四种杀螨剂及其与增效剂混配对苹果全爪螨的室内毒力和田间药效*

胡玉龙[1,2**] 杨文轩[1] 李海强[2***] 路 伟[1,3***]

（1. 新疆农业大学农学院，棉花教育部工程研究中心，自治区农林有害生物监测与安全防控重点实验室，乌鲁木齐 830052；
2. 新疆维吾尔自治区农业科学院植物保护研究所，农业部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室，新疆农业生物安全重点实验室，乌鲁木齐 830091；3. 中国农业科学院西部农业研究中心，昌吉 831100）

摘 要 **【目的】** 苹果全爪螨 *Panonychus ulmi* 是为害苹果树的主要害螨之一，大发生年份给苹果树的生长发育及产量造成严重影响。目前化学药剂仍然是防治苹果全爪螨的主要手段，因此为筛选出苹果全爪螨最佳防治药剂和最适助剂、减少农药使用量，本文以阿维菌素、哒螨灵、联苯肼酯、乙唑螨腈作为供试药剂，青皮桔油、农用有机硅助剂为增效剂进行试验。**【方法】** 采用琼脂浸叶法对苹果全爪螨进行室内毒力测定，并用茎叶喷雾法进行田间药效试验。**【结果】** 室内毒力测定 24 h 后，阿维菌素、哒螨灵、联苯肼酯、乙唑螨腈对苹果全爪螨 LC_{50} 值分别为 2.711、16.031、4.534 和 1.768 mg/L。阿维菌素、哒螨灵、联苯肼酯、乙唑螨腈各减量 30%后分别与青皮桔油、农用有机硅助剂混配，24 h 后 2 种增效剂均有明显的增效作用。田间试验阿维菌素 1.35-2.70 g a.i./hm^2 剂量下药后 1 d，防效为 67.35%-82.31%。乙唑螨腈在 2.70 g a.i./hm^2 剂量下药后 3 和 7 d，防效均在 90%以上。30%乙唑螨腈悬浮剂 1.42 g a.i./hm^2+青皮桔油和 30%乙唑螨腈悬浮剂 1.42 g a.i./hm^2+农用有机药后 1，3 和 7 d 防效均优于其它处理组。**【结论】** 阿维菌素和乙唑螨腈均可有效防治苹果全爪螨，可配合增效剂交替使用减少农药施用量，为新疆苹果园叶螨绿色防控提供科学依据。

关键词 苹果全爪螨；乙唑螨腈；青皮桔油；农用有机硅

Toxicity and effectiveness of four acaricides both with, and without, synergists for the control of *Panonychus ulmi* in the field

HU Yu-Long[1,2**] YANG Wen-Xuan[1] LI Hai-Qiang[2***] LU Wei[1,3***]

(1. Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control of Crops and Forests of the University of the Xinjiang Uygur Autonomous Region, Ministry of Education, Engineering Research Centre of Cotton, Xinjiang Agricultural University, College of Agriculture, Urumqi 830052, China; 2. Ministry of Agriculture Xinjiang Key Laboratory of Agricultural Biosafety, Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northwestern Oasis, Institute of Plant Protection, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China; 3. Western Agricultural Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji 831100, China)

Abstract **[Aim]** To identify the best acaricide treatment, and reduce the amount of pesticides used, to control the apple spider-mite, *Panonychus ulmi*. **[Methods]** The toxicity of abamectin, pyridaben, bifenazate and etoxazole, with, and without, the addition of the synergists green tangerine oil and agricultural organosilicon, was determined using the leaf dipping method. The effectiveness of each treatment in the field was assessed using the stem leaf spray method. **[Results]** The LC_{50} values (24 h) of abamectin, pyridaben, bifenazate and cyetpyrafen, were 2.711, 16.031, 4.534 and 1.768 mg/L, under laboratory conditions after 24 h. Blending 30% dilutions of the above pesticides with either green tangerine oil or agricultural

*资助项目 Supported projects：天山英才青年拔尖人才项目（2023TSYCCX0025）；新疆维吾尔自治区“天山英才”三农骨干人才计划（2023SNGGGCC032）；新疆苹果产业技术体系（XJLGCYJSTX04）

**第一作者 First author，E-mail：3072489989@qq.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors，E-mail：jacky81611@163.com；teerakon@sina.com

收稿日期 Received：2025-05-06；接受日期 Accepted：2025-06-23

organosilicon had obvious synergistic effects after 24 h. In the field, a dose of 1.35-2.70 g a.i./hm^2, abamectin was 67.35% to 82.31% effective one day after application. A dose of 2.70 g a.i./hm^2 cyetpyrafen achieved > 90% control after 3 and 7 d. 1, 3 and 7 d after administration, a mixture of 30% cyetpyrafen suspension 1.42 g a.i./hm^2 + GPOO and 30% cyetpyrafen suspension 1.42 g a.i./hm^2 + PEMSs, was the most effective treatment. **[Conclusion]** Both abamectin and cyetpyrafen can prevent and control *Panonychus ulmi*, and can be used alternately to reduce the amount of pesticide applied. These results provide a scientific basis for the prevention and control of apple spider-mites in orchards in Xinjiang.

Key words *Panonychus ulmi*; cyetpyrafen; citrus reticulatae pericarpium viride oil GPOO; polymeric emulsifiable silicones PEMSs

苹果全爪螨 *Panonychus ulmi* 属于蛛形纲 Arachnida，真螨目 Acariformes，叶螨科 Tetranychidae，是一类重要的果树害螨（张慈仁，1974）。1911 年首次在北美发现苹果全爪螨可以为害苹果树，随后在阿根廷、加拿大、印度、伊朗和日本等地均发现苹果全爪螨的为害（Van Leeuwen *et al.*，2015；Mahendiran and Ganie，2018）。苹果全爪螨在我国分布范围较广，是我国北方果树主产区最主要的害螨之一（韩柏明等，2007）。

近年来，随着我国苹果产业的迅速发展，我国已经成为世界第一大苹果生产国之一。据中国苹果产业协会统计，2023 年新疆苹果种植面积达到 72 200 hm^2，已成为全国六大苹果产区之一，新疆的苹果种植面积和产量已在全国占有重要地位。新疆因独特的地理环境和气候特点，产区的苹果品质突出，尤其是阿克苏的“冰糖心苹果”入选了新疆地理标识产品。苹果产业在新疆已成为部分县市农民收入的主要来源，对于提高果农收入、乡村振兴有着巨大的贡献。然而，近些年叶螨对苹果的危害日益严重，据报道每年因叶螨为害导致苹果减产可达 10%-30%（洪影雪等，2021）。课题组前期研究发现，阿克苏苹果园主要害螨为苹果全爪螨，其取食苹果嫩芽和嫩叶的汁液，严重时可造成叶片脱落，影响果树光合作用，造成苹果质量受损和产量下降。

朴春树等（2001）采用联合国粮食及农业组织推荐的玻片浸渍法对辽宁地区苹果全爪螨进行室内毒力测定，结果表明：阿维菌素、喹螨醚、哒螨灵、四螨嗪、噻螨酮、唑螨酯和三唑锡对苹果全爪螨卵的 LC_{50} 值依次为喹螨醚 < 四螨嗪 < 噻螨酮 < 阿维菌素 < 哒螨灵，对雌成螨的毒性与上述杀卵结果并不一致，其 LC_{50} 值依次为阿维菌素 < 喹螨醚 < 唑螨酯 < 哒螨灵 < 三唑锡。冯明祥和姜瑞德（2001）采用喷雾法对青岛市苹果全爪螨进行田间药效试验，结果表明：三氯杀螨醇和哒螨灵对苹果全爪螨具有较好的防治效果，喷药后 15 d 防治效果仍在 97%以上。苹果全爪螨为典型的 r 对策生物，其个体小、繁殖快、适应性强，极易产生抗药性，该螨对多种不同类型的杀螨剂产生了抗药性（黄宝剑等，2024）。例如：目前已知对三氯杀螨砜、炔螨特、三环锡、噻螨酮和溴螨酯等多种药剂产生了不同程度的抗药性（曹子刚等，1990；Chapman and Penman，2012）。农药助剂是指除农药有效成分以外，本身不具有农药活性成分功能，但能够或者有助于提高或改善农药产品理化性能的单一组分或多个组分的混合物，目前常规使用的助剂品种已超过 3 000 种（卜元卿等，2014）。桶混助剂是指喷洒农药前直接添加至喷药桶或药箱中，混合均匀后能够改善药液理化性质的一类农药助剂，按其有效成分可分为有机硅类、植物油类、矿物油类、表面活性剂类以及无机盐类等，科学合理使用桶混助剂可以实现农药减量增效，也有助于增强化学药剂的药效，延缓抗药性产生的速率（张宗俭等，2021）。

苹果全爪螨是新疆苹果产区重要的有害生物之一，目前关于其毒力测定、药剂防治及抗药性研究仍然较少。本文选用阿维菌素（Abamectin）、哒螨灵（Pyridaben）、联苯肼酯（Bifenazate）、乙唑螨腈（Cyetpyrafen）作为供试药剂，青皮桔油（Citrus reticulatae pericarpium viride oil，GPOO）、农用有机硅助剂（Polymeric emulsifiable silicones，PEMSs）作为增效剂，分

别采用琼脂浸叶法和茎叶喷雾法研究 4 种农药单剂、4 种农药+2 种增效剂混配组合对苹果全爪螨的室内毒力和田间药效，以期筛选出防治苹果全爪螨的最优组合，为新疆苹果园农药减施增效技术及苹果全爪螨的绿色防控提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　供试叶螨

供试苹果全爪螨于 2024 年 6-7 月采自新疆阿克苏地区阿克苏市多浪街道吾斯塘博依村，种植苹果品种为红富士，树龄 15 年，株行距为 5 m×6 m。采回实验室后，接到制备好的苹果叶碟上。在 RXZ-500 型培养箱饲养，扩繁种群后待用。叶碟制备方法：将塑料培养皿底部开孔放入修剪好的刚好贴合培养皿大小的脱脂棉。加水润湿，然后将苹果叶片背面朝上贴合在脱脂棉上。将卫生纸剪成 5 mm 宽的长条包住苹果叶边缘，防止叶螨逃逸。

1.2　供试药剂

供试药剂：1.8%阿维菌素乳油，桂林集琦生化有限公司；15%哒螨灵乳油，安道麦股份有限公司；43%联苯肼酯悬浮剂，永农生物科学有限公司；30%乙唑螨腈悬浮剂，沈阳科创化学品有限公司。98%阿维菌素原药、97%哒螨灵原药、95%乙唑螨腈原药，深圳诺普信农化股份有限公司；98%联苯肼酯原药，广东广康生化科技股份有限公司。

助剂：青皮桔油（Coerce），上海中锐化学有限公司；农用有机硅助剂（20%乙氧基改性聚三硅氧烷），美国迈图高新材料集团；二甲基亚砜（Dimethyl sulfoxide , DMSO），天津市致远化学试剂有限公司；吐温-80（化学纯），福晨（天津）化学试剂有限公司。

1.3　供试仪器

供试仪器：RXZ-500 型培养箱，宁波市科技园区新江南仪器有限公司；LE204E/02 电子天平（1/10 000），梅特勒托利多仪器（上海）有限公司；Q/320 500 移液枪，赛默飞世尔（苏州）仪器有限公司。

1.4　试验方法

1.4.1　室内毒力测定　毒力测定方法采用徐丹丹（2019）优化的琼脂浸叶法，称取 0.5 g 琼脂粉，量取 500 mL 水，制作 0.1%的琼脂溶液。将琼脂粉与水加入锅中，充分溶解，蒸煮 2 min。再将液态琼脂倒入 500 mL 烧杯中，再用注射器从中抽取液态琼脂 10 mL，加入到直径为 10 cm 的塑料皿底部，冷却凝固后待用。使用二甲基亚砜把 98%阿维菌素原药、97%哒螨灵原药、98%联苯肼酯原药、95%乙唑螨腈原药均配制成 1 000 mg/L 母液，在预试验基础上进而将母液用 0.1%吐温-80 溶液稀释，阿维菌素有效成分含量为 10.00、5.00、2.50、1.00 和 0.10 mg/L，哒螨灵有效成分含量为 100.00、50.00、25.00、12.50 和 6.25 mg/L，联苯肼酯有效成分含量为 10.00、7.50、5.00、2.50 和 0.10 mg/L，乙唑螨腈有效成分含量为 10.00、5.00、2.50、1.00 和 0.10 mg/L，以 0.1%吐温溶液作为空白对照。单剂减量 30%+增效剂：用含 0.50 mL/L 增效剂+0.1%吐温水溶液将配置好的阿维菌素、哒螨灵、联苯肼酯、乙唑螨腈 1 000 mg/L 母液进行稀释，阿维菌素有效成分含量为 7.00、3.50、1.75、0.70 和 0.07 mg/L，哒螨灵有效成分含量为 70.00、35.00、17.50、8.75 和 4.375 mg/L，联苯肼酯有效成分含量为 7.00、5.25、3.5、1.75 和 0.70 mg/L，乙唑螨腈有效成分含量为 7.00、3.50、1.75、0.70 和 0.07 mg/L，空白对照为 0.50 mL/L 增效剂+0.1%吐温水溶液。用直径 2.5 cm 的打孔器将新鲜、洁净、无农药污染的苹果叶片打成小叶碟，避开主脉部位。将叶碟浸于待测药液中，10 s 后取出晾干至苹果叶片表面无游离水，之后将晾干的叶片叶背向上平铺于塑料皿琼脂上，每个塑料皿琼脂上铺同一浓度的 4 片叶碟，按浓度从低到高的顺序重复上述操作。用零号毛笔挑取生理状态一致的健康雌成螨 25-30 头于每个叶碟上，然后盖上带有极细小孔的盖子（避免产生的水蒸气凝结在塑料培养皿盖子上，由于重力滴落到叶螨上，对试验产生误差，所以在盖子上扎了极细的小孔）。转

移至温度（25±1）℃、湿度 75%±5%、光周期 16 L：8 D 的 RXZ-500 型培养箱（宁波市科技园区新江南仪器有限公司）中饲养和观察。经 24 h 后在奥林巴斯显微镜（奥林巴斯工业有限公司）下检查记录叶螨的死亡数及存活数，用毛笔尖轻轻触碰螨体，试虫仅有 1 只足活动或者完全不动者判为死亡。本测定方法采用的琼脂浓度较低，可以形成类似水状的隔离台防止叶螨逃逸，如若有极个别逃离药剂空间的叶螨，则不计数（Wang *et al.*，2022）。

1.4.2 田间药效试验 根据 GB/T17980.11-2000《杀螨剂防治苹果叶螨田间药效试验准则》进行田间药效试验，试验于 2024 年 7 月在新疆维吾尔自治区阿克苏地区阿克苏市温宿县四大队一小队（41°09′56″N，80°09′57″E）进行，试验地土地平坦，肥力均匀。种植苹果品种为红富士，树龄 15 年，株行距为 5 m × 6 m，苹果全爪螨发生普遍且均匀。在苹果果实生长发育阶段，套袋后，苹果全爪螨成虫为 4.969 头/叶时进行施药试验。试验于 7 月 28 日下午 5:00-7:00 喷药，施药当天晴，23-37 ℃，无降水，西北风 2 级。试验共设 23 个处理，如表 1 所示，每处理设置 3 个重复实验，共 69 个小区，每个小区喷 3 棵树。每个小区之间间隔 6 m（一排苹果树）作为保护行，使药剂互相不干扰。试验小区随机安排。每 667 m^2 施药用水量 30 L。调查时每个小区随机选择 1 棵苹果树作为调查对象，在果树的东南西北 4 个方向，每个方向选择树冠的上、中、下 3 层抽样选点，每棵树 12 个点，每点随机选择一条不少于 20 cm 的枝条，随机选择 5 片叶。施药前 1 d 调查每个处理雌成螨的虫口基数，分别于施药后 1、3 和 7 d 调查存活雌成螨虫口数。计算分析各处理组药后的防效，并观察药剂对苹果是否产生药害。

表 1 施药处理

Table 1 Spray treatment

供试药剂 Insecticide	施药剂量 Dose of application
1.8%阿维菌素乳油 Abamectine 1.8% emulsifiable concentrate	1.35 g a.i./hm^2（最低推荐剂量）1.35 g a.i./hm^2 (Lowest recommended dose)
	2.03 g a.i./hm^2（中等推荐剂量）2.03 g a.i./hm^2 (Medium recommended dose)
	2.70 g a.i./hm^2（最高推荐剂量）2.70 g a.i./hm^2 (Maximum recommended dose)
	1.42 g a.i./hm^2（中等推荐剂量减量 30%）+ 225.00 mL/hm^2 青皮桔油 1.42 g a.i./hm^2 (Medium recommended dose reduced by 30%) + 225.00 mL/hm^2 GPOO
	1.42 g a.i./hm^2（中等推荐剂量减量 30%）+ 225.00 mL/hm^2 农用有机硅助剂 1.42 g a.i./hm^2 (Medium recommended dose reduced by 30%) + 225.00 mL/hm^2 PEMSs
15%哒螨灵乳油 Pyridaben 15% emulsifiable concentrate	8.44 g a.i./hm^2（最低推荐剂量）8.44 g a.i./hm^2 (Lowest recommended dose)
	9.84 g a.i./hm^2（中等推荐剂量）9.84 g a.i./hm^2 (Medium recommended dose)
	11.25 g a.i./hm^2（最高推荐剂量）11.25 g a.i./hm^2 (Maximum recommended dose)
	6.89 g a.i./hm^2（中等推荐剂量减量 30%）+ 225.00 mL/hm^2 青皮桔油 6.89 g a.i./hm^2 (Medium recommended dose reduced by 30%) + 225.00 mL/hm^2 GPOO
	6.89 g a.i./hm^2（中等推荐剂量减量 30%）+ 225.00 mL/hm^2 农用有机硅助剂 6.89 g a.i./hm^2 (Medium recommended dose reduced by 30%) + 225.00 mL/hm^2 PEMSs
43%联苯肼酯悬浮剂 Bifenazate 43% suspension concentrate	64.50 g a.i./hm^2（最低推荐剂量）64.50 g a.i./hm^2 (Lowest recommended dose)
	129.00 g a.i./hm^2（中等推荐剂量）129.00 g a.i./hm^2 (Medium recommended dose)
	193.50 g a.i./hm^2（最高推荐剂量）193.50 g a.i./hm^2 (Maximum recommended dose)
	90.30 g a.i./hm^2（中等推荐剂量减量 30%）+ 225.00 mL/hm^2 青皮桔油 90.30 g a.i./hm^2 (Medium recommended dose reduced by 30%) + 225.00 mL/hm^2 GPOO
	90.30 g a.i./hm^2（中等推荐剂量减量 30%）+ 225.00 mL/hm^2 农用有机硅助剂 90.30 g a.i./hm^2 (Medium recommended dose reduced by 30%) + 225.00 mL/hm^2 PEMSs

续表 1 (Table 1 continued)

供试药剂 Insecticide	施药剂量 Dose of application
30%乙唑螨腈悬浮剂 Cyetpyrafen 30% suspension concentrate	1.35 g a.i./hm^2（最低推荐剂量）1.35 g a.i./hm^2 (Lowest recommended dose)
	2.03 g a.i./hm^2（中等推荐剂量）2.03 g a.i./hm^2 (Medium recommended dose)
	2.70 g a.i./hm^2（最高推荐剂量）2.70 g a.i./hm^2 (Maximum recommended dose)
	1.42 g a.i./hm^2（中等推荐剂量减量 30%）+ 225.00 mL/hm^2 青皮桔油 1.42 g a.i./hm^2 (Medium recommended dose reduced by 30%) + 225.00 mL/hm^2 GPOO
	1.42 g a.i./hm^2（中等推荐剂量减量 30%）+ 225.00 mL/hm^2 农用有机硅助剂 1.42 g a.i./hm^2 (Medium recommended dose reduced by 30%) + 225.00 mL/hm^2 PEMSs
青皮桔油 GPOO	225.00 mL/hm^2
农用有机硅助剂 PEMSs	225.00 mL/hm^2
清水对照 Water-only control	450.00 L/hm^2

GPOO: Citrus reticulatae pericarpium viride oil ; PEMSs: Polymeric emulsifiable silicones. 表 3 和表 5 同。The same for Table 3 and Table 5.

1.5　数据分析

1.5.1　室内毒力测定　数据用 SPSS 20.0 软件处理，分别计算毒力回归方程的相关系数、LC_{50} 值及 95%置信区间等相关值。增效比（Synergy Ratio, SR）用式（1）中 William（1977）方法计算。

$$SR = M / m \quad (1)$$

式（1）中，SR 表示增效比，M 表示杀螨剂对苹果全爪螨的 LC_{50}，m 表示杀螨剂与增效剂混配后对苹果全爪螨的 LC_{50}。

1.5.2　田间药效试验　按照式（2）、式（3）计算螨口减退率、防效，采用 Duncan 氏新复极差法对 4 种杀螨剂及其与 2 种增效剂混配田间防效进行显著性分析($P < 0.05$)。

$$\text{减退率} = (N - n) / N \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{防效} = (R - r) / (1 - r) \times 100\% \quad (3)$$

式中 N 表示施药前螨口基数，n 表示施药后残存螨数。R 表示处理区螨口减退率，r 表示对照区螨口减退率。

2　结果与分析

2.1　室内毒力测定

2.1.1　4 种杀螨剂单剂对苹果全爪螨的室内毒力测定　4 种杀螨剂对苹果全爪螨的室内毒力测定结果如表 2 所示，阿维菌素、哒螨灵、联苯肼酯、乙唑螨腈对苹果全爪螨 24 h 后 LC_{50} 分别为 2.711、16.031、4.534 和 1.768 mg/L。对苹果全爪螨的毒力顺序为乙唑螨腈 > 阿维菌素 > 联苯肼酯 > 哒螨灵。

2.1.2　4 种杀螨剂与 2 种增效剂混配对苹果全爪螨的室内毒力测定　4 种杀螨剂与 2 种增效剂混配对苹果全爪螨的室内毒力测定结果如表 3 所

表 2　4 种杀螨剂对苹果全爪螨室内毒力

Table 2　Toxicity of four acaricides on *Panonychus ulmi*

供试药剂 Insecticide	毒力回归方程 Virulence regression equation	卡方值 Chi-square value	相关系数 Correlation coefficient	95%置信区间(mg/L) 95% Confidence interval (mg/L)	致死中浓度（mg/L） LC_{50} (mg/L)	P 值 P-value
阿维菌素 Abamectine	y= - 0.38+0.89x	0.732	0.938	1.945-3.888	2.711	0.866
哒螨灵 PPyridaben	y= - 2.50+2.05x	4.486	0.969	13.709-18.553	16.031	0.214
联苯肼酯 Bifenazate	y= - 0.95+1.45x	0.376	0.990	3.688-5.624	4.534	0.945
乙唑螨腈 Cyetpyrafen	y= - 0.22+0.89x	1.230	0.901	1.240-2.489	1.768	0.746

表 3 4 种杀螨剂混配 2 种增效剂对苹果全爪螨室内毒力

Table 3 Toxicity of four kinds of acaricides mixed with two synergists on *Panonychus ulmi*

供试药剂 Insecticide	毒力回归方程 Virulence regression equation	卡方值 Chi-square value	相关系数 Correlation coefficient	95%置信区间（mg/L） 95% Confidence interval (mg/L)	致死中浓度（mg/L） LC_{50} (mg/L)	增效比 Synergistic ratio	*P* 值 *P*-value
阿维菌素+青皮桔油 Abamectine + GPOO	y= - 0.20+0.92x	1.934	0.915	1.213-2.351	1.675	1.619	0.586
阿维菌素+农用有机硅助剂 Abamectine + PEMSs	y= - 0.20+0.86x	1.375	0.938	1.239-2.476	1.732	1.565	0.711
哒螨灵+青皮桔油 Pyridaben + GPOO	y= - 2.33+2.17x	4.229	0.968	10.369-14.511	12.351	1.298	0.238
哒螨灵+农用有机硅助剂 Pyridaben + PEMSs	y= - 2.14+1.94x	1.051	0.933	10.640-15.089	12.759	1.256	0.789
联苯肼酯+青皮桔油 Bifenazate + GPOO	y= - 0.70+1.40x	0.756	0.983	2.553-3.980	3.169	1.431	0.860
联苯肼酯+农用有机硅助剂 Bifenazate + PEMSs	y= - 0.73+1.46x	0.733	0.979	2.561-3.924	3.156	1.437	0.865
乙唑螨腈+青皮桔油 Cyetpyrafen + GPOO	y= - 0.03+0.83x	1.705	0.973	0.754-1.594	1.107	1.597	0.636
乙唑螨腈+农用有机硅助剂 Cyetpyrafen + PEMSs	y= - 0.02+0.84x	1.791	0.969	0.732-1.523	1.066	1.659	0.617

示，阿维菌素+青皮桔油、阿维菌素+农用有机硅助剂、哒螨灵+青皮桔油、哒螨灵+农用有机硅助剂、联苯肼酯+青皮桔油、联苯肼酯+农用有机硅助剂、乙唑螨腈+青皮桔油、乙唑螨腈+农用有机硅助剂对苹果全爪螨 24 h 后的 LC_{50} 分别为 1.675、1.732、12.351、12.759、3.169、3.156、1.107 和 1.066 mg/L，增效比分别为 1.619、1.565、1.298、1.256、1.431、1.437、1.597 和 1.659。由此可见 2 种增效剂对阿维菌素、哒螨灵、联苯肼酯、乙唑螨腈防治苹果全爪螨均有一定的增效作用，其中乙唑螨腈+农用有机硅助剂组合防治苹果全爪螨增效作用最为明显。

2.2 田间药效试验

2.2.1 4 种杀螨剂单剂对苹果全爪螨的田间药效试验 4 种杀螨剂单剂对苹果全爪螨的田间药效试结果如表 4 所示，1.8%阿维菌素乳油 1.35-2.70 g a.i./hm^2 剂量下药后 1 d，防效为 67.35%-82.31%，药后 3 d 防效达到最高，防效为 69.46%-85.56%。15%哒螨灵乳油 8.44-11.25 g a.i./hm^2 剂量下药后 1 d，防效为 44.68%-67.24%，药后 7 d 防效达到最高，防效为 44.35%-71.04%。43%联苯肼酯悬浮剂 64.50-193.50 g a.i./hm^2 剂量下药后 1 d，防效为 68.98%-81.26%，药后 3 d 防效达到最高，防效为 69.59%-87.44%。乙唑螨腈在 1.35-2.70 g a.i./hm^2 剂量下，药后 1 d，防效为 63.65%-82.40%；药后 7 d 防效达到最高，为 70.64%-93.93%。

15%哒螨灵乳油防效显著低于其它 3 种药剂（$P < 0.05$），1.8%阿维菌素乳油、43%联苯肼酯悬浮剂和 30%乙唑螨腈悬浮剂没有显著差异（$P > 0.05$）。

2.2.2 4 种杀螨剂与 2 种增效剂混配对苹果全爪螨的田间药效试验 4 种杀螨剂与 2 种增效剂混配对苹果全爪螨的田间防治效果如表 5 所示。15%哒螨灵乳油（中等推荐剂量减量 30%）+青皮桔油药后 1 d 防效显著高于 15%哒螨灵乳油（中等推荐剂量）防效（$P < 0.05$），其余 3 种杀螨剂中等推荐剂量减量 30%加增效剂的防效均与单剂中等推荐剂量防效无显著差异（$P > 0.05$），表明增效剂可以达到农药减施作用。

表 4　4 种杀螨剂单剂对苹果全爪螨田间药效

Table 4　The field efficacy of four acaricides as single treatments against *Panonychus ulmi*

药剂 Insecticide	有效成分用量（g a.i./hm²） Dosage of active ingredient (g a.i./hm²)	药后 1 d 1 d after treatment		药后 3 d 3 d after treatment		药后 7 d 7 d after treatment	
		减退率（%） Reduction rate (%)	防效（%） Control efficacy (%)	减退率（%） Reduction rate (%)	防效（%） Control efficacy (%)	减退率（%） Reduction rate (%)	防效（%） Control efficacy (%)
1.8%阿维菌素乳油 Abamectine 1.8% emulsifiable concentrate	1.35	67.22±1.97 de	67.35±1.25 cd	70.18±1.51 de	69.46±2.10 d	66.36±2.22 de	66.42±5.81 def
	2.03	72.06±0.76 cde	72.18±1.72 bc	80.55±2.89 bc	80.02±3.15 bc	77.94±0.83 bcd	78.43±1.50 bcde
	2.70	82.32±1.97 ab	82.31±1.28 a	86.13±2.78 ab	85.56±3.44 b	83.99±2.14 ab	83.77±4.05 abc
15%哒螨灵乳油 Pyridaben 15% emulsifiable concentrate	8.44	45.63±0.81 g	44.68±2.89 f	44.17±2.70 f	43.03±1.70 f	43.55±2.58 f	44.35±6.54 g
	9.84	54.03±1.09 f	52.75±2.30 e	62.12±0.60 e	61.17±2.14 e	58.14±1.07 e	58.68±4.88 f
	11.25	68.86±2.66 de	67.24±3.57 cd	69.09±3.55 de	68.24±4.30 de	70.65±1.21 cde	71.04±3.46 cdef
43%联苯肼酯悬浮剂 Bifenazate 43% suspension concentrate	64.50	69.76±0.47 de	68.98±1.11 bcd	70.07±3.16 de	69.59±2.20 d	63.96±2.64 e	64.06±6.20 ef
	129.00	73.08±2.84 cd	72.19±1.46 bc	79.75±1.19 bc	79.19±1.99 bc	78.65±2.66 bcd	78.46±4.98 bcde
	193.50	83.65±2.73 ab	81.26±1.04 a	87.56±1.86 ab	87.44±1.38 ab	86.59±3.32 ab	87.49±2.20 ab
30%乙唑螨腈悬浮剂 Etoxazole 30% suspension concentrate	1.35	65.21±2.88 e	63.65±2.62 d	74.40±3.71 cd	74.15±2.76 cd	68.66±7.21 cde	70.64±4.51 cdef
	2.03	77.23±1.57 bc	74.69±2.88 b	84.19±2.85 b	83.58±3.70 b	80.80±3.81 bc	80.53±5.41 abcd
	2.70	84.91±2.52 a	82.40±1.78 a	93.80±1.13 a	93.74±0.95 a	93.94±0.63 a	93.93±1.20 a
清水对照 Water (CK)		- 0.85±3.47 h		1.88±4.85 g		- 3.67±10.18 g	

表中数据为平均值±标准误，同列数据后不同字母表示差异显著（$P < 0.05$，邓肯氏新复极差法）。下表同。

Data in the table are mean±SE, and followed by the different letters within the same column indicate significant difference ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test). The same below.

表 5　4 种杀螨剂混配 2 种增效剂对苹果全爪螨田间药效

Table 5　The field efficacy of four acaricides mixed with two synergists against *Panonychus ulmi*

药剂 Insecticide	有效成分用量（g a.i./hm²） Dosage of active ingredient (g a.i./hm²)	助剂用量（g a.i./hm²） Dosage of active adjuvant (g a.i./hm²)	药后 1 d 1 d after treatment		药后 3 d 3 d after treatment		药后 7 d 7 d after treatment	
			减退率（%） Reduction rate (%)	防效（%） Control efficacy (%)	减退率（%） Reduction rate (%)	防效（%） Control efficacy (%)	减退率（%） Reduction rate (%)	防效（%） Control efficacy (%)
1.8%阿维菌素乳油（中等推荐剂量） Abamectine 1.8% emulsifiable concentrate (Medium recommended dose)	2.03	/	72.06±0.76 ab	72.18±1.72 bcd	80.55±2.89 a	80.02±3.15 abc	77.94±0.83 ab	78.43±1.50 ab
1.8%阿维菌素乳油（中等推荐剂量减量 30%）+青皮桔油 Abamectine 1.8% emulsifiable concentrate (Medium recommended dose reduced by 30%)+GPOO	1.42	225	74.94±5.84 ab	73.16±5.36 bcd	80.51±0.99 a	79.99±2.59 abc	69.14±1.77 abc	68.60±2.24 bc
1.8%阿维菌素乳油（中等推荐剂量减量 30%）+农用有机硅 Abamectine 1.8% emulsifiable concentrate (Medium recommended dose reduced by 30%)+ PEMSs	1.42	225	77.55±1.11 ab	71.07±4.75 cd	76.68±2.27 ab	74.68±6.78 bc	68.83±1.59 abc	68.74±3.85 bc
15%哒螨灵乳油（中等推荐剂量） Pyridaben 15% emulsifiable concentrate (Medium recommended dose)	9.84	/	54.03±1.09 c	52.75±2.30 c	62.12±0.60 b	61.17±2.14 d	58.14±1.07 c	58.68±4.88 c
15%哒螨灵乳油（中等推荐剂量减量 30%）+青皮桔油 Pyridaben 15% emulsifiable concentrate (Medium recommended dose reduced by 30%)+GPOO	6.89	225	65.11±3.25 bc	63.08±3.29 d	62.34±1.51 b	61.42±4.40 d	60.92±5.21 bc	59.83±7.12 c
15%哒螨灵乳油（中等推荐剂量减量 30%）+农用有机硅 Pyridaben 15% emulsifiable concentrate (Medium recommended dose reduced by 30%)+PEMSs	6.89	225	63.82±7.91 bc	47.86±4.90 c	72.67±2.28 ab	70.78±5.99 cd	61.24±10.24 bc	63.27±5.74 c

续表 5 (Table 5 continued)

药剂 Insecticide	有效成分用量（g a.i./hm²） Dosage of active ingredient (g a.i./hm²)	助剂用量（g a.i./hm²） Dosage of active adjuvant (g a.i./hm²)	药后 1 d 1 d after treatment		药后 3 d 3 d after treatment		药后 7 d 7 d after treatment	
			减退率（%） Reduction rate (%)	防效（%） Control efficacy (%)	减退率（%） Reduction rate (%)	防效（%） Control efficacy (%)	减退率（%） Reduction rate (%)	防效（%） Control efficacy (%)
43%联苯肼酯悬浮剂（中等推荐剂量） Bifenazate 43% suspension concentrate (Medium recommended dose)	129.00	/	73.08±2.84 ab	72.19±1.46 bcd	79.75±1.19 a	79.19±1.99 abc	78.65±2.66 ab	78.46±4.98 ab
43%联苯肼酯悬浮剂（中等推荐剂量减量30%）+青皮桔油 Bifenazate 43% suspension concentrate (Medium recommended dose reduced by 30%）+GPOO	90.30	225	69.58±2.17 ab	68.52±1.67 cd	79.00±3.09 a	79.00±1.84 abc	79.21±6.04 a	79.28±5.21 ab
43%联苯肼酯悬浮剂（中等推荐剂量减量30%）+农用有机硅 Bifenazate 43% suspension concentrate (Medium recommended dose reduced by 30%)+PEMSs	90.30	225	75.58±2.24 ab	67.32±3.66 cd	82.26±1.28 a	81.61±2.18 abc	79.53±2.32 a	79.62±2.79 ab
30%乙唑螨腈悬浮剂（中等推荐剂量） Cyetpyrafen 30% suspension concentrate (Medium recommended dose)	2.03	/	77.23±1.57 ab	74.69±2.88 abc	84.19±2.85 a	83.58±3.70 ab	80.80±3.81 a	80.53±5.41 ab
30%乙唑螨腈悬浮剂（中等推荐剂量减量30）+青皮桔油 Cyetpyrafen 30% suspension concentrate (Medium recommended dose reduced by 30%)+GPOO	1.42	225	82.33±2.26 a	81.74±2.07 ab	86.96±2.27 a	86.94±1.65 ab	85.32±2.36 a	85.19±1.95 a
30%乙唑螨腈悬浮剂（中等推荐剂量减量30）+农用有机硅 Cyetpyrafen 30% suspension concentrate (Medium recommended dose reduced by 30%)+PEMSs	1.42	225	83.81±3.13 a	83.52±1.12 a	89.10±2.24 a	88.01±3.54 a	85.56±2.27 a	85.16±3.78 a
青皮桔油 GPOO		225	3.55±2.13 d		0.68±7.51 c		1.35±4.40 d	
农用有机硅助剂 PEMSs		225	3.24±13.54 d		- 0.19±16.41 c		- 2.26±10.79 d	

15%哒螨灵乳油 1.42 g a.i./hm^2+青皮桔油、15%哒螨灵乳油 1.42 g a.i./hm^2+农用有机硅、43%联苯肼酯悬浮剂 6.89 g a.i./hm^2+青皮桔油和43%联苯肼酯悬浮剂 6.89 g a.i./hm^2+农用有机硅药后 1 d 防效分别为 63.08%、47.86%、68.52%和 67.32%。15%哒螨灵乳油 1.42 g a.i./hm^2+青皮桔油、15%哒螨灵乳油 1.42 g a.i./hm^2+农用有机硅药后 7 d 防效分别为 59.83%和 63.27%，显著低于 43%联苯肼酯悬浮剂 6.89 g a.i./hm^2+青皮桔油、43%联苯肼酯悬浮剂 6.89 g a.i./hm^2+农用有机硅、30%乙唑螨腈悬浮剂 1.42 g a.i./hm^2+青皮桔油和 30%乙唑螨腈悬浮剂 1.42 g a.i./hm^2+农用有机硅处理组（$P < 0.05$）。

30%乙唑螨腈悬浮剂 1.42 g a.i./hm^2+青皮桔油和 30%乙唑螨腈悬浮剂 1.42 g a.i./hm^2+农用有机硅在药后 1、3 和 7 d 防治效果均高于其它处理组。药后 1 d 防效分别为 81.74%和 83.52%，药后 3 d 防效分别为 86.94%和 88.01%，药后 7 d 防效分别为 85.19%和 85.16%，与 30%乙唑螨腈悬浮剂 2.03 g a.i./hm^2 防效相当。

3 结论与讨论

目前苹果全爪螨的防治方式依然以化学防治为主，但是由于农药的不合理使用，苹果全爪螨已对多种不同类型的杀螨剂产生了抗药性（Chapman and Penman，2012）。本文分别采用琼脂浸叶法和茎叶喷雾法研究 4 种农药单剂、4 种农药+2 种增效剂混配组合对苹果全爪螨的室内毒力和田间药，以期筛选出防治苹果全爪螨的最优组合，旨在为苹全爪螨的绿色防控、化学农药减施提供理论依据。

毒力测定可以帮助评估杀虫剂对目标害虫的毒性效应，以及对非靶标生物的影响，是农药从开发研制到生产应用必需的过程之一（Fang *et al.*，2001）。孙莉等（2022）采用模拟田间用药的喷雾法测定了 4 种杀螨剂对少毛钝绥螨 *Proprioseiopsis asetu* 和二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 雌成螨的毒力，4 种杀螨剂对二斑叶螨雌成螨的毒力大小依次为哒螨灵 > 阿维菌素 > 克螨特 > 联苯肼酯，结果表明联苯肼酯对害螨的天敌具有较高的安全性。王好岭等（2024）采用 Munger cell 法测定球孢白僵菌 ZJU435 与联苯肼酯、乙唑螨腈对二斑叶螨的室内毒力，结果表明室内毒力大小排序为乙唑螨腈 > 联苯肼酯 > 球孢白僵菌 ZJU435，LC_{50} 分别为 2.68、9.31 和 29.37 mg/L。Khajehali 等（2010）发现比利时的二斑叶螨种群对毒死蜱和乐果的抗性倍数分别达到 586 和 743 倍；随后 2014 年发现比利时的 MR-VP 二斑叶螨种群对腈吡螨酯和丁氟螨酯产生了交互抗性。王开运等（2002）发现山东烟台地区二斑叶螨种群已对哒螨灵产生了中等水平抗性。近期研究结果表明，田间二斑叶螨对联苯肼酯、腈吡螨酯等的抗性为低抗到中抗水平（Zhang *et al.*，2022）。本研究采用琼脂浸叶法首次了研究阿维菌素、哒螨灵、联苯肼酯、乙唑螨腈 4 种杀螨剂单剂及其与青皮桔油、农用有机硅助剂 2 种增效剂混配组合对新疆阿克苏地区苹果全爪螨的室内毒力，结果表明 24 h 后增效比分别为 1.619、1.565、1.298、1.256、1.431、1.437、1.597 和 1.659，2 种增效剂均有明显的增效作用。

田间药效试验可以评估杀虫剂在实际应用中的效果，为农业生产提供科学的农药使用指导。研究结果表明，30%乙唑螨腈悬浮剂对柑橘上的全爪螨 *Panonychus citri*、始叶螨 *Eotetranychus kankitus*、锈壁虱，蔬菜上的朱砂叶螨，以及棉花、果树、花卉上的二斑叶螨均有较好的防治效果（李斌等，2016；刘少武等，2018）。联苯肼酯和乙螨唑作为两种新型杀螨剂，杀螨活性优良（Wang *et al.*，2015；宫亚军等，2017）。张俊龙等（2023）采用喷雾法进行乙唑螨腈与氟啶胺混配对柑橘全爪螨 *Panonychus caglei* 的防治效果田间试验，结果表明乙唑螨腈和氟啶胺在设计的剂量下复配可以有效的防治柑橘全爪螨，结合田间用药情况，推荐乙唑螨腈 75-100 mg/L 与氟啶胺 200 mg/L 按质量浓度桶混防治柑橘全爪螨。本研究采用茎叶喷雾法首次研究了阿维菌素、哒螨灵、联苯肼酯、乙唑螨腈 4 种杀螨剂单剂及其与青皮桔油、农用有机硅助剂 2 种增效剂混配组合对新疆阿克苏地区苹果全爪螨的田间药效，结果表明阿维菌素和乙唑螨腈均

可有效防治苹果全爪螨，其中乙唑螨腈+青皮桔油混配使用后增效作用最佳。

农药助剂主要包括配方助剂、喷雾助剂两大类，在农药施用时与农药制剂混合使用的助剂一般称为桶混助剂或喷雾助剂，目前市场上最常见的是植物油、矿物油类增效剂，以及利于提高农药的抗雨水冲刷、增加润湿和铺展等作用的有机硅助剂等（张宗俭等，2021）。有机硅类助剂可作为飞防助剂用于植保无人机（Spraying drone）低容量喷雾作业，增加农药沉积量，显著提高防效，减轻无人机喷洒农药带来的环境问题。有机硅桶混助剂本身还具有杀螨作用，其防治效果和毒性大小取决于所含成分的性质差异（Cowles *et al.*，2000）。Chen 等（2022）通过田间试验研究表明，单独喷施 1 000 mg/L 的 Silwet 408 一次，在 14 d 内对二斑叶螨的防治效果相当于施用 100 mg/L 乙唑螨腈。本研究发现 4 种杀虫剂分别与 2 种增效剂混配后，对防治苹果全爪螨均有增效作用，其中 30%乙唑螨腈悬浮剂+青皮桔油、30% 乙唑螨腈悬浮剂+农用有机硅 1.42 g a.i./hm^2、1.8%阿维菌素乳油+青皮桔油和 1.8% 阿维菌素乳油+农用有机硅 1.42 g a.i./hm^{2}时使用后防效优于其它处理组。阿维菌素、联苯肼酯和乙唑螨腈均可有效防治苹果全爪螨，可交替使用减少农药施用量，为新疆苹果园绿色防控技术提供科学依据。洪影雪（2021）利用 Potter 喷雾塔测定出 12 种药剂对巴氏新小绥螨的毒力大小为炔螨特＜联苯肼酯＜苯丁锡＜三唑锡＜溴螨酯＜虫螨腈＜唑螨酯＜丁醚脲＜哒螨灵＜吡螨胺＜阿维菌素＜甲维盐。后续试验可根据毒力大小使用捕食螨与化学农药协同控制苹果害螨，进一步实现杀螨剂减施增效的目的。

综上所述，本试验选择阿克苏地区苹果全爪螨为研究对象，开展了室内毒力测定和田间药剂防治效果评价。后续应在多地区、多种螨类进行相同试验作为验证，为新疆苹果园叶螨绿色防控提供科学依据。

参考文献 (References)

Bu YQ, Wang ZC, Zhi Y, Wang JY, Shan ZJ, 2014. Research and risk analysis on the use of auxiliaries in pesticide formulations. *Agrochemicals*, 53(12): 932–936. [卜元卿, 王咎畅, 智勇, 王金燕, 单正军, 2014. 农药制剂中助剂使用状况调研及风险分析. 农药, 53(12): 932–936.]

Cao ZG, Zhang YH, Liu W, Wang ZL, 1990. Studies on the resistance of *Amphitetranychus viennensis* (Zacher) and *Panonychus ulmi* (Koch) to insecticides. *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, 2012. Resistance to propargite by European red mite and two-spotted mite. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 27(1): 103–105.

Chen JC, Ma ZZ, Gong YJ, Cao LJ, Wang JX, Guo SK, Hoffmann AA, Wei SJ, 2022. Toxicity and control efficacy of an organosilicone to the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and its crop hosts. *Insects*, 13(4): 341.

Cowles RS, Cowles EA, McDermott AM, Ramoutar D, 2000. "Inert" formulation ingredients with activity: Toxicity of trisiloxane surfactant solutions to two spotted spider mites (Acari: Tetranychidae). *Journal of Economic Entomology*, 93(2): 180–188.

Fang JY, Chen AP, Peng CH, Zhao SQ, Ci LJ, 2001. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 292(5525): 2320–2322.

Feng MX, Jiang RD, 2001. Effects of several miticides against *Panonychus ulmi* in the field. *Pesticides*, 40(2): 22–23. [冯明祥, 姜瑞德, 2001. 几种杀螨剂及其混用防治苹果全爪螨田间试验. 农药, 40(2): 22–23.]

GB/T 17980. 11–2000. Guidelines for the field efficacy trials (Ⅰ) acaricides against spidermite on apple. Beijing: China Zhijian Publishing House. [GB/T 17980. 11–2000. 中华人民共和国国家标准农药田间药效试验准则(一) 杀螨剂防治苹果叶螨. 北京: 中国标准出版社.]

Gong YJ, Chen JC, Jiang JY, Wang ZH, Cao LJ, Wei SJ, 2017. Toxicity and field control efficacy of the new acaricide syp-9625 to the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *Agrochemicals*, 56(8): 561–563, 572. [宫亚军, 陈金翠, 姜傢耀, 王泽华, 曹利军, 魏书军, 2017. 新型杀螨剂乙唑螨腈对二斑叶螨的毒力及田间防效. 农药, 56(8): 561–563, 572.]

Han BM, Jin DY, Lü SL, 2007. A study on the developmental starting point temperature and field extinction pattern of *Panonychus ulmi* (Koch). *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.]

Hong YX, 2021. Synergistic control of apple mites by predation and chemical pesticides. Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [洪影雪, 2021. 捕食螨与化

学农药协同控制苹果害螨的技术研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]

Hong YX, Li X, Zhang JY, 2021. Evaluation on the effect of 14 miticides on controlling *Tetranychus urticae* of different populations. *Journal of Fruit Science*, 38(1): 99–106. [洪影雪, 李祥, 张金勇, 2021. 14 种杀螨剂对不同地区苹果园二斑叶螨的防治效果评价. 果树学报, 38(1): 99–106.]

Huang BJ, Zhang JL, Su S, Zhang XH, Chen MH, 2024. Progress in the study of resistance *Panonychus ulmi* (Koch). *Plant Protection*, 50(1): 24–30. [黄宝剑, 张继龙, 苏莎, 张晓赫, 陈茂华, 2024. 苹果全爪螨抗药性研究进展. 植物保护, 50(1): 24–30.]

Khajehali J, Van Leeuwen T, Grispou M, Morou E, Alout H, Weill M, Tirry L, Vontas J, Tsagkarakou A, 2010. Acetylcholinesterase point mutations in European strains of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) resistant to organophosphates. *Pest Management Science*, 66(2): 220–228.

Li B, Yu HB, Luo YM, Wu HF, 2016. The synthesis and acaricidal activity of SYP-9625. *Modern Agrochemicals*, 15(6): 15–16, 20. [李斌, 于海波, 罗艳梅, 吴鸿飞, 2016. 乙唑螨腈的合成及其杀螨活性. 现代农药, 15(6): 15–16, 20.]

Liu SW, Song YQ, Zhang JL, Feng C, Ban LF, Li B, 2018. Control effects of SYP-9625 30% SC against different mite targets in field. *Modern Agrochemicals*, 17(3): 18–21. [刘少武, 宋玉泉, 张俊龙, 冯聪, 班兰凤, 李斌, 2018. 30%乙唑螨腈悬浮剂防治不同害螨田间药效试验. 现代农药, 17(3): 18–21.]

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.

Piao CS, Zhou YS, Zhang P, Qiu GS, Liu CL, Zheng YC, 2001. Toxicity testing with main acaricides in orchard to *Panonychus ulmi*. *Pesticides*, 40(4): 29–30. [朴春树, 周玉书, 张平, 仇贵生, 刘池林, 郑运城, 2001. 果园主要杀螨剂对苹果全爪螨的毒力测定. 农药, 40(4): 29–30.]

Sun L, Zheng YQ, Chen X, Chen DS, Zheng CX, 2022. Toxicity of four acaricides to *Tetranychus urticae* Koch and safety assessment to *Proprioseiopsis asetus* (Chant) (Acari: Phytoseiidae). *Journal of Environmental Entomology*, 44(5): 1333–1340. [孙莉, 郑月琼, 陈霞, 陈达嵩, 郑晨昕, 2022. 4 种杀螨剂对二斑叶螨的毒力测定和对少毛钝绥螨的安全性评价. 环境昆虫学报, 44(5): 1333–1340.]

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 HL, Wang GP, Zhang WL, Dong ZX, Wang XB, Li HT, Xie LX, Yu Y, 2024. Determination of the virulence of *Beauveria bassiana* mixed with acaricides against two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* and its field control efficiency. *Journal of Plant Protection*, 51(2): 450–455. [王好岭, 王桂萍, 张伟丽, 董紫旭, 王希波, 李海天, 谢丽霞, 于毅, 2024. 球孢白僵菌与杀螨剂混配对二斑叶螨的毒力测定及其田间防治效果. 植物保护学报, 51(2): 450–455.]

Wang KY, Zhao WD, Jiang XY, Wang JH, 2002. Comparison of the virulence of ten acaricides against different developmental stages of resistant populations of the *Tetranychus urticae* (Koch). *Agrochemicals*, 41(3): 29–31. [王开运, 赵卫东, 姜兴印, 王金花, 2002. 十种杀螨剂对二斑叶螨抗性种群不同发育阶段的毒力比较. 农药, 41(3): 29–31.]

Wang L, Zhang YJ, Xie W, Wu QJ, Wang SL, 2015. A bioassay for evaluation of the resistance of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) to selected acaricides. *Systematic and Applied Acarology*, 20(6): 579–590.

Wang SL, Li X, Zeng AJ, Song JL, Xu T, Lü XL, He XK, 2022. Effects of adjuvants on spraying characteristics and control efficacy in unmanned aerial application. *Agriculture*, 12(2): 138.

William AB, 1977. Synergist differences as an alternate interpretation of carbaryl-piperonyl butoxide toxicity data 1. *Environmental Entomology*, 6(6): 886–888.

Xu DD, 2019. Monitoring of pesticide resistance and the mutation frequencies of target genes in *Tetranychus urticae*. Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [徐丹丹, 2019. 二斑叶螨抗药性监测及靶标基因突变频率研究. 硕士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]

Zhang CR, 1974. Observations on the biology of apple red spider mite. *Acta Entomologica Sinica*, 17(4): 397–404. [张慈仁, 1974. 苹果红蜘蛛的生物学观察. 昆虫学报, 17(4): 397–404.]

Zhang JL, Liu SW, Song YQ, 2023. Bioactivity of mixtures of cyetpyrafen and fluazinam to citrus red mite. *Agrochemicals*, 62(7): 526–529. [张俊龙, 刘少武, 宋玉泉, 2023. 乙唑螨腈与氟啶胺混配对柑橘全爪螨的防治效果. 农药, 62(7): 526–529.]

Zhang Y, Xu DD, Zhang YJ, Wu QJ, Xie W, Guo ZJ, Wang SL, 2022. Frequencies and mechanisms of pesticide resistance in *Tetranychus urticae* field populations in China. *Insect Science*, 29(3): 827–839.

Zhang ZJ, Zhang CH, Li XL, 2021. Research, application and development trend of tank-mixing adjuvant in China. *Modern Agrochemicals*, 20(1): 19–25. [张宗俭, 张春华, 李小龙, 2021. 桶混助剂的研发应用与发展趋势. 现代农药, 20(1): 19–25.]