



棉铃疫病人工接种方法优化及应用

鹿秀云¹, 商俊燕¹, 邵美琪², 谢雪娇¹, 郭庆港¹, 李社增¹, 马平^{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中心, 河北保定 071000; 2. 河北农业大学, 河北保定 071000)

摘要:【目的】棉铃疫病是严重危害棉花生产的铃部病害。本研究旨在优化棉铃疫菌(*Phytophthora boehmeriae*)的人工接种方法并有效应用。【方法】在室内保湿培养条件下,比较了棉株不同部位健康成铃自身携带棉铃疫菌的情况;利用贴接棉铃疫菌菌盘的方法,比较了棉铃表面消毒和不消毒、有伤和无伤接种对棉铃疫病发病情况的影响;建立棉铃疫病人工接种方法并应用于防治棉铃疫病化学药剂筛选、棉花品种抗病性鉴定和棉铃疫菌致病力检测。【结果】田间棉株下部第1~3果枝铃的棉铃疫病发病率显著高于中部第4~6果枝铃、中部第7~9果枝铃和上部第10~12果枝铃;75%(体积分数,下同)酒精浸泡棉铃2 min能够有效杀死棉铃表面携带的棉铃疫菌和其他真菌等杂菌;有伤接种棉铃疫菌,棉铃疫病发病快且均匀。建立了棉铃疫病快速人工接种方法:选取棉株中部第4~9果枝上的健康带柄成铃,去掉苞叶,用75%酒精浸泡消毒2 min,在棉铃中上部铃缝处针刺接种棉铃疫菌,25℃保湿培养3~7 d即可完全发病。应用优化的棉铃疫病人工接种方法筛选、鉴定结果表明,12种化学杀卵菌剂中,对棉铃疫病防治理想的药剂为25%(质量分数,下同)甲霜·霜霉威可湿性粉剂、70%丙森锌可湿性粉剂和52.5%噁酮·霜脲氰水分散粒剂;16个棉花品种对棉铃疫病存在抗性差异;10个棉铃疫菌菌株中JP18-4的致病力最强,JP15-2对棉铃的致病力最弱。【结论】本研究优化建立了棉铃疫病人工接种方法。该方法在7 d内即可完成棉铃疫病相关试验的评价,为加快棉铃疫病防治药剂筛选、棉花品种抗病性鉴定和棉铃疫菌致病力检测提供可行的技术。

关键词: 棉铃疫病; 苜麻疫霉; 人工接种; 方法优化

Optimization and application of an artificial inoculation method for cotton boll blight

Lu Xiuyun¹, Shang Junyan¹, Shao Meiqi², Xie Xuejiao¹, Guo Qinggang¹, Li Shezeng¹, Ma Ping^{1*}

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

Abstract: [Objective] Cotton boll blight, which caused by *Phytophthora boehmeriae*, is one of the most important diseases of cotton boll rot. The aim of this study was to optimize the artificial inoculation method of cotton boll blight and to apply for further studies. [Method] The population of *P. boehmeriae* in adult bolls sampled from different parts of cotton plant was compared under the suitable culture conditions. The disease occurrences of surface sterilization and non-sterilization, as well as injury and non-injury cotton bolls inoculated with *P. boehmeriae* were compared. The artificial inoculation method of cotton boll blight was established through pathogenesis tests and used to screen 12 kind of chemicals against the disease, to identify the resistances of 16 cotton varieties and to test the pathogenicity of 10 strains of *P. boehmeriae*. [Result] The disease incidence of the boll from the 1-3rd fruit branches was more serious than that from the 4-6th fruit branches, the 7-9th fruit branches and the 10-12th fruit branches. *P. boehmeriae* and other microorganisms on cotton boll surface could be eliminated by soaking cotton bolls in 75% (volume fraction) alcohol for 2 min. Cotton bolls from the 4-9th fruit branches of cotton were soaked in 75% alcohol for 2 min, and then wounded with sewing needles on the middle and upper part of the cotton bolls. The wounded parts of cotton bolls were inoculated with the mycelium disks of *P. boehmeriae*. Cotton boll blight occurred completely in 3-7 d under moisture culture at 25 °C. Among the 12 kind of chemical fungicides, 25% (mass fraction) Metalaxyl propamocarb hydrochloride wettable

收稿日期: 2020-08-17 第一作者简介: 鹿秀云(1975—), 女, 硕士, luxiyun03@163.com。* 通信作者: pingma88@126.com

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201900); 国家现代农业产业技术体系(CARS-15-18); 河北省现代农业产业技术体系(HBCT2018040204)

powder (WP), 70% Propineb WP and 52.5% Famoxadone cymoxanil wettable granule (WG) showed significant control effects against cotton boll blight with the artificial inoculation. For 16 cotton varieties, there were differences in resistance to the disease. Among the 10 strains of *P. boehmeriae*, JP18-4 showed the highest pathogenicity, while JP15-2 showed the lowest. [Conclusion] Artificial inoculation method of cotton boll blight was established and optimized in this study. The method can be used for screening control agents against cotton boll blight and the identification of resistant cotton varieties and pathogenicity difference of *P. boehmeriae*.

Keywords: cotton boll blight; *Phytophthora boehmeriae*; artificial inoculation; method optimization

棉铃疫病是造成我国主要棉区棉花烂铃的主要病害,其发生率占烂铃病的90%以上^[1-2],严重影响棉花的产量和品质。我国棉铃疫病主要由苾麻疫霉(*Phytophthora boehmeriae*)引起^[3-4]。苾麻疫霉不仅直接侵染棉铃导致棉铃疫病,而且还增加了其他腐生病原菌侵染棉铃的概率^[5]。针对该病害,我国学者开展了多种防治技术研究。杨春萍^[6]和常文周等^[7]将推株并垄、化学调控棉花高度和封行时间、摘早蕾、摘烂铃等防治技术在生产中应用,并初见成效。但这些技术应用时存在难以精准控制、费工费时等问题,故其在生产实践中并未被普遍推广应用。行间覆盖地膜的物理防治技术虽然在棉铃疫病防治上取得了较好的防病效果和经济效益^[8],但因为配套措施不完善等问题,在棉花生产中也未大面积应用。

选育和利用抗病品种是控制作物病害最经济、有效的措施。田间调查发现不同棉花品种对烂铃病的抗性存在很大差异。朱荷琴等调查发现铃病发生的轻重与棉花品种类型关系密切,海岛棉较亚洲棉和陆地棉铃病发生重,黄河流域棉区的品种较长江流域棉区的品种铃病重,早熟棉品种的烂铃率明显高于中熟棉品种^[9];李社增等调查发现,河北、山东和河南3省审定的50个棉花品种对棉花烂铃病的抗性存在显著差异,其中邯7860、邯棉103、锦科178、百棉1号和郑农棉4号5个品种对棉花烂铃病表现出较好的抗性^[2];李彩红等调查发现湖南省的26个品种(系)对铃病病原菌的抵抗力存在显著差异^[10]。然而目前还没有关于棉铃疫病的抗性评价方法。药剂防治棉花烂铃是棉农普遍采用的主要措施,但目前针对棉铃疫病我国仅登记了以三乙膦酸铝为有效成分的4个化学杀菌剂,其防效也不尽如人意,难以满足生产需求。因此,有必要建立快速有效的

人工接种方法开展杀卵菌类药剂或广谱性化学杀菌剂对棉铃疫病的防治效果评价,以期为棉铃疫病的药剂防治提供技术指导。

在棉铃疫病的人工接种方法方面,李晖等采用75%(体积分数,下同)的酒精将健康棉铃离体消毒,然后在苞叶和棉铃间擦伤接种黄豆粒大小棉铃疫菌菌丝块,能够使棉铃表现典型的疫病症状^[11];单卫星等通过游动孢子人工接种试验证明棉铃疫菌主要危害棉铃,此外还能侵染棉苗及成株叶片^[12];马辉刚等采用菌丝块创伤接种法,分别对棉苗子叶、棉铃和苾麻叶片接种,4株棉铃疫菌对棉铃的致病力强,对苾麻的致病力弱,对棉苗存在明显的致病力分化^[13]。虽然研究者应用不同的接种方法开展了相关研究,但这些接种方法均没有详细描述技术指标,且试验周期长。为了解决上述问题,本研究拟对棉铃疫病人工接种方法进行优化,筛选致病快、重复性强的接种方法,为棉铃疫病的有效防治提供技术基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试病原菌:棉铃疫菌(*P. boehmeriae*)菌株JP5-1,自河北省沧州市献县河城街镇河城街村(116°12'21"E,36°10'41"N)发病棉铃上分离,在棉铃上表现为强致病力,用于棉铃疫病人工接种方法优化试验。棉铃疫菌菌株JP2-1、JP2-2、JP2-3分离自河北省肥乡县(114°45'57"E,36°31'53"N),JP3-1、JP3-2、JP3-3、JP3-4分离自河北省成安县(114°44'24"E,36°29'58"N),JP15-2分离自河北省威县(115°26'53"E,36°55'48"),JP18-3、JP18-4分离自河北省邱县(115°10'53"E,36°48'25"N),该10株棉铃疫菌用于致病力测定试验。以上病原菌菌株均由河北省农林科学院植物保

护研究所植物病害生物防治实验室分离和保存。

供试棉花品种:冀棉 863 由曲周县银絮棉花专业合作社提供,农大棉 8 号由河北农业大学提供,冀丰 106 由河北冀丰棉花科技有限公司提供,鄂荆 1 号和冀棉 11 由河北省农林科学院植物保护研究所植物病害生物防治实验室繁殖。邯 7860、DP99B、百棉 5 号、国欣棉 11、新陆中 35、柳棉 2 号、邯棉 802、新植 5 号、鲁棉研 29、科林 9828、科抗棉 2 号、鲁垦棉 33、创优 9 号、鲁棉研 27、银山 6 号和冀 151 等已审定品种的种子由河南省农业科学院植物保护研究所提供。

供试化学药剂:25%(质量分数,下同)甲霜·霜霉威可湿性粉剂(剂型代码:WP)由浙江禾本科技有限公司生产,70%丙森锌可湿性粉剂由深圳诺普信农化股份有限公司生产,52.5%噁酮·霜脲氰水分散粒剂(剂型代码:WG)和 46.1%氢氧化铜水分散粒剂由美国杜邦公司生产,70%乙铝·锰锌可湿性粉剂由利民化学有限责任公司生产,50%烯酰吗啉水分散粒剂由海利尔药业集团股份有限公司生产,40%五氯硝基苯粉剂(剂型代码:DP)由山西农丰宝农药有限公司生产;69%烯酰·锰锌可湿性粉剂由威海韩孚生化药业有限公司生产,50%福美双可湿性粉剂由河北冠龙农化有限公司生产,722 g·L⁻¹霜霉威盐酸盐水剂(剂型代码:AS)由拜耳作物科学(中国)有限公司生产,80%代森锰锌可湿性粉剂由郑州志信农化有限公司生产,250 g·L⁻¹嘧菌酯悬浮剂(剂型代码:SC)由先正达(苏州)作物保护有限公司生产。

培养基是马铃薯葡萄糖琼脂(Potato dextrose agar, PDA)培养基:20%(质量分数,下同)土豆煎汁、2%葡萄糖、2%琼脂粉、蒸馏水 1 000 mL。

仪器设备:SPX-8085-II 生化培养箱,由上海新苗医疗器械制造有限公司生产;VD-650-U 洁净工作台,由苏州安泰空气技术有限公司生产;恒温人工气候室,由保定市华风制冷有限公司生产。

1.2 病原菌活化

将保存在 4 ℃ PDA 试管斜面培养基上的棉铃疫病菌株转接至 PDA 平板上,于 25 ℃ 下培养 5 d,备用。

1.3 棉铃疫病人工接种方法优化

在河北省曲周县银絮棉花专业合作社试验

田种植棉花品种冀棉 863,定点定株采集健康成铃用于棉铃疫病人工接种方法的优化试验。

1.3.1 棉花植株不同部位成铃疫病感染情况检测。于 7 月 27 日、8 月 23 日、9 月 2 日和 9 月 23 日分别采集棉花植株下部第 1~3 果枝、中部第 4~6 果枝、中部第 7~9 果枝和植株上部第 10~12 果枝的健康成铃(铃最大处的直径 \geq 2.5 cm)各 40 个,带回实验室进行相关试验。将去掉苞叶的棉铃固定在 40 cm \times 25 cm 的长方形白色泡沫板上,每块泡沫板平均分为 8 排,每排固定 5 个棉铃,每块泡沫板固定 40 个棉铃,放入盛有 300 mL 无菌水的保湿培养盒内(保湿盒长 42.0 cm,宽 27.5 cm,高 10.5 cm,用保鲜膜封严保湿),每 10 个棉铃为 1 次重复,每个处理重复 4 次,置于 25 ℃ 培养室恒温培养。观察棉铃发病情况,调查棉铃发病率,明确棉花植株不同部位棉铃携带疫病的情况。

1.3.2 棉铃表面消毒处理对棉铃疫病发病情况的影响。于 8 月中旬采集棉株中部第 4~6 果枝和第 7~9 果枝的健康成铃各 80 个,带回实验室开展试验。将棉铃去掉苞叶,将其中 40 个棉铃在 75%酒精消毒液中浸泡 2 min 后取出,酒精自然挥发后备用;另外 40 个棉铃不作任何处理(空白对照)。每 10 个棉铃为 1 次重复,每个处理重复 4 次,恒温保湿培养条件同 1.2.1。每天观察发病情况,记录发病棉铃数和培养时间,计算病铃率。

1.3.3 有伤和无伤接种对棉铃疫病发病情况的影响。于 8 月中下旬采集棉株中部第 4~9 果枝的健康成铃 80 个,带回实验室开展试验。将棉铃去掉苞叶,在 75%酒精消毒液中浸泡 2 min 后取出,酒精自然挥发后备用。设有伤和无伤接种 2 个处理,(1)有伤接种处理:用灭菌针束(3 根 5 号缝衣针)将铃面中上部铃缝处轻微刺伤(深度 3 mm),将培养 5 d 的棉铃疫菌 JP5-1 菌丝块(直径 5 mm)面朝下贴在伤口处;(2)无伤接种处理:直接将培养 5 d 的棉铃疫菌 JP5-1 菌丝块(直径 5 mm)面朝下贴在铃面中上部的铃缝处。每个处理设 4 次重复,每次重复 10 个棉铃,放入培养盒中培养,恒温保湿培养条件同 1.2.1,每天观察发病情况,记录发病棉铃数和发病级别,计算病铃率和病情指数。

1.4 棉铃疫病人工接种方法的应用

1.4.1 筛选防治棉铃疫病的化学杀菌剂。评价 12 种化学杀菌剂对棉铃疫病的防效。于 8 月中下旬采集农大棉 8 号植株中部第 4~9 果枝健康成铃,按照 1.3.3 中棉铃疫病有伤接种技术对去掉苞叶的棉铃进行表面消毒和刺伤,然后将棉铃固定在泡沫板上放入保湿盒内;在棉铃伤口位置喷施相应稀释倍数的化学药剂水溶液,待药液晾干后将培养 5 d 的棉铃病菌 JP5-1 菌丝块(直径 5 mm)面朝下贴在伤口处。每个处理设 4 次重复,每次重复 10 个棉铃,放入培养盒中培养,恒温保湿培养条件同 1.2.1,每天观察发病情况,分别在培养 3 d、5 d 和 7 d 时调查棉铃疫病发病情况,记录发病棉铃数和发病级别,计算病铃率和病情指数。

1.4.2 评价棉花品种对棉铃疫病的抗性。应用棉铃疫病人工接种方法评价已审定的 16 个棉花品种对棉铃疫病的抗性。在河北省献县小平王乡西刘庄村试验田种植 16 个棉花品种,每个棉花品种种植 2 行,每行约 25 株,常规栽培管理。于 8 月中下旬采集各棉花品种植株中部第 4~9 果枝健康成铃,按照 1.3.3 中棉铃疫病有伤接种技术对不同品种的棉铃进行接种,每个处理设 4 次重复,每次重复 10 个棉铃,25 °C 保湿培养。分别在培养 3 d、5 d 和 7 d 时调查棉铃疫病发病情况,记录发病棉铃数和棉铃疫病发病级别,计算病铃率和病情指数,评价棉花品种对棉铃疫病的抗性。

1.4.3 评价棉铃病菌的致病力。应用棉铃疫病人工接种方法评价 10 株棉铃病菌在棉铃上的致病力。采集农大棉 8 号植株中部第 4~9 果枝健康成铃,按照 1.3.3 中棉铃疫病有伤接种技术进行接种,25 °C 保湿培养。每个菌株作为 1 个处理,每个处理设 4 次重复,每次重复 10 个棉铃。分别在培养 3 d、5 d 和 7 d 时调查棉铃疫病发病情况,记录发病棉铃数和棉铃疫病发病级别,计算病铃率和病情指数,评价棉铃病菌的致病力。

1.5 棉铃疫病的调查方法

采用 5 级标准^[4]调查棉铃疫病的发病情况:0 级,未发病;1 级,病斑面积 ≤ 25%;2 级,25.0% < 病斑面积 ≤ 50.0%;3 级,50.0% < 病斑面积 ≤

75.0%;4 级,病斑面积 > 75.0%。根据以下公式计算病铃率(r_{DB})、病情指数(DI)和防治效果(防效, E)。公式: $r_{DB}(\%) = N_{DB}/N \times 100$,式中 N_{DB} 为病铃数, N 为总铃数。 $DI = \sum(i \times N_i) / (i_{max} \times N_{总铃数}) \times 100$,式中 i 为病级, N_i 为 i 病级铃数, i_{max} 为最高病级, N 为总铃数。 $E(\%) = (DI_{CK} - DI_T) / DI_{CK} \times 100$,式中 DI_{CK} 为对照病情指数, DI_T 为处理病情指数。

1.6 数据分析

利用 SPSS 18.0 软件对数据进行单因素方差分析,采用邓肯多重范围检验(邓肯氏新复极差法)进行多重比较。

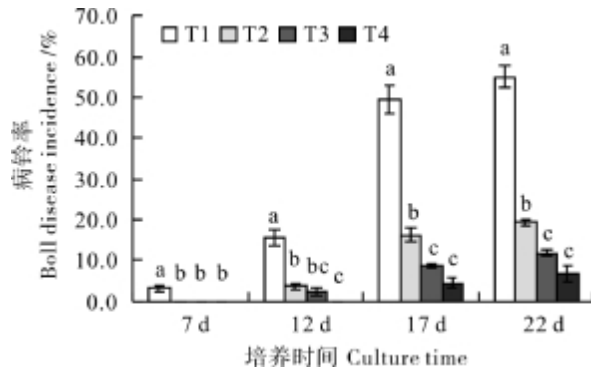
2 结果与分析

2.1 棉花植株不同部位棉铃感病情况检测

采集田间棉株不同部位的棉铃经室内培养发现,培养 7 d 时,仅棉株下部第 1~3 果枝铃(T1)开始发病(病铃率 1.25%),而中部第 4~6 果枝铃(T2)、中部第 7~9 果枝铃(T3)和上部第 10~12 果枝铃(T4)各部位棉铃均未发病;培养 12 d 时,除上部棉铃未发病外,其他部位的棉铃均发病,棉株下部果枝的病铃率显著高于棉株中部第 4~6 果枝和中部第 7~9 果枝的病铃率;培养 17 d 和 22 d 时,棉株所有部位的棉铃均发病,棉株下部果枝的病铃率显著高于中部第 4~6 果枝铃、中部第 7~9 果枝铃和上部果枝铃(图 1)。

2.2 棉铃表面消毒处理对棉铃疫病发病的影响

室内培养 7 d 时,棉铃表面经 75%酒精消毒 2 min 处理的棉铃未发生疫病,未消毒处理的对照病铃率为 1.3%;培养 12 d 时,酒精消毒处理的病铃率为 1.3%,显著低于未消毒处理的对照病铃率(15.6%);培养 17 d 和 22 d 时,酒精消毒处理的病铃率分别为 8.1%和 12.5%,仍然显著低于未消毒处理的对照病铃率(49.9%和 55.0%)(图 2)。培养过程中发现,棉铃表面经酒精消毒无疫病以外的病害发生,对照除疫病严重外还发生了其他真菌的感染。说明 75%酒精处理棉铃表面 2 min 能够有效杀死或抑制棉铃表面携带的疫病菌和其他杂菌,有效保证了棉铃疫病人工接种试验需要的棉铃表面无菌环境。

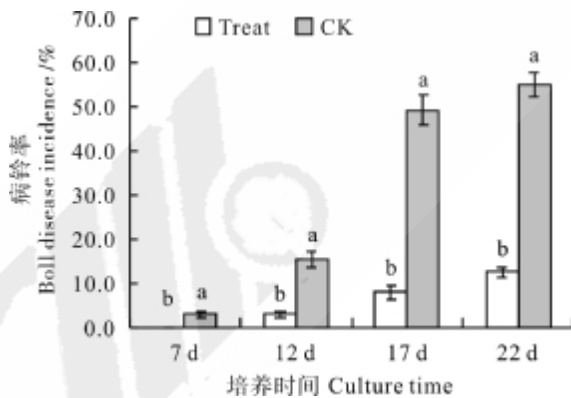


T1: 棉株下部第 1~3 果枝铃; T2: 棉株中部第 4~6 果枝铃; T3: 棉株中部第 7~9 果枝铃; T4: 棉株上部第 10~12 果枝铃。相同字母表示处理间差异不显著 ($P \geq 0.05$), 不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

T1: The boll of the 1-3rd fruit branches in lower part of cotton; T2: The boll of the 4-6th fruit branches in middle part of cotton; T3: The boll of the 7-9th fruit branches in middle part of cotton; T4: The boll of the 10-12th fruit branches in upper part of cotton. The same letter represents no significant difference ($P \geq 0.05$) between the treatments and different letters represent significant difference between the treatments ($P < 0.05$).

图 1 人工培养条件下棉株上不同部位棉铃疫病发病情况比较

Fig. 1 Comparison of disease incidence of cotton boll blight in different parts of cotton plant under the artificial culture conditions



Treat: 用 75% (体积分数) 酒精将棉铃表面消毒 2 min; CK: 空白对照。相同字母表示处理间差异不显著 ($P \geq 0.05$), 不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

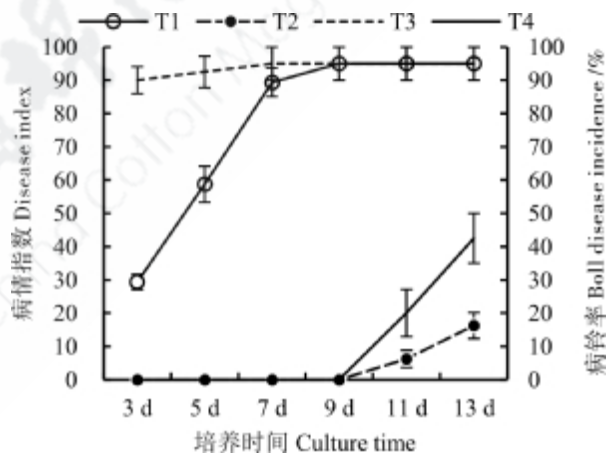
Treat: Cotton boll surface was sterilized for two minutes with 75% (volume fraction) alcohol; CK: Control (blank). The same letter represents no significant difference ($P \geq 0.05$) between the treatments and different letters represent significant difference between the treatments ($P < 0.05$).

图 2 棉铃表面消毒对棉铃疫病发病的影响

Fig. 2 Influence of sterilizing cotton bolls on disease incidence of cotton boll blight

2.3 有伤接种和无伤接种对棉铃疫病发病的影响

试验结果(图 3)表明,接种后保湿培养 3 d 时,有伤接种的处理病铃率达 90.0%,病情指数达 29.38,无伤接种处理棉铃未发病;培养 5 d 和 7 d 时,有伤接种的处理病铃率达 92.5%和 95.0%,病情指数分别为 58.75 和 89.38,无伤接种处理棉铃仍未发病;培养 9 d、11 d 和 13 d 时,有伤接种的处理病铃率均为 95.0%,病情指数均为 95.00,而无伤接种的处理在培养 11 d 和 13 d 时病铃率仅为 20.0%和 42.5%,病情指数仅为 6.25 和 16.25。说明有伤接种棉铃疫菌,棉铃疫病发病快速且发病均匀。



T1: 有伤接种处理的病情指数; T2: 无伤接种处理的病情指数; T3: 有伤接种处理的病铃率; T4: 无伤接种处理的病铃率。

T1: Disease index of injured inoculation; T2: Disease index of no injured inoculation; T3: Disease incidence of injured inoculation; T4: Disease incidence of no injured inoculation.

图 3 有伤接种和无伤接种下棉铃疫病发病情况的比较
Fig. 3 Comparison of disease incidence of cotton boll blight between injured and no injured inoculation

2.4 采用优化的人工接种方法筛选防治棉铃疫病的化学杀菌剂

应用优化的棉铃疫病人工接种方法评价了 12 种化学杀菌剂对棉铃疫病的防治效果。试验结果(表 1)表明,人工接种棉铃疫菌 JP5-1 菌株后 3 d 时,12 个化学药剂处理的病铃率在 15.0%~80.0%,棉铃疫病病情指数在 3.13~25.00,其中 25%甲霜·霜霉威可湿性粉剂、70%丙森锌可湿性

表1 应用优化的棉铃疫病人工接种方法筛选防治棉铃疫化学杀菌剂的结果比较

Table 1 Screening of chemical fungicides for controlling cotton boll blight by the optimized artificial inoculation method

编号 Num- ber	处理 Treatment	质量浓度 Mass concentra- tion / (mg·L ⁻¹)	接种后 3 d 3 d post inoculation			接种后 5 d 5 d post inoculation			接种后 7 d 7 d post inoculation		
			病铃率 Boll disease incidence /%	病情指数 Disease index	防效 Control effect /%	病铃率 Boll disease incidence /%	病情指数 Disease index	防效 Control effect /%	病铃率 Boll disease incidence /%	病情指数 Disease index	防效 Control effect /%
1	25%甲霜·霜霉威 WP 25% metalaxyl propanocarb hydrochloride WP	1 000	15.0±2.9 e	3.13±0.63 e	86.96	15.0±2.9 e	3.75±0.72 f	93.90	17.5±4.8 f	5.00±1.02 h	94.48
2	70%丙森锌 WP 70% propineb WP	800	17.5±7.5 e	6.25±2.98 e	78.26	17.5±7.5 e	7.50±3.95 f	85.37	35.0±2.9 e	18.13±3.73 g	80.00
3	52.5%啶酮·霜脲氰 WG	300	27.5±8.5 de	8.13±2.77 de	71.74	37.5±4.8 d	20.00±2.70 e	60.98	37.5±7.5 e	23.13±2.77 g	74.48
4	52.5% famoxadone cymoxanil WG 70%乙铝·锰锌 WP	1 000	45.0±2.9 cd	15.00±1.02 cd	47.83	52.5±2.5 cd	26.25±2.60 de	48.78	47.5±4.8 de	36.88±4.83 f	59.31
5	70% phosethyl-Al mancozeb WP 50%烯酰吗啉 WG 50% dimethomorph WG	350	52.5±4.8 bc	16.88±1.57 bc	41.30	62.5±4.8 bc	34.38±5.44 bcd	32.93	75.0±6.5 c	60.63±4.68 cd	33.11
6	46.1%氢氧化铜 WG 46.1% copper hydroxide WG	300	47.5±3.3 bcd	17.50±5.30 bc	39.13	60.0±4.1 bc	31.88±5.44 cde	37.80	57.5±4.8 d	42.50±1.77 ef	53.11
7	40%五氯硝基苯 DP 40% oimtozene DP	2 000	45.0±2.9 cd	18.13±2.13 bc	36.96	47.5±2.5 cd	33.75±3.15 cd	34.15	57.5±6.3 d	50.63±4.83 de	44.14
8	69%烯酰·锰锌 WP 69% dimethomorph mancozeb WP	1 000	62.5±8.5 abc	18.13±1.88 bc	36.96	82.5±7.5 a	36.88±2.58 bcd	28.05	82.5±7.5 bc	70.63±2.13 bc	22.07
9	50%福美双 WP 50% thiram WP	1 250	62.5±6.3 abc	19.38±2.77 bc	32.61	75.0±8.7 ab	40.63±4.93 abc	20.73	77.5±4.8 c	66.25±4.62 bc	26.90
10	722 g·L ⁻¹ 霜霉威盐酸盐 AC 722 g·L ⁻¹ propanocarb hydrochloride AC	800	80.0±9.1 a	22.50±2.04 abc	21.74	90.0±4.1 a	36.88±2.77 bcd	28.05	92.5±2.5 ab	78.75±4.84 ab	13.11
11	80%代森锰锌 WP 80% mancozeb WP	1 000	62.5±8.5 abc	25.00±3.23 ab	13.04	75.0±9.6 ab	50.00±5.68 a	2.44	77.5±4.8 c	70.63±4.72 bc	22.07
12	250 g·L ⁻¹ 啉菌酯 SC 250 g·L ⁻¹ azoxystrobin SC	1 000	70.0±4.1 ab	25.00±2.28 ab	13.04	92.5±4.8 a	46.88±5.72 ab	8.54	100.0±0.0 a	88.13±3.13 a	2.76
13	清水(空白对照) Water (control)	0	77.5±8.5 a	28.75±4.15 a		92.5±2.5 a	51.25±3.31 a		97.5±2.5 a	90.63±2.77 a	

注: 数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经邓肯氏新复极差法检验差异显著(P<0.05)。

Note: Data are mean ± standard error. Different letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 probability level (P<0.05) by Duncan's new multiple range test.

粉剂和 52.5%噁酮·霜脲氰水分散粒剂处理的病铃率、棉铃疫病病情指数显著低于空白对照,对棉铃疫病的防效在 70%以上;人工接种后 5 d 时,12 个化学药剂处理的病铃率在 15.0%~92.5%,棉铃疫病病情指数在 3.75~50.00,其中 25%甲霜·霜霉威可湿性粉剂和 70%丙森锌可湿性粉剂的病铃率、棉铃疫病病情指数均显著低于空白对照,对棉铃疫病的防效在 80%以上;人工接种后 7 d 时,空白对照充分发病,病铃率和病情指数分别高达 97.5%和 90.63,此时 12 个化学药剂处理的病铃率在 17.5%~100.0%,棉铃疫病病情指数在 5.00~88.13,其中 25%甲霜·霜霉威可湿性粉剂、70%丙森锌可湿性粉剂和 52.5%噁酮·霜脲氰水分散粒剂的病铃率、棉铃疫病病情指数仍然显著低于空白对照,对棉铃疫病表现出理想的防效。以上结果说明,本研究优化建立的棉铃疫病人工接种方法可用于筛选防治棉铃疫病的化学药剂。

2.5 应用优化的棉铃疫病人工接种方法评价棉铃疫菌的致病力

应用优化的棉铃疫病人工接种方法评价了

10 株来源于冀中南主产棉区的棉铃疫菌的致病力。试验结果(表 2)表明,人工接种后 3 d 时,病铃率为 35.0%~78.8%,病情指数为 11.25~22.50,其中接种菌株 JP2-2 的病铃率和病情指数均显著高于菌株 JP15-2、JP18-3、JP2-1 的病铃率和病情指数,与菌株 JP18-4、JP3-1 和 JP3-3 差异不显著;人工接种后 5 d 时,棉铃病铃率为 75.0%~100.0%,病情指数为 26.25~52.50,其中菌株 JP18-4 的病铃率显著高于菌株 JP15-2 的病铃率,接种菌株 JP18-4 的棉铃病情指数显著高于接种其他供试菌株的棉铃病情指数;人工接种后 7 d 时,棉铃的病铃率为 80.0%~100.0%,病情指数为 45.00~95.00,其中接种菌株 JP18-4 的棉铃病铃率仍然显著高于接种菌株 JP18-3 和 JP2-1,病情指数也显著高于除 JP3-3 之外的其他供试菌株。综合 3 次调查结果,发现供试的 10 株棉铃疫菌中 JP18-4 对棉铃的致病力最强,JP15-2 对棉铃的致病力最弱,说明应用本研究优化建立的棉铃疫病人工接种方法能够有效区分不同棉铃疫菌菌株对棉铃的致病力。

表 2 应用优化的棉铃疫病人工接种方法评价棉铃疫菌的致病力

Table 2 Evaluation of pathogenicity of *P. boehmeriae* on cotton boll by the optimized artificial inoculation method

编号 Num- ber	棉铃疫菌 菌株 Strain of <i>P.</i> <i>boehmeriae</i>	接种后 3 d 3 d post inoculation		接种后 5 d 5 d post inoculation		接种后 7 d 7 d post inoculation	
		病铃率 Disease incidence /%	病情指数 Disease index	病铃率 Disease incidence /%	病情指数 Disease index	病铃率 Disease incidence /%	病情指数 Disease index
1	JP15-2	35.0±5.0 c	11.25±3.15 b	75.0±4.6 c	26.25±2.39 c	95.0±5.0 ab	45.00±4.56 d
2	JP 18-3	45.0±5.0 c	11.25±1.25 b	78.8±1.3 bc	41.25±2.39 b	80.0±0.0 c	73.75±6.25 bc
3	JP 18-4	70.0±5.8 ab	17.50±1.44 ab	95.0±5.0 ab	52.50±5.95 a	95.0±5.0 ab	95.00±5.00 a
4	JP 2-1	40.0±8.2 c	11.25±2.39 b	80.0±0.0 bc	27.50±4.79 c	80.0±0.0 c	61.25±5.15 c
5	JP 2-2	78.8±1.3 a	22.50±1.44 a	80.0±8.2 bc	38.75±2.39 bc	100.0±0.0 a	80.00±3.54 b
6	JP 2-3	50.0±5.8 abc	12.50±1.44 b	80.0±8.2 bc	27.50±4.33 c	85.0±5.0 bc	61.25±4.27 c
7	JP 3-1	50.0±0.0 abc	15.00±3.54 ab	90.0±5.8 abc	32.50±3.23 bc	90.0±5.8 abc	80.00±6.12 b
8	JP 3-2	55.0±4.6 abc	13.75±2.39 b	85.0±5.0 abc	33.75±3.75 bc	95.0±5.0 ab	71.25±1.25 bc
9	JP 3-3	60.0±4.1 abc	16.25±3.15 ab	95.0±5.0 ab	33.75±4.27 bc	95.0±5.0 ab	83.75±2.39 ab
10	JP 3-4	55.0±5.0 abc	13.75±3.75 b	100.0±0.0 a	35.00±3.54 bc	100.0±0.0 a	75.00±4.56 bc

注:数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经邓肯氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。

Note: Data are mean ± standard error. Different letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 probability level ($P<0.05$) by Duncan's new multiple range test.

2.6 应用优化的棉铃疫病人工接种方法评价棉花品种对棉铃疫病的抗病性

应用优化的棉铃疫病人工接种方法评价了 16 个已审定棉花品种对棉铃疫病的抗性。试验结果表明 (表 3), 供试品种在人工接种棉铃疫菌 JP5-1 菌株后 3 d 时均有不同程度发病, 病铃率为 25.0%~100.0%, 病情指数为 6.25~38.75, 不同品种间病铃率、病情指数存在显著差异; 接种后 5 d 时, 供试品种棉铃疫病发病迅速加重, 病铃率为 82.5%~100.0%, 病情指数为 38.75~72.50, 不同品种间病铃率、病情指数仍然存在显著差异;

接种后 7 d 时, 供试各品种棉铃疫病发病充分, 病铃率 95.0%~100.0%, 不同品种间病铃率差异不显著, 病情指数为 85.00~100.00, 最大病情指数与最小病情指数仅相差 15.00, 方差分析发现, 品种间差异显著性缩小。3 次连续调查结果显示, 邯 7860、新植 5 号、柳棉 2 号、科林 9828 和 DP99B 对棉铃疫病表现了较好的抗性, 冀 151、银山 6 号、鲁垦棉 33 和鲁棉研 27 对棉铃疫病抗性较差。本研究结果说明, 应用人工接种方法能够快速评价不同棉花品种对棉铃疫病的抗性, 明确棉花品种在人工接种病原菌不同时间后对棉铃疫病的抗性程度。

表 3 应用优化的人工接种方法评价不同棉花品种对棉铃疫病的抗性

Table 3 Evaluation of resistance of different cotton varieties to cotton boll blight by the optimized artificial inoculation method

编号 Number	棉铃品种 Cotton variety	接种后 3 d 3 d post inoculation		接种后 5 d 5 d post inoculation		接种后 7 d 7 d post inoculation	
		病铃率 Disease incidence/%	病情指数 Disease index	病铃率 Disease incidence/%	病情指数 Disease index	病铃率 Disease incidence/%	病情指数 Disease index
1	邯 7860	25.0±	6.25±	100.0±	38.75±	100.0±	86.25±
	Han 7860	5.0 g	1.25 h	0.0 a	4.73 f	0.0 a	3.75 c
2	DP99B	35.0±	10.00±	100.0±	42.50±	100.0±	90.00±
		4.6 fg	2.04 gh	0.0 a	3.23 ef	0.0 a	2.04 bc
3	百棉 5 号	50.0±	12.50±	100.0±	40.00±	100.0±	92.50±
	Baimian 5	10.0 efg	2.50 fgh	0.0 a	4.08 f	0.0 a	3.23 bc
4	国欣棉 11	60.0±	15.00±	95.0±	66.25±	100.0±	95.00±
	Guoxinmian 11	1.5 def	2.89 efgh	5.0 ab	6.57 ab	0.0 a	2.04 ab
5	新陆中 35	65.0±	16.25±	95.0±	42.50±	95.0±	91.25±
	Xinluzhong 35	2.6 cde	3.15 defgh	5.0 ab	3.23 ef	5.0 a	5.91 bc
6	柳棉 2 号	65.0±	17.50±	100.0±	43.75±	100.0±	87.50±
	Liumian 2	9.6 cde	3.23 cdefgh	0.0 a	2.39 ef	0.0 a	4.33 bc
7	邯棉 802	60.0±	17.50±	85.0±	48.75±	95.0±	88.75±
	Hanmian 802	8.2 def	4.33 cdefgh	4.6 ab	6.25 cdef	5.0 a	7.18 bc
8	新植 5 号	75.0±	20.00±	95.0±	47.50±	95.0±	85.00±
	Xinzhi 5	5.0 abcde	2.04 cdefg	5.0 ab	2.50 def	5.0 a	5.00 c
9	鲁棉研 29	70.0±	22.50±	100.0±	65.00±	95.0±	91.25±
	Lumianyan 29	0.0 bcde	4.79 bcdef	0.00 a	4.08 ab	5.0 a	4.27 bc
10	科林 9828	70.0±	23.75±	90.0±	56.25±	95.0±	86.25±
	Kelin 9828	2.9 bcde	4.27 bcdef	5.8 ab	3.75 bcde	5.0 a	7.18 c
11	科抗棉 2 号	80.0±	25.00±	95.0±	56.25±	95.0±	91.25±
	Kekangmian 2	1.5 abcd	3.54 bcde	5.0 ab	5.15 bcde	5.0 a	5.91 bc

表 3 (续)
Table 3 (Continued)

编号 Number	棉铃品种 Cotton variety	接种后 3 d 3 d post inoculation		接种后 5 d 5 d post inoculation		接种后 7 d 7 d post inoculation	
		病铃率 Disease incidence/%	病情指数 Disease index	病铃率 Disease incidence/%	病情指数 Disease index	病铃率 Disease incidence/%	病情指数 Disease index
12	鲁垦棉	90.0±	27.50±	100.0±	67.50±	100.0±	98.75±
	33 Lukenmian 33	5.8 abc	1.44 abcd	0.0 a	2.50 ab	0.0 a	1.25 a
13	创优 9 号	85.0±	28.75±	82.5±	59.375±	95.0±	91.25±
	Chuangyou 9	4.6 abcd	4.73 abc	1.8 b	8.92 abcd	5.0 a	5.15 bc
14	鲁棉研 27	95.0±	28.75±	100.0±	62.50±	100.0±	91.25±
	Lumianyan 27	5.0 ab	3.75 abc	0.0 a	3.23 abc	0.0 a	5.91 bc
15	银山 6 号	85.0±	33.75±	100.0±	72.50±	95.0±	95.00±
	Yinshan 6	5.0 abcd	4.27 ab	0.0 a	2.50 a	5.0 a	5.00 ab
16	冀 151	100.0±	38.75±	100.0±	72.50±	100.0±	100.00±
	Ji 151	0.0 a	5.54 a	0.0 a	4.33 a	0.0 a	0.00 a

注:数据为平均数±标准误。同列不同字母表示经邓肯氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。

Note: Data are mean ± standard error. Different letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 probability level ($P<0.05$) by Duncan's new multiple range test.

3 讨论与结论

3.1 棉株不同部位棉铃发病情况

棉铃疫病的病原菌为苎麻疫霉,自然条件下,该病菌在寄主组织及土壤中均可产生卵孢子,卵孢子在土壤中可安全越冬作为次年病害的主要初侵染源。在棉花烂铃病的众多病原菌中棉铃疫菌的寄生能力最强,其卵孢子萌发产生的孢子囊可随雨水飞溅到健康棉花成铃上进行寄生和侵染^[15]。有文献报道,棉田烂铃的发生,多从近地面的棉铃开始,有近距离感染的趋势。竺修高调查发现,果枝越低烂铃越重^[16]。崔淑芳等报道河北省棉区烂铃以棉铃疫病为主,在多雨年份棉株下部 5 个果枝都有烂铃,在 30%以上,主要集中在中下部果枝^[17]。王金平报道棉花烂铃病的发生与棉铃生长位置关系密切,就棉花单株烂铃而言,表现为基部重于中上部,基部 3 个果枝上的烂铃数占烂铃总数的 80%以上;在水平位置上,内围铃重于外围铃,第 1~2 节的烂铃数占单株烂铃总数的 90%^[18]。赵鸣等研究了黄河流域不同棉花品种烂铃空间分布情况,发现覆膜春播模式下,棉田烂铃主要集中在下部果枝的内围节位,

所有品种由下向上的第 1~3 果枝烂铃比例在 82.14%~100.00%,由内向外的第 1~3 节位烂铃比例在 98.48%~100.00%^[19]。本研究从田间采集棉株不同果枝部位的健康成铃,在室内模拟棉铃疫病田间发病条件保湿培养,明确了田间棉株下部第 1~3 果枝铃疫病发生率显著高于中部第 4~6 果枝铃、中部第 7~9 果枝铃和上部第 10~12 果枝铃,与已有相关报道结果相似。根据棉铃疫病人工接种方法需要,本研究选取结铃时间集中、自身携带棉铃疫菌相对较少的第 4~9 果枝健康成铃作为供试材料,是建立棉铃疫病人工接种方法关键的第一步,为棉铃疫病人工接种方法的优化提供了材料基础。

3.2 棉铃疫病人工接种方法的建立

一个稳定的棉铃疫病人工接种方法是筛选防治棉铃疫病药剂、评价棉铃疫病病原菌的致病力以及评价棉花抗棉铃疫病品种等工作的基础。前人针对棉花黄萎病开展了菌培养物土壤接种法、纸钵撕底法、切根蘸孢子法等多种人工接种方法的研究^[20];王婧等针对棉花叶部病害轮纹斑病,利用链格孢子悬浮液比较研究了涂菌+套袋保湿接种、涂菌+喷雾保湿接种和喷菌+喷雾

保湿接种的效果,发现喷菌+喷雾保湿接种是更适合棉花链格孢抗性研究的接种方法^[21]。目前,未见棉铃疫病人工接种方法研究的报道。马平等以发病率为指标,通过在灭菌后的健康成铃表面喷雾接种棉铃疫菌游动孢子悬浮液的方法,评价了拮抗菌对棉铃疫病的防治效果^[22],但仅仅统计了棉铃疫病的发病率,没有计算棉铃疫病的病情指数。陈方新等应用有伤接种棉铃疫菌菌盘的方法测定了棉铃疫菌的致病性、寄主范围以及不同棉铃疫菌菌株对棉苗的致病力^[23-24]。但该方法每个接种点都需要覆盖脱脂棉保湿培养,在培养 24 h 后须去除棉球和菌丝块,操作繁琐。本研究建立的棉铃疫病人工接种方法,选取棉株中部第 4~9 果枝上的健康带柄成铃,去掉苞叶,用 75%酒精浸泡消毒 2 min,在棉铃中上部铃缝位置针刺接种棉铃疫菌菌盘,25℃保湿培养 3~7 d 即完全发病,操作简单规范,发病快速均匀,是一种更适合棉铃疫病研究的接种方法,可为棉铃疫病的研究提供技术支持。

3.3 棉铃疫病人工接种方法的应用

应用杀菌剂是目前防治棉花烂铃病的主要措施,为筛选防治棉花烂铃病的新型高效低毒低残留农药,林玲等直接通过田间小区试验比较了 4 种杀菌剂防治棉花烂铃病的效果^[25];鹿秀云等采用菌丝生长速率法测定了 9 种化学杀菌剂对棉铃疫菌的室内毒力,并通过田间小区试验评价了 9 种化学杀菌剂防治棉铃疫病的效果^[26]。本研究建立的棉铃疫病人工接种方法,在人工控制的条件下直接以健康棉铃为接种对象,可在 7 d 内完成常用杀卵菌剂和广谱性化学药剂对棉铃疫病的防治效果评价;明确了 25%甲霜·霜霉威可湿性粉剂、70%丙森锌可湿性粉剂和 52.5%噁酮·霜脲氰水分散粒剂对棉铃疫病防效分别为 94.48%、80.00%和 74.48%,为有针对性开展田间小区药剂评价试验提供了目标药剂,可有效减少田间试验的工作量。以往主要通过调查田间病铃率来评价棉花对烂铃病的抗性差异,调查结果受气候条件、土壤中致病菌菌量、棉花株型结构、虫害发生情况等多因素影响,而且耗时很长。赵静等对新疆阿拉尔垦区的 30 个棉花品种(品系)烂铃病发生情况进行了调查,筛选出 KS1、KS2、KS21 等抗烂铃品种(品系)^[27];赵鸣等在田间调查了山东省 109 个棉花新品种的烂铃病发生情况,

结果表明供试品种间烂铃发生存在显著差异^[28]。本研究通过室内人工接种评价了 16 个棉花品种棉铃对棉铃疫病的抗性,明确了邯 7860、新植 5 号、柳棉 2 号、科林 9828 和 DP99B 等 5 个品种表现出较好的抗病性,其中邯 7860 的鉴定结果和以往田间鉴定结果^[2]一致,说明本研究建立的棉铃疫病人工接种方法的鉴定结果具有较好的代表性,可为相关抗病品种的筛选评价以及抗病机理的研究提供技术支撑。

参考文献:

- [1] 沈其益. 棉花病害基础研究与防治[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 179-180.
Shen Qiyi. Basic research and prevention of cotton diseases[M]. Beijing: Science Press, 1992: 179-180.
- [2] 李社增, 鹿秀云, 郝俊杰, 等. 棉花烂铃病的发生、品种抗病性及主要病原菌致病力分析[J]. 植物病理学报, 2017, 47(6): 824-831.
Li Shezeng, Lu Xiuyun, Hao Junjie, et al. Cotton boll rot occurrence, analysis of varietal resistance and pathogenicity differentiation of the major pathogen[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2017, 47(6): 824-831.
- [3] 张绪振, 刘克明, 张树琴, 等. 棉铃疫病菌的生物学特性及对棉花不同生育阶段的侵染研究初报[J]. 河北农学报, 1963, 2(3): 37-46.
Zhang Xuzhen, Liu Keming, Zhang Shuqin, et al. A preliminary report on the biological characteristics of *Phytophthora boehmeriae* and its infection on different growth stages of cotton[J]. Hebei Journal of Agriculture, 1963, 2(3): 37-46.
- [4] 梁平彦. 华北棉铃疫病菌及蓖麻疫病菌的鉴定[J]. 植物病理学报, 1964, 7(1): 11-20.
Liang Pingyan. Identification of *Phytophthora* species causing cotton boll blight and castor bean blight in North China[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 1964, 7(1): 11-20.
- [5] 马平, 沈崇尧. 棉铃疫菌的越冬存活[J]. 植物病理学报, 1994, 24(1): 74-79.
Ma Ping, Shen Chongyao. Overwintering and survival of *Phytophthora boehmeriae* in cotton boll residue in the soil[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 1994, 24(1): 74-79.
- [6] 杨春萍. 华北地区棉花烂铃病发生原因及综合防治技术[J]. 中国棉花, 2006, 33(12): 33.
Yang Chunping. Occurrence reason and control measures of cotton boll disease in North China[J]. China Cotton, 2006, 33(12): 33.

- [7] 常文周, 张月明, 雷忠顺. 豫北地区棉花烂铃综合防治措施[J]. 中国棉花, 2009, 36(1): 43.
Chang Wenzhou, Zhang Yueming, Lei Zhongshun. Comprehensive measures for cotton boll rot in the north of Henan[J]. China Cotton, 2009, 36(1): 43.
- [8] 鹿秀云, 李社增, 李宝庆, 等. 利用行间覆膜技术防治棉花烂铃病[J]. 中国棉花, 2013, 40(7): 29-31.
Lu Xiuyun, Li Shezeng, Li Baoqing, et al. Control of cotton boll rot by applying plastic membrane on the soil surface between cotton rows[J]. China Cotton, 2013, 40(7): 29-31.
- [9] 朱荷琴, 冯自力, 张西岭. 不同类型棉花品种铃病发生的差异[J]. 中国棉花, 2004, 31(2): 44.
Zhu Heqin, Feng Zili, Zhang Xiling. Differences in occurrence of cotton boll rot in different cotton varieties[J]. China Cotton, 2004, 31(2): 44.
- [10] 李彩红, 李飞, 张志刚, 等. 湖南棉花品种(系)铃病抗性分析[J]. 中国棉花, 2017, 44(3): 30-31, 33.
Li Caihong, Li Fei, Zhang Zhigang, et al. Comparison of the resistance of varieties to cotton boll rot in Hunan province[J]. China Cotton, 2017, 44(3): 30-31, 33.
- [11] 李晖, 李国英, 王惠卿, 等. 石河子地区棉铃疫霉菌的鉴定[J]. 新疆农业科学, 1995, 32(2): 84-86.
Li Hui, Li Guoying, Wang Huiqing, et al. Identification of *Phytophthora* sp. causing cotton boll blight in Shihezi region[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 1995, 32(2): 84-86.
- [12] 单卫星, 张硕成, 李玉红, 等. 棉铃疫病病菌侵染行为观察[J]. 棉花学报, 1995, 7(4): 246-251.
Shan Weixing, Zhang Shuocheng, Li Yuhong, et al. Observation on penetration behavior of *Phytophthora boehmeriae* on cotton plants[J]. Cotton Science, 1995, 7(4): 246-251.
- [13] 马辉刚, 李瑞明, 胡水秀, 等. 棉铃疫病病菌的鉴定及致病力的研究[J]. 江西农业学报, 1996, 8(2): 29-132.
Ma Huigang, Li Ruiming, Hu Shuixiu, et al. Identification of *Phytophthora* sp. causing cotton boll blight and its pathogenicity[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 1996, 8(2): 29-132.
- [14] 鹿秀云, 李宝庆, 张晓云, 等. 棉铃疫病生防细菌筛选、鉴定及制剂防治效果[J]. 植物保护学报, 2019, 46(4): 805-815.
Lu Xiuyun, Li Baoqing, Zhang Xiaoyun, et al. Screening, identification and evaluation of biocontrol bacteria against cotton boll blight[J]. Journal of Plant Protection, 2019, 46(4): 805-815.
- [15] 郑小波, 陆家云, 何红, 等. 棉铃疫病病菌越冬卵孢子作为初侵染源的研究[J]. 植物保护学报, 1992, 19(3): 251-256.
Zheng Xiaobo, Lu Jiayun, He Hong, et al. Oospores of *Phytophthora boehmeriae* overwintered in soil as an infection source of cotton boll rot disease[J]. Journal of Plant Protection, 1992, 19(3): 251-256.
- [16] 竺修高. 宁波地区棉花烂零病害调查[J]. 植物保护, 1982, 8(5): 8-9.
Zhu Xiugao. Investigation on cotton boll rot in Ningbo region[J]. Plant Protection, 1982, 8(5): 8-9.
- [17] 崔淑芳, 金卫平, 黎鸿慧, 等. 河北省棉铃疫病的发生规律及其防治[J]. 中国棉花, 2004, 31(10): 27.
Cui Shufang, Jin Weiping, Li Honghui, et al. Occurrence law and prevention of cotton boll blight in Hebei Province[J]. China Cotton, 2004, 31(10): 27.
- [18] 王金平. 棉花烂铃的综合防治技术[J]. 内蒙古农业科技, 2010, 38(4): 129.
Wang Jinping. Integrated control technology of cotton rot boll[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2010, 38(4): 129.
- [19] 赵鸣, 薛超, 李洪刚, 等. 黄河流域棉花品种对铃病抗性与烂铃空间分布情况[J]. 中国棉花, 2020, 47(2): 18-23.
Zhao Ming, Xue Chao, Li Honggang, et al. Resistance to boll disease and spatial patterns of diseased boll of cotton cultivars in the Yellow River Basin[J]. China Cotton, 2020, 47(2): 18-23.
- [20] 马平, Huang H C, 李社增, 等. 一种新的棉花黄萎病快速接种技术及其在病原菌致病力和寄主抗病性鉴定上的应用[J]. 植物病理学报, 2004, 34(6): 536-541.
Ma Ping, Huang H C, Li Shezeng, et al. A new inoculation method for Verticillium wilt on cotton and its application in evaluating pathogenesis and host resistance[J]. Acta Phytopathologica Sinica, 2004, 34(6): 536-541.
- [21] 王婧, 翟伟卜, 孟菁, 等. 棉花轮纹斑病接种方法的优化[J]. 棉花学报, 2018, 30(6): 486-491.
Wang Jing, Zhai Weibo, Meng Jing, et al. Optimization of an inoculation method for cotton alternaria leaf spot[J]. Cotton Science, 2018, 30(6): 486-491.
- [22] 马平, 李社增, 陈新华, 等. 利用拮抗菌防治棉铃疫病[J]. 中国生物防治, 1998, 14(2): 65-67.
Ma Ping, Li Shezeng, Chen Xinhua, et al. Biological control of cotton boll *Phytophthora* blight by using antagonists[J]. Chinese Journal of Biological Control, 1998, 14(2): 65-67.
- [23] 陈方新, 高智谋, 齐永霞, 等. 安徽省棉铃疫病病菌的鉴定及生物学特性研究[J]. 安徽农业大学学报, 2001, 28

- (3): 227-231.
Chen Fangxin, Gao Zhimou, Qi Yongxia, et al. On identification and biological characters of the causal organism of cotton boll blight in Anhui[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2001, 28(3): 227-231.
- [24] 陈方新, 齐永霞, 高智谋, 等. 棉铃疫病菌的生物学特性及其遗传研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(10): 287-290, 302.
Chen Fangxin, Qi Yongxia, Gao Zhimou, et al. Biological characters and inheritance of the causal organism of cotton boll blight[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(10): 287-290, 302.
- [25] 林玲, 金中时, 张昕, 等. 4 种杀菌剂防治棉花烂铃病田间药效比较[J]. 中国棉花, 2015, 42(6): 25-26.
Lin Ling, Jin Zhongshi, Zhang Xin, et al. Comparison on field efficacies of four kinds of fungicides against cotton boll rot[J]. China Cotton, 2015, 42(6): 25-26.
- [26] 鹿秀云, 周洪妹, 李社增, 等. 防治棉铃疫病的 9 种化学杀菌剂筛选与评价[J]. 河北农业科学, 2014, 18(3): 39-42.
Lu Xiuyun, Zhou Hongmei, Li Shezeng, et al. Screening and evaluation of 9 kinds of chemical fungicides to control cotton boll blight[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2014, 18(3): 39-42.
- [27] 赵静, 何宗铃, 卢金宝, 等. 新疆阿拉尔垦区抗铃病棉花品种筛选[J]. 中国棉花, 2019, 46(7): 15-17, 22.
Zhao Jing, He Zongling, Lu Jinbao. Screening of cotton varieties with boll rot disease-resistance in Alar, Xinjiang[J]. China Cotton, 2019, 46(7): 15-17, 22.
- [28] 赵鸣, 王红艳, 牛玉军, 等. 山东省主要植棉地区棉花铃病发生及品种抗性分析[J]. 山东农业科学, 2018, 50(12): 91-95.
Zhao Ming, Wang Hongyan, Niu Yujun, et al. Occurrence of cotton boll rot in main cotton producing areas of Shandong and analysis of variety resistance[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2018, 50(12): 91-95.