

马铃薯疮痂病研究进展

李 爽, 杨美军, 张 云, 李婷婷, 王振钰, 曾 滢, 韩玉珠*

(吉林农业大学, 吉林 长春 130118)

摘 要: 马铃薯疮痂病菌是由放线菌科链霉菌属引起的, 是一种世界性病害。在中国, 马铃薯疮痂病分布较广泛, 危害严重。多年来疮痂病对马铃薯生产和加工造成一定困扰。主要从疮痂病的分布, 病原菌分类, 病原菌致病性鉴定方法, 病原菌鉴定, 致病机制, 品种资源及抗病性, 防治技术方面的研究进展进行综合阐述。

关键词: 马铃薯; 疮痂病; 病原; 致病机制; 防治技术

Progress in Potato Common Scab Research

LI Shuang, YANG Meijun, ZHANG Yun, LI Tingting, WANG Zhenyu, ZENG Ying, HAN Yuzhu*

(Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract: Potato common scab, caused by *Streptomyces* spp., is a worldwide disease. In China, the potato common scab is widely distributed and the harm is serious. Over the years, common scab has caused some problems in production and processing. Some progresses were reviewed here in common scab disease distribution, pathogen classification, pathogenicity identification, pathogen identification, pathogenic mechanism, variety resources, disease resistance, and prevention and control technique.

Key Words: potato; common scab; pathogen; pathogenic mechanism; control technique

1 疮痂病的分布与危害

1.1 马铃薯疮痂病分布

马铃薯疮痂病(*Streptomyces* spp.)目前被视为世界上马铃薯重要病害之一, 在美国^[1-4]、日本、加拿大、韩国、芬兰、印度等马铃薯生产国均有报道。马铃薯疮痂病在中国马铃薯生产区普遍存在^[5], 各马铃薯生产区也均有相关报道。近年来, 该病主要分布在河北^[6-8]、甘肃^[9]、四川^[7,8]、贵州^[7,8]、山东^[10]、云南^[11,12]、山西^[13]、新疆^[14]、陕西^[15]、内蒙古^[16]、黑龙江^[17]、辽宁、吉林^[18]等省、

自治区。

1.2 马铃薯疮痂病危害

马铃薯疮痂病是由植物病原链霉菌引起的植物细菌性病害, 可侵染马铃薯等多种植物。疮痂病菌属于放线菌科链霉菌属。可通过土壤和种薯等进行传播, 该病主要侵染马铃薯块茎, 可在其表面形成疮痂病病斑, 使鲜薯外观变劣, 布满疤痕, 薯块质量和商品价值降低。疮痂病病原菌除侵染马铃薯外, 对甜菜、萝卜等块茎类作物也会侵染。由于该病寄主不断增加, 防治技术有限, 该病已经成为世界种植业中重大疾病之一。

收稿日期: 2017-06-11

基金项目: 吉林省现代农业(马铃薯)产业技术体系(20160601)。

作者简介: 李爽(1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向为蔬菜遗传育种。

*通信作者(Corresponding author): 韩玉珠, 教授, 主要从事蔬菜遗传育种, E-mail: hanyzh2003@126.com。

2 疮痂病病原菌研究概况

2.1 病原菌的分类

疮痂病病原菌多为链霉菌属, 种类复杂, 比较常见的病原菌包括 *Streptomyces turgidiscabies*、*S. scabies* 和 *S. acidiscabies*^[9]。此外还有几十种致病性病原菌被发现。1926年英国的 Millard 和 Burr^[19] 将马铃薯疮痂病分为块茎表皮凸起、凹陷, 表皮呈现出斑点、丘疹等不规则的疮痂病病斑; 1953年瑞典学者 Emilsson 和 Gustafsson^[20] 将马铃薯疮痂病分为块茎表皮粗糙, 块茎表皮凹陷及凸起, 普通疮痂四类; 1991年 Healy^[21] 将马铃薯疮痂病的症状共分为3个类型, 分别为黄褐色疮痂, 常见疮痂和酸痂, 通常黄褐色疮痂又被称为折皱疮痂。后来依据马铃薯表皮凹陷程度将病斑分为凹陷型病斑、凸起型病斑和平状型病斑。

1890年, 在美国康乃狄克州首次发现疮痂病菌的致病菌株, 命名为 *Oospora scabies*^[22], 后来又命名为 *Actinomyces scabies*^[23], 最后将该菌株名字确定为 *Sreptomycetes scabies*^[24]。该菌株具有螺旋形孢子链, 灰色, 表面光滑, 培养基 pH = 5 时适宜生长, 产生黑色素^[2]。

一般疮痂病病原菌在 pH≈5 的环境中不会被激发其致病性, 但有一种疮痂病病原菌在 1953 年被发现, 在 pH = 4.5 的环境中马铃薯仍然可以被感染疮痂病, 并且马铃薯被该疮痂病病原菌致病后表现出与 *S. scabies* 一样的疮痂病症状, 1989 年将该病菌定名为 *S. acidiscabies*, 该菌株具有直-柔曲状孢子链, 培养基 pH = 4 时适宜生长, 孢子颜色会因培养基的不同而不同, 表现出白色、黄色或红色, 不能产生黑色素^[3]。

1998 年发现引起马铃薯凸状疮痂病病斑的致病性菌株, 并命名为 *S. turgidiscabies*, 该菌株的孢子链是直-柔曲状, 灰色, 表面光滑, 培养基 pH = 5 时不能生长^[25]。

国外研究者在马铃薯疮痂病病原菌种类方面做了大量研究。在美国报道的疮痂病病原菌有 *S. scabies*、*S. turgidiscabies*、*S. acidiscabies*、*S. europaeiscabiei* 等^[1-4], 芬兰疮痂病病原菌有 *S. scabies*、*S. turgidiscabies*、*S. aureofacovens* 等, 韩国有 *S. scabies*、*S. turgidiscabies*、

S. acidiscabies、*S. puniscabiei*、*S. luridiscabiei*、*S. niveiscabiei* 等, 法国已报道的疮痂病病原菌有 *S. scabies*、*S. stelliscabiei*、*S. europaeiscabiei*、*S. reticuliscabiei* 等^[5], 加拿大的疮痂病病原菌有 *S. acidiscabies*^[26], 新的致病菌种也在不断出现。国内的研究学者在马铃薯疮痂病病原菌的分类上也进行了大量研究, 根据目前已有报道, 甘肃疮痂病病原菌主要存在 2 种, 分别为 *S. scabies* 和 *S. griseus*, 其中 *S. scabies* 为该地区优势菌种^[7], 河北有 *S. scabies*、*S. europaeiscabiei*、*S. diastatochromogenes* 等^[6], 黑龙江疮痂病病原菌有 *S. scabies*、*S. turgidiscabies*、*S. acidiscabies* 等^[17], 山西晋城疮痂病病原菌有 *S. scabies* 等^[13], 新疆主要存在 2 种疮痂病病原菌, 分别为 *S. acidiscabies* 和 *S. scabies*, *S. acidiscabies* 为该地区优势菌种^[14], 其他地区病原菌种类需要进一步进行鉴定。

2.2 病原菌的致病性鉴定

疮痂病病原菌的致病性鉴定方法有很多, 有盆栽试验、小薯片法、萝卜幼苗法、萝卜片法和幼薯检测法。盆栽试验是研究中使用较普遍的方法, 一般参照 Faucher 等^[26] 的方法, 该方法疮痂病菌株种类判断依据是新生薯块的发病情况。河北省刘伯^[27] 通过盆栽试验发现新的致病菌 *S. galilaeus* 具有致病性。病斑表现为凸起状病斑, 细胞木栓化, 病情严重的时候, 马铃薯的皮下组织会褐色坏死、凹陷, 产生黑色褐斑, 致病力强于 *S. scabies*。赵伟全^[28] 也采用了盆栽试验, 发现马铃薯新生薯块可被 10 个省份的马铃薯疮痂病菌致病性菌株感染, 产生典型的疮痂病病斑, 但非致病性菌株则无影响。杜魏甫等^[12] 采用盆栽试验对云南地区的马铃薯疮痂病病原菌进行了致病性检测, 从而得到, 用一种病原菌对不同品种马铃薯所产生的疮痂病病斑的严重程度也不一样。甘肃省的康蓉和王生荣^[29] 同样采用盆栽试验发现分离到的菌株可以导致新生薯块产生疮痂病斑, 说明此种病菌具有致病性。张海颖等^[6] 采用盆栽试验进行病原菌致病性检测, 结果表明新鲜薯块能够被所有致病性菌株染病, 表现出典型的疮痂病症状。

小薯片法和萝卜幼苗法在疮痂病病原菌的致病性检测方面效果也很显著, 小薯片法多数参照 Loria 等^[30] 的方法, 萝卜幼苗检测法参照 Leiner 等^[31]

的方法, 杜鹃等^[14]在用小薯片法检测致病性菌株时, 结果发现为接种体可以被感染产生非常严重的褐色坏死病斑。同时也采用萝卜幼苗法检测, 结果表现为幼苗的生长被致病性菌株抑制, 2种方法表现出一致的效果。王丹等^[13]采用小薯片法对山西晋城地区进行致病性菌株测定, 7 d后菌株周围发现有轻微褐变, 14 d后可观察到薯块上出现褐变和坏死。赵伟全^[28]通过小薯片法和萝卜幼苗法对病原菌致病性进行了检测, 2种方法表明致病性菌株均可以产生和病原菌相似的效果, 其中小薯片法主要表现为接种点周围产生褐色坏死病斑, 萝卜幼苗法则是对萝卜幼苗的生长产生一定的抑制, 毒素、接种病原体、培养滤液三者都产生一定抑制效果, 但毒素对幼苗的抑制效果更好。

幼薯检测法参照 Lawrence 等^[32]的方法。信净净等^[33]将 *S. galilaeus* 菌株 CPS-2 毒素 R = 0.38 和 R = 0.47 两条带组分采用小薯片法和幼薯法进行疮痂病不同毒素组分活性测定, 结果发现, 组分 II (分子量 437.181) 可以使薯块产生褐色坏死病斑, 用显微镜观察可以发现细胞和淀粉粒周围发生褐色坏死, 用此毒素接种幼薯, 会发现薯块周围皮孔发生褐色坏死病斑, 而组分 III (分子量 313.1) 没有产生任何变化, 与清水对照相同, 证明组分 II (分子量 437.181) 与病原菌相似, 可以产生致病性毒素, 组分 III (分子量 313.1) 可能只是参与了致病过程中的其他作用, 但不能导致马铃薯发生病变。

2.3 致病性链霉菌的鉴定方法

疮痂病的病原菌适应能力非常强, 当前的马铃薯品种对该病没有表现出很强的抗病能力, 这对于马铃薯的生产是一种威胁, 明确不同地区的疮痂病致病菌种类构成在马铃薯的发展中具有重要作用。对于马铃薯疮痂病致病性链霉菌分类的研究, Paradis 等^[34]采用化学分类的方法进行鉴定, 该方法依据脂肪酸与蛋白质的特点; Faucher 等^[26]采用数值法对病原的分类进行鉴定, 该方法的依据是菌株表现型的不同特征; DNA-DNA 杂交法也是疮痂病病原菌种类鉴定中的一种, 但此种方法表现的效果不是很理想^[32], Jan 等^[35]和 Song 等^[36]分别利用 16S rRNA 序列对芬兰和韩国的致病菌株

进行鉴定, 最后得到与形态学特征和生理生化特征表现一致的鉴定结果。

国外对马铃薯疮痂病的病原菌研究已经很深入, 但中国对疮痂病的研究多数停留在防治方面^[37-41]。目前国内部分研究学者对疮痂病的病原菌分类进行了研究。康蓉和王生荣^[29]采用形态特征、生理生化特性测定和 16S rRNA 序列分析对来自甘肃的 6 株菌株进行了鉴定, 结果表明, 甘肃省内马铃薯疮痂病病原菌种类有 *S. scabies* 和 *S. griseus*; 王丹等^[13]对山西晋城地区的疮痂病病原菌种类进行了鉴定, 依据的方法是形态学观察、生理生化特性测定和 16S rRNA 序列分析 3 种鉴定方法, 鉴定结果表明, *S. scabies* 为该地区的疮痂病病原菌; 张海颖等^[6]依据菌株生物学特性和 16S rRNA 序列分析方法对河北省张北地区马铃薯疮痂病病原菌进行鉴定, 结果表明, 该地区存在 3 种病原菌, 分别为 *S. scabies*、*S. diastatochromogenes* 和 *S. europaeiscabiei*; 杜鹃等^[14]通过采用 16S rRNA 序列分析对新疆马铃薯疮痂病病原菌进行了病原菌种类鉴定, 鉴定结果表明 *S. acidiscabies* 和 *S. scabies* 为该地区的病原菌, 其中 *S. acidiscabies* 是该地区疮痂病的优势病原菌, 致病力明显强于 *S. scabies*。赵伟全^[28]利用菌株的形态学特征、生理生化特性、16S rDNA 序列和 ITS 方法对全国 10 个省区疮痂病病原菌进行鉴定, 黑龙江病原菌为 *S. scabies*; 河北病原菌为 *S. scabies* 和一个未知病原菌; 山西、陕西和内蒙古的致病性病原菌为未知病原菌; 甘肃病原菌为 *S. scabies*; 山东病原菌为 *S. acidiscabies*; 四川、云南和贵州病原菌主要有 *S. turgidiscabies*、*S. aureofaciens* 和 *S. scabies*。

DNA 条形码技术在马铃薯疮痂病鉴定过程中也在被应用, DNA 条形码技术是集分类学、遗传学和计算机科学于一身的技术, 该技术利用基因组中存在的公认的、相对较短的 DNA 片断对物种进行鉴定。DNA 条形码技术不但可以保证结果准确性, 还可以提高检测效率。该技术在国内外细菌方面研究很少, 黑龙江省魏琪等^[42]利用 DNA 条形码技术鉴定检测到了 *S. scabies*, 但还未检测到马铃薯其他疮痂病病原菌。

3 疮痂病病原菌的致病机制

马铃薯疮痂病是由多种病原菌引起的, 虽然病原菌寄主范围广, 但致病机制相似。疮痂病的致病因子存在染色体中被称为致病岛 (Pathogenicity island, PAI) 的区域, 该区域的特点是可以水平移动到链霉菌属的其他种中, 从而产生新的致病性菌株。第1个被发现具有PAI革兰氏阳性病原菌的是 *S. turgidiscabies*。该菌的PAI区域中含有 *txt A* 基因、*txt B* 基因、*txt C* 基因、坏死诱导蛋白 *nec1* 基因和致病性因子 *tom A* 基因, 这些基因与致病力相关。*S. scabies* 的染色体中也存在 *txt A*、*txt B*、*txt C*、*nec1* 和 *tom A*。遗传分析表明 *S. acidiscabies* 和 *S. turgidiscabies* 是PAI基因簇从 *S. scabies* 致病性菌中转移到腐生性菌中的产物。PAI基因簇的转移使腐生性链霉菌具有致病性。赵伟全^[28]采用萝卜幼苗法和薯片法对中国马铃薯疮痂病病原菌进行了产毒的研究, 发现不同种类疮痂病病原菌可以产生相似的毒素, 只是产毒能力不同, 此结果与 Loria 等^[30]的研究结果相同。

txt A、*txt B* 是毒素 Thaxtomin 的合成酶基因, 是控制马铃薯疮痂病病原菌毒素生物合成的基因, 也决定疮痂病菌株是否具有致病性。把 Thaxtomin 的合成酶质粒引入到 *txt A* 突变体中, 突变体能够恢复本来原有的致病性并且产生 Thaxtomin A, 说明 Thaxtomin A 在致病性菌中起到非常重要的作用。在细胞中, Thaxtomin A 主要作用于细胞膜, 对细胞膜体系产生破坏作用, 最后导致细胞质壁分离。疮痂病的病原菌毒素通过影响植物代谢过程和能量变化导致细胞膜透性增加。致病毒素产生作用的现象就是增加细胞膜透性。在低浓度的情况下, Thaxtomin A 对幼苗的生长产生抑制作用, 并因为 Thaxtomin 毒素可以使细胞异常膨大从而使幼苗根部和芽部径向膨大。但细胞数目没有增加, 只是引起细胞的膨大而已; 在 Thaxtomin A 高浓度的情况下, 抑制细胞的生长和膨大, 导致幼苗被杀死。Thaxtomin 对马铃薯幼苗的影响与块茎上的作用是相似的, 细胞的异常膨大致使形成凸状病斑, 毒素会使细胞死

亡, 导致形成凹状病斑^[17]。Goyer 等^[43]用 *S. scabies* 产生的 Thaxtomin A 对成熟的薯块进行处理, 通过对细胞形态和超微结构进行观察, 发现薄壁组织细胞中的原生质膜与细胞壁可以被毒素导致分离, 最终细胞被裂解。也有研究提出 Thaxtomin A 能够抑制植物纤维素的合成并且引起植物细胞程序性死亡。

nec1 是 Thaxtomin 的致病基因, *S. scabies* 和 *S. turgidiscabies* 等中都有 *nec1* 基因的存在。*nec1* 基因位于 PAI 中, 尽管该基因在寄主和病原菌的互动上所起到的作用还处于研究阶段, 但 Bukhalid 等^[44]认为该基因在马铃薯和链霉菌的互动方面起着重要作用。在薯片上, *nec1* 能够使非致病性菌 *S. lividans* 产生坏死并定殖。将 *nec1* 基因敲除, 并不影响 *S. turgidiscabies* 合成 Thaxtomin。*nec1* 基因与链霉菌属中的染色体 DNA 相比, G + C 的含量非常低, 由此得出 *nec1* 基因来自于其他属中^[17]。

tom A 是合成 Tomatinase 的基因, Tomatinase 在茄科作物的病原真菌中是一种良好表征的酶。信净净^[45]采用质谱分析方法, 结果发现 *S. galilaeus* 菌 CPS-2 产生的 2 个毒素与国外报道的 Thaxtomin A 的分子量相近并且性质相似, 从而可以确定为同种毒素。研究中得到至少有 2 种毒素在 *S. galilaeus* 的致病过程中起作用。

高浓度的毒素可以抑制植物生长, 浓度越高抑制萝卜幼苗生长效果越明显。毒素浓度较低促进细胞分裂。马铃薯上产生的凸起病斑的主要原因是细胞增生, 侵染后期过程中, 高浓度的毒素会使细胞死亡, 导致病斑木栓化, 当木栓化组织发生脱落而导致深坑出现。致病毒素对疮痂病的典型症状起主导作用, 但毒素不会对表皮已经发生木栓化的马铃薯产生破坏, 马铃薯变成熟, 对毒素的抵抗能力也增强, 致病菌在马铃薯生长后期便不能侵染^[28]。马铃薯被疮痂病菌侵染程度受植物细胞完整性和马铃薯成熟度的影响, 未成熟的马铃薯受侵染程度要强于成熟的马铃薯。也有研究者报道酯酶是导致产生疮痂症状的可能因素^[46]。在病菌致病过程中分解马铃薯表皮细胞的酯酶起重要作用, 但疮痂病病原菌的酯酶基因表达稳定性较差, 相关研究还处于初级阶段。

4 品种资源及抗病性

病害发生程度受多方面因素的影响, 为了有效地防止马铃薯疮痂病的发生, 可以选育具有抗疮痂病的品种进行栽培。防治疮痂病最为理想和有效的办法之一是培育抗病品种。明确马铃薯品种和病原菌之间的相互作用, 与病原菌的分布结合可以对马铃薯品种合理布局, 以及马铃薯抗疮痂病的基因研究工作提供准确和可靠的依据。相关报道指出, 容易感病的品种为白皮或薄皮品种, 抗病品种为褐色或厚皮品种。

国外在马铃薯疮痂病抗性评价方面做了大量的研究, 中国在这方面的研究尚少。Wanner 和 Haynes^[47]用不同种与不同分子类型的链霉菌对马铃薯进行接种试验, 结果表明, 优势种或菌株的不同导致在不同的地区疮痂病发生的严重程度也不同。Haynes 等^[48]研究发现环境、基因型、环境和基因型互作对病斑面积和病斑类型有显著影响。

国外在马铃薯抗性品种筛选方面也做了大量研究, 并且已有抗病品种方面的相关报道, 国外很多抗病品种被研究者们首次发现(表1)。

目前国内关于抗疮痂病品种方面的研究较少, 邢莹莹^[17]通过盆栽接种法筛选得到高抗品种‘克新18号’; 杜魏甫^[11]通过盆栽接种法筛选得到中抗品种‘紫云1号’和‘靖薯1号’。

5 防治措施研究进展

5.1 农业防治

选择无病薯块是防治疮痂病的有效农业防治措施之一。选择保水性好的土地进行种植, 特别

是秋马铃薯应该加强水分管理, 要保持土壤湿润, 可以有效减轻发病。除甜菜、萝卜、胡萝卜等根菜类外, 可以与其他作物进行轮作, 如与葫芦科, 百合科等作物实行4~5年轮作。农业防治在与其他防治方法结合的情况下可以达到更好的防治效果。

基质消毒可以降低马铃薯原原种疮痂病的发生, 龙国等^[54]采用对基质进行熏蒸消毒试验。研究发现每1 m³基质施用多菌灵25 g + 杀毒矾25 g + 敌克松25 g + 辛硫磷40 g + 硫磺粉60 g的处理效果最好, 此处理不但对原原种的连作基质熏蒸消毒效果最好, 而且病薯率低, 产量高。

基质种类和配比不同也可以降低马铃薯微型薯疮痂病的发病率。赵萍等^[55]采用基质配比不同的方法, 研究发现, 马铃薯微型薯疮痂病感病率最低的配比为糖醛渣与原网棚内的土比例为1:1; 全为原棚内的土感病率最高。含有糖醛渣的基质发病率低, 降低染病的薯块数量, 同时也降低了薯块的染病程度。当糖醛渣pH为4~5时抑制了疮痂病的发生, 提高了健康薯率。白晓东等^[56]在微型薯疮痂病防治方面发现蛭石:火山石:火炉渣:草木灰:糖醛渣的比例为1:1:1:1:1的配比情况下对预防微型薯疮痂病的发生效果较好。为防治病原菌, 最好每种一茬更换一次基质, 对马铃薯的产量和品质都是一种保障。

微生物有机肥是一种新型肥料, 其中含有多种有益的拮抗微生物, 对作物连作障碍有缓解的功效, 将有机肥与化肥的优点集于一身。施用微生物有机肥对疮痂病起到一定防效, 研究者在这方面做了相关的研究。靳海波等^[57]研究表明, 施

表1 国外马铃薯抗疮痂病品种及特点

Table 1 Foreign potato variety common scab resistance and characteristic

作者 Author	品种 Variety	特点 Characteristic
Edmundson 等 ^[49]	Navajo、Blanca	
Rogers ^[50]	Kascad	较抗疮痂病,同时抗卷叶病毒病、
Mills ^[51]	Navajo	茎基腐和黄萎病
Q'Keefe 和 Werner ^[52]	Hi-Plains、Platte	
Conroy 和 Jessup ^[53]	Emilia、Alcakonchita	抗疮痂病

用有机肥GSJ-1后疮痂病病情指数较连作马铃薯疮痂病病情指数下降至19.3%，对疮痂病的防治达到45.3%，说明微生物有机肥能够有效减轻由于马铃薯连作导致的疮痂病的发生。时新瑞等^[58]研究表明，配方CJ-1对马铃薯疮痂病防治效果显著高于配方CJ-2，并且利用甲托加百菌清和石膏粉进行播前拌种对马铃薯疮痂病防治效果显著。

杨忠和任月梅^[37]的研究表明浇水次数对马铃薯微型薯疮痂病的发生有显著影响，在山西大同地区浇水次数间隔4d为最适天数，疮痂病病情指数显著降低，生产数量又多。

5.2 植物生长调节剂防治

植物生长调节剂也是现在常用的防治疮痂病的方法，通过植物生长调节剂对马铃薯植株本身进行抗性诱导，来提高马铃薯植株的抗病性。众多研究者在植物生长调节剂防治疮痂病方面做了大量的研究。

周芳等^[59]研究表明，喷施2,4-D对马铃薯疮痂病有一定的防治作用，但要浓度适宜，2,4-D对植物生长有一定的抑制作用。当喷施浓度为6.25 mg/L时，对植株抗疮痂病效果最好，产量最高，从而可以得到，喷施适宜浓度的2,4-D不会对马铃薯造成药害，还可以防治马铃薯疮痂病，提高产量。汤晓莉等^[39]研究表明，利用外源水杨酸(Salicylic acid, SA)降低叶片中超氧自由基和丙二醛(MDA)的含量也可提高马铃薯抗疮痂病的能力。诱抗剂BTH(Benzothiodiazole)可以诱导与防卫有关的基因表达，植物的抗病防御反应被激活，从而提高植物的抗病性。龚秀会等^[60]研究表明，BTH的浓度在1.00 mmol/L时对疮痂病的防治效果最好。

5.3 化学防治

药剂防治是马铃薯疮痂病防治的主要措施，但对周围环境会造成一定破坏。播种前将种薯用40%福尔马林200倍液浸种2h后晾干再切成块播种。可选用72%农用链霉素可溶性粉剂5000倍液、新植霉素(100万单位)5000倍液、45%代森铵水剂900倍液、47%春雷·王铜可湿性粉剂600倍液、77%氢氧化铜可湿性粉剂600倍液等喷雾，每隔7~10d喷1次，连喷2~3次^[61]。

由于化学防治见效快，在生产中施用最为普遍，众多研究者在这方面做了大量的研究。卞春松等^[62]利用必速灭颗粒剂对马铃薯疮痂病的防治进行了研究，结果表明必速灭对微型薯疮痂病有较好的防治效果，感病率能够下降至少20%；张露等^[63]发现对播种垄沟中薯块喷施1000倍液氟啶胺药剂可以对疮痂病产生非常好的防治效果，发病等级达到0级，但是降低了块茎产量和品质。郭海英等^[64]采用药剂浸种方法对马铃薯种薯防治效果进行了研究，发现1%对苯二酚组合对马铃薯进行浸种处理，对马铃薯种薯防治效果和出苗情况都很有益。苏军^[65]研究表明50%春雷霉素·王铜可湿性粉剂在马铃薯疮痂病防治应用中是安全的，防治效果好，增产率高。

施用石灰等碱性肥料，容易导致土壤盐碱化，微碱性土壤能够加重疮痂病的发生。在pH为5.2以下的土壤环境中马铃薯很少发病，但在强酸性的环境中，会降低植株的长势和结薯数量。杨鑫等^[66]研究表明，300倍的醋酸稀释液(pH≈4.48)对马铃薯疮痂病的防治效果最好，稀释倍数越高，防治效果越不理想，这与疮痂病致病链霉菌喜碱性有一定的关系，降低土壤的pH值从而抑制了疮痂病菌株的繁育。

此外，一部分研究者也进行了生物防治研究，刘大群等^[67]、Kobayashi等^[68]在生物防治方面进行了研究，发现拮抗链霉菌对疮痂病菌有很好的防治效果；Meng等^[69]发现解淀粉芽孢杆菌BAC03可以有效防治疮痂病；高同国等^[70]研究发现解淀粉芽孢杆菌对马铃薯疮痂病有明显的拮抗作用，为在防治马铃薯疮痂病生物方面的研究奠定了基础。在农业生态系统中，生物防治对植物的微生物环境起到一定的调节，安全持效，但目前生物防治的效果并不是很理想，暂时只能作为一种辅助控制措施。

6 存在问题与发展前景

马铃薯疮痂病目前是世界都比较关注的问题，受多方面因素的影响，其危害马铃薯块茎表面，对马铃薯生产有严重影响。国外在马铃薯疮痂病抗病品种方面的研究比较深入。虽然目前国

内对马铃薯疮痂病的病原菌致病机制方面研究较深入,但在抗病品种鉴定与评价方面研究很少。以后在马铃薯抗疮痂病育种方面,抗病种质资源筛选鉴定与优异抗源材料聚合的研究要尽快展开;研究苗期快速鉴定疮痂病的方法,以尽快选择抗疮痂病的品种,及早对感疮痂病的马铃薯品种采取防治措施;努力探索抗性基因,通过马铃薯疮痂病菌与抗性基因间的互作特点,对马铃薯抗疮痂病品种进行抗性评价;对抗源基因进行合理应用,为以后培育抗疮痂病的马铃薯品种在亲本选配和杂交后代筛选工作中奠定基础。

[参 考 文 献]

- [1] Loria R, Bukhalid R A, Fry B A, *et al.* Plant pathogenicity in the genus *Streptomyces* [J]. *Plant Disease*, 1997, 81: 836-846.
- [2] Lambert D H, Loria R. *Streptomyces scabies* sp. nov., nom. rev. [J]. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1989, 39: 387-392.
- [3] Lamber D H, Loria R. *Streptomyces acidiscabies* sp. nov. [J]. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1989, 39: 393-396.
- [4] 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.
- [5] 张萌, 刘伯, 于秀梅, 等. 中国马铃薯疮痂病菌生物学特性分析 [J]. *中国农业科学*, 2010, 43(12): 2603-2610.
- [6] 张海颖, 郭凤柳, 许华民, 等. 河北省张北地区马铃薯疮痂病的病菌鉴定 [J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(10): 131-134.
- [7] 赵伟全, 杨文香, 李亚宁, 等. 中国马铃薯疮痂病菌的鉴定 [J]. *中国农业科学*, 2006, 39(2): 313-318.
- [8] 赵伟全, 杨文香, 刘大群, 等. 中国马铃薯疮痂病研究初报 [J]. *河北农业大学学报*, 2004, 27(6): 74-77, 92.
- [9] 康蓉. 甘肃马铃薯疮痂病原鉴定及药剂防治 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.
- [10] 王炳森, 王丽, 陈惠兰. 山东省马铃薯病害调查 [J]. *中国马铃薯*, 2017, 31(2): 104-112.
- [11] 杜魏甫. 云南省马铃薯疮痂病菌鉴定及品种资源抗性评价 [D]. 昆明: 云南农业大学, 2016.
- [12] 杜魏甫, 巩晨, 张红骥, 等. 云南省马铃薯疮痂病菌的组成研究 [C]//中国植物病理学会. 中国植物病理学会2016年学术年会论文集, 2016.
- [13] 王丹, 姚晓东, 李新风, 等. 山西晋城马铃薯疮痂病原的鉴定 [J]. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2015(5): 495-498.
- [14] 杜鹃, 任娟, 赵思峰, 等. 新疆马铃薯疮痂病原的鉴定 [J]. *石子大学学报: 自然科学版*, 2010, 28(4): 414-417.
- [15] 李拴曹, 李存玲. 马铃薯疮痂病的发生与防治 [J]. *陕西农业科学*, 2016(1): 76-77.
- [16] 张建平, 尹玉和, 闫任沛, 等. 内蒙古马铃薯疮痂病发生与防治途径 [J]. *中国马铃薯*, 2013, 27(1): 56-59.
- [17] 邢莹莹. 黑龙江省部分地区马铃薯疮痂病原鉴定及主栽品种的抗性评价 [D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2015.
- [18] 姜忠烈, 李玉明, 黄金亮. 吉林省马铃薯疮痂病防治措施 [J]. *吉林蔬菜*, 2015(10): 16.
- [19] Millard W A, Burr S. A study of twenty-four strains of *Actinomyces* and their relation to types of common scab of potato [J]. *Annals of Applied Biology*, 1926, 13: 580-644.
- [20] Emilsson B, Gustafsson N. Scab resistance in potato varieties [J]. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 1953, 3: 33-52.
- [21] Healy F G. Deoxyribonucleic acid homologies among *streptomyces* spp. causing potato scab [D]. Maine: University of Maine, 1991.
- [22] Thaxter R. Potato scab [J]. *Connecticut Agricultural Experiment Station Report*, 1892, 1891: 153-160.
- [23] Gussow H T. The systematic position of the organism of the common potato scab [J]. *Science*, 1914, 39: 431-432.
- [24] Waksman S A, Henrici A T, Breed R S, *et al.* Family III . *Streptomycetaceae* Waksman and Henrici [J]. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, 1948, 6: 929-977.
- [25] Miyajima K, Tanaka F, Takeuchi T, *et al.* *Streptomyces turgidiscabies* sp. nov. [J]. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 1998, 48: 496-502.
- [26] Faucher E, Savard T, Beaulieu C. Characterization of *actinomycetes* isolated from common scab lesions on potato tubers [J]. *Canada Journal of Plant Pathology*, 1992, 14: 197-202.
- [27] 刘伯. 马铃薯疮痂病新致病种的鉴定及其毒素合成基因分析 [D]. 保定: 河北农业大学, 2010.
- [28] 赵伟全. 中国马铃薯疮痂病菌的鉴定及其致病相关基因 *nec1* 的克隆和表达 [D]. 保定: 河北农业大学, 2005.
- [29] 康蓉, 王生荣. 甘肃马铃薯疮痂病原初步鉴定 [J]. *植物保护*, 2013(3): 78-82.
- [30] Loria R, Bukhalid R A, Creath R A, *et al.* Differential production of thaxtomins by pathogenic *Streptomyces* species *in vitro* [J]. *Phytopathology*, 1995, 85: 537-541.

- [31] Leiner R H, Fry B A, Carling D E, *et al.* Probable involvement of thaxtomins A in pathogenicity of *Streptomyces scabies* on seedlings [J]. *Phytopathology*, 1996, 86: 709–713.
- [32] Lawrence C H, Clark M C, King R R. Induction of common scab symptoms in aseptically cultured potato tubers by the vivotoxin, thaxtomin [J]. *Phytopathology*, 1990, 80: 606–608.
- [33] 信净净, 于秀梅, 赵伟全, 等. 马铃薯疮痂病新致病种 *Streptomyces galilaeus* 致病毒素组分分析 [J]. *中国农业科学*, 2010, 18: 3742–3749.
- [34] Paradis E, Goyer C, Hodge N C, *et al.* Fatty acid and protein profiles of *Streptomyces scabies* strains isolated in eastern Canada [J]. *International Journal Systematic Bacteriology*, 1994, 44: 561–564.
- [35] Jan F K, Sini S, Lars P, *et al.* Phylogenetic analysis of 16S rRNA genes and PCR analysis of the *necl* gene from *Streptomyces* spp. causing common scab, pitted scab, and netted scab in Finland [J]. *Phytopathology*, 1999, 89(6): 462–469.
- [36] Song J, Lee S C, Kang J W, *et al.* Phylogenetic analysis of *Streptomyces* spp. isolated from potato scab lesions in Korea on the basis of 16S rRNA gene and 16S–23S rDNA internally transcribed spacer sequences [J]. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2004, 54: 203–209.
- [37] 杨忠, 任月梅. 浇水次数对马铃薯微型薯疮痂病发病影响 [J]. *中国马铃薯*, 2003, 17(4): 242–244.
- [38] 奚启新, 杜凤英, 王凤山, 等. 调节土壤pH值和药剂防治马铃薯疮痂病 [J]. *马铃薯杂志*, 2000, 14(1): 57–58.
- [39] 汤晓莉, 薛红芬, 邓国宾, 等. 水杨酸诱导马铃薯疮痂病抗性的生理机制研究 [J]. *西南农业学报*, 2010, 23(6): 1851–1854.
- [40] 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.
- [41] 张建平, 哈斯, 林团荣, 等. 不同杀菌剂对马铃薯疮痂病的防效试验 [J]. *中国马铃薯*, 2013, 27(2): 83–86.
- [42] 魏琪, 闵凡祥, 张抒, 等. 采用DNA条形码技术检测马铃薯4种细菌病害 [J]. *中国马铃薯*, 2016, 30(2): 105–111.
- [43] Goyer C, Charest P M, Toussaint V, *et al.* Ultrastructural effects of thaxtomin A produced by *Streptomyces scabies* on mature potato tuber tissues [J]. *Canadian Journal of Botany*, 2000, 78(3): 374–380.
- [44] Bukhalid R A, Chung S Y, Loria R. *necl*, a gene conferring a necrogenic phenotype, is conserved in plant-pathogenic *Streptomyces* spp., and linked to a transposase pseudogene [J]. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 1998, 11: 960–967.
- [45] 信净净. 马铃薯疮痂病新致病种 *Streptomyces galilaeus* 致病毒素组分分析 [D]. 保定: 河北农业大学, 2010.
- [46] Schottel J L, Hale V, Babcock M J. Regulation and secretion of an extracellular esterase from *Streptomyces scabies* [J]. *Gene*, 1992, 115(1–2): 27–31.
- [47] Wanner L A, Haynes K G. Aggressiveness of *Streptomyces* on four potato cultivars and implications for common scab resistance breeding [J]. *American Journal Potato Research*, 2009, 86: 335–346.
- [48] Haynes K G, Goth R W, Young R J. Genotype × environment interactions for resistance to common scab in tetraploid potato [J]. *Crop Science*, 1997, 37: 1163–1167.
- [49] Edmundson W C, Mclean J G, Frutchey C W, *et al.* Navajo and Blanca: Two new potato varieties resistant to scab and adapted to Colorado [J]. *American Potato Journal*, 1961, 38(7): 236–239.
- [50] Rogers P F. Organic manuring for potato scab control and its relation to soil manganese [J]. *Annals of Applied Biology*, 1969, 63(63): 371–378.
- [51] Mills W R. Pennchip, a new potato variety resistant to late blight and scab with superior chipping quality [J]. *American Potato Journal*, 1964, 41(2): 54–58.
- [52] O'Keefe R B, Werner H O. Platte and Hi-Plains, two new scab resistant processing potato varieties [J]. *American Potato Journal*, 1965, 42(42): 361–368.
- [53] Conroy R, Jessup R. Varieties of *Solanum tuberosum*, subsp. *andigena*, as a source of resistance to common scab [J]. *Animal Production Science*, 1962, 2(7): 242–243.
- [54] 龙国, 张绍荣, 曹曦, 等. 基质消毒对脱毒马铃薯原种生产中疮痂病的防效 [J]. *贵州农业科学*, 2010(11): 137–139.
- [55] 赵萍, 岳新丽, 康胜. 采用不同基质防治马铃薯微型薯疮痂病的试验 [J]. *中国马铃薯*, 2012, 26(1): 43–45.
- [56] 白晓东, 杜珍, 范向斌, 等. 基质对马铃薯疮痂病抑制效果研究初报 [J]. *中国马铃薯*, 2002, 16(6): 332–334.
- [57] 靳海波, 王文丽, 邱慧珍, 等. 生物有机肥GSJ-1对马铃薯土壤疮痂病原菌分布影响及生防效果研究 [J]. *干旱地区农业研究*, 2015(2): 165–169.
- [58] 时新瑞, 范书华, 邵广忠, 等. 利用新型土壤颗粒剂防控马铃薯疮痂病 [J]. *中国马铃薯*, 2015, 29(6): 362–364.
- [59] 周芳, 贾景丽, 刘兆财, 等. 不同浓度2,4-D对马铃薯疮痂病的防治效果 [C]//屈冬玉, 陈伊里. 马铃薯产业与中国式主食. 哈尔

- 滨: 哈尔滨地图出版社, 2016.
- [60] 龚秀会, 缪福俊, 李彪, 等. 诱抗剂BTH对马铃薯疮痂病抗性诱导的研究 [J]. 云南农业科技, 2013(1): 4-6.
- [61] 全国农业技术推广服务中心. 中国植保手册. 马铃薯病虫害防治分册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [62] 卞春松, 金黎平, 谢开云, 等. 必速灭防治马铃薯疮痂病效果试验 [J]. 中国马铃薯, 2004, 18(4): 211-213.
- [63] 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.
- [64] 郭海英, 张希平, 刘秉琦, 等. 药剂浸种处理防治马铃薯疮痂病效果初报 [C]//屈冬玉, 陈伊里. 马铃薯产业与中国式主食. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2016.
- [65] 苏军. 50%春雷霉素·王铜可湿性粉剂防治马铃薯疮痂病试验研究 [J]. 农业开发与装备, 2016(10): 96-97.
- [66] 杨鑫, 李丽淑, 何虎翼, 等. 不同浓度醋酸稀释液对马铃薯疮痂病的防治研究初报 [C]//屈冬玉, 陈伊里. 马铃薯产业与中国式主食. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2016.
- [67] 刘大群, Anderson N A, Kinkel L L. 拮抗链霉菌防治马铃薯疮痂病的大田试验研究(英文) [J]. 植物病理学报, 2000, 30(3): 237-244.
- [68] Kobayashi Y O, Kobayashi A, Maeda M, et al. Isolation of antagonistic *Streptomyces* sp. against a potato scab pathogen from a field cultivated with wild oat [J]. Journal of General Plant Pathology, 2012, 78(1): 62-72.
- [69] Meng Q, Hanson L E, Douches D, et al. Managing scab diseases of potato and radish caused by *Streptomyces* spp. using *Bacillus amyloliquefaciens* BAC03 and other biomaterials [J]. Biological Control, 2013, 67(3): 373-379.
- [70] 高同国, 姜军坡, 郭晓军, 等. 马铃薯疮痂病高效拮抗菌的筛选及鉴定 [J]. 江苏农业科学, 2016(12): 157-159.

2017年优秀论文评选结果

为鼓励大家热爱马铃薯研究, 积极投稿《中国马铃薯》杂志或《中国马铃薯大会》论文集, 《中国马铃薯》杂志编辑部受中国作物学会马铃薯专业委员会的委托, 组织有关专家进行了优秀论文的评选活动。评选对象是年轻人(这里指的是具有中级职称或以下的科研人员以及研究生)。评选范围是2017年发表在《中国马铃薯》杂志和《马铃薯产业与精准扶贫》一书中的研究性论文(这里不包括综述, 生产技术和品种介绍)。评选专家由5人组成。经编辑部提出候选人名单(差额), 通讯评选, 根据得票多少, 最终评出优秀论文12篇, 其中一等奖2篇, 二等奖4篇, 三等奖6篇。排名不分先后。

一等奖:

- (1) 马铃薯 *StCOL* 基因启动子的克隆及序列分析—郭建林等
- (2) 不同遮阴处理对马铃薯产量和干物质含量的影响—李彩斌等

二等奖:

- (1) 马铃薯贮藏期间呼吸强度与营养品质的变化—田甲春等
- (2) 山东省马铃薯病害调查—王炳森等
- (3) 海拔高度对马铃薯地方品种形态结构及解剖结构的影响—王文祥等
- (4) 带根苗与顶端扦插苗对马铃薯雾培原种生产的影响—汪翠存等

三等奖:

- (1) 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—刘智慧等
- (2) 马铃薯黑痣病生防菌的筛选鉴定及生长条件研究—马龙等
- (3) 五种植物生长调节剂及硼酸对马铃薯微型薯生产及休眠期的影响—寇爽等
- (4) 马铃薯品种‘荷兰15号’主茎密度与植株性状及块茎产量的关系—雷雪萍等
- (5) 马铃薯饮料加工工艺的优化—刘振宇等
- (6) 河北省马铃薯早疫病和晚疫病农药减施防控技术研究—赵强等

为表彰他们在马铃薯研究中所做出的贡献, 中国作物学会马铃薯专业委员会决定奖励一等奖获得者3000元, 二等奖获得者2000元, 三等奖获得者1000元, 并颁发证书, 以资鼓励。

中国作物学会马铃薯专业委员会