

# 鲜切马铃薯褐变控制技术研究进展

公 营<sup>1</sup>, 王庆国<sup>1</sup>, 孟庆昌<sup>2</sup>, 张子岗<sup>2</sup>, 石晶盈<sup>1\*</sup>

(1. 山东农业大学食品科学与工程学院, 泰安 271018; 2. 淄博市淄川区检验检测中心, 淄博 255000)

**摘 要:** 随着人们生活方式的转变以及生活水平的提高, 鲜切果蔬越来越受到现代人的青睐, 鲜切马铃薯因其营养和方便等特性而广受欢迎。鲜切后马铃薯发生酶促褐变, 次生代谢以及氧化损伤, 从而促使马铃薯快速褐变, 失去商品价值。近年来国内外对马铃薯褐变抑制的研究热度不减, 目前已经出现了很多褐变抑制新技术。本文综述了国内外最新的褐变抑制技术, 包括物理、化学和生物褐变抑制技术, 并通过对国内外鲜切马铃薯褐变抑制方法进行归纳总结并提出相应建议, 为鲜切马铃薯褐变抑制新技术的开发提供参考。

**关键词:** 鲜切马铃薯; 褐变; 控制技术

## Advances on the inhibition techniques of browning of fresh-cut potato

GONG Ying<sup>1</sup>, WANG Qing-Guo<sup>1</sup>, MENG Qing-Chang<sup>2</sup>, ZHANG Zi-Gang<sup>2</sup>, SHI Jing-Ying<sup>1\*</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;  
2. Inspection and Testing Center in Zichuan District of Zibo, Zibo 255000, China)

**ABSTRACT:** With the change of people's lifestyle and the improvement of their living standards, fresh-cut fruits and vegetables are more and more popular in modern people, and fresh-cut potatoes is popular because of their nutrition and convenience. After being cut, potato will arise enzymatic browning, secondary metabolism and oxidative damage etc., which make potato browning and thus lose its commodity value quickly. In recent years, researches on the inhibition of potato browning has not been reduced in the world, and many new technologies for browning inhibition have appeared. This paper reviewed the latest browning inhibition techniques in the world, including physical, chemical and biological browning suppression technologies, summarized the methods of browning inhibition of fresh-cut potato at home and abroad and put forward corresponding suggestions, so as to provide a reference for the development of new technology of fresh-cut potato browning inhibition.

**KEY WORDS:** fresh-cut potato; browning; inhibiting technology

## 1 引 言

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)富含丰富的营养成分, 不仅能在干旱半干旱地区获得高产, 还能在南方地区进行冬季种植, 现已成为我国继玉米、水稻、小麦之后的第 4

大主要粮食作物<sup>[1]</sup>。随着现代生活方式的转变, 马铃薯丝、片、块等鲜切马铃薯产品因具有方便、营养、卫生等优点而具有很好的市场前景。马铃薯采收后仍然是活的生命体, 鲜切后会引发细胞结构的破坏, 氧化酶等多种活性物质释放出来, 聚集在切片表面; 此外, 鲜切后, 马铃薯会发生

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系马铃薯产业创新团队项目(SDAIT-10-022-11)、山东“双一流”项目(SYT2017XTTD04)

Fund: Supported by the Project of Potato Industry Innovation Team for Modern Agricultural Industry Technology System, Shandong Province, China (SDAIT-10-022-11) and Funds of Shandong "Double Tops" Program (SYT2017XTTD04)

\*通讯作者: 石晶盈, 教授, 主要研究方向为果蔬采后生物学。E-mail: jyshi80@163.com

\*Corresponding author: SHI Jing-Ying, Professor, Shandong Agricultural University Food Academy, No. 61, Daizong Street, Tai'an 271018, China. E-mail: jyshi80@163.com

次生代谢,生成过多的多酚、生物碱、萜等<sup>[2]</sup>加速酶促褐变,生产黑色素,失去商品价值,缩短货架期。褐变是影响鲜切马铃薯货架期的关键问题<sup>[3]</sup>。

低温贮藏是控制马铃薯褐变最常见的措施<sup>[4]</sup>,低温可以降低鲜切马铃薯的呼吸强度,抑制多酚氧化酶(polyphenolox, PPO)、过氧化物酶(peroxidase, POD)的活性<sup>[5]</sup>。但是仅仅依靠低温贮藏不能长时间保持鲜切马铃薯的品质,近年来,已有很多关于鲜切马铃薯褐变抑制技术的相关研究,这些研究虽然在一定程度上促进了马铃薯产业的发展,但仍然存在一些不足。本文总结了国内外抑制鲜切马铃薯褐变的物理、化学和生物新技术,并提出相关建议,以期为鲜切马铃薯褐变抑制新技术的开发和褐变机制的研究提供参考。

## 2 物理方法

物理保鲜技术是通过运用一些物理方法延缓果蔬采后品质下降的一种重要方式,目前应用于鲜切马铃薯的物理保鲜方法有很多。

### 2.1 回温技术

回温处理可以修复果蔬在收获期间受到的伤害,从而减少果蔬在贮藏期间的腐烂和水分的流失等问题,但是回温技术需要特性的温度、湿度以及较大的处理场地,因此处理成本较高。Hou 等<sup>[6]</sup>将采收后的马铃薯立即放置在聚乙烯袋(温度: 16 °C,湿度: 90%(回温处理 10 d 后进行鲜切处理。结果表明回温处理组马铃薯片感官品质好于对照组;回温处理也降低了鲜切马铃薯的呼吸速率,抑制了苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonialyase, PAL(和 PPO 基因的表达。张兵兵等<sup>[7]</sup>分别将采收后的马铃薯块茎在 15、25 °C 回温 10、20、30 d,结果表明 25 °C 回温处理优于 15 °C 回温处理,25 °C 回温处理 20、30 d 后,鲜切马铃薯在 3~4 °C 下贮藏 12 d 未发生褐变。回温处理技术具有安全、操作简便等优点,并且延缓鲜切马铃薯褐变的效果理想,因此鲜切马铃薯产业可以利用回温处理技术延缓鲜切马铃薯的褐变,或者将回温处理技术与马铃薯鲜切后的气调包装技术等相结合,从而达到最佳的护色效果。

### 2.2 高温处理

PPO 对热不稳定,利用瞬时高温处理原材料,可以使 PPO 及其他酶类钝化、失活,以达到控制酶促褐变的目的。张迎娟等<sup>[8]</sup>研究发现 60 °C 热水处理鲜切马铃薯 1 min,在 4 °C 的保存条件下,能较好地保持鲜切马铃薯的白度,抑制 PPO 和 POD 的活性,保持细胞膜的完整性。高温处理除了能够抑制酶活性外,还能增强果蔬在低温冷藏期间的抗氧化能力<sup>[9]</sup>,这有利于保持果蔬细胞的区域性分布,减少酶和酚类底物的接触,从而控制酶促褐变的发生。但是高温处理需精确地控制处理温度和时间,否则会促使食品原料质地软化,汁液流出,风味降低,另外,热处理温度

和处理时间还与马铃薯的品种和产地有关,因此,热处理技术在鲜切马铃薯中的适用性还需进一步确定。

### 2.3 精准包装

适当的精准包装可以调节鲜切果蔬的呼吸强度、有效减少微生物数量,达到维持鲜切果蔬品质和延长货架期的作用。张敏欢等<sup>[10]</sup>研究发现水蒸气透过率为 $(2.2 \pm 0.03) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 、氧气透过率为 $(24.5 \pm 0.32) \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 的尼龙/聚乙烯(polyamide/polyethylene, PA/PE)复合膜包装的鲜切马铃薯较聚乳酸薄膜[水蒸气透过率 $(410 \pm 7.6) \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,氧气透过率 $(506 \pm 4.3) \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ]包装的鲜切马铃薯能更好地延缓鲜切马铃薯的褐变并减少失水问题。何荫等<sup>[11]</sup>用厚度为 32  $\mu\text{m}$ ,水蒸气透过率为 $1.632 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ,氧气透过率为 $0.14 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ,二氧化碳透过率为 $0.03 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ 的 PE 膜包装鲜切马铃薯能有效抑制褐变速度及呼吸速率的加剧,延缓组织内丙二醛(malonaldehyde, MDA)的积累,提高了鲜切马铃薯的贮藏品质。黄凌燕等<sup>[12]</sup>用纳米材料透氧量 $0.02 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1}$ ,透湿量 $4.24 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 包装鲜切马铃薯能较好地抑制呼吸强度,降低失重率,减少贮藏期内 VC 的损失,有效降低 PPO 活性,在贮藏期间维持鲜切马铃薯较好的感官品质。王良玉等<sup>[13]</sup>采用 0.50 g 魔芋葡甘聚糖,0.80 g 果胶,0.60 g 卡拉胶和 0.30 g 羧甲基纤维素钠制备多糖仿角质保鲜膜用于包装鲜切马铃薯,在贮藏后期,处理组的失重率和细胞膜透性均低于对照组,提高了保鲜效果,延长了鲜切马铃薯的货架期。最新研发出的复合纳米包装材料和微胶囊包装技术已应用于其他鲜切果蔬,如鲜切胡萝卜,鲜切苹果等<sup>[14]</sup>。虽然目前已有几种用于马铃薯的包装技术,但是应该不断创新并与实际应用相结合,进一步研发出用于鲜切马铃薯的更环保、更高效的精准包装,比如适用于马铃薯的复合纳米材料和微胶囊技术等。

### 2.4 气调处理

#### 2.4.1 真空包装

真空包装是通过创造减压、低氧的环境条件抑制微生物的生长繁殖,从而达到果蔬保鲜的目的<sup>[15]</sup>。胡丽莎等<sup>[16]</sup>探究了在不同温度下真空包装对鲜切马铃薯生理生化的影响,结果表明:在真空包装条件下,4 °C 有效地抑制了鲜切马铃薯的生理生化反应:鲜切马铃薯片的硬度在 7 d 中基本保持恒定、VC 的量保持不变。蒋元元等<sup>[17]</sup>研究了常温下真空包装对鲜切马铃薯生理生化品质的影响,实验结果表明,与对照相比, $5 \times 10^4 \text{ Pa}$  和  $1 \times 10^5 \text{ Pa}$  真空包装处理后马铃薯还原糖和总糖含量下降,相对电导率上升,不能抑制 PPO 和 POD 活性,不能保持果实硬度,并且不能延缓鲜切马铃薯的衰老速度。

鲜切果蔬属鲜活食品,仍然可以进行呼吸作用,所以真空包装营造的高度缺氧环境会造成鲜切果蔬的生理病害,还容易因挤压等问题造成机械伤,因此在市场上,果蔬鲜

切产品较少使用真空包装。

#### 2.4.2 气调包装

气调包装是指通过调整食品包装环境内气体成分和比例以及环境温度和湿度来提高食品货架期的技术<sup>[15]</sup>。果蔬被采摘后, 仍进行旺盛的呼吸作用和蒸腾作用, 果蔬的营养成分、外观和风味发生变化, 这不仅降低了果蔬的营养品质, 而且影响果蔬的耐藏性和抗病性。通过气调处理可以把果蔬的呼吸强度降低到最低水平, 最少地消耗自身营养, 以达到延长货架期的目的。Shen 等<sup>[18]</sup>用氩气和氮气(1:1, V:V)在  $4 \times 10^6$  Pa 下加压处理鲜切马铃薯 60 min, 在体积分数为  $4\%O_2+2\%CO_2+94\%N_2$ 、 $4^\circ C$  条件下贮藏, 有效保持了鲜切马铃薯的色度和硬度。赵欣等<sup>[19]</sup>在  $4^\circ C$  贮藏条件下, 用体积分数为  $40\%CO_2+50\%O_2+10\%N_2$  的混合气体包装鲜切马铃薯片, 与其他组相比, 该处理显著抑制了 PPO 活性和 POD 活性, 微生物的增殖与 MDA 的积累, 在贮藏的 16 d 内鲜切马铃薯片具有较好的感官品质。气调包装保鲜效果较好, 并且气体比例调节好后, 包装袋充盈可以避免鲜切马铃薯的机械损伤, 但是该技术存在操作复杂、所需仪器设备较多、投资高等缺点, 因此该技术不是一种经济的护色技术。

### 2.5 冷杀菌

#### 2.5.1 超高压处理

超高压技术属于冷加工保鲜技术, 它可以使酶分子聚合, 钝化氧化酶的活性, 也可以有效杀灭细菌、真菌等微生物; 超高压技术还可以有效避免热处理引起的果蔬风味的改变和营养成分的损失, 从而有效保护鲜切产品的口感和风味<sup>[20,21]</sup>。韩文娥<sup>[22]</sup>选用马铃薯丝为原料, 采用超高压( $5 \times 10^8$  Pa)并结合 10 g/L 氯化钙处理马铃薯丝 10 min, 通过记录微生物总数, 得出在  $4^\circ C$  下, 鲜切马铃薯丝货架期为 10 d。在贮藏期间, PPO、POD、PAL 3 种酶的酶活均显著低于对照组, 总酚含量与对照组相比变化不明显。虽然超高压技术保鲜效果较好, 但是高压条件容易导致部分植物细胞变形, 进而对植物组织细胞造成一定伤害<sup>[22]</sup>, 因此, 超高压技术不适用于质地较软的果蔬的护色。虽然马铃薯质地较硬, 但是像较窄较薄的马铃薯丝一般不用超高压技术护色, 马铃薯片、块等产品可以利用超高压处理技术, 但需要进一步确定高压处理参数的参数, 如处理压强和处理时间等。

#### 2.5.2 超声处理

超声波一般指震动频率在 20 kHz 的声波, 在生产上可以利用超声波所具有的高震动频率对食物进行杀菌<sup>[23]</sup>, 从而起到延长保质期的作用。Amaral 等<sup>[24]</sup>研究了不同超声作用时间(40 kHz, 200 W, 1、5、10 min)对鲜切马铃薯在贮藏期间褐变程度的影响。结果表明超声处理 5 min 和 10 min 都降低了鲜切马铃薯的 pH 和淀粉含量, 超声处理 5 min 显著降低了 PPO 活性, 但是超声 10 min 造成了马铃薯细胞的

损伤。杨明冠等<sup>[25]</sup>研究了不同超声处理条件对酶促褐变底物、产物以及多酚氧化酶的影响, 以超声功率 600 W 处理 90 min。结果表明鲜切马铃薯 PPO 活性降低, 酶促褐变底物和产物与对照组相比没有显著差异。超声处理不仅可以杀灭微生物还显著抑制了 PPO 的活性, 可以推测超声波可能破坏了 PPO 酶的细胞结构, 进而抑制其活性, 抑制马铃薯的褐变, 并且超声处理也避免了因高温而造成食物营养成分和质地的破坏, 因此超声处理是一种高效、可行的鲜切果蔬保鲜、抗褐变技术<sup>[26]</sup>。

#### 2.5.3 高压静电场处理

高压静电场保鲜是一种绿色、无污染的物理保鲜方法, 原理是利用静电电离空气, 产生离子雾和臭氧, 其中的负离子具有降低果蔬呼吸强度、新陈代谢、降低酶活性等作用; 而臭氧是一种强氧化剂, 除了具有杀菌作用外, 臭氧还能与乙醇、乙烯和乙醛等发生反应, 间接地对果蔬起到保鲜作用, 并且对食品的营养、风味物质基本无影响<sup>[27]</sup>。Ko<sup>[28]</sup>研究发现电场效应会产生臭氧降低酶活性并影响细胞膜通透性, 还能抑制微生物繁殖, 延长鲜切产品的保质期。张敏欢等<sup>[10]</sup>研究发现, 在使用同种包装材料的条件下, 在静电场环境下的鲜切马铃薯褐变程度减缓, 失重率减少 30%。虽然高压静电场绿色无污染, 但是存在保鲜效果不稳定、处理场所要求高等限制性因素, 因此高压静电场应用于鲜切马铃薯护色还处于试验阶段。今后在生产上可以对高压静电场与包装材料相结合的保鲜技术进行研究, 可能会延长鲜切马铃薯的货架期。

## 3 化学方法

### 3.1 褐变抑制剂

褐变抑制剂是一种经济、高效的控制鲜切马铃薯褐变的方法。张冉等<sup>[29]</sup>选用 4.5 g/L 和 11 g/L 的茉莉酸甲酯浸泡鲜切马铃薯。在贮藏期内, 4.5 g/L 茉莉酸甲酯处理维持了果实硬度, 抑制 PPO、POD 活性并且减少 MDA 含量, 贮藏品质较好。孟祥春等<sup>[30]</sup>用 0.1 g/L 的氧化白藜芦醇处理鲜切马铃薯切片 5 min, 结果表明在  $4^\circ C$  贮藏条件下, 处理组保持较高的  $L^*$  值、容差值和整体感官品质及较低的  $a^*$  值, 降低了 PPO 和酪氨酸酶活性, 增强了过氧化物酶和 SOD 活性。Cacace 等<sup>[31]</sup>分别研究了 10 g/L N-乙酸-L-半胱氨酸、10 g/L 二亚乙基三胺五乙酸和 50 g/L 异抗坏血酸+10 g/L 柠檬酸对鲜切马铃薯条的保鲜效果。结果表明: 分别在  $1^\circ C$  和  $6^\circ C$  的温度下贮藏到 14 d 时, 50 g/L 异抗坏血酸+10 g/L 的柠檬酸效果最好, 能保持好的色度和感官品质, 并且抑制了微生物的增长。Tsouvaltzis 等<sup>[32]</sup>研究了柠檬酸抑制鲜切马铃薯褐变的效果。当柠檬酸溶液的质量浓度  $>5$  g/L 时可抑制鲜切马铃薯表面褐变, 而不影响抗氧化物含量和 PPO 活性, 在贮藏过程中组织 pH 升高。在 10 g/L 或 20 g/L 柠檬酸(pH 2.42 和 2.24)中浸泡马铃薯抑制

褐变效果更好。用  $H_2SO_4$  酸化 NaOH 溶液后处理鲜切马铃薯, 可抑制褐变, 但效果不如柠檬酸。用  $H_2SO_4$  将质量分 5 g/L 柠檬酸的 pH 从 2.59 降至 2.24, 也没有提高抑制褐变效果。Gao 等<sup>[33]</sup>用氨基丁酸处理鲜切马铃薯。结果表明 20 g/L 的氨基丁酸处理 10 min 可显著延缓鲜切马铃薯的褐变。氨基丁酸通过提高过氧化氢酶和 SOD 的活性, 降低 PPO 的活性和活性氧的含量, 抑制鲜切马铃薯的褐变。

化学保鲜剂延缓褐变的效果很好, 但是很多消费者担心化学品对人体健康产生潜在危害, 很多安全的化学褐变抑制剂虽然有一定的效果, 但存在成本高的问题, 很难在生产中推广。因此, 研发和寻找没有健康隐患、高效、经济的化学护色剂应用于鲜切马铃薯的护色是一个可行的方法。

### 3.2 可食性涂膜

可食性涂膜是以可食性物质为原料形成的无毒可用的薄膜。可食性涂膜可以喷涂或浸渍在果蔬表面以降低果蔬的呼吸强度和水分蒸发, 控制鲜切后果蔬表面  $O_2$  浓度, 从而延长果蔬的货架期<sup>[34]</sup>。杜传来等<sup>[35]</sup>分别用卡拉胶、壳聚糖、海藻酸钠为主要原料对马铃薯进行涂膜处理。结果表明海藻酸钠效果最好, 与护色液(0.5 g/L  $NaHSO_3$ +10 g/L 柠檬酸+1.5 g/L  $CaCl_2$ (效果一样, 其次是壳聚糖, 最差的是卡拉胶, 处理 4 d 后, 马铃薯开始发黑、腐烂。王允祥等<sup>[36]</sup>以 PPO 活性和失重率为评价指标筛选最佳涂膜剂, 得出以 2.5 g/L  $V_c$ +6 g/L 柠檬酸+1.5 g/L 氯化钙的配比保鲜效果最好, 在贮藏 7 d 期间鲜切马铃薯具有较好的感官品质。虽然一些可食性涂膜的护色效果较好, 但是应用可食性涂膜会增加鲜切产品的成本和操作工序, 同时也可能影响鲜切马铃薯的风味, 因此, 目前生产中利用可食性涂膜对鲜切马铃薯进行护色还不是一个十分理想的方法。

## 4 生物方法

### 4.1 基因工程方法

基因工程可以培育出不易褐变的马铃薯品种, 这一方法已经成为鲜切果蔬保鲜与贮藏技术的新趋势<sup>[37]</sup>。王清等<sup>[38]</sup>通过基因改造, 使马铃薯不能正常翻译出 PPO, 这种转基因马铃薯鲜切后不易褐变。Chi 等<sup>[39]</sup>用 *ami* RNA 技术使马铃薯组织中的 PPO 基因转录本沉默, 抑制了 *Stu PPO1*, *Stu PPO2*, *Stu PPO3* 和 *Stu PPO4* 基因的表达从而降低 PPO 活性。这一工作开辟了马铃薯抗褐变工作的新纪元, 实现了通过基因改造达到防止褐变的目的, 并且该技术具有准确、高效的优点, 但是目前对转基因马铃薯的安全性仍然没有统一的意见, 因此通过改造基因生产出的防褐变马铃薯仍然不能大规模地应用于市场中。

### 4.2 利用天然提取物

食品中经复杂的提取工艺得到的天然物含有许多的

生理活性成分, 例如多糖、多肽、活性酶等<sup>[40]</sup>, 对褐变有一定的抑制效果。Sukhonthara 等<sup>[41]</sup>研究发现米糠提取物可以抑制鲜切马铃薯和苹果 PPO 活性和褐变速度。Hwang 等<sup>[42]</sup>用甘草和绿茶提取物结合聚乙烯膜包装, 可以将鲜切马铃薯的货架期延长至 14 d。陈林林<sup>[43]</sup>用蒸馏法制备柑橘皮精油。结果表明与 10 g/L 柠檬酸、10 g/L  $CaCl_2$  和 10 g/L  $Na_2SO_3$  相比, 体积分数为 1.2% 精油的抑制褐变效果较好。Rizzo 等<sup>[44]</sup>用体积分数 0.5% 的迷迭香精油处理鲜切马铃薯, 在(4±2) °C 下, 货架期为 11 d。Liu 等<sup>[45]</sup>用质量分数 0.1% 的鳕鱼肽处理鲜切马铃薯, 结果表明该处理通过抑制 PPO、POD 和 PAL 活性, 减少总酚的积累, 有效地抑制了褐变, 货架期可维持 8 d。天然提取物没有安全隐患, 并且褐变抑制效果较好, 是一种理想的保鲜剂, 但是目前对天然物提取和纯化的技术不够成熟<sup>[26]</sup>, 普遍存在提取困难、耗时长, 提取纯度低等问题, 严重制约其发展。因此进一步研发高效、便捷、环保的分离技术, 从而提高天然提取物的纯度, 优化防褐变效果, 扩大天然提取物在鲜切马铃薯行业的应用规模十分必要。

## 5 展望

鲜切马铃薯作为迅速发展的鲜切加工产品, 市场需求巨大, 如何安全、高效地保持鲜切马铃薯的感官品质、延长其货架期是马铃薯产业发展所面临的重要问题。虽然目前的保鲜技术较多, 但是大多数存在成本高、效果差、技术不成熟等问题, 不能很好地满足马铃薯产业和市场的发展需求。未来鲜切马铃薯的保鲜应该在以下几个方面做进一步的研究: (1) 不断创新, 进一步探索出更高效、更经济的精准包装, 以期更好地维持鲜切马铃薯的感官品质, 风味和营养品质。(2) 进一步优化天然物质的提取技术, 提高天然物质的提取率、提取纯度和提取时间, 让天然提取物真正大规模地应用到鲜切马铃薯产业, 从而减小使用化学物质带来的健康隐患。(3) 将有效的物理护色技术(如回温处理、超声处理技术以及高压处理等(与精准包装相结合来达到更佳的护色效果。(4) 致力于鲜切马铃薯褐变机制的研究, 从而为开发安全高效的褐变控制新技术提供理论指导和新思路。

### 参考文献

- [1] 罗其友, 刘洋, 高明杰, 等. 中国马铃薯产业现状与前景[J]. 农业展望, 2015, 11(3): 35-40.
- [2] Luo QY, Liu Y, Gao MJ, et al. The current situation and prospects of Chinese potato industry [J]. Agric Prospect, 2015, 11(3): 35-40.
- [3] Mosneagura R, Alvarez V, Barringer SA. The effect of antibrowning agents on inhibition of potato browning, volatile organic compound profile and microbial inhibition [J]. J Food Sci, 2012, 77(11): 1234-1240.
- [4] 俞颖强. 鲜切马铃薯保鲜技术研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015.
- [5] Yu ZQ. Study on preservation technology of fresh-cut potato [D].

- Hangzhou: Zhejiang Agricultural and Forestry University, 2015.
- [4] 纪懿芳, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 应用于鲜切果蔬中的保鲜技术研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2403–2408.  
Ji YF, Hu WZ, Jiang AL, *et al.* Research progress on the preservation technologies applied to fresh-cut fruits and vegetables [J]. *J Food Saf Qual*, 2015, 6(7): 2403–2408.
- [5] 刘程惠, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 不同贮藏温度下鲜切马铃薯的生理生化变化[J]. 食品与机械, 2008, 24(2): 39–42.  
Liu CH, Hu WZ, Jiang AL, *et al.* Physiological and biochemical changes of fresh-cut potatoes at different storage temperatures [J]. *Food Mach*, 2008, 24(2): 38–42.
- [6] Hou ZQ, Feng YY, Wei SC, *et al.* Effects of Curing Treatment on the Browning of Fresh-cut Potatoes[J]. *Am J Potato Res*, 2014, 91(6):655-662.
- [7] 张兵兵, 王庆国. 块茎回温对鲜切马铃薯褐变抑制的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, (7): 192–196.  
Zhang BB, Wang QG. Effects of tuber warming on browning inhibition of fresh-cut potato [J]. *Food Ferment Ind*, 2009, (7): 192–196.
- [8] 张迎娟, 樊彩虹, 张敏. 热水处理对预包装鲜切马铃薯品质的影响[J]. 包装工程, 2014, (17): 1–5.  
Zhang YJ, Fan CH, Zhang M. Effects of hot water treatment on the quality of pre-packaged fresh-cut potatoes [J]. *Packag Eng*, 2014, (17): 1–5.
- [9] 张晓勇. 枇杷果实冷害及其抗冷性诱导机理的研究[D]. 厦门: 集美大学, 2008.  
Zhang XY. Study on chilling injury and cold tolerance induction mechanism of loquat fruit [D]. Xiamen: Jimei University, 2008.
- [10] 张敏敏, 许兵, 刘孟禹, 等. 静电场协同阻隔性包装对鲜切马铃薯贮藏过程中品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(13): 262–267.  
Zhang MH, Xu B, Liu MY, *et al.* Effect of electrostatic field collaborate barrier packaging on the quality of fresh-cut potatoes during storage [J]. *Food Ind Technol*, 2018, 39(13): 262–267.
- [11] 何萌, 王丹, 马越, 等. 不同包装材料对鲜切马铃薯贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(12): 316–319, 323.  
He M, Wang D, Ma Y, *et al.* Effects of different packaging materials on the storage quality of fresh-cut potatoes [J]. *Food Ind Technol*, 2014, 35(12): 316–319, 323.
- [12] 黄凌燕, 陈正行. 纳米抗菌包装对鲜切马铃薯保鲜品质的影响[J]. 食品工业科技, 2009, 30(11): 247–250.  
Huang LY, Chen ZX. Effects of nano antibacterial packaging on fresh-keeping quality of fresh-cut potato silk [J]. *Food Ind Technol*, 2009, 30(11): 247–250.
- [13] 王良玉, 林福宝. 多糖仿角质保鲜膜的制备及其在鲜切马铃薯中的应用[J]. 福建师大福清分校学报, 2018, (5): 63–70.  
Wang LY, Lin FB. Preparation of polysaccharide-like horny plastic wrap and its application in fresh-cut potato [J]. *J Fuqing Branch Fujian Norm Univ*, 2018, (5): 63–70.
- [14] 龙娅, 胡文忠, 萨仁高娃, 等. 鲜切果蔬精准保鲜包装技术的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, (12): 249–256.  
Long Y, Hu WZ, Sa-Ren GW, *et al.* Research progress on precision fresh-keeping packaging technology for fresh-cut fruits and vegetables [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, (12): 249–256.
- [15] 李亚慧, 吕恩利, 陆华忠, 等. 鲜切果蔬包装技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(16): 344–348.  
Li YH, Lv EL, Lu HZ, *et al.* Research progress on fresh-cut fruit and vegetable packaging technology [J]. *Food Ind Technol*, 2014, 35(16): 344–348.
- [16] 胡丽莎, 王艳颖, 蒋元元, 等. 不同温度下真空包装对鲜切马铃薯贮藏品质的影响[J]. 现代园艺, 2018, (21): 24–26.  
Hu LS, Wang YY, Jiang YY, *et al.* Effects of vacuum packaging on storage quality of fresh-cut potatoes at different temperatures [J]. *Mod Horticul*, 2018, (21): 24–26.
- [17] 蒋元元, 王艳颖, 胡丽莎, 等. 真空包装处理对鲜切马铃薯品质的影响[J]. 现代园艺, 2018, (19): 6–7.  
Jiang YY, Wang YY, Hu LS, *et al.* Effect of vacuum packaging treatment on the quality of fresh-cut potatoes [J]. *Mod Horticul*, 2018, (19): 6–7.
- [18] Shen X, Zhang M, Sakamon D, *et al.* Effects of pressurized argon and nitrogen treatments in combination with modified atmosphere on quality characteristics of fresh-cut potatoes [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2019, (149): 159–165.
- [19] 赵欣, 周婧, 陈湘宁, 等. OPP/ CPP 膜中不同气体比例对鲜切马铃薯片保鲜的影响[J]. 食品工业科技, 2017, (17): 213–217, 225.  
Zhao X, Zhou J, Chen XN, *et al.* Effects of different gas ratios in OPP/ CPP film on the preservation of fresh-cut potato chips [J]. *Food Ind Technol*, 2017, (17): 213–217, 225.
- [20] Calder BL, Skonberg DI, Katherine DD, *et al.* The effectiveness of ozone and acidulant treatments in extending the refrigerated shelf life of fresh-cut potatoes [J]. *J Food Sci*, 2011, 76(8): 492–498.
- [21] Weemaes C, Ludikhuyze L, Ivanden B, *et al.* High pressure inactivation of polyphenoloxidases [J]. *J Food Sci*, 2010, 63(5): 873–877.
- [22] Morata A, Loira I, Vejaran R, *et al.* Grape processing by high hydrostatic pressure: effect on microbial populations, phenol extraction and wine quality [J]. *Food Bioproc Technol*, 2015, 8(2): 277–286.
- [23] 韩文娥. 超高压处理对鲜切马铃薯品质影响的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.  
Han WE. Study on the effect of ultra-high pressure treatment on the quality of fresh-cut potatoes [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2016.
- [24] Amaral L RDA, Benedetti BC, Pujola M, *et al.* Effect of ultrasound on quality of fresh-cut potatoes during refrigerated storage [J]. *Food Eng Rev*, 2015, 7(2): 176–184.
- [25] 杨明冠, 朱传合. 超声处理抑制鲜切马铃薯酶促褐变的机理研究[J]. 农产品加工, 2016, (6): 1–5.  
Yang MG, Zhu CH. Study on the mechanism of ultrasonic treatment inhibiting enzymatic browning of fresh-cut potato [J]. *Proc Agric Prod*, 2016, (6): 1–5.
- [26] 葛佳慧, 胡文忠, 管玉格, 等. 鲜切马铃薯褐变发生机理及其控制方法研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, (2): 1–7.  
Ge JH, Hu WZ, Guan YG, *et al.* Advances on the browning mechanism and inhibition techniques of fresh-cut potato [J]. *Food Ind Technol*, 2019, (2): 1–7.
- [27] 吴连连, 李新建. 高压静电场保鲜技术的研究现状[J]. 现代农业科技, 2007, (3): 123–124.  
Wu LL, Li XJ. Research status of high voltage electrostatic field on preservation technology [J]. *Mod Agric Technol*, 2007, (3): 123–124.
- [28] Ko WC. Effects of adjustable parallel high voltage electrostatic field on the freshness of tilapia (*Oreochromis niloticus*) during refrigeration [J]. *Lebensm-Wissensch-Technol*, 2016, (66): 151–157.

- [29] 张冉, 王艳颖, 胡丽莎, 等. 茉莉酸甲酯对鲜切马铃薯生理生化品质的影响[J]. 现代园艺, 2018, (19): 21–23.  
Zhang R, Wang YY, Hu LS, *et al.* Effects of methyl jasmonate on physiological and biochemical quality of fresh-cut potatoes [J]. Mod Horticul, 2018, (19): 21–23.
- [30] 孟祥春, 黄泽鹏, 黎家妍, 等. 氧化白藜芦醇对鲜切马铃薯褐变的抑制作用[J]. 农产品加工, 2018, (23): 6–10, 14.  
Meng XC, Huang ZP, Li JY, *et al.* Effects of oxidized resveratrol on browning inhibition of fresh-cut potatoes [J]. Proc Agric Prod, 2018, (23): 6–10, 14.
- [31] Cacace JE, Delaquis PJ, Mazza G. Effect of chemical inhibitors and storage temperature on the quality of fresh-cut potatoes [J]. J Food Qual, 2002, 25(3): 181–195.
- [32] Tsouvaltzis P, Brecht JK. Inhibition of enzymatic browning of fresh-cut potato by immersion in citric acid is not solely due to pH reduction of the solution [J]. J Food Proc Preserv, 2017, 41(2): 138.
- [33] Gao HY, Zeng Q, Ren ZN, *et al.* Effect of exogenous c-aminobutyric acid treatment on the enzymatic browning of fresh-cut potato during storage [J]. J Food Sci Technol, 2018, 55(12): 5035–5044.
- [34] Marquez GR, Pierro PD, Mariniello L, *et al.* Fresh-cut fruit and vegetable coating btransglutaminase-cross-linked whey protein/pectin edible films [J]. LWT-Food Sci Technol, 2017, (75): 124–130.
- [35] 杜传来, 郁志芳, 王佳红, 等. 可食性涂膜包装对鲜切马铃薯褐变抑制的研究[J]. 包装与食品机械, 2004, 22(6): 9–12.  
Du CL, Yu ZF, Wang JH, *et al.* Study of edible film packaging on the browning inhibition of fresh-cut potato [J]. Packag Food Mach, 2004, 22(6): 9–12.
- [36] 王允祥, 成纪予, 王贺, 等. 涂膜剂对鲜切马铃薯的保鲜效果[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(14): 181–184.  
Wang YX, Cheng JY, Wang H, *et al.* Fresh-keeping effect of coating agent on fresh-cut potato [J]. Jiangsu Agric Sci, 2018, 46(14): 181–184.
- [37] 董妍, 胡文忠, 姜爱丽. 鲜切果蔬中生物保鲜剂的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, (7): 2409–2414.  
Dong Y, Hu WZ, Jiang AL. Advances of biological preservatives for fresh-cut fruits and vegetables [J]. J Food Saf Qual, 2015, (7): 2409–2414.
- [38] 王清, 黄惠英, 马文芳, 等. 反义 PPO 基因对马铃薯块茎褐化的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(11): 1822–1827.  
Wang Q, Huang HY, Ma WF, *et al.* Effect of antisense PPO gene on browning of potato tubers [J]. Crop J, 2007, 33(11): 1822–1827.
- [39] Chi M, Bhagwat B, Tang G, *et al.* Knockdown of polyphenol oxidase gene expression in potato (*Solanum tuberosum* L.) with artificial micro RNAs [J]. Methods Mol Biol, 2016, (1405): 163–178.
- [40] 程丽林. 影响鲜切马铃薯褐变相关酶及底物的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.  
Cheng LL. Study on the enzymes and substrates that affecting browning of fresh-cut potato [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2015.
- [41] Sukhonthara S, Kaewka K, Theerakulkait C. Inhibitory effect of rice bran extracts and its phenolic compounds on polyphenol oxidase activity and browning in potato and apple puree [J]. Food Chem, 2016, (190): 190–222.
- [42] Hwang TY, Moon KD. Quality Characteristics of fresh-cut potatoes with natural antibrowning treatment during storage [J]. Korean J Food Sci Technol, 2006, 38(2): 183–187.
- [43] 陈林林. 柑橘皮精油对鲜切马铃薯褐变及冷却猪肉保鲜的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(2): 106–109.  
Chen LL. Effects of citrus peel oil on fresh-cut potato browning and cooling pork preservation [J]. Food Ind Technol, 2012, 33(2): 106–109.
- [44] Rizzo V, Amoroso L, Licciardello F, *et al.* The effect of sous vide packaging with rosemary essential oil on storage quality of fresh-cut potato [J]. LWT, 2018, (94): 111–118.
- [45] Liu X, Lu YZ, Yang Q, *et al.* Cod peptides inhibit browning in fresh-cut potato slices: A potential anti-browning agent of random peptides for regulating food properties [J]. Postharvest Biol Technol, 2018, 146: 36–42.

(责任编辑: 韩晓红)

## 作者简介



公 营, 硕士, 主要研究方向为果蔬  
菜后生物学。

E-mail: 948820918@qq.com



石晶盈, 教授, 主要研究方向为果蔬  
菜后生物学。

E-mail: jyshi80@163.com