



马爽,王腾,王彦杰,等.马铃薯疮痂病发生因素与侵染机制研究进展[J].黑龙江农业科学,2021(5):120-124.

# 马铃薯疮痂病发生因素与侵染机制研究进展

马爽<sup>1,2</sup>,王腾<sup>2</sup>,王彦杰<sup>3</sup>,洪秀杰<sup>4</sup>

(1.黑龙江八一农垦大学农学院,黑龙江大庆163319;2.黑龙江省农业科学院克山分院,黑龙江齐齐哈尔161606;3.黑龙江八一农垦大学生命技术学院,黑龙江大庆163319;4.大庆市农业技术推广中心,黑龙江大庆163411)

**摘要:**疮痂病是马铃薯的一种严重病害,大幅度地降低了马铃薯块茎的经济价值。本文对近年来马铃薯疮痂病的种类与分布,影响病害发生的生物因素与非生物因素及疮痂病的防治措施进行了综述,并对今后的研究重点进行了展望。

**关键词:**马铃薯;疮痂病;病原菌;防治方法

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是世界三大作物之一,因此在全球粮食安全中起着关键作用<sup>[1]</sup>。在经济作物中马铃薯有着不可忽视的地位,它也是我国工业、畜牧业的原料,在我国的栽培历史已有上百年<sup>[2]</sup>。到2019年,我国已经成为世界上最大的马铃薯生产国,但在食用水平上欧洲国家居世界第一位,大洋洲的国家居于第二位,美洲居第三位,均高于世界的平均食用水平<sup>[3]</sup>。马铃薯营养全面,能够满足人们的膳食结构需求。随着马铃薯主粮化进程的推进,改变了我国主粮营养结构不均衡,热量较高这一现状。许多国家把马铃薯全粉作为储备粮,以确保国家粮食安全。国家统计局统计的数据显示我国马铃薯产量已由2013年的1 645.33万t增长到2018年的1 798.37万t。马铃薯产业地位在我国逐步上升,但马铃薯病害的发生影响了产业的健康发展。如何控制各种病害的发生是目前急需解决的问题<sup>[4]</sup>。疮痂病是马铃薯的一种严重病害,大幅度地降低了块茎的经济价值,且病原体可以在土壤或植物残体中存活长达10 a,很难控制。鉴于此,本文综述了马铃薯疮痂病的病原及其侵染机制和防治措施,并对今后的研究重点进行了展望,以期对马铃薯疮痂病的防控提供理论基础。

## 1 马铃薯疮痂病的病原菌、病症与分布

马铃薯疮痂病是由链霉菌引起的遍布全世界的病害。马铃薯感病后块茎品质下降,严重影响产量<sup>[5]</sup>。世界上已报道的马铃薯疮痂病病原菌的类型有20余种<sup>[6-8]</sup>,我国已报道的马铃薯疮痂病病原菌也有10余种<sup>[9]</sup>。其中致病性最严重的为马铃薯普通疮痂病病原菌。在较多的病原菌中,有3种不同的致病性病原菌在世界马铃薯种植区被鉴定:*Streptomyces scabies*、*S. acidiscabiei*和*S. turgidiscabiei*<sup>[10]</sup>。然而,*S. scabies*被广泛地描述为导致这种疾病的主要原因<sup>[11]</sup>。马铃薯疮痂病病原菌均归属于链霉菌属,链霉菌属是一种非特异性的宿主病原体,能够感染其他作物,如胡萝卜、萝卜和甜菜<sup>[12]</sup>。致病链霉菌菌株可在土壤残留物中发现,可由水流或带病块茎种子传播。链霉菌引起的感染主要是通过植物毒素Thaxtomin在生长阶段起作用,改变块茎细胞壁的形成<sup>[12]</sup>。马铃薯疮痂病的发病程度取决于环境条件、品种抗性、病原体毒性以及病原体的密度<sup>[13]</sup>。

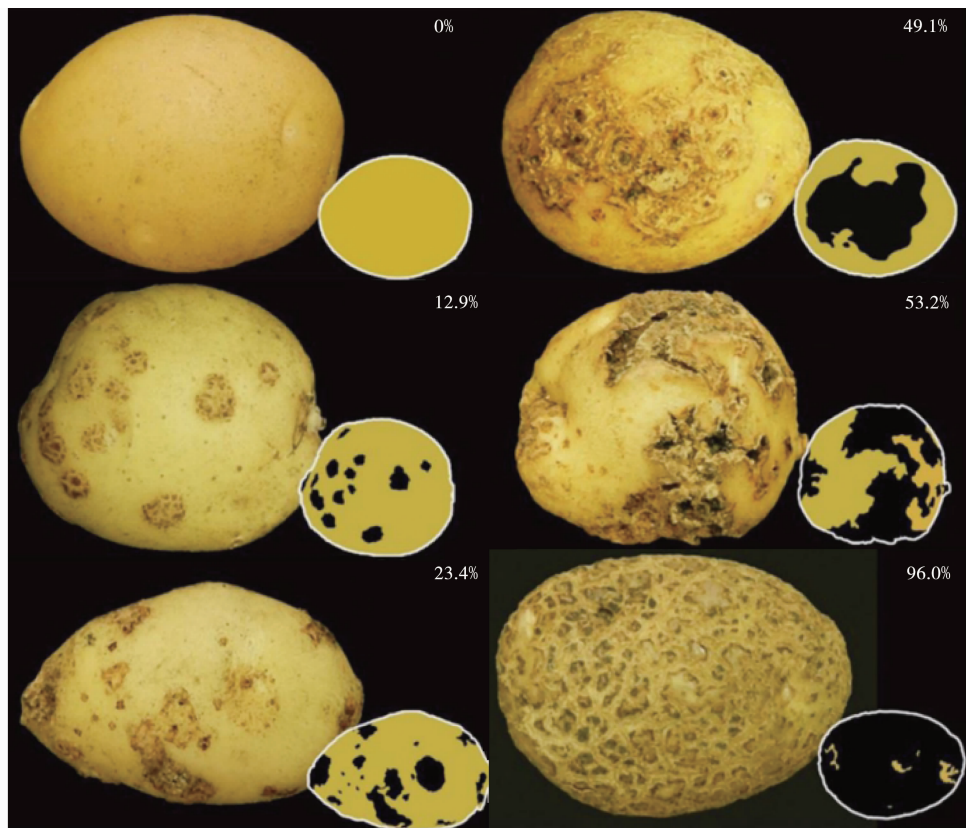
疮痂病的症状多种多样,如图1所示,病变可能是表面的,深陷的或凸出的,小的或合并的,隔离或覆盖块茎的大部分表面。病灶呈褐色,呈软木样外观和一致性。同样的植株可能有不同的病变在不同的结节上形成瘤状硬斑,严重时病斑布满马铃薯表面<sup>[13]</sup>。马铃薯疮痂病的病原菌在我国分布范围广泛,云南省、河北省、新疆维吾尔自治区、甘肃省、山西省、黑龙江省以及山东省均有发现<sup>[14]</sup>。在世界上分布也很广泛,在阿根廷<sup>[10]</sup>、美国<sup>[15]</sup>、墨西哥<sup>[16]</sup>、南美等国家<sup>[17]</sup>、日本<sup>[18]</sup>均有发现。

收稿日期:2020-01-11

**基金项目:**黑龙江省重点实验室开放基金(201703);黑龙江八一农垦大学三横三纵支持计划(TDJH201809);国家重点研发计划项目(2018YFD020080706);农业部马铃薯种质资源收集鉴定编目与保存分发利用项目(111721301354052006)。

**第一作者:**马爽(1989—),女,在读博士,研究员实习,从事马铃薯疮痂病的生物防治。E-mail:mashuang456@163.com。

**通信作者:**王彦杰(1972—),男,博士,教授,博导,从事生物菌剂研制。E-mail:wangyanjie1972@163.com。

图1 马铃薯疮痂病症状<sup>[13]</sup>

## 2 影响马铃薯疮痂病发生的生物因素

### 2.1 疮痂病原菌的侵染机制

各种非生物和生物的应激源引起显著的植物细胞代谢变化,这些变化通常与触发信号有关,感知逆境信息的系统最终会改变基因表达<sup>[19]</sup>。病原菌侵染对植物有很强的胁迫作用,植物被侵染会触发某些信号系统,这些信号系统会接收到有关侵染的信息并将其传递给植物细胞的遗传机制<sup>[20]</sup>。相应的基因表达会引发防御反应。防御反应包括各种蛋白质和其他化合物的合成及细胞壁功能的持续加强<sup>[21]</sup>。疮痂病原菌主要是在马铃薯的生长阶段利用分泌的毒素改变细胞壁形成,从而侵染细胞,对马铃薯植株形成致病性。疮痂病原菌侵染马铃薯抗病品种后,植株细胞对疮痂病毒素产生防御反应,该防御反应会导致过氧化物酶的合成机制发生变化<sup>[22]</sup>。马铃薯细胞中的保护酶对疮痂病原菌侵染的反应由两种机制决定,一种是非遗传机制,另一种是马铃薯品种本身对病原菌的抗性机制<sup>[23]</sup>。

### 2.2 土壤微生物与疮痂病原菌间的互作

土壤中微生物丰富度、多样性及活性越高,对

病原菌引起的生态系统变动恢复能力越高。马铃薯疮痂病原菌虽为链霉菌,但在土壤微生物中只有几种链霉菌为主要的植物病原体<sup>[24]</sup>,因此,了解链霉菌在田间种群的生态影响也很重要。目前已知有几种链霉菌种可以促进植物生长,并且能够产生抗生素抑制病原菌的活性<sup>[25-26]</sup>。Shi等<sup>[27]</sup>利用荧光定量PCR和高通量基因测序的方法,分析了马铃薯疮痂病毒素合成基因 *txtAB* 和细菌 16S rRNA 基因的拷贝数,并对根系土壤微生物的多样性和组成进行了研究,结果表明细菌 16S 拷贝数较低、多样性较高时,其复杂度越高,马铃薯薯表土壤微生物群落功能相似性越高;土壤菌群中变异菌属、单胞菌属和农杆菌属的丰度与疮痂严重程度呈显著正相关。因为疮痂各病原菌的发展高度依赖于 thaxtomin 这个单一毒素的影响,所以目前普遍认为疮痂病理是马铃薯品种耐一株疮痂病原菌就对所有的疮痂菌株都有抗性<sup>[28-29]</sup>。

### 3 影响马铃薯疮痂病发生的非生物因素

Shelley 等<sup>[30]</sup>利用野生二倍体与栽培四倍体杂交的方法选育抗疮痂病的杂交种,研究发现在

有疮痂病原菌的土壤中种植二倍体为亲本的杂种时发病更严重,这一结果可能与育种策略有关,但该研究者认为环境在疮痂病发病程度上起了很大的作用。环境因素中的土壤温度、土壤类型和土壤含水量对马铃薯疮痂病的发生起着至关重要的作用。土壤温度为 22~25℃时块茎疮痂病发病率最高。Tomihama 等<sup>[18]</sup>研究发现在土壤 pH 低的地区(pH5.10)种植马铃薯也会发生疮痂病,对病原菌分离发现 *S. scabiei* 和 *S. turgidiscabies* 能够在 pH 低于 5.2 的土壤中存活。土壤含水量情况也会影响马铃薯疮痂病的发生程度,疮痂病原菌适宜在干燥土壤或通气条件差的湿润土壤中存活。

## 4 马铃薯疮痂病的防治

### 4.1 化学防治

防治马铃薯疮痂病可采用多种控制措施,如使用农用化学品、有机改良剂、轮作和使用生物制剂等。化学药剂拌种防治疮痂病是以往研究的主流方向。有研究报道采用 0.1%  $\text{HgCl}_2$  浸种、40% 甲醛 200 倍液或 2% 盐酸溶液、0.1% 对苯二酚溶液、农用链霉素的稀释液或 70% 代森锰锌浸种处理对防治疮痂病均有一定的效果。利用高锰酸钾等化学药剂对马铃薯块茎浸泡后种植均发现严重感染疮痂病<sup>[31]</sup>,反而是块茎用草木灰拌种后播种未发现较严重的疮痂病病薯。在室内条件下利用多种杀菌剂对马铃薯疮痂病菌进行毒力测定,筛选出有效杀菌剂,但其在田间的使用效果还未见报道<sup>[32-33]</sup>。化学药剂对马铃薯疮痂病有一定的防效,但是防治效果甚微,投入的成本与收到的效益相差较大,因此在马铃薯生产中并未大规模的推广应用。Santos-Cervantes<sup>[34]</sup>利用 3 种杀菌剂(33% 代森锰锌、30% 苯丙噻唑和 40.4% 氟啶胺)对两株 *S. acidiscabies* 菌株进行了测试,化学药剂处理的马铃薯,疮痂病抑制变化范围在 3.7%~19.7%,与未进行化学药剂处理的马铃薯地块无显著差异。化学药剂必速灭能够降低微型薯的疮痂病感病率,氟啶胺对防治马铃薯疮痂病也起到了一定效果<sup>[34]</sup>。但目前的防治方法只能在马铃薯生长过程中对疮痂病的病原菌生长进行相对的抑制,并不能完全防治。

### 4.2 农艺防治

种植马铃薯时应选用健康的种薯薯块,与黄

豆、红小豆、黎小豆等豆科作物进行 4~5 年的轮作。选择排灌方便的田块,在播种前要深翻晾晒土壤。种植前 15d 进行旋耕耙平,选取广谱抗菌农药进行土壤杀菌。提倡高垄栽培和中耕培土,平衡施肥,合理灌溉。在管理过程中可以使用偏酸性的肥料,合理调节土壤 pH,可以控制发病率<sup>[35]</sup>。许华民<sup>[36]</sup>研究发现,基质是诱发马铃薯疮痂病发生的一个重要原因,利用生物菌与蛭石混合基质培育脱毒苗,防效能够达到 33%。

### 4.3 生物防治

有益菌对马铃薯的影响包括促进植株的生长和防治病害,其中促生是研究有益菌最初所关注的问题,而现在有益菌主要应用于马铃薯病害的生物防治<sup>[37]</sup>。当前,在保护人类生存环境、强调农业可持续发展的形势下,人们对生物防治病害的研究与应用尤为重视<sup>[38]</sup>。许多国内外的研究者均对有益菌的生物防控效果做了大量工作,在植物病害生物防治的研究中,土传病害生物防治已取得了巨大的成绩。在植物群落演替过程中,土壤酶活性与土壤微生物数量、多样性、生物量和功能微生物多样性等呈显著相关。迄今为止,主要应用的有益菌(细菌、真菌、放线菌)分别属于 *Bacillus*、*Trichoderma*、*Streptomyces*、*Gliocladium* 和 *Pseudomonas* 等属,而且其中的很多菌株已经进入商品化生产<sup>[39]</sup>。

2015 年中国农业大学马铃薯研究小组在内蒙古进行马铃薯田间试验,由芽孢杆菌组成的微生物产物为 1 株枯草菌和 1 株哈茨木霉,有效降低了马铃薯疮痂病病情指数,并且提高了马铃薯的块茎产量<sup>[40]</sup>。2019 年中国农业大学植物病理研究组经过了两年的试验发现了一株枯草芽孢杆菌组成的菌根衍生的微生物能够抑制由链霉菌引起的马铃薯疮痂病。在田间使用 225 或 300  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  的微生物产品,相对于不使用微生物产品,病害指数下降 30.6%~46.1%,产量增加 23.0%~32.2%。并对根际细菌群落进行了测定,结果证明使用 225 或 300  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  微生物产品的有益菌类群相对丰厚。宋烨等<sup>[41]</sup>研究表明有益菌在植物病害生物防治中具有重要的、不可忽视的作用。

## 5 展望

马铃薯疮痂病是近十年来,马铃薯生产田块普遍存在的马铃薯病害,疮痂病影响了马铃薯块

茎的品质以及销售价格,更不利于种薯质检的把控,对马铃薯产业造成了障碍。化学药剂对疮痂病防治效果虽有一些报道,但在生产中并未大面积使用。另外,利用化学药剂对土壤进行处理会影响土壤生物,特别是对有益微生物群落产生很大的负面影响,对土壤微生物种群有着不可逆的“定向筛选”作用,从而导致越使用化学药剂,马铃薯疮痂病反而加重的现象。马铃薯疮痂病亟待解决,防治难度很大,是难以根治的病害。改变土壤微环境,增加有益菌在块茎表面的富集是防治马铃薯疮痂病最好的办法。前期的研究主要注重于枯草芽孢杆菌对 *S. scabiei* 的直接拮抗作用,没有充分考虑到生防菌株在施用后在土壤根际的定殖能力,后期可将有效生防菌株制成稳定持效的生物菌剂用于生产。

### 参考文献:

- [1] ANDRADE M H M L, NIEDERHEITMANN M, RODRIGUES D P R S R, et al. Development and validation of a standard area diagram to assess common scab in potato tubers[J]. European Journal of Plant Pathology, 2019, 154(3): 313-324.
- [2] 侯飞娜. 马铃薯全粉营养特性分析及马铃薯——小麦复合馒头专用品种筛选研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015.
- [3] 杨雅伦, 郭燕枝, 孙君茂. 我国马铃薯产业发展现状及未来展望[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(1): 29-36.
- [4] 徐建飞, 金黎平. 马铃薯遗传育种研究: 现状与展望[J]. 中国农业科学, 2017, 50(6): 990-1015.
- [5] PRIETO M C, LAPAZ M I, LUCINI E I, et al. Thyme and suico essential oils: promising natural tools for potato common scab control[J]. Plant Biology (Stuttgart, Germany), 2020, 22(1): 216-224.
- [6] WANNER L A. A new strain of *Streptomyces* causing common scab in potato [J]. Plant disease, 2007, 91(4): 111-124.
- [7] ST-ONGE R, GOYER C, COFFIN R, et al. Genetic diversity of *Streptomyces* spp. causing common scab of potato in eastern Canada[J]. Systematic and Applied Microbiology, 2008, 31(6): 474-484.
- [8] LESLIE A W, WILLIAM W K. *Streptomyces*-from basic microbiology to role as a plant pathogen [J]. American Journal of Potato Research, 2015, 92(2): 236-242.
- [9] 聂峰杰, 陈虞超, 巩榴, 等. 马铃薯疮痂病致病链霉菌分类及其致病机理研究进展[J]. 分子植物育种, 2018, 16(4): 1313-1319.
- [10] BARRERA V A, KAGEYAMA K, ROJO R A, et al. A species-specific method for detecting pathogenic *Streptomyces* species from soil and potato tubers in Argentina[J]. Revista Argentina de Microbiologia, 2013, 45: 277-281.
- [11] WANNER L A. A survey of genetic variation in *Streptomyces* isolates causing potato common scab in the United States[J]. Phytopathology, 2006, 96: 1363-1371.
- [12] LORIA R, KERS J, JOSHI M. Evolution of plant pathogenicity in *Streptomyces* [J]. Annual Review of Phytopathology, 2006, 44: 469-487.
- [13] DESS M W, WANNER L A. In search of better management of potato common scab [J]. Potato Research, 2012, 55: 249-268.
- [14] 张良, 程林润, 卞晓波, 等. 中国马铃薯疮痂病的研究与防控[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(10): 1778-1781.
- [15] JANSKY S, HAYNES K, DOUCHES D. Comparison of two strategies to introgress genes for resistance to common scab from diploid *Solanum chacoense* into tetraploid cultivated potato [J]. American Journal of Potato Research, 2019, 96(3): 278-293.
- [16] ALEJO A, ELEUTERIO B, MALDONADO L A, et al. *In vitro* effect of the crude extract of a potato common scab streptomycete in Sinaloa, Mexico [J]. Revista Argentina de microbiologia, 2019, 51(4): 248-261.
- [17] MUZHINJI N, WAALS J E. Population biology and genetic variation of *Spongopora subterranea* f. sp. subterranea, the causal pathogen of powdery scab and root galls on potatoes in south Africa [J]. Phytopathology, 2019, 109(11): 232-256.
- [18] TOMIHAMA T, NISHI Y, SAKAI M, et al. Draft genome sequences of *Streptomyces scabiei* S58, *Streptomyces turgidiscabies* T45, and *Streptomyces acidiscabies* a10, the pathogens of potato common scab, isolated in Japan. [J]. Genome Announcements, 2016, 4(2): 134-156.
- [19] CIAGHI S, NEUHAUSER S, SCHWELM A. Draft genome resource for the potato powdery scab pathogen *Spongopora subterranea* [J]. Molecular Plant-microbe Interactions; MPMi, 2018, 31(12): 116-134.
- [20] JOSHI M V, MANN S G, ANTELMANN H. The twin arginine protein transport pathway exports multiple virulence proteins in the plant pathogen *Streptomyces scabiei* [J]. Molecular Microbiology, 2010, 77(1): 213-227.
- [21] CHENG Z L, BOWN L, PIERCEY B, et al. Positive and negative regulation of the virulence-associated coronafacoyl phytotoxin in the potato common scab pathogen *Streptomyces scabiei* [J]. Molecular Plant-microbe Interactions; MPMi, 2019, 32(10): 267-296.
- [22] CIAGHI S, NEUHAUSER S, SCHWELM A. Draft genome resource for the potato powdery scab pathogen *Spongopora subterranea* [J]. Molecular Plant-microbe Interactions; MPMi, 2018, 31(12): 101-120.
- [23] GRASKOVA I A, VLADIMIROVA S V, RIKHMANOV

- E G. The mechanism of peroxidase activation in bacterial pathogenesis is different in the cells of potato cultivars resistant and nonresistant to the pathogen[J]. Biological Sciences Sections, 2001, 379(1-6): 347-349.
- [24] FRANCIS I, HOLSTERS M, VEREECKE D. The gram-positive side of plant-microbe interactions[J]. Environmental Microbiology 2010, 12(1): 1-12.
- [25] CHATER K F. Recent advances in understanding Streptomyces[J]. F1000 Research 2016, 30(5): 2795. .
- [26] SOUSA J A J, OLIVARES F L. Plant growth promotion by streptomycetes: ecophysiology, mechanisms and applications[J/OL]. Chemical and Biological Technologies in Agriculture 2016, 3: 24[2020-01-08]. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0073-5>.
- [27] SHI W C, LI M C, WEI G S, et al. The occurrence of potato common scab correlates with the community composition and function of the geocaulosphere soil microbiome[J/OL]. Microbiome, 2019, 7(1): 7-14[2020-01-08]. <https://doi.org/10.1186/s40168-019-0629-2>.
- [28] CLARKE C R, KRAMER C G, KOTHA R. Cultivar resistance to common scab disease of potato is dependent on the pathogen species[J]. Phytopathology, 2019, 109(9): 221-234.
- [29] LI Y T, LIU J Y, ADEKUNLE D. TxtH is a key component of the thaxtomin biosynthetic machinery in the potato common scab pathogen *Streptomyces scabies*[J]. Molecular Plant Pathology, 2019, 20(10): 267-285.
- [30] SHELLEY J, KATHLEEN H, DAVID D. Comparison of two strategies to introgress genes for resistance to common scab from diploid *Solanum chacoense* into tetraploid cultivated potato[J]. American Journal of Potato Research, 2019, 96(3): 141-154.
- [31] 孙静, 金光辉, 刘喜才. 不同药剂及施用方式对马铃薯疮痂病的防效[J]. 中国马铃薯, 2015, 29(2): 107-111.
- [32] 张露, 艾玉廷, 马健, 等. 不同比例氟啶胺对马铃薯块茎疮痂病防治效果[J]. 中国马铃薯, 2013, 27(3): 175-178.
- [33] 郝智勇. 马铃薯种薯疮痂病成因及防治措施[J]. 黑龙江农业科学, 2017(1): 158-159.
- [34] SANTOS-CERVANTES M E, FELIX-GASTELUM R, HERRERA-RODRÍGUEZ G. Characterization, pathogenicity and chemical control of *Streptomyces acidiscabies* associated to potato common scab[J]. American Journal of Potato Research, 2017, 94(1): 14-15.
- [35] 李智媛. 黑龙江省马铃薯疮痂病综合防控技术[J]. 黑龙江农业科学, 2019(9): 156-157.
- [36] 许华民. 生防菌对微型薯疮痂病的防治及基质中微生物种群的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.
- [37] NASCENTE A S, DE FILIPPI M C C, LANNA A C, et al. Effects of beneficial microorganisms on lowland rice development[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2017, 24(32): 25233-25242.
- [38] DI SALVO L P, FERRANDO L, FERNÁNDEZ-SCAVINO A, et al. Microorganisms reveal what plants do not: Wheat growth and rhizosphere microbial communities after *Azospirillum brasilense* inoculation and nitrogen fertilization under field conditions[J]. Plant and Soil, 2018, 424: 405-417.
- [39] NAKAYAMA T. Biocontrol of powdery scab of potato by seed tuber application of an antagonistic fungus, *Aspergillus versicolor*, isolated from potato roots[J]. Journal of General Plant Pathology, 2017, 83(4): 253-263.
- [40] WANG Z S, LI Y, ZHUANG L B, et al. A rhizosphere-derived consortium of *Bacillus subtilis* and *Trichoderma harzianum* suppresses common scab of potato and increases yield[J]. Computational and Structural Biotechnology Journal, 2019, 17: 229-250.
- [41] 宋烨, 向君亮, 申永瑞, 等. 芽孢杆菌 BU108 的分离鉴定及对马铃薯疮痂病的防治[J]. 浙江农林大学学报, 2018, 35(4): 757-764.

## Research Progress of the Pathogenesis and Infection Mechanism of Potato Scab

MA Shuang<sup>1,2</sup>, WANG Teng<sup>2</sup>, WANG Yan-jie<sup>3</sup>, HONG Xiu-jie<sup>4</sup>

(1. College of Agriculture, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. Keshan Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161606, China; 3. College of Life, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 4. Daqing Agricultural Technology Extension Center, Daqing 163411, China)

**Abstract:** Potato scab is a serious disease, which greatly reduces the economic value of tubers. In this paper, we summarized the types and distribution of potato scab in recent years, the biological and non-biological factors affecting the occurrence of the disease and the prevention and control measures of scab, and prospected the future research emphases.

**Keywords:** potato; scab; pathogenic bacteria; control method