陕西地区苹果全爪螨对五种常用杀螨剂的抗性监测*

黄宝剑** 张继龙 张晓赫 苏 莎 陈茂华***

（西北农林科技大学植物保护学院，旱区作物逆境生物学国家重点实验室，
农业部西北黄土高原作物有害生物综合治理重点实验室，杨凌 712100）

摘 要 【**目的**】明确陕西省苹果园苹果全爪螨 *Panonychus ulmi* Koch 田间种群对 5 种杀螨剂的抗药性现状和变化趋势。【**方法**】本文采用玻片浸渍法建立了苹果全爪螨室内相对敏感品系对 5 种杀螨剂的敏感基线，监测了 2021-2022 年陕西 9 个地区苹果园苹果全爪螨种群对 5 种杀螨剂的抗性水平。【**结果**】结果表明，与相对敏感品系相比，供试苹果全爪螨种群对阿维菌素表现低水平抗性；扶风种群相对抗性倍数最高，为 9.78 倍，应当减少该药剂的使用。对哒螨灵产生低至中等水平抗性，相对抗性倍数在 1.53-17.99 之间；其中礼泉种群抗性最高，该地区应停止使用此药剂。对三唑锡和螺螨酯已产生低至中等水平抗性，相对抗性倍数分别为 1.07-12.11 倍和 3.66-22.09 倍；凤翔和扶风种群对联苯肼酯已产生中等水平抗性，应停止使用该药剂。【**结论**】田间防治苹果全爪螨时，扶风地区应暂停或限制使用阿维菌素、螺螨酯和联苯肼酯，礼泉地区应停止使用哒螨灵和三唑锡，其他地区可交替轮换使用阿维菌素和联苯肼酯，以延缓抗性的进一步发展。

关键词 苹果全爪螨；杀螨剂；抗药性监测；苹果园

Resistance of *Panonychus ulmi* Koch to five commonly used acaricides in apple orchards in Shaanxi province

HUANG Bao-Jian** ZHANG Ji-Long ZHANG Xiao-He
SU Sha CHEN Mao-Hua***

(College of Plant Protection, Northwest A&F University, State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas,
Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northwestern Loess Plateau,
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Northwest A&F University, Shaanxi 712100, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the resistance of *Panonychus ulmi* Koch to commonly used acaricides in apple orchards in Shaanxi province, China. **[Methods]** The susceptibility baseline of a laboratory susceptible strain to five commonly used acaricides was determined using the slide-dipping method. The relative resistance of *P. ulmi* from nine regions in Shaanxi province was monitored in 2021 and 2022. **[Results]** *P. ulmi* populations have developed a low level of resistance to abamectin relative to the susceptible strain. The Fufeng population had the highest resistance ratio (9.78 fold) to abamectin, so the use of this acaricide should be restricted in Fufeng. All populations had low to moderate resistance to pyridaben, with resistance ratios of 1.53-17.99. The Liquan population had the highest resistance to pyridaben, so pyridaben should be discontinued in Liquan. Resistance to azocyclotin and spirodiclofen were low to moderate, resistance ratios for each being 1.07-12.11 and 3.66-22.09, respectively. The use of azocyclotin and spirodiclofen should be discontinued in Liquan and Fufeng. Fengxiang and Fufeng populations have developed moderate resistance to bifenazate, consequently, this chemical

*资助项目 Supported projects：陕西省重大科技专项（编号：2020zdzx03-03-02）；科技部对发展中国家科技援助项目（KY202002018）
**第一作者 First author，E-mail：1925453115@qq.com
***通讯作者 Corresponding author，E-mail：maohua.chen@nwsuaf.edu.cn
收稿日期 Received：2022-12-16；接受日期 Accepted：2023-03-02

should no longer be used in these regions. **[Conclusion]** The use of abamectin, spirodiclofen and bifenazate for the control of *P. ulmi* should be suspended, or restricted, in the Fufeng area, Pyridaben and azocyclotin should no longer be used in the Liquan area. To delay the development of further resistance, abamectin and bifenazide should be used in rotation in all regions except Fufeng and Liquan.

Key words *Panonychus ulmi*; acaricide; insecticide resistance monitoring; apple orchard

苹果全爪螨 *Panonychus ulmi*（Koch）是世界各地苹果园的主要害螨之一（Jeppson *et al.*，1975；Van Leeuwen *et al.*，2015），其于 1911 年首次在北美被报道（Mahendiran and Ganie，2018），在阿根廷、加拿大、印度、伊朗和日本等地均有分布。在我国分布范围较广，是我国北方果区最主要的害螨之一（韩柏明，2005）。苹果全爪螨主要危害苹果、梨、沙果、桃、杏、樱桃、李和山楂等蔷薇科果树，还可危害葡萄、覆盆子和胡桃等（韩柏明等，2007），若螨和成螨均可危害苹果嫩芽和叶片，被害嫩芽不能正常萌发，严重时枯死；叶片受害初期褪绿呈现灰白色斑点，严重时叶片表面布满螨蜕，影响果树光合作用，削弱树势，造成苹果质量受损和产量下降（石万成等，1989；秦玉川等，1990）。

目前，苹果全爪螨的防治主要依靠喷施化学杀螨剂，伴随害螨危害逐年加重，果园化学杀虫剂的使用量也是逐年上升（尹英超，2015）。因其体小、繁殖速度快、世代周期短等特点，加之大多数的果农大量且不合理地使用化学杀螨剂，导致该螨对不同类型化学杀虫剂产生了抗性（Chapman and Penman，1984；曹子刚等，1990；Yaman *et al.*，2016；Badieinia *et al.*，2020）。陕西具有优越的地理环境和独特的自然气候条件，是我国主要的苹果产区。随着苹果栽培面积的逐年扩大，苹果全爪螨的危害日趋严重，已成为影响陕西地区苹果产量和品质的重要害虫之一。因此，及时开展苹果全爪螨抗药性监测工作尤为重要，我们于 2021 和 2022 年 6 至 8 月对陕西 9 个地区苹果全爪螨田间种群进行了抗性监测，目的在于了解陕西地区苹果全爪螨对 5 种常用杀螨剂的抗性水平和发展状况，以期为合理使用杀螨剂和延缓该螨抗性发展提供依据。

1　材料与方法

1.1　供试叶螨

1.1.1　相对敏感种群　苹果全爪螨相对敏感种群于 2020 年采自陕西省咸阳市杨陵区西北农林科技大学北校区园艺基地苹果树，在室内用苹果苗和叶片连续饲养 13 代，饲养过程中未曾接触农药。饲养条件为温度（25 ± 1）℃，相对湿度 75% ± 5%，光周期 L：D = 16：8。

1.1.2　田间种群　于 2021-2022 年 6 至 8 月，在陕西省宝鸡市扶风（FF）和凤翔（FX），咸阳市兴平（XP）、乾县（QX）、礼泉（LQ）和旬邑（XY），渭南市白水（BS），延安市黄陵（HL）和洛川（LC）9 个不同地区（表 1）苹果园采集苹果全爪螨，在室内用干净新鲜的苹果叶片饲养一代后进行毒力测定。

1.2　毒力测定方法

苹果全爪螨生测方法参照联合国粮农组织推荐使用的玻片浸渍法（Slide-dip method）。将 1 cm 宽的透明双面胶带剪成 2 cm 长的小段，粘在载玻片一端，用特殊处理过的零号毛笔挑取大小一致、行动活泼的雌成螨，转动毛笔将其背部粘于双面胶上，每片玻片粘 40 头雌成螨。在温度为（25 ± 1）℃、相对湿度为 75% ± 5%、光周期为 16 L：8 D 的光照培养箱中静置 4 h 后，用双目解剖镜观察，用昆虫针小心剔除死亡和不活泼个体，保证每个玻片上留有 30 头以上的供试雌成螨。将 4 种药剂用丙酮稀释成 10 g/L 母液，在预试浓度基础上分别稀释成 5-7 个供试浓度梯度，将粘有螨的玻片在各药剂浓度中浸渍 5 s 后取出，用滤纸吸干螨体周围及载玻片上的多余药液，再将其放回光照培养箱中培养 24 h 后用双目解剖镜检查生测结果（用上述毛笔尖轻轻触碰

表 1 苹果全爪螨不同地理种群的采集信息

Table 1 Collection information of different geographical populations of *Panonychus ulmi*

种群 Population	采样地点 Sampling location	经度 Longitude	纬度 Latitude
敏感 SS	咸阳市杨陵区 Yangling district, Xianyang	108°04′E	34°17′N
扶风 FF	宝鸡市扶风县 Fufeng county, Baoji	107°59′E	34°22′N
凤翔 FX	宝鸡市凤翔县 Fengxiang county, Baoji	107°28′E	34°30′N
礼泉 LQ	咸阳市礼泉县 Liquan county, Xianyang	108°26′E	34°30′N
兴平 XP	咸阳市兴平县 Xingping county, Xianyang	108°24′E	34°19′N
乾县 QX	咸阳市乾县 Qianxian county, Xianyang	108°25′E	34°53′N
旬邑 XY	咸阳市旬邑县 Xunyi county, Xianyang	108°17′E	35°08′N
白水 BS	渭南市白水县 Baishui county, Weinan	109°38′E	35°13′N
黄陵 HL	延安市黄陵县 Huangling county, Yan'an	109°12′E	35°37′N
洛川 LC	延安市洛川县 Luochuan county, Yan'an	109°29′E	35°47′N

螨体，供试螨足不动者计为死亡个体），并记录各药剂不同浓度下螨体死亡数。以丙酮水溶液（丙酮 < 0.1%）为对照，每处理 3 次重复。

1.3 供试药剂

供试杀螨剂：92%阿维菌素原药（Abamectin，成都华夏化学有限公司）、95.4%哒螨灵原药（Pyridaben，山东中农联合农药工业有限公司）、95.7%三唑锡原药（Azocyclotin，招远三联化工集团公司）、97%联苯肼酯原药（Bifenazate，山东中农生物科技有限公司）和98%螺螨酯原药（Spirodiclofen，山东中农生物科技有限公司）。

1.4 数据处理

用 DPS（Data Processing System）软件中计数型数据机值分析功能对试验数据进行处理，计算各处理的死亡率和校正死亡率（保留小数点后两位），得出各药剂的毒力回归方程、致死中浓度（LC_{50} 值）、95%置信限及卡方值等参数。以相对敏感种群 LC_{50} 值为对照，其他地区田间种群以此为基准与之相比，抗性倍数（Resistance ratio，RR）=供试种群的 LC_{50}/敏感种群 LC_{50}，抗性分级标准参考沈晋良和吴益东（1995）所报道的，敏感（RR < 3.0）、敏感性下降（3.0 ≤ RR < 5.0）、低水平抗性（5.0 ≤ RR < 10.0）、中等水平抗性（10.0 ≤ RR < 40.0）、高水平抗性（40.0 ≤ RR < 160.0）和极高水平抗性（RR ≥ 160.0）。

2 结果与分析

2.1 苹果全爪螨田间种群对阿维菌素的抗性水平

监测发现，供试苹果全爪螨种群中多数种群对阿维菌素处于低抗水平（表 2），其中，扶风（FF）种群抗性最高，抗性倍数为 9.78，凤翔（FX）、兴平（XP）、礼泉（LQ）、乾县（QX）及旬邑（XY）地区的苹果全爪螨种群的 LC_{50} 值在 0.052-0.069 mg/L 之间，洛川种群（LC）最低，LC_{50} 为 0.012 mg/L。相较于室内敏感品系，不同地理种群对阿维菌素的抗性水平不同。其中，扶风（FF）、旬邑（XY）、乾县（QX）、凤翔（FX）、兴平（XP）和礼泉（LQ）地区苹果全爪螨种群对阿维菌素的抗性处于低水平抗性；白水（BS）和黄陵（HL）地区的苹果全爪螨对阿维菌素的抗性仍处于敏感性下降阶段；洛川（LC）苹果全爪螨田间种群相较其他地区对阿维菌素仍保持敏感。2021-2022 年监测结果表明，扶风（FF）、礼泉（LQ）、旬邑（XY）、白水（BS）和洛川（LC）苹果全爪螨田间种群对阿维菌素的抗性倍数呈不断上升趋势，其中，礼泉（LQ）种群抗性倍数由 4.22 倍上升至 5.11 倍，由敏感性降低发展

为低水平抗性。

2.2　苹果全爪螨田间种群对哒螨灵的抗性水平

由表 2 可知，苹果全爪螨田间种群对哒螨灵的 LC_{50} 值在 41.17-483.54 mg/L 之间，害螨种群对哒螨灵的抗性以礼泉（LQ）种群最高，抗性倍数为 17.99 倍，达到中等水平抗性；扶风（FF）和白水（BS）种群为低抗水平，抗性倍数分别为 9.91 倍和 8.54 倍（2021 年）；凤翔（FX）和兴平（XP）种群对哒螨灵的抗性处于敏感性下降阶段；其他 3 个地区的苹果全爪螨种群仍处于敏感阶段。各地区种群抗性高低顺序为：礼泉（LQ）>扶风（FF）>白水（BS）>洛川（LC）>兴平（XP）>凤翔（FX）>乾县（QX）>旬邑（XY）>黄陵（HL）。田间种群抗药性年度间比较发现，各苹果全爪螨种群对哒螨灵的抗性变化不同，扶风（FF）和白水（BS）种群对哒螨灵的敏感性下降，抗性倍数分别由 9.91 倍降低至 8.67 倍和 8.54 倍降低到 6.06 倍；礼泉（LQ）种群抗性倍数由 11.07 倍上升到 17.99 倍；洛川（LC）种群抗性倍数由 3.58 倍上升至 5.55 倍，由敏感性下降发展为低水平抗性。

2.3　苹果全爪螨田间种群对三唑锡的抗性水平

监测结果表明，供试苹果全爪螨种群中多数种群对三唑锡尚处于敏感性下降阶段。礼泉种群（LQ）抗性最高（表 2），LC_{50} 值为 988.46 mg/L；凤翔（FX）、兴平（XP）、旬邑（XY）和洛川（LC）地区的苹果全爪螨种群的 LC_{50} 值在 260.7-304.779 mg/L 之间，黄陵种群（HL）最低，LC_{50} 值为 87.046 mg/L。相较于室内敏感品系，不同地理种群对三唑锡的抗性水平差异明显。其中，礼泉（LQ）和白水（BS）苹果全爪螨种群对三唑锡的抗性倍数超过了 10 倍，达到了中等抗性水平；仅扶风（FF）地区的苹果全爪螨种群对三唑锡的抗性处于低水平抗性；凤翔（FX）、兴平（XP）、乾县（QX）、旬邑（XY）和洛川（LC）种群仍处于敏感性下降阶段。与 2021 年相比，2022 年苹果全爪螨种群对三唑锡多表现为敏感性上升，其中，白水（BS）种群抗性倍数由 11.76 倍降低至 7.34 倍，由中抗水平发展为低抗水平；礼泉（LQ）种群抗性倍数由 12.11 倍降低到 11.29 倍；旬邑（XY）种群抗性倍数由 3.34 倍降至 3.19 倍；洛川（LC）种群抗性倍数由 4.20 倍降低到 3.73 倍。扶风（FF）种群抗性倍数由 3.43 倍上升为 6.46 倍，由敏感性降低发展为低水平抗性。

2.4　苹果全爪螨田间种群对联苯肼酯的抗性水平

供试苹果全爪螨田间种群对联苯肼酯大多还处于敏感至敏感性下降阶段（表 2），其中，旬邑地区（XY）苹果全爪螨种群对联苯肼酯的敏感性最高，抗性倍数为 1.95 倍，尚处于敏感阶段；凤翔（FX）种群抗性最高，抗性倍数为 14.85 倍，其次是扶风（FF）种群，抗性倍数为 14.57 倍，已达到中等水平抗性；其他地区苹果全爪螨田间种群的抗性倍数均低于 5 倍，未发现对联苯肼酯产生低抗水平的种群。兴平（XP）、礼泉（LQ）、黄陵（HL）和洛川（LC）4 个地区的苹果全爪螨田间种群对联苯肼酯的抗性处于敏感性下降阶段；乾县（QX）、旬邑（XY）和白水（BS）地区的苹果全爪螨种群仍处于敏感阶段。与 2021 年相比，2022 年扶风（FF）苹果全爪螨种群对联苯肼酯的抗性上升，抗性倍数由 12.45 倍上升为 14.57；白水（BS）和洛川（LC）种群敏感性降低，前者抗性水平未变，后者由敏感发展为敏感性下降；礼泉（LQ）和旬邑（XY）种群对联苯肼酯的敏感性略有升高。

2.5　苹果全爪螨田间种群对螺螨酯的抗性水平

苹果全爪螨不同地理种群对螺螨酯的抗性倍数以扶风种群（FF）最高，为 22.09 倍，达到了中抗水平（表 2）。其他地区苹果全爪螨种群对螺螨酯的抗性倍数均低于 10 倍，其中洛川（LC）、凤翔（FX）、礼泉（LQ）黄陵（HL）和兴平（XP）地区的抗性倍数在 5.07-9.26 之间，表明该 5 个地区的苹果全爪螨对螺螨酯产生了低水平抗性；乾县（QX）、旬邑（XY）和白水（BS）地区的苹果全爪螨种群仍处于敏感性下降阶段。

表 2 2021-2022 年苹果全爪螨田间种群对 5 种杀螨剂的敏感性

Table 2 Susceptibilities of field population of *Panonychus ulmi* to 5 insecticides in 2021-2022

杀虫剂 Insecticide	种群 Population	年度 Year	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	LC_{50}（95% CL） (mg/L)	卡平方 χ^2	抗性倍数 Resistance ratio
阿维菌素 Abamectin	敏感 SS		3.78 ± 0.56	0.009（0.008-0.010）	4.13	1.00
	扶风 FF	2021	4.12 ± 0.87	0.075（0.066-0.091）	6.27	8.33
		2022	2.11 ± 0.90	0.088（0.065-0.111）	5.10	9.78
	凤翔 FX	2022	2.31 ± 0.36	0.055（0.041-0.068）	2.74	6.11
	兴平 XP	2022	3.60 ± 0.58	0.052（0.043-0.061）	2.46	5.78
	礼泉 LQ	2021	2.86 ± 0.57	0.038（0.025-0.049）	1.13	4.22
		2022	3.69 ± 0.49	0.046（0.038-0.053）	1.95	5.11
	乾县 QX	2022	2.58 ± 0.58	0.063（0.050-0.077）	0.37	7.00
	旬邑 XY	2021	4.99 ± 0.60	0.057（0.051-0.063）	7.48	6.33
		2022	3.36 ± 0.39	0.069（0.058-0.079）	1.99	7.67
	白水 BS	2021	3.70 ± 0.65	0.038（0.026-0.047）	0.17	4.22
		2022	3.29 ± 0.45	0.044（0.036-0.051）	4.18	4.89
	黄陵 HL	2022	2.01 ± 0.37	0.035（0.020-0.049）	1.22	3.89
	洛川 LC	2021	2.72 ± 0.47	0.012（0.010-0.014）	0.39	1.33
		2022	2.06 ± 0.17	0.021（0.020-0.023）	0.30	2.33
哒螨灵 Pyridaben	敏感 SS		1.32 ± 0.13	26.88（18.87-35.11）	0.41	1.00
	扶风 FF	2021	1.09 ± 0.59	266.77（209.37-420.23）	0.80	9.91
		2022	6.21 ± 0.59	232.95（202.29-258.22）	0.06	8.67
	凤翔 FX	2022	3.17 ± 0.39	94.91（79.94-108.37）	3.99	3.53
	兴平 XP	2022	1.99 ± 0.32	111.41（95.06-130.78）	1.34	4.15
	礼泉 LQ	2021	2.55 ± 0.44	405.01（343.40-533.45）	2.69	15.07
		2022	1.76 ± 0.10	483.54（438.96-540.54）	1.24	17.99
	乾县 QX	2022	2.63 ± 0.15	77.62（72.38-82.71）	0.78	2.89
	旬邑 XY	2021	3.90 ± 0.52	66.96（66.09-74.70）	4.88	2.49
		2022	1.98 ± 0.30	68.50（42.44-90.54）	2.99	2.55
	白水 BS	2021	2.12 ± 1.05	229.59（184.84-355.59）	0.21	8.54
		2022	3.11 ± 0.30	162.97（145.45-179.96）	4.11	6.06
	黄陵 HL	2022	2.95 ± 0.45	41.17（33.37-47.98）	3.30	1.53
	洛川 LC	2021	1.79 ± 0.87	96.21（82.88-120.46）	1.15	3.58
		2022	1.38 ± 0.14	149.19（131.90-174.37）	0.54	5.55
三唑锡 Azocyclotin	敏感 SS		2.33 ± 0.37	81.65（69.45-96.94）	1.77	1.00
	扶风 FF	2021	2.69 ± 0.53	279.95（218.90-337.48）	0.24	3.43
		2022	1.24 ± 0.25	527.65（424.44-723.94）	0.43	6.46
	凤翔 FX	2022	3.52 ± 0.49	275.04（217.37-322.79）	2.53	3.37
	兴平 XP	2022	2.00 ± 0.30	276.89（194.27-351.01）	2.09	3.39

续表 2 (Table 2 continued)

杀虫剂 Insecticide	种群 Population	年度 Year	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	LC_{50}（95% CL） (mg/L)	卡平方 χ^2	抗性倍数 Resistance ratio
	礼泉 LQ	2021	2.26 ± 0.99	988.46（796.62-1 504.98）	1.79	12.11
		2022	2.85 ± 0.45	921.93（802.44-1 096.82）	4.50	11.29
	乾县 QX	2022	2.07 ± 0.38	377.44（275.62-477.97）	1.22	4.62
	旬邑 XY	2021	3.49 ± 0.45	272.53（236.29-306.17）	2.45	3.34
		2022	3.57 ± 0.61	260.70（194.62-313.62）	1.13	3.19
	白水 BS	2021	2.41 ± 1.00	960.25（781.29-1 420.43）	0.75	11.76
		2022	2.05 ± 0.16	599.34（543.68-674.24）	3.99	7.34
	黄陵 HL	2022	3.09 ± 0.46	87.05（72.08-100.55）	1.26	1.07
	洛川 LC	2021	1.88 ± 0.46	342.69（263.35-454.59）	1.07	4.20
		2022	2.56 ± 0.18	304.78（287.22-324.80）	1.29	3.73
联苯肼酯 bifenazate	敏感 SS		1.91 ± 0.25	157.63（126.60-190.06）	1.20	1.00
	扶风 FF	2021	0.80 ± 0.61	1 962.35（1 516.59-3 428.12）	0.13	12.45
		2022	2.37 ± 0.23	2 296.34（1 952.90-2 838.58）	5.14	14.57
	凤翔 FX	2022	1.24 ± 0.08	2 340.32（2 004.60-2 821.49）	6.30	14.85
	兴平 XP	2022	1.75 ± 0.26	735.04（601.84-953.92）	0.95	4.66
	礼泉 LQ	2021	2.35 ± 0.76	608.98（440.84-1 912.53）	0.46	3.86
		2022	3.00 ± 0.45	519.40（442.86-601.33）	3.55	3.30
	乾县 QX	2022	1.70 ± 0.26	381.82（297.08-466.05）	2.75	2.42
	旬邑 XY	2021	4.28 ± 0.57	329.40（297.44-364.38）	3.11	2.09
		2022	2.13 ± 0.35	307.01（241.65-367.22）	2.23	1.95
	白水 BS	2021	2.37 ± 0.76	316.23（204.33-458.86）	0.83	2.03
		2022	2.99 ± 0.37	397.09（346.29-448.44）	2.88	2.52
	黄陵 HL	2022	2.30 ± 0.42	745.85（631.10-921.49）	2.41	4.73
	洛川 LC	2021	1.67 ± 1.10	453.18（396.42-534.34）	2.40	2.88
		2022	2.70 ± 0.14	550.90（519.32-585.79）	0.19	3.49
螺螨酯 spirodiclofen	敏感 SS		2.46 ± 0.33	97.49（85.23-112.60）	5.43	1.00
	扶风 FF	2022	2.74 ± 0.65	2 153.24（1 769.08-2 872.5）	0.21	22.09
	凤翔 FX	2022	2.72 ± 0.43	542.31（445.75-632.37）	1.47	5.56
	兴平 XP	2022	2.51 ± 0.37	902.93（725.64-1 299.86）	0.99	9.26
	礼泉 LQ	2022	2.35 ± 0.14	682.62（644.11-728.54）	7.68	7.00
	乾县 QX	2022	2.07 ± 0.42	395.12（279.73-513.66）	1.39	4.05
	旬邑 XY	2022	3.70 ± 0.41	356.58（315.51-398.47）	5.18	3.66
	白水 BS	2022	2.82 ± 0.40	483.19（418.23-575.91）	3.15	4.96
	黄陵 HL	2022	2.63 ± 0.36	759.67（634.43-953.19）	2.18	7.79
	洛川 LC	2022	4.34 ± 0.65	473.87（408.31-535.51）	0.79	5.07

3 结论与讨论

抗药性治理是害虫综合防控的重要内容，建立害螨敏感品系及敏感基线是开展抗药性研究工作的基础。本研究利用室内相对敏感品系建立了苹果全爪螨对 5 种杀螨剂的敏感基线，其 LC_{50} 值分别为阿维菌素 0.009 mg/L、哒螨灵 26.88 mg/L、三唑锡 81.65 mg/L、螺螨酯 97.49 mg/L、联苯肼酯 157.63 mg/L，其中苹果全爪螨对阿维菌素的敏感性最高，对联苯肼酯敏感性最低。以敏感基线为标准，连续两年对陕西地区苹果园苹果全爪螨田间种群的抗性监测表明，该螨对哒螨灵、三唑锡和螺螨酯已产生低至中等水平抗性，对阿维菌素仍处于敏感性下降及产生低水平抗性阶段，绝大部分地区苹果全爪螨种群对联苯肼酯尚未产生抗药性。因此，田间防治该螨时，应限制或停止使用哒螨灵、三唑锡和螺螨酯，减少用药量并交替轮换使用联苯肼酯和阿维菌素，避免连续使用，以延缓苹果全爪螨抗药性的产生和发展。

王洪涛等（2012）研究发现，苹果全爪螨对杀虫剂的敏感性在不同地域之间存在差异。本文测定的陕西 9 个地区的苹果全爪螨田间种群抗药性也有着明显的区域性，总体而言，对 5 种杀螨剂抗性最为普遍且严重的地区为扶风（FF）、礼泉（LQ）和凤翔（FF），其次为兴平（XP）和白水（BS），而乾县（QX）、旬邑（XY）、黄陵（HL）和洛川（LC）地区的苹果全爪螨种群则抗性相对较低，这也反映出不同地区由于用药历史不同，药剂的选择压力不同，从而导致苹果全爪螨抗性发展水平不同。

张旭东等（2017）报道了陕西关中地区苹果园苹果全爪螨田间种群对阿维菌素、哒螨灵和三唑锡的相对抗性倍数分别为 1.11-1.88、1.36-3.61 和 1.84-2.43 倍，其中，兴平种群对阿维菌素和哒螨灵的敏感性最低，扶风种群对三唑锡的敏感性最低。本研究结果发现，扶风（FF）种群对阿维菌素的敏感性最低，LC_{50} 为 0.088 mg/L，礼泉（LQ）种群对哒螨灵和三唑锡的 LC_{50} 最高，分别为 483.54 mg/L 和 988.46 mg/L，抗性倍数为 17.99 和 11.29 倍，均已达到中等抗性水平。分析陕西 5 个苹果全爪螨种群对 4 种杀螨剂的抗性年度变化发现，苹果全爪螨种群对阿维菌素的抗性发展比较迅速，而对哒螨灵和联苯肼酯的抗性发展相对较慢，但相较于等（2017）的监测数据，相关地区对阿维菌素的抗性上升不明显，对哒螨灵和联苯肼酯两种药剂的抗性倍数上升了 5-10 倍，大部分种群对三唑锡的敏感性则有所恢复。

王宝军等（2019）检测发现重庆潼南朱砂叶螨田间种群对联苯肼酯和哒螨灵已产生中等水平抗性，对阿维菌素产生低水平抗性。陈秋双等（2012）采用药膜法测定朱砂叶螨田间种群对阿维菌素还未产生明显抗性。有研究发现，供试二斑叶螨种群均对阿维菌素产生了高水平至极高水平的抗性（刘贻聪等，2016）。山西运城山楂叶螨田间种群对阿维菌素和三唑锡均处于敏感性下降及低水平抗性阶段，对哒螨灵的抗性由低水平抗性上升至中等水平抗性（封云涛等，2016）。Yaman 等（2016）监测发现土耳其伊斯帕尔塔地区苹果全爪螨对螺螨酯、噻螨酮和乙螨唑的抗性倍数分别为 1-1.95、1-2.36 和 1-7.30 倍。陕西兴平（XP）的山楂叶螨种群对阿维菌素已产生低水平抗性，抗性倍数为 7.63 倍，其他地区田间种群表现为敏感或敏感性下降，各田间种群对哒螨灵产生了 13.29-69.63 倍的中等至高水平抗性（彭丽娟等，2015）。这些研究都表明不同地区或不同害螨种群对同一种药剂的敏感性不同，对不同杀虫剂的抗性水平也存在差异，这可能是由于不同地区的用药习惯、使用频率及剂量、防治时期和害螨种类差异等因素所造成的。因此，在生产实践中应针对不同地域特点，采取适当的方法和措施进行有效的防治。

综上所述，本研究通过对陕西不同地区苹果园苹果全爪螨田间种群进行抗药性监测，发现苹果全爪螨对阿维菌素、三唑锡、哒螨灵和螺螨酯等当前农业害螨综合防治中的常用药剂的抗性水平，为该地区苹果全爪螨的抗药性监测和抗性治理提供了参考。因此，在实际防治过程中，定期对苹果全爪螨田间种群进行抗药性监测尤为重要，根据监测结果合理使用不同类型的农药，

推行轮换用药和药肥混用相结合的防治方法，减少药剂使用量，在落实“双减”政策的同时，提高对该螨的综合防治效率。

参考文献 (References)

Badieinia F, Khajehali J, Nauen R, Dermauw W, Van Leeuwen T, 2020. Metabolic mechanisms of resistance to spirodiclofen and spiromesifen in Iranian populations of *Panonychus ulmi*. *Crop Protection*, 134: 105166.

Cao ZG, Zhang YH, Liu W, Wang ZL, 1990. Study on the resistance of *Tetranychus viennensis* Zacher and *Panonychus ulmi* (Koch). *Entomological Knowledge*, 27(6): 346–349. [曹子刚, 张蕴华, 刘微, 王之岭, 1990. 山楂叶螨和苹果全爪螨抗药性的研究. 昆虫知识, 27(6): 346–349.]

Chapman RB, Penman DR, 1984. Resistance to propargite by European red mite and two-spotted mite. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 27(1): 103–105.

Chen QS, Zhao S, Zou J, Shi L, He L, 2012. Monitoring of acaricide resistance in *Tetranychus cinnabarinus*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(2): 364–369. [陈秋双, 赵舒, 邹晶, 石力, 何林, 2012. 朱砂叶螨抗药性监测. 应用昆虫学报, 49(2): 364–369.]

Feng YT, Guo XJ, Liu ZF, Zhang RX, Yu Q, Shi GC, Fan RJ, 2016. Resistance of *Amphitetranychus viennensis* Zacher to five insecticides in apple orchards in Shanxi province. *Plant Protection*, 42(6): 187–190. [封云涛, 郭晓君, 刘中芳, 张润祥, 庾琴, 史高川, 范仁俊, 2016. 山西省苹果园山楂叶螨对 5 种杀虫剂抗药性监测. 植物保护, 42(6): 187–190.]

Han BM, 2005. Study on biology character of *Panonychus ulmi* experiment population and its field pendulum. Master dissertation. Jilin: Yanbian University. [韩柏明, 2005. 苹果全爪螨实验种群的生物学特性及其田间消长规律的研究. 硕士学位论文. 吉林: 延边大学.]

Han BM, Jin DY, Lü LS, 2007. Threshold temperature for development and population dynamics of *Panonychus ulmi* (Koch) in fields. *Plant Protection*, 33(4): 83–86. [韩柏明, 金大勇, 吕龙石, 2007. 苹果全爪螨的发育起点温度和田间消长规律研究. 植物保护, 33(4): 83–86.]

Jeppson LR, Keifer HH, Baker EW, 1975. Mites Injurious to Economic Plants. Berkeley: University of California Press. 47–56.

Liu YC, Wang L, Zhang YJ, Xie W, Wu QJ, Wang SL, 2016. Abamectin resistance and expression of resistance-related genes in field populations of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 59(11): 1199–1205. [刘贻聪, 王玲, 张友军, 谢文, 吴青君, 王少丽, 2016. 二斑叶螨田间种群对阿维菌素的抗性及抗性相关基因表达分析. 昆虫学报, 59(11): 1199–1205.]

Mahendiran G, Ganie SA, 2018. Population dynamics, life history and efficacy of acaricides against European red mite, *Panonychus ulmi* (Koch), on almond and apple. *African Entomology*, 26(2): 333–336.

Peng LJ, Zuo YY, Duan XL, Chen MH, 2015. Resistance of *Tetranychus viennensis* to insecticides in apple orchards in Shaanxi province. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(5): 1174–1180. [彭丽娟, 左亚运, 段辛乐, 陈茂华, 2015. 陕西苹果园山楂叶螨抗药性监测. 应用昆虫学报, 52(5): 1174–1180.]

Qin YC, Cai NH, Hu DX, Huang KX, 1990. Study on the mixed damage of sweet cherry spider mite and European red mite to apple leaf and fruit. *Acta Phytophylacica Sinica*, 17(4): 349–353. [秦玉川, 蔡宁华, 胡敦孝, 黄可训, 1990. 山楂叶螨与苹果全爪螨混合为害对苹果叶片及果实的影响. 植物保护学报, 17(4): 349–353.]

Shen JL, Wu YD, 1995. Cotton Bollworm (*Helicoverpa armigera* Hubner) Resistance and Management. Beijing: Chinese Agriculture Press. 25–88. [沈晋良, 吴益东, 1995. 棉铃虫抗药性及其治理. 北京: 中国农业出版社. 25–88.]

Shi WC, Liu X, Xie H, 1989. The main biologic characters of European red mite *Panonychus ulmi* (Koch) from Western Sichuan. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2(1): 83–86. [石万成, 刘旭, 谢辉, 1989. 苹果全爪螨的主要生物学特性观察. 西南农业学报, 2(1): 83–86.]

Van Leeuwen T, Tirry L, Yamamoto A, Nauen R, Dermauw W, 2015. The economic importance of acaricides in the control of phytophagous mites and an update on recent acaricide mode of action research. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121: 12–21.

Wang BJ, Hu YP, Shen GM, Liu H, 2019. Resistance monitoring and mechanism analysis of *Tetranychus cinnabarinus* collected from the field in Tongnan, Chongqing. *Plant Protection*, 45(1): 88–92, 97. [王保军, 胡云鹏, 申光茂, 刘怀, 2019. 重庆潼南朱砂叶螨田间抗性监测及其抗性机制分析. 植物保护, 45(1): 88–92, 97.]

Wang HT, Wang PS, Si SD, Luan BH, Wang YZ, 2012. Resistance monitoring of different *Panonychus ulmi* populations to four acaricides in Shandong Province. *Journal of Fruit Sciencce*, 29(6): 1083–1087.[王洪涛, 王培松, 司树鼎, 栾炳辉, 王英姿, 2012. 山东地区不同苹果全爪螨种群对 4 种杀螨剂的抗药性检测. 果树学报, 29(6): 1083–1087.]

Yaman Y, Salman SY, Ay R, 2016. The sensitivity against some acaricides and the detoxification enzyme levels of *Panonychus ulmi* (Koch) collected from apple orchards in Isparta. *Journal of Agricultural Sciences-Tarim Bilimleri Dergisi*, 22(2): 249–260.

Yin YC, 2015. Occurrence dynamics of spider mites and evaluation of the effect releasing predatory mites in Wangdu apple orchards. Master dissertation. Hebei: Hebei Agricultural University. [尹英超, 2015. 望都苹果园叶螨的发生动态及释放捕食螨的防控效果评价. 硕士学位论文. 河北: 河北农业大学.]

Zhang XD, Wu RX, Zhao Q, Su XJ, Chen MH, 2017. Resistance monitoring of *Panonychus ulmi* from apple orchards to four acaricides in Guanzhong. *Journal of Northwest Forestry University*, 32(2): 197–201. [张旭东, 武荣祥, 赵奇, 苏小计, 陈茂华, 2017. 陕西关中地区苹果园苹果全爪螨对 4 种杀螨剂的抗药性评估. 西北林学院学报, 32(2): 197–201.]