

棉花轮纹斑病研究进展及防控策略

王雅静, 李郁婷, 刘 泉, 吴学宏*

(中国农业大学植物保护学院植物病理学系, 北京 100193)

摘要 棉花是重要的天然纤维作物和油料作物。棉花轮纹斑病作为一种重要的棉花叶部病害,在我国主要棉区广泛发生,严重影响棉花的产量和品质,造成重大的经济损失,限制了棉花产业的可持续发展。本文围绕棉花轮纹斑病病害症状、发生危害、病原物种类、病害循环和发病条件等进行了综述,并介绍了实际生产中防控该病害发生危害的主要策略。

关键词 棉花; 轮纹斑病; 链格孢; 综合防治

中图分类号: S 435. 621 **文献标识码:** A **DOI:** 10. 16688/j. zwbh. 2017379

Research progress in and integrated management strategies for controlling cotton *Alternaria* leaf spot

WANG Yajing, LI Yuting, LIU Quan, WU Xuehong

(Department of Plant Pathology, College of Plant Protection, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract Cotton is a kind of important natural fiber crops and oil crops. As a significant cotton foliar disease, *Alternaria* leaf spot disease occurred widely in major cotton-producing regions of China, which seriously affected the yield and quality of cotton, leading to great economic losses. Furthermore, it hindered the sustainable development of cotton production. Research on disease symptoms, incidence and damage, species of pathogens, disease cycle, conditions for disease epidemics, and integrated strategies for controlling this disease were reviewed.

Key words cotton; *Alternaria* leaf spot; *Alternaria* spp.; integrated control

棉花 *Gossypium* spp. 为锦葵科 Malvaceae 棉属 *Gossypium* 植物,原产于热带及亚热带地区,是主要的天然纤维作物,也是第二大植物蛋白资源和重要的油料作物,广泛应用于轻工、饲料、医药及军工等产业^[1-2]。世界上种植棉花的国家主要有印度、中国、美国 and 乌兹别克斯坦等^[2]。我国棉花主产区分布在 20 多个省、直辖市、自治区,播种面积约为 422. 23 万 hm^2 ^[3]。棉花轮纹斑病,又称黑斑病(*Alternaria* leaf spot, black leaf spot),作为一种常见的侵染性真菌病害,在世界范围内广泛发生,对棉花生产危害严重^[4]。本文围绕棉花轮纹斑病的症状、发生与危害、病原菌种类、病害循环和发病条件以及综合防控技术进行综述。

1 棉花轮纹斑病的症状、发生与危害

棉花轮纹斑病可以侵染棉花的子叶和真叶、茎

秆、棉铃和花芽,其中对叶部的危害最为严重^[5-6],在棉花生长的整个周期均可发生^[7],大多发生于棉花幼苗期子叶和成株期叶片上^[4]。在幼嫩的子叶上,病害的典型表现为棕色小圆形病斑,病斑边缘紫色;在适宜条件下,病斑直径可扩展至 10~15 mm;有时叶柄也会受害,出现黄褐色条斑,严重时子叶干枯、脱落^[8-9]。成株期叶片上的病斑初为褐色圆点斑,伴有紫色晕圈,直径约 1~2 mm,严重时病斑直径可达 2~3 cm;随着病害的发生,病斑扩展为灰褐色近圆形,变干易碎,坏死斑可能会破裂并脱落,形成“洞眼”;病斑两面均具有同心轮纹,叶片正面更为明显;条件适宜时病斑表面出现黑色霉状物,即为病原菌^[5,10]。

轮纹斑病在田间的发生规律为:苗期和 8 月份之前发病极轻;成株期 8 月份后病情发展迅速;9 月末病情指数和发病率都达到最高峰^[11]。

棉花轮纹斑病在我国的主要棉区均有发生,特

收稿日期: 2017-09-29

修订日期: 2017-12-24

基金项目: 中国农业大学基本科研业务费专项资金(2017TC001)

* 通信作者 E-mail: wuxuehong@cau. edu. cn

别是北方棉区,在阴湿多雨的年份极易发生大流行,严重时棉叶脱落、棉株光秆、枯死^[12]。在棉花叶部病害中,轮纹斑病分布最广、流行频率极高、危害最严重^[13];据不完全统计,发病较轻的地区产量损失约为15%,发病严重的可达20%~50%。病害还会降低棉纤维的品质,给棉农带来重大经济损失^[14]。

此外,轮纹斑病还会启动叶片衰老过程,引起棉花早衰,导致棉叶失绿、变黄、变红,进而叶片焦枯、脱落,严重时整株枯死^[15],是导致棉花早衰的主要原因。轮纹斑病发生发展过程中乙烯的释放量增加,乙烯是造成植物成熟衰老的重要原因之一,因而加速棉花的衰老^[16];同时,链格孢菌毒素也可能是轮纹斑病导致叶片衰老的原因之一。近年来,低温和链格孢菌共同导致的棉花早衰,已遍及我国各棉花主产区,严重影响我国棉花生产^[7,17],危害较轻的年份经济损失为92.5亿~130亿元,危害严重的年份甚至可超过200亿元^[18]。

2 棉花轮纹斑病的病原菌种类

引起棉花轮纹斑病的病原菌有多种,其中大孢链格孢菌 *Alternaria macrospora* 和交链格孢菌 *A. alternata* 为世界范围内棉花轮纹斑病的主要病原菌^[8]; *A. macrospora* 主要在棉花生长前期侵染叶片,而在棉花生长后期叶片更易被 *A. alternata* 侵染^[5]。此外,细极链格孢菌 *A. tenuissima*、棉链格孢菌 *A. gossypina* 等也较为常见^[19-20]。

2.1 国外关于棉花轮纹斑病病原菌的研究

1918年, Faulwetter 最早发现棉花轮纹斑病时,无法准确地鉴定出其病原菌,但是认为其病原菌与 *A. tenuis* 相似^[21]。1964年, Calvert 等报道轮纹斑病的病原菌为 *A. tenuis*^[22],而之后 *A. tenuis* 被命名为 *A. alternata*^[23]。1991年, Hillock 在津巴布韦调查时也发现 *A. alternata* 是轮纹斑病的病原菌^[21]。2000年和2001年, Palmateer 等对美国阿拉巴马州陆地棉的真菌多样性调查研究发现, *A. alternata* 是棉花上最主要的病原菌^[24]。

1956年, Rane 和 Patel 首次在印度发现棉花轮纹斑病时,认为其病原菌为 *A. macrospora*^[25]。1981年,印度草棉上发生的轮纹斑病也是由 *A. macrospora* 引起的^[26]。同年, Hillock 报道在坦桑尼亚发生的棉花叶部斑点病害中, *A. macrospora* 是最为普遍的病原菌^[27]。2008年, Dighule 等从印度发病

的棉叶上分离病原菌,确认 *A. macrospora* 是造成棉花轮纹斑病的主要病原菌^[28]。

1979年,埃及报道表明棉花轮纹斑病的致病菌为 *A. tenuissima*^[26]。1988年, Rotem 在以色列进行引起两个最主要棉花品种‘Pima’和‘Acala’发病的病原菌种类研究时发现,田间种植‘Pima’棉花时, *A. macrospora* 是主要病原菌,其次为 *A. alternata*, 且 *A. macrospora* 和 *A. alternata* 的周期性平均分离比为1:0.4;而田间种植‘Acala’棉花时,叶部病斑主要由 *A. alternata* 引起,其次为 *A. macrospora*, 且 *A. macrospora* 和 *A. alternata* 的分离比为1:19^[29]。1991年, Bashan 等研究认为,棉花轮纹斑病由 *A. alternata* 或 *A. alternata* 和 *A. macrospora* 混合感染所致,并且 *A. alternata* 产生的孢子量远大于 *A. macrospora*^[30]。2007年, Bhuiyan 等对澳大利亚北部的棉花种植区研究发现, *A. alternata* 和 *A. macrospora* 是引起棉花轮纹斑病的病原菌,其中 *A. macrospora* 是棉花生长早期的主要病原菌,而在棉花生长后期,则以 *A. alternata* 为主;同时还发现,16%~65%的发病植株存在 *A. alternata* 和 *A. macrospora* 混合感染的现象^[5]。2016年, Sangeetha 等对印度7个棉花种植区调查研究后认为棉花轮纹斑病的病原菌为 *A. alternata* 和 *A. macrospora*^[31]。

2.2 国内关于棉花轮纹斑病病原菌的研究

国内关于棉花轮纹斑病病原菌的研究甚少。1988年,商鸿生对来自陕西关中地区190份棉花轮纹斑病样品进行鉴定,表明其病原菌为 *A. macrospora*^[32]。1999年,卢金宝等在南疆地区棉花轮纹斑病发病严重的海岛棉田块连续取样进行分离培养鉴定,证实其病原菌为 *A. macrospora*^[19]。2011年,陈凯等从河南省部分地区感染轮纹斑病的棉株上采集病叶并分离病原菌,根据棉花病株症状及病菌的形态特征,并结合 rDNA-ITS 序列分析鉴定出其病原菌为 *A. tenuissima*^[20]。李莎从北京、天津、新疆、山东、河北、河南、江苏等地采集发病叶片,分离得到17株病原菌,经形态学和分子生物学鉴定,其中16株为 *A. alternata*,1株为 *A. macrospora*^[33]。但是国内未见关于轮纹斑病病原菌种群结构研究的系统报道,我国其他棉花种植省份的主要病原菌尚不清楚,且2014年后未见关于轮纹斑病病原菌的报道,已报道省份的优势病原种群也有可能已经发生改变。

3 病害循环和发病条件

棉花轮纹斑病病原菌以分生孢子或菌丝体的形式在棉籽短绒、病残体上越冬,第二年作为初侵染源侵染子叶^[9,34],一般经伤口侵入^[35]。条件适宜时再产生分生孢子,经风、气流传播或雨水滴溅在田间造成再侵染^[9,21]。此外,播种带菌种子能使幼苗发病,进一步扩大侵染^[21]。

当温度在 20~30℃ 范围内,相对湿度大于 80% 的情况下轮纹斑病极易发生,降雨频繁时则更加有利于病原菌的侵染和病害的扩展^[36]。当田间早晨相对湿度较高而夜间相对湿度较低时轮纹斑病的病情指数会增加^[37]。病原菌生长的最适温度为 25℃^[38],但也有研究表明,低温胁迫可能会抑制棉花对链格孢菌的防御应答,棉株抗病力降低,因而短暂低温能诱发轮纹斑病的发生^[16]。因此,当昼夜温差较大时,棉株在夜间遭受短暂的低温胁迫,轮纹斑病菌易于侵染叶片,从而导致轮纹斑的形成。秋季低温高湿易诱发轮纹斑病发生大流行,此时正处于棉花生长的中后期,棉花根系活力降低,各器官功能衰退,棉株的抗性水平下降,适宜的气候条件再加上寄主本身抵抗力降低,病害极易发生大流行^[19]。病原菌对酸碱度的适应能力强(在 pH 为 2~10 的范围内均可发育)^[39]。当田间排水不良、偏施氮肥、植株遭受风害或营养不良时易于发病^[36,38]。此外,缺钾时棉花更易受轮纹斑病菌的侵染^[40]。

4 棉花轮纹斑病的防控策略

齐放军等^[12]曾针对棉花早衰制定出一套防控技术体系,即“选种、壮苗、补钾、抗逆、防病”。选择生长后期长势好、抗病、抗逆性强的品种,保证营养供给充足,保障棉苗根系健康生长,适时补钾,提高棉株防病、抗逆能力。这一防控体系中的“防病”,最主要的是预防棉花轮纹斑病的发生。

棉花轮纹斑病的发生与气候条件、棉株生长状况以及栽培管理措施密切相关,进行防治时要采取“预防为主,综合防治”的策略,密切监测棉花轮纹斑病病原菌致病力的变化及棉花主要栽培品种的抗病性变化^[12],因地制宜,科学防治。生产中以农业防治和化学防治为主,同时要结合抗病品种的选育以及生防制剂的研究和开发。

4.1 农业防治

4.1.1 加强田间管理

首先,收获后应彻底清除田间病残组织,将带菌表土和残枝败叶深翻于土中,消除病源,减少其传播和病原越冬基数。其次,适当休耕或与禾本科作物或绿肥轮作 2~3 年,降低菌源量,例如可与小麦、大麦、玉米和苜蓿等轮作,尤其是与水稻轮作能有效减轻病害发生^[19,38]。在津巴布韦,当棉花轮纹斑病大流行后,若继续播种棉花,则会发现在棉花生长初期就有大量幼苗子叶受到侵染;若在棉花种植期间休耕一季,可大大降低幼苗侵染率^[21]。最后,要合理密植,避免棉株过密,及时整枝,改善田间通风透光条件,提高棉株的抗逆性^[38]。

4.1.2 棉花生长期优化水肥管理

对于陆地棉来说,当其受到链格孢菌的严重侵染时,若在棉株开第一朵花后确保植株能获得充足的水分,并保持土壤养分均衡特别是可利用的钾肥充足则可避免病害大流行^[21],但要避免大水漫灌而导致田间湿度过高。在棉花生长中后期喷施叶面肥,已被证实是防治棉花轮纹斑病的最有效措施之一,并且要结合 N、P、K 肥增施有机肥,增强土壤基础肥力水平^[19];具体做法为:在棉花打顶化控后(7月下旬到8月初)喷施 1~2 次尿素、磷酸二氢钾和硫酸锌的混合液肥,用量为尿素 1 500 g/hm²+磷酸二氢钾 600 g/hm²+硫酸锌 150 g/hm²。

4.2 化学防治

化学防治仍然是防治棉花轮纹斑病最主要的措施,包括种子处理和生长期喷雾两种方式。在生产实践中要根据当地的种植品种和病原菌种类等因地制宜选择最为合适的杀菌剂,并根据气候条件、棉株生长状况等合理使用。

4.2.1 种子处理

在播种前对棉种进行处理,预防棉花轮纹斑病的发生。Shtienbeg 用戊唑醇和苯醚甲环唑对‘Pima’棉种进行处理,发现在温室条件下,这两种杀菌剂能抑制幼苗期子叶的脱落;在大田条件下,经过处理的种子可以延缓病害进程,且这两种杀菌剂的效果相同^[41]。在我国,有研究者提出用 32% 乙蒜素·三唑酮乳油 1 000 倍液浸种 6~8 h,之后将种子捞出稍稍晾干再进行拌种,用量为 1.5 kg 棉种拌 8% 拌种灵·福美双可湿性粉剂 10 g^[34]。

4.2.2 苗期防治

齐苗后每 5~7 d 用 25% 多菌灵可湿性粉剂或 40% 多硫胶悬剂 500 倍液喷雾 1 次, 连续喷 2~3 次; 移栽大田后, 在茎秆发病初期每 7 d 用 32% 乙蒜素·三唑酮乳油 1 500 倍液或 50% 代森锰锌可湿性粉剂 500 倍液喷雾 1 次, 连续 2~3 次, 同时在喷药时可混用 0.3% 磷酸二氢钾溶液以提高防治效果^[34]。

4.2.3 生长中后期防治

棉花轮纹斑病的高发期一般在棉花生长中后期, 此时要注意天气变化, 在降雨以及突发降温前及时喷药保护, 药剂可选择代森锰锌等保护性杀菌剂。病害发生时, 可选用三唑类药剂进行防治。

Bhattiprolu 研究发现醚菌酯和代森锰锌能有效控制轮纹斑病, 提高棉田产量^[42]。Housadoudar 等研究发现, 用 3% 萎锈灵进行种子处理+0.1% 丙环唑进行叶面喷施能显著降低棉花轮纹斑病的病情指数; 而用 3% 萎锈灵种子处理+0.1% 己唑醇叶面喷施经济效益更高^[43]。Meena 和 Ratnoo 分别采用转 Bt 棉花和非转 Bt 棉花测试了 8 种杀菌剂(王铜、代森锰锌、敌菌丹、戊唑醇、多菌灵、己唑醇、丙环唑、多菌灵+代森锰锌)在 0.1% 和 0.2% 的浓度下对 *A. macrospora*、*A. gossypina* 和 *A. alternata* 引起的病害防治效果, 代森锰锌和己唑醇最为有效, 其次为王铜和丙环唑, 同时 0.2% 的浓度比 0.1% 更为高效^[8]。Kapadiya 等通过 3 年的试验发现 70% 克菌丹和 5% 己唑醇混配能有效降低轮纹斑病的病情指数, 并能提高籽棉产量, 改善棉纤维纯度、均匀度以及强度^[44]。

但近年来, 国内关于对防治棉花轮纹斑病药剂筛选的研究甚少, 生产实践中常使用保护性杀菌剂或苯并咪唑类内吸性杀菌剂等单一药剂进行防治, 易使病原菌产生抗药性, 防治效果降低^[45]。因此, 应展开有效抑制轮纹斑病菌杀菌剂的筛选以及对安全高效的新杀菌剂的研发工作。

4.3 选用抗病品种

根据棉花轮纹斑病的发展趋势和病害的危害性, 加强抗病品种的选育。尤其是针对棉花生长中后期对轮纹斑病的抗性, 应列入育种目标中。Meena 发现与转 Bt 棉相比, 非转 Bt 棉对轮纹斑病的病原菌及其产生的毒素更为敏感^[46]。Cotty 曾研究了美国亚利桑那州普遍种植的棉花品种对 *A. macrospora* 的感病性, 发现陆地棉 *Gossypium hirsutum* 比海岛棉

G. barbadense 更抗病, 而在陆地棉栽培品种中, ‘Deltapine 61’, ‘Acala SJ-5’ 和 ‘McNair 235’ 比 ‘Deltapine Acala-90’ 更为抗病^[39]。Cia 对 18 个棉花基因型在自然状态下对轮纹斑病的发病状况研究后发现, TMG 81 WS、IMA 09-474、NUOPAL、IAC 08-2031 和 IAC 26 RMD 等 5 种基因型具有稳定的抗病性^[47]。Bhattiprolu 对 376 种棉花基因型进行筛选, 发现 TCH1717、RAJHH783 等 2 种基因型对轮纹斑病免疫, 且有 47 种基因型表现抗病性^[48]。

但国内对抗棉花轮纹斑病品种方面的报道甚少^[49], 因此应当开展抗病品种的筛选工作, 并且随着现代分子生物学的发展, 可以筛选抗病基因, 将基因工程手段与传统育种方式结合来培育抗病品种。

4.4 生物防治

近年来, 化学农药的过量使用对环境的危害严重, 人们越来越重视对生态环境的保护, 病害生物防治的研究也越来越重要。

Jabaji-Hare 等研究了非致病性双核丝核菌和苯并噻二唑对棉花轮纹斑病的防治效果, 发现非致病性双核丝核菌的防治效果要优于苯并噻二唑, 且两者具有协同作用^[50]。陈凯等研究了 7 个哈茨木霉菌株对棉花轮纹斑病病原菌的室内抑菌效果, 筛选出两株较为理想的拮抗木霉菌株 TH 和 TA^[20]。Bhattiprolu 等报道哈茨木霉 *Trichoderma harzianum* 和绿色木霉 *T. viride* 能有效防治棉花轮纹斑病^[51]。Bhattiprolu 发现利用荧光假单胞菌 *Pseudomonas fluorescens* 进行种子处理和叶面喷施能够显著控制棉花轮纹斑病, 降低病害严重度^[52]。Kapadiya 等发现荧光假单胞菌还能有效地控制细菌性叶枯病和灰霉病的发生。李莎筛选出一株对棉花轮纹斑病病原菌有拮抗作用的枯草芽胞杆菌 *Bacillus subtilis*, 其抑菌率可达 78.1%, 抑菌效果稳定, 具有较广的抑菌谱, 对链格孢菌的分生孢子、菌丝均有抑制和破坏作用, 并有一定的田间防效^[33]。Laxman 和 Venkat 等从土壤中筛选出 18 株能有效抑制轮纹斑病病原菌生长的根际细菌, 抑制率均大于 50%^[54]。

5 展望

棉花轮纹斑病是棉花上一种重要的叶部病害, 危害严重时带来巨大的经济损失。目前对这种病害的研究主要集中于病原菌的鉴定、发病条件及化学杀菌剂的筛选等方面, 近年来一些学者也着手研究

其生物防治。国内对于棉花轮纹斑病的病原菌种群结构研究甚少,国外报道的5种病原菌中,在国内只发现 *A. alternata*、*A. macrospora* 和 *A. tenuissima* 3种,且仅见于北京、天津、新疆、山东、河北、河南、江苏、陕西等8个省(直辖市、自治区)。此外,关于病原菌的侵染方式、致病机理、病原菌与寄主的互作机制、抗病品种的鉴定以及病原菌对杀菌剂的抗性等方面的研究尚未见报道。因此,明确棉花轮纹斑病病原菌在全国各地的种群结构及其分布、病原菌与寄主的互作机制以及病原菌对杀菌剂的抗性机制,筛选有效防治该病害的杀菌剂,对棉花轮纹斑病综合防控策略的制定具有重要意义。

参考文献

- [1] 钱山山. 蔗糖转运蛋白 GhSUT1 和 GhSUT4 在棉花光合产物分配中的功能[D]. 重庆:西南大学,2016.
- [2] 冯振. 中国棉花对外贸易定价权研究[D]. 杭州:浙江大学,2015.
- [3] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2015:218.
- [4] SHTIENBERG D. Effects of *Alternaria macrospora* on the yield components of Pima cotton in Israel [J]. Plant Pathology, 1993, 42(5): 701–706.
- [5] BHUIYAN S A, BOYD M C, MARTIN C, et al. Development of *Alternaria* leaf blight on north Australian cotton (*Gossypium hirsutum*), species prevalence, and its control using mancozeb [J]. Australasian Plant Pathology, 2007, 36(5): 488–497.
- [6] BLACHINSKI D, SHTIENBERG D, DINOOR A, et al. Influence of foliar application of nitrogen and potassium on *Alternaria* diseases in potato, tomato and cotton [J]. Phytoparasitica, 1996, 24(4): 281–292.
- [7] 王婧,翟伟卜,高环,等. 链格孢引起的病害严重危害农作物生产并危及农产品安全[J]. 植物保护,2017,43(4):9–15.
- [8] MEENA P K, RATNOO R S. Efficacy of fungicides and phyto-extracts for suppression on leaf spot of cotton caused by *Alternaria* spp. [J]. International Journal of Plant Protection, 2013, 6(2): 271–274.
- [9] 王迪轩,周国锋. 如何识别与防治棉花黑斑病? [J]. 农药市场信息,2012(14):42.
- [10] BHUMIKA S P, VIPUL K D, HARSHADKUMAR B P. A survey on detection and classification of cotton leaf diseases [C]// International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques. India, 2016:2499–2506.
- [11] 张文蔚,李莎,齐放军,等. 棉花轮纹斑病成株期田间消长动态研究[J]. 中国棉花,2014,41(2):13–14.
- [12] 齐放军,简桂良,李家胜. 棉花早衰、红叶茎枯病与棉花轮纹斑病间关系辨析[J]. 棉花学报,2013,25(1):81–85.
- [13] 张文蔚,李莎,简桂良,等. 中国部分棉区棉花轮纹斑病病原菌“种”的初步鉴定[J]. 棉花学报,2014,26(3):268–273.
- [14] 沈其益. 棉花病害基础研究与防治[M]. 北京:科学出版社,1990.
- [15] 郁红霞. 新疆棉花早衰的原因分析及防治思路[J]. 中国植保导刊,2007,27(5):28–29.
- [16] 刘伟. 低温抑制棉花对链格孢菌抗性应答反应的初步研究[D]. 北京:中国农业科学院,2014.
- [17] 赵景青. 低温诱发轮纹斑病并导致棉花叶片衰老的研究[D]. 北京:中国农业科学院,2012.
- [18] 简桂良,齐放军,张文蔚. 棉花早衰危害及其治理对策[C]// 中国棉花学会 2011 年年会,2011:34–37.
- [19] 卢金宝,赵书珍,邵红忠,等. 新疆海岛棉中后期叶病的发生及防治[J]. 实用技术,1999,26(8):29.
- [20] 陈凯,刘爱荣,吴尚英,等. 棉花黑斑病病原鉴定及生防木霉菌株的筛选[J]. 湖北农业科学,2011,50(9):1793–1796.
- [21] HILLOCKS R J. *Alternaria* leaf spot of cotton with special reference to Zimbabwe [J]. Tropical Pest Management, 1991, 37(2): 124–128.
- [22] CALVERT O H, SAPPENFIELD W P, HICKS R D, et al. The *Cercospora-Alternaria* leaf blight complex of cotton in Missouri [J]. Plant Disease Reporter, 1964, 48(6): 466–467.
- [23] SIMMONS E G. Typification of *Alternaria*, *Stemphylium* and *Ulocladium* [J]. Mycologia, 1967, 59(1): 67–92.
- [24] PALMATEER A J, MCLEAN K S, MORGAN-JONES G, et al. Frequency and diversity of fungi colonizing tissues of upland cotton [J]. Mycopathologia, 2004, 157(3): 303–316.
- [25] RANE M S, PATEL M K. Disease of cotton in Bombay: *Alternaria* leaf spot [J]. Indian Phytopathology, 1956, 9(2): 106–113.
- [26] SCIUMBATO G L, PINCKARD J A. *Alternaria macrospora* leaf spot of cotton in Louisiana in 1972 [J]. Plant Disease Reporter, 1974, 58(3): 201–202.
- [27] HILLOCKS R J. Cotton disease research in Tanzania [J]. Tropical Pest Management, 1981, 27(1): 1–12.
- [28] DIGHULE S B, PERANE R R, MORE P E, et al. Efficacy of chemical fungicides and bio-agents against major cotton fungal foliar diseases [J]. International Journal of Plant Protection, 2011, 4(2): 263–266.
- [29] ROTEM J, EIDI J, WENDT U, et al. Relative effects of *Alternaria alternata* and *A. macrospora* on cotton crops in Israel [J]. Plant Pathology, 1988, 37(1): 16–19.
- [30] BASHAN Y, LEVANONY H, Or R. Association between *Alternaria macrospora* and *Alternaria alternata*, causal agents of cotton leaf blight [J]. Canadian Journal of Botany, 1991, 69(12): 2603–2607.
- [31] SANGEETHA K D, ASHTAPUTRE S A, RAO M S L. Studies on morphological and cultural variability of *Alternaria* spp. isolates causing leaf blight of cotton [J]. Journal of Pure and Applied Microbiology, 2016, 11(2): 755–757.
- [32] 商鸿生. 棉花苗期轮纹斑病发生与防治的研究[J]. 植物保护,

1988, 14(3): 10 - 11.

- [33] 李莎. 棉花轮纹斑病及其拮抗细菌的筛选和鉴定[D]. 北京: 中国农业科学院, 2011.
- [34] 宋先云. 棉花轮纹斑病的发生与防治[J]. 安徽农业, 2000(6): 18.
- [35] 李莎, 张文蔚, 齐放军, 等. 环境条件对棉花轮纹斑病菌分生孢子萌发的影响[J]. 棉花学报, 2011, 23(5): 472 - 475.
- [36] JOHNSON I, RAMJEGATHESH R, KARTHIKEYAN M, et al. Epidemiology of grey mildew and *Alternaria* blight of cotton [J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2013, 46(18): 2216 - 2223.
- [37] VENKATESH I, BHATTIPROLU S L, PRASADJI J K, et al. Influence of weather parameters on the development of *Alternaria* leaf spot in cotton [J]. Journal of Cotton Research Development, 2016, 30(1): 127 - 130.
- [38] 叶生海, 廖勤周, 胡细荒, 等. 棉花轮纹斑病重发原因分析与防控对策[J]. 湖北植保, 2013(1): 54 - 55.
- [39] COTTY P J. Evaluation of cotton cultivar susceptibility to *Alternaria* leaf spot [J]. Plant Disease, 1987, 71(12): 1082 - 1084.
- [40] ZHAO J Q, ZHAO F Q, JIAN G L, et al. Intensified *Alternaria* spot disease under potassium deficiency conditions results in acceleration of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaf senescence [J]. Australian Journal of Crop Science, 2013, 7(2): 241 - 248.
- [41] SHTIENBERG D. Effects of leaf susceptibility and fungicide seed treatment on leaf spot of Pima cotton caused by *Alternaria macrospora* [J]. Plant Pathology, 1991, 40: 415 - 421.
- [42] BHATTIPROLU S L. Efficacy of kresoxim methyl against foliar diseases of cotton [J]. Journal of Cotton Research and Development, 2015, 29(1): 112 - 115.
- [43] HOUSAGOUDAR G N, CHATTANNAVAR S N. Integrated disease management of *Alternaria* leaf spot on *Bt* cotton through fungicides [J]. Journal of Cotton Research and Development, 2014, 28(1): 120 - 124.
- [44] KAPADIYA H J, BUTANI A M, KHANPARA M D. Efficacy of taqat against *Alternaria* leaf spot disease of cotton [J]. Journal of Cotton Research and Development, 2015, 29(2): 305 - 308.
- [45] 李慧, 张宇, 周兆红, 等. 防治棉花轮纹斑病的异菌脉与福美双混配制剂研究[C]//郭泽建, 李宝筠. 中国植物病理学会 2012 学术年会论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012: 46.
- [46] MEENA P K, RATNOO R S. Effect of growth and sporulation on different solid media and toxin production by *Alternaria* spp. causing leaf spot on cotton [J]. International Journal of Plant Protection, 2013, 6(2): 293 - 295.
- [47] CIA E, FUZATTO M G, KONDO J I, et al. Response of cotton genotypes to the incidence of *Alternaria* leaf spot [J]. Summa Phytopathologica, 2016, 42(4): 357 - 359.
- [48] BHATTIPROLU S L, PRASADA RAO M P. Evaluation of cotton genotypes against *Alternaria* and *Helminthosporium* leaf spot diseases [J]. Journal of Cotton Research and Development, 2013, 27(2): 302 - 304.
- [49] 张珊珊, 翟伟卜, 郭慧敏, 等. 香豆素合成途径关键酶基因 *Gh-pal*, *Gh4h* 和 *Gh4cl* 在棉花抗链格孢菌中的作用[J]. 植物病理学报, 2017, 47(2): 214 - 223.
- [50] JABAJI-HARE S, NEATE S M. Nonpathogenic binucleate *Rhizoctonia* spp. and benzothiadiazole protect cotton seedlings against *Rhizoctonia* damping-off and *Alternaria* leaf spot in cotton [J]. Phytopathology, 2005, 95(9): 1030 - 1036.
- [51] BHATTIPROLU S L, MADHAVI G B, REDDY V C. Efficacy of *Trichoderma viride* and *T. harzianum* against foliar diseases of cotton [J]. Journal of Cotton Research and Development, 2016, 30(2): 240 - 243.
- [52] BHATTIPROLU S L, RAO M P P. Management of *Alternaria* leaf spot (*Alternaria macrospora* Zimm) on cotton by biological approach [J]. Journal of Cotton Research and Development, 2009, 23(1): 135 - 137.
- [53] KAPADIYA H J, BUTANI A M, KHANPARA M D. Biological management of major foliar diseases of cotton [J]. Journal of Cotton Research and Development, 2015, 29(1): 108 - 111.
- [54] LAXMAN S R, VENKAT S H. Screening of antifungal potential of rhizospheric isolates against *Alternaria* leaf blight disease of *Bt*-cotton *in vitro* [J]. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2016, 5(8): 769 - 784.

(责任编辑: 田 喆)