

河北省不同地区棉蚜种群对 6 种杀虫剂 抗药性与种群适合度

党志红, 安静杰, 高占林, 彭建红, 潘文亮, 李耀发*

(河北省农林科学院植物保护研究所, 河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心,
农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 保定 071000)

摘要 为了利用棉蚜抗性种群的适合度代价, 指导田间棉蚜种群抗药性治理, 笔者采用浸渍法测定并明确了河北省不同地区棉蚜对 6 种杀虫剂的抗性水平及差异, 并组建了河北省不同地区棉蚜的实验种群生命表, 以期明确河北省抗性棉蚜种群的适合度变化。结果表明, 邯郸棉蚜种群对丁硫克百威($RI=80.5$)、氰戊菊酯($RI=28.6$)和阿维菌素($RI=108.7$)的抗性明显高于保定和沧州地区棉蚜种群。从各地区棉蚜实验种群生命表结果来看, 邯郸棉蚜种群净繁殖率(37.9 ± 2.51)和相对适合度(0.78)明显低于室内敏感种群, 而保定和沧州棉蚜均与敏感种群没有显著性差异。结合已有棉蚜抗性种群适合度研究结果, 笔者认为河北省邯郸棉蚜种群适合度下降可能与其对丁硫克百威或阿维菌素的高抗性有关。因而, 针对邯郸棉蚜种群抗药性治理, 应暂停使用丁硫克百威和阿维菌素, 轮换使用抗性风险较低的吡虫啉、噻虫胺等杀虫剂品种。

关键词 棉蚜; 杀虫剂; 抗药性; 种群适合度

中图分类号: S 481.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018281

Fitness and resistance of different *Aphis gossypii* populations in Hebei to six pesticides

DANG Zhihong, AN Jingjie, GAO Zhanlin, PENG Jianhong, PAN Wenliang, LI Yaofa

(Institute of Plant Protection, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences; IPM Center of Hebei Province; Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Baoding 071000, China)

Abstract In order to exploit the fitness cost and direct the management of the resistant population of *Aphis gossypii* Glover in the field, the resistance level of *A. gossypii* from different areas in Hebei province to six insecticides were determined by dipping method. The population fitness was also studied according to the established life table of the experimental population of *A. gossypii*. The results showed that the resistance of Handan population to carbosulfan ($RI=80.5$), fenvalerate ($RI=28.6$) and abamectin ($RI=108.7$) were significantly higher than that of Baoding and Cangzhou populations. Based on the life tables of the experimental populations of *A. gossypii* from different areas, the net growth rate (37.9 ± 2.51) and relative fitness (0.78) of the Handan population were significantly lower than that of the indoor sensitive population, but there was no significant difference between the susceptible population and Baoding, Cangzhou populations. Our studies suggested that the decline in the fitness of Handan population could be related to its high resistance to carbosulfan or abamectin. Therefore, the use of carbosulfan and abamectin should be suspended, and the use of imidacloprid and clothianidin is recommended for the management of *A. gossypii* in Handan.

Key words *Aphis gossypii*; pesticides; resistance; fitness

种群适合度是指一个生物种群能够生存并把它
的特性传给下一代的能力, 一般包括生活力和繁殖
力^[1]。由于在杀虫剂使用之前害虫通常不会产生抗

药性, 这就表明在没有杀虫剂的选择压力时, 抗性基
因在自然选择中处于不利地位, 这种抗性基因适合
度的不利性被称为适合度代价^[2]。由于适合度代价

收稿日期: 2018-06-30

修订日期: 2018-07-31

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201906); 河北省现代农业产业技术体系(HBCT2018040204); 河北省农林科学院财政项目(F18C10001, F17E10004); 河北省自然科学基金(C2017301067)

* 通信作者 E-mail: liyaofa@126.com

的存在,昆虫的抗性品系与敏感品系相比通常会出现生殖力下降和发育历期延长等生物学特性的变化^[3]。吴益东等^[4]通过棉铃虫实验种群生命表研究发现,其抗氰戊菊酯品系相对于敏感品系生物适合度仅为 0.69。程英等^[5]发现小菜蛾对阿维菌素、高效氯氰菊酯和杀虫双抗性种群与敏感种群相比,生物适合度分别为 0.72、0.79 和 0.59,均有较大幅度下降。周玉书等^[6]发现室内饲养二斑叶螨抗螺螨酯品系与敏感品系相比,幼螨存活率、有效产卵量和内禀增长率等均具有不利性,相对适合度仅为 0.58,存在适合度缺陷。但是,昆虫抗性品系的种群适合度常因昆虫种类和杀虫剂种类的不同而产生不同的表现^[7],其不仅仅表现为适合度代价。Banks 等^[8]发现桃蚜抗乐果种群成蚜前 10 d 发育速度和产蚜量、体重等均明显高于敏感品系,但是其寿命却出现了明显的缩短化现象。吴孔明等^[9]的研究发现,棉蚜抗杀灭菊酯品系的适合度并未降低,其种群繁殖力也没有下降趋势。

棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 是我国棉花、瓜类等作物的重要害虫。由于农业生产上治理棉蚜依赖于化学防治,导致其已对有机磷类、菊酯类和新烟碱类等多种杀虫剂产生了高至极高的抗药性水平^[10-13]。为了利用棉蚜抗药性种群的适合度变化,指导田间抗性棉蚜种群的治理,笔者测定并明确了河北省不同地区棉蚜对 6 种常规防治药剂的抗性水平及差异,组建了河北省不同地区棉蚜品系的实验种群生命表,明确了不同棉蚜品系的种群适合度变化,现将结果报告如下。

1 材料与方法

1.1 供试药剂

95.0%吡虫啉原药、95.0%噻虫胺原药和 96.6%阿维菌素原药均由河北威远生物化工股份有限公司提供;92.0%丁硫克百威原药和 86.0%氰戊菊酯原药均由江苏常隆化工有限公司提供;78.0%氧乐果原油由江苏扬农化工股份有限公司提供。

1.2 供试棉蚜种群

田间抗性种群:2017 年 6 月(棉花苗期),分别于河北省保定高阳县(38.557°N,115.932°E)、沧州献县(38.296°N,116.163°E)和邯郸邱县(36.890°N,115.142°E)棉田采集棉蚜田间自然种群,以上三地均为河北省重要棉花种植区,棉蚜一直严重发生,用药水平较高。有机磷类和菊酯类杀虫剂均曾用作当地防治棉蚜的主导品种,近年来,新烟碱类杀虫剂成为首选药剂品种,每年喷雾防治苗蚜至少 3~4 次。将采集到的棉蚜经河北省农林科学研究

院植物保护研究所养虫室(温度 22℃±1℃,湿度 60%~80%,L//D=16 h//8 h)内,于新鲜棉花水培苗上稳定后,挑取生理状态一致、健壮活泼的 0~2 代无翅成蚜供试。

室内敏感种群:在植保所养虫室内(温湿度条件同上),于新鲜棉花水培苗上,不接触任何药剂的情况下连续饲养多年的室内敏感种群,挑取生理状态一致、健壮活泼的无翅成蚜供试。

1.3 棉蚜抗药性测定及分析方法

采用 FAO(1980)推荐的浸渍法^[14]测定棉蚜对供试药剂敏感性。将各供试原药用丙酮溶解并配制制成一定浓度母液,并用 0.1%吐温 80 水溶液将各母液稀释成 5~7 个梯度溶液备用。将带有蚜虫的棉花叶片于药液中浸渍 10 s,取出后于吸水滤纸上阴干,反面朝上放置在养虫盒中。每处理蚜虫不少于 30 头,置于养虫室内(相同饲养条件)。24 h 后检查存活蚜虫数,检查时用毛笔拨动虫体,试虫完全不动视为死亡。若对照死亡率<10%为有效测定,若对照死亡率>10%,则当天全部处理的结果作废。以含有丙酮的 0.1%吐温 80 水溶液为对照,试验重复 3 次。

运用 DPS v7.05 软件,根据死亡率几率值和浓度对数值求出毒力回归式($Y=A+BX$)和致死中浓度 LC_{50} 值,棉蚜抗性种群 LC_{50} 值与敏感种群 LC_{50} 值相比得到该种群对杀虫剂的抗性指数,以确定河北省不同地区棉蚜种群的抗药性水平。

抗性指数(RI)按下列公式计算:

抗性指数(RI) = 抗性种群的 LC_{50} / 敏感种群的 LC_{50} 。

1.4 棉蚜种群适合度分析方法

参照吴孔明等^[15]的方法构建棉蚜实验种群生命表。将田间采集的不同地区棉蚜在养虫室内(相同环境条件下)饲养繁殖一代后,随机取 40 头初孵若蚜个体置于养虫盒中饲养,以新鲜棉叶饲喂,重复 3 次。逐日检查,并记录若蚜蜕皮情况,以初产新若蚜前最后一次蜕皮为成蚜历期的开始,每天检查并记录成蚜产蚜量,每天剔除新产若蚜,直到成蚜死亡。试验统计时剔除非正常死亡或逃逸的蚜虫。每重复选取 20 头正常发育、顺利产若蚜和正常死亡的蚜虫,计算蚜虫发育历期、产若蚜量及构建实验种群生命表。

净繁殖率(R_0)按下列公式计算:

$$R_0 = N_{t+1} / N_t$$

其中, N_t 为棉蚜种群起始个体数, N_{t+1} 为繁殖一代后种群个体数;然后,以敏感种群的 R_0 为除数,计算出河北省不同地区棉蚜种群的相对适合度。

2 结果与分析

2.1 河北省不同地区棉蚜种群对 6 种杀虫剂抗性差异

采用浸渍法,测定了河北省保定、沧州和邯郸棉

蚜种群对吡虫啉、噻虫胺、丁硫克百威、氧乐果、氰戊菊酯和阿维菌素的敏感性,并与室内敏感种群比较,明确了河北省 3 个地区棉蚜对供试药剂的抗性水平及不同地区之间的差异(详见表 1)。

表 1 河北省不同地区棉蚜对 6 种杀虫剂抗药性水平差异比较

Table 1 Comparison of resistance levels of *Aphis gossypii* to 6 insecticides in different areas of Hebei

供试药剂 Insecticide	不同种群敏感性及其抗性指数 Susceptibility and resistance indices of different <i>A. gossypii</i> populations									
	保定高阳县 Gaoyang county, Baoding			沧州献县 Xian county, Cangzhou			邯郸邱县 Qiu county, Handan			室内敏感种群 Indoor susceptible population
	LC ₅₀ / mg·L ⁻¹	95% Fiducial interval/mg·L ⁻¹	RI	LC ₅₀ / mg·L ⁻¹	95% Fiducial interval/mg·L ⁻¹	RI	LC ₅₀ / mg·L ⁻¹	95% Fiducial interval/mg·L ⁻¹	RI	LC ₅₀ / mg·L ⁻¹
吡虫啉 imidacloprid	124.4	77.30~266.9	16.2	246.1	111.4~3 487.7	32.1	73.5	41.3~226.2	9.6	7.7
噻虫胺 clothianidin	116.2	62.70~453.4	6.7	74.9	27.6~1 468.9	4.3	95.7	29.6~309.2	5.5	17.3
氧乐果 omethoate	175.6	90.40~665.6	30.3	144.5	106.2~232.2	25.0	117.6	64.1~504.6	26.1	5.8
丁硫克百威 carbosulfan	16.8	6.70~42.9	3.7	23.1	15.3~47.9	5.1	466.0	34.7~4 183.5	80.5	4.5
氰戊菊酯 fenvalerate	189.9	92.34~2 248.9	11.4	65.7	47.3~108.2	4.0	474.5	49.5~4 545.1	28.6	16.6
阿维菌素 abamectin	56.3	44.80~79.3	9.1	46.7	33.8~75.1	7.5	675.2	109.6~4 158.1	108.7	6.2

从测定结果来看,河北省 3 个地区棉蚜种群对新烟碱类杀虫剂噻虫胺和有机磷类杀虫剂氧乐果的抗性波动较小,对噻虫胺的相对抗性指数在 4.3~6.7,对氧乐果在 25.0~30.3;对另一新烟碱类杀虫剂吡虫啉的抗性,各地区之间存在一定的差异,其中沧州棉蚜种群抗性最高,其抗性指数为 32.1,保定种群为 16.2,邯郸种群抗性指数最低,为 9.6;对于氨基甲酸酯类杀虫剂丁硫克百威、菊酯类杀虫剂氰戊菊酯和抗生素类杀虫剂阿维菌素的抗性均有一个共同特点,即邯郸种群的抗性明显高于其他地区棉蚜抗性水平,如对丁硫克百威,邯郸种群抗

性指数为 80.5,保定和沧州种群仅为 3.7 和 5.1,对氰戊菊酯,邯郸种群抗性指数为 28.6,保定和沧州种群分别为 11.4 和 4.0,对阿维菌素,邯郸种群抗性指数为 108.7,而保定和沧州种群分别为 9.1 和 7.5。

另外,从本测定结果还可以看出,河北省各地区棉蚜种群对杀虫剂的抗性均已存在明显的多抗现象,而邯郸棉蚜种群多抗现象更为明显。

2.2 河北省不同地区棉蚜种群相对适合度

河北省不同地区棉蚜室内种群生命表及其适合度分析结果详见表 2。

表 2 河北省不同地区棉蚜种群生命表及其适合度分析¹⁾

Table 2 Life table and fitness of different *Aphis gossypii* populations in Hebei

种群参数 Population parameter	室内敏感种群 Indoor sensitive population	保定高阳县 Gaoyang county, Baoding	沧州献县 Xian county, Cangzhou	邯郸邱县 Qiu county, Handan
若蚜数/头 No. of nymph	20×3	20×3	20×3	20×3
若蚜发育历期/d Developmental duration of nymph	(6.48±0.25)b	(6.75±0.31)b	(4.92±0.17)c	(7.86±0.23)a
成蚜发育历期/d Developmental duration of adult	(21.85±1.05)b	(28.90±0.81)a	(31.80±1.76)a	(24.30±1.61)b
世代总产蚜量/20 头 Total production of offspring	(971.80±44.89)a	(993.00±26.00)a	(918.00±22.7)a	(758.00±50.30)b
平均产蚜量/头 Average production of offspring	(48.59±2.24)a	(49.70±1.30)a	(45.90±1.13)a	(37.90±2.51)b
平均日产蚜量/头 Daily production	(2.23±1.00)a	(1.72±0.05)b	(1.45±0.07)c	(1.56±0.04)bc
净繁殖率 Net reproductive rate	(48.59±2.24)a	(49.70±1.30)a	(45.90±1.13)a	(37.90±2.51)b
相对适合度 Relative fitness	1.00	1.02	0.94	0.78

1) 根据 Duncan 氏差异显著性分析,同行数据后相同小写字母表示数据间在 0.05 水平差异不显著。

The same lowercase letters in the same row indicate no significant difference at 0.05 level (Duncan's analysis).

从分析结果来看,沧州棉蚜若蚜发育历期(4.92±0.17)d 较敏感种群(6.48±0.25)d 明显缩短,邯郸种群若蚜发育历期却明显延长(7.86±0.23)d,保定种群若蚜发育历期(6.75±0.31)d 与敏感种群没有显著性差异;从成蚜发育历期来看,3 个地区棉蚜成蚜发育历期均长于或与敏感种群一致;从世代总产

蚜量和平均产蚜量来看,保定和沧州棉蚜与敏感种群没有显著性差异,而邯郸种群产蚜总量明显减少,室内敏感种群的产蚜总量为(971.80±44.89)头,而邯郸种群仅为(758.00±50.30)头;从平均日产蚜量来看,3 个地区棉蚜均明显低于敏感种群。从河北 3 个地区棉蚜种群的净繁殖率和相对适合度分析结果来

看,邯鄲棉蚜相对适合度为 0.78,明显低于敏感种群,而保定、沧州棉蚜均与敏感种群没有显著性差异。

3 讨论

棉蚜是一种世界性的经济害虫,由于其治理主要依赖于化学防治,该虫很快成为抗药性严重和难以治理的重要害虫之一^[11]。从 20 世纪 60 年代开始,植保工作者^[10,16-20]便开始关注河北省棉蚜对有机磷类、氨基甲酸酯类、菊酯类和新烟碱类杀虫剂等抗性产生和发展过程,除了发现对溴氰菊酯有 13 243 倍极高抗水平外,还报道了河北棉蚜自然种群对目前当家品种新烟碱类杀虫剂吡虫啉和啶虫脒均已产生了中至高水平抗性。并且发现,棉蚜对不同药剂品种的交互抗性及多抗性问题是其抗药性严重和难以治理的重要原因^[11,21-22]。

一般认为昆虫的抗性基因常与繁殖不利性连锁。因而,研究害虫抗药性与其种群适合度之间的关系,充分利用害虫对药剂抗性的适合度代价,可为抗性治理对策提供科学依据并指导抗性治理^[2]。基于此,国内植保工作者已陆续开展了抗性棉蚜种群适合度的研究。吴孔明等^[9]研究提出棉蚜抗杀灭菊酯种群没有出现适合度降低的现象。于金凤等^[23]研究发现,棉蚜抗灭多威及抗硫丹种群,其适合度明显降低,而抗久效磷的棉蚜没有出现适合度降低的现象,但是抗溴氰菊酯的棉蚜种群适合度不仅没有降低,反而有所升高。孙磊等^[24]发现棉蚜抗吡虫啉和高效氯氰菊酯品系与敏感品系相比较在净生殖力、内禀增长率等方面存在适合度不利性。

本研究发现,河北省邯鄲棉蚜种群相对适合度(0.78)表现为明显下降的现象,而从抗药性水平来看,该种群与保定和沧州种群相比,对丁硫克百威、阿维菌素和氰戊菊酯的抗性明显高于其他两个棉蚜种群。结合吴孔明等^[9]和于金凤等^[23]的研究结果,即抗菊酯类杀虫剂棉蚜种群适合度多数不伴随降低,甚至会出现增加的现象,可初步断定,邯鄲棉蚜种群适合度下降可能与其对丁硫克百威或阿维菌素的高抗性有关。但是,由于河北省各地棉蚜种群遗传背景、环境因子、用药历史等方面均具有一定的不确定性,因此,对于邯鄲棉蚜抗药性种群适合度代价的现象,仍需室内进一步验证。

从抗药性治理策略来看,利用害虫抗性基因型个体适合度存在不利性,暂停使用或轮用杀虫剂,可降低该种群中抗性基因频率,使种群敏感性逐渐得到恢复。因而,针对邯鄲棉蚜种群,应暂停使用丁硫

克百威和阿维菌素,轮换使用抗性风险较低的吡虫啉、噻虫胺等杀虫剂品种。

参考文献

- [1] 唐振华. 昆虫抗药性及其治理[M]. 北京:农业出版社,1993:389.
- [2] 刘凤沂,须志平,薄仙萍,等. 昆虫抗药性与适合度[J]. 昆虫知识,2008,45(3):374-378.
- [3] 唐振华,吴士雄. 昆虫抗药性的遗传与进化[M]. 上海:上海科学技术文献出版社,2000.
- [4] 吴益东,沈晋良,谭福杰,等. 棉铃虫对氰戊菊酯抗性品系和敏感品系的相对适合度[J]. 昆虫学报,1996,39(3):233-237.
- [5] 程英,李凤良,金剑雪,等. 小菜蛾不同抗性品系与敏感品系杂交的生物适合度[J]. 西南农业学报,2014,27(5):1957-1960.
- [6] 周玉书,李忠洲,田如海,等. 二斑叶螨对螺螨酯抗性和敏感品系相对适合度的研究[J]. 沈阳农业大学学报,2012,43(1):23-26.
- [7] 姚洪渭,叶恭银,程家安. 害虫抗药性适合度与内分泌调控研究进展[J]. 昆虫知识,2002,39(3):181-186.
- [8] BANKS C J, NEEDHAM P H. Comparison of the biology of *Myzus persicae* Sulz. resistant and susceptible to dimethoate [J]. Annals of Applied Biology, 1970, 66:465-468.
- [9] 吴孔明,刘芹轩. 棉蚜抗杀灭菊酯品系的某些生物学特性[J]. 昆虫学报,1994,37(2):137-144.
- [10] 高占林,李耀发,党志红,等. 河北省不同地区棉蚜对吡虫啉等杀虫剂抗药性发展动态研究[J]. 河北农业大学学报,2008,31(3):81-84.
- [11] 梁彦,张帅,邵振润,等. 棉蚜抗药性及其化学防治[J]. 植物保护,2013,39(5):70-80.
- [12] 张国福,李琳琳,李本杰,等. 山东省不同地区棉蚜对新烟碱类杀虫剂的抗药性检测及酶抑制剂的增效作用研究[J]. 农药学报,2014,16(6):673-680.
- [13] 崔丽,张靖,齐浩亮,等. 我国棉花主产区棉蚜对吡虫啉的抗性监测及抗性机理[J]. 昆虫学报,2016,59(11):1246-1253.
- [14] 王树礼,刘德明. 介绍世界粮农组织(FAO)推荐的检测害虫抗药性的浸渍法[J]. 昆虫知识,1990,27(3):172-173.
- [15] 吴孔明,刘芹轩. 温度对棉蚜生命参数影响的研究[J]. 棉花学报,1992,4(1):61-68.
- [16] 龚坤元. 棉蚜对 1059 的抗性测定[J]. 昆虫知识,1964,13(1):1-9.
- [17] 石键,崔光先,郑港庆. 河北棉区棉蚜对内吸磷抗药性的调查[J]. 昆虫知识,1965,2(6):329-330.
- [18] 傅凯廉,苏毅. 河北省中部棉蚜对杀虫剂抗药性的研究[J]. 河北农业大学学报,1990,13(1):47-50.
- [19] 潘文亮,高占林,张克锦,等. 棉蚜对几种杀虫剂抗性的监测[J]. 河北农业大学学报,1996,7(19):38-42.
- [20] 潘文亮,党志红,高占林,等. 几种蚜虫对吡虫啉抗药性的研究[J]. 农药学报,2000,12(3):85-87.
- [21] 李飞,韩召军,吴智锋,等. 我国棉蚜抗药性研究现状[J]. 棉花学报,2001,13(2):121-124.
- [22] 陈小坤. 抗吡虫啉棉蚜的交互抗性及其机理的研究[D]. 泰安:山东农业大学,2014.
- [23] 于金凤,慕立义,王开运. 抗性棉蚜生殖力与存活率的研究[J]. 华东昆虫学报,1997,6(2):52-56.
- [24] 孙磊,杨德松. 抗吡虫啉、高效氯氰菊酯棉蚜品系的室内筛选及适合度研究[J]. 石河子大学学报,2012,30(6):683-688.