植物保护学报 Journal of Plant Protection，2019，46(5)：1036-1044 DOI：10.13802/j.cnki.zwbhxb.2019.2018153

杀虫剂对转Bt水稻靶标害虫二化螟和非靶标害虫稻飞虱种群数量的影响

刘艳敏 王晓辉 邹 言 李立坤 陈法军*

（南京农业大学植物保护学院昆虫学系，南京 210095）

摘要：为明确杀虫剂对转Bt水稻品种华恢1号（Huahui 1，HH1）靶标害虫二化螟*Chilo suppressalis*及其非靶标害虫白背飞虱*Sogatella furcifera*和褐飞虱*Nilaparvata lugens*种群数量的影响，于2014—2015年在江西省南昌市南昌县莲塘镇的广福试验基地进行田间试验，种植转Bt水稻和对照亲本水稻，分别对其进行施用杀虫剂和未施用杀虫剂处理，然后对经2种处理后转Bt水稻和对照亲本水稻田中靶标害虫二化螟幼虫数量及非靶标害虫白背飞虱、褐飞虱的若虫数量、成虫数量、总虫量（若虫数量和成虫数量之和）进行调查，并对这3种害虫田间种群数量的年份、水稻品种、杀虫剂影响因子进行方差分析。结果显示，转Bt水稻种植对二化螟幼虫数量影响显著，而施用杀虫剂处理未显著影响二化螟幼虫数量。转Bt水稻种植对白背飞虱和褐飞虱的若虫数量、成虫数量和总虫量无显著影响；而施用杀虫剂处理显著降低转Bt水稻及其对照亲本水稻稻田内白背飞虱和褐飞虱的若虫数量及总虫量，并显著降低白背飞虱成虫数量。2014年和2015年，施用杀虫剂和未施用杀虫剂转Bt水稻田内二化螟幼虫数量极低或未调查到；未施用杀虫剂转Bt水稻上二化螟幼虫数量仅在2014年显著低于未施用杀虫剂对照亲本水稻。2014年，未施用杀虫剂转Bt水稻和对照亲本水稻上白背飞虱总虫量最大值分别为1 037、1 376头/百丛，施用杀虫剂后分别降低至233、253头/百丛；未施用杀虫剂转Bt水稻上和对照亲本水稻上褐飞虱总虫量最大值分别为4 120、2 413头/百丛，施用杀虫剂后降低至367、410头/百丛；2015年白背飞虱和褐飞虱的发生规律与2014年相同。表明转Bt水稻可显著降低二化螟幼虫数量，但褐飞虱及白背飞虱数量没有降低，而施用杀虫剂可有效降低褐飞虱及白背飞虱数量。

关键词：转Bt水稻；杀虫剂；二化螟；稻飞虱；种群数量

Effects of insecticide application on the population quantity of target rice stem borer, *Chilo suppressalis* and nontarget planthoppers, *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* of Bt rice

Liu Yanmin Wang Xiaohui Zou Yan Li Likun Chen Fajun*

（Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu Province, China）

Abstract: To evaluate the effect of insecticide application on the population quantity of the target stem borer *Chilo suppressalis*, non-target planthoppers *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* in the field of transgenic Bt rice, the field experiments were carried out in the field of transgenic Bt rice Huahui 1 (HH1) and its parental line of non-Bt rice Minghui 63 (MH63) with and without application of insecticides in Guangfu test site in Liantang Town, Nanchang County, Nanchang City, Jiangxi Province from

基金项目：国家转基因生物新品种培育重大专项（2016ZX08012-005，2012ZX08011-002）

* 通信作者（Author for correspondence），E-mail：fajunchen@njau.edu.cn

收稿日期：2018-08-21

2014 to 2015. Then the larvae population quantity of target *C. suppressalis*, and the nymph, adult and total population (sum of nymph and adult) of non-target *S. furcifera* and *N. lugens* on the Bt and non-Bt rice with and without application of insecticides were investigated. Variance analysis was conducted to analyze the three factors including sampling year, transgenic treatment and insecticide application which influence the field population quantity of the investigated insects. The results showed that transgenic treatment significantly affected the population quantity of *C. suppressalis* larvae, while application of insecticides did not significantly affected the population quantity of *C. suppressalis* larvae. Transgenic treatment did not significantly affected the nymph, adult and total population quantity of *S. furcifera* and of *N. lugens*, but application of insecticides extremely significantly affected the nymph, adult and total population quantity of *S. furcifera* and nymph and total population quantity of *N. lugens*. In 2014 and 2015, the *C. suppressalis* larval population quantity in the field of Bt rice with and without application of insecticides was extremely low or none. In the paddy field without application of insecticides, the population quantity of *C. suppressalis* larvae fed on Bt rice in contrast to non-Bt rice was just significantly reduced in 2014. In 2014, the peak population quantities of total individuals of *S. furcifera* in the Bt and non-Bt paddy field without application of insecticides were 1 037 and 1 376 head/100 plants, respectively, and reduced to 233 and 253 heads/100 plants after application of insecticides. In 2014, the peak population quantities of total individuals of *N. lugens* in the Bt and non-Bt paddy field without application of insecticides were 4 120 and 2 413 head/100 plants, and reduced to 367 and 410 heads/100 plants after application of insecticides. In 2015, the occurrence of *S. furcifera* and *N. lugens* was similar to that in 2014. Finally, it was concluded that the planting of transgenic Bt rice can effectively control the population quantity of target stemborer *C. suppressalis*, but couldn't significantly decreased the population quantity of *N. lugens* and *S. furcifera*; the application of insecticide could effectively decrease the population quantity of *N. lugens* and *S. furcifera*.

Key words: transgenic Bt rice; insecticides; *Chilo suppressalis*; rice planthopper; population quantity

水稻是我国主要的粮食作物之一，在生产上具有重要地位（盛承发等，2003）。水稻受二化螟 *Chilo suppressalis*、大螟 *Sesamia inferens* 和稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 等鳞翅目害虫的为害严重（Zhu et al.，2002；张娟等，2011；杨亚军等，2015）。通过转基因方法将苏云金芽胞杆菌 *Bacillus thuringiensis*（Bt）基因导入水稻中，可以很好地防治鳞翅目害虫（Fujimoto et al.，1993）。自20世纪90年代起，我国就开始研发转基因抗虫水稻（杨虹等，1989），到目前为止，已获得了多个对靶标害虫抗性良好的水稻品系，如转 *cry1Ab/Ac* 融合基因的华恢1号（Huahui 1，HH1）和Bt汕优63、转 *cry2A* 基因的水稻T2A系列等（Tu et al.，2000；Li et al.，2016；杨宙等，2017）。其中，HH1和Bt汕优63在2009年获得了农业部颁发的安全证书，并于2014年再次获得安全证书。

室内试验和田间试验表明，HH1对靶标害虫二化螟防治效果较好（Liu et al.，2016；Wang et al.，2016），极有可能进入商业化应用，而在商业化种植之前，评价其环境安全性，特别是对水稻田间重要的非靶标植食者、天敌及重要的经济昆虫的影响十分重要（Romeis et al.，2008；Devos et al.，2015）。飞虱是Bt水稻田中重要的非靶标植食者，可通过吸食、产卵和传病为害水稻生长发育。傅强等（2003）和高明清等（2011）研究表明，转Bt水稻对褐飞虱的若虫发育、存活率、取食选择性、产卵选择性和卵孵化率等均无显著影响；陈洋等（2011）和刘凯等（2014）研究结果显示，褐飞虱和白背飞虱在转 *cry1C*、*cry2A* 和 *cry1Ab/vip3H* 的Bt水稻上继代效应的评价结果与非转基因水稻的差异不显著。此外，褐飞虱的消化、解毒功能和免疫反应等生理生化指标不受转Bt水稻的影响（Mannakkara et al.，2013）。田间试验表明，Bt水稻上稻飞虱优势种组成、种群时空动态与对照亲本上的无显著差异（韩兰芝等，2006；Chen et al.，2011）。以上研究结果均表明Bt水稻商业化种植不会引起飞虱的大暴发。

目前，田间主要采用毒死蜱、三唑磷和噻虫嗪等化学药剂防治稻飞虱，采用水胺硫磷乳油来防治二化螟。噻虫嗪是一种具有独特结构和优良杀虫活性

的新型烟碱类杀虫剂，随着稻飞虱对吡虫啉抗药性的日益增加，近年来噻虫嗪已被广泛用于稻飞虱的防治（杨航等，2017）。莫昌乐等（2017）研究表明，25%噻虫嗪对稻飞虱有较好的速效性和持效性，药后3 d防治效果在80%以上，药后14 d防治效果在90%以上；在K优177和Y两优1928水稻田种撒施25%噻虫嗪47 d后，对稻飞虱的防治效果依然高达66.88%。水胺硫磷乳油是一种速效广谱硫逐式一硫代磷酰胺类杀虫、杀螨剂，在水稻田中常用来防治二化螟、三化螟 *Tryporyza incertulas* 和稻纵卷叶螟等害虫。苏玲等（1998）研究表明，水胺硫磷乳油可有效地防治二化螟。

目前评价转Bt水稻对非靶标害虫稻飞虱的影响较多（王文晶等，2014；邱良妙，2017），而种植转Bt水稻同时施用化学农药对靶标害虫和非靶标害虫种群数量影响的研究很少。为明确杀虫剂对转Bt水稻田内靶标害虫二化螟和非靶标害虫白背飞虱、褐飞虱种群数量的影响，本研究拟于2014—2015年在江西省南昌市南昌县莲塘镇的广福试验基地进行田间试验，种植转Bt水稻和对照亲本水稻，分别对其进行施用杀虫剂和未施用杀虫剂处理，然后对经2种处理转Bt水稻和对照亲本水稻上靶标害虫二化螟幼虫数量及非靶标害虫白背飞虱、褐飞虱的若虫数量、成虫数量、总虫量（若虫数量和成虫数量之和）进行调查，并对二化螟、白背飞虱和褐飞虱田间种群影响因子进行方差分析，以期为实际生产中施用杀虫剂后转基因抗虫水稻的生态安全评价提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物：转Bt水稻品种为转 *cry1Ab/1Ac* 基因抗虫水稻品种HH1，对照亲本水稻品种为明恢63（Minghui 63，MH63），水稻种子均由华中农业大学作物遗传改良国家重点实验室林拥军教授提供。

药剂、肥料和仪器：35%水胺硫磷（Isocarbophos）乳油，湖北仙隆化工股份有限公司；25%噻虫嗪（thiamethoxam）水分散粒剂，先正达（苏州）作物保护有限公司。尿素，山东华鲁恒升化工股份有限公司；N-P_2O_5-K_2O复合肥，史丹利农业集团股份有限公司。MD-15DA电动喷雾器，市下控股有限公司。

1.2 方法

1.2.1 试验设置

2014—2015年在江西省农业科学院位于江西省南昌市南昌县莲塘镇的广福试验基地（28.32°N，115.55°E）进行田间试验。每年5月20日育秧，6月21日移栽，水稻秧苗移栽定殖时株、行距均为16 cm，水稻移栽前分别施用180 kg/hm^{2}尿素和180 kg/hm^{2}复合肥（N∶P∶K=16∶16∶16）。为明确杀虫剂对转Bt水稻田内靶标害虫二化螟和非靶标害虫白背飞虱和褐飞虱种群数量的影响，本试验共设施用杀虫剂转Bt水稻田、未施用杀虫剂转Bt水稻田、施用杀虫剂对照亲本水稻田、未施用杀虫剂对照亲本水稻田4个处理，每个处理设置3个小区作为3个重复，试验共12个小区，不同小区随机交替排列。每个小区长20 m，宽5 m，每个小区间设置1 m宽的排水沟作为空白隔离带。施用杀虫剂转Bt水稻田和对照亲本水稻田分别于每年7月2日和8月2日采用喷雾方式各施用1次杀虫剂，每次均喷施35%水胺硫磷和25%噻虫嗪2种药剂，施用量分别为100 g/hm^{2}和4 g/hm^2，其它管理均采用常规的田间管理。

1.2.2 靶标害虫和非靶标害虫种群数量的调查

每年7月10日—9月28日每10 d调查4个处理水稻田中靶标害虫二化螟幼虫数量和非靶标害虫白背飞虱、褐飞虱若虫数量、成虫数量、总虫量（若虫数量和成虫数量之和），每个处理调查3个小区。采用剥查法调查二化螟幼虫数量，每个小区随机选取3个取样点，每点选取长势一致的5丛水稻，将水稻茎秆剥开，检查并记录茎秆内二化螟幼虫数量，并转化为百丛虫量。采用瓷盘法调查白背飞虱、褐飞虱若虫数量和成虫数量，每个小区随机选择3个取样点，每点选取长势一致的5丛水稻，将瓷盘放在水稻基部，在每丛水稻基部连续拍3下使白背飞虱和褐飞虱落在瓷盘上，记录白背飞虱和褐飞虱的若虫数量和成虫数量，并转化为百丛虫量。

1.2.3 害虫田间种群数量影响因子的方差分析

为明确年份、杀虫剂和Bt水稻对靶标害虫二化螟和非靶标害虫白背飞虱、褐飞虱田间种群数量的影响，以年份、水稻品种和杀虫剂为影响因子，采用重复测量方差分析方法对水稻田中二化螟、白背飞虱和褐飞虱的种群数量进行三因素方差分析；再分别以年份、水稻品种和施用杀虫剂为影响因子，对水稻田中二化螟、白背飞虱和褐飞虱的种群数量进行单因素方差分析。

1.3 数据分析

采用SPSS 22.0软件对数据进行统计分析，采用最小显著差数（least significant difference，LSD）法进

行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 害虫田间种群数量影响因子的方差分析

三因素方差分析表明，转基因处理（F=8.58，P=0.01）对二化螟幼虫数量影响显著，而杀虫剂处理（F=2.60，P=0.12）对二化螟幼虫数量影响不显著，且二化螟幼虫数量在年际间差异不显著（F=0.10，P=0.76）；转基因处理对白背飞虱若虫数量（F=0.65，P=0.43）、成虫数量（F=0.26，P=0.62）和总虫量（F=0.56，P=0.46）影响不显著，而杀虫剂处理对白背飞虱若虫数量（F=43.46，P<0.001）、成虫数量（F=148.80，P<0.001）和总虫量（F=86.28，P<0.001）影响极显著，若虫数量（F=46.36，P<0.001）和总虫量（F=46.25，P<0.001）在年际间差异极显著；转基因处理对褐飞虱若虫数量（F=0.36，P=0.55）、成虫数量（F=0.33，P=0.57）和总虫量（F=0.39，P=0.54）均无显著影响，而杀虫剂处理对褐飞虱若虫数量（F=49.50，P<0.001）和总虫量（F=27.67，P<0.001）影响极显著，若虫数量（F=44.04，P<0.001）、成虫数量（F=20.09，P<0.001）和总虫量（F=56.44，P<0.001，表1）在年际间差异极显著。表明药剂处理对靶标害虫二化螟种群数量无显著影响，但对非靶标害虫白背飞虱和褐飞虱种群数量的影响较大。

表1 2014—2015年施用杀虫剂对转Bt水稻及其对照亲本水稻上白背飞虱、褐飞虱和二化螟种群数量影响因子的三因素重复测量方差分析

Table 1 Three-way repeated-measures ANOVAs on impact factors of the population abundances of *Sogatella furcifera*, *Nilaparvata lugens* and *Chilo suppressalis* fed on transgenic Bt rice and its parental line with application of pesticides from 2014 to 2015

影响因子 Impact factor	白背飞虱 *S. furcifera*						二化螟幼虫数量 No. of *C. suppressalis* larvae	
	若虫数量 No. of nymph		成虫数量 No. of adult		总虫量 No. of total population			
	F	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*
年份 Year	46.36	<0.001***	3.50	0.08	46.25	<0.001***	0.10	0.76
转基因处理 Transgenic treatment	0.65	0.43	0.26	0.62	0.56	0.46	8.58	0.01**
杀虫剂处理 Insecticide treatment	43.46	<0.001***	148.80	<0.001***	86.28	<0.001***	2.60	0.12
转基因处理×年份 Transgenic treatment×year	0.06	0.81	0.42	0.52	0.02	0.90	0.06	0.81
年份×杀虫剂处理 Year×insecticide treatment	2.53	0.13	3.52	0.08	1.72	0.21	0.27	0.61
转基因处理×杀虫剂处理 Transgenic treatment×insecticide treatment	2.32	0.14	0.32	0.58	2.23	0.15	2.83	0.11
转基因处理×杀虫剂处理×年份 Transgenic treatment×insecticide treatment×year	0.21	0.65	0.66	0.43	0.11	0.75	0.18	0.68

影响因子 Impact factor	褐飞虱 *N. lugens*					
	若虫数量 No. of nymph		成虫数量 No. of adult		总虫量 No. of total population	
	F	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*
年份 Year	44.04	<0.001***	20.09	<0.001***	56.44	<0.001***
转基因处理 Transgenic treatment	0.36	0.55	0.33	0.57	0.39	0.54
杀虫剂处理 Insecticide treatment	49.50	<0.001***	0.03	0.88	27.67	<0.001***
转基因处理×年份 Transgenic treatment×year	0.48	0.50	0.51	0.48	0.05	0.83
年份×杀虫剂处理 Year×insecticide treatment	0.06	0.82	6.22	0.02*	2.21	0.15
转基因处理×杀虫剂处理 Transgenic treatment×insecticide treatment	1.52	0.23	0.48	0.50	0.31	0.27
转基因处理×杀虫剂处理×年份 Transgenic treatment×insecticide treatment×year	0.01	0.92	0.87	0.36	0.11	0.74

*、**、***分别表示经LSD法检验在P<0.05、P<0.01和P<0.001水平差异显著。*, **, *** indicate significant difference at P<0.05, P<0.01 and P<0.001 levels by LSD test, respectively.

2.2 杀虫剂对靶标害虫二化螟种群数量的影响

2014年，未施用杀虫剂转Bt水稻田中仅在7月30日调查到二化螟幼虫，数量为3头/百丛，施用杀虫剂转Bt水稻田中未调查到二化螟幼虫，未施用杀

虫剂和施用杀虫剂对照亲本水稻田中二化螟幼虫数量最大值分别为320头/百丛和26头/百丛；2015年，未施用杀虫剂转Bt水稻田中未调查到二化螟幼虫，施用杀虫剂转Bt水稻田中二化螟幼虫数量最大值仅为4头/百丛，未施用杀虫剂和施用杀虫剂对照亲本水稻田中二化螟幼虫数量最大值分别为220头/百丛和103头/百丛。施用杀虫剂对2015年转Bt水稻和对照亲本水稻田中二化螟幼虫发生数量影响不显著（图1）。2014年，未施用杀虫剂转Bt水稻田中二化螟幼虫数量显著低于未施用杀虫剂对照亲本水稻田中二化螟幼虫数量（$P<0.05$），而施用杀虫剂转Bt水稻田中二化螟幼虫数量与施用杀虫剂对照亲本水稻田中的差异不显著；2015年，4个处理间二化螟幼虫数量均差异不显著。

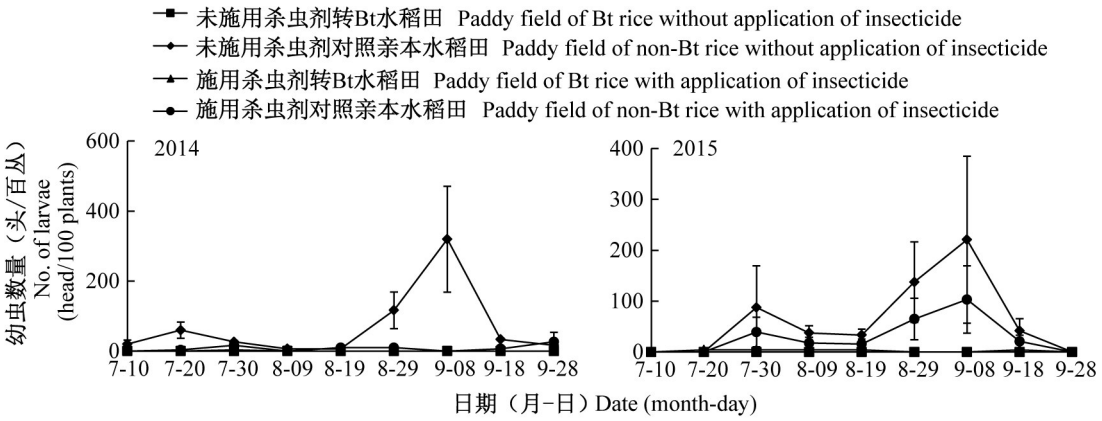

图1 2014—2015年杀虫剂对转Bt水稻及其对照亲本水稻上二化螟幼虫数量的影响

Fig. 1 Effects of insecticides on the population quantity of *Chilo suppressalis* larvae fed on transgenic Bt rice and its parent line from 2014 to 2015

图中数据为平均数±标准误。Data are mean±SE.

2.3 杀虫剂对非靶标害虫稻飞虱种群数量的影响

2.3.1 对白背飞虱种群数量的影响

2014年和2015年未施用杀虫剂的水稻田中，转Bt水稻田中白背飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量最大值分别为680头/百丛和3 154头/百丛、356头/百丛和1 066头/百丛、1 037头/百丛和3 187头/百丛，对照亲本水稻田中白背飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量最大值分别为1 106头/百丛和887头/百丛、443头/百丛和887头/百丛、1 376头/百丛和5 058头/百丛（图2）。2014年，施用杀虫剂转Bt水稻田中白背飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量最大值分别为206、33和233头/百丛，分别低于未施用杀虫剂转Bt水稻田中若虫数量、成虫数量和总虫量最大值。2015年，施用杀虫剂转Bt水稻田中白背飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量最大值分别为1 783、41和1 795头/百丛，分别低于未施用杀虫剂转Bt水稻田中若虫数量、成虫数量和总虫量最大值。2014年和2015年，施用杀虫剂显著降低转Bt水稻田中白背飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量（$P<0.05$）；2014年，施用杀虫剂对照亲本水稻田中白背飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量最大值分别为243、40和253头/百丛，分别低于未施用杀虫剂对照亲本水稻田中若虫数量、成虫数量和总虫量最大值，2015年，施用杀虫剂对照亲本水稻田中白背飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量最大值分别为1 200、29和1 229头/百丛，分别低于未施用杀虫剂对照亲本水稻田中若虫数量、成虫数量和总虫量最大值（图2），2014年和2015年，施用杀虫剂显著降低对照亲本水稻田中白背飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量（$P<0.05$）。

2.3.2 对褐飞虱种群数量的影响

2014年和2015年，未施用杀虫剂转Bt水稻田中褐飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量最大值分别为3 816头/百丛和11 600头/百丛、406头/百丛和2 945头/百丛、4 120头/百丛和12 008头/百丛，未施用杀虫剂对照亲本水稻田中褐飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量最大值分别为2 166头/百丛和11 683头/百丛、493头/百丛和1 500头/百丛、2 413头/百丛和10 891头/百丛（图3）。2014年，施用杀虫剂转Bt水稻田中褐飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量最大值分别为346、73和367头/百丛，分别低于未施用杀虫剂转Bt水稻田中褐飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量最大值，2015年，施用杀虫剂转Bt水稻田中褐飞虱若虫数量和总虫量最大值分别为5 950头/百丛和6 120头/百丛，分别低于未施用杀虫剂转Bt水稻田

中褐飞虱若虫数量和总虫量最大值，施用杀虫剂显著降低转Bt水稻田中2014年和2015年的褐飞虱若虫数量、总虫量以及2014年的褐飞虱成虫数量（$P<0.05$）；2014年，施用杀虫剂对照亲本水稻田中褐飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量最大值分别为386、53和410头/百丛，分别低于未施用杀虫剂对照亲本水稻田中褐飞虱若虫数量、成虫数量和总虫量最大值，2015年，施用杀虫剂对照亲本水稻田中褐飞虱若虫数量和总虫量最大值分别为5 925头/百丛和6 204头/百丛，分别低于未施用杀虫剂对照亲本水稻田中褐飞虱若虫数量和总虫量最大值（图3），2014年和2015年，施用杀虫剂显著降低对照亲本水稻田中褐飞虱若虫数量和总虫量（$P<0.05$）以及2014年的褐飞虱成虫数量（$P<0.05$）。

3 讨论

大多数情况下，转Bt水稻对靶标害虫的控制效果与水稻组织中Cry蛋白的表达量呈正相关（Liu et al.，2016）。研究表明，HH1水稻Cry蛋白表达在整个生育期相对稳定并维持在较高水平，对二化螟具有较好的控制作用（张燕飞等，2011；Wang et al.，2016）。本试验结果表明，2014年未施用杀虫剂转Bt水稻上二化螟幼虫数量显著低于未施用杀虫剂对照亲本水稻上二化螟幼虫数量，与李志毅等（2012）、徐雪亮等（2017）研究结果一致。李志毅等（2012）研究发现，转Bt水稻上二化螟幼虫发生量及其为害导致的水稻枯心率、水稻白穗率和受害丛率均显著低于对照亲本水稻上。徐雪亮等（2017）田间调查发现，以HH1为亲本培育出的衍生系赣绿1号能够有效控制二化螟幼虫的为害。此外，转Bt水稻对靶标害虫二化螟有很好的控制效果，如转*cry1Ac*水稻E10和E19对二化螟幼虫抗性高达100%（Yu et al，2009），转*cry1Ab/Vip3H*水稻对二化螟和大螟幼虫抗性均高达100%（Chen et al.，2010）。

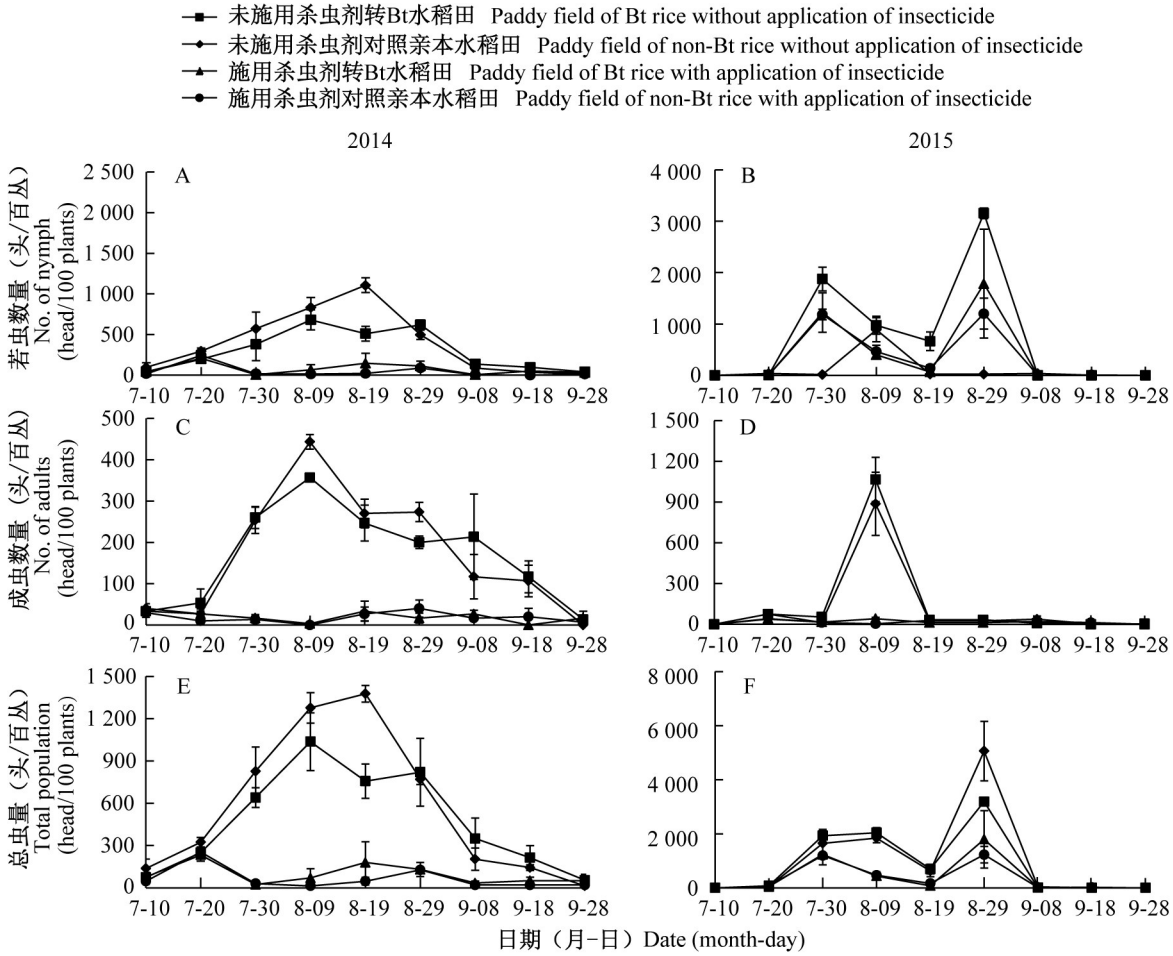

图2 2014—2015年杀虫剂对转Bt水稻及对照亲本水稻上白背飞虱若虫数量（A、B）、成虫数量（C、D）及总虫量（E、F）的影响

Fig. 2 Effects of insecticides on the number of nymphs (A, B), adults (C, D) and total populations (E, F) of *Sogatella furcifera* fed on transgenic Bt rice and its parent line from 2014 to 2015

图中数据为平均数±标准误。Data are mean±SE.

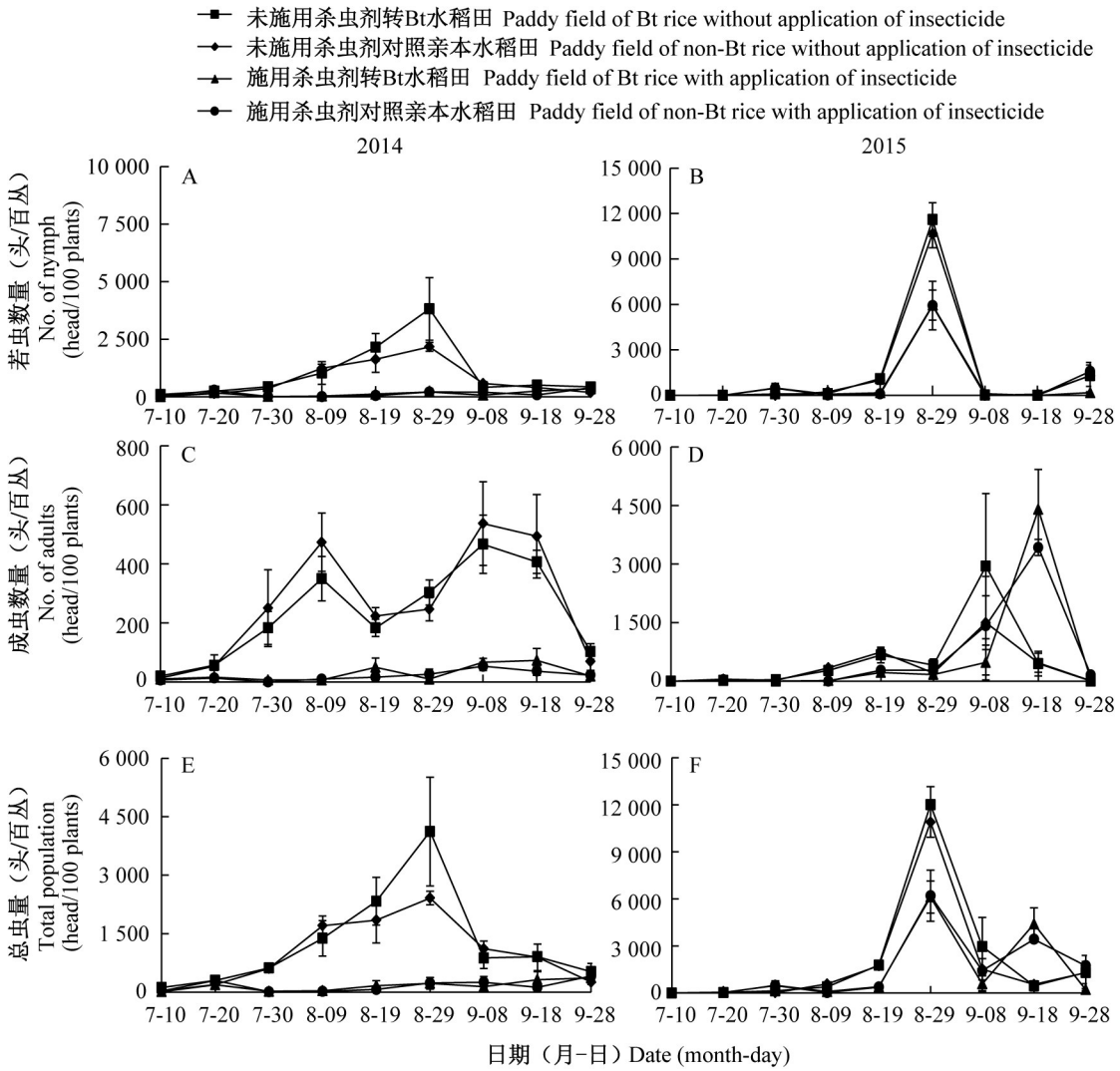

图3 2014—2015年杀虫剂对转Bt水稻及其对照亲本水稻上褐飞虱若虫数量(A、B)、成虫数量(C、D)及总虫量(E、F)的影响

Fig. 3 Effects of insecticides on the number of nymphs (A, B), adults (C, D) and total populations (E, F) of *Nilaparvata lugens* fed on transgenic Bt rice and its parent line from 2014 to 2015

图中数据为平均数±标准误。Data are mean±SE.

转Bt水稻对非靶标害虫白背飞虱和褐飞虱种群数量无负面影响或影响不大，如梁玉勇等(2014)调查结果显示，转Bt水稻HH1上与对照亲本水稻MH63上褐飞虱种群发生量之间差异不显著；王文晶等(2014)大田试验结果表明，转Bt水稻HH1上和对照亲本水稻MH63上白背飞虱和褐飞虱总发生量只在不同年份间差异极显著，在水稻品种及两者交互作用之间差异不显著；Han et al.(2011)调查发现，种植转 *cry1Ab*/*1Ac*、*cry2A* 或 *cry1C* 水稻对褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱 *Laodelphax striatellus* 种群数量无显著负面影响；隋贺等(2011)研究结果表明种植转Bt水稻对非靶标害虫稻飞虱的若虫及为害当地的短翅型成虫种群数量有利，但对具有迁飞能力的长翅型成虫种群数量无影响。本试验结果显示，施用杀虫剂转Bt水稻田及其对照亲本水稻田中白背飞虱(若虫、成虫和总虫量)和褐飞虱(若虫和总虫量)的种群数量均显著低于未施用杀虫剂的水稻田，表明施用杀虫剂仍然是有效控制稻飞虱种群数量的应急防控方法。施用杀虫剂可有效控制稻田白背飞虱和褐飞虱的种群数量，但这2种稻飞虱的成虫种群对杀虫剂有不同的响应，可能是由于2种稻飞虱成虫种群的组成(即长翅型和短翅型类型)不同，亦或是受当地当时的迁入种群影响，这些都应通过大田试验调查来进一步证明。此外，2015年9月8日、9月18日和9月28日，施用杀虫剂转Bt水稻田和对照亲本水稻田中褐飞虱成虫数量明显高于相应的未施用杀虫剂水稻田中褐飞虱成虫数量。此现象说明施用杀虫剂虽可有效控制褐飞虱若虫的种群数量，

但也会面临褐飞虱成虫选择取食趋势增加的风险。当然，这一推测还需要通过进一步的大田试验来验证。

综上所述，2014—2015连续2年的田间试验结果表明，种植转Bt水稻能有效地控制靶标害虫二化螟幼虫种群数量，然而非靶标害虫白背飞虱和褐飞虱等还需施用相应杀虫剂来进行防治。在非靶标害虫稻飞虱成虫的调查中应将为害当地的短翅型成虫和具有迁飞扩散为害潜能的长翅型成虫区分开来调查统计，以便更好地为转Bt水稻大田内非靶标害虫稻飞虱的准确预测预报服务。本试验仅是对转Bt水稻田内靶标害虫和非靶标害虫种群发生数量进行短期监测，而转Bt水稻的生态安全性，特别是对非靶标害虫的生态安全性应长期定点监测。

参 考 文 献（References）

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 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 (in Chinese) [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]

Chen Y, Tian J, Shen Z, Peng Y, Hu C, Guo Y, Ye G. 2010. Transgenic rice plants expressing a fused protein of Cry1Ab/Vip3H has resistance to rice stem borers under laboratory and field conditions. Journal of Economic Entomology, 103(4): 1444−1453

Devos Y, Romeis J, Luttik R, Maggiore A, Perry JN, Schoonjans R, Streissl F, Tarazona J, Brock TCM. 2015. Optimising environmental risk assessments: accounting for ecosystem services helps to translate broad policy protection goals into specific operational ones for environmental risk assessments. EMBO Reports, 16(9): 1060−1063

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 (in Chinese) [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]

Fujimoto H, Itoh K, Yamamoto M, Kyozuka J, Shimamoto K. 1993. Insect resistant rice generated by introduction of a modified deltaendotoxin gene of *Bacillus thuringiensis*. Nature Biotechnology, 11(10): 1151−1155

Gao MQ, Hou SP, Pu DQ, Shi M, Ye GY, Peng YF, Chen XX. 2011. Effects of *Bt* rice on the number and hatch rate of planthopper eggs and their attack by natural enemies in paddy fields. Acta Entomologica Sinica, 54(4): 467−476 (in Chinese) [高明清, 侯守鹏, 蒲德强, 时敏, 叶恭银, 彭于发, 陈学新. 2011. 田间转*Bt*基因水稻上稻飞虱卵量、孵化率及天敌作用. 昆虫学报, 54(4): 467−476]

Han LZ, Wu KM, Peng YF. 2006. Research advance in ecological safety of insect-resistant transgenic rice. Chinese Journal of Applied & Environmental Biology, 12(3): 431−436 (in Chinese) [韩兰芝, 吴孔明, 彭于发. 2006. 转基因抗虫水稻生态安全性研究进展. 应用与环境生物学, 12(3): 431−436]

Han Y, Xu XL, Ma WH, Yuan BQ, Wang H, Liu FZ, Wang MQ, Wu G, Hua HX. 2011. The influence of transgenic *cry1Ab/cry1Ac*, *cry1C* and *cry2A* rice on non-target planthoppers and their main predators under field conditions. Agricultural Sciences in China, 10(11): 1739−1747

Li YH, Hallerman EM, Liu QS, Wu KM, Peng YF. 2016. The development and status of Bt rice in China. Plant Biotechnology Journal, 14(3): 839−848

Li ZY, Sui H, Xu YB, Han LZ, Chen FJ. 2012. Effects of insect-resistant transgenic Bt rice with a fused *cry1Ab+cry1Ac* gene on population dynamics of the stem borers, *Chilo suppressalis* and *Sesamia inferens*, occurring in paddy field. Acta Ecologica Sinica, 32(6): 1783−1789 (in Chinese) [李志毅, 隋贺, 徐艳博, 韩兰芝, 陈法军. 2012. 转*cry1Ab*和*cry1Ac*融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响. 生态学报, 32(6): 1783−1789]

Liang YY, Cheng ZX, Cheng SD, Qin HG, Xiong HB, Chen NP, Hu SX. 2014. Effect of transgenic Bt rice on the population dynamics of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) and two of its natural enemies. Chinese Journal of Applied Entomology, 51(5): 1163−1172 (in Chinese) [梁玉勇, 程正新, 程森弟, 秦厚国, 熊焕保, 陈南萍, 胡水秀. 2014. Bt水稻对褐飞虱及其二种天敌种群动态的影响. 应用昆虫学报, 51(5): 1163−1172]

Liu K, Yang YJ, Tian JC, Xu HX, Zheng XS, Lü ZX. 2014. Multi-generation effect of Bt rice with *cry1C* and *cry2A* on survival, development and reproduction of non-target pest *Sogatella furcifera* (Horváth). Acta Agriculturae Zhejiangensis, 26(3): 730−735 (in Chinese) [刘凯, 杨亚军, 田俊策, 徐红星, 郑许松, 吕仲贤. 2014. 转*cry1C*和*cry2A*基因Bt水稻对白背飞虱生长、发育及繁殖的继代影响. 浙江农业学报, 26(3): 730−735]

Liu QS, Hallerman E, Peng YF, Li YH. 2016. Development of Bt rice and Bt maize in China and their efficacy in target pest control. International Journal of Molecular Sciences, 17(10): 1561

Mannakkara A, Niu L, Ma WH, Lei CL. 2013. Zero effect of Bt rice on expression of genes coding for digestion, detoxification and immune responses and developmental performances of brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). Journal of Insect Physiology, 59(10): 985−993

Mo CL, Liu ZB, Liu XY, Zhao MP, Tang T. 2017. Control efficacies of chlorantraniliprole·thinamethoxam by broadcast against rice pests under field conditions. Hunan Agricultural Sciences, (5): 69−71 (in Chinese) [莫昌乐, 刘祖斌, 刘雪源, 赵明平, 唐涛. 2017. 氯虫·噻虫嗪撒施对水稻害虫的田间防治效果. 湖南农业科学, (5): 69−71]

Qiu LM, Liu QQ, Lin RK, Shi LQ, Zhan ZX. 2017. Research advances on ecological risk of transgenic Bt rice on non-target insects. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 33(3): 326−333 (in Chinese) [邱良妙, 刘其全, 林仁魁, 施龙清, 占志雄. 2017. 转Bt基因水稻对主要非靶标昆虫的生态安全性研究进展. 福建农业学报, 33(3): 326−333]

Romeis J, Bartsch D, Bigler F, Candolfi MP, Gielkens MM, Hartley SE, Hellmich RL, Huesing JE, Jepson PC, Layton R, et al. 2008. Assessment of risk of insect-resistant transgenic crops to nontarget arthropods. Nature Biotechnology, 26(2): 203−208

Sheng CF, Wang HT, Sheng SY, Gao LD, Xuan WJ. 2003. Pest status and loss assessment of crop damage caused by the rice borers, *Chilo suppressalis* and *Tryporyza incertulas* in China. Entomological Knowledge, 40(4): 289−294 (in Chinese) [盛承发, 王红托, 盛世余, 高留德, 宣维健. 2003. 我国稻螟灾害的现状及损失估计. 昆虫知识, 40(4): 289−294]

Su L, Shao XY, Bi GM, Wan XZ. 1998. 20% azole-amine-phosphorus emulsifiable concentrate for controlling rice stem borer in the field. Jiangxi Agricultural Science & Technology, (6): 34 (in Chinese) [苏玲, 邵向阳, 毕贵茂, 万新忠. 1998. 20%唑·胺磷乳油防治水稻二化螟田间试验. 江西农业科技, (6): 34]

Sui H, Li ZY, Xu YB, Han C, Han LZ, Chen FJ. 2011. Occurrence dynamics of migratory pest insects *Cnaphalocrocis medinalis* and *Sogatella furcifera* in transgenic Bt rice field in Xing'an Country of Guangxi Province. Chinese Journal of Applied Entomology, 22 (11): 3021−3025 (in Chinese) [隋贺, 李志毅, 徐艳博, 韩超, 韩兰芝, 陈法军. 2011. 广西兴安转Bt水稻大田两迁害虫发生动态. 应用生态学报, 22 (11): 3021−3025]

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: 1101−1104

Wang WJ, Wang RL, Yu FL, Han LZ, Chen FJ. 2014. Population dynamics of the predator, *Cyrtorhinus lividipennis* in transgenic Bt rice fields. Chinese Journal of Applied Entomology, 51(5): 1173−1183 (in Chinese) [王文晶, 王瑞林, 于福兰, 韩兰芝, 陈法军. 2014. 转Bt水稻对捕食性天敌黑肩绿盲蝽种群动态的影响. 应用昆虫学报, 51(5): 1173−1183]

Wang YN, Ke KQ, Li YH, Han LZ, Liu YM, Hua HX, Peng YF. 2016. Comparison of three transgenic Bt rice lines for insecticidal protein expression and resistance against a target pest, *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Crambidae). Insect Science, 23 (1): 78−87

Xu XL, Wang FS, Liu ZR, Yao YJ, Ji XY, Jiang JX. 2017. Impacts of transgenic *cry1Ab/cry1Ac* rice Ganlü 1 on *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée and *Chilo suppressalis* (Walker) and their arthropod predators under field conditions. Journal of Plant Protection, 44(1): 1−7 (in Chinese) [徐雪亮, 王奋山, 刘子荣, 姚英娟, 季香云, 蒋杰贤. 2017. 转*cry1Ab/cry1Ac*基因水稻赣绿1号对田间稻纵卷叶螟和二化螟及其捕食性天敌的影响. 植物保护学报, 44(1): 1−7]

Yang H, Li JX, Guo SD, Chen XJ, Fan YL. 1989. Transgenic rice plants produced by direct uptake of δ-endotoxin protein gene from *Bacillus thuringiensis* into rice protoplasts. Scientia Agricultura Sinica, 22(6): 1−5 (in Chinese) [杨虹, 李家新, 郭三堆, 陈学军, 范云六. 1989. 苏云金芽孢杆菌δ-内毒素基因导入水稻原生质体后获得转基因植株. 中国农业科学, 22(6): 1−5]

Yang H, Yang H, Jin DC, Dai RH, Zhou C. 2017. Sublethal effects of thiamethoxam on the fecundity of lab populations of white-backed planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth). Journal of Plant Protection, 44(3): 509−514 (in Chinese) [杨航, 杨洪, 金道超, 戴仁怀, 周操. 2017. 噻虫嗪对白背飞虱试验种群繁殖力的亚致死效应. 植物保护学报, 44(3): 509−514]

Yang YJ, Xu HX, Zheng XS, Tian JC, Lu YH, Lü ZX. 2015. Progresses in management technology of rice leaffolders in China. Journal of Plant Protection, 42(5): 691−701 (in Chinese) [杨亚军, 徐红星, 郑许松, 田俊策, 鲁艳辉, 吕仲贤. 2015. 中国水稻纵卷叶螟防控技术进展. 植物保护学报, 42(5): 691−701]

Yang Z, Lü ZP, Huang RL, Cao FS, Luo SY. 2017. Content of Bt protein in different backgrounds of rice and its effect on insect resistance. Journal of Plant Protection, 44(6): 1017−1023 (in Chinese) [杨宙, 吕再萍, 黄仁良, 曹丰生, 罗世友. 2017. Bt蛋白在水稻不同遗传背景下的含量及对抗虫性的影响. 植物保护学报, 44(6): 1017−1023]

Yu HX, Yao QH, Wang L, Zhao ZP, Gong ZY, Tang SZ, Liu QQ, Gu MH. 2009. Generation of selectable marker-free transgenic rice resistant to chewing insects using two co-transformation systems. Progress in Natural Science, 19(11): 1485−1492

Zhang J, Liang GW, Zeng L. 2011. The differential dynamics of *Cnaphalocrocis medinalis*, planthoppers and their natural enemies in two rice paddy ecosystems. Journal of Plant Protection, 38(1): 1−8 (in Chinese) [张娟, 梁广文, 曾玲. 2011. 不同稻田生态系统中稻纵卷叶螟、稻飞虱及其天敌密度的差异. 植物保护学报, 38(1): 1−8]

Zhang YF, Yue L, Zhang SF, Shen JJ, Fu QG, Li JY, Wang HY, Ye QF. 2011. Expression of Bt insecticidal protein in Bt rice and its residues in soil after returning rice straw to field. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 25(4): 779−784 (in Chinese) [张燕飞, 岳龙, 张素芬, 沈佳君, 付秋果, 李菊英, 汪海燕, 叶庆富. 2011. Bt水稻杀虫蛋白时空变化及秸秆还田后在土壤中的持留规律. 核农学报, 25(4): 779−784]

Zhu ZR, Romena AM, Cohen MB. 2002. Comparison of stem borer damage and resistance in semidwarf indica rice varieties and protype lines of a new plant type. Field Crops Research, 73(1): 37−45

（责任编辑：张俊芳）