

黏质沙雷氏菌 *Serratia marcescens* Ha1 对玉米田 杂草的室内除草活性测定

李鑫¹, 乔欣¹, 杨娟², 杨毅清¹, 马树杰¹, 张利辉^{1*}, 董金皋¹

(1. 河北农业大学植物保护学院, 保定 071000; 2. 河北科技师范学院农学与生物科技学院, 秦皇岛 066600)

摘要 为了寻找高效安全的微生物除草剂,本研究以天然存在的黏质沙雷氏菌 Ha1 菌株为试验材料,采用发酵液喷施法和颗粒剂封闭法(填埋法和撒施法)对玉米田常见杂草进行了室内活性测定。发酵液喷施法、颗粒剂填埋法和撒施法对杂草的鲜重防效分别为 47.88%, 70.63% 和 76.82%。发酵液喷施法和颗粒剂封闭法均能有效防除杂草,颗粒剂封闭法优于发酵液喷施法,颗粒剂撒施法优于填埋法。

关键词 黏质沙雷氏菌; 除草活性; 鲜重防效

中图分类号: S 482.7 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019581

Determination of indoor herbicidal activity of *Serratia marcescens* Ha1 in corn fields

LI Xin¹, QIAO Xin¹, YANG Juan², YANG Yiqing¹, MA Shujie¹, ZHANG Lihui^{1*}, DONG Jingao¹

(1. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 2. College of Agronomy and Biotechnology, Hebei Normal University of Science and Technology, Qinhuangdao 066600, China)

Abstract In order to find efficient and safe microbial herbicides, indoor activity of the naturally occurring *Serratia marcescens* Ha1 strain on common weeds in maize field by fermentation broth spray method and granule sealing method (landfill method and spreading method). The fresh weight control efficacies of fermentation broth spray method, granule filling method and spreading method on weeds were 47.88%, 70.63% and 76.82%, respectively. Both the fermentation liquid spraying method and the granule sealing method can effectively prevent weeds. The granule sealing method is superior to the fermentation liquid spraying method, and the granule spraying method is superior to the landfill method.

Key words *Serratia marcescens*; herbicidal activity; fresh weight control

自 20 世纪 70 年代化学除草剂大面积推广以来,我国就逐渐形成了以化学防除为主的杂草防除技术体系^[1]。虽然化学除草剂在杂草防治中具有诸多优势,但其长期使用所带来的药害、抗性、环境和药物残留等问题也不容忽视^[2]。为了保障农业生态环境的可持续发展,农业部提出到 2020 年化学农药使用量“零增长”计划,广大研究学者逐渐把目光转向了资源丰富、环境友好的微生物除草剂。截至 2016 年底,我国已经登记的生物源农药的有效成分有 115 个,产品有 3 764 个,分别约占整个农药登记的 17% 和 9.9%。其中,已登记的微生物农药有效成分就有 42 个,产品 495 个,主要涉及细菌、真菌、

病毒、原生动物等不同类别,产品数量较多的品种主要包括苏云金杆菌、枯草芽孢杆菌、蜡质芽孢杆菌、木霉菌、白僵菌、绿僵菌、棉铃虫核型多角体病毒等^[3]。目前,微生物农药的推广使用在农业生产的病虫害防治上已经略显成效。

黏质沙雷氏菌 *Serratia marcescens* 又称灵杆菌,是一种常见革兰氏阴性菌,其在生长过程中产生的次生代谢产物——灵菌红素在植物的病虫害防治方面发挥了重要作用^[4]。在害虫生物防治上,黏质沙雷氏菌是一种重要的昆虫病原细菌,傅慧静^[5]研究了黏质沙雷氏菌的木质素降解功能以及与寄主松墨天牛 *Monochamus alternatus* Hope 的协同关系;

收稿日期: 2019-10-28 修订日期: 2020-01-15

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201304-5, 2018YFD0200607); 国家现代玉米产业技术体系建设专项(CARS-02)

* 通信作者 E-mail: zhanglihui@hebau.edu.cn

牛洪涛等^[6]报道了黏质沙雷氏菌 S-JS1 可以降低灰飞虱 *Laodelphax striatellus* 对杀虫剂的抵抗能力;傅仁杰等^[7]研究发现黏质沙雷氏菌 SM1 菌株能够对林木害虫白蚁起到毒杀作用。在植物病害防治方面,黏质沙雷氏菌对多种病害有明显的抑制作用,李鹏鹏^[8]发现黏质沙雷氏菌 FS14 对植物病害真菌尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporum* 和核盘菌 *Sclerotinia sclerotiorum* 等有很强的拮抗作用;白腾飞等^[9]发现黏质沙雷氏菌 YD25 菌株对尖孢镰刀菌、小麦根腐病菌 *Bipolaris sorokiniana*、西瓜腐烂病菌 *Colletotrichum lagenarium*、辣椒炭疽病菌 *Colletotrichum capsici*、立枯丝核菌 *Rhizoctonia solani* 等具有较好的抑制作用;黏质沙雷氏菌 CFFSUR-B2 的次生代谢产物灵菌红素及几丁质酶可以抑制球腔菌 *Mycosphaerella* 孢子的萌发以及菌管的形成^[10]。还有少量文献报道黏质沙雷氏菌能够抑制植物生长,黏质沙雷氏菌 Ha1 菌株的代谢产物粗提物对马唐 *Digitaria sanguinalis* 有一定的抑制作用^[11],部分黏质沙雷氏菌及 *S. proteamaculan* 菌株能引起植物超敏反应^[12],其次生代谢产物灵菌红素也具备一定的除藻活性^[13-14]。

本试验在室内条件下测定了黏质沙雷氏菌 Ha1 菌株发酵液和活体颗粒剂对 6 种玉米田常见杂草的除草活性,以期为今后筛选除草活性物质和开发新型微生物农药提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试菌株:黏质沙雷氏菌 Ha1 菌株,由中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心提供。

供试杂草:马唐 *Digitaria sanguinalis*、虎尾草 *Chloris virgata*、反枝苋 *Amaranthus retroflexus*、稗草 *Echinochloa crus-galli*、苘麻 *Abutilon theophrasti*、牵牛 *Ipomoea nil*,以上杂草种子均于 2017 年 9 月在保定市南堤路采集。

固体 LB 培养基:胰蛋白胨 10 g,酵母膏 5 g,琼脂粉 15 g,氯化钠 5 g,蒸馏水定容至 1 000 mL,用 NaOH 将 pH 调至 7~7.5。

发酵液培养基:不添加琼脂粉的液体 LB 培养基。

试验药剂:蛋白胨,北京双旋微生物培养基制品厂;酵母膏,北京太阳生物科技有限公司;高岭土,保定化轻公司;粗面粉,保定江城面粉厂。

试验仪器:高温湿热灭菌锅,北方华粤贸易有限

公司;恒温恒湿培养箱,宁波东南仪器有限公司;恒温振荡器,湿法制粒机,北京开创同和科技发展有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 菌种活化

将保存在 -80℃ 冰箱中的黏质沙雷氏菌 Ha1 菌株的冻干菌粉接种到固体 LB 培养基上,放入温度为 28℃,湿度为 24% 的恒温恒湿箱中培养 48 h,待长出单菌落后备用。

1.2.2 菌悬液和发酵液的制备

用接种针挑取固体培养基上的 Ha1 菌株单菌落接入 100 mL 灭菌的液体 LB 培养基中,在温度为 30℃,转速为 160 r/min 的恒温振荡培养箱培养 48 h,作为菌悬液。

取 1 mL 培养 48 h 的菌悬液放入 150 mL 灭菌的液体 LB 培养基中,在温度为 30℃,转速为 160 r/min 的恒温振荡培养箱中培养 72 h,作为发酵液。

1.2.3 发酵菌数的测定

平板计数法:取 0.1 mL 待测菌液涂布于固体 LB 培养基上,培养 36 h 后,测定单菌落数目。

1.2.4 颗粒剂的制备

将 Ha1 发酵液用无菌水进行梯度稀释($10^{-1} \sim 10^{-8}$),之后分别吸取 0.1 mL 不同浓度的发酵液均匀涂布在固体 LB 培养基上,置于培养箱中培养,观察并记录菌落生长情况,找出制作颗粒剂最适的发酵液浓度,即 10^{10} cfu/mL。将粗面粉和高岭土置于 171℃ 高温干热灭菌 3 h,待其冷却后,取 400 g 粗面粉,200 g 高岭土放入白瓷盘内充分混合,再向内缓慢加入 400 mL 培养了 24 h,含 10^{10} cfu/mL 的黏质沙雷氏菌发酵液,充分混合制成生面团。将制作好的生面团放入湿法制粒机中,挤压制造成颗粒剂,自然晾干后装入自封袋中,在 4℃ 条件下保存备用。

1.2.5 供试杂草的培养

将颗粒饱满、无损伤的马唐、反枝苋、稗草、虎尾草、牵牛、苘麻种子进行催芽。各取 30~50 粒上述杂草种子置于培养皿中,加入适量的 1.5% 次氯酸钠消毒 7 min,倒掉次氯酸钠,用灭菌的蒸馏水冲洗 3 次,最后将消毒的杂草种子放入铺有灭菌滤纸片的培养皿中,加入适量清水浸没种子,置于光照培养箱中,待种子发芽后备用。在长×宽×高为 7 cm×7 cm×8 cm 的小花盆中放入 30 g 左右的蛭石,将盛有蛭石的小花盆放到长×宽×高为 32 cm×45 cm

×15 cm 的塑料盒中,在塑料盒中加入约 3 L 自来水,待小花盆中的蛭石浸湿后用镊子点种杂草种子,每个小花盆中均匀埋入 10 粒出芽整齐的种子,深度约为 1 cm。将塑料盒用保鲜膜封口,置于恒温恒湿培养箱中培养,培养条件为温度 25℃,光周期 L//D=12 h//12 h,相对湿度 75%。

1.2.6 Ha1 菌株发酵液的除草活性测定

将发酵 72 h 的黏质沙雷氏菌菌液进行 121℃ 灭菌和不灭菌两种处理。取 2 mL 不同处理的菌液均匀地喷洒到 2~3 叶期的马唐、稗草、反枝苋、虎尾草、苘麻和牵牛的茎和叶片上,设置清水处理作为空白对照,每个处理设 4 组重复。7 d 后观察杂草茎和叶片的受害症状并测量鲜重,根据以下公式计算鲜重防效。

$$\text{鲜重防效} = \frac{(\text{对照组鲜重} - \text{处理组鲜重})}{\text{对照组鲜重}} \times 100\%$$

1.2.7 Ha1 菌株活体颗粒剂的除草活性测定

颗粒剂埋法:将制备好的颗粒剂与灭菌蛭石按照体积比 6:10 的比例搅拌均匀,每个小花盆内装入 48 g 颗粒剂与蛭石的混合物,即每个小花盆内含有 18 g 颗粒剂和 30 g 灭菌蛭石,然后放入塑料盒中,加入 3 L 自来水,待蛭石充分浸湿后,每个小花盆内均匀点种 10 粒已发芽的杂草种子。每个处理设 4 次重复,设置无活体颗粒剂的蛭石种植杂草作为空白对照,待空白对照杂草生长至 2~3 叶期后测量鲜重防效。

颗粒剂撒施法:在每一颗杂草种子周围撒施 0.05 g 颗粒剂,每个处理设 4 次重复,设置无活体颗粒剂蛭石种植的杂草作为空白对照。待空白对照杂草生长至 2~3 叶期时测量鲜重防效,鲜重防效计算公式同 1.2.6。

1.2.8 数据分析

采用 Microsoft Excel 软件和 DPS 软件进行数据整理和差异显著性方差分析。

2 结果与分析

2.1 Ha1 菌株发酵液的除草活性测定

Ha1 菌株发酵液茎叶喷雾处理的杂草 3~5 d 后出现萎蔫失绿和干枯等症状。未灭菌处理与灭菌处理的黏质沙雷氏菌 Ha1 菌株发酵液对供试的 6 种玉米田常见杂草的平均防效分别为 47.88% 和 47.42%, 差异并不显著(表 1)。未灭菌处理的 Ha1 菌株发酵液对反枝苋、马唐、苘麻的防效分别为 75.55%、62.10%、52.67%;灭菌处理的 Ha1 菌株发酵液对反枝苋、马唐、苘麻的防效分别为 68.36%、50.18%、55.72%。对 Ha1 菌株发酵液对杂草鲜重的防效进行方差分析得出(表 2),未灭菌和灭菌两种处理组间,处理组内亚组间差异显著水平均大于 0.05,说明本试验处理组间以及处理组内各亚组间差异均不显著。本试验测定的 6 种玉米田常见杂草对黏质沙雷氏菌 Ha1 菌株发酵液的敏感性依次为:反枝苋、马唐、苘麻、牵牛、稗草和虎尾草。

表 1 Ha1 菌株发酵液对杂草的鲜重防效¹⁾

Table 1 Fresh weight control effect of Ha1 strain fermentation broth on weeds

处理 Treatment	鲜重防效/% Control efficacy on fresh weight						平均防效/% Average control efficacy
	稗草 <i>Echinochloa crus-galli</i>	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	牵牛 <i>Ipomoea nil</i>	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	
未灭菌 Not sterilized	26.00 bB	75.55 aA	52.67 bA	47.16 aA	23.83 bA	62.10 aA	47.88 aA
灭菌 Sterilized	37.66 aA	68.36 bB	55.72 aA	42.38 bA	30.24 aA	50.18 bB	47.42 aA

1) 表中数据为平均值±标准差,同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著;不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著。下同。
Data in the table are mean±standard deviation. Different lowercase letters and uppercase letters after data in the same column indicate significant difference and highly significant difference at the levels of 0.05 and 0.01, respectively. The same applies below.

表 2 Ha1 菌株发酵液对杂草鲜重防效的方差分析

Table 2 Variance analysis of the efficacy of Ha1 strain fermentation broth on fresh weight of weeds

变异来源 Variation source	平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	显著水平 Significant level
处理(组)间 Between groups	2.553 0	1	2.553 0	0.437 8	0.532 8
组内亚组间 Intra-group	34.989 4	6	5.831 6	0.019 3	0.999 9
处理内 Within group	12 058.502 8	40	301.462 6		
总变异 Total variation	12 096.045 1	47			

2.2 Ha1 菌株活体颗粒剂的除草活性测定

活体颗粒剂填埋法和撒施法处理的杂草,在对照组杂草生长至 2~3 叶期时,表现为长势弱小,出现烂根症状并散发出恶臭的气味。颗粒剂撒施法和填埋法对杂草鲜重的平均防效分别为 76.82% 和 70.63%(表 3),颗粒剂撒施法对杂草的鲜重防效要优于颗粒剂填埋法。颗粒剂撒施法和填埋法对马唐、反枝苋和苘麻均有较强的抑制作用,撒施法对马唐、反枝苋和苘麻的鲜

重防效分别是 91.74%、91.47% 和 74.32%,填埋法对马唐、反枝苋和苘麻的鲜重防效分别是 88.91%、89.76% 和 69.88%。对 Ha1 菌株活体颗粒剂对杂草鲜重的防效进行方差分析得出(表 4),填埋法和撒施法两种处理组间差异显著水平为 0.000 1,小于 0.05,说明填埋法和撒施法对杂草鲜重的防效差异显著。处理组内亚组间的差异显著水平为 0.999 9,大于 0.05,说明处理组亚组间的差异不显著。

表 3 Ha1 菌株活体颗粒剂对杂草的鲜重防效

Table 3 Fresh weight control effect of Ha1 strain living granules on weeds

处理 Treatment	鲜重防效/% Control efficacy on fresh weight						平均防效/% Average control efficacy
	稗草 <i>Echinochloa crus-galli</i>	反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	苘麻 <i>Abutilon theophrasti</i>	牵牛 <i>Ipomoea nil</i>	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	
填埋法 Landfill	67.62 bB	89.76 bB	69.88 bB	45.16 bB	62.43 bB	88.91 bB	70.63 bB
撒施法 Granule spraying	73.11 aA	91.47 aA	74.32 aA	58.04 aA	72.24 aA	91.74 aA	76.82 aA

表 4 Ha1 菌株活体颗粒剂对杂草鲜重防效的方差分析

Table 4 Variance analysis of the efficacy of Ha1 strain live granules on weed fresh weight

变异来源 Variation source	平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F 值 F value	显著水平 Significant level
处理(组)间 Between group	459.591 4	1	459.591 4	308.518 4	0.000 1
组内亚组间 Intra-group	8.938 0	6	1.489 7	0.006 6	0.999 9
处理内 Within group	9 053.620 8	40	226.340 5		
总变异 Total variation	9 522.150 2	47			

3 结论与讨论

本研究采用两种施药方法测定了黏质沙雷氏菌 Ha1 菌株对杂草的除草活性。研究表明黏质沙雷氏菌 Ha1 菌株对玉米田杂草反枝苋、马唐、苘麻、牵牛、稗草、虎尾草均有一定的防除作用。活体颗粒剂对杂草的防效优于菌株发酵液茎叶喷雾法,原因可能是黏质沙雷氏菌在杂草上的作用部位是根部,杂草的茎部对其不敏感;还有可能是因为活体颗粒剂相对于菌株发酵液添加了多种助剂和供菌体存活营养成分,从而使菌株存活率更高、持效期更长^[15]。目前,黏质沙雷氏菌 Ha1 菌株的除草作用机制和剂型是否会对其除草活性起到增效作用还不明确,有待进一步研究。活体颗粒剂撒施法对杂草的鲜重防效优于填埋法,分析原因可能是撒施法菌株可以直接发挥作用,同时菌株受根际土壤微生物的影响较小,而填埋法菌株还需透过土壤才能作用于杂草根部,还可能与各种根际土壤微生物发生拮抗等作用^[16],减缓或降

低药效。本试验只采用了室内盆栽法测定了 Ha1 菌株的除草活性,而微生物受气候、土壤、杂草种群等外界因素影响较大,因此还需要进行田间试验来进一步验证 Ha1 菌株的除草活性。

随着现代绿色农业的发展,化学药剂防治病虫害的弊端日益显现,生物防治逐渐成为综合治理的重要措施之一。众多研究表明,黏质沙雷氏菌是一种重要的生防菌,它在农业生产的病虫害防治中效果显著,展现出了良好的发展前景^[17]。虽然近年来微生物农药的使用量和产量均有所上升,但是其在研发和农业应用上还存在着一些不可避免的问题,如生防制剂的存储期和货架期短于化学制剂,药效易受周围环境因素影响,价格高等。随着微生物农药新产品、新剂型配方的研发与应用方法的不断完善,上述问题也将逐步得到解决。在实现除草剂的减量控害、农产品提质增效,保障农产品生产安全、产品质量安全和生态环境安全上,天然存在的黏质沙雷氏菌 Ha1 菌株及其生物制剂具有广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 强胜. 我国杂草学研究现状及其发展策略[J]. 植物保护, 2010, 36(4):1-5.
- [2] 于文莹, 马婧, 杨系玲, 等. 茎点霉属菌株 HF-01 作为防治双子叶杂草的微生物除草剂初探[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2018, 146(3):5-13.
- [3] 袁善奎, 王以燕, 师丽红, 等. 我国生物源农药标准制定现状及展望[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(1):1-7.
- [4] GRIMONT F, GRIMONT P A D. The genus *Serratia* [M]. New York:Springer, 2006: 221-248.
- [5] 傅慧静. 松墨天牛肠道细菌多样性和黏质沙雷氏菌木质素降解特性的研究[D]. 福州:福建农林大学, 2017.
- [6] 牛洪涛, 肖李俊杰, 王娜, 等. 黏质沙雷氏菌 S-JS1 与 5 种杀虫剂对灰飞虱的联合作用及该菌对灰飞虱相关酶活性的影响[J]. 农药学学报, 2018, 20(2):185-191.
- [7] 傅仁杰, 祁雪连, 丰凯, 等. 一株分离自黑翅土白蚁的黏质沙雷氏菌的鉴定及特性[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(1):80-86.
- [8] 李鹏鹏. 黏质沙雷氏菌 FS14 全基因组测序分析及其 VI 型分泌系统翻译后调控蛋白和免疫蛋白的晶体结构[D]. 南京:南京农业大学, 2015.
- [9] 白腾飞, 刘月芹. 沙雷氏菌抗生性次级代谢产物合成机制[J]. 微生物学杂志, 2017, 37(4):121-125.
- [10] GUTIÉRREZ-ROMÁN M I, HOLGUÍN-MELÉNDEZ F, DUNN M F, et al. Antifungal activity of *Serratia marcescens* CFFSUR-B2 purified chitinolytic enzymes and prodigiosin against *Mycosphaerella fijiensis*, causal agent of black sigatoka in banana (*Musa* spp.) [J]. BioControl, 2015, 60(4): 565-572.
- [11] YANG Juan, WANG Wei, YANG Peng, et al. Isolation and identification of *Serratia marcescens* Ha1 and herbicidal activity of Ha1 'pesta' granular formulation [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(7): 1348-1355.
- [12] 卢青青. 灵菌红素与太湖土著藻毒素降解菌协同控藻作用研究[D]. 南京:东南大学, 2016.
- [13] 刘伯雅, 魏东芝, 鲁思然, 等. 灵菌红素对有害藻类的除藻活性研究[J]. 中国环境科学, 2010, 30(4):477-482.
- [14] LAKSO J U, STARR M P. Comparative injuriousness to plants of *Erwinia* spp. and other enterobacteria from plants and animals [J]. Journal of Applied Microbiology, 1970, 33(4):16.
- [15] 李超峰. 苏云金芽孢杆菌杀虫活性的增效机制研究进展[J]. 生物技术进展, 2018, 43(1):14-20.
- [16] 马金凤, 刘雪儿, 杨成德, 等. 青海省高寒草地青藏苔草根围土壤细菌拮抗功能评价及鉴定[J]. 草原与草坪, 2019, 39(1): 69-74.
- [17] 张学武. 试论微生物制剂在果树害虫防治中的应用与未来发展前景[J]. 现代园艺, 2018(1):117-118.
- (责任编辑: 杨明丽)
-
- (上接 281 页)
- [3] WANG K Y, LIU T X, JIANG X Y, et al. Cross-resistance of *Aphis gossypii* to selected insecticides on cotton and cucumber [J]. Phytoparasitica, 2001, 29(5): 393-399.
- [4] 邓鸿飞, 桑晓清, 周利娟. 植物源次生代谢物质的杀虫作用机制[J]. 世界农药, 2011, 33(3): 17-21.
- [5] 陈澄宇, 康志娇, 史雪岩, 等. 昆虫对植物次生物质的代谢适应机制及其对昆虫抗药性的意义[J]. 昆虫学报, 2015, 58(10): 1126-1139.
- [6] UL HASSAN M N, ZAINAL Z, ISMAIL I. Green leaf volatiles: biosynthesis, biological functions and their applications in biotechnology [J]. Plant Biotechnology Journal, 2015, 13(6): 727-739.
- [7] HORI M. Antifeeding, settling inhibitory and toxic activities of labiate essential oils against the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) [J]. Applied Entomology and Zoology, 1999, 34(1): 113-118.
- [8] BENELLIA G, PAVELA R, PETRELLI R, et al. *Origanum syriacum* subsp. *syriacum*: From an ingredient of Lebanese 'manoushe' to a source of effective and eco-friendly botanical insecticides [J]. Industrial Crops and Products, 2019, 134: 26-32.
- [9] CHENG Le, XU Shuangyu, XU Chunmei, et al. Effects of trans-2-hexenal on reproduction, growth and behaviour and efficacy against the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* [J]. Pest Management Science, 2017, 73(5): 888-895.
- [10] 刘丙涛, 何军, 刘润强, 等. 植物精油杀蚜活性的筛选[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(3): 163-168.
- [11] WHEELER M W, PARK R M, BAILER A J. Comparing median lethal concentration values using confidence interval overlap or ratio tests [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2006, 25(5): 1441-1444.
- [12] 童涛, 方云霞, 张晓勤, 等. 植物表皮蜡质特性及相关基因研究进展[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2019, 18(6): 610-618.
- [13] WANG Xiuping, XIE Haicui, WANG Zhenying, et al. Graphene oxide as a multifunctional synergist of insecticides against Lepidopteran insect [J]. Environmental Science: Nano, 2019, 6(1): 75-84.
- [14] 张春华, 张宗俭, 刘宁, 等. 农药喷雾助剂的作用及植物油类喷雾助剂的研究进展[J]. 农药科学与管理, 2012, 33(11): 16-18.
- [15] 李世奎, 李博文, 郑鑫, 等. 3 种增效剂与 3 种烟碱类杀虫剂混配对棉蚜的增效作用[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(1): 32-37.
- [16] 王芳, 刘畅, 何嘉, 等. 植物精油 d-柠檬烯对吡虫啉增效作用及其机制[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(11): 23-25.
- [17] 徐广春, 徐德进, 徐鹿, 等. 有机硅助剂对氯虫苯甲酰胺防治稻纵卷叶螟的增效作用研究[J]. 农药学学报, 2020, 22(2): 285-292.
- (责任编辑: 杨明丽)