

注干施药后黄山松体内甲维盐含量检测及残留动态分析

孙薇¹, 张立华², 王勇军³, 陈安良³

(1. 浙江省临海市林业技术推广和场圃旅游服务总站, 浙江 临海 317000; 2. 浙江省泰顺县自然资源和规划局, 浙江 泰顺 325500;
3. 浙江农林大学 生物农药高效制备技术国家地方联合工程实验室, 浙江 杭州 311300)

摘要: 注干施药技术是一种主动预防松材线虫病的技术。研究选取了浙江括苍山国家森林公园的黄山松 *Pinus taiwanensis* 为研究对象, 采用注干施药方法明确了 2.3% (W/V) 甲维盐对松材线虫病的预防效果, 采用高效液相色谱测定了注干施药 1 a 和 2 a 后黄山松不同组织部位中的甲维盐的残留量。结果表明, 甲维盐注干施药对黄山松林的松材线虫病防治效果显著, 连续 2 a 预防效果均达到 100%; 此外, 建立了黄山松中甲维盐残留检测方法, 枝干中甲维盐的添加回收率超过 80%, 针叶中甲维盐的添加回收率超过 90%, 甲维盐分析方法满足残留检测要求; 注干后 1 a, 甲维盐在松树主干、侧枝及针叶中均维持着较高的残留浓度, 其中在主干上的残留浓度最高处为 29.95 mg·kg⁻¹, 在主干针叶中的残留浓度为 8.46 mg·kg⁻¹, 第二年时, 残留浓度降低, 但在主干和侧枝内依然维持在 1.00 mg·kg⁻¹ 以上。

关键词: 松材线虫病; 黄山松; 甲维盐; 注干施药; 残留动态

中图分类号: S763.16 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776 (2022) 04-0083-05

Residue Dynamic of Emamectin Benzoate In *Pinus taiwanensis* after Trunk Injection

SUN Wei¹, ZHANG Li-hua², WANG Yong-jun³, CHEN An-liang³

(1. Linhai Forestry Extension & Seedling Nursery Service Station of Zhejiang, Linhai 317000, China; 2. Taishun Natural Resources and Planning Bureau of Zhejiang, Taishun 325500, China; 3. National Joint Engineering Laboratory of Biopesticide Preparation, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: *Pinus taiwanensis* stand in Kuocang Mountain of Zhejiang province were selected on January 31st, 2020 for experiment of trunk injection of Emamectin benzoate (EB) to control against pine wilt disease (PWD) caused by *Bursaphelenchus xylophilus*. In October 2020 and 2021, investigation was made on death rate of pine and EB residue after trunk injection. The result demonstrated that stand treated by injection in 2020 and 2021 had no death of trees, while the control (no injection) had death rate of 5.42% and 9.25%. Analysis on residues of EB in trunk, branch and needle of *P. taiwanensis* after 1 year of trunk injection resulted that the highest residue of EB in the trunk was 29.95 mg/kg, residual in needle was 8.46 mg/kg. In 2021, EB residues decreased, but remained over 1.00 mg/kg the trunk, branch and needle.

Key words: pine wilt disease; *Pinus taiwanensis*; emamectin benzoate; trunk injection; residue

松材线虫病是由松材线虫 *Bursaphelenchus xylophilus* 引起的松属植物 *Pinus* sp. 的一种毁灭性病害, 导致大量松树枯死, 在我国已经造成了严重的经济和生态损失, 是目前最为严重的森林病虫害之一^[1]。松材线虫自然传

收稿日期: 2022-01-10; 修回日期: 2022-03-29

基金项目: 浙江省科技厅重点研发项目 (2019C02023); 临海市“山海计划”农业科技项目 (2020SHJH03)

作者简介: 孙薇, 高级工程师, 从事森林保护研究; E-mail: 562233248@qq.com。通信作者: 陈安良, 研究员, 从事森林保护与农药学研究; E-mail: anlchen@126.com。

播依靠松墨天牛 *Monochamus alternatus* 携带传播, 其生活史主要在松树和松墨天牛体内完成, 松墨天牛的幼虫主要在松树体内活动^[2]。传统的喷粉、喷雾等药剂防治方法, 无法使药剂直接接触到靶标生物, 导致防治效果低下、药剂漂移等问题^[3]。注干施药技术是将药剂有效成分注入树体, 依靠树木蒸腾作用使药剂在树体内扩散分布而发挥药效, 具有施药精准、防治效率高、环境污染小等优点^[4-5]。目前, 注干施药技术已在我国重要生态区和古树名木的松材线虫病防治中得到了较好的应用, 是一种重要的主动预防措施^[3]。

甲维盐, 全称甲氨基阿维菌素苯甲酸盐, 是以阿维菌素 B1 为原基团合成的生物源杀虫剂。与阿维菌素相比, 甲维盐因其较高的水溶性而表现出更为高效的杀虫活性和传导性能^[6]。Takai 等发现甲维盐对松材线虫具有显著的杀线虫活性, 并开发出针对松材线虫病的甲维盐水溶性注干剂, 取得了显著的防治效果^[7-9]。本课题组前期采用 2.3% 甲维盐微乳剂进行注干施药防治松材线虫病, 效果显著^[10-12]。

甲维盐在松树体内的含量和残留, 是其发挥功能的重要前提。当前, 甲维盐在松树体内的分布规律, 尚未有系统研究。本研究测定了甲维盐注干施药后在黄山松 *Pinus taiwanensis* 体内的残留动态, 分析了注干施药后药剂的分布规律, 旨在为注干施药防治技术的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 仪器与药剂

Waters 600 高效液相色谱仪 (美国 Waters 公司); IKA RV10 基本型立式旋转蒸发仪 (广州仪科实验室技术有限公司); 超声波清洗仪 (昆山市超声仪器有限公司); 摇摆式万能高速粉碎机 (温岭市林大机械有限公司); RD1000 树木主干测量仪 (美国激光技术公司)。

95.6% 甲维盐 (emamectin benzoate) 标准品 (佳木斯兴宇生物技术有限公司); 注干施药用甲维盐药剂选用 2.3% (W/V) 甲维盐微乳剂 (浙江钱江生化股份有限公司)。甲醇、乙腈等试剂为色谱纯, 其他试剂均为分析纯, 均购自中国国药集团化学试剂有限公司。

1.2 松树二元材积测算方法

采用华伟平等建立的黄山松立木二元材积模型^[13], 以距地面 1.3 m 处的胸径 (cm) 及株高 (m) 为参数, 计算黄山松材积量 (m^3)。树木胸围采用测树钢围尺量测, 树木株高采用树木主干测量仪或皮尺量测。

1.3 林间注干施药试验

1.3.1 试验地点 研究地点设置在浙江括苍山国家森林公园 (以下简称括苍山) 黄山松林 (地理坐标为 $120^{\circ}56'14''\text{E}$, $28^{\circ}48'41''\text{N}$; 海拔为 900 m), 该地自 2017 年发生松材线虫病, 为疫区。2019 年, 该地松材线虫病发生面积 100 余 hm^2 , 枯死松树 1 000 余株。试验区黄山松生长均一, 平均胸径为 16.7 cm, 密度约为 335 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$, 平均株高为 7.6 m, 平均材积为 0.16 m^3 。

1.3.2 注干施药试验 在括苍山黄山松林区分别选取 2 块林地作为注干施药试验样地和不施药空白对照区, 面积均为 0.72 hm^2 。在注干施药区, 按照每株 50 mL 进行注干施药。按照黄山松材积测算, 有效成分甲维盐的平均施药量为 7.19 $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 。在距地面 30 cm 高处松树主干基部斜向下 45° 方向, 使用电动打孔机打直径 4 ~ 7 mm、深 5 ~ 8 cm 的小孔, 将药品开口注入孔内。于 2020 年 1 月 31 日进行注干施药, 共注干施药 251 株, 空白对照区共 240 株。

1.3.3 防治效果计算 分别于 2020 年 10 月和 2021 年 10 月调查试验林地和对照林地当年松树死亡数量 (死亡松树每年定期全部清理), 计算注干施药处理的预防效果。伐倒试验样地中的死亡松树, 锯取松树靠上部的茎干, 粉碎后采用贝尔曼漏斗法收集松树体内的线虫, 根据松材线虫雌虫尾部钝圆的典型结构判断是否为松材线虫, 从而判断试验区松树死亡原因。预防效果计算公式为:

$$C = (D_c - D_a) / D_c \times 100\%$$

式中, D_c 为对照林地的松树死亡率, D_a 为注干施药防治林区的松树死亡率。

1.4 甲维盐在松树体内的含量测定

1.4.1 松树样品采集 结合伐区作业, 收集试验样本材料。将注干后健康松树伐倒后, 松树主干每隔 1 m 用电锯锯取 0.2 m 厚的松木圆盘备用。松树侧枝沿主干自下往上编号取样, 记录侧枝外围直径 (cm), 每个侧枝每隔 0.5 m 用电锯锯取 0.2 m 厚的松木圆盘备用。松树松针按照侧枝编号进行取样并编号。主干顶梢的松针作为主干松针。在试验区, 注干施药处理组随机取黄山松 3 株, 空白对照处理取 1 株。

1.4.2 样品提取处理 将待测的松树主干、侧枝及松针进行自然晾干, 晾干后粉碎至 100 目。准确称取 10.0 g 样品置于三角瓶中, 加入 50 mL 95% 甲醇 (V/V) 作为提取液, 超声振荡提取 1 h, 抽滤, 用 30 mL 甲醇淋洗残渣, 重复 3 次。合并滤液及甲醇淋洗相, 减压浓缩至干, 用甲醇溶解并定容至 2 mL, 得提取液, 待净化。

1.4.3 样品纯化 采用 ODS 净化小柱进行纯化。选用 5 mL 无菌注射器 (不带针头), 在底部放置脱脂棉, 真空抽气, 依次加入 1 mL 无水硫酸镁和 3 mL ODS 填料。先用 5 mL 甲醇/水 (95 : 5, V/V) 活化平衡净化小柱, 再将提取液转入柱中上样, 加入甲醇至 5 mL, 开始淋洗, 待液面降至 3 mL 时立即开始收集淋洗液至 10 mL 容量瓶中, 用甲醇/水 (95 : 5, V/V) 分次淋洗, 每次约 1 mL, 收集洗脱液至 10 mL, 得净化液。

1.4.4 HPLC 检测条件 采用 Waters XBridge C18 色谱柱 (4.6 mm × 250 mm, 5 μm); 检测波长为 244 nm; 流动相为 V (乙腈) : V (甲醇) : V [水 (含 0.1% 三乙胺)] = 50 : 42 : 8; 流速为 1 mL·min⁻¹; 进样量为 20 μL; 柱温为 25℃。

1.4.5 甲维盐 HPLC 标准曲线 用甲醇配制 1 000 mg·L⁻¹ 的甲维盐标准品母液, 稀释成 0.5、1.0、5.0、10.0 和 20.0 mg·L⁻¹ 的标准溶液。以甲维盐质量浓度为横坐标, 高效液相色谱测定响应值为纵坐标建立标准曲线。

1.4.6 甲维盐添加回收试验 在黄山松侧枝和针叶制备样中, 分别添加甲维盐标准品, 添加水平分别为 0.1、0.5、1.0、2.0、5.0 和 10.0 mg·kg⁻¹, 进行添加回收试验, 计算甲维盐的回收率。

1.5 统计分析

所有数据采用 SPSS v.19 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 林间注干施药防治效果

注干施用甲维盐后, 试验区松材线虫病发生调查结果见表 1。由表 1 表明, 甲维盐注干施药对黄山松林的松材线虫病防治效果显著。2020 年 10 月, 注干处理区黄山松无松树死亡, 预防效果达到 100%。2021 年 10 月, 黄山松林试验区, 注干施药处理预防效果保持 100%。空白对照区发病严重, 每年 4 月前清理死树, 2020 年和 2021 年, 松树死亡率分别达到 5.42% 和 9.25%。所有死亡松树体内, 都分离获得了松材线虫, 判断为松材线虫病致死松树。

表 1 甲维盐注干施药对黄山松松材线虫病的预防效果
Table 1 Effect of trunk injection of emamectin benzoate on pine wilt disease on *P. taiwanensis*

调查时间 (年.月)	死亡率/%		预防效果/%
	注干施药处理	空白对照	
2020.10	0	5.42	100
2021.10	0	9.25	100

2.2 甲维盐标准曲线及添加回收率

甲维盐标准样品检测标准曲线见图 1。在 0.1 ~ 20.0 mg·L⁻¹ 浓度范围内, 甲维盐质量浓度与 HPLC 峰面积呈良好的线性关系, 得出回归方程为 $y = 12\,546x - 1\,051$, 相关系数 R^2 为 0.999。采用净化小柱进行纯化后, 添加回收试验结果见表 2。由表 2 表明, 在 0.1 ~ 10.0 mg·kg⁻¹ 6 个添加水平下, 甲维盐在黄山松枝干的回收率在 81.18% ~ 86.41%, 相对标准偏差在 1.33% ~ 5.83%。甲维盐在针叶中的回收率较高, 为 92.81% ~ 94.07%, 相对标准偏差为 1.39% ~ 3.48%。根据添加回收试验结果, 甲维盐的最低添加水平确定定量限 (LOQ) 设为 0.1 mg·kg⁻¹。

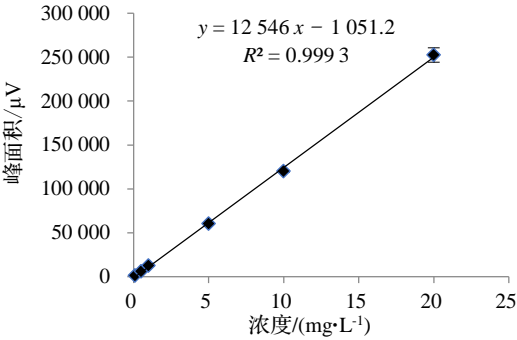


图 1 甲维盐检测标准曲线

Figure 1 Standard curve of emamectin benzoate by HPLC

表 2 黄山松枝干和针叶中甲维盐添加回收率

Table 2 Recovery of emamectin benzoate in truck, branch and needle of <i>P. taiwanensis</i>					
添加水平/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	回收率/%		添加水平/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	回收率/%	
	枝干	针叶		枝干	针叶
0.1	81.18 ± 2.83	94.07 ± 1.98	2.0	84.51 ± 1.61	92.81 ± 3.27
0.5	83.62 ± 1.33	93.84 ± 1.39	5.0	83.79 ± 5.83	93.86 ± 2.04
1.0	86.41 ± 2.99	93.07 ± 3.48	10.0	85.67 ± 2.76	93.36 ± 3.11

2.3 注干施药后甲维盐在黄山松体内的分布动态

采用 HPLC 方法, 测定了注药后不同时间甲维盐在树体内的残留量 (表 3), 在注干施药当年, 甲维盐在松树体内维持着较高的残留浓度, 其中在主干上的残留浓度较高, 表现出在注射点附近浓度较高, 随着距注射点距离的增加总体呈下降趋势。甲维盐最高残留浓度出现在距注入孔 2 m 处, 残留浓度为 $29.95 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 最低残留浓度出现在距注入孔 5 m 处, 残留浓度为 $8.43 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 主干针叶中的残留浓度为 $8.46 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。甲维盐在侧枝上的分布从分支处到顶部表现出下降的趋势, 第 1 侧枝中残留浓度从 $15.07 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 下降到 $5.92 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 第 1 侧枝针叶中残留浓度为 $3.53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 第 2 侧枝中残留浓度从 $11.20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 下降到 $3.02 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 第 2 侧枝针叶中残留浓度为 $3.12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。空白对照松树主干、枝和针叶组织内均未检测到甲维盐。

2021 年 10 月, 即注干施药翌年, 松树体内仍有甲维盐残留, 和 2020 年相比, 残留浓度均有降低。甲维盐浓度随着分布点到注射点距离的增加逐渐下降, 主干中的平均残留浓度为 $2.95 \sim 5.38 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 主干针叶中的平均残留浓度为 $1.12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 第 1 侧枝中的平均残留浓度为 $1.36 \sim 2.41 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 第 1 侧枝针叶中的平均残留浓度为 $0.53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 第 2 侧枝中的平均残留浓度为 $1.02 \sim 2.20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 第 2 侧枝针叶中的平均残留浓度为 $0.46 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3 结论与讨论

甲维盐注干施药技术在国内外防治松材线虫病中得到了成功的应用^[3,9-10], 但甲维盐注干施药后的残留分布动态尚未有系统研究。黄山松为松材线虫易感树种^[14]。本研究以浙江括苍山的黄山松为研究对象, 跟踪测定了甲维盐注干施药后对松材线虫病的防治效果及在松树体内的残留动态分布。甲维盐注干施药后黄山松在 2 年内免受松材线虫的侵染, 具有显著的防治效果, 与在马尾松 *P. massoniana* 上的试验效果一致^[10]。甲维盐注干后, 可在主干、侧枝以及松针组织内检测得到较高浓度的甲维盐残留, 并在 2 a 内维持残留药效。研究结果为甲维盐注干施药防治松材线虫病提供了理论基础。

甲维盐残留含量测定主要包括样品前处理和含量测定两个环节^[15]。甲维盐含量测定, 通常采用液相色谱-荧光法^[16]、柱前衍生-高效液相色谱法^[17]以及反相 HPLC-910UVD 法^[18]等, 检测灵敏度均较高。样品的前处理方式往往是影响农药残留含量测定的主要因素^[19]。目前, 针对松木等硬质植物样品的提取及纯化的方法较少。李长强等测定了松木烘干粉碎后, 阿维菌素添加回收率为 65% ~ 75%, 最低检测质量浓度为 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ^[20]。本研

表 3 注干施药后甲维盐在黄山松的残留浓度

Table 3 Residue of emamectin benzoate in <i>P. taiwanensis</i> after trunk injection				
取样部位	处理	取样位置	甲维盐残留浓度/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	
			2020 年	2021 年
主干	注干施药	距离注孔点 1 m	20.62 ± 3.01	2.95 ± 0.56
		距离注孔点 2 m	29.95 ± 2.17	5.29 ± 0.14
		距离注孔点 3 m	18.38 ± 1.19	5.38 ± 0.22
		距离注孔点 4 m	14.14 ± 2.09	3.47 ± 0.15
		距离注孔点 5 m	8.43 ± 0.81	3.77 ± 0.77
		针叶	8.46 ± 0.49	1.12 ± 0.11
	空白对照	主干、枝、针叶	—	—
第 1 侧枝	注干施药	距离分枝处 1 m	15.07 ± 1.37	2.41 ± 0.16
		距离分枝处 2 m	10.02 ± 0.44	1.36 ± 0.16
		距离分枝处 3 m	7.42 ± 0.46	1.42 ± 0.46
		距离分枝处 4 m	5.92 ± 0.79	1.59 ± 0.24
		针叶	3.53 ± 0.09	0.53 ± 0.09
		主干、枝、针叶	—	—
第 2 侧枝	注干施药	距离分枝处 1 m	11.20 ± 1.82	2.20 ± 0.20
		距离分枝处 2 m	6.26 ± 0.94	1.59 ± 0.66
		距离分枝处 3 m	3.82 ± 0.17	1.82 ± 0.17
		距离分枝处 4 m	3.02 ± 0.52	1.02 ± 0.52
		针叶	3.12 ± 0.30	0.46 ± 0.28
		主干、枝、针叶	—	—

注: — 表示未检测到甲维盐。

究采用松木烘干粉碎后,用无水硫酸镁和 ODS 填料进行净化处理,甲维盐在松木枝干中的回收率在 81% ~ 86%, 相对标准偏差较小,在针叶中的回收率在 92% ~ 94%,最低添加水平的定量限(LOQ)为 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。本研究采用的前处理方法显著提高了甲维盐的回收率,可用于甲维盐在硬质植物材料中的残留测定。

注干施药后甲维盐残留含量动态是分析药剂发挥药效及时效的重要依据^[7]。本研究在浙江括苍山黄山松林开展了注干施药后甲维盐残留动态的分析,结果发现,在注干施药当年,甲维盐在松树体内维持着较高残留浓度,其中在主干上的残留浓度高于在侧枝内的残留浓度,针叶内含有一定浓度的甲维盐。注干施药后第二年,甲维盐在主干、枝干以及针叶中依然维持高于松材线虫致死中浓度^[10],进一步解释了在注干施药第二年,试验区松林的松材线虫预防效果保持 100%。本研究结果为松材线虫病主动预防和松材线虫病综合防控提供了依据,也将为药剂在森林环境中的衰退规律及对生态的影响提供基础。下一步,将针对药剂种类、松树品种以及地理气候条件等因素对药剂的残留分布动态及防控效果的影响开展研究。

参考文献:

- [1] 王曦茁,曹业凡,汪来发,等. 松材线虫病发生及防控现状[J]. 环境昆虫学报, 2018, 40(2): 256 - 267.
- [2] 理永霞,张星耀. 松材线虫病致病机理研究进展[J]. 环境昆虫学报, 2018, 40(2): 231 - 241.
- [3] 叶建仁. 松材线虫病在中国的流行现状、防治技术与对策分析[J]. 林业科学, 2019, 55(9): 1 - 10.
- [4] 唐光辉,陈安良,冯俊涛,等. 树干注药技术研究进展[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(4): 117 - 120.
- [5] 王慧瑜,赵玉安,贾耀军. 树干注射施药技术研究概况[J]. 农药学报, 2005, 7(2): 104 - 108.
- [6] 王龙龙,刘钰,崔蕊蕊,等. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐研究开发现状与展望[J]. 农药, 2015, 54(6): 394 - 399.
- [7] TAKAI K, SOEJIMA T, SUZUKI T, et al. Emamectin benzoate as a candidate for a trunk-injection agent against the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* [J]. Pest Manag Sci, 2000, 56(10): 937 - 941.
- [8] TAKAI K, SOEJIMA T, SUZUKI T, et al. Development of a watersoluble preparation of emamectin benzoate and its preventative effect against the wilting of pot-grown pine trees inoculated with the pine wood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* [J]. Pest Manag Sci, 2001, 57(5): 463 - 466.
- [9] TAKAI K, SUZUKI T, KAWAZU K. Development and preventative effect against pine wilt disease of a novel liquid formulation of emamectin benzoate [J]. Pest Manag Sci, 2003, 59(3): 365 - 370.
- [10] 潘伟华,吴继来,贾进伟,等. 甲维盐注干施用对松材线虫病的防治效果分析[J]. 中国森林病虫, 2014, 33(6): 41 - 44.
- [11] 李桥,张绍勇,仇辉康,等. 6 种药剂林间注干施药防控松材线虫效果分析[J]. 浙江农林大学学报, 2016, 33(4): 718 - 723.
- [12] 张欣伟,韩群琦,汪天娜,等. 注干用 10%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐可溶粒剂的研制及对松材线虫病的防治效果[J]. 农药学报, 2019, 21(4): 538 - 544.
- [13] 华伟平,丘甜,盖新敏,等. 基于交叉建模检验的黄山松二元材积模型建模技术[J]. 武夷学院学报, 2015, 34(6): 13 - 17.
- [14] 蒋丽雅,江顺利,汪振宇,等. 黄山松自然状态下感染松材线虫病的初步调查[J]. 安徽农业大学学报, 2006, 33(1): 5 - 8.
- [15] 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.
- [16] 赵莉,谢显传,占绣萍. 高效液相色谱-荧光法同时检测蔬菜中阿维菌素、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和伊维菌素的多残留量[J]. 中国农业科学, 2010, 43(16): 3467 - 3472.
- [17] 王立君,杨挺,赵健,等. 柱前衍生-高效液相色谱法测定蔬菜中甲氨基阿维菌素的残留[J]. 现代农药, 2007, 6(5): 32 - 34.
- [18] 王小丽,王素利,陈振山,等. 黄瓜及其栽培土壤中甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的残留动态研究[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(S1): 307 - 310.
- [19] 汪志威,周思齐,李非里,等. 实验室农药残留检测的测量不确定度评定——以 GB 23200.8—2016 测定草莓中 4 种农药残留为例[J]. 农药学报, 2020, 22(1): 105 - 114.
- [20] 李长强,叶建仁. 不同剂型阿维菌素对松材线虫毒力及施用残留初探[J]. 植物检疫, 2020, 34(6): 14 - 18.