

不同地区苹果绵蚜对三种杀虫剂的抗性监测*

张昌振^{1**} 郭磊¹ 陈麒兆¹ 杜凌君¹ 周昊¹ 万方浩^{1,2} 周洪旭^{1***}

(1. 青岛农业大学植物医学学院, 山东省植物病虫害综合防控实验室, 中澳农业与环境健康联合研究院, 青岛 266109;

2. 中国农业科学院深圳农业基因研究所, 深圳 518120)

摘要 【目的】了解苹果绵蚜 *Eriosoma lanigerum* 对不同类别杀虫剂的抗药水平, 为田间苹果绵蚜化学防控过程中的药剂选择提供理论基础。【方法】2018年6-7月间, 采用玻璃管药膜法测定了3省14个地区苹果绵蚜对阿维菌素、高效氯氟菊酯和吡虫啉的抗药性。【结果】研究表明, 西安杨凌地区苹果绵蚜种群对阿维菌素的抗性水平最低, LC_{50} 值仅为 6.813 mg/L; 烟台招远地区苹果绵蚜种群对阿维菌素的抗性水平最高, LC_{50} 值为 79.496 mg/L。多数地区苹果绵蚜种群对高效氯氟菊酯的抗药水平较低, 其中烟台龙口地区抗药水平最低, LC_{50} 值为 4.341 mg/L, 烟台栖霞地区抗药性最高, LC_{50} 值为 37.689 mg/L。青岛即墨地区苹果绵蚜种群对吡虫啉的抗性水平最低, LC_{50} 值仅为 5.261 mg/L; 烟台招远地区苹果绵蚜种群对吡虫啉已经产生了中等水平的抗性 ($RR=10.859$), LC_{50} 值为 57.128 mg/L。不同虫态抗药性检测表明, 除了烟台蓬莱地区的若蚜对阿维菌素和吡虫啉出现了抗药性提高的现象外, 其它大部分苹果绵蚜3龄若蚜对药剂的抗性与成蚜相近。【结论】苹果绵蚜在北方大部分地区对常用杀虫剂的抗药性保持在低水平或敏感状态。在今后防治中应继续坚持交替轮换的用药原则, 防止苹果绵蚜抗药性的产生。

关键词 苹果绵蚜; LC_{50} ; 抗性监测; 阿维菌素; 高效氯氟菊酯; 吡虫啉

Resistance of *Eriosoma lanigerum* to three insecticides in different areas

ZHANG Chang-Zhen^{1**} GUO Lei¹ CHEN Qi-Zhao¹ DU Ling-Jun¹
ZHOU Hao¹ WAN Fang-Hao^{1,2} ZHOU Hong-Xu^{1***}

(1. College of Botanical Medicine, Qingdao Agricultural University, Key Laboratory of Integrated Plant Disease and Pest Control, China-Australia Joint Institute of Agricultural and Environmental Health, Qingdao 266109, China;

2. Agricultural Genomics Institute at Shenzhen, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Shenzhen 518120, China)

Abstract [Objectives] To assess the resistance of *Eriosoma lanigerum* to different kinds of insecticides, and provide a theoretical basis for selecting insecticides to control of this pest in the field. [Methods] The resistance of *E. lanigerum* to avermectin, cypermethrin and imidacloprid in 14 regions of 3 provinces was determined using the glass tube membrane method from June to July 2018. [Results] The lowest LC_{50} value to avermectin, 6.813 mg/L, was recorded in Yangling, Xi'an, and the highest, 79.496 mg/L, was recorded in Zhaoyuan, Yantai. Resistance to cypermethrin was low in most areas; the Longkou area in Yantai had the lowest resistance ($LC_{50} = 4.341$ mg/L) and the Qixia area, also in Yantai, had the highest ($LC_{50} = 37.689$ mg/L). Resistance to imidacloprid was lowest in the Jimo area of Qingdao ($LC_{50} = 5.261$ mg/L), and moderate in the Zhaoyuan area of Yantai with an RR of 10.859 and an LC_{50} value of 57.128 mg/L. The results of insecticide resistance tests show that resistance of third instar nymphs was similar to that of adult aphids, except that nymphs in the Penglai area of Yantai had increased resistance to avermectin and imidacloprid. [Conclusion] Resistance of *E. lanigerum* to commonly used insecticides remains low in most areas of northern China. Alternating between different pesticides should be continued to

*资助项目 Supported projects: 山东省重点研发计划 (2017CXGC0214); 国家自然科学基金 (31772232); 国家重点研发计划 (2016YFC1201200); 山东省“泰山学者”建设工程专项经费资助

**第一作者 First author, E-mail: 1599628508@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: hxzhou@qau.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-09-20; 接受日期 Accepted: 2019-10-13

prevent and delay the development of resistance in this pest.

Key words *Eriosoma lanigerum*; LC₅₀; insecticide resistance monitoring; avermectin; cypermethrin; imidacloprid

苹果绵蚜 *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), 原产于北美洲东部, 后随苗木调运传入欧洲、澳洲、亚洲等国家。1914 年传入中国, 在中国河南、陕西、山西、山东、江苏、云南及新疆等多地的苹果产区均有分布, 并有继续蔓延之势 (张强和罗万春, 2002; 路子云, 2013; 祝菁等, 2016; Su *et al.*, 2017, 2018)。苹果绵蚜以成蚜和若蚜群集枝干、新梢及根部刺吸汁液, 被害部皮层肿胀渐成瘿瘤, 后期破裂成伤口, 削弱树势, 重者枯死 (Ge *et al.*, 2016; 祝菁等, 2016; 杨福田等, 2018)。因其虫体被覆白色棉絮状蜡粉, 越冬场所隐蔽且, 所以防治比较困难 (路子云等, 2013; Lordan *et al.*, 2015; Zhou *et al.*, 2015)。

目前, 生产中通常使用农业防治、生物防治和化学防治方法对苹果绵蚜进行治理, 其中化学防治仍然占主要地位 (王希国, 2007)。在其他蚜虫如棉蚜 *Aphis gossypii* Glover、桃蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 的防治过程中, 由于药剂使用不当造成蚜虫对常规农药产生了不同水平的抗性 (顾春波等, 2005; 张国福等, 2014)。自苹果绵蚜传入中国, 在长达 100 年的防治过程中, 对其抗性检测方面的相关报道极少 (祝菁等, 2016)。在对苹果绵蚜的少数抗性监测报道中, 祝菁等 (2016) 采用了浸叶法的调查方式, 即将蚜虫挑取在喷药的叶片上使其通过刺吸的方式吸收药液, 但是在实际生产中尚未发现苹果绵蚜为害叶片的情况 (王菊平, 2015; 杨福田等, 2018)。笔者认为这种方法存在较大的不确定性, 即无法保证蚜虫是否刺吸, 且蚜虫的死亡方式无法确定为触杀或胃毒, 所以这种测定方式存在一定的不足。

为了摸清苹果绵蚜对常用杀虫剂的抗性水平, 笔者采集了 3 省 14 个地区的苹果绵蚜, 采取玻璃管药膜法 (鲁艳辉等, 2009) 研究了吡虫啉、阿维菌素和高效氯氟菊酯对苹果绵蚜的触杀效果, 检测不同地区苹果成蚜和不同虫态对常用

杀虫剂的抗性, 为苹果绵蚜的化学防治及延缓抗药性的产生提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2018 年 6-8 月, 分别在山东省泰安肥城市、烟台龙口市、莱阳市、蓬莱市、招远市、栖霞市、青岛即墨市、聊城阳谷县、东昌府区、潍坊寒亭区、菏泽牡丹庄市、威海荣成区、陕西省西安市和辽宁省兴城市共计 3 省 14 个地区的苹果园内采集苹果绵蚜田间种群。苹果绵蚜随苹果枝条一起带回实验室, 从中选择个体大小一致的健康成蚜以及聊城阳谷县、烟台蓬莱市的 3 龄若蚜进行生物测定。

根据虫体形态区分各龄期苹果绵蚜。成蚜体长 1.80-2.00 mm, 体卵圆形, 触角 6 节, 第 3 节最长; 1 龄口针细长向后伸出尾端之外; 2 龄口针长度约达腹部的 3/4-4/5, 触角 5 节; 3 龄第 3 节有明显的分隔; 4 龄第 3 节在分隔的两边稍向内陷 (刘佳惠等, 2016)。

1.2 供试药剂

4.5% 高效氯氟菊酯乳油 (江苏扬农化工集团有限公司); 20% 吡虫啉可溶性剂 (青岛奥迪斯生物科技有限公司); 3.2% 阿维菌素乳油 (海利尔药业集团股份有限公司); 丙酮 (莱阳市康德化工股份有限公司)。

1.3 抗药性测定

苹果绵蚜抗药性采用玻璃管药膜法进行测定 (鲁艳辉等, 2009)。先将药液设置为 5 个浓度梯度, 后按照梯度稀释法用丙酮稀释母液, 每个浓度 3 次重复; 再从稀释好的药液中吸取 200 μ L 加入到内表面积 82 cm² 的玻璃管 (直径: 2.5 cm, 高: 10.5 cm) 中, 立即手动滚匀, 静置 3 h 以上, 待丙酮挥发后用于毒力测定, 使用丙

酮作为对照。挑取健康、大小一致的无翅成蚜, 每管至少 10 头, 重复 3 次, 在温度 (25±1) °C 的条件下静置, 3 h 以后检查死亡率。试验过程中, 只有一条腿动或完全不动者记为虫体死亡, 以对照死亡率小于 10% 为有效测定, 并用对照死亡率进行校正。

1.4 数据分析

生物测定所得数据采用软件 SPSS 20.0 分析得出 LC₅₀ 值、毒力回归方程和斜率。抗性倍数 (Resistance ratio, RR) 为田间种群的 LC₅₀ 与相应药剂的敏感种群的 LC₅₀ 的比值, 本文将抗药性最弱的田间种群作为敏感种群, 计算并比较不同地区田间种群的抗性倍数。抗性水平分级标准为 RR<3 为敏感, 3≤RR<5 为敏感性下降或耐药性, 5≤RR<10 为低水平抗性, 10≤RR<40 为中等水平抗性, 40≤RR<160 为高水平抗性, RR≥160 为极高水平抗性 (尹艳琼等, 2014)。

2 结果与分析

2.1 苹果绵蚜对阿维菌素的敏感性检测

试验结果表明, 西安杨凌地区的苹果绵蚜田

间种群 LC₅₀ 最低, 为 0.681 mg/L, 作为敏感种群与其他地区相比较 (表 1)。烟台蓬莱苹果绵蚜对阿维菌素的抗性倍数为 1.965, 表现为敏感。烟台莱阳与栖霞的苹果绵蚜种群敏感性下降, 泰安肥城、烟台龙口、青岛即墨、聊城东昌府、聊城阳谷、辽宁兴城六地的苹果绵蚜对阿维菌素抗性倍数在 5-10 之间, 呈现出低水平抗性, 其他地区则表现为中等水平抗性。其中以潍坊寒亭区的抗性水平最高, RR 为 11.980, LC₅₀ 值达到 8.162 mg/L。

2.2 苹果绵蚜对高效氯氰菊酯的敏感性检测

表 2 苹果绵蚜对高效氯氰菊酯的抗性检测结果与抗性倍数表明, 烟台龙口地区的苹果绵蚜对高效氯氰菊酯的 LC₅₀ 最低, 作为敏感种群与其他地区相比较发现, 西安杨凌与烟台蓬莱的苹果绵蚜对高效氯氰菊酯敏感, 其中烟台蓬莱地区苹果绵蚜的抗性水平与敏感种群最为接近, RR 为 1.207, LC₅₀ 值仅为 5.241 mg/L。烟台莱阳、青岛即墨、聊城阳谷、烟台招远、潍坊寒亭、威海荣成六地的苹果绵蚜对高效氯氰菊酯的抗性倍数在 3-5 之间, 抗性水平属于敏感性下降。而

表 1 苹果绵蚜对阿维菌素的敏感性检测结果与抗性倍数
Table 1 Susceptibility detection results and resistance ratio of *Eriosoma lanigerum* to avermectin

种群 Population	斜率±标准误 Slope±SE	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC ₅₀ (mg/L)	抗性倍数 Resistance index	自由度 (df)	卡方值 Chi square
肥城 Feicheng	2.031±1.010	y=-3.311+2.031x	4.265	6.261	12	10.821
龙口 Longkou	8.208±2.765	y=-13.688+8.208x	4.652	6.828	12	8.717
莱阳 Laiyang	1.603±2.578	y=-2.435+1.603x	3.307	4.853	12	3.748
杨凌 Yangling	0.443±1.555	y=0.369+0.443x	0.681	敏感种群 Susceptible population	12	9.417
即墨 Jimo	1.944±1.658	y=-3.118+1.944x	4.017	5.895	12	7.893
东昌府 Dongchangfu	2.626±2.712	y=-4.167+2.626x	3.863	5.671	12	7.423
阳谷 Yanggu	1.699±5.927	y=-2.652+1.699x	3.642	5.346	12	1.564
蓬莱 Penglai	1.551±2.586	y=-1.747+1.551x	1.339	1.965	12	8.918
招远 Zhaoyuan	1.123±3.606	y=-2.135+1.123x	7.950	11.668	12	2.268
栖霞 Qixia	1.581±1.697	y=-0.273+1.581x	2.737	4.018	12	4.102
寒亭 Hanting	1.003±3.419	y=-2.195+5.769x	8.162	11.980	12	4.461
荣成 Ringcheng	3.031±4.019	y=-0.741+1.091x	6.838	10.036	12	6.346
兴城 Xingcheng	2.196±2.059	y=-3.450+2.196x	3.726	5.469	12	6.401

表 2 苹果绵蚜对高效氯氰菊酯的敏感性检测结果与抗性倍数

Table 2 Susceptibility detection results and resistance ratio of *Eriosoma lanigerum* to cypermethrin

种群 Population	斜率±标准误 Slope±SE	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC ₅₀ (mg/L)	抗性倍数 Resistance index	自由度 (df)	卡方值 Chi square
肥城 Feicheng	3.911±2.373	$y=-5.378+3.911x$	23.723	5.465	12	7.535
龙口 Longkou	1.580±2.190	$y=-1.008+1.580x$	4.341	敏感种群 Susceptible population	12	9.349
莱阳 Laiyang	3.037±2.127	$y=-3.931+3.037x$	19.700	4.538	12	4.085
杨凌 Yangling	2.083±2.537	$y=-2.129+2.083x$	10.528	2.425	12	9.501
即墨 Jimo	2.642±2.376	$y=-2.981+2.642x$	13.432	3.094	12	6.293
东昌府 Dongchangfu	1.256±3.540	$y=-0.164+2.753x$	32.216	7.421	12	4.642
阳谷 Yanggu	1.876±2.644	$y=-2.216+1.191x$	15.182	3.497	12	7.663
蓬莱 Penglai	0.918±7.625	$y=-0.66+0.918x$	5.241	1.207	12	5.753
招远 Zhaoyuan	4.913±2.715	$y=-6.344+4.913x$	19.551	4.504	12	4.736
栖霞 Qixia	3.432±3.325	$y=-5.410+3.432x$	37.689	8.682	12	8.330
寒亭 Hanting	2.511±2.010	$y=-2.817+2.511x$	13.250	3.052	12	10.400
荣成 Rongcheng	2.940±3.170	$y=-3.336+2.940x$	13.638	3.142	12	6.729
兴城 Xingcheng	6.007±5.656	$y=-8.589+6.007x$	26.903	6.197	12	5.417

其他地区表现为低水平抗性，均未达到中等水平，其中烟台栖霞地区苹果绵蚜对高效氯氰菊酯的抗性水平最高，RR 为 8.682，LC₅₀ 值达到 37.689 mg/L。

2.3 苹果绵蚜对吡虫啉的敏感性检测

表 3 表明，青岛即墨地区的苹果绵蚜田间种群 LC₅₀ 最低，为 5.261 mg/L，作为敏感种群与其他地区相比较，发现烟台莱阳与潍坊寒亭的苹

表 3 苹果绵蚜对吡虫啉的敏感性检测结果与抗性倍数

Table 3 Susceptibility detection results and resistance ratio of *Eriosoma lanigerum* to imidacloprid

种群 Population	斜率±标准误 Slope±SE	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC ₅₀ (mg/L)	抗性倍数 Resistance index	自由度 (df)	卡方值 Chi square
肥城 Feicheng	2.378±1.729	$y=-3.173+2.378x$	21.585	4.103	12	5.434
莱阳 Laiyang	1.848±3.613	$y=-1.874+1.848x$	10.327	1.963	12	4.084
即墨 Jimo	1.056±1.735	$y=-0.761+1.056x$	5.261	敏感种群 Susceptible population	12	6.984
东昌府 Dongchangfu	2.307±1.540	$y=-3.401+2.307x$	29.799	5.664	12	10.069
蓬莱 Laiyang	2.723±1.900	$y=-4.538+2.723x$	46.401	8.820	12	11.067
招远 Zhaoyuan	4.694±3.338	$y=-8.247+4.694x$	57.128	10.859	12	6.333
龙口 Longkou	2.282±3.928	$y=-3.583+2.282x$	37.182	7.064	12	7.122
杨凌 Yangling	4.151±4.017	$y=-6.899+4.151x$	45.933	8.731	12	2.823
阳谷 Yanggu	2.775±2.098	$y=-4.280+2.775x$	34.811	6.631	12	5.372
栖霞 Qixia	1.615±2.049	$y=-2.737+1.615x$	49.528	9.414	12	9.808
寒亭 Hanting	1.099±1.559	$y=-1.290+1.099x$	14.920	2.836	12	11.247
牡丹庄 Mudanzhuang	1.599±1.694	$y=-1.920+1.599x$	16.127	3.065	12	1.394
荣成 Rongcheng	3.052±2.309	$y=-5.273+3.052x$	53.461	10.162	12	4.845

果绵蚜对吡虫啉敏感, 泰安肥城与菏泽牡丹庄的苹果绵蚜对吡虫啉的敏感性下降; 而聊城东昌府、烟台蓬莱、烟台龙口、西安杨凌、聊城阳谷、烟台栖霞的苹果绵蚜对吡虫啉的抗性倍数在 5-10 之间, 产生了低水平抗性; 烟台招远与威海荣成地区的苹果绵蚜对吡虫啉呈现中等水平抗性, 其中烟台招远地区抗性水平最高, RR 为 10.859, LC_{50} 值达到 57.128 mg/L。

2.4 苹果绵蚜成蚜与 3 龄若蚜对不同药剂的敏感性比较

苹果绵蚜成蚜与 3 龄若蚜对阿维菌素的敏感性检测结果表明 (表 4), 聊城阳谷地区苹果绵蚜的成蚜与若蚜对阿维菌素的 LC_{50} 值相近, 其中若蚜略高于成蚜。而烟台蓬莱地区苹果绵蚜

不同虫态的敏感性之间存在差异, 即若蚜敏感性明显弱于成蚜。

表 5 表明, 聊城阳谷与烟台蓬莱两地的苹果绵蚜成蚜与若蚜对高效氯氰菊酯敏感性水平相近, 其中聊城阳谷地区若蚜的 LC_{50} 值最高为 17.170 mg/L。

对不同虫态苹果绵蚜的药效检测结果 (表 6) 表明, 聊城阳谷的苹果绵蚜成蚜与若蚜对吡虫啉抗性水平相近, 而烟台蓬莱地区若蚜的 LC_{50} 为 62.705 mg/L, 高于成蚜的 LC_{50} (46.401 mg/L)。

3 结论与讨论

田间种群的抗药性监测是害虫防治过程中的重要内容, 对于药剂的选择和使用都有着重要的指导意义。由于不同的地区果农用药习惯和环

表 4 苹果绵蚜成蚜与若蚜对阿维菌素的敏感性检测结果
Table 4 Susceptibility detection results of adult and nymph of *Eriosoma lanigerum* to abamectin

种群 Population	斜率±标准误 Slope±SE	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC_{50} (mg/L)	自由度 (df)	卡方值 Chi square
阳谷成蚜 Yanggu adult aphid	1.699±5.927	$y=-2.652+1.699x$	3.642	12	1.564
阳谷若蚜 Yanggu nymphs	2.399±1.258	$y=-3.850+2.399x$	4.027	12	8.003
蓬莱成蚜 Penglai adult aphid	1.551±2.586	$y=-1.747+1.551x$	1.339	12	8.918
蓬莱若蚜 Penglai nymphs	1.596±2.037	$y=-2.242+1.596x$	2.543	12	4.676

表 5 苹果绵蚜成蚜与若蚜对高效氯氰菊酯的敏感性检测结果
Table 5 Susceptibility detection results of adult and nymph of *Eriosoma lanigerum* to cypermethrin

种群 Population	斜率±标准误 Slope±SE	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC_{50} (mg/L)	自由度 (df)	卡方值 Chi square
阳谷成蚜 Yanggu adult aphid	1.191±2.644	$y=-2.216+1.191x$	15.182	12	7.663
阳谷若蚜 Yanggu nymphs	2.465±2.986	$y=-3.044+2.465x$	17.170	12	2.774
蓬莱成蚜 Penglai adult aphid	0.918±7.625	$y=-0.660+0.918x$	5.241	12	5.753
蓬莱若蚜 Penglai nymphs	1.598±2.577	$y=-2.599+1.598x$	4.257	12	4.185

表 6 苹果绵蚜成蚜与若蚜对吡虫啉的敏感性检测结果
Table 6 Susceptibility detection results of adult and nymph of *Eriosoma lanigerum* to imidacloprid

种群 Population	斜率±标准误 Slope±SE	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC_{50} (mg/L)	自由度 (df)	卡方值 Chi square
阳谷成蚜 Yanggu adult aphid	3.313±3.203	$y=-5.018+3.313x$	34.811	12	5.372
阳谷若蚜 Yanggu nymphs	2.056±1.581	$y=-3.175+2.056x$	35.049	12	7.101
蓬莱成蚜 Penglai adult aphid	2.723±1.900	$y=-4.538+2.723x$	46.401	12	11.067
蓬莱若蚜 Penglai nymphs	3.502±4.457	$y=-6.169+3.502x$	62.705	12	9.147

境因素不同,造成了害虫抗性水平的差异,为了延缓害虫抗药性的产生,经常对害虫进行抗药性水平的调查就显得尤为重要(郑竹胜等,2015)。

苹果黄蚜 *Aphis citricolavander* Goot 和苹果绵蚜作为两种重要的苹果害虫,对果树的生长造成极大危害。苹果黄蚜的抗性监测结果表明,各地区苹果黄蚜种群对常用药剂的抗性最低可达到中等水平抗性(彭波等,2010;张存环等,2018)。而大部分苹果绵蚜田间种群在施药后 1-14 d,药剂防效均维持在 90%以上(吕继康等,2011)。由此可见,苹果绵蚜对于常用药剂的抗药性水平远低于苹果其他蚜虫,所以延缓或防止苹果绵蚜抗药性的产生是目前防治的关键。本研究测定了 3 省 14 个地区的苹果绵蚜对阿维菌素、高效氯氰菊酯和吡虫啉的抗药性,发现我国北方果园苹果绵蚜对常用杀虫剂的抗药性保持在低水平或敏感状态,抗性水平明显低于苹果黄蚜对常见杀虫剂的抗性。

本次试验研究了不同虫态和地区苹果绵蚜的抗药性差异。通过相同地区不同龄期苹果绵蚜对 3 种药剂的抗药性检测,观察到大部分苹果绵蚜 3 龄若蚜对药剂的抗性与成蚜相近,而在阿维菌素和吡虫啉的使用中,烟台蓬莱地区的若蚜出现了抗药性提高的现象。推测虫态的不同对苹果绵蚜的抗药性有一定影响,即若蚜的抗药性强于成蚜,但总体抗性水平仍较低。

由本次试验结合材料观察,发现各地区间苹果绵蚜抗药性水平无明显规律,可以推测苹果绵蚜对药剂的敏感性差异与果园的管理方式有关,而与地区间差异无明显联系。如果园疏于管理的地区,苹果绵蚜抗药性水平较低;果园管理严格的地区,若连续使用同种药剂防治,则苹果绵蚜易产生抗药性。因此,结合各地区抗药性检测情况,可根据地区间苹果绵蚜抗药性差异选择多种合适的药剂进行交替防治,通过不同地区苹果绵蚜对 3 种药剂的抗药性检测结果与抗性倍数计算,可以筛选出不同地区今后苹果绵蚜治理上优先选择的药剂。例如,在 3 种药剂的抗性倍数计算中分别作为杀虫剂敏感种群的地区,在防治过程中可将对应杀虫剂列为优先选择(西安杨凌使

用阿维菌素、烟台龙口使用高效氯氰菊酯、青岛即墨使用吡虫啉)。而在其他地区,如泰安肥城的苹果绵蚜对 3 种药剂均处于敏感性下降或低水平抗性阶段,在药剂的选择当中应尽量避免单一和重复使用,以延缓苹果绵蚜对 3 种药剂抗药性的产生;而聊城东昌府和威海荣成地区的苹果绵蚜对 3 种药剂的敏感性多数处于中、低抗性水平阶段,对于这类地区,在药剂的选择上应选择尝试其他类型杀虫剂。从各地对 3 种杀虫剂的抗药性情况总体来看,高效氯氰菊酯对苹果绵蚜的毒力高于阿维菌素和吡虫啉,在大部分地区可以作为防治的参考品种,也可作为主要药剂与其他类型杀虫剂复配使用。

在苹果绵蚜的防治过程中,农民用药不当不仅容易造成抗药性的产生,过量使用杀虫剂也容易产生“3R”问题。在小麦蚜虫的防治中,全国普遍推广应用小麦“一喷三防”技术,指导农民科学用药,已经取得了良好的收效。那么对于苹果绵蚜的防治,也可尝试将杀虫剂、杀菌剂等混配使用,达到“一喷多防”的目的。因此在今后的防治中,应正确选择和使用药剂,做到不同类型农药交替轮换使用,避免或延缓苹果绵蚜抗药性的产生。

参考文献 (References)

- Ge F, Dietrich C, Dai W, 2016. Mouthpart structure in the woolly apple aphid *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) (Hemiptera: Aphidoidea: Pemphigidae). *Arthropod Structure & Development*, 45(3): 230–241.
- Gu CB, Wang KY, Xin HJ, Guo QL, Wang G, 2005. Study on the resistance of *Myzus persicae* (Sulzer) in major tobacco planting areas in Shandong province. *Acta Tabacaria Sinica*, 11(4): 21–23, 32. [顾春波, 王开运, 辛海军, 郭庆龙, 王刚, 2005. 山东省主要烟区烟(桃)蚜 *Myzus persicae* (Sulzer) 抗药性研究. 中国烟草学报, 11(4): 21–23, 32.]
- Liu JH, Li LK, Tan XM, Wan FH, Zhou HX, 2016. Four aphids of apple trees in apple producing areas of China. *Yantai Fruits*, (4): 22–26. [刘佳惠, 李立坤, 谭秀梅, 万方浩, 周洪旭, 2016. 我国苹果产区为害苹果树的四种绵蚜. 烟台果树, (4): 22–26.]
- Lu ZY, Liu WX, Ran HF, Qu ZG, Li JC, 2013. Investigation of the population dynamics of *Eriosoma lanigerum* and its parasitoids *Aphelinus mali* in apple orchards in central Hebei. *Journal of*

- Hebei Agricultural University, 36(3): 87–91. [路子云, 刘文旭, 冉红凡, 屈振刚, 李建成, 2013. 冀中苹果园苹果绵蚜及其寄生性天敌发生消长动态调查. 河北农业大学学报, 36(3): 87–91.]
- Lordan J, Alegre S, Gatiús F, José Sarasúa M, Alins G, 2015. Woolly apple aphid *Eriosoma lanigerum* Hausmann ecology and its relationship with climatic variables and natural enemies in Mediterranean areas. *Bulletin of Entomological Research*, 105(1): 60–69.
- Lu YH, Yang T, Gao XW, 2009. Establishment of baseline susceptibility data to various insecticides for aphids *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) and *Sitobion avenae* (Fabricius) (Homoptera: Aphididae) by the method of residual film in glass tube. *Acta Entomologica Sinica*, 52(1): 52–58. [鲁艳辉, 杨婷, 高希武, 2009. 禾谷缢管蚜和麦长管蚜玻璃管药膜法敏感毒力基线的建立. 昆虫学报, 52(1): 52–58.]
- Lü JK, Zhang YT, Zhu F, Liu YL, 2011. Study on the effect of replacing several high toxic pesticides to control *Eriosoma lanigerum*. *Agricultural Technology and Equipment*, (2): 37–38. [吕继康, 张英桃, 朱芳, 刘云丽, 2011. 替代多种高毒农药防治苹果绵蚜效果研究. 农业技术与装备, (2): 37–38.]
- Peng B, Si SD, Luan BH, Wang KW, Wang YZ, 2010. Monitoring of drug resistance of apple yellow aphids in major apple growing area in Shandong province. *Chinese Fruit Trees*, (5): 48–51, 54. [彭波, 司树鼎, 栾炳辉, 王可伟, 王英姿, 2010. 山东省主要苹果产区苹果黄蚜抗性水平监测. 中国果树, (5): 48–51, 54.]
- Su M, Tan XM, Yang QM, Zhou HX, Wan FH, 2017. Relative efficacy of two clades of *Aphelinus mali* (Hymenoptera: Aphelinidae) for control of woolly apple aphid (Hemiptera: Aphididae) in China. *Journal of Economic Entomology*, 110(1): 35–40.
- Su M, Tan XM, Yang QM, Zhao CM, Wan FH, Zhou HX, 2018. Laboratory comparison of two *Aphelinus mali* clades for control of woolly apple aphid from Hebei province, China. *Bulletin of Entomological Research*, 108(3): 400–405.
- Wang JP, Xuan SB, Shi BM, Fan RJ, Cao TW, 2015. Toxicity test of different pesticides and their mixed formulation against *Eriosoma lanigerum* Hausmann. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 43(4): 444–446. [王菊平, 宣善滨, 石保明, 范仁俊, 曹天文, 2015. 不同杀虫剂对苹果绵蚜的毒力及复配研究. 山西农业科学, 43(4): 444–446.]
- Wang XG, 2007. Occurrence and control techniques of *Eriosoma lanigerum* Hausmann. *Shandong Agricultural Science*, (5): 91–92. [王希国, 2007. 苹果绵蚜发生与防治技术. 山东农业科学, (5): 91–92.]
- Yang FT, Lv BB, Zhang LP, Liu Z, Zhang GY, Fan QL, Wei MF, Fan JQ, 2018. Field control effect of spirotetramat on *Eriosoma lanigerum*. *China Plant Protection*, 38(3): 71–72, 89. [杨福田, 吕贝贝, 张丽萍, 刘珍, 张贵云, 范巧兰, 魏明峰, 范继巧, 2018. 螺虫乙酯对苹果绵蚜的田间防效. 中国植保导刊, 38(3): 71–72, 89.]
- Yin YQ, Zhao XQ, Chen AD, Li XY, Wu QJ, Zhang YJ, 2014. Changing trends of resistance of *Plutella xylostella* field population to chlorantraniliprole in Yunnan province. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 16(6): 746–750. [尹艳琼, 赵雪晴, 谌爱东, 李向永, 吴青君, 张友军, 2014. 云南省小菜蛾田间种群对氯虫苯甲酰胺的抗性变化趋势. 农药学报, 16(6): 746–750.]
- Zhang CH, Wang YL, Li L, Wu RX, Wei J, Chen MH, 2018. Assessment of resistance to drug of 3 pesticides against apple yellow Aphids in Guanzhong area of Shaanxi province. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 64(10): 29–31, 95. [张存环, 王雅丽, 李兰, 武荣祥, 魏静, 陈茂华, 2018. 陕西关中地区苹果黄蚜对 3 种杀虫剂的抗性评估. 陕西农业科学, 64(10): 29–31, 95.]
- Zhang GF, Li LL, Li BJ, Wang KY, Xia XM, 2014. Resistance detection and synergism of enzyme inhibitors on neonicotinoids to *Aphis gossypii* in Shandong province. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 16(6): 673–680. [张国福, 李琳琳, 李本杰, 王开运, 夏晓明, 2014. 山东省不同地区棉蚜对新烟碱类杀虫剂的抗性检测及酶抑制剂的增效作用研究. 农药学报, 16(6): 673–680.]
- Zhang Q, Luo WC, 2002. Occurrence characteristics of *Eriosoma lanigerum* and its control methods. *Chinese Bulletin of Entomology*, 39(5): 340–342. [张强, 罗万春, 2002. 苹果绵蚜发生危害特点及防治对策. 昆虫知识, 39(5): 340–342.]
- Zheng ZS, Xing K, Wang JM, Zhang XT, 2015. Resistance in green apple aphid at different regions in Taiyuan. *Monitoring for Pesticides Pesticide Science and Administration*, 36(1): 49–53. [郑竹胜, 邢鲲, 王建民, 张秀廷, 2015. 太原市不同地区苹果黄蚜抗性水平监测. 农药科学与管理, 36(1): 49–53.]
- Zhou HX, Zhang RM, Tan XM, Tao YL, Wan FH, Wu Q, Chu D, 2015. Invasion genetics of woolly apple aphid (Hemiptera: Aphididae) in China. *Journal of Economic Entomology*, 108(3): 1040–1046.
- Zhu J, Li CG, Shen YN, Zhang M, Chen JH, Zhu JW, Li Y, Jiang WH, 2016. Insecticide resistance status of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* in China. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 18(4): 447–452. [祝菁, 李晨歌, 沈雅楠, 张濛, 陈金华, 朱佳伟, 李辉, 姜卫华, 2016. 苹果绵蚜田间种群的抗性监测. 农药学报, 18(4): 447–452.]