

解淀粉芽胞杆菌PHODG36菌剂的研制及其对马铃薯黄萎病的防病增产效果

赵卫松, 郭庆港, 张晓云, 王培培, 苏振贺, 胡卿, 鹿秀云, 马平, 李社增*

(河北省农林科学院植物保护研究所/河北省农业有害生物综合治理工程技术研究中心/农业农村部华北北部作物有害生物综合治理重点实验室, 保定 071000)

摘要: 解淀粉芽胞杆菌 *Bacillus amyloliquefaciens* PHODG36 是一株具有抑菌和促生作用的多功能菌株。本研究以菌株 PHODG36 原粉为有效成分、滑石粉为填料研制了不同芽胞浓度的微生物菌剂, 通过盆栽试验研究了菌剂拌种处理马铃薯种薯后对其出苗的影响, 在冀北和冀南地区开展田间小区试验研究了该菌剂对马铃薯黄萎病的防治效果及对马铃薯产量的影响。结果表明, 制备的 PHODG36 菌剂外观为浅黄色粉末, 无团块。该菌剂平均粒径 D_{50} 为 $(38.25 \pm 0.46) \mu\text{m}$, pH 为 (6.65 ± 0.15) , 贮藏后未出现结块和发粘现象, 浓度介于 $1.5 \times 10^9 \sim 2.0 \times 10^{10}$ CFU/g。与空白对照和化学药剂相比, 不同浓度菌剂拌种处理后校正出苗率之间差异不显著, 而菌剂随着浓度的增加, 校正出苗率呈下降趋势。不同地区的田间试验表明, PHODG36 菌剂在 $1.5 \times 10^9 \sim 1.0 \times 10^{10}$ CFU/g 对感病品种黄萎病的病情指数防效为 43.08%~58.46%, 增产率为 8.29%~30.37%; 对抗病品种主要表现为增产作用, 增产率介于 1.85%~9.0%。综合分析表明, 菌剂使用浓度为 $1.5 \times 10^9 \sim 1.0 \times 10^{10}$ CFU/g 能够有效降低黄萎病的发生, 节约投入成本, 且增产作用明显。研究结果为黄萎病的防控提供绿色产品, 并为该菌剂进一步的大面积推广示范应用奠定了基础。

关键词: 解淀粉芽胞杆菌; 马铃薯黄萎病; 出苗; 防治效果; 增产

中图分类号: S476 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2020)03-0381-07

Development of Microbial Agent *Bacillus amyloliquefaciens* PHODG36 and Its Effect on Disease Control and Yield Increase of Potato

ZHAO Weisong, GUO Qinggang, ZHANG Xiaoyun, WANG Peipei, SU Zhenhe,
HU Qing, LU Xiuyun, MA Ping, LI Shezeng*

(IPM Center of Hebei Province/Key Laboratory of Integrated Pest Management on Crops in Northern Region of North China,
Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Institute of Plant Protection, Hebei Academy of Agricultural and
Forestry Sciences, Baoding 071000, China)

Abstract: *Bacillus amyloliquefaciens* PHODG36 is a multifunctional strain which has significant control efficiency on diseases and growth-promotion effect on plants. In this study, microbial agent with different spore concentrations was prepared using strain PHODG36 raw powder as active ingredient and talc powder as filler. Pot experiments were conducted to investigate potato seedling emergence after seed dressing, and field plot experiments were carried out to investigate the effect of microbial agent PHODG36 on control efficacy of potato Verticillium wilt and potato yield in northern and southern Hebei Province. The results showed that microbial agent PHODG36 had a light yellow appearance and no agglomeration. The microbial agent had an average particle

收稿日期: 2019-10-15

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201503109); 国家重点研发计划(2017YFD0201101); 河北省农林科学院现代农业科技创新工程课题(1-02-03)

作者简介: 赵卫松, 博士, 副研究员, E-mail: zhaoweisong1985@163.com; *通信作者, 研究员, E-mail: shezengli@163.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2020.03.014

size of $(38.25 \pm 0.46) \mu\text{m}$ and pH value of (6.65 ± 0.15) . There was no caking and sticking after storage for the agent, and the concentrations were ranged from 1.5×10^9 to 2.0×10^{10} CFU/g. Compared with control and chemical treatment, there was no significant difference on the corrected emergence rate among different concentrations of microbial agent PHODG36 after seed dressing, but the corrected emergence rate decreased with the increase of concentration. Field experiments in different areas showed that the control efficacy on disease index of Verticillium wilt was 43.08% to 58.46%, and the yield increased from 8.87% to 30.37% for susceptible varieties, 1.85%~9.0% for resistant varieties, when the concentration of microbial agent PHODG36 were ranged from 1.5×10^9 to 1.0×10^{10} CFU/g. Comprehensive analysis showed that the application of microbial agent PHODG36 at 1.5×10^9 to 1.0×10^{10} CFU/g could effectively reduce the incidence and disease index of potato Verticillium wilt, save the cost of investing, and significantly increase production. The results indicated that green products were provided for control of Verticillium wilt, which laid a foundation for the further extensive application of microbial agent PHODG36.

Key words: *Bacillus amyloliquefaciens*; potato Verticillium wilt; seedling emergence; control effect; yield increase

马铃薯 *Solanum tuberosum* L. 为茄科一年生草本植物, 我国已将其列为继水稻、小麦、玉米之后的第四大主粮^[1], 其在保障我国粮食安全、精准扶贫、种植业结构调整以及农业产业转型升级中发挥着至关重要的作用^[2]。目前, 我国马铃薯的种植面积和总产量均位居世界首位, 分别占世界马铃薯总面积和总产量的 25% 和 22%, 但因病虫害等瓶颈因素的制约单产水平低于世界平均水平^[2,3]。

马铃薯黄萎病又称早死病或早熟病, 是典型的土传兼种传维管束病害, 在马铃薯主产区由于连作导致土传病害有逐年加重的趋势, 轻者减产 20%~30%, 重者损失达 50% 以上, 严重影响马铃薯的产量和品质^[4]。目前, 在我国西北 (甘肃、宁夏、新疆、陕西)^[5-8]、东北 (黑龙江、吉林)^[9]、华北 (山西、河北、内蒙古)^[9,10]、西南 (贵州)^[11] 地区均有该病发生的报道。除了选用抗病品种外, 对于该病害的防治主要依靠化学药剂进行种子和土壤处理, 不仅造成环境污染, 而且直接增加农产品中的残留, 对人类健康带来严重危害^[12,13]。然而, 微生物杀菌剂以其环境友好性和适应性强在农业生产中得到越来越多的关注^[14]。结合现有农药登记产品现状, 由于针对该病害登记农药产品严重不足, 造成防治上存在超登记范围使用情况, 面临着无登记防控药剂可选的窘境。因此, 亟需研制针对马铃薯黄萎病安全有效的微生物菌剂。

解淀粉芽胞杆菌 *Bacillus amyloliquefaciens* PHODG36 是河北省农林科学院植物保护研究所植物病害生物防治实验室从生防菌株资源库中筛选得到的对黄萎病具有稳定防治效果的菌株。2018 年课题组以菌株 PHODG36 为有效成分研制的 15 亿 CFU/g 菌剂表现较好的防病增产作用 (数据未发表)。因此, 本研究进一步以其为有效成分研制了不同浓度的微生物菌剂, 分析了不同菌剂对马铃薯出苗的影响。同时, 与马铃薯生产上常用的化学药剂进行比较, 明确该菌剂对马铃薯黄萎病的防治效果和产量的影响。通过本研究为获得防治黄萎病的替代产品提供资源, 为进一步推广应用该菌剂防控马铃薯黄萎病、制定田间使用技术规程提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

菌株及其原粉: 解淀粉芽胞杆菌 *Bacillus amyloliquefaciens* PHODG36 由河北省农林科学院植物保护研究所植物病害生物防治实验室分离、鉴定, 现已保藏于中国微生物菌种保藏管理委员会普通微生物中心, 保藏编号为 CGMCC No. 13041。菌株 PHODG36 原粉由本实验室经发酵、喷粉干燥后获得, 芽胞浓度为 1.0×10^{11} CFU/g。

马铃薯品种: 费乌瑞它 (荷兰 15), 属于易感黄萎病品种; 荷兰 14, 属于抗黄萎病品种。对照药剂: 70% 甲基托布津可湿性粉剂和 3% 中生菌素可湿性粉剂分别由青岛凯源祥化工有限公司和深圳诺普信农化股份有限公司生产; 滑石粉 (400 目) 由海城市华洋滑石产品有限公司生产。

盆栽基质: 采集农田耕作层土壤与品氏基质 (PINDSTRUP) 按照 2:1 比例充分混匀, 用于温室盆栽试验。

1.2 解淀粉芽胞杆菌菌剂的加工及质量指标测定

将滑石粉和菌株原粉分别经气流粉碎机(江阴新友机械制造有限公司)处理后,按照一定比例在 SYH 三维混合机中(上海尘鑫粉体设备有限公司)混合均匀。其配比如下(按质量百分比计, w/w): 菌株 PHODG36 原粉 1.5%~20%, 滑石粉补足至 100%。将制备的不同浓度的菌剂梯度稀释至 10^{-4} 、 10^{-5} 、 10^{-6} 后经 80 °C 水浴处理 10 min 后, 利用平板菌落计数法检测芽胞数量。观察菌剂的外观、在 54 °C 恒温箱中贮藏 14 d 后观察样品是否存在结块和发粘现象; 采用 pH 计测定菌剂 pH; 利用激光粒度分布仪测定菌剂的平均粒径 D_{50} ^[15]。

1.3 解淀粉芽胞杆菌菌剂对马铃薯出苗的影响

为了排除由于种薯自身原因对出苗造成的影响, 本研究以校正出苗率为评价指标, 通过温室盆栽试验研究不同浓度的菌剂对马铃薯出苗的影响。将新切的薯块(每块 35~50 g 且保证有 1~2 个芽眼)与菌剂按照一定比例(种薯:菌剂=150:4, w/w)置于塑料薄膜上, 翻动搅拌混匀, 使其均匀粘附在种薯上, 置于阴凉干燥处, 第 2 d 种植于装有盆栽基质的花盆中(上直径 135 mm×下直径 90 mm×高 115 mm), 在温室中进行培养。具体试验设置如下, T1: 1.5×10^9 CFU/g 菌剂拌种; T2: 5.0×10^9 CFU/g 菌剂拌种; T3: 1.0×10^{10} CFU/g 菌剂拌种; T4: 2.0×10^{10} CFU/g 菌剂拌种; 以 70% 甲基托布津可湿性粉剂 0.1 kg、3% 中生菌素可湿性粉剂 0.1 kg 和滑石粉 3.8 kg 混匀后拌种为化学药剂处理, 滑石粉 4.0 kg 种薯拌种处理为空白对照(CK)。每个处理种植 10 盆, 每盆 2 块。30 d 后调查各处理出苗数量, 计算出苗率和校正出苗率。出苗率(%)=(出苗数量/20)×100, 校正出苗率(%)=(处理的出苗率/空白对照的出苗率)×100。

1.4 田间小区试验

2018 年和 2019 年试验于冀南(河北省邯郸市曲周县槐桥乡西漳头村)和冀北地区(河北省承德市围场满族蒙古族自治县牌楼乡牌楼村和城子乡桃山村)进行。具体拌种操作步骤和试验设置同 1.3。每个处理 4 次重复, 每次重复面积为 20 m²。不同试验处理随机选择连续的马铃薯植株 30 株, 每个处理 4 次重复, 按照 5 级法调查马铃薯植株发病情况, 具体分类为, 0 级: 健康植株, 叶片无症状; 1 级: 植株 25% 以下叶片发病, 叶片出现淡黄色或呈不规则形的黄色病斑; 2 级: 植株 25%~50% 叶片发病, 病斑颜色大部分变成黄色或黄褐色, 叶片边缘上卷略有干枯; 3 级: 植株 51%~75% 叶片发病, 少数叶片凋落; 4 级: 植株 76% 以上叶片发病, 叶片脱落或植株枯死。按照赵卫松等^[16]公式计算发病率、病情指数和防治效果。

产量调查方法: 以马铃薯产量作为评价指标, 在马铃薯收获期调查 2 m² 内的产量, 计算马铃薯小区产量, 折算成亩产量, 每个处理 4 次重复, 比较不同处理马铃薯产量, 与对照相比评价其增产效果, 按照下列公式计算亩产量和增产率。亩产量(kg/667m²)=不同处理小区的产量×333.5, 增产率(%)=(处理的亩产量-空白对照的亩产量)/空白对照的亩产量×100。

1.5 数据统计与分析

利用 SPSS17.0 软件, 采用独立样本 *T* 检验和 *F* 检验对试验数据进行差异显著性分析。用 Excel 和 Origin 8.6 软件进行数据的整理与作图。

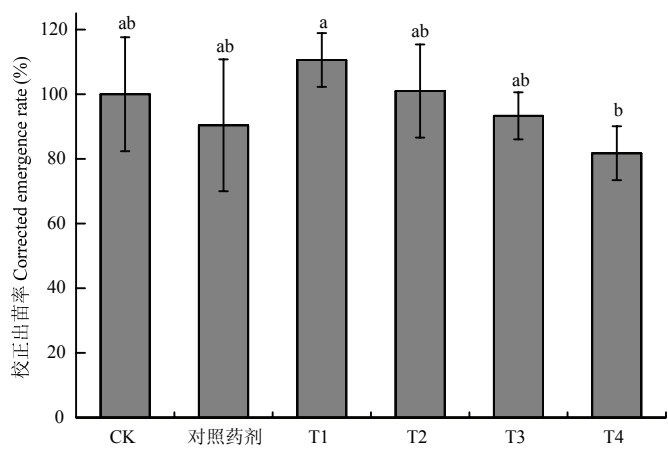
2 结果与分析

2.1 解淀粉芽胞杆菌菌剂的质量检测

制备的菌剂外观为浅黄色粉末。粉剂的平均粒径 D_{50} 为 (38.25 ± 0.46) μm, pH 值为 (6.65 ± 0.15) 。样品置于具磨口塞的玻璃瓶中, 在 54 °C 恒温箱中贮藏后, 没有出现结块和发粘的现象。菌株 PHODG36 原粉按照不同的比例进行混匀, 最终制备得到菌剂的芽胞浓度分别为 1.5×10^9 、 5.0×10^9 、 1.0×10^{10} 和 2.0×10^{10} CFU/g。

2.2 不同浓度菌剂对马铃薯种薯出苗的影响

研究了不同芽胞浓度的菌剂对出苗的影响, 以校正出苗率为评价指标结果表明, 不同芽胞浓度处理的校正出苗率分别为 110.57%、100.96%、93.27%、81.73%, 化学药剂处理的校正出苗率为 90.38%, 空白对照的校正出苗率为 100%。在菌剂研究浓度范围内, 校正出苗率与空白对照、化学药剂处理之间差异不显著, 但当芽胞浓度为 $1.5 \times 10^9 \sim 5.0 \times 10^9$ CFU/g 时校正出苗率高于其他处理; 菌剂随着浓度的增加, 校正出苗率呈下降趋势, 且 1.5×10^9 CFU/g 和 2.0×10^{10} CFU/g 处理之间差异显著(图 1)。



注: T1、T2、T3 和 T4 分别代表 1.5×10^9 CFU/g、 5.0×10^9 CFU/g、 1.0×10^{10} CFU/g 和 2.0×10^{10} CFU/g 菌剂拌种; 甲基托布津 0.1 kg+中生菌素 0.1 kg+3.8 kg 滑石粉/150 kg 种薯拌种为化学药剂; 滑石粉 4 kg/150 kg 种薯拌种为空白对照 (CK), 下同。
Note: T1, T2, T3 and T4 represent for 1.5×10^9 CFU/g, 5.0×10^9 CFU/g, 1.0×10^{10} CFU/g and 2.0×10^{10} CFU/g, respectively. The mixture with 0.1 kg thiophanate methyl, 0.1 kg zhongshengmycin, and 3.8 kg talcum powder as chemical. 4.0 kg talcum powder mixed with 150 kg seed potato as control. The same as below.

图 1 不同浓度 PHODG36 菌剂对出苗的影响

Fig. 1 Effect of different concentrations of microbial agent of PHODG36 on seedling emergence

2.3 菌剂的防病增产效果评价

2018 年在曲周西漳头田间试验结果表明, 菌剂使用后降低了黄萎病的发病率和病情指数, 且浓度 1.5×10^9 CFU/g 对感病品种“荷 15”黄萎病的防治效果为 39.02%, 与化学药剂的防治效果 (44.89%) 差异不显著。2018 年在曲周西漳头田间试验结果表明, 菌剂 1.5×10^9 CFU/g 和化学药剂处理后亩产量分别为 2725.14 和 2617.63 kg, 高于空白对照的 2440.96 kg, 增产率分别为 11.64%和 7.24% (表 1)。

表 1 PHODG36 菌剂的防病增产效果 (荷兰 15, 曲周西漳头, 2018)

处理 Treatment	发病率 Incidence (%)	病情指数 Disease index	防治效果 Control efficacy (%)	产量 Yield (kg/667m ²)	增产率 Yield increase rate (%)
PHODG36	27.50±3.33 b	14.50±2.17 b	39.02±3.25	2725.14±23.45 a	11.64
甲基托布津+中生菌素 Thiophanate methyl+zhongshengmycin	26.24±2.53 b	13.11±2.75 b	44.89±5.38	2617.63±38.03 a	7.24
CK	43.84±4.07 a	23.78±3.47 a	—	2440.96±45.67 b	—

注: 同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同

Note: Data in the each column followed by different lowercase letters indicated significant difference at 0.05 level. The same as below

2019 年在围场牌楼检测到黄萎病的发生, 菌剂对感病品种“荷 15”在围场牌楼的田间试验结果表明, 菌剂在研究浓度范围内 ($1.5\times10^9\sim2.0\times10^{10}$ CFU/g, T1—T4), 对黄萎病的防治效果分别为 58.46%、52.31%、43.08%和 27.70%。菌剂在低浓度 (1.5×10^9 和 5.0×10^9 CFU/g) 时高于化学药剂处理的防治效果 (44.62%); 随着菌剂芽胞浓度的上升防治效果呈现出下降趋势。在产量方面, 菌剂浓度为 2.0×10^{10} CFU/g 时产量上与化学药剂处理差异不显著, 但高于化学药剂处理的增产效果 (4.77%); 其他菌剂浓度处理显著高于化学药剂和空白对照, 其增产率分别为 13.37%、19.38%和 16.59% (表 2)。

在曲周西漳头和围场桃山未检测到黄萎病的发生。在产量方面, 围场桃山的田间试验结果表明, 菌剂对马铃薯产量具有很好的增产效果, 而对照药剂未表现出增产效果。菌剂在浓度为 $1.5\times10^9\sim2.0\times10^{10}$ CFU/g 时, 增产率介于 1.85%~9.0%; 其中当使用浓度为 1.5×10^9 CFU/g 增产效果最高, 随着菌剂芽胞浓度的升高, 增产率有所下降。在曲周西漳头的田间试验结果表明, 菌剂对马铃薯产量的增产效果优于对照药剂。菌剂浓度为 $1.5\times10^9\sim2.0\times10^{10}$ CFU/g 时, 增产率介于 8.87%~30.37%; 其中当使用浓度为 1.0×10^{10} CFU/g 时, 增产效果最高 (表 3)。

表 2 PHODG36 菌剂的防病增产效果（荷兰 15，围场牌楼，2019）
Table 2 Effect of microbial agent of PHODG36 on disease control and yield increase (Helan 15, Pailou of Weichang, 2019)

处理 Treatment	发病率 Incidence (%)	病情指数 Disease index	防治效果 Control efficacy (%)	产量 Yield (kg/667 m ²)	增产率 Yield increase rate (%)
T1	28.89±9.56 b	22.50±11.80 d	58.46±10.79	3179.05±135.03 a	13.37
T2	30.00±14.40 b	25.83±14.77 d	52.31±7.67	3347.46±96.33 a	19.38
T3	36.67±16.56 ab	30.83±12.60 c	43.08±5.89	3269.19±105.67 a	16.59
T4	47.50±5.95 a	39.17±4.53 b	27.70±8.36	3036.53±235.74 ab	8.29
甲基托布津+中生菌素 Thiophanate methyl+zhongshengmycin	32.22±4.16 b	30.00±2.72 c	44.62±5.02	2937.89±205.16 b	4.77
CK	58.33±11.67 a	54.17±13.08 a	—	2804.07±198.01 b	—

表 3 PHODG36 菌剂的增产效果（2019）
Table 3 Effect of microbial agent of PHODG36 on yield increase (2019)

处理 Treatment	围场桃山（荷兰 14） Taoshan of Weichang (Helan 14)		曲周西漳头（荷兰 15） Xizhangtou of Quzhou (Helan 15)	
	产量 Yield (kg/667 m ²)	增产率 Yield increase rate (%)	产量 Yield (kg/667 m ²)	增产率 Yield increase rate (%)
T1	3226.44±318.72 a	9.0	3220.55±463.11 a	8.87
T2	3206.06±423.71 a	8.32	3495.69±102.04 a	18.17
T3	3014.64±173.68 b	1.85	3856.47±451.74 a	30.37
T4	3049.83±357.69 ab	3.04	3251.63±233.87 a	9.92
甲基托布津+中生菌素 Thiophanate methyl+zhongshengmycin	2695.85±372.81 b	-8.92	2871.89±299.39 b	-2.91
CK	2959.92±271.09 b	—	2958.04±106.45 b	—

3 讨论

迄今为止，我国已登记的生物农药有效成分已逾 50 种，登记产品数量超过 1200 个。然而登记使用对象为马铃薯的生物源农药仅为 5 种，分别为球孢白僵菌 *Beauveria bassiana*、苏云金芽胞杆菌 *Bacillus thuringiensis*、苦参碱、枯草芽胞杆菌 *Bacillus subtilis* 和丁子香酚^[2]。生物源农药登记数量和种类的不足严重制约了马铃薯病虫害绿色防控技术体系的构建与发展。除云南地区外，马铃薯黄萎病已成为马铃薯主产区生产上的主要病害之一^[10]。然而用于防治马铃薯黄萎病的相关研究和产品较少，亟需研制防治马铃薯黄萎病的生物农药，进一步建立微生物农药替代化学农药的配套施用技术体系，从而达到化学农药减量的目标。

据调查，在我国马铃薯主产区通常采用化学药剂拌种来防治马铃薯土传病害，如刘普明^[17]筛选得到的 2.5%咯菌腈悬浮种衣剂（300 mL/150 kg 拌种）和 10%啞菌酯悬浮剂（37.5 mL/100 kg 拌种）对马铃薯黄萎病防效分别达到 50.20%和 35.50%。韩升高等^[8]筛选出多菌灵联合利用农用硫酸链霉素对马铃薯种薯拌种可有效防治马铃薯黄萎病。然而，2016 年农用硫酸链霉素的禁止登记和使用进一步缩减了马铃薯上化学药剂的使用种类。

利用活体微生物是防治土传病害的有效措施之一^[18,19]。Uppal 等^[19]利用拮抗细菌防治马铃薯黄萎病，具有一定的防治效果。陈小均等^[20]采用木霉菌 *Trichoderma harzianum* 150 制成菌肥穴施结合出苗后滴灌防治马铃薯黄萎病，其防效达 72.60%。Hadrami 等^[21]研究表明利用生防细菌菌株制剂包衣有效降低了马铃薯黄萎病的发生率和病情指数。温晨阳等^[22]采用生防木霉菌 *Trichoderma* spp M-17 菌悬液拌种处理种薯，在不同地区的田间防治效果分别为 52.14%和 62.14%。申建芳等^[23]通过室内盆栽试验明确特基拉芽胞杆菌 *B. tequilensis* 对马铃薯黄萎病的防治效果达到 60%以上。本研究初步明确了解淀粉芽胞杆菌 PHODG36 菌剂的加工工艺，通过室内盆栽试验明确了不同芽胞浓度下菌剂对马铃薯出苗

的影响,结果表明,在研究浓度范围内($1.5 \times 10^9 \sim 2.0 \times 10^{10}$ CFU/g),校正出苗率与空白对照之间差异不显著。

土壤特性(温度、湿度、酸碱度)、作物品种及其生长状况、气候等外界环境因素均有可能影响活体微生物的生存能力,从而影响微生物菌剂的防治效果^[24-26]。在围场牌楼的研究结果表明,不同浓度($1.5 \times 10^9 \sim 2.0 \times 10^{10}$ CFU/g)的菌剂处理种薯后对感病品种“荷兰15”黄萎病的防治效果介于27.70%~58.46%,随着菌剂浓度的升高,防效呈下降趋势,造成这种现象的原因有可能是高浓度的菌剂使用后对土壤微生物菌群产生不利影响或影响了土壤中有益菌群的丰度,有待于通过高通量测序分析不同菌剂浓度处理后对土壤微生物群落结构和组成产生的影响。在围场桃山,抗病品种荷兰14未发生黄萎病,但菌剂使用后表现出增产效果,增产率介于1.85%~9.0%;在曲周西漳头,种植感病品种未发生黄萎病,对马铃薯的增产率介于8.87%~30.37%。围场地区属于高海拔(大约1200 m)、冷凉地区、连续多年种植马铃薯,感病品种易于黄萎病的发生;曲周地区属于低海拔(大约40 m)、连续多年种植棉花而未种植马铃薯,黄萎病是当地棉花生产上常见的主要病害之一,种植马铃薯感病品种未发生黄萎病。因此,在后续非常有必要在建立的人工病圃上开展菌剂对马铃薯黄萎病的防效试验。不同地区的田间试验结果表明,不同浓度的PHODG36菌剂处理后降低了黄萎病的发病率和病情指数,均能够提高马铃薯产量。综合考虑使用成本因素,明确菌剂芽胞浓度在 $1.5 \times 10^9 \sim 1.0 \times 10^{10}$ CFU/g时对马铃薯具有很好的防病增产效果。此外,菌剂在研究浓度范围内($1.5 \times 10^9 \sim 1.0 \times 10^{10}$ CFU/g),种薯与菌剂拌种比例为150:4(重量比),对马铃薯黄萎病防治效果及其产量呈现出不同的效果。然而通过改变菌剂拌种用量保证菌体浓度相同是否能够达到一致的结果还有待于进一步研究。

尽管PHODG36菌剂在马铃薯上表现出较好的防病效果和增产作用,但应综合考虑防治对象的发病规律、栽培技术、土壤特性、使用成本及微生物菌剂的产品特性,开发出简单实用的田间应用技术,使该菌剂的田间防效更加稳定。此外,该菌剂使用后对土壤微生物群落、理化性质、土壤酶活性的影响方面有待进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Jing R, Li H, Hu X, et al. *Verticillium* wilt caused by *Verticillium dahliae* and *V. nonalfalfae* in potato in northern China[J]. Plant Disease, 2018, 102(10): 1958-1964.
- [2] 徐进,朱杰华,杨艳丽,等. 中国马铃薯病虫害发生情况与农药使用现状[J]. 中国农业科学, 2019, 52(16): 2800-2808.
- [3] 吴秋云,黄科,宋勇,等. 2000~2009年世界马铃薯生产状况分析[J]. 中国马铃薯, 2012, 26(2): 115-121.
- [4] Rowe R C, Powelson M L. Potato early dying: management challenges in a changing production environment[J]. Plant Disease, 2002, 86(11): 1184-1193.
- [5] 陈爱昌,魏周全,马永强,等. 甘肃省马铃薯黄萎病病原分离与鉴定[J]. 植物病理学报, 2013, 43(4): 418-420.
- [6] 王丽丽,蔡超,罗明,等. 马铃薯黄萎病研究现状[J]. 生物安全学报, 2017, 26(1): 30-38.
- [7] 景瑞,赵方杰,刘一凡,等. 宁夏马铃薯黄萎病病原菌分离鉴定及寄主范围测定[J]. 植物病理学报, 2019, 49(1): 11-19.
- [8] 韩升高,张治军,任正军,等. 陕北山旱地区马铃薯黄萎病防治的拌种药剂筛选[J]. 陕西农业科学, 2017, 63(6): 14-16, 20.
- [9] 申建芳. 东北、华北马铃薯黄萎病病原菌分离鉴定和遗传多样性及生物防治的初步研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [10] 李社增,周洪友,鹿秀云,等. 中国七省(自治区)马铃薯黄萎病病情及优势病原菌致病力分析[J]. 植物病理学报, 2018, 48(5): 656-665.
- [11] 张成礼. 马铃薯黄萎病的发生与防治[J]. 植物医生, 2004, 17(5): 6.
- [12] Larkin R P, Honeycutt C W, Olanya O M. Management of *Verticillium* wilt of potato with disease-suppressive green manures and as affected by previous cropping history[J]. Plant Disease, 2011, 95(5): 568-576.
- [13] Davis J R, Huisman O C, Everson D O, et al. Ecological relationships of *Verticillium* wilt suppression of potato by green manures[J]. American Journal of Potato Research, 2010, 87(4): 315-326.
- [14] Robert W B, Eloise K. Fungal pathogens of *Miconia calvescens* (Melastomataceae) from Brazil, with reference to classical biological control[J]. Mycologia, 2007, 99(1): 99-111.
- [15] 赵卫松,鹿秀云,郭庆港,等. 防治番茄灰霉病的枯草芽胞杆菌BAB-1粉尘剂研制[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(1): 99-108.
- [16] 赵卫松,李社增,鹿秀云,等. 西兰花植株残体还田对棉花黄萎病的防治效果及其安全性评价[J]. 中国生物防治学报, 2019, 35(3): 449-455.

- [17] 刘普明. 马铃薯黄萎病田间药剂防治试验报告[J]. 农业与技术, 2016, 36(13): 87-88.
- [18] Khiyami M A, Omar M R, Abd-Elsalam K A, *et al.* Bacillus-based biological control of cotton seedling disease complex[J]. Journal of Plant Protection Research, 2014, 54(4): 340-348.
- [19] Uppal A K, Hadrami A E, Adam L R, *et al.* Biological control of potato *Verticillium* wilt under controlled and field conditions using selected bacterial antagonists and plant extracts[J]. Biological Control, 2008, 44(1): 90-100.
- [20] 陈小均, 吴石平, 何海永, 等. 150 木霉生防菌对马铃薯黄萎病的防治效果[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(12): 100-102.
- [21] Hadrami A El, Adam L R, Daayf F. Biocontrol treatments confer protection against *Verticillium dahliae* infection of potato by inducing antimicrobial metabolites[J]. The American Phytopathological Society, 2011, 24(3): 328-335.
- [22] 温晨阳, 李子桀, 周洪友. 马铃薯黄萎病生防木霉菌的分离与筛选[J]. 北方农业学报, 2017, 45(5): 59-64.
- [23] 申建芳, 李子桀, 蒙春燕, 等. 马铃薯黄萎病生防细菌的筛选与鉴定[J]. 北方农业学报, 2018, 46(1): 81-84.
- [24] 刘振华, 罗远婵, 张道敬, 等. 农用微生物杀菌剂剂型研究进展[J]. 农药学报, 2014, 16(5): 497-507.
- [25] 贾丽苑, 贾雨, 黄建新. 拮抗菌应用于微生物杀菌剂的研究现状及展望[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(10): 49-52.
- [26] 崔荣强, 田黎. 芽胞杆菌的生物防治研究进展[J]. 山东化工, 2015, 44(12): 55-57.