

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2016)04-0218-08

钾细菌对土壤养分转化强度及马铃薯品质的影响

马 娜, 李 嵩, 孙 涛, 钱建民, 许景钢*

(东北农业大学资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘 要: 钾对马铃薯的生长有十分重要的作用, 而钾细菌对钾的有效性有显著的促进作用。试验以马铃薯为研究对象, 通过施用含有溶钾作用的钾细菌进行大田试验, 寻求施用微生物菌作为马铃薯增产提质的新途径, 并探讨解钾细菌的合理施用量。结果表明, 钾细菌在一定程度上可以提高土壤的生化活性以及土壤氮、钾的养分含量; 改善马铃薯品质, 提高马铃薯的产量和经济效益。60 kg/hm²钾细菌制剂被推荐为北方寒地马铃薯栽培的最佳施用量。

关键词: 生物钾肥; 马铃薯; 硅酸盐细菌; 生化活性

Effects of Potassium Bacteria on Soil Nutrient Transformation and Potato Quality

MA Na, LI Song, SUN Tao, QIAN Jianmin, XU Jinggang*

(College of Resources and Environmental Sciences, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: Potassium has an obvious effect on potato growth, and potassium bacteria have a significant role to play in promoting the availability of potassium. In this research, potassium bacteria were applied to potatoes in a field experiment to explore a new way to improve quantity and quality of potatoes, and determine the optimal rate of the potassium bacteria applied. The results showed that the potassium bacteria increased to some extent the biological activity and the nutrient contents of nitrogen and potassium in soil; and improved the yield, quality and economic benefit of potatoes. Potassium bacteria applied at 60 kg/ha could be recommended as the optimal application rate of potassium bacteria for potato production in the northern cold-region of china.

Key Words: bio-potassium fertilizer; potato; silicate bacterium; biological activity

马铃薯是世界上第四大粮食作物, 其适应性强、产量高, 在食物结构中的地位尤为重要, 有“第二面包”和“地下苹果”的美称^[1]。马铃薯在粮食、蔬菜、饲料和工业原料等方面扮演着重要角色, 生产发展前景广阔, 在当今世界农业生产中发挥着不可替代的作用^[2]。钾对马铃薯的生长具有十分重要的作用。钾细菌对钾的有效性有显著的促进

作用^[3], 其代谢产物如生长刺激素、多糖、有机酸和蛋白质等能抑制病原菌生长, 改善土壤肥力, 促进农作物对土壤养分的营养吸收, 以达到促进作物生长、增产等效应^[4]。近年来, 国内大量田间试验也表明生物钾肥对各种喜钾作物如甘薯、烟草、水稻等有明显的增产作用, 而对马铃薯的增产研究, 尤其在中国北方寒冷地区则鲜有报道。本试验以中

收稿日期: 2016-06-27

作者简介: 马娜(1995-), 女, 本科, 研究方向为环境生物。

*通信作者(Corresponding author): 许景钢, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤生物及土壤肥力研究。

国北方寒地土壤为背景,以马铃薯作为指示植物,以及细菌施用量作为试验对象,研究不同钾细菌施用量对马铃薯产量、品质,以及对应下的土壤养分含量、转化效率,寻求新的溶钾效果更好、解钾能力更强的微生物解钾菌资源及施用方案,为该地域的马铃薯生产提供新的生物增产解决方案。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2014年5~10月在黑龙江省哈尔滨市香坊区光明屯进行,地块肥力均匀,前茬作物大豆。供试土壤养分含量分别为有机质 29.0 mg/kg, 碱解氮 77.6 mg/kg, 速效磷 36.4 mg/kg, 速效钾 149.3 mg/kg, pH 6.5。

1.2 供试材料

供试作物:‘克新13号’,原种二代,由黑龙江省农业科学院提供。

供试肥料:钾细菌制剂(添加生物解钾细菌;由黑龙江埃格瑞生物技术有限公司提供),磷酸二铵(N 18%、P₂O₅ 46%),尿素(N 46%),硫酸钾(K₂O 50%)。

1.3 试验设计

试验以田间传统施肥为对照(磷酸二铵 150 kg/hm², 尿素 220 kg/hm², 硫酸钾 240 kg/hm², 混合后作底肥1次性施入)。试验采用随机区组设计,钾细菌施用量设4个水平:0, 15, 30 和 60 kg/hm²,

分别记为1, 2, 3和4, 3次重复。试验小区面积 12.6 m², 每小区3垄, 垄宽 70 cm, 垄长 6 m, 株距 25 cm, 种植密度 5.71 × 10⁴ 株/hm²。小区周围设2个保护行。5月17日播种,采用单垄称肥施肥,所有肥料拌土混匀以基肥形式1次性施入。各小区分别在马铃薯出苗后 30 d(块茎形成期)、70 d(块茎膨大期)、90 d(淀粉积累期)和 105 d(成熟期)进行农艺性状调查并进行植株和土壤取样。

1.4 测定项目及方法

土壤pH、有机质含量、速效养分含量采用传统方法测定^[5]。土壤生化强度指标(氨化强度、有机磷转化强度、无机磷溶解强度、溶钾强度)参照林先贵^[6]的方法进行测定。马铃薯产量品质指标(淀粉含量、维生素C含量、还原糖含量、蛋白质含量)参照张永成和田丰^[7]的方法进行测定。

1.5 数据处理

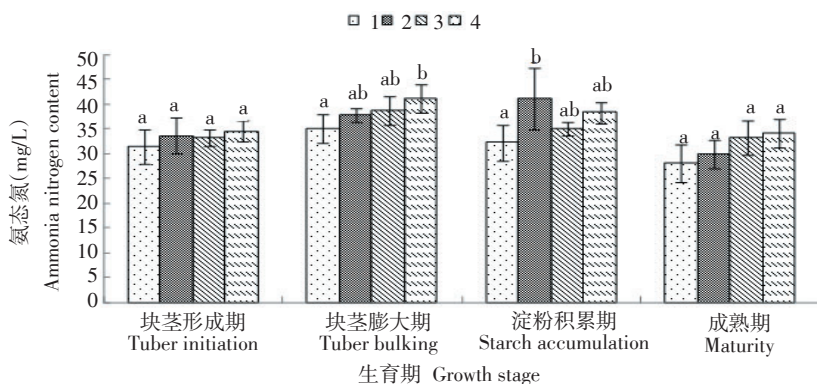
试验数据采用 SPSS 18.0 进行分析,采用 Duncan 差异显著性检验比较不同处理间在 $P < 0.05$ 显著性水平的差异,相关数据的作图利用 Excel 2007 处理。

2 结果与分析

2.1 钾细菌对土壤养分转化强度的影响

2.1.1 钾细菌对土壤氨化强度的影响

钾细菌对土壤氨化强度的影响情况如图1所示。在块茎形成期和成熟期,土壤氨态氮含量各处



误差线为标准差;同一生育期不同处理标有不同小写字母表示差异显著,新复极差法。下同。

The error bar is standard deviation; different small letters above treatments in the same growth stage mean significant difference as tested using Duncan's multiple range test. The same below.

图1 钾细菌对土壤氨化强度的影响

Figure 1 Effect of potassium bacteria on soil ammonification

理之间相比差异并不显著。而块茎膨大期和淀粉积累期的土壤氨态氮含量较高,说明在马铃薯的生长中期,土壤的氨化强度可以达到峰值。各个生育期内,土壤氨态氮含量随着钾细菌使用量的增加,均表现出了一定的增长趋势。其中,处理4的各个时期与对照处理相比,土壤氨态氮含量分别提高了10.43%、17.34%、18.85%和21.68%。特别在块茎膨大期,处理4与对照处理相比提高效果显著。说明钾细菌可以提高土壤氨化强度。

2.1.2 钾细菌对土壤有机磷及无机磷转化强度的影响

钾细菌对土壤有机磷转化强度影响如图2所示。以土壤的溶磷增量来表达土壤的有机磷转化强

度。块茎形成期,土壤有机磷转化强度随钾细菌的施用量增加而升高,与对照处理相比,处理2和处理4差异显著,分别增幅15.35%和15.44%。块茎膨大期,与对照处理相比,各处理土壤有机磷转化强度提高7.46%~20.08%,增加幅度依次为处理3>处理4>处理2。淀粉积累期,各处理土壤有机磷转化强度均高于对照处理,且随着钾细菌施用量的增加,土壤有机磷转化强度有着明显的提高趋势,其中处理4显著提高。块茎成熟期,土壤有机磷转化强度随钾细菌的施用量增加呈上升趋势。在马铃薯的整个生育期内,钾细菌对土壤有机磷转化强度影响有明显提高。

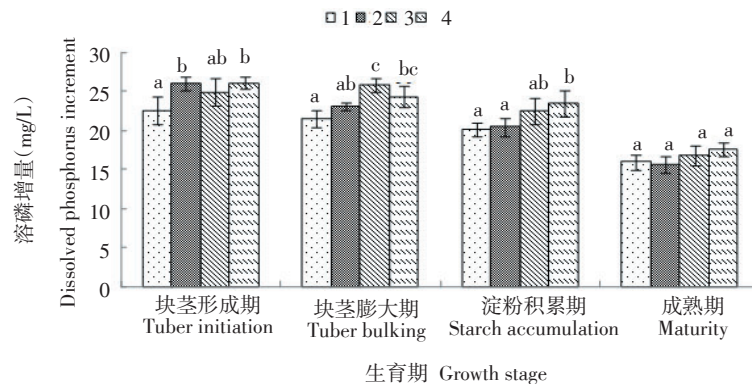


图2 钾细菌对土壤有机磷转化强度的影响

Figure 2 Effect of potassium bacteria on soil organic phosphorus transformation strength

钾细菌对土壤无机磷转化强度影响如图3所示。各生育期各处理的土壤无机磷转化强度平均为94.96~117.63 mg/L,钾细菌对无机磷转化强度没有明显影响。

2.1.3 钾细菌对土壤解钾强度的影响

钾细菌对土壤解钾强度的影响如图4所示。马铃薯生育前期的土壤解钾强度大于生育后期。各处理在每个生育期内,随着生物解钾细菌添加量

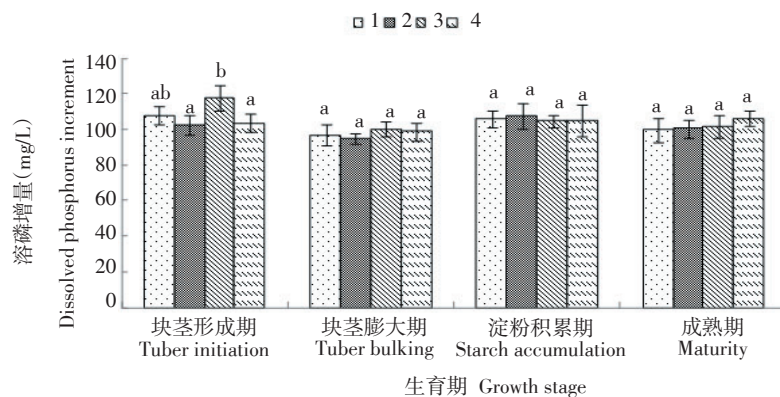


图3 钾细菌对土壤无机磷转化强度的影响

Figure 3 Effect of potassium bacteria on soil inorganic phosphorus transformation strength

的提高, 土壤解钾强度存在着明显的升高趋势, 增幅高达 9.66%~47.28%。除处理 2 在块茎形成期和成熟期与对照处理相比差异不显著之外, 处理 3 在块茎形成期、块茎膨大期、成熟期和处理 4 在所有时期的土壤解钾强度均高于对照处理, 且差异显著。随着生物解钾细菌的大幅增加, 处理 3 和处理 4 之间差异不显著。

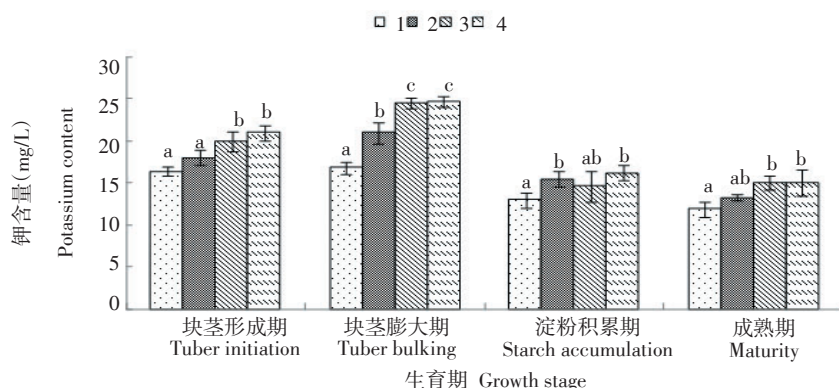


图 4 钾细菌对土壤解钾强度的影响

Figure 4 Effect of potassium bacteria on soil potassium availability

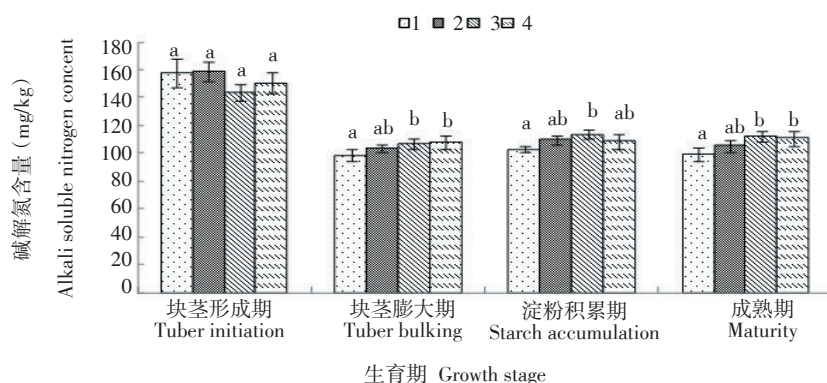


图 5 钾细菌对土壤碱解氮含量的影响

Figure 5 Effect of potassium bacteria on soil alkali-hydrolysable N content

停止。各处理对土壤碱解氮的作用与块茎膨大期和淀粉积累期的趋势相同, 钾细菌对土壤碱解氮含量提高有非常明显的促进作用。

2.2.2 钾细菌对土壤速效磷的影响

钾细菌对土壤速效磷含量的影响如图 6 所示。在马铃薯的整个生育期内, 各处理对土壤速效磷含量影响无明显规律, 处理间差异不显著, 说明钾细菌对土壤速效磷含量无明显影响。

2.2 钾细菌对土壤养分的影响

2.2.1 钾细菌对土壤碱解氮的影响

钾细菌对土壤碱解氮含量的影响如图 5 所示。块茎形成期, 各处理间差异不显著。从块茎膨大期开始, 随着钾细菌施用量的提高, 碱解氮含量明显提高, 其中淀粉积累期, 处理 3 含量最高, 达 113.75 mg/kg。成熟期, 马铃薯对氮素的吸收基本

2.2.3 钾细菌对土壤有效钾的影响

钾细菌对土壤有效钾的影响情况如图 7 所示。由于马铃薯生育前期的化肥施入, 块茎形成期的土壤有效钾含量较高, 各处理间无显著差异。至块茎膨大期, 马铃薯大量吸收钾素, 使土壤有效钾含量迅速降低。至淀粉积累期有所上升, 之后至成熟期再次小幅度下降。从块茎膨大期开始, 钾细菌的施用量提高土壤有效钾含量, 其影响表

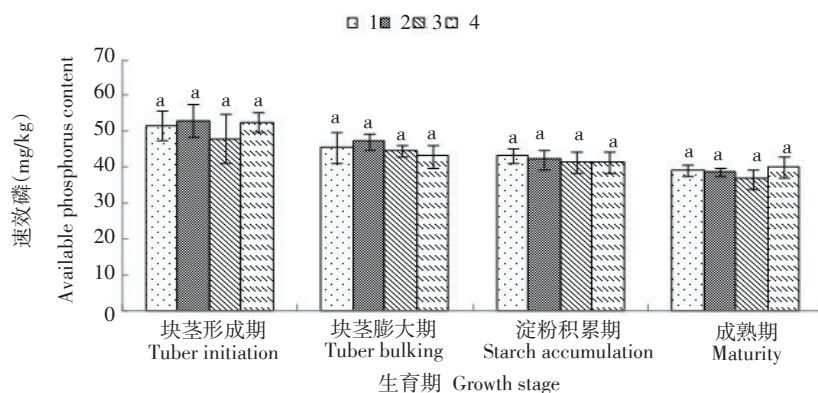


图6 钾细菌对土壤速效磷含量的影响

Figure 6 Effect of potassium bacteria on soil available P content

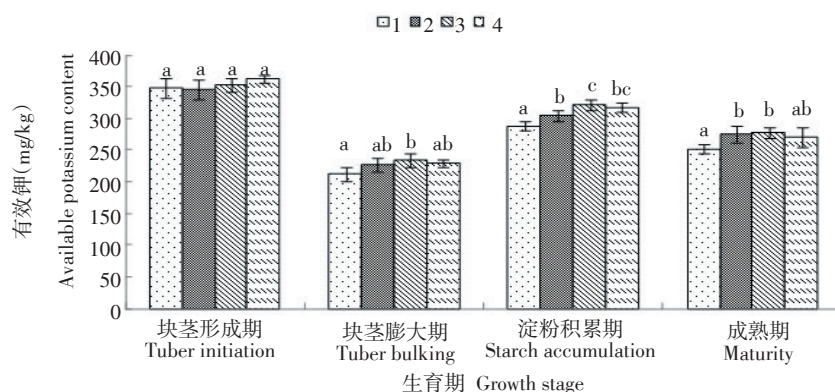


图7 钾细菌对土壤有效钾含量的影响

Figure 7 Effect of potassium bacteria on soil available K content

现为先上升后降低的趋势。其中, 处理3提升效果最佳, 在整个生长期均与对照处理之间达到了显著差异水平, 对土壤有效钾含量的增幅为10.00%~11.87%。处理2效果次之, 淀粉积累期和成熟期, 土壤有效钾含量与对照处理相比差异显著, 增幅分别为5.69%和9.49%。处理4效果不明显, 但在淀粉积累期, 增幅最高也能达到10.23%。所以, 适量的钾细菌对土壤有效钾含量有一定的促进作用, 超过一定的范围, 对土壤有效钾的提高幅度较小。

2.3 钾细菌对马铃薯生长发育及品质的影响

2.3.1 钾细菌对马铃薯株高及茎粗的影响

苗期, 马铃薯自身所需营养主要由种薯提供, 且该试验种薯基本保持在45 g左右, 成熟期马铃薯植株基本已枯萎死亡, 因此马铃薯株高及茎粗调查只选在块茎形成期、块茎膨大期和淀粉

积累期3个时期调查分析。钾细菌对马铃薯株高及茎粗变化如表1所示。马铃薯株高自块茎形成期至块茎膨大期迅速增高, 至淀粉积累期株高增长缓慢且有停止的趋势。马铃薯茎粗随生育期的推移平稳增大, 至淀粉积累期基本达到最高。整体来看, 马铃薯株高及茎粗在各处理间均未达到显著差异, 且无明显规律。说明钾细菌对马铃薯株高及茎粗无显著影响。

2.3.2 钾细菌对马铃薯品质的影响

钾细菌对块茎干物重含量有明显提升的趋势。随着钾细菌施用量的提高, 块茎干物重在处理3及处理4条件下显著提高。钾细菌对马铃薯块茎淀粉含量的影响不明显, 各处理与对照相比差异不显著。随钾细菌添加量的提高, 马铃薯块茎维生素C含量不断增加, 至处理4达到显著差

表 1 钾细菌对马铃薯株高及茎粗的影响

Table 1 Effects of potassium bacteria on potato height and stem diameter

处理 Treatment	株高(cm) Plant height			茎粗(mm) Stem diameter		
	块茎形成期 Tuber initiation	块茎膨大期 Tuber bulking	淀粉积累期 Starch accumulation	块茎形成期 Tuber initiation	块茎膨大期 Tuber bulking	淀粉积累期 Starch accumulation
1(CK)	24.38 ± 1.67 a	62.17 ± 1.61 ab	68.13 ± 1.53 a	7.14 ± 0.32 a	8.48 ± 0.54 a	10.44 ± 0.28 a
2	25.44 ± 2.72 a	64.06 ± 2.39 b	68.20 ± 1.59 a	6.70 ± 0.34 a	8.55 ± 0.31 a	9.99 ± 0.35 a
3	25.72 ± 2.04 a	58.44 ± 2.41 a	65.27 ± 1.67 a	7.01 ± 0.07 a	8.48 ± 0.25 a	10.01 ± 0.34 a
4	24.78 ± 1.70 a	64.44 ± 3.06 b	67.20 ± 1.22 a	7.25 ± 0.44 a	8.93 ± 0.36 a	10.35 ± 0.94 a

注：平均值后数值为标准差；同列数值后标有不同小写字母表示处理差异显著，新复极差法。下同。

Note: The number after the average is standard deviation; different small letters after numerical value in the same column mean significant difference as tested using Duncan's multiple range test. The same below.

表 2 钾细菌对马铃薯品质的影响

Table 2 Effect of potassium bacteria on potato quality

处理 Treatment	块茎干物含量(%) Dry matter content	淀粉含量(%) Starch content	维生素 C 含量(mg/kg) Vitamin C content	还原糖含量(g/kg) Reducing sugar content	蛋白质含量(g/kg) Protein content
1(CK)	17.54 ± 0.38 a	73.65 ± 3.85 a	140.00 ± 9.70 a	4.39 ± 0.15 b	80.71 ± 5.94 a
2	18.35 ± 1.11 ab	75.49 ± 4.01 a	145.60 ± 5.60 ab	4.18 ± 0.25 ab	82.31 ± 6.03 a
3	19.21 ± 0.12 bc	76.78 ± 6.23 a	156.80 ± 9.70 ab	3.86 ± 0.25 a	88.98 ± 5.47 a
4	20.01 ± 0.99 c	76.96 ± 2.08 a	160.54 ± 11.66 b	4.00 ± 0.30 ab	84.27 ± 4.78 a

表 3 钾细菌对马铃薯产量及大中薯率的影响

Table 3 Effects of potassium bacteria on potato tuber yield and large-medium tuber percentage

处理 Treatment	产量(kg/hm ²) Yield (kg/ha)	较 CK 增加(%) Compared to control	大于 100 g 块茎(%) Tuber >100 g	较 CK 增加(%) Compared to control
1(CK)	28 737 ± 1 462.9 a	—	83.6 ± 2.2 a	—
2	32 147 ± 2 158.5 ab	11.9	85.4 ± 2.9 a	2.2
3	30 956 ± 1 903.6 ab	7.7	86.6 ± 2.5 a	3.6
4	33 160 ± 2 147.5 b	15.4	87.8 ± 2.5 a	4.9

异水平，维生素 C 含量较对照处理提高 14.67%。在马铃薯生长期钾细菌等微生物大量活动，促进了还原糖向其他形式糖分的转化，使马铃薯还原糖含量在 3 个钾细菌施用处理分别较对照处理降低 4.78%、12.07%和 9.75%。钾细菌可以一定程度上提高马铃薯块茎蛋白质含量，增幅在 1.98%~10.25%(表 2)。

2.4 钾细菌对马铃薯产量及经济效益的影响

2.4.1 钾细菌对马铃薯产量的影响

钾细菌对马铃薯产量及大中薯率的影响如表 3 所示。各施用钾细菌处理均提高了马铃薯产量。其中，处理 4 产量最高，达到 33 160 kg/hm²，较对照处理增产 15.4%，差异显著。处理 2 和处理 3 增产 11.9%和 7.7%，但与对照处理差异不显著。钾细菌

表 4 各处理马铃薯经济效益比较
Table 4 Comparison of different treatments for economic benefit

处理 Treatment	产量(kg/hm ²) Yield (kg/ha)	产值(元/hm ²) Output (Yuan/ha)	增加成本投入(元/hm ²) Increased cost of investment (Yuan/ha)	纯收益(元/hm ²) Pure income (Yuan/ha)
1(CK)	28 737	20 115.6	—	—
2	32 147	22 503.1	150	2 237.5
3	30 956	21 669.1	300	1 253.5
4	33 160	23 211.9	600	2 496.3

注：以马铃薯销售价0.7元/kg，生物钾肥10元/kg计算。各处理传统肥料用量一致，因此其投入成本未计算在内。

Note: Potatoes are sold at the price of 0.7 Yuan/kg; fertilizer of BPF at 10 Yuan/kg. Traditional fertilizer dosage is the same for all treatments, so the input costs are not included.

对马铃薯的大中薯率的影响差异不显著。

2.4.2 钾细菌对马铃薯经济效益的影响

根据各处理马铃薯产量及肥料投入进行经济效益分析(表4)。处理2、处理3、处理4与对照处理相比，收益均明显提高。处理4纯收益最高，与不施用生物钾肥的对照处理相比，纯收益增加了2 496.3元/hm²。且处理4的商品率(大中薯率)最高。钾细菌对马铃薯的增产增收具有现实意义。

3 讨 论

钾细菌对马铃薯品质、产量有提升作用并对土壤环境的改善可以起到积极促进的作用。本试验中，随着钾细菌施用量增加，土壤中钾细菌含量增加，对土壤氮化强度，有机磷转化强度和土壤解钾强度均有明显的提高效果，而对无机磷转化强度的提高效果有限。贺积强等^[8]指出不同的硅酸盐细菌菌株的溶磷、解钾特性差异较大，具有溶磷解钾双重特性的菌株约占供试菌株(含参考菌株)的22%，说明本试验的钾细菌对有机磷化合物和氮有机物有分解转化作用，对含钾矿物具有解钾、溶蚀作用^[9]较强，而该钾细菌对无机磷矿物不具备转化分解或溶解能力。

钾细菌对土壤碱解氮和有效钾含量提高有非常明显的促进作用。王晖^[10]的试验结果表明，解钾细菌经人工选育、发酵、扩大应用于农作物后，都能直接和间接提供土壤中和植物所需的N、P、K元素，并且通过其对矿物质营养转化表现出保氮、保

钾等功能和对植物营养元素的有效供给及供应总量的提高。本试验发现，超过一定的钾细菌添加量范围后，可能由于土壤的碱解氮和速效钾含量接近饱和，或不同微生物因竞争各种生长条件而产生拮抗作用，养分含量提高幅度开始降低。钾细菌对土壤速效磷含量无明显影响，这与该钾细菌的较低溶磷作用相一致。

钾细菌的活动可以提高马铃薯对土壤养分元素的利用率，协调营养器官和收获器官的生长及干物质分配，促进茎叶中干物质向块茎中转移。一般条件下，马铃薯的块茎干物质含量越高，块茎淀粉含量相应就越高。对于商品薯而言，用干物质含量高的马铃薯块茎生产淀粉，出粉率就高^[11]。钾细菌可以提升种薯块茎干物质含量，也就说明可以提升种薯的发芽和生长能力。王梓全等^[12]认为，马铃薯产量、单株块茎数和大薯率均随着施氮量的增加而呈现先增加后降低的趋势。钾细菌同样表现出类似的趋势，在本试验条件范围内，马铃薯增产效果显著。

微生物制剂对作物的增产原因普遍认为是钾细菌可以对土壤中的云母、长石、磷石灰等含钾、磷的矿物进行分解，释放出钾、磷等植物生长发育所必须的元素，从而改善作物的营养条件，可以减少传统肥料的施用量，提高肥料利用率，防止大量的闭蓄态磷在土壤中的大量堆积引起的土壤板结酸化。但龙健等^[13]认为生物钾肥在实际生产应用中，钾细菌所起到的增产

作用不是因为增加了土壤中可溶性钾的含量,而可能与其能合成维生素类、生长激素类物质以及和添加剂有关,而可溶性钾,磷并不是作物增产的最主要因素。同时,这类促进作物生长的生长激素的作用产生机理不明确,安全性未知,曾经严重制约了生物解钾细菌菌剂(生物钾肥)在农业生产上的应用。近年来,随着植物根圈促生细菌研究的发展,有关植物、微生物群落对植物生长和产量的影响得到进一步证明。微生物肥料开始加速进入人们的视野。蒋先军等^[14]认为,硅酸盐细菌,即生物解钾细菌的增产作用不应只从其能分解硅酸盐矿物释放出钾来考虑,还应考虑到硅酸盐细菌作为一种根际微生物在植物微生物系统中的作用及其本身产生的各种作用,如影响植物营养的有效吸收和植物病原物的活动,以及代谢产物对植物生长的影响等。所以,根据植物促生根际细菌理论,钾细菌并不是通过单纯的提高土壤生化活性和养分含量来起到作物的增产增收作用,而是当该菌在作物根部形成优势菌落时,体现出较强的解钾解磷能力,并刺激生长和抑制病菌,从而对作物的优质生长带来综合促进作用时,钾细菌的优势才能够以根际微生态学的角度体现出来。

本试验中,随着钾细菌施用量的增加,土壤中的溶钾微生物含量得以增加,从而提高了土壤的氨化强度,有机磷转化强度和解钾强度,而对无机磷转化强度没有明显影响。钾细菌可以提高土壤碱解氮与速效钾含量,并提高根系活力,促进马铃薯对其他养分的吸收利用,进而提高马铃薯产量、品质和经济效益。在中国北方寒地土壤条件下,马铃薯种植区施入 60 kg/hm²为钾细菌的最佳推荐施用量。

[参 考 文 献]

- [1] 刘宏. 马铃薯休闲食品一个潜力巨大的新型产业[J]. 高科技与产业化, 2003(6): 55-56.
- [2] 周蓓. 马铃薯研究现状与产业发展对策[J]. 上海农业学报, 2008, 24(3): 89-92.
- [3] 刘晓璐, 刘永智, 郭涛, 等. 解钾细菌的筛选、鉴定以及高效培养[J]. 北京科技大学学报, 2013, 35(4): 551-557.
- [4] 徐大勇, 李峰, 贺雪丽. 硅酸盐细菌的分离及其解钾活性的初步比较[J]. 淮北煤炭师范学院学报, 2007, 27(4): 42-44.
- [5] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [6] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [7] 张永成, 田丰. 马铃薯试验研究方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [8] 贺积强, 李登煜, 张小平, 等. 紫色土硅酸盐细菌的表型特征及溶磷解钾能力[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(1): 71-77.
- [9] 连宾, 傅平秋, 莫德明, 等. 硅酸盐细菌解钾作用机理的综合效应[J]. 矿物学报, 2002, 22(2): 179-183.
- [10] 王晖. 微生物肥料对植物生长的影响[J]. 山西农业科学, 2000, 28(3): 50-52.
- [11] 李勇, 吕文河, 吕典秋, 等. 氮、磷、钾施用水平对马铃薯脱毒苗植株性状、产量性状、干物质含量和经济系数的影响[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(4): 30-35, 50.
- [12] 王梓全, 姜丽丽, 龚振平. 氮肥对炸条型马铃薯产量的影响及氮肥营养诊断指标的建立[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(7): 19-25.
- [13] 龙健, 龙娟, 龙明兰, 等. 硅酸盐细菌对含钾矿粉和土壤的解钾作用研究进展[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2000, 18(1): 79-83.
- [14] 蒋先军, 黄昭贤, 谢德体, 等. 硅酸盐细菌代谢产物对植物生长的促进作用[J]. 西南农业大学学报, 2000, 22(2): 116-119.