

2% 辣椒素纳米型水乳剂的研制及其抗虫效果分析

孟美兰^{1,2}, 林冰¹, 吕享^{1,2}, 陈丽辉³, 何广^{1,2}

(1. 贵州中医药大学药学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州中医药大学食品安全质量控制工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550025; 3. 贵阳市花溪区第一人民医院, 贵州 贵阳 550025)

摘要:旨在开发一款绿色防控中药材种植中易发的红叶螨的生物农药,以辣椒提取物为原料,通过对6种乳化剂、消泡剂、防冻剂等种类的筛选和用量试验以及考察转相剪切转速,确定辣椒提取物纳米型水乳剂生物农药配方及制备工艺;同时以1.8%阿维菌素为阳性对照评估其抗虫效果。结果表明,单一乳化剂均不能形成稳定水乳剂,EL-40和S-20的乳化效果优于其他乳剂,且二者复配比例为9:1时,乳化效果最佳,无析水、有少量析油;剪切转速考察发现,转速大于8 000 r/min时,不再析油;Zeta电位及纳米粒径分析仪显示,当剪切转速为9 000 r/min时,水乳剂粒径跨度值最小,为1.48;0.1%的消泡剂和2%的乙二醇可达到理想的消泡和防冻效果。杀虫效果显示,当该产品稀释100倍(6.3 μg/mL)时,第4天累计趋避杀灭率达94.9%,显著高于其他稀释组和阳性对照,500倍液与阳性对照效果相当。综上,当生物农药的制备工艺为2%辣椒素稀释液、8%冬青油、2%乙二醇、0.1%消泡剂、10%复配乳化剂(EL-40:S-20=9:1)、80%蒸馏水,剪切转速为9 000 r/min时,该产品具有良好的杀灭红叶螨效果。

关键词:辣椒;辣椒素;纳米型;水乳剂;抗虫效果

中图分类号:S482.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2481(2024)04-0142-08

Preparation of Nano Water Emulsion of 2% Capsaicin and Analysis of Its Anti-Insect Effect

MENG Meilan^{1,2}, LIN Bing¹, LÜ Xiang^{1,2}, CHEN Lihui³, HE Guang^{1,2}

(1. School of Pharmacy, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China; 2. Food Safety Quality Control Engineering Technology Research Center, Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China; 3. The First People's Hospital of Huaxi District of Guiyang City, Guiyang 550025, China)

Abstract: The purpose of this study was to develop a green biological pesticide for the prevention and control of *Tetranychus cinnabarinus* that are prone to occur in the cultivation of Chinese medicinal materials, the extractive of *Capsicum annuum*(Linn) was used as raw material to screen and test the dosage of six emulsifiers, defoamers and antifreezes, and examine the rotational shear speed, the formula and preparation process of the biological pesticide of nano-emulsion in water from the extractive of *Capsicum annuum*(Linn) were determined. Simultaneously, 1.8% of abamectin was used as the positive control to evaluate its insect-resistant effect. The results showed that a single emulsifier could not form a stable water emulsion. The emulsification effect of EL-40 and S-20 was better than that of other emulsifiers. When the ratio of the two was 9:1, the emulsification effect was the best, with no water separation and a small amount of oil separation. It was found by examination of the rotational shear speed that when the rotational speed was greater than 8 000 r/min, the oil was no longer separated. Zeta potential and nano particle size analyzer showed that the particle size span of water emulsion was the smallest, which was 1.48, when the rotational speed was 9 000 r/min. 0.1% of defoaming agent and 2% of ethylene glycol could achieve the ideal defoaming and antifreeze effect. The insecticidal effect showed that when the product was diluted 100 times(6.3 μg/mL), the cumulative repellent killing rate on the fourth day was 94.9%, which was significantly higher than that of other dilution groups and positive control group, and the effect of 500 times of liquid was equivalent to that of positive control group. In summary, the preparation process of biological pesticides was as follows: 2% of extractive of *Capsicum annuum*(Linn) diluent, 8% of holly oil, 2% of ethylene glycol, 0.1% of defoamer, 10% of compound emulsifier(EL-40:S-20 = 9:1), 80% of distilled water, and the rotational shear speed was 9 000 r/min, the product had a good effect on killing *Tetranychus cinnabarinus*.

收稿日期:2023-11-14

基金项目:国家自然科学基金项目(82260741);贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2021]一般251,黔科合基础-ZK[2022]一般478);2021年
国家自然科学基金后补助资金科研创新探索专项(2018YFC170610519)

作者简介:孟美兰(1996-),女,贵州遵义人,在读硕士,研究方向:中药民族药资源开发与利用。

通信作者:吕享(1986-),男,贵州从江人,讲师,博士,主要从事药食两用植物资源开发与利用研究工作。

Key words: *Capsicum annuum*(Linn); capsaicin; nano-type; water emulsion; insect-resistant effect

辣椒 *Capsicum annuum*(Linn)为茄科辣椒属1年或有限多年生草本植物。辣椒果实是人们常用的食材之一,因其含有辣椒素而有辣味,能增进食欲。现代药理研究表明,辣椒素具有镇痛、抗炎、抗癌、抗氧化、抗菌^[1-4]等功效。FRAGOSO等^[5]研究表明,辣椒水提物对小番茄蛀虫(*Neoleucinodes elegantalis*)具有一定的杀灭活性。ISMAIL等^[6]报道,辣椒提取物中小分子化合物可通过激活宿主植物抗蚜防御系统来抑制棉蚜(*Tetranychus urticae*)对植物的伤害,抑制率达93.36%,其活性与阿维菌素相当。这些小分子化合物是辣椒素类物质(主要为辣椒碱和二氢辣椒碱)^[1,3]。有研究表明,辣椒素通过神经毒性致害虫麻痹、瘫痪,并兼有胃毒性,使害虫的生理代谢受阻而死亡^[7]。其神经毒性作用在体外的非洲爪蟾(*Xenopus*)卵母细胞、小鼠以及大鼠体内模型中得到证实。ALZAABI等^[8]研究表明,辣椒素通过抑制爪蟾卵母细胞和大鼠海马神经元中的 $\alpha 7$ -烟碱乙酰胆碱受体的表达,进而影响神经信号的传递。BALLEZA-TAPIA等^[9]使用小鼠模型证明了辣椒素通过TrpV1受体非依赖性通路损伤 Na^+/K^+ -atp酶,抑制小鼠正常海马神经元的活动。大量研究还表明,辣椒素类物质不仅对小地老虎、蚜虫、东方黏虫、温室白粉虱以及菜青虫有防治作用^[10-13],还可用于驱鼠^[14-15]。目前,辣椒提取物研制的农药剂型有乳油、微胶囊悬浮剂和粉剂,但未见其纳米型水乳剂的相关报道^[7]。

红叶螨(*Tetranychus cinnabarinus*)除了会危害农作物外^[16],也会对中药材如怀地黄造成危害^[17]。杜鹃兰每年8—12月均有红叶螨虫害,9—10月为虫害爆发期,12月后红叶螨活跃度下降直至消失。当前防治螨虫的主要手段是使用化学杀螨剂,但化学农药的过度使用会对环境、药材等造成不利影响^[18]。随着我国对环境保护的高度重视,在农业领域加强对高毒、易残留农药的管理,低毒、低残留或无残留农药是我国新型农药发展的一个重要方向^[19]。辣椒素具有易溶于有机溶剂、难溶于水的性质^[7],可利用相应的乳化剂将其制备成O/W型水乳剂,以增大其在水中的溶解度。水乳剂以水为分散介质,可减少有机溶剂的使用,能显著降低农药在作物和环境中的残留,已被国际公认为环境安全的农药新剂型之一,可替代传统乳油农药^[20]。纳米颗粒粒径为纳米级,易被害虫皮肤和宿主植物吸收,

能提高农药的生物利用度,提高杀虫效果。为此,本研究针对螨虫虫害从辣椒中提取出辣椒素类有效杀虫成分,并采用现代制剂手段研制纳米型水乳剂生物农药,以期为杜鹃兰等中药材螨虫虫害的绿色防控提供技术支持。

1 材料和方法

1.1 材料

干辣椒样品购自生活超市,经贵州中医药大学魏升华教授鉴定为茄科辣椒属植物辣椒 *Capsicum annuum*(Linn)的果实。杜鹃兰种植于贵州中医药大学中药材种植圃。

1.2 试剂与仪器设备

冬青油(水杨酸甲酯)购自邦源生物;三苯乙炔基苯酚聚氧乙烯醚(农乳601)、蓖麻油环氧乙烷加成物(By140)、聚氧乙烯月桂酸酯(2301)、荨麻油聚氧乙烯醚(EL-40)、十二烷基苯磺酸钙(500)、失水山梨醇月桂酸酯(S-20)均购自江苏省海安石油化工厂;1.8%阿维菌素乳油购自河北中保绿农作物科技有限公司;有机硅消泡剂购自东莞市德丰消泡剂有限公司;分析纯乙二醇和95%乙醇购自天津市富宁精细化工有限公司;分析纯无水氯化钙和无水氯化镁购自无锡市亚太联合化工有限公司。

高剪切乳化机(FJ500-SH,安徽炎信生物科技有限公司);旋转蒸发器(RE-52A,上海亚荣生化仪器厂);Zeta电位及纳米粒径分析仪(DelsaNanoc,美国贝克曼库尔特公司);电子分析天平(SQP,瑞士Mettler-Toledo公司);电热恒温鼓风干燥箱(101-1AB,天津市泰斯特仪器有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 辣椒素稀释液的制备 将除去蒂和籽的干辣椒于50℃下烘干后粉碎,过0.425 mm筛,收集备用。称取辣椒粉25.00 g,加入100 mL 95%乙醇,超声提取35 min(功率90 W)。重复提取2次,合并2次滤液,减压浓缩,滤液挥发至10 mL左右时取出滤液,将浓缩液置于120℃恒温箱中烘干至恒质量。向辣椒提取浓缩物中加入少量冬青油,超声使其溶解,多次重复操作,使充分溶解,转移至50 mL容量瓶,用冬青油定容至刻度,摇匀,作为辣椒素稀释液备用。

1.3.2 乳化剂筛选 选择农乳601、By140、EL-40、

500、S-20 和 2301 等 6 种乳化剂进行种类筛选试验。参照张贵森等^[21]的方法制备水乳剂,分别精密量取 6 种乳化剂各 10 mL 至烧杯中,再依次加入 2 mL 辣椒素稀释液和 8 mL 冬青油,搅拌均匀作为油相,再缓慢加入 80 mL 蒸馏水,采用转相法(剪切速度为 5 000 r/min)持续剪切 5 min,即制得该产品水乳剂,每种乳化剂重复做 3 批。分别参照 GB/T 19137—2003《农药低温稳定性测定方法》和 GB/T 19136—2003《农药热贮稳定性测定方法》,计算水乳剂在低温(0±2)°C 和高温(54±2)°C 贮存下的析水、析油率,以及常温(25±2)°C 放置 30 d 的析水、析油率,后续贮存试验设计同此。

1.3.3 乳化剂复配 基于 1.3.2 的试验结果,单一乳化剂或多或少均有水析出,因此,选择析水量较少的 2 款乳化剂 S-20 和 EL-40 进行复配试验,复配(EL-40:S-20)体积比例设置为 9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8 和 1:9,共 9 组,重复 3 次。计算水乳剂在常温、低温和高温贮存下的析水和析油率。

1.3.4 剪切转速确定 转相法制备水乳剂,考察剪切转速对乳化效果的影响,剪切转速分别设置为 5 000、6 000、7 000、8 000、9 000 r/min,以各贮存条件下产品析水、析油情况及其粒径分布为评价指标。

1.3.5 粒径测定 采用 Zeta 电位及纳米粒径分析仪测定 1.3.4 中各个剪切转速下所制备水乳剂的粒径,设定 D10、D50 和 D90 等 3 个特征指标,分别表示乳剂粒径在累积分布曲线中所占百分比为 10%、50% 和 90% 时所对应制剂的平均粒径,计算 δ 值((D90-D10)/D50)。

1.3.6 消泡剂用量 向水相中分别添加 0%、0.05%、0.1%、0.2%、0.3% 的有机硅消泡剂,制备该水乳剂,在第 0、1、2、3、4、5 min 吸取泡沫,测量体积,考察消泡效果。

1.3.7 乙二醇用量 向水相中分别添加 0%、1%、2%、3%、4% 和 5% 的乙二醇,制备水乳剂,并放于 -18 °C 冰箱冷冻过夜,次日取出放常温下自然溶解,观察水乳剂析水、析油情况,测量其体积,计算析水、析油率。

1.3.8 水乳剂性能指标测试 以上述试验确定的配方和工艺制备辣椒素纳米型水乳剂,开展该产品性能指标测试。根据 GB/T 1603—2001《农药乳液稳定性测定方法》,考察该产品在标准硬水中的稳定性和分散性。按照 GB/T 19136—2021《农药热贮稳定性测定方法》和 GB/T 19137—2003《农药低

温稳定性测定方法》对产品的热贮、冷贮稳定性进行测定,并计算其析出率。

1.3.9 水乳剂杀虫浓度考察 按照筛选出的配方和工艺配制 100 mL 水乳剂(辣椒素稀释液占比为 2%),取适量水乳剂,分别稀释至 100、250、500、1 000 倍液备用。按照 1.8% 阿维菌素乳油的说明书将其稀释成 750 倍液,作为阳性对照组。通过 5 点取样法随机选取 10 株受害的杜鹃兰植株(每个点取 2 株),每组试验区间隔 2 m,统计每组的虫口数量,作为本组的本底虫口数。于 2022 年 9 月 22 日,分别将辣椒素水乳剂 100(6.3 μg/mL)、250(2.52 μg/mL)、500(1.26 μg/mL)、1 000(0.63 μg/mL) 倍稀释液和阿维菌素乳油 750 倍稀释液均匀喷洒于受害植株叶片的背面和正面,每隔 1 d 统计每组杜鹃兰叶上红叶螨存活的虫口数量,连续统计 8 d,计算各组的趋避杀虫率。

1.4 数据分析

所有数据经 Excel 2016 整理后,采用 SPSS 26.0 和 GraphPad Prism 9.0 软件对试验所得数据进行分析及作图。

$$\text{析水率} = \text{析水体积} / \text{水相总体积} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{析油率} = \text{析油体积} / \text{油相总体积} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{趋避灭杀率} = (\text{本底虫口数} - \text{存活虫口数}) / \text{本底虫口数} \times 100\% \quad (3)$$

2 结果与分析

2.1 辣椒素稀释液的制备及乳化剂种类筛选

3 次辣椒素提取液浓缩恒质量后平均质量为 1.576 7 g, RSD 值为 6.01%, 小于 10%, 说明提取方法重现性好, 可行。冬青油复溶至 50 mL 的辣椒素稀释液质量浓度为 31.5 mg/mL。

从表 1 可以看出, 601 组出现油水分层现象, 说明该乳化剂 10% 的用量未能乳化辣椒素稀释液, 其他组在 10% 的用量下, 存在一定程度的析水、析油问题。如 By140、500 和 2301 等 3 种乳化剂在热贮和冷贮均有析水、析油的情况, 平均最低析油率为 2.23%, 最高达 8.83%; 比较发现, EL-40 和 S-20 的乳化效果较好, 在冷贮条件下均无析水、析油情况, 常温条件下 EL-40 无析水、析油现象, S-20 有少量析水、析油, 最高析油率为 1.50%, 热贮条件下均存在析水、析油现象, 最高析油率为 2.17%。这表明在不增加乳剂用量的情况下, 单用一种乳化剂均不能制备合格的水乳剂, 可考虑将 EL-40 与 S-20 进行复配, 改善乳化效果。

表1 乳化剂种类筛选
Tab.1 Screening results of emulsifier types

%

种类 Class	乳液外观 Emulsion appearance	冷贮析出率		常温析出率		热贮析出率	
		Precipitation rate of cold storage		Precipitation rate at room temperature		Precipitation rate of thermal storage	
		析水 Water separation	析油 Oil separation	析水 Water separation	析油 Oil separation	析水 Water separation	析油 Oil separation
EL-40	淡粉色	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.96±0.07a	1.83±0.29a
S-20	淡粉色	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.88±0.00b	1.50±0.00b	1.75±0.22b	2.17±0.58a
By140	淡粉色	14.04±0.26c	5.00±0.50b	0.00±0.00a	0.00±0.00a	14.08±0.14e	4.67±0.29b
500	淡粉色	8.46±0.14b	6.83±0.29c	12.62±0.45d	7.33±0.29d	12.67±0.14d	4.83±0.29b
2301	淡粉色	17.17±0.14d	8.83±0.29d	12.00±0.62c	4.50±0.00c	12.00±0.00c	2.33±0.29a
601	淡粉色	100.00±0.00e	100.00±0.00e	100.00±0.00e	100.00±0.00e	100.00±0.00f	100.00±0.00c

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences in the same column between different treatments($P<0.05$). The same as below.

2.2 乳化剂复配比例筛选

从表1和2可以看出,EL-40与S-20复配与单用相比,对冷贮无影响,复配比例大于6:4时,能改

善单用S-20的析水问题,随着EL-40所占比例增加,析水量在冷贮、常温、热贮时逐渐减少,故选择乳化剂比例为EL-40:S-20=9:1。

表2 乳化剂复配比例筛选
Tab.2 Screening results of emulsifier compound ratio

%

EL-40: S-20	乳液外观 Emulsion appearance	冷贮析出率		常温析出率		热贮析出率	
		Precipitation rate of cold storage		Precipitation rate at room temperature		Precipitation rate of thermal storage	
		析水 Water separation	析油 Oil separation	析水 Water separation	析油 Oil separation	析水 Water separation	析油 Oil separation
9:1	淡粉色	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.00±0.00a	2.50±0.00a
8:2	淡粉色	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.75±0.00b	2.50±0.50a
7:3	淡粉色	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00a	0.00±0.00a	0.75±0.00b	2.00±0.00a
6:4	淡粉色	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00a	0.00±0.00a	12.38±0.45f	13.00±0.87e
5:5	淡粉色	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00a	4.67±0.29d	6.88±0.13e	12.50±0.50e
4:6	淡粉色	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00a	1.67±0.29b	12.21±0.40f	11.00±0.50d
3:7	淡粉色	0.00±0.00	0.00±0.00	0.25±0.00b	2.17±0.29c	4.04±0.26d	9.50±0.87c
2:8	淡粉色	0.00±0.00	0.00±0.00	0.66±0.08c	2.33±0.29c	12.58±0.14f	10.33±0.76cd
1:9	淡粉色	0.00±0.00	0.00±0.00	0.75±0.00d	2.5±0.50c	3.58±0.07c	6.67±0.29b

2.3 剪切转速对乳化效果的影响

为解决复配热贮析油的问题,通过增加剪切转速,获得适宜乳液颗粒粒径,提高乳剂的稳定性。由表3可知,随着剪切转速的增加,热贮析油量逐渐减少。当转速达到8 000 r/min时,水乳剂在冷

贮、常温贮存和热贮时均无油析出。由表4可知,相较于8 000 r/min,转速为9 000 r/min时水乳剂的D50和D90粒径小, δ 值小,粒径跨度小(图1),水乳液稳定性增强。结合析油率、粒径和 δ 值结果,水乳剂的剪切转速确定为9 000 r/min。

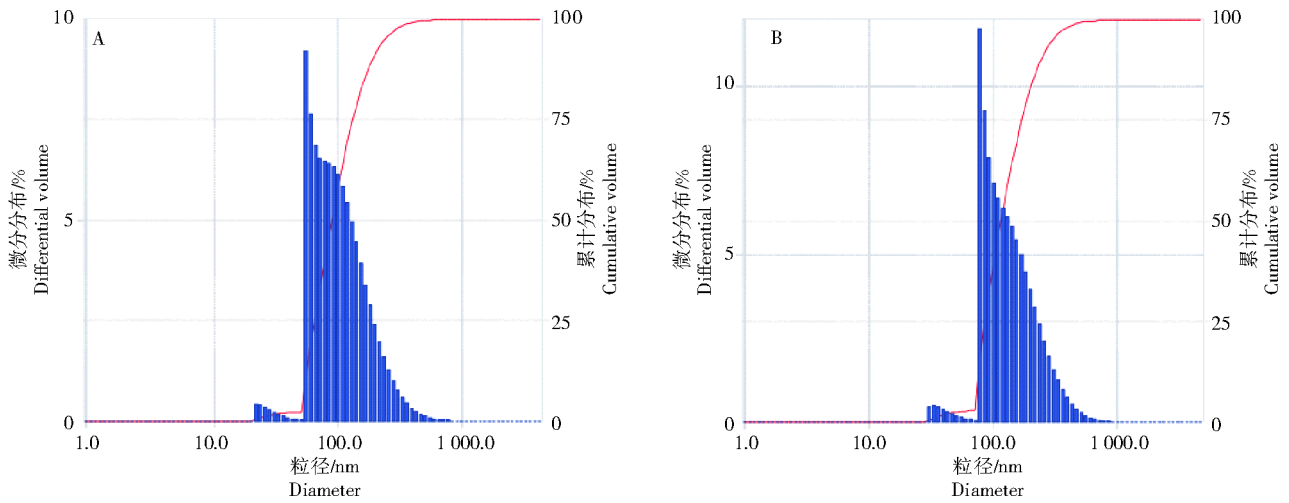
表3 乳化机剪切转速筛选
Tab.3 Screening results of emulsifier rotational shear speed

%

剪切转速/(r/min) Rotational shear speed	乳液外观 Emulsion appearance	冷贮析油率 Cold storage oil precipitation rate	常温析油率 Room temperature storage oil precipitation rate	热贮析油率 Thermal storage oil precipitation rate
5 000	淡粉色,无析水	0.00±0.00	0.00±0.00	5.55±0.05b
6 000	淡粉色,无析水	0.00±0.00	0.00±0.00	5.05±0.10c
7 000	淡粉色,无析水	0.00±0.00	0.00±0.00	4.62±0.07d
8 000	淡粉色,无析水	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00a
9 000	淡粉色,无析水	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00a

表 4 粒径测定
Tab.4 Particle size determination

剪切转速/(r/min) Rotational shear speed	D10/nm	D50/nm	D90/nm	δ	剪切转速/(r/min) Rotational shear speed	D10/nm	D50/nm	D90/nm	δ
5 000	90.90	109.70	137.70	0.43	8 000	22.10	135.80	249.10	1.67
6 000	77.70	120.30	252.10	1.45	9 000	56.40	92.60	193.80	1.48
7 000	25.80	33.80	87.10	1.81					



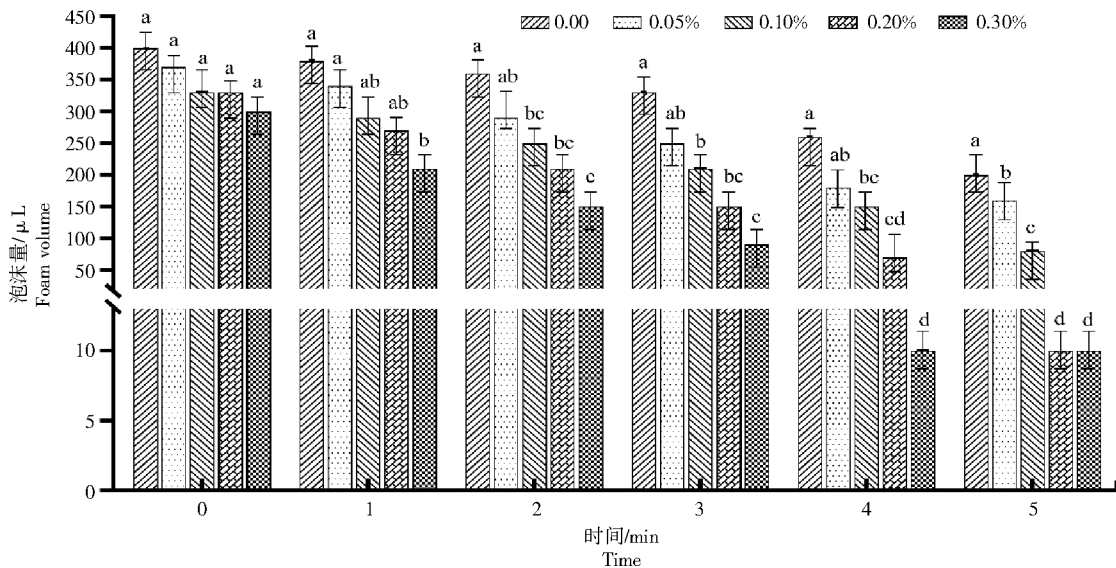
A.8 000 r/min; B.9 000 r/min

图 1 不同剪切速度下的粒径跨度
Fig.1 Particle size span at different shear speeds

2.4 消泡剂用量考察

从图 2 可以看出,在 0.1%、0.2%、0.3% 的消泡剂添加量的情况下消泡速率相差不大,在 0、0.05%

的消泡剂添加量下消泡速率较低,故选择 0.1% 的消泡剂添加量。



图中不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著

The different lowercase letters in the figure represented a significant difference in 0.05 level

图 2 消泡剂添加量考察
Fig.2 Investigation on of the addition amount of antifoaming agent

2.5 乙二醇防冻效果考察

本研究结果表明,水乳剂在 -18℃ 条件下冷冻

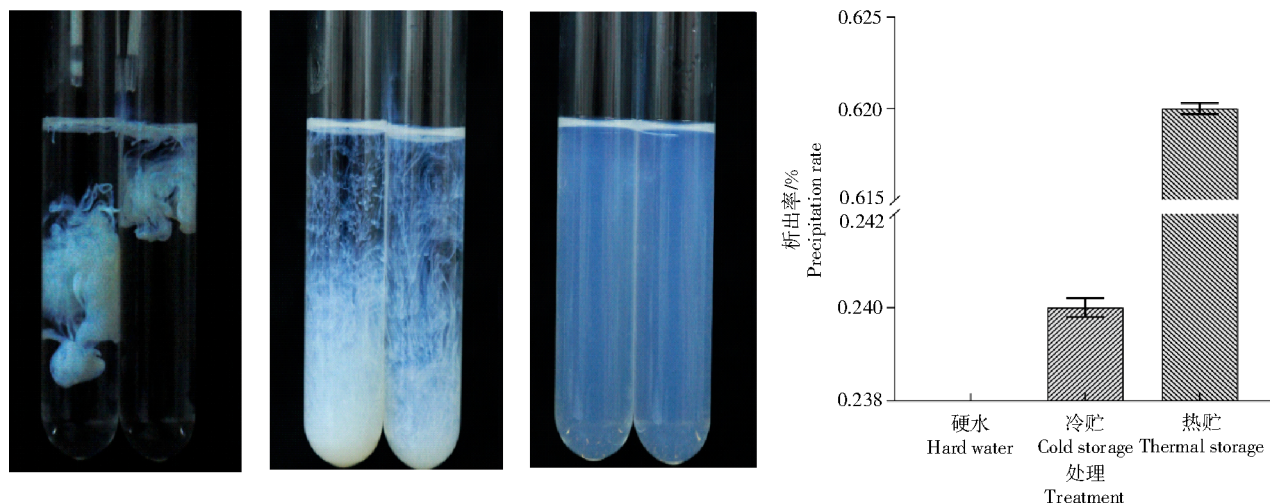
并恢复到室温后,不添加乙二醇和添加量为 1% 时,冻融析油量分别为 4.00% 和 1.11%;添加 2%、

3%、4%、5%乙二醇后均无水、无油相析出,故选择添加2%的乙二醇。

2.6 水乳剂性能指标测定结果

乳液滴入硬水中呈云雾状,有颗粒下沉,但能基本分散,其在200倍硬水中静置1 h后未明显出

现浮油、沉淀和分层的现象,热贮和冷贮离心后均有极少量的析出物,析出率分别为0.62%和0.24%,轻轻摇晃后能混合均匀(图3)。综上说明,该水乳剂在硬水中的稳定性、分散性以及存贮稳定性均表现良好。



从左到右分别为水乳剂在硬水中分散前、分散中、分散后的状态及在不同条件下的存贮析出率
From left to right were the phenomena of water emulsion before dispersion, during dispersion, and after dispersion in hard water, and the storage precipitation rates under different conditions, respectively

图3 水乳剂性能指标
Fig.3 Performance indexes of water emulsion

2.7 产品杀虫效果评价

辣椒素乳剂对红蜘蛛的杀灭效果如图4所示。

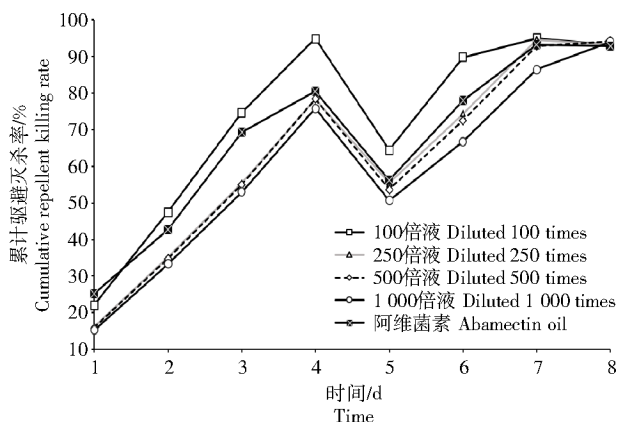


图4 辣椒素乳剂对红蜘蛛的杀灭效果
Fig.4 Killing effect of emulsion from the extractive of *Capsicum annuum* (Linn) on *Tetranychus cinnbarinus*

由图4可知,施药后前4天红蜘蛛虫口数量持续减少,在第4天趋避灭杀率达到了第1次高峰,辣椒素水乳剂稀释100(6.3 $\mu\text{g}/\text{mL}$)、250(2.52 $\mu\text{g}/\text{mL}$)、500(1.26 $\mu\text{g}/\text{mL}$)、1 000(0.63 $\mu\text{g}/\text{mL}$)倍和阿维菌素乳油稀释750倍后的驱避灭杀率分别为94.9%、78.4%、78.45%、75.8%、80.4%,该产品稀释100倍时的趋避灭杀率高于阿维菌素。第5天,各浓度下趋

避灭杀率均下降约20%,说明有虫卵大量孵化,也间接说明该产品对红蜘蛛虫卵无灭杀效果。此后,趋避灭杀率又快速升高,说明药效还在持续发挥作用。第7天,该产品的100、250、500倍稀释液和阿维菌素的趋避灭杀率达到了第2次高峰,趋避灭杀率分别为95.0%、94.6%、92.8%、93.2%。第8天趋避灭杀率趋于达到平衡状态,且均达到90%以上。由于红蜘蛛虫卵时有孵化,趋避灭杀率未达100%,需要在第10天左右第2次给药。

3 结论与讨论

单一乳化剂在转相过程中所形成的界面膜往往不够稳定。本试验得出,使用单一乳化剂或多或少存在析水、析油的问题,可利用不同乳化剂的理化特性产生乳化协同效应,提高界面膜的机械强度,抵抗液滴聚集变大,以提高乳剂的各项性能和制剂的稳定性^[22]。本研究表明,当使用乳化剂EL-40与S-20复配时,可很大程度上改善析水、析油问题,复配比例为(9:1)时仅可见少量析油现象。

随着乳化机剪切转速的增大,其乳剂稳定性先增大后逐渐趋于平稳^[23]。乳液平均粒径及其粒径跨度(δ)是表征乳液稳定性的重要物理指标^[24-25],其

平均粒径越小,沉降速率越慢,分布越集中,乳液越稳定; δ 值越小,表明粒径分布越窄,分散性能越好,所制备的乳剂稳定性越好,则体系越稳定。本试验结果表明,转速在 8 000 r/min 后稳定性趋于平稳,水乳剂热贮不再析油,且 9 000 r/min 的 δ 值更小,在该剪切转速下的水乳剂更稳定,这与张永康等^[26]的研究结果一致。

乳剂附加防冻剂可使水乳剂在低温时保持良好的流动性和稳定性^[24],有机硅类消泡剂能降低液体表面张力,增加气泡合并、破裂和释放到空气中的速度^[27]。本试验结果表明,0.1% 消泡剂和 2% 乙二醇能达到最佳效果,这与王秦等^[28]、苑璐等^[29]的研究结果一致。

有研究报道,当辣椒素质量浓度大于 8.0 mg/mL 时,对害虫赤拟谷盗和谷蠹均表现出较好的驱避杀灭效果,而在糙米中质量浓度为 1.0 mg/g 时,对上述 2 种害虫则表现出明显的拒食作用^[30]。据报道,LC₃₀ 亚致死浓度(1 400 mg/L)的辣椒素提取物能显著抑制朱砂叶螨卵的孵化,且少数孵化出的幼螨也不能正常发育到成螨^[31]。本试验通过该产品 4 个稀释度试样和阿维菌素阳性对照试样对红叶螨驱避灭杀效果的比较,发现第 4 天时,100 倍的水乳剂稀释液杀虫效果优于阿维菌素阳性组,第 8 天该试验组与阿维菌素阳性组杀虫效果相当。另外,研究表明该产品对红叶螨虫卵无明显杀灭活性,后续拟采取纯化辣椒提取物及优化配方等策略,改善该产品对虫卵膜的穿透能力,以达到杀灭虫卵的作用。

本研究通过对辣椒素水乳剂制备工艺的研究,获得了较适宜的配方及制备工艺,即 2% 辣椒素稀释液(31.5 mg/mL)、8% 冬青油、2% 乙二醇、0.1% 消泡剂、10% 复配乳化剂(EL-40: S-20=9: 1)、80% 蒸馏水,剪切转速为 9 000 r/min。相较阿维菌素抗虫效果,该产品展现出较好的杀灭红叶螨虫体的作用,具有极高的开发潜力。

参考文献:

- [1] 胡海军,吴亚男,鄂洋. 辣椒碱的生物学功能及其在动物生产中的应用[J]. 饲料研究,2022,45(15):152-155.
HU H J, WU Y N, E Y. Biological function of capsaicin and application in animal production[J]. Feed Research, 2022, 45(15): 152-155.
- [2] 张然,李彪,韦勇,等. 天然辣椒素对几种植物病原菌的抑菌活性研究[J]. 湖北农业科学,2018,57(8):66-69.
ZHANG R, LI B, WEI Y, et al. Study on the antimicrobial activity of natural capsaicin on some phytopathogen[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2018, 57(8): 66-69.
- [3] 胡武泽. 生物农药辣椒素在农业领域的研究进展[J]. 当代农机,2022(9):71-72.
HU W Z. Research progress of biological pesticide capsaicin in agricultural field[J]. Contemporary Farm Machinery, 2022(9): 71-72.
- [4] 袁雷,杨涛,张国儒,等. 辣椒果实中辣椒素的研究进展[J]. 中国瓜菜,2021,34(11):1-9.
YUAN L, YANG T, ZHANG G R, et al. Research progress of capsaicin in pepper fruit[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2021, 34(11): 1-9.
- [5] FRAGOSO D F M, TÚLER A C, PRATISSOLI D, et al. Biological activity of plant extracts on the small tomato borer *Neoleucinodes elegantalis*, an important pest in the Neotropical region[J]. Crop Protection, 2021, 145: 105606.
- [6] ISMAIL M S M, HUSSEIN M A N E. Potential of plant extracts and their elicitor effect on the red sweet pepper (*Capsicum annum* L.) defence system against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) infestation under greenhouse conditions[J]. International Journal of Acarology, 2022, 48(2): 130-138.
- [7] 王寅敏,徐勇,张泗达,等. 生物农药辣椒素在农业领域的研究进展[J]. 现代农药,2021,20(5):11-15.
WANG Y M, XU Y, ZHANG S D, et al. Research progress of biological pesticide capsaicin in agriculture[J]. Modern Agrochemicals, 2021, 20(5): 11-15.
- [8] ALZAABI A H, HOWARTH L, EL NEBRISI E, et al. Capsaicin inhibits the function of α_7 -nicotinic acetylcholine receptors expressed in *Xenopus oocytes* and rat hippocampal neurons[J]. European Journal of Pharmacology, 2019, 857: 172411.
- [9] BALLEZA-TAPIA H, DOLZ-GAITON P, ANDRADE-TALAVERA Y, et al. Capsaicin-induced impairment of functional network dynamics in mouse hippocampus via a TrpV1 receptor-independent pathway: putative involvement of Na⁺/K⁺-ATPase[J]. Molecular Neurobiology, 2020, 57(2): 1170-1185.
- [10] CLAROS CUADRADO J L, PINILLOS E O, TITO R, et al. Insecticidal properties of capsaicinoids and glucosinolates extracted from *Capsicum chinense* and *Tropaeolum tuberosum*[J]. Insects, 2019, 10(5): 132.
- [11] 汪金波. 辣椒碱类似物的合成及杀虫除草活性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2020.
WANG J B. Synthesis of capsaicin analogues and their insecticidal and herbicidal activities[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2020.
- [12] 刘国强,白冰,毕于慧,等. 辣椒碱与 3 种药剂对温室白粉虱的联合毒力[J]. 植物保护,2021,47(4):305-309.
LIU G Q, BAI B, BI Y H, et al. Joint toxicity of capsaicin with three insecticides against whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)[J]. Plant Protection, 2021, 47(4): 305-309.
- [13] 马作霞. 0.5% 辣椒碱 EW 防治花椰菜青虫田间药效试验[J]. 园艺与种苗,2021,41(7):5-6.
MA Z X. Field efficacy of 0.5% capsaicin EW on controlling cauliflower caterpillar (*Pieris rapae*) [J]. Horticulture & Seed, 2021, 41(7): 5-6.
- [14] 陈渠玲,吴树会. 辣椒素防治储粮鼠害的效果研究[J]. 中国粮油学报,2011,26(2):79-83.
CHEN Q L, WU S H. Selecting solvent and dosage of capsa-

- icin for making a rodent repellent[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(2): 79-83.
- [15] 钟平生, 谢彩玉, 张颂声, 等. 2种植物素对小鼠的驱避作用研究[J]. 中华卫生杀虫药械, 2011, 17(5): 332-335.
ZHONG P S, XIE C Y, ZHANG S S, et al. Repellent effect of two kinds of phytochemicals on mouse[J]. Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments, 2011, 17(5): 332-335.
- [16] 渠元福, 祝国栋, 单素兰, 等. 7种药剂对食用玫瑰叶螨的室内毒力及田间防治效果评价[J]. 山西农业科学, 2024, 52(3): 129-136.
QU Y F, ZHU G D, SHAN S L, et al. Evaluation of indoor toxicity and field control effects of seven insecticides against edible rose mites[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2024, 52(3): 129-136.
- [17] 杨洁, 赵荣兵, 宋爱青, 等. 怀地黄新品种怀地6号的优质高产栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2023(11): 202-204.
YANG J, ZHAO R B, SONG A Q, et al. High quality and high yield cultivation techniques of new variety Huaidi 6 of *Rehmannia glutinosa*[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2023(11): 202-204.
- [18] 刘铭, 格茸楚姆, 卜春亚. 朱砂叶螨 β -N-乙酰己糖胺酶基因 *TechHEX3* 的克隆及在蜕皮发育中的作用[J/OL]. 昆虫学报, 2024(5): 1-9[2024-06-19]. <https://doi.org/10.16380/j.kcxb.2024.05.005>.
LIU M, GE R CH M, BU C Y. Cloning of the β -N-acetylhexosaminase gene *TechHEX3* of *Tetranychus cinnabarinus* (Acarina: Tetranychidae) and its role during molting[J/OL]. Acta Entomologica Sinica, 2024(5): 1-9[2024-06-19]. <https://doi.org/10.16380/j.kcxb.2024.05.005>.
- [19] 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, 6(5): 1-4, 13.
ZHANG D K, WEI F L, ZHU G N, et al. Development status of pesticide emulsion oil in water in our country and research of stability mechanism[J]. Modern Agrochemicals, 2007, 6(5): 1-4, 13.
- [20] 史雅丽, 郁倩瑶, 孙陈铖, 等. 农药水乳剂物理稳定性的研究进展[J]. 日用化学工业, 2016, 46(3): 173-177.
SHI Y L, YU Q Y, SUN C C, et al. Progress in research work field with respect to physical stability of emulsion oil in water for pesticides[J]. China Surfactant Detergent & Cosmetics, 2016, 46(3): 173-177.
- [21] 张贵森, 高海霞, 刘浪, 等. 10% 啉咪草酯水乳剂的研制[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(18): 123-127.
ZHANG G S, GAO H X, LIU L, et al. Preparation of 10% pinoxaden emulsion in water[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2020, 48(18): 123-127.
- [22] 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, 723.
FENG J G, ZHANG X J, ZHAO Z W, et al. The research application status of the emulsifiers for EW[J]. Agrochemicals, 2012, 51(10): 706-709, 723.
- [23] 金夏阳, 刘倩霞, 杨富民. 60% 牛油粉末油脂的乳化技术[J]. 甘肃农业大学学报, 2018, 53(2): 169-175, 181.
JIN X Y, LIU Q X, YANG F M. Optimization on emulsifying technique of 60% content butter fat powder[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2018, 53(2): 169-175, 181.
- [24] 邵晨, 赵龙冬, 孙立杰, 等. 20% 大蒜素·丁香酚水乳剂的制备及生物活性[J]. 现代农药, 2019, 18(5): 11-14.
SHAO C, ZHAO L D, SUN L J, et al. Formulation and bioactivity of Allicin+Eugenol 20% EW[J]. Modern Agrochemicals, 2019, 18(5): 11-14.
- [25] 陈立亚, 于宝珠, 赵慧芳. *Zeta* 电位及其在药学分散体系研究中的应用[J]. 药物分析杂志, 2006, 26(2): 281-285.
CHEN L Y, YU B Z, ZHAO H F. *Zeta* potential and its application in the study of pharmaceutical dispersion systems[J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2006, 26(2): 281-285.
- [26] 张永康, 胡江宇, 欧阳辉, 等. 猕猴桃亚麻酸油纳米乳剂的制备工艺[J]. 吉首大学学报(自然科学版), 2015, 36(4): 59-63.
ZHANG Y K, HU J Y, OUYANG H, et al. Preparing technology of nanoemulsion with kiwi linolenic acid oil[J]. Journal of Jishou University (Natural Sciences Edition), 2015, 36(4): 59-63.
- [27] 王艳丽, 白世明, 李娜, 等. 消泡剂在工业生产中的研究进展[J]. 化工管理, 2021(8): 81-82.
WANG Y L, BAI S M, LI N, et al. Research progress of defoamer in industrial production[J]. Chemical Enterprise Management, 2021(8): 81-82.
- [28] 王秦, 胡航, 龚顺泽, 等. 0.3% 苦皮藤素水乳剂的制备及生物活性研究[J]. 现代农药, 2022, 21(1): 30-34, 46.
WANG Q, HU H, GONG S Z, et al. Study on the preparation and bioactivity of celangulin 0.3% EW[J]. Modern Agrochemicals, 2022, 21(1): 30-34, 46.
- [29] 苑璐, 董立峰, 于金山, 等. 30% 丙硫菌唑·氟环唑悬浮剂的研制[J]. 世界农药, 2023, 45(7): 41-45.
YUAN L, DONG L F, YU J S, et al. Preparation of thiophanazole·fluconazole 30% SC[J]. World Pesticide, 2023, 45(7): 41-45.
- [30] 陈谦, 傅舒, 高鹏, 等. 辣椒碱的提取优化及对储粮害虫的防治效果[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(4): 157-162.
CHEN Q, FU S, GAO P, et al. Study on optimization of capsaicin extraction and its effect on stored-grain pests[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(4): 157-162.
- [31] 倪婧, 谢道燕, 杨振国, 等. 天然辣椒碱类物质对朱砂叶螨杀螨活性的影响[J]. 西南农业学报, 2022, 35(2): 380-385.
NI J, XIE D Y, YANG Z G, et al. Effects of natural capsaicin on acaricidal activity of *Tetranychus cinnabarinus*[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022, 35(2): 380-385.