

河南省小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性

徐建强* 平忠良 马世闯 黄梦鸽 张祥辉 党威

(河南科技大学林学院, 洛阳 471003)

摘要:为明确河南省小麦赤霉病菌 *Fusarium graminearum* 对咯菌腈的敏感性,采用菌丝生长速率法测定了咯菌腈对从该省11个地市分离的95株菌株的毒力,通过方差分析法及聚类分析法对测定结果进行了分析,并研究了咯菌腈与多菌灵、戊唑醇对病菌毒力的相关性。结果显示:咯菌腈对小麦赤霉病菌菌丝生长的最低抑制浓度为0.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$;咯菌腈对供试95株菌株的 EC_{50} 范围在0.003~0.088 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 之间,平均 EC_{50} 为0.011 $\mu\text{g}/\text{mL}$;敏感性频率分布图显示,病菌群体中存在着对咯菌腈敏感性较低的亚群体,但67.4%供试菌株敏感性频率呈正态分布,将此部分菌株的 EC_{50} 平均值0.007 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 作为小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性基线。方差分析及聚类结果均显示,同一县市内的菌株对咯菌腈 EC_{50} 的最大值和最小值之比为1.1~8.3;除周口市沈丘县的菌株外,其余县市的菌株对咯菌腈敏感性差异不明显,咯菌腈 EC_{50} 平均值变化范围在0.005~0.028 g/mL 之间,最大值是最小值的5.6倍;小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性与其对多菌灵、戊唑醇的敏感性之间无明显相关性。表明河南省小麦赤霉病菌群体中尽管存在着敏感性较低的亚群体,但可通过药剂复配进行防控。

关键词:河南省;小麦赤霉病菌;咯菌腈;菌丝生长;敏感性基线

Sensitivity of the isolates of *Fusarium graminearum* to fludioxonil in Henan Province

Xu Jianqiang* Ping Zhongliang Ma Shichuang Huang Mengge Zhang Xianghui Dang Wei

(College of Forestry, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, Henan Province, China)

Abstract: In order to detect the sensitivity of *Fusarium graminearum* from Henan Province to fludioxonil, 95 isolates of *F. graminearum* were collected from 11 counties in 2016, and their sensitivities to fludioxonil were determined by measuring the mycelial growth on the fungicide-amended media, then the methods of least-significant difference (LSD) and SPSS cluster were used. The sensitivities to carbendazim and tebuconazole were also determined to analyze the correlation efficient existed between fludioxonil and the two fungicides, carbendazim and tebuconazole. The results showed that the minimum inhibition concentration, which referred to the concentration that could inhibit the mycelial growth totally, was 0.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$. The EC_{50} values of all isolates ranged from 0.003 to 0.088 $\mu\text{g}/\text{mL}$ and the average EC_{50} value was 0.011 $\mu\text{g}/\text{mL}$. The results of the sensitive frequency analysis revealed that there was low sensitive subcolony to fludioxonil in the tested isolates. The mean EC_{50} value of 0.007 $\mu\text{g}/\text{mL}$ for 67.4% of all isolates showed a normal distribution, which was treated as the sensitive baseline of *F. graminearum* to fludioxonil. The results both variance analysis by LSD test and hierarchical cluster analysis by SPSS showed that the isolates separated from the same region demonstrated different sensitivities, which implied that the ratio of maximum and minimum of EC_{50} values of isolates from the same region ranged from 1.1 to 8.3. However, there was no significant difference on the sensitivity to fludioxonil among the isolates from most of the regions except those from Shenqiu County, Zhoukou City,

基金项目: 国家自然科学基金(31401774), 国家公益性行业(农业)科研专项(201303023), 河南科技大学人才科学研究基金(09001718)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: xujqhust@126.com

收稿日期: 2017-06-06

which implied that the average EC_{50} value of the isolates from all the regions ranged from 0.005 to 0.028 $\mu\text{g}/\text{mL}$ and the ratio of maximum and minimum of average EC_{50} values was 5.6. The correlation efficient existed between fludioxonil and carbendazim, tebuconazole was very low, which implied that there was no correlation of sensitivity of *F. graminearum* to the arbendazim or tebuconazole. Though there existed low sensitive subcolony to fludioxonil in the field, fludioxonil could still be used to control *Fusarium* head blight in combination with carbendazim or tebuconazole.

Key words: Henan Province; *Fusarium* head blight; fludioxonil; mycelial growth; sensitive baseline

由禾谷镰孢菌复合群(*Fusarium graminearum* species complex, FGSC)引起的小麦赤霉病,一直是我国江淮流域、西南冬麦区及东北春麦区最重要的小麦病害之一(张洪滨等,2013)。随着全球气候变暖加剧,厄尔尼诺和拉尼娜现象交替发生,小麦赤霉病大流行频率和发病面积呈明显上升趋势,在2001—2012年中有9年的发生面积超过330万 hm^2 (程顺和等,2012)。赤霉病不仅对小麦产量影响大,而且导致染病麦粒受脱氧雪腐镰刀菌烯醇等毒素污染,对人畜健康造成较大威胁(陈怀谷等,2007)。

尽管小麦生产中有一些抗侵染和抗扩展的抗源材料,但到目前为止,生产中尚未育成高抗赤霉病小麦品种(张丽等,2011)。化学防治仍然是控制小麦赤霉病的重要手段,但小麦赤霉病菌已对多菌灵为代表的苯并咪唑类等主要防治药剂产生了抗性(王建新和周明国,2002)。随后,三唑类杀菌剂,如戊唑醇以及我国自主研发的杀菌剂——氰烯菌酯被应用于该病的防控,但该病菌对这些药剂均存在着高等至中等的抗性风险(李恒奎等,2006;叶滔等,2011),因此,在小麦生产中应监测赤霉病菌对这些药剂的敏感性变化。

咯菌腈为苯基吡咯类杀菌剂,它不仅对多种病原菌有抑制效果(范子耀等,2012a),而且还可以促进作物幼苗生长,提高抗病性相关酶的活性(吴学宏等,2004),对作物产量也有一定的提高作用(孙炳剑等,2007)。咯菌腈对小麦赤霉病菌菌丝生长、芽管伸长和产孢均具有很强的抑制作用,在赤霉病化学防治上表现出较好的应用前景(贾娇等,2016;邵莒南等,2016)。上述研究结果选用的菌株较少,无法准确评估一个省市的小麦赤霉病菌对药剂的敏感性水平,而同省不同地市的小麦赤霉病菌对同一药剂的敏感性存在着很大的差异(徐建强等,2017a)。到目前为止,尚未见关于河南省小麦赤霉病菌对咯菌腈敏感性的报道。本研究采用菌丝生长速率法测定2016年从河南省11个县市分离的95株小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性,建立小麦赤霉病菌对咯菌腈

的敏感性基线;分析不同县市菌株对咯菌腈的敏感性差异,以期为咯菌腈在河南省小麦赤霉病综合防治中的合理利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株:2016年4—5月从河南省洛阳市洛龙区、漯河市临颍县、洛阳市孟津县、南阳市方城县、平顶山市叶县、商丘市睢阳区、新乡市延津县、信阳市平桥区、周口市沈丘县、驻马店市泌阳县、郑州市巩义市共11个县市大面积种植小麦的乡镇采集病穗标本,每县市至少选取1个乡镇作为采样点,每个采样点选取多块小麦田;采集时在每块麦田通过五点取样法采样,选取赤霉病发病典型的麦株,其症状表现为麦穗枯白而穗轴变褐,湿度大时麦穗有粉红色霉层,室内采用组织分离法从小麦穗轴病健交界处分离病菌,或将染病变瘪麦粒直接放入培养基中,待长出生长一致的菌落后,转入3%绿豆汤培养液中摇培,5 d后在WA培养基上划线挑单孢,通过形态学鉴定明确其所属种为禾谷镰孢菌*F. graminearum*;菌株编号参考菌株分离的地级市及县市汉语拼音首字母,形成4个或5个字母的组合,然后以同一县市分离的单孢顺序依次编号,共获得单孢分离菌株113株,选取其中的95株用于对咯菌腈的敏感性测定。

药剂及试剂:97.9%咯菌腈(fludioxonil)原药,先正达(中国)投资有限公司;98%多菌灵(carbendazim)原药,山东省双星农药厂;98%戊唑醇(tebuconazole)原药,广西田园生化股份有限公司。多菌灵原药预溶于0.1 mol/L稀盐酸中,戊唑醇和咯菌腈原药预溶于甲醇中,均配制成 $1.0 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{mL}$ 的母液,放于4℃冰箱中备用。试验所用试剂均为国产分析纯。

培养基:马铃薯蔗糖琼脂(potato sugar agar, PSA)培养基:马铃薯200 g、琼脂17 g、蔗糖20 g,蒸馏水定容至1 L,用于菌株的分离、一般培养与保存及对药剂的敏感性测定;绿豆汤培养液:绿豆30 g,水中熬到绿豆裂开,蒸馏水定容至1 L,用于菌株的

培产孢;水琼脂(water agar, WA)培养基:琼脂17 g,蒸馏水定容至1 L,用于单孢分离。

仪器:SPX-250BSH-II型生化培养箱,上海新苗医疗器械制造有限公司;Olympus CX41光学显微镜,奥林巴斯(中国)有限公司;H-1850R型台式高速冷冻离心机,长沙湘仪离心机仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 咯菌腈对小麦赤霉病菌的最低抑制浓度测定

随机选取洛阳市孟津县菌株LYMJ-1及LYMJ-2、商丘市睢阳区菌株SQSY-1、漯河市临颍县菌株LHLY-4,进行咯菌腈对小麦赤霉病菌菌丝生长的最低抑制浓度(minimum inhibition concentration, MIC)测定。将供试菌株在PSA平板上25℃培养3 d后,用打孔器在菌落边缘打取直径5 mm的菌饼,菌丝面朝下接入含0.05、0.1、0.2、0.4 μg/mL咯菌腈的PSA平板上,以不含药剂的PSA平板作对照(徐建强等,2017b)。每处理3次重复,于25℃下黑暗倒置培养3 d,观察并测量各药剂浓度处理下的菌落直径,以全部供试菌株菌丝生长受到抑制的最小浓度作为咯菌腈对小麦赤霉病菌的MIC。同时,计算各浓度处理下药剂对菌丝的生长抑制率,菌丝生长抑制率=(对照菌落直径平均值-处理菌落直径平均值)/(对照菌落直径平均值-菌饼直径)×100%。

1.2.2 小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性测定

采用菌丝生长速率法测定小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性。将95株菌株在PSA平板上25℃培养3 d后,用打孔器在菌落边缘打取直径5 mm的菌饼,将菌饼菌丝面朝下接入含咯菌腈0.003125、0.00625、0.0125、0.025、0.05、0.08 μg/mL系列浓度的PSA平板上。每皿接种1个菌饼,每处理重复3次,以不加入药剂的PSA平板作对照,25℃下黑暗培养3 d,采用十字交叉法测量菌落直径,计算菌丝生长抑制率。

1.2.3 敏感性分布图绘制及敏感性基线确定

参照徐建强等(2017b)的方法。在小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性范围内,以 EC_{50} 为依据,从最小值开始,以0.005 μg/mL为截距,将 EC_{50} 分为几个区间,统计每个区间的菌株数和频率,以每个区间的 EC_{50} 中值为横坐标,菌株分布频率为纵坐标,制作小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性频率分布图,以咯菌腈对正态性分布菌株的 EC_{50} 均值作为该病菌对咯菌腈的敏感性基线。

1.2.4 咯菌腈与多菌灵、戊唑醇对病菌毒力的相关性

参照徐建强等(2017b)方法,采用菌丝生长速率法进行测定,试验处理同1.2.2。从95株病菌中选取

对咯菌腈敏感性不同的77株病菌,测定其对戊唑醇的敏感性,分别设置含0.03125、0.0625、0.125、0.25、0.5、1 μg/mL戊唑醇的PSA平板,以不含戊唑醇的PSA平板作对照;从95株病菌中选取对咯菌腈敏感性不同的57株,测定其对多菌灵的敏感性,分别设置含0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.8 μg/mL多菌灵的PSA平板,以不含多菌灵的PSA平板作对照。将咯菌腈对菌株的 EC_{50} 作为 x 轴,戊唑醇或多菌灵对菌株的 EC_{50} 作为 y 轴,进行线性回归分析,求出线性回归方程 $y=bx+a$,根据决定系数(R^2)、 b 值及 F 检验的显著水平(P 值),分析咯菌腈与戊唑醇、多菌灵对赤霉病菌毒力之间的关系: $P<0.05$, b 值为正,且 R^2 在0.8以上,说明2种药剂间存在正相关性; b 值为负, R^2 在0.8以上,说明2种药剂间存在负相关性; $P>0.05$,说明2种药剂间无相关性。

1.3 数据分析

利用Excel 2007和DPS 6.55计算药剂抑制菌丝生长的毒力回归方程、相关系数 R 和有效中浓度(EC_{50});利用DPS 6.55进行Shapiro-Wilk正态性检验及方差分析,应用最小显著差数(LSD)法进行检验;采用SPSS 20.0软件进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 咯菌腈对小麦赤霉病菌菌丝生长的MIC

当咯菌腈浓度为0.05 μg/mL时,菌株LYMJ-2和LHLY-4的菌丝生长抑制率达到100.0%;而浓度为0.1 μg/mL时,4株菌株LYMJ-1、LYMJ-2、SQSY-1及LHLY-4的菌丝生长抑制率全部达100.0%。表明咯菌腈抑制小麦赤霉病菌菌丝生长的MIC为0.1 μg/mL(图1);菌株对咯菌腈的敏感性不同。

2.2 小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性

供试95株小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性呈连续性分布, EC_{50} 的范围在0.003~0.088 μg/mL之间,最大值为最小值的29.3倍;平均 EC_{50} 为0.011 μg/mL(图2-A)。Shapiro-Wilk正态性检验结果显示,供试菌株对咯菌腈的敏感性频率不符合正态分布($W=0.510$, $P<0.05$),表明小麦赤霉病菌群体中存在着对咯菌腈敏感性较低的亚群体。67.4%的菌株(共64株)集中位于图2-B中相应的主峰范围内,其敏感性频率分布为连续单峰曲线,这部分群体对咯菌腈的敏感性频率呈近似正态分布($W=0.966$, $P=0.072>0.05$),因此将咯菌腈对这部分菌株的 EC_{50} 平均值0.007 μg/mL作为小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性基线。

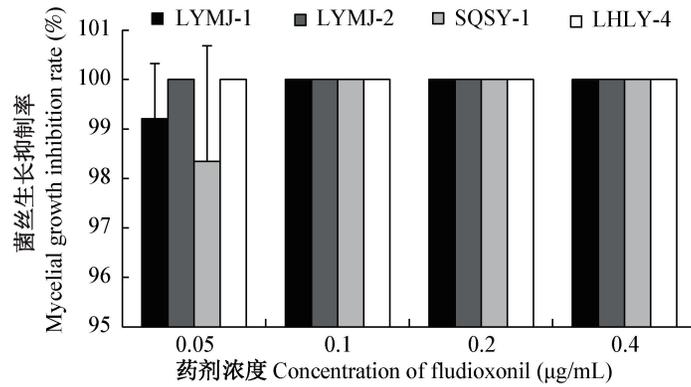


图1 咯菌腈对小麦赤霉病菌菌丝生长的抑制率

Fig. 1 Inhibition rate of fludioxonil to mycelial growth of *Fusarium graminearum*

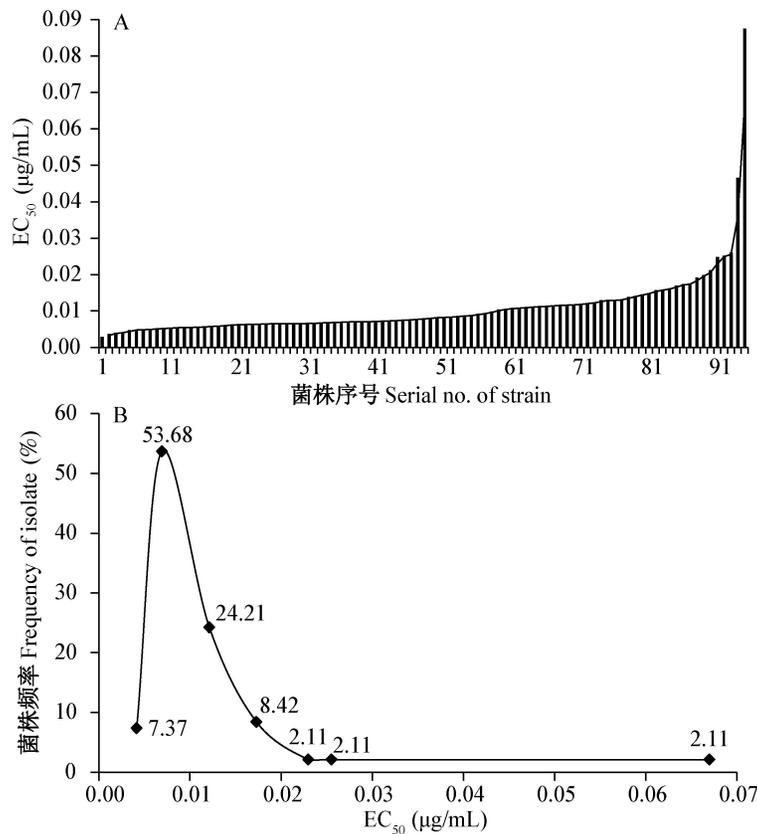


图2 小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性(A)及频率分布(B)

Fig. 2 Determination (A) and frequency (B) of sensitivity of *Fusarium graminearum* to fludioxonil

2.3 不同县市小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性

同一县市菌株对咯菌腈敏感性差异较大。洛阳市洛龙区的菌株间敏感性差异最大,差异倍数达到8.3;其次为周口市沈丘县菌株,差异倍数为8.0;而南阳市方城县菌株,差异倍数仅为1.1;其余地区菌株间的差异倍数在1.2~5.0之间。除周口市沈丘县菌株外,其余10个县市菌株对咯菌腈的敏感性差异不明显。咯菌腈的平均EC₅₀变化范围为0.005~0.028 µg/mL,其中郑州市巩义市菌株最为敏感,而周口市沈丘县菌株最不敏感,敏感性相差5.6倍。将

95株菌株的EC₅₀平均值0.011 µg/mL设为1,各地区菌株均值与其进行比较,周口市沈丘县菌株的敏感性低于河南省平均水平;信阳市平桥区及洛阳市洛龙区的菌株敏感性处于居中水平;其它8县市菌株的敏感性高于河南省平均水平(表1)。

2.4 不同县市菌株对咯菌腈敏感性的聚类分析结果

不同县市菌株对咯菌腈敏感性的聚类分析结果表明,咯菌腈对33株菌株的EC₅₀可分在4个聚类组中,所包括的菌株数分别为23、3、6及1株;第1组有来源于10个县市的23株菌株,包括NYFC-1、ZZGY-1、

NYFC-2、XXYJ-3、LYMJ-2、XXYJ-2、LHLY-2、LYMJ-3、SQSY-1、ZMDBY-2、LHLY-3、NYFC-3、SQYC-1、ZZGY-2、ZZGY-3、LYMJ-1、PDSYX-2、LYLL-6、XXYJ-1、XYPQ-19、PDSYX-1、PDSYX-3及ZMDBY-1;第2组有来源于3个县市的3株菌株,包括LYLL-24、XYPQ-21及ZKSQ-3;第3组有来源于6个县市的6株菌株,包括LHLY-16、SQSY-3、LYLL-3、ZKSQ-9、ZMDBY-7和XYPQ-6;第4组仅

1株菌株,为ZKSQ-2。除郑州市巩义市、洛阳市孟津县及商丘市睢阳区的3株菌株全部聚类在第1组外,其余县市的菌株均出现在不同的聚类组中,说明河南省同一县市的菌株对咯菌腈的敏感性差异较大(图3)。不同县市的菌株出现在同一聚类组中,表明河南省小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性差异与菌株来源地理位置无明显相关性,这与LSD法的分析结果一致。

表1 河南省不同县市小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性

Table 1 Sensitivity (EC_{50} values) to fludioxonil of *Fusarium graminearum* from different areas in Henan Province

采集地点 Sampling site	菌株数 No of isolates	所占频率 Frequency (%)	EC_{50} ($\mu\text{g/mL}$)			敏感性指数 Sensitive factor
			范围 Range	差异倍数 $EC_{50(\text{max})}/EC_{50(\text{min})}$	平均数 \pm 标准差 Mean \pm SD	
洛阳市洛龙区 Luolong District, Luoyang City	30	31.6	0.003-0.025	8.3	0.011 \pm 0.005 b	1.0
漯河市临颖县 Linying County, Luohe City	8	8.4	0.005-0.012	2.4	0.008 \pm 0.002 b	0.7
洛阳市孟津县 Mengjin County, Luoyang City	3	3.2	0.005-0.006	1.2	0.006 \pm 0.001 b	0.5
南阳市方城县 Fangcheng County, Nanyang City	3	3.2	0.007-0.008	1.1	0.007 \pm 0.001 b	0.6
平顶山市叶县 Ye County, Pingdingshan City	4	4.2	0.005-0.007	1.4	0.006 \pm 0.001 b	0.5
商丘市睢阳区 Suiyang District, Shangqiu City	5	5.3	0.007-0.011	1.6	0.009 \pm 0.002 b	0.8
新乡市延津县 Yanjin County, Xinxiang City	3	3.2	0.006-0.007	1.2	0.006 \pm 0.001 b	0.5
信阳市平桥区 Pingqiao District, Xinyang City	18	18.9	0.005-0.025	5.0	0.010 \pm 0.005 b	0.9
周口市沈丘县 Shenqiu County, Zhoukou City	9	9.5	0.011-0.088	8.0	0.028 \pm 0.025 a	2.5
驻马店市泌阳县 Biyang County, Zhumadian City	9	9.5	0.004-0.014	3.5	0.008 \pm 0.004 b	0.7
郑州市巩义市 Gongyi City, Zhengzhou City	3	3.2	0.004-0.007	1.8	0.005 \pm 0.002 b	0.5
总计 Total	95	100.0	0.003-0.088	29.3	0.011 \pm 0.010 b	1.0

表中同列不同小写字母表示经LSD法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ by LSD test.

2.5 咯菌腈与多菌灵、戊唑醇对病菌毒力的相关性

咯菌腈对57株小麦赤霉病菌的 EC_{50} 平均值为0.011 $\mu\text{g/mL}$,多菌灵的 EC_{50} 平均值为0.393 $\mu\text{g/mL}$ 。基于 EC_{50} 的线性回归方程为 $y=-1.084x+0.405$, F 检验在 $P<0.05$ 水平差异显著; b 值为负,但决定系数(R^2)为0.014,小于0.800,说明病菌对咯菌腈与其对多菌灵的敏感性间无相关性(图4)。咯菌腈对77株小麦赤霉病菌的 EC_{50} 平均值为0.010 $\mu\text{g/mL}$,戊唑醇的 EC_{50} 平均值为0.059 $\mu\text{g/mL}$ 。基于 EC_{50} 的线性回归方程为 $y=1.718x+0.041$, F 检验在 $P<0.05$ 水平差异显著; b 值为正,但决定系数(R^2)为0.212,小于

0.800,说明病菌对咯菌腈与其对戊唑醇的敏感性间无相关性(图4)。

3 讨论

本研究结果表明,咯菌腈对河南省小麦赤霉病菌有很强的抑制作用, MIC 为0.1 $\mu\text{g/mL}$;尽管田间有敏感性较低的亚群体,但频率较低,大部分菌株对咯菌腈仍较敏感,其敏感性基线为0.007 $\mu\text{g/mL}$;同一县市内菌株对咯菌腈的敏感性存在着一定的差异,这可能与菌株本身的生理差异及群体组成多样性有关;除周口市沈丘县的菌株外,其余县市菌株对

咯菌腈的敏感性无明显差异,表明咯菌腈对河南省各省市小麦赤霉病菌均具有较高的毒力,故咯菌腈

可以作为一种备选药剂应用于小麦赤霉病的化学防治。

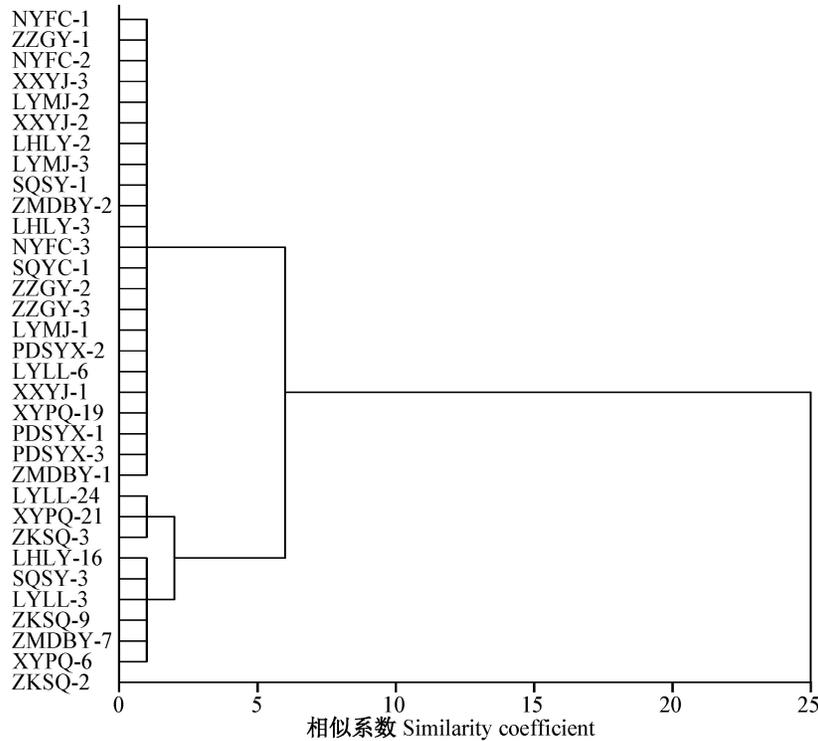


图3 河南省不同县市小麦赤霉病菌菌株对咯菌腈敏感性水平的系统聚类分析

Fig. 3 Hierarchical cluster analysis on EC_{50} values of fludioxonil to *Fusarium graminearum* from different areas in Henan Province

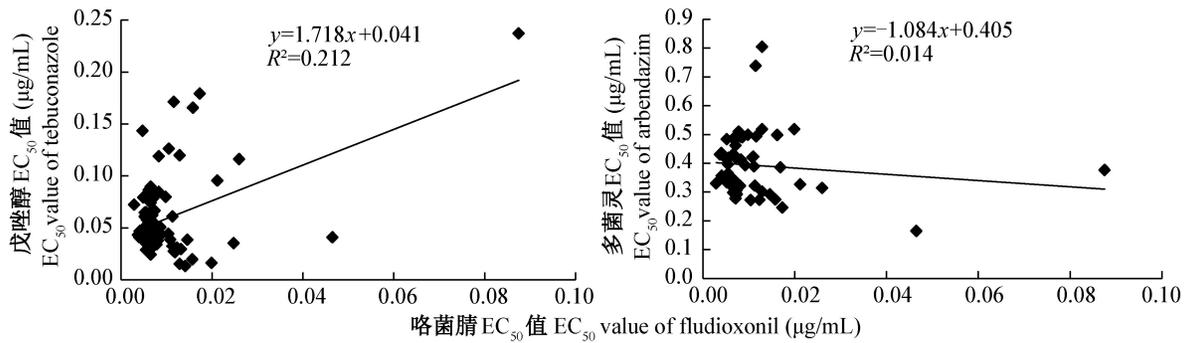


图4 小麦赤霉病菌对咯菌腈与其对多菌灵、戊唑醇敏感性之间的相关性

Fig. 4 Correlation of the sensitivity of *Fusarium graminearum* between fludioxonil and tebuconazole or carbendazim

贾娇等(2016)测定咯菌腈对禾谷镰孢菌菌丝生长的 EC_{50} 为 $0.016 \mu\text{g}/\text{mL}$;邵莒南等(2016)发现咯菌腈对小麦赤霉病菌菌丝生长的 EC_{50} 为 $0.054 \mu\text{g}/\text{mL}$;上述测定结果均在本研究测定的结果范围内。但由于上述研究所用的都是1株菌株,无法反映病原菌群体对药剂的敏感性;而本试验所用的则是采自河南省11个县市的95株菌株,建立的敏感性基线更能反映病原菌群体对咯菌腈的敏感性现状。

咯菌腈广泛应用于多种农作物种子包衣或拌种,防治种子及土壤传播的真菌病害,现已被开发为种子处理剂、悬浮种衣剂等多种剂型,但截止到

2017年,在中国农药信息网数据库中尚未有用咯菌腈单剂或复配剂来防治小麦赤霉病的登记数据。这是由于咯菌腈内吸输导性较差,限制了其应用范围。对于油菜菌核病,由于病菌无再侵染,可以通过开花期喷洒咯菌腈来进行防治,喷1次就能达到很好的防治效果(Duan et al., 2013)。但对于小麦赤霉病,由于病菌再侵染在病害循环中的作用不明显,故抓住小麦扬花灌浆的关键时期,喷施内吸性好、持效期长的药剂显得尤为重要;尽管咯菌腈持效期长,但其内吸性差,这限制了其在小麦赤霉病上的应用。生产中,可以通过咯菌腈与内吸性杀菌剂的复配来解

决其内吸疏导性差的问题。范子耀等(2012b)将咯菌腈与苯醚甲环唑按5:1比例复配,对马铃薯早疫病病菌 *Alternaria solani* 具有明显的增效作用,增效系数可以达到2.02;田间应用时不仅防效很高,且具有增产作用,显著高于同浓度单剂的防效及增产率。本试验结果表明,小麦赤霉病菌对咯菌腈的敏感性与其对多菌灵、戊唑醇的敏感性间无相关性,这为生产中进行咯菌腈和其它药剂的复配来防控小麦赤霉病提供了参考。

参 考 文 献 (References)

- Chen HG, Cai ZX, Chen F, Zhang KM, Lu WZ. 2007. The types of resistance to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol content in the heads of different wheat germplasms. *Journal of Plant Protection*, 34(1): 32-36 (in Chinese) [陈怀谷, 蔡志祥, 陈飞, 张凯明, 陆维忠. 2007. 不同小麦品种抗赤霉病性类型和抗毒素积累能力分析. *植物保护学报*, 34(1): 32-36]
- Cheng SH, Zhang Y, Bie TD, Gao DR, Zhang BQ. 2012. Damage of wheat *Fusarium* head blight (FHB) epidemics and genetic improvement of wheat for scab resistance in China. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 28(5): 938-942 (in Chinese) [程顺利, 张勇, 别同德, 高德荣, 张伯桥. 2012. 中国小麦赤霉病的危害及抗性遗传改良. *江苏农业学报*, 28(5): 938-942]
- Duan YB, Ge CY, Liu SM, Chen CJ, Zhou MG. 2013. Effect of phenylpyrrole fungicide fludioxonil on morphological and physiological characteristics of *Sclerotinia sclerotiorum*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 106(1/2): 61-67
- Fan ZY, Meng RJ, Han XY, Ma ZQ, Wang WQ, Liu YC. 2012a. Sensitivity baseline of *Alternaria alternata*, causal agent of potato early blight, to fludioxonil and cross-resistance to different fungicides. *Journal of Plant Protection*, 39(2): 153-158 (in Chinese) [范子耀, 孟润杰, 韩秀英, 马志强, 王文桥, 刘颖超. 2012a. 马铃薯早疫病病菌对咯菌腈的敏感基线及其对不同药剂的交互抗性. *植物保护学报*, 39(2): 153-158]
- Fan ZY, Meng RJ, Ma ZQ, Han XY, Zhang XF, Wang WQ, Liu YC. 2012b. Joint toxicity of the mixtures of fludioxonil with coumoxystrobin, pyraclostrobin or difenoconazole against *Alternaria solani*. *Plant Protection*, 38(5): 184-188 (in Chinese) [范子耀, 孟润杰, 马志强, 韩秀英, 张小风, 王文桥, 刘颖超. 2012b. 咯菌腈与苯醚甲环唑等三种药剂复配对马铃薯早疫病病菌(*Alternaria solani*)的联合毒力. *植物保护*, 38(5): 184-188]
- Jia J, Su QF, Meng LM, Zhang W, Li H, Liu WL, Jin QM. 2016. Ultraviolet induction and characteristics of *Fusarium graminearum* resistant to fludioxonil. *Plant Protection*, 42(4): 43-47 (in Chinese) [贾娇, 苏前富, 孟玲敏, 张伟, 李红, 刘婉丽, 晋齐鸣. 2016. 抗咯菌腈禾谷镰孢菌的紫外诱导及其生物学特性. *植物保护*, 42(4): 43-47]
- Li HK, Chen CJ, Wang JX, Zhou MG. 2006. Study on baseline-sensitivity of *Fusarium graminearum* to JS399-19 and assessment of the risk of resistance *in vitro*. *Acta Phytopathologica Sinica*, 36(3): 273-278 (in Chinese) [李恒奎, 陈长军, 王建新, 周明国. 2006. 禾谷镰孢菌对氟唑菌酯的敏感性基线及室内抗药性风险初步评估. *植物病理学报*, 36(3): 273-278]
- Shao JN, Xu DT, Li H, Mu W, Liu F. 2016. Toxicity and modes of action of fluazinam and other fungicides against wheat *Fusarium graminearum* at different life stages. *Journal of Plant Protection*, 43(2): 314-320 (in Chinese) [邵莒南, 徐大同, 李慧, 慕卫, 刘峰. 2016. 氟唑胺等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. *植物保护学报*, 43(2): 314-320]
- Sun BJ, Lei XT, Yuan HX, Xing XP, Li HL. 2007. Screening of the fungicides for the chemical control of wheat sharp eyespot. *Journal of Triticeae Crops*, 27(5): 914-918 (in Chinese) [孙炳剑, 雷小天, 袁虹霞, 邢小萍, 李洪连. 2007. 小麦纹枯病化学防治药剂的筛选. *麦类作物学报*, 27(5): 914-918]
- Wang JX, Zhou MG. 2002. Methods for monitoring resistance of *Gibberella zeae* to carbendazim. *Journal of Plant Protection*, 29(1): 73-77 (in Chinese) [王建新, 周明国. 2002. 小麦赤霉病菌对多菌灵抗药性监测技术研究. *植物保护学报*, 29(1): 73-77]
- Wu XH, Li FW, Zhang WH, Liu PF, Zheng L, Liu XL. 2004. Effects of fludioxonil on growth of watermelon seedlings and activity of disease resistance-related enzymes. *Acta Phytopathologica Sinica*, 34(6): 531-535 (in Chinese) [吴学宏, 李飞武, 张文华, 刘鹏飞, 郑乐, 刘西莉. 2004. 咯菌腈对西瓜幼苗生长及抗病性相关酶活性的影响. *植物病理学报*, 34(6): 531-535]
- Xu JQ, Duan XX, Zhao YT, Fan QQ, Liu QT, Li JT. 2017a. Sensitivity of *Rhizoctonia cerealis* and *Gaeumannomyces graminis* isolates from Henan Province to propiconazole. *Acta Phytopathologica Sinica*, 47(2): 278-281 (in Chinese) [徐建强, 段晓欣, 赵一通, 范倩倩, 刘庆涛, 李佳婷. 2017a. 河南省小麦纹枯病菌及小麦全蚀病菌对丙环唑的敏感性. *植物病理学报*, 47(2): 278-281]
- Xu JQ, Ping ZL, Dang W, Li H, He DM, Zhu YG. 2017b. Sensitivity of *Rhizoctonia cerealis* to jinggangmycin and tolclofos-methyl in Henan Province in China. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 19(1): 25-31 (in Chinese) [徐建强, 平忠良, 党威, 李恒, 何冬梅, 朱艳阁. 2017b. 中国河南省小麦纹枯病菌对井冈霉素及甲基立枯磷的敏感性. *农药学报*, 19(1): 25-31]
- Ye T, Ma ZQ, Wang WQ, Han XY, Zhang XF. 2011. Resistance induction of *Fusarium graminearum* to tebuconazole and bionomics of resistant-mutants. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 13(3): 261-266 (in Chinese) [叶滔, 马志强, 王文桥, 韩秀英, 张小风. 2011. 禾谷镰孢菌对戊唑醇抗药性的诱导及抗性菌株特性研究. *农药学报*, 13(3): 261-266]
- Zhang HB, Liu JW, Liu BJ, Liu B, Liang YC. 2013. Composition and pathogenicity differentiation of pathogenic species isolated from *Fusarium* head blight in Shandong Province. *Journal of Plant Protection*, 40(1): 27-32 (in Chinese) [张洪滨, 柳金伟, 刘秉江, 刘冰, 梁元存. 2013. 山东省小麦赤霉病菌种群组成及其致病力分化. *植物保护学报*, 40(1): 27-32]
- Zhang L, Chang ZJ, Li X, Zhang HY, Ren ZL, Luo PG. 2011. Screen and identification of wheat new resistant germplasms to *Fusarium* head blight. *Journal of Plant Protection*, 38(6): 569-570 (in Chinese) [张丽, 畅志坚, 李雪, 张怀渝, 任正隆, 罗培高. 2011. 小麦赤霉病抗性新种质的筛选与鉴定. *植物保护学报*, 38(6): 569-570]