

路妍,高健,袁喜丽,等. 12 种杀菌剂对小麦赤霉病菌的室内毒力及不同植保器械施药效果研究[J]. 江苏农业科学,2021,49(21):120-127.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.21.018

12 种杀菌剂对小麦赤霉病菌的室内毒力 及不同植保器械施药效果研究

路妍¹,高健¹,袁喜丽²,景岚¹

(1. 内蒙古农业大学园艺与植物保护学院,内蒙古呼和浩特市 010011; 2. 乌拉特中旗农牧业技术推广中心,内蒙古乌拉特中旗 015300)

摘要:近年来,小麦赤霉病在我国东北地区发生日趋严重,高效的药剂和植保喷雾器械的筛选将为生产上推广优化的防治模式提供依据。本研究选用 12 种杀菌剂采用菌丝生长速率法和孢子萌发法 2 种方法测定其对小麦赤霉病菌的毒力和抑制效果,并以抑菌效果最好的药剂进行 3 种常用植保器械的田间防效测定。菌丝生长速率法的测定结果表明,25% 苯醚甲环唑的 EC_{50} 最小,抑菌效果最佳,430 g/L 戊唑醇和 50% 氟啶胺效果次之。孢子萌发法的测定结果表明,25% 苯醚甲环唑的 EC_{50} 最小,对孢子萌发和芽管伸长抑制效果最好,其次是 430 g/L 戊唑醇、250 g/L 咯菌酯、50% 氟啶胺,进一步对苯醚甲环唑采用 3 种植保器械对其施药效果进行测定,结果表明,自走式喷杆喷雾机的农药利用率最高,为 81.98%,防效最好,达到 80.60%。

关键词:小麦赤霉病;杀菌剂;毒力测定;农药利用率;植保器械施药;苯醚甲环唑

中图分类号: S435.121.4⁺5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)21-0120-08

小麦赤霉病是在小麦生产中有严重影响的病害,是世界性的重要病害^[1-3]。世界上许多国家如美国、加拿大、澳大利亚、日本、朝鲜、巴西等都有赤霉病的发生报道。赤霉病在欧美地区呈现明显加

重的趋势^[4-7]。我国是世界上受小麦赤霉病危害较为严重的国家之一,危害最为严重的地区是长江中下游小麦产区,随着全球气候变暖,我国小麦赤霉病的发生在近几年来也有北移的趋势^[8]。

小麦赤霉病,别称烂麦头、红麦头、麦穗枯。雨水较多、空气湿度大、温度适宜时易加重赤霉病的发生^[9]。小麦赤霉病是由 20 多个镰刀菌种或变种引起的一种气候型真菌病害,病原菌主要分布在镰刀菌属(*Fusarium*)的 5 个种,分别是禾谷镰刀菌

收稿日期:2021-03-25

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFD0200407)。

作者简介:路妍(1982—),女,内蒙古呼和浩特人,博士,讲师,从事植物真菌病害研究。E-mail:luyan820918@126.com。

通信作者:景岚,博士,教授,从事植物免疫学研究。E-mail:jinglan71@126.com。

[5] 佟毅. 中国玉米淀粉与淀粉糖工业技术发展历程与展望[J]. 食品与发酵工业,2019,45(17):294-298.

[6] 焦岩,韩赫,常影,等. 玉米醇溶蛋白负载叶黄素纳米粒的制备与表征[J]. 食品与机械,2019,35(7):7-12,97.

[7] 黄祖强,陈渊,童张法,等. 机械活化对玉米淀粉的直链淀粉含量及老化特性的影响[J]. 食品与机械,2007,23(1):12-14,30.

[8] 张苏芮,李一鸣. 小麦—玉米轮作体系下长期秸秆还田对土壤养分含量的影响综述[J]. 现代农业科技,2020(7):189,192.

[9] 林松明,孟维伟,南镇武,等. 玉米间作花生冠层微环境变化及其与荚果产量的相关性研究[J]. 中国生态农业学报(中英文),2020,28(1):31-41.

[10] Mo R X, Jiang L G, Guo L, et al. Effect of nitrogen application on contents of different forms of nitrogen in rice plants[J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(10):1484-1489.

[11] Wang Y L, Liu T X, Tan J F, et al. Effect of N fertilization on yield,

N absorption and utilization of two species of superhigh-yielding summer maize[J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 13(2):339-342,374.

[12] 袁志友,李凌浩,韩兴国,等. 模拟放牧斑块与氮素添加对半干旱草原群落植物生长的影响[J]. 植物学报,2004,46(9):1032-1039.

[13] 陈继康,高钢,喻春明,等. 施氮水平对不同氮效率苜蓿渗透调节的影响[J]. 农业科学与技术,2019,20(6):14-21,27.

[14] Ma B B, Zhou X L, Zhang Q, et al. How do soil micro-organisms respond to N, P and NP additions Application of the ecological framework of (co-) limitation by multiple resources[J]. Journal of Ecology, 2019, 107(5):2329-2345.

[15] Yang S, Liu W X, Qiao C L, et al. The decline in plant biodiversity slows down soil carbon turnover under increasing nitrogen deposition in a temperate steppe[J]. Functional Ecology, 2019, 33(7):1362-1372.

(*F. graminearum*)、黄色镰刀菌(*F. culmorum*)、燕麦镰刀菌(*F. avenaceum*)、梨孢镰刀菌(*F. poae*)和雪腐镰刀菌(*F. nivale*),其中最重要的病原菌是禾谷镰刀菌和黄色镰刀菌,优势致病菌种因生态、生理环境的不同而不同^[10]。在不同国家的不同地区,小麦赤霉病优势致病菌也不尽相同,常常是多个种复合发生^[11-13]。我国小麦赤霉病病原菌主要是禾谷镰刀菌(*F. graminearum*),主要引起苗枯、穗腐、茎基腐、秆腐和穗腐,小麦从幼苗到抽穗都可发病,其中影响最严重的是穗腐^[14]。小麦赤霉病发病初期,小穗上产生水渍症状,呈现淡褐色的斑点,后期,逐渐扩大到整个小穗,最终导致小穗枯黄。当空气潮湿时,感病小穗的基部会产生明显的粉红色霉层。另外,小麦赤霉病病菌代谢产生的脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)、玉米赤霉烯酮(zearalenon, Zea)等毒素,会严重危害人体健康^[15]。据报道,若误食带病籽粒的面粉会引起恶心、腹泻、发烧等症状,严重时还会引起大出血,影响人们的生育能力和免疫力^[16]。

防治小麦赤霉病的方法有很多,包括选育抗病品种、合理灌溉等农业防治措施,但药剂防治依然是控制小麦赤霉病流行的主要方法,过量、不科学用药带来的农药残留毒性、有害生物抗药性上升、环境污染等一系列问题,会严重威胁小麦产品质量安全和农业生态环境安全。因此,迫切需要筛选出低量高效防治药剂,配合采用高效施药机械,提高农药利用率,减药提质,减轻环境污染、保证农产品质量,实现高效防治小麦赤霉病的目标。

本试验选择市场上常见的小麦赤霉病防治药剂开展室内毒力测定,又以抑菌效果最好的药剂为对象研究不同施药器械下,供试药剂的农药利用率及对小麦赤霉病的田间防治效果,以期筛选出高效的防治药剂和最佳施药器械,为在生产上推广优化的防治模式提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试品种:龙麦 35,由黑龙江省农业科学院提供。

供试菌株:小麦赤霉病病菌(*F. graminearum*),由西北农林科技大学植物保护学院提供。

供试药剂:药剂名称、剂型及厂家信息见表 1。

表 1 12 种供试药剂名称、剂型及厂家信息

有效成分 通用名称	制剂	生产厂家
多菌灵	25% WP	四川国光农业化股份有限公司
甲基硫菌灵	70% WP	浙江威尔达化工有限公司
戊唑咪鲜胺	30% WP	陕西韦尔奇作物保护有限公司
戊唑醇	430 g/L SC	拜耳作物科学(中国)有限公司北京分公司
吡唑醚菌酯	25% EC	巴斯夫植物保护(中国)有限公司
三唑酮	15% WP	四川国光农业化股份有限公司
啉菌酯	250 g/L SC	先正达生物科技(中国)有限公司
百菌清	75% WP	先正达生物科技(中国)有限公司
肟菌·戊唑醇	75% EC	拜耳作物科学(中国)有限公司北京分公司
苯醚甲环唑	25% WG	先正达(中国)投资有限公司
唑醚·氟环唑	17% SC	巴斯夫(中国)有限公司
氟啉胺	50% SC	山东省绿士农药有限公司

注:WP 为可湿性粉剂,EC 为乳油,SC 为悬浮剂,WG 为水分散粒剂。

供试器械和材料:自走式喷杆喷雾机迪尔 4630 + 喷头 XRC TEEJET 11010(喷雾压力为 413 kPa,行走速度为 14.8 km/h),背负式喷药机迪尔 654 + 喷头 JBC10(喷雾压力为 260 kPa,行走速度为 7.12 km/h),背负式电动喷雾器 3WBD - 20L(喷雾压力为 400 kPa),扫描仪、HITACHI U - 2910 分光光度计(日本株式会社日立制作所)、BS200S 电子天平(德国赛多利斯天平有限公司)、Deposit scan 软件、滤纸(直径 9 cm)、自封袋、万向固定夹、铜版纸(3 cm × 8 cm)、容量瓶、量筒、蒸馏水等。

1.2 试验地点及时间

田间试验地点为牙克石市免渡河农场四队(49°2'54"N,120°55'58"E,海拔为 774 m),前茬作物为油菜。试验时间为小麦扬花期,试验温度为 27 ℃,湿度为 65%,西南风,风速为 1.4 ~ 2.0 m/s。小麦品种为龙麦 35,生育期为 86 d,种植密度为 420 株/m²。田间试验时间为 2020 年 7 月 16 日。

1.3 试验方法

1.3.1 室内毒力测定

1.3.1.1 生长速率法 试验共设置 12 个药剂处理,每个处理分为 5 个浓度梯度(表 2)、重复 3 次,无菌水作为空白对照。根据农药说明书的标准用药量,按有效成分从高浓度到低浓度逐步测试。每种药剂最后选定 5 个浓度。一定浓度的溶液与 PDA 培

培养基均匀混合后倒入培养皿。在超净工作台接入小麦赤霉病菌菌饼(用移液枪枪头打取直径为 0.5 cm 的菌饼,每皿 1 块)后,用封口膜封口。在 28 ℃ 培养箱中培养 7 d,用游标卡尺以十字交叉法测量菌落直径,计算菌丝生长抑制率。

菌丝净生长量 = 菌丝生长直径 - 菌饼直径;

菌丝生长抑制率 = [(对照菌丝直径 - 菌饼直径) - (处理菌丝直径 - 菌饼直径)] / (对照菌丝直径 - 菌饼直径) × 100%。

1.3.1.2 孢子萌发法 药剂处理设置同“1.3.1.1”节。取小麦赤霉病菌菌饼(用移液枪枪头打取直径为 0.5 cm 的菌饼),放入产孢培养基 CMC(15 g/L $C_8H_{16}NaO_8$ 、1 g/L 酵母提取物、1 g/L KH_2PO_4 、1 g/L NH_4NO_3 、0.5 g/L $MgSO_4 \cdot 7H_2O$) 中,25 ℃、180 r/min 摇培 7 d,得到孢子悬浮液。将孢子浓度调至 10^4 个/mL,以 96 孔微孔培养板代替凹槽载玻片,用移液枪吸取配制好的药液与孢子悬浮液按体积比 1:1 滴入其中。于 12 h 后吸出置于载玻片,在光学显微镜下以 100、40 倍观察其孢子萌发情况,计算孢子萌发抑制率。

孢子萌发抑制率 = (对照孢子萌发率 - 处理孢子萌发率) / 对照孢子萌发率 × 100%。

1.3.1.3 毒力回归方程的建立 运用 Microsoft Excel 2018 对试验数据进行整理,以各处理药剂不同浓度的对数值和每个浓度下的相对抑制率,使用 DPS 7.5 计算出各试验药剂的毒力回归方程、抑制中浓度(EC_{50})、95% 置信区间以及相关系数(r)。

1.3.2 田间农药沉积利用率测定及防效试验

1.3.2.1 农药沉积率测定 喷药前,在取样区内布置雾滴测试卡(铜纸版和滤纸)。在麦田采用插杆法,用万向固定夹固定雾滴测试卡于作物的上部(离地面 82 cm 处)、中部(离地面 40 cm 处)和下部(离地面 10 cm 处)。将 15 mL/666.7 m² 药剂(25% 苯醚甲环唑)和 15 kg/666.7 m² 水混合均匀,诱惑红按用水量的 0.1% 加入。喷雾时使用相应喷雾设备将混合溶液在试验小区内均匀喷雾。喷雾结束后,待雾滴测试卡上药液自然晾干,分别收集装入自封袋中,做好标记,待处理。大田作物采用“Z”字形 5 点取样法,取作物植株样本,每点取 5~10 株作物植株。使用扫描仪扫描雾滴测试卡(铜版纸),并用 Deposit scan 软件统计分析雾滴测试卡上的雾滴粒径(μm)、覆盖度(%)和雾滴密度(个/cm²)。收集滤纸卡片后用水洗涤上面的指示剂。用紫外分

光光度计测定其吸光度,计算沉积量,最后计算获得农药利用率(%)。

1.3.2.2 数据统计与分析 准确称取 0.2 g 诱惑红标准品于 10 mL 容量瓶中,用蒸馏水定容,得到质量浓度分别为 5.0、8.0、10.0、15.0、20.0 mg/L 的诱惑红标准溶液,用紫外分光光度计测定其吸光度。每个浓度重复测定 3 次,取吸光度平均值对示踪剂标准溶液浓度作标准曲线。根据诱惑红的标准曲线和样品的吸光度计算出样品诱惑红的浓度,采用公式 $d = C \times V/a$ 得到作物冠层不同位置以及地面上的沉积量。式中: d 表示沉积量,μg/cm²; C 表示示踪剂的浓度,μg/mL; V 表示洗脱液的体积,mL; a 表示雾滴测试卡的面积(滤纸片面积),cm²。根据示踪剂的标准曲线和样品的吸光度计算出样品示踪剂的浓度,然后乘以洗脱液的体积,计算出单株作物上的示踪剂的量,然后乘以该作物的种植密度,得到该作物单位面积上农药的沉积量,除以雾滴收集装置上的沉积量,根据公式 $D = m_1/M \times 100\%$ 计算农药利用率。 D 表示农药利用率,%; m_1 表示单位面积作物上沉积的农药量,μg; M 表示试验区单位面积喷施的农药量,μg。试验数据运用 Microsoft Excel 2018 进行整理,利用 SPSS 19.0 软件进行方差分析,使用最小显著差异法进行处理间的多重比较($P < 0.05$)。

1.3.2.3 田间防效测定 施药约 20 d 后,调查赤霉病发生情况。每个小区采取 5 点取样,每点调查 20 株,共调查 100 株。小麦赤霉病调查参照国家标准 GB/T 15796—2011《小麦赤霉病测报技术规范》中的 0~4 级分级标准进行。分级标准:0 级,无病;1 级,病小穗数占全部小穗的 1/4 以下;2 级,病小穗数占全部小穗的 1/4~1/2;3 级,病小穗数占全部小穗的 1/2~3/4;4 级,病小穗数占全部小穗的 3/4 以上。根据调查结果计算病情指数及防效。

2 结果与分析

2.1 不同药剂对小麦赤霉病菌菌丝生长的抑制作用

12 种药剂在 5 种选定的浓度下对小麦赤霉病菌菌丝生长均有明显作用(表 2)。通过毒力回归方程,获得相关系数 r 和 EC_{50} (表 3)。 r 表示病菌的生长抑制率和溶液浓度之间呈现正相关性的密切程度。 EC_{50} 表示的是当菌株的生长抑制率达到 50% 时溶液的浓度,此值越小,表明药剂对病原菌的抑制作用越

表 2 12 种化学药剂一定浓度下对小麦赤霉病菌菌丝生长及孢子萌发的抑制率

药剂	浓度 ($\mu\text{g/mL}$)	菌落直径 (cm)	菌丝生长抑制率 (%)	孢子萌发数 (个)	孢子萌发抑制率 (%)
25% 苯醚甲环唑	285.50	0.70	89.65	10.5	94.27
	142.75	1.50	79.06	26.0	86.46
	71.25	2.55	59.06	36.5	80.73
	35.75	3.65	51.65	47.5	75.00
	17.75	4.85	47.65	69.0	64.06
	对照	8.50		191.5	
50% 氟啶胺	1 133.22	0.88	88.64	7.5	95.70
	566.61	1.78	76.95	22.5	87.63
	283.22	1.98	74.35	38.0	79.57
	141.61	2.10	72.73	50.0	73.12
	70.72	3.45	55.19	65.0	65.05
	对照	7.70		186.0	
430 g/L 戊唑醇	573.19	0.70	91.76	11.0	94.12
	286.38	1.70	80.00	25.0	86.63
	143.19	2.63	69.12	34.5	81.28
	71.38	3.38	60.29	51.5	72.60
	35.69	4.70	44.71	71.0	62.03
	对照	8.50		186.5	
15% 三唑酮	1 500.00	1.48	83.09	29.5	84.21
	375.00	2.38	72.85	38.5	79.47
	187.50	2.73	68.80	71.5	62.11
	93.75	4.78	45.43	83.0	56.32
	46.80	5.73	34.57	101.0	46.84
	对照	8.75		189.5	
25% 吡唑醚菌酯	2 500.00	0.88	89.65	19.5	89.36
	625.00	1.78	79.06	40.5	78.19
	312.50	3.48	59.06	66.5	64.36
	156.25	4.10	51.65	83.0	55.85
	78.00	4.45	47.65	97.0	48.40
	对照	8.50		187.5	
250 g/L 噻菌酯	1 000.0	0.85	89.57	16.0	91.44
	500.0	1.95	76.07	25.5	86.10
	250.0	3.00	63.19	40.0	78.61
	125.0	4.05	50.31	54.5	70.59
	62.5	5.15	36.81	70.5	62.03
	对照	8.15		186.5	
75% 肟菌戊唑醇	3 000.0	0.58	93.24	14.0	92.47
	1 500.0	0.78	90.88	26.0	86.02
	750.0	1.65	80.59	39.0	79.03
	375.0	2.95	65.29	63.0	66.13
	187.5	3.50	58.82	77.0	58.60
	对照	8.50		186.0	
30% 戊唑咪鲜胺	1 333.2	1.05	87.79	9.5	9.50
	666.6	1.70	80.23	21.0	88.77

表 2(续)

药剂	浓度 ($\mu\text{g/mL}$)	菌落直径 (cm)	菌丝生长抑制率 (%)	孢子萌发数 (个)	孢子萌发抑制率 (%)
25% 多菌灵	333.3	3.75	56.40	30.0	83.96
	166.8	4.50	47.67	47.0	74.87
	83.4	5.55	35.47	61.0	67.74
	对照	8.60		186.5	
	2 500.00	0.83	90.06	15.5	91.40
	1 250.00	2.40	71.08	46.5	74.73
	625.00	3.30	60.24	70.0	62.37
	312.50	3.70	55.42	82.0	55.91
	156.25	5.80	30.12	97.0	47.85
	对照	8.30		186.0	
75% 百菌清	9 999.75	0.83	89.00	8.5	95.24
	4 999.50	1.40	81.33	21.0	88.89
	2 499.75	2.40	68.00	44.0	76.72
	1 249.50	3.30	56.00	60.0	66.67
	642.75	4.18	44.33	79.0	58.20
	对照	7.65		188.5	
70% 甲基硫菌灵	9 333.1	0.75	90.96	13.0	93.05
	4 666.2	1.45	82.53	25.5	86.10
	2 333.1	2.95	64.46	37.5	79.68
	1 166.2	3.85	53.61	47.5	74.33
	583.1	4.68	43.67	61.0	67.38
	对照	8.30		187.0	
17% 唑醚·氟环唑	22 666.61	0.55	93.53	15.5	91.50
	11 333.22	1.50	82.35	26.0	86.17
	5 666.61	2.30	72.94	43.0	77.13
	2 833.22	3.83	54.94	75.5	59.57
	1 416.61	4.03	52.59	79.5	57.45

表 3 12 种化学农药对小麦赤霉病病菌菌丝生长的抑制效果

药剂	毒力回归方程	r	EC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)
25% 苯醚甲环唑	$y = 3.361\,2 + 1.130\,6x$	0.959 2	28.147 4
50% 氟啶胺	$y = 3.804\,9 + 0.759\,3x$	0.942 2	37.489 3
430 g/L 戊唑醇	$y = 2.980\,1 + 1.202\,3x$	0.990 4	47.868 9
15% 三唑酮	$y = 3.172\,3 + 0.915\,8x$	0.960 0	99.033 4
25% 吡唑醚菌酯	$y = 3.040\,7 + 0.945\,5x$	0.975 0	118.098 0
250 g/L 啞菌酯	$y = 2.296\,5 + 1.292\,0x$	0.994 0	123.712 7
75% 肟菌·戊唑醇	$y = 2.535\,5 + 1.156\,8x$	0.985 0	135.059 8
30% 戊唑咪鲜胺	$y = 2.009\,5 + 1.323\,6x$	0.984 1	181.717 9
25% 多菌灵	$y = 1.599\,0 + 1.339\,2x$	0.969 6	346.467 6
75% 百菌清	$y = 1.557\,4 + 1.164\,9x$	0.998 4	901.972 9
70% 甲基硫菌灵	$y = 1.219\,3 + 1.275\,6x$	0.988 1	920.386 6
17% 唑醚·氟环唑	$y = 1.026\,3 + 1.231\,6x$	0.974 1	1 683.904 2

强,用药越安全。对各处理的小麦赤霉病病菌菌丝生长的 EC_{50} 的统计与分析表明,25% 苯醚甲环唑、50% 氟啶胺和 430 g/L 戊唑醇的抑菌效果最好,其 EC_{50} 分别为 28.147 4、37.489 3、47.868 9 $\mu\text{g/mL}$ 。

其他药剂依据 EC_{50} 大小其抑菌效果依次为 15% 三唑酮 > 25% 吡唑醚菌酯 > 250 g/L 啞菌酯 > 75% 肟菌·戊唑醇 > 30% 戊唑咪鲜胺 > 25% 多菌灵 > 75% 百菌清 > 70% 甲基硫菌灵 > 17% 唑醚·氟环唑。

2.2 不同药剂对小麦赤霉病病菌孢子萌发的抑制作用

12 种药剂在 5 种选定的浓度下对小麦赤霉病病菌分生孢子萌发及芽管伸长均有抑制效果(表 2)。通过毒力回归方程获得 EC_{50} , 结果(表 4)表明,25% 苯醚甲环唑、430 g/L 戊唑醇及 250 g/L 啞

菌酯对孢子萌发的抑制效果最好, EC_{50} 分别为 7.730 4、18.397 6、29.782 9 $\mu\text{g/mL}$, 其他药剂抑菌效果依次为 50% 氟啶胺 > 15% 三唑酮 > 25% 吡唑醚菌酯 > 30% 戊唑咪鲜胺 > 75% 肟菌·戊唑醇 > 70% 甲基硫菌灵 > 25% 多菌灵 > 75% 百菌清 > 17% 唑醚·氟环唑。孢子萌发法测得的抑菌效果与菌丝生长速率法测得的抑菌效果基本一致。

表 4 12 种化学农药对小麦赤霉病菌孢子萌发的抑制效果

药剂	毒力回归方程	r	EC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)
25% 苯醚甲环唑	$y = 4.156\ 5 + 0.949\ 7x$	0.986 4	7.730 4
430 g/L 戊唑醇	$y = 3.730\ 7 + 1.003\ 6x$	0.993 3	18.397 6
250 g/L 嘧菌酯	$y = 3.693\ 9 + 0.886\ 1x$	0.999 9	29.782 9
50% 氟啶胺	$y = 3.334\ 8 + 1.062\ 7x$	0.976 5	36.893 4
15% 三唑酮	$y = 3.668\ 8 + 0.760\ 4x$	0.952 9	227.995 6
25% 吡唑醚菌酯	$y = 3.235\ 9 + 0.886\ 1x$	0.993 5	97.892 4
30% 戊唑咪鲜胺	$y = 2.813\ 9 + 1.064\ 6x$	0.980 5	113.084 3
75% 肟菌·戊唑醇	$y = 2.825\ 9 + 1.031\ 6x$	0.996 0	128.074 1
70% 甲基硫菌灵	$y = 3.115\ 0 + 0.826\ 9x$	0.985 8	190.442 9
25% 多菌灵	$y = 2.370\ 7 + 1.115\ 1x$	0.952 9	227.995 6
75% 百菌清	$y = 1.618\ 9 + 1.244\ 7x$	0.989 5	520.404 4
17% 唑醚·氟环唑	$y = 1.718\ 8 + 1.067\ 8x$	0.981 5	1 182.459

综合以上 2 种方法所得结果, 苯醚甲环唑对孢子萌发及菌丝生长均有最佳的抑菌效果, 其次是戊唑醇、氟啶胺。嘧菌酯、三唑酮及吡唑醚菌酯的抑菌效果也较好, 嘧菌酯对孢子萌发的抑制效果好于对菌丝生长的抑制效果。

2.3 雾滴沉积密度

按照“1.3.2”节的试验设计方案进行田间采样、样、样品检测, 并计算雾滴沉积密度, 结果(表 5)表明, 自走式喷杆喷雾机迪尔 4630 的雾滴沉积密度为 5.883 3 ~ 25.094 4 个/ cm^2 , 均值为 13.998 1 个/ cm^2 。背负式电动喷雾器的雾滴沉积密度为 1.205 6 ~ 15.855 6 个/ cm^2 , 均值为 6.587 1 个/ cm^2 。背负式喷药机迪尔 654 的雾滴沉积密度为 0.933 3 ~ 15.972 2 个/ cm^2 , 均值为 6.290 7 个/ cm^2 。结果表明, 自走式喷杆喷雾机迪尔 4630 的雾滴沉积密度明显高于其他 2 个喷雾器械。从器械自身的角度分析, 3 种喷药器械上部的雾滴密度与中部、下部差异显著 ($P < 0.05$), 中部和下部的雾滴密度无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.4 沉积量分布

通过计算小麦上部、中部和下部沉积量, 结果

表 5 农药在小麦上的雾滴沉积密度

作物部位	雾滴密度(个/ cm^2)		
	自走式喷杆 喷雾机迪尔 4630	背负式电动 喷雾器	背负式喷药机 迪尔 654
上部	25.094 4 \pm 2.822 1a	15.855 6 \pm 2.834 5a	15.972 2 \pm 0.792 7a
中部	11.016 7 \pm 2.945 1b	2.700 0 \pm 0.327 3b	1.966 7 \pm 0.405 6b
下部	5.883 3 \pm 1.665 5b	1.205 6 \pm 0.166 6b	0.933 3 \pm 0.056 6b

注: 同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

(表 6)表明, 自走式喷杆喷雾机迪尔 4630 喷雾的在小麦上的沉积量为 0.458 1 ~ 1.488 0 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。背负式喷药机迪尔 654 喷雾在小麦上的沉积量为 0.078 4 ~ 0.218 6 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。背负式电动喷雾器喷雾在小麦上的沉积量为 0.143 2 ~ 0.232 0 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。自走式喷杆喷雾机迪尔 4630 和背负式电动喷雾器的沉积量上部、中部和下部均有显著差异 ($P < 0.05$), 背负式喷药机迪尔 654 的沉积量上部与中部、下部差异显著 ($P < 0.05$), 中部、下部无显著差异 ($P > 0.05$)。总体来看沉积量的分布, 自走式喷杆喷雾机迪尔 4630 > 背负式电动喷雾器 > 背负式喷药机迪尔 654; 各植保器械的沉积量均表现为上部 > 中部 > 下部。

表 6 农药在小麦上的沉积量分布

作物 部位	沉积量($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)		
	自走式喷杆 喷雾机迪尔 4630	背负式电动 喷雾器	背负式喷药机 迪尔 654
上部	1.488 0 \pm 0.117 5a	0.232 0 \pm 0.011 8a	0.218 6 \pm 0.018 5a
中部	0.988 6 \pm 0.053 1b	0.175 4 \pm 0.008 7b	0.103 8 \pm 0.006 4b
下部	0.458 1 \pm 0.052 1c	0.143 2 \pm 0.007 8c	0.078 4 \pm 0.006 0b

2.5 农药沉积利用率

综合以上数据, 计算农药沉积利用率。结果(表 7)表明, 自走式喷杆喷雾机迪尔 4630 的农药利用率为 81.98%; 背负式电动喷雾器的农药利用率为 51.29%, 背负式喷药机迪尔 654 的农药利用率为 50.92%。结果表明, 自走式喷杆喷雾机迪尔 4630 的农药沉积利用率最高。

表 7 农药在小麦上的沉积利用率

植保器械	农药沉积利用率 (%)
自走式喷杆喷雾机迪尔 4630	81.98 \pm 0.030 6a
背负式电动喷雾器	51.29 \pm 0.143 9b
背负式喷药机迪尔 654	50.92 \pm 0.039 9b

2.6 田间防效

不同施药方式对小麦赤霉病的田间防效调查结果(表 8)表明,对照区发病严重,病情指数为 53.12。自走式喷杆喷雾机防效最好,达 80.60%,显著高于其他 2 种施药方式,其次为背负式电动喷雾器,防效为 65.84%,背负式喷药机迪尔防效最低,为 63.61%。

表 8 3 种喷雾机对小麦赤霉病的田间防效

植保器械类型	病情指数	防效 (%)
自走式喷杆喷雾机迪尔 4630	10.30	80.60a
背负式电动喷雾器	18.15	65.84b
背负式喷药机迪尔 654	19.33	63.61b
对照	53.12	

3 结论与讨论

目前,防治小麦赤霉病的主要手段是在小麦开花初期进行药剂防治,使用最多的是多菌灵。自 1992 年,周明国等首次在浙江海宁市发现小麦赤霉病病菌对多菌灵的抗药性菌株以来,安徽省、上海市、江苏省均检测到抗性种群^[17-21]。长期普遍使用多菌灵,导致了小麦赤霉病病菌对多菌灵抗药性的产生。为筛选高效防治赤霉病的药剂,本试验考察了在生产中常用的 12 种药剂对小麦赤霉病病菌的抑制效果,通过菌丝生长速率法得出 25% 苯醚甲环唑的抑菌效果最好,EC₅₀ 为 28.147 4 μg/mL,又通过孢子萌发法测得 25% 苯醚甲环唑对赤霉病病菌分生孢子的 EC₅₀ 为 7.730 4 μg/mL。试验进一步选用 3 种植保器械对 25% 苯醚甲环唑水分散剂的农药利用率及田间防效进行评价,研究发现自走式喷杆喷雾机的农药沉积利用率最高,为 81.98%,田间防效最好,为 80.60%。

苯醚甲环唑是低毒杂环类杀菌剂,并且杀菌谱广,兼具有保护、治疗等多种优点^[22]。对植物病原菌的孢子形成具有强烈抑制作用,并能抑制分生孢子成熟,从而控制病情进一步发展。作用方式是通过干扰病原菌细胞的 C14 脱甲基化作用,抑制麦角甾醇的生物合成,从而使甾醇滞留于细胞膜内,损坏了膜的生理作用,导致真菌死亡^[23-24],并且其作用位点比较丰富,可以减缓病原菌产生强烈的抗药性,从而达到良好的防治效果。

很多研究者报道了苯醚甲环唑对小麦赤霉病病菌的抑菌活性及防效。徐娜娜等在筛选防治小

麦赤霉病有效药剂的试验中,发现 95% 苯醚甲环唑原药对小麦赤霉病病菌抑制效果较好^[25]。赵影等在苯醚甲环唑·多抗霉素对小麦赤霉病的防治效果的研究表明,苯醚甲环唑的防效最好且具有明显的增产效果^[26]。刘南南等发现,苯醚甲环唑对小麦赤霉病病菌的抑制效果优于多菌灵的抑制效果^[27]。虽然诸多报道显示苯醚甲环唑对小麦赤霉病防效好,而且目前在田间还没有分离到抗性菌株,但一种药剂的大规模使用,必然存在抗性风险,建议生产中不要单独使用。从本研究的结果来看,12 种药剂中 25% 苯醚甲环唑、430 g/L 戊唑醇、50% 氟啶胺、15% 三唑酮、250 g/L 啞菌酯及 25% 吡唑醚菌酯对小麦赤霉病病菌的抑制效果均较好。关于小麦赤霉病高效防治药剂的研究有很多,蒋晴等在几种杀菌剂对小麦赤霉病防效比较中得出 32% 丙硫菌唑·戊唑醇悬乳剂 50 mL/667 m² 对小麦赤霉病的防效最好^[28]。高家旭等对戊唑醇的研究表明,戊唑醇对小麦赤霉病具有一定的防治效果和增产效果^[29]。刘刚的研究表明,氟啶胺对小麦赤霉病病菌菌丝生长、孢子萌发、芽管伸长和产孢的毒力均较高,在田间对小麦赤霉病的防治效果较好,证明氟啶胺对小麦赤霉病有较好的防治效果^[30]。综上所述,为延缓病原菌抗药性的产生,并且能够高效防治小麦赤霉病的危害,建议在生产中选择不同作用机制的药剂轮换使用。

过量使用农药不仅造成生产成本增加,也影响农产品质量和生态环境安全。实现农药减量控害,势在必行。高效的植保器械,重任在肩。有研究表明,田间喷雾时在作物叶片上形成一定的雾滴沉积密度就可以有效控制病虫害^[31]。崔丽等的研究表明,雾滴沉积密度越大,防治病虫害的效果越好^[32]。陈万权等的研究表明,农药的沉积量与药效的相关程度较高,药效随着农药沉积量的增加而明显升高^[33]。周奋启等在不同植保机械喷雾雾滴沉积分布对小麦病害的防治效果中的研究表明,使用自走式喷杆喷雾机对小麦赤霉病的防效达 71.43%,防治效果较好^[34]。目前,内蒙古地区应用在小麦上的植保喷雾器械种类繁多,本研究主要针对当地常用的 3 种植保喷雾器械(自走式喷杆喷雾机迪尔 4630、背负式喷药机迪尔 654、背负式电动喷雾器)的雾滴沉积密度、沉积量及农药利用率 3 个指标进行测定,并对田间防效进行评价。综合来看,在 3 种喷雾器械中,自走式喷杆喷雾机的沉积量

和雾滴沉积密度均较其他 2 种喷雾器械高,且农药沉积利用率最高,防效最好,而且与传统背负式喷雾器相比,操作简单,效率更高,值得大面积推广应用。本试验结果可为高效防治药剂的选择和最佳施药器械的应用,及在生产上推广优化的防治模式提供理论依据。

参考文献:

- [1] 陈云,王建强,杨荣明,等. 小麦赤霉病发生危害形势及防控对策[J]. 植物保护,2017,43(5):11-17.
- [2] Parry D W, Jenkinson P, Mcleod L. *Fusarium* ear blight (scab) in small-grain cereals: a review[J]. Plant Pathol, 1995, 44, 207-238.
- [3] McMullen M, Bergstrom G, de Wolf E, et al. A unified effort to fight an enemy of wheat and barley: *Fusarium* head blight[J]. Plant Disease, 2012, 96(12):1712-1728.
- [4] Dweba C C, Figlan S, Shimelis H A, et al. *Fusarium* head blight of wheat: Pathogenesis and control strategies[J]. Crop Protection, 2016, 91:114-122.
- [5] Marques L N, Pizzutti I R, Balardin R S, et al. Occurrence of mycotoxins in wheat grains exposed to fungicides on *Fusarium* head blight control in southern Brazil[J]. Journal of Environmental Science and Health (Part B Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes), 2017, 52(4):1-7.
- [6] Schwarz P B. *Fusarium* head blight and deoxynivalenol in malting and brewing: successes and future challenges[J]. Tropical Plant Pathology, 2017, 42(3):153-164.
- [7] Šíp V, Chrpová J, Štěrbová L, et al. Combining ability analysis of *Fusarium* head blight resistance in European winter wheat varieties[J]. Cereal Research Communications, 2017, 45(2):260-271.
- [8] 程顺和,张勇,别同德,等. 中国小麦赤霉病的危害及抗性遗传改良[J]. 江苏农业学报,2012,28(5):938-942.
- [9] 张爱民,阳文龙,李欣,等. 小麦抗赤霉病研究现状与展望[J]. 遗传,2018,40(10):858-873.
- [10] Crome M G, Lauren D R, Parkes R A, et al. Control of *Fusarium* head blight of wheat with fungicides[J]. Australasian Plant Pathology, 2001, 30(4):301-308.
- [11] Osborne L E, Stein J M. Epidemiology of *Fusarium* head blight on small-grain cereals[J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 119(1/2):103-108.
- [12] Pasquali M, Beyer M, Logrieco A, et al. A European database of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* trichothecene genotypes[J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7:406.
- [13] Vogelgsang S, Beyer M, Pasquali M, et al. An eight-year survey of wheat shows distinctive effects of cropping factors on different *Fusarium* species and associated mycotoxins[J]. Eur J Agron, 2019, 105:62-77.
- [14] 王裕中, J. D. 米勒. 中国小麦赤霉病菌优势种——禾谷镰刀菌产毒素能力的研究[J]. 真菌学报, 1994, 13(3):229-234.
- [15] Drakopoulos D, Meca G, Torrijos R, et al. Control of *Fusarium graminearum* in wheat with mustard-based botanicals: from *in vitro* to *in planta*[J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 11:1595.
- [16] Ferrigo D, Raiola A, Causin R. *Fusarium* toxins in cereals: occurrence, legislation, factors promoting the appearance and their management[J]. Molecules, 2016, 21:627.
- [17] 周明国, 叶钟音, 刘经芬. 杀菌剂抗性研究进展[J]. 南京农业大学学报, 1994, 17(3):33-41.
- [18] 王建新, 周明国. 小麦赤霉病菌对多菌灵抗药性监测技术研究[J]. 植物保护学报, 2002, 29(1):73-77.
- [19] 陈宏州, 肖婷, 许媛, 等. 小麦赤霉病菌对多菌灵和不同杀菌剂敏感性的相关分析[J]. 农学学报, 2016, 6(9):31-36.
- [20] 王建新, 周明国, 陆悦健, 等. 小麦赤霉病菌抗药性群体动态及其治理药剂[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(1):43-47.
- [21] Liu X, Yin Y N, Wu J B, et al. Identification and characterization of carbendazim-resistant isolates of *Gibberella zeae*[J]. Plant Disease, 2010, 94(9):1137-1142.
- [22] 华乃震. 杀菌剂苯醚甲环唑的进展和应用[J]. 世界农药, 2013, 35(6):7-12, 43.
- [23] 何秀萍, 张博润. 微生物麦角固醇的研究进展[J]. 微生物学通报, 1998, 25(3):166-169.
- [24] 邵莒南, 徐春梅, 郭贝贝, 等. 四种 SBIS 类杀菌剂对不同发育阶段小麦赤霉病菌的毒力及其作用方式[J]. 农药学报, 2015, 17(4):425-431.
- [25] 徐娜娜, 宋化稳, 庄占兴, 等. 防治小麦赤霉病有效药剂的筛选与田间药效试验[J]. 大麦与谷类科学, 2017, 34(6):52-55, 58.
- [26] 赵影, 张影, 赵凤梅, 等. 10% 苯醚甲环唑·多抗霉素可湿性粉剂对小麦赤霉病的防治效果[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(4):1519-1520.
- [27] 刘南南, 柳婷婷, 王桂清. 化学药剂对小麦赤霉病菌的抑制作用试验[J]. 农业科技与装备, 2018, 39(3):14-17.
- [28] 蒋晴, 耿辉辉, 王亚萍, 等. 几种杀菌剂对小麦赤霉病的防效比较[J]. 大麦与谷类科学, 2019, 36(1):36-39.
- [29] 高家旭, 蓝天琼, 刘成家, 等. 戊唑醇对小麦赤霉病的防治效果及对小麦产量的影响[J]. 福建农业科技, 2015(2):26-27.
- [30] 刘刚. 菌毒清、咯菌腈和氟啶胺可用于防治小麦赤霉病[J]. 农药市场信息, 2016(11):51.
- [31] 王明. 水稻田喷雾技术的农药沉积利用率测定与评估模型构建[D]. 北京:中国农业科学院, 2019.
- [32] 崔丽, 王金凤, 秦维彩, 等. 机动弥雾法施用 70% 吡虫啉水分散粒剂防治小麦蚜虫的雾滴沉积密度与防效的关系[J]. 农药学报, 2010, 12(3):313-318.
- [33] 陈万权, 袁会珠, 秦庆明, 等. 泰山-18BC 型机动喷雾机防治麦蚜效果与农药沉积分布的关系[J]. 植物保护学报, 2001, 28(4):340-344.
- [34] 周奋启, 董红刚, 陈银凤, 等. 不同植保机械喷雾雾滴沉积分布对小麦病害的防治效果[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(12):2275-2279.