

外源植物激素对园艺产品品质形成的调控作用

黄铭慧¹, 冯舒涵¹, 罗姗姗², 李 雯¹

(1. 海南大学 园艺园林学院, 海南 海口 570228; 2. 海南大学 食品学院, 海南 海口 570228)

摘 要:果实品质因素包括果实大小、形状、色泽、糖分、有机酸等多方面, 合理使用植物激素可对果实的生长发育及品质形成起到积极的调控作用。现从采前与采后 2 个方面综述了外源植物激素对果实品质形成的调控作用, 并提出了激素应用存在的问题及对今后的研究方向进行了展望。

关键词:植物激素; 果实; 品质形成; 调控

中图分类号:S 482.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)12-0178-05

果实品质是决定果实商品性状的重要因素之一, 植物激素对果实的生长、发育及品质形成起着重要的调节作用。随着我国现代果蔬产业的发展, 植物激素已被越来越广泛的应用于增加产量、改进品质、调节产期等诸方面。该研究从采前及采后 2 个方面对外源植物激素, 包括生长素(IAA)、赤霉素(GA)、细胞分裂素(CTK)、脱落酸(ABA)、乙烯(ETH)、茉莉酸(JA)、水杨酸(SA)和多胺(PA)等在园艺产品品质形成中的调控作用进行了论述。

1 采前外源植物激素对果实品质形成的调控

1.1 对果实外观品质的影响

1.1.1 果实的膨大与果形 果实的生长发育过程可分为细胞分裂和细胞膨大 2 个阶段, 幼果前期主要以细胞分裂为主, 它是影响果实膨大、果实大小及果形指数的基础。影响果实细胞分裂与膨大的因素很多, 除生态条件、营养物质外, 植物激素起着重要的作用^[1]。外施用生长素, 如 IAA、CTK、GA 等对果实细胞分裂和膨大具有显著地促进作用, 目前已被广泛应用于农业生产, 特别是果树生产中^[2-3]。植物激素对果实膨大与果形的影响表现在多个方面。第一, 通过促进细胞分裂来加速生长。如葡萄果实幼果期使用 25 mg/L 的 6-苄基腺嘌呤(6-BA)可明显促进果实膨大^[4]; 花前使用 GA₃ 处理花

序, 可显著促进果粒的早期生长, 增加纵径而提高果形指数^[5-6]。在葡萄果实上施用一定浓度的 CPPU 和 GA₃ 后细胞分裂加快, 表现在细胞质量、体积和细胞数目的增多^[7]。但 Bais 等^[8]的研究发现, 低浓度的 PA 虽然可抑制细胞分裂, 但对果实膨大无显著影响。激素对细胞分裂与果实膨大的促进作用与之调控营养物质运输、促进植物新陈代谢有重要关系^[9]。第二, 通过影响其它激素水平或相关酶的活性而发生作用。Taylor 等^[10]对猕猴桃的研究发现, 小型果不仅 ABA 含量高, 而且 ABA 酶活性也高, 而 IAA 含量和 IAA 酶活性较低。Amasia 等^[11]研究了 ABA、氨基乙氧基乙烯基甘氨酸(AVG)、萘乙酸(NAA)等植物激素对“Golden Delicious”苹果生长的影响, 结果表明, 成熟期以及乙烯跃变期施用 ABA、AVG、NAA 可影响果实 IAA 氧化酶活性; AVG 可抑制乙烯产量, NAA 可延迟乙烯高峰, 而 ABA 可导致大量落果, 乙烯水平下降或轻微上升。每种激素都可降低过氧化物酶(POD)活性, 而 JA 可提高 IAA 氧化酶活性和多聚半乳糖醛酸(PPO)活性。Kondo 等^[12]在甜樱桃上的研究表明, 外源 ABA 处理可促进内源 ABA 含量增加, 但 JA 含量不增加, 说明 ABA 不影响内源 JA 的代谢, 但外源 JA 处理 7 d 后使内源 ABA 含量增加, JA 浓度可以影响到 ABA 水平。这些研究表明外源激素处理可以影响内源激素的产生及酶活性的高低, 激素间存在复杂的相互作用。第三, 激素施用可以通过促进 DNA 合成, 或其它相关基因连成网络, 共同调控果实的生长。如 6-BA, 可通过提高 ABA 水平来调控果实中一些生长发育功能基因的表达, 对细胞的分裂与分生组织活动产生刺激作用^[12-13]。将 JA 应用于梨果实后, 果实的生长发育受到了抑制, 并发现 JA 相关基因(AOS1, JAZs)的表达、果肉中转录组(CYCD3、RD22、SP、Aux/

第一作者简介:黄铭慧(1990-), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬采后生理及贮藏技术。E-mail:1083281300@qq.com.

责任作者:李雯(1967-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 现主要从事园艺产品贮藏保鲜等研究工作。E-mail:liwen9-210@163.com.

基金项目:海南省重大科技专项资助项目(ZDXM-2013011); 农业部热作农技推广与体系建设资助项目(14RZNJ)。

收稿日期:2015-01-22

IAA)水平、种子中 *PRP*、*SSADH*、*PRU*、*LEA* 的水平、乙烯合成基因(*ACO1*、*ACS1*)、果实软化基因 *PG*、*EXP2* 等都被 JA 大大抑制。最新的研究发现,JA 与其它基因联成网络,如乙烯信号因子 *ETR1*、*ETR2*;其它激素相关基因,如 *GH3*、*IAA-AH*、*NCED*、*GA2ox* 等也都受到了影响^[14-15]。第四,不同种类的植物激素对果实膨大与果形影响的生理效应不同。如氯吡苯脲(CPPU)直接促进了细胞分裂和膨大,可直接诱导单性结实果实生长,它的效应比 NAA、GA 效果显著^[16]。不同植物激素种类对果形指数(细胞膨大)的影响不同:对于日本梨果实,GA₄ 和 GA₇ 对果形指数的促进作用最显著,其次是 GA₃、GA₁ 的效应最小^[17]。国内外的研究表明,植物激素对果实膨大的促进作用也可能是间接的,是由于起到了化学疏果的作用,调整了合适的叶果比例,从而促进了果实膨大^[18-19]。Reig 等^[20]研究指出,植物激素可通过调整源库关系而影响生长,高 IAA 和低浓度的玉米素(ZT)可提高果实库活性,即高浓度 IAA/ZT 比值与高萌芽率呈正相关。说明不同激素种类的生理效应不同,同一植物激素在不同植物种类上的效应也有差异。第五,同一植物激素的不同施用时期对果实的生长和产量的影响不同。Aliyu 等^[21]在腰果上的研究发现,对于 IAA、IBA、NAA、2,4-D(2,4-二氯苯氧乙酸)、GA 等几种激素,开花期叶施 GA 的效果最好,50~100 mg/L 的 GA 可以使花量提高 5 倍,保果率提高 69%,果实大小提高 25%,说明 GA 对时间和浓度变化适应范围较宽。

1.1.2 果实的着色 色泽也是果实品质的重要指标,果实着色是花青苷含量增加和叶绿素含量降低的共同结果,不仅受光、温度等外界环境因素的影响,受体内及外源激素的影响也很大^[22-23]。大量的研究表明,使用植物生长调节剂对果实着色起到一定的调控作用。植物生长调节剂对果实着色的影响表现在 2 个方面。第一,对果实着色的促进作用。外源激素施用对果实着色的促进作用主要表现在 2 个方面。一是在果实发育早期施用外源激素,如 GA、CTK,可调节其发育后期内源 ABA、IAA 水平,从而调控着色。无核葡萄花前用 GA₃ 处理,“京亚”和“夕阳红”葡萄用烯效唑(PP₃₃₃)处理,“玫瑰香”葡萄果实用 ABA 涂抹,都有利于提高着色指数和花色苷含量,促进果实着色^[24]。茉莉酸甲酯(MeJA)采前处理苹果,可促进果实着色。JA 不会影响甜樱桃果实花色素的合成,而 MeJA 可以促进郁金香、苹果的花色素的合成^[25]。二是在果实发育早期施用外源激素,如 GA、6-BA 等,可起到一定的疏果作用,在一定程度上改善光照条件,可促进果实着色^[26-27]。三是糖作为花色素苷合成的原料,其代谢和积累受 IAA、ABA、GA、CTK 的调控,施用外源激素可以增强苯丙氨酸解氨酶(PAL)的

活性以及细胞膜的透性,促进糖向细胞内运转,对花色苷的合成和积累起到直接的促进效应^[28-29]。第二,对果实着色的抑制作用。外源激素施用对果实着色的抑制作用与施用外源激素的时期有重要关系。果实发育后期施用外源 GA 和 CTK,可调节果实内源 CTK、GA 水平,抑制果实中叶绿素降解,对花色素苷合成起到延迟作用。如采前 3 个月喷施 10 mg/L 的 GA₃ 可明显抑制葡萄柚果实的着色过程^[30]。植物激素积极参与果实色泽形成,GA₃、CTK 抑制叶绿体向有色体转换,而乙烯、ABA 则促进叶绿体向有色体转换^[31]。另外,外源激素对果实着色的抑制作用与施用的浓度有重要关系。在红贵妃芒果树上的研究发现,当 GA 处理浓度高于某一浓度时,就会影响或抑制果皮着色(文章待发)。激素与果实色泽发育的关系还需要做更深入的研究。

1.2 外源激素施用对果实内在品质的影响

采前喷施一定浓度外源激素能在一定程度上提高果实的品质,包括果实硬度、糖酸含量等,延缓果实的成熟衰老进程。大量的研究表明,外源植物激素在果实糖的运输、代谢与积累调控中起着重要的作用^[32]。外源 GA、IAA 类激素物质、ABA 及 CTK 可在一定程度上或在不同发育阶段促进肉质果实的糖分积累^[33-35]。

外源激素对果实糖分的积累与果实发育阶段有重要关系。夏国海等^[36]对葡萄的研究表明,GA 和 IAA 促进幼果期和膨大期果实对蔗糖的吸收,而在后期(转色期)作用愈来愈小;而 ETH、ABA 主要在果实的转色期和发育后期对蔗糖吸收有促进作用^[37-38]。

水杨酸(SA)是一种新发现的植物激素,目前已成为国内外研究的热点。采前一定浓度外源 SA 处理能在一定程度上维持果实的贮藏品质,包括果实硬度、糖酸含量等,延缓果实的后熟衰老进程,这在大小久保桃^[39]、芒果^[40]、树莓^[41]、哈密瓜^[42]、鸭梨^[43]等果实上都有报道。毫无疑问,外源激素对果实糖分积累的影响主要是通过影响果实的内源激素水平,调控果实的蔗糖输入和代谢来实现的。

果实中有机酸也是决定果实风味品质的重要因素之一。植物生长调节剂能在一定程度上降低果实的总酸含量。葡萄果实发育早期施用 5 mg/L 的 GA₃,能促进果实发育后期酸度的迅速下降^[44],在果实转熟期使用乙烯利也能加快并降低果实含酸量^[45]。NAA 可抑制有机酸降解,ABA 则促进有机酸降解。外源激素对有机酸的影响可能与外源激素促进了果实中有机酸作为呼吸基质,被氧化分解转化为糖,促进了有机酸的分解有关^[46]。

2 采后外源植物激素对果实品质的调控

2.1 对果实成熟衰老的抑制作用

2.1.1 对果实贮藏品质的影响 Ludford^[47]曾比较全面的论述了植物激素在采后园艺产品中的变化。目前,在园艺产品保鲜领域,GA 是研究的最为广泛的植物激素之一。国内外大量研究表明,一定浓度的 GA 处理可以抑制产品的呼吸速率、抑制乙烯释放量、抑制果实软化、抑制色素变化,使果实保持较高硬度、可溶性固形物和可滴定酸含量,改善果实质地及品质,这在鸭梨^[48]、胡萝卜^[49]、柑橘^[50]上都有报道。GA 结合其它保鲜技术,比如涂膜处理能起到更好的保鲜效果,如杨桃果实,用 0.3% 的壳聚糖结合 1% 的 GA 处理,无论是外观品质还是内在品质,保鲜效果远好于单一技术处理^[51]。辣椒果实,用 0.1% 肉桂提取物和 5% GA 处理,可大大抑制采后真菌病害的发生^[52]。SA 对于采后园艺产品的影响也有不少报道。对黄花梨^[53]、香蕉^[54-55]果实进行外源 SA 处理,可增强果实 SOD、POD 活性,降低 PPO 活性、MDA 含量和相对电导率;香蕉果实经 SA 处理后降低了 CAT、PAL、Cx 活性,减缓淀粉降解及向可溶性糖转化,明显保持果实硬度,延缓果实软化。采前喷洒 2.5 mM 的 SA 可防止采后梨病害的发生,SA 可以当做一项措施来减少化学杀菌剂的应用^[56]。总之,水杨酸对采后果实的生理活性、物化品质以及采后病害、生理失调等都具有显著地调节作用^[57]。多胺(PA)是另一种新发现的植物激素,外源多胺不仅影响植物花和果实的发育^[58],而且对采后园艺产品的成熟有重要的调节作用,如随着辣椒果实的成熟,多胺含量明显下降,这有利于控制辣椒的后熟进程^[59]。

2.1.2 对果实休眠的影响 休眠是许多果蔬具有的生理特性。对于具有休眠特性的园艺产品来说,设法控制产品的发芽、延长休眠是贮运保鲜的核心。研究表明,GA 具有显著地抑制土豆发芽、延缓园艺产品休眠期和延长干贮种子休眠期的作用^[60-61]。ABA 与果蔬产品的休眠也有重要关系,外源 ABA 处理对休眠的影响是通过影响内源 ABA 含量、ABA 合成基因水平来实现的^[62]。

2.2 对果实成熟衰老的促进作用

乙烯是研究和应用最为广泛的促进成熟和衰老的植物激素。外源乙烯(乙烯利)的使用已被广泛应用于具有后熟现象的园艺产品上^[63-64]。但是,外源乙烯对果实采后品质的调控作用与诸多因素有关,如采收成熟度、后熟条件,包括温度、相对湿度、密闭状况、其它化学物质的应用,如 1-甲基环丙烯(1-MCP)等^[65-66]。ABA 也具有促进果实成熟的作用,外源 ABA 可启动果实成熟,

是通过调节成熟相关的代谢途径来实现的,如促进花青素积累,刺激乙烯释放^[67]。草莓果实的成熟与其 2,4-D 含量的下降有关^[68]。一定浓度的生长素(2,4-D)、NAA、IAA 都可刺激马铃薯圆片的乙烯释放量,加速衰老^[69]。

3 展望

目前,外源植物激素已被广泛应用于园艺植物栽培、组织培养、贮运保鲜等各个方面,在提高产量、改善品质方面发挥了积极的作用。在植物激素的理论研究上,虽然某些激素的研究已经深入到信号转导水平。但是,有关植物激素的作用机理,特别是分子作用机制还不明确;某一激素与其它激素的协同及交互作用还尚不明^[70-71]。在植物激素对果实品质的调控作用方面,仍有许多问题需要探讨,如高浓度 GA 导致某些果实无法正常转色的原因、机理,激素与色泽形成之间的内在关系如何等,2,4-D 虽然具有明显的保鲜作用,但它所带来的农药残留和环境危害又该如何对待^[72-73],这些问题都还有待更深入细致的研究。相信随着对植物激素研究的不断深入,它将会越来越多的被广泛应用于农业生产。

参考文献

- [1] 黄卫东,原永兵,彭宜本,等. 温带果树结实生理[M]. 北京:农业出版社,1994.
- [2] Pan T F, Li Y Y, Qiu D L. Advances in molecular mechanism of the formation of fruit quality[J]. Subtropical Plant Science, 2006, 35(1): 81-84.
- [3] Vardhini B V, Anuradha S, Rao S S R. Brassinosteroids-new class of plant hormones with potential to improve crop productivity[J]. Indian Journal Plant Physiology, 2006, 11: 1-12.
- [4] 张平,黄卫东. 6-BA 在植物体内的生理作用及其在果树生产中的应用[M]. 北京:中国青年农业科学学术年报, 1999: 852-859.
- [5] Wang Y J, Yang X P, Qu Q X, et al. Study on the effect of GA treatment before flower on the growth and development of seedless grape [J]. Advances in Horticulture, 2002(2): 17-321.
- [6] Tao J M, Zhang Z, Han C G, et al. Effects of GA₃ and GA₄₊₇ and CPPU on fruit development of 'Kyoho' grape [J]. Changjiang Fruit Tree, 2003(4): 8-11.
- [7] Ha J M, Zhang S L, Chen D M, et al. Study on the effect of CPPU, GA₃ treatment on biological and physiological characters of Fujiminori grape[J]. Chinese Agricultural Science, 1998, 31(1): 92-94.
- [8] Bais H P, Rawishankar G A. Role of polyamines in the ontogeny of plants and their biotechnological applications[J]. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 2002, 69: 1-34.
- [9] Maldiney R, Pelese F, Pilate G, et al. Endogenous levels of abscisic acid, indole-3-acetic acid, zeatin and zeatin-riboside during the course of adventitious root formation in cuttings of Craigella and Craigella lateral suppressor tomatoes [J]. Physiologia Plantarum, 1968, 68(3): 426-430.
- [10] Taylor N, Cowan K. Plant hormone homeostasis and the control of avocado fruit size[J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 2001, 35: 247-255.
- [11] Amasia A, Ventura M, Gemma H, et al. Effect of some plant growth regulator treatments on apple fruit ripening[J]. Journal of Plant Growth and

Regulation, 1998, 25: 127-134.

[12] Kondo S, Michiyama H, Kim M. Roles of jasmonic acid in the development of sweet cherries as measured from fruit or disc samples[J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 2002, 37: 37-44.

[13] Cakir B, Agasse A, Gaillard C, et al. A grape ASR protein involved in sugar and abscisic acid signaling [J]. Plant Cell, 2003, 15: 2165-2180.

[14] Zhu Y M, Zheng P, Varanasi V, et al. Multiple plant hormones and cell wall metabolism regulate apple fruit maturation patterns and texture attributes [J]. Tree Genetics & Genomes, 2012, 8: 1389-1406.

[15] Ruiz K B, Trainotti L, Bongh C, et al. Early methyl jasmonate application to peach delays fruit seed development by altering the expression of multiple hormone-related genes[J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 2013, 32: 852-864.

[16] Yu J Q, Li Y, Ya Q R, et al. Cell division and cell enlargement in fruit of *Lagenaria leucantha* as influenced by pollination and plant growth substances [J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 2001, 33: 117-122.

[17] Zhang C X, Lee U Y, Tanabe K J. Hormonal regulation of fruit set, parthenogenesis induction and fruit expansion in Japanese pear[J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 2008, 55: 231-240.

[18] Bangerth F. Abscission and thinning of young fruit and their regulation by plant hormones and bioregulators[J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 2000, 31: 43-59.

[19] Bubant. The use of benzyladenine in orchard fruit growing: a mini review [J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 2000, 32: 381-390.

[20] Reig C, Farina V, Mesejo C, et al. Fruit regulates bud sprouting and vegetative growth. In field-grown loquat trees (*Eriobotrya japonica* Lindl.), nutritional and hormonal changes [J]. Journal of Plant Growth and Regulation, DOI10.1007/s00344-013-9364-2.

[21] Aliyu O M, Adeigbe O O, Awopetu J A. Foliar application of the exogenous plant hormones at preblossoming stage improves flowering and fruiting in Cashew (*Anacardium occidentale* L.) [J]. Journal of Crop Science and Biotechnology, 2011, 14(2): 143-150.

[22] Li Y P, Hao J J, Fu S J, et al. Changes and the relationship of pigment during grape berry ripening [J]. Journal of Jiamusi University, 2004, 22(3): 395-397.

[23] Zhang X Y, Zhang S L, Luo J, et al. Progress of study on synthesis of anthocyanin in flowers [J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(5): 456-460.

[24] 王延书. 葡萄果实着色前后 ABA 代谢合成关键酶的基因表达分析 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.

[25] Chen J W, Xie M, Qing Q P. The connection between sugar signal and hormone signal in plants [J]. Plant Physiology Communications, 2005, 41(3): 279-285.

[26] 李宗霆, 周燮. 植物激素及其免疫检测技术 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 25-29.

[27] 邵莉楣, 郝迺斌. 植物激素 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1986: 5-10.

[28] Yin J H, Gao F F, Hu G B, et al. Regulation of ABA and ethylene on litchi fruit maturation and coloring [J]. Journal of Horticulture, 2001, 28(1): 65-67.

[29] Holton T A, Cornish E C. Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis [J]. The Plant Cell, 1995, 7(7): 1071-1083.

[30] Mitcham E J, McDonald R E. Changes in grapefruit flavedo cell wall Noncellulosic neutral sugar composition [J]. Photochemistry, 1993, 34: 1235-1239.

[31] Lu Y M, Zhang D P. Accumulation of sugars in developing fruits [J].

Plant Physiology Communication, 2000, 36(3): 258-265.

[32] Blunden G, Jones E M. Increases in chlorophyll retention times of limes after post-harvest immersion in N_6 -benzyladenine and gibberellic acid [M]. Trop Agric (Trinidad), 1979.

[33] Dang Y P. Effects of gibberellin on development of Xinong early peach fruit [J]. Journal of Yanan University, 2002, 21(4): 65-66.

[34] 管仲新. 红地球葡萄浆果生长发育和品质形成规律的研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2012.

[35] Huang W D, Zhang P, Li W Q. Effect of 6-BA on carbon, nitrogen assimilate transport of grape fruit growth [J]. Journal of Horticulture, 2002, 29(4): 303-306.

[36] 夏国海, 张大鹏, 贾文锁. IAA, GA 和 ABA 对葡萄果实 14C 蔗糖输入与代谢的调控 [J]. 园艺学报, 2000, 27(1): 6-10.

[37] Ikeda F, Ishikawa K, Yazawa S, et al. Induction of compact clusters with large seedless berries in the grape cultivar 'Fujiminori' by the use of streptomycin, gibberellins and CPPU [J]. Acta Horticulturae, 2004, 640: 361-368.

[38] 邓佳. 采前采后处理对葡萄果实贮藏品质的影响 [D]. 北京: 北京林业大学, 2013.

[39] Han T, Li L P, Ge X. Effects of exogenous salicylic acid on postharvest physiology of peach fruit [J]. Journal of Horticulture, 2000, 27(5): 367-368.

[40] Zen K F, Jiang W B. Effects of salicylic acid spraying on postharvest quality and disease during mango growing [J]. Journal of Horticulture, 2008, 35(3): 427-432.

[41] Zhang F, Wang Y S, Liu X Y, et al. Effects of pre harvest salicylic acid treatment on storage and antioxidant capacity of virus fruit tree [J]. Food Science, 2010, 31(10): 308-312.

[42] Mohammadreza A, Morteza S A. Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops [J]. Trends in Food Science and Technology, 2010, 21(10): 502-509.

[43] Wang J, Liu F C, Li X, et al. Effect of different concentration of salicylic acid treatment on postharvest browning of yali pear fruit during storage [J]. North Horticulture, 2012, 16: 151-154.

[44] Zabadal T J, Dittmer T W. Gibberellic acid sprays increase berry size and reduce shot berry of 'Vanessa' grapevines [J]. Journal of American Pomological Society, 2000, 54(3): 1527-1541.

[45] Guo S H, Liu Y J, Cui Z X. Effects of ethephon on maturity and physiological indexes of kyoho grape [J]. Hebei Fruits, 2002(6): 13-14.

[46] Chen Y X, Liu X H, Chen L S. Progress in research on organic acid metabolism in fruits [J]. Journal of Fruits, 2005, 22(5): 526-531.

[47] Ludford P M. Postharvest hormone changes in vegetables and fruit [M]. Plant Hormones and their Role in Plant Growth and Development, 1987: 574-592.

[48] Cao J K, Li Q P, Jiang W B, et al. Effect of gibberellin treatment on storage quality and ethylene metabolism of pear fruit [J]. China Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(1): 81-84.

[49] McKee J M T, Morris G E L. Effects of gibberellic acid and chlormequat chloride on the proportion of phloem and xylem parenchyma in the storage root of carrot (*Daucus carota* L.) [J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 1986, 4(3): 203-211.

[50] Jemric T, Pavicic N. Postharvest treatments of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) for the improvement of storage life and quality [M]. Production Practices and Quality Assessment of Food Crops, 2004: 213-227.

[51] Gol N B, Chaudhari M L, Rao T V R. Effect of edible coatings on quality

- and shelf life of carambola (*Averrhoa carambola* L.) fruit during storage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2013, 5: 214-218.
- [52] Ali A, Chow W L, Zahid N, et al. Efficacy of propolis and cinnamon oil coating in controlling post-harvest anthracnose and quality of chilli (*Capsicum annuum* L.) during cold storage[J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7 (9): 2742-2748.
- [53] Wang D P, Liu T Q, Zhu J, et al. Effect of salicylic acid on the membrane lipid peroxidation and postharvest senescence of Huanghua pear[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2005, 27(5): 621-624.
- [54] Li W, Shao Y Z, Chen W X. Effects of salicylic acid treatment on postharvest quality of banana fruits[J]. China Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(2): 75-77.
- [55] Srivastava M K, Dwivedi I U N. Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid [J]. Plant Science, 2000, 158(1): 87-96.
- [56] Cao J, Zeng K F, Jiang W B. Enhancement of postharvest disease resistance in Ya Li pear (*Pyrus bretschneideri*) fruit by salicylic acid sprays on the trees during fruit growth[J]. European Journal of Plant Pathology, 2006, 114(4): 363-370.
- [57] Supapvanich S, Promyoo S. Efficiency of salicylic acid application on postharvest perishable crops[M]. Salicylic Acid, 2013: 339-355.
- [58] Bibi A C, Oosterhuis D M, Gonias E D. Exogenous application of putrescine ameliorates the effect of high temperature in *Gossypium hirsutum* L. flowers and fruit development[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2010, 196 (3): 205-211.
- [59] Serrano M, Martinez-madrid M C, Riquelme F, et al. Endogenous levels of polyamines and abscisic acid in pepper fruits during growth and ripening [J]. Physiologia Plantarum, 2006, 95(1): 73-76.
- [60] Xu R Y, Niimi Y, Kojima K. Exogenous GA₃ overcomes bud deterioration in tulip (*Tulipa gesneriana* L.) bulbs during dry storage by promoting endogenous IAA activity in the internodes[J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 2007, 52(1): 1-8.
- [61] Kępczyński J, Sznigir P. Participation of GA₃, ethylene, NO and HCN in germination of *Amaranthus retroflexus* L. seeds with various dormancy levels [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2014, 36(6): 1463-1472.
- [62] Destefano-beltran L, Knauber D, Huckle E L, et al. Effects of postharvest storage and dormancy status on ABA content, metabolism, and expression of genes involved in ABA biosynthesis and metabolism in potato tuber tissues [J]. Plant Molecular Biology, 2006, 61(4): 687-697.
- [63] Kulkarni S G, Kudachikar V B, Keshavaprakash M N. Studies on physicochemical changes during artificial ripening of banana (*Musa* sp) variety 'Robusta' [J]. Journal of Food Science and Technology, 2011, 48(6): 730-734.
- [64] Li W, Shao Y Z, Chen W X, et al. The effects of harvest maturity on storage quality and sucrose-metabolizing enzymes during banana ripening[J]. Food Bioprocess Technology, 2011, 4: 1273-1280.
- [65] Pathak N, Asif M H, Dhanwan P, et al. Expression and activities of ethylene biosynthesis enzymes during ripening of banana fruits and effect of 1-MCP treatment[J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 2003, 40: 11-19.
- [66] Shao Y Z, Sun S S, Jia Z W, et al. Effects of 1-MCP and exogenous ethylene treatment on storage quality of papaya fruit [J]. Preservation and Processing, 2011, 11(2): 3-7.
- [67] Luo H, Dai S J, Ren J, et al. The role of ABA in the maturation and postharvest life of a nonclimacteric sweet cherry fruit [J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 2014, 33(2): 373-383.
- [68] Given N K, Venis M A, Gierson D. Hormonal regulation of ripening in the strawberry, a non-climacteric fruit [J]. Planta, 1988, 174(3): 402-406.
- [69] Arteca R N. Influence of IAA, NAA and 2,4-D on ethylene production by potato discs (*Solanum tuberosum* L. cv. Red Pontiac) [J]. American Potato Journal, 1982, 59(6): 267-274.
- [70] Srivastav A, Handa A K. Hormonal regulation of tomato fruit development: a molecular perspective [J]. Journal of Plant Growth and Regulation, 2005, 24: 67-82.
- [71] Elsharkawy I, Sherif S, Kayal W E, et al. Characterization of gibberellin-signalling elements during plum fruit ontogeny defines the essentiality of gibberellin in fruit development [J]. Plant Molecular Biology, 2014, 84(4): 399-413.
- [72] Nelson D C, Smith R H, Klosterman L H J, et al. 2,4-D residues in tubers; texture and respiration of potatoes in storage [J]. American Potato Journal, 1971, 48(10): 366-373.
- [73] Su M M, Yang C G, Li Y C, et al. Effects of plant growth regulators on food crops, fruits and review of residue research [J]. Journal of Food Safety and Quality Determination, 2014, 5(8): 2575-2578.

Regulation Effect of Exogenous Plant Hormone on the Quality Formation of Horticultural Products

HUANG Ming-hui¹, FENG Shu-han¹, LUO Shan-shan², LI Wen¹

(1. College of Horticulture and Landscape, Hainan University, Haikou, Hainan 570228; 2. College of Food Science, Hainan University, Haikou, Hainan 570228)

Abstract: Fruit quality is influenced by fruit size, shape, color, sugar, organic acid and other aspects. Rational application of exogenous plant hormones plays an active role on growth, development and quality formation of fruits. The regulation effects of exogenous plant hormone on the formation of fruit quality from two points of pre-harvest and post-harvest have been reviewed. Meanwhile, the problems in application of hormone were put forward, and the research direction in the future was prospected too.

Keywords: plant hormone; fruit; quality formation; regulation