

转基因抗虫棉对棉蚜生长发育和繁殖的影响

张炬红^{1,2}, 郭建英¹, 万方浩¹, 夏敬源³

(1. 中国农业科学院 植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100094;

2. 吉林大学 植物科学学院, 吉林 长春 130062; 3. 农业部全国农业技术推广与服务中心, 北京 100026)

摘要:以常规棉泗棉 3 号上饲养 10 代的棉蚜作为虫源, 以其亲本为对照, 在室内分别研究了转单、双价基因抗虫棉对棉蚜的短期影响, 及单价抗虫棉对棉蚜的长期效应。结果发现, 单价抗虫棉 GK12 和双价抗虫棉 SGK321 在短期内对棉蚜生长发育、繁殖和生命表参数无显著影响。在抗虫棉上取食 1 代的棉蚜, 各龄发育历期、成虫寿命、产仔数和产仔历期、内禀增长率、净增长率、平均发育历期等和取食亲本的棉蚜之间均无显著差异。在 GK12 上取食 37 代的棉蚜与取食亲本常规棉泗棉 3 号和在 GK12 上取食 1 代的棉蚜之间以上各指标也无显著差异。可见, 单价抗虫棉 GK12 和双价抗虫棉 SGK321 在短期内对棉蚜的生长发育和繁殖均无显著影响, GK12 在长期内对棉蚜也未产生显著影响。

关键词:转基因抗虫棉; 非目标害虫; 棉蚜; 生长发育; 繁殖

中图分类号: Q785 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 7091(2008)02 - 0163 - 06

Impacts of Transgenic Insect - resistant Cotton on the Development and Reproduction of Cotton Aphid

ZHANG Ju - hong^{1,2}, GUO Jian - ying¹, WAN Fang - hao¹, XIA Jing - yuan³

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100094, China; 2. The College of Plant Sciences, Jilin University, Changchun 130062, China; 3. National Agro - Technical Extension and Service Center, Ministry of Agriculture, Beijing 100026, China)

Abstract: The short - run impacts of transgenic insect - resistant cotton cvs. GK12 and SGK321 and long - term impacts of GK12 on cotton aphids *Aphis gossypii* Glover were evaluated by laboratory experiments. Laboratory cotton aphid population kept on non - transgenic cotton cv. Simian 3 for ten generations was used for the experiments, and the isogenic non - transformed varieties of GK12 and SGK321 were used as their relative controls. The results indicated that GK12 and SGK321 had no impacts on the development, reproduction and parameters of life tables of cotton aphids in the short run. When fed on transgenic cotton cv GK12 or SGK321 for one generation, the development period of each instars larvae, adult longevity, number of offsprings, reproduction period, intrinsic rate of increase, net reproductive rate, average development period of cotton aphids did not differ significantly to those of cotton aphids fed on their relative isogenic cotton. GK12 showed no impacts on the development and fecundity of cotton aphids, even the cotton aphids were fed with GK12 for 37 generations. So it was concluded that there were no impacts of transgenic insect - resistant cotton GK12 and SGK321 on the development and reproduction of cotton aphid both in the short run, and GK12 had no impacts on cotton aphid in the long term.

Key words: Transgenic insect - resistant cotton; Non - target pests; Cotton aphid *Aphis gossypii* Glover; Development; Reproduction

转基因抗虫棉的诞生为棉铃虫的防治提供了一条有效的途径, 研究表明, 转 *Bt* 基因单价抗虫棉和

收稿日期: 2007 - 12 - 18

基金项目: 国家重点基础研究“973”发展规划(2006CB102004); “十五”国家科技攻关重大项目(2004BA516A01); 欧盟项目(ICA4 - CT - 2001 - 10069) 共同资助

作者简介: 张炬红(1977 -), 女, 河北秦皇岛人, 博士, 讲师, 主要从事转基因抗虫植物生态风险评价和生物安全的研究。

通讯作者: 万方浩(1956 -), 男, 湖南临澧人, 研究员, 博士, 主要从事生物入侵、昆虫生态和生物防治的研究。

转 *Bt* + *CpTI* 基因的双价抗虫棉对棉铃虫具有显著的防治效果,可明显降低棉铃虫的种群数量^[1]。棉蚜是重要的棉花害虫,也是转 *Bt* 基因抗虫棉的非目标害虫。由于 *Bt* 蛋白对靶标害虫作用位点的专一性,*Bt* 棉可能对棉蚜无直接的毒害作用。但是,目前非目标害虫体内是否存在 *Bt* 的结合蛋白还没有定论^[2,3],因此,*Bt* 棉对非目标害虫的风险依旧存在。此外,外源抗虫基因的插入可导致转基因棉花体内的代谢发生一系列变化,如次生抗虫物质(如单宁)含量的减少^[4],氮代谢的变化^[5-7],激素含量的变化^[8]及糖类和氨基酸物质含量的变化^[9]等,这些变化均可能影响取食转基因棉棉蚜的生物学特性。随着转基因抗虫棉的大面积推广应用,全面评价其对棉蚜等非目标害虫的生态风险,显得日益重要。近几年来有关转基因抗虫棉对棉蚜的影响,结论尚不一致。田间调查表明,*Bt* 棉(93R-6;中棉所 32 和 ZGK9712;GK19 和 BG1560)上棉蚜种群与常规棉上没有显著差异^[10-12];但 *Bt* 棉(934、中棉所 30、R93-6、33B、GK19)棉田棉蚜种群上升,成为棉田优势害虫之一^[13-17]; *Bt* 棉(GK12)对棉蚜的种群数量有影响,但不稳定,在不同年份间对棉蚜的影响不一^[18]。也有调查表明,*Bt* 棉(GK12)田棉蚜种群低于施用农药的常规棉田,化学农药的施用导致棉蚜种群的再猖獗^[19,20];转 *Bt* (*Cry1Ac*) + *CpTI* 的双价抗虫棉 SGK321 对棉蚜的种群数量有一定抑制作用^[21]。室内生物学研究表明,转 *Bt* + *CpTI* 基因双价抗虫棉中棉所 41 表现出明显的抗蚜性,但 *Bt* 棉中棉所 32、GK19 和 BG1560 无显著抗蚜性^[22,12];取食 *Bt* 棉保铃棉 32B 和双价抗虫棉国抗 22 的棉蚜,寿命均显著短于对照;取食保铃棉 32B 第 8 代的棉蚜内禀增长率显著高于对照,取食国抗 22 号 11 代的棉蚜净增殖率显著低于对照^[23];中棉所 32 对不同世代棉蚜的影响不一致^[24]。采用 EPG 技术研究棉蚜的取食行为发现,连续取食 10 代左右,棉蚜对 *Bt* 棉保铃棉 32B 的喜好性明显高于双价抗虫棉国抗 22 号和常规棉^[25];也有研究发现,尽管棉蚜在 *Bt* 棉上寻找和刺吸时间较短,在韧皮部筛管中分泌唾液、吸取植株养分的时间比在双价抗虫棉上长,但与常规棉上棉蚜之间无显著差异,*Bt* 棉对棉蚜无抗性^[22,24]。

可见,针对转 *Bt* 基因抗虫棉对棉蚜影响的田间种群动态和室内生物学特性研究,均未得到一致的结论。本试验以在常规棉泗棉 3 号上维持了 10 代的棉蚜种群作为虫源,以在生产上大规模商业化种植的国产抗虫棉 GK 系列中的 GK12 和双价抗虫棉 SGK321 及其亲本为研究对象,研究了单、双价抗虫

棉对棉蚜发育和繁殖的影响。同时考虑到棉蚜在田间 1 年可繁殖 10~20 代,以在单价抗虫棉上繁殖 30 代以上的棉蚜为研究对象,评价了单价抗虫棉对棉蚜影响的长期效应。本研究可为转基因抗虫棉的风险评价和风险管理提供理论参考。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 棉花品种及栽种 GK12:单价转基因抗虫棉,转入 *Cry1Ab/Ac* 融合基因,山东省梁山县棉花种子有限公司提供。SGK321:双价转基因抗虫棉,转入 *Cry1Ac* 和 *CpTI* 杀虫基因,杀菌剂包衣,中国农业科学院廊坊科研基地提供。泗棉 3 号:常规棉,GK12 的亲本,江苏省泗阳棉花原种场提供。石远 321:常规棉,SGK321 的亲本,河北省农业科学院提供。

棉种催芽后单粒播种于黑色塑料营养钵(直径 10 cm,高 10 cm)中,钵中是蛭石 营养土 普通土 = 1 1 1 的混合土,在 25~29 °C, RH 65%~90%,自然光照的温室中培育,定期浇水,人工除虫,不施用杀虫剂。

1.1.2 棉蚜 在温室常规棉上采集初产若蚜,用泗棉 3 号保种并维持 10 代,用于棉蚜生命表研究。

1.2 方法

1.2.1 棉蚜室内种群生命表建立 1 代棉蚜种群生命表建立:待上述 4 种棉花品种的棉苗长到 2 子叶与 2 真叶期时,用软毛笔将在常规棉泗棉 3 号上饲养的棉蚜成虫随机挑选并转接到各品种棉苗的顶叶上,每株接 1 头,12 h 后将成蚜和多余的若蚜除去,每株棉苗上留 1 头初产若蚜。每个棉花品种设 30 株棉苗,每株棉苗做好标记,4 个处理的棉苗随机排列,不同棉苗之间保持一定距离,以免棉叶重叠导致棉蚜在不同棉株之间转移,置于(25 ± 1) °C、相对湿度 70%~85%、24 h 光照的养虫室内观察。每隔 24 h 观察记载棉蚜的存活和蜕皮情况,进入成虫期后称量每头成蚜的体重。称量时先用软毛笔轻轻触碰棉蚜,待其将口针拔出后轻移至十万分之一的天平上进行称量,称量后再轻移回棉株。成蚜产仔后每天记录所产若蚜数量,并将全部若蚜挑除,直到起始蚜全部死亡为止。整个试验重复 3 次^[26]。

37 代棉蚜种群生命表建立:用软毛笔将在常规棉泗棉 3 号上保种饲养的棉蚜成虫随机挑选并转接到 GK12 棉苗的顶叶上,12 h 后将成蚜除去,留下若蚜,6 d 后再将成蚜除去,留下初产的第 2 代若蚜,依此方法连续饲养多代,研究 GK12 对棉蚜的长期影响,期间定期更换新鲜的棉苗。当 GK12 上饲养的

棉蚜 36 代时,将成蚜接在 GK12 棉苗上,观察在 GK12 上取食 37 代的棉蚜生长发育和繁殖情况。同样方法,观察在亲本常规棉泗棉 3 号上取食 37 代的棉蚜,作为对照。

1.3 数据分析方法

利用生命表数据计算以下参数:

$$\text{棉蚜的净增殖率 } R_0 = \sum l_x m_x \dots\dots\dots (1)$$

其中 l_x 为棉蚜在 x 时间的存活率, m_x 为棉蚜在 x 时间的每雌产仔量;

$$\text{平均发育历期 } T = \frac{\sum (x l_x m_x)}{\sum (l_x m_x)} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{内禀增长率 } r_m = \frac{\ln R_0}{T} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{种群增长指数 } I = S_{L1} \times S_{L2} \times S_{L3} \times S_{L4} \times S_A \times P \dots\dots\dots (4)$$

$S_{L1} \dots S_{L4} \dots S_A$ 分别代表 1~4 龄若虫及正常成虫的存活率, P 代表孤雌成蚜平均产若蚜率;

$$\text{种群加倍时间 } t = \frac{\ln 2}{r_m} \dots\dots\dots (5)$$

对取食不同棉花品种和世代棉蚜的各龄发育历期和存活率、成蚜的体重、成蚜的繁殖时间和数量以及生命表参数进行单因素方差分析 - 最小显著检验 (ANOVA :LSD tests)。采用 SPSS 软件进行数据的统计分析;采用 Sigma - Plot (9.0) 软件进行图形处理。

2 结果与分析

2.1 转基因抗虫棉对棉蚜发育和存活的影响

2.1.1 转基因抗虫棉对棉蚜发育历期的影响 在双价抗虫棉 SGK321 和单价抗虫棉 GK12 上比较了转基因抗虫棉对取食 1 代的棉蚜发育和寿命的影响,为了观察转基因抗虫棉对棉蚜的长期作用,在单价抗虫棉 GK12 上的棉蚜继续饲养了 37 代,取食转基因棉不同世代棉蚜的各虫态历期见图 1。可见,在抗虫棉 GK12 和 SGK321 上饲养 1 代的棉蚜,和在 GK12 上连续饲养 37 代的棉蚜,其各虫态的历期均与其亲本对照的处理无显著差异(图 1)。整体而言,取食不同棉花品种和不同世代的棉蚜,其 1~4 龄各龄历期均小于 1.5 d,幼虫期 5 d 左右,成虫期 10 d 左右。取食单价抗虫棉 GK12 的棉蚜各龄历期均略低于取食双价抗虫棉 SGK321 的棉蚜,但差异不显著。另一方面,在 GK12 上取食 1 代的棉蚜,其各龄发育历期略短于取食 37 代的棉蚜,但差异不显著。由此可见,单价抗虫棉 GK12 和双价抗虫棉 SGK321 对棉蚜各虫态的历期均无显著不利影响;经过 37 代的长期选择,也未见 GK12 对棉蚜发育和寿命产生不利影响。

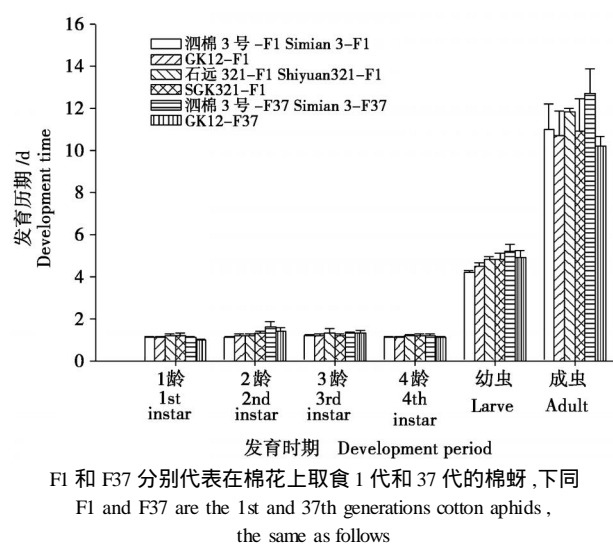


图 1 转基因抗虫棉对棉蚜各虫态历期的影响
Fig.1 Impacts of transgenic insect - resistant cotton on the development and longevity of cotton aphids

2.1.2 转基因抗虫棉对棉蚜存活率的影响 取食不同品种抗虫棉及其亲本棉花,棉蚜各龄若虫的存活率见图 2。可见,无论取食单价抗虫棉 GK12 还是双价抗虫棉 SGK321,各龄若蚜存活率均在 90 % 以上,整个若虫期的存活率也均达 80 % 以上,并且与其亲本常规棉上饲养的棉蚜无显著差异。即使在 GK12 上连续饲养 37 代,各龄若蚜的存活率也与泗棉 3 号上饲养 37 代的棉蚜无明显差异;并与在 GK12 上饲养 1 代的各龄若蚜的存活率也无显著差异。此外,在 GK12 和 SGK321 上分别饲养 1 代,各龄若蚜的死亡率也无显著差异。结果表明,转基因抗虫棉对棉蚜未产生直接毒害作用。

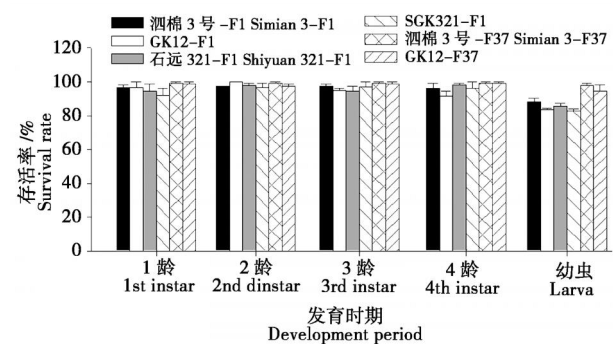


图 2 转基因抗虫棉对棉蚜各龄若蚜存活率的影响
Fig.2 Impacts of transgenic insect - resistant cotton on the survival rate of cotton aphids at different larval stages

2.2 转基因抗虫棉对成蚜体重的影响

取食不同棉花品种和取食不同世代对棉蚜成虫体重的影响见图 3。在单价抗虫棉 GK12 上饲养了 1 代和 37 代的棉蚜,其成虫体重均与取食亲本泗棉 3 号的个体无显著差异,可见 GK12 对棉蚜的体重无显著不利影响。在双价抗虫棉 SGK321 取食 1 代的棉蚜,其体重略低于取食亲本石远 321 的棉蚜,但差

异不显著,由于本研究中只测定了在 SGK321 上取食 1 代的棉蚜的体重变化,双价抗虫棉对棉蚜体重是否会产生不利影响有待长期监测。

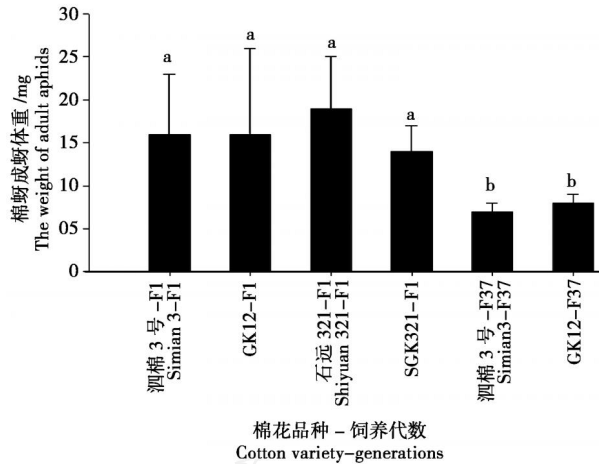


图 3 取食转基因抗虫棉对棉蚜成蚜体重的影响

Fig.3 Impacts of transgenic insect - resistant cotton on the body mass of adult cotton aphids

2.3 转基因抗虫棉对棉蚜繁殖的影响

单、双价抗虫棉对棉蚜成蚜产若蚜历期和产若

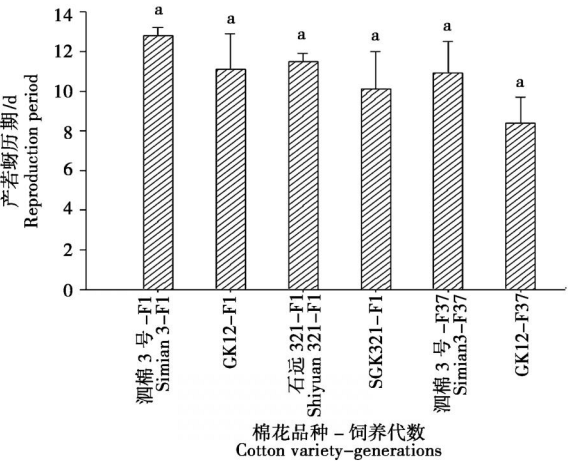


图 4 转基因抗虫棉对棉蚜产若蚜历期(a)和数量(b)的影响

Fig.4 Impacts of transgenic insect - resistant cotton on the reproduction period(a)and offspring number (b) of cotton aphids

表 1 不同棉花品种饲养不同世代的棉蚜生命表参数

Tab.1 Life - table parameters of cotton aphids feeding on different cotton varieties for different generations

棉花品种 Cotton varieties	世代 Generation	净增殖率 /(头/雌) Net reproductive rate	平均发育历期 /d Developmental time	内禀增长率 /(头(雌/ d)) Intrinsic rate of natural increase	周限增长率 Finite rate of increase	种群增长指数 Population growth exponents	种群加倍时间/ d Time of double population
泗棉 3 号 Simian 3	F1	33.9 ±12.5 a	10.5 ±1.2 a	0.97 ±0.4 a	3.1 ±0.9 a	24.3 ±8.6 a	1.1 ±0.7 a
GK12	F1	22.8 ±10.0 a	9.7 ±0.6 a	0.69 ±0.4 a	2.3 ±0.9 a	20.3 ±9.6 a	1.3 ±0.5 a
石远 321 Shiyuan321	F1	29.9 ±7.1 a	11.3 ±0.0 a	0.92 ±0.2 a	2.6 ±0.6 a	24.5 ±5.3 a	0.9 ±0.3 a
SGK321	F1	21.9 ±2.2 a	10.7 ±0.5 a	0.70 ±0.1 a	2.1 ±0.3 a	28.0 ±9.9 a	1.1 ±0.2 a
泗棉 3 号 Simian 3	F37	32.7 ±5.7 a	14.0 ±1.0 a	0.25 ±0.0 a	2.8 ±0.1 a	27.5 ±5.0 a	1.3 ±0.0 a
GK12	F37	23.4 ±3.2 a	12.5 ±1.1 a	0.20 ±0.1 a	2.7 ±0.1 a	21.5 ±7.2 a	1.3 ±0.0 a

注: mean ±SE,同列数字后相同的小写字母表示差异不显著(p>0.05)。

Note:The data in the table indicate mean ±SE;means in the same column followed by the same letters at lowercase do not differ significantly(p>0.05) .

蚜数量的影响(图 4)。在单、双价抗虫棉上取食的棉蚜,其单头成蚜产若蚜的历期均短于在其亲本常规棉上取食的棉蚜(图 4 - a),产若蚜数量均低于取食其亲本常规棉的棉蚜(图 4 - b),但差异均不显著;在单价抗虫棉上取食 37 代的棉蚜也如此。此外,取食单、双价抗虫棉的棉蚜之间,成蚜产若蚜历期和数量也无显著差异。可见,转基因抗虫棉对棉蚜的产若蚜历期和产若蚜数量均无显著影响。

2.4 转基因抗虫棉对棉蚜生命参数的影响

比较取食抗虫棉与常规棉上棉蚜生命表参数(表 1),取食单、双价抗虫棉 SGK321 的棉蚜的生命表参数(净增值率、内禀增长率、周限增长率、平均发育历期、种群增长指数种群加倍时间)与取食其亲本常规棉的棉蚜之间均无显著差异。同时,在 GK12 上分别饲养 1 代和 37 代的棉蚜各生命表参数之间以上各指标差异也不显著;取食单、双价抗虫棉的棉蚜之间差异也不显著。可见,单、双价基因抗虫棉对棉蚜的生命表参数没有显著影响。

3 讨论

本研究结果表明,与取食亲本常规棉的对照相比,在转 *Bt* 基因的单价抗虫棉 GK12 和转 *Bt* + *CpTI* 基因的双价抗虫棉 SGK321 上取食 1 代,棉蚜的生长发育、繁殖、成蚜体重和生命表参数均未受显著影响,在转 *Bt* 基因单价抗虫棉上取食 37 代,棉蚜的生长发育和繁殖以及生命表参数也未发生显著变化,表明 *Bt* 基因和 *Bt* + *CpTI* 基因的抗虫棉对棉蚜的生长发育和繁殖无显著影响。棉蚜主要以刺吸式口器取食棉株的韧皮部汁液,韧皮部汁液内是否含有抗虫蛋白与棉蚜在取食过程中是否吸食到抗虫蛋白有很大联系,Raps 等通过 ELISA 方法在用微毛细管方法收集到的转基因玉米韧皮部汁液中没有检测到抗虫蛋白,说明在转基因植株的韧皮部汁液内没有抗虫蛋白的运输,因此在棉花的韧皮部汁液内可能没有抗虫蛋白或其含量很低,蚜虫在取食过程中未吸食到抗虫蛋白或吸食到少量的 *Bt* 蛋白,因而对棉蚜没有直接毒性或毒性很低^[27]。但有研究表明,在田间转基因抗虫棉嫩叶上采集的 10 mg 棉蚜(约 100 头棉蚜)体内可以检测到微量的 *Bt* 蛋白^[28],表明 *Bt* 蛋白可能在棉蚜体内积累,并对棉蚜的生长发育产生潜在风险。*Bt* 蛋白被棉蚜取食后可能发生以下几种情况:*Bt* 蛋白在棉蚜中肠内未被溶解,而直接排出体外;*Bt* 蛋白被溶解,但在中肠有少量被消化吸收,大部分被排出体外;*Bt* 蛋白被棉蚜吸收,但通过自身解毒酶的作用,将其降解,因此 *Bt* 蛋白对棉蚜的毒性很弱。本研究中,转 *Bt* 基因的单价抗虫棉 GK12 和转 *CpTI* + *Bt* 基因的双价抗虫棉 SGK321 均未表现出抗蚜性,这可能是由于棉蚜体内的微量 *Bt* 蛋白被自身的解毒酶和消化酶降解、消化,或棉蚜体内的环境不适合抗虫蛋白的作用,或棉蚜可以通过其他方式(如蜜露)将吸食到的 *Bt* 蛋白排出体外。

分析前人的研究结果,转基因抗虫棉对棉蚜产生不同影响的原因可能有 3 个方面:使用的抗虫棉品种不同。研究表明,将同一抗虫基因转入不同品种棉花,产生的抗虫性不同^[29];不同棉花品种内的化学成分不同,其本身的抗虫性也存在差异^[30];此外,不同生长期和生长势的棉株体内抗虫蛋白表达不同,并导致抗虫性不同。因此不同的转基因棉试验材料对棉蚜的抗性可能存在较大差异。田间调查所在的生态区域不同,试验区的气候条件和作物不相同,因此棉蚜的种群发展态势不同。如有的调查在湖北棉区进行^[17];有的在河南地区进行^[10];

有的调查地点则位于河北廊坊^[20],三地的气候条件和生态区域存在很大差异。而且,多数田间调查都以整个节肢动物群落或害虫亚群落的变化为研究对象,蚜虫仅是其中的一类,很少专门调查棉蚜的种群动态变化。试验设计和试验方法存在差异。有的研究采用离体棉花叶片饲养棉蚜^[12],有的则采用活体棉株饲养并建立棉蚜试验种群生命表^[22]。棉花植株内抗虫蛋白的表达与植物的生长势有关,生长势好的植株抗性强,棉叶离体后可能影响叶片中毒蛋白的表达,并对试验结果产生影响。本研究通过控制室内的温湿度和光照条件研究了转基因抗虫棉对棉蚜的影响,避免了外界环境对棉花和棉蚜的影响;研究中使用的是在我国已经广泛商业化的国产抗虫棉 GK12 的活体棉株,减少了 *Bt* 基因表达的外界干扰;此外,本试验还研究了用 *Bt* 棉连续饲养 37 代对棉蚜的长期作用,可以代表田间一年棉蚜的发生情况。但是,转基因抗虫棉对棉蚜的影响是多种因素综合作用的结果,棉蚜可能通过生理调节和适应最终未影响其生长发育和繁殖,也可能会随着商业化时间和外界环境的变化而变化,因此,转基因抗虫棉对棉蚜的风险评估还需要从多方面进行长期监测和跟踪。

参考文献:

- [1] 张继红,王琛柱,郭三堆. 转 *CpTI* + *Bt* 基因棉和转 *Bt* 基因棉对棉铃虫幼虫存活、生长及营养利用的影响[J]. 昆虫学报, 2004, 47(2): 146 - 151.
- [2] De Maagd R A, Bravo A, Crickmore N. How *Bacillus thuringiensis* has evolved specific toxins to colonize the insect world[J]. Trends Genet, 2001, 17: 193 - 199.
- [3] Tapp H, Calamai L, Stotzky G. Adsorption and binding of the insecticidal protein from *Bacillus thuringiensis* Kurstaki and subsp. tenebrionis on clay minerals[J]. Soil Biology Biochemistry, 1994, 26: 663 - 679.
- [4] 张永军,郭予元. 棉花缩合单宁和 *Bt* 杀虫蛋白的交互关系[J]. 棉花学报, 2000, 12(6): 294 - 297.
- [5] Chen D H, Ye G Y, Yang C Q, et al. Effect after introducing *Bacillus thuringiensis* gene on nitrogen metabolism in cotton[J]. Field Crops Research, 2004, 87: 235 - 244.
- [6] Chen D H, Ye G Y, Yang C Q, et al. Effect of introducing *Bacillus thuringiensis* gene on nitrogen metabolism in cotton[J]. Field Crops Research, 2005, 92: 1 - 9.
- [7] 田晓莉,杨培珠. 转 *Bt* 基因抗虫棉中棉所 30 的碳、氮代谢特征[J]. 棉花学报, 2000, 12(4): 172 - 175.
- [8] 郭香墨,丰 嵘,刘海涛,等. *Bt* 转基因抗虫棉激素动态变化研究[J]. 中国棉花, 1996, 23(12): 9 - 10.
- [9] 杨益众,陆宴辉,薛文杰,等. 转基因棉花中糖类和游离

- 氨基酸含量的变化对棉蚜泌蜜量及蜜露主要成分的影响[J]. 昆虫学报, 2005, 48(4): 491 - 497.
- [10] 王武刚, 吴孔明, 李修立. Bt 棉对主要棉虫的发生影响及防治对策[J]. 植物保护, 1999, 25(1): 3 - 5.
- [11] Velders R M, 崔金杰, 夏敬源. 中国北方棉区转基因抗虫棉对棉蚜及其两种天敌的影响[J]. 棉花学报, 2002, 14(3): 175 - 179.
- [12] 万 鹏, 黄民松, 吴孔明, 等. 转 *CryIA* 基因棉对棉蚜生长发育及种群动态的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(12): 1484 - 1488.
- [13] 崔金杰, 夏敬源. 转 *Bt* 基因棉对棉田主要害虫及其天敌种群消长的影响[J]. 河南农业大学学报, 1997, 31(4): 351 - 356.
- [14] 崔金杰, 夏敬源. 麦套夏播转 *Bt* 基因棉田主要害虫及其天敌的发生规律[J]. 棉花学报, 1998, 10(5): 255 - 262.
- [15] 崔金杰, 夏敬源. 转 *Bt* 基因棉对昆虫群落结构与组成的影响[J]. 河南农业大学学报, 1999, 33(4): 342 - 345.
- [16] Men X Y, Ge F, Liu X G, *et al.* Diversity of arthropod communities in transgenic Bt cotton and nontransgenic cotton agroecosystems[J]. Environmental Entomology, 2003, 32(2): 270 - 275.
- [17] 邓曙东, 徐 静, 张青文, 等. 转 *Bt* 基因棉对非靶标害虫及害虫天敌种群动态的影响[J]. 昆虫学报, 2003, 46(1): 1 - 5.
- [18] Men X Y, Ge F, Edwards C A, *et al.* Influence of pesticide application on pest and predatory arthropods associated with transgenic Bt cotton and non - transgenic cotton plants[J]. Entomology Phytoparasitica, 2004, 32(3): 246 - 254.
- [19] Wu K M, Guo Y Y. Influences of *Bacillus thuringiensis* Berliner cotton planting on population dynamics of the cotton Aphid, *Aphis gossypii* Glover, in Northern China[J]. Environmental Entomology, 2003, 32(2): 312 - 318.
- [20] 酆卫弟, 吴孔明, 陈学新. 华北地区转基因棉棉田害虫和天敌昆虫的群落结构[J]. 农业生物技术学报, 2003, 11(5): 494 - 499.
- [21] 周洪旭, 郭建英, 万方浩. 转 *CryIAC* + *CPTI* 基因棉对棉田害虫及其天敌种群动态的影响[J]. 昆虫学报, 2004, 47(4): 538 - 542.
- [22] 刘向东, 翟保平, 张孝羲, 等. 转基因棉对棉蚜繁殖与取食行为的影响[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(3): 27 - 30.
- [23] 郭慧芳, 孙洪武, 朱述钧, 等. 转基因棉对非靶标害虫棉蚜适合度研究[J]. 江苏农业学报, 2003, 19(1): 9 - 12.
- [24] Liu X D, Zhai B P, Zhang X X, *et al.* Impact of transgenic cotton plants on a non - target pest, *Aphis gossypii* Glover[J]. Ecological Entomology, 2005, 30: 307 - 315.
- [25] 郭慧芳, 朱述钧, 孙洪武, 等. 转基因棉上非靶标害虫棉蚜取食行为的 EPG 研究[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2004, 26(2): 155 - 159.
- [26] Perng J J. Life history traits of *Aphis gossypii* Glover (Hom., Aphididae) reared on four widely distributed weeds[J]. Journal of Applied Entomology, 2002, 126: 97 - 100.
- [27] Raps A, Kehr J, Gugerli P, *et al.* Immunological analysis of phloem sap of *Bacillus thuringiensis* corn and of the nontarget herbivore *Rhopalosiphum padi* (Homoptera: Aphididae) for the presence of Cry1Ab[J]. Molecular Ecology, 2001, 10: 525 - 533.
- [28] 张桂芬, 万方浩, 郭建英, 等. Bt 毒蛋白在转 Bt 基因棉中的表达及其在害虫 - 天敌间的转移[J]. 昆虫学报, 2004, 47(3): 334 - 341.
- [29] 李付广, 崔金杰, 刘传亮, 等. 双价基因抗虫棉及其抗性研究[J]. 中国农业科学, 2000, 33(1): 46 - 52.
- [30] 孙洪武, 柏立新, 孙以文. 三个转 *Bt* 基因棉品种田间抗棉铃虫效果初报[J]. 中国棉花, 1999, 26(3): 13 - 15.