

冠菌素对玉米节间伸长和产量性状的影响

卫晓轶, 张明才, 李召虎, 段留生

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

摘要 试验以常用玉米杂交种郑单 958 为材料, 用 0.001、0.01、0.1、1 μmol/L 冠菌素(COR)作处理, 清水为对照, 通过调查农艺性状、分析生理指标以及产量性状, 研究 COR 对玉米节间伸长的影响。结果表明, 随着 COR 处理浓度的增加, 郑单 958 的株高、穗位高和节间长度均降低, 0.01、0.1 和 1 μmol/L COR 处理的株高、穗位高以及第 2—8 节节间长度均低于对照, 且差异达到显著或极显著水平。随着 COR 处理浓度的增加, 伸长节间吲哚乙酸氧化酶(IAAO)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)和过氧化物酶(POD)的活性均升高, 除 0.001 μmol/L COR 处理外, 0.01、0.1 和 1 μmol/L COR 处理的 IAAO、PAL 和 POD 酶活性均高于对照, 且差异达到极显著水平。0.001 和 0.01 μmol/L COR 处理的穗长、行粒数、穗重、穗粒重和产量, 与对照相比, 均呈显著或极显著增加, 且随着冠菌素浓度的增加, 各性状均呈降低趋势, 说明低浓度的 COR 能增加玉米的产量。综合来看, 既能延缓节间伸长生长, 又能增加产量的最适 COR 浓度为 0.01 μmol/L, 因此作为一种玉米延缓剂, COR 有较好的应用前景。

关键词 玉米; 冠菌素; 节间伸长; 产量

中图分类号 S513

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.20.011

Effect of Coronatine on Internode Elongation and Yield Characters of Maize

WEI Xiaoyi, ZHANG Mingcai, LI Zhaohu, DUAN Liusheng

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

Abstract Maize hybrid Zhengdan 958 was tested, with the treatment of 0.001, 0.01, 0.1 and 1 μmol/L coronatine (COR), and with water as control (CK). Agronomic traits, physiological indexes and yield characters were measured to study the effect of coronatine on internode elongations in maize. The results show that with the increase of the concentration of coronatine, the plant height, the ear height and the internode length are decreased. The plant height, the ear height and the internode length of the 2nd to 8th internodes with the treatment of 0.01, 0.1 and 1 μmol/L COR are smaller than those of CK, and the differences are in a significant or highly significant level. With the increase of the concentration of coronatine, the activities of indole acetic acid oxidase (IAAO), phenylalanine ammonia lyase (PAL) and peroxidase (POD) of the elongated internodes are significantly increased. Except for the 0.001 μmol/L COR treatment, the enzymatic activities of IAAO, PAL and POD with the treatment of 0.01, 0.1 and 1 μmol/L COR are higher than those of CK, and the differences are in a highly significant level. Compared with those of CK, the ear length, the kernels per row, the ear weight, the grain weight per ear and the yield with the treatment of 0.001 and 0.01 μmol/L COR are significantly or highly significantly increased. With the increase of concentrations of coronatine, these traits see decreasing trends, which shows that low concentrations of coronatine would increase the maize production. On the whole, the optimal concentration of coronatine should be 0.01 μmol/L, which could suppress the internode elongation and increase the production. Therefore, the coronatine has a good prospect to serve as a retardant in maize.

Keywords maize; coronatine; internodes elongation; yield

0 引言

紧凑型玉米已获得大面积推广应用, 可通过增加种植密

度而获得较高的生物产量和籽粒产量^[1]。随着玉米种植密度的增加, 倒伏问题日益突出。施用植物生长调节剂已成为保

收稿日期: 2011-03-15; 修回日期: 2011-06-24

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2006AA10A213)

作者简介: 卫晓轶, 博士研究生, 研究方向为作物生理, 电子信箱: xiaoyi_919@126.com; 段留生(通信作者, 中国科协所属全国学会个人会员登记号: A090000329S), 教授, 研究方向为植物激素生理与化学控制, 电子信箱: duanlsh@cau.edu.cn

障作物高产、稳产的一项重要措施。施用植物生长延缓剂可以降低株高和穗位高,增加气生根条数及茎粗,增强抗倒伏性,提高产量^[2-6]。玉米上常用的植物生长调节剂有很多种^[7-11],乙烯利作为一种防止倒伏的植物生长调节剂,应用甚为广泛^[12-13],但许多研究表明,乙烯利及其制剂施用于玉米后,对产量有一定负面影响^[14-18]。同时,含乙烯利的调节剂需制成强酸性制剂,生产、储运和使用具有一定的不安全性,因此研发防倒效果好且无上述副作用的新型调节剂是生产的迫切需求。

冠菌素(Coronatine,COR)是20世纪70年代发现的一种天然活性物质,其结构性质与茉莉酸类、脱落酸类似^[19],具有调控生长、抑制衰老、促进细胞分化、提高叶绿素含量和植物抗逆性等生理功能^[20]。但脱落酸、茉莉酸类价格昂贵,难以大规模用于农业生产,冠菌素作为二者的功能类似物可望通过生物方法大量生产,降低生产成本且生物安全性高,其在农业上的应用前景十分广阔^[21]。Sakai^[22]报道,冠菌素与生长素类似,具有抑制小麦根伸长的作用。Feys等^[23]在研究冠菌素不敏感(coronatine-insensitive)突变体COI1时发现,冠菌素具有类似茉莉酸甲酯的功能,可抑制拟南芥苗期生长和根的伸长。汪宝卿等^[24]认为,干旱胁迫下冠菌素可通过调节玉米幼苗体内的激素系统平衡诱导其形态改变,并增强其抵抗逆境的能力。冠菌素是可通过微生物发酵生产的天然产物,有潜力成为一种环境友好型的生物调节剂,调节水稻生长、提高抗性和产量^[25]。

本文采用不同浓度的冠菌素作处理,从农艺性状、生理生化特性及产量性状3个方面研究冠菌素对玉米节间伸长的影响,以期冠菌素作为一种防止倒伏的植物生长调节剂在玉米上施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料和试验设计

试验在中国农业大学上庄试验站进行。供试材料为玉米杂交种郑单958。设4个处理,COR浓度分别为0.001、0.01、0.1、1 $\mu\text{mol/L}$,清水作对照(CK)。在玉米拔节期叶龄指数为40%(9叶期)时进行叶面喷施,每亩药液量为30kg。玉米于2010年5月5日播种,密度为52500株/hm²,小区面积为30m²,4次重复,随机排列。田间水肥管理按当地常规管理。所用试剂均由中国农业大学植物生长调节剂教育部工程研究中心提供。

1.2 试验方法

冠菌素处理后4d,每个处理选长势一致的20株作为调查对象,取基部第3节间(此时第3节间处于快速伸长阶段),测定吲哚乙酸氧化酶(IAAO)^[26]、苯丙氨酸解氨酶(PAL)^[27]和过氧化物酶(POD)^[28]的活性。

成熟期调查各处理的株高、穗位高和节间长度,并对其产量性状进行考种,每个小区取中间有代表性的两行植株计算产量。

1.3 数据分析

采用SPSS 17.0软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 冠菌素对株高和穗位高的影响

随着冠菌素浓度的增加,株高呈下降趋势(表1)。与对照相比,冠菌素处理的株高均降低,0.001 $\mu\text{mol/L}$ COR处理的株高显著低于对照1.6%,0.01、0.1和1 $\mu\text{mol/L}$ COR处理的株高分别比对照低7.8%、9.4%和13.8%,且差异均达极显著水平。

随着冠菌素浓度的增加,穗位高也呈下降趋势(表1)。与对照相比,冠菌素处理的穗位高均降低,0.001 $\mu\text{mol/L}$ COR处理的穗位高与对照相比差异不显著,0.01、0.1和1 $\mu\text{mol/L}$ COR处理的穗位高分别比对照低6.7%、13.1%和19.6%,且差异均达极显著水平。

表1 冠菌素对株高和穗位高的影响

Table 1 Effect of coronatine on plant height and ear height

COR 浓度/($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	株高/cm	穗位高/cm
0.001	269.2 $\pm$ 2.0 bA	135.5 $\pm$ 4.0 aA
0.01	252.3 $\pm$ 1.5 cB	127.8 $\pm$ 3.4 bB
0.1	248.0 $\pm$ 2.0 dB	119.0 $\pm$ 3.6 cC
1	236.0 $\pm$ 2.6 eC	110.2 $\pm$ 0.8 dD
CK	273.7 $\pm$ 1.5 aA	137.0 $\pm$ 2.6 aA

注:数据后不同小、大写字母分别表示处理间差异达0.05、0.01显著水平。下同。

Note: Different low case and capital letters after the data mean the significance at 0.05, 0.01 probability levels for treatment, respectively. The same as bellow.

2.2 冠菌素对节间长度的影响

随着冠菌素浓度的增加,第2—8节节间长度均呈缩短趋势(表2)。0.001 $\mu\text{mol/L}$ COR处理的所有节间长度与对照相比均无显著差异;0.01 $\mu\text{mol/L}$ COR处理的第3节和第7节节间长度与对照相比显著缩短9.2%和9.6%,第2、4、5、6、8节节间长度与对照相比均极显著缩短,其余节的节间长度与对照无显著差异;0.1 $\mu\text{mol/L}$ COR和1 $\mu\text{mol/L}$ COR处理的第2—9节节间长度与对照相比均缩短,且差异达显著或极显著水平。

2.3 冠菌素对IAAO、PAL和POD活性的影响

随着冠菌素浓度的增加,IAAO、PAL和POD酶活性均呈升高趋势(图1)。0.001 $\mu\text{mol/L}$ COR处理的IAAO、PAL和POD酶活性与对照相比均无显著差异;浓度为0.01、0.1、1 $\mu\text{mol/L}$ COR处理的IAAO酶活性分别比对照高6.6%、7.2%和13.9%,PAL酶活性分别比对照高21.9%、25.8%和44.2%,POD酶活性分别比对照高15.6%、18.6%和24.3%,且差异均达极显著水平。

2.4 冠菌素对产量的影响

随着冠菌素浓度的增加,穗长逐渐缩短,行粒数逐渐减少,穗重、穗粒重、千粒重和亩产量均呈降低趋势(表3)。0.001 $\mu\text{mol/L}$ COR处理的穗长、行粒数、穗重、穗粒重和产量

表 2 冠菌素对节间长度的影响(单位:cm)
Table 2 Effect of coronatine on internodes length (unit: cm)

节间	COR 浓度/($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)				
	0.001	0.01	0.1	1	CK
第 1 节	5.6±0.7 a	6.0±1.0 a	6.0±0.9 a	5.6±0.9 a	5.4±0.6 a
第 2 节	10.9±0.9 abAB	9.8±0.3 bcBC	9.5±0.9 bcBC	8.6±0.4 cC	12.0±1.0 aA
第 3 节	14.6±0.5 abAB	13.9±0.8 bcABC	12.8±0.8 cdBC	12.3±0.6 dC	15.3±0.6 aA
第 4 节	16.3±0.6 aAB	15.8±0.6 bBC	13.2±0.7 cCD	12.0±1.0 cD	17.0±1.0 aA
第 5 节	17.6±0.5 abAB	16.7±0.6 bcBC	16.2±0.3 cBC	15.8±0.8 cC	18.5±0.5 aA
第 6 节	16.7±0.6 abAB	16.0±1.0 bcB	15.7±0.6 bcB	15.2±0.3 cB	18.0±1.0 aA
第 7 节	16.5±0.5 abAB	16.0±1.0 bABC	15.2±0.7 bcBC	14.4±0.5 cC	17.7±0.6 aA
第 8 节	17.3±0.6 aAB	15.9±0.1 bBC	15.7±1.2 bBC	14.3±0.8 cC	18.2±0.7 aA
第 9 节	17.1±0.4 abA	17.7±0.3 abA	17.4±0.5 bA	16.9±1.2 bA	18.5±0.5 aA
第 10 节	16.9±1.1 a	16.9±0.8 a	16.2±1.3 a	17.2±0.8 a	16.9±0.6 a
第 11 节	15.6±0.5 a	16.4±0.5 a	16.2±0.7 a	16.2±1.3 a	15.7±0.6 a
第 12 节	17.0±1.0 a	17.2±1.1 a	16.7±0.6 a	17.0±0.5 a	17.2±1.0 a
第 13 节	16.4±0.5 a	17.4±0.3 a	16.8±1.0 a	16.6±0.5 a	16.7±1.2 a
第 14 节	18.0±2.0 a	17.8±0.7 a	17.3±1.2 a	17.4±0.5 a	17.9±0.4 a

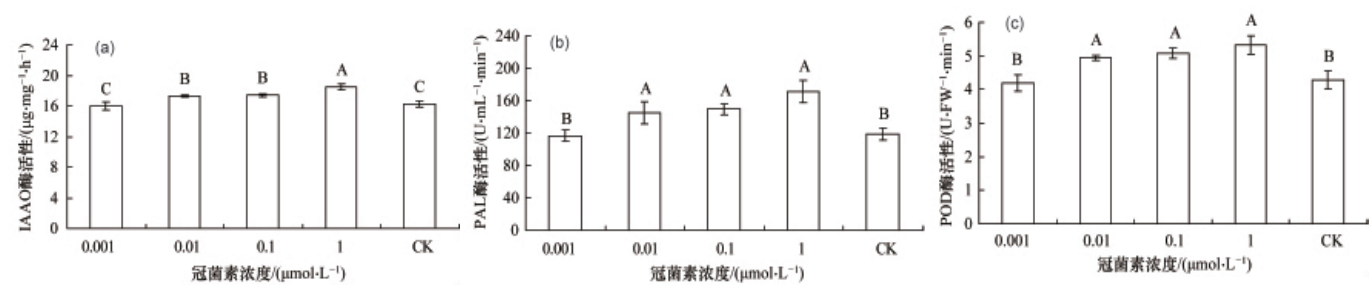


图 1 冠菌素对第 3 节间 IAAO、PAL 和 POD 酶活性的影响
Fig. 1 Effect of coronatine on enzymatic activities of IAAO, PAL and POD in the third internode
注:不同大写字母分别表示处理间差异达 0.01 显著水平。
Note: Different capital letters mean the significance at 0.01 probability levels for treatment.

表 3 冠菌素对产量性状的影响
Table 3 Effect of coronatine on yield characters

产量性状	COR 浓度/($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)				
	0.001	0.01	0.1	1	CK
穗长/cm	19.0±1.0 aA	18.8±0.8 aA	16.6±0.5 bB	16.5±0.5 bB	16.9±0.4 bB
穗粗/cm	5.2±0.2 a	5.2±0.2 a	5.2±0.1 a	5.2±0.2 a	5.2±0.3 a
秃尖长/cm	0.2±0.05 a	0.3±0.1 a	0.3±0.05 a	0.2±0.05 a	0.3±0.06 a
穗行数	15.7±0.2 a	15.2±0.6 a	15.9±0.8 a	15.5±1.0 a	15.7±0.8 a
行粒数	42.0±1.0 aA	41.8±0.3 aA	37.6±1.3 bB	36.7±1.2 bB	38.2±1.4 bB
穗重/g	241.1±3.7 aA	237.1±4.7 abAB	226.6±4.1 cBC	222.9±4.0 cC	229.7±4.0 bcBC
穗粒重/g	222.8±2.9 aA	218.7±2.3 aA	203.0±1.7 bcBC	198.6±1.5 cC	206.1±3.4 bB
千粒重/g	359.9±4.0 aA	355.2±5.0 abA	354.1±3.4 abA	351.7±2.5 bA	358.3±2.1 abA
亩产量/kg	554.4±2.1 aA	551.1±3.0 aA	534.4±3.8 cBC	530.8±3.0 cC	540.2±2.4 bB

均极显著增加, 分别比对照增加 12.4%、9.9%、5.0%、8.1%和 2.6%;0.01 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理的穗长、行粒数、穗粒重和亩产量均极显著增加, 分别比对照增加 1.9%、3.6%、12.6%和 10.9%; 0.1 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理的产量显著低于对照 1.1%;1 $\mu\text{mol/L}$ COR 处理的穗粒重和产量与对照相比极显著降低, 分别比对照减少 3.6%和 1.7%。其他性状与对照相比均无显著差异。

3 讨论

随着冠菌素浓度的增加,株高和穗位高均呈下降趋势,第2—8节间长度呈缩短趋势,说明冠菌素浓度越高,抑制节间伸长的效应越大。 $0.001\mu\text{mol/L}$ COR处理的穗位高和节间长度与对照相比无显著差异,而冠菌素浓度为 $0.01\mu\text{mol/L}$ 或高于 $0.01\mu\text{mol/L}$ 时,才表现出延缓节间伸长生长的现象(表1和表2)。

植物体内的生长素(IAA)含量变化主要受POD和IAAO等的调节^[29],IAAO是IAA分解代谢的关键酶,能降解IAA^[30],而IAA可以促进节间的伸长生长,因此,POD和IAAO的酶活性可以作为研究节间伸长的重要生理指标。PAL是苯丙烷类代谢的关键酶和限速酶^[31],对植物体内木质素、植保素、类黄酮、花青素等次生物质的形成起重要调节作用,且与植物的抗倒性关系紧密^[32],研究发现,木质素的合成及管状分子形成与PAL活性的增加呈正相关,细胞壁的PAL活性在木质化期间快速增加^[33],说明PAL也很可能与细胞伸长有关,所以PAL也可以作为研究节间伸长的重要生理指标。本研究发现,冠菌素处理的浓度为 $0.01\mu\text{mol/L}$ 或更高时,IAAO、PAL和POD的活性均极显著高于对照。

从产量性状来看,低浓度的冠菌素(0.001 和 $0.01\mu\text{mol/L}$ COR)能增加玉米的产量,而随着浓度的升高,玉米有减产的趋势,且冠菌素影响玉米产量的关键因子是行粒数。

从以上结果来看,既能延缓节间伸长生长,又能增加产量的最适冠菌素浓度应为 $0.01\mu\text{mol/L}$ 。

冠菌素是由植物病原细菌丁香假单胞菌的几个致病变种产生的一种非寄生专化性毒素^[34-35]。本试验中,冠菌素具有延缓节间伸长的生理效应,但它影响植物生长发育的机制目前还不很清楚,其生理功能也可能主要是通过调节自身与其他植物内源激素的关系表达,如冠菌素与茉莉酸甲酯或茉莉酸类似,对水杨酸有干扰作用,对乙烯有促进作用,可诱导乙烯的合成。另外,冠菌素与茉莉酸类、脱落酸等激素的生理功能有很多类似部分,如均可抑制根的伸长等^[36]。冠菌素在作为生物延缓剂方面有一定效应,其作用机制、应用技术尚待进一步研究。

4 结论

本试验研究认为, $0.01\mu\text{mol/L}$ 的冠菌素可以起到延缓节间伸长的效应,提高郑单958的产量,是个较理想的浓度。鉴于乙烯利对产量的负作用,冠菌素作为生物延缓剂,有望在生产上得以应用。

参考文献 (References)

- [1] 张吉旺, 胡昌浩, 王空军, 等. 植物生长调节剂在玉米上的初步应用研究[J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2003, 34(3): 343-346.
Zhang Jiawang, Hu Changhao, Wang Kongjun, et al. *J Shandong Agric Univ: Natural Science Edition*, 2003, 34(3): 343-346.
- [2] 宁堂原, 李增嘉, 焦念元, 等. 利丰收对春玉米生育特性及产量的影响

- [J]. 玉米科学, 2002, 10(3): 67-68.
Ning Tangyuan, Li Zengjia, Jiao Nian yuan, et al. *J Maize Sci*, 2002, 10(3): 67-68.
- [3] 张建华, 罗瑶年. 不同生育时期喷施达尔丰对玉米生长发育的影响[J]. 玉米科学, 1994, 2(2): 30-32.
Zhang Jianhua, Luo Yaonian. *J Maize Sci*, 1994, 2(2): 30-32.
- [4] 张桂阁, 侯廷荣, 吴明泉, 等. 植物生长调节剂GGR6号在夏玉米生产上的应用效果研究[J]. 玉米科学, 2004, 12(S1): 105-107.
Zhang Guige, Hou Tingrong, Wu Mingquan, et al. *J Maize Sci*, 2004, 12(S1): 105-107.
- [5] 李艳杰. 植物生长调节剂在玉米上的增产效果试验初报[J]. 玉米科学, 2006, 14(1): 132-133.
Li Yanjie. *J Maize Sci*, 2006, 14(1): 132-133.
- [6] 董志强, 马兴林, 王庆祥, 等. 喷施玉黄金对玉米产量的影响 [J]. 玉米科学, 2008, 16(2): 91-93.
Dong Zhiqiang, Ma Xinglin, Wang Qingxiang, et al. *J Maize Sci*, 2008, 16(2): 91-93.
- [7] 陈增, 柯永培, 袁继超, 等. 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]. 中国农学通报, 2007, 23(4): 190-192.
Chen Zeng, Ke Yongpei, Yuan Jichao, et al. *Chin Agric Sci Bull*, 2007, 23(4): 190-192.
- [8] 李建民, 董学会, 何钟佩, 等. 乙烯利-甲哌噻复配剂对夏玉米生育及产量的影响[J]. 农药学报, 2004, 6(4): 83-88.
Li Jianmin, Dong Xuehui, He Zhongpei, et al. *Chin J Pestic Sci*, 2004, 6(4): 83-88.
- [9] 王国琴, 尹枝瑞, 王振宝, 等. 植物生长调节剂在春玉米上应用效果研究[J]. 玉米科学, 1998, 6(2): 56-59.
Wang Guoqin, Yin Zhirui, Wang Zhenbao, et al. *J Maize Sci*, 1998, 6(2): 56-59.
- [10] 李蔚, 毛贵智. 多效唑对玉米生长及产量的影响[J]. 湖北农学院学报, 1992, 12(1): 34-38.
Li Wei, Mao Zhigui. *J Hubei Agric Coll*, 1992, 12(1): 34-38.
- [11] 董学会, 段留生, 孟繁林, 等. 30%己·乙水剂对玉米产量和茎秆质量的影响[J]. 玉米科学, 2006, 14(1): 138-140, 143.
Dong Xuehui, Duan Liusheng, Meng Fanlin, et al. *J Maize Sci*, 2006, 14(1): 138-140, 143.
- [12] 徐坤铎, 宫庆荣. 秸秆综合利用大有可为 [J]. 粮食与饲料工业, 1994(6): 25-28.
Xu Kunduo, Gong Qingrong. *Cereal & Feed Industry*, 1994(6): 25-28.
- [13] 蔡永旺, 张英华, 周顺利, 等. 利用乙烯利塑造夏玉米凹形冠层对产量及其相关性状的影响[J]. 玉米科学, 2010, 18(3): 90-94, 97.
Cai Yongwang, Zhang Yinghua, Zhou Shunli, et al. *J Maize Sci*, 2010, 18(3): 90-94, 97.
- [14] 李少昆, 涂玉华, 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]. 耕作与栽培, 1991(5): 25-28.
Li Shaokun, Tu Yuhua, Zhang Wangfeng. *Till Cult*, 1991(5): 25-28.
- [15] Zhou X M, Mackenzie A F, Madramootoo C A, et al. Effects of stem-injected plant growth regulators, with or without sucrose, on grain production, biomass and photosynthetic activity of field-grown corn plant[J]. *J Agron Crop Sci*, 1999, 183(2): 103-110.
- [16] 陈文瑞, 张武军. 乙烯利对玉米生长和产量的影响[J]. 四川农业大学学报, 2001, 19(2): 129-130, 157.
Chen Wenrui, Zhang Wujun. *J Sichuan Agric Univ*, 2001, 19(2): 129-130, 157.
- [17] 赵久然, 郭景伦, 郭强, 等. 乙烯类药剂处理对玉米果穗发育及穗粒数的影响[J]. 北京农业科学, 1998, 16(4): 1-3.

- Zhao Jiuran, Guo Jinglun, Guo Qiang, *et al. Beijing Agric Sci*, 1998, 16 (4): 1-3.
- [18] 张风路, 赵明, 王志敏, 等. 玉米籽粒发育与乙烯释放 [J]. 中国农业大学学报, 1997, 2(3): 85-89.
- Zhang Fenglu, Zhao Ming, Wang Zhimin, *et al. J China Agric Univ*, 1997, 2(3): 85-89.
- [19] Young S A, Psrk S K, Rodgers C, *et al. Physical and functional characterization of the gene cluster encoding the polyketide phytotoxin coronatine in Pseudomonas syringae*[J]. *J Bacteriol*, 1992, 174(6): 1837-1843.
- [20] 汪宝卿, 李召虎, 翟志席, 等. 冠菌素及其生理功能 [J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(3): 503-510.
- Wang Baoqing, Li Zhaohu, Zhai Zhixi, *et al. Plant Physiol Commun*, 2006, 42(3): 503-510.
- [21] 秦欣, 孙世玲, 宋吉英, 等. 植物生长调节剂冠菌素的研究进展 [J]. 山东农业科学, 2008(9): 86-89.
- Qin Xin, Sun Shiling, Song Jiying, *et al. Shandong Agric Sci*, 2008(9): 86-89.
- [22] Sakai R. Comparison of physiological activities between coronatine and indole-3-acetic acid to some plant tissues [J]. *Ann Phytopathol Soc Jpn*, 1980, 46(4): 499-503.
- [23] Feys B J F, Benedetti C E, Penfold C N, *et al. Arabidopsis mutants selected for resistance to the phytotoxin coronatine are male sterile, insensitive to methyl jasmonate, and resistant to a bacterial pathogen*[J]. *Plant Cell*, 1994, 6(5): 751-759.
- [24] 汪宝卿, 李召虎, 段留生, 等. 干旱胁迫下外源冠菌素对玉米幼苗生长和内源激素含量的影响[J]. 作物杂志, 2008(5): 35-38.
- Wang Baoqing, Li Zhaohu, Duan Liusheng, *et al. Crops*, 2008(5): 35-38.
- [25] 艾林, 李召虎, 李建民, 等. 植物生长物质冠菌素诱导旱稻、水稻幼苗抗旱性的效应及生理机制[J]. 中国水稻科学, 2008, 22(4): 443-446.
- Ai Lin, Li Zhaohu, Li Jianmin, *et al. Chinese J Rice Sci*, 2008, 22(4): 443-446.
- [26] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 1996: 210-213.
- Zhang Zhiliang. Experiments guidance of plant physiology[M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 1996: 210-213.
- [27] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 213-214.
- Li Hesheng. Principles and technology of plant physiology and biochemistry experiments [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 213-214.
- [28] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1990: 154-155.
- Zhang Zhiliang. Experiments guidance of plant physiology [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 1990: 154-155.
- [29] Jain M L, Kadkade P G, van Hugsy P. The effect of growth regulation chemicals on abscission and IAA-oxidizing enzyme of dwarf been seedling[J]. *Physiol Plant*, 1969, 22(5): 1033-1042.
- [30] 原牡丹, 侯智霞, 翟明普, 等. IAA 分解代谢相关酶(IAAO, POD)的研究进展[J]. 中国农学通报, 2008, 24(8): 88-92.
- Yuan Mudan, Hou Zhixia, Zhai Mingpu, *et al. Chin Agric Sci Bull*, 2008, 24(8): 88-92.
- [31] Okada T, Mikage M, Sekita S. Molecular characterization of the phenylalanine ammonia-lyase from Ephedra sinica [J]. *Biol Pharm Bull*, 2008, 31(12): 2194-2199.
- [32] MacDonald M J, D'Cunha G B. A modern view of phenylalanine ammonia lyase[J]. *Biochem Cell Biol*, 2007, 85(3): 273-282.
- [33] 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.
- [34] Bender C L, Alarcón-Chaidez F, Gross D C. Pseudomonas syringae phytotoxins: Mode of action, regulation, and biosynthesis by peptide and polyketide synthetases[J]. *Microbiol Mol Biol R*, 1999, 63(2): 266-292.
- [35] David A P, Bender C L. Effects of environmental and nutritional factors on production of the polyketide phytotoxin coronatine by *Pseudomonas syringae* pv. *Glycinea* [J]. *Appl Environ Microbiol*, 1993, 59(5): 1619-1626.
- [36] 张木清, 陈如凯. 作物抗旱分子生理与遗传改良 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- Zhang Muqing, Chen Rukai. Molecular physiology and genetic improvement of crop resistance to drought [M]. Beijing: Science Press, 2005.

(责任编辑 吴晓丽)

·学术动态·

“第四届全国计算机数学学术会议”征文

中国数学会将于 2011 年 11 月 25—28 日在广州举行“第四届全国计算机数学学术会议”。

征文范围: 数学机械化理论、算法和软件实现; 符号计算, 符号与数值混合计算; 自动推理与机器证明; 计算机数学在信息安全、程序验证、机器人和数控系统中的应用; 计算机图形学、模式识别等高科技领域中的数学方法; 计算机数学在物理、化学、生物和工程中的应用。

征文截止日期: 2011 年 8 月 30 日。

联系电话: 010-62541834; 电子信箱: dzhou@mmrc.iss.ac.cn。

会议网址: www.mmrc.iss.ac.cn/cscm/cm2011/index.html。