

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2014.04.006

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

雒珺瑜, 张 帅, 吕丽敏, 王春义, 朱香镇, 李春花, 崔金杰*
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:【背景】转基因棉花在商业化种植之前,必须评价其环境安全性。其中新型棉花材料的生存竞争能力和对物种丰富度的影响是评价的重要内容。【方法】以转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉为试验材料,转 *Cry1Ac* 棉花中棉所 41 和非转基因棉花中棉所 49 为对照品种,分别于 2014 年 5~9 月对棉花株高、主茎叶片数、叶绿素含量、比叶面积、果枝数、蕾铃数等生长参数进行比较,同时对二代、三代和四代棉铃虫发生期棉田物种丰富度进行系统调查。【结果】转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 棉花的生长势与转 *Cry1Ac* 棉花和非转基因棉花基本相当,没有表现出明显的竞争优势;产量构成参数在成铃和脱落等方面比非转基因棉表现出良好的优势。对棉田节肢动物物种丰富度的影响表明,转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 棉花对靶标害虫棉铃虫具有良好的控制效果,对主要刺吸性害虫棉蚜、棉蓟马、烟粉虱、绿盲蝽与天敌龟纹瓢虫、草间小黑蛛、草蛉和小花蝽等的种群丰富度在个别时期有所影响,但总体上与转 *Cry1Ac* 棉田和非转基因棉田没有显著性差异。【结论与意义】转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 棉花无竞争优势,但目标性状优势较好;对棉田节肢动物物种丰富度无明显影响。研究结果为新型转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 棉花对棉田环境安全方面的研究进一步补充了内容,为转基因棉花的环境安全评价提供科学数据。

关键词: 转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 棉花; 生长势; 节肢动物; 物种丰富度

Effects of transgenic *Cry1Ac+Cry2Ab* on the cotton growth potential and arthropod species richness in cotton fields

Jun-yu LUO, Shuai ZHANG, Li-min LV, Chun-yi WANG, Xiang-zhen ZHU, Chun-hua LI, Jin-jie CUI*
State Key Laboratory of Cotton Biology, Institute of Cotton Research of Chinese Academy
of Agricultural Sciences, Anyang, Henan 455000, China

Abstract: 【Background】The environmental safety assessment of transgenic crop is required before its commercial cultivation. In this study, we used the assessment of transgenic crop and investigated the effects to cotton arthropod species richness in cotton fields. 【Method】We compared the plant height, leaf number of main stem, the content of chlorophyll, specific leaf area, fruit branch number, boll number and other growth parameters in the field of the *Cry1Ac+Cry2Ab* transgenic cotton during May to September in 2014 as well as in transgenic *Cry1Ac* cotton CCRI 41 and non-transgenic cotton variety CCRI 49 fields for comparison. At the same time, the species richness of arthropod community in cotton fields was systematic surveyed during the second, third and fourth generation of cotton bollworm occurrence. 【Result】The growth potential was no different between transgenic *Cry1Ac+Cry2Ab* cotton, transgenic *Cry1Ac* cotton and non-transgenic cotton. In terms of arthropod community, the target pest *Helicoverpa armigera* was obviously controlled, but there was no influence of transgenic *Cry1Ac+Cry2Ab* cotton on other sucking pests and natural enemies, such as cotton aphids, cotton thrips, *Bemisia tabaci*, *Lygus lucorum*, *Propylaea japonica*, *Erigonidium graminicola*, lacewings and *Orius*. 【Conclusion and significance】Transgenic *Cry1Ac+Cry2Ab* cotton has no competitive advantage against the other cotton crops, but plants traits were better than the other cotton crops. No obvious effects on the arthropod species richness in cotton fields were observed. The study supports the ideas that transgenic *Cry1Ac+Cry2Ab* cotton is relatively safe.

Key words: transgenic *Cry1Ac+Cry2Ab* cotton; growth potential; arthropod; species richness

转基因在给人类带来巨大经济利益的同时,食品与环境安全的问题也备受社会关注。其中转基因棉花因大面积种植而显得尤为重要,其环境安全性问题是国内外学者关注的焦点和热点,也是需要长期研究的内容(左娇等,2013)。

转 *Bt* 基因抗虫棉对棉铃虫 *Helicoverpa armigera* Hübner 具有良好的控制作用,它的种植减少了化学杀虫剂的使用,降低了环境污染和人畜中毒事件,大大提高了农民的经济效益(马慧等,2009;苏宏华等,2010)。但任何一种作物都遭受多种害虫危害,一个抗虫基因不能抵御所有害虫,而且不同类型的基因其抗虫机制、杀虫作用和杀虫谱也不尽相同。单个转 *Bt* 基因棉花随着种植时间的推移和种植面积的扩大,棉铃虫对其抗性上升的风险也在逐年加大(梁革酶等,2000;徐广等,2002;Bashir, 2014),而将 2 个或 2 个以上抗虫基因转入同一植物,可使受体植物获得多机制的抗虫性,不仅可进一步加强转基因植物的抗虫能力,拓宽其抗虫谱,并有助于延缓害虫产生耐受性,从而延长转基因棉花的使用寿命(McGaughey et al., 1992; Tabashnik et al., 1997)。

本文以中国农科院棉花研究所生物技术研究室新转化成功的转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 棉花为试验材料,以转单个 *Cry1Ac* 基因棉花和非转基因棉花为对照,从棉花的生长势及其对棉田节肢动物物种丰富度的影响系统进行了研究,为新型转基因棉花的生产应用价值进一步进行评估,同时为转基因棉花环境安全评价提供科学数据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

639020 为转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 棉花,由中国农业科学院棉花研究所生物技术研究室提供;中棉所 41 为转 *Cry1Ac* 棉花,中棉所 49 为非转基因棉花,均由中国农业科学院棉花研究所遗传育种研究室提供。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验在中国农业科学院棉花研究所试验农场进行,棉花播种时间为 4 月 28 日。试验共设 3 个处理:转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 棉田、*Cry1Ac* 棉田和非转基因棉田;每个品种 3 个小区,每个小区面积 122 m²,小区间随机排列,共 9 个小区;棉花种植株距 0.27 m,行距 0.80 m;棉花全生育期不进行

化学防治,其他农事操作按常规棉田操作和管理。

1.2.2 棉花生长势和产量构成参数调查 叶绿素:在棉花生长的苗期(05-27)、蕾期(06-20)和花铃期(07-24)采集棉花顶部第 1 片完全展开叶,每处理每小区随机采集 5 片叶片,室内通过 SPAD 测定仪进行检测。

比叶面积:在棉花生长的苗期(05-27)、蕾期(06-20)和花铃期(07-24)采集棉花顶部第 1 片完全展开叶,每处理每小区随机采集 5 片叶片,室内测定叶面积,然后将叶片置于 108 ℃ 杀青 0.5 h,再于 80 ℃ 烘 12 h 后,叶片干重称重;计算比叶面积。

棉花生长势和产量构成参数:在棉花生长的初蕾期(06-20)、盛蕾期(07-24)和花铃期(08-18),分别测定棉株株高,调查棉花果枝数、蕾数、幼铃数、成铃数和脱落蕾铃数,每小区选取 3 个点,每点顺行连续测定和调查 10 株棉花。

1.2.3 昆虫群落调查方法 试验采用对角线五点取样方法(中华人民共和国农业部,2007),分别在二代、三代和四代棉铃虫发生高峰期,调查不同棉田主要害虫及其天敌的种群数量,每个棉铃虫发生世代每隔 1 d 调查 1 次,共计调查 3 次,每次每小区调查 5 个样点,每个样点连续调查 2 行 20 株棉花,共 100 株。

1.3 统计分析

对每个棉铃虫发生世代调查的每种节肢动物的 3 次数值进行平均,以非转基因棉田和转 *Cry1Ac* 基因棉田每种主要节肢动物每世代出现的个体平均值占该世代调查到的节肢动物个体总数的比率代表该节肢动物的丰度。运用 SPSS 17.0 软件对所有数据进行统计分析,采用单因素方差分析(One-way analysis, ANOVA)和 Duncan's 差异显著性分析,检验同一时期不同小区内棉花生长势、产量构成参数和节肢动物物种丰富度的差异。

2 结果与分析

2.1 对棉花生长势和产量构成参数的影响

2.1.1 叶绿素含量 3 种棉田不同时期棉花叶片叶绿素含量如表 1。苗期(05-27)、蕾期(06-20)和花铃期(07-24)3 种棉花顶部叶片叶绿素含量在同一时期变化无显著差异;随着棉花生长,顶部叶片的叶绿素含量呈逐渐下降的趋势。

表 1 3 种棉花叶片叶绿素含量
Table 1 Content of chlorophyll of 3 studied types of cotton

棉花品种 Cotton type	叶绿素含量 Content of chlorophyll (SPAD)		
	05-27	06-20	07-24
639020	48.32±2.51aA	40.78±1.28aA	41.32±0.27aA
中棉所 41 CCRI 41	46.83±1.03aA	42.20±1.42aA	41.33±1.97aA
中棉所 49 CCRI 49	49.48±1.11aA	43.74±1.72aA	38.91±1.93aA

数据为平均数±SD。大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$), 小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Values are means±SD. Captical letters show highly extremely significant differences ($P<0.01$), and small letters show significant differences ($P<0.05$).

2.1.2 比叶面积 由表 2 可知, 与非转基因棉花和转 *Cry1Ac* 基因棉花相比, 苗期 (05-27) 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 棉花比叶面积分别降低 5.6% 和 22.5%, 前者差异不显著, 后者差异显著; 蕾期 (06-20) 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 棉花的比叶面积分别增加 9.6% 和 5.2%, 差异均不显著; 花铃期 (07-24) 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 棉花的比叶面积分别增加 5.7% 和 62.9%, 前者差异不显著, 后者差异达极显著水平。

表 2 3 种棉花叶片比叶面积
Table 2 Specific leaf areas of 3 studied types of cotton

棉花品种 Cotton type	比叶面积 Specific leaf areasl ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)		
	05-27	06-20	07-24
639020	206.65±5.68aA	259.02±7.66aA	246.06±6.96aA
中棉所 41 CCRI 41	266.55±5.04bB	246.18±9.94aA	151.03±14.81bB
中棉所 49 CCRI 49	218.81±4.03aA	236.37±11.61aA	232.89±1.71aA

数据为平均数±SD。大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$), 小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Values are means±SD. Captical letters show highly extremely significant differences ($P<0.01$), and small letters show significant differences ($P<0.05$).

2.1.3 生长势及产量构成参数 3 种棉田不同时期棉花生长势和产量构成参数见表 3。蕾期 (06-20) 和花铃期 (07-24) 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 棉花株高、主茎叶片数、果枝数和蕾数均与非转基因棉花和转 *Cry1Ac* 基因棉花相当, 差异不显著。花铃期 (07-24) 成铃数、幼铃数和脱落率均与转 *Cry1Ac* 棉相当, 但成铃数和幼铃数分别比非转基因棉花增加 395.6% 和 211.3%, 差异达极显著水平; 蕾铃脱落数较非转基因棉花降低 83.0%, 差异显著。盛铃期 (08-18) 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 棉花主茎叶片数、果枝数和成铃数均与非转基因棉花和转 *Cry1Ac* 基因棉花相当, 差异不显著; 蕾数和幼铃数与转 *Cry1Ac* 基因棉花相当, 差异不显著, 与非转基因棉花相比, 蕾数增加 63.0%, 幼铃数减少 69.3%; 蕾铃脱落数均较非转基因棉花和转 *Cry1Ac* 基因棉花降低 51.0% 和 35.9%, 差异均达到显著水平。

表 3 3 种棉花田间生长势及产量构成参数
Table 3 Growth potential and yield component parameters of 3 studied types of cotton

日期 Survey date	棉花品种 Cotton type	株高 Plant height (cm)	主茎叶片数(片) Leaf Number of main stem	果枝数(台) Branch number	蕾数(个) Bud number	成铃数(个) Boll number	幼铃数(个) Young bolls number	蕾铃脱落 数(个) Falling number
06-20	639020	32.43±3.18aA	10.57±0.49aA	4.00±0.44aA	4.43±0.42aA	—	—	—
	中棉所 41 CCRI 41	33.10±1.91aA	11.13±0.47aA	4.23±1.15aA	5.27±1.97aA	—	—	—
	中棉所 49 CCRI 49	35.67±2.90aA	11.27±0.55aA	3.93±0.96aA	4.10±1.39aA	—	—	—
07-24	639020	80.17±5.32aA	14.90±0.87aA	11.43±0.81aA	17.80±2.88aA	5.60±0.36aA	7.47±1.17aA	2.23±0.70aA
	中棉所 41 CCRI 41	81.13±8.38aA	15.93±1.70aA	12.20±0.30aA	14.83±0.06aA	6.40±1.71aA	6.33±0.80aA	4.70±1.08abAB
	中棉所 49 CCRI 49	69.30±9.38aA	15.63±0.42aA	10.83±0.50aA	12.80±2.43aA	1.13±0.38bB	2.40±0.31bB	13.13±2.97bB
08-18	639020	—	14.53±0.91aA	10.57±0.65aA	13.20±1.65aA	3.23±0.55aA	1.73±0.81aA	6.30±1.35aA
	中棉所 41 CCRI 41	—	14.57±0.21aA	10.23±0.40aA	12.73±1.39aA	2.67±0.21aA	1.03±0.35aA	9.83±1.83bB
	中棉所 49 CCRI 49	—	14.57±1.25aA	8.90±1.23aA	8.10±1.48bB	4.53±1.29aA	5.63±1.31bB	12.87±2.17bB

数据为平均数±SD。大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$), 小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Values are means±SD. Captical letters show highly extremely significant differences ($P<0.01$), and small letters show significant differences ($P<0.05$).

2.2 对棉田节肢动物物种丰富度的影响

2.2.1 靶标害虫 棉铃虫卵:二代、三代和四代棉铃虫发生期,3种棉田棉铃虫落卵量丰度如图1所示。3种棉田落卵量在二代棉铃虫发生期种群丰度较高,其次是三代,四代棉铃虫发生期落卵丰度最低;与非转基因棉田相比,二代棉铃虫发生期转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田棉铃虫落卵量丰度提高了76.4%,差异达显著水平;与转 *Cry1Ac* 基因棉田相比,转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田棉铃虫落卵量丰度降低了8.9%,差异不显著;三代棉铃虫和四代棉铃

虫发生期,3种棉田落卵量丰度均较低,均未达到显著差异。

棉铃虫幼虫:二代、三代和四代棉铃虫发生期3种棉田棉铃虫幼虫丰度如图2所示。3种棉田棉铃虫幼虫在二代棉铃虫发生期种群丰度较高;与非转基因棉田和转 *Cry1Ac* 基因棉田相比,二代棉铃虫发生期转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田棉铃虫幼虫丰度分别降低了49.2%和26.19%,前者差异显著,后者差异不显著;三代棉铃虫和四代棉铃虫发生期,3种棉田棉铃虫幼虫丰度均较低,均未达到显著差异。

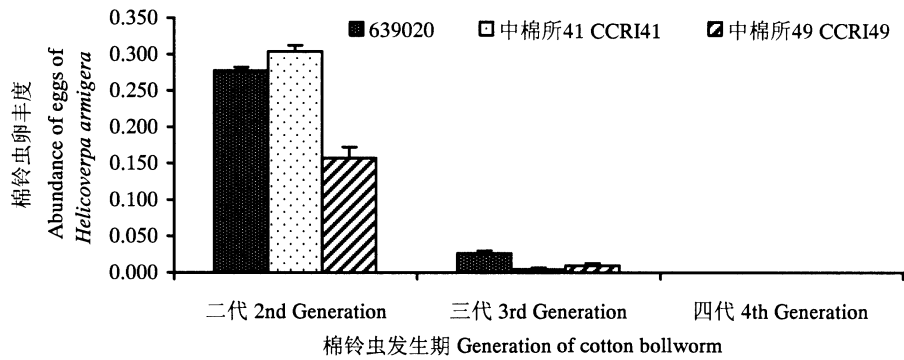


图1 二代、三代和四代棉铃虫发生期三种棉田棉铃虫落卵量丰度

Fig.1 The species abundance of eggs of cotton bollworm during different generation in the fields of the 3 studied types of cotton

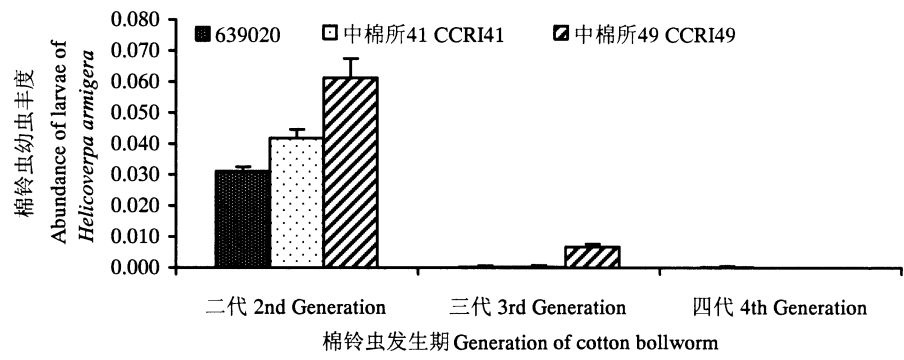


图2 二代、三代和四代棉铃虫发生期3种棉田棉铃虫幼虫数量丰度

Fig.2 The species abundance of larvae of cotton bollworm during different generation in the fields of the 3 studied types of cotton

2.2.2 刺吸性害虫 棉蚜:二代、三代和四代棉铃虫发生期3种棉田棉蚜丰度如图3所示。3种棉田棉蚜在四代棉铃虫发生期种群丰度最高,其次是三代和二代;与非转基因棉田和转 *Cry1Ac* 基因棉田相比,二代棉铃虫发生期转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田棉蚜丰度分别提高了10.3%和32.3%,差异均不显著;三代棉铃虫发生期,转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田棉蚜丰度分别降低了48.6%和-0.9%,前者差异显著,后者差异不显著;四代棉铃虫发生期,转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田棉蚜丰度分别降低了3.0%

和-30.4%,差异均不显著。

棉蓟马:二代、三代和四代棉铃虫发生期3种棉田棉蓟马丰度如图4所示。二代和三代棉铃虫发生期,3种棉田棉蓟马种群丰度较高,四代棉铃虫发生期,种群丰度较低;与非转基因棉田和转 *Cry1Ac* 基因棉田相比,二代棉铃虫发生期转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田棉蓟马丰度分别升高了1.4%和11.9%,差异均不显著;三代棉铃虫发生期,转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田棉蓟马丰度比常规棉田增加113.5%,比转 *Cry1Ac* 基因棉田降低5.7%,前者差

异极显著,后者差异不显著;四代棉铃虫发生期,转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉田棉蓟马丰度均降低了 79.6%,差异均达显著水平。

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius):二代、三代和四代棉铃虫发生期三种棉田烟粉虱丰度如图 5 所示。四代棉铃虫发生期,3 种棉田烟粉虱种群丰度最高,二代和三代棉铃虫发生期种群丰度较低;与非转基因棉田和转 *Cry1Ac* 基因棉田相比,二代

棉铃虫发生期转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉田烟粉虱丰度均降低了 350.0%,差异极显著;三代棉铃虫发生期,转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉田烟粉虱丰度分别增加 17.3%和 50%,前者差异不显著,后者差异显著;四代棉铃虫发生期,转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉田烟粉虱丰度分别降低了-4.3%和 3.1%,差异均未达显著水平。

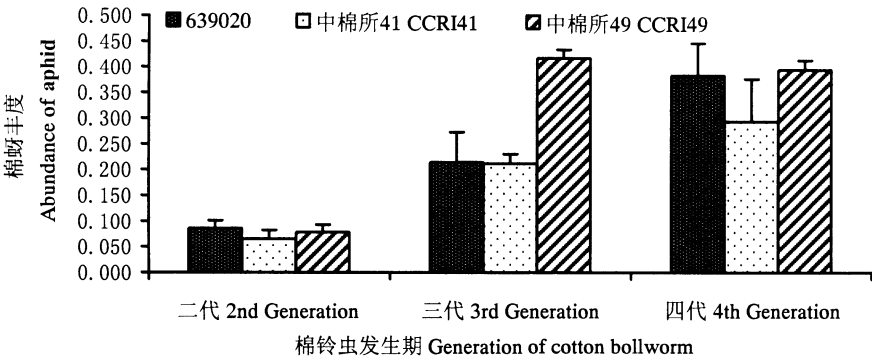


图 3 二代、三代和四代棉铃虫发生期 3 种棉田蚜虫数量丰度

Fig.3 The species abundance of cotton aphids during different generation in the fields of the 3 studied types of cotton

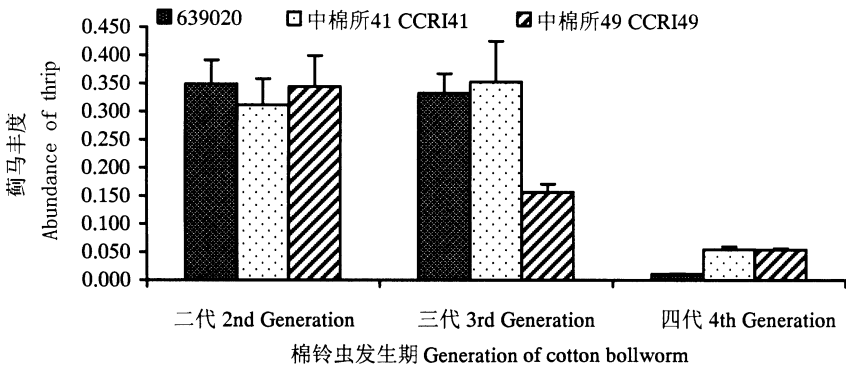


图 4 二代、三代和四代棉铃虫发生期 3 种棉田蓟马丰度

Fig.4 The species abundance of thrips during different generation in the fields of the 3 studied types of cotton

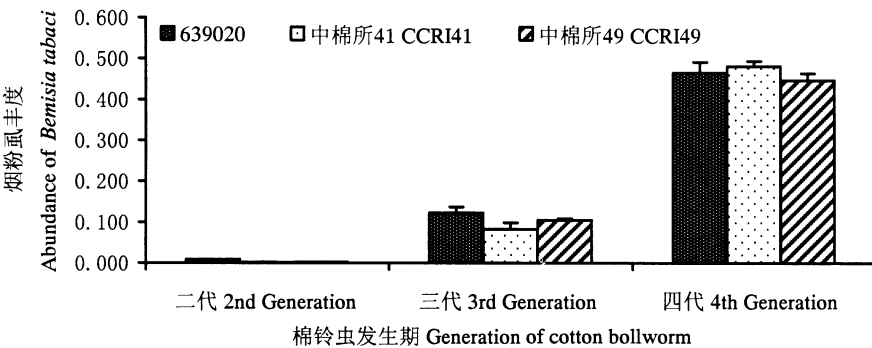


图 5 二代、三代和四代棉铃虫发生期 3 种棉田烟粉虱丰度

Fig.5 The species abundance of *B.tabaci* during different generation in the fields of the 3 studied types of cotton

绿盲蝽 *Llygus lucorum* (Meyer-Dür.): 二代、三代和四代棉铃虫发生期 3 种棉田绿盲蝽丰度如图 6 所示。三代棉铃虫发生期, 3 种棉田绿盲蝽种群丰度较高, 二代和四代棉铃虫发生期种群丰度相对较低; 与非转基因棉田和转 *Cry1Ac* 基因棉田相比, 二代棉铃虫发生期转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田绿盲蝽丰度均降低了 50.0% 和 0.00%, 差异均不显著; 三代棉铃虫发生期, 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田绿盲蝽丰度分别降低 57.1% 和 40.0%, 差异不显著; 四代棉铃虫发生期, 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田绿盲蝽丰度分别降低了 71.4% 和 50.0%, 前者差异显著, 后者差异不显著。

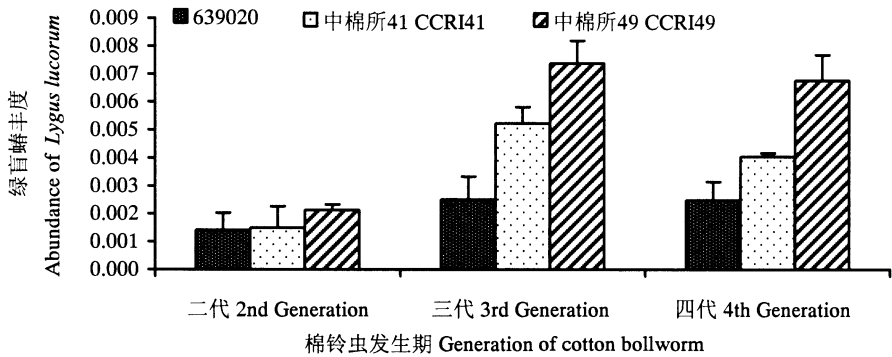


图 6 二代、三代和四代棉铃虫发生期 3 种棉田绿盲蝽丰度

Fig.6 The species abundance of *L.lucorum* during different generation in the fields of the 3 studied types of cotton

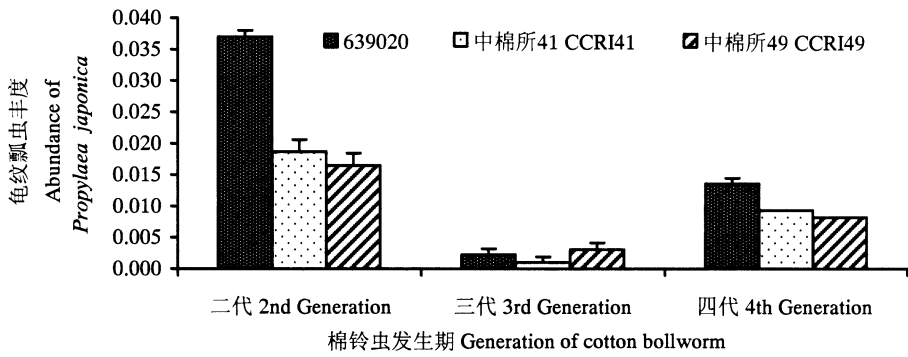


图 7 二代、三代和四代棉铃虫发生期棉田龟纹瓢虫丰度

Fig.7 The species abundance of *P.japonica* during different generation in the fields of the 3 studied types of cotton

草间小黑蛛 *Erigonidium graminicolum* (Sundevall): 二代、三代和四代棉铃虫发生期 3 种棉田草间小黑蛛丰度如图 8 所示。3 种棉田草间小黑蛛在二代和四代棉铃虫发生期发生数量较多, 三代棉铃虫发生期种群丰度相对较低; 与非转基因棉田和转 *Cry1Ac* 基因棉田相比, 二代棉铃虫发生期转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田草间小黑蛛丰度在 3 种棉田种群丰度相当; 三代棉铃虫发生期, 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田草间小黑蛛丰度分别降低 10.0% 和 25.0%,

2.2.3 天敌 龟纹瓢虫 *Propylaea japonica* (Thunberg): 二代、三代和四代棉铃虫发生期 3 种棉田龟纹瓢虫丰度如图 7 所示。3 种棉田龟纹瓢虫在二代棉铃虫发生期时发生数量最多, 四代棉铃虫发生期次之, 三代棉铃虫发生期种群丰度最低; 与非转基因棉田和转 *Cry1Ac* 基因棉田相比, 二代棉铃虫发生期转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田龟纹瓢虫丰度均增加了 131.3% 和 94.7%, 差异均达显著水平; 三代棉铃虫发生期, 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田龟纹瓢虫丰度分别升高 33.3% 和 50.0%, 差异不显著; 四代棉铃虫发生期, 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田烟粉虱丰度分别增加 75.0% 和 55.6%, 前者差异显著, 后者差异不显著。

差异不显著; 四代棉铃虫发生期, 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田草间小黑蛛丰度分别降低 12.5% 和 41.7%, 差异均未达显著水平。

草蛉: 二代、三代和四代棉铃虫发生期 3 种棉田草蛉丰度如图 9 所示。3 种棉田草蛉在三代棉铃虫发生期发生数量较多, 二代和四代棉铃虫发生期种群丰度相对较低; 与转 *Cry1Ac* 基因棉田相比, 二代棉铃虫发生期转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田草蛉丰度降低了 62.5%, 差异显著, 比非转基因棉田增加了

36.4%, 差异不显著; 三代棉铃虫发生期, 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田草蛉丰度较非转基因棉田和转 *Cry1Ac* 基因棉田分别降低 38.2% 和 15.0%, 差异均不显著; 四代棉铃虫发生期, 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田草蛉丰度较非转基因棉田增加 62.5%, 较转 *Cry1Ac* 基因棉田降低 55.2%, 差异均达显著水平。

小花蝽: 二代、三代和四代棉铃虫发生期 3 种棉田小花蝽丰度如图 10 所示。3 种棉田小花蝽在二代棉铃虫发生期发生数量较多, 三代和四代棉铃虫发生期种群丰度相对较低; 与非转基因棉田和转

Cry1Ac 基因棉田相比, 二代棉铃虫发生期转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田小花蝽丰度分别降低了 16.7% 和 14.6%, 差异均不显著; 三代棉铃虫发生期, 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田小花蝽丰度较非转基因棉田和转 *Cry1Ac* 基因棉田分别增加了 16.7% 和 23.5%, 差异均不显著; 四代棉铃虫发生期, 转 *Cry1Ac*+*Cry2Ab* 基因棉田小花蝽丰度较非转基因棉田增加 8.3%, 较转 *Cry1Ac* 基因棉田降低 43.5%, 差异均未达显著水平。

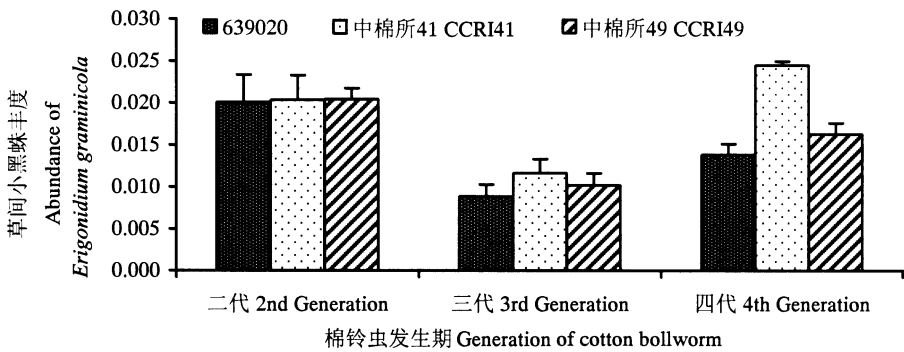


图 8 二代、三代和四代棉铃虫发生期棉田草间小黑蛛丰度

Fig.8 The species abundance of *E.graminicola* during different generation in the fields of the 3 studied types of cotton

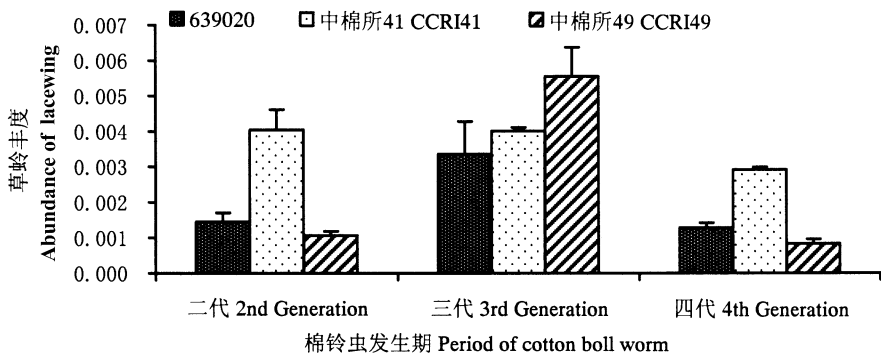


图 9 二代、三代和四代棉铃虫发生期棉田草蛉丰度

Fig.9 The species abundance of lacewing during different generation in the fields of the 3 studied types of cotton

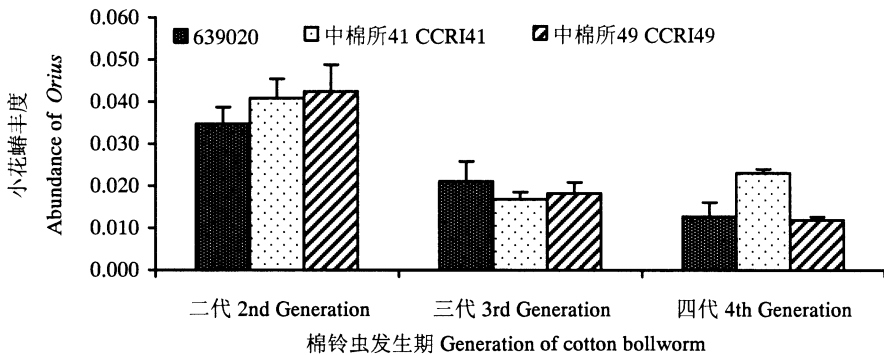


图 10 二代、三代和四代棉铃虫发生期棉田小花蝽丰度

Fig.10 The species abundance of *Orius* during different generation in the fields of the 3 studied types of cotton

3 讨论

转基因棉花的环境安全性研究包括对靶标害虫的影响、对棉田生物多样性的影响、生存竞争能力和基因漂移4个方面,每个方面具体的研究内容涉及多方位、多角度。基因漂移的研究结果对一类植物均可通用,如转 *Bt* 基因棉花的基因漂移主要是由虫媒引起,而风媒对其产生的作用比较弱(贺娟等,2013);朱家林等(2013)通过网室内试验,发现定向风基因漂移频率在 6.4 m 处漂移频率为 33.33%,最远漂移距离为 25.6 m;非定向风基因漂移频率在 12.8 m 为 36.67%,最远漂移距离为 36 m。

棉花生长势对棉田节肢动物群落尤其是棉田植食性昆虫的影响较大,可为其提供食物资源,生长势弱,其食物资源少且质量低,植食性昆虫会随之改变,从而改变食物链上的其他昆虫的丰富度或多样性。

本文从棉花叶片叶绿素含量、比叶面积、株高、主茎叶片数和蕾数、成铃数、幼铃数和蕾铃脱落数等方面系统研究了不同时期转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉花的生长势和产量构成参数,表明转新型 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉花的生长势从生存竞争能力方面考虑其没有较强的竞争优势,从生物安全角度考虑该试验材料在本文的研究中没有变为超级杂草的风险,这与张兴华(2012a)的研究结果一致;马小艳等(2013a、2013b)在抗病、抗除草剂棉花试验研究中也得到相同结论。转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉花在目标性状方面发挥出更优的产量性状,可达到转外源基因的目的,为进一步在生产上推广应用奠定了基础,与张兴华等(2012a、2012b)、李捷等(2013)、乔艳艳等(2013)、雒珺瑜等(2014a、2014b)研究结果基本一致。

转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉田节肢动物的物种丰富度表现出,该新型基因棉花对靶标害虫棉铃虫具有良好的控制作用,这与雒珺瑜等(2014a)在对鳞翅目害虫小地老虎的研究不完全一致,其原因在于本文研究的是鳞翅目害虫中的靶标害虫棉铃虫,而雒珺瑜等(2014a)是对鳞翅目非靶标害虫的研究,虽然都是鳞翅目,但 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因是有特异性和专一性的,对非靶标鳞翅目虽然有一定的影响,但具体情况不完全和棉铃虫一致,这和李海强(2012)研究抗虫抗除草剂对棉铃虫和小地老虎的研究结论基本一致;对非靶标害虫和主要天敌的物

种丰富度总体上没有明显的影响,表明该新型转基因棉花材料在本文的研究中对棉田节肢动物物种没有负面的影响,这与雒珺瑜等(2011a、2011b、2012)的研究结果一致。

植物的比叶面积是反映植物生长势和氮代谢的重要指标,比叶面积越大,生长势和氮代谢越强。王香河(2003)在研究中发现,棉花在不同生长时期,由于生长环境和自身生长发育的变化,各有不同的补偿效应。本文研究结果中,转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉花在生长前期生长弱,氮代谢差,比叶面积低;而在生长后期,由于抗虫性较好,生长旺盛,表明其补偿能力强,生长势和氮代谢均有所提高。

棉花生长势的强弱,直接影响棉田植食性害虫的生长和繁衍。本文对节肢动物物种丰富度的研究中,个别时期有些害虫或天敌物种丰富度的变化可能与该新型转基因棉花的生长势有关。生长势弱,植食性害虫丰富度降低,引起食物链上的天敌丰富度降低;当棉花生长势增强,叶片、蕾铃增多时,可以为棉田植食性害虫提供更多的食物资源,从而其食物链上的天敌昆虫也跟随增多。因此其对环境安全方面的研究需长期跟踪,并可以考虑从建立模型等方面进一步深入研究。

参考文献

- 贺娟,朱威龙,朱家林,潘李隆,张青文,刘小侠. 2013. 风、蜜蜂因素对转 *Cry1Ac* 基因棉花花粉介导的基因漂移的影响. 棉花学报, 25(5): 453-458.
- 李海强,李号宾,王冬梅,丁瑞丰,汪飞,阿克旦·吾外士,徐遥,刘建. 2012. 转基因抗棉铃虫抗草甘膦棉花对棉铃虫的抗虫性及对二种地老虎幼虫生长发育的影响. 应用昆虫学报, 49(4): 882-888.
- 梁革梅,谭维嘉,郭予元. 2000. 棉铃虫对转 *Bt* 基因棉的抗性筛选及遗传方式的研究. 昆虫学报, 43(S1): 57-62.
- 李捷,张兴华,马艳,杨兆光,乔艳艳. 2013. 转双价抗虫基因(*Cry1Ac+Cry2Ab*)棉靶标害虫不防治环境下检测技术和生存竞争能力研究. 安徽农业科学, 41(6): 2523-2526.
- 雒珺瑜,崔金杰,辛惠江. 2011a. 转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉花对天敌生长发育的影响. 中国棉花, 38(12): 11-12.
- 雒珺瑜,崔金杰,张帅,陆雪君. 2011b. 转 *Cry1Ac+Cry2Ab* 基因棉对棉田节肢动物群落的影响. 植物保护, 37(6): 90-92, 111.
- 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, 崔金杰, 王春义, 辛惠江. 2014a. 转 *Cry1Ac* + *Cry2Ab* 基因棉花对小地老虎生长发育的影响. 棉花学报, 26(5): 179–183.
- 雒珺瑜, 刘传亮, 张帅, 王春义, 吕丽敏, 李春花, 李付广, 崔金杰. 2014b. 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.
- 马惠, 夏晓明, 周玉, 赵鸣, 王红艳. 2009. 转 *Bt* 基因抗虫棉对非靶标昆虫的影响. 中国农学通报, 25(7): 214–218.
- 马小艳, 马艳, 彭军, 姜伟丽, 马亚杰. 2013a. 转基因抗草甘膦抗虫棉的荒地生存竞争能力. 生物安全学报, 22(2): 103–108.
- 马小艳, 彭军, 姜伟丽, 马亚杰, 马艳. 2013b. 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.
- 乔艳艳, 张兴华, 马艳, 李捷, 杨兆光. 2013. 转 *Cry1Ac* + *Cry2Ab* 基因棉与转 *Cry1Ac* + *EPSPS* 基因棉在黄萎病菌压力环境下检测技术和生存竞争能力研究. 中国农学通报, 29(36): 281–286.
- 戎俊, 宋志平, 苏军, 夏辉, 王锋, 卢宝荣. 2006. *Bt/CpTI* 转基因稻及其非转基因亲本对照在间隔种植条件下的转基因漂移. 生物多样性, 14(4): 309–314.
- 苏宏华, 范娜, 李达, 杨益众. 2010. 转 *Bt* 基因棉对甜菜夜蛾的影响. 植物保护, 36(5): 1–5.
- 王香河. 2003. 棉花留叶枝对产量的超补偿效应研究. 北京: 中国农业科学院.
- 徐广, 王桂荣, 吴孔明, 郭予元. 2002. 棉铃虫不同地理种群间基因流动的 RFLP 分析. 棉花学报, 14(6): 352–355.
- 张宝红, 郭腾龙. 2000. 转基因棉花基因花粉散布频率及距离的研究. 应用与环境生物学报, 6(1): 39–42.
- 张兴华, 田绍仁, 张天玉, 李捷, 乔艳艳. 2012a. 转 *cry1Ac* + *cry2Ab* 基因棉与转 *cry1Ac* + *EPSPS* 基因棉荒地的生存竞争能力. 生物安全学报, 21(2): 119–124.
- 张兴华, 田绍仁, 张天玉, 李捷, 杨兆光, 乔艳艳. 2012b. 转双价双 *Bt* 抗虫基因(*Cry1Ac* + *Cry2Ab*)棉与非转基因棉生物学特性差异分析. 中国农学通报, 28(24): 35–41.
- 中华人民共和国农业部. 2007. 农业部 953 号公告–12.2–2007 转基因植物及其产品环境安全检测抗虫棉花第 2 部分: 生存竞争能力. http://www.moa.gov.cn/zwillm/tzgg/gg/200801/t20080110_952066.htm.
- 朱家林, 贺娟, 牛建群, 张青文, 刘小侠. 2013. 风向因素对转基因抗虫棉花基因漂移效率的影响. 生态学报, 33(21): 6803–6812.
- 左娇, 郭运玲, 孔华, 黄启星, 徐林, 周霞, 郭安平. 2013. 转基因棉花环境安全性研究进展. 热带农业工程, 37(2): 5–10.
- Bashir L. 2014. 同类型 *Bt* 棉花的抗虫性及棉铃虫对 *Bt* 蛋白的抗性动态监测. 北京: 中国农业科学院.
- McGaughey W H, McGaughey and Whalon M E. 1992. Managing insect resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins. *Science*, 258: 1451–1455.
- Tabashnik B E, Liu Y B, Finson N, Masson L and Heekel D G. 1997. One gene in diamondback moth confers resistance to four *Bacillus thuringiensis* toxins. *Agricultural Sciences*, 94: 1640–1644.

(责任编辑: 郭莹)

