

## 玉米病害生防菌剂研究现状

原小迪, 张思颖, 李钰, 陈艳芳, 李晶, 黄敏\*

(昆明学院农学与生命科学学院, 云南省高校都市型现代农业工程研究中心, 云南昆明 650214)

**摘要** 玉米病害种类繁多且危害严重。生防菌剂安全有效, 在玉米病害防治中发挥了重要的作用。综述了我国玉米病害生防菌剂研究现状, 简要总结了生防菌剂类型及其防治效果, 归纳概述了其防控机制, 并阐述了某些生防菌剂存在的潜在危害, 为玉米病害综合防控提供理论依据和技术支撑。

**关键词** 玉米病害; 生防菌剂; 防治效果; 防控机制; 潜在危害

**中图分类号** S476 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2022)05-0001-04

**doi:** 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.05.001



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Review on Biological Control Agents of Maize Diseases

YUAN Xiao-di, ZHANG Si-ying, LI Yu et al (College of Agronomy and Life Sciences, Kunming University, Engineering Research Center for Urban Modern Agriculture of Higher Education in Yunnan Province, Kunming, Yunnan 650214)

**Abstract** Maize are usually harmed by diverse and serious diseases. Biocontrol agents are safe and effective and play an important role in maize disease control. This paper reviewed the research status of biocontrol agents for maize disease in China. The types of biocontrol agents, control effects and mechanisms were summarized. The potential harm of some biocontrol agents was also discussed, which provides theoretical basis and technical support for comprehensive control of maize disease.

**Key words** Maize diseases; Biocontrol agent; Control effect; Prevention and control mechanism; Potential hazard

玉米(*Zea mays* L.)是世界四大高产粮食作物之一, 在各大洲广泛栽培, 具有较丰富的营养物质。玉米既可作为优质饲料, 提高家畜、家禽产量及品质, 又可作为工业原料, 广泛用于食品、医药、纺织等工业部门。因此, 玉米生产的发展对人民生活的改善以及农村经济的发展具有十分重要的意义<sup>[1]</sup>。然而, 玉米病害种类多、分布广、致病性强, 对玉米产业发展有着不可忽视的影响。迄今为止, 已报道的玉米病害达 100 多种。玉米大斑病、小斑病和锈病的发生对我国玉米生产也造成较大的损失<sup>[2]</sup>。玉米茎腐病、穗腐病以及纹枯病等土传病害近年来频繁发病, 造成严重危害。我国 20 世纪 80 年代首次出现的玉米茎腐病使玉米植株倒伏、不利于农业机械化收割, 同时加重了穗腐病的发生<sup>[3]</sup>。玉米穗腐病会导致玉米籽粒腐烂、产量减少, 尤其是籽粒中致病菌产生的多种毒素使其品质下降, 严重影响人们的身体健康。玉米纹枯病是西南地区的首要病害, 随着全球气温的逐渐增高, 发病程度也越发严重。此外, 玉米粗缩病、苗枯病和根腐病的危害性也具有上升趋势<sup>[3]</sup>。玉米顶腐病是最近几年在全国各地玉米生产区发现的一种玉米新病害, 我国不同地区的玉米顶腐病病原菌不同, 症状也各不相同。北方各地发生的玉米顶腐病病原菌主要是镰刀菌, 孔令晓等<sup>[4]</sup>、徐秀德等<sup>[5]</sup>和孟有儒等<sup>[6]</sup>分别将玉米顶腐病病原菌确定为拟轮生镰刀菌(*Fusarium verticillioides*)、串珠镰孢霉亚黏团变种(*F. monili-*

*forme var. subglutinans* Wr. & Reink) 及亚黏团镰孢霉[*F. subglutinans* (Wr. & Reink.) Nelson, Toussoun & Marasas]。而在云南省玉米栽培区发现的玉米顶腐病为人和动物的条件致病菌肺炎克雷伯氏菌(*Klebsiella pneumoniae*) 导致的细菌性病害, 该病在玉米抽雄前均可发生, 可造成玉米叶片失绿、变薄透明、断叶或枯死、叶缘缺刻、叶片顶端腐烂、扭曲卷裹、顶端弯头等症状, 且具有发病重、分布广的特点, 一旦发病, 便大范围传播, 造成较大的经济损失<sup>[7]</sup>, 在国外未见报道。

随着玉米病害危害性的逐年增加以及化学工业的迅猛发展, 施用方便、见效快的化学农药广泛用于农作物的病虫害控制, 在一定时期有效控制了玉米病害对玉米生产的危害。然而, 化学农药的长期大量使用, 不仅使一些有害生物产生了较强的抗药性, 同时还大量杀灭了害虫的生物天敌(有益生物), 改变原生物群落结构, 破坏农业生态的自然平衡, 致使病害再度猖獗, 或使次要病害上升为主要病害<sup>[8]</sup>。此外, 化学农药在环境中难以正常代谢, 极易残留在土壤中被植物吸收, 并通过食物链不断累积, 危害人畜安全; 还会污染水体和大气并随之迅速扩散, 对环境造成不容忽视的影响。2020 年 2 月, 农村农业部提出, 要为生物农药和高毒农药替代产品创造良好环境。工信部也强调, 我国农药工业要坚持走新型工业化道路, 在减少环境污染的同时, 促进现代农业生产。这些政策的相继出台, 为我国生物农药市场提供了发展动力, 使得生物防治技术进一步发展。

生物防治根据生物之间相生相克的原理, 利用植物-生防因子-病原物之间抗生、竞争、捕食等的相互作用, 有效降低病害种群密度。其防治措施安全、易操作, 对人畜危害较小, 不会产生耐药性, 可大幅减少化学农药的使用, 具有环保、可持续应用的特点, 发展前景广阔<sup>[9]</sup>。采用生物方法防控玉米病害在一定程度上不影响作物产量, 能大幅减少农药

**基金项目** 云南省教育厅科学研究基金项目(2020Y0472); 云南省大学生创新创业项目(202011393008); 云南省地方本科高校(部分)基础研究联合专项(2018FH001-036); 2021 年昆明学院农业资源利用科技创新团队项目。

**作者简介** 原小迪(1996—), 女, 山东烟台人, 硕士研究生, 研究方向: 植物保护。\*通信作者, 副教授, 博士, 从事植物病害生物防治研究。

**收稿日期** 2021-10-04; **修回日期** 2021-11-15

的使用。目前,用于生物防治的生物农药主要包括微生物农药、生物化学农药以及植物源农药。微生物农药以细菌类为主,病毒类为辅。其中,苏云金杆菌、枯草芽孢杆菌、球孢白僵菌以及核型多角体病毒为目前广泛使用的主要微生物农药<sup>[10]</sup>。生物化学农药主要以赤霉素、萘乙酸等天然植物生长调节剂和诱抗剂作为主要成分。植物源农药则是从植物体内提取天然活性物质投入使用,包括苦参碱、印楝素等<sup>[11]</sup>。

## 1 玉米病害生防菌剂种类与防效

目前,微生物农药在玉米病害上的研究与应用最为广泛。约有10个属的生防微生物被用于玉米病害的生物防治等<sup>[12]</sup>,其中防效好且广谱应用的生防菌剂类型主要是放线菌以及细菌,包括芽孢杆菌属(*Bacillus*)、木霉属(*Trichoderma*)、黏帚霉属(*Gliocladium*)、毛壳菌属(*Chaetomium*)、伯克霍尔德氏菌属(*Burkholderia*)、链霉菌属(*Streptomyces*)、假单胞菌属(*Pseudomonas*)、泛菌属(*Pantoea*)、肠杆菌属(*Enterobacter*)和分支杆菌属(*Macrobacterium*)等。不同种类生防菌剂防治对象与防效各有不同。

厚壁菌门的芽孢杆菌因其防治的广谱性及较强应用性而备受关注。其中应用最为广泛的枯草芽孢杆菌(*B. subtilis*)可显著抑制玉米小斑病<sup>[13]</sup>、茎腐病<sup>[14]</sup>、叶斑病<sup>[15]</sup>、圆斑病<sup>[16]</sup>等的病原菌。陈赟娟等<sup>[17]</sup>筛选出一株玉米内生菌枯草芽孢杆菌J<sub>6</sub>,与玉米小斑病病原菌进行室内抑菌试验,抑菌率达到80.23%,同时对玉米弯孢菌叶斑病和纹枯病病原菌有一定抑制效果。芽孢杆菌作为土壤微生态环境中的优势种群,常常可以从土壤中分离获得。鹿秀云等<sup>[18]</sup>发现一株枯草芽孢杆菌在温室盆栽试验中对玉米小斑病病原菌的防效为83.30%,而田间试验中防效只有48.16%,说明同一菌株在温室与大田两种具有不同气候条件及土壤理化性质的环境中,受不同因素影响,施用效果也不相同。而解淀粉芽孢杆菌(*B. amyloliquefaciens*)不仅能够抑制玉米鞘腐病病原菌层出镰刀菌(*F. proliferatum*)的活性<sup>[19]</sup>,也能用来防控玉米大斑病<sup>[20]</sup>、小斑病以及茎基腐病<sup>[21]</sup>。

玉米小斑病的生物防控多用芽孢杆菌,但刘群<sup>[22]</sup>从玉米根际土中筛选到的新洋葱伯克霍尔德氏菌(*B. cenocepacia*)和类芽孢杆菌(*Paenibacillus jamilae*)对抑制玉米小斑病病原菌菌丝生长效果显著,同时发现解淀粉类芽孢杆菌(*B. amyloliquefaciens*)、洋葱伯克霍尔德氏菌(*B. cepacia*)和新洋葱伯克霍尔德氏菌对玉米弯孢霉叶斑病病原菌抑制率分别达到75.52%、82.67%、82.05%。新洋葱伯克霍尔德氏菌具有抑制病原菌菌丝生长以及对玉米植株的促生作用。

放线菌在自然界中广泛存在,空气、水以及土壤中均有分布,因土壤营养物质充足而数量最多。大多数生防放线菌属于链霉菌,通过其产生的抗菌素抑制病原菌。陈立梅等<sup>[23]</sup>分离得到的链霉菌BPS2可有效抑制玉米弯孢霉菌的活性。赵淑莉<sup>[24]</sup>从吉林地区土壤中发现一株对玉米大斑病菌具有显著抑制作用的放线菌,鉴定为壮观链霉菌(*S. spectabilis*)。沈玥<sup>[25]</sup>从玉米中筛选出一株小单胞菌属内生放线

菌,对玉米大斑病菌和纹枯病病原菌的抑制率在80%以上。

木霉属微生物在土壤中普遍存在,因其生防潜力极佳而备受瞩目,应用较广的主要有棘孢木霉菌(*T. asperellum*)、哈茨木霉(*T. harzianum*)以及绿色木霉(*T. viride*)等。研究结果表明,将棘孢木霉菌颗粒剂应用到玉米产区,对玉米茎腐病的田间防治效果为50%~80%,玉米增产8%以上,具有良好的生防效果和增产效果<sup>[26]</sup>。哈茨木霉能够用来防控玉米大斑病<sup>[12]</sup>和小斑病<sup>[27]</sup>,绿色木霉<sup>[28]</sup>、绿针假单胞菌(*P. chlororaphis*)和多黏类芽孢杆菌(*P. polymyxa*)均可用来防治玉米青枯病<sup>[29]</sup>。现阶段,在玉米纹枯病的生防菌筛选上,起关键作用的是木霉(*T. spp.*)和绿色黏帚霉(*G. virens*)等菌群<sup>[30-31]</sup>。陈捷等<sup>[12]</sup>已经从木霉菌中筛选并制成了能有效防治玉米茎腐病和纹枯病的生物制剂。据Srobarova等<sup>[32]</sup>报道,木霉和酵母菌胞壁多糖可以防治玉米穗腐病。而绿色木霉在生长过程中产生的代谢产物可抑制玉米弯孢霉叶斑病菌的菌丝生长,但具体抑制机制还不清楚<sup>[22]</sup>。

火山、海洋以至太空中均有微生物的存在,在极端环境中的微生物种群类型与生理生化特性尤为不同。现有的生防菌剂多数经过重复筛选,种类单一。王霞等<sup>[33]</sup>从渤海水样中分离得到青霉菌,制成生物菌剂可有效防控玉米小斑病。刘宝勇等<sup>[34]</sup>从矿区分离到了青霉属(*Penicillium sp.*)和镰刀菌属(*Fusarium sp.*)等有益真菌,为利用微生物进行生物防治研究和应用提供了有效资源。

玉米生防菌株常由病害发生区的玉米植株及土壤中分离并进行对峙试验获得,多数为玉米内生菌及根际菌。但其他种类植物内生菌有时也可用于玉米生防<sup>[35]</sup>。丁婷等<sup>[36]</sup>从杜仲中分离到一株内生真菌为梭孢壳属(*Thielavia*)真菌,对玉米纹枯病菌的防治效果为34.03%。张桂珍<sup>[37]</sup>从银杏中分离到的内生真菌球毛壳菌(*C. globosum*)可有效抑制玉米大斑病菌。张冬静<sup>[38]</sup>从黄连中分离到的拟隐孢壳菌(*Cryptosporiopsis ericae*)和多喙茎点霉(*Phoma multirostrata*)对玉米、水稻等植物病原真菌都具有显著抑制作用,尤其对玉米大斑病菌抑制效果最佳。于蕻蕻<sup>[39]</sup>发现一株水浮莲内生枯草芽孢杆菌XJPL-YB-50可以有效抑制玉米小斑病的发生。任飞娥<sup>[40]</sup>在长白山中分离得到一株荧光假单胞菌(*P. fluorescens*)对玉米大斑病具有良好的抑菌活性。此外,一些植物的提取液如广豆根、蒲公英及马齿苋提取液对丝轴团散黑粉菌(*Sporisorium relianum*)也有显著抑制作用<sup>[41]</sup>,表明其他植物内生菌及提取物对玉米病害也可起到显著抑制效果。微生物菌剂在使用时极易受到环境及其他因素的改变而影响防效<sup>[42]</sup>,提取活性抑菌物质制成的农药性质更稳定且易于控制,因此,进一步研究微生物生防机制有利于生物农药的开发和运用。

## 2 玉米病害生防菌剂防控机制

生物防治是一种通过生物之间食物链或竞争生态位等方法来消灭或抑制有害生物的方法<sup>[43]</sup>,包括微生物防治、寄生性天敌防治以及捕食性天敌防治等。其中微生物防治作为玉米病害重要的防治方法,常常制成生防菌剂应用到

田。生防菌剂作用机制各异,主要包括竞争作用、重寄生作用、抗菌作用、交互保护作用、溶菌作用和捕食作用等<sup>[44]</sup>,不同机理之间存在协同效应。

微生物常常通过与病原菌竞争生态位,或是分泌抗菌物质,来抑制病害发生<sup>[43]</sup>。哈茨木霉繁殖速度很快,能迅速占据玉米叶片表面空间,抑制病原菌的定殖<sup>[27]</sup>。沈玥<sup>[25]</sup>从玉米中分离得到小单孢菌属内生放线菌并制成了发酵液,其中含有的抑菌物质可导致玉米大斑病菌菌丝生长畸形,同时抑制孢子萌发,影响大斑病菌细胞膜通透性,从而抑制玉米大斑病。张冬静<sup>[38]</sup>发现生防菌株拟隐孢壳菌和多喙茎点霉产生的挥发性次生代谢产物四甲苯(tetramethylbenzene)和石竹烯(caryophyllene, C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>)可以抑制玉米大斑病菌和核盘菌的生长,田间应用防效好。

不同种类微生物菌剂不止有抗菌作用,同时还有促进植株生长的作用<sup>[45]</sup>。解淀粉芽孢杆菌主要通过内生定殖于玉米植株体内,不断繁殖使自身占有优势,同时产生抗生物质,抑制玉米小斑病和茎基腐病病原菌的生长繁殖,还能消除病害对植株生长的影响,增加植株的生物量,对玉米生长有促进效果<sup>[21]</sup>。而枯草芽孢杆菌在生命活动过程中,产生胞外分泌型蛋白类抗菌物质,导致玉米圆斑病菌菌丝和孢子畸变,不能正常生长发育,不仅对病原菌有拮抗作用,还能够促进玉米生长,激活玉米种子的抗逆酶活性,诱导玉米抗逆性<sup>[16]</sup>。棘孢木霉通过产生的难挥发次级代谢产物,抑制玉米大斑病病原菌的生长,还可诱导玉米产生系统性<sup>[46]</sup>。土壤放线菌抑菌机理研究较少,但大多数抗生物质都是从放线菌中分离得到的。赵淑莉<sup>[24]</sup>筛选到的放线菌通过与玉米大斑病病原菌竞争铁离子以及产生抗生素来抑制病原菌生长。

此外,重寄生作用和诱导抗性作用也是微生物菌剂重要的生防机制。棘孢木霉菌可通过重寄生作用防控玉米灰斑病<sup>[46]</sup>。哈茨木霉除利用竞争机制外,还能在病原菌菌丝体上直接重寄生,抑制病原菌的生长和侵染;或诱导玉米叶片产生抗菌物质,并通过诱导玉米抗病机制增强其抗病能力<sup>[34]</sup>。

在各类植物病害乃至玉米病害的分类中,土传病害一直都是植物病害中影响较大的一类<sup>[42]</sup>,因此防治玉米土传病害是玉米病害生防菌剂的重要研究方向。玉米土传病害的生防真菌主要为木霉菌属和黏帚霉属,其中哈茨木霉和绿色木霉等木霉菌属真菌应用最为广泛。哈茨木霉 T22 菌株能够诱导玉米的一系列生化防御反应,如提高玉米幼苗根系和枝条中 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶、外几丁质酶和内切几丁质酶的蛋白水平和活性,从而提高苗期玉米对根腐病的抗性<sup>[12]</sup>。哈茨木霉还有明显的促生长作用,间接促进玉米植株抵抗病原菌的侵染。此外,哈茨木霉还能系统诱导玉米幼苗对炭疽病菌侵染的防御反应<sup>[12]</sup>。

### 3 某些生防菌的潜在危害

生物农药以其源于自然、易于在自然界中分解的特性而受到广泛关注,一般对其他非靶标生物较为安全。然而某些生防菌剂在防治病害的同时又对其他非靶标生物造成潜在

威胁,施用需谨慎。张冬静<sup>[38]</sup>发现的生防菌株拟隐孢壳菌(*C. ericae*)和多喙茎点霉(*P. multirostrata*)对玉米大斑病菌有显著抑制作用。但拟隐孢壳菌(*C. sp. Bub. et Kabat*)作为广东和广西等地桉树枝枯病(die-back of *Eucalyptus* spp.)的重要致病菌,对广西林业造成了严重经济损失<sup>[47]</sup>;而多喙茎点霉(*P. multirostrata*)被鉴定为杭州等地园林重要绿化植物多花筋骨草黑胫病的病原菌,严重影响了城市绿化与美观<sup>[48]</sup>。木霉作为主要的生防真菌,应用广泛。但对于可食用及药用真菌类,木霉和青霉是主要病原菌,通过竞争生态位、产生毒素,严重影响香菇<sup>[49]</sup>、灵芝<sup>[50]</sup>以及蛹虫草<sup>[51]</sup>等人工菌产业的发展。其中,绿色木霉和哈茨木霉不仅是香菇菌丝体生长阶段的主要致病菌<sup>[49]</sup>,还能够感染免疫力低下人群,引起腹膜炎<sup>[52]</sup>。链霉菌作为放线菌中最大的种群,可产生多种重要的抗生素,也可利用其抗生物质防治病害。但也有少数链霉菌是植物致病菌,如疥疮链霉菌(*S. scabiei*)就是马铃薯疮痂病最常见的病原菌,不同地区其病原还包括黄色长孢链霉菌(*S. longisporoflavus*)、波卓链霉菌(*S. bottropensis*)以及阿努拉特斯链霉菌(*S. anulatus*)等链霉菌属的各优势种<sup>[53]</sup>。可见有的微生物作为生防菌能够对某些植物病原菌有拮抗作用,但也可能是其他植物的致病菌,甚至能感染人类,对栽培的作物和人畜存在潜在的威胁。

### 4 小结及展望

生物农药可以代替传统的化学农药防治植物病害,对人畜无害且对环境友好,更为安全、有效,有利于保护环境以及维护生态平衡,具有广阔的发展前景。生防菌剂在玉米病害防控方面的研究也备受关注,得以广泛发展,但在实际应用中仍需要考虑诸多问题。

首先,是其潜在危害性。一种植物生防菌的施用不能影响其他植物乃至人类的健康。例如拟隐孢壳菌和多喙茎点霉既是玉米生防菌,又是桉树和多花筋骨草的致病菌的菌群,在未确定这些菌株不同生理小种致病性的情况下,在生产上需要谨慎施用<sup>[47-48]</sup>。其次,同一菌株在温室与大田两种不同环境中,生防效果明显不同<sup>[15]</sup>。在实验室中某些生防菌株的促生效果得不到体现,仅仅以抑菌圈作为标准很可能漏掉这类促生功能的菌群。而大田环境下的紫外线照射、土壤微生物种群与数量以及土壤理化性质的改变对生防菌株的适应性及对病原菌的防控效果均产生极大的影响。只有将菌株真正应用到大田并同样有效,才具有可信度及实用性。

相比于单一生防菌株,生防菌群有更佳的防病效果<sup>[54]</sup>。单一菌群的生防制剂受到不同使用环境的制约以及环境微生物的竞争等因素的影响,防治效果难以稳定,加之药剂生产成本、货架期(销售保质期)及有效时长等因素,生防效果不及生防菌群。而将具有不同生防机制的菌群相结合,可以弥补单一菌株的不足,筛选出防治效果更为显著的生防菌剂,提高生防效果。此外,生防菌种类繁多,在不同生防菌混用时应考虑不同生防菌之间能否混用。李冠霖等<sup>[49]</sup>研究发现,枯草芽孢杆菌和多黏类芽孢杆菌(*P. polymyxa*)对绿色木

霉和哈茨木霉菌丝生长都有一定的抑制作用,因此当木霉属真菌作为生防菌剂投入使用时,需充分考虑能否与芽孢杆菌属菌剂混用而不影响防效。同样,将生防菌剂抑菌活性物质应用到大田可以增强防效,但也要注意菌剂之间是否有拮抗作用。一些生防菌与其他植物致病菌同属不同种,需种属鉴定清晰,控制使用范围及不利影响后再施用。严格把控对人类健康存在潜在危害的生防菌剂,防止“治植病而致人病”现象的发生。

土壤根际微生物可以通过种群多样性控制病害发生。因此研究植物根际环境,了解土壤微生物菌群结构,通过调整有益微生物占比来抑制病原菌,以此原理开发生物制剂的方法更具前景,或许会成为未来生防菌剂研究的主要方向。另外,极端环境下的微生物中很多新类群并未发现,未来这些微生物资源或许会得到重视,从而使生防菌剂得以进一步发展。

### 参考文献

- [1] 石长山,侯铁成.高寒地区玉米获得高产途径[J].农民致富之友,2012(11):26.
- [2] 刘万才,刘振东,黄冲,等.近10年农作物主要病虫害发生危害情况的统计和分析[J].植物保护,2016,42(5):1-9,46.
- [3] 王振营,王晓鸣.我国玉米病虫害发生现状、趋势与防控对策[J].植物保护,2019,45(1):1-11.
- [4] 孔令晓,纪莉景,王连生,等.河北省玉米顶尖腐烂病的发生情况及其病原菌鉴定初报[J].河北农业科学,2010,14(8):112-113.
- [5] 徐秀德,董怀玉,赵琦,等.我国玉米新病害顶腐病的研究初报[J].植物病理学报,2001,31(2):130-134.
- [6] 孟有儒,邢会琴,李万苍,等.玉米顶腐病鉴定[J].植物保护,2008,34(4):107-110.
- [7] 黄敏,吴毅歆,何鹏飞.人和动物条件致病菌环境菌株侵染植物的研究进展[J].微生物学报,2016,56(2):188-197.
- [8] 赵玉华,李俊州,文才艺.农业生物多样性与植物病害控制[C]//河南省植物保护学会、河南省昆虫学会、河南省植物病理学会、河南省植保学会第十次、河南省昆虫学会第九次、河南省植病学会第四次会员代表大会暨学术讨论会论文集.郑州:河南省昆虫学会,2013:43-47.
- [9] 李威.辽西地区玉米病虫害绿色防控技术应用[J].现代农业,2020(11):24-25.
- [10] 王以燕,袁善奎,农向群,等.我国微生物农药常见剂型种类及管理[J].中国生物防治学报,2021,37(4):640-645.
- [11] 张兴,马志卿,冯俊涛,等.植物源农药研究进展[J].中国生物防治学报,2015,31(5):685-698.
- [12] 陈捷,窦恺,高永东,等.木霉菌在玉米病害生物防治中的作用机制及应用(英文)[J].菌物学报,2014,33(6):1154-1167.
- [13] 彭兵.生防菌株A抗真菌谱、抗菌蛋白的分离纯化及抗菌机理研究[D].石家庄:河北师范大学,2009.
- [14] 沈冰冰.玉米茎腐病和大斑病生防菌的筛选及其促生作用的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [15] 鹿秀云,李社增,栗秋生,等.玉米主要叶斑病生防菌的筛选与培养基优化[C]//中国农药工业协会,中国腐植酸工业协会,中国植物保护学会生物防治专业委员会,等.第四届全国绿色环保农药新技术、新产品交流会暨第三届生物农药研讨会论文集.北京:中国植物保护学会生物入侵分会,2006:261-267.
- [16] 郭春兰,于春生,张雨竹,等.枯草芽孢杆菌21抑菌物质的稳定性分析及初步分离[J].黑龙江八一农垦大学学报,2015,27(1):69-72.
- [17] 陈爱娟,程昆华.玉米小斑病拮抗菌的分离筛选及生理生化初步鉴定[J].农业科技通讯,2014(5):72-74.
- [18] 鹿秀云,李社增,栗秋生,等.玉米叶斑病拮抗细菌的筛选及其发酵培养基优化[J].中国生物防治,2006,22(S1):47-53.
- [19] 檀迎会,于波,李志勇,等.一株层出镰刀菌拮抗细菌YM-8的筛选与鉴定[J].华北农学报,2015,30(S1):287-291.
- [20] 刘泉成.玉米根际微生物群落特征分析及生防菌筛选[D].北京:中国农业科学院,2018.
- [21] 崔文艳,何朋杰,尚娟,等.解淀粉芽孢杆菌B9601-Y2对玉米的防病促生长效果研究[J].玉米科学,2015,23(5):153-158.
- [22] 刘群.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[D].泰安:山东农业大学,2015.
- [23] 陈立梅,徐文静,李启云,等.玉米弯孢霉叶斑病菌拮抗链霉菌的分离及鉴定[J].玉米科学,2006,14(2):152-155.
- [24] 赵淑莉.玉米大斑病生防放线菌的筛选鉴定及液体发酵的研究[D].长春:吉林大学,2012.
- [25] 沈玥.玉米内生放线菌的筛选、鉴定及抑制玉米大斑病菌机理研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2014.
- [26] 刘春来.中国玉米茎腐病研究进展[J].中国农学通报,2017,33(30):130-134.
- [27] 马佳,范莉莉,傅科鹤,等.哈茨木霉SH2303防治玉米小斑病的初步研究[J].中国生物防治学报,2014,30(1):79-85.
- [28] 周舒扬.玉米弯孢霉叶斑病生理生态学特性及生物防治初步研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2010.
- [29] 李红磊.玉米青枯病生防菌筛选及其应用技术研究[D].郑州:河南农业大学,2010.
- [30] 张广志,文成敬.木霉对玉米纹枯病的生物防治[J].植物保护学报,2005,32(4):353-356.
- [31] 唐贵群.绿色粘帚霉生物学特性及其对玉米纹枯病生防潜能的初步研究[D].雅安:四川农业大学,2006.
- [32] SROBAROVA A, KOGAL G. The possibility of maize ear rot control by *Trichoderma* and fungal cell wall polysaccharide[J]. Acta fytotechnica et zootechnica, 2003, 6(2):50-52.
- [33] 王霞,王素英,高朋辉.青霉TS67菌株对大豆根腐病和玉米小斑病的防治效果评价[J].微生物学通报,2008,35(8):1246-1250.
- [34] 刘宝勇,王丽莎,常敬华,等.矿区排土场复垦区玉米根际土壤真菌遗传多样性研究[J].安徽农业科学,2020,48(21):63-69,75.
- [35] 高振峰.内生细菌ZSY-1对番茄灰霉病和早疫病防治及促生效果研究[D].太谷:山西农业大学,2018.
- [36] 丁婷,孙微微,王帅,等.杜仲内生真菌中抗玉米纹枯病活性菌株的筛选[J].植物保护,2014,40(6):29-35.
- [37] 张桂珍.玉米大斑病菌生理小种鉴定及球毛壳菌对其生防作用研究[D].长春:吉林大学,2012.
- [38] 张冬静.药用植物内生真菌的分离及其抑菌活性筛选[D].长春:吉林大学,2015.
- [39] 于蘋蘋.水浮莲(*Pistia stratiotes* L.)内生菌的分离及农作物致病菌拮抗菌株的筛选与鉴定[D].乌鲁木齐:新疆大学,2008.
- [40] 任飞娥.玉米大斑病菌拮抗细菌筛选鉴定及发酵条件的研究[D].长春:吉林大学,2012.
- [41] 刘洪亮.玉米丝黑穗病菌冬孢子萌发条件及生防菌的筛选[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2008.
- [42] 丛焜喆.生防菌混合发酵液对植物土传病害防治、土壤性质微生物区系和采后果实品质的影响[D].济南:山东大学,2020.
- [43] 姚琳.微生物生物防治的研究综述[J].林区教学,2009(5):123-125.
- [44] 刘琴,刘翼,何月秋,等.我国植物病害生物防治综述[J].安徽农学通报,2012,18(7):67-69.
- [45] 沙月霞,李明洋,伍顺华,等.微生物菌剂拌土对盐碱地玉米茎基腐病的预防及促生效果[J].中国农学通报,2021,37(5):75-82.
- [46] 李琳.棘孢木霉菌的分离及其生防作用的评价与应用[D].长春:吉林大学,2013.
- [47] 邹东霞,廖旺姣,黄乃秀,等.8种杀菌剂对桉树枝枯病原菌室内毒力测定[J].林业科技开发,2013,27(1):38-40.
- [48] 吴玲,胡小倩,楼兵干,等.多花筋骨草黑根病及其病原菌鉴定[J].菌物学报,2009,28(6):765-768.
- [49] 李冠霖,徐洋,邢鹏杰,等.木霉对不同香菇菌丝体生长阶段的致病性及生防剂对其的抑制效果[J].分子植物育种,2019,17(19):6530-6534.
- [50] 黄鑫伟,严寅晖,张通,等.灵芝绿霉病原菌的分离鉴定及快速检测[J].植物保护学报,2018,45(6):1435-1436.
- [51] 李娟,刘晓红,宋洁,等.人工栽培蛹虫草致病木霉CCBH-M2的鉴定及生物学特性[J].西南农业学报,2016,29(9):2216-2220.
- [52] 张公杰,李东明.木霉病的研究现状[J].菌物学报,2019,38(8):1287-1297.
- [53] 崔凌霄,杨成德,杨丽萍,等.致病链霉菌毒素多样性及马铃薯疮痂病综合防治的研究进展[J].西北农业学报,2021,30(4):469-480.
- [54] 王卫雄,沈博,贾洪柏,等.根际生防菌群的应用及其防病增效的潜在机制[J].生物技术通报,2020,36(9):31-41.