

不同采后处理对青花菜功能成分和品质的影响

王梦雨, 袁雯馨, 汪炳良, 汪俏梅*

(浙江大学园艺系, 农业部园艺植物生长发育与品质控制重点开放实验室, 杭州 310058)

摘要: 青花菜富含维生素 C 和芥子油苷等抗癌功能成分, 是一种世界范围的重要蔬菜。青花菜的食用部分为花球, 呼吸非常旺盛, 易衰老黄化, 是一种非常难贮藏的蔬菜, 采后过程中容易造成营养和品质的下降, 研究不同采后处理对青花菜功能成分和品质的影响, 不仅在采后生理研究领域有较大的意义, 而且对青花菜产业有重要指导作用。本文结合国内外研究报道, 分析了冷藏、气调、薄膜包装、乙烯抑制剂 1-甲基环丙烯处理和光处理等采后处理方式对采后青花菜产品功能成分和品质的影响, 从芥子油苷等功能成分生物合成和代谢的角度解析了可能的机制, 在此基础上全面总结和评价青花菜各种采后处理方法, 并对该领域未来研究方向及其应用前景进行了展望。

关键词: 功能成分; 青花菜; 采后处理; 1-甲基环丙烯

Effects of different postharvest treatments on functional components of broccoli

WANG Meng-Yu, YUAN Wen-Xin, WANG Bing-Liang, WANG Qiao-Mei*

(Key Laboratory of Horticultural Plant Growth, Development and Quality Improvement, Ministry of Agriculture, Department of Horticulture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

ABSTRACT: Broccoli has been described as one of the most important vegetables worldwide, and it is a rich source of vitamin C and anti-carcinogenic phytochemicals, such as glucosinolates. The edible part of broccoli is floret head, which is high in respiration rate, and easy to be senescent and yellowing. As a kind of highly perishable products, broccoli heads usually undergo losses in nutrients and quality during postharvest period. The researches on the influence of different postharvest handlings in functional components and quality of broccoli are significant to postharvest physiology, but also have an important guiding role for the broccoli industry. Based on recent investigations, the effects of different postharvest handlings, including cooling storage, atmosphere control, modified atmosphere packaging, 1-methylcyclopropene (1-MCP) and light treatment on functional components and quality of broccoli were reviewed, and the related mechanisms were verified by elucidating the biosynthesis and metabolism pathway of glucosinolates. The common postharvest handling methods of broccoli products were summarized and evaluated, and future researches as well as their potential in broccoli industry were prospected.

KEY WORDS: functional components; broccoli; postharvest treatments; 1-methylcyclopropene

基金项目: 国家自然科学基金项目(31270343, 31470385)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31270343, 31470385)

*通讯作者: 汪俏梅, 博士, 教授, 主要研究方向为植物次生代谢与调控。E-mail: qmwang@zju.edu.cn

*Corresponding author: WANG Qiao-Mei, Ph.D, Professor, Research Associate, Department of Horticulture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China. E-mail: qmwang@zju.edu.cn

1 引言

青花菜(*Brassica oleracea* L. var. *italica*)又名绿菜花、西兰花,是一种重要的甘蓝类蔬菜。青花菜营养丰富且具有保健功效,被誉为“蔬菜皇冠”^[1]。它不仅是很好的血管清理剂,能够阻止胆固醇氧化^[2],而且富含芥子油苷等抗癌功能成分,在西方国家作为一种抗癌功能食品而倍受关注^[3]。最新研究还发现青花菜提取物能降低2型糖尿病(T2D)肥胖患者的血糖^[4]。随着人们对其营养价值和保健价值的重新认识,青花菜在我国的种植面积不断增加,并且已成为我国最重要的出口创汇蔬菜之一,远销日本和欧美市场。

青花菜富含功能成分芥子油苷(glucosinolates)^[5,6],芥子油苷是一类主要存在于十字花科植物中的次生代谢物质^[7,8],其降解产物可以作为致癌物的阻断剂诱导醌还原酶等解毒酶的活性。青花菜的抗癌活性主要来源于萝卜硫素(sulforaphane, SF)^[9]。萝卜硫素是由脂肪族芥子油苷(aliphatic glucosinolates)萝卜硫苷(glucoraphanin)降解生成的一种异硫代氰酸盐^[10]。它可诱导在致癌代谢中逆转癌症发生的阶段II解毒酶的产生,使致癌基因失去作用,从而发挥抗癌作用^[11]。萝卜硫素是迄今为止发现的最强烈的阶段II酶诱导剂,而3-吡啶基甲基芥子油苷的降解产物吡啶-3-甲醇可强烈诱导肝、肠酶的活性^[12]。此外,青花菜中还含有丰富的维生素C^[5]、叶绿素和类胡萝卜素等功能成分。

青花菜的食用部分是主花茎和侧枝聚合结成的花球,由肉质花茎、已形成的幼花蕾和长花梗组成,均属幼嫩的组织^[13]。因此采收后青花菜代谢活动十分旺盛,在室温(20~25℃)下1~2d就会失绿转黄,且失水萎蔫,各种营养成分迅速降解,萝卜硫苷(glucoraphanin)含量下降为采后当天的45%^[14],严重影响其商品价值。目前在采后环节,我们一般更加关注蔬菜产品的外观品质,而对风味和营养品质有贡献的功能成分的研究较少,这在一定程度上制约了蔬菜产业的健康、可持续发展。本文根据我们实验室近年来的研究结果,并结合国内外同行的工作,介绍了目前常见的青花菜采后处理方法,包括冷藏、气调、薄膜包装、乙烯抑制剂1-甲基环丙烯处理等和新兴的光处理方法,对青花菜产品功能成分和品质的影响,并分析了其可能的影响机制。

2 不同采后处理方法

2.1 冷藏贮藏

冷藏是减少贮藏过程中蔬菜损失的一种较好方法^[15]。青花菜是一种适宜冷藏的蔬菜,它对低温有较强的耐受能力。温度对青花菜的影响不仅体现在贮藏寿命上,而且还对青花菜的品质有较大影响,Xu等^[16]研究表明,在

0℃条件下,青花菜花球可以贮藏37d,在5℃和10℃下的贮藏寿命分别为21d和9d,而在20℃室温条件下,仅能贮藏2d。较高的温度除了会引起花球的黄化,使外观品质下降外,还会使花球的功能成分含量下降,如在10℃贮藏条件下,贮藏9d时,其叶绿素和维生素C含量下降50%左右,胡萝卜素和可溶糖含量下降近30%;而在0℃贮藏条件下,在整个贮藏期间,其各种营养成分含量变化不大。从不同冷藏温度对芥子油苷的影响来看,0℃和5℃的冷藏条件能使青花菜小花球的萝卜硫苷和抗癌活性指标醌还原酶诱导活性(quinone reductase, QR)维持12d左右不发生变化,而10℃下只能维持6d左右。因此,从延长青花菜产品贮藏寿命,有效维持其营养品质和功能成分的角度看,冷链运输和冷藏是一种较好的采后处理方式。

颜丽萍等^[17]研究发现青花菜采后以压差预冷、聚苯乙烯泡沫箱加冰0℃冷藏运输和4℃用收缩膜包装销售2d的冷链物流方法最好。其冷链物流后的青花菜感官品质、以及叶绿素、维生素C、可溶性蛋白和可溶性糖含量等指标均处于最佳。因此,青花菜采后要尽快处于低温下,并采用适宜的贮运前预冷。目前预冷方式有很多,如冷水预冷、冰水预冷、冷库预冷、差压预冷以及真空预冷技术等^[18]。刘芬等^[19]探究了真空预冷技术对青花菜在5℃贮藏期间生理活性的影响,发现真空预冷抑制了青花菜的呼吸速率、乙烯释放量,其中失重率减少了2.18%;并改善了青花菜的感官品质,减少了叶绿素和维生素C的损失,主要通过调节抗氧化酶的活性起到了延缓青花菜衰老的作用。Cai等^[20]研究了工厂化速冻预处理(切割、清洗、热水漂烫和冲淋强冷)对速冻青花菜产品中芥子油苷等功能成分的影响,发现速冻预处理中的热水漂烫和冲淋强冷使芥子油苷含量损失较大,因为芥子油苷是水溶性的,从改良工艺的角度可以考虑替换为汽蒸漂烫和冰水冷却以降低冷冻预处理中芥子油苷的损失。

综上所述,采用合适的预冷处理并进行冷链运输(如加冰等方式)能有效地降低青花菜产品中有益芥子油苷组分和维生素C等的损耗,维持其功能成分含量和商品价值。

2.2 气调贮藏

由于青花菜的花球呼吸旺盛,且能耐较高浓度的二氧化碳,非常适合气调贮藏。气调处理可减少采后青花菜的呼吸作用、抑制乙烯产生、失重及黄化^[21,22],气调与冷藏结合则效果更佳^[16,23]。Makhlouf等^[24]认为需要同时降低氧气的浓度和升高二氧化碳的浓度,其中0.5% O₂+10% CO₂(0℃和5℃);1% O₂+10% CO₂(10℃)是贮藏青花菜的最佳气体条件;但如果CO₂浓度超过10%,持续15d,会造成生理伤害,使青花菜产生一种煤气样的异味,使风味变劣^[25]。美国加州大学教科书《Postharvest Technology of

Horticultural Crops》(第3版)提出低温(0~5℃)加气调处理(1%~2% O₂, 5%~10% CO₂)是青花菜最有效的采后处理方式。Xu等^[16]研究发现,虽然在5℃条件下,4种气调贮藏方式(Air+10% CO₂, Air+20% CO₂, 1% O₂, 1% O₂+10% CO₂)都能维持青花菜小花球的外观品质至20d以上,但各种处理对贮藏期间产品中萝卜硫苷和QR诱导活性的影响并不一致。其中氧气浓度正常,而二氧化碳浓度升高的处理(Air+10% CO₂, Air+20% CO₂)使萝卜硫苷和QR诱导活性在前5d有所升高,并且在整个20d的贮藏期间变化不大,特别是Air+10% CO₂处理的效果更好;而氧气浓度下降的处理(1% O₂, 1% O₂+10% CO₂)却使萝卜硫苷和QR诱导活性在贮藏期间持续下降,丧失营养价值。其原因是低的氧气浓度降低了萝卜硫苷生物合成关键酶CYP79F1和FMO等加氧酶的活性,从而抑制了萝卜硫苷的生物合成^[16]。综上建议青花菜的最佳气调条件为21% O₂+5%~10% CO₂,维持正常的氧气浓度不仅降低了气调的成本,而且有效维持了萝卜硫苷等重要功能成分的含量。

2.3 薄膜包装

由于冷藏加气调成本较高,加上气调库在一些国家和地区尚未普及,探索以成本较低的薄膜自发气调(modified atmosphere packaging, MAP)用于青花菜等芸苔属蔬菜的采后处理有较大现实意义,这方面的研究也非常普遍^[26-34]。青花菜的薄膜单花球包装可利用花球自身呼吸消耗O₂,产生CO₂,从而造成低O₂、高CO₂的环境来保鲜,同时薄膜包装也可抑制水分蒸发,避免萎蔫^[34]。在4℃低温条件下,采用0.04mm的PE塑料薄膜包装青花菜,可以一定程度延缓其衰老,提高耐贮性^[35]。曲雪艳等^[36]研究了不同的薄膜包装方式对青花菜采后维生素C等含量的变化,综合外观和营养品质结果,发现以无孔MAP密封包装效果最好,之后依次是小孔MAP密封包装、大孔MAP密封包装和开口包装。我们的研究表明,不同的MAP薄膜及不同的包装方式进行包装均能延缓贮藏期间青花菜小花球中维生素C、类胡萝卜素、可溶性糖和抗癌化合物萝卜硫苷等营养成分的下降,其中4℃辅以无孔0.04mmPE膜包装可有效维持芥子油苷等重要营养成分和品质,其原因主要是这一处理不仅直接促进了芥子油苷的合成,而且通过抑制呼吸作用,维持细胞膜的完整性,避免位于不同细胞分室的降解酶葡萄糖硫苷酶(myrosinase)和底物芥子油苷接触,抑制了芥子油苷的降解^[29]。

2.4 乙烯抑制剂处理

Sisler等^[37]最早发现了一系列非常有效的气体类乙烯受体抑制剂,包括2,5-降冰片二烯(2,5-norbornadiene, 2,5-NBD)、重氮环戊二烯(diazocyclopentadiene, DACP)、环丙烯(cyclopropene, CP)和1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)等。其中的1-MCP由于具备稳定性高、作用浓度

低、安全无毒、持续作用时间较长等特点,在园艺产品的采后保鲜上得到了普遍应用^[38,39]。

由于青花菜属于对乙烯敏感的产品,用一些乙烯抑制剂处理能有效地延缓衰老,在较高温度下仍能延长产品的寿命和维持产品的品质。低浓度的1-MCP即可延缓青花菜的黄化和腐烂,所有处理贮藏寿命都比对照延长100%~200%,并且应用1-MCP可减轻青花菜贮藏过程中对低温的苛刻要求,在高于最适贮藏低温的环境中仍能延长贮藏寿命^[40]。1-MCP能有效抑制青花菜花球中各种功能性成分的降解。在25℃贮藏期间,青花菜中各种芥子油苷含量因高温等逆境有不同程度的下降,而经2.5μL/L 1-MCP处理的青花菜各种芥子油苷含量均高于对照,因此1-MCP处理能有效减缓青花菜脂肪族芥子油苷,特别是萝卜硫苷的降解,较好地维持采后青花菜的功能成分^[41]。这一处理主要通过活化抗氧化酶系统,抑制膜脂过氧化和乙烯信号转导,继而抑制呼吸作用这两条途径来维持细胞膜的完整性,从而避免葡萄糖硫苷酶与芥子油苷接触,抑制芥子油苷的降解,有效维持芥子油苷水平和产品品质^[42]。

2.5 光处理

在维持蔬菜采后品质方面,光处理是一种新兴的技术,并因其安全、绿色、环保和高效等优点,成为近年来蔬菜采后保鲜领域的研究热点。目前光处理主要包括LED光^[43,44]、紫外光^[45,46]和辐射处理3大类^[47]。张娜等^[48]的研究表明,LED红光处理能够抑制青花菜叶绿素含量的下降,降低呼吸强度,推迟呼吸高峰,延缓乙烯生成速率。Ma等^[49]研究表明,LED红光可较好地抑制青花菜的黄化、成熟衰老,并抑制青花菜的乙烯释放量,维持其较高的抗坏血酸盐含量,而LED蓝光却没有以上效果。伍新龄等^[50]则发现,与无光对照相比,LED红蓝复合光间歇照射有利于保持青花菜良好的外观品质,抑制营养物质的流失速率,延缓其衰老进程,与低温避光处理相比较,青花菜货架期可延长5d以上。虽然不同光处理方法可以延缓青花菜采后衰老和延长贮藏寿命,并且在维持功能成分和品质方面有较好的效果,但是其作用机制尚待进一步阐明。

3 总结与展望

从上面的分析我们可以得出:在青花菜的采后环节,冷链运输或冷藏能较好地抑制芥子油苷等功能成分的损失,有效维持青花菜的外观品质和营养品质;正常氧气浓度加上10%CO₂的气调处理结合5℃的低温能够延缓青花菜花球的黄化,以及维生素C和芥子油苷等营养成分的损耗;0.04mm的聚乙烯膜和无孔的薄膜包装方式有利于维持芥子油苷等功能成分含量,是一种适合发展中国家的经济有效的采后处理方式;乙烯抑制剂1-MCP处理可以有效

延长青花菜在高温下的贮藏寿命,维持萝卜硫苷等芥子油苷的含量,是一种经济有效的在高温下维持品质的处理方式;光处理技术在延长青花菜贮藏寿命和维持青花菜品质方面也有较好的效果,是一种很有潜力的采后处理新技术。

青花菜因富含萝卜硫苷等抗癌的功能成分,在通过饮食实施癌症的化学预防中发挥重要作用。青花菜通常要经过一系列的采后处理才能真正被消费者所食用。相比于采前环节里各种环境因子、栽培方式和化学调控等对青花菜中芥子油苷等功能成分的合成和降解的精细调控研究,目前对各种采后处理对青花菜中芥子油苷等功能成分的生物合成与降解的调控研究还不够系统和深入,因此进一步研究不同采后处理对青花菜中芥子油苷等功能成分的代谢和抗癌活性的调控机制,将有利于更好地保存有化学预防作用的芥子油苷和维持青花菜的健康功能品质。通过对青花菜在采后进行合理的处理,最大程度地提高和保存萝卜硫苷等有益芥子油苷组分的含量和抗癌活性,对于人们通过饮食实施癌症的化学预防具有重大意义。如何在采后环节最大程度地降低青花菜产品中功能成分的损耗成为当今青花菜产业采后环节的最大挑战,由于作为发展中国家的我国在采后技术上还存在一定缺陷,今后应加强青花菜采后技术的探索及创新,并结合各种功能性成分代谢的基础研究,产学研相结合,探索出有利于维持青花菜产品功能成分和品质的最优复合处理方式。

参考文献

- [1] 张和义. 青花菜优质高产栽培技术[M]. 北京: 金盾出版社, 2007.
Zhang HY. High quality and high yielding cultivation techniques of broccoli [M]. Beijing: Golden Shield Press, 2007.
- [2] 司春杨, 于卓. 花椰菜营养价值谈[J]. 中国果菜, 2008(3): 56.
Si CH, Yu Z. Nutritional value of cauliflower [J]. Chin Fruit Vegetables, 2008(3): 56.
- [3] Bhandari SR, Kwak J. Chemical composition and antioxidant activity in different tissues of brassica vegetables [J]. Molecules, 2015, 20(1): 1228–1243.
- [4] Axelsson AS, Tubbs E, Mechem B, et al. Sulforaphane reduces hepatic glucose production and improves glucose control in patients with type 2 diabetes [J]. Sci Transl Med, 2017, 9(394): 1–12.
- [5] Dominguez-Perles R, Mena P, Garcia-Viguera C, et al. Brassica foods as a dietary source of vitamin C: A review [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2014, 54(8): 1076–1091.
- [6] Mahn A, Reyes A. An overview of health-promoting compounds of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) and the effect of processing [J]. Food Sci Technol Int, 2012, 18(6): 503–514.
- [7] Higdon JV, Delage B, Williams DE, et al. Cruciferous vegetables and human cancer risk: epidemiologic evidence and mechanistic basis [J]. Pharm Res, 2007, 55(3): 224–236.
- [8] Sonderby IE, Geu-Flores F, Halkier BA. Biosynthesis of glucosinolates—gene discovery and beyond [J]. Trends Plant Sci, 2010, 15(5): 283–290.
- [9] Wittstock U, Burow M. Glucosinolate breakdown in Arabidopsis: Mechanism, regulation and biological significance [J]. Arabidopsis Book, 2010, 8: e134.
- [10] Conaway CC, Yang YM, Chung FL. Isothiocyanates as cancer chemopreventive agents: Their biological activities and metabolism in rodents and humans [J]. Current Drug Metab, 2002, 3(3): 233–255.
- [11] Matusheski NV, Swarup R, Juvik JA, et al. Epithiospecifier protein from broccoli (*Brassica oleracea* L. ssp. *italica*) inhibits formation of the anticancer agent sulforaphane [J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(6): 2069–2076.
- [12] Variyar PS, Banerjee A, Akkarakaran JJ, et al. Role of glucosinolates in plant stress tolerance [M]//Ahmad P, Rasool S. 2014: 271–291.
- [13] 崔兰舫. 青花菜优质高产栽培技术[J]. 北方园艺, 2008(6): 94–95.
Cui LF. High quality and high yielding cultivation techniques of broccoli [J]. Northern Gardening, 2008(6): 94–95.
- [14] Rangkadilok N, Tomkins B, Nicolas ME, et al. The effect of post-harvest and packaging treatments on glucoraphanin concentration in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) [J]. J Agric Food Chem, 2002, 50(25): 7386–7391.
- [15] 高海生, 赵希艳, 李润丰. 果蔬采后处理与贮藏保鲜技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2007(2): 273–278.
Gao HS, Zhao XY, Li RF. Research progress on postharvest treatment and storage of fruits and vegetables [J]. J Agric Eng, 2007(2): 273–278.
- [16] Xu CJ, Guo DP, Yuan J, et al. Changes in glucoraphanin content and quinone reductase activity in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) florets during cooling and controlled atmosphere storage [J]. Postharv Biol Technol, 2006, 42(2): 176–184.
- [17] 颜丽萍, 刘升, 饶先军. 预冷、冷藏运输和销售方法对青花菜品质的影响[J]. 食品与机械, 2012, (2): 174–176.
Yan LP, Liu S, Rao XJ. Effects of precooling, refrigerated shipping and sales methods on broccoli quality [J]. Food Mach, 2012, (2): 174–176.
- [18] 吕盛坪, 吕恩利, 陆华忠, 等. 果蔬预冷技术研究现状与发展趋势[J]. 广东农业科学, 2013, (8): 101–104.
Lv SP, Lv EL, Lu HZ, et al. Research status and development trend of fruit and vegetable precooling technology [J]. Guangdong Agric Sci, 2013, (8): 101–104.
- [19] 刘芬, 张爱萍, 刘东红. 真空预冷处理对青花菜贮藏期间生理活性的影响[J]. 农业机械学报, 2009, (10): 106–110.
Liu F, Zhang AP, Liu DH. Effect of vacuum precooling on physiological activity of broccoli during storage [J]. T Chin Soc Agric Mach, 2009, (10): 106–110.
- [20] Cai C, Miao H, Qian H, et al. Effects of industrial pre-freezing processing and freezing handling on glucosinolates and antioxidant attributes in broccoli florets [J]. Food Chem, 2016, 210: 451–456.
- [21] 高春霞, 乔勇进, 甄凤元, 等. 气调贮藏对小白菜品质及生理生化特性的影响[J]. 食品与发酵科技, 2017(01): 1–5.
Gao CX, Qiao YJ, Zhen FY, et al. Effect of modified atmosphere on quality and physiological and biochemical characteristics of Chinese cabbage [J]. Food Ferment Technol, 2017(1): 1–5.

- [22] Rangkadilok N, Tomkins B, Nicolas ME, *et al.* The effect of post-harvest and packaging treatments on glucoraphanin concentration in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) [J]. *J Agric Food Chem*, 2002, 50(25): 7386–7391.
- [23] Izumi H, Watada A E, Douglas W. Optimum O₂ or CO₂ atmosphere for storing broccoli florets at various temperatures [J]. *J Am Soc Horticul Sci*, 1996, 121(1): 127–131.
- [24] Makhlof J, Willemot C, Arul J, *et al.* Regulation of ethylene biosynthesis in broccoli flower buds in controlled atmospheres [J]. *J Am Soc Horticul Sci*, 1989, 114(6): 955–958.
- [25] Vallejo F, Tomas-Barberan F, Garcia-Viguera C. Health-promoting compounds in broccoli as influenced by refrigerated transport and retail sale period [J]. *J Agric Food Chem*, 2003, 51(10): 3029–3034.
- [26] Fernandez-Leon MF, Fernandez-Leon AM, Lozano M, *et al.* Retention of quality and functional values of broccoli 'Parthenon' stored in modified atmosphere packaging [J]. *Food Control*, 2013, 31(2): 302–313.
- [27] Schreiner MC, Peters PJ, Krumbein AB. Glucosinolates in mixed-packaged mini broccoli and mini cauliflower under modified atmosphere [J]. *J Agric Food Chem*, 2006, 54(6): 2218–2222.
- [28] Hansen ME, Sorensen H, Cantwell M. Changes in acetaldehyde, ethanol and amino acid concentrations in broccoli florets during air and controlled atmosphere storage [J]. *Postharv Biol Technol*, 2001, 22(3): 227–237.
- [29] Jia CG, Xu CJ, Wei J, *et al.* Effect of modified atmosphere packaging on visual quality and glucosinolates of broccoli florets [J]. *Food Chem*, 2009, 114(1): 28–37.
- [30] 刘颖, 邹志敏, 李云飞, 等. 果蔬气调贮藏国内外研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2006(4): 94–97.
- Liu Y, Wu ZM, Li YF, *et al.* Research progress of fruit and vegetable modified atmosphere at home and abroad [J]. *Food Ferment Ind*, 2006(4): 94–97.
- [31] Fernandez-Leon MF, Fernandez-Leon AM, Lozano M, *et al.* Retention of quality and functional values of broccoli 'Parthenon' stored in modified atmosphere packaging [J]. *Food Control*, 2013, 31(2): 302–313.
- [32] Schreiner M, Peters P, Krumbein A. Changes of glucosinolates in mixed fresh-cut broccoli and cauliflower florets in modified atmosphere packaging [J]. *J Food Sci*, 2007, 72(8): 585–589.
- [33] Edelenbos HM, Sorensen H, Cantwell M. Changes in acetaldehyde, ethanol and amino acid concentrations in broccoli florets during air and controlled atmosphere storage [J]. *Postharv Biol Technol*, 2001, 22(3): 227–237.
- [34] 张子德, 马俊莲, 宗汝静. 薄膜包装嫩茎花椰菜的采后保鲜因子[C]. 杭州: 中国园艺学会首届青年学术讨论会, 1994.
- Zhang ZD, Ma JL, Zong RJ. Postharvest preservation factors of thin film cotyledon cauliflower [C]. Hangzhou: Chinese Horticultural Society First Youth Discussion Forum, 1994.
- [35] 雷桥, 徐文达. 青花菜气调包装材料的选择[J]. *食品与机械*, 2007(3): 98–101.
- Lei Q, Xu WD. Selection of broccoli atmosphere packaging materials [J]. *Food Mach*, 2007(3): 98–101.
- [36] 曲雪艳, 周庆红, 宋宇, 等. 不同薄膜包装方式对青花菜贮藏品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2010(18): 251–254.
- Qu XY, Zhou QH, Song Y, *et al.* Effect of different film packaging methods on storage quality of broccoli [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2010(18): 251–254.
- [37] Sisler EC, Serek M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: Recent developments [J]. *Physiol Plant*, 1997, 100(3): 577–582.
- [38] 苏小军, 蒋跃明. 新型乙烯受体抑制剂-1-甲基环丙烯在采后园艺作物中的应用 I[J]. *植物生理学通讯*, 2001, 37(4): 361–364.
- Su XJ, Jiang YM. Application of novel ethylene receptor inhibitor-1-methylcyclopropene in harvested horticultural crops [J]. *Plant Physiol Commun*, 2001, 37(4): 361–364.
- [39] 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.
- [40] 汪俏梅, KyiKyiWin. 1-MCP 对青花菜贮藏寿命、品质和抗氧化酶活性的影响(英文)[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2002, 28(5): 38–43.
- Wang QM, Win KK. Effect of 1-MCP on storage life, quality and antioxidant enzyme activities of broccoli [J]. *J Zhejiang Univ (Agric Life Sci)*, 2002, 28(5): 507–512.
- [41] 袁晶, 徐志豪, 许亚俊, 等. 1-MCP 对青花菜贮藏效果的影响[J]. *浙江农业学报*, 2005(1): 33–36.
- Yuan J, Xu ZH, Xu YJ, *et al.* Effect of 1-MCP on the storage of broccoli [J]. *J Zhejiang Agric Coll*, 2005(1): 33–36.
- [42] Yuan GF, Sun B, Yuan J, *et al.* Effect of 1-methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets [J]. *Food Chem*, 2010, 118(3): 774–781.
- [43] Seo JM, Arasu MV, Kim YB, *et al.* Phenylalanine and LED lights enhance phenolic compound production in Tartary buckwheat sprouts [J]. *Food Chem*, 2015, 177: 204–213.
- [44] Deng MD, Qian HM, Chen LL, *et al.* Influence of pre-harvest red light irradiation on main phytochemicals and antioxidant activity of Chinese kale sprouts [J]. *Food Chem*, 2017, 222: 1–5.
- [45] Mewis I, Schreiner M, Chau NN, *et al.* UV-B irradiation changes specifically the secondary metabolite profile in broccoli sprouts: Induced signaling overlaps with defense response to biotic stressors [J]. *Plant Cell Physiol*, 2012, 53(9): 1546–1560.
- [46] Topcu Y, Dogan A, Kasimoglu Z, *et al.* The effects of UV radiation during the vegetative period on antioxidant compounds and postharvest quality of broccoli (*Brassica oleracea* L.) [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2015, 93(S1): 56–65.
- [47] 王真, 王清, 高丽朴, 等. 蔬菜采后光控保鲜技术研究进展(英文版)[J]. *农业科学与技术*, 2017, 18(6): 1138–1144.
- Wang Z, Wang Q, Gao LP, *et al.* Research progress on vegetable preservation and postharvest photoconservation [J]. *Agric Sci Technol*, 2017, 18(6): 1138–1144.
- [48] 张娜, 阎瑞香, 关文强, 等. LED 单色红光对西兰花采后黄化抑制效果的影响[J]. *光谱学与光谱分析*, 2016(4): 955–959.
- Zhang N, Yan RX, Guan WQ, *et al.* Effect of LED monochrome red on

inhibition of postharvest senescence [J]. Spectrosc Spectr Anal, 2016(04): 955-959.

[49] Ma G, Zhang L, Setiawan CK, et al. Effect of red and blue LED light irradiation on ascorbate content and expression of genes related to ascorbate metabolism in postharvest broccoli [J]. Postharv Biol Technol, 2014, 94: 97-103.

[50] 伍新龄, 张娜, 张晓洁, 等. LED 红蓝复合光间歇照射对西兰花贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2015(5): 6-10.

Wu XL, Zhang N, Zhang XJ, et al. Effect of LED red - blue combined light intermittent irradiance on storage quality of broccoli [J]. Pres Process, 2015(5): 6-10

(责任编辑: 姜 珊)

作者简介



王梦雨, 硕士研究生, 主要研究方向为植物次生代谢物质芥子油苷代谢调控。
E-mail: 21616069@zju.edu.cn

汪俏梅, 博士, 教授, 主要研究方向为植物次生代谢调控。
E-mail: qmwang@zju.edu.cn



“食品中持久性有机污染物研究”专题征稿函

当前, 生态环境持续恶化问题已经引起国际社会的高度重视, 从全球范围内看, 环境污染问题的加剧, 给人类的身体健康带来了极大的威胁, 在此背景下, 各国政府针对环境污染对人类身体健康所带来的危害与影响问题加大了研究力度, 并以专门机构与部门的设置为进一步解决环境问题探寻出路。而持久性有机污染物(POPs)在农药中的运用, 使得农产品农药污染问题加剧, 并引起了社会的高度重视。

鉴于此, 本刊特组织“食品中持久性有机污染物研究”专题, 由湖北省疾病预防控制中心 闻胜 老师担任专题主编, 主要围绕持久性有机污染物的分析鉴定方法、化学与生物检测技术、迁移转化降解机制、累积机理和演化规律、生态毒理效应、生物标志物技术和风险评估方法、控制、消减与消除技术等或您认为本领域有意义的问题进行论述。本专题计划在 2018 年 7 月出版。

鉴于您在该领域丰富的研究经历和突出的学术造诣, 专题主编闻胜教授及主编吴永宁研究员特别邀请您为本专题撰写稿件, 综述、研究论文、研究简报均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。请在 2018 年 5 月 30 日前通过网站或 Email 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoodsqa@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部