

魏秋羽, 李大婧, 宋江峰, 等. 不同包装方式对 1-MCP 处理香荷芋贮藏品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(1): 194-199.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2018.01.028

不同包装方式对 1-MCP 处理香荷芋贮藏品质的影响

魏秋羽¹, 李大婧^{1,2}, 宋江峰^{1,2}, 肖亚冬¹, 刘春泉^{1,2}, 张培通³

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2.国家蔬菜加工技术研发分中心, 江苏 南京 210014; 3.江苏省农业科学院泰州农科所, 江苏 泰州 225300)

摘要: 以泰州香荷芋为试材, 通过测定失重率、多酚含量、多酚氧化酶(PPO)活性、丙二醛(MDA)含量、质地和色泽等品质指标, 研究不同包装方式对 1-甲基环丙烯(1-MCP)处理过的香荷芋贮藏品质的影响。结果表明, 相比于聚乙烯(PE)包装和对照组, 纳米包装能有效抑制香荷芋贮藏期间水分的损失和 MDA 含量的上升, 减缓香荷芋的自身衰老进程, 抑制香荷芋质地的下降。而且纳米包装处理显著降低了贮藏期间香荷芋多酚氧化酶活性, 减缓了酚类物质的氧化, 提高了多酚的保留率, 维持了香荷芋的良好色泽。因此, 纳米包装可减缓香荷芋的失水和衰老, 抑制色泽和质地的下降, 提高香荷芋的贮藏品质。

关键词: 香荷芋; 纳米包装; 1-MCP; 贮藏品质

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2018)01-0194-06

Influence of different packing methods on storage quality of 1-MCP-treated Xianghe taro

WEI Qiu-yu¹, LI Da-jing^{1,2}, SONG Jiang-feng^{1,2}, XIAO Ya-dong¹, LIU Chun-quan^{1,2}, ZHANG Pei-tong³

(1. Institute of Farm Product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. National Research and Development Center for Vegetable Processing, Nanjing 210014, China; 3. Taizhou Institute of Agricultural Sciences, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Taizhou 225300, China)

Abstract: The Xianghe taro from Taizhou were used as the material to explore the effect of different packing methods on storage quality through the determination of weight loss rate, polyphenol content, polyphenoloxidase (PPO) activity, malondialdehyde (MDA) content, texture and lightness. Results showed that nano-packaging was able to maintain a lower weight loss and MDA content compared with the polyethylene (PE) packing and the control. It could also exhibit better efficiency in delaying the senescence, attenuating the reduction of texture for Xianghe taro. Meanwhile, the nano-packaging method decreased PPO activity significantly, decreased the loss of polyphenol and maintained higher L^* value. These results collectively indicated that the nano-packaging could slow down water loss and senescence, attenuate the reduction of texture and L^* value, as well as improve the storage quality of Xianghe taro.

Key words: Xianghe taro; nano-packaging; 1-MCP; storage quality

芋头 [*Colocasia esculenta* (L). Schott] 营养丰

富, 含有人体必需的维生素和矿质养分, 肉质柔软, 香糯润滑、爽口美味, 深受消费者喜爱。泰州香荷芋种植面积稳定在 2 000 hm² 以上, 年产量高达 45 000 t, 已获得国家地理标志认证, 成为泰州市的一块特色农产品名片。但香荷芋采后呼吸和新陈代谢作用旺盛, 贮藏期间极易因微生物的滋长而霉变、皱缩和发芽变质, 很难实现中长期保存或周年供应。研究

收稿日期: 2017-07-09

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目 [CX(15)1024]

作者简介: 魏秋羽 (1991-), 女, 河南永城人, 硕士, 研究实习员, 主要从事农产品加工及贮藏研究。(E-mail) weiqiuyu2013@126.com

通讯作者: 刘春泉, (E-mail) liuchunquan2009@163.com

有效的香荷芋保鲜技术,对延长贮藏期,提高其经济效益具有重要意义。

1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP)是一种有效的果蔬保鲜剂,能够显著降低果实乙烯释放量,减缓果蔬衰老速度,并且维持果实质地、色泽和风味等^[1-2]。孙志栋等^[3]研究发现,1-MCP 熏蒸处理可显著降低芋头腐烂率和褐变指数。纳米包装材料是一种新型包装材料,具有抗菌杀毒、低透湿率和阻隔二氧化碳等优良特性^[4],同时纳米材料可催化乙烯氧化,加速分解果蔬释放出的乙稀,阻碍果实的后熟^[5]。将纳米材料用于果蔬的采后包装,能够有效抑制呼吸,减缓膜脂过氧化,延长果蔬贮藏期^[6]。纳米包装可较好地保持生菜贮藏过程中营养成分^[7],减少甜柿失重率,抑制可滴定酸的上升^[8],减缓黄瓜色泽的下降^[9],抑制草莓的膜脂过氧化反应,保护膜结构的完整性^[10]。纳米包装材料在果蔬保鲜上的应用逐渐增多并取得显著效果,但在芋头保鲜上的研究却鲜见报道。本试验将 1-MCP 熏蒸过的香荷芋分别采用不同包装方式处理,研究香荷芋贮藏过程中营养成分、质地和色泽等指标的变化,以期为提高香荷芋贮藏品质提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料和试剂

供试芋头采自泰州市,品种为香荷芋。挑选无病虫害的香荷芋植株,芋叶变黄衰败后割去地上部,待伤口干燥愈合后选晴天采收。芋头采后置于田间晾晒 3~4 h,翻转 2~3 次,然后装筐运至实验室。选取无病斑、无机械损伤的子芋作为试验材料,进行贮藏试验。

1-MCP 粉剂,有效浓度 0.014%,美国 Smart-Fresh(聪明鲜)公司产品;40 μm 厚纳米聚乙烯(PE)保鲜袋和 40 μm 厚普通 PE 塑料袋,灌南县金凯包装有限公司产品。

1.2 包装处理

设置 3 个处理。处理组 1(1-MCP):将香荷芋和装有蒸馏水的小烧杯置于 21 L 塑料箱中,称取 1-MCP 粉剂 0.362 2 g 置于小烧杯中,1-MCP 浓度为 1 $\mu\text{L/L}$,立即扣紧箱盖,芋头在室温(20 $^{\circ}\text{C}$ 左右)密封熏蒸 24 h,开盖通风 12 h 进行气体平衡,然后将芋头取出置于保鲜库中,该处理组为对照组。处理组 2(1-MCP+PE 包装):将 1-MCP 熏蒸后的香荷芋直

接装入 40 μm 厚普通 PE 包装袋。处理组 3(1-MCP+纳米包装):将 1-MCP 熏蒸后的香荷芋装入纳米聚乙烯包装袋。每 30 个芋头作为 1 个包装,5 个包装为 1 个处理,每处理重复 3 次。上述所有处理均置于温度 10~12 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度 80%~90% 的保鲜库中贮藏,每隔 20 d 测定 1 次。

1.3 指标测定

1.3.1 芋头失重率的测定 根据贮藏前质量(m_0)和贮藏后质量(m_1)计算表失重率(W): $W = [(m_0 - m_1)/m_0] \times 100\%$ 。

1.3.2 多酚氧化酶(PPO)活性的测定 参照李利华^[11]的方法。

1.3.3 多酚、丙二醛(MDA)含量的测定 多酚含量测定采用福林酚比色法。MDA 含量测定采用硫代巴比妥酸比色法^[12]。

1.3.4 硬度、内聚性、咀嚼性的测定 采用 CT3 质构仪测定,选用 TA10 圆柱型探头、TA-BT-KIT 夹具。目标类型 TPA,目标值 1.0 mm,触发点负荷 10 g,测试速度 0.5 mm/s,循环次数 2 次。在此条件下测定香荷芋的硬度、内聚性、咀嚼性。硬度为第一次挤压循环的最大力量峰值,表示果实越过生物屈服点后,外界继续施加一定程度的压力,果实所受力大小,反映了试样对变形抵抗的性质。内聚性为第二次挤压循环的正峰面积同第一次挤压循环的正峰面积的比值,反映咀嚼果肉时,果实抵抗受损并紧密连接,使果实保持完整的性质。咀嚼性用于描述固态测试样品的特性,是硬度、内聚性、弹性三者的乘积,反映果实对咀嚼的持续抵抗性。

1.3.5 色泽的测定 采用手持分光测色计,以仪器白板色泽为标准,测定芋头横切面的色泽。 L^* 值(Lightness,亮度)在 0~100 之间,0 表示黑色,100 表示白色,其值越大,表示色泽越好。

1.4 统计分析

每次试验重复 3 次,取平均值,并计算标准偏差,用 Origin8.5 作图。单因素试验指标的差异采用 SAS 统计软件中 ANOVA 方差分析,由 Tukey 分析均值差异的显著性,显著水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同包装方式对香荷芋失重率的影响

芋头块茎在贮藏过程因生理呼吸作用等,使其质量减轻而失重,这种以失水为主的失重导致块茎

表面皱缩,新鲜度下降。由图 1 可知,不同包装处理的香荷芋在贮藏前期(0~40 d)失重率差异不显著,贮藏后期(41~80 d)失重率差别较大。3 个不同处理中,对照组的香荷芋失重率较高,80 d 时失重率高达 7.2 %。采用 PE 袋包装后,香荷芋的失重率略有降低,且在贮藏后期效果极为显著。而经纳米包装处理的香荷芋在贮藏 40 d、80 d 时,失重率分别为 4.6 % 和 5.0 %,显著低于 PE 包装处理($P<0.05$)。由此可以看出,相比于 PE 包装和对照组,纳米包装可降低芋头的呼吸作用,有效减缓贮藏期间香荷芋水分的损失。

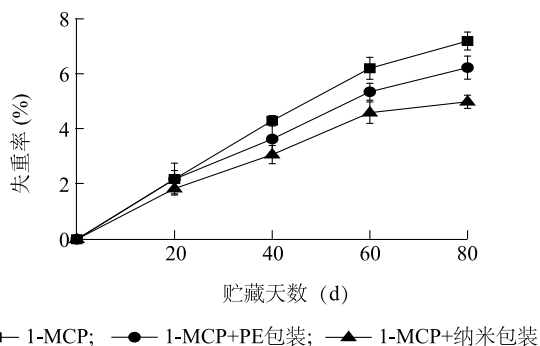


图 1 不同包装方式对香荷芋失重率的影响

Fig.1 Effect of different packing methods on the weight loss rate of Xianghe taro

2.2 不同包装方式对香荷芋多酚含量的影响

由图 2 可知,新鲜香荷芋的多酚含量约为 690 mg/kg,贮藏前期多酚含量快速下降,贮藏后期其含量下降较为缓慢。在贮藏第 80 d 时,对照组的香荷芋多酚含量最低,PE 包装的香荷芋多酚含量略高于对照,但差异不显著,纳米包装处理的芋头多酚保留率较高,在贮藏 60 d、80 d 时多酚含量分别为 499 mg/kg、443 mg/kg,显著高于其他 2 个处理($P<0.05$)。由此可知,1-MCP 结合纳米包装处理可有效减缓香荷芋中多酚的损失。

2.3 不同包装方式对香荷芋 PPO 活性的影响

芋头组织中含有 PPO,在贮藏加工过程中易发生酶促褐变,这不仅会减低多酚类物质含量,还直接影响产品的色泽。由图 3 可知,在 0 d 时 PPO 活性为 26.67 U/(min·g),随着贮藏时间的延长,不同处理的香荷芋 PPO 活性呈现先升高后降低的趋势。其中对照组和 PE 包装处理的芋头在贮藏 40 d 时 PPO 活性最高,其值分别为 151.3 U/(min·g) 和 125.3 U/(min·g),纳米包装的香荷芋 PPO 活性在

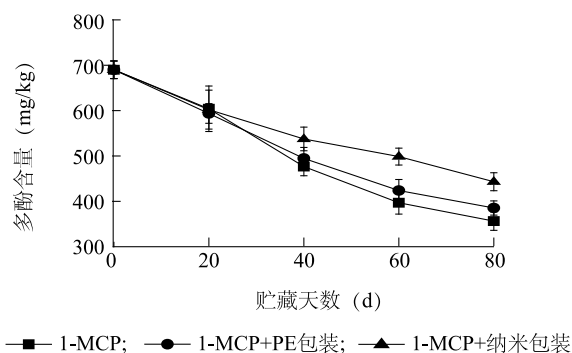


图 2 不同包装方式对香荷芋多酚含量的影响

Fig.2 Effect of different packing methods on the polyphenol content of Xianghe taro

第 60 d 时最高,其值为 86.2 U/(min·g),显著低于其他 2 个处理($P<0.05$)。说明纳米包装材料对香荷芋 PPO 活性有一定的抑制作用,可减缓贮藏过程中芋头酶促褐变反应。

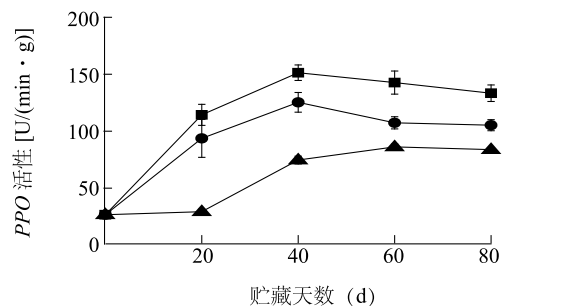


图 3 不同包装方式对香荷芋 PPO 活性的影响

Fig.3 Effect of different packing methods on the PPO activity of Xianghe taro

2.4 不同包装方式对香荷芋 MDA 含量的影响

膜脂过氧化终产物 MDA 积累可导致膜结构及生理完整性的破坏,其含量高低可评价果实衰老的程度^[13]。不同包装方式下香荷芋 MDA 含量变化见图 4,在整个贮藏过程中,纳米包装处理组的香荷芋 MDA 含量始终处于较低水平,其中在贮藏第 40 d、60 d、80 d 时 MDA 含量显著低于 PE 包装处理和对照组($P<0.05$)。说明纳米包装材料能够有效抑制贮藏过程中香荷芋细胞膜脂的氧化损伤,减少 MDA 积累,减缓芋头的自身衰老进程。

2.5 不同包装方式对香荷芋硬度的影响

对于香荷芋而言,采后 MDA 的积累导致细胞膜结构的破坏,细胞间聚力逐渐下降^[14],且贮藏

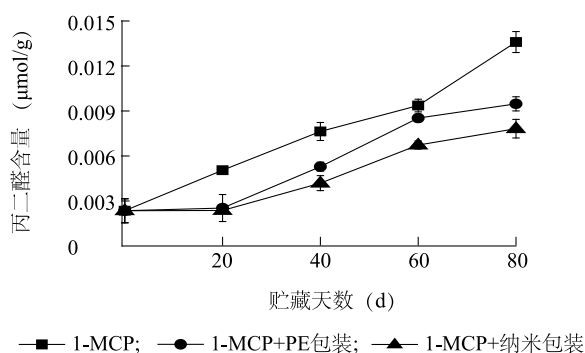


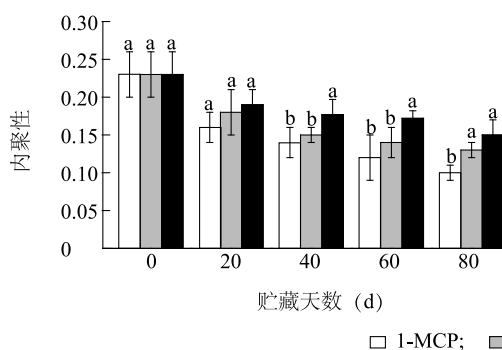
图4 不同包装方式对香荷芋 MDA 含量的影响

Fig.4 Effect of different packing methods on MDA content of Xianghe taro

期间芋头自身的呼吸作用和蒸腾作用导致水分的损失,块茎逐渐萎蔫,这些生理生化变化均导致香荷芋硬度的下降。从图 5 可以看出,在整个贮藏过程中,纳米包装处理的香荷芋硬度值均高于同期 PE 包装处理和对照组,在贮藏 60 d、80 d 时,纳米包装处理的芋头硬度值分别为 3 099 g、3 038 g,显著高于对照 ($P<0.05$)。说明纳米包装处理阻碍细胞聚合力的下降,减缓块茎的水分散失,有利于香荷芋块茎硬度的保持,这与贮藏期间 MDA 含量和失重率的试验结果一致。

2.6 不同包装方式对香荷芋内聚性、咀嚼性的影响

由图 6 可知,3 个不同处理的芋头在贮藏初期内



同一贮藏时间不同小写字母表示差异达显著水平 ($P<0.05$)。

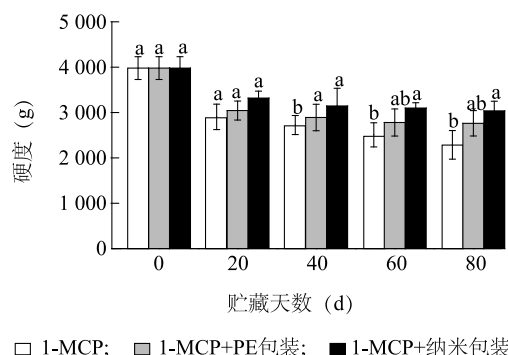
图6 不同包装方式下香荷芋内聚性、咀嚼性的变化

Fig.6 The changes of cohesiveness and chewiness for Xianghe taro with different packing treatments

2.7 不同包装方式对香荷芋色泽的影响

Martinez-Romero 等^[15]研究发现,果蔬采后应激反应、微生物侵染以及果实自身的酶促反应是造成果蔬褐变的重要原因。在香荷芋贮藏过程中,组织

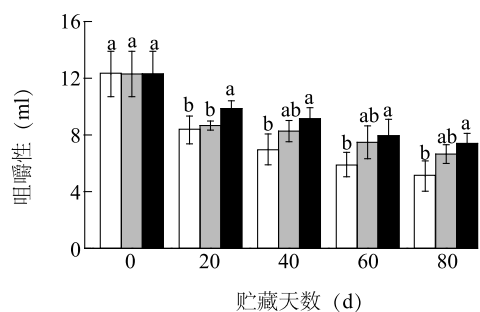
聚性迅速下降,贮藏 20 d 时,对照、PE 包装和纳米包装处理的芋头内聚性分别降低了 30.43%、21.73% 和 17.39%。在贮藏 20~80 d 时内聚性下降趋势较为缓慢,且在这一时期,纳米包装处理的香荷芋内聚性显著高于对照 ($P<0.05$),可见纳米包装可使香荷芋保持较高的内聚性。从图 6 可以看出,与内聚性的变化趋势基本一致,香荷芋的咀嚼性在贮藏初期下降趋势较为明显,贮藏中后期变化趋势缓慢。相同贮藏时间下,纳米包装处理的香荷芋咀嚼性显著高于对照组 ($P<0.05$),表明纳米包装处理对贮藏期间咀嚼性的维持具有积极作用,能较好地减缓香荷芋质地的下降。



同一贮藏时间不同小写字母表示差异达显著水平 ($P<0.05$)。

图5 不同包装方式下香荷芋硬度的变化

Fig.5 The change of hardness for Xianghe taro with different packing treatments



细胞膜脂的氧化导致膜的通透性增加,加速了 PPO 与酚类底物的接触,从而导致芋头 L^* 值下降。由表 1 可知,在整个贮藏期间,各处理的芋头 L^* 值持续下降,纳米包装处理的芋头 L^* 值始终高于 PE 包装

处理和对照组,且在贮藏第 80 d 时,纳米包装处理的芋头 L^* 值高达 85.2,显著高于其他 2 个处理 ($P < 0.05$)。结合图 3 和图 4 结果分析可知,纳米包装可抑制香荷芋的膜脂过氧化和 *PPO* 活性,减缓芋头贮藏过程中酶促褐变反应,从而维持香荷芋的良好色泽。

表 1 不同包装方式下香荷芋 L^* 值的变化

Table 1 The change of L^* value for Xianghe taro with different packing treatments

贮藏时间 (d)	L^* 值		
	1-MCP 处理 (对照)	1-MCP+PE 包装处理	1-MCP+纳米 包装处理
0	88.3±1.59a	88.3±1.59a	88.3±1.59a
20	86.1±1.02 a	87.5±2.03a	87.6±0.81a
40	84.9±1.65 a	85.6±1.84a	86.6±1.45a
60	83.2±1.71 b	84.4±1.50ab	86.4±1.21 a
80	82.3±1.16 b	83.0±0.91b	85.2±1.18a

同一行中不同小写字母表示差异达显著水平 ($P < 0.05$)。

3 讨论

芋头属于非呼吸跃变型蔬菜。田方^[16]研究发现,1-MCP 对芋头这种非呼吸跃变型蔬菜能够起到抑制呼吸、延缓衰老的作用。这是因为 1-MCP 能抑制块茎中诱导呼吸作用的相关酶类的合成,提高活性氧代谢防御酶系统活性,从而抑制芋头块茎在贮藏期间活性氧代谢产物和 MDA 生成^[17-18]。孙志栋等^[3]也证实 1-MCP 处理能明显抑制乙烯生理效应的发挥,推迟芋头呼吸高峰的到来,延缓块茎的衰老进程。

本试验以 1-MCP 熏蒸处理的香荷芋为试材,研究了不同包装方式对香荷芋贮藏品质的影响。结果表明,纳米包装材料能够有效抑制贮藏期间香荷芋水分的散失和 MDA 含量上升,阻碍芋头的自身衰老进程,减缓香荷芋质地的下降。这是因为纳米材料具有较小的水分透过率,可抑制果蔬贮藏期间水分的蒸发^[6],且纳米材料能够缓解薄膜内水滴的聚集现象,减缓袋内空气湿度下降^[19]。MDA 是衡量果实衰老的重要指标,在本试验中,纳米包装处理的香荷芋 MDA 含量始终低于 PE 包装处理,这可能是由于超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶等保护酶活性提高,更好地清除了细胞内活性氧,从而减

少活性氧对膜的损伤,降低了 MDA 产生速率^[20]。马宁等^[21]研究纳米包装材料对生菜保鲜品质的影响时也发现,相比于普通 PE 包装,纳米包装材料可减少包装袋内的氧气含量,从而抑制生菜在贮藏过程中丙二醛的增长,延缓细胞膜氧化。纳米包装材料中的 TiO_2 具有光催化氧化作用。Smirnova 等^[22]研究发现在光照条件下, TiO_2 表面的空穴和电子进行反应,生成 $\cdot\text{O}_2^-$ 、 $\cdot\text{Ti}^{3+}$ 、 $\cdot\text{OH}$ 等活性基团。这些基团具有超强的氧化能力,可直接攻击周围的细菌,致使细菌蛋白质变性或脂类物质分解,从而杀灭细菌并使之降解^[23]。纳米包装材料的主要成分纳米 Ag 也具备超强的抗菌能力。Pal 等^[24]研究发现,纳米银粒子可进入细胞质空间,破坏微生物的细胞膜结构,引起胞内物质流失,从而杀死微生物,减缓果实的腐烂,抑制香荷芋质地的下降。史君彦等^[9]还发现纳米保鲜膜中的银可通过包装内的水汽发生少量迁移,对果蔬组织内的纤维素酶、果胶酶等酶活性产生抑制作用,从而有效减缓果实的软化现象。

此外,纳米包装处理的芋头 *PPO* 活性显著低于同时期的 PE 包装处理和对照,且芋头 L^* 值和多酚含量始终高于其他 2 个处理,这是由于纳米包装有效减缓了果蔬贮藏过程中的逆境胁迫,抑制了 *PPO* 的活性,减缓了自身代谢和多酚的氧化^[19],从而提高了多酚的保留率,维持了香荷芋的良好色泽。综上所述,纳米包装处理可以减缓香荷芋的失水和衰老,抑制色泽和质地的下降,提高香荷芋的贮藏品质。

参考文献:

- [1] FOUKARAKI S G, COOLS K, CHOPE G A, et al. Impact of ethylene and 1-MCP on sprouting and sugar accumulation in stored potatoes[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 114: 95-103.
- [2] 曹森,王瑞,刘莹,等.基于主成分分析的 1-MCP 处理对艳红桃货架期品质的影响[J].江苏农业学报,2017,33(1): 197-203.
- [3] 孙志栋,田方,张仁杰,等. 1-MCP 和温度处理对采后芋头贮藏品质的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(9): 1730-1736.
- [4] KUSWANDI B. Environmental friendly food nano-packaging[J]. Environmental Chemistry Letters, 2017, 15(2): 205-221.
- [5] 胡爱武,傅志红. 纳米技术及其在包装中的应用[J]. 包装工程, 2003, 24(6): 22-24.
- [6] LI H M, LI F, WANG L, et al. Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill. var. *inermis*

- (Bunge) Rehd)[J]. Food Chemistry, 2009, 114(2): 547-552.
- [7] 马宁,石学彬,方勇,等. 纳米包装材料对生菜保鲜品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 281-285.
- [8] 王敏,屠康,潘磊庆,等. 1-MCP、纳米包装及二者结合对“次郎”甜柿采后品质的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(20): 459-463.
- [9] 史君彦,高丽朴,左进华,等. 纳米银保鲜膜包装对黄瓜保鲜效果的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(1): 109-112.
- [10] YANG F M, LI H M, LI F, et al. Effect of nano-packing on preservation quality of fresh strawberry (*Fragaria ananassa* Duch. cv Fengxiang) during storage at 4 degrees C[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(3): 236-240.
- [11] 李利华. 芋头多酚氧化酶的酶学性质研究[J]. 现代食品科技, 2013, 29(4): 737-740.
- [12] 越世杰,许长成. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学报, 1994, 30(3): 207-210.
- [13] ALSCHER R G, DONAHUE J L, CRAMER C L. Reactive oxygen species and antioxidants: Relationships in green cells[J]. Physiologia Plantarum, 1997, 100(2): 224-233.
- [14] BRUMMELL D A. Cell wall disassembly in ripening fruit[J]. Functional Plant Biology, 2006, 33(2): 103-119.
- [15] MARTINEZ-ROMERO D, SERRANO M, CARBONELL A, et al. Mechanical damage during fruit post-harvest handling: technical and physiological implications[M]. Netherlands: Springer, 2004: 233-252.
- [16] 田方. 奉化芋艿营养成分分析及其加工保鲜技术研究[D]. 宁波:宁波大学, 2013.
- [17] ARNOLD M O, 应铁进. 1-甲基环丙烯采后处理对樱桃番茄果实成熟过程的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005, 31(1): 27-33.
- [18] 程琳琳,肖丽梅,钟梅,等. 1-MCP 和 ClO_2 对新疆蟠桃采后品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(12): 314-319.
- [19] 余科林,方东路,陈梅香,等. 纳米聚乙烯包装结合打孔气调对草菇采后贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(16): 292-298.
- [20] 单楠. 纳米包装材料制备及其在双孢蘑菇和金针菇保鲜的应用[D]. 南京:南京农业大学, 2012.
- [21] 马宁,石学彬,方勇,等. 纳米包装材料对生菜保鲜品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 281-28.
- [22] SMIRNOVA N, GNATYUK Y, VITYUK N, et al. Nanosized TiO_2 -based mixed oxide films: Sol-gel synthesis, structure, electrochemical characteristics and photocatalytic activity[J]. International Journal of Materials Engineering, 2013, 3(6): 124-135.
- [23] 刘平,孟春. 掺杂 TiO_2 光催化膜材料的制备及其灭菌机理[J]. 催化学报, 1999, 20(3): 325-328.
- [24] PAL S, TAK Y K, JOARDAR J, et al. Nanocrystalline silver supported on activated carbon matrix from hydrosol: antibacterial mechanism under prolonged incubation conditions[J]. Journal of Nanoscience & Nanotechnology, 2009, 9(3): 2092-2103.

(责任编辑:张震林)