

等离子注入诱变对菜用大豆品种出苗及遗传变异的影响

马海林,樊智翔,安伟,米小红,王计虎

(山西省农业科学院 玉米研究所,山西 忻州 034000)

摘要:探索不同剂量 N^+ 注入对菜用大豆出苗率及后代遗传变异的影响。以 12 个菜用大豆品种为材料,用等离子注入法以 3 种不同剂量的氮离子(N^+)处理后研究不同品种の出苗率差异以及后代的遗传变异。结果表明: N^+ 在 6×10^{16} 、 8×10^{16} 、 1×10^{17} 3 个剂量下均显著降低了菜用大豆种子的出苗率,但 F 测验的结果显示 3 个剂量处理间差异不显著,而不同品种间的出苗率差异达到极显著水平。后代的遗传变异研究表明有些植株虽在诱变当代产生变异,出现叶片增大,植株变高,豆类变长变宽等变异,但在变异株的后代中没有表现出来;另外发现有些植株虽在诱变处理当代没有表型变异,但在后代中出现了株高、花色与叶形等方面的分离。

关键词:离子注入;出苗率;遗传变异

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2009)06-0990-04

Emergence and Genetic Variation of Vegetable Soybean Treated with Plasma Implantation Mutation Method

MA Hai-lin, FAN Zhi-xiang, AN Wei, MI Xiao-hong, WANG Ji-hu

(Maize Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Xinzhou 034000, Shanxi, China)

Abstract: The objective of the study is to explore influence of different doses of N^+ implantation on vegetable soybean seedling emergence rate and genetic variation of future generations. We studied the seedling emergence rate and genetic variation of offspring with 12 soybean varieties using plasma implantation method with three different doses (6×10^{16} , 8×10^{16} , 1×10^{17}) of nitrogen ion. The seedling emergence rates of all soybean varieties were reduced by three doses of nitrogen ion; no significant difference for seedling emergence rate was detected using the F test among three treatment, but the differences of seedling emergence rate among varieties reached significant levels. The study on genetic variation of generations showed that some plants have contemporary variation in mutation, such as the larger leaves, the higher plants, the longer and wider pod, etc., but these differences did not occur in the mutant offspring. We also found some plants showed no phenotype variation in M_1 , but segregation of character related to plant height, flower color and leaf shape occurred in their offspring.

Key words: Plasma implantation; Emergence rate; Genetic variation

随着科学技术的发展,作物育种与种质创新的手段越来越丰富。20 世纪 80 年代中期,中国科学院等离子体物理研究所率先开展了离子注入生物学效应研究。其作用机理是将离子注入作物种胚和生长点,通过能量输入、动能传递、粒子植入、电荷交换,诱导作物发生可遗传的变异^[1]。有关研究表明 N^+ 离子束注入可能会引植物细胞结构受损,细胞电导率增加;也可能会引起亚细胞结构损伤,如导致叶绿体畸变,各类自由基浓度酶活性发生变化;也可能会引起染色体畸变,各类作物在诱变处理当代不仅

发现染色体初级结构变异,而且发现复杂的高级结构变异。目前离子束诱变技术作为一种新型的作物诱变育种技术已广泛地应用于各类作物品种改良研究。如 N^+ 注入可明显提高甜菊、烟草的当代产量和品质。另一方面,离子注入还可诱发能遗传的当代突变,如 N^+ 注入获得可遗传的水稻黄化突变体、棉花短果枝突变体和番茄早熟大果突变体。目前,离子注入已成功地应用于水稻、玉米、小麦、大豆、棉花、番茄、苜蓿、微生物等的遗传改良,并在植物转基因及远缘杂交上得到应用^[2-8]。

收稿日期:2009-05-11
基金项目:山西省科技攻关资助项目(2007031006-2);山西省农业科学院院攻关资助项目(YGG0627)。
第一作者简介:马海林(1973-),男,助理研究员,在职硕士,现主要从事作物遗传育种研究,E-mail:ymsmhl@163.com。

据有关报道日本的豆脂肪氧化酶缺失材料就是在等离子诱变后代中选育^[9]。多方面的研究表明离子注入诱变育种,具有损伤轻、突变率高和突变谱广的特点,是人工诱变方法的一个新发展。目前在诱变机理、诱变剂量以及不同作物对诱变的效果等方面进行了广泛的研究,并取得了一定的效果。但不同的作物以及同一作物的不同品种对诱变的响应不尽相同,因此很有必要开展该领域在不同作物,不同品种间的研究。

大豆是一种重要的经济作物,同时作为鲜食的鲜豆荚及其产品由于其本身的营养价值和适口性已越来越受到消费者的青睐,与之相关的育种技术也正受到育种家的关注,但与育种相关的种质资源狭窄问题一直是制约育种发展的瓶颈。等离子诱变技术在创新种质方面有很显著的效果,研究等离子处理菜用大豆种子的出苗率与后代遗传变异的影响,对菜用大豆的种质创新利用研究提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

从日本引进和国内征集的 12 个菜用大豆品种,分别是极早生枝豆、早生枝豆、のう家种、日本青、毛豆之王、华严白毛、NY5-2、早生白鸟、NP 原黄粒、はったか、大力王、台湾 292。材料包含特早熟、早熟、中早熟、晚熟 4 类,粒型包含大、中、小粒品种。每个品种选取 400 粒大小均匀、种皮完好无损的籽粒为材料。每 100 粒为 1 个处理,其中 3 个进行诱变处理,1 个为空白对照。

1.2 试验方法

2005 年春将供试材料在山西省农业科学院旱农中心进行等离子诱变处理,3 个处理剂量分别为 6×10^{16} 、 8×10^{16} 、 1×10^{17} 。处理后与对照共得到 48 份材料,将 48 份材料随机排列后种成小区,每个小区种 3 行,行长 5 m,行距 40 cm。每份材料的 100 粒种子均匀播于小区内,等对照全部出苗 7 d 后观察记载诱变处理材料的出苗率。并随时观察处理材料的变异情况。收获时先收获有变异的单株,并将没有变异的植株混收。2006 年春将上代有变异的单株分别种成株系,并从上代无表型变异的混收材料中随机抽取 100 粒种植 2 行观察后代变异情况。

2 结果与分析

2.1 等离子诱变处理对大豆种子出苗率的影响

调查结果显示 12 个不同品种对照的出苗率均在 95% 以上,处理间出苗率的差异应主要是由于诱变处理与不同的品种基因型的互作导致。由表 1 可以看出不同的处理剂量均对出苗有较大的影响。利用统计分析软件 SAS V8.02 对所得到的出苗率数

表 1 不同品种不同处理出苗率

Table 1 Statistics about emergence rate of different variety and different treatments

品系名称 Name of variety	生育期 Growth period duration	籽粒大小 Kernel size	脉冲剂量 Doses	出苗率 Emergence rate/%
极早生枝豆	极早熟	小	6×10^{16}	47
Jizaosheng	Extremely early	Small	8×10^{16}	31
jidou	maturity		1×10^{17}	34
早生枝豆	早熟	小	6×10^{16}	30
Zaosheng	Early maturity	Small	8×10^{16}	16
jidou			1×10^{17}	28
のう家种	早熟	中	6×10^{16}	29
Naoganong	Early maturity	Middle	8×10^{16}	18
jiazhong			1×10^{17}	26
日本青	早熟	中	6×10^{16}	27
Ribenqing	Early maturity	Middle	8×10^{16}	11
			1×10^{17}	11
毛豆之王	早熟	大	6×10^{16}	18
Maodouzhiwang	Early maturity	Big	8×10^{16}	26
			1×10^{17}	23
华严白毛	早熟	中	6×10^{16}	26
Huayanbaimao	Early maturity	Middle	8×10^{16}	26
			1×10^{17}	7
はったか	早熟	中	6×10^{16}	9
Ha taka	Early maturity	Middle	8×10^{16}	24
			1×10^{17}	16
早生白鸟	早熟	大	6×10^{16}	12
Zaosheng	Early maturity	Big	8×10^{16}	15
bainiao			1×10^{17}	14
大力王	中熟	中	6×10^{16}	16
Daliwang	Middle maturity	Middle	8×10^{16}	11
			1×10^{17}	16
台湾 292	中熟	大	6×10^{16}	39
Taiwang 292	Middle maturity	Big	8×10^{16}	18
			1×10^{17}	25
NP 原黄粒	晚熟	中	6×10^{16}	42
NP Yuanhuali	Late maturing	Middle	8×10^{16}	42
			1×10^{17}	54
NY5-2	晚熟	大	6×10^{16}	19
	Late maturing	Big	8×10^{16}	4
			1×10^{17}	8

据进行分析,结果(表2)显示不同处理间出苗率差异不显著,但不同品种间的出苗率差异极显著。说明不同品种对不同剂量的响应存在差异。

另外发现处理后出苗率的高低与品种的熟期与籽粒大小并没有必然关系,有些早熟粒小的材料处理后出苗率高,但晚熟大粒材料中也有处理后出苗率高的品种。出苗率的分析结果显示:不同品种在诱变处理时为了达到一定的出苗率需选用不同的剂量,相同处理出苗率的差异只与品种的遗传基因型有关,而与品种的生育期没有必然关系。

表2 不同处理与不同品种出苗率方差分析

Table 2 ANOVA of emergence rate in different variety and different treatments

来源 Source	自由度 DF	平方和 SS	均方 MS	F	P 值 P-value
处理 Treatments	2	0.023	0.012	2.27	0.127
品种 Variety	11	0.354	0.032	6.34	0.0001
误差 Error	22	0.112	0.005		

2.2 不同诱变处理种子后代遗传变异

不同处理不同品种当代的田间观察中均发现变异株。变异主要表现在:叶片变厚、变大、叶面皱缩,豆荚变长变宽,茎杆出现畸形,熟期变晚等性状。不同处理不同品种的变异概率均在3%~5%之间。说明3个不同剂量处理均影响了出苗率,而对后代遗传变异的概率没有显著差异。

对不同处理不同品种第2代田间观察显示:其一,有些植株当代出现的变异在第2代出现分离,也有些植株虽在诱变当代出现变异但在下一代又恢复了原来品种的特征特性,可能原因是作物自身的调节能力对外界的伤害有一定的修复功能。其二,有些植株虽在诱变当代没有发生变异但在它们的后代中出现了株高、花色、叶形与熟性等方面的分离,说明可能有些性状的变异并没有在诱变处理当代就表现出来,诱变后的选择世代可扩大到第2代进行。

3 讨论

3.1 诱变处理剂量对不同作物种子出苗率的影响

程国旺等^[10]研究显示N⁺在3.2×10¹⁶~4.6×10¹⁶cm⁻²剂量范围内处理不影响油菜种子发芽,以3.9×10¹⁶cm⁻²剂量处理可提高种子出苗率和成苗

率。郭金华等^[11]发现N⁺注量在2.6×10¹⁶~5.2×10¹⁶cm⁻²时,大豆种子的发芽率、发芽指数、活力指数都明显提高,幼苗的可溶性蛋白含量高于对照。王军等^[12]研究辣椒经离子束注入后,平均出苗率比对照提高8%。吕杰等^[13]研究表明离子注入对紫花苜蓿种子发芽,品种间和剂量间差异显著,而品种与剂量互作效应间差异不显著。那日等^[7]研究N⁺离子注入对紫花苜蓿幼苗生长和营养成分的影响表明注入剂量在0~2.08×10¹⁶cm⁻²时发芽率随剂量的增加而略有增大,剂量在2.08~5.20×10¹⁶cm⁻²发芽率随剂量增加而减小,当注入剂量达到5.20×10¹⁶cm⁻²以上时,注入剂量的增加对紫花苜蓿的发芽率抑制效果特别明显,剂量在7.80×10¹⁶cm⁻²时达到最小值,当注入剂量增加到7.80×10¹⁶cm⁻²时发芽率有一反弹,注入剂量增加到8.32×10¹⁶cm²时发芽率几乎降为零。刘瑞峰等^[14]以N⁺离子束处理高羊茅种子的研究认为在相同能量剂量梯度下,采用小靶室2次脉冲注入和4次脉冲注入,高羊茅种子发芽率随剂量梯度的增大而降低。吐尔逊·伊不拉音等^[15]用N⁺离子注入不同蔬菜和药材种子后发现可提高麻黄草的种子出苗率。以上研究显示:不同物种种子发芽率或出苗率对诱变剂量的响应不尽相同,但多数物种在合适剂量处理下可以提高种子发芽或出苗率。

3.2 诱变处理对不同种子后代遗传变异的影响

程国旺等^[10]的研究还显示适当剂量处理对成株期的诸多农艺性状有明显的生长刺激效应,变异株率达到3.2%。陈冬花等^[16]对拟南芥种子引起M₁和M₂代变异的遗传分析研究认为N⁺注入剂量在5×10¹³~5×10¹⁵cm⁻²范围内,DNA的变异频率随着剂量的增加呈明显的上升趋势。M₁单株的RAPD分析结果证明N⁺注入引起了拟南芥DNA变异,并且注入剂量与诱变频率之间存在一定的相关性。吐尔逊·伊不拉音^[15]的研究显示诱变后M₁种子的株型、植株性状、单果重(有增有减)、果实性状(可改变辣椒与五叶茄的果型)、以及早熟性等均有变异。不同作物的研究结果均显示合适的离子剂量处理可引起多种农艺性状的变异。

3.3 与前人研究结果比较

前人的研究结果与该试验相关的研究结果有所差异,可能不同物种对诱变的响应不同,另外在低剂量处理时虽能提高种子发芽率,但能创造的变异有限,菜用大豆种子由于籽粒较大,为提高诱变变异效果而加大了诱变的剂量,诱变过程种皮受损严重,这

可能是导致诱变处理后出苗率低的重要原因之一。研究中还发现相同籽粒大小的菜用大豆品种出苗率差异也很大,原因可能是不同品种种子种皮的致密度不同,导致对诱变处理的响应不同,最终导致种子出苗率的差异。王卫东等^[17]应用扫描电镜观察 N⁺ 注入拟南芥干种子后表层细胞结构的变化研究表明,拟南芥种子的 N⁺ 离子注入区域与未注入区域相比,表层细胞的损伤程度随着离子剂量的增大而增加;且种子表面有裂痕生成。另外,经注入种子的表面分布有许多散在的固体颗粒状物质,其密集程度也随离子剂量的增加而增大。

种皮在种子贮藏期间能起保护作用,在种子发芽时有的种皮比较厚实,阻碍了种子的顺利萌发,离子注入过程使种皮受损,从而减小了种皮对种子萌发的阻力;而有的作物种皮比较薄对种子萌发不形成影响,且对种子各部分器官有一定的保护作用,种皮受损后,种子内的器官也受到损坏,对种子的萌发产生了不利因素,严重的可能导致种子死亡。这可能是各物种对诱变处理后出苗率差异的根本原因。

研究表明,尽管离子注入具有显著的生物学效应。但诱变效果在各物种中有所差异,无法预测,后代的变异有一定的随机性,并不一定会出现预期的目标性状变异,因此在进行诱变育种研究时,一定要注意选育目标的调整,只能根据后代变异的情况来确定有用的选育目标。另外诱变后代变异既可能出现在诱变当代,也可能出现第 2 代中,因此进行变异选择时建议从第 2 代以后开始。

参考文献

[1] 余增亮,邱励俭,霍裕平,等. 离子注入生物效应及育种研究进展[J]. 安徽农业大学学报,1991,18(4):251-257. (Yu Z L, Qiu L J, Huo Y P, et al. Progress in studies of biological effect and crop breeding induced by ion implantation[J]. Journal of Anhui Agricultural College, 1991, 18(4):251-257.)

[2] 吴跃进,王学栋,刘贵富. 离子注入水稻诱变育种机理初探[J]. 安徽农业科学,1989,17(1):12-16. (Wu Y J, Wang X D, Liu G F, et al. Studies on the mutagenic effect of ion implantation on rice[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 1989, 17(1): 12-16.)

[3] 徐明照,周立人,程备久. 氮离子注入玉米种子的细胞生物学效应[J]. 中国农学通报,2007,23(11):77-80. (Xu M Z, Zhou L R, Cheng B J. Cytological effects of nitrogen ion implantation in maize seeds[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(11):77-80.)

[4] 周小云,计巧灵,刘亚萍,等. 氮离子束注入对新疆春小麦 M₁

代生物学效应的影响[J]. 新疆大学学报(自然科学版),2005, 22(4):462-464. (Zhou X Y, Ji Q L, Liu Y P, et al. Influence of low energy N⁺ Ion implantation on biological effects of Xinjiang spring wheat[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition), 2005, 22(4):462-464.)

[5] 郭金华,王浩波,谢传晓,等. 低能氮离子注入对大豆幼苗脂质过氧化的影响[J]. 辐射研究与辐射工艺学报,2003,21(4):243-246. (Guo J H, Wang H B, Xie C X, et al. Effects of N⁺ Ion implantation on lipid peroxidation in soybean seedling [J]. Journal of Radiation Research and Radiation Processing, 2003, 21(4): 243-246.)

[6] 岳洁瑜,杨郁文,于艳杰,等. N⁺ 离子注入陆地棉花粉对胚珠 DNA 及 M₁代 cDNA 表达的影响[J]. 核农学报,2009,23(1):54-59. (Yue J Y, Yang Y W, Yu Y J, et al. Effects of N⁺ Ion implantation into pollen of upland cotton(*Gossypium hirsutum* L.) on the expression of ovule DNA and the cDNA fragments of M₁progeny[J]. Journal of Nuclear Agricultural Science, 2009, 23(1):54-59.)

[7] 那日,冯璐,李玉峰. 低能 N⁺ 离子注入对紫花苜蓿幼苗生长和营养成分的影响[J]. 干旱地区农业研究,2004,22(3):38-42. (Na R, Feng L, Li Y F. Effect of N⁺ Ion implantation on growth and nutritional component of medicago sativa[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(3):38-42.)

[8] 沈以凌,谢飞,虞龙. 低能氮离子注入在 γ -1 亚麻酸发酵中的应用研究[J]. 中国酿造,2009(1):96-99. (Shen Y L, Xie F, Yu L. Application of N⁺ Ions implantation in fermentation of γ -1 linolenic acid[J]. China Brewing, 2009(1):96-99.)

[9] 张太平,朱星陶,王军等. 贵州大豆脂肪氧化酶缺失体的分布及其与生态环境的关系[J]. 种子,1999(3):8-10. (Zhang T P, Zu X T, Wang J, et al. Distribution and relationship with eco-environment of guizhou soybean varieties lacking lipoxygenase [J]. Seed, 1999(3):8-10.)

[10] 程国旺,黄群策,余增亮. 氮离子注入油菜 M₁代的生物学效应[J]. 核技术,2004,27(4):281-284. (Cheng G W, Huang Q C, Yu Z L. Biological effects of nitrogen ion implantation on rape M₁ generation [J]. Nuclear Techniques, 2004, 27(4):281-284.)

[11] 郭金华,谢传晓,徐剑等. N⁺ 离子注入对大豆种子活力及其幼苗的抗氧化酶活性影响[J]. 激光生物学报,2003,12(5):368-372. (Guo J H, Xie C X, Xu J, et al. Effects of N⁺ Ion implantation on seed vigor of soybean and some antioxidase activity in soybean seedling [J]. Acta Laser Biology Sinica, 2003, 12(5):368-372.)

[12] 王军,武宝山,张伶,等. 茄子、蕃茄、辣椒种子经 N⁺ 离子注入后的生物效应[J]. 种子,2002(5):9-10. (W J, Wu B S, Z L, et al. Biological effect of N⁺ Ion implantation on the seeds of aubergine tomato and hot pepper [J]. Seed, 2002(5):9-10.)

[13] 吕杰,李冠,王新绘. 低能离子注入对紫花苜蓿种子发芽及幼苗生理生化变化的影响[J]. 种子,2004,23(8):32-41. (LV J, Li G, Wang X H. Effect of low energy ions implantation on seed germination and physiological and biochemical changes of alfalfa [J]. Seed, 2004, 23(8):32-41.)

- Cheng J L. Analysis on heterosis and combining ability of hybrid F_1 in soybean yield[J]. Crop Research, 1991, 5(3): 26–28.)
- [3] 李新海, 王金陵, 杨庆凯, 等. 不同选择方法及选择强度对三种类型大豆杂交组合后代选择效应的研究[J]. 作物学报, 1998, 24(6): 756–762. (Li X H., Wang J L., Yang Q K., et al. A Comparative study on the effectiveness of selection by different methods and intensities in crosses among three parental types of soybeans [J]. Acta Agronomica Sinica, 1998, 24(6): 756–762.)
- [4] 盖钧镒, 胡蕴珠, 马育华. 中美大豆品种间 F_1 和 F_3 杂种优势与配合方分析[J]. 大豆科学, 1984, 3(3): 183–191. (Gai J Y., Hu Y Z., Ma Y H. Heterosis and combining ability performed in F_1 and F_3 hybrids between soybean cultivars from the PRC and US [J]. Soybean Science, 1984, 3(3): 183–191.)
- [5] 张淑珍, 葛秀秀, 杨庆凯, 等. 中美半矮秆大豆杂交早期世代农艺性状遗传及相关、通径分析[J]. 中国油料作物学报, 2001, 23(1): 32–34. (Zhang S Z., Ge X X., Yang Q K., et al. Study on genetic variation, correlation and path analysis in early generation of China America semi dwarf soybean crosses[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2001, 23(1): 32–34.)
- [6] 付玉清, 杨庆凯. 大豆脂肪酸组份含量的正反交效应和配合力分析[J]. 大豆科学, 1994, 13(1): 9–14. (Fu Y Q., Yang Q K. Analysis on combining ability and the effect of reciprocal crosses about oil fatty acid content in soybean [J]. Soybean Science, 1994, 13(1): 9–14.)
- [7] 祝其昌, 张秋荣, 顾和平. 大豆杂交后代选择法效果比较的研究[J]. 大豆科学, 1995, 14(1): 47–52. (Zhu Q C., Zhang Q R., Gu H P. A comparative study of effectiveness among several selection methods for handling progenies of soybean crosses [J]. Soybean Science, 1995, 14(1): 47–52.)
- [8] 陈新, 朱成松, 顾和平, 等. 大豆蛋白质含量遗传变异特点及早世代选择效果的研究[J]. 大豆科学, 1997, 16(4): 328–333. (Chen X., Zhu C S., Gu H P., et al. Genetic variability of protein content and its selection efficiency in the early generations of soybean crosses [J]. Soybean Science, 1997, 16(4): 328–333.)
- [9] 朱洪德, 余建章, 周可金, 等. 大豆主要品质性状遗传及其配合力分析[J]. 大豆科学, 1994, 13(3): 237–244. (Zhu H D., Yu J Z., Zhou K J., et al. Analysis on genetics and combining ability about qualitative traits in soybean [J]. Soybean Science, 1994, 13(3): 237–244.)
- [10] 田佩占. 大豆杂交亲本产量配合力与选择效果关系的研究[J]. 吉林农业科学, 1984(4): 6–10. (Tian P Z. Realation between combining ability of hybridized parents and selectin effect [J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 1984(4): 6–10.)
- [11] 胡超越, 王振民, 潘荣云. 大豆 5 种油脂脂肪酸含量的配合力分析[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(5): 486–489. (Hu C Y., Wang Z M., Pan R Y. Combining ability and heritability of oil fatty acid contents in soybean [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2005, 27(5): 486–489.)
- [12] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统—实验设计、统计分析及数据挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2007. (Tang Q Y., Feng M G. DPS data processing system- experimental design, statistical analysis and data mining [M]. Beijing: Science Publishers, 2007.)
- [13] 谢邦昌, 朱建平, 何海鹰. Excel2007 在统计分析中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 183–208. (Xie B C., Zhu J P., He H Y. Excel2007 in the application of statistical analysis [M]. Beijing: Tsinghua University Publishers, 2008: 183–208.)
- [14] 杨琪, 王金陵. 三种不同类型大豆及其杂种后代主要农艺性状的配合力分析[J]. 作物学报, 1994, 20(4): 481–488. (Q Y, L W J. The combining ability analysis in main agronomic characters for three different types of soybean and their generation [J]. Acta Agronomica Sinica, 1994, 20(4): 481–488.)
- [15] 王大春, 张宝石, 薛玉梅. 11 个玉米自交系主要性状的配合力分析[J]. 玉米科学, 2006, 14(4): 64–65. (Wang C D., Zhang B S., Xue Y M. Combining ability analysis of main characters in 11 maize inbred lines [J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(4): 64–65.)
- [16] 康波, 王振民, 邓少华, 等. 大豆主要农艺性状杂种优势与配合力的研究[J]. 吉林农业大学学报, 1993(1): 17–21. (Kang B., Wang Z M., Deng S H., et al. Study on the heterosis and combining ability of soybean hybrids [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1993(1): 17–21.)
- [17] 崔润芝, 田保明, 李延军. 夏大豆产量性状的遗传力和配合力分析[J]. 华北农学报, 1994, 9(4): 59–64. (Cui R Z., Tang B M., Li Y J. An analysis of genetic ability and combining ability for yield characters in summer soybean [J]. Acta Agricultural Boreali-Sinica, 1994, 9(4): 59–64.)
- (上接第 993 页)
- [14] 刘瑞峰, 张志飞, 刘卫等. N^+ 离子束注入对高羊茅种子发芽率的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2008, 28(5): 81–88. (Liu R F., Zhang Z F., Liu W., et al. Effects of N^+ Ion beam implantation on the germination rate of *Festuca arundinacea* [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2008, 28(5): 81–88.)
- [15] 吐尔逊·伊不拉音, 李茜, 武宝山, 等. 离子束诱变蔬菜、药材等种子 M_1 生物效应[J]. 种子, 2001(5): 3–4. (Tuersein · Yibulayjn, Li Q., Wang J., et al. Biological effect on vegetable and herb seeds in M_1 generation by ion beam mutation [J]. Seed, 2001(5): 3–4.)
- [16] 陈冬花, 梁前进, 张根发. 离子注入拟南芥种子引起 M_1 和 M_2 代变异的遗传分析[J]. 高技术通讯, 2001(10): 22–25. (Cheng D H., Liang Q J., Zhang G F., et al. Genetics analysis of mutagenic effect on M_1 and M_2 of *Arabidopsis thaliana* derived from the seeds implanted by low energy ion [J]. High Technology Letters, 2001(10): 22–25.)
- [17] 王卫东, 王燕, 王雪青, 等. 氮离子注入后拟南芥种子表皮的扫描电镜观察[J]. 电子显微学报, 2004, 23(2): 148–151. (Wang W D., Wang Y., Wang X Q., et al. SEM observation of the *Arabidopsis thaliana* seed's surface cell implanted by keV N^+ Ion beam [J]. Journal of Chinese Electron Microscopy Society, 2004, 23(2): 148–151.)