

有机营养土壤改良剂对河西灌漠土理化性质和 饲用高粱种植效益的影响

张春梅^{1,3}, 闫治斌², 王 学², 闫富海², 秦嘉海², 程红玉^{1,3}, 肖占文^{1,3}

(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. 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: 针对甘肃河西内陆灌区因长期施用化肥引起的土壤板结、有机质含量低、贮水功能弱、作物产量低而不稳等问题, 采用正交试验方法, 筛选出有机营养土壤改良剂配方, 采用田间试验方法, 研究了有机营养土壤改良剂对灌漠土理化性质和饲用高粱种植效益间的影响。结果表明: 原料间的效应 (R) 是饲用高粱专用肥 > 改性糠醛渣 > 保水剂和聚乙烯醇, 改良剂配方组合是: 改性糠醛渣 0.9375: 保水剂 0.0025: 饲用高粱专用肥 0.0563: 聚乙烯醇 0.0037。有机营养土壤改良剂施用量与灌漠土孔隙度、持水量、有机质、速效养分、饲用高粱农艺性状、经济性状和产量呈显著的正相关关系。经回归统计分析, 有机营养土壤改良剂经济效益最佳施用量为 $24.00 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, 饲用高粱理论产量为 $3.08 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。有机营养土壤改良剂的施用有效改善了灌漠土理化性质, 提高了饲用高粱的产量。

关键词: 有机营养土壤改良剂; 灌漠土; 理化性质; 饲用高粱; 种植效益

中图分类号: S156.2 文献标志码: A

Effects of organic nutrition soil conditioners on physical and chemical properties of irrigated desert soil in Hexi area and economic profits of forage sorghum

ZHANG Chun-mei^{1,3}, YAN Zhi-bin², WANG Xue², YAN Fu-hai²,
QIN Jia-hai², CHENG Hong-yu^{1,3}, XIAO Zhan-wen^{1,3}

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

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

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

Abstract: In the face of soil hardening, low organic matter, weak water storage and low yield caused by long-term chemical fertilization in Hexi Corridor, Gansu province, an orthogonal experiment was conducted to select the composition for an organic nutrition soil conditioner. A field experiment was taken to study effects of organic nutrition soil conditioners on the physico-chemical properties of irrigated desert soil and economic profits of forage sorghum. The results showed that the effect of raw material for the organic nutrition soil conditioner ranked as follows: specific fertilizer of Sorghum, modified furfural residue, water retaining agent and polyvinyl alcohol. The weight ratio of furfural residual, water retention agent, specific fertilizer of forage sorghum and polyvinyl alcohol equal to 0.9375:0.0025:0.0563:0.0037 for the best formula. There was a positive correlation between fertilization quantity and soil porosity, moisture capacity, available nutrients, agronomic traits, economic characteristic and yield of forage sorghum. The optimum economical application rate was $24.00 \text{ ton per hm}^2$ and the theoretical yield was $3.08 \text{ ton per hm}^2$. It could be concluded that organic nutrition soil conditioners could improve the physical, chemical and biological properties of the soil. In addition, the soil conditioner also increased the profit and yield of forage sorghum in the irrigated desert soil.

Keywords: organic nutrition soil conditioners; irrigated desert soil; physical and chemical properties; forage sorghum; productivity profit

收稿日期: 2016-03-11

修回日期: 2017-03-08

基金项目: 科技部国家星火项目“甘肃河西走廊百万亩现代化制种及加工装备技术示范推广”(S2011G100031); 甘肃省科技重大专项项目“高粱高效制种及加工生产技术研究”(2015GS05915)

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。E-mail: qinjiahai123@163.com。

土壤改良剂的研究以比利时的 TC 土壤改良剂^[1-2]和印度的 Agri-CS 土壤改良剂最为成功。从比利时引进的聚丙烯酰胺和沥青乳剂应用于盐渍土改良、防止水土流失、旱地增温、保墒等方面^[3]。近年来,获得国家审批的 40 多个土壤改良剂产品功能包括改良土壤结构、降低土壤盐碱危害、调节土壤酸碱度、改善土壤水分状况等。人工合成高聚物能降低土壤盐碱^[4]。杨宇等^[5]以生化黄腐酸为主要成分的土壤改良剂能提高水稳性团粒含量,使土壤 pH 值下降。潘保原^[6]利用磷石膏、煤渣等使松嫩平原中度和重度盐碱土壤的碱化度下降。安东等^[7]研究表明硫磺、石膏、有机肥和 PAM 改善了盐碱土物理性质。灌漠土是在干旱半干旱环境条件下由灰漠土、灰棕荒漠土和棕漠土经过农民长期耕种、灌溉和施肥等人为因素的综合作用下形成的一种农业土壤,广泛分布于甘肃河西内陆的绿洲古老农区。随着种植年限的延长日益凸显的主要问题是:农户长期施用化肥,团粒结构遭到破坏,导致土壤板结,有机质含量低,贮水功能减弱,作物产量低而不稳。因此,研究和开发集有机、营养、改土和保水为一体的土壤有机营养改良剂成为改良剂研发的关键所在。研究表明,使用糠醛渣可以很好地改善天津滨海地区土壤的酸碱环境,降低土壤 pH^[8]。有机固体废弃物糠醛渣也能有效降低土壤 pH 值、可溶性盐和碱化度^[9-10]。聚乙稀醇具有良好的亲水性,无毒性,可生物降解等优良特性^[11-12]。保水剂是一类高分子聚合物,本身不溶于水,却能在 10 min 内吸附超过自身重量 100~1400 倍的水分,体积大幅度膨胀后形成饱和吸附水球,吸水倍率很大,在提高土壤持水性能方面具有重要作用。使用保水剂改良土壤后,土壤综合肥力达到中等肥力水平,且提高了作物产量^[13-15]。因此,改善土壤理化性质,减少养分损失,提高肥料利用效率,提高该地区产量和品质是亟需解决的问题。为此,我们采用正交试验方法,加入饲用高粱专用肥,在室内筛选配方,合成有机营养土壤改良剂,进行了田间验证试验,为有机营养土壤改良剂改土培肥效果做出评价。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验地概况 试验于 2014—2015 年在甘肃省酒泉市肃州区上坝镇光辉村一社连续种植制种玉米 10 a 的基地上进行,试验地海拔高度为 1 455 m,经度 98°40′169″,北纬 39°34′590″,年均温 7.5℃,年均降水量 86 mm,年均蒸发量 2 400 mm,无霜期 150

d,土壤类型是灌漠土,0~20 cm 耕作层含有有机质含量 18.47 g·kg⁻¹,碱解氮 62.62 mg·kg⁻¹,速效磷 6.34 mg·kg⁻¹,速效钾 138.71 mg·kg⁻¹,pH 值 8.34,全盐 1.64 g·kg⁻¹,容重 1.32 g·cm⁻³,总孔隙度 50.19%,团聚体 24.10%,饱和持水量 1 003.80 t·hm⁻²,土壤质地为轻壤质土,前茬作物是玉米。

1.1.2 试验材料 尿素,含 N 46%,粒径为 2~3 mm,为宁波远东化工集团有限公司生产;磷酸二铵,含 N 质量分数为 18%,含 P₂O₅ 质量分数为 45%,青岛市三华化工有限责任公司生产;硫酸钾,含 K 50%,粒径为 2~3 mm,湖北兴银河化工有限公司生产;硫酸锌,含 Zn 质量分数为 23%,甘肃刘家峡化工厂生产;钼酸铵,含 Mo 质量分数为 54.3%,郑州裕达化工原料有限公司生产;饲用高粱专用肥(河西学院自主研发),将尿素、磷酸二铵、硫酸钾、硫酸锌、钼酸铵风干质量比按 0.4145:0.0521:0.5000:0.0234:0.0100 混合,经室内化验分析含 N 20%,P₂O₅ 2.40%,K₂O 23%,Zn 0.54%,Mo 0.50%。糠醛渣,含有机质 760 g·kg⁻¹,全氮 0.61%,全磷 0.36%,全钾 1.18%,pH 值为 2.1,粒径 1~2 mm,甘肃共享化工有限公司利用玉米芯生产糠醛排出的废渣;聚乙稀醇:粒径 0.05~2 mm,甘肃兰维新材料有限公司产品;保水剂,吸水倍率 645 g·g⁻¹,粒径 1~2 mm,甘肃民乐福民精细化工有限公司生产;饲用高粱品系为地标 3 号,甘肃省敦煌种业股份有限公司从日本引进。

1.2 试验方法

1.2.1 糠醛渣改性 在 1 000 kg 糠醛渣加入 50 kg 石灰粉,搅拌均匀,将糠醛渣 pH 调整到 6.50^[16]。

1.2.2 种植方法 田间试验小区面积为 32 m²(8 m×4 m),小区四周筑埂,埂宽 30 cm,高 35 cm,有机营养土壤改良剂(按照改性糠醛渣 0.9375:保水剂 0.0025:饲用高粱专用肥 0.0563:聚乙稀醇 0.0037 配制)在播种前施入 20 cm 土层,2014—2015 每年的 4 月 26 日播种(5 cm 土层土温稳定在 12℃),播种深度为 2~3 cm,先播不育系,其发芽后播种第一期保持系,再等发芽后播种第二期保持系,株距 15 cm,行距 45 cm,父母本行比为 2:8,分别在拔节期、抽穗期、开花期、灌浆期各滴灌 1 次,每个试验小区灌水量相等。

1.2.3 试验处理 试验一,有机营养土壤改良剂配方确定。2014 年 4 月 26 日选择改性糠醛渣、保水剂、饲用高粱专用肥和聚乙稀醇等 4 个因素,每个因素设计 3 个水平,按正交表 L₉(3⁴)设计 9 个处理^[17]。

试验二,有机营养土壤改良剂对土壤理化性质

影响的研究。

有机营养土壤改良剂合成:根据田间试验筛选的最佳组合,将改性糠醛渣、保水剂、饲用高粱专用肥、聚乙烯醇重量比按试验一所得结果进行配制。

试验处理:根据田间预试验的结果,将有机营养土壤改良剂施用量梯度设计为 0.00(CK), 4.80, 9.60, 14.40, 19.20, 24.00, 28.80 t·hm⁻²共 7 个处理,以处理 1 为 CK(对照),每个处理重复 3 次,随机区组排列。

1.2.4 测定项目与方法 饲用高粱收获时,在试验小区内按照传统采样方法,连续采集 30 株,测定穗粒数、穗粒重和百粒重,取平均数进行统计分析,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。分别在试验小区内按对角线布点,采集 0~20 cm 耕作层土样 5 kg,用四分法带回 1 kg 混合土样,风干 15 d,过 1 mm 筛供室内化验分析。总孔隙度按公式[总孔隙度=(土壤比重-土壤容重)÷土壤比重×100]求得;毛管孔隙度按公式(毛管孔隙度=自然含水量×土壤容重×100)求得;非毛管孔隙度按公式(非毛管孔隙度=总孔隙度-毛管孔隙度)求得;总持水量=(面积×总孔隙度×土层深度);毛管持水量=(面积×毛管孔隙度×土层深度);非毛管持水量=(面积×非毛管孔隙度×土层深度)

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^[18-19];施肥利润=(增产值-施肥成本)。

1.2.5 数据处理方法 差异显著性采用 DPSS 10.0 统计软件分析,多重比较,LSR 检验法。依据经济效

益最佳施用量计算公式 $x_0 = [(p_x/p_y) - b]/2c$ 求得有机营养土壤改良剂最佳施用量(x_0),依据肥料效应回归方程式 $y = a + bx + cx^2$,求得有机营养土壤改良剂最佳施用量时的饲用高粱理论产量(y)^[12]。

2 结果与分析

2.1 有机营养土壤改良剂配方确定

2.1.1 有机营养土壤改良剂因素间的(R)效应 2014年9月26日饲用高粱收获后测定数据可以看出(表1),不同因素间的效应(R)是 C>A>B 和 D,说明影响甜饲用高粱鲜草产量的因素依次是:饲用高粱专用肥>改性糠醛渣>保水剂和聚乙烯醇。

2.1.2 有机营养土壤改良剂各因素的效应 T 值比较 T 值可知, $T_{A2} > T_{A1} > T_{A3}$,说明甜饲用高粱产量随改性糠醛渣施用量梯度的增大而增加,当改性糠醛渣施用量超过 22.50 t·hm⁻²,甜饲用高粱产量又随改性糠醛渣施用量梯度的增大而降低。 $T_{B1} > T_{B2}$ 和 T_{B3} ,说明保水剂适宜用量一般为 0.06 t·hm⁻²。 $T_{C3} > T_{C2} > T_{C1}$, $T_{D3} > T_{D2} > T_{D1}$ 说明随着饲用高粱专用肥和聚乙烯醇施用量梯度的增加,甜饲用高粱产量在增加,饲用高粱专用肥和聚乙烯醇适宜用量一般为 1.35 t·hm⁻²和 0.09 t·hm⁻²。

2.1.3 有机营养土壤改良剂因素间最佳组合 因素间最佳组合为: A₂(糠醛渣 22.50 t·hm⁻²), B₁(保水剂 0.06 t·hm⁻²), C₃(饲用高粱专用肥 1.35 t·hm⁻²), D₃(聚乙烯醇 0.09 t·hm⁻²), (将改性糠醛渣、保水剂、饲用高粱专用肥、聚乙烯醇重量比按 0.9375:0.0025:0.0563:0.0037混合得到有机营养土壤改良剂)。

表 1 L₉(3⁴)正交试验分析表

Table 1 The factors and levels of L₉(3⁴)

试验处理 Treatment	A 糠醛渣 Furfural residual	B 保水剂 Water retention agent	C 饲用高粱专用肥 Specific fertilizer of forage sorghum	D 聚乙烯醇 PVA	产量 Yield /(t·hm ⁻²)
1 = A ₁ B ₁ C ₁ D ₃	(11.25)1	(0.06)1	(0.45)1	(0.09)3	2.47
2 = A ₁ B ₂ C ₂ D ₂	(11.25)1	(0.12)2	(0.90)2	(0.06)2	3.16
3 = A ₁ B ₃ C ₃ D ₁	(11.25)1	(0.18)3	(1.35)3	(0.03)1	2.44
4 = A ₂ B ₁ C ₂ D ₃	(22.50)2	(0.06)1	(0.90)2	(0.09)3	2.78
5 = A ₂ B ₂ C ₃ D ₂	(22.50)2	(0.12)2	(1.35)3	(0.06)2	2.81
6 = A ₂ B ₃ C ₁ D ₁	(22.50)2	(0.18)3	(0.45)1	(0.03)1	2.82
7 = A ₃ B ₁ C ₃ D ₃	(33.75)3	(0.06)1	(1.35)3	(0.09)3	3.21
8 = A ₃ B ₂ C ₁ D ₂	(33.75)3	(0.12)2	(0.45)1	(0.06)2	1.79
9 = A ₃ B ₃ C ₂ D ₁	(33.75)3	(0.18)3	(0.90)2	(0.03)1	2.24
T ₁	8.07	8.46	7.08	7.50	23.27(T)
T ₂	8.41	7.76	8.18	7.76	
T ₃	7.24	7.50	8.46	8.46	
R	1.17	0.96	1.38	0.96	

2.2 有机营养土壤改良剂施用量对灌漠土理化性质的影响

2.2.1 对灌漠土孔隙度和持水量的影响 土壤孔隙度是表征土壤通气性和透水性的重要指标,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^[20]。相关分析可知,有机营养土壤改良剂施用量与灌漠土总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度之间呈显著的正相关关系,相关系数(R)分别为0.9831、0.9841和0.7670。总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度最大的是有机营养土壤改良剂施用量 $28.80 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,与CK比较,分别增加了2.94%、2.95%和2.33%,差异显著($P < 0.05$)。这是因为土壤改良剂加入土壤后改变了气孔结构,其

内部孔隙增多,因而土壤容重降低,增加了土壤孔隙度。持水量是土壤贮水能力的一项重要指标,可以表征土壤水源涵养的能力^[21]。相关分析可知,有机营养土壤改良剂施用量与灌漠土饱和持水量、毛管持水量和非毛管持水量之间呈显著的正相关关系,相关系数(R)分别为0.9188、0.9746和0.9763。饱和持水量、毛管持水量和非毛管持水量最大的是有机营养土壤改良剂施用量 $28.80 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,与CK比较,分别增加了105.60、59.00 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和46.60 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,差异显著($P < 0.05$)(表3)。这是因为聚乙烯醇是一种亲水胶体^[22],吸水率很大,在提高土壤持水性能方面具有重要的作用。土壤改良剂的施用增加了土壤的保水保肥能力。

表2 有机营养土壤改良剂施用量对灌漠土孔隙度和持水量的影响

Table 2 Effect of amount of organic nutrition soil conditioner on the soil porosity and water capacity

改良剂施用量 Soil conditioner amount /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	总孔隙度 Total porosity /%	毛管孔隙度 Capillary porosity /%	非毛管孔隙度 Non-capillary porosity /%	饱和持水量 Saturated water content /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	毛管持水量 Capillary water capacity /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	非毛管持水 Non-capillary water capacity /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)
0.00(CK)	50.19fB	28.11cA	22.08cA	1003.80gA	562.20eA	441.60dA
4.80	50.57eB	28.32cA	22.25cA	1011.40fA	566.40eA	445.00dA
9.60	50.94eB	28.53cA	22.41cA	1018.80eA	570.60eA	448.20dA
14.40	52.08dA	29.17bA	22.91cA	1041.60dA	583.40dA	458.20cA
19.20	53.21cA	29.80bA	23.41bA	1064.20cA	596.00cA	468.20bA
24.00	54.34bA	30.13aA	24.20aA	1086.80bA	602.60bA	484.00aA
28.80	55.47aA	31.06aA	24.41aA	1109.40aA	621.20aA	488.20aA

注:同列数据不同大小写字母分别表示在0.01和0.05水平上差异显著,下同。

Note: Different capital and lowercase letters within the same column mean significant difference at 0.01 and 0.05 levels, respectively. The same as below.

2.2.2 对灌漠土有机质和速效养分的影响 有机质是表征土壤肥力高低的重要指标,甘肃河西内陆灌漠土有机质含量低,保肥力弱,通过施用土壤改良剂提升土壤有机质含量,实施沃土工程是一项行之有效的措施。研究结果表明,有机营养土壤改良剂施用量与灌漠土有机质含量呈显著的正相关关系,相关系数(R 为0.7670)。有机质含量最高的是有机营养土壤改良剂施用量 $28.80 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,与CK比较,增加了 $2.17 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,差异极显著($P < 0.01$)。有机营养土壤改良剂施用量与灌漠土碱解氮、速效磷和速效钾之间呈显著的正相关关系,相关系数(R)分别为0.9004、0.9188和0.9860。碱解氮、速效磷和速效钾最大的是有机营养土壤改良剂施用量 $28.80 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,与CK比较,分别增加了 19.74 、 $2.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $13.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,差异极显著($P < 0.01$)(表3)。这是因为施入土壤改良剂后,改善了土壤理化性质,增强了土粒的吸附能力,大部分速效养分被固

定下来,减少了养分流失。

2.3 有机营养土壤改良剂施用量对饲用高粱经济性状及产量和施肥利润的影响

由表4可知,有机营养土壤改良剂施用量与饲用高粱穗粒数、穗粒重、百粒重和产量之间呈显著的正相关关系,相关系数(R)分别为0.9913、0.9761、0.8497和0.9757。穗粒数、穗粒重、百粒重和产量最大的是有机营养土壤改良剂施用量 $28.80 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,与CK比较分别增加了 $112.86 \text{ 粒} \cdot \text{穗}^{-1}$ 、 $6.58 \text{ g} \cdot \text{穗}^{-1}$ 、 0.34 g 和 $0.66 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,差异极显著($P < 0.01$)(表3)。有机营养土壤改良剂施用量由 $4.80 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 递增至 $24 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,施肥利润随着有机营养土壤改良剂施用量梯度的增加而递增,但有机营养土壤改良剂施用量超过 $24.00 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,施肥利润开始递减,由此可见,有机营养土壤改良剂适宜施用量一般为 $24.00 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

2.4 有机营养土壤改良剂经济效益最佳施用量的确定

有机营养土壤改良剂施用量与饲用高粱产量间采用回归方程 $y = a + bx + cx^2$ 拟合,得到方程:

$$y = 2.44 + 0.0420x - 0.0006x^2 \quad (1)$$

显著性测验表明回归方程拟合良好。有机营养土壤改良剂价格 (P_x) 为 330.14 元·t⁻¹ (表 4 下备

注), 2015 年饲用高粱种子平均售价 (P_y) 为 25 000 元·t⁻¹, 将 (P_x)、(P_y)、回归方程的参数 b 和 c , 代入最佳施用量计算公式 $x_0 = [(P_x/P_y) - b]/2c$ ^[12], 求得有机营养土壤改良剂经济效益最佳施用量 (x_0) 为 24.00 t·hm⁻², 将 x_0 代入 (1) 式, 求得饲用高粱理论产量 (y) 为 3.08 t·hm⁻², 由此可见, 有机营养土壤改良剂经济效益最佳施用量为 24.00 t·hm⁻² (表 4)。

表 3 有机营养土壤改良剂施用量对灌漠土有机质和速效养分的影响

Table 3 Effect of amount of organic nutrition soil conditioner on the content of organic matter and available nutrients in irrigated desert soil

改良剂施用量 Soil conditioner amount /(t·hm ⁻²)	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali-soluble N /(mg·kg ⁻¹)	速效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)
0.00(CK)	18.47bB	62.62eB	6.34cC	138.71dB
4.80	20.11aA	73.67dA	7.45bB	143.00cA
9.60	20.30aA	75.17cA	7.68bB	144.45cA
14.40	20.35aA	78.31bA	8.09aA	145.91cA
19.20	20.42aA	79.91bA	8.26aA	147.38bA
24.00	20.48aA	80.71bA	8.42aA	150.39aA
28.80	20.64aA	82.36aA	8.51aA	151.91aA

表 4 有机营养土壤改良剂饲用高粱经济性状及产量和施肥利润的影响

Table 4 The effects of application amount of organic nutrition soil conditioners on yield components, yield and fertilization profit of forage sorghum

改良剂施用量 Soil conditioner amount (t·hm ⁻²)	穗粒数 Grain number per spike /(粒·穗 ⁻¹)	穗粒重 Grain weight /(g·穗 ⁻¹)	百粒重 Hundred grain weight /g	产量 Yield /(t·hm ⁻²)	增产量 Yield increase /(t·hm ⁻²)	增产值 Increase production rate /(元·hm ⁻²)	施肥成本 Fertilization cost /(元·hm ⁻²)	施肥利润 Application benefit /(元·hm ⁻²)
0.00(CK)	771.26fA	24.45fB	3.17dB	2.44gB	—	—	—	—
4.80	787.24eA	26.77eA	3.40cbA	2.68fA	0.24	6000.00	1584.67	4415.33
9.60	813.07dA	27.81dA	3.42cA	2.77eA	0.33	8250.00	3169.34	5080.66
14.40	837.45cA	28.72cA	3.43cA	2.87dA	0.43	10750.00	4754.02	5995.98
19.20	854.22bA	29.64bA	3.47bA	2.96cA	0.52	13000.00	6338.69	6661.31
24.00	881.34aA	30.85aA	3.50aA	3.08bA	0.64	16000.00	7923.36	8076.64
28.80	884.12aA	31.03aA	3.51aA	3.10aA	0.66	16500.00	9508.03	6991.97

注: 价格(元·t⁻¹): 尿素 2 000; 磷酸二铵 4 000; 硫酸钾 2 100; 硫酸锌 4 000; 钼酸铵 35 000; 聚乙烯醇 22 000; 保水剂 20 000; 糠醛渣 60; 饲用高粱专用肥 2 531 (尿素、磷酸二铵、硫酸钾、硫酸锌、钼酸铵质量比按 0.4145:0.0521:0.5000:0.0234:0.0100 混合); 有机营养土壤改良剂 330.14 (将糠醛渣、保水剂、饲用高粱专用肥、聚乙烯醇重量比按 0.9375:0.0025:0.0563:0.0037 混合); 2015 年甜饲用高粱种子平均售价 25 000。

Note: On the price (RMB yuan·t⁻¹): 2 000 for urea; 4 000 for diammonium phosphate; 2 100 for potassium sulphate; 4 000 for zinc sulphate; 35 000 for ammonium molybdate; 22 000 for Polyving alkohol; 20 000 for water retention agent; 60 for furfural residue; 2 531 for specific fertilizer of forage sorghum (weight ratio of urea, diammonium phosphate, potassium sulphate, zinc sulphate and ammonium molybdate equal to 0.4145:0.0521:0.5000:0.0234:0.0100); 330.14 for organic nutrition soil conditioner (weight ratio of furfural residual, water retention agent, specific fertilizer of forage sorghum, and polyving alkohol equal to 0.9375:0.0025:0.0563:0.0037); 25 000 for seed of sweet forage sorghum in 2015.

3 讨论与结论

土壤改良剂能有效改善土壤物理结构和化学性质, 加强微生物活动, 提高土壤酶的活性, 协调土壤肥力因子, 提高了土壤肥力, 具有显著的改土和增产

效果^[23-26]。施用土壤改良剂能够显著地增加土壤有机质含量, 均衡土壤营养元素, 改善施用有机肥导致的元素富集现象, 明显改良土壤理化性质^[27-30]。本试验结果表明, 有机营养土壤改良剂施用量与灌漠土孔隙度、持水量、有机质、速效养分、饲用高粱农

艺性状、经济性状和产量呈显著的正相关关系。经回归统计分析,有机营养土壤改良剂施用量与饲用高粱产量间的回归方程是: $y = 2.44 + 0.0420x - 0.0006x^2$,从经济效益看,改良剂施用量在 $28.80 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时增产值为 $16\,500.00 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$,但从施肥成本看高于 $24.00 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理,因此,经济效益最佳施用量为 $24.00 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,饲用高粱理论产量为 $3.08 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。以上结果表明,在甘肃河西内陆灌区的灌漠土上施用有机营养土壤改良剂后,产量增长、产值更高,从而获得更高的收益。这可能是由于土壤总孔隙度和非毛管孔隙度以及土壤的综合物理性状得到了改善,能有效提高灌漠土土壤质量,给高粱生长提供了更好的土壤环境,提高了饲用高粱的产量。

参考文献:

- [1] 陈义群,董元华.土壤改良剂的研究与应用进展[J].生态环境,2008,17(3):1282-1289.
- [2] 韩小霞.土壤结构改良剂研究综述[J].安徽农学通报,2009,15(19):110-112.
- [3] 孙蓟锋,王旭.土壤调理剂的研究和应用进展[J].中国土壤肥料,2013,(1):1-7.
- [4] 王志玉,刘作新,赵京考.土壤改良剂MDM对松嫩平原草甸碱土的改良效果[J].水土保持学报,2004,18(1):144-146.
- [5] 杨宇,金强,卢国政,等.生化黄腐酸土壤改良剂对菜田盐碱土壤理化性质的影响[J].北方园艺,2010,(5):45-46.
- [6] 潘保原.土壤改良物质对盐渍化土壤改良的作用[D].哈尔滨:东北林业大学,2006.
- [7] 安东,李新平,张永宏,等.不同土壤改良剂对碱积盐成土改良效果研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(5):115-118.
- [8] 付颖.天津滨海盐碱土水盐动态及有机改良剂的改良效果研究[D].北京:北京林业大学,2015.
- [9] 王琳琳.天津滨海盐土隔盐修复、有机改良及造林效果评估[D].北京:北京林业大学,2014.
- [10] 尹玉磊,李爱民,毛燎原.糠醛渣综合利用技术研究进展[J].现代化工,2011,31(11):22-26.
- [11] 路晓筠,项卫东,郑光耀,等.盐碱地改良措施研究进展[J].江苏农业科学,2015,43(12):5-8.
- [12] 张春梅,赵静,秦嘉海,等.生物活性肥配方筛选及其对土壤理化性质和玉米经济效益的影响[J].水土保持通报,2014,34(6):43-48.
- [13] 吉林.保水剂对干旱矿区土壤改良的试验研究[D].徐州:中国矿业大学,2014.
- [14] 赵元霞,贾立国,樊明寿.保水剂在马铃薯种植上的应用研究进展[J].中国农学通报,2016,32(3):61-65.
- [15] 黄占斌,辛小桂,宁荣昌,等.保水剂在农业生产中的应用与发展趋势研究[J].干旱地区农业研究,2003,21(3):11-14.
- [16] 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.
- [17] 明道绪.田间试验与统计分析[M].北京:科学出版社,2014:185-188.
- [18] 杨红,杜辉,陶雪娟,等.基于VG模型的生物有机肥对土壤水分特性的影响[J].华中农业大学学报,2013,32(5):66-71.
- [19] 李易麟,南忠仁.开垦对西北干旱区荒漠土壤养分含量及主要性质的影响——以甘肃省临泽县为例[J].干旱地区农业研究,2008,22(10):147-151.
- [20] 陈义群,董元华.土壤改良剂的研究与应用进展[J].生态环境,2008,17(3):1282-1289.
- [21] 曹丽花,刘合满,赵世伟.退化高寒草甸土壤有机碳变化特征及与土壤理化性质的关系[J].草业科学,2011,28(8):1411-1415.
- [22] 蔡典雄,张志田,张镜清,等.土壤改良剂在北方旱地上的使用效果初报[J].土壤肥料,1996,(4):34-36.
- [23] 许晓平,汪有科,冯浩,等.土壤改良剂改土培肥增产效应研究综述[J].中国农学通报,2007,23(9):381-384.
- [24] 陈义群,董元华.土壤改良剂的研究与应用进展[J].生态环境,2008,17(3):1282-1289.
- [25] 姬红利,颜蓉,李运东,等.施用土壤改良剂对磷素流失的影响研究[J].土壤,2011,43(2):203-209.
- [26] 李春燕,袁寒,苏一兰.土壤改良剂对矿区污染土壤栽培的芹菜生长及生理生化指标的影响[J].湖北农业科学,2013,52(18):4400-4403.
- [27] 李玉利,杨忠兴,仇璇,等.土壤改良剂对大棚辣椒连作土壤理化性质的影响[J].安徽农业科学,2014,42(33):11676-11677.
- [28] 刘慧军,刘景辉,于健,等.土壤改良剂对燕麦土壤理化性状及微生物量碳的影响[J].水土保持学报,2012,26(5):68-72.
- [29] 蔡立群,牛怡,罗珠珠,等.秸秆促腐还田土壤养分及微生物量的动态变化[J].中国生态农业学报,2014,22(9):1047-1056.
- [30] 解开治,徐培智,严超,等.不同土壤改良剂对南方酸性土壤的改良效果研究[J].中国农学通报,2009,25(20):160-165.