# 转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”对非靶标害虫褐飞虱取食、产卵行为及生长发育的影响*

徐雪亮[1**] 肖叶青[2] 季香云[3] 刘子荣[1] 陈连生[4] 蒋杰贤[3]
陈大洲[2] 胡兰香[2] 姚英娟[1***]

（1. 江西省农业科学院农业应用微生物研究所，南昌 330200；2. 江西省农业科学院水稻研究所，南昌 330200；
3. 上海市农业科学院生态环境保护研究所，上海 201403；4. 江西东乡县农业技术推广中心，抚州 331800）

**摘 要** **【目的】** 研究转 *cry1Ab/Ac* 基因水稻“赣绿 1 号”对非靶标害虫褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 的潜在影响。**【方法】** 采用标准苗期集团筛选法研究“赣绿 1 号”对褐飞虱的抗性；利用取食和产卵选择性研究“赣绿 1 号”对褐飞虱取食、产卵行为的影响；用“赣绿 1 号”连续饲养褐飞虱 5 代，研究对褐飞虱生长发育（若虫发育历期、成虫体重）和繁殖（孵化子代若虫数量）的影响。**【结果】** “赣绿 1 号”与非转基因亲本对褐飞虱均表现为中抗；褐飞虱于“赣绿 1 号”上取食、产卵选择与非转基因亲本均无显著差异；除取食“赣绿 1 号”第 2 代褐飞虱第 3 龄龄期显著短于取食非转基因亲本水稻的褐飞虱外，第 2 代和第 5 代若虫各龄龄期均无显著差异，褐飞虱雌雄成虫体重和孵化若虫数均无显著差异。**【结论】** 与对照水稻相比，转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”对非靶标害虫褐飞虱的苗期抗性、取食、产卵行为及生长发育等无明显的不利影响。

**关键词** 转 Bt 基因水稻，褐飞虱，取食行为，产卵行为，生长发育

# Effect of the transgenic Bt rice variety “Ganlv 1” on the feeding, oviposition behavior and development of *Nilaparvata lugens* (Stål)

XU Xue-Liang[1**] XIAO Ye-Qing[2] JI Xiang-Yun[3] LIU Zi-Rong[1] CHEN Lian-Sheng[4]
JIANG Jie-Xian[3] CHEN Da-Zhou[2] HU Lan-Xiang[2] YAO Ying-Juan[1***]

(1. Applied Agricultural Micro-organism Research, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China; 2 Institute of Rice Research, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences , Nanchang 330200, China; 3. Eco-environment Protection Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; 4. Technology Promotion Center of Agriculture in Dongxiang , Fuzhou 331800, China )

**Abstract** **[Objectives]** To assess the potential impact of the transgenic *cry1Ab/Ac* rice variety “Ganlv 1” on the brown planthopper (BPH). **[Methods]** The resistance of “Ganlv 1” and non-transgenic control rice to BPH was compared using the Standard Seedbox Screening Technique (SST). The feeding and oviposition behavior of BPH on “Ganlv 1” and control rice were measured by conducting a feeding and oviposition selectivity experiment. The effects of “Ganlv 1” on development (nymph duration and adult weight) and reproduction (number of offspring) of BPH were evaluated by feeding five successive BPH generations on this variety. **[Results]** Both “Ganlv 1” and non-transgenic rice showed moderate resistance to BPH at the seedling stage. There were no significant differences in the feeding or oviposition preferences of BPH for “Ganlv 1” vs the non-transgenic strain. No significant differences in nymph duration, adult weight and number of 2nd and 5th generation offspring were found between BPH fed on “Ganlv 1” and the non-transgenic strain, except that the duration of the 3rd instar of the 2nd generation fed on “Ganlv 1” was shorter than that fed on non-transgenic rice. **[Conclusion]** There was no obvious

* 资助项目 Supported projects：国家重大科技专项 (2014ZX08001001-001-005)；上海市科技兴农重点攻关项目（沪农科攻字（ 2012）第 2-10 号）

**第一作者 First author，E-mail：xuxueliang@126.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：yaoyingjuan@webmail.hzau.edu.cn

收稿日期 Received：2015-02-03，接受日期 Accepted：2015-04-10

adverse effect on the resistance of seedlings to BPH between the transgenic Bt rice “Ganlv 1” and a non-transgenic strain, nor were there significant differences in the feeding and oviposition preferences, or development, of BPH fed on “Ganlv 1” compared to those fed on the non-transgenic strain.

**Key words** transgenic Bt rice, *Nilaparvata lugens*, feeding behavior, oviposition behavior, development

水稻是我国最主要的粮食作物之一，但稻田害虫种类多，数量大，成为制约我国水稻生产的重要生物因子，仅水稻螟虫每年造成的经济损失就高达 115 亿元左右（盛承发等，2003；陈浩等，2009）。当前对水稻害虫的防治主要依赖于化学杀虫剂，不仅导致害虫产生了越来越强的抗药性，增加了生产成本，还污染了生态环境，破坏了生态平衡，因此探寻化学防治之外的害虫防治途径已成为我国可持续发展农业的紧迫任务（Matteson，2000；凌炎等，2011）。

利用转基因工程培育转基因抗虫水稻为控制水稻害虫提供了一条最为有效、经济的途径。目前，世界上已开发和利用的抗虫基因有许多种，其中应用最为广泛的是 Bt 基因。我国已成功培育出许多不同的转 Bt 基因水稻材料，均对靶标害虫表现出高抗作用（Tu *et al.*，2000；Shu *et al.*，2000；Ye *et al.*，2001；徐艳博等，2012；郭文娟等，2013）。2009 年，我国农业部为两个转基因抗虫水稻华恢 1 号和 *Bt* 汕优 63 颁发了安全证书，这对我国乃至全世界转基因抗虫水稻的发展具有里程碑的意义（Chen *et al.*，2011）。虽然转 Bt 基因水稻能够控制鳞翅目害虫的发生，但其对非靶标节肢动物是否有潜在影响，尤其在转 Bt 棉花大面积种植后引起了非靶标害虫棉盲蝽的爆发后，更加引起公众对转基因作物对非靶标害虫生物安全性的关注。本研究供试水稻“赣绿 1 号”含有 *cry1Ab/Ac* 基因，是由华恢 1 号为抗虫基因供体亲本，以 9311 为受体亲本通过连续回交结合抗虫性选择培育，其靶标害虫为鳞翅目害虫，如稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée)、二化螟 *Chilo suppressalis* (Walker)、三化螟 *Tryporyza incertulas* (Walker)等，除鳞翅目之外的节肢动物如同翅目、半翅目、鞘翅目等均为非靶标害虫。目前，我们通过田间试验已经明确了“赣绿 1 号”对二化螟和稻纵卷叶螟等靶标害虫均具有高效的控制作用，可以有效防治这些害虫的为害。然而，“赣绿 1 号”在控制住靶标害虫为害的同时，对稻田非靶标害虫尤其是田间发生量最大的同翅目害虫褐飞虱是否具有潜在的影响，对其防治策略是否需要进行调整，是“赣绿 1 号”安全性评价的一个重要内容。

按照转基因作物评价中的个案分析原则（Case by case），本研究以转 *cry1Ab/Ac* 基因水稻“赣绿 1 号”为研究对象，评价其对褐飞虱若虫的苗期抗性，对褐飞虱取食与产卵行为的影响；并在该转基因水稻上连续饲养褐飞虱多代，观察褐飞虱第 2 代和第 5 代后代的生长发育和繁殖特性，以评估其对非靶标害虫褐飞虱是否存在潜在影响，以期为转 Bt 基因水稻的生物安全性提供理论依据。

# 1 材料与方法

## 1.1 供试水稻材料与昆虫

**试验水稻材料** “赣绿 1 号”是由本研究组利用含有融合基因 *cry1Ab/1Ac*“华恢 1 号”为供体亲本，9311 为受体亲本，通过多代回交而获得；9311 作为亲本对照，TN1 为感虫对照，RH 为抗虫对照，均由本研究组繁殖保存。

褐飞虱采自南昌水稻田间。在室内于感虫水稻品种 TN1 继代饲养多代，以供试验使用。

## 1.2 试验方法

抗性鉴定实验在网室条件下进行，生长发育实验在人工气候室内【(温度（28+1）℃，相对湿度 80%+1%，光周期 16L∶8D）进行。

**1.2.1 转 Bt 基因抗虫水稻对褐飞虱若虫苗期抗性鉴定** 将供试水稻浸种催芽后播种在塑料盆内，每品种设 3 个重复，每重复 20 株，播种 4 d 定苗，每重复保留 15 株，在秧苗 2~3 叶期时按每株接褐飞虱 2~3 龄若虫 5~7 头的量接虫。以 TN1

为感虫对照，RH 为抗虫对照。当 TN1 死苗率达到 95%左右时调查结果，分级标准如下：0 级，未受害；1 级，第 1 片叶部分发黄；3 级，植株有 2 片叶颜色变黄；5 级，植株显著发黄，并明显矮小；7 级，植株仅有 1 片叶未枯死，并严重矮小；9 级，植株枯死。水稻材料抗性级别与被害级别之间的关系如下：0 级为免疫（I）；0＜高抗（HR）≤2.0；2.0＜抗虫（R）≤4.0；4.0＜中抗（MR）≤6.0；6.0＜感虫（S）≤8.0；8.0＜高感（HS）。

**1.2.2　转 Bt 基因水稻对褐飞虱若虫取食选择性影响**　分别取处于分蘖盛期的转基因水稻“赣绿 1 号”及非转基因亲本水稻“9311”稻株分蘖各 2 个，呈正方形栽于同一圆形塑料盆中，而后罩于聚乙烯薄膜塑料笼罩内，每笼接 10 头饥饿 2 h 的 3~4 龄褐飞虱若虫，将若虫接在塑料盆中央水面上，让其自主选择稻株附着取食。设 10 次重复。试验于人工气候室内进行。分别于接虫 2、4、8、24、48、72 h 后记录各供试材料上的着虫数。

**1.2.3　转 Bt 基因水稻对褐飞虱成虫产卵选择性影响**　分别取处于分蘖盛期的“赣绿 1 号”及“9311”稻株分蘖各 2 个，呈四角形等距栽于塑料盆中，每盆接入 4 头怀卵褐飞虱雌虫，将怀卵雌虫接在塑料盆中央水面上，让其自主选择稻株附着产卵。设 10 个重复。试验于人工气候室内进行。于接虫 48 h 后，将成虫排除，在显微镜下观察稻苗上的产卵块数和卵粒总数。

**1.2.4　转 Bt 基因抗虫水稻对褐飞虱生长发育影响**　分别以处于分蘖盛期的“赣绿 1 号”及“9311”饲喂褐飞虱。将试验稻苗放入加有适量水稻营养液的玻璃管中，使稻苗根部全部浸泡在营养液中，每管接入 12 h 内孵化的 1 龄若虫 4 头，用黑布封口，然后放入人工智能气候室中。每天观察若虫的蜕皮情况，成虫羽化后，雌雄成虫单独称重，并配对，观察每对成虫的子代情况。连续饲喂数代，记录第 2 代和第 5 代褐飞虱各龄若虫历期、雌雄成虫重量以及每对成虫配对后孵化子代若虫数。

### 1.3　数据处理与分析

本研究所有试验数据均在 Excel2003 与 SAS 软件中进行计算和统计分析，采用 LSD 法进行方差分析。

## 2　结果与分析

### 2.1　转 Bt 基因抗虫水稻对褐飞虱若虫苗期抗性鉴定

转 Bt 基因水稻‘赣绿 1 号’及亲本对照 9311 对褐飞虱的抗性鉴定见表 1。“赣绿 1 号”对褐飞虱若虫的苗期抗性为 4.36， 9311 为 5.46，抗性等级均为中抗水平。转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”与非转基因亲本水稻对褐飞虱若虫的苗期抗性表现一致。

**表 1　转 Bt 基因水稻对褐飞虱若虫苗期抗性**
**Table 1　Resistance of transgenic Bt rice to brown planthopper nymphs at seedling stage**

| 水稻材料 Rice varieties | 抗性级别 Resistance scale | 抗性等级 Resistance level |
|---|---|---|
| 赣绿 1 号 Ganlv 1 | 4.36±0.13 | 中抗 Moderately resistant |
| 9311 | 5.46±0.62 | 中抗 Moderately resistant |
| RH | 0.91±0.04 | 高抗 Highly resistant |
| TN1 | 8.93±0.03 | 高感 Highly susceptible |

### 2.2　褐飞虱若虫对转 Bt 基因水稻取食选择性

在接虫后的不同时间段，调查了褐飞虱对转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”及亲本对照 9311 的取食选择性（图 1），由图 1 可知，在接虫 2 h（$F_{1,18}$= 2.17，$P$=0.1584）、4 h（$F_{1,18}$= 2.22，$P$=0.1539）、8 h（$F_{1,18}$= 3.94，$P$=0.0626）、24 h（$F_{1,18}$= 0.62，$P$=0.4430）、48 h（$F_{1,18}$= 1.04，$P$=0.3219）和 72 h（$F_{1,18}$= 1.05，$P$=0.3196）后，取食“赣绿 1 号”和 9311 的褐飞虱若虫数均无显著差异。

### 2.3　褐飞虱成虫对转 Bt 基因水稻产卵选择性

褐飞虱雌成虫对于转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”及亲本对照 9311 的产卵选择性见表 2。由表 2 可知，褐飞虱在转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”

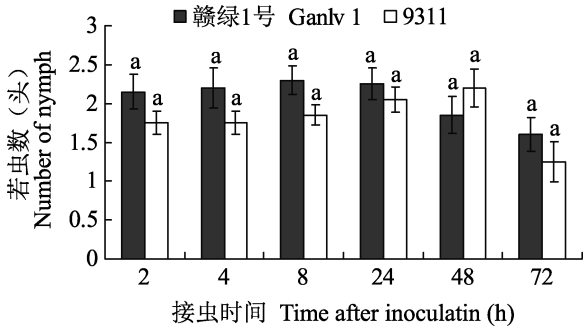


**图 1 褐飞虱若虫对转 Bt 基因水稻取食选择性**

**Fig. 1 The feeding selection of the brown planthopper nymph on transgenic Bt rice**

柱上标有相同小写字母表示不同水稻材料间无显著差异（$P > 0.05$）。下图同。

Histograms with the same lowercase letters indicate no significant different between rice varieties ($P > 0.05$). The same below.

上产卵卵块数，卵粒总数和卵粒数/卵块与非转基因亲本水稻 9311 相比，均无显著差异(卵块数：$F_{1,18}$= 0.03，$P$=0.8606; 卵粒总数:$F_{1,18}$= 0.19，$P$=0.6666; 卵粒数/卵块: $F_{1,18}$= 0.36，$P$=0.5544)。

### 2.4 转 Bt 基因水稻对褐飞虱生长发育影响

分别以转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”及亲本对照 9311 继代饲养褐飞虱 5 代，并且选择第 2 代及第 5 代观察了其对褐飞虱若虫各龄历期、雌雄成虫体重以及子代数的影响。

由表 3 可知，除转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”上第 2 代褐飞虱 3 龄龄期显著短于非转基因亲本水稻外，转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”对褐飞虱各龄若虫历期均无显著影响($F_2$ 代：1 龄 $F_{1,10}$= 2.14，$P$=0.1739、2 龄 $F_{1,10}$= 0.52，$P$=0.4882、4 龄 $F_{1,10}$= 2.50，$P$=0.1449、5 龄 $F_{1,10}$= 1.62，$P$=0.2314；$F_5$ 代：1 龄 $F_{1,10}$= 0.62，$P$=0.4458、2 龄 $F_{1,10}$= 0.62，$P$=0.4506、3 龄 $F_{1,10}$= 2.23，$P$=0.1660、4 龄 $F_{1,10}$= 0.37，$P$=0.5556、5 龄 $F_{1,10}$= 2.00，$P$=0.1877)。

由图 2 可知，取食转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”和非转基因亲本水稻 9311 第 2 代雌成虫体重分别为 0.0025 g 和 0.0022 g，雄成虫体重分别为 0.0009 g 和 0.0011 g；第 5 代雌成虫体重分别为 0.0028 g 和 0.0022 g，雄成虫体重分别为 0.0011 g 和 0.0010 g。取食两种水稻材料的褐飞虱，同一世代雌、雄成虫体重均无显著差异（$F_2$ 代雌：$F_{1,6}$=3.62，$P$=0.1058、$F_2$ 代雄：$F_{1,6}$=0.46，$P$=0.5224；$F_5$ 代雌：$F_{1,6}$=2.86，$P$=0.1418、$F_5$ 代雄：$F_{1,6}$=0.41，$P$=0.5446）。

**表 2 褐飞虱若虫对转 Bt 基因水稻产卵选择性**

**Table 2 The oviposition preference of brown planthopper on transgenic Bt rice**

| 水稻材料 Rice varieties | 卵块数（块） Number of egg mass | 卵粒总数（粒） Total number of egss | 卵粒数/卵块 Egg number/egg mass |
|---|---|---|---|
| 赣绿 1 号 Ganlv 1 | 7.35±2.37 a | 42.40±14.74 a | 5.34±0.61 a |
| 9311 | 7.85±1.50 a | 50.25±10.20 a | 5.98±0.87 a |

表中数据为平均数±标准误。同列数据后标有相同小写字母表示差异未达 5%显著水平。下表同。

The data are means±SE, and followed by the same lowercase letters in the same column indicate no significant difference at 0.05 level. The same below.

**表 3 褐飞虱若虫在转 Bt 基因水稻上的发育历期**

**Table 3 Developmental duration of the brown planthopper nymph on transgenic Bt rice**

| 世代 Generation | 水稻材料 Rice varieties | 1 龄（d） 1st instar (d) | 2 龄（d） 2nd instar (d) | 3 龄（d） 3rd instar (d) | 4 龄（d） 4th instar (d) | 5 龄（d） 5th instar (d) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 第 2 代 $F_2$ | 赣绿 1 号 Ganlv 1 | 2.00±0.07a | 2.51±0.08a | 2.32±0.09b | 2.56±0.07a | 1.71±0.14a |
| | 9311 | 2.13±0.06a | 2.42±0.11a | 2.79±0.19a | 2.33±0.12a | 1.92±0.05a |
| 第 5 代 $F_5$ | 赣绿 1 号 Ganlv 1 | 2.17±0.12a | 2.33±0.14a | 2.33±0.26a | 2.17±0.18a | 2.08±0.08a |
| | 9311 | 2.08±0.11a | 2.46±0.08a | 2.75±0.11a | 2.29±0.10a | 1.92±0.08a |

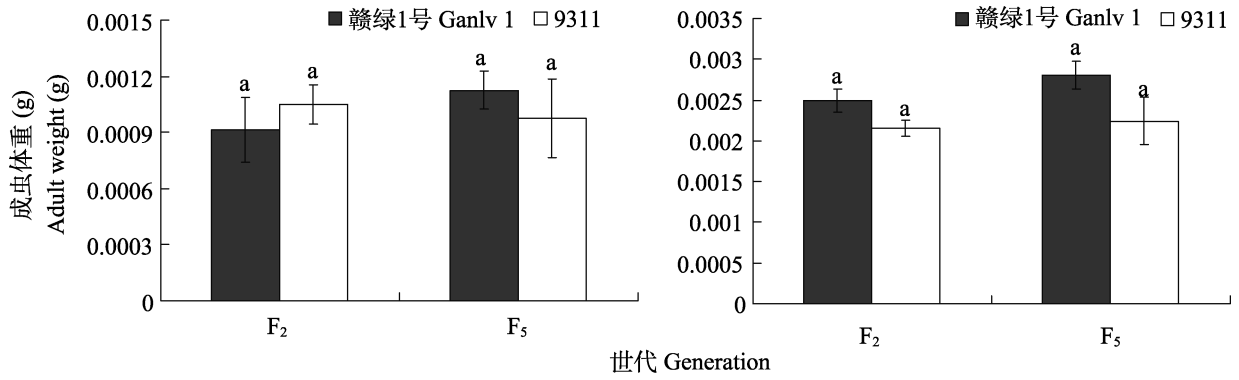


**图 2　转 Bt 基因水稻对褐飞虱雄成虫体重（左）和雌成虫（右）的影响**
**Fig. 2　Male adult (left) and female adult (right) weight of the brown planthopper on transgenic Bt rice**

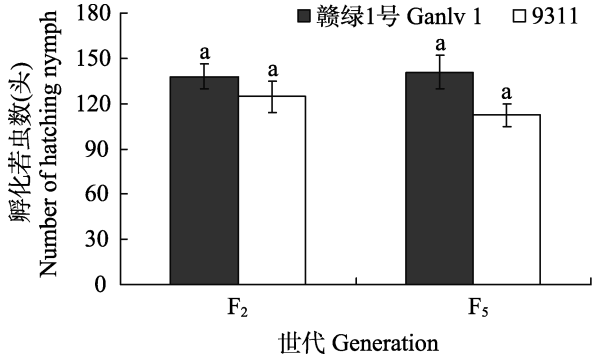


**图 3　褐飞虱在转 Bt 基因水稻上的孵化子代若虫数**
**Fig. 3　The number of hatching nymphs of brown planthopper on transgenic Bt rice**

对取食转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”和亲本 9311 的褐飞虱分别进行配对，对子代若虫数的影响见图 3。由图 3 可知，转基因水稻“赣绿 1 号”上第 2 代和第 5 代褐飞虱配对孵化子代若虫数与非转基因亲本水稻相比均无显著差异（$F_2$ 代：$F_{1,6}$=1.01，$P$=0.3529；$F_2$ 代：$F_{1,6}$=4.62，$P$=0.0753）。

## 3　讨论

关于转 Bt 基因水稻对非靶标害虫的影响已有一些报道，结果不尽相同，且研究大多仅限于 1 代（Bernal *et al.*，2002；刘志诚等，2002；陈茂等，2003）。本研究结果表明，转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”与非转基因亲本水稻均对褐飞虱若虫表现为中抗水平。“赣绿 1 号”对褐飞虱在不同时间取食选择、产卵选择等与非转基因亲本水稻相比，均无显著差异，表明褐飞虱对供试转 Bt 基因水稻与对照水稻材料取食和产卵选择均无显著偏向性，可见褐飞虱在选择水稻进行取食和产卵的机率是均等的。这与陈茂等（2004）研究发现转基因抗虫水稻对褐飞虱产卵无显著影响结果相一致，但与转基因抗虫水稻不利于褐飞虱取食的结果相反。

连续多代饲养褐飞虱试验结果表明，转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”与非转基因亲本水稻相比，对褐飞虱第 2 代和第 5 代若虫生长发育历期、雌雄成虫体重和卵孵化子代若虫数均无显著影响。这与陈洋等（2011）研究结果相一致，取食转 *cry1Ab/vip3H* 基因水稻 G6H1 与非转基因亲本 Xiushui110 相比，褐飞虱若虫发育时间和产卵量都没有显著差异。傅强等（2003）报道了转 *SCK+cry1Ac* 双基因抗虫水稻对褐飞虱若虫发育历期、初羽化成虫体重、羽化率、短翅率、成虫产卵量、卵受精率、单雌子代数及发育进度等生物学指标与亲本水稻相比均无显著差异。然而，也有研究表明转基因抗虫水稻对稻飞虱有显著的不利影响。谭红等（2006）报道转 *cry1Ab* 基因水稻饲养白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horvath) 导致其发育历期延长 1~2 d。

不同的研究结论可能与供试转基因水稻材料不同有关，因此在评价转基因抗虫水稻材料对非靶标害虫影响时应遵循个案原则，逐一评估分析。本文通过研究“赣绿 1 号”对褐飞虱的抗性，对褐飞虱取食、产卵行为的影响以及连续多代饲

养褐飞虱，对褐飞虱若虫发育历期、成虫体重和子代数量的影响。结果表明，转 Bt 基因水稻“赣绿 1 号”对非靶标害虫褐飞虱无显著的不利影响。

## 参考文献 (References)


Bernal CC, Aguda RM, Cohen MB, 2002. Effect of rice lines transformed with Bacillus thuringiensis toxin genes on the brown planthopper and its predator *Cyrtorhinus lividipennis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 102(1): 21–28.

Chen H, Lin YJ, Zhang QF, 2009. Review and prospect of transgenic rice research. *Chinese Science Bulletin*, 54(18): 2699–2717. [陈浩, 林拥军, 张启发, 2009. 转基因水稻研究的回顾与展望. 科学通报, 54(18): 2699–2717.]

Chen M, Shelton A, Ye GY, 2011. Insect-resistant genetically modified rice in China: from research to commercialization. *Annual Review of Entomology*, 56: 81–101.

Chen M, Ye GY, Hu C, Tu J, Datta SK, 2003. Effect of transgenic Bt rice on dispersal of planthoppers and leafhoppers are well as their egg parasitic wasps. *Journal of Zhejiang University* (*Agriculture & Life Science*), 29(1): 29–33. [陈茂, 叶恭银, 胡萃, Tu J, Datta SK, 2003. 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), 29(1): 29–33.]

Chen M, Ye GY, Yao HW, Hu C, Shu QY, 2004. Evaluation of the impact of insect-resistant transgenic rice on the feeding and oviposition behavior of its non-target insect, the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homptera: Delphacidae). *Scientia Agricultura Sinica*, 37(2): 222–226. [陈茂, 叶恭银, 姚洪渭, 胡萃, 舒庆尧, 2004. 抗虫转基因水稻对非靶标害虫褐飞虱取食与产卵行为影响的评价. 中国农业科学, 37(2): 222–226.]

Chen Y, Tian JC, Peng YF, Guo YY, Ye GY, 2011. Multi-generation effects of transgenic *cry1Ab/vip3H* rice G6H1 on development and reproduction of the non-target pest, *Nilaparvata lugens* (Stål). *Chinese Journal of Biological Control*, 27(4): 490–497. [陈洋, 田俊策, 彭于发, 郭予元, 叶恭银, 2011. 转 *cry1Ab/vip3H* 基因水稻对非靶标害虫褐飞虱连续多代生长发育与繁殖的影响. 中国生物防治学报, 27(4): 490–497.]

Fu Q, Wang F, Li DH, Yao Q, Lai FX, Zhang ZT, 2003. Effects of insect-resistant transgenic rice lines MSA and MSB on non-target pests *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*. *Acta Entomologica Sinica*, 46(6): 697–704. [傅强, 王锋, 李冬虎, 姚青, 赖凤香, 张志涛, 2003. 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, 46(6): 697–704.]

Guo WJ, Lu CY, Xiong YQ, Ma HJ, Li SQ, 2013. Food consumption, growth and survival of *Sesamia inferens* larvae on *cry1Ab/1Ac*-transformed gene Bt rice. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(1): 139–144. [郭文娟, 陆驰宇, 熊应强, 马鹤娟, 李绍勤, 2013. 转 cry1Ab/cry1Ac 基因水稻对大螟幼虫的取食、生长及存活的影响. 应用昆虫学报, 50(1): 139–144.]

Ling Y, Huang FK, Long LP, Zhong Y, Yin WB, Huang SS, Wu BQ, 2011. Studies on the pesticide resistant of *Nilaparvata lugens* (Stål) in China and Vietnam. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(5): 1374–1380. [凌炎, 黄凤宽, 龙丽萍, 钟勇, 尹文兵, 黄所生, 吴碧球, 2011. 中国和越南褐飞虱抗药性研究. 应用昆虫学报, 48(5): 1374–1380.]

Liu ZC, Ye GY, Hu C, 2002. Effects of Bt transgenic rice on population dynamics of main non-target insect pests and dominant spider in rice paddies. *Acta Phytophylacica Sinica*, 29(2): 138–144. [刘志诚, 叶恭银, 胡萃, Swapan KD, 2002. Bt 水稻对主要非靶标害虫和蜘蛛优势种田间种群动态的影响. 植物保护学报, 29(2): 138–144.]

Matteson PC, 2000. Insect pest management in tropical Asian irrigated rice. *Annual Review of Entomology*, 45: 549–574.

Sheng CF, Wang HT, Gao LD, Xuan WJ, 2003. Current outbreak, yield loss estimation and controlling countermeasures of paddy rice borer in China. *Plant Protection*, 29(1): 37–39. [盛承发, 王红托, 高留德, 宣维健, 2003. 我国水稻螟虫大发生现状、损失估计及防治对策. 植物保护, 29(1): 37–39.]

Shu QY, Ye GY, Cui HR, Cheng XY, Xiang YB, Wu DX, Gao MW, Xia YW, Hu C, Sardana R, Altosaar I, 2000. Transgenic rice plants with a synthetic cry1Ab gene from *Bacillus thuringiensis* were highly resistant to eight lepidopteran rice pest species. *Molecular Breeding*, 6(4): 433–439.

Tan H, Ye GY, Shen JH, Peng YF, Hu C, 2006. Effects of transgenic indica rice expressing a gene of cry1Ab with insect resistance on the development and reproduction of non-target pest *Sogatella furcifera* (Homptera: Delphacidae). *Acta Phytophylacica Sinica*, 33(3): 251–256. [谭红, 叶恭银, 沈君辉, 彭于发, 胡萃, 2006. 转 cry1Ab 基因抗虫籼稻对非靶标害虫白背飞虱发育与繁殖的影响. 植物保护学报, 33(3): 251–256.]

Tu JM, Zhang GA, Datta K, Xu CG, He YQ, Zhang QF, Khush GS, Datta SK, 2000. Field performance of transgenic elite commercial hybrid rice expressing *Bacillus thuringiensis* δ-endotoxin. *Nature Biotechnology*, 18(10): 1101–1104.

Xu YB, Wang ML, Han LZ, Chen FJ, 2012. The suitability of *Chilo suppressalis* reared on artificial diet, seedings of transgenic Bt rice and nontransgenic rice. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(6): 1535–1540. [徐艳博, 王孟伦, 韩兰芝, 陈法军, 2012. 人工饲料、转 Bt 水稻及其亲本稻苗饲养下二化螟种群适合度的比较研究. 应用昆虫学报, 49(6): 1535–1540.]

Ye GY, Tu J, Hu C, Datta K, Datta S, 2001. Transgenic IR72 with fused Bt gene cry1Ab /cry1Ac from Bacillus thuringiensis is resistant against four lepidopteran species under field conditions. *Plant Biotechnology*, 18(2): 125–133.