

外源 NO 联合壳聚糖/纳米 TiO₂ 涂膜复合处理对枇杷保鲜效果的影响

曾丽萍, 孟金明, 樊爱萍, 寸艳丹, 宋桂兰, 王藤
(红河学院理学院, 云南 蒙自 661199)

摘要: **目的** 研究外源 NO 联合壳聚糖/纳米 TiO₂ 涂膜处理对采后枇杷品质的影响, 以期获得协同增效的枇杷保鲜方式。 **方法** 以蒙自“大叶子”枇杷为实验材料, 分别采用蒸馏水(对照)、硝普钠(SNP, 外源 NO 供体)处理、壳聚糖/纳米 TiO₂ 涂膜处理、外源 NO 联合壳聚糖/纳米 TiO₂ 涂膜处理观察枇杷在(4±1)°C 下贮藏 75 d 过程中的品质变化。 **结果** 适宜浓度的外源 NO (c_{SNP} 为 0.05 mmol/L) 能有效减缓采后冷藏枇杷果实的木质化进程, 减少冷害的发生; 适宜浓度的壳聚糖/纳米 TiO₂ 复合涂膜液 ($c_{\text{纳米TiO}_2}$ 为 0.5 g/L) 能有效抑制枇杷表面微生物的增长, 降低呼吸强度和腐烂率; 复合处理(外源 NO+壳聚糖/纳米 TiO₂) 更为有效地降低了枇杷果实储存期间的菌落总数, 减少了贮藏过程中水分的散失, 有效地减缓了木质化败坏进程, 更有利于枇杷的保鲜。 **结论** 相比于单一的外源 NO 或壳聚糖/纳米 TiO₂ 涂膜处理, 外源 NO 联合壳聚糖/纳米 TiO₂ 涂膜处理对枇杷的保鲜效果更好。

关键词: 枇杷; 保鲜; 外源 NO; 涂膜; 抑菌

中图分类号: TS205 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)03-0036-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.03.006

Effects of Exogenous NO Combined with Chitosan/Nano-TiO₂ Coating on Preservation of Loquat Fruit

ZENG Li-ping, MENG Jin-ming, FAN Ai-ping, CUN Yan-dan, SONG Gui-lan, WANG Teng

(School of Science, Honghe University, Mengzi 661199, China)

ABSTRACT: The work aims to get a synergistic method of keeping loquat fresh by studying the effects of exogenous NO combined with chitosan/nano-TiO₂ coating on quality of postharvest loquat fruit. The “large-leaf” loquat fruit from Mengzi was used as the experiment material and treated with distilled water (control), sodium nitroprusside (SNP, exogenous NO donor), chitosan/nano-TiO₂ and exogenous NO combined with chitosan/nano-TiO₂, respectively. The quality changes of loquat fruit were observed during storage for 75 d at (4±1) °C. The appropriate concentration of exogenous NO (c_{SNP} of 0.05 mmol/L) could effectively slow down the lignification process of postharvest frozen fruits and reduce the occurrence of cold damage. The appropriate concentration of chitosan/nano-TiO₂ coating solution ($c_{\text{nano-TiO}_2}$ of 0.5 g/L) could effectively inhibit the growth of microorganisms on Loquatfruit surface and reduce the respiratory intensity and decay rate. However, compound treatment (exogenous NO+chitosan/nano-TiO₂) was more conducive to the preservation of loquat fruits, which reduced the total number of colonies during storage, decreased the loss of water during storage, and

收稿日期: 2019-07-30

基金项目: 云南省科技计划(2017FH001-039, 2018FD088); 云南省教育厅科学研究基金(2016ZDX137)

作者简介: 曾丽萍(1990—), 女, 红河学院讲师, 主要研究方向为食品包装及保鲜。

通信作者: 樊爱萍(1977—), 女, 红河学院讲师, 主要研究方向为农产品贮藏与加工。

effectively slowed down the process of lignification deterioration. Compared with single exogenous NO or chitosan/nano-TiO₂ coating treatment, exogenous NO combined with chitosan/nano-TiO₂ coating treatment has better preservation effect on loquatfruit.

KEY WORDS: loquat fruit; preservation; exogenous NO; coating; antibacterial activity

枇杷 (*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl) 别名“卢橘”，是原产自我国东南部地区的一种典型暖温带及亚热带水果，一般成熟于初夏^[1]。蒙自所产的反季大枇杷每年初冬成熟上市，是全国上市最早的枇杷品种。目前，全市枇杷总种植面积已超过 6.2 万亩 (1 亩 666.67 m²)，总产量达 1 万 t，总产值近 3 亿元，已成为蒙自当地农民增收致富的金果子。由于枇杷采后呼吸代谢旺盛，长途运输中极易失水萎蔫、腐败变质，这制约了枇杷种植业的发展。低温冷藏虽能较好地抑制枇杷的腐烂变质，但容易发生冷害现象，总糖、总酸、可溶性固形物、维生素等含量逐渐下降，果实风味迅速变淡^[2]；同时，还会出现枇杷果皮难剥、果肉硬度增加、汁液变少、口感粗糙等木质化败坏现象^[3]，进而导致枇杷食用品质大大下降。

NO 是近几年生命科学的一个研究热点。Leshem 等^[4]于 1996 年首次报道了 NO 可在植物体内合成，并可能作为一种植物生长调节剂调控植物的成熟和衰老。此后研究发现 NO 具有较为复杂的多种生理功能，是一种具有发展潜力的气体保鲜物质，有可能成为一种更理想的保鲜方法。近年来大量研究表明，适当浓度的外源 NO 能延缓植物组织衰老进程、抑制乙烯合成、提高植物抗逆性，并可以通过调节活性氧代谢，抑制过氧化伤害，保护植物免受环境损害，从而延长货架期，并改善果蔬采后贮藏的品质^[5-8]。

纳米 TiO₂ 安全性高、稳定性好、抑菌范围广，被广泛应用于食品领域^[9]。在包装材料中添加纳米 TiO₂ 不仅可以作为抗菌剂有效抑制食品中微生物的生长繁殖，还可作为乙烯清除剂去除水果贮藏环境中过多的乙烯气体^[10]。将纳米包装材料和涂膜材料应用于果蔬贮藏保鲜中，可起到抑菌、低透氧、低透湿和阻隔二氧化碳等效果^[11-12]。近年纳米 TiO₂ 复合膜被应用于草莓^[13]、食用菌^[14]、砂糖橙^[15]、金秋梨^[16]等果蔬的保鲜，取得了良好效果。

这 2 种处理方式单独使用对果蔬保鲜均有较好效果，特别是对减轻果蔬采后冷害方面。目前，通过将 2 种技术联用来保持枇杷品质的研究鲜有报道，因此文中拟将外源 NO 和纳米 TiO₂ 涂膜复合处理，通过测定呼吸强度、菌落总数、木质素含量、腐烂率等指标，对比空白及单一处理，分析对枇杷保鲜效果的影响，以期为该复合技术在枇杷果实保鲜中的应用提供依据。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要试剂：食品级壳聚糖，河南华悦化工产品有限公司；纳米 TiO₂ 抗菌剂，杭州万景新材料有限公司；硝酸钠，西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司；盐酸羟胺，津市大茂化学试剂厂；溴乙酰，山东西亚化学股份有限公司；冰乙酸、正己烷、乙醇(95%)、氢氧化钠、葡萄糖、营养琼脂等均为分析纯，国药集团化学试剂有限公司。

主要仪器：HWS26 型电热恒温水浴锅，上海一恒科技有限公司；SY-1022 型果蔬呼吸测定仪，石家庄世亚科技有限公司；CD-642WDVMU1 型海尔冰箱，青岛海尔有限公司。LDZX-50KBS 型立式压力蒸汽灭菌器，上海申安医疗器械厂；SW-CJ-1F 型洁净工作台，苏州安泰空气技术有限公司；2WJ 型阿贝折光仪，上海精密科学仪器有限公司；T6 新世纪紫外-可见分光光度计，北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2 方法

1.2.1 实验材料

新鲜的“大叶子”枇杷采收于云南蒙自万亩枇杷园，人工采摘装于泡沫网袋中，采摘后当天运回实验室。挑选大小相近、果形端正、无虫害、无果伤、成熟度基本一致的带柄新鲜枇杷果实，于(4±1)℃条件下预冷 12 h 备用。

1.2.2 实验处理

将挑选后的枇杷果实(每个枇杷果实控制在(50±5)g)随机分成 4 组，以蒸馏水浸泡 20 min，自然晾干为对照组；参考任艳芳^[17]的实验结果，并结合前期预实验效果，实验采用 0.05 mmol/L 的 SNP 溶液处理，浸泡 20 min 后取出自然晾干，命名为处理组 A；用适宜的壳聚糖/纳米 TiO₂ 复合膜液浸泡 30 s，取出自然晾干，命名为处理组 B；先用 0.05 mmol/L 的 SNP 溶液浸泡 20 min，再用适宜的壳聚糖/纳米 TiO₂ 复合膜液涂膜浸泡 30 s，取出自然晾干，命名为处理组 C。将所有处理后的枇杷分装于 720 mL 聚乙烯塑料盒内，并用保鲜膜封口，每盒质量约为(300±10)g。在(4±1)℃贮藏条件下，每隔一段时间取样测定相关指标。

1.2.3 适宜浓度壳聚糖/纳米 TiO₂ 复合膜的制备及筛选

称取一定量壳聚糖,溶于质量分数为 1%的冰乙酸溶液中,并加入体积分数为 1%的甘油,充分混匀后,加入一定量的纳米 TiO₂ 使其均匀分散于壳聚糖溶液中,脱气并于 (4±1) °C 下冷藏备用。

适宜浓度壳聚糖/纳米 TiO₂ 复合膜的筛选参照文献[18],在无菌操作下将腐败枇杷分别在细菌培养基和真菌培养基中培养,大致筛选出枇杷腐败的优势菌。再利用滤纸圆片法观察抑菌圈大小,同时结合观察常温贮藏 15 d 后枇杷的外观形态、组织结构、风味变化等感官指标,筛选适宜浓度的壳聚糖/纳米 TiO₂ 复合膜。

1.2.4 保鲜指标测定

1) 呼吸强度。采用 SY-1022 型果蔬呼吸测定仪测定。

2) 菌落总数。参照 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品微生物检验菌落总数测定》进行测定。

3) 木质素含量的测定。参照文献[19]进行测定。

4) 腐烂率的测定。统计腐烂数量并记录,腐烂率=(腐烂数量/总数量)×100%。

5) 质量损失率。取若干个贮藏前的果实,称量并记录其质量;贮藏后再称量,记录其质量;按式(1)计算(以 1 盒为单位进行称量并计算)。

$$\text{质量损失率} = (\text{贮藏前质量} - \text{贮藏后质量}) / \text{贮藏前质量} \times 100\% \quad (1)$$

1.3 数据统计与分析软件

采用 Origin 8.5 软件、SPSS Statistics 19.0 软件进行数据分析及绘图。

2 结果与分析

2.1 适宜浓度壳聚糖/纳米 TiO₂ 复合膜的筛选

壳聚糖浓度及纳米 TiO₂ 添加量对细菌抑菌圈和真菌抑菌圈的影响见表 1 和表 2,随着壳聚糖浓度的增加,细菌和真菌抑菌圈均增大。实验发现,质量分数低于 0.6%的壳聚糖膜液成膜性差,自然晾干时间长,且枇杷保鲜效果一般;质量分数为 1.5%的壳聚糖膜液较浓稠,自然晾干时间长,形成的膜较厚不光滑,且贮藏后期由于无氧呼吸产生了明显的酒精味;质量分数为 0.8%,1.0%的壳聚糖膜液易成膜,形成的膜光滑且厚度适宜,对比贮藏后期枇杷的外观形态、组织结构、风味以及质量损失率,发现质量分数为 1.0%的壳聚糖涂膜的枇杷保鲜效果整体比质量分数为 0.8%的壳聚糖好。当壳聚糖浓度相同时,TiO₂ 添加量与细菌和真菌抑菌圈大小成正比,添加过多的 TiO₂ 会使枇杷外观颜色稍微偏白,影响消费者的购买欲。

表 1 壳聚糖质量分数及纳米 TiO₂ 添加量对细菌抑菌圈直径的影响

Tab.1 Effects of chitosan mass fraction and nano-TiO₂ addition on bacteriostatic circle diameter

纳米 TiO ₂ 质量浓度/(g·L ⁻¹)	壳聚糖质量分数/%				
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
0.1	7.33±0.34 ^e	8.05±0.31 ^d	8.98±0.34 ^d	10.13±0.63 ^c	11.50±1.29 ^b
0.3	8.78±0.22 ^d	9.38±0.65 ^c	10.13±0.63 ^c	10.95±0.67 ^c	12.13±0.63 ^b
0.5	9.73±0.10 ^c	10.63±0.48 ^b	10.63±0.48 ^c	12.13±0.48 ^b	13.88±0.85 ^a
0.7	10.50±0.58 ^{bc}	11.13±0.85 ^{ab}	11.55±0.53 ^b	12.75±0.65 ^{ab}	15.03±0.88 ^a
0.9	11.13±0.85 ^{ab}	11.88±0.63 ^a	12.63±0.48 ^a	13.25±0.65 ^{ab}	15.13±0.48 ^a

注:同列比较上标字母相同表示差异不显著(P>0.05),字母不同表示差异显著(P<0.05)

表 2 壳聚糖浓度及纳米 TiO₂ 添加量对真菌抑菌圈直径的影响

Tab.2 Effects of chitosan concentration and nano-TiO₂ addition on fungal bacteriostasis circle diameter

纳米 TiO ₂ 质量浓度/(g·L ⁻¹)	壳聚糖质量分数/%				
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.5
0.1	8.20±0.36 ^e	9.13±0.48 ^e	9.88±0.25 ^d	11.00±0.71 ^d	11.88±0.75 ^f
0.3	8.98±0.41 ^{de}	9.90±0.20 ^d	10.25±0.50 ^{cd}	12.25±0.65 ^c	12.63±0.48 ^e
0.5	9.70±0.36 ^{cd}	10.25±0.50 ^d	10.93±0.65 ^c	13.50±0.41 ^b	13.38±0.25 ^d
0.7	10.20±0.54 ^{bc}	11.88±0.48 ^c	12.13±0.48 ^b	14.48±0.37 ^a	14.13±0.48 ^c
0.9	10.73±0.22 ^{ab}	12.75±0.65 ^b	12.50±0.41 ^{ab}	14.75±0.29 ^a	14.88±0.25 ^b

注:同列比较上标字母相同表示差异不显著(P>0.05),字母不同表示差异显著(P<0.05)

以质量分数为 1% 的壳聚糖为成膜基质，添加 0.7 g/L TiO₂ 后，枇杷色泽明显改变；添加更低浓度 TiO₂ 的复合膜对枇杷色泽改变不大。在涂膜对枇杷感官无差异的前提下，相比于 0.3 g/L TiO₂ 质量浓度为 0.5 g/L 时，对细菌、真菌的抑制效果明显 ($P < 0.05$)。综合感官结果和抑菌效果，选取质量分数为 1.0% 的壳聚糖和 0.5 g/L 的纳米 TiO₂ 用于后续枇杷保鲜实验。

2.2 呼吸强度

不同处理组对枇杷冷藏过程中呼吸强度的影响见图 1。冷藏过程中，所有处理组枇杷的呼吸强度均低于对照组。冷藏至第 7 天时，处理组 B 和处理组 C 的呼吸强度呈现下降趋势，这可能是壳聚糖在枇杷表面形成了一层薄膜，隔绝了与外界的气体交换，使枇杷的呼吸作用减弱，呼吸强度下降。实验结果显示，在整个冷藏过程中，经外源 NO 联合纳米涂膜处理后，枇杷呼吸强度的抑制效果最好。

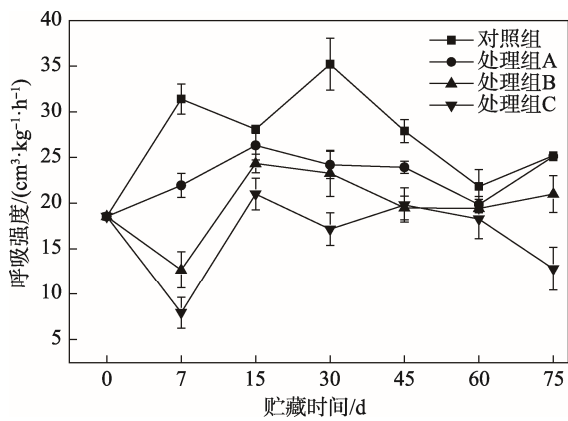


图 1 不同处理组对枇杷冷藏过程中呼吸强度的影响
Fig.1 Effects of different treatments on respiratory intensity of loquat fruit during cold storage

2.3 菌落总数

不同处理组对枇杷冷藏过程中菌落总数的影响见图 2，在整个贮藏过程中，所有处理组的菌落总数均低于对照组。随着冷藏时间延长，菌落总数呈现上升趋势。抑菌效果的排序为处理组 C > 处理组 B > 处理组 A > 对照组。冷藏至第 7 天时，处理组的菌落总数呈现下降趋势，实验发现处理组 A 的菌落总数明显低于对照组，这说明外源 NO 处理表现出了一定的抑菌作用，与前人研究一致^[20-21]，且所有处理组两两比较差异显著 ($P < 0.05$)。实验结果说明纳米 TiO₂ 和外源 NO 均有抑菌作用，且纳米 TiO₂ 比外源 NO 抑制效果好。在整个实验过程中，外源 NO 和纳米 TiO₂ 共同使用时对枇杷表面菌落总数的抑制效果最佳。

2.4 木质素含量

木质素是植物细胞壁次生结构和膳食纤维中的

主要组成成分，同时也是植物次生代谢的产物，其含量的高低直接影响了果蔬的品质。枇杷在冷藏条件下，发生冷害的一个最重要表现就是木质化，木质化程度可以反映冷害程度。不同处理组对枇杷冷藏过程中木质素含量的影响见图 3，随着贮藏时间的延长，枇杷中木质素含量呈现上升趋势。冷藏至 7 d 时，所有处理组与对照组没有显著性差异 ($P > 0.05$)；冷藏至 15 d 时，经处理后枇杷的木质素含量均显著低于对照组 ($P < 0.05$)，尤其是用外源 NO 处理后枇杷木质素含量显著低于对照组。综上所述，处理组效果明显优于对照组，外源 NO 联合纳米涂膜处理能有效减缓采收后冷藏枇杷果实的木质化进程，有效地降低了枇杷的冷害程度。

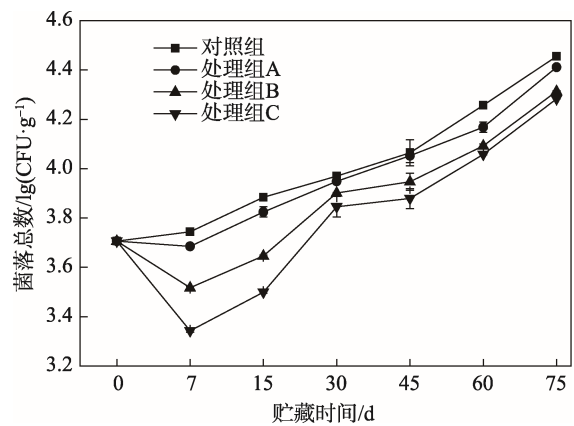


图 2 不同处理组对枇杷冷藏过程中菌落总数的影响
Fig.2 Effects of different treatments on total colonies of loquat fruit during cold storage

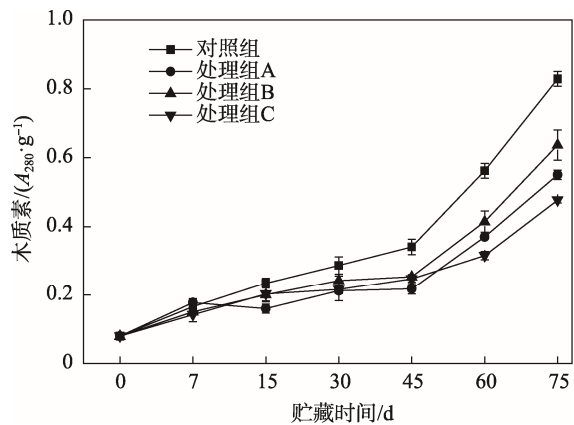


图 3 不同处理组对枇杷冷藏过程中木质素含量的影响
Fig.3 Effects of different treatments on lignin content of loquat fruit during cold storage

2.5 果实腐烂率

不同处理组对枇杷冷藏过程中果实腐烂率的影响见图 4，随着贮藏时间的延长，各组的腐烂率均逐渐增加。冷藏至 15 d 时，对照组开始出现腐烂，其余组还未出现果实腐烂情况；冷藏至 30 d 时，处理

组 A 开始出现腐烂, 处理组 B 和处理组 C 还未出现果实腐烂情况; 冷藏至 75 d 时, 所有组的腐烂率差异明显 ($P < 0.05$)。综上所述, 在贮藏期间, 外源 NO 和涂膜处理均可有效降低枇杷的腐烂率, 而涂膜组腐烂率更低, 效果更好。可能是因为涂膜处理降低了水分散失, 壳聚糖复合膜的抑菌作用有效抑制了微生物对枇杷果实表面的侵染, 使果实腐烂率降低。其中, 外源 NO 联合纳米 TiO_2 涂膜的处理组效果最好 ($P < 0.05$)。

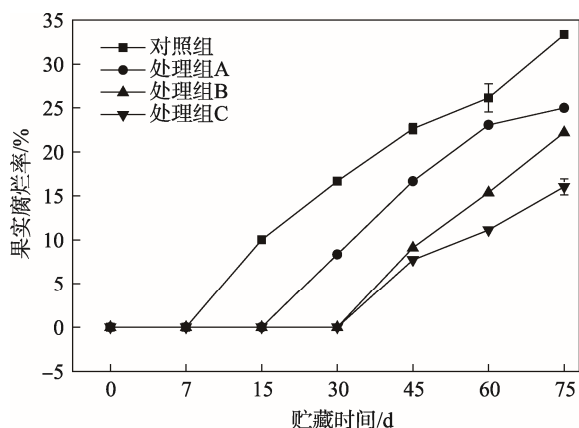


图4 不同处理组对枇杷冷藏过程中果实腐烂率的影响
Fig.4 Effects of different treatments on fruit rot rate of loquat fruit during cold storage

2.6 质量损失率

不同处理组对枇杷冷藏过程中质量损失率的影响见图5, 随着贮藏时间的延长, 质量损失率都在逐渐增加。在整个冷藏过程中, 处理组的质量损失率均低于对照组。冷藏至 30 d 时, 所有处理组与对照组虽有显著性差异 ($P < 0.05$), 但处理组之间差异不显著 ($P > 0.05$); 冷藏至 45 d 时, 所有处理组与对照组有显著性差异 ($P < 0.05$), 且两两之间差异显著 ($P < 0.05$)。综上所述, 外源 NO 以及纳米 TiO_2 涂膜

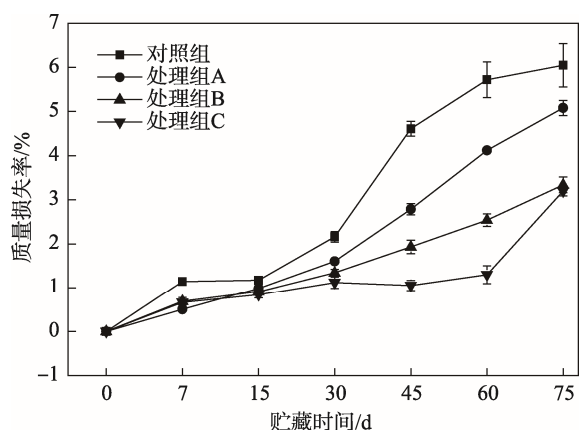


图5 不同处理组对枇杷冷藏过程中质量损失率的影响
Fig.5 Effects of different treatments on mass loss rate of loquat fruit during cold storage

处理均可以降低枇杷的质量损失率, 但涂膜处理效果优于外源 NO 处理。可能是因为涂层可以将枇杷表皮的皮孔、气孔部分或完全覆盖, 能阻止枇杷水分逸失, 从而减少质量损失。外源 NO 联合纳米 TiO_2 涂膜处理的效果明显优于单独处理。

3 结语

实验通过探讨壳聚糖质量分数及纳米 TiO_2 添加量对细菌和真菌抑菌圈直径的影响及在常温贮藏下枇杷感官品质的变化, 筛选出质量分数为 1.0% 的壳聚糖和质量浓度为 0.5 g/L 的纳米 TiO_2 复合膜对枇杷进行后续保鲜。根据前期预实验和前人实验结果选择了 SNP (c_{SNP} 为 0.05 mmol/L) 为 NO 的供体, 发现外源 NO 降低了枇杷果实的呼吸强度, 减缓枇杷冷藏中的木质化进程效果明显。通过对比 2 种技术单一处理以及复合处理后的效果, 结果表明, 适宜的外源 NO (c_{SNP} 为 0.05 mmol/L) 能减缓采收后冷藏枇杷果实的木质化进程, 减少冷害的发生; 适宜浓度的纳米 TiO_2 壳聚糖复合涂膜液 ($c_{\text{纳米 TiO}_2}$ 为 0.5 g/L) 能够有效抑制枇杷的微生物侵染, 降低菌落总数, 进而降低质量损失率、腐烂率、呼吸强度; 复合处理 (外源 NO+壳聚糖/纳米 TiO_2) 更为有效地降低了枇杷果实储存期间的菌落总数, 减少了贮藏过程中水分的散失, 有效减缓了木质化败坏的进程, 更有利于枇杷的保鲜。

参考文献:

- [1] 孙正烜, 陈惠云, 杨虎清, 等. 纳米乳涂膜和 1-甲基环丙烷处理对枇杷果实保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(23): 266—271.
SUN Zheng-xuan, CHEN Hui-yun, YANG Hu-qing, et al. Effects of Nanoemulsion Coating and 1-Methylcyclopropene on Quality Maintenance of Loquat Fruits[J]. Food Science, 2018, 39(23): 266—271.
- [2] SONG H, YUAN W, JIN P, et al. Effects of Chitosan/Nano-silica on Postharvest Quality and Antioxidant Capacity of Loquat Fruit during Cold Storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 119: 41—48.
- [3] CAI C, CHEN K S, XU W P, et al. Effect of 1-MCP on Postharvest Quality of Loquat Fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 40(2): 155—162.
- [4] LESHEM Y Y, HARAMATY E. The Characterization and Contrasting Effects of the Nitric Oxide Free Radical in Vegetative Stress and Senescence of *Pisum sativum* Linn Foliage[J]. Journal of Plant Physiology, 1996, 148(3/4): 258—263.
- [5] ZHU L Q, ZHOU J, ZHU S H. Effect of a Combination of Nitric Oxide Treatment and Intermittent Warming on

- Prevention of Chilling Injury of 'Feicheng' Peach Fruit during Storage[J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(1): 165—170.
- [6] KARTHIKEYA N, VENKATACHALA M. Exogenous Nitric Oxide Treatment Impacts Antioxidant Response and Alleviates Chilling Injuries in Longkong Pericarp[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 237: 311—317.
- [7] 范林林, 王清, 左进华, 等. 外源 NO 处理对茄子贮藏品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2017(1): 186—192. FAN Lin-lin, WANG Qing, ZUO Jin-hua, et al. The Effect of Exogenous NO Treatment on Eggplant Quality during Storage[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017(1): 186—192.
- [8] 高维亚, 吴光斌, 陈发河. NO 处理对采后莲雾果实絮状绵软进程的影响[J]. *食品科学*, 37(18): 208—215. GAO Wei-ya, WU Guang-bin, CHEN Fa-he. Effects of Exogenous Nitric Oxide Fumigation on Cottony Softening of Postharvest Wax Apple (*Syzygium Samarangense*Merr.et Perry) Fruit[J]. *Food Science*, 37(18): 208—215.
- [9] 徐绍虎. 纳米材料在食品包装中的应用研究进展[J]. *包装工程*, 2011, 32(13): 108—111. XU Shao-hu. Progress on Application Research of Nanometer Material for Food Packaging[J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(13): 108—111.
- [10] 黄希妍, 方健. 戊二醛改性壳聚糖/纳米 TiO₂ 复合膜的抗水性研究[J]. *包装工程*, 2013, 34(15): 34—39. HUANG Xi-yan, FANG Jian. Water Resistance of Chitosan/Nano-sized TiO₂ Complex Film Modified by Glutaraldehyde[J]. *Packaging Engineering*, 2013, 34(15): 34—39.
- [11] YEMMIREDDY V K, HUNGY C. Effect of Binder on the Physical Stability and Bactericidal Property of Titanium Dioxide (TiO₂) Nanocoatings on Food Contact Surfaces[J]. *Food Control*, 2015, 57: 82—83.
- [12] 张明月, 黎彧, 吴梁鹏. 纳米材料在食品包装中的研究进展[J]. *包装工程*, 2018, 39(9): 78—85. ZHANG Ming-yue, LI Yu, WU Liang-peng. Research Progress of Nanomaterials in Food Package[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(9): 78—85.
- [13] YANG F M, LI H M, LI F, et al. Effect of Nano-packing on Preservation Quality of Fresh Strawberry (*Fragaria Ananassa*Duch. CvFengxiang) during Storage at 4 Degrees C[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 75(3): 236—240.
- [14] KHADEMI O, ASHTARI M, RAZAVI F. Effects of Salicylic Acid and Ultrasound Treatments on Chilling Injury Control and Quality Preservation in Banana Fruit during Cold Storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 249: 334—339.
- [15] 解淑慧, 王维琴, 叶卫东, 等. 纳米 TiO₂-壳聚糖复合涂膜对砂糖橘的保鲜效果[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(4): 219—223. XIE Shu-hui, WANG Wei-qin, YE Wei-dong, et al. Effects of Nano TiO₂-chitosan Coating on the Preservation of Shatang Orange[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2012, 38(4): 219—223.
- [16] 陶希芹, 王明力, 袁志, 等. 壳聚糖/纳米 TiO₂ 复合涂膜保鲜金秋梨的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 35(5): 210—213. TAO Xi-qin, WANG Ming-li, YANG Zhi, et al. Study on ScorageJinqiu Pear with Chitosan/Nano-TiO₂[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2005, 35(5): 210—213.
- [17] 任艳芳, 何俊瑜, 刘冬, 等. 一氧化氮对采后大五星枇杷常温贮藏下品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(5): 329—333. REN Yan-fang, HE Jun-yu, LIU Dong, et al. Effect of Nitric Oxide on Fruit Quality of 'Dawuxin' Loquat during Storage at Room Temperature[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(5): 329—333.
- [18] 潘梦诗, 李博. 黄瓜优势腐败菌的分离与鉴定及抑菌实验研究[J]. *食品科技*, 2018, 43(11): 12—18. PAN Meng-shi, LI Bo. Isolation and Identification of Dominant Spoilage Bacteria of Cucumbers and Its Antimicrobial Experiments[J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(11): 12—18.
- [19] 张美姿, 吴光斌, 陈发河. NO 熏蒸处理对冷藏枇杷果实木质化劣变的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(16): 232—237. ZHANG Mei-zi, WU Guang-bin, CHEN Fa-he. Effect of Nitric Oxide Fumigation on Lignification of Loquat Fruits during Cold Storage[J]. *Food Science*, 2014, 35(16): 232—237.
- [20] LAI T, LI B, QIN G, et al. Oxidative Damage Involves in the Inhibitory Effect of Nitric Oxide on Spore Germination of *Penicillium Expansum*[J]. *Current Microbiology*, 2011, 62: 229—234.
- [21] BAIDYA S, CARY J W, GRAYBURN W S, et al. Role of Nitric Oxide and Flavohemoglobin Homolog Genes in *Aspergillus Nidulans* Sexual Development and Mycotoxin Production[J]. *Applied & Environmental Microbiology*, 2011, 77(15): 5524—5528.