

玉米茎基腐病研究进展

吴之涛^{1,2}, 杨克泽^{1,2}, 马金慧^{1,2}, 张英英^{1,2}, 任宝仓^{1,2*}

(1. 甘肃省农业工程技术研究院, 甘肃武威 733006; 2. 甘肃省特种药源植物种质创新与安全利用重点实验室, 甘肃武威 733006)

摘要 论述玉米茎基腐病的病原、侵染规律、致病与抗性机制及综合防治技术方面的主要研究进展。介绍国内外学者对玉米茎基腐病病原种类、侵染规律、致病机理等方面的学术观点, 在此基础上, 阐述侵染规律和抗性机制方面的内在联系, 并对今后玉米茎基腐病的研究方向进行展望, 从而为该病害的综合防控提供理论依据和技术支撑。

关键词 玉米茎基腐病; 病原学; 侵染规律; 抗性机制; 防治技术

中图分类号 S435.131 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)22-0005-03

Research Progress on Stalk Rot of Maize

WU Zhi-tao^{1,2}, YANG Ke-ze^{1,2}, MA Jin-hui^{1,2} et al (1. Gansu Academy of Agri-engineering Technology, Wuwei, Gansu 733006; 2. Gansu Key Laboratory of Plant Germplasm Innovation and Safety Utilization of Special Drug Sources, Wuwei, Gansu 733006)

Abstract The main research progress of pathogen, infection, pathogenicity, resistance mechanism and integrated control techniques of corn stalk rot disease were discussed in details. Some academic points of the domestic and foreign scholars on maize stalk rot pathogen species, regularity of infection and pathogenic mechanism were introduced. On this basis, the internal relationship between infection law and resistance mechanism was expounded, and the future research direction of corn stalk rot was prospected, so as to provide theoretical basis and technical support for the comprehensive prevention and control of the disease.

Key words Corn stalk rot; Etiology; Infection law; Resistance mechanism; Control technology

玉米茎基腐病又称玉米青枯病, 是一种典型的土传性病害, 目前世界各玉米产区均有发生。20世纪50年代玉米茎基腐病在美国暴发流行, 造成玉米减产20%~30%。此后埃及、印度、非洲等地也相继报道了该病的发生。1962年, 夏锦洪等^[1]首次在江苏省报道玉米茎基腐病的发生。随后, 该病害在全国各玉米产区均有报道。一般年份田间发病率在15%左右, 气候条件适宜时发病率最高可达80%以上, 甚至造成绝产^[2]。目前, 各玉米产区茎基腐病仍呈逐年加重的发生趋势, 在玉米生产上已成为继玉米大、小斑病和丝黑穗病后又一重要病害^[3]。主要对玉米茎基腐病的病原、发病机理、防治措施等方面进行论述, 以为玉米绿色安全高效生产提供理论依据和技术支撑。

1 玉米茎基腐田间症状

玉米茎基腐病在植株的整个生育期均能发生, 乳熟期到蜡熟期集中暴发, 主要危害植株的根部和茎基部, 使植株的茎基部逐渐发褐变软、果穗下垂, 最终整株萎蔫死亡。茎基部剖秆后观察发现, 茎秆中空, 维管束变色, 间隙伴有白色菌丝或红色霉层。植株发病后, 由于地上部分运输水分和营养物质的功能受阻, 叶片表现为青枯、黄枯、青黄枯3种症状, 果穗籽粒发褐干瘪, 造成植株早衰枯死, 穗长、行粒数、千粒重降低, 导致玉米减产。

2 玉米茎基腐病原及侵染规律

2.1 病原菌种类 关于玉米茎基腐病的病原, 国内外报道不尽相同。国外相关研究表明, *Fusarium* 和 *Pythium* 是主要的致病病菌。2种致病病菌危害植株的时期有所不同, 腐霉菌在苗

期和抽雄期对植株造成危害, 镰刀菌在全生育期均造成危害。在东欧地区主要致病菌是禾谷镰刀菌, 在法国致病菌以 *Diphodia zeae* 和 *F.verticillioides* 为主, 1980年美国植物病理学会出版的《玉米病害大纲》指出玉米茎基腐病是由镰刀菌和细菌复合侵染引起的^[4-6]。在国内自20世纪60年代首次报道该病害以来, 不同玉米种植区对该病的病原也进行相应的报道, 其致病菌包括不同种类的镰刀菌和一些腐霉菌。袁虹霞等^[7]对河南省玉米产区的病样进行分离, 结果表明 *F.graminearum* 分离频率最高, 致病性最强, *F.verticillioides* 次之。白金铠等^[8]对东北地区采集的病株进行分离, 共分离到6种镰刀菌, 致病性测定结果表明 *F.graminearum*、*F.verticillioides*、*F.solani* 是东北地区玉米茎基腐病的主要致病病菌。石洁^[9]对河北省玉米茎基腐病病株进行分离鉴定, 结果表明 *F.moniliforme* (现改名为 *F.verticillioides*) 和 *F.graminearum* 是主要致病病菌。马秉元等^[10]对陕西省玉米茎基腐病进行调查, 研究发现 *F.graminearum* 为主要致病病菌。郭满库等^[11]对甘肃省玉米茎基腐病标样进行采样分离, 结果表明, *F.graminearum*、*F.culmorum*、*F.verticillioides* 为主要致病病菌, 不同生态区病原种类有所差异。张超冲等^[12]对广西玉米茎腐病的主要病原进行研究, 发现 *F.verticillioides* 是优势病原菌, 同时 *F.concolor* 也能侵染植株引起发病。然而, 相关研究报道, 腐霉菌是引起玉米茎腐病的主要致病病菌。吴全安等^[13]对北京和浙江地区的玉米青枯病病原进行分离和鉴定, 结果表明腐霉菌分离频率最高, *Pythium inflatum* 和 *Pythium graminicola* 是主要致病病菌。杨岫等^[14]对新疆部分地区典型的玉米青枯病株进行分离鉴定, 研究发现 *Pythium inflatum* 是引起新疆玉米青枯病的主要致病病菌。徐作珽等^[15]从山东省主要病区采集的病样中分离到腐霉菌和镰刀菌, 回接试验表明, *Pythium aphanidermatum* 和 *F.graminearum* 复合侵染玉米。贺娟等^[16]对云南省玉米茎基腐病原的种群结构进行研究, 发现, 云南省玉米

基金项目 甘肃省科技厅科技支撑计划项目(1604NKCA063); 甘肃省青年科技基金计划项目(17JR5RA016); 甘肃省现代农业产业技术体系玉米产业(GARS-02-03)。

作者简介 吴之涛(1989—), 男, 甘肃武威人, 研究实习员, 从事作物真菌病害研究。*通讯作者, 副研究员, 从事啤酒原料、玉米病害防治研究。

收稿日期 2018-04-18

茎基腐病的病原包括 *F. graminearum*、*F. verticillioides*、*F. fujikuroi*、*F. incarnatum*、*F. oxysporum*、*F. proliferatum*、*F. commune*、*F. chlamydosporum* 和 *F. redolens*, 其中 *F. graminearum* 和 *F. verticillioides* 为优势种。总体来说有 3 种观点:①镰刀菌为优势病原菌,北方种植区以禾谷镰刀菌为主,南方种植区以轮枝镰刀菌为主;②腐霉菌为主要致病菌;③两者复合感染引起植株发病。但是不同生态区、不同培养基及不同分离部位病原菌的分离频率有所差异,发病前期更容易分离出腐霉菌。

2.2 病原的致病性 相关研究报道指出,玉米茎基腐病是由单重病原或多重病原复合感染引起的。根据致病性测定结果可知,接种方法和接种时期对致病性均有一定的影响。目前,关于致病性测定的接种方法主要有牙签法、孢子悬浮液茎基部注射法、土壤接菌法。宋佐衡等^[17]对玉米茎基腐病的接种方法进行比较,结果表明:土壤接菌法效果较好,田间重复接种能使植株表现出典型的发病症状,但接菌量较多,田间鉴定材料较多时,工作量较大。牙签法和孢子悬浮液注射法使植株表现出茎腐症状,在接种过程中由于人为造成植株机械损伤,使病原菌侵入植物组织导致植株发病,但在田间很难表现出自然发病的青枯症状,且重复性也不够稳定。李春霞等^[18]采用土壤伤根接种法和孢子悬浮液注射法对玉米进行致病性测定,结果显示 2 种接种方法对植株的致病性没有明显差异。关于接种时期的研究,不少学者也进行相关报道。吴全安等^[13]对玉米青枯病的致病性测定技术进行研究,发现玉米散粉后 7 d 左右采用土壤接菌法对植株进行接种,发病率最高,后期表现出典型的田间发病症状。孔令晓等^[19]研究认为玉米茎基腐病的最佳接种时期是 6~8 叶时。闵营辉^[20]对玉米茎基腐病的侵染时期进行研究,结果表明:病原菌在三叶期就侵染植株根部,之后逐步扩展,授粉期侵入玉米茎基部。

2.3 病原的侵染规律 目前,关于玉米茎基腐病侵染规律的研究也有不少报道。病原的侵染部位、侵染时期、侵染速度和侵染方式与病害的发生密切相关。晋齐鸣等^[21]研究表明,禾谷镰刀菌和腐霉菌侵染植株的部位不同,禾谷镰刀菌以侵染玉米的胚根为主,腐霉菌以侵染玉米的次生根和须根为主。陈捷等^[22]对田间病株进行分离,研究发现:玉米茎基腐病以前期的侵染为主,前期侵染主要影响植株根系的生长,侵染持续时间较长,后期的侵染只会加快病害的进程。在玉米灌浆之前,病原菌只侵染植株的根系,随后逐步扩展至第二、三茎节的穗部组织内。在适宜的环境条件下,乳熟期是植株显症的最佳时期^[22]。张超冲等^[12]研究发现:禾谷镰刀菌和腐霉菌均可从植株的根系进行侵染,同抗性品种侵染时期存在一定的差异,感病品种侵染高峰期主要表现在散粉期之后,而抗病品种侵染高峰期主要表现在灌浆期。在田间,玉米茎基腐病主要表现为 3 种症状,即青枯型、黄枯型和青黄枯,植株症状的表现与病原的侵染速度密切相关。侵染速度快则表现为青枯型,反之则表现为黄枯型。症状的表现类型受气候条件的限制,与病原种类无关。玉米茎基腐病病原菌主要通过自然孔口、人为或昆虫造成的伤口及植株的根

系侵入组织^[23],菌丝首先在根的皮层定殖,然后逐步侵入维管束,但腐霉菌侵染速度比镰刀菌快,容易造成植株矮化。陈绍江等^[24]对腐霉菌和镰刀菌的相互伴生作用进行了研究,结果表明:腐霉菌的代谢产物对镰刀菌的孢子萌发、芽管伸长具有促进作用,相反镰刀菌的代谢产物会抑制腐霉菌的生长。一般情况下,高湿的环境条件对腐霉菌的侵染有利,而低温、低湿的环境条件对镰刀菌的侵染有利。这也是南方种植区以腐霉菌为优势病原菌、北方种植区以镰刀菌为优势病原菌的原因。

3 玉米茎基腐病的致病和抗性机制

3.1 玉米茎基腐病的致病机制 关于玉米茎基腐病致病机理的研究,目前主要有 2 种学说,一种是毒素学说,另一种是酶动力学说。罗畔池等^[25]研究发现,引起玉米茎基腐病的腐霉菌和镰刀菌能产生致病毒素,该毒素接种植株叶片后会造叶片萎蔫,对种子根的生长也有一定的抑制作用。由于玉米茎基腐病病原的潜育期较长,病原侵染后毒素在植株组织中逐渐积累,而镰刀菌的代谢产物会抑制腐霉菌的生长,因此镰刀菌产生毒素的致病能力强于腐霉菌。祁永红等^[26]对病原侵染组织后植株的细胞结构进行观察,结果表明:镰刀菌先与腐霉菌侵入植物组织,镰刀菌主要分布在韧皮部,而腐霉菌主要分布在导管,寄主细胞出现明显的质壁分离现象。高增贵等^[27]研究表明,腐霉菌和禾谷镰刀菌在植株活体内外均能产生一系列细胞壁降解酶,植株接种后,病组织中细胞壁降解酶的活性均高于空白对照,在温度为 20~40 ℃ 和 pH 为 5.0~6.0 时酶活达到最大,且禾谷镰刀菌产生的细胞壁降解酶的活性高于腐霉菌。陈捷等^[28]研究禾谷镰刀菌和腐霉菌产生的毒素对植株胚根的影响,结果显示,病原菌产生的毒素和细胞壁降解酶对寄主细胞在电解质外渗方面的作用机理基本一致,但毒素对寄主细胞线粒体结构的影响较为显著。总体来说,毒素和细胞壁降解酶的相互作用是引起玉米茎基腐病的主要原因。

3.2 玉米茎基腐病的抗性机制 国内外有许多木质素对植物抗病性的报道。Borges 等^[29]研究发现,玉米接种后木质素含量与植株的抗病性呈正相关。纪明山等^[30]对玉米茎基腐病的抗性机制进行研究,结果表明:玉米接种腐霉菌后,抗病品种木质素、可溶性糖、游离脯氨酸含量均高于感病品种。龙书生等^[31]研究结果表明,原生木质素对植株的抗性无关,而诱导木质素与植株的抗性密切相关。刘晓燕等^[32]研究 KCl 对木质素代谢的影响,结果显示:施用 KCl 可以降低原生木质素含量,使诱导木质素的含量增加,进而使植株的抗性保持在较高水平。冯芬芬等^[33]对玉米种质的抗病性研究发现:随着植株体内糖、硅、钾含量的升高,植株的抗性随之增强,同时植株的根系拉力、茎秆硬度也与抗性相关。另有研究表明,病原菌侵入植株后,抗性品种细胞的超微结构发生变化,菌丝周围出现许多电子致密颗粒,限制菌丝的扩展,而感病品种则不会发生这种反应。陈捷^[34]认为,玉米茎基腐病抗性机制是一个复杂的过程,其中涉及到可溶性糖、酚类物质、钾、硅等元素代谢,通过膜脂过氧化反应、渗透调节、

病程相关蛋白诱导等因子的作用,形成综合的防御系统。

4 玉米茎基腐病的防治技术

玉米茎基腐病是一种典型的土传性病害,病原种类复杂多样。病害的发生与品种的抗性、气候条件、田间栽培管理措施等因素密切相关。因此,该病的防治应采取以种植抗病品种为主,加强田间栽培管理,如适时增施有机肥、硅、钾肥等,再配合生物防治和化学药剂防治,最终构成一套综合的防治措施。王晓鸣等^[35]研究指出,施用硫酸锌后用腐霉菌和镰刀菌接种玉米,植株的发病率明显低于对照,用 30 kg/hm² 硫酸锌作为种肥对大田玉米茎基腐病的防效也较为显著。王富荣等^[36]进行肥效试验、播期试验、种植密度试验,结果表明采取增施钾肥、适期晚播、合理稀植等措施具有一定的防病增产效果^[36]。关于化学防治,目前生产上主要应用一些三唑类杀菌剂,连年的重复使用使病原菌的抗药性逐渐降低,而且对环境也造成一定的污染。随着人们环保和安全意识的增强,生物防治逐渐成为研究的热点。国内外学者在这方面进行相关的报道。1982年 Windels 利用哈茨木霉对玉米种子进行处理可以有效防治茎基腐病的发生。陈捷等^[37]应用绿木霉和玉米根表拮抗菌对玉米茎基腐病的防治进行研究,结果显示:2种菌接种土壤后对镰刀菌和腐霉菌的防效均达到50%以上。王晓鸣^[38]对玉米茎基腐病原的拮抗菌进行研究发现,芽孢杆菌和荧光假单胞菌对腐霉菌抑制作用较强,其中芽孢杆菌对镰刀菌也有抑制作用^[38]。还有研究表明,生物制剂能诱导植株产生抗性,受不同地域气候条件的限制,在成株期对植株的防效不够稳定,仍需进一步探索研究。

5 展望

随着种植结构调整、气候条件变化及栽培方式的改变,玉米茎基腐病的发生依旧普遍且有逐渐加重的趋势。随着现代分子生物学技术地不断发展,人们将会对玉米茎基腐病原的侵染规律、致病机理及抗性机制有更加全面的认识。应用分子育种技术,通过相关抗性基因的克隆,将会极大地加快抗病育种的进程,新型生物靶标农药将是未来关注的重点,其特点主要体现在选择性强,对环境的压力较小,生物靶标农药将会逐渐取代传统的化学农药,从而减少化学农药的用量,这也符合现代农业绿色安全的理念。针对玉米不同种植区域茎基腐病的发生特点,优先选用抗耐病品种,以绿色防控技术为支撑,大力推进专业化统防统治,确保该产业的绿色健康发展。

参考文献

[1] 夏锦洪,方中达.玉米细菌性茎腐病原菌的研究[J].植物保护学报,1962,11(1):1-14.
 [2] 张培坤.玉米青枯病研究进展概述[J].广西植保,2001,14(2):19-20.
 [3] 吴海燕,孙淑荣,范作伟,等.玉米茎腐病研究现状与防治对策[J].玉米科学,2007,15(4):129-132.
 [4] DEVAY J E.Corn disease and their importance in Minnesota in 1956[J]. Plant Dis Repr,1957,41:505-507.
 [5] KOMMEDAHL T,WINDELS C E.Evaluation of biological seed treatment for controlling root diseases of pea[J].Phytopathology,1978,68(7):1087-1095.
 [6] SHURTFLEFF M C.Compendium of corn diseases[M].St.Paul: American

Phytopathological Society Press,1980.
 [7] 袁虹霞,殷营辉,张丹丹,等.河南省玉米茎腐病原菌分离与致病性测定[J].玉米科学,2011,19(6):122-124,128.
 [8] 白金铠,尹志,胡吉成.东北玉米茎腐病原菌的研究[J].植物保护学报,1988(2):93-98.
 [9] 石洁.玉米镰刀菌型茎腐、穗腐、苗期根腐病的相互关系及防治[D].保定:河北农业大学,2002.
 [10] 马秉元,李亚玲,龙书生,等.陕西省玉米茎腐病综合防治措施研究及示范效果[J].植物保护学报,1991,18(4):299-304.
 [11] 郭满军,王晓鸣,何苏琴,等.2009年甘肃省玉米穗腐病、茎基腐病的发生危害[J].植物保护,2011,37(4):134-137.
 [12] 张超冲,李锦茂.玉米镰刀菌茎腐病发生规律及防治试验[J].植物保护学报,1990,17(3):257-261.
 [13] 吴全安,朱小阳,林宏旭,等.玉米青枯病原菌的分离及其致病性测定技术的研究[J].植物病理学报,1997,27(1):29-35.
 [14] 杨岫,郝彦俊,邱荣芳,等.新疆玉米青枯病原菌分离和鉴定[J].新疆农业大学学报,1997,20(2):29-36.
 [15] 徐作珽,张传模.山东玉米茎基腐病原菌的初步研究[J].植物病理学报,1985(2):41-46,68.
 [16] 贺娟,何鹏飞,赵正龙,等.云南省玉米茎基腐病原菌孢子的种群结构研究[J].玉米科学,2017,25(4):135-143.
 [17] 宋佐衡,陈捷,刘伟成,等.玉米茎腐病接种方法比较[J].植物保护,1993,19(1):37-38.
 [18] 李春霞,苏俊,龚士琛,等.玉米茎腐病接种方法的研究[J].玉米科学,2001,9(2):72-74.
 [19] 孔令晓,罗畔池.玉米茎腐病接种技术及抗病性鉴定效果[J].华北农学报,1994,9(S1):105-108.
 [20] 殷营辉.玉米茎基腐病菌侵染时期研究及品种抗病性鉴定[D].郑州:河南农业大学,2011.
 [21] 晋齐鸣,潘顺法,姜晶春,等.玉米茎腐病原菌致病性及侵染规律的研究[J].玉米科学,1995,3(2):74-78.
 [22] 陈捷,宋佐衡,咸洪泉,等.玉米茎腐病侵染规律的研究[J].植物保护学报,1995,22(2):117-122.
 [23] SOBEK E A,MUNKVOLD G P.European corn borer (Lepidoptera:Pyralidae)larvae as vectors of *Fusarium moniliforme*, causing kernel rot and symptomless infection of maize kernels[J].J Econ Entomol,1999,92(3):503-509.
 [24] 陈绍江,宋同明,吴全安.玉米青枯病原菌对其伴生镰刀菌的影响[J].植物病理学报,1997,27(3):251-256.
 [25] 罗畔池,孔令晓,张成和,等.玉米茎腐病菌毒素致病力初报[J].植物保护,1993,19(1):4-6.
 [26] 祁永红,李学湛.玉米茎腐病组织细胞学观察初报[J].黑龙江农业科学,1994(3):25-26.
 [27] 高增贵,陈捷,高洪敏,等.玉米茎腐病菌产生的细胞壁降解酶种类及其活性分析[J].植物病理学报,2000,30(2):148-152.
 [28] 陈捷,高洪敏,宋佐衡.玉米茎腐病菌毒素对寄主幼苗根超微结构的影响[J].植物病理学报,1997,27(3):242.
 [29] BORGES M F,RESENDE M L V,VON PINHO R G.Time of inoculation and inoculum concentration in relation to the expression of corn stalk resistance to *Fusarium moniliforme* [J]. Fitopatologia brasileira, 2001, 26(4):715-720.
 [30] 纪明山,陈捷.玉米腐霉菌茎腐病抗性机制研究[J].植物病理学报,2001,31(4):374-375.
 [31] 龙书生,李亚玲,段双科,等.玉米苯丙烷类次生代谢物与玉米对茎腐病抗性的关系[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(9):93-96.
 [32] 刘晓燕,金继运,何萍,等.氯化钾对玉米木质素代谢的影响及其与茎腐病抗性的关系[J].中国农业科学,2007,40(12):2780-2787.
 [33] 冯芬芬,孙秀华,姜晶春,等.玉米种质对茎腐病的抗病性和抗病资源筛选研究[J].玉米科学,1995(S1):55-58.
 [34] 陈捷.我国玉米穗、茎腐病病害研究现状与展望[J].沈阳农业大学学报,2000,31(5):393-401.
 [35] 王晓鸣,吴全安,张培坤.硫酸钾防治玉米茎基腐病的研究[J].植物保护,1999(2):24-26.
 [36] 王富荣,冯未娥,傅玉红,等.玉米茎腐病综合防治措施研究与应用[J].山西农业科学,1996(4):31-35.
 [37] 陈捷,宋佐衡,梁知洁,等.玉米茎腐病生物防治初步研究[J].植物保护,1994,20(3):6-8.
 [38] 王晓鸣.玉米茎腐病原菌致病性及病害综合防治技术研究[D].北京:中国农业大学,2001.