

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2017.02.008

# 转 *RRM2* 基因棉和其亲本苗蚜种群数量及其优势天敌的动态规律

路献勇<sup>1</sup>, 李淑英<sup>1</sup>, 朱加保<sup>1</sup>, 雒珺瑜<sup>2</sup>, 马 艳<sup>2</sup>, 崔金杰<sup>2\*</sup>, 程福如<sup>1</sup>

<sup>1</sup>安徽省农业科学院棉花研究所/国家棉花产业技术体系皖北试验站, 安徽 安庆 246003;

<sup>2</sup>中国农业科学院棉花研究所/棉花生物学国家重点实验室, 河南 安阳 455000

**摘要:**【目的】转基因作物的大规模种植,可能会对人类健康和生态环境造成影响。因此,商业化种植之前,评价环境安全性十分必要。【方法】以转基因(*RRM2*)高产棉为实验品种,受体材料中棉所 12 为对照品种,分别于 2013 年和 2014 年连续 2 年对 2 种棉田的苗期蚜虫及其几种主要捕食性天敌的田间种群数量进行系统的田间调查,并比较它们在这 2 种不同棉田间的差异。【结果】与中 12 相比,转 *RRM2* 基因棉苗期无翅蚜的发生数量显著增加,有翅蚜迁入棉田的数量也有所增加,但二者差异不显著;2 个棉花品系间棉蚜的几种主要捕食性天敌发生数量也无明显差异。【结论】与亲本材料相比,转高产棉花苗蚜数量显著增加,但其捕食性天敌数量增加不明显。本研究为转 *RRM2* 高产基因棉花环境安全评价技术的完善提供了理论依据。

**关键词:** 转 *RRM2* 基因棉; 棉蚜; 捕食性天敌; 种群密度

## Population dynamics of the cotton aphid (*Aphis gossypii*) and its natural enemies on the transgenic *RRM2* cotton and its parental cultivar in Anhui Province, China

LU Xianyong<sup>1</sup>, LI Shuying<sup>1</sup>, ZHU Jiabao<sup>1</sup>, LUO Junyu<sup>2</sup>, MA Yan<sup>2</sup>, CUI Jinjie<sup>2\*</sup>, CHENG Furu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Cotton Research Institute of Anhui Academy of Agricultural Sciences/Anqing Branch of National Cotton Improvement Center,

Anqing, Anhui 246003, China; <sup>2</sup>Cotton Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences/

State Key Laboratory of Cotton Biology, Anyang, Henan 455000, China

**Abstract:** 【Aim】 Large-scale cultivation of transgenic GM crops may have unwanted ecological effects, triggering the need for environmental safety assessments before commercial release. 【Method】 Plots of a high-yielding transgenic (*RRM2*) cotton cultivar and its parental conventional cotton (CCRI12) were systematically surveyed to examine the field population density of the cotton aphid and several natural enemies in 2013 and 2014 in Anhui Province, China. 【Result】 The type of wingless aphid in transgenic *RRM2* cotton increased significantly compared with its non-transgenic parent, cv. CCRI12. Densities of winged *Aphis gossypii* also increases, but the difference was not significant. The population densities of several predators was no significantly different between these two cultivars. 【Conclusion】 The studied transgenic cotton cultivar supported more cotton aphids than its parental isoline, but this was not followed by an increase in the field population density of predators. This study could contribute to the assessment of environment safety of the new GM cotton.

**Key words:** transgenic *RRM2* cotton; cotton aphid; predator; population density

据国际农业生物技术应用服务组织 (ISSA) 统计,2014 年转基因作物种植面积连续 19 年持续增加,达 1.815 亿  $\text{hm}^2$ ,其中,中国有 390 万  $\text{hm}^2$  *Bt* 棉,占棉花总种植面积的 93% (James, 2015)。2008 年起,转基因生物技术得到了飞速发展,由中国农业科学院棉花研究所与复旦大学合作完成的优质大龄转

收稿日期 (Received): 2016-06-16      接受日期 (Accepted): 2016-08-03

基金项目: 转基因生物新品种培育重大专项 (2016ZX08011-002); 安徽省农业科学院院长青年创新基金项目 (16B0713)

作者简介: 路献勇, 男, 研究实习生, 硕士。研究方向: 棉花害虫综合防治及转基因棉花环境安全评价。E-mail: nzg1021@163.com

\* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: cuijinjie@126.com

*RRM2* 基因棉花新材料,单铃重达 7.5 g,且结铃性比一般棉花品种提高 20% 以上,在高产、优质棉花品种培育方面具有非常大的应用潜力(刘传亮等,2014)。

随着转基因作物在全球范围内的蓬勃发展,人们对转基因生物安全性的争论也不断升温。大量研究结果表明,转 *Bt* 基因抗虫棉对棉田昆虫群落及生物多样性无显著影响(柏立新等,2004;刘万学等,2002;雒珺瑜等,2014b;孙长贵等,2003;肖留斌,2005;徐文华等,2008)。我国 *Bt* 棉大规模种植已超过 15 年,棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hubner、红铃虫 *Pectinophora gossypiella* (Saunders) 等靶标害虫得到了有效控制,但棉田害虫的生态地位发生了明显的变化,棉蚜 *Aphis gossypii* Glover、盲蝽蟥、烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius)、棉叶蝉 *Empoasca biguttunla* Shiraki 等刺吸性害虫的种群数量显著增加,已上升为棉田主要害虫,严重威胁棉花生产。而由于农药用量减少,棉田天敌种群数量增加明显,对刺吸性害虫的种群数量有一定的控制作用(崔金杰等,2014;郭建英等,2005;雒珺瑜等,2012;杨益众等,2006;袁准等,2015;Lu *et al.*, 2010,2012)。

目前,关于转 *RRM2* 基因棉花生态评价的研究较少,雒珺瑜等(2014a)、马小艳等(2013)和赵云丽等(2015a)分别针对田间节肢动物多样性、荒地生存竞争能力、土壤细菌多样性及土壤速效养分和酶活性开展了相关研究。但上述研究并未对棉田的主要物种或稀有物种进行评价,而概括地统计昆虫群落的动态变化,可能会掩盖不同昆虫的差异,如抗虫棉田中的靶标害虫数量的下降,其他害虫如蚜虫种群数量可能会上升(Hagenbucher *et al.*, 2013)。因此,本文以转基因(*RRM2*)高产棉及其亲本中棉所 12 为研究对象,对其种植后苗期棉蚜及其天敌种群数量的动态变化进行研究,以期对新型转基因棉花环境安全评价积累科学数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

本实验中转基因棉花材料“HN9311”及其亲本材料“中棉所 12”均由中国农业科学院棉花研究所提供。将来源于甘蓝型油菜的 *RRM2* 基因转入“中棉所 12”中获得了新型转 *RRM2* 基因棉花“HN9311”,该材料可提高棉花的单铃重、单株结铃数等性状,不携带其他抗虫性状。

供试虫源来自安徽省农业科学院棉花研究所实验田棉花上自然发生的棉田有翅蚜。

### 1.2 实验方法

1.2.1 实验设计 大田实验设置 2 个处理:新型转 *RRM2* 高产基因“HN9311”棉田,简称转 *RRM2* 高产基因棉田;亲本材料“中棉所 12”棉田,简称常规棉田。每个处理种植 3 个小区,共 6 个小区,小区间随机排列,小区面积 160 m<sup>2</sup>,覆膜种植,每个品种间种植宽度为 5 m 的玉米保护行。实验田四周种植玉米、大豆,或有池塘,无 *Bt* 棉花种植,前茬作物为油菜。实验在安徽农业科学院棉花研究所(安徽安庆市)实验农场进行,实验基地四周被建筑物所包围,没有大面积种植小麦或油菜。棉花播种时间分别为 2013 年 4 月 26 日、2014 年 4 月 29 日,株距 0.27 m,行距 1.5 m。2 种棉田全生育期均不喷施任何化学农药,其他农事操作按棉田常规管理进行。

1.2.2 棉蚜及其主要天敌数量调查方法 调查采用对角线五点取样法,各处理棉田从 5 月上旬开始至 6 月下旬,2013 年每隔 5 d 调查一次,2014 年每隔 7 d 调查一次。每个小区每次调查 5 个样点,每个样点连读调查 10 株棉花,共 50 株。详细调查取样范围内植株上棉蚜及其天敌的种类和数量。

1.2.3 棉蚜对 2 种棉花品系选择性测定 实验参照李进步等(2007)的方法,并略微修改。将微施有机肥的细土拌匀后装入直径 30 cm 左右的花盆,播种 2 种棉花品系,每品系 36 盆,移入人工气候室培养。当棉苗长至 4 叶期时,将各品系棉花放入边长 2 m 的正方体纱网内(纱网内棉花摆放顺序:2 个品系呈对角线排列,分别摆放在角落,每 3 盆并排,每个品系共 6 盆)。纱网内光线要求分布均匀,将从棉田中采集的有翅成蚜移入养虫盒中,并在纱网内距棉花 50 cm 正中央上方开盒让其自由扩散。每隔 6 h 观察一次,记载 2 个品系上有翅蚜的着落量,直到全部有翅蚜离开养虫盒。每次实验放入有翅蚜 400 头,重复 3 次。

### 1.3 统计分析

运用 SPSS 19.0 和 Microsoft Excel 2007 软件对实验数据采用独立 *t* 测验进行差异分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 2013—2014 年棉蚜发生情况

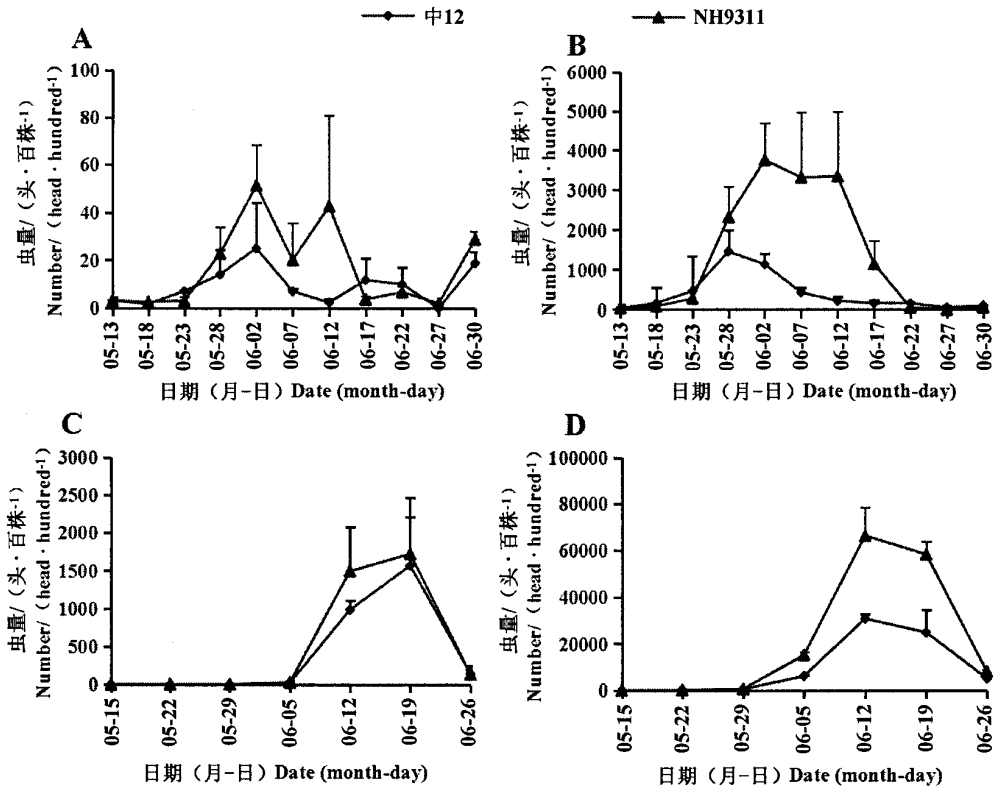
安庆棉区棉蚜主要发生在苗期,一般发生时间为 5 月中旬至 6 月下旬。研究发现,棉蚜种群数量

的变化不仅与当日气温有关,而且与此前的气温高低密切相关。2013 年不同调查时间间隔(5 d)的最高气温变动幅度较大,5 月 13 日—5 月 17 日最高气温 28.6 ℃,5 月 18 日—5 月 22 日最高气温降到 25.1 ℃,5 月 23 日—5 月 27 日最高气温 31.3 ℃,这种前期相对剧烈的变动幅度不利于棉蚜的快速繁殖,导致 2013 年棉蚜高峰期发生数量较少;2014 年棉花苗期前期温度变幅较小,有利于棉蚜种群的增长,使得当年的棉蚜高峰期发生数量较大。由于 2 年间相对湿度和降水量差异不大,因此认为,2014 年比 2013 年棉蚜发生较重主要由温度变化决定。

2.2 转高产基因 *RRM2* 棉花对苗蚜种群动态的影响

2 种类型棉田苗蚜种群消长见图 1。2013 年苗期棉蚜高峰期为 5 月 28 日—6 月 2 日,常规棉田百株棉蚜数量为 1455.0 头,而转 *RRM2* 基因棉田百株

棉蚜数量为 3755.3 头,比亲本常规棉增加了 158%,差异显著 [ $(t_{0.05} = 2.045) < (t = 2.262) < (t_{0.01} = 2.756)$ ];2014 年苗期无翅蚜高峰期为 6 月 12 日—6 月 19 日,转 *RRM2* 基因棉田和常规棉田的百株棉蚜数量分别为 66308.3 和 30717.1 头,比常规棉田增加了 120%,差异达显著水平 [ $(t_{0.05} = 2.069) < (t = 2.575) < (t_{0.01} = 2.807)$ ]。2013 年苗期有翅蚜高峰期为 5 月 28 日—6 月 2 日,转 *RRM2* 基因棉田和中 12 的百株有翅蚜数量分别为 51.3 和 25.0 头,比常规棉增加了 110%,差异未达显著水平 [ $(t = 1.229) < (t_{0.05} = 2.045)$ ]。2014 年苗期有翅蚜高峰期为 6 月 12 日—6 月 19 日,中 12 棉田百株有翅蚜数量为 1569.2 头,而转 *RRM2* 基因棉田百株有翅蚜数量为 1724.2 头,比亲本增加了 9.9%,差异未达显著水平 [ $(t = 0.261) < (t_{0.05} = 2.069)$ ]。



A: 2013 年有翅蚜数量; B: 2013 年无翅蚜数量; C: 2014 年有翅蚜数量; D: 2014 年无翅蚜数量。  
A: Number of alate aphid in 2013; B: Number of wingless aphid in 2013; C: Number of alate aphid in 2014; D: Number of wingless aphid in 2014.

图 1 2013—2014 年安徽省 2 种类型棉田棉蚜发生情况

Fig.1 The occurrence of cotton aphids, *A. gossypii*, in the two types of cotton in 2013 and 2014 in Anhui Province

2.3 转高产基因 *RRM2* 棉花对苗蚜主要捕食性天敌种群动态的影响

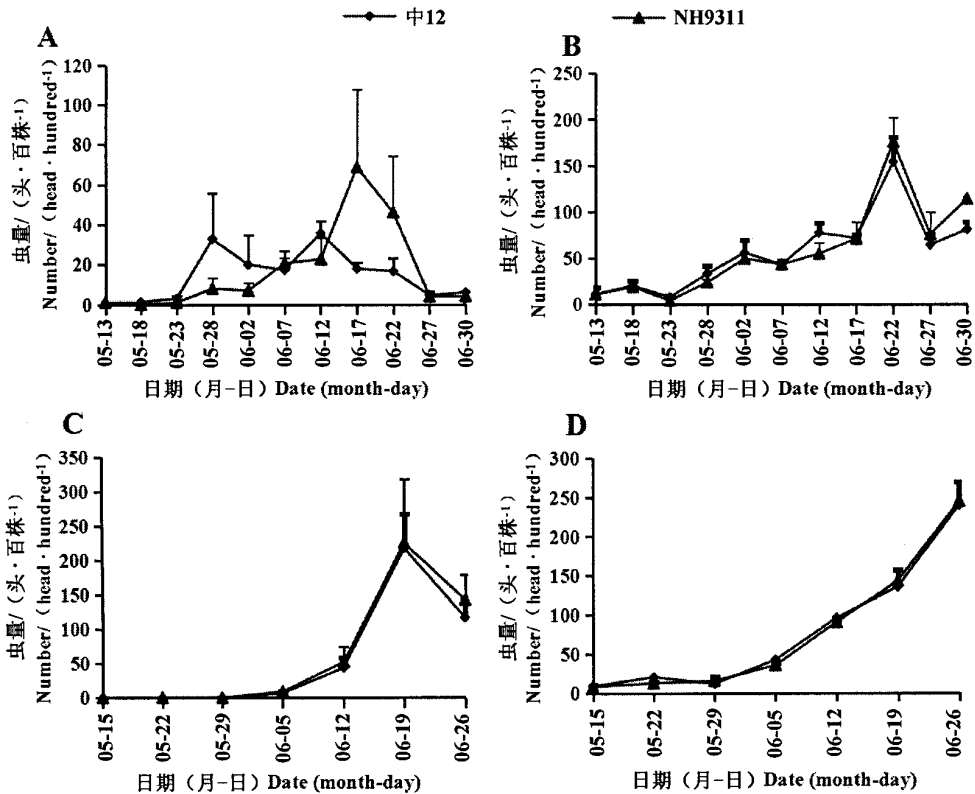
2.3.1 黑襟毛瓢虫 *Scymninae hofmanni* Weise 黑襟毛瓢虫是安庆棉区苗蚜发生期的优势种群之一。2013 和 2014 年,HN9311 与中 12 2 类棉田黑襟毛瓢虫

高峰期的百株虫量分别为 35.5、68.7 头和 217.5、225.0 头,分别比亲本中 12 增加 93.4%和 3.4%,经统计分析均未达到显著差异[2013 年,  $(t = 0.612) < (t_{0.05} = 2.045)$ ; 2014 年,  $(t = 0.096) < (t_{0.05} = 2.069)$ ] (图 2A、C)。

2.3.2 蜘蛛类 蜘蛛类是安庆棉区苗蚜发生期的优

势种群之一。2013 和 2014 年,HN9311 与中 12 2 类棉田高峰期的百株蜘蛛量分别为 154.4、175.3 头和 240、245 头,与亲本中 12 相比,转基因材料 HN9311 分别增

加了 13.9%、2.0%,经  $t$  测验,两者之间未达到显著差异 [2013 年,  $(t=0.433) < (t_{0.05}=2.045)$ ; 2014 年,  $(t=0.190) < (t_{0.05}=2.069)$ ] (图 2B、D)。



A: 2013 年黑襟毛瓢虫数量; B: 2013 年蜘蛛数量; C: 2014 年黑襟毛瓢虫数量; D: 2014 年蜘蛛数量。  
A: Number of *S. hoffmanni* in 2013; B: Number of spider in 2013; C: Number of *S. hoffmanni* in 2014; D: Number of spider in 2014.

图 2 2013—2014 年安徽省 2 种类型棉田黑襟毛瓢虫和蜘蛛种群动态

Fig.2 Population dynamics of *S. hoffmanni* and spiders in the two types of cotton in 2013 and 2014 in Anhui Province

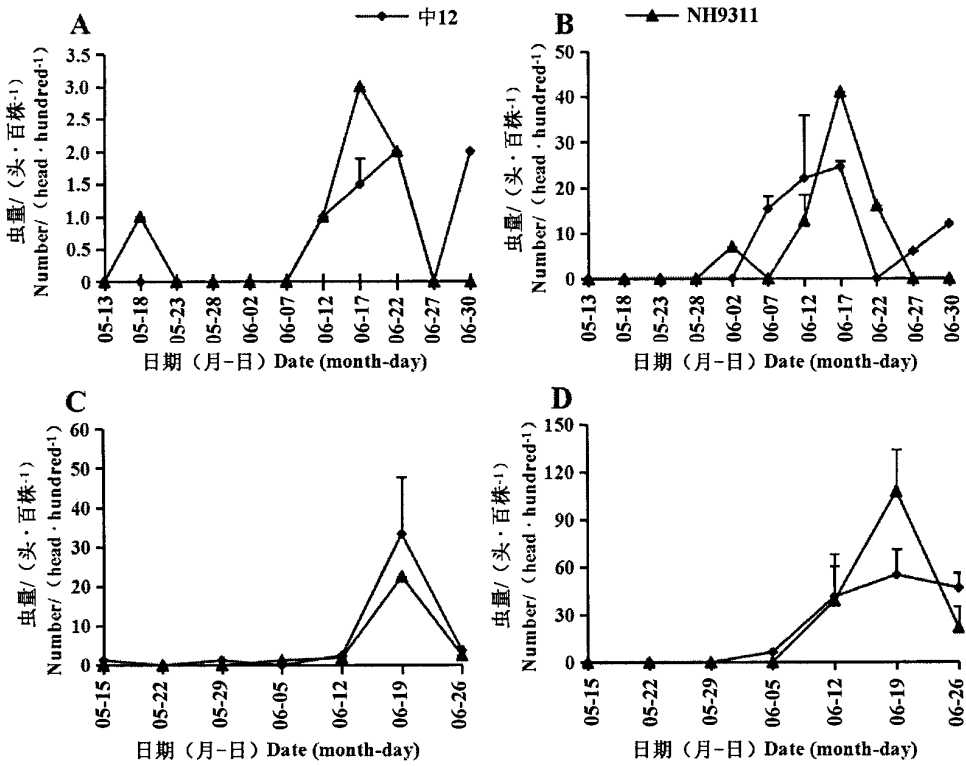
2.3.3 草蛉 2 年的田间调查结果 (图 3) 表明, 安庆棉区苗蚜发生期草蛉数量较少, 2013 和 2014 年, HN9311 与中 12 2 类棉田高峰期的百株虫量分别为 2.0、3.0 头和 33.3、22.5 头, 经  $t$  测验, 两者之间未达到显著差异 [2013 年,  $(t=0.597) < (t_{0.05}=2.045)$ ; 2014 年,  $(t=1.939) < (t_{0.05}=2.069)$ ]; 百株草蛉卵量分别为 24.5、41.0 粒和 55.0、107.5 粒, 经  $t$  测验, 2 年间二者差异均未达到显著水平 [2013 年,  $(t=0.025) < (t_{0.05}=2.045)$ ; 2014 年,  $(t=0.993) < (t_{0.05}=2.069)$ ]

2.3.4 食蚜蝇 2 年的田间调查结果 (图 4A、C) 表明, 安庆棉区苗蚜发生期食蚜蝇类数量较少, 2013 和 2014 年, HN9311 与中 12 2 类棉田高峰期的百株虫量分别为 4.0、6.3 头和 27.5、20.0 头, 经  $t$  测验, 两者未达显著差异 [2013 年,  $(t=1.013) < (t_{0.05}=2.045)$ ; 2014 年,  $(t=0.961) < (t_{0.05}=2.069)$ ]

2.3.5 小花蝽 小花蝽是安庆棉区苗蚜发生期的

优势种群之一。2013 和 2014 年, HN9311 与中 12 2 类棉田高峰期的百株虫量分别为 62.7、16.0 头和 178.5、114.3 头, 与亲本中 12 相比, 转基因材料 HN9311 分别减少了 74.5%、35.9%,  $t$  测验发现, 2013 年两者之间差异极显著 [  $(t=2.772) > (t_{0.01}=2.756)$  ], 2014 年未达到显著差异 [  $(t=1.838) < (t_{0.05}=2.069)$  ] (图 4B、D)。

2.3.6 瓢虫类 瓢虫是安庆棉区苗蚜发生期的优势种群之一。2013 和 2014 年, HN9311 与中 12 2 类棉田高峰期的百株虫量分别为 26.0、79.5 和 516.7、400.8 头,  $t$  测验发现, 2013 年两者之间差异达极显著 [  $(t=3.494) > (t_{0.01}=2.756)$  ], 2014 年未达到显著差异 [  $(t=1.084) < (t_{0.05}=2.069)$  ]。百株瓢虫卵量分别为 54.7、168.3 粒和 669.2、1161.7 粒, 经  $t$  测验, 2 年间二者差异均未达到显著水平 [2013 年,  $(t=1.762) < (t_{0.05}=2.045)$ ; 2014 年,  $(t=1.490) < (t_{0.05}=2.069)$ ] (图 5)。

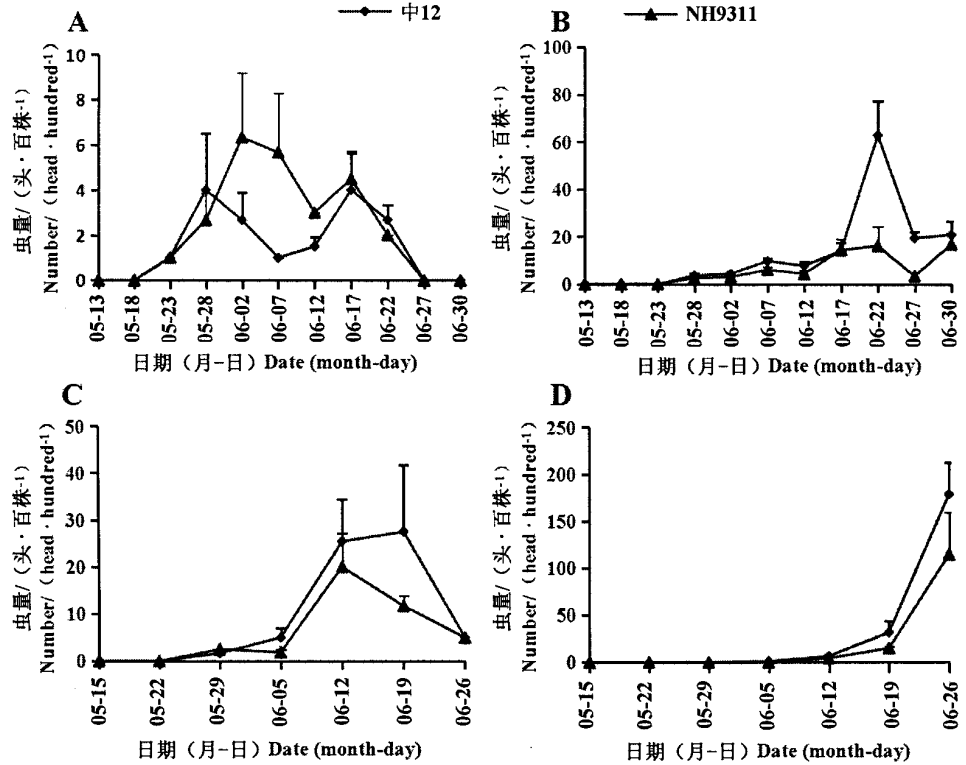


A: 2013 年草蛉成虫数量; B: 2013 年草蛉卵数量; C: 2014 年草蛉成虫数量; D: 2014 年草蛉卵数量。

A: Number of lacewing adult in 2013; B: Number of lacewing egg in 2013; C: Number of lacewing adult in 2014; D: Number of lacewing egg in 2014.

图 3 2013—2014 年安徽省 2 种类型棉田草蛉种群动态

Fig.3 Population dynamics of lacewings (*Chrysopidae*) in the two types of cotton in 2013 and 2014 in Anhui Province

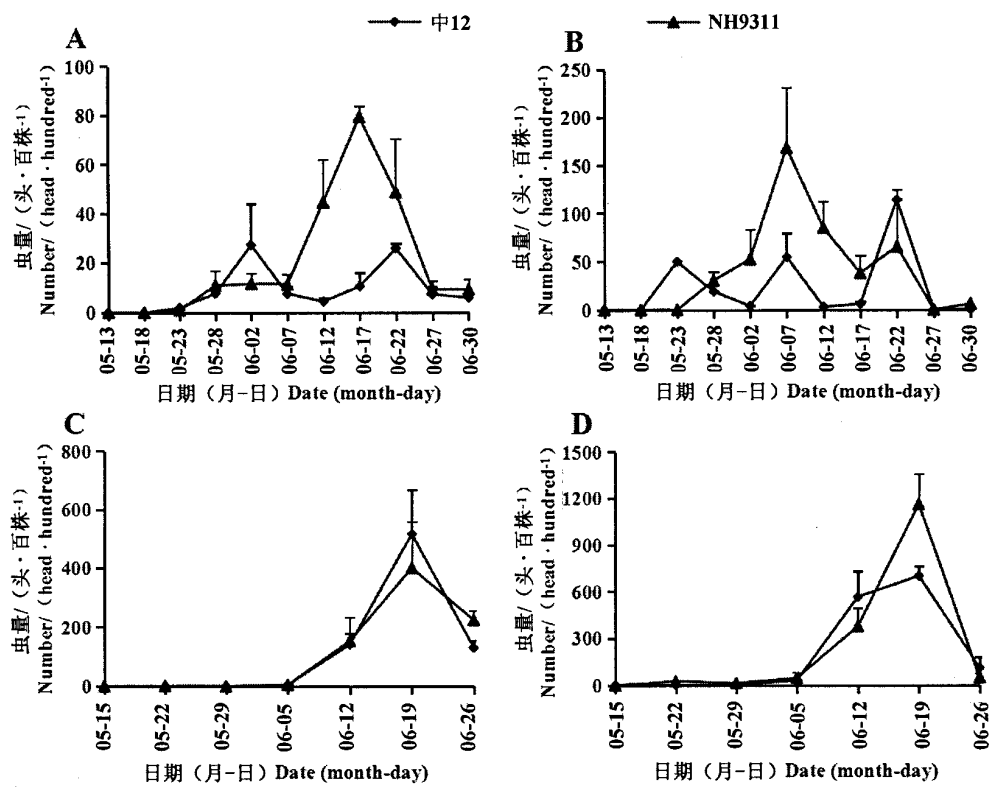


A: 2013 年食蚜蝇数量; B: 2013 年小花蝽数量; C: 2014 年食蚜蝇数量; D: 2014 年小花蝽数量。

A: Number of syrphidae in 2013; B: Number of orius in 2013; C: Number of syrphidae in 2014; D: Number of orius in 2014.

图 4 2013—2014 年安徽省 2 种类型棉田食蚜蝇和小花蝽种群动态

Fig.4 Population dynamics of over flies (*Syrphidae*) and predatory bugs (*Orius* spp.) in the two types of cotton in 2013 and 2014 in Anhui Province



A: 2013 年瓢虫数量; B: 2013 年瓢虫卵数量; C: 2014 年瓢虫数量; D: 2014 年瓢虫卵数量。  
A: Number of ladybird in 2013; B: Number of ladybird egg in 2013; C: Number of ladybird in 2014; D: Number of ladybird egg in 2014.

图 5 2013—2014 年安徽省 2 种类型棉田瓢虫种群动态

Fig.5 Population dynamics of ladybirds (Coccinellidae) in the two types of cotton in 2013 and 2014 in Anhui Province

2.4 棉田有翅蚜对转高产基因棉 HN9311 及其亲本中 12 的选择性

分析棉蚜着落量,转高产基因 *RRM2* 棉花上有翅蚜的着落量比亲本中 12 增加了 8.07%,*t* 测验发

现,2 个品系上有翅蚜的着落量无明显差异[ ( $t = 1.037$ ) < ( $t_{0.05} = 2.776$ ) ]。由此可知,转高产基因棉花对棉田有翅蚜的迁入量没有显著影响(表 1)。

表 1 2 种不同类型棉花品系上棉蚜的着落量  
Table 1 Landing amounts of cotton aphid on two different types of cotton lines

| 品种<br>Cotton cultivar | 着落量/[头·(3 盆) <sup>-1</sup> ] Number of alate adults landing after |      |      |      |      | 平均 Average |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------------|
|                       | 1 h                                                               | 6 h  | 12 h | 18 h | 24 h |            |
| 中 12 Zhong 12         | 15.3                                                              | 22.3 | 28.0 | 36.3 | 42.3 | 28.9±4.8a  |
| HN9311                | 17.7                                                              | 24.7 | 31.7 | 39.0 | 44.0 | 31.4±4.7a  |

数据为 3 次重复的平均值。同一列中小写字母相同者表示差异不显著 ( $P>0.05$ )。  
The data represent means of three replications. Same lowercase letters in same column represent no significant difference ( $P>0.05$ ).

3 讨论

转基因作物在全球的迅速推广种植引起了广泛关注甚至争议,经过遗传改良并具有自然选择优势的转基因作物若被批准商业化种植,可能会对农田环境造成潜在的生态风险。

本文连续 2 年对转 *RRM2* 基因棉田蚜虫及其主要捕食性天敌的种群数量进行调查,初步明确了转 *RRM2* 基因棉对棉田苗期蚜虫及主要天敌的影响。结果表明,2013 和 2014 年,转 *RRM2* 基因棉田

苗期无翅蚜的种群数量与亲本有明显差异,但有翅蚜的种群数量差异不显著。这与 1997 年以来 *Bt* 棉对不同地区棉田生态系统中棉蚜及其天敌的研究结果基本一致(陈海风等,2013;崔金杰和夏敬源,1998;杨益众等,2006;徐文华等 2008);但与曾华兰等(2009)和雒珺瑜等(2012)的研究结果不太一致,可能是由于 *RRM2* 基因与 *Bt* 基因不同、实验条件和实验方法不同所致。此外,棉蚜对这 2 个品系的选择性实验也表明,两者之间有翅蚜的种群数量

无显著差异。本研究仅仅分析了 2 年的田间数据,未来应结合罩笼实验及多年多点实验进一步验证。

虽然转 *RRM2* 基因棉比常规棉田无翅蚜种群数量显著增加,但其主要捕食性天敌种群(如草蛉、蜘蛛、小花蝽、黑襟毛瓢虫及食蚜蝇)并无显著差异,瓢虫和小花蝽种群仅仅在 2013 年差异显著,可能是由于当年蚜虫发生数量较少,这 2 种天敌为了寻找猎物在 2 种类型棉田来回转移而导致。因此,为了避免误差的产生,建议后期应该将 2 种棉花材料种植在相距一定距离的地块内开展研究。

### 参考文献

- 柏立新,张龙娃,肖留斌,冯汉金,邹宗晴,2004. 转 *Bt* 基因保铃棉对沿海棉区棉田节肢动物群落组成与多样性的影响. *江苏农业学报*, 20(4): 233-239.
- 陈海风,周春晓,黄诚诚,陈绍坤,江雨倩,史雪莹,原俊灵,巫厚长,2013. 转 *Bt* 基因棉和 2 种常规棉田节肢动物群落结构和动态规律比较研究. *安徽农业大学学报*, 40(6): 988-994.
- 崔金杰,雒珺瑜,王春义,马艳,李春花,2014. 转双价基因棉田主要害虫及其天敌的种群动态. *棉花学报*, 16(2): 94-101.
- 崔金杰,夏敬源,1998. 麦套夏播转 *Bt* 基因棉田主要害虫及其天敌的发生规律. *棉花学报*, 10(5): 255-262.
- 李进步,方丽平,张亚楠,杨卫娟,郭庆,李雷,毕彩丽,杨荣志,2007. 不同类型品种棉花上棉蚜适生性及种群动态. *昆虫学报*, 50(1): 1027-1033.
- 刘传亮,田瑞平,孔德培,李凤莲,商海红,陈秀军,2014. 棉花规模化转基因技术体系构建及其应用. *中国农业科学*, 47(21): 4183-4197.
- 刘万学,万方浩,郭建英,2002. 转 *Bt* 基因棉田节肢动物群落营养层及优势功能团的组成与变化. *生态学报*, 22(5): 729-735.
- 郭建英,周洪,万方浩,刘小京,韩召军,2005. 两种防治措施下转 *Bt* 基因棉田绿盲蝽的发生与为害. *昆虫知识*, 42(4): 424-428.
- JAMES C, 2015. 2014 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势. *中国生物工程杂志*, 3(1): 1-14.
- 雒珺瑜,刘传亮,张帅,王春义,吕丽敏,李春花,李付广,崔金杰,2014a. 转 *RRM2* 基因棉生长势和产量及对棉田节肢动物群落的影响. *植物生态学报*, 38(7): 785-794.
- 雒珺瑜,崔金杰,张帅,王春义,辛惠江,2012. 转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉对棉蚜生命表参数及种群动态的影响. *应用昆虫学报*, 49(4): 906-910.
- 雒珺瑜,张帅,吕丽敏,王春义,朱香镇,李春花,崔金杰,2014b. 转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 棉花生长势及其对棉田节肢动物物种丰富度的影响. *生物安全学报*, 23(4): 256-264.
- 马小艳,彭军,姜伟丽,马亚杰,马艳,2013. 转基因(*Bn-csRRM2*)高产棉花的荒地生存竞争能力. *生物安全学报*, 22(4): 248-252.
- 慕彩芸,车罡,阿西亚·瓦依提,朱晓华,2010. 东疆棉蚜种群消长规律及其与气象因子的关系. *沙漠与绿洲气象*, 4(6): 54-57.
- 孙长贵,张青文,徐静,王因霞,刘俊丽,2003. 转 *Bt* 基因棉和转 *Bt+CpTi* 双价基因棉对棉田主要害虫及其天敌种群动态的影响. *昆虫学报*, 46(6): 705-712.
- 肖留斌,2005. 转 *Bt* 基因棉抗虫性综合量化评估及田间节肢动物群落结构分析. 硕士学位论文. 扬州:扬州大学.
- 徐文华,刘标,王瑞明,郑央萍,张毅,李孝刚,2008. 江苏沿海地区转 *Bt* 基因抗虫棉对棉田昆虫种群的影响. *生态与农村环境学报*, 24(1): 32-38.
- 杨益众,陆宴辉,薛文杰,刘洋,杨海燕,李晓慧,王峰,余月书,2006. 转基因棉田棉蚜种群动态及相关影响因素分析. *昆虫学报*, 49(1): 80-85.
- 袁淮,李毅,李育强,钟亮,李志文,曾爱平,2015. 湖南长沙棉田节肢动物群落特征、动态及优势种生态位. *植物保护*, 41(1): 37-43.
- 赵云丽,李刚,修伟明,多立安,曹璇,雒珺瑜,崔金杰,杨殿林,赵建宁,2015a. 非抗虫转基因棉花对土壤细菌群落多样性的影响. *农业环境科学学报*, 34(4): 716-721.
- 赵云丽,赵建宁,李刚,修伟明,曹璇,王慧,马艳,多立安,杨殿林,2015b. 转基因(*Bn-csRRM2*)高产棉花对土壤速效养分和酶活性的影响. *棉花学报*, 27(2): 143-148.
- 曾华兰,何炼,叶鹏盛,刘朝辉,韦树谷,张骞方,2009. 四川棉区转基因抗虫棉对棉田昆虫群落的影响. *西南农业学报*, 22(3): 632-635.
- HAGENBUCHER S, WÄCKERS F L, WETTSTEIN F E, OLSON D M, RUBERSON J R, ROMEIS J, 2013. Pest trade-offs in technology: reduced damage by caterpillars in *Bt* cotton benefits aphids. *Proceeding of the Royal Society B: Biological Science*, 280: 293-300.
- LU Y H, WU K M, JIANG Y Y, GUO Y Y, DESNEUX N, 2012. Widespread adoption of *Bt* cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature*, 487: 362-365.
- LU Y H, WU K M, JIANG Y Y, XIA B, LI P, FENG H Q, WYCKHUYS A G, GUO Y Y, 2010. Mirid bugs outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of *Bt* cotton in China. *Science*, 328: 1151-1154.