

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2025.04.008

# 中药挥发油联用二氢吡吩铁对稻瘟病菌的抑菌研究

王梓渝, 杜佳思进, 周楠, 陈江

成都中医药大学药学院/现代中药产业学院, 成都 611137

**摘要:** 为研发绿色有机、高效低毒的新型稻瘟病防治农药, 创新性地从中医临床治病扶正祛邪的角度出发, 以4味燥湿化湿类中药挥发油与植物生长调节剂二氢吡吩铁形成复合药剂, 通过室内含毒介质抑菌试验和田间实地试验, 对其防效进行探索。田间试验表明, 796.55 g·a·i/hm<sup>2</sup> 山苍子复合药剂防效达95.43%, 1 155.60 g·a·i/hm<sup>2</sup> 广藿香复合药剂防效达92.32%, 1 044.00 g·a·i/hm<sup>2</sup> 苍耳子复合药剂防效为75.67%, 1 557.12 g·a·i/hm<sup>2</sup> 黄连复合药剂防效为68.88%。结果表明, 山苍子和广藿香挥发油与二氢吡吩铁产生了明显的协同增效效应, 相同浓度下复合药剂防效高于化学农药稻瘟灵, 研究结果可为后续中药源农药的进一步研究提供参考。

**关键词:** 中药挥发油; 二氢吡吩铁;

稻瘟病; 防治

中图分类号: S438.2

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 2097-1354(2025)04-0066-08

## Research on the Antibacterial Activity of the Volatile Oil of Traditional Chinese Medicine Combined with Iron Chlorine e6 against *Magnaporthe oryzae*

WANG Ziyu, DU Jiasijin, ZHOU Nan, CHEN Jiang

School of Pharmacy / School of Modern Chinese Medicine Industry, Chengdu University of

Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China

**Abstract:** To develop novel green, organic, highly efficient and low-toxic fungicides for the prevention and control of rice blast. The research innovatively takes view from the perspective of

收稿日期: 2025-04-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(82274039); 四川省自然科学基金项目(2023NSFSC0660); 2023年国家级大学生创新创业训练计划项目(202310633038); 成都中医药大学科技园2024年度大学生创新创业项目(KJYZD2406)。

作者简介: 王梓渝, 主要从事中药资源学研究。

通信作者: 陈江, 博士, 教授。

strengthening the body and eliminating pathogenic factors of traditional Chinese medicine in clinical treatment. A compound agent was formed by combining the volatile oils of four dampness-drying and dampness-resolving traditional Chinese medicines with the plant growth regulator Iron Chlorine e6. The control efficacy was explored through indoor toxic medium bacteriostasis tests and field experiments. Results of field trials indicated that the control efficacy of the *Litsea cubeba* compound agent at  $796.55 \text{ g} \cdot \text{a} \cdot \text{i}/\text{hm}^2$ , *Pogostemoncablin* compound agent at  $1,155.60 \text{ g} \cdot \text{a} \cdot \text{i}/\text{hm}^2$ , *Xanthiumstrumarium* compound agent at  $1,044.00 \text{ g} \cdot \text{a} \cdot \text{i}/\text{hm}^2$ , and *Coptis chinensis* compound agent at  $1,557.12 \text{ g} \cdot \text{a} \cdot \text{i}/\text{hm}^2$ , reached 95.43%, 92.32%, 75.67%, and 68.88%, respectively. The volatile oils of *L. cubeba* and *P. cablin* exhibited remarkable synergistic effect with Iron Chlorine e6. Under the same concentration, the control efficacy of the compound agent was superior to that of the chemical fungicide isoprothiolane. The research findings offer certain references for the subsequent in-depth study of traditional Chinese medicine-derived pesticides.

**Key words:** volatile oil of traditional Chinese medicine; Iron Chlorine e6; rice blast; agricultural disease control

稻瘟病由稻瘟病原菌(*Magnaporthe oryzae*)引起,是发病情况最复杂、潜在危害最大的水稻真菌性病害之一,严重威胁我国粮食安全<sup>[1]</sup>。在我国倡导“加快农业发展全面绿色转型”的背景下,探索新的、绿色安全的稻瘟病防治方法,具有十分重要的现实意义和广阔的应用前景。

近年来,利用有机植物提取物防治农业病虫害的研究报道不断涌现<sup>[2-7]</sup>,在中药材中寻找具有农用抑菌活性的成分,逐渐成为植物源农药研究的热点。中药材的抑菌成分大多来源于植物本身,因此不会对作物产生药害,其降解途径也更为顺畅,具有良好的环境相容性。而且,中药材常由多组分构成,作用机制与一般化学农药不同,产生抗药性的风险更低。除此之外,中药源农药的生物活性多种多样,不仅具有抑菌杀虫活性,还有调节植物生长、诱导免疫力及提升肥效等作用。大量研究表明,许多中药提取物对常见的农业病害均具有较高的抑菌活性,部分效果甚至远优于化学农药<sup>[8-11]</sup>。

有研究发现,广藿香、山苍子、黄连、苍耳子4味中药挥发油对稻瘟病的抑菌活性较高,但略低于化学农药稻瘟灵<sup>[12]</sup>。基于此,本研究旨在研发一种复合药剂,进一步提升其防效。扶正祛邪是中医理论体系中治疗人体疾病的重要原则,从内扶助正气,从外祛除邪气,通过内外合治达到治疗疾病的目的。创新拓展该理论的应用范围,将其用于稻瘟病的防治,若能增强水稻自身抵抗力以扶正,同时高效抑菌以驱邪,有望取得良好的防治效果。

二氢吡吩铁是从中药蚕沙中提取,经过反复提纯精制得到的纯天然植物源生长调节剂,其结构类似叶绿素和血红素,对环境十分安全,已被证实可显著提高水稻抗稻瘟病的能力<sup>[13]</sup>。

因此,基于扶助正气的考量,选用二氢吡吩铁增强水稻抵抗力;基于祛除外邪的需要,选用中药挥发油高效抑菌、燥湿化湿,并借助挥发气味驱虫阻断病菌传播。将两者配伍用药形成一种复合药剂,通过室内含毒介质试验和田间试验探索复合药剂的防治效果。本研究借助中医理论指导,创新稻瘟病防治农药的研发思路,以为农业问题的解决提供中医药智慧与中医药实践。

## 1 试验材料

### 1.1 复合药剂

将不同浓度梯度的中药挥发油与二氢吡吩铁进行复方配伍。

中药挥发油：广藿香[*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.]、山苍子[*Litsea cubeba* (Lour.) Pers.]、黄连(*Coptis chinensis* Franch.)、苍耳子(*Xanthium sibiricum* Patr.)挥发油，成都中医药大学西南特色中药资源国家重点实验室提取。

二氢吡吩铁：南京百特生物工程有限公司购买。

## 1.2 病原菌和水稻

供试病原菌：Guy11 稻瘟病菌株，由四川农业大学西南作物基因资源发掘与利用国家重点实验室提供。

供试水稻：丽江新团黑谷(LTH)，种植于四川农业大学试验田。

## 1.3 供试对照药剂

稻瘟灵乳油剂：有效成分分子式为  $C_{12}H_{18}O_4S_2$ ，体积分数为 40%，重庆树荣作物科学有限公司购买。

## 2 试验方法

研究分为室内含毒介质试验、田间防治试验两大部分。由室内含毒介质试验得出不同浓度、不同种类的中药挥发油以及配伍二氢吡吩铁的复合药剂对稻瘟病菌的抑制效果，筛选出活性较好的组合，随后进行田间试验，验证复合药剂的实地防治效果。

### 2.1 试验药物不同浓度的配置

中药挥发油：以 5% 体积分数的吐温 80 为溶剂，加入不同浓度的挥发油。广藿香组质量浓度分别为 0.481、1.442、1.922 g/L，对应体积分数分别为 0.05%、0.15%、0.20%；山苍子组质量浓度为 0.442、0.884、1.326 g/L，对应体积分数分别为 0.05%、0.10%、0.15%；苍耳子组质量浓度为 0.435、0.869、1.736 g/L，对应体积分数分别为 0.05%、0.10%、0.20%；黄连组质量浓度为 1.296、1.943、2.590 g/L，对应体积分数分别为 0.10%、0.15%、0.20%。

复合药剂：中药挥发油(浓度梯度同上)和 0.391 g/L 的二氢吡吩铁(体积分数为 0.03%)配置成复合药剂。

对照组：阴性对照吐温，质量浓度为 2.700 g/L，体积分数为 0.25%；阳性对照稻瘟灵，质量浓度为 2.460 g/L，体积分数为 0.20%。

### 2.2 复合药剂的成分分析及有效成分确定

对 4 种中药挥发油活性成分进行测定，采用高效液相色谱分析<sup>[9]</sup>。广藿香挥发油主要成分确定为百秋李醇(图 1a)，其中百秋李醇的含量为 26%。山苍子主要成分为  $\alpha$ -柠檬醛、 $\beta$ -柠檬醛和 *D*-柠檬烯(图 1b)，3 种成分占比达 68%。苍耳子挥发油主要成分为 *D*-柠檬烯、 $\alpha$ -紫罗兰酮等物质(图 1c)，其中萜类成分占比达 67%。黄连挥发油主要成分为香叶烯、石竹烯(图 1d)，其含量占挥发油比例分别为 19% 和 18%。二氢吡吩铁分子式为  $C_{34}H_{31}ClFeN_4O_6 \cdot 3H$ ，相对分子质量为 685.9<sup>[14]</sup>。

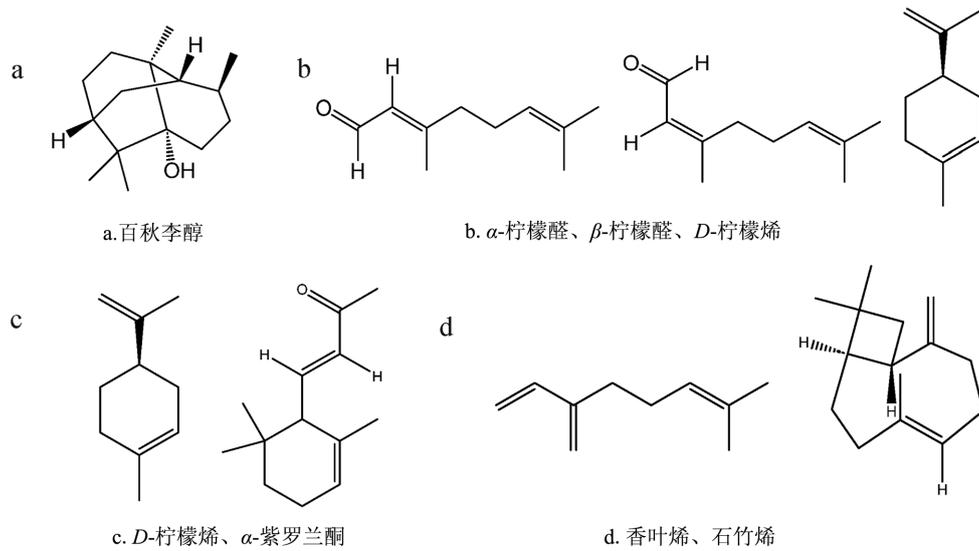


图1 中药挥发油有效成分结构式

### 2.3 室内含毒介质抑菌试验

将4种中药挥发油及复合药剂分别配制成不同浓度的溶液,然后取适量分别加入到15~20 mL温度约为50℃的稻瘟病菌培养基中,充分混合后,待其凝固形成带药平板。将面积约0.2 cm<sup>2</sup>且长势大致相同的稻瘟病菌菌饼置于平板中央,加入相应体积的吐温溶液作为空白组。将平板置于25℃恒温培养箱内培养20 d后,统一观察稻瘟病菌菌丝生长情况。采用Image J软件测算每个平板的菌落生长直径,重复测量3次,最后计算得出各组平均抑制率,计算公式如下:

$$\text{抑制率}(\%) = \frac{(\text{空白组菌落生长直径} - \text{处理组菌落生长直径})}{\text{空白组菌落生长直径}} \times 100$$

$$\text{菌落生长直径}(\text{cm}) = \text{菌落直径} - \text{初始菌饼直径}(0.5 \text{ cm})$$

### 2.4 田间实地防治试验

试验在四川省成都市四川农业大学试验田进行,地理坐标103°8'N, 30°72'E,海拔510~650 m,属亚热带湿润季风气候,气温较高。水稻采用直播方式于2024年4月20日从苗床移栽于田间,共计100个小区,每小区面积0.5 m<sup>2</sup>,每区50~60株,每小区做3组重复。试验对供试水稻进行统一喷雾接菌,以保证水稻处于同等发病程度。接菌后采用随机区组排列的方法进行给药处理,接菌12 h后进行第一次给药,24 h后进行第二次给药,待水稻发病稳定后,进行随机取样,计算病斑数量及水稻病情指数,计算公式如下:

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{各级病叶数} \times \text{各级代表值})}{(\text{调查总叶数} \times \text{最高级代表值})} \times 100$$

$$\text{防治效果}(\%) = \frac{(\text{对照区病情指数} - \text{药剂处理区病情指数})}{\text{对照区病情指数}} \times 100$$

根据水稻叶瘟病斑的严重程度,采用以下分级标准对病斑进行量化评估,即0级:无病斑;1级:仅有针尖大小的褐点病斑;2级:较大褐点病斑;3级:褐点病斑直径为1~2 mm;4级:病斑面积/叶片总面积 $\leq 2\%$ ;5级: $2\% < \text{病斑面积/叶片总面积} \leq 10\%$ ;6级: $10\% < \text{病斑面积/叶片总面积} \leq 25\%$ ;7级: $25\% < \text{病斑面积/叶片总面积} \leq 50\%$ ;8级: $50\% < \text{病斑面积/叶}$

片总面积 $\leq 75\%$ ；9级：病斑连成片，占叶面积50%以上或全叶枯死。

## 2.5 数据统计与分析

数据处理采用 Microsoft Excel 软件、SPSS 软件、Image J 软件、Origin 绘图软件进行分析，统计方法使用 Duncan's Multiple Range Test。

## 3 结果与分析

### 3.1 室内含毒介质试验结果

本研究通过含毒介质法对4种中药挥发油及其复合药剂进行稻瘟病菌抑菌活性测定，以溶剂吐温为空白对照，化学药物稻瘟灵为阳性对照，处理组抑菌活性越高，稻瘟病菌菌落直径越小。由表1可知，二氢吡吩铁自身具有一定的抑菌效果，在使用浓度下菌丝生长抑制率可达25.74%；同时，相比于中药挥发油单药对稻瘟病菌的抑菌效果，二氢吡吩铁和4种中药挥发油联用的复合药剂产生了协同增效效应，提高了对稻瘟病菌的抑制作用。其中，0.05%广藿香、0.20%黄连、0.15%山苍子、0.20%苍耳子复合药剂抑制率达到100%，抑菌效果与化学农药稻瘟灵相当，且中药挥发油的平均用药浓度低于稻瘟灵。

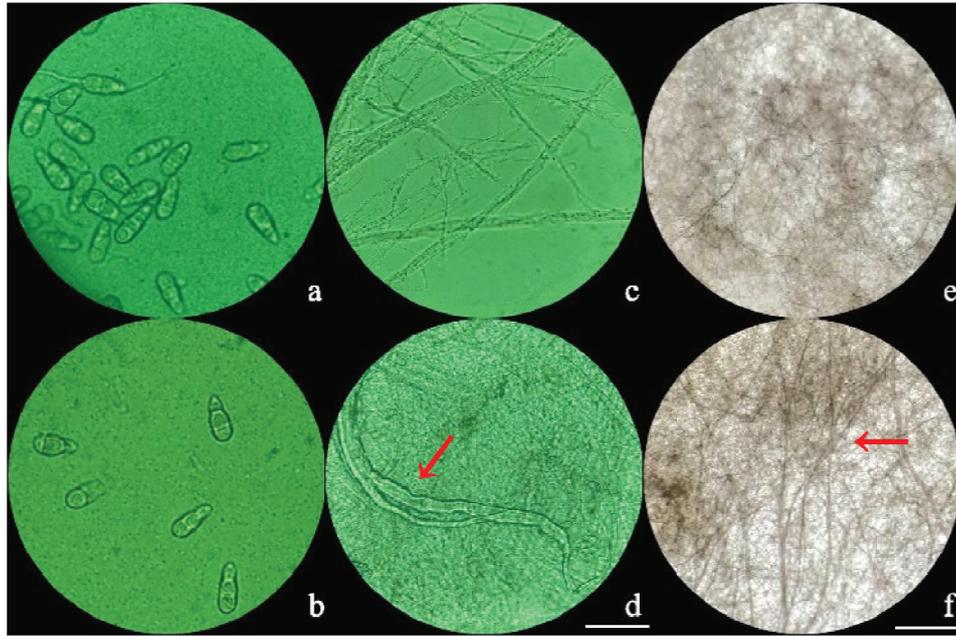
表1 复合药剂和中药挥发油对稻瘟病菌菌丝生长的抑制效果

试剂	体积分数/%	抑制率/%	单药抑制率/%
吐温 80	0.25	0.00	
稻瘟灵	0.20	100.00	
二氢吡吩铁	0.03	25.74	
广藿香复合药剂	0.05	100.00a	37.38a
	0.15	100.00a	100.00b
	0.20	100.00a	100.00b
黄连复合药剂	0.1	45.80a	45.95a
	0.15	62.45b	64.54b
	0.20	100.00c	67.39b
山苍子复合药剂	0.05	35.48a	20.66a
	0.10	39.56a	26.45b
	0.15	100.00b	43.86c
苍耳子复合药剂	0.05	45.84a	4.94a
	0.10	55.77b	36.42b
	0.20	100.00c	100.00c

注：同列数据不同字母表示差异有统计学意义( $p < 0.05$ )。

### 3.2 复合药剂对稻瘟病菌菌丝的形态影响

实验对各处理组进行了显微观察。在高倍镜下观察阴性组和复合药剂处理组的孢子悬浮液，在相同视野范围内，阴性组(图2a)孢子悬浮液密度较大，孢子数量较多；复合药剂处理组(图2b)孢子悬浮液密度明显降低，数量较少。高倍镜下观察菌丝形态，发现阴性组(图2c)菌丝分明、形态纤细光滑，复合药剂处理组(图2d)菌丝发生曲折，褶皱明显(箭头标识)。在低倍镜下观察，发现阴性组(图2e)菌丝纤细、分明、轮廓清晰，复合药剂处理组(图2f)菌丝肿胀较为明显(箭头标识)。由此可见，复合药剂处理会破坏菌丝的正常形态，影响病菌正常生长。



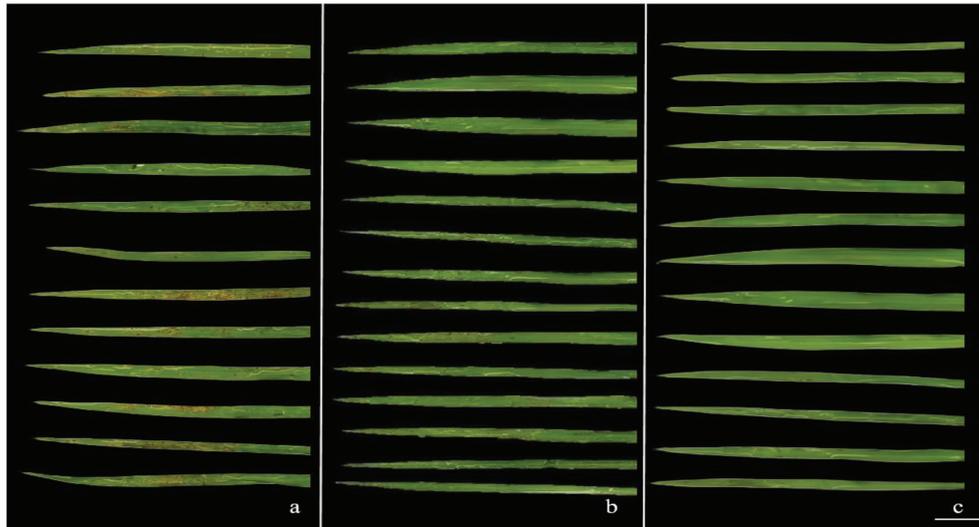
a.高倍显微镜下阴性组孢子悬浮液; b.高倍显微镜下复合药剂组孢子悬浮液; c.高倍显微镜下阴性组菌丝形态; d.高倍显微镜下复合药剂组菌丝形态(比例尺: 20  $\mu\text{m}$ ); e.低倍显微镜观察下阴性组菌丝形态; f.低倍显微镜下复合药剂组菌丝形态(比例尺: 100  $\mu\text{m}$ )

图2 稻瘟病菌形态显微观察

### 3.3 中药挥发油和复合药剂的田间实地防治效果

田间观察发现,对比阴性对照组,处理组常见水稻害虫数量明显减少,水稻叶片残存水分减少,表明挥发油起到了良好的气味驱虫、燥湿化湿效果。其中,山苍子挥发油病斑抑制效果最佳,最高达 72.94%;其次是广藿香挥发油,最高防效达 71.82%。在配伍二氢吡吩铁后,两者产生明显的协同增效效应(图 3),阴性组稻叶枯黄、病斑密集(图 3a),0.15%山苍子挥发油单药防治效果为 72.94%(图 3b),配伍二氢吡吩铁后组成的复合药剂,防治效果达到 95.43%(图 3c)。通过单因素方差分析(ANOVA)得出,中药挥发油防治效果的  $F$  值为 1.583,  $p$  值为 0.269,表明在统计学意义上,不同中药挥发油处理组与稻瘟灵处理组之间的防治效果没有显著差异;复合药剂防治效果的  $F$  值为 1.303,  $p$  值为 0.346,表明在统计学意义上,不同复合药剂处理组与稻瘟灵处理组之间的防治效果也没有显著差异。

中药挥发油和复合药剂的田间实地防治效果见表 2,由表 2 可知,796.55  $\text{g} \cdot \text{a} \cdot \text{i}/\text{hm}^2$  山苍子复合药剂防治效果达 95.43%,1 155.60  $\text{g} \cdot \text{a} \cdot \text{i}/\text{hm}^2$  广藿香复合药剂防治效果达到 92.32%,复合药剂防效普遍高于单用中药挥发油的防效,且 531.00 和 796.55  $\text{g} \cdot \text{a} \cdot \text{i}/\text{hm}^2$  山苍子复合药剂、1 155.60  $\text{g} \cdot \text{a} \cdot \text{i}/\text{hm}^2$  广藿香复合药剂、1 044.00  $\text{g} \cdot \text{a} \cdot \text{i}/\text{hm}^2$  苍耳子复合药剂的防效,均高于化学农药稻瘟灵。



a. 空白组病斑情况；b. 山苍子挥发油组病斑情况；c. 山苍子复合药剂组病斑情况(比例尺: 1 cm)

图3 中药挥发油和复合药剂的水稻田实地防治效果

表2 中药挥发油和复合药剂的田间实地防治效果

试剂	中药提取物剂量/ (g · a · i · hm <sup>-2</sup> )	病情 指数	防治效果/ %	单药病情 指数	单药防治 效果/%
空白组		50.18		50.18	
二氢吡吩铁	235.08	38.89	22.50	38.89	22.50
稻瘟灵	1 535.00	13.07	73.95	13.07	73.95
广藿香复合药剂	288.90	29.64	40.94a	39.73	20.83a
	866.70	20.13	59.89b	33.01	34.22b
	1 155.60	3.85	92.32c	14.14	71.82c
山苍子复合药剂	265.51	15.55	69.01a	27.30	45.60a
	531.00	12.30	75.48b	24.65	50.88b
	796.55	2.29	95.43c	13.58	72.94c
黄连复合药剂	778.56	37.52	25.22a	46.59	7.15a
	1 167.84	30.18	39.86b	39.05	22.18b
	1 557.12	15.62	68.88c	27.27	45.66c
苍耳子复合药剂	261.50	25.70	48.79a	33.67	32.90a
	522.65	21.73	56.69b	32.22	35.79a
	1 044.00	12.21	75.67c	18.95	62.24b

注: 同列数据不同字母表示差异有统计学意义( $p < 0.05$ )

## 4 讨论与结论

有研究发现, 广藿香等4味中药挥发油对稻瘟病菌均具有一定的抑菌活性, 在田间试验中防效良好, 但防治效果略低于化学农药稻瘟灵<sup>[12]</sup>。二氢吡吩铁作为农业前沿热点, 能够使作物产生显著的抗逆性, 有提质、增产效果, 且已被证实可大幅增强水稻的抗稻瘟病能力。近年来, 中药源农药的研究逐步从药物筛选深入到多成分配伍及作用机制的探究, 若要研发出兼具高抑菌性和低耐药性的药物, 中药提取物之间的配伍用药至关重要。后续研究应当在中医药理论指导下, 对相关配伍展开思考与尝试, 如此, 中药农药的开发将更具科学性与针对性。相较于植

物源农药,中药源农药的定义更加新颖,但现有研究还未体现出中药源农药独特的中医药理论优势,所以中药源农药仍存在巨大的理论研究价值。

本研究在中医扶正祛邪的理论指导下,通过提升水稻抵抗力实现扶正,借助高效抑菌、气味驱虫、叶片燥湿达到驱邪目的,选取新型植物生长调节剂二氢吡吩铁与4种燥湿化湿中药挥发油配伍,形成一种复合药剂,并展开针对稻瘟病菌的室内抑菌及田间防效探索。结果表明,在室内含毒介质试验中,中药挥发油在配伍二氢吡吩铁后,抑菌效果得到明显提升,0.05%广藿香、0.20%黄连、0.15%山苍子、0.20%苍耳子复合药剂抑制率达到100%,抑菌效果同化学农药稻瘟灵相当,且中药挥发油的平均用药浓度低于稻瘟灵。在田间试验中,抑制稻瘟病菌效果最好的是796.55 g·a·i/hm<sup>2</sup>山苍子复合药剂、其次是1155.60 g·a·i/hm<sup>2</sup>广藿香复合药剂,两者防治效果均高于化学农药稻瘟灵,且中药挥发油与二氢吡吩铁产生了明显的协同增效效应。该复合药剂以中医药理论为指引,成本低廉、原料易得,具有绿色安全、低残留、低抗药性的优势,进一步将其研发为中药农药产品,不仅具有良好的可操作性,对于推动农业可持续发展也具有重要的现实意义。

#### 参考文献:

- [1] 毛洧,陈学伟,王静.水稻抗稻瘟病机制的研究进展[J].中国科学:生命科学,2022,52(10):1495-1510.
- [2] 王彩霞,兰妍彦,孟衍朴,等.87种植物提取物抑菌活性初步研究[J].植物保护,2023,49(4):293-301,308.
- [3] AURIN I, BEGUM F. The Effect of Plant Extracts and Cultural Practices on *Cucumber Mosaic Virus* Disease, and Growth and Yield Attributes of *Capsicum* [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2024, 170(4): 819-831.
- [4] 罗雨薇,谭亚婷,刘洋,等.4种菊科入侵植物提取物的抑菌活性研究[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2023,40(6):129-135.
- [5] ZHAO J B, LIANG D M, LI W G, et al. Research Progress on the Synthetic Biology of Botanical Biopesticides [J]. *Bioengineering*, 2022, 9(5): 207.
- [6] ANDAYANIE W R, LUKITO M, ERMAWATI N. Combined Effect of Corn in the Barrier Crop and Plant Extracts Against Cowpea Mild Mottle Virus Infecting Soybean [*Glycine Max* (L.) Merr.] in the Field [J]. *Bioscience Journal*, 2022, 38: e38074.
- [7] 朱卫红,黄璐,刘京宝,等.不同植物提取物对玉米霉变的影响研究[J].中国饲料,2022(20):45-48.
- [8] 陈楷珊,蔡郭瀚,陈相宇,等.中药提取物小檗碱和肉桂醛的抑菌活性进展综述[J].工业微生物,2024,54(4):164-166.
- [9] 牛安琪,周德明,缪新宇,等.拮抗菌与中药提取物复配对松枯梢病的抑菌效果筛选[J].中国生物防治学报,2024,40(6):1355-1365.
- [10] 张书东,刘文凤,凌立贞.四种中药提取物对‘红阳’猕猴桃软腐病菌拟茎点霉菌的抑制作用[J].北方园艺,2023(24):95-101.
- [11] 刘娟娟.基于中药材抑菌杀虫作用防治当归病虫害制剂的制备[D].兰州:甘肃中医药大学,2016.
- [12] 王梓渝,陈佳,徐彦熙,等.4种中药提取物对稻瘟病菌的抑菌活性和田间防效[J].农药,2024,63(11):843-848.
- [13] 夏华兴,唐庆伟,刘维新,等.二氢吡吩铁对水稻稻瘟病和纹枯病防治减量化用药效果试验[J].南方农业,2023,17(16):56-59.
- [14] 陈黎明.植物生长调节剂二氢吡吩铁[J].农药科学与管理,2018,39(3):67-68.