

◆ 开发与分析 ◆

0.3%苦皮藤素水乳剂的制备及生物活性研究

王 秦, 胡 航, 龚顺泽, 徐德锋*

(常州大学 药学院, 江苏常州 213164)

摘要: 本研究确定了0.3%苦皮藤素水乳剂的稳定配方, 并对其防效进行测试。采用相转移法制备0.3%苦皮藤素水乳剂, 以外观、液滴平均粒径、Zeta电位等表征方法判断所制备的水乳剂是否稳定。使用喷雾法测定其室内生物活性。0.3%苦皮藤素水乳剂的稳定配方为: 苦皮藤素原药1.66%、EL-40 9.0%、Solvesso150 15%、乙二醇4.0%、消泡剂0.1%、增稠剂0.02%, 去离子水补足至100%。0.3%苦皮藤素水乳剂各项指标均符合水乳剂产品要求, 其500倍液对玉米象有较高的室内生物活性, 施药7 d后防效为90%, 高于10%氰戊菊酯乳油500倍液。

关键词: 苦皮藤素; 氰戊菊酯; 水乳剂; 乳状液稳定性; 生物活性; pH; 玉米象

中图分类号: TQ 453.3; TQ 450 文献标志码: A doi: 10.3969/j.issn.1671-5284.2022.01.005

Study on the Preparation and Bioactivity of Celangulin 0.3% EW

WANG Qin, HU Hang, GONG Shunze, XU Defeng*

(School of Pharmacy, Changzhou University, Jiangsu Changzhou 213164, China)

Abstract: This study aimed to determine a stable formula of celangulin 0.3% EW and test its effect. The celangulin 0.3% EW was prepared by the phase inversion method. The stability of emulsion in water was judged by the appearance, average droplet size, and zeta potential etc.. The bioactivity was determined by spray method. The stable formula of celangulin 0.3% EW was celangulin original drug 1.66%, EL-40 9.0%, Solvesso150 15%, glycol 4.0%, defoamer 0.1%, thickener 0.02% and deionized water. All the indexes of 0.3% celangulin EW met the requirements, and 500 times of celangulin 0.3% EW had good bioactivity to *Sitophilus zeamais*. The efficacy of 500 times of celangulin 0.3% EW was 90% at 7 d after treatment, and better than that of 500 times of fenvalerate.

Key words: celangulin; fenvalerate; emulsion in water; emulsion stability; bioactivity; pH; *Sitophilus zeamais*

苦皮藤 (*Celastrus angulatus*) 为卫矛科南蛇藤属的植物, 为中国的特有植物, 分布于河南、陕西等地, 主要生长于海拔1 500 m左右山地丛林及山坡灌丛中。20世纪30年代, 陈嵘^[1]就发现了苦皮藤的杀虫作用, 20世纪80年代以后, 吴文君等^[2]从苦皮藤中分离得到了一些结构新颖、具有独特生物活性的 β -二氢沉香呋喃倍半萜多醇酯类化合物 (即苦皮藤素), 掀起了对该植物的研究热潮。关于苦皮藤素制备药剂, 人们研究主要集中在乳油和微乳剂的开发。吴文君等^[2]开发的0.2%苦皮藤素乳油通过相

关试验表明其在菜青虫上有着较好的防效。陈军等^[3]研发的1%苦皮藤素微乳剂在室内与大田试验中对菜青虫和小菜蛾的防效较好。

更为环保绿色的苦皮藤素水乳剂开发鲜有报道。水乳剂是一种将难溶于水的农药原药通过少量有机溶剂, 加入适当的乳化剂, 最终制得以微小液滴形式分散在水中, 在一定时期内热力学稳定, 外观为乳白色的O/W型乳状液。同乳油或微乳剂相比, 水乳剂大大降低了有机溶剂或乳化剂用量, 目前已成为国际上公认绿色环保农药制剂, 具

收稿日期: 2021-01-28

基金项目: 江苏省“双创计划”—双创团队项目 (苏人才办[2017]37号)

作者简介: 王秦 (1996—), 男, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 研究方向为植物源杀虫剂。E-mail: 1151921512@qq.com

通信作者: 徐德锋 (1968—), 男, 江苏南通人, 博士, 教授, 主要从事现代农业绿色制造及药物合成研究。E-mail: markxu@cczu.edu.cn

有广阔的应用前景^[4-5]。然而,水乳剂是一种非均相分散体系,其储存过程中会有析油、浮膏等稳定性破坏现象发生。影响水乳剂稳定性因素主要有乳化剂种类与浓度、体系pH、电解质离子等。乳状液稳定性表征方法主要以液滴平均粒径及其分布测定与液滴Zeta电位来体现^[6-7]。因此,为了探究相关影响因素对苦皮藤素水乳剂稳定性的影响规律,本研究通过测定不同条件下水乳剂的平均粒径和液滴Zeta电位,分析了影响水乳状液稳定性的原因,并最终开发了一种稳定的苦皮藤素水乳剂。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试药剂:含苦皮藤素V 12%的苦皮藤素原药,实验室自制;苦皮藤素V标准品,上海诗丹德标准技术有限公司;10%氰戊菊酯乳油,上海悦联化工有限公司。

供试虫:玉米象,渠首天然趣味昆虫馆提供。

1.2 仪器与试剂

YH-A600天平,上海英衡称重设备有限公司;AL204分析天平,赛多利斯公司;VCX-500超声波粉碎机,美国Sonics公司;ZSE粒径电位检测仪,英国马尔文仪器有限公司;数显恒温搅拌水浴锅HH-4与磁力搅拌ZNCL-T,巩义市予华仪器有限公司;Agilent 1260 HPLC,美国安捷伦有限公司。

分析纯的氯化钠、氯化钙、氯化铁、硫酸镁,国药集团化学试剂有限公司;硅胶粉(300~400目),安徽良臣硅源材料有限公司;苯乙烯基苯酚聚氧乙烯醚(农乳600),江苏省海安石油化工厂;十二烷基苯磺酸钙(农乳500)、蓖麻油聚氧乙烯醚(EL-40)、蓖麻油聚氧酯(EL-35)、聚氧乙烯脱水山梨醇单油酸酯(Tween-80)、脱水山梨醇油酸酯(Span-80)、埃克森美孚芳香烃溶剂Solvesso 150,东莞市千和化学科技有限公司;黄原胶,江苏古贝生物科技有限公司;乙二醇,上海凌峰化学试剂公司;有机硅阻泡剂,东莞博诚化工有限公司;自制去离子水。

1.3 苦皮藤素水乳剂的制备

将苦皮藤素原药与芳香烃溶剂混合搅拌,控制温度40~60℃,500~100 r/min搅拌5~10 min,再加入去离子水、非离子型表面活性剂、增稠剂、防冻剂、消泡剂等,控温40~60℃,1 000~2 500 r/min搅拌15~25 min,使用超声均质破碎5~10 min,最终

制备得到苦皮藤素水乳剂。

1.4 性能表征

1.4.1 外观

观察乳状液外观颜色及所属混合分散系类别,按照GB/T 31737—2015《农药倾倒性测定方法》判断倾倒性是否良好。

1.4.2 稀释稳定性测试

根据GB/T 1603—2001《农药乳液稳定性测定方法》测定苦皮藤素水乳剂的稀释稳定性。称取无水氯化钙304 g和带结晶水的氯化镁0.139 g于1 000 mL的容量瓶中,用蒸馏水溶解稀释至刻度即可制得标准硬水。取250 mL烧杯,加入100 mL 30±2℃标准硬水,用移液枪准确吸取0.5 mL苦皮藤素水乳剂试样,在2~3 r/s速度匀速搅拌的情况下慢慢滴加到硬水中,使其配成100 mL乳状液。滴毕持续搅拌30 s,立即将乳状液移至清洁、干燥的100 mL量筒中,并将量筒恒温水浴,在30±2℃范围内,静置1 h后取出,观察乳液有无浮油、浮膏和沉淀出现。

1.4.3 低温稳定性试验

依据GB/T 19137—2003《农药低温稳定性测定方法》进行测定。取苦皮藤素水乳剂10 mL装入安瓿瓶中封口,共制6瓶。将装有测试样的安瓿瓶放置0±2℃冰箱中,7 d后进行观察和分析。

1.4.4 高温稳定性试验

根据GB/T 19136—2003《农药热贮稳定性测定方法》进行高温稳定性检测。取苦皮藤素水乳剂10 mL装入安瓿瓶中封口,共制6瓶。将装有测试样的安瓿瓶放置于54±2℃恒温箱中,14 d后进行观察和分析。

1.4.5 苦皮藤素水乳剂粒径与电位测定

取苦皮藤素水乳剂0.1 mL稀释20倍,使用Malvern-Nano ZSE粒径电位检测仪进行测量,每组测样3次,取平均值。

1.5 室内药效试验

取0.3%苦皮藤素水乳剂分别制备500、1 000、1 500倍稀释液。试验共分为5个处理,其中以10%氰戊菊酯乳油500倍液为对照药剂,清水为空白对照,以玉米象为供试虫,做好标记分成5组,每组20只。采用喷雾法,按照标记各组分别喷洒10%氰戊菊酯乳油500倍液,0.3%苦皮藤素水乳剂500、1 000、1 500倍液和清水。喷药后定期观察玉米象的生命状况,统计不同试验组在处理后的害虫存活数,并按式(1)计算防效。

$$\text{防效}/\% = \frac{\text{清水对照组害虫存活数} - \text{药剂处理组喷药后害虫存活数}}{\text{清水对照组害虫存活数}} \times 100 \quad (1)$$

2 结果与分析

2.1 苦皮藤素水乳剂的乳化剂筛选

2.1.1 乳化剂种类的选择

不同原药制备水乳剂所需的乳化剂种类以

及用量都各不尽相同,良好的乳化剂可以使得乳状液形成稳定的非均匀分散体系,且在极端天气下也无分层、析油等破乳现象发生。研究选择几种常用于水乳剂制备的表面活性剂来进行筛选,得出结果如表1。

表 1 不同乳化剂制备苦皮藤素水乳剂的测试结果

乳化剂	HLB值	外观	乳化分散性	硬水稀释稳定性	冷藏稳定性	热贮稳定性
农乳500	10.6	乳白色液体	浮膏	析油	析油	析油
农乳600	17	乳白色液体	合格	合格	合格	合格
农乳1601	13.2	乳白色液体	合格	析水	析水	析水
EL-35	12	淡黄色乳状液	合格	合格	合格	合格
EL-40	13.5	微黄色乳状液	合格	合格	合格	合格
OP-10	13.6					
OP-4	8.3					
X-100	13.2	乳白色液体	浮膏	析油	析油	析油
Tween-80	15	乳白色液体	合格	合格	合格	合格
Span-80	4.3	乳白色液体	合格	合格	析油	析油
Span-85	1.8	乳白色液体	合格	合格	合格	合格

注:空白为体系无法形成乳状液,静止立即分层。

由表1可知,不同乳化剂所制得苦皮藤素水乳剂差异很大,OP-4、OP-10无法制备生成稳定的乳状液;农乳500等可以制成稳定的乳状液,但在通过相应测试,出现分层,亦不稳定;乳化剂农乳600、EL-35、EL-40、Tween-80、Span-85等各项指标表现良好。因此,本研究选择部分表现稳定的乳化剂进行低温热贮实验。不同乳化剂的低温热贮试验结果如图1所示。尽管试验所供试乳化剂均为非离子乳化剂,乳状液体系的Zeta电位却均为负值,但这与王莉、徐雪峰等^[8-9]相关报道一致,原因可能为非离子乳化剂生产中有未能完全参与反应的有机酚,工业级的乳化剂没有将其有效去除,在油水界面层,酚类物质和非离子乳化剂形成复合界面膜,而有机酚解离导致界面电荷为负。

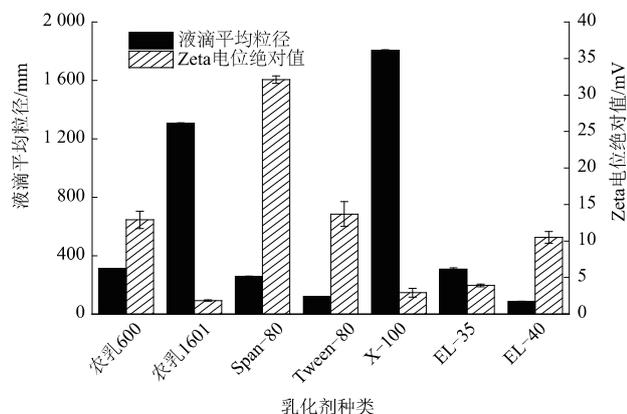


图 1 不同乳化剂制备水乳剂平均液滴的粒径与 Zeta 电位绝对值

根据DLVO理论^[10]:当Zeta电位绝对值较高时,可以削弱范德华引力,避免液滴间因相互靠近而聚结变大,从而提高乳状液的物理稳定性;相反,当Zeta电位绝对值较低时,液滴间斥力减小并逐渐靠近,最终因相互吸引而团聚,从而破坏乳状液的稳定性。乳状液是一种非均相分散体系,且液滴粒径大小不均匀,小液滴容易与大液滴合并,加速聚结、沉降及析油等不稳定现象的发生。根据斯托克斯公式,液滴的沉降速率与其粒径大小有关,即液滴粒径越小,沉降速率越慢,分布越集中,越有利于乳状液体系的稳定^[11]。因此乳状液的液滴平均粒径越小,Zeta电位绝对值越大,乳状液则越稳定。

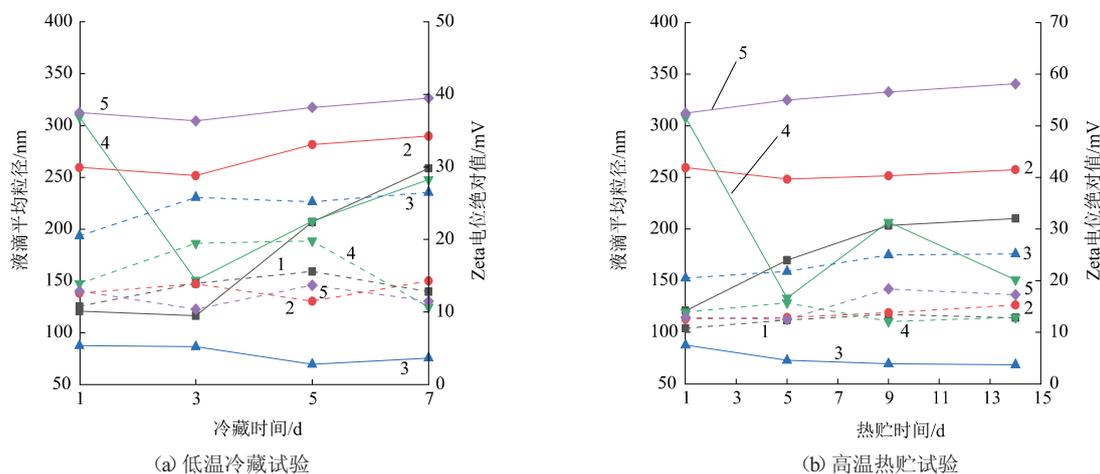
乳状液在储存中会因外部环境和自身属性改变从而分层沉降或相转变等破坏其稳定体系的分布状态,并发生奥式熟化。不同乳化剂制备的苦皮藤素水乳剂经过冷藏、热贮试验后的样品中的平均液滴粒径和Zeta电位如图2所示。结果表明,乳化剂EL-40制备的水乳剂液滴平均粒径最小、Zeta电位绝对值最大,说明在EL-40更适合应用苦皮藤素水乳剂体系。

2.1.2 乳化剂浓度的选择

乳化剂的用量影响水乳剂的稳定性,一般乳化剂用量为2%~15%^[12]。本研究使用乳化剂EL-40,浓度分别为3%、5%、7%、9%、11%来制备水乳剂。从图3可以看出,当乳化剂的使用量为9%时,液滴平均粒径最小、Zeta电位绝对值最大。因为使用乳化剂过

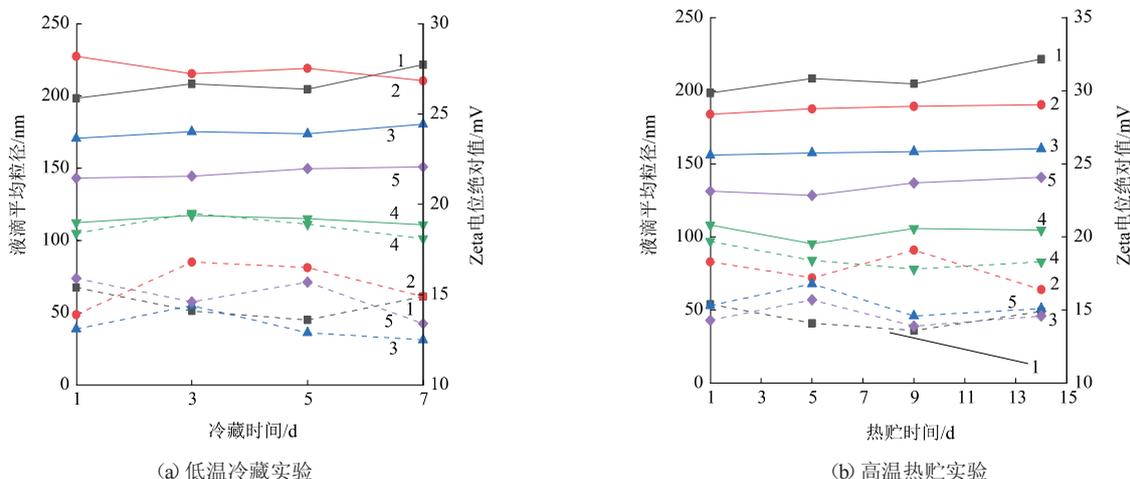
少时,其在油水界面的吸附不够饱和,界面膜电荷密度较低,Zeta电位绝对值较小,使得粒子间排斥力较小,导致粒子间易于发生聚集,故液滴平均粒径

较大。而随着乳化剂浓度的增加,乳化剂在油水界面吸附增强,Zeta电位绝对值增大,液滴平均粒径减小,粒子间不易发生聚集,乳状液的稳定性增强^[8]。



注: 1为Tween-80; 2为Span-80; 3为EL-40; 4为EL-35; 5为农乳600; 实线为液滴平均粒径; 虚线为Zeta电位绝对值。

图2 不同乳化剂在低温与热贮试验中液滴平均粒径与Zeta电位



注: 1~5依次为乳化剂EL-40浓度为3%、5%、7%、9%、11%; 实线为液滴平均粒径; 虚线为Zeta电位绝对值。

图3 不同浓度的EL-40在冷藏试验中液滴平均粒径与Zeta电位绝对值

2.2 苦皮藤素水乳剂水相条件的筛选

2.2.1 pH值的选择

同样,不同pH值的水中存在的 H^+ 与 OH^- 也是影响乳状液稳定的因素^[13]。通过加入不同浓度HCl与NaOH来调节水相的pH值,使得pH=1、3、5、7、9、11、13,进行苦皮藤素水乳剂的制备。结果如图4所示,在所研究的pH值范围内,液滴的Zeta电位绝对值随着pH值的增加先增大后减小,在pH=7时达到最大。同时,随着pH值的增加,液滴的平均粒径在pH=7时,粒径最小。分析原因可能为,在酸性环境下非离子乳化剂中的聚氧乙烯基团会吸附水中的 H^+ 而发生质子化,使得非离子乳化剂携带一定的正电荷,从

而中和了乳状液界面膜所带负电荷,这就导致界面膜所带电荷数下降,因此Zeta电位绝对值变小,而随着pH值增大至碱性,体系中会引入一定量的钠离子,正离子与油水界面膜发生紧密吸附,从而压缩双电层,导致Zeta电位绝对值下降。

2.2.2 无机盐离子

在pH=7时,添加不同种类和浓度电解质离子制备的水乳剂测量其样品的液滴平均粒径和Zeta电位如图5所示。相对于添加纯水而言,添加不同类别的电解质做制备的水乳剂其液滴平均粒径均在一定程度上增大,而液滴的Zeta电位的绝对值也因添加电解质而减小。在添加同一种电解质时,随着其浓

度由0.001 mol/L到0.1 mol/L依次递增时,水乳剂中液滴的平均粒径呈递增趋势,Zeta电位的绝对值呈递减趋势,即随着电解质离子的添加与浓度递增苦皮藤素水乳剂的稳定性降低。这样的试验结果亦可以用DLVO理论解释:非离子表面活性剂EL-40因有机酚解离导致液滴界面负电荷,其液滴界面通过吸附产生静电位阻来提高O/W型乳状液的稳定性,而添加一定的无机盐后,相应量的电解质离子进入液滴界面滑移面,使得双电层变薄,导致Zeta电位的绝对值降低,乳状液的稳定性降低^[14-15],而对于同一种电解质离子,其浓度越高压缩双电层的能力越强,Zeta电位的绝对值下降越多,乳状液稳定性会更差。

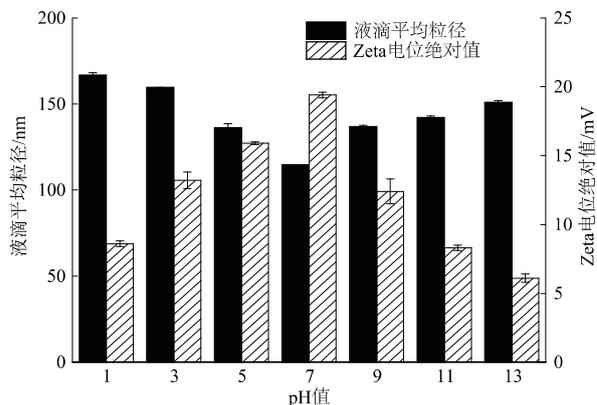
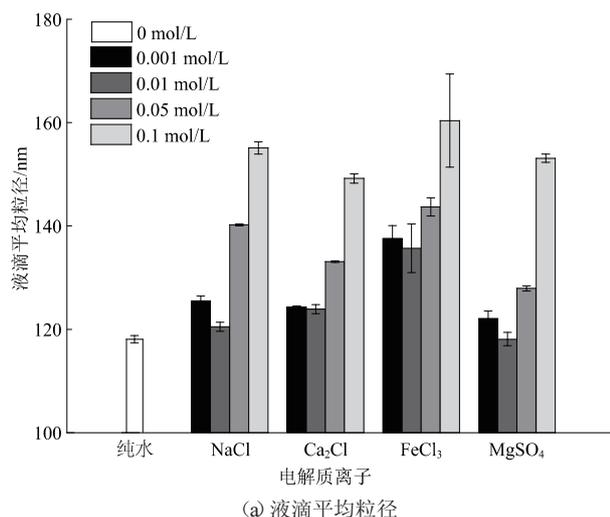


图 4 不同 pH 制备苦皮藤素水乳剂平均液滴的粒径与 Zeta 电位绝对值

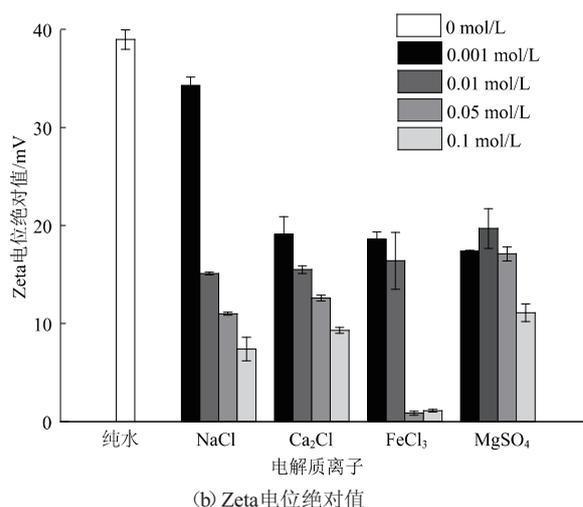


图 5 不同电解质制备水乳剂的液滴平均粒径与 Zeta 电位绝对值

2.3 配方的确定及性能检测

根据上述试验结果,确定0.3%苦皮藤素水乳剂配方为苦皮藤素原药1.66%、EL-40 9.0%、Solvesso150 15%、乙二醇4.0%、消泡剂0.1%、增稠剂0.02%,去离子水补足至100%。所制的水乳剂外观为乳白色流动性良好且均一的液体,无浮膏、析水等现象产生。产品指标检测结果见表2,均达到产品行业标准要求。

表 2 0.3%苦皮藤素水乳剂质量指标检测结果

产品指标	行标要求	检测结果
苦皮藤素V质量分数/%	0.28~0.32	0.31
乳化分散性	合格	合格
稀释稳定性	合格	合格
冷藏稳定性	合格	合格
热贮稳定性	合格	合格
pH值	5.0~9.0	7.1
倾倒后残余/mL	≤5.0	0.8

2.4 生物活性测定结果

以玉米象为供试虫,10%氰戊菊酯乳油500倍液作为对照药剂,测定0.3%苦皮藤素水乳剂的室内杀虫活性。通过表3可以看出,施药1 d后,不同稀释倍数的0.3%苦皮藤素水乳剂防效均较10%氰戊菊酯乳油500倍液低,表明其速效性差。施药7 d后,0.3%苦皮藤素水乳剂的500、1 000倍液防效均高于氰戊菊酯乳油,并且苦皮藤素水乳剂500倍稀释液的杀虫活性最高。

表 3 0.3%苦皮藤素水乳剂防治玉米象的室内试验结果

处理名称	防效/%		
	施药后1 d	施药后3 d	施药后7 d
0.3%苦皮藤素水乳剂500倍液	20	45	90
0.3%苦皮藤素水乳剂1 000倍液	15	30	60
0.3%苦皮藤素水乳剂1 500倍液	15	15	35
10%氰戊菊酯乳油500倍液	30	40	55

(下转第 46 页)

3 结论与讨论

本试验建立了吡氟酰草胺在3种不同pH值缓冲溶液和3种类型土壤中的超高效液相色谱分析方法,所建方法的灵敏度、准确度和精密度均符合农药残留分析要求。从水解试验结果可以看出,吡氟酰草胺在酸性、中性和碱性水环境中均易水解。与此同时,吡氟酰草胺在酸性和碱性水环境中的水解速率在一定程度上受温度影响,即随着温度的升高,水解速率明显加快,而在中性水环境中无显著差异。从土壤降解试验结果可以看出,在好氧和积水厌氧条件下,红土、潮土和黑土中的吡氟酰草胺均表现为难降解。此外,吡氟酰草胺在不同类型土壤和不同条件下(好氧与积水厌氧条件)的降解速率也有着明显差异。吡氟酰草胺在碱性土壤(潮土pH 8.10和黑土pH 7.61)中比在酸性土壤(红土pH 5.49)中较易降解,推测可能受土壤pH影响,而其在好氧与积水厌氧条件下的降解差异性也有待进一步研究。以上试验结果有助于为吡氟酰草胺在水环境和土壤介质的安全评估提供科学依据。

(上接第 34 页)

3 结论

本试验通过确定乳化剂的种类与使用量、水的pH和电解质离子,得到了苦皮藤素水乳剂的具体配方为:苦皮藤素原药1.66%、EL-40 9.0%、Solvesso 150 15%、乙二醇4.0%、消泡剂0.1%、增稠剂0.02%,去离子水补足至100%。

所制0.3%苦皮藤素水乳剂,通过稀释、热贮、冷藏等稳定性试验,其外观、液滴平均粒径、Zeta电位等证明其符合水乳剂质量要求。室内活性试验显示,药后7 d,0.3%苦皮藤素水乳剂500倍液对玉米象的防效为90%,且高于10%氰戊菊酯乳油500倍液。

玉米象为储粮虫害,化学农药氰戊菊酯毒性过高,更安全的植物源杀虫剂苦皮藤素水乳剂在储粮虫害防治应用方面符合绿色发展理念,防效更高,有着广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 陈嵘. 中国树木分类学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1959.
- [2] 吴文君, 刘惠霞, 姬志勤, 等. 植物杀虫剂0.2%苦皮藤素乳油的研究与开发[J]. 农药, 2001, 40(3): 17-19.
- [3] 陈军, 张莉, 孔凡彬, 等. 植物杀虫剂1%苦皮藤素微乳剂的研制[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(18): 4688-4690.

参考文献

- [1] 顾群, 张晓进. 吡啶酰胺类除草剂——吡氟酰草胺[J]. 现代农药, 2010, 9(1): 42-45.
- [2] 钱训, 陈勇达, 郑振山, 等. 气相色谱法测定小麦籽粒中吡氟酰草胺、氟噻草胺和吡草酮残留量[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(9): 3455-3459.
- [3] DANG H T, MALONE J M, BOUTSALIS P, et al. The mechanism of diflufenican resistance and its inheritance in oriental mustard (*Sisymbrium orientale* L.) from Australia[J]. Pest Management Science, 2018, 74(6): 1279-3459.
- [4] 刘跃群, 范福玉, 杨震, 等. 20%氟吡酰草胺悬浮剂防除小麦田阔叶杂草效果研究[J]. 种业导刊, 2019(4): 14-18.
- [5] 董宜浩, 王春红, 胡加敏, 等. 50%吡氟酰草胺对小麦田杂草的田间防效初探[J]. 上海农业科技, 2018(1): 125-126.
- [6] 吴文铸, 何健, 孔德洋, 等. 气相色谱法测定环境样品中吡氟酰草胺残留量[J]. 化学研究与应用, 2017, 29(8): 1245-1249.
- [7] SVENDSEN S B, CARVALHO P N, BOLLMANN U E, et al. A comparison of the fate of diflufenican in agricultural sandy soil and gravel used in urban areas[J]. Science of the Total Environment, 2020(715): 136803.
- [8] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化委员会. GB/T31270.1—2014化学农药环境安全评价试验准则第1部分: 土壤降解试验[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [9] 中华人民共和国农业部. NY/T3150—2017 农药登记环境降解动力学评估及计算指南[S]. 北京: 中国农业出版社, 2017.

(责任编辑:高蕾)

- [4] MULQUEEN P. Recent advances in agrochemical formulation[J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2004, 106(1-3): 83-107.
- [5] 冯建国, 张小军, 赵哲伟, 等. 农药水乳剂用乳化剂的应用研究现状[J]. 农药, 2012, 51(10): 706-709.
- [6] 冯建国, 项盛, 钱坤, 等. 乳液稳定性表征方法及其在农药水乳剂研发中的应用[J]. 农药学报, 2015, 17(1): 15-26.
- [7] 张登科, 魏方林, 朱国念, 等. 我国农药水乳剂的发展现状及稳定机理研究[J]. 现代农药, 2007(5): 7-10; 19.
- [8] 王莉, 李丽芳, 贾猛猛, 等. Zeta电位法选择农药悬浮剂所需润湿分散剂[J]. 应用化学, 2010, 27(6): 727-731.
- [9] 徐雪峰. 精喹禾灵水乳剂的制备及物理稳定性机理研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2012.
- [10] TAYLOR P. Ostwald ripening in emulsions[J]. Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects, 1998, 99(2-3): 175-185.
- [11] CHANAMAI R, MCCLEMENTS D J. Creaming stability of flocculated monodisperse oil-in-water emulsions[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2000, 225(1): 214-218.
- [12] 徐廷华, 钟一平. 表面活性剂对乳液膜稳定性的影响[J]. 南方冶金学院学报, 1998, 19(4): 277-277.
- [13] 冯建国, 张小军, 范腾飞, 等. 体系pH值、乳化温度和电解质离子对异丙甲草胺水乳剂稳定性的影响[J]. 高等学校化学学报, 2012, 33(11): 2521-2525.
- [14] ICHIKAWA T, DOHDA T, NAKAJIMA Y. Stability of oil-in-water emulsion with mobile surface charge[J]. Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects, 2006, 279(1-3): 128-141.
- [15] 董邵旭, 刘飞, 代晓东, 等. 水相氯化钠质量分数对可逆乳液转相点影响研究[J]. 现代盐化工, 2019, 46(1): 39-41.

(责任编辑:金兰)