



韦庆慧,宋伟丰,师正浩,等.白屈菜红碱可湿性粉剂的研发及对水稻激素的影响[J].黑龙江农业科学,2025(4):1-7.

白屈菜红碱可湿性粉剂的研发 及对水稻激素的影响

韦庆慧,宋伟丰,师正浩,李志勇,潘亚清

(黑龙江省农业科学院 植物保护研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为促进以白屈菜红碱为原药开发的绿色生物农药的应用推广,探索白屈菜红碱影响水稻激素分泌的机制,及对农业生产和生态保护的重要意义。通过流点法选定可湿性粉剂的分散剂,并筛选出各种助剂的用量,从而确定了湿性粉剂的最佳配方,即以10%的白屈菜红碱作为主要成分,辅以8%的 Ultrazine NA、16%的 TAMOL DN 和8%的 Atlox Metaspense 550S 作为分散剂,同时使用8%的 GEROPON SDS 作为润湿剂,以及10%的白炭黑 HL-200 和39.5%的无水葡萄糖作为填料。以 Aguique Soap L 0.5% 为消泡剂。应用靶向代谢组学技术探究白屈菜红碱对水稻激素分泌的影响发现,白屈菜红碱可湿性粉剂处理水稻后,代谢物有明显差异,药剂处理组中水杨酸含量为对照组的近3倍,同时也能够促进水稻分泌赤霉素和吲哚乙酸,推断白屈菜红碱可湿性粉剂增强了水稻的抗病性。

关键词:白屈菜红碱;可湿性粉剂配方;稻曲病;植物激素

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



植物天然激素,简称植物激素,已知的植物激素有生长素、赤霉素、细胞分裂素、脱落酸、乙烯和油菜素甾醇六大类^[1],植物激素在植物生长和发育中起关键调节作用,尤其在激活免疫反应和调控过程中。例如,水杨酸、茉莉酸和乙烯途径在植物超敏反应中至关重要,主要通过增加活性氧含量和激活基因表达来触发激素信号传导^[2]。

传统中草药白屈菜(*Chelidonium majus* L.)系罂粟科(Papaveraceae)白屈菜属植物。主要活性成分为生物碱,其中异喹啉类生物碱白屈菜红碱具有较强的抗菌、杀虫活性^[3]。在医学领域,其药理作用已得到充分证明,包括选择性抑制蛋白激酶C,抗炎和抗肿瘤活性^[4-5]。在农业领域,范海延等^[6]观察到白屈菜红碱对镰刀菌、炭疽菌以及灰霉菌等农业病原菌的菌丝生长具有显著的抑制效果。研究显示,白屈菜红碱能有效抑制稻绿核菌孢子萌发,抑制率高达86.7%,并促进细胞凋亡^[7]。白屈菜红碱悬浮剂在田间试验中对稻曲病有较好的防治效果,有效成分用量为192 mL·hm⁻²时,防治率可达95.88%^[8]。且在小鼠毒性试验中发现该悬浮剂的LD₅₀为1580 mg·kg⁻¹,低毒,具有残留低、环境友好、耐药等特点^[9]。以白屈菜

红碱为原药的绿色生物农药的研发对于农业生产和生态保护具有重要意义。

农药生产中关于白屈菜红碱的研究大多集中于病害防治,关于其调节植物免疫、影响作物激素的研究较少。通过研发以白屈菜红碱为原药的可湿性粉剂配方,并采用盆栽试验探究其对水稻植株激素分泌的影响,以期为白屈菜红碱增强农作物抗病能力的实际应用提供理论依据。

1 材料与方

1.1 材料

1.1.1 制剂及水稻材料 白屈菜红碱提取物(含量为16%)^[7]。

分散剂包括:北京格林泰姆科技有限公司生产的 Greensperse 1506 和 Greensperse 1508、阿克苏诺贝尔公司的 MORWET D-425、鲍利葛工业有限公司的 Ultrazine NA、巴斯夫有限公司的 TAMOL DN、禾大化学品(上海)有限公司的 Atlox Metaspense 550S 和 Dispersol CBZ,以及亨斯迈化工贸易(上海)有限公司的 TERSPERSE 2700 和索尔维集团的 GEROPON T36。

润湿剂包括:索尔维集团的 GEROPON SDS、阿克苏诺贝尔公司的 Morewet EFW、索尔

收稿日期:2024-12-11

基金项目:黑龙江省省属科研院所科研业务费项目(CZKYF2023-1-C016)。

第一作者:韦庆慧(1987-),女,博士,副研究员,从事植物源农药研究。E-mail:weiqinghui@126.com。

通信作者:宋伟丰(1982-),男,博士,副研究员,从事农药学研究。E-mail:songweifeng2000@163.com。

维集团的 Geropon L-WET/P、亨斯迈化工贸易(上海)有限公司的 TERWET 1004,以及国药集团的 K12。

填充剂包括:国药集团的硫酸铵、硫酸钠、无水葡萄糖,玉锋集团生产的玉米淀粉,苏州中材产出的轻质碳酸钙、煅烧高岭土、硅藻土、膨润土,宜昌汇富硅材料有限公司制造的白炭黑 HL-200。

消泡剂为巴斯夫有限公司生产的 Aguique Soap L。

甲醇/乙腈/乙酸(安谱,色谱级)。

水稻品种为中国黑龙江省五常五优稻 4 号,本次试验在黑龙江省农业科学院内的温室大棚试验基地内进行。

1.1.2 仪器设备 北京瑞百丽商贸提供的多功能食品加工机、精度达 0.01 g 和 0.000 1 g 的电子天平、安捷伦 HPLC1220 型号高效液相色谱仪、哈纳品牌的 pH 计,以及超微气流粉碎机;烧杯(100 mL)、容量瓶(50 mL)、滴管、玻璃棒、药匙、秒表、250 mL 具塞量筒(分度 2 mL)。盆栽桶(口径 15 cm)。Q Exactive 质谱仪(Thermo),Vanquish 超高压液相色谱仪(Thermo),低温高速离心机(Eppendorf 5430R),组织破碎仪(神宇龙腾),冷冻干燥机(四环)。

1.2 白屈菜红碱可湿性粉剂助剂的筛选

1.2.1 流点法初筛分散剂 在应用流点法进行分散剂的筛选过程中,首先需准备 5% 浓度的分散剂水溶液。取 10 g 白屈菜红碱提取物粉末,利用移液管将制备好的分散剂溶液缓慢加入粉末中,并使用玻璃棒持续搅拌,直至混合物浆液能够顺畅地从玻璃棒上滴落。记录下所消耗的分散剂溶液量,进而计算出单位质量有效成分所需的溶液体积,此即为流点^[10]。通常情况下,采用流点法进行分散剂的筛选,流点较低的分散剂更有利于悬浮率的提升^[8]。利用流点法初步筛选出适合配方体系的分散剂。

对于普通的可湿性粉剂来说,关键在于选择恰当的润湿分散剂,以确保产品在接触水时能有效润湿,并在水中保持良好的悬浮稳定性^[11-12]。在保证白屈菜红碱化学稳定性合格的基础上,再考虑润湿和分散性能,最终确定较优助剂。根据分散剂初筛结果,选择相对效果较好的 Ultrazine NA、TAMOL DN 和 Atlox Metasperse 550S 进行下一步试验。

1.2.2 润湿剂筛选 根据分散剂的筛选结果,设计 5 个方案进行润湿剂的筛选,从 GEROPON

SDS、Morewet EFW、Geropon L-WET/P、TERWET 1004、K12 中选择性能更稳定的润湿剂进行下一步填料的筛选(表 1)。

表 1 润湿剂的筛选

原料	配方 1	配方 2	配方 3	配方 4	配方 5
白屈菜红碱原药	10	10	10	10	10
Ultrazine NA	10	10	10	10	10
TAMOL DN	20	15	10	5	0
Atlox Metasperse 550S	5	5	5	5	5
GEROPON SDS	10				
Geropon L-WET/P		10			
K12			10		
Morewet EFW				10	
TERWET 1004					10
蒸馏水	45	50	55	60	65

注:原料中固体粉末状态的物质单位为 g,液体单位为 mL。

1.2.3 填料筛选 分别将硅藻土、膨润土、 β 环糊精、白炭黑 HL-200 及无水葡萄糖等填充剂单独添加,检查是否出现沉淀现象,进行初步筛选试验。选择不产生沉淀或者相对沉淀量少的白炭黑 HL-200 和无水葡萄糖作为填料进行配方的优化,设计了 5 个方案(表 2)。并观察入水后的分散情况,以及是否有沉淀产生。

表 2 填料后的配方优化方案

原料	配方 6	配方 7	配方 8	配方 9	配方 10
白屈菜红碱原药	10	10	10	10	10
Ultrazine NA	10	5	5	10	8
TAMOL DN	20	10	10	10	16
Atlox Metasperse 550S	10	5	5	10	8
GEROPON SDS	10	5	5	10	8
白炭黑 HL-200	10	20	5	10	10
无水葡萄糖	30	45	60	40	40

注:原料中固体粉末状态的物质单位为 g,液体单位为 mL。

1.2.4 白屈菜红碱可湿性粉剂最佳配方的筛选及制备 按方案称取原料、辅助剂和填充物,进行初步混合与粉碎。之后,用气流粉碎机进一步粉碎混合物,确保粒度达标(D_{50} 为 5.00~6.00 μm)。最终,收集制得的产品,并检测润湿时间、泡沫持久性、细度、热储稳定性等指标。

1.3 白屈菜红碱可湿性粉剂对水稻植株激素的影响

1.3.1 白屈菜红碱可湿性粉剂喷洒水稻盆栽 5 月中旬进行水稻秧苗的培育与维护。首先,使用自来水对盆栽土壤浸润 7 d,以促进土壤熟化,随后

进行秧苗的移植,每盆(口径 15 cm)可种植 2~4 株幼苗。在水稻生长的初期至中期,应持续保持水淹状态,而到了分蘖期的后期,则需逐渐降低水淹深度,并开始实施烤田,以控制水分。

制备获得的白屈菜红碱可湿性粉剂对抽穗期前后 3~5 d 的水稻进行喷施,共喷施两次,每次喷施剂量为 $0.8 \text{ mL}\cdot\text{m}^{-2}$ (用水量 $60 \text{ mL}\cdot\text{m}^{-2}$),两次喷施间隔时间为 8~10 d。设置清水对照组 CK,药剂处理组 Y。3 次重复,每组 10 盆。第二次喷施结束后 7 d,采集对照组与药剂处理组水稻叶茎,进行植物激素含量的测定。

1.3.2 标准品溶液的配制 首先精确地量取标准品(表 3),使用甲醇将其稀释至 $10 \text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的标准溶液母液。随后,从这些母液中取出适量混合,制备成 $100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的标准品混合溶液。最后,依据给定的浓度梯度,制备出适合仪器分析的一系列标准品。

表 3 标准品信息

名称	英文名称	CAS 号	分子式
吡咯乙酸	Indole-3-Acetic Acid	87-51-4	$\text{C}_{10}\text{H}_9\text{NO}_2$
赤霉素 A ₁	Gibberellin A ₁	545-97-1	$\text{C}_{19}\text{H}_{24}\text{O}_6$
赤霉素 A ₃	Gibberellic A ₃	1977-6-5	$\text{C}_{19}\text{H}_{22}\text{O}_6$
赤霉素 A ₄	Gibberellin A ₄	468-44-0	$\text{C}_{19}\text{H}_{24}\text{O}_3$
赤霉素 A ₇	Gibberellin A ₇	510-75-8	$\text{C}_{19}\text{H}_{22}\text{O}_3$
茉莉酸	Jasmonic Acid	3572-66-5	$\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{O}_3$
茉莉酸-	Jasmonic Acid-	120330-93-0	$\text{C}_{18}\text{H}_{29}\text{NO}_4$
异亮氨酸	Isoleucine		
水杨酸	Salicylic Acid	69-72-7	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$
脱落酸	Abscisic Acid	14375-45-2	$\text{C}_{15}\text{H}_{20}\text{O}_4$

1.3.3 样品提取程序 准确称取 100 mg 样品,加入 1 mL 的 50% 乙腈水溶液。在 4 °C 条件下,对样品执行 3 min 的超声波处理,随后进行 30 min 的低温提取。以 $12\,000 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速率,在 4 °C 下进行离心操作 10 min,取其上层清液。通过反相固相萃取柱进行净化;依次加入 1 mL 的纯甲醇和 1 mL 的去离子水进行柱平衡,再用 50% 乙腈水溶液进行平衡。样品上样后,用 1 mL 的 30% 乙腈水溶液进行冲洗,收集洗脱液。将样品在氮气流下蒸发至完全干燥,溶解于 200 μL 的 30% 乙腈中,并转移至含有内插管的样品瓶中。

1.3.4 仪器参数设置 本研究中所采用的数据采集仪器系统主要由美国 Thermo Fisher Scientific 公司生产的超高效液相色谱仪(Vanquish, UPLC)以及高分辨质谱仪(Q Exactive)构成(<https://www.thermofisher.com/>)。

液相色谱分析参数设定如下:采用 Waters 公司生产的 HSS T3 色谱柱(规格为 $50.0 \text{ mm}\times 2.1 \text{ mm}$,颗粒大小为 $1.8 \mu\text{m}$);流动相由 A 相超纯水(含 0.1% 乙酸)和 B 相乙腈(含 0.1% 乙酸)组成;流速设定为 $0.3 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$;柱温维持在 40 °C;进样量为 2 μL ;洗脱梯度设置为:初始 0 min 时水和乙腈比例为 90:10(V/V),1 min 后保持不变,至 7 min 时仍为 90:10,7.1 min 时迅速调整至 10:90,并持续至 9 min。QExactive 质谱及 ESI 参数等设置参考黄燕芬等^[13]的方法。

1.4 数据分析

使用 DPS 15.0 对数据进行统计与分析,显著性检验采用单因素方差分析的最小极差法(Least significant ranges, LSD),设定显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 白屈菜红碱可湿性粉剂制剂配方的确定

2.1.1 白屈菜红碱可湿性粉剂助剂的确 如表 4 所示,Ultrazine NA、TAMOL DN 和 Atlox Metasperse 550S 的流点低,更适合作为分散剂,因此选择它们来开展后续的试验。

表 4 不同分散剂对白屈菜红碱可湿性粉剂流点的影响

指标	流点	指标	流点
Greensperse 1506	7.25	TAMOL DN	3.61
Greensperse 1508	7.86	Atlox Metasperse 550S	3.53
MORWET D-425	6.65	TERSPERSE 2700	6.85
Ultrazine NA	4.24	GEROPON T36	7.19

如表 5 所示,配方一中 GEROPON SDS 作为润湿剂可以使制剂的性能更为稳定,因此选定该润湿剂继续进行后续的筛选工作。

表 5 不同润湿剂对白屈菜红碱可湿性粉剂制剂润湿效果的影响

指标	入水后现象	指标	入水后现象
配方 1	润湿时间约为 110 s	配方 4	难润湿
配方 2	润湿时间约为 130 s	配方 5	难润湿
配方 3	难润湿		

初步筛选试验结果显示,仅使用硅藻土、膨润土、 β 环糊精等填充材料时,均观察到沉淀现象。然而,白炭黑 HL-200 与无水葡萄糖的搭配能够略微缓解这一问题。基于此,决定采用白炭黑 HL-200 和无水葡萄糖作为填充材料,进一步优化配方。优化配方后的结果如表 6 所示,对比后发现,配方 10 的分散性能最优。以上结果已申报专利,并授权(详见 OSID 码)^[14]。

表 6 添加填料后的白屈菜红碱可湿性粉剂配方优化结果

指标	入水后现象
配方 6	摇晃可分散,沉淀较少
配方 7	底部沉淀较多
配方 8	底部沉淀较多
配方 9	上面有漂浮物,底部沉淀较多
配方 10	摇晃可分散,沉淀较少

2.1.2 白屈菜红碱可湿性粉剂最佳配方的确定

在配方 10 的基础中添加些许消泡剂 Aguique Soap L,配方详情见表 7。检测该白屈菜红碱可湿性粉剂,其为能自由流动的粉末,无可见的外来杂质和硬团块;含量为 10%±1%;含水量 0.78%,pH 为 6.53,悬浮率 80.61%,润湿时间 92 s,泡沫持久性 18 mL·min⁻¹,细度 99.1%,热储稳定性合格,以上均符合国标要求。

表 7 经筛选确定的白屈菜红碱可湿性粉剂配方

原料	用量
白屈菜红碱原药	10
Ultrazine NA	8
TAMOL DN	16
Atlox Metasperse 550S	8
GEROPON SDS	8
Aguique Soap L	0.5
白炭黑 HL-200	10
无水葡萄糖	39.5

注:原料中固体粉末状态的物质单位为 g,液体单位为 mL。

2.2 水稻响应白屈菜红碱可湿性粉剂的激素变化

如图 1 所示,药剂处理组中水杨酸含量为 643.71 ng·g⁻¹,对照组中为 228.71 ng·g⁻¹,含量明显增加,是对照组的 2.8 倍。药剂处理组 Y 中赤霉素 A₃ 明显增加,含量为 3.10 ng·g⁻¹,是对照组 CK 含量(1.15 ng·g⁻¹)的 2.7 倍。药剂处理组 Y 中吲哚乙酸含量为 801.34 ng·g⁻¹,是对照组 CK 中含量(767.83 ng·g⁻¹)的 1 倍多。赤霉素 A₁、脱落酸、茉莉酸、赤霉素 A₇、赤霉素 A₄ 和茉莉酸-异亮氨酸均下降。

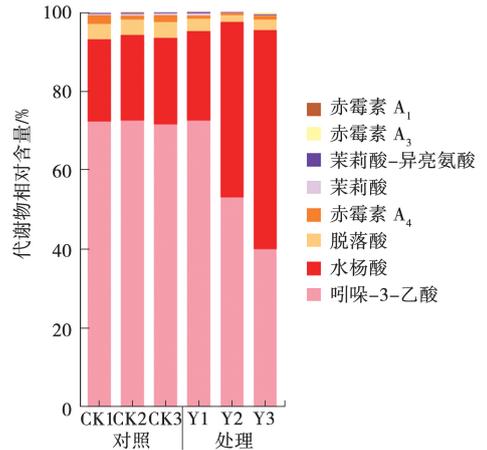


图 1 含量前 8 的代谢物百分比堆积柱形图

由图 2 可以看出,处理组与对照组中含量排名前 8 的代谢物聚集在不同区域,表明两组之间这 8 种代谢物的结构组成存在显著差异。

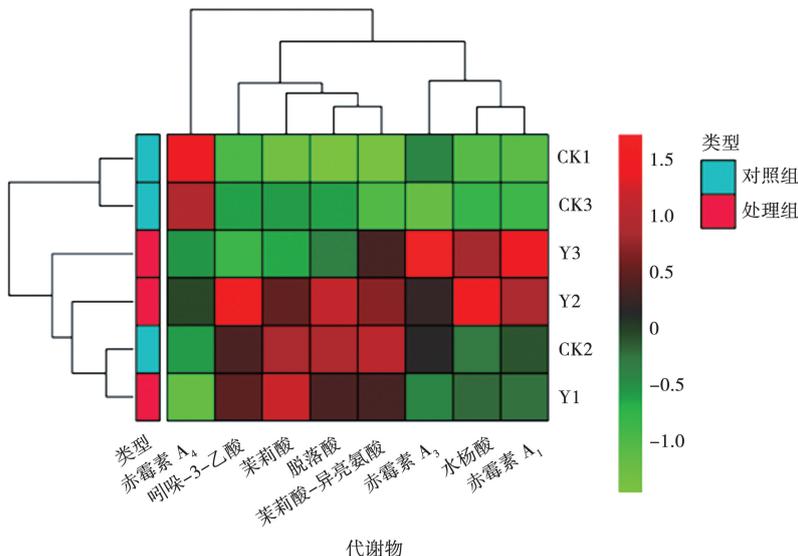


图 2 含量前 8 的代谢物含量分布热图聚类结果

注:刻度尺揭示了颜色与代谢物含量(Z-Score)之间的对应关系。

主成分分析(PCA, Principal Component Analysis)结果如图 3, 两组点云(point cloud)在空间分布上呈现出明显的分隔, 揭示了两组样本在代谢物组成结构上存在明显的差异。综上, 均说明白屈菜红碱对水稻的代谢物分泌有明显影响。

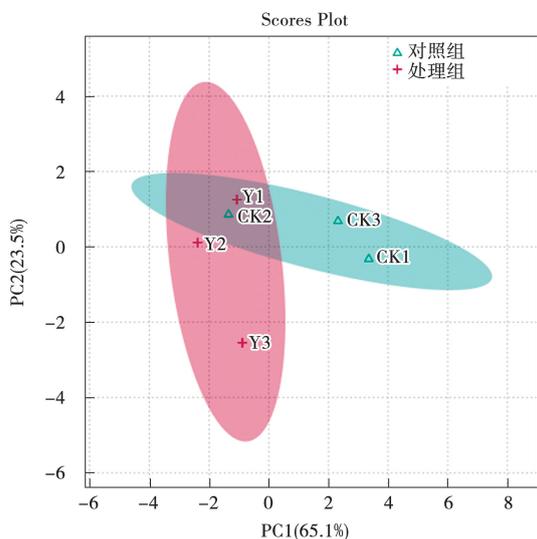


图 3 靶向代谢物激素检测的 PCA 图

注: 粉色代表药剂处理组, 蓝色代表对照组, 椭圆形区域代表样本点的 95% 置信区间。

3 讨论

化学农药是控制稻曲病最有效的方法, 但长期重复使用可能导致农药抗性和环境中有害残留物的积累^[8]。因此, 迫切需要开发环境兼容的方法来控制作物病害或者提高作物抗病性, 植物源成分特有的环保特性具有开发为农药的潜质。

3.1 生物源农药白屈菜红碱可湿性粉剂的优势

农药制剂与剂型发展的目标是降低毒性, 提高安全性。主要通过开发新型制剂和改良现有产品来实现^[15-16]。随着人们环保意识的提高, 一部分环保安全农药新剂型正逐步取代传统农药剂型, 可湿性粉剂不使用有机溶剂, 具有包装、运输费用低和耐储存等优点。白屈菜红碱来源于中草药白屈菜, 本团队前期研究发现其悬浮剂的 LD₅₀ 为 1 580 mg·kg⁻¹, 低毒^[9]。

本研究针对白屈菜红碱原药, 开发了一种新型的可湿性粉剂。粉剂配方含 10% 白屈菜红碱原

药, 分散剂 Ultrazine NA 8%、TAMOL DN 16% 和 Atlox Metasperse 550S 8%, 润湿剂 GEROPON SDS 8%, 以及白炭黑 HL-200 10% 和无水葡萄糖 39.5% 的填料。此外, 消泡剂 Aguique Soap L 0.5% 也被添加到配方中。将该白屈菜红碱可湿性粉剂稀释后喷施于水稻能够有效防治水稻稻曲病, 当用量为 2 kg·hm⁻² 时, 防治效果为 70.97%^[14]。同时该药剂可以影响水稻激素的分泌, 增强水稻的抗病性。

3.2 白屈菜红碱可湿性粉剂对于水稻中水杨酸的影响

水杨酸作为植物内源性信号分子, 对植物的多项生理过程具有调控作用, 包括但不限于植物的免疫反应、衰老相关基因的表达以及果实产量等。研究揭示, 水杨酸通过影响其他植物激素如茉莉酸、乙烯和生长素等的生物合成及信号传导途径, 实现对植物多种生理过程的协同调控^[17-18]。金太成等^[19]揭示了植物水杨酸途径防御基因应答非生物胁迫相关的分子机制中 ROS1 起重要作用, 可为探索植物适应不利环境的表观调控机制提供参考。本研究中, 白屈菜红碱可湿性粉剂处理水稻植株后, 药剂处理组水杨酸含量是对照组的 2.8 倍, 推断白屈菜红碱可湿性粉剂增强了水稻的抗病性。

3.3 白屈菜红碱可湿性粉剂对于水稻中赤霉素的影响

赤霉素作为植物生长调节剂, 在种子形成过程中, 能促进细胞分裂和生长, 提高种子萌发率^[20]。研究显示, 赤霉素信号通路是病原菌的关键靶点, 与水杨酸、茉莉酸信号通路紧密相关。植物被活体营养型病原菌侵染时, 若 DELLA 蛋白编码基因发生突变, 水杨酸信号通路的反应会加强^[2]。研究人员发现黄单胞菌的效应因子 XopDX-cc8004 可抑制赤霉素诱导的 DELLA 蛋白降解, 进而抑制水杨酸信号激活^[21]。本研究中, 白屈菜红碱可湿性粉剂处理水稻植株后, 药剂处理组赤霉素含量是对照组含量的近 3 倍, 推断白屈菜红碱具有促进水稻植株生长的作用。

3.4 白屈菜红碱可湿性粉剂对于水稻中吲哚乙酸的影 响

陶龙兴^[22]的研究揭示了在抽穗前对幼穗施用吲哚乙酸,能够减少强势粒与弱勢粒结实率的差距。此外,他指出内源性吲哚乙酸在杂交稻籽粒灌浆过程中扮演着关键角色。黄升谋^[23]的研究也表明吲哚乙酸的含量与干物质的积累存在正比关系,它能够推动营养物质的运输,并调节同化物在籽粒中的积累,从而提升库的活性。本研究中,白屈菜红碱可湿性粉剂处理水稻植株后,药剂处理组吲哚乙酸含量是对照组的1倍多,推断白屈菜红碱对于水稻丰产可能有促进作用,关于产量调查的工作计划后续开展。

4 结论

本研究筛选了白屈菜红碱可湿性粉剂生物农药配方,10%白屈菜红碱原药,分散剂 Ultrazine NA 8%、TAMOL DN 16%和 Atlox Metasperse 550S 8%,润湿剂 GEROPON SDS 8%,以及白炭黑 HL-200 10%和无水葡萄糖 39.5%的填料,消泡剂 Aguique Soap L 0.5%。水稻喷施该药剂后,代谢物差异明显,水杨酸含量为 $643.71 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,是对照组的2.8倍;赤霉素 A_3 含量为 $3.10 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,是对照组 CK 含量($1.15 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)的2.7倍;吲哚乙酸含量为 $801.34 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,是对照组(CK)中含量($767.83 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$)的1倍多。能够促进盆栽水稻分泌水杨酸、赤霉素及吲哚乙酸,推断白屈菜红碱可湿性粉剂增强了水稻的抗病性,为植物病害的绿色防治提供理论依据。

参考文献:

[1] 李欣.植物激素结合蛋白的系统鉴定及功能研究[D].北京:中国中医科学院,2023.

[2] 刘赵文.外源赤霉素及 SiSPLs 转录因子调控谷子对白发病抗性的机理研究[D].太谷:山西农业大学,2022.

[3] 韦庆慧,马玲,赵敏.白屈菜植株中红碱提取工艺及含量变化研究[J].北京林业大学学报,2013,35(2):86-91.

[4] SAAVEDRA A, FERNÁNDEZ-GARCÍA S, CASES S, et al. Chelerythrine promotes Ca^{2+} -dependent calpain activation in neuronal cells in a PKC-independent manner [J]. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) -General Subjects*, 2017, 1861(4): 922-935.

[5] ZHU Y Z, PAN Y Y, ZHANG G B, et al. Chelerythrine inhibits human hepatocellular carcinoma metastasis *in vitro* [J]. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 2018, 41(1): 36-46.

[6] 范海延,薛广厚,吕春茂,等.白屈菜中白屈菜红碱的提取及抑菌活性[J].食品科学,2009,30(24):126-129.

[7] WEI Q H, CUI D Z, LIU X F, et al. *In vitro* antifungal activity and possible mechanisms of action of chelerythrine [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2020, 164: 140-148.

[8] 韦庆慧,宋伟丰,翟喜海,等.白屈菜红碱悬浮剂的研发及其对盐碱地水稻稻曲病的田间防治研究[J].黑龙江农业科学,2022(8):47-51.

[9] WEI Q H, SONG W F, LI X M, et al. Biological control of *Ustilaginoidea virens* using chelerythrine suspension[J]. *Pharmacognosy Magazine*, 2024, 20(2): 624-631.

[10] FREI B, SCHMID P. Development trends in pesticide formulation and packaging [M]//Pesticide Formulation and Adjuvant Technology. Boca Raton: CRC Press, 2018: 33-42.

[11] 海飞,李天杰,郑伟,等.吡啶醚菌酯与氟环唑组合对小麦叶锈病的防效及对小麦的安全性[J].农药学报,2023, 25(1):97-103.

[12] 马超,段小莉,赵宜君,等.25%溴菌腈·多菌灵可湿性粉剂配方及药效研究[J].现代农药,2024,23(1):55-61,79.

[13] 黄燕芬,吴坤,张文香,等.百蕊草体细胞胚的分化及其内源生长调节物质的变化特性[J].贵州农业科学,2023,51(11):98-108.

[14] 韦庆慧,宋伟丰,翟喜海,等.一种白屈菜红碱可湿性粉剂及其制备方法与应用:CN202210741435.6[P].2023-09-19.

[15] 张金艳,王延锋,王志军.我国农药剂型加工工业的现状和发展建议[J].黑龙江农业科学,2001(2):38-41.

[16] 凌世海.农药剂型加工工业现状和发展趋势[J].安徽化工,2006,32(3):3-9.

[17] GALLEGO-GIRALDO L, ESCAMILLA-TREVINO L, JACKSON L A, et al. Salicylic acid mediates the reduced growth of lignin down-regulated plants[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(51): 20814-20819.

[18] RIVAS-SAN VICENTE M, PLASENCIA J. Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2011, 62(10): 3321-3338.

[19] 金太成,闵菲,李一获,等.非生物胁迫诱导拟南芥中防御

- 基因表达的分子机制[J]. 东北林业大学学报, 2023, 51(5):60-65.
- [20] 沈张峰. 赤霉素和水杨酸对樱桃种子发芽情况的影响初探[J]. 上海农业科技, 2024(1):77-78.
- [21] TAN L T, RONG W, LUO H L, et al. The *Xanthomonas campestris* effector protein XopDXcc8004 triggers plant disease tolerance by targeting DELLA proteins[J]. The New Phytologist, 2014, 204(3): 595-608.
- [22] 陶龙兴. 内源 IAA 对亚种间杂交稻籽粒灌浆的信息效应[D]. 北京:中国农业科学院, 2003.
- [23] 黄升谋. 玉米素和吲哚乙酸影响水稻结实率与充实度的机理分析[J]. 襄樊学院学报, 2012, 33(5):12-16.

Research and Development of Chelerythrine Wettable Powder and Effect on Rice Hormone

WEI Qinghui, SONG Weifeng, SHI Zhenghao, LI Zhiyong, PAN Yaqing

(Institute of Plant Protection, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: Chelerythrine is one of the most abundant alkaloids in the traditional Chinese medicinal herb *Chelidonium majus* L. . This research developed green biological pesticides as the original drug, and explored the mechanism of affecting the secretion of rice hormones. The result is of great significance for agricultural production and ecological protection. The flow point method was used to determine the dispersion of wettable powder, screening the amount of each auxiliary agent, and finally the best formula of wettable powder was used as 10%, Ultrazine NA 8%, TAMOL DN 16% and Atlox Metaspense 550S 8% as dispersant, GEROPON SDS 8% as wetting agent, White Carbon Black HL-200 10% and Anhydrous Glucose 39.5% as filler, and Aguique Soap L 0.5% as defoaming agent. Application of targeted metabolomics technology to explore the influence of chelerythrine on rice hormone secretion, chelerythrine can be wet powder processing rice, metabolite differences, salicylic acid content in the treatment group was nearly 3 times of the control group, but also promoted rice secretion gibband and acetic acid, infer chelerythrine base can be wet powder to enhance the disease resistance of rice.

Keywords: chelerythrine; wettable powder formulation; rice false smut; plant hormone

著作权使用声明

本刊已许可中国知网、维普网、万方数据、博看网、长江文库、超星、龙源期刊网、中邮阅读网、新华网学术中国、中国农业期刊集成服务平台、中国农业期刊网、农业工程与装备科技期刊集群等知识服务平台以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含著作权使用费,所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。

黑龙江农业科学编辑部