

# 有机改土生态肥配方筛选及对土壤性质 和马铃薯经济效益的影响

马宗海<sup>1,2</sup>, 闫治斌<sup>2</sup>, 刘玉环<sup>1</sup>, 潘艳花<sup>3</sup>, 秦嘉海<sup>1</sup>, 肖占文<sup>1</sup>

(1. 河西学院农业与生物技术学院, 甘肃 张掖 734000; 2. 甘肃敦煌种业股份有限公司, 甘肃 酒泉 735000;  
3. 酒泉市种子管理站, 甘肃 酒泉 735000)

**摘要:** 在甘肃省张掖市民乐县马铃薯种植基地, 采用田间试验方法, 进行了有机改土生态肥配方筛选及对土壤性质和马铃薯经济效益影响研究。结果表明: 影响马铃薯产量的配方因素顺序为: 马铃薯专用肥 > 豆粕有机肥 > 5406 抗生素肥 > 聚乙烯醇; 有机改土生态肥最佳配方为聚乙烯醇: 马铃薯专用肥: 豆粕有机肥: 5406 抗生素肥 = 0.0124: 0.7453: 0.2050: 0.0373。有机改土生态肥施用量与马铃薯产量间的肥料效应回归方程式为:  $y = 40.91 + 3.9110x - 0.3882x^2$ , 经济效益最佳施肥量为  $2.40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 马铃薯理论产量为  $48.06 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。施用有机改土生态肥与传统化肥比较, 土壤容重和 pH 降低 5.30% 和 3.08%; 总孔隙度和团聚体增加 5.26% 和 11.75%; 有机质、碱解氮、速效磷和速效钾增加 3.26%、1.08%、1.25% 和 1.38%; 真菌、细菌、放线菌和菌体总量增加 6.28%、36.07%、21.94% 和 29.59%; 蔗糖酶、脲酶和磷酸酶增加 14.46%、5.64% 和 13.95%; 马铃薯株高、茎粗和地上部分干重增加 7.45%、14.93% 和 14.36%; 块茎重、单株块茎重、产量和施肥利润增加 5.13%、5.05%、3.80% 和  $556.89 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。在马铃薯种植田上施用有机改土生态肥, 有效地改善了土壤理化性质和生物学性质, 提高了马铃薯产量和施肥利润。

**关键词:** 有机改土生态肥; 土壤性质; 马铃薯; 经济效益

中图分类号: S147.4 文献标志码: A

## Selection of ecological fertilizer formula with organic contents and its impact on soil properties and economic benefits of potato

MA Zong-hai<sup>1,2</sup>, YAN Zhi-bin<sup>2</sup>, LIU Yu-huan<sup>1</sup>, PAN Yan-hua<sup>3</sup>, QIN Jia-hai<sup>1</sup>, XIAO Zhan-wen<sup>1</sup>

(1. College of Agriculture and Biology Technology, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China;

2. Gansu Dunhuang Seed Company, Jiuquan, Gansu 735000, China;

3. The Seeds Station of Jiuquan City, Jiuquan, Gansu 735000, China)

**Abstract:** At the potato planting base in Zhangye City, Minle County, Gansu Province, an field experiment was carried out to select the formula of ecological fertilizer with organic content and its impact on soil properties and the economic benefits of potato. The results showed that the factors that affected potato production were in the order of the following: potato fertilizer > soybean meal organic fertilizer > 5406 antibiotic bacterial anure > polyvinyl alcohol. The best formula for the ecological fertilizer with organic content was poly (vinyl alcohol) (0.0124): the potato fertilizer (0.7453): soybean meal organic fertilizer (0.2050): 5406 antibiotic bacterial manure (0.0373). The regression equation that measures the effect by fertilizer on potato yield with the application of the ecological fertilizer with organic content was  $y = 40.91 + 3.9110x - 0.3882x^2$ . The economic benefit reached the best when the fertilizer rate was  $2.40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ , resulting in a theatrical potato production of  $48.06 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ . Compared with traditional chemical fertilizers, the application of ecological fertilizer with organic content caused soil bulk density and pH reduced by 5.30% and 3.08%; total porosity and aggregate increased by 5.26% and 5.26%; organic matter, alkali-hydro nitrogen, available phosphorus and available potassium increased by 3.26%, 1.08%, 1.25% and 1.08%; fungi, bacteria, actinomycetes and bacteria amounts increased by 6.28%, 36.07%, 21.94% and 36.07%; sucrase, urease and phosphatase increased by 14.46%, 14.46% and 13.95%; potato plant height, stem diameter and dry weight of aerial part increased by 7.45%,

收稿日期: 2015-12-04

基金项目: 科技部国家星火项目“张掖市加工型马铃薯多功能复混肥产品开发与示范”(2011GA860023)

作者简介: 马宗海(1963—), 男, 甘肃酒泉人, 硕士, 农艺师, 主要从事新型功能性肥料合成方面的研究工作。

通信作者: 肖占文(1966—), 男, 甘肃金塔人, 教授, 主要从事新型功能性肥料合成方面的研究工作。E-mail: qinjiahai123@163.com。

14.93% and 14.36%; and tuber weight, tuber weight per plant, yield and fertilizer profits increased by 5.13%, 5.05%, 3.80% and 556.89 yuan·hm<sup>-2</sup>, respectively. The application of ecological fertilizer with organic content in potato fields could effectively improve the soil physical and chemical properties and biological properties, advantaging potato yield and fertilizer profits.

**Keywords:** ecological fertilizer with organic content; soil properties; potato; economic benefits

甘肃省张掖市民乐和山丹县具有得天独厚的自然环境条件,光照充足,昼夜温差大,是马铃薯种植的最佳基地。近年来,建立了马铃薯生产基地 3 万 hm<sup>2</sup>,年产马铃薯 112.5 万 t,马铃薯产业已发展成为本区农民增收的重要支柱产业之一。在马铃薯产业发展过程中日益凸显的主要问题是:(1) 马铃薯种植面积大,连作年限长,马铃薯功能性复混肥研发滞后,马铃薯产量低而不稳;(2) 化肥超量施用,有机肥料投入量严重不足,马铃薯种植田养分比例失衡,土壤板结,不利于马铃薯块茎膨大;(3) 市场上流通的复混肥有效成分和养分比例不符合本区土壤养分现状和马铃薯对养分的吸收比例,且不具备改土功效,影响了本区马铃薯产业的可持续发展<sup>[1-2]</sup>。因此,研究和开发马铃薯功能性复混肥成为复混肥研发的关键所在。近年来,有关复混肥研究受到了广泛关注<sup>[3]</sup>,但有机改土生态肥对土壤理化性质和马铃薯经济效益的研究未见文献报道。针对上述存在的问题,我们选择聚乙烯醇<sup>[4-6]</sup>、马铃薯专用肥、豆粕有机肥、5406 抗生素肥<sup>[7]</sup>等 4 种原料,采用正交试验方法,筛选配方,合成马铃薯有机改土生态肥<sup>[8-12]</sup>,并进行肥效验证试验,以便对有机改土生态肥的肥效做出确切的评价。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

1.1.1 试验地概况 试验地位于甘肃省张掖市民乐县南固镇城南村连作 10 a 的马铃薯田上,该试验地海拔高度 2 200 m,年均温度 6.50℃,年均降水量 250 mm,年均蒸发量 1 800 mm,无霜期 140~150 d。土壤类型是耕种灰钙土<sup>[13]</sup>,0~20 cm 土层含有机质 15.56 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮 56.49 mg·kg<sup>-1</sup>,速效磷 11.30 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾 145.10 mg·kg<sup>-1</sup>,pH 值 7.82,前茬作物是马铃薯。

1.1.2 试验材料 尿素,含 N 46%,宁波远东化工集团有限公司产品;磷酸二铵,含 N 18%,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 46%,北京利奇世纪化工商贸有限公司产品;硫酸钾,含 K<sub>2</sub>O 50%,湖北兴银河化工有限公司产品;硫酸锌,含 Zn 23%,新疆先科农资有限公司产品;马铃薯专用肥,自己配制,将尿素、磷酸二铵、硫酸钾、硫酸锌重量比按 0.41:0.10:0.47:0.02 混合,含 N

20.66%,含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4.60%,K<sub>2</sub>O 23.50%,Zn 0.46%;豆粕有机肥,含有机质 60%,N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O 总量 2%,潍坊科技学院农化所产品;5406 抗生素肥,有效活菌数 ≥20 亿个·g<sup>-1</sup>,华远丰农生物科技有限公司产品;聚乙烯醇,分子质量 5 500~7 500,pH 6.0~8.0,粘度 12~16,粒径 0.05 mm,系甘肃兰维新材料有限公司产品;马铃薯品种为大西洋,由甘肃万向德农马铃薯种业有限公司提供。

### 1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 试验 I:有机改土生态肥配方筛选。2012 年 4 月 26 日选择聚乙烯醇、马铃薯专用肥、豆粕有机肥、5406 抗生素肥为 4 个因素,选择正交表 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)设计试验,则每个因素有 3 个水平,共 9 个处理<sup>[14]</sup>(表 1)。按表中括号中用量制成 9 种豆粕有机肥复混肥。在马铃薯播种前做底肥施入 20 cm 土层,每个试验小区单独收获,将小区产量折合成公顷产量,计算因素间的效应(R)和各因素不同水平的 T 值,选择有机改土生态肥配方。

试验 II:有机改土生态肥经济效益最佳施用量研究。

有机改土生态肥合成。2013 年 4 月 26 日依据试验 I 筛选的配方,将聚乙烯醇、马铃薯专用肥、豆粕有机肥、5406 抗生素肥重量比按 0.0124:0.7453:0.2050:0.0373 混合得到有机改土生态肥,经室内测定,含有机质 13.33%,N 15.39%,含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 3.43%,K<sub>2</sub>O 17.51%,Zn 0.34%。

肥效试验处理。有机改土生态肥施肥量梯度设计为 0.00、0.60、1.20、1.80、2.40、3.00、3.60 t·hm<sup>-2</sup> 共 7 个处理,以处理 1 为不施肥对照(CK),每个处理重复 3 次,随机区组排列。

试验 III:有机改土生态肥与传统化肥对土壤性质和马铃薯经济效益影响的研究。2014 年 4 月 26 日~2015 年 4 月 26 日在纯 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 投入量相等的条件下(纯 N 0.37 t·hm<sup>-2</sup>+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.08 t·hm<sup>-2</sup>+K<sub>2</sub>O 0.42 t·hm<sup>-2</sup>),试验共设计 3 个处理:处理 1,不施肥(CK);处理 2,传统化肥,尿素施用量 0.74 t·hm<sup>-2</sup>+磷酸二铵施用量 0.17 t·hm<sup>-2</sup>;硫酸钾施用量 0.85 t·hm<sup>-2</sup>;处理 3,有机改土生态肥,施用量 2.40 t·hm<sup>-2</sup>,每个处理重复 3 次,随机区组排列。

表 1  $L_9(3^4)$  正交试验设计Table 1  $L_9(3^4)$  orthogonal experimental design

试验处理 Treatment	A 聚乙烯醇 Polyvinyl alcohol	B 马铃薯专用肥 Potato urea	C 豆粕有机肥 Soybean meal organic fertilizer	D 5406 抗生素肥 5406 antibiotic bacterial manure
1	1(15)	2(1200)	1(165)	1(30)
2	2(30)	1(600)	3(495)	1(30)
3	3(45)	3(1800)	2(330)	1(30)
4	1(15)	1(600)	2(330)	2(60)
5	2(30)	3(1800)	3(495)	2(60)
6	3(45)	2(1200)	1(165)	2(60)
7	1(15)	3(1800)	3(495)	3(90)
8	2(30)	2(1200)	1(165)	3(90)
9	3(45)	1(600)	2(330)	3(90)

注:括号内数据为试验观测数据( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ),括号外数字为正交试验编码值。下同。

Note: data in bracket ( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ) for the test data, the data outside the brackets for orthogonal experiment coded values. The same as below.

1.2.2 种植方法 田间试验小区面积为  $28.80 \text{ m}^2$  ( $6 \text{ m} \times 4.8 \text{ m}$ ), 每个小区四周筑埂, 埂宽  $40 \text{ cm}$ , 埂高  $30 \text{ cm}$ , 播种时间为 2012、2013、2014 每年的 4 月 26 日, 在播种垄中间开一条深  $20 \text{ cm}$  的沟, 将肥料撒施在沟内, 覆土起垄覆膜, 垄距  $120 \text{ cm}$ , 垄宽  $40 \text{ cm}$ , 垄高  $40 \text{ cm}$ , 行距  $50 \text{ cm}$ , 株距  $25 \text{ cm}$ , 播种深度  $15 \text{ cm}$ , 每垄种植 2 行, 每个小区种植 4 垄。

1.2.3 灌水方法 每个试验小区为一个支管单元, 在支管单元入口安装闸阀、压力表和水表, 在马铃薯沟内安装 1 条薄壁滴灌带, 滴头间距  $25 \text{ cm}$ , 流量  $4.65 \text{ L}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ , 每个支管单元压力控制在  $4.903 \text{ MPa}$ , 分别在马铃薯发棵期、开花期和块茎膨大期各灌水 1 次, 每个小区灌水量相等, 每次灌水  $2.16 \text{ m}^3$ 。

1.2.4 测定指标与方法 马铃薯收获时每个试验小区随机采集 30 株, 测定农艺性状和经济性状, 茎粗采用游标卡尺法测定, 地上部分干重  $105^\circ\text{C}$  烘箱杀青  $30 \text{ min}$ ,  $80^\circ\text{C}$  烘干至恒重测定。马铃薯收获后分别在每个试验小区内, 按对角线采样方法, 布置 5 个点, 采集耕层  $0\sim 20 \text{ cm}$  土样  $5 \text{ kg}$ , 用四分法带回  $1 \text{ kg}$  混合土样室内风干化验分析(土壤容重、团聚体用环刀取原状土)。土壤容重测定采用环刀法; 孔隙度采用计算法; 团聚体测定采用干筛法; 碱解氮测定采用扩散法; 速效磷测定采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法; 速效钾测定采用火焰光度计法; pH 采用酸度计法<sup>[15-17]</sup>; 边际产量按公式(边际产量 = 后一个处理产量 - 前一个处理产量)求得; 边际产值按公式(边际产值 = 边际产量  $\times$  产品价格)求得; 边际施肥量按公式(边际施肥量 = 后一个处理施肥量 - 前一个处理施肥量)求得; 边际成本按公式(边际成本 = 边际施肥量  $\times$  肥料价格)求得; 边际利润按公式

(边际利润 = 边际产值 - 边际成本)求得<sup>[18]</sup>。微生物数量采用稀释平板法; 脲酶测定采用靛酚比色法; 蔗糖酶测定采用 3,5-二硝基水杨酸比色法; 磷酸酶测定采用磷酸苯二钠比色法; 过氧化氢酶测定采用滴定法; 多酚氧化酶测定采用碘量滴定法<sup>[19]</sup>。

1.2.5 数据处理方法 试验小区单独收获, 将小区产量折合成公顷产量进行统计分析。豆粕有机肥复混肥因素间的效应( $R$ )和各因素的  $T$  值采用正交试验直观分析方法求得。土壤理化性质、微生物数量、酶活性、马铃薯农艺性状、经济性状和产量等数据采用 DPSS 10.0 统计软件分析, 差异显著性采用多重比较, LSR 检验。有机改土生态肥最佳施肥量按公式( $x_0$ ) =  $[(P_x/P_y) - b]/2c$  求得<sup>[20]</sup>; 马铃薯理论产量按肥料效应回归方程式  $y = a + bx + cx^2$  求得<sup>[21-22]</sup>。

## 2 结果分析

### 2.1 有机改土生态肥配方筛选

将 2012 年 9 月 11 日马铃薯收获后测定数据采用正交试验分析方法进行分析, 可以看出, 因素间效应( $R$ )由大到小的顺序依次为  $B > C > D > A$ , 说明影响马铃薯产量因素依次是马铃薯专用肥  $>$  豆粕有机肥  $>$  5406 抗生素肥  $>$  聚乙烯醇。比较各因素不同水平的  $T$  值, 可以看出,  $T_{A2} > T_{A3} > T_{A1}$ , 说明马铃薯产量随聚乙烯醇施用量的增大而增加, 但聚乙烯醇施用量超过  $30 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  后, 马铃薯产量又随聚乙烯醇施用量的增大而降低。  $T_{B3} > T_{B1} > T_{B2}$ ,  $T_{C3} > T_{C2} > T_{C1}$ ,  $T_{D3} > T_{D2} > T_{D1}$ , 说明马铃薯专用肥、豆粕有机肥和 5406 抗生素肥的适宜施用量分别为  $1800 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $495 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$  和  $90 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。从各因素的

$T$  值可以看出,因素间最佳组合是:  $A_2$  聚乙烯醇  $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $B_3$  马铃薯专用肥  $1800 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $C_3$  豆粕有机肥  $495 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $D_3$  5406 抗生素肥  $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

即聚乙烯醇、马铃薯专用肥、豆粕有机肥、5406 抗生素肥重量组合比按  $0.0124:0.7453:0.2050:0.0373$  混合,得到豆粕有机肥复混肥(表 2)。

表 2  $L_9(3^4)$  正交试验分析

Table 2 Analysis of the  $L_9(3^4)$  orthogonal test

试验处理 Treatment	A 聚乙烯醇 Polyvinyl alcohol	B 马铃薯专用肥 Potato urea	C 豆粕有机肥 Soybean meal organic fertilizer	D 5406 抗生素肥 5406 antibiotic bacterial manure	产量 Production /( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
1	1(15)	2(1200)	1(165)	1(30)	16.62
2	2(30)	1(600)	3(495)	1(30)	27.50
3	3(45)	3(1800)	2(330)	1(30)	30.51
4	1(15)	1(600)	2(330)	2(60)	28.28
5	2(30)	3(1800)	3(495)	2(60)	48.12
6	3(45)	2(1200)	1(165)	2(60)	22.64
7	1(15)	3(1800)	3(495)	3(90)	36.64
8	2(30)	2(1200)	1(165)	3(90)	25.37
9	3(45)	1(600)	2(330)	3(90)	38.69
$T_1$	81.54	94.47	64.63	74.63	274.37
$T_2$	100.99	64.63	97.48	99.04	
$T_3$	92.84	115.27	112.26	100.70	
$R$	19.45	50.64	47.63	26.07	—

## 2.2 有机改土生态肥施用量对马铃薯经济性状及产量和经济效益的影响

由 2013 年 9 月 11 日马铃薯收获后测定数据可知,随着有机改土生态肥施用量梯度的增加,马铃薯经济性状和产量在增加,马铃薯块茎重、单株块茎重和产量最大的是有机改土生态肥施用量  $3.60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  处理,与不施肥(CK)比较,块茎重、单株块茎重和产量分别增加了 45.38%、33.83% 和 20.63%,差异极显著( $P < 0.01$ ),经相关性分析,有机改土生态肥施用量与马铃薯块茎重、单株块茎重和产量之间呈显著的正相关关系,相关系数分别为 0.9847、0.9696 和 0.9746(表 3)。

从经济效益变化来看,随着有机改土生态肥施用量梯度的增加,边际利润由最初的  $1321.72 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,递减到  $-982.28 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,有机改土生态肥施用量在  $2.40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  的基础上再增加  $0.60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,边际利润出现负值。将有机改土生态肥施用量与马铃薯产量间的关系采用肥料效应函数方程  $y = a + bx + cx^2$  拟合,得到的回归方程为:

$$y = 40.91 + 3.9110x - 0.3882x^2 \quad (1)$$

对回归方程进行显著性测验的结果表明,回归方程拟合良好。有机改土生态肥价格( $P_x$ )为  $2457.13 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ ,2013 年马铃薯市场价格( $P_y$ )为  $1200 \text{ 元} \cdot \text{t}^{-1}$ ,将( $P_x$ )、( $P_y$ )、肥料效应函数的  $b$  和  $c$  代入最佳施用量计算公式  $x_0 = [(P_x/P_y) - b]/2c$ ,求得有机

改土生态肥经济效益最佳施用量( $x_0$ )为  $2.40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,将  $x_0$  代入(1)式,求得马铃薯理论产量( $y$ )为  $48.06 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,回归分析结果与田间试验处理 5 有机改土生态肥施用量  $2.40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  相吻合,说明田间试验结果对指导大田生产具有实践意义(表 3)。

## 2.3 有机改土生态肥与传统化肥对土壤理化性质及有机质和速效养分的影响对比

### 2.3.1 对土壤物理性质的影响

连续定点试验 2 a 后,于 2015 年 9 月 11 日马铃薯收获后采集耕作层  $0 \sim 20 \text{ cm}$  土样测定结果可知,不同处理土壤容重由大到小变化顺序依次为:不施肥(对照) > 传统化肥 > 有机改土生态肥,有机改土生态肥与传统化肥和不施肥(CK)比较,容重分别降低 5.30% 和 6.72%,差异极显著( $P < 0.05$ );传统化肥与不施肥(CK)比较,容重降低 1.49%,差异不显著( $P > 0.05$ )。不同处理土壤总孔隙度和团聚体由大到小变化顺序依次为:有机改土生态肥 > 传统化肥 > 不施肥(CK),有机改土生态肥与传统化肥比较,总孔隙度和团聚体分别增加 5.26% 和 11.75%,差异极显著( $P < 0.01$ );有机改土生态肥与不施肥(CK)比较,总孔隙度和团聚体分别增加 6.88% 和 12.26%,差异极显著( $P < 0.01$ );传统化肥与不施肥(CK)比较,总孔隙度和团聚体分别增加 1.54% 和 0.46%,差异不显著( $P > 0.05$ )(表 4)。

表3 有机改土生态肥施用量对马铃薯经济性状及产量和经济效益的影响

Table 3 Ecological fertilizer with organic content on potato economic characteristics, yields and economic benefits

有机改土生态肥施用量 Organic ecological fertilizer rate /(t·hm <sup>-2</sup> )	块茎重 Tuber weight /g	单株块茎重 Tuber weight per plant /(g·株 <sup>-1</sup> )	产量 Yield /(t·hm <sup>-2</sup> )	边际产量 Marginal yield /(t·hm <sup>-2</sup> )	边际产值 Marginal output /(元·hm <sup>-2</sup> )	边际成本 Marginal cost /(元·hm <sup>-2</sup> )	边际利润 Marginal profit (元·hm <sup>-2</sup> )
不施肥(CK)	123.15fG	562.49gF	40.91gD	—	—	—	—
0.60	141.44eF	594.67fE	43.24fC	2.33	2796.00	1474.28	1321.72
1.20	148.89dE	659.29eD	45.22eB	1.98	2376.00	1474.28	901.72
1.80	153.50dD	700.39dC	46.80dB	1.58	1896.00	1474.28	421.72
2.40	161.57cC	722.81cB	48.06cA	1.26	1512.00	1474.28	37.72
3.00	169.76bB	745.22bA	48.94bA	0.89	1068.00	1474.28	-406.28
3.60	179.03aA	752.78aA	49.35aA	0.41	492.00	1474.28	-982.28

注:同列英文大写字母为 LSR<sub>0.01</sub>,小写字母为 LSR<sub>0.05</sub>显著差异水平(下同)。价格(元·t<sup>-1</sup>):尿素 2 000;磷酸二铵 4 000;硫酸钾 2 200;硫酸锌 4 000;土壤豆粕有机肥 1 200;5406 抗生素菌肥 4 000;聚乙烯醇 26 000;马铃薯专用肥 2 334(尿素、磷酸二铵、硫酸钾、硫酸锌重量比按 0.41:0.10:0.47:0.02 混合);有机改土生态肥 2 457.13;2014 年马铃薯市场收购价 1 200。

Note: The prices(yuan·t<sup>-1</sup>): urea, 2 000; Diammonium phosphate, 4 000; Potassium sulfate, 2 200; Zinc sulfate, 4 000; Soil yeast fertilizer, 1 200; 5406 antibiotic bacterial manure, 4 000; Poly vinyl alcohol, 26 000; Potato fertilizer, 2 334 (urea and diammonium phosphate, potassium sulfate, zinc sulfate weight ratio by 0.41:0.10:0.47:0.02 mixing); Ecological fertilizer, 2 457.13; The potato market price was 1 200 yuan·t<sup>-1</sup> in 2014.

2.3.2 对土壤 pH 及有机质和速效养分的影响 从表 4 可知,不同处理土壤 pH 由大到小变化顺序依次为:不施肥(CK) > 传统化肥 > 有机改土生态肥,有机改土生态肥与传统化肥和不施肥(CK)比较,pH 分别降低 3.08% 和 3.32%,差异显著( $P < 0.05$ );传统化肥与不施肥(CK)比较,pH 降低 0.26%,差异不显著( $P > 0.05$ )。不同处理土壤有机质由大到小变化顺序依次为:有机改土生态肥 > 传统化肥 > 不施肥(CK),有机改土生态肥与传统化肥和不施肥(CK)比较,有机质分别增加 3.26% 和 3.54%,差异显著( $P < 0.05$ );传统化肥与不施肥(CK)比较,有机质增加 0.26%,差异不显著( $P > 0.05$ )。不同处理土壤速效氮磷钾由大到小变化顺序依次为:有机改土生态肥 > 传统化肥 > 不施肥(CK);有机改土生态肥与传统化肥比较,碱解氮、速效磷和速效钾分别增加 1.08%、1.25% 和 1.38%,差异不显著( $P > 0.05$ );有机改土生态肥与不施肥(CK)比较,碱解氮、速效磷和速效钾分别增加 27.74%、19.03% 和 7.23%,差异极显著( $P < 0.01$ );传统化肥与不施肥(CK)比较,碱解氮、速效磷和速效钾分别增加 26.38%、17.52% 和 8.37%,差异极显著( $P < 0.01$ )(表 4)。

## 2.4 有机改土生态肥与传统化肥对土壤微生物和酶活性的影响比较

2.4.1 对土壤微生物的影响 从表 5 可知,不同处理土壤微生物由大到小变化顺序依次为:有机改土生态肥 > 传统化肥 > 不施肥(CK),有机改土生态肥与传统化肥比较,真菌增加 6.28%,差异显著( $P < 0.05$ );细菌、放线菌和菌体总量分别增加 36.07%、

21.94% 和 29.59%,差异极显著( $P < 0.01$ );有机改土生态肥与不施肥(CK)比较,真菌增加 7.98%,差异显著( $P < 0.05$ );细菌、放线菌和菌体总量分别增加 39.11%、24.34% 和 32.33%,差异极显著( $P < 0.01$ );传统化肥与不施肥(CK)比较,真菌、细菌、放线菌和菌体分别增加 1.60%、2.20%、1.97% 和 2.11%,差异不显著( $P > 0.05$ )(表 5)。

2.4.2 对土壤酶活性的影响 从表 5 可知,不同处理土壤酶活性由大到小变化顺序依次为:有机改土生态肥 > 传统化肥 > 不施肥(CK),有机改土生态肥与传统化肥比较,蔗糖酶、脲酶和磷酸酶分别增加 14.46%、5.64% 和 13.95%,差异显著( $P < 0.05$ );有机改土生态肥与不施肥(CK)比较,蔗糖酶、脲酶和磷酸酶分别增加 70.00%、34.53% 和 58.06%,差异极显著( $P < 0.01$ );传统化肥与不施肥(CK)比较,蔗糖酶、脲酶和磷酸酶分别增加 48.52%、27.34% 和 38.71%,差异极显著( $P < 0.01$ )。有机改土生态肥与传统化肥比较,多酚氧化酶和过氧化氢酶分别增加 21.37% 和 39.29%,差异极显著( $P < 0.01$ );有机改土生态肥与不施肥(CK)比较,多酚氧化酶和过氧化氢酶分别增加 27.93% 和 50.00%,差异极显著( $P < 0.01$ );传统化肥与不施肥(CK)比较,多酚氧化酶和过氧化氢酶分别增加 5.41% 和 7.69%,差异显著( $P < 0.05$ )(表 5)。

## 2.5 有机改土生态肥与传统化肥对马铃薯性状及产量和施肥利润的影响比较

2.5.1 对马铃薯农艺性状的影响 由 2014 年 9 月 11 日马铃薯收获后测定数据可知,不同处理马铃薯

农艺性状由大到小变化顺序依次为:有机改土生态肥 > 传统化肥 > 不施肥(CK);有机改土生态肥与传统化肥比较,马铃薯株高、茎粗和地上部分干重分别增加 7.45%, 14.93% 和 14.36%, 差异显著 ( $P < 0.05$ );有机改土生态肥与不施肥(CK)比较,株高、茎粗和地上部分干重分别增加 53.32%、27.16% 和 49.70%, 差异极显著 ( $P < 0.01$ );传统化肥与不施肥(CK)比较,株高、茎粗和地上部分干重分别增加 41.76%、10.64% 和 30.90%, 差异极显著 ( $P < 0.01$ ) (表 6)。

2.5.2 对马铃薯经济性状及产量的影响 从表 6 可知,不同处理马铃薯经济性状和产量由大到小变

化顺序依次为:有机改土生态肥 > 传统化肥 > 不施肥(CK),有机改土生态肥与传统化肥比较,马铃薯块茎重、单株块茎重和产量分别增加 5.13%、5.05% 和 3.80%, 差异显著 ( $P < 0.05$ );有机改土生态肥与不施肥(CK)比较,块茎重、单株块茎重和产量分别增加 31.17%、38.89% 和 38.90%, 差异极显著 ( $P < 0.01$ );传统化肥与不施肥(CK)比较,块茎重、单株块茎重和产量分别增加 24.76%、32.16% 和 33.81%, 差异极显著 ( $P < 0.01$ )。有机改土生态肥与传统化肥和不施肥(CK)比较,施肥利润分别增加 556.89 元·hm<sup>-2</sup>和 12 630.89 元·hm<sup>-2</sup>;传统化肥与对照比较,施肥利润增加 12 074.00 元·hm<sup>-2</sup>(表 6)。

表 4 有机改土生态肥与传统化肥对土壤理化性质及有机质和速效养分的影响

Table 4 Effects of traditional fertilizer and ecological fertilizer with organic fertilizer on soil physical and chemical properties, organic matters and available nutrients

试验处理 Treatment	容重 Bulk density /(g·cm <sup>-3</sup> )	总孔隙度 Total porosity /%	>0.25 mm 团聚体 >0.25 mm aggregate /%	有机质 Organic matter /(g·kg <sup>-1</sup> )	pH	碱解氮 Alkali N /(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available P /(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K /(mg·kg <sup>-1</sup> )
不施肥 Contrast(CK)	1.34aA	49.43bB	38.89bB	15.56bA	7.82aA	56.49bB	11.30bB	145.10bB
传统化肥 Traditional chemical fertilizer	1.32aA	50.19bB	39.07bB	15.60bA	7.80aA	71.39aA	13.28aA	153.47aA
有机改土生态肥 Ecological fertilizer	1.25bB	52.83aA	43.66aA	16.11aA	7.56aA	72.16aA	13.45aA	155.60aA

表 5 有机改土生态肥与传统化肥对土壤微生物和酶活性的影响

Table 5 Effects of traditional fertilizer and ecological fertilizer with organic content on soil microorganisms and enzyme activities

试验处理 Treatment	真菌 Ungi /(×10 <sup>4</sup> ·g <sup>-1</sup> )	细菌 Acteria /(×10 <sup>7</sup> ·g <sup>-1</sup> )	放线菌 Actinomycetes /(×10 <sup>7</sup> ·g <sup>-1</sup> )	菌体总量 Total bacteria /(×10 <sup>7</sup> ·g <sup>-1</sup> )	蔗糖酶 Sucrase /(mg·g <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	脲酶 Urease /(mg·kg <sup>-1</sup> ·h <sup>-1</sup> )	磷酸酶 Phosphatase /(g·g <sup>-1</sup> ·d <sup>-1</sup> )	多酚氧化酶 Polyphenol oxidase /(mL·g <sup>-1</sup> )	过氧化氢酶 Catalase /(mL·g <sup>-1</sup> )
不施肥 Contrast(CK)	1.88bA	1.79bB	1.52bB	3.31bB	2.70cB	1.39cB	0.31cB	1.11cB	0.52cB
传统化肥 Traditional chemical fertilizer	1.91bA	1.83bB	1.55bB	3.38bB	4.01bA	1.77bA	0.43bA	1.17bB	0.56bB
有机改土生态肥 Ecological fertilizer	2.03aA	2.49aA	1.89aA	4.38aA	4.59aA	1.87aA	0.49aA	1.42aA	0.78aA

表 6 有机改土生态肥与传统化肥对马铃薯生长性状及产量和施肥利润的影响

Table 6 Effects of traditional fertilizer and ecological fertilizer with organic content on the morphologies of potato, yield and fertilizer profits

试验处理 Treatment	株高 Plant height /cm	茎粗 Thick stems /mm	地上部干重 Aboveground dry weight /(g·株 <sup>-1</sup> )	块茎重 Tuber weight /g	单株块茎重 Tuber weight per plant /(g·株 <sup>-1</sup> )	产量 Yield /(t·hm <sup>-2</sup> )	增产值 Increase /(元·hm <sup>-2</sup> )	施肥成本 Fertilization cost /(元·hm <sup>-2</sup> )	施肥利润 Fertilization profit /(元·hm <sup>-2</sup> )
不施肥 Contrast(CK)	53.21cB	7.99cB	58.29cB	126.28cB	545.71cB	39.69cB	—	—	—
传统化肥 Traditional chemical fertilizers	75.43bA	8.84bA	76.30bA	157.55bA	721.23bA	53.11bA	16104.00	4030.00	12074.00
有机改土生态肥 Ecological fertilizer	81.05aA	10.16aA	87.26aA	165.64aA	757.94aA	55.13aA	18528.00	5897.11	12630.89

### 3 讨论与结论

在甘肃省张掖市的马铃薯种植田上,施用有机改土生态肥后,土壤孔隙度增大,团聚体、有机质、微生物和酶活性增加,土壤容重和 pH 降低。究其原因,一是有机改土生态肥含有丰富的有机质,施用有机改土生态肥后使板结的土壤疏松了,因而降低了土壤容重,增大了孔隙度,提高了有机质含量;二是有机改土生态肥中的聚乙烯醇是一种高分子聚合物,具有良好的粘结作用,与土粒粘合后可以形成团聚体<sup>[23-25]</sup>;三是有机改土生态肥中的有机质被微生物分解后,释放出了有机酸,因而降低了土壤酸碱度;四是有机改土生态肥中的 5406 抗生素肥促进了微生物的繁殖和生长发育,提高了微生物的数量和酶的活性。采用聚乙烯醇、马铃薯专用肥、豆粕有机肥、5406 抗生素肥等原料合成的有机改土生态肥,其创新点是把马铃薯专用肥的速效,豆粕有机肥的缓效,5406 抗生素肥的增效,聚乙烯醇的改土作用融为一体,不但具有营养作用,还具备了改土作用。这不仅有效解决了甘肃省张掖市马铃薯产业发展过程中存在的化肥超量施用、有机肥料投入量严重不足、土壤板结、不利于马铃薯块茎膨大的问题,也解决了市场上流通的复混肥有效成分和养分比例不符合本区土壤养分现状和马铃薯对养分的吸收比例、且不具备改土功效的问题,解决了马铃薯种植田营养失衡和产量不高的疑难问题,促进了本区马铃薯产业的可持续发展。

研究表明:有机改土生态肥施用量与马铃薯产量间的肥料效应回归方程式为:  $y = 40.91 + 3.9110x - 0.3882x^2$ ,经济效益最佳施肥量为  $2.40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,马铃薯理论产量为  $48.06 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,回归分析结果与田间试验处理 5 有机改土生态肥施用量  $2.40 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$  相吻合,说明田间试验结果对指导大田生产具有实践意义。施用有机改土生态肥与传统化肥比较,土壤总孔隙度、团聚体、有机质、速效氮磷钾、微生物、酶活性、马铃薯农艺性状、经济性状、产量和施肥利润由大到小的变化顺序为:有机改土生态肥 > 传统化肥;容重和 pH 由大到小的变化顺序为:传统化肥 > 有机改土生态肥。在甘肃省张掖市马铃薯种植田上施用有机改土生态肥,有效地改善了土壤的理化性质和生物学性质,提高了马铃薯的产量和经济效益。

### 参考文献:

- [1] 华 军,贾改秀,韩顺斌.关于张掖市马铃薯产业发展的思考[J].甘肃农业,2011,(2):59-60.
- [2] 陈其泰,贾改秀,李鸿宾.张掖市马铃薯产业发展现状及对策建议[J].中国马铃薯,2009,23(6):375-377.
- [3] 赵秉强,张福锁,廖宗文.我国新型肥料发展战略研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(5):536-545.
- [4] 巫东堂,王久志.土壤结构改良剂及其应用[J].土壤通报,1990,21(3):140-143.
- [5] 孙云秀.土壤结构改良剂的改土效果及其使用的研究[J].干旱地区农业研究,1988,6(3):51-52.
- [6] 汪德水.土壤结构改良剂的改土、保水、增产效果研究[J].土壤肥料.1990,(5):9-13.
- [7] 李 智.5406 抗生素肥特性及使用方法[J].生物加工过程,2003,1(2):50-52.
- [8] 闫四群.功能性肥料的发展前景和存在问题[J].农家参谋种业大观,2011,(11):24-25.
- [9] 刘秀梅,刘光荣,冯兆滨,等.新型肥料研制技术与产业化开发[J].江西农业学报,2006,18(2):87-92.
- [10] 陆建刚,周 莺.国内外新型肥料的开发[J].化肥工业,1994,21(3):8-11.
- [11] 赵秉强,张福锁,廖宗文.我国新型肥料发展战略研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(5):536-545.
- [12] 刘 果,李绍才,杨志荣.我国多功能肥料的发展概况[J].中国土壤与肥料,2006,(5):7-9.
- [13] 秦嘉海,吕 彪.河西土壤与合理施肥[M].兰州:兰州大学出版社.2001:150-155.
- [14] 明道绪.田间试验与统计分析[M].北京:科学出版社,2014:185-188.
- [15] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:科学技术出版社,1978:110-218.
- [16] 中国土壤学会农业化学专业委员会.土壤农业化学常规分析法[M].北京:科学出版社,1983:106-208.
- [17] 中国土壤学会.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,1999:82-103.
- [18] 浙江农业大学.植物营养与肥料[M].北京:中国农业出版社,1988:268-269.
- [19] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986.
- [20] 陈伦寿,李仁岗.农田施肥原理与实践[M].北京:中国农业出版社,1983:185-186.
- [21] 陕西省农林学校.土壤肥料学[M].北京:中国农业出版社,1987:227-228.
- [22] 于秀林,任雪松.多元统计分析[M].北京:中国统计出版社,1999:166-170.
- [23] 龙明杰,张宏伟,曾繁森.高聚物土壤结构改良剂的研究[J].土壤学报,2001,38(4):584-589.
- [24] 巫东堂,王久志.土壤结构改良剂及其应用[J].土壤通报,1990,21(3):140-143.
- [25] 孙云秀.土壤结构改良剂的改土效果及其使用的研究[J].干旱地区研究,1988,(3):51-52.