

网络出版日期:2014-12-31

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20141231.1040.027.html>

土耳其斯坦叶螨对转基因棉花的寄主选择性

李广云^{1,2}, 李晶晶^{1,2}, 屈荷丽^{1,2}, 卫秋阳¹, 张建萍^{1,2}

(1. 石河子大学 农学院, 新疆石河子 832000; 2. 新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用
自治区普通高校重点实验室, 新疆石河子 832003)

摘 要 为了研究土耳其斯坦叶螨对转基因棉及其亲本常规棉寄主选择性, 以及转基因植物生化特性及形态特征对叶螨寄主选择性的影响, 以转基因棉花中棉 41、SGK321 及其亲本常规棉中棉 23、石远 321 为材料, 通过半叶碟选择性试验研究棉叶螨对棉花的取食选择性及产卵选择性, 并测定不同品种棉花的营养物质和次生代谢物的质量分数及形态指标。结果表明, 棉叶螨对常规棉中棉 23 和石远 321 表现出明显的取食偏好和产卵偏好性; 转基因棉花中次生代谢物棉酚的质量分数显著高于亲本棉花。因此, 土耳其斯坦叶螨对常规亲本棉花的寄主偏好性可能与外源基因导入引起植株代谢变化有一定关系。

关键词 转基因棉花; 土耳其斯坦叶螨; 寄主选择性; 生化特征; 形态特征

中图分类号 S43

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2014)12-0116-06

Host Plant Preference of *Tetranychus turkestani* to Transgenic Cotton

LI Guangyun^{1,2}, LI Jingjing^{1,2}, QU Heli^{1,2}, WEI Qiuyang¹ and ZHANG Jianping^{1,2}

(1. College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832000, China;

2. Key Laboratory at Universities of Xinjiang Uygur Autonomous Region for Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resource Utilization, Shihezi Xinjiang 832003, China)

Abstract In order to study host plant preference of *Tetranychus turkestani* to transgenic cotton and its isotypic non-transgenic cotton, as well as the relationship between host preference of spider mites with nutrients and secondary metabolites, feeding preference and oviposition preference of cotton spider mites to Zhongmian 41, SGK321 and their corresponding non-transformed isoline Zhongmian 23, Shiyuan 321 were investigated by using dual-choice disc tests. In addition, nutrients, secondary metabolites and morphological characteristic of cotton leaves of different cotton varieties were determined. The results indicated that spider mite showed preference to Zhongmian 23 and Shiyuan 321, which had lower content of gossypol compared with genetically modified cotton. It appeared that genetic transformation changed metabolic pathway, resulting in a higher preference of spider mites to non-transformed cotton varieties.

Key words Transgenic cotton; *Tetranychus turkestani*; Host plant preference; Biochemical characteristics; Morphological characteristics

收稿日期: 2014-01-16 修回日期: 2014-03-18

基金项目: 公益性行业(农业)专项(201103020); 国家棉花产业技术体系西北棉区病虫害综合防控(CARS-18)。

第一作者: 李广云, 女, 硕士, 从事农业害虫防治研究。E-mail: kathy0919@126.com

通信作者: 张建萍, 女, 教授, 博士生导师, 主要从事农业害虫与害虫防治研究。E-mail: zhjp_agr@shzu.edu.cn

叶螨是一种寄主范围较广的植食性害螨,也是棉花上重要害虫之一。它可以刺吸植物的叶片造成叶片中叶绿素质量分数降低,进而影响植物的光合作用,严重影响农作物的产量和质量^[1-2]。由于叶螨生殖潜能大,世代周期短等原因,因此在新疆棉区容易暴发成灾^[3],且难以防治。20 世纪末期,随着转基因抗虫棉花的推广,靶标害虫棉铃虫(*Helicoverpa armigera* Hubner)得到有效控制。但与此同时,一些学者认为转基因棉花的种植虽然对棉铃虫有较强的控制作用,但却引发新的问题:部分次要害虫如棉叶螨、棉蚜(*Aphis gossypii* Glov.)、盲螨(*Lygus lucorum* Mayre)的数量上升^[4-6]。因此,对转基因棉花进行生态评估,探究其对非靶标害虫影响,将为转基因棉花的商业化推广及转基因棉田害虫防治提供依据。

目前,国内外学者在转基因棉花风险评估方面已进行大量研究,取得众多成果。尽管叶螨等非靶标生物对毒蛋白并不敏感,但是外源基因的导入会对植物的代谢^[7-10]及形态特征^[11]产生一定影响,而植物中次生代谢物如棉酚、单宁及叶片的形态特征如茸毛密度等都是影响叶螨寄主选择性的的重要因素。关于转基因植物对叶螨的影响,国外学者以二斑叶螨(*Tetranychus urticae* Koch)为例进行探究,关于转基因植物对二斑叶螨生命参数及种群的影响已有广泛报道。Lozzia 等^[12]研究转基因玉米和常规玉米上 F₁ 代和 F₂ 代二斑叶螨的发育历期、存活率、性别比率,产卵量及卵的孵化率,结果未见有显著差异。Esteves 等^[13]、Dutton 等^[14]也认为转基因植物不会影响二斑叶螨的生长和繁殖参数。国内学者邱晓红^[15]对 Bt 棉对朱砂叶螨(*Tetranychus cinnabarinus* Boisduval)及其天敌之间互作规律进行探究,发现转基因棉对连续多代朱砂叶螨无不利影响。但是也有学者报道西北棉区转基因棉田中叶螨的数量高于常规棉田,且差异达到显著性水平^[16]。

土耳其斯坦叶螨是新疆棉花生产基地中三大主要害虫之一,且转基因棉花的种植面积逐年增加,正确评估转基因棉花对该害虫的影响是亟待解决的问题,但是目前关于叶螨对转基因植物寄主选择性的研究鲜见报道。本研究旨在探究土耳其斯坦叶螨对转基因棉花和常规棉的寄主偏好性,并从寄主植物生化特征及形态特征方面初步探讨影响偏好性的原因,以为转基因棉花生态安全性的科学评估提供依据,为新疆棉花种植区

转基因棉花上棉叶螨的防治提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 供试土耳其斯坦叶螨

供试土耳其斯坦叶螨 [*Tetranychus turkes-tani* (Vgarov et Nikolskii)] 为室内 RXZ-260B 型智能人工气候箱内(温度为 28 ℃±0.5 ℃,相对湿度为 70%±5%,光周期为 L:D=16:8)用刀豆(*Semen canavaliae* Gladiatae)长期饲喂的敏感棉叶螨种群。

1.2 供试棉花品种

供试棉花(*Gossypium hirsutum* L.)品种为双价(Bt+CpTI)转基因棉花中棉 41、SGK321 及其亲本对照棉花品种中棉 23、石远 321,由河北农科院经济作物研究所提供。2013 年 4 月下旬于石河子大学试验站内播种,在棉花生长过程中不施用任何农药。待棉花生长到 4~8 叶期时,采摘新鲜的棉花叶片进行试验。

1.3 寄主选择性试验

取新鲜的棉花叶片,先用打孔器制成 30 mm 的圆形叶碟,在打叶碟时尽量避开叶脉处。再将圆形叶碟平均分成 2 个半叶碟。在 90 mm 的培养皿中铺 1 层薄薄的海绵和 1 层滤纸并将其打湿。将中棉 41、中棉 23 的半叶碟,SGK321、石远 321 的半叶碟紧挨放置,不留缝隙,每个培养皿中放置 1 对半叶碟。然后在 2 个半叶碟上各接 4 头雌成螨。12 h 后统计每个半叶碟上土耳其斯坦叶螨雌成螨的数量,死亡、丢失以及在 2 个半叶碟中间的不计算在内。此外,并在体视镜下镜检半叶碟上卵的数目,并将其移除。此后每 12 h 统计 1 次,共观察 72 h。中棉 41 和中棉 23,SGK321 和石远 321 两个小组各设 30 个重复,15 个重复内中棉 41、SGK321 位于左边,另外 15 个重复内中棉 41、SGK321 位于右边,以减少空间方位对叶螨的影响。以上试验在 28 ℃±1 ℃、RH 为 75%±5%、光周期为 L:D=16:8 的人工气候箱中进行。

1.4 棉花生化特征的测定

叶绿素质量分数的测定采用分光光度法^[17],可溶性糖质量分数的测定采用蒽酮比色法^[18],棉酚质量分数的测定采用福林酚法^[19],单宁质量分数的测定采用钨酸钠—磷钼酸比色分光光度法^[20],毒蛋白质量分数的测定采用 DAS-ELISA 法。

1.5 棉花叶面茸毛数量

取 7 叶期的棉花顶部向下数的第 4 片叶子,选取其主脉附近的位置,在 40 倍的显微镜下对直径 1 cm 的圆形区域(0.79 cm²)内叶面茸毛的数目进行统计。重复 9 次,并求其平均值。

1.6 数据分析

采用 SPSS 17.0 分析软件对数据进行处理。土耳其斯坦叶螨对转基因棉和其亲本棉花的寄主选择率、产卵选择率,以及转基因棉和其亲本棉花间生物化学参数、形态学特征的差异采用 Student's *t*-test 进行差异显著性分析,转基因棉半叶碟及常规棉半叶碟上叶螨、及落卵数量均数的差异显著性用 Wilcoxon signed rank test 检验。

2 结果与分析

2.1 土耳其斯坦叶螨的寄主偏好性

土耳其斯坦叶螨对转基因棉及其亲本常规棉的寄主选择性如表 1 所示。在选择性试验过程中,中棉 23 半叶碟上叶螨的比例为(50.88±1.78%)~(64.80±4.25%),均高于中棉 41 上叶螨的比例。平均每次观察时中棉 23 和中棉 41 上叶螨的数量分别为 3.51±0.52 和 2.68±0.26,差异显著(Wilcoxon signed rank test, *P*=0.016<0.05)。在中棉 23 和中棉 41 之间,叶螨总体上更偏爱于亲本常规棉中棉 23。同样地,在转基因

棉 SGK321 和常规棉石远 321 之间,叶螨对常规棉的选择性较强,仅在 24 h 时叶螨对石远 321 的选择率为(48.91±4.62)%,稍低于 SGK321,在 36 h、48 h、72 h 叶螨对石远 321 的趋性均显著高于转基因棉 SGK321(*t*-test, *P*<0.05)。平均每次观察中石远 321 半叶碟上叶螨的数量为 3.60±0.32,显著高于 SGK321 叶螨数 2.94±0.36(Wilcoxon signed rank test, *P*=0.031<0.05)。

2.2 土耳其斯坦叶螨的产卵选择性

叶螨对转基因棉和常规棉的产卵选择性如表 2 所示。叶螨的产卵选择性与取食选择性一致,且其产卵偏好性更为显著。常规棉中棉 23 和石远 321 半叶碟上卵的比率均大于 50%,高于与其对应的转基因棉上叶螨的量。常规棉中棉 23 和石远 321 半叶碟上每 12 h 的落卵量分别为 11.71±1.28 和 11.44±0.98,显著高于其对应转基因棉(Wilcoxon signed rank test, *P*<0.05)。

2.3 不同品种棉花叶绿素及次生代谢物的比较

由表 3 可见,中棉 41 与其亲本棉花中棉 23, SGK321 与其亲本棉石远 321 在叶绿素和单宁质量分数上并不存在显著性差异,但是转基因棉中棉 41、SGK321 叶片中棉酚的质量分数分别为(0.17±0.00)%、(0.16±0.01)%,均显著高于其亲本(*t*-test, *P*<0.05)。

表 1 土耳其斯坦叶螨对不同品种棉花的取食选择性

Table 1 Feeding preference of *T. turkestan*i to different cotton varieties

品 种 Variety	选择率/% Choosing rate					
	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
中棉 23 Zhongmian 23	64.80±4.25 *	56.78±4.71	52.11±4.66	56.62±1.92 *	50.88±1.78	55.01±5.91
中棉 41 Zhongmian 41	35.20±4.25	43.22±4.71	47.89±4.66	43.39±1.92	49.12±1.78	44.99±5.91
石远 321 Shiyuan 321	52.55±7.70	48.91±4.62	65.91±4.44 *	57.89±5.97 *	57.51±7.27	59.05±3.27 *
SGK321	47.44±7.70	51.09±4.62	34.09±4.44	42.11±5.97	42.49±7.27	40.95±3.27

注:数据为“平均值±标准误”。数据后带有 * 表示转基因棉与其亲本间差异显著(*P*<0.05)。下表同。

Note: The data in the table are “mean ± SE”. Figures followed by asterisk are significantly different at *P*<0.05 with their corresponding non-transgenic isoline, respectively. The same below.

表 2 土耳其斯坦叶螨对不同品种棉花的产卵选择性

Table 2 Oviposition preference of *T. turkestan*i to different cotton varieties

品 种 Variety	选择率/% Choosing rate					
	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
中棉 23 Zhongmian 23	66.50±6.36 *	65.20±7.71 *	53.08±5.13	60.48±3.40 *	56.40±4.79	60.77±4.90 *
中棉 41 Zhongmian 41	33.50±6.36	34.80±7.71	46.92±5.13	39.52±3.40	43.60±4.79	39.23±4.90
石远 321 Shiyuan321	57.38±10.65	63.13±7.78	63.81±4.74 *	62.48±7.17 *	66.78±3.96 *	52.65±9.76
SGK321	42.62±10.65	36.87±7.78	36.19±4.74	37.52±7.17	33.22±3.96	47.35±9.76

2.4 不同品种棉花营养物质及毒蛋白质量分数的比较

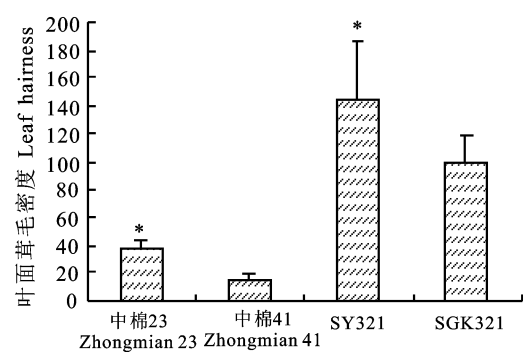
中棉 41、SGK321 棉花叶片中可溶性糖及蛋白质质量分数与其亲本棉花中棉 23、石远 321 基本相同,并不存在显著差异。中棉 41、SGK321 中毒蛋白的质量分数分别为 25.87 ± 0.34 、 26.01 ± 0.77 ,但是在其对应亲本棉花中却未检测到毒蛋白(表 4)。

表 3 不同棉花品种生化特征的比较

Table 3 Comparison on chlorophyll and secondary metabolites of different cotton varieties			
品 种 Variety	$w(\text{叶绿素})/(\text{mg/g})$ $w(\text{Chlorophyl})$	$w(\text{棉酚})/\%$ $w(\text{Gossypol})$	$w(\text{单宁})/\%$ $w(\text{Tannin})$
中棉 23 Zhongmian 23	1.64 ± 0.03	0.13 ± 0.01	1.34 ± 0.05
中棉 41 Zhongmian 41	1.65 ± 0.08	0.17 ± 0.00	1.71 ± 0.14
石远 321 Shiyuan 321	1.43 ± 0.05	0.13 ± 0.00	1.19 ± 0.10
SGK321	1.33 ± 0.06	0.16 ± 0.01	1.08 ± 0.13

表 4 不同品种棉花中营养物质及毒蛋白质量分数

Table 4 Mass fraction of nutrition material and toxin-protein in different cotton varieties			
品 种 Variety	$w(\text{可溶性糖})/(\text{mg/g})$ $w(\text{Soluble sugar})$	$w(\text{蛋白质})/(\text{mg/g})$ $w(\text{Protein})$	$w(\text{毒蛋白})/(\mu\text{g/g})$ $w(\text{Bt-toxin})$
中棉 23 Zhongmian 23	8.52 ± 0.84	2.40 ± 0.03	0.00
中棉 41 Zhongmian 41	9.53 ± 0.38	2.41 ± 0.13	25.87 ± 0.34
石远 321 Shiyuan 321	8.43 ± 1.08	3.24 ± 0.01	0.00
SGK321	5.00 ± 0.70	3.28 ± 0.09	26.01 ± 0.77



“*”表示转基因棉与其受体常规棉相比在茸毛密度上存在显著性差异($P<0.05$)

Asterisks indicate that the leaf hairiness of transgenic cottons were significantly different from that of their non-transformed isolines ($P<0.05$)

图 1 不同品种棉花叶面茸毛数的比较
Fig. 1 Comparison on trichome density of different cotton varieties

3 讨论

本试验通过半叶碟选择性研究新疆棉花上的优势害螨土耳其斯坦叶螨对转基因棉的寄主选择性,结果表明:叶螨对非转基因常规棉表现出显著

2.5 不同品种棉花形态学参数的比较

不同品种棉花叶片表面茸毛的数量(为每 0.79 cm^2 上的数量)如图 1 所示,可见中棉 23、中棉 41 品系的叶面茸毛数远低于石远 321、SGK321 品系。中棉 23 的叶面茸毛数为 36.78 ± 6.89 ,显著高于中棉 41(14.56 ± 4.31);石远 321 茸毛数为 143.67 ± 42.38 ,也显著高于 SGK321 ($t\text{-test}, P<0.05$)。

的寄主偏好性和产卵选择性。该结果与 Rovensk等^[21]的研究具有一致性,他们通过 96 h 的连续观察发现与转基因马铃薯相比,二斑叶螨对非转基因马铃薯有显著偏好性。但是与此相驳,Rovensk等^[22]在研究二斑叶螨对转基因茄子的选择性试验中,经过 120 h 的连续观察却发现随着时间的推移,叶螨对转基因茄子表现出越来越强的选择性。傅强等^[23]经过寄主选择性试验发现,褐飞虱对转基因水稻和常规水稻无明显的选择性差异,而白飞虱却明显趋向于转基因水稻。陈茂等^[24]发现在自由选择寄主植物的条件下,褐飞虱在转基因水稻和常规水稻上着虫比率、产卵选择性和产卵量无显著性差异。可见,同类昆虫对不同类转基因植物的选择性有差异,且不同昆虫对同种转基因植物的偏好性也有差异。这种现象可能是不同寄主植物影响昆虫寄主选择性的主要因素不同,不同昆虫对相同寄主的偏好性也有一定差异;也可能是由于昆虫并不能在短时间内感知寄主植物的质量,需要经过较长时间的取食经历才能做出偏好性选择^[25]。

转基因植物中抗虫基因的导入会引起植物代

谢途径的改变,进而影响着植物中某些化学物质质量分数的改变,且在植株的组织结构、形态学特征和理化性质等影响叶螨的寄主选择性的众多因素中,理化性状的影响更为突出,尤其是棉酚、单宁等次生代谢物质^[26]。本试验为了探究叶螨对转基因植物和常规植物的寄主选择性机制,测定植物叶片中叶绿素、可溶性糖、棉酚和单宁等的质量分数,发现常规棉花叶片中棉酚的质量分数均低于与其对应的转基因棉,这与前人的研究结果一致^[10]。结合寄主选择性试验发现叶螨对棉酚质量分数高的棉花品系选择性相对较弱,与袁辉霞等^[27]和 Katayama 等^[28]的研究相同。叶螨偏好的常规棉叶片上茸毛密度显著高于转基因棉, Sarwar^[11]也曾对 GK-12、Lu-23 和 SGK-321 及 Zhong-12、Simian-3 和 Shiyuan-321 的形态特征进行研究,结论与此相同。可见,在多重因素的综合作用下,叶面茸毛密度并未显著影响叶螨的寄主偏好性。

本研究通过较长时间的观察发现,土耳其斯坦叶螨对非转基因植物的表现出寄主偏好性和产卵选择性,生化测定得出非转基因棉花叶片中棉酚的质量分数显著低于其对应的转基因棉。这说明转基因植物中新基因的导入改变了代谢,进而对叶螨的寄主选择产生不利影响。至于转基因棉花商品化种植后叶螨发生更为严重,可能是由于转基因棉田中系统的化学防控减少^[6,29],且棉铃虫的有效控制减弱了种间竞争,天敌对叶螨的控制力较弱,这就给次要害虫如叶螨发生提供较为有利的条件,使叶螨发生较常规棉更为严重。本研究仅针对叶螨对转基因植物的寄主偏好进行初步探究,关于转基因植物对叶螨的生态风险,还需从大规模的田间调查及室内连续多代的生物学特征的研究等进行更加全面的评估。

Reference (参考文献):

- [1] CHEN Pengcheng(陈鹏程), ZHANG Jianhua(张建华), LI Meimei(李眉眉), *et al.* Physiological change and hyperspectral character analysis of cotton leaves infested by *Tetranychus turkestani* [J]. Chinese Bulletin of Entomology(昆虫知识), 2007, 44(1): 61-65 (in Chinese with English abstract).
- [2] YANG Desong(杨德松) HE Fude(贺福德), ZHANG Li(张利), *et al.* Effect of *Tetranychus turkestani* (Ugarov & Nikolskii) on contents of chlorophyll and soluble sugar and soluble protein in cotton[J]. Xinjiang Agricultural Science(新疆农业科学), 2005, 42(2): 107-110 (in Chinese with English abstract).
- [3] ZHANG Yanxuan(张艳璇), JI Jie(季洁), WANG Futang(王福堂), *et al.* The fecundity potential of *Tetranychus turkestani* (Ugarov et Nikoiskii) (Acari: Tetranychidae) [J]. Acta Phytophylacica Sinica(植物保护学报), 2006, 33(4): 379-383 (in Chinese with English abstract).
- [4] WU K M, LI W, FENG H, GUO YY. Seasonal abundance of the mirids, *Lygus lucorum* and *Adelphocoris* spp (Hemiptera: Miridae) on Bt cotton in northern China [J]. Crop Protection, 2002, 21(10): 997-1002.
- [5] LU Y H, WU K M, JIANG Y, *et al.* Mirid bug outbreaks in multiple crops correlated with wide-scale adoption of Bt cotton in China [J]. Science, 2010, 328(5982): 1151-1154.
- [6] ZHAO J H, Ho P, Azadi H. Benefits of Bt cotton counterbalanced by secondary pests? Perceptions of ecological change in China [J]. Environ Monit Assess, 2011, 173: 985-994.
- [7] LU Yanhui(陆宴辉), LIU Fang(刘芳), YANG Zhongyi(杨益众), *et al.* Analysis of major nutrient and secondary substance contents in transgenic cotton cultivars [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science(江苏农业学报), 2005, 21(2): 92-97 (in Chinese with English abstract).
- [8] CUI Jinjie(崔金杰). Effects and mechanisms of transgenic Cry1Ac plus CpTI (cowpea trypsin inhibitor) cotton on insect communities [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Science(中国农业科学院), 2003 (in Chinese with English abstract).
- [9] WU Yuqing(武予清), GUO Yuyuan(郭予元), ZENG Qingling(曾庆龄). Preliminary testing of contents of total phenolics and condensed tannins in the Bt cotton [J]. Journal of Henan Agricultural University(河南农业大学学报), 2000, 34(2): 134-138 (in Chinese with English abstract).
- [10] RUI Yukui(芮玉奎). Study on the biosafety of transgenic insecticidal cotton (on *Gossypium hirsutum* L.) itself and soil ecology [D]. Beijing: Chinese Agricultural University(中国农业大学), 2003 (in Chinese with English abstract).
- [11] Sarwar M. Comparing abundance of predacious and phytophagous mites (Acarina) in conjunction with resistance identification between Bt and non-Bt cotton cultivars [J]. African Entomology, 2013, 21(1): 108-118.
- [12] Lozzia G C, Rigamonti I E, Manachini B, *et al.* Laboratory studies on the effects of transgenic corn on the spider mite *Tetranychus urticae* Koch [J]. Bollettinodi Zoologia Agrariaedi Bachicoltura, 2000, 32(1): 35-47.
- [13] Esteves F A B, Oliveira J V, Torres J B, *et al.* Compared biology and behavior of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) and *Phytoseiulus macropilis* (Banks) (Acari: Phytoseiidae) on Bollgard TM and non-transgenic isoline cotton [J]. Neotropical Entomology, 2010, 39(3): 338-344.
- [14] Dutton A, Klein H, Romeis J, *et al.* Uptake of Bt-toxin by herbivores feeding on transgenic maize and consequences

- for the predator *Chrysoperla carnea* [J]. Ecological Entomology, 2002, 27(4): 441-447.
- [15] QIU Xiaohong(邱晓红), HUANG Minsong(黄民松), SONG Xiulan(宋秀兰). The Niche of *Tetranychus cinabarinus* and its predatory enemies in the Bt cotton field [J]. Hubei Agricultural Science(湖北农业科学), 2006, 45(3): 331-334(in Chinese with English abstract).
- [16] WANG Jing(王晶), LÜ Zhaozhi(吕昭智), MENG Jianwen(孟建文), *et al.* Effect of transgenic cotton on the population of major pests and natural enemies in Xinjiang cotton field [J]. Xinjiang Aricultural Science(新疆农业科学), 2008, 45(3): 433-437(in Chinese with English abstract).
- [17] ZOU Qi(邹琦). Experimental Guidance Plant Physiology(植物生理学实验指导)[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000, 173-174(in Chinese).
- [18] Dubois M, Gilles K A, Hamilton J K, *et al.* Colorimetric method for determination of sugars and related substances [J]. Analytical Chemistry, 1956, 28(3): 350-356.
- [19] Hagerman A E, Butler L G. Choosing appropriate methods and standards for assaying tannin [J]. Journal of Chemical Ecology, 1989, 15(6): 1795-1810.
- [20] WANG Chaosheng(王朝生), DONG Shunwen(董顺文), GU Mingfang(辜明芳), *et al.* Determination of Tannin content of several insect-resistant cotton cultivar [J]. China Cotton(中国棉花), 1987(2): 22-24(in Chinese with English abstract).
- [21] Rovenská G Z, Zemek R. Host plant preference of aphids, thrips and spider mites on GNA-expressing and control potatoe[J]. Phytoparasitica, 2006, 34(2): 139-148.
- [22] Rovenská G Z, Zemek R, Schmidt J E U, *et al.* Altered host plant preference of *Tetranychus urticae* and prey preference of its predator *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) on transgenic Cry3Bb-egg-plants[J]. Biological Control, 2005, 33(3): 293-300.
- [23] FU Qiang(傅强), WANG Feng(王锋), LI Donghu(李冬虎), *et al.* Effects of insect-resistant transgenic rice lines MSA and MSB on non-target pests *Nilaparvata lugens* and *Sogatella fucifera* [J]. Acta Entomologica Sinica(昆虫学报), 2003, 46(6): 697-704(in Chinese with English abstract).
- [24] CHEN Mao(陈茂), YE Gongyin(叶恭银), YAO Hongwei(姚洪渭), *et al.* Evaluation of the Impact of Insect-resistant Transgenic Rice on the Feeding and Oviposition Behavior of Its Non-target Insect, the Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) Scientia [J]. Agricultura Sinica(中国农业科学), 2004, 37(2): 222-226(in Chinese with English abstract).
- [25] Egas M, Norde D J, Sabelis M W. Adaptive learning in arthropods: spider mites learn to distinguish food quality [J]. Exp Appl Acarol, 2003, 30: 233-247.
- [26] YONG Xiaojun(雍小菊), DING Wei(丁伟). The resistant mechanism of plant to mites [J]. Chinese Bulletin of Entomology(应用昆虫学报), 2011, 48(5): 1495-1504(in Chinese with English abstract).
- [27] YUAN Huixia(袁辉霞), ZHANG Jianping(张建萍), LI Qing(李庆), *et al.* Host Preference and Mechanism of *Tetranychus turkestanii* (Vgorag&Nikolskii) to Different Cotton Varieties[J]. Xinjiang Aricultural Science(新疆农业科学), 2009, 46(6): 1258-1262(in Chinese with English abstract).
- [28] Katayama N, Nishida T, Zhang Z Q, *et al.* Belowground microbial symbiont enhances plant susceptibility to a spider mite through change in soybean leaf quality[J]. Population Ecology, 2010, 52(4): 499-506.
- [29] Li G P, Feng H Q, McNeil J N, *et al.* Impacts of transgenic Bt cotton on a non-target pest, *Apolygus lucorum* (Meyer-Dür) (Hemiptera: Miridae), in northern China [J]. Crop Protection, 2011, 30(12): 1573-1578.