

朱砂叶螨抗炔螨特品系相对适合度^{*}

罗雁婕¹ 杨振国¹ 王 丹² 谢道燕¹ 丁 伟^{2**}

(¹云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所, 云南蒙自 661101; ²西南大学植物保护学院, 重庆 400715)

摘 要 为明确朱砂叶螨抗炔螨特品系的相对适合度, 在朱砂叶螨敏感品系(SS)的基础上使用炔螨特持续筛选34代获得了炔螨特抗性品系(PRR34)。通过统计2个品系的实验种群生命表, 对其发育历期、繁殖力及种群参数差异进行了比较。结果表明, 朱砂叶螨敏感品系经炔螨特持续筛选34代后(PRR34), 其抗性倍数为37.78。与SS品系相比, PRR34卵孵化率、发育历期和世代周期均无显著差异, 但产卵前期显著延长了37.07%, 单雌产卵量减少14.61%, 雌雄性(♀/♂)比增加了23.38%。采用Weibull分布拟合存活曲线模型为Deevey I型, SS品系和PRR34品系的参数 c 值分别为2.04和2.38。其种群趋势指数、内禀增长率(r_m)、净生殖率(R_0)分别为123.78、0.24和25.34, 以及111.91、0.26和28.99; PRR34品系的相对适合度为1.14, 与敏感品系相比存在一定优势。因此, 与敏感品系相比, 朱砂叶螨抗炔螨特品系单雌产卵量下降, 但雌性比增加, 种群适合度优势较高, 可能导致抗性种群迅速增长并增加防控难度。

关键词 繁殖力; 生命表; 适合度; 种群趋势指数; 抗药性

中图分类号 S481.4 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2015)10-2827-06

Relative fitness of propargite-resistant strain of *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) (Acari: Tetranychidae). LUO Yan-jie¹, YANG Zhen-guo¹, WANG Dan², XIE Dao-yan¹, DING Wei^{2**} (¹Institute of Sericulture and Apiculture, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Mengzi 661101, Yunnan, China; ²College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2015, **34**(10): 2827–2832.

Abstract: To identify the relative fitness of propargite-resistant strain of *Tetranychus cinnabarinus*, a propargite-resistant strain (PRR34) was established after 34-generation selection of the susceptible strain (SS) by using propargite. The differences in development, reproduction, and population parameters between these two strains were analyzed by comparing experimental population life table. The result showed that after 34-generation, the resistance ratio of PRR34 increased to 37.78-fold. Compared with SS, the hatching rate of eggs, duration of development stages, and generation time of PRR34 showed no difference, but its preoviposition period significantly increased by 37.07%, the fecundity of single female decreased by 14.61%, and the ratio of female/male (♀/♂) increased by 23.38%. The survival curve was determined as Deevey I according to Weibull distribution, and the parameter c for SS and PRR34 were 2.04 and 2.38, respectively. The population tendency index, intrinsic rate of increase (r_m), and net reproduction rate (R_0) were 123.78, 0.24 and 25.34 for SS, and 111.91, 0.26 and 28.99 for PRR34, respectively. Besides, the relative fitness of PRR34 was 1.14, which showed advantage over SS. In conclusion, compared with SS, the fecundity of single female of PRR34 decreased, but its female ratio and population fitness increased, which may result in the expansion of the resistant strain population and the increase of difficulty for pest control.

Key words: fecundity; life table; fitness; population tendency index; acaricide-resistance.

DOI:10.13292/j.1000-4890.2015.0266

^{*} 国家自然科学基金项目(31201546和31272058)资助。

^{**} 通讯作者 E-mail: dding818@163.com

收稿日期: 2015-03-20 接受日期: 2015-07-08

朱砂叶螨 (*Tetranychus cinnabarinus* Boisduval) 广泛分布于棉花、蔬菜、果树和花卉等一百多种寄主植物上,是危害严重而又难于防治的一种植食性害螨 (Gerson *et al.*, 1981)。其具有个体小、发育快和繁殖力强、世代周期短、活动范围小、近亲交配率高等特性,致使其受药机会多,抗药性问题比其他农业害虫更为突出 (Dagli *et al.*, 2001; He *et al.*, 2003)。

炔螨特 (Propargite) 属亚硫酸酯类杀螨剂,自1964年推广应用以来,因其杀若(成)螨活性高、广谱低毒、持效期长、对天敌无害、且不容易产生抗性等诸多优点,在农药杀螨剂市场上经久不衰,已成为世界上使用范围广、生产应用大吨位的杀螨剂品种,仅我国农药市场每年对炔螨特原药的需求就高达5000 t (黎金嘉, 2010)。在巴西、韩国等已经使用了20多年,其监测数据表明并未产生明显抗药性,仍可作为有效的药剂用于叶螨防控 (Yorulmaz *et al.*, 2010)。研究表明,随着使用年限增长,炔螨特的抗性风险越高,苹果全爪螨 (*Panonychus ulmi*)、太平洋叶螨 (*T. pacificus*)、二斑叶螨 (*T. urticae*)、柑橘全爪螨 (*P. citri*) 等对炔螨特的抗性均有报道 (Kabir *et al.*, 1993; 沈慧敏等, 2001; Stavrinides *et al.*, 2010)。

节肢动物的抗性种群常存在适合度劣势,如发育历期延长、死亡率增加、生殖力减退和越冬能力降低等 (Janmaat *et al.*, 2011)。适合度指的是以遗传物质为基础的有机体对生态环境的适应、生存、繁殖等的相对能力,并决定了生物有机体在自然选择压力下的行为 (Spollen *et al.*, 1992)。在抗炔螨特叶螨的种群适合度研究中,Stavrinides 等 (2010) 发现,太平洋叶螨抗炔螨特种群在药剂压力下未出现适合度降低;Franco 等 (2007) 比较了紫红短须螨 (*Brevipalpus phoenicis*) 敏感品系和抗炔螨特品系 (抗性倍数为15.9) 的适合度,也未发现显著性差异。然而,何林等 (2004, 2008) 提出,朱砂叶螨抗阿维菌素品系和抗甲氧菊酯品系存在适合度缺陷,且在不同温度下存在差异,抗阿维菌素品系在高温下 ($\geq 34^{\circ}\text{C}$) 却存在适合度优势。炔螨特是一个具有长期使用潜力的传统杀螨剂,为了更好地可持续使用该药剂,对其抗药性的深入研究显得日趋重要。本文以朱砂叶螨为对象,在抗性选育基础上,在室内组建了朱砂叶螨敏感品系和抗炔螨特品系种群生命表,比较了两者的发育历期、繁殖力及种群参数的差异,揭示该害螨对炔螨特的抗性适合度,以了解其对炔螨特的抗药

性形成与发展,为可持续治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试螨类

朱砂叶螨敏感品系 (SS) 于2000年采自重庆市北碚区田间,人工气候室内 ($25\pm 1^{\circ}\text{C}$, 60%~80% 相对湿度, L:D=14 h:10 h) 用豇豆 (*Vigna unguiculata*) 无虫苗继代饲养,未喷施任何药剂。朱砂叶螨抗炔螨特品系 (PRR34) 由敏感品系分离出的同源亚品系为材料,在室内以炔螨特 (90%, 青岛瀚生生物科技股份有限公司) 继代抗性选育至34代所得。

1.2 毒力测定方法

毒力测定方法参照联合国粮农组织 (FAO) 推荐的玻片浸渍法 (Busvine, 1980)。

1.3 生命表组建

采用叶碟饲养法 (雍小菊等, 2011): 选取直径为7.0 cm的培养皿,在皿内铺上脱脂棉,脱脂棉上放置滤纸,加水至饱和。将新鲜的豇豆苗叶剪成直径约5.0 cm的叶碟放入培养皿内,叶背朝上,叶正面紧贴滤纸。培养皿内注入水形成孤岛状,防止叶螨逃逸,根据情况加水和更换叶片。每个叶蝶接入1头3日龄的雌成螨,产卵24 h后移出成螨,记录产卵量。将所产卵进行分离,每个叶蝶放置一粒卵进行单头饲养,每个品系处理100头以上。每隔24 h观察1次,记录朱砂叶螨各品系各螨态的发育状况及存活情况,至成螨时,雌雄配对交配,并记录每雌每日产卵数,直至死亡。叶蝶置于温度 ($25\pm 1^{\circ}\text{C}$), 相对湿度60%~80%,光照周期14L:10D的光照培养箱内。

1.4 数据处理

数据的统计与分析分别采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 17.0 软件。根据生长日龄为自变量、存活率为因变量建立存活曲线,并以 Weibull 分布拟合模型 $S_p(t) = \exp[-(t/b)^c]$, 其中 S_p 为日龄 t 时的存活率; b 为尺度参数; c 为性状参数 (章玉苹等, 2009)。Weibull 分布模型给出当 $c>1$ 时,表示该种群在该龄期绝大多数个体均能实现其平均寿命,待达到其固有的寿命时才死亡;当 $c=1$ 时则表示该种群在不同的时间维持同样的死亡率,亦即同一时间内死亡数相等;当 $c<1$ 时表示该种群在前期有极高的死亡率,未达到平均寿命就大量死亡。种群趋势指数 (population tendency index, I) 是反映种群数量

表 1 朱砂叶螨敏感品系与抗炔螨特品系的毒力测定结果
Table 1 Toxicities of propargite-resistant and susceptible strains of *Tetranychus cinnabarinus*

品系	χ^2	斜率	LC_{50} ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	95%置信限 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	抗性系数 (RR)
敏感品系 SS	5.65	2.60±0.27	24.16	20.11~28.53	1.00
抗炔螨特品系 PRR34	23.89	1.04±0.18	912.75	740.97~10079.74	37.78

抗性系数(RR) = 抗性品系 PRR34 的 LC_{50} / 敏感品系 SS 的 LC_{50} 。

动态的重要指标之一,应用 Morris-Watt 模型分析种群趋势指数 $I = S_E \cdot S_L \cdot S_N \cdot S_{FA} \cdot F \cdot P_F \cdot P_\varphi$, 其中 S_E 、 S_L 、 S_N 和 S_{FA} 分别代表卵、幼螨、前若螨、后若螨以及雌成螨产卵前期的存活率, $(F \cdot P_F)$ 为平均每雌产卵量 P_φ 为雌性比(庞雄飞, 1990; 王进军等, 2001)。适合度是指生物个体具有对生态环境适应、生存和繁殖的相对能力,并决定生物体在自然选择压力下的行为,净生殖率(R_n)和世代平均历期(T)都是生物适合度的两个重要方面,根据赵志模等(1984)的方法组建朱砂叶螨生命生殖力表,内禀增长率(r_m)表示种群在一定环境条件下的增殖潜力,也可以作为不同条件下种群增长力比较指标, r_m 值越大,种群增长越快,反之亦然。净生殖率(R_n)指的是昆虫经历一个世代所产生的雌性个体数,各项种群参数计算如下: 内禀增长率 $r_m = \ln R_n / T$; 净生殖率 $R_n = \sum l_x \cdot m_x$; 世代平均历期 $T = \sum l_x \cdot m_x \cdot x / R_n$; 周限增长率 $\lambda = e^{r_m}$; 种群倍增时间 $D_t = \ln 2 / r_m$; 相对适合度 $R_f = R_n(\text{PRR34}) / R_n(\text{SS})$, 其中 PRR34 和 SS 分别指朱砂叶螨抗炔螨特品系(F_{34})和敏感品系, x 表示以日为单位的时间间隔, l_x 表示任一个体在 x 期间存活概率, m_x 表示在 x 期间平均每雌产雌数。

2 结果与分析

2.1 毒力测定结果

朱砂叶螨经室内抗性选育后,选育过程另文发表(Luo *et al.*, 2014)。炔螨特对朱砂叶螨抗炔螨特品系(PRR34)和敏感品系(SS)的毒力测定结果如表 1 所示,用炔螨特在室内对朱砂叶螨继代抗性选育至 34 代,其对炔螨特的抗性倍数为 37.78,形成了抗性品系。

2.2 朱砂叶螨敏感品系与抗炔螨特品系各虫态发育历期比较

由表 2 可以看出,与敏感品系 SS 相比,抗炔螨特品系 PRR34 的卵期、幼螨期和若螨期无显著性差异,但产卵前期显著延长 37.07%, 性比(φ / δ) 增加 23.38%, 使得总产卵量增加 26.82%, 敏感品系 SS

与抗炔螨特品系 PRR34 的总产卵量分别为 2431 和 3083 粒。在整个世代历期上, 抗炔螨特品系 PRR34 完成世代大概需要 11.12 d, SS 品系为 10.58 d, 抗炔螨特品系 PRR34 比敏感品系 SS 延长约 13 h, 但无显著差异。敏感品系 SS 和抗炔螨特品系 PRR34 每雌产卵量分别为 187.38 和 160.00, 抗炔螨特品系 PRR34 单雌产卵量比敏感品系 SS 减少 14.61%, 存在显著性差异。而卵的孵化率减少 2.94%, 敏感品系 SS 和抗炔螨特品系 PRR34 孵化率分别为 96.81% 和 93.96%, 无显著性差异。因此, 朱砂叶螨抗炔螨特品系 PRR34 较敏感品系 SS 的代价为产卵前期和世代周期延长、性比(φ / δ) 增加及每雌产卵量下降。

2.3 朱砂叶螨敏感品系与抗炔螨特品系生殖力及存活曲线

如图 1 所示, 2 个品系朱砂叶螨在生殖初期, 生殖力较小, 随后逐步上升到生殖高峰, 敏感品系 SS 在第 2、5 和 6 天出现产卵高峰, 每日产卵 4.01~4.51 粒, 朱砂叶螨抗炔螨特品系 PRR34 则在第 2 和 5 天出现 2 个明显的产卵高峰期, 最高日产卵数达到 5.99 和 5.79 粒, 2 个品系皆在第 4 天出现产卵低峰, 抗炔螨特品系 PRR34 在第 6 天又出现小低谷, 随后逐步上升, 产卵至第 8 天后, 2 个品系的产卵均呈下降趋势。图 1 的总体趋势表明, PRR 品系的生

表 2 朱砂叶螨敏感品系与抗炔螨特品系发育历期比较
Table 2 Developmental duration and fertility of the susceptible and propargite-resistant strains of *Tetranychus cinnabarinus*

螨态	敏感品系 SS	抗炔螨特品系 PRR34
卵期(d)	4.85±0.09	4.87±0.16
幼螨期(d)	1.79±0.32	1.78±0.24
若螨期(d)	3.33±0.45	3.35±0.44
产卵前期(d)	0.89±0.33	1.22±0.67*
世代历期(d)	10.58±0.62	11.12±0.99
性比(φ / δ)	3.55±0.48	4.38±0.86*
单雌产卵量(粒 · 雌 ⁻¹)	187.38±43.20	160.00±38.47*
产卵总量(粒)	2431	3083
卵孵化率(%)	96.81±10.14	93.96±11.03

数据为平均值±标准误; * S 品系与 PR 品系存在显著性差异($P < 0.05$, 单一样本 T 检验)。

表 3 朱砂叶螨敏感品系与抗炔螨特品系存活曲线拟合方程

Table 3 Simulated function of survival curves of the susceptible and propargite-resistant strains of *Tetranychus cinnabarinus*

品系	方程	参数 b 95%置信限	参数 c 95%置信限	相关系数
敏感品系 (SS)	$S_p(t) = \exp[-(t/26.98)^{2.04}]$	26.21~27.75	1.89~2.18	0.99
抗炔螨特品系 (PRR34)	$S_p(t) = \exp[-(t/23.90)^{2.38}]$	23.34~24.47	2.21~2.55	0.99

殖力曲线波动比敏感品系 SS 大,敏感品系 SS 生殖力曲线相对平稳。

用曲线表示在生物体某一特定年龄时刻,种群的同龄个体随时间移动而变化的现象称为存活曲线。如图 2 所示,两个品系的存活曲线趋势相似,皆呈下降趋势。在第 18 天后,抗炔螨特品系 PRR34 朱砂叶螨的存活率急剧下降,明显低于敏感品系 SS。

采用 Weibull 分布拟合存活曲线模型,其参数 b 和 c 的值及相关系数列于表 3 中。朱砂叶螨敏感品系 SS 和抗炔螨特品系 PRR34 的模型相关系数分别为 0.99 和 0.99,表明模型拟合度较高,能够描述

种群存活率与时间的关系;参数 c 值分别为 2.04 和 2.38,均>1,其存活曲线的类型为 Deevey I 型,即 2 个品系的朱砂叶螨种群内多数个体能实现平均寿命,死亡主要发生在后期衰老个体;参数 b 值分别为 26.98 和 23.90,敏感品系 SS 的 b 值大于抗炔螨特品系 PRR34 的 b 值,因而在同一特定时间,敏感品系 SS 的存活率仍较高,平均寿命也较长(图 2)。

2.4 朱砂叶螨敏感品系与抗炔螨特品系的种群趋势指数

应用 Morris-Watt 模型分析朱砂叶螨敏感品系 SS 和抗炔螨特品系 PRR34 的种群趋势指数结果如表 4 所示,结果表明:敏感品系 SS 的 I 值为 123.78,而抗炔螨特品系 PRR34 的 I 值为 111.91,敏感品系 SS 的 I 值略高于抗炔螨特品系 PRR34 的 I 值,即炔螨特对朱砂叶螨种群的增长具有一定的抑制作用。比较两个品系的各作用因子,抗炔螨特品系 PRR34 的每雌产卵量降低应该是该种群 I 值变化的主要原因之一。

2.5 朱砂叶螨敏感品系和抗炔螨特品系种群生命表参数与相对适合度

根据朱砂叶螨抗炔螨特品系 PRR34 和敏感品系 SS 的生殖力和存活率组建生命表,计算得到两个品系种群生命参数(表 5)。敏感品系 SS 的内禀增长率(r_m)为 0.24,略低于 PRR34 品系(0.26),抗炔螨特品系 PRR34 的种群倍增时间(t)也略低于敏感品系 SS,抗炔螨特品系 PRR34 的净生殖率(R_n)为 28.99,略高于敏感品系 SS(25.34),这一结果与表 2

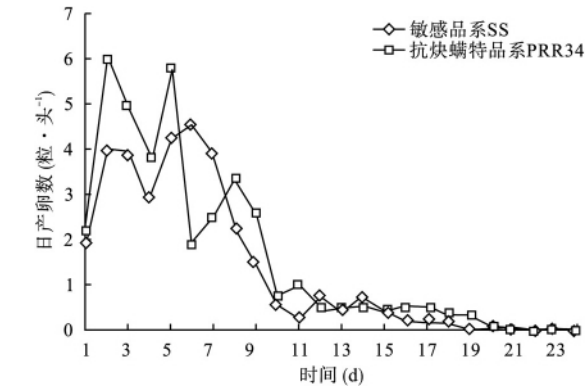


图 1 朱砂叶螨敏感品系与抗炔螨特品系生殖力曲线
Fig.1 Age-specific fecundity of the susceptible and propargite-resistant strains of *Tetranychus cinnabarinus*

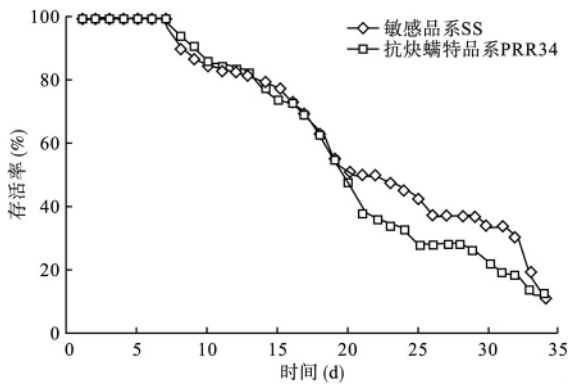


图 2 朱砂叶螨敏感品系与抗炔螨特品系存活曲线
Fig.2 Age-specific survival rate of the susceptible and propargite-resistant strains of *Tetranychus cinnabarinus*

表 4 朱砂叶螨敏感品系与抗炔螨特品系的种群趋势指数
Table 4 Population tendency index of the susceptible and propargite-resistant strains of *Tetranychus cinnabarinus*

螨态	作用因子	存活率(%)	
		敏感品系 SS	抗炔螨特品系 PRR34
卵	不孵化	99.15±25.63	93.96±11.03
幼螨	生理死亡	100.00±0.00	100.00±0.00
若螨	生理死亡	88.31±5.46	95.46±9.68
雌成螨	产卵前	96.70±6.35	95.79±7.68
	雌性比	78.02±10.55	81.41±15.98
	每雌产卵量	187.38±43.20	160.00±38.47
	种群趋势指数(I)	123.78	111.91

数据为平均值±标准误。

表 5 朱砂叶螨敏感品系与抗炔螨特品系种群参数和相对适合度

Table 5 Population parameters and the relative fitness (R_f) of the susceptible and propargite-resistant strains of *Tetranychus cinnabarinus*

品系	种群参数					相对适合度 (R_f)
	内禀增长率 (r_m)	世代平均历期 (T)	种群倍增时间 (t)	周限增长率 (λ)	净生殖率 (R_n)	
敏感 SS	0.24	13.29	2.85	1.27	25.34	1.00
抗炔螨特品系 PRR34	0.26	13.10	2.70	1.29	28.99	1.14

所示的抗炔螨特品系 PRR34 雌性比增加及总产卵量增加一致。

本研究以 R_n 比较朱砂叶螨敏感品系 SS 和抗炔螨特品系 PRR34 的适合度, 抗炔螨特品系 PRR34 的相对适合度为 1.14, 与敏感品系 SS 虽无明显差异, 但表现出一定的适合度优势。

3 讨论

有害生物对不良环境都有一定的忍耐力和抵抗力, 在不良环境胁迫下不可避免地产生某种适应性, 从而发展为抗性, 在适应不良环境时也需付出生殖力及发育的适合度代价。嗜卷书虱 (*Liposcelis bostrychophila*) 在不良环境中表现出适合度缺陷 (王进军等 2001a, 2001b), Alyokhin 等 (2007) 室内研究表明, 马铃薯甲虫 (*Leptinotarsa decemlineata*) 抗 Bt 品系与敏感品系相比, 其种群增长率低, 种群相对适合度降低。而朱砂叶螨对氧化乐果、三氯杀螨醇、双甲脒和哒螨灵产生抗药性后, 其繁殖力均显著下降, 发育加速, 表现出明显的适合度缺陷 (郭凤英等, 2001)。朱砂叶螨 (何林等, 2004, 2008)、二斑叶螨 (符海波等 2011) 和土耳其斯坦叶螨 (*T. turkestanii*) (陈文博等 2011) 抗阿维菌素品系和抗甲氰菊酯品系均存在适合度缺陷。但也有研究报道, 朱砂叶螨在模拟酸雨 (pH 4.0 和 pH 5.6) 条件下长期处理后, 其发育时间延长, 呈现适合度优势, 且发现酸雨地区也出现朱砂叶螨猖獗发生 (Wang et al. 2004)。本研究中, 朱砂叶螨 PR 品系筛选至 34 代, 其抗性系数为 37.78 倍后, PRR34 品系代价为产卵前期和世代周期延长、性比 ($\text{♀}/\text{♂}$) 增加及每雌产卵量下降, 同时, PRR34 品系的生殖力曲线波动比敏感品系 SS 大, 敏感品系 SS 生殖力曲线相对平稳, 炔螨特对朱砂叶螨产卵抑制作用与陶士强等 (2006) 研究一致。

采用 Weibull 分布拟合存活曲线模型, 敏感品系 SS 和 PRR34 品系的参数 c 值分别为 2.04 和 2.38, 存活曲线的类型均属于 Deevey I 型, 即 2 个品系的朱砂叶螨种群内多数个体能实现平均寿命, 死亡主要发生在后期衰老个体; 参数 b 值分别为 26.98 和 23.90, 敏感品系 SS 的 b 值大于抗炔螨特品系 PRR34 的 b 值, 因而在同一特定时间, 敏感品系 SS 的存活率仍较高, 平均寿命也较长, 第 18 天后抗炔螨特品系 PRR34 的存活率低于敏感品系 SS 的存活率, 这可能是导致其后期产卵量下降的原因之一。

应用 Morris-Watt 模型分析朱砂叶螨敏感品系 SS 和抗炔螨特品系 PRR34 的种群趋势指数, 其敏感品系 SS 和 PR 品系的 I 值分别为 123.78 和 111.91, 相比之下, 炔螨特对朱砂叶螨种群的增长具有一定的抑制作用, 这可能与其对雌成螨的产卵抑制作用有关。在本研究中, 敏感品系 SS 的内禀增长率 (r_m) 为 0.24, 而抗炔螨特品系 PRR34 的 r_m 为 0.26, 略高于敏感品系 SS, 其与何林等 (2004) 研究结果一致, 抗炔螨特品系 PRR34 的净生殖率 (R_n) 为 28.99, 略高于敏感品系 SS (25.34), 这可能与其雌性个体数量增加有关, 每雌产卵量虽然受到抑制, 但雌性个体增加后, 其总产卵量也将增加, 致使抗炔螨特品系 PRR34 的 R_n 略高于敏感品系 SS。PRR34 品系的适合度为 1.14, 不存在适合度缺陷, 这与 Stavrinides 等 (2010) 采自美国加利福尼亚州葡萄园的太平洋叶螨 (*T. pacificus*) 以及巴西柑橘园里的柑橘紫红短须螨 (*Brevipalpus phoenicis*) 炔螨特抗性种群在药剂选择压力下并未出现适合度缺陷的结果一致 (Franco et al. 2007)。抗炔螨特品系 PRR34 的适合度为 1.14, 表明其种群存在一定的增殖优势, 雌性比增加后, 长期发展将有可能促进种群增长, 抗炔螨特品系 PRR34 可能会猖獗发生。在本研究中, 随着炔螨特对朱砂叶螨抗性选育世代的增加和抗性机制的变化, 其种群适合度的变化还有待于进一步的研究。

综上所述, 朱砂叶螨对炔螨特产生 37.78 倍的抗性后, 抗炔螨特品系 PRR34 和敏感品系 SS 的存活曲线的类型均属于 Deevey I, 但抗炔螨特品系 PRR34 后期的存活率下降, 且产卵前期和世代周期延长, 每雌产卵量下降, 炔螨特对朱砂叶螨表现一定的产卵抑制作用, 抗炔螨特品系 PRR34 的种群趋势指数低于敏感品系 SS, 但雌性比增加, 使得抗炔螨特品系 PRR34 的总产卵量增加, 净生殖率增加, 表现一定的适合度优势。炔螨特对朱砂叶螨虽表现为

抑制产卵及抑制种群增长,但不断地雌性比增加后,长期的发展,将有可能致使该种群的猖獗发生,因此,在生产实际防控中,应选择不同作用机制的药剂进行轮用,延长药剂的使用寿命,更有效地进行螨类抗药性治理。

参考文献

- 陈文博,孙磊,杨涛,等. 2011. 土耳其斯坦叶螨对阿维菌素和哒螨灵抗药性机理及抗性适合度研究. 新疆农业科学, **48**(2): 229-235.
- 符海波,张志刚,沈慧敏,等. 2011. 二斑叶螨对螺螨酯抗性和敏感种群相对适合度的研究. 植物保护, **37**(5): 115-117.
- 郭凤英,赵志模. 2001. 抗药性叶螨的种群参数和相对适合度. 蛛形学报, **10**(1): 41-43.
- 何林,薛传华,赵志模,等. 2008. 朱砂叶螨抗性品系不同温度下的相对适合度. 应用生态学报, **19**(11): 2449-2454.
- 何林,杨羽,符建章,等. 2004. 朱砂叶螨阿维菌素抗性品系选育及适合度研究. 植物保护学报, **31**(4): 395-400.
- 黎金嘉. 2010. 善待农药杀螨剂克螨特. 农药市场信息, (10): 15-17.
- 庞雄飞. 1990. 种群数量控制指数及其应用. 植物保护学报, **17**(1): 11-16.
- 沈慧敏,杨宝生. 2001. 二点叶螨对16种杀虫杀螨剂的抗药性. 植物保护学报, **28**(4): 362-367.
- 陶士强,吴福安,程嘉翎. 2006. 杀螨剂“克螨特”亚致死剂量对朱砂叶螨实验种群生命参数的影响. 蚕业科学, **32**(3): 411-413.
- 王进军,赵志模,李隆术. 2001a. 嗜卷书虱实验种群生命表的研究. 应用生态学报, **12**(1): 83-85.
- 王进军,赵志模,李隆术. 2001b. 嗜卷书虱抗气调品系的选育及其适合度研究. 昆虫学报, **44**(1): 67-71.
- 雍小菊,张永强,丁伟. 2011. 东莨菪内酯对朱砂叶螨实验种群的亚致死效应. 昆虫学报, **54**(12): 1377-1383.
- 章玉苹,陆永跃,曾玲,等. 2009. 桔小实蝇抗高效氯氰菊酯品系种群生命参数与相对适合度. 应用生态学报, **20**(2): 381-386.
- 赵志模,周新远. 1984. 生态学引论. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社.
- Alyokhin A, Dively G, Patterson M, et al. 2007. Resistance and cross-resistance to imidacloprid and thiamethoxam in the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata*. *Pest Management Science*, **63**: 32-41.
- Busvine JR. 1980. Recommended methods for measurement of pest resistance to pesticides. *FAO Plant Production and Protection Paper*, **21**: 49-54.
- Dagli F, Tunc İ. 2001. Dicofo resistance in *Tetranychus cinnabarinus* resistance and stability of resistance in populations from Antalya, Turkey. *Pest Management Science*, **57**: 609-614.
- Franco CR, Casarini NFB, Domingues FA, et al. 2007. Resistance of *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) to acaricides that inhibit cellular respiration in citrus: Cross-resistance and fitness cost. *Neotropical Entomology*, **36**: 565-576.
- Gerson U, Aronowitz A. 1981. Spider mite webbing. Part IV: The effect of acaricides on spinning by the carmine spider mite *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval). *Pesticide Science*, **12**: 211-214.
- He L, Zhao ZM, Deng XP, et al. 2003. Resistance risk assessment: Realized heritability of resistance to methrin, abamectin, pyridaben and their mixtures in the spider mite, *Tetranychus cinnabarinus*. *International Journal of Pest Management*, **49**: 271-274.
- Janmaat AF, Myers JH. 2011. Genetic variation in fitness parameters associated with resistance to *Bacillus thuringiensis* in male and female *Trichoplusia ni*. *Journal of Invertebrate Pathology*, **107**: 27-32.
- Kabir KH, Chapman RB, Penman DR. 1993. Monitoring propargite resistance in European red mite, *Panonychus ulmi* Koch (Acari: Tetranychidae). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, **21**: 133-138.
- Luo YJ, Yang ZG, Xie DY, et al. 2014. Molecular cloning and expression of glutathione S-transferases involved in propargite resistance of the carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, **114**: 45-51.
- Spollen KM, Hoy MA. 1992. Genetic improvement of an arthropod natural enemy: Relative fitness of a carbaryl-resistant strain of the California red scale parasite *Aphytis melinus* DeBach. *Biological Control*, **2**: 87-94.
- Stavrinides MC, Van Nieuwenhuysen P, Van Leeuwen T, et al. 2010. Development of acaricide resistance in Pacific spider mite (*Tetranychus pacificus*) from California vineyards. *Experimental and Applied Acarology*, **50**: 243-254.
- Wang JJ, Zhao ZM, Zhang JP. 2004. The host plant-mediated impact of simulated acid rain on the development and reproduction of *Tetranychus cinnabarinus* (Acari, Tetranychidae). *Journal of Applied Entomology*, **128**: 397-402.
- Yorulmaz S, Kaplan P, Boztürk D, et al. 2010. Propargite and chryseatin sensitivity in *Tetranychus urticae* Koch. (Acarina: Tetranychidae) populations collected from apple orchards in Isparta. *Ziraat Fakültesi Dergisi-Süleyman Demirel Üniversitesi*, **5**: 17-23.

作者简介 罗雁婕,女,1979年生,博士,副研究员,研究方向为农业昆虫与害虫防治。E-mail: yanjieluo@126.com
责任编辑 张敏