

苹果全爪螨抗药性研究进展

黄宝剑, 张继龙, 苏莎, 张晓赫, 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,
农业农村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 苹果全爪螨是重要的蔷薇科果树害虫之一, 具有体型小、繁殖快、世代周期短等生物学特点。该螨以若螨和成螨取食苹果叶片和嫩芽, 影响果树生长发育, 造成果实品质和产量下降, 自 20 世纪 60 年代开始其在我国果园的发生逐年加重。国内外对苹果全爪螨的防治主要采用化学杀螨剂, 由于化学杀螨剂长期不规范的使用, 致使该螨对多种类型的化学杀螨剂产生了抗药性。本文总结了苹果全爪螨的发生、为害、抗药性现状及其抗性机理, 同时结合国内外苹果全爪螨抗药性和防治相关研究, 提出该螨抗药性治理策略, 以期为其防治提供参考。

关键词 苹果全爪螨; 抗药性; 抗性机理; 抗性治理

中图分类号: S 436.611.2 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2022789

Advances in acaricide resistance of the European red mite, *Panonychus ulmi* (Koch)

HUANG Baojian, ZHANG Jilong, SU Sha, ZHANG Xiaohe, CHEN Maohua*

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

Abstract The European red mite, *Panonychus ulmi* (Koch) (Acari: Tetranychidae), is one of the most important pests of Rosaceae fruit trees. It has small body size, with rapid reproduction and short generation time. The nymphs and adults of mites feed on the leaves and tender buds of apple, affecting the growth and development of fruit trees, resulting in the decrease of fruit quality and yield. The damages by *P. ulmi* more and more seriously since the 1960s. Spraying chemical acaricide is the main method for control of *P. ulmi*. Due to the long-term irregular use of chemical acaricides, the mite has developed resistance to various types of chemical insecticides. In this reviews, the occurrence, damage, resistance status and resistance mechanism of *P. ulmi* were summarized. The acaricide-resistance management and integrated control of *P. ulmi* was proposed.

Key words *Panonychus ulmi*; acaricide-resistance; resistance mechanism; resistance management

苹果全爪螨 *Panonychus ulmi* (Koch) 属于蛛形纲 Arachnida, 真螨目 Acariformes 叶螨科 Tetranychidae, 是世界各地苹果园的主要螨类害虫^[1-2]。该螨于 1911 年首次在北美被报道^[3], 目前在阿根廷、加拿大、印度、伊朗、日本及我国均有分布。苹果全爪螨在我国分布较广, 是我国北方果园最主要的害螨之一^[4]。苹果全爪螨主要为害苹果、梨、沙果、桃、杏、樱桃、李和山楂等蔷薇科果树, 还可为害葡萄、覆盆子和胡桃等^[5], 其以若螨和成螨为害苹果嫩

芽和叶片, 造成被害嫩芽不能正常萌发甚至枯死; 受害叶片初期呈现灰白色斑点, 严重时叶片表面布满螨蜕, 导致光合作用受阻, 树势削弱, 苹果质量受损和产量下降^[6-7]。

目前, 苹果全爪螨的防治主要依靠喷施化学杀螨剂, 随着其为害逐年加重, 果园化学杀螨剂的使用量也逐年上升^[8]。因为苹果全爪螨个体小、繁殖速度快、世代周期短, 加之果农大量且不合理地使用化学杀螨剂, 该螨已对多种不同类型化学杀螨剂产生

了抗药性。因此,及时开展苹果全爪螨抗药性监测和抗性治理工作尤为重要。本文介绍了国内外有关苹果全爪螨的发生为害规律、抗药性研究现状及抗性机理等方面的研究进展,旨在为制定有效的苹果全爪螨的抗药性监测、抗性治理以及防治策略提供参考。

1 苹果全爪螨发生为害规律

苹果全爪螨吸食苹果叶片汁液,导致叶肉细胞内部结构发生巨大变化,叶绿体形状改变,并出现淀粉粒沉积,严重时可导致细胞结构全部被破坏^[9],不能正常进行光合作用^[10]。这种为害对果树产生持续性影响,降低叶片氮素水平,造成叶片早落,地上部分生长速度减缓^[11-12]。其为害可导致苹果树当年减产率达 2.89%~11.25%,次年减产率达 2.0%~86.2%^[13],也会影响果实大小、色泽、可溶性固形物、可滴定酸和果实硬度,使果实的品质下降^[14-16]。

苹果全爪螨的生活史周期主要包括卵、幼螨、前若螨、后若螨和成螨,卵孵化后从幼螨开始,每个生长阶段之间都有一个静止期。卵为扁圆球形,顶端有一伞骨状短柄,长度约等于卵的直径,幼螨平均长度约 0.17 mm^[17]。若螨体色多呈浅红色,体型较成螨小。雌成螨体长约 0.4 mm,呈椭圆形,背部具黄白色毛瘤,着生有白色刚毛,体色为深红色。雄成螨体型为菱形,体色浅红,行动敏捷^[4, 18]。该螨既能营两性生殖,也能营孤雌生殖,但孤雌生殖所产的卵均发育为雄螨,雌螨一生只交配 1 次,而雄螨可以交配多次^[19]。

苹果全爪螨在各地的发生代数依当地气候条件不同而异,在我国北方果区一年发生 6~9 代,完成 1 代的时间平均为 10~14 d,越冬代和第 1 代表现出明显的产卵量高、产卵期长的特点^[20],以卵在短果枝的果台处和两年生以上的枝条基部越冬。韩柏明等^[21]研究了苹果全爪螨的田间消长规律,发现苹果全爪螨在延边地区一年可发生 5~6 代,其种群数量一年有 2 个高峰,第 1 个高峰出现在 6 月中下旬,第 2 个高峰出现在 8 月初。苹果全爪螨在四川一年发生 6~7 代,7 月中旬是其田间数量消长的转折点,种群数量从 4 月下旬至 7 月中旬逐渐增长,7 月中旬至 9 月中旬逐渐下降^[22]。山东果园苹果全爪螨一年只有 1 个高峰,出现在 6 月下旬^[23]。张旭东^[18]监测发现,陕西关中 3 个地区苹果全爪螨的消

长动态表现为单峰型或多峰型,其中兴平和扶风地区苹果全爪螨种群消长动态表现为全年有一个明显的发生高峰。

2 苹果全爪螨的抗药性研究现状

害螨对化学杀虫剂的抗药性问题是其综合防治工作中的主要问题之一。苹果全爪螨由于世代周期短、繁殖率高,对杀虫剂产生抗药性较快^[24]。目前,苹果全爪螨已对有机硫类、有机氯类、有机锡类、拟除虫菊酯类、抗生素类、硝基苯类和杂环类等杀虫剂产生了抗药性。抗性水平分为敏感($RR \leq 3$)、敏感性下降($3 < RR \leq 5$)、低水平抗性($5 < RR \leq 10$)、中等水平抗性($10 < RR \leq 40$)、高水平抗性($40 < RR \leq 160$)和极高水平抗性($RR > 160$)^[25]。

自 1952 年首次报道苹果全爪螨对对硫磷产生抗性以来^[26],该螨陆续对三氯杀螨砒^[27]、炔螨特^[28]、三环锡^[29]等不同类型的杀虫剂产生了抗药性。曹子刚等^[30]对河北昌黎苹果园苹果全爪螨田间种群抗药性监测发现,该螨对三氯杀螨醇已产生中等水平抗性,抗性倍数达 35.77 倍;对杀虫脒为敏感性下降,抗性倍数为 4.10 倍;对水胺硫磷产生低水平抗性,抗性倍数为 5.41 倍;对敌敌畏和高效氯氟氰菊酯敏感。有研究显示,辽宁兴城地区苹果全爪螨对噻螨酮的抗性倍数为 4.62~5.01 倍,抗性水平均处于敏感性下降阶段^[31]。张旭东等^[32]的研究发现,陕西 5 个地区苹果园苹果全爪螨田间种群对阿维菌素的相对抗性倍数为 1.11~1.88 倍,对哒螨灵、噻虫嗪和三唑锡的相对抗性倍数分别为 1.36~3.61 倍、1.11~3.14 倍和 1.84~2.43 倍,相较于敏感种群,其他供试种群对 4 种药剂均处于敏感至敏感性下降阶段。新西兰苹果和桃园中 11 个苹果全爪螨田间种群已对炔螨特产生中等水平抗性,最高抗性倍数为 15.0 倍^[33]。Auger 等^[34]发现,法国南部苹果园中苹果全爪螨对啶螨醚和吡螨醚均已产生中等水平的抗药性,抗性倍数分别为 19.8~28.8 倍和 16.8~39.8 倍。调查发现,土耳其东南部布尔萨地区苹果全爪螨田间种群对溴螨酯已产生中高水平的抗性^[35]。Yaman 等^[36]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 倍、1~2.36 倍和 1~7.30 倍,大部分种群对 3 种杀螨剂尚未产生抗性。伊朗地区苹果全爪螨田间种群对螺螨酯和螺甲螨酯之间

存在着中度交叉抗性^[37]。不同地区苹果全爪螨田间种群对不同杀虫剂的抗性水平不同,因此,田间应用防治过程中应当根据当地实际情况有计划和针对性地合理施药,建议相关地区防治该螨时停止使用三氯杀螨醇、炔螨特、啶螨醚和溴螨酯等已产生中高水平抗性的药剂,减少使用哒螨灵和三唑锡,延缓苹果全爪螨抗性的进一步上升,推荐使用阿维菌素等对环境友好、低毒、低残留杀螨剂。

3 苹果全爪螨的抗药性机理

昆虫和螨类产生抗药性是杀虫剂持续作用的结果。研究表明,昆虫和螨类抗药性形成原因可以分为4种类型:行为抗性、表皮穿透效果降低、靶标抗性以及代谢抗性^[38]。根据相关报道,苹果全爪螨的抗性机理主要包括代谢抗性和靶标抗性^[2, 39]。代谢抗性主要是昆虫和螨通过调节体内解毒酶活性,分解体内异源毒性物质,减少或阻断其与靶标的接触,解毒酶系主要包括细胞色素 P450 单加氧酶(cytochrome P450 monooxygenases, CYP450s)、谷胱甘肽 S-转移酶(glutathione S-transferases, GSTs)和酯酶(esterases, ESTs);靶标抗性主要是由于靶标位点的碱基突变,导致靶标蛋白对化学药剂的敏感性降低,和化学药剂结合的亲和力降低,从而形成抗性。据报道,与昆虫和螨类抗性相关的靶标主要包括乙酰胆碱酯酶(acetylcholinesterase, AChE)、电压门控钠离子通道(voltage-gated sodium channel, VGSC)、 γ -氨基丁酸受体和鱼尼丁受体(ryanodine receptor, RyR)、线粒体电子传递抑制剂、螨类生长抑制剂以及乙酰辅酶 A 羧化酶抑制剂等^[40-41]。昆虫和螨类抗药性的发展受到许多因素的影响,包括遗传学、生物学和生态学等^[42],由于诸多因素的差异,导致同种昆虫和螨类的不同抗药性种群存在不同的抗药性机制,甚至多种抗药性机制同时存在于同一抗药性种群中^[43]。

目前,有关苹果全爪螨抗性机理的报道相对较少。Kumral 等^[39]的研究表明,酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶的比活力在苹果全爪螨田间抗毒死蜱和高效氯氟氰菊酯品系与室内敏感品系之间存在显著性差异,田间种群的酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶的比活力分别比室内敏感种群高 1.5 倍和 2.2 倍,推测土耳其布尔萨地区该螨对毒死蜱和高效氯氟氰菊酯的抗

性与酯酶和谷胱甘肽 S-转移酶活性升高有关。Kramer 等^[44]的研究发现,CYP450s 可能在苹果全爪螨对螺螨酯解毒中发挥作用。研究表明,VGSC 的两个氨基酸突变(L1024V 和 F1538I)导致的靶点不敏感可能是苹果全爪螨对甲氰菊酯和氰戊菊酯产生抗性的主要机制^[45]。据报道,伊朗地区苹果园苹果全爪螨 12 个田间种群都对阿维菌素产生了抗性,其中 Mahabd 种群对阿维菌素的抗性最高,抗性倍数为 46 倍;增效剂增效醚(piperonyl butoxide, PBO)和顺丁烯二酸二乙酯(diethyl maleate, DEM)可显著增加阿维菌素对苹果全爪螨 Mahabd 和 Shahin Dej 种群的毒性,而磷酸三甲苯酯(triphenyl phosphate, TPP)预处理导致阿维菌素对两个种群的 LC₅₀降低,分析认为 CYP450s 和 GSTs 介导的代谢抗性是苹果全爪螨对阿维菌素产生抗性的原因^[46]。Yaghoobi 等^[47]研究了伊朗苹果园中 11 个苹果全爪螨种群和一个来自德国的抗啶螨酯品系(PSR-TK)对啶螨酯的抗性水平,结果表明,PBO、TPP 和 DEM 增效比率(synergistic ratio, SR)分别在 PSR-TK(SR=6.7)、SD(SR=6.1)和 Se3(SR=3.6)3 个种群中最高,体外酶活性测定表明,与易感种群相比,PSR-TK 和 SD 种群中 GSTs 活性升高,而酯酶和 CYP450s 活性在抗性种群中没有显著性变化,线粒体复合体 I 没有发现抗药性相关的抗性突变,GSTs 活性的增强是苹果全爪螨种群对啶螨酯产生抗性的主要机制。

综上所述,目前国内外对于苹果全爪螨的抗性机制研究多集中在代谢抗性方面,对于其靶标抗性研究较少,缺少抗药性机制的深入研究;同时,目前只报道了苹果全爪螨对少数几种杀螨剂的抗性,而该螨对哒螨灵、联苯肼酯和三唑锡等常用的杀螨剂的抗性监测和抗性机制研究较少。因此,未来的研究中应加强对苹果全爪螨对常用杀螨剂的持续抗性监测,深入分析该螨对常用杀螨剂的抗性机制,为杀螨剂的合理利用及该螨的抗药性治理提供依据。

4 苹果全爪螨的抗性治理

4.1 加强苹果全爪螨的抗性监测

昆虫抗药性治理是将害虫为害控制在经济阈值以下,同时保持害虫对杀虫剂的敏感性,达到低剂量药剂控制害虫为害的目的^[48-49]。抗性监测是开展抗

性治理工作的基础和制定抗性治理方案的依据,更是评估抗性治理成果最直接有效的手段,在抗性治理中起着至关重要的作用^[50]。多元化的抗药性监测与检测技术极大地促进了害虫(害螨)抗药性监测工作的开展。从最早的生物检测法到生化检测法、神经电生理检测法、免疫学检测法和分子生物学检测法等^[51]。开展苹果全爪螨的抗性治理工作,应当建立标准化的生物测定方法和抗性分级标准,保证抗性监测结果的有效性和准确性,在抗性水平还未上升时就及时采取防治措施延缓其进一步发展。通过抗药性监测特别是早期抗性监测,能够及时、准确地掌握当地害虫的抗药性动态及其分布,从而合理地指导田间用药,为苹果全爪螨的防治提供科学依据。

4.2 科学合理用药

苹果全爪螨的防治主要依靠喷施化学杀螨剂。在化学防治过程中,要在加强虫情测报和抗性监测的基础上,综合考虑苹果全爪螨的田间抗性水平和当地用药背景,严格按照防治指标,做到有针对性地合理使用杀螨剂。首先,科学选择杀螨剂。根据苹果全爪螨的发生规律和果树的物候期选择最佳的防治时期,选用低毒、低残留、对环境和天敌昆虫友好的药剂。不同杀螨剂针对的害虫的发育阶段不同,应根据害虫的发育阶段选择相应的杀螨剂,如卵期选用四螨嗪和乙螨唑等;幼螨期或若螨期选用螺螨酯和炔螨特等;成螨期选用三唑锡和阿维菌素等;亦可选择整个发育历期都可使用的杀螨剂,如哒螨灵、联苯肼酯和唑螨酯等。针对不同剂型的农药,选择合适的施药器械和施药方法,不仅能提高药剂的利用率,还可减少农药的浪费。庾琴等^[52]研究发现,使用 3%阿维菌素微乳剂防治苹果园苹果全爪螨时,选择施药均匀、流失量小的弥雾喷雾机进行低药量施药能实现高效防治害虫的目的。其次,合理轮换使用杀虫剂,使用不同种类和作用方式的杀虫剂,注重无交互抗性的杀虫剂和杀螨剂之间的轮换使用,从而降低药剂的选择压力,保持其高效的杀螨活性,延长药剂使用寿命。限制或停止使用该虫已经产生抗性的药剂,避免使用产生交互抗性的药剂。最后,科学合理地运用药肥混用技术。药肥混用不但可以相互增效、促进植物生长,而且能够改善土壤理化性质。研究发现,鸡粪沼液浓缩液 300~500 倍

与哒螨灵混用,在哒螨灵剂量减少 10%~20%的前提下,对苹果全爪螨的防治效果与哒螨灵常规使用剂量相当^[53]。综合运用上述各项防治措施,减少杀虫(螨)剂的使用,降低药剂对苹果全爪螨的选择压力,延缓其抗性的发生与发展。

4.3 加强生物防治

由于化学防治苹果全爪螨造成环境污染、杀伤天敌和抗药性的发展等问题,因此,在苹果全爪螨综合防治中,应结合农业防治和生物防治措施。农业防治作为一种传统防治手段,是从农业管理入手,将环境与作物作为整体考虑,从根源上减少害螨的潜入与发生,起到基础防控作用。农业防治主要通过培育新型抗螨品种,加强田间肥水管理,提高果树营养水平;通过果园生草改变果园小气候,增加天敌数量;早春结合修剪,及时清除被剪掉的带卵枝条。

生物防治是指利用有益生物及其产物来抑制或消灭有害生物的一种防治方法。对于害螨防治而言,保护利用害螨自然天敌和人工释放捕食螨是生物防治害螨的重要方法。捕食螨在害螨的综合治理工作中发挥了很大的作用,已经成为综合治理中的重要组成部分,具有广阔的应用前景^[54]。国内外研究表明,捕食螨对苹果全爪螨的防治取得了较好的防效,目前已经取得商业化扩繁和应用,福建省农业科学院张艳璇等成功研制了捕食螨胡瓜新小绥螨 *Neoseiulus cucumeris* 的人工饲料配方及其大量繁殖方法,建立起了年生产能力 110 亿~120 亿头捕食螨的工厂化生产基地,生产成本降至 3 元/万头^[55-58]。研究发现,在 6 月中下旬按 1:50 的益害比释放伪新小绥螨 *Neoseiulus fallacis* 防治苹果园苹果全爪螨获得良好防效^[59-61]。张守友报道了东方钝绥螨 *Amblyseius orientalis* 对苹果园的苹果全爪螨和山楂叶螨 *Amphitetranychus viennensis* 的自然控制效果,在全年不喷施杀螨剂的情况下,按照 1:57~1:73 的益害比释放东方钝绥螨,相对防治效果达 93.4%^[62]。释放巴氏新小绥螨 *Neoseiulus barkeri* 能够有效控制苹果全爪螨,田间有效控害时间可满足生产防治需求^[63-64]。据报道,加州新小绥螨 *Neoseiulus californicus* 和西方盲走螨 *Metaseiulus occidentalis* 也已成功应用于苹果全爪螨的生物防治中^[65-67]。除此之外,还有许多天敌昆虫,如异色瓢虫 *Harmonia*

axyridis、深点食螨瓢虫 *Stethorus punctillum*、塔六点蓟马 *Scolothrips takahashii* 和中华通草蛉 *Chrysoperla sinica* 等。综上所述,在生产实践中,应当注重农业管理,同时加强生物防治的宣传工作,结合当地苹果全爪螨的发生规律和抗性水平,参考害螨的治理方法,从而制定符合当地实情的综合防治策略。

5 展望

苹果全爪螨是一类重要的果树害螨,在世界各地苹果园均有发生,给苹果产业造成了严重的经济损失。在未来很长一段时间内苹果全爪螨仍是世界果树最重要的害螨之一,对其防治上必须坚持“预防为主,综合防治”的策略。合理利用多元化的信息系统和现代信息技术推进害虫抗性监测与检测工作向着更加准确高效的方向发展;在化学防治方面,研发更高效安全的新型杀螨剂;在生物防治方面,推进抗性捕食螨的筛选、扩繁及其应用工作,开发本地的优势捕食螨种群,发挥捕食螨在害螨综合治理中的最大潜能。深化农业防治和生物防治的协调使用,为害螨的有效防控提供更坚实的理论依据,制定出更加完善的防治策略,从而创造更高的经济、社会和生态效益。

参考文献

- [1] JEPPSON L R, KEIFER H H, BAKER E W. Mites injurious to economic plants [M]. Berkeley: University of California Press, 1975: 127 - 149.
- [2] VAN LEEUWEN T, TIRRY L, YAMAMOTO A, et al. The economic importance of acaricides in the control of phytophagous mites and an update on recent acaricide mode of action research [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2015, 121: 12 - 21.
- [3] MAHENDIRAN G, GANIE S A. Population dynamics, life history and efficacy of acaricides against European red mite, *Panonychus ulmi* (Koch), on almond and apple [J]. African Entomology, 2018, 26(2): 333 - 336.
- [4] 韩柏明. 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[D]. 延吉: 延边大学, 2005.
- [5] 韩柏明, 金大勇, 吕龙石. 苹果全爪螨在不同温度下的实验种群生命表[J]. 昆虫知识, 2007, 44(2): 226 - 228.
- [6] 石万成, 刘旭, 谢辉. 苹果全爪螨的主要生物学特性观察[J]. 西南农业学报, 1989, 2(1): 83 - 86.
- [7] 秦玉川, 蔡宁华, 胡敦孝, 等. 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[J]. 植物保护学报, 1990, 17(4): 349 - 353.
- [8] 尹英超. 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[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
- [9] 张坤鹏, 孙瑞红, 杨洪强. 害螨胁迫对富士苹果叶片细胞超微结构及游离脯氨酸含量的影响[J]. 山东农业科学, 2016, 48(6): 36 - 41.
- [10] MOBLEY K N, MARINI R P. Gas exchange characteristics of apple and peach leaves infested by European red mite and two spotted spider mite [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1990, 5(5): 757 - 761.
- [11] BRIGGS J B, AVERY D J. Effects of infestation with fruit tree red spider mite, *Panonychus ulmi* (Koch), on the growth and cropping of young fruit trees [J]. Annals of Applied Biology, 1968, 61(2): 269 - 276.
- [12] HARDMAN J M, HERBERT H J, SANFORD K H, et al. Effects of populations of the European red mite, *Panonychus ulmi*, on the apple variety Red Delicious in Nova Scotia [J]. The Canadian Entomologist, 1985, 117(10): 1257 - 1265.
- [13] 蔡宁华, 秦玉川, 胡敦孝. 叶螨为害苹果树的产量损失估测[J]. 植物保护学报, 1992, 19(2): 165 - 170.
- [14] HOYT S C, TANIGOSHI L K, BROWNE R W. Economic injury level studies in relation to mites on apple [M]. New York: Academic Press, 1979: 3 - 12.
- [15] AMES G K, JOHNSON D T, ROM R C. The effect of European red mite feeding on the fruit quality of Miller Sturdeespur apple [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1984, 109: 834 - 837.
- [16] PALEVSKY E, OPPENHEIM D, REUVENY H, et al. Impact of European red mite on Golden Delicious and Rregon Spur apples in Israel [J]. Experimental and Applied Acarology, 1996, 20(6): 343 - 354.
- [17] BLAIR C A, GROVES J R. Biology of the fruit tree red spider mite *Metatetranychus ulmi* (Koch) in South-East England [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 1952, 27(1): 14 - 43.
- [18] 张旭东. 陕西关中地区苹果园苹果全爪螨抗药性监测及其种群动态研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [19] 殷万东. 苹果全爪螨在九个苹果品种上的种群动态和实验种群生命表[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [20] 张慈仁. 苹果红蜘蛛的生物学观察[J]. 昆虫学报, 1974, 17(4): 397 - 404.
- [21] 韩柏明, 金大勇, 吕龙石. 苹果全爪螨的发育起点温度和田间消长规律研究[J]. 植物保护, 2007, 33(4): 83 - 86.
- [22] 刘旭, 石万成, 李建荣. 四川茂县苹果全爪螨发生规律及序贯抽样研究[J]. 西南农业大学学报, 1994, 16(2): 178 - 182.
- [23] 顾耘, 张振芳. 苹果全爪螨在苹果园中种群密度消长规律的研究[J]. 莱阳农学院学报, 1992, 9(2): 139 - 142.
- [24] KNOWLES C O. Mechanisms of resistance to acaricides [J]. Chemistry of Plant Protection, 1997, 13: 57 - 77.
- [25] 沈晋良, 吴益东. 棉铃虫抗药性及其治理[M]. 北京: 中国农

- 业出版社, 1995.
- [26] NEWCOMER E J, DEAN F P. Orchard mites resistant to parathion in Washington [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1952, 45(6): 1076–1078.
- [27] DEAN A. Resistance to acaricides in the European red mite [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1964, 57(6): 905–907.
- [28] CHAPMAN R B, PENMAN D R. Resistance to propargite by European red mite and two-spotted mite [J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1984, 27(1): 103–105.
- [29] WELTY C, REISSIG W H, DENNEHY T J, et al. Relationship between field efficacy and laboratory estimates of susceptibility to cyhexatin in populations of European red mite (Acari; Tetranychidae) [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1989, 82(2): 354–364.
- [30] 曹子刚, 张蕴华, 刘微, 等. 山楂叶螨和苹果全爪螨抗药性的研究[J]. *昆虫知识*, 1990, 27(6): 346–349.
- [31] 周玉书, 朴春树, 刘池林, 等. 苹果全爪螨对尼索朗抗药性研究初报[J]. *中国果树*, 1994(4): 24–25.
- [32] 张旭东, 武荣祥, 赵奇, 等. 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[J]. *西北林学院学报*, 2017, 32(2): 197–201.
- [33] KABIR K H, CHAPMAN R B, PENMAN D R. Monitoring propargite resistance in European red mite, *Panonychus ulmi* Koch (Acari: Tetranychidae) [J]. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 1993, 21(2): 133–138.
- [34] AUGER P, BONAFOS R, GUICHOU S, et al. Resistance to fenazaquin and tebufenpyrad in *Panonychus ulmi* Koch (Acari; Tetranychidae) populations from south of France apple orchards [J]. *Crop Protection*, 2003, 22(8): 1039–1044.
- [35] KUMRAL N A, KOVanci B. Susceptibility of female populations of *Panonychus ulmi* (Koch) (Acari: Tetranychidae) to some acaricides in apple orchards [J]. *Journal of Pest Science*, 2007, 80(3): 131–137.
- [36] YAMAN Y, SALMAN S Y, AY R. The sensitivity against some acaricides and the detoxification enzyme levels of *Panonychus ulmi* (Koch) collected from apple orchards in Isparta [J]. *Tarim Bilimleri Dergisi*, 2016, 22(2): 249–260.
- [37] BADIEINIA F, KHAJEHALI J, NAUEN R, et al. Metabolic mechanisms of resistance to spiroticlofen and spiromesifen in Iranian populations of *Panonychus ulmi* [J/OL]. *Crop Protection*, 2020, 134: 105166. DOI: 10.1016/j.cropro.2020.105166.
- [38] 王康. 细胞色素 P450 和羧酸酯酶在禾谷缢管蚜抗药性中的作用[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [39] KUMRAL N A, SUSURLUK H, GENÇER N S, et al. Resistance to chlorpyrifos and lambda-cyhalothrin along with detoxifying enzyme activities in field-collected female populations of European red mite [J]. *Phytoparasitica*, 2009, 37(1): 7–15.
- [40] 宋晓, 史琦琪, 程鹏, 等. 病媒昆虫的抗药性分子机制研究进展[J]. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2018, 29(6): 113–117.
- [41] 吴有刚, 金京, 杨胜祥, 等. 昆虫抗药性产生机制[J]. *生物安全学报*, 2019, 28(3): 159–169.
- [42] GEORGHIOU G P, TAYLOR C E. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1977, 70(3): 319–323.
- [43] 段辛乐, 乔宪风, 陈茂华. 苹果蠹蛾抗药性研究进展[J]. *生物安全学报*, 2015, 24(1): 1–8.
- [44] KRAMER T, NAUEN R. Monitoring of spiroticlofen susceptibility in field populations of European red mites, *Panonychus ulmi* (Koch) (Acari: Tetranychidae), and the cross-resistance pattern of a laboratory-selected strain [J]. *Pest Management Science*, 2011, 67(10): 1285–1293.
- [45] RAMESHGAR F, KHAJEHALI J, NAUEN R, et al. Point mutations in the voltage-gated sodium channel gene associated with pyrethroid resistance in Iranian populations of the European red mite *Panonychus ulmi* [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2019, 157: 80–87.
- [46] RAMESHGAR F, KHAJEHALI J, NAUEN R, et al. Characterization of abamectin resistance in Iranian populations of European red mite, *Panonychus ulmi* Koch (Acari: Tetranychidae) [J/OL]. *Crop Protection*, 2019, 125: 104903. DOI: 10.1016/j.cropro.2019.104903.
- [47] YAGHOORI R, KHAJEHALI J, ALAVIJEH E S, et al. Fenpyroximate resistance in Iranian populations of the European red mite *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae) [J]. *Experimental and Applied Acarology*, 2021, 83(1): 69–79.
- [48] GEORGHIOU G P, MELLON R B. Pesticide resistance in time and space [M]. New York: Plenum Press, 1983: 1–46.
- [49] 张丽阳, 刘承兰. 昆虫抗药性机制及抗性治理研究进展[J]. *环境昆虫学报*, 2016, 38(3): 640–647.
- [50] LEEUWEN T V, VONTAS J, TSAGKARAKOU A, et al. Acaricide resistance mechanisms in the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and other important Acari: a review [J]. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 2010, 40(8): 563–572.
- [51] 潘志萍, 李敦松. 昆虫抗药性监测与检测技术研究进展[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(8): 1539–1543.
- [52] 庾琴, 范仁俊, 刘中芳, 等. 雾滴密度、药液量和器械对苹果全爪螨防效的影响[J]. *果树学报*, 2016, 33(1): 81–87.
- [53] 刘民晓, 王洪涛, 王英姿, 等. 药肥混用对苹果红蜘蛛的田间防治效果[J]. *农药*, 2019, 58(12): 929–931.
- [54] 赵海明, 唐良德, 胡美英, 等. 捕食螨的抗药性研究进展[J]. *中国生物防治学报*, 2012, 28(2): 282–288.
- [55] 张艳璇, 林坚贞, 季洁. 工厂化生产胡瓜钝绥螨防治柑橘全爪螨的应用效果[J]. *植保技术与推广*, 2002(10): 25–28.
- [56] 张艳璇, 林坚贞, 季洁, 等. 胡瓜钝绥螨控制柑桔害螨研究[J]. *植物保护*, 2003, 29(5): 31–33.
- [57] 李美, 符悦冠. 胡瓜钝绥螨研究进展[J]. *华南热带农业大学学报*, 2006(4): 32–38.

- [58] 张辉元, 马明, 董铁, 等. 胡瓜钝绥螨对苹果全爪螨的生物防治效果[J]. 应用生态学报, 2010, 21(1): 191–196.
- [59] 王宇人, 李亚新, 张乃鑫, 等. 应用伪钝绥螨防治苹果全爪螨的试验[J]. 生物防治通报, 1990, 6(3): 102–106.
- [60] 吴元善, 柳玉莲, 张领耘. 应用伪钝绥螨防治苹果全爪螨初报[J]. 生物防治通报, 1991, 7(4): 160–162.
- [61] 张帆, 唐斌, 陶淑霞, 等. 中国植绥螨规模化饲养及保护利用研究进展[J]. 昆虫知识, 2005(2): 139–143.
- [62] 张守友, 曹信稳, 韩志强, 等. 东方钝绥螨对苹果园两种叶螨自然控制作用研究[J]. 昆虫天敌, 1992, 14(1): 21–24.
- [63] 张丹, 林文忠, 刘巍巍, 等. 巴氏新小绥螨对苹果树苹果全爪螨的生物防治效果[J]. 中国果树, 2021(7): 62–64.
- [64] 李锋, 王春良, 马建国, 等. 巴氏钝绥螨控制苹果全爪螨技术初报[J]. 中国果树, 2010(3): 46–47.
- [65] SILVA D E, DO NASCIMENTO J M, DA SILVA R T L, et al. Impact of vineyard agrochemicals against *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae) and its natural enemy, *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) in Brazil [J]. Crop Protection, 2019, 123: 5–11.
- [66] 黄婕, 王蔓, 门兴元, 等. 加州新小绥螨对苹果全爪螨各螨态的捕食作用[J]. 植物保护学报, 2020, 47(1): 46–52.
- [67] CROFT B A, MACRAE I V. Biological control of apple mites by mixed populations of *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) and *Typhlodromus pyri* Scheuten (Acari: Phytoseiidae) [J]. Environmental Entomology, 1992, 21(1): 202–209.
- (责任编辑: 杨明丽)
- ~~~~~
- (上接 14 页)
- [34] 王建平, 张玉慧, 赵志英, 等. 75%二氯吡啶酸可溶性粉剂防除春玉米田阔叶杂草效果研究[J]. 现代农业科技, 2015(20): 99.
- [35] 张炜, 陆俊武, 曹秀霞, 等. 二氯吡啶酸防除胡麻田刺儿菜的药效及安全性评价[J]. 植物保护, 2018, 44(3): 220–224.
- [36] 柳建伟, 王宗胜, 史广亮, 等. 几种除草剂对当茬玉米生长发育的影响[J]. 中国农学通报, 2020, 36(15): 142–146.
- [37] PATTON A J, WEISENBERGER D V, SCHORTGEN G P. 2,4-D-resistant buckhorn plantain (*Plantago lanceolata*) in managed turf [J]. Weed Technology, 2018, 32(2): 182–189.
- [38] AVES C, BROSTER J, WESTON L, et al. *Conyza bonariensis* (flax-leaf fleabane) resistant to both glyphosate and ALS inhibiting herbicides in north-eastern Victoria [J]. Crop & Pasture Science, 2020, 71(9): 864–871.
- [39] AULAKH J S, CHAHAL P S, KUMAR V, et al. Multiple herbicide-resistant palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) in Connecticut: confirmation and response to POST herbicides [J]. Weed Technology, 2021, 35(3): 457–463.
- [40] ENLOE S F, LAUER D K. Seasonal variation in macartney rose (*Rosa bracteata*) response to herbicide treatment [J]. Weed Technology, 2016, 30(3): 758–764.
- [41] FERRELL J, SELLERS B, JENNINGS E. Herbicidal control of largeleaf lantana (*Lantana camara*) [J]. Weed Technology, 2012, 26(3): 554–558.
- [42] HARMONEY K R. Controlling honey locust (*Gleditsia triacanthos*) with cut stump- and basal bark-applied herbicides for grazed pasture [J]. Weed Technology, 2016, 30(3): 801–806.
- [43] KESOU S R, BOYDSTON R A, GREENE S L. Effect of synthetic auxin herbicides on seed development and viability in genetically engineered glyphosate-resistant alfalfa [J]. Weed Technology, 2016, 30(4): 860–868.
- [44] PETER D H, HARRINGTON T B. Effects of forest harvesting, logging debris, and herbicides on the composition, diversity and assembly of a western Washington, USA plant community [J]. Forest Ecology and Management, 2018, 417: 18–30.
- [45] FUERST E P, STERLING T M, NORMAN M A, et al. Physiological characterization of picloram resistance in yellow starthistle [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 1996, 56(2): 149–161.
- [46] GHANIZADEH H, HARRINGTON K C. Cross-resistance to auxinic herbicides in dicamba-resistant *Chenopodium album* [J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2017, 60(1): 45–53.
- [47] JUAN V F, NÚÑEZ FRÉ F R, SAINT-ANDRÉ H M, et al. Responses of 2,4-D resistant *Brassica rapa* L. biotype to various 2,4-D formulations and other auxinic herbicides [J/OL]. Crop Protection, 2021, 145: 105621. DOI: 10.1016/j.cropro.2021.105621.
- [48] MANGIN A R, HALL L M. First report: spotted knapweed (*Centaurea stoebe*) resistance to auxinic herbicides [J]. Canadian Journal of Plant Science, 2016, 96(6): 928–931.
- [49] HORSMAN J, MCLEAN M D, OLEA-POPELKA F C, et al. Picloram resistance in transgenic tobacco expressing an anti-picloram scFv antibody is due to reduced translocation [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(1): 106–112.
- [50] VALENZUELA-VALENZUELA J M, LOWNDS N K, STERLING T M. Clopyralid uptake, translocation, metabolism, and ethylene induction in picloram-resistant yellow starthistle (*Centaurea solstitialis* L.) [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2001, 71(1): 11–19.
- [51] GHANIZADEH H, LI Fengshou, HE Luhui, et al. Characterization of clopyralid resistance in lawn burweed (*Soliva sessilis*) [J/OL]. PLoS ONE, 2021, 16(6): e0253934. DOI: 10.1371/journal.pone.0253934.
- (责任编辑: 杨明丽)