



夏善勇,牛志敏,李庆全,等. 马铃薯镰刀菌枯萎病研究进展及防控手段[J]. 黑龙江农业科学,2022(2):89-94.

马铃薯镰刀菌枯萎病研究进展及防控手段

夏善勇,牛志敏,李庆全,张丽娟,盛万民

(黑龙江省农业科学院 马铃薯研究所/黑龙江省马铃薯生物学与品质改良重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为促进马铃薯枯萎病有效防控,推进我国马铃薯产业发展,本文对马铃薯枯萎病症状、传播途径,病原菌分类、生物学特征及致病机制进行归纳,并对各种防治措施的优缺点进行总结。在生产中应充分考虑致病病原菌种类、栽培品种与土壤环境之间的关系,在病害发生的不同时期采取综合的防治措施,以达到理想的防治效果。

关键词:马铃薯;枯萎病;病原菌分类;致病机制;防治措施

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)属于茄科(Solanaceae)茄属(*Solanum*)一年生草本植物,起源于南美洲的安第斯山脉,是世界上第四大粮食作物,可为人体提供不可缺少的蛋白质、矿物质盐类、粗纤维和多种维生素^[1],在我国有近400年的栽培历史,对提高产区农民经济收入、调整种植业结构和缓解我国粮食安全压力具有重要战略意义和现实意义^[2]。近年来,随着马铃薯产业的发展 and 种植效益的增加,马铃薯主产区轮作倒茬周期缩短甚至难以实现,连作重茬现象越来越严重,土壤微生物种群结构失衡,化感作用日趋明显,同时各马铃薯产区间种薯调运及检疫制度执行滞后等,导致马铃薯土传病害日益加重,由多种镰刀菌引起的马铃薯枯萎病是主要土传病害之一^[3-4],自从1979年首次在希腊发现尖孢镰刀菌可导致马铃薯枯萎病^[5],到目前,国内外关于镰刀菌分类地位与寄主范围、生物学特征、致病机理等方面均有报道。马铃薯枯萎病是一种马铃薯全生育期病害,其病原菌可侵染马铃薯根系、茎基部、薯块,在全国马铃薯主产区均有不同程度发生,一般造成减产30%左右,在一些重茬地块发病越来越严重,可造成78%以上的植株死亡,严重制约了我国马铃薯生产和加工产业的健康稳步发展,已成

为我国马铃薯生产的主要病害^[6]。本文通过分析马铃薯枯萎病症状、传播途径、病原菌分类及致病机制等,总结了各种防治措施的优缺点,以期为该病害的深入研究及综合防治提供理论依据。

1 马铃薯枯萎病症状、传播途径与危害

1.1 马铃薯枯萎病的症状

马铃薯枯萎病主要在花期前后表现症状,在植株的盛花期到成熟期症状表现尤为明显。发病初期植株叶片萎蔫、褪绿或呈青铜色,下部叶片表现为垂萎,中午光照强时表现明显,早晚可恢复;发病后期逐渐向上部叶片蔓延扩展,最终导致植株整株萎蔫甚至枯死;患病植株茎矮小,剖开病茎,维管束呈黑褐色,严重时患病部位可见白色至粉红色菌丝;病原菌扩散到块茎中,在块茎的维管束内形成褐色虚线状环圈^[7-8]。曲延军等^[9]根据病害危害程度,制定马铃薯枯萎病室内、室外病情分级标准(表1)。

1.2 马铃薯枯萎病的传播途径

马铃薯枯萎病的病原菌可通过土壤、种薯、农事作业、雨水或灌溉水传播,从根部伤口或根毛顶端进行侵染^[10],适宜的外部环境及多年连作有利于病害的发生与蔓延。马铃薯枯萎病病原菌以菌丝体或小型分生孢子、厚垣孢子及大型分生孢子形式越冬,主要分布于土壤、未腐熟的有机肥、植株病残体和带菌种薯中,土壤中病原菌集中分布在0~20 cm土层中。病原菌对环境存在较强的适应性,在土壤、病残体中可存活5~6年,部分病原菌可存活16年以上,其侵染能力基本不会随时间推移而减弱,并且厚垣孢子和菌核通过牲畜消化道后仍有生活力^[11]。田间湿度大、土壤营养和

收稿日期:2021-10-07

基金项目:国家重点研发计划重点专项(2017YFE0115700);黑龙江省“百千万”工程科技重大专项(2019ZX16B02-11);中央引导地方科技发展专项(ZY21C02);黑龙江现代农业产业技术协同创新体系(2019,2020,2021)。

第一作者:夏善勇(1978—),男,学士,副研究员,从事马铃薯遗传育种研究。E-mail:xiashanyong@163.com。

通信作者:盛万民(1967—),男,博士,研究员,从事马铃薯遗传育种研究。E-mail:shengwanmin@163.com。

微生物种群结构失衡、土温高于 28 ℃或重茬、低洼地利于马铃薯枯萎病的发生^[12]。谢奎忠等^[13]通过马铃薯长期连作定位试验表明,连作使马铃薯根系分泌物中苹果酸和棕榈酸相对含量增加,

苹果酸和棕榈酸是马铃薯根系分泌的化感自毒物质,对尖孢镰刀菌有促生作用,可显著提高马铃薯枯萎病的发病级别和病情指数。

表 1 马铃薯枯萎病分级标准

等级	室内病情分级标准	等级	田间病情分级标准
0	叶片没有明显枯黄萎蔫,植株生长正常	0	叶片没有明显枯黄萎蔫,植株生长正常
1	0~20%的叶片枯黄萎蔫	1	植株 25%以下叶片表现褪绿、黄化、萎蔫死亡
2	21%~40%的叶片枯黄萎蔫	2	26%~50%的叶片枯黄萎蔫
3	41%~60%的叶片枯黄萎蔫	3	51%~75%的叶片枯黄萎蔫
4	61%~80%的叶片枯黄萎蔫	4	76%以上叶片表现出严重症状、植株枯萎死亡
5	81%以上的叶片枯黄萎蔫		

1.3 马铃薯枯萎病的危害

马铃薯枯萎病病原菌寄主范围广,除可使马铃薯发病外,亚麻(*Linum usitatissimum* L.)^[14]、棉花(*Gossypium hirsutum* L.)^[15]、香蕉(*Musa paradisiaca*)^[16]和番茄(*Lycopersicon esculentum*)^[17]等很多高经济价值作物都可被侵染。在我国马铃薯枯萎病发生范围较广,内蒙古^[7]、甘肃^[10]、宁夏、山西、山东^[18]、河北^[19]和新疆^[20]等马铃薯主产区均有不同程度发生。2011—2013 年陈春艳等^[21]对贵州省马铃薯主栽品种威芋 5 号和宣薯 2 号枯萎病调查发现平均发病率均在 25%以上,严重地块高达 84%,平均减产 20%~40%;2015 年徐利敏等^[22]对乌兰察布、呼和浩特马铃薯枯萎病调查发现,平均发病率 32%~65%,平均减产 15%~33%;2017 年谢奎忠等^[13]对甘肃省马铃薯主产区定西市的调查发现,马铃薯枯萎病病情加剧,品质及产量严重下降。

2 马铃薯枯萎病病原菌种类、生物学特征及分布

2.1 马铃薯枯萎病病原菌种类及生物学特征

镰刀菌属(*Fusarium*)隶属于半知菌亚门(Deuteromycotina)丝孢纲(Hyphomycetes)瘤座孢目(Tuberculariaceae),有性阶段属于赤霉属(*Gibberella*)、丽赤壳属(*Calonectria*)、丛赤壳属(*Nectria*)和小赤壳属(*Micronectriella*)^[23]。国内外研究报道,能够引起马铃薯枯萎病的镰刀菌共有 11 种,即接骨木镰刀菌(*F. sambucinum*)、茄病镰刀菌(*F. solani*)、雪腐镰刀菌(*F. nivale*)、串珠镰刀菌(*F. moniliforme*)、尖孢镰刀菌(*F. oxysporum*)^[12]、三线镰刀菌(*F. tricinctum*)、芳

香镰刀菌(*F. redolens*)、锐顶镰刀菌(*F. acuminatum*)、木贼镰刀菌(*F. equiseti*)、砖红镰刀菌(*F. lateritium*)及燕麦镰刀菌(*F. avenaceum*),其中尖孢镰刀菌分布最广,致病性也最强^[21]。

陈慧等^[18]对内蒙古致病病原菌生物学特性研究结果表明,尖孢镰刀菌的最适生长温度为 25 ℃,最适 pH 为 7,最适合生长的培养基为 PDA、PSA、Bilais 培养基,最适碳源为淀粉和麦芽糖,最适氮源为蛋白胨;三线镰刀菌的最适生长温度为 20 ℃,最适 pH 为 7,最适生长的培养基为玉米粉和燕麦粉培养基,最适碳源为淀粉,最适氮源为尿素;茄病镰刀菌的最适温度为 30 ℃,最适 pH 为 7,最适合生长的培养基为 PSA 培养基,最适碳源为葡萄糖和蔗糖,最适氮源为硝酸钾。

2.2 马铃薯枯萎病病原菌分布

马铃薯枯萎病是世界性病害,1979 年 Kitsos 等^[24]首次在希腊发现尖孢镰刀菌可导致马铃薯枯萎病,美国、印度、意大利、乌拉圭和澳大利亚^[25]等地均有发生马铃薯枯萎病的报道。我国 1922 年和 1932 年分别在台湾和广东发现,目前我国学者通过形态学、致病性测定、生物学及分子鉴定发现,引起我国马铃薯枯萎病的致病菌主要有 5 种,分别为尖孢镰刀菌、茄病镰刀菌、串珠镰刀菌、三线镰刀菌和燕麦镰刀菌(表 2),病原菌在种间和种内的致病活性存在差异,同时随地域不同,主要致病优势病原菌也不相同,其致病力也有所差别^[26]。彭学文等^[19]对河北省马铃薯真菌种类调查,通过形态学特征及致病性测定发现,引起河北省马铃薯枯萎病的病原菌为茄病镰刀菌、串珠镰刀菌和尖孢镰刀菌;王丽丽等^[20]采用形态

学鉴定方法,确定新疆马铃薯枯萎病由串珠镰刀菌、茄病镰刀菌和尖孢镰刀菌 3 个种引起;王玉琴等^[10]通过形态学、生物学特征鉴定及 rDNA-ITS 序列分析,明确甘肃马铃薯枯萎病的致病菌为燕麦镰刀菌;陈慧等^[18]对采自内蒙古地区的病原菌进行分离和鉴定,通过传统形态学和现代分子生物学鉴定,确定尖孢镰刀菌、茄病镰刀菌和三线镰

刀菌是引起内蒙古马铃薯枯萎病的致病病原菌;王喜刚等^[27]利用形态学鉴定方法和基于 rDNA-ITS 与 *EF-1α* 序列分析的分子鉴定方法明确宁夏回族自治区马铃薯镰刀菌分别为尖孢镰刀菌、茄病镰刀菌、锐顶镰刀菌、木贼镰刀菌、接骨木镰刀菌。

表 2 我国已报道的马铃薯枯萎致病菌种类及分布

地区	致病菌种	优势菌种	参考文献
河北	<i>F. solani</i> 、 <i>F. monili forme</i> 、 <i>F. oxysporum</i>	<i>F. oxysporum</i>	[19]
内蒙古	<i>F. oxysporum</i> 、 <i>F. solani</i> 、 <i>F. tricinctum</i>	<i>F. oxysporum</i>	[7]、[18]
山西	<i>F. oxysporum</i>	<i>F. oxysporum</i>	[18]
甘肃	<i>F. avenaceum</i> 、 <i>F. oxysporum</i>	<i>F. avenaceum</i>	[10]
广东	<i>F. oxysporum</i>	<i>F. oxysporum</i>	[18]
新疆	<i>F. oxysporum</i> 、 <i>F. monili forme</i> 、 <i>F. solani</i>	<i>F. oxysporum</i>	[20]
宁夏	<i>F. oxysporum</i> 、 <i>F. solani</i> 、 <i>F. acuminatum</i> 、 <i>F. equiseti</i> 、 <i>F. sambucinum</i>	<i>F. sambucinum</i> 、 <i>F. solani</i>	[27]
青海	<i>F. tricinctum</i> 、 <i>F. avenaceum</i> 、 <i>F oxysporum</i> 、 <i>F. solani</i> 、 <i>F. acuminatum</i> 、 <i>F. equiseti</i>	<i>F. oxysporum</i>	[28]

3 马铃薯枯萎病病原的分类及致病机制

3.1 马铃薯枯萎病病原菌的分类

镰刀菌因其形态复杂,又易受外界环境影响发生变异,致使镰刀菌的分类变得十分困难。1809 年 Link 以粉红镰刀菌(*F. roseum*)为模式种建立了镰刀菌属,目前国际上至少有 10 种镰刀菌分类系统,各分类系统对镰刀菌的分类依据和数目不一致^[29],被世界上各国学者采用的分类系统主要有两种,分别是 Wollenweber et Reinking 系统^[30]和 Booth 系统^[31]。Wollenweber et Reinking 系统以真菌的生物学性状为基础,结合形态学结构,将所有的镰刀菌分为 16 组,65 种,55 变种和 22 个生物型;Booth 系统根据镰刀菌的寄主范围、地理分布、分生孢子梗的形态和镰刀菌的有性世代等特性,将镰刀菌分为 12 个组,44 个种和 7 个变种,它的贡献是将分生孢子梗的形态和产孢细胞特点用于分类中。我国早期的镰刀菌分类主要采用 Wollenweber et Reinking 系统,如俞大绂^[32]采用该系统鉴定出我国镰刀菌 44 种,35 变种。1971 年 Booth 提出的 44 种系统受到科学界的普遍认同,也得到我国真菌学家的充分肯定,陈鸿逵等^[33]采用此系统鉴定出浙江镰刀菌 34 种和 6 个种级下的品种。

3.2 马铃薯枯萎病致病机制

尖孢镰刀菌是马铃薯枯萎病优势菌种,被列

为世界上第五大植物病原真菌,目前对尖孢镰刀菌导致枯萎病致病机制的研究也最为广泛与深入^[34]。艾聪聪等^[35]试验结果表明尖孢镰刀菌可以产生活性较高的蛋白酶(Protease)、果胶酶(Pectinase)、纤维素酶(Cellullse)和半纤维素酶(Hemicellulos)等细胞壁降解酶,说明细胞壁降解酶在降解植物细胞壁以及植株与病原体相互作用中起着核心作用,是该菌重要的致病因子之一,细胞壁被降解后使植株的果胶酶变活跃,果胶及填充物阻塞植株的导管,从而抑制水分和养分向叶片的运输,最终导致植株萎蔫甚至死亡。另外,尖孢镰刀菌侵入马铃薯植株之后,会分泌一些毒素,这些毒素在尖孢镰刀菌致病过程中起重要作用,它可影响植株正常生理代谢,并且影响病害的发展和症状的产生^[36]。目前发现尖孢镰刀菌产生的毒素有镰刀菌酸(Fusaric Acid,FA)、T2 毒素(Trichothecenes,TS)、恩镰孢毒素(Enniatin,ENs)、白僵菌素(Beauveficin,BEA)及伏马菌素(Fumonisin,FBs)等^[37-38]。毒素对质膜的伤害是最主要的致病因素,其致萎作用主要是通过对细胞质膜的破坏,导致代谢紊乱,叶片细胞膜透性增加,造成地上部植株因缺少水分及营养而萎蔫甚至枯死。由此可见,尖孢镰刀菌主要通过分泌针对细胞壁成分的细胞壁降解酶堵塞导管与产生毒素毒害维管束组织两种途径共同致病,早期尖孢

镰刀菌菌丝先附着在根毛上,从根毛进入根后,接着从根外表皮侵入,然后产生毒素,这些毒素损伤植株根部,降低根的活力,为病原菌之后的定殖打下基础,紧接着尖孢镰刀菌分泌降解酶类来降解细胞壁,使果胶等堵塞导管,使植物萎蔫,最终致死。

4 综合防控手段

由于马铃薯枯萎病是土传兼种传病害,并且病原菌复杂,遗传多样性丰富,抗逆性强,使该病害的防治增加了难度,采取单一的防控措施很难控制,提倡建立农艺防控、选育抗病品种、使用化学制剂及生物防治等综合防控体系。

4.1 农艺防控

农艺措施是防控马铃薯枯萎病的有效方法。科学的栽培措施可以减轻病害的发生,合理施氮可增强植株的抗病能力,延缓植株发病,有效减轻马铃薯枯萎病的危害^[39];采用覆膜起垄栽培能有效提高马铃薯产量,还能降低植株萎蔫率、病薯率,播种前覆膜 21~28 d 可有效控制枯萎病发生,防效可达 38.80%~73.84%^[40];与禾本科或绿肥作物等进行 4 年以上的轮作、深翻耕层、清除田间病株及枯枝落叶能减少土壤菌源,减轻病害的发生和蔓延;太阳暴晒能消毒可以控制和降低土壤中病原菌含量。Martyn 等^[41]研究表明,太阳暴晒可以明显降低 10 cm 土层中的枯萎病菌含量,暴晒 30~60 d 可以延缓枯萎病的发生。

4.2 抗病品种选育

选育抗病品种是防治马铃薯枯萎病的低成本且安全有效的措施。马铃薯不同品种对枯萎病病原菌的抗性存在差异,但目前国内外鲜见对枯萎病菌免疫的马铃薯品种的报道。曲延军等^[9]通过室内与田间接种试验,评价供试马铃薯品种对枯萎病菌的抗性,结果显示,供试的马铃薯品种中未筛选出免疫品种,脱毒组培苗接种病原菌测定的 19 个品种中,筛选出中抗的品种有 2 个,田间接种病原菌测定的 20 个品种中,中抗及以上抗性品种有 9 个;贾瑞芳等^[6]对 37 份马铃薯品种采用室内灌根接种结合田间麦麸接菌的方法进行抗性鉴定,结果显示,供试的品种中,没有对枯萎病免疫的马铃薯品种,有 5 个高抗品种,7 个中抗品种。抗病品种的筛选是防控马铃薯枯萎病的重要措施之一,有必要对不同地区种植的不同马铃薯品种进行针对性的抗性评价,且从野生资源中寻找抗

源或对栽培品种进行改良,进一步为马铃薯的抗病育种提供合适的抗性基础材料。

4.3 化学防治

目前对马铃薯枯萎病的防治仍以化学防治为主,但在我国农药登记中不存在防治马铃薯枯萎病的化学药剂。徐利敏等^[22]采用菌丝生长速率抑制法测定 50%克菌丹可湿性粉剂、25%氰烯菌酯悬浮剂、70%甲基托布津可湿性粉剂等 6 种杀菌剂对尖孢镰刀菌的抑制效果,结果表明,氰烯菌酯和甲基托布津的毒力最高,EC₅₀ 分别为 0.044 1 和 0.112 7 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$;陈春艳等^[42]采用田间植株叶面喷施法,测试 72%甲霜灵 WP、80%多菌灵 WP、72%杜邦克露 WP 等药剂的防治效果,结果表明,用药量为 2 779.5 $\text{g}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的 72%甲霜灵植株发病率、病情指数最低,防效达 70.59%。化学杀菌剂虽然短期内降低了马铃薯枯萎病的发生,但化学药剂无法深入土壤,不能起到完全灭菌的效果,且长期使用杀菌剂致使病原菌抗药性逐渐增强,导致药剂防效下降,同时对环境造成污染。

4.4 生物防治

生物防治具有绿色无污染、保护土壤中有益微生物及获得长期效益等优点,是未来植物病害防控的发展方向,近年来逐渐引起人们的重视^[43]。王晓丽^[39]从采集的作物根际土壤样品中分离筛选得到的枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)通过室内平板对峙测定,对枯萎病病菌的抑菌宽度为 7.0 mm,防治效果达到 81.5%;冯金龙等^[44]采用平板对峙法测试解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)对马铃薯枯萎病的防效,结果表明,该菌可致马铃薯枯萎病菌丝颜色变淡、原生质溢出、菌丝断裂、崩解等,抑菌率达 72%;杨永梅^[45]从内蒙古西部地区的 25 个土壤类型中分离得到 1 株放线菌,通过形态、生理生化与 16SrDNA 鉴定为链霉菌属(*Streptomyces* sp.),采用平板对峙法对尖孢镰刀菌进行对峙试验,其抑菌圈直径达 27.3 mm;刘智慧等^[46]试验证明枯草芽孢杆菌、木霉菌与有机肥混合,均匀撒施能有效降低马铃薯枯萎病病情指数、病株率及病薯率,同时可显著提高根际土壤有益微生物数量,提升马铃薯植株的长势,增强植株的抗病性;许帅等^[47]对分离自马铃薯根际土壤的贝莱斯芽孢杆菌(*Bacillus velezensis*)进行枯萎病盆栽防效试验,试验结果证明,接种后对枯萎病有良好的

防治效果,该菌株可在马铃薯根际土壤和根部有效定殖 30 d 以上,防效达 82.46%;另外研究表明丛枝菌根真菌、非致病性尖孢镰刀菌、寄主生长促生菌等拮抗微生物可产生降解病菌细胞壁的几丁质酶、与病原菌竞争侵染位点和营养及促进植物营养、水分的吸收,作用于植株或尖孢镰刀菌,直接激活植株的防御反应或抑制尖孢镰刀菌的生长^[48]。生物防治在马铃薯枯萎病的防治中取得了一定的效果,但从整体上看,利用生防菌防治病害还存在有效菌株筛选方法不够完善的问题,目前生防菌的筛选首先是在实验室的平板上进行的,即只能通过拮抗、重寄生和溶菌等特性来筛选,这就使许多通过其他抑制机理起作用的菌株不能被筛选;生物防治还存在防治对象的范围较窄的问题,防治效果不稳定,易受环境条件、操作技术影响等缺陷,这些缺点制约着生物防治在土传病害防治上的应用,目前生物防治措施还处于温室和小面积的田间试验阶段。

5 展望

马铃薯枯萎病病原菌组成具有多样性,遗传变异性大且分布规律性差,抗逆性强,这给该病害的防治增加了难度,在实际生产应用中,应充分考虑致病病原菌种类、栽培品种与土壤环境之间的复杂关系,在病害发生的不同时期采取综合的防控措施才能达到比较理想的防治效果。未来科研工作重点为明确不同区域马铃薯枯萎病种类,并确定各地的优势菌种;对马铃薯枯萎病病原菌的生物多样性、致病机理和进化规律进行深入研究,为防治马铃薯枯萎病提供理论依据;加大对马铃薯枯萎病防治药剂的筛选力度,尤其不同药剂进行二元复配施用后的防治效果;扩大生防微生物应用范围、完善有效菌株的筛选方法以及改善其对环境条件的适应性;对马铃薯枯萎病抗性水平基因工程和田间筛选相结合的研究对于控制马铃薯枯萎病具有重要的意义。

参考文献:

- [1] 黑龙江省农业科学院马铃薯研究所. 中国马铃薯栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,1994.
- [2] 王秀丽,王士海. 全球马铃薯进出口贸易格局的演变分析——兼论中国马铃薯国际贸易的发展趋势[J]. 世界农业,2017(9):123-130,139.
- [3] 汪沛,熊兴耀,雷艳,等. 马铃薯土传病害的研究进展[J]. 中国马铃薯,2014,28(2):111-116.
- [4] 李继平,李敏权,惠娜娜,等. 马铃薯连作田土壤中主要病原

- 真菌的种群动态变化规律[J]. 草业学报,2013,22(4):147-152.
- [5] THANASSOULOPOULOS C C, KITSOS G T. Studies on *Fusarium* wilt of potatoes. 1. Plant wilt and tuber infection in naturally infected fields [J]. Potato Research, 1985, 28(4):507-514.
- [6] 贾瑞芳,徐利敏,赵远征,等. 37 份马铃薯品种对枯萎病的抗性鉴定[J]. 中国马铃薯,2019,169(5):296-303.
- [7] 薛玉凤. 马铃薯枯萎病病原菌学初步研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2012.
- [8] WALKER J C. *Fusarium* wilt of tomato[J]. Plant Pathology Circular,1971,147(3):155-161.
- [9] 曲延军,蒙美莲,张笑宇,等. 马铃薯品种对枯萎病菌的抗性鉴定[J]. 植物保护,2015,41(3):149-153.
- [10] 王玉琴,杨成德,陈秀蓉,等. 甘肃省马铃薯枯萎病(*Fusarium avenaceum*)鉴定及其病原生物学特性[J]. 植物保护,2014,40(1):48-53.
- [11] IOANNOU N, POULLIS C A, HEALE J B. *Fusarium* wilt of watermelon in Cyprus and its management with soil solarization combined with fumigation or ammonium fertilizers[J]. OEPP Bullein,2000,30(2):223-230.
- [12] RAKHIMOV U K, KHAKIMOV A K. Wilt of potatoes in Uzbekistan [J]. Zashchita I Karantin Rastenii, 2000(3):46.
- [13] 谢奎忠,邱慧珍,胡新元,等. 连作马铃薯根系分泌物鉴定及其对尖孢镰孢菌(*Fusarium oxysporum*)的作用[J]. 中国沙漠,2021(3):1-9.
- [14] 潘虹,吴广文,宋喜霞,等. 亚麻枯萎病病原菌生理小种研究进展[J]. 中国麻业科学,2011,33(2):100-104.
- [15] 李明桃. 棉花枯萎病的研究[J]. 农业灾害研究,2012,2(4):1-3,16.
- [16] 何欣,黄启为,杨兴明,等. 香蕉枯萎病致病菌筛选及致病菌浓度对香蕉枯萎病的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(18):3809-3816.
- [17] 徐艳辉,李烨,许向阳. 番茄枯萎病的研究进展[J]. 东北农业大学学报,2008,39(11):128-139.
- [18] 陈慧,薛玉凤,蒙美莲,等. 内蒙古马铃薯枯萎病病原菌鉴定及其生物学特性[J]. 中国马铃薯,2016,30(4):226-234.
- [19] 彭学文,朱杰华. 河北省马铃薯真菌病害种类及分布[J]. 中国马铃薯,2008,22(1):31-33.
- [20] 王丽丽,日孜旺古丽·苏皮,李克梅,等. 乌昌地区马铃薯真菌性病害种类及 5 种新记录[J]. 新疆农业科学,2011,48(2):266-270.
- [21] 陈春艳,陈玉章,王朝贵,等. 马铃薯枯萎病的防治药剂筛选[J]. 贵州农业科学,2014,42(7):43-45.
- [22] 徐利敏,侯亚光,贾瑞芳,等. 杀菌剂对马铃薯枯萎病菌的毒力测定[J]. 北方农业学报,2018,46(2):65-68.
- [23] 王振辰,郑重,叶琪明,等. 常见镰刀菌鉴定指南[M]. 北京:中国农业科技出版社,1996.
- [24] KITSOS G T, THANASSOULOPOULOS C C. Potato and

- aster *Fusarium* wilt in Greece[J]. Potato Research, 1980; 192-194.
- [25] 陈慧. 马铃薯枯萎病病原菌鉴定及 *Fusarium oxysporum* 遗传多样性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015.
- [26] 安小敏, 胡俊, 武建华, 等. 马铃薯枯萎病病原菌研究概述[J]. 中国马铃薯, 2017, 31(5): 302-306.
- [27] 王喜刚, 杨波, 郭成瑾, 等. 宁夏回族自治区马铃薯镰刀菌根腐病病原菌的分离鉴定与致病性测定[J]. 植物保护学报, 2020, 47(3): 609-619.
- [28] 杨波, 王喜刚, 郭成瑾, 等. 引起青海省马铃薯根腐类病害的镰刀菌种类鉴定[J]. 植物病理学报, 2019, 49(3): 420-423.
- [29] 谢安娜, 徐浩飞, 张志林, 等. 致病镰刀菌的研究进展[J]. 湖北工程学院学报, 2020, 40(6): 37-41.
- [30] 杜宾. 镰刀菌的分类和研究现状[J]. 太原学院学报(自然科学版), 2017, 35(4): 68-70.
- [31] BOOTH C. The genus of *Fusarium* [M]. Kew, England: CMI, 1971: 100-101.
- [32] 俞大绂. 中国镰刀菌属(*Fusarium*)菌种的初步名录[J]. 植物病理学报, 1955, 1(1): 1-18.
- [33] 陈鸿逵, 王拱辰, 俞永信. 寄生于浙江海州常山叶鞘锈菌中的镰刀菌的研究[J]. 浙江农业大学学报, 1984(4): 3-12.
- [34] 李英, 杜春梅. 致病性尖孢镰刀菌毒力因子的研究进展[J]. 中国农学通报, 2021, 37(12): 92-97.
- [35] 艾聪聪, 惠金聚, 王桂清, 等. 尖孢镰刀菌细胞壁降解酶活性研究[C]//彭友良, 李向东. 中国植物病理学会 2017 年学术年会论文集. 泰安: 中国农业科学技术出版社, 2017: 5.
- [36] 吕桂云, 张海英, 郭绍贵, 等. 寄主植物与枯萎病菌互作机理的研究进展[J]. 中国蔬菜, 2010(4): 1-7.
- [37] BANI M, RISPAIL N, EVIDENTE A. Identification of the main toxins isolated from *Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi* Race 2 and their relation with isolates pathogenicity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(12): 2574-2580.
- [38] DOR E, EVIDENTE A, AMALFITANO C. The influence of growth conditions on biomass, toxins and pathogenicity of *Fusarium oxysporum* f. sp. *orthoceras*, a potential agent for broomrape biocontrol [J]. Weed Research, 2007, 47(4): 345-352.
- [39] 王晓丽. 马铃薯枯萎病发生特点及防治措施的初步研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2012.
- [40] LIN C E, HUANG S H, LIN C Y. Mechanism of solarization for controlling soilborne disease[J]. Bulletin of Taichuang District Agricultural Improvement Station, 1995, 49: 19-31.
- [41] MARTYN R D, HARTZ T K. Use of soil solarization to control *Fusarium* wilt of watermelon[J]. Plant Disease, 1986, 70(8): 762-766.
- [42] 陈春艳, 陈玉章, 王朝贵, 等. 马铃薯枯萎病的防治药剂筛选[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(7): 43-45.
- [43] 马佳, 李颖, 胡栋, 等. 芽胞杆菌生物防治作用机理与应用研究进展[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(4): 639-648.
- [44] 冯金龙, 杨成德, 陈秀蓉, 等. 解淀粉芽胞杆菌 S27 的鉴定、生物学功能测定及其对马铃薯病原菌的拮抗作用研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(4): 56-61.
- [45] 杨永梅. 内蒙古巴彦淖尔地区土壤放线菌分离鉴定及拮抗马铃薯两种主要病原菌的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2016.
- [46] 刘智慧, 陈慧, 包美丽, 等. 生防菌与有机肥联用防治马铃薯枯萎病及对土壤微生态的影响[J]. 中国马铃薯, 2017, 31(1): 30-37.
- [47] 许师, 谢学文, 张昀, 等. 马铃薯枯萎病生防芽胞杆菌筛选及生防效果研究[J]. 中国生物防治学报, 2020, 36(5): 761-770.
- [48] 高晓敏, 王琚钢, 马立国, 等. 尖孢镰刀菌致病机理和化感作用研究进展 [J]. 微生物学通报, 2014, 41(10): 2143-2148.

Research Progress and Control Measures of *Fusarium* Wilt of Potato

XIA Shan-yong, NIU Zhi-min, LI Qing-quan, ZHANG Li-juan, SHENG Wan-min

(1. Potato Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Biology and Quality Improvement for Potato in Heilongjiang, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to further prevent and control potato *Fusarium* wilt and promote potato production in China, this paper summarized the symptoms, transmission routes, pathogen classification, biological characteristics and pathogenesis of potato *Fusarium* wilt, and analyzed the advantages and disadvantages of various control measures. In production, the relationship between pathogenic bacteria, cultivated varieties and soil environment should be fully considered, and comprehensive control measures should be taken in different periods of disease occurrence, so as to achieve ideal control effect.

Keywords: potato; *Fusarium* wilt; pathogen species; occurrence characteristics; control measures