

高原夏季胡萝卜肉质根内源激素变化及其与先期抽薹的关系

杨永岗^{1,2}, 张化生², 李亚莉², 王晓巍², 郁继华^{1,*}, 王小丽³

(¹甘肃农业大学农学院, 兰州 730070; ²甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 兰州 730070; ³甘肃农业大学外语学院, 兰州 730070)

摘要:以胡萝卜耐抽薹品种‘新秀三红’和易抽薹品种‘岐山透心红’的未抽薹和抽薹植株的肉质根为材料, 研究了高原夏季胡萝卜肉质根内源激素变化及其与先期抽薹的关系。结果表明: 苗期肉质根内源激素含量逐渐下降; 叶片旺盛生长期 GA₃、GA₄、IAA 和 IPA 含量先升高后下降, ZR 和 DHZR 含量持续下降后逐渐升高; 肉质根迅速膨大期 ZR 和 IAA 含量逐渐升高, 其它激素含量均渐下降。长日照条件下, 易抽薹品种中未抽薹植株肉质根的内源 GA₃ 和 ZR 含量较低, GA₄ 和 IAA 含量较高, 与耐抽薹品种的差异均显著; 易抽薹品种中先期抽薹植株肉质根的 IAA 和 IPA 含量较高, GA₃ 和 ABA 含量较低, 与其未抽薹植株肉质根的差异均显著。较低含量的 GA₃ 与较高含量的 IAA 促进胡萝卜的先期抽薹, 较高的 IAA/ZR、GA₄/ZR 比值可导致胡萝卜的先期抽薹。

关键词: 胡萝卜; 肉质根; 内源激素; 先期抽薹

中图分类号: S 631.2

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2010) 07-1102-07

Endogenous Hormone Content of Fleshy Root in Relation to Early Bolting in Summer Cultivated Carrot on Plateau

YANG Yong-gang^{1,2}, ZHANG Hua-sheng², LI Ya-li², WANG Xiao-wei², YU Ji-hua^{1,*} and WANG Xiao-li³

(¹College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; ²Vegetable Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China; ³College of Foreign Languages, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The fleshy and bolting roots of ‘Qishan Touxinhong’ (an early-bolting variety) and the fleshy root of ‘Xinxiu Sanhong’ (a late-bolting variety) were used as materials to discuss the relationship between the change of endogenous hormone content and early bolting of carrot (*Daucus carota* L. var. *sativa* DC.). The results showed that the contents of endogenous hormones in fleshy root decreased gradually on seedling stage. The contents of GA₃, GA₄, IAA and IPA increased firstly to higher levels and then declined by degrees, while the contents of ZR and DHZR continually declined to the lowest levels and then increased during leaf fast-developing period. The contents of ZR and IAA increased to the higher levels and the other endogenous hormones content declined slowly during root fast-thickening stage. During the long-days in summer, compared with ‘Xinxiu Sanhong’, the contents of GA₃ or ZR in fleshy

收稿日期: 2010-02-08; 修回日期: 2010-04-23

基金项目: 国家地方科技支撑计划课题 (2007BAD52B01)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: yujihua@gsau.edu.cn)

roots of ' Qishan Touxinhong ' (FRQ) were significantly lower, while GA_4 and IAA in FRQ were significantly higher; In bolting roots of ' Qishan Touxinhong ', the contents of IAA and IPA were significantly higher and GA_3 , ABA were significantly lower than those of in FRQ. As to early bolting, lower content of GA_3 and higher content of IAA played positive roles. Furthermore, higher ratios of IAA to ZR, GA_4 to ZR led to early bolting of carrot.

Key words: carrot; *Daucus carota* L. var. *sativa* DC.; fleshy root; endogenous hormone content; early bolting

目前西北高原夏季胡萝卜栽培面积超过 1.7 万 hm^2 (庄飞云等, 2008), 其生产中先期抽薹现象较为普遍。先期抽薹可导致胡萝卜产量与商品率降低, 是影响高原夏季胡萝卜高效安全生产的一个突出问题。内源 GA 含量与萝卜抽薹开花存在显著正相关 (Nakayama et al., 1995), 萝卜抽薹前夕内源 GA_3 含量有一个明显的高峰, 而 IAA 含量在花芽分化及抽薹时明显增加 (王淑芬等, 2003), 据此推测胡萝卜内源激素变化与其先期抽薹可能存在一定关系, 但未见相关研究报道。

本试验中选用耐抽薹与易抽薹胡萝卜品种, 研究了高原夏季栽培的胡萝卜肉质根内源激素含量变化及其与先期抽薹的关系, 旨在为高原夏季胡萝卜新品种选育与安全高效栽培提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2008 年 4—9 月在甘肃省农业科学院蔬菜研究所皋兰示范点 (海拔 1 860 m) 进行。选用胡萝卜品种 2 个, 分别是 '新秀三红' (耐抽薹, 2006—2008 年 3 年平均抽薹率为 0.17%), '岐山透心红' (易抽薹, 2006—2008 年 3 年平均抽薹率为 13.37%)。小区面积 24 m^2 , 重复 4 次。田间管理均同高原夏季胡萝卜高产栽培技术。

1.2 取样方法

自胡萝卜出苗 30 d 始, 每 10 d 各品种选取代表性肉质根 5 株, 取肉质根及其根毛液氮速冻后放 $-70^\circ C$ 的冰箱冷冻保存, 用于内源激素测定。自田间发现抽薹植株时始, 每 10 d 增取 '岐山透心红' 抽薹植株 5 株, 取抽薹根及其根毛液氮速冻后低温冷冻保存, 用于内源激素测定。自肉质根迅速膨大期始 (出苗 80 d), 每 10 d 增取 '新秀三红' 肉质根 5 株, 从顶部到尾部均匀分为上、中、下 3 部分, 从外部到内部均匀分为外、中、心 3 部分, 取各相应部分液氮速冻后低温冷冻保存, 用于内源激素测定。

1.3 激素含量测定

采用酶联免疫吸附法 (ELISA) 测定样品中的 IAA、 GA_3 、 GA_4 、ABA、ZR、DHZR 和 IPA 含量。试剂盒由中国农业大学农学与生物技术学院提供。样品处理方法: 用 80% 甲醇溶液 [含二叔丁基对甲苯酚 (BHT) 1 $mmol \cdot L^{-1}$] 将肉质根样品 1.0 g 匀浆, 4 $^\circ C$ 下提取 8 h, 4 $^\circ C$ 下 4 000 $r \cdot min^{-1}$ 离心 10 min, 取上清液后, 沉淀再用 80% 甲醇重复提取 2 次, 合并上清液, 过 Sep-PackC18 柱纯化, 氮气吹干, PBSTG 溶解定容至 2 mL, 用于 ELISA 测定。在 BIO-RAD Mode 550 (美国生产) 酶联免疫仪上读数, 波长 490 nm。

数据用 SPSS16.0 分析。

2 结果与分析

2.1 肉质根膨大过程中内源激素含量的变化

2.1.1 赤霉素 (GA_3)

图 1 显示, 苗期 (出苗 35 ~ 45 d) 肉质根内源 GA_3 含量逐渐降低, 耐抽薹品种新秀三红高于易抽薹品种岐山透心红。在叶片旺盛生长期 (出苗 55 ~ 85 d) 的长日照条件下, 新秀三红的内源 GA_3 含量先升高至峰值后缓慢下降, 岐山透心红在出苗 45 ~ 75 d 相对稳定, 出苗 75 ~ 85 d 快速下降至较低水平, 抽薹岐山透心红呈低水平下的缓慢升高态势; 新秀三红高于岐山透心红, 未抽薹岐山透心红高于抽薹岐山透心红。肉质根迅速膨大期 (出苗 85 d 以后) 内源 GA_3 含量逐渐降低, 抽薹岐山透心红低于新秀三红。由此可见, 内源 GA_3 含量变化存在品种间与是否抽薹类型间的显著差异, 低含量的 GA_3 可促进胡萝卜先期抽薹。

2.1.2 赤霉素 (GA_4)

图 2 表明, 苗期与肉质根迅速膨大期, 肉质根内源 GA_4 含量逐渐降低。叶片旺盛生长期, 抽薹与未抽薹的岐山透心红的内源 GA_4 含量先快速升高至较高峰值后逐渐降低, 而新秀三红为逐渐升高至一定值后缓慢下降; 出苗 55 ~ 75 d, 抽薹与未抽薹的岐山透心红的内源 GA_4 含量高于新秀三红, 差异达极显著水平。由此表明, 在叶片旺盛生长期的长日照条件下, 内源 GA_4 含量的变化存在品种间的显著差异, 较高含量的 GA_4 可促进胡萝卜先期抽薹。

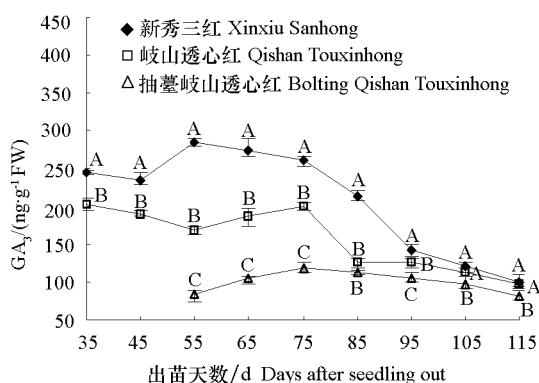


图 1 肉质根内源 GA_3 含量的变化

Fig. 1 Changes of GA_3 content during roots development

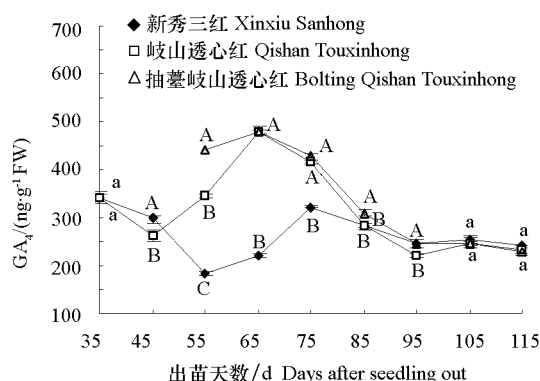


图 2 肉质根内源 GA_4 含量的变化

Fig. 2 Changes of GA_4 content during roots development

2.1.3 生长素 (IAA)

由图 3 可见, 苗期肉质根内源 IAA 含量逐渐降低, 岐山透心红高于新秀三红。叶片旺盛生长期, 抽薹与未抽薹的岐山透心红内源 IAA 含量变化为先升高至较高峰值, 随后逐渐下降的态势, 而新秀三红为逐渐升高至较低峰值后缓慢降低的态势; 抽薹岐山透心红的内源 IAA 含量最高, 其次是岐山透心红, 再次是新秀三红。肉质根迅速膨大期, 内源 IAA 含量变化为先逐渐降低后又逐渐升高态势; 内源 IAA 含量由高至低的排序为抽薹岐山透心红、岐山透心红和新秀三红。上述现象表明, 较高含量的 IAA 可促进胡萝卜的先期抽薹。

2.1.4 脱落酸 (ABA)

图 4 表明, 苗期肉质根内源 ABA 含量均逐渐降低; 易抽薹品种岐山透心红高于耐抽薹品种新秀三红。叶片旺盛生长期, 内源 ABA 含量相对稳定; 岐山透心红抽薹根的内源 ABA 含量低于新秀

三红和岐山透心红肉质根,而两品种肉质根的内源 ABA 含量相近。上述现象表明,在苗期和叶片旺盛生长期,内源 ABA 含量存在品种间与抽薹根和肉质根间的显著差异,ABA 对胡萝卜先期抽薹有促进和抑制双重作用。

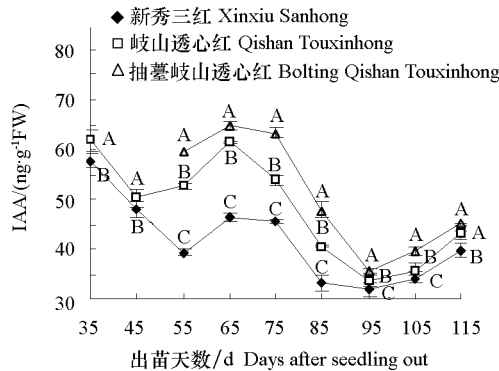


图3 肉质根内源 IAA 含量的变化

Fig. 3 Changes of IAA content during roots development

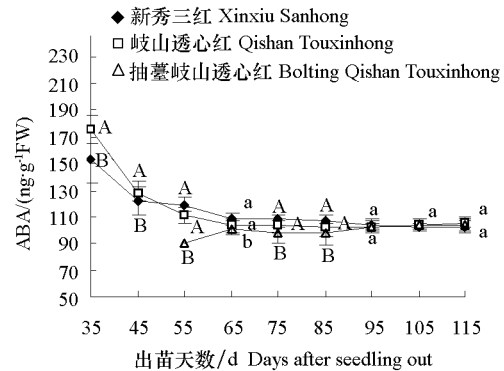


图4 肉质根内源 ABA 含量的变化

Fig. 4 Changes of ABA content during roots development

2.1.5 玉米素核苷 (ZR)

由图 5, A 可见,苗期肉质根内源 ZR 含量逐渐下降,岐山透心红高于新秀三红。叶片旺盛生长期(出苗 55~85 d)新秀三红的内源 ZR 含量变化为先升高后逐渐降低的态势,而抽薹与未抽薹岐山透心红为持续下降后又逐渐升高的态势;新秀三红 65~75 d 的内源 ZR 含量高于抽薹和未抽薹岐山透心红。肉质根迅速膨大期,内源 ZR 含量逐渐升高至较大值;抽薹和未抽薹岐山透心红的内源 ZR 含量高于新秀三红。

由此表明,内源 ZR 含量变化存在品种间的显著差异,但含量差异性在苗期和叶片旺盛生长期不一致,说明 ZR 对胡萝卜先期抽薹有促进和抑制的双重作用。

2.1.6 双氢玉米素核苷 (DHZR)

由图 5, B 可见,肉质根内源 DHZR 含量变化趋势与 ZR 较为相似,但未见品种间及是否抽薹类型间有规律性的显著差异,表明内源 DHZR 与胡萝卜先期抽薹间的关系不密切。

2.1.7 异戊烯基腺嘌呤核苷 (IPA)

由图 5, C 可见,叶片旺盛生长期(55~85 d)内源 IPA 含量逐渐升高至峰值后逐渐降低;岐山透心红抽薹根的内源 IPA 含量高于岐山透心红和新秀三红的肉质根,而两品种肉质根的

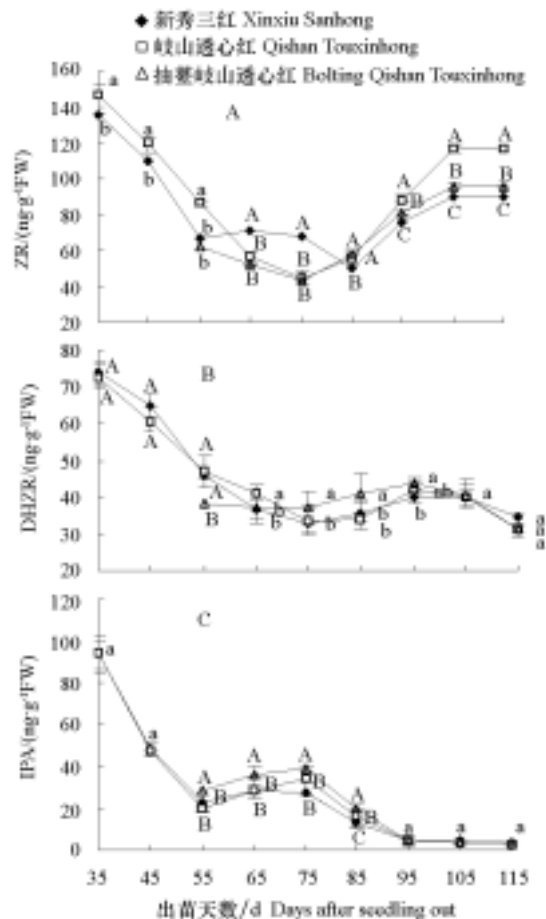


图5 肉质根内源细胞分裂素含量的变化

Fig. 5 Changes of Cytokinin content during roots development

内源 IPA 含量在 55 ~ 65 d 相近, 在 75 ~ 85 d 存在显著差异。上述现象表明, 叶片旺盛生长期, 抽薹根和肉质根间的内源 IPA 含量变化存在显著差异, 较高含量的 IPA 对胡萝卜的先期抽薹起促进作用。

2.2 不同部位内源激素含量变化

2.2.1 纵向差异

图 6 表明, 在肉质根迅速膨大期, 肉质根内源 GA_4 、ABA、ZR、IPA 含量的分布具有顶端优势, 其顶部最高, 中部次之, 尾部最低: 其中 ABA 和 ZR 顶、中、尾部含量差异显著, GA_4 顶中部含量相近、与尾部差异显著, IPA 尾部与中部含量相近、与顶部差异显著; 内源 IAA、DHZR 含量分布具有两端优势, 其顶尾部较高, 中部较低: 其中 IAA、DHZR 顶尾部含量相近、与中部差异显著。至膨大后期, 内源 IAA 含量仍保持尾端优势, 其尾部含量显著高于顶中部; 肉质根顶、中、尾部的其它内源激素含量趋均匀分布。

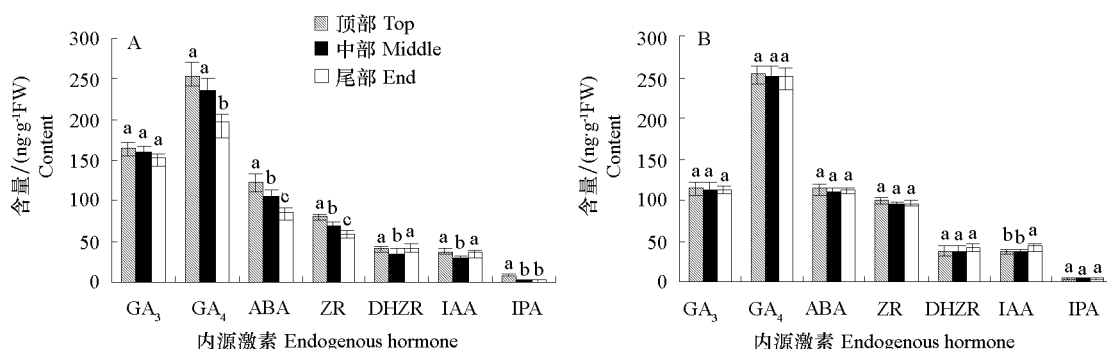


图 6 肉质根迅速膨大期 (A) 和膨大后期 (B) 纵向不同部位激素含量的变化

Fig. 6 The changes of hormone content in root's vertical parts on prophase (A) and anaphase (B) of fast thickening stage

2.2.2 横向差异

图 7 表明, 在迅速膨大期, 除 IPA 外, 肉质根内源激素含量的层间分布呈外层优势, 外层含量最高, 中层次之, 心层最低: ZR 外、中、心层含量差异显著, GA_4 、IAA 和 ABA 外中层含量相近, 与心层差异显著, GA_3 和 DHZR 外层与心层含量差异显著, 外层与中层及中层与心层含量相近。至膨大后期, 肉质根外、中、心层间内源激素含量趋均匀分布。

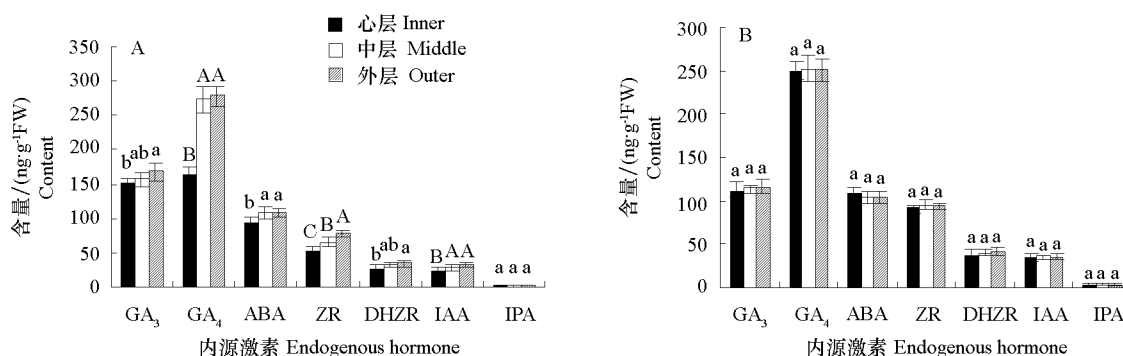


图 7 肉质根迅速膨大期 (A) 和膨大后期 (B) 横向不同部位激素含量的变化

Fig. 7 The changes of hormone content in root's horizontal parts on prophase (A) and anaphase (B) of fast thickening stage

2.3 内源激素比值变化

图 8 表明，在叶片旺盛生长期（出苗 55 ~ 85 d）的长日照条件下，抽薹与未抽薹岐山透心红的 IAA/ZR、GA₄/ZR 的比值显著高于新秀三红，表明较高的 IAA 与 ZR、GA₄ 与 ZR 比值可导致胡萝卜的先期抽薹。

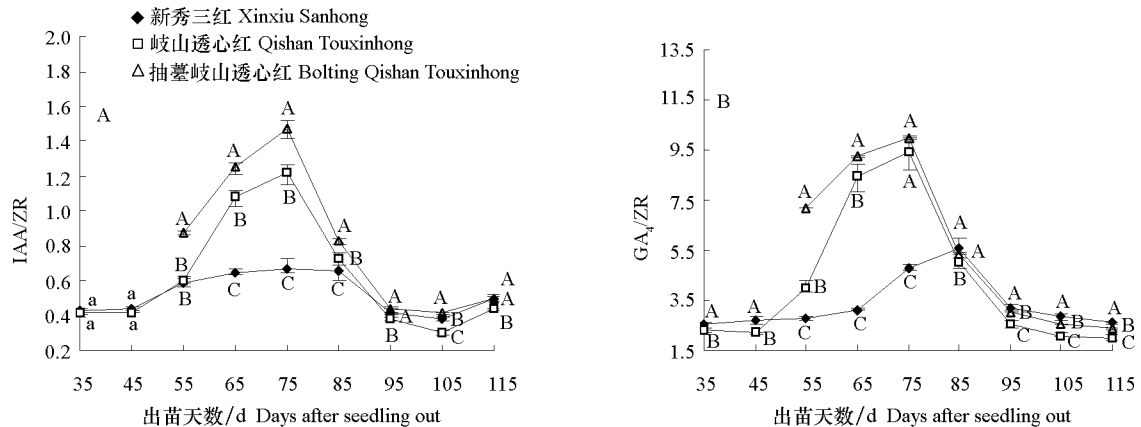


图 8 肉质根内源激素比值的变化

Fig. 8 The ratios of endogenous hormones during the root development

3 讨论

低温和长日照处理下萝卜茎杆和叶片中的内源 GA₅ 和 GA₄ 含量增加，GA₅ 和 GA₄ 的增加对萝卜先期抽薹起促进作用（Nakayama et al., 1995；Nishijima et al., 1995, 1998；宋贤勇 等，2007）。本试验中发现高原夏季长日照环境条件诱导易抽薹胡萝卜品种的内源 GA₄、IAA、IPA 含量显著升高，诱导耐抽薹品种的内源 GA₃、ZR 含量显著升高，较高含量的 GA₄、IAA 和 IPA 促进胡萝卜的先期抽薹，较高含量的 GA₃ 抑制胡萝卜的先期抽薹；易抽薹品种的肉质根内源 ABA 和 ZR 含量在苗期高于耐抽薹品种，而其抽薹根和肉质根的内源 ABA 和 ZR 含量在叶片旺盛生长期却低于耐抽薹品种，说明 ABA 与 ZR 对胡萝卜的先期抽薹起促进与抑制的双重作用。

前人研究表明，植物激素间的平衡关系对植物生长发育的调节作用更为重要（王世平等，1989；黄辉白 等，1991；李宗霖和周燮，1996；唐定台 等，1996；苏华 等，2007）。本试验研究结果表明较高的 IAA 与 ZR、GA₄ 与 ZR 比值可导致胡萝卜的先期抽薹，内源 IAA、ZR、GA₄ 的平衡对胡萝卜先期抽薹有重要的调控作用，其原因是在高原夏季环境条件诱导下，内源激素合成基因表达量发生了显著变化，改变了肉质根的内源激素含量及其平衡关系，导致了胡萝卜的先期抽薹，但耐抽薹品种新秀三红不易抽薹、内源激素含量变化受环境影响小的原因：（1）是其合成 GA₃ 与 GA₄ 的早期 C₁₃ 羟化途径和早期 C₁₃ 非羟化途径对长日照条件不敏感，内源 GA₃ 与 GA₄ 合成正常进行，内源 GA₃ 含量较高、GA₄ 含量较低，促进了肉质根快速膨大，并抑制了其生殖生长（武维华 等，2003）。（2）是在长日照条件下 ZR 合成速度加快，使肉质根保持了较低的 IAA 与 ZR、GA₄ 与 ZR 比值。（3）是在叶片旺盛生长期 ABA 合成速度较快，有利于肉质根的物质积累与膨大。

甘薯块根内源激素含量的分布具有顶端优势与内中部优势（王庆美 等，2005）。从本试验结果来看，在迅速膨大期，肉质根顶尾部内源激素含量分布具顶端或顶尾部优势，外、中、心层内源激素含量呈“由内至外递增”分布态势；至膨大后期，肉质根不同部位内源激素含量趋均匀分布。

胡萝卜是两年生绿体春化植物,本试验中对高原夏季胡萝卜苗期内源激素含量变化的研究不够详尽,要全面探讨内源激素与高原夏季胡萝卜先期抽薹的关系,还需进一步研究苗期内源激素含量的变化与花芽分化的关系。

References

- Huang Hui-bai, Cheng Hong, Huang Di-hui, Gao Fei-fei, Yuan Rong-cai, Xu Jian-kai. 1991. Hormone and nucleic acid metabolism in response to floral promotion and inhibition in citrus. *Acta Horticulturae Sinica*, 18 (3): 198–204. (in Chinese)
- 黄辉白, 程洪, 黄迪辉, 高飞飞, 袁荣才, 许建恺. 1991. 柑桔促进与抑制成花情况下的激素与核酸代谢. *园艺学报*, 18 (3): 198–204.
- Li Zong-ting, Zhou Xie. 1996. *Phytohormon and immunity technology*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press: 52–102. (in Chinese)
- 李宗霆, 周燮. 1996. 植物激素及免疫检测技术. 南京: 江苏科学技术出版社: 52–120.
- Nakayama M, Yamane H, Nojrn H. 1995. Qualitative and quantitative analysis of endogenous gibberellin in *Raphanus sativus* L. during cold treatment and the subsequent growth. *Biosci Biotech Biochem*, 59: 1121–1125.
- Nishijima T, Koshioka M, Yamazaki H, Miura H, Mander N. 1995. Endogenous gibberellins and bolting in ultivears of Japanese radish. *Acta Horticulturae*, 394: 199–206.
- Nishijima T, Katsura N, Yamazaki H. 1998. Role of endogenous gibberellins cold-induced stem elongation and flowering of Japanese Radish (*Raphanus sativus* L.). *Japan Soc Hort Sci*, 67 (3): 319–330.
- Song Xian-yong, Liu Li-wang, Gong Yi-qin, Huang Dian-qiong, Wang Long-zhi. 2007. Hormone content and balance during bolting of spring radish (*Raphanus sativus* L.). *Bulletin of Botanical Research*, 27 (2): 182–185. (in Chinese)
- 宋贤勇, 柳李旺, 龚义勤, 黄丹琼, 汪隆植. 2007. 春萝卜抽薹过程中内源激素含量变化分析. *植物研究*, 27 (2): 182–185.
- Su Hua, Xu Kun, Liu Wei. 2007. Changes of endogenous hormones during the process of flower bud differentiation of welsh onion. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (3): 671–676. (in Chienes)
- 苏华, 徐坤, 刘伟. 2007. 大葱花芽分化过程中内源激素的变化. *园艺学报*, 34 (3): 671–676.
- Tang Ding-tei, Xu Min-xin, Feng Yong-hong. 1996. *In vitro* flowing from explants in *Dianthus chinesis* L. and factors influenced flower formation. *Acta Horticulturae Sinica*, 23 (3): 277–280. (in Chinese)
- 唐定台, 徐民新, 冯永红. 1996. 石竹试管花的诱导及其影响因子的研究. *园艺学报*, 23 (3): 277–280.
- Wang Qi-mei, Zhang Li-ming, Wang Zhen-lin. 2005. Formation and thickening of tuberous roots in relation to the endogenous hormone concentrations in sweetpotato. *Scientia Agricultura Sinia*, 38 (12): 2417–2420. (in Chinese)
- 王庆美, 张立明, 王振林. 2005. 甘薯内源激素变化与块根形成膨大的关系. *中国农业科学*, 38 (12): 2417–2420.
- Wang Shu-fen, Xu Wen-ling, He Qi-wei, Liu Ji-bao, Zhang Chuan-kun. 2003. Influences of vernalizing deepness to radish bolting and GA₃ and IAA concentration changes during it's process. *Shandong Agricultural Science*, 6: 20–21. (in Chinese)
- 王淑芬, 徐文玲, 何启伟, 刘继保, 张传坤. 2003. 春化深度对萝卜抽薹的影响及抽薹过程中 GA₃ 和 IAA 含量的变化. *山东农业科学*, 6: 20–21.
- Wang Shi-ping, Xu Ming-xian, Sun Yun-wei. 1989. Study on the changes of the endogenous hormones in terminal buds of apple trees. *Journal of Fruit Science*, 6 (3): 137–142. (in Chinese)
- 王世平, 许明宪, 孙云蔚. 1989. 苹果顶芽中内源激素动态与成花关系研究. *果树科学*, 6 (3): 137–142.
- Wu Wei-hua, Zhang Shu-qiu, Yuan Ming, Zhang Jun, Wang Xue-chen. 2003. *Plant Physiology*. Beijing: China Science Press: 265–300. (in Chinese)
- 武维华, 张蜀秋, 袁明, 张军, 王学臣. 2003. 植物生理学. 北京: 科学出版社: 265–300.
- Zhuang Fei-yun, Ou Cheng-gang, Zhao Zhi-wei. 2008. Review and prospect of carrot breeding. *China Vegetables*, (3): 42–43. (in Chinese)
- 庄飞云, 欧承刚, 赵志伟. 2008. 胡萝卜育种回顾及展望. *中国蔬菜*, (3): 42–43.