



宁忠雄, 李维政, 梁赫, 秦子昕, 王冬梅, 李海强, 刘冰, 路伟. 南疆三地棉铃虫田间种群对 Bt 棉的抗性频率监测 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (2): 479–484.

南疆三地棉铃虫田间种群对 Bt 棉的抗性频率监测

宁忠雄¹, 李维政¹, 梁赫¹, 秦子昕¹, 王冬梅², 李海强²,
刘冰³, 路伟^{1*}

(1. 新疆农业大学农学院, 棉花教育部工程研究中心, 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆农业科学院植物保护研究所, 农业部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室, 乌鲁木齐 830052;

3. 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 100193)

摘要: 为了监测南疆主要 Bt 棉区棉铃虫田间种群对 Bt 棉的抗性频率, 分别采集库尔勒、阿克苏、泽普三地的棉铃虫单雌系, 以 Bt 毒蛋白作为人工饲料, 采用单雌系 F₁ 代法进行棉铃虫田间种群抗性个体检测。本文从库尔勒、阿克苏、泽普三地分别筛选了 57 个、106 个、92 个棉铃虫单雌系。三地棉铃虫单雌系幼虫在正常饲料和 Cry1Ac 饲料上的平均发育级别呈线性相关, 相对平均发育级别平均值分别为 0.5210、0.4935、0.4623, 无 ≥ 0.8 的个体, 估测南疆三地棉铃虫种群的 Bt 抗性基因频率均小于 0.001。泽普玉米种植比例较高, 可有效稀释棉铃虫种群的 Bt 抗性基因, 因此泽普的棉铃虫种群敏感度最高。本研究可为新疆 Bt 棉区棉铃虫的抗性治理提供科学依据。

关键词: Bt 棉; 棉铃虫; Cry1Ac 蛋白; 抗性基因频率; 南疆

中图分类号: Q965.9; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 02-0479-06

Frequency of resistance to Bt cotton of the field population of *Helicoverpa armigera* in Southern Xinjiang

NING Zhong-Xiong¹, LI Wei-Zheng¹, LIANG He¹, QIN Zi-Xin¹, WANG Dong-Mei², LI Hai-Qiang², LIU Bing³, LU Wei^{1*} (1. Engineering Research Center of Cotton, Ministry of Education, College of Agricultural, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crop in Northwestern Oasis, Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 3. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to monitor the resistance frequency of the field population of *Helicoverpa armigera* to Bt cotton in Bt cotton areas of Southern Xinjiang, the single female lines of *H. armigera* were collected from Korla, Akesu and Zepu and Bt toxin protein was used as artificial feed. In this paper, 57, 106 and 92 monofemale lines of *H. armigera* were screened from Korla, Akesu and Zepu, respectively. There was a linear correlation between the average developmental levels of monofemale larvae of *H. armigera* in normal diet and Cry1Ac diet. The average values of relative developmental levels were 0.5210, 0.4935 and

基金项目: 国家自然科学基金 (31660520); 国家重点研发计划 (2017YFD0201903); 新疆农科院科技创新重点培育专项 (xjkepy-2020004)

作者简介: 宁忠雄, 男, 1996 年生, 硕士研究生, 研究方向为棉花害虫绿色防控, E-mail: 1586069294@qq.com

* **通讯作者** Author for correspondence: 路伟, 男, 1984 年生, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为农药分析与安全性评价、棉花害虫绿色防控, E-mail: teerakon@sina.com

收稿日期 Received: 2021-01-29; **接受日期** Accepted: 2021-02-20

0.4623, respectively. There were no individuals ≥ 0.8 , which indicating that the sensitivity of *H. armigera* population in Zepu was the highest, and the frequency of Bt resistance gene was less than 0.001. Zepu corn planting proportion is higher, which can effectively dilute the Bt resistance gene of *H. armigera* population. Therefore, Zepu cotton bollworm population has the highest sensitivity. This study can provide a scientific basis for the resistance management of *H. armigera* in Xinjiang Bt cotton planting area.

Key words: *Helicoverpa armigera*; Bt cotton; Cry1Ac toxin protein; resistance gene frequency; Southern Xinjiang

新疆是我国不可替代的产棉区和商品棉基地, 根据国家统计局的最新数据, 2020 年新疆棉花产量达 516.1 万 t, 占全国棉花总产量的 87.3%, 连续 26 年位居全国第一。南疆棉区 Bt 棉的种植比例较高, 接近 80% (姚永生, 2017)。棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 作为一种杂食性害虫, 其为害严重制约着棉花、玉米、小麦等经济作物的产量, 给农业生产造成巨大的经济损失 (郭予元, 1998; Wu *et al.*, 2008)。与内地棉区相比, 新疆棉花的种植模式较为单一, 常年大面积连片种植, 棉铃虫在 Bt 棉花的选择压力下存在产生 Bt 抗性的风险。

Bt 杀虫蛋白是苏云金芽孢杆菌 *Bacillus thuringiensis* 在芽孢形成过程中产生的具有较高杀虫谱特异性的杀虫晶体蛋白, 其中研究最多的是 Cry1Ac 蛋白 (Sanahuja *et al.*, 2011)。梁革梅 (2000) 在实验室利用 Cry1Ac 蛋白混合饲料对棉铃虫连续多代筛选后, 其抗性水平可达数千倍以上。Gunning (2005) 研究发现棉铃虫对 Cry1Ac 毒蛋白产生了 275 倍的抗性。美国孟山都公司在印度棉田中发现棉红铃虫 *Pectinophora gossypiella* (Saunders) 对 Bt 棉也产生了抗性 (Bagla, 2010)。李国平等 (2018) 研究发现, 2013–2016 年河南省新乡市棉铃虫种群对 Cry1Ac 的抗性基因频率小于 0.0021, 表明抗性基因频率处于较低水平。但对河北邱县棉铃虫种群抗性监测中, 抗性等位基因频率为 0.1990, 为高抗性基因频率 (潘利东等, 2013)。Li 等 (2010) 对新疆库尔勒的棉铃虫种群抗性监测中发现 1 个抗性个体。对新疆石河子和莎车的棉铃虫田间种群进行 Bt 抗性监测, 尚未发现棉铃虫产生抗性个体 (王冬梅等, 2012)。

因此, 本文从田间分别采集南疆库尔勒、阿克苏、泽普三地的棉铃虫单雌系, 以 Cry1Ac 毒蛋白作为人工饲料, 利用单雌系 F_1 代并结合诊断剂量法进行棉铃虫田间种群抗性个体检测, 以期新疆 Bt 棉区棉铃虫的抗性治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 棉铃虫田间种群的采集和饲养

2020 年 8 月下旬至 9 月下旬在新疆库尔勒、阿克苏中国农业科学院新疆综合实验基地和喀什泽普县奎依巴格镇棉田, 通过 1 000 W 金属卤化物探照灯诱集棉铃虫成虫。

将诱集到的雌蛾单头放在干净的一次性纸杯中, 在纸杯上做好编号, 以 10% 糖水在杯中饲喂, 在杯口用纱布覆盖, 方便产卵, 每一头雌蛾所产的卵及其发育而来的后代作为一个单雌系用于 F_1 代生测。在温度为 26 ~ 27℃; 相对湿度 40% ~ 50%; 光周期 14 L:10 D 条件下饲养。

1.2 Cry1Ac 杀虫蛋白

含 Cry1Ac 型 Bt ICP 20% 的 MVP11 水剂, 由美国 Mycogen 公司提供。

1.3 F_1 代生物测定

生物测定方法参照 Li 等 (Li *et al.*, 2004), 采用饲料混合法进行生测, 饲料配方参照梁革梅等 (1999) 配制, 配制 2 份饲料: 一份是不含 Cry1Ac 杀虫蛋白的饲料为对照, 另一份是含有诊断剂量浓度为 1.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ Cry1Ac 蛋白毒饲料。将稀释的 Cry1Ac 毒蛋白, 混入到 50℃ 左右的饲料中, 搅拌均匀, 倒入白瓷盘中, 冷却的两种饲料分别装入 5 mL 饲养管中, 饲养管的管盖需扎小孔, 小孔大小为幼虫无法逃跑为宜, 在每个饲养管中接入 1 头刚孵化的幼虫, 共接入 35 头。6 d 后观察 F_1 代幼虫发育龄期, 根据头壳和体长划分幼虫龄期, 发育龄期参照 Li 等 (2004) 的方法转换为幼虫对应的发育级别。

1.4 统计方法

根据 F_1 代生物测定结果, 计算三地棉铃虫单雌系在两种饲料上的幼虫平均发育级别 (公式 1),

用 SPSS 软件在 P 值为 0.05 水平下分析 F_1 代幼虫在正常饲料与在 Cry1Ac 蛋白毒饲料上的平均发育级别线性相关性。

相对平均发育级别

$$= \sum \frac{\text{Cry1Ac 饲料上的幼虫平均发育级别}}{\text{正常饲料上的幼虫平均发育级别}} \quad (\text{公式 1})$$

根据公式 2 计算棉铃虫单雌系在两种饲料上的幼虫相对平均发育级别, 结合三地 2015 – 2019 年玉米种植面积占当地农作物种植面积的比例 (从三地国民经济和社会发展统计公报中查阅), 分析棉铃虫种群的敏感度。

相对平均发育级别

$$= \sum \frac{\text{Cry1Ac 饲料上的幼虫平均发育级别}}{\text{正常饲料上的幼虫平均发育级别}} \quad (\text{公式 2})$$

2 结果与分析

2.1 F_1 代棉铃虫田间种群生物测定分析

在库尔勒、阿克苏、泽普三地诱集棉铃虫雌蛾分别有 129 头、200 头、180 头, 根据 F_1 代幼虫生物测定的要求, 三地诱集的雌蛾分别有 100 头、106 头、92 头产的卵孵化出足够的幼虫。由图 1 可知, 三地绝大多数棉铃虫单雌系幼虫相对平均发育级别介于 0.29 ~ 0.73 之间, 三地 F_1 代幼虫在正常饲料上的平均发育级别平均值分别为 4.70、4.66、5.01, Cry1Ac 饲料上的平均发育级别平均值为 2.42、2.14、2.45。

计算库尔勒、阿克苏、泽普三地棉铃虫 F_1 代单雌系在正常饲料和 Cry1Ac 饲料上幼虫平均发育级别的线性相关性, 三地棉铃虫线性方程分别为 $y = 0.2258x + 1.3619$ ($r = 0.3311$, $P = 0.0132$)、 $y = 0.2819x + 0.8272$ ($r = 0.3600$, $P = 0.0100$)、 $y = 0.2252x + 1.3203$ ($r = 0.3870$, $P = 0.0300$), 表明库尔勒的棉铃虫 F_1 代单雌系在正常饲料和 Cry1Ac 饲料上的平均发育级别相关性显著, 阿克苏、泽普的棉铃虫 F_1 代单雌系在正常饲料和 Cry1Ac 饲料上的平均发育级别具有相关性, 说明棉铃虫取食正常饲料的平均发育级别越高, 则取食 Cry1Ac 饲料的平均发育级别也越高。

新疆玉米和 Bt 棉花的生长期较为重合, 在粮棉间作区域, 玉米可以提供较多的棉铃虫敏感种

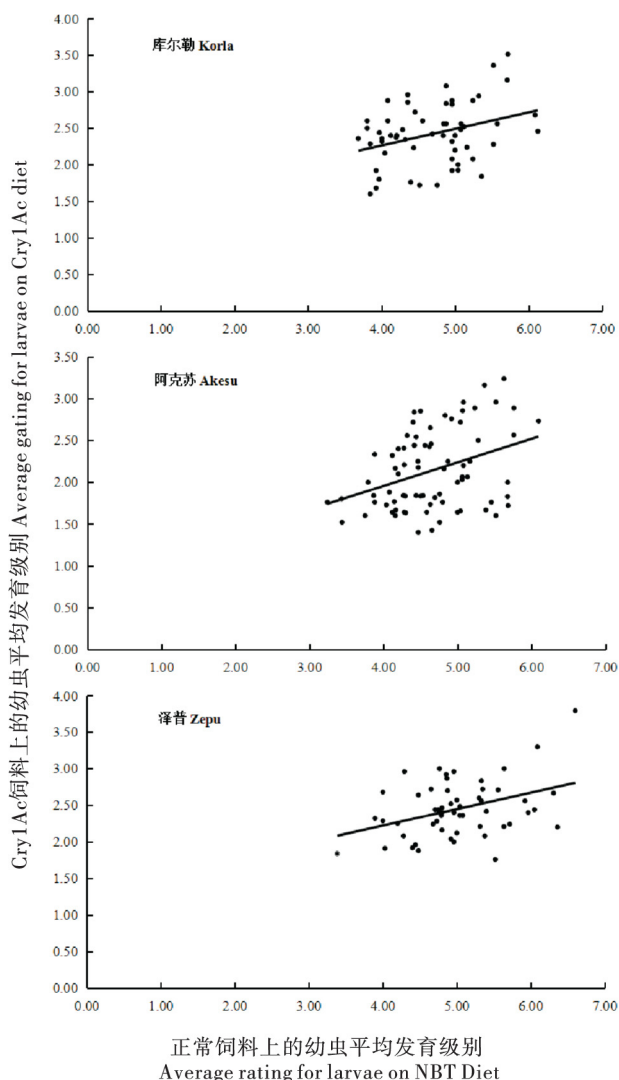


图 1 棉铃虫种群 F_1 代单雌系在正常饲料和 Cry1Ac 饲料上的幼虫平均发育级别的相关性

Fig. 1 Correlation for average rating between families on NBT and Cry1Ac diets in populations for the F_1 generation of *Helicoverpa armigera*

群以稀释棉铃虫 Bt 抗性基因, 因此玉米是新疆 Bt 棉区棉铃虫庇护所最适宜的作物。根据公式 2 计算库尔勒、阿克苏、泽普三地棉铃虫种群相对平均发育级别 (见图 2)。结果表明, 三地棉铃虫种群的相对平均发育级别的平均值分别为 0.5210、0.4935、0.4623, 说明三地棉铃虫种群敏感度: 泽普 > 阿克苏 > 库尔勒。三地 2015 – 2019 年玉米种植面积占当地农作物种植面积的平均比例也印证了上述实验结果, 泽普玉米种植比例最高为 21.6%, 说明泽普的玉米田可以提供较多的棉铃虫敏感种群 (见表 1)。

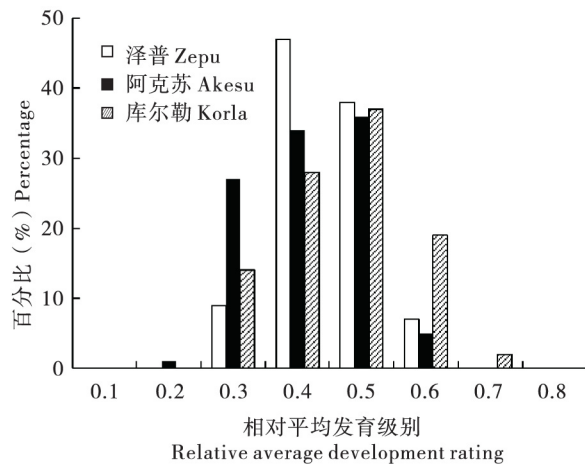


图2 棉铃虫 F₁ 代幼虫相对平均发育级别分布图

Fig. 2 Distribution of the relative average development rating for F₁ larvae of *Helicoverpa armigera*

2.2 抗性基因频率的计算

库尔勒、阿克苏和泽普三地分别有 57 个、106 个和 92 个棉铃虫单雌系进行 F₁ 代生物测定，每个单雌系至少交配一次，携带 4 个配子，2 个配子来自自身，另外 2 个配子来自与其交配的雄蛾，分别

表1 库尔勒、阿克苏、泽普玉米种植面积比例 (%)

Table 1 Proportion of corn planting areas in Korla, Aksu and Zepu

年份 Years 地点 Area	年份 Years					平均值 Average
	2015	2016	2017	2018	2019	
库尔勒 Korla	5.3	3.0	1.1	0.8	0.6	2.2
阿克苏 Akesu	5.0	11.8	3.9	8.4	8.2	7.5
泽普 Zepu	17.6	31.3	17.9	22.6	18.6	21.6

有 57 × 4、106 × 4 个和 92 × 4 个基因组，三地 F₁ 代棉铃虫幼虫相对平均发育级别均小于 0.8。因此，估测库尔勒、阿克苏和泽普三地的棉铃虫对 Cry1Ac 蛋白的抗性基因频率均小于 0.001 (见表 2)。

表2 根据棉铃虫对 1.0 μg/mL Cry1Ac 饲料的反应而计算的抗性基因频率

Table 2 Estimates of resistance (R) allele frequency from responses of *Helicoverpa armigera* to 1.0 μg /mL Cry1Ac diet

地点 Area	F ₁ 代生物测定 Bioassay of F ₁ generation		估计的抗性基因频率 Estimated resistant allele frequency
	总数 (头) Total Number	≥0.8* ≥0.8*	
库尔勒 Korla	57	0	<0.001
阿克苏 Akesu	101	0	<0.001
泽普 Zepu	99	0	<0.001

注: * 表示任一家系 F₁ 代的相对平均发育级别都 ≥0.8，则被认为是抗性个体。Note: *，Moth was regarded as a individual with resistant allele if the relative average development ratings of the iso-female line in bioassay of F₁ generation were more than 0.8.

3 结论与讨论

本研究对库尔勒、阿克苏、泽普三地棉铃虫 Bt 抗性基因频率进行监测，结果表明：三地棉铃虫在 Cry1Ac 饲料上的平均发育级别介于 2.14 ~ 2.45 之间，相对平均发育级别介于 0.46 ~ 0.52 之间，且库尔勒的棉铃虫相对平均发育级别最高，说明库尔勒棉铃虫种群对 Cry1Ac 蛋白有一定的耐受性。泽普棉铃虫相对平均发育级别最低，说明在 Bt 棉区多种植玉米，可以有效稀释棉铃虫 Bt 抗性基因。

Li 等 (2010) 应用单雌系 F₁/F₂ 法，在 2005 年、2006 年和 2009 年对莎车、库尔勒的棉铃虫 Bt 抗性监测中，2005 - 2006 年棉铃虫 F₁ 代、F₂ 代幼虫相对平均发育级别都小于 0.8，但 2009 年在库尔勒发现 1 个相对平均发育级别 ≥0.8 的抗性个体，估测库尔勒棉铃虫种群 Bt 抗性基因频率低于 0.8 × 10⁻³。王冬梅等 (2012) 在 2010 年对石河子的棉铃虫种群和 2011 年对莎车的棉铃虫种群 Bt 抗性监测中，两地的幼虫相对平均发育级别都小于 0.8，估测的棉铃虫种群抗性基因频率低于 10⁻³。本研究中库尔勒、阿克苏、泽普三地棉铃虫种群 F₁ 代所有幼虫个体相对平均发育级别都小于 0.8，个别的单雌系的幼虫相对平均发育级别高于均值，

这可能是微效基因作用的结果 (Gould, 1998)。但三地棉铃虫相对平均发育级别均高于王冬梅等人 (2012) 监测的石河子、莎车两地棉铃虫种群, 说明库尔勒、阿克苏、泽普三地棉铃虫对 Bt 的敏感性有所降低, 需要进一步跟进监测和关注。

庇护所策略能显著降低棉铃虫 Bt 抗性进化, 通过稀释抗性基因, 减少抗性遗传的可能 (Wu, 2005; Wu, 2007; Jin *et al.*, 2015)。Bt 棉花、玉米、小麦都是新疆主要种植的经济作物, 小麦只有部分生长期与 Bt 棉花重合, 不能有效起到庇护所的作用, 玉米能在时间和空间上为棉铃虫庇护所 (吴莉莉, 2011)。研究表明, 如果粮棉间作区内玉米种植比例小于 5%, 同样不能起到庇护所的作用 (Gould, 2000), 棉铃虫的 Bt 抗性风险会大大增加。李国平等人 (2018) 对河南省新乡市的棉铃虫种群 Bt 抗性进行监测, 发现棉铃虫对 Cry1Ac 蛋白敏感性有所增强, 其重要因素可能是当地玉米、花生等庇护所种植面积占比不断增加, 提供敏感棉铃虫种群不断增多所引起的。本研究泽普的玉米种植比例最高为 21.6%, 可以提供较多的棉铃虫敏感种群以稀释 Bt 抗性基因, 因此泽普的棉铃虫种群敏感度也最高。

王冬梅等 (2020) 研究结果表明, 新疆阿克苏、库尔勒、博乐、昌吉、哈密 5 地棉铃虫种群对半合成抗生素类杀虫剂甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (甲维盐) 表现为敏感; 昌吉种群对拟除虫菊酯类杀虫剂三氟氯氰菊酯表现为中等水平抗性; 阿克苏种群对酰胺类杀虫剂氯虫苯甲酰胺表现敏感转为中等抗性。说明 5 个新疆棉铃虫种群对不同杀虫剂的抗药性还处于中等较低水平, 可能原因是 Bt 棉的种植减少了化学药剂的使用次数, 而不同地区棉铃虫抗性差异较大, 也可能与当地的施药水平和作物种植布局有关 (王冬梅等, 2012)。

Bt 棉在新疆推广种植已有 20 年, 在对新疆部分地区棉铃虫 Bt 抗性监测中, 发现棉铃虫种群存在潜在的抗性风险 (卢美光等, 2000; 陈海燕等, 2007; Li *et al.*, 2010; 王冬梅等, 2012), 因此监测棉铃虫 Bt 抗性演化是一项持久性的工作, 可为早期抗性治理提供科学依据。与此同时, 通过调整农作物种植结构, 改进植棉区的种植模式, 增加庇护所的种类及种植面积, 都可以有效延缓棉铃虫对 Bt 棉的抗性。

参考文献 (References)

- Bagla P. Hardy cotton-munching pests are latest blow to GM crops [J]. *Science*, 2010, 327 (5972): 1439.
- Cheng HY, Yang YH, Wu SW, *et al.* Estimated frequency of resistance alleles to Bt toxin Cry1Ac in the field populations of *Helicoverpa armigera* (Hübner) from Northern China [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2007, 50 (1): 25–30. 陈海燕, 杨亦桦, 武淑文, 等. 棉铃虫田间种群 Bt 毒素 Cry1Ac 抗性基因频率的估算 [J]. *昆虫学报*, 2007, 50 (1): 25–30
- Gould F. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: Integrating pest genetics and ecology [J]. *Annual Review of Entomology*, 1998, 43 (1): 701–726.
- Gould F. Testing Bt refuge strategies in the field [J]. *Nature Biotechnology*, 2000, 18 (3): 266–267.
- Gunning RV, Dang HT, Kemp FC, *et al.* New resistance mechanism in *Helicoverpa armigera* threatens transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac toxin [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, 71 (5): 2558–2563.
- Guo YY. Study on Cotton Bollworm [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1998: 1–14. 郭予元. 棉铃虫的研究 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 1–14
- Jin L, Wei Y, Zhang L, *et al.* Dominant resistance to Bt cotton and minor cross-resistance to Bt toxin Cry2Ab in cotton bollworm from China [J]. *Evolutionary Applications*, 2015, 6 (8): 1222–1235.
- Li GP, Feng HQ, Gao YL, *et al.* Frequency of Bt resistance alleles in *Helicoverpa armigera* in the Xinjiang cotton-planting region of China [J]. *Environmental Entomology*, 2010, 39 (5): 1698–1704.
- Li GP, Gao LN, Huang JR, *et al.* Frequency of Bt resistant alleles in wild cotton bollworm populations [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (1): 49–54. 李国平, 高丽娜, 黄建荣, 等. 田间棉铃虫种群对 Cry1Ac 蛋白的抗性基因频率 [J]. *应用昆虫学报*, 2018, 55 (1): 49–54
- Li GP, Wu KM, Gould F, *et al.* Bt toxin resistance gene frequencies in *Helicoverpa armigera* populations from the Yellow River cotton farming region of China [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2004, 112 (2): 135–143.
- Liang GM, Tan WJ, Guo YY. An improved artificial rearing technique for *Helicoverpa armigera* [J]. *Plant Protection*, 1999, 25 (2): 15–17. 梁革梅, 谭维嘉, 郭予元. 人工饲养棉铃虫技术的改进 [J]. *植物保护*, 1999, 25 (2): 15–17
- Liang GM, Tan WJ, Guo YY. Study on screening and inheritance mode of resistance to Bt transgenic cotton in cotton bollworm [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2000, 43 (S1): 57–62. 梁革梅, 谭维嘉, 郭予元. 棉铃虫对转 Bt 基因棉的抗性筛选及遗传方式的研究 [J]. *昆虫学报*, 2000, 43 (S1): 57–62
- Lu MG, Zhao JZ, Fang XL, *et al.* Resistance monitoring of *Helicoverpa armigera* (Hübner) to *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins in North China [J]. *Cotton Science*, 2000, 12 (4): 180–183. 卢美光, 赵建周, 范贤林, 等. 华北地区棉铃虫对 Bt 杀虫蛋白的抗性监测 [J]. *棉花学报*, 2000, 12 (4): 180–183
- Pan LD, Shi M, Zhang K, *et al.* Analysis of Frequency of resistance

- allele to transgenic Bt cotton in field populations of *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) with F₁ screening method [J]. *Cotton Science*, 2013, 25 (3): 240–246. [潘利东, 施明, 张凯, 等. F₁ 代法检测棉铃虫种群对 Bt 棉的抗性等位基因频率变化 [J]. 棉花学报, 2013, 25 (3): 240–246]
- Sanahuja G, Banakar R, Twyman RM, et al. *Bacillus thuringiensis*: A century of research, development and commercial applications [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2011, 9 (3): 283–300.
- Wang DM, Li HQ, Ding RF, et al. Resistance of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner) to three insecticides in Xinjiang [J]. *Journal of Plant Protection*, 2020, 47 (1): 211–212. [王冬梅, 李海强, 丁瑞丰, 等. 新疆棉铃虫种群对三种化学药剂的抗性 [J]. 植物保护学报, 2020, 47 (1): 211–212]
- Wang DM, Li HQ, Ding RF, et al. Frequency of resistance to *Bacillus thuringiensis* toxin Cry1Ac in Xinjiang field population of *Helicoverpa armigera* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2012, 39 (6): 518–522. [王冬梅, 李海强, 丁瑞丰, 等. 新疆地区棉铃虫自然种群对 Bt 棉的抗性频率监测 [J]. 植物保护学报, 2012, 39 (6): 518–522]
- Wu KM, Guo YY. The evolution of cotton pest management practices in China [J]. *Annual Review of Entomology*, 2005, 50 (1): 31–52.
- Wu KM, Lu YH, Feng HQ, et al. Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton [J]. *Science*, 2008, 321: 1676–1678.
- Wu KM. Monitoring and management strategy for *Helicoverpa armigera* resistance to Bt cotton in China [J]. *Journal of Invertebrate Pathology*, 2007, 95 (3): 220–223.
- Wu LL, Wang DY. Establishment and evaluation of refuge for *Helicoverpa armigera* Hübner of Bt cotton fields [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2011, 48 (2): 334–339. [吴莉莉, 王登元. 转基因棉田棉铃虫庇护所的评估及其建立 [J]. 新疆农业科学, 2011, 48 (3): 334–339]
- Yao YS. Interspecific Pattern Change of *Aphis gossypii* and *Acyrtosiphon gossypii* and its Influencing Factors in Southern Xinjiang Cotton Growing Region [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017: 1–2. [姚永生. 新疆南部棉区棉蚜与棉长管蚜种间关系的格局变化及影响因素分析 [D]. 北京: 中国农业大学, 2017: 1–2]