

生物有机肥对马铃薯根际土壤生物活性 及根系活力的影响

邱晓丽,周洋子,董 莉,张春红,李志龙,王友玲,邱慧珍

(甘肃农业大学资源与环境学院,甘肃省干旱生境作物学重点实验室,甘肃 兰州 730070)

摘 要:针对大量化肥长期施用对马铃薯田土壤造成的生物活性降低等问题,利用根际益生菌(PGPR)制成生物有机肥,通过盆栽试验,研究了不施肥(对照,CK)以及分别施化肥(CF)、普通有机肥(OF)和 5 种生物有机肥(BOF1,BOF2,BOF3,BOF4 和 BOF5)对马铃薯根际土壤生物活性和根系活力的影响。结果表明,在马铃薯的成熟期,5 种生物有机肥处理的可培养细菌数量平均比 CF 及 OF 高 52% 和 37%,微生物量碳比 CF 和 OF 处理平均增加了 30%,其中以 BOF3 效果最明显,比其它生物有机肥处理的可培养细菌数量和微生物量碳增加达 3%~7% 和 2%~7%;且土壤脲酶、蔗糖酶和磷酸酶活性显著提高($P<0.05$),相比 CF 和 OF,5 种生物有机肥处理土壤酶活性的增幅为 11%~114%;根系活力分别增加了 265% 和 224%,块茎产量分别增加了 16% 和 21%,根系活力和块茎产量的提高也以 BOF3 效果最明显,其根系活力比 BOF5 高出 166%,其块茎产量比其它生物有机肥处理的增幅为 5%~9%。说明生物有机肥有助于提高土壤的生物活性,改善马铃薯的根际环境,进而提高了马铃薯的根系活力,增加了马铃薯的块茎产量。

关键词:生物有机肥;马铃薯;根际土壤微生物;根系活力;盆栽试验

中图分类号:S144;S532 **文献标志码:**A

Effects of bio-organic fertilizer on bioactivity and root activity of rhizosphere soil of potato

QIU Xiao-li, ZHOU Yang-zi, DONG Li, ZHANG Chun-hong, LI Zhi-long, WANG You-ling, QIU Hui-zhen

(College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Provincial Key Lab of Arid Land Crop Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The long-term application of a large amount of chemical fertilizer to potato field can cause the decrease in soil bio-activity. To solve this problem, we studied the effect of the bio-organic fertilizer with the selected plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on the soil bio-activity. The treatments included no fertilizer (CK), chemical fertilizer (CF), ordinary organic fertilizer (OF), and five biological organic fertilizers (BOF1, BOF2, BOF3, BOF4 and BOF5) on the bioactivity and root activities of potato rhizosphere soil through a pot experiment. The result showed that during the potato maturity period, the five types of bio-organic fertilizer treatments increased cultivable bacteria by 52% and 37% on average and microbial biomass carbon by 30% compared with the CF and OF treatments. The increase in cultivable bacteria and microbial carbon of BOF3 compared with that of other biological organic fertilizers was 3% to 7% and 2% to 7%, respectively. Soil urease, sucrase, and phosphatase activities also increased significantly ($P<0.05$). Compared with that of the CF and OF treatments, the increase of enzyme activities was 11%~114%. The root activities and tuber yield also increased with the improvement of soil biological activities. The most significant effects was with BOF3, compared with CF and OF, the root activities of the five bio-organic fertilizers increased by 265% and 224%, respectively, and the tuber yield increased by 16% and 21%. The

收稿日期:2018-03-16

修回日期:2019-04-15

基金项目:国家重点研发计划“农业面源和重金属污染农田综合防治与修复技术研发”专项“农业废弃物资源化利用机制”(2017YFD0800200);白银市白银区科技局项目“生物有机肥的研制及其对保护地蔬菜的生物效应研究”(2014-5N)

作者简介:邱晓丽(1991),女,甘肃民勤人,硕士研究生,研究方向为新型肥料的研究和应用。E-mail:1085099482@qq.com

通信作者:邱慧珍,女,上海人,教授,博士生导师,主要从事植物营养与有机肥料的教学与研究。E-mail:hzzqiu@gsau.edu.cn

root activity of BOF3 was 166% higher than that of BOF5. The tuber yield of BOF3 was higher than that of other biological organic fertilizer treatments by 5% and 9%, respectively. It indicated that increase in the number of cultivable bacteria and actinomycetes resulted from biological organic fertilizers increased the biomass carbon (nitrogen) and enzyme activities of the soil, thus improved the biological activity of the soil, created a favorable rhizosphere environment for potato roots, and consequently improved the root vitality and promoted the growth of the potato.

Keywords: biological organic fertilizer; potato; rhizosphere soil microorganism; root activities; pot experiment

甘肃省以其独特的土壤和气候特点成为全国重要的马铃薯种薯和商品薯生产基地及淀粉加工基地,近十年甘肃省马铃薯种植面积稳居全国前三,总产保持全国前两名^[1-2]。随着马铃薯主粮化战略的实施,马铃薯生产在带动甘肃省农业和农村经济发展、保障粮食安全和解决“三农”问题上的作用日益突出^[3-4]。化肥施用在马铃薯生产中一直发挥着举足轻重的作用^[5],然而,长期大量施用化肥也造成了诸如土壤理化性质恶化^[6]、土壤病害加剧^[7]、生物活性降低^[8]等一系列问题。这些问题不仅降低了马铃薯块茎的产量和品质^[9],也造成了严重的环境污染^[10],威胁人体健康,且不利于马铃薯产业的可持续发展。

土壤的生物活性主要包括土壤酶活性、土壤微生物数量、土壤微生物生物量等,是土壤肥力的本质特征和土壤健康的重要标志^[11-12]。有研究发现,施用生物有机肥对土壤生物活性的维持与提升具有重要作用^[13]。与单施化肥相比,施用生物有机肥可以增加土壤中可培养微生物的数量,改善土壤微生物区系^[14];可以增加土壤微生物量碳和微生物量氮^[15];提高土壤脲酶、蔗糖酶和磷酸酶活性^[16]等。然而目前国内通过生物有机肥改善土壤生物活性方面的研究大多局限在西瓜^[14,17]、油菜^[18]、棉花^[19]等经济作物上,鲜见有关马铃薯的研究报道。本研

究将本课题组筛选、鉴定、保存的5株根际益生菌(plant growth promoting rhizobacteria, PGPR)制成生物有机肥,通过盆栽试验,研究不同肥料对马铃薯根际土壤生物活性及马铃薯根系活力的影响,为改善马铃薯根际土壤的生物活性,促进马铃薯生长提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试肥料 有机肥料:由鑫昊生物科技有限公司提供。有机质含量46.50%,全氮含量(N)1.51%,有效磷含量(P_2O_5)3.16%,速效钾含量(K_2O)0.72%。生物有机肥料:为本课题组小试产品,是以有机肥料为载体,将功能菌加入进行二次固体发酵制成的产物,功能菌总量为 5.6×10^7 cfu $\cdot g^{-1}$ 。

1.1.2 供试土壤 土样采自定西市安定区香泉镇的定位试验点,基本农化性状为:有机质含量 $5.33 g \cdot kg^{-1}$,全氮含量 $1.01 g \cdot kg^{-1}$,速效磷含量 $3.16 mg \cdot kg^{-1}$,速效钾含量 $113.32 mg \cdot kg^{-1}$,pH 7.72。

1.1.3 供试品种 马铃薯品种“陇薯10号”,由定西市农科院提供。

1.1.4 供试菌株 由本实验室提供,菌株的鉴定结果和生物功能见表1。

表1 5株PGPR的鉴定结果及生物功能

Table 1 Identification results and biological functions of five plant growth promoting rhizobacteria

编号 Number	鉴定结果 Identification result	生物功能 Biological function
QHZ-1	类芽孢杆菌(<i>Paenibacillus jamilae</i> AJ271157)	纤维素酶、蛋白酶、果胶酶、铁载体、吲哚乙酸、解磷 Cellulase, protease, pectinase, iron carrier, indole acetic acid, phosphorus release
QHZ-2	萎缩芽孢杆菌(<i>Bacillus atrophaeus</i> JCM 9070)	纤维素酶、蛋白酶、铁载体、吲哚乙酸、解磷 Cellulase, protease, iron carrier, indole acetic acid, phosphorus release
QHZ-3	萎缩芽孢杆菌(<i>Bacillus atrophaeus</i> NBRC 15539)	纤维素酶、蛋白酶、铁载体、吲哚乙酸、解磷 Cellulase, protease, iron carrier, indole acetic acid, phosphorus release
QHZ-4	莫海威芽孢杆菌(<i>Bacillus axarquiensis</i> strain CR-119)	蛋白酶、铁载体、吲哚乙酸、解磷 Protease, iron carrier, indole acetic acid, phosphorus release
QHZ-5	萎缩芽孢杆菌(<i>Bacillus atrophaeus</i> 1942 strain 1942)	蛋白酶、果胶酶、铁载体、吲哚乙酸、解磷 Protease, pectinase, iron carrier, indole acetic acid, phosphorus release

1.2 试验设计与方法

1.2.1 试验设计 盆栽试验于 2017 年 5 月在甘肃农业大学网室进行,试验共设 8 个处理:对照,不施肥(CK);单施化肥(CF);施普通有机肥(OF);施菌株 QHZ-1 制成的生物有机肥(BOF1);施菌株 QHZ-2 制成的生物有机肥(BOF2);施菌株 QHZ-3 制成的生物有机肥(BOF3);施菌株 QHZ-4 制成的生物有机肥(BOF4);施菌株 QHZ-5 制成的生物有机肥(BOF5)。各处理采用等养分(氮、磷、钾)的设计。有机肥和生物有机肥的用量均为 $15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,每处理 18 次重复,共计 144 盆,每盆装土 6.8 kg 。播种前先将每盆土壤用等量水浇透,隔夜播种,并将播种后的不同施肥处理覆以相同量的干土。每盆种 8 株,待植株出苗后选取生长旺盛且均一的 6 株定植,前期每 3d 浇一次水,后期每隔 4d 浇一次,每次每处理浇水量及浇水时间相同。

1.2.2 样品的采集 分别于马铃薯生长的苗期(6 月 19 日),块茎形成期(7 月 9 日),块茎膨大期(8 月 8 日),淀粉积累期(9 月 1 日)和成熟期(10 月 3 日)选择大小均一的 3 盆采集植株样品和土壤样品。土壤样品的采集采用抖土法^[20]。

1.2.3 测定指标及方法^[21-22] 土壤脲酶活性采用靛酚蓝比色法,磷酸酶活性采用磷酸苯二钠法,蔗糖酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸比色法,微生物量碳、氮采用土壤熏蒸-硫酸钾提取法,根系活力采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法;土壤可培养细菌、真菌和放线菌数量的测定采用平板计数法。

1.3 数据分析

采用 SPSS 21.0 对试验数据进行分析,Excel 2010 绘制图表。

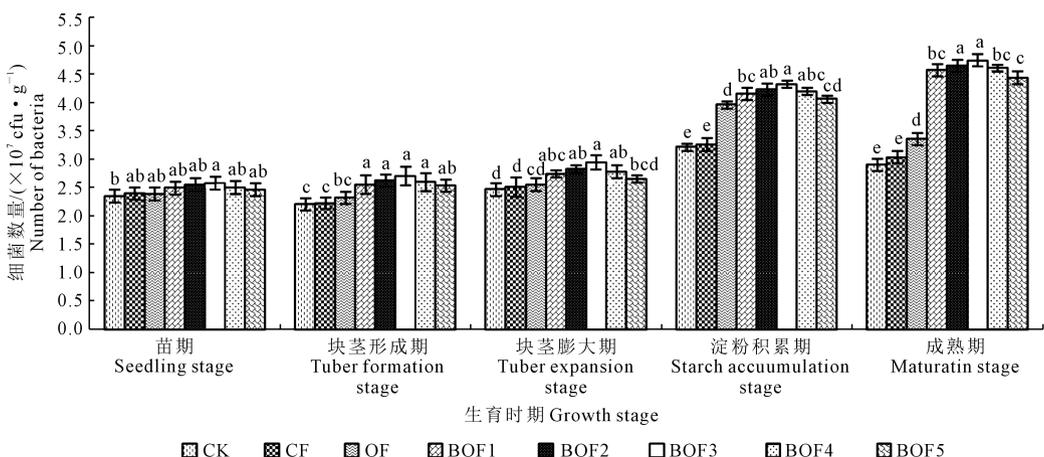
2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对马铃薯土壤中可培养微生物数量的影响

2.1.1 不同施肥处理土壤中细菌数量的比较 图 1 结果显示,生物有机肥处理可显著增加土壤中可培养细菌的数量($P < 0.05$)。随着马铃薯生育进程的推进和土壤中细菌数量的增加,5 种生物有机肥之间的差异随之加大,至成熟期达到最大,且以菌株 QHZ-2 和 QHZ-3 制成的生物有机肥(BOF2 和 BOF3)处理的效果最为显著,分别高出以菌株 QHZ-5 制成的生物有机肥(BOF5)处理 4.6%和 7.0%。

在马铃薯生长的苗期,所有处理与对照(CK)相比,菌株 QHZ-3 制成的生物有机肥(BOF3)处理显著增加了可培养细菌的数量($P < 0.05$),除 CK 之外的其它处理间无差异;随着马铃薯生育进程的推进,细菌的数量随之增加,生物有机肥处理与化肥(CF)处理、与普通有机肥(OF)处理之间的差异显著,在成熟期,5 种生物有机肥平均比 CF 高出 52%,比 OF 高出 37%。

土壤是生物有机肥中的 PGPR 及其它有益微生物菌群生存的介质,且在马铃薯的生长过程中,根系分泌物中含有可以被土壤中本身存在的微生物和生物有机肥中的微生物特别是 PGPR 识别的信号分子,可以诱导 PGPR 等趋向马铃薯的根际并大量繁殖,从而增加土壤中可培养细菌的数量^[23]。BOF3 和 BOF2 效果优于其它生物有机肥处理可能的原因有:(1)菌株 QHZ-3 在马铃薯根系分泌物的作用下,趋向于马铃薯根际的数量较其它菌株多, QHZ-2 次之;(2)菌株 QHZ-3 和 QHZ-2 的繁殖能力优于其它菌株。



注:同一时期不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平,下同。

Note: Different letters in the same growth stage indicate that the difference between treatments is 5% significant, the same below.

图 1 不同施肥处理土壤细菌数量的比较

Fig.1 Comparison of number of bacteria in soil of different fertilization treatments

2.1.2 不同施肥处理土壤真菌数量的比较 图 2 结果显示,不同施肥处理对土壤中真菌数量的影响与细菌完全不同。生物有机肥处理可显著降低土壤中真菌的数量($P<0.05$),随着马铃薯生育进程的推进和真菌数量的减少,生物有机肥处理之间差异不显著。

在马铃薯生长的苗期,不同施肥处理的真菌数量无显著差异,随着马铃薯生育进程的推进,CK、CF 和 OF 的真菌数量不断增加,而生物有机肥处理的真菌数量逐渐减少,至淀粉积累期,生物有机肥处理与 CF 处理、与 OF 处理之间的差异最显著,5 种生物有机肥的平均真菌数量较 CK、CF 和 OF 的降幅为 44%~68%。可能是因为有机肥为根际益生菌(PGPR)提供养分和繁殖场所,使得 PGPR 在马铃薯根际迅速繁殖到一定的数量,成为马铃薯根际的优势种群,从而降低土壤可培养真菌的数量。

2.1.3 不同施肥处理土壤放线菌数量的比较 图 3 结果显示,不同施肥处理对土壤中放线菌数量的影

响趋势与细菌基本一致。

2.2 不同施肥处理对马铃薯土壤微生物量碳和微生物量氮的影响

2.2.1 微生物量碳 土壤微生物量碳,指土壤中活的微生物体内含有的总碳。表 2 结果显示,在马铃薯生长的苗期,所有的处理与 CK 相比,显著提高了土壤的微生物量碳($P<0.05$),说明施肥可以促进土壤微生物的繁殖,并且随着马铃薯生育进程的推进和微生物量碳的增加,生物有机肥处理的微生物量碳增速加大,CF 和 OF 次之,至成熟期,生物有机肥处理较 CF 和 OF 处理微生物量碳平均增加了 30%。

随着马铃薯生育进程的推进,5 种生物有机肥处理的微生物量碳差异逐渐变大,至成熟期达到最大,BOF2 和 BOF3 处理效果最显著,分别比 BOF5 处理增加了 11% 和 7%。这主要是因为 BOF3 和 BOF2 对土壤可培养微生物数量的促进效果优于其它生物有机肥处理。

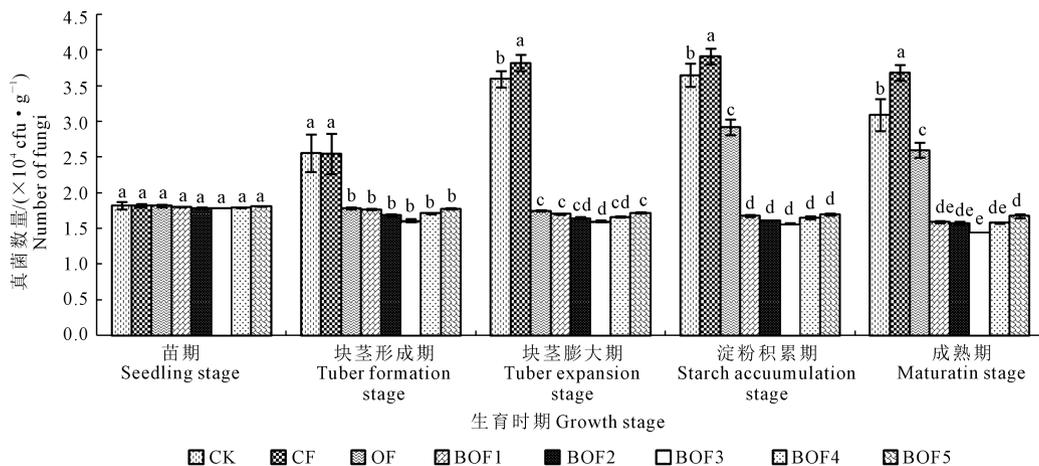


图 2 不同施肥处理土壤真菌数量的比较

Fig.2 Comparison of number of fungi in soil of different fertilization treatments

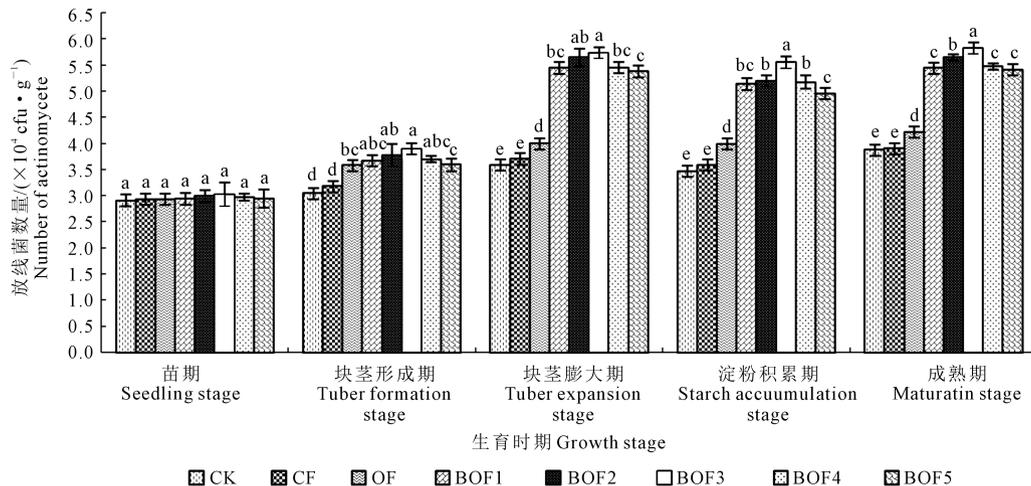


图 3 不同施肥处理土壤放线菌数量的比较

Fig.3 Comparison of number of actinomycete in soil of different fertilization treatments

2.2.2 微生物量氮 与土壤微生物量碳相比,微生物量氮仅占土壤微生物量的很小比例。表 3 结果显示,不同施肥处理的微生物量氮的变化趋势与微生物量碳的变化趋势一致。

2.3 不同施肥处理对马铃薯根际土壤酶活性的影响

土壤酶主要来自植物根系分泌和土壤中微生物的活动,和土壤微生物数量密切相关^[21]。

2.3.1 脲酶活性 土壤脲酶的作用是将土壤中的尿素催化水解成氨^[24];图 4 结果显示,在马铃薯生长的苗期,所有处理与 CK 相比,显著增加了土壤的脲酶活性($P<0.05$),说明施肥有助于土壤脲酶活性的增加。随着马铃薯生育进程的推进和土壤脲酶活性的升高,5 种生物有机肥处理显著增加了土壤的脲酶活性($P<0.05$),并且 5 种生物有机肥的差异随之加大,至块茎形成期,BOF2 和 BOF3 的效果最为显著,分别高出 BOF5 处理 27%和 30%。这主要是因为 BOF3 和 BOF2 的可培养细菌和放线菌数量高于其它生物有机肥处理。

随着马铃薯生育进程的推进,各处理的土壤脲酶活性的变化趋势基本一致,至块茎形成期,生物有机肥处理的增幅最大,5 种生物有机肥的平均脲酶活性比 CF 和 OF 都增加了 36%。

表 2 不同施肥处理对土壤微生物量碳的影响/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 2 Effect of different fertilization treatments on microbial biomass carbon in soil

处理 Treatment	苗期 Seedling stage	块茎形成期 Tuber formation stage	块茎膨大期 Tuber expansion stage	淀粉积累期 Starch accumulation stage	成熟期 Maturation stage
CK	113.79±1.45d	123.85±6.56f	130.08±5.80e	174.45±1.54d	170.85±2.76d
CF	127.46±9.57c	130.02±2.27de	134.85±7.69de	179.35±4.23d	173.55±2.88d
OF	125.49±6.11c	133.12±3.50d	139.71±7.85cde	205.66±3.38c	178.69±3.61d
BOF1	136.20±5.41bc	142.33±1.56bc	146.76±4.35bcd	212.06±3.88c	221.26±6.17bc
BOF2	144.87±2.62ab	151.02±1.75a	155.40±5.13ab	225.66±8.26ab	230.70±5.93ab
BOF3	148.24±5.94a	154.87±7.91a	161.90±2.73a	233.10±14.41a	239.10±4.38a
BOF4	140.29±6.11ab	146.65±0.67ab	150.65±2.71abc	217.22±2.50bc	225.74±5.57b
BOF5	132.92±9.59bc	135.36±6.83cd	142.94±10.79cd	206.32±5.72c	216.00±8.38c

表 3 不同施肥处理对土壤微生物量氮的影响/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 3 Effect of different fertilization treatments on microbial biomass nitrogen in soil

处理 Treatment	苗期 Seedling stage	块茎形成期 Tuber formation stage	块茎膨大期 Tuber expansion stage	淀粉积累期 Starch accumulation stage	成熟期 Maturation stage
CK	4.58±0.08e	5.16±0.13d	5.60±0.15e	7.42±0.15e	6.68±0.12e
CF	5.30±0.15cd	5.57±0.09cd	6.10±0.16d	7.83±0.06e	6.83±0.17e
OF	5.01±0.25de	5.66±0.16cd	6.24±0.08d	8.40±0.20d	7.05±0.11e
BOF1	5.90±0.18b	6.44±0.17b	7.05±0.12c	9.30±0.25c	9.52±0.14cd
BOF2	6.71±0.14a	7.24±0.15a	8.15±0.17a	10.09±0.07b	10.27±0.14b
BOF3	6.74±0.15a	7.65±0.30a	8.32±0.23a	10.65±0.08a	11.18±0.16a
BOF4	6.43±0.16a	6.72±0.14b	7.60±0.15b	9.68±0.14bc	9.79±0.17c
BOF5	5.68±0.16bc	5.93±0.14c	6.80±0.13c	8.84±0.15d	9.31±0.16d

2.3.2 蔗糖酶活性 土壤有机碳的循环与土壤蔗糖酶的活性密切相关,一般来说,土壤有机质含量高,土壤蔗糖酶活性也较高,土壤中易溶性营养物质含量也相应升高^[25]。图 5 结果显示,生物有机肥处理均可显著提高蔗糖酶活性($P<0.05$),随着马铃薯生育进程的推进和土壤蔗糖酶活性的提高,5 种生物有机肥处理与 CF 和 OF 之间的蔗糖酶活性在成熟期差异达到最大,5 种生物有机肥的平均蔗糖酶活性比 CF 增加了 114%,比 OF 增加了 11%。这主要是因为施用生物有机肥较其它处理增加了土壤有机碳的含量。

2.3.3 磷酸酶活性 土壤有机磷的分解转化是在土壤磷酸酶的作用下进行的,其生物有效性和土壤磷酸酶活性的大小息息相关^[21];图 6 结果显示,在马铃薯的苗期,所有处理与 CK 相比,均显著提高了土壤的磷酸酶活性($P<0.05$),说明施肥有助于土壤磷酸酶活性的提高。

随着马铃薯生育进程的推进和土壤磷酸酶活性的提高,至块茎膨大期,生物有机肥处理与 CF 和 OF 处理之间的差异最大,5 种生物有机肥的平均磷酸酶活性比 CF 增加了 74%,比 OF 增加了 25%。这主要是因为施用生物有机肥,增加了土壤可培养细菌和放线菌的数量。

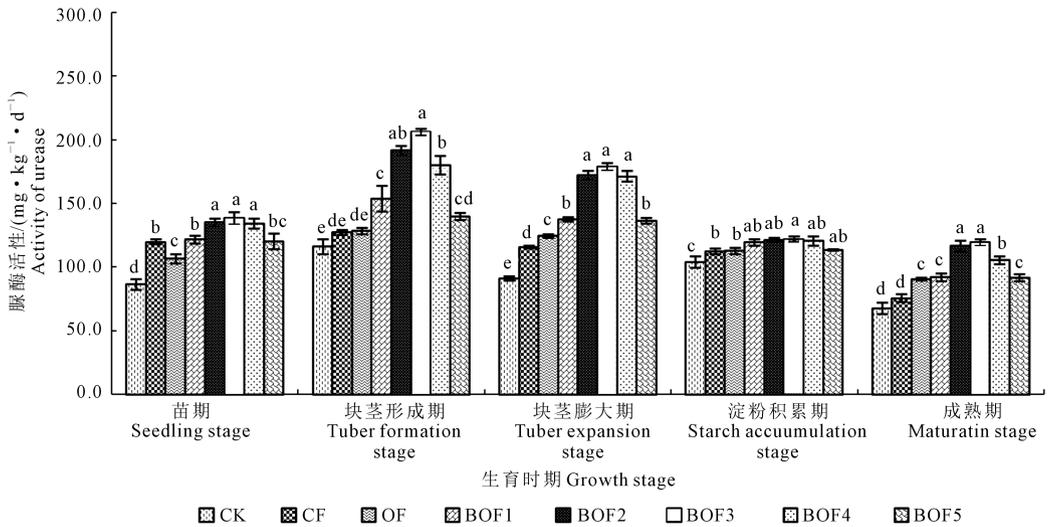


图 4 不同施肥处理对土壤脲酶活性的影响

Fig.4 Effect of different fertilization treatments on activity of urease in soil

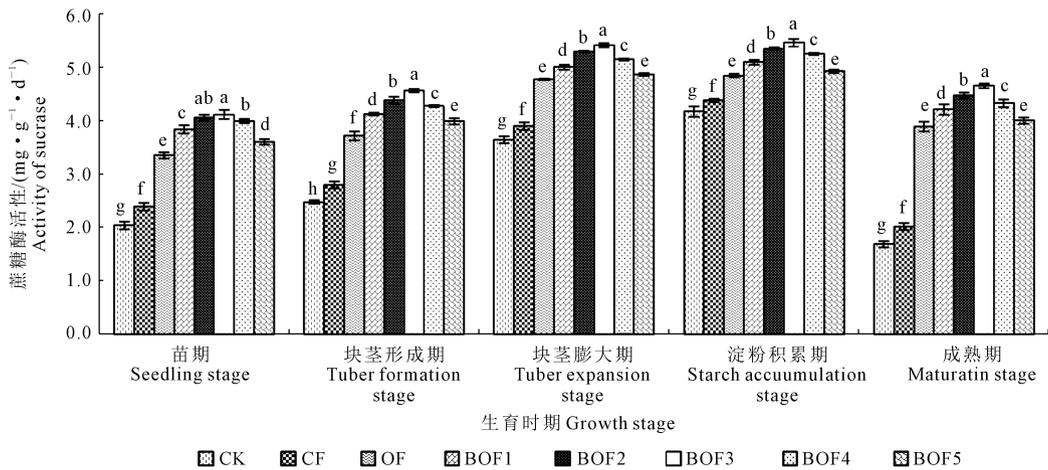


图 5 不同施肥处理对土壤蔗糖酶活性的影响

Fig.5 Effect of different fertilization treatments on activity of sucrase in soil

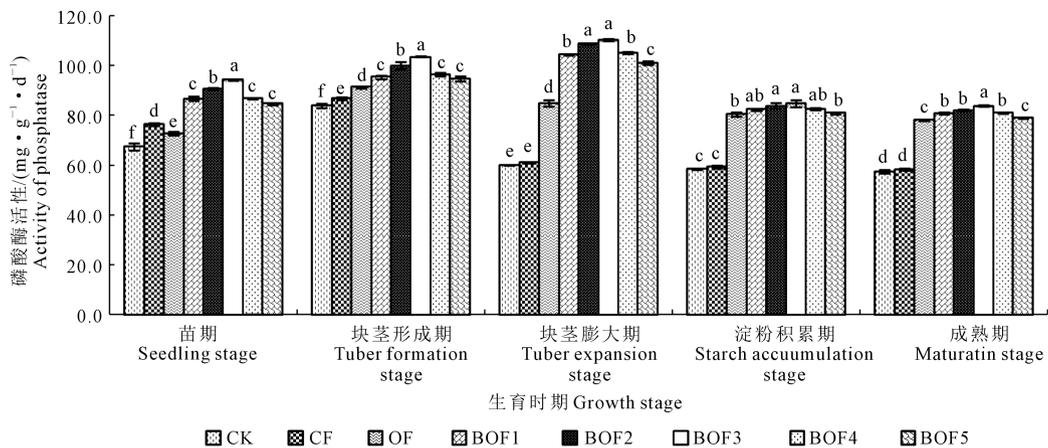


图 6 不同施肥处理对土壤磷酸酶活性的影响

Fig.6 Effect of different fertilization treatments on activity of phosphatase in soil

2.4 不同施肥处理对马铃薯根系活力和块茎产量的影响

根系活力可以客观反映根系的生命活动,表征

其新陈代谢的强弱^[26],有研究发现,作物的高产与根系活力密切相关^[27]。

表 4 结果显示,生物有机肥处理可显著增加马

表 4 不同施肥处理对马铃薯根系活力和块茎产量的影响

Table 4 Effect of different fertilization treatments on activity of potato root system and tuber yield of potato

处理 Treatment	根系活力/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)					块茎产量 Tuber yield /($\text{g} \cdot \text{盆}^{-1}$)
	苗期 Seedling stage	块茎形成期 Tuber formation stage	块茎膨大期 Tuber expansion stage	淀粉积累期 Starch accumulation stage	成熟期 Maturation stage	
CK	86.46±8.22e	143.38±6.21f	61.46±5.68e	26.23±2.90g	17.38±1.33d	824.48±5.22f
CF	93.76±13.05de	282.16±3.40d	76.87±2.96e	31.31±3.75fg	20.25±4.21cd	935.17±22.38d
OF	92.11±6.27de	212.96±3.29e	76.52±19.67e	36.91±4.22f	22.80±3.29bcd	898.07±1.41e
BOF1	106.93±7.46d	321.63±8.28c	128.20±5.21cd	77.01±5.13d	26.37±2.09ab	1074.36±13.4b
BOF2	195.14±5.85b	440.92±9.43b	158.58±2.67ab	107.00±2.81b	28.20±0.29ab	1088.37±11.18b
BOF3	282.25±0.49a	581.48±7.17a	184.66±6.43a	133.13±6.40a	29.75±4.07a	1147.14±3.61a
BOF4	162.52±15.41c	434.63±5.83b	143.25±9.00bc	92.07±8.73c	26.54±4.53ab	1080.87±5.69b
BOF5	100.95±13.17de	282.63±21.95d	107.95±38.28d	50.13±6.59e	25.67±3.00abc	1048.34±12.28c

铃薯的根系活力($P<0.05$)。随着马铃薯生育进程的推进,不同施肥处理之间的差异逐渐增大,至淀粉积累期达到最大,与 CF 和 OF 相比,5 种生物有机肥处理的根系活力平均比 CF、OF 分别高出 265%、224%,5 种生物有机肥之间,以 BOF3 的处理效果最为显著,比 BOF5 处理高出 166%。

表 4 结果还可以看出,所有处理与 CK 相比较,均显著增加了马铃薯的块茎产量,但是生物有机肥处理的增幅更加明显,CF 处理次之,说明施用生物有机肥更有利于马铃薯块茎产量的提高。5 种生物有机肥处理与 CF 处理相比较,块茎产量平均增加了 16%;与 OF 处理相比较,块茎产量平均增加了 21%。5 种生物有机肥处理之间,以 BOF3 处理的增产效果最为显著,比其它生物有机肥处理块茎产量提高了 5%~9%。

生物有机肥本身的养分含量较化肥齐全,并且含有大量的活性物质,加之生物有机肥中的 PGPR 可以活化土壤中一些难溶性养分,这些养分被植物根系所利用,可提高马铃薯根系活力,促进马铃薯的生长,最终提高其产量。

BOF3 效果优于其它生物有机肥可能的原因有:(1)菌株 QHZ-3 在马铃薯种植土壤中存活并繁殖达到的数量高于其它菌株;(2)BOF3 的土壤酶活性等较其它生物有机肥高,为马铃薯的根系生长提供了更适宜的生态环境。

3 讨论

马铃薯施肥方式和数量是马铃薯管理的关键,目前,马铃薯施肥主要以化肥为主,长期大量化肥的施用,降低了土壤的生物活性和马铃薯的块茎产量^[8-9]。土壤中微生物的数量、酶活性、微生物量碳和微生物量氮是评价土壤生物活性的重要指标^[28]。土壤微生物量碳和微生物量氮代表土壤养分的活性部分,与土壤微生物数量呈正相关^[29],钟书堂

等^[30]研究发现,施用生物有机肥在增加土壤可培养细菌和放线菌数量的同时增加了土壤微生物量碳和微生物量氮。土壤酶来自植物根系分泌物和微生物,和土壤微生物数量密切相关^[21],与微生物一起推动着土壤的代谢过程^[31],范森珍等^[32]发现,施用有机肥可增加土壤磷酸酶的活性。张静等^[33]也发现,生物有机肥较普通有机肥更能增加土壤酶活性。本研究发现,施用生物有机肥可以增加土壤可培养细菌、放线菌的数量,增加土壤微生物量碳和微生物量氮,提高土壤脲酶、蔗糖酶和磷酸酶的活性。

根系作为植株地下部的活跃代谢中心,与整个植物体的生命活动密不可分,而根系活力为根系的吸收、合成和氧化还原能力的综合体现,可以客观反映根系的生命活动^[26,34-35]。李艳平等^[36]在烤烟上的研究发现,增施有机肥可以通过改善土壤酶活性而提高烤烟根系活力。宋以玲等^[37]在油菜上的研究也发现,生物有机肥的施用可增加土壤蔗糖酶、磷酸酶的活性的同时提高其根系活力。本研究结果表明,施用生物有机肥可以增加土壤可培养细菌和放线菌的数量,提高土壤酶活性,从而为马铃薯的根系生长创造良好的根际环境,提高马铃薯的根系活力。另外,有研究发现,5 株 PGPR 可产生 IAA、铁载体,并且均具有解磷能力,可直接或间接地促进马铃薯的生长,提高其根系活力。但是 5 株 PGPR 的生物功能存在差异,它们对土壤生物活性和马铃薯根系活力及块茎产量的影响亦存在差异^[38-40]。

4 结论

生物有机肥可显著提高土壤的可培养细菌、放线菌数量,土壤微生物量碳,土壤微生物量氮,土壤酶活性等土壤生物活性,为马铃薯的生长创造了良好的根际环境,从而促进了马铃薯的根系生长,提高了马铃薯的根系活力,进而增加了马铃薯的块茎产量。

参考文献:

- [1] 毛绪强,刘月姣.甘肃:向马铃薯强省跨越[J].农产品市场周刊,2015,(4):20-21.
- [2] 卢建武,邱慧珍,张文明,等.半干旱雨养农业区马铃薯干物质和钾素积累与分配特性[J].应用生态学报,2013,24(2):423-430.
- [3] 卢肖平.马铃薯主粮化战略的意义、瓶颈与政策建议[J].华中农业大学学报(社会科学版),2015,(3):1-7.
- [4] 刘星,张书乐,刘国锋,等.连作对甘肃中部沿黄灌区马铃薯干物质积累和分配的影响[J].作物学报,2014,40(7):1274-1285.
- [5] 何万春,何昌福,邱慧珍,等.不同氮水平对旱地覆膜马铃薯干物质积累与分配的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(4):175-182.
- [6] 刘玉环,张春梅,秦嘉海,等.马铃薯多功能专用肥配方筛选及其对土壤理化性质的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(3):127-133.
- [7] 刘星,张书乐,刘国锋,等.土壤生物消毒对甘肃省中部沿黄灌区马铃薯连作障碍的防控效果[J].应用生态学报,2015,26(4):1205-1214.
- [8] 程万莉,刘星,高怡安,等.有机肥替代部分化肥对马铃薯根际土壤微生物群落功能多样性的影响[J].土壤通报,2015,46(6):1459-1465.
- [9] 刘星,张书乐,刘国锋,等.土壤熏蒸-微生物有机肥联用对连作马铃薯生长和土壤生化性质的影响[J].草业学报,2015,24(3):122-133.
- [10] 高怡安,程万莉,张文明,等.有机肥替代部分化肥对甘肃省中部沿黄灌区马铃薯产量、土壤矿质氮水平及氮肥效率的影响[J].甘肃农业大学学报,2016,51(2):54-60,68.
- [11] 曹慧,孙辉,杨浩,等.土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J].应用与环境生物学报,2003,9(1):105-109.
- [12] 胡君利,林先贵.土壤微生物与土壤健康:生物指示与生态调控[C]//范云六.第七次全国土壤生物与生物化学学术研讨会暨第二次全国土壤健康学术研讨会论文集.武汉:中国农业科技导报,2014:31-32.
- [13] Pan G X, Zhou P, Li Z P, et al. Combined inorganic/organic fertilization enhances N efficiency and increases rice productivity through organic carbon accumulation in a rice paddy from the Tai Lake region, China [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2009, 131(3):274-280.
- [14] 李双喜,沈其荣,郑宪清,等.施用微生物有机肥对连作条件下西瓜的生物效应及土壤生物性状的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(2):169-174.
- [15] 梁斌,周建斌,杨学云.长期施肥对土壤微生物生物量碳、氮及矿质态氮含量动态变化的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):321-326.
- [16] 李锐,陶瑞,王丹,等.减氮配施有机肥对滴灌棉田土壤生物活性与团聚体特性的影响[J].应用生态学报,2017,28(10):3297-3304.
- [17] 邓开英,凌云,张鹏,等.专用生物有机肥对营养钵西瓜苗生长和根际微生物区系的影响[J].南京农业大学学报,2013,36(2):103-109.
- [18] 栗丽,洪坚平,谢英荷,等.生物菌肥对采煤塌陷复垦土壤生物活性及盆栽油菜产量和品质的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(5):939-944.
- [19] 王飞,李俊华,赵思峰,等.拮抗菌和生物有机肥防治棉花黄萎病及其对土壤酶活性的影响[J].土壤通报,2011,42(3):584-588.
- [20] 朱秋莲,邢肖毅,程曼,等.宁南山区典型植物根际与非根际土壤碳、氮形态[J].应用生态学报,2013,24(4):983-988.
- [21] 李振高,骆永明,滕立.土壤与环境微生物研究法[M].北京:科学出版社,2008,322-413.
- [22] 高俊风.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2011,57-59.
- [23] Liu Y P, Zhang N, Qiu M H, et al. Enhanced rhizosphere colonization of beneficial *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 by pathogen infection[J]. *FEMS Microbiology Letters*, 2014, 353:49-56.
- [24] 和文祥,谭向平,王旭东,等.土壤总体酶活性指标的初步研究[J].土壤学报,2010,47(6):1232-1236.
- [25] 李亮亮,吴正超,陈彬,等.生物炭对添加自毒物质土壤酶活性、微生物区系结构的影响[J].华北农学报,2015,30(4):219-225.
- [26] 斯琴巴特尔,吴红英.不同逆境对玉米幼苗根系活力及硝酸还原酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(2):67-70.
- [27] 梁银丽,陈培元.水分胁迫和氮素营养对小麦根苗生长及水分利用效率的效应[J].西北植物学报,1995,15(1):21-25.
- [28] 郑林林.山东烟区不同种植模式对土壤生物活性及烟叶品质的影响[D].北京:中国农业科学院,2010.
- [29] 臧逸飞,郝明德,张丽琼,等.26年长期施肥对土壤微生物量碳、氮及土壤呼吸的影响[J].生态学报,2015,35(5):1445-1451.
- [30] 钟书堂,沈宗专,孙逸飞,等.生物有机肥对连作蕉园香蕉生产和土壤可培养微生物区系的影响[J].应用生态学报,2015,26(2):481-489.
- [31] 姬兴杰,熊淑萍,李春明,等.不同肥料类型对土壤酶活性与微生物数量时空变化的影响[J].水土保持学报,2008,22(1):123-127,133.
- [32] 范森珍,尹昌,范分良,等.长期不同施肥对土壤碳、氮、磷循环相关酶活性的影响[J].应用生态学报,2015,26(3):833-838.
- [33] 张静,杨江舟,胡伟,等.生物有机肥对大豆根冠腐病及土壤酶活性的影响[J].农业环境科学学报,2012,31(3):548-554.
- [34] Wirén N V, Gazzarrini S, Frommer W B. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants [J]. *Plant Soil*, 1997, 96:191-199.
- [35] 项洪涛,冯乃杰,杜吉到,等.植物生长调节剂对马铃薯根系统理化特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(6):1481-1485.
- [36] 李艳平,刘国顺,丁松爽,等.混合有机肥用量对烤烟根系活力及根际土壤生物特性的影响[J].中国烟草科学,2016,37(1):32-36,44.
- [37] 宋以玲,于建,陈士更,等.化肥减量配施生物有机肥对油菜生长及土壤微生物和酶活性影响[J].水土保持学报,2018,32(1):352-360.
- [38] 关小敏.马铃薯黑痣病生防细菌的筛选及其生防作用机理研究[D].兰州:甘肃农业大学,2014.
- [39] 马龙.马铃薯黑痣病生防细菌的筛选鉴定及其生防作用机理研究[D].兰州:甘肃农业大学,2016.
- [40] 马兴.黄瓜枯萎病生防菌的筛选与鉴定及其生物有机肥的作用效果[D].兰州:甘肃农业大学,2017.