

# 芽孢杆菌防治马铃薯主要病害的研究现状与展望

汝甲荣 明立伟 李志新 张金鹏 赵雪 刘卫平 李长辉 王怀鹏 史乔丹 刘玲玲

(黑龙江省农业科学院克山分院,齐齐哈尔 161005)

**摘要:** 马铃薯病害长期影响我国马铃薯产量和品质,马铃薯病害主要的防控手段为化学防控,但因其带来的“3R”(Resistance, Resurgence, Residue)问题,严重制约我国马铃薯产业发展。生物防治菌剂因其具有绿色、环保、可持续发展、改善土壤环境等优点,成为目前新兴的一种防控手段。芽孢杆菌作为一种优秀的生防菌,因其获取方便,耐高温、耐盐碱、物美价廉等优点,逐渐被重视。对近几年利用芽孢杆菌防治马铃薯病害方面的研究进行了系统的总结和探讨,包括马铃薯病害中的早疫病、晚疫病和疮痂病3个方面,通过展望芽孢杆菌的生物防治研究方向,为后续芽孢杆菌的深入研究提供理论依据。

**关键词:** 马铃薯;病害;芽孢杆菌;生物防治

## Research Status and Prospects of *Bacillus Subtilis* for Controlling Major Potato Diseases

RU Jiarong, MING Liwei, LI Zhixin, ZHANG Jinpeng, ZHAO Xue, LIU Weiping,  
LI Changhui, WANG Huaipeng, SHI Qiaodan, LIU Lingling

(Keshan Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161005, Heilongjiang)

粮食安全是全球重要问题,保障粮食供应是世界农业发展的核心使命。马铃薯因其营养丰富,维生素C和维生素B含量远超出苹果,被国际粮农组织美誉为“被埋没的宝物”,有“地下苹果”之称<sup>[1-2]</sup>。目前马铃薯在我国有着广阔的生产前景,与其他作物相比优势巨大,是我国最有发展前景的经济作物之一<sup>[3]</sup>。马铃薯主食产业化是促进马铃薯产业跨越发展的有效途径,是满足居民膳食结构转型升级的重要选择,对促进农业可持续发展、确保国家粮食安全意义重大<sup>[4]</sup>。

随着马铃薯主粮化战略的实施与推进,我国农业生产对马铃薯的种植和加工业逐渐重视起来,如何保证马铃薯增产增效成为业内讨论的重要问题,但由于我国马铃薯种植面积较广且栽培环境复杂,马铃薯生长过程中常受到病原菌的侵染,严重影响马铃薯的产量和品质<sup>[5]</sup>。其中真菌性病害在马铃薯栽培中发生最频繁,危害也最严重。马铃薯

主要真菌性病害包括马铃薯晚疫病、环腐病、早疫病、黑痣病和枯萎病<sup>[6]</sup>,这些病害的出现,给中国马铃薯产业稳定、可持续发展带来了威胁。一直以来化学杀菌剂作为主要的病害防治手段,因其作用效果快等优点被广泛应用,但是长期不合理的施用带来“3R”(Resistane, Resurgence, Residue)问题,即使使农药大量残留,对水源、土壤和空气等环境造成污染,农作物病原菌产生抗药性且农药残留还会对人体造成影响。随着生物科技的不断发展,更多绿色、安全、高效和环保的生防方式被开发利用,高效的生防菌被大家所重视。生防菌能够直接或者间接地改良土壤、恢复土壤肥力、预防土传病害、维持根际微生物区系平衡和降解有毒物质等<sup>[7]</sup>。目前已经成熟的、进行商业化的生防菌主要类别为枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、地衣芽孢杆菌(*Bacillus lichenformis*)、解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)、绿针假单胞菌(*Pseudomonas chlororaphis*)、哈茨木霉(*Trichoderma harzianum*)、灰绿链霉菌(*Streptomyces griseoviridis*)等<sup>[8]</sup>。芽孢

基金项目:齐齐哈尔市科学技术计划重点项目任务(ZDGG-202105)  
通信作者:刘玲玲

杆菌因其获取方面,耐高温、耐盐碱,物美价廉,在农业生产中应用广泛,本文旨在研究芽孢杆菌在马铃薯早疫病、晚疫病及疮痂病等方面的防治效果,并对其整理及探讨,为后续进一步探究生防菌用于作物提供借鉴和方向。

## 1 芽孢杆菌对马铃薯早疫病的影响

**1.1 发病症状** 马铃薯早疫病在全球马铃薯种植区均可发生,由坏死性不完全的真菌引起,是影响全球马铃薯产量的重要病害,其中最常见的是 *A. solani* 和 3 种小孢子物种 (*A. alternata*、*A. infectoria* 和 *A. tenuissima*)。马铃薯早疫病发病较快,初期侵染时主要在植株下部的叶片形成圆形褐色斑点,直径约为 3.5mm,且易发生于较老叶片,侵染后期病斑迅速扩大蔓延至植株上部,形成棱角型病斑后坏死<sup>[9-11]</sup>。马铃薯早疫病侵染块茎后,表皮形成褐色突起,块茎周围有圆形至不规则形状的轻微凹陷,且变软<sup>[12]</sup>。马铃薯叶片掉落,马铃薯早疫病因其分生孢子具有较强的生存能力,能够在冬天的泥土里存活,导致翌年种植发生二次侵染,加重马铃薯早疫病的病害。

**1.2 流行特点** 马铃薯早疫病病原菌生存的环境条件影响着马铃薯早疫病的发生和流行。温暖、潮湿的环境条件有利于马铃薯早疫病的发生,在适宜温度下形成的孢子囊可借助风、雨、气流等媒介传播,形成再次侵染。研究发现,平均气温在 11~15℃,相对湿度超过 70%,植株会遭到早疫病的侵害;气温 20~25℃,相对湿度 80% 以上,马铃薯早疫病将迅速流行。疏松的沙质土壤若有机质含量较少、肥力较弱、所需营养元素不均衡,长势较差的植株早疫病发生严重。在雨后,病原菌会随雨水进入土壤内,致使病原菌在土壤内生长,播种时期不适、施肥不科学、田间排水不良、种植过密及常年连作重茬地易导致马铃薯早疫病发病严重。收获时机械损伤多,贮藏环境温度偏高、通风不畅发病也较重。

**1.3 生物防治** 研究发现,芽孢杆菌形成的抗菌物质会扭曲细胞,抑制孢子萌发,同时芽孢杆菌还可以诱导植株获取抗性,因芽孢杆菌属具有独特的快速复制能力并表现出广谱抗生素活性,这些抗性对于病害都有不同的防治效果,其作为植物细胞激活剂,诱导植物获得抗性<sup>[13]</sup>。不同种芽孢杆菌具有不同生防效果,例如枯草芽孢杆菌的特定有益菌株可有效控制许多真菌病害,包括由病原体青枯链孢菌引

起的链格孢杆菌病。解淀粉芽孢杆菌可产生抑菌物质,抑制革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌和真菌等多种病原菌。这些物质还具有抗病毒、抗支原体、抗原性蠕虫等生物防治活性;同时还具有较强的抗真菌活性,能抑制病原菌的生长。其中,丰原素具有广谱抗菌活性、低毒、耐药等特点<sup>[14]</sup>。

许多学者研究发现,部分芽孢杆菌对马铃薯早疫病有较好的防治效果。王怡凡等<sup>[15]</sup>筛选出 1 株拮抗细菌 WK-1,鉴定为枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*),WK-1 对马铃薯早疫病的防治效果为 88.39%,表明 WK-1 对马铃薯早疫病具有较强的抑制作用,可以有效防控马铃薯早疫病的发生。张岱等<sup>[16]</sup>在筛选出的枯草芽孢杆菌 ZD01 的基础上,利用基质辅助激光解析串联飞行时间质谱 (MALDI-TOF-MS) 分析手段,对芽孢杆菌分泌的抑菌物质进行成分鉴定,并利用转录组技术分析了抗菌肽丰原素对茄链格孢菌的影响,研究结果表明,枯草芽孢杆菌 ZD01 发酵液可显著降低马铃薯早疫病的发病率和病斑面积,经叶片离体试验发现,叶片经 ZD01 次级代谢产物处理后,茄链格孢菌拷贝数降低 72.86%。同时研究还发现,丰原素为枯草芽孢杆菌 ZD01 次级代谢产物抗菌肽中主效抑菌物质,可显著抑制马铃薯早疫病菌丝生长,导致菌丝弯曲、表面褶皱、局部膨大等畸形,细胞外分泌物明显增多。经抗菌肽丰原素处理茄链格孢菌孢子后,其萌发率仅为 16.67%,表明枯草芽孢杆菌 ZD01 对马铃薯早疫病具有良好的生防作用,且主要的作用物质为丰原素。韩龙等<sup>[17]</sup>筛选出 1 株解淀粉芽孢杆菌 D1,研究发现,当菌液浓度为 4% 时,D1 的抑菌率为 68.59%,菌液浓度达到 32% 时,D1 的抑菌率为 100%,致使马铃薯早疫病病原菌不能生长,表明解淀粉芽孢杆菌 D1 对马铃薯早疫病有较好的抑制作用,在马铃薯早疫病的防治中具有潜在的应用价值。

## 2 芽孢杆菌对马铃薯晚疫病的影响

**2.1 发病症状** 马铃薯晚疫病是制约马铃薯产量和品质的影响因素之一,其导致马铃薯茎叶死亡和块茎腐烂,是一种毁灭性卵菌病害,其病原菌为致病疫霉 (*Phytophthora infestans*),具有很高的流行性<sup>[18]</sup>。马铃薯晚疫病的主要发病部位是叶片、茎和茎块,病害早期先从植株下部的老叶叶尖开始,形成水渍状褪绿斑点,病斑周围有浅绿色晕圈,且在潮湿

条件下逐渐扩大,颜色变成黑灰或黑褐色,周围产生霉层。叶片的病原菌可逐渐侵染蔓延至茎秆及叶柄,使其表皮产生褐色条斑。薯块受到侵染后,表面形成不规则状褐色病斑,病斑下面的薯肉呈深度不等褐色坏死斑,受致病疫霉侵染的马铃薯抗性降低,储藏期间易被其他腐生菌侵染而软腐。

**2.2 流行特点** 从马铃薯晚疫病的流行角度分析,可分3个发病阶段:首先为病株中心发病阶段,其次是病情逐渐蔓延阶段,最后是病情发生严重阶段,蔓延趋势为中心向四周扩散<sup>[19]</sup>。多数植株叶片出现个别病斑后,则进入了普遍蔓延阶段,从中心病株出现经过15d左右后病情蔓延,病情严重阶段大量植株枯死<sup>[20]</sup>。

**2.3 生物防治** 国内外早有对微生物制剂的研究,自1887年科学家发现豆科植物根瘤具有固氮功能,并且根瘤菌的纯培养获得成功,微生物的研究与应用得到了迅速的发展。我国微生物制剂的研究应用始于豆科植物应用根瘤菌接种剂,20世纪50年代一些细菌肥料从苏联被引进,如磷细菌和自生固氮菌等;70年代放线菌制剂被推广,如“5406”抗生菌肥料和固氮蓝藻;70年代至80年代中期开始研究推广VA菌根;80年代中期至90年代联合固氮菌被推广使用<sup>[21]</sup>。如今微生物防治植物病害在众多科研工作者努力下,已经有很大的进展,而马铃薯晚疫病病害原因具有多样性和复杂性,芽孢杆菌具有一定的生物防治效果,被大众逐渐开发重视<sup>[22]</sup>。

已有报道许多拮抗微生物已被用作生物防治剂来抑制马铃薯晚疫病的侵扰并减少合成杀菌剂的使用<sup>[23]</sup>。其中最具有生防潜力和商业价值之一的生防菌——芽孢杆菌,日益受到人们的重视,国内外各界学者纷纷探究其生防机理,是当前开发生防资源的研究热点<sup>[24]</sup>。因为芽孢杆菌能够产生耐热、耐旱、抗紫外线和抗有机溶剂的内生孢子,所产芽孢可制成粉剂、可湿性粉剂等各种剂型,且与化学农药混用后不失活,是理想的生防菌筛选对象。

黄保全等<sup>[25]</sup>研究发现,枯草芽孢杆菌对马铃薯晚疫病的防效为80.59%,能够增加马铃薯产量且对马铃薯生长无不良影响,连续使用可改善土壤微生态,促进作物生长,增强抗病性,提高马铃薯产量和商品性;2021年学者Rani等<sup>[26]</sup>研究发现,芽孢杆菌显著减少马铃薯晚疫病病变区域面积,培养滤液

浓度为100%时效果最显著,证明芽孢杆菌对致病菌群有显著的拮抗作用;2020年Sorokan等<sup>[27]</sup>多位学者研究发现,枯草芽孢杆菌26DCryChS菌株能够从苏云金芽孢杆菌B-5351中产生CryIIa $\delta$ -内毒素,所产生的CryIIa $\delta$ -内毒素是B-5351成为1株具有综合杀菌剂和杀虫活性菌株的关键因素,CryIIa $\delta$ -内毒素能够很好地抑制马铃薯晚疫病的菌丝生长,与未处理的植物相比,植物的晚疫病症状发展减少了35%,并对马铃薯甲虫具有杀虫活性,表明使用以枯草芽孢杆菌26DCryChS为基础的生物防治剂,可作为一种植物综合保护的替代策略。

### 3 芽孢杆菌对马铃薯疮痂病的影响

**3.1 发病症状** 马铃薯疮痂病(Potato common scab)是由腐生性丝状革兰氏阳性链霉菌疥疮链霉菌(*Streptomyces scabies*)、酸性疮痂链霉菌(*S. acidiscabies*)和肿痂链霉菌(*S. turgidiscabies*)等多种植物致病性链霉菌引起的土传兼种传病害<sup>[28]</sup>。病薯症状主要表现为疮痂病原菌在马铃薯表面形成褐色木栓化病斑,严重时呈疮痂状,外观的破坏对于马铃薯商品化有较为不良的影响<sup>[29]</sup>。

马铃薯疮痂病可以在马铃薯块茎内和土壤内过冬,继续侵染次年的马铃薯,其致病菌可在土壤内存活10年之久。马铃薯疮痂病主要侵染的部位为马铃薯块茎,对于马铃薯地上部位无较大影响,发病初期薯块表面形成浅褐色小斑点,随着侵染面积加大,马铃薯块茎出现较大的斑块,且形状多表现为不规则形,主要形状为凸起病斑。

**3.2 流行特点** 马铃薯疮痂病原菌能够种传和土传,其中种植带菌种薯是马铃薯疮痂病发生和传播的重要途径,白色薄皮品种易感染疮痂病,褐色厚皮品种相对薄皮品种不易感染。现有研究表明,马铃薯疮痂病中的致病性链霉菌一旦在土壤中建立,就极难根除,其可以在马铃薯作物之间持续数年,且被感染的马铃薯块茎表面常出现凹陷或凸起的坏死病变,严重影响块茎品质<sup>[30]</sup>。马丹丹等<sup>[31]</sup>研究发现,马铃薯疮痂病较重发生时,在植株的地上、地下组织中均可检测到疮痂病原菌,其中块茎的含菌量随病害的发展明显增加,土壤中的疮痂病菌在马铃薯块茎膨大期明显增加,根际土的含菌量高于自由土。

**3.3 生物防治** 国内外已有芽孢杆菌作用于马铃薯疮痂病方面的相关报道,Li等<sup>[32]</sup>通过拮抗试验获

得了110株分离株,发现其中1株芽孢杆菌AMCC101304对马铃薯疮痂病原菌中疥疮链霉菌有较好的防治效果。试验证明,施用AMCC101304后,马铃薯发病率由100%降至34.19%,效果较为显著。Chen等<sup>[33]</sup>研究发现,侧孢芽孢杆菌AMCC5在土壤中能够稳定定植,使马铃薯收获期链霉菌病原菌群从土壤中显著减少,病害严重程度显著降低,生防效果高达70.51%,表明AMCC5对于马铃薯疮痂病有较好的生防效果。糜芳等<sup>[34]</sup>在土壤中分离获得的1株解淀粉芽孢杆菌Ba002,通过试验证明其对马铃薯疮痂病原菌有一定的抑制作用,通过田间试验与盆栽试验发现,施用Ba002后,马铃薯疮痂病防治效果分别达到59.72%、66.44%,且与传统化学农药多菌灵防治效果相比,施用Ba002的防治效果显著提高,田间试验结果表明,Ba002能够提高马铃薯产量。前人研究结果表明,生防菌芽孢杆菌在马铃薯疮痂病生物防治方面具有显著的作用,同时为未来微生物菌剂替代传统农药防治马铃薯疮痂病提供理论依据。

#### 4 展望

本文总结了一些研究报道,证明部分芽孢杆菌能够对马铃薯部分病害起到生物防治效果,发现芽孢杆菌对于马铃薯病害是一种有效的生物防治手段,具有广阔的研究前景,能够为农业可持续发展提供有力的技术保障。基于对现有研究结果的理解,对芽孢杆菌的前景进行分析展望。

研究表明,芽孢杆菌对马铃薯病害具有较为有效的抑制作用,能够起到很好的生防作用,但是多数试验都是在室内温室进行的微生物拮抗试验与植株表达试验,应用到田间的试验较少,而室内试验的环境是人工可控的,田间试验的环境则较为复杂且不可控制,每年的种植环境与气候变化多样且复杂,因此想要更好地将有效菌株应用到生产实践中,并将其作用发挥到最大化,应提高生防菌株的生物防治效率。本研究认为加强生防菌株的实践基础研究也很有必要,例如开展较多的、连续性的田间试验,进行同种菌株不同地域、不同环境的试验,加强生防菌株在不同土壤中的适生性(如存活、定殖和繁衍等),探索芽孢杆菌与作物根系土壤微生物的互作关系,以便于在田间试验中发现并解决问题,对于植物病害的生物防治具有重要指导作用。

#### 参考文献

- [1] 余昌清,曾宪玉,杨邦贵,陈芳莉,陈敏行. 宜都市费乌瑞它马铃薯高产栽培技术. 长江蔬菜,2021(17): 5-6
- [2] 尹旺,童安毕,李飞,冯文豪,陈恩发,何天久,卢扬,雷尊国. 抗晚疫病马铃薯新品种黔芋8号高产栽培技术研究. 种子,2018,37(12): 132-135
- [3] 贺加永. 中国马铃薯产业发展现状及建议. 农业展望,2020,16(9): 34-39
- [4] 陈萌山,王小虎. 中国马铃薯主食产业化发展与展望. 农业经济问题,2015,36(12): 4-11
- [5] 田甲佳,刘良燕. 马铃薯主要真菌病害及防治方法研究进展. 中国马铃薯,2021,35(5): 444-455
- [6] 姚丽萍. 马铃薯病害综合防治方法探讨. 种子科技,2021(21): 93-94
- [7] 杨泰然,吕海光,王志臻. 生防菌防治植物病害的机理及其应用. 现代农业,2023(2): 86-88
- [8] 陈忠男,王志刚,徐伟慧. 生防菌在农业中的应用及其机制研究进展. 高师理科学刊,2022,42(6): 89-94,110
- [9] 李松. 马铃薯常见真菌性病害及防治. 现代化农业,2021(9): 32-34
- [10] Kang F L, Li J, Wang C G, Wang F X. A Lightweight neural network-based method for identifying early-blight and late-blight leaves of potato. Applied Sciences, 2023, 13(3): 1487-1487
- [11] 聂祥友. 马铃薯早疫病和晚疫病的发病特征及防治方法. 特种经济动植物,2022,25(6): 106-108
- [12] 李清,郑周宜,刘雨婷,赵娅锐,王晨晖,邹万君,李周,唐唯,李灿辉. 云南省马铃薯早疫病病原及毒性特点分析. 微生物学通报,2023,50(2): 471-485
- [13] 陈羽娇,余朝阁. 芽孢杆菌在植物病害防治中的应用及研究进展. 农机使用与维修,2020(11): 39-40
- [14] 赵月盈. 解淀粉芽孢杆菌抗病机制研究进展. 亚热带农业研究,2021,17(3): 205-210
- [15] 王怡凡,刘巍,朱其立,孙敏,李延锋,朱建强. 马铃薯早疫病拮抗菌WK-1的筛选鉴定及其生物学特性分析. 西南农业学报,2022,35(4): 855-863
- [16] 张岱,强然,杨喆,袁伟,陈明玥,高学策,杨志辉,朱杰华. 枯草芽孢杆菌抗菌肽对马铃薯早疫病菌的抑制研究 // 中国作物学会马铃薯专业委员会. 马铃薯产业与种业创新. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社,2022: 855-863
- [17] 韩龙,康冀川,雷帮星,文庭池,钱一鑫. 马铃薯早疫病拮抗菌及其抑菌作用研究. 山地农业生物学报,2018,37(1): 27-31,43
- [18] 黄冲,刘万才. 近几年我国马铃薯晚疫病流行特点分析与监测建议. 植物保护,2016,42(5): 142-147
- [19] 丁海滨,卢扬,邓禄军. 马铃薯晚疫病发病机理及防治措施. 贵州农业科学,2006(5): 76-81
- [20] 龚永清. 马铃薯晚疫病的特点与防治方法. 乡村科技,2016(9): 64-65
- [21] 占新华,蒋延惠,徐阳春,宗良纲. 微生物制剂促进植物生长机理

看,培育品种的丰产性、抗性等综合性状优于地方种。长期以来,培育品种凭借单位面积产量或产值优势,迅速得到推广应用,虽然有许多地方老品种品质好,但因单位面积产量或产值低,不适宜大面积种植,逐渐被农民和市场淘汰,种质资源消失严重。农作物种质资源保护是一项公益性、长期性工作,政府要加大资金扶持力度,确保种质资源工作的持续、稳定<sup>[6]</sup>。种质资源库(圃)是农业种质资源保存的重要设施,收集、保存优异种质资源是种业创新攻关的基础性工作,政府应结合地方优异种质资源特点,建立种质资源库(圃),加强农业种质资源收集保护力度,如建立文山三七种质资源库(圃),就地保存三七种质资源。

**3.3 加大种质资源开发力利用** 目前,文山州已出台《文山三七发展条例》《丘北辣椒产业发展条例》,对三七、丘北辣椒种质资源的调查、收集、保存和开发利用作出了明确的规定,鼓励单位和个人依法利用种质资源开展品种选育、良种繁育、示范推广,三七、辣椒已成为文山高原特色农业的支柱产业。八角、草果、他披梨、长冲梨、底圩茶、阳荷、平坝青菜等地方种,经过自然选择和人工选择,已成为农民增

收致富的产业,但没有出台相关的条例、标准等,品牌效应不强,也没有选育出新的品种,品种单一,种质资源的保护和开发利用止步不前。建议出台更多的地方优异特色品种资源保护和开发利用措施,大力支持、鼓励科研院所、高校、企业和个人开展地方品种的选育、开发和应用推广,把传统地方优质品种培育成农民增收致富的产业。

#### 参考文献

- [1] 王术坤,韩磊. 中国种业发展形式与国际比较. 农业现代化研究, 2022, 43 (5): 814-822
- [2] 刘旭. 四十年改革开放 几代人梦想成真——记中国作物种质资源40年发展巨变. 中国种业, 2019 (1): 1-7
- [3] 刘旭,李立会,黎裕,方洸. 作物种质资源研究回顾与发展趋势. 农学报, 2018, 8 (1): 1-6
- [4] 孟春亮,朱文新,石岩生,苏布达,罗磊,张金巍,宋捷,李伟然,孙星星,张广宇,王晓玲. 锡林郭勒盟农作物种质资源普查与分析. 中国种业, 2022 (9): 43-46
- [5] 丁卫军,赵彬. 陕西省华阴市第三次全国农作物种质资源普查与收集行动的具体做法与建议. 中国种业, 2021 (4): 38-40
- [6] 张丽. 东营市农作物种质资源普查与收集成效及保护利用建议. 中国种业, 2022 (6): 39-41
- (收稿日期: 2023-06-07)
- 中国农学通报, 2021, 37 (18): 131-137
- [29] 刘晓禄,冶海林,刘易,艾尼江·尔斯满,徐李娟,郭瑞,包晓玮,宋素琴. 新疆奇台县马铃薯疮痂病原的分离鉴定及生物学特性. 江苏农业科学, 2023, 51 (5): 139-146
- [30] Wei Q, Li J, Yang S, Wang W Z, Min F X, Guo M, Zhang S, Dong X Z, Hu L S, Li Z G, Wang X D. *Streptomyces rhizophilus* causes potato common scab Disease. *Plant disease*, 2021, 106 (1): 266-274
- [31] 马丹丹,关欢欢,李寿如,贾景丽,于秀梅,刘大群,赵伟全. 马铃薯疮痂病菌在植株和田间的分布与动态分析. 植物病理学报, 2022, 52 (1): 61-67
- [32] Li B Y, Wang B, Pan P, Li P G, Qi Z G, Zhang Q Y, Shi C Y, Hao W S, Zhou B, Lin R S. *Bacillus altitudinis* strain AMCC 101304: a novel potential biocontrol agent for potato common scab. *Biocontrol Science and Technology*, 2019, 29 (10): 1009-1022
- [33] Chen S F, Zhang M S, Wang J Y, Lv D, Ma Y F, Zhou B, Wang B. Biocontrol effects of *brevibacillus laterosporus* AMCC100017 on potato common scab and its impact on rhizosphere bacterial communities. *Biological Control*, 2017, 106: 89-98
- [34] 糜芳,吴紫燕,王承芳,张莹莹,干华磊,毛伟力. 1株解淀粉芽孢杆菌的分离、鉴定及在马铃薯疮痂病防治上的应用. 江苏农业科学, 2021, 49 (18): 122-127
- (收稿日期: 2023-06-09)

(上接第25页)

的研究进展. 植物营养与肥料学报, 1999 (2): 97-105

- [22] 朱粉团,陈世怀. 马铃薯晚疫病综合防治措施探讨. 农业技术与装备, 2023 (4): 163-164, 167
- [23] Fu X P, Liu S, Ru J R, Tang B Y, Zhai Y J, Wang Z G, Wang L C. Biological control of potato late blight by *Streptomyces* sp. FXP04 and potential role of secondary metabolites. *Biological Control*, 2022, 169: 104891
- [24] 王蕊,王腾,李二峰. 生防芽孢杆菌在植物病害领域的研究进展. 天津农学院学报, 2021, 28 (4): 71-77
- [25] 黄保全,张康,王清文,王晖,张勇. 枯草芽孢杆菌可湿性粉剂防治马铃薯晚疫病田间药效试验. 陕西农业科学, 2016, 62 (9): 23-24, 72
- [26] Rani A, Upadhyay S K, Shukla G, Singh C, Singh R. Efficacy of bacterial isolates against causal agent of late blight of potato, *Phytophthora infestans*. *Indian Journal of Agricultural Research*, 2021, 55 (4): 403-409
- [27] Sorokan A, Benkovskaya G, Burkhanova G, Blagova D, Maksimov I. Endophytic strain *Bacillus subtilis* 26DCryChS producing CryIIa toxin from *Bacillus thuringiensis* promotes multifaceted potato defense against *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary and pest *Leptinotarsa decemlineata* Say. *Plants*, 2020, 9 (9): 1115-1115
- [28] 杨冰,平原,杜春梅. 马铃薯疮痂病的致病机制及防治研究进展.