

# 氮肥促进 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯诱导的褐飞虱再猖獗能力

杨亚军, 李向冬, 徐红星, 郑许松, 吕仲贤\*

(浙江省农业科学院植物保护与微生物研究所, 浙江省植物有害生物防控重点实验室省部共建国家重点实验室培育基地, 杭州 310021)

**摘要:**【目的】褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 是 Bt 水稻上重要的非靶标害虫之一, 多种药剂会引起褐飞虱的再猖獗。本研究旨在探究氮肥使用下 Bt 水稻上褐飞虱对农药的生态适应性和再猖獗能力。【方法】取 Bt 水稻 T1C-19(含 *cry1C*\* 基因)和 T2A-1(含 *cry2A*\* 基因)稻苗分别施以 0, 100 和 250 kg N/hm<sup>2</sup> 的氮肥, 用不同浓度溴氰菊酯(0, 1, 3 和 6 mg/L)喷雾处理其上饲养的褐飞虱, 分析氮肥处理的 Bt 水稻上褐飞虱对农药的生态适应性指标(若虫发育历期、若虫存活率、雌成虫体重、单雌产卵量和卵孵化率)。【结果】高浓度溴氰菊酯(6 mg/L)处理下褐飞虱的若虫存活率显著低于未处理组, 而单雌产卵量则高于未处理组。方差分析表明, 氮肥与溴氰菊酯相互作用可以显著影响褐飞虱的若虫存活率、雌成虫体重、单雌产卵量和卵孵化率。在 0 kg N/hm<sup>2</sup> 处理下, 溴氰菊酯处理对褐飞虱的产卵量无显著影响。在 100 和 250 kg N/hm<sup>2</sup> 处理稻株上褐飞虱产卵量随着溴氰菊酯浓度的升高而增加。随着氮肥施用量的增加, 褐飞虱若虫历期缩短, 雌成虫体重增加, 产卵量增加, 褐飞虱若虫孵化率和存活率增高。相同氮肥施用量、溴氰菊酯同一浓度处理条件下, Bt 水稻和常规水稻相比对褐飞虱的若虫发育历期、产卵量、卵孵化率和存活率均无显著影响。【结论】本研究结果表明, 氮肥可以促进 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯诱导的褐飞虱再猖獗。

**关键词:** 褐飞虱; Bt 水稻; 氮肥; 溴氰菊酯; 生态适应性; 再猖獗

中图分类号: Q965.9 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2016)11-1263-09

## Nitrogen fertilizer promotes the resurgence of *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) induced by deltamethrin on Bt rice and non-Bt rice lines

YANG Ya-Jun, LI Xiang-Dong, XU Hong-Xing, ZHENG Xu-Song, LU Zhong-Xian\* (State Key Laboratory Breeding Base for Zhejiang Sustainable Pest and Disease Control, Institute of Plant Protection and Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

**Abstract:** 【Aim】The rice planthopper (BPH), *Nilaparvata lugens*, is one of the important non-target insect pests of the Bt rice, and many insecticides could induce the resurgence of *N. lugens*. This study aims to understand the resurgence potential of *N. lugens* on Bt rice and non-Bt rice treated by different nitrogen regimes. 【Methods】The indices of ecological fitness (nymphal duration, nymphal survival rates, female adult weight, the number of eggs laid per female and egg hatchability) of *N. lugens* treated with different concentrations of deltamethrin (0, 1, 3 and 6 mg/L) were evaluated on Bt rice lines (T1C-19 and T2A-1, harboring *cry1C*\* and *cry2A*\* gene, respectively) and its parental non-Bt rice (MH63) applied with different application levels of nitrogen fertilizer (0, 100 and 250 kg N/hm<sup>2</sup>).

基金项目: 转基因育种重大专项(2016ZX08001-001-010); 国家自然科学基金项目(31501669)

作者简介: 杨亚军, 男, 1984 年 12 月生, 江苏沭阳人, 副研究员, 研究方向为水稻害虫的发生与防治, E-mail: yangjuneyon@163.com

\* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: luzxmh@163.com

收稿日期 Received: 2016-08-31; 接受日期 Accepted: 2016-11-15

【Results】The nymphal survival of *N. lugens* treated with the high concentration of deltamethrin (6 mg/L) was significantly lower than that in the untreated control, while the number of eggs laid per female was significantly higher than that in the untreated control. ANOVA results indicated that the interaction between nitrogen fertilizer and deltamethrin significantly affected the nymphal survival rate, female adult weight, number of eggs laid per female and egg hatchability. The fecundity did not significantly differ when *N. lugens* nymphs were reared on the Bt and non-Bt rice lines treated with deltamethrin under the nitrogen regime of 0 kg N/hm<sup>2</sup>, while significantly increased with the increase of deltamethrin concentration on the rice lines under the nitrogen regimes of 100 kg N/hm<sup>2</sup> and 250 kg N/hm<sup>2</sup>. The ecological fitness of *N. lugens* increased as the nitrogen fertilizer application level increased. The nymphal duration shortened and the nymphal survival rates, female adult weight, the number of eggs laid per female and egg hatchability increased as the nitrogen fertilizer application level increased. The values of the ecological fitness indices were not significantly different on the Bt and non-Bt rice lines treated with the same concentration of deltamethrin under the same nitrogen regime. 【Conclusion】The results indicate that nitrogen fertilizer application can promote the resurgence of *N. lugens* induced by deltamethrin on Bt rice lines T2A-1 and TIC-19, and this effect does not differ between Bt rice lines and non-Bt rice.

**Key words:** *Nilaparvata lugens*; Bt rice; nitrogen fertilizer; deltamethrin; ecological fitness; resurgence

苏云金芽孢杆菌 *Bacillus thuringiensis* 由于其在孢子发育过程中可以产生具有杀虫作用的 Cry 蛋白,而广泛应用于害虫防治(Chen *et al.*, 2011)。随着现代生物技术的发展,*cry* 基因被转入作物中,使作物获得抗虫性。目前,已有多数 *Bt* 基因成功转入水稻(Cohen *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2011)。*Bt* 水稻的使用将减少环境污染,促进粮食安全生产,对发展优质无公害稻米生产具有重要的经济效益、社会效益和显著的生态效益,可为无公害稻米生产提供保障和支撑(Huang *et al.*, 2005; Zhang, 2007; Tan *et al.*, 2011)。目前,*Bt* 水稻的靶标害虫主要为稻纵卷叶螟、二化螟等鳞翅目害虫。鉴于害虫防治是个系统工程,*Bt* 水稻田非靶标害虫的合理防治也是一个重要的问题。关于 *Bt* 水稻与其非靶标害虫的关系,已有多位学者展开诸多研究。研究表明,*Bt* 水稻对褐飞虱生态适应性指标无显著影响(Chen *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2013; Lu *et al.*, 2015)。

褐飞虱是一种迁飞性的、R 对策害虫,具有极高的内禀增长力,在条件适宜时,种群常迅速增长,暴发成灾,危害十分频繁和严重(程家安, 1996; 程遐年等, 2003)。褐飞虱的种群发生受多种因素影响,如天气、食料、药剂等(Cheng, 2009)。杀虫剂使用带来的问题除了抗药性之外,还有害虫再猖獗问题。害虫再猖獗是指一种杀虫剂或杀螨剂使用后目标节肢动物有害物种丰盛度超过对照或未处理种群的事件(程遐年等, 2003)。褐飞虱是目前已知会发生再猖獗现象的害虫之一。三唑磷处理后,褐飞虱雌成虫体内与卵黄蛋白合成相关的 RNA 会被激活,使卵

黄蛋白转录水平提高,显著增加褐飞虱雌成虫脂肪体和卵巢内卵黄蛋白含量,提高褐飞虱雌成虫的繁殖能力(吴进才, 2011)。褐飞虱经溴氰菊酯处理后,其后代产卵量增加(程遐年等, 2003)。李向冬等(2014)研究表明,三唑磷和溴氰菊酯都能引起 *Bt* 水稻上褐飞虱的再猖獗,且与非 *Bt* 水稻上无异。

氮肥是农业生产上使用较多的肥料之一,施用氮肥能增加水稻稻株的高度、分蘖数等,提高稻谷产量(White, 1993)。然而,施用氮肥以后可以引起水稻体内可溶性氮化合物水平的增加,稻株汁液内的氨基酸含量增加、叶冠增大,改善植食性昆虫的营养条件,促进昆虫的存活和生长发育(Lu *et al.*, 2007)。李向冬等(2014)报道了溴氰菊酯在 *Bt* 水稻上诱导褐飞虱的再猖獗与在非 *Bt* 水稻上无异。溴氰菊酯是研究褐飞虱再猖獗的指标性药剂之一。Ratna 等(2010)研究发现亚致死剂量溴氰菊酯多次喷施对褐飞虱的再猖獗有促进作用。亚致死浓度溴氰菊酯喷施后天门冬酰胺水平增加可能是褐飞虱再猖獗机制的因素之一(Ratna *et al.*, 2011)。溴氰菊酯可以诱导褐飞虱附腺蛋白含量增加,促进褐飞虱雌虫的生殖(Wang *et al.*, 2010)。Zhao 等(2011)研究发现溴氰菊酯、三唑磷处理可以显著增加褐飞虱雌雄成虫的飞行速度,这与褐飞虱的迁飞与暴发有着一定的关系。明确不同农作措施条件下 *Bt* 水稻上褐飞虱的再猖獗能力有助于全面评价 *Bt* 水稻上非靶标害虫效应,为今后 *Bt* 水稻上非靶标害虫防治提供指导。在目前田间氮肥使用过量的背景下,研究氮肥-*Bt* 水稻对褐飞虱生态适应性和再猖獗的

影响具有重要意义,可为今后 Bt 水稻商业化生产下褐飞虱防控提供理论依据。为此,本研究在室内条件下比较了不同 Bt 水稻品种上不同施氮水平对溴氰菊酯引起的褐飞虱再猖獗的影响,探究褐飞虱在不同氮肥条件下的 Bt 水稻及其亲本水稻 MH63 上对农药诱导再猖獗的反应能力差异,评价 Bt 水稻相对非 Bt 水稻对褐飞虱是否存在潜在的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

供试水稻:水稻种子浸种至露白,在水泥槽中育秧,3 叶期时移栽至高 10 cm、直径 15 cm 的钵钵中,分别放入 3 个不同氮肥水平的铁皮槽(1.1 m × 1.8 m)中,根据铁皮槽面积计算氮肥施用量,使其形成 250, 100 和 0 kg N/hm<sup>2</sup> 3 个氮肥施用量梯度。分别于移栽后 10 d、分蘖盛期和孕穗初期施用总氮量的 30%, 30% 和 40%, 培育出的不同施氮量的水稻植株。整个水稻生育期不用任何农药,取 60 d 苗龄的稻苗作为供试水稻。感虫水稻品种为台中在来 1 号(Taichung Native 1, TN1),水稻种子由国际水稻所(IRRI)提供。Bt 水稻品种为 T2A-1 和 T1C-19,分别含有 *cry2A\** 和 *cry1C\** 基因;非转基因对照品种为 MH63(Minghui63),为亲本(籼稻),3 种水稻种子均由华中农业大学提供。

供试褐飞虱采自浙江省金华市郊稻田,在养虫室内用 TN1 稻苗连续饲养,取孵化后 12 h 内的若虫用于试验。

### 1.2 氮肥与农药对 Bt 水稻上褐飞虱若虫生长发育和存活率的影响

取 60 日龄的稻苗,除去次生分蘖和外叶鞘、剪去无活力的根须,在自来水中漂洗后分别放入注有含相应施用量氮肥的木村 B 水稻培养液的试管(直径 1.5 cm,高 15.0 cm)中,待水稻根系恢复后,接入 20 头 12 h 内初孵若虫,用脱脂棉封口。待若虫长至 3 龄,用 500 mL 喷雾器对接虫稻株进行喷药处理。溴氰菊酯处理浓度为 1, 3 和 6 mg/L,以清水作为对照。每个处理 10 次重复。每日观察若虫的生长发育和存活情况,及时更换相同处理的新鲜稻苗,直至褐飞虱羽化,记录其羽化时间,计算褐飞虱若虫存活率和若虫历期。试验在 26 ± 1℃ 和 12L: 12D 光周期的人工气候室内进行。

### 1.3 氮肥与农药对 Bt 水稻上褐飞虱生殖的影响

待 1.2 节中褐飞虱羽化后,取 12 h 内羽化的雌

成虫,在电子天平(精度为 0.01 mg)上称体重。同 1.2 节准备试验稻株和试管。每管中分别接入 1 对相对应的初羽化成虫,每天定时观察褐飞虱存活情况,及时添加稻株和水稻培养液。每个处理重复 10 次。每日观察产卵和若虫孵化情况,当有若虫孵化后每天检查若虫孵出数,并去除,直至连续 5 d 没有若虫孵出为止。然后在解剖镜下解剖稻株,检查并记录未孵化的卵量。根据孵化若虫数和未孵化卵量计算卵孵化率。试验在 26 ± 1℃ 和 12L: 12D 光周期的人工气候室内进行。

### 1.4 数据分析

用软件 SPSS 17.0 进行数据分析,所有数据采用三因素方差分析,以 Tukey 氏多重比较法分析各参数不同处理间的差异显著性。百分率数据先进行反正弦平方根转换后再作方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 氮肥与溴氰菊酯对 Bt 水稻上褐飞虱若虫历期的影响

在相同的溴氰菊酯处理浓度下,褐飞虱若虫历期随氮肥施用量的升高而明显缩短。在 0 kg N/hm<sup>2</sup> 施肥下,随着溴氰菊酯处理浓度的升高,褐飞虱若虫历期呈缩短趋势,但还未达到显著水平;250 kg N/hm<sup>2</sup> 下 6 mg/L 溴氰菊酯处理组中褐飞虱若虫历期均显著短于对照组(表 1),而且 3 个水稻品种间褐飞虱若虫历期无显著差异(表 1)。方差分析表明,溴氰菊酯浓度( $P < 0.001$ )、氮肥施用量( $P < 0.001$ )对褐飞虱若虫历期具有显著影响,而水稻品种、水稻品种 × 溴氰菊酯浓度、水稻品种 × 氮肥施用量、溴氰菊酯浓度 × 氮肥施用量以及溴氰菊酯浓度 × 水稻品种 × 氮肥施用量对褐飞虱的若虫历期无显著影响(表 2)。

### 2.2 氮肥与农药对 Bt 水稻上褐飞虱若虫存活率的影响

同一氮肥水平下,高浓度处理组溴氰菊酯(6 mg/L)中褐飞虱的存活率显著低于对照组;相同溴氰菊酯处理浓度下,褐飞虱的若虫存活率随着氮肥施用量的升高而升高,但不同水稻品种间褐飞虱的若虫存活率无显著性差异(表 3)。方差分析显示,溴氰菊酯浓度( $P < 0.001$ ),氮肥施用量( $P < 0.001$ )、溴氰菊酯浓度 × 氮肥施用量( $P = 0.007$ )对褐飞虱若虫存活率具有显著影响,水稻品种、溴氰菊酯浓度 × 水稻品种、水稻品种 × 氮肥施用量、溴氰菊

表 1 不同施氮水平 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯处理的褐飞虱若虫发育历期 (d)

Table 1 Nymphal duration (d) of *Nilaparvata lugens* reared on Bt rice and non-Bt rice treated with deltamethrin under different nitrogen regimes

氮肥施用量 (kg N/hm <sup>2</sup> ) Application level of nitrogen fertilizer	水稻品种 Rice line	溴氰菊酯浓度 (mg/L) Concentration of deltamethrin			
		0	1	3	6
0	MH63	14.88 ± 0.27 Aa	14.87 ± 0.38 Aa	14.43 ± 0.12 Aa	14.19 ± 0.14 Aa
	T1C-19	15.10 ± 0.38 Aa	14.90 ± 0.31 Aa	14.27 ± 0.43 Aa	14.21 ± 0.31 Aa
	T2A-1	14.93 ± 0.16 Aa	15.05 ± 0.36 Aa	14.45 ± 0.26 Aa	14.10 ± 0.33 Aa
100	MH63	13.22 ± 0.30 Aa	13.21 ± 0.27 Aa	13.09 ± 0.07 Aa	12.82 ± 0.14 Aa
	T1C-19	13.66 ± 0.20 Aa	13.42 ± 0.23 Aa	13.05 ± 0.14 Aa	12.93 ± 0.15 Aa
	T2A-1	13.46 ± 0.28 Aa	13.42 ± 0.28 Aa	12.98 ± 0.19 Aa	12.77 ± 0.23 Ab
250	MH63	13.02 ± 0.10 Aa	12.87 ± 0.12 Aa	12.70 ± 0.18 Aa	12.08 ± 0.10 Ab
	T1C-19	12.97 ± 0.27 Aa	12.73 ± 0.11 Aa	12.24 ± 0.08 Aab	12.18 ± 0.13 Ab
	T2A-1	12.82 ± 0.11 Aa	12.80 ± 0.31 Aa	12.20 ± 0.28 Aab	11.94 ± 0.20 Ab

T1C-19 和 T2A-1 是 Bt 水稻, MH63 是非 Bt 水稻。不同大写字母表示同列数据同一氮肥水平不同水稻品种之间在 5% 水平具有显著性差异, 不同小写字母表示同行数据不同药剂浓度之间 5% 水平具有显著性差异性。下同。T1C-19 and T2A-1 are Bt rice lines, and MH63 is non-Bt rice. The data in the same column followed by different uppercase letters are significantly different at  $P < 0.05$  for rice lines under the same nitrogen regime, while the data in the same row followed by different lowercase letters are significantly different at  $P < 0.05$  for different concentrations of insecticide. The same below.

表 2 不同施氮水平 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯处理的褐飞虱若虫发育历期方差分析

Table 2 ANOVA of nymphal duration of *Nilaparvata lugens* reared on Bt rice and non-Bt rice treated with deltamethrin under different nitrogen regimes

	自由度 <i>df</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
水稻品种 Rice line	2	0.787	0.457
氮肥施用量 Application level of nitrogen fertilizer	2	138.071	<0.001
溴氰菊酯浓度 Concentration of deltamethrin	3	11.590	<0.001
氮肥施用量 × 水稻品种 Application level of nitrogen fertilizer × Rice line	4	0.497	0.738
水稻品种 × 溴氰菊酯浓度 Rice line × Concentration of deltamethrin	6	0.301	0.935
氮肥施用量 × 溴氰菊酯浓度 Application level of nitrogen fertilizer × Concentration of deltamethrin	6	0.484	0.819
氮肥施用量 × 水稻品种 × 溴氰菊酯浓度 Application level of nitrogen fertilizer × Rice line × Concentration of deltamethrin	12	0.361	0.975

酯浓度 × 水稻品种 × 氮肥施用量对褐飞虱若虫存活率没有显著影响 (表 4)。

### 2.3 氮肥与农药对 Bt 水稻上褐飞虱雌成虫体重的影响

在 0 kg N/hm<sup>2</sup> 氮肥处理组中, 溴氰菊酯对褐飞虱雌成虫体重无显著影响, 在 100 和 250 kg N/hm<sup>2</sup> 氮肥处理组中, 褐飞虱雌成虫体重随着溴氰菊酯浓

度的升高而增加 (表 5)。方差分析显示, 溴氰菊酯浓度 ( $P < 0.001$ )、氮肥施用量 ( $P < 0.001$ )、溴氰菊酯浓度 × 氮肥施用量 ( $P < 0.001$ )、溴氰菊酯浓度 × 水稻品种 × 氮肥施用量 ( $P = 0.021$ ) 对褐飞虱雌成虫体重具有显著的影响, 而水稻品种、溴氰菊酯浓度 × 水稻品种、水稻品种 × 氮肥施用量对褐飞虱雌成虫体重没有显著影响 (表 6)。

表 3 不同施氮水平 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯处理的褐飞虱若虫存活率 (%)

Table 3 Nymphal survival rates (%) of *Nilaparvata lugens* reared on Bt rice and non-Bt rice treated with deltamethrin under different nitrogen regimes

氮肥施用量 (kg N/hm <sup>2</sup> ) Application level of nitrogen fertilizer	水稻品种 Rice line	溴氰菊酯浓度 (mg/L) Concentration of deltamethrin			
		0	1	3	6
0	MH63	75.08 ± 1.67 Aa	65.39 ± 2.78 Aab	62.39 ± 2.78 Ab	59.87 ± 2.05 Ab
	T1C-19	75.05 ± 2.10 Aa	62.96 ± 3.35 Ab	60.52 ± 2.53 Ab	55.89 ± 2.63 Ab
	T2A-1	73.79 ± 2.32 Aa	62.42 ± 2.79 Ab	60.57 ± 2.47 Ab	58.29 ± 1.40 Ab
100	MH63	84.55 ± 2.24 Aa	83.14 ± 1.99 Aab	76.01 ± 1.20 Ab	75.71 ± 1.30 Ab
	T1C-19	86.64 ± 1.87 Aa	81.32 ± 2.46 Aab	73.63 ± 2.04 Abc	70.66 ± 1.58 Ac
	T2A-1	87.88 ± 1.76 Aa	84.85 ± 2.58 Aa	72.66 ± 2.13 Ab	70.70 ± 2.02 Ab
250	MH63	91.84 ± 2.53 Aa	89.10 ± 2.62 Aab	87.96 ± 1.99 Aab	77.52 ± 2.48 Ab
	T1C-19	88.81 ± 2.16 Aa	86.04 ± 2.39 Aa	85.06 ± 2.65 Aab	75.74 ± 1.33 Ab
	T2A-1	92.31 ± 2.71 Aa	87.02 ± 2.53 Aab	85.27 ± 2.73 Aab	77.78 ± 2.29 Ab

表 4 不同施氮水平 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯处理的褐飞虱若虫存活率方差分析

Table 4 ANOVA of nymphal survival rates of *Nilaparvata lugens* reared on Bt rice and non-Bt rice treated with deltamethrin under different nitrogen regimes

	自由度 <i>df</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
水稻品种 Rice line	2	2.806	0.067
氮肥施用量 Application level of nitrogen fertilizer	2	237.894	<0.001
溴氰菊酯浓度 Concentration of deltamethrin	3	67.129	<0.001
氮肥施用量 × 水稻品种 Application level of nitrogen fertilizer × Rice line	4	0.330	0.857
水稻品种 × 溴氰菊酯浓度 Rice line × Concentration of deltamethrin	6	0.434	0.854
氮肥施用量 × 溴氰菊酯浓度 Application level of nitrogen fertilizer × Concentration of deltamethrin	6	3.255	0.007
氮肥施用量 × 水稻品种 × 溴氰菊酯浓度 Application level of nitrogen fertilizer × Rice line × Concentration of deltamethrin	12	0.438	0.943

表 5 不同施氮水平 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯处理的褐飞虱雌成虫体重 (mg)

Table 5 Female adult weight (mg) of *Nilaparvata lugens* reared on Bt rice and non-Bt rice treated with deltamethrin under different nitrogen regimes

氮肥施用量 (kg N/hm <sup>2</sup> ) Application level of nitrogen fertilizer	水稻品种 Rice line	溴氰菊酯浓度 (mg/L) Concentration of deltamethrin			
		0	1	3	6
0	MH63	1.69 ± 0.03 Aa	1.70 ± 0.01 Aa	1.67 ± 0.03 Aa	1.72 ± 0.03 Aa
	T1C-19	1.67 ± 0.06 Aa	1.69 ± 0.02 Aa	1.70 ± 0.02 Aa	1.74 ± 0.02 Aa
	T2A-1	1.72 ± 0.02 Aa	1.69 ± 0.03 Aa	1.72 ± 0.02 Aa	1.70 ± 0.02 Aa
100	MH63	1.91 ± 0.03 Ac	2.05 ± 0.02 Ab	2.29 ± 0.03 Aa	2.34 ± 0.02 Ba
	T1C-19	1.95 ± 0.04 Ac	2.01 ± 0.02 Ac	2.19 ± 0.03 Bb	2.35 ± 0.04 Ba
	T2A-1	1.89 ± 0.02 Ad	2.09 ± 0.04 Ac	2.28 ± 0.03 Ab	2.44 ± 0.03 Aa
250	MH63	2.14 ± 0.03 Ac	2.19 ± 0.03 Abc	2.27 ± 0.03 Ab	2.44 ± 0.03 Aa
	T1C-19	2.06 ± 0.05 Ac	2.25 ± 0.02 Ab	2.24 ± 0.04 Ab	2.51 ± 0.03 Aa
	T2A-1	2.00 ± 0.03 Ac	2.28 ± 0.03 Ab	2.35 ± 0.03 Ab	2.47 ± 0.04 Ba

表 6 不同施氮水平 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯处理的褐飞虱雌成虫体重方差分析

Table 6 ANOVA of female adult weight of *Nilaparvata lugens* reared on Bt rice and non-Bt rice treated with deltamethrin under different nitrogen regimes

	自由度 <i>df</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
水稻品种 Rice line	2	1.511	0.223
氮肥施用量 Application level of nitrogen fertilizer	2	160.153	<0.001
溴氰菊酯浓度 Concentration of deltamethrin	3	155.770	<0.001
氮肥施用量 × 水稻品种 Application level of nitrogen fertilizer × Rice line	4	0.613	0.653
水稻品种 × 溴氰菊酯浓度 Rice line × Concentration of deltamethrin	6	2.079	0.056
氮肥施用量 × 溴氰菊酯浓度 Application level of nitrogen fertilizer × Concentration of deltamethrin	6	36.437	<0.001
氮肥施用量 × 水稻品种 × 溴氰菊酯浓度 Application level of nitrogen fertilizer × Rice line × Concentration of deltamethrin	12	2.053	0.021

## 2.4 氮肥与农药对 Bt 水稻上褐飞虱产卵量的影响

相同浓度溴氰菊酯处理下褐飞虱单雌产卵量随着氮肥施用量的升高而升高;在 0 kg N/hm<sup>2</sup> 氮肥组中,溴氰菊酯处理对褐飞虱的产卵量无显著影响,在取食高氮稻株的褐飞虱产卵量随着溴氰菊酯浓度的升高而显著增加;在 250 kg N/hm<sup>2</sup> 氮肥下稻株上经高浓度溴氰菊酯处理(6 mg/L)的褐飞虱产卵量最高(表 7)。方差分析表明,溴氰菊酯浓度( $P < 0.001$ )、氮肥施用量( $P < 0.001$ )、溴氰菊酯浓度 × 氮肥施用量( $P < 0.001$ )对褐飞虱的产卵量有显著影响(表 8)。

## 2.5 氮肥与农药对 Bt 水稻上褐飞虱卵孵化率的影响

随着氮肥施用量的升高,褐飞虱卵孵化率呈现

上升趋势,施高氮稻株上褐飞虱卵孵化率显著高于在不施氮稻株组;在同一氮肥水平下,褐飞虱卵孵化率随着溴氰菊酯处理浓度的升高呈现上升趋势,高浓度溴氰菊酯处理组(6 mg/L)显著高于未处理组(表 9)。3 个水稻品种间褐飞虱的卵孵化率无显著差异。方差分析显示,氮肥施用量( $P < 0.001$ )、溴氰菊酯浓度( $P = 0.035$ )和溴氰菊酯浓度 × 氮肥施用量( $P < 0.001$ )对褐飞虱卵孵化率具有显著影响;水稻品种、溴氰菊酯浓度 × 水稻品种、水稻品种 × 氮肥施用量以及溴氰菊酯浓度 × 水稻品种 × 氮肥施用量对褐飞虱的卵孵化率无显著影响(表 10)。

表 7 不同施氮水平 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯处理的褐飞虱单雌产卵量

Table 7 Number of eggs laid per female by *Nilaparvata lugens* reared on Bt rice and non-Bt rice treated with deltamethrin under different nitrogen regimes

氮肥施用量 (kg N/hm <sup>2</sup> ) Application level of nitrogen fertilizer	水稻品种 Rice line	溴氰菊酯浓度 (mg/L) Concentration of deltamethrin			
		0	1	3	6
0	MH63	83.0 ± 6.7 Aa	79.7 ± 4.9 Aa	85.5 ± 5.6 Aa	86.8 ± 3.4 Aa
	T1C-19	79.7 ± 7.8 Aa	78.7 ± 3.7 Aa	83.2 ± 7.2 Aa	83.6 ± 4.4 Aa
	T2A-1	80.7 ± 4.1 Aa	79.1 ± 4.4 Aa	80.5 ± 7.3 Aa	84.5 ± 2.9 Aa
100	MH63	184.3 ± 16.2 Ac	198.9 ± 8.6 Ac	232.1 ± 9.5 Ab	273.2 ± 15.9 Aa
	T1C-19	176.7 ± 10.7 Ac	180.8 ± 8.2 Ac	227.7 ± 13.5 Ab	272.9 ± 20.9 Aa
	T2A-1	187.7 ± 2.9 Ac	198.9 ± 8.6 Ac	231.1 ± 9.5 Ab	293.2 ± 15.9 Aa
250	MH63	260.0 ± 7.8 Ac	255.6 ± 7.8 Ac	298.3 ± 5.6 Ab	388.7 ± 15.9 Aa
	T1C-19	246.3 ± 5.0 Ac	260.0 ± 7.8 Abc	282.3 ± 7.1 Ab	376.5 ± 20.2 Aa
	T2A-1	279.3 ± 11.4 Ac	270.0 ± 7.8 Ac	306.3 ± 12.3 Ab	401.7 ± 12.5 Aa

表 8 不同施氮水平 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯处理的褐飞虱单雌产卵量方差分析

Table 8 ANOVA of number of eggs laid per female by *Nilaparvata lugens* reared on Bt rice and non-Bt rice treated with deltamethrin under different nitrogen regimes

	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
水稻品种 Rice line	2	0.886	0.404
氮肥施用量 Application level of nitrogen fertilizer	2	42.314	<0.001
溴氰菊酯浓度 Concentration of deltamethrin	3	114.811	<0.001
氮肥施用量 × 水稻品种 Application level of nitrogen fertilizer × Rice line	4	0.275	0.934
水稻品种 × 溴氰菊酯浓度 Rice line × Concentration of deltamethrin	6	1.816	0.158
氮肥施用量 × 溴氰菊酯浓度 Application level of nitrogen fertilizer × Concentration of deltamethrin	6	43.784	<0.001
氮肥施用量 × 水稻品种 × 溴氰菊酯浓度 Application level of nitrogen fertilizer × Rice line × Concentration of deltamethrin	12	0.859	0.488

表 9 不同施氮水平 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯处理的褐飞虱卵孵化率 (%)

Table 9 Egg hatchability (%) of *Nilaparvata lugens* reared on Bt rice and non-Bt rice treated with deltamethrin under different nitrogen regimes

氮肥施用量 (kg N/hm <sup>2</sup> ) Application level of nitrogen fertilizer	水稻品种 Rice line	溴氰菊酯浓度 (mg/L) Concentration of deltamethrin			
		0	1	3	6
0	MH63	75.31 ± 0.92 Ab	77.65 ± 2.23 Aab	76.76 ± 1.03 Aab	80.35 ± 1.22 Aa
	T1C-19	73.33 ± 1.45 Ab	72.82 ± 2.03 Ab	78.52 ± 1.42 Aa	78.66 ± 0.82 Aa
	T2A-1	70.11 ± 2.50 Ab	70.31 ± 3.32 Ab	75.42 ± 1.66 Aab	77.35 ± 0.73 Aa
100	MH63	85.73 ± 1.30 Ab	85.77 ± 0.51 Aab	88.56 ± 0.81 Aab	90.34 ± 0.54 Aa
	T1C-19	89.31 ± 0.77 Ab	88.65 ± 0.42 Ab	90.22 ± 0.37 Aab	91.04 ± 0.33 Aa
	T2A-1	87.37 ± 0.22 Ab	90.15 ± 1.21 Aab	90.37 ± 0.41 Aab	92.11 ± 0.21 Aa
250	MH63	89.43 ± 0.46 Ab	92.40 ± 0.39 Aab	92.88 ± 0.47 Aab	95.35 ± 0.22 Aa
	T1C-19	90.92 ± 0.35 Ab	90.77 ± 0.51 Ab	93.56 ± 0.41 Aab	94.34 ± 0.21 Aa
	T2A-1	91.62 ± 0.34 Ab	91.77 ± 0.36 Aab	93.29 ± 0.37 Aab	95.52 ± 0.27 Aa

表 10 不同施氮水平 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯处理的褐飞虱卵孵化率方差分析

Table 10 ANOVA of egg hatchability of *Nilaparvata lugens* reared on Bt rice and non-Bt rice treated with deltamethrin under different nitrogen regimes

	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
水稻品种 Rice line	2	0.0614	0.941
氮肥施用量 Application level of nitrogen fertilizer	2	45.937	<0.001
溴氰菊酯浓度 Concentration of deltamethrin	3	37.399	0.035
氮肥施用量 × 水稻品种 Application level of nitrogen fertilizer × Rice line	4	0.248	0.564
水稻品种 × 溴氰菊酯浓度 Rice line × Concentration of deltamethrin	6	0.375	0.823
氮肥施用量 × 溴氰菊酯浓度 Application level of nitrogen fertilizer × Concentration of deltamethrin	6	14.773	<0.001
氮肥施用量 × 水稻品种 × 溴氰菊酯浓度 Application level of nitrogen fertilizer × Rice line × Concentration of deltamethrin	12	0.651	0.64

### 3 讨论

Bt 水稻由于其体内可以表达具有杀虫作用的 Cry 蛋白而有望用于害虫防治中 (Chen *et al.*, 2011)。Bt 水稻的靶标害虫主要是稻纵卷叶螟、二化螟、大螟等鳞翅目害虫。T2A-1 和 T1C-19 体内分别表达 Cry2A 蛋白和 Cry1C 蛋白, 对稻纵卷叶螟等鳞翅目害虫具有较高的杀虫活性 (Chen *et al.*, 2005; Tang *et al.*, 2006; Zheng *et al.*, 2011)。在 Bt 水稻上非靶标害虫效应也是非常重要的问题。褐飞虱是 Bt 水稻的非靶标害虫之一, 是一种迁飞性的 R 对策害虫, 具有易暴发成灾等特点。褐飞虱也是一种经典的药剂诱导再猖獗的水稻害虫。药剂诱导的褐飞虱再猖獗主要原因有害虫天敌的丧失和刺激生殖 (吴进才, 2001; Ge *et al.*, 2010)。Wang 等 (2010) 认为褐飞虱雄虫在杀虫剂诱导褐飞虱再猖獗中具有重要作用, 杀虫剂可以诱导褐飞虱雄虫附腺蛋白含量的增加, 杀虫剂对雄虫的生殖效应可以通过交配转移到雌虫上。事实上, 引起害虫再猖獗的因素有很多, 还包括药剂施用后对寄主植物营养的改变, 药剂使植物本身抗性水平下降而有利于害虫的双向效应, 以及寄主植物品种等 (程遐年等, 2003)。李向冬等 (2014) 研究发现, 溴氰菊酯在 Bt 水稻上诱导褐飞虱的再猖獗与在非 Bt 水稻上无异。本研究也表明在同一氮肥处理水平下 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯诱导的褐飞虱再猖獗能力无显著差异。

氮是叶绿素分子的关键组成成分之一, 是影响植物生长最常见的营养元素, 氮素利用在植物生长发育过程中具有重要的作用 (Herridge *et al.*, 2008; Xu *et al.*, 2012)。然而, 许多研究发现氮肥使用与一些害虫的发生有一定的联系 (Jauset *et al.*, 1998; Nevo and Coll, 2001; Men and Kandalkar, 2002; Wang *et al.*, 2007; 葛洪滨等, 2010; 庞淑婷和董元华, 2012)。氮肥对害虫的影响主要有两个假说: 一为植物刺激学说 (plant vigor hypothesis) 和植物胁迫学说 (plant stress hypothesis) (LeBauer and Treseder, 2008; Sarfraz *et al.*, 2009; Han *et al.*, 2014)。植物刺激学说认为害虫偏好在生长发育快、高氮的植株上取食, 而植物胁迫学说则描述了一些植食性害虫更喜欢在受胁迫的植株上取食危害 (Price, 1991; Inbar *et al.*, 2001; Sarfraz *et al.*, 2009; Han *et al.*, 2014)。施用氮肥可以改变水稻植株水稻体内可溶

性氮化合物及稻株汁液内的氨基酸含量, 改善植食性昆虫的营养条件, 促进昆虫的存活和生长发育, 有利于褐飞虱的发生 (Lu *et al.*, 2007; Lu and Heong, 2009)。Bt 水稻与非 Bt 水稻上氮肥施用有利于褐飞虱的发生危害 (Yang *et al.*, 2016)。本研究也表明氮肥可以促进 Bt 水稻与非 Bt 水稻上褐飞虱的生长发育与繁殖。另外, 本研究还发现氮肥与溴氰菊酯相互作用可以显著影响褐飞虱在 Bt 水稻与非 Bt 水稻上的生长发育与繁殖, 主要表现在雌成虫体重、产卵量和卵孵化率增加。这些结果表明氮肥施用可以促进 Bt 水稻和非 Bt 水稻上溴氰菊酯诱导的褐飞虱再猖獗。溴氰菊酯诱导褐飞虱再猖獗的机制之一是溴氰菊酯影响了水稻的生长发育, 刺激植株生长从而有利于褐飞虱的繁殖 (程遐年等, 2003)。而氮肥施用也可以促进水稻植株生长发育, 从而改变水稻的生理生化及营养进而对褐飞虱产生有利条件, 这有可能是氮肥促进褐飞虱的再猖獗的原因之一。田间褐飞虱的再猖獗还可能受多种因素影响, 如水稻品种、其他农作措施等等, 在褐飞虱的防治过程中应考虑多种因素对褐飞虱再猖獗的综合影响。

目前, 我国水稻上氮肥施用量巨大, 然而高氮肥施用量总会伴随着氮素流失和氮利用率低等问题 (Xu *et al.*, 2012)。高氮不利于 Bt 水稻和 Bt 水稻上的害虫防治 (Yang *et al.*, 2016)。另外, Wang 等 (2012) 发现施用 210 kg N/hm<sup>2</sup> 的 Cry2A 和 Cry1C 水稻产量并不比施用 90 kg N/hm<sup>2</sup> 或 150 kg N/hm<sup>2</sup> 的高。本研究也表明, 氮肥施用可以促进溴氰菊酯诱导的褐飞虱再猖獗。鉴于氮肥不合理使用的负面效应, 氮肥的合理使用也逐渐得到了政府部门等各方的重视, 各方也在加强相关研究工作, 寻找出合理施用量, 在考虑害虫发生的情况下优化作物栽培上的肥料使用。

### 参考文献 (References)

- Chen H, Tang W, Xu CG, Li XH, Lin YJ, Zhang QF, 2005. Transgenic indica rice plants harboring a synthetic cry2A\* gene of *Bacillus thuringiensis* exhibit enhanced resistance against lepidopteran rice pests. *Theor. Appl. Genet.*, 111: 1330–1337.
- Chen M, Shelton A, Ye GY, 2011. Insect-resistant genetically modified rice in China: from research to commercialization. *Annu. Rev. Entomol.*, 56: 81–101.
- Chen Y, Tian JC, Wang W, Fang Q, Akhtar ZR, Peng YF, Hu C, Guo YY, Song QS, Ye GY, 2012. Bt rice expressing Cry1Ab does not stimulate an outbreak of its non-target herbivore, *Nilaparvata lugens*. *Transgenic Res.*, 21: 279–291.

- Cheng JA, 1996. Rice Pests. China Agriculture Press, Beijing. [程家安, 1996. 水稻害虫. 北京: 中国农业出版社]
- Cheng JA, 2009. Rice planthopper problems and relevant causes in China. In: Heong KL, Hardy B eds. *Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 157–178.
- Cheng XN, Wu JC, Ma F, 2003. Brown Planthopper: Occurrence and Control. China Agriculture Press, Beijing. [程遐年, 吴进才, 马飞, 2003. 褐飞虱的发生与防控. 北京: 中国农业出版社]
- Cohen MB, Chen M, Bentur JS, Heong KL, Ye GY, 2008. Bt rice in Asia: potential benefits, impact, and sustainability. In: Romeis J, Shelton AM, Kennedy GG eds. *Integration of Insect-Resistant Genetically Modified Crops within IPM Programs*. 223–248.
- Ge HB, Li BT, Shi QH, Pan XH, 2010. Effects of fertilization on disease, insect pests and weeds during the production of green rice. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26(1): 195–199. [葛洪滨, 李保同, 石庆华, 潘晓华, 2010. 不同肥料种类及施用量对绿色稻米生产的病虫害发生的影响. 中国农学通报, 26(1): 195–199]
- Ge LQ, Wu JC, Zhao KF, Yao C, Yang GQ, 2010. Induction of *Nlvg* and suppression of *Nljhe* gene expression in *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae) adult females and males exposed to two insecticides. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 98: 269–278.
- Han P, Lavoit AV, Le Bot J, Amiens-Desneux E, Desneux, 2014. Nitrogen and water availability to tomato plants triggers bottom-up effects on the leafminer *Tuta absoluta*. *Sci. Rep.*, 4: 4455.
- Herridge DF, Peoples MB, Boddey RM, 2008. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant Soil*, 311: 1–18.
- Huang JK, Hu RF, Rozelle S, Pray C, 2005. Insect resistant GM-rice in farmer's fields: assessing productivity and health effects in China. *Science*, 308: 688–690.
- Inbar M, Doostdar H, Mayer RT, 2001. Suitability of stressed and vigorous plants to various insect herbivores. *Oikos*, 94: 228–235.
- Jauset AM, Sarasua MJ, Avilla J, Albajes R, 1998. The impact of nitrogen fertilization of tomato on feeding site selection and oviposition by *Trialeurodes vaporariorum*. *Entomol. Exp. Appl.*, 86: 175–182.
- LeBauer DS, Treseder KK, 2008. Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed. *Ecology*, 89: 371–379.
- Li XD, Yang YJ, Tian JC, Xu HX, Zheng XS, Lu ZX, 2014. Ecological responses of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål), to triazophos and deltamethrin on transgenic *Bt* rice lines and their non-*Bt* parental rice. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 25(10): 3006–3010. [李向冬, 杨亚军, 田俊策, 徐红星, 郑许松, 吕仲贤, 2014. 转 *Bt* 基因及其亲本水稻上褐飞虱对三唑磷和溴氰菊酯的反应. 应用生态学报, 25(10): 3006–3010]
- Lu ZB, Liu YE, Han NS, Tian JC, Peng YF, Hu C, Guo YY, Ye GY, 2015. Transgenic cry1C or cry2A rice has no adverse impacts on the life-table parameters and population dynamics of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). *Pest Manag. Sci.*, 71: 937–945.
- Lu ZX, Heong KL, 2009. Effects of nitrogen-enriched rice plants on ecological fitness of planthoppers. In: Heong KL, Hardy B eds. *Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 247–256.
- Lu ZX, Yu XP, Heong KL, Hu C, 2007. Effect of nitrogen fertilizer on herbivores and its stimulation to major insect pests in rice. *Rice Sci.*, 14: 56–66.
- Men UB, Kandalkar HG, 2002. Effect of nitrogen levels on the incidence of sunflower jassids, *Amrasca biguttula biguttula* Ishida. *J. Appl. Zool. Res.*, 13: 145–146.
- Nevo E, Coll M, 2001. Effect of nitrogen fertilization on *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae): variation in size, color, and reproduction. *J. Econ. Entomol.*, 94: 27–32.
- Pang ST, Dong YH, 2012. Relationship of soil fertilizer application and occurrence of herbivorous insect pest. *Soils*, 44(5): 719–726. [庞淑婷, 董元华, 2012. 土壤施肥与植食性害虫发生为害的关系. 土壤, 44(5): 719–726]
- Price PW, 1991. The plant vigor hypothesis and herbivore attack. *Oikos*, 62: 244–251.
- Ratna Y, Trisyono YA, Witjaksono, Indradewa D, 2010. Effect of concentration and frequency of applications of deltamethrin on resurgence of *Nilaparvata lugens*. *Indonesian J. Plant Prot.*, 16(1): 6–14.
- Ratna Y, Trisyono YA, Witjaksono, Indradewa D, 2011. The effect of sublethal concentration of deltamethrin on plant growth and nutrition of rice. *J. Perlind. Tanaman Indonesia*, 17(2): 47–53.
- Sarfraz RM, Dossdall LM, Keddie AB, 2009. Bottom-up effects of host plant nutritional quality on *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and top-down effects of herbivore attack on plant compensatory ability. *Eur. J. Entomol.*, 106: 583–594.
- Tan T, Zhao JT, Chen C, 2011. The impact of commercialization of GM rice in China. *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.*, 10(3): 296–299.
- Tang W, Chen H, Xu CG, Li XH, Lin YJ, Zhang QF, 2006. Development of insect-resistant transgenic indica rice with a synthetic *cry1C\** gene. *Mol. Breeding*, 18: 1–10.
- Wang F, Jian ZP, Nie LX, Cui KH, Peng SB, Lin YJ, Huang JL, 2012. Effects of N treatments on the yield advantage of *Bt*-SY63 over SY63 (*Oryza sativa*) and the concentration of *Bt* protein. *Field Crops Res.*, 129: 39–45.
- Wang L, Huang SW, Lin XQ, Zhang YP, Chen HZ, Zhu DF, 2007. Effects of two nitrogen applications on yield components and occurrence of major diseases and insect pests of super hybrid rices. *Plant Prot.*, 33: 76–80.
- Wang LP, Shen J, Ge LQ, Wu JC, Yang GQ, Jahn GC, 2010. Insecticide-induced increase in the protein content of male accessory glands and its effect on the fecundity of females in the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae). *Crop Prot.*, 29: 1280–1285.



- White TCR, 1993. The Inadequate Environment: Nitrogen and the Abundance of Animals. Springer, Berlin, Germany.
- Wu JC, 2011. Mechanisms on pesticide-induced resurgence of pests. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 48(4): 799 – 803. [吴进才, 2011. 农药诱导害虫再猖獗机制. *应用昆虫学报*, 48(4): 799 – 803]
- Xu GH, Fan XR, Miller AJ, 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 63: 153 – 182.
- Yang Y, He J, Dong B, Xu H, Fu Q, Zheng XS, Lin YJ, Lu ZX, 2013. Effects of two Bt rice lines T2A-1 and T1C-19 on the ecological fitness and detoxification enzymes of *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) from different populations. *J. Econ. Entomol.*, 106: 1887 – 1893.
- Yang YJ, Liu K, Han HL, Xu HX, Zhang FC, Zheng XS, Tian JC, Wang GY, Chen GH, Lu ZX, 2016. Impacts of nitrogen fertilizer on major insect pests and their predators in transgenic Bt rice lines T2A-1 and T1C-19. *Entomol. Exp. Appl.*, 160: 281 – 291.
- Zhang QF, 2007. Strategies for developing green super rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 104: 16402 – 16409.
- Zhao KF, Shi ZP, Wu JC, 2011. Insecticide-induced enhancement of flight capacity of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) (Hemiptera: Delphacidae). *Crop Prot.*, 30(4): 476 – 482.
- Zheng XS, Yang YJ, Xu HX, Chen H, Wang BJ, Lin YJ, Lu ZX, 2011. Resistance performances of transgenic Bt rice lines T2A-1 and T1C-19 against *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Econ. Entomol.*, 104: 1730 – 1735.

(责任编辑: 袁德成)