

· 研究论文 ·

# 乙烯利对不同基因型玉米节间伸长 和内源激素的影响

卫晓轶, 张明才, 张 燕, 李召虎, 段留生\*

(植物生长调节剂教育部工程研究中心/中国农业大学 农学与生物技术学院,北京 100193)

**摘 要:**在玉米拔节期对12个常用玉米自交系喷施200 mg/L的乙烯利,探讨了乙烯利对不同基因型玉米节间伸长和内源激素的影响。结果表明,乙烯利处理后,除郑58、L6M、K12、豫自87-1和8085泰5个自交系各性状与对照相比无显著差异外,其余自交系表现为株高和穗位高降低,基部第3、4、5节间长度缩短,内源激素生长素(IAA)含量、赤霉素(GA<sub>4</sub>)与脱落酸(ABA)的比值降低,ABA含量升高,且差异均达显著或极显著水平,而GA<sub>4</sub>含量无明显变化规律。不同玉米自交系的形态指标(株高、穗位高和第3、4、5节间长度)和内源激素(IAA含量、ABA含量及GA<sub>4</sub>/ABA比值)均存在很大差异,相对变化百分数从6.41%到102.64%不等。各指标均能反映出不同基因型玉米植株对乙烯利的敏感性,其中,敏感性相对较强的有昌7-2、浚928、Mo17和丹340;相对较弱的有郑58、L6M、K12、豫自87-1和8085泰。

**关键词:**植物生长调节剂;乙烯利;玉米;基因型;内源激素

**DOI:**10.3969/j.issn.1008-7303.2011.05.07

中图分类号:S482.8

文献标志码:A

文章编号:1008-7303(2011)05-0475-05

## Effects of ethephon on internode elongation and endogenous hormones in different genotypes of maize

WEI Xiao-yi, ZHANG Ming-cai, ZHANG Yan, LI Zhao-hu, DUAN Liu-sheng\*

(Engineering Research Center of Plant Growth Regulator, Ministry of Education, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract:**To investigate the effect of ethephon on internode elongation and endogenous hormones in different genotypes of maize, 12 commonly used inbreeding lines of maize were sprayed with 200 mg/L ethephon at jointing stage. The results showed that, after the treatment of ethephon, five inbreeding lines (Zheng 58, L6M, K12, Yu-zi 87-1 and 8085 Tai) had no significant differences for the characters compared with the control, the other inbreeding lines showed significant difference in plant height, ear height and length of the third to fifth internodes, decreased contents of endogenous hormone IAA and ratio of GA<sub>4</sub>/ABA, and increased contents of endogenesis hormone ABA, comparing with that of the control; while the contents of endogenesis hormone GA<sub>4</sub> showed no significant variation. Among different inbreeding lines, morphology indexes as the plant height, ear height and internodes length,

收稿日期:2011-03-17;修回日期:2011-03-27.

作者简介:卫晓轶(1984-),女,河南洛阳人,博士研究生, **E-mail:** xiaoyi\_919@126.com; \*通讯作者(Author for correspondence):段留生(1969-),男,山东菏泽人,教授,博士生导师,从事作物激素生理与化学控制的研究,电话:010-62731301, **E-mail:** duanlsh@cau.edu.cn

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目;“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD02A15).

content of IAA and ABA, and the ratio of  $GA_4/ABA$  showed remarkable differences, ranging from 6.41% to 102.64%. Each index could reflect the sensitivity of different maize genotypes to ethephon treatment. Among the 12 inbreeding lines, Chang 7-2, Xun 928, Mo17 and Dan 340 showed higher sensitivity to ethephon, while Zheng 58, L6M, K12, Yu-zi 87-1 and 8085 Tai showed lower sensitivity to ethephon.

**Key words:** plant growth regulator; ethephon; maize; genotype; endogenous hormones

随着我国玉米栽培水平的不断提高,密植与倒伏矛盾日益突出<sup>[1-2]</sup>,植物化控技术是降低玉米株高、防止倒伏的有效措施之一<sup>[3]</sup>。目前关于玉米化控防倒伏已有很多研究,并已在生产上发挥重要作用<sup>[4-5]</sup>,其中应用较多的玉米抗倒剂中多含有乙烯利。乙烯利能缩短玉米节间长度,降低穗位,但对其作用机理研究较少<sup>[6-9]</sup>。为了深入了解乙烯利影响玉米节间伸长的机理,笔者以具有不同遗传背景的玉米自交系为材料,研究了乙烯利处理后对株高、穗位高、节间长度以及内源激素的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于2009年夏在北京市亮甲店村试验田进行。12个生产上常用的玉米自交系为:郑58、昌7-2、浚926、浚928、9058、L6M、K12、Mo17、掖478、8085泰、丹340和豫自87-1。其中:郑58和昌7-2分别是郑单958的母本和父本;9058和浚926分别是浚单20的母本和父本;浚926是昌7-2与京7黄经连续自交选育而成的二环系;浚928引自浚县农科所;L6M是引自美国的自交系;K12引自陕西省农科院粮作所,是科河88的母本;Mo17是从美国引入系187-2×103的二环系,属于Lancaster Sure Crop系列;掖478是掖单13的母本;8085泰是含有热带基因的外引系,是奥玉3202的父本;丹340是旅大红骨种群的骨干自交系之一,是通过白轴旅9与有稃玉米杂交并经Co60辐射处理后多代自交选育而成;豫自87-1是豫玉22的父本。

75%乙烯利(ethephon)原药由植物生长调节剂教育部工程研究中心提供。

### 1.2 试验设计

经前期预备试验筛选,乙烯利作为防倒剂应用在玉米上的最适质量浓度为200 mg/L,每公顷施药液量为450 kg。若浓度过高,不但株高和节间变短,茎秆也会变细,生长受到严重抑制,且会导致减产;而浓度过低反而会促进长高。因此选择200 mg/L乙烯利(以少量去离子水溶解后加清水稀释到使用

浓度)进行处理,以清水作对照,在玉米叶龄指数为40%(九叶期)时进行叶面喷施。玉米于5月6日播种,密度为5.5万株/hm<sup>2</sup>,行距0.6 m,株距0.3 m。试验共分6个小区,小区面积为57.5 m<sup>2</sup>,处理和对照各3次重复,每个小区内品种间随机排列。常规措施管理,9月6日收获。

### 1.3 测定指标

乙烯利处理后4 d,采用酶联免疫法<sup>[10]</sup>测定快速伸长阶段的节间(第3节间)内源激素的含量。在成熟期测量各玉米试材的株高、穗位高和基部第3、4、5节间长度。

### 1.4 数据处理

各性状的相对变化百分数=(各性状的乙烯利处理值-各性状的对照值)/各性状的对照值×100。采用SAS V8软件对数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 乙烯利处理对形态指标的影响

收获时各玉米自交系的株高和穗位高见表1。可见经乙烯利处理后所有试材的株高和穗位高均低于对照。对于株高,除L6M与对照的差异达显著水平外,其余自交系均达极显著水平;对于穗位高,郑58和L6M与对照差异不显著,8085泰和豫自87-1与对照差异达显著水平,其余自交系差异均达极显著水平。

表2为玉米第3、4、5节间长度。可以看出,经乙烯利处理后,郑58、L6M和豫自87-1 3个自交系的第3至第5节间,K12的第3、4节间及8085泰的第3节间长度与对照相比差异不显著,其余自交系第3、4、5节间长度与对照相比均显著或极显著地缩短。

### 2.2 乙烯利处理对玉米内源激素含量的影响

与对照相比,乙烯利处理后所有自交系的IAA含量均极显著地降低(见表3)。除L6M经乙烯利处理后ABA含量与对照相比无显著差异外,其余试材的ABA含量均显著或极显著地升高。对于 $GA_4$ 含量,除丹340极显著降低外,昌7-2、浚926和

表1 乙烯利处理后各玉米自交系的株高和穗位高

Table 1 Plant height and ear height in inbreeding lines of maize after ethephon treatment

自交系 Inbreeding line	株高 Plant height/cm		穗位高 Ear height/cm	
	乙烯利 Ethephon	对照 CK	乙烯利 Ethephon	对照 CK
郑 58 Zheng 58	148.5 ± 2.2 A	168.3 ± 4.7 B	55.7 ± 2.1 a	61.3 ± 3.2 a
昌 7-2 Chang 7-2	107.1 ± 2.9 A	168.3 ± 4.0 B	47.0 ± 2.0 A	70.0 ± 5.0 B
浚 926 Xun 926	151.5 ± 5.8 A	215.0 ± 5.0 B	75.0 ± 3.5 A	103.0 ± 2.6 B
浚 928 Xun 928	134.2 ± 3.3 A	195.0 ± 5.0 B	65.0 ± 2.6 A	93.0 ± 2.6 B
9058	122.4 ± 7.4 A	159.7 ± 10.0 B	54.3 ± 2.5 A	68.3 ± 4.5 B
L6M	173.8 ± 4.0 a	185.7 ± 5.1 b	78.0 ± 5.3 a	81.7 ± 2.5 a
K12	179.0 ± 5.3 A	225.7 ± 12.9 B	70.3 ± 4.5 A	89.7 ± 4.0 B
Mo17	107.7 ± 3.8 A	173.3 ± 8.2 B	56.0 ± 2.0 A	89.5 ± 5.8 B
掖 478 Ye 478	129.6 ± 1.4 A	175.3 ± 5.0 B	61.3 ± 5.5 A	84.3 ± 3.1 B
8085 泰 8085 Tai	146.2 ± 4.4 A	178.5 ± 6.4 B	66.0 ± 3.5 a	79.5 ± 4.8 b
丹 340 Dan 340	129.3 ± 9.8 A	189.7 ± 5.0 B	64.5 ± 4.1 A	95.0 ± 5.0 B
豫自 87-1 Yuzi 87-1	189.8 ± 5.3 A	211.5 ± 2.2 B	87.0 ± 4.4 a	98.7 ± 3.5 b

注:不同小/大写字母分别代表处理间差异达 5%/1% 显著水平。

Note: Different small/capital letters means significance at 5%/1% probability levels for treatments, respectively.

表2 乙烯利处理后各玉米自交系的节间长度

Table 2 Internode length in inbreeding lines of maize after ethephon treatment/cm

自交系 Inbreeding line	第3节间 The 3rd internode		第4节间 The 4th internode		第5节间 The 5th internode	
	乙烯利 Ethephon	对照 CK	乙烯利 Ethephon	对照 CK	乙烯利 Ethephon	对照 CK
郑 58 Zheng 58	9.0 a	10.1 a	10.0 a	11.3 a	10.7 a	12.0 a
昌 7-2 Chang 7-2	5.0 A	7.5 B	8.5 A	12.0 B	8.0 A	13.0 B
浚 926 Xun 926	6.5 A	8.8 B	7.3 a	10.9 b	10.8 a	14.9 b
浚 928 Xun 928	6.2 A	8.8 B	7.8 a	10.8 b	9.0 a	12.0 b
9058	6.7 a	8.3 b	7.7 a	10.2 b	8.0 A	11.3 B
L6M	7.0 a	7.8 a	9.0 a	9.8 a	10.5 a	10.3 a
K12	10.0 a	12.0 a	7.3 a	9.0 a	10.0 A	12.8 B
Mo17	5.5 a	8.0 b	6.3 A	9.5 B	7.0 a	10.3 b
掖 478 Ye 478	8.3 A	10.5 B	9.0 a	11.5 b	10.3 A	13.3 B
8085 泰 8085 Tai	7.5 a	9.1 a	8.3 a	9.5 b	8.8 a	10.3 b
丹 340 Dan 340	9.7 a	13.0 b	10.5 a	14.5 b	10.9 a	15.0 b
豫自 87-1 Yuzi 87-1	11.0 a	12.8 a	12.0 a	13.5 a	13.5 a	14.6 a

注:不同小/大写字母分别代表处理间差异达 5%/1% 显著水平。

Note: Different small/capital letters means significance at 5%/1% probability levels for treatments, respectively.

表3 乙烯利处理后各玉米自交系的内源激素含量

Table 3 Endogenous hormone contents in inbreeding lines of maize after ethephon treatment

自交系 Inbreeding line	IAA/(ng/g FW)		GA <sub>4</sub> /(ng/g FW)		ABA/(ng/g FW)		GA <sub>4</sub> /ABA/(10 <sup>-3</sup> )	
	乙烯利 Ethephon	对照 CK	乙烯利 Ethephon	对照 CK	乙烯利 Ethephon	对照 CK	乙烯利 Ethephon	对照 CK
郑 58 Zheng 58	437.2 A	522.8 B	3.48 a	3.43 a	122.5 a	99.7 b	28.5 A	34.5 B
昌 7-2 Chang 7-2	297.2 A	558.7 B	1.17 a	1.32 b	143.5 A	75.9 B	8.2 A	17.4 B
浚 926 Xun 926	306.5 A	478.4 B	1.57 a	2.05 b	224.1 A	111.9 B	7.0 A	18.3 B
浚 928 Xun 928	173.2 A	304.6 B	1.79 a	2.03 b	484.3 A	267.3 B	3.7 A	7.6 B
9058	421.3 A	599.6 B	2.45 a	2.48 a	66.4 a	43.8 b	36.9 A	56.6 B
L6M	379.2 A	462.5 B	1.66 a	1.54 a	72.8 a	58.4 a	22.8 a	26.4 b
K12	349.5 A	486.2 B	2.22 a	2.56 a	186.6 A	127.8 B	11.9 A	20.0 B
Mo17	189.1 A	343.2 B	0.58 a	0.64 a	208.8 A	103.1 B	2.8 A	6.2 B
掖 478 Ye 478	257.8 A	369.4 B	2.19 a	2.32 a	43.5 a	26.3 b	50.4 A	88.2 B
8085 泰 8085 Tai	393.6 A	552.7 B	1.34 a	1.34 a	148.9 A	109.4 B	9.0 A	12.3 B
丹 340 Dan 340	269.4 A	451.7 B	0.72 A	1.72 B	692.9 A	359.7 B	1.0 A	4.8 B
豫自 87-1 Yuzi 87-1	300.7 A	359.8 B	1.20 a	1.20 a	634.9 A	556.8 B	1.9 a	2.2 a

注:不同小/大写字母分别代表处理间差异达 5%/1% 显著水平。

Note: Different small/capital letters means significance at 5%/1% probability levels for treatments, respectively.

浚 928 的  $GA_4$  含量均显著降低,而其余试材无显著变化。进一步对  $GA_4/ABA$  比值进行分析,发现豫自 87-1 经乙烯利处理后与对照差异不显著,L6M 的  $GA_4/ABA$  比值与对照相比显著降低,其余材料的  $GA_4/ABA$  比值与对照相比均极显著降低。

### 2.3 乙烯利处理后各性状的相对变化百分数

综合以上自交系材料的株高、穗位高、节间长度以及内源激素 IAA、ABA 和  $GA_4/ABA$  结果,结合表 4 中所列的相对变化百分数可知,乙烯利处理对郑 58、L6M、K12、豫自 87-1 和 8085 泰 5 个材料的各

性状均无显著影响或影响甚小,说明这 5 个自交系对乙烯利的敏感性较弱。如 L6M 的穗位高、节间长度和 ABA 含量与对照相比无显著差异,仅株高降低了 6.4%,IAA 含量降低了 18.0%, $GA_4/ABA$  减少了 13.5%,与其余自交系相比,L6M 的相对比值也均较小。而昌 7-2、浚 928、Mo17 和丹 340 自交系各性状的相对比值均较高,如 Mo17 的各个性状在乙烯利处理后的相对比值均高于 30%,说明昌 7-2、浚 928、Mo17 和丹 340 自交系对乙烯利的敏感性相对较强。

表 4 乙烯利处理后不同玉米自交系各个性状的相对变化百分数

Table 4 Relative change of each character in different inbreeding lines of maize after ethephon treatment

自交系 Inbreeding line	株高 Plant height/%	穗位高 Ear height/%	节间长度 Internode length/%			内源激素含量 Endogenous hormone content/%		
			3	4	5	IAA	$GA_4/ABA$	ABA
郑 58 Zheng 58	-11.8	-	-	-	-	-16.4	-17.4	22.9
昌 7-2 Chang 7-2	-36.4	-32.9	-33.3	-29.2	-38.5	-46.8	-53.1	89.0
浚 926 Xun 926	-29.5	-27.2	-26.1	-33.0	-27.5	-35.9	-61.8	100.3
浚 928 Xun 928	-31.2	-30.1	-29.6	-27.8	-25.0	-43.2	-51.3	81.2
9058	-23.4	-20.5	-19.3	-24.5	-29.2	-29.7	-34.7	51.4
L6M	-6.4	-	-	-	-	-18.0	-13.5	-
K12	-20.7	-21.6	-	-	-21.9	-28.1	-40.6	46.0
Mo17	-37.9	-37.4	-31.3	-33.7	-32.0	-44.9	-55.5	102.6
掖 478 Ye 478	-26.1	-27.3	-21.0	-21.7	-22.6	-30.2	-42.9	65.5
8085 泰 8085 Tai	-18.1	-17.0	-	-12.6	-14.6	-28.8	-26.5	36.1
丹 340 Dan 340	-31.8	-32.1	-25.4	-27.6	-27.3	-40.4	-78.3	92.7
豫自 87-1 Yuzi 87-1	-10.3	-11.9	-	-	-	-16.4	-	14.0

### 3 结论与讨论

乙烯利作为一种植物生长调节剂,其有效成分为 2-氯乙基磷酸,喷施后能释放乙烯<sup>[7]</sup>,乙烯可与 IAA、GA 和 ABA 等激素相互作用,调控植株节间的伸长生长<sup>[11-16]</sup>;而一些研究表明,乙烯是通过降低 ABA 水平,从而使植物激素整体处于动态平衡<sup>[17-20]</sup>。张彩琴认为乙烯利抑制节间伸长生长主要是通过降低节间  $GA_1$  含量,也即提高  $ABA/GA_1$  的比值<sup>[21]</sup>;Rzewuski 等则认为,在水稻中乙烯调节  $GA/ABA$  的动态平衡<sup>[13]</sup>。本研究中,所有自交系试材经乙烯利处理后,IAA 含量均显著下降,ABA 含量显著升高, $GA_4/ABA$  比值显著减小,而  $GA_4$  则并无明显变化规律,并且各试材  $GA_4/ABA$  的比值变化与其节间长度变化相对较吻合,说明经乙烯利处理后,IAA 含量、ABA 含量及  $GA_4/ABA$  比值是节间伸长生长的关键,这与前人的研究结论一致。因此,内源激素的表达与调控是研究节间伸长生长

的重要指标之一,同时也说明 IAA、ABA 含量及  $GA_4/ABA$  的比值均能准确地反映出材料节间伸长对乙烯利的敏感性。

经乙烯利处理后,不同自交系材料的株高、穗位高、第 3、4、5 节间长度和内源激素含量的变化差异很大,除郑 58、L6M、K12、豫自 87-1 和 8085 泰 5 个自交系的一些性状与对照相比差异不显著外,其余试材的所有性状与对照相比差异均达显著或极显著水平;进一步分析得知,不同自交系之间在节间伸长方面存在很大差异,从 6.41% 到 102.64% 不等。其中,昌 7-2、浚 928、Mo17 和丹 340 对乙烯利的敏感性相对较强,郑 58、L6M、K12、豫自 87-1 和 8085 泰对乙烯利的敏感性较弱。

另外,已有研究表明,乙烯可促进苯丙氨酸解氨酶(PAL)的生成,提高 PAL 的酶活性<sup>[22-23]</sup>,而 PAL 和吲哚乙酸氧化酶(IAAO)的活性可能与细胞伸长有关<sup>[24-29]</sup>。本试验仅对形态指标和内源激素含量进行了分析,要想更加全面地探讨玉米节间伸长的

机制,尚待进一步研究。

## 参考文献:

- [1] ESECHIE H A, RODRIGUEZ V, AL-ASMI H S. Comparison of local and exotic maize varieties for stalk lodging components in a desert climate[J]. *Eur J Agron*, 2004, 21(1): 21-30.
- [2] CHEN Zeng(陈增), KE Yong-pei(柯永培), YUAN Ji-chao(袁继超), et al. 玉米健壮素和烯效唑对杂交玉米正红311的株高及产量的影响[J]. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), 2007, 23(4): 190-192.
- [3] ZHAO Min(赵敏), ZHOU Shu-xin(周淑新), CUI Yan-hong(崔彦宏). 我国玉米生产中植物生长调节剂的应用研究[J]. *J Maize Sci* (玉米科学), 2006, 14(1): 127-131.
- [4] ZHOU Feng-lan(周凤兰), ZHANG Ji-chuan(张吉川), CHEN Ze-guang(陈泽光), et al. 玉米化控综合高产技术探讨[J]. *J Maize Sci* (玉米科学), 1998, 6(1): 46-48.
- [5] LI Fang-xian(李芳贤), LIU Xi-yuan(刘溪源), LI Shu-zeng(李述曾), et al. 夏玉米喷施玉米健壮素的增产效果与使用技术研究[J]. *J Maize Sci* (玉米科学), 1994, 2(2): 33-37.
- [6] LI Jian-min(李建民), DONG Xue-hui(董学会), HE Zhong-pei(何钟佩), et al. 乙烯利-甲哌鎗复配剂对夏玉米生育及产量的影响[J]. *Chin J Pestic Sci* (农药学报), 2004, 6(4): 83-88.
- [7] LI Shao-kun(李少昆), TU Yu-hua(涂玉华), ZHANG Wang-feng(张旺峰). 乙烯利对玉米株型和产量的影响及其在生产上的应用[J]. *Cult Plant* (耕作与栽培), 1991(5): 25-28.
- [8] DONG Xue-hui(董学会), DUAN Liu-sheng(段留生), MENG Fan-lin(孟繁林), et al. 30%己·乙水剂对玉米产量和茎秆质量的影响[J]. *J Maize Sci* (玉米科学), 2006, 14(1): 138-140, 143.
- [9] SHEKOOF A, EMAM Y. Plant growth regulator (ethephon) alters maize (*Zea mays* L.) growth, water use and grain yield under water stress[J]. *J Agron*, 2008, 7(1): 41-48.
- [10] HE Zhong-pei(何钟佩). Chemical Control of Crops Experimental Guide(农作物化学控制实验指导)[M]. Beijing(北京): Beijing Agricultural University Press(北京农业大学出版社), 1993: 60-68.
- [11] RAJALA A, PELTONEN-SAINIO P, ONNELA M, et al. Effects of applying stem-shortening plant growth regulators to leaves on root elongation by seedlings of wheat, oat and barley: mediation by ethylene[J]. *Plant Growth Regul*, 2002, 38(1): 51-59.
- [12] SONG Ping(宋平), ZHOU Xie(周燮). 深水稻节间伸长生长的机制[J]. *Chin Bull Bot* (植物学通报), 2000, 17(1): 46-51.
- [13] RZEWUSKI G, SAUTER M. Ethylene biosynthesis and signaling in rice[J]. *Plant Sci*, 2008, 175(1-2): 32-42.
- [14] AZUMA T, HATANAKA T, UCHIDA N, et al. Interactions between abscisic acid, ethylene and gibberellin in internodal elongation in floating rice: the promotive effect of abscisic acid at low humidity[J]. *Plant Growth Regul*, 2003, 41(2): 105-109.
- [15] KOCH B L, MOORE T C. On ethylene and stem elongation in green pea seedlings[J]. *Plant Physiol*, 1990, 93(4): 1663-1664.
- [16] SAUTER M, KENDE H. Gibberellin-induced growth and regulation of the cell division cycle in deepwater rice[J]. *Planta*, 1992, 188(3): 362-368.
- [17] KENDE H, van der KNAAP E, CHO H T. Deepwater rice: a model plant to study stem elongation[J]. *Plant Physiol*, 1998, 118(4): 1105-1110.
- [18] YANG S H, CHOI D. Characterization of genes encoding ABA 8'-hydroxylase in ethylene-induced stem growth of deepwater rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Biochem Biophys Res Commun*, 2006, 350(3): 685-690.
- [19] HOFFMANNBENNING S, KENDE H. On the role of abscisic acid and gibberellin in the regulation of growth in rice[J]. *Plant Physiol*, 1992, 99(3): 1156-1161.
- [20] LORBIECKE R, SAUTER M. Induction of cell growth and cell division in the intercalary meristem of submerged deepwater rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Planta*, 1998, 204(2): 140-145.
- [21] ZHANG Cai-qin(张彩琴). Influence of ethephon on endogenesis GA<sub>1</sub>, IAA and ABA levels during process of stem growth of maize(乙烯利对玉米茎生长过程中内源 GA<sub>1</sub>、IAA 与 ABA 水平的影响) [D]. Nanjing(南京): Nanjing Agricultural University(南京农业大学), 1989.
- [22] JIANG Y M, JOYCE D C. ABA effects on ethylene production, PAL activity, anthocyanin and phenolic contents of strawberry fruit[J]. *Plant Growth Regul*, 2003, 39(2): 171-174.
- [23] HYODO H, YANG S F. Ethylene-enhanced synthesis of phenylalanine ammonia-lyase in pea seedlings[J]. *Plant Physiol*, 1971, 47(6): 765-770.
- [24] YUAN Mu-dan(原牡丹), HOU Zhi-xia(侯智霞), ZHAI Ming-pu(翟明普), et al. IAA 分解代谢相关酶(IAAO、POD)的研究进展[J]. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), 2008, 24(8): 88-92.
- [25] JAIN M L, KADKADE P G, VAN HUGYSSE P. Effect of growth regulatory chemicals on abscission and IAA-oxidizing enzyme system of dwarf bean seedlings[J]. *Physiol Plant*, 1969, 22(5): 1038-1042.
- [26] DIAO Jia-lian(刁家连). Hormonal control of organs development related to yield potential of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) (小麦器官发育的激素调控与丰产潜力表达) [D]. Beijing(北京): China Agricultural University(中国农业大学), 1998.
- [27] YU Pei-tao(余沛涛), XUE Ying-long(薛应龙). 植物苯丙氨酸解氨酶(PAL)在细胞分化中的作用[J]. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), 1987, 13(1): 14-19.
- [28] FUKUDA H, KOMAMINE A. Establishment of an experimental system for the study of tracheary element differentiation from single cells isolated from the mesophyll of *Zinnia elegans* [J]. *Plant Physiol*, 1980, 65(1): 57-60.
- [29] NAKASHIMA J, AWANO T, TAKABE K, et al. Immunocytochemical localization of phenylalanine ammonia-lyase and cinnamyl alcohol dehydrogenase in differentiating tracheary elements derived from *Zinnia* mesophyll cells[J]. *Plant Cell Physiol*, 1997, 38(2): 113-123.

(责任编辑:金淑惠)