

功能性生物活性肥配方筛选及对土壤理化性质和马铃薯经济效益的影响^①

刘玉环, 赵 静, 秦嘉海*, 肖占文, 赵芸晨, 王治江

(河西学院农业与生物技术学院, 甘肃张掖 734000)

Screening of Functional Biological Fertilizer Formula and Its Effects on Soil Properties and Economic Benefits of Potato

LIU Yu-huan, ZHAO Jing, QIN Jia-hai*, XIAO Zhan-wen, ZHAO Yun-chen, WANG Zhi-jiang
(School of Agriculture and Biotechnology, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China)

摘 要: 采用田间试验方法研究了功能性生物活性肥配方筛选及对土壤理化性质和马铃薯经济效益的影响。结果表明: 影响马铃薯产量效应的原料依次为营养因子>保水剂>聚乙烯醇>5406 菌剂>柠檬酸; 原料间最佳组合为 5406 菌剂 101.25 kg/hm²、营养因子 1 500 kg/hm²、保水剂 22.50 kg/hm²、聚乙烯醇 67.50 kg/hm²、柠檬酸 11.25 kg/hm²。随着功能性生物活性肥施用量梯度的增加, 土壤孔隙度、团聚体、蓄水量、速效氮磷钾含量、微生物数量随之增大, 而体积质量和 pH 降低。功能性生物活性肥施用量与马铃薯经济性状、产量呈正相关, 与单位肥料增产量呈负相关。功能性生物活性肥经济效益最佳施用量为 1.39 t/hm² 时, 马铃薯理论产量为 32.42 t/hm²。

关键词: 功能性生物活性肥; 理化性质; 马铃薯; 经济效益

中图分类号: S143.6

甘肃张掖市冷凉灌区拥有得天独厚的自然环境和区位优势, 是加工型马铃薯种植和贮藏的理想场所。近年来, 从国内外引进了大西洋、LK99、夏波蒂、费乌瑞它等 12 个加工型马铃薯新品种, 建成了加工型马铃薯生产基地 3 万 hm², 年产加工型马铃薯 112.5 万 t, 马铃薯产业已发展成为本区农民增收, 企业增效的支柱产业之一。目前日益凸显的主要问题是加工型马铃薯种植面积大, 连作年限长, 土壤养分比例失衡, 缺素的生理性病害经常发生; 有机肥料投入量严重不足, 化肥超量施用, 土壤板结, 肥料利用率降低, 施肥成本增加; 市场上流通的复混肥不符合本区土壤养分现状和马铃薯对养分的吸收比例, 且不具备保水、改土功效, 影响了本区马铃薯产业的可持续发展^[1-2]。因此, 研究和开发功能性生物活性肥成为复混肥研发的关键所在^[3]。本文针对上述存在的问

题, 应用作物营养平衡施肥理论、改土培肥理论和化学合成技术, 以 CO(NH₂)₂、(NH₄)₂ HPO₄、ZnSO₄·7H₂O、(NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O、5406 菌肥^[4]、土壤结构改良剂聚乙烯醇^[5-7]、保水剂^[8-10]、柠檬酸为原料, 合成功能性生物活性肥^[11-15], 通过田间试验验证其肥效。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验地概况 试验于 2009—2012 年在甘肃省张掖市民乐县丰乐乡进行, 土壤类型是耕种栗钙土^[16], 该地 0~20 cm 土层含有机质 26.34 g/kg, 碱解氮 65.09 mg/kg, 速效磷 10.69 mg/kg, 速效钾 143.04 mg/kg, pH 为 8.48。

1.1.2 试验材料 CO(NH₂)₂, 粒径 2~3 mm, 含 N 460 g/kg; (NH₄)₂HPO₄, 粒径 2~5 mm, 含 N 180 g/kg,

基金项目: 科技部国家星火项目(2011GA860023)资助。

* 通讯作者(qinjahai123@163.com)

作者简介: 刘玉环(1965—), 男, 甘肃武威人, 硕士, 副教授, 研究方向为新型肥料研发。E-mail: lyh@163.com

P_2O_5 460 g/kg, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 粒径 1~2 mm, 含 Zn 230 g/kg; $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ 含 Mo 500 g/kg; 5406 菌剂, 有效活菌数 0.2 亿/g, 营养因子, 自己配制, $CO(NH_2)_2$ 、 $(NH_4)_2HPO_4$ 、 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 、 $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ 重量比按 569:391:30:10 混合, 含 N 330 g/kg, P_2O_5 180 g/kg, Zn 6.9 g/kg, Mo 5.0 g/kg; 聚乙烯醇, 粒径 0.05~2 mm; 柠檬酸, 粒径 1~2 mm; 保水剂: 吸水倍率 645 g/g,

粒径 1~2 mm; 马铃薯品种是大西洋。

1.2 试验方法

1.2.1 功能性生物活性肥配方比例确定 选择 5406 菌剂、营养因子、保水剂、聚乙烯醇、柠檬酸为 5 种原料, 每种原料设计 3 种用量, 按正交表 $L_9(3^5)$ 设计 9 个处理(表 1)。按表 1 括号中的数量称取各种原料混合均匀后组成 9 种复混肥进行试验。

表 1 $L_9(3^5)$ 正交试验设计表

试验处理	A (5406 菌剂)	B (营养因子)	C (保水剂)	D (聚乙烯醇)	E (柠檬酸)
1= $A_3B_2C_3D_2E_1$	3(101.25)	2(1 500)	3(67.50)	2(67.50)	1(11.25)
2= $A_2B_1C_1D_3E_1$	2(67.50)	1(750)	1(22.50)	3(101.25)	1(11.25)
3= $A_1B_3C_2D_1E_1$	1(33.75)	3(2 250)	2(45.00)	1(33.75)	1(11.25)
4= $A_3B_1C_2D_2E_2$	3(101.25)	1(750)	2(45.00)	2(67.50)	2(22.50)
5= $A_2B_3C_3D_3E_2$	2(67.50)	3(2 250)	3(67.50)	3(101.25)	2(22.50)
6= $A_1B_2C_1D_1E_2$	1(33.75)	2(1 500)	1(22.50)	1(33.75)	2(22.50)
7= $A_3B_3C_1D_2E_3$	3(101.25)	3(2 250)	1(22.50)	2(67.90)	3(33.75)
8= $A_2B_2C_2D_3E_3$	2(67.50)	2(1 500)	2(45.00)	3(101.25)	3(33.75)
9= $A_1B_1C_3D_1E_3$	1(33.75)	1(750)	3(67.50)	1(33.75)	3(33.75)

注: 括号内数据为具体用量(kg/hm²)。

田间试验小区面积为 28.80 m²(6 m × 4.8 m), 每个小区四周筑埂, 埂宽 40 cm, 埂高 30 cm; 垄距 120 cm, 垄宽 40 cm, 垄高 40 cm, 行距 50 cm; 播种时间 2009 年 4 月 28 日, 播种深度 15 cm, 每垄 2 行, 每个小区种植 4 垄, 株距 25 cm, 在播种垄中间开一条深 20 cm 的沟, 将肥料撒施在沟内; 在垄上安装 1 条薄壁滴灌带, 滴头间距 25 cm, 流量 4.65 L/(m·h), 分别在马铃薯开花盛期、块茎形成期、块茎膨大期、块茎形成盛期各滴灌 1 次, 每个小区灌水量相等, 每次灌水 2.16 m³。

1.2.2 功能性生物活性肥经济效益最佳施肥量的验证 根据 1.2.1 试验筛选的配方进行试验, 将 5406 菌剂、营养因子、保水剂、聚乙烯醇、柠檬酸重量比按 0.059:0.881:0.013:0.040:0.007 混合, 搅拌均匀, 待用。室内测定其含 N 291.4 g/kg, P_2O_5 158.4 g/kg, Zn 6.1 g/kg, Mo 4.4 g/kg。

设置施肥量梯度为 0(CK)、0.35、0.70、1.05、1.40、1.75 t/hm² 6 个处理, 每个处理重复 3 次, 随机区组排列。分别于 2010 年、2011 年和 2012 年 4 月 28 日开始试验, 小区面积、马铃薯品种、施肥方法、株行距、灌水方法、灌水量与 1.2.1 试验相同。

1.3 样品采集及测定

马铃薯收获时每个试验小区随机采集 30 株, 测定经济性状。每个试验小区单独收获, 将小区产量折合成公顷产量进行统计分析。边际产量、边际产值、

边际施肥量、边际成本、边际利润、肥料贡献率采用计算法^[19]。

连续 3 年定点试验后, 于 2012 年 9 月 26 日马铃薯收获后分别在试验小区内按 S 形路线布点, 采集耕层 0~20 cm 土样 4 kg, 用四分法带回 1 kg, 混合土样经室内风干, 研磨, 用于土壤理化性质分析(土壤体积质量、团聚体测定用环刀取原状土)。土壤理化性质、蓄水量、微生物数量按常规方法测定^[17-18]。

1.4 数据处理方法

土壤理化性质和马铃薯经济性状采用 DPS V13.0 软件分析, 差异显著性采用多重比较, LSR 检验。依据 $(x_0)=[(P_x/P_y)-b]/2c$ 计算公式, 求得功能性生物活性肥最佳施肥量(x_0)^[20]; 依据 $y=a+bx-cx^2$ 回归方程式, 求得功能性生物活性肥最佳施肥量时的马铃薯理论产量(y)^[21]。

2 结果分析

2.1 功能性生物活性肥配方确定

据表 2 结果可以看出, 不同原料对马铃薯产量的影响效应(R)是: 营养因子(B) > 保水剂(C) > 聚乙烯醇(D) > 5406 菌剂(A) > 柠檬酸(E)。综合各原料不同用量的效应, 得到原料间最佳组合是: $A_3B_2C_1D_2E_1$, 即 5406 菌剂 101.25 kg/hm²、营养因子 1 500 kg/hm²、保水剂 22.50 kg/hm²、聚乙烯醇 67.50 kg/hm²、柠檬酸 11.25 kg/hm²(表 2)。

表 2 L₉(3⁵)正交试验结果分析

试验处理	A	B	C	D	E	产量(t/hm ²)
1=A ₃ B ₂ C ₃ D ₂ E ₁	3	2	3	2	1	31.50
2=A ₂ B ₁ C ₁ D ₃ E ₁	2	1	1	3	1	22.05
3=A ₁ B ₃ C ₂ D ₁ E ₁	1	3	2	1	1	25.20
4=A ₃ B ₁ C ₂ D ₂ E ₂	3	1	2	2	2	15.30
5=A ₂ B ₃ C ₃ D ₃ E ₂	2	3	3	3	2	28.35
6=A ₁ B ₂ C ₁ D ₁ E ₂	1	2	1	1	2	31.05
7=A ₃ B ₃ C ₁ D ₂ E ₃	3	3	1	2	3	31.95
8=A ₂ B ₂ C ₂ D ₃ E ₃	2	2	2	3	3	24.75
9=A ₁ B ₁ C ₃ D ₁ E ₃	1	1	3	1	3	17.55
T ₁	73.82	54.90	85.05	73.80	78.75	227.7 (T)
T ₂	75.15	87.30	65.25	78.75	74.70	
T ₃	78.75	85.50	77.40	75.15	74.25	
R	4.93	32.40	19.80	4.95	4.50	

注：A 为 5406 菌剂，B 为营养因子，C 为保水剂，D 为聚乙烯醇，E 为柠檬酸。

2.2 不同梯度功能性生物活性肥对土壤物理性质的影响

据表 3 可以看出，不同梯度的功能性生物活性肥施肥量与土壤总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、团聚体呈正相关关系，与体积质量呈负相关关系，处理间的差异显著(表 3)。其原因是功能性生物活性肥中的聚乙烯醇是一种胶结物质，可以把小土粒黏在一起，形成较稳定的团聚体，增大了土壤孔隙度，降低了土壤体积质量^[22]。

2.3 不同梯度功能性生物活性肥对土壤蓄水量的影响

据表 4 可以看出，不同梯度的功能性生物活性肥施肥量与土壤自然含水量、饱和蓄水量、毛管蓄水量、

非毛管蓄水量呈正相关关系，处理间的差异显著(表 4)。其原因是功能性生物活性肥中的保水剂是一类高分子聚合物，能吸附超过自身重量 100~1 400 倍的水分，在提高土壤持水性能方面具有重要的作用^[23]。

2.4 不同梯度功能性生物活性肥对土壤速效养分及 pH 和微生物数量的影响

据表 5 可以看出，不同梯度功能性生物活性肥施肥量与土壤碱解氮、速效磷、速效钾呈正相关关系。其原因是功能性生物活性肥含有丰富的氮磷钾，可以增加土壤速效养分的含量，处理间的差异显著(表 5)。不同梯度功能性生物活性肥施肥量与土壤 pH 呈负相关关系，其原因是功能性生物活性肥中的柠檬酸是一种酸性化合物，因而降低了土壤的酸碱度。不同梯度功能性生

表 3 不同梯度功能性生物活性肥对土壤物理性质的影响

施肥量 (t/hm ²)	体积质量 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	毛管孔隙度 (%)	非毛管孔隙度 (%)	> 0.25 mm 团聚体 (g/kg)
0(CK)	1.34 aA	49.43 fA	20.39 efEF	29.04 efEF	300.4 fF
0.35	1.31 bAB	50.57 eA	20.86 eDE	29.71 eDE	349.8 eE
0.70	1.28 cBC	51.70 dA	21.35 cdCD	30.35 cdCD	366.7 dD
1.05	1.26 dCD	52.45 cA	21.96 bcBC	30.49 cBC	382.2 cC
1.40	1.23 eDE	53.58 bA	21.99 bAB	31.59 bAB	406.3 bB
1.75	1.20 fE	54.71 aA	22.53 aA	32.18 aA	423.3 aA

注：同列不同大写字母表示处理间差异在 $P < 0.01$ 水平显著，小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平显著，下同。

表 4 不同梯度功能性生物活性肥对土壤蓄水量的影响

施肥量 (t/hm ²)	自然含水量 (g/kg)	饱和蓄水量 (t/hm ²)	毛管蓄水量 (t/hm ²)	非毛管蓄水量 (t/hm ²)
0(CK)	152.24 fA	988.60 fA	407.80 fEF	580.80 fEF
0.35	159.33 eA	1 011.40 eA	417.20 eDE	594.20 dE
0.70	166.79 dA	1 034.00 dA	427.00 dCD	607.00 dCD
1.05	174.29 cA	1 049.00 cA	439.20 bcBC	609.80 cC
1.40	178.84 bA	1 071.60 bA	439.80 bAB	631.80 bAB
1.75	187.71 aA	1 094.20 aA	450.60 aA	643.60 aA

表 5 不同梯度功能性生物活性肥对土壤速效养分及 pH 和微生物数量的影响

施肥量 (t/hm ²)	pH	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	真菌 (×10 ⁴ /g)	细菌 (×10 ⁷ /g)	放线菌 (×10 ⁷ /g)
0(CK)	8.48 aA	65.09 fEF	10.69 fF	143.04 fEF	1.33 fF	1.22 fF	0.88 efA
0.35	8.39 abA	69.21 eDE	11.40 deDE	145.45 eDE	1.55 deDE	1.36 eE	0.98 eA
0.70	8.36 bcA	72.11 dCD	11.64 dD	147.23 dCD	1.68 dD	1.42 dD	1.06 cdA
1.05	8.34 cdA	75.89 cBC	12.85 cC	148.73 cBC	2.48 bcBC	1.52 cC	1.11 bcA
1.40	8.30d eA	78.25 bAB	13.33 abAB	153.38 bAB	2.62 bB	1.67 bB	1.16 bA
1.75	8.28 efA	79.84 aA	13.61 aA	154.95 aA	3.42 aA	1.81 aA	1.22 aA

物活性肥施肥量与土壤真菌、细菌、放线菌数量呈正相关关系,其原因是功能性生物活性肥中的 5406 菌剂增加土壤微生物的数量^[24],处理间的差异显著(表 5)。

2.5 不同梯度功能性生物活性肥对马铃薯经济性状和增产效果的影响

从 2010—2012 年马铃薯收获后测定结果可以看出,随着功能性生物活性肥施肥量的增加,马铃薯块茎重、单株块茎重、产量、增产量增加,但单位(1 kg)肥料增产量下降,处理间的差异显著(表 6)。

2.6 不同梯度功能性生物活性肥对马铃薯经济效益的影响和最佳施肥量的确定

采用经济学原理进行分析可以看出^[25],随着功

能性生物活性肥施肥量的增加,边际产量、边际产值、边际利润下降,施肥量为 1.40 t/hm²时,马铃薯的经济效益较好(表 7)。将不同梯度的功能性生物活性肥施肥量与马铃薯产量间的关系,应用肥料效应回归方程 $y = a + bx - cx^2$ 拟合,得到 $y = 22.54 + 6.0586x - 0.7583x^2$ ($r = 0.9956^{**}$),回归方程拟合良好。功能性生物活性肥价格(P_x)为 4 740.73 元/t,马铃薯价格(P_y)为 1 200 元/t,将(P_x)、(P_y)、回归方程的 b 和 c,代入最佳施肥量计算公式,求得功能性生物活性肥最佳施肥量为 1.39 t/hm²,将最佳施肥量代入肥料效应方程,得到马铃薯理论产量为 32.42 t/hm²,预测结果与田间试验结果(处理 5)基本吻合(表 7)。

表 6 不同梯度功能性生物活性肥对马铃薯经济性状和增产效果的影响

施肥量 (t/hm ²)	块茎重 (g)	单株块茎重 (g/株)	产量 (t/hm ²)	增产量 (t/hm ²)	增产率 (%)	肥料增产量 (kg/kg)
0(CK)	128.59 fA	357.321 fF	22.54 fF	—	—	—
0.35	135.36 eA	384.22 eE	25.92 eE	3.38	14.99	9.66
0.70	139.55 dA	413.14 dD	28.62 dD	6.08	26.97	8.69
1.05	146.89 cA	434.88 cC	30.78 cC	8.24	36.56	7.85
1.40	154.33 bA	457.78 bB	32.51 abAB	9.97	44.23	7.12
1.75	162.76 aA	481.87 aA	32.89 aA	10.35	45.92	5.91

表 7 不同梯度功能性生物活性肥对马铃薯经济效益的影响

施肥量 (t/hm ²)	产量 (t/hm ²)	增产量 (t/hm ²)	边际产量 (t/hm ²)	边际产值 (元/hm ²)	边际成本 (元/hm ²)	边际利润 (元/hm ²)
0(CK)	22.54 fF	—	—	—	—	—
0.35	25.92 eE	3.38	3.38	4 056.00	1 659.25	2 396.75
0.70	28.62 dD	6.08	2.70	3 240.00	1 659.25	1 580.75
1.05	30.78 cC	8.24	2.16	2 592.00	1 659.25	932.75
1.40	32.51 abAB	9.97	1.73	2 076.00	1 659.25	416.75
1.75	32.89 aA	10.35	0.38	456.00	1 659.25	-1 203.25

3 结论

影响马铃薯产量效应原料依次为:营养因子>保水剂>聚乙烯醇>5406 菌剂>柠檬酸,原料间最佳组合是:5406 菌剂 101.25 kg/hm²、营养因子 1 500 kg/hm²、

保水剂 22.50 kg/hm²、聚乙烯醇 67.50 kg/hm²、柠檬酸 11.25 kg/hm²。功能性生物活性肥施肥量与土壤孔隙度、团聚体、蓄水量、速效氮磷钾呈正相关关系,与体积质量、pH 呈负相关关系。功能性生物活性肥最佳施肥量为 1.39 t/hm²时,马铃薯的理论产量为

32.42 t/hm²，与田间试验结果基本吻合。

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] 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
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 张富仓, 康绍忠. BP 保水剂及其对土壤与作物的效用[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 74-78
- [9] 黄凤球. 化学节水技术在农业上的应用效果研究[J]. 水土保持研究, 1996, 3(3): 118-124
- [10] 刘春生. 抗旱保水剂在果园中的应用效应研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 134-136
- [11] 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
- [12] 刘秀梅, 刘光荣. 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
- [13] 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
- [14] 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
- [15] 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
- [16] 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
- [17] 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
- [18] 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
- [19] 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
- [20] 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
- [21] 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
- [22] 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
- [23] 谢伯承, 薛绪掌, 王纪华, 王国栋, 高志远. 保水剂对土壤持水性状的影响[J]. 水土保持通报, 2003, 23(6): 44-46
- [24] 栗丽, 洪坚平, 谢英荷. 5406 菌剂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
- [25] 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