

巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗药性品系对常见药剂的交互抗性及其种群参数分析

张倩², 成立新², 温彩霞³, 常静^{1*}, 孟瑞霞¹,
李海平¹, 王振¹, 戴桂香⁴

(1. 内蒙古农业大学园艺与植物保护学院, 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古自治区农牧业科学院, 呼和浩特 010031; 3. 内蒙古乌兰察布市四子王旗动物卫生检疫检验中心, 乌兰察布 011800; 4. 内蒙古乌兰察布市草原工作站, 乌兰察布 012001)

摘要 为了明确巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 溴氰菊酯抗性品系对常用杀虫(螨)剂的交互抗性水平及生物适合度, 为巴氏新小绥螨抗药性品系田间应用提供科学依据。本文应用玻片浸渍法测定了巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系对 12 种杀虫(螨)剂的交互抗性, 采用种群生命表评价了其生长发育及繁殖情况。结果显示, 相对于巴氏新小绥螨敏感品系, 溴氰菊酯抗性品系(226.38 倍)对供试的其他 6 种拟除虫菊酯类药剂均存在交互抗性, 尤其对氯氟氰菊酯的交互抗性倍数最高, 达到 2 210.91 倍。对噻虫嗪、毒死蜱和乙螨唑的交互抗性分别是 116.46、110.71 倍和 20.43 倍, 对丁硫克百威、阿维菌素和哒螨灵无交互抗性。对其生物适合度研究发现, 溴氰菊酯抗性品系相较于敏感品系, 前若螨期和产卵前期显著缩短, 产卵期和单雌总产卵量显著增加。上述结果表明, 巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系对 10 种常用杀虫(螨)药剂产生了不同水平的交互抗性, 且其繁殖率显著增加, 推荐在田间推广应用。

关键词 巴氏新小绥螨; 溴氰菊酯; 抗药性品系; 交互抗性; 生长发育

中图分类号: S476.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2021495

Cross-resistance to commonly used pesticides and analysis of population parameters in a deltamethrin-resistant strain of *Neoseiulus barkeri*

ZHANG Qian², CHENG Lixin², WEN Caixia³, CHANG Jing^{1*}, MENG Ruixia¹,
LI Haiping¹, WANG Zhen¹, DAI Guixiang⁴

(1. College of Horticulture and Plant Protection, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China;
2. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China;
3. Siziwang Banner Center for Animal Health Quarantine and Inspection of Wulanchabu City, Inner Mongolia, Wulanchabu 011800, China; 4. Grassland Working Station, Wulanchabu City, Wulanchabu 012001, China)

Abstract This study aims to clarify the cross-resistance level of a deltamethrin-resistant strain of the *Neoseiulus barkeri* to commonly used pesticides and its fitness, and provide scientific basis for the field application of the strain in biological pest control. The cross-resistance of the deltamethrin-resistant strain to 12 commonly used pesticides was measured by slide-dip method, and the growth and development parameters and the fecundity were determined by the life-table analysis. The results showed that the deltamethrin-resistant strain (226.38 fold) of *N. barkeri* had cross-resistance to all the other six tested pyrethroids, especially the level of cross-resistance to cyhalothrin is the highest which reached 2 210.91 fold. The strain also showed cross-resistance to thiamethoxam, chlorpyrifos and etoxazole, which was 116.46, 110.71 fold and 20.43 fold, respectively, compared to the sensitive strain. There was no cross-resistance to carbosulfan, abamectin and pyridaben. The results of its biological fitness test reveal that the protonymph stage, pre-oviposition stage were significantly shortened, but the oviposition period and the total eggs laid by single female increased in the resistant strain. These results indicated

收稿日期: 2021-09-07

修订日期: 2021-10-22

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金(2019MS03068); 内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY18060); 内蒙古自治区科技计划(2020GG0040)

* 通信作者 E-mail: changjing10220@sina.com.cn

that the deltamethrin-resistant strain of *N. barkeri* showed different levels of cross-resistance to nine of commonly used pesticides and their fecundity significantly increased, therefore, it could be more widely used as a biological control agent.

Key words *Neoseiulus barkeri*; deltamethrin; resistant strain; cross-resistance; growth and development

巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 属植绥螨科 Phytoseiidae 新小绥螨属 *Neoseiulus*, 主要分布在温带地区, 在澳大利亚、欧洲、以色列等国家和地区被广泛用于防治蓟马和叶螨^[1]。该螨对马铃薯腐烂茎线虫 *Ditylenchus destructor*^[2]、水稻干尖线虫 *Aphelenchoides besseyi*^[3]、西花蓟马 *Frankliniella occidentalis*^[4]、柑橘全爪螨 *Panonychus citri*^[5] 和朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus*^[6] 等有较好的防治效果。因其扩散能力强、死亡率低、发育历期短、易于饲养和大量繁殖等优点, 被认为是最有效的生物防治天敌之一^[7]。

目前, 对害虫(螨)的防治仍然以化学防治为主, 但长期大量施用化学药剂引发害虫(螨)抗药性的同时, 还导致其天敌大量死亡, 致使害虫(螨)再猖獗^[8]。研发具有抗药性的天敌是解决这一矛盾的有效方法。目前对抗药性捕食螨的筛选和应用的实例很多。Roush 等^[9]筛选了西方盲走螨 *Metaseiulus occidentalis* 甲萘威抗性品系, 结果发现该螨可以在甲萘威胁迫和寒冷条件下存活, 并可成功控制害螨种群数量。Mochizuki^[10]将抗拟除虫菊酯的奥氏钝绥螨 *Amblyseius womersleyi* 种群与化学药剂结合, 成功防治了茶树上的神泽氏叶螨 *Tetranychus kanzarwai*。很多昆虫(螨)对一种杀虫(螨)剂产生抗性后, 对其他杀虫(螨)剂也会产生相应的抗性, 即产生交互抗性, 抗药性天敌也不例外。可充分利用这样的抗药性天敌品系, 将其与化学防治有效结合^[11]。Sato 等^[12]的研究发现, 在田间施用有机磷杀虫剂的环境下, 奥氏钝绥螨杀扑磷抗性品系可以存活并很好地控制神泽氏叶螨的种群数量。Zhao 等^[13]的研究证明, 田间采集的长刺钝绥螨 *Amblyseius longispinosus* 对甲氰菊酯、毒死蜱和阿维菌素均产生了不同程度的抗药性, 建议可以在田间联合杀虫剂共同防治蔬菜害虫。Salman 等^[14]对筛选获得的智利小植绥螨 *Phytoseiulus persimilis* 乙螨唑抗性品系进行了交互抗性研究, 发现该捕食螨对溴氰菊酯、多杀霉素、啉虫脒和茚虫威等 8 种药剂均产生了交互抗性, 尤其对溴氰菊酯的交互抗性最强, 在田间可以利用这些药剂和智利小植绥螨协同防治害虫(螨)。

本文测定了室内筛选的巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系对 13 种杀虫(螨)剂的交互抗性, 并比较了该抗性品系与敏感品系的生长发育相关参数和繁殖力, 目的是分析巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系在田间应用的可行性, 为田间科学应用该捕食螨防治害虫(螨)提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试螨

巴氏新小绥螨敏感品系(SS): 在内蒙古农业大学园艺与植物保护学院有害昆虫生物防治实验室长期应用椭圆食粉螨 *Aleuroglyphus ovatus* 饲养繁殖, 饲养期间不接触任何杀虫杀螨剂。

巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系(RR): 室内饲养的巴氏新小绥螨敏感种群通过溴氰菊酯连续选育 30 代获得的对溴氰菊酯具有 226.38 倍抗性的种群。

1.2 供试药剂

99% 溴氰菊酯、96% 高效氯氰菊酯、94% 氯氰菊酯、95% 联苯菊酯、96% 氯氟氰菊酯、95% 高效氯氟氰菊酯、95% 醚菊酯, 江苏扬农化工有限公司生产; 95% 噻虫嗪、85% 毒死蜱、97% 阿维菌素、90% 丁硫克百威, 天津艾格福农药科技有限公司生产; 以上药剂均为原药。20% 乙螨唑悬浮剂(SC), 河南省焦作华生化工有限公司生产; 15% 哒螨灵乳油(EC), 南京华洲药业有限公司生产。

1.3 巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系交互抗性测定方法

采用 FAO 推荐的玻片浸渍法^[15]测定常用药剂对巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系和敏感品系的毒力。将各原药用丙酮制成 5 000 mg/L 的母液待用。试验时, 根据预试验结果, 用清水分别将母液稀释成 5~6 个浓度梯度, 并以清水做对照。把宽为 1 cm 的双面胶带剪 2 cm 长贴在载玻片上, 选择大小一致的雌成螨, 用细毛笔将其背面粘在双面胶上, 确保其足及口器可自由活动, 并保证无机械损伤, 每玻片粘 30 头。将带虫玻片浸入不同浓度药液中 5 s, 每处理 30 头螨, 3 个重复。玻片取出后用滤纸吸干多余液滴, 放于玻片架上, 置于温度(25±1)℃, 光周期 L//D=16 h

//8 h,相对湿度(80±5)%的人工智能光照培养箱中,24 h后解剖镜下用毛笔或针刺检查死亡情况。

1.4 巴氏新小绶螨生物学参数测定

参照 Lee 等^[16] 的试验方法。在培养皿($d=12$ cm)中放入圆形海绵($d=10$ cm),海绵边不与培养皿接触,在海绵上铺小于海绵的圆形黑色塑料纸,培养皿中加入适量水,以防止螨逃逸。分别挑取巴氏新小绶螨溴氰菊酯抗性和敏感品系怀卵雌成螨各 200 头置于不同培养皿中待其产卵,取 6 h 后所产卵进行试验。

另准备培养皿($d=12$ cm),内放圆形海绵($d=4$ cm)4 个,圆形海绵上铺小于海绵的滤纸和黑色塑料纸,用毛笔将卵挑到黑色塑料纸上进行单头饲养。培养皿放入温度为(25±1)℃,光周期 L//D=16 h//8 h,相对湿度(80±5)%的人工智能光照培养箱中。抗性和敏感品系各设 40 个重复。每 12 h 在解剖镜下观察其发育情况,观察到新的蜕皮壳即确认进入新的螨态。从幼螨开始饲喂猎物(猎物为二斑叶螨 *Tetranychus urticae*),幼螨期每头巴氏新小绶螨饲喂 10 头二斑叶螨,若螨期多于 10 头,成螨多于

15 头。每次观察时往培养皿中加水。发育至成螨后,将雌雄螨配对。若雄螨死亡,应立即补充一头雄螨。记录发育历期、捕食螨的存活及产卵情况。

1.5 数据分析

数据处理均在 Excel 2016 中计算。采用 SPSS 21.0 软件对敏感和抗性品系相关参数的差异显著性进行 t 测验,显著水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 巴氏新小绶螨溴氰菊酯抗性品系对常见杀虫剂的交互抗性

表 1 显示,巴氏新小绶螨溴氰菊酯抗性品系(226.38 倍)对除溴氰菊酯以外的 6 种拟除虫菊酯杀虫剂均产生了不同程度的交互抗性,其中对氯氟氰菊酯的抗性水平最高,为 2 210.91 倍。对其他供试杀虫剂的交互抗性由高到低依次是联苯菊酯>噻虫嗪>毒死蜱>高效氯氟氰菊酯>醚菊酯>高效氯氟氰菊酯>氯氰菊酯>乙螨唑。对丁硫克百威、阿维菌素和哒螨灵无交互抗性。

表 1 巴氏新小绶螨溴氰菊酯抗性品系对不同药剂的交互抗性谱
Table 1 The cross-resistance of deltamethrin-resistant strain to other different insecticides

杀虫剂 Pesticide	品系 Strain	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95%置信限)/mg·L ⁻¹ LC ₅₀ (95% confidence limit)	卡方值(自由度) χ^2 (df)	抗性倍数(RI) Resistance index
溴氰菊酯 deltamethrin	SS	1.50±0.20	0.32 (0.26~0.39)	2.01 (3)	—
	RR	2.07±0.27	72.44 (63.12~78.68)	1.89 (3)	226.38
高效氯氟氰菊酯 beta-cypermethrin	SS	2.61±0.43	1.94 (1.08~2.85)	1.78 (3)	—
	RR	1.87±0.37	89.84 (80.27~109.21)	0.57 (3)	30.56
氯氟氰菊酯 cypermethrin	SS	1.25±0.21	3.45 (2.79~4.38)	0.69 (3)	—
	RR	1.69±0.30	60.66 (49.22~76.81)	1.11 (3)	17.58
联苯菊酯 bifenthrin	SS	1.55±0.22	0.15 (0.05~0.21)	0.44 (3)	—
	RR	1.36±0.18	21.96 (21.00~23.15)	2.12 (3)	146.40
氯氟氰菊酯 cyhalothrin	SS	1.03±0.20	0.011 (0.008~0.016)	0.83 (3)	—
	RR	1.71±0.35	24.32 (14.97~35.11)	0.36 (3)	2 210.91
高效氯氟氰菊酯 lambda-cyhalothrin	S	2.10±0.31	5.91 (4.92~7.02)	0.14 (3)	—
	RR	2.73±0.33	542.67 (465.14~654.36)	0.91 (3)	91.82
醚菊酯 etofenprox	SS	1.62±0.32	0.28 (0.20~0.37)	0.64 (3)	—
	RR	2.74±0.18	22.58 (21.49~23.64)	0.55 (3)	80.64
噻虫嗪 thiamethoxam	SS	2.01±0.19	5.14 (4.19~6.11)	0.96 (3)	—
	RR	2.35±0.26	598.60 (478.12~702.94)	1.28 (3)	116.46
毒死蜱 chlorpyrifos	SS	1.19±0.20	0.24 (0.13~0.31)	0.52 (3)	—
	RR	2.23±0.15	26.57 (21.14~33.42)	0.33 (3)	110.71
阿维菌素 abamectin	SS	1.05±0.10	2.83 (1.27~3.58)	0.09 (3)	—
	RR	2.22±0.33	12.11 (10.62~13.56)	0.47 (3)	4.28
丁硫克百威 carbosulfan	SS	1.11±0.16	0.66 (0.50~0.74)	0.88 (3)	—
	RR	1.31±0.12	0.78 (0.54~0.89)	1.74 (3)	1.18
乙螨唑 etoxazole	SS	2.28±0.14	12.89 (11.10~13.05)	0.29 (3)	—
	RR	1.39±0.13	263.40 (240.11~281.34)	0.26 (3)	20.43
哒螨灵 pyridaben	SS	1.08±0.12	4.96 (4.62~6.25)	0.61 (3)	—
	RR	1.16±0.17	13.55 (11.56~14.88)	1.45 (3)	2.73

2.2 巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系和敏感品系的发育历期

巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系的卵期、幼螨

期、后若螨期和完成 1 个世代所需天数与敏感品系均无显著差异,但其产卵期显著长于敏感品系,而前若螨期和产卵前期显著短于敏感品系($P<0.05$)(表 2)。

表 2 巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性和敏感品系发育历期¹⁾

Table 2 Developmental duration of the deltamethrin-resistant and sensitive strains of *Neolseius barkeri*

品系 Strain	产卵期/d Oviposition period	卵期/d Egg stage	幼螨期/d Larva stage	前若螨期/d Protonymph stage	后若螨期/d Deutonymph stage	产卵前期/d Pre-oviposition stage	世代/d Generation
敏感品系 Sensitive strain	20.34±0.57	1.55±0.14	0.78±0.05	1.76±0.10*	1.56±0.12	3.38±0.14*	12.61±0.39
抗性品系 deltamethrin-resistant strain	23.62±1.36*	1.67±0.11	0.83±0.03	1.34±0.14	1.53±0.18	3.08±0.14	13.10±0.48

1) 表中数据为平均值±标准误。同列数据后 * 表示在 0.05 水平差异显著(*t* 测验)。表 3 同。
Data are mean ± SE. * indicated significant difference at 0.05 level by *t*-test in the same column. The same applies in table 3.

2.3 巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系的繁殖力

由表 3 可知,巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系

每雌总产卵量显著高于敏感品系($P<0.05$),但每雌日产卵量和孵化率两品系间无显著差异。

表 3 巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性和敏感品系的繁殖力

Table 3 The fecundity of the deltamethrin-resistant and sensitive strains of *Neolseius barkeri*

品系 Strain	每雌日产卵量/粒 Number of eggs laid by single female per day	每雌总产卵量/粒 Total eggs laid by single female	卵孵化率/% Egg hatching rate
敏感品系 Sensitive strain	1.54±0.06	31.09±3.11	95.47±1.88
抗性品系 deltamethrin-resistant strain	1.60±0.03	35.22±2.06*	94.66±3.78

3 讨论

害虫(螨)对杀虫剂产生抗药性非常不利于化学防治,抗药性天敌的应用将有利于协调化学防治和生物防治的关系,有益于害虫综合治理。本文测定了前期在实验室经过 30 代筛选获得的对溴氰菊酯具有 226.38 倍抗性的巴氏新小绥螨抗药性品系对 12 种药剂的交互抗性。结果显示,相较于敏感品系,抗性品系对 6 种拟除虫菊酯药剂均有不同程度的交互抗性,对噻虫嗪、毒死蜱和乙螨唑也产生了交互抗性。昆虫(螨)对一种药剂产生抗性后,有可能对同类或非同类的其他药剂产生抗性。Sato 等^[17]研究发现,奥氏钝绥螨杀扑磷抗性品系对乙酰甲胺磷(acephate)和马拉硫磷(malathion)等有机磷药剂都产生了交互抗性,但是对拟除虫菊酯药剂均未产生交互抗性。Sibel 等^[18]对室内筛选的加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* 螺甲螨酯(spiromesifen)抗性品系研究发现,其对炔螨特(propargite)、四螨嗪(clofentezine)和乙螨唑等杀螨剂也产生了交互抗性。但本研究发现,巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系不仅对拟除虫菊酯药剂产生了交互抗性,对氯化烟酰类药剂噻虫嗪、有机磷药剂毒死蜱、杀螨剂乙螨

唑也产生了交互抗性,只是对乙螨唑抗性水平较低,而对噻螨灵、丁硫克百威和阿维菌素均未产生抗性。侯栋元等^[7]的研究发现,巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系不仅对拟除虫菊酯类药剂高效氯氟氰菊酯产生了交互抗性,对噻虫嗪、毒死蜱、乙螨唑和螺螨酯均产生了交互抗性,这与本文研究结果相似。因为不同杀虫剂对昆虫(螨)作用靶标部位不同,昆虫(螨)对其解毒机制也不同,本文研究的巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗药性品系对多个不同种类的杀虫剂产生交互抗性,说明其抗药性机制比较复杂,有待进一步研究。

抗药性捕食螨的生长发育和繁殖的研究对其田间应用至关重要。刘雨芳等^[19]对奥氏钝绥螨杀扑磷抗性品系和敏感品系的发育历期、产卵期、产卵量、孵化率等进行了比较,发现两个品系间没有显著差异。侯栋元等^[7]比较了巴氏新小绥螨甲氰菊酯抗性品系和敏感品系的生物学特性,发现抗性品系的发育历期显著延长,捕食量和孵化率变化不显著,具有田间应用潜力。本文研究结果显示,巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗药性品系的前若螨期、产卵前期显著短于敏感品系,而产卵期显著长于敏感品系($P<$

0.05),每雌总产卵量也显著高于敏感品系($P < 0.05$),说明其适合度升高,初步判断该捕食螨具有投入田间应用的潜力和价值。多数昆虫对药剂产生抗药性后,其适合度都有所降低。例如与敏感品系相比,橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 抗多杀霉素品系^[20]、西花蓟马抗多杀霉素品系^[21]、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 抗 Bt 品系^[22] 等均存在生殖力下降、发育历期延长、成虫寿命和生殖期缩短等适合度下降的现象。但也有一些抗性昆虫适合度升高,如普通草蛉 *Chrysoperla carnea* 抗甲氨基阿维菌素苯甲酸盐品系和抗多杀霉素品系均表现出比敏感品系更高的适合度^[23-24]。抗药性昆虫(螨)的相对适合度与其携带的抗性基因引起的生理生化变化和抗药性形成的遗传背景及抗药性水平密切相关^[25],本文研究的巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系存在前若螨期和产卵前期缩短、产卵期延长、总产卵量显著高于敏感品系的现象,这可能与抗性基因密切相关,将在未来的研究中继续探索。本试验对比了巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系和敏感品系的生长发育情况,并证实了抗性品系对多个田间常用药剂具有交互抗性,建议在田间将巴氏新小绥螨溴氰菊酯抗性品系单独或与具有交互抗性的杀虫剂混合应用防治害虫,一方面可以减少药剂对巴氏新小绥螨的危害,另一方面还可以减少害虫(螨)抗药性的产生,达到更好的防治效果。

参考文献

- [1] TIAN Chuanbei, LI Yaying, WANG Xian, et al. Effects of UV-B radiation on the survival, egg hatchability and transcript expression of antioxidant enzymes in a high-temperature adapted strain of *Neoseiulus barkeri* [J]. *Experimental and Applied Acarology*, 2019, 77: 527–543.
- [2] 尚素琴, 陈耀年. 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[J]. *植物保护学报*, 2017, 44(4): 589–594.
- [3] 杨思华, 李曼, 陈淳, 等. 巴氏新小绥螨对水稻干尖线虫控制能力的评估[J]. *中国生物防治学报*, 2021, 37(3): 472–479.
- [4] WU Shengyong, GAO Yulin, XU Xuenong, et al. Feeding on *Beauveria bassiana*-treated *Frankliniella occidentalis* causes negative effects on the predatory mite *Neoseiulus barkeri* [J/OL]. *Scientific Reports*, 2015, 5: 12033. DOI: 10.1038/srep12033
- [5] LIU Mingxiu, CHU Wenqiang, XU Chen, et al. Extraguild prey availability reduced cannibalism and reciprocal intraguild predation of *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae) and *Scot-*
- lothrips takahashii* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. *Systematic & Applied Acarology*, 2020, 25(5): 775–786.
- [6] 宋树贤, 刘光华, 辛天蓉, 等. 巴氏新小绥螨对朱砂叶螨的捕食效能[J]. *南昌大学学报(理科版)*, 2012, 36(5): 486–489.
- [7] 侯栋元, 丛林, 陈飞, 等. 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[J]. *应用昆虫学报*, 2020, 57(3): 690–699.
- [8] 严火其. 农业害虫危害何以越来越严重[J]. *中国农史*, 2021, 40(3): 3–15.
- [9] ROUSH R T, HOY M A. Laboratory, glasshouse, and field studies of artificially selected carbaryl resistance in *Metaseiulus occidentalis* [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1981, 74(2): 142–147.
- [10] MOCHIZUKI M. Effectiveness and pesticide susceptibility of the pyrethroid-resistant predatory mite *Amblyseius womersleyi* in the integrated pest management of tea pests [J]. *Biological Control*, 2003, 48: 207–221.
- [11] 杨慧, 蒋皓天, 何恒果. 农药对捕食性天敌的影响研究进展[J]. *生物安全学报*, 2020, 29(1): 1–7.
- [12] SATO E M, MIYATA T, KAWAI A, et al. Methidathion resistance mechanisms in *Amblyseius womersleyi* Schicha (Acarina: Phytoseiidae) [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2001, 69(1): 1–12.
- [13] ZHAO Haiming, YI Xin, DENG Yueye, et al. Resistance to fenpropathrin, chlorpyrifos and abamectin in different populations of *Amblyseius longispinosus* (Acari: Phytoseiidae) from vegetable crops in South China [J]. *Biological Control*, 2013, 67: 61–65.
- [14] SALMAN S Y, AYDINLI F, AY R. Etoxazole resistance in predatory mite *Phytoseiulus persimilis* A. -H. (Acari: Phytoseiidae): Cross-resistance, inheritance and biochemical resistance mechanisms [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2015, 122: 96–102.
- [15] FAO. Plant production and protection 21. Recommended methods for measurement of pest resistance to pesticides [R]. Rome:FAO, 1980:49–54.
- [16] LEE H S, GILLESPIE D R. Life tables and development of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) at different temperatures [J]. *Experimental and Applied Acarology*, 2011, 53(1): 17–27.
- [17] SATO E M, MIYATA T, KAWAI A, et al. Selection for resistance and susceptibility to methidathion and cross resistance in *Amblyseius womersleyi* Schicha (Acari: Phytoseiidae) [J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2000, 35(3): 393–399.
- [18] SIBEL Y S, RECEP A. Determination of the inheritance, cross-resistance and detoxifying enzyme levels of a laboratory-selected, spiromesifen-resistant population of the predatory mite *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) [J]. *Pesticide Management Science*, 2014, 70: 819–826.

版社, 2014: 727-729.

- [9] 周娇, 李娟, 翁强, 等. 沙棘木蠹蛾生殖系统形态学和组织学观察[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(6): 1629-1635.
- [10] 彭云飞. 桃小食心虫和梨小食心虫生殖及消化系统发育的形态学研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2014.
- [11] 李传瑛, 章玉苹, 黄少华, 等. 草地贪夜蛾室内人工饲养技术的研究[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(5): 986-991.
- [12] 王世英, 朱启旋, 谭煜婷, 等. 草地贪夜蛾室内人工饲料群体饲养技术[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(4): 742-747.
- [13] 和伟, 赵胜园, 葛世帅, 等. 草地贪夜蛾种群性诱测报方法研究[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 48-53.
- [14] 冯波, 郭前爽, 姚晓明, 等. 二化螟雄蛾交配行为与精巢大小的关系[J]. 昆虫学报, 2019, 62(7): 849-856.
- [15] 刘琳, 冯启理. 鳞翅目昆虫精巢融合的研究[J]. 华南师范大

学学报(自然科学版), 2014, 46(5): 1-7.

- [16] 文靓, 陈丰, 陈亚青, 等. 斜纹夜蛾精巢的发育和精子的发生[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2019, 51(4): 47-56.
- [17] THORNHILL R, ALCOCK J. The evolution of insect mating systems [M]. Massachusetts: Harvard University Press, 1983.
- [18] SIMMONS A M, MARTI O G. Mating by the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae): frequency, duration, and effect of temperature [J]. Environmental Entomology, 1992, 21 (2): 371-375.
- [19] 冯波, 张万民, 张丹, 等. 日龄和交配状态对亚洲玉米螟雄蛾内生殖器特征的影响[J]. 昆虫学报, 2020, 63(3): 317-326.
- [20] 郭前爽, 王春荣, 宋显东, 等. 日龄和交配状态对二化螟雄蛾内生殖器特征的影响[J]. 昆虫学报, 2019, 62(7): 838-848.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 130 页)

- [19] 刘雨芳, TADASHI M. 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[J]. 昆虫学报, 2007, 50(11): 1181-1184.
- [20] 李培征, 陆永跃, 梁广文, 等. 桔小实蝇抗多杀霉素生物适合度代价[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(1): 68-71.
- [21] LI Xiaoyu, WAN Yanran, YUAN Guangdi, et al. Fitness trade-off associated with spinosad resistance in *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2017, 110(4): 1755-1763.
- [22] 张万娜. 棉铃虫保幼激素作用机制及其对 Bt 抗性适合度代价的调控[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.

- [23] MANSOOR M M, ABBAS N, SHAD S A, et al. Increased fitness and realized heritability in emamectin benzoate-resistant *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. Ecotoxicology, 2013, 22(8): 1232-1240.
- [24] ABBAS N, MANSOOR M M, SHAD S A, et al. Fitness cost and realized heritability of resistance to spinosad in *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) [J]. Bulletin of Entomological Research, 2014, 104(6): 707-715.
- [25] 王争艳, 王文芳, 苗世远, 等. 抗药性昆虫相对适合度的研究进展[J]. 应用昆虫学报, 2021, 58(3): 487-496.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 141 页)

- [11] 张帆, 耿小丽, 黄宁兴. 瓢虫、草蛉人工繁殖生产方法: 1631127 [P]. 2005-06-29.
- [12] 曾斌. 异色瓢虫人工大量繁殖与田间释放技术研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [13] 王瑞, 周兴苗, 谭军, 等. 一种人工大量繁殖异色瓢虫的方法: 102948401A [P]. 2013-03-06.
- [14] 谢佳沁, 吴红胜, 潘畅, 等. 一种龟纹瓢虫人工饲养、保种和繁殖生产方法: 104396881A [P]. 2015-03-11.
- [15] 周宇航, 程英, 金剑雪, 等. 七星瓢虫规模化生产与释放的应用效果[J]. 西南农业学报, 2017, 30(3): 602-605.
- [16] 于晓飞, 韩小斌, 宋冬梅, 等. 食蚜蠅工厂化繁殖技术规程[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(5): 38-40.
- [17] 喻会平, 王召, 龙贵云, 等. 三种猎物对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响[J]. 植物保护, 2018, 44(4): 105-109.
- [18] 程丽媛, 廖先骏, 徐龙祥, 等. 以豌豆修尾蚜为猎物的大草蛉两性生命表和捕食率[J]. 植物保护学报, 2014, 41(6): 680-686.
- [19] 刘树生. 介绍一种饲养蚜虫的方法——新的叶子圆片法[J]. 应用昆虫学报, 1987, 24(2): 113-115.
- [20] 方美娟, 何晓庆, 刘冬, 等. 3 种蚜虫在大麦上生命表参数的研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(32): 263-265.

- [21] 周岳阳, 刘顺, 秦秋菊, 等. 单头豌豆修尾蚜的饲养装置: 211211047U [P]. 2020-08-11.
- [22] 刘凤沂, 须志平, 薄仙萍, 等. 昆虫抗药性与适合度[J]. 应用昆虫学报, 2008, 45(3): 374-378.
- [23] 周晓榕, 卜庆国, 庞保平. 温度对桃蚜和马铃薯长管蚜实验种群生命表参数的影响[J]. 昆虫学报, 2014, 57(7): 837-843.
- [24] 陈应武, 窦彩虹. 5 种恒定温度下苜蓿斑蚜实验种群生命表的研究[J]. 河南农业科学, 2008 (4): 78-82.
- [25] 韩秀楠, 王小强, 赵林平, 等. 不同寄主植物对豌豆蚜生长发育和繁殖的影响[J]. 植物保护, 2012, 38(1): 40-43.
- [26] FRAZER B D. Life tables and intrinsic rates of increase of apterous black bean aphids and pea aphids, on broad bean (Homoptera: Aphididae) [J]. The Canadian Entomologist, 1972, 104(11): 1717-1722.
- [27] 张岩, 秦秋菊, 陈洁, 等. 五种蚜虫对异色瓢虫生长发育和繁殖的影响[J]. 植物保护学报, 2008, 35(5): 394-394.
- [28] 范文红. 不同蚜虫种类对黑带食蚜蝇生长发育的影响[J]. 云南农业科技, 2015(3): 16-17.
- [29] 周娟, 生惠宇, 李子园, 等. 黄玛草蛉对两种蚜虫的捕食效能[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(1): 152-156.

(责任编辑: 杨明丽)