

◆ 开发与分析 ◆

# 41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂的配方开发与田间应用

高伟花, 谭葵, 莫俊锐, 王爱臣, 廖联安

(惠州市银农科技股份有限公司, 广东惠州 516257)

**摘要:**通过单因素试验系统考察了润湿剂、分散剂、增稠剂等对制剂稳定性的影响,筛选出41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂配方,并开展田间药效试验进行验证。筛选出的配方组成如下:氟吡菌酰胺41.7%、Atlox 4917 2.0%、RD-95 2.0%、PF 40 2.0%、1494 1.5%、丙二醇5.0%、硅酸镁铝1.0%、黄原胶0.1%、BIT-20 0.2%、消泡剂1572 0.1%,水补足至100%。制备的41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂样品性能优异,各项指标均符合标准要求。该制剂样品对茄子白粉病和西瓜根结线虫表现出良好的防治效果,且能促进作物增产。

**关键词:**氟吡菌酰胺;悬浮剂;制剂开发;白粉病;根结线虫

中图分类号:TQ 450.6 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2026.01.006

## Formulation development and field application of fluopyram 41.7% SC

GAO Weihua, TAN Kui, MO Junrui, WANG Aichen, LIAO Lianan

(Huizhou Yinnong Technology Co., Ltd., Guangdong Huizhou 516257, China)

**Abstract:** Through single-factor experiments evaluating the effects of wetting agents, dispersants and thickeners on the stability of the suspension, the formulation of fluopyram 41.7% SC was screened, and field trials were carried out for verification. The composition of the selected formula is as follows: fluopyram 41.7%, Atlox 4917 2.0%, RD-95 2.0%, PF 40 2.0%, 1494 1.5%, propylene glycol 5.0%, aluminum magnesium silicate 1.0%, xanthan gum 0.1%, BIT-20 0.2%, defoamer 1572 0.1%, and water made up to 100%. The prepared fluopyram 41.7% SC had excellent performance and all the indicators met the standard requirements. It showed excellent control effects against powdery mildew of eggplants and root-knot nematode of watermelon, and could also enhance crop yield.

**Key words:** fluopyram; SC; formulation development; powdery mildew; root-knot nematode

氟吡菌酰胺由德国拜耳公司开发上市,为琥珀酸脱氢酶抑制剂(SDHI)类杀菌剂的代表性品种之一<sup>[1]</sup>。其2012年上市,2014年销售额超过1亿美元,2021年至1.89亿美元,市场成长性良好<sup>[2]</sup>。2023年8月,氟吡菌酰胺在中国的化合物专利(CN1319946C)保护期届满,该品种受到农化企业高度关注,国内企业加速布局。

氟吡菌酰胺除了具有良好的杀菌功能外,它还具有杀线虫作用,是首个SDHI类杀线虫剂。氟吡菌酰胺主要作用于病原菌及线虫的呼吸电子传递链中的复合体,通过抑制线粒体内琥珀酸脱氢酶的活性,从而阻碍了病原菌或线虫能量来源ATP的合

成。这种抑制作用不仅影响了病原菌细胞的分裂与生长,导致菌体死亡,同时也对线虫的生长发育造成了显著干扰,最终导致其死亡<sup>[2-3]</sup>。作为杀菌剂,氟吡菌酰胺对灰霉病、白粉病、叶斑病、黑斑病等多种病害有效。作为杀线虫剂,其可以有效防治根结线虫、半穿刺线虫、茎线虫、孢囊线虫等。氟吡菌酰胺作用谱广,市场广阔,因此其开发具有重要意义。

截至2024年9月,已有3家企业获得氟吡菌酰胺原药登记,19个制剂产品获准登记<sup>[4]</sup>。目前登记的基于氟吡菌酰胺产品中,以悬浮剂产品居多。在悬浮剂体系中,有效成分含量较高时,粒子间的布朗运动碰撞几率相较于低含量显著增加。同时,在分子间

收稿日期:2025-05-15

作者简介:高伟花,女,本科,研究方向为农药制剂配方。E-mail:2659866353@qq.com

吸引力的作用下,高含量悬浮剂更易形成链状或网状的聚集结构,这种特性使得悬浮剂在贮存过程中更易发生聚集现象。此外,高含量悬浮剂中因不同粒径粒子的溶解度差异,或某些固体农药活性成分的多晶态特性所引发的奥氏熟化现象,也会对产品的贮存稳定性产生显著影响。因此,高含量的氟吡菌酰胺悬浮剂在生产过程或贮存过程中存在难以研磨、黏度大、絮凝、聚集和粒径增长等问题。

本研究通过筛选优化41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂的配方,成功解决了制剂配方开发中的技术瓶颈,并通过田间试验,验证了其对于茄子白粉病和西瓜根结线虫的防治效果。

## 1 材料与方 法

### 1.1 仪器

SHW-SM-0.5L实验室砂磨机,上海盛海威电气仪表有限公司;FM200高剪切分散乳化机,上海弗鲁克科技发展有限公司;Bettersize 2600激光粒度分布仪,丹东百特仪器有限公司;NDJ-8S数显黏度计,上海方瑞仪器有限公司。

### 1.2 试验材料

97%氟吡菌酰胺原药,山东滨农科技有限公司。分散剂:Atlox 4917(苯乙烯丙烯酸梳状接枝共聚物),禾大化学品公司;RD-95(苯乙烯马来酸酐共聚物钠盐),济南瑞翔达生物科技有限公司;5013(改性甲氧丙烯酸酯)、1494(酚磺酸盐),科莱恩化工

(中国)有限公司;SC9160(阴离子磺酸盐)、755(高分子聚羧酸盐),南京捷润科技有限公司;DA1349(聚羧酸盐),世索科化学品有限公司;75Y(特殊结构的聚合羧酸高分子),江苏擎宇化工科技有限公司。润湿剂:G5002L(EO/PO嵌段聚醚),禾大化学品公司;500LQ(EO/PO嵌段聚醚),南京捷润科技有限公司;Genapol PF 40(EO/PO嵌段聚醚),科莱恩化工(中国)有限公司。防冻剂:丙二醇,陶氏化学公司。增稠剂:黄原胶,中轩生化股份有限公司;硅酸镁铝,苏州中材建设有限公司。防腐剂:BIT-20,科莱恩化工(中国)有限公司。消泡剂:有机硅消泡剂1572,迈图高新材料集团。

### 1.3 制备步骤

将润湿分散剂、防冻剂、增稠剂硅酸镁铝、消泡剂和水按一定的质量比称量后混合均匀,得到混合液1。

将增稠剂黄原胶、防腐剂与水按一定的质量比称量、混合后剪切30 min,得到黄原胶添加量为2%的混合液2。

将氟吡菌酰胺与混合液1混合、研磨,至物料的粒径 $D_{90}$ 至3~4  $\mu\text{m}$ ,用孔径75  $\mu\text{m}$ 的滤网过滤,滤液与混合液2混合剪切,得到氟吡菌酰胺悬浮剂。

### 1.4 润湿剂和分散剂的筛选方法

采用单因素研究方法,对多种同类助剂在相同条件下进行试验,从中筛选出性能较为优异的助剂,试验设计如表1。

表1 润湿分散剂组合设计方案

| 编号  | 755 | RD-95 | 1494 | SC9160 | 5013 | 4917 | 75Y | DA1349 | PF 40 | 500LQ | G5002L |
|-----|-----|-------|------|--------|------|------|-----|--------|-------|-------|--------|
| 1#  |     | 2     | 1.5  |        |      | 2    |     |        | 2     |       |        |
| 2#  | 2   | 2     |      | 1.5    |      |      |     |        | 2     |       |        |
| 3#  | 2   | 2     | 1.5  |        |      |      |     |        |       |       | 2      |
| 4#  |     | 2     | 1.5  |        |      |      |     |        | 2     |       |        |
| 5#  |     | 2     | 1.5  |        | 2    |      |     |        | 2     |       |        |
| 6#  | 2   | 2     | 1.5  |        |      |      |     |        |       | 2     |        |
| 7#  | 2   | 2     |      |        |      |      |     |        | 2     |       |        |
| 8#  | 2   | 2     |      |        |      |      | 1.5 |        | 2     |       |        |
| 9#  | 2   | 2     |      |        |      |      |     | 1.5    | 2     |       |        |
| 10# | 2   | 2     | 1.5  |        |      |      |     |        |       | 2     |        |

初步设计配方:氟吡菌酰胺41.7%、润湿分散剂7%~9%、黄原胶0.1%、丙二醇5%、BIT-20 0.2%、消泡剂1572 0.1%,水补足至100%。采用湿法研磨制备工艺,按照初步设计配方及试验设计方案,制备样品,每份200 g,共获得10份待测样品。分别对样品进行常温、冷储(0℃)和热储试验(54℃),测定样品热

储14 d析水率、常储7 d粒径增长率、热储14 d粒径增长率、黏度、热储流动性等情况。

### 1.5 防冻剂、防腐剂等的确定方法

悬浮剂以水为分散介质,在北方冬季低温环境下容易发生冻结现象。为避免因冻结导致产品无法正常使用,本配方以丙二醇作为防冻剂,其添加量

为5%。此外,在砂磨工艺中,添加0.1%的有机硅消泡剂1572以有效减少气泡的产生。鉴于黄原胶的易腐特性,配方中还添加了0.2%的BIT-20作为防腐剂,以抑制制剂腐败变质。研磨介质则采用粒径为1.0~1.2 mm的氧化锆珠。

### 1.6 增稠剂的筛选

悬浮剂作为一种热力学不稳定的分散体系,在实际应用中存在显著的不稳定特征。为了有效抑制制剂发生沉降行为,通常会在体系中加入增稠剂,以增加分散介质的黏度,减小原药与介质之间的密度差异,从而提升产品的稳定性。然而,过高的黏度会带来一系列问题,包括液体流动性差、制备难度增大,以及水分散性能欠佳等,这些都会对实际使用造成不利影响。

本试验选取黄原胶与硅酸镁铝2种常见增稠剂进行配伍研究。通过测定制剂的黏度、热储析水率及分散性等关键指标,对增稠剂的性能进行综合评估并筛选。

### 1.7 田间药效试验方法

按照筛选出的配方配制41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂样品,对其开展田间药效试验,考察其对茄子白粉病、西瓜根结线虫的防效。试验对照药剂分别为拜耳股份公司产品43%氟菌·肟菌酯悬浮剂和41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂,均为试验地常规使用的药剂。

茄子白粉病防治试验设在新疆乌鲁木齐市米东区锅底坑村。试验共用药2次,分别于2024年6月25日、2024年7月2日喷雾施药。药前、第1次药后7 d

及第2次药后10 d进行病情调查。每小区随机取4点,每点调查2株茄子的全部叶片,记录发病情况。分级标准如下:0级,无病斑;1级,病斑面积占整个叶面积5%以下;3级,病斑面积占整个叶面积6%~10%;5级,病斑面积占整个叶面积11%~20%;7级,病斑面积占整个叶面积21%~40%;9级,病斑面积占整个叶面积40%以上。茄子收获期进行产量测定,分别于2024年8月2日、8月9日、8月15日、8月22日测定每小区的茄子产量,统计4次测定结果,并折算出1 hm<sup>2</sup>产量,计算增产率。

西瓜根结线虫防治试验设在北京市顺义区杨镇沙子营村。2022年4月21日开展试验,采用灌根施药方式,用药1次。试验药剂41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂有效成分用量分别为0.015、0.020、0.025 g/株;对照药剂41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂(拜耳)有效成分用量为0.021 g/株;以清水为空白对照。用水量约3 600 L/hm<sup>2</sup>。分别于药后39 d(清水对照显症时)和药后60 d(6月20日)调查。

## 2 结果与分析

### 2.1 润湿剂和分散剂的筛选结果

润湿分散剂筛选结果见表2。热储14 d后,3#和10#出现膏化现象;2#、4#、5#、6#、7#析水率超过15%,粒径增长幅度在18%以上,部分超过50%;8#样品粒径增长幅度为20.34%。常温储存7 d后,3#、6#、7#、9#和10#出现粒径增长现象。1#样品常储和热储稳定性均较好,故选择1#样品做进一步探讨。

表 2 润湿分散剂筛选结果

| 编号  | 黏度/mPa·s | 初始粒径/ $\mu\text{m}$ | 常储7 d             |       | 热储14 d            |         | 流动性 | 析水率/% |
|-----|----------|---------------------|-------------------|-------|-------------------|---------|-----|-------|
|     |          |                     | 粒径/ $\mu\text{m}$ | 增长率/% | 粒径/ $\mu\text{m}$ | 粒径增长率/% |     |       |
| 1#  | 801.23   | 3.025               | 3.026             | 0.03  | 3.237             | 7.00    | 可流动 | 5.26  |
| 2#  | 563.24   | 3.051               | 3.055             | 0.13  | 3.607             | 18.22   | 可流动 | 18.20 |
| 3#  | 1 650.00 | 3.101               | 3.631             | 17.09 |                   |         | 膏化  |       |
| 4#  | 785.32   | 3.009               | 3.100             | 0.03  | 4.514             | 50.01   | 可流动 | 20.00 |
| 5#  | 883.25   | 3.110               | 3.115             | 0.16  | 4.673             | 50.25   | 可流动 | 15.25 |
| 6#  | 986.35   | 3.085               | 3.395             | 10.05 | 4.274             | 38.54   | 可流动 | 16.02 |
| 7#  | 923.15   | 3.102               | 3.724             | 20.05 | 4.592             | 48.03   | 可流动 | 17.06 |
| 8#  | 1 005.26 | 3.122               | 3.125             | 0.10  | 3.757             | 20.34   | 可流动 | 11.21 |
| 9#  | 1 468.15 | 3.095               | 3.256             | 5.21  | 3.879             | 25.33   | 可流动 | 12.35 |
| 10# | 1 473.23 | 3.087               | 3.714             | 20.32 |                   |         | 膏化  |       |

Atlox 4917为苯乙烯丙烯酸梳状接枝共聚物,相对分子质量达到 $2.8 \times 10^4$ ,其在农药微粒表面具有多个锚固点。Atlox 4917溶解于水相中时,PEG长链能够通过空间位阻效应稳定体系;同时,聚合物

内部可电离基团通过静电吸附作用,牢固地锚定在农药微粒表面。由于Atlox 4917自身具有阴离子特性,能够产生静电斥力和空间位阻的协同稳定效果。其不仅吸附牢固,而且静电斥力和空间位阻作用更

加持久,显著增强了悬浮体系的稳定性。

Atlox 4917具有良好的分散效果,但也存在一定的局限性。其可以通过与小分子助剂1494的复配,弥补其不足;同时能够与RD-95产生协同作用,进一步优化分散体系的稳定性,在实际应用中展现出良好的效果。

## 2.2 增稠剂的筛选结果

增稠剂筛选结果见表3。

黄原胶0.10%+硅酸镁铝1.00%或者黄原胶0.10%+硅酸镁铝0.50%配伍使用时,所制制剂均表现出较好的流动性能与分散特性,且热储析水率等指标均合格。因此,这2种组合可作为本产品理想的增稠助剂。基于此,选择2种组合制备的悬浮剂样品进行后续的全面检测分析。测定结果如表4。

由表4可以看出:以黄原胶0.10%+硅酸镁铝1.00%为增稠剂,所制样品热储14 d后的分解率为0.04%;以黄原胶0.10%+硅酸镁铝0.50%为增稠剂,所制样品热储14 d后的分解率为0.37%。因此,选择黄原胶0.10%+硅酸镁铝1.00%为本研究的增稠剂组合。

表3 增稠剂的筛选

| 增稠剂      | 用量/%      | 分散性 | 黏度/<br>mPa·s | 热储14 d<br>析水率/% |
|----------|-----------|-----|--------------|-----------------|
| 黄原胶      | 0.16      | 差   | 1 785.71     | 0.50            |
| 黄原胶      | 0.10      | 优   | 801.23       | 5.26            |
| 硅酸镁铝     | 1.00      | 优   | 504.47       | 30.01           |
| 硅酸镁铝     | 2.00      | 优   | 602.32       | 28.25           |
| 黄原胶+硅酸镁铝 | 0.10+1.00 | 良好  | 1 001.24     | 1.00            |
| 黄原胶+硅酸镁铝 | 0.10+0.50 | 良好  | 950.56       | 2.00            |

表4 2种增稠剂组合全项目分析检测

| 项目指标     | 黄原胶0.10%+硅酸镁铝1.00% |        |        | 黄原胶0.10%+硅酸镁铝0.50% |       |        |
|----------|--------------------|--------|--------|--------------------|-------|--------|
|          | 常储                 | 热储     | 冷储     | 常储                 | 热储    | 冷储     |
| 质量分数/%   | 41.80              | 41.78  |        | 42.93              | 42.77 |        |
| pH       | 7.70               | 7.50   |        | 7.56               | 7.63  |        |
| 湿筛试验/%   | 100.00             | 100.00 | 100.00 | 100.00             | 98.53 | 100.00 |
| 悬浮率/%    | 100.00             | 98.98  | 99.99  | 97.23              | 93.35 | 95.63  |
| 倾倒后残余物/% | 2.00               | 1.80   |        | 2.07               | 1.94  |        |
| 洗涤后残余物/% | 0.20               | 0.10   |        | 0.18               | 0.13  |        |
| 持久起泡性/mL | 2.00               |        |        | 3.00               |       |        |

## 2.3 悬浮剂配方确定

通过对润湿分散剂、防冻剂、增稠剂、防腐剂和消泡剂等进行筛选,最终确定41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂的最佳配方组合为:氟吡菌酰胺41.7%、Atlox 4917 2.0%、RD-95 2.0%、PF 40 2.0%、1494 1.5%、丙二醇5.0%、硅酸镁铝1.0%、黄原胶0.1%、BIT-20 0.2%、消泡剂1572 0.1%,水补足至100%。

## 2.4 最优配方技术指标

综合试验结果获得最优配方,对最优配方样品指标进行全项目检测,结果见表5。按筛选出的配方配制的制剂产品性能技术指标全部合格。

## 2.5 田间试验结果

41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂对茄子白粉病的防治效果及产量影响见表6。试验制备的药剂41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂的防治效果随着药剂有效成分用量、

用药次数的增加而提高。其中,41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂中、高剂量处理第2次药后10 d的防效在84%以上,与对照药剂43%氟菌·肟菌酯悬浮剂防效无显著性差异,样品的增产率在5%以上,其中、高剂量处理的茄子产量与对照药剂处理无显著性差异。

表5 41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂指标检测结果

| 检测项目     | 测定结果   |
|----------|--------|
| 质量分数/%   | 41.80  |
| pH       | 7.60   |
| 湿筛试验/%   | 100.00 |
| 悬浮率/%    | 99.56  |
| 倾倒后残余物/% | 2.00   |
| 洗涤后残余物/% | 0.20   |
| 持久起泡性/mL | 2.00   |
| 冷储稳定性    | 合格     |

表6 41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂对茄子白粉病的田间药效试验结果

| 药剂名称          | 有效成分<br>用量/(g/hm <sup>2</sup> ) | 药前病<br>指 | 第1次药后7 d |                  | 第2次药后10 d |                 | 折合产量/<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 增产率/%       |
|---------------|---------------------------------|----------|----------|------------------|-----------|-----------------|--------------------------------|-------------|
|               |                                 |          | 病指       | 防效/%             | 病指        | 防效/%            |                                |             |
| 41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂 | 112.50                          | 0.89     | 1.02     | 72.51 ± 1.57 bA  | 1.63      | 79.46 ± 1.69 bA | 35 569.83 bA                   | 5.25 ± 1.85 |
|               | 150.00                          | 0.93     | 0.90     | 76.27 ± 2.54 abA | 1.23      | 84.19 ± 1.20 aA | 36 008.83 abA                  | 6.55 ± 2.25 |

(续表 6)

| 药剂名称          | 有效成分<br>用量/(g/hm <sup>2</sup> ) | 药前病<br>指 | 第 1 次药后 7 d |                | 第 2 次药后 10 d |                | 折合产量/<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 增产率 /%      |
|---------------|---------------------------------|----------|-------------|----------------|--------------|----------------|--------------------------------|-------------|
|               |                                 |          | 病指          | 防效 /%          | 病指           | 防效 /%          |                                |             |
| 41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂 | 187.50                          | 0.87     | 0.77        | 78.47 ± 1.68aA | 1.03         | 86.53 ± 2.28aA | 36 209.00aA                    | 7.13 ± 2.73 |
| 43%氟菌·肟菌酯悬浮剂  | 129.00                          | 1.00     | 0.93        | 76.97 ± 1.99aA | 1.18         | 86.02 ± 2.39aA | 36 154.83aA                    | 6.97 ± 2.18 |
| 空白对照          |                                 | 0.96     | 3.87        |                |              |                | 33 802.67cB                    |             |

注:小写字母和大写字母分别代表5%和1%显著性差异。下表同。

采用试验制备的41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂进行西瓜根结线虫防治试验,结果见表7。在有效成分用量为0.020~0.025 g/株时,所制药剂药后60 d的防效为74.88%~80.89%,与对照药剂拜耳公司41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂的防效相当。

表 7 41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂对西瓜根结线虫的田间药效试验结果

| 药剂                | 有效成分<br>用量/(g/株) | 药后39 d<br>防效/%   | 药后60 d<br>防效/%  |
|-------------------|------------------|------------------|-----------------|
|                   | 0.015            | 70.22 ± 1.94cB   | 65.31 ± 2.80cB  |
| 41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂     | 0.020            | 77.98 ± 2.67bAB  | 74.88 ± 2.92bA  |
|                   | 0.025            | 84.65 ± 2.32aA   | 80.89 ± 2.41aA  |
| 41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂(拜耳) | 0.021            | 80.48 ± 2.63abAB | 78.78 ± 1.26abA |

### 3 结论

通过对润湿分散剂等的筛选,确定了41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂的最优配方。所制样品各项指标符合悬浮剂标准要求,且其药效通过田间药效试验得到验证。所制41.7%氟吡菌酰胺悬浮剂对茄子白粉病和西瓜根结线虫表现出良好的防治效果,其具有广阔的开发、应用前景。

#### 参考文献

[1] 贾忠清, 杨益军, 张波, 等. 氟吡菌酰胺发展概况及趋势[J]. 农药, 2024, 63(9): 625-631.  
 [2] 胡冠麟. 氟吡菌酰胺的应用与开发进展[J]. 现代农药, 2025, 24(1): 42-46.  
 [3] 仇是胜, 柏亚罗. 琥珀酸脱氢酶抑制剂类杀菌剂的研发进展( ) [J]. 现代农药, 2014, 13(6): 1-7; 47.  
 [4] 农业农村部农药检定所. 农药登记数据[DB/OL]. [2025-09-05]. <http://www.chinapesticide.org.cn/zwb/dataCenter>.

(上接第 20 页)

有机磷农药[J]. 色谱, 2022, 40(1): 10-16.

[6] 李嘉欣, 石上梅, 薛健. 有机磷类禁用农药在金银花中的残留状况及风险评估[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(11): 2333-2338.  
 [7] 赵起越, 夏夜, 邹本东. 土壤中有机氯农药的前处理方法[J]. 分析试验室, 2022, 41(10): 1234-1240.  
 [8] 牛建均, 刘春艳, 李开斌, 等. 不同产地5种中药材安全限量研究——农药残留分析[J]. 中国民族民间医药, 2019, 28(9): 14-19.  
 [9] 黄祎雯, 沈斯文, 汪弘康, 等. 农产品中氨基甲酸酯类农药残留检测方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2025(15): 246-255.  
 [10] XU Y L, LI Y K. HPLC-MS analysis for contents of residual carbamate pesticides in a variety of Chinese herbal medicines[J]. Physical Testing and Chemical Analysis (Part B: Chemical Analysis), 2006, 42(11): 877-880.  
 [11] 张燕, 杨钊, 金红宇, 等. UPLC-MS/MS测定中药材中19种氨基甲酸酯农药残留量[J]. 中国药理学杂志, 2011, 46(3): 235-238.  
 [12] 李颖, 王霞, 朱盼盼, 等. 拟除虫菊酯类农药对斑马鱼幼鱼的神经毒性作用研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(7): 210-217.  
 [13] 王莹, 金红宇, 隋海霞, 等. 枸杞中农药残留含量分析及膳食风险

研究[J]. 中国药理学杂志, 2018, 53(3): 182-186.

[14] 许晓辉, 李坚, 吴福祥, 等. 中药配方颗粒中农药残留控制现状与策略[J]. 中国食品药品监管, 2023(5): 76-81.  
 [15] 李浩, 倪龙, 郝博, 等. 2025年版《中华人民共和国药典》一部中成药标准增修订概述[J]. 中国药事, 2025(7): 752-731.  
 [16] 陈黎明, 陈洁, 张晓丹. 气相色谱-串联质谱法结合QuEChERS法快速检测中药中50种农药残留[J]. 中草药, 2023, 54(8): 2596-2606.  
 [17] 朱海华. 中药中农药多残留LC-MS/MS检测方法的研究[D]. 杭州: 浙江中医药大学, 2016.  
 [18] 何芳. 色质联用技术在陕南中药材农药残留检测中的应用[D]. 西安: 陕西师范大学, 2013.  
 [19] 慕朝师, 黄科林, 吴睿, 等. 农药残留测定方法研究进展[J]. 企业科技与发展, 2009(22): 9-14.  
 [20] 胡超, 潘家婧, 徐伊霖, 等. 新“浙八味”中有机氯农药和重金属残留风险评估[J]. 环境科学与技术, 2023, 46(增刊1): 203-209.  
 [21] 王冬伟, 流畅, 周志强, 等. 新型农药残留快速检测技术研究进展[J]. 农药学报, 2019, 21(5/6): 852-864.  
 [22] 易婷. 高效毛细管电泳分离分析几种中药活性成分[D]. 昆明: 云南大学, 2022.