

福建省玉米小斑病菌对氟啶胺的敏感性 及其与不同杀菌剂间的交互抗性

代玉立 甘 林 石妞妞 陈福如 杨秀娟*

(福建省农业科学院植物保护研究所, 福建省作物有害生物监测与治理重点实验室, 福州 350013)

摘要: 为明确福建省玉米小斑病菌 *Cochliobolus heterostrophus* 对氟啶胺的敏感性及其与不同杀菌剂间的交互抗性, 采用菌丝生长速率法测定了该省5个地区的73株玉米小斑病菌菌株对氟啶胺的敏感性。结果表明, 供试73株玉米小斑病菌菌株对氟啶胺具有较高的敏感性, 所有菌株的有效抑制中浓度 EC_{50} 在 0.0023~1.2863 $\mu\text{g/mL}$ 之间, 平均值为 0.2573 $\mu\text{g/mL}$, 其敏感性频率呈连续单峰曲线分布, 符合正态分布, 因此可将 EC_{50} 平均值 0.2573 $\mu\text{g/mL}$ 作为福建省玉米小斑病菌对氟啶胺的敏感基线; 5个地区的菌株群体对氟啶胺的敏感性差异不显著, 但是不同地区的菌株个体间差异较大; 氟啶胺与多菌灵、百菌清、丙环唑、烯唑醇、咪鲜胺和异菌脲之间均不存在交互抗性。

关键词: 玉米小斑病菌; 氟啶胺; 敏感基线; 交互抗性

Sensitivity of southern corn leaf blight pathogen *Cochliobolus heterostrophus* to fluazinam and cross-resistance against diverse fungicides in Fujian Province

Dai Yuli Gan Lin Shi Niuniu Chen Furu Yang Xiujuan*

(Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests, Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, Fujian Province, China)

Abstract: To determine the sensitivity of southern corn leaf blight pathogen *Cochliobolus heterostrophus* to fluazinam, and evaluate the cross-resistance between fluazinam and other fungicides, a total of 73 *C. heterostrophus* isolates collected from five regions in Fujian Province were used for testing their sensitivity to fluazinam using mycelial growth method. The tested isolates were highly sensitive to fluazinam, and the EC_{50} of these isolates to fluazinam were in the range of 0.0023–1.2863 $\mu\text{g/mL}$, with the mean value of 0.2573 $\mu\text{g/mL}$. The frequency curve of fluazinam was continuous and unimodal, and followed the normal distribution. Hence, the mean EC_{50} of 0.2573 $\mu\text{g/mL}$ could be served as the baseline sensitivity of *C. heterostrophus* to fluazinam in Fujian Province. There was no significant difference in the sensitivity to fluazinam among *C. heterostrophus* populations from five regions; nevertheless, there was an obvious difference in the sensitivity to fluazinam among individual isolate from different regions in Fujian Province. There was no notable evidence of positive cross-resistance between fluazinam and carbendazol, chlorothalonil, propiconazole, diniconazole, prochloraz, and iprodione.

Key words: *Cochliobolus heterostrophus*; fluazinam; baseline sensitivity; cross-resistance

由异旋孢腔菌 *Bipolaris maydis* (无性态) 侵染引起的玉米小斑病是世界玉米产区普遍发生的叶部真

基金项目: 福建省自然科学基金(2016J05073), 福建省农业科学院博士启动基金(2015BS-4), 福建省农业科学院植物保护创新团队(STIT2017-1-8)

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

收稿日期: 2017-05-15

菌病害(Ullstrup, 1972),该菌通过分生孢子随气流传播到玉米植株上。在适宜的条件下玉米小斑病发病速度快,流行性强,可造成玉米大幅减产(陈利峰和徐敬友,2007)。近10年来,随着鲜食玉米栽培规模化、高产感病新品种的推广和栽培模式的转型,该病在我国玉米主产区的发生日益严重(王晓鸣等,2006;甘林等,2016),特别在我国南方鲜食玉米主产区,常年温暖湿润的气候条件十分有利于玉米小斑病的流行暴发,病害流行年份产量损失达30%~80%,甚至绝收,玉米小斑病已成为制约南方鲜食玉米生产的主要因素(张金凤等,2009;蒋锋等,2011; Dai et al., 2016)。

在缺乏高抗小斑病的玉米种子资源的情况下(Kump et al., 2011),化学方法仍是防治玉米小斑病的主要措施,生产上用于防治玉米小斑病的杀菌剂主要有多菌灵、百菌清、异菌脲以及以丙环唑、烯唑醇和咪鲜胺等为代表的麦角甾醇抑制类(sterol demethylation inhibitors, DMIs)杀菌剂(Raid, 1991; 谢伟烈等, 2013; 甘林等, 2016),但由于长期大量使用,致使多菌灵和百菌清等常用杀菌剂对玉米小斑病的田间防效甚微,DMIs杀菌剂虽然对玉米小斑病仍有较好的田间防效(代玉立等, 2017),但该类杀菌剂作用位点单一,长期单一使用致使菌株对其敏感性下降(张立新等, 2011; 甘林等, 2016)。目前,已有草坪草币斑病菌 *Sclerotinia homoeocarpa* (Hsiang et al., 2007)、小麦壳针孢叶枯病菌 *Zymoseptoria tritici* (Cools et al., 2011; Milgate et al., 2016)、桃褐腐病菌 *Monilinia fructicola* (Chen et al., 2013)和苹果黑星病菌 *Venturia inaequalis* (Pfeuffer & Ngugi, 2012)对DMIs杀菌剂产生抗性。并且杀菌剂抗性行动委员会(Fungicide Resistance Action Committee, FRAC)将玉米小斑病菌归类为对DMIs杀菌剂具有中等风险抗药性的病原菌(FRAC, 2013)。因此,在玉米小斑病防治上有必要筛选新型有效杀菌剂作为DMIs杀菌剂的替代或轮换药剂。

氟啶胺是由日本石原产业公司研发的新型二硝基苯胺类保护性杀菌剂,具有广谱、高效的抑菌活性,其对马铃薯晚疫病病菌 *Phytophthora infestans*、芸薹根肿病菌 *Plasmodiophora brassicae*、油菜菌核病菌 *Sclerotinia sclerotiorum* 以及灰葡萄孢菌 *Botrytis cinerea* 引起的病害均有较好的防治效果(Kalamarakis et al., 2000; Grünwald et al., 2006; Liang et al., 2015)。甘林等(2015)研究结果表明,氟啶胺对玉米小斑病菌有较好的抑制活性,且明显优于百菌清、烯

唑醇和丙环唑等杀菌剂,50%氟啶胺悬浮剂对玉米小斑病的田间防效可达70%~75%,其具有替代DMIs杀菌剂的潜力。陈治芳等(2011)、Vitoratos (2015)和Wang et al. (2016)报道了氟啶胺的作用机理、氟啶胺对其它植物病原菌的敏感性及其与不同作用机制杀菌剂之间的交互抗性,而关于玉米小斑病菌对氟啶胺的敏感性及其它杀菌剂间交互抗性的研究未见报道。

本研究从福建省未使用氟啶胺的玉米田分离玉米小斑病菌菌株,测定其对氟啶胺的敏感性并建立敏感基线,同时明确氟啶胺与不同作用机制杀菌剂之间的交互抗性,以期为玉米小斑病化学防治有效药剂的选择与合理使用以及氟啶胺的田间抗药性风险评估及抗性监测提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株:2015年从福建省闽东(屏南县、周宁县、福州市和闽侯县)、闽南(南靖县和龙海市)、闽西(长汀县)、闽中(莆田市、仙游县、三明市和沙县)和闽北(建瓯市、武夷山市和建阳市)5个地区的未施用氟啶胺的玉米田采集感病玉米叶片,经单孢分离和鉴定共获得73株玉米小斑病菌菌株,其中闽东地区14株、闽南地区19株、闽西地区9株、闽中地区16株、闽北地区15株。供试菌株采用滤纸片法保存于-20℃冰箱中备用(Thomas et al., 2012)。

培养基:马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose agar, PDA)培养基:新鲜去皮马铃薯200 g、葡萄糖20 g、琼脂粉16 g、去离子水1 000 mL。

药剂及仪器:94.5%氟啶胺(fluzinam)原药,利尔化学股份有限公司;97%多菌灵(carbendazim)原药,江阴凯江农化有限公司;98.5%百菌清(chlorothalonil)原药,江阴苏利化学股份有限公司;95%丙环唑(propiconazole)原药,浙江世佳科技有限公司;95%烯唑醇(diniconazole)原药,武汉远成共创科技有限公司;95%咪鲜胺(prochloraz)原药、97.5%异菌脲(iprodione)原药,江苏辉丰农化股份有限公司;其它试剂均为国产分析纯。ZPQ-350型智能人工气候培养箱,黑龙江东拓仪器制造有限公司;MDF-U4086S型超低温冰箱,日本三洋公司;SW-CJ-2F型无菌洁净工作台,上海博迅实业有限公司。

1.2 方法

1.2.1 玉米小斑病菌对氟啶胺敏感性的测定

采用菌丝生长速率法测定福建省5个地区的玉

米小斑病菌对氟啶胺的敏感性。将氟啶胺原药溶于二甲基亚砜中,配制成 $1.5625 \times 10^5 \mu\text{g/mL}$ 的母液,然后用灭菌的1.0%吐温-80溶液将氟啶胺母液分别稀释成0.2、1.0、5.0、25.0、125.0和625.0 $\mu\text{g/mL}$ 。用约50℃的PDA培养基分别将各浓度药液稀释100倍,制成0.002、0.01、0.05、0.25、1.25和6.25 $\mu\text{g/mL}$ 的含药PDA平板。各供试菌株在PDA平板上于28℃恒温培养箱中黑暗培养4~5 d,用直径6 mm打孔器沿菌落边缘打取新鲜菌碟,每皿不同浓度药剂的PDA平板中央接种1片菌碟,以不含药的PDA平板为对照。每药剂浓度处理4次重复。28℃黑暗培养6 d后,十字交叉法测量每皿菌落直径,计算各浓度下药剂对菌丝生长的抑制率,并计算氟啶胺对各供试菌株的有效抑制中浓度 EC_{50} 。菌丝生长抑制率=(对照组菌落直径-药剂处理组菌落直径)/对照组菌落直径 $\times 100\%$ 。同时,比较分析福建省5个地区玉米小斑病菌群体对氟啶胺的敏感性差异,并计算不同地区菌株个体间的变异系数,菌株间变异系数= EC_{50} 最大值/ EC_{50} 最小值(Song et al., 2016)。根据FRAC关于植物病原菌对杀菌剂敏感性的划分方法,将供试菌株的 EC_{50} 与敏感基线相比,比值 ≤ 5 为敏感菌株,5<比值 ≤ 10 为低抗菌株,10<比值 ≤ 40 为中抗菌株,比值>40为高抗菌株(FRAC, 2013;毕秋艳等, 2017)。

1.2.2 玉米小斑病菌对氟啶胺敏感基线的建立

将供试玉米小斑病菌群体对氟啶胺的 EC_{50} 从低到高排列,以0.2 $\mu\text{g/mL}$ 为区间间隔将其分区间,统计各菌株 EC_{50} 在各个区间的出现频率。以不同区间为横坐标,相应菌株出现频率为纵坐标,绘制73株

玉米小斑病菌菌株对氟啶胺的敏感性频率分布图,并对各区间的频率值进行Shapiro-Wilk正态性检验,若符合正态分布,则可将供试菌株对氟啶胺的 EC_{50} 平均值作为福建省玉米小斑病菌对氟啶胺的敏感基线(Russell, 2004)。

1.2.3 氟啶胺与不同杀菌剂间的交互抗性

从供试菌株中随机选择60株玉米小斑病菌,按1.2.1方法分别测定各菌株对多菌灵、百菌清、丙环唑、烯唑醇、咪鲜胺和异菌脲的敏感性,并计算各菌株对各药剂的 EC_{50} 。多菌灵和百菌清的最终PDA含药浓度分别为1、2、10、20、100、200和500 $\mu\text{g/mL}$;丙环唑、烯唑醇、咪鲜胺和异菌脲的最终PDA含药浓度分别为0.002、0.01、0.05、0.25、1.25和6.25 $\mu\text{g/mL}$ 。以氟啶胺的 EC_{50} 对数值($\lg EC_{50}$)为横坐标轴,分别以其它杀菌剂的 EC_{50} 对数值($\lg EC_{50}$)为纵坐标作散点图。通过氟啶胺与其它杀菌剂间的相关性判断两类药剂间有无交互抗性,当相关系数 $r > 0.6$ 且 $P < 0.05$ 时,说明两者之间存在正交互抗性(Lu et al., 2010; Zhou et al., 2016)。

1.3 数据分析

采用DPS 7.05软件进行相关性分析和Shapiro-Wilk正态性检验,采用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 玉米小斑病菌对氟啶胺的敏感性

供试73株玉米小斑病菌菌株对氟啶胺的 EC_{50} 为0.0023~1.2863 $\mu\text{g/mL}$,平均值为0.2573 $\mu\text{g/mL}$ (表1)。

表1 福建省不同地区玉米小斑病菌对氟啶胺的敏感性

Table 1 Sensitivity of *Cochliobolus heterostrophus* isolates to fluazinam in different regions of Fujian Province

采集地区 Sampling region	菌株数 No. of isolate	氟啶胺 EC_{50} 值 EC_{50} for fluazinam ($\mu\text{g/mL}$)		菌株间变异系数 Variation factor
		范围 Range	平均值 Mean	
闽北地区 Minbei Region	15	0.0475-1.0399	0.2343 $\pm$ 0.2467 Aa	21.9
闽东地区 Mindong Region	14	0.0023-0.8530	0.2579 $\pm$ 0.2425 Aa	370.9
闽中地区 Minzhong Region	16	0.0479-0.9495	0.3605 $\pm$ 0.2532 Aa	19.8
闽南地区 Minnan Region	19	0.0196-1.2863	0.2163 $\pm$ 0.2897 Aa	65.6
闽西地区 Minxi Region	9	0.0181-0.6750	0.1978 $\pm$ 0.1985 Aa	37.3
总计 Total	73	0.0023-1.2863	0.2573 $\pm$ 0.2540	559.3

表中数据为平均数 $\pm$ 标准差。同列不同大、小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验分别在 $P < 0.01$ 或 $P < 0.05$ 水平上差异显著。Data are mean $\pm$ SD. Different uppercase or lowercase letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.01$ or $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

比较福建省不同地区玉米小斑病菌群体对氟啶胺的敏感性,发现闽北、闽东、闽中、闽南和闽西5个地区的菌株群体对氟啶胺的敏感性差异不显著,其菌株群体 EC_{50} 平均值分别是0.2343、0.2579、0.3605、0.2163和0.1978 $\mu\text{g/mL}$,但福建省不同地区菌株对氟啶胺的敏感性个体间差异较大,闽东和闽南地区菌株间的变异系数分别高达370.9和65.6,而闽北和闽中地区菌株间变异系数分别仅为21.9和19.8(表1)。

2.2 玉米小斑病菌对氟啶胺的敏感基线

福建省73株玉米小斑病菌菌株对氟啶胺的敏感性频率呈连续单峰曲线分布,未出现敏感性下降的亚群体,Shapiro-Wilk正态性检验结果表明,供试菌株对氟啶胺($W=0.8590$, $P=0.2246>0.05$)的敏感性

频率分布符合正态分布,因此可将73株玉米小斑病菌对氟啶胺的 EC_{50} 平均值0.2573 $\mu\text{g/mL}$ 作为福建省玉米小斑病菌对氟啶胺的敏感基线(图1)。将供试菌株的 EC_{50} 与建立的敏感基线相比,发现所有菌株的抗性比值均低于5,表明福建省玉米小斑病菌对氟啶胺有较高的敏感性。

2.3 氟啶胺与其它杀菌剂间的交互抗性

相关性分析结果表明,氟啶胺与多菌灵($r=-0.2410$, $P<0.0613$,图2-A)、百菌清($r=-0.0789$, $P<0.5458$,图2-B)、丙环唑($r=0.0458$, $P<0.7257$,图2-C)、烯唑醇($r=-0.0350$, $P<0.7891$,图2-D)、咪鲜胺($r=-0.0083$, $P<0.9492$,图2-E)和异菌脲($r=0.4780$, $P<0.001$,图2-F)之间均不存在交互抗性。

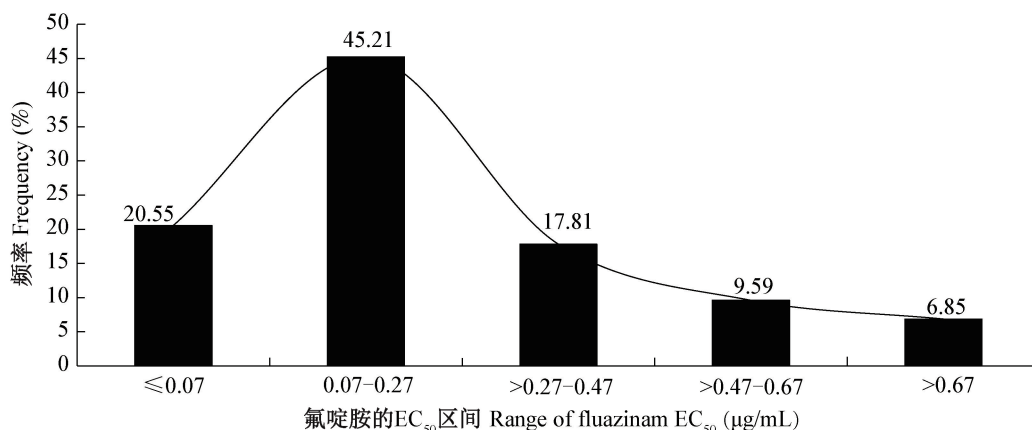


图1 福建省玉米小斑病菌对氟啶胺的敏感性频率分布

Fig. 1 Frequency distribution of *Cochliobolus heterostrophus* to fluazinam in Fujian Province

3 讨论

研究表明,许多农作物上的多种重要病原菌对二硝基苯胺类杀菌剂氟啶胺有较高的敏感性(Lemay et al., 2002; Smith et al., 2008; Wang et al., 2016)。Liang et al. (2015)和Wang et al. (2016)分别建立了油菜菌核病菌对氟啶胺的敏感基线,表明油菜菌核病菌对氟啶胺极其敏感($EC_{50}\leq 0.0115$ $\mu\text{g/mL}$)。邵莒南等(2016)报道小麦赤霉病菌 *Fusarium graminearum* 的各个生育阶段对氟啶胺的敏感性均较高($EC_{50}\leq 0.249$ $\mu\text{g/mL}$),石姐姐等(2016)研究表明番茄灰霉病菌 *Botrytis cinerea* 对氟啶胺亦有较高的敏感性($EC_{50}\leq 0.0452$ $\mu\text{g/mL}$)。本研究结果表明,供试福建省玉米小斑病菌菌株对氟啶胺的 EC_{50} 介于0.0023~1.2863 $\mu\text{g/mL}$ 之间,平均值为0.2573 $\mu\text{g/mL}$,其敏感性频率符合正态分布,供试菌株均来源于福建省未施用该药的地区,因此可将 EC_{50} 平均值0.2573 $\mu\text{g/mL}$ 作为福建省玉米小斑病菌对氟啶胺的

敏感基线(Russell, 2004; FRAC, 2013);与所建立的敏感基线相比,所有供试菌株的抗性倍数均低于5,表明福建省玉米小斑病菌对氟啶胺有较高的敏感性,研究结果与上述相关报道一致。本研究所建立的福建省玉米小斑病菌对氟啶胺的敏感基线,可为氟啶胺的田间抗药性监测提供科学依据。

徐生军等(2009)报道来自黑龙江省和吉林省的马铃薯晚疫病病菌群体间对氟啶胺的敏感性无显著差异。徐大同(2015)研究结果表明,分别来自山东省番茄、黄瓜和芸豆上的灰霉病菌群体间对氟啶胺的敏感性无显著差异,且番茄、黄瓜和芸豆上的灰霉病菌个体间对氟啶胺的敏感性差异也较小,变异系数分别仅为14.21、3.02和4.35。而本研究结果表明,福建省不同地区玉米小斑病菌群体对氟啶胺的敏感性差异不显著,与上述相关报道一致。但是进一步比较分析发现福建省不同地区供试菌株个体间对氟啶胺的敏感性存在明显差异,5个不同地区的菌株

中,闽东和闽南地区的菌株个体间变异系数相对较高,而闽北和闽中地区的菌株个体间变异系数相对较低。推测福建省玉米小斑病菌田间菌株存在天然的耐药个体,也可能是玉米小斑病菌对生产上施用

的其它杀菌剂产生了微弱的交互抗性。因此,在福建省应用氟啶胺防治玉米小斑病时应重视田间抗性监测。

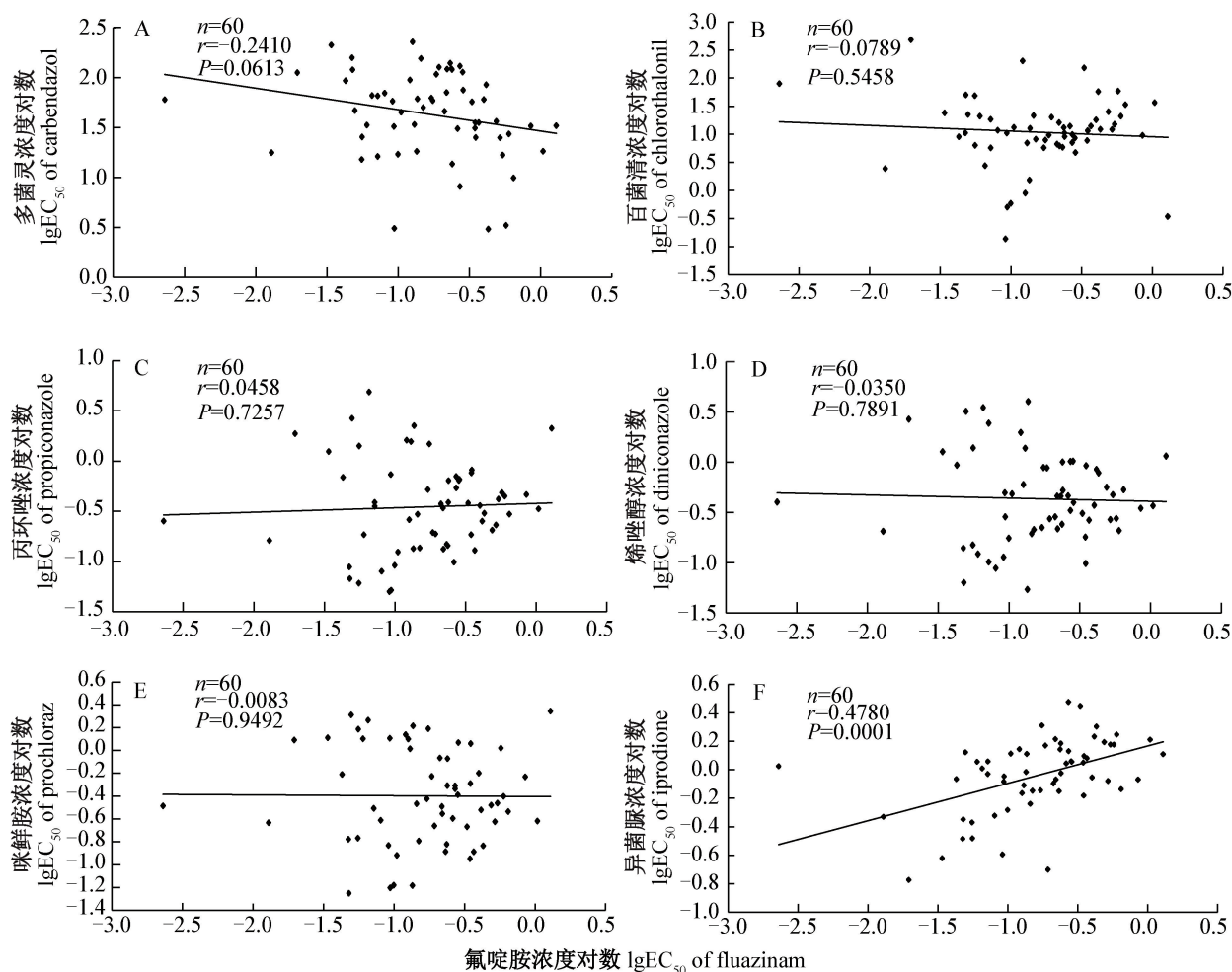


图2 氟啶胺与不同杀菌剂的交互抗性

Fig. 2 Cross-resistance between fluazinam and different fungicides

A~F: 多菌灵、百菌清、丙环唑、烯唑醇、咪鲜胺和异菌脉。A~F: Carbendazol, chlorothalonil, propiconazole, diniconazole, prochloraz and iprodione.

研究表明,在油菜菌核病菌和番茄灰霉病菌田间群体中,氟啶胺与菌核净、啉菌酯和嘧霉胺等杀菌剂之间不存在交互抗性(陈治芳等,2011;Liang et al.,2015;石姐姐等,2016);Wang et al.(2016)研究也未发现氟啶胺与苯并咪唑类、二甲酰亚胺类杀菌剂之间产生交互抗性;但是Shao et al.(2015)室内研究发现诱导抗氟啶胺的番茄灰霉病菌突变体与腐霉利、咯菌腈产生了交互抗性。本研究发现氟啶胺与多菌灵、百菌清以及DMIs杀菌剂如丙环唑、烯唑醇、咪鲜胺、异菌脉之间均不存在交互抗性,但是氟啶胺与二甲酰亚胺类杀菌剂异菌脉之间存在一定程度的相关性,相关研究观点与前人较相似。因此,在

应用氟啶胺防治玉米小斑病时,应避免与二甲酰亚胺类杀菌剂同时或混合使用。关于室内诱导抗氟啶胺的玉米小斑病菌突变体与二甲酰亚胺类杀菌剂之间是否存在正交互抗性仍有待进一步研究。

氟啶胺在抑制玉米小斑病菌菌丝生长、孢子萌发及防治病害作用方面有较明显的优势(甘林等,2015),该药剂被杀菌剂抗性行动委员会认为是一类具有低抗药性风险的杀菌剂(FRAC,2013)。因此,在玉米小斑病菌对DMIs杀菌剂已出现敏感性下降的情况下(张立新等,2011;甘林等,2016;杜宜新等,2017),为延缓DMIs杀菌剂抗药性的发展及更好地控制玉米小斑病,可考虑将氟啶胺引入到玉米小斑

病的防治方案中,作为DMIs杀菌剂的替代或轮换药剂。氟啶胺是一种具有持效性和耐雨水冲刷特性的保护性杀菌剂(Butzler et al., 1998),建议将氟啶胺作为保护剂在玉米小斑病发病之前使用。同时,为提高防效和延缓抗药性,可将氟啶胺与不同作用机制的杀菌剂进行复配或轮换使用。

参 考 文 献 (References)

- Bi QY, Ma ZQ, Han XY, Zhang XF, Wang WQ, Zhao JJ. 2017. Sensitivity of diverse fungicides on powdery mildew of wheat and cross resistance with triadimefon. *Journal of Plant Protection*, 44(2): 331–336 (in Chinese) [毕秋艳, 马志强, 韩秀英, 张小凤, 王文桥, 赵建江. 2017. 不同机制杀菌剂对小麦白粉病的敏感性及其与三唑酮的交互抗性. *植物保护学报*, 44(2): 331–336]
- Butzler TM, Bailey JE, Beute MK. 1998. Integrated management of *Sclerotinia* blight in peanut: utilizing canopy morphology, mechanical pruning, and fungicide timing. *Plant Disease*, 82(12): 1312–1318
- Chen F, Liu X, Chen S, Schnabel E, Schnabel G. 2013. Characterization of *Monilinia fructicola* strains resistant to both propiconazole and boscalid. *Plant Disease*, 97(5): 645–651
- Chen LF, Xu JY. 2007. *Agricultural plant pathology* (3rd edition). Beijing: China Agriculture Press, pp. 185–189 (in Chinese) [陈利峰, 徐敬友. 2007. 农业植物病理学(第3版). 北京: 中国农业出版社, pp. 185–189]
- Chen ZF, Wang WQ, Han XY, Zhang XF, Ma ZQ, Liu YC, Zhao JJ. 2011. Baseline-sensitivity of *Botrytis cinerea* to fluazinam and cross-resistance against diverse fungicides. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 34(3): 33–36 (in Chinese) [陈治芳, 王文桥, 韩秀英, 张小凤, 马志强, 刘颖超, 赵建江. 2011. 灰葡萄孢(*Botrytis cinerea*)对氟啶胺的敏感基线及对不同杀菌剂的交互抗性. *河北农业大学学报*, 34(3): 33–36]
- Cools HJ, Mullins JG, Fraaije BA, Parker JE, Kelly DE, Lucas JA, Kelly SL. 2011. Impact of recently emerged sterol 14 α -demethylase (CYP51) variants of *Mycosphaerella graminicola* on azole fungicide sensitivity. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(11): 3830–3837
- Dai YL, Gan L, Ruan HC, Shi NN, Du YX, Chen FR, Yang XJ. 2017. Sensitivity of *Bipolaris maydis* to iprodione and pyraclostrobin and their control efficacy against southern corn leaf blight in Fujian Province. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 19(4): 434–440 (in Chinese) [代玉立, 甘林, 阮宏椿, 石姐姐, 杜宜新, 陈福如, 杨秀娟. 2017. 福建省玉米小斑病菌对异菌脲和吡唑醚菌酯的敏感性及其田间防效. *农药学报*, 19(4): 434–440]
- Dai YL, Yang XJ, Gan L, Chen FR, Ruan HC, Du Y, Shi NN, Gao ZM. 2016. First report of southern leaf blight caused by *Cochliobolus heterostrophus* on corn (*Zea mays*) in Fujian Province, China. *Plant Disease*, 100(8): 1781
- Du YX, Ruan HC, Shi NN, Gan L, Yang XJ, Chen FR. 2017. Sensitivity of *Bipolaris maydis* in Fujian to tebuconazole, pyraclostrobin and meptyldinocap. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 45(8): 69–75 (in Chinese) [杜宜新, 阮宏椿, 石姐姐, 甘林, 杨秀娟, 陈福如. 2017. 福建玉米小斑病菌对戊唑醇、吡唑醚菌酯和硝苯菌酯的敏感性. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 45(8): 69–75]
- FRAC (Fungicide Resistance Action Committee). Pathogen risk list. Accessed December, 2013. <http://www.frac.info/publications/downloads>
- Gan L, Dai YL, Teng ZY, Ruan HC, Du YX, Shi NN, Chen FR, Yang XJ. 2016. Sensitivity of *Bipolaris maydis* to propiconazole, diniconazole and prochloraz in Fujian Province. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 18(2): 194–200 (in Chinese) [甘林, 代玉立, 滕振勇, 阮宏椿, 杜宜新, 石姐姐, 陈福如, 杨秀娟. 2016. 福建省玉米小斑病菌对丙环唑、烯唑醇和咪鲜胺的敏感性. *农药学报*, 18(2): 194–200]
- Gan L, Wang ZC, Dai YL, Du YX, Ruan HC, Shi NN, Chen FR, Yang XJ. 2015. Inhibition on *Bipolaris maydis* and disease control on southern corn leaf blight of various fungicides. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 30(12): 1160–1165 (in Chinese) [甘林, 王志纯, 代玉立, 杜宜新, 阮宏椿, 石姐姐, 陈福如, 杨秀娟. 2015. 不同杀菌剂对玉米小斑病菌的抑制作用及其防治效果. *福建农业学报*, 30(12): 1160–1165]
- Grünwald NJ, Sturbaum AK, Romero Montes G, Garay Serrano E, Lozoya-Saldaña H, Fry WE. 2006. Selection for fungicide resistance within a growing season in field populations of *Phytophthora infestans* at the center of origin. *Phytopathology*, 96(12): 1397–1403
- Hsiang T, Liao A, Benedetto D. 2007. Sensitivity of *Sclerotinia homoeocarpa* to demethylation-inhibiting fungicides in Ontario, Canada, after a decade of use. *Plant Pathology*, 56(3): 500–507
- Jiang F, Liu PF, Zhang JF, Zeng YS, Xie ZW, Wang XM. 2011. Genetic analysis and main QTL mapping for resistance to *Bipolaris maydis* in sweet corn. *Journal of Plant Protection*, 38(4): 294–300 (in Chinese) [蒋锋, 刘鹏飞, 张金凤, 曾永三, 谢振文, 王晓明. 2011. 甜玉米小斑病抗性的遗传分析与主效QTL定位. *植物保护学报*, 38(4): 294–300]
- Kalamarakis AE, Petsikos-Panagiotarou N, Mavroidis B, Ziogas BN. 2000. Activity of fluazinam against strains of *Botrytis cinerea* resistant to benzimidazoles and/or dicarboximides and to a benzimidazole-phenylcarbamate mixture. *Journal of Phytopathology*, 148(7/8): 449–455
- Kump KL, Bradbury PJ, Wisser RJ, Buckler ES, Belcher AR, Oropeza-Rosas MA, Zwonitzer JC, Kresovich S, McMullen MD, Ware D, et al. 2011. Genome-wide association study of quantitative resistance to southern leaf blight in the maize nested association mapping population. *Nature Genetics*, 43(2): 163–168
- Lemay AV, Bailey JE, Shew BB. 2002. Resistance of peanut to *Sclerotinia* blight and the effect of acibenzolar-S-methyl and fluazinam on disease incidence. *Plant Disease*, 86(12): 1315–1317
- Liang HJ, Di YL, Li JL, Zhu FX. 2015. Baseline sensitivity and control efficacy of fluazinam against *Sclerotinia sclerotiorum*. *European Journal of Plant Pathology*, 142(4): 691–699

- Lu XH, Zhu SS, Bi Y, Liu XL, Hao JJ. 2010. Baseline sensitivity and resistance-risk assessment of *Phytophthora capsici* to iprovali-carb. *Phytopathology*, 100(11): 1162–1168
- Milgate A, Adorada D, Orchard B, Pattermore J. 2016. First report of resistance to DMI fungicides in Australian populations of the wheat pathogen *Zymoseptoria tritici*. *Plant Disease*, 100(2): 522
- Pfeuffer EE, Ngugi HK. 2012. Orchard factors associated with resistance and cross resistance to sterol demethylation inhibitor fungicides in populations of *Venturia inaequalis* from Pennsylvania. *Phytopathology*, 102(3): 272–282
- Raid RN. 1991. Fungicidal control of foliar sweet corn diseases in the presence of high inoculum levels. *Proceedings of the annual meeting of the Florida State Horticultural Society*, 104: 267–270
- Russell PE. 2004. Sensitivity baselines in fungicide resistance research and management. FRAC Monograph No. 3, FRAC, Brussels, Belgium: AIMPRINT
- 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) [邵菡南, 徐大同, 李慧, 慕卫, 刘峰. 2016. 氟啶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]
- Shao W, Ren W, Zhang Y, Hou Y, Duan Y, Wang J, Zhou M, Chen C. 2015. Baseline sensitivity of natural populations and characterization of resistant strains of *Botrytis cinerea* to fluazinam. *Australasian Plant Pathology*, 44(4): 375–383
- Shi NN, Du YX, Ruan HC, Gan L, Yang XJ, Dai YL, Chen FR. 2016. Baseline sensitivity of *Botrytis cinerea* to fluazinam and cross-resistance to different fungicides in Fujian Province. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 18(4): 535–539 (in Chinese) [石姐姐, 杜宜新, 阮宏椿, 甘林, 杨秀娟, 代玉立, 陈福如. 2016. 福建省番茄灰霉病菌对氟啶胺敏感基线建立及与不同杀菌剂的交互抗性. *农药学报*, 18(4): 535–539]
- Smith DL, Garrison MC, Hollowell JE, Isleib TG, Shewa BB. 2008. Evaluation of application timing and efficacy of the fungicides fluazinam and boscalid for control of *Sclerotinia* blight of peanut. *Crop Protection*, 27(3/4/5): 823–833
- Song YY, Xu DT, Lu HB, He LM, Chen LL, Shao JN, Xu CM, Mu W, Liu F. 2016. Baseline sensitivity and efficacy of the sterol biosynthesis inhibitor triflumizole against *Botrytis cinerea*. *Australasian Plant Pathology*, 45(1): 65–72
- Thomas A, Langston DB Jr., Stevenson KL. 2012. Baseline sensitivity and cross-resistance to succinate-dehydrogenase-inhibiting and demethylation-inhibiting fungicides in *Didymella bryoniae*. *Plant Disease*, 96(7): 979–984
- Ullstrup AJ. 1972. The impacts of the southern corn leaf blight epidemics of 1970–1971. *Annual Review of Phytopathology*, 10: 37–50
- Vitoratos AG. 2015. Mode of action and genetic analysis of resistance to fluazinam in *Ustilago maydis*. *Journal of Phytopathology*, 162 (11/12): 737–746
- Wang XM, Jin QM, Shi J, Wang ZY, Li X. 2006. The status of maize diseases and the possible effect of variety resistance on disease occurrence in the future. *Acta Phytopathologica Sinica*, 36(1): 1–11 (in Chinese) [王晓鸣, 晋齐鸣, 石洁, 王作英, 李晓. 2006. 玉米病害发生现状与推广品种抗性对未来病害发展的影响. *植物病理学报*, 36(1): 1–11]
- Wang Y, Duan YB, Zhou MG. 2016. Baseline sensitivity and efficacy of fluazinam in controlling *Sclerotinia* stem rot of rapeseed. *European Journal of Plant Pathology*, 144(2): 337–343
- Xie WL, Zheng ZH, Xie YH, Cao XW. 2013. Test on control efficiency of 5 fungicides against *Bipolaris maydis*. *Guangdong Agricultural Sciences*, (9): 77–79 (in Chinese) [谢伟烈, 郑卓辉, 谢艳华, 曹学文. 2013. 5种杀菌剂防治甜玉米小斑病田间药效试验. *广东农业科学*, (9): 77–79]
- Xu DT. 2015. Detection of resistance of *Botrytis cinerea* from Shandong Province to common fungicides and sensitivity to triflumizole and fluazinam. Master Thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University (in Chinese) [徐大同. 2015. 山东地区灰霉病菌对常用杀菌剂的抗性检测及对氟啶唑和氟啶胺的敏感性. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学]
- Xu SJ, Yao LL, Li XX, Zhang XZ. 2009. The change in sensitivity of *Phytophthora infestans* isolates collected from Heilongjiang and Jilin to fluazinam and metalaxyl. *Plant Protection*, 35(5): 80–85 (in Chinese) [徐生军, 姚亮亮, 李新新, 张铨哲. 2009. 黑龙江省和吉林省马铃薯晚疫病病菌对氟啶胺和甲霜灵的敏感性变化. *植物保护*, 35(5): 80–85]
- Zhang JF, Jiang F, Liu PF, Wang XM. 2009. *Bipolaris maydis* physiological race determination of sweet corn in Guangdong Province. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 25(20): 249–252 (in Chinese) [张金凤, 蒋锋, 刘鹏飞, 王晓明. 2009. 广东省甜玉米小斑病菌的生理小种鉴定. *中国农学通报*, 25(20): 249–252]
- Zhang LX, Dong M, Yang LM, Wang JH, Tan GJ. 2011. Identification of physiological races of *Bipolaris maydis* and their sensitivities to diniconazole in Anhui Province. *Acta Phytopathologica Sinica*, 41(4): 441–444 (in Chinese) [张立新, 董猛, 杨丽敏, 王建华, 檀根甲. 2011. 安徽省玉米小斑病菌生理小种鉴定及对烯唑醇的敏感性. *植物病理学报*, 41(4): 441–444]
- Zhou YX, Chen L, Hu J, Liu PF, Zhang Y, Meng QX, Li B, Si NG, Liu CL, Liu XL. 2016. Baseline sensitivity of natural population and resistance risk of *Peronosphythora litchii* to four novel QoI fungicides. *European Journal of Plant Pathology*, 146(1): 71–83

(责任编辑:张俊芳)