

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2018)05-0308-07

综 述

马铃薯疮痂病菌(*Streptomyces* spp.)的鉴定

张建平^{1*}, 刘佳², 哈斯¹, 尹玉和², 林团荣², 胡冰², 张笑宇³

(1. 内蒙古农牧业科学院植物保护研究所, 内蒙古 呼和浩特 010031; 2. 乌兰察布市农牧业科学院, 内蒙古 集宁 012000;

3. 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘 要: 由马铃薯疮痂链霉菌(*Streptomyces* spp.)引致的马铃薯疮痂病是土传兼种传病害, 广泛分布世界许多国家, 近些年中国发生越来越重。概述了马铃薯疮痂病原菌有关情况, 较详尽地介绍了国内外疮痂链霉菌种的鉴定研究, 并提出样本采集要覆盖所有研究的马铃薯种植区域的建议, 以期今后的研究提供参考。

关键词: 马铃薯; 疮痂链霉菌; 种; 鉴定

Identification of *Streptomyces* spp. Causing Common Scab

ZHANG Jianping^{1*}, LIU Jia², HA Si¹, YIN Yuhe², LIN Tuanrong², HU Bing², ZHANG Xiaoyu³

(1. Plant Protection Institute, Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot, Inner Mongolia 010031, China;

2. Wulanchabu Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Jining, Inner Mongolia 012000, China;

3. Agronomy College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China)

Abstract: Potato scab caused by *Streptomyces* spp. is a soil-borne and seed-borne disease, which is widely distributed in many countries of the world. In recent years, it becomes more and more serious in China. The research on species identification was summarized. The species identification of *Streptomyces* spp. at home and abroad was introduced in details. The suggestion that sample collection should cover all studied potato planting regions was given. All of those are to provide references for the future research.

Key Words: potato; *Streptomyces* spp.; species; identification

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)分布在158个国家和地区, 为世界上四大粮食作物之一, 目前种植面积约1 920万hm²。目前, 中国马铃薯种植面积约564.5万hm², 是世界第一生产大国^[1]。由疮痂链霉菌(*Streptomyces* spp.)引致的马铃薯疮痂病为世界性病害, 被视为马铃薯的第四大病害^[2]。近年来, 马铃薯疮痂病在中国马铃薯产区逐年加重, 特别是种薯田发生更严重^[3]。马铃薯疮痂病由不同的疮痂链

霉菌种引致, 不同种的发病条件有差异^[4], 鉴定明确疮痂链霉菌种是马铃薯疮痂病防治研究的基础。

1 马铃薯疮痂病原菌

马铃薯疮痂病原菌为放线菌目(Actinomycetales)链霉菌科(Streptomycetaceae)链霉菌属(*Streptomyces*)的一些种, 称马铃薯疮痂链霉菌^[5], 是世界上最早描述和鉴定的一个马铃薯疮

收稿日期: 2018-03-30

基金项目: 国家自然科学基金(31460457)。

作者简介: 张建平(1959-), 男, 研究员, 从事马铃薯病害科研工作。

*通信作者(Corresponding author): 张建平, E-mail: jp_zhang_der@sina.com。

痂病病原菌种。

放线菌为形成分支丝状体的革兰氏阳性细菌, 早先的分类系统将其分类为原核生物^[5]。放线菌为单细胞结构, 又无定形的细胞核故与细菌性状相似, 但菌丝体的结构和利用分生孢子繁殖又接近于真菌。因此, 将放线菌看作是细菌和真菌间的过渡类群, 近代植物分类将放线菌分在植物界细菌门^[6]。目前, 世界上描述的放线菌目已有6个科、30多个属^[3]。

链霉菌属为放线菌目中的一个属, 好气腐生, 包括约800个种^[3]。依据形态特征和培养形态主要划分为14个类群, 疮痂病链霉菌归属第七类群, 即烬灰类群。由于链霉菌能产生医用抗菌素, 如金霉素、氯霉素、新霉素、链霉素等, 因此医学上人们给予了更多研究^[3]。能引起植物病害的并不多, 其中链霉菌属(*Streptomyces*)的一些种和近似的甘薯链霉菌(*S. ipomoea*)可以引起植物病害^[7]。20世纪90年代以前, 国外主要报道的马铃薯疮痂链霉菌种是*S. scabies*、*S. acidiscabies*和*S. turgidiscabies*^[4]。

早期链霉菌属种的鉴定主要根据形态和培养特征上的一些微小差异来建立新种, 因为没有统一的标准, 容易导致混乱。1964年由国际微生物学会进行了统一链霉菌菌株和鉴定方法的工作, 为此后的鉴定确定了模式菌株和统一标准^[8], 也为第8版《伯杰细菌鉴定手册》提供了大量数据^[9]。

20世纪80年代中期以前, 链霉菌种的鉴定主要以形态、培养特征、生理生化以及对马铃薯的致病性来进行。形态特征如孢子丝的形状和排列方式、孢子表面结构、单个菌落形态, 气生菌丝体、孢子堆颜色、基内菌丝体颜色和可溶性色素的有无。生理生化特性如在复杂蛋白质培养基内是否产生黑色素、对于各种碳源的利用, 蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶活性和是否产生硫化氢。另外, 还应说明链霉菌的生态条件、如从什么环境里分离出来, 腐生还是寄生, 对于湿度和酸碱度的要求。如果是抗生素筛选, 还应当描述其对微生物的拮抗性^[3,4]。

马铃薯疮痂病链霉菌所在的烬灰类群的主要特征是气丝灰色, 基丝基本无色, 孢子丝直、波

曲或螺旋形, 孢子圆、椭圆、柱形, 孢子表面带疣、刺、毛等^[3]。

20世纪80年代中期以后, 链霉菌的鉴定方法除了上述特征外, 也借助于现代分子生物学的方法, 如16S rRNA序列测定、脂肪酸、蛋白表达特征、DNA的G+C的mol百分含量、DNA的同源性和DNA-RNA杂交等, 特别是16S rRNA序列测定由于其准确性和可靠性, 使分类、鉴定和亲缘关系的研究获得了很好的结果^[4,10]。

2 国外马铃薯疮痂病病原菌鉴定

世界上首次报道马铃薯疮痂病菌是Thaxter^[11], 1892年他在美国康涅狄格州农业试验站的报告中对马铃薯疮痂病原菌进行了描述, 并将其命名为*Oospora scabies*。在随后的研究中Gussow^[12]确定该菌不是真菌, 而是一种放线细菌, 并将该菌名改为*Actinomyces scabies*。随着1843年好气腐生菌链霉菌属的建立, 疮痂病菌归属为链霉菌属, 故Reynolds等^[13]将其更名为*Streptomyces scabies*。*S. scabies*是最早被发现并广泛分布的一个种, 其主要特征是孢子灰色、光滑, 孢子链螺旋弯曲, 产生黑色素, 在高于pH 5.0条件下生长。中国科学院微生物所放线菌分类组在《链霉菌鉴定手册》中提到, 1926年Millard和Burr从马铃薯疮痂病斑上分离和描述了肉色链霉菌*S. carnosus*、纤细链霉菌*S. gracilis*、镶边链霉菌*S. fimbriatus*和威德摩尔链霉菌*S. wedmorensis*4个种^[3]。1953年在美国的缅因州首次报道了一种在pH < 4.5的土壤中引起马铃薯疮痂病的菌株, 此后1968年Bonde和McIntyre^[14]、1977年Manzer等^[15]以及1989年Lambert和Loria^[16]的工作成功的分离到一种在pH < 4.5的土壤中引起马铃薯疮痂病的菌株并明确了其基本特征, 孢子为白色或者为橙红色, 孢子链呈直-柔曲状, 不能产生黑色素但可以产生可溶性色素, 不能利用棉子糖作为碳源等, 并且产生的症状与*S. scabies*产生的症状不容易区分开, 由此鉴定为*Streptomyces acidiscabies*, 也称为酸性疮痂。1981年Archuleta和Easton^[17]从采自美国俄勒冈州一些县的马铃薯凹陷疮痂病斑分离获得了*S. atroolivaceus*, *S. cinerochromogenes*, *S. corchorusii*, *S. diastatochromogenes*, *S. lydicus*,

S. malachiticus 和 3 个未鉴定的种。1992 年 Christiane 等^[18]鉴定了以色列的菌株, 结果为 *S. violaceus*、*S. gnseus*、*S. exfoliatus* 和 *S. rochei* 4 个种。1993 和 1995 年 Faucher 等^[19,20]对采自加拿大魁北克省马铃薯块茎凹陷病斑的菌株鉴定为 *S. aureofaciens*、*S. albidoflavus*、*S. scabies* 和 *S. acidiscabiei*。1995 年 Lorang 等^[21]将来自美国明尼苏达州的菌株鉴定为 *S. scabies*、*S. albogriseolus* 和 *S. disstatochromogenes*。1996 年 Goyer 等^[22]在加拿大从马铃薯凹陷疮痂病斑分离到一株致病的链霉菌株, 鉴定为 *S. caviscabies*, 该菌株与 *S. scabies* 和 *S. acidiscabiei* 在形态、生理上有明显不同。1998 年 Miyajima 等^[23]通过形态特征和 16S rDNA 序列分析鉴定了日本北海道菌株, 其结果为一个新的种 *S. turgidiscabiei*, 该新种明显有别于其他链霉菌的种。

上述 *S. scabies*、*S. acidiscabiei* 和 *S. turgidiscabiei* 是国外 20 世纪 90 年代中期以前报道的主要种。除此之外, 自 20 世纪 90 年代中期以来许多国家的学者结合形态、生理生化、分子生物学方法对马铃薯疮痂病菌种的鉴定进行了大量研究, 鉴定出了许多新的种^[24-49], 如美国、日本、芬兰、英国、挪威、法国、德国、韩国、瑞士、荷兰、南非、西班牙、阿根廷、埃及等鉴定出了 *S. europaeiscabiei*, *S. stelliscabiei*, *S. reticuliscabiei*,

S. luridiscabiei, *S. puniscabiei* 等。由于国外这方面的研究很多, 这里就不一一叙述, 现将 20 世纪 90 年代中期以来鉴定的马铃薯疮痂病原菌主要种归纳列入表 1。随着越来越多的种的鉴定, 一方面表明了马铃薯疮痂病原菌种的多样性, 同时也给种的鉴定提出了更多的挑战。

3 国内马铃薯疮痂病原菌鉴定

中国对马铃薯疮痂病的报道最早见于 1999 年^[50], 有关马铃薯疮痂病菌鉴定始见于 2004 年^[51]。赵伟全等^[52]对采自中国 10 个省(区)马铃薯疮痂病菌菌株的生物学特性和 16S rDNA 序列进行了鉴定, 发现至少有 3 个种, 分别为 *S. scabies*、*S. acidiscabiei* 和一个未确定的种, 结果也显示来自黑龙江和四川的菌株主要是 *S. scabies*, 来自山东的菌株主要是 *S. acidiscabiei*, 来自河北、山西、内蒙古的菌株主要是一个新发现的种。2009 年张萌等^[53]利用 16S rDNA 序列对来自中国 8 个省(区)的 34 株马铃薯疮痂病菌和 15 株参比菌株进行系统发育研究, 发现中国的马铃薯疮痂病菌有 *S. scabies*、*S. galilaeus*、*S. bobili*、*S. turgidiscabiei*、*S. acidiscabiei*、*S. setonii*、*S. diastatochromogenes*、*S. enissocaesilis*, 其中 *S. galilaeus*、*S. bobili*、*S. enissocaesilis* 为新种。2010 年张萌等^[54]基于河北、内蒙古、四川、山东、陕西、山西、

表 1 国外已报道的马铃薯疮痂病菌种类

Table 1 Reported species of *Streptomyces* causing potato scab from abroad

种 Species	报道国家 Nation reported	参考文献 Reference
<i>S. scabies</i>	芬兰、日本、韩国、北美、南非	[24-29]
<i>S. europaeiscabiei</i>	法国、韩国、北美、挪威、荷兰、英国、法国、德国、西班牙	[29,30-33]
<i>S. turgidiscabiei</i>	芬兰、日本、韩国、北美、挪威、瑞士、英国、阿根廷	[23,29,33-37,48]
<i>S. acidiscabiei</i>	日本、韩国、北美、英国、阿根廷	[28,31,37-39,48]
<i>S. stelliscabiei</i>	法国、北美、美国、南非	[30,40,47,49]
<i>S. reticuliscabiei</i>	法国	[30,41,42]
<i>S. luridiscabiei</i>	韩国	[43]
<i>S. puniscabiei</i>	韩国	[43]
<i>S. niveiscabiei</i>	韩国	[43]
<i>S. sp. IdahoX</i>	北美	[44]
<i>S. sp. DS3024</i>	北美	[45]
<i>S. alkaliscabiei</i>	埃及	[46]

黑龙江、甘肃的30株马铃薯疮痂病菌的生物学特性测试指标的聚类分析,发现病原菌主要由*S. scabies*、*S. galilaeus*、*S. bobili*等组成,与前期结果比较后发现,二者有一定差异,说明这些种仍然需要进一步鉴定明确。2008年杜娟等^[55]对来自新疆伊犁地区具有疮痂症状的薯块进行了病原菌鉴定。经形态特征、培养特性、生理生化的测定和16S rDNA序列分析,结果为*S. acidiscabies*和*S. scabies*,其中*S. acidiscabies*是优势种。2013年康蓉和王生荣^[56]对2011~2012年采自甘肃武威市古浪县,白银市靖远县等病害严重发生地区马铃薯疮痂病原菌进行了分离鉴定。采用盆栽方法进行致病性测定、形态特征、生理生化特性测定和16S rDNA序列分析。结果确认引起甘肃马铃薯疮痂病的病原菌有*S. scabies*和*S. griseus*,其中*S. scabies*为优势种。2014年张海颖等^[57]为确定河北省张北地区马铃薯疮痂病的病原,从该地区疮痂病薯病斑上分离并经温室盆栽接种,确定了6株病原菌菌株,结合菌株生物学特性和16S rDNA序列特征进行鉴定,结果表明该地区的疮痂病原菌比较复杂,但至少要有*S. scabies*、*S. europaeiscabiei*和*S. diastatochromogenes* 3个种。2015年王丹等^[58]

为明确山西晋城马铃薯疮痂病原菌种类,对其菌株进行了致病性、形态学、生理生化特性和16S rDNA序列测定,结果鉴定为*S. scabies*。2016年邢莹莹等^[59]对2012~2013年从黑龙江省克山县、绥化市、哈尔滨市、杜尔伯特蒙古族自治县采集具有疮痂病斑的马铃薯块茎分离纯化病原菌,对其进行16S rRNA和致病性鉴定,共分离出74株菌株,鉴定出致病性菌株26株,其中*S. scabies*或*S. europaeiscabiei* 21株,*S. turgidiscabies* 3株和*S. acidiscabies* 2株。2016年杜魏甫^[60]对云南昆明、曲靖、楚雄、普洱、临沧、红河等地多点采集具有典型疮痂病病斑的马铃薯,分离得到链霉菌143株,结合形态学和16S rDNA分子方法鉴定出7种链霉菌,分别是*S. anulatus*、*S. scabies*、*S. acidiscabies*、*S. griseus*、*S. europaeiscabiei*、*S. caviscabies*和*S. enissocaesilis*。其中,*S. anulatus*、*S. caviscabis*首次在国内发现。通过致病性鉴定发现,该7种病原菌均能引起不同程度的疮痂病症状。2017年杨梦平等^[61]通过形态、生理生化、致病性和16S rDNA序列分析,将从云南省13个马铃薯主产区采集分离到的67株致病菌鉴定为*S. caviscabies*, *S. anulatus*, *S. scabies*, *S. turgidiscabies*,

表2 国内已报道的马铃薯疮痂病菌种类

Table 2 Reported species of *Streptomyces* causing potato scab in China

种 Species	分布省份 Province distributed	参考文献 Reference
<i>S. scabies</i>	黑龙江、内蒙古、山东、四川、新疆、陕西、河北、山西、云南、湖北	[52-62]
<i>S. bobili</i>	山西、内蒙古、河北、黑龙江、四川、甘肃、山东	[53,54]
<i>S. galilaeus</i>	山西、内蒙古、四川、河北、黑龙江、甘肃、山东	[53,54]
<i>S. acidiscabies</i>	山东、新疆、黑龙江、云南、湖北	[52,53,55,59-62]
<i>S. setonii</i>	山东	[53,54]
<i>S. diastatochromogenes</i>	山东、陕西、山东、甘肃、河北	[53,54,57]
<i>S. turgidiscabies</i>	陕西、甘肃、黑龙江、云南、湖北	[53,54,59,61,62]
<i>S. enissocaesilis</i>	陕西、甘肃、云南	[53,54,60,61]
<i>S. griseus</i>	甘肃、云南	[56,60,61]
<i>S. europaeiscabiei</i>	河北、黑龙江、云南	[57,59-61]
<i>S. anulatus</i>	云南	[60,61]
<i>S. caviscabies</i>	云南	[60,61]
<i>S. luridiscabiei</i>	云南	[61]
<i>S. aureofaciens</i>	云南	[61]

S. acidiscabies, *S. europaeiscabiei*, *S. luridiscabiei*, *S. enissocaesilis*, *S. griseus* 和 *S. aureofaciens*。其中 *S. enissocaesilis* 和 *S. anulatus* 为优势种群, *S. caviscabies*, *S. anulatus* 和 *S. luridiscabiei* 为国内首次报道。2017 年王甄^[62]通过对病原菌的纯化分离和分子鉴定发现恩施地区马铃薯疮痂病菌的致病种类主要是 *S. scabies*, *S. acidiscabies*, *S. turgidiscabies* 3 个种, 其中危害面积比较广的是 *S. scabies*。为简明清晰将上述结果归纳于表 2。

上述国内马铃薯疮痂病原菌种的鉴定研究基本明确了所采集样本地区的疮痂病原菌种类, 同时也表明不同省份的疮痂病原菌种类有所不同, 说明其遗传存在着明显多样性, 也证实了马铃薯疮痂病原菌分布的地域性差异。因此, 需要明确当地马铃薯疮痂病原菌的种类、分布和优势种, 才能有针对性地进行防治研究。还应该注意的, 样本采集应覆盖所有马铃薯种植区域, 以便获得所研究区域所有马铃薯疮痂病的病原菌种类。

[参 考 文 献]

- [1] 秦军红, 李文娟, 卢肖平, 等. 世界马铃薯产业发展概况 [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: 7-14.
- [2] 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.
- [3] 中国科学院微生物所放线菌分类组. 链霉菌鉴定手册 [M]. 北京: 中国科学出版社, 1975: 2-199.
- [4] Hooker W J. Compendium of potato diseases [M]. USA: American Phytopathological Society, 1981: 14-15.
- [5] 方中达, 陆家云, 叶钟音, 等. 中国农业百科全书植物病理学卷 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 626-629.
- [6] 吴国芳, 冯志强, 马炜梁, 等. 植物学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1992: 1-74.
- [7] 方中达. 植病研究方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1979: 243.
- [8] Shirling E B, Gottlieb D. Methods for characterization of *Streptomyces* species [J]. International Journal of Systematic Bacteriology, 1966, 16: 313-340.
- [9] 中国科学院微生物研究所伯杰细菌鉴定手册翻译组. 伯杰细菌鉴定手册 [M]. 8 版. 北京: 科学出版社, 1984.
- [10] Paradis E, Goyer C, Hodge N C. Fatty acid and protein profiles of *Streptomyces scabies* strains isolated in eastern Canada [J]. International Journal Systematic Bacteriology, 1994, 44: 561-564.
- [11] Thaxter R. Potato scab [J]. Connecticut Agricultural Experiment Station Report, 1892: 153-160.
- [12] Gussow H T. The systematic position of the organism of the common potato scab [J]. Science, 1914, 39: 431-433.
- [13] Reynolds D M, Schatz A, Waksman S A. Grisein, a new antibiotic produced by a strain of *Streptomyces griseus* [J]. Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine Society for Experimental Biology and Medicine, 1947, 64(1): 50.
- [14] Bonde M R, McIntyre G A. Isolation and biology of a *Streptomyces* sp. causing potato scab in soils below pH 5 [J]. American Potato Journal, 1968, 45: 273-278.
- [15] Manzer F E, McIntyre G A, Merriam D C. A new potato scab problem in Maine [J]. Life Sciences and Agriculture Experiment Station, 1977, 85: 1-24.
- [16] Lambert D H, Loria R. *Streptomyces acidiscabies* sp. nov. [J]. International Journal of Systematic Bacteriology, 1989, 39: 393-396.
- [17] Archuleta J G, Easton G D. The cause of deep-pitted scab of potatoes [J]. American potato Journal, 1981, 58(8): 385-392.
- [18] Christiane D, Peter K, Shulamit M, et al. Diversity among *Streptomyces* strains causing potato scab [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1992, 58(12): 3932-3940.
- [19] Faucher E, Otrysko B, Paradis E, et al. Characterization of *streptomycetes* causing russet scab in Quebec [J]. Plant Disease, 1993, 77: 1217-1220.
- [20] Faucher E, Paradis E, Goyer C, et al. Characterization of *Streptomycetes* causing deep-pitted scab of potato in Québec, Canada [J]. International Journal of Systematic Bacteriology, 1995, 45(2): 222-225.
- [21] Lorang J M, Liu D, Anderson N A, et al. Identification of potato scab inducing and suppressive species of *Streptomyces* [J]. Phytopathology, 1995, 85: 261-268.
- [22] Goyer C, Faucher E, Beaulieu C. *Streptomyces caviscabies* sp. nov., from deep pitted lesions in potatoes in Quebec [J]. International Journal of Systematic Bacteriology, 1996, 46(3): 635-639.
- [23] Miyajima K, Tanaka F, Takeuchi T, et al. *Streptomyces turgidiscabies* sp. nov. [J]. International Journal of Systematic

- Bacteriology, 1998, 48: 495–502.
- [24] Lindholm P, Kortemaa H, Kukkola M, *et al.* *Streptomyces* spp. isolated from potato scab lesions under Nordic conditions in Finland [J]. Plant Disease, 1997, 81(11): 1317–1322.
- [25] Lambert D H, Loria R. *Streptomyces scabies* sp. nov., nom. rev. [J]. International Journal of Systematic Bacteriology, 1989, 39: 387–392.
- [26] Bukhalid R A, Takeuchi T, Labeda D, *et al.* Horizontal transfer of the plant virulence gene, *nec1*, and flanking sequences among genetically distinct *Streptomyces* strains in the diastatochromogenes cluster [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 68: 738–744.
- [27] Park D H, Yu Y M, Kim J S, *et al.* Characterization of *Streptomyces* causing potato common scab in Korea [J]. Plant Disease, 2003, 87: 1290–1296.
- [28] 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(6–8): 474–484.
- [29] Wanner L A, A patchwork of *Streptomyces* species isolated from potato common scab lesions in North America [J]. American Journal of Potato Research, 2009, 86: 247–264.
- [30] Bouček-Mechiche K, Gardan L, Normand P, *et al.* DNA relatedness among strains of *Streptomyces* pathogenic to potato in France: description of three new species, *S. europaeiscabiei* sp. nov., and *S. stelliscabiei* sp. nov. associated with common scab, and *S. reticuliscabiei* sp. nov. associated with netted scab [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2000, 50: 91–99.
- [31] 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.
- [32] Floresgonzález R, Velasco I, Montes F. Detection and characterization of *Streptomyces* causing potato common scab in Western Europe [J]. Plant Pathology, 2008, 57(1): 162–169.
- [33] Dees M W, Somervuo P, Lysoe E, *et al.* Species' identification and microarray-based comparative genome analysis of *Streptomyces* species isolated from potato scab lesions in Norway [J]. Molecular Plant Pathology, 2012, 13(2): 174–186.
- [34] Kim Y, Cho J, Park D, *et al.* Production of thaxtomin A by Korean isolates of *Streptomyces turgidiscabiei* and their involvement in pathogenicity [J]. Plant Pathology Journal, 1999, 15: 168–171.
- [35] Kreuze J F, Suomalainen S, Paulin L, *et al.* Phylogenetic analysis of 16S rRNA genes and PCR analysis of the *nec1* gene from *Streptomyces* spp. causing common scab, pitted scab, and netted scab in Finland [J]. Phytopathology, 1999, 89: 462–469.
- [36] Lehtonen M J, Rantala H, Kreuze J F, *et al.* Occurrence and survival of potato scab pathogens (*Streptomyces* species) on tuber lesions: quick diagnosis based on a PCR-based assay [J]. Plant Pathology, 2004, 53: 280–287.
- [37] Thwaites R, Wale S J, Nelson D, *et al.* *Streptomyces turgidiscabiei* and *S. acidiscabiei*: two new causal agents of common scab of potato (*Solanum tuberosum*) in the UK [J]. Plant Pathology, 2010, 59: 804.
- [38] Lambert D H, Loria R. *Streptomyces acidiscabiei* sp. Nov [J]. International Journal of Systematic Bacteriology, 1989, 39(4): 393–396.
- [39] Tóth L, Maeda M, Tanaka F, *et al.* Isolation and identification of pathogenic strains of *Streptomyces acidiscabiei* from netted scab lesions of potato tubers in Hokkaido (Japan) [J]. Acta Microbiol Immunol Hung, 2001, 48(3): 575–585.
- [40] 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.
- [41] Bouček-Mechiche K, Pasco C, Andrivon D, *et al.* Differences in host range, pathogenicity to potato cultivars and response to soil temperature among *Streptomyces* species causing common and netted scab in France [J]. Plant Pathology, 2000, 49: 3–10.
- [42] Pasco C, Jouan B, Andrivon D, *et al.* Resistance of potato genotypes to common and netted scab-causing species of *Streptomyces* [J]. Plant Pathology, 2005, 54(3): 383–392.
- [43] Park D H, Kim J S, Kwon S W, *et al.* *Streptomyces luridiscabiei* sp. nov., *Streptomyces puniscabiei* sp. nov. and *Streptomyces niveiscabiei* sp. nov., which cause potato common scab disease in Korea [J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2003, 53(6): 2049–2054.
- [44] Wanner L A. A new strain of *Streptomyces* causing common scab in potato [J]. Plant Disease, 2007, 91(4): 352–359.

- [45] Hao J J, Meng Q X, Yin J F, *et al.* Characterization of a new *Streptomyces* strain, DS3024, that causes potato common scab [J]. *Plant Disease*, 2009, 93(12): 1329–1334.
- [46] Abdel-Rahman T M A, Khalil M S. Identification and characterization of *Streptomyces alkaliscabies* sp. nov. [J]. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 2012, 10(3–4): 476–483.
- [47] Jiang H H, Meng Q X, Hanson L E, *et al.* First report of *Streptomyces stelliscabiei* causing potato common scab in Michigan [J]. *Plant Disease*, 2012, 96(6): 904.
- [48] 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(4): 277–281.
- [49] Jordaan E, Waals J E V D. *Streptomyces* species associated with common scab lesions of potatoes in South Africa [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2016, 144(3): 631–643.
- [50] 梁远发. 马铃薯疮痂病的防治 [J]. *四川农业科技*, 1999(5): 25.
- [51] 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): 74–92.
- [52] 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.
- [53] 张萌, 赵伟全, 于秀梅, 等. 中国马铃薯疮痂病原菌 16S rDNA 的遗传多样性分析 [J]. *中国农业科学*, 2009, 42(2): 499–504.
- [54] 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.
- [55] 杜娟, 任娟, 赵思峰, 等. 新疆马铃薯疮痂病原的鉴定 [J]. *石河子大学学报: 自然科学版*, 2010, 28(4): 414–417.
- [56] 康蓉, 王生荣. 甘肃马铃薯疮痂病原初步鉴定 [J]. *植物保护*, 2013, 39(3): 78–82.
- [57] 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(10): 131–134.
- [58] 王丹, 姚晓东, 李新风, 等. 山西晋城马铃薯疮痂病原菌鉴定 [J]. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2015, 35(5): 495–498.
- [59] 邢莹莹, 吕典秋, 魏琪, 等. 黑龙江省部分地区马铃薯疮痂病菌种类及致病性鉴定 [J]. *植物保护*, 2016, 42(1): 26–32.
- [60] 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.
- [61] 杨梦平, 王瑞仙, 杜魏甫, 等. 云南省马铃薯疮痂致病链霉菌种类组成研究 [J/OL]. *植物病理学报*, 2017: 1–12[2018–04–03]. <https://doi.org/10.13926/j.cnki.apps.000134>.
- [62] 王甄. 湖北恩施马铃薯疮痂病的致病菌鉴定 [C]//中国植物病理学会. 中国植物病理学会 2017 年学术年会论文集, 2017.

DEVO 德沃

黑龙江德沃科技开发有限公司是一家专业打造高端农机装备的生产型现代科技企业。公司技术力量雄厚, 目前拥有“德沃长恒、德沃长丰、北谷农业、斯坦得认证”四家子公司。公司拥有众多长期从事农业机械及节水灌溉设备研究的国内知名专家, 在马铃薯全程机械化、蔬菜全程机械化、整地机械、植保机械、打捆机械、节水灌溉装备及智慧节水灌溉管理系统、有机肥抛撒装备、无人植保飞机和农业社会化服务体系等领域居国内领先水平。

德行天下, 沃野千里! 黑龙江德沃科技开发有限公司将与海内外朋友携手并进, 共创农机节水领域的辉煌未来!



地址: 黑龙江省哈尔滨市南岗区哈西大街 946 号
电话: 0451-86658631

400-004-6699