

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

徐建强*, 平忠良, 党威, 李恒, 何冬梅, 朱艳阁

(河南科技大学 林学院, 河南 洛阳 471003)

摘要: 为明确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, 采用菌丝生长速率法测定了两种药剂对采自该省 15 个地市的 98 株病原菌菌丝生长的毒力。结果显示: 井冈霉素和甲基立枯磷对供试菌株的 EC_{50} 值范围分别在 0.023~0.852 和 0.035~0.512 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 之间; 其敏感性频率分布图显示, 病原菌群体中虽已出现对井冈霉素敏感性下降的亚群体, 但 77.6% 和 99.0% 的菌株对井冈霉素和甲基立枯磷的敏感性频率仍呈正态分布, 因此可将此部分菌株的平均 EC_{50} 值 (0.424 ± 0.081) 和 (0.124 ± 0.043) $\mu\text{g}/\text{mL}$ 分别作为小麦纹枯病菌对井冈霉素和甲基立枯磷的敏感基线; 井冈霉素的平均 EC_{50} 值是甲基立枯磷的 3 倍, 表明该病原菌对甲基立枯磷更为敏感; 不同地理来源病原菌群体间对井冈霉素和甲基立枯磷的敏感性均存在显著的地域性差异; 小麦纹枯病菌对两种杀菌剂的敏感性之间无明显相关性。研究结果可为河南省小麦纹枯病的可持续防控提供理论依据。

关键词: 小麦纹枯病菌; 井冈霉素; 甲基立枯磷; 敏感性; 敏感基线

中图分类号: S481.4; S482.2 文献标志码: A 文章编号: 1008-7303(2017)01-0025-07

Sensitivity of *Rhizoctonia cerealis* to jinggangmycin and tolclofos-methyl in Henan province in China

XU Jianqiang*, PING Zhongliang, DANG Wei, LI Heng, HE Dongmei, ZHU Yange

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

Abstract: The sensitivities of *Rhizoctonia cerealis* to jinggangmycin and tolclofos-methyl were determined by measuring the mycelial growth on the fungicide-amended media using 98 isolates collected from 15 cities in Henan province. The results indicated that 50% effective concentration (EC_{50}) values of all isolates to jinggangmycin and tolclofos-methyl ranged from 0.023 to 0.852, and 0.035 to 0.512 $\mu\text{g}/\text{mL}$, respectively. The results of the frequency analysis revealed that low sensitivity subcolony to jinggangmycin had been observed in the tested isolates. The mean EC_{50} values of (0.424 ± 0.081) and (0.124 ± 0.043) $\mu\text{g}/\text{mL}$ for 77.6% and 99.0% of all isolates showed a normal distribution, which was treated as the sensitivity baseline of *R. cerealis* to jinggangmycin and tolclofos-methyl, respectively. The mean EC_{50} value of jinggangmycin was 3 times higher than that of tolclofos-methyl,

收稿日期: 2016-08-26; 录用日期: 2016-12-01.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303023); 国家自然科学基金(31401774); 河南科技大学大学生研究训练计划(2015148).

作者简介: *徐建强, 通信作者(Author for correspondence), 男, 博士, 副教授, 研究方向为杀菌剂毒理与应用, E-mail: xujqhust@126.com

which meant that *R. cerealis* was more sensitive to tolclofos-methyl. The isolates collected from different regions showed different sensitivities. It is noteworthy that the correlation efficient existed between jinggangmycin and tolclofos-methyl was very low, which implied that there was no cross-resistance between those two fungicides. The results provided a theoretical basis for the efficient application of the two fungicides in the control of wheat sharp eyespot in the field of Henan province.

Keywords: *Rhizoctonia cerealis*; jinggangmycin; tolclofos-methyl; sensitivity; sensitivity baseline

小麦纹枯病又称小麦尖眼斑病 (wheat sharp eyespot), 是一种世界性分布的土传真菌病害, 其主要致病菌为禾谷丝核菌 *Rhizoctonia cerealis* Vander Hoeven。该病主要为害小麦的茎秆基部, 可造成植株倒伏、枯死及白穗, 影响小麦有效穗数及千粒重, 对产量影响较大^[1]。近年来, 随着小麦品种的更替及高产栽培措施 (早播、密植、高肥) 的推广, 该病在中国冬小麦种植区发生普遍, 已成为黄淮平原及长江流域麦区的重要病害^[2]。河南省是中国小麦主产区之一, 近几年小麦纹枯病的发生面积持续在 300 万 hm^2 左右, 为害严重^[3]。由于目前尚未发现高抗纹枯病的小麦品种, 控制该病害仍主要依靠苯醚甲环唑和戊唑醇种子处理并结合春季井冈霉素喷雾进行化学防治^[4]。

井冈霉素 (jinggangmycin) 是中国自主研发且目前产量最大的农用微生物源抗生素, 主要用于水稻、小麦等纹枯病的防治^[5]。孙海燕等^[6]的研究表明, 目前中国江苏、安徽、河南及山东 4 省的小麦纹枯病菌菌株对井冈霉素的敏感性差异仍不显著, 生产中依然可以用井冈霉素来防治小麦纹枯病。甲基立枯磷 (tolclofos-methyl) 为有机磷类杀菌剂, 对由丝核菌属 (*Rhizoctonia*)、核盘菌属 (*Sclerotinia*)、小核菌属 (*Sclerotium*) 和葡萄孢属 (*Botrytis*) 真菌引起的禾谷类作物纹枯病、菌核病、白绢病和灰霉病等具有良好的防治效果^[7]。迄今为止, 尽管已有关于河南省小麦纹枯病菌对井冈霉素敏感性的报道, 但由于该研究所用菌株 (10 株) 仅来源于商丘一地, 无法反映河南省的总体情况^[6]; 而对甲基立枯磷的敏感性则尚无相关报道。为此, 本研究采用菌丝生长速率法, 测定了 2013 年从河南省 15 个地市分离的 98 株小麦纹枯病菌对井冈霉素和甲基立枯磷的敏感性, 建立了敏感基线, 分析了不同地区菌株的敏感性差异及供试菌株对两种杀菌剂敏感性间的相关性, 以期两种药剂在小麦纹枯病防治中的合理利用提供依据, 为田间病原菌敏感性监测提供参考。

1 材料与方 法

1.1 供试菌株

于 2013 年 4–5 月, 从中国河南省各地市大面积种植小麦的乡镇采集纹枯病标本, 在同一乡镇尽可能扩大采样地块, 5 点取样法采样, 每个乡镇至少采集 50 个小麦植株。选取发病典型的小麦植株, 去除根部及茎秆上部, 剥去叶鞘, 保留茎秆基部具有典型云纹状病斑的茎段。室内采用组织分离法分离病菌, 共获得 343 株菌株, 转入 PSA 斜面上, 室温保存; 每采集地随机选取 4~8 株进行单菌丝顶端纯化, 共 98 株用于试验; 对 98 株病原菌进行细胞核染色及培养性状测定, 经鉴定均为禾谷丝核菌 *Rhizoctonia cerealis*^[8]。

1.2 药剂及试剂

60% 井冈霉素 (jinggangmycin) 原药, 浙江钱江生物化学股份有限公司; 93.45% 甲基立枯磷 (tolclofos-methyl) 原药, 江苏省东海农药厂。井冈霉素原药预溶于灭菌超纯水中, 甲基立枯磷原药预溶于丙酮中, 均配成 $1 \times 10^4 \mu\text{g/mL}$ 的母液, 于 4°C 冰箱中保存。蔗糖为分析纯, 天津科密欧化学试剂有限公司; 琼脂粉为生物技术级, 合肥新恩源生物技术有限公司。

1.3 病原菌对两种杀菌剂的敏感性测定

采用菌丝生长速率法^[9]。将供试菌株在 PSA 平板上于 25°C 下培养 3 d 后, 在菌落边缘打取直径 5 mm 的菌饼, 菌丝面朝下接入含井冈霉素分别为 0.15、0.2、0.25、0.35、0.5 及 $1 \mu\text{g/mL}$, 含甲基立枯磷分别为 0.035、0.065、0.1、0.2、0.3 及 $0.5 \mu\text{g/mL}$ 系列质量浓度的 PSA 平板上。每皿接种 1 个菌饼, 每处理重复 3 次, 以不含药剂 PSA 平板上接种的菌饼作对照。 25°C 下培养 5 d 后, 采用十字交叉法测量菌落直径 (mm), 计算各浓度处理下药剂对菌丝生长的抑制率 (%)。

1.4 敏感性频率分布图绘制

参照祁之秋等的方法^[10]。将病原菌群体对供

试药剂的敏感性从高到低分成不同区间, 统计 EC_{50} 值在各个区间的菌株数占整个群体的频率 (%)。以 EC_{50} 值为 x 轴, 相应的频率 (%) 为 y 轴, 绘制病原菌群体对杀菌剂的敏感性频率分布图。根据病原菌的敏感性频率分布情况, 建立其对井冈霉素和甲基立枯磷的敏感基线。

1.5 小麦纹枯病菌对井冈霉素及甲基立枯磷敏感性的相关性分析

参照齐永志等的方法^[11]。随机选取 12 株小麦纹枯病菌进行敏感性相关性分析。其中井冈霉素敏感菌株 9 株, 敏感性下降菌株 3 株; 1 株对甲基立枯磷的敏感性表现为下降, 其余 11 株均敏感。以井冈霉素对菌株的 EC_{50} 值为 x 轴, 甲基立枯磷对菌株的 EC_{50} 值为 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), 分析井冈霉素与甲基立枯磷对小麦纹枯病菌毒力之间的关系: $P < 0.05$, b 值为正, 且 R^2 在 0.8 以上, 说明两种药剂间存在正相关性, b 值为负, R^2 在 0.8 以上, 说明两种药剂间存在负相关性; $P > 0.05$, 说明两种药剂间无相关性。

1.6 数据处理

敏感性测定数据利用 Excel 2003 进行处理, 并通过 DPS V6.55 软件中的“数量型数据机值分析”, 通过菌丝生长抑制率几率值和药剂质量浓度对数之间的线性回归分析, 求出药剂对菌株的毒力回归方程、相关系数 (r) 和有效抑制中浓度 (EC_{50}) 值; 同时通过该软件中的“数据正态性检验”, 就供试菌株对杀菌剂的敏感性频率分布进行 Shapiro-Wilk 正态性检验^[12], 并利用该软件中的“最小显著差异法 (LSD)” 分析不同地区菌株敏感性间的差异显著性; 每地区随机选择 3 株,

共 45 株小麦纹枯病菌, 采用 SPSS 20.0 对井冈霉素和甲基立枯磷抑制病原菌菌丝生长的 EC_{50} 值进行系统聚类分析^[10]。

2 结果与分析

2.1 小麦纹枯病菌对井冈霉素和甲基立枯磷的敏感性及其敏感基线

供试 98 株小麦纹枯病菌对井冈霉素的敏感性基本呈连续性分布, EC_{50} 值在 0.023~0.852 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 之间, 最大值为最小值的 37 倍, 平均 EC_{50} 值为 (0.404 ± 0.188) $\mu\text{g}/\text{mL}$ (图 1)。在该 EC_{50} 值范围内, 以 0.2 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 为截距将其分为 5 个区间, 统计每区间出现的菌株数和发生频率, 得到小麦纹枯病菌对井冈霉素的敏感性频率分布图 (图 2)。Shapiro-Wilk 正态性检验结果显示, 供试菌株对井冈霉素的敏感性频率不符合正态性分布 ($W = 0.921$, $P = 1.9 \times 10^{-5} < 0.05$), 表明小麦纹枯病菌对井冈霉素的敏感性发生了分化, 并已出现敏感性下降的亚群体。虽然供试菌株对井冈霉素的敏感性已出现一定分化, 但仍有 77.6% 的菌株 (共 76 株) 集中位于图 2 中相应的主峰范围内, 其敏感性频率分布为连续单峰曲线, 这部分群体对井冈霉素的敏感性频率分布呈近似正态分布 ($W = 0.976$, $P = 0.151 > 0.05$), 因此可将其 EC_{50} 平均值 (0.424 ± 0.081) $\mu\text{g}/\text{mL}$ 作为小麦纹枯病菌对井冈霉素的敏感基线。

供试 98 株小麦纹枯病菌对甲基立枯磷的敏感性基本呈连续性分布, EC_{50} 值在 0.035~0.512 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 之间, 最大值为最小值的 15 倍, 平均 EC_{50} 值为 (0.128 ± 0.058) $\mu\text{g}/\text{mL}$ (图 1)。在该 EC_{50} 值范围内, 以 0.05 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 为截距将其分为 6 个区间, 统计每区间出现的菌株数和发生频率, 得到小麦纹

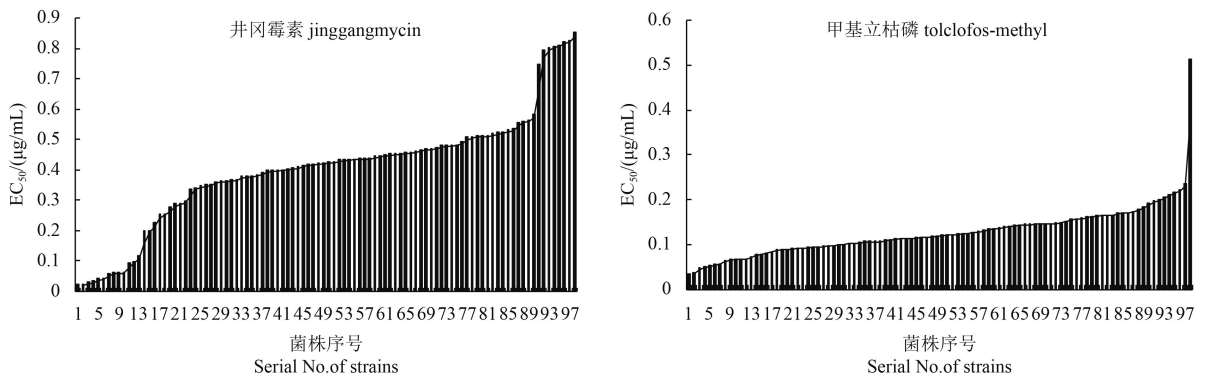


图 1 小麦纹枯病菌对井冈霉素和甲基立枯磷的敏感性

Fig. 1 EC_{50} values of *R. cerealis* populations to jinggangmycin and tolclofos-methyl

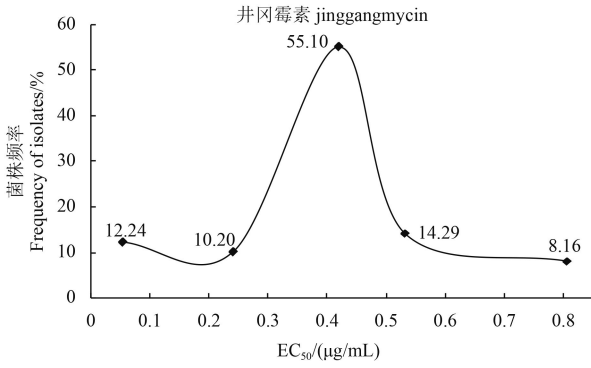
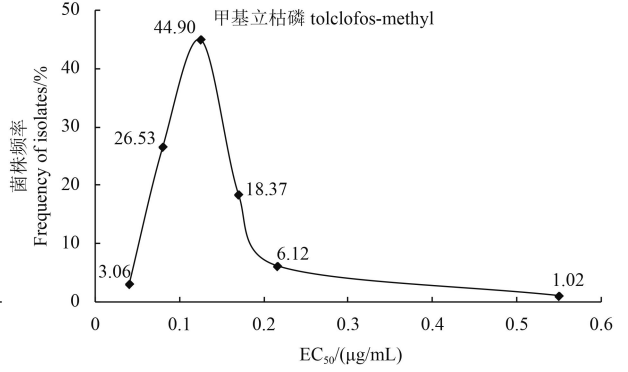


图 2 小麦纹枯病菌对井冈霉素和甲基立枯磷的敏感性频率分布

Fig. 2 Frequency distribution of EC₅₀ values of *R. cerealis* populations to jinggangmycin and tolclofos-methyl



枯病菌对甲基立枯磷的敏感性频率分布图(图 2)。Shapiro-Wilk 正态性检验结果显示,供试菌株对甲基立枯磷的敏感性频率不符合正态性分布($W=0.794$, $P=1 \times 10^{-6} < 0.05$),表明小麦纹枯病菌对甲基立枯磷的敏感性也出现了分化,并已出现敏感性下降的亚群体。但 99.0% 的菌株(97 株)均集中位于图 2 中相应的主峰范围内,其敏感性频率分布为连续单峰曲线,这部分群体对甲基立枯磷的敏感性频率呈近似正态分布($W=0.989$, $P=0.595 > 0.05$),因此可将其 EC₅₀ 平均值(0.124 ± 0.043) µg/mL 作为小麦纹枯病菌对甲基立枯磷的敏感基线。

此外,井冈霉素的平均 EC₅₀ 值是甲基立枯磷的 3 倍,表明小麦纹枯病菌对甲基立枯磷较井冈霉素更为敏感。

2.2 不同地区小麦纹枯病菌对井冈霉素和甲基立枯磷的敏感性

由表 1 可看出,不同地区小麦纹枯病菌群体间对井冈霉素和甲基立枯磷的敏感性均存在显著的地域性差异。井冈霉素的 EC₅₀ 值范围在 0.023~0.852 µg/mL 之间,其中,濮阳和郑州菌株最为敏感,而许昌菌株最不敏感,敏感性相差 20 倍;甲基立枯磷的 EC₅₀ 值范围在 0.035~0.512 µg/mL 之间,其中漯河菌株最为敏感,而商丘菌株最不敏感,敏感性相差 3 倍。此外,由表 1 还可发现,小麦纹枯病菌对两种杀菌剂的敏感性菌株并非来自同一地区。

2.3 不同地理来源菌株对井冈霉素和甲基立枯磷敏感性水平的系统聚类分析

SPSS 聚类分析结果(图 3)表明:井冈霉素对 45 个小麦纹枯病菌菌株的 EC₅₀ 值可分在 5 个聚类组中,所包括的菌株数分别为 15、13、4、6 及 7 个;

甲基立枯磷对 45 个菌株的 EC₅₀ 值也分在 5 个聚类组中,所包括的菌株数分别为 18、7、5、14 及 1 个。不同来源的菌株系列出现在同一聚类组中,表明小麦纹枯病菌对供试两种杀菌剂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。尽管每种杀菌剂对菌株的 EC₅₀ 值可分为不同的聚类组,但两种杀菌剂的聚类组所包含的菌株并无相似之处。

2.4 小麦纹枯病菌对井冈霉素及甲基立枯磷敏感性之间的相关性

EC₅₀ 值线性回归分析结果表明:小麦纹枯病菌菌株对井冈霉素的敏感性与其对甲基立枯磷敏感性的 F 检验显著水平(P 值)为 0.000 2,小于 0.05,即在 $P=0.05$ 水平上差异显著, b 值为正,但由于其 R^2 值为 1.0×10^{-6} ($y=0.000 7x+0.139$),小于 0.8,因此认为小麦纹枯病菌对两种药剂的敏感性之间无明显相关性。

3 小结与讨论

甲基立枯磷对小麦纹枯病菌菌丝生长的抑制效果优于井冈霉素;病原菌不同菌株之间对药剂的敏感性差异较大,这可能源自病原菌本身存在的生理差异以及群体组成的多样性,也可能与生产中使用的药剂间存在微弱的交互抗性有关;不同地理来源病原菌群体对井冈霉素和甲基立枯磷的敏感性间均存在显著性差异,个别地区的菌株对井冈霉素的敏感性已表现出下降趋势,说明不同地区或地块的用药水平已引起病原菌对井冈霉素敏感性的变化。研究表明,河南省小麦纹枯病菌对甲基立枯磷仍表现敏感,但不同地区菌株对井冈霉素的敏感性已出现分化,因此生产中应密切监测不同地区菌株对井冈霉素的敏感性变化动态。

表1 河南省不同地区小麦纹枯病菌对井冈霉素及甲基立枯磷的敏感性比较

Table 1 Sensitivity (EC_{50} value) of *R. cerealis* to jinggangmycin and tolclofos-methyl from different areas in Henan province

采集地 Location	菌株数 Isolate number	频率 Frequency/%	EC_{50} 值分布范围 Range of EC_{50} values/($\mu\text{g/mL}$)		EC_{50} 平均值 Average of EC_{50} values/($\mu\text{g/mL}$)	
			井冈霉素 jinggangmycin	甲基立枯磷 tolclofos-methyl	井冈霉素 jinggangmycin	甲基立枯磷 tolclofos-methyl
			安阳 Anyang	6	6.12	0.337~0.481
鹤壁 Hebi	6	6.12	0.419~0.531	0.095~0.114	0.475 bc	0.104 bcd
焦作 Jiaozuo	7	7.14	0.267~0.564	0.118~0.170	0.445 c	0.151 abc
开封 Kaifeng	7	7.14	0.378~0.482	0.066~0.148	0.439 c	0.102 bed
漯河 Luohe	6	6.12	0.339~0.446	0.035~0.101	0.404 c	0.067 d
洛阳 Luoyang	8	8.16	0.425~0.522	0.105~0.211	0.471 bc	0.153 abc
南阳 Nanyang	8	8.16	0.351~0.525	0.055~0.175	0.438 c	0.108 bcd
平顶山 Pingdingshan	8	8.16	0.347~0.534	0.069~0.145	0.415 c	0.099 cd
濮阳 Puyang	6	6.12	0.042~0.118	0.107~0.218	0.080 f	0.152 abc
商丘 Shangqiu	8	8.16	0.198~0.822	0.038~0.512	0.545 b	0.201 a
许昌 Xuchang	6	6.12	0.746~0.852	0.166~0.236	0.802 a	0.157 ab
信阳 Xinyang	6	6.12	0.200~0.297	0.142~0.172	0.254 e	0.121 bed
周口 Zhoukou	4	4.08	0.031~0.449	0.096~0.160	0.298 de	0.138 bc
郑州 Zhengzhou	6	6.12	0.023~0.063	0.113~0.158	0.041 f	0.133 bc
驻马店 Zhumadian	6	6.12	0.399~0.483	0.049~0.194	0.429 c	0.121 bed
总计 Total	98	100	0.023~0.852	0.035~0.512	0.404	0.128

注: 表中同列数据后不同字母表示经最小显著差异法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

Note: The different letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ by LSD test.

夏慧^[13]根据江苏省 65 株小麦纹枯病菌对井冈霉素的 EC_{50} 值, 得到其敏感性基线参考值为 $0.225 \mu\text{g/mL}$; 孙海燕等^[6]测定了江苏省 1984 年 9 个、2001 年 35 个、2010 年 36 个小麦纹枯病菌菌株对井冈霉素的敏感性, 其 EC_{50} 均值分别为 0.670 、 0.600 和 $0.600 \mu\text{g/mL}$ 。本研究结果与夏慧及孙海燕等的结果均有差异, 其原因可能是由于菌株地理来源、供试菌株数目及用药时间长短不同造成的。张骞等^[7]的研究结果表明, 甲基立枯磷

对小麦纹枯病菌具有很高的抑制活性, EC_{50} 和 EC_{90} 值分别为 0.096 和 $1.764 \mu\text{g/mL}$ 。祁之秋^[14]测定了 50 株小麦纹枯病菌对甲基立枯磷的敏感性, 平均 EC_{50} 值为 $0.123 \mu\text{g/mL}$ 。本研究结果与上述文献报道相似。

夏晓明等^[15]在室内通过药剂驯化的方法诱导获得了抗井冈霉素的禾谷丝核菌菌株, 认为禾谷丝核菌对井冈霉素的抗药性发展比较迅速, 抗性风险较大。此外, 夏晓明等^[15]及胡燕等^[16]检测了

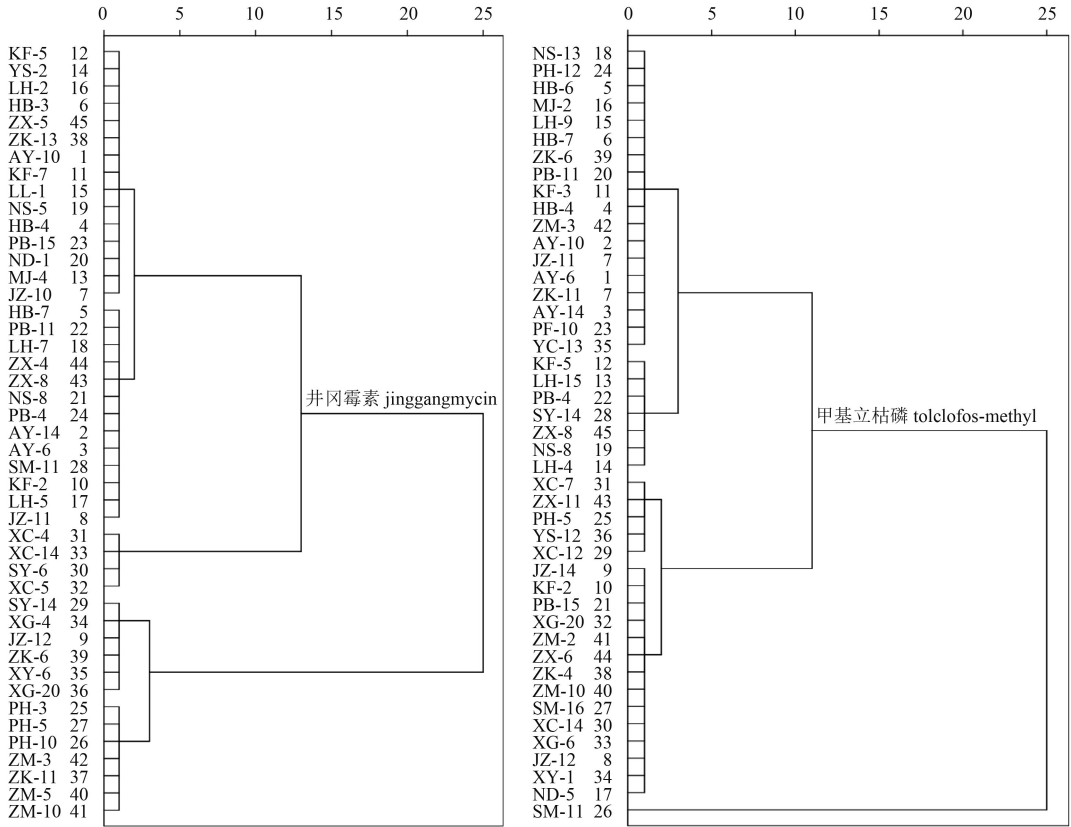


图 3 井冈霉素和甲基立枯磷对小麦纹枯病菌 EC_{50} 值的系统聚类分析

Fig. 3 Hierarchical cluster analysis on EC_{50} values of jinggangmycin and tolclofos-methyl to *R. cerealis*

田间小麦纹枯病菌对井冈霉素的敏感性,发现中国江苏、山东等地的田间菌株均已产生了抗药性。但夏晓明等^[15]选择的敏感菌株只有一个,且分离自山东泰山中天门狗尾草上,并非来源于小麦。而且他们测定的菌株数量较少(均是4个地区采集的5个菌株),不能全面反映田间小麦纹枯病菌对井冈霉素的敏感性现状^[15-16]。而孙海燕等^[6]对江苏省1984年9个、2001年35个及2010年36个菌株的测定结果则表明,26年间江苏省小麦纹枯病菌对井冈霉素的敏感性未发生显著性变化。由于孙海燕等^[6]的研究中采自河南省的菌株仅有10个,且全部来源于商丘地区,而关于河南省小麦纹枯病菌对井冈霉素的敏感性也未见其他报道,因此,综合本研究结果及孙海燕等的结果,可以认为,河南省小麦纹枯病菌对井冈霉素仍属于敏感范围,田间尚未出现对井冈霉素具有抗性的菌株。张骞等^[17]采用紫外诱变方法获得了小麦纹枯病菌抗甲基立枯磷的菌株,但发现抗性菌株的适合度较低,提高药剂剂量即可控制其生长。总体来看,小麦纹枯病菌对井冈霉素及甲基立枯磷的抗药性风险均较低。此外,齐永志等^[11]及

Zhang等^[18]分别在研究小麦纹枯病菌对噻唑酰胺(thiﬂuzamide)的抗性风险时也得到了相同的结果。这可能与小麦纹枯病菌属于异宗配合真菌,其自身存在异核体有关。

已有研究结果表明:井冈霉素主要是抑制纹枯病菌体内海藻糖酶的活性,阻止海藻糖分解为葡萄糖,从而使病原菌菌丝的伸长生长受到抑制^[5]。本研究中进行敏感性测定时采用了PSA培养基,其中蔗糖的存在对于药剂的抑制作用可能会产生一定的补偿作用,从而使得测定结果(EC_{50} 值)偏大。农业部农药检定所颁布的井冈霉素毒力测定行业标准^[19]中推荐使用E培养基,其成分为: K_2HPO_4 2 g, KH_2PO_4 2 g, 葡萄糖 10 g, 琼脂粉 12 g, 用蒸馏水定容至 1 000 mL。但在实际应用中,使用PSA培养基进行井冈霉素的毒力测定也有报道^[6]。

综上所述,由于河南省小麦纹枯病菌对井冈霉素及甲基立枯磷仍均较为敏感,田间尚未检测到抗药性菌株,且病原菌对这两种药剂的抗性风险均属于低风险级,故两种药剂依然可用于该省生产中小麦纹枯病的防治。但为避免抗药性的产

生, 应同其他防治方法结合施用。Peng 等^[20]将苯醚甲环唑 (difenoconazole) 同枯草芽孢杆菌 NJ-18 协同用于小麦纹枯病的防治, 不但防治效果比单剂显著提高, 而且降低了农药用量, 有利于延缓抗药性的产生。该思路值得井冈霉素及甲基立枯磷两种药剂在小麦纹枯病防治上借鉴。

参考文献(Reference):

- [1] LEMAŃCZYK G, KWAŚNA H. Effects of sharp eyespot (*Rhizoctonia cerealis*) on yield and grain quality of winter wheat [J]. Eur J Plant Pathol, 2013, 135(1): 187-200.
- [2] HAMADA M S, YIN Y N, CHEN H G, et al. The escalating threat of *Rhizoctonia cerealis*, the causal agent of sharp eyespot in wheat [J]. Pest Manag Sci, 2011, 67(11): 1411-1419.
- [3] 汪敏, 吕柏林, 邢小萍, 等. 河南省小麦纹枯病菌的群体组成及其致病力分化研究[J]. 植物病理学报, 2011, 41(5): 556-560.
WANG M, LV B L, XING X P, et al. Composition and virulence variation of the pathogen of wheat sharp eyespot from Henan province [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2011, 41(5): 556-560.
- [4] ZHOU M G, JIA X J. Wheat pathogens in China[M] // ISH II H, HOLLLOMON D W. Fungicide resistance in plant pathogens: principles and a guide to practical management. Tokyo: Springer, 2015: 313-328.
- [5] 陈小龙, 方夏, 沈寅初. 纹枯病菌对井冈霉素的作用机制、抗药性及安全性[J]. 农药, 2010, 49(7): 481-483.
CHEN X L, FANG X, SHEN Y C. Mechanism, resistance and security of jinggangmycin against *Rhizoctonia solani* [J]. Agrochemicals, 2010, 49(7): 481-483.
- [6] 孙海燕, 丁晓菲, 杜文珍, 等. 江苏、河南、安徽和山东四省小麦纹枯病菌对井冈霉素的敏感性监测[J]. 农药学报, 2011, 13(6): 653-656.
SUN H Y, DING X F, DU W Z, et al. Monitoring of sensitivity of *Rhizoctonia cerealis* to jinggangmycin in Jiangsu, Henan, Anhui and Shandong provinces[J]. Chin J Pestic Sci, 2011, 13(6): 653-656.
- [7] 张骞, 叶钟音. 甲基立枯磷对植物病原真菌和细菌的活性测定[J]. 农药学报, 2000, 2(1): 85-87.
ZHANG Q, YE Z Y. Activity of tolclofos-methyl inhibiting fungi and bacteria of plant pathogen[J]. Chin J Pestic Sci, 2000, 2(1): 85-87.
- [8] BOEREMA G H, VERHOEVEN A. Check-list for scientific names of common parasitic fungi. Series 2b fungi on field crops: cereals and grasses[J]. Neth J Plant Pathol, 1977, 83(5): 165-204.
- [9] 慕立义. 植物化学保护研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 79-81.
MU L Y. Research methods of plant chemical protection[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994: 79-81.
- [10] 祁之秋, 鞠雪娇, 纪明山, 等. 辽宁省稻瘟病菌对咪鲜胺敏感基线的建立[J]. 农药学报, 2012, 14(6): 673-676.
QI Z Q, JU X J, JI M S, et al. Sensitive baseline of *Magnaporthe grisea* to prochloraz in Liaoning province[J]. Chin J Pestic Sci, 2012, 14(6): 673-676.
- [11] 齐永志, 李海燕, 苏媛, 等. 小麦纹枯病菌对噻呋酰胺的敏感性及其抗药性突变体的主要生物学性状[J]. 农药学报, 2014, 16(3): 271-280.
QI Y Z, LI H Y, SU Y, et al. Sensitivity to trifluzamide and main biological characteristics of resistant mutants of *Rhizoctonia cerealis*[J]. Chin J Pestic Sci, 2014, 16(3): 271-280.
- [12] 甘林, 代玉立, 滕振勇, 等. 福建省玉米小斑病菌对丙环唑、烯唑醇和咪鲜胺的敏感性[J]. 农药学报, 2016, 18(2): 194-200.
GAN L, DAI Y L, TENG Z Y, et al. Sensitivity of *Bipolaris maydis* to propiconazole, diniconazole and prochloraz in Fujian province [J]. Chin J Pestic Sci, 2016, 18(2): 194-200.
- [13] 夏慧. 稻、麦纹枯病菌对井冈霉素的敏感性及其影响因素的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2004: 27-35.
XIA H. Sensitivity of *Rhizoctoniacerealis* and *R. solani* to jinggangmycin and some factors influencing the sensitivity[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2004: 27-35.
- [14] 祁之秋. 小麦纹枯病菌对常用杀菌剂敏感性基线及化学防治原理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2001: 24-32.
QI Z Q. Study on the sensitivity baseline of *Rhizoctonia cerealis* to modern fungicides and the principle of chemical control[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2001: 24-32.
- [15] 夏晓明, 王开运, 王怀训, 等. 禾谷丝核菌对井冈霉素的抗性风险预测[J]. 农药学报, 2006, 8(2): 115-120.
XIA X M, WANG K Y, WANG H X, et al. Studies on the resistance risk forecast to validamycin against *Rhizoctonia cerealis*[J]. Chin J Pestic Sci, 2006, 8(2): 115-120.
- [16] 胡燕, 王怀训, 夏晓明, 等. 四地区小麦纹枯病菌对 6 种杀菌剂的抗性比较[J]. 植物保护学报, 2006, 33(4): 423-427.
HU Y, WANG H X, XIA X M, et al. Susceptibility of *Rhizoctonia cerealis* to six fungicides in four wheat areas[J]. Acta Phytophylacica Sinica, 2006, 33(4): 423-427.
- [17] 张骞, 周明国, 叶钟音. 植物病原真菌对甲基立枯磷的抗药性及风险研究[J]. 农药学报, 2000, 2(2): 22-28.
ZHANG Q, ZHOU M G, YE Z Y. Resistance risk of plant pathogenous fungi to tolclofos-methyl[J]. Chin J Pestic Sci, 2000, 2(2): 22-28.
- [18] ZHANG Y, LU J L, WANG J X, et al. Baseline sensitivity and resistance risk assessment of *Rhizoctonia cerealis* to thifluzamide, a succinate dehydrogenase inhibitor[J]. Pestic Biochem Physiol, 2015, 124: 97-102.
- [19] 农药室内生物测定试验准则——杀菌剂第 18 部分: 井冈霉素抑制水稻纹枯病菌试验 E 培养基法: NY/T 1156.18—2013[S]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
Pesticides guidelines for laboratory bioactivity tests—Part 18: E-medium test for determining jinggangmycin inhibition of *Rhizoctonia solani* Kühn growth on rice: NY/T 1156.18—2013[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2013.
- [20] PENG D, LI S D, CHEN C J, et al. Combined application of *Bacillus subtilis* NJ-18 with fungicides for control of sharp eyespot of wheat[J]. Biol Control, 2014, 70: 28-34.

(责任编辑: 唐静)