

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2015.01.008

螺旋粉虱的田间抗药性监测及其对毒死蜱的抗性风险评估

唐良德^{1,2}, 符悦冠¹, 曾东强^{1*}

¹中国热带农业科学院环境与植物保护研究所, 海南 海口 571101; ²广西大学农学院, 广西 南宁 530005

摘要:【背景】螺旋粉虱是新入侵中国海南的一种危险性害虫, 化学防治是目前最主要的防治手段和应急措施。【方法】采用 POTTER 喷雾法监测了海南各地理种群螺旋粉虱对毒死蜱、丙溴磷、高效氯氰菊酯、高效氯氟菊酯、吡虫啉、啉虫脒和阿维菌素等 7 种药剂的抗性水平, 并运用 Tabashnik 域性状分析法估算了螺旋粉虱对毒死蜱的抗性现实遗传力。【结果】螺旋粉虱对各药剂均处于抗性敏感阶段, 抗性倍数为 1.03~4.29 倍。螺旋粉虱对毒死蜱的抗性现实遗传力 $h^2 = 0.2405$; 预测结果表明, 当田间使用毒死蜱对螺旋粉虱的防治效果达 90% 时, 螺旋粉虱对毒死蜱的抗性提高 10 倍所需代数 7.09 代。田间试验表明, 螺旋粉虱对毒死蜱的抗性发展速率要比模型预测缓慢。【结论与意义】本研究可为螺旋粉虱的化学防治及抗药性治理提供参考。

关键词: 螺旋粉虱; 抗药性; 毒死蜱; 现实遗传力; 风险评估

Monitoring of resistance against insecticides in the whitefly *Aleurodicus dispersus* and an assessment of the consequences of chlorpyrifos

Liang-de TANG^{1,2}, Yue-guan FU¹, Dong-qiang ZENG^{1*}

¹Environment and Plant Protection Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101, China;

²College of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530005, China

Abstract: 【Background】The spiraling whitefly *Aleurodicus dispersus* Russell is a destructive invasive species first found in Hainan, China, in 2006. As a new quarantine pest, chemical control was considered the most effective measure to depress and eradicate the field population. 【Method】By the method of a Potter bioassay, we monitored the insecticide resistance of field strains of *A. dispersus* to seven common used insecticides (chlorpyrifos, profenofos, beta-cypermethrin, lambda-cyhalothrin, acetamiprid, imidacloprid, abamectin). The realized heritability of resistance and resistance risk of *A. dispersus* to chlorpyrifos were evaluated using threshold trait analysis. 【Result】The field strains tested displayed no resistance to insecticides, with a resistance ranging between 1.03 and 4.29. The realized heritability of resistance to chlorpyrifos was 0.2405. Theoretically, it requires 7.09 generations for *A. dispersus* to develop 10-fold resistance to chlorpyrifos under selective pressure of 90% mortality for each successive generation. Field trials revealed that the risk of resistance to chlorpyrifos was below that of the threshold trait analysis. 【Conclusion and significance】This study indicated that chemical control may still be effective against this invasive pest.

Key words: *Aleurodicus dispersus*; insecticide resistance; chlorpyrifos; realized heritability; risk assessment

螺旋粉虱 *Aleurodicus dispersus* Russell, 隶属同翅目 Homoptera 粉虱科 Aleyrodidae 复孔粉虱属 *Aleurodicus*。1905 年首次报道于加勒比海与中美洲地区, 目前已扩散至亚洲、非洲、欧洲、美洲、大洋洲约 50 个国家和地区, 并继续向世界各热带及亚热带地区扩散 (徐岩, 1999; Russell, 1905)。加勒比区域植物保护组织已将其列为 A2 检疫性有害生

物, 并系多个国家的检疫对象 (温宏治等, 1994; 徐岩, 1999)。螺旋粉虱自 2006 年 4 月在海南陵水发现以来, 迅速扩散至海南其他各县 (市), 并随时有向其他省份扩散的可能。螺旋粉虱年发生代数多, 世代重叠严重, 已对印度紫檀 *Pterocarpus indic* Willd、大叶榄仁 *Terminalia catappa* L. 等海南主要的绿化树种造成严重危害, 也成为番石榴 *Psidium*

guajava L. 等热带果树发展的制约因素之一,并对大田作物构成威胁;其厚的蜡粉和蜡丝,严重影响了环境和观赏树种的价值。

目前,螺旋粉虱作为我国一种新入侵的危险性有害生物,化学防治仍是其最主要的防治手段和应急措施。国内外对螺旋粉虱化学防治方面缺乏系统研究,只见少量有关田间药效方面的文献报道(曹凤勤等,2011;林江等,2012;林珠凤等,2007;刘奎等,2007、2008;吕朝军等,2009)。化学防治在控制害虫种群数量方面起着重要的作用,但杀虫剂的大量连续使用也会导致害虫抗药性越来越严重(何玉仙等,2007; Ahmad *et al.*, 2002; Erdogan *et al.*, 2008; Kranthi *et al.*, 2002; Prabhaker *et al.*, 1988、1997; Roditakis *et al.*, 2002)。但目前还没有关于螺旋粉虱对化学杀虫剂产生抗性的记录。因此,本试验拟从螺旋粉虱田间种群抗药性监测和抗药性选育等方面系统研究其抗药性,以期制定螺旋粉虱的抗性治理措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

螺旋粉虱于 2008 年 11 月采自海南省陵水县吊罗山区(此地螺旋粉虱入侵早且无化学防治记录),在隔离网室内用无虫盆栽番石榴植株连续继代饲养,期间不喷施任何药剂,作为相对敏感品系,简称 SS 品系;以此品系作为毒死蜱室内抗药性选育的初始虫源,筛选后的品系即为毒死蜱室内抗性选育品系,简称 EX-R 品系;田间用毒死蜱筛选后获得的抗性品系,简称 FI-R 品系。各抗药性监测种群分别为不同时间在海南省采集的各地种群(表 1)。

1.2 供试药剂

95.7%毒死蜱原粉、89%丙溴磷原油、97%高效氯氰菊酯原粉、96.5%高效氯氟氰菊酯原粉、96.6%吡虫啉原粉、96.4%啶虫脒原粉和 95%阿维菌素原粉(广东省农业科学院植物保护研究所提供),48%毒死蜱乳油(美国陶式益农公司生产)。

1.3 生物测定方法

采用 POTTER 喷雾法(陈立等,2001; Potter, 1952)进行测定。首先将未被药剂污染的大叶榄仁树叶片剪成直径为 60 mm 的圆片,叶片正面朝下铺在直径为 60 mm 的培养皿中(事先用滤纸保湿)。

螺旋粉虱成虫用 CO_2 短暂麻醉后,转移到培养皿中的叶片上,每皿 30~40 头,然后用 POTTER 喷雾塔喷雾(喷雾压强为 100 kPa,沉降时间为 20 s),每个处理药液量为 1 mL,喷雾后迅速盖上皿盖。当螺旋粉虱从麻醉状态苏醒后,将培养皿倒置于 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、光照 14L:10D、相对湿度 65%的培养箱中,24 h 后观察死亡情况(阿维菌素为 48 h),统计死亡率。每个药剂配制 5~7 个浓度,每个浓度设 4 次重复,以丙酮处理作为对照。

1.4 抗药性风险评估

1.4.1 室内抗药性选育 抗性选育采取群体筛选法。用靶标药剂毒死蜱对室内饲养的螺旋粉虱种群成虫进行连续选育,每代以生物测定的 LC_{50} 值为浓度进行喷雾处理,将存活个体转移到新的寄主植物上继续饲养,继代连续处理存活个体的子代,每代测定其 LC_{50} 值。对初始筛选种群,在无药剂筛选条件下连续继代饲养,作为对照虫源。

根据 Tabshnik (1992) 的方法,计算抗性现实遗传力 h^2 ($h^2 = R/S$)。式中, R 为选择反应,即筛选亲本的后代与筛选前的整个亲代间的平均表现型差异,由筛选前后的 LC_{50} 、筛选的代数 n 决定, $R = (\text{筛选后第 } n \text{ 代 } LC_{50} \text{ 的对数值} - \text{筛选前亲代 } LC_{50} \text{ 的对数值})/n$; S 为选择差异,是指用于筛选的亲本与整个亲代之间的平均表现型差异,由药剂筛选后平均每代存活率 P 、筛选前后毒力回归线的斜率来决定。 $S = i\delta_p$, i 为选择强度, $i \approx 1.583 - 0.0193336P + 0.0000428P^2 + 3.65194/P$ ($10 < P < 80$, $P = 100$ - 平均校正死亡率);表型标准差(δ)是筛选前亲本毒力回归线的斜率(即起始斜率)与筛选 n 代后子代毒力回归线的斜率(即最终斜率)之和平均数的倒数,即 $\delta = [(\text{起始斜率} + \text{最终斜率})/2]^{-1}$ 。为消除室内人工饲养产生的敏感性差异,筛选后的毒力回归线需用对照组的毒力回归线予以校正。

通过抗性现实遗传力 h^2 ,可以预测筛选后抗性上升 x 倍所需代数 $[Gx = \log x / (h^2 S)]$,以及不同选择压力下,抗性上升一定倍数所需的代数 $[G = R^{-1} = 1/(h^2 S)]$ 。

1.4.2 田间抗药性筛选 在中国热带农业科学院儋州院区种植一片番石榴果园,接入螺旋粉虱建立种群(虫源为室内抗药性选育同一种群),每月喷施 1 次毒死蜱进行防治,调查其防效,以便对其室内抗药性选育结果进行验证。

2 结果与分析

2.1 螺旋粉虱对杀虫剂的抗性

抗药性测定结果均以相对敏感毒力基线为依据,计算出抗性倍数(各地区螺旋粉虱的 LC_{50} 值除以相对敏感基线的 LC_{50} 值)。监测结果(表 1)表明,海南省各地区螺旋粉虱田间种群对防治药剂均未产生明显的抗性。其中,对有机磷类杀虫剂毒死蜱的抗性倍数为 1.63~3.08 倍,对丙溴磷的抗性倍数为 1.03~1.88 倍;对拟除虫菊酯类杀虫剂高效氯氰菊酯的抗性倍数为 1.62~2.79 倍,对高效氯氟氰菊酯的抗性倍数为 1.50~2.58 倍;对新烟碱类杀虫剂

啉虫脒的抗性倍数为 1.01~4.29 倍,对吡虫啉的抗性倍数为 1.91~3.26 倍;对阿维菌素的抗性倍数为 1.49~2.27 倍。

2.2 抗药性风险评估

2.2.1 螺旋粉虱对毒死蜱的室内抗性选育 从室内抗性筛选的结果(表 2)来看,螺旋粉虱初始种群在室内连续 6 代用毒死蜱进行群体抗性筛选, LC_{50} 值从筛选前的 $2.1113\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 上升到筛选后 $5.1579\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,其抗性水平上升了 2.44 倍;而无药剂筛选的对照处理 6 代后的 LC_{50} 值为 $1.8733\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,比筛选初始种群下降了 $0.2380\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

表 1 螺旋粉虱田间种群抗药性
Table 1 Resistance in field populations of *A. dispersus* to insecticides

药剂,地理种群 Insecticides, population	测定时间(年-月) Test time (year-month)	斜率 Slope±SE	卡方 Chi square	LC_{50} (95%置信限) LC_{50} (95%FL) ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	抗性倍数 Resistance, $\times$ -fold
毒死蜱 Chlorpyrifos					
敏感品系 SS	—	3.03±0.36	1.8508	1.5714(1.2552~1.8677)	—
儋州 Danzhou	2009-06	2.68±0.23	0.5152	2.5597(2.2391~2.9304)	1.63
	2009-08	5.45±0.44	5.1495	3.9704(3.7214~4.2295)	2.53
	2009-11	6.93±0.54	0.6193	3.3830(3.2065~3.5528)	2.15
	2010-01	1.89±0.18	1.5044	4.6057(3.6780~5.8706)	2.93
	2010-04	1.68±0.17	4.8784	3.4995(2.8815~4.2020)	2.23
	2010-05	1.80±0.18	0.7258	3.3528(2.7832~3.9840)	2.13
	2010-09	1.82±0.18	0.5574	3.6896(3.0714~4.4040)	2.35
三亚 Sanya	2010-11	1.59±0.17	0.5566	4.1367(3.4008~5.0478)	2.63
	2009-06	3.83±0.45	3.5022	3.4473(2.3722~7.5197)	2.19
	2009-08	5.18±0.47	3.8543	3.4218(2.9117~3.9043)	2.18
	2009-11	2.74±0.29	5.1651	4.2063(3.6731~4.7261)	2.68
	2010-01	1.84±0.18	1.2233	4.7365(3.9729~5.6330)	3.06
	2010-03	1.59±0.17	4.1448	3.9583(3.2376~4.8346)	2.52
	2010-05	1.66±0.17	0.3883	3.4168(2.8058~4.1053)	1.96
陵水 Lingshui	2010-10	2.12±0.21	0.1993	4.8430(4.1160~5.7867)	3.08
	2010-12	1.61±0.17	0.9707	4.1674(3.4294~5.0839)	2.65
	2009-06	4.08±0.45	8.0569	3.3781(3.1017~3.6438)	2.15
	2009-08	5.37±0.46	10.3258	3.6522(3.4450~3.8673)	2.32
	2009-11	3.63±0.38	3.7795	3.8929(2.6973~4.8653)	2.48
	2010-01	1.90±0.19	0.4915	3.5901(2.9921~4.2701)	2.28
	2010-03	1.59±0.17	0.4077	3.6005(2.9337~4.3753)	2.27
琼海 Qionghai	2010-05	1.81±0.18	0.9933	3.7204(3.0972~4.4424)	2.37
	2010-10	2.05±0.20	1.9621	3.6154(3.0398~4.2663)	2.30
	2010-12	1.56±0.17	0.0946	3.4690(2.8162~4.2160)	2.21
	2009-06	6.22±0.53	6.9835	3.5774(3.3855~3.7714)	2.28
	2009-08	5.07±0.46	6.3097	3.8755(3.6495~4.1260)	2.47
	2009-11	4.49±0.39	1.3189	3.6528(3.2599~4.0074)	2.32
	2010-01	2.97±0.32	1.7987	4.3648(3.5677~5.0595)	2.78
文昌 Wenchang	2010-03	1.60±0.18	0.4488	4.2700(3.4973~5.2470)	2.72
	2010-05	1.64±0.17	0.1679	3.1792(2.5890~3.8267)	2.02
	2010-09	1.70±0.18	1.2716	4.6298(3.8480~5.6432)	2.95
	2010-12	1.79±0.18	0.2253	3.7968(3.1661~4.5339)	2.42
	2009-11	5.08±0.44	6.9154	4.1470(3.8746~4.4147)	2.64
	2010-01	1.85±0.19	1.7617	4.1836(3.4956~5.0266)	2.66
	2010-12	2.14±0.19	2.4282	3.7829(3.2326~4.4106)	2.41

续表 1

药剂,地理种群 Insecticides, population	测定时间(年-月) Test time (year-month)	斜率 Slope±SE	卡方 Chi square	LC_{50} (95%置信限) LC_{50} (95%FL) (mg · L ⁻¹)	抗性倍数 Resistance, x-fold
丙溴磷 Profenofos					
敏感品系 SS	—	4.75±0.49	5.8631	4.0479 (3.7192~4.3327)	—
儋州 Danzhou	2009-06	2.38±0.25	3.4590	4.1895 (3.4951~4.9456)	1.03
琼海 Qionghai	2009-11	5.36±0.53	2.4332	7.6105 (7.1699~8.0910)	1.88
文昌 Wenchang	2009-11	4.32±0.49	10.8041	6.7915 (6.2335~7.6053)	1.68
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin					
敏感品系 SS	—	1.49±0.17	1.0134	1.5630 (1.2348~1.9282)	—
儋州 Danzhou	2009-11	2.25±0.28	4.5666	4.3571 (3.7401~4.9640)	2.79
三亚 Sanya	2009-08	3.09±0.29	0.0763	2.5340 (2.1986~2.8676)	1.62
陵水 Lingshui	2009-11	1.32±0.26	0.3296	3.5274 (2.4608~4.4332)	2.26
琼海 Qionghai	2009-11	2.76±0.30	10.9185	3.7405 (3.2026~4.2324)	2.39
文昌 Wenchang	2009-11	2.32±0.23	4.1155	2.8952 (2.5330~3.2868)	1.85
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin					
敏感品系 SS	—	2.49±0.26	9.1833	2.2273 (1.2318~3.0413)	—
儋州 Danzhou	2009-06	1.03±0.18	2.4454	5.7405 (4.0389~7.9682)	2.58
琼海 Qionghai	2009-11	2.67±0.27	2.7750	3.3470 (1.1657~4.7995)	1.50
文昌 Wenchang	2009-11	4.60±0.54	3.3086	3.5366 (3.1450~3.8448)	1.59
啉虫脒 Acetamiprid					
敏感品系 SS	—	2.45±0.27	4.3199	32.7043 (27.1892~37.5920)	—
儋州 Danzhou	2009-11	1.64±0.16	5.8005	140.1831 (116.9781~172.5508)	4.29
三亚 Sanya	2009-11	1.59±0.15	3.5996	65.6554 (53.0983~78.6611)	2.01
陵水 Lingshui	2009-11	1.52±0.17	3.4500	33.1399 (25.8449~40.8021)	1.01
琼海 Qionghai	2009-11	2.15±0.19	1.8725	57.0339 (49.2250~66.6460)	1.74
文昌 Wenchang	2009-11	2.78±0.23	5.2957	100.4183 (88.4953~113.9629)	3.07
吡虫啉 Imidacloprid					
敏感品系 SS	—	1.79±0.21	2.5751	27.9092 (23.0673~34.2059)	—
儋州 Danzhou	2009-11	4.70±0.51	0.7972	90.9042 (85.1785~96.5420)	3.26
文昌 Wenchang	2009-11	1.94±0.21	10.1431	53.1788 (44.6939~62.0603)	1.91
阿维菌素 Abamectin					
敏感品系 SS	—	1.47±0.18	4.2113	23.0994 (18.3114~28.8482)	—
三亚 Sanya	2009-11	1.55±0.18	6.5613	26.6902 (20.0092~33.2863)	1.55
陵水 Lingshui	2009-11	1.84±0.18	5.1539	52.4718 (44.2761~62.4054)	2.27
文昌 Wenchang	2009-11	1.73±0.17	2.9287	34.4087 (28.8693~41.4575)	1.49

表 2 螺旋粉虱试验种群对毒死蜱的抗性筛选
Table 2 Resistance selection on *A. dispersus* to chlorpyrifos

筛选代数 No. of generations selected	斜率 Slope±SE	LC_{50} (95%置信限) LC_{50} (95%FL) (mg · L ⁻¹)	抗性倍数 Resistance, x-fold
0	2.66±0.25	2.1113 (1.8305~2.4442)	1.00
1	4.53±0.43	3.7141 (3.4338~3.9993)	1.76
2	4.21±0.37	3.6858 (3.3945~3.9761)	1.75
3	5.33±0.46	4.2002 (3.9493~4.4830)	1.99
4	4.03±0.49	4.3907 (4.0480~4.7118)	2.08
5	3.03±0.29	4.8505 (4.3792~5.3412)	2.30
6	3.34±0.34	5.1579 (4.6662~5.6967)	2.44
CK	2.69±0.23	1.8733 (1.2288~2.8429)	0.89

2.2.2 螺旋粉虱对毒死蜱的抗性现实遗传力 螺旋粉虱对毒死蜱的抗性现实遗传力 $h^2=0.2405$ 。遗传力的估计是指一个性状从一代遗传到下一代的程度,在影响表现型值的诸多因子中只有加性遗传值是可固定、遗传的,只有它才会对后代的性状产生影响,而不能够遗传到下一代的部分是由环境方

差或其他因素引起(何林等,2002)。因此,狭义的现实遗传力被定义为加性遗传方差与整个表型方差的比率。可见,害虫对药剂的抗性现实遗传力越大,对药剂的抗性发展速率也越快。

2.2.3 螺旋粉虱对毒死蜱的室内抗性风险评估 由螺旋粉虱对毒死蜱的抗性现实遗传力 ($h^2 =$

0.2405),可以预测螺旋粉虱对毒死蜱产生抗性的风险。在相同汰选压下,抗性现实遗传力越大,害虫越容易产生抗性。假设田间螺旋粉虱不存在寄主之间的转移,并且每代螺旋粉虱都用毒死蜱防治 1 次,可以预测田间使用毒死蜱防治螺旋粉虱的防治效果达 90%时,螺旋粉虱对毒死蜱的抗性水平提高 10 倍(根据筛选前后斜率相近的原则,假设筛选前后毒力回归线斜率均为 3.0,即 $\delta_p=0.3333$ 时)所

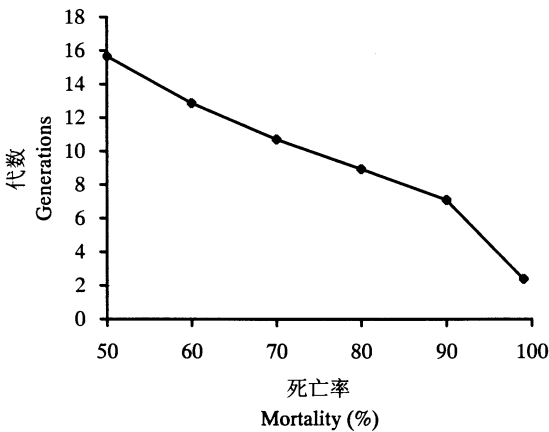


图 1 螺旋粉虱死亡率对抗性增长 10 倍所需代数的影响

Fig.1 Effects of mortality caused by chlorpyrifos on generations required to develop 10-fold resistance with $h^2=0.2405$

2.2.4 螺旋粉虱对毒死蜱的田间抗性风险评估
经毒死蜱防治 6 代(约每月 1 代)的螺旋粉虱田间抗性发展情况见表 3。结果表明,每代防效为 90%左右,经过 6 代防治后,与其未施药前相比,抗性上升了 3.62 倍。利用上述模型,假设在田间螺旋粉虱

需代数 7.09 代。在对螺旋粉虱不同防治效果下,抗性上升 10 倍所需的代数不同,所需代数随防治效果(即选择压)的增强而减少(图 1)。

螺旋粉虱对毒死蜱的抗性倍数随着筛选代数的增加而缓慢上升。在与室内相同的选择压下,在上述相同假设条件下,抗性上升 5 倍所需代数为 10.08 代,抗性上升 10、20 和 40 倍所需代数分别为 15.5、20.1 和 24.8 代(图 2)。

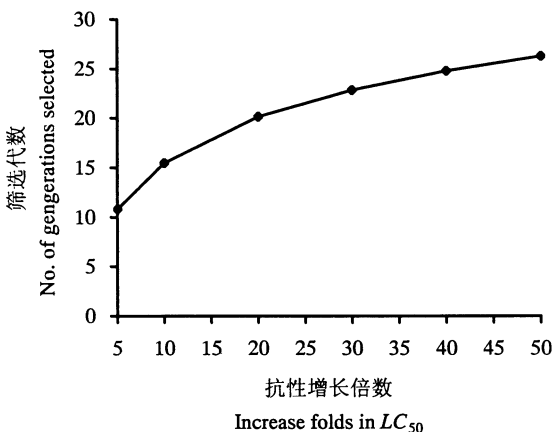


图 2 螺旋粉虱对毒死蜱抗性增长倍数与筛选代数的关系

Fig.2 Relationship between fold of increase in LC_{50} and generations selected by chlorpyrifos, where $P=46.3\%$, same as that in the laboratory

不存在寄主之间的交流,并且每代螺旋粉虱都用毒死蜱防治 1 次,可以预测田间使用毒死蜱防治螺旋粉虱 6 代,防治效果达 90%时,其抗性上升理论倍数数值为 5.52 倍。

表 3 螺旋粉虱田间防治情况下对毒死蜱的抗性
Table 3 Resistance in field population in *A.dispersus* to chlorpyrifos

测定时间(年-月) Test time (year-month)	防效 Efficacy (%)	斜率 Slope±SE	LC_{50} (95%置信限) LC_{50} (95%FL) (mg · L ⁻¹)	抗性倍数 Resistance, x-fold
2009-06	90.8	2.66±0.25	2.1113(1.8305 ~ 2.4442)	1.00
2009-07	91.6	8.78±0.70	3.6465(3.4951 ~ 3.8004)	1.72
2009-08	88.9	6.39±0.60	3.1894(2.9723 ~ 3.3856)	1.51
2009-09	87.4	2.78±0.32	3.8577(3.2946 ~ 4.3730)	1.83
2009-11	92.5	5.40±0.48	6.0577(5.6874 ~ 6.5122)	2.86
2009-12	86.7	4.96±0.65	7.6373(6.2460 ~ 14.3248)	3.62

3 结论与讨论

建立可靠的敏感毒力基线对于开展害虫的抗药性监测工作极其重要,只有具备了敏感毒力基线,才能准确地判断田间种群是否已经产生抗药性及产生抗药性的程度和范围(吴益东等,2001)。本

文采用 POTTER 喷雾法建立了 7 种杀虫剂对螺旋粉虱的相对敏感毒力基线,确定了其 LC_{50} 值,并以此为依据,报道了海南省各地区螺旋粉虱田间种群对防治药剂的抗性。从监测结果来看,目前海南省各地区螺旋粉虱对防治药剂都尚未形成抗性或抗

性水平不明显,其可能与螺旋粉虱是一种新入侵海南的有害生物密切相关:(1)入侵前抗性尚未形成;(2)入侵后时间短,用药少或无化学药剂防治历史。

抗药性风险评估是抗药性研究中的重要内容,是在试验条件下预测害虫对防治药剂产生抗性的可能性。直接将室内测定的抗性发展速率、抗性水平或抗性种类推广到田间还存在一定的问题,但对指导田间用药和抗性治理仍具有重要意义。以往的研究多集中在害虫对药剂抗性发展速率的预测,而未对其田间实际情况下抗性发展速率进行验证。本研究通过螺旋粉虱对毒死蜱的室内抗性培育及运用域性状分析法计算现实遗传力,报道了螺旋粉虱对毒死蜱的抗性风险,并进一步对其田间实际抗性发展速率进行了验证,明确了田间螺旋粉虱对毒死蜱的抗性发展速率低于室内抗性理论预测值。这是因模型无法完全模拟田间条件的局限性所致。一方面,利用模型进行预测时需假定田间不存在寄主间虫源的相互交流,而事实上螺旋粉虱田间种群存在寄主间的相互交流,敏感种群对抗性基因具有一定稀释作用;另一方面,室内抗药性选育时只处理某一虫态(本试验处理的是成虫),而田间螺旋粉虱种群世代重叠严重,各个虫态均受药,且高龄若虫被厚的蜡粉和蜡丝覆盖,药剂无法正常到达靶标部位,从而降低了药剂的选择压。若在田间采用与毒死蜱无交互抗性的混剂或作用机理不同的药剂轮用进行防治,也会降低药剂对靶标昆虫的选择压,从而最终降低昆虫抗药性发展速率。

参考文献

曹凤勤,林江,刘万学,程立生,董存柱. 2011. 噻虫嗪对螺旋粉虱的室内毒力与田间药效. 植物保护, 37(1): 153–156.

陈立,徐汉虹,闻晏连,赵善欢. 2001. Potter 喷雾法操作因子对杀虫剂毒力的影响. 华南农业大学学报, 22(2): 31–34.

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.

何玉仙,翁启勇,黄建,梁智生,林桂君,吴咚咚. 2007. 烟粉虱田间种群的抗药性. 应用生态学报, 18(7): 1578–1582.

林江,崔志富,曹凤勤,符悦冠. 2012. 常用杀虫剂对螺旋粉虱的活性及田间防效. 植物保护, 38(5): 189–193.

林珠凤,肖彤斌,谢圣华,陈绵才,王三勇. 2007. 8 种杀虫剂对螺旋粉虱的防治效果. 农药, 46(9): 630–632.

刘奎,姚刚,符悦冠,张方平,覃华芳,温丽娜,刘静,陈蕊. 2007. 常用杀虫剂对新入侵害虫螺旋粉虱的田间药效

试验. 中国农学通报, 23(12): 333–337.

刘奎,姚刚,符悦冠,张传海,温丽娜,刘静,张方平,陈蕊. 2008. 新入侵害虫螺旋粉虱的田间药效试验及防效. 热带作物学报, 29(2): 220–224.

吕朝军,钟宝珠,孙晓东,覃伟权,韩超文,符悦冠,马子龙. 2009. 几种植物源杀虫剂对螺旋粉虱的生物活性及田间防治效果. 热带作物学报, 30(12): 1865–1869.

温宏治,许润庆,陈秋男. 1994. 螺旋粉虱(*Aleurodicus dispersus* Russell)之形态补述及寄主植物. 中华昆虫, (14): 147–161.

吴益东,陈松,净新娟,林祥文,沈晋良. 2001. 棉铃虫抗性监测方法——浸叶法敏感毒力基线的建立及其应用. 昆虫学报, 44(1): 56–61.

徐岩. 1999. 警惕螺旋粉虱传入中国. 植物检疫, 13(4): 232–236.

Ahmad M, Arif M I, Ahmad Z and Denholm I. 2002. Cotton whitefly (*Bemisia tabaci*) resistance to organophosphate and pyrethroid insecticides in Pakistan. *Pest Management Science*, 58: 203–208.

Erdogan C, Moores G D, Gurkan M O, Gorman K J and Denholm L. 2008. Insecticide resistance and biotype status of populations of tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) from Turkey. *Crop Protection*, 27: 600–605.

Kranthi K R, Jadhav D R, Kranthi S, Wanjari R R, Ali S S and Russell D A. 2002. Insecticide resistance in five major insect pests of cotton in India. *Crop Protection*, 21: 449–460.

Potter C. 1952. An improved laboratory apparatus for applying direct sprays and surface films, which data in the electrostatic charge on atomized spray fluids. *Annals of Applied Biology*, 39: 1–29.

Prabhaker N, Coudriet D L and Toscano N C. 1988. Effect of synergists on organophosphate and permethrin resistance in a sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). *Journal of Economic Entomology*, 81: 34–39.

Prabhaker N, Toscano N C, Castle S J and Henneberry T J. 1997. Selection for imidacloprid resistance in silverleaf whitefly from Imperial Valley and development of a hydroponic bioassay for resistance monitoring. *Pesticide Science*, 51: 419–428.

Roditakis E, Roditakis N E and Tsagkarakou A. 2002. Insecticide resistance in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) populations from Crete. *Pest Management Science*, 61: 577–582.

Russell L M. 1905. A new species of *Aleurodicus dispersus* Douglas and two close relatives (Homoptera: Aleyrodidae). *Florida Entomologist*, 48: 47–55.

Tabshnik B K. 1992. Resistance risk assessment: realized heritability of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae), tobacco budworm (Lepidoptera: Noctuidae), and colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*, 85: 1551–1559.