

巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系生物学特性 及其对常用药剂的交互抗性*

侯栋元** 丛林** 陈飞 杨娟生 周浩楠
成禄艳 于士将 雷双 刘浩强 冉春***

(西南大学柑桔研究所, 重庆 400712)

摘要 【目的】明确橘园常用药剂对巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 成螨的致死效应, 弄清巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系对柑橘园常用药剂的交互抗性水平及生态适合度变化, 为巴氏新小绥螨抗性品系的田间应用提供科学理论依据。【方法】在对巴氏新小绥螨进行致死效应和交互抗性测定的基础上, 运用生态学方法对其生物学特性进行评价。【结果】不同药剂对巴氏新小绥螨成螨致死效应存在显著差异。高效氯氟氰菊酯和毒死蜱的致死率最高, 校正死亡率分别为 97.62% 和 92.57%; 巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系螺螨酯、噻虫嗪、乙螨唑、毒死蜱和高效氯氟氰菊酯均存在显著交互抗性, 其抗性倍数分别为 7.56、10.32、11.45、19.10 和 45.89 倍。生物学特性研究结果表明, 与敏感品系相比, 甲氰菊酯抗性的获得使其发育历期显著延长, 但对捕食量和孵化率影响不显著。哒螨灵、丁氟螨酯和高效氯氟氰菊酯对巴氏新小绥螨抗性品系与敏感品系卵的孵化率具有显著影响, 其他常用药剂对巴氏新小绥螨抗性品系与敏感品系卵的孵化率不存在显著影响。【结论】甲氰菊酯抗性获得使巴氏新小绥螨对柑橘园常用药剂表现不同水平的交互抗性; 甲氰菊酯抗性获得对巴氏新小绥螨生长、繁殖及捕食均无显著影响, 可在田间推广应用。

关键词 巴氏新小绥螨; 甲氰菊酯; 抗性品系; 生物学特性; 交互抗性

Biological characteristics of a fenpropathrin-resistant strain of *Neoseiulus barkeri* including cross-resistance to commonly used pesticides in orange orchards

HOU Dong-Yuan** CONG Lin** CHEN Fei YANG Juan-Sheng ZHOU Hao-Nan
CHENG Lu-Yan YU Shi-Jiang LEI Shuang LIU Hao-Qiang RAN Chun***

(Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China)

Abstract [Objectives] To measure the cross-resistance of a fenpropathrin-resistant strain of the mite *Neoseiulus barkeri* to commonly used pesticides in citrus orchards and thereby provide guidance for the use of such strains in biological pest control. [Methods] The lethality and cross-resistance of a fenpropathrin-resistant strain of *N. barkeri* to commonly used pesticides in orange orchards were measured and the biological characteristics of this evaluated. [Results] There were significant differences in the lethality of different insecticides to adult *N. barkeri*. High-efficiency cyfluthrin and chlorpyrifos were the most lethal with corrected mortality rates of 97.62% and 92.57%, respectively. The fenpropathrin-resistant strain of *N. barkeri* had significant cross-resistance to spirodiclofen, thiamethoxam, ethimazole, chlorpyrifos and high-efficiency cyfluthrin, being 7.56, 10.32, 11.45, 19.10 and 45.89 times, respectively, more resistant to these pesticides than a susceptible strain. The developmental period of the resistant strain was significantly longer than that of the sensitive strain, but there were no

*资助项目 Supported projects: 国家重点研发计划 (2018YFD0201508); 国家重点研发计划 (2019YFD1002100); 中国农业科学院科技创新工程协同创新任务 (CAAS-XTCX-2016013); 科技创新领军人才支持计划 (cstc2018kjcxljrc0040); 中央高校基本科研业务费 (XDJK2015C014); 西南大学博士基金项目 (SWU116061)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: hdy1005@foxmail.com; conglin@cric.cn

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: ranchun@cric.cn

收稿日期 Received: 2019-11-26; 接受日期 Accepted: 2020-03-24

significant differences in the prey capture and hatching rates of these strains. Pyridaben, bufomite and fenprothrin had significant effects on the hatching rate of both resistant and sensitive strains of *N. barkeri*, whereas most of other common pesticides had no effect on hatch rate. [Conclusion] Fenprothrin-resistance was associated with different levels of cross-resistance to common pesticides in orange orchards but had no significant effect on the growth, reproduction and prey capture rate of *N. barkeri*, which could be more widely used as a biological control.

Key words *Neoseiulus barkeri*; fenprothrin; resistant strain; biological characteristics; cross-resistance

巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 属蜱螨亚纲 (Acari), 寄螨目 (Paratiformes), 革螨亚目 (Gamasida), 植绥螨科 (Phytoseiidae), 小新绥螨属 *Neoseiulus*。在国外, 集中发生在美洲、欧洲、日本、以色列以及阿尔及利亚等地区和国家。而在国内遍布于江西、福建、湖南、广东和河北等地 (Ghazy *et al.*, 2012)。该螨属于多食性植绥螨, 不仅捕食蓟马和叶螨, 还以介壳虫、蚜虫、跳虫、木虱、粉虱、蚊蝇类幼虫、跗线螨、丝状菌和线虫等生物为食 (宋树贤等, 2012; 周万琴等, 2012; 尚素琴和陈耀年, 2017), 在食物极度匮乏时还可以取食花粉 (Brødsgaard and Hansen, 1993)。因其具有扩散力强、死亡率低、发育历期短和产卵率高等优点, 被看作是最有效最成功的生物防治天敌之一 (Bonde, 1989)。

从 1940 年至今, 害螨对农业的制约日益严重, 其中危害最严重的 3 种是柑橘全爪螨 *Panonychus citri*、二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 和苹果全爪螨 *P. ulmi*。当前, 使用杀虫 (螨) 剂来控制螨害是最有效的方式, 但是伴随农药的大规模、大剂量使用, 螨类的抗药性问题也随之加重, 害螨的抗药性产生速度越来越快, 极大地削弱了杀虫 (螨) 剂的效果, 而研究新型杀螨剂的成本和时间都是难以解决的矛盾。综上所述, 制定新的防治策略才是减少害螨抗药性的有效之举 (Croft and Brown, 1975; James, 2002)。目前认为, 有效利用害螨天敌来防治螨害是一种比较理想的防治策略 (Gerson and Weintraub, 2007; Van Leeuwen, 2010)。Roush 和 Hoy (1981) 通过实验发现, 西方盲走螨 *Metaseiulus occidentalis* 西维因抗性品系相较敏感品系, 不仅能在西维因环境下存活, 还可以越冬并成功控制害螨种群数量。Mrio 等 (2001) 研究发现, 将奥氏钝绥螨 *Amblyseius womersleyi* 杀扑磷抗性品系释放于施

用有机磷杀虫剂的果园, 奥氏钝绥螨可以存活, 且有效降低了神泽叶螨 *Tetranychus kanzawai* Kishida 种群数量。以上研究表明具有抗药性的捕食螨不仅能适应复杂的果园环境, 而且在控制害螨方面更加有效。因此, 筛选并开发抗药性捕食螨是协调化学农药施用和捕食螨释放之间矛盾的重要途径。

早在 20 世纪 90 年代, 巴氏新小绥螨已经有了室内抗性筛选的相关研究。Petrushov (1992) 用 50%剂量的氯氰菊酯 (Ripcord) 的 LC_{50} 对巴氏新小绥螨进行连续筛选, 从而选育出一个抗性倍数为 73 倍的抗性种群, 而且发现该种群与多种菊酯类农药有较高的交互抗性存在, 但有关抗性品系生物学特性以及与其他农药的交互抗性还未见报道。本研究在前期选育的巴氏新小绥螨甲氰菊酯 (Fenprothrin) 高抗品系基础上, 进一步研究抗性品系生物学特性以及对常见药剂的交互抗性, 旨在分析巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系在田间应用的可行性, 从而为巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系田间应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试螨源 巴氏新小绥螨敏感品系: 中国农业科学院柑桔研究所室内用麦麸-椭圆食粉螨 *Aleuroglyphus ovatus*-捕食螨体系大规模饲养繁殖并保证连续多代不接触杀螨剂, 对药剂非常敏感。

巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系: 于中国农业科学院柑桔研究所室内用麦麸-椭圆食粉螨-捕食螨体系大规模饲养繁殖, 麦麸和椭圆食粉螨均用甲氰菊酯处理。巴氏新小绥螨对甲氰菊酯抗性倍数在 619.96 倍 (Lin *et al.*, 2016) 以上。

1.1.2 主要仪器和化学试剂 仪器: 高压蒸汽灭菌器 (MLS-3781L-PC, 松下健康医疗器械株式会社), 体视显微镜 (ZSA0745, 重庆市奥特光学仪器公司), 人工智能培养箱 (BSG-400, 上海博迅实业有限公司医疗设备厂)。

化学试剂: 实验所用药剂见表 1。

1.2 方法

1.2.1 巴氏新小绥螨对常见药剂死亡率测定

照 Lin 等 (2016) 的毒力测定方法, 将每个制剂配成该药剂出厂说明书上指导用药的浓度, 用 40 头成螨作为一个处理, 每个处理 3 次重复, 并用清水作对照。48 h 后在体视显微镜下检查成螨死亡数并记录, 以毛笔尖轻触虫体, 所有足均无法动弹视为死亡, 最后计算死亡率及校正死亡率。

人工智能培养箱设置条件为: 温度 (25±1) °C, 相对湿度 80%±5%, 光周期 L : D=14 : 10。

表 1 实验所用化学药剂
Table 1 Chemicals used in this study

通用名 Common name	含量及剂型 Active ingredient and formulation	生产商 Manufacturer
阿维菌素 Avermectins	1.8% 乳油	柳州市惠农化工有限公司
百草枯 Paraquat	200 g/L 水乳剂	江苏百灵化工有限公司
吡虫啉 Imidacloprid	5% 乳油	广东中迅农科股份有限公司
哒螨灵 Pyridaben	15% 乳油	江苏克胜农化有限公司
单甲脒 Semiamitraz	25% 水剂	保定农药厂
丁氟螨酯 Cyflumetofen	20% 悬浮剂	苏州富美实植物保护剂有限公司
丁硫克百威 Carbosulfan	20% 乳油	柳州市惠农化工有限公司
毒死蜱 Chlorpyrifos	48% 乳油	江苏百灵化工有限公司
多菌灵 Carbendazim	50% 微乳剂	江苏百灵化工有限公司
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	2.5% 水乳剂	柳州市惠农化工有限公司
甲氰菊酯 Fenpropathrin	20% 乳油	日本住友化学株式会社
矿物油 Mineral oil	99% 乳油	招远三联化工厂有限公司
喹啉酮 Quinolinone	33.5% 悬浮剂	柳州市惠农化工有限公司
螺螨酯 Spirodiclofen	240 g/L 悬浮剂	拜耳作物科学公司
咪鲜胺 Prochloraz	450 g/L 水乳剂	柳州市惠农化工有限公司
炔螨特 Propargite	40% 微乳剂	东莞市瑞德丰生物科技有限公司
噻虫嗪 Thiamethoxam	25% 可溶性粉剂	柳州市惠农化工有限公司
噻螨酮 Hexythiazox	5% 乳油	日本曹达化学株式会社
噻嗪酮 Buprofezin	25% 悬浮剂	陕西标正作物科学有限公司
三唑锡 Azocyclotin	20% 悬浮剂	山东兆丰年生物科技有限公司
双甲脒 Amitraz	20% 乳油	江苏百灵农化有限公司
烯啶虫胺 Nitenpyram	10% 乳油	柳州市惠农化工有限公司
乙螨唑 Etoxazole	15% 悬浮剂	柳州市惠农化工有限公司
啉螨酯 Fenpyroximate	8% 微乳剂	海南博士威农用化学有限公司

1.2.2 巴氏新小绥螨甲氧菊酯抗性品系交互抗性测定 分别测定常用药剂对巴氏新小绥螨抗性品系和敏感品系的毒力, 通过预备实验确定药剂浓度范围, 每个常用药剂配制成 7 个浓度梯度, 配制方法实验条件同 1.2.1 所述。抗性品系和敏感品系测定的 LC_{50} 值的 95% 置信区间没有重叠即视为差异显著 (肖顺根等, 2010)。

1.2.3 巴氏新小绥螨发育历期测定 挑取 1 000 头左右的巴氏新小绥螨雌成螨产卵, 1 h 后小心挑取 120 粒卵分别置于六孔凹槽载玻片的 120 个凹槽中, 每个凹槽中均备有麦麸和椭圆食粉螨, 并用载玻片盖好, 最后用橡皮筋绑紧防止逃逸。将六孔凹槽载玻片整齐排列到托盘中, 再将托盘置于饲养条件同 1.2.1 所述的人工气候箱中饲养, 每隔 8 h 观察并记录各处理螨态。每粒卵作为 1 个处理, 共 120 个重复。

1.2.4 巴氏新小绥螨孵化率测定 挑取 5 000 头左右的巴氏新小绥螨雌成螨产卵, 1 h 后小心挑取 100 粒卵置于 1.2.3 中的凹槽中作为 1 个处理, 实验设置 30 个重复。将装有卵载玻片整齐排列到托盘中, 再将托盘置于饲养条件同 1.2.1 的人工气候箱中, 每隔 24 h 观察并记录孵化情况。以 1.2.3 中所得发育历期结果为准, 超过卵期时间 24 h 还未孵化视为不孵化, 计算孵化率。

1.2.5 巴氏新小绥螨捕食量测定 将刚刚孵化的单头巴氏新小绥螨置于 1.2.3 中的单个凹槽中, 每个凹槽加入麦麸和椭圆食粉螨幼螨 20 头。将装有螨载玻片整齐排列到托盘中, 再将托盘置于饲养条件同 1.2.1 的人工气候箱中, 每隔 24 h 观察并记录椭圆食粉螨数量, 并将巴氏新小绥螨转入一个新的同样条件的凹槽中, 如此循环直到巴氏新小绥螨自然死亡为止, 统计其总捕食量。实验设置 30 个重复。

1.3 数据统计与分析

校正死亡率参考 Abbott (1925) 公式计算。毒力回归方程、致死中浓度 LC_{50} 和 95% 置信区间参数用 SPSS16.0 统计软件计算。

$$\text{死亡率} = \frac{\text{死亡螨数}}{\text{供试总螨数}} \times 100\%,$$

$$M_a = \frac{M_t - M_c}{1 - M_c} \times 100\%。$$

M_a 代表校正死亡率, M_t 代表处理组死亡率, M_c 代表对照组死亡率。

$$\text{抗性系数 (Resistance ratio, RR)} = \frac{\text{供试种群 } LC_{50}}{\text{敏感种群 } LC_{50}}。$$

$RR < 1$ 表示负交互抗性, $1 < RR < 5$ 表示无交互抗性或无抗性, $RR > 5$ 表示有交互抗性或有抗性 (封云涛等, 2018)。

$$\text{孵化率} = \frac{\text{卵孵化数}}{\text{供试卵总数}} \times 100\%。$$

采用 Duncan's 法和 t -测验分析巴氏新小绥螨甲氧菊酯抗性品系与敏感品系发育历期、孵化率和捕食量的不同以及田间常用农药对巴氏新小绥螨甲氧菊酯抗性品系与敏感品系孵化率的影响 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同药剂对巴氏新小绥螨死亡率的影响

常用药剂对巴氏新小绥螨处理 48 h 后, 毒力大小分别为高效氯氟氰菊酯 > 毒死蜱 > 双甲脒 > 单甲脒 > 哒螨灵 > 噻虫啉 > 丁硫克百威 > 唑螨酯 > 螺螨酯 > 炔螨特 > 乙螨唑 > 噻嗪酮 > 噻螨酮 > 吡虫啉 > 阿维菌素 > 三唑锡 > 矿物油 > 烯啶虫胺。高效氯氟氰菊酯和毒死蜱对巴氏新小绥螨毒性最高, 处理巴氏新小绥螨 48 h 后校正死亡率分别为 97.62% 和 92.57%, 显著高于其它药剂 ($P < 0.05$); 三唑锡、矿物油和烯啶虫胺的毒性相对较低, 处理巴氏新小绥螨 48 h 后校正死亡率分别为 7.29%、6.05% 和 4.77% (表 2)。

2.2 交互抗性结果

对 20 种常用药剂交互抗性测定结果见表 3, 巴氏新小绥螨甲氧菊酯抗性品系对螺螨酯、噻虫啉、乙螨唑、毒死蜱和高效氯氟氰菊酯均存在抗性, 抗性倍数分别为 7.56、10.32、11.45、19.10 和 45.89 倍, 同样属于菊酯类农药的高效氯氟氰菊酯交互抗性最强。甲氧菊酯抗性种群对双甲脒、单甲脒、唑螨酯、咪鲜胺、噻螨酮、炔螨特、丁氟螨酯、百草枯、阿维菌素、哒螨灵、三唑锡、丁硫克百威和烯啶虫胺的 LC_{50} 值 95%

置信区间不重叠,抗性系数 $1 < RR < 5$, 因此不存在交互抗性。而抗性品系对多菌灵和啉啉酮为负交互抗性,表明巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系与这些药剂间不易形成交互抗性。

2.3 巴氏新小绥螨抗性品系和敏感品系间发育历期的比较

比较巴氏新小绥螨抗性品系和敏感品系的发育历期发现,巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系前若螨期显著短于敏感品系 ($P < 0.05$), 幼螨期、产卵期和整个世代较敏感品系无明显差异 ($P >$

0.05), 其卵期、后若螨期以及产卵前期较敏感品系均显著延长 ($P < 0.05$) (表 4)。

2.4 巴氏新小绥螨抗性品系和敏感品系卵孵化率及捕食量的比较

巴氏新小绥螨抗性品系和敏感品系卵孵化率及每头总捕食量的统计结果表明,与敏感品系相比,甲氰菊酯抗性品系的孵化率和每头总捕食量均不存在显著差异 ($P > 0.05$)。说明巴氏新小绥螨在获得甲氰菊酯抗性后,繁殖能力和捕食能力均未发生显著变化 ($P > 0.05$) (表 5)。

表 2 48 h 后不同药剂对巴氏新小绥螨的死亡率
Table 2 Mortality of adult of *Neoseiulus barkeri* to selected pesticides after 48 h

农药 Pesticides	浓度 (mg/L) Concentration	48 h	
		死亡率 (%) Mortality (%)	校正死亡率 (%) Corrected mortality (%)
烯啶虫胺 Nitenpyram	25.00	12.22±0.02e	4.77±0.11e
矿物油 Mineral oil	9 700.00	13.33±0.03e	6.05±0.01e
三唑锡 Azocyclotin	133.33	14.44±0.05e	7.29±0.03e
阿维菌素 Avermectins	9.00	16.67±0.02e	9.41±0.04de
吡虫啉 Imidacloprid	200.00	17.78±0.04e	10.65±0.05de
噻螨酮 Hexythiazox	33.33	21.11±0.03de	14.17±0.05cde
噻嗪酮 Buprofezin	233.33	21.11±0.08de	14.16±0.09cde
乙螨唑 Etoxazole	25.00	22.22±0.08de	15.47±0.09cde
炔螨特 Propargite	285.00	22.22±0.02de	15.64±0.01cde
螺螨酯 Spirodiclofen	48.00	23.33±0.02de	16.83±0.01cde
唑螨酯 Fenpyroximate	46.66	27.78±0.14cde	21.31±0.16cde
丁硫克百威 Carbosulfan	200.00	27.78±0.06cde	23.46±0.06cde
噻虫嗪 Thiamethoxam	25.00	30.00±0.05cde	24.25±0.03cde
吡螨灵 Pyridaben	100.00	51.11±0.01bc	39.88±0.03bcd
单甲脒 Semiamitraz	312.50	46.67±0.27bcd	43.76±0.28bc
双甲脒 Amitraz	200.00	57.78±0.060b	53.79±0.08b
毒死蜱 Chlorpyrifos	480.00	93.33±0.04a	92.57±0.05a
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	25.00	97.78±0.02a	97.62±0.02a
对照 Control	0.00	7.78±0.03e	—

对照表示用清水处理作空白对照;表中数据为平均值±标准误,同列数据后标有不同的小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。表 5 和表 6 同。

Control indicates that it is treated with water. Data in the table are mean ± SE, and followed by different lowercase letters in the same column incicate significant difference at 0.05 level. The same as table 5 and table 6.

表 3 巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系对常见农药的交互抗性
Table 3 Cross-resistance of the fenpropathrin-resistance *Neoseiulus barkeri* to common pesticides

农药 Pesticides	巴氏新小绥螨敏感品系 Fenpropathrin-susceptible strains		巴氏新小绥螨抗性品系 Fenpropathrin-resistance strain		抗性系数 Resistance ratio (RR)
	回归方程 Regression equation	LC ₅₀ (95%置信区间) (95%C.L.)(mg/L)	回归方程 Regression equation	LC ₅₀ (95%置信区间) (95%C.L.)(mg/L)	
喹啉酮 Quinolinone	$y=0.57+0.90x$	83 772.90 (55 662.23-156 778.60)	$y=0.10+1.04x$	53 687.76 (38 263.87-83 611.79)	0.61
多菌灵 Carbendazim	$y=0.01+1.28x$	7 684.82 (5 529.83-12 248.10)	$y=-0.90+1.54x$	6 898.73 (5 663.28-8 743.35)	0.90
丁硫克百威 Carbosulfan	$y=-0.49+1.85x$	924.24 (736.19-1 255.55)	$y=0.74+1.43x$	967.41 (759.17-1 324.07)	1.05
哒螨灵 Pyridaben	$y=2.21+1.40x$	97.78 (78.42-127.88)	$y=2.21+1.38x$	106.18 (79.98-139.70)	1.09
三唑锡 Azocyclotin	$y=2.13+0.77x$	5 066.33 (3 394.45-8 458.29)	$y=0.90+1.09x$	5 736.48 (4 051.85-9 463.85)	1.13
烯啶虫胺 Nitenpyram	$y=2.95+0.66x$	1 205.96 (715.15-2 512.55)	$y=1.57+1.08x$	1 464.60 (1 029.14-2 440.33)	1.22
双甲脒 Amitraz	$y=1.71+1.27x$	392.22 (295.75-566.15)	$y=0.02+1.85x$	500.70 (425.33-589.49)	1.28
单甲脒 Semiamitraz	$y=0.73+1.67x$	361.20 (289.10-486.06)	$y=0.38+1.71x$	496.00 (410.73-588.88)	1.37
炔螨特 Propargite	$y=1.93+0.89x$	2 881.52 (1 986.90-4 661.49)	$y=0.41+1.26x$	4 334.44 (3 286.81-6 281.21)	1.50
阿维菌素 Avermectins	$y=3.43+0.92x$	50.03 (33.68-87.62)	$y=1.86+1.53x$	111.57 (85.38-159.91)	2.23
噻螨酮 Hexythiazox	$y=2.98+0.81x$	316.10 (206.27-570.39)	$y=-0.21+1.81x$	757.33 (640.15-919.87)	2.40*
百草枯 Paraquat	$y=1.07+1.10x$	3 788.74 (2 546.00-6 871.79)	$y=0.03+1.23x$	11 116.97 (8 566.57-15 456.87)	2.93*
唑螨酯 Fenpyroximate	$y=2.14+2.06x$	24.72 (21.14-29.65)	$y=0.06+2.62x$	76.22 (66.65-89.08)	3.08*
咪鲜胺 Prochloraz	$y=-2.22+1.53x$	4 763.41 (3 956.74-6 042.82)	$y=-0.01+1.20x$	15 280.16 (10 666.81-25 750.14)	3.21*
丁氟螨酯 Cyflumetofen	$y=2.12+0.75x$	6 695.63 (4 096.39-13 599.89)	$y=1.17+0.88x$	21 925.97 (14 418.61-39 007.47)	3.28*
螺螨酯 Spirodiclofen	$y=2.29+0.77x$	3 300.02 (2 184.43-5 614.72)	$y=1.08+0.89x$	25 234.93 (9 411.67-3 404.82)	7.65*
噻虫嗪 Thiamethoxam	$y=2.28+0.99x$	569.75 (401.85-917.73)	$y=1.27+0.99x$	5 878.60 (4 056.47-9 648.73)	10.32*
乙螨唑 Etoxazole	$y=2.92+0.77x$	474.97 (318.23-792.97)	$y=1.22+1.01x$	5 438.40 (3 912.10-8 337.33)	11.45*
毒死蜱 Chlorpyrifos	$y=3.14+1.30x$	26.72 (21.46-33.52)	$y=1.58+1.26x$	510.63 (413.71-647.32)	19.10*
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	$y=2.22+1.53x$	65.06 (53.76-81.27)	$y=2.26+0.79x$	2 985.49 (1 856.88-5 712.01)	45.89*

*表示差异显著, 两次测定的 LC₅₀ 值 95%置信度不重叠时视为差异显著。

* indicates significant difference, the difference is significant when the 95% confidence of the LC₅₀ values measured twice not overlaped.

表 4 甲氰菊酯抗性获得对巴氏新小绥螨各发育历期的影响
Table 4 Effects of fenpropathrin resistance obtaining on developmental durations of *Neoseiulus barkeri*

	卵期 Egg period (d)	幼螨期 Larve period (d)	前若螨期 Protonymph period (d)	后若螨期 Deutonymph period (d)	产卵前期 Pre-ovipositi on period (d)	产卵期 Oviposition period (d)	世代 Generation (d)
抗性品系 Fenpropathrin-resistance strain	2.27±0.46*	0.93±0.26	2.07±0.26*	3.87±0.35*	6.33±0.49*	20.87±0.74	14.93±0.70
敏感品系 Fenpropathrin-susceptible strain	1.47±0.44	0.73±0.37	2.47±0.51	3.47±0.44	5.80±0.41	18.93±0.88	13.93±0.88

表中数字为平均值±标准误, *表示同一发育阶段抗性品系和敏感品系在 0.05 水平差异显著 (t-检测)。表 6 同。
Data are mean±SE, and * indicates significant difference between resistant strain and susceptible strain at 0.05 level by t-test. The same as Fig. 6.

表 5 甲氰菊酯抗性获得对巴氏新小绥螨卵孵化率及每头总捕食量的影响
Table 5 Effects of resistance obtaining on egg hatching rate and preys predatory of *Neoseiulus barkeri*

	孵化率 Egg hatching rate (%)	每头总捕食量 Total predation per mite
抗性品系 Fenpropathrin-resistance strain	94.44±0.35a	41.36±0.48a
敏感品系 Fenpropathrin-susceptible strain	96.67±1.06a	40.27±0.34a

2.5 不同药剂对巴氏新小绥螨抗性品系和敏感品系卵孵化率的影响

通过比较不同药剂对巴氏新小绥螨抗性品系和敏感品系孵化率的影响发现,多数药剂对巴氏新小绥螨抗性品系和敏感品系的孵化率影响不显著 ($P>0.05$)。但是经哒螨灵处理后,抗性品系卵孵化率较敏感品系显著增高 ($P<0.05$);丁氟螨酯、高效氯氟氰菊酯处理后,抗性品系卵孵化率较敏感品系显著降低 ($P<0.05$)。不同药剂作用于巴氏新小绥螨敏感品系后,相比对照孵化率均出现显著降低 ($P<0.05$),其中用哒螨灵处理后孵化率最低,用烯啶虫胺处理后孵化率最高;不同药剂作用于巴氏新小绥螨抗性品系后,孵化率也均出现显著降低 ($P<0.05$),其中用单甲脒处理后孵化率最低,用烯啶虫胺处理后孵化率最高 (表 6)。

3 讨论

捕食螨对许多害螨均具有理想的控制效果,但是化学药剂的施用往往会对捕食螨的防治效果造成一定的影响。在捕食螨的研究中发现,果园常用农药中菊酯类农药对植绥螨具有较大毒

力,施用后会导致植绥螨数量急剧降低 (Croft and Whalon, 1982)。甲氰菊酯和阿维菌素对巴氏新小绥螨有较强的毒力,橘园释放巴氏新小绥螨时,不推荐使用 (肖顺根等, 2010)。9 种常用杀螨剂对巴氏新小绥螨和二斑叶螨的毒力及毒力选择性研究表明三唑锡、甲氰菊酯、噻螨酮对巴氏新小绥螨具有负向选择性 (刘平等, 2014)。本研究用果园常用的 18 种农药对巴氏新小绥螨进行生物测定,结果表明 18 种常用药剂对巴氏新小绥螨均有不同程度的致死效果,其中用高效氯氟氰菊酯和毒死蜱处理巴氏新小绥螨 48 h 后校正死亡率高达 97.62%和 92.57%,毒性显著高于其他药剂 ($P<0.05$),而三唑锡、矿物油和烯啶虫胺的毒性较低,对巴氏新小绥螨种群数量影响较小。由此推断,在果园释放巴氏新小绥螨进行防治时,应尽量避免使用高效氯氟氰菊酯和毒死蜱等广谱性杀虫剂,减少对巴氏新小绥螨的毒害,从而提高“以螨治螨”应用效果。高效氯氰菊酯属于菊酯类农药,对巴氏新小绥螨毒性较大,这与上述研究结果一致;阿维菌素、三唑锡和噻螨酮对巴氏新小绥螨的影响不大,与肖顺根等 (2010) 及刘平等 (2014) 的研究结果有所差异,猜测是捕食螨种类和生测方法的差异所

表 6 不同药剂对巴氏新小绥螨抗性品系和敏感品系卵孵化率的影响
Table 6 Effects of resistance obtaining on egg hatching with different pesticides of *Neoseiulus barkeri*

农药 Pesticides	浓度 (mg/L) Concentration	敏感品系孵化率 (%) Hatching rate of sensitive strain	抗性品系孵化率 (%) Hatching rate of resistant strain
哒螨灵 Pyridaben	100.00	46.67±0.61m	80.00±1.61d*
双甲脒 Amitraz	200.00	57.78±1.41l	58.89±1.53h
单甲脒 Semiamitraz	312.50	60.00±1.05k	55.56±1.53i
乙螨唑 Etoxazole	25.00	68.89±0.70j	65.56±2.14g
毒死蜱 Chlorpyrifos	480.00	72.22±0.93i	72.22±1.27f
阿维菌素 Avermectins	7.20	77.78±0.70h	75.56±1.53e
甲氰菊酯 Fenpropathrin	100.00	77.78±0.70h	81.11±0.70d
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	25.00	84.44±0.35g	65.55±1.27g*
三唑锡 Azocyclotin	133.33	88.89±0.61f	87.78±0.93bc
炔螨特 Propargite	285.00	88.89±1.27f	80.00±1.61d
丁硫克百威 Carbosulfan	200.00	90.00±0.61ef	86.67±0.61bc
唑螨酯 Fenpyroximate	13.33	91.11±0.93de	86.67±1.61bc
丁氟螨酯 Cyflumetofen	100.00	91.11±1.22de	73.33±1.05f*
噻螨酮 Hexythiazox	33.33	92.22±0.70cd	85.55±1.27c
螺螨酯 Spirodiclofen	48.00	93.33±0.61bc	86.66±1.05bc
烯啶虫胺 Nitenpyram	25.00	94.44±0.35b	88.89±0.93b
对照 Control	0.00	96.67±1.05a	94.44±0.35a

致，具体原因还有待进一步探究。

选育抗药性捕食螨是协调化学农药施用和捕食螨释放之间矛盾的重要途径。由于诸多不可控因素的影响，在田间很难获得抗药性捕食螨。因此，在实验室内筛选获得抗性品系，然后释放于田间，能有效地协调化学防治和生物防治之间的矛盾，达到理想的防治效果（汝阳，2016）。Hoy 等（1981）在温室内用二氯苯醚菊酯（Permethrin）处理伪钝绥螨 *A. fallacies* 得到一个 64 倍的抗性种群；熊锦君等（1988）利用亚胺硫磷（Phosemet）在室内对尼氏钝绥螨 *Amblyseius nicholsi* 筛选 33 次后，其抗性较敏感品系提高了 18.9 倍；柯励生和杨琰云（1990）利用乐果（Dimethoate）对拟长毛钝绥螨 *A. pseudolongispinosus* 筛选 19 次后，其抗性较原来提高了 10.02 倍。本实验室应用甲氰菊酯多年持续筛选，获得了抗性倍数为 619.96 倍的巴氏新小绥螨新品系，有很好的应用前景（Lin *et al.*，2016）。

昆虫（螨类）对一种药剂产生抗性，往往会对其它药剂产生交互抗性。研究发现，柑橘全爪螨甲氰菊酯抗性品系对三氯氟氰菊酯（Cyhalothrin）、三氯杀螨醇（Dicofol）、三唑锡和哒螨灵有显著交互抗性，对氟虫脲（Flufenoxuron）有显著负交互抗性（孟和生等，2000；何恒果等，2015）；李始叶螨甲氰菊酯抗性品系对三氯氟氰菊酯、联苯菊酯和氧化乐果（Dimethoate）有交互抗性，与阿维菌素有负交互抗性（沈慧敏等，2001）；二斑叶螨甲氰菊酯抗性品系对三氯氟氰菊酯、苦皮藤生物碱（*Celastrus angulatus*）、氯氰菊酯（Cypermethrin）、三唑锡和四螨嗪（Clofentezine）有明显交互抗性，而对炔螨特（Propargite）、哒螨·四螨嗪、阿维菌素、哒螨灵、噻螨酮、毒死蜱无交互抗性（高新菊等，2010）。害螨交互抗性产生，会使得其对一种药剂产生抗性的同时又对其他一种或多种药剂也产生抗性，对其防控是不利的，而对于捕食螨，交互抗性产生有利于协调化学防治和生物防治之间的矛盾，有助于提高

捕食螨的应用效果。本研究中,巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系对高效氯氟氰菊酯、毒死蜱、乙螨唑、噻虫嗪和螺螨酯存在交互抗性,可在释放巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系的果园中交替使用或者有选择性的混合使用,一方面对巴氏新小绥螨危害较轻,另一方面还能减少害螨抗药性的产生,从而达到更好的防治效果。巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系对啶啉酮、多菌灵、唑螨酯、噻螨酮、丁氟螨酯、咪鲜胺、百草枯、炔螨特、阿维菌素、三唑锡、烯啶虫胺、丁硫克百威、哒螨灵、双甲脒和单甲脒均不存在交互抗性,故在释放有巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系的果园中应减少使用。此研究结果为抗药性巴氏新小绥螨田间释放后使用化学药剂提供了科学依据,使得化学防治和生物防治能有效结合,进而达到更好的防治效果。

弄清抗药性捕食螨的生物学特性,对捕食螨田间应用和高效繁育至关重要。研究发现,在获得杀扑磷(Methidathion)抗性后,奥氏钝绥螨的各发育历期、产卵期、产卵高峰期,每雌日产卵量与总产卵量,卵孵化率及雌雄成螨性比等,在杀扑磷抗性品系与敏感品系之间无明显差异(刘雨芳和 Tadashi, 2007)。本实验中,对抗性品系和敏感品系的生命历期进行了详细对比,发现巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系前若螨期显著短于敏感品系($P<0.05$),幼螨期、产卵期和整个世代较敏感品系无明显差异($P>0.05$),其卵期、后若螨期以及产卵前期较敏感品系均显著延长($P<0.05$)。整体而言,甲氰菊酯抗性的获得,并没有显著影响其生长发育,没有对巴氏新小绥螨产生不利影响。随后本实验又对孵化率和每头总捕食量进行研究,发现抗性品系和敏感品系的孵化率和每头总捕食量都不存在显著性差异($P>0.05$),表明甲氰菊酯抗性的获得并没有影响巴氏新小绥螨的繁殖能力和捕食能力。对以上多种生物学特性的研究可以得出初步结论:巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系完全具有投入田间应用的潜力和价值。

本实验就不同药剂对巴氏新小绥螨抗性品系和敏感品系卵孵化率的影响做了进一步研究。发现不同药剂作用于巴氏新小绥螨敏感品系后,

相比对照孵化率均出现显著降低($P<0.05$),其中用哒螨灵处理后孵化率最低,用烯啶虫胺处理后孵化率最高;不同药剂作用于巴氏新小绥螨抗性品系后,孵化率也均出现显著降低($P<0.05$),其中用单甲脒处理后孵化率最低,用烯啶虫胺处理后孵化率最高。在田间施药时要注意尽量避免使用哒螨灵和单甲脒等对巴氏新小绥螨卵孵化率影响较大的药剂,减少对巴氏新小绥螨的种群影响。通过对比同一种药剂对巴氏新小绥螨抗性品系和敏感品系的孵化率的影响,可以发现多数药剂对其影响不显著($P>0.05$)。但经哒螨灵处理后,抗性品系卵孵化率较敏感品系显著增高($P<0.05$);丁氟螨酯、高效氯氟氰菊酯处理后,抗性品系卵孵化率较敏感品系显著降低($P<0.05$)。虽然哒螨灵处理抗性品系会使其孵化率显著增高,但考虑到哒螨灵处理敏感品系后孵化率最低,在田间施用时应谨慎考虑田间捕食螨的抗性水平。

本研究前面交互抗性部分发现巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系对高效氯氟氰菊酯存在交互抗性,有利于二者在田间同时使用,但后续实验又发现高效氯氟氰菊酯也会造成抗性品系卵的孵化率降低,虽然不影响成螨数量,但是对孵化率的影响还是会对巴氏新小绥螨种群数量造成影响,这与田间共同使用自相矛盾,故不可共同使用。本实验从多个方面出发进行研究,为巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系投入田间应用提供了科学的理论依据。

参考文献 (References)

- Abbott SW, 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2): 265–267.
- Bonde J, 1989. Biological studies including population growth parameters of the predatory mite *Amblyseius barkeri* at 25 °C in the laboratory. *Entomophaga*, 34(2): 275–287.
- Brødsgaard HF, Hansen SL, 1993. Effect of *Amblyseius cucumeris* and *Amblyseius barkeri* as biological control agents of thrips tabaci on glasshouse cucumbers. *Biocontrol Science & Technology*, 2(3): 215–223.
- Croft BA, Brown AWA, 1975. Responses of arthropod natural enemies to insecticides. *Annual Review of Entomology*, 20: 285–335.
- Croft BA, Whalon ME, 1982. Selective toxicity of pyrethroid insecticides to arthropod natural enemies and pests of agricultural crops. *Entomophaga*, 27(1): 3–21.

- Feng YT, Guo XJ, Yu Q, Zhang RX, Zhang M, Shi GC, Fan RJ, 2018. Selection of *Amphitetranychus viennensis* for resistance to spirodiclofen and cross-resistance to seven other acaricides. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 55(3): 497–502. [封云涛, 郭晓君, 庾琴, 张润祥, 张苗, 史高川, 范仁俊, 2018. 山楂叶螨对螺螨酯的抗药性及对七种杀螨剂的交互抗性. 应用昆虫学报, 55(3): 497–502.]
- Gao XJ, Xie Q, Yang SY, Zhang ZG, Wang WR, Shen HM, 2010. Resistance and cross resistance of *Tetranychus urticae* against fenpropathrin population to 12 insecticides. *Journal of Gansu Agricul University*, 45(2): 119–125. [高新菊, 谢谦, 杨顺义, 张志刚, 王文如, 沈慧敏, 2010. 抗甲氧菊酯二斑叶螨种群对 12 种杀螨剂的抗药性及交互抗性. 甘肃农业大学学报, 45(2): 119–125.]
- Gerson U, Weintraub PG, 2007. Mites for the control of pests in protected cultivation. *Pest Management Science*, 63(7): 658–676.
- Ghazy NA, Suzuki T, Shah M, Amano H, Ohyama K, 2012. Effect of long-term cold storage of the predatory mite *Neoseiulus californicus* at high relative humidity on post-storage biological traits. *BioControl*, 57(5): 635–641.
- He HG, Wang JJ, 2015. Resistance selection and cross-resistance of *Panonychus citri* to fenpropathrin and abamectin. *Plant Protection*, 41(6): 195–198. [何恒果, 王进军, 2015. 柑橘全爪螨对甲氧菊酯和阿维菌素的抗性选育及交互抗性. 植物保护, 41(6): 195–198.]
- Hoy MA, Knop NF, Joos JL, 1981. Pyrethroid resistance persists in spider mite predator. *California Agriculture*, 34(11): 11–12.
- James DJ, 2002. Selectivity of the acaricide, bifenazate, and aphicide, pymetrozine, to spider mite predators in Washington hops. *International Journal of Acarology*, 8(3): 175–179.
- Ke LS, Yang YY, 1990. Screening and genetic analysis of the resistant dimethoate of *Amblyseius pseudolongispinosus*. *Journal of Entomology*, 33(4): 393–397. [柯励生, 杨琰云, 1990. 拟长毛钝绥螨抗乐果品系的筛选及遗传分析. 昆虫学报, 33(4): 393–397.]
- Lin C, Chen F, Yu S, Ding L, Yang J, Luo R, Tian H, Li H, Liu H, Ran C, 2016. Transcriptome and difference analysis of fenpropathrin resistant predatory mite, *Neoseiulus barkeri* (Hughes). *International Journal of Molecular Sciences*, 17(6): 704.
- Liu P, Shang SQ, Zhang XH, 2014. Virulence and selective toxicity of 9 kinds of acaricides to *Neoseiulus barkeri* (Hughes) and *Tetranychus urticae* Koch. *Plant Protection*, 40(5): 181–184, 202. [刘平, 尚素琴, 张新虎, 2014. 9 种常用杀螨剂对巴氏新小绥螨和二斑叶螨的毒力及毒力选择性研究. 植物保护, 40(5): 181–184, 202.]
- Liu YF, Tadashi M, 2007. Effects of acquisition of methamidophos resistance on development duration and reproductive capacity of *Acaris ordosei*. *Journal of Entomology*, 50(11): 1181–1184. [刘雨芳, Tadashi M, 2007. 杀扑磷抗性获得对奥氏钝绥螨发育历期与繁殖能力的影响. 昆虫学报, 50(11): 1181–1184.]
- Meng HS, Wang KY, Jiang XY, Yi MQ, 2000. Resistance selection and cross-resistance of *Panonychus citri* to fenpropathrin. *Plant Protection*, 26(6): 7–9. [孟和生, 王开运, 姜兴印, 仪美琴, 2000. 桔全爪螨对甲氧菊酯的抗性选育及交互抗性的研究. 植物保护, 26(6): 7–9.]
- Mrio ES, Tadashi M, Akira K, Octavio N, 2001. Methidathion resistance mechanisms in *Amblyseius womersleyi* Schicha (Acarina: Phytoseiidae). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 69(1): 1–12.
- Petrushov AZ, 1992. Pyrethroid resistance in the predacious mite *Amblyseius barkeri*. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*, 22(3): 471–473.
- Roush RT, Hoy MA, 1981. Laboratory, glasshouse, and field studies of artificially selected carbaryl resistance in *Metaseiulus occidentalis*. *Journal of Economic Entomology*, 74(2): 142–147.
- Ru Y, 2016. Study on sublethal effects of abamectin and pyridaben to *Neoseiulus barkeri* (Hughes). Master dissertation. Gansu: Gansu Agricultural University. [汝阳, 2016. 阿维菌素和哒螨灵对巴氏新小绥螨的亚致死效应研究. 硕士学位论文. 甘肃: 甘肃农业大学.]
- Shang SQ, Chen YN, 2017. The experimental population life table and functional response of the predatory mite *Neoseiulus barkeri* (Hughes) to potato rot nematode *Ditylenchus destructor* (Thorne). *Journal of Plant Protection*, 44(4): 589–594. [尚素琴, 陈耀年, 2017. 巴氏新小绥螨在马铃薯腐烂茎线虫上的实验种群生命表及其捕食作用. 植物保护学报, 44(4): 589–594.]
- Shen HM, Zhang XH, Chen L, 2001. Resistance selection and cross-resistance of *Eotetranychus pruni* to fenpropathrin and Pyridaben. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 26(1): 5–8. [沈慧敏, 张新虎, 陈琳, 2001. 李始叶螨对甲氧菊酯和速螨酮的抗性选育及交互抗性研究. 甘肃林业科技, 26(1): 5–8.]
- Song SX, Liu GH, Xin TR, Zou ZW, Xia B, 2012. Predation efficiency of *Neoseiulus barkeri* to *Tetranychus cinnabarinus*. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 36(5): 486–489. [宋树贤, 刘光华, 辛天蓉, 邹志文, 夏斌, 2012. 巴氏新小绥螨对朱砂叶螨的捕食效能. 南昌大学学报(理科版), 36(5): 486–489.]
- Van Leeuwen T, Vontas J, Tsagkarakou A, Dermauw W, Tirry L, 2010. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: A review. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 40(8): 563–572.
- Xiao SG, Yu LP, Shu C, Zhong L, Li AH, Xia B, 2010. Selective toxicity of commonly used acaricides in orange orchards to *Amblyseius barkeri* and *Panonychus citri*. *Plant Protection*, 36(3): 155–157. [肖顺根, 余丽萍, 舒畅, 钟玲, 李爱华, 夏斌, 2010. 橘园常用杀螨剂对巴氏新小绥螨和柑橘全爪螨的选择毒性. 植物保护, 36(3): 155–157.]
- Xiong JJ, Du TY, Huang MD, Deng ZH, 1988. Preliminary report on the application of phosemet resistant strain of *Amblyseius nicholsi* in citrus garden. *Journal of Environmental Entomology*, 10(1): 9–14. [熊锦君, 杜桐源, 黄明度, 邓振华, 1988. 尼氏钝绥螨抗亚胺硫磷品系在柑园应用试验初报. 环境昆虫学报, 10(1): 9–14.]
- Zhou WQ, Xu CL, Xu XN, Zhan BX, Qin HG, Wang ED, Li DS, Xie H, 2012. The predatory mite *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae), a new biocontrol approach for plant-parasitic nematode, and associated development and reproduction. *Chinese Journal of Biological Control*, 28(4): 484–489. [周万琴, 徐春玲, 徐学农, 张宝鑫, 秦厚国, 王恩东, 李敦松, 谢辉, 2012. 巴氏新小绥螨的新特性——捕食植物线虫及其发育繁殖. 中国生物防治学报, 28(4): 484–489.]