

桔全爪螨对阿维菌素和甲氰菊酯的抗性现实遗传力及风险评估*

何恒果^{1,2} 赵志模¹ 闫香慧^{1,2} 王进军^{1**}

(¹西南大学植物保护学院昆虫学及害虫控制工程重庆市重点实验室, 重庆 400716; ²西华师范大学生命科学学院西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 四川南充 637002)

摘要 在实验室抗性选育的基础上,应用数量遗传学中的域性状分析法,研究了桔全爪螨北碚种群对阿维菌素和甲氰菊酯2种杀螨剂的抗性现实遗传力,并对2种药剂在不同杀死率下抗性发展的速率进行了预测.结果表明:用阿维菌素和甲氰菊酯分别不连续汰选11及16代后,桔全爪螨对两者的抗性分别为3.8和29.9倍,抗性现实遗传力分别为0.0475和0.1544.在室内选择条件下,杀死率为50%~90%时,要获得10倍抗性,甲氰菊酯仅需要7~16代,阿维菌素则需要12~26代.而在田间选择情况下,2种药剂都将需要更长的时间.抗性筛选结果表明,生物源农药阿维菌素的抗性风险明显低于菊酯类农药甲氰菊酯.试验结果可为桔全爪螨抗性治理提供参考.

关键词 桔全爪螨 杀螨剂 抗性现实遗传力 风险评估

文章编号 1001-9332(2011)08-2147-06 **中图分类号** Q963 **文献标识码** A

Resistance Realized heritability and risk assessment of *Panonychus citri* to avermectin and fenpropathrin. HE Heng-guo^{1,2}, ZHAO Zhi-mo¹, YAN Xiang-hui^{1,2}, WANG Jin-jun¹ (¹Chongqing Municipal Key Laboratory of Entomology and Pest Control Engineering, College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400716, China; ²Ministry of Education Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, College of Life Science, China West Normal University, Nanchong 637002, Sichuan, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(8): 2147-2152.

Abstract: On the basis of resistance breeding and selection in laboratory, and by using the threshold trait analysis in quantitative genetics, this paper studied the realized resistance heritability of *Panonychus citri* (McGregor) collected from Beibei of Chongqing to avermectin and fenpropathrin, and predicted the resistance risk of *P. citri* to these two acaricides. After 11- and 16-generations of selection with avermectin and fenpropathrin, the resistance of *P. citri* to the two acaricides increased by 3.8- and 29.9-fold, and the realized resistance heritability was 0.0475 and 0.1544, respectively. Under laboratory condition, to develop a 10-fold increase of resistance required 12-26 generations of selection for avermectin, and 7-16 generations of selection for fenpropathrin under the selection pressure of 50%-90% mortality for each generation. Under field condition, it would require more generations to develop the same resistance level. Comparing with bioacaricide avermectin, pyrethroid fenpropathrin had obviously higher resistance risk to *P. citri*. The results provided references for the resistance management of *P. citri* to acaricides.

Key words: *Panonychus citri*; acaricide; resistance realized heritability; risk assessment.

桔全爪螨 [*Panonychus citri* (McGregor)], 又称柑桔红蜘蛛, 是一种世界性的柑桔害螨, 除危害柑桔

外, 还危害梨、苹果、花椒、苦楝、桂花等多种经济作物^[1]. 由于螨体小、世代多、繁殖速度快、发育历期短的特点, 极易对药剂产生抗性. 研究表明, 桔全爪螨对许多杀虫(螨)剂均产生了一定程度的抗性^[2].

有害生物的抗药性风险评估一直是抗药性研究的重要内容之一, 它是对应用于环境中的农药可能

* 公益性行业(农业)科研专项(201103020)、现代农业产业技术体系岗位科学家经费项目及西华师范大学博士启动基金项目(10B029)资助.

** 通讯作者. E-mail: jjwang7008@yahoo.com

2011-02-08 收稿, 2011-05-24 接受.

引起的抗性进行预测,通过室内使用农药对有害生物进行抗性筛选并进行抗性风险评估,可为该药剂科学合理利用、延长该药剂使用寿命以及开展预防性抗性治理提供理论依据^[3].自Via^[4]将数量遗传学中的现实遗传力估计方法引入害虫(螨)种群抗性进化研究中后,这项技术在抗性害虫(螨)种群遗传学中日益受到关注.在估计害虫种群抗性现实遗传力的基础上,可对药剂的抗性风险作出初步评估.Tabashnik等^[5]的域性状分析(threshold trait analysis)方法可以应用常规筛选试验中每代害虫的存活率、筛选前后的致死中浓度和回归方程的斜率等数据估算选择后抗性种群的遗传力,进而对抗性发展作出预测.

桔全爪螨对甲氰菊酯(fenprothrin)和阿维菌素(avermectin)的抗药性曾有报道^[8],但缺乏连续性和系统性.本实验室通过在农药市场和田间调查发现:甲氰菊酯作为一种虫螨兼治、触杀性强、速效性好、杀虫谱广、对寄主植物一般不造成药害的高效广谱拟除虫菊酯类杀虫、杀螨剂^[6],阿维菌素作为一种高选择性、高安全性的高效生物杀虫、杀螨、杀线虫剂^[7],现在仍然在柑桔园内广泛使用^[8-9],而有关桔全爪螨对这两种杀螨剂的抗性现实遗传力及风险评估未见报道.因此,本研究通过甲氰菊酯和阿维菌素对桔全爪螨进行室内抗性选育,分析抗性发生发展趋势,并根据Tabashnik等^[5]的域性状分析方法,进行了桔全爪螨对甲氰菊酯和阿维菌素抗性现实遗传力的估算和抗性风险评估,旨在为甲氰菊酯和阿维菌素在生产上科学合理使用、延长它们的使用寿命和开展其预防性抗性治理提供依据,为桔全爪螨抗药性治理提供理论指导.

1 材料与方法

1.1 供试药剂

92%甲氰菊酯原药、10.81%的阿维菌素原药均由四川省农药检定所提供.将甲氰菊酯和阿维菌素原药先用少量丙酮溶解,再用蒸馏水稀释成所用药液浓度.最终所用药液中丙酮含量不超过1%.

1.2 抗性筛选和生物测定

1.2.1 供试种群 供试桔全爪螨采自重庆北碚中国柑桔研究所的柑桔苗圃园,带回室内后移接到盆栽枳壳苗上,在温度(26±1)℃、相对湿度为70%~75%的人工气候室内饲养.种群扩大后再分为3组:一组不用药作为相对敏感品系培养;另两组分别用甲氰菊酯、阿维菌素处理.甲氰菊酯抗性品系(FeR)

和阿维菌素抗性品系(AvR)分别通过19代中不连续汰选16代和11代获得.

1.2.2 抗性培育和生物测定 从相对敏感品系开始培育桔全爪螨的抗药性品系.用小型喷雾器喷施甲氰菊酯和阿维菌素药液,分别处理淘汰掉50%~70%的螨量.存活个体继续饲养,视螨量不连续处理存活个体的子代,每隔几代测定1次LC₅₀值.

生物测定采用FAO推荐的玻片浸渍法^[10].为减少因试验个体受药不均匀带来的误差,生物测定时所选个体均为3~5日龄的健康雌成螨,并且在浸药5s后立即用小块滤纸或吸水纸的边缘迅速吸干附在螨体和粘胶表面的药液.每一浓度设3个重复,另以丙酮水溶液(丙酮<1%)为对照,对照组死亡率在10%以内为有效试验,所得数据用SPSS 12.0软件进行处理,求出毒力回归直线方程和致死中浓度LC₅₀值.将每次测得的LC₅₀值进行比较,计算出相对抗性倍数.

1.3 现实遗传力(h^2)的估算

抗性现实遗传力(realized heritability)的估算采用域性状分析方法^[5]. $h^2 = R/S$.其中: $R = \lg(\text{终} LC_{50}) - \lg(\text{初} LC_{50})/n$; $S = i\delta_p$; $i = 1.583 - 0.0193336P + 0.0000428P^2 + 3.65194/P$, ($10 < P < 80$); $P = 100 - \text{平均校正死亡率}$ (抗性选育过程中各代死亡率用Abbott公式校正后的平均值); $\delta_p = [1/2(\text{初斜率} + \text{终斜率})]^{-1}$.

以上各式中: h^2 为现实遗传力; R 为选择响应,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; n 为选择代数; S 为选择差,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; i 为选择强度; δ_p 为表型标准差.

1.4 抗性风险评估

根据 $R = [\lg(\text{终} LC_{50}) - \lg(\text{初} LC_{50})]/n$ 变型可得, $R = \lg(\text{终} LC_{50}/\text{初} LC_{50})/n$.根据现实遗传力 h^2 ,可以预测筛选后抗性上升 x 倍所需代数 $[G_x = \lg x / (h^2 S)]$,以及不同选择压力(50%~99%)下,当用药剂汰选产生10倍抗性(终LC₅₀/初LC₅₀=10)时,所需的汰选代数 $G = \lg 10 / R = 1/R = 1/(h^2 S)$.

2 结果与分析

2.1 桔全爪螨对两种杀螨剂的抗性选育

由表1可以看出,桔全爪螨对甲氰菊酯的抗性发展迅速,经19代共16次用药筛选,桔全爪螨雌成

表 1 两种杀螨剂对桔全爪螨北碚种群的抗性筛选

Table 1 Selection of resistance to fenpropathrin and avermectin in *Panonychus citri* from Beibei, Chongqing

杀螨剂 Acaricide	筛选代数 Generation of selection	毒力回归线 LC-P regression line ($y = a + bx$)	LC ₅₀ (95% 置信限) LC ₅₀ (95% confidence limit) ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	抗性系数 Folds of resistance
甲氰菊酯 Fenpropathrin	F ₀	$y = 4.1154 + 1.4228x$	4.19 (3.45 ~ 5.08)	1.0
	F ₄	$y = 3.8852 + 1.2729x$	7.51 (5.71 ~ 9.89)	1.8
	F ₈	$y = 3.2581 + 1.1858x$	29.45 (21.90 ~ 39.59)	7.0
	F ₁₁	$y = 3.6097 + 0.7901x$	57.49 (30.68 ~ 107.74)	13.7
	F ₁₅	$y = 2.9672 + 1.0296x$	94.26 (61.74 ~ 127.48)	22.5
	F ₁₈	$y = 1.7896 + 1.5304x$	125.27 (97.59 ~ 160.78)	29.9
阿维菌素 Avermectin	F ₀	$y = 1.2191 + 0.7382x$	0.02 (0.01 ~ 0.03)	1.0
	F ₄	$y = 6.2821 + 0.7592x$	0.02 (0.02 ~ 0.02)	0.9
	F ₈	$y = 5.8228 + 0.5302x$	0.03 (0.02 ~ 0.033)	1.3
	F ₁₂	$y = 6.2510 + 0.9651x$	0.05 (0.05 ~ 0.06)	2.3
	F ₁₈	$y = 5.9525 + 0.8850x$	0.08 (0.06 ~ 0.10)	3.8

螨对甲氰菊酯的敏感度 (LC₅₀ 值) 由选育前的 4.19 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 提高为选育后的 125.27 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 抗性增长了 29.9 倍. 从抗性发展过程来看, 选育初期抗性上升较为缓慢, 从 F₀ ~ F₄ 代抗性仅增加了 1.8 倍; 在 F₄ ~ F₈ 代选育过程中, 抗性发展速度比 F₀ ~ F₄ 代迅速, 抗性增长了 5.2 倍; 从 F₈ ~ F₁₁ 代, 抗性发展速度也较快, 但与 F₄ ~ F₈ 比较无显著差异; 从 F₁₁ 代开始, 抗性发展极为迅速, 由 F₁₁ 代 LC₅₀ 值 57.49 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 至 F₁₈ 代 LC₅₀ 值 125.27 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 抗性增加了 16.2 倍, 且差异显著. 选育 11 代以后, 逐渐形成桔全爪螨对甲氰菊酯的抗性品系. 但桔全爪螨对阿维菌素的抗性发展较为缓慢, 经 19 代共 11 次喷药的筛选, 桔全爪螨雌成螨对阿维菌素的敏感度 (LC₅₀ 值) 由选育前的 0.02 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 提高为选育后的 0.08 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 抗性增长 4 倍. 在抗性筛选前期 (F₀ ~ F₈) 抗性发展较中后期缓慢.

从各次毒力回归线的斜率 b 值来看 (表 1), 桔全爪螨对甲氰菊酯的抗性形成明显分为两个阶段: 第 1 阶段, F₀ ~ F₁₁, b 值由 1.4228 逐渐降低为 0.7901, 表明品系中逐渐出现了抗性杂合子, 群体的异质性变大; 第 2 阶段, F₁₁ ~ F₁₈, b 值由 0.7901 逐渐增大为 1.5304, 表明品系中抗性杂合子进化为抗性纯合子并不断增多, 群体的异质性越来越小, 由此说明在室内对甲氰菊酯的抗性选育是成功的. 可以预见, 如果继续筛选, 桔全爪螨对甲氰菊酯的抗性还会继续上升. 而从阿维菌素筛选各代的毒力回归线的斜率 b 值来看, 桔全爪螨对阿维菌素的抗性发展还没有形成明显的规律, 这可能是抗性倍数低, 筛选时间不够长所致.

2.2 桔全爪螨对两种杀螨剂的抗性现实遗传力

桔全爪螨在 F₀ ~ F₈ 共 9 代中有 7 代经甲氰菊酯, 所估计的 h^2 值较高, 为 0.1175; 而 F₈ ~ F₁₁ 连续 3 代受甲氰菊酯筛选, 所估计的 h^2 值与第一阶段相比有所减小, 为 0.0682; 从 F₁₁ ~ F₁₈ 中有 6 代受筛选, 所估计的 h^2 值又增大, 为 0.0730 (表 2). 这与筛选中毒力回归线的斜率值变化趋势基本一致, 同样说明桔全爪螨在对甲氰菊酯的抗性筛选过程中, 群体的异质性初期开始变大, 然后逐渐减小, 即抗性杂合子筛选前期不断增多, 到中期 F₁₁ 代后, 抗性纯合子逐渐形成.

桔全爪螨在经阿维菌素筛选期间, 抗性现实遗传力随着筛选次数的增加而增大, 筛选前半段 F₀ ~ F₈, 由于筛选的不连续, 加之阿维菌素本身抗性上升缓慢, 抗性倍数低, 因此抗性现实遗传力极低, 仅为 0.0156, 种群中敏感个体频率较高, 桔全爪螨种群的抗性几乎还未形成; 筛选时间后半段 F₈ ~ F₁₈, 共 6 代受筛选, 加上抗性倍数的提高, 使得此半段的抗性现实遗传力增高, 从 0.0156 增大至 0.0595, 说明阿维菌素抗性品系正逐渐形成 (表 2).

采用域性状分析法估算抗性现实遗传力, 结果甲氰菊酯抗性现实遗传力为 0.1544, 阿维菌素抗性现实遗传力为 0.0475 (表 2). 桔全爪螨对甲氰菊酯的抗性现实遗传力显著高于阿维菌素, 这与抗性发展速率一致. 在相同的选择压力下, 害螨对药剂的抗性现实遗传力越大, 其抗性发展速率也越快. 抗性现实遗传力反映的是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 (additive genetic value) 是固定的、可遗传的, 只有它才会对后代的性状产生影响^[11-12]. 因此, 狭义遗传力定义为加性遗传方差 (additive genetic variance)

表 2 桔全爪螨对甲氰菊酯和阿维菌素的抗性现实遗传力

Table 2 Resistance realized heritability (h^2) of the *Panonychus citri* to fenpropathrin and avermectin

品系 Strain	筛选代数 Generation of selection	平均选择反应 Mean selection response					平均选择差异 Mean selection differential				抗性现实 遗传力 h^2
		初 LC_{50} (lg)	终 LC_{50} (lg)	选择响应	存活率	选择强度	初斜率	终斜率	标准差	选择差异	
		Initial LC_{50} (lg)	Final LC_{50} (lg)	R	P (%)	i	Initial slope	Final slope	δ_p	S	
FeR	7 ($F_0 \sim F_8$)	0.62	1.47	0.1412	43.84	0.9009	1.4228	1.1858	0.7667	0.6907	0.1175
	3 ($F_8 \sim F_{11}$)	1.47	1.76	0.0969	48.90	0.8146	1.1858	0.7901	1.0122	0.8245	0.0682
	6 ($F_{11} \sim F_{18}$)	1.76	2.10	0.0564	44.16	0.8954	0.7901	1.5304	0.8619	0.7717	0.0730
	16 ($F_0 \sim F_{18}$)	0.62	2.10	0.0922	44.91	0.8824	1.4228	1.5304	0.6772	0.5976	0.1544
AvR	5 ($F_0 \sim F_8$)	-1.66	-1.55	0.0209	46.76	0.8506	0.7383	0.5302	1.5767	1.3412	0.0156
	6 ($F_8 \sim F_{18}$)	-1.55	-1.08	0.0792	41.50	0.9424	0.5302	0.885	1.4132	1.3318	0.0595
	11 ($F_0 \sim F_{18}$)	-1.66	-1.08	0.0527	43.92	0.8996	0.7383	0.885	1.2321	1.1084	0.0475

与整个表型方差的比率。桔全爪螨对甲氰菊酯和阿维菌素的遗传力不同,导致其抗性发展速率的差异。此外,FeR 品系的抗性基因频率较高 ($R=0.0922$),而 AvR 品系较低 ($R=0.0527$),同样反映了抗性程度的高低,即甲氰菊酯抗性品系的抗性程度高于阿维菌素抗性品系。

2.3 抗性风险评估

根据计算得出的抗性现实遗传力值即甲氰菊酯 $h^2=0.1544$ 、阿维菌素 $h^2=0.0475$,假设甲氰菊酯和阿维菌素对桔全爪螨的选择压力即杀死率为 50%、60%、70%、80% 和 90% 条件下,抗性提高 10 倍(甲氰菊酯筛选前后毒力回归线的斜率为 2,即 $\delta_p=0.5$,阿维菌素筛选前后毒力回归线的斜率为 1,即 $\delta_p=1$) 所需的代数分别进行预测。当选择压力为死亡率 50%~90%,预计抗性增长 10 倍时,甲氰菊酯需要 7~16 代,阿维菌素需要 12~26 代(图 1)。在抗性现实遗传力不变的情况下,桔全爪螨对甲氰菊酯和阿维菌素的抗性发展速率随药选择压力的提高

而加快。由于在室内的抗性选育是封闭的,环境相对稳定,因而环境方差比田间小,选育试验估算的 h^2 可能比田间的实际值偏高。现假设田间的抗性现实遗传力为室内筛选估算值的一半(甲氰菊酯 $h^2=0.0772$,阿维菌素 $h^2=0.0239$),杀死率分别为 50%~90% 时,预计桔全爪螨对甲氰菊酯的抗性增长到 10 倍需要 15~32 代,对阿维菌素的抗性增长到 10 倍需要 24~53 代。

3 讨 论

甲氰菊酯是我国具有自主知识产权的杀虫、杀螨剂,作为菊酯类农药中少有的虫螨兼治的药剂,自 20 世纪 80 年代以来在柑橘害虫、害螨的防治中被广泛使用,至今仍然是柑橘园常用杀螨剂之一。阿维菌素为一种高效生物杀虫、杀螨、杀线虫剂,具有高选择性和高安全性,在常用剂量下,不仅对人畜安全,还不伤害天敌,不破坏生态,因此,被农业部推荐为高毒农药的首选替代品种之一,近年来在生产上广泛应用,大量用于农作物害虫、害螨的防治。本研究表明,在室内人为控制条件下,桔全爪螨能较快地对甲氰菊酯产生抗性,而对阿维菌素抗性增长较为缓慢,这与孟和生等^[13]以山东种群实验得出的结论基本一致,表明来自不同地理种群的桔全爪螨的抗性发展态势基本相似,而以往未见有关抗性现实遗传力的估算及抗性风险评估。

害虫(螨)对杀虫(螨)剂的抗性是一种进化现象,是害虫(螨)种群内部遗传结构在杀虫(螨)剂选择作用下持续变化的外在表现。多数情况下,害虫(螨)的抗药性是一种数量性状并由一个主要基因和数个微效基因共同起作用,因此,利用数量遗传学中的抗性遗传力估计方法,进行害虫(螨)抗性风险评估,得出的结论可能更加准确^[14]。国内外一些学

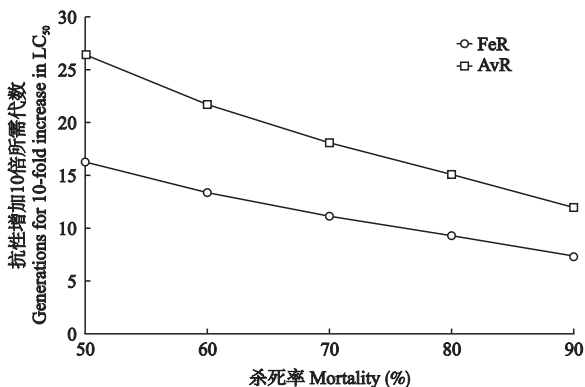


图 1 不同选择压力和理论 h^2 对桔全爪螨抗性发展速率的影响

Fig. 1 Effects of the realized heritability and percentage mortality of fenpropathrin and avermectin on the generations required for a 10-fold increase in LC_{50} .

者曾采用该方法研究了几种重要农业害虫(螨)的抗性现实遗传力,如抗 *Bt* 的小菜蛾 (*Plutella xylostella*)、马铃薯叶甲 (*Leptinotarsa decemlineata*)、烟芽夜蛾 (*Heliothis virescens*)^[7]、抗杀螟硫磷的二化螟 (*Chilo suppressalis*)^[15]。此外,抗性现实遗传力的估算在棉铃 (*Helicoverpa armigera*) 对拟除虫菊酯类杀虫剂^[16]及辛硫磷^[17]、甜菜夜蛾 (*Spodoptera exigua*) 对三氟氯氰菊酯、氰戊菊酯和顺式氯氰菊酯 3 种拟除虫菊酯类杀虫剂^[18]及虫酰肼^[19]、小菜蛾对丁烯氟虫腈^[20]、家蝇 (*Musca domestica*) 对三氟氯氰菊酯^[21]、谷蠹 (*Rhizopertha dominica*) 对溴氰菊酯^[22]、赤拟谷盗 (*Tribolium castaneum*) 对马拉硫磷^[23]等亦有相应的报道。而有关叶螨抗性现实遗传力及风险评估的研究较少,何林等^[12]对朱砂叶螨 (*Tetranychus cinnabarinus*) 北碚种群在室内以甲氰菊酯、阿维菌素和哒螨灵连续汰选 16 代后进行了现实遗传力的估算,3 个品系的 h^2 分别为 0.2472、0.1519 和 0.0160。本研究用甲氰菊酯和阿维菌素原药对桔全爪螨在 19 代中分别不连续 16 代和 11 代抗性汰选后所得的现实遗传力估算值为 0.1544 和 0.0475,明显低于朱砂叶螨。这可能与筛选对象、筛选强度和筛选时间的连续性不同及药剂剂型的差异有关。假设田间的遗传力值为实验室筛选的估算值的一半,田间用药杀死种群 70%~90%,当桔全爪螨的抗性增加 10 倍时,甲氰菊酯需要 14~23 代,阿维菌素需要 24~36 代,阿维菌素的抗性风险明显低于甲氰菊酯,这个结果与朱砂叶螨相一致。此外,Yamamoto 等^[24-25]在实验室条件下 7 年内连续 17 次用噻螨酮(尼索朗)对桔全爪螨进行抗性筛选和隔离药剂进行敏感品系选育,而后估算了桔全爪螨对噻螨酮的抗性现实遗传力。结果发现在 17 次用药后桔全爪螨对噻螨酮的抗性遗传力为 0.835,而在不用药的情况下,相对敏感品系的抗性遗传力为 0.051。这是有关桔全爪螨抗性现实遗传力的首次也是唯一的报道。从结果来看,甲氰菊酯和阿维菌素对桔全爪螨的抗性遗传力要远远小于噻螨酮。

室内抗性筛选得到的现实遗传力与田间实际情况有所不同。根据计算现实遗传力的原理和公式可知,现实遗传力值常受到以下几方面的影响^[26]:受试个体受药不均、存活个体亚致死效应差异、雌雄个体受不等选择等。这些影响可能导致对抗性现实遗传力的低估或高估。在室内为了种群的延续,一般将死亡率控制在 40%~70% 之间,而田间实际防治效果远大于此,因此田间 h^2 可能偏大。另外,室内选择

是在特定空间进行,且在恒温、恒定的光周期下饲养,世代历期短,发生迅速,几乎每代都进行筛选,因此环境方差被低估。同时田间由于抗性个体的迁出和敏感个体的迁入以及环境和选择压力、交替用药或轮换用药、基因突变等影响使抗性基因得到稀释,从而延缓抗性发展的速度,从而使田间的 h^2 可能偏小。此外,田间所使用的甲氰菊酯多为 20% 的乳油或是甲氰菊酯与其他农药的混剂,其中的添加剂或者混剂可能对抗性具有促进或减缓的作用,与室内筛选所使用的原药有所差异。阿维菌素在实际应用中也存在同样的情况。由以上分析可以看出,较多的因素导致最后现实遗传力值被低估或高估。因此,室内筛选的遗传力主要用于在不同的药剂间的比较,以及作为田间抗性风险评估的参考值。虽然室内结果并不能直接用于田间,但其结果仍然可以指导我们在田间防治过程中及时进行抗性监测,以制定相应的预防性抗性治理策略。

致谢 西南大学植物保护学院樊钰虎老师和邓婉同学对本研究给予了帮助,一并感谢!

参考文献

- [1] Ma E-P (马恩沛), Shen Z-P (沈兆鹏). China Agricultural Acarology. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1984 (in Chinese)
- [2] Ran C (冉春), Chen Y (陈洋), Yuan M-L (袁明龙), et al. Susceptibility of *Panonychus citri* field populations to different acaricides. *Acta Phytophylacica Sinica* (植物保护学报), 2008, **35** (6): 537-540 (in Chinese)
- [3] Lin X-W (林祥文), Shen J-L (沈晋良). Risk assessment and prediction of resistance to phoxim in *Helicoverpa armigera*. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2001, **44**(4): 462-468 (in Chinese)
- [4] Via S. Genetic covariance between oviposition preference and larval performance in an insect herbivore. *Evolution*, 1986, **40**: 778-785
- [5] Tabashnik BE. 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*, 1992, **85**: 1551-1559
- [6] Hong Y-F (洪源范), Hong Q (洪青), Shen Y-J (沈雨佳), et al. Bioremediation of fenprothrin-contaminated soil by *Sphingomonas* sp. JQL4-5. *Environmental Science* (环境科学), 2007, **28** (5): 1121-1125 (in Chinese)
- [7] Kolar L, Eržen NK, Hogerwerf L, et al. Toxicity of abamectin and doramectin to soil invertebrates. *Environmental Pollution*, 2008, **151**: 182-189

- [8] Meng H-S (孟和生), Wang K-Y (王开运), Jiang X-Y (姜兴印), *et al.* Studies on the resistance of *Panonychus citri* to several acaricides. *Pesticides* (农药), 2000, **39**(2): 26–28 (in Chinese)
- [9] Liu Y-H (刘永华), Jiang H-B (蒋红波), Yuan M-L (袁明龙) *et al.* Resistance monitoring and synergism on four acaricides against *Panonychus citri*. *Journal of Fruit Science* (果树学报), 2010, **27**(4): 570–574 (in Chinese)
- [10] FAO. Tentative method for spider mites and their eggs, *Tetranychus* spp. and *Panonychus ulmi* (Koch). *FAO Plant Protection Bulletin*, 1974, **22**: 103–107
- [11] He L (何林), Zhao Z-M (赵志模), Deng X-P (邓新平), *et al.* Realized heritabilities of resistance to fenpropathrin and abamectin in *Tetranychus cinnabarinus* (Boiduval). *Journal of Plant Protection* (植物保护学报), 2002, **29**(4): 331–336 (in Chinese)
- [12] He L (何林), Zhao Z-M (赵志模), Deng X-P (邓新平), *et al.* Selection and risk assessment of resistance to fenpropathrin, abamectin and pyridaben in *Tetranychus cinnabarinus*. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2002, **45**(5): 688–692 (in Chinese)
- [13] Meng H-S (孟和生), Wang K-Y (王开运), Jiang X-Y (姜兴印), *et al.* Studies on resistance selection by abamectin and fenpropathrin and activity change of detoxicant enzymes in *Panonychus citri*. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2002, **45**(1): 58–62 (in Chinese)
- [14] Firkol MJ, Hayes JL. Quantitative genetic tools for insecticide resistance risk assessment; Estimating the heritability of resistance. *Journal of Economic Entomology*, 1990, **83**: 647–654
- [15] Han Q-F (韩启发), Zhuang P-J (庄佩君), Tang Z-H (唐振华). Estimation of realized heritability of resistance to fenitrothion in rice stem borer *Chilo suppressalis*. *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 1995, **38**(4): 402–405 (in Chinese)
- [16] Ru L-J (茹李军), Fan X-L (范贤林), Lu M-G (卢美光), *et al.* Realized heritabilities of resistance to pyrethroids in *Helicoverpa armigera*. *Journal of Plant Protection* (植物保护学报), 1997, **24**(4): 356–360 (in Chinese)
- [17] Ru L-J (茹李军), Rui C-H (芮昌辉), Fan X-L (范贤林), *et al.* Realized heritability analysis of resistance to single and multiple insecticides in *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach) and *Helicoverpa armigera* (Hbner). *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 1998, **41**(3): 243–249 (in Chinese)
- [18] Lan Y-Q (兰亦全), Zhao S-H (赵士熙), Wu G (吴刚). Realized resistance heritability and resistance risk of *Spodoptera exigua* to cyhalothrin, fenvalerate and alpha-cypermethrin. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(3): 468–471 (in Chinese)
- [19] Jia B-T (贾变桃), Shen J-L (沈晋良), Liu X-G (刘叙杆). Selection, risk assessment and cross-resistance of resistance to tebufenozide in the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica* (昆虫学报), 2007, **50**(11): 1116–1121 (in Chinese)
- [20] Niu H-T (牛洪涛), Luo W-C (罗万春), Zong J-P (宗建平), *et al.* Realized heritability of resistance to butene-fipronil in diamondback moth, *Plutella xylostella*. *Acta Phytophylacica Sinica* (植物保护学报), 2008, **35**(2): 165–168 (in Chinese)
- [21] Zhu FX, Yuan JZ, Zhuang PJ, *et al.* Inheritance of resistance to cyhalothrin in the house fly (Diptera: Muscidae). *Insect Science*, 2002, **9**: 51–54
- [22] Lorinia I, Galley DJ. Estimation of realized heritability of resistance to deltamethrin insecticide in selected strains of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrychidae). *Journal of Stored Products Research*, 2000, **36**: 119–124
- [23] Assié LK, Francis F, Gengler N, *et al.* Response and genetic analysis of malathion-specific resistant *Tribolium castaneum* (Herbst) in relation to population density. *Journal of Stored Products Research*, 2007, **43**: 33–44
- [24] Yamamoto A, Yoneda H, Hatano R, *et al.* Laboratory selections of populations in the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor), with hexythiazox and their cross resistance spectrum. *Journal of Pesticide Science*, 1995, **20**: 493–501
- [25] Yamamoto A, Yoneda H, Hatano R, *et al.* Realized heritability estimates of hexythiazox resistance in the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor). *Journal of Pesticide Science*, 1996, **21**: 43–47
- [26] Mo J-C (莫建初), Tang Z-H (唐振华). Application of quantitative genetics in resistance evolution of pest population. *Entomological Knowledge* (昆虫知识), 1997, **34**(3): 183–186 (in Chinese)

作者简介 何恒果,女,1978年生,博士.主要从事害螨抗药性研究. E-mail: hengguohe@163.com

责任编辑 肖红
