有异味	11~15
	有浓郁的发酵或腐烂异味	5~10

注:此表为累计加分制,对各项评分后相加得最终结果;90分以上:非常新鲜;80~89分:新鲜;70~79分:较为新鲜;60~69分:不新鲜;低于60分:完全不新鲜或出现腐烂。

6 d 的感官评分,分; M_{1d} 、 M_{6d} 表示第 1 d 和第 6 d 的质量, g。

1.3 数据处理

采用 Excel 2010、正交设计助手软件对试验数据进行处理、分析, Graphpad Prism 8 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 不同浓度茶皂素处理对树仔菜保鲜效果的影响

不同浓度茶皂素处理对树仔菜叶绿素含量、 V_C 含量、感官评分、失重率及综合评分的影响见下图 1。

图 1a 显示, 茶皂素处理浓度为 1~8 mg/mL 时, 叶绿素含量随处理浓度的增加而升高, 处理浓度为 4 mg/mL 时达最高点, 之后叶绿素含量趋于平稳。有研究发现^[23], 适宜的茶皂素浓度处理可增加植物中叶绿素的合成。王晓等^[24] 也发现, 小香葱在低温储存期间, 光合作用合成的叶绿素总量高于储存过程中分解的量, 使得叶绿素含量上升。

由图 1b、c 可知, 不同浓度茶皂素处理对树仔菜 V_C 含量和感官评分的影响, 均随处理浓度的增加呈现先上升后下降的趋势, 处理浓度为 2~4 mg/mL 时, V_C 含量和感官评分均较高; 当处理浓度达到 8 mg/mL 时, V_C 含量下降明显, 感官评分也下降。可能是由于茶皂素具有较强的抗氧化能力, 在适宜浓度范围内, 随浓度的增加, V_C 氧化损失减少^[13,18]; 李迅^[13] 将茶皂素用于草莓保鲜, 亦发现随处理浓度的增加, 草莓 V_C 损失减少。但本研究中当茶皂素浓度增加到 8 mg/mL 时, 树仔菜 V_C 损失增加, 可能是由于随着茶皂素浓度增加, 其表面张力减小, 成膜性下降, 不利于隔绝氧气, 使 V_C 氧化损失增加^[25]。不同浓度茶皂素处理下, 树仔菜的感官评分随处理浓度的增加, 呈现先上升后下降的趋势。可能是由于茶皂素具有抑菌作用^[18], 浓度偏低时, 抑菌效果不佳, 树仔菜贮存 6 d 后少量叶片有轻度腐烂现象。处理浓度为 2~4 mg/mL 时, 感官评分均较好, 当处理浓度达到 8 mg/mL 时, 感官评分又下降。可能是茶皂素浓度

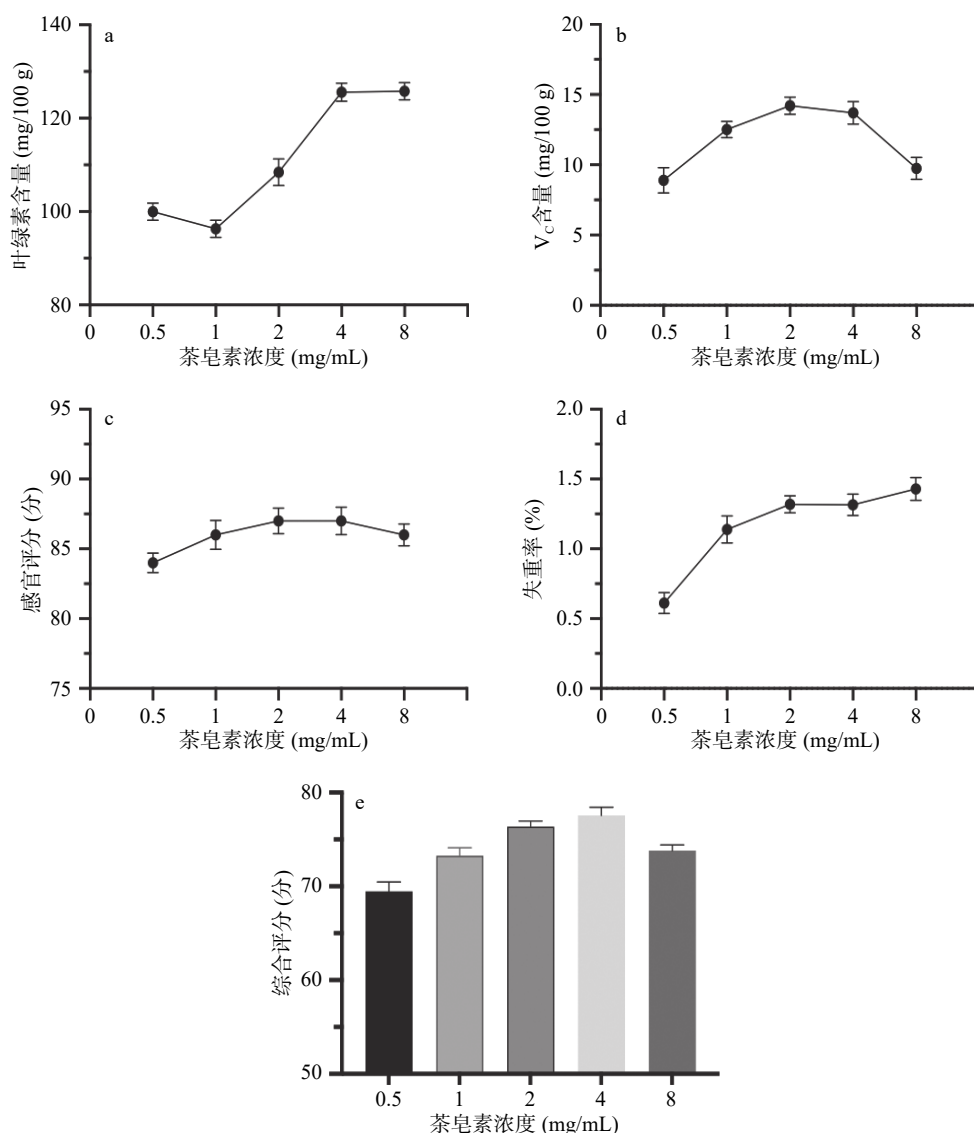


图 1 不同浓度茶皂素对树仔菜保鲜效果的影响

Fig.1 Effects of different concentrations of tea saponin on the preservation effect of *Sauropus androgynus*(L.) Merr.

增加,导致其表面张力减小,成膜性下降^[25],树仔菜水分丢失较多,叶片出现萎蔫现象,故感官评分下降。

图 1d 显示,随着茶皂素处理浓度的增加,树仔菜失重率逐渐增加,可能是因为随茶皂素浓度增加,表面张力减小,成膜性下降,水分丢失增加^[25]。

图 1e 显示,综合评价,2 mg/mL 和 4 mg/mL 的茶皂素处理对树仔菜保鲜效果较好。

2.1.2 不同浓度茶树油纳米乳液处理对树仔菜保鲜效果的影响 茶树油纳米化处理后,能更有效地抑制多种细菌和霉菌,对食品具有良好的防腐保鲜作用^[11,26-28],用茶树油纳米乳液喷洒处理树仔菜后,储存第 6 d 各项指标结果如图 2。

图 2a 显示,不同浓度茶树油纳米乳液处理树仔菜,储存第 6 d 其叶绿素含量随浓度的增加,呈先上升后下降的趋势,2 mg/mL 茶树油纳米乳液处理组叶绿素含量最高。可能是不同浓度的茶树油纳米乳液处理影响了储存期间树仔菜的光合作用强度^[24],其机制有待进一步探索。

图 2b~d 所示,储存第 6 d,树仔菜 V_C 含量随处理浓度的增加而上升,处理浓度为 3~5 mg/mL 时, V_C 含量较高,可能是由于茶树油纳米乳液具有较高的抗氧化活性^[29],适宜浓度的茶树油纳米乳液处理减少了 V_C 的氧化损失。蒋金勇等^[30]发现,与对照组相比,用含茶树油的树脂薄膜包装西兰花,可有效抑制 V_C 的损失。感官评分随处理浓度的增加,呈先上升后下降的趋势,4 mg/mL 处理组感官评分较高,可能是较高浓度茶树油的抗氧化性较强,可降低活性氧积累,延缓树仔菜的老化进程,加上树仔菜失重率较低,较好地保持了树仔菜的感官品质。浓度为 3 mg/mL 的处理组失重率高于其他处理组,原因不明。

图 2e 显示,综合评价,3~5 mg/mL 茶树油纳米乳液处理对树仔菜的保鲜效果较好。

2.1.3 不同浓度壳聚糖处理对树仔菜保鲜效果的影响 不同浓度壳聚糖处理对树仔菜储存第 6 d 各指标的影响见下图 3。

由图 3a 可知,储存第 6 d 树仔菜叶绿素含量随

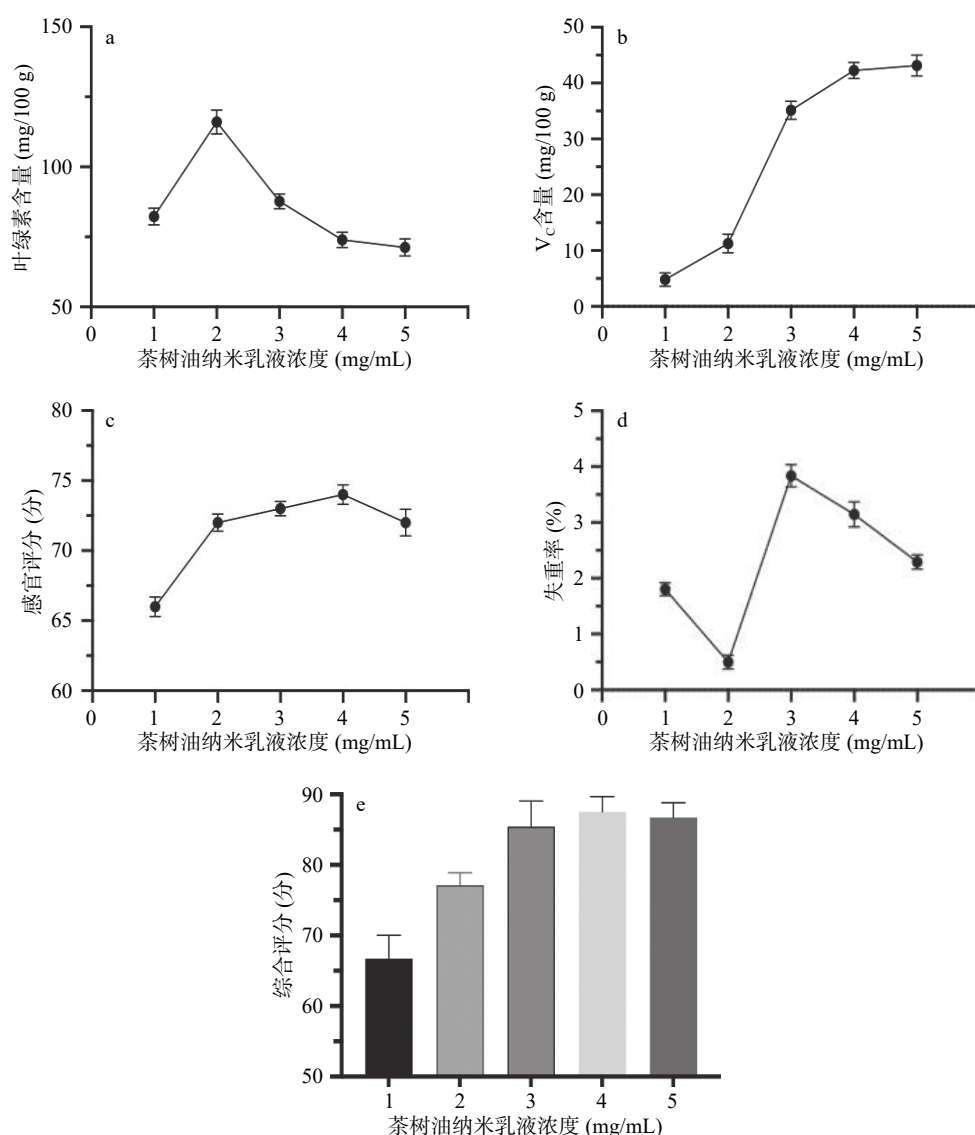


图 2 不同浓度茶树油纳米乳液对树仔菜保鲜效果的影响

Fig.2 Effects of different concentrations of tea tree oil nanoemulsion on the preservation effect of *Sauropus androgynus*(L.) Merr.

壳聚糖处理浓度的增加而升高,处理浓度达到 20 mg/mL 时不再增加,可能是因为壳聚糖浓度较高时,形成的膜较厚,在树仔菜表面形成一个微真空环境,延缓了叶绿素的降解速率^[31];也可能是较高浓度的壳聚糖抗氧化性较强^[32],较好地保持了内源抗氧化酶的活性,使其能有效清除活性氧,减缓了因活性氧的积累造成的叶绿素下降^[31,33]。

图 3b、c 显示, V_C 含量和感官评分均呈先上升后下降的趋势,处理浓度为 10~15 mg/mL 时, V_C 含量较高。可能是:一方面,壳聚糖具有抗氧化活性^[31],适宜浓度的壳聚糖可延缓树仔菜 V_C 的下降^[34-36],另一方面,壳聚糖有成膜性,在树仔菜表面形成了一层薄膜,减少了氧气交换,从而减少了 V_C 的氧化损失^[34]。但进一步提高浓度,会增加蔬菜呼吸代谢强度,使 V_C 损失加速^[34,37]。张慧君等^[34-35]、路志芳等^[36]的研究均发现,随壳聚糖处理浓度的增加,蔬菜感官评分呈先上升后下降的趋势;本研究中处理浓度为 15、20 mg/mL 时,感官评分较高;浓度过低或过高,感官评分均较

低,可能是由于浓度过低,抗氧化作用较弱,在表面形成的膜太薄,起不到良好的保护作用;浓度过高,在蔬菜表面形成的膜较厚,呼吸代谢强度增加,加速了蔬菜的腐败;张慧君等^[34]研究发现,用 20 mg/mL 的壳聚糖处理马齿苋,颜色翠绿,感观良好,当处理浓度增加到 30 mg/mL 时,颜色黄绿,稍有枯萎腐烂现象;可见壳聚糖浓度不是越高越好。

由图 3d 可见,随壳聚糖处理浓度增加,失重率呈先下降后上升趋势,处理浓度为 20 mg/mL 时,失重率最低。浓度过低或过高失重率均增加,可能是因为浓度较低,在树仔菜表面形成的薄膜太薄,不能有效防止水分蒸腾;而浓度过高,形成的膜太厚,树仔菜呼吸强度增加,加速失重^[34]。

图 3e 显示,综合评价,15 mg/mL 壳聚糖溶液处理树仔菜的保鲜效果最好。

2.2 正交试验结果与分析

由表 3 可知,各因素对树仔菜保鲜效果影响大小为茶皂素(A)>壳聚糖(C)>茶树油纳米乳液(B)。

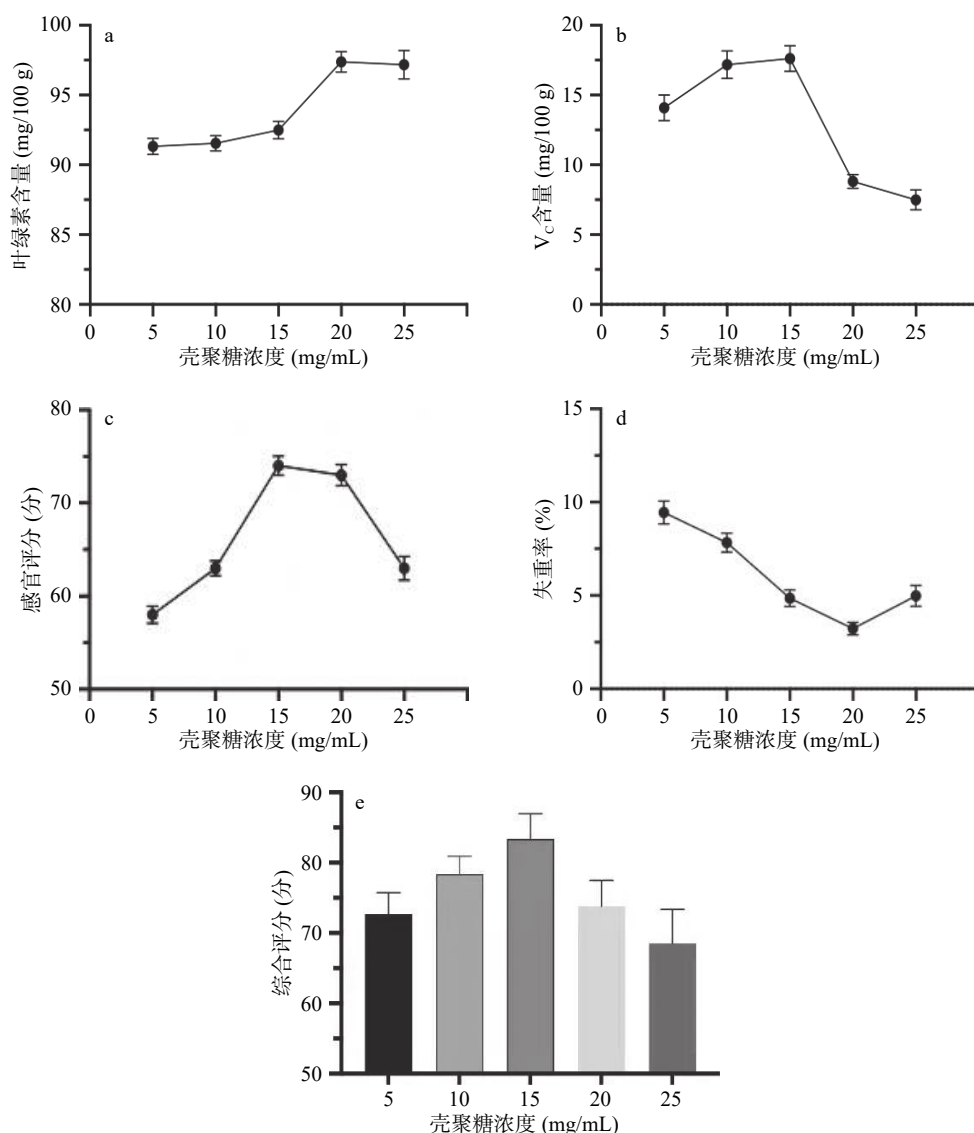


图 3 不同浓度壳聚糖对树仔菜保鲜效果的影响

Fig.3 Effects of different concentrations of chitosan on the preservation effect of *Sauropus androgynus*(L.) Merr.

表3 树仔菜保鲜效果正交试验结果

Table 3 Results of orthogonal experiment on the preservation effect of *Sauropus androgynus*(L.) Merr.

试验号	A	B	C	误差	综合评分(分)
1	1	1	1	1	75.33
2	1	2	2	2	78.92
3	1	3	3	3	78.13
4	2	1	2	3	83.69
5	2	2	3	1	86.02
6	2	3	1	2	83.10
7	3	1	3	2	82.20
8	3	2	1	3	81.57
9	3	3	2	1	84.03
K ₁	77.46	80.41	80.00	81.79	
K ₂	84.27	82.17	82.21	81.41	
K ₃	82.60	81.75	82.12	81.13	
R	6.81	1.76	2.21	0.66	
优化水平	A ₂	B ₂	C ₂		

根据正交试验优化的最优的复配保鲜剂方案为 A₂B₂C₂, 即茶皂素 2 mg/mL, 茶树油纳米乳液 4 mg/mL, 壳聚糖溶液 15 mg/mL, 进行三次重复验证实验, 综

合评分为 86.05, 结果与 A₂B₂C₃ 处理综合评分相近, 但壳聚糖的使用量低于 A₂B₂C₃ 组合, 故最优配方确定为 A₂B₂C₂。

2.3 复合天然保鲜剂与传统化学保鲜剂对树仔菜的保鲜效果比较

复合天然保鲜剂、传统化学保鲜剂、空白对照对树仔菜保鲜效果的比较, 结果见下图 4。

由图 4a~d 可见, 复合天然保鲜剂处理组的叶绿素含量和感官评分均明显高于空白对照组, 也略高于化学保鲜剂处理组; 复合天然保鲜剂处理组失重率低于化学保鲜剂和空白组; 两种保鲜剂处理组的 V_C 含量均明显高于空白对照组; 表明经复合天然保鲜剂处理的树仔菜叶绿素和 V_C 含量较为稳定, 感官品质较好。

图 4e 显示, 从综合评分来看, 复合天然保鲜剂处理组的综合评分(86.05 分)略高于化学保鲜剂处理组(85.92 分), 但均明显优于空白对照组(80.33 分)。可见, 本实验筛选的复合天然保鲜剂配方对树仔菜能起到优良的保鲜效果。

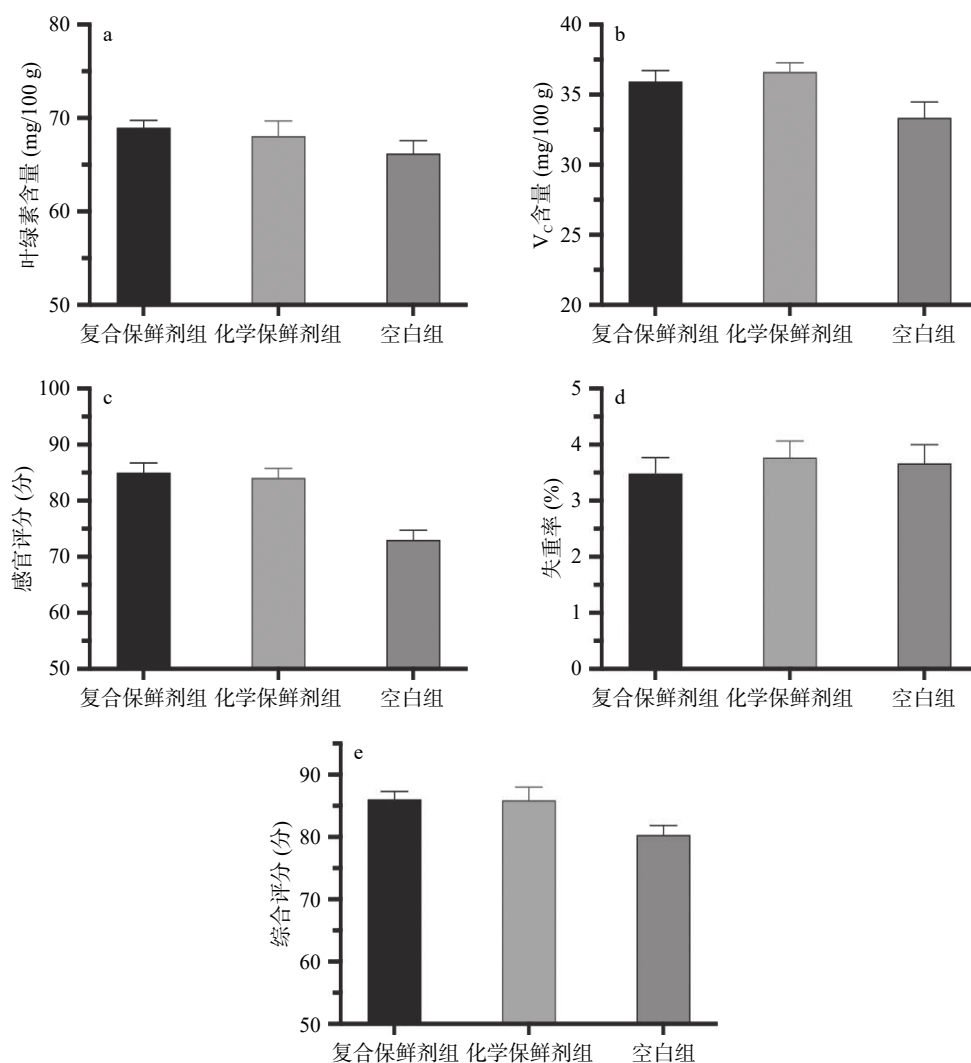


图4 复合天然保鲜剂与传统化学保鲜剂对树仔菜保鲜效果的比较

Fig.4 Comparison between natural compound preservative and traditional chemical preservative on the preservation effect of *Sauropus androgynus*(L.) Merr.

3 结论

本研究筛选出了适用于树仔菜的三种天然保鲜剂的最佳组合,即茶皂素 2 mg/mL,茶树油纳米乳液 4 mg/mL,壳聚糖 15 mg/mL,用该复合天然保鲜剂喷洒树仔菜后,低温(4 ℃)储存至第 6 d,能较好地保持叶绿素含量、V_C 含量及感官品质,并能减少失重。以蒸馏水处理组做对照,比较了最佳配方的复合天然保鲜剂和传统化学保鲜剂(二氧化氯)对树仔菜的保鲜效果差异,结果显示,二者保鲜效果均优于对照组,且复合天然保鲜剂的保鲜效果略优于传统化学保鲜剂,尤其在保持叶绿素含量及减少失重方面效果更明显。

参考文献

- [1] 黄澜,刘强,钟琼芯.海南树仔菜保健价值的研究[J]. *食品科学*, 2002, 23(9): 121-123. [HUANG L, LIU Q, ZHONG Q X. Study on health care value of *Sauropus androgynus*(L.) Meer. from Hainan[J]. *Food Science*, 2002, 23(9): 121-123.]
- [2] 韩芮军,陈丽霞,何秀芬,等.海南树仔菜植株浸膏化学成分分析[J]. *广东农业科学*, 2011(20): 89-90. [HAN R J, CHEN L X, HE X F. Extraction and analysis of concrete from *Sauropus androgynus*(Linn.) Meer. [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011 (20): 89-90.]
- [3] 杨奕,何玉生,莫位任,等.海南五指山树仔菜重金属镉的生态地球化学研究[J]. *岩矿测试*, 2007(4): 264-268. [YANG Y, HE Y S, MO W R, et al. Study on eco-geochemistry of Cadmium in *Sauropus androgynus* from Wuzhishan city of Hainan province[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2007(4): 264-268.]
- [4] 邓爱妮,周聪,段云,等.海南地区野生蔬菜研究进展及开发利用概况[J]. *热带农业科学*, 2015, 35(2): 22-26. [DENG A N, ZHOU C, DUAN Y, et al. Current situation of research and exploitation of wild vegetables in Hainan[J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2015, 35(2): 22-26.]
- [5] MADHU C S, MANUKUMAR H M G, BASAVARAJU P. New-vista in finding antioxidant and anti-inflammatory property of crude protein extract from *Sauropus androgynus* leaf[J]. *Acta Scientiarum Polonorum. Technologia Alimentaria*, 2014, 13(4): 375-383.
- [6] SINGH S, SINGH D R, SALIM K M, et al. Estimation of proximate composition, micronutrients and phytochemical compounds in traditional vegetables from Andaman and Nicobar Islands[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2011, 62(7): 765-773.
- [7] ONG H C, ZUKI R M, MILOW P. Traditional knowledge of medicinal plants among the Malay villagers in Kampung Mak Kemas, Terengganu, Malaysia[J]. *Studies on Ethno-Medicine*, 2011, 5(3): 175-185.
- [8] 邓爱妮,周聪,赵敏,等.树仔菜 V_C 含量分析及变化规律[J]. *食品科学*, 2014, 35(22): 198-201. [DENG A N, ZHOU C, ZHAO M, et al. Changes in vitamin C content in *Sauropus androgynus*(L.) Merr.[J]. *Food Science*, 2014, 35(22): 198-201.]
- [9] ALI A, MUHAMMAD M T M, SIJAM K, et al. Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya(*Carica papaya* L.) fruit during cold storage[J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(2): 620-626.
- [10] 赵博.壳聚糖姜蒜提取液复合保鲜剂对草莓保鲜效果的研究[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(16): 6956-6958, 6983. [ZHAO B. Study on fresh keeping effect of complex antistaling agent of chitosan and extraction from ginger and garlic on strawberry[J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2008, 36(16): 6956-6958, 6983.]
- [11] SATHIYASEELAN A, SARAVANAKUMAR K, MARIA-DOSS A V A, et al. Chitosan-tea tree oil nanoemulsion and calcium chloride tailored edible coating increase the shelf life of fresh cut red bell pepper[J]. *Progress in Organic Coatings*, 2020, 4: 1-12.
- [12] 张文婷.油茶壳中茶皂素的制备及其抑菌活性研究[D].海口:海南大学, 2019. [ZHANG W T. Preparation of tea saponin from *Camellia oleifera* and its antibacterial activity[D]. Haikou: Hainan University, 2019.]
- [13] 李迅.茶皂素的提取、成分鉴定及在草莓保鲜中的应用[D].北京:北京林业大学, 2016. [LI X. Extraction and component identification of tea saponin from *Camellia meal* and its application in strawberry preservation[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016.]
- [14] 任婧楠,董曼,范刚,等.甜橙精油纳米乳液的制备及其抑菌作用研究[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(23): 80-83, 104. [REN J N, DONG M, FAN G, et al. Preparation of sweet orange essential oil nanoemulsions and its antibacterial activity[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(23): 80-83, 104.]
- [15] 胡伟,李湘洲,穆园园.响应面法优化超声乳化制备油茶籽油纳米乳液及其稳定性研究[J]. *中国油脂*, 2017, 42(9): 14-19. [HU W, LI X Z, MU Y Y. Optimization of oil-tea camellia seed oil nanoemulsion prepared using ultrasonic emulsification by response surface methodology and its stability[J]. *China Oils and Fats*, 2017, 42(9): 14-19.]
- [16] 闫安,张秀玲,杜妹玲,等.蕨菜天然复配保鲜剂配方的优化及其对蕨菜贮藏期生理指标的影响[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(4): 280-285. [YAN A, ZHANG X L, DU M L, et al. Optimization of natural compound preservative formulation of *Osmunda cinnamomea* L. var. *asiatica* Fernald and its effect on physiological indexes during storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(4): 280-285.]
- [17] 孟祥春,黄泽鹏,凡超,等.茶树油粕中茶皂素的提取及其对果蔬采后致病菌的抑制作用[J]. *保鲜与加工*, 2019, 19(3): 90-96. [MENG X C, HUANG Z P, FAN C, et al. Extraction of tea saponin from *Camellia semiserrata* chi oil residual and its inhibiting effects on postharvest pathogen of fruit and vegetable[J]. *Storage and Process*, 2019, 19(3): 90-96.]
- [18] 何荣荣.海南产茶枯饼成分分析及茶皂素分离提取、抑菌机制与应用研究[D].海口:海南大学, 2019. [HE R R. The component analysis of hainan tea cake and the isolation, extraction, application of tea saponin[D]. Haikou: Hainan University, 2019.]
- [19] 钟业俊,刘伟,刘成梅,等.自然条件下乳化茶树油在香蕉保鲜中的应用[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(6): 280-284. [ZHONG Y J, LIU W, LIU C M, et al. Application of emulsified tea-tree oil on fresh-keeping of banana under natural condition[J].

Transactions of the CSAE, 2009, 25(6): 280-284.]

[20] 刘亚平. 采前喷布壳聚糖处理和采后适度失水处理对红地球葡萄保鲜效应研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012. [LIU Y P. Study on fresh-keeping effect of chitosan preharvest treatment and postharvest dehydration treatment on grape[D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2012.]

[21] 中华人民共和国农业部. NY/T3082-2017 水果、蔬菜及其制品中叶绿素含量的测定 分光光度法 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2017. [Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T3082-2017 Determination of chlorophyll content in fruits, vegetables and derived products--spectrophotometric method[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2017.]

[22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.86-2016 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.86-2016 National Food Safety Standard--Determination of ascorbic acid in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[23] 李榜江, 李萍, 龙明忠, 等. 茶皂素作用下重金属镉对苧麻生理生长的胁迫效应 [J]. 安徽农业科学, 2015, 43(24): 60-63.

[LI B J, LI P, LONG M Z, et al. Stress effect of heavy metal Cd on physical growth of Ramie in role of tea saponin[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2015, 43(24): 60-63.]

[24] 王晓, 乔勇进, 甄凤元, 等. 聚乙烯袋包装结合乙烯吸收剂对德国小香葱低温保鲜效果 [J]. 上海农业学报, 2018, 34(3): 123-127. [WANG X, QIAO Y J, ZHEN F Y, et al. Effect of ethylene absorbent and packaging on fresh-keeping of Germanic chives during cold storage[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2018, 34(3): 123-127.]

[25] 杜志欣, 严玲, 万端极. 茶皂素的表面活性研究 [J]. 湖北工业大学学报, 2015, 30(5): 28-30. [DU Z X, YAN L, WAN D J. Study on surface activity of tea saponin[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2015, 30(5): 28-30.]

[26] 程峰, 尚若锋, 杨珍, 等. 茶树精油抗微生物作用机理研究进展 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(3): 331-337. [CHENG F, SHANG R F, YANG Z, et al. Advances in antimicrobial mechanism of tea tree oil[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(3): 331-337.]

[27] 张家瑛. 茶树精油纳米粒的制备与抑菌性质的研究 [D]. 上海: 上海应用技术大学, 2016. [ZHANG J Y. Study on preparation and antibacterial activity properties of tea tree oil nanoparticles[D]. Shanghai: Shanghai University of Technology, 2016.]

[28] 林琳, 代娅婕, 纪悦, 等. 茶树油/ β -环糊精纳米脂质体的制备及其在牛肉抗菌中的应用研究 [J]. 中国食品添加剂, 2017(11): 123-127. [LIN L, DAI Y J, JI Y, et al. The preparation of nanoliposomes encapsulating TTO/ β -CD and its antibacterial application in beef[J]. China Food Additives, 2017(11): 123-127.]

[29] 唐敏敏, 王虹懿, 刘芳, 等. 植物精油纳米包埋技术的作用机制及其在肉品保鲜中的应用 [J]. 食品工业科技, 2020, 41(21):

345-350. [TANG M M, WANG H Y, LIU F, et al. Mechanism of nano-embedding technology of plant essential oil and its application in meat preservation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(21): 345-350.]

[30] 蒋金勇, 唐海兵, 栾东磊, 等. 聚乳酸/聚丁二酸-己二酸丁二酯可降解抗氧化薄膜对鲜切西兰花的保鲜效果 [J]. 食品科学, 2019, 40(13): 274-280. [JIANG J Y, TANG H B, LUAN D L, et al. Effect of polylactic acid/poly(butylene succinate-co-adipate) biodegradable film containing different essential oils in preserving quality and extending shelf-life of fresh-cut broccoli[J]. Food Science, 2019, 40(13): 274-280.]

[31] 王丽娇, 牟其云, 李文香, 等. 微真空条件对西兰花叶绿素降解与内源抗氧化性的影响 [J]. 食品科学, 2013, 34(20): 312-317. [WANG L J, MOU Q Y, LI W X, et al. Effect of micro-vacuum conditions on broccoli chlorophyll degradation and endogenous oxidation resistance[J]. Food Science, 2013, 34(20): 312-317.]

[32] 刁伟伟, 陈晓姣, 赖晓琴, 等. 壳聚糖及其衍生物在果酒中应用的研究进展 [J/OL]. 食品工业科技: 1-10 [2021-07-28]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050115>. [DIAO T W, CHEN X J, LAI X Q, et al. Research progress on application of chitosan and its derivatives in fruit wine[J/OL]. Science and Technology of Food Industry: 1-10 [2021-07-28]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050115>.]

[33] 李继兰. 猕猴桃贮藏中叶绿素降解机理及加工中影响其稳定性因素研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008. [LI J L. Study on the degradation mechanism of chlorophyll during storage and factors on stabilization during process of kiwifruit[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2008.]

[34] 张慧君, 宋春丽, 李文娟, 等. 壳聚糖涂膜马齿苋的保鲜技术 [J]. 中国食品添加剂, 2012(2): 193-198. [ZHANG H J, SONG C L, LI W J, et al. The preservation techniques of *Portulaca Oleracea* L. by chitosan compound film[J]. China Food Additives, 2012(2): 193-198.]

[35] 张慧君, 宫春宇, 王文侠, 等. 壳聚糖涂膜保鲜菠菜研究 [J]. 食品与机械, 2011, 27(3): 112-115. [ZHANG H J, GONG C Y, WANG W X, et al. Study on chitosan compound film on preservation of spinach[J]. Food and Machinery, 2011, 27(3): 112-115.]

[36] 路志芳, 袁超, 焦海冰. 壳聚糖涂膜保鲜芦笋的研究 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46(16): 149-153. [LU Z F, YUAN C, JIAO H B. Study on preservation of asparagus with chitosan coating[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(16): 149-153.]

[37] 郭欣, 林育钊, 邓礼艳, 等. 壳聚糖处理对采后西番莲果实贮藏期间果皮活性氧代谢的影响 [J]. 热带作物学报, 2020, 41(12): 2526-2533. [GUO X, LIN Y Z, DENG L Y, et al. Effects of chitosan treatment on reactive oxygen species metabolism in pericarp of harvested passion fruit during storage[J]. Journal of Tropical Crops, 2020, 41(12): 2526-2533.]