

新月弯孢变种的生物学特性及其对药剂的敏感性



常佳迎^{1,2} 田兰芝¹ 刘树森¹ 石洁^{1*} 杨文香^{2*} 郭宁¹

(1. 河北省农林科学院植物保护研究所, 农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 河北省农业有害生物综合防治工程技术研究中心, 保定 071000; 2. 河北农业大学植物保护学院, 保定 071000)

摘要: 为明确新月弯孢变种的发生和流行规律及有效防治方法, 在不同碳源、氮源、温度、pH、光照等培养条件下, 测定新月弯孢变种菌株 HNWB-131、HNWB-185 和模式菌株 CX-3 的生物学特性, 并采用菌丝生长速率法测定这 3 株菌株对 5 种药剂的敏感性。结果表明, 新月弯孢变种菌株 HNWB-131 和 HNWB-185 对碳、氮源的利用更敏感, 在大部分碳、氮源培养基上其菌丝均为灰白色至黑色, 与新月弯孢模式菌株的墨绿色存在明显区别; 2 株新月弯孢变种菌株的菌丝生长和产孢最适温度均为 30℃, 而新月弯孢模式菌株的菌丝生长和产孢最适温度分别为 30℃ 和 35℃; 新月弯孢变种对光照条件更敏感, 且黑暗条件对其分生孢子的产生和萌发有一定刺激作用; 新月弯孢变种菌丝生长的最适 pH 为 7~9, 比新月弯孢模式菌株的最适 pH 范围窄 (pH 为 5~11)。苯醚甲环唑对 CX-3、HNWB-131、HNWB-185 菌株的菌丝生长抑制作用最好, EC_{50} 分别为 0.39、0.58 和 0.52 $\mu\text{g/mL}$; 其次为丙环唑, EC_{50} 分别为 0.79、1.97 和 1.64 $\mu\text{g/mL}$, 表明 2 种新月弯孢变种对药剂的敏感性比模式菌株差。

关键词: 新月弯孢; 变种; 生物学特性; 药剂敏感性; 比较

Biological characteristics of fungal pathogen *Curvularia lunata* varieties and its sensitivity to fungicides

CHANG Jiaying¹ TIAN Lanzhi¹ LIU Shusen¹ SHI Jie^{1*} YANG Wenxiang^{2*} GUO Ning¹

(1. Integrated Pest Management Centre of Hebei Province; Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Plant Protection Institute, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Baoding 071000, Hebei Province, China; 2. College of Plant Protection, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei Province, China)

Abstract: To clarify the occurrence and epidemics of *Curvularia* leaf spot and for its effective control, the biological characteristics of fungal pathogen *Curvularia lunata* var. HNWB-131, HNWB-185 and model *C. lunata* CX-3 were studied under different carbon and nitrogen sources, temperatures, pH values and light conditions, and their susceptibility to fungicides was determined by using the mycelial growth rate method. The results showed that the *C. lunata* var. HNWB-131 and HNWB-185 were more sensitive to carbon and nitrogen utilization. Their mycelia were white to black on most carbon and nitrogen sources, which was different from dark green of model *C. lunata* CX-3. The optimum temperature for mycelium growth and sporulation of *C. lunata* var. HNWB-131 and HNWB-185 was 30℃, which was different from that of model *C. lunata* CX-3 at 30℃ and 35℃, respectively. *C. lunata* var. HNWB-131 and HNWB-185 were more sensitive to light conditions and dark conditions had a stimulatory effect on their conidial production. The optimum range of pH value (7–11) for mycelium growth was narrower than that of model *C. lunata* (pH 5–11). The fungicide sensitivity test showed that difenoconazole

基金项目: 河北省重点研发计划(20326501D), 国家现代农业(玉米)产业技术体系(CARS-02)

* 通信作者 (Authors for correspondence), E-mail: shij99@163.com, wenxiangyang2003@163.com

收稿日期: 2019-08-08

had the best inhibitory effect on the mycelial growth of three strains (CX-3, HNWB-131, and HNWB-185), with an EC_{50} value of 0.39, 0.58 and 0.52 $\mu\text{g/mL}$, respectively, followed by propiconazole, with an EC_{50} value of 0.79, 1.97 and 1.64 $\mu\text{g/mL}$, respectively. Additionally, the *C. lunata* variants were more sensitive to fungicides than to the model strain.

Key words: *Curvularia lunata*; variety; biological characteristics; fungicide sensitivity; comparison

玉米弯孢叶斑病是我国玉米生产上的重要叶部病害,主要分布在辽宁(吕国忠等,1997)、北京(戴法超等,1995)、天津、河北、河南、山东、四川、陕西等省市(王晓鸣等,2003;李富华等,2004)。玉米弯孢叶斑病由多种弯孢属病原菌引起,包括新月弯孢 *Curvularia lunata*、画眉草弯孢 *C. eragrostidis*、棒状弯孢 *C. clavata*、苍白弯孢 *C. pallescens*、间型弯孢 *C. intermedia* 等多种弯孢属病原菌,目前在我国引起弯孢叶斑病的优势病原菌为新月弯孢(石洁等,2000;李黎,2013,刘群,2015)。Chang et al.(2020)研究发现,近年来引起黄淮海地区玉米弯孢叶斑病的主要病原菌为新月弯孢变种 *C. lunata* var.,其在分生孢子形态上不具备第3个细胞明显膨大导致弯曲的特性,与新月弯孢模式菌株 CX-3 存在明显差异。目前对于新月弯孢变种的基本特性了解较少,这给该病原菌的防治带来不便。在生物学特性和对药剂敏感性方面明确新月弯孢变种菌株与模式菌株的差异对于该病原菌的防治具有重要意义。

新月弯孢易受环境等外界因素的影响,不同致病型菌株之间甚至相同致病型菌株在不同培养条件下均存在明显的生理分化(龚国淑等,2005;张欣芳等,2010),如高颖等(2009)研究结果表明,新月弯孢菌不同致病型菌株的最适碳氮源和 pH 值不同,但最适温度和光照条件相同;隋鹤等(2010)对继代培养的新月弯孢菌株进行致病性和生物学特性测定,发现其致病性存在分化,同时生物学特性也存在一定差异;李晓宇等(2002)和刘飞等(2008)分别对弯孢属不同种的菌株进行生物学特性测定,结果表明不同条件下弯孢属不同种的菌株之间存在一定差异。新月弯孢的分生孢子形态、分隔、分生孢子壁和颜色等形态特征上有较大差异,且易受环境等因素影响(窦艳萍等,2006;窦艳萍和金庆超,2007;鄢洪海等,2009)。本课题组 2013—2018 年对黄淮海地区的玉米弯孢叶斑病病原菌进行了监测,结果显示引起黄淮海地区玉米弯孢叶斑病的优势病原菌为新月弯孢变种,其病原菌分生孢子形态发生了明显变化,且其与分生孢子形态形成和致病性相关的基因 *Clg2p* 和 *ClUrase* 表达量也显著降低(Chang et al.,

2020)。常佳迎等(2019)对 2016—2017 年自黄淮海地区采集并分离的 175 株新月弯孢变种的遗传多样性进行了分析,结果表明同一地区的菌株在不同年度间表现出一定的遗传距离,而同一年份不同地区的菌株遗传距离较近,推测其初侵染源不是本地菌源。因此,进一步研究新月弯孢变种的生物学特性,对明确其初侵染来源具有指导意义。

20 世纪初,主要采用福美双、代森锰锌、多菌灵、百菌清、退菌特、粉锈宁、烯唑醇、扑海因等药剂防治玉米弯孢病菌,如刁毅(2004)研究表明,代森锰锌对病原菌孢子萌发和芽管伸长的抑制作用最强,其致死中浓度最低,而苯醚甲环唑对其菌丝生长的抑制作用最强,代森锰锌的田间防治效果最好,其次是世高。近年来一些新型药剂被用于防治玉米弯孢病菌,如甘林(2017)等测定了 13 种杀菌剂对新月弯孢的毒力,其中丙环唑和吡唑醚菌酯对其孢子萌发的抑制作用最好。目前田间生产中针对玉米弯孢叶斑病的防治仍然以化学药剂为主,多年来田间化学药剂的使用对新月弯孢变种有无影响以及新月弯孢变种对药剂的是否敏感性均不清楚。为明确新月弯孢变种菌株与模式菌株的差异,本研究以 2 株新月弯孢变种代表菌株 HNWB-131、HNWB-185 和 1 株模式新月弯孢菌株 CX-3 为研究对象,在室内观察其形态特征,比较碳源、氮源、温度、光照、pH 因素对模式菌株和变种菌株的影响差异,并测定这 2 种菌株对近年来生产中广泛使用的 5 种药剂——苯醚甲环唑、丙环唑、醚菌酯、吡唑醚菌酯、甲基硫菌灵的敏感性,以期为进一步探讨新月弯孢变种的变异和致病机制奠定基础,同时为该病原菌的防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株:新月弯孢模式菌株 CX-3,由上海交通大学陈捷教授提供;新月弯孢变种弱致病性菌株 HNWB-131 和强致病性菌株 HNWB-185,由河北省农林科学院植物保护研究所玉米综合防治课题组保存提供。

培养基:马铃薯葡萄糖琼脂(potato dextrose

agar, PDA)培养基:马铃薯 200 g、葡萄糖 20 g、琼脂 18 g、蒸馏水 1 L;察氏培养基:蔗糖 30 g、 NaNO_3 0.5 g、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g、KCl 0.5 g、 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.01 g、 K_2HPO_4 1 g、琼脂 18 g、蒸馏水 1 L, pH 为 7.3。

供试药剂:99%丙环唑(propiconazole)原药、98%苯醚甲环唑(difenoconazole)原药,先正达(中国)投资有限公司;98.3%醚菌酯(kresoxim-methyl)原药、96.8%吡唑醚菌酯(pyraclostrobin)原药、98%甲基硫菌灵(thiophanatemethyl)原药,天津汉邦植物保护剂有限责任公司。

试剂及仪器:试剂均为国产分析纯。MJX-450 霉菌培养箱,宁波海曙赛福实验仪器厂;血球计数板,德国Marienfeld公司;AX10显微镜,德国蔡司公司。

1.2 方法

1.2.1 菌落形态和分生孢子形态观察

将CX-3、HNWB-131和HNWB-185三株菌株接至PDA平板上于30℃培养3 d后,采用内径为5 mm打孔器在菌落边缘打取菌饼,接种到PDA平板上,30℃培养5 d后,对菌落形态进行拍照记录,然后刮取分生孢子,在显微镜下观察孢子形态,每株菌株观察5个视野,每个视野观察50个分生孢子,并拍照记录。

1.2.2 碳源对新月弯孢变种的影响试验

以察氏培养基为基础培养基,分别以葡萄糖、果糖、半乳糖、麦芽糖和可溶性淀粉代替基础培养基中的蔗糖制成不同的碳源培养基。将CX-3、HNWB-131和HNWB-185菌株分别在PDA平板上于28℃全黑暗培养4 d,用灭菌内径为5 mm打孔器在菌落边缘打取菌饼,菌丝面朝下分别转接到不同碳源培养基上,于28℃霉菌培养箱中全黑暗培养,每个处理3次重复,5 d后用十字交叉法测量菌落直径(薛德胜等,2019),拍照记录菌落颜色以及气生菌丝密度;用内径10 mm的打孔器在每株菌株的不同碳源培养基上打取2个菌饼,置于10 mL离心管中,用3 mL无菌水将孢子充分冲洗,涡旋振荡,使分生孢子充分悬浮于无菌水中,用血球计数板镜检产孢量(吴恩果等,2020),每个处理3次重复。

在培养CX-3、HNWB-131和HNWB-185菌株的PDA平板上加入无菌水,使用灭菌载玻片刮取培养基,3层纱布过滤收集菌株的分生孢子,将3株菌株的分生孢子分别制成浓度为 1×10^5 个/mL的孢子悬浮液,分别涂布于不同碳源培养基上,于28℃霉菌培养箱中全黑暗培养4 h后,在显微镜下随机选取5个视野,计数每个视野的孢子总数和萌发的孢子数,每个处理3次重复。根据萌发的孢子数,计算分生孢

子萌发率,分生孢子萌发率=萌发的孢子个数/计数的全部孢子总数 $\times 100\%$ 。

1.2.3 氮源对新月弯孢变种的影响试验

以察氏培养基为基础培养基,分别以硫酸铵、氯化铵、尿素、甘氨酸、硝酸铵和脯氨酸代替基础培养基中的硝酸钠制成不同的氮源培养基。菌落直径、菌落颜色、气生菌丝密度、产孢量和分生孢子萌发率的测定方法均同1.2.2。

1.2.4 温度对新月弯孢变种的影响试验

将CX-3、HNWB-131和HNWB-185菌株在PDA平板上于28℃全黑暗培养4 d,用内径为5 mm打孔器分别在菌株菌落边缘打取菌饼,将菌饼分别置于5、10、15、20、25、30、35和40℃温度下全黑暗培养5 d后测定菌落直径、产孢量,计算分生孢子萌发率,方法均同1.2.2。

1.2.5 光照对新月弯孢变种的影响试验

将CX-3、HNWB-131和HNWB-185菌株在PDA平板上于28℃全黑暗培养4 d,采用内径为5 mm打孔器在菌落边缘打取菌饼,置于新的PDA培养基上,于30℃条件下分别于24 h黑暗、24 h光照、12 L:12 D三种光照条件下培养5 d后测定菌落直径、产孢量,计算分生孢子萌发率,方法均同1.2.2,每个处理重复3次。

1.2.6 pH对新月弯孢变种的影响试验

采用浓度为1 mol/L的NaOH和HCl溶液将PDA培养基pH分别调至3、4、5、6、7、8、9、10、11和12。将直径为5 mm的菌饼菌丝面朝下置于不同pH的PDA平板中央,28℃全黑暗培养5 d后测量菌落直径、产孢量,计算分生孢子萌发率,方法均同1.2.2,每个处理3次重复。

1.2.7 新月弯孢变种对药剂的敏感性分析

参照陈年春(1991)方法测定丙环唑、苯醚甲环唑、醚菌酯、吡唑醚菌酯、甲基硫菌灵5种药剂对新月弯孢变种的毒力。用丙酮将丙环唑、苯醚甲环唑、醚菌酯、吡唑醚菌酯、甲基硫菌灵5种药剂原药溶解,配制成浓度为10 000 mg/L的母液,依次将5种药剂的母液用丙酮稀释成不同浓度的药液,丙环唑和苯醚甲环唑浓度均分别为1、5、10、50和100 mg/L;醚菌酯和甲基硫菌灵浓度均分别为10、100、500、1 000和5 000 mg/L;吡唑醚菌酯浓度分别为0.1、0.5、1、5、10、25和50 mg/L,于4℃冰箱贮藏备用。每个三角瓶中放置PDA培养基99 mL后,分别加入1 mL不同浓度的5种药液,制成不同浓度的含药PDA平板,以加入等量1%丙酮溶液为对照。采用

菌丝生长速率法测定新月弯孢变种 HNWB-131、HNWB-185 及模式菌株 CX-3 三株菌株的室内毒力。自 PDA 平板上用内径为 5 mm 打孔器在每株菌落边缘打取菌饼,菌丝面朝下分别置于不同浓度含药培养皿中央,每个药剂浓度 3 次重复,培养皿置于 28℃ 霉菌培养箱中,全黑暗条件下培养,待对照菌落长满培养皿时,采用十字交叉法测量不同药剂各浓度的菌落直径,并计算抑制率,抑制率=(对照菌落增长直径-含药培养基上菌落增长直径)/对照菌落增长直径×100%。以药剂浓度对数为 x 、抑制率对应的概率值为 y 进行回归分析,得到毒力回归方程、相关系数 r 及有效抑制中浓度 EC_{50} 。

1.3 数据分析

采用 SPSS 21.0 软件对试验数据进行统计分析,应用 Duncan 氏新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 新月弯孢变种菌落和分生孢子形态

在 PDA 平板上,新月弯孢模式菌株 CX-3 的气生菌丝少,菌落颜色为墨绿色至黑色(图 1-A),新月弯孢变种菌株 HNWB-131 和 HNWB-185 的气生菌丝较多,菌落颜色为黄褐色至灰白色(图 1-B~C);新月弯孢模式菌株 CX-3 的分生孢子第 3 个细胞膨大,导致弯曲(图 1-D);新月弯孢变种 HNWB-131 和 HNWB-185 的分生孢子为梭形,未见细胞明显的膨大(图 1-E~F)。

2.2 碳源对新月弯孢变种的影响

新月弯孢变种菌株 HNWB-131、HNWB-185 和模式菌株 CX-3 均对麦芽糖的利用率较高,菌落直径分别为 5.75、5.90 和 5.88 cm(图 2-A)。在不同碳源

培养基上,2 株新月弯孢变种菌株比模式菌株菌落颜色浅,但 3 株菌株气生菌丝密度之间无明显差异(表 1)。3 株菌株均在可溶性淀粉上产孢量最高,分别为 9.20×10^5 、 1.37×10^6 和 4.05×10^6 个/mL,且模式菌株的产孢量显著高于变种菌株的产孢量($P<0.05$,表 2)。3 株菌株均在麦芽糖上的分生孢子萌发率最高,分别为 91.84%、82.41% 和 90.46%,且 2 株变种菌株的分生孢子萌发率之间差异显著($P<0.05$),但与模式菌株的分生孢子萌发率之间差异不显著(表 2)。

2.3 氮源对新月弯孢变种的影响

新月弯孢变种菌株 HNWB-131、HNWB-185 和模式菌株 CX-3 均对甘氨酸和脯氨酸有机氮的利用率较高,菌落直径分别为 5.27、5.10、6.06 cm 和 5.22、4.98、5.76 cm(图 2-B)。在硫酸铵、氯化铵、硝酸铵上,2 株变种菌株的菌落颜色和气生菌丝浓密与模式菌株 CX-3 无明显差异,但在其它氮源上,模式菌株 CX-3 的菌丝颜色较深,为灰绿色至墨绿色,无气生菌丝,但变种菌株 HNWB-131 和 HNWB-185 的菌丝为灰白色至浅灰色,气生菌丝较浓密(表 3)。HNWB-131、HNWB-185 和 CX-3 菌株分别在尿素、脯氨酸和甘氨酸上产孢量较高,分别为 3.55×10^6 、 4.97×10^6 和 5.10×10^6 个/mL(表 2)。新月弯孢变种菌株和模式菌株均在甘氨酸和脯氨酸有机氮源上的分生孢子萌发率较高,但 3 株菌株之间存在一定差异,菌株 CX-3、HNWB-131 和 HNWB-185 在甘氨酸上的分生孢子萌发率分别为 81.36%、82.39% 和 77.15%,前两者之间差异不显著,但均显著高于后者($P<0.05$),3 株菌株在脯氨酸上的分生孢子萌发率分别为 81.30%、85.16% 和 77.62%,三者之间差异显著($P<0.05$,表 2)。

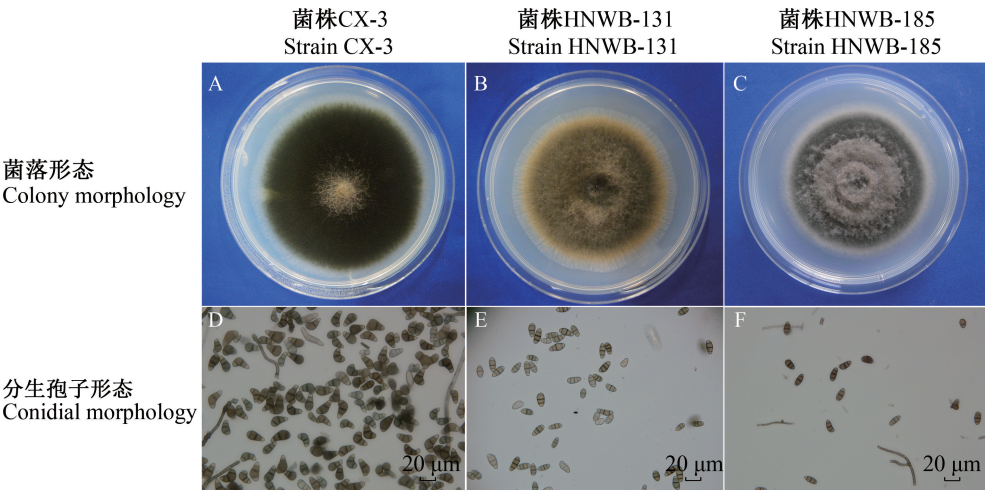


图1 新月弯孢菌株在 PDA 培养基上的菌落形态和分生孢子形态
Fig. 1 Colony and conidial morphology of *Curvularia lunata* strains on the PDA medium

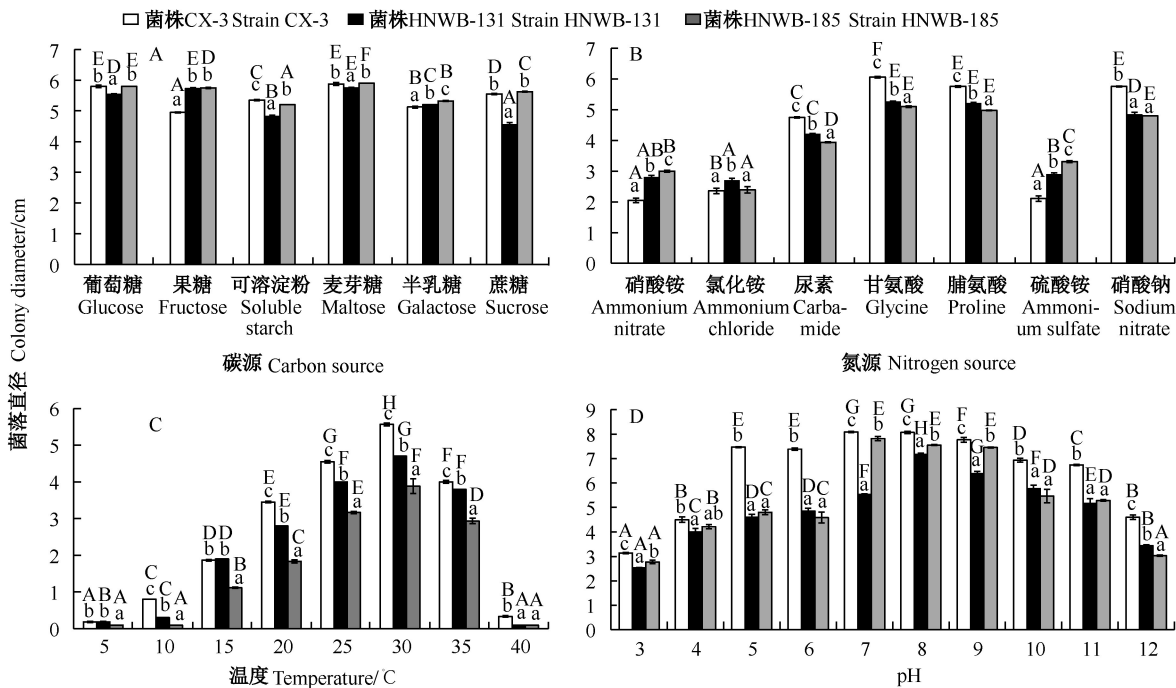


图2 碳源(A)、氮源(B)、温度(C)和pH(D)对新月弯孢菌株CX-3、HNWB-131和HNWB-185菌落直径的影响
Fig. 2 Effects of carbon sources (A), nitrogen sources (B), temperature (C) and pH (D) on colony diameter of *Curvularia lunata* strains CX-3, HNWB-131 and HNWB-185

图中数据为平均数±标准误。同色柱上不同大写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著;同系列不同小写字母表示同处理不同菌株之间经Duncan氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different uppercase letters on the bars of the same color indicate significant difference at the $P<0.05$ level by Duncan's new multiple rang test; different lowercase letters in the same series indicate significant difference of different strains among different treatments at the $P<0.05$ level by Duncan's new multiple rang test.

表1 碳源对新月弯孢菌株CX-3、HNWB-131和HNWB-185菌落颜色和气生菌丝密度的影响
Table 1 Effects of carbon source on colony color and aerial mycelial density of *Curvularia lunata* strains CX-3, HNWB-131 and HNWB-185

碳源 Carbon source	菌落颜色 Colony color			气生菌丝密度 Aerial mycelial density		
	菌株 CX-3 Strain CX-3	菌株 HNWB-131 Strain HNWB-131	菌株 HNWB-185 Strain HNWB-185	菌株 CX-3 Strain CX-3	菌株 HNWB-131 Strain HNWB-131	菌株 HNWB-185 Strain HNWB-185
果糖 Fructose	黑 Black	中心黑,边缘白色 Black center, white edge	中心黑,边缘白色 Black center, white edge	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse
葡萄糖 Glucose	黑 Black	中心黑,边缘白色 Black center, white edge	中心黑,边缘白色 Black center, white edge	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse
半乳糖 Galactose	黑 Black	中心黑,边缘白色 Black center, white edge	中心黑,边缘白色 Black center, white edge	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse
蔗糖 Sucrose	黑 Black	墨绿色 Dark green	中心黑,边缘白色 Black center, white edge	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse
麦芽糖 Maltose	黑 Black	中心黑,边缘白色 Black center, white edge	中心黑,边缘白色 Black center, white edge	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse
可溶性淀粉 Soluble starch	墨绿色 Dark green	墨绿色 Dark green	墨绿色 Dark green	较浓密 Somewhat thick	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse

表2 培养条件对菌株 CX-3、HNWB-131 和 HNWB-185 产孢量和分生孢子萌发率的影响

Table 2 Effects of culture conditions on the sporulation and conidial germination rate of strains CX-3, HNWB-131 and HNWB-185

培养条件 Culture condition		产孢量 Sporulation /($\times 10^6$ 个/mL)			分生孢子萌发率 Conidial germination rate/%		
		菌株 CX-3 Strain CX-3	菌株 HNWB-131	菌株 HNWB-185	菌株 CX-3 Strain CX-3	菌株 HNWB-131	菌株 HNWB-185
			Strain HNWB-131	Strain HNWB-185		Strain HNWB-131	Strain HNWB-185
碳源 Carbon source	蔗糖 Sucrose	0.07 $\pm$ 0.01 Ac	0.04 $\pm$ 0.01 Ab	0.01 $\pm$ 0.00 Aa	24.52 $\pm$ 1.31 Aa	82.83 $\pm$ 2.57 ABc	65.36 $\pm$ 2.38 Bb
	可溶性淀粉 Soluble starch	4.05 $\pm$ 0.31 Bb	0.92 $\pm$ 0.08 Ba	1.37 $\pm$ 0.17 Ba	72.93 $\pm$ 4.37 Ca	76.28 $\pm$ 3.34 Aa	67.08 $\pm$ 2.87 Ba
	麦芽糖 Maltose	0.05 $\pm$ 0.01 Ab	0.02 $\pm$ 0.00 Aa	0.01 $\pm$ 0.00 Aa	90.46 $\pm$ 2.22 Dab	91.84 $\pm$ 2.50 Cb	82.41 $\pm$ 3.24 Ca
	果糖 Fructose	0.13 $\pm$ 0.03 Ab	0.07 $\pm$ 0.02 Aa	0.02 $\pm$ 0.00 Aa	24.81 $\pm$ 2.69 Aa	90.59 $\pm$ 1.61 Cb	26.19 $\pm$ 2.88 Aa
	葡萄糖 Glucose	0.16 $\pm$ 0.03 Ab	0.02 $\pm$ 0.01 Aa	0.01 $\pm$ 0.00 Aa	56.74 $\pm$ 3.43 Ba	87.74 $\pm$ 1.51 BCb	64.35 $\pm$ 3.66 Ba
	半乳糖 Galactose	0.07 $\pm$ 0.01 Ab	0.01 $\pm$ 0.00 Aa	0.01 $\pm$ 0.00 Aa	72.35 $\pm$ 4.03 Ca	89.70 $\pm$ 1.78 BCb	63.15 $\pm$ 3.90 Ba
	脯氨酸 Proline	3.50 $\pm$ 0.15 Cb	0.92 $\pm$ 0.07 Ca	4.97 $\pm$ 0.09 Dc	81.30 $\pm$ 0.57 Cb	85.16 $\pm$ 1.58 ABc	77.62 $\pm$ 0.19 Ba
氮源 Nitro- gen source	甘氨酸 Glycine	5.10 $\pm$ 0.14 Dc	0.18 $\pm$ 0.00 Ba	4.27 $\pm$ 0.34 Cb	81.36 $\pm$ 0.38 Cb	82.39 $\pm$ 1.09 ABb	77.15 $\pm$ 1.53 Ba
	硝酸铵 Ammonium nitrate	0.19 $\pm$ 0.01 Ac	0.02 $\pm$ 0.00 Aa	0.07 $\pm$ 0.01 Ab	75.20 $\pm$ 1.21 Ba	85.69 $\pm$ 0.54 ABb	75.29 $\pm$ 1.01 Ba
	尿素 Carbamide	2.87 $\pm$ 0.12 Bb	3.55 $\pm$ 0.08 Dc	2.20 $\pm$ 0.10 Ba	43.81 $\pm$ 2.02 Aa	81.19 $\pm$ 0.62 Ac	65.16 $\pm$ 3.19 Ab
	硫酸铵 Ammonium	0.27 $\pm$ 0.02 Ab	0.04 $\pm$ 0.00 Aa	0.02 $\pm$ 0.00 Aa	77.04 $\pm$ 0.75 Ba	86.74 $\pm$ 2.27 Bb	75.50 $\pm$ 0.79 Ba
	硝酸钠 Sodium nitrate	2.72 $\pm$ 0.03 Bc	1.45 $\pm$ 0.05 Da	2.13 $\pm$ 0.16 Bb	81.47 $\pm$ 0.32 Cb	86.53 $\pm$ 0.26 Bc	74.91 $\pm$ 1.81 Ba
	氯化铵 Ammonium Chloride	0.14 $\pm$ 0.01 Ab	0.01 $\pm$ 0.00 Aa	0.01 $\pm$ 0.00 Aa	73.74 $\pm$ 1.43 Ba	84.86 $\pm$ 2.18 ABb	76.67 $\pm$ 1.39 Ba
温度/℃ Tempe- rature	5	0.00 $\pm$ 0.00 Aa	0.00 $\pm$ 0.00 Aa	0.00 $\pm$ 0.00 Aa	4.29 $\pm$ 0.81 Ab	3.55 $\pm$ 0.62 Aab	2.82 $\pm$ 0.86 Aa
	10	1.83 $\pm$ 0.17 Bb	0.17 $\pm$ 0.84 Ba	0.33 $\pm$ 0.08 Ba	20.61 $\pm$ 1.89 Cb	19.07 $\pm$ 0.85 Cb	15.28 $\pm$ 0.82 Ca
	15	3.57 $\pm$ 0.13 Db	0.25 $\pm$ 0.00 Ba	0.42 $\pm$ 0.08 Ba	45.22 $\pm$ 3.27 Db	34.37 $\pm$ 2.56 Da	32.87 $\pm$ 1.96 Da
	20	3.95 $\pm$ 0.31 DEb	0.73 $\pm$ 0.44 Ca	0.87 $\pm$ 0.02 Ca	53.26 $\pm$ 1.52 Eb	48.17 $\pm$ 1.61 Ea	47.92 $\pm$ 1.69 Ea
	25	4.27 $\pm$ 0.19 Eb	0.80 $\pm$ 0.29 Ca	0.98 $\pm$ 0.02 Ca	87.06 $\pm$ 2.07 Gc	72.67 $\pm$ 1.50 Fb	69.75 $\pm$ 1.27 Fa
	30	4.22 $\pm$ 0.09 Eb	2.97 $\pm$ 0.44 Fa	3.50 $\pm$ 0.29 Fa	95.69 $\pm$ 1.44 Hb	90.30 $\pm$ 1.73 Ha	88.44 $\pm$ 1.42 Ha
	35	5.33 $\pm$ 0.28 Fb	2.72 $\pm$ 0.17 Ea	2.37 $\pm$ 0.02 Ea	82.79 $\pm$ 1.54 Fc	80.42 $\pm$ 0.95 Gb	77.35 $\pm$ 1.77 Ga
	40	2.63 $\pm$ 0.03 Cc	1.43 $\pm$ 0.17 Da	1.80 $\pm$ 0.03 Db	11.88 $\pm$ 1.70 Bb	10.31 $\pm$ 0.69 Ba	9.90 $\pm$ 0.82 Ba
	pH 3	1.38 $\pm$ 0.06 Aa	1.15 $\pm$ 0.15 Aa	1.82 $\pm$ 0.09 ABb	12.00 $\pm$ 1.41 Aa	37.20 $\pm$ 1.02 Ac	28.95 $\pm$ 1.20 Ab
	4	2.08 $\pm$ 0.10 Bb	1.20 $\pm$ 0.19 Aa	2.30 $\pm$ 0.13 Bb	12.40 $\pm$ 0.75 Aa	46.80 $\pm$ 1.02 Bc	39.16 $\pm$ 2.86 Bb
	5	2.53 $\pm$ 0.15 BCDB	1.45 $\pm$ 0.32 Aa	3.08 $\pm$ 0.12 Cc	16.00 $\pm$ 1.90 Aa	74.40 $\pm$ 3.43 Cc	59.79 $\pm$ 3.32 Db
	6	2.90 $\pm$ 0.17 CDb	2.03 $\pm$ 0.12 Ba	3.12 $\pm$ 0.29 Cb	31.60 $\pm$ 4.07 BCa	82.00 $\pm$ 2.61 Db	76.46 $\pm$ 2.67 Eb
光照 条件 Light condi- tion	7	5.33 $\pm$ 0.47 Eb	3.20 $\pm$ 0.15 Ca	3.45 $\pm$ 0.38 Ca	83.20 $\pm$ 3.38 Ea	95.60 $\pm$ 1.72 Eb	91.52 $\pm$ 1.73 Fb
	8	5.60 $\pm$ 0.28 Eb	3.48 $\pm$ 0.12 Ca	3.47 $\pm$ 0.30 Ca	80.80 $\pm$ 1.50 Ea	94.40 $\pm$ 1.17 Eb	76.65 $\pm$ 2.26 Ea
	9	5.12 $\pm$ 0.27 Eb	2.45 $\pm$ 0.08 Ba	2.23 $\pm$ 0.14 Ba	72.80 $\pm$ 4.45 Db	86.40 $\pm$ 1.94 Dc	46.80 $\pm$ 2.42 Ca
	10	5.2 $\pm$ 0.24 Eb	1.50 $\pm$ 0.20 Aa	1.77 $\pm$ 0.12 ABa	68.40 $\pm$ 2.86 Db	76.40 $\pm$ 1.60 Cb	41.60 $\pm$ 3.25 BCa
	11	3.22 $\pm$ 0.18 Dc	1.12 $\pm$ 0.09 Aa	1.65 $\pm$ 0.06 ABb	39.20 $\pm$ 2.42 Cb	48.80 $\pm$ 2.15 Bc	32.40 $\pm$ 1.17 Aa
	12	2.23 $\pm$ 0.09 BCb	1.08 $\pm$ 0.07 Aa	1.37 $\pm$ 0.10 Aa	29.20 $\pm$ 1.62 Ba	38.00 $\pm$ 1.41 Ab	27.60 $\pm$ 1.47 Aa
	24 h 黑暗 24 h dark	3.51 $\pm$ 0.39 Aa	2.79 $\pm$ 0.44 Ba	2.51 $\pm$ 0.20 Ba	75.23 $\pm$ 1.49 Aa	90.22 $\pm$ 0.84 Bc	81.96 $\pm$ 1.86 Cb
	12 L:12 D	3.25 $\pm$ 0.33 Ab	1.03 $\pm$ 0.06 Ba	1.65 $\pm$ 0.23 Aa	73.97 $\pm$ 2.13 Ab	68.40 $\pm$ 6.09 Aab	58.35 $\pm$ 1.38 Aa
	24 h 光照 24 h light	4.19 $\pm$ 0.50 Ab	0.70 $\pm$ 0.19 Aa	1.23 $\pm$ 0.27 Aa	72.62 $\pm$ 3.26 Aa	86.39 $\pm$ 1.45 Bb	69.59 $\pm$ 1.59 Ba

表中数据为平均数 $\pm$ 标准差。同列不同大写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著; 同行不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean $\pm$ SD. Different uppercase letters in the same column indicate significant difference at the $P<0.05$ level by Duncan's new multiple rang test; different lowercase letters in the same row indicate significant difference at the $P<0.05$ level by Duncan's new multiple rang test.

表3 氮源对新月弯孢菌株CX-3、HNWB-131和HNWB-185菌落颜色和气生菌丝密度的影响
Table 3 Effects of nitrogen source on colony color and aerial mycelial density of *Curvularia lunata* strains CX-3, HNWB-131 and HNWB-185

氮源 Nitrogen source	菌落颜色 Colony color			气生菌丝密度 Aerial mycelial density		
	菌株 CX-3	菌株 HNWB-131	菌株 HNWB-185	菌株 CX-3	菌株 HNWB-131	菌株 HNWB-185
	Strain CX-3	Strain HNWB-131	Strain HNWB-185	Strain CX-3	Strain HNWB-131	Strain HNWB-185
硝酸钠 Sodium nitrate	墨绿色 Dark green	浅灰色 Light grey	墨绿色 Dark green	无 None	稀疏 Sparse	稀疏 Sparse
脯氨酸 Proline	中心墨绿色,边缘微发白 Dark green center, slight white edge	浅灰色 Light grey	灰绿色 Sage green	无 None	稀疏 Sparse	较浓密 Somewhat thick
尿素 Carbamide	墨绿色 Dark green	白色 White	灰白色 Off white	无 None	无 None	稀疏 Sparse
甘氨酸 Glycine	灰绿色 Sage green	灰白色 Off white	灰白色 Off white	无 None	浓密 Thick	浓密 Thick
硫酸铵 Ammonium persulfate	白色 White	白色 White	白色 White	无 None	无 None	无 None
氯化铵 Ammonium chloride	白色 White	白色 White	白色 White	无 None	无 None	无 None
硝酸铵 Ammonium nitrate	白色 White	白色 White	白色 White	无 None	无 None	无 None

2.4 温度对新月弯孢变种的影响

当温度为 30℃ 时, HNWB-131、HNWB-185 和 CX-3 菌株的菌丝生长最快, 菌落直径分别为 3.88、4.70 和 5.57 cm, 三者之间差异显著 ($P<0.05$, 图 2-C)。当温度为 30℃ 时, 新月弯孢变种菌株 HNWB-131 和 HNWB-185 产孢量最大, 分别为 2.97×10^6 个/mL 和 3.50×10^6 个/mL, 两者之间差异不显著, 但均显著低于模式菌株的产孢量 ($P<0.05$); 当温度为 35℃ 时, 模式菌株 CX-3 的产孢量最大, 为 5.33×10^6 个/mL (表 2)。表明变种菌株和模式菌株分生孢子产生的最适温度存在一定差异, 模式菌株适宜的产孢温度为 35℃, 而变种菌株适宜的产孢温度为 30℃; 相同温度条件下, 模式菌株比变种菌株的产孢量大。

在 5~40℃ 温度条件下, 新月弯孢变种和模式菌株的分生孢子均可萌发, 但在 30℃ 条件下菌株 CX-3、HNWB-131 和 HNWB-185 的分生孢子萌发率最高, 分别为 95.69%、90.30% 和 88.44%, 2 株变种菌株的分生孢子萌发率之间差异不显著, 但均显著低于模式菌株的分生孢子萌发率 ($P<0.05$, 表 2)。

2.5 光照对新月弯孢变种的影响

在 24 h 光照条件下, 新月弯孢变种菌株 HNWB-131、HNWB-185 和模式菌株 CX-3 菌丝均生长最快, 菌落直径分别为 6.60、6.85 和 7.02 cm, 且 2 株变种菌株的菌落直径均显著高于其它光照条件下的菌落直径 ($P<0.05$); 在相同光照条件下, 模式菌株的菌落直径均显著高于变种菌株的菌落直径 ($P<0.05$), 表明光照对新月弯孢菌株菌丝生长有一定刺激作用(图 3)。

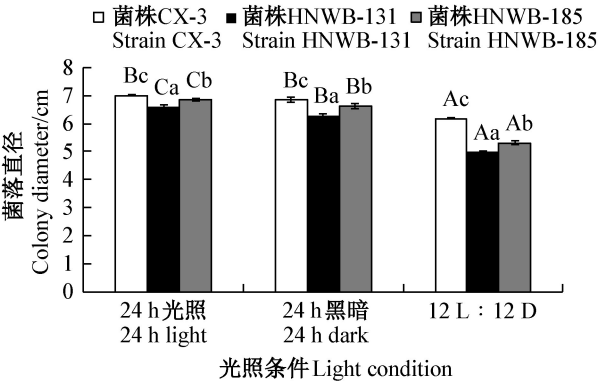


图3 不同光照条件对新月弯孢菌株CX-3、HNWB-131和HNWB-185菌落直径的影响

Fig. 3 Effects of different light conditions on mycelial growth of *Curvularia lunata* strains CX-3, HNWB-131 and HNWB-185

图中数据为平均数±标准误。同色柱上不同大写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著; 同系列不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。Data are mean±SE. Different uppercase letters on the bars of the same color indicate significant difference at the $P<0.05$ level by Duncan's new multiple rang test; different lowercase letters in the same series indicate significant difference at the $P<0.05$ level by Duncan's new multiple rang test.

在 24 h 光照和 12 L: 12 D 条件下, 2 株新月弯孢变种 HNWB-131 和 HNWB-185 的产孢量分别为 7.00×10^5 、 1.23×10^6 个/mL 和 1.03×10^6 、 1.65×10^6 个/mL, 均显著低于模式菌株的产孢量 ($P<0.05$); 在不同光照条件下, 新月弯孢变种 HNWB-131 和 HNWB-185

均在24 h光照条件下的产孢量最少,且显著低于24 h黑暗条件下的产孢量($P<0.05$),但模式菌株在3个光照条件下无显著差异。新月弯孢变种菌株HNWB-131和HNWB-185在12 L:12 D条件下的分生孢子萌发率分别为68.40%和58.35%,均显著低于24 h光照和24 h黑暗条件下的分生孢子萌发率($P<0.05$),但模式菌株在不同光照条件下无显著差异;在24 h黑暗条件下,模式菌株的分生孢子萌发率均显著低于2株变种菌株的分生孢子萌发率($P<0.05$),表明黑暗条件对新月弯孢变种菌株分生孢子的产生和萌发有刺激作用(表2)。

2.6 pH对新月弯孢变种的影响

在相同pH的培养基上,新月弯孢变种菌株HNWB-131和HNWB-185比模式菌株CX-3的菌丝生长慢。2株新月弯孢变种菌株均在pH为7~9的培养基上生长良好,而在pH为3~6的培养基上生长较慢;模式菌株CX-3在pH 5~11的培养基上生长良好,表明新月弯孢变种菌株菌丝生长pH范围较窄(图2-D)。

在pH为7和8的培养基上,新月弯孢变种菌株HNWB-131、HNWB-185和模式菌株CX-3的产孢量均达到最大值,分别为 3.20×10^6 、 3.45×10^6 、 $5.33\times$

10^6 个/mL和 3.48×10^6 、 3.47×10^6 、 5.60×10^6 个/mL,且变种菌株的产孢量显著低于模式菌株的产孢量($P<0.05$,表2);在相同pH培养基上,新月弯孢变种菌株的产孢量大部分显著低于模式菌株的产孢量($P<0.05$)。在pH为7和8的培养基上,新月弯孢变种菌株HNWB-131、HNWB-185和模式菌株CX-3的分生孢子萌发率均达到最大值,分别为95.60%、91.52%、83.20%和94.40%、76.65%、80.80%,只有变种菌株HNWB-131的分生孢子萌发率显著高于模式菌株的分生孢子萌发率($P<0.05$);在相同pH时,新月弯孢变种菌株的分生孢子萌发率大部分显著高于模式菌株的分生孢子萌发率($P<0.05$,表2)。

2.7 新月弯孢变种对药剂的敏感性

苯醚甲环唑对新月弯孢变种菌株HNWB-131、HNWB-185和模式菌株CX-3菌丝生长抑制作用最好, EC_{50} 分别为0.58、0.52和0.39 $\mu\text{g/mL}$,且对模式菌株的 EC_{50} 高于对2株变种菌种的 EC_{50} ;其次为丙环唑, EC_{50} 分别为1.97、1.64和0.79 $\mu\text{g/mL}$,且对模式菌株的 EC_{50} 高于其它2株变种菌株,表明新月弯孢模式菌株对药剂更敏感,新月弯孢变种菌株对药剂的敏感性降低;醚菌酯和甲基硫菌灵对3株菌株菌丝生长均无明显抑制作用(表4)。

表4 5种药剂对新月弯孢菌株CX-3、HNWB-131和HNWB-185的毒力回归方程
Table 4 Toxicity regression equations of five fungicides against *Curvularia lunata* strains CX-3, HNWB-131 and HNWB-185

菌株 Strain	药剂 Fungicide	毒力回归方程 Toxicity regression equation	r^2	$EC_{50}/(\mu\text{g/mL})$
CX-3	丙环唑 Propiconazole	$y=1.05x+5.11$	0.98	0.79
	苯醚甲环唑 Difenoconazole	$y=0.65x+5.27$	0.86	0.39
	吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	$y=0.69x+5.00$	0.99	1.00
	醚菌酯 Kresoxim-methyl	—	—	>500.00
	甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	—	—	>1 000.00
HNWB-131	丙环唑 Propiconazole	$y=0.82x+4.76$	0.91	1.97
	苯醚甲环唑 Difenoconazole	$y=0.67x+5.16$	0.97	0.58
	吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	$y=0.55x+4.73$	0.92	3.10
	醚菌酯 Kresoxim-methyl	—	—	>500.00
	甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	—	—	>1 000.00
HNWB-185	丙环唑 Propiconazole	$y=0.81x+4.83$	0.97	1.64
	苯醚甲环唑 Difenoconazole	$y=0.63x+5.18$	0.94	0.52
	吡唑醚菌酯 Pyraclostrobin	$y=0.71x+4.63$	0.92	3.28
	醚菌酯 Kresoxim-methyl	—	—	>500.00
	甲基硫菌灵 Thiophanate-methyl	—	—	>1 000.00

x: 药剂浓度的对数; y: 抑制率对应的概率值。x: Logarithm of fungicide concentration; y: probit converted from inhibition ratio.

3 讨论

近年来,本课题组研究发现黄淮海地区的玉米弯孢叶斑病菌为新月弯孢变种,其分生孢子形态发生明显变化(Chang et al., 2020),因此本研究将其生物学特性和药剂敏感性与新月弯孢模式菌株进行了对比试验,结果表明新月弯孢变种的产孢能力较弱,气生菌丝较浓密,对酸碱性及光照条件更为敏感,但对药剂的敏感性降低,新月弯孢变种和模式菌株对碳、氮源的利用没有明显差别。李晓宇等(2002)对河北省的4种弯孢属菌株进行生物学测定,其中新月弯孢菌丝生长最适温度为25℃,在25~30℃时产孢量达到最大值;高颖等(2009)等对辽宁省的5个不同致病型新月弯孢菌株的生物特性进行比较研究,结果表明不同致病型菌株菌丝生长最适温度为30℃,本研究结果表明2株新月弯孢变种菌株的菌丝生长和产孢最适温度为30℃,与河北省和辽宁省的菌株相似。本研究结果还表明新月弯孢变种菌株的分生孢子产生的最适温度与模式菌株存在差异,前者最适温度为30℃和后者最适温度为35℃,而模式菌株菌丝生长最适温度为30℃,而产孢最适温度为35℃。在黄淮海夏播玉米区,6—7月初,高温、气候干旱,病害不易发生流行,7月中旬—8月上旬进入雨季,因降雨温度有所下降,理论上新月弯孢变种比模式菌株更容易产生分生孢子,并传播流行,因此,应尽快开展新月弯孢变种的流行病学研究,为该病的防控提供依据。

本研究结果发现吡唑醚菌酯对新月弯孢变种菌株和模式菌株有一定的杀菌活性,但醚菌酯对其无杀菌活性。吡唑醚菌酯和醚菌酯均为甲氧基丙烯酸酯类的杀菌剂,主要是通过抑制线粒体的呼吸作用,破坏病原菌的能量合成,从而表现出杀菌活性,但两者的化学结构不同,吡唑醚菌酯是在醚菌酯的基础上研制的一种新型化合物,更广谱(冯小龙, 2016)。近年来,黄淮海部分地区连续出现高温多雨的极端天气,同时玉米弯孢叶斑病发生较重,且部分叶片上的病斑较大,进一步证实玉米弯孢叶斑病菌在高温高湿条件下适宜发生(石洁和王振营, 2011)。本研究结果发现新月弯孢变种的生物学特性发生变化及其对药剂的敏感性降低,表明黄淮海地区引起玉米弯孢叶斑病的新月弯孢变种可能为了适应环境条件而发生变异,进而致使该地区的玉米弯孢叶斑病的严重发生。因此,对于玉米弯孢叶斑病的防治应采取抗性品种和化学药剂的综合防治措施,防止病原

菌进一步变异;同时加强新月弯孢变种的田间检测、品种抗病性鉴定及综合防治方面的研究工作,防止环境条件适宜的年份玉米弯孢叶斑病的大面积发生。

常佳迎等(2019)对黄淮海地区3年的新月弯孢菌株进行遗传多样性分析,结果表明黄淮海地区的新月弯孢不是本地菌源,推测可能是随气流从南方水稻区传入或随台风从东南亚地区传入。新月弯孢变种对培养条件的变化更敏感,且与模式菌株的生物学特性存在一定差异。因此,需进一步研究该地区的玉米弯孢叶斑病菌与南方玉米种植区的该病原菌的亲缘关系,从而进一步明确南方地区玉米弯孢叶斑病菌的初侵染源。本研究仅对5种防治药剂进行了筛选,筛选到的有效药剂较少,因此需进一步扩大防治药剂筛选范围。

参 考 文 献 (References)

- CHANG JY, LIU SS, MA HX, SHI J, GUO N, ZHANG HJ. 2019. Genetic diversity analysis of *Curvularia lunata* in summer maize in Huang-Huai-Hai Region. *Scientia Agricultura Sinica*, 52(5): 822–836 (in Chinese) [常佳迎, 刘树森, 马红霞, 石洁, 郭宁, 张海剑. 2019. 黄淮海地区夏玉米弯孢叶斑病菌遗传多样性分析. *中国农业科学*, 52(5): 822–836]
- CHANG JY, LIU SS, SHI J, GUO N, ZHANG HJ, CHEN J. 2020. A new *Curvularia lunata* variety discovered in Huanghuaihai Region in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(2): 551–560
- CHEN NC. 1991. *Pesticide bioassay*. Beijing: Beijing Agricultural University Press, pp. 95–112 (in Chinese) [陈年春. 1991. 农药生物测定技术. 北京: 北京农业大学出版社, pp. 95–112]
- DAI FC, GAO WD, WU RJ, JIN XH. 1995. A noticeable corn disease: *Curvularia* leaf spot. *Acta Phytopathologica Sinica*, 25(4): 330 (in Chinese) [戴法超, 高卫东, 吴仁杰, 金晓华. 1995. 一种值得注意的玉米病害-弯孢菌叶斑病. *植物病理学报*, 25(4): 330]
- DIAO Y. 2004. Studies on primary infection sources, occurrence dynamics and control with fungicide of maize *Curvularia* leaf spot. Master Thesis. Chengdu: Sichuan Agricultural University (in Chinese) [刁毅. 2004. 玉米弯孢菌叶斑病初侵染源、发生动态和药剂防治的研究. 硕士学位论文. 成都: 四川农业大学]
- DOU YP, JIN QC. 2007. Phylogenetic analysis among isolates of *Curvularia lunata* infected maize from Henan Province by RAPD. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 16(3): 244–247 (in Chinese) [窦艳萍, 金庆超. 2007. 河南玉米弯孢叶斑病菌遗传多样性的RAPD分析. *西北农业学报*, 16(3): 244–247]
- DOU YP, JIN QC, WANG ZH. 2006. Morphological classification and RAPDP analysis of maize *Curvularia* leaf spot fungus. *Journal of Microbiology*, 26(6): 32–35 (in Chinese) [窦艳萍, 金庆超, 王振河. 2006. 玉米弯孢叶斑病菌的形态学分类与RAPD分析. *微生物学杂志*, 26(6): 32–35]
- FENG XL. 2016. The synergistic complex research of pyrazole kresox-

- im and boscalid to prevent tomato gray mold. Master Thesis. Yangling: Northwest A&F University (in Chinese) [冯小龙. 2016. 吡唑醚菌酯与啮酰菌胺对番茄灰霉病复配增效研究. 硕士学位论文. 杨凌: 西北农林科技大学]
- GAN L, DAI YL, YANG XJ, DU YX, RUAN HC, SHI NN, CHEN FR. 2017. Toxicity determination of 13 fungicides to *Exserohilum turcicum* and *Curvularia lunata*. Wuyi Science Journal, 33(1): 88–93 (in Chinese) [甘林, 代玉立, 杨秀娟, 杜宜新, 阮宏椿, 石姐姐, 陈福如. 2017. 13种杀菌剂对玉米大斑病菌和弯孢霉叶斑病菌的毒力测定. 武夷科学, 33(1): 88–93]
- GAO Y, XUE CS, JIANG XY. 2009. Comparative biological character of *Curvularia lunata*. Journal of Maize Sciences, 17(2): 136–139 (in Chinese) [高颖, 薛春生, 姜晓颖. 2009. 玉米弯孢叶斑病菌生物学特性比较研究. 玉米科学, 17(2): 136–139]
- GONG GS, YE HZ, ZHANG M, LIU P, CHEN XQ, SHAO BL, YU X, YANG DL. 2005. RAPD analysis among isolates of *Curvularia lunata* collected from corn in China. Acta Phytopathologica Sinica, 35(S1): 22–27 (in Chinese) [龚国淑, 叶华智, 张敏, 刘萍, 陈希芹, 邵宝林, 余霞, 杨丹玲. 2005. 玉米新月弯孢菌(*Curvularia lunata*)的RAPD分析. 植物病理学报, 35(S1): 22–27]
- LI FH, YE HZ, WANG YT, XIONG MP. 2004. The research progress of *Curvularia* leaf spot disease. Journal of Maize Sciences, 12(2): 97–101, 107 (in Chinese) [李富华, 叶华智, 王玉涛, 熊绵平. 2004. 玉米弯孢叶斑病的研究进展. 玉米科学, 12(2): 97–101, 107]
- LI L. 2013. Identification of pathogen and genetic diversity of *Curvularia* leaf spot in Henan Province. Master Thesis. Zhengzhou: Henan Agricultural University (in Chinese) [李黎. 2013. 河南省玉米弯孢霉叶斑病原种类及遗传多样性分析. 硕士学位论文. 郑州: 河南农业大学]
- LI XY, SHI J, DONG JG. 2002. The comparison on biological characteristics of four kinds of *Curvularia* species. Journal of Agricultural University of Hebei, 25(3): 61–69 (in Chinese) [李晓宇, 石洁, 董金皋. 2002. 几种玉米弯孢霉叶斑病菌生物学特性的比较. 河北农业大学学报, 25(3): 61–69]
- LIU F, WU XL, LI FH, YE HZ. 2008. Studies on the classification and biological character of the pathogen of maize *Curvularia* leaf spot in Sichuan. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 33(1): 43–48 (in Chinese) [刘飞, 伍晓丽, 李富华, 叶华智. 2008. 四川省玉米弯孢叶斑病菌的种类及生物学特性研究. 西南师范大学学报(自然科学版), 33(1): 43–48]
- LIU Q. 2015. Biological characterization of *Bipolaris maydis* and *Curvularia lunata* and screening for effective fungicides and biocontrol agents. Master Thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University (in Chinese) [刘群. 2015. 玉米小斑病菌和弯孢霉叶斑病菌生物学特性及有效药剂和生防菌株的筛选. 硕士学位论文. 泰安: 山东农业大学]
- LÜ GZ, LIU ZH, HE FG, ZHAO Q, LIU WR, SONG YK, HE JS, JIANG MZ, ZHAO HC. 1997. A new disease: *Curvularia* leaf spot of corn by *Curvularia lunata*. Journal of Shenyang Agricultural University, 28(1): 75–76 (in Chinese) [吕国忠, 刘志恒, 何富刚, 赵琦, 刘万仁, 宋亚坤, 何景顺, 姜明忠, 赵华忱. 1997. 辽宁省爆发一种新病害-玉米弯孢菌叶斑病. 沈阳农业大学学报, 28(1): 75–76]
- SHI J, LIU YY, WEI LM. 2000. On pathogens of maize *Curvularia* leaf spot. Journal of Shenyang Agricultural University, 31(5): 479–481 (in Chinese) [石洁, 刘玉瑛, 魏利民. 2000. 玉米弯孢菌叶斑病原菌的研究. 沈阳农业大学学报, 31(5): 479–481]
- SHI J, WANG ZY. 2011. Color map of corn pest control. Beijing: China Agricultural Press Publishing, pp. 94–95 (in Chinese) [石洁, 王振营. 2011. 玉米病虫害防治彩色图谱. 北京: 中国农业出版社, pp. 94–95]
- SUI H, GAO ZG, ZHUANG JH, XUE CS, ZHANG XF, ZHAO BX. 2010. Pathogenic differentiation and biological character of *Curvularia lunata* under the host selection pressure. Chinese Agricultural Science Bulletin, 26(4): 239–243 (in Chinese) [隋鹤, 高增贵, 庄敬华, 薛春生, 张小飞, 赵柏霞. 2010. 寄主选择压力下玉米弯孢菌叶斑病菌致病性分化及生物学特性研究. 中国农学通报, 26(4): 239–243]
- WANG XM, DAI FC, ZHU ZD. 2003. Occurrence and control of *Curvularia* leaf spot in maize. Plant Protection Technology and Extension, 23(4): 37–39 (in Chinese) [王晓鸣, 戴法超, 朱振东. 2003. 玉米弯孢菌叶斑病的发生与防治. 植保技术与推广, 23(4): 37–39]
- WU EG, ZHOU Y, ZHU MQ, LIU JJ, GAO XL, FENG BL. 2020. Identification and biological characteristics of *Sporisorium destruens* in broomcorn millet. Journal of Plant Protection, 47(1): 101–109 (in Chinese) [吴恩果, 周瑜, 朱明旗, 刘佳佳, 高小丽, 冯佰利. 2020. 糜子丝黑穗病原菌鉴定及其生物学特性. 植物保护学报, 47(1): 101–109]
- XUE DS, LI BH, LIAN S, LIANG WX, WANG CX. 2019. Identification and biological characteristics of the pathogen *Pestalotiopsis clavispora* causing blueberry leaf spot. Journal of Plant Protection, 46(2): 323–329 (in Chinese) [薛德胜, 李保华, 练森, 梁文星, 王彩霞. 2019. 蓝莓叶斑病原菌鉴定及其生物学特性. 植物保护学报, 46(2): 323–329]
- YAN HH, CHEN J, SONG XY. 2009. Genetic polymorphism and physiological differentiation of *Curvularia lunata* on maize. Journal of Maize Sciences, 17(1): 139–142 (in Chinese) [鄢洪海, 陈捷, 宋希云. 2009. 玉米弯孢叶斑病菌生理分化与遗传多态性研究. 玉米科学, 17(1): 139–142]
- ZHANG XF, SU QF, SONG SY, DU JQ, LIU Y, ZHANG W, LI H, JIN QM. 2010. Pathogenicity differentiation and RAPD analysis of *Curvularia lunata* in Northeast China. Journal of Maize Sciences, 18(6): 122–126 (in Chinese) [张欣芳, 苏前富, 宋淑云, 杜俊岐, 刘影, 张伟, 李红, 晋齐鸣. 2010. 东北地区玉米弯孢菌的致病性分化与RAPD分析. 玉米科学, 18(6): 122–126]

(责任编辑:张俊芳)