

菜心采后贮藏保鲜技术研究进展

王萍^{1,2}, 王玲¹, 于新², 陈于陇^{1,2*}, 郭靖^{1,2}, 陈飞平¹, 罗政¹, 殷娟¹

(1. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广州 510225; 2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广州 510610)

摘要: 菜心是中国特色蔬菜之一, 在出口创汇中起着重要的作用。菜心品质柔嫩、风味可口, 能周年栽培, 但采后不耐贮藏, 常温下会使菜心失水严重, 叶片变黄, 微生物浸染会加快变质; 低温较常温能延长贮藏期, 但会出现木质化, 导致口感变韧等现象。因此, 如何有效维持菜心的品质和延长其货架期是菜心保鲜技术的关键。本文介绍了菜心采后生理特性, 阐述了目前国内外菜心采后贮运保鲜情况, 总结了目前主要的保鲜技术, 包括物理保鲜技术(真空预冷及低温、气调、辐射、薄膜、臭氧)、化学保鲜技术(保鲜剂、褪黑素、二甲基二碳酸盐)和生物保鲜技术(壳聚糖涂膜、基因工程), 并对未来菜心保鲜技术的发展方向进行了展望, 以期采后菜心贮藏保鲜提供理论参考。

关键词: 菜心; 采后; 贮藏; 保鲜技术

Research advances in postharvest storage and preservation techniques of Chinese flowering cabbage

WANG Ping^{1,2}, WANG Ling¹, YU Xin², CHEN Yu-Long^{1,2*}, GUO Jing^{1,2}, CHEN Fei-Ping¹, LUO Zheng¹, YIN Juan¹

(1. College of Light Industry and Food Science, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China)

ABSTRACT: Chinese flowering cabbage is one of the vegetables with Chinese characteristics, which plays an important role in earning foreign exchange through export. The quality of the cabbage is soft and the flavor is delicious. It can be cultivated on an annual basis, but it is not resistant to storage after harvest. Under normal temperature, the Chinese flowering cabbage will lose water seriously, the leaves will turn yellow, and the microbial contamination will accelerate the deterioration. Low temperature can prolong the storage time, but lignification will occur, resulting in toughening taste. Therefore, how to effectively maintain the quality and extend the shelf life of Chinese cabbage is the key technology of fresh keeping of vegetables. This paper introduced the physiological characteristics of postharvest Chinese cabbage, and expounded the current situation of storage, transportation and

基金项目: 国家自然科学基金(31671912, 31901756)、广东省农业科学院院长基金(202012)、广东省农业科学院新兴学科团队建设项目(201805XX)、广东省重点领域研发计划项目(2019B020222001)

Fund: Supported by National Natural Science Foundation of China (31671912, 31901756), Foundation of President of Guangdong Academy of Agricultural Sciences (202012), Emerging Discipline Team Building Project of Guangdong Academy of Agricultural Sciences (201805XX), Guangdong Key Research and Development Project (2019B020222001)

***通讯作者:** 陈于陇, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品物流与保鲜。E-mail: chenylong@gdaas.cn

***Corresponding author:** CHEN Yu-Long, Ph.D, Professor, College of Light Industry and Food Science, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China. E-mail: chenylong@gdaas.cn

preservation of Chinese cabbage at home and abroad, summarized the current main preservation technologies at present, including physical preservation technologies (vacuum precooling and low temperature, air conditioning, radiation, thin film, ozone), chemical preservation technologies (preservative, melatonin, dimethyl dicarbonate), and biological preservation technologies (chitosan coating and genetic engineering), prospected the development direction of retain freshness technology of Chinese flowering cabbage in the future, so as to provide theoretical reference for future research on Chinese flowering cabbage preservation after harvest.

KEY WORDS: Chinese flowering cabbage; postharvest; storage; preservation techniques

1 引 言

菜心是叶菜中的一类,属于十字花科、芸苔属、白菜亚种,以花薹为产品的变种,为一二年生草本植物。菜心口感脆嫩,营养价值高,是广东省的特产蔬菜之一,可以周年栽培,被视为名贵蔬菜之一^[1]。菜心富含纤维、维生素、蛋白质和矿物元素等^[2]。研究表明,菜心每百克含能量 89 kJ、水分 93.5%、灰分 1.10 g、粗纤维 0.91 g、粗脂肪 0.69 g、粗蛋白 2.15 g、碳水化合物 1.65 g、Vc 52.16 mg,是理想的能量和膳食纤维来源^[3]。菜心采后主要有两方面问题,(1)在常温下存放 2~3 d 会抽薹开花,叶片迅速变黄,降低其商品价值^[4];(2)菜心采后,切口茎部容易木质化,并迅速向上延伸,使茎部发生老化、中心变空,严重影响其营养品质^[5]。菜心黄化及木质化也是鲜切菜心贮藏流通过程中存在的主要问题之一。目前菜心的主要贮藏方法是采用低温、保鲜剂、气调等较为单一的方法,但会各种保鲜方法均有不足之处,如贮藏时间短,贮藏工艺与设备不匹配导致保鲜效果不佳等问题,因此,将多种贮藏保鲜技术结合,如冷藏、气调、绿色防腐剂、基因工程等各种保鲜技术结合,以弥补单一保鲜技术的不足,提高贮藏保鲜品质,延长果蔬的贮藏期。因此多种保鲜方法与保鲜工艺密切结合,掌握菜心的采后衰老机理和贮藏方法对于开展菜心采后贮藏技术的研究和应用具有十分重要的意义。

本文结合菜心在贮藏过程中生理生化变化及营养成分方面的变化规律,重点介绍了采后菜心物理、化学和生物保鲜技术的研究进展,并讨论了其在今后的发展趋势,为菜心保鲜技术进一步研究和开发提供理论基础。

2 生理特性

2.1 菜心采后生理变化

菜心采后会进行呼吸作用,呼吸越旺盛,菜心的生理生化过程就进行的越快,贮藏寿命就越短,因此菜心采后需要降低呼吸速率,使其代谢过程延长,从而延长贮藏期^[5]。菜心采后的蒸腾作用也会使菜心失水萎蔫,影响外观及内在品质,同时会影响代谢加速菜心衰老^[6]。菜心在贮藏期间会产生部分乙烯,促进菜心的呼吸作用,加速叶绿

素的降解,使叶片发黄,脱落^[6],同时机械损伤也会加速内部呼吸作用及加快乙烯生成,从而加速衰老,此外机械损伤伤口易受微生物侵袭,造成菜心腐烂变味,降低其商品价值^[7]。还有研究表明,贮藏过程中,菜心的生理代谢和衰老与组织内酶的活性有关,王惠惠^[5]研究发现通过杀菌剂处理菜心可以有效杀灭表面微生物,通过抑制多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)、过氧化物酶(peroxidase, POD)的活性,可以起到延缓菜心贮藏期,保持菜心的品质的作用。

2.1.1 叶片黄化

采后菜心在常温下存放 2~3 d 后叶片会迅速变黄,降低商业价值^[4]。菜心黄化的主要原因是叶绿素降解^[8]。叶片黄化衰老是叶片细胞整体衰败的过程,或者是机体自发,或是逆境诱导;这一阶段叶片中叶绿素降解,光合作用减弱甚至消失,养分分解消耗或传输至植物的其他部分,进而导致叶绿素降解和发黄^[9,10]。活性氧(reactive oxygen, ROS)引起的氧化反应和叶绿体脂膜降解参与了植物叶绿素的降解^[11,12]。蓝莓^[13]、葡萄^[14]、胡萝卜^[15]等越来越多的研究证实,水果和蔬菜的衰老是一种氧化现象,且伴随着 ROS 如过氧化氢(H_2O_2)和超氧阴离子(O_2^-)的增加^[16]。过量的 ROS 可以氧化生物大分子,破坏细胞膜,诱导脂质过氧化,导致细胞膜氧化损伤。正常情况下, O_2^- 和 H_2O_2 在叶绿体中不断产生,从而导致叶片黄化。

2.1.2 木质化

当植物遇到逆境时,会产生 ROS 调控细胞壁中木质素的形成^[17]。植物细胞壁上的氧化酶利用 H_2O_2 氧化激活木质素单体,形成酚自由基,后者自动聚合形成木质素^[18]。木质素单体的生物合成途径分为 3 个主要途径:莽草酸途径、苯丙烷类代谢途径、木质素合成特异途径。在木质素单体生物合成过程中,苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia lyase, PAL)、香豆酸羟化酶(cinnamate 4-hydroxylase, C4H)、4-香豆酸-辅酶 A 连接酶(4-coumarate-CoA ligase, 4CL)、羟基香豆酰-辅酶 A、莽草酸羟基香豆酰转移酶(hydroxycinnamoyl CoA:shikimate hydroxycinnamoyl transferase, HCT)、p-香豆酰莽草酸 3-羟基化酶(p-coumaroyl shikimate 3-hydroxylase, C3H)、咖啡酰辅酶 A 氧-甲基转移酶(caffeoyl CoA O-methyltransferases,

CCoAOMT)、肉桂酰辅酶 A 还原酶(cinnamoyl-CoA reductase, CCR)和肉桂醇脱氢酶(cinnamyl alcohol dehydrogenase, CAD)为整个途径的关键酶^[19]。另外植物体外研究表明^[20], POD 和漆酶(laccase, LAC)与催化单体木质素的偶联聚合有关。菜心在生长过程中受到木质素关键酶调控, 从而造成菜心茎部发生木质化。

2.2 营养成分变化

菜心营养丰富, 含有丰富的 Vc、糖类、蛋白质以及黄酮类物质, 随着贮藏时间的增加, 营养品质逐渐下降, 同时, 不同产地不同类型的菜心营养物质下降速度存在差异。菜心采后在常温条件下, 由于叶片面积大, 失水速度快, 叶片脱水萎缩, 贮藏品质下降, 保鲜期缩短; 加之呼吸作用继续, 酶活性改变, 花蕾凋落, 植株衰老, 营养物质也随之减少^[21]。李相阳^[2]研究发现, 菜心随着贮藏时间的增加其叶片中可溶性糖、可溶性蛋白以及可溶性固形物含量会下降。

3 菜心采后保鲜技术

菜心采后保鲜技术根据其原理主要包括物理保鲜技术、化学保鲜技术和生物保鲜技术。物理保鲜技术是将物理原理和技术运用在食品果蔬, 起到灭菌、防腐、保鲜作用的方法。如真空预冷、冷藏、气调贮藏、和辐射处理等方式; 化学贮藏保鲜技术主要是通过化学保鲜剂处理采后果蔬。如保鲜剂处理、褪黑素等方式。生物保鲜技术是隔离果蔬与空气的接触, 延缓氧化作用, 或是生物保鲜物质本身具有良好的抑菌作用, 从而达到保鲜防腐的效果。如壳聚糖涂膜, 基因工程等。

3.1 物理保鲜技术

3.1.1 真空预冷及低温保鲜

真空预冷广泛的应用于果蔬保鲜中, 是果蔬采后的必要的措施, 可以去除果蔬采后自带的田间热, 抑制采后果蔬的呼吸作用, 降低自身营养的消耗, 延长贮藏时间。如陈羽白等^[22]用真空预冷机预冷 120 kg 菜心只需 15 min, 大幅减弱菜心呼吸强度, 延缓菜心外观品质下降速度。

低温贮藏是食品保存过程中运用的最广泛的技术手段, 有效抑制菜心的呼吸强度和微生物活动, 延缓菜叶黄化, 降低新陈代谢, 维持菜心的硬度和水分, 延缓菜心腐烂, 从而延长贮藏期^[23]。贮藏温度越低越利于菜心的贮藏, 且低温降低了叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白等营养物质的消耗。但是 0℃下易发生冷害, 建议维持在(2±1)℃左右^[24]。赵玉生等^[25]发现低温贮藏菜心可以有效抑制菜心的呼吸作用, 较好地保持其硬度和水分, 减缓叶绿素的分解, 从而延长菜心的贮藏期。

3.1.2 气调保鲜

气调保鲜技术是从影响气体环境因素入手, 通过控

制在密闭的空间内温度、环境的氧气与二氧化碳浓度及其他气体的比例, 维持果蔬正常生理活动条件, 降低果蔬的呼吸作用, 延缓组织的代谢, 从而延长贮藏时间^[26]。气调保鲜分为控制性气调(controlled atmosphere CA)及自发气调(modified atmosphere MA)。CA 指通过控制或调整果蔬贮藏环境的气体成分和比例来延长果蔬的贮藏期; MA 指自然降氧是依靠果蔬的呼吸作用, 使环境氧气下降, 二氧化碳上升的一种技术。2 种气调方法都是在贮藏环境中形成一个理想的气体条件, 尽可能在降低产品呼吸强度的同时不对产品造成不良影响, 从而延长贮藏时间。

气调包装鲜切果蔬往往会出现袋内低氧、高二氧化碳的状态, 从而产生乙醇、乙醛等发酵气体, 不利于鲜切产品品质的维持^[27], 自 Day^[28]首次提出高氧包装的研究结果以来, 国内外有关高氧对果蔬采后生理及品质变化的研究逐渐增多, 高氧作为一种全新概念的气调贮藏技术, 将在果蔬贮藏中发挥重要的作用。研究表明, 高氧利于维持鲜切叶菜的品质, 延长其货架期^[29]。王惠惠^[5]利用高氧气调包装菜心分别置于 4℃和 10℃条件下贮藏, 发现高氧包装菜心的外观和营养品质都高于普通气调包装的菜心, 并且可以抑制病菌的生长, 延长菜心的保质期。Hoogerwerf 等^[30]的研究发现高氧、高二氧化碳气氛条件(80%氧气+20%二氧化碳)可抑制食源性真菌。Wang 等^[31]用高氧气调技术包装菜心, 发现高氧包装通过降低活性氧代谢, 特别是植物细胞中 H₂O₂ 的产生, 来延缓菜心茎木质化的。Wen 等^[17]研究发现高氧包装菜心降低了其木质素的生物合成和 H₂O₂ 的含量; 是因为 H₂O₂ 的降低调控了木质素相关酶 PAL、4CL、CAD、POD 活性及基因表达, 使其受到显著抑制, 从而延缓菜心木质化。此外高氧、高二氧化碳的气调结合低温保鲜对果蔬保鲜的影响也是当前研究热点。

3.1.3 辐射保鲜

辐照保鲜技术是以辐射加工技术为基础的一种灭菌保鲜技术, 运用 X 射线、γ 射线或高速电子束等电离辐射产生的高能射线对食品进行加工处理, 产生强大的物理、生物效应; 能够杀菌、杀虫、抑制生理过程, 在较好地保持食品原有成分及风味的同时还可以提高食品卫生质量, 从而达到延长货架期的目的。目前农产品辐照保鲜处理以 γ 射线应用最多, ⁶⁰Co 作为辐射源最普遍^[32], 其原因在于 ⁶⁰Co 制备相对容易, 释放出的 γ 射线能量大, 穿透力强, 半衰期较适中。水果种类不同, 其所采用的辐照剂量有所差异, 柑橘类所需剂量为 0.3~0.5 kGy, 蔬菜处理剂量为 0.05~0.15 kGy^[33]。人们对辐照食品的安全性持以严谨的态度, 消费者担心使用电离辐射后, 导致辐照食品不安全。FAO、WHO 和 IAEA 3 个权威机构组成的联合专家委员会, 根据长期以来毒理学、营养学、辐射化学以及微生物资料, 认为辐射总平均剂量不超过 10 kGy 的食品是安全的, 不存在毒理学危害^[34]。邹伟民等^[35]研究发现用

聚乙烯包装菜心, 经 0.06~0.08 kGy 辐照处理的菜心可以延缓菜心的基本营养物质和水分的损失, 使其 Vc 含量保持在一定水平, 从而有效的延长其贮藏期。其使用的辐射剂量未超过国家食品安全卫生规定标准, 可放心食用。因此, 在保证安全剂量范围内用于保鲜技术也是未来的发展方向。

3.1.4 薄膜包装

塑料薄膜广泛应用在果蔬上, 具有方便安全等特点^[36], 通过物理性隔离, 改变贮藏微环境, 可以隔离微生物的侵染, 还能降低果蔬生理代谢速度, 有效的保持果蔬品质。陈学玲等^[37]研究了 4 种不同包装材料贮藏菜心, 分别为低密度聚乙烯、聚偏二氯乙烯、聚氯乙烯、聚乙烯, 研究表明, 在 4 °C 条件下贮藏 6 d, 4 种材料均能有效抑制菜心叶绿素的降解和苯丙氨酸解氨酶活性, 且增强了过氧化物酶活性, 延缓菜心衰老进程, 提高其品质, 其中低密度聚乙烯保鲜效果最好, 其次为聚氯乙烯, 当菜心货架期期 ≤ 6 d 时, 其综合品质最佳。目前薄膜包装结合其他保鲜剂及气调是当前的研究热点。

3.1.5 臭氧保鲜

臭氧是一种强氧化剂, 在果蔬采后保鲜中应用较为广泛, 其具有较强的杀菌能力和分解乙烯、乙醇及农药等物质功能; 且使用后无残留, 能够达到延缓果蔬成熟, 延缓衰老进程的目的^[38]。司徒满泉等^[7]研究发现, 经浓度为 (4 ± 0.17) mg/m³ 臭氧处理的菜心黄化率最低, Vc 及可溶性固形物的采后损失最少, 经浓度为 (6 ± 0.15) mg/m³ 处理, 其腐烂率最低, 在贮藏第 12 d 后相对与无臭氧气体处理组具有更好的商品性。陈学玲等^[39]研究发现, 经浓度为 3 mg/L 臭氧处理的菜心加速丙二醛的积累, 不利于维持 POD 及 PAL 酶活。因此要选择合适的臭氧剂量。

3.2 化学保鲜技术

3.2.1 保鲜剂保鲜

(1) 茉莉酸甲酯

茉莉酸类物质(jasmonates, Jas)包括茉莉酸(jasmonic acid, JA)和茉莉酸甲酯(methyl jasmonic acid, Me JA), 是植物天然产生的生长调节物质, 广泛存在于植物界中, Me JA 在植物的正常生长过程中和植物对逆境的反应中起着重要的调节作用^[40], 刘少群等^[41]研究发现, 经 Me JA 处理的菜心相对与对照组在贮藏后期其茎切口腐烂指数和叶片黄化率较低, 能够较好地保持其品质。黄曲英等^[42]研究发现, 2 °C 低温与茉莉酸甲酯包装菜心与对照相比, 茎部切口腐烂指数及黄化率最低, 叶绿素及 Vc 含量最高, 能较好地保持菜心品质。Me JA 使用量非常少, 且在植物中天然存在, 无毒无污染, 作用剂量需要根据不同品种菜心进行调整^[43]。

(2) 1-甲基环丙烯

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)是一种乙烯受体抑制剂。它可以特异的和乙烯受体进行不可逆的

结合, 阻断乙烯与受体的正常结合, 使植物组织产生对乙烯不敏感, 有效的阻止内源乙烯的合成和外源乙烯的诱导作用^[44]。张鲁斌等^[45]研究发现采用浓度为 900×10^{-9} 的 1-MCP 处理能够有效抑制菜心呼吸强度和木质素含量, 延缓菜心黄化进程, 从而有效的增加菜心的保鲜期。1-MCP 大部分来源于进口, 限制了实际生产中的应用^[46]。

(3) 氯吡脞

氯吡脞(forchlorfenuron, CPPU)是一种具有细胞分裂素活性的苯脲类植物生长调节剂, 可应用于保鲜, CPPU 应用于菜心的报道较少。陈巧玲等^[47]用 3 mg/L 的 CPPU 可以抑制叶绿素降解酶和蛋白质水解酶的活性, 并保持较高超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性, 减缓叶绿素和可溶性蛋白降解, 减少自由基产生, 延缓衰老。防腐杀菌剂对农业的贡献是有目共睹的, 但是对人体的慢性伤害和对环境的污染问题同样突出^[48]。

(4) 复合保鲜剂

李相阳^[2]采用 50 μL/L 的 GA₃ 处理和 10 μL/L 的 1-MCP 处理均可显著延缓菜心叶片中叶绿素、可溶性蛋白和可溶性糖含量的降低速率, 抑制可溶性固形物含量升高, 延缓菜心采后品质的下降, 从而延长贮藏期。有时单一品种的保鲜剂不能完全满足食品的保鲜需求, 需要多种保鲜剂复合使用才能达到更好的保鲜要求^[49], 因此复合保鲜剂是当前的研究热点。

3.2.2 褪黑素

褪黑素(melatonin, MT)是一种在生物体中广泛存在的吲哚胺类物质, 其在高等植物中广泛存在, 在果蔬保鲜中的报道逐渐增多, 贾志伟等^[50]研究发现, 菜心喷洒 50、100 mg/L 褪黑素水溶液, 并贮藏于 4 °C 的条件下, 相对于对照组能够延缓叶片黄化, 增加菜心的抗氧化能力, 降低木质素含量积累, 延缓木质化进程, 从而有效的延长菜心的贮藏期。褪黑素作为一种良好的抗氧化剂可以直接清除植物体内的自由基, 保护植物不受过氧化损伤, 维持细胞膜结构的完整性^[51], 但其对菜心的保鲜机理还需进一步研究。

3.2.3 二甲基二碳酸盐

二甲基二碳酸盐(dimethyl decarbonate, DMDC)是一种食品添加剂, 具有杀菌的作用, 且无异味、无残留、成本低, 能在杀菌的同时不破坏果蔬产品中抗氧化物质, 在减少新鲜果蔬中微生物数量和提高产品质量的问题上, 显示出了极大的优势。王惠惠^[5]研究发现, 浓度为 250 mg/L 的 DMDC 溶液对鲜切菜心灭菌 10 min, 然后在果蔬贮藏冷链温度 4 °C 下贮藏 8 d 后, 与对照组相比能够保持较好地外观品质, 可以有效杀灭菜心表面微生物, 延缓褐变相关酶活性的增加, 较好维持菜心的营养品质。DMDC 能在几小时以内就完全分解为甲醇和二氧化碳, 不会产生有害物质残留, 是一种较为安全的杀菌剂^[52]。

3.2.4 苯并噻重氮

苯并噻重氮[benzo-(1, 2, 3)-thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester, BTH)是一种人工合成诱导剂,能够诱导植物产生系统获得性抗性^[53]。BTH 在离体条件下无杀菌作用,可以诱导植物产生抗病^[54]。王光等^[55]利用不同浓度 BTH 处理菜心提高了其抗病性和新鲜程度,其中以 5 mg/L 浓度处理增强菜心耐贮性的效果最好。

3.3 生物保鲜技术

3.3.1 壳聚糖

壳聚糖是从虾、蟹等动物的甲壳中提取,改性而成的水溶性氨基酸多糖类生物大分子,其具有良好的保湿性、成膜性和抑菌性,是安全无毒、可食用、可降解的天然保鲜剂,在果蔬采后保鲜上有较多的研究^[56]。刘顺枝等^[57]研究发现,菜心经浓度为 2%和 3%壳聚糖涂膜处理后贮藏于 4 °C 条件下,与对照组相比能够有效减少质量损失、延缓叶绿素以及营养物质的下降速度,从而延缓衰老,延长贮藏期。刘军等^[58]研究发现,复合涂膜采用 2%浓度的壳聚糖、0.2%浓度的茶多酚在 10 °C 的条件下贮藏,与空白对照组相比能够有效地减少失重率,综合保鲜效果最好。壳聚糖涂膜虽然操作简便,但对剂量有一定的要求,浓度过高会抑制果蔬呼吸速率,导致无氧呼吸,加速果蔬品质劣变。

3.3.2 基因工程保鲜

基因工程保鲜技术是通过基因工程手段,增加或减少有关基因的表达,控制果蔬成熟过程中乙烯的合成及衰老基因的相关表达,从而延缓果蔬衰老,达到保鲜的目的。乙烯合成相关的基因有 ACC 合成酶基因、ACC 氧化酶基因和 ACC 脱氨酶基因。在乙烯的合成中,关键的酶是 ACC 合成酶;ACC 氧化酶需要与 ACC 合成酶基因协同表达;ACC 脱氨酶基因的表达产物能够降解 ACC 合成酶基因,进而影响果实中乙烯的含量^[59]。衰老相关基因中的转录调控基因通过调节衰老相关基因的转录,参与衰老过程^[9]。

4 存在的问题与展望

菜心需根据品种差异选择不同的贮藏保鲜方式,目前虽然在物理处理(冷藏、气调等)和化学保鲜(1-MCP 和植物生长调节剂处理等)方面取得了重要突破,但保鲜技术比较单一,应鼓励使用多种方法相结合的绿色、安全、易于应用的保鲜方法。同时由于采后菜心的木质化进程、叶绿素降解和抗氧化系统之间调控机理尚缺乏深入研究。因此,今后也可着重探究保鲜技术的作用机理,开发可持续发展的菜心保鲜技术。

参考文献

- [1] 张华, 刘自珠. 菜薹(菜心)的市场需求与育种现状[J]. 中国蔬菜, 2010, (3): 10-12.

- Zhang H, Liu ZZ. Market demand and breeding status of cabbage moss (cabbage heart) [J]. Chin Veg, 2010, (3): 10-12.
- [2] 李相阳. GA、1-MCP 及 CO₂ 处理对菜心采后品质及生理变化的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- Li XY. Effects of GA, 1-MCP and CO₂ treatment on postharvest quality and physiological changes of Chinese cabbage [D]. Beijing: China Agricultural University, 2004.
- [3] 耿安静, 于秀荣, 王富华. 菜心食品的深加工研究进展[J]. 中国调味品, 2012, 37(2): 83-85.
- Geng AJ, Yu XR, Wang FH. Research advance of deep processing of flowering cabbage foods [J]. Chin Cond, 2012, 37(2): 83-85.
- [4] Aubeed HMS, Wills RBH, Bowyer MC, et al. Interaction of exogenous hydrogen sulphide and ethylene on senescence of green leafy vegetables [J]. Postharvest Biol Technol, 2017, 133: 81-87.
- [5] 王惠惠. 鲜切菜心关键技术研究[D]. 广州: 广东海洋大学, 2013.
- Wang HH. Research on key techniques of fresh cut flowering cabbage [D]. Guangzhou: Guangdong Oceanology, 2013.
- [6] 李露露. 不同贮藏温度和包装袋对菜心货架期品质的影响[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- Li LL. Effect of different storage temperature and packing bag on shelf life quality of Chinese cabbage [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.
- [7] 司徒满泉, 范梅红, 汤梅, 等. 臭氧气体结合冷藏对采后菜心保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(01): 167-171.
- Situ MQ, Fan MH, Tang M, et al. Effect of ozone gas combined with refrigeration on the preservation effect of postharvest cauliflower [J]. Food Res Dev, 2018, 39(1): 167-171.
- [8] Song LL, Yi RX, Luo HB, et al. Postharvest 1-methylcyclopropene application delays leaf yellowing of pak choi (*Brassica rapa* subsp. chinensis) by improving chloroplast antioxidant capacity and maintaining chloroplast structural integrity during storage at 20 °C [J]. Sci Horticul, 2020, 2020: 270.
- [9] 吴亚. 基于 RNA-Seq 技术分析菜心叶片衰老相关基因[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- Wu Y. Analysis of the differentially expressed genes during leaf senescence of Chinese flowering cabbage by RNA-Seq [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.
- [10] Hu HL, Liu D, Xia P, et al. Hydrogen sulfide delays leaf yellowing of stored water spinach (*Ipomoea aquatica*) during dark-induced senescence by delaying chlorophyll breakdown, maintaining energy status and increasing antioxidative capacity [J]. Postharvest Biol Technol, 2015, 108: 8-20.
- [11] Yu D, Li QL, Ying YZ, et al. Effects of 1-MCP on softening, yellowing and H₂O₂ content in post-harvest 'Jingbaili' pear fruit during and after cold storage [J]. Horticul Environ Biotechnol, 2014, 55: 404-409.
- [12] Sun B, Yan HZ, Liu N, et al. Effect of 1-MCP treatment on postharvest quality characters, antioxidants and glucosinolates of Chinese kale [J]. Food Chem, 2012, 131(2): 519-526.
- [13] 孙莎, 邵海燕, 熊涛, 等. 五倍子提取液对蓝莓采后病害和品质的影响[J]. 林业科学, 2018, 54(6): 53-62.
- Sun S, Gao HY, Xiong T, et al. Effects of gallnut extract on postharvest diseases and quality of blueberries [J]. Forest Sci, 2018, 54(6): 53-62.
- [14] 倪志婧. 硫化氢调控葡萄贮藏保鲜的作用及其机制的研究[D]. 合肥:

- 工业大学, 2018.
- Ni ZJ. Study on the effect of hydrogen sulfide on grape storage and preservation and its mechanism [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2018.
- [15] 赵蕾, 胡文忠, 刘文玲, 等. NO 处理对鲜切胡萝卜生理生化变化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(1): 151–157.
- Zhao L, Hu WZ, Liu WL, *et al.* Effects of NO treatment on physiological and biochemical changes of freshly cut carrot [J]. Food Ferment Ind, 2018, 44(1): 151–157.
- [16] Gao H, Lu ZM, Yang Y, *et al.* Melatonin treatment reduces chilling injury in peach fruit through its regulation of membrane fatty acid contents and phenolic metabolism [J]. Food Chem, 2018, 245: 659–666.
- [17] Wen M, Wang HH, Chen YL, *et al.* Inhibition effect of super atmospheric O₂ packaging on H₂O₂-production and the key enzymes of lignin biosynthesis in fresh-cut Chinese cabbage [J]. Postharvest Biol Technol, 2020, 159: 111027.
- [18] Gara LD, Locato V, Dipierro S, *et al.* Redox homeostasis in plants. The challenge of living with endogenous oxygen production [J]. Respir Physiol Neurobiol, 2010, 173: 13–19.
- [19] Vanholme R, Morreel K, Ralph J, *et al.* Lignin engineering [J]. Curr Opin Plant Biol, 2008, 11(3): 278–285.
- [20] Serge B, Nathalie DC, Brigitte P, *et al.* Disruption of LACCASE4 and 17 results in tissue-specific alterations to lignification of *Arabidopsis thaliana* stems [J]. Plant Cell, 2011, 23(3): 1124–1137.
- [21] 汤梅. 采后菜心的湿冷修养保鲜研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2016.
- Tang M. Study on storage of postharvest Chinese cabbage with humidcool and ozone [D]. Guangzhou: Zhongkai College of Agricultural Engineering, 2016.
- [22] 陈羽白, 林海英, 赵华海, 等. 菜心真空预冷效果的试验研究[J]. 农业工程学报, 2003, (5): 161–165.
- Chen YB, Lin HY, Zhao HH, *et al.* Experimental study on the effect of core vacuum precooling [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2003, (5): 161–165.
- [23] 黄曲英, 苏蔚, 刘少群, 等. 低温、包装和茉莉酸甲酯处理对菜心贮藏及品质的影响[J]. 广东农业科学, 2009, (12): 126–128.
- Huang QY, Su W, Liu SQ, *et al.* Effects of low temperature, packaging and methyl jasmonate treatment on storage and quality of Chinese cabbage [J]. Guangdong Agric Sci, 2009, (12): 126–128.
- [24] 邓义才, 张衍荣, 曹健, 等. 不同贮藏条件对菜心营养生理成分和保鲜效果的影响[J]. 广东农业科学, 2004, (2): 41–43.
- Deng YC, Zhang YR, Cao J, *et al.* Effects of different storage conditions on nutritional and physiological components and fresh-keeping effects of Chinese cabbage [J]. Guangdong Agric Sci, 2004, (2): 41–43.
- [25] 赵玉生, 赵俊芳, 袁允. 茎用芥菜菜心冷藏适宜温度研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(6): 63–65.
- Zhao YS, Zhao JF, Yuan Y. Study on the suitable temperature of mustard seed for cold storage in stem [J]. Food Mach, 2006, 22(6): 63–65.
- [26] 张亚波, 郭志军, 权伍荣. 果蔬贮藏保鲜技术的研究现状和发展趋势[J]. 延边大学农学报, 2009, 31(1): 71–76.
- Zhang YB, Guo ZJ, Quan WR. Research status and development trend of fresh vegetables and fruits storage technology [J]. J Agric Yanbian Univ, 2009, 31(1): 71–76.
- [27] Saltveit ME. Is it possible to find an optimal controlled atmosphere? [J]. Postharvest Biol Technol, 2003, 27(1): 3–13.
- [28] Day BPF. High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce [J]. Postharvest News Infor, 1996, 7(3): 31–34.
- [29] Artés F, Allende A. Processing lines and alternative preservation techniques to prolong the shelf-life of minimally fresh processed leafy vegetables [J]. Eur J Horticult Sci, 2005, 70: 231–245.
- [30] Hoogerwerf SW, Kets EPW, Dijksterhuis J. High-oxygen and high-carbon dioxide containing atmospheres inhibit growth of food associated moulds [J]. Lett Appl Microbiol, 2002, 35(5): 419.
- [31] Wang L, Wen M, Chen FP, *et al.* High oxygen atmospheric packaging (HOAP) reduces H₂O₂ production by regulating the accumulation of oxidative stress-related proteins in Chinese flowering cabbage [J]. Postharvest Biol Technol, 2020, DOI: 10.1016/j.postharvbio.2020.111183.
- [32] 肖锡湘, 上官新晨. 辐照保鲜技术及其应用[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(10): 2193–2195.
- Xiao XX, Shang GXC. Radiation technology and its application on agricultural food preservation [J]. J Anhui Agric Sci, 2006, 34(10): 2193–2195.
- [33] 王良玉, 郑朕, 熊波, 等. 几种新型食品保鲜技术的研究进展[J]. 农产品加工, 2011, 250(7): 134–140.
- Wang LY, Zheng Z, Xiong B, *et al.* Research progress of several new food preservation technologies [J]. Agric Prod Process, 2011, 250(7): 134–140.
- [34] 刘北辰. 辐照食品保鲜技术的现状及前景[J]. 湖南包装, 2012, (1): 10–12.
- Liu BC. Current situation and prospect of irradiation food preservation technology [J]. Hunan Packag, 2012, (1): 10–12.
- [35] 邹伟民, 郑世火, 操君喜, 等. 核辐照菜心保鲜效果的研究[J]. 核农学通报, 1994, (3): 130–132.
- Zou WM, Zheng SH, Cao JX, *et al.* Study on the fresh-keeping effect of nuclear irradiation on Chinese cabbage [J]. Bull Nucl Agron, 1994, (3): 130–132.
- [36] Ma L, Zhang M, Bhesh B, *et al.* Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables [J]. Trends Food Sci Technol, 2017, 64: 23–38.
- [37] 陈学玲, 何建军, 范传会, 等. 薄膜包装对菜心贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2019, 40(23): 1–6.
- Chen XL, He JJ, Fan CH, *et al.* Effect of thin film packaging on storage quality of Chinese cabbage [J]. Packag Eng, 2019, 40(23): 1–6.
- [38] 李新楠, 王洪斌, 严守雷, 等. 臭氧水对鲜切藕片保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2016, (4): 178–184.
- Li XN, Wang HB, Yan SL, *et al.* Effect of ozone water on fresh-cut lotus root slices [J]. Food Res Dev, 2016, (4): 178–184.
- [39] 陈学玲, 杨晓庆, 范传会, 等. 二氧化氯和臭氧杀菌处理对菜心贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(9): 98–102.
- Chen XL, Yang XQ, Fan CH, *et al.* Effect of chlorine dioxide and ozone sterilization on storage quality of Chinese cabbage [J]. Food Res Dev, 2020, 41(9): 98–102.
- [40] Creelman RA, Mullet JE. Jasmonic acid distribution and action in plants: Regulation during development and response to biotic and abiotic stress [J]. Proc Nat Acad Sci, 1995, 92(10): 4114–4119.
- [41] 刘少群, 苏蔚, 朱世江. 茉莉酸甲酯处理对菜心耐贮性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(S1): 87–91.

- Liu SQ, Su W, Zhu SJ. Effect of methyl jasmonate treatment on storage tolerance of Chinese cabbage [J]. Chin J Agric Eng, 2009, 25(1): 87–91.
- [42] 黄曲英, 苏蔚, 刘少群, 等. 低温、包装和茉莉酸甲酯处理对菜心贮藏及品质的影响[J]. 广东农业科学, 2009(12): 126–128, 138.
- Huang QY, Su W, Liu SQ, *et al.* Effects of low temperature, packaging and methyl jasmonate treatment on storage and quality of Chinese cabbage [J]. Guangdong Agric Sci, 2009, (12): 126–128, 138.
- [43] 王光. 茉莉酸甲酯对菜心抗逆性及贮藏性的影响[J]. 贺州学院学报, 2012, 28(02): 140–143.
- Wang G. The effects of MeJA treatment on resistance and storability of tsai-tai (*Brassica chinensis*) [J]. J Hezhou Coll, 2012, 28(2): 140–143.
- [44] Jiang Y, Joyce DC, Macnish AJ. Extension of the shelf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags [J]. Postharvest Biol Technol, 1999, 16(2): 187–193.
- [45] 张鲁斌, 朱世江, 王光. 1-MCP 对贮藏期间菜心衰老进程的影响[J]. 广东农业科学, 2010, 37(11): 179–181.
- Zhang LB, Zhu SJ, Wang G. Effects of 1-MCP on aging process of Chinese cabbage during storage [J]. Guangdong Agric Sci, 2010, 37(11): 179–181.
- [46] 张美芳, 何玲, 张美丽, 等. 猕猴桃鲜果贮藏保鲜研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(11): 343–347.
- Zhang MF, He L, Zhang ML, *et al.* Research progress of fresh kiwi fruit storage and preservation [J]. Food Sci, 2014, 35(11): 343–347.
- [47] 陈巧玲, 叶蕙, 刘伟, 等. CPPU 延缓菜心叶片衰老的作用[J]. 西北植物学报, 2001, (6): 197–200.
- Chen QL, Ye H, Liu W, *et al.* Effects of CPPU on the aging of leaf [J]. Acta Botanica Sin, 2001, (6): 197–200.
- [48] 孙凤杰. CPPU 处理对莲子采后品质及莲皮叶绿素代谢的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- Sun FJ. Effect of CPPU treatment on postharvest quality of lotus seeds and chlorophyll metabolism of lotus peel [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018.
- [49] Wang LY, Dong Y, Men HT, *et al.* Preparation and characterization of active films based on chitosan incorporated tea polyphenols [J]. Food Hydrocoll, 2013, 32(1): 35–41.
- [50] 贾志伟, 孙曼丽, 常金梅, 等. 菜心采后褪黑素处理的低温保鲜效果分析[J]. 热带作物学报, 2019, 40(7): 1413–1420.
- Jia ZW, Sun ML, Chang JM, *et al.* Effect of post-harvest melatonin treatment on low temperature preservation of Chinese cabbage [J]. Chin J Trop Crops, 2019, 40(7): 1413–1420.
- [51] 辛丹丹, 司金金, 寇莉萍. 黄瓜采后外源褪黑素处理提高品质和延缓衰老的研究[J]. 园艺学报, 2017, 44(5): 891–901.
- Xin DD, Si JJ, Kou LP. Study on improving quality and delaying aging of cucumber treated with exogenous melatonin after harvest [J]. J Horticult, 2017, 44(5): 891–901.
- [52] Stafford PA, Ough CS. Formation of methanol and ethymethylcarbonate by dimethyldicarbonate in wine and model solutions [J]. Am J Enol Viticult, 1976, 27: 7–11.
- [53] 任亚琳, 毕阳, 葛永红, 等. BTH 浸泡处理对厚皮甜瓜采后病害的控制及贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(2): 267–272.
- Ren YL, Bi Y, Ge YH, *et al.* Effects of BTH soaking on postharvest disease control and storage quality of pachyderm melon [J]. Food Sci, 2013, 34(2): 267–272.
- [54] Anfoka GH. Benzo-(1,2,3)-thiadiazole-7-carbothioic acid S-methyl ester induces systemic resistance in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill CV. Vollendung) to cucumber mosaic virus [J]. Crop Prot, 2000, 19: 401–405.
- [55] 王光, 张鲁斌, 张法梅, 等. BTH 处理对菜心耐贮性的影响研究[J]. 广东农业科学, 2009, (12): 123–125.
- Wang G, Zhang LB, Zhang FM, *et al.* Effect of BTH treatment on storage tolerance of Chinese cabbage [J]. Guangdong Agric Sci, 2009, (12): 123–125.
- [56] Ansorena MR, Marcovich NE, Roura SI. Impact of edible coatings and mild heat shocks on quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.) during refrigerated storage [J]. Postharvest Biol Technol, 2011, 59: 53–63.
- [57] 刘顺枝, 孙茹, 江月玲, 等. 壳聚糖涂膜对延缓菜心采后衰老效果的研究[J]. 食品科技, 2012, 37(10): 43–47.
- Liu SZ, Sun R, Jiang YL, *et al.* Study on the effect of chitosan coating on delaying senescence of Chinese flowering cabbage [J]. Food Sci Technol, 2012, 37(10): 43–47.
- [58] 刘军, 龚丽, 姜艳, 等. 壳聚糖茶多酚复合涂膜对菜心低温贮藏保鲜影响的研究[J]. 现代农业装备, 2017, (2): 21–25.
- Liu J, Gong L, Jiang Y, *et al.* Effect of chitosan tea polyphenols composite coating on the freshness preservation of Chinese cabbage in low temperature storage [J]. Mod Agric Equip, 2017, (2): 21–25.
- [59] 励建荣, 朱丹实. 果蔬保鲜新技术研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(4): 337–347.
- Li JR, Zhu DS. Research progress of new technology of fresh fruits and vegetables [J]. J Food Sci Biotechnol, 2012, 31(4): 337–347.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



王萍, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品贮藏与加工。
E-mail: 626306174@qq.com



陈于陇, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品物流与保鲜。
E-mail: chenylulong@gdaas.cn