

乙烯、6-BA 对大豆幼苗生长、生化成分及细胞组织结构的效应

廖永霞,康玉凡,王保民,谷瑞娟,罗 珊,肖伶俐

(中国农业大学农学与生物技术学院,北京 100094)

摘 要:采用人工培养箱技术,研究 ETH、6-BA 及其复配处理对大豆幼苗的形态特征、生物量、生化成分、内源激素以及细胞组织结构的调节效应,为大豆芽菜的安全生产提供理论和技术支持。结果表明:不同处理之间大豆幼苗形态存在差异($P < 0.05$)。ETH、6-BA 及复配处理,均抑制了大豆幼苗的根和下胚轴的生长,促进下胚轴的增粗,三者处理后的根长分别比对照减少了 24.1% ($P < 0.01$), 44.7% ($P < 0.01$) 和 51.7% ($P < 0.01$);下胚轴长分别比对照减少 39.2% ($P < 0.01$), 4.1% ($P > 0.05$) 和 26.2% ($P < 0.05$);下胚轴粗分别比对照增加 18.5% ($P < 0.01$), 9.2% ($P < 0.05$) 和 32.3% ($P < 0.01$)。大豆幼苗形态上的差异可以通过其下胚轴细胞组织结构的变化来解释,ETH 促进了细胞的横向分裂与皮层细胞的扩大,促进下胚轴的增粗,抑制了细胞的径向分裂;6-BA 促进了皮层细胞的横向分裂与扩大,抑制了细胞径向的伸长;ETH-6-BA 复配处理促进了皮层薄壁细胞的分裂与扩大。不同处理之间大豆幼苗的维生素 C 含量存在差异($P < 0.05$);与对照相比,处理组大豆幼苗的 GA 含量降低,ABA 含量增高($P < 0.01$)。

关键词:大豆幼苗;ETH;6-BA;形态特征;生化成份;细胞组织结构

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2009)01-0041-05

Effects of Ethylene and 6-BA on Growth, Chemical Composition and Anatomical Structure of Soybean Seedling

LIAO Yong-xia; KANG Yu-fan; WANG Bao-min; GU Rui-juan; LUO Shan; XIAO Ling-li

(College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: By the growth chamber method, the effects of ETH and 6-BA on the morphological features, biomass, chemical composition, endogenous hormones and cell tissue structure of soybean seedling were studied. In order to provide theory basis for soybean sprout production. The results showed that there were significant differences among the treatments in the morphological features ($P < 0.01$). Compared with the control, the growth of roots and hypocotyls was suppressed and the diameter of hypocotyls was increased when the seedlings were treated by ETH, 6-BA and ETH-6-BA. The root length were reduced by 24.1% ($P < 0.01$), 44.7% ($P < 0.01$) and 51.7% ($P < 0.01$), respectively. The hypocotyls length reduced by 39.2% ($P < 0.01$), 4.1% ($P > 0.05$) and 26.2% ($P < 0.05$), respectively. The hypocotyl diameter increased by 18.5% ($P < 0.01$), 9.2% ($P < 0.05$), 32.3% ($P < 0.01$), respectively. All of these can be explained by the variations of the cell tissue structure. ETH promotes the cellular transverse direction division and the cerebral cortex enlargement, depresses the radial direction division. 6-BA promotes the cerebral cortex cellular transverse direction and ambit division, while depresses the cell radial elongation. ETH-6-BA promotes the division and enlargement of the cerebral cortex cell. There were significant differences among the treatments on vitamin C content ($P < 0.05$). Compared with the control, the GA content decreased and the ABA content increased in the five treatments ($P < 0.01$).

Key words: ETH and 6-BA; Morphological feature; Chemical composition; Endogenous hormone; Cell tissue structure

种子萌发及幼苗生长是一个复杂的植物生理生化、物质代谢变化过程,受其内部或外部生长调节物质的调控作用,而表现出形态特征、生物化学组分、

细胞组织结构等的效应。关于乙烯和 6-BA 对种子萌发及幼苗生长的调节效应研究已有诸多报道:外源乙烯对根际低氧逆境下黄瓜幼苗根系的生长有抑

收稿日期:2008-07-21

作者简介:廖永霞(1985-),女,学士。研究方向为种子科学与工程。

通讯作者:康玉凡,博士,副教授。E-mail: yfkang@cau.edu.cn。

制作用^[1],在黑暗条件下能抑制拟南芥下胚轴伸长^[2],可促进君迁子幼苗伸长、抑制主根生长及促发须根^[3];6-BA 能促进黄瓜毛状根的生长及改变其生长形态,随着 6-BA 浓度的升高,黄瓜毛状根变得短而粗,表现出一定程度的抑制作用^[4]。可见,前人研究主要侧重于逆境条件下,乙烯和 6-BA 的促进或抑制生根和增加产量方面的研究,而对大豆种子萌发、幼苗生长的影响研究报道较少。从幼苗形态、生长速度、生物量、生化成分、内源激素含量、下胚轴细胞组织结构等多方面,系统研究乙烯和 6-BA 及其复配剂对大豆幼苗生长的效应,以为大豆芽菜的安全生产提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

采用精选大豆种子,百粒重 19.6g,发芽率 99%。乙烯利和 6-BA 均来源于华通生化有限公司,AB 剂分 A 剂和 B 剂,市场购买。

1.2 方法

采用人工培养箱技术,于 23℃ 恒温条件下避光进行大豆种子萌发和幼苗培育。以不添加任何植物生长调节剂为对照,设置 4 个处理,即 ETH、6-BA、ETH-6-BA 和市售 AB 剂,其溶液浓度分别为 50 mol·L⁻¹,5 mol·L⁻¹,55 mol·L⁻¹,10 mol·L⁻¹;每个处理 3 个重复,即 3 个发芽盒,每个处理用精选大豆种子 100 g。其发芽培育的操作过程大致为:器皿清洗消毒→清洗种子→润种→浸泡→预生→培养→淋水→出芽取样,在其培育的第 2~3 d,进行生长调节剂处理;每天淋水 4 次,间隔 6 h 淋一次水,共 6 d。

1.3 指标测定

采用 5 点取样法,于培育的第 3~6 d 进行大豆幼苗取样,每个重复取 25 棵,并称重、测量其主根长、下胚轴长、下胚轴粗、侧根数及根、下胚轴、子叶的重量与比例。

培育期末,从各处理发芽盒中有代表性取大豆幼苗样品,于液氮中速冻 30 min,-20℃ 冰箱中保存,待测生化成分指标。其中,可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝 G-250 法^[5],可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法,维生素 C 含量^[6]采用 2,6-二氯酚靛酚法测定,植物内源激素含量^[7]测定采用 ELISA 法;同时,取各处理大豆幼苗样若干,于 FDA 液中固定,采用石蜡切片法^[8]制作切片,通过体式显微数码相机拍摄图像后,观察下胚轴的横、纵切面,测

量其细胞面积、径向细胞长度,观察细胞的大小、分布情况等。

1.4 数据处理

数据用 EXCEL 进行初步整理,并用 SPSS10.0 统计软件进行方差分析、多重比较、相关分析和建立回归估测方程。

2 结果与分析

2.1 不同处理对大豆幼苗形态的影响

不同处理对大豆幼苗的根长、侧根数、下胚轴长和下胚轴粗等形态学特征的影响存在显著差异(表 1)。

表 1 不同处理大豆幼苗形态指标的比较分析

Table 1 Comparison in the morphological feature of of soybean seedling among the different treatments

处理 Treatment	根长 Length of root/cm	侧根数 Number of lateral root	下胚轴长 Length of hypocotyl /cm	下胚轴粗 Diameter of hypocotyl/cm
CK	7.6 A	8 A	8.27 a	0.303 C
ETH	5.77 B	6 B	5.03 b	0.359 B
6-BA	4.20 C	0 C	7.93 a	0.331 BC
ETH-6-BA	3.67 CD	0 C	6.10 ab	0.401 A
市售 AB 剂 AB reagent	3.03 D	0 C	8.30 a	0.329 BC

表中数据为 3 次重复的平均值,不同小写和大写字母分别表示在 0.05 和 0.01 显著性水平下存在显著差异,下同。

The data in the table are average of three repetitions,different small and capital letters indicate significant differences among treatments at 0.05 and 0.01 significant levels respectively. The same as below.

与对照相比,各处理均表现出抑制根生长和侧根发生的效应,其中以市售 AB 剂的抑制效应最为明显,ETH、6-BA、市售 AB 剂间的抑制根生长的效应差异极显著($P<0.01$),ETH-6-BA 和 ETH 间的效应也达到极显著水平($P<0.01$)。在抑制下胚轴的伸长方面,ETH 与其它处理间达到显著水平($P<0.05$)。在促进下胚轴的增粗方面,ETH-6-BA 的效应最为明显,与其它处理效应有极显著差异($P<0.01$)。在抑制侧根发生方面,市售 AB 剂、6-BA、ETH-6-BA 具有极显著的抑制侧根发生的效应($P<0.01$),侧根数均为 0;ETH 处理的侧根数少于 CK($P<0.01$)。

2.2 不同处理对大豆幼苗生物量的影响

取样测定结果显示:不同处理大豆幼苗生物量从第 4 天起开始出现差异($P<0.05$)(图 1)。

与对照相比,ETH-6-BA、市售 AB 剂、6-BA 均

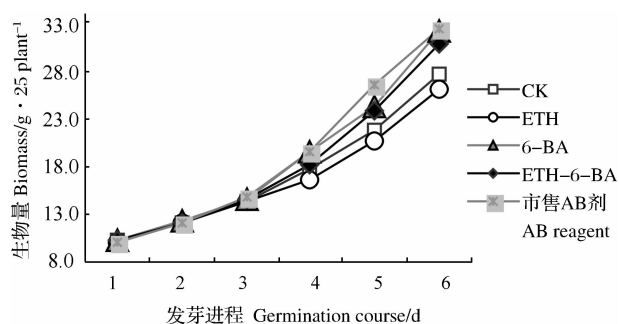


图1 不同处理大豆幼苗的生物量变化

Fig. 1 The change of the yield of soybean seedling among the different treatments

能提高大豆幼苗的生物量;市售 AB 剂、6-BA 与 CK 间的生物量差异极显著 ($P < 0.01$);ETH-6-BA 与 ETH 和 CK 存在显著差异 ($P < 0.05$)。

2.3 不同处理对大豆幼苗生化成分的影响

不同处理对培育第 6 天大豆幼苗的可溶性蛋白、可溶性糖、维生素 C 的含量存在影响(图 2)。结果显示:不同处理间大豆幼苗可溶性蛋白含量在 $8.36 \sim 18.49 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 范围内,ETH 处理的幼苗可溶性蛋白含量最高,市售 AB 剂处理显著低于其他各处理 ($P < 0.05$),而 ETH、ETH-6-BA、6-BA 和 CK 之间,可溶性蛋白的含量差异不显著 ($P > 0.05$)。不同处理间大豆幼苗可溶性糖含量在 8.37

$\sim 11.53 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 范围内,各处理间可溶性糖含量无显著差异 ($P > 0.05$)ETH-6-BA、ETH、市售 AB 剂、6-BA 处理的可溶性糖含量均比,对照最低,以 ETH 处理的含量最高,其次是市售 AB 剂、ETH-6-BA、6-BA。不同处理间大豆幼苗维生素 C 含量在 $14.2 \sim 23.4 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$ 范围内,ETH 的与对照相等,显著高于 ETH-6-BA、6-BA、市售 AB 剂处理 ($P < 0.05$);市售 AB 剂处理的维生素 C 含量最低 ($P < 0.05$)。

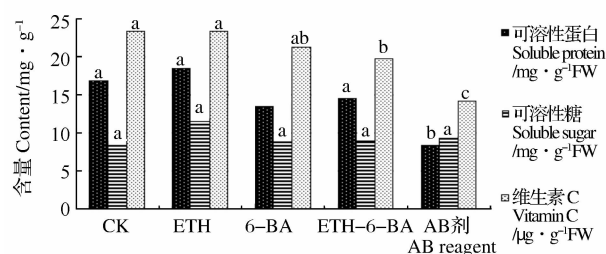


图2 不同处理大豆幼苗可溶性蛋白、可溶性糖及维生素 C 含量比较

Fig. 2 Soluble protein, soluble sugar and vitamin C content of soybean seedlings among the different treatments

2.4 不同处理对大豆幼苗内源激素含量的影响

采用 ELISA 方法测定了培育 6 d 的大豆幼苗中的 ZR、GA₃、ABA、IAA 的含量(表 2)。

表2 不同处理大豆幼苗中的内源激素含量

Table 2 Endogenous hormone contents of soybean seedlings among different treatments

处理 Treatment	ZR 含量 ZR content/ $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$	ABA 含量 ABA content/ $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$	GA ₃ 含量 GA ₃ content/ $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$	IAA 含量 IAA content/ $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW}$
CK	$70.28 \pm 27.96 \text{ a}$	$125.18 \pm 35.72 \text{ C}$	$50.59 \pm 14.65 \text{ A}$	$32.26 \pm 27.30 \text{ a}$
ETH	$73.45 \pm 58.43 \text{ a}$	$360.75 \pm 87.43 \text{ BC}$	$21.04 \pm 5.80 \text{ B}$	$31.45 \pm 13.79 \text{ a}$
6-BA	$27.97 \pm 4.36 \text{ a}$	$395.86 \pm 112.30 \text{ B}$	$8.63 \pm 3.83 \text{ B}$	$26.78 \pm 28.64 \text{ a}$
ETH-6-BA	$49.42 \pm 7.14 \text{ a}$	$583.36 \pm 59.32 \text{ AB}$	$28.00 \pm 8.23 \text{ AB}$	$45.89 \pm 5.53 \text{ a}$
市售 AB 剂 AB reagent	$56.78 \pm 11.05 \text{ a}$	$709.18 \pm 129.52 \text{ A}$	$19.45 \pm 8.49 \text{ B}$	$21.80 \pm 1.18 \text{ a}$

各处理间,大豆幼苗中 ABA 和 GA₃ 的含量存在极显著差异 ($P < 0.01$),ZR 和 IAA 的含量差异不显著 ($P > 0.05$)。与对照相比,各处理的 ABA 含量均升高,GA₃ 含量均降低,以 6-BA 处理的 GA 含量最低。ETH-6-BA 的 ZR 含量在 ETH 和 6-BA 之间,ABA、GA、IAA 含量均比 ETH 和 6-BA 高。

2.5 不同处理对大豆幼苗下胚轴细胞组织结构的影响

大豆幼苗的下胚轴横切面由髓、形成层和皮层细胞组成。对各处理大豆幼苗的下胚轴横切面、纵切面细胞组织结构进行了显微观测,结果显示,横切面上,不同处理间其髓、皮层及形成层面积差异较

大;纵切面上,各处理细胞的数目和长度也有差异(表 3,图 3)。

对于髓组织,ETH 处理的髓细胞较小,细胞数目较多;6-BA 处理髓细胞最大,细胞数量最少;ETH-6-BA 处理的细胞比对照略小,同时细胞数明显增多;市售 AB 剂处理的细胞较小,与其他处理有显著差异,比对照减少了 44%,而细胞数目与对照基本相同。

对于皮层组织,ETH 处理的皮层细胞略变大,细胞数目增多;6-BA 处理的细胞变大,细胞数较对照多;ETH-6-BA 处理的皮层细胞最大,细胞数目增多;市售 AB 剂处理的皮层细胞大小与对照无显著差异,皮层细胞数增多,与对照差异显著。

表3 各处理下胚轴内部解剖结构的比较
Table 3 Cell tissue structure of hypocotyls among different treatments

处理 Treatment	髓内细胞数 Number of pith cell	皮层细胞数 Number of cortex cell	皮层单个细胞面积 Area of single cortex cell/ μm^2	髓单个细胞面积 Area of single pith cell / μm^2	单个细胞长度 Length of single cell/ μm
ETH	156	876	5392	3565	231
6-BA	64	805	5980	9352	208
ETH-6-BA	194	829	7160	3856	193
CK	117	770	5122	4360	239
市售 AB 剂 AB reagent	112	846	5133	2664	114

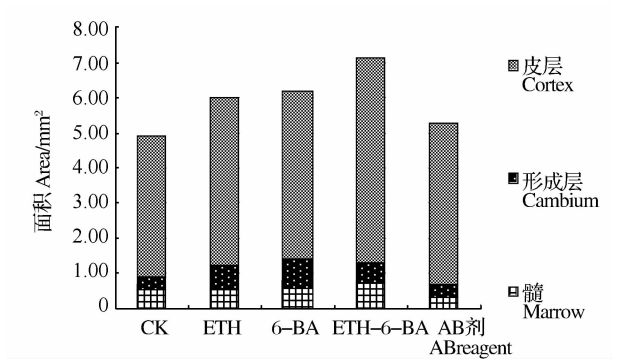


图3 不同处理对大豆幼苗下胚轴横切面
不同组织面积的影响

Fig.3 Affect of different treatment on hypocotyl cell
tissue structure of soybean seedings

横切面上,差异较大的主要是髓的形成层面积由大到小依次为市售 AB 剂、ETH-6-BA、6-BA、ETH 和 CK,与 CK 相比,其他处理都有使形成层面积增加的效应,尤其是 6-BA 比对照增加了 71%。

在大豆幼苗下胚轴的纵切面上,四组处理的细胞均短于 CK,尤以 AB 剂处理的幼苗细胞最短,但由于其细胞数目较 CK 多。某种程度上,细胞数和细胞长度综合影响大豆幼苗的下胚轴长度。

3 讨论

3.1 乙烯和 6-BA 对大豆幼苗及组织细胞生长的调节效应

关于乙烯的植物生长调节效应,Barg 等报道了乙烯能够导致多种植物细胞的横向扩大,阻止细胞纵向伸长^[9],与本试验基本一致,说明乙烯对大豆幼苗的主要作用是促进细胞的分裂和扩大,抑制细胞的纵向伸长,在外观形态上,则表现出对下胚轴的增粗和缩短效应。

关于 6-BA 的生长调节效应已在多种植物上报道,有研究表明,不同浓度 6-BA 对萝卜芽苗菜的生长均有不同程度的抑制作用。经 6-BA 处理的萝卜

芽苗菜茎均比对照粗^[10],向日葵下胚轴使用 6-BA 后,其鲜重能明显增加^[11],这与试验中对大豆幼苗形态研究结果相一致,表现出 6-BA 对幼苗具有抑制下胚轴伸长,促进增粗、增加生物量的作用。吴敦肃等观察到绿豆芽在使用 6-BA 后,其下胚轴的皮层细胞发生分裂,分裂细胞数约为 8%^[12]。试验中皮层细胞的大小和数量同样发生了变化,分裂细胞数约为 5%。6-BA 作为一种细胞分裂素,具有促进细胞分裂的作用,对不同植物、不同组织部位作用效果会有差异。

ETH-6-BA 对大豆幼苗的作用表现出:对幼苗的 ABA 含量的促进作用要比单独使用两种植物生长调节剂效应大,而其表现出的显著的扩大皮层薄壁细胞的效应,显示出了两者的加性效应,因此,其对茎的增粗作用比单独用 ETH 和 6-BA 都显著,而在其它方面,复配剂的效应基本上都在乙烯利和 6-BA 之间。

3.2 乙烯和 6-BA 对大豆幼苗生化组成的调节效应

吴敦肃等^[13]对绿豆芽的研究表明乙烯利处理的绿豆芽维生素 C 含量下降 48%,而在试验中,乙烯处理的大豆幼苗中维生素 C 的含量与对照无显著差异。而汪峰研究表明:采用 15 mL·L⁻¹6-BA 溶液处理食荚豌豆 10 min,能保持较高的 V_C、叶绿素和水分含量^[13]。这可能与使用乙烯利的浓度和处理次数以及大豆和绿豆种子萌发过程维生素 C 的变化规律有关。ETH 处理的幼苗的可溶性蛋白含量高于对照且与对照相比均达到显著差异,但是 6-BA 处理的幼苗蛋白质含量比对照低且与对照相比没有显著差异,前者与吴敦肃研究结果一致,后者有所差异。宗学风研究结果表明,0.5 mg·L⁻¹的 6-BA 处理水稻幼苗,可以提高可溶性糖、可溶性蛋白质含量^[14]。张士功研究表明,1×10⁻⁶~2×10⁻⁵ mol·L⁻¹的 6-BA 能够相对提高盐分胁迫条件下小麦萌发过程中的可溶性糖、可溶性蛋白质的含量^[15]。对

于 6-BA 对大豆蛋白质含量的影响,在使用浓度和使用时期上还有待进一步研究。

3.3 乙烯和 6-BA 对大豆幼苗内源激素含量的调节效应

在植物内源激素含量方面,6-BA 对大豆幼苗中 ZR 和 IAA 的含量无显著影响,这与韩天富等的研究结果有所不同,他用浓度 $20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 ABT 生根粉(其成份有细胞分裂素)喷施大豆幼苗叶面,可以使大豆根系中的四种内源激素(DHZR_s, GA_{1,3,4,7}, IAA, ABA)含量明显升高,叶片中 ABA 的含量下降^[16]。这可能与 6-BA 的浓度有关。李玉梅等研究表明,在盆栽条件下,水分胁迫改变了大豆幼苗叶片内源激素的平衡。干旱胁迫下,ZR 的绝对含量降低,ABA、GA3 的绝对含量增加,导致 IAA/ABA、ZR/ABA、GA3/ABA 比值降低;而水渍胁迫下,GA3、IAA 的绝对含量增加,ABA 的绝对含量降低,ZR/ABA、IAA/ABA、GA3/ABA 比值增加^[17]。冯乃杰等用化控种衣剂(HK)和常规种衣剂(ND)对大豆幼苗侧根原基发生过程中植物内源激素含量的动态分析表明,大豆幼苗侧根原基的发生状况与侧根原基发生区内源激素的含量有一定的关系,侧根的发生是几种植物内源激素相互协调、综合作用的结果,其中生长素类物质在诱导侧根原基的发生过程中起主导作用^[18]。这些研究结果表明,6-BA 对大豆幼苗内源激素的调节,不仅与 6-BA 的浓度有关,可能还与大豆有无包衣和大豆幼苗的培养条件有密切的联系。

参考文献

- [1] 汪天,王素平,郭世荣.外源乙烯对黄瓜幼苗根系生长及内源多胺含量的影响[J].沈阳农业大学学报,2006,37(3):473-475. (Wang T, Wang S P, Guo S R. Effects of exogenous ethylene on growth of root system and contents of endogenous polyamines in cucumber seedlings[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(3):473-475.)
- [2] 张维,郭得平.糖和脱落酸及乙烯互作及其与植物生长发育的关系[J].植物生理学通讯,2005,41(3):376-380. (Zhang W, Guo D P. Sugar, abscisic acid and ethylene in relation to plant growth and development[J]. Plant Physiology Communications, 2005, 41(3):376-380.)
- [3] 谢志兵,鲁旭东.植物生长调节剂处理对君子兰发芽及生长的影响[J].中国南方果树,2003,32(4):63. (Xie Z B, Lu X D. Effects of plant growth regulators on germination and growth of Diospyros lotus L[J]. South China Fruits, 2003, 32(4):63.)
- [4] 施和平,齐莹,张悦,等.黄瓜毛状根的诱导及细胞分裂素 6-BA 对其生长和形态的影响[J].生物工程学报,2006,22(3):514-520. (Shi H P, Qi Y, Zhang Y, et al. Induction of cucumber hairy roots and effect of cytokinin 6-BA on its growth and morphology[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2006, 22(3):514-520.)
- [5] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2006:190-192. (Wang X K. The experiment principle and technology in plant physiology biochemistry[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006, 190-192.)
- [6] Barbara K, Ewa K, Jerzy Ket al. The effect of growth regulators on quality parameters and ginsenosides accumulation in *Panax quinquefolium* L. roots[J]. Plant Growth Regulation, 2006, 48(1):13-19.
- [7] 郝建军,康宗利,于洋.植物生理学实验技术[M].北京:化学工业出版社,2006:128-133. (Hao J J, Kang Z L. The experiment technology in plant physiology[M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 2006:128-133.)
- [8] 史刚荣.黄蜀葵下胚轴、叶的解剖学研究[J].淮北煤师院学报(自然科学版),2003,24(3):9-13. (Shi G R. Anatomic studies on stem and leaf of abelmoschus manihot[J]. Journal of Huaibei Industry Teachers College (Natural Sciences Edition), 2003, 24(3):9-13.)
- [9] Barg S P, Burg E A. The interaction between auxin and ethylene and its role plant growth[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1966, 55:262-269.
- [10] 杨秀坚,罗富英.不同浓度 GA₃、6-BA 对萝卜芽苗菜产量影响的研究[J].北方园艺,2006(4):22-23. (Yang X J, Luo F Y. Effects of different concentration of both GA₃ and 6-BA on the yield of radish seedlings[J]. Northern Horticulture, 2006(4):22-23.)
- [11] De Ropp R S. Kinetin and auxin activity[J]. Plant Physiology, 1956, 31:253-254.
- [12] 吴敦肃,李瑞秋,高小彦,等.乙烯利和 6-BA 对绿豆芽生化成分的影响[J].上海农业学报,1995,11(3):37-42. (Wu D S, Li R Q, Gao X Y, et al. Changes of biochemical composition in mung bean sprouts after spraying ethrel and 6-BA[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 1995, 11(3):37-42.)
- [13] 汪峰,郑永华.6-BA 和热处理对食荚豌豆贮藏品质的影响[J].食品科学,2004,11:107. (Wang F, Zheng Y H. Effects of 6-BA and heat treatments on storage quality of edible podded pea[J]. Food Science, 2004, 11:107.)
- [14] 宗学凤,王三根.6-BA 与胆固醇对水稻幼苗生长和抗冷性的作用[J].西南农业大学学报(自然科学版),2003,25(6):491-499. (Zong X F, Wang S G. Effect of cholesterol and 6-BA on the growth and cold resistance of rice seedlings[J]. Journal of Southwest Agricultural University (Natural Sciences Edition), 2003, 25(6):491-499.)
- [15] 张士功,高吉寅,宋景芝,等.6-BA 对小麦种子萌发过程中所受盐害的缓解作用[J].种子,1998,6:43-44. (Zhang S G, Gao J Y, Song J Z, et al. Mitigative effects of 6-benzyladenine on salt stress-induced injuries in wheat (*Triticum aestivum* L.) germination[J]. Seed, 1998, 6:43-44.)

(下转第 52 页)

- [6] Smiciklas K D, Carlson R E, Knapp A D. Drought-induced stress on soybean seed calcium and quality[J]. Crop Science, 1989, 29(6):1519-1523.
- [7] 王晶英, 张兴梅, 李国兰. 钙对大豆生长及产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(1):60-62. (Wang J Y, Zhang X M, Li G L. Effects of Ca^{2+} on soybean growth and yield[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2004, 26(1):60-62.)
- [8] 郎漫, 刘元英, 彭显龙, 等. 不同氮肥用量下镁对大豆碳氮代谢的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(2):48-57. (Lang M, Liu Y Y, Peng X L, et al. Effects of magnesium on carbon and nitrogen metabolism of soybean at different nitrogen levels[J]. Soybean Science, 2006, 25(2):48-57.)
- [9] Raboy V, Dickinson D B, Below F E. Variation in seed total phosphorus, phytic acid, calcium, magnesium and protein among lines of *Glycine max* and *G. soja* [J]. Crop Science, 1984, 24(3):431-434.
- [10] Hanway J J, Weber C R. Dry matter accumulation in soybean (*Glycine max* L.) plants as influenced by N, P and K fertilization[J]. Agronomy Journal, 1971, 63(1):263-266.
- [11] Terman G L. Yields and nutrient accumulation by determinant soybeans as affected by applied nutrients [J]. Agronomy Journal, 1977, 69(1):234-238.
- [12] Karlen D L, Hunt P G, Matheny T A. Accumulation and distribution of K, Ca and Mg by selected determinate soybean cultivars grown with and without irrigation[J]. Agronomy Journal, 1982, 74(2):347-354.
- [13] 乔玉梅, 蒋文春, 谢甫绋, 等. 不同年代育成大豆品种钙的营养差异研究[J]. 大豆科学, 2007, 26(4):521-527. (Qiao Y M, Jiang W C, Xie F T, et al. Comparison on calcium content of soybeans released in various decades[J]. Soybean Science, 2007, 26(4):521-527.)
- [14] Mullins G L, Burmester C H. Uptake of calcium and magnesium by cotton grown under dryland conditions [J]. Agronomy Journal, 1992, 84(4):564-569.
- [15] Jacques G L, Vanderlip R L, Whitney D A. Growth and nutrient accumulation and distribution in grain sorghum I Dry matter production and Ca and Mg uptake and distribution [J]. Agronomy Journal, 1975, 67(5):607-611.
- [16] Karlen D L, Whitney D A. Dry matter accumulation, mineral concentrations and nutrient distribution in winter wheat[J]. Agronomy Journal, 1980, 72(2):281-288.
- [17] 王秀敏, 谢令琴, 刘艳苏, 等. 原子吸收光谱法测定小麦品种籽粒中钾钠钙镁的含量[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(4):90-92, 97. (Wang X M, Xie L Q, Liu Y S, et al. Determination of the potassium, sodium, calcium and magnesium contents in wheat seeds by atomic absorption spectroscopy[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2003, 26(4):90-92, 97.)
- [18] Hallock D L, Martens D C, Alexander M W. Distribution of P, K, Ca, Mg, B, Cu, Mn and Zn in peanut lines near maturity[J]. Agronomy Journal, 1971, 63(2):251-256.
- [19] Pietz R I, Peterson J R, Hinesly T D, et al. Sewage sludge application to calcareous strip-mine soil I. Effect on corn yields and N, P, K, Ca and Mg compositions[J]. Journal of Environment Quality, 1982, 11(4):685-689.
- [20] 崔彦宏, 张桂银, 郭景伦, 等. 高产夏玉米钙的吸收与再分配研究[J]. 河北农业大学学报, 1994, 17(4):31-35. (Cui Y H, Zhang G Y, Guo J L, et al. Accumulation and partitioning of Calcium by corn[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 1994, 17(4):31-35.)
- [21] 宋书宏, 王文斌, 孙恩玉, 等. 大豆单产 327.2 公斤研究初报[J]. 大豆通报, 2001, 2:7, 23. (Song S H, Wang W B, Sun E Y, et al. Preliminary study on soybean with yield of 327.2 kg[J]. Soybean Bulletin, 2001, 2:7, 23.)
- [22] 牛森. 作物品质分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1992:68-73. (Niu S. Crop quality analysis [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1992:68-73.)
- [23] Fehr W R, Caviness C E, Burmood D T, et al. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill [J]. Crop Science, 1971, 11:929-931.
- [24] Scott H D, Brewer D W. Translocation of nutrients in soybeans[J]. Soil Science Society of American Journal, 1980, 44:566-569.

(上接第 45 页)

- [16] 韩天富, 马凤鸣, 马秀峰, 等. ABT 生根粉对大豆内源激素含量和农艺性状的影响[J]. 大豆科学, 1994, 13(2):121-126. (Hang T F, Ma F M, Ma X F, et al. The effect of ABT growth promoter on the contents of endogenous and agronomic characteristics in soybean[J]. Soybean Science, 1994, 13(2):121-126.)
- [17] 李玉梅, 李建英, 王根林, 等. 水分胁迫对大豆幼苗叶片内源激素的影响[J]. 大豆科学, 2007, 24(4):628-636. (Li Y M, Li J Y, Wang G L, et al. Studies on mechanism of endogenous hormones in soybean seedling under water stress[J]. Soybean Science, 2007, 24(4):628-636.)
- [18] 冯乃杰, 郑殿峰, 张明才, 等. 化控种衣剂对大豆幼苗侧根原基的发生和内源激素含量的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(1):272-300. (Feng N J, Zheng D F, Zhang M C, et al. Chemical control seed coating impacting upon initiation of soybean lateral root anlage and contents of endogenous hormone[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(1):272-300.)