应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2017, 54(2): 325−331. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2017.040

黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性选育及抗性风险评估*

付步礼[1,3**] 夏西亚[1,4] 李 强[1,3] 邱海燕[1]
唐良德[1] 谢艺贤[1] 曾东强[3] 刘 奎[1,2***]

（1. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所，海口 571101；2. 农业部热带作物有害生物综合治理重点实验室，海口 571101；
3. 广西大学农业环境与农产品安全重点实验室培育基地，南宁 530005；4. 华中农业大学植物科学技术学院，武汉 430070）

摘 要 **【目的】** 评估黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis* 对乙基多杀菌素的抗性发展动态、抗性风险，旨在为该虫的科学防治及合理用药提供理论依据。**【方法】** 毒力测定采用叶管药膜法（TIBS），采用群体淘汰法获得黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性种群，并采用 Tabashnik 的域性状分析法计算抗性现实遗传力（h^2）和测算不同选择压下抗性发展速率。**【结果】** 经过 20 代 17 次的选育，黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性达 19.42 倍，平均抗性现实遗传力 h^2 为 0.1317；根据抗性发展规律，获得 4 个选育阶段的 h^2，分别为 0.1960（G_1~G_3）、0.1796（G_5~G_9）、0.1262（G_{11}~G_{14}）和 0.0944（G_{16}~G_{20}）；通过平均抗性现实遗传力 h^2=0.1317，预测不同选择压（死亡率=50%、60%、70%、80%、90%、99%）下，抗性上升 10 倍所需要的代数分别为：16.68 代、13.70 代、11.21 代、9.52 代、7.55 代、2.55 代。**【结论】** 黄胸蓟马对乙基多杀菌素具有一定的抗性风险，应注意科学合理用药。

关键词 黄胸蓟马，乙基多杀菌素，抗药性，风险评估

Selection and risk assessment of spinetoram resistance in *Thrips hawaiiensis*

FU Bu-Li[1,3**] XIA Xi-Ya[1,4] LI Qiang[1,3] QIU Hai-Yan[1] TANG Liang-De[1]
XIE Yi-Xian[1] ZEND Dong-Qiang[3] LIU Kui[1,2***]

(1. Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, China;
2. The Ministry of Agriculture Key Laboratory of Intergrated Pest Management of Tropical Crops, Haikou 571101, China;
3. Key Laboratory of Agricultural Environment and Agricultural Products Safety, Guangxi University, Nanning 530005, China;
4. College of Plant Science and Technology of Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract **[Objectives]** To assess the risk of spinetoram resistance in *Thrips hawaiiensis* and provide a theoretical basis for the rational application of insecticides to control these pests. **[Methods]** The thrips insecticide bioassay system (TIBS) was used to bioassay different insecticides. A resistant population of thrips was established by group selection, and realized heritability (h^2) and resistance development rates were estimated using the threshold trait analysis method. **[Results]** The *T. hawaiiensis* strain developed 19.42-fold resistance to spinetoram after 17 generations of selection over 20 generations. The average h^2 of this strain was estimated as 0.1317. According to the pattern of spinetoram resistance development in *T. hawaiiensis*, h^2 values in four stages of resistance development were 0.1960 (G_1-G_3), 0.1796 (G_5-G_9), 0.1262 (G_{11}-G_{14}) and 0.0944 (G_{16}-G_{20}), respectively. Based on the average h^2 of 0.1317, it was predicted that *T. hawaiiensis* would need 16.68, 13.70、11.21、9.52、7.55、2.55 generations to develop 10-fold resistance to spinetoram under selection pressures (mortality)

*资助项目 Supported projects：海南省自然科学基金（No. 20153066）；中央级科研院所基本业务费项目（No.2016hzs1J007）；现代农业产业技术体系建设专项资金（CARS-32-04）

**第一作者 First author，E-mail：fubuli@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：lk0750@163.com

收稿日期 Received：2016-08-18，接受日期 Accepted：2016-09-21

of 50%, 60%, 70%, 80%, 90% and 99%, respectively. **[Conclusion]** These findings indicate that *T. hawaiiensis* is capable of developing resistance to spinetoram, and that this insecticide should therefore be used rationally in the field.

Key words *Thrips hawaiiensis*, spinetoram, insecticide resistance, risk assessment

黄胸蓟马 *Thrips hawaiiensis*（Morgan，1913）（Thysanoptera: Thripidae）又名香蕉花蓟马、夏威夷蓟马，是一种常见的栖花害虫（Ostmark，1974；蔡云鹏等，1992）。该虫起源于环太平洋地区，广泛分布于亚洲热带、亚热带和北美南部，近年在欧洲部分地区已有记录（Reynaud and Balmes，2008；Goldarazena，2011）。日本学者 Murai（2001）指出因黄胸蓟马具有很高的适生性、繁殖力和扩散性，是一种潜在的危险性害虫。在国外，该虫在日本的茶园（Murai，2001）、弗罗里达州的柑桔园 (Childers and Nakahara, 2006)，马来西亚的芒果 (Aliakbarpour and Rawi，2010)，印度卡纳塔卡和马哈拉施特拉邦的葡萄园内（Ranganath *et al.*，2008）发生为害。在我国，黄胸蓟马是当前我国热区支柱产业作物-香蕉和芒果上的重要的害虫，并有逐步扩散之趋势（Wu *et al.*，2014；付步礼等，2014，2016a，2016b，2016c，2017）。该虫在香蕉园和芒果园中以花蕾为活动中心，一旦开花抽蕾黄胸蓟马随即从外界迁移至花苞聚集，短时期内蓟马种群数量迅速增加。该虫主要以雌成虫产卵于幼嫩的花蕾和果实内为害，卵周围的植物组织因受刺激，生长异常而膨大突起，受害的果实表现为果皮组织增生、木栓化，后期呈突起小黑斑（黑点），严重影响果实外观品质，降低果品的经济价值（蔡云鹏等，1992；曾鑫年和林进添，1998；张帆等，2014；付步礼等，2014，2016a，2016b，2016c，2017）。

黄胸蓟马的防治目前主要依靠化学药剂，以迅速降低其虫口基数。随着田间化学杀虫剂的频繁使用，香蕉黄胸蓟马部分地区种群的抗药性问题逐步凸显（付步礼等，2016a），使生产防治面临困难。乙基多杀菌素是由美国陶氏益农公司最新研发的一种多杀菌素类药剂，主要用于鳞翅目、缨翅目、双翅目害虫的防治（Thompson，2000；陈国等 2014；谢丙堂等，2015），该药物是为数不多的蓟马类害虫的高效新型杀虫剂（付步礼等，2016b，2016c），目前正逐步推广用于防治香蕉园与芒果园的黄胸蓟马。

抗性风险评估是对一定应用环境中使用农药引起抗药性的可能性进行预测，是有害生物抗药性研究中的重要内容。任何一种新药剂在大面积推广应用和害虫产生明显抗药性以前，通过室内杀虫剂对害虫进行抗性汰选进而评估其抗性风险，可为该药剂在生产上科学合理利用和开展抗性治理提供依据（林祥文和沈晋良，2001；何林等，2002)。鉴于此，本研究以黄胸蓟马作为研究对象，并选取新型杀虫剂-乙基多杀菌素为供试药剂，通过抗性选育的方法获得黄胸蓟马抗乙基多杀菌素种群，采用数量遗传学的 Tabashnik 域性状分析法研究其抗性发展规律及抗性现实遗传力，并在抗性现实遗传力基础上进行抗性风险评估。研究结果可进一步明确黄胸蓟马的抗药性特征及规律，并为抗性治理、科学合理用药和延长乙基多杀菌素的使用寿命提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

供试虫源于 2015 年采自海南省澄迈县大拉镇水果场，将即将断蕾的开放并带虫的香蕉花瓣采回实验室进行饲养。试虫饲养方法参照付步礼相关研究报道（付步礼等，2016a，2016b，2016c）。

1.2 供试药剂

供试药剂 60 $g \cdot L^{-1}$ 乙基多杀菌素 SC（Spinetoram，商品名为“艾绿士”），由美国陶氏益农公司生产（广东德利生物科技有限公司分装），通过农资市场购买获得。

1.3 抗性生物测定方法

毒力测定方法参考 TIBS 法（Alfredo and Anthon，2003），经适当修改建立叶管药膜法（付步礼等，2016a，2016b，2016c）。第一，制备药

液。将药剂用足量丙酮及清水稀释至若干浓度梯度，并加入少许 Triton X-100 使药液充分混匀。第二，制备药膜管。用移液枪吸取 1 mL 药液至 5 mL 离心管内（离心管管壁扎有若干细孔），往复摇动 5 min，让药液在管内着药均匀，后将多余药液倾出，将着药管在室内自然晾干。第三，浸花瓣。将摘除雌雄蕊的香蕉花瓣浸入药液中 10 s，取出室内自然晾干，然后将花瓣转移至相应的药膜管内，组成叶管药膜。第四，转移试虫。用自制吸虫器吸取黄胸蓟马 2 龄若虫 25 头转移至上药膜管内，培养观察。48 h 后检查试虫存活情况，以细毛笔轻触不动视为死亡。以水膜管和浸清水的香蕉花花瓣作为对照组，每浓度处理 4 次重复。对照组死亡率＜10%为有效试验。

1.4　抗性选育方法

采用群体淘汰法，以其中一部分试验种群为筛选对象，以 50%死亡率的剂量对子代试虫进行处理，48 h 后记录处理试虫的死亡率，随后将存活试虫转移至清洁的饲养管进行正常饲养。照此进行逐代选育。本研究将田间采集虫源命名为 G_0 代，从子代第一代即 G_1 代开始汰选，共进行至 20 代 17 次的汰选，分为 4 个阶段：G_1~G_3、G_5~G_9、G_{11}~G_{14} 和 G_{16}~G_{20}，计算各相应选育代数的 LC_{50}。

1.5　抗性现实遗传力（h^2）的计算

采用 Tabashnik（1992）的域状分析法进行抗现实遗传力（Realized heritability，h^2）的估算。计算公式如下：（1）$h^2=R/S$，R 为选择反应（Response to selection），表示子代平均表现型值与整个亲本群体平均表现型值之差；(2) R=[log（终 LC_{50}-log（初 LC_{50}）/n，n 为选择代数，S 为选择差(Selection differential)，表示受选亲本平均表现型值与整个亲本群体的平均表现型值之差；(3) $S=i\delta_p$，i 为选择强度(Intensity of selection)；（4）$i\approx1.583-0.019333\ 6\ p+0.0000428\ p2+3.65194/p$（$p$ 为存活率，10%＜p＜80%；(5) P=100%－平均校正死亡率（抗性选育中各代死亡率用 Abbott 公式校正后的平均值），δ_p 为表型标准差(Phenotypic standard deviation)；（6）$\delta_p=[1/2$（初斜率+终斜率）$]^{-1}$。

1.6　抗性风险的评估

根据 R=[log（终 LC_{50}）－log（初 LC_{50}）]/n 变型可得，R=log（终 LC_{50}－初 LC_{50}）/n，当用药剂汰选产生 10 倍抗性(即终 LC_{50}/初 LC_{50}=10)时，所需的汰选代数 G=log10/R=1/R。选择强度不同，抗性发展速率也不一样。根据实验得到的抗性现实遗传力（h^2），我们针对不同的选择强度，即乙基多杀菌素对黄胸蓟马杀死率达 50%，60%，70%，80%，90%和 99%的情况，对抗性增加 10 倍、100 倍所需的代数进行预测。

1.7　数据分析

根据黄胸蓟马虫体存活情况，计算死亡率和校正死亡率，并用 EXCEL 办公软件和 DPS 专业软件进行数据处理，求得毒力回归方程、LC_{50} 值、标准误（SE）、95%置信区间（95% *CI*）、相关系数（R）等。抗性选育中，抗性倍数（Resistance ratio）=不同抗性选育世代种群（G_n）的 LC_{50}/初始种群（G_0）的 LC_{50}。

2　结果与分析

2.1　黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性选育和抗性发展过程

表 1 显示了黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性选育结果。经过 20 代 17 次的汰选，黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性达到 19.42 倍，其中 LC_{50} 从初始种群（G_0）的 0.48 mg·L^{-1} 增加至第 20 代（G_{20}）的 9.32 mg·L^{-1}。表明经 20 代选育，黄胸蓟马对乙基多杀菌素已产生了较明显的抗性水平。

由图 1 可以看出，在 4 个选育阶段，黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性发展过程。第一阶段（G_1~G_3），抗性倍数由 2.06 倍升高至 4.21 倍，抗性发展趋于平缓；第二阶段（G_5~G_9）和第三阶段(G_{11}~G_{14})，抗性倍数分别升高至 10.88 倍、14.98 倍，其中 LC_{50} 由 G_5 的 1.61 mg·L^{-1} 升高至

表 1 黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性选育和抗性发展

Table 1 Insecticide selection and resistance development of *Thrips hawaiiensis* against spinetoram

选育代数 Generation (G_n)	试虫数 *N*	斜率（±SE） Slope (±SE)	卡方值 χ^2	LC_{50} 95% 置信限 LC_{50} ($mg \cdot L^{-1}$) 95% CL	抗性倍数 Resistance ratio
0	4 000	1.29±0.07	1.72	0.48 (0.36-0.64)	1.00
1	2 500	1.18±0.20	2.15	0.99 (0.66-1.48)	2.06
2	2 000	1.15±0.30	1.27	1.27 (0.80-2.00)	2.65
3	2 000	1.27±0.38	0.85	2.02 (1.40-2.92)	4.21
4	-	-	-	-	-
5	3 000	1.34±0.26	1.32	1.61 (1.17-2.20)	3.35
6	2 500	1.45±0.40	1.98	2.22 (1.56-3.15)	4.63
7	2 000	1.27±0.75	2.21	3.16 (1.98-5.05)	6.58
8	1 500	1.56±0.57	1.74	3.91 (2.93-5.20)	8.14
9	1 500	2.28±0.48	1.19	5.22 (4.36-6.25)	10.88
10	-	-	-	-	-
11	3 500	2.27±0.36	1.52	4.25 (3.60-5.02)	8.85
12	2 500	2.06±0.65	2.45	5.96 (4.82-7.37)	12.42
13	2 000	2.46±0.54	1.30	6.18 (5.20-7.34)	12.87
14	2 000	2.01±0.79	1.98	7.19 (5.80-8.91)	14.98
15	-	-	-	-	-
16	3 000	2.20±0.48	1.56	5.12 (4.26-6.14)	10.67
17	2 500	1.63±0.45	1.22	7.66 (5.90-9.96)	15.96
18	2 500	2.28±0.64	2.09	7.82 (6.66-9.19)	16.29
19	2 000	2.13±0.73	1.65	8.39 (7.07-9.94)	17.48
20	1 500	1.71±0.99	2.42	9.32 (7.57-11.49)	19.42

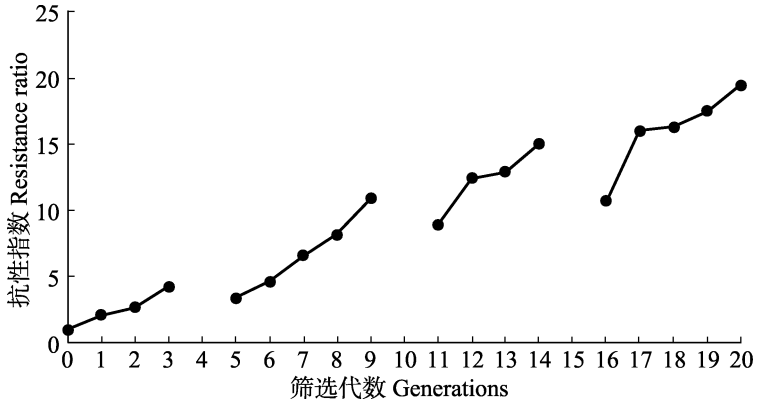

图 1 黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性发展过程

Fig. 1 Resistance development of spinetoram in *Thrips hawaiiensis*

G_{14} 的 7.19 $mg \cdot L^{-1}$，抗性发展比较迅速；第四阶段（G_{16}-G_{20}），在 G_{15} 停止选育后，G_{16} 的 LC_{50} 有所回落下降，随后在 G_{17} 快速升高，最后抗性升高趋于平缓。

2.2 黄胸蓟马对乙基多杀菌素抗性的现实遗传力（h^2）

根据 Tabashnik 的域状分析法，分别计算了不同选育阶段的抗性现实遗传力（表 2）。在 20

表 2　黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性现实遗传力（h^2）
Table 2　Realized heritability (h^2) of spinetoram resistance in *Thrips hawaiiensis*

代数 Generations	选择反应 R Response to selection	存活率 P Survival rate	选择强度 i Intensity of selection	平均斜率 Average of slope	表型标准差 δ_p Phenotypic standard deviation	选择差异 S Selection differential	现实遗传力 h^2 Realized heritability
3 (G1-G3)	0.1033	39.64	0.9759	1.2226	0.8157	0.7960	0.1960
5 (G5-G9)	0.1022	43.81	0.9014	1.5840	0.6313	0.5691	0.1796
4 (G11-G14)	0.0571	38.57	0.9956	2.2001	0.4545	0.4525	0.1262
5 (G16-G20)	0.0520	33.26	1.0970	1.9911	0.5022	0.5509	0.0944
17 (G1-G20)	0.0573	33.86	0.9912	1.7495	0.5716	0.5666	0.1317

代 17 次的抗性选育中，黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性现实遗传力（h^2）为 0.1317，表明室内抗性汰选中黄胸蓟马对乙基多杀菌素容易产生抗性。其中，4 个选育阶段 G_1~G_3、G_5~G_9、G_{11}~G_{14}、G_{16}~G_{20} 的抗性现实遗传力分别为：0.1960、0.1796、0.1262、0.0944。

2.3　黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性风险评估

根据试验得到的黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性现实遗传力（h^2)=0.1317，计算在不同选择压（死亡率）下，其抗性水平分别上升 10 倍、100 倍所需要的代数进行预测。由表 3 可知，在 50%、60%、70%、80%、90%、99%选择压下，抗性上升 10 倍所需要代数分别为：16.68 代、13.70 代、11.21 代、9.52 代、7.55 代和 2.55 代，抗性上升 100 倍所需要代数为：33.36 代、27.40 代、22.42 代、19.04 代、15.10 代和 5.10 代。表明黄胸蓟马对乙基多杀菌素具有一定的抗性风险。

由图 2 可以看出，不同选择压下黄胸蓟马对乙基多杀菌素抗性的发展速率。随着选择亚的升高，抗性速率发展越来越快。在 50%选择压下，黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性水平上升 10 倍需要 16.68 代，当选择压升高至 90%，抗性上升 10 倍只需要 7.55 代，而当选择压为 99%时，仅需要 2.55 代。表明黄胸蓟马对乙基多杀菌素具有一定的抗性风险。

3　讨论

在一种新型药剂大规模推广应用前，或者有害生物尚未生产明显抗性前，通过室内抗性选育来评估抗性风险，这对科学合理用药、正确制定抗性治理策略和延长药剂的使用寿命具有极其重要的现实意义。

本研究中，以乙基多杀菌素对黄胸蓟马进行了 20 代 17 次选育，黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性增长了 19.42 倍，抗性现实遗传力为 0.1317，表明黄胸蓟马经室内选育容易对乙基多杀菌素产生抗性，具有一定的抗性风险。这是国内首次报道蓟马类害虫对乙基多杀菌素的抗性风险。国外一项研究用乙基多杀菌素对卷叶蛾 *Choristoneura rosaceana* 室内进行了 6 代选育，抗性指数增加了 3.64 倍，表明该药剂具有一定的抗性风险（Sial and Brunner，2010）。由于田间药剂的选择压可能比室内的更高，因此室内抗性现实遗传力很有可能被低估，从而笔者推测田间种群对乙基多杀菌素的抗性发展速率应更快。

本研究的抗性风险评估表明，50%选择压下，黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性水平上升 10 倍需要 16.68 代，当选择亚升高至 90%，抗性上升 10 倍只需要 7.55 代，而当选择亚为 99%时，仅需要 2.55 代，表明黄胸蓟马对乙基多杀菌素具有一定的抗性风险，短期内可形成明显抗性。最近一项研究称北京、云南地区西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* 田间种群对乙基多杀菌素的抗性高达 7 730 倍，其中 LC_{50} 值在 5 年（2011—2015）内增加了 258 倍（万岩然等，2016)，这表明乙基多杀菌素具有较快的抗性发展速率。另外，笔者最近对海南省香蕉黄胸蓟马田间种群的抗药性监测结果中，不同地区田间种群对乙基多杀菌素虽处于敏感状态，但从 2013 至 2015 年，抗性指数已增加了 4.09 倍（付步礼等，2016a)。

表 3 黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性风险评估
Table 3 Assessment of spinetoram resistance risk in *Thrips hawaiiensis*

选择压 Selection pressure	存活率 P	选择强度 i	抗性增加 10 倍需要代数 Generations for 10-fold increase in LC_{50}	抗性增加 100 倍需要代数 Generations for 100-fold increase in LC_{50}
50%	50	0.7964	16.68	33.36
60%	40	0.9693	13.70	27.40
70%	30	1.1849	11.21	22.42
80%	20	1.3960	9.52	19.04
90%	10	1.7591	7.55	15.10
99%	1	5.2156	2.55	5.10

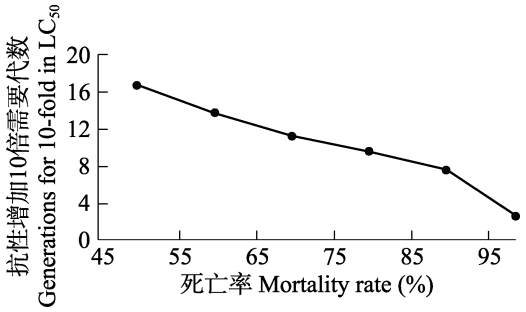

图 2 不同选择压下黄胸蓟马对乙基多杀菌素抗性的发展速率
Fig. 2 Development rates of spinetoram resistance in *Thrips hawaiiensis* under different selection pressures

多杀菌素类药剂（Spinosyn）被广泛用于鳞翅目、双翅目和缨翅目等多种害虫的防治，其抗药性问题备受关注（Sparks *et al.*，2012）。该类药剂是公认防治蓟马类害虫的有效杀虫剂，世界多地相继有多杀菌素类药剂抗药性相关的研究报道（Loughner *et al.*，2005；Bielza *et al.*，2007；Herron and James，2007；王泽华等，20 11；万岩然等，2016）。近年，乙基多杀菌素逐步成为国内防治蓟马的主打药剂，因此笔者建议在作物的同一生长季节，应避免频繁、重复使用该药剂，应与不同作用机制的药剂混用、轮用，以延缓抗性发展，延长该药剂的使用寿命。对此，有研究表明，新型杀虫剂 240 $g·L^{-1}$ 螺虫乙酯 SC 和 10% 溴氰虫酰胺 OD 对黄胸蓟马具有良好的防效（付步礼，2016c），可作为轮用药剂。另外，乙基多杀菌素分别与啶虫脒、毒死蜱复配，在室内对黄胸蓟马表现出良好的增效作用（付步礼，2016b），可进行复配开发，对乙基多杀菌素进行抗性治理。

本研究中，室内抗性选育结果表明黄胸蓟马对乙基多杀菌素具有一定的抗性风险，应引起重视与警惕。但这还不足以准确评估田间实际的抗药性发展规律，因田间环境因子的复杂性，加之“药剂-植物-有害生物”本身就是一个复杂的互作系统，田间抗药性问题是一种多因子综合作用下的效应。因此，有必要对涉及抗药性相关的一系列科学问题进行深入研究，诸如：黄胸蓟马对乙基多杀菌素的抗性稳定性、交互抗性谱、抗性适合度、抗性遗传方式及抗性机制等。另外，还需要进一步扩大抗性监测范围，并进行长期监测，以便及时了解抗性变化动态和抗性现状。如此才能制定出正确可靠的抗性治理策略，更科学合理地防治该虫。

参考文献 (References)

Alfredo R, Anthony MS, 2003. Development of a bioassay system for monitoring susceptibility in *Thrips tabaci*. *Pest Manag. Sci.*, 59(5): 553–558.

Bielza P, Quinto V, Contreras J, María T, Alberto M, Pedro JE, 2007. Resistance to spinosad in the western flower thrips, *Frankliniella occidentals* (Pergande), in greenhouses of south-eastern Spain. *Pest Manag. Sci.*, 63(h7): 682–687.

Cai YP, Huang MD, Chen XP, 1992. Occurrence and damage of *Thrips hawaiiensis* in banana orchards. *Chinese Journal of Entomology*, 12(4): 231–237. [蔡云鹏, 黄明道, 陈新评, 1992. 香蕉园内花蓟马之发生及其为害. 中华昆虫, 12(4): 231–237.]

Chen G, Zhu Y, Zhao J, Yang T, Zhang Y, Wu YL, 2014. Residue and decline dynamics of spinetoram in paddy water, soil and rice straw. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 16(2): 153–158. [陈国, 朱勇, 赵健, 杨挺, 张艳, 吴银良, 2014. 乙基多杀菌素在稻田水、土壤和水稻植株中的残留及消解动态. 农药学学报, 16(2): 153–158.]

Fu BL, Zeng DQ, Liu K, Qiu Haiyan, Tang LD, Xie YX, 2014. Effect of three bioassay methods on toxicity of insecticides against larvae of *Thrips hawaiiensis*. *Chinese Agricultural*

Science Bulletin, 30(13): 309–312. [付步礼, 曾东强, 刘奎, 邱海燕, 唐良德, 谢艺贤, 2014. 3 种种生物测定方法对香蕉花蓟马毒力测定的影响. 中国农学通报, 30(13): 309–312.]

Fu BL, Liu JF, Qiu HY, Tang LD, Lin J, Zeng DQ, Xie YX, Liu K, 2016a. Monitoring insecticide resistance in field populations of *Thrips hawaiiensis* (Morgan) in Hainan. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(2): 403–410. [付步礼, 刘俊峰, 邱海燕, 唐良德, 林军, 曾东强, 谢艺贤, 刘奎, 2016a. 海南省香蕉黄胸蓟马田间种群的抗药性监测. 应用昆虫学报, 53(2): 403–410.]

Fu BL, Tang LD, Liu JF, Qiu HY, Zhang RM, Zeng DQ, Liu K, 2016b. Co-toxicity of spinetoram with other four insecticides against *Thrips hawaiiensis* (Morgan). *Plant Protection*, 42(4): 221–225. [付步礼, 唐良德, 刘俊峰, 邱海燕, 张瑞敏, 曾东强, 刘奎, 2016 b. 乙基多杀菌素与 4 种杀虫剂复配对黄胸蓟马的联合毒力. 植物保护, 42(4): 221–225.]

Fu BL, Tang LD, Qiu HY, Liu JF, Zhang RM, Zeng DQ, Xie YX, Liu K, 2016c. Screening of high effect and low toxicity insecticides for controlling *Thrips hawaiiensis* Morgan. *Journal of Fruit Science*, 33(4): 257–267. [付步礼, 唐良德, 邱海燕, 刘俊峰, 张瑞敏, 曾东强, 谢艺贤, 刘奎, 2016c. 黄胸蓟马高效低毒防治新型药剂的筛选研究. 果树学报, 33(4): 257–267.]

Fu BL, Li Q, Xia XY, Tang LD, Qiu HY, Xie YX, Zeng DQ, Liu K, 2017. Moderate resistance to spinetoram reduces the fitness of *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera:Thripidae). *Acta Entomological Sinica*, 60(2): 180–188. [付步礼, 李强, 夏西亚, 唐良德, 邱海燕, 谢艺贤, 曾东强, 刘奎, 2017. 对乙基多杀菌素中度抗性降低黄胸蓟马的适合度. 昆虫学报, 60(2): 180–188.

Goldarazena A, 2011. First record of *Thrips hawaiiensis* (Morgan, 1913) (Thysanoptera: Thripidae) an Asian pest thrips in Spain. *Journal Compilation a 2011 OEPP/EPPO*, 41(2): 170–173.

He L, Zhao ZM, Deng XP, Wang JJ, Liu H, Liu YH, 2002. Selection and risk assessment of resistance to fenpro-pathrin, abamectin and pyridaben in *Tetranychus cinnabarinus*. *Acta Entomologica Sinica*, 45(5): 688–692. [何林, 赵志模, 邓新平, 王进军, 刘怀, 刘映红, 2002. 朱砂叶螨对三种杀螨剂的抗性选育与抗性风险评估. 昆虫学报, 45(5): 688–692.]

Herron GA, James TM, 2007. Insecticide resistance in Australian populations of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae). *General and Applied Entomology*, 36: 1–5.

Lin XW, Shen JL, 2001. Risk assessment and prediction of resistance to phoxim in *Helicoverpa armigera*. *Acta Entomologica Sinica*, 44(4): 462–468. [林祥文, 沈晋良, 2001. 棉铃虫对辛硫磷抗性的风险评估与预报. 昆虫学报, 44(4): 462–468.]

Loughner RL, Warnock DF, Cloyd RA, 2005. Resistance of greenhouse, laboratory, and native populations of western flower thrips to spinosad. *Hortscience*, 40(1): 146–149.

Murai T, 2001. Development and reproductive capacity of *Thrips hawaiiensis* (Thysanoptera: Thripidae) and its potential as a major pest. *B. Entomol. Res.*, 91(3): 193–198.

Ostmark HE, 1974. Economic insect pests of banana. *Annual Review of Entomology*, 19: 161–176.

Reynaud PV, Balmes JP, 2008. *Thrips hawaiiensis* (Morgan, 1913) (Thysanoptera: Thripidae) an Asian pest thrips now established in Europe. *Journal Compilation a 2008 OEPP/EPPO*, 38(1): 155–160.

Sial AA, Brunner JF, 2010. Assessment of resistance risk in *Obliquebanded Leafroller* (Lepidoptera: Tortricidae) to the reduced risk insecticides Chlorantraniliprole and Spinetoram. *J. Econ. Entomol.,* 103(4): 1378–1385.

Sparks TC, Dripps JE, Watson GB, Paroonagian D, 2012. Resistance and cross-resistance to the spinosyns-A review and analysis. *Pestic. Biochem. Physiol.,* 102(1): 1–10.

Tabashbik BE, 1992. Resistance risk assessment: realized heritability of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera:Plutellidae), tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae), and cilorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *J. Econ. Entomol*., 85(5): 1551–1559.

Thompson GD, Dutton R, Sparks TC, 2000. Spinosad–a case study: an example from a natural products discovery programme. *Pest Manag. Sci.*, 56(8): 696–702.

Wan YR, He BQ, Yuan GD, Wei GS, Wu QJ, 2016. Development of resistance to spinosyns in populations of western flower thrips in Beijing and Yunnan. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(2): 396–402. [万岩然, 何秉青, 苑广迪, 魏国树, 吴青君, 2016. 北京和云南地区西花蓟马对多杀菌素类药剂产生抗药性. 应用昆虫学报, 53(2): 396–402.]

Wang ZH, Hou WJ, Hao CY, Wu QJ, Xu BY, Zhang YJ, 2011. Monitoring the insecticide resistance of the field populations of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* in Beijing area. *Journal of Applied Entomology*, 48(3): 542–547. [王泽华, 候文杰, 郝晨彦, 吴青君, 徐宝云, 张友军, 2011. 北京地区西花蓟马田间种群的抗药性监测. 应用昆虫学报, 48(3): 542–547.]

Wu Y, Liu K, Qiu HY, Li FJ, Cao Y, 2014. Polymorphic microsatellite markers in *Thrips hawaiiensis* (Thysanopt-era: Thripidae). *Appl. Entomol. Zool.,* 49: 619–622.

Xie BT, Zhang LL, Wang BJ, Liang GM, 2015. Effects of spinetoram on detoxifying enzyme and acetylcholin esterase activity in *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(3): 600–608. [谢丙堂, 张丽丽, 王冰洁, 梁革梅, 2015. 乙基多杀菌素对棉铃虫解毒酶和乙酰胆碱酯酶活性的影响. 应用昆虫学报, 52(3): 600–608.]

Zeng XN, Lin JT, 1998. Hazards and prevention of *Thrips hawaiiensis. Plant Protection*, 24(6): 15–17. [曾鑫年, 林进添, 1998. 黄胸蓟马对香蕉的危害及其防治. 植物保护, 24(6): 15–17.]

Zhang F, Fu BL, Liu K, Qiu HY, Wu Y, 2014. The effect of temperature on the development and survival of *Thrips hamaiiensis* (Morgan). *Acta Ecologica Sinica*, 34(14): 3895–3899. [张帆, 付步礼, 刘奎, 邱海燕, 伍祎, 2014. 温度对香蕉花蓟马发育和存活的影响. 生态学报, 34(14): 3895–3899.]