

## 转 *cry1Ac/sck* 基因抗虫水稻对稻田主要非靶标害虫的田间影响评价

刘雨芳, 贺玲, 汪琼, 胡斯琴, 刘文海, 陈康贵

(湖南科技大学生命科学院及应用生态研究所, 湘潭 411201)

**摘要:** 【目的】研究转基因抗虫水稻对稻田主要非靶标害虫的田间影响。【方法】以转 *cry1Ac/sck* 双基因抗虫水稻株系 MSA、MSB、MSA4 及其杂交稻 21S/MSB、II-32A/MSB 与 KF6-304 为材料, 2002 年在福建沙县、2003 至 2004 年在湖南湘潭县系统地开展了转基因水稻对稻田主要非靶标害虫白背飞虱、褐飞虱、叶蝉及稻瘿蚊的田间影响评价研究。【结果】秧苗期, MSA、MSB、21S/MSB、II-32A/MSB 对稻飞虱产卵没有明显影响, 稻飞虱在 MSA4 与 KF6-304 秧苗上的产卵量显著低于其对照, 但所取样本上的产卵量都非常低。水稻移栽后, 转基因水稻株系对白背飞虱与褐飞虱种群数量的影响有一定差异, 但与它们的对照均无显著差异, 整个生长期的数据分析也显示无显著差异。21S/MSB、II-32A/MSB 上的叶蝉数量显著或极显著高于其对照, 但叶蝉数量很低, 单种叶蝉的种群数量则更低, 且 MSA、MSB、MSA4 与 KF6-304 没有引起稻田叶蝉数量的明显变化。在成熟收割前, MSA、MSB 有增加无效分蘖上葱管数的态势, 但在水稻生长中期都对稻瘿蚊有高的抗性, 能减少葱管的形成, 降低标葱率。【结论】转 *cry1Ac/sck* 双基因抗虫水稻 MSA、MSB、MSA4 及杂交稻 21S/MSB、II-32A/MSB 与 KF6-304 不会引起关键非靶标水稻害虫数量的明显上升。导入相同外源基因的不同水稻株系对关键非靶标水稻害虫的影响在时间动态与程度上存在一定的差异, 转基因作物生态安全评价需要进行个案分析。

**关键词:** 转基因水稻; 非靶标害虫; 白背飞虱; 褐飞虱; 叶蝉; 稻瘿蚊

## Effects of and Ecological Safety Insect-Resistant *Cry1Ac/sck* Transgenic Rice on Key Non-Target Pests in Paddy Fields

LIU Yu-fang, HE Ling, WANG Qiong, HU Si-qing LIU Wen-hai<sup>1</sup>, CHEN Kang-gui

(School of Life Sciences and Institute of Applied Ecology, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201)

**Abstract:** 【Objective】The study looked at the effects of insect-resistant transgenic rice on main non-target pest insects in paddy fields. 【Method】The effects of three transgenic rice lines, MSA, MSB and MSA4, transformed with bivalent genes (*cry1Ac/sck*), and three derived hybrid rice lines, 21S/MSB, II-32A/MSB and KF6-304, on the main non-target pest insects in paddy fields were investigated. The ecological safety of these *cry1Ac/sck* rice lines were evaluated in Sha County, Fujian Province (2002) and Xiangtan County, Hunan Province(2003 and 2004). 【Result】In the seedling stage, the impact of MSA, MSB, 21S/MSB and II-32A/MSB on fecundities of white back planthopper *Sogatella furcifera* and brown planthopper *Nilaparvata lugens* were not notable. While in MSA4 and KF6-304 plots, the fecundities of the two planthopper species were obviously lower than their own controls. Even in control plots the population densities of planthoppers were very low. After transplanting, there was somewhat of a difference between the impact of transgenic rice on population densities of *S. furcifera* and *N. lugens*. No significant differences were found among transgenic rice lines and their corresponding non-transgenic controls at this stage and during the whole growing season. Both 21S/MSB and II-32A/MSB significant increased the number of leafhoppers, however their density was very low and the single species density was even lower. The increase of leafhopper can be negligible. As compared with non-transgenic controls, the

收稿日期: 2006-02-22; 接受日期: 2007-01-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30270879)、国家“863”项目 (2001AA212261)、湖南省杰出青年科学基金项目 (04JJ1003)、湖南省教育厅重点项目 (05A012) 资助

作者简介: 刘雨芳 (1964-), 女, 湖南湘乡人, 教授, 博士, 研究方向为群落生态学、害虫生态控制与生态安全评价。Tel: 0732-8291416; E-mail: yurainliu@yahoo.com.cn

scallion-like plant number of ineffective rice tillers in MSA and MSB plots, caused by the damage of *Pachydictya oryzae*, tended to increase at the pre-harvest stage, while in the middle growing stage, the two rice lines showed high resistance to *P. oryzae*, indicated by lower percentages of scallion-like plant. 【Conclusion】 The results mentioned above suggested that the growing of *cryIac/sck* transgenic rice lines, MSA, MSB, MSA4, 21S/MSB, II-32A/MSB and KF6-304, will not cause obvious population increase of main non-target pest insects in paddy fields. The impact of different rice lines transformed with same exotic genes on the time and extent dynamics of main non-target pest insects are diversified. Consequently, the ecological safety evaluation of transgenic crop needs to be treated case by case.

**Key words:** Transgenic rice; Non-target insect pests; *Sogatella urcifera*; *Nilaparvata lugens*; Leafhopper; *Pachydictya oryzae*

## 0 引言

【研究意义】水稻是受虫害侵袭最为严重的粮食作物之一, 仅鳞翅目害虫造成的稻谷损失就占亚洲年产量的 2%~10%<sup>[1]</sup>, 中国每年因虫害造成的损失占水稻总产量的 5% 以上<sup>[2]</sup>。尽管改进杀虫剂的合成、联合应用化学药品、抗虫品种与改进农业耕作技术等 IPM 策略, 由害虫引发的减产在近 20 年仍不断增加<sup>[3]</sup>。而化学农药的大量施用, 不但引发害虫产生抗药性, 增加农业生产成本, 污染生态环境, 破坏生态平衡, 对人、畜也产生严重危害。因此, 培育具有抗虫能力的水稻新品种是控制水稻害虫的重要途径之一<sup>[2]</sup>。近年随着转 Bt 基因玉米、土豆、棉花等作物的商业化种植, 通过基因工程技术将外源抗虫基因导入作物中, 培育转基因抗虫新品系, 已成为农作物害虫治理的一种新方法<sup>[3]</sup>。随着生物技术的迅速发展以及该技术在水稻遗传育种上的应用, 已有大量的转基因抗虫水稻品种问世<sup>[2, 4~7]</sup>, 大量的实验证明这些转基因抗虫水稻品种对靶标害虫具有极显著的抗性<sup>[8~12]</sup>。然而, 转基因抗虫水稻的商业化种植是否会影响到稻田生态系统中天敌的种类与数量已引起世界各国科学家的极大关注, 其对生态环境的安全性倍受瞩目<sup>[13~16]</sup>。【前人研究进展】目前, 有关转基因抗虫水稻潜在生态安全性方面的研究数据不足是制约其被批准商品化生产的重要因素之一。对非靶标害虫的生态安全性评价是其中的一项重要内容<sup>[11, 13]</sup>。目前有关的研究多见于室内测定或田间调查转 Bt 基因水稻对白背飞虱 (*Sogatella urcifera*)、褐飞虱 (*Nilaparvata lugens*)<sup>[17]</sup>、黑尾叶蝉 (*Nephotettix cincticeps*)<sup>[4]</sup>等非靶标害虫影响的研究。*sck* 是经修饰的 *cp1* 基因<sup>[12]</sup>, 是中国自主知识产权的重要抗虫基因, 其对非靶标害虫影响的研究仅见傅强等的报道<sup>[18]</sup>。【本研究切入点】白背飞虱与褐飞虱是水稻的重要害虫, 近年在福建沙县、古田县等地常有飞虱造成“穿顶”而失收的现象发生<sup>[11]</sup>; 稻瘰蚊 (*Pachydictya oryzae*) 是福建省水稻的另一种重要害虫, 常使水稻

变成“稻葱”(即葱管)而失收。黑尾叶蝉、电光叶蝉 (*Inazuma dorsalis*) 等的种群密度虽然不高, 但因为是水稻病害的传播者, 也是一类必须防治的害虫, 同时它们都是转 *cryIac/sck* 抗虫基因水稻的非靶标害虫, 因此也是转基因抗虫水稻生态安全评价的重要研究对象之一。【拟解决的关键问题】本文通过 MSA、MSB、MSA4 及其杂交稻 21S/MSB、II-32A/MSB、KF6-304 等 6 个转 *cryIac/sck* 双基因抗虫水稻品系对白背飞虱、褐飞虱、稻瘰蚊及稻田叶蝉等几种重要的非靶标害虫的田间种群动态影响的系统研究, 旨在了解转 *cryIac/sck* 双基因抗虫水稻对水稻重要非靶标害虫的影响, 为转基因抗虫水稻的生态安全评价提供科学依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 供试水稻材料与田间试验设计

转基因抗虫水稻 MSA、MSB、MSA4 是以“明恢 86”(MH86) 为受体水稻, 导入 *cryIac* 与 *sck* 而获得的已稳定遗传的 T<sub>6</sub> 代转双基因抗虫水稻株系, 以 MH86 作对照。21S/MSB、II-32A/MSB、KF6-304 是以已稳定遗传的转 *cryIac/sck* 双基因抗虫水稻株系为亲本组配的转基因杂交稻, 其对应的非转基因抗虫杂交稻对照分别是两优 2186 (II-Y2186) 与两优明 86 (II-YM86)。所有试验稻种均由福建省农业科学院农业遗传工程重点实验室提供。

2002 年晚稻期在福建省沙县良种场水稻种植区、2003 年与 2004 年晚稻期在湖南省湘潭县响水乡水稻种植区 (湖南科技大学实验园), 选择有代表性的稻田作为试验用地, 2002 年以 MSA (对照 MH86)、MSB (对照 MH86) 为材料, 2003 年以 21S/MSB (对照 II-Y2186)、II-32A/MSB (对照 II-YM86) 为材料, 2004 年以 MSA4 (对照 MH86) 与 KF6-304 (对照 II-YM86) 为材料设计试验, 完全不施用任何化学杀虫剂与除草剂, 各品系试验面积为 2 亩, 合约 1 330 m<sup>2</sup>, 设 2 次重复, 随机区组排列。每个品系稻田周围种植

对照水稻 12 株(行), 其宽度约为 2 m, 构成保护行。各品系农事操作一致, 水肥管理如常。

## 1.2 田间管理与水稻生育期

均湿润育秧、畦播, 人工单本移栽, 株距为 16~17 cm (列间距) × 20 cm (行间距)。2002 年于 6 月 20 日播种, 秧龄 25 d, 7 月 14 日移栽。9 月 13 日始穗、9 月 18 日齐穗、10 月 24 日成熟期末, 10 月 25 日收割。2003 年于 6 月 12 日播种, 7 月 12 日移栽, 秧龄 30 d。9 月 5 日始穗、9 月 12 日齐穗、10 月 25 日收割。2004 年于 6 月 8 日播种, 7 月 11 日移栽, 秧龄 34 d。9 月 2 日始穗、9 月 9 日齐穗、10 月 14 日成熟期末, 10 月 15 日收割。

## 1.3 调查方法

1.3.1 对稻飞虱产卵的调查 在移栽前用平行线跳跃法随机拨取各品系秧苗 100 株剖查, 分别记录稻飞虱的产卵痕数、产卵量, 计算带卵株率和每株带卵数。

1.3.2 对稻飞虱成虫、若虫及稻田叶蝉的田间消长动态的调查 水稻移栽后 2 周始, 用吸虫器法<sup>[19]</sup>每 2 周(对应于移栽后的天数分别是 14、28、42、56、70、和 84d) 调查 1 次飞虱成虫、若虫与稻田叶蝉的数量。对角线五点法取样, 每样吸 20 丛水稻, 每次调查 100 丛。全季共调查 6 次。样品用 80% 的酒精浸泡后, 带回室内清理、计数与统计分析。

在 2 地 3 年的试验田中, 白背飞虱与褐飞虱常混合发生, 大发生时其低龄若虫数量非常高, 区分比较困难, 本文将其合为低龄飞虱若虫一并讨论。由于各种叶蝉的种群数量很低, 本文所指稻田叶蝉是各种叶蝉的集合。2002 年的叶蝉主要包括: 黑尾叶蝉、电光叶蝉、黑唇斑叶蝉 (*Erythroneura maculifrons*) 与白翅叶蝉 (*Thaia rubiginosa*), 2003 与 2004 年主要包括黑尾叶蝉与电光叶蝉。

1.3.3 对稻瘿蚊发生量的调查 2002 年于水稻移栽后第 43、50 天, 分别剥查 20、50 丛 MSA、MSB 与 MH86 稻, 并统计每株稻瘿蚊的蛹(幼虫)数和葱管数, 计算标葱率、标葱株率与带虫株率。用吸虫器法采样时, 以葱管数为计算指标, 采样时间与方法同 1.3.2。

## 1.4 数据统计与分析

将调查所得的白背飞虱成虫、褐飞虱成虫、低龄飞虱若虫、飞虱混合种群及叶蝉的原始数据(时间动态数据与整个生长期的总数据)进行对数转换:  $N = \log(n+1)$ , 消除标准差与平均数的比例效应<sup>[20]</sup>, 其中  $n$  为调查所得原始数据。所有数据处理均在 Excel 2000

与 SPSS 11.00 Version 统计分析软件上完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 对稻飞虱发生数量的影响

2.1.1 秧苗期对稻飞虱产卵的影响 2002 年与 2003 年的实验表明, MSA、MSB、21S/MSB 与 II-32A/MSB 秧苗上带稻飞虱卵株率均低于各自的对照, MSA 与 MSB 秧苗上的产卵量略高于对照 MH86 秧苗, 而 21S/MSB 与 II-32A/MSB 秧苗上的产卵量则分别略低于其对照 II-Y2186 与 II-YM86 秧苗。但与对照均无显著差异。2004 年的实验表明, MSA4 秧苗的带卵株率、每株产卵痕数显著低于对照 MH86, KF6-304 秧苗的带卵株率、每株产卵痕数略低于对照 II-YM86, MSA4、KF6-304 秧苗上的产卵量均显著低于它们的对照(表 1)。但表 1 的数据也显示, 2004 年每 100 株秧苗的产卵量非常低。

2.1.2 对白背飞虱数量时间动态的影响 MSA 在移栽后第 14、28、42、56 天(水稻生长发育的前期与中期)、MSB 在移栽后第 14、28 天(水稻生长前期), 白背飞虱的数量均低于对照 MH86; MSA 在移栽后第 70、84 天(水稻生长发育的后期至成熟期)、MSB 在移栽后第 42、56、70、84 d(水稻生长发育的中期至成熟期), 白背飞虱成虫数量略高于对照 MH86, 但均无显著差异(图 1, 上)。

在水稻生长前期与中期, 21S/MSB 上白背飞虱略高于对照 II-Y2186, 在后期至成熟期则略低于对照 II-Y2186, 但无明显差异。在水稻生长中期末, II-32A/MSB 上白背飞虱明显高于对照、而在水稻生长后期(移栽后第 70 天)又明显低于对照 II-YM86(图 1, 中)。

除在水稻生长的后期至成熟期的调查显示, MSA4 与 KF6-304 上白背飞虱均明显高于它们的对照 MH86 与 II-YM86 外, 其余各次调查均显示 MSA4 与 KF6-304 上白背飞虱数量略高于或略低于对照, 但没有明显差异(图 1, 下)。

整个生长期的数据分析显示, MSA、MSB、MSA4、21S/MSB、II-32A/MSB 及 KF6-304 稻田中白背飞虱数量略高于或略低于它们的对照, 但均无显著差异(表 2)。即转 *cryIAc/sck* 基因抗虫水稻及其杂交稻对重要非靶标水稻害虫白背飞虱没有显著影响。

2.1.3 对褐飞虱数量时间动态的影响 水稻生长发育的前期与中期, 褐飞虱种群密度非常低, 而在生长后期, 褐飞虱种群密度相对较高。除 MSA、MSA4 与

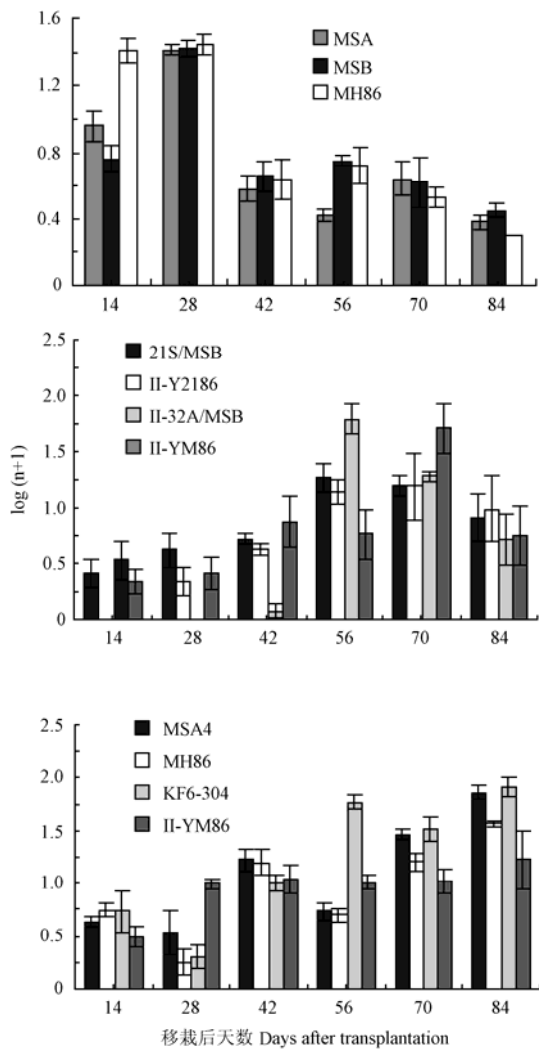


图 1 转基因抗虫水稻对白背飞虱数量时间动态的影响

Fig. 1 Impacts of insect-resistant transgenic rice on the temporal density dynamics of *S. furcifera*

KF6-304 在移栽后第 84 天、MSB 在移栽后第 70 天、II-32A/MSB 在移栽后第 56 天，褐飞虱种群数量显著高于各自的对照，MSA4、II-32A/MSB 在移栽后第 70 天，褐飞虱种群数量显著低于各自的对照外，其余各次调查均无显著差异（图 2）。

**2.1.4 飞虱低龄若虫数量的时间动态的影响** MSA、MSB、MSA4 在移栽后第 70 天及 KF6-304 在移栽后第 56 天，低龄飞虱若虫数量明显低于各自的对照。21S/MSB 在移栽后第 56 天、II-32A/MSB 在移栽后第 42、56 天及 MSA4 在移栽后第 84 天，低龄飞虱若虫数量明显高于各自的对照，其余各次调查数据均显示转基因抗虫水稻各品系上的低龄飞虱若虫数量与对照均无显著差异（图 3）。

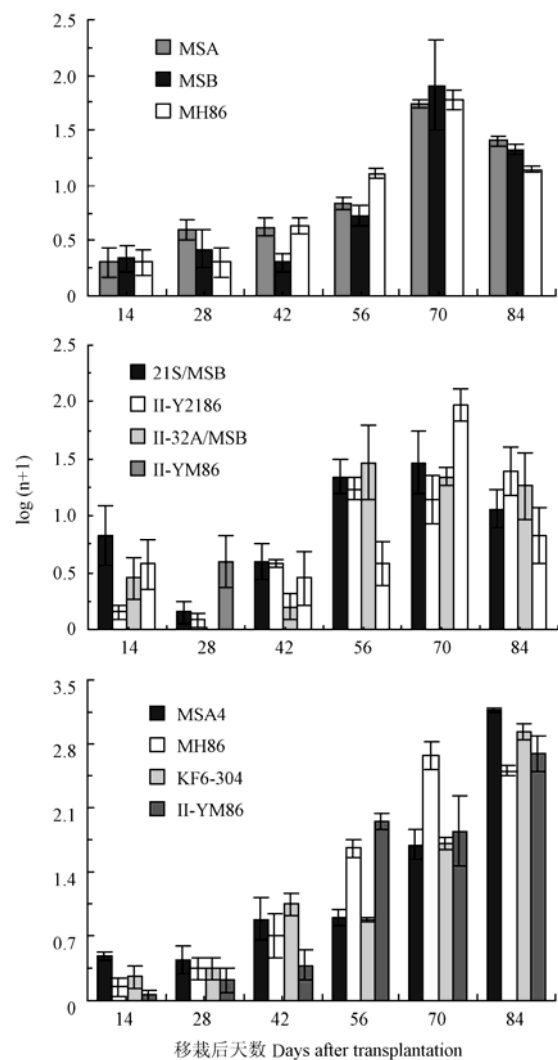


图 2 转基因抗虫水稻对褐飞虱数量时间动态的影响

Fig. 2 Impacts of insect-resistant transgenic rice on the temporal density dynamics of *N. lugens*

整个生长期的数据分析显示，MSA、MSB、MSA4、21S/MSB、II-32A/MSB 及 KF6-304 稻田中飞虱低龄若虫略高于或略低于它们的对照，但均无显著差异（ $P > 0.05$ ）（表 2）。即转 *cryIac/sck* 基因抗虫水稻及其杂交稻对重要非靶标水稻害虫白背飞虱与褐飞虱的若虫数量时间动态的没有明显的影响。

生长全期飞虱混合种群的总数量在转基因抗虫水稻各品系与对照间均无显著差异（表 2）。

## 2.2 对稻田叶蝉发生数量的影响

MSA 移栽后第 70 天、MSB 移栽后第 42、84 天在 14 d 与 28 d，稻田叶蝉发生量显著高于对照 MH86，其余各次调查均无显著差异（图 4，上）。整个生长期的数据分析显示，MSA 与 MSB 上稻田叶蝉略高于

表 1 稻飞虱产卵痕与产卵量比较 (粒/株) (Mean±SE)

Table 1 Comparing with number of oviposition scar and fecundity of *S. furcifera* and *N. lugens* (Mean±SE)

年份 Year	稻系 Rice lines	产卵痕数/株 No. of ovipositing trail per seedling	产卵量/株 No. of eggs per seedling	带卵株率(%) % of seedlings having eggs
2002	MSA	0.54±0.09	5.08±0.84	30
	MH86	0.47±0.05	3.90±0.50	47
	P <sub>MSA-MH86</sub>	0.329	0.082	-
	MSB	0.54±0.08	3.93±0.54	39
	MH86	0.47±0.05	3.90±0.50	47
	P <sub>MSB-MH86</sub>	0.210	0.935	-
2003	21S/MSB	0.31±0.05	0.82±0.26	14
	II-Y2186	0.24±0.05	1.06±0.28	16
	P <sub>21S/MSB-II-Y2186</sub>	0.088	0.224	-
	II-32A/MSB	0.37±0.05	1.02±0.34	13
	II-YM86	0.51±0.05	1.23±0.35	16
	P <sub>II-32A/MSB-II-YM86</sub>	0.061	0.683	-
2004	MSA4	0.28±0.06	0.22±0.11	5
	MH86	0.69±0.12	0.93±0.29	12
	P <sub>MSA4-MH86</sub>	0.000	0.018	-
	KF6-304	0.54±0.20	0.22±0.11	11
	II-YM86	0.95±0.17	0.93±0.29	21
	P <sub>KF6-304-II-YM86</sub>	0.097	0.018	-

表 2 白背飞虱、褐飞虱与叶蝉整个生长期密度比较 (log(n+1)/100 丛稻) (Mean±SE) (df=5)

Table 2 Comparison among densities of *S. furcifera* and *N. lugens* and leafhoppers[ (log(n+1)/100 hills of rice] in whole period of rice growing(Mean±SE)(df=5)

年份 Year	稻系 Rice line	白背飞虱 <i>S. furcifera</i>	褐飞虱 <i>N. lugens</i>	飞虱若虫 Nymph of planthopper	飞虱总量 Total planthopper	叶蝉 Leafhopper
2002	MSA	1.56±0.21	1.89±0.28	2.15±0.41	2.40±0.21	1.82±0.14
	MH86	1.61±0.21	1.87±0.31	2.17±0.25	2.40±0.20	1.69±0.11
	P <sub>MSA-MH86</sub>	0.439	0.432	0.246	0.932	0.110
	MSB	1.57±0.17	1.96±0.33	2.08±0.40	2.39±0.22	1.72±0.13
	MH86	1.61±0.21	1.87±0.31	2.17±0.25	2.40±0.20	1.69±0.11
	P <sub>MSB-MH86</sub>	0.885	0.845	0.171	0.986	0.782
2003	21S/MSB	1.62±0.17	1.77±0.28	2.96±0.53	3.18±0.28	1.36±0.16
	II-Y2186	1.54±0.32	1.68±0.34	1.98±0.49	2.25±0.40	0.26±0.13
	P <sub>21S/MSB-II-Y2186</sub>	0.162	0.291	0.926	0.237	0.025
	II-32A/MSB	1.86±0.44	1.77±0.40	2.96±0.53	3.18±0.28	1.36±0.16
	II-YM86	1.77±0.25	1.99±0.26	2.05±0.52	2.42±0.30	0.73±0.25
	P <sub>II-32A/MSB-II-YM86</sub>	0.555	0.469	0.317	0.974	0.048
2004	MSA4	2.02±0.26	3.12±0.49	2.24±0.31	3.20±0.39	1.46±0.21
	MH86	1.80±0.25	2.84±0.55	2.75±0.38	3.12±0.40	1.28±0.15
	P <sub>MSA4-MH86</sub>	0.125	0.920	0.652	0.653	0.220
	KF6-304	2.07±0.29	2.89±0.49	1.75±0.22	2.98±0.34	1.29±0.15
	II-YM86	1.68±0.12	2.73±0.56	2.25±0.47	2.88±0.38	1.24±0.32
	P <sub>KF6-304-II-YM86</sub>	0.670	0.873	0.914	0.967	0.267

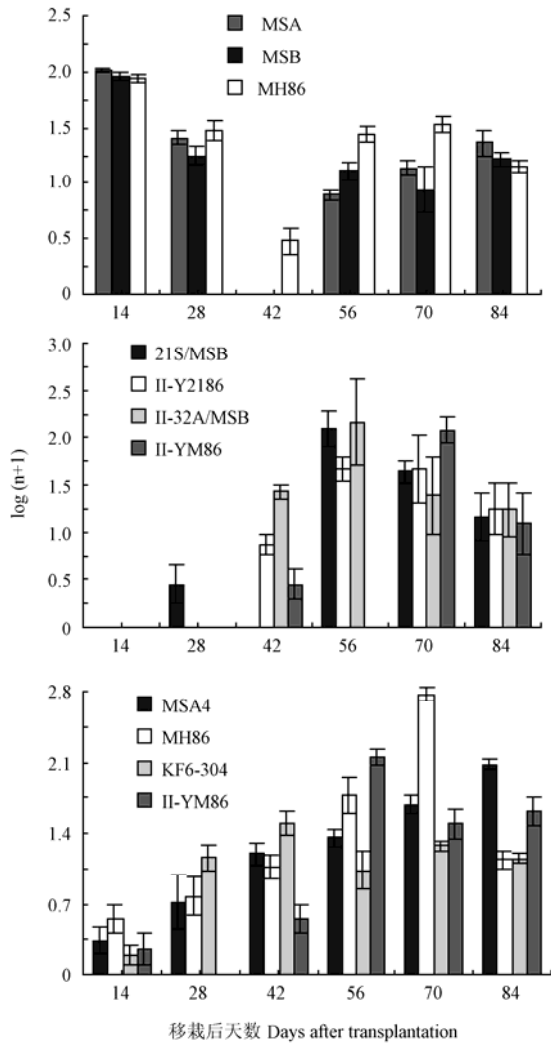


图 3 转基因抗虫水稻对飞虱低龄若虫数量时间动态的影响

Fig. 3 Impacts of insect-resistant transgenic rice on the temporal density dynamics of low-instar nymphal *S. furcifera* and *N. lugens*

对照, 无显著差异 (表 2)。

除 II-32A/MSB 在移栽后第 42 天, 叶蝉数量略低于对照 II-YM86 外, 其余各次调查显示, 21S/MSB 及 II-32A/MSB 上叶蝉数量均明显高于各自的对照 II-Y2186 与 II-YM86 (图 4, 中)。整个生长期的数据分析, 21S/MSB 及 II-32A/MSB 上叶蝉总数量分别显著或极显著高于它们的对照 II-Y2186 与 II-YM86 (表 2)。

MSA4 在移栽后第 14、70 天, KF6-304 在移栽后第 28、56 天, 其上叶蝉数量略低于各自对照 MH86 与

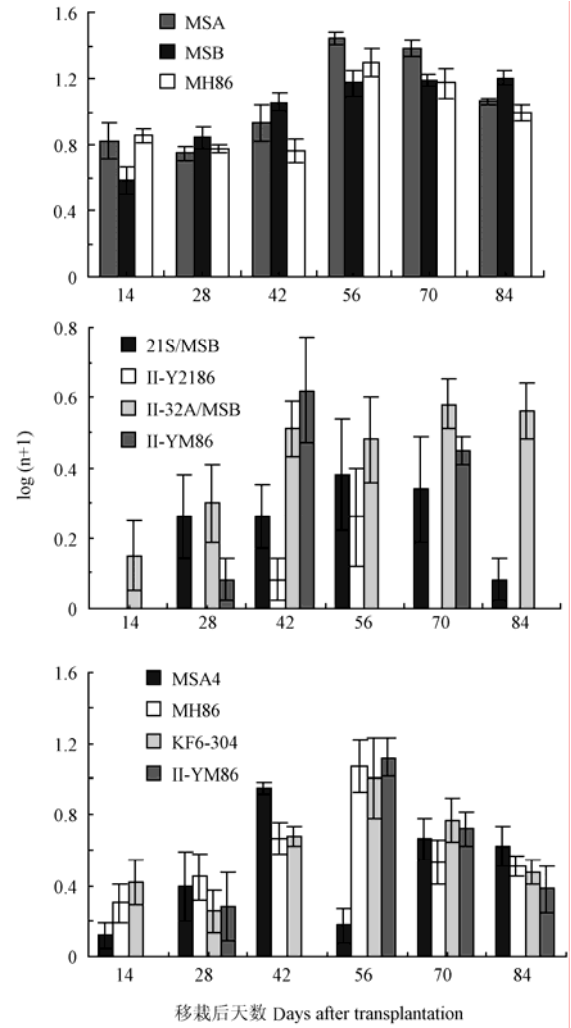


图 4 转基因抗虫水稻对叶蝉数量时间动态的影响

Fig. 4 Impacts of insect-resistant transgenic rice on the temporal density dynamics of leafhoppers

II-YM86 外, 其余调查均显示 MSA4 与 KF6-304 稻上叶蝉数量高于它们的对照 (图 4, 下)。整个生长期的总数量分析, MSA4 稻上叶蝉数量略高于对照, KF6-304 稻上叶蝉数量略低于对照, 均无显著差异 (表 2)。

### 2.3 对稻瘿蚊发生数量的影响

吸虫器法的系统调查表明, 在水稻生长发育的前期, 均无由稻瘿蚊形成的葱管。在移栽后第 42 天, MH86 稻田出现葱管, MSA 与 MSB 在移栽后第 84 天, 其上的葱管数量显著高于 MH86 (图 5)。但这些葱管主要形成于无效分蘖上。

剥查结果显示, 移栽后第 43 天, MSA 每丛稻上的稻瘿蚊蛹 (或幼虫) 数、标葱株率与带虫株率均低

于对照 MH86, 每丛稻的葱管数与标葱率极显著低于对照 MH86。MSB 稻除了标葱率略低于对照外, 每丛稻上的稻瘿蚊蛹 (或幼虫) 数与葱管数、标葱株率与带虫株率高于对照 MH86, 但均无显著差异。移栽后第 50 天, 在 MSA 与 MSB 及 MH86 稻上均未剥查到稻瘿蚊幼虫或蛹, 是由于这代稻瘿蚊已完成羽化。每丛稻的葱管数与标葱率为 MSA 略低于对照 MH86, 但无显著差异, 而 MSB 则显著或极显著低于对照 MH86 (表 3)。

### 3 讨论

转基因抗虫水稻对非靶标害虫的影响是生态安全评价的重要内容, 就目前国内外的相关研究报道, 结果也不尽一致。Bt 水稻“克螟稻 2 号”对稻蓟马 (*Thrips*

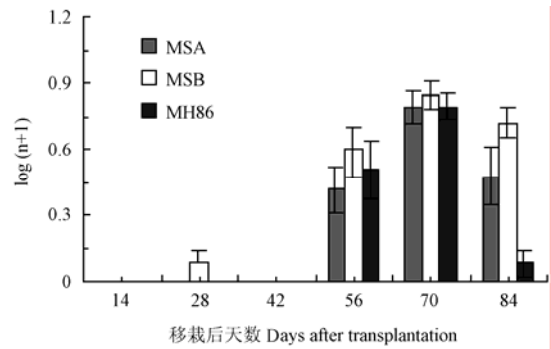


图 5 转基因抗虫水稻 MSA、MSB 对稻瘿蚊数量时间动态的影响

Fig. 5 Impacts of insect-resistant transgenic rice lines MSA and MSB on the temporal density dynamics of *P. oryzae*

表 3 稻瘿蚊发生量比较 (Mean±SE)

Table 3 Comparison with densities of *P. oryzae* in paddy fields (Mean±SE)

移栽后天数 Days after transplantation	项目 Items	实验对 Test pair			实验对 Test pair		
		MSA	MH86	$P_{MSA-MH86}$	MSB	MH86	$P_{MSB-MH86}$
43	蛹数/株 No. of pupae per cluster	0.15±0.08	0.35±0.13	0.163	0.75±0.20	0.35±0.13	0.134
	葱管数/株 No. of shallot per cluster	0.50±0.22	2.40±0.56	0.003	2.90±0.86	2.40±0.56	0.680
	标葱率 % of shallot tracts rate	3.92±1.71	14.65±3.50	0.006	13.75±3.83	14.65±3.50	0.882
	标葱株率 % of clusters with shallot tracts	30	65	-	70	65	-
	带虫株率 % of clusters with <i>P. oryzae</i>	15	30	-	50	30	-
	蛹数/株 No. of pupae per cluster	0	0	1.000	0	0	1.000
50	葱管数/株 No. of shallot per cluster	2.46±0.38	2.70±0.39	0.653	1.54±0.25	2.70±0.39	0.017
	标葱率 % of shallot tracts rate	14.41±2.11	18.95±2.53	0.160	9.88±1.58	18.95±2.53	0.005
	标葱株率 % of clusters with shallot tracts	72	72	-	64	72	-
	带虫株率 % of clusters with <i>P. oryzae</i>	0	0	-	0	0	-

*oryzae*) 更敏感, 受害程度极显著高于其对照非转基因稻<sup>[21]</sup>; 转 *cryIAb/cryIAc* 基因的汕优 63 明显加重非靶标害虫白背飞虱的危害趋势<sup>[22]</sup>; 与亲本明恢 86 相比, 褐飞虱对转 *sck + cryIAc* 双基因抗虫水稻 MSA 与 MSB 无明显选择性, 而白背飞虱若虫和成虫均明显趋向两种转基因水稻, 但转基因水稻 MSB 引发非靶标害虫稻飞虱灾变的风险较小<sup>[18]</sup>。转 *sck + cryIAc* 双基因抗虫水稻对水稻害虫群落的组成、结构与优势种成份没有明显的影响<sup>[23]</sup>; Bernal 等研究了 5 种启动子

不同的 Bt 水稻对褐飞虱的影响, 用 ELISA 方法检测到褐飞虱排泄的蜜露含有 Bt 毒蛋白, 说明褐飞虱摄人并接触到了转 Bt 水稻表达的 Bt 毒蛋白, 但 Bt 水稻对其生长发育没有明显影响<sup>[4]</sup>。含 *cryIAb+cryIAc* 杂合基因及 *actin I* 启动子基因的 Bt 水稻纯合品系 R7 代 TT9-3 与 TT9-4, 不仅不会引起田间非靶标类同翅目害虫飞虱和叶蝉数量的上升, 反而对它们有一定的驱避作用<sup>[17]</sup>。

本研究表明, 秧苗期 MSA4 与 KF6-304 稻上的飞

虱产卵量明显高于对照,但试验数据也显示当年的产卵数量非常低。MSA、MSB、21S/MSB、II-32A/MSB对飞虱产卵没有明显影响。虽然在时间动态上不同的转基因抗虫水稻株系对白背飞虱与褐飞虱这两种重要的非靶标害虫的影响表现出一定的差异,但与它们的对照比较,影响均不明显。根据试验结果分析,转*cryIAc/sck*双基因抗虫水稻引起稻飞虱大发生的潜在风险较小。这与Bernal等<sup>[4]</sup>、傅强等<sup>[18]</sup>、陈茂等<sup>[17]</sup>的研究结果相似。虽21S/MSB、II-32A/MSB显著或极显著增加叶蝉的发生数量,但叶蝉在田间发生的实际种群数量非常低,MSA、MSB、MSA4与KF6-304没有引起稻田叶蝉数量的明显变化,且单个叶蝉种群的作用将更小,因此它们引发叶蝉灾害的潜在风险较小。在成熟收割前,MSA与MSB有增加无效分蘖上的葱管数的趋势,这种趋势有利于控制能量向无效分蘖扩散,不会影响水稻生产,但是否会增加害虫基数,加剧稻瘰蚊对下一代水稻的危害程度,则有待进一步的研究。MSA与MSB在水稻生长中期对稻瘰蚊有高的抗性,能减少葱管的形成,降低标葱率,因此在同期水稻生产中MSA与MSB不会加重稻瘰蚊的危害。

个别转基因水稻株系在时间动态的某个时期或显著增加或显著减少关键非靶标害虫的发生数量,而整个生长期的数据分析则无显著差异,这可能存在数量上的互补对真实情况有一定程度的掩盖所致。本研究结果还发现,即使是利用相同的受体水稻导入相同的外源基因,不同株系对非靶标生物的影响存在差异,这正说明了转基因作物生态安全评价的复杂性与个案性。

## 4 结论

4.1 转*cryIAc/sck*双基因抗虫水稻MSA、MSB、MSA4及杂交稻21S/MSB、II-32A/MSB与KF6-304不会引起关键非靶标水稻害虫数量的明显上升。

4.2 导入相同外源基因的不同水稻株系对关键非靶标水稻害虫的影响在时间动态与程度上存在一定的差异,转基因作物生态安全评价需要进行个案性分析。

致谢:福建农林大学2000级实习生林胜、陈文乐参加在福建沙县的田间试验,特表谢忱!

## References

[1] High S M, Cohen M B, Shu Q Y, Altosaar I. Achieving successful deployment of Bt rice. *Trends in Plant Science*, 2004,9(6):286-292.

- [2] 朱 祯. 高抗虫转基因水稻的研究与发展. 中国科学院院刊, 2001, 5: 353-357.  
Zhu Z. Research and development of highly insect-resistant transgenic rice. *Journal of China Academy of Science*, 2001, 5: 353-357. (in Chinese)
- [3] Gatehouse A M R, Down R D, Gatehouse J A, Christon P. Improves strategies for aphid resistant transgenic crops. *Proceedings of the British Crop Protection Council Conference Pest and Diseases*, Brighton, UK, 2000, 2: 593-598.
- [4] Bernal C C, Aguda R M, Cohen M B. Effect of rice lines transformed with *Bacillus thuringiensis* toxin genes on the brown planthopper and its predator *Cyrtorhinus lividipennis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2002,102(1): 21-28.
- [5] 舒庆尧, 叶恭银, 崔海瑞, 项友斌, 高明尉. 转基因水稻“克螟稻”选育. 浙江农业大学学报, 1998, 24: 579-580.  
Shu Q Y, Ye G Y, Cui H R, Xiang Y B, Gao M W. Development of transgenic *Bacillus thuringiensis* rice resistant to rice stem borers and leaf folders. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1998, 24: 579-580. (in Chinese)
- [6] Cohen M B, Gould F, Bentur J S. Bt rice: practical steps to sustainable use. *International Rice Research Notes*, 2000, 25(2): 5-10.
- [7] 卫剑文, 许新萍, 陈金婷. 应用 B.t 和 SBTi 基因提高水稻抗虫性的研究. 生物工程学报, 2000,16: 603-608.  
Wei J W, Xu X P, Chen J T. Research on improving rice resistance to the pest by B t and SBTi genes. *Chinese Journal of Biotechnology*, 2000, 16: 603-608. (in Chinese)
- [8] Ye G Y, Shu Q Y, Yao H W, Cui H R, Cheng X Y, Hu C, Xia Y W, Gao M W, Altosaar I. Field evaluation of resistance of transgenic rice containing a sythetic cry1Ab gene from *Bacillus thuringiensis* Berliner to two stem borers. *Journal of Economic Entomology*, 2001, 94(1): 271-276.
- [9] Khanna H K, Raina S K. Elite indica transgenic rice plants expressing modified Cry1Ac endotoxin of *Bacillus thuringiensis* show enhanced resistance to yellow stem borer (*Scirpophaga incertulas*). *Transgenic Research*, 2002, 11: 411-423.
- [10] Meng F X, Wu K M, Gao X W, Peng Y F, Guo Y Y. Geographic variation in susceptibility of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae) to *Bacillus thuringiensis* toxins in China. *Journal of Economic Entomology*, 2003, 96: 1838-1842.
- [11] 刘雨芳. 转基因抗虫水稻对稻田节肢动物群落的影响与生态安全评价. 博士后工作报告, 福建农林大学博士后工作站, 2004: 1-123.  
Liu Y F. Effects of transgenic rice plants on arthropod community in



- paddy fields and assessment of ecological safety. Research report of postdoctor, Fujian Agriculture and Forestry University, 2004: 1-123. (in Chinese)
- [12] 刘雨芳, 王 锋, 尤民生, 汪 琼, 胡斯琴, 刘文海, 赵士熙. 转基因水稻及其杂交后代对稻纵卷叶螟的田间抗性检测. 中国农业科学, 2005, 38: 725-729.  
Liu Y F, Wang F, You M S, Wang Q, Hu S Q, Liu W H, Zhao S X, Resistance of *cry1Ac+sck* transgenic rice and its filial generation to the rice leaf roller *Cnaphalocrocis medinalis*. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38: 725-729. (in Chinese)
- [13] 刘雨芳. 转 Bt 基因抗虫水稻的研究进展与生态安全评价. 生命科学, 2004, 8: 294-299.  
Liu Y F. Advances on transgenic Bt rice and ecological safety evaluation. *Life Science Research*, 2004, 8: 294-299. (in Chinese)
- [14] Schoenly K G, Cohen M B, Barrion A T, Zhang W J, Gaolach B, Viajante V D. Effects of *Bacillus thuringiensis* on non-target herbivore and natural enemy assemblages in tropical irrigated rice. *Environmental Biosafety Research*, 2003, 3: 181-206.
- [15] Shelton A M, Zhao J Z, Roush R T. Economic, ecological, food safety, and social consequences of the deployment of Bt transgenic plants. *Annual Review of Entomology*, 2002, 47: 845-881.
- [16] 杨庆文. 转基因水稻的生物安全性问题及其对策. 植物遗传资源学报, 2003, 4: 261-264.  
Yang Q W. Potential biological safety problems and countermeasures in developing transgenic rice in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2003, 4: 261-264. (in Chinese)
- [17] 陈 茂, 叶恭银, 胡 萃, Tu J, Datta SK. Bt 水稻对飞虱和叶蝉及其卵寄生蜂扩散规律的影响. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2003, 29(1): 29-33.  
Chen M, Ye G Y, Hu C, Tu J, Datta S K. Effect of transgenic Bt rice on dispersal of planthoppers and leafhoppers as well as their egg parasitic wasps. *Journal of Zhejiang University (Agric. & Life Sci.)*, 2003, 29(1): 29-33. (in Chinese)
- [18] 傅 强, 王 峰, 李东虎, 姚 青, 赖凤香, 张志涛. 转基因抗虫水稻 MSA 和 MSB 对非靶标害虫褐飞虱和白背飞虱的影响. 昆虫学报, 2003, 46: 697-704.  
Fu Q, Wang F, Li D H, Yao Q, Lai F X, Zhang Z T. Effects of insect-resistant transgenic lines MSA and MSB on non-target pests *Nilaparvata lugens* and *Sogatellafurcifera*. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, 46: 697-704. (in Chinese)
- [19] 刘雨芳, 张古忍, 古德祥. 利用改装的吸虫器研究稻田节肢动物群落. 植物保护, 1999, 25(6): 39-40.  
Liu Y F, Zhang G R, Gu D X. Investigating the arthropods community in paddy fields using an improvement suction sampling machine. *Plant Protection*, 1999, 25(6): 39-40. (in Chinese)
- [20] 李春喜, 王文林. 生物统计学. 北京: 科学出版社, 1998: 107-108.  
Li, C, Wang W L. *Biological Statistics*. Beijing: Science Press, 1998: 107-108. (in Chinese)
- [21] 唐 健, 杨保军, 蒋跃南, 叶恭银, 舒庆尧. 稻蓟马危害转 Bt 基因水稻克螟稻 2 号研究初报. 中国水稻科学, 2000, 14: 241-242.  
Tang J, Yang B J, Jiang Y N, Ye G Y, Shu Q Y. Preliminary study on trips *oryzae* virulence to Bt gene transformed rice Kemingdao 2. *Chinese Journal of rice Science*, 2000, 14: 241-242. (in Chinese)
- [22] 蔡万伦, 石尚柏, 杨长举, 彭于发. 不同种植方式下转 Bt 基因水稻对稻田节肢动物群落的影响. 昆虫学报, 2005, 48: 537-543.  
Cai W L, Shi S B, Yang C J, Peng Y F. Difference of arthropod communities in Bt rice paddies under different cropping patters. *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48: 537-543. (in Chinese)
- [23] 刘雨芳, 苏 军, 尤民生, 汪 琼, 胡斯琴, 刘文海, 赵士熙, 王 锋. 转基因抗虫水稻对水稻害虫群落的影响. 昆虫学报, 2005, 48: 544-553.  
Liu Y F, Su J, You M S, Wang Q, Hu S Q, Liu W H, Zhao S X, Wang F. Effect of transgenic pest-resistant rice on pest insect communities in paddy fields. *Acta Entomologica Sinica*, 2005, 48: 544-553. (in Chinese)

(责任编辑 王红艳)