技术与应用
Technology & Application

不同氮肥施用水平下25%乙嘧酚悬浮剂防治小麦白粉病的效果

孙超飞[1]， 赵亚男[1,2]， 韩翠仙[1,2]， 王奥霖[1]， 袁军海[2]，
范洁茹[1*]， 刘 伟[1*]， 周益林[1]

（1. 中国农业科学院植物保护研究所，植物病虫害生物学国家重点实验室，北京 100193；
2. 河北北方学院农林科技学院，张家口 075000）

摘要 为明确不同氮肥施用量对杀菌剂防治小麦白粉病效果的影响，于2016年－2017年、2017年－2018年和2018年－2019年3年度在河北廊坊研究了正常氮肥施用水平和减施氮肥水平下25%乙嘧酚悬浮剂（7个梯度）对田间小麦白粉病的防效。结果表明，不同的氮肥施用量对药剂防治病害的效果有一定影响，在相同药剂用量下减施氮肥处理（N2）药剂的防效大多要显著高于正常施氮处理（N1）。对3年度不同氮肥施用水平下药剂用量与病情指数或防效的关系模型以及随机系数回归模型比较分析发现，其模型的斜率无显著性差异，截距大部分有显著性差异。通过防效混合效应模型构建的不同分位数模型（10%、30%、50%、70%、90%），获得了2种氮肥施用水平下不同用量的25%乙嘧酚悬浮剂防治田间小麦白粉病的效果。同时，利用防效的关系模型计算了2种氮肥施用水平下25%乙嘧酚悬浮剂对小麦白粉病防效和药剂用量对照表，为氮肥减施情况下药剂用量的合理选用提供了科学依据。

关键词 小麦白粉病； 氮肥施用水平； 25%乙嘧酚悬浮剂； 病情指数； 防治效果
中图分类号： S 435.121.46 **文献标识码：** B **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2020134

Effects of different nitrogen application levels on the control efficacy of ethirimol 25% SC to wheat powdery mildew

SUN Chaofei[1]， ZHAO Yanan[1,2]， HAN Cuixian[1,2]， WANG Aolin[1]， YUAN Junhai[2]，
FAN Jieru[1*]， LIU Wei[1*]， ZHOU Yilin[1]

（1. *State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests*，*Institute of Plant Protection*，*Chinese Academy of Agricultural Sciences*，*Beijing* 100193，*China*；2. *School of Agriculture and Forestry Science and Technology*，*Hebei North University*，*Zhangjiakou* 075000，*China*）

Abstract To explore the effects of different nitrogen application levels on control efficacies of fungicide to wheat powdery mildew，field experiments on the control efficacies of ethirimol 25% SC（7 active ingredient dosages）to wheat powdery mildew under normal nitrogen fertilizer level and reduced nitrogen fertilizer level were conducted during wheat growing seasons in Langfang city，Hebei province in 2016－2017，2017－2018 and 2018－2019. The results showed that different nitrogen fertilizer application levels affected the control efficacy of ethirimol 25% SC. Under the same active ingredient dosage of ethirimol 25% SC，most of the control efficacies under reduced 1/2 or 1/3 nitrogen fertilizer application level（N2）were significantly higher than normal nitrogen fertilizer application level（N1）. A comparative analysis of the relationship models between active ingredient dosages and disease indexes/control efficacies，as well as the random coefficient regression models at different nitrogen fertilizer application levels in the three growing seasons were conducted. The results showed that there was no significant difference in slopes，but significantly different for most of the intercepts of models. 10%，30%，50%，

收稿日期： 2020－03－17 **修订日期：** 2020－04－24
基金项目： 国家重点研发计划（2017YFD0201700）；国家自然科学基金（31901826）
* 通信作者 E-mail：范洁茹 fanjieru1981@126.com；刘伟 wliusdau@163.com

70% and 90% quantile models of disease index or control efficacy were established based on the random mixed effect model, and the control efficacy ranges of ethirimol 25% SC under different active ingredient dosage at two nitrogen fertilizer application levels were obtained by these quantile models. Meanwhile, the reference table of the control efficacies and the active ingredient dosages of ethirimol 25% SC under two nitrogen application levels were established according to the relational models of control efficacy, which can provide a scientific basis for the rational selection of active ingredient dosages of ethirimol 25% SC in the case of reducing nitrogen fertilizer application in the fields.

Key words　wheat powdery mildew;　nitrogen fertilizer application level;　ethirimol 25% SC;　disease index;　control efficacy

小麦白粉病是由专性寄生菌 *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* 引起的典型气传性真菌病害,它是我国小麦生产上的重要病害之一。该病害一般发生年份造成小麦减产 5%～10%,严重发生年份减产可高达 30%以上[1],小麦白粉病的有效防治对于小麦稳产和高产具有重要意义。

药剂防治是小麦白粉病的主要防治措施之一,其中以三唑酮应用最为广泛[2]。但由于该药剂多年来大量单一使用,导致我国不同地区小麦白粉病菌对其产生了不同程度的抗药性,其抗药性水平在 12～88 倍之间[2-4]。因此在实际生产中已逐渐采用一些三唑酮替代药剂或非三唑类药剂来防治该病害。已有研究表明,乙嘧酚对小麦白粉病具有较好的防效[5-6],该药剂为嘧啶类内吸性杀菌剂,属腺嘌呤核苷脱氨酶抑制剂[7]。

氮是植物生长所需的必要营养元素,且已有研究发现氮肥施用量对小麦白粉病的发生具有一定影响,其病情指数和氮肥施用量呈正相关[8-9]。朱建祥[10]认为小麦白粉菌对氮反应比较敏感,在小麦生长季的任何时期使用氮肥均会提高植株的感病性。郭露芳等[11]研究了田间两个小麦品种在 5 个施氮水平处理下白粉病的发生程度,结果发现高氮水平下病株率、病叶率和病情指数均显著高于低氮水平。郭建国等[12]研究发现旱地春小麦白粉病的发生程度与氮肥的关系比磷肥更密切,氮肥水平越高病害相对越严重。高智谋等[13]研究播期、密度、氮肥对小麦白粉病的定量效应发现,早播稀植低氮的组合有利于控制该病害发生,减少产量损失。

目前还鲜有氮肥不同施用量水平对药剂防治小麦白粉病效果影响的研究报道。因此,本研究通过田间试验,利用随机系数混合模型分析了不同氮肥施用水平对乙嘧酚防治小麦白粉病效果的影响,为氮肥减量施用情况下药剂的合理使用提供依据。

1　材料与方法

1.1　供试材料与药剂

供试小麦品种为‘京双 16’(高感小麦白粉病),试验所用菌株为小麦白粉菌混合菌种,由中国农业科学院植物保护研究所小麦白粉病实验室提供,供试药剂为 25%乙嘧酚悬浮剂,由江西禾益化工有限公司生产。

1.2　试验方法

试验于 2016－2017 年度、2017－2018 年度和 2018－2019 年度在中国农业科学院植物保护研究所廊坊中试基地(39.5°N,116.6°E)进行。每年度试验设置 2 个氮肥施用水平,正常氮肥施用水平(N1):基肥每 667 m^2 施用 25 kg 磷酸二铵、15 kg 尿素、10 kg 硫酸钾;开春拔节期追施 15 kg 尿素;减施氮肥水平(N2):2016－2017 年度和 2017－2018 年度 N2 氮肥施用量为 N1 氮肥施用量水平的 1/2,即基肥每 667 m^2 施用 12.5 kg 磷酸二铵、7.5 kg 尿素、10 kg 硫酸钾;开春拔节期追施 7.5 kg 尿素;2018－2019 年度 N2 氮肥施用量为 N1 氮肥施用水平的 2/3,即基肥每 667 m^2 施用 17 kg 磷酸二铵、10 kg尿素、10 kg 硫酸钾;开春拔节期追施 10 kg 尿素。每年度每个氮肥施用水平设 7 个乙嘧酚有效用量水平(0、30、60、120、180、240 g/hm^2 和 270 g/hm^2)。试验共设置 2×7=14 个处理,每处理 3 次重复。随机区组排列,总共 42 个小区。每小区 20 行,行距 25 cm,每行长 4 m,小区面积 4 m×5 m=20 m^2,每行播种 12 g‘京双 16’,各小区田间管理一致。为确保小麦白粉病能够在田间发生,每年 3 月下旬将温室内繁殖好的小麦白粉菌盆苗接种于田间;田间接种 30 d 后(扬花初期),分别喷洒不同用量的 25%乙嘧酚悬浮剂;灌浆期(2017 年 5 月 22 日、2018 年 5 月 23 日、2019 年 5 月 23 日)用改进后的“0～9”级法

对田间小区的发病情况进行调查[14]。每小区 5 点取样，每点调查 20 茎，并计算病情指数(disease index，DI)和防效，计算公式如下：

$$DI=\{(0\times n_0+1\times n_1+\cdots\cdots+9\times n_9)/[9\times(n_0+n_1+\cdots\cdots+n_9)]\}\times 100;$$

其中 n_0、$n_1\cdots\cdots n_9$ 分别代表不同发病级别的调查株数。

防效＝(对照区病情指数－施药区病情指数)/对照区病情指数×100%。

1.3 数据分析

利用 SAS 软件的 PROC GLM 程序对氮肥施用水平、施药水平、年度间的病情指数进行多因子方差分析，并对 3 年度不同氮肥施用水平所建模型截距和斜率进行平行曲线分析。

利用随机系数混合线性回归模型来研究氮肥施用对病情指数或防治效果的影响，分析采用 R 语言的 LME4 包完成。本研究共有 6 个数据组(年度与施肥水平的组合)来评价氮肥施用水平与病情指数或防效的关系，每个数据组有 21 个点(21 个小区)，第 i 个年度与施肥水平组合下第 j 个小区的病情指数或防效 y_{ij} 的模型为：

$$y_{ij}=\mu_i+x_{ij}\beta_i+\varepsilon_{ij},$$

$$i=1,2,\cdots,6;\ j=1,2,\cdots,21$$

$$\mu_i\sim(\mu,\sigma_\mu^2),\ \beta_i\sim(\beta,\sigma_\beta^2),\ \varepsilon_{ij}\sim(0,\sigma^2)$$

利用分位数回归模型来分析年度、氮肥施用水平对药剂用量的影响程度以及药剂不同用量对小麦白粉病的防治效果范围，该部分采用 R 语言的 quantreg 包分析。病情指数或防效的分位数回归模型为：

$$y_e=\beta_0^{(p)}+\beta_1^{(p)}x_e+\varepsilon_e^{(p)}$$

$0<p<1$ 表示数值小于第 p 分位数的比例。β_0、β_1 分别表示分位数回归模型的截距、斜率，x_e 为药剂用量，ε_e 为随机误差。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥施用水平下乙嘧酚对小麦白粉病的防治效果

通过 3 年度不同氮肥施用水平下 25%乙嘧酚悬浮剂对小麦白粉防治效果的研究发现(表 1)，氮肥施用量对药剂防治田间小麦白粉病的效果有一定影响。3 年度 25%乙嘧酚悬浮剂对小麦白粉病的防治效果随药剂用量的增加而升高，当药剂用量低于 180 g/hm² 时，防效均低于 50%；当药剂用量高于或等于 180 g/hm² 时，防效基本高于 50%，当药剂用量达到 270 g/hm² 时，防效最好，达到 73.38%以上。

表 1 氮肥不同施用水平下 25%乙嘧酚悬浮剂对小麦白粉病的防治效果1)

Table 1 Control efficacies of ethirimol 25% SC on wheat powdery mildew under different nitrogen application levels

药剂有效成分用量/g·(hm²)⁻¹ Active ingredient dosage of fungicide	氮肥施用水平 Nitrogen application levels	2016－2017			2017－2018			2018－2019		
		药后病情指数 Disease index after fungicide application	防效/% Control efficacy	防效差/% Difference of control efficacy	药后病情指数 Disease index after fungicide application	防效/% Control efficacy	防效差/% Difference of control efficacy	药后病情指数 Disease index after fungicide application	防效/% Control efficacy	防效差/% Difference of control efficacy
0	N1	82.04 a	—	—	80.85 a	—	—	81.41 a	—	—
	N2	76.11 b	7.18 j		79.78 a	1.33 j		74.78 b	7.64 l	
30	N1	70.19 c	14.52 i	9.38	70.85 b	12.37 i	4.48	72.07 c	10.99 k	11.93
	N2	62.41 d	23.90 h		66.33 c	16.85 h		61.89 d	22.92 j	
60	N1	60.00 d	26.86 h	11.48	65.85 c	18.55 h	7.36	62.41 d	23.56 j	10.29
	N2	50.56 e	38.34 g		59.89 d	25.91 g		53.56 e	33.85 i	
120	N1	48.15 e	41.37 g	9.60	57.67 e	28.68 g	6.50	49.00 f	39.48 h	8.69
	N2	40.18 f	50.97 f		52.41 f	35.18 f		41.96 g	48.17 g	
180	N1	36.67 f	55.36 e	8.07	40.63 g	49.75 e	7.79	37.52 h	53.66 f	8.88
	N2	30.00 g	63.43 d		34.34 h	57.54 d		30.33 i	62.54 e	
240	N1	26.67 g	67.54 c	11.46	28.00 i	65.37 c	5.91	27.11 j	66.52 d	8.32
	N2	17.22 h	79.00 b		23.22 j	71.28 b		20.37 k	74.84 c	
270	N1	16.11 h	80.40 b	6.07	21.52 j	73.38 b	10.68	17.11 l	78.99 b	6.65
	N2	11.11 i	86.47 a		12.89 k	84.06 a		11.63 m	85.64 a	

1) 同列中相同字母表示邓肯氏多重比较在 0.05 水平上没有显著差异。N1 为氮肥正常施用水平、N2 为减施氮肥水平。下同。
The same letter in the same column indicates that there is no significant difference at the 0.05 level by Duncan's multiple comparisons. N1: Normal regular nitrogen fertilizer level, N2: Reduced 1/2 or 1/3 nitrogen fertilizer level. The same as follows.

在相同的用药剂量下,正常施氮处理(N1)小区的小麦白粉病病情指数大多显著高于减施氮肥处理(N2)小区的病情指数,也即在相同用药剂量条件下,减施氮肥处理(N2)的药剂防效大多要高于正常施氮处理(N1),且一般高出 4.48～11.93 百分点。

此外,3 年度氮肥不同施用水平下不同用量的 25%乙嘧酚悬浮剂对小麦白粉病病情指数影响的多因子方差分析结果表明(表 2),除施肥因子与施药因子无交互作用影响外,其他因子及其互作对小麦白粉病病情指数的影响均达显著或极显著水平($P<0.05$),其中影响的大小顺序为施药>施肥>年度>区组>年度*施药>年度*施肥等。

表 2　不同氮肥施用水平下不同用量的 25%乙嘧酚悬浮剂对小麦白粉病病情指数影响的多因子方差分析

Table 2　Multiple factor analyses on disease indexes of wheat powdery mildew to different active ingredient dosages of ethirimol 25% SC under different nitrogen application levels

变异来源 Source of variation	*DF*	*SS*	*MS*	*F*	*P*
处理 Treatment	43	61 590.12	1 432.33	564.79	<0.000 1
施肥(A) Nitrogen application levels	1	1 417.09	1 417.09	558.79	<0.000 1
年度(B) Years	2	533.56	266.78	105.20	<0.000 1
施药(C) Active ingredient dosage of fungicide	6	59 221.74	9 870.29	3 892.04	<0.000 1
A*B	2	34.98	17.49	6.90	0.001 7
A*C	6	33.29	5.55	2.19	0.052 3
B*C	12	241.88	20.16	7.95	<0.000 1
A*B*C	12	61.53	5.13	2.02	0.032 2
区组 Block	2	46.05	23.02	9.08	0.000 3
误差 Error	82	207.95	2.54		
总变异 Total variation	125	61 798.08			

2.2　两种氮肥施用水平下药剂用量与小麦白粉病病情指数或防效的关系模型

对 2016 年—2017 年、2017 年—2018 年和 2018 年—2019 年 3 年度不同氮肥施用水平下不同用量的 25%乙嘧酚悬浮剂与小麦白粉病的病情指数或防效分别进行回归分析(表 3),结果表明其线性回归模型均达到极显著水平,且病情指数随药剂用量的加大而下降,防效随药剂用量的加大而上升。正常氮肥施用水平(N1)下的病情指数高于减施氮肥水平(N2),防效则为正常氮肥施用水平低于减量施氮水平。

表 3　3 年度不同氮肥施用水平下 25%乙嘧酚悬浮剂用量与病情指数或防治效果的关系模型

Table 3　The relationship models between disease indexes or control efficacies and active ingredient dosages of ethirimol 25% SC under different nitrogen application levels in three wheat growing seasons

年度/氮肥施用水平 Years/Nitrogen application levels	病情指数模型 Models of disease index	防效模型 Models of control efficacy
2017N1	$y=77.450\,3-0.224\,8x$, $R^2=0.970\,7$, $P<0.000\,1$	$y=0.256\,1x+9.254\,7$, $R^2=0.982\,1$, $P<0.000\,1$
2017N2	$y=69.713\,9-0.222\,7x$, $R^2=0.973\,1$, $P<0.000\,1$	$y=0.265\,6x+13.844\,5$, $R^2=0.987\,8$, $P<0.000\,1$
2018N1	$y=79.697\,7-0.213\,9x$, $R^2=0.991\,2$, $P<0.000\,1$	$y=0.260\,0x+2.349\,6$, $R^2=0.988\,1$, $P<0.000\,1$
2018N2	$y=76.503\,0-0.229\,6x$, $R^2=0.983\,6$, $P<0.000\,1$	$y=0.274\,7x+6.751\,7$, $R^2=0.981\,5$, $P<0.000\,1$
2019N1	$y=78.506\,3-0.225\,5x$, $R^2=0.987\,1$, $P<0.000\,1$	$y=0.265\,5x+5.879\,0$, $R^2=0.988\,5$, $P<0.000\,1$
2019N2	$y=69.841\,2-0.216\,0x$, $R^2=0.984\,1$, $P<0.000\,1$	$y=0.267\,7x+10.874\,9$, $R^2=0.994\,9$, $P<0.000\,1$

对表 3 所建模型的斜率和截距进行比较分析的结果表明(见表 4),2 种氮肥施用水平下药剂用量与病情指数或防效的关系模型其斜率在年度内、年度间均无显著性差异,F 值在 0.00 到 3.65 之间,P 值在 0.063 7 到 0.952 2 之间。所建药剂用量与病情指数关系模型的截距在 2017 年—2019 年 N1、N2 两种水平下以及防效估计模型的截距在 2017 年—2019 年 N1 水平下无显著差异外,其他药剂用量与病情指数或防效关系模型的截距在年度内、年度间均存在极显著性差异。

表 4 不同氮肥施用水平下 25%乙嘧酚悬浮剂用量与小麦白粉病病情指数或防效关系模型的比较分析

Table 4 Comparative analyses of the relationship models between disease indexes or control efficacies and active ingredient dosages of ethirimol 25% SC under different nitrogen application levels

模型比较 Model comparison	病情指数 Disease index		防效 Control efficacy	
	斜率 Slope	截距 Intercept	斜率 Slope	截距 Intercept
2017N1－2017N2	F=0.03,P=0.862 7	F=39.63,P<0.000 1	F=0.70,P=0.408 9	F=36.27,P<0.000 1
2018N1－2018N2	F=3.65,P=0.063 7	F=39.81,P<0.000 1	F=1.55,P=0.222 0	F=39.36,P<0.000 1
2019N1－2019N2	F=1.21,P=0.278 7	F=78.16,P<0.000 1	F=0.06,P=0.805 3	F=50.34,P<0.000 1
2017N1－2018N1	F=1.17,P=0.286 5	F=13.80,P=0.000 6	F=0.12,P=0.733 2	F=41.90,P<0.000 1
2017N1－2019N1	F=0.00,P=0.952 2	F=0.89,P=0.350 6	F=0.70,P=0.409 0	F=3.97,P=0.054 7
2018N1－2019N1	F=2.36,P=0.132 6	F=12.97,P=0.000 9	F=0.30,P=0.588 0	F=24.29,P<0.000 1
2017N2－2018N2	F=0.41,P=0.526 1	F=31.54,P<0.000 1	F=0.58,P=0.453 5	F=29.72,P<0.000 1
2017N2－2019N2	F=0.40,P=0.530 0	F=0.94,P=0.337 8	F=0.05,P=0.819 1	F=12.15,P=0.001 4
2018N2－2019N2	F=2.17,P=0.148 7	F=28.78,P<0.000 1	F=0.45,P=0.508 9	F=10.96,P=0.002 3

2.3 两种氮肥施用水平对乙嘧酚防治小麦白粉病效果的影响

在以上分析的基础上，本研究还将药剂用量作为固定效应，年度和氮肥施用水平作为随机效应，建立病情指数或者防效的随机系数混合模型。病情指数模型截距的 μ 和 σ_μ^2 分别为 75.285 5±1.812 7 和 18.452 5±4.296；斜率 β 和 σ_β^2 分别为－0.222 1±0.002 8 和 0；模型残差 σ^2 为 9.641。防效模型参数分别为 μ_i～(75.285 5，18.452 5)，β_i～(－0.264 9，0)，ε_{ij}～(0，9.640 9)。基于随机系数回归模型所建病情指数或防治效果的 10%、30%、50%、70%、90%分位数模型(图 1)比较分析结果表明，在不同年度间、不同施肥水平下斜率均无显著性差异，截距有显著性差异。由 10%、30%、50%、70%和 90%分位数模型的计算结果(表 5)可以看出不同施肥水平下基于不同药剂用量所建立的小麦白粉病病情指数和防效的范围。例如在药剂推荐用量 270 g/hm² 下，病情指数和防效在 10%、30%、50%、70%和 90%分位数模型下计算结果分别为 9.81、13.07、15.32、17.57、20.82 和 74.28%、77.47%、79.68%、81.89%、85.08%，病情指数和防效的最大差值分别为 11.01 和 10.80 百分点。

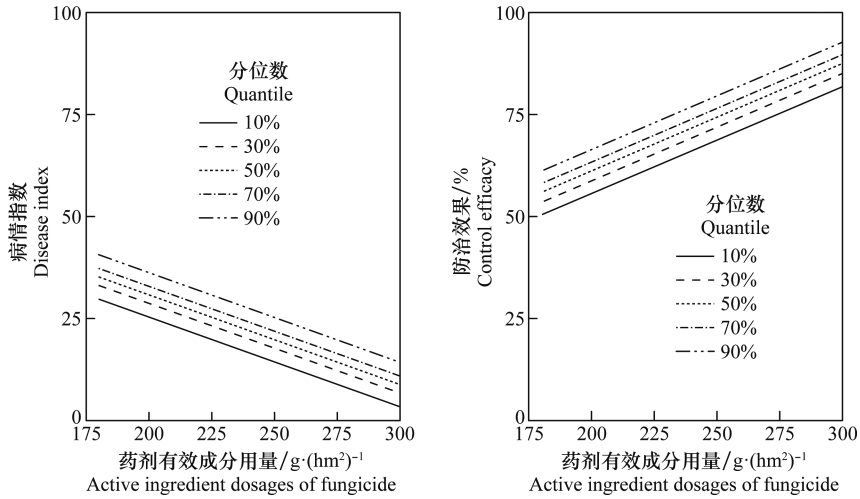

图 1 基于混合模型建立的 25%乙嘧酚 SC 药剂用量与小麦白粉病病情指数和防治效果的分位数模型

Fig. 1 Quantile models between the active ingredient dosage of ethirimol 25% SC and wheat powdery mildew disease indexes or control efficacies based on the mixed model

此外，利用 3 年度不同氮肥施用水平下药剂用量与防效的关系模型(表 3)计算获得了两种氮肥施用水平下药剂不同用量对小麦白粉病的防效值(表 6)，通过此表可查阅不同的药剂用量在不同氮肥施用水平下的药剂防效，方便田间防治时选用合适的药剂用量进行小麦白粉病的防治。

表 5　基于病情指数和防效混合模型的 10%、30%、50%、70%和 90%分位数模型计算结果

Table 5　Calculation results of 10%, 30%, 50%, 70% and 90% quantile models based on a mixed model of disease index or control efficacies

药剂有效成分用量/g·(hm²)⁻¹ Active ingredient dosage of fungicide	病情指数 Disease index					防效/% Control efficacy				
	10%	30%	50%	70%	90%	10%	30%	50%	70%	90%
0	66.78	70.03	72.29	74.54	77.79	—	—	—	—	—
30	60.12	63.37	65.62	67.88	71.13	10.70	13.90	16.11	18.32	21.51
60	53.45	56.71	58.96	61.21	64.46	18.65	21.84	24.05	26.26	29.46
120	40.13	43.38	45.63	47.89	51.14	34.54	37.74	39.95	42.16	45.35
180	29.80	33.05	35.31	37.56	40.81	50.44	53.63	55.84	58.05	61.24
210	23.14	26.39	28.64	30.90	34.15	58.39	61.58	63.79	66.00	69.19
240	16.48	19.73	21.98	24.23	27.49	66.33	69.52	71.73	73.95	77.14
270	9.81	13.07	15.32	17.57	20.82	74.28	77.47	79.68	81.89	85.08
300	3.15	6.40	8.66	10.91	14.16	82.23	85.42	87.63	89.84	93.03

表 6　两种氮肥施用水平下 25%乙嘧酚悬浮剂防治小麦白粉病的用药参考表

Table 6　Reference table for the active ingredient dosages of ethirimol 25% SC against wheat powdery mildew under two nitrogen application levels

药剂有效成分用量/g·(hm²)⁻¹ Active ingredient dosage of fungicide	防治效果/% Control efficacy	
	正常氮肥施用水平 Normal nitrogen fertilizer level	减施氮肥水平(1/2～2/3) Reduced nitrogen fertilizer level(1/2—2/3)
0	—	—
30	10.15～16.94	14.99～21.81
60	17.95～24.62	23.23～29.78
120	33.55～39.99	39.72～45.72
180	49.15～55.35	56.20～61.65
210	56.95～63.04	64.44～69.62
240	64.75～70.72	72.68～77.59
270	72.55～78.40	80.92～85.56
300	80.35～86.08	89.16～93.52

3　结论与讨论

前人的研究多集中在氮肥施用量对小麦白粉病发生程度的影响[8-13]或药剂施用量对田间病害的防治等方面[5-6],本研究通过连续 3 年田间试验研究了不同氮肥施用水平下对药剂防治田间小麦白粉病效果的影响,结果发现减施氮肥可降低小麦白粉病的病情,从而提高药剂的防效,也就是说,在达到田间某一防效的前提下,合理的减施氮肥可降低药剂的使用量。本研究结果表明,如果需要田间防效达到 72%～78%,减施氮肥量比正常氮肥施用量的条件下可减少施用乙嘧酚 SC 有效用量约 30 g/hm² 左右。

本研究将药剂用量作为固定效应,年度和氮肥施用水平作为随机效应,建立了病情指数或者防效的随机系数回归模型,在此基础上,还建立了病情指数和防效的 10%、30%、50%、70%和 90%分位数模型,通过随机系数回归模型和分位数模型,不但可明确年度和不同施肥水平对药剂防效的影响程度,还可计算获得不同药剂用量下小麦白粉病的防效范围,这对不同年度和不同施肥水平下田间药剂适合用量的选用具有实际的指导意义。

本研究建立了不同氮肥施用水平下药剂用量与防效的关系模型,两种氮肥施用水平下不同药剂用量对小麦白粉病防效值表,便于用户在田间防治时查用合适的药剂用量。

参考文献

[1]　李振岐. 麦类病害[M]. 北京:中国农业出版社,1997:57-78.

[2]　曹学仁,赵文娟,周益林,等. 2007 年我国部分麦区小麦白粉菌对三唑酮的抗药性监测[J]. 植物保护,2008,34(6):74-77.

[3]　杨璐,周益林,段霞瑜,等. 2011 年我国主要麦区小麦白粉病菌群体对三唑酮和苯锈啶的敏感性[J]. 植物病理学报,2013,43(4):430-434.

[4]　史倩倩,范洁茹,周益林,等. 2012 年部分麦区小麦白粉菌群体对三唑酮敏感性及其与毒性的关系[J]. 植物病理学报,2015,45(2):181-187.

[5]　高海峰,努尔孜亚·亚力买买提,李广阔,等. 几种杀菌剂对小麦白粉病的防治效果[J]. 新疆农业科学,2013,50(7):1260-1264.

(下转 275 页)

[4] 张卫强,肖辉林,殷祚云,等.模拟氮沉降对入侵植物薇甘菊光合特性的影响[J].生态环境学报,2013,22(12):1859-1866.

[5] 邵华,彭少麟,张弛,等.薇甘菊的化感作用研究[J].生态学杂志,2003,22(5):62-65.

[6] MUNIAPPAN R, VIRAKTAMATH C A. Invasive alien weeds in the Western Ghats [J]. Current Science, 1993, 8(64):555-558.

[7] 张丽. 薇甘菊的生物学特性及防治方法探讨[J]. 农技服务, 2016(9):89-90.

[8] 姜春来,刘婕,陈永,等.2,4-滴微乳剂对外来入侵杂草薇甘菊的生物活性与防治效果研究[J].中国农学通报,2012,30(28):235-238.

[9] 昝启杰,孙延军,廖文波,等. 森草净杀灭薇甘菊(*Mikania micrantha*)及其安全性[J]. 生态学报, 2007,27(8):3407-3416.

[10] ZHOU Sheng, CHEN Ping, LI Mingguang et al. Tall grasses have an advantage over the invasive vine *Mikania micrantha*: potential control agents [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2016, 65: 238-244.

[11] 张知晓,泽桑梓,季梅,等. 薇甘菊替代控制技术研究[J]. 西部林业科学, 2018,47(3):123-128.

[12] 宋振,王忠辉,范志伟,等. 薇甘菊替代植物的筛选及其防控效果试验[J]. 中国农业气象, 2020,41(1):24-33.

[13] 户连荣,泽桑梓,张知晓,等. 薇甘菊人工速效郁闭及其遮荫控制技术研究[J]. 西部林业科学, 2018,47(2):96-100.

[14] 李鸣光,鲁尔贝,郭强,等. 入侵种薇甘菊防治措施及策略评估[J]. 生态学报, 2012,32(10):3240-3251.

[15] 陈素芳,徐润林,王勇军,等.化学防除薇甘菊对内伶仃岛土壤原生动物群落的影响[J].应用与环境生物学报, 2003,9(4):422-428.

[16] 赵丹阳, 刘建锋. 70%灭薇净防除薇甘菊安全性试验[J]. 广东农业科学, 2012,39(10):108-111.

[17] 梁晨, 刘涛, 彭家昆, 等. 林地薇甘菊防治研究[J]. 中国森林病虫, 2017,36(5):1-4.

[18] 李云琴,季梅,刘凌,等.云南省林地薇甘菊防控研究进展[J]. 生物安全学报, 2019,28(1):1-6.

[19] 王佐霖, 邓辉, 李瑜. 深圳市级自然保护区有害生物防控措施研究[J]. 绿色科技, 2015(8):1-5.

[20] 王伯荪, 廖文波, 昝启杰, 等. 薇甘菊 *Mikania micrantha* 在中国的传播[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2003,42(4):47-50.

[21] 练惠通,黄泽文,张波,等.广东农业外来有害生物薇甘菊入侵的历史阶段与特点[J].安徽农业科学,2014,42(20):6695-6698.

[22] 刘俊武,江世宏,白晓庆,等. 深圳市福田区薇甘菊发生危害情况调查[J]. 江西农业学报, 2010,22(6):118-119.

[23] 蓝崇钰,廖文波,王勇军. 广东内伶仃岛的生物资源及自然保护规划[J]. 植物资源与环境学报, 2002,11(1):47-52.

[24] 陈庆华,周小刚,郑仕军,等. 氨氯吡啶酸·2,4-滴对非耕地阔叶杂草的防除效果[J]. 杂草科学, 2012,30(3):50-52.

[25] 岳茂峰,田兴山,冯莉,等. 4 种吡啶类除草剂对不同生长期薇甘菊防效评价[J]. 广东农业科学, 2013,40(23):79-82.

[26] 张晖,孙德莹,许晓丹,等. 紫薇清防治薇甘菊林间药效试验[J]. 辽宁林业科技, 2012(6):12-14.

[27] 于红妍,侯秀敏,唐俊伟. 迈士通和紫薇清除草剂在高寒牧区牧草和土壤中残留的研究[J]. 青海草业, 2017,26(2):6-9.

(责任编辑: 田　喆)

(上接 249 页)

[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] 徐泽刚,王月梅,李宗英,等. 新型杀菌剂乙嘧酚合成研究[J]. 应用化工, 2010, 39(7): 1109-1110.

[8] 刘万才,邵振润,姜瑞中. 小麦白粉病测报与防治技术研究总结报告(1992—1999)[M]//刘万才. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京:中国农业出版社, 2000: 3-32.

[9] 金社林,李继平,曹世勤,等. 不同栽培密度和施肥水平对小麦白粉病病情的影响[M]//刘万才. 小麦白粉病测报与防治技术研究. 北京:中国农业出版社, 2000: 288-291.

[10] 朱建祥. 我国小麦白粉病逐年加重的原因分析及对策[J]. 安徽农业科学, 1992, 20(2): 174-180.

[11] 郭露芳,陈桂敏,马朝伟,等. 不同施氮量对冬小麦白粉病发生程度的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(1): 91-94.

[12] 郭建国,曹世勤,骆惠生,等. 不同肥力水平对旱砂地春小麦白粉病发生程度影响的初步研究[J]. 甘肃农业科技, 2005(6): 40-42.

[13] 高智谋,檀根甲,徐成勇,等. 播期,密度和氮肥对小麦白粉病定量效应的研究[J]. 安徽农业大学学报, 1993, 20(1): 18-24.

[14] 盛宝钦,段霞瑜. 对记载小麦成株白粉病“0—9 级法”的改进[J]. 北京农业科学, 1991(1): 38-39.

(责任编辑: 田　喆)