多功能土壤改良剂对河西内陆灌区棕漠土的改良效果

肖占文[1]，肖哲元[2]，师伟杰[3]，闫治斌[4]，王 学[4]，秦嘉海[1]

(1.河西学院 农业与生物技术学院，甘肃 张掖 734000；2.甘肃大禹节水工程设计有限责任公司，甘肃 兰州 730000；3.张掖市甘州区农业技术推广中心，甘肃 张掖 734000；4.甘肃省敦煌种业股份有限公司，甘肃 酒泉 735000)

摘 要：[目的] 解决棕漠土保水肥能力弱，有机质含量低，制种玉米产量低而不稳的疑难问题，为河西内陆灌区制种玉米产业可持续发展提供技术支撑。[方法] 选择甘肃省酒泉市肃州区棕漠土，采用田间试验方法，进行多功能土壤改良剂配方筛选及对棕漠土改良效果研究。[结果] 多功能土壤改良剂最佳配比为：有机生态肥∶保水剂∶制种玉米专用肥∶聚乙烯醇为 0.978 3∶0.000 9∶0.019 6∶0.001 2。多功能土壤改良剂最佳施用量为 68.75 t/hm^2，制种玉米理论产量为 6.64 t/hm^2。施用多功能土壤改良剂与传统化肥比较，棕漠土总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、团聚体、饱和持水量、毛管持水量、非毛管持水量分别增加 22.75%，22.76%，22.74%，9.50%，22.75%，22.76%和 22.74%；有机质、CEC、碱解氮、速效磷和速效钾增加35.01%，21.64%，0.63%，2.26%和 2.09%；真菌、细菌和放线菌分别增加 93.97%，35.35%，20.78%；蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和多酚氧化酶分别增加 61.82%，44.64%，40.00%和64.29%；制种玉米增产值和施肥利润增加 39.23%和 31.82%。[结论] 施用多功能土壤改良剂，能有效地改善棕漠土理化性质和生物学性质，提高制种玉米产量。

关键词：多功能土壤改良剂；棕漠土；改良效果

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2018)01-0056-06 **中图分类号**：S156.2，S143.6

文献参数：肖占文，肖哲元，师伟杰，等.多功能土壤改良剂对河西内陆灌区棕漠土的改良效果[J].水土保持通报，2018，38(1)：56-61. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2018.01.010. Xiao Zhanwen，Xiao Zheyuan，Shi Weijie，et al. Improvement effects of multi-functional soil conditioners on brown desert soil in Hexi inland irrigation areas in Gansu Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2018，38(1)：56-61.

Improvement Effects of Multi-functional Soil Conditioners on Brown Desert Soil in Hexi Inland Irrigation Areas in Gansu Province

XIAO Zhanwen[1]，XIAO Zheyuan[2]，SHI Weijie[3]，YAN Zhibin[4]，WANG Xue[4]，QIN Jiahai[1]

(1. *College of Agriculture and Biology Technology，Hexi University，Zhangye，Gansu* 734000，*China*；2. *Gansu Dayu Conserving Water Engineering Design Co. Ltd，Lanzhou，Gansu* 730000，*China*；3. *Agricultural Technology Promotion Center of Ganzhou District，Zhangye City，Zhangye，Gansu* 734000，*China*；4. *Gansu Dunhuang Seed Company，Jiuquan，Gansu* 735000，*China*)

Abstract：[Objective] The aim of this study is to solve the issues of low water and fertilizer capacity，low organic matter content，low yield and unstable grain production of brown desert soil，in order to provided technical support for the sustainable development of maize industry in Hexi inland irrigation area. [Methods] The brown soil of Suzhou area in Jiuquan City，Gansu Province was selected and the field experiment method was conducted to screen the multi-functional soil improver formula and investigate the improvement effect on brown desert soil. [Results] The optimum ratio of multi-functional soil conditioner was：organic ecological fertilizer∶ water retaining agent∶ special fertilizer for corn production∶ polyvinyl alcohol was 0.978 3∶0.000 9∶0.019 6∶0.001 2. The optimum application rate of multi-functional soil improver was 68.75 t/hm^2，and the theoretical yield of maize was 6.64 t/hm^2. The total porosity，capillary porosity，non-capillary porosity，agglomerates，saturated water holding capacity，capillary water holding capacity，non-capillary soils were significantly increased by 22.75%，22.76%，22.74%，9.50%，22.75%，22.76% and 22.74%，

收稿日期：2017-08-13 **修回日期**：2017-09-19

资助项目：甘肃省重大科技专项“机收新品种选育及机械化生产技术研发与物联网技术应用”(1602NKDF021)；甘肃省工程技术中心建设计划项目“甘肃省杂交玉米育繁推工程技术”(1306NTGF020)

第一作者：肖占文(1966—)，男(汉族)，甘肃省金塔县人，硕士，教授，主要从事作物栽培与土壤改良。E-mail：xzw2868@163.com。

通讯作者：师伟杰(1977—)，男(汉族)，甘肃省张掖市人，本科，高级农艺师，从事农业技术推广工作。E-mail：280357073@qq.com。

respectively. The contents of organic matter, CEC, available N, available P and available potassium increased by 35.01%, 21.64%, 0.63%, 2.26% and 2.09%, respectively. Fungi, bacteria and actinomycetes increased by 93.97%, 35.35% and 20.78%, respectively. Invertase, urease, phosphatase and polyphenol oxidase increased by 61.82%, 44.64%, 40.00% and 64.29%, respectively. And maize yield and fertilization profits increased by 39.23% and 31.82%, respectively. [Conclusion] The application of multi-functional soil conditioner could improve the physical, chemical and biological properties of brown desert soil and improve the yield of maize.

Keywords: multi-functional soil conditioner; brown desert soil; effect of modified

棕漠土是在漠境极端干旱气候条件下发育的一种地带性土壤,主要分布在甘肃省河西内陆灌区的洪积扇下缘平原地带,面积约 2.93×10^6 hm^2[1]。近年来,甘肃河西内陆灌区制种玉米种植面积常年稳定在 1.20×10^5 hm^2[2],分布在河西内陆绿洲灌区的棕漠土被农户开垦后种植了制种玉米。目前存在的主要问题是:土壤质地粗,沙粒多,黏粒少,有机质含量低,保水肥能力弱,制种玉米产量低而不稳,影响了制种农户和种子公司的经济效益[3]。

目前,有关土壤改良剂的研究文献较多,吴淑芳等[4]使用聚丙烯酸、脲醛树脂和聚乙烯醇 3 种改良剂后,土壤容重均有下降;张继娟等[5]在土壤种施用不同剂量的聚丙烯酰胺后,土壤容重显著下降;汪德水等[6]在土壤中施用沥青乳剂和 PAM 后,减少了土面水分蒸发,提高了水分利用效率;巫东堂等[7]在土壤中施用沥青乳剂后,水分利用率提高 32.3%,耗水系数降低 24.6%;郭和蓉等[8-9]在土壤中施用营养型土壤改良剂后,活化了酸性土壤中的磷和钾,提高了养分利用率;冯浩等[10]在土壤中施用聚丙烯酸、聚乙烯醇、脲醛树脂 3 种聚合物类改良剂后,土壤侵蚀量减少 58%以上;周恩湘等[11]在滨海盐化潮土上施用沸石后,提高了土壤的盐基交换能力,使土壤中可溶性盐分减少,土壤的阳离子交换量增大;张晓海等[12]在土壤中施用土壤改良剂后,可在短时间内迅速增加烟田土壤微生物的数量;邢世和等[13]通过田间试验表明,用土壤改良剂处理过的土壤,土壤微生物数量、土壤酶的活性及烤烟产量均比对照有不同程度提高。王志玉等[14]施用土壤改良剂(MDM)后,水稻单株鲜重和干重分别高于对照 120.30%和 112.38%。

综上所述,土壤改良剂研究较多的主要是聚丙烯酸、脲醛树脂、聚乙烯醇、聚丙烯酰胺、沥青乳剂、PAM、营养型土壤、脲醛树脂、沸石、土壤改良剂(MDM)等单一改良剂,而多功能土壤改良剂对河西内陆灌区棕漠土改良效果的研究尚未见报道。

本文拟针对上述存在的问题,采用作物营养平衡施肥理论和改土培肥理论,选择有机生态肥、保水剂[15-16]、制种玉米专用肥和聚乙烯醇为原料,采用正交试验方法确定原料间最佳配合比例,合成多功能土壤改良剂,并进行田间验证试验,旨在对多功能土壤改良剂的改土效果做出确切的评价。

1　材料与方法

1.1　试验材料

1.1.1　试验地概况　试验于 2011—2016 年在甘肃省酒泉市肃州区东洞乡棕漠土上进行,试验地海拔 1 465 m,98°41′68″E,39°35′90″N,年均温 7.3 ℃,年均降水量 86 mm,年均蒸发量 2 800 mm,无霜期 150 d。土壤类型是棕漠土,0—20 cm 土层含有机质 13.49 g/kg,碱解氮 54.24 mg/kg,速效磷 10.87 g/kg,速效钾 128.74 mg/kg,有效硼 0.43 mg/kg,有效锰 8.12 mg/kg,有效铜 1.43 mg/kg,有效锌 0.32 mg/kg,有效铁 4.50 mg/kg,有效钼 0.11 mg/kg,可溶性盐2.25 mg/kg,pH 值 8.42,土壤质地为沙壤质土,前茬作物是制种玉米。

1.1.2　试验材料　尿素(N 46%);磷酸二铵(N 18%,P_2O_5 46%);硫酸钾(K_2O 50%);硫酸锌(Zn 23%);硼酸(B 17.50%);钼酸铵(Mo 54.3%);生物菌肥(市售,有效活菌数≥20 亿个/g)改性糠醛渣[17-18](在糠醛渣中加入 4%碳酸氢铵,将 pH 值调整到 7.50,含有机碳 760.35 g/kg,全氮 0.66%,全磷 0.36%,全钾 1.18%,粒径 1～2 mm);腐熟牛粪(有机质 162.53 g/kg,全氮 0.32%,全磷 0.25%,全钾 0.16%,粒径 1～2 mm);聚乙稀醇(市售,粒径 0.05～2 mm);保水剂(市售,吸水倍率 645 g/g,粒径 1～2 mm);制种玉米专用肥(自制,将硫酸钾、尿素、磷酸二铵、硫酸锌、硼酸、钼酸铵风干质量配比按 0.507 5∶0.308 2∶0.151 1∶0.024 2∶0.006 0∶0.003 0 混合,含 N 15.42%,P_2O_5 6.95%,K_2O 25.38%,Zn 0.56%,B 0.11%Mo 0.16%);有机生态肥(自制,将改性糠醛渣、腐熟牛粪、生物菌肥风干质量配比按0.60∶0.38∶0.02 混合,含有机质 49.80%,N 0.46%,P_2O_5 0.29%,K_2O 0.76%);制种玉米品系为敦玉 328,甘肃省敦煌种业股份有限公司研究院选育。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理

(1) 多功能土壤改良剂配方筛选。2011—2012年4月26日选择有机生态肥、保水剂、制种玉米专用肥和聚乙烯醇为4种原料,每种原料设计3个梯度施用量,按正交表 $L_9(3^4)$ 设计9个处理[19],采用表中括号内的用量制成9种多功能土壤改良剂(表1)。

表1 $L_9(3^4)$正交试验设计与分析 t/hm²

试验处理	有机生态肥(施用量)编码值 A	保水剂(施用量)编码值 B	制种玉米专用肥(施用量)编码值 C	聚乙烯醇(施用量)编码值 D	产量
1	(22.50)1	(0.06)1	(0.45)1	(0.09)3	5.05^{eC}
2	(22.50)1	(0.12)2	(0.90)2	(0.06)2	6.47^{aA}
3	(22.50)1	(0.18)3	(1.35)3	(0.03)1	4.99^{eC}
4	(45.00)2	(0.06)1	(0.90)2	(0.09)3	4.64^{dC}
5	(45.00)2	(0.12)2	(1.35)3	(0.06)2	5.75^{bB}
6	(45.00)2	(0.18)3	(0.45)1	(0.03)1	5.77^{bB}
7	(67.50)3	(0.06)1	(1.35)3	(0.09)3	6.57^{aA}
8	(67.50)3	(0.12)2	(0.45)1	(0.06)2	3.66^{eD}
9	(67.50)3	(0.18)3	(0.90)2	(0.03)1	4.58^{dC}

注:同列不同大写字母为 $LSR_{0.01}$ 显著差异水平;不同小写字母为 $LSR_{0.05}$ 显著差异水平。下同。

(2) 多功能土壤改良剂经济效益最佳施用量研究。2013—2014年4月26日,依据试验1筛选的配方,将有机生态肥、保水剂、制种玉米专用肥、聚乙烯醇风干质量配比按0.978 3∶0.000 9∶0.019 6∶0.001 2混合,得到多功能土壤改良剂,经室内化验分析含有机质48.72%,N 0.75%,P_2O_5 0.42%,K_2O 1.24%,Zn 0.01%,B 0.01%,Mo 0.01%。将多功能土壤改良剂施用量梯度设计为不施肥(CK),13.80,27.60,41.40,55.20,69.00,82.80 t/hm² 共7个处理,每个处理重复3次,随机区组排列。

(3) 多功能土壤改良剂与传统化肥对比对棕漠土的改良效果。2015—2016年4月26日,在纯养分投入量相等的条件下(纯N 520.00 kg/hm²+P_2O_5 290.00 kg/hm²+K_2O 860.00 kg/hm²+Zn 9.00 kg/hm²+B 9.00 kg/hm²+Mo 9.00 kg/hm²),试验共设计3个处理:处理1,不施肥(CK);处理2,施用传统化肥(尿素0.88 t/hm²+磷酸二铵0.63 t/hm²+硫酸钾1.72 t/hm²+硫酸锌0.04 t/hm²+硼酸0.05 t/hm²+钼酸铵0.02 t/hm²);处理3,施用多功能土壤改良剂(69 t/hm²)。每个处理重复3次,随机区组排列。

1.2.2 种植方法 上述3个试验小区面积均为40 m²(8 m×5 m),每个小区四周筑埂,埂宽40 cm,埂高30 cm,试验地四周种植保护行,多功能土壤改良剂、磷酸二铵、硫酸钾、硫酸锌和钼酸铵在播种前施入0—20 cm耕作层做肥底,尿素分别在制种玉米拔节期、大喇叭口期和开花期结合灌水追施,追肥方法为穴施,播种时间为2011—2016年每年的4月26日,父母本株距22 cm,父母本行距50 cm,按照1行父本,6行母本的比例方式播种。在制种玉米拔节期、大喇叭口期、开花期、乳熟期、灌浆期各滴灌1次,每个试验小区灌水量相等。

1.2.3 测定指标与方法 制种玉米收获时分别在每个试验小区按照对角线采样方法布置5个采样点,每个样点按顺序采集10个玉米果穗,在室内测定穗粒数、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 hm² 产量进行统计分析。制种玉米收获后,分别在试验小区内按对角线布置5个采样点,采集0—20 cm耕作层土样5 kg,用四分法带回1 kg混合土样,风干后过1 mm筛供室内化验分析(土壤容重、团聚体用环刀采集原状土,未进行风干)。土壤容重采用环刀法测定;土壤总孔隙度采用计算法求得;>0.25 mm团聚体采用干筛法测定;有机质采用重铬酸钾氧化—外加热法测定;碱解氮采用扩散法测定;速效磷采用 $NaHCO_3$ 浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾采用 NH_4OAc_3 浸提—火焰光度法测定;CEC(阳离子交换量)采用草酸铵—氯化铵法测定;pH采用5∶1水土比浸提,用pH-2F数字pH计测定,饱和持水量按公式(面积×总孔隙度×土层深度)求得;毛管持水量按公式(面积×毛管孔隙度×土层深度)求得;非毛管持水量按公式(面积×非毛管孔隙度×土层深度)求得[20];微生物数量采用稀释平板法测定;脲酶测定采用靛酚比色法测定;蔗糖酶测定采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定;磷酸酶测定采用磷酸苯二钠比色法测定;多酚氧化酶测定采用碘量滴定法测定[21];边际产量按公式(每增加一个单位肥料用量时所得到的产量减前一个处理的产量)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(后一个处理施肥量减前一个处理施肥量)求得[22];多功能土壤改良剂最佳施用量按公式 $x_0=[(p_x/p_y)-b]/2c$ 求得[23];多功能土壤改良剂最佳施用量按肥料效应回归方程式 $y=a+bx+cx^2$ 求得[24]。

1.2.4　*数据处理方法*　采用 DPS 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　多功能土壤改良剂配方筛选

连续定点试验 2 a 后,于 2012 年 9 月 30 日制种玉米收获后测定数据可知(表 1),处理 7 与处理 2,差异不显著($p>0.05$),但与其他处理差异极显著($p<0.01$);处理 2 与处理 1,3,4,5,6,7,8,9 差异极显著($p<0.01$);处理 6 与处理 5 差异不显著($p>0.05$),但与处理 1,3,4,8,9 差异极显著($p<0.01$);处理 1 与处理 3 差异不显著($p>0.05$),但与处理 4,9 差异显著($p<0.05$);处理 4 与处理 9 差异不显著($p>0.05$),但与处理 8 差异极显著($p<0.01$);由此可见,处理 7(A_3 B_1 C_3 D_3)是多功能土壤改良剂最佳配方〔有机生态肥(A)67.50 t/hm^2,保水剂(B)0.06 t/hm^2,制种玉米专用肥(C)1.35 t/hm^2〕,聚乙烯醇(D)0.09 t/hm^2),即有机生态肥、保水剂、制种玉米专用肥和聚乙烯醇风干质量比分别为 0.978 3∶0.000 9∶0.019 6∶0.001 2)。

2.2　多功能土壤改良剂经济效益最佳施用量计算

连续定点试验 2 a 后,于 2014 年 9 月 30 日制种玉米收获后测试数据可知(表 2),随着多功能土壤改良剂施用量梯度的增加,制种玉米边际利润由最初的 300 元/hm^2,递减到 −600 元/hm^2。多功能土壤改良剂施用量超过 69 t/hm^2 时,边际利润出现负值。由此可见,多功能土壤改良剂适宜施用量一般为 69 t/hm^2,玉米经济效益较好。将表 2 多功能土壤改良剂施用量与制种玉米产量间的关系采用回归方程 $y=a+bx+cx^2$ 拟合,得到下列方程:

$$y=4.430\,0+0.045\,9x-0.000\,2x^2 \quad (1)$$

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。多功能土壤改良剂价格(P_x)为 220.22 元/t,2013—2014 年制种玉米市场平均价格(P_y)为 12 000 元/t,将(P_x),(P_y),回归方程的参数 b 和 c,代入经济效益最佳施用量计算公式 $x_0=[(P_x/P_y)-b]/2c$,求得多功能土壤改良剂经济效益最佳施肥量(x_0)为 68.75 t/hm^2,将 x_0 代入(1)式,求得制种玉米理论产量(y)为 6.64 t/hm^2,与田间试验处理 6 的多功能土壤改良剂施用量 69 t/hm^2 的产量 6.54 t/hm^2 基本吻合(表 2)。

表 2　多功能土壤改良剂施用量对产量和经济效益的影响

施用量/(t·hm^{-2})	产量/(t·hm^{-2})	边际产量/(t·hm^{-2})	边际产值/(10^4 元·hm^{-2})	边际成本/(10^4 元·hm^{-2})	边际利润/(10^4 元·hm^{-2})
CK(对照)	4.43^{cB}	—	—	—	—
13.80	4.93^{eA}	0.50	0.60	0.30	0.30
27.60	5.36^{dA}	0.43	0.52	0.30	0.22
41.40	5.76^{cA}	0.40	0.48	0.30	0.18
55.20	6.16^{bA}	0.38	0.46	0.30	0.16
69.00	6.54^{aA}	0.36	0.43	0.30	0.13
82.80	6.59^{aA}	0.05	0.24	0.30	−0.06

注:价格(元/t):尿素 2 000;磷酸二铵 4 000;硫酸钾 3 500;硫酸锌 4 000;硼酸 4 000;钼酸铵 5 000;改性糠醛渣 60;、腐熟牛粪 80;生物菌肥 4 000;聚乙烯醇 10 000;保水剂 4 000;有机生态肥 146.40(改性糠醛渣、腐熟牛粪、生物菌肥重量比按 0.60∶0.38∶0.02 混合);制种玉米专用肥 3 132.85(硫酸钾、尿素、磷酸二铵、硫酸锌、硼酸、钼酸铵重量比按 0.507 5∶0.308 2∶0.151 1∶0.024 2∶0.006 0∶0.003 0 混合);多功能土壤改良剂 220.22(有机生态肥、保水剂、制种玉米专用肥、聚乙烯醇风干质量比按 0.978 3∶0.000 9∶0.019 6∶0.001 2 混合);2013—2014 年制种玉米种子平均售价 12 000。下同。

2.3　多功能土壤改良剂与传统化肥对棕漠土性质的影响对比

2.3.1　*对物理性质的影响*　连续定点试验 2 a 后,于 2016 年 9 月 30 日制种玉米收获后采集耕作层 0—20 cm 土样测定结果(表 3)可知,不同处理棕漠土容重由大到小的变化顺序依次为:传统化肥>多功能土壤改良剂;孔隙度、团聚体、持水量由大到小的变化顺序依次为:多功能土壤改良剂>传统化肥。施用多功能土壤改良剂与传统化肥比较,容重降低 19.72%,差异极显著($p<0.01$);总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、团聚体、饱和持水量、毛管持水量和非毛管持水量分别增加 22.75%,22.76%,22.74%,9.50%,22.75%,22.76% 和 22.74%,差异极显著($p<0.01$)。

表3 多功能土壤改良剂与传统化肥对棕漠土物理性质的影响

试验处理	容重/(g·cm^{-3})	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	>0.25 mm团聚体>/%	饱和持水量/(t·hm^{-2})	毛管持水量/(t·hm^{-2})	非毛管持水量/(t·hm^{-2})
CK(对照)	1.45^{aA}	45.28^{bB}	24.90^{bB}	20.38^{bB}	36.04^{bB}	905.60^{bB}	498.00^{bB}	407.60^{bB}
传统化肥	1.42^{aA}	46.42^{bB}	25.53^{bB}	20.89^{bB}	36.21^{bB}	928.40^{bB}	510.60^{bB}	417.80^{bB}
多功能土壤改良剂	1.14^{bB}	56.98^{aA}	31.34^{aA}	25.64^{aA}	39.65^{aA}	1139.60^{aA}	626.80^{aA}	512.80^{aA}

2.3.2 对化学性质的影响 由表4可知,不同处理棕漠土的pH值由大到小的变化顺序依次为:传统化肥>多功能土壤改良剂;有机质、碱解氮、速效磷、速效钾和CEC由大到小的变化顺序依次为:多功能土壤改良剂>传统化肥。施用多功能土壤改良剂与传统化肥比较,pH值降低0.72%,差异不显著($p>0.05$);有机质和阳离子交换量分别增加35.01%和21.64%,差异极显著($p<0.01$);碱解氮、速效磷和速效钾分别增加0.63%,2.26%和2.09%,差异不显著($p>0.05$)。

表4 多功能土壤改良剂与传统化肥对棕漠土化学性质及有机质和速效氮磷钾的影响

试验处理	有机质/(g·kg^{-1})	碱解氮/(mg·kg^{-1})	速效磷/(mg·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})	pH值	阳离子交换量/(cmol·kg^{-1})
CK(对照)	13.49^{bB}	54.24^{bB}	10.87^{bB}	128.74^{bA}	8.42^{aA}	18.39^{bB}
传统化肥	13.51^{bB}	81.47^{aA}	11.94^{aA}	140.02^{aA}	8.39^{aA}	20.01^{bB}
多功能土壤改良剂	18.24^{aA}	81.98^{aA}	12.21^{aA}	142.95^{aA}	8.33^{aA}	24.34^{aA}

2.3.3 对微生物和酶活性的影响 由表5可知,不同处理棕漠土的微生物和酶活性由大到小的变化顺序依次为:多功能土壤改良剂>传统化肥。

施用多功能土壤改良剂与传统化肥比较,土壤中的真菌、细菌、放线菌、蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和多酚氧化酶分别增加93.97%,35.35%,20.78%,61.82%,44.64%,40.00%和64.29%,差异极显著($p<0.01$)。

表5 多功能土壤改良剂与传统化肥对棕漠土微生物和酶活性的影响

试验处理	真菌/(10^4·g^{-1})	细菌/(10^7·g^{-1})	放线菌/(10^7·g^{-1})	蔗糖酶/(mg·g^{-1}·d^{-1})	脲酶/(mg·kg^{-1}·h^{-1})	磷酸酶/(g·kg^{-1}·d^{-1})	多酚氧化酶/(ml·g^{-1})
CK(对照)	1.14^{bB}	0.99^{bB}	0.75^{bB}	2.73^{bB}	0.95^{cC}	0.20^{cC}	0.68^{bB}
传统化肥	1.16^{bB}	1.01^{bB}	0.77^{bB}	2.75^{bB}	1.12^{bB}	0.25^{bB}	0.70^{bB}
多功能土壤改良剂	2.55^{aA}	1.36^{aA}	0.93^{aA}	4.45^{aA}	1.62^{aA}	0.35^{aA}	1.15^{aA}

2.3.4 对制种玉米经济性状和效益的影响 连续定点试验2 a后,于2016年9月30日制种玉米收获后测定数据可知(表6),不同处理制种玉米穗粒数、穗粒重、百粒重、产量、增产值和施肥利润由大到小的变化顺序依次为:多功能土壤改良剂>传统化肥。施用多功能土壤改良剂与传统化肥比较,穗粒重和产量分别增加8.22%和7.05%,差异极显著($p<0.01$);百粒重增加4.84%,差异显著($p<0.05$);穗粒数增加2.28%,差异不显著($p>0.05$);增产值和施肥利润分别增加39.23%和31.82%。

表6 多功能土壤改良剂与传统化肥对制种玉米经济性状和效益的影响

试验处理	穗粒数/(粒/穗)	穗粒重/(g/穗)	百粒重/g	产量/(t·hm^{-2})	增产值/(10^{4}元·hm^{-2})	投入成本/(10^{4}元·hm^{-2})	施肥利润/(10^{4}元·hm^{-2})
CK(对照)	198.98^{bB}	55.80^{cC}	26.95^{cB}	5.02^{cC}	—	—	—
传统化肥	226.47^{aA}	66.46^{bB}	28.73^{bA}	6.10^{bB}	1.30	1.08	0.22
多功能土壤改良剂	231.64^{aA}	71.92^{aA}	30.12^{aA}	6.53^{aA}	1.81	1.52	0.29

注:价格(10^{4}元/hm^2):施用传统化肥1.08(尿素0.88 t/hm^2+磷酸二铵0.63 t/hm^2+硫酸钾1.72 t/hm^2+硫酸锌0.04 t/hm^2+硼酸0.05 t/hm^2+钼酸铵0.02 t/hm^2);施用多功能土壤改良剂1.52(69 t/hm^2)。

3 讨论与结论

3.1 讨 论

棕漠土施用多功能土壤改良剂后,土壤容重降低,总孔隙度增大,究其原因是多功能土壤改良剂含有丰富的有机质,因而增大了孔隙度,降低了容重。棕漠土施用多功能土壤改良剂后团聚体在增加,究其原因,一是多功能土壤调控剂中的聚乙烯醇是一种胶

结物质,可以把小土粒黏在一起,形成较稳定的团粒[25-27],二是多功能土壤调控剂中的有机质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,吸附了灰棕漠土中的胶结物质钙离子,有利于土壤团聚体的形成[28-30]。棕漠土施用多功能土壤改良剂后,土壤持水量在增加,分析这一结果产生的原因是多功能土壤改良剂中的保水剂是一类高分子保水剂,能在 10 min 内吸附超过自身重量 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[31]。棕漠土施用多功能土壤改良剂后,有机质和氮磷钾在增加,究其原因是多功能土壤改良剂含有丰富的有机质和氮磷钾,因而提高了土壤有机质和速效氮磷钾含量。随着多功能土壤改良剂施用量梯度的增加,土壤 pH 值在下降,其原因是多功能土壤改良剂中的糠醛渣是一种酸性废弃物,因而降低了土壤酸碱度。施用多功能土壤调控剂后,灰棕漠土微生物和酶活性有所增加,究其原因是多功能土壤改良剂含有丰富的有机质和氮、磷、钾、锌、钼元素,为微生物的生长发育提供了养分,促进了微生物的繁殖和生长发育,提高了土壤酶的活性[32]。

3.2　结　论

影响制种玉米产量的原料依次是:制种玉米专用肥＞有机生态肥＞保水剂和聚乙烯醇;多功能土壤改良剂最佳配方比为:有机生态肥(0.978 3):保水剂(0.000 9):制种玉米专用肥(0.019 6):聚乙烯醇(0.001 2)。多功能土壤改良剂施用量与制种玉米间的回归方程为 $y=4.430\ 0+0.045\ 9\ x-0.000\ 2\ x^2$,多功能土壤改良剂经济效益最佳施用量为 68.75 t/hm^2,制种玉米理论产量为 6.64 t/hm^2。施用多功能土壤改良剂与传统化肥比较,棕漠土容重和 pH 值降低 19.72%和0.72%;总孔隙度、团聚体和饱和持水量分别增加22.75%,9.50%和 22.75%;有机质、阳离子交换量(CEC)、碱解氮、速效磷和速效钾分别增加 35.01%,21.64%,0.63%,2.26%和 2.09%;真菌、细菌和放线菌分别增加93.97%,35.35%和 20.78%;蔗糖酶、脲酶、磷酸酶和多酚氧化酶分别增加 61.82%,44.64%,40.00%和 64.29%;制种玉米增产值和施肥利润分别增加39.23%和 31.82%。在甘肃省河西内陆灌区的棕漠土上施用多功能土壤改良剂,改善了土壤理化性质和生物学性质,提高了土壤酶活性及持水量和制种玉米产量。

[参　考　文　献]

[1] 秦嘉海,吕彪.河西土壤与合理施肥[M].甘肃 兰州:兰州大学出版社,2001:150-155.

[2] 闫斌杰,何新春,候格平.甘肃制种玉米生产现状及发展策略展望[J].中国制种玉米,2012,34:(1):73-74.

[3] 张文军.影响河西内陆绿洲灌区制种玉米产业发展的因素及解决对策[J].中国制种玉米,2016,38:(3):77-80.

[4] 吴淑芳,吴普特,冯浩.高分子聚合物对土壤物理性质的影响研究[J].水土保持通报,2003,23(1):42-45.

[5] 张继娟,李绍才,魏世强,等.喷射条件下 PAM 特性参数对土壤物性的影响[J].西南农业大学学报,2006,28(3):381-385.

[6] 汪德水,张美荣,典雄.乳化沥青作为土壤结构改良剂改土保水增产的研究[J].石油沥青,1990(3):21-21.

[7] 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):21-23.

[8] 郭和蓉,陈琼贤,郑少玲,等.营养型土壤改良剂对酸性土壤中磷的活化及制种玉米吸磷的影响[J].华南农业大学学报:自然科学版,2004,25(1):29-32.

[9] 郭和蓉,陈琼贤,郑少玲,等.营养型土壤改良剂对酸性土壤中钾的调节及制种玉米吸钾量的影响[J].土壤肥料,2004(2):20-22.

[10] 冯浩,吴淑芳,吴普特.高分子聚合物对土壤物理及坡面产流产沙特征的影响[J].中国水土保持科学,2006,4(1):15-19.

[11] 周恩湘,姜淳,霍习良,等.沸石改良滨海盐化潮土的研究[J].河北农业大学学报,1991,14(1):14-18.

[12] 张晓海,邵丽,张晓林.秸秆及土壤改良剂对植烟土壤微生物的影响[J].西南农业大学学报, 2002,24(2):169-172.

[13] 邢世和,熊得中,周碧青.不同土壤改良剂对土壤生化性质与烤烟产量的影响[J].土壤通报,2005,36(1):72-75.

[14] 王志玉,刘作新.土壤改良剂 MDM 对草甸碱土和水稻生长的影响[J].干旱地区农业研究,2004,22(2):31-34.

[15] 黄占斌,万惠娥,邓西平,等.保水剂在改良土壤和作物抗旱节水中的效应[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(4):52-55.

[16] 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.

[17] 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.

[18] 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.

[19] 明道绪.田间试验与统计分析[M].北京:科学出版社,2014:185-188.

[20] 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.

(下转第 68 页)

101.
[5] Chen Liding, Gong Jie, Fu Bojie, et al. Effect of land use conversion on soil organic carbon sequestrationin the loess hilly area, loess plateau of China[J]. Ecological Research, 2007,22:641-648.
[6] Green D M, Oleksyszyn M. Enzyme activities and carbon dioxide flux in a sonoran desert urban ecosystem[J]. Soil Science Society of America Journal, 2002,66:2002-2008.
[7] Boerner R E J, Brinkman J A, Smith A. Seasonal variations in enzyme activity and organic carbon in soil of a burned and unburned hardwood forest[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005,37:1419-1426.
[8] Zhang Yongmei, Zhou Guoyi, Wu Ning, et al. Soil enzyme activity changes in different aged spruce forest of the east Qinghai Tibetan plateau[J]. Pedosphere, 2004, 14(3):305-312.
[9] Balota E L, Kanashiro M, Filho A C. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems[J]. Brazilian Journal of Microbiology, 2004,35(4):300-306.
[10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2010:30-156.
[11] 张丽琼,郝明德,藏逸飞,等. 苜蓿和小麦长期连作对土壤酶活性及养分的影响[J]. 应用生态学报,2014,25(11):3191-3196.
[12] 王倩,安贵阳,李世芳,等. 不同覆盖模式对旱地苹果园土壤养分、微生物和酶活性的影响[J]. 西北农业学报, 2015,24(7):69-74.
[13] 赵方杰. 洛桑试验站的长期定位试验:简介及体会[J]. 南京农业大学学报,2012,35(5):147-153.
[14] 王俊华,尹睿,张华勇,等. 长期定位施肥对农田土壤酶活性及相关因素的影响[J]. 生态环境,2007,16(1): 191-196.
[15] 颜慧,钟文辉,李忠佩,等. 长期施肥对红壤水稻土磷脂脂肪酸特性和酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2008, 19(1):71-75.
[16] 周海霞,周向军,许禔森. 不同土壤利用类型对微生物的影响[J]. 安徽农业科学,2008,36(15):6415-6417.
[17] Wu Minna, Qin Hongling, Chen Zhe, et al. Effect of long-term fertilization on bacterial composition in rice paddy soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2011,47(4):397-405.
[18] 徐永刚,宇万太,马强,等. 长期不同施肥制度对潮棕壤微生物生物量碳、氮及细菌群落结构的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(8):2078-2085.

(上接第61页)

[21] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社, 1986.
[22] 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.
[23] 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.
[24] 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.
[25] 周虎,吕贻忠,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.
[26] 张琪,方海兰,史志华,等. 侵蚀条件下土壤性质对团聚体稳定性影响的研究进展[J]. 林业科学,2007,43(10):77-82.
[27] 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.
[28] 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.
[29] 吴增芳. 土壤结构改良剂[M]. 北京:科学出版社, 1976:24-36.
[30] 孙云秀,张奇珠. 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,1988,5(3):51-52.
[31] 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.
[32] 张春梅,闫治斌,秦嘉海,等. 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[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(4):140-144.