

微生物菌剂对张北冷凉坝上地区马铃薯产量、品质及活化土壤磷钾的效果

张敏硕, 赵英男, 杨威, 刘文菊, 李博文

(河北农业大学资源与环境科学学院, 河北省农田生态环境重点实验室, 河北保定 071000)

摘要: 采用田间小区试验, 以溶磷解钾微生物菌剂(功能菌为巨大芽孢杆菌和胶质芽孢杆菌)和“冀张薯12”“紫色马铃薯”“大西洋”3个品种马铃薯为研究对象, 探讨了在张北冷凉坝上地区施用微生物菌剂对不同品种马铃薯产量、品质、土壤速效磷钾以及土壤磷酸酶活性的影响。结果表明: 施用微生物菌剂可以显著增加3个品种马铃薯的产量($P < 0.05$), 其中“冀张薯12”产量增幅最大为24.54%, 其他2个品种产量平均增幅仅为6.96%; 可以改善马铃薯的品质, 尤其是紫色马铃薯, 其Vc、可溶性蛋白质和可溶性糖含量均显著提高, 增幅分别为320.21%, 29.40%, 7.12% ($P < 0.05$)。此外, 菌剂施用调控着整个生育期土壤速效磷钾的含量和相关土壤酶活性, 种植“大西洋”和“冀张薯12”的土壤施用菌剂后速效磷钾含量高于对照且在中后期达到显著水平, 同时提高了土壤酸性和碱性磷酸酶的活性, 平均增幅为37.52%和32.30%。总之, 溶磷解钾微生物菌剂适用于冷凉张北坝上地区马铃薯种植, 且对“冀张薯12”的促生效果最为明显。

关键词: 溶磷解钾微生物菌剂; 马铃薯品种; 产量; 品质; 土壤速效磷钾

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2019)03-0235-005

DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2019.03.035

Effects of Microbial Inoculant on Potato Yield, Quality and Its Activation of Soil P and K in Zhangbei Area

ZHANG Minshuo, ZHAO Yingnan, YANG Wei, LIU Wenju, LI Bowen

(College of Resources and Environmental Sciences, Agricultural University of Hebei,

Key Laboratory for Farmland Ecological Environment of Hebei Province, Baoding, Hebei 071001)

Abstract: This field experiment was conducted with different varieties of potato (“Atlantic” “Purple Potato” “Ji Zhang Potato 12”) in Zhangbei area to explore the effects of microbial inoculants with P and K-solubilizing bacteria (MI containing the effective strains of *Bacillus megaterium* and *Bacillus mucilaginosus*) on potato yield, quality, soil available P, K and soil phosphatase. The results showed that the application of microbial inoculant increased the yields of three varieties of Potato ($P < 0.05$), especially for “Ji Zhang Potato 12” by 24.54%, while the average increase of yield was only 6.96% for the other two. Moreover, the quality of potatoes was improved, especially for Purple Potato. The contents of Vc, soluble protein and soluble sugar were significantly increased by 320.21%, 29.40% and 7.12%, respectively ($P < 0.05$). In addition, the application of microbial inoculant regulated the contents of available phosphorus and potassium in the soil and the related soil enzymes activities during the whole growth period. The available P and K contents of the soil cultivated with the cultivars of “Atlantic” and “Ji Zhang Potato 12” were higher than those of CK, and reached a significant level at the middle and late growing stages. At the same time, the activities of soil acid and alkaline phosphatase were increased, with an average increase of 37.52% and 32.30% respectively. Overall, P and K-solubilizing microbial inoculant is suitable for the growth of potato in Zhangbei area, especially for “Ji Zhang Potato 12”.

Keywords: P and K-solubilizing bacteria microbial inoculant; potato cultivars; potato yields; potato quality; soil available P and K

收稿日期: 2018-09-22

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD23B01); 河北省应用基础研究计划重点基础研究项目(17962902D); 河北省农业产业体系项目(HBCT2018030206)

第一作者: 张敏硕(1993-), 男, 河北威县人, 硕士研究生, 主要从事蔬菜养分管理与高效施肥技术研究。E-mail: zmsuo1993@163.com

通信作者: 李博文(1963-), 男, 河北文安人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事土壤环境科学研究。E-mail: kjli@hebau.edu.cn

马铃薯是世界上仅次于小麦、水稻、玉米的第四大粮食作物,粮菜兼用,适应性广,是农业生产中加工产品最丰富的原料作物^[1-2]。张北县属温带大陆性季风气候,年平均气温 3.2 ℃,年降水量 300 mm 左右,年平均日照时间 2 897.8 h,其气候条件适宜种植马铃薯。已有研究^[1-3]表明,马铃薯整个生长期对氮、磷、钾养分的需求较大,尤其对钾素需求更大。然而,张北地区土壤类型属栗钙土,土壤质地偏砂,养分含量较低^[4]。因此如何解决马铃薯生育期对养分的大量需求和土壤养分匮乏之间的矛盾,是提升张北地区马铃薯产量和品质的根本所在。

近些年来巨大芽孢杆菌和胶质芽孢杆菌作为有效菌株的溶磷解钾微生物菌剂在农业生产上应用较为广泛。巨大芽孢杆菌作为常用的溶磷细菌,可以分解软磷脂和土壤中吸附态磷,提高土壤有效态磷含量^[5-6]。胶质芽孢杆菌具有解钾、解硅、溶磷等作用^[7]。张北坝上地区土壤偏砂,保水保肥能力差,用含有巨大芽孢杆菌和胶质芽孢杆菌的混合菌剂代替化肥^[8-9]既可以达到提升土壤磷钾养分又可以防止化肥过多施用带来的养分流失和环境问题。

“大西洋”由美国引进,薯形圆、大小均匀,芽眼少且浅,有利于加工,是加工生产薯片、薯条等休闲食品的优质原料;“紫色马铃薯”属中早熟品种,耐旱耐寒性强,适应性广,薯块耐贮藏;“冀张薯 12”是由河北省高寒作物研究所选育的马铃薯品种,适合内蒙古自治区马铃薯种植区种植。已有研究^[10-13]表明,氮磷钾肥的施用能有效提高马铃薯的产量和品质。因此选择“冀张薯 12”“紫色马铃薯”“大西洋”3 个马铃薯品种,开展溶磷解钾微生物菌剂在冷凉区张北县战海乡马铃薯生产上的应用研究,旨在探究溶磷解钾微生物菌剂是否适合在冷凉张北坝上地区施用及不同品种马铃薯对溶磷解钾微生物菌剂的品种效应。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验于 2017 年 5—10 月,在河北省张北县战海乡许家营村试验基地进行。战海乡耕地面积 4 299.8 hm²,主要发展错季无公害蔬菜,产品远销 20 多个省市并出口日本、韩国等国家,享有“蔬菜之乡”的美誉。

1.2 供试材料

供试土壤:栗钙土,质地为砂质土,土壤基本理化性质为全氮 0.58 g/kg,全磷 0.43 g/kg,全钾 16.65 g/kg,碱解氮 72.77 mg/kg,速效磷 38.20 mg/kg,速效钾 96.24 mg/kg,有机质 14.64 g/kg,pH 为 7.4。

供试品种:供试马铃薯品种为“冀张薯 12”“紫色马铃薯”“大西洋”。

供试菌剂:供试菌剂为河北润沃公司提供的菌

剂,有效菌种为巨大芽孢杆菌和胶质芽孢杆菌,有效活菌数 $\geq 2 \times 10^8$ cfu/mL。

1.3 试验处理

该试验采用 3 个马铃薯品种,每个品种设不施菌剂(CK)和马铃薯种植时穴施 75 L/hm² 菌剂(T)2 个处理。

每个处理 3 个重复,随机排列,所有小区于试验前施加 5.25 t/hm² 生物有机肥(含有机质 42%;N 0.8%;P₂O₅ 0.5%;K₂O 0.5%;巨大芽孢杆菌:1 × 10⁷ cfu/g;胶质类芽孢杆菌:1 × 10⁷ cfu/g;)作为底肥,整个生育期没有追施肥料。

1.4 样品采集及测定

土壤样品:试验前取 0—20,20—40 cm 土壤样品用于测定土壤基本理化性质。马铃薯整个生育期 90 天左右,于微生物菌剂施用后 20 天(D20,芽条生长期 20~30 天)、40 天(D40,幼苗期 15~20 天)、60 天(D60,块茎形成期 30 天)及收获后(D90)取土壤样品用于测定土壤速效磷钾含量和土壤磷酸酶活性。

植物样品:于马铃薯收获期取马铃薯用于测定产量及品质(Vc、可溶性蛋白质、可溶性糖)。Vc 含量采用钼蓝比色法测定;可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G—250 染色法测定;可溶性糖含量采用浓硫酸—蒽酮比色法测定;土壤磷酸酶活性测定采用磷酸苯二钠比色法^[14]。土壤酸性磷酸酶活性以 24 h 后 1 g 土壤中释放出酚的质量数(mg)表示。土壤碱性磷酸酶以 2 h 后 100 g 土壤中 P₂O₅ 的质量数(mg)表示。

1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

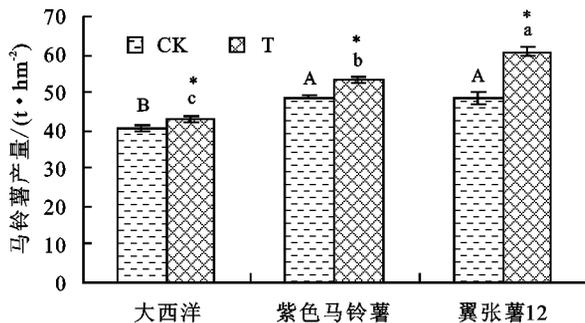
2.1 施用菌剂对不同品种马铃薯产量的影响效应

由图 1 可知,3 个马铃薯品种施用菌剂处理的产量均显著高于对照,“大西洋”“紫色马铃薯”“冀张薯 12”的产量分别比对照高 5.58%,8.35%,24.54%,表明施加菌剂可以促使马铃薯增产。在不施用菌剂的条件下,“紫色马铃薯”“冀张薯 12”的产量相当,且均显著高于大西洋的产量,分别比大西洋高 20.35%,19.94%。施用菌剂后冀张薯 12 产量显著高于“紫色马铃薯”,且“紫色马铃薯”和“冀张薯 12”产量均显著高于大西洋,分别比“大西洋”高 23.12%,41.04%。

菌剂施入土壤后可以通过螯合作用、酸解作用、酶解作用释放土壤中的磷素^[15]。胶质芽孢杆菌可以通过胞外多糖与钾长石形成复合体使其释放钾离子,也可以通过酸解作用酶解作用促进钾离子的释放^[7,16]。试验中施加菌剂处理促进了土壤中磷钾的

释放,使土壤中有效态磷钾含量增加,已有研究^[10-11]表明,土壤中磷钾养分的增加可以使马铃薯增产,由此本试验施加菌剂处理与对照相比产量均显著增加。

“冀张薯 12”和“紫色马铃薯”具有抗旱耐寒特性,适应能力较强,在不施加菌剂的情况下其自身特性使“紫色马铃薯”和“冀张薯 12”产量显著高于大西洋,在施加菌剂后“冀张薯 12”产量提高最为明显且达到差异显著水平,表明“冀张薯 12”马铃薯对菌剂的响应更强,使产量增幅最大。因此,菌剂的施用可以有效提高马铃薯的产量,且菌剂更有利于挖掘“冀张薯 12”的增产潜力。



注:图中 A、B、C、D 表示 CK 下不同品种马铃薯在 $P < 0.05$ 水平下差异显著; a、b、c、d 表示 T 处理下不同品种马铃薯在 $P < 0.05$ 水平下差异显著; * 表示同种马铃薯不同处理在 $P < 0.05$ 水平下差异显著。下同。

图 1 施用菌剂对不同品种马铃薯产量的影响

2.2 施用菌剂对不同品种马铃薯品质的影响效应

由表 1 可知,3 个马铃薯品种施用菌剂后品质都有提高。“紫色马铃薯”Vc、可溶性蛋白质、可溶性糖分别提高 320.21%, 29.40%, 7.12%, 且都达到差异显著水平;“大西洋”可溶性蛋白质和可溶性糖显著提高,分别提高 45.50%, 7.30%, Vc 没有达到差异显著水平;“冀张薯 12”Vc 和可溶性糖显著提高,分别提高 133.50%, 6.40%, 可溶性蛋白质虽然有所提高但没有达到差异显著水平。钱建民等^[17]研究表明,施用含有溶磷解钾的微生物肥料可以提升马铃薯中干物质、Vc 等品质,本试验中在施加生物有机肥的基础上施加菌剂处理 Vc、可溶性蛋白质、可溶性糖含量均有不同程度的提升,表明菌剂的施加改善了马铃薯的品质。“大西洋”可溶性蛋白质与可溶性糖有显著提升,“冀张薯 12”Vc 和可溶性糖有显著提升,“紫色马铃薯”3 个品质指标都有显著提升,且“紫色马铃薯”Vc 与可溶性糖含量显著高于其他 2 个品种。因此在品质上“紫色马铃薯”对菌剂的响应能力较强。

2.3 施用菌剂对马铃薯整个生育期土壤速效磷的影响

由图 2 可知,从整个生育期土壤速效磷含量情况来看,施用菌剂处理土壤速效磷含量都显著高于相对

应的对照组土壤速效磷含量(施用菌剂 20 天的土壤样品除外)。分析 3 个马铃薯品种不同阶段,土壤速效磷含量的变化发现,种植“大西洋”和“冀张薯 12”的土壤速效磷含量在菌剂施用 40 天(D40)、60 天(D60)直至收获(D90),均显著高于对照,“大西洋”D40、D60、D90 土壤速效磷的增幅分别为 43.25%, 12.32%, 119.30%;“冀张薯 12”D40、D60、D90 速效磷增幅分别为 12.25%, 71.63%, 53.64%。对这 2 个品种而言,菌剂施用后在马铃薯生长的中后期促进了土壤速效磷的释放;种植“紫色马铃薯”的土壤施用菌剂 60 天和收获期速效磷含量显著高于对照,增幅分别为 43.45% 和 32.62%,仅在生育后期促进了土壤磷的活化。这是因为菌剂中含有溶磷菌—巨大芽孢杆菌和胶质芽孢杆菌,在施加到土壤中后可以通过酶解、酸解活化土壤中固定态磷素,使土壤速效磷含量升高^[15,18]。

表 1 菌剂对不同品种马铃薯品质的影响

品质指标	品种	CK	T
Vc/ (mg · 100 g ⁻¹)	大西洋	7.47 ± 1.49A	8.97 ± 2.59b
	紫色马铃薯	7.47 ± 1.49A	31.39 ± 5.18a*
	冀张薯 12	4.48 ± 0A	10.46 ± 1.49b*
可溶性蛋白质/ (mg · g ⁻¹)	大西洋	16.30 ± 0.80B	23.71 ± 0.83b*
	紫色马铃薯	17.89 ± 1.25B	23.15 ± 1.11b*
	冀张薯 12	34.36 ± 3.14A	39.70 ± 0.49a
可溶性糖 含量/%	大西洋	12.67 ± 0.03B	13.59 ± 0.01b*
	紫色马铃薯	15.58 ± 0.08A	16.69 ± 0.08a*
	冀张薯 12	12.41 ± 0.04C	13.21 ± 0.06b*

注:表中数据为平均值 ± 标准误差; A、B、C 表示 CK 下不同品种马铃薯品质在 $P < 0.05$ 水平下差异显著; a、b、c 表示 T 处理下不同品种马铃薯品质在 $P < 0.05$ 水平下差异显著; * 表示同种马铃薯不同处理在 $P < 0.05$ 水平下差异显著。

2.4 施用菌剂对马铃薯整个生育期土壤速效钾的影响

由图 3 可知,从整个生育期土壤速效钾含量变化来看,施用菌剂处理土壤速效钾含量都显著高于相对对照组土壤速效钾含量(使用菌剂 20 天除外,“紫色马铃薯”D20 和 D90 除外)。分析 3 个马铃薯品种不同阶段,土壤速效钾含量的变化发现,种植“大西洋”和“冀张薯 12”的土壤速效钾含量在菌剂施用 40 天(D40)、60 天(D60)直至收获(D90),均显著高于对照,“大西洋”D40、D60、D90 土壤速效钾的增幅分别为 51.72%, 46.04%, 67.78%;“冀张薯 12”D40、D60、D90 土壤速效钾增幅分别为 54.94%, 42.58%, 11.72%。对这 2 个品种而言,菌剂施用后在马铃薯生长的中后期促进了土壤速效钾的释放;种植“紫色马铃薯”的土壤施用菌剂 40 天和 60 天土壤速效钾含量显著高于对照,增幅分别为 55.04% 和 63.99%,在

生育中期促进了土壤钾的活化。3 个品种马铃薯土壤速效钾含量的提升都表明菌剂具有活化土壤钾素的作用^[19-21]，“大西洋”和“冀张薯 12”在在施用菌剂中后期对土壤钾素有显著活化作用，“紫色马铃薯”在施加菌剂中期对土壤钾素有显著活化作用。

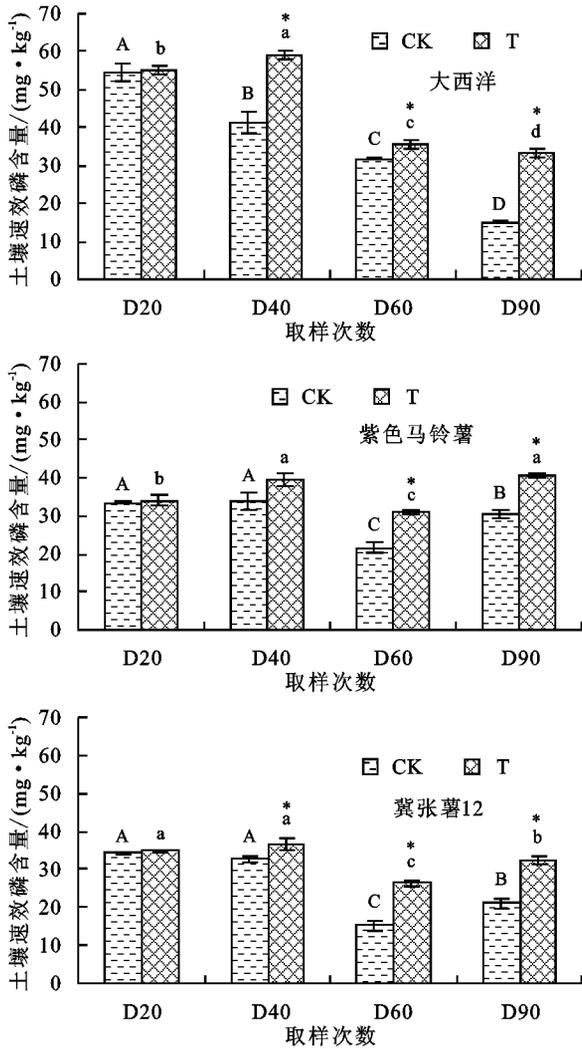


图 2 施用菌剂对马铃薯整个生育期土壤速效磷含量的影响

2.5 施用菌剂对马铃薯土壤磷酸酶的影响

由图 4 可知,施用微生物菌剂的处理酸性磷酸酶和碱性磷酸酶的量均高于对应的对照组,且除“紫色马铃薯”外都达到差异显著水平,3 个品种马铃薯施用菌剂处理与CK 相比酸性磷酸酶分别上升 38.51%,

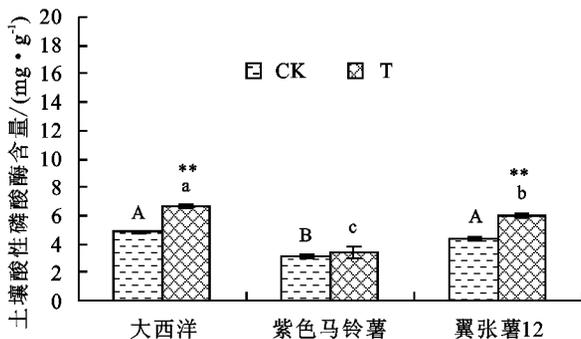


图 4 施用菌剂对马铃薯土壤酸性磷酸酶和土壤碱性磷酸酶的影响

9.18%,36.53%,碱性磷酸酶分别上升 40.89%,1.74%,23.70%。相关研究^[22-24]表明,施用微生物肥可以提升土壤养分、酶活性,菌剂中巨大芽孢杆菌活化土壤有机磷主要为酶解作用,酶的增加表明菌剂的施加提高的土壤有机磷活化为速效磷的能力,从而使土壤中速效磷的含量增多,进一步为马铃薯提供可直接吸收利用的土壤磷素。“冀张薯 12”马铃薯土壤酸性磷酸酶与碱性磷酸酶的含量总和高于其他 2 个品种,由此施加菌剂后在土壤磷酸酶方面“冀张薯 12”响应能力更强。

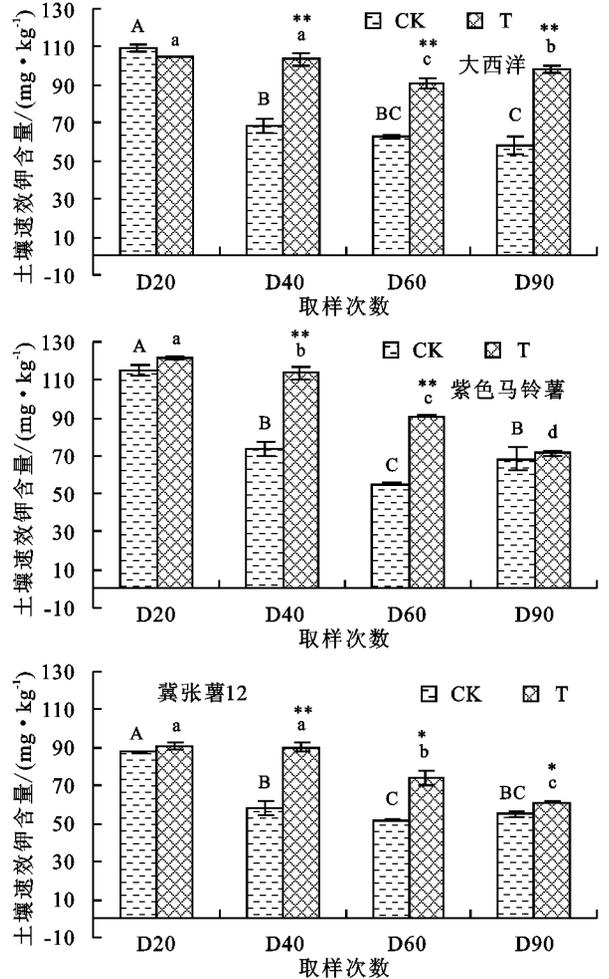
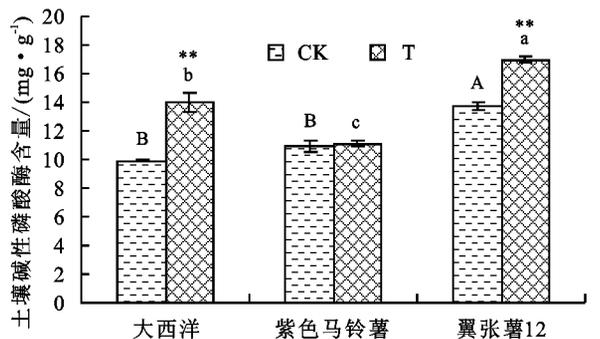


图 3 施用菌剂对马铃薯整个生育期土壤速效钾含量的影响

注: ** 表示同种马铃薯同样取样天数不同处理在 $p < 0.01$ 水平下差异显著。下同。



3 结论

(1)施用溶磷解钾微生物菌剂可以使马铃薯增产5.58%~24.54%。且“冀张薯12”马铃薯对施加菌剂响应最大,增产最高。菌剂的施用可以显著提高马铃薯品质,Vc含量提高133.50%~320.21%;可溶性蛋白质含量提高29.40%~45.50%;可溶性糖含量提高6.40%~7.30%;且“紫色马铃薯”3个品质指标都显著增加,对菌剂的响应能力最大。

(2)施用溶磷解钾微生物菌剂可以提高土壤速效磷钾含量,“大西洋”整个生育期土壤速效磷钾分别增长44.04%,40.40%;“紫色马铃薯”分别增加23.58%,32.21%;“冀张薯12”分别增加34.85%,28.13%。施用溶磷解钾微生物菌剂可分别提高土壤酸性和碱性磷酸酶活性36.53%~38.51%,23.70%~40.89%,且“冀张薯12”生长的土壤磷酸酶活性对施加菌剂响应能力最强。

(3)张北坝上地区以提高产量为主推荐种植“冀张薯12”,以营养含量为主则推荐种植“紫色马铃薯”,且二者施用溶磷解钾菌剂均可提高产量和提升品质。

参考文献:

- [1] 郭新送,丁方军,陈士更,等.不同用量包膜氯化钾对马铃薯产量、品质及土壤钾供应的影响[J].水土保持学报,2017,31(6):296-301.
- [2] 何文寿,马琨,代晓华,等.宁夏马铃薯氮、磷、钾养分的吸收累积特征[J].植物营养与肥料学报,2014,20(6):1477-1487.
- [3] 段玉,张君,李焕春,等.马铃薯氮磷钾养分吸收规律及施肥肥效的研究[J].土壤,2014,46(2):212-217.
- [4] 郑春雅,许中旗,马长明,等.冀西北坝上地区退化防护林的土壤性质[J].水土保持学报,2016,30(1):203-207.
- [5] 吴海燕,金荣德,范作伟,等.解磷巨大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*)的溶磷机理探讨[J].吉林农业大学学报,2014,36(2):171-175.
- [6] 范丙全.我国生物肥料研究与应用进展[J].植物营养与肥料学报,2017,23(6):1602-1613.
- [7] 李甘雨,林海,董颖博,等.胶质芽孢杆菌释放矿物元素效果及机理研究进展[J].金属矿山,2017(1):113-118.

(上接第234页)

- [21] Elser J J, Fagan W F, Denno R F, et al. Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs [J]. Nature, 2000, 408(6812): 578-580.
- [22] Marschner P. Marschner's mineral nutrition of higher plants [M]. London, UK: Academic Press, 2012: 672.
- [23] Glasener K M, Waggoner M G, Mackown C T, et al. Contributions of shoot and root nitrogen-15 labeled legume nitrogen sources to a sequence of three cereal

- [8] 尚海丽,毕银丽,彭苏萍,等.解钾细菌与黏土矿物协同促进玉米生长提高土壤养分有效性[J].农业工程学报,2016,32(12):129-135.
- [9] 梅新兰,闪安琪,蒋益,等.适应玉米的溶磷细菌筛选及其对玉米生长的影响[J].土壤学报,2016,53(2):502-509.
- [10] 廖佳丽,徐福利,赵世伟.宁南山区施肥对马铃薯生长发育、产量及品质的影响[J].中国土壤与肥料,2009(4):48-52.
- [11] 孔令郁,彭启双,熊艳,等.平衡施肥对马铃薯产量及品质的影响[J].土壤肥料,2004(3):17-19.
- [12] 吕慧峰,王小晶,陈怡,等.氮磷钾分期施用对马铃薯产量和品质的影响[J].中国农学通报,2010,26(24):197-200.
- [13] 张西露,刘明月,伍壮生,等.马铃薯对氮、磷、钾的吸收及分配规律研究进展[J].中国马铃薯,2010,24(4):237-241.
- [14] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986:309-313.
- [15] 刘露,李丽,闫洪雪,等.巨大芽孢杆菌的应用研究进展[J].北方农业学报,2016,44(4):117-120.
- [16] 刘五星,徐旭士,杨启银,等.胶质芽孢杆菌对土壤矿物的分解作用及机理研究[J].土壤,2004,36(5):547-550.
- [17] 钱建民,王晓岑,段雪娇,等.微生物肥对马铃薯产量及品质的影响[J].作物杂志,2015(1):99-102.
- [18] 钟传青,黄为一.磷细菌 P17 对不同来源磷矿粉的溶磷作用及机制[J].土壤学报,2004,41(6):931-937.
- [19] 盛下放,冯阳.不同条件下硅酸盐细菌对含钾矿物分解作用的研究[J].土壤,2005,37(5):110-112.
- [20] 盛下放,黄为一,殷永娟.硅酸盐菌剂的应用效果及其解钾作用的初步研究[J].南京农业大学学报,2000,23(1):43-46.
- [21] 李新新,高新新,陈星,等.一株高效解钾菌的筛选、鉴定及发酵条件的优化[J].土壤学报,2014,51(2):381-388.
- [22] 邱晓丽.不同生物有机肥对土壤生物活性以及对马铃薯的生物效应的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2018.
- [23] 陈倩,刘善江,白杨,等.山西矿区复垦土壤中解磷细菌的筛选及鉴定[J].植物营养与肥料学报,2014,20(6):1505-1516.
- [24] 卫星,徐鲁荣,张丹,等.一株耐硝酸盐的巨大芽孢杆菌溶磷特性研究[J].环境科学学报,2015,35(7):2052-2058.

crops [J]. Soil Science Society of America Journal, 2002, 66(2): 523-530.

- [24] 王维奇,徐玲琳,曾从盛,等.河口湿地植物活体一枯落物一土壤的碳氮磷生态化学计量特征[J].生态学报,2011,31(23):7119-7124.
- [25] Koerselman W, Meuleman A. The vegetation N:P ratio: A new tool to detect the nature of nutrient limitation [J]. Journal of Applied Ecology, 1996, 33(6): 1441-1450.