

云南高海拔苹果园橘小实蝇的药剂筛选及安全性评价

顾凡¹, 太一梅^{2*}, 张慧³, 杨继琼³, 范建³, 老飞凤¹, 曾梅琳¹

(1. 昆明市植保植检站, 昆明 650100; 2. 昆明市农业科学研究院, 昆明 650100;

3. 昆明市西山区农业技术推广服务中心, 昆明 650100)

[摘要]为筛选出适宜高海拔苹果园橘小实蝇(*Bactrocera dorsalis*)防控的高效低残留药剂及科学施药方案,以昆明地区主栽品种‘长富二号’为试材,系统评价了4种杀虫剂的田间防效,并结合HPLC-MS/MS技术检测分析果实农药残留。结果表明:不同药剂处理对橘小实蝇的种群控制能力及保果效果差异显著。5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐表现出最优的防控效果,其总虫情指数防效高达91.05%,总蛀果率防效达89.96%,均显著优于其他处理;25%噻虫嗪和25%乙基多杀菌素防效居中,总蛀果率防效分别为60.75%和55.28%;10%溴氰虫酰胺防效最差,蛀果防效仅为25.03%。安全性评价显示,在采收期果实中,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、噻虫嗪及乙基多杀菌素均未检出残留,符合食品安全标准;而溴氰虫酰胺检出残留量为0.025 mg/kg,存在潜在风险。结论:5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐兼具高效杀虫、显著保果与低残留优势,可作为防控苹果园橘小实蝇的首选药剂;建议在成虫发生高峰期优先使用,并与噻虫嗪或乙基多杀菌素轮换使用以延缓抗性。

[关键词]橘小实蝇;化学防控;防治效果;农药残留

中图分类号:S436.611 文献标识码:A 文章编号:1672-450X(2026)03-0043-06

Screening and Safety Evaluation of Insecticides against *Bactrocera dorsalis* in High-Altitude Apple Orchards of Yunnan Province

GU Fan¹, TAI Yimei^{2*}, ZHANG Hui³, YANG Jiqiong³, FAN Jian³, LAO Feifeng¹, ZENG Meilin¹

1. Kunming Plant Protection and Quarantine Station, Kunming 650100, China;

2. Kunming Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650100, China;

3. Agricultural Technology Promotion Service Center of Xishan District, Kunming 650100, China

Abstract: To identify efficient and low-residue insecticides and develop scientific application strategies for controlling the *Bactrocera dorsalis* in high-altitude apple orchards, this study was conducted using the main cultivar 'Changfu No. 2' in Kunming. Using a randomized block design, the field control efficacy of four insecticides was systematically evaluated, and pesticide residues in fruits were detected using HPLC-MS/MS technology. The results indicated significant differences in population control ability and fruit protection efficacy among the different treatments. 5% Emamectin benzoate exhibited the optimal control performance; its control efficacy on the total insect population index reached 91.05%, and the control efficacy on the fruit damage rate reached 89.96%, both significantly superior to other treatments. 25% Thiamethoxam and 25% Spinetoram showed moderate efficacy, with control efficacies on fruit damage rates of 60.75% and 55.28%, respectively. 10% Cyantraniliprole demonstrated the poorest performance, with a control efficacy on fruit damage of only 25.03%. Safety evaluations revealed that residues of emamectin benzoate, thiamethoxam, and spinetoram were not detected (ND) in fruits at harvest, complying with food safety standards. However, cyantraniliprole residues were detected at 0.025 mg/kg, indicating a potential dietary risk. Conclusion: 5% Emamectin benzoate combines high insecticidal efficiency, significant fruit protection, and low residue advantages, making it the preferred choice for controlling *B. dorsalis* in apple orchards. It is recommended for priority use during the peak adult occurrence period, rotated with thiamethoxam or spinetoram to delay the development of resistance.

Key words: *Bactrocera dorsalis*; chemical control; control efficacy; pesticide residues

收稿日期: 2025-12-24

作者简介: 顾凡(1993—), 男, 农艺师, 硕士, 主要从事农作物病虫害防控工作。E-mail: gufan163@163.com

*通信作者: 太一梅(1973—), 女, 正高级农艺师, 硕士, 从事农作物病虫害防控工作。E-mail: taiym@sina.com

橘小实蝇 (*Bactrocera dorsalis*) 隶属于双翅目实蝇科, 具有食性杂、繁殖力强及适应性广等生物学特性, 是全球公认的重大检疫性害虫^[1-2]。该虫寄主范围极为广泛, 涵盖柑橘、芒果、番石榴、苹果等 46 科 250 余种果蔬作物, 成虫通过产卵管刺入果实表皮产卵, 幼虫孵化后潜居果肉蛀食, 导致果实软腐、脱落, 造成果蔬产业巨大的经济损失, 严重制约农产品对外贸易^[3-4]。

近年来受全球气候变暖及种植结构调整的影响, 橘小实蝇的地理分布界限不断向北扩展, 并呈现出向高海拔地区扩散的趋势^[5]。昆明市为云南省优质高原苹果的主产区, 海拔 1 500 ~ 2 200 m, 属亚热带高原季风气候, 为橘小实蝇提供了新的适宜生境。2022—2023 年监测数据显示, 昆明地区橘小实蝇成虫始见于 6 月下旬, 8 月上旬至 11 月上旬为发生高峰期, 最高诱虫量达 29 头/(瓶·d), 年平均诱虫量 4.55 头/(瓶·d)。由于害虫发生高峰期与当地晚熟主栽苹果品种的果实成熟期高度重叠, 导致危害逐年加重, 已成为制约昆明地区苹果产业高质量发展的瓶颈问题^[6]。

化学防治因其速效性强、成本相对可控, 目前仍是压低橘小实蝇田间种群密度的主要应急手段^[7]。然而, 当前生产实践中存在两大突出问题: 一是药剂选择盲目, 部分农户误将防治蚜虫、鳞翅目等害虫的药剂用于防治橘小实蝇, 不仅防效低下, 还引发了农药残留超标及环境污染等“3R”问题^[8-9]; 二是缺乏针对性数据, 现有研究多集中于热带、亚热带地区的柑橘、芒果等作物^[10-11], 针对高海拔地区苹果园的系统性防控研究相对匮乏。此外, 既往研究多侧重于田间防效的单一评价, 缺乏对果实中农药残留消解动态及膳食安全性的同步考量, 难以满足现代果园“提质增效”与“质量安全”的双重需求。

鉴于此, 本研究以昆明地区主栽苹果品种‘长富二号’为试验材料, 选取生产中具有代表性的 4 种杀虫剂(溴氰虫酰胺、乙基多杀菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、噻虫嗪)系统开展田间药效试验, 并结合 HPLC-MS/MS 技术检测分析果实采收期的农药残留量, 旨在从“生物活性”与“食品安全”两个维度, 筛选出适合高海拔苹果园的橘小

实蝇防控药剂及科学施药方案, 为从源头上控制虫害损失、保障苹果质量安全提供科学依据和技术支撑。

1 材料和方法

1.1 试验地点

试验于 2023 年 8—11 月在昆明市西山区团结街道苹果种植园(25° 02' N, 102° 38' E)开展, 该区域海拔 2 380 m, 属亚热带高原季风气候, 试验期平均气温 18.5 °C、相对湿度 65%。试验园土壤为红壤, 种植品种‘长富二号’(5 年生), 株行距 3 m × 4 m, 树高 2.5 ~ 3.0 m, 田间管理一致, 常规施肥灌溉。该果园周边植被丰富, 历年橘小实蝇发生严重。据当地植保部门普查, 试验开展期间(8—11 月)正值该虫在昆明地区的种群暴发高峰期, 田间自然虫口基数较高, 符合药效评价的试验要求, 试验前 1 个月未施杀虫剂。

1.2 供试材料

1.2.1 供试作物

‘长富二号’苹果(晚熟品种), 试验期间处于果实膨大至成熟期。

1.2.2 供试药剂

10% 溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂(美国富美实公司), 25% 乙基多杀菌素水分散粒剂(科迪华农业科技有限责任公司), 5% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐水分散粒剂(河北双吉化工有限公司), 25% 噻虫嗪水分散粒剂(瑞士先正达作物保护有限公司)。

1.2.3 试验器械

喷雾式汽油打药机(工作压力 2.0 ~ 3.5 MPa, 自制)、Agilent1290-6460 HPLC-MS/MS 仪(美国安捷伦科技有限公司)。

1.3 试验设计

试验设 5 个处理(表 1), 3 次重复, 共 15 个小区(每小区 400 m²), 随机区组排列, 处理间设 1 行隔离树避免药剂漂移。采用整树均匀喷雾法, 药剂用量按产品推荐剂量折算稀释倍数, 兑水量统一为 45 L/667 m², 分别于 9 月 12 日和 25 日各施药 1 次, 间隔 13 d。

表 1 苹果园橘小实蝇防控试验处理设计			
处理	药剂名称	有效成分 含量/%	用量 (稀释倍数)
A	溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂	10	1 125
B	乙基多杀菌素水分散粒剂	25	3 000
C	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 水分散粒剂	5	9 000
D	噻虫嗪水分散粒剂	25	9 000
E	CK (清水)		

1.4 调查与检测方法

1.4.1 防效调查

调查时间为2023年10月30日,果实成熟后,每小区随机调查,每棵树按东、南、西、北、中5个方位各调查10个果,并收集小区内所有落果。果实置于室温(20~25℃)条件下存放1周后用刀剖开,分别统计树上蛀虫果及落地蛀虫果总数。鉴于高海拔地区橘小实蝇发生期世代重叠严重且成虫具有持续迁飞的生物学特性,传统的单次施药后短期连续调查难以规避外来虫源的干扰,因此本试验设定在果实采收前进行一次集中调查,旨在更客观地综合评估各供试药剂在整个试验期内的持效期与最终保果效能。

分级标准:0级,全果无虫且无受害斑;1级,1~2头虫或1~2个受害斑;2级,3~4头虫或3~4个受害斑;3级,5~6头幼虫或5~6个受害斑;4级,7~10头虫或7~10个受害斑;5级,11头以上虫或11个以上受害斑。当同一果实的幼虫数量与受害斑数量对应的分级不一致时,执行“就高不就低”的原则。

计算公式:

蛀果率/% = $\frac{\text{蛀果数}}{\text{调查总果数}} \times 100$

虫情指数 = $\frac{\sum (\text{各级虫数} \times \text{相对级数值})}{\text{调查总数} \times 5} \times 100$

虫指/蛀果率防效=(对照药后虫指/蛀果率-处理药后虫指/蛀果率)/对照药后虫指/蛀果率×100%

1.4.2 农药残留检测

采样时间:10月30日采样,每处理随机选取5棵树,每棵树5个方位各采2个果(共50个/处理),混合后取3 kg样品,按GB/T 8855—2016《新

鲜水果和蔬菜取样方法》制备试样。

检测方法:参照GB/T 23200.121—2021《食品安全国家标准 植物源性食品中331种农药及其代谢物残留量的测定 液相色谱-质谱联用法》,检测噻虫嗪、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素、溴氰虫酰胺残留量,定量限0.01 mg/kg,平行测定3次。

判定标准:参照GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》,无苹果中残留限量的药剂(如溴氰虫酰胺)参考同类果树(柑橘)限量(0.05 mg/kg)评估风险。

1.5 数据处理

采用SPSS 20.0软件进行方差分析(ANOVA),Duncan新复极差法进行多重比较,Excel 2019绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同药剂对苹果橘小实蝇的虫情指数防效

虫情指数是综合反映害虫种群密度及危害程度的重要指标。由表2可知,5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(C处理)、25%噻虫嗪(D处理)的总虫情指数均显著低于对照区(E处理),表明化学防控对压低苹果园橘小实蝇基数具有明确作用,但不同药剂的防治效果呈现显著的梯次差异。

表 2 不同药剂对橘小实蝇的虫情指数防效				
处理	果树虫指	落果虫指	总虫情指数	防效/%
A	0.62ab	6.13a	1.24ab	40.75c
B	0.70ab	3.70a	0.85ab	59.53bc
C	0.02c	3.09a	0.19b	91.05a
D	0.45b	3.33a	0.57b	72.80ab
E	0.90a	12.18a	2.09a	

注:各处理数据为3次重复的平均值,同列不同字母表示差异显著(P<0.05);总虫情指数基于小区内“树上抽样果实”与“全部落地果实”的调查总和计算所得,非果树虫指与落果虫指的算术平均值;下同。

2.1.1 总体防治效果

在所有供试药剂中,5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(C处理)表现出卓越的种群压制能力,其总虫情指数仅为0.19,对应的总体防效高达

91.05%。这一数据较防效次优的25%噻虫嗪(D处理)(72.80%)高出18.25个百分点,较防效最差的10%溴氰虫酰胺(A处理)(40.75%)高出50.3个百分点。这说明在同等施药条件下,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐能最大程度地降低田间虫口密度。

2.1.2 空间维度(树果/落果)防控差异

进一步分析树上果实与落地果实的虫情指数分布可发现,不同药剂处理在“树上”与“地面”两个空间维度的防控表现既有共性差异,又各具特性。

首先,在树上果实保护方面,5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(C处理)表现出绝对优势,其树果虫指低至0.02,显著低于10%溴氰虫酰胺(A处理)(0.62)、25%乙基多杀菌素(B处理)(0.70)及25%噻虫嗪(D处理)(0.45)。这不仅表明该药剂在阻断成虫产卵及初孵幼虫蛀食方面具有优异的综合控害效能,更证实了其能为树上果实提供严密的长效保护。其次,观察同一处理内的空间差异发现,所有处理组均呈现出落果受害程度显著高于树果的分布规律。对照区(E处理)的落果虫指高达12.18,远高于树果虫指(0.90),印证了橘小实蝇危害极易诱发果实提前脱落这一生物学现象。

值得注意的是,即便是防效最优的5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(C处理),其落果虫指(3.09)也高于其树果虫指(0.02)。这一普遍存在的组内差异提示,单纯依靠化学药剂喷雾虽然能严密保护树上果实,但难以完全清除已脱落果实内部潜伏的害虫,落果依然是田间虫源的重要载体。在落地果实控制方面,受田间落果分布不均及组间变异较大的影响,各处理组的落果虫指在统计学上均未表现出显著差异($P>0.05$)。从数值趋势分析,5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(C处理)(3.09)、25%噻虫嗪(D处理)(3.33)和25%乙基多杀菌素(B处理)(3.70)的落果虫指明显低于10%溴氰虫酰胺(A处理)(6.13)及对照区(12.18)。这提示我们:虽然受环境异质性影响未达到统计学显著水平,但高效药剂在生物学上仍表现出压低落果内幼虫基数的潜力;而10%溴氰虫酰胺(A处理)的落果虫指最高,仅次于对照,表明其阻断害虫在落地果内次生繁衍的能力相对较弱,在实际生产中仍需警惕其潜在的回迁风险。

2.2 不同药剂对苹果橘小实蝇的蛀果率防效

蛀果率是衡量橘小实蝇危害程度及药剂最终保果效果的重要经济指标。由表3可知,各药剂处理对蛀果率的控制效果差异显著,且总体趋势与虫情指数高度一致,验证了防控数据的可靠性。

表3 不同药剂对橘小实蝇的蛀果率防效

处理	树果蛀果率/%	落果蛀果率/%	总蛀果率/%	防效/%
A	1.27ab	9.88ab	2.21b	25.03c
B	1.20ab	6.36ab	1.32c	55.28b
C	0.11c	4.00b	0.30d	89.96a
D	0.80b	4.78b	1.16c	60.75b
E	1.56a	14.91a	2.95a	

2.2.1 药剂保果效能的差异性

分析可知,各处理组在降低蛀果率方面表现出明显的梯队分化特征,基于防效数据可划分为3个等级。5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(C处理)展现出绝对的防控优势,为高效防控区。该处理将总蛀果率压低至0.30%,相较于空白对照区的2.95%降低了约90%,最终蛀果防效高达89.96%。这一极低的受害率不仅证实了该药剂优异的速效杀虫活性,更从结果表明其在施药后的整个间隔期内依然保持着高水平的防效。25%噻虫嗪(D处理)与25%乙基多杀菌素(B处理)处于中等防控水平。两者的总蛀果率分别为1.16%和1.32%,对应的防效为60.75%和55.28%。统计分析显示,二者之间无显著差异,但均显著优于10%溴氰虫酰胺(A处理)。这两类药剂虽然保果效果不及甲氨基阿维菌素苯甲酸盐,但仍具有较好的应用价值,建议作为轮换用药的辅助方案,以延缓主治药剂抗性的产生。10%溴氰虫酰胺(A处理)的防控效果最差,其总蛀果率为2.21%,仅略低于对照区,防效仅为25.03%。数据表明,该药剂在抑制橘小实蝇蛀果危害方面能力较弱,难以满足高标准果园的防控需求。

2.2.2 落果与蛀果的空间相关性及其药剂控制作用

进一步分析“树上果”与“落地果”的蛀果率差异,可揭示药剂防控的空间特征。首先,在树上果

实保护方面,5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(C处理)的树上果实蛀果率仅为0.11%,显著优于其他所有药剂处理及对照区。这证实了施用高效药剂能在树冠层形成严密的持效保护,有效阻断成虫的危害途径,降低成虫在挂果上的产卵成功率。其次,对比同一处理内的空间差异发现,所有处理组的落果蛀果率均显著高于其树上果实蛀果率。在对照区中,落果蛀果率高达14.91%,是同期树上蛀果率(1.56%)的9.6倍。值得关注的是,即便是防效最优的5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(C处理),其落果蛀果率(4.00%)也达到其树果蛀果率(0.11%)的36倍。这一普遍存在的组内巨大差异深刻印证了橘小实蝇危害具有典型的“诱导脱落效应”,即果实一旦被蛀食,极易在成熟前脱落;同时也提示化学防控的局限性,即现有的化学药剂难以逆转幼虫在果实内部蛀食所造成的生理性脱落进程。在对落果虫源的抑制方面,高效药剂体现了“治上控下”的双重价值。5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(C处理)虽然无法完全杜绝落果蛀虫,但将其落果蛀果率限制在4.00%,显著低于对照区的14.91%。这说明高效药剂的应用不仅能直接降低当季树上蛀果率,还能通过大幅减少高虫口密度的落果数量来有效切断害虫的次生繁衍链条,从而间接挽回产量损失。

2.3 果实农药残留检测结果

经HPLC-MS/MS检测(定量限0.01 mg/kg),3次平行测定结果显示,5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐水分散粒剂(C处理)、25%乙基多杀菌素水分散粒剂(B处理)、25%噻虫嗪水分散粒剂(D处理)的处理果实中均未检出目标药剂残留,符合GB 2763—2021《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》的要求,表明这3种药剂在推荐剂量及试验施药方式下使用具有较高的食用安全性。

10%溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂(A处理)果实中检出溴氰虫酰胺残留量为0.025 mg/kg,虽低于同类果树(柑橘)的残留限量标准(0.05 mg/kg),但因目前我国尚未制定溴氰虫酰胺在苹果中的最大残留限量标准,尚无法精准判定其安全性阈值,因此或存在潜在的食用安全风险。空白对照(E处理)果实中未检出任何供试药剂残留,可排

除试验环境及操作过程中的药剂污染干扰。

3 讨论

本试验在橘小实蝇自然虫口基数大、田间危害压力高的田间生境下进行,结果表明5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐具有良好的防控效果,印证了宫庆涛等^[12]关于该药剂对橘小实蝇成虫及幼虫具备双重杀灭活性的结论,同时也反映出该药剂在昆明地区高海拔特殊生境下具有良好的适应性。关于其高效防控的机理,结合药剂特性推测:一方面,其优异的组织渗透性促使药液迅速渗入果皮与叶片形成“皮下药库”,有效规避了高海拔强紫外线易导致的药剂光解作用^[13];另一方面,高海拔地区昼夜温差大,夜间低温往往会抑制昆虫体内解毒酶的代谢活性^[14-15],此时该药剂作为氯离子通道激活剂,其阻断产卵及毒杀初孵幼虫的神经毒导作用可能因害虫代谢受抑而得到显著增强^[16-18]。相反,10%溴氰虫酰胺防效欠佳,推测不仅与橘小实蝇对鱼尼丁受体调节剂具有天然较高的代谢解毒能力有关,更可能源于昆明地区常年大量使用双酰胺类药剂引发的非靶标暴露,导致该种群产生了靶标不敏感或代谢增强的交互抗性^[19]。乙基多杀菌素(大环内酯类)与噻虫嗪(新烟碱类)在本研究中表现出中等防效,二者具有杀虫谱广、速效性好且无交互抗性的特点^[20-22],具备作为重要候选轮换药剂的潜力。

此外,本研究揭示了橘小实蝇危害具有显著的“诱导脱落效应”,对照区落果蛀果率达树上果实的9.6倍,表明落地果实是田间虫口密度回升的温床。因此,单纯依赖化学喷雾难以彻底切断“果实脱落—化蛹—羽化”的次生繁衍链条。在抗性治理与区域性综合防控策略层面,鉴于云南老牌果树产区对传统有机磷和菊酯类农药已有极高抗性,且橘小实蝇对甲氨基阿维菌素苯甲酸盐同样存在较高的抗性演化风险(王敏等^[23]研究表明,橘小实蝇经33代室内筛选可对其产生43.4倍中等抗性,且伴随细胞色素P450解毒酶活性的显著升高),必须摒弃单一用药模式。建议构建“应急+轮换”的精准用药体系,在8—10月成虫

暴发高峰期以甲氨基阿维菌素苯甲酸盐压低基数,在发生初、末期轮换使用乙基多杀菌素或噻虫嗪;同时,必须配套清理并无害化处理落果的农业措施,实施“治上控下”的立体防控体系。未来研究还将进一步结合性诱剂监测数据,深入探究药剂防效与田间种群时空动态的响应关系,以不断完善高海拔苹果园虫害的治理方案。

4 结论

本研究综合评估了高海拔苹果园橘小实蝇的化学防控方案及其残留安全性。在整树均匀喷雾条件下,5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐水分散粒剂表现出最优的防效,且在采收前安全间隔期内施药,成熟果实中无残留检出,是兼顾高效防虫与环境、消费安全的首选主治药剂。25%噻虫嗪与25%乙基多杀菌素防效中等,可作为关键的辅助轮换药剂以延缓主治药剂抗性的演化;10%溴氰虫酰胺则暂不建议作为此类果园的防控主剂。基于本试验中落果受害率显著增高的生态特征,在实际生产中应严格执行成虫高峰期树冠高效药剂喷施与地面彻底清理落果相结合的协同管理策略,实现“药剂控虫”与“农业断源”的双管齐下,从而全面阻断橘小实蝇的次生繁衍链条。

参考文献:

- [1] 宫庆涛,张坤鹏,李素红,等. 桔小实蝇的发生危害与防控[J]. 落叶果树,2022,54(1):49-52.
- [2] 姚文国. 中国进境植物检疫有害生物选编(果实蝇和寡鬃实蝇部分)[M]. 北京:中国农业出版社,1997:179-216.
- [3] 谢琦,张润杰. 桔小实蝇生物学特点及其防治研究概述[J]. 生态科学,2005(1):52-56.
- [4] 张彬,刘映红,赵岚岚,等. 桔小实蝇研究进展[J]. 中国农学通报,2008(11):391-397.
- [5] 朱雁飞,商明清,滕子文,等. 桔小实蝇的入侵分布及传播扩散趋势分析[J]. 山东农业科学,2020,52(12):141-149.
- [6] 张慧,范建,马玉梅,等. 桔小实蝇在云南的发生及防治情况综述[J]. 云南农业科技,2023(增刊1):20-22.
- [7] 金梦娇,范银君,滕子文,等. 桔小实蝇的化学防治措施及抗药性治理[J]. 农药,2021,60(1):1-5,13.
- [8] 章玉苹,曾玲,陆永跃,等. 华南地区桔小实蝇抗药性动态监测[J]. 华南农业大学学报,2007(3):20-23.
- [9] 苏湘宁,李传瑛,廖章轩,等. 基于性信息诱捕监测广东桔小实蝇和瓜实蝇发生动态及其对2种常用农药的抗药性评价[J]. 环境昆虫学报,2023,45(1):226-232.
- [10] 张柳,余代宏,李红卫,等. 云南元江地区芒果园桔小实蝇发生特点与关键气象因子分析[J]. 环境昆虫学报,2025,47(1):192-198.
- [11] 陈玲. 桔小实蝇为害柑橘的生物学特性及其嗅觉感受机制研究[D]. 杭州:中国计量大学,2013.
- [12] 宫庆涛,李素红,张坤鹏,等. 20种杀虫剂对橘小实蝇幼虫的防治效果及对成虫残效评价[J]. 山东农业科学,2021,53(10):102-108.
- [13] 苍涛,赵学平,吴长兴,等. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对4种非靶生物毒性及安全性评价[J]. 农药,2007(7):481-483.
- [14] 李宁,张世泽,刘同先. 二氧化碳浓度和温度升高对烟粉虱主要保护酶和解毒酶活性的影响[J]. 植物保护学报,2016,43(1):99-104.
- [15] 张晓燕. 高温对几种菜田昆虫乙酰胆碱酯酶及解毒酶系活性影响的研究[D]. 福州:福建农林大学,2010.
- [16] 毕富春,赵建平. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对主要害虫药效概述[J]. 现代农药,2003(2):34-36,19.
- [17] 倪珏萍,侯华民,曾霞,等. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐与阿维菌素生物活性比较[J]. 现代农药,2003(3):38-40.
- [18] 王圣印,周仙红,张安盛,等. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐研究进展[J]. 江西农业学报,2012,24(12):123-126.
- [19] 李康,王凯博,陶丽红,等. 草地贪夜蛾鱼尼丁受体与双酰胺类杀虫剂的结合模式及抗性风险分析[J]. 农药学报,2021,23(5):856-868.
- [20] 孙丽娜,赵毅渊,张怀江,等. 多杀菌素类杀虫剂及其作用靶标的研究综述[J]. 中国植保导刊,2025,45(8):21-26.
- [21] ORR N, SHAFFNER AJ, RICHEY K, et al. Novel mode of action of spinosad: receptor binding studies demonstrating lack of interaction with known insecticidal target sites[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology, 2009, 95(1):1-5.
- [22] 张倩楠. 噻虫嗪对橘小实蝇的亚致死效应研究[D]. 南宁:广西大学,2021.
- [23] 王敏,王新溪,王圣印. 橘小实蝇对甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的抗性机制及对其他药剂的交互抗性[J]. 植物保护,2023,49(1):278-284.