

营养型改土剂对土壤理化性质和蓄水量 及制种玉米经济效益的影响

张春梅^{1,4}, 闫治斌², 秦嘉海^{1,4}, 王爱勤³, 肖占文^{1,4}

(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. 中国科学院兰州化学物理研究所, 甘肃 兰州 731000; 4. 甘肃高校河西走廊特色资源利用省级重点实验室, 甘肃 张掖 734000)

摘要: 在甘肃省酒泉市连作制种玉米 8 a 的土壤上, 采用田间试验方法, 研究了营养型改土剂对土壤理化性质和蓄水量及制种玉米经济效益的影响。结果表明: 随着营养型改土剂施用量的增加, 土壤孔隙度、团聚体、田间持水量、蓄水量在增加, 而土壤容重降低; 营养型改土剂用量与土壤有机质、速效氮磷钾、阳离子交换量(CEC)呈正相关关系, 与土壤 pH 值呈负相关关系; 随着营养型改土剂施用量的增加, 制种玉米产量增加, 但每公斤营养型改土剂的增产量则随着营养型改土剂施用量的增加而递减。经回归统计分析, 营养型改土剂最佳施用量为 1 349.96 kg·hm⁻², 此施用量下, 玉米的理论产量为 7 080.00 kg·hm⁻², 回归统计分析结果与田间小区试验处理 4 基本吻合。

关键词: 营养型改土剂; 理化性质; 蓄水量; 玉米

中图分类号: S513 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)04-0140-05

Effect of nutrient type soil improvement agents on soil physical and chemical properties and maize economic benefits

ZHANG Chun-mei^{1,4}, YAN Zhi-bin², QIN Jia-hai^{1,4}, WANG Ai-qin³, XIAO Zhan-wen^{1,4}

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

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

3. Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 731000, China;

4. Characteristics of the Hexi Corridor resources utilization of Provincial Key Laboratory, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: The experiments were conducted to study the effects of nutrient type of soil improvement agents on the physical and chemical properties of soil, water storage and economic benefits of maize based on an eight-year maize field in the Jiuquan, Gansu province. The results showed that soil porosity, aggregate structure, field capacity and holding capacity decreased with the increasing of the application amounts of soil improvement agents. The rate of soil improvement agents was positively correlated with organic matter, alkali N, available P, available K and CEC, whereas was negatively correlated with bulk density and pH value. With the increase in soil improvement agents, maize grain yield increased, while the marginal benefit decreased. Regression analysis showed that the best application amount of this nutrient type of soil agents be 1 349.96 kg·hm⁻², resulting in the theoretical yield of maize of 7 080.00 kg·hm⁻².

Keywords: nutrient type of soil improvement agents; soil physical and chemical properties; water storage; maize

甘肃河西内陆灌区拥有得天独厚的自然条件和区位优势, 吸引了国内外 90 多家种业集团, 建立了玉米制种生产基地 15 × 10⁴ hm²[1], 种子产业已发展为河西内陆灌区农民增收、农业增效的重要支柱产业之一。目前存在的问题是制种玉米种植面积大, 连作年限长, 有机肥投入量不足, 化肥超量施用, 土

壤板结, 贮水功能减弱。市场上流通的改土剂只具备改土功能, 不具备营养功效。因此, 研究和开发集营养、改土为一体的营养型改土剂成为改土剂研发的关键所在。本文根据制种玉米需肥规律和土壤供肥水平, 根据平衡施肥原理和改土培肥理论, 将土壤

收稿日期: 2013-10-05

基金项目: 科技部国家十二五支撑计划“玉米、棉花、油菜新品种规模化制种基地建设”(2011BAD35B10); 甘肃高等学校 2010 年研究生导师科研项目(1009B-05)

作者简介: 张春梅(1978—), 女, 甘肃酒泉人, 博士, 副教授, 主要从事植物营养生理研究。E-mail: zazcm197828@163.com。

通信作者: 秦嘉海(1954—), 男, 甘肃张掖人, 教授, 主要从事土壤肥料方向的研究。E-mail: qinjiahai123@163.com。

结构改良剂聚乙稀醇^[2-9]与农业固体废弃物糠醛渣^[10-11]、 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、5406 菌剂、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 按比例组合配制成营养型改土剂,将有机废弃物的长效、化肥的速效、5406 菌剂的增效、聚乙烯醇的改土作用融为一体,达到供给营养,改善土壤结构的目的。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2010—2012 年在甘肃省肃州区上坝乡 8 a 玉米连作的土壤上进行。该地海拔高度为 1 490 m,年均温度为 7.50℃,年均降水量为 109 mm,年均蒸发量为 2 200 mm,无霜期为 150 d。土壤类型是灌漠土^[12],耕层 0~20 cm 土壤有机质含量为 15.65 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,碱解 N 86.45 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效 P_2O_5 8.68 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效 K_2O 158.67 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH 值为 8.46。糠醛渣,由甘肃共享化工有限公司提供,含有机质 680 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮 6.1 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷 3.6 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾 11.8 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH 值为 2.1,粒径 1~2 mm; $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$,含 N 46%; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$,含 N 18%, P_2O_5 46%; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,含 Zn 23%;聚乙稀醇,甘肃兰维新材料有限公司产品,分子质量为 5 500~7 500,熔点 57℃,pH 6.0~8.0,粘度 12~16,粒径 1~2 mm;5406 菌剂,有效活菌数 ≥ 0.2 亿 $\cdot \text{g}^{-1}$,金肥王股份有限公司生产产品。营养型改土剂(河西学院农业与生物技术学院自主研发),糠醛渣、 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 、5406 菌剂、聚乙稀醇、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 重量比为 0.36:0.31:0.25:0.05:0.02:0.01,含有机质 282.2 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,N 185.7 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, P_2O_5 113.1 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, K_2O 41 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,Zn 2.8 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,吸水倍率 245 $\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,价格 2 500元 $\cdot \text{t}^{-1}$ 。参试玉米品种组合是郑单 958(郑 58 × 昌 7-2)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 营养型改土剂施用量共设 5 个处理:0 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 为 CK(对照,处理 1);450 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (处理 2);900 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (处理 3);1 350 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (处理 4);1 800 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (处理 5)。每个试验小区重复 3 次,随机区组排列。

1.2.2 种植方法 试验小区面积为 32 m^2 (8 m × 4 m),每个小区四周筑埂,埂宽 40 cm,埂高 30 cm。播种前将营养型改土剂全部施入 20 cm 土层。2010、2011 年和 2012 年均于 4 月下旬播种,母本品系为郑 58,定植密度为 8.00 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$,父本品系为昌 7-2,以满天星配置,定植密度为 2.50 万株 $\cdot \text{hm}^{-2}$,平均行距 100 cm,株距 50 cm。

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,在玉米沟内安装 1 条薄壁滴灌带,滴头间距 25 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 5 m 水头,分别在玉米拔节期、孕穗期、抽穗期、灌浆期、乳熟期各滴灌 1 次,每个小区灌水量相等,每次灌水 2.16 m^3 。

1.2.4 测定项目与方法 每年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,将小区产量折合成公顷产量进行统计分析。定点试验 3 a,于 2012 年玉米收获后,分别在每个试验小区内按 S 形路线布点,采集 0~20 cm 土样 3 kg,四分法带回 1 kg 混合土样室内分析土壤理化性质(土壤容重用环刀采样,团聚体采原状土)。土壤容重 = (环刀内湿土质量 × 100) / [环刀容积 × (100 + 土壤含水量)]^[13];总孔隙度 = (土壤比重 - 土壤容重) / 土壤比重 × 100;饱和蓄水量 = 面积 × 总孔隙度 × 土层深度^[14];毛管孔隙度 = 自然含水量 × 土壤容重 × 100;非毛管孔隙度 = 总孔隙度 - 毛管孔隙度;饱和蓄水量 = 面积 × 总孔隙度 × 土层深度;毛管蓄水量 = 面积 × 毛管孔隙度 × 土层深度;非毛管蓄水量 = 面积 × 非毛管孔隙度 × 土层深度;田间持水量采用威尔科克斯法;团聚体采用干筛法^[15];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;阳离子交换量(CEC)采用 $\text{NH}_4\text{OAc} - \text{NH}_4\text{Cl}$ 法,pH 值采用酸度计法(水提)^[16]。

1.2.5 数据统计方法 经济性状和产量采用多重比较,LSR 检验,经济效益最佳施用量 $x_0 = [(P_x / P_y) - b] / 2c$,制种玉米理论产量 $y = a + bx - cx^2$ 。

2 结果与分析

2.1 营养型改土剂对土壤物理性质的影响

2.1.1 对土壤容重的影响 土壤容重可以表明土壤的松紧程度及孔隙状况,反映土壤的透水性、通气性和植物根系生长的阻力状况,是表征土壤物理性质的一个重要指标^[17]。定点试验 3 年,于 2012 年 9 月 16 日玉米收获后采集耕作层 0~20 cm 土样测定结果可以看出(表 1),随着营养型改土剂施用量的增加,土壤容重降低,容重最小的是营养型改土剂施用量 1 800 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均为 1.09 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,容重最大的是 CK,平均为 1.19 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,营养型改土剂施用量 1 800 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 与 CK 比较,容重降低了 0.10 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$,差异显著($P < 0.05$)。经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与容重之间呈显著的负相关关系,相关系数 $R = -0.9897$ 。

表 1 营养型改土剂对玉米制种田物理性质和蓄水量的影响

Table 1 The effects of nutrient type soil improvement agents on soil physical properties and water storage

改土剂施用量 /(kg·hm ⁻²) Application amount	容重 /(g·cm ⁻³) Bulk density	总孔隙度 /% Total porosity	>0.25 mm 团聚体 /% Aggregate	田间持水量 /% Field capacity	饱和蓄水量 /(t·hm ⁻²) Holding capacity
0(CK)	1.19aA	55.09deA	27.53deD	15.99eC	1101.80eD
450	1.16bA	56.23cdA	28.09cdD	19.34dB	1124.60dC
900	1.13cA	57.36bcA	30.20cC	21.55cA	1147.20cB
1350	1.12cdA	57.74abA	32.83bB	22.28bA	1154.80bB
1800	1.09deA	58.86aA	36.47aA	23.42aA	1177.20aA

注:不同大小写字母表示差异显著水平($LSR_{0.01}$, $LSR_{0.05}$)。下同。

Note: Different capital and small letters indicate significant difference($LSR_{0.01}$, $LSR_{0.05}$). The same below.

2.1.2 对土壤总孔隙度的影响 土壤总孔隙度是表征土壤通气性和透水性的重要指标,从而影响到地上植物的生长,总孔隙度大的土壤具有较好的水分渗透性,对土壤蓄水具有重要意义^[18]。从表 1 可以看出,随着营养型改土剂施用量梯度的增加,土壤总孔隙度在增大,总孔隙度最大的是营养型改土剂施用量 1 800 kg·hm⁻²,平均为 58.86%,总孔隙度最小的是 CK,平均为 55.09%,营养型改土剂施用量 1 800 kg·hm⁻²与 CK 比较,总孔隙度增大了 3.77%,差异显著($P < 0.05$)。经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与总孔隙度之间呈显著的正相关关系,相关系数 $R = 0.9897$ 。原因是营养型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。

2.1.3 对土壤团聚体的影响 土壤团聚体是表征土壤肥沃程度的指标之一,团聚体发达的土壤保水肥能力强^[19]。从表 1 可以看出,随着营养型改土剂施用量梯度的增加,土壤团聚体在增加,团聚体最多的是营养型改土剂施用量 1 800 kg·hm⁻²,平均为 36.47%,团聚体最少的是 CK,平均为 27.53%,营养型改土剂施用量 1 800 kg·hm⁻²与 CK 比较,团聚体增加了 8.94%,差异极显著($P < 0.01$)。经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与团聚体之间呈显著的正相关关系,相关系数 $R = 0.9696$ 。究其原因,一是因为营养型改土剂中的聚乙烯醇是一种胶结物质^[20],可以把小土粒粘在一起,形成较稳定的团粒,二是营养型改土剂中的糠醛渣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、甲氧基、羰基、羟基、醌基等功能团解离后带负电荷^[21],吸附了河西走廊石灰性土壤中的胶结物质 Ca^{2+} ,有利于土壤团聚体的形成。

2.2 营养型改土剂对土壤蓄水量的影响

2.2.1 对土壤田间持水量的影响 田间持水量是毛管悬着水的最大量,田间持水量越大,表明土壤中的有效水越多^[22]。从表 1 可以看出,随着营养型改

土剂施用量梯度的增加,土壤田间持水量在增加,田间持水量最大的是营养型改土剂施用量 1 800 kg·hm⁻²,平均为 23.42%,田间持水量最小的是 CK,平均为 15.99%,营养型改土剂施用量 1 800 kg·hm⁻²与 CK 比较,田间持水量增加了 7.43%,差异极显著($P < 0.01$)。经线性回归分析可看出,改土剂施用量与田间持水量之间呈显著正相关关系,相关系数 $R = 0.9585$ 。

2.2.2 对土壤饱和蓄水量的影响 饱和蓄水量是指土壤全部孔隙充满水时所保持的水量,即土壤所能容纳的最大持(含)水量。从表 1 可以看出,随着营养型改土剂施用量梯度的增加,土壤饱和蓄水量在增加,饱和蓄水量最大的是营养型改土剂施用量 1 800 kg·hm⁻²,平均为 1 177.20 t·hm⁻²,饱和蓄水量最小的是 CK,平均为 1 101.80 t·hm⁻²,营养型改土剂施用量 1 800 kg·hm⁻²与 CK 比较,饱和蓄水量增加了 75.40 t·hm⁻²,差异极显著($P < 0.01$)。经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与饱和蓄水量之间呈显著的正相关关系,相关系数 $R = 0.9897$ 。究其原因,聚乙烯醇是一种吸水率较大的亲水胶体^[20],在提高土壤持水性方面具有重要作用。

2.3 营养型改土剂对土壤有机质和速效养分的影响

从表 2 可以看出,土壤有机质、速效养分最高的是营养型改土剂施用量为 1 800 kg·hm⁻²,与 CK 比较,有机质增加了 0.42 g·kg⁻¹,差异显著($P < 0.05$)。经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与有机质之间呈显著的正相关关系,相关系数 $R = 0.9857$ 。碱解氮增加了 20.76 mg·kg⁻¹,差异极显著($P < 0.01$),经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与碱解氮之间呈显著的正相关关系,相关系数(R)为 0.9566。速效磷增加了 4.94 mg·kg⁻¹,差异显著($P < 0.05$),经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与速效磷之间呈显著的正相关关

系,相关系数 $R = 0.9999$ 。速效钾增加了 $6.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,差异显著 ($P < 0.05$),经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与速效钾之间呈显著的正相关关系,相关系数 $R = 0.9943$ 。产生此结果的原因是营养型改土剂含有丰富的有机质和氮、磷、钾,提高了制种玉米田土壤有机质和速效养分的含量。

2.4 营养型改土剂对土壤化学性质的影响

2.4.1 对土壤 CEC 的影响

土壤阳离子交换量 (CEC) 是表征土壤保肥性能的重要指标,CEC 大的土壤保肥性能和供肥性能好。从表 2 可以看出,随着营养型改土剂施用量梯度的增加,土壤 CEC 在增加,CEC 最大的是营养型改土剂施用量 $1\ 800 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均为 $19.84 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,CEC 最小的是 CK,平均为 $15.75 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,营养型改土剂施用量

$1\ 800 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 与 CK 比较,CEC 增加了 $4.09 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,差异极显著 ($P < 0.01$)。经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与 CEC 之间呈显著的正相关关系,相关系数 $R = 0.9742$ 。

2.4.2 对土壤 pH 值的影响

pH 值是土壤重要的化学性质,从表 2 可以看出,随着营养型改土剂施用量梯度的增加,土壤 pH 值在降低,pH 值最小的是营养型改土剂施用量 $1\ 800 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,平均为 8.34,pH 值最大的是 CK,平均为 8.46,营养型改土剂施用量 $1\ 800 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 与 CK 比较,pH 值降低了 0.12,差异显著 ($P < 0.05$)。经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与 pH 值之间呈显著的负相关关系,相关系数 $R = -0.9260$ 。其原因是营养型改土剂中的糠醛渣是一种极强酸性物质,因而降低了土壤的酸碱度。

表 2 营养型改土剂对土壤有机质和速效养分及化学性质的影响

Table 2 The effects of nutrient type soil improvement agents on organic matter and available nutrients

改土剂施用量 /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Application amount	pH 值 pH value	有机质 /($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Organic matter	碱解氮 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Alkali N	速效磷 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Available P	速效钾 /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Available K	CEC/($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$) Cation Exchange Capacity
0(CK)	8.46aA	15.65deA	86.45eDE	8.68eA	158.67deA	15.75eA
450	8.45abA	15.77cdA	88.92dCD	9.92dA	159.96cdA	17.11dA
900	8.44bcA	15.86bcA	90.73cC	11.15cA	161.31bcA	18.67cA
1350	8.35cdA	16.03abA	99.71bB	12.39bA	163.58abA	18.93bA
1800	8.34deA	16.07deA	107.21aA	13.62aA	165.24aA	19.84aA

2.5 营养型改土剂对制种玉米经济性状和产量的影响

据 2010—2012 年田间试验资料可以看出,玉米穗粒数、穗粒重、百粒重、产量最大的是营养型改土剂施用量 $1\ 800 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,与 CK 比较,穗粒数增加了 53.39 粒,差异极显著 ($P < 0.01$),经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与穗粒数之间呈显著的正相关关系,相关系数 $R = 0.6374$;穗粒重增加了 32.90 g,差异极显著 ($P < 0.01$),经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与穗粒重之间呈显著的正相关关系,相关系数 $R = 0.9812$;百粒重增加了 5.66 g,差异显著 ($P < 0.05$),经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与百粒重之间呈显著的正相关关系,相关系数 $R = 0.9809$;产量增加了 $5.66 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,差异极显著 ($P < 0.01$),经线性回归分析可以看出,营养型改土剂施用量与产量之间呈显著的正相关关系,相关系数 $R = 0.9755$ 。但是每公斤营养型改土剂的增产量则随着营养型改土剂施肥量的增加而递减(表 3)。

2.6 营养型改土剂经济效益最佳施用量的确定

将营养型改土剂不同施用量与制种玉米产量间

的关系采用肥料效应回归方程 $y = a + bx - cx^2$ 拟合,得到的回归方程为:

$$y = 5612.76 + 0.9783x - 0.00006382x^2 \quad (1)$$

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。营养型改土剂价格 (P_x) 为 $2.50 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$,制种玉米价格 (P_y) 为 $3.10 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$,将 (P_x)、(P_y)、回归方程的 b (产量增产趋势)和 c (肥料效应曲率),代入最佳施用量计算公式 $x_0 = [(P_x/P_y) - b]/2c$ ^[23],求得营养型改土剂经济效益最佳施用量 (x_0) 为 $1\ 349.96 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2}$,将 x_0 代入 (1) 式,求得制种玉米的理论产量 (y) 为 $7\ 080.00 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,计算结果与田间试验处理 4 基本吻合(表 4)。

2.7 营养型改土剂对制种玉米的经济效益分析

从经济效益变化来看,边际利润由最初的 $704.43 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$,递减到 $-732.07 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。营养型改土剂在 $1\ 350 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的基础上,再继续增加施肥量,边际利润出现负值。由此可见,营养型改土剂施用量 $1\ 350 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,制种玉米增产效应和经济效益较好(表 4)。

表 3 营养型改土剂对制种玉米经济性状和产量的影响

Table 3 The effects of nutrient type soil improvement agents on economic characters and yield of maize

改土剂施用量 /(kg·hm ⁻²) Application amount	穗粒数 /粒 Grain number per spike	穗粒重 /g Grain weight per spike	百粒重 /g Hundred-grain weight	产量 /(kg·hm ⁻²) Yield	增产量 /(kg·hm ⁻²) Increased production	增产率 /% Rate of increased production	营养型改土剂 增产量/(kg·kg ⁻¹ ·hm ⁻²) Increased production unit
0(CK)	272.65eE	69.60eE	25.59eA	5612.76eE	—	—	—
450	300.95dD	83.97D	27.99cdA	6202.90dD	590.14	10.51	1.32
900	309.72cC	88.09cC	28.51cA	6687.81cC	1075.05	19.15	1.20
1350	318.73bB	96.64bB	30.39abA	7049.81abAB	1437.20	25.61	1.07
1800	328.04aA	102.50aA	31.25aA	7176.71aA	1563.95	27.86	0.87

表 4 营养型改土剂对制种玉米的经济效益分析

Table 4 The analysis of nutrient type soil improvement agents on economic benefits of maize

改土剂施用量 /(kg·hm ⁻²) Application amount	产量 /(kg·hm ⁻²) Yield	增产量 /(kg·hm ⁻²) Increased production	边际产量 /(kg·hm ⁻²) Marginal yield	边际产值 /(元·hm ⁻²) Marginal productive value	边际成本 /(元·hm ⁻²) Marginal cost	边际利润 /(元·hm ⁻²) Marginal benefit
0(CK)	5612.76eE	—	—	—	—	—
450	6202.90dD	590.14	590.14	1829.43	1125.00	704.43
900	6687.81cC	1075.05	484.91	1503.22	1125.00	378.22
1350	7049.81abAB	1437.20	362.00	1122.00	1125.00	0.00
1800	7176.71aA	1563.95	126.75	392.93	1125.00	-732.07

3 结 论

随着营养型改土剂施用量的增加,土壤总孔隙度、团聚体、田间持水量、饱和蓄水量在增加,而土壤容重在降低。营养型改土剂施用量与土壤有机质、速效氮磷钾、CEC 呈正相关关系,与土壤 pH 值呈负相关关系。随着营养型改土剂施用量的增加,玉米穗粒数、穗粒重、百粒重、产量、增产量和增产率在增加,但单位增产量则随着营养型改土剂施用量的增加而递减。经回归统计分析,营养型改土剂经济效益最佳施用量为 1 349.96 kg·hm⁻²,此施用量下,制种玉米的理论产量为 7 080.00 kg·hm⁻²,统计分析结果与田间小区试验处理 4 基本吻合。

参 考 文 献:

- [1] 佟屏亚. 河西地区玉米制种基地考察报告[J]. 种子世界, 2005, (5): 4-8.
- [2] 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.
- [3] 龙明杰, 曾繁森. 高聚物土壤改良剂研究进展[J]. 土壤通报, 2000, 31(5): 199-202.
- [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] 吴增芳. 土壤结构改良剂[M]. 北京: 科学出版社, 1976: 24-36.
- [6] Wapace A, Nelson S D. 目前土壤结构改良剂研究的一些动向[J]. 土壤学进展, 1987, 15(5): 63-64.
- [7] 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.
- [8] 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.

- [9] 王永志. 土壤结构改良剂覆盖改土作用的研究[J]. 干旱地区研究, 1991, (2): 48-56.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [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] 王荫槐. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 310-311.
- [14] 魏强, 王芳, 陈文业, 等. 黄河上游玛曲不同退化程度高寒草地土壤物理特性研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(5): 16-21.
- [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] 李德生, 张萍, 张水龙, 等. 黄前库区流域植被水源涵养功能及植被类型选择的研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(4): 128-131.
- [18] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 66-105.
- [19] 周虎, 吕贲忠, 杨志臣, 等. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 北京林业大学. 土壤学(上册)[M]. 北京: 中国林业出版社, 1982: 140-154.
- [23] 江苏淮阴农业学校. 土壤肥科学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1990: 154-155.