6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与杀菌剂混用防治小麦白粉病的农药减施技术研究

吴玉星， 王亚娇， 韩 森， 栗秋生， 孔令晓*

（河北省农林科学院植物保护研究所，河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心，
农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室，保定 071000）

摘要 为明确植物免疫诱抗剂6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与杀菌剂减量混用的增效作用，采用温室盆栽和田间药效试验相结合的方法，评价6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与2种化学杀菌剂减量混用对小麦白粉病的防治效果，并测定植物抗性相关酶活性等生理生化指标。结果表明，单独施用6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂的田间最高防治效果仅为36.76%，但与杀菌剂减量30%混用，能明显提高戊唑醇和吡唑醚菌酯防效17.20～32.68百分点，恢复或优于2种杀菌剂推荐剂量防治水平，并且施用6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂能提高小麦植株抗性相关防御酶超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶活性和游离脯氨酸的含量，降低丙二醛积累对小麦叶片细胞造成的损伤。因此，利用6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与戊唑醇和吡唑醚菌酯混用防治小麦白粉病，有明显的协同增效作用，可降低2种杀菌剂施用量约30%。

关键词 小麦白粉病； 植物免疫诱抗剂； 杀菌剂； 减施； 防御酶

中图分类号： S 435.121.46 **文献标识码**： B **DOI**： 10.16688/j.zwbh.2022071

Application of oligosaccharins-plant activator protein 6% WP mixed with chemical fungicide to control wheat powdery mildew for the purpose of reducing the pesticide load

WU Yuxing， WANG Yajiao， HAN Sen， LI Qiusheng， KONG Lingxiao*

（*Plant Protection Institute*, *Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences*, *Integrated Pest Management Center of Hebei Province*, *Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crop in Northern Region of North China*, *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *Baoding* 071000, *China*）

Abstract This study aims to clarify synergistic effect of the mixed use of oligosaccharins-plant activator protein 6% WP and fungicides. The control efficacy was measured by potted plant test and field efficacy trials, respectively. Also, the synergistic mechanism was analyzed using physiological and biochemical indicators such as the defense enzyme activity. The results showed that the highest field control efficacy was 36.76% using oligosaccharins-plant activator protein 6% WP alone. However, the control efficacy of 30% reduction of tebuconazole and pyraclostrobin can increase 17.20－32.68 percentage points by mixing of oligosaccharins-plant activator protein 6% WP compared to fungicides alone with 30% reduction, which equated with the recommended dosage. The activities of protective enzymes like superoxide dismutase, peroxidase and catalase increased after spraying oligosaccharins-plant activator protein 6% WP. The content of proline increased to resist pathogen infection. The accumulation of malondialdehyde reduced to relieve the damage the cells of wheat leave. Therefore, oligosaccharins-plant activator protein 6% WP can reduce dosage of tebuconazole and pyraclostrobin at 30% in control of wheat powdery mildew.

Key words wheat powdery mildew； plant immune inducer； fungicide； reduced application； defense enzyme

收稿日期： 2022－02－12 **修订日期**： 2022－04－01
基金项目： 河北省重点研发计划(19226432D)；国家重点研发计划(2017YFD0201707)
* 通信作者 E-mail：konglingxiao163@163.com

由禾本科布氏白粉菌 *Blumeria graminis* DC. f. sp. *tritici* 引起的小麦白粉病是一种世界性气传真菌病害，具有发生迅速、流行面积大、传播距离远的特点，在我国华北、西北等小麦种植区，由于种植密度增加、灌溉方式改变及气候环境的变化，加之品种抗性普遍较低，小麦白粉病日趋严重[1-2]。而白粉菌遗传变异速度快，容易导致小麦品种丧失抗病性[3]，故药剂防治在生产中仍发挥着重要作用，多种类型的杀菌剂已被应用于防治小麦白粉病，主要以三唑酮、戊唑醇等三唑类药剂和吡唑醚菌酯、多菌灵等单剂及复配剂为主[4]，然而，传统化学杀菌剂的某些局限性，例如残留、抗药性风险及环境和生态等问题却逐渐增加，通过药剂轮换或增效剂与常规杀菌剂组合以减少其对环境的影响并延缓抗药性的发展是一种更为主动、经济有效的防治手段。

植物免疫诱抗剂可通过激活植物的免疫系统而提高农作物抗性并有效防控农作物病害，6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂(阿泰灵)是我国自主研发的植物免疫蛋白制剂，是诱导活性氧、防御相关基因表达的重要调节剂[5]。环境评估证实，该诱抗剂无毒且环保，对人类或其他动物无安全问题[6]。这种新型植物免疫蛋白制剂可以控制多种作物病毒病害，对番茄黄化卷曲病毒病的防治效果为 90.21%[7]，对苹果锈果类病毒引起的'富士'苹果花脸病或锈果病防效达到 91.7%[8]；防治水稻黑条矮缩病的效果达到 60%～70%，水稻增产 7%～12%[9]。近年来，6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂也成为防治油菜白粉病和菌核病、草莓灰霉病、水稻纹枯病、葡萄霜霉病、马铃薯早晚疫病等多种真菌病害或卵菌病害的重要生物制剂[10-14]。在小麦生产过程中，6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂喷雾处理小麦幼苗后，过氧化物酶(peroxidase，POD)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase，SOD)和过氧化氢酶(catalase，CAT)等抗性相关防御酶活性提高，抗病相关基因上调表达，在田间返青期、拔节期和扬花期喷雾处理对小麦纹枯病、白粉病和叶锈病 3 种病害的防治效果达到 29.3%～64.9%[15]，但此防效还不足以抑制病害的发生和传播。因此，本研究以防治小麦白粉病常规杀菌剂戊唑醇和吡唑醚菌酯为基础，减量配施 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂，通过温室生物测定和田间药效试验，明确 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与这 2 种杀菌剂的协同增效作用，并通过测定小麦植株抗性酶活性和脯氨酸(proline，Pro)、丙二醛(malondialdehyde，MDA)含量等生理生化指标探究增效机制，为化学杀菌剂减量施用及延缓抗药性产生提供理论和技术支撑。

1　材料与方法

1.1　材料

1.1.1　供试药剂

6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂(WP)，河北中保绿农作物科技有限公司生产；430 g/L 戊唑醇悬浮剂(SC)，拜耳作物科学(中国)有限公司生产；25%吡唑醚菌酯悬浮剂(SC)，沧州志诚有机生物科技有限公司。

1.1.2　植物材料及菌株

小麦品种为'石新 828'，中感品种。菌株采自本区流行菌系，由河北省农林科学院植物保护研究所保存。

1.2　方法

1.2.1　温室防效测定

温室防效试验在河北省农林科学院植物保护研究所智能温室进行，方法参照农业行业标准《农药室内生物测定准则-防治小麦白粉病试验盆栽法》，试验设 8 个处理：6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂 67.5 g/hm²(有效成分用量，下同)(T1)、430 g/L 戊唑醇悬浮剂 64.5 g/hm²＋6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂 67.5 g/hm²(T2)、430 g/L 戊唑醇悬浮剂 64.5 g/hm²(T3)、430 g/L 戊唑醇悬浮剂 96.75 g/hm²(T4)、25%吡唑醚菌酯悬浮剂 93.75 g/hm²＋6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂67.5 g/hm²(T5)、25%吡唑醚菌酯悬浮剂 93.75 g/hm²(T6)、25%吡唑醚菌酯悬浮剂 131.25 g/hm²(T7)、清水对照(CK)。采用盆栽法，将小麦种子播种于温室 15 cm 直径营养钵中，土壤采用灭菌田土，温度 22℃～25℃，光暗各 12 h 交替培养，待幼苗长至 2～3 叶期，喷施各处理药剂和清水对照，4 次重复，每重复 30 株幼苗，每处理喷水量 10 mL，自然晾干，药剂处理后 24 h 采用抖粉法接种新鲜的白粉菌，待空白对照充分发病后按下列分级方法进行药效调查：0 级：未发病；1 级：病斑面积占整片叶面积的 6%以下；3 级：病斑面积占整片叶面积的 6%～15%；5 级：病斑面积占整片叶面积的 16%～25%；7 级：病斑面积占整片叶面积的 26%～50%；9 级：病斑面积占整片叶面积的

50%以上；根据调查数据，按下列公式计算病情指数和防治效果。

病情指数＝∑(各级病叶数×相对级值数)/(调查总叶数×9)×100；

防治效果＝(空白对照区病情指数－处理区病情指数)/空白对照区病情指数×100%。

1.2.2 抗性相关生理生化指标测定

按1.2.1中T1、T2、T3、CK处理，接种病原菌后0、1、3、5、7 d分别取接种叶片，并置于－80 ℃冰箱保存，用于防御酶活性测定，采用硫代巴比妥酸比色法测定丙二醛(MDA)含量[16]；磺基水杨酸法测定脯氨酸(Pro)含量；氮蓝四唑的光还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性；愈创木酚氧化法测定过氧化物酶(POD)活性；H_2O_2 还原法测定过氧化氢酶(CAT)活性[17]。

1.2.3 田间药效试验

田间药效试验在河北省农林科学院植物保护研究所试验农场进行，参照国家标准《农药田间药效试验准则(一)-杀菌剂防治禾谷类白粉病》，试验按1.2.1小节设8个处理，每处理4次重复，随机区组排列。2020年在小麦抽穗期4月28日(小麦白粉病发病初期)开始施药，灌浆期5月9日再喷施1次，共2次；2021年4月28日和5月10日各喷1次，共2次。施药当天无降雨，最高气温22～24℃，风力1～2级，适宜施药。2020年最后一次用药后14 d(5月23日)，2021年最后一次用药后16 d(5月26日)进行药后的药效调查，每小区对角线固定五点取样，每点调查0.25 m^2 植株，每株调查旗叶及旗叶下第一片叶，按1.2.1小节中叶片病情分级方法计算田间病情指数及防治效果。

1.2.4 统计分析方法

利用SPSS 20.0软件进行方差分析，邓肯氏新复极差(DMRT)法进行显著性测定。

2 结果与分析

2.1 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与戊唑醇和吡唑醚菌酯混用对小麦白粉病的温室防治效果

各处理苗期接种防效调查结果表明，单独使用6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂67.5 g/hm^2 对小麦白粉病防效较低，2种杀菌剂推荐剂量430 g/L戊唑醇悬浮剂96.75 g/hm^2 和25%吡唑醚菌酯悬浮剂131.25 g/hm^2 防治效果可达93.05%和88.80%，但减量30%以后的防效分别下降到66.17%和59.36%，减量配施6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂67.5 g/hm^2 能明显提高杀菌剂防效到89.75%和91.55%，分别提高了23.58百分点和32.19百分点，与各自杀菌剂推荐剂量防效无显著差异(表1)。因此，6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂配施杀菌剂戊唑醇和吡唑醚菌酯，可明显提高杀菌剂的防效，在2种杀菌剂减量30%情况下能增效到推荐剂量防效水平。

表1 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与戊唑醇和吡唑醚菌酯混用对小麦白粉病的温室防治效果

Table 1 Control efficiency of oligosaccharins-plant activator protein 6% WP mixed with tebuconazole and pyraclostrobin on wheat powdery mildew in greenhouse

处理 Treatment	剂量/g·(hm^2)$^{-1}$ Dose	病情指数 Disease index	防治效果/% Control efficacy	增效百分点 Increased percent
6%寡糖·链蛋白WP oligosaccharins-plant activator protein 6% WP	67.5	57.48±1.37	(7.07±1.28)c	
430 g/L戊唑醇SC+6%寡糖·链蛋白WP tebuconazole 430 g/L SC+oligosaccharins-plant activator protein 6% WP	64.5+67.5	6.34±0.63	(89.75±1.01)a	23.58
430 g/L戊唑醇SC tebuconazole 430 g/L SC	64.5	20.92±5.36	(66.17±0.28)b	
430 g/L戊唑醇SC tebuconazole 430 g/L SC	96.75	4.30±2.45	(93.05±3.96)a	
25%吡唑醚菌酯SC+6%寡糖·链蛋白WP pyraclostrobin 25% SC+oligosaccharins-plant activator protein 6% WP	93.5+67.5	5.22±1.64	(91.55±2.65)a	32.19
25%吡唑醚菌酯SC pyraclostrobin 25% SC	93.75	25.13±8.77	(59.36±14.18)b	
25%吡唑醚菌酯SC pyraclostrobin 25% SC	131.25	6.93±1.67	(88.80±2.70)a	
清水 Water	—	61.85±0.41	—	

2.2 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与戊唑醇混用对小麦防御酶活性影响

小麦接种白粉菌后，喷施6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂67.5 g/hm^2(T1)、6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂67.5 g/hm^2＋430 g/L戊唑醇悬浮剂64.5 g/hm^2(T2)、430 g/L戊唑醇悬浮剂64.5 g/hm^2(T3)3个

处理的 SOD、POD 和 CAT 3 种保护酶均呈上升趋势。接种 1 d 后，T1 和 T2 两处理的 POD 和 CAT 活性急剧增加，并明显高于对照及单独施用 430 g/L 戊唑醇悬浮剂 64.5 g/hm²(T3)处理；接种 3 d 后，T1 和 T2 的 3 种防御酶活性能稳定保持到接种后 5 d；第 7 天，T1 处理的 SOD 活性和 CAT 活性明显下降，但仍明显高于对照及单独施用戊唑醇处理；喷施 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂的两处理 T1 和 T2 间 SOD 和 CAT 酶活性在各时间点无明显差异，单独施用戊唑醇处理(T3)在接种后第 3 天开始，SOD 酶活性明显低于空白对照，可能由于在杀菌剂作用下，病原菌在植株体内增殖受到抑制，导致植物抗性反应有所减弱。总之，小麦受到病原菌侵染后，防御酶活性明显提高，喷施 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂后防御酶活性提高快，持续时间长，说明 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂可以激活小麦防御酶系，提高抵抗白粉病菌侵染的能力，单独施用杀菌剂处理可抑制病菌在植株体内增殖，因此，防御酶活性变化相对较小。

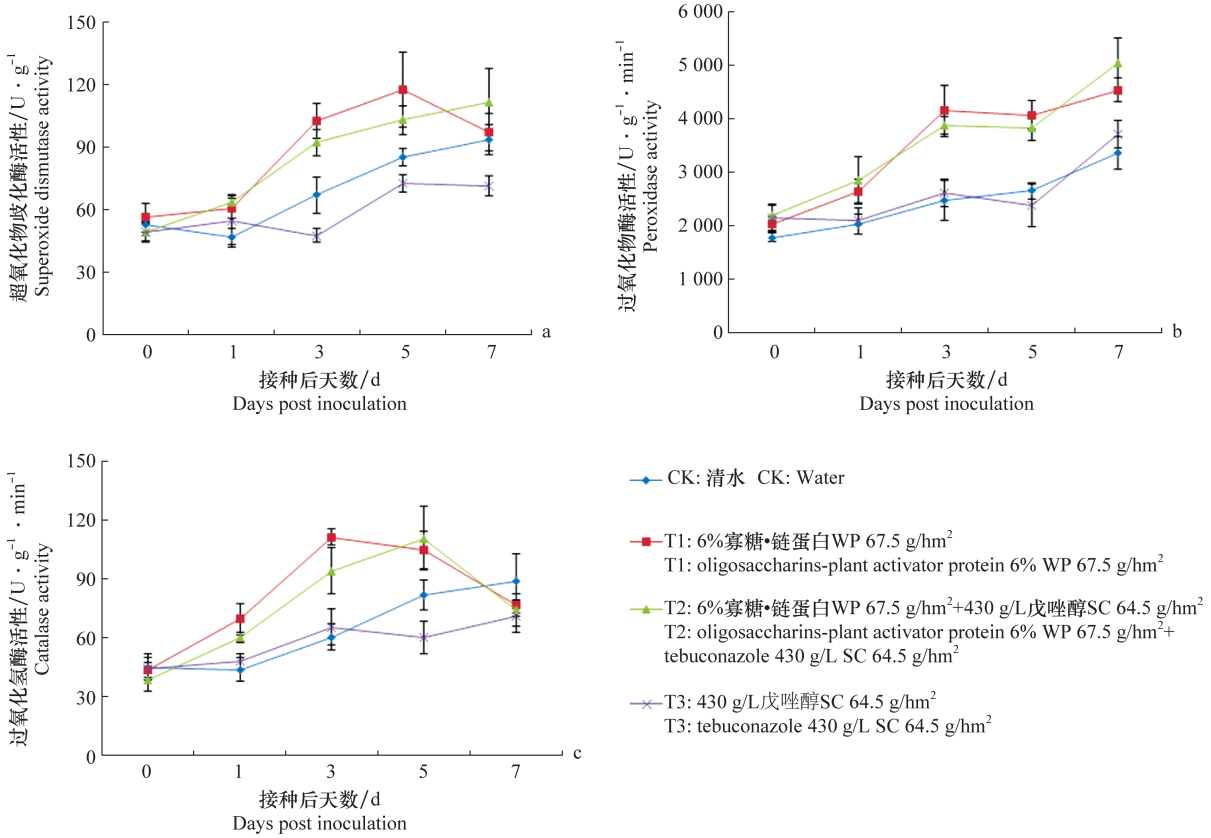


图 1　6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与戊唑醇混用对小麦超氧化物歧化酶(a)、过氧化物酶(b)和过氧化氢酶(c)活性影响

Fig. 1　Effects of oligosaccharins-plant activator protein 6% WP and tebuconazole on the activities of defensive enzymes SOD (a), POD (b) and CAT (c) in wheat

2.3　6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与戊唑醇混用对小麦 Pro 和 MDA 含量的影响

小麦叶片脯氨酸(Pro)含量是植物抗逆性的重要指标。接种后第 1 天各处理间 Pro 含量没有明显差异，到第 3 天和第 5 天时，3 种喷药处理脯氨酸含量高于清水对照处理，在接种第 7 天，喷施 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂 67.5 g/hm² 处理(T1)和 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂 67.5 g/hm² 与 430 g/L 戊唑醇悬浮剂 64.5 g/hm² 混用(T2)两种处理 Pro 含量下降，与清水对照和单独喷施 430 g/L 戊唑醇悬浮剂 64.5 g/hm²(T3)处理相同，说明喷施 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂和戊唑醇处理后，可明显提高小麦叶片 Pro 含量。

测定接种后小麦叶片丙二醛(MDA)含量发现，各处理 MDA 都呈上升趋势，所有测定的时间点 MDA 含量由高到低排序均为 CK、T1、T3、T2，说明施用 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与杀菌剂配合施用，能降低 MDA 积累对小麦叶片细胞造成的损伤，具有明显协同增效作用。

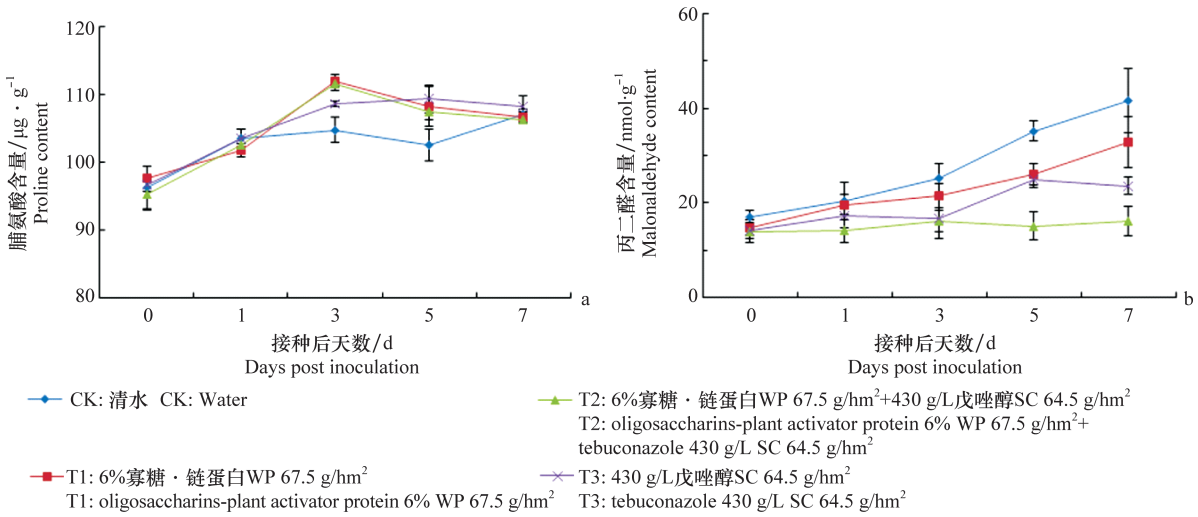


图 2 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与戊唑醇混用对小麦脯氨酸(a)和丙二醛(b)含量的影响

Fig. 2 Effects of oligosaccharins-plant activator protein 6% WP and tebuconazole on the Pro (a) and MDA (b) content in wheat

2.4 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与戊唑醇和吡唑醚菌酯混用对小麦白粉病的田间防治效果

2020 年田间试验结果显示,在小麦白粉病发病初期单独喷施 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂效果不理想,不能有效控制小麦白粉病发生和流行;单独喷施 2 种杀菌剂推荐剂量 430 g/L 戊唑醇悬浮剂 96.75 g/hm² 和 25%吡唑醚菌酯悬浮剂 131.25 g/hm² 的防治效果分别为 76.08%和 77.83%,可以控制白粉病的发生和蔓延;但减量 30%施用,防治效果急剧下降,此时,与 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂混用,防治效果可增加 32.68 百分点和 24.41 百分点,明显好于 2 种杀菌剂推荐剂量的防效。

表 2 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与戊唑醇和吡唑醚菌酯混用对小麦白粉病田间防治效果

Table 2 Control effect of oligosaccharins-plant activator protein 6% WP mixed with tebuconazole and pyraclostrobin on wheat powdery mildew in field

处理 Treatment	2020			2021		
	病情指数 Disease index	防治效果/% Control efficacy	增效百分点 Increased percent	病情指数 Disease index	防治效果/% Control efficacy	增效百分点 Increased percent
6%寡糖·链蛋白 WP 67.5 g/hm² oligosaccharins-plant activator protein 6% WP 67.5 g/hm²	21.83±8.41	(7.77±2.80)d		17.50±3.06	(36.76±6.08)c	
430 g/L 戊唑醇 SC 64.5 g/hm²+6%寡糖·链蛋白 WP 67.5 g/hm² tebuconazole 430 g/L SC 64.5 g/hm²+oligosaccharins-plant activator protein 6% WP 67.5 g/hm²	2.37±1.64	(90.56±3.61)a	32.68	4.98±0.62	(81.77±3.68)a	21.27
430 g/L 戊唑醇 SC 64.5 g/hm² tebuconazole 430 g/L SC 64.5 g/hm²	10.15±4.86	(57.88±5.59)c		10.79±1.49	(60.50±8.54)b	
430 g/L 戊唑醇 SC 96.75 g/hm² tebuconazole 430 g/L SC 96.75 g/hm²	5.49±1.21	(76.08±3.41)b		5.16±0.68	(81.34±1.00)a	
25%吡唑醚菌酯 SC 93.75 g/hm²+6%寡糖·链蛋白 WP 67.5 g/hm² pyraclostrobin 25% SC 93.75 g/hm²+oligosaccharins-plant activator protein 6% WP 67.5 g/hm²	3.69±0.35	(84.04±7.76)ab	24.41	5.18±0.10	(81.18±1.15)a	17.20
25%吡唑醚菌酯 SC 93.75 g/hm² pyraclostrobin 25% SC 93.75 g/hm²	9.34±2.49	(59.63±3.85)c		10.00±2.45	(63.98±6.03)b	
25%吡唑醚菌酯 SC 131.25 g/hm² pyraclostrobin 25% SC 131.25 g/hm²	5.34±2.53	(77.83±2.82)b		4.83±1.52	(82.63±4.15)a	
清水 Water	23.54±8.40			27.57±2.19		

2021 年田间试验结果显示，单独喷施 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂防效可达 36.76%，但显著低于其他药剂处理，单独喷施杀菌剂 430 g/L 戊唑醇悬浮剂和 25%吡唑醚菌酯悬浮剂的推荐剂量防治效果均在 80%以上，减量 30%施用防效下降到 60.50%和 63.98%，2 种杀菌剂减量情况下与 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂混用，防治效果分别提高 21.27 百分点和 17.20 百分点，恢复到杀菌剂推荐剂量的防效水平。2 年的田间试验结果基本一致。

3　结论与讨论

在植物病害防治中，大多依赖化学杀菌剂，以期能够快速全面杀死病菌，然而，由于化学杀菌剂的长期和过量施用带来的病原菌抗药性、农药残留和环境污染等问题，逐渐制约了农业的可持续发展[18]。植物免疫诱导剂能增强植物自身抗性，减轻病害发生，降低农药使用量，是实现农药使用量零增长战略目标的有效措施之一[19]。6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂是在我国首次登记的植物免疫蛋白抑制剂，通过激活植物天然免疫系统而增强植物基础抗性，减少或减轻多种植物病害的发生与发展，同时能保障植物健康生长，改善农产品品质，是农业可持续发展的绿色植保产品[6]。本研究结果表明，植物免疫诱抗剂 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂在防治小麦白粉病过程中，虽然单独施用不能有效控制病害发生和蔓延，但与杀菌剂混用能明显提高杀菌剂防效，有效降低杀菌剂使用量。施用 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂能提高小麦植株防御相关酶 SOD、POD 和 CAT 活性，提高植株体内 Pro 的含量以抵抗病菌的侵染，并且能有效降低 MDA 积累对小麦叶片细胞造成的损伤，这与盛世英等[15]的研究结果基本一致，但本研究是在 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与杀菌剂戊唑醇混合，并且在接种白粉病菌之后测定相关生理生化指标，植物抗性酶活性持续升高，可持续 3～5 d，可能是由于在有病原菌参与下，6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂对植物抗性具有更持久的诱导效果，但在杀菌剂作用下，病原菌在植株体内增殖受到抑制，因此，植物抗性反应有所减弱。总之，温室与田间防治效果均表明，6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂不适合单独用于防治小麦白粉病，与杀菌剂混用具有明显增效作用，提高杀菌剂防效，既可有效控制病害发生，又可降低化学农药使用剂量，延缓病菌抗药性的发生和环境污染。

对于植物诱抗剂与杀菌剂联合应用，已有研究表明，在桃卷叶病的防治研究中，聚-β-羟基丁酸、花生四烯酸乙酯和壳聚糖乳酸与戊菌唑、醚菌酯等杀菌剂推荐剂量减半混用，能使杀菌剂增效到推荐剂量防效水平，有效控制病害发生，且能增产 23%～60%[20]。在小麦赤霉病的防治中，应用 430 g/L 戊唑醇悬浮剂、25%咪鲜胺乳油和 50%多菌灵可湿性粉剂等 3 种杀菌剂减量 20%分别与寡糖·链蛋白、大黄素甲醚和爱诺森混用具有明显的增效作用，防效可以提高到常量水平[21]。本研究结果进一步表明，利用 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂与戊唑醇和吡唑醚菌酯混用防治小麦白粉病，可降低杀菌剂施用量约 30%，为植物诱抗剂与杀菌剂联合应用，加快植物诱抗剂应用进程提供了理论依据。

参考文献

[1] 杨美娟，黄坤艳，韩庆典. 小麦白粉病及其抗性研究进展[J]. 分子植物育种，2016，14(5)：1244－1254.

[2] 闫征远，范洁茹，刘伟，等. 基于田间空气中病菌孢子浓度的小麦白粉病病情估计模型研究[J]. 植物病理学报，2017，47(2)：253－261.

[3] 靳玉丽，谷田田，柳洪，等. 小麦抗白粉病基因 *Pm2* 的研究进展[J]. 中国生态农业学报(中英文)：2022，30(5)：779－786.

[4] 杜庆志，张建业，刘翔，等. 不同杀菌剂对小麦白粉病菌室内毒力测定及混配增效药剂筛选[J]. 植物保护，2021，47(6)：327－331.

[5] 张薇，杨秀芬，邱德文，等. 激活蛋白 PeaT1 诱导烟草对 TMV 的系统抗性[J]. 植物病理学报，2010，40(3)：290－299.

[6] QIU Dewen，DONG Yijie，ZHANG Yi，et al. Plant immunity inducer development and application [J]. Molecular Plant-Microbe Interactions，2017，30(5)：355－360.

[7] 李花利，杨玉萍. 6%寡糖·链蛋白可湿性粉剂对番茄黄化曲叶病毒病的防效试验[J]. 基层农技推广，2019，7(2)：35－37.

[8] 党海月，张妮妮，朱明旗，等. 阿泰灵对苹果锈果类病毒病田间防效及机制研究[J]. 西北农业学报，2022，31(1)：123－128.

[9] 贾秀领，张经廷，马贞玉，等. 植物免疫诱抗剂“阿泰灵”为作物生长保驾护航[J]. 现代农村科技，2016(15)：25.

(下转 316 页)

本研究在崇明两个试验基地进行。在种植品种相同、栽种日期相近的条件下，两地水稻生长发育进程大致相同。但两地稻纵卷叶螟和稻飞虱的迁入有先后差别，在泛信基地，稻纵卷叶螟较早迁入成为水稻分蘖期的主要为害种群，而在北湖基地的水稻分蘖期，较早迁入并快速形成主要种群的是稻飞虱。两地相距只有约 30 km，北湖处于泛信东略偏北，离长江岸边和入海口更近，周边是连片的稻田，可见微小地理差异和周边小环境因素差异可能影响虫害迁移和发生情况。因此，两个试验基地在同一时期针对各自的主要害虫采用了不同的生物农药组合，而相同的生物农药组合则先后在两个试验基地在不同时期应用，地理和时间的差异可能会影响防治效果的稳定性。随着水稻的发育进程，水稻害虫的种类、种群的繁殖和迭代变化趋于复杂化，也会影响防治效果的评估，在实际投入杀虫剂时应考量其相对广谱多效性、长效性，因此，以绿僵菌和白僵菌为基础与其他种类生物杀虫剂的组合应用是一个合理的选择。

参考文献

[1] LI Zengzhi, ALVES S B, ROBERTS D W, et al. Biological control of insects in Brazil and China: history, current programs and reasons for their successes using entomopathogenic fungi [J]. Biocontrol Science and Technology, 2010, 20(2): 117 - 136.

[2] PAVLYUSHIN V. Pathogenic post-effect of entomopathogenic fungi on phytophagous pests and entomophagous biocontrol agents [J/OL]. BIO Web of Conferences, 2020, 21(6): 00020. DOI: 10.1051/bioconf/20202100020.

[3] TANG Jifeng, LIU Xinyu, DING Yuchi, et al. Evaluation of *Metarhizium anisopliae* for rice planthopper control and its synergy with selected insecticides [J]. Crop Protection, 2019, 121: 132 - 138.

[4] 彭爱珍. 几种药剂防治稻纵卷叶螟田间药效试验比较[J]. 广西农学报, 2015, 30(4): 9 - 11.

[5] 黄海兵, 关洪丹. 甘蓝夜蛾核型多角体病毒 SC 防治稻纵卷叶螟田间药效试验[J]. 上海农业科技, 2020(3): 2.

[6] 杨兰, 高宇, 史树森. 4 种微生物药剂防治水稻主要害虫的田间试验[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(1): 119 - 120.

[7] 中华人民共和国农业部. 稻纵卷叶螟和稻飞虱防治技术规程 第 1 部分：稻纵卷叶螟：NY/T 2737.1—2015[S]. 北京：中国农业出版社, 2015.

[8] 中华人民共和国农业部. 稻纵卷叶螟和稻飞虱防治技术规程 第 2 部分：稻飞虱：NY/T 2737.2—2015[S]. 北京：中国农业出版社, 2015.

[9] RENUKA V V L, ARUNDHATI S. Evaluation of various IPM modules against foliage feeding insect-pests of rice [J]. Annals of Plant Protection Sciences, 2019, 27(1): 1 - 6.

[10] 薛进, 陈秋芳, 胡立冬, 等. 不同生物农药对水稻二化螟及稻纵卷叶螟的防治效果[J]. 现代农业科技, 2017 (22): 89 - 90.

[11] 谢婷, 姜灵, 洪波, 等. 球孢白僵菌与苦参碱混配对烟粉虱的毒力与田间防效[J]. 西北农业学报, 2019, 28(5): 830 - 836.

[12] SUMATHI E, RAMASUBRAMANIAN G V. Evaluation of biopesticides against rice black bug [J]. Journal of Biopesticides 2013 (2): 117 - 119.

（责任编辑：田 喆）

（上接 297 页）

[10] 郑果, 王立, 李继平, 等. 9 种叶面处理剂对春油菜产量的影响及对其病害的防效[J]. 西北农业学报, 2019, 28(7): 1093 - 1099.

[11] 朱振家, 杨瑞, 秦宝, 等. 3 种诱导剂单独和联合使用对草莓灰霉病防治效果比较[J]. 生物化工, 2020, 6(6): 72 - 74.

[12] 张强, 刘祥臣, 余贵龙, 等. 不同浓度阿泰灵对再生稻两优 6326 秧苗素质和纹枯病抗性及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(15): 130 - 133.

[13] 郝建宇, 王伟军, 陈文朝, 等. 生物农药阿泰灵对'玫瑰香'葡萄产量和品质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2020(1): 56 - 59.

[14] 王立, 郑果, 李继平, 等. 9 种叶面处理剂对马铃薯早晚疫病的防控效果[J]. 西北农业学报, 2021, 30(3): 439 - 444.

[15] 盛世英, 周强, 邱德文, 等. 植物免疫蛋白制剂阿泰灵诱导小麦抗病增产效果及作用机制[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(2): 213 - 218.

[16] 韩彦卿, 王鹤, 王慧娜, 等. 谷子抵御白发病菌侵染的生理生化及基因表达分析[J]. 植物病理学报, 2020, 50(6): 657 - 665.

[17] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京：高等教育出版社, 2006: 210 - 219.

[18] 刘艳潇, 祝一鸣, 周而勋. 植物免疫诱抗剂的作用机理和应用研究进展[J]. 分子植物育种, 2020, 18(3): 1020 - 1026.

[19] 邱德文. 植物免疫诱抗剂的研究进展与应用前景[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(1): 39 - 45.

[20] AYBA L Y, KARPUN N N, MIKHAILOVA Y V, et al. Inclusion of plant immunity inducers in the fruit crops protection system for the purpose of reducing the pesticide load [C/OL]// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020, 604: 012019. DOI: 10.1088/1755-1315/604/1/012019.

[21] 向礼波, 石磊, 徐东, 等. 3 种新型生物产品及复配杀菌剂防治小麦赤霉病的研究[J]. 植物保护, 2021, 47(4): 276 - 281.

（责任编辑：田 喆）