

网络出版时间:2018-01-10 16:16

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.04.011

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180110.1614.022.html>

福建省玉米小斑病菌致病力的分化

代玉立¹, 甘 林¹, 滕振勇², 石妞妞¹, 阮宏椿¹,
杜宜新¹, 廖 蕾³, 陈福如¹, 杨秀娟¹

(1 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, 福建 福州 350013;

2 福建省种子管理总站, 福建 福州 350001; 3 福建农林大学 植物保护学院, 福建 福州 350002)

【摘 要】【目的】明确福建省玉米小斑病菌的致病力水平, 为筛选抗病玉米品种及该病害的预测预报和防治提供依据。【方法】在玉米苗期采用喷雾接种法, 以 11 个玉米品种为材料, 以分离自福建省 7 个地区 21 个县(市)的 298 株玉米小斑病菌菌株的孢子悬浮液为接种体, 先在感病玉米品种上品上进行菌株致病力测定, 7 d 后调查病情指数, 从中选出致病力较强的菌株, 采用同样方法接种其他玉米品种, 分析菌株致病力差异。【结果】供试菌株对玉米感病品种上品均有致病性, 病情指数介于 13.50~80.95, 平均值为 49.49。根据致病力测定结果将菌株分为强、中、弱 3 种致病类型, 各类型出现频率分别为 29.87%, 63.42% 和 6.71%, 中等致病力菌株占优势。不同地区菌株致病力存在显著差异, 以福州地区菌株致病力最高; 同时福州地区来自玉米连作田的菌株比非连作田的菌株具有较高的致病力。不同菌株、甚至同一菌株在不同玉米品种上的致病力表现出丰富的多样性。供试的 298 个菌株中 MH141 和 JY142 致病力较强, 供试的 11 个玉米主栽品种中榕甜 1 号和永珍 7 号抗病性较好。【结论】来自福建省不同地区的玉米小斑病菌对玉米的致病力存在明显的分化现象, 不同菌株对同一玉米品种的致病力存在明显差异; 同一菌株对不同玉米品种的致病力也存在明显差异。

【关键词】玉米小斑病; 玉米小斑病菌; 致病力分化; 福建省

【中图分类号】S432.4

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2018)04-0092-06

Pathogenicity differentiation of *Cochliobolus heterostrophus* in Fujian

DAI Yuli¹, GAN Lin¹, TENG Zhenyong², SHI Niuniu¹, RUAN Hongchun¹,
DU Yixin¹, LIAO Lei³, CHEN Furu¹, YANG Xiujuan¹

(1 Fujian Key Laboratory for Monitoring and Integrated Management of Crop Pests, Institute of Plant Protection, Fujian Academy of

Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China; 2 Fujian Seed Management Station, Fuzhou, Fujian 350001, China;

3 College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract:【Objective】Pathogenicity levels of *Cochliobolus heterostrophus* isolates in Fujian were determined to provide basis for corn variety selection as well as prediction and prevention of the isolates. 【Method】A total of 11 corn varieties were used for testing materials and conidia suspensions of 298 *C. heterostrophus* isolates from 21 prefectures (cities) of 7 regions in Fujian province were served as inocula. Pathogenicity assays for different isolates were initially determined on susceptible corn variety ‘Shangpin’ using the method of spraying conidia suspensions during corn seedlings. Disease index for each isolate was investigated after 7 d inoculation; the stronger pathogenic isolates were selected and inoculated on other corn va-

【收稿日期】2017-02-01

【基金项目】福建省自然科学基金项目(2016J05073); 福建省农业科学院青年科技英才百人计划项目(YC2016-4); 福建省农业科学院博士启动基金项目(2015BS-4); 福建省农业科学院植物保护创新团队项目(STIT2017-1-8)

【作者简介】代玉立(1984—), 男, 安徽霍邱人, 助理研究员, 博士, 主要从事真菌学及植物真菌病害研究。

E-mail: dai841225@126.com

【通信作者】杨秀娟(1972—), 女, 福建建瓯人, 研究员, 硕士, 主要从事植物病理学研究。E-mail: yxjzb@126.com

rieties using the method as described above. The pathogenicity differentiation of tested isolates was analyzed in this study. 【Result】 All tested isolates had pathogenicity on corn variety Shangpin, and the disease indexes were 13.50 to 80.95 with average of 49.49. According to the pathogenicity results, *C. heterostrophus* isolates were roughly divided into weak, moderate and strong types with frequencies of 29.87%, 63.42% and 6.71%, respectively. The moderate type was dominant. There were significant differences in pathogenicity of *C. heterostrophus* isolates from different regions, and the isolates from Fuzhou region had the strongest pathogenicity. The isolates from continuous corn cropping fields had significant higher pathogenicity than normal rotation cropping fields in Fuzhou. The pathogenicity of different isolates, even the same isolate exhibited abundant diversity among corn varieties. MH141 and JY142 had stronger pathogenicity and ‘Rongtian 1’ and ‘Yongzhen 7’ showed better resistance to *C. heterostrophus* among the tested 11 corn varieties. 【Conclusion】 The pathogenicity had significant differentiation in isolates of *C. heterostrophus* collected from different regions in Fujian. Different isolates had different pathogenicity to same variety and same isolate had different pathogenicity to different corn varieties.

Key words: southern corn leaf blight; *Cochliobolus heterostrophus*; pathogenicity differentiation; Fujian

玉米小斑病是世界上重要的玉米病害,广泛发生在热带湿润和亚热带地区,如美国东南部、印度部分地区、拉丁美洲、欧洲、亚洲部分地区^[1]。近年来,由于受全球气候变化、栽培制度改变以及病原菌致病力变异等因素的影响,该病在我国玉米产区的发病情况逐年加重,至今发生的省份已达30个,主要发生在气候温暖湿润的夏玉米种植地区,河北中南部地区及河南、山东、辽宁、山西南部、陕西、安徽、江苏等地为病害常发区^[2]。玉米小斑病由异旋孢腔菌(*Cochliobolus heterostrophus*)侵染引起,病菌分生孢子能随雨水和气流传播,主要为害玉米的叶片,也为害玉米的叶鞘、苞叶和果穗,发病严重时可使叶片布满病斑而枯死,果穗腐烂,在一些玉米产区轻者减产10%~20%,重者减产30%~80%,甚至绝收^[3-5]。

根据病菌对含有不同细胞质玉米品种的侵染反应,玉米小斑病菌目前被划分为O、T、C和S共4个生理小种,其中O小种是我国的优势小种^[6]。玉米小斑病菌属异宗配合真菌,有无性生殖和有性生殖2种方式,自然条件下存在2种交配型,为了适应外界环境条件和品种抗性的改变,玉米小斑病菌的致病力也在不断地发生变异^[7]。有研究表明,玉米小斑病菌在不同细胞质玉米幼苗上连续侵染后其致病力水平会显著提高^[8-9]。因此研究玉米小斑病菌的致病性分化,不但有助于玉米抗病品种的选育,也可作为病菌毒性监测奠定基础。目前国内外关于玉米小斑病菌的致病力分化以及引起其致病力分化的因素研究较少,尤其是福建地区玉米小斑病菌致病力分化研究尚未见报道。本研究对从福建省7个地区

21个县(市)分离和纯化的298株玉米小斑病菌进行致病力分化研究,明确病菌群体的致病力水平,探究致病力分化与菌株地理来源、品种互作的关系,筛选致病力强的菌株和抗病性好的玉米品种,以期对病害的预测预报和防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌株:2014—2015年从福建省南平、三明、宁德、龙岩、福州、漳州和莆田7个地区21个县(市)的玉米种植地采集感染玉米小斑病的玉米叶片,单孢分离纯化玉米小斑病菌,保存于一20℃冰箱中备用。从分离获得的玉米小斑病菌中选取298个菌株(漳州59株、福州60株、南平75株、三明32株、宁德30株、莆田28株和龙岩14株)作为试验菌株,其中福州的60个菌株中有30个菌株来自玉米试验地连作田,30个菌株来源于非连作田。

玉米品种:供试的11个甜或糯主栽玉米品种为闽甜4号、‘上品’、粤甜16、榕甜1号、鲜玉糯4号、美玉8号、粤甜22、红玉2号、京科糯2000、农科玉368和永珍7号,由福建省种子管理总站提供。

1.2 方法

1.2.1 病菌孢子悬浮液的制备 将供试菌株在PDA培养基上于28℃培养7d,用无菌水洗下培养基表面的孢子,用双层无菌纱布滤除菌丝后,用无菌水配制成 5×10^5 mL⁻¹的孢子悬浮液,备用。

1.2.2 玉米苗的种植 在温棚内采用营养土育苗,待各品种玉米苗长至3叶1心时,移栽至大小为12 cm×15 cm×15 cm(底径×高×口径)的黑色营养

袋中,每袋种植玉米苗 2 株,正常肥水管理。

1.2.3 玉米小斑病菌的人工喷雾接种 待玉米苗生长至 5~6 叶时,用上述病菌孢子悬浮液对感病品种上品玉米植株进行喷雾接种,每盆约喷 30 mL,接种后的玉米植株用塑料薄膜覆盖保湿处理 24 h,保持温棚内发病环境温度在 22~32 ℃,相对湿度在 80%以上,每处理接种 4~5 盆,每盆 2 株,重复 3 次。

统计玉米小斑病菌对上品玉米品种的病情指数,分析不同地区及不同田块菌株致病力的差异,从中筛选具有较强致病力的菌株,然后进行其他玉米品种的接种试验,方法同上品。

1.2.4 病情调查及菌株致病力评价 接种玉米小斑病菌 7 d 后,参照玉米小斑病叶分级标准^[10],逐株调查玉米展开叶片的发病情况,记录病情级别,计算病情指数(Disease index,DI)。依据 DI 判定菌株致病力:DI≥55 为强致病力(high pathogenicity,HP),35<DI<55 为中等致病力(middle pathogenicity,MP),DI≤35 为弱致病力(weak pathogenicity,WP)。

1.3 数据分析及区间分布图制作

采用 Microsoft Excel 2007 和 DPS V6.85 数据

处理工作平台进行试验数据统计,并将病菌群体的病情指数从高到低分成不同区间,统计病情指数在各个区间的菌株数占整个群体的频率,即出现频率。出现频率=该(类型)区间菌株数/总菌株数×100%。

以病情指数值为 X 轴,相应的出现频率为 Y 轴,绘制病菌群体的病情指数分布图。

2 结果与分析

2.1 福建省玉米小斑病菌的致病力

从图 1 可知,供试菌株的致病力表现出明显差异,以上品玉米品种为例,供试菌株对其病情指数为 13.50~80.95,平均为 49.49。致病力最强菌株(MH141)的病情指数约是致病力最弱菌株(XY144)的 6 倍。将供试菌株的病情指数值分成 13 个区间,每个区间菌株出现的频率分布呈现拟正态分布。40<DI≤45 时出现频率最高,为 23.83%;45<DI≤50 时出现频率次之,为 17.11%;而 DI≤20、20<DI≤25、25<DI≤30、70<DI≤75 和 DI>75 时,菌株出现频率均低于 2%,表明福建省玉米小斑病菌出现了明显的致病力分化。

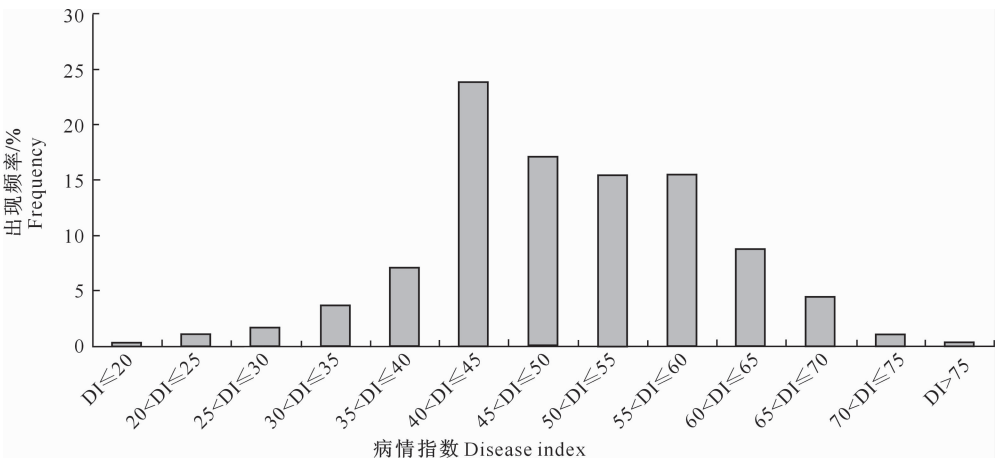


图 1 福建省玉米小斑病菌菌株在上品玉米品种上病情指数的频率分布

Fig.1 Frequency distribution of disease indexes of *C. heterostrophus* isolates to corn variety ‘Shangpin’ in Fujian

2.2 福建省不同地区玉米小斑病菌的致病力

根据 298 个菌株对上品玉米品种的致病力测定结果,可将其致病力划分为 3 种类型,其中表现为强致病力、中等致病力和弱致病力的菌株分别有 89, 189 和 20 个,分别占供试菌株总数的 29.87%, 63.42%和 6.71%,中等致病力菌株占优势。不同地区菌株及同一地区不同菌株的致病力存在显著差异,以福州地区菌株的致病力最强,其平均病情指数显著或极显著高于三明、漳州、莆田地区(表 1)。各

地区菌株致病力在强、中、弱水平上均有不同程度的频率分布,其中强致病力菌株出现的频率以福州地区最高,为 51.67%,龙岩地区次之,三明地区最低,弱致病力菌株在各地区的出现频率均较低,说明菌株致病力强弱与其地区来源有一定关系(表 1)。

2.3 福州地区连作田与非连作田玉米小斑病菌的致病力

从表 2 可知,来自福州地区连作田与非连作田的菌株之间致病力存在明显差异。来自连作田的菌

株对上品的病情指数介于 41.88~80.95,平均值为 56.61,而来自非连作田菌株的病情指数在 24.24~71.43,平均值为 51.24。在致病力强、中、弱频率分

布上,连作田强致病力菌株出现频率最高,且未出现弱致病类型,表明来自连作田的菌株具有更强的致病力。

表 1 福建省不同地区玉米小斑病菌的致病力

Table 1 Pathogenicity of *C. heterostrophus* from different regions in Fujian

菌株来源 Origins	菌株数 No. of isolates	病情指数 DI		出现频率/% Frequency		
		区间 Range	平均值 Average	强致病力 HP	中等致病力 MP	弱致病力 WP
漳州 Zhangzhou	59	22.50~68.52	46.89±9.61 bB	20.34	67.80	11.86
福州 Fuzhou	60	24.24~80.95	53.93±11.00 aA	51.67	40.00	8.33
南平 Nanping	75	25.00~70.37	49.74±9.67 abAB	29.33	65.33	5.33
三明 Sanming	32	36.00~61.00	46.11±6.88 bB	12.50	87.50	0
宁德 Ningde	30	33.75~69.70	50.57±7.70 abAB	30.00	66.67	3.33
莆田 Putian	28	13.50~63.89	47.18±11.19 bAB	21.43	67.86	10.71
龙岩 Longyan	14	37.29~64.81	50.18±8.45 abAB	35.71	64.29	0
合计 Total	298	13.50~80.95	49.49±9.89	29.87	63.42	6.71

注:同列数据后标不同大、小写字母表示经 Duncan's 新复极差法检验分别在 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 水平上的差异显著性。表 2 同。

Note: Different uppercase and lowercase letters indicate significant difference according to Duncan's new multiple-range test at the significance levels of $P<0.01$ and $P<0.05$, respectively. The same for Table 2.

表 2 福州地区连作田与非连作田玉米小斑病菌的致病力

Table 2 Pathogenicity of *C. heterostrophus* from continuous cropping fields and normal rotation cropping fields in Fuzhou

菌株来源 Origin	菌株数 No. of isolates	病情指数 DI		出现频率/% Frequency		
		区间 Range	平均值 Average	强致病力 HP	中等致病力 MP	弱致病力 WP
连作田 Continuous cropping fields	30	41.88~80.95	56.61±8.69 Aa	53.33	46.67	0
非连作田 Normal rotation cropping fields	30	24.24~71.43	51.24±12.48 Aa	50.00	33.33	16.67

2.4 玉米小斑病菌在不同玉米品种上的致病力

其他供试玉米品种,其致病力结果见表 3。

选用对上品具有较强致病力的 15 个菌株接种

表 3 15 个玉米小斑病菌菌株对 11 个玉米品种的致病力

Table 3 Pathogenicity of 15 *C. heterostrophus* isolates to 11 corn varieties

菌株 Isolate	致病力水平 Pathogenicity level											病指区间 Range of DI	平均病指 Mean of DI
	上品 Shangpin	闽甜 4 号 Mintian 4	粤甜 16 Yuetian 16	榕甜 1 号 Rong tian 1	鲜玉 糯 4 号 Xian yunuo 4	美玉 8 号 Meiyu 8	粤甜 22 Yuetian 22	红玉 2 号 Hongyu 2	京科糯 2000 Jing- kenuo 2000	农科 玉 368 Nong- keyu 368	永珍 7 号 Yong- zhen 7		
ZN159	HP	MP	MP	WP	MP	MP	HP	HP	MP	HP	MP	15.87~57.41	48.40
LH151	HP	HP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	MP	WP	33.00~59.00	49.40
NJ141	HP	MP	MP	MP	MP	MP	HP	MP	MP	MP	MP	44.44~63.64	51.61
CT151	HP	MP	MP	MP	HP	MP	HP	MP	MP	HP	MP	40.74~68.52	52.93
XY155	HP	MP	MP	MP	MP	HP	HP	HP	HP	MP	MP	47.62~62.96	55.12
SM147	HP	HP	MP	MP	HP	MP	HP	HP	MP	HP	MP	44.44~68.52	55.88
LH155	HP	HP	HP	HP	MP	HP	HP	HP	HP	HP	MP	48.72~65.66	56.39
CT156	HP	MP	MP	MP	MP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	43.43~71.11	57.55
FZ159	HP	HP	HP	MP	MP	HP	HP	HP	HP	HP	MP	44.44~66.67	58.71
HJ142	HP	HP	MP	MP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	MP	46.67~70.37	59.39
NJ147	HP	MP	HP	MP	MP	HP	HP	HP	HP	HP	MP	44.44~74.81	60.85
SM151	HP	HP	HP	MP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	52.50~68.40	61.74
ZN153	HP	HP	MP	MP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	MP	40.74~80.56	62.49
JY142	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	59.26~82.22	66.93
MH141	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	HP	MP	52.14~80.95	68.97
病指区间 Range of DI	55.56~ 80.95	35.04~ 79.80	43.43~ 75.00	15.87~ 62.96	48.72~ 69.70	45.00~ 82.22	49.50~ 80.56	49.00~ 74.81	44.44~ 80.56	42.43~ 68.89	33.00~ 62.39	15.87~ 82.22	
平均病指 Mean of DI	63.29	56.88	54.38	46.94	58.73	59.01	63.23	60.31	62.31	59.57	50.68		57.76

注:HP, 强致病力;MP, 中等致病力;WP, 弱致病力。

Note: HP, High pathogenicity; MP, Middle pathogenicity; WP, Weak pathogenicity.

表 3 表明,供试菌株对 11 个玉米品种的平均病情指数在 48.40~68.97,菌株之间致病力差异较为明显,以菌株 MH141 和 JY142 的致病力较强,其中菌株 MH141 对除永珍 7 号外的其他供试玉米品种均表现为强致病力,菌株 JY142 对 11 个供试玉米品种均表现为强致病力;而菌株 ZN159 和 LH151 的致病力在参试的 11 个玉米品种间出现了明显的分化,如 ZN159 对榕甜 1 号表现弱致病力,对闽甜 4 号、粤甜 16、永珍 7 号、美玉 8 号、鲜玉糯 4 号、京科糯 2000 表现为中等致病力,而对上品、粤甜 22、红玉 2 号和农科玉 368 表现为强致病力。上述结果表明,不同菌株、甚至同一菌株在不同品种上的致病力均表现出丰富的多样性。各品种间的抗性也表现出较大的差异,其中以榕甜 1 号和永珍 7 号对玉米小斑病菌的抗病性相对较强,平均病情指数分别为 46.94 和 50.68,而红玉 2 号、京科糯 2000、粤甜 22 号、上品抗病性较差,平均病情指数均在 60 以上。

3 讨 论

病菌的致病性与品种的抗病性两者是相互制约的,病菌致病性的表达通常与寄主的抗侵入和抗扩展两种反应有关^[11]。陆宁海等^[12]基于病菌侵染玉米的病斑型分析发现,来自河南新乡地区的不同玉米小斑病菌株对不同细胞质玉米品种存在明显的致病力差异。陕西省玉米小斑病菌 O 小种不同菌株在不同玉米自交系上也有致病力分化现象,测定的弱致病力菌株病斑长度在 3 mm 以下,强致病力菌株的病斑长度大于 8 mm^[13]。本研究参照前人的病叶分级标准^[10]进行病情指数分析,结果表明,来自福建省 7 个玉米生产地区的玉米小斑病菌出现了明显的致病力分化,其中表现为强致病力、中等致病力和弱致病力的菌株各占供试菌株总数的 29.87%,63.42%和 6.71%,以中等致病力菌株占优势。不同地区的菌株及同一地区的不同菌株致病力有较大差异,其致病力强弱与其地区来源有一定的关系,这与陆宁海等^[12]的研究结果相似。7 个地区中,以福州地区菌株致病力较强,且从玉米试验地连作田(每年玉米连作两季,连续连作 6 年)采集的菌株致病力明显高于从非连作田采集的菌株,预示着在有玉米小斑病发生的条件下,玉米地的连作有加速病菌致病力变异或增强其致病力的风险。

选用对上品玉米品种具有较强致病力的 15 个菌株接种不同玉米品种发现,不同菌株、甚至同一菌株对不同玉米品种的致病力均表现出丰富的多样

性,表明玉米小斑病菌致病力分化具有普遍性和多样性,这种病原菌与寄主间互作的多样性在烟草根黑腐病菌^[14]、稻曲病菌^[15]、小麦赤霉病菌^[16]、油菜黑茎病^[17]、稻瘟病菌^[18-19]和苦瓜枯萎病菌^[20]的研究中已有相关报道。本研究供试的 298 个菌株中,菌株 MH141 和 JY142 致病力较强,其对供试的所有玉米品种基本上均表现为强致病力,可作为玉米品种抗性选育、玉米小斑病寄主与病原物互作研究的菌种资源。玉米小斑病菌寄主范围较广,除玉米之外,还能侵染水稻、虎尾草、白茅、狗尾草、蟋蟀草等 20 多种禾本科植物^[21],玉米小斑病菌致病力分化是否与病菌的寄主来源有关,有待进一步研究。

利用玉米品种的抗病性是病害有效防治的基础。目前已知的玉米品种对玉米小斑病菌的抗性有两种,即病斑数抗性和病斑型抗性,前者一般是数量遗传,可能是多基因显性控制,后者是质量遗传,由一个或两个隐性基因控制^[22]。尽管目前尚未发现对玉米小斑病的免疫品种,但已有研究证实,玉米品种之间确实存在对该病害抗性的差别^[23-24],并在一些抗病材料中鉴定出与抗性相关的数量性状位点(quantitative trait loci, QTL)^[25-26]。在本研究中,用不同菌株接种不同玉米品种后,各品种抗性程度从低至中度不等,表明供试的 11 个主栽玉米品种对玉米小斑病的抗性应属多基因控制的数量遗传抗性,其中以榕甜 1 号、永珍 7 号抗病性较强,其余品种抗病性较差,这些抗病性较差的品种在玉米的安全生产上应做好病害预防工作。福建省温暖潮湿的气候环境条件特别适宜玉米小斑病的发生^[27],而感病品种大面积连作将会对小斑菌的生长与侵染形成一种极为有利的条件,从而可能加速田间菌源积累及病菌毒性变异,引发小斑病的流行。玉米小斑病由气流和雨水传播病害,监测该病原菌群体间致病力的变化动态,开展病害的预测预报和玉米品种抗病性研究,探索延缓病菌寄生适合度提高的有效措施,对减轻病害的发生和发展仍具有重要的现实意义。

[参考文献]

[1] Zwonitzer J C, Coles N D, Krakowsky M D, et al. Mapping resistance quantitative trait loci for three foliar diseases in a maize recombinant inbred line population-evidence for multiple disease resistance [J]. *Phytopathology*, 2010, 100: 72-79.

[2] 王晓鸣, 石 洁, 晋齐鸣, 等. 玉米病虫害田间手册: 病虫害鉴别与抗性鉴定 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010: 7-10.

- Wang X M, Shi J, Jin Q M, et al. Manual of corn diseases and insect pests; identification of plant diseases and insect pests and resistance appraisal [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2010; 7-10.
- [3] 陈利锋, 徐敬峰. 农业植物病理学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007; 185-189.
- Chen L F, Xu J F. Agricultural phytopathology [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2007; 185-189.
- [4] 王晓鸣, 晋齐鸣, 石洁, 等. 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 [J]. 植物病理学报, 2006, 36(1): 1-11.
- Wang X M, Jin Q M, Shi J, et al. The status of maize diseases and the possible effect of variety resistance on disease occurrence in the future [J]. Acta Phytopathol Sinica, 2006, 36(1): 1-11.
- [5] 孙常刚. 玉米小斑病的发生与防治 [J]. 安徽农学通报, 2012, 18(1): 108-109.
- Sun C G. Occurrence and control of corn southern leaf blight [J]. Anhui Agricultural Sciences Bulletin, 2012, 18(1): 108-109.
- [6] 赵聚堂, 蒋晓丽, 贾海民, 等. 黄淮海地区玉米小斑病菌生理小种鉴定与评价 [J]. 河北农业科学, 2012, 16(9): 47-49.
- Zhao J Y, Jiang X L, Jia H M, et al. Identification and evaluation of physiological races of *Bipolaris maydis* in Huanghuaihai region [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2012, 16(9): 47-49.
- [7] Turgeon B G, Bohlmann H, Ciuffetti L M, et al. Cloning and analysis of the mating type genes from *Cochliobolus heterostrophus* [J]. Mol Gen Genet, 1993, 238: 270-284.
- [8] 刘国胜, 黄梧芳. 玉米小斑病菌 (*Drechslera maydis*) 相对寄生适合度属性变化的初步研究 [J]. 河北农业大学学报, 1987, 10(3): 27-35.
- Liu G S, Huang W F. Preliminary study on the variation of relative parasitic fitness attributes of *Drechslera maydis* [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 1987, 10(3): 27-35.
- [9] 邓福友, 黄梧芳. 玉米小斑病菌对不同细胞质玉米致病力变异的研究 [J]. 河北农业大学学报, 1989, 12(4): 11-16.
- Deng F Y, Huang W F. Study on the variation of virulence of *Helminthosporium maydis* to corn with different cytoplasm [J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 1989, 12(4): 11-16.
- [10] 中华人民共和国农业部. NY/T 1248. 2—2006 玉米抗病虫性鉴定技术规范第2部分: 玉米抗小斑病鉴定技术规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY/T 1248. 2—2006 Rules of evaluation of maize for resistance to pests Part 2: rule for evaluation of maize for resistance to southern corn leaf blight [S]. Beijing: Standard Press of China, 2006.
- [11] 白金铠, 宋佐衡, 陈捷, 等. 玉米病害的病菌变异与抗病品种选育 [J]. 玉米科学, 1994, 2(1): 67-72.
- Bai J K, Song Z H, Chen J, et al. A review of the pathogenic variation of corn diseases and breeding of resistant cultivars [J]. Maize Science, 1994, 2(1): 67-72.
- [12] 陆宁海, 吴利民, 郎剑锋, 等. 新乡地区玉米小斑病菌小种群结构及致病性分析 [J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2016, 44(1): 23-27.
- Lu N H, Wu L M, Lang J F, et al. Analysis on population structure and pathogenic and pathogenicity differentiation of *Bipolaris maydis* in Xinxiang [J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology (Nat Sci Ed), 2016, 44(1): 23-27.
- [13] 李珉仁, 商鸿生, 胡必德. 陕西省玉米小斑病菌致病性分化研究 [J]. 植物保护学报, 1993, 20(1): 90-98.
- Li Y R, Shang H S, Hu B D. Pathogenic specialization of *Bipolaris maydis* in Shaanxi province [J]. Journal of Plant Protection, 1993, 20(1): 90-98.
- [14] 窦彦霞, 李兰, 彭雄, 等. 烟草根黑腐病菌致病力分化及品种抗性差异研究 [J]. 植物病理学报, 2012, 42(6): 645-648.
- Dou Y X, Li L, Peng X, et al. Pathogenicity differentiation of *Thielaviopsis basicola* and resistance difference of tobacco against black root rot [J]. Acta Phytopathol Sinica, 2012, 42(6): 645-648.
- [15] 李燕, 于俊杰, 刘永峰, 等. 稻曲病菌产孢能力及致病力测定 [J]. 中国农业科学, 2012, 45(20): 4166-4177.
- Li Y, Yu J J, Liu Y F, et al. Determination of sporulation and pathogenicity of *Ustilaginoidea virens* [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(20): 4166-4177.
- [16] 徐飞, 杨共强, 王俊美, 等. 河南省小麦赤霉病菌种群组成及致病力分化 [J]. 植物病理学报, 2016, 46(3): 294-303.
- Xu F, Yang G Q, Wang J M, et al. Composition and variation in aggressiveness of *Fusarium populations* causing wheat head blight in Henan province [J]. Acta Phytopathol Sinica, 2016, 46(3): 294-303.
- [17] Hao L, Song P, Huangfu H, et al. Genetic diversity and differentiation of *Leptosphaeria biglobosa* on oilseed rape in China [J]. Phytoparasitica, 2015, 43(2): 1-11.
- [18] Li J B, Lu L, Jia Y L, et al. Characterization of field isolates of *Magnaporthe oryzae* with mating type, DNA fingerprinting, and pathogenicity assay [J]. Plant Disease, 2016, 100(2): 298-303.
- [19] Onaga G, Wydra K D, Koopmann B, et al. Population structure, pathogenicity and mating type distribution of *Magnaporthe oryzae* isolates from East Africa [J]. Phytopathology, 2015, 105(8): 1137-1145.
- [20] Chen Z D, Huang R K, Li Q Q, et al. Development of pathogenicity and AFLP to characterize *Fusarium oxysporum* f. sp. *Momordicace* isolates from bitter melon in China [J]. Journal of Phytopathology, 2015, 163(3): 202-211.
- [21] 吴全安, 梁克恭. 玉米小斑病菌寄主范围的研究 [J]. 植物病理学报, 1984, 14(2): 79-86.
- Wu Q A, Liang K G. Host range of *Helminthosporium maydis* Nish et Miyake [J]. Acta Phytopathol Sinica, 1984, 14(2): 79-86.

Lu H,Zhong Y H,Xu X L,et al. The potential geographic distribution of *Xyleborus perforans* based on the MaxEnt [J]. Chinese Journal of Tropical Crops,2013,34(11):2239-2245.

[17] Phillips S J,Dudik M,Schapire R E. A maximum entropy approach to species distribution modeling [C]//Proceedings of the twenty-first international conference on machine learning, New York:ACM Press,2004:83.

[18] Ortega-Huerta M A,Peterson A T. Modeling ecological niches and predicting geographic distributions: a test of six presence-only methods [J]. Revista Mexicana De Biodiversidad,2008,79:205-216.

[19] 王运生,谢丙炎,万方浩,等. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用 [J]. 生物多样性,2007,15(4):365-372.

Wang Y S,Xie B Y,Wan F H,et al. Application of ROC curve analysis in evaluating the performance of alien species' potential distribution models [J]. Biodiversity Science,2007,15(4):365-372.

[20] Elith J,Phillips S J,Hastie T,et al. A statistical explanation of maxent for ecologists [J]. Diversity & Distributions,2011,17:43-57.

[21] 李国庆,刘长成,刘玉国,等. 物种分布模型理论研究进展 [J]. 生态学报,2013,33(16):4827-4835.

Li G Q,Liu C C,Liu Y G,et al. Advances in theoretical issues of species distribution models [J]. Acta Ecologica Sinica,2013,33(16):4827-4835.

[22] Padalia I,Srivastava V,Kushwaha S P S. Modeling potential invasion range of alien invasive species, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. in India:comparison of maxent and GARP [J]. Ecological Informatics,2014,22:36-43.

(上接第 97 页)

[22] 方中达. 植物病理研究方法 [J]. 北京:中国农业出版社,2007.

Fang Z D. Plant pathology research methods [J]. Beijing: China Agriculture Press,2007.

[23] 邢光耀,杜学林. 不同玉米品种对小斑病和弯孢霉叶斑病的抗病性分析 [J]. 西北农业学报,2006,15(1):75-78.

Xing G Y,Du X L. Analysis on disease resistance of different corn varieties to the southern leaf blight and curvalaria leaf spot of corn [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica,2006,15(1):75-78.

[24] 赵聚莹,屈振刚,贾海民,等. 不同玉米品种对小斑病强致病力菌的抗病性检测 [J]. 河北农业科学,2010,14(9):66-67.

Zhao J Y,Qu Z G,Jia H M,et al. Detection of resistance of maize varieties to virulent strain of southern leaf blight [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences,2010,14(9):66-67.

[25] Zwonitzer J,Bubeck D M,Bhatramakki D,et al. Use of selection with recurrent backcrossing and QTL mapping to identify loci contributing to southern leaf blight resistance in a highly resistant maize line [J]. Theor Appl Genet,2009,118:911-925.

[26] Belcher A R,Zwonitzer J C,Cruz J S,et al. Analysis of quantitative disease resistance to southern leaf blight and of multiple disease resistance in maize,using near-isogenic lines [J]. Theor Appl Genet,2012,124:433-445.

[27] Dai Y,Yang X,Gan L,et al. First report of southern leaf blight caused by *Cochliobolus heterostrophus* on corn (*Zea mays* L.) in Fujian province, China [J]. Plant Disease,2016,100(8):1781.