

# 抗草甘膦转基因大豆 (*Glycine mac* (L.) Merri) 杂草性评价的试验实例

宋小玲<sup>1</sup>, 强胜<sup>1</sup>, 彭于发<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>南京农业大学杂草研究室, 南京 210095; <sup>2</sup>中国农业科学院植物保护研究所/植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

**摘要:** 【目的】评价美国孟山都公司生产的抗草甘膦转基因大豆 40-3-2 作为加工原料引入中国可能带来的演化为杂草的生态风险, 验证转基因大豆杂草化环境安全评价条款的可操作性。【方法】在农田生态环境下比较了抗性大豆、受体品种和当地常规品种的生存竞争能力、繁育能力、自生苗、种子落粒性和延续能力。【结果】在适宜季节种植的转基因大豆的生存竞争能力和繁育能力明显低于当地常规品种, 表现在复叶数少、植株较矮、结实率低; 受体品种的生存竞争能力和常规品种相似, 但繁育能力低于常规品种。在非适宜季节三者的生存竞争能力相似, 而受体品种和抗性大豆的结实能力都比常规品种略强。3 个品种的落粒性都不强, 形成自生苗的可能性也都很小。所有供试大豆种子的延续能力都很弱。【结论】以上研究结果表明美国孟山都公司生产的抗草甘膦转基因大豆 40-3-2 在中国南京地区环境条件下演化为杂草的可能性较小, 其作为加工原料进口后演化为杂草的生态风险小。试验证实了转基因大豆环境安全评价标准的杂草性条款具有可操作性。

**关键词:** 抗草甘膦转基因大豆; 杂草性; 安全性评价

## An Experimental Case of Safety Assessment of Weediness of Transgenic Glyphosate-Resistant Soybean (*Glycine mac* (L.) Merri)

SONG Xiao-ling<sup>1</sup>, QIANG Sheng<sup>1</sup>, PENG Yu-fa<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Weed Research Laboratory of Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095; <sup>2</sup>State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193)

**Abstract:** 【Objective】 To assess the potential ecological risk for weediness of transgenic soybean 40-3-2, which was introduced as production raw material for edible oil, and to verify the operation of clauses for weediness assessment of transgenic soybean in China. 【Method】 In the field, the surviving competition ability (including germination rate, plant height, leaf number), reproducing ability (the number of flowers, legumes, and seeds per plant), volunteer possibility, seed shattering and persisting possibility of transgenic glyphosate-resistant soybean 40-3-2, recipient variety and conventional soybean varieties were comparatively evaluated. 【Result】 The surviving competition ability of transgenic glyphosate-resistant soybean was less than that of conventional soybean variety which was similar with that of recipient soybean in appropriate season. However, the surviving competition ability of three soybean varieties was similar in appropriate season. The number of flowers was also similar among the three varieties in appropriate season, but the number of legumes and seeds per plant of transgenic glyphosate-resistant soybean and recipient soybean were less than that of conventional soybean variety in appropriate season. The number of flowers, legumes and seeds per plant of conventional soybean variety were a little bit less than that of transgenic glyphosate-resistant soybean and recipient soybean in unfavorable one. The seed shattering and persisting ability of all experimental soybean varieties were weak. And no volunteer plant was observed in experimental period. 【Conclusion】 It is concluded that the transgenic glyphosate-resistant soybean from Monsanto Company had lowest potential weediness when it was planted or was imported as production raw materials for edible

收稿日期: 2008-01-11; 接受日期: 2008-10-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划课题 2007CB109202; 国家自然科学基金资助项目 (30400059)

作者简介: 宋小玲 (1969—), 女, 内蒙古乌盟人, 副教授, 博士, 研究方向为抗除草剂转基因作物的安全性评估。Tel/Fax: 025-84395117; E-mail: sxl@njau.edu.cn. 通信作者强胜 (1960—), 男, 安徽芜湖人, 教授, 博士, 研究方向为转基因作物的安全性评估和外来入侵生物。Tel/Fax: 025-84395117; E-mail: wrl@njau.edu.cn

oil in Nanjing, China. It was verified that the items on weediness in the evaluation standard of environmental safety are practical through the field trial.

**Key words:** transgenic glyphosate-resistant soybean; weediness; safety assessment

## 0 引言

【研究意义】近年来,全球农业生物技术产业取得了巨大发展,转基因作物种植面积逐年上升,转基因作物给人类带来了经济利益的同时,其在环境中释放后可能带来的生态环境风险也同样引起人们的关注。其中,抗性作物本身演变为杂草即转基因作物杂草化会给农业生产带来新的潜在威胁,因此在转基因作物释放前对其杂草性的潜力进行评估显得十分必要<sup>[1-4]</sup>。【前人研究进展】杂草是能够在人类试图维持某种植被状态的生境中不断自然延续其种族,并影响到这种人工植被状态维持的一类植物。简而言之杂草是能够在人工生境中不断繁衍种族的一类植物。同其它植物相比,杂草具有非常强的生存竞争能力和繁殖能力,使得杂草能在原有栖息地不断繁衍扩大种群,并入侵其它栖息地;杂草在不同生境下对其个体、数量和生长量的自我调节能力即可塑性也非常强,可塑性使得杂草在多变的人工生境中能不断延续后代;杂草还具有繁衍滋生的复杂性与强势性,表现在杂草的结实量非常惊人,种子的寿命长,种子的成熟度和萌发时期参差不齐,种子边熟边落,其种子的萌发时间也不整齐,这为杂草度过不利环境提供了很好的适应机制;杂草的繁殖方式多样<sup>[5-8]</sup>。显然,评判植物是否会成为杂草需要以上述相关杂草的基本特征为依据。转基因植物通过基因工程手段可能改变其生存能力,因为通过转入短 DNA 片段所产生的新性状,可能会导致生态系统中关系链的新变化。理论上讲许多性状的变化可能增加转基因植物杂草化趋势。例如对有害生物和逆境的耐性提高、种子休眠期的改变、种子萌发率的提高等都可能促进转基因植物生存和繁殖能力提高,使转基因植物具有竞争优势,并可能入侵生境,导致杂草化<sup>[9-10]</sup>。转基因作物杂草化的事例已经有报道。1998年在加拿大 Alberta 省的转基因油菜田间发现了同时含有抗草甘膦(glyphosate)、抗草丁膦(glufosinate)和抗咪唑啉类(imazethapyr)3种除草剂的油菜(*Brassica napus*)自生苗<sup>[11]</sup>,其中,抗草甘膦和抗草丁膦的特性来自转基因油菜,而抗咪唑啉类除草剂的特性来自传统育种培育的抗性油菜。1999年在加拿大 Saskatchewan 省的种植地以及相邻的小麦地

也发现了抗除草剂的转基因油菜的自生苗<sup>[12]</sup>。2002年1月 English Nature Research Reports 报道了加拿大出现了抗3种除草剂油菜自生苗的案例,并再次提出了当心“超级杂草”<sup>[13]</sup>。转入植物的新基因也可能不影响其适合度。Crawley等2001年报告了4种转基因作物,包括耐草丁膦的油菜和玉米、耐草甘膦的甜菜、两种表达杀虫 Bt 毒素(insecticidal Bt toxin)和豌豆凝集素(pea lectin)的抗虫棉,和它们相应的非转基因受体品种在12种生境下10年的生存扩散能力,研究者并未发现转基因作物比非转基因作物有更大的入侵性和长期定居性<sup>[14]</sup>。也有学者认为转基因作物品种与常规栽培品种一样,不可能变成杂草<sup>[15]</sup>。显然,就转基因作物自身能否杂草化,目前的研究结果还不足以得出一致的结论。【本研究切入点】中国是大豆的起源地,转基因大豆可能引起的生态风险受到更多关注。由于植物对起源地的生态环境具有固有的适应特性,转基因大豆在中国杂草化的风险要比在其他国家和地区更高。但是,目前尚未有转基因大豆自身杂草化的报道。【拟解决的关键问题】为评价美国孟山都公司的抗草甘膦转基因大豆 40-3-2 作为加工原料进入中国后由于无意逸散演化为杂草的潜力,即杂草性,在农田生态环境下评价了转基因大豆的生存竞争能力、繁育能力、种子落粒性、种子延续能力以及演化为自生苗的可能性,以便为孟山都公司的转基因大豆 40-3-2 进口申请安全证书过程中审查其安全性提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试大豆的质量达到了 GB 4404.2 中对大豆种子的要求。供试的3种大豆品种分别是

抗除草剂转基因大豆品种抗农达大豆 40-3-2; 非转基因受体大豆品种 A5547-127; 当地常规品种 N2899。

### 1.2 方法

1.2.1 试验地总体概况 除转基因大豆种子的延续能力在南京农业大学网室进行外,其它试验在南京农业大学江浦试验站国家大豆改良中心的农业部转基因植物安全监测检测试验站进行。土壤类型为马肝土、

pH 大于 6 小于 7, 偏酸性。土壤肥力良好、排灌情况良好。土壤覆盖物为杂草, 主要杂草发生种类为禾本科杂草千金子 (*Leptochloa chinensis* (L.) Nees) 和阔叶草马松子 (*Melochia corchorifolia* L.), 其它杂草还有稗草 (*Echinochloa* Beauv. spp.)、莎草 (*Cyperus* L. spp.)、鳢肠 (*Eclipta prostrate* (L.) L.) 等, 这些杂草占总草量的 90% 以上。在路边的杂草和田间类似, 主要是稗草、千金子、马唐 (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop) 和马松子等。试验地四周 100 m 内以玉米和水稻作为隔离带。试验地周围的主要栽培作物有水稻、棉花, 500 m 以内无大豆的种植。试验地栽培管理按当地常规栽培方式播种后, 不加以其它管理措施。试验期间, 无影响整个试验结果的恶劣气候因素, 例如严重或长期的干旱、暴雨、冰雹等。试验地设专人看管, 设围栏以防止人为或动物破坏。需要收获的转基因大豆材料, 单独收获、单脱、单藏, 由专业技术人员专人运输和保管。检测试验完毕后, 除需要保留的材料外, 剩余的转基因试验材料一律烧毁。试验地保留有边界标记, 收获后及时翻耕, 当年和第二年不再种植大豆, 由专人负责监管, 及时统计并拔除销毁转基因自生大豆苗。监控时间为 1 年。

### 1.2.2 转基因大豆生存竞争力试验

1.2.2.1 试验设计 试验采用随机区组设计, 4 次重复。

播种方式、播种量:

播种深度分为表面播种 (代号 A) 和 5~10 cm 深播 (代号 B)。

播种密度分为中密度播种 (32 粒/4 m<sup>2</sup>) (代号 I) 和高密度播种 (96 粒/4 m<sup>2</sup>) (代号 II)。

分期播种 4 次, 适宜季节 2 次, 第一次在 7 月 23 日, 第二次在 8 月 13 日; 非适宜季节 2 次, 第一次在 9 月 2 日, 第二次在 9 月 22 日。每种播种方式的播种面积为 4 m<sup>2</sup> (1 m×4 m)。

1.2.2.2 调查内容 播种后调查大豆的最终出苗率, 第一、二期播后 45 d 调查大豆复叶数、株高, 第三、四期在播后 30 d 调查大豆复叶数和株高。确定转基因大豆、受体品种与常规大豆在田间自然状态下的生存竞争能力。

1.2.2.3 数据统计分析 用新复极差法分析转基因大豆、受体、常规大豆间出苗率、复叶和株高的差异, 获得转基因大豆的竞争性结果。

### 1.2.3 转基因大豆繁育能力

1.2.3.1 试验设计 本试验的田间试验设计同 1.2.2,

即在生存竞争力试验的块田中进行。

1.2.3.2 调查内容 调查不同大豆的开花数, 在大豆成熟后测产, 包括单株结荚数、单株子粒数。

1.2.3.3 数据统计分析 用新复极差法分析比较转基因大豆、受体和常规大豆的开花数以及产量是否存在差异, 判定转基因大豆的繁育能力。

### 1.2.4 转基因大豆演化成自生苗的可能性

1.2.4.1 试验设计 在生存竞争力试验的同一块田中进行, 每小区保留 10 株大豆。当年不收获, 在下一年连续观察转基因大豆演化成自生苗的比例, 如有疑似自生苗的植株, 用抗性目标除草剂处理该植株, 检测抗性。以确定转基因大豆的自然延续能力。

1.2.4.2 调查内容 调查全部供试的试验地。调查和记录的内容包括: 出苗率 (大豆出苗旺盛期)、成苗率 (始苗期 1 个月后)、结荚数 (大豆成熟期)、收获种子量 (大豆落粒前)。

1.2.4.3 数据统计分析 分别统计分析出苗率、成苗率、结荚数、收获种子量及抗性检出率, 分析转基因大豆演化成自生苗的能力。

### 1.2.5 转基因大豆种子的落粒性

1.2.5.1 试验设计 在生存竞争力试验的同一块田中进行。

1.2.5.2 调查内容 随机选择不同品种、不同播期各处理的 10 个植株, 在大豆成熟后收获当天上午统计自然条件及外力作用下 (人工摇动 5 次) 的落粒数量, 计测落粒比率。

1.2.5.3 数据统计分析 用新复极差法分析比较转基因大豆、受体和常规大豆的自然落粒性和外力作用下的落粒性。

### 1.2.6 转基因大豆种子的延续能力 (休眠越冬能力)

1.2.6.1 试验设计 转基因大豆与当地常规品种分别被埋藏于网室地表和地下 20 cm, 重复 4 次。每个月取出 20 粒种子, 统计发芽数和腐烂数, 对未发芽完好的种子测定发芽率, 共测定 12 次。以种子总发芽率的大小判断转基因大豆种子的延续能力 (越冬能力)。种子发芽率的检测方法如下: 待测种子均匀摆放在垫有两层滤纸的培养皿中, 每培养皿加蒸馏水 20 ml, 使大豆种子半浸在水中, 培养皿随即摆放在光照培养箱中, 温度为 25℃, 光照/黑暗为 10/14 h。连续 7 d 观察记录大豆的发芽情况。

1.2.6.2 调查内容 调查和记录的内容包括: 未萌发数、萌发数、腐烂数。

1.2.6.3 数据统计分析 用新复极差法分析比较转

基因大豆、受体和常规大豆在不同时间的发芽势、发芽率和存留时间,判定转基因大豆的种子延续能力(休眠越冬能力)。

1.2.7 试验时间 试验在2002年7月—2003年7月间进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 转基因大豆生存竞争力

2.1.1 出苗率比较 各期大豆出苗率见表1。第1期播种的3种大豆在不同播种方式下出苗率没有极显著差异,但深播的比同一品种表面播种的出苗率要高。其中抗性大豆表面播种的出苗率以及常规大豆中密度

表面播种的出苗率显著低于其它各品种深播方式的出苗率。但所有品种和处理的出苗率都没有极显著性差异。第2期播种的大豆中受体品种出苗率最高,常规品种的居中,抗性大豆的出苗率最低,但除抗性大豆深播中密度的出苗率和其它处理的出苗率有极显著差异外,其它各处理出苗率没有极显著差异。第3期除抗性大豆表面播种下高量的出苗率显著低于其它处理的出苗率,各处理出苗率无明显差异,第4期不论品种,表面播种都比深播的出苗率低,品种间差异不显著。从出苗率分析来看,无论是适宜季节还是不适宜季节,在相同的播种方式抗性大豆的出苗率最低,受体和常规品种的出苗率相差不大。

表1 不同大豆品种在不同播种方式下的出苗率

Table 1 Germination rate of different varieties of soybean under different planting methods

小区 Plot	播期 Planting time			
	第1期 First times	第2期 Second times	第3期 Third times	第4期 Fourth times
1A1	55.47 Ab	78.91 ABab	83.595 ABb	49.335Cd
1A2	57.03Ab	80.73 ABab	69.53Bb	57.03 BCcd
1B1	72.66Aab	54.15Bc	82.815ABb	71.0975 ABabc
1B2	80.21Aa	58.02ABbc	80.47ABb	76.825ABab
2A1	62.51A Aab	98.44Aa	90.625Aa	56.255 BCcd
2A2	65.63 Aab	95.31Aa	82.81ABb	69.79 ABabc
2B1	73.44 Aab	93.75aab	90.625Aa	72.92 ABab
2B2	83.34Aa	95.82Aa	94.795Aa	80.21Aa
3A1	75.00Ab	86.72 ABab	90.6275Aa	57.8175BCcd
3A2	66.67 Aab	94.34 ABab	83.595 ABb	63.2825ABCbcd
3B1	78.91Aa	91.41ABab	88.2825Aa	82.825Aa
3B2	80.21Aa	89.85 ABab	88.02Aa	82.5525Aa

2.1.2 复叶数比较 从第1、2期复叶变化趋势的结果来看,常规品种无论何种播种方式,其复叶数始终占优势,其次为受体品种,抗性大豆的复叶数始终处于劣势。45 d的调查结果表明对常规品种和抗性大豆而言,无论播种方式,品种内大豆植株的复叶数没有明显差异,受体品种除表面播种高量的复叶数较低外,其它各处理的复叶数也没有差异。说明对同一品种而言播种方式对大豆复叶数的影响不大。品种之间比较来看,同一播种方式下抗性大豆的复叶数(5.2~6.1)极显著低于常规大豆的复叶数(6.7~7.5),受体品种的除表面播种中密度的复叶数和相应的常规品种没有显著差异外,其它处理的复叶数也显著低于相应常规品种的复叶数。第二期除受体品种深播中量和常规品

种的复叶数没有显著差异外,其余的受体品种和所有处理的抗性大豆的复叶数(3.5~3.8)都极显著低于常规品种的复叶数(4.8~5.1)。以上结果说明在适宜季节有杂草竞争的情况下抗性大豆的生长势低于常规品种(图1)。

第3、4期3个品种间复叶数具有相似的规律,3品种间相同播种方式的复叶数没有显著差异(图2)。这说明在不适宜季节,转基因大豆的生长势和其它品种的生长势接近。

2.1.3 株高比较 从第1、2期株高变化趋势来看,无论何种播种方式转基因大豆始终低于常规品种。受体品种的株高和常规品种的株高相差不大。从播后45天的调查结果来看,第1期除常规品种表面播种中量

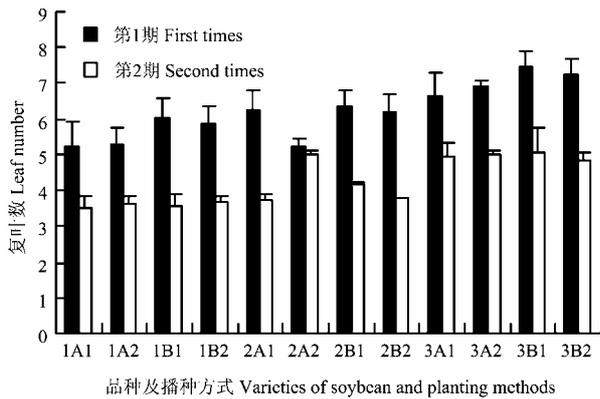


图1 第1、2期不同大豆品种在不同播种方式下45 d的复叶数

Fig. 1 The leaf number of different soybean varieties of first and second times on 45 days after planting under different planting methods

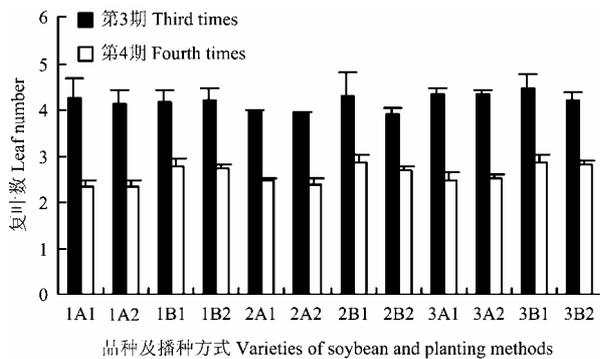


图2 第3、4期不同大豆品种在不同播种方式下30 d的复叶数

Fig. 2 The leaf number of different soybean varieties of third and fourth times on 30 days after planting under different planting methods

的植株高度极明显低于深播高量的植株高度外, 其它播种方式下植株高度无明显差异。转基因大豆所有种植方式的株高都没有明显差异, 而且都明显低于相应常规品种的植株高度, 而受体品种各播种方式下株高和相应常规品种的株高无显著差异。第2期除抗性大豆表面播种中量和常规品种相应播种方式的植株高度没有明显差异外, 其它处理的高度都极显著低于常规品种的株高, 受体品种各播种方式下株高和相应常规品种的株高也无显著差异(图3)。

第3期株高变化趋势来看, 抗性大豆不同播种方

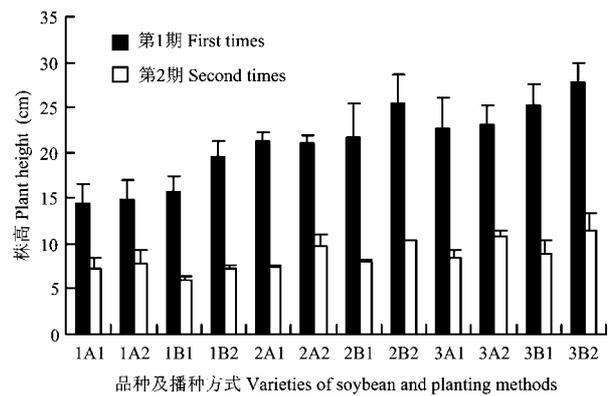


图3 第1、2期不同大豆品种在不同播种方式下45 d的株高

Fig. 3 Plant height of different varieties soybean of first and second times on 45 days after planting under different planting methods

式和密度下的株高低于相应的常规大豆和受体品种的株高。30 d的调查结果也证明了抗性大豆的株高处于劣势, 相同播种方式下, 受体品种和常规品种株高差异不显著。第4期无论何种播种方式, 受体品种比常规和抗性大豆要高, 而常规品种和抗性大豆的株高相差不多。

总体上, 无论在适宜还是非适宜季节播种, 3种大豆的出苗率差异不明显。在适宜季节播种, 转基因大豆的复叶数最低, 受体品种居中, 常规大豆的复叶数最高, 转基因大豆的复叶数和常规品种相比有显著性差异而在非适宜季节3种大豆复叶数没有明显差异。从株高来看, 第1、2期抗性大豆的株高明显低于常规品种, 而受体品种和相应的常规品种株高差异不明显; 第3期抗性大豆的株高也低于受体品种和常规品种的株高而第4期受体品种的株高值最大, 抗性大豆和常规品种相差不多。说明在适宜季节抗性大豆和受体品种生存竞争能力弱于常规品种, 而在非适宜季节三者的生存竞争能力相似。

## 2.2 转基因大豆繁育系数

2.2.1 株均开花数量 总体来看, 适宜季节的两期大豆深播都比相应品种的表面播种开花的数量要多, 除第2期浅播方式下常规品种较受体品种和抗性大豆占优势外, 其它播种方式和播期的抗性大豆的株均花与其它品种没有显著性差异。这说明在适宜季节3种大豆的开花数量相差不多。

非适宜季节播种的两期大豆中只有第3期大豆开

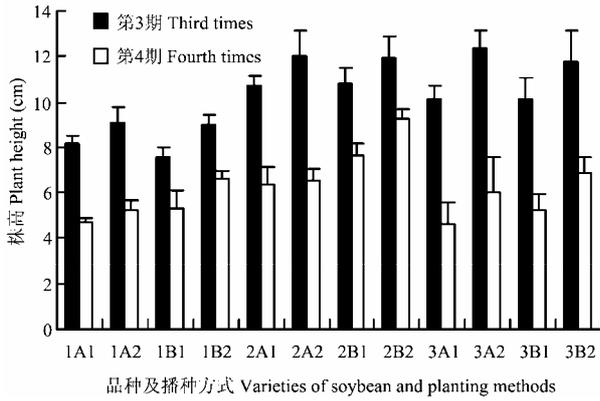


图 4 第 3、4 期不同大豆品种在不同播种方式下 30 d 的株高  
 Fig. 4 Plant height of different soybean varieties of third and fourth times on 30 days after planting under different planting methods

花，第 4 期没有开花。第 3 期开花情况与前两期发生了明显变化，常规品种的开花能力明显下降，两种播种方式的株均花都极显著低于受体品种和抗性大豆（图 5）。这说明在非适宜季节常规品种的开花数量明显低于受体和抗性大豆。

2.2.2 产量比较 在适宜季节播种的第 1 期和 2 期无论播种方式常规品种都占绝对优势，受体品种和抗性大豆的株均荚和株均粒都明显少于常规品种。受体品

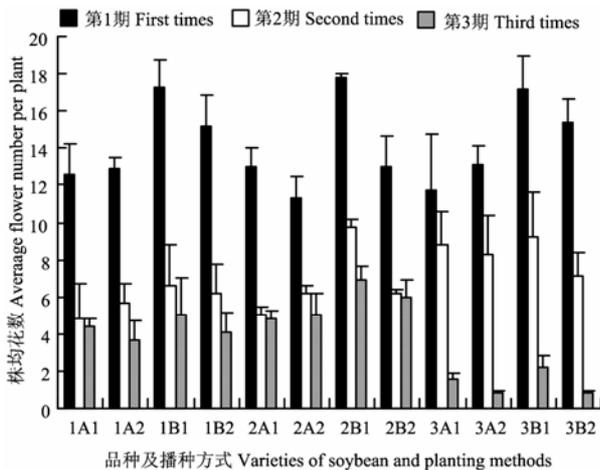


图 5 不同大豆品种在不同播种方式下株均花  
 Fig. 5 Average flower number per plant of different soybean varieties of first, second and third times under different planting methods

种和抗性大豆各值间没有极显著差异。这说明在适宜季节在有杂草竞争的情况下，抗性大豆以及受体品种的结实能力都没有常规品种强（图 6）。

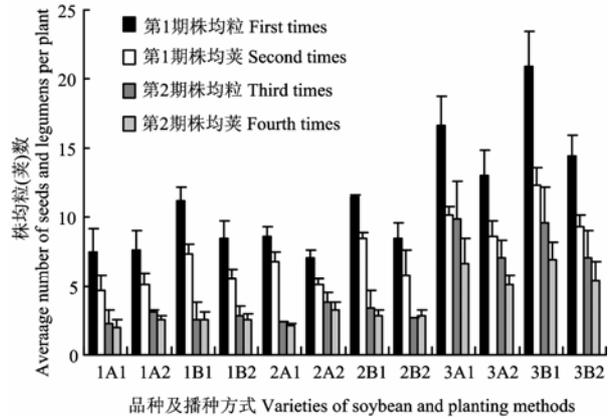


图 6 不同大豆品种在不同播种方式下株均粒和株均荚数  
 Fig. 6 Average number of seeds and legumens per plant of different soybean varieties of first, second times under different planting methods

但在非适宜季节，第 3 期大豆播种后 90 d 的调查结果表明，当地常规品种，无论播种方式都没有结荚和鼓粒。受体品种表面播种和深播都有 80% 的植株结荚，其中 20%~30% 的荚已鼓粒。抗性大豆表面播种和深播都有 50%~80% 的植株结荚，15%~25% 已鼓粒。这说明在非适宜季节，受体品种和抗性大豆的生长势以及结实能力都比常规品种强。但是，受体品种和抗性大豆间不存在显著差异，说明这种特性是受体品种固有的，转基因没有显著改变这一特性。第 4 期播种的大豆所有品种都未有开花的植株。

综合以上研究结果，在适宜季节抗性大豆的繁育能力最弱，受体品种居中，常规品种的繁育能力最强。但在非适宜季节，受体品种和抗性大豆的繁育能力稍强。

2.3 种子的落粒性比较

在试验期间 3 个品种未见有落粒的种子，说明在外力作用下和自然条件下，3 个品种的落粒性都不强。

2.4 转基因大豆演化成自生苗的可能性

在调查中未发现有大豆的自生苗。说明转基因大豆通过种子扩散演化为自生苗的可能性很小。

2.5 转基因大豆种子的延续能力（休眠越冬能力）

地表埋藏一个月后抗性大豆和常规品种腐烂种子占大多数, 达 90%, 个别种子已萌发成苗, 还有极个别种子没有萌发。把没有萌发的种子放置于装有蒸馏水的培养皿中观察发芽情况, 结果表明所有的种子都相继腐烂, 不能发芽。抗性大豆和常规大豆的各种子数没有显著差异; 地表埋藏 2 个月后, 腐烂数占大多

数, 个别已萌发成苗, 两品种间各种类型种子数量没有显著差异; 地表埋藏 3 个月, 除个别已萌发的种子外所有种子都腐烂, 两品种间无显著差异 (表 2)。地表埋藏 4 个月及以后, 所有种子腐烂。地下埋藏 1~12 个月所有的种子都腐烂。

以上试验结果表明转基因大豆和常规品种的延续

表 2 转基因大豆和常规品种地表埋藏不同时间种子的延续能力

Table 2 Comparison of seed persistence between transgenic soybean and conventional soybean

埋藏时间 Time of soybean buried	抗性大豆 Herbicide-resistant soybean			常规品种 Conventional soybean		
	未萌发率	已萌发率	腐烂率	未萌发率	已萌发率	腐烂率
	Non-germinated rate	Germinated rate	Rotted rate	Non-germinated rate	Germinated rate	Rotted rate
1 个月 One month	0	10	90	0	3.75	96.25
2 个月 Two months	0	7.5	92.5	0	2.5	96.25
3 个月 Three months	0	7.5	92.5	0	6.25	93.75

能力无明显差异, 且延续能力很弱。

### 3 讨论

杂草是一类具有强适应性、持续性和危害性的植物, 但是能够在人工生境的持续性是杂草 3 个基本特性的主体, 是杂草不同于一般意义上的野生植物和栽培作物的本质特征, 在包括农田、路边、旷野生境中自生能不断繁衍其种群的植物就变为了杂草<sup>[8]</sup>。所以, 考察植物的杂草性需要依此为出发点, 设立的上述相关试验内容以及考察指标紧紧围绕这条主线, 并遵循试验评价的可操作性原则。

在相同环境条件下, 植物的生长势高, 竞争力则强, 而竞争能力强的植物较易在栖息地占据生存空间, 并能够入侵和改变其它植物的栖息地。植物的生长势常常需要通过多项指标才能反映出来, 这些指标主要包括种子的发芽率、存活率、生物量等<sup>[16-18]</sup>。通过测定转基因作物在同一生长环境中的萌发、生长情况, 并与受体品种和当地常规品种相比较, 评价是否具有更强的竞争能力, 从而判断转基因作物杂草化的潜力。本生存竞争能力的试验结果表明, 供试的转基因大豆以及受体品种的生存竞争能力在适宜季节弱于当地常规品种, 在非适宜季节与当地常规品种相似。这一结果符合当地品种较被评价的转基因品种更能适应当地的生态环境的常理。所以从生存竞争能力来考察, 就试验地区的生态环境条件供试的转基因大豆演变为杂草的可能性较小。

如果在同一环境的实验表明转基因植物与非转基因

植物亲本作物相比, 其种群数下降了, 而且其种子库也不能持续存在, 那么转基因植物产生的负面影响就不可能高于非转基因植物<sup>[9,18]</sup>。相比而言, 有较高结实能力的植物具有高的种群替代能力, 因而也具有较强杂草化潜力。通过测定不同作物品种的产量, 比较在相同环境下转基因作物的繁育能力, 判断转基因作物是否具有更高的种群替代能力。特别是在不适宜季节播种的作物, 如果能在较短时间内开花结实完成其生活史, 能说明其具有杂草化的潜力。因为杂草具有在不适宜生长的季节中缩短生活周期, 快速完成生活史, 从而保证种群繁衍的能力。本试验结果表明在适宜季节无论播种方式, 转基因大豆和受体品种的单株开花数量、结荚量和子粒数都没有当地常规品种的多; 而在非适宜季节, 特别是第 3 期播种大豆中受体品种和抗性大豆都有超过 50% 的植株结荚, 并有 10%~20% 的荚已鼓粒。这说明在适宜季节, 抗性大豆的繁育能力弱于当地常规品种, 而在非适宜季节, 抗性大豆的繁育能力略强于当地常规品种, 具有在较短时间内完成生活史的能力。说明, 转基因大豆较当地品种具有更强的可塑性。当然, 由于转基因品种与受体品种在这方面没有显著增强, 可以认定这种可塑性不是由于转基因的结果, 而是受体品种特性所决定的。

考察转基因作物能否在环境中自生繁衍是判断转基因作物是否具有杂草化潜力的重要因子。自然繁衍能力是指该植物能够自然地不需要经过人类的播种、收获等干预措施就可完成生活周期的能力。本试验结

果表明无论是转基因大豆还是当地常规品种都未见有自生苗的产生,表明三者的杂草化能力都比较弱。说明大豆经转基因其延续能力没有改变。

杂草种子在土壤中能保持较长时间的活力,具有较强的适应性<sup>[5,19]</sup>。因此通过检测不同作物种子的活力保存时间,就可以判断转基因作物的种子是否具有更强的延续能力。本试验结果表明3种大豆延续能力没有明显差异,都很弱。

作物的种子都是同时成熟的,并且自生的落粒性很差。而杂草种子具有边成熟边落粒的特性。这也是杂草的适应性特征之一,该特征能保证杂草种群在同一生长季节的不同时间内都有个体生长<sup>[8,20]</sup>。因此通过比较不同作物的落粒性,就能判断转基因作物的杂草化潜力是否比其它作物大。本试验结果表明供试的3种大豆落粒性都不强,且它们之间没有明显差异。

通过以上的试验结果我们可以看出,在南京如果有转基因大豆种子在运输、储藏、收获时遗留在土壤中,这些种子有可能腐烂或萌发成植株。但南京地区冬季气温下降至0℃左右时,大豆的植株不能越冬生长;即使这些植株结实,也没有形成自生苗的可能性。

有研究者认为对本身就具有很强的杂草特性的作物,如甘蔗、苜蓿、大麦、水稻、莴苣、土豆、小麦、燕麦、高粱、油菜、向日葵等,由于具备了比原亲本植物更强的生存能力而有更多的机会变为杂草<sup>[21]</sup>。但转基因水稻、玉米、棉花、马铃薯、亚麻等的田间试验结果表明,转基因植株在生长势、种子活力及越冬能力等方面与非转基因植株差别不大,演变成为农田杂草的可能性很小<sup>[22-23]</sup>。从笔者的试验结果来看转基因大豆植株在生存竞争能力、繁育能力、落粒性、休眠越冬能力等方面与非转基因植株差别也不大。但本试验只对抗草甘膦转基因大豆在南京地区的杂草化潜力的部分因子进行了研究,因此该转基因大豆的环境安全性问题还需要多点、全面地进行评价。

该试验是在制订转基因大豆环境安全评价标准后,在中国进行的首次试验性评价。本试验的主要意义是验证了相关标准的杂草化方面的条款具有可操作性。

## 4 结 论

4.1 供试的转基因大豆以及受体品种的生存竞争能力在适宜季节弱于当地常规品种,在非适宜季节与当地常规品种相似。

4.2 在适宜季节,转基因大豆的繁育能力弱于当地常

规品种,而在非适宜季节,抗性大豆的繁育能力略强于当地常规品种,但抗性大豆与受体品种没有显著差异。

4.3 转基因大豆、受体品种和当地常规品种都未见有自生苗的产生,三者的延续能力以及落粒性都很弱。

4.4 美国孟山都公司提供的抗草甘膦大豆 40-3-2 在中国南京地区种植后演化为杂草的风险很小,从生态安全的杂草性方面考察可以较安全地用作进口大豆的原料。

4.5 首次试验验证了中国制订的转基因大豆环境安全评价标准中有关杂草性评估条款的可操作性。

**致谢:** 本论文的相关试验是在南京农业大学江浦试验站国家大豆改良中心专用试验地完成的,试验结果的发表得到美国孟山都公司的许可,试验过程中得到了喻德跃、邢邯两位教授以及试验站工作人员的大力帮助,特此致谢!

## References

- [1] Kathen A. The impact of transgenic crop releases on biodiversity in developing countries. *Biotechnology Development Monitor*, 1996, 28: 10-15.
- [2] James K. Could transgenic super crops one day breed super weeds. *Science*, 1996, 274(5285): 180-181.
- [3] 钱迎情, 田 彦, 魏 伟. 转基因植物的生态风险评价. *植物生态学报*, 1998, 22(4): 289-299.  
Qian Y Q, Tian Y, Wei W. Ecological risk assessment of transgenic plants. *Acta Phytocologica Sinica*, 1998, 22 (4): 289-299. (in Chinese)
- [4] Dale P J, Clarke B, Fontes E M G. Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature Biotechnology*, 2002, 20(6): 567-574.
- [5] Baker H G. The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1974, 5: 1-24.
- [6] 郭水良, 李扬汉. 杂草的基本特点及其在丰富栽培地生物多样性中的作用. *资源科学*, 1996, (3): 48-52.  
Guo S L, Li Y H. The basic characteristics of weeds and their important role in enriching biodiversity of cultivated environments. *Resource Science*, 1996, (3): 48-52. (in Chinese)
- [7] 郭水良, 王 勇, 曹 同. 杂草繁殖方式的多样性及其对环境的适应. *上海师范大学学报(自然科学版)*, 2006, 35(3): 103-110.  
Guo S L, Wang Y, Cao T. The high diversity of weed reproduction and adaptation to the human-disturbed environment. *Journal of Shanghai Normal University (Natural Science)*, 2006, 35(3): 103-110. (in Chinese)

- [8] 强 胜. 杂草学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 8-14.  
Qiang S. *Weed Science*. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 8-14. (in Chinese)
- [9] 刘 谦, 朱鑫泉. 生物安全. 北京: 科学出版社, 2002: 67-73.  
Liu Q, Zhu X Q. *Biosafety*. Beijing: Science Press, 2002: 67-73. (in Chinese)
- [10] 钱迎倩, 马克平. 经遗传修饰生物体的研究进展及其释放后对环境的影响. 生态学报, 1998, 18(1): 1-9.  
Qian Y Q, Ma K P. Progress in the studies on genetically modified organisms, and the impact of its release on environment. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(1): 1-9. (in Chinese)
- [11] Hall L, Topinka K, Huffman J, Davis L, Good A. Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. *Weed Science*, 2000, 48: 688-694.
- [12] Beckie H J, Hall L M, Warwick S I. Impact of herbicide-resistant crops as weeds in Canada. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds*, 2001: 135-142.
- [13] Orson J. Gene stacking in herbicide tolerant oilseed rape: lessons from the North American experience. *English Nature Research Reports*, 2002 (443): 1-17.
- [14] Crawley M J, Brown S L, Hails R S, Kohn D D, Rees M. Transgenic crops in natural habitats. *Nature*, 2001, 409(6821): 682-683.
- [15] 贾士荣. 转基因作物的环境风险分析研究进展. 中国农业科学, 2004, 37(2): 175-187.  
Jia S R. Environmental risk assessment of GM crops: Progress in risk assessment. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(2): 175-187. (in Chinese)
- [16] 彭少麟, 向言词. 植物外来种入侵及其对生态系统的影响. 生态学报, 1999, 19(1): 561-569.  
Peng S L, Xiang Y C. The invasion of exotic plants and effects of ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(1): 561-569. (in Chinese)
- [17] 李 博, 陈家宽, 沃金森 A R. 植物竞争研究进展. 植物学通报, 1998, 15(4): 18-29.  
Li B, Chen J K, Watkinson A R. A literature review on plant competition. *Chinese Bulletin of Botany*, 1998, 15(4): 18-29. (in Chinese)
- [18] 周 骏, 王长永, 陈建群. 转基因植物入侵性评价指标初探. 农村生态环境, 2003, 19(2): 61-64.  
Zhou J, Wang C Y, Chen J Q. Indexes for assessment of genetically modified plants invasiveness. *Rural Eco-environment*, 2003, 19(2): 61-64. (in Chinese)
- [19] Andrsson L, Milberg P, Schutz W, Steinmetz O. Germination characteristics and emergence time of annual *Bromus* species of differing weediness in Sweden. *Weed Research*, 2002, 42: 135-147.
- [20] Cai H W, Morishima H. Genomic regions affecting seed shattering and seed dormancy in rice. *Theoretical and Applied Genetics*, 2000, 100: 6, 840-846.
- [21] 程焉平. 转基因植物杂草化问题及其对策. 吉林农业科学, 2002, 27(4): 51-56.  
Cheng Y P. Problems of transgenic plants turning into weeds and corresponding resolving strategies. *Jilin Nongye Kexue (Journal of Jilin Agricultural Sciences)*, 2002, 27(4): 51-56. (in Chinese)
- [22] 贾士荣. 转基因植物的环境及食品安全性. 生物工程进展, 1997, 117(6): 36-42.  
Jia S R. Environment and food biosafety assessment of transgenic plants. *Progress in Technology*, 1997, 117(6): 36-42. (in Chinese)
- [23] 王国英. 转基因植物的安全性评价. 农业生物技术学报, 2001, 9(3): 205-207.  
Wang G Y. The safety evaluation of transgenic plants. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2001, 9(3): 205-207. (in Chinese)

(责任编辑 王红艳)