

多功能改土剂对河西地区风沙土理化性质 以及玉米经济效益的影响

秦嘉海¹, 王爱勤², 闫治斌³, 肖占文¹, 赵芸晨¹, 张春梅¹, 程红玉¹, 郭雅琴¹

(1. 河西学院 农业与生物技术学院, 甘肃 张掖 734000, 2. 中国科学院 兰州化学物理研究所, 甘肃 兰州 731000; 3. 甘肃敦煌种业股份有限公司, 甘肃 酒泉 735000)

摘要: 采用田间试验方法, 研究了多功能改土剂对甘肃省河西地区风沙土理化性质和玉米经济性状及效益的影响。结果表明, 影响玉米产量的因素由大到小依次为: 牛粪(A) > 糠醛渣和保水剂(B) > 专用肥 > 聚乙烯醇。因素间最佳组合是: A₁B₁C₂D₃E₃ (牛粪(A) 7.82 t, 糠醛渣(B) 6.00 t, 专用肥(C) 1.04 t, 聚乙烯醇(D) 0.09 t, 保水剂(E) 0.05 t)。多功能改土剂施用量与风沙土孔隙度、团粒结构、蓄水量、有机质、速效氮磷钾和土壤电导率(EC)呈正相关, 与土壤容重、pH值呈负相关。随着多功能改土剂施用量的增加, 边际产量、边际利润在递减, 多功能改土剂施用量在 15.00 t/hm² 的基础上, 再增加 3.75 t/hm², 收益出现负值。经回归统计分析表明, 多功能改土剂最佳施用量为 15.00 t/hm² 时, 玉米的理论产量为 7.03 t/hm², 计算结果与田间试验处理 5 基本吻合。

关键词: 多功能改土剂; 风沙土; 理化性质; 玉米; 经济效益

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0047-05

中图分类号: S143.6

Effects of Multi-functional Soil Amendments on Physio-Chemical Properties of Soil and Economic Benefits of Corn in Hexi Sandy Soil

QIN Jia-hai¹, WANG Ai-qin², YAN Zhi-bin³, XIAO Zhan-wen¹,

ZHAO Yun-chen¹, ZHANG Chun-mei¹, CHENG Hong-yu¹, GUO Ya-qin¹

(1. Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China; 2. Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 731000, China; 3. Gansu Dunhuang Seed Co. Ltd., Jiuquan, Gansu 735000, China)

Abstract: Based on field test, the effects of multi-functional soil amendments on soil physio-chemical properties and economic benefits of corn were studied in a sandy soil in Hexi area. The results show that the effects of the amendments followed a descending order as: cow dung > furfural residue and SAR > fertilizer > poly-vinyl alcohol. The combination of A₁B₁C₂D₃E₃ (cow dung 7.82 t, furfural residue 6.00 t, special fertilizer 1.04 t, polyvinyl alcohol 0.09 t, insurance agent 0.05 t) displayed the best amending effects. The application amounts of the multi-functional soil amendments were found correlated positively with the values of soil porosity, aggregate structure, volume of water, organic matter, available phosphorus, available potassium, and EC, and negatively with the values of bulk density and pH value. Marginal yields and profits decreased with increasing application amount of the multi-functional soil amendments. The pure interest rate decreased as an extra amount of 3.75 t/hm² was applied over the base amount of 15.00 t/hm². Based on statistical regression, the optimal application would be 15.00 t/hm² with a theoretical corn yield of 7.03 t/hm², which agreed well with the field tests.

Keywords: multi-functional soil amendments; sandy soil; soil physio-chemical characteristics; corn; economic benefits

甘肃省河西内陆灌区分布着 8.50×10^5 hm² 的 风沙土, 风沙土质地偏砂, 保水肥能力弱, 有机质和速

收稿日期: 2011-05-28

修回日期: 2011-06-24

资助项目: 国家科技部科技支撑计划项目“农作物新品种规模化测试体系及基地建设”(2011BAD35B10); 甘肃科技支甘项目(1011JKCF180); 甘肃省高校河西走廊特色资源利用省级重点实验室项目(XZ1002); 甘肃省高等学校 2010 年研究生导师科研项目(1009B-05)

作者简介: 秦嘉海(1954—), 男(汉族), 甘肃省张掖市人, 教授, 主要从事土壤改良与培肥研究工作。E-mail: qinjahai123@163.com。

效养分含量低,是该区的低产土壤。而河西内陆灌区广泛分布着 3.47×10^7 t 的糠醛渣、畜禽肥料等有机固体废弃物。据室内化验分析,这些有机固体废弃物含有机质 221.20 ~ 243.40 g/kg,全氮含量为 3.20 ~ 8.30 g/kg,全磷含量为 1.50 ~ 4.00 g/kg,全钾含量为 4.40 ~ 6.00 g/kg,而重金属离子 Hg、Cd、Cr、Pb 含量均小于国家规定(GB8172—87)的农用有机固体废弃物控制含量标准^[1],为了促进资源循环和增值,本研究采用改土培肥理论和作物营养平衡施肥理论,将土壤结构改良剂——聚乙烯醇^[2-4],与畜禽肥料、糠醛渣^[5-6]、玉米专用肥、保水剂按比例组合配制成功能改土剂,将有机废弃物的长效、专用肥的速效、保水剂的保水、聚乙烯醇的改土作用相融合,达到供给作物营养,提高土壤贮水功能,改善土壤结构的目的。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验地概况 试验于 2009—2010 年在甘肃省张掖市甘州区沙井镇坝庙村一社进行,海拔高度 1 485 m,年降水量 116 mm,年蒸发量 1 850 mm,年平均气温 7.50,全年日照时数 3 053 h,无霜期 160 d。土壤类型是风沙土^[7],0—20 cm 土层含有机质 11.30 g/kg,碱解氮 46.83 mg/kg,速效磷 4.97 mg/kg,速效钾 136.10 mg/kg,pH 值 8.19,有效锌 0.39 $\mu\text{g/g}$,容

重 1.67 g/cm^3 ,总孔隙度 36.98%。

1.1.2 试验材料 糠醛渣:由临泽县汇隆化工有限责任公司提供,粒径 2 ~ 3 mm,含有机质 763.60 g/kg,全氮 5.50 g/kg,全磷 2.30 g/kg,全钾 11.80 g/kg,pH 值为 2.1,粒径 2 ~ 5 mm。牛粪:含有机质 363.50 g/kg,全氮 5.40 g/kg,全磷 2.30 g/kg,全钾 7.70 g/kg,粒径 2 ~ 20 mm。玉米专用肥:河西学院自主研发,含有机质 13.06%,氮 26%, P_2O_5 14%,Zn 0.92%。聚乙烯醇:天津市光复精细化工研究所产品,粒径 0.05 mm。保水剂:吸水倍率 645 g/g,粒径 1 ~ 2 mm,甘肃民乐福民精细化工有限公司生产。 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$:含氮 46%; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$:含氮 18%, P_2O_5 46%; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$:含 Zn 23%。参试作物为玉米,品种为浚单 20 号。

1.2 试验处理

1.2.1 多功能改土剂配方的确定 选择牛粪、糠醛渣、玉米专用肥、聚乙烯醇、保水剂为 5 个因素,每个因素设计 3 个水平,按正交表 $L_9(3^5)$ 设计 9 个处理(表 1),按表 1 因子与水平编码括号中的数量称取各种材料混合发酵 120 d 后,在玉米播种前做底肥施入 20 cm 土层,每个试验小区单独收获,将小区产量折合成单位产量,计算出各因素的最佳组合,组成多功能改土剂配方。

表 1 $L_9(3^5)$ 正交试验设计

试验处理	牛粪(A)	糠醛渣(B)	专用肥(C)	聚乙烯醇(D)	保水剂(E)
1 = $A_2B_3C_1D_3E_1$	2 (15.64)	3 (18.00)	1(0.52)	3(0.09)	1 (0.015)
2 = $A_1B_2C_3D_1E_2$	1 (7.82)	00 (12.00)	3(1.56)	1(0.03)	2(0.03)
3 = $A_3B_1C_2D_2E_3$	3 (23.46)	1(6.00)	2(1.04)	2(0.06)	3 (0.045)
4 = $A_1B_3C_2D_2E_1$	1(7.82)	3 (18.00)	2(1.04)	2(0.06)	045(0.015)
5 = $A_3B_2C_3D_3E_2$	3 (23.46)	00 (12.00)	3(1.56)	3(0.09)	2(0.03)
6 = $A_2B_1C_1D_1E_3$	2(15.64)	1(6.00)	1(0.52)	1(0.03)	3 (0.045)
7 = $A_2B_3C_3D_1E_1$	2(15.64)	3 (18.00)	3(1.56)	1(0.03)	045(0.015)
8 = $A_3B_2C_1D_2E_2$	3 (23.46)	00 (12.00)	1(0.52)	2(0.06)	2(0.03)
9 = $A_1B_1C_2D_3E_3$	1(7.82)	1(6.00)	2(1.04)	3(0.09)	3(0.05)

注:括号内数据为试验数据(t/hm^2)。

1.2.2 多功能改土剂经济效益最佳施用量的确定 多功能改土剂施用量设计为 0.00,3.75,7.50,11.25,15.00,18.75 t/hm^2 共 6 个处理,以处理 1 为 CK(对照),多功能改土剂在玉米播种前做底肥施入 20 cm 土层,每个试验重复 3 次,随机区组排列。

1.3 试验方法

1.3.1 多功能改土剂合成 根据田间小区试验筛选的配方,将牛粪、糠醛渣、专用肥、聚乙烯醇、保水剂按

重量比 0.520:0.400:0.071:0.006:0.003 混合,加入清水将含水量调至适宜,在室温 30 ~ 32 $^{\circ}\text{C}$ 条件下发酵 120 d(每隔 30 d 捣翻 1 次),每立方加入 75% 的多菌灵 100 g 进行消毒处理。经室内测定,多功能改土剂含有机质 37.68%,氮 1.85%, P_2O_5 0.99%, K_2O 0.41%,Zn 0.006%,吸水倍率 245 g/g,价格为 410 元/t。

1.3.2 田间种植方法 试验小区面积为 24 m^2 (6 m \times 4 m),每个小区四周筑埂,埂宽 40 cm,埂高 30 cm,播

种时间 2009 至 2010 年 4 月 22 日,母本定植株距 25 cm,行距 50 cm,父本以满天星配置,株距 50 cm。分别在玉米拔节期、孕穗期、抽穗期、灌浆期、乳熟期各灌水 1 次,每个小区灌水量相等,每次灌水量为 900 m³/hm²。

1.4 测定项目与方法

玉米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 混合土样室内风干化验分析(土壤容重、团粒结构用环刀取原状土)。土壤容重采用环刀法;孔隙度采用计算法;团粒结构采用干筛法;自然含水量采用烘干法;饱和蓄水量按公式(饱和蓄水量 = 面积 × 总孔隙度 × 土层深度)求得;毛管蓄水量按公式(毛管蓄水量 = 面积 × 毛管孔隙度 × 土层深度)求得;非毛管蓄水量按公式(非毛管蓄水量 = 面积 × 非毛管孔隙度 × 土层深度)求得;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 值采用 5:1 水土比浸提,用 pH-2F 数字 pH 计测定;EC(电导率)采用电导法,DDS-11 型电导仪测定^[8-9]。玉米收获时每个小区随机采 30 个果穗室内测定穗粒数、穗粒重、百粒重。每个试验小区单独收获,将小区产量折合成单位产量进行统计分析。采用经济学原理计算边际产量、边际产值、边际成本、边际利润^[10]。

1.5 数据统计方法

经济性状和产量采用 DPS V13.0 软件分析,差异

显著性采用多重比较,LSR 检验。依据最佳施用量计算公式求得多功能改土剂最佳施用量(x_0),依据肥料效应回归方程式求得多功能改土剂最佳施用量时的玉米理论产量(y)。

2 结果与分析

2.1 多功能改土剂配方确定

根据表 2 计算结果可以看出,因素间的效应(R)呈: A > B, E > C > D,说明影响玉米产量因素的大小依次为:牛粪 > 糠醛渣和保水剂 > 专用肥 > 聚乙烯醇。比较各因素不同水平的 T 值,表现为: $T_{D3} > T_{D2} > T_{D1}$, $T_{E3} > T_{E2} > T_{E1}$,说明随聚乙烯醇和保水剂用量的增加,制种玉米产量也在增加。 $T_{A1} > T_{A3}$ 和 T_{A2} , $T_{B1} > T_{B3}$ 和 T_{B2} ,说明牛粪和糠醛渣适宜用量为 7.82 和 6.00 t/hm²。 $T_{C2} > T_{C3}$ 和 T_{C1} ,说明制种玉米产量随专用肥施用量的增大而增加,但专用肥施用量超过 1.04 t/hm²后,制种玉米产量又随专用肥施用量的增大而降低。从各因素的 T 值可以看出,因素间最佳组合是: A₁B₁C₂D₃E₃ (牛粪(A) 7.82 t,糠醛渣(B) 6.00 t,专用肥(C) 1.04 t,聚乙烯醇(D) 0.09 t,保水剂(E) 0.05 t,即牛粪、糠醛渣、专用肥、聚乙烯醇、保水剂组合比例分别为 0.520: 0.400: 0.071: 0.006: 0.003) (表 2)。

表 2 L₉(3⁵) 正交试验分析

试验处理	牛粪(A)	糠醛渣(B)	专用肥(C)	聚乙烯醇(D)	保水剂(E)	制种玉米产量 / (t · hm ⁻²)
1 = A ₂ B ₃ C ₁ D ₃ E ₁	2	3	1	3	1	0.86
2 = A ₁ B ₂ C ₃ D ₁ E ₂	1	2	3	1	2	4.80
3 = A ₃ B ₁ C ₂ D ₂ E ₃	3	1	2	2	3	5.12
4 = A ₁ B ₃ C ₂ D ₂ E ₁	1	3	2	2	1	4.82
5 = A ₃ B ₂ C ₃ D ₃ E ₂	3	2	3	3	2	4.92
6 = A ₂ B ₁ C ₁ D ₁ E ₃	2	1	1	1	3	2.76
7 = A ₃ B ₃ C ₃ D ₁ E ₁	3	3	3	1	1	0.21
8 = A ₂ B ₂ C ₁ D ₂ E ₂	2	2	1	2	2	3.30
9 = A ₁ B ₁ C ₂ D ₃ E ₃	1	1	2	3	3	7.67
T ₁ 值	17.29	15.55	6.92	7.77	5.89	
T ₂ 值	6.92	13.02	14.61	13.24	13.02	34.46(T)
T ₃ 值	10.25	5.89	9.93	13.45	15.55	
效应(R)	10.37	9.66	7.69	5.68	9.66	

2.2 多功能改土剂对风沙土物理性质的影响

由表 3 可以看出,多功能改土剂施用量与风沙土总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、团粒结构呈线性

正相关关系,与容重呈线性负相关关系,相关系数(R)分别为 0.992 0, 0.996 6, 0.981 0, 0.963 0, -0.994 4。多功能改土剂施用量 18.75 t/hm² 时,风沙土总孔隙度、

毛管孔隙度、非毛管孔隙度、团粒结构比 CK 分别增加了 6.79% 2.48% 4.31% 和 9.70% ,而容重比 CK 降低 0.18 g/cm³。究其原因一是多功能改土剂中的糠醛渣使土壤疏松,增大了土壤孔隙度,降低了土壤容重。二是多功能改土剂中的聚乙烯醇是一种胶结物质^[11],可以把小土粒粘在一起,形成较稳定的团粒结

构。三是多功能改土剂中的牛粪在土壤微生物的作用下合成了土壤腐殖质,腐殖质中的酚羟基、羧基、甲基、羰基、羟基、醌基等功能团解离后带负电荷,吸附了河西石灰性土壤中的 Ca²⁺,Ca²⁺ 是一种胶结物质,有利于土壤团粒结构的形成。处理间的差异显著性,经 LSR 检验达到显著和极显著水平(表 3)

表 3 多功能改土剂对风沙土物理性质的影响

改土剂施用量/ (t·hm ⁻²)	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	总孔隙度/ %	毛管孔隙度/ %	非毛管孔隙度/ %	>0.25 mm 团粒结构/%
0.00	1.67 ^{aA}	36.98 ^{fC}	20.34 ^{gC}	16.64 ^{fE}	22.11 ^{eEF}
3.75	1.63 ^{abA}	38.49 ^{eC}	20.88 ^{fC}	17.60 ^{eD}	22.55 ^{deDE}
7.50	1.59 ^{eB}	40.00 ^{dB}	21.41 ^{eB}	18.59 ^{dC}	23.92 ^{dD}
11.25	1.56 ^{edB}	41.13 ^{bcB}	22.05 ^{bcA}	19.08 ^{bcB}	26.42 ^{eC}
15.00	1.54 ^{eC}	41.88 ^{bB}	22.39 ^{abA}	19.49 ^{bB}	29.28 ^{bB}
18.75	1.49 ^{fC}	43.77 ^{aA}	22.82 ^{aA}	20.95 ^{aA}	31.81 ^{aA}

注:同列数据大写字母不同表示 LSR_{0.01},小写字母不同表示 LSR_{0.05}差异显著水平。下同。

2.3 多功能改土剂对风沙土蓄水量的影响

据表 4 资料可以看出,多功能改土剂施用量与风沙土自然含水量、饱和蓄水量、毛管蓄水量、非毛管蓄水量呈正相关,其直线回归方程分别为 $y = 122.049 0 + 1.641 0x$, $y = 724.850 0 + 6.875 0x$, $y = 407.866 0 + 2.677 0x$, $y = 334.990 0 + 4.217 0x$, 相关系数(R) 分别为 0.997 0, 0.994 4, 0.996 2, 0.985 4。多功能改土

剂施用量 18.75 t/hm² 时,风沙土自然含水量、饱和蓄水量、毛管蓄水量、非毛管蓄水量比 CK 分别增加 31.40 g/kg, 135.80 t/hm², 49.60 t/hm² 和 86.20 t/hm²。分析这一结果产生的原因是多功能改土剂中的聚乙烯醇是一种亲水胶体^[12],吸水率很大,在提高土壤持水性能方面具有重要的作用。处理间的差异显著性,经 LSR 检验达到显著和极显著水平(表 4)。

表 4 多功能改土剂对风沙土蓄水量的影响

改土剂用量/ (t·hm ⁻²)	自然含水量/ (g·kg ⁻¹)	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)
0.00	121.83 ^{eEF}	739.60 ^{fF}	406.80 ^{fE}	332.80 ^{fF}
3.75	128.11 ^{eE}	769.80 ^{eE}	417.60 ^{deDE}	352.20 ^{eE}
7.50	134.72 ^{dD}	800.00 ^{cdD}	428.20 ^{dD}	371.80 ^{dCD}
11.25	141.36 ^{bcBC}	822.60 ^{bcBC}	441.00 ^{bcBC}	381.60 ^{bcBC}
15.00	145.38 ^{bB}	837.60 ^{bB}	447.80 ^{bB}	389.80 ^{bB}
18.75	153.23 ^{aA}	875.40 ^{aA}	456.40 ^{aA}	419.00 ^{aA}

2.4 多功能改土剂对风沙土化学性质、有机质和速效养分的影响

据表 5 资料可以看出,多功能改土剂施用量与风沙土有机质、碱解氮、速效磷、速效钾和电导率(EC) 均呈线性正相关关系,相关系数(R) 分别为 0.988 7, 0.971 9, 0.997 0, 0.992 3 和 0.994 0。多功能改土剂施用量 18.75 t/hm² 时,土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、电导率(EC) 比 CK 分别增加了 0.42 g/kg, 15.52 mg/kg, 3.27 mg/kg, 7.31 mg/kg 和 1.44 mS/cm。其原因可能是由于多功能改土剂是一种有机无机复混肥,含有丰富的有机质和氮磷钾,施用多功能改土剂可以增加风沙土的有机质和速效养分含量。多功能改土剂施用量与风沙土 pH 值呈线性负相关

关系,相关系数(R) 为 -0.962 0。多功能改土剂施用量 18.75 t/hm² 时,风沙土 pH 值比 CK 降低了 0.16 个单位。其原因是多功能改土剂中的糠醛渣是一种极强酸性物质,因而降低了风沙土的酸碱度。处理间的差异显著性,经 LSR 检验达到显著和极显著水平(表 5)。

2.5 多功能改土剂对制种玉米经济性状和产量的影响

从 2009—2010 年玉米收获后测定结果可以看出,随着多功能改土剂施用量的增加,制种玉米穗粒数、穗粒重、百粒重、产量、增产量在增加,但单位(1 kg) 多功能改土剂的增产量则随着多功能改土剂施用量的增加而递减,出现报酬递减律。处理间的差异显著性,经 LSR 检验达到显著和极显著水平(表 6)。

表 5 多功能改土剂对风沙土化学性质、有机质和速效养分的影响

改土剂用量/ (t·hm ⁻²)	pH 值	EC/ (mS·cm ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
0.00	8.19 ^{aA}	3.70 ^{fF}	11.30 ^{eFA}	46.83 ^{fEF}	4.97 ^{fEF}	136.10 ^{deDE}
3.75	8.17 ^{bA}	4.10 ^{eDE}	11.39 ^{deA}	48.18 ^{deDE}	5.69 ^{eDE}	137.11 ^{edCD}
7.50	8.16 ^{bcA}	4.39 ^{dD}	11.43 ^{cdA}	49.16 ^{dD}	6.46 ^{dD}	138.19 ^{bcBC}
11.25	8.07 ^{dA}	4.68 ^{bcBC}	11.58 ^{bcA}	54.03 ^{cC}	7.10 ^{bcBC}	139.99 ^{bB}
15.00	8.05 ^{deA}	4.96 ^{bB}	11.61 ^{abA}	58.08 ^{bB}	7.80 ^{bAB}	141.32 ^{abA}
18.75	8.03 ^{efA}	5.14 ^{aA}	11.72 ^{aA}	62.35 ^{aA}	8.24 ^{aA}	143.41 ^{aA}

表 6 多功能改土剂对制种玉米经济性状和产量的影响

改土剂用量/ (t·hm ⁻²)	穗粒数/粒	穗粒重/g	百粒重/g	产量/ (t·hm ⁻²)	增产量/ (t·hm ⁻²)	改土剂增产量/ (kg·kg ⁻¹)
0.00	249.36 ^{eE}	65.04 ^{fF}	28.12 ^{eE}	4.67 ^{fE}	—	—
3.75	277.07 ^{dD}	80.20 ^{eD}	30.63 ^{dD}	5.32 ^{eD}	0.65	0.17
7.50	285.65 ^{cdCD}	85.34 ^{dCD}	31.32 ^{cdCD}	5.93 ^{dC}	1.26	0.17
11.25	294.49 ^{bcBC}	88.84 ^{cBC}	33.45 ^{bcBC}	6.51 ^{eB}	1.84	0.16
15.00	303.60 ^{abAB}	93.49 ^{bAB}	34.26 ^{abAB}	7.06 ^{bA}	2.39	0.15
18.75	309.79 ^{aA}	96.33 ^{aA}	35.32 ^{aA}	7.45 ^{aA}	2.78	0.14

2.6 多功能改土剂对制种玉米增产效应和经济效益的影响

采用经济学原理进行分析可以看出^[13],随着多功能改土剂施用量的增加,边际产量由最初的 0.65 t/hm² 递减到 0.39 t/hm²,符合报酬递减律。从经济

效益变化来看,边际利润由 932.50 元/hm² 递减到 -55.50 元/hm²,多功能改土剂施用量在 15.00 t/hm² 的基础上,增加了 3.75 t/hm²,收益出现负值。由此可见,多功能改土剂施用量 15.00 t/hm² 时,制种玉米增产效应和经济效益较好(表 7)。

表 7 多功能改土剂对制种玉米增产效应和经济效益的影响

改土剂用量/ (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)
0.00	4.67 ^{fE}	—	—	—	—	—
3.75	5.32 ^{eD}	0.65	0.65	2 470.00	1 537.50	932.50
7.50	5.93 ^{dC}	1.26	0.61	2 318.00	1 537.50	780.50
11.25	6.51 ^{eB}	1.84	0.58	2 204.00	1 537.50	666.50
15.00	7.06 ^{bA}	2.39	0.55	2 090.00	1 537.50	552.50
18.75	7.45 ^{aA}	2.78	0.39	1 482.00	1 537.50	-55.50

2.7 多功能改土剂经济效益最佳施用量与制种玉米的理论产量

将多功能改土剂不同施用量与制种玉米产量间的关系应用肥料效应回归方程进行拟合^[14],得到的回归方程为:

$$y = 4.67 + 0.1409x - 0.0011x^2 \quad (2)$$

对回归方程进行显著性检验的结果表明回归方程拟合良好。多功能改土剂价格(P_x)为 410 元/t,制种玉米价格(P_y)为 3 800 元/t,将(P_x)和(P_y)回归方程的参数 b 和 c ,代入最佳施用量计算公式 $x_0 = [(P_x/P_y) - b]/2c$ ^[15],求得多功能改土剂最佳施用量(x_0)为 15.00 t/hm²,将 x_0 代入(2)式,可求得制种玉米的理论产量(y)为 7.03 t/hm²,计算结果与田间试验处理 5 基本吻合(表 7)。

3 结论

本研究结果表明,多功能改土剂施用量与风沙土孔隙度、团粒结构、蓄水量、有机质、速效氮磷钾、土壤电导率(EC)呈正相关关系,与土壤容重、pH 值呈负相关关系。随着多功能改土剂施用量的增加,边际产量由最初的 0.65 t/hm² 递减到 0.39 t/hm²,符合报酬递减律;边际利润由 932.50 元/hm² 递减到 -55.50 元/hm²,多功能改土剂施用量在 15.00 t/hm² 的基础上,再增加 3.75 t/hm²,收益出现负值。经回归统计分析,多功能改土剂最佳施用量为 15.00 t/hm² 时,制种玉米的理论产量为 7.03 t/hm²,计算结果与田间试验处理 5 基本吻合。

(下转第 55 页)

- chemistry, 1990 22(20): 141-147.
- [6] Su Yong, Zhao Ha, Li Yu, et al. Influencing mechanisms of several shrubs on soil chemical properties in semiarid Horqin sandy land, China [J]. *Arid Land Research and Management*, 2004, 18(3): 251-263.
- [7] 侯杰, 叶功富, 张立华. 林木根际土壤研究进展 [J]. *防护林科技*, 2006(1): 30-33.
- [8] 黄刚, 赵学勇, 张铜会, 等. 科尔沁沙地3种灌木根际土壤 pH 值及其养分状况 [J]. *林业科学*, 2007, 43(8): 138-142.
- [9] 厉婉华. 栓皮栎、杉木和火炬松根际与非根际土壤氮素及 pH 差异的研究 [J]. *南京林业大学学报*, 1996, 20(2): 49-52.
- [10] 潘晓玲, 党荣理, 伍光和. 西北干旱荒漠区植物区系地理与资源利用 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 103-110.
- [11] 弋良朋, 马健, 李彦. 荒漠盐生植物根际土壤盐分和养分特征 [J]. *生态学报*, 2007, 27(9): 3565-3571.
- [12] 张福锁, 曹一平. 根际动态过程和植物营养 [J]. *土壤学报*, 1992 29(3): 239-250.
- [13] 曾曙才, 苏志尧, 陈北光, 等. 植物根际营养研究进展 [J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2003(6): 79-83.
- [14] 詹媛媛, 薛梓瑜, 任伟, 等. 干旱荒漠区不同灌木根际与非根际土壤氮素的含量特征 [J]. *生态学报*, 2009, 29(1): 59-66.
- [15] 张学利, 杨树军, 刘亚萍, 等. 章古台固沙林主要树种根际土壤性质研究 [J]. *中国沙漠*, 2004(1): 72-76.
- [16] 张彦东, 王政权, 王庆成. 落叶松根际土壤磷的有效性研究 [J]. *应用生态学报*, 2001, 12(1): 31-34.
- [17] Marschner, Romheld, Zhang F S, et al. Mobilization of mineral nutrients in the rhizosphere by root exudates [J]. *Soil Science*, 1990, 2: 158-163.
- [18] Norton J M. Carbon flow in the rhizosphere of ponderosa pine seedlings [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990, 22(4): 149-155.
- [19] Turpault M P, Ut C, Boudot J P, et al. Influence of mature Douglas fir roots on the solid soilphase of the rhizosphere and its solution chemistry [J]. *Plant and Soil*, 2005 275(1/2): 327-336.
- [20] Whitford W G, Anderson J, Rice P M. Stem flow contribution to the 'fertile island' effect in creosote bush, *Larrea tridentata* [J]. *J. Arid Environ.*, 1997 35(3): 451-457.

(上接第51页)

[参考文献]

- [1] 郭新勇, 张树清. 甘肃省有机肥资源分布与利用潜力 [J]. *土壤通报* 2007 38(4): 677-680.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 徐金印. 几种土壤结构改良剂的制备及其效用 [J]. *土壤学报* 1984 21(3): 320-322.
- [5] 秦嘉海, 陈广全. 糠醛渣混合基质在番茄无土栽培中的应用 [J]. *中国蔬菜* 1997(4): 13-15.
- [6] 秦嘉海, 金自学, 刘金荣. 含钾有机废弃物糠醛渣改土肥效应研究 [J]. *土壤通报* 2007 38(4): 705-708.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.