

## 抗草铵膦转基因水稻明恢 86B 杂草化潜力评价

崔荣荣 韦颖 孟攀潘 马云龙 金媛 李秋然 强胜 戴伟民 宋小玲\*

(南京农业大学 杂草研究室, 江苏 南京 210095; \* 通讯联系人, E-mail: sxl@njau.edu.cn)

### Assessment on Potential Weediness of Transgenic Glufosinate-resistant Rice Minghui 86B

CUI Rong-rong, WEI Ying, MENG Pan-pan, MA Yun-long, JIN Yuan, LI Qiu-ran, QIANG Sheng, DAI Wei-min, SONG Xiao-ling\*

(Weed Research Laboratory, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; \* Corresponding author, E-mail: sxl@njau.edu.cn)

CUI Rongrong, WEI Ying, MENG Panpan, et al. Assessment on potential weediness of transgenic glufosinate-resistant rice Minghui 86B. *Chin J Rice Sci*, 2012, 26(4): 467-475.

**Abstract:** To evaluate potential environment safety for release of transgenic rice Minghui 86B, the potential ecological risk of weediness of transgenic glufosinate-resistant rice Minghui 86B was assessed. The surviving and reproduction ability, seed shattering, seed viability of transgenic glufosinate-resistant rice Minghui 86B, Minghui 86 and hybrid rice Shanyou 63 were comparatively evaluated in field, as well as their tolerance to flucetosulfuron in greenhouse. The surviving and reproducing abilities of Minghui 86B and Minghui 86 were lower than that of Shanyou 63 both in the appropriate season and in the unfavorable season, especially in the latter. The surviving ability of Minghui 86B was lower than that of Minghui 86. The seed shattering of the three rice materials were weak, and no volunteer seedlings were found. After shallow and deep buried, the seed viability of transgenic rice was weaker than those of Shanyou 63 and Minghui 86. The tolerance of the three rice materials to herbicides flucetosulfuron was similar. It is concluded that potential weediness of the transgenic glufosinate-resistant rice Minghui 86B, was low in Nanjing, China.

**Key words:** transgenic glufosinate-resistant rice; weediness; safety assessment

崔荣荣, 韦颖, 孟攀潘, 等. 抗草铵膦转基因水稻明恢 86B 杂草化潜力评价. *中国水稻科学*, 2012, 26(4): 467-475.

**摘要:** 为评估抗草铵膦转基因水稻明恢 86B 大规模推广后演化为杂草的生态风险, 在农田生态环境下比较了明恢 86B、明恢 86 和杂交稻组合汕优 63 的生存竞争能力、繁育能力、落粒性、种子生存能力以及对常规除草剂氟吡磺隆的耐药性。结果表明, 无论在适宜季节还是非适宜季节, 明恢 86B 和明恢 86 的生存竞争能力和繁殖力都低于杂交稻组合汕优 63, 尤其在非适宜期时, 汕优 63 的生存竞争力、繁殖力明显强于明恢 86B 和明恢 86。主要表现在植株较高、分蘖较多以及高产。明恢 86B 的生存竞争力和繁殖力都略低于明恢 86。3 个材料的落粒性都不强, 且尚未见自生苗产生。在浅埋和深埋处理下, 明恢 86B 种子的生存能力弱于汕优 63 和明恢 86。3 个材料对除草剂氟吡磺隆的耐药性无明显差异。表明抗草铵膦转基因水稻 86B 在中国南京地区环境条件下演化为杂草的可能性较小。

**关键词:** 抗草铵膦转基因水稻; 杂草性; 安全性评价

中图分类号: Q785; S511.053

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2012)04-0467-09

近年来转基因生物技术的发展极大地推动了转基因作物商品化的生产过程, 转基因作物在带来巨大经济利益的同时, 其释放后可能带来的生态环境风险也同样备受关注。其中, 转基因作物本身演变为杂草即转基因作物的杂草化是备受关注的问题之一。转基因作物杂草化可能会破坏生物多样性, 并给农业生产带来新的潜在威胁和风险, 因此, 在转基因作物释放前对其潜在杂草化的风险进行评估十分

重要<sup>[1-4]</sup>。杂草对农业生产的危害是十分严重的。杂草除了危害性这一基本特征外, 还具有很强的适应性和持续性, 即杂草能适应人工生境并在人工生境中不断繁衍。杂草的这种持续性是通过较强的生存竞争能力和繁殖能力得以体现的。此外, 杂草的可塑性很强, 能在不同生境下对其个体、数量和生长量进行自我调节, 从而使得杂草在多变的人工生境中不断延续后代。因此, 评判植物是否具有演化为

收稿日期: 2011-08-17; 修改稿收到日期: 2011-11-04。

基金项目: 国家转基因生物新品种培育重大专项(2008ZX08011, 2009ZX08012-020B); 国家自然科学基金资助项目(30800604); 南京农业大学 SRT 项目。

©1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

杂草的可能性需要以上述相关杂草的基本特征为依据<sup>[5-8]</sup>。当某植物转入抗虫、抗病、抗除草剂等具有更强适应性的基因时,就有可能具有更强的生存竞争能力。特别是有些植物种类本身就具有很强的杂草特性,以这些植物作为转化受体所获得的转基因作物释放和扩散后,可能由于其具备了比原亲本植物更强的生存能力而有更多的机会演变为杂草<sup>[9]</sup>。转基因作物自身杂草化的事例已经有报道。1998年在加拿大亚阿尔伯特省的转基因油菜田间发现了同时含有抗草甘膦(glyphosate)、抗草铵膦(glufosinate)和抗咪唑啉类(imazethapyr)3种除草剂的油菜(*Brassica napus*)自生苗,其中,抗草甘膦和抗草铵膦的特性来自转基因油菜<sup>[10]</sup>。1999年在加拿大的油菜种植地以及相邻的小麦地也出现了抗除草剂转基因油菜的自生苗<sup>[11]</sup>。2002年在加拿大又出现了抗3种除草剂油菜自生苗,学者因此再次提出了当心“超级杂草”<sup>[12]</sup>。2010年在美国非耕作土地上也发现了抗草甘膦和抗草铵膦油菜。转基因水稻在我国的研究和开发已经相当成熟,育种家们培育出了一批具有商业化前景的转基因水稻。在转基因水稻商业化种植前,对其杂草化潜力进行评估是非常重要的一个环节。目前关于转基因水稻的抗性基因通过花粉进行逃逸的报道较多,但是,有关转基因水稻自身杂草化的研究目前尚未见报道。本研究在农田生态条件下分析了具有商业化价值的抗草铵膦转基因水稻明恢86B的生存竞争力、繁殖力、对除草剂的耐药性及演化为自生苗的可能性,以期为该转基因水稻大规模释放和种植提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与实验地点

转基因水稻明恢86B为籼稻,携带*bar*基因,对除草剂草铵膦的叶面喷施表现出抗性。以受体品种明恢86和杂交籼稻汕优63为对照品种。

2010年,除水稻对氟吡磺隆的耐药性试验在南京农业大学温室进行外,其他试验在南京农业大学江浦试验田进行。试验田土壤pH为6~7,偏酸性。土壤肥力、排灌情况良好。栽培管理按当地常规栽培方式进行。试验期间,无影响整个试验结果的恶劣气候因素,试验地设专人看管,设围栏以防止人为或动物破坏。需要收获的转基因水稻材料,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。试验地四周有2 m高的围栏,100 m范围内无水稻种植。

### 1.2 转基因水稻生存竞争力试验

#### 1.2.1 试验设计

转基因水稻生存竞争力试验设置直播和移栽两种方式。直播处理设置3个种植密度,分别是高密度(300粒/m<sup>2</sup>)、中密度(150粒/m<sup>2</sup>)和低密度(75粒/m<sup>2</sup>),每小区面积为4 m<sup>2</sup>(2 m×2 m)。分4期播种,适宜期2期(5月23日和6月7日),非适宜期2期(6月22日和7月7日)。每期采用随机区组排列。共144个小区,总面积576 m<sup>2</sup>。

移栽处理按当地常规栽培管理方式进行。30 d秧龄的秧苗单株移栽,株距和行距均为20 cm。小区面积为6 m<sup>2</sup>(2 m×3 m),每种水稻重复4次,共12个小区,总面积72 m<sup>2</sup>。各处理随机排列。

#### 1.2.2 调查内容

采用对角线5点取样,直播处理的样方面积0.5 m×0.5 m,移栽处理的样方面积为1 m×1 m。在播种30 d后调查记录每点杂草种类、株数,按杂草垂直投影面积占小区面积的比例估算杂草相对覆盖率。

直播方式在播种后10 d,移栽方式在水稻移栽后10 d,调查记录每小区的水稻株数及其成苗率,以后每隔15 d每小区随机调查10株长势最好的水稻,测量其主茎株高、分蘖数、相对覆盖率。

### 1.3 转基因水稻繁殖能力

在生存竞争力试验的田块中,每小区随机取10株水稻,每株水稻取3朵小花。取花药置于载玻片上,采用常规I<sub>2</sub>-KI染色法进行测定,凡被染成蓝色的为含有淀粉的活力较强的花粉粒,呈黄褐色的为发育不良的花粉粒。每装片取5个视野,统计花粉的染色率,以染色率表示花粉活力。水稻成熟后每小区采收10株长势最好的水稻,统计每株上主穗和一级分蘖上的穗子的穗长、每穗粒数、每穗实粒数,计算单位面积产量和地上部生物量。

剪下采收考种的水稻主穗,每穗悬于2 m高处让其自然落下至塑料容器内,考查落粒数和未落粒数,计算落粒率(落粒数/总粒数)。

### 1.4 转基因水稻演化成自生苗的可能性

在生存竞争力试验的同一块田中进行。除繁殖力考查中每小区采收的10株水稻外,其余水稻均不收割,让其种子自然落在土壤中。在收完需考查的水稻后,每隔20 d调查一次自生苗和再生苗情况,

共调查 2 次。田块冬闲,不进行任何管理,入冬前调查每小区的落粒数并在翌年当地水稻分蘖期后调查 1 次自生苗和再生苗。通过考查转基因作物演化成自生苗的比例,评价转基因水稻的自然延续能力。对出现的自生苗(拔除)取样后带回实验室验证。调查结束后,翻耕。

1.5 对除草剂的耐性

选用试验当地作物田间常用的除草剂氟吡磺隆(10%氟吡磺隆可湿性粉剂,苏州富美实植物保护剂有限公司生产),按常规用量(347.5 g/hm<sup>2</sup>)、加倍用药量在用药适期(稗草 3-4 叶期)用药,设空白对照。

调查和记录的内容包括水稻成苗率、植株高度(选取最高的 5 株)、药害症状,分别在用药后 2 周和 4 周各调查 1 次。

1.6 种子的生存能力

种子生存能力检测在种子收获后进行。按随机区组设计,设浅埋(3 cm)和深埋(20 cm)2 个处理,每个处理 4 次重复,小区面积 1 m<sup>2</sup>。待检测种子 100 粒和材料标签(标注名称或编号)封装于 200 目尼龙网袋中,埋入土壤。分别于 2 个月、4 个月和 6 个月取出种子统计已萌发数、腐烂数,未萌发的种子检测发芽率,未发芽的种子用 TTC 染色法检测种子的活力。

调查和记录的内容包括萌发数、腐烂数、发芽率和总活力数。

1.7 数据统计与分析

数据输入、分析和作图采用 Excel 软件进行。用新复极差法分析比较供试的转基因水稻、受体和杂交稻种子的各调查性状间的差异。

2 结果与分析

2.1 杂草种群调查

播期为 5 月 23 日和 6 月 7 日的直播处理,杂草发生量很大,主要是异型莎草和水虱草,占杂草总发生量的 80% 以上,还有鸭舌草、千金子、耳叶水苋和稗草。同一品种,高密度播种方式下的杂草略少于低密度,但总体上来说各小区杂草数量没有明显差异。其中,5 月 23 日直播处理的总草覆盖率在 30%~75%,6 月 7 日直播处理总草覆盖率在 25%~55%。6 月 22 日和 7 月 7 日直播处理的杂草发生量明显较少,主要杂草为千金子,还有水虱草、空心莲子草、耳叶水苋、稗草、双穗雀稗。6 月 22 日直播

处理平均每个小区千金子数目为 72 株,各小区间杂草数差异不大。7 月 7 日直播处理几乎没有杂草,平均每个小区有 1~2 株千金子。移栽方式下杂草发生量也很少,上层有少量的千金子,覆盖率为 5%,中下层有少量鸭舌草、空心莲子草、丁香蓼,总草覆盖率为 6%~8%。

2.2 转基因水稻生存竞争力

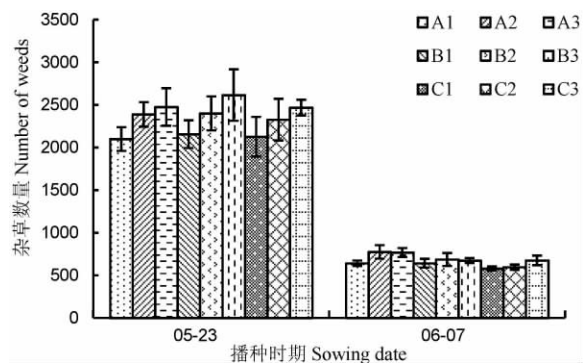
2.2.1 出苗率

直播处理下,各期水稻出苗率见表 1。除 5 月 23 日高密度直播处理汕优 63 出苗率显著低于低密度处理外,同一品种在不同播种密度下出苗率变化不大。在前两个播期中,低中密度播种,明恢 86B 出苗率都显著低于汕优 63,但在高密度播种下,两者的出苗率差异不明显,在同一处理下明恢 86 与汕优 63 差异不明显;在后两个播期中,除明恢 86B 在中密度下的出苗率显著低于相应密度汕优 63 外,其他品种和处理间均没有显著性差异。从出苗率分析结果看,对于同一品种,播种时间对出苗率的影响不大,不同品种间明恢 86B 的出苗率低于汕优 63。说明明恢 86B 在出苗率上竞争能力低于汕优 63,与明恢 86 相当。

2.2.2 株高

从 4 期直播处理的株高变化趋势来看,无论何种播种密度,明恢 86B 株高始终低于汕优 63,明恢 86B 与明恢 86 之间差异不大(图 2)。

在移栽条件下,从水稻不同时期的苗高测量结



A-明恢 86B; B-明恢 86; C-汕优 63; 1,2,3 分别为高密度、中密度、低密度直播。下同。

A, Minghui 86B; B, Minghui 86; C, Shanyou 63; 1, High sowing density under direct seeding 2, Medium sowing density under direct seeding; 3, Low sowing density under direct seeding. The same as below.

图 1 播种 30 d 后稻田杂草发生情况  
Fig. 1. Occurrence of weeds at 30 days after sowing.

表 1 直播方式种植的 3 种水稻播种 10 d 后的出苗率 (平均数 ± 标准误)

Table 1. Germination rate of different rice materials at different sowing densities (mean ± SE).

小区 Plot	播期 Sowing date (Month-Day)			
	05-23	06-07	06-22	07-07
A1	81.6 ± 2.1 c	83.6 ± 3.4 bcd	82.9 ± 2.4 ab	79.9 ± 3.6 bc
A2	80.8 ± 1.6 c	80.5 ± 2.0 d	76.6 ± 4.6 b	78.2 ± 1.9 c
A3	79.7 ± 1.4 c	79.6 ± 3.5 d	85.2 ± 5.2 ab	78.9 ± 2.8 c
B1	84.5 ± 1.4 bc	88.8 ± 2.1 abc	82.5 ± 4.1 ab	80.5 ± 3.4 abc
B2	84.7 ± 4.5 bc	85.7 ± 3.4 bcd	83.0 ± 2.3 ab	81.3 ± 2.5 abc
B3	80.0 ± 2.9 c	86.8 ± 2.9 abcd	88.7 ± 2.3 a	80.8 ± 3.2 abc
C1	84.2 ± 3.2 bc	93.9 ± 1.9 ab	89.0 ± 1.4 a	89.6 ± 3.0 ab
C2	90.0 ± 3.2 ab	92.4 ± 2.4 ab	89.2 ± 2.2 a	90.5 ± 2.9 a
C3	94.5 ± 1.7 a	94.3 ± 1.6 a	92.1 ± 1.4 a	87.8 ± 4.1 abc

同列数据后跟相同小写字母者表示差异在 0.05 水平不显著。

Data followed by the same lowercase letter are not significantly different at 0.05 level.

果来看, 汕优 63 的苗高始终最高。从最终株高来看, 明恢 86B 平均株高 106.71 cm, 显著低于汕优 63 (116.15 cm), 但是与明恢 86 平均株高 (107.8 cm) 差异不显著 (图 3)。

### 2.2.3 分蘖数

从分蘖数分析, 在适宜期, 有杂草竞争的条件下 3 种水稻分蘖数差异不大, 但是在非适宜期 (7 月 7 日) 直播, 汕优 63 的分蘖能力明显强于明恢 86B, 明

恢 86 与汕优 63 差异不大 (图 4)。

从前两期最终分蘖数来看, 相同水稻材料不同密度下分蘖数差异不大。对于不同水稻材料, 同种密度下分蘖数差异也不显著。

6 月 22 日直播, 从最终分蘖来看, 不同种植密度下, 同一水稻材料的分蘖能力相当, 差异不明显, 不同品种间相同密度下差异也不明显 (图 4)。

7 月 7 日直播, 明恢 86B 分蘖数在三种密度处

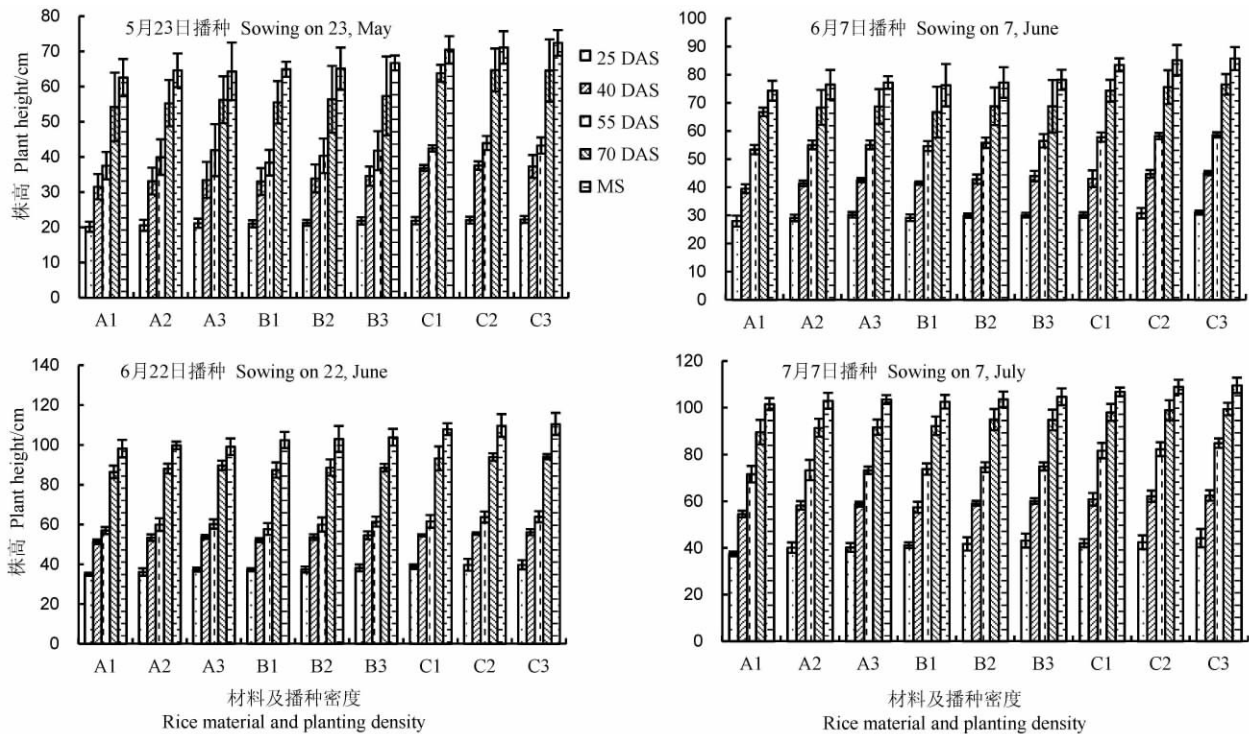
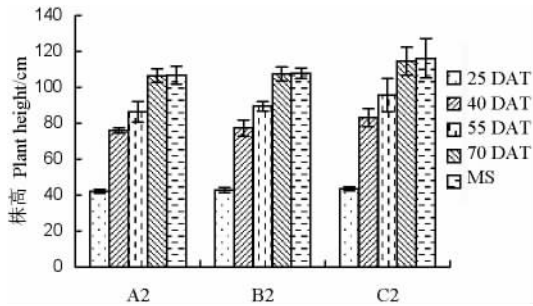


图 2 直播方式下不同水稻材料在不同播种密度下的株高

Fig. 2. Plant height of different rice materials at different planting densities under direct seeding. <http://www.cnki.net>



DAT—移栽后天数；MS—成熟期。下同。

DAT, Days after transplanting; MS, Maturity stage. The same as in figures below.

图3 移栽方式下不同水稻材料的株高

Fig. 3. Plant height of different rice materials by transplanting.

理下均显著低于汕优 63, 而明恢 86 与汕优 63 间差异不显著。从最终分蘖数来看, 同一品种, 明恢 86B 和明恢 86 在高密度下的分蘖数显著少于低密度下, 与中密度下的分蘖数无显著差异; 而汕优 63 中高密度下的分蘖数显著低于低密度下。在移栽方式下, 移栽后 25 d, 3 种水稻分蘖数相差不大, 移栽后 40 d、55 d、70 d 以及最终分蘖数, 明恢 86B 都显著低于

汕优 63(图 5)。

总体上, 无论在适宜还是非适宜季节播种, 明恢 86B 的出苗率最低, 与明恢 86 差异不明显, 但是显著低于汕优 63。从株高来看, 无论在适宜季节还是非适宜季节, 明恢 86B 的株高都明显低于汕优 63, 而明恢 86 和汕优 63 株高差异不明显, 说明无论在适宜期和非适宜期, 汕优 63 生长势都处于优势, 明恢 86 次之, 明恢 86B 处于劣势。在分蘖能力方面, 适宜播期由于有杂草的竞争, 三种水稻分蘖能力都较弱, 但是在非适宜播期, 杂草发生量少, 汕优 63 表现出明显的优势, 而明恢 86B 处于弱势, 明恢 86 与汕优 63 差异不明显。

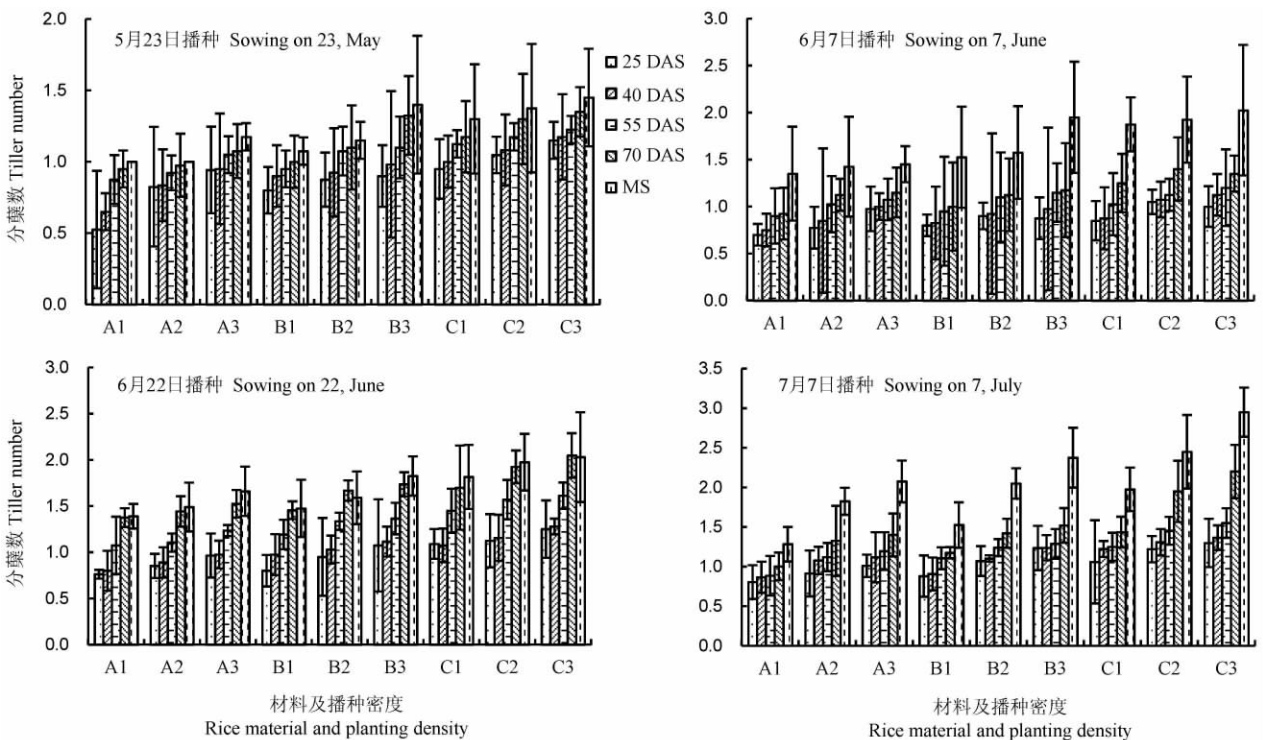
### 2.3 繁殖力调查

#### 2.3.1 花粉活力

各播种时期不同品种不同密度间每个视野中都有 98%~100% 的水稻花粉被染成蓝色, 即育性花粉, 3 种水稻花粉活力在不同播期 and 不同栽培方式下均无明显差异, 花粉活力相当。

#### 2.3.2 生育期比较

3 种水稻在 4 个播期下都能够完成生活史, 并且汕优 63 的花期比明恢 86B 和明恢 86 早 1~2 d,



DAS—播后天数；MS—成熟期。下同。

DAS, Days after seeding; MS, Maturity stage. The same as in figures below

图4 直播方式下不同水稻材料在不同播种密度下的分蘖数

Fig. 4. Tiller number of different rice materials at different planting densities under direct seeding. <http://www.cnki.net>

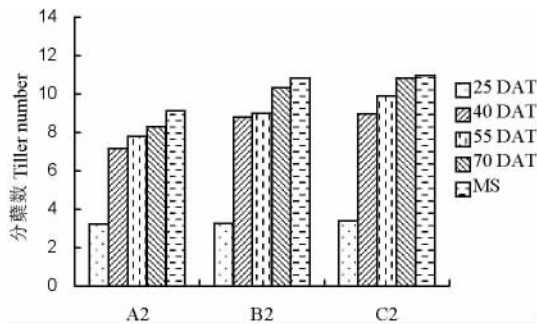


图 5 移栽方式下不同水稻材料的分蘖数

Fig. 5. Tiller number of different rice materials by transplanting.

后两者时间一致。

### 2.3.3 生殖生长指标及产量统计

从生殖生长指标和产量来看(表 2), 汕优 63 具有明显的优势, 其次为明恢 86, 最低的是明恢 86B。在前两期直播处理, 在有杂草竞争的条件下, 明恢 86B 在 3 种密度下的每穗总粒数、每穗实粒数和单位面积产量都显著低于相应密度下的汕优 63, 而与明恢 86 相差不大。在后两期直播处理, 3 种水稻在 3 种密度下穗长和每穗总粒数上差异不明显, 但明恢 86B 和明恢 86 在 3 种密度下的单位面积产量和地上干生物量上都显著低于相应密度下的汕优 63, 明恢 86B 和明恢 86 差异不显著。

表 2 供试水稻材料在不同直播种密度下的生殖生长指标及产量(平均数±标准误)

Table 2. Yield and its components of different rice materials at different seeding densities under direct seeding (mean±SE).

播期 Sowing date (Month-Day)	处理 Treatment	穗长 Panicle length /cm	每穗总粒数 Total grain number per panicle	每穗实粒数 Filled grain number per panicle	产量 Yield /(g·m <sup>-2</sup> )	地上部干物质量 Aboveground dry biomass/g
05-23	A1	15.74±1.25 c	38.09±1.74 d	18.43±2.73 b	87.50±3.01 c	3.68±0.12 b
	A2	16.19±1.26 c	44.16±4.53 cd	20.68±2.94 b	86.59±4.47 c	3.91±0.11 ab
	A3	17.62±1.58 bc	49.54±3.43 c	24.07±4.88 b	47.10±4.14 d	3.92±0.51 ab
	B1	16.62±1.46 c	38.60±3.58 d	19.53±2.55 b	89.72±3.63 c	3.77±0.39 ab
	B2	17.15±0.98 c	49.00±4.06 c	21.46±2.81 b	90.58±4.89 c	4.09±0.19 ab
	B3	18.17±1.87 bc	53.03±3.81 c	26.77±1.35 b	49.69±3.88 d	4.22±0.24 ab
	C1	20.15±0.37 ab	68.96±2.71 b	59.97±4.32 a	185.84±7.58 a	3.85±0.30 ab
	C2	21.32±0.43 a	74.68±4.69 ab	62.50±5.20 a	187.76±6.00 a	4.15±0.06 ab
	C3	21.93±1.09 a	79.73±2.89 a	69.34±2.73 a	140.46±9.58 b	4.76±0.32 a
06-07	A1	18.04±1.99 b	83.82±4.74 d	48.15±3.40 c	138.09±8.04 bc	6.32±0.56 d
	A2	20.66±1.63 ab	92.78±2.84 cd	52.11±3.49 c	138.62±6.07 bc	7.38±0.43 cd
	A3	20.69±1.79 ab	99.18±5.26 abc	60.83±2.41 c	77.34±9.04 d	9.91±0.30ab
	B1	19.28±1.75 ab	96.08±2.99 bcd	51.99±4.03 c	164.39±8.81 b	6.53±0.53 d
	B2	20.86±1.84ab	104.25±0.60 abc	55.52±4.37 c	161.68±9.69 b	7.91±0.82 cd
	B3	21.16±1.56 ab	106.74±2.88 abc	58.65±2.43 c	115.09±7.98 c	10.25±0.28 a
	C1	19.61±1.56 ab	98.69±2.45 abc	76.59±1.84 b	235.78±7.26 a	10.12±0.87 a
	C2	22.20±1.08 a	109.74±2.85 a	81.99±3.47ab	229.06±20.11 a	11.20±0.70 a
	C3	22.81±1.93 a	112.56±2.98 a	89.39±5.60 a	143.57±10.27 bc	8.50±0.55 bc
06-22	A1	21.33±0.46 b	129.16±5.81 a	93.88±3.93 b	455.30±16.63 b	9.07±0.72 d
	A2	21.47±0.36 b	132.71±4.96 a	99.37±4.04 ab	456.67±22.05 b	10.75±0.64 d
	A3	21.64±0.40 ab	134.88±5.39 a	103.38±2.78 ab	266.73±17.42 c	13.46±0.30 c
	B1	21.48±0.60 b	129.48±6.04 a	94.27±4.65 b	453.42±16.78 b	9.23±0.36 d
	B2	21.19±0.93 b	132.32±5.10 a	100.99±5.04 ab	447.16±22.78 b	13.91±0.44 c
	B3	21.75±0.52 ab	134.60±4.43 a	105.57±2.80 ab	298.53±16.10 c	15.84±0.51 b
	C1	22.33±0.15 ab	129.88±1.27 a	106.84±2.12 a	634.50±19.15 a	13.60±0.46 c
	C2	22.66±0.11 ab	135.57±4.85 a	110.79±4.01 a	643.80±19.47 a	16.09±0.81 b
	C3	23.09±0.24 a	137.23±4.27 a	111.89±6.47 a	403.16±16.68 b	21.93±0.59 a
07-07	A1	21.30±1.01 a	107.49±5.58 a	62.36±5.39 d	295.28±15.58 c	7.99±1.00 e
	A2	21.77±0.99 a	109.73±5.90 a	67.73±5.55 cd	304.25±24.79 c	9.50±1.42 de
	A3	22.50±0.77 a	116.68±4.97 a	74.03±3.69 abcd	188.16±17.15 d	11.26±0.64 cd
	B1	21.14±0.46 a	108.98±6.42 a	72.52±3.89 abcd	355.87±23.99 bc	9.06±0.64 de
	B2	21.94±0.35 a	111.24±2.81 a	69.59±5.41 bcd	396.35±20.81 b	11.84±0.77 cd
	B3	22.56±1.01 a	119.37±6.28 a	74.25±4.32 abcd	228.99±18.69 d	12.55±0.60 bc
	C1	21.31±0.32 a	111.55±4.52 a	82.46±2.24 abc	547.20±18.33 a	11.70±1.00 cd
	C2	21.83±0.22 a	111.87±3.72 a	82.95±3.12 ab	558.72±21.78 a	14.94±1.41 b
	C3	22.81±0.32 a	120.27±3.87 a	85.12±5.55 a	373.17±18.38 b	22.74±0.65 a

表 3 施用氟吡磺隆后 2 周和 4 周水稻株高

Table 3. Plant height of different ricematerials in the second and fourth week after flucetosulfuron treatment.

材料 Material	处理 Treatment	施药后 2 周 Two weeks after treatment/cm	施药后 4 周 Four weeks after treatment/cm
明恢 86B Minghui 86B	倍量 Doubled dose (695.0 g/hm <sup>2</sup> )	51.99±1.15 d	64.49±0.77 c
	常量 Normal dose (347.5 g/hm <sup>2</sup> )	52.38±1.12 cd	66.26±0.41 bc
	对照 CK	53.32±1.16 cd	67.20±0.67 b
明恢 86 Minghui 86	倍量 Doubled dose (695.0 g/hm <sup>2</sup> )	52.23±1.30 d	66.01±1.11 bc
	常量 Normal dose (347.5 g/hm <sup>2</sup> )	52.97±0.93 cd	66.84±1.28 bc
	对照 CK	53.65±0.58 bcd	67.90±0.76 b
汕优 63 Shanyou 63	倍量 Doubled dose (695.0 g/hm <sup>2</sup> )	55.00±0.44 abc	72.44±0.68 a
	常量 Normal dose (347.5 g/hm <sup>2</sup> )	56.02±0.72 ab	73.76±0.41 a
	对照 CK	56.64±1.08 a	74.52±0.57 a

2.4 对氟吡磺隆的耐药性

喷药后的第 2 周和第 4 周观察水稻外部形态，发现 3 种水稻的叶片颜色和形态都很正常，并没有出现畸形植株或者颜色的改变。在第 2 周，同种水稻在不同的处理条件下株高差异不明显。在第 4 周，除了明恢 86B 倍量处理下的株高显著低于常量和空白对照外，同种水稻不同处理间差异不明显(表 3)。说明这 3 种水稻中明恢 86B 对氟吡磺隆的耐药性最差，明恢 86 与汕优 63 对氟吡磺隆的耐药性无明显差异。

2.5 种子的落粒性比较

在试验期间 3 个品种几乎不落粒，汕优 63 的落粒率为 3.97%，明恢 86 的落粒率为 2.21%，明恢 86B 的落粒率为 1.84%。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。

2.6 自生苗

经过整个冬天的闲置，除了防止人为活动，在不加任何其他管理措施的情况下，3 种水稻都没有自生苗的出现。

2.7 种子生存能力

埋藏两个月，无论是深埋还是浅埋，3 种水稻都有一定的坏死率，并且随着埋藏时间的延长，坏死率逐渐上升，埋藏 6 个月时，汕优 63 浅埋的坏死率达到 59.75%，明恢 86 浅埋达到 63.25%，明恢 86B 浅埋达到 66.25%(图 6-A)。在整个埋藏过程中，3 种水稻均未发现有已萌发的幼苗。通过萌发实验，虽然明恢 86 和明恢 86B 的萌发率在第 2 个月时显著低于汕优 63，但是它们的总活力差异不是很明显。3 种水稻的萌发率和总活力随着埋藏时间的延长都呈下降趋势，在第 6 个月时明恢 86B 种子深埋时的

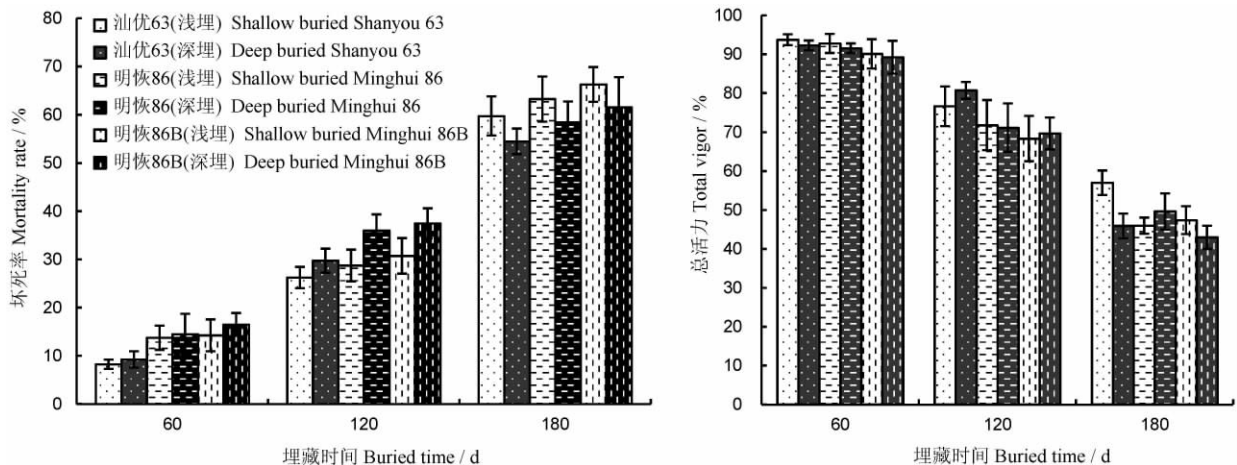


图 6 3 种水稻在不同埋藏条件下的种子坏死率和总活力

活力最低,仅达到 42.99%(图 6-B)。因此,与汕优 63 和明恢 86 相比,明恢 86B 种子无论在深埋还是浅埋的条件下的生存能力都没有表现出优势。

### 3 讨论

转基因植物因经历基因工程手段,其生存能力可能发生改变,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,许多性状的改变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使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>[17-18]</sup>。

竞争能力的强弱是判断植物是否具有杂草性的主要因子之一。在相同环境条件下,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他植物的栖息地。植物的竞争能力是通过一定的形态指标表现出来的,比如种子的发芽率、存活率、生物量等<sup>[19-21]</sup>。通过测定转基因水稻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,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。本研究结果表明,无论在适宜播期还是非适宜播期,供试的转基因水稻以及受体品种的生存竞争能力弱于当地移栽品种(组合)。所以从生存竞争能力来考查,在试验地区的生态环境条件下供试的转基因水稻演变为杂草的可能性较小。

转基因作物的花粉活力若是比原亲本植物的花粉活力大,说明转基因作物的杂草性强。通过检测相同环境下转基因作物和受体品种、当地主栽品种的花粉活力,可判断转基因作物的杂草化潜力。本研究结果表明,无论在适宜季节还是非适宜季节,3 种水稻的花粉活力相当,转基因水稻并没有出现明显的优势。

相比而言,有较高结实能力的植物具有高的种群替代能力,因而也具有更强的杂草化潜力。通过测定不同作物各生育期的大致时间和产量,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<sup>[21]</sup>。本研究结果表明,无论在适宜季节还是非适宜季节,杂交稻的繁殖力最强,转基因水稻的繁殖力最低。

杂草种子具有参差不齐的发芽能力和成熟特性。较长的半衰期,意味着种子在土壤中能保持较

长时间的活力,具有较强的适应性。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繁衍能力。本研究结果表明转基因水稻在土壤中埋藏到半年时,绝大多数种子已腐烂,未腐烂种子的活力也降低到 40% 左右。

考查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。繁衍能力是指该植物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<sup>[5]</sup>。本研究结果表明无论是转基因水稻还是当地主栽品种都未见有自生苗的产生,说明转基因并未使水稻繁衍能力发生改变。

杂草种子强的落粒性保证了杂草能在田间不断繁衍种群<sup>[5,22]</sup>。而作物的种子通常没有明显的落粒性,这也是作物和杂草之间明显的差别。通过测定转基因水稻的落粒性,判断其是否有不断繁衍其种群的能力,从而评价转基因水稻的杂草化潜力。试验结果表明,这 3 种水稻落粒性均很弱,且它们之间没有明显差异。

杂草比栽培植物抗逆能力强是杂草的生物学特性之一,由于其具备了比原亲本植物更强的抗逆能力而有更多的机会变为杂草。植物的抗逆能力强,杂草化的潜力就强<sup>[5]</sup>。逆境的种类很多,就抗除草剂转基因作物而言,对常规除草剂的耐性是抗逆能力的重要表现。通过检测在不同逆境下转基因作物和受体品种、当地主栽品种的抗逆能力的差异,可判断转基因作物的杂草化潜力。

转基因作物环境释放过程中生物、化学、物理和人为因素及环境变迁的影响与相互作用,这些因素可能依赖不同的环境条件或农业实践方式而转变为不利风险,或不产生风险<sup>[23]</sup>。因此,在转基因作物风险分析中,单纯考虑一个或几个因素的影响是不够的,全面了解转基因作物及其复杂的分布系统内各组分之间的相互作用,将有助于获得较为充分的风险评估和科学决策。本研究只对抗草铵磷转基因水稻在南京地区的杂草化潜力的部分影响因素进行了研究,还需要进一步对该转基因水稻在不同环境不同地区下其他影响因素进行更全面的研究。

参考文献:

- [1] James K. Could transgenic super crops one day breed super weeds. *Science*, 1996, 274(5285): 180-181.



- [2] Dale P J, Clarke B, Fontes E M G. Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nat Biotechnol*, 2002, 20(6): 567-574.
- [3] Kathen A. The impact of transgenic crop releases on biodiversity in developing countries. *Biotechnol Dev Monit*, 1996, 28: 10-15.
- [4] 钱迎倩, 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.
- [5] 强胜. 杂草学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 8-14.
- [6] Baker H G. The evolution of weeds. *Ann Rev Ecol System*, 1974, 5: 1-24.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Hall L, Topinka K, Huffman J, et al. Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. *Weed Sci*, 2000, 48: 688-694.
- [11] 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.
- [12] Orson J. Gene stacking in herbicide tolerant oilseed rape: Lessons from the North American experience. *En Nat Res Rep*, 2002 (443): 1-17.
- [13] Crawley M J, Brown S L, Hails R S, et al. Transgenic crops in natural habitats. *Nature*, 2001, 409(6821): 682-683.
- [14] Stewart C N, Halfhill M D, Warwick S I. Transgene introgression from genetically modified crops to their wild relatives. *Nat Rev Genet*, 2003, 4: 806-817.
- [15] Ellstrand N C, Prentice H C, Hancock J F. Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. *Ann Rev Ecol System*, 1999, 30: 539-563.
- [16] 卢宝荣, 傅强, 沈志成. 我国转基因水稻商品化应用的潜在环境生物安全问题. *生物多样性*, 2008, 16(5): 426-436.
- [17] 刘谦, 朱鑫泉. 生物安全. 北京: 科学出版社, 2002: 67-73.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 李博, 陈家宽, 沃金森 AR. 植物竞争研究进展. *植物学通报*, 1998, 15(4): 18-29.
- [21] 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.
- [22] Cai H W, Morishima H. Genomic regions affecting seed shattering and seed dormancy in rice. *Theor Appl Genet*, 2000, 100: 6, 840-846.
- [23] 杨君, 刘金涛, 杨德礼. 转基因抗除草剂作物全因素层次模型的建立与风险分析. *大连海事大学学报*, 2010, 36(4): 132-135.