盐碱土改良材料对草甸盐土理化性质与玉米生产效益的影响

闫治斌[1]，秦嘉海[2]，王爱勤[3]，赵芸晨[2]，肖占文[2]

(1. 甘肃敦煌种业玉门市种子公司，甘肃 酒泉 735000；2. 河西学院，甘肃 张掖 734000；
3. 中国科学院 兰州化学物理研究所，甘肃 兰州 731000)

摘　要：选取河西走廊的草甸盐土区域，进行了盐碱土改良材料对草甸盐土理化性质和玉米产量及经济效益的影响研究。结果表明，复合型盐碱土改良材料因素间最佳组合为：$A_2B_3C_3D_1E_2$（硫酸铝 800 g，硫磺 900 g，石膏 4 500 g，糠醛渣 800 g，聚乙稀二醇 60 g）。盐碱土改良材料施用量与草甸盐土总孔隙度、团粒结构、自然含水量、脱盐率呈正相关，与容重、pH 值、EC 和全盐含量呈负相关。盐碱土改良材料由 0.61 t/hm^2，增加到 1.22 和 1.85 t/hm^2，玉米幼苗生长发育、玉米的植物学性状随着改良材料施用量的增大呈上升趋势。盐碱土改良材料施用量由 0.61 t/hm^2，增加到 1.22 和 1.85 t/hm^2 时，玉米经济性状和产量随着盐碱土改良材料施用量的增加而增加。当盐碱土改良材料用量超过 1.85 t/hm^2 时，玉米经济性状和产量随着盐碱土改良材料施用量的增加而降低。盐碱土改良材料施用量为 1.85 t/hm^2 时，边际产值、边际利润、增产值、利润、产投比达到最大值。盐碱土改良材料适宜用量为 1.83 t/hm^2 时，玉米的预测产量为6.29 t/hm^2，计算结果与田间试验处理 4 结果相吻合。

关键词：土壤改良材料；草甸盐土；土壤理化性质；玉米

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2011)02-0122-06　　**中图分类号**：S156.4

Effect of Improvement Materials on Meadow Saline Soil Properties and Corn Productive Benefits

YAN Zhi-bin[1], QIN Jia-hai[2], WANG Ai-qin[3], ZHAO Yun-chen[2], XIAO Zhan-wen[2]

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

Abstract: A number of saline soil improvement materials were tested in meadow saline soils of the Hexi Corridor in terms of soil physiochemical properties, corn yield and economic effects. The results show that composite $A_2B_3C_3D_1E_2$ (aluminum sulfate 800 g, sulfur 900 g, gypsum 4 500 g, furfural residue 800 g, and polyethylene glycol 60 g) is the best saline-alkali soil improvement materials with consideration of all factors. The application amount of each improvement material was positively correlated with total porosity, aggregate composition, natural water storage, and the desalting rate, and was negatively correlated bulk density, pH, EC, and total salt content. With the application rates of 0.61, 1.22, 1.85 t/hm^2, the seedling growth, botanical characteristics and yield of corn were improved correspondingly. With application rates greater than 1.85 t/hm^2, the efficiency of saline improvement materials decreased. The marginal production value, marginal profit, production increase, profit, and the ratio of profit to input reached the maximum values with the application rate of 1.85 t/hm^2. Saline soil improvement material suitable dosage of 1.83 t/hm^2, the corn yield forecast 6.29 t/hm^2, and field trial results was consistent with the 4th treatment.

Keywords: soil improvement materials; meadow saline soil; soil physico-chemical; corn

收稿日期：2010-08-23　　**修回日期**：2010-09-25

资助项目：甘肃科技支甘项目“甘肃河西灌区制种玉米多功能复混肥产品的生产与示范”(1011JKCF180)

作者简介：闫治斌(1966—)，男(汉族)，甘肃省酒泉市人，硕士，高级农艺师，主要从事盐碱土改良与培肥研究工作。E-mail：yzb13909379099@163.com。

通信作者：秦嘉海(1954—)，男(汉族)，甘肃省张掖市人，学士，教授，主要从事盐碱土改良与培肥研究工作。E-mail：qinjiahai123@163.com。

1　研究背景

河西走廊地区分布着 1.21×10^6 hm^2 盐渍化土地[1],盐分组成主要由 Na^+,Ca^{2+},Mg^{2+} 这 3 种阳离子和 Cl^-,SO_4^{2-},HCO_3^-,CO_3^{2-} 这 4 种阴离子组成了 NaCl,$CaCl_2$,$MgCl_2$,Na_2SO_4,$CaSO_4$,$MgSO_4$,$NaHCO_3$,$Ca(HCO_3)_2$,$Mg(HCO_3)_2$,Na_2CO_3,$CaCO_3$,$MgCO_3$ 共 12 种盐类,各种盐类对植物的毒害效应依次为:$Na_2CO_3>NaHCO_3>NaCl>CaCl_2>MgSO_4>Na_2SO_4$[2-3]。有关盐渍化的改良前人做了大量的研究工作[4-20],其中,水利工程措施改良盐渍化效果较好,但存在的问题是河西走廊淡水资源匮乏,难以大面积推广;盐生植物改良是一个发展方向,但盐生植物的培育难度较大且时间长。化学措施改良盐渍化是一项重要的措施,但以往只注重单一改良剂对盐渍化土地的改良效果。因此,研究和开发复合型盐渍化改良材料是本研究的关键所在。本试验采用酸碱中和原理、离子交换原理、土壤结构改良原理,将聚乙稀二醇[21-24],与糠醛渣[25-27]、硫酸铝、硫磺、石膏按比例组合成复合型盐碱土改良材料,利用聚乙烯二醇与土壤颗粒粘合形成团粒结构,硫磺降低盐碱土 pH 值、糠醛渣络合土壤成盐离子,用 Al^{3+} 和 Ca^{2+} 置换盐碱土中的 Mg^{2+} 和 Na^+ 离子,使盐基离子随灌溉水带到土壤深处,降碱脱盐、迅速解除盐分对植物的毒害作用,达到改良土壤的目的。

2　材料与方法

2.1　试验材料

试验于 2008—2009 年在甘肃省张掖市甘州区三闸乡高寨村进行,土壤类型是草甸盐土[28],耕层 0—20 cm 土壤有机质含量 7.14 g/kg,碱解 N 32.21 mg/kg,速效 P 4.36 mg/kg,速效 K 146.54 mg/kg,pH 值 8.46,全盐 6.83 g/kg。参试材料是糠醛渣,含有机质 66%～70%,腐殖酸 11.63%,全氮 0.61%,全磷 0.36%,全钾 1.18%,pH 值为 2.1,粒径 1～2 mm;硫酸铝〔$Al_2(SO_4)_3$〕,含 Al_2O_3 15.90%,粒径0.5～1 mm;硫磺,含 S 95%,粒径 0.5～1 mm;熟石膏($CaSO_4\,1/2H_2O$),含 Ca 22.50%,含 S 20.70%,粒径 0.5～1 mm;聚乙稀二醇,分子质量为 5 500～7 500,比重 0.21～0.30 g/cm^3,粒径 1～2 mm,天津市光复精细化工研究所产品。参试玉米品种是郑单 958(郑 58×昌 7-2)。

2.2　试验方法

2.2.1　盐碱土改良材料配方的筛选　选用硫酸铝、硫磺、石膏、糠醛渣、聚乙稀二醇为 5 个因素,每个因子设计 3 个水平,按正交表 $L_9(3^5)$ 设计 9 个处理(表 1),按表 1 称取括号内各种材料混合均匀,按试验小区面积分布称量每个处理施用量撒施地表,灌水后浅耕,将盐碱土改良材料翻入 20 cm 土层。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,播种时间 2008 年 4 月 26 日播种,株距 25 cm,行距 50 cm,出苗后第 7 d 测定玉米地上部分鲜重和干重,通过各因素间的极差(R)和 T 值分析后,组成复合型盐碱土改良材料配方。

2.2.2　盐碱土改良材料对土壤理化性质和玉米产量及经济效益的影响　将筛选的盐碱土改良材料配方(硫酸铝、硫磺、石膏、糠醛渣、聚乙稀二醇按 800∶900∶3 000∶800∶60)按比例混合均匀,盐碱土改良材料施用量共设 6 个处理,处理 1,CK(对照) 0.00 t/hm^2;处理 2,0.61 t/hm^2;处理 3,1.22 t/hm^2;处理 4,1.83 t/hm^2;处理 5,2.44 t/hm^2;处理 6,3.05 t/hm^2。每个处理重复 3 次,随机区组排列。盐碱土改良材料在玉米播种前撒施地表,灌水 900 m^3/hm^2 对盐基离子进行淋洗后浅耕播种。

表 1　$L_9(3^5)$ 正交试验设计

试验处理	A(硫酸铝)	B(硫磺)	C(石膏)	D(糠醛渣)	E(聚乙稀二醇)
1=$A_1B_1C_3D_2E_1$	1 (400)	1 (300)	3 (4 500)	2 (1 600)	1 (30)
2=$A_1B_2C_1D_1E_3$	1 (400)	2 (600)	1 (1 500)	1 (800)	3 (90)
3=$A_1B_3C_2D_3E_2$	1 (400)	3 (900)	2 (3 000)	3 (2 400)	2 (60)
4=$A_2B_1C_2D_1E_2$	2 (800)	1 (300)	2 (3 000)	1 (800)	2 (60)
5=$A_2B_2C_3D_3E_3$	2 (800)	2 (600)	3 (4 500)	3 (2 400)	3 (90)
6=$A_2B_3C_1D_2E_1$	2 (800)	3 (900)	1 (1 500)	2 (1 600)	1 (30)
7=$A_3B_1C_1D_3E_3$	3 (1 200)	1 (300)	1 (1 500)	3 (2 400)	3 (90)
8=$A_3B_2C_2D_2E_1$	3 (1 200)	2 (600)	2 (3 000)	2 (1 600)	1 (30)
9=$A_3B_3C_3D_1E_2$	3 (1 200)	3 (900)	3 (4 500)	1 (800)	2 (60)

注:括号内数据单位为:kg/hm^2。

试验小区面积为 32 m^2(8 m×4 m),每个小区四周筑埂,埂宽为 40 cm,埂高为 30 cm,播种时间 2009 年 4 月 20 日,株距 25 cm,行距 50 cm。出苗后第 7 d 测定玉米地上鲜重和干重,玉米收获时,分别在试验小区内随机采 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产(t/hm^2)进行统计分析。玉米收获后在田间试验小区内按"S"形布点,采集耕层(0—20 cm)土样 4 kg,用四分法带回 1 kg 混合土样室内风干测定土壤理化性质(土壤容重、团粒结构采原状土)。

2.3 测定项目与方法

土壤容重(g/cm^3)按公式:环刀内湿土的质量/(100+自然含水量)求得;总孔隙度(%)按公式:(土壤密度-土壤容重)/土壤密度×100 求得;>0.25 mm 团粒结构采用约尔得法;自然含水量(%)按公式:(湿土重-烘干土重)/烘干土重×100 求得;土壤 pH 采用 5∶1 水土比浸提,用 pH-2F 数字 pH 计测定;土壤电导率采用 DDS-11 型电导仪测定。土壤全盐采用电导法测定。将玉米幼苗地上部分鲜重在 105 ℃烘箱杀青 30 min,80 ℃烘干至恒重测定干重。

2.4 数据统计方法

边际产量按后一个处理产量减去前一个处理产量求得;边际产值按边际产量乘以产品价格求得;边际施肥量按后一个处理施肥量减去前一个处理施肥量求得;边际成本按边际施肥量乘以肥料价格求得;边际利润按边际产值减去边际成本求得;肥料投资效率按施肥利润除以施肥成本求得。经济性状和产量采用多重比较,LSR 检验。应用经济学原理进行增产效应及经济效益分析,依据经济效益最佳施用量计算公式:$x_0=[(P_x/P_y)-b]/2c$ 求得盐碱土改良材料适宜用量(x_0);依据回归方程式:$y=a+bx-cx^2$,求得盐碱土改良材料适宜用量时的玉米预测产量(y)。

3 结果分析

3.1 盐碱土改良材料配方的确定

从表 2 计算结果可以看出,因素间的效应(R)顺序为:E>D>B>C>A,说明影响玉米幼苗地上部分干重因素依次为:聚乙稀二醇>糠醛渣>硫磺>石膏>硫酸铝。比较各因素不同水平的 T 值,可以看出,$T_{B_3}>T_{B_2}>T_{B_1}$ 说明随着硫磺用量的增加,幼苗地上部分干重在增加。$T_{A_2}>T_{A_3}>T_{A_1}$,$T_{C_2}>T_{C_3}>T_{C_1}$,$T_{E_2}>T_{E_3}>T_{E_1}$,说明硫酸铝、石膏、聚乙烯二醇用量大于 800,3 000 和 60 kg/hm^2 后,玉米幼苗地上部分干重又随硫酸铝、石膏、聚乙烯二醇用量的增大而降低。$T_{D_1}>T_{D_3}>T_{D_2}$,说明糠醛渣用量大于 800 kg/hm^2 后,玉米幼苗地上部分干重又随糠醛渣用量的增大而降低。经 T 值分析可以看出,因素间最佳组合是:$A_2B_3C_2D_1E_2$,即硫酸铝、硫磺、石膏、糠醛渣、聚乙稀二醇重量比按 800∶900∶3 000∶800∶60 混合后组成盐碱土改良材料配方。

表 2 $L_9(3^5)$正交试验分析

试验处理	A(硫酸铝)	B(硫磺)	C(石膏)	D(糠醛渣)	E(聚乙稀二醇)	地上部分干重/g
1=$A_1B_1C_3D_2E_1$	1	1	3	2	1	0.48
2=$A_1B_2C_1D_1E_3$	1	2	1	1	3	1.01
3=$A_1B_3C_2D_3E_2$	1	3	2	3	2	1.07
4=$A_2B_1C_2D_1E_2$	2	1	2	1	2	1.01
5=$A_2B_2C_3D_3E_3$	2	2	3	3	3	1.03
6=$A_2B_3C_1D_2E_1$	2	3	1	2	1	0.58
7=$A_3B_1C_1D_3E_3$	3	1	1	3	3	0.19
8=$A_3B_2C_2D_2E_1$	3	2	2	2	1	0.69
9=$A_3B_3C_3D_1E_2$	3	3	3	1	2	1.61
T_1	2.26	1.19	1.59	3.63	1.45	7.67(T)
T_2	2.62	2.73	2.77	1.45	3.75	
T_3	2.30	3.26	2.28	2.10	2.04	
R	0.36	2.07	1.23	2.18	2.30	

3.2 材料施用量对草甸盐土物理性质的影响

据 2009 年 9 月 28 日测定结果可以看出,盐碱土改良材料施用量与草甸盐土总孔隙度呈正相关,回归方程为:$y=40.102\ 8+5.241\ 3x$,相关系数(r)为 0.990 3,与土壤容重呈负相关,回归方程为:$y=1.587\ 3-0.138\ 8x$,相关系数(r)为 -0.990 2。盐碱土改良材料施用量为 3.05 t/hm^2 时,与 CK 比较,草甸盐土总孔隙度增加了 15.85%,容重降低了 0.42 g/cm^3。分析这一结果产生的原因是盐碱土改良材料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。盐碱土改良材料施用量与草甸盐土团粒结构呈极显著的正相关,其回归方程为:$y=25.528\ 1+7.603\ 1x$,相关系数(r)为 0.953 6,盐碱土改良材料施用量 3.05 t/hm^2,草甸盐土团粒结构比 CK 增加了 24.99%,分析这一结果产生的原因,一是盐碱土改良材料中的聚乙烯醇是一种胶结物质[29],可以把小土粒粘在一起,形成较稳定的团粒。二是盐碱土改良材料中的糠醛渣在土壤微生物的作用下合成了腐殖质,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,吸附了草甸盐土中的 Ca^{2+},Ca^{2+} 是一种胶结物质有利于土壤团粒结构的形成。2009 年 6 月 28 日每个处理浇水 900 m^3/hm^2,2009 年 7 月 3 日每个处理按"S"形布点,采集耕层(0—20 cm)土样 3 份,测定自然含水量,从测定结果表明可以看出,盐碱土改良材料施用量与草甸盐土自然含水量呈正相关,回归方程为:$y=56.528\ 7+15.108\ 7x$,相关系数(r)为 0.983 7,盐碱土改良材料施用量 3.05 t/hm^2 时,草甸盐土自然含水量比 CK 增加了 46.08 g/kg,分析这一结果产生的原因是盐碱土改良材料中的聚乙烯二醇是一种亲水胶体[30],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 3)。

3.3　材料施用量对草甸盐土化学性质的影响

据 2009 年 9 月 28 日测定结果可以看出,盐碱土改良材料施用量与草甸盐土 pH,EC,全盐呈负相关,回归方程分别为:$y=8.408\ 1-0.033\ 7x$,$y=12.440\ 9-2.999\ 1x$,$y=6.668\ 9-0.842\ 3x$,相关系数(r)分别是 −0.991 1,−0.993 4,−0.985 8。盐碱土改良材料施用量为 3.05 t/hm^2 时,与 CK 比较,草甸盐土 pH,EC,全盐分别降低了 0.10,7.84 mS/cm 和 6.28 g/kg。盐碱土改良材料施用量与草甸盐土脱盐率呈正相关,其回归方程为:$y=4.956\ 5+11.170\ 9x$,相关系数(r)是 0.982 2。

盐碱土改良材料施用量由 0.61 t/hm^2,增加到 1.22,1.85,2.44,3.05 t/hm^2 时,脱盐率依次为 10.10%,19.03%,27.23%,34.40%,36.46%。分析这一结果产生的原因是盐碱土改良材料中的高价 Al^{3+} 置换了土壤胶体吸附的盐基离子,使其处于游离状态随灌溉水将盐分淋溶。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　盐碱土改良材料施用量对草甸盐土理化性质的影响

材料用量/(t·hm^{-2})	土壤容重/(g·cm^{-3})	总孔隙度/%	含水量/(g·kg^{-1})	>0.25 mm 团粒结构/%	pH 值	EC/(mS·cm^{-1})	全盐/(g·kg^{-1})	脱盐率/%
0.00	1.56^{fC}	41.13^{fEF}	60.12^{fF}	21.39^{fF}	8.41^{aA}	12.26^{fF}	6.83^{fF}	—
0.61	1.52^{eC}	42.64^{eE}	65.45^{eE}	32.81^{eE}	8.39^{abA}	11.12^{eE}	6.14^{eE}	10.10
1.22	1.42^{dB}	46.42^{dCD}	71.83^{dD}	37.28^{dD}	8.36^{bcA}	8.45^{dD}	5.53^{dCD}	19.03
1.85	1.36^{cB}	48.68^{cC}	80.73^{cC}	40.97^{cC}	8.35^{cdA}	6.75^{cC}	4.97^{cC}	27.23
2.44	1.25^{bA}	52.83^{bB}	93.39^{bB}	44.06^{bB}	8.32^{beA}	5.27^{bB}	4.48^{bB}	34.40
3.05	1.14^{aA}	56.98^{aA}	106.20^{aA}	46.38^{aA}	8.31^{eA}	4.42^{a}	4.34^{aA}	36.46

注:大写字母为 LSR0.01,小写字母为 LSR0.05 水平显著差异。下同。

3.4　材料施用量对玉米幼苗生长发育的影响

据 2009 年 5 月 5 日玉米出苗 7 d 测定结果可以看出,盐碱土改良材料施入土壤后,玉米幼苗生长发育发生了明显的变化,盐碱土改良材料由 0.61 t/hm^2,增加到 1.22 和 1.85 t/hm^2,玉米幼苗生长发育随着盐碱土改良材料施用量的增加呈上升趋势,其中施用量 1.85 t/hm^2,玉米幼苗生长发育显著和极显著高于其它处理。由此可见,盐碱土改良材料用量 1.85 t/hm^2 时,可显著提高玉米幼苗的生长发育。当盐碱土改良材料用量超过 1.85 t/hm^2 时,对幼苗生长发育有抑制作用。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　盐碱土改良材料施用量对玉米植物学性状及经济性状和产量的影响

材料用量/(t·hm^{-2})	株高/cm	茎粗/mm	地上干重/(g·plant^{-1})	穗粒数/粒	穗粒重/g	百粒重/g	产量/(t·hm^{-2})	增产量/(t·hm^{-2})
0.00	16.84^{fF}	2.78^{eE}	1.52^{fF}	262.49^{fF}	69.04^{fF}	26.35^{efF}	5.50^{fF}	—
0.61	23.14^{bcBC}	4.96^{cC}	2.80^{cC}	291.66^{deDE}	85.20^{eE}	29.28^{bcC}	5.70^{deDE}	0.20
1.22	24.61^{bB}	5.87^{bB}	3.09^{bB}	300.69^{bcBC}	89.84^{cC}	29.88^{abAB}	5.90^{bcBC}	0.40
1.85	26.21^{aA}	6.67^{aA}	4.69^{aA}	309.99^{aA}	93.52^{aA}	30.18^{aA}	6.30^{aA}	0.80
2.44	22.98^{cdCD}	4.08^{cC}	2.42^{dCD}	301.58^{bB}	91.41^{bB}	28.65^{cdCD}	6.00^{bAB}	0.50
3.05	19.34^{eE}	3.09^{dD}	2.14^{eDE}	294.10^{dD}	88.41^{cdCD}	27.12^{deDE}	5.80^{cdCD}	0.30

3.5 材料施用量对玉米经济性状和产量的影响

2009 年 10 月 8 日玉米收获后，将小区产量折合成单产统计分析可以看出，盐碱土改良材料施用量由 0.61 t/hm^2，增加到 1.22 和 1.85 t/hm^2 时，玉米经济性状和产量随着盐碱土改良材料施用量的增加而增加。当盐碱土改良材料用量超过 1.85 t/hm^2 时，玉米经济性状和产量随着盐碱土改良材料施用量的增加而降低。由此可见，盐碱土改良材料施用量为 1.85 t/hm^2 时，可显著提高玉米经济性状和产量。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)。

3.6 改良材料对玉米增产效应及经济效益分析

采用经济学原理进行增产效应及经济效益分析可以看出[31]，盐碱土改良材料施用量 1.85 t/hm^2 时，边际产值、边际利润、增产值、利润、产投比达到最大值(表 5)。将盐碱土改良材料施用量与玉米产量间的关系，采用一元二次回归方程：$y=a+bx-cx^2$ 拟合，得到的回归方程为：$y=5.50+0.378\ 9x-0.028\ 9x^2$，对回归方程进行显著性测验，$F=6.89^{**}$，$>F_{0.01}=4.68$，$r=0.944\ 0^{**}$，说明回归方程拟合良好。盐碱土改良材料价格($P_x$)为 0.68 元/kg，玉米价格($P_y$)为 2.50 元/kg，将($P_x$)，($P_y$)和回归方程中的 b 和 c，代入经济效益最佳施用量计算公式 $x_0=[(P_x/P_y)-b]/2c$[14]，求得盐碱土改良材料适宜用量(x_0)为 1.83 t/hm^2，将 x_0 代入回归方程 $y=5.50+0.378\ 9x-0.028\ 9x^2$，求得玉米的预测产量($y$)为 6.29 t/hm^2，计算结果与田间试验处理 4 结果相吻合，说明试验结果在生产实践中具有应用价值。

表 5 盐碱土改良材料施用量对玉米增产效应及经济效益的影响分析

材料用量/(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})	增产值/(元·hm^{-2})	投入成本/(元·hm^{-2})	利润/(元·hm^{-2})	产投比
0.00	5.50^{fF}	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.61	5.70^{deDE}	0.2	0.2	500.0	414.8	85.2	500.0	414.8	85.2	1.21
1.22	5.90^{bcBC}	0.4	0.2	500.0	414.8	85.2	1 000.0	829.6	170.4	1.16
1.85	6.30^{aA}	0.8	0.4	1 000.0	414.8	585.2	2 000.0	1 258.0	742.0	1.59
2.44	6.00^{bAB}	0.5	−0.3	−750.0	414.8	−1 164.8	1 250.0	1 659.2	−409.2	0.75
3.05	5.80^{cdCD}	0.3	−0.2	−500.0	414.8	−914.8	750.0	2 074.0	−1 324.0	0.36

注：价格：硫酸铝 900 元/t；硫磺 1 200 元/t；石膏 400 元/t；糠醛渣 100 元/t；聚乙稀二醇 13 000 元/t；将硫酸铝、硫磺、石膏、糠醛渣、聚乙稀二醇比例按 800∶900∶3000∶800∶60 混合后，求得盐碱土改良材料价格为 687 元/t。

4 结 论

(1) 影响玉米幼苗地上部分干重因素依次为：聚乙烯二醇＞糠醛渣＞硫磺＞石膏＞硫酸铝。因素间最佳组合是：$A_2B_3C_2D_1E_2$(硫酸铝 800 g，硫磺 900 g，石膏 4 500 g，糠醛渣 800 g，聚乙稀二醇 60 g)。

(2) 盐碱土改良材料施用量与草甸盐土总孔隙度、团粒结构、自然含水量、脱盐率呈正相关，与容重、pH 值、EC 和全盐含量呈负相关。

(3) 盐碱土改良材料由 0.61 t/hm^2，增加到 1.22 和 1.85 t/hm^2，玉米幼苗生长发育随着改良材料施用量的增大呈上升趋势，当盐碱土改良材料用量超过 1.85 t/hm^2 时，对玉米幼苗生长发育有抑制作用。

(4) 盐碱土改良材料施用量由 0.61 t/hm^2，增加到 1.22 和 1.85 t/hm^2 时，玉米经济性状和产量随着盐碱土改良材料施用量的增加而增加。当盐碱土改良材料用量超过 1.85 t/hm^2 时，玉米经济性状和产量随着盐碱土改良材料施用量的增加而降低。

(5) 盐碱土改良材料施用量 1.85 t/hm^2 时，边际产值、边际利润、增产值、利润、产投比达到最大值。

(6) 盐碱土改良材料施用量与玉米产量间的回归方程为：$y=5.50+0.378\ 9x-0.028\ 9x^2$，盐碱土改良材料适宜用量为 1.83 t/hm^2 时，玉米的预测产量为 6.29 t/hm^2，计算结果与田间试验处理 4 结果相吻合。

[参 考 文 献]

[1] 金自学，张芬琴. 河西走廊水资源变化对环境生态的影响[J]. 水土保持学报，2003，17(3)：37-40.

[2] 秦嘉海，吕彪. 河西土壤与合理施肥[M]. 兰州：兰州大学出版社，2001：103-105.

[3] 扬自辉，王继和，纪永福，等. 河西走廊盐碱地治理模式研究[J]. 土壤通报，2005.(36)4：479-482.

[4] 杨海儒，宫伟光. 不同土壤改良剂对松嫩平原盐碱土理化性质的影响[J]. 安徽农业科学，2008，36(20)：8715-8716.

[5] 李秀军，李取生，王志春，等. 松嫩平原西部盐碱地特点及合理利用研究[J]. 农业现代化研究，2002，23(5)：361-364.

[6] 冯振生，闫孝贡，高玉山，等. 石膏改良苏打盐碱土研究[J]. 土壤通报，2001，6(32)：97-101.

[7] 郭继勋,姜世成,孙刚. 松嫩平原盐碱化草地治理办法的比较研究[J]. 应用生态学报,1998,9(4):425-428.
[8] 黄彦,司振江,周宙. 松嫩平原盐碱化草原治理模式的建立及其应用[J]. 黑龙江水专学报,2006,33(2):13-15.
[9] 司振江,黄彦. 苏打盐碱土改良及生态环境修复效果评价[J]. 黑龙江水专学报,2008,35(4):53-55.
[10] 姜国良,刘云,刘文文. 盐碱土壤修复材料对作物生长影响研究[J]. 青岛海洋大学学报,2007,33(4):547-548.
[11] 高玉山,朱知运,毕亚莉. 石膏改良苏打盐碱上田间定位试验研究[J]. 吉林农业科学,2003,28(6):26-31.
[12] 王宇,韩兴,赵兰坡,等. 硫酸铝对苏打盐碱上的改良作用研究[J]. 水上保持学报,2006,20(4):50-53.
[13] 杨金刚,邢尚军,马海水,等. 硫对盐上扦插杨树成活率及耐盐性生理指标的影响[J]. 东林业科技,2004(1):3-4.
[14] 刘刚,李新平,张永宏,等. 银北地区硫磺改良盐碱土初探[J]. 干旱地区农业研究,2008,26(4) : 79-82.
[15] 李海锋. 盐渍条件下作物对不同调控措施的响应研究[J]. 土壤,2002,34(1): 32-35.
[16] 杨全刚,邢尚军,刘春生. 不同改良剂组合对盐碱土化学性质及菠菜生长影响的研究[J]. 山东农业科学,2003(5):37-38.
[17] 秦嘉海,吕彪. 种植碱茅草改良河西走廊草甸盐土的研究[J]. 土壤通报,1990,21(2)57-59.
[18] 秦嘉海. 耐盐牧草籽粒苋对河西走廊草甸盐土改土培肥效应[J]. 土壤通报,2005,36(5):806-809.
[19] 秦嘉海,吕彪. 河西走廊盐土资源及耐盐牧草改土培肥效应的研究[J]. 土壤,2004,36(1):71-75.
[20] 秦嘉海. 鲁梅克斯对草甸盐土改土培肥效应研究[J]. 草业科学,2004,21(6):25-27.
[21] 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.
[22] 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.
[23] 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.
[24] 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.
[25] 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.
[26] 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.
[27] 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.
[28] 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
[29] 曾觉廷. 三种土壤结构改良剂对紫色土结构孔隙状况影响的研究[J]. 土壤通报,1993,24(6):250-252.
[30] 汪德水. 土壤结构改良剂的改上、保水、增产效果研究[J]. 土壤肥料,1990(5):9-13.
[31] 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: 136-137.

(上接第 121 页)

[参 考 文 献]

[1] 李阳兵,白晓永,邱兴春,等. 喀斯特石漠化与土地利用相关性研究[J]. 资源科学,2006,28(2):67-73.
[2] 李阳兵,白晓永,周国富,等. 中国典型石漠化地区土地利用与石漠化的关系[J]. 地理学报,2006,61(6):624-632.
[3] 熊康宁,黎平,周忠发,等. 喀斯特石漠化的遥感—GIS典型研究:以贵州省为例[M]. 北京:地质出版社,2002:17-28.
[4] 中国土地勘测规划院,国土资源部地籍管理司. GB/T21010-2007 土地利用现状分类 [S]. 北京:中国标准出版社,2007.
[5] 杨明德. 喀斯特流域结构特性及其水文效益[M]//杨明德. 喀斯特研究. 贵阳:贵州民族出版社,2003:127-136.
[6] 祝小科,朱守谦,刘济明. 乌江流域喀斯特石质山地植被自然恢复配套技术[J]. 贵州林业科技,1998,26(4):7-14,36.
[7] 中国水利水电科学研究院. SL310-2004 村镇供水工程技术规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2004.
[8] 屠玉麟. 贵州喀斯特森林的初步研究[J]. 中国岩溶,1989,7(3):282-290.
[9] 朱守谦. 茂兰喀斯特森林树种生长特点初步研究[J]. 贵州农学院学报,1995,14(1):8-16.
[10] 喻理飞,朱守谦,叶镜中,等. 人为干扰与喀斯特森林群落退化及评价研究[J]. 应用生态学报,2002,13(5):529-532.
[11] 但文红. 喀斯特峡谷农业可持续发展模式研究:以贵州花江峡谷为例[J]. 中国岩溶,1999,18(3):251-256.
[12] 熊康宁,陈起伟. 基于生态综合治理的石漠化演变规律与趋势讨论[J]. 中国岩溶,2010,29(3):50-56.
[13] 苏维词,杨华. 典型喀斯特峡谷石漠化地区生态农业模式探析:以贵州省花江大峡谷顶坛片区为例[J]. 中国生态农业学报,2005,13(4):217-220.
[14] 熊康宁,梅再美,彭贤伟,等. 喀斯特石漠化生态综合治理与示范典型研究:以贵州花江喀斯特峡谷为例[J]. 贵州林业科技,2006,34(1):5-8.
[15] 刘拓,周光辉,但新球,等. 中国岩溶石漠化:现状、成因与防治[M]. 北京:中国林业出版社,2009:1-12.
[16] 许静. 石漠化年吞噬贵州耕地 30 万亩[EB/OL]. (2005-06-17)[2010-1-21]. http://www.china.com.cn/tech/zhuanti/wyh/2008-01/16/content_9539353.htm.
[17] 袁道先. 岩溶石漠化问题的全球视野和我国的治理对策与经验[J]. 草业科学,2008,25(9):19-25.