

氮离子束注入和钴⁶⁰伽玛辐射对大豆产量性状和品质的影响

季良,王仙,彭琳,聂石辉

(新疆农业科学院粮食作物研究所,新疆乌鲁木齐830091)

摘要:分别以3种剂量的N离子束注入(4×10^{16} , 6×10^{16} 和 8×10^{16} $\text{N}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$)和3种剂量的⁶⁰Co-γ射线辐射(100, 150和200 Gy)处理4份大豆干种子,在相同种植条件下对其M₆代产量性状和品质进行研究,比较2种处理方法对大豆产量性状及品质的诱变效应。结果表明:与对照相比,新大豆3号 4×10^{16} $\text{N}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$ 离子束注入处理单株荚数显著增加, 6×10^{16} $\text{N}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$ 离子束注入处理产量极显著增加;合99-756 8×10^{16} $\text{N}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$ 离子束注入处理单株粒数和单粒粒重显著减少, 6×10^{16} $\text{N}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$ 离子束注入处理百粒重显著减少,100 Gy⁶⁰Co-γ射线辐射处理蛋白质含量显著降低,100,150和200 Gy⁶⁰Co-γ射线辐射使脂肪含量显著提高;新大豆8号 4×10^{16} 和 8×10^{16} $\text{N}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$ 离子束注入、100和200 Gy⁶⁰Co-γ射线辐射处理单株粒重显著减少, 4×10^{16} 和 6×10^{16} $\text{N}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$ 离子束注入及200 Gy⁶⁰Co-γ射线辐射处理产量极显著或显著增加;N离子束注入和⁶⁰Co-γ辐射对石大豆2号产量、各产量构成因素及品质的影响差异不显著。因此,诱变育种目标应根据材料的敏感性、诱变方法和剂量综合确定。

关键词:大豆;氮离子束注入;⁶⁰Co-γ射线辐射;产量性状;品质;诱变育种

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2013)02-0189-04

Effects of Nitrogen Ion Beam Implantation and ⁶⁰Co-γ Irradiation on Yield Traits and Quality of Soybean

Ji Liang, Wang Xian, Peng Lin, Nie Shi-hui

(Food Crops Research Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

Abstract: Selection of materials, mutagenic methods and doses are very important in mutation breeding. The objectives of this experiment was to discuss the mutation breeding technique of soybean by nitrogen ion beam implantation and ⁶⁰Co-γ ray radiation. The dried seeds of four soybean varieties were treated by nitrogen ion beam implantation including 4×10^{16} , 6×10^{16} and 8×10^{16} $\text{N}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$ and ⁶⁰Co-γ ray irradiation of 100, 150 and 200 Gy. The biological effects of two treatments on yield traits and quality of M₆ generation were compared under the same planting conditions. The results indicated that compared with control, 4×10^{16} and 6×10^{16} $\text{N}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$ increased pods per plant ($P < 0.05$) and yield ($P < 0.01$) of Xindadou 3 significantly; 8×10^{16} , 6×10^{16} and 100 Gy⁶⁰Co-γ irradiation decreased seeds number and weight per plant ($P < 0.05$), 100-seed weight ($P < 0.05$) and protein content of He99-756, respectively. 100, 150 and 200 Gy⁶⁰Co-γ irradiation increased fat content ($P < 0.05$) of He99-756; 4×10^{16} and 8×10^{16} $\text{N}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$, 100 and 200 Gy⁶⁰Co-γ irradiation decreased seeds weight per plant ($P < 0.05$) of Xindadou 8, 4×10^{16} , 6×10^{16} $\text{N}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$ and 200 Gy⁶⁰Co-γ irradiation increased yield of Xindadou 8 significantly; nitrogen ion beam implantation and ⁶⁰Co-γ irradiation had no effect on the yield, yield components and quality of Shidadou 2. Thus the objectives of mutation breeding were determined according to sensitivity of materials, mutagenic methods and doses.

Key words: Soybean; Nitrogen ion beam implantation; ⁶⁰Co-γ ray irradiation; Yield traits; Quality; Mutation breeding

低能离子束注入是由我国科学家于20世纪80年代中期提出的一种新型植物诱变技术^[1],以生理损伤小、突变谱广和突变频率高等显著优点广泛应用于作物品种改良^[2-3],并成为诱变育种领域的研究热点之一,已在小麦和水稻等作物上培育出一批特异种质和新品种^[4-5],但在大豆上的应用较少^[6],因而开展大豆离子束诱变育种研究对于大豆育种体系的创新具有重要意义。

辐射诱变是培育作物新品种的重要途径之一,自20世纪50年代以来,已通过辐射诱变方法培育出一批大豆优良品种及有益突变体和中间亲本^[7],但研究多集中在诱变方法^[7]、剂量^[8-9]、遗传变异^[10-12]

与选择方法^[13-14]上,对于大豆诱变材料、选择剂量和目标性状之间关系的研究较少。本研究考察了N离子束注入和⁶⁰Co-γ射线对大豆产量性状和品质的影响,旨在为诱变育种的深入研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试大豆为新大豆3号、石大豆2号、合99-756和新大豆8号。2006年分别采用 4×10^{16} , 6×10^{16} 和 8×10^{16} $\text{N}^+ \cdot \text{cm}^{-2}$ (简称L₄、L₆和L₈)3种剂量的N离子束注入和100,150和200 Gy(简称F₁₀₀、F₁₅₀

收稿日期:2012-09-02

基金项目:新疆高技术研究发展计划项目(201111118)。

第一作者简介:季良(1963-),男,研究员,主要从事豆类和麦育种及栽培研究。E-mail: jiliangxyz@yahoo.com.cn。

和 F_{200})3 种剂量的 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 射线辐射处理 4 份材料。氮离子束注入在新疆大学离子束生物工程中心进行,使用 LCD-1000 型多功能离子注入机,能量 30 keV; $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射在新疆农业科学院辐照技术中心进行,剂量率 $1.6 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ 。2006 ~ 2010 年按照诱变育种程序, M_2 代选择变异单株,然后进行系选, M_6 代获得稳定株系。

2011 年将 M_6 代种子播种于新疆昌吉国家科技示范园区试验田 ($N44^\circ 03'$, $E87^\circ 22'$, 海拔 524 m)。试验采用随机区组设计,2 行区,行长 6 m,行距 45 cm,株距 6 cm,小区面积 5.4 m^2 ,以同批未处理种子为对照,3 次重复。

1.2 测定项目与方法

成熟期每材料随机取 10 株进行单株荚数、单

株粒数、单株粒重、百粒重等产量性状的考种,并实收计产,之后折算为公顷产量。

采用 Foss 公司生产的 1241 型近红外籽粒品质分析仪测定参试材料的蛋白质和脂肪含量。

1.3 数据分析

采用 DPS 12.5 和 Excel 2007 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同诱变处理对大豆产量的影响

2.1.1 产量构成因子 由表 1 可知,新大豆 3 号单株荚数除 L_4 显著高于对照、 L_8 和 F_{150} 外,其他处理与对照差异均不显著;单株粒数、百粒重各处理与对照及处理间差异均不显著;单株粒重各处理与对照差异不显著,除 L_4 显著高于 L_8 外,处理间差异不显著。

表 1 氮离子束注入和钴 60 伽玛辐射对大豆产量和产量构成因素的影响

Table 1 Effects of nitrogen ion beam implantation and $^{60}\text{Co}-\gamma$ ray irradiation on yield and yield components of soybean

品种 Cultivar	诱变处理 Mutation treatment	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	单株粒重 Seed weight per plant/g	百粒重 100-seed weight/g	产量 Yield/kg·hm ⁻²
新大豆 3 号	L_4	60.27 ± 19.92 aA	143.00 ± 21.50 aA	19.34 ± 6.73 aA	18.93 ± 0.59 aA	3846.75 ± 1086.90 bB
Xindadou 3	L_6	40.00 ± 9.49 abA	144.53 ± 50.37 aA	17.15 ± 5.20 abA	19.23 ± 0.82 aA	5788.05 ± 170.40 aA
	L_8	30.17 ± 16.75 bA	72.95 ± 36.64 aA	9.16 ± 2.79 bA	17.31 ± 3.10 aA	3832.65 ± 683.70 bB
	F_{100}	38.33 ± 15.60 abA	104.07 ± 52.09 aA	16.58 ± 8.48 abA	17.02 ± 1.94 aA	3959.25 ± 706.05 bB
	F_{150}	30.20 ± 4.45 bA	83.73 ± 10.21 aA	13.97 ± 5.83 abA	17.44 ± 1.18 aA	2891.55 ± 698.85 bB
	F_{200}	37.20 ± 14.11 abA	107.2 ± 52.96 aA	14.10 ± 5.20 abA	16.52 ± 1.14 aA	3210.45 ± 342.30 bB
	CK	30.93 ± 7.56 bA	83.63 ± 19.17 aA	11.99 ± 2.95 abA	18.36 ± 0.76 aA	3074.55 ± 495.30 bB
石大豆 2 号	L_4	44.53 ± 4.17 aA	124.00 ± 21.43 aA	13.87 ± 1.33 aA	15.35 ± 1.38 abA	4425.15 ± 873.15 abA
Shidadou 2	L_6	53.27 ± 17.56 aA	136.20 ± 35.97 aA	18.36 ± 8.72 aA	15.19 ± 1.11 abA	3409.50 ± 466.80 bA
	L_8	46.67 ± 9.61 aA	110.87 ± 18.67 aA	12.47 ± 2.02 aA	14.69 ± 1.41 bA	3339.60 ± 1499.85 bA
	F_{100}	53.47 ± 24.91 aA	137.27 ± 66.68 aA	15.88 ± 4.20 aA	16.13 ± 0.89 abA	3671.25 ± 1000.20 bA
	F_{150}	54.33 ± 14.91 aA	128.33 ± 43.31 aA	10.28 ± 5.64 aA	16.96 ± 1.47 abA	4023.30 ± 1217.25 abA
	F_{200}	53.87 ± 12.85 aA	132.2 ± 33.25 aA	18.42 ± 5.17 aA	17.61 ± 1.39 aA	6163.05 ± 2002.50 aA
	CK	40.13 ± 4.62 aA	105.23 ± 20.05 aA	12.00 ± 3.64 aA	17.30 ± 1.67 abA	4521.30 ± 539.40 abA
合 99-756	L_4	47.33 ± 9.25 abAB	118.33 ± 23.59 aAB	20.06 ± 8.92 abAB	17.66 ± 2.11 abA	3651.60 ± 1176.00 aA
He99-756	L_6	50.60 ± 12.20 aAB	110.40 ± 23.38 abAB	11.98 ± 2.15 bcAB	14.74 ± 2.17 bA	3276.60 ± 1728.60 aA
	L_8	28.13 ± 4.40 bB	72.53 ± 10.94 bB	8.10 ± 1.25 cB	16.68 ± 0.56 abA	2721.60 ± 1025.55 aA
	F_{100}	57.33 ± 18.62 aA	137.13 ± 36.61 aA	24.07 ± 8.24 aA	17.26 ± 1.31 abA	3309.30 ± 678.45 aA
	F_{150}	39.70 ± 2.50 abAB	109.00 ± 2.40 abAB	15.58 ± 1.01 abcAB	18.17 ± 1.98 aA	3565.80 ± 877.95 aA
	F_{200}	46.00 ± 6.32 abAB	99.27 ± 14.32 abAB	16.82 ± 3.13 abcAB	17.45 ± 0.09 abA	3811.35 ± 772.05 aA
	CK	44.63 ± 11.76 abAB	119.33 ± 32.80 aAB	19.36 ± 5.85 abAB	18.13 ± 1.08 aA	3993.30 ± 395.85 aA
新大豆 8 号	L_4	32.60 ± 6.88 aA	88.20 ± 13.88 aA	12.45 ± 1.77 cA	18.61 ± 1.25 aA	5634.00 ± 777.30 aA
Xindadou 8	L_6	36.93 ± 5.14 aA	94.07 ± 13.75 aA	18.90 ± 3.45 abA	20.41 ± 1.04 aA	5338.35 ± 1116.90 aAB
	L_8	33.20 ± 3.86 aA	80.67 ± 6.67 aA	14.90 ± 1.00 bcA	19.22 ± 0.18 aA	3808.50 ± 356.85 bBC
	F_{100}	40.20 ± 21.02 aA	94.73 ± 54.09 aA	13.03 ± 7.19 cA	19.63 ± 1.48 aA	3348.75 ± 339.30 bC
	F_{150}	44.47 ± 14.81 aA	101.53 ± 30.99 aA	16.61 ± 5.90 abcA	19.74 ± 3.51 aA	3130.50 ± 857.55 bC
	F_{200}	36.20 ± 6.97 aA	96.07 ± 18.72 aA	13.54 ± 3.02 bcA	18.86 ± 2.04 aA	4028.55 ± 532.05 aABC
	CK	47.33 ± 3.68 aA	100.33 ± 20.38 aA	20.68 ± 4.03 aA	19.62 ± 1.11 aA	3465.60 ± 399.15 bC

同列数值后不同大小写字母分别代表在 0.01 和 0.05 水平上差异显著,下同。

Values in the same column followed by different capital and lowercase letters are significantly different at 0.01 and 0.05 probability level, respectively, the same below.

石大豆 2 号单株荚数、单株粒数和单株粒重所有处理及其与对照间差异均不显著;百粒重各处理与对照差异不显著,除 F₂₀₀ 显著高于 L₈ 外,处理间差异均不显著。

合 99-756 单株荚数各处理与对照差异不显著,除 L₆ 和 F₁₀₀ 显著高于 L₈ 外,处理间差异不显著;单株粒数和单株粒重除 L₈ 显著低于对照、L₄ 和 F₁₀₀ 外,其他处理与对照差异不显著;百粒重除 L₆ 显著低于对照和 F₁₅₀ 外,其他处理与对照差异不显著。

新大豆 8 号单株荚数、单株粒数和百粒重所有处理及其对照之间差异均不显著;单株粒重除 L₆ 和 F₁₅₀ 外,其他处理均显著低于对照。

2.1.2 产量 新大豆 3 号 L₆ 极显著高于对照和其他处理;石大豆 2 号各处理与对照差异不显著,除 F₂₀₀ 显著高于 L₆、L₈ 和 F₁₀₀ 外,处理间差异不显著;合 99-756 所有处理产量均低于对照,但差异不显著;新大豆 8 号产量 L₄ 和 L₆ 极显著高于对照,F₂₀₀ 显著高于对照,其他处理与对照差异不显著。

综合产量构成因子及产量分析结果可知,对于

新大豆 3 号,L₄ 对单株荚数增加效应显著,L₆ 对产量增加效应极显著;合 99-756,L₈ 对单株粒数和单株粒重减少效应显著,L₆ 对百粒重减少效应显著;新大豆 8 号,L₄、L₈、F₁₀₀ 和 F₂₀₀ 对单株粒重减少效应显著,L₄、L₆ 和 F₂₀₀ 对产量增加效应极显著或显著。各处理对新大豆 2 号产量及产量因子影响不显著。

2.2 不同诱变处理对大豆品质的影响

由表 2 可知,新大豆 3 号蛋白质和脂肪含量各处理及处理与对照间差异均不显著;石大豆 2 号蛋白质和脂肪含量各处理与对照差异均不显著,蛋白质含量同一诱变方式各处理间差异不显著,但离子束注入显著低于辐射诱变处理,脂肪含量 L₈ 显著高于 F₁₀₀ 和 F₁₅₀,说明不同诱变方式对大豆蛋白质和脂肪含量的影响存在显著差异;合 99-756 蛋白质含量除 F₁₀₀ 显著低于对照外,其他处理与对照差异均不显著,脂肪含量 F₁₀₀、F₁₅₀ 和 F₂₀₀ 显著高于 L₆、L₈ 及对照;新大豆 8 号蛋白质和脂肪含量各处理及其对照之间差异均不显著。

表 2 氮离子束注入和钴 60 伽玛辐射对大豆蛋白质和脂肪含量的影响

Table 2 Effects of nitrogen ion beam implantation and ⁶⁰Co-γ ray irradiation on protein and oil content of soybean

品质性状 Quality trait	诱变处理 Mutation treatment	新大豆 3 号 Xindadou3	石大豆 2 号 Shidadou2	合 99-756 He99-756	新大豆 8 号 Xindadou8
蛋白质(DM) Protein/%	L ₄	36.90 ± 1.37 aA	35.26 ± 1.01 bA	37.98 ± 0.92 abA	37.00 ± 1.28 aA
	L ₆	37.49 ± 0.26 aA	35.03 ± 1.29 bA	37.64 ± 0.56 abA	38.47 ± 1.41 aA
	L ₈	36.69 ± 2.32 aA	35.26 ± 0.50 bA	38.22 ± 0.72 aA	37.50 ± 1.12 aA
	F ₁₀₀	37.10 ± 2.98 aA	37.58 ± 1.12 aA	35.54 ± 1.17 bA	40.24 ± 2.46 aA
	F ₁₅₀	35.17 ± 1.23 aA	37.70 ± 1.44 aA	36.78 ± 2.33 abA	38.85 ± 3.44 aA
	F ₂₀₀	35.71 ± 2.14 aA	38.12 ± 1.48 aA	36.83 ± 1.74 abA	37.28 ± 2.98 aA
	CK	35.93 ± 1.48 aA	37.14 ± 1.04 abA	38.24 ± 0.20 aA	38.34 ± 0.82 aA
脂肪(DM) Oil/%	L ₄	23.97 ± 0.98 aA	23.71 ± 0.17 abA	22.20 ± 0.71 abAB	23.04 ± 1.28 aA
	L ₆	23.89 ± 0.02 aA	23.62 ± 0.22 abA	21.58 ± 0.32 bB	22.62 ± 1.41 aA
	L ₈	24.55 ± 0.93 aA	23.91 ± 0.14 aA	21.89 ± 0.61 bAB	22.91 ± 1.12 aA
	F ₁₀₀	24.51 ± 1.18 aA	22.97 ± 0.44 bA	23.15 ± 0.65 aA	21.45 ± 2.46 aA
	F ₁₅₀	25.18 ± 0.40 aA	22.91 ± 0.67 bA	23.14 ± 0.68 aA	22.12 ± 3.44 aA
	F ₂₀₀	24.71 ± 1.02 aA	23.18 ± 0.42 abA	23.25 ± 0.59 aA	23.11 ± 2.98 aA
	CK	24.79 ± 0.66 aA	23.14 ± 0.57 abA	22.03 ± 0.22 bAB	22.37 ± 0.82 aA

3 讨 论

离子束注入和辐射诱变用于作物育种,其目的主要是扩大变异,增加更多的选择机会,提高育种效率。本试验采用能量为 30 keV 不同剂量的氮离子束和剂量率 1.6 Gy·min⁻¹ 不同剂量的⁶⁰Co-γ 射线处理新大豆 3 号、石大豆 2 号、合 99-756 和新大豆 8

号种子,以探讨 2 种诱变方法对大豆产量性状和品质的影响。结果发现不同诱变方法、不同剂量对不同材料的产量及产量相关性状和品质影响不一;不同材料对离子束处理和辐射处理的敏感性存在较大差异。选择对离子注入或辐照较敏感的大豆材料进行诱变处理易于获得突变体,因而诱变材料的选择及不同材料选择其适宜的诱变方法和剂量都

非常重要,这与相关学者^[12,15-18]的研究结果一致。本试验中,合99-756用 F_{100} 、 F_{150} 和 F_{200} 辐射处理易于获得高油突变体;新大豆3号用 L_6 离子束注入易获得高产特性,用 L_4 离子束注入易获得单株荚数较多的变异类型;新大豆8号用 L_4 和 L_6 离子束注入与 F_{200} ^{60}Co - γ 射线辐照易获得高产特性。

本试验的样本量有限,可通过进一步增加样本量,系统比较离子束注入和辐射诱变效应的异同,根据不同的目标和对离子束注入和辐射的敏感性差异,确定不同诱变处理方法在大豆不同性状上的应用方向,使之成为创造大豆新种质的一个有效方法。同时与其他育种方法相结合,特别是分子育种技术在突变体上的应用,将成为诱变育种的一个重要发展方向。

参考文献

- [1] 余增亮,邱励俭,霍裕平. 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. Progress in studies of biological effect and crop breeding induced by ion implantation[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 1991, 18(4):251-257.)
- [2] 吴跃进,王学栋,刘贵富,等. 离子束注入水稻诱变效应的研究[J]. 安徽农业科学,1989,17(2):10-13. (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(2):10-13.)
- [3] 陈恒雷,吕杰,曾宪贤. 离子束诱变育种研究及应用进展[J]. 生物技术通报,2005(2):10-13. (Chen H L, Lyu J, Zeng X X. Advances in research and application of mutation breeding with ion beam implantation[J]. Biotechnology Bulletin, 2005(2):10-13.)
- [4] 杨赞林,甘斌杰,余增亮. 离子注入小麦诱变育种的回顾与展望[J]. 安徽农业科学,2002,30(5):639-641,648. (Yang Z L, Gan B J, Yu Z L. Review and prospects of wheat breeding mutation by N^+ ion beam implantation[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2002, 30(5):639-641, 648.)
- [5] 黄群策,李玉峰. 离子束生物技术在水稻育种中的应用前景[J]. 杂交水稻,2002,17(5):5-8. (Huang Q C, Li Y F. Prospect of ion beam biotechnology in rice breeding[J]. Hybrid Rice, 2002, 17(5):5-8.)
- [6] 彭琳,季良. 氮离子束注入和钴 60 伽玛辐射对大豆生物学效应研究初报[J]. 安徽农业科学,2009,37(14):6399-6402. (Pen L, Ji L. Preliminary study on biological effect of soybean by nitrogen ion beam implantation and ^{60}Co - γ radiation[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(14):6399-6402.)
- [7] 孟丽芬,许德春,付立新. 黑龙江省大豆辐射诱变育种研究与进展[J]. 农业与技术,2006,26(6):39-43. (Meng L F, Xu D C, Fu L X. Achievement and prospect of soybean irradiation breeding in Heilongjiang province[J]. Agriculture and Technology, 2006, 26(6):39-43.)
- [8] 王培英,王连铮,王玖,等. 大豆诱变育种技术方法及其应用研究概况[J]. 黑龙江农业科学,1989(4):1-4. (Wang P Y, Wang L Z, Wang J, et al. A survey of technique, methods and application of soybean mutation breeding[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 1989(4):1-4.)
- [9] 郭玉虹,于佰双,孟丽芬,等. 几种理化因素对大豆诱变效果的比较研究[J]. 核农学报,1994,15(1):15-19. (Guo Y H, Yu B S, Meng L F, et al. A comparative study on mutagenic effects of some physical and chemical factors in soybean[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 1994, 15(1):15-19.)
- [10] 胡国华. 大豆辐射后代的遗传效应研究[J]. 大豆科学,1985,4(4):311-315. (Hu G H. A study on the genetic effect in the irradiated progenies of soybean[J]. Soybean Science, 1985, 4(4):311-315.)
- [11] 陈学珍,谢皓,栾涛. ^{60}Co - γ 射线辐照处理后大豆 M_2 农艺性状的遗传变异[J]. 北京农学院学报,2002,17(3):1-5. (Chen X Z, Xie H, Luan T. Study on genetic variation of agronomic character in M_2 irradiated of soybean by ^{60}Co - γ -ray[J]. Journal of Beijing Agricultural College, 2002, 17(3):1-5.)
- [12] 薛战超,彭琳,季良. ^{60}Co - γ 射线辐照处理大豆 M_4 代性状遗传变异的研究[J]. 新疆农业科学,2008,45(4):600-603. (Xue Z C, Peng L, Ji L. Study on characters genetic variation in M_4 of soybean treated by ^{60}Co - γ -ray[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2008, 45(4):600-603.)
- [13] 何志鸿,王金陵. 大豆种子辐射后早期世代的选择[J]. 大豆科学,1985,4(3):193-199. (He Z H, Wang J L. Selecting generation and methods for early-generation irradiated population of soybean[J]. Soybean Science, 1985, 4(3):193-199.)
- [14] 闫洪睿,张雷,鹿文成,等. 黑龙江省高纬寒地大豆辐照诱变效应研究[J]. 核农学报,2003,17(6):430-433. (Yan H R, Zhang L, Lu W C, et al. Mutation effects of Co - γ irradiation on soybean in the high latitude region of Heilongjiang province[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2003, 17(6):430-433.)
- [15] 宾郁泉,胡建成,刘世强,等. 离子束生物效应的研究 I. 离子束注入对大豆生育及产量性状的影响[J]. 辽宁农业科学,1993(5):9-13. (Bin Y Q, Hu J C, Liu S Q, et al. Studies on biological effect of ion beam implantation. I. Effects of ion beam implantation on soybean growth, development and yield character[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 1993(5):9-13.)
- [16] 陈慧平,陈慧选,余增亮,等. 氮离子注入大豆诱变效应的研究[C]//第三次全国离子束生物工程学大会暨第一次国际研讨会论文集. 乌鲁木齐,2002:243-247. (Chen H P, Chen H X, Yu Z L, et al. Effects of the ion implantation on soybeans mutagenesis[C]//Proceedings of the Third National Conference of Ion Beam Bioengineering and the First International Symposium on Ion Beams. Urumqi, 2002:243-247.)
- [17] 叶力勤,杨世宏. γ 射线辐射诱变中应注意的几个问题[J]. 宁夏农林科技,2002(5):49-50. (Ye L Q, Yang S H. Pay attention to certain problems on γ -ray irradiation mutation[J]. Ningxia Journal of Agricultural and Forestry Science and Technology, 2002(5):49-50.)
- [18] 薛战超,彭琳,季良. 氮离子注入大豆对 M_4 代性状遗传变异的影响[J]. 河南农业科学,2008(7):47-50. (Xue Z C, Peng L, Ji L. Study on the genetic variation characters in M_4 of soybean treated by N^+ ion implantation[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2008(7):47-50.)