

# 重庆潼南朱砂叶螨田间抗性监测及其抗性机制分析

王保军<sup>1,2</sup>, 胡云鹏<sup>1</sup>, 申光茂<sup>1</sup>, 刘怀<sup>1\*</sup>

(1. 西南大学植物保护学院, 重庆 400715; 2. 重庆潼南国家农业科技园区管理委员会, 重庆 402660)

**摘要** 本研究通过生物测定检测了重庆潼南田间朱砂叶螨种群对5种杀虫杀螨剂的抗药性,并测定了主要代谢酶活性及抗性相关基因的表达量。抗性监测结果显示,朱砂叶螨对联苯腈酯和吡螨灵表现为中等水平抗性,对阿维菌素、丁氟螨酯和甲氰菊酯为低水平抗性。代谢酶活性检测结果显示:田间种群的P450和GST活性明显提高,且多个相关基因的表达也显著上调,而CarE的活性没有显著变化。综上所述,重庆潼南田间朱砂叶螨种群已对联苯腈酯、吡螨灵、阿维菌素、丁氟螨酯和甲氰菊酯产生了不同程度的抗药性,P450和GST活性提高和有关基因过表达是抗性产生的主要原因。

**关键词** 朱砂叶螨; 抗性监测; 代谢酶; 基因表达

**中图分类号:** S 481.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018118

## Resistance monitoring and mechanism analysis of *Tetranychus cinnabarinus* collected from the field in Tongnan, Chongqing

WANG Baojun<sup>1,2</sup>, HU Yunpeng<sup>1</sup>, SHEN Guangmao<sup>1</sup>, LIU Huai<sup>1</sup>

(1. College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Chongqing Tongnan National Agricultural Science and Technology Park, Chongqing 402660, China)

**Abstract** The resistance of *Tetranychus cinnabarinus* from the field in Tongnan, Chongqing to 5 pesticides was tested through bioassay. The activity of detoxification enzymes and the relative expression of related genes were analyzed. The results showed that the field population of *T. cinnabarinus* had developed middle-level resistance to bifenthrin and pyridaben, and low-level resistance to abamectin, cyflumetofen and fenprothrin. Detoxification enzyme analysis indicated that the enzyme activity and gene expression of P450 and GST were both increased in the field population, but those of CarE did not change significantly. In conclusion, field populations of *T. cinnabarinus* in Tongnan had developed different resistance levels to bifenthrin, pyridaben, abamectin, cyflumetofen and fenprothrin. The resistance was mainly induced by the increased activity of detoxification enzymes (P450, GST) and over-expression of related genes.

**Key words** *Tetranychus cinnabarinus*; resistance monitoring; detoxification enzyme; gene expression

朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 是一种重要的农业害螨,在全世界范围内均有分布,可为害蔬菜、棉花、烟草等多种经济作物。化学防治是防治该螨的主要措施,但由于朱砂叶螨具有繁殖能力强,世代周期短,并且能够孤雌生殖等特点,使其对化学药剂的抗性发展十分迅速<sup>[1]</sup>。因此有必要通过抗性监测掌握田间朱砂叶螨种群对各种药剂敏感性的变化,分析其抗性发生发展的趋势和规律,为防治过程中选择合适的药剂提供科学依据<sup>[3]</sup>。

明确有害生物的抗性机制是进行抗性治理的基础。研究发现,靶标基因的突变是导致害螨对多

种农药产生抗性的重要原因之一<sup>[4-6]</sup>。而二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 基因组和朱砂叶螨转录组数据的发表,为研究害螨代谢酶基因功能提供了丰富的信息资源<sup>[7-8]</sup>。以朱砂叶螨主要代谢酶的研究为例,沉默P450还原酶基因后可以阻碍整个P450酶系发挥功能,从而导致朱砂叶螨对甲氰菊酯的敏感性提高,并且多条P450基因(CYP392A28、CYP392A26、CYP384A1、CYP389B1、CYP391A1等)在朱砂叶螨对甲氰菊酯的抗性中有协同作用<sup>[9-10]</sup>。针对羧酸酯酶(CarE)的研究同样发现相关基因的过表达现象可能介导了朱砂叶螨对丁氟螨酯的抗药性<sup>[11]</sup>。此

外,谷胱甘肽 S-转移酶(GST)在朱砂叶螨甲氰菊酯抗性、敏感种群间也存在表达差异的现象<sup>[12]</sup>。

为明确重庆潼南地区田间的朱砂叶螨对常用杀虫杀螨剂的抗性情况,本研究首先对田间种群进行了抗性监测,检测了田间种群对多种药剂的敏感性,然后通过分析代谢酶活性和基因表达的差异,探讨了介导现阶段抗性的主要因素,为深入开展抗性治理工作奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试虫

朱砂叶螨田间种群采自重庆潼南蔬菜基地的豇豆上,在恒温光照培养箱内使用豇豆叶片饲养。饲养条件:温度(26±1)℃;相对湿度 55%~70%;光周期为 L//D=14 h//10 h,饲养 3 代待种群数量扩大后进行生物测定。以室内连续饲养超过 15 年,未施用过任何药剂的室内种群作为相对敏感种群,饲养条件同上。

### 1.2 主要仪器及化学试剂

抗性测定所用原药,包括 92%甲氰菊酯(fenprothrin)、92%丁氟螨酯(cyflumetofen)、95%哒螨灵(pyridaben)、97%联苯肼酯(bifenazate)、95%阿维菌素(abamectin),由四川省食品药品检验所提供;TRIzol,美国 Thermo Scientific 公司;Dnase,Go-Taq<sup>®</sup> qPCR Master Mix,美国 Promega 公司;Prime-Script<sup>®</sup> RT reagent kit,日本 TaKaRa 公司;多功能酶标仪,美国 Biotech 公司;qTOWER 实时荧光定量 PCR 仪,德国 Analytik Jena 公司。

### 1.3 生物测定

朱砂叶螨生物测定使用药膜法,具体操作步骤如下:

1)制备药膜:用丙酮将待测药剂的原药稀释成 4~6 个浓度梯度,并通过预试验将死亡率控制在 20%~80%,每个浓度设置 3 个生物学重复。取 2 mL 配制好的药剂加入 2 mL 的离心管中,对照则分别加入丙酮和清水。将离心管置于摇床中过夜摇匀形成药膜。随后倒掉管中的药剂,在通风橱中晾干。对照组进行相同的处理。

2)接螨:用毛笔将同一批次 3~5 日龄的雌成螨挑取至制备好的药膜管中,每管约 30 头。将离心管置于恒温光照培养箱中,24 h 后取出,在解剖镜下检查死亡率。

3)镜检:将离心管中的螨轻轻弹到干净的滤纸上,用毛笔轻触螨体,不动或仅有 1~2 对足不自主战栗,但无法行动的个体均视为死亡,对照组死亡率

在 10% 以下视为有效测定,并用以计算校正死亡率。数据用 SPSS 16.0 进行统计分析。

### 1.4 代谢酶活性检测

选取同一批次 3~5 日龄的雌成螨进行酶活性测定,每个重复挑取约 200 头雌成螨,所有试验重复 3 次。粗酶蛋白的提取参照 Wang 等<sup>[13]</sup>的方法。将约 200 头雌成螨置于 1.5 mL 离心管中,加入 1 mL PBS (0.04 mol/L, pH 7.0)于冰水浴中匀浆,匀浆液于 10 000 g、4℃离心 15 min,取上清液于 4℃下保存备用。GST 活性测定参考 Clark 等<sup>[4]</sup>的方法。于酶标板每孔中加入 100 μL CDNB (0.6 mmol/L) 和 100 μL GSH (6 mmol/L),混匀后于 37℃保温 20 min,随后加入 100 μL 酶液,继续在 37℃条件下反应 5 min后于 340 nm 测其 OD 值的变化量。P450 活性测定参考 Shi 等<sup>[10]</sup>的方法。在酶标板每孔中加入 20 μL 酶液,80 μL 磷酸钾缓冲液(0.625 mol/L, pH 7.2),200 μL TMBZ (0.01 g TMBZ 溶于 5 mL 甲醇和 15 mL 0.25 mol/L, pH 5.0 的醋酸钠缓冲液),25 μL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液(体积比为 3%)。将反应体系置于 25℃下反应 2 h 后,测定 450 nm 处的 OD 值。CarE 活性测定参考 van Asperen 等<sup>[15]</sup>的方法。于酶标板每孔中加入 125 μL 底物(1 mL 0.03 mol/L α-NA 和 1 mL 10<sup>-4</sup> mol/L 毒扁豆碱,98 mL 0.04 mol/L pH 7.0 磷酸缓冲液)和 25 μL 酶液,于 30℃放置 10 min,然后加入 25 μL 的显色剂(1% 坚固蓝 B 盐溶液和 5% SDS 溶液按体积比为 2:5 混合),在 30℃再放置 10 min 后测其在 600 nm 处 OD 值。使用 SPSS 16.0 软件进行差异显著性分析。

### 1.5 代谢酶基因表达检测

朱砂叶螨 RNA 提取、基因组 DNA 去除、反转录等步骤均按照相应试剂盒说明书操作并进行质量检测。采用实时荧光定量 PCR 方法检测 6 个 P450 基因,4 个 GST 基因以及 4 个 CarE 基因在田间种群和室内敏感种群之间的表达差异,引物信息见表 1。

实时荧光定量 PCR 采用 SYBR Green 法检测,以 RSP18 为内参基因。反应程序设置为:95℃ 预变性 15 s;95℃ 变性 15 s,60℃ 退火加延伸 30 s,40 个循环。实时荧光定量 PCR 反应体系为 20 μL,包括:2×SYBR master mix 10 μL、cDNA 模板 1 μL、上下游特异性引物各 0.5 μL、无菌去离子水 8 μL。所有试验设 3 个生物学重复,每个生物学重复有 2 个技术重复。采用 2<sup>-ΔΔCt</sup> 法计算相对表达量<sup>[16]</sup>。并用 SPSS 16.0 软件进行显著性分析。

表 1 定量 PCR 引物信息

Table 1 Information of primers used in RT-qPCR

基因名 Gene name	引物序列(5'-3') Primer sequence	扩增效率/% Amplification efficiency
CPR	F: GGGTGATGATGATGCAAACA; R: ACGATAGGTGCCAAGAATGG	98.4
CYP392A26	F: CGTGAACACAGACGGTTGTC; R: GCGACCAAATAAAAAGAGCTGA	93.7
CYP389B1	F: ACGAGCCATGAATCCGTTAC; R: TGATCGGTGTGCTTCTCAAG	99.1
CYP392A28	F: TGGTTACCTGGAGGAGAGGA; R: TCAGCAAATCTGGTCTGT	91.3
CYP391A1	F: GGAGGTCTCGTCGAAAGATG; R: AAGTTCATTATGGCGGAAC	103.6
CYP384A1	F: GGTTGTTCGGAAATCTTGA; R: AAGCAAAAGGCAGGTAAGCA	97.6
GSTD1	F: TGTGGGAAAGTCGGCAATC; R: AATAGGCACCAAGAGAGCGG	105.9
GSTD2	F: CCTCTCTCTCCTTGTGTCG; R: CATGATTGCCGACTTTCCC	99.8
GSTM7	F: CAAGTTCATCTCGGTGGTC; R: TTGATTTCGGGCAAGGCTTC	95.1
GSTM9	F: CGTCGACCTGGTTTGATTTC; R: TTCGGCAAGGCTTCAATTC	107.7
CarE4	F: TTGGCTGCTTGGTGGTGAT; R: TGGCTAGAGCGATGGTTGTG	97.6
CarE6	F: GGAGAATCTGCAGGTGCCAT; R: GGTAGATGAGGCGCATGAGG	95.8
CarE13	F: TGAGCCTCATTGAACGAGC; R: CCATAAAGAAACCCACCGCC	108.2
CarE23	F: GCATCTGCACCAGGTAACCA; R: TCCATAAGCTCCTTCGCGTT	102.4
RSP18	F: GTGCTGGTGAACCTACCGAAG; R: GCCTATTCAAGAACCAAAGTG	98.5

## 2 结果与分析

### 2.1 抗药性测定结果

阿维菌素和丁氟螨酯对朱砂叶螨潼南种群的毒力最高,LC<sub>50</sub>分别为 0.879 mg/L 和 2.19 mg/L,甲氧菊酯效果最差,LC<sub>50</sub>为 8 014.9 mg/L。与室内敏感种群相比,朱砂叶螨潼南种群对田间施用较多的联苯肼酯和哒螨灵已经产生了明显的抗药性,抗性倍数分别为敏感种群的 55.8 倍和 32.0 倍,对阿维

菌素、丁氟螨酯和甲氧菊酯表现为低水平抗性。

### 2.2 代谢酶活性检测结果

为明确潼南田间种群对杀螨剂产生抗性的机制,对外源有毒物质代谢的 3 种重要解毒代谢酶 P450、GST、CarE 的活性进行了检测,发现田间种群 P450、GST 的活性均显著高于室内敏感种群,CarE 活性虽比敏感种群高,但是未达到显著水平(表 3)。该结果表明田间种群对联苯肼酯和哒螨灵抗药性的提高可能是由于其体内 P450 和 GST 活性升高所致。

表 2 朱砂叶螨潼南种群(TN)对 5 种杀虫杀螨剂的抗药性

Table 2 Resistance of *Tetranychus cinnabarinus* in Tongnan population to five pesticides

药剂 Insecticide	种群 Population	卡方值 $\chi^2$	斜率±误差 Slope±SE	致死中浓度(95%CI)/mg·L <sup>-1</sup> LC <sub>50</sub> (95%CI)	抗性倍数 RR
阿维菌素 abamectin	SS	4.30	1.69±0.3	0.879(0.610~1.150)	—
	TN	5.95	1.19±0.1	4.535(1.776~8.089)	5.16
甲氧菊酯 fenpropathrin	SS	0.38	2.85±0.4	700.6(620.6~782.4)	—
	TN	0.004	1.63±0.3	8 014.9(6 313.1~9 710.3)	11.4
丁氟螨酯 cyflumetofen	SS	0.29	2.30±0.2	2.19(1.91~2.52)	—
	TN	0.98	2.00±0.3	19.3(15.8~22.6)	9.0
联苯肼酯 bifenazate	SS	1.00	1.70±0.5	61.8(46.0~77.1)	—
	TN	2.69	2.00±0.4	3 450.4(2 975.4~4 058.5)	55.8
哒螨灵 pyridaben	SS	1.30	1.39±0.3	114.6(78.6~155.3)	—
	TN	2.02	1.30±0.2	3 660.0(6 431~8 565)	32.0

表 3 朱砂叶螨潼南种群与敏感种群解毒代谢酶活性比较<sup>1)</sup>

Table 3 Detoxification enzyme activities of *Tetranychus cinnabarinus* in Tongnan and susceptible populations

种群 Population	P450 活性/mmol·L <sup>-1</sup> ·mg <sup>-1</sup> ·(30 min) <sup>-1</sup> Enzyme activity of P450	GST 活性/mmol·L <sup>-1</sup> ·mg <sup>-1</sup> ·(30 min) <sup>-1</sup> Enzyme activity of GST	CarE 活性/mmol·L <sup>-1</sup> ·mg <sup>-1</sup> ·(30 min) <sup>-1</sup> Enzyme activity of CarE
SS	(2.706±0.003)b	(0.215±0.025)b	(2.536±0.059)a
TN	(3.567±0.051)a	(0.377±0.095)a	(2.639±0.635)a

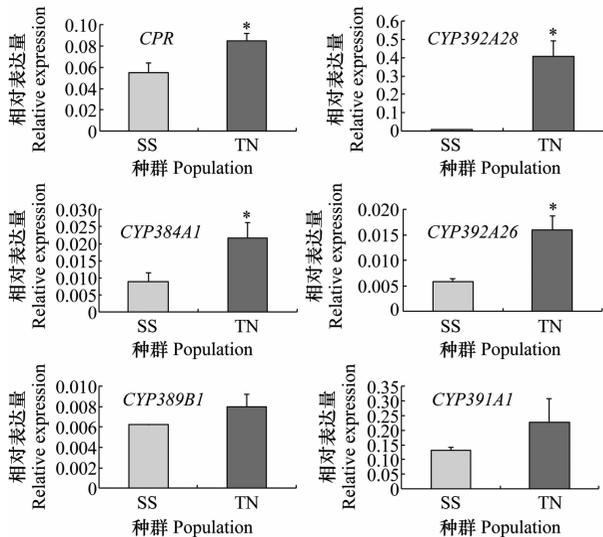
1) 同列不同字母表示存在显著性差异(P<0.05)。

Different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

## 2.3 代谢酶基因表达差异分析

### 2.3.1 P450 相关基因表达差异

与 P450 活性相关的基因表达检测结果如图 1 所示。其中 CPR 在 P450 酶系中起着传递电子的作用,是影响整个 P450 酶系功能的关键因子,通过检测该基因的相对表达量发现,CPR 基因在田间种群中的表达量为敏感种群的 1.53 倍,且差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。这一结果与 P450 活性检测结果相符,表明 P450 活性的改变可能与其对联苯腈酯和哒螨灵产生抗性有关。进一步分析 P450 基因的表达量也发现田间种群的 CYP392A28、CYP392A26、CYP384A1 三个基因的表达量显著提高,其中 CYP392A28 的变化最为明显,比敏感种群上调了 51.7 倍,CYP392A26 和 CYP384A1 则分别上调了 2.75 和 2.41 倍。另外两个基因 CYP389B1 和 CYP391A1 的相对表达量虽然在田间种群中也有一定程度的提高,但是没有达到显著水平,推测它们在这两种药剂的代谢过程中所起的作用有限。



SS: 敏感种群; TN: 潼南田间种群。星号表示存在显著性差异( $P < 0.05$ )。下同  
SS: Susceptible population; TN: Field population from Tongnan. \* indicates significant difference ( $P < 0.05$ ). The same below

图 1 P450 基因在朱砂叶螨不同种群中的相对表达量  
Fig. 1 Relative expression of P450 genes in *Tetranychus cinnabarinus* of different populations

### 2.3.2 GST 相关基因表达量检测

与 GST 活性相关的基因表达检测结果如图 2 所示。Mu 家族的两个 GST 基因,GSTM7 和 GSTM9 的相对表达量在田间种群中均显著提高,分别为敏感种群的 10.96 和 4.03 倍,且 GSTM9 具有很高的表达量,表明该基因可能在联苯腈酯和哒螨灵的代谢过程中发挥重要作用。同时,Delta 家族的 GSTD1 基因在田间种群的表达量与敏感

种群之间也存在显著性差异,上调了 1.59 倍,而同家族 GSTD2 基因的相对表达量反而在田间种群中出现了显著的降低,仅为敏感种群的 0.522 倍,表明 Delta 家族的 GST 在抗性形成的过程中可能存在不同的分工。

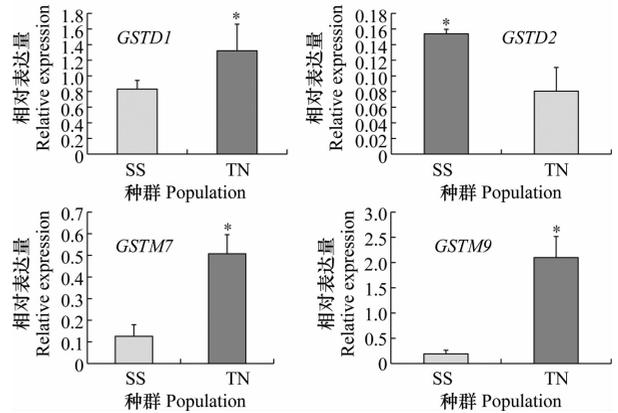


图 2 GST 基因在朱砂叶螨不同种群中的相对表达量  
Fig. 2 Relative expression of GST genes in *Tetranychus cinnabarinus* of different populations

### 2.3.3 CarE 相关基因表达量检测

与 CarE 活性相关的基因表达检测结果如图 3 所示。CarE13 和 CarE23 的相对表达量在田间种群和敏感种群中基本相同,没有显著性差异,与 CarE 活性检测结果一致。而 CarE4 和 CarE6 的相对表达量虽然在田间种群中出现了一定程度的提高,分别为敏感种群的 1.80 和 5.39 倍,但由于这两个基因的相对表达量均较低,推测它们对 CarE 活性的影响有限。

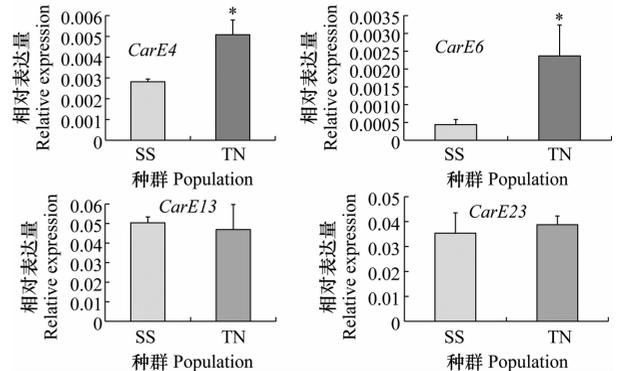


图 3 CarE 基因在朱砂叶螨不同种群中的相对表达量  
Fig. 3 Relative expression of CarE genes in *Tetranychus cinnabarinus* of different populations

## 3 结论与讨论

本研究通过生物测定明确了朱砂叶螨潼南田间种群对 5 种常用杀虫杀螨剂的敏感性,从  $LC_{50}$  来看,阿维菌素和丁氟螨酯对该螨均有很好的防治效果,

并且和室内敏感种群相比,田间种群对这两种药剂还没有产生明显的抗性。阿维菌素虽然已有较长的使用历史,但一直具有出色的杀螨活性,田间抗性监测数据显示朱砂叶螨还未对其产生明显的抗药性<sup>[17]</sup>。丁氟螨酯是一种新开发的高效杀螨剂,2013年在我国登记上市。虽然在欧洲已监测到田间二斑叶螨逐渐对丁氟螨酯产生抗药性<sup>[18]</sup>,但国内目前还暂未有田间朱砂叶螨对其产生抗药性的报道。本次抗性检测的结果也表明这两种药剂可以作为优良的替代或轮换药剂用于潼南田间朱砂叶螨的防治。

联苯肼酯和哒螨灵是现阶段田间常用的专性杀螨剂。但生测结果显示潼南田间朱砂叶螨已对这两种杀螨剂产生了中等水平的抗药性,在防控中有必要选用其他作用机制不同的药剂进行轮换替代,以避免当地叶螨种群抗性的进一步发展。此外,虽然田间也时常使用菊酯类药剂防治螨类,然而从甲氧菊酯对朱砂叶螨的  $LC_{50}$  来看,效果并不理想。另有研究数据也表明亚致死剂量的菊酯类药剂可能还具有使叶螨生殖力增强的作用,因此不推荐使用菊酯类药剂开展害螨防治<sup>[19]</sup>。

有害生物可以通过提高体内解毒代谢酶活性来提高其对药剂的代谢速度,这是田间种群对药剂产生低、中抗性的主要原因<sup>[20-21]</sup>。由于抗性监测数据显示朱砂叶螨田间种群对这几种药剂的抗性还未达到高抗水平,因此本研究选择从代谢抗性角度分析可能参与相关药剂代谢的酶和基因。通过检测代谢酶活性发现,朱砂叶螨田间种群体内 P450 和 GST 的活性显著高于室内敏感种群,而 CarE 活性则没有显著性差异,表明 P450 和 GST 活性的提高可能与其能够及时代谢联苯肼酯或哒螨灵有关。而相关基因表达差异的结果则显示田间种群的 *CYP392A28*、*CYP392A26*、*CYP384A1* 以及 *GSTM7* 和 *GSTM9* 等基因的表达量均有显著提高,表明它们是蛋白水平酶活性增强的主要原因。虽然目前关于朱砂叶螨对联苯肼酯和哒螨灵的抗性机制还鲜有报道,但在柑橘全爪螨 *Panonychus citri* 的研究中,Ding 等<sup>[22]</sup>发现经哒螨灵胁迫后,柑橘全爪螨体内 P450 和 GST 活性会明显提高,并且有多个 P450 基因对哒螨灵的药剂处理表现出应激性表达现象,而 CarE 的活性在药剂胁迫前后没有显著性差异。这与本研究的结果一致,证明朱砂叶螨对哒螨灵等专性杀螨剂的代谢抗性极有可能是由于 P450 和 GST 基因过表达,进而在蛋白水平引起酶活性的提高,增强了害螨对杀螨剂的代谢能力导致的。

综上所述,本研究通过抗药性监测,发现潼南朱砂叶螨田间种群对常用的杀螨剂联苯肼酯和哒螨灵均产生了较高的抗药性。甲氧菊酯的杀螨活性不高,阿维菌素和丁氟螨酯则具有较好的杀螨效果,可以作为替代药剂使用。代谢酶活性以及基因表达检测结果表明 P450 和 GST 可能协同参与了联苯肼酯和哒螨灵的代谢过程,其中 *CYP392A28* 和 *GSTM9* 这两个基因的作用可能最明显,而 CarE 在此过程中所起的作用有限。

## 参考文献

- [1] GUO Fengying, ZHANG Zhiqiang, ZHAO Zhimo. Pesticide resistance of *Tetranychus cinnabarinus* (Acari: Tetranychidae) in China: a review [J]. Systematic & Applied Acarology, 1998, 3(1): 3-7.
- [2] FFRENCH-CONSTANT R H. Which came first: insecticides or resistance? [J]. Trends in Genetics, 2007, 23(1): 1-4.
- [3] JIN Tao, ZENG Ling, LIN Yuying, et al. Insecticide resistance of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae), in mainland China [J]. Pest Management Science, 2011, 67(3): 370-376.
- [4] XU Zhifeng, SHI Li, FENG Yaning, et al. The molecular marker of kdr against fenprothrin in *Tetranychus cinnabarinus* [J]. Journal of Economic Entomology, 2014, 106(6): 2457-2466.
- [5] KHAJEHALI J, VAN LEEUWEN T, GRISPOU M, et al. Acetylcholinesterase point mutations in European strains of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) resistant to organophosphates [J]. Pest Management Science, 2010, 66(2): 220-228.
- [6] KWON D H, YOON K S, CLARK J M, et al. A point mutation in a glutamate-gated chloride channel confers abamectin resistance in the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch [J]. Insect Molecular Biology, 2010, 19(4): 583-591.
- [7] GRBIC M, VAN LEEUWEN T, CLARK R M, et al. The genome of *Tetranychus urticae* reveals herbivorous pest adaptations [J]. Nature, 2011, 479(7374): 487-492.
- [8] XU Zhifeng, ZHU Wenyi, LIU Yanchao, et al. Analysis of insecticide resistance-related genes of the carmine spider mite *Tetranychus cinnabarinus* based on a *de novo* assembled transcriptome [J/OL]. PLoS ONE, 2014, 9(5): e94779.
- [9] SHI Li, ZHANG Jiao, SHEN Guangmao, et al. Silencing NADPH-cytochrome P450 reductase results in reduced acaricide resistance in *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) [J]. Scientific Reports, 2015, 5: 15581.
- [10] SHI Li, ZHANG Jiao, SHEN Guangmao, et al. Collaborative contribution of six cytochrome P450 monooxygenase genes to fenprothrin resistance in *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) [J]. Insect Molecular Biology, 2016, 25(5): 653-665.
- [11] WEI Peng, SHI Li, SHEN Guangmao, et al. Characteristics of carboxylesterase genes and their expression-level between acaricide-susceptible and resistant *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) [J]. Pest Management Science, 2016, 131: 87-95.

玉米生长发育情况相关<sup>[20]</sup>。

近年来,对于‘京科 968’的报道多集中在其种子活力高、苗期生长健壮、中抗病害、高产优质以及品种推广等方面,对其抗螟性虽有提及但并没有更为详细的分析,本研究明确了其心叶期的抗螟性及其对亚洲玉米螟种群的控制作用,对于该品种的推广种植有重要应用意义。利用实验种群生命表技术评价玉米抗螟性,结合田间接虫鉴定,可以更好地综合评价玉米品种的抗螟性。

## 参考文献

- [1] 全国玉米抗螟性鉴定及选育协作组. 玉米品种抗“亚洲玉米螟”鉴定结果[J]. 植物保护, 1983, 9(2): 41-42.
- [2] 王振营, 鲁新, 何康来, 等. 我国研究亚洲玉米螟历史、现状与展望[J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(5): 402-412.
- [3] 王振营, 王晓鸣. 加强玉米有害生物发生规律与防控技术研究, 保障玉米安全生产[J]. 植物保护学报, 2015, 42(6): 865-868.
- [4] 赵久然, 李春辉, 宋伟, 等. 利用 SSR 标记解析京科 968 等系列玉米品种的杂优模式[J]. 玉米科学, 2017, 25(5): 1-8.
- [5] 陈传永, 赵久然, 王荣焕, 等. 京科 968 的灌浆特征与产量性能分析[J]. 玉米科学, 2013, 21(2): 83-87.
- [6] MORRIS R F, MILLER C A. The development of life tables for the spruce budworm [J]. Revue Canadienne de Zoologie, 1954, 32(4): 283-301.
- [7] 高尚坤, 杨忠岐. 生命表技术在害虫生物防治中的应用[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(2): 256-263.
- [8] 胡学难, 梁广文, 庞雄飞. 利用生命表技术评价甜玉米品种对亚

洲玉米螟的抗性[J]. 中国农业科学, 2001, 34(5): 502-505.

- [9] GUO Jingfei, GUO Jianqing, HE Kanglai, et al. Physiological responses induced by *Ostrinia furnacalis* (Lepidoptera: Crambidae) feeding in maize and their effects on *O. furnacalis* performance [J]. Journal of Economic Entomology, 2017, 110(2): 739-747.
- [10] 赵亮, 朱亚灵, 师桂英, 等. 8 个小麦品种对麦长管蚜试验种群生命参数的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 49(5): 123-126.
- [11] 赵亮. 几个小麦品种对麦长管蚜 (*Sitobion avenae*) 的抗性研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.
- [12] 丁克军, 黄寿山, 曾玲, 等. 水稻品种抗虫性对白背飞虱种群的控制作用[J]. 华南农业大学学报, 1993, 14(3): 37-41.
- [13] 丁莉. 转双价基因抗虫棉对棉蚜抗性的研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2005.
- [14] LI Xia, HE Kanglai, WANG Zhenying, et al. Quantitative trait loci for Asian Corn Borer resistance in maize population Mc37 × Z330 [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2010, 9(1): 77-84.
- [15] 周大荣, 王玉英, 刘宝兰, 等. 玉米螟人工大量繁殖研究: I. 一种半人工饲料及其改进[J]. 植物保护学报, 1980, 7(2): 113-122.
- [16] 吴坤君, 陈玉平, 李明辉. 不同温度下的棉铃虫实验种群生命表 [J]. 昆虫学报, 1978, 21(4): 385-392.
- [17] 罗梅浩, 赵艳艳, 刘晓光, 等. 不同玉米品种的抗虫性研究 [J]. 玉米科学, 2007, 15(5): 34-37.
- [18] 王元东, 张华生, 段民孝, 等. 利用外来新种质 X1132x 选育优良玉米自交系的研究 [J]. 中国种业, 2015(2): 41-44.
- [19] 王荣焕, 刘春阁, 成广雷, 等. 玉米新品种京科 968 高产栽培技术 [J]. 中国种业, 2011(12): 71-72.
- [20] 周大荣, 剧正理, 魏瑞云, 等. 玉米抗螟性利用与植单抗螟一号 [J]. 植物保护, 1987, 13(5): 16-18.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 92 页)

- [12] SHEN Guangmao, SHI Li, XU Zhifeng, et al. Inducible expression of mu-class glutathione S-transferases is associated with fenprothrin resistance in *Tetranychus cinnabarinus* [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2014, 15(12): 22626-22641.
- [13] WANG Ying, ZHAO Shu, SHI Li, et al. Resistance selection and biochemical mechanism of resistance against cyflumetofen in *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2014, 111(1): 24-30.
- [14] CLARK A G, DICK G L, SMITH J N. Kinetic studies on a glutathione S-transferase from the larvae of *Costelytra zealandica* [J]. Biochemical Journal, 1984, 217(1): 51-58.
- [15] VAN ASPEREN K. A study of house fly esterase by means of a sensitive colorimetric method [J]. Journal of Insect Physiology, 1962, 8(4): 401-416.
- [16] SCHMITTGEN T D, LIVAK K J. Analyzing real-time PCR data by the comparative CT method [J]. Nature Protocols, 2008, 3(6): 1101-1108.
- [17] 陈秋双, 赵舒, 邹晶, 等. 朱砂叶螨抗药性监测 [J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(2): 364-369.

- [18] KHAJEHALI J, NIEUWENHUYSE P V, DEMAEGHT P, et al. Acaricide resistance and resistance mechanisms in *Tetranychus urticae* populations from rose greenhouses in the Netherlands [J]. Pest Management Science, 2011, 67(11): 1424-1433.
- [19] ZHAN Yu, FAN Siqi, ZHANG Minghua, et al. Modelling the effect of pyrethroid use intensity on mite population density for walnuts [J]. Pest Management Science, 2014, 71(1): 159-164.
- [20] CUI Feng, LIN Zhe, WANG Hongsheng S, et al. Two single mutations commonly, use qualitative change of nonspecific carboxylesterases in insects [J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2011, 41(1): 1-8.
- [21] WU Shuwen, YANG Yihua, YUAN Guorui, et al. Overexpressed esterases in a fenvalerate resistant strain of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* [J]. Insect Biochemistry and Molecular Biology, 2011, 41(1): 14-21.
- [22] DING Tianbo, NIU Jinzhi, YANG Lihong, et al. Transcription profiling of two cytochrome P450 genes potentially involved in acaricide metabolism in citrus red mite *Panonychus citri* [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2013, 106(1/2): 28-37.

(责任编辑: 田 喆)