

转 Bt 水稻对捕食性天敌黑肩绿盲蝽种群动态的影响*

王文晶^{1**} 王瑞林¹ 于福兰² 韩兰芝³ 陈法军^{1***}

(1. 南京农业大学植物保护学院昆虫学系, 南京 210095; 2. 山东省济南市济阳县农业局, 济南 251400;

3. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘 要 【目的】为研究转 Bt 水稻对其非靶标害虫稻飞虱的主要捕食性天敌黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis* 种群发生动态的影响。【方法】本研究以 *cry1Ac/cry1Ab* 融合基因型转 Bt 抗虫水稻“华恢 1 号”及其对照亲本“明恢 63”为供试水稻, 于 2011、2012 和 2013 连续 3 年在广西兴安县“转基因水稻试验基地”开展大田试验。【结果】与对照亲本稻田相比, 转 Bt 水稻稻田黑肩绿盲蝽种群发生量有增加趋势, 且在 2012 年出现极显著差异。此外, 就被捕食者褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 和白背飞虱 *Sogatella furcifera* 而言, 无论在水稻品种, 年份还是两者交互作用之间都存在极显著差异; 而就两种稻飞虱总量而言, 只在不同年份间存在极显著差异, 在水稻品种及两者交互作用间不存在显著性差异。进一步通过相关分析表明, 2011—2013 连续 3 年黑肩绿盲蝽与褐飞虱、白背飞虱和两者总虫量之间均存在极显著正相关关系。【结论】转 Bt 水稻稻田捕食性天敌黑肩绿盲蝽的数量较大, 这与非靶标害虫褐飞虱和白背飞虱种群发生量较大有关。

关键词 转 Bt 基因水稻, 黑肩绿盲蝽, 稻飞虱, 种群动态

Population dynamics of the predator, *Cyrtorhinus lividipennis* in transgenic Bt rice fields

WANG Wen-Jing^{1**} WANG Rui-Lin¹ YU Fu-Lan² HAN Lan-Zhi³ CHEN Fa-Jun^{1***}

(1. Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Agricultural Bureau of Jiyang County in Shandong Province, Jinan 251400, China; 3. Research Group of Rice Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract 【Objectives】The HH1 strain of *cry1Ab/cry1Ac* Bt-transgenic rice (Bt rice) and its parental line MH63 (non-Bt rice) were selected to study the effects of Bt rice on the population dynamics of *Cyrtorhinus lividipennis*, the key predator of the brown plant-hopper (BPH), *Nilaparvata lugens* and the white-backed planthopper (WBPH), *Sogatella furcifera*. 【Methods】From 2011 to 2013, field experiments were carried out in paddy-fields of Bt and non-Bt rice in Xingan County, Guangxi Province. 【Results】The results indicate that *C. lividipennis* tended to increase from 2010 to 2013, and that there was a significant difference in the population dynamics of *C. lividipennis* in Bt rice compared to non-Bt rice fields in 2012. There

* 资助项目: 国家转基因生物新品种培育重大专项 (2012ZX08011-002、2013ZX08012-005、2014ZX08012-005); 国家自然科学基金 (31272051, 31101491)

**E-mail: 2013102095@njau.edu.cn

***通讯作者, E-mail: fajunchen@njau.edu.cn

收稿日期: 2014-08-21, 接受日期: 2014-09-02

were significant differences in the population dynamics of BPH and WBPH, and their interactions with *C. lividipennis*, between the two kinds of rice crops among all three sampling years. However, there were only significant differences in the abundance dynamics of BPH and WBPH among the three sampling years. Correlation analysis shows that there was a positive relationship between the abundance of *C. lividipennis* and *N. lugens* and *S. furcifera* in 2011, 2012 and 2013. **[Conclusion]** We conclude that there are higher predator abundances of *C. lividipennis* in fields of transgenic Bt rice, probably due in most part to higher abundances of *N. lugens* and *S. furcifera*.

Key words Transgenic Bt rice, *Cyrtorhinus lividipennis*, rice planthopper, population dynamics

水稻是世界上最重要的粮食作物之一,全球约三分之一以上的人口以水稻为主粮,仅中国就有 8 亿人(朱祯,2001;杨友才和周清明,2003)。同样,水稻也是受害虫侵袭危害最为严重的粮食作物之一(朱祯等,1999)。自 20 世纪 90 年代起,中国就开展了转基因水稻培育研究,已先后培育出多个品种,如抗螟虫的转 Bt 基因水稻(舒庆尧等,1998;刘雨芳,2004)和抗稻飞虱的转 GNA 基因水稻(张启军等,2006)。作为一种十分具有应用前景的生物抗虫技术(Fitt,2003),转基因抗虫水稻有望从根本上减轻其靶标害虫二化螟 *Chilo suppressalis* 和稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 的发生与危害(Han *et al.*, 2006),但相应的也会导致其非靶标害虫稻飞虱的危害加重等新问题(Chang *et al.*, 2011);进而导致转基因稻田害虫种类组成等发生相应变化(高玉林等,2006;Han *et al.*, 2007;Wan *et al.*, 2014)。转 Bt 稻田非靶标害虫稻飞虱的发生危害的变化进而会影响其天敌昆虫的发生,从而导致稻田非靶标害虫的天敌昆虫的控害效果。

黑肩绿盲蝽 *Cyrtorhinus lividipennis*,属半翅目(Hemiptera)盲蝽科(Miridae),是水稻上稻飞虱和叶蝉类害虫的重要捕食性天敌,能有效地捕食褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål、白背飞虱 *Sogatella furcifera* Horvath 和稻叶蝉 *Nephotettix*

spp.的卵和低龄若虫(Chiu and Ling, 1975; Liquido and Nishida, 1983; Bae and Pathak, 1986; 何晶晶, 2014)。在田间,黑肩绿盲蝽对稻飞虱的控制作用非常明显,平均捕食率可达 30%~50%(罗肖南和卓文禧,1986;吴光荣和陈琇,1987;何晶晶,2014)。本文通过研究 *cry1Ac/cry1Ab* 融合基因型转 Bt 抗虫水稻华恢 1 号(简称 HH1)及其对照亲本明恢 63(简称 MH63)稻田非靶标害虫稻飞虱的捕食性天敌黑肩绿盲蝽,及其猎物褐飞虱和白背飞虱的种群动态,以评价转 Bt 抗虫水稻种植对非靶标害虫的捕食性天敌昆虫的影响,以进一步完善“害虫-天敌-植物”三级营养关系研究,并为结合转基因抗虫水稻及天敌控害来防控稻飞虱等水稻害虫提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试水稻

试验所用转基因水稻为转 *cry1Ac/cry1Ab* 融合基因型转 Bt 水稻华恢 1 号(简称 HH1)及其对照亲本明恢 63(简称 MH63),两种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提供。

1.2 试验设计

大田试验设在广西兴安县湘漓镇中国农业科学院植物保护研究所野外观测基地。转 Bt 水

稻 HH1 与其对照亲本 MH63 播种小区间隔交替排列,每个品种各设置 3 个重复,共计 6 个小区,每个小区面积为 $5\text{ m} \times 20\text{ m}$,小区间设置 1.00 m 空白隔离带。2011、2012、2013 连续 3 年大田水稻都于 6 月 1 日育秧,6 月 29 日移栽插秧,秧苗定植行间距为 $18\text{ cm} \times 18\text{ cm}$ 。水稻插秧时,按每亩 5 kg 尿素和 $5\text{ kg N:P:K}(18:15:12)$ 复合肥标准撒施基肥,并在大田插秧后,按照每 667 m^2 65% 五氯酚钠粉剂 200 g 拌土 15 kg 的标准均匀撒施于水田表面,用于防治福寿螺等有害生物对秧苗的为害。此外,水稻整个生育期内不施用农药,以确保稻田昆虫自然消长。水稻移栽 15 d 后,按每 667 m^2 10 kg 尿素和 $10\text{ kg N:P:K}(18:15:12)$ 复合肥标准追肥一次,并于水稻分蘖前期集中人工除草一次,其它的农事操作均一致并同当地常规田。

1.3 试验调查

2011—2013 连续 3 年间,每年田间调查从 7 月 29 日起,止于 9 月 30 日,间隔 7 d 盆拍法调查稻田捕食性天敌黑肩绿盲蝽及其猎物褐飞虱和白背飞虱的种群数量,每个生长季节共计拍查 10 次,每个处理调查 3 个小区,每个小区随机排盘 10 次,每次排盘拍 2 丛,同时记录黑肩绿盲蝽、褐飞虱和白背飞虱的数量,最后转化为每百丛虫量。记录数据后将盆拍昆虫放回原地。

1.4 统计与分析

用 SPSS202.0 统计分析软件进行数据分析。采用双因子方差分析不同年份间、转 Bt 水稻与对照亲本之间黑肩绿盲蝽、褐飞虱和白背飞虱种群,以及两种稻飞虱总虫量发生动态的显著性差异。如果存在年份间、转基因处理间或两者之间的显著性交互作用,则进一步采用 LSD 检验进行处理间的显著性差异比较 ($P < 0.05$)。数

据分析前,对绝对值数据进行对数转换以符合正态分布试验假设。此外,采用 Pearson 相关分析开展 2011、2012、2013,以及连续 3 年调查期黑肩绿盲蝽与褐飞虱、白背飞虱及两种稻飞虱种群数量间的相关性分析以明确天敌昆虫发生与猎物数量间的显著相关性。

2 结果与分析

2.1 捕食性天敌黑肩绿盲蝽种群动态

2011—2013 连续 3 年调查的水稻生育期黑肩绿盲蝽种群数量动态见图 1。2011 年,转 Bt 稻田黑肩绿盲蝽高峰出现在 9 月 2 日,百丛虫量达 103 头;对照亲本稻田黑肩绿盲蝽发生高峰出现在 8 月 19 日,百头虫量为 92 头;2012 年,转 Bt 稻田黑肩绿盲蝽发生量明显高于对照亲本稻田,且在 8 月 19 日出现一个高峰,百丛虫量高达 393 头,而对照亲本稻田黑肩绿盲蝽数量较少;2013 年,转 Bt 稻田和对照亲本稻田黑肩绿盲蝽发生趋势一致。经双因子重复测量方差分析表明,转基因处理间 ($P < 0.01$)、年份间 ($P < 0.001$) 及其交互作用间 ($P < 0.01$) 黑肩绿盲蝽数量动态差异显著(表 1)。与对照亲本相比,2012 年转 Bt 水稻稻田黑肩绿盲蝽种群数量显著提高 ($P < 0.05$;图 1:B)。

2.2 稻飞虱种群动态

2.2.1 褐飞虱种群动态 2011—2013 连续 3 年调查的褐飞虱种群发生动态见图 2。2011 年,转 Bt 稻田褐飞虱发生高峰出现在 8 月 12 日,百丛虫量达 1 013 头;对照亲本稻田褐飞虱发生高峰出现在 8 月 26 日,百丛虫量达 1 253 头;2012 年,转 Bt 稻田褐飞虱发生量明显大于对照亲本

表 1 转 Bt 水稻 (HH1) 及其对照亲本 (MH63) 稻田捕食性天敌黑肩绿盲蝽及其猎物褐飞虱、白背飞虱和两者总虫量的两因子重复测量方差分析 (广西兴安, 2011—2013 年, F/P 值)

Table 1 Two-way repeated measured ANOVA on population dynamics of *Cyrtorhinus lividipennis* and its prey of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* occurring in the paddyfields of transgenic Bt rice (cv. HH1) and its parental line (cv. MH63) from 2011 to 2013 in Xingan County of Guangxi Province (F/P values)

	黑肩绿盲蝽 <i>C. lividipennis</i>	褐飞虱 <i>N. lugens</i>	白背飞虱 <i>S. furcifera</i>	褐飞虱和白背飞虱 <i>N. lugens</i> and <i>S. furcifera</i>
转基因处理 Transgenic	12.73/0.004**	35.53/0.000***	23.02/0.000***	4.81/0.049*
年份 Year	25.57/0.000***	148.50/0.000***	109.02/0.000***	86.75/0.000***
转基因处理×年份 Transgenic × Year	12.44/0.002**	26.22/0.000***	22.22/0.000***	3.99/0.047*

转基因处理: 转 Bt 水稻 (HH1) 与常规对照 (MH63); 年份: 2011、2012、2013 年。* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$ 。
Transgenic treatments: Transgenic Bt rice (cv. HH1) vs. its parental line (MH63); Year: 2011, 2012, 2013; * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

* 资助项目: 国家转基因生物新品种培育重大专项 (2012ZX08011-002、2013ZX08012-005、2014ZX08012-005); 国家自然科学基金 (31272051, 31101491)

**E-mail: 2013102095@njau.edu.cn

***通讯作者, E-mail: fajunchen@njau.edu.cn

收稿日期: 2014-08-21, 接受日期: 2014-09-02

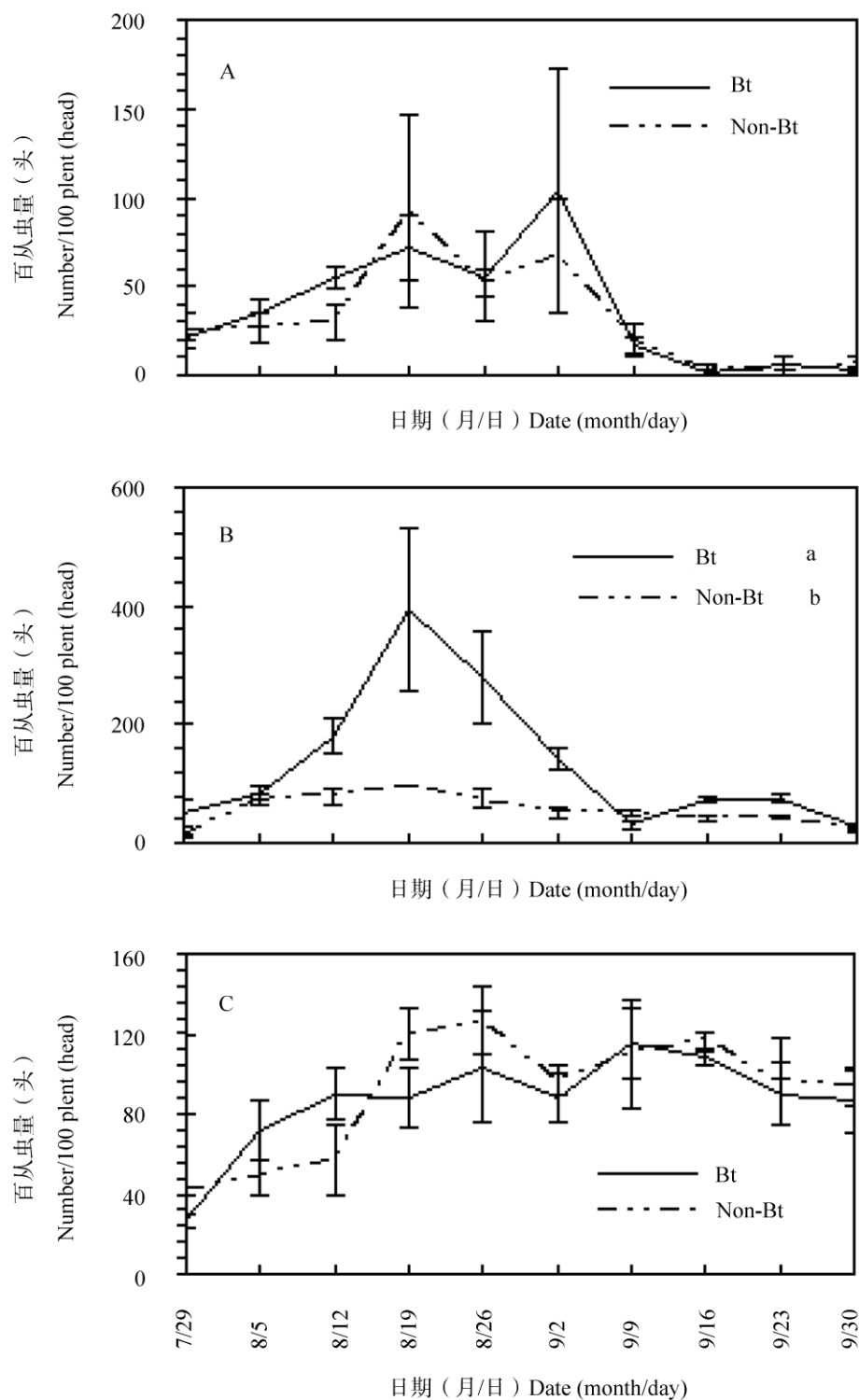


图 1 转 Bt 水稻 (HH1) 及其对照亲本水稻 (MH63) 稻田黑肩绿盲蝽种群动态 (广西兴安)

Fig. 1 Population dynamics of *Cyrtorhinus lividipennis* occurring in the paddyfields of transgenic Bt rice (cv. HH1) and its parental line (cv. MH63) from 2011 to 2013 in Xingan County of Guangxi Province

A. 2011 ; B. 2012 ; C. 2013 ; 不同小写字母表示经 LSD 检验, 转 Bt 水稻及其对照亲本稻田黑肩绿盲蝽种群动态差异显著, $P < 0.05$ 。

A. 2011; B. 2012; C. 2013. Different lowercase letters indicated significant difference between the treatments of transgenic

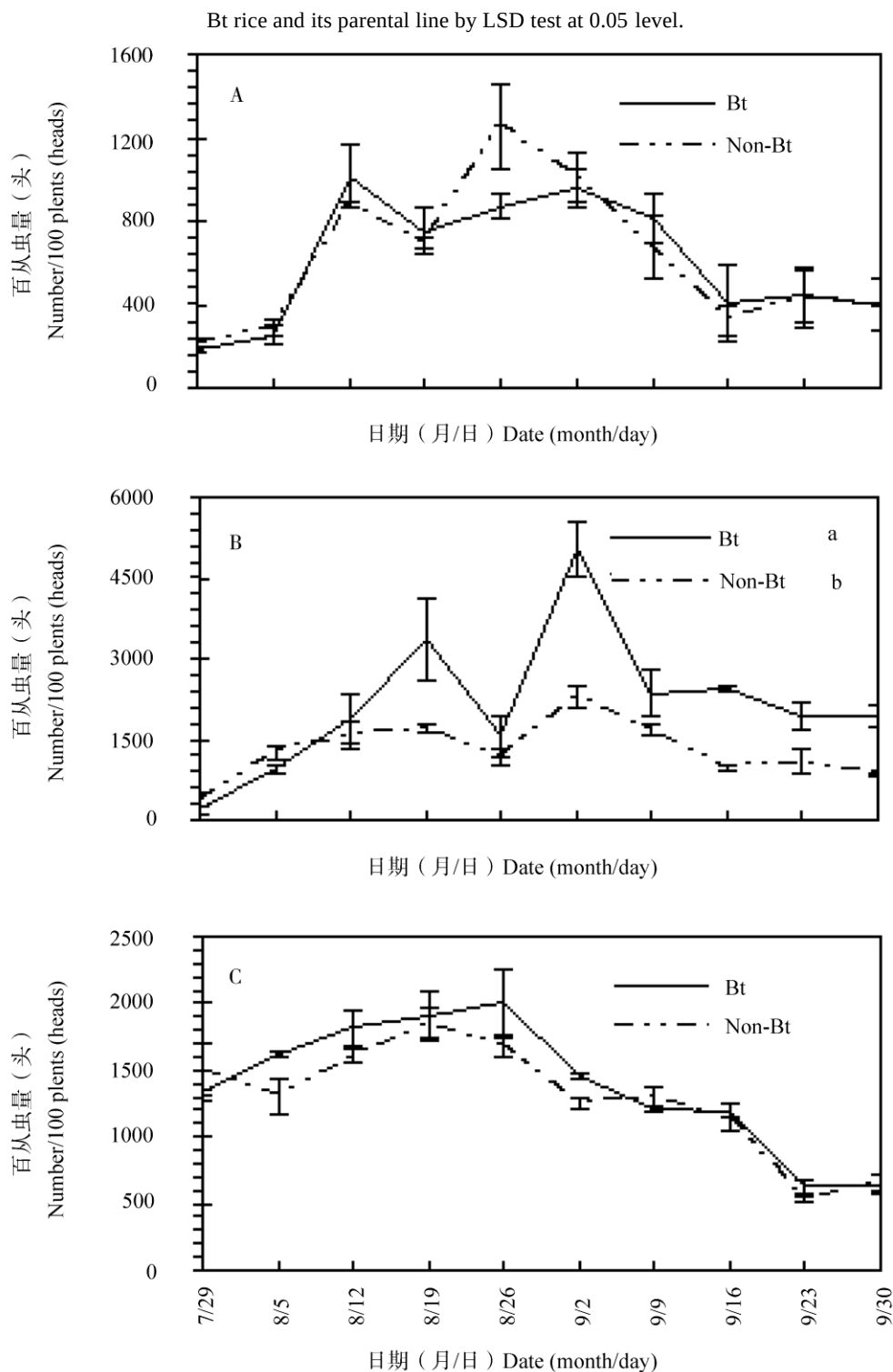


图2 转 Bt 水稻 (HH1) 及其对照亲本水稻 (MH63) 稻田褐飞虱种群发生动态 (广西兴安)
 Fig. 2 Population dynamics of *Nilaparvata lugens* occurring in the paddyfields of transgenic Bt rice (cv. HH1) and its parental line (cv. MH63) from 2011 to 2013 in Xing'an County of Guangxi Province

A. 2011; B. 2012; C. 2013; 不同小写字母表示经 LSD 检验, 转 Bt 水稻及其对照亲本稻田褐飞虱种群动态差异显著, $P < 0.05$ 。

A.2011; B. 2012; C. 2013. Different lowercase letters indicated significant difference between the treatments of transgenic Bt rice and its parental line by LSD test at 0.05 level.

稻田,其发生高峰出现在 9 月 2 日,百丛虫量高达 5 020 头;2013 年,转 Bt 稻田和对照亲本稻田褐飞虱种群发生动态较为一致。经双因子重复测量方差分析表明,转基因处理间、年份间及其交互作用间褐飞虱种群发生动态差异极显著 ($P<0.001$;表 1)。与对照亲本相比,转 Bt 水稻稻田褐飞虱种群发生数量在 2012 年显著提高 ($P<0.05$;图 2:B)。

2.2.2 白背飞虱种群动态 2011—2013 连续 3 年调查的白背飞虱种群发生动态见图 3。2011 和 2013 年,转 Bt 稻田和对照亲本稻田白背飞虱种群发生趋势一致,分别在 8 月 12 日(图 3:A)和 8 月 19 日(图 3:C)发生达到高峰,百丛虫量分别达 682 头和 813 头;2012 年,转 Bt 稻田白背飞虱发生高峰出现在 9 月 23 日,百丛虫量高达 3 463 头;对照亲本稻田白背飞虱种群发生高峰出现在 9 月 16 日,百丛虫量达 1 573 头。双因子重复测量方差分析表明,转基因处理间、年份间及其交互作用间白背飞虱种群发生动态差异极显著 ($P<0.001$;表 1)。与对照亲本相比,2012 和 2013 年连续两年转 Bt 水稻稻田白背飞虱的种群发生数量都显著提高 ($P<0.05$;图 3:B, C)。

2.2.3 稻飞虱总虫量种群发生动态 广西桂林稻田稻飞虱种群主要是褐飞虱和白背飞虱两种。2011—2013 连续 3 年调查的褐飞虱和白背飞虱发生总量的数量动态见图 4。2011 年,转 Bt 稻田及其对照亲本稻田稻飞虱总虫量发生高峰都出现在 8 月 12 日,百丛虫量分别达 1 690 头和 1 560 头;2012 年,转 Bt 稻田稻飞虱总发生量明显高于对照亲本稻田,且转 Bt 稻田稻飞虱种群发生量分别在 8 月 19 日、9 月 2 日和 9 月 23

日出现 3 个高峰,其百丛虫量分别达 4 067 头、5 397 头和 5 410 头;2013 年,转 Bt 稻田和对照亲本稻田稻飞虱总发生动态一致。经双因子重复测量方差分析表明,转基因处理间 ($P<0.05$)、年份间 ($P<0.001$) 及其交互作用间 ($P<0.05$) 褐飞虱和白背飞虱总发生数量的动态差异显著(表 1)。与对照亲本相比,转 Bt 水稻稻田两种稻飞虱总种群数量在 2012 年显著提高 ($P<0.05$;图 4:B)。

2011—2013 连续 3 年调查的转 Bt 水稻 HH1 及其对照亲本 MH63 稻田稻飞虱捕食性天敌黑肩绿盲蝽及其猎物稻飞虱相关分析见表 2。2012 年转 Bt 水稻和对照亲本稻田黑肩绿盲蝽与白背飞虱百丛虫量之间、两种稻田黑肩绿盲蝽与白背飞虱百丛总虫量之间,2013 年转 Bt 水稻和对照亲本稻田黑肩绿盲蝽与褐飞虱百丛虫量之间、两种稻田黑肩绿盲蝽与褐飞虱百丛总虫量之间均呈负相关关系,但相关不显著 ($P>0.05$;表 2);除此之外,其他年份及 2011—2013 连续 3 年转 Bt 水稻和对照亲本稻田黑肩绿盲蝽与褐飞虱、白背飞虱及两种稻飞虱百丛虫量均呈现正相关关系(表 2)。

处理间相关显著性分析表明,在 2011—2013 连续 3 年调查的转 Bt 水稻及其对照亲本稻田褐飞虱、白背飞虱和两种稻飞虱发生量分别与黑肩绿盲蝽百丛虫量之间,以及两种稻田褐飞虱、白背飞虱和两种稻飞虱发生总量分别与黑肩绿盲蝽百丛总虫量呈现极显著的正相关关系 ($P<0.01$;表 2);2011 和 2012 年分别调查的转 Bt 水稻及其对照亲本稻田的黑肩绿盲蝽百丛虫量分别与褐飞虱和两种稻飞虱总量也呈现极显著正相关关系 ($P<0.01$;表 2);此外,2011

年调查的对照亲本稻田白背飞虱百丛虫量与黑肩绿盲蝽数量、两种稻田白背飞虱、两种稻飞虱百丛总虫量与黑肩绿盲蝽数量呈现极显著正相关关系 ($P<0.01$) , 2012 年调查的转 Bt 水稻及其对照亲本稻田褐飞虱百丛虫量还与黑肩绿盲蝽数量、两稻田褐飞虱百丛总虫量与黑肩绿盲蝽百丛总量存在极显著正相关关系 ($P<0.01$;表 2)。2011 年转 Bt 水稻、对照亲本稻田和两种稻田褐飞虱百丛总虫量与黑肩绿盲蝽百丛总虫量之

间, 以及 2012 年两种稻田两种稻飞虱百丛总虫量与黑肩绿盲蝽百丛总虫量之间也存在显著正相关关系 ($P<0.05$;表 2)。

3 结论与讨论

转基因抗虫作物可通过降低猎物种群数量而导致相关的天敌种群数量减少, 而转基因作物

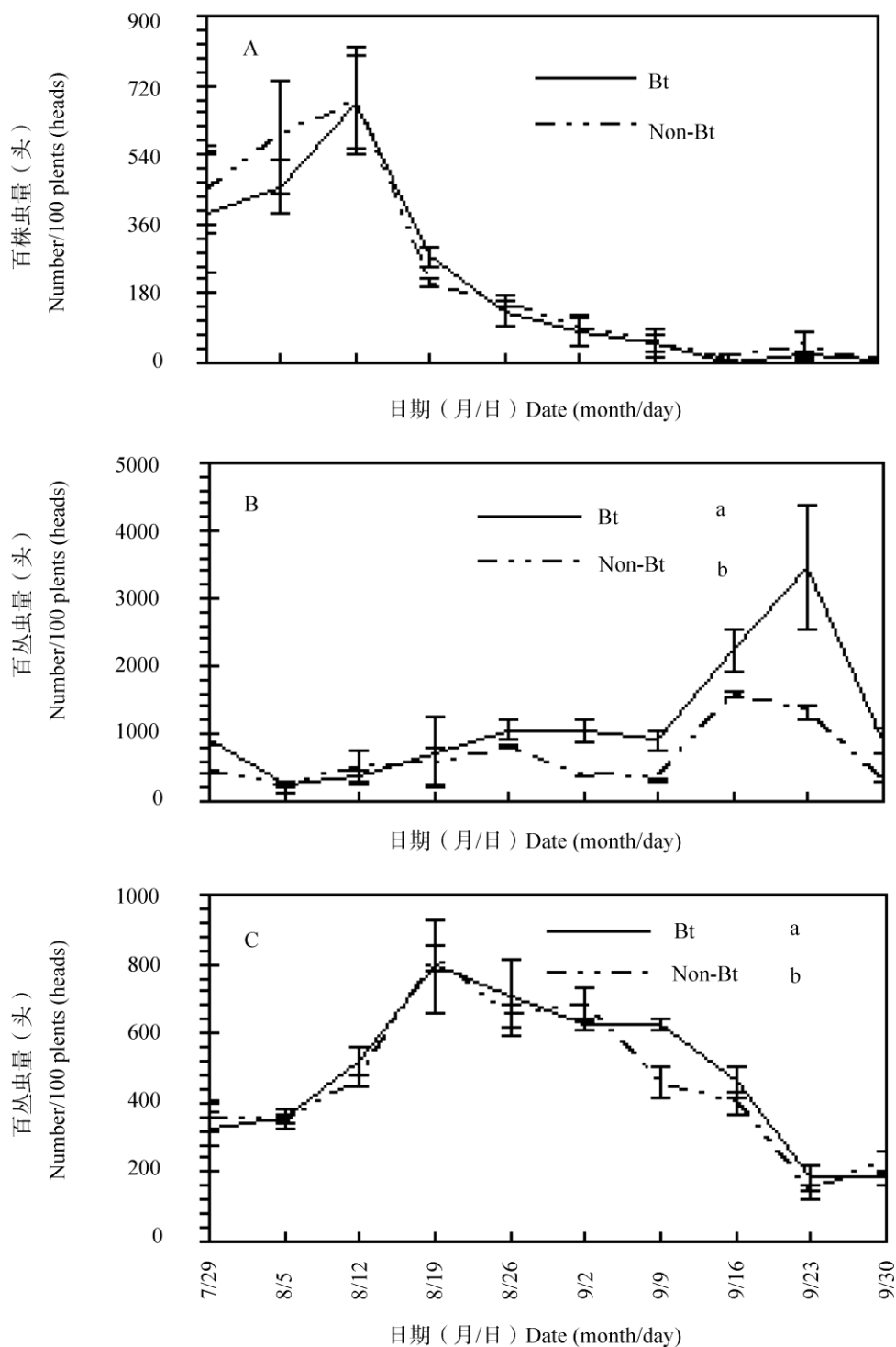


图 3 转 Bt 水稻 (HH1) 及其对照亲本水稻 (MH63) 稻田白背飞虱种群发生动态 (广西兴安)

Fig. 3 Population dynamics *Sogatella furcifera* occurring in the paddyfields of transgenic Bt rice (cv. HH1) and its parental line (cv. MH63) from 2011 to 2013 in Xingan County of Guangxi Province

A.2011 ; B. 2012 ; C.2013 ; 不同小写字母表示经 LSD 检验, 转 Bt 水稻及其对照亲本稻田白背飞虱种群动态差异显著, $P<0.05$ 。

A.2011; B. 2012; C. 2013. Different lowercase letters indicated significant difference between the treatments of transgenic Bt

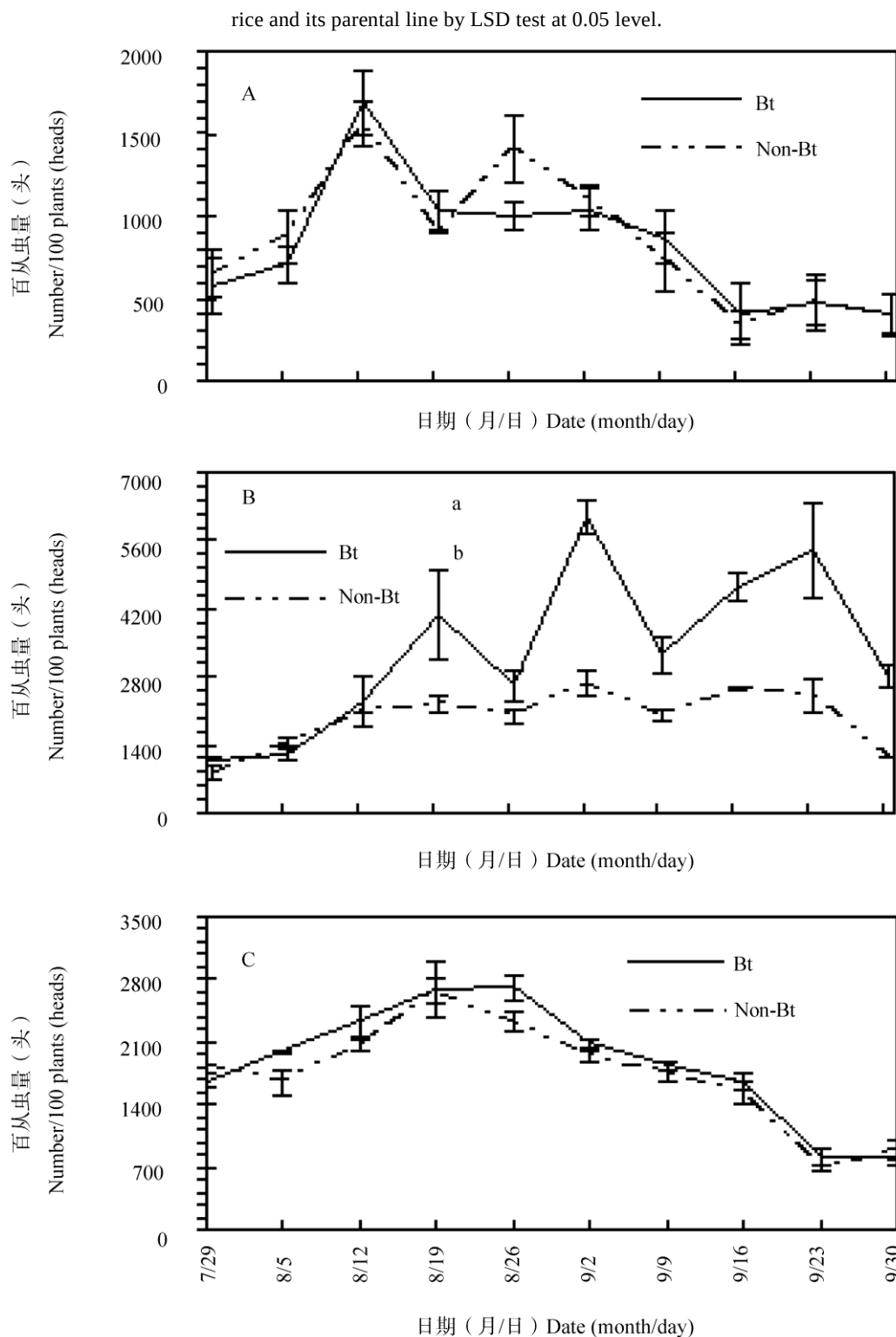


图 4 转 Bt 水稻 (HH1) 及其对照亲本水稻 (MH63) 稻田褐飞虱和白背飞虱总虫量发生动态 (广西兴安)

Fig. 4 Population dynamics of *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* occurring in the paddyfields of transgenic Bt rice (cv. HH1) and its parental line (cv. MH63) from 2011 to 2013 in Xingan County of Guangxi Province

A. 2011 ; B. 2012 ; C. 2013 ; 不同小写字母表示经 LSD 检验, 转 Bt 水稻及其对照亲本稻田稻飞虱种群动态差异显著, $P < 0.05$ 。

A.2011; B. 2012; C. 2013. Different lowercase letters indicated significant difference between the treatments of transgenic Bt rice and its parental line by LSD test at 0.05 level.

表 2 转 Bt 水稻 (HH1) 及其对照亲本 (MH63) 稻田非靶标害虫稻飞虱的捕食性天敌黑肩绿盲蝽及其猎物褐飞虱、白背飞虱和两者总虫量的相关性分析 (广西兴安, 2011–2013 年, *r* 值)

Table 2 Correlation analysis on population dynamics of <i>Cyrtorhinus lividipennis</i> and its prey of <i>Nilaparvata lugens</i> and <i>Sogatella furcifera</i> occurring in the paddyfields of transgenic Bt rice (cv. HH1) and its parental line (cv. MH63) form 2011 to 2013 in Xingan County of Guangxi Province (<i>r</i> values)				
品种 Cultivars	年份 Year	黑肩绿盲蝽×褐飞虱 <i>C. lividipennis</i> × <i>N. lugens</i>	黑肩绿盲蝽×白背飞虱 <i>C. lividipennis</i> × <i>S. furcifera</i>	黑肩绿盲蝽×白背飞虱和褐飞虱 <i>C. lividipennis</i> × <i>N. lugens</i> and <i>S. furcifera</i>
HH1	2011	0.517**	0.798	0.792**
	2012	0.440**	−0.17	0.242
	2013	−0.068	0.279	0.035
	2012+2012+2013	0.606**	0.702**	0.705**
MH63	2011	0.436**	0.575**	0.647**
	2012	0.714**	−0.134	0.444**
	2013	−0.044	0.256	0.047
	2012+2012+2013	0.604**	0.613**	0.595**
HH1+MH63	2011	0.460*	0.785**	0.773**
	2012	0.553**	−0.168	0.403*
	2013	−0.080	0.309	0.036
	2011+2012+2013	0.621**	0.727**	0.698**

HH1：转 Bt 水稻；MH63：常规对照；年份：2011、2012、2013；**P*<0.05，***P*<0.01。
HH1: Transgenic Bt rice; MH63: Parental line; Year: 2011, 2012, 2013. **P*<0.05, ***P*<0.01.

大田杀虫剂使用量的减少又会促进天敌种群的增加 (李保平等, 2002 ; 吴研等, 2007) 。可见, 转基因抗虫作物种植可能会影响大田靶标害虫及非靶标害虫发生, 并改变大田农事操作及害虫管理, 进而导致对非靶标天敌昆虫的影响。多数研究也并未发现取食转基因植物的植食性昆虫对其捕食性昆虫的个体生长发育、生殖、捕食行为等特性有不良影响 (崔金杰和夏敬源, 1999 ; Birch *et al.* , 1999 ; Armer *et al.* , 2000 ; Riddick and Barbosa , 2000 ; Al-Deeb *et al.* , 2001 ; 李保平等, 2002) 。对转基因抗虫棉的相关研究发现, 转基因抗虫棉对靶标害虫的控制作用降低了化学农药的使用, 转 Bt 棉田捕食性天敌总量比常规综

防田和化防田明显增加, 这有利于保护瓢虫和草蛉等捕食性天敌昆虫, 并有利于食虫蝽类和蜘蛛类天敌的增殖 (李丽莉等, 2004) 。

本文通过对水稻各生育期黑肩绿盲蝽种群动态调查得知, 仅 2012 年转 Bt 水稻及其对照亲本稻田非靶标害虫稻飞虱的捕食性天敌黑肩绿盲蝽的种群发生数量出现显著差异, 转 Bt 水稻稻田黑肩绿盲蝽种群数量显著高于对照亲本稻田, 其他两个年份转 Bt 水稻及其对照亲本稻田黑肩绿盲蝽种群数量差异不显著。通过对转 Bt 基因水稻 HH1 大田试验的开展发现, 非靶标害虫稻飞虱地捕食性天敌昆虫黑肩绿盲蝽的种群数量有所提高。可见, 转 Bt 基因水稻的种植有

利于对天敌昆虫的保护。此外,通过黑肩绿盲蝽及被捕食者稻飞虱(褐飞虱和白背飞虱)种群数量相关性分析发现,除极少数种群发生量上两者呈现负相关关系(如2012年转Bt水稻及其对照亲本稻田黑肩绿盲蝽与白背飞虱之间,2013年转Bt水稻及其对照亲本稻田黑肩绿盲蝽与褐飞虱之间),其他均呈现正相关关系,这些正相关可能与前期黑肩绿盲蝽和飞虱之间存在的伴迁现象有关(邓望喜,1981;Riley *et al.*, 1987, 1991, 1994;齐会会等,2014)。进一步通过相关显著性分析得出,2011—2013连续3年调查的转Bt水稻及其对照亲本稻田褐飞虱、白背飞虱和两种稻飞虱发生量分别与黑肩绿盲蝽百丛虫量之间呈现极显著的正相关关系;此外,在2011和2012年的调查中也得出了黑肩绿盲蝽与褐飞虱、白背飞虱及两种稻飞虱发生量之间也存在一些极显著的正相关关系。可见,转基因水稻种植对非靶标害虫捕食性天敌昆虫的影响与非靶标害虫的种群发生存在关联。

当然,基于连续3年的大田试验调查还不能最终确定转基因抗虫作物对非靶标害虫的捕食性天敌昆虫是否存在负面影响,其生态安全性还需通过长期定点观测与监测试验开展,以及相关试验数据的积累来进一步研究分析。对于转基因作物的生态安全性评价及其对天敌昆虫各方面的影响还需要持续的研究和进一步的深入探析。

参考文献 (References)

- Al-Deeb MA, Wilde GE, Higgins RA, 2001. No effect of *Bacillus thuringiensis* corn and *Bacillus thuringiensis* on the predator *Orius* *sidiosus* (Say) (Hemiptera: Anthocoridae). *Environ. Entomol.*, 30(3): 625–629.
- Armer AC, Berry RE, Kogan M, 2000. Longevity of phytophagous heteropteran predators feeding on transgenic Bt-potato plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 95(3): 329–333.
- Bae SH, Pathak MD, 1986. A mirid bug, *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter, predator of the eggs and nymphs of the brown planthopper. *Int. Rice Comm. Newsletter*, 15(3): 33–36.
- Birch ANE, Geoghegan IE, Majerus MEN, McNicol JW, Hackett CA, Gatehouse AMR, Gatehouse JA, 1999. Tri-trophic interactions involving pest aphids, predatory 2-spot ladybirds and transgenic potatoes expressing snowdrop lectin for aphid resistance. *Mol. Breeding*, 5(1): 75–83.
- Chang XN, Wei H, Xiao NW, Li JS, Han LZ, Chen FJ, 2011. Effects of elevated CO₂ and transgenic Bt rice on yeast-like endosymbiont and its host brown planthopper. *J. Appl. Entomol.*, 135(5): 333–342.
- Chiu SC, Ling KC, 1975. Investigation of the egg-parasites of *Oxya intricata* in Taiwan. *J. TW Agr. Res.*, 23(2): 116–125.
- Fitt GP, 2003. Implementation and impact of transgenic Bt cottons in Australia. *ICAC Recorder*, 4(4): 14–19.
- Han LZ, Wu KM, Peng YF, Wang F, Guo YY, 2006. Evaluation of transgenic rice expressing Cry1Ac and CpTI against *Chilo suppressalis* and intrapopulation variation in susceptibility to Cry1Ac. *Environ. Entomol.*, 35(5): 1453–1459.
- Han LZ, Wu KM, Peng YF, Wang F, Guo YY, 2007. Efficacy of transgenic rice expressing Cry1Ac and CpTI against the rice leafhopper, *Cnaphalocrocis medinalis*. *J. Invert. Pathol.*, 96(1): 71–79.
- Liquido NJ, Nishida T, 1983. Geographic distribution of *Cyrtorhinus* and *Tytthus* (Heteroptera: Miridae), egg predators of *Cicadellid* and *Delphacid* pests. *FAO Plant Protection Bulletin*, 31(4): 159–162.
- Riddick EW, Barbosa P, 2000. Cry3A-intoxicated *Leptinotarsa decemlineata* (Say) are palatable prey for *Lebia grandis* Hentz. *J. Entomol. Sci.*, 35(3): 342–346.
- Riley JR, Reynolds DR, Farrow RA, 1987. The migration of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Delphacidae) and other Hemiptera associated with rice during the dry season in the Philippines: a study using radar, visual observations, aerial netting and ground trapping. *Bull. Entomol. Res.*, 77(1): 145–169.
- Riley JR, Chen XN, Zhang XX, Reynolds DR, Xu GM, Smith AD, Cheng JY, Bao AD, Zhai BP, 1991. The long-distance migration of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Delphacidae) in China: radar observations of mass return flight in the autumn. *Ecol. Entomol.*, 16(4): 471–489.
- Riley JR, Reynolds DR, Smith AD, Rosenberg LJ, Cheng XN, Zhang XX, Xu GM, Cheng JY, Bao AD, Zhai BP, Wang HK, 1994. Observations on the autumn migration of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and other pests in east central

- China. *Bull. Entomol. Res.*, 84(3): 389–402.
- Wan GJ, Dang ZH, Wu G, Ge F, Parajulee MN, Chen FJ, 2014. Single and fused transgenic *Bacillus thuringiensis* rice alter the species-specific responses of non-target planthoppers to elevated carbon dioxide and temperature. *Pest Manage. Sci.*, 70 (5): 734–742.
- 崔金杰, 夏敬源, 1999. 转 Bt 基因棉对天敌种群动态的影响. 棉花学报, 11(2): 84–91.[CUI JJ, XIA JY, 1999. Effects of Transgenic Bt Cotton on the Population Dynamic of Natural Enemies. *Acta Gossypii Sinica*, 11(2): 84–91]
- 邓望喜, 1981. 褐飞虱及白背飞虱空中迁飞规律的研究. 植物保护学报, 8(2): 73–82. [DENG WX, 1981. A GENERAL SURVEY ON SEASONAL Migrations OF *Nilaparvata Lugens* And *Sogatella Furcifera* (Homoptera: Delphacidae) By Means Of Airpl Ane Collections. *Acta phytophylacila sinica*, 8(2): 73–82.]
- 高玉林, 傅强, 王锋, 赖凤香, 罗举, 彭于发, 张志涛, 2006. 转 CryIAc 和 CpTI 双基因抗虫水稻对二化螟和大螟的致死效应及田间螟虫构成的影响. 中国水稻科学, 20(5): 543–548.[GAO YL, FU Q, WANG F, LAI FX, LUO J, PENG YF, ZHANG ZT, 2006. Effects of Transgenic Rice Harboring *cryIAc* and *CpTI* Genes on Survival of *Chilo suppressalis* and *Sesamia inferens* and Field Composition of Rice Stem-borers. *Chinese Journal of Rice Science* 20(5): 543–548.]
- 何晶晶, 郑许松, 徐红星, 杨亚军, 吕仲贤, 2014. 温度对黑肩绿盲蝽生长发育和繁殖的持续影响. 浙江农业学报, 26 (1) : 117–121. [HE JJ, ZHENG XS, XU HX, YANG YJ, LU ZX, 2014. Successive impacts of different temperatures on the growth, development and reproduction of *Cyrtorhinus lividipennis* over three generations. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 26 (1) : 117–121.]
- 李保平, 孟玲, 万方浩, 2002. 转基因抗虫植物对天敌昆虫的影响. 中国生物防治, 18(3): 97–105.[LI BP, MENG L, WAN FH, 2002. Effects of insect resistant transgenic plants on natural enemies. *Chinese Journal of Biological Control*, 18(3): 97–105.]
- 李丽莉, 王振营, 何康来, 彭于发, 花蕾, 2004. 转基因抗虫作物对非靶标昆虫的影响. 生态学报, 24 (8): 1793–1802.[LI LL, WANG ZY, HE KL, PENG YF, HUA L, 2004. Impact of the insect-resistant transgenic crops on non-target insects. *Acta Ecologica Sinica*, 24 (8): 1793–1802.]
- 刘雨芳, 2004. 转 Bt 基因抗虫水稻的研究进展与生态安全评价. 生命科学研究, 8(4): 294–299.[LIU YF, 2004. Advances on transgenic Bt rice and ecological safety evaluation. *Life Science Research*, 8(4): 294–299.]
- 罗肖南, 卓文禧, 1986. 稻田飞虱与天敌数量消长关系及其自然控制作用考察. 昆虫天敌, 8(2) : 72–79. [LUO XN, ZHUO WX, 1986. Studies On The Relationships Of Population Fluctuation Between Rice Planthoppers And Natural Enemies And Natural Control_Effects. *Natural Enemies Of Insect* 8(2) : 72–79.]
- 齐会会, 张云慧, 蒋春先, 武俊杰, 程登发, 2014. 黑肩绿盲蝽与褐飞虱的伴迁行为研究. 中国生物防治学报, 30(2): 171–177.[QI HH, ZHANG YH, JIANG CX, WU JJ, CHENG DF, 2014. Accompanying Migration by *Cyrtorhinus lividipennis* (Reuter) with Its Insect, *Nilaparvata lugens* (Stal). *Chinese Journal of Biological Control*, 30(2): 171–177.]
- 舒庆尧, 叶恭银, 崔海瑞, 项友斌, 高明, 1998. 转基因水稻“克螟稻”选育. 浙江农业大学学报, 24(6): 579–580.[SHU QR, YE GY, CUI HR, XIANG YB, GAO M, 1998. Development of Transgenic *Bacillus thuringiensis* Rice Resistant to Rice Stem Borers and Leaf Folders. *Journal of Zhejiang Agricultural University* 24(6): 579–580.]
- 吴光荣, 陈琇, 1987. 黑肩绿盲蝽的生物学特性及其捕食作用的研究. 浙江农业大学学报, 13(2) : 216–221.[WU GR, CHEN X, 1987. Studies On The Biology Of The Mirid, *Cyrtorhinus lividipennis* Reuter (Hemiptera: Miridae) And Its Efficacy As A Predator. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 13(2) : 216–221.]
- 吴研, 王振营, 赵长山, 何康来, 2007. 转基因抗虫植物对昆虫天敌的影响. 东北农业大学学报, 38 (1): 107–112.[WU Y, WANG ZY, ZHAO CS, HE KL, 2007. Effects of insect resistant transgenic plants on natural enemies. *Journal of Northeast Agricultural University* 38 (1): 107–112.]
- 杨友才, 周清明, 2003. 转基因水稻研究进展. 湖南农业大学学报, 29(1): 85–88.[YANG YC, ZHOU QM, 2003. Advances of the Research on Rice Gene Transformation. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)* 29(1): 85–88.]
- 张启军, 尹福强, 王世全, 李平, 邹江石, 吕川根, 2006. 根癌农杆菌介导 gna 基因对水稻的转化. 中国农学通报, 22 (6): 40–44.[ZHANG QJ, YI FQ, WANG SQ, LI P, ZOU JS, LU CG, 2006. Agrobacterium tumefaciens-mediated Transformation of Rice for gna Gene. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 22 (6): 40–44]
- 朱祯, 邓朝明, 吴茜, 徐鸿林, 1999. 高效抗虫转基因水稻的培育. 云南大学学报, 21 (S3): 146–147.[ZHU Z, DENG ZM, WU Q, XU HL, 1999. Development of Highly Insect-resistant Transgenic Rice. *Journal of Yunnan University*, 21 (S3): 146–147.]
- 朱祯, 2001. 高效抗虫转基因水稻的研究与开发. 中国科学院院刊, 16 (5): 353–357.[ZHU Z, 2001. Research and Development of Highly Insect-resistant Transgenic Rice. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences*, 16 (5): 353–357.]