

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2022)03-0256-10

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2022.03.007

马铃薯茎基腐病防治技术研究进展

雷玉明^{1,2,3*}, 邢会琴^{1,2,3}, 郑天翔^{1,2,3}, 何振明⁴, 马金⁵

(1. 河西学院农业与生态工程学院, 甘肃 张掖 734000; 2. 甘肃河西走廊特色资源利用重点实验室, 甘肃 张掖 734000;
3. 河西学院祁连山有害生物综合治理研究中心, 甘肃 张掖 734000; 4. 甘肃省山丹县农业技术推广中心, 甘肃 山丹 734100;
5. 甘肃前进生物科技发展有限公司, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 综述总结了马铃薯茎基腐病当前轮作、间作、施肥等农业技术防效与作用机理的研究进展, 阐述了抗茎基腐病种质资源筛选、新品种培育和基因工程等研究基础与进展, 介绍了目前物理、生物和化学防治方法及其在马铃薯茎基腐病防治中的应用情况等。分析了马铃薯茎基腐病防治技术研究与应用的前景, 指出发展方向由单项防控向集成综合防控体系发展, 以实现马铃薯茎基腐病的绿色防控目标。

关键词: 马铃薯; 茎基腐病; 抗病育种; 农业防治; 物理防治; 生物防治; 化学防治

Research Progress in Control Technology of Potato Stem Canker

LEI Yuming^{1,2,3*}, XING Huiqin^{1,2,3}, ZHENG Tianxiang^{1,2,3}, HE Zhenming⁴, MA Jin⁵

(1. College of Agriculture and Ecological Engineering, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China;
2. Key Laboratory of Hexi Corridor Characteristic Resources Utilization of Gansu Province, Zhangye, Gansu 734000, China;
3. Research Center of Qilian Mountains Pest Integrated Management of Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China;
4. Agricultural Technology Extension Center of Shandan County, Gansu Province, Shandan, Gansu 734100, China;
5. Gansu Qianjin Biotechnology Development Co., Ltd., Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: The review summarizes the research progress in the control effect and action mechanism of agricultural technologies such as rotation, intercropping and fertilization, expounds the research and progress in the selection of germplasm resources resistant to stem canker, the development of new varieties and genetic engineering, and introduces the current physical, biological and chemical control methods and their applications in the control of potato stem canker. The prospect of research and application of potato stem canker control technology is analyzed, and the development direction is pointed out from individual control to integrated control system, so as to achieve the green control goal of potato stem canker.

Key Words: potato; stem canker; disease resistant breeding; agricultural control; physical control; biological control; chemical control

收稿日期: 2022-06-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(31660499); 甘肃省现代农业产业体系马铃薯产业病虫害防控团队(GAR2-03-P5)。

作者简介: 雷玉明(1964-), 男, 教授, 从事植物病理学教学与研究工作。

*通信作者(Corresponding author): 雷玉明, E-mail: zymlei@163.com。

马铃薯茎基腐病(*Rhizoctonia solani*)又称立枯丝核菌病、黑痣病、丝核菌溃疡病、黑色粗皮病等。国外最早发现于1858年^[1], 目前, 在世界各国马铃薯主产区均有发生与报道^[2]。中国台湾和广东早在1922和1932年就有其为害记载^[3], 目前全国马铃薯产区均有该病害的发生。随着国内马铃薯产业的快速发展, 连作障碍问题突出, 该病害发生范围逐渐扩大, 且发病率和病情指数逐年升高, 侵染源复杂, 成为危害马铃薯生产的重要病害^[2,4]。该病害的防治研究一直以来是国内外研究的热点, 已报道有许多单项技术对茎基腐病有一定的防效, 但防治效果均不够显著。为此, 针对茎基腐病防治技术的研究进行总结, 旨在为集成绿色综合防控技术提供参考依据。

1 农艺防控技术

1.1 轮作

实践证明, 马铃薯连作可造成马铃薯严重减产, 甚至毁产。究其原因是土壤微生物种群结构不合理, 其中立枯丝核菌种类增加, 数量逐年积累, 在土壤微生物种群结构中占优势地位, 是导致茎基腐病严重发生的主要根源。李继平等^[5]报道, 随着马铃薯连作年限的增加, 土壤中立枯丝核菌的数量呈上升趋势, 连作1、2、3年的土壤, 0~10 cm土层中的立枯丝核菌数量分别达9.58、20.60、22.40个/10 g土, 明显高于马铃薯-蚕豆轮作茬7.80个/10 g土, 充分证明马铃薯连作土壤中土传病原菌的数量与连作年限密切相关。因此, 轮作可以减少土壤病原菌的种类和数量, 是控制茎基腐病较有效的途径。

前苏联专家 Воловик 在1979年提出, 防治马铃薯丝核菌病等病虫害的预防性措施在于马铃薯种植前安排适宜的前作, 如冬麦、多年生牧草、豆类-谷类混播、含生物碱的羽扇豆、大豆, 在非专业化轮作中, 与马铃薯轮作间隔年限不应少于4年, 以上作物都能降低土壤中病原菌和害虫数量积累, 以达到预防丝核菌病的目的^[6]。Moulin等^[7]2011年报道, 加拿大实行豆薯轮作, 马铃薯收获后使用覆盖物和减少耕作, 能提高土壤有机

碳、土壤团聚体粒径分布、土壤团聚体稳定性, 减少土壤的潜在侵蚀, 在2年的轮作中, 保护性耕作减少了多达50%的土壤侵蚀, 马铃薯块茎产量与铁犁耕作相比没有受到影响。因此, 马铃薯与豆类轮作是缓解或克服连作障碍较有效的途径。

国内学者对马铃薯轮作机理进行了系统的研究报道。宋钰等^[8]对马铃薯不同种植方式下土壤微生物变化规律的研究认为, 马铃薯-玉米-马铃薯、马铃薯-藜麦-马铃薯和马铃薯-马铃薯-马铃薯耕作方式下, 随着土层深度加深, 真菌、放线菌及细菌的数量均逐渐减少; 休耕土壤中的真菌和细菌数量随着土层加深而减少, 但放线菌在15~30 cm中数量最多, 达 2.39×10^4 cfu/g土。因此, 轮作、休耕土壤微生物数量变化明显, 改善了土壤质量, 为制定合理的马铃薯耕作模式提供了依据。宋佳承^[9]研究发现, 马铃薯-藜麦和马铃薯-玉米轮作提高了马铃薯根际土壤中细菌和真菌群落多样性指数和丰富度指数, 马铃薯根系生理指标均向好变化, 提升了其经济性状, 使得连作对马铃薯植株造成的胁迫得到了一定程度的缓解, 为实现马铃薯轮作模式提供理论支持。大量资料显示, 小麦-豌豆-马铃薯^[10]、豌豆-马铃薯-豌豆^[10]、苜蓿-马铃薯^[11]、箭筈豌豆-马铃薯^[11]、油菜-马铃薯^[12]、水稻-马铃薯水旱轮作^[13]以及前茬作物为苜蓿、油菜、荞麦、向日葵、胡麻等与马铃薯轮作^[14], 对提高土壤速效养分和水分利用率、改善土壤理化性质、降低马铃薯黑痣病发病率和病情指数、增加马铃薯产量有积极作用。

于台泽等^[15]通过收集整理相关文献的数据, 对马铃薯的轮作效益进行分析时发现, 轮作使经济效益明显增加, 马铃薯茎基腐病发生率为6.8%, 较连作(发病率54.3%)下降47.5个百分点, 使得农药使用量减少, 节省农药成本119元/hm²; 水分利用率提高24.60%, 节省灌溉成本58元/hm²; 减少化肥施用量, 节约化肥成本4500元/hm²; 产量增加31.86%, 增加收入5921元/hm²。生态效益显著, 土壤碳和氮、土壤微生物碳和氮, 以及土壤酶活性明显提高, 碳足迹明显降低于连作。经济效益和生态效益货币化加和后发现, 轮作与

单作相比, 可多获得效益 12 571 元/hm²。为轮作方式认识和进一步推广提供效益基础。

过去一度对马铃薯轮作认识淡薄, 研究内容单一, 种植布局落实不到位。近几年来, 国内外对马铃薯轮作研究广泛, 阐明了连作障碍机理, 充分说明了轮作在马铃薯合理布局方面的重要性。为广大马铃薯产业管理者和生产者重新认识轮作机理与效益提供了理论基础和技术支持, 为缓解连作障碍提供了有效途径, 故马铃薯轮作示范推广具有广阔前景。

1.2 间作套种

据史料记载, 间作套种技术是具有增产效应的一项措施, 在中国推广应用已有悠久的历史。从马铃薯间作套种相关文献看, 在马铃薯间作套种增产机理方面的研究最为活跃。王娜等^[16]研究表明, 马铃薯与玉米间作时, 马铃薯根际土壤中的芽孢杆菌属(*Bacillus*)、土芽孢杆菌属(*Geobacillus*)、喜盐芽孢杆菌属(*Haloballus*)等有益菌比例上升, 链球菌属(*Streptococcus*)、奈瑟菌属(*Neisseria*)、梭菌属(*Clostridium*)、支原体属(*Mycoplasma*)等致病菌比例下降, 甚至消失, 参与碳循环的拟杆菌属(*Bacteroides*)、氮循环的聚球藻属(*Synechococcus*)、硫循环的脱硫肠状菌属(*Desulfotomaculum*)等益生菌种类与数量比例明显升高。李越等^[17]报道, 马铃薯-蚕豆间作降低了马铃薯根际土壤中的真菌和细菌群落数量, 改变了土壤微生物功能多样性指数, 提升了马铃薯根际土壤微生物群落对多聚化合物和碳水化合物的利用能力。大量试验证明, 马铃薯间作可改善土壤微生物群落结构及功能, 提高马铃薯增产效果。

马铃薯间作套种生态机理方面的研究, 揭示了马铃薯间作套种的光、热、水和气变化与增产的关系。在热量资源利用方面, 张绪成等^[18]通过大田定位试验表明, 半干旱区全膜覆盖垄沟间作种植马铃薯与蚕豆、豌豆、扁豆能够降低高温时段的土壤温度, 有利于缓解 6~7 月的高温胁迫, 2012~2014 年马铃薯与蚕豆、豌豆、扁豆间作, 6~7 月 0~25 cm 深的土壤温度较马铃薯单作分别下降 0.8~3.6、0.4~2.8 和 0.8~1.8℃, 马铃薯块茎膨

大期较低的土壤温度会更有利于马铃薯生长。在光能利用方面, 罗爱花等^[19]研究分析发现, 马铃薯与蚕豆在全膜双垄沟播种植方式下, 马铃薯叶片光合速率、气孔导度、细胞间隙二氧化碳浓度、蒸腾速率相对较高; 金建新等^[20]研究认为, 马铃薯与玉米间作时, 马铃薯叶绿素含量、净光合速率、蒸腾强度、气孔导度均有提高。在水分利用方面, 张绪成等^[18]报道马铃薯与豆科作物间作降低了 0~200 cm 深的土壤贮水量, 其变化幅度受降水量显著影响, 对土壤水分的年际平衡无显著影响, 马铃薯与扁豆间作水分经济收益率较马铃薯单作增加 19.8%~24.0%; 侯建伟等^[21]研究马铃薯与苕子或莜麦间作认为, 马铃薯/苕子间作及马铃薯/莜麦间作并不会显著增加或降低作物的耗水量, 可显著提高间作系统的水分利用效率, 具有显著的水分利用优势(水分当量比分别为 1.59~2.01 和 1.55~2.24), 水分利用效果还与当年的降雨量关系密切。充分说明不同地区、不同间作模式在生态效应方面还存在一定差异。因此, 合理利用马铃薯与间作套种作物间的优势, 寻找适宜于当地间作模式非常重要。

间作套种控制农作物病害机理方面的研究, 揭示了间作植物对致病菌的相互作用关系。国外学者认为, 作物混作有利于农作物病害防控。Burdon 和 Chilvers^[22]试验表明, 大麦和小麦混作降低了大麦白粉病流行率, 其关键原因是易感宿主单位密度的降低; 利用作物多样性可有效控制病害, Raboin 等^[23]研究不同比例的水稻感病品种与抗病品种混作对稻瘟病的防效发现, 感病品种为 16.7% 的混作比例较 50% 的显著降低稻瘟病发病率和病情指数, 抑制了稻瘟病流行。付学鹏等^[24]研究发现, 间套作防病机理在于作物根系分泌物抑制病原物, 提高根际微生物多样性, 增强作物抗病性。董艳等^[25]对小麦与蚕豆间作系统的研究, 明确了不同小麦品种根系分泌物中可溶性糖含量、游离氨基酸数量与种类、有机酸含量与组分等能降低蚕豆枯萎病(*Fusarium oxysporum*)病情指数, 抑制了蚕豆枯萎病的发生。利用农作物植株特性可阻隔病原传播, 董华芳^[26]报道了番茄与玉米间

作能改善田间小气候, 降低番茄白粉病(*Oidiopsis taurica*)病情指数, 从而减轻病害的发生。利用土壤微生物多样性的拮抗作用能有效控制病害发生, 吴凤芝和周新刚^[27]采用分子技术手段研究认为, 黄瓜与小麦、毛茛子、三叶草间作能提高黄瓜根际土壤微生物群落多样性, 降低黄瓜角斑病、白粉病、霜霉病和枯萎病的病情指数和尖孢镰孢菌的数量, 从而提高黄瓜产量。

有关马铃薯间作套种控制病害的研究较少。Autrique 和 Potts^[28]报道, 马铃薯与玉米、扁豆间作能降低马铃薯青枯病(*Pseudomonas solanacearum*)的发病率和严重度, 其根源是减少了马铃薯青枯病菌通过根系的传播频率, 降低了青枯病菌的传播速度和积累量。有研究认为, 马铃薯/大蒜^[29]、马铃薯/胡萝卜、葛笋、洋葱或甘蓝^[30]等间作能有效控制马铃薯晚疫病的发生。

合理间作套种方式对农作物病害防控不但具有绿色、环保、低成本等特点, 而且增产效果明显, 防控机理明确。但是, 有关间作套种防治马铃薯茎基腐病方面的研究报道较少, 有待于进一步研究, 尤其马铃薯间作模式对立枯丝核菌的影响。

1.3 施肥

对马铃薯施肥提高土壤养分, 改善土壤结构, 促进马铃薯生长发育, 增加产量, 提升品质等方面的研究已有大量文献报道。通过肥料防治马铃薯病害的相关研究表明, 适宜氮素水平能增强马铃薯对晚疫病的抗性, 提高防御物质活性, 增加产量^[31]; 有机羊粪配合复合化肥对马铃薯早疫病的防效达 38.8%~68.8%^[32]; 硫酸铵配合过磷酸钙和硫酸钾能有效控制马铃薯疮痂病^[33]; 施氮在 90~180 kg/hm², 随氮素水平提高, 马铃薯黄萎病的发病率和病情指数逐步呈下降趋势^[34]。采用油菜、油菜籽、萝卜、黄芥菜、印度芥菜等芸苔属作物制作绿肥, 发挥其释放的挥发性物质, 能抑制立枯丝核菌(*R. solani*)、腐霉菌(*Pythium*)、镰孢菌(*Fusarium*)等多种马铃薯土传病原菌的生长, 使马铃薯幼苗病害减少 40%~83%^[35]。说明不同类型肥料和施肥方式对马铃薯病害均有一定程度控制作用。

有关肥料对马铃薯茎基腐病的防治研究表明, 施用碳酸氢铵、黄腐酸钾、羊粪等肥料可提高土壤微生物数量和多样性, 改善土壤微环境, 有效保证马铃薯出苗, 降低马铃薯黑痣病的发生率和病情指数^[36]。资料显示, 新型有机肥活性藻、天然海藻提取物和聚谷氨酸对马铃薯黑痣病有不同程度抑制效果^[37]。近几年来, 新型腐植酸肥料有效应用于马铃薯生产, 明显提高了马铃薯产量和品质^[38]。雷玉明等^[39]试验表明, 壤动 FT 腐植酸配合螯合肥与普通化肥相比, 对马铃薯出苗率、苗高、单株根数、最大根长、芽长、单株薯重、平均单薯重、商品薯率、产量等农艺经济性状具显著优势, 对马铃薯主茎、匍匐茎和块茎基腐防效分别达 78.29%~87.24%、75.62%~88.51%、72.05%~86.98%, 为推广应用腐植酸肥料提供了参考。腐植酸肥料在马铃薯生产中的系统应用还需要进一步研究。

2 抗病育种

2.1 抗茎基腐病种质资源筛选

国外学者采用接种法筛选马铃薯抗立枯丝核菌种质资源试验研究较早, Yanar 等^[40]在温室条件下测定了 22 个马铃薯品种对 AG-3 菌株的抗性, 结果表明, ‘Alleddian Sarisi’ ‘Victoria’ ‘Aybasti Beyazi’ ‘Romanya Beyazi’ 和 ‘Golkoy’ 5 个品种的抗性较强, 其病情指数为 0.33~0.77, 在主茎和匍匐茎上仅有分散的小病斑; ‘Batum’ ‘Carlita’ ‘Gurgentepe-Sarisi’ ‘Liseta’ ‘Rus Beyazi’ 和 ‘Jaerla’ 6 个为感病品种, 对 AG-3 菌株反应敏感, 病情指数均达 4.00, 表现为出苗后茎死亡。Djébali 和 Belhassen^[41]通过立枯丝核菌对 11 个马铃薯品种的茎部和块茎侵染率测定与侵染程度进行了目测评价, 结果显示, 种植 50 d 后供试品种未见茎部侵染; 75 d 后 ‘Nicola’ ‘Labadia’ ‘Fabula’ 块茎侵染率为 0, ‘Tango’ 和 ‘Gournandine’ 块茎侵染率较低, 其他供试品种块茎侵染超过 10%; 90 d 后供试品种茎部侵染率为 80%~100%, 块茎侵染率为 20%~50%; 105 d 后 ‘Spunta’ 敏感性最低, 块茎侵染率约为 40.00%, ‘Atlas’ ‘Eden’ 和 ‘Fabula’ 表现为中

等敏感性, 块茎侵染率为 55.00%~65.00%, 其他供试品种块茎侵染率为 65%~100%。说明马铃薯不同品种、不同生育期对立枯丝核菌抗性表现存在一定的差异。

近几年, 国内抗马铃薯茎基腐病的种质资源筛选报道越来越活跃, 已筛选出大量的抗病品种。王喜刚等^[42]采用田间鉴定与室内鉴定相结合对 20 份马铃薯材料进行抗性评价, 在 5~15 g/株接种量水平下, ‘青薯 9 号’‘庄薯 3 号’‘陇薯 7 号’和‘黑美人’的相对抗病指数分别达 0.75~0.60、0.63~0.60、0.73~0.63、0.78~0.61, 属于中抗品种。刘小娟等^[43]对 6 份马铃薯品种田间抗性比较发现, ‘青薯 9 号’的发病率和病情指数均为 0, ‘庄薯 3 号’的发病率和病情指数分别为 6.00% 和 1.78, 评价为高抗品种, 这与王喜刚等^[42]报道有所差异, 分析认为与评价试验方法不同有关, 但对立枯丝核菌具有较高抗性是一致的; ‘陇薯 8 号’和‘新大坪’为中抗品种。贾立君等^[44]报道, ‘富金’对立枯丝核菌抗性最高, 其病情指数为 11.67; ‘合薯 5 号’‘尤金’‘中薯 5 号’对立枯丝核菌抗性较好, 病情指数分别达 13.00、16.33、16.67。

综合文献报道, 虽然国内对抗立枯丝核菌种质资源进行了大量试验研究, 但是抗病育种材料较少, 区域间抗性差异较大, 缺少免疫或高抗材料, 还需要进一步加强抗性材料筛选和抗病育种工作。

2.2 马铃薯抗茎基腐病的基因工程

目前, 国内外有关马铃薯抗立枯丝核菌基因工程方面的研究越来越多, 在应用方面也取得一定进展。Lorito 等^[45]将哈茨木霉 (*Trichoderma harzianum*) 的强抗真菌内切几丁质酶基因 (*ThEn-42*) 转移到马铃薯中, 对马铃薯土传病原菌 *R. solani* 和叶面病原菌 *Alternaria solani*、*A. alternata*、*Botrytis cinerea* 等具有高度抗性或完全抗性。M'hamdi 等^[46]利用含有几丁质酶 (*chiA*) 和核糖体失活蛋白 (*rip30*) 基因二元质粒 pGJ132 的根癌农杆菌 GV3101 改良马铃薯品种, 在转基因马铃薯 (‘Desirée’) 中的联合表达, 增强对 *R. solani* 的抗性。Moravčíková 等^[47]发现, 使用根癌农杆菌将 III 类几丁质酶和 I 类葡聚

糖酶的基因共同引入到马铃薯育种系 116/86 中, 转化体试管苗提取物抑制 *R. solani* 菌丝的生长。郝文胜^[48]将来自玉米的核糖体失活蛋白基因 (*RIPs*) 转入马铃薯主栽易感病品种‘费乌瑞它’中, 转 *RIPs* 基因马铃薯无性系对接了 AG2-1 的块茎黑痣、茎基部腐烂、叶片萎蔫等病情指数与对照差异不显著, 表明 *RIPs* 基因产物酶促活性与对真菌 *R. solani* 抗性之间不存在相关性, 但可以显著改善马铃薯对致病疫霉 (*Phytophthora infestans*) 的抗性。

综合文献报道, 致病相关蛋白基因几丁质酶 (*PR-1*)、核糖体失活蛋白、葡萄糖氧化酶等基因在马铃薯上有所应用, 利用转基因改良马铃薯抗 *R. solani* 的研究为控制马铃薯茎基腐病提供了新途径, 但在马铃薯内源抗性基因挖掘、稳定抗性基因筛选、马铃薯品种改良等方面还需要进一步研究。

3 物理防控

利用高温能防治农作物病害, 但在马铃薯茎基腐病的防治中则刚刚起步。Rubayet 等^[49]采用生物增湿与土壤日晒处理土壤, 增加了土壤中可溶性养分的数量, 补充了土壤中的有机质, 使有益土壤微生物分泌促生物质, 降低了马铃薯幼苗出苗前和出苗后的死亡率, 马铃薯茎基腐病的茎腐和黑皮发病率分别降至 24.44% 和 30.67%, 病情指数降至 20.37 和 13.89。郭成瑾等^[50]通过 160℃ 高温灭菌马铃薯连作土壤的盆栽试验表明, 高温处理土壤后, 马铃薯根际土壤微生物种群数量在马铃薯生长期能迅速增长, 为防治马铃薯病害提供了思路。但大田直接采用高温灭菌处理显然难以实现, 可以采用播前深耕晒土和覆膜高温闷土等方法达到土壤消毒灭菌的目的。因此, 有关利用高温、太阳能灭菌土壤的可行方法还需要进一步研究。

微波处理技术对土传病菌镰孢菌和丝核菌具有抑制作用^[51,52], 是一种简便、快速去除土壤中土传病原菌的物理防控方法。土壤电处理技术可应用于设施栽培控制蔬菜病害, 使番茄叶霉病发病

率由 50% 降至 20%，严重度由 2~3 降至 1^[53]。这些物理农业工程技术既具有控制土传病害的特点，又具有防止土壤污染的优势。这一绿色环保新技术在马铃薯病害防治方面尚未见研究报道，需要进一步加快系统性应用研究，在马铃薯土壤灭菌方面具有广阔的应用前景。

4 生物防治

有关农作物病害生物防治国内外研究均较早，目前，已报道对立枯丝核菌有拮抗作用的真菌有木霉属 (*Trichoderma*) 8 种、粘帚霉属 (*Gliocladium*) 3 种，明确了木霉菌和粘帚霉的寄生作用部位、产生胶霉毒素和绿粘帚霉素抗生溶菌机制，已广泛应用于棉花、水稻、玉米、茄子、人参等作物纹枯病的防治^[54,55]。近年来，在马铃薯茎基腐病生物防治方面研究报道越来越多，在真菌及其制剂研究开发方面发展较快。木霉菌粉剂拌种对马铃薯茎基腐病苗期地下茎、膨大期和收获期块茎黑痣症状相对防效分别达 54.54%、41.83%、46.02%^[56]。寡雄腐霉菌剂处理种薯能减轻马铃薯立枯丝核菌 AG-3 的侵染，提高对 AG-3 的重寄生率，诱导并提高马铃薯对 AG-3 的抵抗能力^[57]。应用 100 万孢子/g 寡雄腐霉可湿性粉剂拌种马铃薯，对马铃薯根茎部黑痣、薯块黑痣的防效分别为 68.16%、52.52%^[58]。

大量文献证实，芽孢杆菌 (*Bacillus* spp.) 和假单胞杆菌 (*Pseudomonas* spp.) 对立枯丝核菌引起的多种病害具有良好控制作用^[54]。从马铃薯根际分离筛选对茎基腐病菌拮抗效果明显的优良细菌菌株比较多见，已获得的莫海威芽孢杆菌 (*B. axarquiensis*) 和萎缩芽孢杆菌 (*B. atrophaeus*) 能导致菌丝的结构畸形，对马铃薯立枯丝核菌的抑菌率分别为 59.8% 和 55.3%，这 2 种细菌的拮抗和促生能力强，为防控马铃薯茎基腐病提供了最具潜力的生防菌^[59]。

放线菌对植物病害生物防治的研究较早，已报道用于防治丝核菌的放线菌主要是链霉菌属 (*Streptomyces*)，国内外学者证实了其作用机理，而且生物制剂的开发技术较为成熟，目前已广泛

应用于世界各地多种农作物立枯丝核菌病害的防治^[54]。但是，针对马铃薯茎基腐病筛选的放线菌种群及应用研究还较少。王蓓等^[60]从甘肃省河西走廊盐碱土中分离获得变异链霉菌 (*S. variabilis*)、丁香链霉菌 (*S. lilaceus*) 2 个菌株，对立枯丝核菌菌丝的生长抑制率分别为 89.02%、80.49%，防治效果分别达 54.29%、45.71%。

国外学者研究认为，马铃薯立枯丝核菌 AG3^[61]、AG1、AG4 和 AG6^[62] 携带病毒，造成立枯丝核菌致病性减弱，导致丝核菌衰退病 (*Rhizoctonia decline*) 现象发生^[63]。近年来，国内学者开展立枯丝核菌病毒筛选鉴定与生物学测定试验，测序发现立枯丝核菌携带黄瓜花叶病毒 CMV-Rs、内源 RNA 病毒 RsaEV-1679、内源 RNA 病毒 RsbEV-3740 和线粒体病毒 RsMV-328，检测到已知序列 RsbEV-3740 和 RsMV-328 在马铃薯立枯丝核菌中分布十分广泛，验证了 RsbEV-3740 可通过菌核携带病毒，菌丝融合进行传播，RsbEV-3740 的侵染使立枯丝核菌 Rs25 及 Rs80 生长速度加快，致病力增强，推测 RsbEV-3740 的侵染对立枯丝核菌的致病性有促进作用^[64]。因此，通过继代方法脱毒可使 RsbEV-3740 的病毒含量降低而获得无毒菌株，为马铃薯茎基腐病真菌病毒防治提供了新的思路。

综合文献报道，目前马铃薯茎基腐病生物防治研究手段先进、成熟，筛选菌株丰富了生防菌资源，但是真菌、细菌、放线菌等生防菌制剂开发与应用还相对滞后，真菌病毒防治还处于试验探索阶段，需要加大研究力度，为马铃薯茎基腐病生物防治提供可行的方法。

5 化学防治

目前，马铃薯茎基腐病主要依靠化学防治，主要在立枯丝核菌药剂筛选、毒力测定、田间防效等方面取得了一定进展。据记载，用于防治立枯丝核菌引起小麦纹枯病的药剂达 101 种^[65]，截至 2021 年 3 月 1 日中国农药信息网登记的用于马铃薯黑痣病防治的制剂共有 44 种，单剂主要有啞菌酯、咯菌腈、噻呋酰胺、克菌丹等 24 种，混剂有 20 种^[66]。部分药剂既可用于防控小麦纹枯病，

也可用来防治马铃薯茎基腐病,但是用于防治茎基腐病的药剂种类数目还不够丰富;混剂或复配剂数量明显少于单剂,说明茎基腐病菌抗药性相对较弱,有关茎基腐病菌抗药性研究报道资料较少。

近几年来,经毒力测定和田间药效试验表明,苯醚甲环唑(Difenoconazole)、戊唑醇(Tebuconazole)、叶菌唑(Metconazole)、腈菌唑(Myclobutanil)、吡唑醚菌酯(Pyraclostrobin)、啞菌酯(Azoxystrobin)、咯菌腈(Fludioxonil)、噁唑酰胺(Thifluzamide)、克菌丹(Captan)和异菌脲(Iprodione)10种药剂对马铃薯茎基腐病菌具有显著抑制效果。室内联合毒力测试结果显示,以咯菌腈、噁唑酰胺和吡唑醚菌酯与戊唑醇、叶菌唑、腈菌唑、苯醚甲环唑、异菌脲和啞菌酯按照一定比例配合,共毒系数高,增效作用明显^[67]。生物源农药0.3%四霉素AS、100万孢子/g寡雄腐霉WP、3%中生菌素WP、4%+16亿个/g井冈·蜡芽菌悬SC、1%申嗪霉素SC对马铃薯根茎部黑痣病防效分别达60.97%、69.16%、59.53%、50.20%、58.60%^[58]。其他类型药剂如80%代森锰锌WP、40%菌核净WP、2.5%井·1亿活枯芽孢杆菌AS对茎基腐病防效为50.3%~65.9%^[68]。

目前,防治马铃薯茎基腐病可供选择的农药剂型较多,主要有悬浮种衣剂(FSC)、悬浮剂(SC)、可湿性粉剂(WP)、水分散粒剂(WG)、水剂(AS)、种子处理可分散粉剂(WS)、种子处理悬浮剂(FS)、颗粒剂(GR)。药剂施用方法以种薯包衣和种薯处理为主,因地因药选择应用土壤处理、灌根处理、沟施用和叶面喷雾,可有效控制马铃薯茎基腐病的发生,减轻为害程度。

综合文献报道,通过化学防治对马铃薯茎基腐病筛选出的药剂种类与剂型越来越多,施用方法优化合理,防治效果逐步提高。但在生产上茎基腐病菌抗药性监测还相对滞后,作用机理研究还不够深入,今后在药剂敏感性、安全性、抗性预测及机理、精准施药、生防菌剂与化学农药联合等方面还需要深入研究。

6 展望

马铃薯茎基腐病是由立枯丝核菌引起的真菌性土传病害,目前由于抗病品种少,感病面积大,侵染来源多、数量大,重茬问题突出,是影响马铃薯产量和质量的主要病害,是制约马铃薯产业快速发展的重要因素,是未来马铃薯病害综合防治的重点对象。农艺防治措施如轮作倒茬、间作套种、施肥技术对马铃薯茎基腐病防控机理和防治应用研究虽然取得了较大进展,但多数研究集中于单一农艺技术对减轻茎基腐病的发生方面,对于组合配套的农艺措施防治效果研究较少;轮作倒茬、间作套种对耕作土壤理化性质、化感自毒作用、根际微生物群落和土壤生态环境因子变化方面研究较为活跃,对马铃薯-土壤-微生物综合作用和克服连作的技术方法还较欠缺;施肥技术多集中于提高土壤肥力,改善土壤结构的增产机理研究,对肥料-马铃薯-茎基腐病菌相互作用机理方面研究不够深入。选育茎基腐病抗性材料或品种是控制该病最有效的策略,现阶段各地区对种植品种进行田间抗性评价,对提高茎基腐防治效果和大面积推广抗病品种均有积极指导作用,但仍然存在抗性种质资源缺乏、抗病品种少、抗病材料的选择培育过程缓慢、挖掘出的抗性基因型缺少应用等问题。物理防控技术绿色环保,使用技术条件要求严格,在马铃薯茎基腐病防治方面未见应用研究。生物防治技术如真菌、细菌性生物制剂的应用对茎基腐病具有一定成效,是未来防控工作的重点,但仍然面临菌株和技术应用单一、防效不稳定、成本较高等问题。化学防治一直以来在该病防控中是使用率和推广率均较高的重要技术,未来仍需采用该种防控措施,但存在药剂对茎基腐病持效短、防治效果不稳定、抗药性与残留监测滞后等问题。

为了制定有效的马铃薯茎基腐病综合防治体系,提高马铃薯产量与品质,今后在以下3方面进行深入研究。

(1)农艺防治是马铃薯茎基腐病综合防治的基础。在生物多样性种植模式对马铃薯茎基腐病为代表的土传病害的控制机制、水肥药一体化灌溉模式与施用标准等方面深入研究,加快轮作防病

技术方法的研发, 结合马铃薯抗茎基腐病种质资源筛选和培育改良抗病品种措施, 最大程度发挥农艺防控的潜在优势, 是今后研究的重要科学问题。

(2)生物防治是马铃薯茎基腐病最绿色安全的防治措施。需要综合应用遗传学、分子生物学、生态学原理和手段, 深入剖析拮抗菌的抑制机理机制, 寻找对茎基腐病菌的抑制方法, 探索微生物菌剂、植物源农药与化学药剂配合的机制和抑菌、促生效果, 加快拮抗菌的规范化产业化生产与推广应用, 是未来解决生物农药品种少、防效低、稳定性差、受环境影响多的最有效途径。

(3)综合防控体系是提高马铃薯茎基腐病防效和降低成本最有效措施。未来针对马铃薯各生产环节, 优化融合农艺、抗病品种、物理、化学等单项防治措施, 通过田间试验和防效比较, 深入剖析各单项技术在该病防控中的相互作用机制, 完善形成配套的综合防控技术体系。

[参 考 文 献]

- [1] Kühn J G. Die krankheiten der Kulturegewächse, ihre ursachen und ihre Verhütung [M]. Berlin: Gustav Bosselmann, 1858: 1-312.
- [2] 雷玉明, 李继平, 郑天翔, 等. 马铃薯茎基腐病诊断技术研究进展 [C]//屈冬玉, 陈伊里. 马铃薯产业与脱贫攻坚. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2018.
- [3] 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: 1-5.
- [4] 雷玉明, 郑天翔, 邢会琴, 等. 马铃薯茎基腐病的发生特点与发展趋势 [C]//金黎平, 吕文河. 马铃薯产业与美丽乡村. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2020.
- [5] 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]. 草业科学, 2013, 22(4): 147-152.
- [6] Воловик А С, 董钻. 苏联马铃薯的植保制度 [J]. 国外农学-杂粮作物, 1982(2): 31-33.
- [7] Moulin A P, Buckley K E, Volkmar K. Soil quality as affected by amendments in bean-potato rotations [J]. Canadian Journal of Soil Science, 2011, 91(4): 533-542.
- [8] 宋钰, 李统华, 金梦军, 等. 马铃薯耕作方式对土壤微生物数量的影响 [J]. 中国马铃薯, 2020, 34(4): 214-219.
- [9] 宋佳承. 轮作及连作对马铃薯生长发育及根际微环境的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2020.
- [10] 王丽红, 郭晓冬, 谭雪莲. 不同轮作方式对马铃薯土壤酶活性及微生物数量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(5): 109-113.
- [11] 秦舒浩, 曹莉, 张俊莲, 等. 轮作豆科植物对马铃薯连作田土壤速效养分及理化性质的影响 [J]. 作物学报, 2014, 40(8): 1452-1458.
- [12] 徐雪风, 李朝周, 张俊莲. 轮作油葵对马铃薯生长发育及抗性生理指标的影响 [J]. 土壤, 2017, 49(1): 83-89.
- [13] 洪健康, 范汝明, 白学贵. 红河州“水稻-马铃薯”水旱轮作绿色高效模式 [J]. 云南农业科技, 2020(3): 29-30, 31.
- [14] 宋树慧. 不同前茬对马铃薯生育及土壤特性的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [15] 于台泽, 贾良良, 牛丽娟, 等. 马铃薯轮作的生态和经济效益-案例分析 [J]. 中国马铃薯, 2020, 34(6): 337-349.
- [16] 王娜, 陆姗姗, 马琨, 等. 宁夏南部山区马铃薯不同间作模式对根际土壤细菌多样性的影响 [J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(12): 193-198.
- [17] 李越, 曹瑾, 汪春明, 等. 蚕豆间作栽培对连作马铃薯根际土壤微生物的影响 [J]. 农业科学研究, 2017, 38(2): 8-13.
- [18] 张绪成, 王红丽, 于显枫, 等. 半干旱区全膜覆盖垄沟间作种植马铃薯和豆科作物的水热及产量效应 [J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 468-481.
- [19] 罗爱花, 陆立银, 谢奎忠, 等. 高寒阴湿旱作区马铃薯蚕豆间作模式效益分析 [J]. 干旱地区农业研究, 2013, 31(4): 84-88.
- [20] 金建新, 何进勤, 冯付军, 等. 马铃薯/玉米间作对作物生理生态特性的影响 [J]. 贵州农业科学, 2019, 47(5): 14-19.
- [21] 侯建伟, 段玉, 张君, 等. 内蒙古阴山北麓旱农区马铃薯间作模式的生产力与水分利用 [J]. 土壤, 2018, 50(1): 79-85.
- [22] Burdon J J, Chilvers G A. Controlled environment experiments on epidemic rates of barley mildew in different mixtures of barley and wheat [J]. Oecologia, 1977, 28(2): 141-146.
- [23] Raboin L M, Ramanantsoanirina A, Dusserre J, et al. Two-component cultivar mixtures reduce rice blast epidemics in an upland agrosystem [J]. Plant Pathology, 2012, 61(6): 1103-1111.

- [24] 付学鹏, 吴凤芝, 周新刚. 间作防控作物土传病害的机理研究进展 [J]. 江苏农业科学, 2016, 44(1): 16-20.
- [25] 董艳, 董坤, 郑毅, 等. 不同品种小麦与蚕豆间作对蚕豆枯萎病的防治及其机理 [J]. 应用生态学报, 2014, 25(7): 1979-1987.
- [26] 董华芳. 番茄玉米间作对番茄白粉病的防治效果 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(14): 8120-8122.
- [27] 吴凤芝, 周新刚. 不同作物间作对黄瓜病害及土壤微生物群落多样性的影响 [J]. 土壤学报, 2009, 46(5): 899-906.
- [28] Autrique A, Potts M J. The influence of mixed cropping on the control of potato bacterial wilt (*Pseudomonas solanacearum*) [J]. *Annals of Applied Biology*, 1987, 111(1): 125-133.
- [29] 胡新, 许艳丽, 李春杰. 利用作物多样性控制病害研究进展 [J]. 农业系统科学与综合研究, 2011, 27(1): 118-122.
- [30] 史茜莎. 油菜马铃薯间作和磷效应研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [31] 杨瑒, 靳学慧, 周燕. 氮水平对马铃薯抗晚疫病和薯块产量的影响 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41(22): 9309-9312.
- [32] 张建平, 程玉臣, 哈斯. 有机肥防治马铃薯早疫病试验 [J]. 中国马铃薯, 2012, 26(5): 291-294.
- [33] Mizuno N, Yoshida H, Toshiaki T. Efficacy of single application ammonium sulfate in suppressing potato common scab [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2000, 46(3): 611-616.
- [34] 王德江. 不同施氮水平对马铃薯生长、产量及黄萎病发病率的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016.
- [35] Larkin R P, Griffin T S. Control of soilborne potato diseases using *Brassica* green manures [J]. *Crop Protection*, 2007, 26(7): 1067-1077.
- [36] 郭成瑾, 张丽荣, 王喜刚, 等. 不同肥料对马铃薯黑痣病的控制作用和对土壤微生物群落的影响 [J]. 江苏农业科学, 2020, 48(11): 82-88.
- [37] 郝向玲. 新型有机肥和生物制剂对马铃薯土传病害防治效果的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [38] 贾沙沙, 秦永林, 樊明寿, 等. 腐植酸的农业应用机制及其在马铃薯生产上亟待解决的问题 [J]. 中国马铃薯, 2020, 34(1): 53-57.
- [39] 雷玉明, 吕彪, 鄂利锋, 等. 新型腐植酸有机肥对马铃薯茎基腐病的防效 [J]. 中国马铃薯, 2021, 35(1): 38-43.
- [40] Yanar Y, Yllmaz G, Cesmeli I, *et al.* Characterization of *Rhizoctonia solani* isolates from potatoes in Turkey and screening potato cultivars for resistance to AG-3 isolates [J]. *Phytoparasitica*, 2005, 33(4): 370-376.
- [41] Djébal N, Belhassen T. Field study of the relative susceptibility of eleven potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties and the efficacy of two fungicides against *Rhizoctonia solani* attack [J]. *Crop Protection*, 2010, 29(9): 998-1002.
- [42] 王喜刚, 郭成瑾, 张丽荣, 等. 宁夏马铃薯主栽品种对黑痣病的抗性鉴定 [J]. 植物保护, 2018, 44(3): 190-196.
- [43] 刘小娟, 王文慧, 杨扬, 等. 6个马铃薯品种对黑痣病抗性初报 [J]. 甘肃农业科技, 2018(2): 26-29.
- [44] 贾立君, 贾景丽, 周芳, 等. 辽宁地区马铃薯高产抗黑痣病品种的筛选 [C]//屈冬玉, 陈伊里. 马铃薯产业与脱贫攻坚. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2018.
- [45] Lorito M, Woo S L, Fernandez I G. Genes from mycoparasitic fungi as a source for improving plant resistance to fungal pathogens [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1998, 95(14): 7860-7865.
- [46] M'hamdi M, Chikh-Rouhou H, Boughalleb N, *et al.* Enhanced resistance to *Rhizoctonia solani* by combined expression of chitinase and ribosome inactivating protein in transgenic potato (*Solanum tuberosum* L.) [J]. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2012, 10(3): 778-785.
- [47] Moravčíková J, Matušíková I, Libantova J, *et al.* Expression of a cucumber class III chitinase and *Nicotiana plumbaginifolia* class I glucanase genes in transgenic potato plants [J]. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 2004, 79(2): 161-168.
- [48] 郝文胜. 应用玉米 *RIPs* 基因转化马铃薯提高其抗病性研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015.
- [49] Rubayet M T, Bhuiyan M, Jannat R, *et al.* Effect of biofumigation and soil solarization on stem canker and black scurf diseases of potato (*Solanum tuberosum* L.) caused by *Rhizoctonia solani* PR2 isolate [J]. *Advances in Agricultural Sciences*, 2018, 6(3): 33-48.
- [50] 郭成瑾, 张丽荣, 沈瑞清. 土壤消毒对马铃薯连作田土壤微生物数量的影响 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42(10): 367-369.
- [51] Larkin R P, Hopkins D L, Martin F N. Suppression of *Fusarium* wilt of watermelon by nonpathogenic *Fusarium oxysporum* and other microorganisms recovered from a disease-suppressive soil [J]. *Phytopathology*, 1996, 86: 812-819.

- [52] Ferriss R S. Effects of microwave oven treatment on microorganisms in soil [J]. *Phytopathology*, 1984, 74: 121-126.
- [53] 阿瓦古丽·买塔都力. 土壤连作障碍电处理技术在温室大棚中的应用与效果 [J]. *农业机械*, 2011(21): 63.
- [54] 杨金红. 丝核菌属真菌病害生物防治研究进展 [J]. *湖北农业科学*, 2009, 48(10): 2581-2583.
- [55] 何迎春, 高必达. 立枯丝核菌的生物防治 [J]. *中国生物防治*, 2000, 16(1): 31-34.
- [56] 陈雯廷, 王祺, 胡俊, 等. 3种生防菌剂对马铃薯黑痣病的田间防治效果 [C]//屈冬玉, 陈伊里. 马铃薯产业与现代可持续农业. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2015.
- [57] Ikeda S, Shimizu A, Shimizu M, *et al.* Biocontrol of black scurf on potato by seed tuber treatment with *Pythium oligandrum* [J]. *Biological Control*, 2012, 60(3): 297-304.
- [58] 郑果, 惠娜娜, 聂江山, 等. 5种生物杀菌剂拌种防治马铃薯黑痣病的效果 [J]. *中国植保导刊*, 2019, 39(12): 73-75.
- [59] 马龙. 马铃薯黑痣病生防细菌的筛选鉴定及其生防作用机理研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [60] 王蓓, 牛世全, 达文燕, 等. 河西走廊盐碱土壤中抗立枯丝核菌的放线菌筛选 [J]. *生物技术通报*, 2014(1): 156-160.
- [61] Jian J H, Lakshman D K, Tavantzis S M. Association of distinct double-stranded RNAs with enhanced or diminished virulence in *Rhizoctonia solani* infecting potato [J]. *Molecular Plant-microbe Interactions*, 1997, 10(8): 1002-1009.
- [62] Charlton N D, Carbone I, Tavantzis S M, *et al.* Phylogenetic relatedness of the M2 double-stranded RNA in *Rhizoctonia fungi* [J]. *Mycologia*, 2008, 100(4): 555-564.
- [63] Castanho B, Butler E E, Shepherd R J. The association of double-stranded RNA with *Rhizoctonia* decline [J]. *Phytopathology*, 1978, 68(10): 1515-1519.
- [64] 杨柳. 侵染马铃薯立枯丝核菌病毒的筛选、鉴定及生物学性状分析 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [65] 李美霖, 徐建强, 杨岚, 等. 中国小麦纹枯病化学防治研究进展 [J]. *农药学学报*, 2020, 22(3): 397-404.
- [66] 中华人民共和国农业农村部农药检定所. 农药登记数据: 作物/场所-马铃薯, 防治对象-黑痣病 [EB/OL]. [2021-03-01]. <http://www.chinapesticide.org.cn/hysj/index.jhtml>.
- [67] 赵晓雨. 马铃薯黑痣病的有效防治药剂筛选及田间防效试验 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- [68] 雷玉明, 张建朝, 费永祥, 等. 河西灌区马铃薯茎基腐病的发生规律与防治技术研究 [J]. *植物保护*, 2011, 37(1): 124-127.