

马铃薯疮痂病防控策略及研究进展

袁宝祺, 姚琪, 王庆峰, 郭晓威, 李闯*

(吉林省农业科学院, 长春 130033)

摘要: 马铃薯疮痂病是全球范围内分布广泛的土传病害, 严重影响马铃薯的产量和品质。本文分析了马铃薯疮痂病的病原特性、致病机制、影响因素及防控策略等。马铃薯疮痂病是由多种致病性链霉菌引起, 深入理解病原菌的生物学特性对有效控制病害至关重要。本研究探讨了品种抗性、土壤环境、生物学因素等在马铃薯疮痂病发生和传播中的作用, 并总结了当前有效的防控措施, 包括抗病品种的选育、土壤和栽培管理、化学和生物防治手段的创新与优化等。此外, 还指出分子育种、微生物生态、环境因素和精准农业技术等将有效提升马铃薯疮痂病的防控效果。本文为马铃薯疮痂病的综合治理提供了科学依据, 为马铃薯产业的可持续发展与保障粮食安全提供重要参考。

关键词: 马铃薯疮痂病; 链霉菌; 病害管理; 影响因素; 防控策略

中图分类号: S435.32

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)06-0055-04

Control Strategies and Research Progress on Potato Common Scab

YUAN baoqi, YAO Qi, WANG Qingfeng, GUO Xiaowei, LI Chuang*

(Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Potato scab is a widespread and significant soil-borne disease that severely impacts the yield and quality of potatoes worldwide. This paper provides a comprehensive analysis of the pathogen characteristics, pathogenic mechanisms, influencing factors, and control strategies associated with potato scab. The disease is primarily caused by various pathogenic *Streptomyces species*, whose virulence is affected by specific environmental factors such as soil pH. A thorough understanding of the biological traits of these pathogens is essential for effective disease control. This study explores the roles of varietal resistance, soil health, and other environmental and biological factors in the occurrence and spread of scab disease, and it summarizes current control measures, including the development of resistant cultivars, soil and crop management, as well as innovations and optimizations in chemical and biological control methods. Additionally, future research directions are highlighted, emphasizing the importance of molecular breeding, microbial ecology, environmental factor analysis, and precision agricultural technologies for improving disease control efficacy. This paper provides a scientific basis for the integrated management of potato scab, offering critical insights for the sustainable development of the potato industry and the safeguarding of food security.

Key words: Potato Scab; *Streptomyces*; Disease Management; Influencing Factors; Control Strategies

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 作为全球第四大粮食作物, 对保障粮食安全起着关键作用, 目前, 我国已成为全球最大的马铃薯生产和消费国^[1]。然而, 随着我国马铃薯种植面积的扩大和

种植年限的延长, 马铃薯病害的发生频率和危害程度也不断上升, 不仅增加了防控难度, 也严重制约了马铃薯产业的发展, 对粮食安全构成威胁^[2]。

19世纪初在全球范围内疮痂病成为显著影响马铃薯产量和品质的病害。马铃薯疮痂病是一种重要的土传病害, 由特定细菌引起, 主要影响马铃薯的表皮^[3]。其主要症状包括块茎表皮出现木栓化的粗糙斑块, 并逐渐硬化形成疮痂状。严重时, 大部分马铃薯表皮都会被疮痂覆盖。此病害显著影响马铃薯的产量、品质、外观、贮存及加工^[4], 造成的经济损失高达30%。

收稿日期: 2024-03-15

基金项目: 吉林省农业科技创新工程项目 (CXGC2021TD012); 吉林省科学技术厅自然科学基金项目 (20210101484JC); 吉林省特色经济作物优质高效科技创新项目 (20220202005NC)

作者简介: 袁宝祺 (1993-), 女, 助理研究员, 博士, 主要从事马铃薯育种及栽培研究。

通信作者: 李闯, 男, 硕士, 副研究员, E-mail: jlsnkylc@163.com

1 马铃薯疮痂病的病原体特征

马铃薯疮痂病由多种致病性链霉菌引起^[5-6],目前已经鉴定出20余种与马铃薯疮痂病相关的链霉菌致病菌株,其中 *Streptomyces scabies*、*S. acidiscabies* 和 *S. turgidiscabies* 为三种最常见且在全球范围内分布广泛的代表性菌种^[7-8]。

S. scabies 是首个被鉴定的疮痂链霉菌,在全球大多数马铃薯主要产区均有分布^[9]。该菌种在 pH 值 5.5~7.5 的土壤环境中具有较高的活性,当土壤 pH 值 <5.2 时,其致病力逐渐减弱。相比之下,*S. acidiscabies* 对酸性环境的适应能力较强,在 pH 值 <5.2 的酸性土壤条件下仍能保持致病性^[10]。*S. turgidiscabies* 菌株的发现最初源于日本和芬兰,随后在全球范围内被报道^[11]。这些病原菌对土壤 pH 值的敏感度、地理分布模式,以及不同菌种间的生态位差异,为深入理解马铃薯疮痂病的传播和致病机理提供了重要线索。通过对致病菌株的深入研究,可以更加精准地制定针对性的防治策略,从而有效控制和管理马铃薯疮痂病的发生与传播。

2 马铃薯疮痂病的致病机理

链霉菌病原菌接触马铃薯表皮后,通过表皮入侵马铃薯块茎形成菌丝结构,产生毒素导致宿主细胞死亡并干扰细胞壁的正常形成^[12-13]。这些死亡的细胞为病原菌提供营养,促进其进一步生长和繁殖,感染区域产生木栓层,在块茎表皮上积累并形成疮痂病斑。这些疮痂形态上粗糙,严重时覆盖块茎的大部分^[14-15]。

研究表明,thaxtomins 植物毒素家族能够抑制纤维素的生物合成和细胞壁的沉积^[16],使得病原菌与宿主植物间的相互作用复杂且多样,影响病害的发展和传播。当病原菌的 thaxtomins 合成途径被突变阻断时,病原菌将失去致病能力^[17];而 thaxtomins 合成酶基因被重新引入后,病原菌的致病力得以恢复。这些毒素的生物合成基因位于病原菌基因组中的一个可移动致病岛上,包括毒素合成区和定植区^[18]。其中,txtA 基因在造成疮痂病方面发挥着关键作用,可以抑制纤维素的生物合成和细胞壁的沉积,同时促进植物细胞膨大并导致细胞程序性死亡,使马铃薯更易受到病原菌的入侵^[19]。txtA 基因还影响跨膜运输的 Ca²⁺ 和 H⁺,导致细胞内 Ca²⁺ 浓度增加,促进细胞程序性死亡。与 thaxtomins 合成相关的其他关键基因包括 txtD、

txtE、txtB 和 txtC,分别负责一氧化氮的合成、色氨酸的位点特异性硝化、苯丙氨酸和硝化色氨酸的缩合以及毒素的羟基化过程^[20-22]。毒素合成完成后,病原菌进入定植阶段,此时 nec1 基因和 tomA 基因等开始发挥作用。nec1 诱导植物组织坏死,并削弱植物的防御能力,增强病原菌的毒力^[23]; tomA 能够抑制番茄素合成,削弱植株对病原菌的防御^[24]。深入理解病原菌的生物学特性、环境适应性以及与宿主植物的相互作用机制,对于马铃薯疮痂病的有效管理和控制至关重要。

3 影响马铃薯疮痂病发生的环境及生物学因素

马铃薯疮痂病的发生受多种因素影响,其中生育时期和品种抗性是关键因素。研究表明,马铃薯在不同生育时期对疮痂病的抗性有明显差异^[25]。生育早期的马铃薯由于块茎表皮较嫩,易受链霉菌侵染,而成熟块茎的木栓层则能较好地抵抗病原菌。抗性品种能有效抑制链霉菌的侵染和扩散^[26-27],目前国内外均有高抗疮痂病马铃薯品种被报道(表1)。这些品种的抗性可能源于其物理结构屏障和品种自身的防御能力,包括早期建立的防御系统和相关抗性基因的表达^[28]。

表1 国内外高抗疮痂病的马铃薯品种

国外品种	年份	国内品种	年份
Nooksack	2001	冀张薯8号	2019
Premier Russet	2008	垦薯1号	2019
Freedom Russet	2009	布尔班克	2020
Alta Crown	2011	希森5号	2020
Russet Burbank	2011	冀张薯14号	2020
Qwyhee Russet	2012	中薯13号	2020
Teton Russet	2014	希森6号	2020

土壤环境是影响马铃薯疮痂病发生的另一个重要因素,包括土壤湿度、温度和 pH 值等。研究表明,适宜的土壤湿度(65%~70%)、较高的土壤温度(>21 °C)以及中性土壤(pH 值 5.5~7.5)均利于疮痂病的发生^[29]。因此调节土壤 pH 值(如使用硫黄、成酸性肥料或石膏)对病原菌具有抑制作用。此外,土壤养分,尤其是氮、磷、硫和锰的含量,也与疮痂病的发生密切相关^[30-32]。低氮条件可抑制病原菌的生长,高氮条件则增加病害的敏感性;高磷和高硫含量的土壤表现出对疮痂病的抑制作用,而锰含量与疮痂病严重程度呈负相关;有机质的添加,如绿肥、泥炭和动物粪便对疮痂病具有明显的抑制作用^[33]。

轮作是控制植物病害的传统措施,在马铃薯疮痂病防控上也具有一定积极作用。据报道,通过采用特定轮作种植方式,如芥菜/油菜-苏丹草/黑麦-马铃薯(三年轮作制)、大麦-红三叶草-马铃薯(两年轮作制)、大麦/牧草-牧草-马铃薯(三年轮作制),可使马铃薯疮痂病的发生率降低15%~40%,其中以芥菜/油菜-苏丹草/黑麦-马铃薯(三年轮作制)轮作效果最佳^[34]。然而,轮作仅能作为预防策略,无法对已发生的疮痂病进行有效的治疗和控制,且在实际生产中因其周期较长、种植较为复杂,存在一定的实施难度。

土壤微生物群落在马铃薯疮痂病的发生与防治中起到关键作用。部分土壤微生物(如荧光假单胞菌和芽孢杆菌),能够产生抗生素等代谢物直接抑制病原菌,还能分泌酶类物质分解病原菌产生的毒素,减轻对植物的伤害^[35-36]。此外,土壤微生物群落通过改变土壤环境,如降低土壤pH值等抑制疮痂病的发生,促进马铃薯植株的健康生长,增强对病害的抵抗力^[37]。另外,有益微生物通过诱导植物产生抗病物质或激活其天然防御系统,提高植物的抗病性^[38]。这种诱导抗性是有效的生物防治策略,增强了植物对多种病原体的抵抗能力。因此,土壤微生物的多样性、活性以及与植物的相互作用,在马铃薯疮痂病的生物防治中起着重要作用。深入探究土壤微生物群落与马铃薯疮痂病之间的相互作用机制,以便于有效控制疮痂病的发生。

综上,马铃薯疮痂病的发生受到多种因素的影响,进一步解析抗病机制、鉴定抗病品种、优化土壤环境和微生物群落等措施,将有助于马铃薯疮痂病的有效控制和制定有效的防治策略。

4 马铃薯疮痂病的综合防控策略

马铃薯疮痂病的有效控制应综合考虑病害的生态特点、病原的生物学特性及农业生产实践等^[39-42]。主要的防控策略包括以下几个方面。

(1)抗病品种的开发:选育具有较高抗病性的马铃薯品种是防控疮痂病最有效、最直接的措施。通过基因工程技术引入抗病基因并结合传统育种提升抗性,有效减少化学农药的使用,推动农业的可持续发展。

(2)土壤质量管理与优化:土壤质量直接影响植物病害的发生。通过改良土壤结构、提高土壤有机质含量、优化水分管理等措施,可以增强土壤的抗病能力和生物活性,从而有效减少疮痂病

的发生。

(3)化学防治与生物防治的创新应用:化学防治方面,应研发低毒、高效的新型农药,结合精准施药技术(如定量和定向施药)减少对环境的负面影响。同时,生物防治方法的创新应用也为马铃薯疮痂病的防控提供了新的选择,如使用有益微生物抑制病原菌生长,进一步提高病害的控制效率。

通过整合以上策略,能多角度、多层次提高防控效果,为保障马铃薯产业的可持续发展提供有力保障^[43-44]。

5 结论与展望

马铃薯疮痂病作为一种重要的土传病害,严重影响全球马铃薯的产量和品质。大量研究表明,病原菌的多样性及其对环境条件的适应性,决定了病害的地理分布和发展模式。此外,品种抗性、土壤质量和微生物群落等因素共同影响病害的发生与蔓延。

未来的防控策略应更加注重综合性与创新性相结合。分子育种和基因编辑技术将加速抗病品种的培育,土壤微生物生态的深入研究为生物防治方法的开发提供了新思路,精准农业技术的应用和环境因素的系统分析,将进一步提高病害防控的效果,推动马铃薯产业的可持续发展。

参考文献:

- [1] 马中正,任彬元,赵中华,等.近年我国马铃薯四大产区病虫害发生及防控情况的比较分析[J].植物保护学报,2020,47(3):463-470.
- [2] 李洪浩,陶向,范中菡,等.四川省马铃薯主栽品种对晚疫病的抗性评价[J].贵州农业科学,2023,51(2):42-46.
- [3] 张雨雨,高晨,董雅芹,等.萎缩芽孢杆菌CY1对马铃薯疮痂病的防治效果和抑菌机理初探[J].安徽工程大学学报,2024,39(4):9-15.
- [4] 吕镇城,周香露,徐良雄,等.马铃薯主要病害及防治研究进展[J].惠州学院学报,2018,38(6):7-14.
- [5] Li Y, Liu J, Díaz-Cruz G, et al. Virulence mechanisms of plant-pathogenic *Streptomyces* species: an updated review[J]. Microbiology, 2019, 165(10): 1025-1040.
- [6] 郑玉宝,尹东.不同施用量复合肥料对马铃薯产量及疮痂病的影响[J].安徽农学通报,2024,30(13):83-86.
- [7] 庞泽,田国奎,王海艳,等.马铃薯疮痂病危害及其防治研究进展[J].黑龙江农业科学,2023(9):137-142.
- [8] 袁东华,于稳欠,刘依宁,等.不同施药方式对解淀粉芽孢杆菌防治马铃薯疮痂病的效果评价[J].世界农药,2024,46(6):38-42.
- [9] 杨鑫,赖振光,樊吴静,等.马铃薯疮痂病不同抗性品种发

- 病与健康块茎内生细菌群落结构及多样性[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(14): 134-140.
- [10] Bukhalid R A, Loria R. Cloning and expression of a gene from *Streptomyces scabies* encoding a putative pathogenicity factor[J]. Journal of Bacteriology, 1997, 179(24): 7776-7783.
- [11] Dees M W, Wanner L A. In search of better management of potato common scab[J]. Potato research, 2012, 55: 249-268.
- [12] Loria R, Coombs J, Yoshida M, et al. A paucity of bacterial root diseases: *Streptomyces* succeeds where others fail[J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 2003, 62(2): 65-72.
- [13] 黄勋, 丰加文, 何文睿, 等. 马铃薯疮痂病菌 *Streptomyces acidiscabies* 鉴定及抑菌有机酸筛选[J]. 中国农学通报, 2024, 40(18): 125-134.
- [14] 黄勋, 丰加文, 金春林, 等. 马铃薯疮痂病拮抗菌 JYC1217 的鉴定及其生防促生特性[J]. 植物保护学报, 2024, 51(3): 684-697.
- [15] 王紫薇, 茹素龙, 豆梦言, 等. 疮痂链霉菌拮抗菌的筛选鉴定及特性研究[J]. 微生物学报, 2024, 64(8): 2713-2730.
- [16] Healy F G, Wach M, Krasnoff S B, et al. The *txtAB* genes of the plant pathogen *Streptomyces acidiscabies* encode a peptide synthetase required for phytotoxin thaxtomin A production and pathogenicity[J]. Molecular microbiology, 2000, 38(4): 794-804.
- [17] Bignell D R D, Fyans J K, Cheng Z. Phytotoxins produced by plant pathogenic *Streptomyces* species[J]. Journal of Applied Microbiology, 2014, 116(2): 223-235.
- [18] 宋亚迪, 郭婷, 修志君, 等. 马铃薯疮痂病生防链霉菌菌株 PBSH9 发酵条件优化[J]. 作物杂志, 2024(5): 255-262.
- [19] Duval I, Brochu V, Simard M, et al. Thaxtomin A induces programmed cell death in *Arabidopsis thaliana* suspension-cultured cells[J]. Planta, 2005, 222: 820-831.
- [20] King R R, Calhoun L A. The thaxtomin phytotoxins: sources, synthesis, biosynthesis, biotransformation and biological activity[J]. Phytochemistry, 2009, 70(7): 833-841.
- [21] Scheible W R, Fry B, Kochevenko A, et al. An *Arabidopsis* mutant resistant to thaxtomin A, a cellulose synthesis inhibitor from *Streptomyces* species[J]. The Plant Cell, 2003, 15(8): 1781-1794.
- [22] Bischoff V, Cookson S J, Wu S, et al. Thaxtomin A affects CESA-complex density, expression of cell wall genes, cell wall composition, and causes ectopic lignification in *Arabidopsis thaliana* seedlings[J]. Journal of experimental botany, 2009, 60(3): 955-965.
- [23] Kers J A, Cameron K D, Joshi M V, et al. A large, mobile pathogenicity island confers plant pathogenicity on *Streptomyces* species[J]. Molecular Microbiology, 2005, 55(4): 1025-1033.
- [24] Hiltunen L H, Weckman A, Ylhäinen A, et al. Responses of potato cultivars to the common scab pathogens, *Streptomyces scabies* and *S. turgidiscabies*[J]. Annals of Applied Biology, 2005, 146(3): 395-403.
- [25] Khatri B B, Tegg R S, Brown P H, et al. Temporal association of potato tuber development with susceptibility to common scab and *Streptomyces scabiei*-induced responses in the potato periderm[J]. Plant Pathology, 2011, 60(4): 776-786.
- [26] 赵远征, 徐利敏, 聂峰杰, 等. 不同马铃薯品种抗疮痂病的田间鉴定与评价[J]. 北方农业学报, 2020, 48(1): 81-86.
- [27] 王越, 宿飞飞, 胡柏耿. 马铃薯疮痂病抗病种质资源评价筛选[J]. 中国马铃薯, 2024, 38(1): 21-29.
- [28] Clarke C R, Kramer C G, Kotha R R, et al. Cultivar resistance to common scab disease of potato is dependent on the pathogen species[J]. Phytopathology, 2019, 109(9): 1544-1554.
- [29] 张天华, 杨树琼, 杨文兴, 等. 生物炭肥对土壤理化性质及马铃薯抗病性的影响[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(2): 147-151.
- [30] 施贵芝, 丰加文, 徐亚锦, 等. 云南马铃薯不同品种(系)对马铃薯疮痂病的抗性分析[J]. 中国农学通报, 2024, 40(15): 137-142.
- [31] 刘霞, 黄勋, 许改换, 等. 磷酸脲肥对马铃薯土传病害发生的影响[J]. 中国农学通报, 2023, 39(12): 116-122.
- [32] 李闯, 姚琪, 袁宝祺, 等. 不同药剂对马铃薯微型薯疮痂病的防治效果[J]. 农业与技术, 2024, 44(9): 1-4.
- [33] Bernard E, Larkin R P, Tavantzis S, et al. Rapeseed rotation, compost and biocontrol amendments reduce soilborne diseases and increase tuber yield in organic and conventional potato production systems[J]. Plant and Soil, 2014, 374: 611-627.
- [34] Larkin R P, Honeycutt C W, Griffin T S, et al. Effects of different potato cropping system approaches and water management on soilborne diseases and soil microbial communities[J]. Phytopathology, 2011, 101(1): 58-67.
- [35] Biessy A, Filion M. Biological control of potato common scab by plant-beneficial bacteria[J]. Biological Control, 2022, 165: 104808.
- [36] 胡金雪, 樊建英, 相丛超, 等. 枯草芽孢杆菌对马铃薯的促生防病效应[J]. 中国瓜菜, 2023, 36(10): 121-128.
- [37] 聂峰杰. 马铃薯疮痂病综合防治策略[J]. 宁夏农林科技, 2024, 65(6): 24-28.
- [38] Li C, Shi W, Wu D, et al. Biocontrol of potato common scab by *Brevibacillus laterosporus* BL12 is related to the reduction of pathogen and changes in soil bacterial community[J]. Biological Control, 2021, 153: 104496.
- [39] 生兆平, 许杰, 朱文婷, 等. 马铃薯疮痂病防治技术探讨[J]. 中国果菜, 2023, 43(5): 64-67.
- [40] 夏善勇, 牛志敏, 李庆全, 等. 马铃薯疮痂病菌及防控手段研究进展[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(8): 12-17.
- [41] 张琰, 陈宇飞, 柳迎杰, 等. 种薯不同处理方式对马铃薯疮痂病的影响[J]. 中国马铃薯, 2023, 37(4): 338-346.
- [42] 关欢欢, 许华民, 李寿如, 等. 蛭石基质中马铃薯疮痂病防治后可培养菌群的变化分析[J]. 东北农业科学, 2020, 45(5): 57-61.
- [43] 李闯, 张海燕, 谭化, 等. 马铃薯新品种‘吉薯1号’茎尖脱毒及组培快繁研究[J]. 东北农业科学, 2019, 44(6): 62-64, 73.
- [44] 姚琪, 王庆峰, 袁宝祺, 等. 农田秸秆基质对马铃薯微型薯产量的影响[J]. 东北农业科学, 2023, 48(4): 78-81, 128.

(责任编辑:范杰英)