

五种生物源杀菌剂苗期对小麦白粉病的防效

武英鹏, 原宗英, 刘敏捷, 张治家, 侯玉, 唐翼锋

山西农业大学植物保护学院, 农业有害生物综合治理山西省重点实验室, 山西 太原

收稿日期: 2021年12月7日; 录用日期: 2022年1月4日; 发布日期: 2022年1月12日

摘要

本试验选择5种生物源杀菌剂枯草芽孢杆菌、多抗霉素、大黄素甲醚、蛇床子素、吡唑醚菌酯和2种常用三唑类化学杀菌剂己唑醇、三唑酮共7种药剂进行了苗期室内小麦白粉病防治药效比照试验。预防作用表明, 多抗霉素50×、100×, 枯草芽孢杆菌100×、200×与大黄素甲醚、蛇床子素、吡唑醚菌酯所试各浓度相比可以延迟病菌分生孢子出现时间。大黄素甲醚、蛇床子素相比吡唑醚菌酯所试浓度可以延迟病菌分生孢子出现时间。喷药后13天, 枯草芽孢杆菌50×、100×、200×相对防效分别为58.16%、82.53%、92.05%。多抗霉素50×、100×、200×相对防效分别为92.78%、92.28%、78.77%。大黄素甲醚50×、100×、200×相对防效分别为25.63%、20.71%、22.70%。蛇床子素50×、80×、100×相对防效分别为51.26%、51.15%、58.26%。吡唑醚菌酯200×、500×、800×相对防效分别为46.65%、28.77%、27.09%。以多抗霉素和枯草芽孢杆菌各浓度处理的相对防效为高。枯草芽孢杆菌、大黄素甲醚、蛇床子素所试浓度不是越高越好。多抗霉素50×相比枯草芽孢杆菌、大黄素甲醚、蛇床子素、吡唑醚菌酯所试浓度预防效果持效性好, 喷药后19天相对防效为43.00%。治疗作用表明, 吡唑醚菌酯200×、500×处理和三唑酮各浓度处理在喷药2天后初查和喷药4天后进一步调查时均有好的治疗作用, 接菌6天后对病原菌侵染抑制效果速效性好于其它4种生物源杀菌剂和己唑醇各浓度处理。喷药4天后, 吡唑醚菌酯与三唑酮、己唑醇各浓度处理均未见发病, 相对防效达100.00%。吡唑醚菌酯治疗效果好于其它4种生物源杀菌剂。枯草芽孢杆菌50×、多抗霉素50×、蛇床子素50×、大黄素甲醚100×相对防效分别为96.30%、97.80%、68.50%、24.20%。

关键词

生物源杀菌剂, 苗期, 小麦白粉病

Control Effects of Five Biological Fungicides on Wheat Powdery Mildew at Seedling Stage

Yingpeng Wu, Zongying Yuan, Minjie Liu, Zhijia Zhang, Yu Hou, Yifeng Tang

Key Laboratory of Agricultural Integrated Pest Management in Shanxi, College of Plant Protection, Shanxi Agricultural University, Taiyuan Shanxi

Abstract

Five biological fungicides *Bacillus subtilis*, polyoxin, physcion, osthol, pyraclostrobin and two common triazole fungicides hexaconazole and triadimefon were selected to conduct comparative tests on the control effects of wheat powdery mildew at seedling stage. Preventive effect shows polyoxin 50×, 100×, *Bacillus subtilis* 100×, 200× compared with trial concentration of physcion, osthol, pyraclostrobin can delay the emergence time of pathogen conidia. Trial concentration of physcion, osthol compared with pyraclostrobin can delay the emergence time of pathogen conidia. 13 days after spraying, the relative control effect of 50×, 100× and 200× of *Bacillus subtilis* was 58.16%, 82.53% and 92.05%, respectively. The relative control effect of 50×, 100× and 200× of polyoxin was 92.78%, 92.28% and 78.77%, respectively. The relative control effect of 50×, 100× and 200× of physcion was 25.63%, 20.71% and 22.70%, respectively. The relative control effect of 50×, 80× and 100× of osthol was 51.26%, 51.15% and 58.26%, respectively. The relative control effect of 200×, 500× and 800× of pyraclostrobin was 46.65%, 28.77% and 27.09%, respectively. The relative control effect of polyoxin and *Bacillus subtilis* was higher. Trial concentration of *Bacillus subtilis*, physcion and osthol is not the higher the better. Compared with the different trial concentration of *Bacillus subtilis*, physcion, osthol and pyraclostrobin, polyoxin 50× has better and longer prevention effect. 19 days after spraying, the relative control effect was 43.00%. Therapeutic effects show that the treatments of 200× and 500× pyraclostrobin and triadimefon at different concentrations showed good therapeutic effects in initial examination after 2 days of spraying and further investigation after 4 days of spraying. After 6 days of inoculation, the inhibition effect on pathogen infection was faster than that of other 4 biological fungicides and hexaconazole at different concentrations. After 4 days of spraying, no disease was found in pyraclostrobin, triadimefon and hexaconazole, and the relative control effect was 100.00%. The therapeutic effect of pyraclostrobin was better than the other four biological fungicides. The relative control effects of 50× *Bacillus subtilis*, 50× polyoxin, 50× osthole and 100× physcion were 96.30%, 97.80%, 68.50% and 24.20%, respectively.

Keywords

Biological Fungicides, Seedling Stage, Wheat Powdery Mildew

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

由专性寄生真菌小麦白粉菌(*Blumeria graminis* f. sp. *tritici*)引起的白粉病是小麦生产上的重要气流传播病害。病原菌分生孢子具有传播速度快、繁殖能力强等特点,一旦条件适宜会爆发流行,给小麦生产造成巨大损失。培育和种植抗性品种仍然是防治该病的主要途径。由于病原菌生理小种的不断变异,品种抗病性易被克服。而抗源的缺乏使育种工作难度加大。化学防治仍然是应对突发病害的应急措施,这使病原菌抗药性问题出现,环境污染加大。随着公众环保意识的增强,对面粉质量和品质的要求提升,促使各种绿色防控措施不断应用,其中生物源杀菌剂的使用成为绿色防控的重要措施。枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)是重要的生防菌之一,它是一种嗜温好氧、产芽孢的杆状细菌,具有生长快、芽孢抗逆

性强等特点[1]。多抗霉素大都是金色链霉菌所产生的代谢产物，菌种为“不吸水的链霉菌杭州亚种”，是一种用现代生物工程技术生产的肽嘧啶核苷类农用抗生素，属于广谱性抗生素类杀菌剂[2]。大黄素甲醚是从植物材料大黄根的乙醇提取物中获得高活性抗菌化合物，属新型植物源杀菌剂[3]。蛇床子素是来源于植物的天然化合物，对常见植物病原真菌具有广谱抑菌活性[4]。吡唑醚菌酯为甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂代表品种，此类杀菌剂起源于一种称为 strobilurin 类微生物[5]。

本试验选择上述 5 种生物源杀菌剂枯草芽孢杆菌、多抗霉素、大黄素甲醚、蛇床子素、吡唑醚菌酯和 2 种常用三唑类化学杀菌剂己唑醇、三唑酮共 7 种药剂应用盆栽法进行了苗期室内小麦白粉病防治药效比照试验，以期生物源杀菌剂在田间的进一步应用提供依据。现将结果报道如下。

2. 材料与方法

2.1. 供试药剂和使用浓度

① 枯草芽孢杆菌，剂型：可湿性粉剂，1000 亿孢子/克，湖北天惠生物科技有限公司生产，设 3 个浓度 50×、100×、200×；② 多抗霉素，剂型：可湿性粉剂，有效成分含量 10%。山东邹平农药有限公司生产，设 3 个浓度 50×、100×、200×；③ 大黄素甲醚，内蒙古清源保生物科技有限公司生产。剂型：水剂，有效成分含量：0.5%。设 3 个浓度 10×、20×、30×；④ 蛇床子素，内蒙古清源保生物科技有限公司生产。剂型：水乳剂，有效成分含量：1%。设 3 个浓度 50×、80×、100×；⑤ 吡唑醚菌酯，剂型：悬浮剂，有效成分含量 30%，深圳诺普信农化股份有限公司生产，设 3 个浓度 200×、500×、800×。⑥ 药剂对照 1 (CK₁)：己唑醇，剂型：微乳剂，有效成分含量 5%，深圳诺普信农化股份有限公司生产。设 3 个浓度 500×、800×、1000×。⑦ 药剂对照 2 (CK₂)三唑酮，剂型：乳油，有效成分含量 20%，上海悦联化工有限公司生产。设 3 个浓度 100×、200×、300×。⑧ 清水对照(清水 CK)。

2.2. 试验和调查方法

2.2.1. 预防试验

1) 种苗

2019 年 2 月 27 日播种小麦品种铭贤 169 于直径为 5 cm 的塑料营养钵中。种植土壤为花卉营养土。每一处理浓度种 3 盆，重复 3 次，计 63 盆。对照 CK 清水共种 5 盆。共计 68 盆。2019 年 3 月 3 日出苗，未展叶。2019 年 3 月 7 日展叶，一叶期。

2) 配药

2019 年 3 月 8 日，用 0.5 ml 和 1.0 ml 移液管移取各供试药剂，经换算配制对应药剂各浓度药液，定容至 200 ml，分别存放于 500 ml 小型喷雾器中。共 22 个喷雾器(含 CK)。

3) 喷药、接菌

2019 年 3 月 9 日于小麦一叶期喷药，每一营养钵喷 100 次，保证叶面充分湿润。2019 年 3 月 11 日，用带小麦白粉病菌分生孢子的麦苗扫抹法均匀接菌。

2.2.2. 治疗试验

2019 年 4 月 29 日室内种麦，5 月 4 日出苗。5 月 5 日查苗，有 66 盆苗齐。准备治疗试验。药剂和浓度同预防试验。2019 年 5 月 9 日一叶期扫抹法接白粉菌。期间不断扫抹保证接菌均匀。5 月 13 日喷药(方法同 2.2.1. 3))。5 月 14 日清水对照显斑。5 月 15 日粗查，5 月 17 日细查病情指数，计算相对防效。

2.2.3. 调查

1) 病情分级标准[6]

0级：无病；1级：病斑面积占整片叶面积5%以下；3级：病斑面积占整片叶面积6%~15%；5级：病斑面积占整片叶面积16%~25%；7级：病斑面积占整片叶面积26%~50%；9级：病斑面积占整片叶面积50%以上。

2) 调查方法和计算公式

根据每一处理浓度的叶片发病级别(严重度)。各处理和药剂CK₁、药剂CK₂、清水CK每一重复调查10片叶，重复3次，共30片叶，计算病情指数和相对防效。

$$\text{病情指数} = \sum(\text{各级病叶数} \times \text{相对级数}) / \text{调查总叶片数} \times 9;$$

$$\text{相对防效}(\%) = 100\% - (\text{处理组平均病情指数} / \text{空白组平均病情指数}) \times 100.$$

3) 调查时间

① 预防试验调查时间

2019年3月15日上午调查对照尚未发病。2019年3月16日检查，对照现分生孢子，2019年3月18日上午开始初查，2019年3月22日进一步调查各处理病情指数。2019年3月28日进一步调查各处理病情指数。根据病情指数，计算相对防效，进行预防作用持效性评价。

② 治疗试验调查时间

2019年5月15日初查，观察分生孢子是否出现，2019年5月17日进一步调查，计算病情指数和相对防效。进行治疗效果评价。

2.2.4. 数据处理分析

根据各药剂处理浓度和重复3次的病害严重度求病情指数，计算平均病情指数。以清水处理为对照(清水CK)，计算相对防效。Microsoft Excel 制表。

3. 结果和分析

3.1. 预防试验

2019年3月15日上午调查对照尚未发病。2019年3月16日检查，对照现分生孢子，吡唑醚菌酯200×、500×、800×处理也现分生孢子。2019年3月18日开始初查(发病√，不发病×)，结果见表1，进行预防作用初步评估。大黄素甲醚、蛇床子素、吡唑醚菌酯所试各浓度均现分生孢子。吡唑醚菌酯现分生孢子时间同对照。大黄素甲醚、蛇床子素所试浓度分生孢子出现时间晚于吡唑醚菌酯。判断大黄素甲醚、蛇床子素相比吡唑醚菌酯所试浓度可以延迟病菌分生孢子出现时间。多抗霉素50×、100×，枯草芽孢杆菌100×、200×有好的保护作用，没有现分生孢子，说明与大黄素甲醚、蛇床子素、吡唑醚菌酯所试各浓度相比可以延迟病菌分生孢子出现时间。枯草芽孢杆菌50×反而现分生孢子。药剂对照己唑醇CK₁和三唑酮CK₂所试浓度保护作用好，未现分生孢子。2019年3月22日，喷药后13天进一步调查，三唑酮和己唑醇所试浓度未见发病，有好的预防效果。清水对照平均病情指数达0.956，与之比较，5种生物源杀菌剂所试浓度相对防效见表2。枯草芽孢杆菌50×、100×、200×相对防效分别为58.16%、82.53%、92.05%。多抗霉素50×、100×、200×相对防效分别为92.78%、92.28%、78.77%。大黄素甲醚50×、100×、200×相对防效分别为25.63%、20.71%、22.70%。蛇床子素50×、80×、100×相对防效分别为51.26%、51.15%、58.26%。吡唑醚菌酯200×、500×、800×相对防效分别为46.65%、28.77%、27.09%。以多抗霉素和枯草芽孢杆菌各浓度处理的相对防效为高。枯草芽孢杆菌、大黄素甲醚、蛇床子素所试浓度不是越高越好。2019年3月28日，喷药后19天进一步调查预防作用持效性。三唑酮、己唑醇所试浓度相对防效为100.00%，仍有好的预防效果。蛇床子素、大黄素甲醚、枯草芽孢杆菌、吡唑醚菌酯所试浓度发病程度和对照相当，

相对防效为 0.00%。多抗霉素 50×相比枯草芽孢杆菌、大黄素甲醚、蛇床子素、吡唑醚菌酯所试浓度预防效果持效性好, 喷药后 19 天相对防效为 43.00%。结果见表 3。

Table 1. Preliminary investigation of wheat powdery mildew prevention test
表 1. 小麦白粉病预防试验发病初查

药剂	稀释浓度	发病情况
枯草芽孢杆菌	50	√
	100	×
	200	×
多抗霉素	50	×
	100	×
	200	√
大黄素甲醚	50	√
	100	√
	200	√
蛇床子素	50	√
	80	√
	100	√
吡唑醚菌酯	200	√
	500	√
	800	√
己唑醇 CK ₁	500	×
	800	×
	1000	×
三唑酮 CK ₂	100	×
	200	×
	300	×
清水 CK		√

备注: √ 现分生孢子; × 未现分生孢子。

Table 2. Investigation on relative control effect of wheat powdery mildew prevention test
表 2. 小麦白粉病预防试验相对防效调查

药剂	稀释浓度	重复	病情指数	平均病情指数	相对防效(%)
枯草芽孢杆菌	50	I	0.378	0.400	58.16
		II	0.467		
		III	0.356		
	100	I	0.178	0.167	82.53
		II	0.256		
		III	0.067		
	200	I	0.076	0.076	92.05
		II	0.069		
		III	0.083		

Continued

多抗霉素	50	I	0.080	0.069	92.78
		II	0.068		
		III	0.059		
	100	I	0.026	0.026	97.28
		II	0.034		
		III	0.019		
	200	I	0.080	0.203	78.77
		II	0.250		
		III	0.280		
大黄素甲醚	50	I	0.622	0.711	25.63
		II	0.833		
		III	0.677		
	100	I	0.907	0.758	20.71
		II	0.641		
		III	0.726		
	200	I	0.733	0.739	22.70
		II	0.796		
		III	0.689		
蛇床子素	50	I	0.477	0.466	51.26
		II	0.515		
		III	0.407		
	80	I	0.508	0.467	51.15
		II	0.500		
		III	0.394		
	100	I	0.370	0.399	58.26
		II	0.374		
		III	0.453		
吡唑醚菌酯	200	I	0.500	0.510	46.65
		II	0.394		
		III	0.636		
	500	I	0.667	0.681	28.77
		II	0.844		
		III	0.533		
	800	I	0.630	0.697	27.09
		II	0.704		
		III	0.758		

Continued

己唑醇 CK ₁	500	I	0.000	0.000	100.00
		II	0.000		
		III	0.000		
	800	I	0.000	0.000	100.00
		II	0.000		
		III	0.000		
	1000	I	0.000	0.000	100.00
		II	0.000		
		III	0.000		
三唑酮 CK ₂	100	I	0.000	0.000	100.00
		II	0.000		
		III	0.000		
	200	I	0.000	0.000	100.00
		II	0.000		
		III	0.000		
	300	I	0.000	0.000	100.00
		II	0.000		
		III	0.000		
清水 CK	I	1.000	0.956	-	
	II	0.867			
	III	1.000			

Table 3. Investigation on the efficacy of wheat powdery mildew prevention test agents

表 3. 小麦白粉病预防试验药剂持效性调查

药剂	稀释浓度	重复	病情指数	平均病情指数	相对防效(%)
枯草芽孢杆菌	50	I	1.000	1.000	0.00
		II	1.000		
		III	1.000		
	100	I	1.000	1.000	0.00
		II	1.000		
		III	1.000		
	200	I	1.000	1.000	0.00
		II	1.000		
		III	1.000		
多抗霉素	50	I	0.600	0.570	43.00
		II	0.644		
		III	0.467		
	100	I	0.911	0.911	8.90
		II	0.978		
		III	0.844		
	200	I	1.000	1.000	0.00
		II	1.000		
		III	1.000		

Continued

大黄素甲醚	50	I	1.000			
		II	1.000	1.000	0.00	
		III	1.000			
	100	I	1.000			
		II	1.000	1.000	0.00	
		III	1.000			
	200	I	1.000			
		II	1.000	1.000	0.00	
		III	1.000			
蛇床子素	50	I	1.000			
		II	1.000	1.000	0.00	
		III	1.000			
	80	I	1.000			
		II	1.000	1.000	0.00	
		III	1.000			
	100	I	1.000			
		II	1.000	1.000	0.00	
		III	1.000			
200	I	1.000				
	II	1.000	1.000	0.00		
	III	1.000				
吡唑醚菌酯	500	I	1.000			
		II	1.000	1.000	0.00	
		III	1.000			
	800	I	1.000			
		II	1.000	1.000	0.00	
		III	1.000			
	己唑醇 CK ₁	500	I	0.133		
			II	0.000	0.081	91.90
			III	0.111		
800		I	0.067			
		II	0.389	0.263	73.70	
		III	0.333			
1000		I	0.444			
		II	0.622	0.489	51.10	
		III	0.400			

Continued

三唑酮 CK ₂	100	I	0.000		
		II	0.000	0.000	100.00
		III	0.000		
	200	I	0.000		
		II	0.000	0.000	100.00
		III	0.000		
	300	I	0.011		
		II	0.089	0.041	95.90
		III	0.022		
清水 CK	I	1.000			
	II	1.000	1.000	-	
	III	1.000			

3.2. 治疗试验

2019年5月15日, 喷药2天后初查, 吡唑醚菌酯200×、500×处理和三唑酮100×、200×、300×处理均未显分生孢子。吡唑醚菌酯800×处理显少量分生孢子。清水CK和枯草芽孢杆菌、多抗霉素、大黄素甲醚、蛇床子素、己唑醇各浓度处理均显分生孢子。在所试浓度范围内, 枯草芽孢杆菌、多抗霉素各处理随浓度增高, 分生孢子数量减少。2019年5月17日, 喷药4天后进一步调查各药剂治疗试验严重程度, 吡唑醚菌酯与三唑酮、己唑醇各浓度处理均未见发病, 相对防效达100.00%。说明吡唑醚菌酯治疗效果好于其它4种生物源杀菌剂。其它4种生物源杀菌剂有不同程度的治疗效果。枯草芽孢杆菌、多抗霉素所试浓度治疗效果较好。枯草芽孢杆菌50×、100×、200×相对防效分别为96.30%、81.5%、82.2%。多抗霉素50×、100×、200×相对防效分别为97.8%、72.2%、78.9%。大黄素甲醚50×、100×、200×相对防效分别为14.10%、24.20%、17.00%。蛇床子素50×、80×、100×相对防效分别为68.50%、22.60%、11.90%。初查时, 吡唑醚菌酯800×处理以及己唑醇各浓度处理均显分生孢子, 后续进一步调查分生孢子消失, 说明了吡唑醚菌酯800×处理和己唑醇各浓度处理随时间推移对小麦白粉病有治疗作用。吡唑醚菌酯200×、500×处理和三唑酮各浓度处理在喷药2天后初查和喷药4天后进一步调查时均有好的治疗作用, 对接菌6天后病原菌侵染抑制效果速效性好于其它4种生物源杀菌剂和己唑醇各浓度处理。结果见表4、表5。

Table 4. Preliminary investigation of wheat powdery mildew treatment

表 4. 小麦白粉病治疗试验发病初查

药剂	稀释浓度	发病情况
枯草芽孢杆菌	50	√+
	100	√++
	200	√+++
多抗霉素	50	√+
	100	√++
	200	√+++

Continued

大黄素甲醚	50	√
	100	√
	200	√
蛇床子素	50	√
	80	√
	100	√
吡唑醚菌酯	200	×
	500	×
	800	√+
己唑醇 CK ₁	500	√
	800	√
	1000	√
三唑酮 CK ₂	100	×
	200	×
	300	×
清水 CK		√

备注：√现分生孢子；×未现分生孢子；+表示分生孢子多少。

Table 5. Disease index and relative control effect of wheat powdery mildew treatment test

表 5. 小麦白粉病治疗试验病情指数、相对防效

药剂	稀释浓度	重复	病情指数	平均病情指数	相对防效(%)
枯草芽孢杆菌	50	I	0.033	0.037	96.30
		II	0.033		
		III	0.044		
	100	I	0.200	0.185	81.50
		II	0.167		
		III	0.189		
	200	I	0.400	0.178	82.20
		II	0.089		
		III	0.044		
多抗霉素	50	I	0.011	0.022	97.80
		II	0.000		
		III	0.056		
	100	I	0.144	0.278	72.20
		II	0.233		
		III	0.456		
	200	I	0.056	0.211	78.90
		II	0.111		
		III	0.467		

Continued

大黄素甲醚	50	I	1.000	0.859	14.10
		II	0.800		
		III	0.778		
	100	I	0.889	0.758	24.20
		II	0.911		
		III	0.956		
	200	I	0.889	0.830	17.00
		II	0.600		
		III	1.000		
蛇床子素	50	I	0.511	0.315	68.50
		II	0.211		
		III	0.222		
	80	I	0.611	0.774	22.60
		II	0.756		
		III	0.956		
	100	I	0.844	0.881	11.90
		II	0.867		
		III	0.933		
吡唑醚菌酯	200	I	0.000	0.000	100.00
		II	0.000		
		III	0.000		
	500	I	0.000	0.000	100.00
		II	0.000		
		III	0.000		
	800	I	0.000	0.000	100.00
		II	0.000		
		III	0.000		
己唑醇 CK ₁	500	I	0.000	0.000	100.00
		II	0.000		
		III	0.000		
	800	I	0.000	0.000	100.00
		II	0.000		
		III	0.000		
	1000	I	0.000	0.000	100.00
		II	0.000		
		III	0.000		

Continued

		I	0.000		
	100	II	0.000	0.000	100.00
		III	0.000		
三唑酮 CK ₂	200	I	0.000		
		II	0.000	0.000	100.00
		III	0.000		
	300	I	0.000		
		II	0.000	0.000	100.00
		III	0.000		
清水 CK	I	1.000			
	II	1.000	1.000	-	
	III	1.000			

4. 结论

4.1. 预防作用

多抗霉素 50×、100×，枯草芽孢杆菌 100×、200×与大黄素甲醚、蛇床子素、吡唑醚菌酯所试各浓度相比可以延迟病菌分生孢子出现时间。大黄素甲醚、蛇床子素相比吡唑醚菌酯所试浓度可以延迟病菌分生孢子出现时间。喷药后 13 天，枯草芽孢杆菌 50×、100×、200×相对防效分别为 58.16%、82.53%、92.05%。多抗霉素 50×、100×、200×相对防效分别为 92.78%、92.28%、78.77%。大黄素甲醚 50×、100×、200×相对防效分别为 25.63%、20.71%、22.70%。蛇床子素 50×、80×、100×相对防效分别为 51.26%、51.15%、58.26%。吡唑醚菌酯 200×、500×、800×相对防效分别为 46.65%、28.77%、27.09%。以多抗霉素和枯草芽孢杆菌各浓度处理的相对防效为高。枯草芽孢杆菌、大黄素甲醚、蛇床子素所试浓度不是越高越好。多抗霉素 50×相比蛇床子素、大黄素甲醚、枯草芽孢杆菌、吡唑醚菌酯所试浓度预防效果持效性好，喷药后 19 天相对防效为 43.00%。此时三唑酮、己唑醇所试浓度相对防效为 100.00%，仍有好的预防效果。

4.2. 治疗作用

吡唑醚菌酯 200×、500×处理和三唑酮各浓度处理在喷药 2 天后初查和喷药 4 天后进一步调查时均有好的治疗作用，接菌 6 天后对病原菌侵染抑制效果速效性好于其它 4 种生物源杀菌剂和己唑醇各浓度处理。吡唑醚菌酯 800×处理和己唑醇各浓度处理随时间推移对小麦白粉病有治疗作用。喷药 4 天后相对防效均达 100.00%。喷药 4 天后，吡唑醚菌酯与三唑酮、己唑醇各浓度处理均未见发病，相对防效达 100.00%。吡唑醚菌酯治疗效果好于其它 4 种生物源杀菌剂。枯草芽孢杆菌 50×、多抗霉素 50×、蛇床子素 50×、大黄素甲醚 100×相对防效分别为 96.30%、97.80%、68.50%、24.20%。

5. 讨论

本试验中，无论是预防作用还是治疗作用药剂的使用浓度与相对防效不一定成正比例。不同使用浓度的药剂与小麦白粉菌互作机制尚需进一步探明。应寻找药剂的最佳使用浓度，获得最大的相对防效，以保证精准用药。本试验 30%吡唑醚菌酯悬浮剂治疗效果好于其它 4 种生物源杀菌剂。具报道[7] 30%吡唑醚菌酯悬浮剂、0.5%大黄素甲醚水剂、1%蛇床子素水乳剂、1%多抗霉素可湿性粉剂在田间的病指防

效分别为 93.57%、94.37%、92.80%、89.96%，这是在 2 次施药、施药间隔 7 天，第二次施药 10 天后获得的结果。应在苗期试验的基础上进一步明确 5 种生物源杀菌剂田间的应用效果，获得最大的经济、生态效益。

基金项目

国家重点研发计划项目(2017YFD0201700, 2018YFD0200404)；山西省重点研发计划项目(201703D221011-3)。

参考文献

- [1] 王晴, 朱成诚, 王欣悦, 等. 具有生防潜力的枯草芽孢杆菌 KC-1 培养基及培养条件的优化[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2021, 33(4): 67-76.
- [2] 吴家全, 李军民. 多抗霉素研究现状与市场前景[J]. 农药科学与管理, 2010, 31(11): 21-23.
- [3] 杨立军, 龚双军, 杨小军, 等. 大黄素甲醚对几种植物病原真菌的活性[J]. 农药, 2010, 49(2): 133-135, 141.
- [4] 石志琦. 蛇床子素作为杀菌剂的活性研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2008: 1-129.
- [5] 张一宾. 甲氧基丙烯酸酯类杀菌剂的全球市场概况及进展[J]. 世界农药, 2016, 38(4): 30-34.
- [6] 毕秋艳, 马志强, 韩秀英, 等. 不同机制杀菌剂对小麦白粉病的敏感性及与三唑酮的交互抗性[J]. 植物保护学报, 2017, 44(2): 331-336.
- [7] 刘敏捷, 原宗英, 李霞, 等. 不同杀菌剂对小麦白粉病的田间防效[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(6): 70-71, 78.