

母洪娜,杨秀莲,王良桂. 赤霉素在农林业生产中的应用研究进展[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):15-18.

赤霉素在农林业生产中的应用研究进展

母洪娜, 杨秀莲, 王良桂

(南京林业大学风景园林学院, 江苏南京 210037)

摘要:从调控植物生长、打破休眠、影响植物性别分化、种实无核化、花期调控、花青素沉积、农产品贮藏保鲜、提高植物抗逆能力等8个方面综述了赤霉素在农林业生产上的应用研究进展,以期在今后在农林业生产中更科学合理地利用赤霉素提供理论依据。

关键词:赤霉素;农林生产;研究进展

中图分类号: Q946.885⁺.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)02-0015-03

赤霉素(gibberellic acid)广泛存在于菌类、藻类、蕨类、裸子植物及被子植物中,它不但可以调控植物体内众多基因的表达,而且可以影响高等植物生活史的各个阶段,如种子萌发、茎的伸长、花器官的诱导和发育、种子和果实的形成等。赤霉素已经被广泛应用于农业生产中,而关于赤霉素对农林业生产的促进作用以及人们是否受到赤霉素的不良影响尚无定论。本研究从调控植物生长、打破植物休眠、影响植物性别分化、种实无核化、花期调控、花色素沉积、农产品贮藏保鲜、植物抗逆性等方面对赤霉素的研究现状进行综述,在展示赤霉素有效作用的同时,也对其广泛应用的可能隐患进行探讨。

1 赤霉素在农林业生产中的应用研究概况

1.1 调控植物生长

关于赤霉素调控植物生长的研究主要有:调控植物营养器官生长的研究、影响植物光合作用的研究和对杂种优势影响的研究等3个方面。

1.1.1 调控植物的营养生长 赤霉素已被应用于提高沿海入侵生物——互花米草的割除效率中^[1];同时研究发现,赤霉素可以促进甘蔗不同品种茎的增粗、节间的伸长生长^[2];内源赤霉素相关合成酶还可调控板栗雄花序短化^[3];此外有研究发现,赤霉素对紫球藻的生长具有在低浓度下促进和在低浓度下抑制的作用^[4],该研究结果对于有效利用植物激素来提高紫球藻的规模化生产效率具有一定参考价值。

1.1.2 影响植物的光合作用 赤霉素处理可以改善新铁炮百合组培苗的光合特性和生长状况^[5];可以提高盛花期冬枣叶片的净光合速率和光饱和点,降低光补偿点^[6];可以调控南林-895杨扦插苗生长、光合同化物以及蔗糖代谢相关酶的活性^[7]。除了上述关于赤霉素单因素对百合、冬枣、杨树光合特性影响的研究外,张永强初步研究了赤霉素在光与糖、

低温交互作用的条件下对拟南芥幼苗生长和代谢过程的调节功能^[8],为今后更深入地研究赤霉素在光信号与其他环境信号交互作用中如何调节植物生长代谢奠定了基础。

1.1.3 对杂种优势的影响 赤霉素对植物杂种优势影响的研究目前已深入到分子水平。杜金昆研究了小麦GA20-氧化酶基因与杂种优势的关系,即GA20-氧化酶基因在品种间杂种与亲本种子发育中的表达情况,发现GA20-氧化酶基因在正反杂交当代种子中的表达量高于亲本自交种子,这与赤霉素含量的杂种优势相一致,说明GA20-氧化酶基因可能是导致杂交和自交当代种子中赤霉素含量差异的关键因素^[9]。为了更深入地了解赤霉素在水稻苗期杂种优势形成过程中所发挥的生理调控作用,马谦对赤霉素代谢途径中的各种赤霉素分子进行了精确定量,结果发现:一些赤霉素分子的含量与幼苗干重和分蘖数的杂种优势间存在显著相关性;另外,一些赤霉素相关基因的表达量与幼苗干重和分蘖数的杂种优势间也表现出显著相关性^[10],这一研究结果表明赤霉素从生理水平上对水稻苗期杂种优势的形成起着重要调控作用。

1.2 影响种子活力,打破种子休眠

刘海艳以玉米郑丹958的新种子和陈年种子为试验材料,发现玉米种子的活力与赤霉素和脱落酸的关系:有活力种子的种胚内赤霉素和脱落酸含量随种子活力的降低而升高^[11]。Kępczyński等研究了烟溶液、赤霉素、乙烯对野燕麦种子萌发的影响,发现赤霉素、乙烯参与调控萌发过程中 α -淀粉酶的活性^[12]。除了影响种子活力外,赤霉素在代替或部分代替低温春化作用、打破休眠方面的作用已在多种植物上有所报道:如科研工作者研究发现,赤霉素对明星牡丹^[13]、桂花^[14]、美国桂花^[15]、穿龙薯蓣^[16]、西瓜^[17]、猕猴桃^[18]、烟草^[19]、沙冬青、花棒、柠条^[20]、杜梨^[21]等植物种子打破休眠、促进发芽的效果明显;王萍研究发现,分别于花后7d、花蕾期进行扣棚保温并用赤霉素对鲜食草莓品种Darselect进行处理,可较好地打破草莓的休眠,促进植株的旺盛生长,从而实现优质丰产的目的^[22]。除了上述常规试验研究外,赤霉素参与休眠解除的研究已经深入到分子水平,如Mino等研究发现,编码GAs生物合成基因柯巴基二磷酸合酶、GA20-氧化酶、GA₃ β -羟化酶的表达受春化作用的调节^[23];徐文娟等通过研究与脱落酸、赤霉素相关的6个基因

收稿日期:2013-06-23

基金项目:江苏省高校自然科学基金基础研究项目(编号:11KJB220002);江苏省高校优势学科建设工程资助项目。

作者简介:母洪娜(1981—),女,河南延津人,博士研究生,研究方向为桂花功能基因。E-mail:523320612@qq.com。

通信作者:王良桂,男,安徽寿县人,博士,教授,主要从事园林植物栽培和应用的教学和科研工作。E-mail:wlg@njfu.com.cn。

(*NCED*、*CYP707A*、*ABI2*、*PP2C*、*GA20ox2*、*GA20ox3*) 在滇重楼种子休眠解除过程中的表达,筛选出参与滇重楼种子休眠解除过程的 *NCED*、*CYP707A*、*ABI2*、*GA20ox2*、*GA20ox3* 基因,它们可以作为研究滇重楼种子休眠过程的重要基因^[24]。

1.3 对性别分化的影响

植物生长调节剂对植物性别分化的影响在黄瓜上研究得较多,如1960年 Peterson 等研究发现,赤霉素能诱导雌性系黄瓜植株的产生^[25],从而解决了雌性系的选育和留种问题。近年来,在其他物种上也有赤霉素影响性别分化的研究,如朴蕾研究发现:赤霉素处理能使经济林树种榛子品种达维的雌花芽分化率提高 20.13%,显著提高了雌雄分化比例;赤霉素处理能使榛子品种平欧 127 的雌花芽分化率降低 20.13%;此外,赤霉素还能促进蔗糖含量的积累;研究结果为生产上人为调控榛子的雌雄比例提供了理论依据^[26]。皮雪静等研究发现:用外源赤霉素处理能够诱导小桐子 (*Jatropha curcas*) 产生两性花,并且赤霉素处理浓度越高,两性花数量越多;而高浓度(500~1 500 mg/L)的赤霉素处理会导致小桐子的种子不能正常发育^[27]。由此可见,赤霉素在诱导植物性别分化方面的效果会因不同物种甚至同一物种的不同品种而不同。

1.4 果实无核化

人们已经在巨峰^[28]、早紫^[29]、翠峰^[30]、新美人指^[31]、玫瑰香^[32]、黄玉^[33]等葡萄品种上研究了赤霉素对果实无核化的影响,发现用一定浓度的赤霉素溶液对果穗进行浸泡或喷施均能诱导葡萄形成无核果并且促进果实的膨大。刘佳等对赤霉素与链霉素处理对巨峰葡萄无核化及果实发育的影响进行了研究^[34];杨丽娜等^[30]、刘捷等^[31]、张萌等^[33]分别研究了赤霉素、氯吡苯脲对翠峰葡萄、新美人指葡萄、黄玉葡萄无核化的影响,发现不同浓度、不同处理方式的赤霉素和氯吡苯脲对不同葡萄品种的无核化和果实发育的影响效果不同。

1.5 调控植物色素的积累

刘延吉等以8年生南果梨为试验材料,研究了外施脱落酸对植物体内激素平衡的改变,发现增加脱落酸/赤霉素的比值,即降低体内赤霉素的相对含量可以活化南国梨的花色素合成酶,增加果皮中的花色素含量^[35]。陈建通用外源赤霉素对4个不同花色非洲菊品种进行处理,并对其花色表型、花色素及花瓣矿物质元素含量进行分析发现,赤霉素处理能明显提高非洲菊花瓣中的总花青素含量^[36]。Weiss 等研究发现,赤霉素对花冠生长和花色素沉积的影响是分别独立的^[37]。王海伟研究了遮光与赤霉素处理对有色小麦籽粒中花青素含量的影响,结果表明,喷施较高浓度的赤霉素会不同程度抑制花青素的合成,而喷施较低浓度的赤霉素对有色小麦籽粒花青素合成有一定的促进作用^[38]。

1.6 花芽分化及花期调控

刘春冬等研究发现了赤霉素对东魁杨梅花芽分化期生理特性的影响^[39],为今后进一步研究赤霉素与植物花芽分化的关系奠定了基础。张文娟研究了冷藏与赤霉素处理对牡丹促成栽培的影响,结果发现:赤霉素处理和冷藏处理一般都能够使花期提前,但是使花期提前最有效的赤霉素浓度与冷藏时间与品种直接相关,有些品种如银红巧对、大棕紫对赤霉素较为敏感,较低的赤霉素浓度就可以使花期显著提前,而与冷藏时间的关系不大^[40]。詹启成等以甜芝白掌品种

(*Spathiphyllum* 'Sweet Chico') 为试验材料,研究了不同浓度赤霉素对小盆栽甜芝白掌催花效果的影响,发现 300 mg/L 赤霉素处理催花的效果最好,主茎现花率达 100%^[41]。徐巍等研究了赤霉素对奶白菜、青梗菜、乌塌菜等3个不结球白菜现蕾开花的影响,得出最适宜的处理浓度^[42],为不结球白菜的加代繁殖提供了参考依据。

1.7 植物产品的采后贮藏保鲜

赤霉素对植物采后保鲜的作用已经在竹笋、苹果梨、葡萄、生菜等植物上有了一定的研究。罗晓莉研究了不同处理对麻竹笋木质化及品质的影响,发现赤霉素处理能延缓木质化相关酶如苯丙氨酸解氨酶(PAL)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)活性的增加,减缓木质素、粗纤维的上升速度,延缓竹笋贮藏期间可溶性糖、可溶性蛋白质、可溶性固形物、维生素C等品质指标的下降^[43]。李红霞研究发现,采前喷施赤霉素结合采后热水处理可以有效减少常温和低温贮藏期间苹果梨的黑皮病^[44]。于建娜等研究发现,采前用 30 mg/L 赤霉素处理红地球葡萄和克瑞森无核葡萄,在果实冷藏期间能够有效控制葡萄的腐烂和落粒^[45]。焦莉等研究发现,25 mg/L 赤霉素浓度处理可显著减少生菜中的水分、维生素C含量和叶绿素含量的损失,抑制亚硝酸盐含量的上升,延长生菜的贮藏时间,保鲜效果最为明显^[46]。

1.8 增强植物的抗性

李震在对甘蓝型油菜品种耐旱性的鉴定筛选及赤霉素诱导耐旱性的研究中发现:赤霉素可以显著改善干旱条件下油菜种子的发芽性状^[47]。温福平研究发现:外源赤霉素可以显著缓解 5 g/L NaCl 盐胁迫对梗稻日本晴 (*Oryza sativa* L. Nipponbare) 发芽的抑制作用^[48]。吴佳宝用耐涝花生品种湘花 2008 和敏感花生品种中花 4 号为试验材料,模拟花生营养生长后期遭受涝胁迫,再喷施赤霉素、乙烯利、多效唑,试验结果表明:植物生长调节剂处理均能提高涝胁迫后花生的产量,其中 100 mg/L 赤霉素处理的增产效果最显著,且生长调节剂对敏感品种的效果明显好于耐涝品种^[49]。黄金光克隆了棉花的低温响应转录因子 CBF/DREB1 (即 GhDREB1),在其表达模式和功能研究中发现:GhDREB1 启动子易受低温诱导,该启动子区域除了存在低温响应元件外,还存在赤霉素响应元件;对 BY-2 悬浮细胞及棉花幼苗的检测都证实, GhDREB1 受到赤霉素的负调控;GhDREB1 在烟草中表现为超表达,增强了转基因烟草的抗冷性^[50]。

2 小结与讨论

赤霉素的使用浓度不同,对植物生长发育的影响也不同,相同浓度的赤霉素对不同植物种类的效应也不同。肖丹曦研究发现,低浓度赤霉素能促进紫球藻的生长,高浓度则抑制生长^[4]。刘春冬等在对杨梅的试验研究中发现:低浓度赤霉素能提高叶绿素含量,但是高浓度赤霉素处理会使杨梅的叶绿素分解^[39]。张文娟在对不同牡丹品种的花期调控研究中发现:不同牡丹品种对赤霉素的响应是不同的^[40]。因此在使用赤霉素之前,建议先查阅相关文献资料,最好通过小规模试验后再正式加以应用,此外还须注意所购买的赤霉素是水溶性的还是醇溶性的,如果是醇溶性的必须先溶于乙醇中而不是水中才有效。

虽然赤霉素对植物生长发育的调控作用效果显著,但是农业产品的产量和品质的保持主要依赖良种和科学合理的水肥管理,而不能单靠赤霉素来获得增产。因为迄今为止除了史玉琴优化了赤霉素检测方法并且研究了赤霉素对小鼠机体损伤程度^[51]外,尚无其他的试验数据证明赤霉素对人体无害,因此笔者认为,今后应该规范植物生长调节剂的使用并严格控制其用量。

随着科研工作者对赤霉素生物合成路径调控及其调控植物生长发育机理研究^[52-57]的深入,将来人们可以按照农业生产的需要,从分子水平上去调控植物内源赤霉素的表达水平。

参考文献:

- [1]刘颖. 赤霉素(GA₃)对互花米草生长发育和割除防效的影响[D]. 福州:福建农林大学,2010.
- [2]廖芬. 赤霉素、多效唑对甘蔗茎尖分生组织的解剖效应及与蔗茎增粗的关系[D]. 南宁:广西大学,2004.
- [3]郭献平. 板栗短雄花序芽变与赤霉素相关的分子机理研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.
- [4]肖丹曦. 植物激素 ABA 和 GA 对紫球藻生长的影响[D]. 广州:暨南大学,2009.
- [5]黄樟华. 赤霉素对百合组培苗光合特性和生长状况的影响研究[D]. 南宁:广西大学,2006.
- [6]曹柳青. 赤霉素对冬枣光合作用和内源激素的影响[D]. 保定:河北农业大学,2006.
- [7]于明祥. 赤霉素作用下杨树光合同化物再分配的格局[D]. 南京:南京林业大学,2009.
- [8]张永强. 赤霉素在光与糖、低温交互调节植物生长代谢中的作用研究[D]. 兰州:兰州大学,2010.
- [9]杜金昆. 小麦 ISSR 标记遗传差异及赤霉素代谢调控与杂种优势机理[D]. 北京:中国农业大学,2004.
- [10]马谦. 水稻苗期杂种优势分析及赤霉素与苗期杂种优势生物学基础的关系研究[D]. 武汉:华中农业大学,2011.
- [11]刘海艳. 玉米种子活力与赤霉素和脱落酸的关系研究[D]. 郑州:河南农业大学,2010.
- [12]Kępczyński J, Bialecka B, Light M E, et al. Regulation of *Avena fatua* seed germination by smoke solutions, gibberellin A3 and ethylene[J]. *Plant Growth Regulation*, 2006, 49(1): 9-16.
- [13]杜秀娟. 低温与赤霉素“明星”牡丹休眠解除和生长发育的影响[D]. 北京:北京林业大学,2008.
- [14]杨秀莲, 郝其梅. 桂花种子休眠和萌发的初步研究[J]. *浙江林业学院学报*, 2010(2): 272-276.
- [15]许岳香. 美国桂花(*Osmanthus americanus*)种子休眠机理的研究[D]. 南京:南京林业大学,2008.
- [16]杨利民, 宋波, 韩梅, 等. 不同处理方法对穿龙薯蓣种子萌发的影响[J]. *中草药*, 2013(6): 755-759.
- [17]于延球, 杨谦. 赤霉素处理对西瓜种子发芽率的影响[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(6): 2422, 2428.
- [18]向世明. 赤霉素对猕猴桃种子萌发的影响[J]. *现代园艺*, 2013(2): 13, 21.
- [19]刘启彤. 赤霉素提高烤烟种子活力研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2007.
- [20]邱鹏飞. 赤霉素浸种对沙冬青、花棒、柠条种子萌发的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2010.
- [21]宋要强. 一氧化氮、乙烯和赤霉素在打破杜梨种子休眠中的相互作用[D]. 西安:陕西师范大学,2010.
- [22]王萍. 赤霉素对深休眠草莓品种生长发育的影响研究[D]. 重庆:西南大学,2006.
- [23]Mino M, Oka M, Yasaka Y, et al. Thermoinduction of genes encoding the enzymes of gibberellin biosynthesis and a putative negative regulator of gibberellin signal transduction in *Eustoma grandiflorum* [J]. *Plant Cell Reports*, 2003, 22(2): 159-165.
- [24]徐文娟, 李先恩, 孙鹏, 等. 滇重楼种子层积后脱落酸和赤霉素相关基因表达水平的研究[J]. *中草药*, 2013, 44(3): 338-343.
- [25]Peterson C E, Anghder L D. Induction of staminate flowers on gynococious cucumbers with gibberellin A3 [J]. *Science*, 1960, 131(3414): 1673-1674.
- [26]朴蕾. 赤霉素、多效唑对榛子性别分化的影响[D]. 北京:北京林业大学,2012.
- [27]皮雪静, 潘帮珍, 徐增富. 赤霉素诱导小桐子产生两性花[J]. *植物分类与资源学报*, 2013(1): 26-32.
- [28]李向东, 金浩. 巨峰葡萄应用赤霉素(GA₄ + GA₇)诱导无核、增大果粒的效应研究[J]. *上海农学院学报*, 1993(4): 302-308.
- [29]刘会宁, 肖锋利. 赤霉素对早紫葡萄无核及果实品质的效应[J]. *长江大学学报: 自科版农学卷*, 2006, 3(4): 139-141.
- [30]杨丽娜, 刘捷, 刘学平, 等. 赤霉素与吡效隆对翠峰葡萄无核化处理果实发育的影响[J]. *江苏农业科学*, 2007(5): 114-115, 142.
- [31]刘捷, 杨丽娜, 陶建敏, 等. GA₃ 与 CPPU 对新美人指葡萄果实无核化发育的影响[J]. *中国南方果树*, 2008(1): 61-62.
- [32]马起林, 宋彩莲, 姜丽丽. 玫瑰香葡萄无核化处理技术研究[J]. *山西果树*, 2013(1): 5-6.
- [33]张萌, 余智莹, 谢周, 等. GA₃ 和 CPPU 用于黄玉葡萄生产无核化果实的效应[J]. *中国南方果树*, 2010, 39(4): 62-63.
- [34]刘佳, 刘晓, 陈建. 四川地区赤霉素和链霉素处理对巨峰葡萄无核化及果实发育的影响[J]. *西南农业学报*, 2011, 24(1): 220-224.
- [35]刘延吉, 王嵩, 吕德国, 等. ABA 对南果梨花色素含量、合成酶及信号分子的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2009, 40(1): 7-10.
- [36]陈建. 非洲菊花瓣解剖结构及赤霉素处理对花色的影响研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2010.
- [37]Weiss D, Halevy A H. Stamens and gibberellin in the regulation of corolla pigmentation and growth in *Petunia hybrida* [J]. *Planta*, 1989, 179(1): 89-96.
- [38]王海伟. 遮光与赤霉素处理对有色小麦籽粒色素积累与相关酶活性的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2011.
- [39]刘春冬, 傅建卿, 陈汝顶. 赤霉素对东魁杨梅花芽分化期生理特性的影响[J]. *南方园艺*, 2013(1): 13-14, 18.
- [40]张文娟. 冷藏和赤霉素(GA₃)处理对牡丹促成栽培影响的研究[D]. 北京:北京林业大学,2005.
- [41]詹启成, 蒋雄辉, 王奎, 等. 不同浓度赤霉素对甜芝白掌催花效果的影响[J]. *北方园艺*, 2013(8): 83-84.
- [42]徐巍, 周艳, 袁蕊, 等. 赤霉素处理对不结球白菜现蕾开花的影响[J]. *北方园艺*, 2013(3): 13-15.
- [43]罗晓莉. 不同处理对竹笋采后木质化及品质的影响[D]. 重庆:西南大学,2007.
- [44]李红霞. 采前赤霉素、采后热水浸泡及单果包膜单独或结合处理对苹果梨贮藏期间黑皮病的控制[D]. 兰州:甘肃农业大学,2010.

郭冬生,王文龙,龚群辉,等. 我国畜牧业发展现状及发展趋势[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):18-21.

我国畜牧业发展现状及发展趋势

郭冬生¹,王文龙¹,龚群辉²,彭小兰²

(1. 湖南文理学院生命科学学院/动物学湖南省高校重点实验室,湖南常德 415000; 2. 湖南省常德市武陵区畜牧兽医水产局,湖南常德 415000)

摘要:统计研究了我国 2001—2010 年 10 年来畜牧业生产概况、人均畜产品占有量、饲料工业产量与产值,以 2003 年为例重点研究了世界主要国家畜牧业生产概况与生产水平,为研究我国畜牧业发展提供了依据,并剖析了我国畜牧业在未来的发展趋势。

关键词:畜牧业;生产概况;发展趋势

中图分类号: F326.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)02-0018-04

畜牧业的发展极大满足了人们对动物食品的需求,同时也促进了农业经济的发展,在农业结构中占有举足轻重的地位,是衡量一个国家农业发展水平的重要指标。据统计,2012 年我国的肉、蛋、奶产量分别达 8 220 万、2 835 万、3 870 万 t,分别比 2011 年增长 3.3%、0.8%、1.5%,畜牧业产值占农业总产值的 1/3。我国是目前世界上最大的猪肉和禽蛋生产与消费国,奶业总产量也位居世界第三,肉类的消费达到了中等发达国家的水平,但人均牛羊羊肉和牛奶占有量严重偏低,动物的出栏率和胴体重等生产指标低下,因此我国亟需从畜牧大国向畜牧强国转变。在今后一个时期内,我国畜牧业要以建设质量效益型畜牧业为目标,全面推进畜牧业结构调整、推行标准化生产和产业化经营,努力构建现代畜牧业产业体系和

生产模式,为实现从畜牧大国向畜牧强国的转变奠定基础。

1 2001—2010 年我国畜牧业的生产概况

根据 2011 年世界农业统计年鉴的资料,用表 1 统计了 2001—2010 年我国的主要畜产品产量、牧业产值及人均畜产品占有量。由表 1 可以看出,各项指标数据均呈现出稳定上升的趋势。

由图 1 可以看出,猪肉、禽蛋、牛肉和羊肉的年产量基本保持稳定并且呈现出上升的趋势,在同一年内猪肉产量 > 禽蛋产量 > 牛肉产量 > 羊肉产量;牛奶产量呈直线上升趋势,也是发展最快的畜产品。牛肉和羊肉的产量偏低,也是我国畜牧业产业结构应该调整的地方。由图 2 可以看出,猪牛羊肉的产量基本上保持稳定上升的趋势,但在 2007 年出现下降拐点,主要原因是蓝耳病让中国养猪业遭受百年不遇的重创,造成猪肉产量的严重下降。

由图 3 可以看出,2001—2010 年间我国的畜牧业总产值整体上呈现出增加的趋势,从 2001 年的 7 963.1 亿元到 2010 年的 20 825.7 亿元,增加了近 2 倍。畜牧业产值占农林牧渔业总产值的 30% 左右。由图 4 可以看出,2001—2010 年间我

收稿日期:2013-06-28

基金项目:湖南省自然科学基金(编号:12JJ9007);湖南省“十二五”重点建设学科(编号:湘教发[2011]76);湖南省常德市科技局产学研项目(编号:2012ZX06)。

作者简介:郭冬生(1973—),男,湖南常德人,硕士,副教授,主要从事动物营养与饲料科学研究。E-mail:guods888@163.com。

[45] 于建娜,任小林,雷琴,等. 赤霉素处理对两种葡萄品质和贮藏生理的影响[J]. 食品科学,2013(2):277-281.

[46] 焦莉,王大平. 赤霉素对生菜保鲜的品质影响研究[J]. 安徽农业科学,2013(1):324-325.

[47] 李震. 甘蓝型油菜品种耐旱性鉴定筛选及赤霉素诱导耐旱性评价[D]. 北京:中国农业科学院,2010.

[48] 温福平. 盐胁迫与赤霉素(GA₃)处理下水稻幼苗的蛋白质组学分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2009.

[49] 吴佳宝. 植物生长调节剂对花生渍涝胁迫的调控效应[D]. 长沙:湖南农业大学,2012.

[50] 黄金光. 棉花 GhDREB1 调节低温抗性与生长发育的分子机理[D]. 泰安:山东农业大学,2009.

[51] 史玉琴. 赤霉素 GA₃ 的高效液相色谱检测方法以及对小鼠机体的氧化损伤作用研究[D]. 保定:河北农业大学,2011.

[52] O'Neill D P, Davidson S E, Clarke V C, et al. Regulation of the gibberellin pathway by auxin and DELLA proteins[J]. *Planta*, 2010, 232(5):1141-1149.

[53] Vidal A M, Ben-Cheikh W, Talón M, et al. Regulation of gibberel-

lin 20-oxidase gene expression and gibberellin content in citrus by temperature and citrus exocortis viroid[J]. *Planta*, 2003, 217(3):442-448.

[54] Lee D J, Zeevaert J A. Regulation of gibberellin 20-oxidase1 expression in spinach by photoperiod[J]. *Planta*, 2007, 226(1):35-44.

[55] Walton L J, Kurepin L V, David M R, et al. Narrow-band light regulation of ethylene and gibberellin levels in hydroponically-grown *Helianthus annuus* hypocotyls and roots[J]. *Plant Growth Regulation*, 2010, 61(1):53-59.

[56] García-Martínez J L, Gil J. Light regulation of gibberellin biosynthesis and mode of action[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2001, 20(4):354-368.

[57] Roumeliotis E, Kloosterman B, Oortwijn M, et al. Down regulation of *StGA3ox* genes in potato results in altered GA content and affect plant and tuber growth characteristics[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2013, 170(14):1228-1234.