

文章编号:1000-8551(2011)05-0844-07

空间诱变后大豆对草甘膦的耐性研究

蒋凌雪^{1,2} 刘章雄¹ 任洪雷^{1,2} 金龙国¹ 张洪岩^{1,2}
郭勇¹ 陶波² 邱丽娟¹

(1. 中国农业科学院作物科学研究所,北京 100081; 2. 东北农业大学农学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:以实践8号育种卫星搭载的5个大豆品种SP₂和SP₃代为材料,在田间喷洒1.31 a. i. kg·ha⁻¹草甘膦条件下鉴定其耐性种质的表型变异特点。结果表明,无论是品种间还是品种内,诱变后代对草甘膦的耐性都存在差异,以株高和成熟期变异最为明显,可作为耐性种质筛选的指标。其中,中品661的SP₃代对草甘膦耐性最强,从中筛选到1株耐性突变体,与对照表型无差异。航天诱变不同大豆品种后代对草甘膦的耐性存在差异,且能够遗传,说明航天诱变可作为大豆耐草甘膦育种的新途径。

关键词:大豆;航天诱变;草甘膦耐性

GLYPHOSATE TOLERANCE OF SOYBEAN MUTANT GAINED AFTER BOARDING ON SATELLITE

JIANG Ling-xue LIU Zhang-xiong REN Hong-lei JIN Long-guo ZHANG Hong-yan
GUO Yong TAO Bo QIU Li-juan

(1. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

2. College of Agriculture, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030)

Abstract: Glyphosate-tolerant germplasm and genetic variation characteristics of SP₂ and SP₃ of soybean varieties boarded on Shijian No. 8 satellite were analyzed after treated by herbicide glyphosate in the field. Abundant variations of traits were produced, and the resistance within and among cultivars were different in their offspring of space mutagenesis. Plant height and maturity were used as index to screen glyphosate tolerant materials. Space mutation increased of soybean 661 SP₃ of Zhongpin, and one glyphosate-resistance variant was screened from Zhongpin 661 SP₃. It showed that glyphosate tolerance was different among offspring of different space mutagenesis soybean materials. It is feasible to systemically screen elite traits soybean by applying space mutation breeding.

Key words: soybean; space mutagenesis; glyphosate-tolerance

大豆起源于中国,在我国有数千年的栽培历史,全国各地均有种植。杂草的危害一般可使大豆减产15%左右,其中菟丝子危害较大,轻者可使大豆减产15%~28%,重者可使大豆减产40%~50%,甚至绝收^[1]。目前行之有效的防除杂草的方法是使用除草

剂。草甘膦(glyphosate)是一种广谱灭生性、内吸传导型除草剂,广泛用于果园、胶园、非耕地^[2]、免耕地中玉米、大豆、棉花播前或播后处理以及出苗后定向处理。草甘膦自1974年在美国注册登记以来,至今已在世界100多个国家注册,成为世界上使用面积最大的

收稿日期:2010-11-04 接受日期:2011-03-06

基金项目:油料作物空间环境诱变育种关键技术研究与示范(2008BAD97B04),国家航天育种工程项目(发改高技[2003]138号)

作者简介:蒋凌雪(1982-),女,山东阳谷县人,博士,从事抗除草剂大豆的研究。Tel:010-82105836;E-mail:jianglingxue1982@hotmail.com

刘章雄(1973-),男,湖北洪湖人,硕士,副研究员,从事大豆种质资源的研究。Tel:010-82105841;E-mail:hbbhlk@yahoo.com.cn

刘章雄和蒋凌雪共同为第一作者

通讯作者:邱丽娟(1963-),女,黑龙江鹤岗人,博士,研究员,博士生导师,从事大豆优异基因发掘与利用研究。Tel:010-82105843;E-mail:qiu_lijuan@263.net

除草剂品种。普通大豆品种均对草甘膦耐性较低,利用分子生物技术从具有草甘膦抗性的生物体或菌中分离出草甘膦相应靶标酶基因 *EPSPS*, 将其导入大豆中得以表达, 是近年来快速获得抗草甘膦转基因大豆的主要途径, 为其在全世界大面积快速推广应用奠定了坚实的基础。

通过理化诱变也可以筛选到抗草甘膦大豆个体并在后代稳定遗传^[3,4], 说明利用诱变方法培育抗草甘膦大豆具有可行性。随着航天技术的开发, 航天诱变技术已成为现代农业高技术育种的一种手段, 为拓宽基因资源和创造优异突变基因资源、培育新品种、创造新种质提供了优秀的平台, 为农作物的育种发展起到重要的促进作用。我国从 20 世纪 80 年代起利用返回式卫星进行了航天诱变育种研究, 获得了常规方法难以得到的新性状、新基因和新种质。张国民^[5]等培育了抗叶瘟和穗瘟的水稻; 胡繁荣^[6]等鉴定出半矮秆、匍匐性、细叶、迟熟、耐热性的高羊茅突变体; 任卫波^[7]等在空间诱变当代获得了豆类模式植物苜蓿的高株变异; 郭建秋等^[8]发现航天搭载处理和离子束注入处理大豆 M_2 代中有早熟、不育、多小叶、矮化、畸形茎、圆形叶片等变异类型; 此外, 航天诱变可使 11S 蛋白亚基和 SKTI 发生突变^[9]; 两个大豆品种合丰 50 和合丰 25 航天诱变 SP_2 代的产量性状如株高、单株结荚、单株粒数、主茎节数变异系数均大于各自地面对

照, 并且均有正向增加的趋势^[10]。上述研究表明航天诱变既可改变作物的形态性状、品质性状和抗病性, 也对产量性状的变异产生作用。然而, 关于利用航天诱变技术筛选大豆抗草甘膦突变体方面的研究尚未见报道。本文研究了不同大豆品种航天诱变 SP_2 、 SP_3 代对草甘膦的耐性差异, 以期筛选出耐草甘膦的新种质, 为利用航天诱变创造抗除草剂新种质的可行性提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料及其航天搭载处理

进行航天诱变的材料为冀豆 12、冀黄 13、中黄 13、中品 661 和豫豆 25 等 5 个优良品种(表 1)。每个品种的种子分为 2 份, 1 份留作地面对照(CK), 1 份搭载实践 8 号育种卫星。卫星于 2006 年 9 月 9 日在酒泉卫星发射中心升入太空, 运行轨道为倾角 63° , 近地点 187km, 远地点 463km, 卫星运行期间舱内温度 $7.21^\circ\text{C} \sim 20.72^\circ\text{C}$ 。实践 8 号育种卫星重粒子注量率为 $4.44 \text{ 个}/\text{cm}^2 \cdot \text{d}$, 植物种子所受低 LET 空间辐射的平均剂量为 4.79 mGy 。卫星于 2006 年 9 月 24 日返回地面, 在太空运行 15d, 在四川遂宁回收, 共运行 355h, 航程 900 多万 km。

表 1 5 个大豆品种的性状描述^[11]

Table 1 Characteristics description of used five soybean materials

诱变材料 material	熟期 maturity	播种类型 planting type	生育日数 growth duration(d)
冀豆 12 Jidou 12	早熟 early maturity	夏播 summer	95 ~ 98
冀黄 13 Jihuang 13	中熟 middle maturity	夏播 summer	103
		春播 spring	139
中黄 13 Zhonghuang 13	中晚熟 middle late maturity	春播 spring	133
		夏播 summer	105 ~ 110
中品 661 Zhongpin 661	晚熟 late maturity	春播 spring	140
豫豆 25 Yudou 25	中熟 middle maturity	夏播 summer	103

注: 5 个大豆品种均为航天诱变的材料。

Note: Five cultivars of soybean are all materials of space mutagenesis.

1.2 耐草甘膦种质筛选

搭载回收种子 SP_0 代于 2007 年在中国农业科学院昌平试验基地进行自交繁种。2008 年中品 661 SP_1 代在中国农业科学院昌平试验基地进行春播自交繁种, 其余 4 个品种 SP_1 代在河北省石家庄进行夏播自交繁种。

2009 年 6 月 10 日将 SP_2 代播种于中国农业科学

院作物科学研究所顺义试验基地。播种方式为人工单粒点播, 试验区行长 6m, 行距 45cm, 株距 10cm, 总播种行数 1450 行, 总播种面积 4000 m^2 。在第 2 复叶期用喷雾器喷洒草甘膦, 草甘膦处理浓度为 $1.31 \text{ a.i. kg}/\text{hm}^2$ 。为确保处理效果, 30d 后再用草甘膦进行第 2 次处理。

2009 年 10 月 19 日, 每个品种随机选取 2.7 m^2 进

行调查,其中成熟度可分为成熟和未成熟,结荚情况分为结荚和未结荚,株高可分为有分离(株高有显著高矮之分)与未分离(株高基本一致)。根据 SP₂ 代个体

田间表现,以成熟度、是否结荚及株高分离情况将其分为4种类型(表2)。

表2 航天诱变 SP₂ 代农艺性状表现分类

Table 2 Major agronomic phenotype traits of space mutagenesis in SP₂

类型 type	成熟度 maturity	是否结荚 podding or not	株高分离情况 separation plant height
I	成熟 maturity	结荚 podding	分离 separation
II	未成熟 immaturity	结荚 podding	分离 separation
III	未成熟 immaturity	结荚 podding	未分离 without separation
IV	未成熟 immaturity	未结荚 without podding	未分离 without separation

对田间表现类型进行分类,并计算各种表现类型比率,计算公式如下:

表现类型比率(%) = 各品种每种类型植株数/各品种调查植株总数 × 100%

对秋季收获植株进行室内考种,调查性状包括株高、单株荚数、单株粒数、单株粒重、主茎节数和分枝数6个农艺性状,利用 SPSS13.0 软件对农艺性状进行相关性分析。

2010年6月15日将 SP₂ 代草甘膦筛选后的成熟单株后代播种于中国农业科学院作物科学研究所顺义试验基地。播种方式为人工单粒点播,试验区行长5m,行距45cm,株距10cm,总播种行数513行,总播种面积1330m²。在第2复叶期用喷雾器喷洒草甘膦,草甘膦处理浓度为1.31 a. i. kg/hm²,施药后30d调查植株生长情况及存活率,并用相同浓度的草甘膦进行第二次处理,第2次施药后30d调查株高及植株生长情况。试验设置2个对照,1个是不喷施草甘膦处理的地面对照(CK₁),另1个是喷施草甘膦处理地面对照(CK₂)。CK₁、CK₂和SP₂之间的株高差异比较采用成组数据t测验方法进行显著性测验。

2 结果与分析

2.1 航天诱变 SP₂ 代耐草甘膦材料筛选

2.1.1 草甘膦对航天诱变 SP₂ 表现型的影响 草甘膦喷施处理后,5个大豆品种航天诱变 SP₂ 没有全部死亡,而是呈现出一系列的表型变化,主要表现为植株矮化、分枝数增多、部分叶片枯黄萎蔫、生长点死亡、植株枯萎死亡及熟期延迟等。

各品种 CK₁ 生长正常,CK₂ 及草甘膦处理航天诱变 SP₂ 表现出植株明显矮化,叶片枯黄的现象,并且出现不同程度的药害症状(图1)。

2.1.2 草甘膦对航天诱变 SP₂ 株高和成熟期的影响

将2.7m²田间同一品种中表现类型进行统计(表3),豫豆25的SP₂代在5个品种中成活植株数最低,表明航天诱变豫豆25的SP₂代对草甘膦最敏感,其余4个品种SP₂植株成活株数约为豫豆25的2倍以上。

各品种 CK₁ 表型均为 I。草甘膦处理不同品种航天诱变大豆 SP₂ 代后,表型存在差异,冀豆12的 SP₂ 表型有 I、II、III和IV型,主要表型为 I 和 III,这2个表型植株田间比率达30%以上;冀黄13、中黄13和中品

表3 各品种航天诱变 SP₂ 代材料田间4种表现类型的比率

Table 3 Four phenotype rate of space mutagenesis SP₂ in field

(%)

诱变材料 material	调查植株数 number of plants	I	II	III	IV
冀豆12 Jidou 12	188	33.51	22.34	38.30	5.85
冀黄13 Jihuang 13	142	24.65	66.90	0	8.45
中黄13 Zhonghuang 13	114	85.96	13.16	0	0.88
中品661 Zhongpin 661	126	37.30	54.76	0	7.94
豫豆25 Yudou 25	65	49.23	50.77	0	0

注: I、II、III、IV与表2中同。

Note: I、II、III、IV are as same as Table 2.

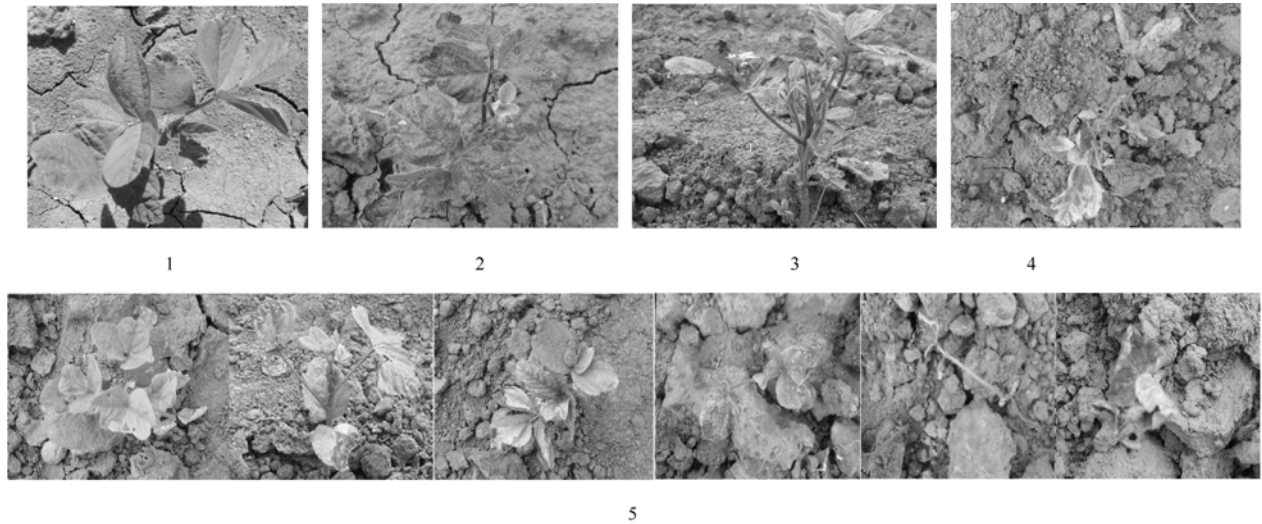


图1 草甘膦处理后 SP₂ 田间表现

Fig. 1 Phenotype of SP₂ in field after glyphosate treatment

1: 豫豆 25 CK₂; 2: 生长点死亡; 3: 分枝数增多; 4: 植株叶片大面积受害; 5: CK₂ 及航天诱变 SP₂ 部分植株生长情况, 从左至右分别为草甘膦药害症状逐渐加重

1: Yudou 25 CK₂; 2: death of growing point; 3: branch number increased; 4: large area of leaf affected; 5: CK₂ and parts of space mutagenic SP₂ growth situation after glyphosate treatment. From left to right and top to bottom, the hazard of glyphosate gradually aggravated.

661 的 SP₂ 均有 I、II 和 IV 3 种表型, 其中冀黄 13 和中品 661 的 SP₂ 表型以 II 为主; 豫豆 25 的 SP₂ 仅有 I 和 III 的表型。说明不同大豆品种经航天诱变后对草甘膦耐性不同。航天诱变大豆 SP₂ 代经草甘膦处理后, 成熟期滞后, 且各品种株高均出现分离现象。因此, 株高和成熟期可作为草甘膦处理航天诱变大豆的 2 个主要筛选指标。

2.1.3 草甘膦处理航天诱变大豆 SP₂ 后农艺性状相关性分析 经草甘膦处理后 5 个品种航天诱变 SP₂ 代的株高受抑制程度较大, 相关分析发现, 株高与单株荚数、单株粒数、单株粒重 4 个性状之间呈显著或极显著正相关(表 4), 这表明航天诱变大豆 SP₂ 代在草甘膦处理后, 株高受到严重抑制出现矮化, 已直接影响产量。因此, 株高可作为航天诱变大豆对草甘膦耐性评价的重要指标。

表 4 SP₂ 植株 6 个农艺性状相关性分析

Table 4 Correlation analysis of six agronomic traits of SP₂ plants after glyphosate treatment

农艺性状 agronomic trait	株高 plant height	单株荚数 pod number	单株粒数 grain number	单株粒重 grain weight	主茎节数 node number	分枝数 branch number
株高 plant height	1	0.916 *	0.950 *	0.898 *	0.553	0.28
单株荚数 pod number	0.029 *	1	0.990 **	0.995 **	0.418	0.64
单株粒数 grain number	0.013 *	0.001 **	1	0.975 **	0.391	0.552
单株粒重 grain weight	0.039 *	0.0001 **	0.005 **	1	0.472	0.661
主茎节数 node number	0.334	0.483	0.515	0.422	1	-0.067
分枝数 branch number	0.648	0.245	0.335	0.224	0.915	1

注: 斜线右上方和左下方分别为相关系数 r 值和 P 值。* 表示差异显著, ** 表示差异极显著。

Note: At the right top of the left slash was the correlation coefficient r value and P value. * means significant difference, ** means extremely significant difference.

2.1.4 航天诱变 SP₂ 抗草甘膦突变体的获得 5 个大豆品种航天诱变 SP₂ 代经草甘膦处理后, 获得了一

些耐草甘膦材料, 其部分品种存活(a)和结荚(b)植株的田间表现见图 2。

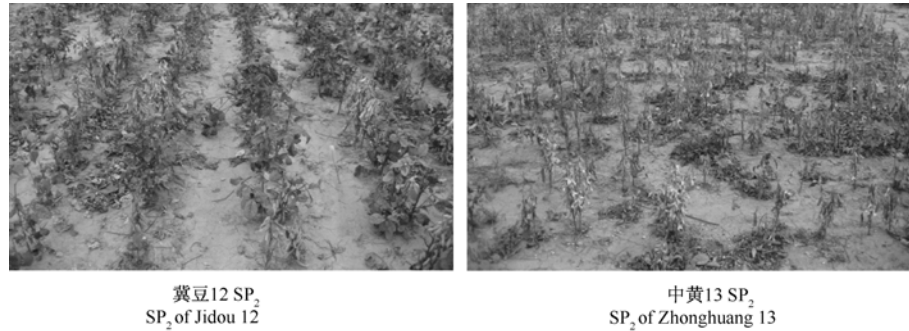


图2 经草甘膦筛选后存活植株

Fig. 2 Survived plants by glyphosate screening

2.2 航天诱变 SP_3 代耐草甘膦材料筛选

2.2.1 航天诱变 SP_3 代草甘膦筛选植株存活率比较

对5个航天诱变大豆 SP_2 代耐草甘膦植株的 SP_3 代进行草甘膦耐性筛选,其田间表型与 SP_2 代基本相似,也呈现出一系列表型变化。

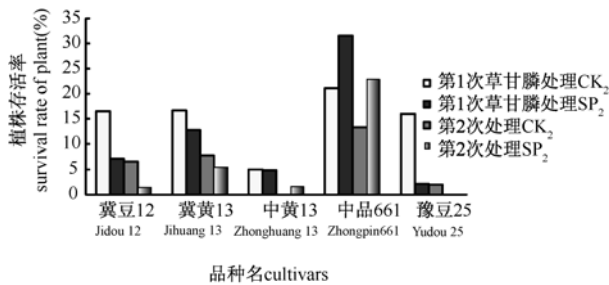


图3 两次草甘膦处理未诱变 CK_2 和 SP_3 存活率比较

Fig. 3 Comparison of survive rate of untreated CK and SP_3 after twice glyphosate treatments

经2次草甘膦处理后,5个品种 CK_2 的植株存活率存在很大差异(图3)。与其他4个品种相比,中黄13对草甘膦最敏感,在第1次草甘膦处理后存活率仅为5%,受害现象严重,多数植株完全枯萎死亡。冀豆12、冀黄13和豫豆25在第1次草甘膦处理后存活率均在16%左右,而中品661在5个品种中对草甘膦耐性最高,存活率大于20%。大豆品种本身对草甘膦耐性的差异,也影响了航天诱变 SP_3 代对草甘膦的耐性。

冀豆12和冀黄13的 SP_3 代在2次草甘膦处理后,其成活率低于 CK_2 ,可见,航天诱变并未提高这两个品种对草甘膦的耐性。中黄13的 SP_3 代植株总成活率在草甘膦第1次处理后与 CK_2 基本持平,第2次草甘膦处理后高于 CK_2 ,说明航天诱变提高了中黄13对草甘膦的耐性。中品661的 SP_3 在2次草甘膦处理后,成活率均高于 CK_2 ,并且存活植株数量高于其他品

种,说明中品661经航天诱变后对草甘膦的耐性程度提高的幅度较大。豫豆25的 SP_3 代没有获得存活率高于 CK_2 的植株,其存活植株数在5个品种中最少,植株受害现象最严重,表明其对草甘膦最敏感。

除航天诱变豫豆25的 SP_3 经2次草甘膦处理后没有获得存活植株外,其余4个品种2次草甘膦处理后 SP_2 株系后代分别与其 CK_2 进行了存活率的比较(图4)。

冀豆12、冀黄13、中黄13、中品661的 SP_2 成熟单株分别有20、20、18和27个株系,其后代经草甘膦处理后分别有3、6、7、22株存活率高于相同大豆品种的 CK_2 ,有望从 SP_3 中选择耐草甘膦优异种质。根据 SP_2 株系存活率比较,5个航天诱变品种材料存活率依次为中品661 > 冀黄13 > 中黄13 > 冀豆12 > 豫豆25,存活率的高低表现出不同航天诱变大豆品种对草甘膦的耐性,耐性程度与存活率成正比。

2.2.2 航天诱变 SP_3 代大豆2次草甘膦筛选对株高的影响

经草甘膦第2次处理航天诱变 SP_3 代及 CK_2 30d后,对植株株高进行调查,并利用成组数据 t 测验对数据进行分析(表5)。

经草甘膦2次处理后30d,5个品种的 SP_3 株高均有不同程度的降低,航天诱变 SP_3 及 CK_2 株高平均值均显著或极显著低于 CK_1 ,其中中黄13和豫豆25对草甘膦最敏感,经草甘膦2次处理后无存活植株;豫豆25的 SP_3 代经草甘膦处理后株高与 CK_1 相比在5个品种中降低幅度最大;中品661的 SP_3 代在5个品种中降低幅度最小,为76.1%,说明航天诱变中品661的 SP_3 代相对于其他品种对草甘膦耐性高。研究表明不同品种(CK_2)在草甘膦处理后株高降低76.1%~91.5%,且仍有部分植株存活,推测可能与大豆内源 $EPSPS$ 的作用有关。

从草甘膦处理各品种航天诱变 SP_3 和 CK_2 株高的

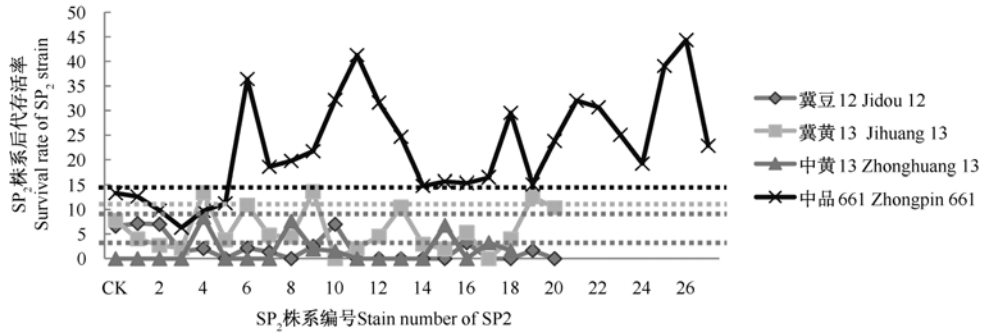


图 4 两次草甘膦处理后 5 种材料 SP₂ 株系后代存活率比较

Fig. 4 Comparison of survival rate of 5 materials after twice glyphosate treatment in SP₂

比值来看,冀黄 13 的 SP₃ 代和中品 661 的 SP₃ 代株高受草甘膦抑制程度低于 CK₂,说明航天诱变提高了这 2 个品种植株对草甘膦的耐性程度。但是草甘膦处理航天

诱变冀豆 12 的 SP₃ 代株高受草甘膦抑制程度高于 CK₂,航天诱变使冀豆 12 对草甘膦更敏感,这可能与冀豆 12 本身品种特性相关,具体原因仍需进一步研究。

表 5 草甘膦二次处理对 5 种材料诱变 SP₃ 株高的影响

Table 5 Effect of twice glyphosate treatments on plant height of different space mutagenesis SP₃

材料 material	平均株高 average plant height (cm)			平均株高比值 ratio of average plant height		
	CK ₁	CK ₂	SP ₃	CK ₂ /CK ₁	SP ₃ /CK ₁	SP ₃ /CK ₂
冀豆 12 Jidou 12	62.66	15.17	10.30	24.20**	16.44**	67.91 ns
冀黄 13 Jihuang 13	69.34	8.14	10.29	11.74**	14.84**	126.35*
中黄 13 Zhonghuang 13	61.79	—	9.57	—	15.48**	—
中品 661 Zhongpin 661	73.25	9.70	11.13	13.24**	15.20**	114.78 ns
豫豆 25 Yudou 25	90.35	—	—	—	—	—

注: * 表示 $P < 0.05$ 差异显著, **表示 $P < 0.01$ 差异极显著, ns 表示差异不显著。

Note: * means significant difference ($P < 0.05$), **means extremely significant difference ($P < 0.01$), ns means no significant difference.

2.2.3 航天诱变 SP₃ 代优异单株的田间表现 第 2 次草甘膦处理 30d 时,部分 SP₃ 植株开花结荚,但此时各品种 CK₁ 已进入结荚期,草甘膦处理使航天诱变植株花期及成熟期滞后,因此除株高外,花期与成熟期是否延迟也是作为评价草甘膦耐性的重要指标之一。

通过 SP₂ 和 SP₃ 两代草甘膦筛选,1 株中品 661 航天诱变 SP₃ 代生长正常,株高与 CK₁ 无差异,说明其对草甘膦具有较强耐性。该植株的茸毛色(棕毛)与叶形(圆叶)均与中品 661 无差异(图 5),将其命名为 QJSP 中品 661。



图 5 2 次草甘膦处理 QJSP 中品 661 抗草甘膦单株表现

Fig. 5 Appearance of QJSP 中品 661 after twice glyphosate treatment

3 讨论

张俐俐等^[3]利用化学诱变剂甲基磺酸乙酯(EMS)和叠氮化钠对黑龙江省大面积推广的 6 个农艺性状优良的大豆品种进行种子处理,在 3 叶期用 1.31 a. i. kg/hm² 草甘膦喷洒 M₃ 代 35518 个,筛选出生长

正常的抗性植株 40 个,占鉴定植株比率的 1.13%。本研究通过航天诱变的方法采用 2 代的草甘膦筛选,从 SP₃ 代 5 个品种 7811 个植株中筛选出 1 株生长正

常的耐性植株,筛选耐性植株比率为0.0128%,说明通过航天诱变的方法筛选抗除草剂的大豆具有可行性,但航天诱变的突变率可能低于EMS和叠氮化钠诱变。

普通大豆品种经1.31 a. i. kg/hm²草甘膦处理后多表现为枯萎、不能成活或不结荚,本研究对5个航天品种诱变后代进行草甘膦耐性鉴定及耐性种质筛选,发现不同大豆品种对草甘膦耐性存在差异,豫豆25和中黄13比其他3个品种对草甘膦更加敏感,而中品661的SP₃代对草甘膦耐性最强,这可能与大豆内源EPSPS基因存在差异有关。笔者对大豆内源EPSPS基因进行研究发现,大豆内源EPSPS基因含有2个拷贝,分别位于1号染色体(D1a连锁群)和3号染色体(N连锁群),2个拷贝之间核苷酸同源率为95.88%,氨基酸同源率为94.83%,对大豆内源EPSPS基因2个拷贝的启动子元件进行分析表明两者之间存在差异,不同品种的内源EPSPS基因是否存在差异还有待深入研究(另文发表)。

本研究SP₂代经草甘膦处理后成活植株较多,为确保筛选对草甘膦耐性高的优异材料,5个航天诱变大豆品种的SP₂代用田间草甘膦正常剂量1.31 a. i. kg/hm²进行了2次重复处理,与草甘膦生产上的安全浓度(3.70~4.62 a. i. kg/hm²)1次处理是否具有同样功效,其耐性是否能达到生产需要还有待检验。通过草甘膦处理筛选鉴定出的耐草甘膦植株,可以初步推断其耐草甘膦特性可以遗传,由于耐草甘膦特性存在分离,需继续选择才能培育出耐草甘膦新种质。

4 结论

航天诱变后,大豆后代性状产生丰富变异。采用

1.31 a. i. kg/hm²草甘膦对航天诱变大豆的SP₂和SP₃代进行除草剂耐性筛选并获得耐性植株。航天诱变可提高大豆品种对草甘膦的耐性,为耐草甘膦大豆育种提供了可能。

参考文献:

- [1] 姚天厚. 大豆田化学除草[J]. 山西农业科学, 2009, 37(6):96
- [2] 苏少泉. 草甘膦述评[J]. 农药, 2005, 44(4):145-149
- [3] 张俐俐, 谷维, 雷勃钧, 吕晓波, 李铁. 应用化学诱变法筛选抗草甘膦大豆突变株系[J]. 大豆科学, 2009, 28(5):938-940
- [4] 魏松红, 纪明山, 谷祖敏, 王英姿, 张杨, 祁之秋, 王新, 何智勇. 理化诱变筛选抗草甘膦大豆植株[J]. 江苏农业科学, 2007(5):56-57
- [5] 张国民, 孙野青, 李明贤, 赵海成. 航天诱变水稻对叶瘟和穗瘟的抗性鉴定[J]. 植物保护, 2003, 29(2):36-39
- [6] 胡繁荣, 赵海军, 张琳琳, 夏英武, 吴殿星. 空间技术诱变创造优质抗逆黄叶高羊茅[J]. 核农学报, 2004, 18(4):286-288
- [7] 任卫波, 赵亮, 王蜜, 陈立波, 郭慧琴. 苜蓿种子空间诱变生物学效应研究初报[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(32):14039-14041, 14045
- [8] 郭建秋, 吴存祥, 冷建田, 侯文胜, 韩天富. 航天搭载和离子束注入对大豆诱变效应的初步研究[J]. 核农学报, 2009, 23(3):395-399
- [9] 于绍轩, 韩粉霞, 孙君明, 韩广振, 葛一楠, 闫淑荣, 杨华. 空间环境对大豆主要农艺性状及蛋白质品质的诱变效应[J]. 核农学报, 2010, 24(3):453-459
- [10] 郑伟, 郭泰, 王志新, 吴秀红, 刘忠堂, 刘玉红. 航天搭载大豆SP₂农艺性状诱变效应初报[J]. 核农学报, 2008, 22(5):563-565
- [11] 中国农业科学院作物科学研究所, 吉林省农业科学院大豆研究中心. 中国大豆品种志1993-2004. [M]. 中国农业出版社, 2007:256-338

(责任编辑 王媛媛)