

植物激素影响蓝莓果实采后衰老进程研究进展

张帆, 纪淑娟, 魏宝东, 程顺昌, 周鑫, 周倩
(沈阳农业大学, 沈阳 110161)

摘要: **目的** 概述不同植物激素及生长调节剂作用机理, 探讨其在采后蓝莓果实衰老过程中的作用, 展望如何延长蓝莓果实的贮藏期。 **方法** 介绍植物激素乙烯、水杨酸(SA)、茉莉酸甲酯(MeJA)、脱落酸(ABA)及植物生长调节剂1-甲基环丙烯(1-MCP)的作用, 及其对采后蓝莓果实衰老进程的影响和在保鲜领域的应用。 **结果** 由于蓝莓果实成熟于高温多雨的季节, 且其果实含水率高、果皮薄, 导致其贮藏性差, 采后极易发生软化, 最终衰老腐烂。近年来的研究表明除细胞壁降解酶类之外, 内源激素含量也能调控果实的成熟及衰老, 而施用不同植物激素及生长调节剂则是延缓果实衰老的有效措施。 **结论** 高浓度外源乙烯及脱落酸的施用会加速果实软化及衰老现象的发生, 适当浓度的乙烯、1-MCP、SA、MeJA处理可以延缓果蔬采后衰老所带来的腐败变质进程。

关键词: 蓝莓; 植物激素; 植物生长调节剂; 采后; 衰老

中图分类号: S609⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)05-0015-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.05.003

Research Progress of Effects of Plant Hormones on Postharvest Senescence Process of Blueberry Fruits

ZHANG Fan, JI Shu-juan, WEI Bao-dong, CHENG Shun-chang, ZHOU Xin, ZHOU Qian

(Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

ABSTRACT: The work aims to summarize the mechanism of action of different plant hormones and growth regulators, discuss their role in the senescence process of postharvest blueberry fruit, and predict how to prolong the storage period of blueberry fruits. The roles of plant hormones such as ethylene, salicylic acid (SA), methyl jasmonate (MeJA) and abscisic acid (ABA) and plant growth regulator 1-methylcyclopropene (1-MCP), and their effects on the senescence process of postharvest blueberry fruit and application in preservation were introduced. The blueberry fruit, matured in the season of high temperature and rain, with high fruit water content and thin pericarp, resulted in poor storability, easy softening after harvest, and eventually aging and rotting. Studies in recent years had shown that, in addition to cell wall degradation enzymes, the content of endogenous hormones could also regulate fruit ripening and senescence, and the application of different plant hormones and growth regulators was an effective measure to delay fruit senescence. The application of high-concentration exogenous ethylene and abscisic acid can accelerate the process of fruit softening and senescence. The treatment with ethylene, 1-MCP, SA and MeJA of proper concentration can delay the spoilage and deterioration caused by postharvest senescence of fruits and vegetables.

KEY WORDS: blueberry; plant hormone; plant growth regulators; postharvest; senescence

收稿日期: 2019-04-15

基金项目: 国家自然科学基金(31501534); 中国博士后科学基金(2018M640260)

作者简介: 张帆(1994—), 女, 沈阳农业大学硕士生, 主攻采后贮藏与保鲜。

通信作者: 周倩(1987—), 女, 博士, 沈阳农业大学副教授, 主要研究方向为采后贮藏与保鲜。

蓝莓,又名越橘^[1],杜鹃花科(Vacciniaceae),越橘属(*Vaccinium spp.*)的多年生灌木,小浆果树,簇生果类群,包括高丛蓝莓(*V.corymbosum L.*)、矮丛蓝莓(*V.angustifolium L.*)和兔眼蓝莓(*V.ashei L.*)。蓝莓果实富含花青苷、黄酮醇、糖苷、苯丙素类、苯甲酸类、维生素等活性成分^[2],具有多种保健功能。蓝莓果实自身含水率高、果皮薄,缺乏坚硬外皮保护,导致其采摘后果实贮藏性差。新鲜蓝莓果实采摘后极易破碎流汁,甚至腐烂变质,致使其营养价值降低,加速了果实的衰老及品质劣变。果实的采后衰老是一种复杂的、由多种因素共同决定的品质劣变现象,更是一种复杂的生理生化过程。越来越多的研究表明,果实的采后衰老不仅仅是个别酶类作用、细胞壁结构变化的结果,而是多种基因相互作用所致。这些交互作用的衰老基因很可能受到植物激素的调控,外施用植物激素或植物生长调节剂可能会影响果实采后的衰老进程^[3]。基于此,文中拟对植物激素乙烯、水杨酸(SA)、MeJA(茉莉酸甲酯)、脱落酸(ABA)、植物生长调节剂1-甲基环丙烯(1-MCP)的作用及其对蓝莓果实采后衰老的影响进行综述,以达到科普不同激素对采后蓝莓果实品质影响的目的,进一步为合理施用植物激素来维持果实品质,延长贮藏期奠定基础。

1 不同植物激素及植物生长调节剂的作用机理概述

1.1 乙烯

乙烯(Ethylene)是人们所公认的,研究最为广泛的,少量存在于植物体内的与果实成熟及衰老密切相关的植物激素。无论是在果实生长发育的不同时期,还是在果实采摘后的贮藏时期,乙烯始终被认为是发挥重大作用的植物激素,它的变化比较有规律。早在1963年,各类果实就依据采摘后的乙烯释放量是否出现上升期及峰值,呼吸速率是否与乙烯生成量具有相同峰值及趋势,被分为跃变型和非跃变型两大类^[4]。此外,呼吸跃变型和非呼吸跃变型果实也可以由采后丙烯处理后,呼吸强度的变化与乙烯含量的变化来判别。在此基础上,蓝莓果实被大部分研究者判定为非呼吸跃变型果实。在蓝莓果实上,乙烯生成量也受到外源乙烯、乙烯吸收剂和1-MCP的调控,但在外源乙烯处理下,其乙烯生成量不会产生峰值。MCMurchie等^[4]也提出跃变型果实可能含有2个乙烯系统,而非跃变型果实只含有1个乙烯系统的理论;在丙烯处理下,跃变型果实的呼吸强度和乙烯生成量均出现高峰,而非呼吸跃变型果实则只会在呼吸强度上出现峰值。

乙烯除了具有能够调节植物后熟衰老的功能之外,还有抗逆作用,表现在能够介导植物产生抗病防御反应上^[5]。乙烯的这一功能通过促进防御性酶类苯丙氨酸酶(PAL)和过氧化物酶(POD)的活性升高,使富含羟脯氨酸的糖蛋白在细胞壁中积累,提高果实中木质素的合成率或者促使单宁迅速生成,与蛋白紧密结合来实现^[6]。

1.2 1-甲基环丙烯

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)是一种无毒、无明显难闻气味、稳定性好、作用所需浓度低的环丙烯类化合物,它抑制乙烯诱导果实成熟或衰老是通过与乙烯受体上的金属结合,进而与乙烯竞争受体蛋白来完成的。1-MCP在2002年被列为一种无需进行残留检测的安全的植物保鲜剂^[7]。1-MCP在园艺作物上的应用非常广泛,譬如苹果、香蕉、梨、草莓等^[8-14]。1-MCP的保鲜效果同时也体现在降低蓝莓果实腐烂率和软化的发生率、有效保持果实品质等方面。

1.3 水杨酸

水杨酸(salicylic acid, SA)是一种广泛存在于植物中,可在植物体内合成、含量很低的内源小分子酚类化合物^[15]。外源水杨酸处理能够通过增强保护酶活性来提高植物系统抗性,从而降低果蔬在采后贮藏期间的呼吸强度,抑制乙烯合成,延缓果实软化、采后衰老,达到抑制果实腐烂的目的,适当浓度水杨酸处理还可以减轻果实冷害程度。

1.4 茉莉酸甲酯

茉莉酸类植物激素的主要代表物质是茉莉酸和茉莉酸甲酯(methyljasmonate, MeJA),其与水杨酸类似,也是一种天然存在的植物内源生长调节物质,在对植物的生长发育起作用的同时,也能提高植物的基因抗性、蛋白抗性,从而诱导果蔬产生防御反应^[16-19]。MeJA也能提高果蔬采后贮藏期内的营养价值,促进果实营养成分的有效积累,提高果蔬作物质量。此外,MeJA对植物激素乙烯有调控作用,二者间存在交叉作用;外源MeJA处理可促进苹果、梨等呼吸跃变型果实成熟过程中乙烯的合成,也可促进草莓等非呼吸跃变型果实中乙烯的合成。

1.5 脱落酸

脱落酸(ABA)是一类存在于果蔬生长发育各个阶段的非常重要的植物激素。近年来,也被广泛认为是果实衰老的主要调控因子^[20]。ABA在高等植物中的合成途径属于间接合成,由Ko0906类胡萝卜素途径中的C40裂解产生,在限速酶9-顺式环氧类胡萝卜素双加氧酶、玉米黄质环氧化酶的作用下生成脱落

醛，在醛脱氢酶的作用下生成脱落酸。ABA 可以经过信号传导，促进下游基因表达，改变酶类活性，改变透性，甚至可以调控其他内源激素。譬如乙烯的合成和信号的转导；ABA 也参与调控许多与成熟相关的生物学过程，如：果实的软化，糖类物质的积累和代谢，花青苷的积累等。ABA 在呼吸跃变型果实和非呼吸跃变型果实中均可应用，但 ABA 普遍被认为在非呼吸跃变型果实中的作用更显著^[21]。

综上所述，ABA 在果实中的作用是多方面的，外源 ABA 可通过促进果实成熟软化来提高提前采收果蔬的食用品质，也可通过保持果蔬采后的外观品质来延长果蔬贮藏的流通时间^[22]。外源 ABA 既可促进休眠状态果蔬的休眠进程，又可加快修复贮藏前后机械损伤的进程，延长贮藏时间。在低温胁迫时，外源 ABA 可以促进植物体内 ABA 的合成和运输，从而缓解细胞膜在冷害情况下受到的损伤，保护膜的完整性；可以增加渗透调节物质的含量，促进某些防御性酶类的重新合成，进而增加植物的抗冷性；可以在分子水平上诱导抗寒基因的表达，促进冷信号的转导。

2 不同植物激素及植物生长调节剂的处理方法及其对采后蓝莓果实衰老的影响

2.1 乙烯处理

乙烯基本以气体形式对果蔬进行处理，还有一些以乙烯利的形式进行处理。姜爱丽^[23]证明乙烯处理能够加速“蓝金”蓝莓果实成熟及衰老进程。其中，与 0.1 mL/L，1 mL/L 相比，10 mL/L（高浓度）乙烯处理会加速果实的呼吸代谢速率和衰老进程。曲文颖等^[24]研究表明，200 mg/L（高浓度）乙烯处理可促进蓝莓果实可溶性糖、蛋白、黄酮、花青苷和总酚的积累，促进超氧化物歧化酶（SOD）活性升高。Saure MC 等^[25]研究表明，乙烯提高花青苷的合成通过诱导苯丙氨酸酶（PAL）活性升高而实现。

姜爱丽等^[23]试验结果同时表明，0.1 mL/L 和 1.0 mL/L（低浓度）的乙烯处理能引发蓝莓果实防御反应，提高蓝莓果实抗性相关酶（多酚氧化酶（PPO）、过氧化物酶（POD）、苯丙氨酸酶（PAL）及脂肪氧化酶（LOX））的活性，达到保鲜及延长采后贮藏期的效果。这与 Lu 等^[26]在柑橘果实上研究结果一致，Lu 等证明少量内源乙烯的产生，或施用低浓度的乙烯可以帮助果实抵抗环境中的病原胁迫，抑制由霉菌等引起的腐烂。综上所述，适当浓度的乙烯处理能够增强果实的防御反应；也可能会加速果蔬在采后的呼吸作用，加速果实内部糖类、酸类等有机成分的转化，加速果实成熟；也可能诱导乙烯的大量合成，加速果

实的衰老进程；控制果实贮藏环境中乙烯气体的含量，或者找到适合不同果蔬贮藏的最适的乙烯浓度环境，对于延长果蔬贮藏期尤为重要。

2.2 1-甲基环丙烯处理

1-甲基环丙烯（1-methylcyclopropene，1-MCP）以固体粉末形式存在，通常溶解于水，用其所产生的气体来处理果蔬。王玉玲等^[27]研究表明，在含量为 1.0 $\mu\text{L/L}$ 的 1-MCP 处理下，蓝莓果实的硬度、Vc 含量、花青苷含量比对照果实下降缓慢，果实中水分含量被有效保持。纪淑娟等^[28]研究结果与王玉玲一致，证明使用 1.0 $\mu\text{L/L}$ 浓度的 1-MCP 处理，可以显著抑制果实的呼吸强度和乙烯生成量，延缓果实营养指标含量的上升；有效减少膜脂过氧化物的产生，抑制果实腐烂，保持果实采后品质。孔硕等^[29]研究表明，1-MCP 处理显著抑制了兔眼蓝莓中 Vc 含量的降低。王友升等^[30]也证明，经 5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 处理后，蓝莓果实总酸含量、硬度下降缓慢，抑制了货架后期蓝莓果实果皮 b^* 值的变化。蔡琦玮^[31]采用多变量分析法研究了 1-MCP 和二氧化氯（ ClO_2 ）及其复配处理对蓝莓果实 6 $^{\circ}\text{C}$ 下贮藏期间品质及感官评价指标变化的影响，结果表明，1-MCP 可促进蓝莓果实可溶性固形物含量的降低。吉宁等^[32]也证明，在使用相同剂量蓄冷剂条件下，1-MCP 处理能降低蓝莓果实货架期的腐烂率和丙二醛含量，延缓硬度的下降，推迟果胶酶活性出现高峰的时间，维持 Vc、谷胱甘肽、花青苷和总酚等的含量，达到保持果实品质和营养成分含量的效果。刘虹丽等^[33]研究结果表明，气调叠加 1-MCP 处理在降低果实的呼吸强度、延缓果实衰老等方面效果显著，可最大限度地保持蓝莓果实的采后品质。曹森等^[34]实验结果表明，1-MCP 叠加乙烯吸附剂处理能够显著降低果实的腐烂率、软果率，延缓果实硬度的下降，显著抑制果蔬的呼吸强度。同时，高浓度 1-MCP 处理会影响蓝莓果实的正常生理代谢，没有采用低浓度处理的保鲜效果好。王瑞等^[35]也证明过高浓度（1.0 $\mu\text{L/L}$ ）1-MCP 处理会影响“贵长”猕猴桃的食用品质。

综上所述，在不同果实和同一果实的不同品种上，1-MCP 的作用效果和剂量的选择都不同，应进行细化研究，针对不同品种的保鲜要求，选择合理、有效的剂量。

2.3 水杨酸处理

水杨酸（salicylic acid，SA）通常以固体粉末形式存在，通常喷洒在果蔬表面，或溶解于蒸馏水后对果蔬进行浸泡处理。黄晓杰等^[36]的实验结果证明，采用 0.5 和 1.0 mmol/L 的水杨酸处理均可以抑制蓝莓果实腐烂指数的上升，保持果实的可滴定酸含量和

可溶性固形物含量,减缓果实 Vc 和丙二醛含量的下降,提高 DPPH 自由基清除率,提高果实抗氧化活性,达到减缓果实衰老、维持果实品质的目的。这与水杨酸处理可以有效抑制樱桃、芒果、桃、菠萝和竹笋等果实采后腐烂和品质下降的结论相似。

黄晓杰等^[37]以“埃利奥特”、“北陆”、“达柔”蓝莓为实验材料,实验结果证明 0.5 mmol/L 水杨酸处理能有效提高贮藏后期果实中的总花青苷含量,1.0 mmol/L 水杨酸处理抑制贮藏后期果实衰老的效果更佳。这与 Chen 等^[38]的研究结果一致,Chen 证明果实内酚类和花青苷物质的积累,由采后水杨酸通过诱导不同果实内苯丙烷代谢关键酶 PAL、肉桂酸羟化酶(C4H)、查尔酮合成酶(CHS)的活性来实现。同时姜爱丽等^[39]的实验结果表明,水杨酸处理能提高 PPO, POD, PAL 酶类的活性,加速蓝莓果实苯丙烷代谢的进程,通过提高果实木质素含量来抵御微生物的入侵,延缓果实的腐烂,延长贮藏期。刘凤民等^[40]的实验结果表明,水杨酸处理能降低 V3 和 Misty 等 2 个蓝莓品种的脯氨酸比例;能通过提高 SOD 活性、调节渗透平衡来降低胁迫对植物细胞膜结构和功能的损伤,保护蛋白质分子正常的生理功能,提高蓝莓的耐热性。

综上所述,水杨酸的作用机理多是通过次生代谢反应和提高抗性酶类活性,减缓细胞结构所受的伤害来实现的。水杨酸的价格比较低廉,作为一种廉价的化学诱抗剂在蓝莓果实上有较好的应用效果。虽然水杨酸处理能够提高果实的防御作用,但若造成木质素的过多积累也会影响果实品质。

2.4 茉莉酸甲酯处理对采后蓝莓果实的影响

茉莉酸甲酯(methylejasmonate, MeJA)通常以固体粉末形式存在,通常喷洒在果蔬表面,或者将其溶解于蒸馏水后对果蔬进行浸泡处理。冯叙桥等^[41]证明采用 MeJA 处理蓝莓果实能够促进其花青苷及酚类物质的积累,提高其果实的抗氧化能力。许晴晴等^[42]研究表明,MeJA 熏蒸处理能够保持蓝莓果实的硬度,同时激活蓝莓在贮藏过程中 PAL, POD, PPO 等抗病相关酶活性;20 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 相较于 10 $\mu\text{mol/L}$ 更利于提高果实的抗病性。这与汪开拓等^[43]在草莓上的实验结果一致,汪开拓证明 10 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 处理能够显著降低草莓果实采后的腐烂率,有效诱导果实 PAL、C4H 和二氢黄酮醇还原酶(DFR)活性的上升,促进果实中多酚类物质的合成,维持其抗氧化活性,延长果实的贮藏期,保持果实的营养价值;30 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 处理会使蓝莓果实产生药害,影响贮藏品质。

杨海燕等^[44]的研究结果也表明,在 4 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏条件下,10 $\mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 处理能显著延缓蓝莓果实硬度的降低,提高果实的抗氧化酶类 SOD 和 POD 的

活性,延长果实的贮藏期,保持果实的采后品质。于悦等^[45]的实验结果表明,采用质量分数为 1.5% 的海藻酸钠+质量分数为 0.3% 的甘油+109 CFU/mL *C. laurentii*+100 $\mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 复合涂膜液处理蓝莓果实,能够明显降低果实的腐烂指数,减缓其糖、酸和花青苷含量的下降,较好地保持果实的硬度和弹性。

在抗病性方面,黄晓杰^[46]证明 MeJA 能提高果实防御相关酶活性的能力,促进酚类、木质素的合成,提高蓝莓果实的抗病性,有效抑制果实灰霉病。

综上所述,MeJA 调控蓝莓果实采后品质的方式与水杨酸相似,均通过提高抗性、相关酶类活性和苯丙烷代谢途径基因表达来实现。同样的,过高浓度的 MeJA 会使蓝莓果实产生药害,降低果实品质。

2.5 脱落酸(ABA)处理

脱落酸通常以固体粉末形式存在,通常喷洒在果蔬表面,或者将其溶解于蒸馏水后对果蔬进行浸泡处理。宋杨等^[47]研究结果发现,在整个蓝莓发育过程中,ABA 含量先下降后上升,晚熟品种中 ABA 含量低于早熟品种。孙莹等^[48]用 600 mg/L 脱落酸处理白果期“蓝丰”果实,证明 ABA 在显著提高蓝莓果实花青苷及各种可溶性糖类含量的基础上,能促进果实软化。曲文颖等^[24]证明在蓝莓着色期喷施 50~100 mg/L 的 ABA 能促进蓝莓花青苷、可溶性糖的积累,提高 SOD 活性,提高蓝莓品质。这与赵权等^[49]在葡萄中的研究结果一致。Timothy^[50]证明,虽然 ABA 处理可以提高“星”和“温莎”等 2 个品种蓝莓的浆果硬度,延缓蓝莓成熟,但对果实总酚含量和抗氧化能力没有影响。以上结果的差异应当与 ABA 的浓度不同、ABA 施用的时期不同、果实的品种不同等方面有关。

ABA 作为与乙烯同样重要的植物激素,近年来虽被广泛研究,但在不同果实中的作用机制仍不清楚和详尽^[51],且迄今为止 ABA 仍主要靠化学合成,价格昂贵,0.1 g 达到 180 元,使其在科研及生产应用中受到限制,制约了其在农业和果蔬采后生产中的应用。在分子生物学层面上阐述 ABA 的信号转导等机理,对揭示其对果实的成熟及衰老的研究具有重要意义。

3 结语

蓝莓作为一种具有较高营养保健价值的小浆果,深得消费者的偏爱。伴随蓝莓加工业需求量扩大而来的是如何提高采后蓝莓果实的耐贮性问题,如何延长果实的贮藏期,这些成为整个蓝莓产业健康发展的重大转折性问题。综上所述,高浓度外源乙烯及脱落酸的施用会加速果实软化及衰老现象的发生,适当浓度的乙烯、1-MCP、SA、MeJA 处理可以延缓果蔬采后衰老所带来的腐败变质。延长蓝莓果实贮藏期可从以

下几方面来进行考量,今后的研究方向和重点也可以集中于以下几方面。

1) 划分蓝莓果实的不同成熟时期,确定最适的果实采收期。蓝莓果实采收期的早晚直接影响果实的品质指标,采收时期过早,果实的营养成分含量不足,果实的风味不足;采收时期过晚,则会导致果实成熟度过高,甚至加速果实的软化,导致腐烂加剧。由此可见,划分蓝莓果实的不同成熟度,明确各个成熟阶段的果实品质特性,选择最适的果实采收期,对延长蓝莓果实的贮藏保鲜期极为重要。在此期间,不同品种的蓝莓果实成熟时期不同,分为早熟、中熟和晚熟蓝莓果实,针对不同成熟期的蓝莓果实的成熟度划分和采收期的确定对减少蓝莓果实采后损失率有重要的作用,并且选对采摘时期,是研究植物激素作用的第一步。

2) 合理选择和开发各类保鲜技术。不仅外源激素处理能够延缓蓝莓果实的采后衰老进程,维持各项生理指标,很多其他蓝莓保鲜技术也被广泛使用。例如:采后间歇升温处理、程序降温处理、低温贮藏、气调保鲜、复合涂膜技术等。如何能将各保鲜技术与激素处理搭配、结合,更加广泛、高效地调节采后蓝莓果实的生理代谢,延缓衰老进程等显得尤为重要。能够在此基础上,在分子及基因层面研究蓝莓采后生理生化变化、衰老机制,从根本上解决果实的采后衰老问题,有针对性地开发新型的保鲜技术是热点,更是采后果蔬研究的重点。

3) 明确施用植物激素、复合化学诱抗剂的最佳浓度,探究调控机理。大量报道证明,施用各种各样的植物激素或植物激素抑制剂能显著延长蓝莓果实的贮藏期。某些激素的过量使用仍会加速果实的腐烂,或对果实其他营养指标带来影响,因此对于采后果蔬的贮藏,今后的研究方向和重点应集中在以下几方面:明确各种植物激素和生长调节剂对采后蓝莓果实衰老的最适调控浓度;确定同浓度的同种激素及生长调节剂在不同蓝莓品种上的作用差异;结合生理指标和分子生物学技术手段,共同探究植物激素和生长调节剂的作用机理和调控通路;针对特定通路上的关键基因施以沉默或过表达技术,转录水平调控及培育耐软化蓝莓品种。

此外,各个植物激素的单独效应已被广泛研究,但其交叉作用则研究得较少,在蓝莓果实上的作用机理也尚不明确,将各种最适浓度的植物激素复配使用,制作成复合化学诱抗剂等,在果蔬保鲜领域具有良好的应用前景,应当是蓝莓果实贮藏保鲜的一个重要研究方向。

参考文献:

[1] 顾烟,贺善安. 蓝浆果与蔓越桔[M]. 北京: 中国农

业出版社, 2001: 1—12.

GU Yin, HE Shan-an. Blueberry and Cranberry[M]. Beijing: China Agricultural Publish House, 2001: 1—12.

[2] 徐娜,夏秀英,徐大可,等. 越橘基因组 DNA 的快速提取分[J]. 果树学报, 2007, 24(5): 714—717.

XU Na, XIA Xiu-ying, XU Da-ke, et al. Rapid Extraction and Analysis of Genomic DNA from Blueberry[J]. Journal of Fruit Trees, 2007, 24(5): 714—717.

[3] 丁长奎. 果实完熟过程中的激素调控[J]. 植物生理学通讯, 1990(5): 5—9.

DING Chang-kui. Hormone Regulation during Fruit Ripening[J]. Plant Physiology Communication, 1990 (5): 5—9.

[4] MCMURCHIE E J. Ethylene Biosynthesis: Identification of 1-Aminocyclopropane, 1-Carboxylic Acid as an Intermediate in the Conversion of Methionine to Ethylene[J]. Nature Acad Sci, 1979, 76: 170—174 .

[5] JIANG A L, TIAN SP, XU Y. Effect of CA with High O₂ or High CO₂ Concentrations on Postharvest Physiology and Storability of Sweet Cherry[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(8): 925—930.

[6] WANG Y S, TIAN S P, XU Y, et al. Changes in the Activities of Pro- and Anti-oxidant Enzymes in Peach Fruit Inoculated with *Cryptococcus Laurentii* or *Penicillium Expansum* at 0 or 20 °C[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 34: 21—28.

[7] 董生忠,张可萱,赵新刚,等. 超声波结合 1-MCP 处理延缓苹果果实后熟与衰老[J]. 食品工业, 2019, 40(3): 165—167.

DONG Sheng-zhong, ZHANG Ke-xuan, ZHAO Xin-gang, et al. Ultrasonic Combining with 1-MCP to Delay the Ripening and Aging of Apple Fruit[J]. Food Industry, 2019, 40(3): 165—167.

[8] 欧志锋,王颖,李红梅,等. 1-MCP 处理对嘎啦系新品种“巴克艾”冷藏品质的影响[J]. 陕西农业科学, 2019, 65(2): 56—57.

OU Zhi-feng, WANG Ying, LI Hong-mei, et al. Effect of 1-MCP Treatment on Cold Storage Quality of a New Gala Variety "Bakeai"[J]. Shanxi Agricultural Science, 2019, 65(2): 56—57.

[9] 何近刚,冯云霄,程玉豆,等. 1-MCP、乙烯吸收剂以及 MAP 处理对“新红星”苹果冷藏和货架期品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(6): 39—43.

HE Jin-gang, FENG Yun-xiao, CHENG Yu-dou, et al. Effects of MAP, Ethylene Absorbent and 1-MCP on Cold Storage and Shelf Life of Apple[J]. Fresh-keeping and Processing, 2018, 18(6): 39—43.

[10] 谢季云,赵晓敏,汪永琴,等. 1-MCP 处理对不同期采收的阿克苏富士苹果在采后贮藏期糖代谢的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(9): 111—121.

XIE Ji-yun, ZHAO Xiao-min, WANG Yong-qin, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Glucose Metabolism in Postharvest Storage of Aksu Fuji Apple Harvested at Different Stages[J]. Modern Food Science and Tech-

- nology, 2018, 34(9): 111—121.
- [11] 韩雅萱, 颜敏华, 王学喜, 等. 1-MCP 处理对冷藏期间不同采期‘黄冠梨’衰老和品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2016, 51(6): 121—127.
HAN Ya-xuan, JIE Min-hua, WANG Xue-xi, et al. Effects of 1-MCP Treatment on Senescence and Quality of 'HuangGuanPear' at Different Harvest Stages during Cold Storage[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2016, 51(6): 121—127.
- [12] 高照阳. 1-MCP 及配合乙烯去除剂对香蕉保鲜效果的研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2015: 1—46.
GAO Xu-yang. Study on the Fresh-keeping Effect of 1-MCP and Ethylene Remover on Fragrant Coke[D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2015: 1—46.
- [13] 徐方旭. 1-MCP 结构相似物调节香蕉和草莓采后成熟和衰老的分子生理机制[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2014: 1—77.
XU Fang-xu. Molecular Physiological Mechanism of 1-MCP Structure Analogue Regulating Postharvest Ripening and Senescence of Banana and Strawberry [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2014: 1—77.
- [14] PAUL V, PANDEY R. Delaying Tomato Fruit Ripening by Using 1-Methylcyclopropene (1-MCP) for Better Postharvest Management: Current Status and Prospects in India[J]. Ind J Plant Physiol, 2013, 18(3): 195—207.
- [15] 徐芬芬, 叶利民. 水杨酸用于水果采后保鲜的机制研究进展[J]. 湖南农业科学, 2010(5): 105—107.
XU Fen-fen, YE Li-min. Research Progress on Mechanism of Salicylic Acid used in Postharvest Fruit Preservation[J]. Human Agricultural Science, 2010(5): 105—107.
- [16] 蒋科技, 皮妍, 侯嵘, 等. 植物内源茉莉酸类物质的生物合成途径及其生物学意义. 植物学报, 2010, 45(2): 137—148.
JIANG Ke-ji, PI Yan, HOU Rong, et al. Biosynthesis of Endogenous Jasmonic Acids[J]. Plants and Biological, 2010, 45(2): 137—148.
- [17] 张红宇, 尹京苑, 万嗣宝. 水杨酸和茉莉酸甲酯处理对水蜜桃低温贮藏冷害的影响[J]. 食品工业, 2012, 33(10): 88—91.
ZHANG Hong-yu, YIN Jing-yuan, WAN Si-bao. Effects of Salicylic Acid and Methyl Jasmonate Treatment on Cold Injury of Peach during Low Temperature Storage[J]. Food Industry, 2012, 33(10): 88—91.
- [18] 汪开拓, 郑永华, 唐文才, 等. 茉莉酸甲酯处理对采后葡萄果实酚酸合成和抗氧化活性的影响及其机理研究[J]. 食品科学, 2013, 34(6): 260—265.
WANG Kai-tuo, ZHENG Yong-hua, TANG Wen-cai, et al. Effect of Methyl Jasmonate on Synthesis and Antioxidant Activity of Postharvest Fruit Phenolic Acid and its Mechanism[J]. Food Science, 2013, 34(6): 260—265.
- [19] 谭红, 周金燕. 脱落酸研究与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 1—9.
TAN Hong, ZHOU Jin-yan. Research and Application of Abscisic Acid[M]. Beijing: Science Publish House, 2013: 1—9.
- [20] ZAHARAH S S, SINGH Z, SYMONS G M, et al. Mode of Action of Abscisic Acid in Triggering Ethylene Biosynthesis and Softening during Ripening in Mango Fruit[J]. Postharvest Biology & Technology, 2013, 75(2): 37—44.
- [21] CHIEN Y W. Effect of Abscisic Acid on Chilling Injury of Zucchini Squash[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 1991, 10(1/4): 101—105.
- [22] MARKNART A H. Amelioration of Chilling Induced Water Stress by Abscisic Acid Induced in Root Hydraulic Conductance[J]. Plant Physiology, 1984, 74: 81—83.
- [23] 姜爱丽, 孟宪军, 胡文忠, 等. 外源乙烯处理对采后蓝莓感官性状和呼吸代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(9): 375—378.
JIANG Ai-li, MENG Xian-jun, HU Wen-zhong, et al. Effects of Exogenous Ethylene Treatment on Sensory Properties and Respiratory Metabolism of Postharvest Blueberry[J]. Food Industry Science and Technology, 2011, 32(9): 375—378.
- [24] 曲文颖, 刘真真, 谢琳森, 等. 外源脱落酸和乙烯利对蓝莓重要品质的调控[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(17): 126—129.
QU Wen-ying, LIU Zhen-zhen, XIE Lin-miao, et al. Regulation of Exogenous Abscisic Acid and Ethephon on Important Quality of Blueberry[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2017, 45(17): 126—129.
- [25] SAURE M C. External Control of Anthocyanin Formation in Apple[J]. Scientia Horticulturae, 1990, 42(3): 181—218.
- [26] LU L F, LU HP, WU C Q, et al. Rhodosporidium Paludigenum Induces Resistance and Defense-Related Responses against Penicillium Digitatum in Citrus Fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 85: 196—202.
- [27] 王玉玲, 高继鑫, 张新富, 等. 1-MCP 处理对蓝莓冷藏保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(10): 132—136.
WANG Yu-ling, GAO Ji-xin, ZHANG Xin-fu, et al. Effect of 1-MCP Treatment on Fresh-keeping Effect of Blueberry in Cold Storage[J]. Food Research and Development, 2015, 36(10): 132—136.
- [28] 纪淑娟, 周倩, 马超, 等. 1-MCP 处理对蓝莓常温货架品质变化的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 322—327.
JI Shu-juan, ZHOU Qian, MA Chao, et al. Effect of 1-MCP Treatment on Shelf Quality of Blueberry at Room temperature[J]. Food Science, 2014, 35(2): 322—327.

- [29] 孔硕, 刘娥, 郭军. 1-甲基环丙烯在“兔眼”蓝莓果实贮藏保鲜上的应用效[J]. 北方果树, 2013(1): 7—8.
KONG Shuo, LIU E, GUO Jun. Effect of 1-MCP on Storage and Preservation of "Rabbit's Eye" Blueberry Fruit[J]. Northern Fruits, 2013(1): 7—8.
- [30] 王友升, 蔡琦玮, 安琳, 等. 1-甲基环丙烯对蓝莓果实品质与活性氧代谢影响的多变量解[J]. 食品科学, 2013, 14(3): 340—345.
WANG You-sheng, CAI Qi-wei, AN Lin, et al. Multivariate Solutions of the Effects of 1-MCP on Fruit Quality and Active Oxygen Metabolism in Blueberry[J]. Food Science, 2013, 14(3): 340—345.
- [31] 蔡琦玮, 安琳, 何欣萌, 等. 两种气体熏蒸处理对蓝莓果实采后品质影响的多变量分析[J]. 中国食品学报, 2015, 15(7): 94—102.
CAI Qi-wei, AN Lin, HE Xin-meng, et al. Multivariate Analysis of the Effects of Two Kinds of Gas Fumigation on Postharvest Quality of Blueberry Fruit[J]. Chinese Journal of Food, 2015, 15(7): 94—102.
- [32] 吉宁, 王瑞, 曹森, 等. “1-甲基环丙烯+蓄冷剂+保温包装”模拟运输蓝莓鲜果研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(8): 311—315.
JI Ning, WANG Rui, CAO Sen, et al. Study on Simulated Transportation of Blueberry Fresh Fruit by 1-MCP Heat Preservation Packaging[J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38 (8): 311—315.
- [33] 刘虹丽, 张鹏, 李春媛, 等. 贮运微环境气调对蓝莓货架品质及香气成分的影响[J]. 保鲜与加工, 2017, 17(2): 38—46.
LIU Hong-li, ZHANG Peng, LI Chun-yuan, et al. Effect of Storage and Transportation Microclimate Adjustment on Shelf Quality and Aroma Components of Blueberries[J]. Fresh-keeping and Processing, 2017, 17 (2): 38—46.
- [34] 曹森, 马超, 龙晓波, 等. 1-MCP 结合乙烯吸附剂对蓝莓贮藏品质及生理的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(19): 265—271.
CAO Sen, MA Chao, LONG Xiao-bo, et al. Effects of 1-MCP Combined with Ethylene Adsorbent on Storage Quality and Physiology of Blueberry[J]. Food Industry Science and Technology, 2017, 38 (19): 265—271.
- [35] 王瑞, 曹森, 谢国芳, 等. 基于主成分分析的出库猕猴桃最佳 1-MCP 使用浓度研究[J]. 保鲜与加工, 2016(4): 6—13.
WANG Rui, CAO Sen, XIE Guo-fang, et al. Study on Optimal 1-MCP Concentration of Kiwifruit based on Principal Component Analysis[J]. Fresh-keeping and Processing, 2016(4): 6—13.
- [36] 黄晓杰, 冯叙桥, 张佰清. 水杨酸处理对采后蓝莓果实贮藏品质及抗氧化能力的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(7): 238—243.
HUANG Xiao-jie, FENG Xu-qiao, ZHANG Bai-qing. Effects of Salicylic Acid Treatment on Storage Quality and Antioxidant Capacity of Postharvest Blueberry Fruit[J]. Food and Fermentation Industry, 2015, 41(7): 238—243.
- [37] 黄晓杰. 采后处理对蓝莓果实衰老的作用及机理研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016: 1—90.
HUANG Xiao-jie. Effect and Mechanism of Postharvest Treatment on Senescence of Blueberry Fruit[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016: 1—90.
- [38] CHEN J Y, WEN P F, KONG W F, et al. Effect of Salicylic Acid on Phenylpropanoids and Phenylalanine Ammonia-lyase in Harvested Grape Berries[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 40(1): 64—72.
- [39] 姜爱丽, 胡文忠, 孟宪军, 等. 外源水杨酸处理对采后蓝莓果实苯丙烷代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(6): 334—337.
JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, MENG Xian-jun, et al. Effect of Exogenous Salicylic Acid Treatment on Phenylalanine Metabolism in Postharvest Blueberry Fruit[J]. Food Industry Science and Technology, 2013, 34 (6): 334—337.
- [40] 刘凤民, 贾慧颖, 文了, 等. 外源水杨酸处理对高温胁迫下蓝莓耐热性的影响[J]. 仲恺农业工程学院学报, 2017, 30(1): 8—12.
LIU Feng-min, JIA Hui-ying, WEN Liao, et al. Effect of Exogenous Salicylic Acid Treatment on Heat Tolerance of Blueberries under High Temperature Stress[J]. Journal of Zhongkai College of Agricultural Engineering, 2017, 30 (1): 8—12.
- [41] 冯叙桥, 黄晓杰, 赵宏侠. MeJA(茉莉酸甲酯)处理对采后蓝莓品质和抗氧化能力的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(22): 330—335.
FENG Xu-qiao, HUANG Xiao-jie, ZHAO Hong-xia. Effects of MeJA (Methyl Jasmonate) Treatment on the Quality and Antioxidant Capacity of Postharvest Blueberries[J]. Food Industry Science and Technology, 2014, 35(22): 330—335.
- [42] 许晴晴, 郜海燕, 陈杭君. 茉莉酸甲酯对蓝莓贮藏品质及抗病相关酶活性的影响[J]. 核农学报, 2014, 28(7): 1226—1231.
XU Qing-qing, GAO Hai-yan, CHEN Hang-jun. Effect of Methyl Jasmonate on Storage Quality and Activity of Resistance-related Enzymes in Blueberries[J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2014, 28(7): 1226—1231.
- [43] 汪开拓, 郑永华, 唐双双, 等. 茉莉酸甲酯对草莓果实采后腐烂、苯丙烷类代谢及抗氧化活性的影响[J]. 食品科技, 2011, 36(8): 40—46.
WANG Kai-tuo, ZHENG Yong-hua, TANG Shuang-shuang, et al. Effects of Methyl Jasmonate on Postharvest Decay, Phenylpropanoid Metabolism and Antioxidant Activity of Strawberry Fruit[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(8): 40—46.
- [44] 杨海燕, 吴文龙, 李维林, 等. 茉莉酸甲酯调控下采后蓝莓果实的生理响应研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4483—4488.
YANG Hai-yan, WU Wen-long, LI Wei-lin, et al.

- Physiological Response of Postharvest Blueberry Fruit Regulated by Methyl Jasmonate[J]. *Journal of Food Safety and Quality Inspection*, 2015, 6(11): 4483—4488.
- [45] 于悦, 徐莹, 汪东风, 等. 含茉莉酸甲酯的生物活性膜对蓝莓采后保鲜效果的研究[J]. *保鲜与加工*, 2016, 16(1): 16—20.
YU Yue, XU Ying, WANG Dong-feng, et al. Effect of Bioactive Membrane containing Methyl Jasmonate on Postharvest Preservation of Blueberry[J]. *Fresh-keeping and Processing*, 2016, 16(1): 16—20.
- [46] 黄晓杰, 李婧, 柴媛, 等. MeJA 处理对蓝莓果实采后灰霉病的影响及机理[J]. *食品科学*, 2016, 37(22): 307—312.
HUANG Xiao-jie, LI Jing, CHAI Yuan, et al. Effect of MeJA Treatment on Postharvest Gray Mildew of Blueberry Fruit and its Mechanism[J]. *Food Science*, 2016, 37(22): 307—312.
- [47] 宋杨, 窦连登, 张红军. 蓝莓不同品种花芽形成过程中内源激素的变化[J]. *中国南方果树*, 2014, 43(5): 106—108.
SONG Yang, DOU Lian-deng, ZHANG Hong-jun. Changes of Endogenous Hormones during Flower Bud Formation in Different Blueberry Varieties[J]. *Fruit Trees of Southern China*, 2014, 43(5): 106—108.
- [48] 孙莹, 侯智霞, 苏淑钗, 等. ABA、GA₃和NAA对蓝莓生长发育和花青苷积累的影响[J]. *华南农业大学学报*, 2013, 34(1): 6—11.
SUN Ying, HOU Zhi-xia, SU Shu-chai, et al. Effects of ABA, GA₃ and NAA on Growth and Anthocyanin Accumulation in Blueberries[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2013, 34(1): 6—11.
- [49] 赵权, 王军. ABA和6-BA对山葡萄果实着色及相关品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2010(2): 189—190.
ZHAO Quan, WANG Jun. Effects of ABA and 6-BA on fruit Coloring and related Quality of Grape[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2010(2): 180—190.
- [50] TLMOTHY J B, AMANDEEP K S, ALBERTO M A, et al. Effects of Exogenous Abscisic Acid on Fruit Quality, Antioxidant Capacities and Phytochemical Contents of Southern High Bush Blueberries. *Food chemistry*. 2012, 132(3): 1375—1381.
- [51] 党娅. 冬枣贮期脱落酸形成机理与控制技术研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2005: 1—37.
DANG Ya. Study on Formation Mechanism and Control Technology of Abscisic Acid in Storage Period of Winter Jujube[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2005: 1—37.