

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2016)06-0349-07

多功能复混肥配方筛选及对土壤性质和马铃薯施肥利润的影响

周 俊^{1*}, 周如考²

(1. 张掖市农业节水与土壤肥料管理站, 甘肃 张掖 734000; 2. 甘肃星硕生物科技有限公司, 甘肃 张掖 734000)

摘 要: 在甘肃省张掖市山丹县马铃薯种植基地上, 采用田间试验方法, 进行了多功能复混肥配方筛选及对土壤性质和马铃薯施肥利润影响的研究。结果表明, 多功能复混肥配方组合为马铃薯专用肥0.741 0:糠醛渣0.235 5:聚乙烯醇0.023 5。施用多功能复混肥与传统化肥比较, 土壤容重、pH和真菌分别降低7.63%、3.43%和1.56%; 总孔隙度、团聚体和饱和持水量分别增加7.45%、17.54%和7.45%; 有机质、碱解氮、速效磷和速效钾分别增加9.41%、0.35%、0.47%和1.27%; 细菌、放线菌和菌体总量分别增加25.86%、21.69%和24.12%; 蔗糖酶、磷酸酶、脲酶和多酚氧化酶分别增加53.64%、30.43%、4.58%和10.76%; 马铃薯产量和施肥利润分别增加5.80%和0.46万元/hm²。多功能复混肥施肥量与马铃薯产量间的肥料效应回归方程为: $y = 32.850 0 + 9.165 5x - 1.430 2x^2$, 最佳施肥量为2.89 t/hm², 马铃薯理论产量为47.38 t/hm²。

关键词: 多功能复混肥; 土壤性质; 马铃薯; 施肥利润

Selection of Multi-functional Fertilizer Formulation and Its Effects on Soil Properties and Fertilizer Profits

ZHOU Jun^{1*}, ZHOU Rukao²

(1. Agricultural Water-saving and Soil Fertilizer Management Station, Zhangye, Gansu 734000, China;

2. Xingshuo Biological Technology Co., Ltd, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: Selection of multi-functional fertilizer formulation and its effects on fertilizer profits and soil properties were studied in Zhangye City by field experiment. The optimum formulation was potato specific fertilizer of 0.741 0: furfural residual of 0.235 5: polyvinyl alcohol of 0.023 5. By using multi-functional fertilizer, bulk density, pH and fungi decreased by 7.63%, 3.43% and 1.56%, respectively, compared with traditional fertilization, while the total porosity, aggregate and saturation moisture capacity increased by 7.45%, 17.54% and 7.45%, respectively. Soil organic matter, alkali nitrogen, available phosphorus and available potassium increased by 9.41%, 0.35%, 0.47% and 1.27%, respectively. Bacteria, actinomycetes and the total pathogen increased by 25.86%, 21.69% and 24.12%. Sucrase, phosphatase, urease and polyphenol oxidase increased by 53.64%, 30.43%, 4.58%, and 10.76%, respectively. The yield and fertilizer profit increased by 5.80% and 4 600 Yuan/ha. The regression equation between multi-functional fertilizer usage and potato yield was: $y = 32.850 0 + 9.165 5x - 1.430 2x^2$. The optimal fertilizer rate was 2.89 t/ha with the theoretic yield of 47.38 t/ha.

Key Words: multi-function compound fertilizer; soil property; potato; fertilization profit

收稿日期: 2015-01-16

基金项目: 科技部国家星火项目(2011GA860023)。

作者简介: 周俊(1959-), 男, 高级农艺师, 主要从事土壤肥料及肥料加工。

*通信作者(Corresponding author): 周俊, E-mail: qinjiahai123@163.com。

甘肃省张掖市位于海拔1 800~2 800 m的冷凉灌区, 具有得天独厚的自然环境条件和区位优势, 种植的马铃薯品质好产量高。近年来, 建立了加工型马铃薯生产基地2.66万hm², 总产量达120万t。目前日益凸显的主要问题是马铃薯产量的提高, 主要依赖化肥的施用, 长期大量施用化肥, 土壤胶体上吸附的钙离子被铵离子代换, 土壤团聚体遭到破坏, 土壤板结, 不利于马铃薯块茎膨大, 导致产量下降, 影响了本区马铃薯产业的可持续发展^[1,2]。近年来, 有关新型功能性肥料研究受到广泛关注^[3-7], 但马铃薯多功能复混肥未见文献报道。本文针对上述存在的问题, 选择马铃薯专用肥, 工业废弃物糠醛渣^[8], 土壤结构改良剂聚乙稀醇^[9-11]为原料, 采用正交试验方法筛选配方, 合成集营养、改土为一体的马铃薯多功能复混肥, 进行田间验证试验, 以便对多功能复混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

试验于2011~2014年在甘肃省张掖市山丹县位奇镇连续种植马铃薯8年的基地上进行, 试验地海拔2 030 m, 年均温度5.5℃, 年均降水量250 mm,

年均蒸发量1 800 mm, 无霜期150 d, 土壤类型为灰钙土^[12], 0~20 cm土层含有机质16.14 g/kg, 碱解氮41.12 mg/kg, 速效磷7.37 mg/kg, 速效钾151.88 mg/kg, pH 7.59。

1.1.2 试验材料

CO(NH₂)₂ (N 46%) ; (NH₄)₂HPO₄ (N 18%、P₂O₅ 46%) ; K₂SO₄ (K₂O 50%)。马铃薯专用肥(CO(NH₂)₂、(NH₄)₂HPO₄、K₂SO₄重量比按0.451 7:0.116 6:0.431 7混合); 糠醛渣, 含有机质76.36%, 全氮0.55%, 全磷0.23%, 全钾1.18%, pH 3.2, 粒径0.5~1 mm^[13]; 聚乙稀醇, 粒径0.5~2 mm。多功能复混肥(按照试验一筛选的配方, 将马铃薯专用肥、糠醛渣、聚乙稀醇风干重量比按0.741 0:0.235 5:0.023 5混合, 含有机质18.0%, N 17.1%, P₂O₅ 4.2%, K₂O 16.4%); 马铃薯品种‘克新4号’由黑龙江省农业科学院选育。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理

2011年4月20日, 选择马铃薯专用肥、糠醛渣、聚乙稀醇为3个因素, 每个因素设3个水平, 选择正交表L₉(3³)设计9个试验处理^[14], 按表1因素与水平编码括号中的数量称取各种材料组成9种多功能复混肥。

表1 L₉(3³)正交试验设计
Table 1 L₉(3³) orthogonal experiment design

处理 Treatment	A 马铃薯专用肥 Potato fertilizer	B 糠醛渣 Furfural residue	C 聚乙烯醇 Polyvinyl alcohol
1	1(1 062)	1(225)	3(67.50)
2	3(3 186)	1(225)	1(22.50)
3	2(2 124)	1(225)	2(45.00)
4	2(2 124)	2(450)	2(45.00)
5	3(3 186)	2(450)	3(67.50)
6	1(1 062)	2(450)	1(22.50)
7	3(3 186)	3(675)	1(22.50)
8	1(1 062)	3(675)	2(45.00)
9	2(2 124)	3(675)	3(67.50)

注: 括号内数据为试验数据(kg/hm²), 括号外数据为正交试验编码值。

Note: Data in bracket (kg/ha) are the designed experimental data and data outside the brackets are coded values in orthogonal experiment.

2012年4月20日根据试验一筛选的配方,将马铃薯专用肥、糠醛渣、聚乙稀醇风干重量比按0.741 0:0.235 5:0.023 5混合得到多功能复混肥,多功能复混肥施用量梯度设计为对照0(CK),0.57, 1.14, 1.71, 2.28, 2.85和3.42 t/hm²共7个处理。每个试验处理重复3次,随机区组排列。

2013~2014年4月20日在纯N、P₂O₅、K₂O投入量相等的条件下(纯N 0.49 t/hm² + P₂O₅ 0.11 t/hm² + K₂O 0.46 t/hm²),试验共设3个处理:处理1,对照(不施肥);处理2,传统化肥,尿素施用量0.97 t/hm² + 磷酸二铵施用量0.24 t/hm² + 硫酸钾施用量0.92 t/hm²;处理3,多功能复混肥,施用量为2.85 t/hm²。每个试验处理重复3次,随机区组排列。

1.2.2 种植方法

田间试验小区面积为35.2 m²(8 m × 4.4 m),每个小区四周筑埂,埂宽35 cm,埂高35 cm,每个试验处理的肥料在马铃薯播种前做底肥施入0~20 cm土层。播种时间为2011~2014年每年的4月20日,播种深度15 cm,株距25 cm,垄距55 cm,垄高35 cm,每个小区种植4垄,每垄定植2行,每个小区定植256株,其他田间管理措施与大田相同。

1.2.3 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。马铃薯收获后,分别在试验小区内按S形路线布点,采集0~20 cm耕作层土样4 kg,用四分法带回1 kg混合土样,风干后过1 mm筛供室内化验分析(土壤容重、土壤团聚体测定用环刀采集原状土,未进行风干)。土壤容重采用环刀法;孔隙度采用计算法; > 0.25 mm团聚体采用干筛法;有机质采用重铬酸钾法;碱解氮采用扩散法;速效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法;速效钾采用火焰光度计法;pH采用酸度计法;饱和持水量按公式(饱和持水量 = 面积 × 总孔隙度 × 土层深度)求得^[15,16];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^[17];边际产量按公式(每

增加1个单位肥料用量时所得到的产量减前1个处理的产量)求得;边际产值按公式(边际产量 × 产品价格)求得;边际成本按公式(边际施肥量 × 肥料价格)求得;边际利润按公式(边际产值减边际成本)求得;边际施肥量按公式(后1个处理施肥量减前1个处理施肥量)求得^[18]。

1.2.4 数据处理

采用DPSS 10.0统计软件分析,差异显著性采用LSR法。

2 结果与分析

2.1 多功能复混肥配方的确定

由2011年试验结果(表2)可知,处理9与其他处理产量差异极显著($P < 0.01$);处理3与处理2、4、5差异不显著($P > 0.05$),但与处理6、7、8差异极显著($P < 0.01$);处理1与处理7差异不显著($P > 0.05$)。由此可见,处理9(A2B3C3)是多功能复混肥最佳配方(马铃薯专用肥(A)2 124 kg/hm²,糠醛渣(B)675 kg/hm²,聚乙稀醇(C)67.50 kg/hm²),即马铃薯专用肥、糠醛渣、聚乙稀醇重量比分别为0.741 0:0.235 5:0.023 5。

2.2 多功能复混肥最佳施肥量和马铃薯理论产量的确定

2012年9月20日马铃薯收获后测定数据进行统计分析可知,多功能复混肥施用量在2.85 t/hm²的基础上,再增加0.57 t/hm²,边际利润出现负值(表3)。将专用肥不同施肥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:

$$y = 32.8500 + 9.1655x - 1.4302x^2 \quad (1)$$

多功能复混肥价格(P_x)为1 797.72元/t,2012年马铃薯市场平均价格(P_y)为2 000元/t,将(P_x)、(P_y)、肥料效应函数的b和c,代入最佳施肥量计算公式 $x_0 = [(P_x/P_y) - b]/2c$,求得专用肥最佳施肥量(x_0)为2.89 t/hm²,将 x_0 代入(1)式,求得马铃薯理论产量(y)为47.38 t/hm²,回归统计分析结果与试验处理6基本吻合(表3)。

2.3 多功能复混肥对土壤物理性质和持水量的影响

连续定点试验2年后,于2014年9月20日马铃

表2 $L_9(3^3)$ 正交试验分析
Table 2 Analysis of $L_9(3^3)$ orthogonal experiment

处理 Treatment	A 马铃薯专用肥 Potato specific fertilizer	B 糠醛渣 Furfural residue	C 聚乙烯醇 Polyvinyl alcohol	产量(t/hm ²) Yield (t/ha)
1	1(1 062)	1(225)	3(67.50)	18.18 dD
2	3(3 186)	1(225)	1(22.50)	35.32 bB
3	2(2 124)	1(225)	2(45.00)	36.36 bB
4	2(2 124)	2(450)	2(45.00)	35.32 bB
5	3(3 186)	2(450)	3(67.50)	35.84 bB
6	1(1 062)	2(450)	1(22.50)	26.49 cC
7	3(3 186)	3(675)	1(22.50)	15.07 dD
8	1(1 062)	3(675)	2(45.00)	28.57 cC
9	2(2 124)	3(675)	3(67.50)	47.79 aA

注: 括号内数据为试验数据(kg/hm²), 括号外数据为正交试验编码值。产量后不同小写和大写字母分别表示0.05和0.01水平显著, LSR法。下同。

Note: Data in bracket (kg/ha) are the designed experimental data and data outside the brackets are coded values in orthogonal experiment. Yields followed by different small and capital letters are significant difference at 0.05 and 0.01 levels of probability, respectively, as tested by LSR method. The same below.

表3 不同剂量多功能复混肥对马铃薯经济效益分析
Table 3 Doses of multi-functional fertilizer for potato economic benefit analysis

处理 Treatment	施肥量(t/hm ²) Fertilizer (t/ha)	试验产量(t/hm ²) Experimental yield (t/ha)	边际产量(t/hm ²) Marginal yield (t/ha)	边际产值(元/hm ²) Marginal output value (Yuan/ha)	边际成本(元/hm ²) Marginal cost (Yuan/ha)	边际利润(元/hm ²) Profit margin (Yuan/ha)
1	对照(CK)	32.85 gG	—	—	—	—
2	0.57	36.80 fF	3.95	7 900.00	1 024.70	6 875.30
3	1.14	40.45 eE	3.65	7 300.00	1 024.70	6 275.30
4	1.71	43.55 dD	3.10	6 200.00	1 024.70	5 175.30
5	2.28	46.03 cC	2.48	4 960.00	1 024.70	3 935.30
6	2.85	47.27 abAB	1.24	2 480.00	1 024.70	1 455.30
7	3.42	47.76 aA	0.49	980.00	1 024.70	-44.70

注: 聚乙烯醇10 000元/t; K₂SO₄2 000元/t; CO(NH₂)₂1 800元/t; (NH₄)₂HPO₄3 600元/t; 糠醛渣40元/t; 马铃薯专用肥2 096.22元/t(将CO(NH₂)₂、(NH₄)₂HPO₄、K₂SO₄重量比按0.451 7:0.116 6:0.431 7混合), 多功能复混肥1 797.72元/t(将马铃薯专用肥、糠醛渣、聚乙烯醇风干重量比按0.741 0:0.235 5:0.023 5混合); 2012年马铃薯市场售价2 000元/t。

Note: Polyvinyl alcohol 10 000 Yuan/t; K₂SO₄, 2 000 Yuan/t; CO(NH₂)₂1 800 Yuan/t; (NH₄)₂HPO₄3 600 Yuan/t; Furfural residue 40 Yuan/t; compound fertilizer specified for potato (CO(NH₂)₂, (NH₄)₂HPO₄ and K₂SO₄ mixed in 0.451 7: 0.116 6: 0.431 7 weight ratio) 2 096.22 Yuan/t; Multi-functional compound fertilizer (compound fertilizer specified for potato, furfural residue, and polyvinyl alcohol mixed in 0.741 0, 0.235 5, 0.023 5 air dry weight ratio) 1 797.72 Yuan/t; Potato market price 2 000 Yuan/t in 2012.

薯收获后, 采集耕作层 0~20 cm 土样测定结果可知, 不同处理土壤容重由大到小变化的顺序依次为: 对照 > 传统化肥 > 多功能复混肥。多功能复混肥与传统化肥和对照比较, 容重分别降低 7.63% 和 9.02%, 差异显著 ($P < 0.05$)。不同处理土壤总孔隙度、团聚体和饱和持水量由大到小变化的顺序

依次为: 多功能复混肥 > 传统化肥 > 对照, 多功能复混肥与传统化肥和对照比较总孔隙度分别增加 7.45% 和 9.09%, 差异显著 ($P < 0.05$); 团聚体分别增加 17.54% 和 17.97%, 差异极显著 ($P < 0.01$); 饱和持水量分别增加 7.45% 和 9.09%, 差异极显著 ($P < 0.01$) (表 4)。

表 4 多功能复混肥对土壤物理性质和持水量的影响				
Table 4 Effects of multi-functional fertilizer on soil physical properties and water holding capacity				
处理 Treatment	容重(g/cm ³) Bulk density	总孔隙度(%) Total porosity	> 0.25 mm 团聚体(%) > 0.25 mm Aggregate	饱和持水量(t/hm ²) Saturated water capacity (t/ha)
对照 CK	1.33 aA	49.81 bA	29.71 bB	996.20 bB
传统化肥 Traditional chemical fertilizer	1.31 aA	50.57 bA	29.82 bB	1 011.40 bB
多功能复混肥 Multi-functional fertilizer	1.21 bA	54.34 aA	35.05 aA	1 086.80 aA

2.4 多功能复混肥对土壤pH和有机质及速效养分的影响

从表 5 可知, 不同处理土壤 pH 由大到小变化的顺序依次为: 对照 > 传统化肥 > 多功能复混肥。多功能复混肥与传统化肥和对照比较, pH 分别降低 3.43% 和 3.69%, 差异显著 ($P < 0.05$)。不同处理土壤有机质和速效养分由大到小变化的顺序依次为: 多功能复混肥 > 传统化肥 > 对照, 多功能复混肥与传统化肥和对照比较, 有机质分别增加 9.41% 和 9.54%, 差异显著 ($P < 0.05$); 多功能复混肥与传统化肥比较, 碱解氮、速效磷和速效钾分别增加 0.35%、0.47% 和 1.27%, 差异不显著 ($P > 0.05$); 与对照比较, 碱解氮和速效磷分别增加 19.04% 和 17.10%, 差异极显著 ($P < 0.01$), 速效钾增加 9.88%, 差异显著 ($P < 0.05$) (表 5)。

2.5 多功能复混肥对土壤微生物和酶活性的影响

从表 6 可知, 不同处理土壤细菌、放线菌和酶活性由大到小变化的顺序依次为: 多功能复混肥 > 传统化肥 > 对照。多功能复混肥与传统化肥比较, 真菌降低 1.56%, 但差异不显著 ($P > 0.05$), 细菌、放线菌和菌体总量分别增加 25.86%、21.69% 和 24.12%, 差异显著 ($P < 0.05$); 与对照比较, 真菌降低 44.49%, 差异极显著 ($P < 0.01$), 细菌、放线菌和菌体总量分别增加 30.36%、26.25% 和 28.65%, 差异显著 ($P < 0.05$)。多功能复混肥与传统化肥比较, 蔗糖酶和磷酸酶分别增加 53.64% 和 30.43%, 差异极显著 ($P < 0.01$), 脲酶和多酚氧化酶分别增加 4.58% 和 10.76%, 差异显著 ($P < 0.05$); 与对照比较, 蔗糖酶、脲酶和磷酸酶分别增加 56.64%、31.73% 和 57.89%, 差异极显著 ($P < 0.01$), 多酚氧化酶增加

表 5 多功能复混肥对土壤有机质及速效养分和 pH 的影响					
Table 5 Effects of multi-functional fertilizer on soil organic matter content, available nutrients and pH					
处理 Treatment	有机质(g/kg) Organic matter	碱解氮(mg/kg) Alkali N	速效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K	pH
对照 CK	16.14 bA	41.12 bB	7.37 bB	151.88 bA	7.59 aA
传统化肥 Traditional chemical fertilizer	16.16 bA	48.78 aA	8.59 aA	164.77 aA	7.57 aA
多功能复混肥 Multi-functional fertilizer	17.68 aA	48.95 aA	8.63 aA	166.88 aA	7.31 bA

表6 多功能复混肥对土壤微生物和酶活性的影响
Table 6 Effects of multi-functional fertilizer on soil microbes and enzyme activity

处理 Treatment	真菌 ($\times 10^4/g$) fungi	细菌 ($\times 10^7/g$) Bacterium	放线菌 ($\times 10^7/g$) Actinomycete	菌体总量 ($\times 10^7/g$) Total	蔗糖酶 ($mg/g \cdot d$) Sucrase	脲酶 ($mg/kg \cdot h$) Urease	磷酸酶 ($g/kg \cdot d$) Phosphatase	多酚氧化酶 (mL/g) Polyphenol oxidase
对照CK	2.27 aA	1.12 bA	0.80 bA	1.92 bA	2.56 bB	1.04 cB	0.19 cB	0.64 bA
传统化肥 Traditional chemical fertilizer	1.28 bB	1.16 bA	0.83 bA	1.99 bA	2.61 bB	1.31 bA	0.23 bB	0.65 bA
多功能复混肥 Multi-functional fertilizer	1.26 bB	1.46 aA	1.01 aA	2.47 aA	4.01 aA	1.37 aA	0.30 aA	0.72 aA

12.50%，差异显著($P < 0.05$)。

2.6 多功能复混肥对马铃薯经济性状及产量和施肥利润的影响

连续定点试验2年后，于2014年9月20日马铃薯收获后测定数据可知，不同处理马铃薯经济性状

及产量和施肥利润由大到小变化的顺序依次为：多功能复混肥 > 传统化肥，多功能复混肥与传统化肥比较，马铃薯平均块茎重、单株块茎重和产量分别增加 5.14%、9.31%和 5.80%，差异显著($P < 0.05$)，施肥利润增加 4 586.50 元/hm²(表 7)。

表7 多功能复混肥对马铃薯经济性状及产量和施肥利润的影响
Table 7 Effects of multi-functional fertilizer on potato economic characteristics, yield and fertilizer profit

处理 Treatment	平均块茎重 (g) Average tuber weight	单株块茎重(g/株) Tuber weight per plant (g/plant)	产量(t/hm ²) Yield (t/ha)	增产量 (t/hm ²) Increased yield (t/ha)	增产值 (元/hm ²) Increased value (Yuan/ha)	施肥成本 (元/hm ²) Fertilization cost (Yuan/ha)	施肥利润 (元/hm ²) Fertilization profit (Yuan/ha)
对照CK	131.04 cB	456.21 cB	33.18 cB	—	—	—	—
传统化肥 Traditional chemical fertilizer	160.76 bA	603.54 bA	45.35 bA	12.17	24 340.00	4 450.00	19 890.00
多功能复混肥 Multi-functional fertilizer	169.03 aA	659.70 aA	47.98 aA	14.80	29 600.60	5 123.50	24 476.50

3 讨 论

马铃薯种植田施用多功能复混肥后，土壤容重降低，总孔隙度增大，团聚体和持水量增加，究其原因，一是多功能复混肥中的聚乙烯醇是一种胶结物质，可以把小土粒粘在一起，形成较稳定的团聚体，具有团聚体的土壤比较疏松，因而增大了孔隙度，降低了容重^[19]。二是多功能复混肥中的聚乙烯醇，是一类高分子聚合物，这类物质分子结构交联成网络，本身不溶于水，却能在 10 min 内吸附超过自身重量 100~1 400 倍的水分，体

积大幅度膨胀后形成饱和和吸附水球，吸水倍率很大，在提高土壤持水性能方面具有重要的作用^[20]；三是保水型专用肥中的糠醛渣，在土壤中合成腐殖质，腐殖质的最大吸水量可以超过 500%^[21]。施用多功能复混肥后，土壤有机质含量有所提高，究其原因多功能复混肥中的糠醛渣含有丰富的有机质，因而提高了土壤有机质含量。施用多功能复混肥后，pH 有所下降，其原因是多功能复混肥中的糠醛渣是一种酸性废弃物，因而降低了土壤酸碱度。施用多功能复混肥后，土壤微生物和酶活性有所增加，其原因是多功能复混肥中的

有机质和氮磷钾元素, 为微生物的生长发育提供了有机碳和氮磷钾, 促进了微生物的繁殖和生长发育, 提高了土壤酶的活性。

经回归统计分析, 多功能复混肥施用量与马铃薯产量间的回归方程为 $y = 32.850\ 0 + 9.165\ 5x - 1.430\ 2x^2$, 经济效益最佳施肥量为 $2.89\ \text{t/hm}^2$, 马铃薯理论产量为 $47.38\ \text{t/hm}^2$ 。不同处理马铃薯产量由大到小的变化顺序依次为: 多功能复混肥 > 传统化肥 > 对照, 究其原因, 一是多功能复混肥配方是依据本区土壤养分现状筛选的, 二是多功能复混肥含有丰富的有机质和氮磷钾元素, 施用多功能复混肥协调了土壤养分平衡, 有效地促进了马铃薯的生长发育。施用多功能复混肥与传统化肥比较, 土壤容重、pH 和真菌分别降低 7.63%、3.43% 和 1.56%; 总孔隙度、团聚体和饱和持水量分别增加 7.45%、17.54% 和 7.45%; 有机质、碱解氮、速效磷和速效钾分别增加 9.41%、0.35%、0.47% 和 1.27%; 细菌、放线菌和菌体总量分别增加 25.86%、21.69% 和 24.12%; 蔗糖酶、磷酸酶、脲酶和多酚氧化酶分别增加 53.64%、30.43%、4.58% 和 10.76%; 马铃薯产量和施肥利润分别增加 5.80% 和 0.46 万元/hm²。施用多功能复混肥, 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] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 秦嘉海, 张春年. 糠醛渣的改土增产效应 [J]. 土壤通报, 1994, 25(5): 237-238.
- [9] 龙明杰, 曾繁森. 高聚合物土壤改良剂研究进展 [J]. 土壤通报, 2000, 31(5): 199-202.
- [10] 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.
- [11] 吴增芳. 土壤结构改良剂 [M]. 北京: 科学出版社, 1976: 24-36.
- [12] 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.
- [13] 秦嘉海, 金自学, 刘金荣. 含钾有机废弃物糠醛渣改土培肥效应研究 [J]. 土壤通报, 2007, 38(4): 705-708.
- [14] 刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析方法研究 [J]. 实验技术与管理, 2010, 27(9): 52-55.
- [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] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [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] 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.
- [20] 谢伯承, 薛绪掌, 王纪华, 等. 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.
- [21] 陆欣. 土壤肥科学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2004: 50-52.