

# 萝卜雄性不育系花蕾发育过程中内源激素分析

孙希禄, 许小勇, 张鲁刚

(西北农林科技大学 园艺学院, 农业部西北园艺植物种质资源与遗传改良重点开放实验室, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**利用间接酶联免疫(ELISA)法测定了萝卜雄性不育株及可育株花蕾发育过程中内源激素含量的动态变化,以揭示萝卜雄性不育发生与其内源激素的关系。结果表明:在花蕾的发育过程中,不育株和可育株内源激素 IAA、ABA、GA<sub>3</sub>、ZR 以及 JA 含量变化均差异明显,在不育发生的初始阶段,不育株内源 IAA 含量上升 32.09%, ABA 含量下降 75.45%, JA 含量下降了 11.20%,其余 2 种内源激素含量差异很小。IAA/ABA、IAA/ZR、IAA/GA<sub>3</sub> 和 GA<sub>3</sub>/ABA 在二者间的变化趋势不一致,且比值大小差异很大,在不育发生的初始阶段,IAA/ABA、IAA/ZR 和 GA<sub>3</sub>/ABA 平衡失调。表明内源激素可能与萝卜雄性不育的发生密切相关。

**关键词:**萝卜;雄性不育;花蕾;植物激素

中图分类号:S 631.1 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2011)19-0011-05

植物激素作为植物体内的微量信号分子,控制着植物的雄蕊发育进程。一些拟南芥激素不敏感型突变体表现为雄性不育<sup>[1]</sup>。在拟南芥 *APT1* 基因突变导致腺嘌呤磷酸核糖转移酶活性降低,使得细胞分裂素的代谢削弱,形成的核苷酸减少,雄性不育相应而生<sup>[2]</sup>。拟南芥中编码内根贝壳杉烯合成酶 A(赤霉素合成过程中的关键酶)的 *GAL* 基因发生突变后,赤霉素的合成受阻,突变体表现出雄性不育<sup>[3]</sup>; *COIL* 基因是茉莉素传导链中分离的第 1 个调节基因,介导茉莉素所调控的植物育性和抗性, *coil-1* 突变体也表现出雄性不育<sup>[4]</sup>。体外培养试验表明,生长素可抑制两性花植物雄蕊发育,而诱导雌性植物雌蕊生长<sup>[5]</sup>。低温恢复 *sI-2* 的育性,伴随着叶片和雄蕊中 ABA 水平的下降<sup>[6]</sup>。外源激素喷施等也能产生雄性不育或者恢复植株育性<sup>[7-9]</sup>。这些结果进一步揭示了植物雄性不育的发生涉及到内源激素的变化,植物雄性不育与植物内源激素之间有着非常密切的关系。对油菜<sup>[10]</sup>、白菜<sup>[11]</sup>、辣椒<sup>[12]</sup>、水稻<sup>[13]</sup>等多种作物雄性不育材料研究表明,与可育植株相比,雄性不育株内源激素含量变化存在显著的差异,且这些不同不育材料的内源激素含量变化趋势也不尽相同,有些结果恰恰刚好相反。因此,有关植物激素与植物雄性不育的关系一直是人们的研

究热点和难点。萝卜是我国主要食用蔬菜之一,俗有“小人参”之称,有关萝卜雄性不育与内源激素关系的研究起步较晚,且报道较少。早期研究认为,萝卜不育株中 IAA 的亏损使花药发育过程中所需营养物质和生理活性物质的运输或合成受阻,从而引起了花药发育终止,引起败育<sup>[14]</sup>。萝卜小孢子的败育与内源激素平衡异常有关,且受核基因影响很大<sup>[15]</sup>。该试验分析了具有相同遗传背景的萝卜不育株与可育株花蕾不同发育时期的内源激素 IAA、ZR、GA<sub>3</sub>、ABA、JA 含量变化,以期为进一步弄清激素在萝卜雄性败育过程中可能存在的作用机制以及开展萝卜雄性不育的育性激素调控奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

萝卜雄性不育回交一代由西北农林科技大学园艺学院白菜课题组提供,于 2010 年春种植于西北农林科技大学蔬菜试验站。

### 1.2 试验方法

在盛花期,从生长势相近的可育株与不育株上分别采集不同发育时期的花蕾。根据花蕾大小,将花药发育阶段划分为 5 个时期段:①花蕾纵径 < 1.0 mm;②花蕾纵径 1.0~2.0 mm;③花蕾纵径 2.0~3.0 mm;④花蕾纵径 3.0~4.0 mm;⑤花蕾纵径 > 4.0 mm。

激素含量的测定采用中国农业大学化学控制中心提供的激素 ELISA 试剂盒及测定方法,用酶联免疫检测仪测定了 IAA、ABA、ZR、GA<sub>3</sub> 和 JA,3 次重复,取平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 内源激素含量的动态变化

#### 2.1.1 吲哚乙酸(IAA)含量的动态变化 由图 1-A

第一作者简介:孙希禄(1985-),男,在读硕士,现主要从事蔬菜生物技术及遗传育种研究工作。E-mail: xilusun2011@163.com。

责任作者:张鲁刚(1964-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事蔬菜生物技术和遗传育种研究工作。E-mail: lugangzh@163.com。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30871717);国家科技支撑计划资助项目(2008BADB1B01)。

收稿日期:2011-07-06

可看出,在花蕾的发育过程中,不育株和可育株 IAA 含量的变化趋势不同。可育株中 IAA 呈持续缓慢下降趋势;而不育株则先降后升,呈“V”字形变化,但是始终低于纵径<1.0 mm 花蕾发育初期的含量。不育株 IAA 含量在花蕾纵径 1.0~2.0 mm 时开始出现急剧下降,至花蕾纵径 2.0~3.0 mm 时期 IAA 含量最低,随后又一直保持上升趋势。不育株 IAA 含量,除了花蕾纵径 2.0~3.0 mm 时期仅为可育株同级花蕾含量的一半之外,其余时期均高于可育株,且在花蕾纵径>4.0 mm 时期竟高达可育株同级花蕾的 2 倍。

2.1.2 脱落酸(ABA)含量的动态变化 由图 1-B 可看出,在花蕾的发育过程中,可育株前期含量平稳、变化幅度相对较小,至花蕾纵径 2.0~3.0 mm 时含量开始上升,至纵径 3.0~4.0 mm 时含量达最大,随后又快速下降;不育株的 ABA 含量在前期变化幅度较大,首先快速下降、至花蕾纵径 1.0~2.0 mm 时达到最低,后又快速上升,至花蕾纵径 2.0~3.0 mm 时期后保持缓慢上升趋势。除花蕾纵径>4.0 mm 时期不育

株 ABA 含量高于可育株同级花蕾含量之外,其余时期,不育株含量始终小于可育株,尤其是花蕾纵径为 1.0~2.0 mm 时,不育株 ABA 含量同比只有可育株的 25% 左右。

2.1.3 赤霉素(GA<sub>3</sub>)含量的动态变化 由图 1-C 可看出,在花蕾发育过程中,可育株花蕾 GA<sub>3</sub> 含量呈现波浪式上升过程,首先是快速上升至花蕾纵径 1.0~2.0 mm,随后缓慢上升至花蕾纵径 2.0~3.0 mm,再下降至花蕾纵径 3.0~4.0 mm 时低于 1.0~2.0 mm 时期 GA<sub>3</sub> 含量,随后又快速上升,至花蕾纵径 4.0 mm 时含量达最大。与可育株 GA<sub>3</sub> 含量变化趋势不同,不育株 GA<sub>3</sub> 含量变化剧烈,总体呈现“M”型下降趋势,在花蕾发育初期先快速上升至花蕾纵径 1.0~2.0 mm,之后快速下降至花蕾纵径 2.0~3.0 mm,后又小升小降,至花蕾纵径>4.0 mm 时含量达到最低。在花蕾纵径 1.0~2.0 mm 时期及之前,不育和可育株 GA<sub>3</sub> 含量差异不大,但之后两者 GA<sub>3</sub> 含量差距较大,特别是在花蕾纵径 2.0~3.0 mm 时只有可育株含量的 43%。

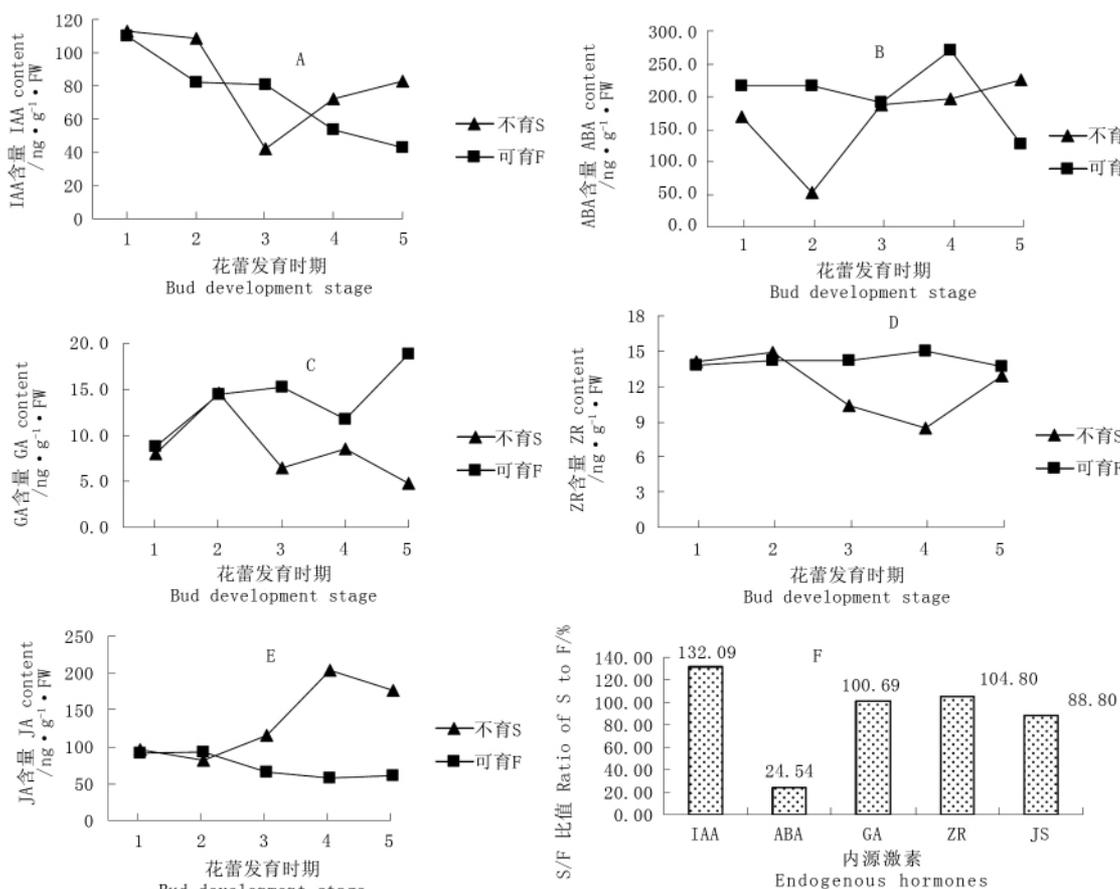


图 1 萝卜雄性不育株及其相应可育株花蕾中各激素含量的动态变化

注:S:萝卜不育株;F:萝卜可育株。下同。

Fig. 1 Changes of hormones content in flower buds of male-sterile plants and male-fertile plants of radish

Note: S: male-sterile; F: male-fertile. The same as below.

2.1.4 玉米素核苷(ZR)含量的动态变化 由图 1-D 可看出,在花蕾发育过程中,可育株 ZR 含量基本保持

平稳、变化较小;而不育株在花蕾纵径 1.0~2.0 mm 时期及以前与可育株 ZR 含量差异很小,但从花蕾纵

径大于 1.0~2.0 mm 开始 ZR 含量呈下降趋势,并在花蕾纵径 3.0~4.0 mm 达到最低,不育株 ZR 含量只有可育株同期的 56%,后又迅速上升,至花蕾纵径 >4.0 mm 时恢复到正常可育株的含量水平。

2.1.5 茉莉酸(JA)含量的动态变化 由图 1-E 可看出,在花蕾发育过程中,不育株和可育株 JA 含量变化趋势不同,在花蕾纵径 1.0~2.0 mm 之后开始出现分歧,可育株花蕾 JA 含量呈极缓慢下降趋势,而不育株 JA 含量呈现先快速上升后又下降趋势,在花蕾纵径 3.0~4.0 mm 时期含量达到最大。不育株花蕾纵径在 2.0~3.0 mm 及以后的 3 个时期 JA 含量远远高于可育株,分别是可育株同时期的 1.75、3.51、2.93 倍。

### 2.2 内源激素之间的平衡关系

2.2.1 生长素(IAA)与赤霉素(GA<sub>3</sub>)比值变化 由图 2-A 可看出,在花蕾发育前 3 个阶段,IAA/GA<sub>3</sub> 比值在不育株和可育株中变化趋势基本一致,不育株中 IAA/GA<sub>3</sub> 比值始终高于可育株,从花蕾纵径 2.0~3.0 mm 开始,可育株 IAA/GA<sub>3</sub> 比值呈下降趋势;而不育株的 IAA/GA<sub>3</sub> 比值呈快速上升趋势。结合萝卜不育性发生的时期,说明 IAA/GA<sub>3</sub> 比值与育性发生关系不大。

2.2.2 生长素(IAA)与玉米素核苷(ZR)比值变化 由图 2-B 可看出,在花蕾发育过程中,IAA/ZR 比值而在可育株中呈缓慢下降趋势;而在不育株中呈现先下降,随后快速上升再下降的趋势。比值在花蕾纵径 1.0~2.0 mm 时期只有可育株的 70%,但发育至花蕾纵径 2.0~3.0 mm 时期 IAA/ZR 比值增加至可育株比值的 2.4 倍。

2.2.3 生长素(IAA)与脱落酸(ABA)比值变化 由图 2-C 可看出,在花蕾的发育过程中,可育株 IAA/ABA 比值始终保持在较低水平,且变化趋势不明显,只呈现微小的升降。不育株 IAA/ABA 比值只有在花蕾纵径 1.0~2.0 mm 时差异最大,是可育株的 5.4 倍,其余时期与可育株比值差异较小。

2.2.4 脱落酸(ABA)与赤霉素(GA<sub>3</sub>)比值变化 由图 2-D 可看出,在花蕾发育过程中,可育株中 GA<sub>3</sub>/ABA 比值呈现平缓的下降上升趋势,在花蕾纵径 >4.0 mm 时期快速下降。而不育株中 GA<sub>3</sub>/ABA 比值变化波动比较大,总体呈现“W”式上升趋势,在花蕾纵径 1.0~2.0 mm 时期比值下降至可育株的 24%,之后快速上升,虽然在花蕾纵径 3.0~4.0 mm 有一段下降趋势,但始终高于可育株。前期 GA<sub>3</sub>/ABA 比值的异常变化与可能与不育性发生有关。

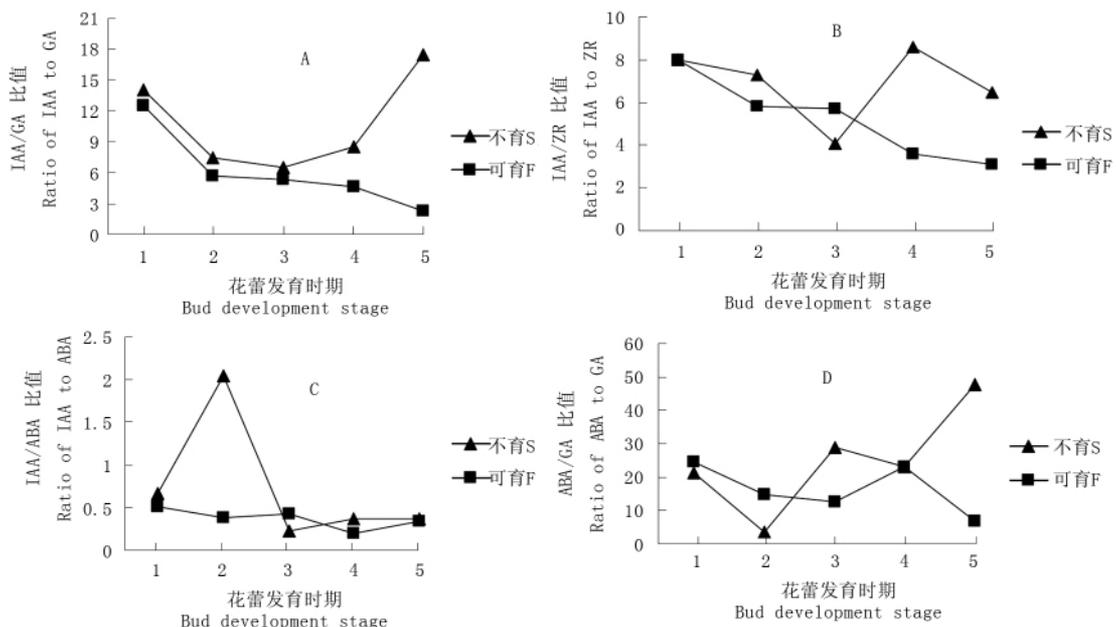


图 2 萝卜雄性不育株与可育株花蕾中各激素比值的变化

Fig. 2 Changes of ratio between hormones in flower bud of male-sterile plants and male-fertile plants of radish

## 3 讨论与结论

### 3.1 内源激素含量与雄性不育的关系

雄性不育植株花蕾内源激素含量差异显著。Santokh 等探讨了番茄雄性不育 sl-2 突变体中 ABA 的含量,与正常的野生型对照相比,两者间的 ABA 含量显著性差异是在雄蕊上<sup>[6]</sup>。许明等研究表明,紫菜薹

花蕾发育时期,不育系的 IAA、GA 和 ZR 等含量出现不同程度的亏缺,尤其是从小蕾期到大蕾期阶段, Ogura 型不育系、改良萝卜不育系的 IAA、GA 和 ZR 含量都极显著低于保持系<sup>[16]</sup>。在萝卜金花薹细胞质雄性不育系研究中发现,在花蕾各个发育时期,萝卜不育 75A 和可育 75B 植株的 IAA、ABA 和 GA 含量变化

表现相同的趋势,均为先降后升,75A花蕾中 IAA 含量始终低于 75B,而 ABA 和 GA 的含量始终均高于 75B;75A 的 ZR 含量表现先升后降的动态变化,与 75B 变化相反<sup>[17]</sup>。而在对水萝卜胞质雄性不育系 92A 及其保持系 92B 花蕾中内源激素 IAA、GA、ABA 和 ZR 的含量研究结果表明,IAA、ABA 和 ZR 含量的增加和 GA 含量的异常可能与 92A 小孢子败育发育有关<sup>[18]</sup>。试验中萝卜花蕾发育过程中与可育对照相比,不育株内源激素含量变化差异显著。IAA 由缓慢到急剧下降再上升,ABA 先下降后上升再又下降,GA<sub>3</sub> 波动下降,ZR 下降后又恢复到正常水平,JA 先微降后上升。与前人<sup>[15,17-18]</sup> 研究结果有所差异,表明不同材料、不同不育源,内源激素的含量变化不同。

综观已报道的雄性不育作物内源激素研究结果显示,除春夏萝卜<sup>[18]</sup> 和烟草<sup>[19]</sup> 不育花蕾中的 IAA 含量比对照高之外,其余大部分不育材料 IAA 含量均比对照要低;而 ABA、GA 和 ZR 等含量各自有升有降,这表明不同材料、不同不育源,内源激素的含量变化差异很大。该试验所用萝卜材料,不育源也是 oug 型,在四分体前后开始呈现败育现象,此时的花蕾纵径大小约为 1.0~2.0 mm<sup>[20-21]</sup>。该时期不育株内源激素比较如图 1-F 显示,不育株内源 IAA 含量上升 32.09%,ABA 含量下降 75.45%,JA 含量下降 11.20%,其余 2 种内源激素含量差异很小,可见 ABA 含量的显著下降可能与雄性不育关系密切,这与番茄雄性不育 st-2 突变体的情况相似。

### 3.2 激素比值与雄性不育的关系

植物育性表达的调控除了受激素含量的影响外,多数情况下是激素之间相互协作或者互相拮抗共同起作用的结果。该研究结果表明,IAA/GA<sub>3</sub>、IAA/ZR、IAA/ABA 和 GA<sub>3</sub>/ABA 比值在可育株中都表现为下降趋势,IAA/ABA 和 GA<sub>3</sub>/ABA 变化较平稳,而 IAA/GA<sub>3</sub> 和 IAA/ZR 下降幅度大;不育株中则呈现出 2 种趋势,IAA/GA<sub>3</sub>、IAA/ZR 和 GA<sub>3</sub>/ABA 比值表现为先降后升,而 IAA/ABA 表现为先升后降,变化起伏较大。在胞质雄性不育烟草中也有相同发现<sup>[19]</sup>。

不育株与可育株相比,IAA/GA<sub>3</sub> 在花蕾纵径 ≤ 3.0 mm 时变化趋势一致,与胞质雄性不育辣椒的结果一致<sup>[22]</sup>,结合萝卜败育的时期,因此认为 IAA/GA<sub>3</sub> 比值与育性发生关系不大。IAA/ZR 和 IAA/ABA 比值变化趋势相似,但发生的时期存在差异。IAA/ZR 比值只有在花蕾纵径 2.0~3.0 mm 时下降到低于可育株。而 IAA/ABA 在花蕾纵径 ≤ 2.0 mm 低于可育株,之后上升并一直高于可育株。IAA/ABA 比值变化主要集中在花蕾纵径 ≤ 3.0 mm 时期,花蕾纵径为 1.0~2.0 mm 时比值最高,是可育株的 5.4 倍,可能是导致雄性不育的原因之一。胞质雄性不育辣椒 IAA/ABA 保持系高于不育系与该试验结果相反。该试验表明,GA<sub>3</sub>/ABA 和 IAA/ZR 在不育株与可育株花蕾纵径 ≤

3.0 mm 时期比值失衡与雄性不育有关,这与胞质雄性不育白菜败育的原因<sup>[11]</sup> 相似。在对烟草的研究发现,所有不育系各时期花蕾中 IAA/ABA、GA<sub>3</sub>/ABA 均高于相应保持系,与该试验结果不同。总体对于激素平衡与雄性不育关系方面研究较少,致使在此方面的研究数据、理论匮乏。虽然普遍认为激素平衡关系失调是导致雄性不育的重要原因,但不同不育系激素平衡失调的方式、程度应该是今后重点研究的内容。

由于花蕾发育初期,本身相对较小,而雄蕊更小。目前大部分研究仍是采取统计学的办法,假设二者花蕾除雄蕊之外的部位激素含量相同,因此花蕾中内源激素含量间的差别即可看作二者雄蕊之间的差异。这种方法并不能精确反映激素含量和不育性之间的对应关系,也可能是造成众多研究结果之间存在显著差异的原因。植物激素免疫传感器的开发应用,必将使这个方向的研究进入一个新的阶段。

### 参考文献

- [1] Peng J R, Gibberellin and Jasmonate Crosstalk during Stamen Development[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2009, 51(12): 1064-1070.
- [2] Gaillard C, Moffatt B, Blacker M, et al. Male sterility associated with APRT deficiency in *Arabidopsis thaliana* results from a mutation in the gene APT1[J]. Molecular and General Genetics, 1998, 257(3): 348-353.
- [3] Sun T, Kaimaya Y. The Arabidopsis GAL locus encodes the cytochrome P-450 CYP79B2, a gibberellin biosynthetic enzyme[J]. Plant Cell, 1994, 6(10): 1509-1518.
- [4] 戴良英,徐领会,黄大昉,等.拟南芥 ASKI 与 COIL 形成蛋白复合体并调控雄性不育[J].中国科学(C 辑),2002,32(5):399-404.
- [5] Shekhawat G S, Mathur S, Batra A. Role of phytohormones and nitrogen in somatic embryogenesis induction in cell culture derived from leaflets of *Azadirachta indica* [J]. Biologia Plantarum, 2009, 53(4): 707-710.
- [6] Santokh Singh, Sawhney V K. Abscisic acid in a male sterile tomato mutant and its regulation by low temperature[J]. Journal of Experimental Botany, 1998, 49(319): 199-203.
- [7] Zhang Y, Schwarz S, Saedler H, et al. SPL8, a local regulator in a subset of gibberellin-mediated developmental processes in *Arabidopsis*[J]. Plant Mol. Biol, 2007, 63: 429-439.
- [8] Ishimaru K, Takada K, Watanabe S, et al. Stable male sterility induced by the expression of mutated melon ethylene receptor genes in *Nicotiana tabacum*[J]. Plant Sci, 2006, 3: 355-359.
- [9] Duca M, Port A. Gibberellin-induced gene expression associated with cytoplasmic male sterility in sunflower [J]. Biotechnology & Biotechnological Equipment, 2008, 22(2): 691-698.
- [10] 田长恩,张明永,段俊,等.油菜细胞质雄性不育株及其保持系不同发育阶段内源激素动态变化初探[J].中国农业科学,1998,31(94): 20-25.
- [11] 史公军,侯喜林,胡巍.细胞质雄性不育白菜败育过程中激素和多胺含量的变化[J].西北植物学报,2004,24(11): 2109-2112.
- [12] 吴智明,胡开林,符积钦,等.辣椒胞质雄性不育与花蕾内源激素含量的关系[J].华南农业大学学报,2010,31(2): 1-4.
- [13] 赵玉锦,童哲,陈华君,等.内源植物激素与光敏核不育水稻农垦 58S 育性的关系[J].植物学报,1996,38(12): 936-941.
- [14] 邓代信,汪隆植,龚义勤,等.萝卜雄性不育株内源激素及游离氨基酸分析[J].种子,2006,25(3): 31-34.
- [15] 任喜波,戴希尧,魏毓棠.不同核背景的萝卜细胞质雄性不育与

内源激素关系的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(2): 169-172.

[16] 许明, 白明义, 魏毓棠. 紫菜薹细胞质雄性不育系及其保持系在不同发育时期内源激素的变化[J]. 西北农业学报, 2007, 16(3): 124-127, 135.

[17] 任喜波, 戴希尧, 魏毓棠, 等. 萝卜金花薹细胞质雄性不育系与其保持系内源激素含量比较研究[J]. 吉林农业大学学报, 2006, 8(4): 407-410, 414.

[18] 戴希尧, 任喜波, 魏毓棠. 春夏萝卜雄性不育与内源激素含量关系的研究[J]. 北方园艺, 2007(1): 9-10.

[19] 刘齐元, 刘飞虎, 黄海泉, 等. 烟草胞质雄性不育性与花蕾组织内源激素的平衡关系[J]. 烟草科技, 2006, 226(5): 51-53.

[20] 李丹, 李锡香, 沈锦. 萝卜小孢子不同发育时期的细胞学和花器官形态特征观察[J]. 中国蔬菜, 2008(10): 11-15.

[21] 张丽, 宫国义, 魏毓棠, 等. 萝卜雄性不育小孢子发生的形态学研究[J]. 华北农学报, 2002, 17(3): 84-89.

[22] 沈火林, 安岩, 乔志霞. 胞质雄性不育和核雄性不育辣椒内源激素含量的变化[J]. 华北农学报, 2006, 21(1): 68-71.

## Analysis on the Changes of Phytohormones During Flower Bud Development in Male-sterile Radish

SUN Xi-lu, XU Xiao-yong, ZHANG Lu-gang

(College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Key Laboratory of Horticulture Plant Germplasm Resource Utilization in Northwest China, Yangling, Shaanxi 712100)

**Abstract:** The changes of the contents of endogenous phytohormones were measured by ELISA (enzymelinked immunosorbent assay) to analyse the dynamic changes of endogenous phytohormones in different development stages of buds between male sterility and fertile radish. The results showed that the change of the phytohormones contents was significant during the whole bud development stages in male fertile and sterile plants at the development stage when the sterile phenomenon begin to appear, the content of IAA in male sterile bud was higher 32.09% than that in the normal fertile bud; while ABA and JA content were 75.45% and 16.18% lower than that of CK, respectively. The contents of the other two phytohormones change little. The change of IAA/ABA, IAA/ZR, IAA/GA<sub>3</sub>, GA<sub>3</sub>/ABA were inconsistent, and the discrepancy of them was significant, IAA/ABA, IAA/ZR and GA<sub>3</sub>/ABA showed inbalance when the sterile phenomenon began to appear, and suggested that endogenous hormones may be related to male sterility tightly in radish.

**Key words:** radish; male sterility; flower buds; phytohormone

### 果农的挚友 致富的向导

## 欢迎订阅《果树实用技术与信息》

《果树实用技术与信息》是由农业部主管, 中国农业科学院果树研究所主办的果树科普类期刊, 是国家“农家书屋工程”重点推荐期刊。本刊为月刊, 16开本, 彩色四封。集科学性、实用性、时效性于一体。全方位报道我国果树生产和发展的最新动态、新技术、新成果、新品种、新农药等。内容丰富、实用、及时, 装帧印刷精美。欢迎踊跃订阅, 欢迎惠登广告, 欢迎投稿。

主要栏目: 栽培技术、良种荟萃、设施栽培、土肥水管理、整形修剪、常绿果树、果树医院、盆栽果树、育苗技术、贮藏与加工、生产建议、致富经、广角镜、专家讲座、果业信息等。

### 及时 实用 专业 权威

国内发行, 邮发代号: 8-220。每册定价 3.80 元, 全年 45.60 元, 读者可到当地邮局(所)订阅。也可直接汇款至本刊编辑部订阅, 免邮费。

地址: 辽宁省兴城市兴海南街 98 号中国农业科学院果树研究所《果树实用技术与信息》编辑部

邮编: 125100

电话: 0429-3598276

电子邮箱: gssyjs2007@sohu.com