

# 保水型专用肥对制种玉米田土壤蓄水量的影响及最佳施肥量研究

闫治斌<sup>1,2</sup>, 秦嘉海<sup>1,4</sup>, 王爱勤<sup>3</sup>, 肖占文<sup>1,4</sup>, 赵芸晨<sup>1,4</sup>, 程红玉<sup>1,4</sup>, 赵静<sup>1,4</sup>

(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:** 在甘肃省河西内陆灌区的制种玉米田, 采用田间试验方法, 研究了保水型专用肥对土壤物理性质和蓄水量的影响及制种玉米田最佳施肥量。结果表明, 影响玉米产量的因素由大到小依次为:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 > (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 > \text{糠醛渣} > \text{保水剂} > \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 因素间最佳组合为:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  600 kg/hm<sup>2</sup>,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  350 kg/hm<sup>2</sup>,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  30 kg/hm<sup>2</sup>, 保水剂 19.98 kg/hm<sup>2</sup>, 糠醛渣 15 000 kg/hm<sup>2</sup>。保水型专用肥施肥量与玉米制种田容重呈负相关关系, 与孔隙度、蓄水量、玉米植物学性质和经济性状呈正相关关系。随着保水型专用肥施用量梯度的增加, 玉米穗粒数、穗粒重、百粒重、产量在增加, 但边际产量、边际利润表现为递减, 保水型专用肥施用量在 10.00 t/hm<sup>2</sup> 的基础上再增加 2.50 t/hm<sup>2</sup>, 收益出现负值。经回归统计分析, 保水型专用肥施用量与玉米产量可用一元二次方程拟合, 经济效益最佳施肥量为 9.99 t/hm<sup>2</sup>, 玉米的理论产量为 6 715.33 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词:** 保水型专用肥; 物理性质; 土壤蓄水量; 最佳施肥量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0200-06

中图分类号: S143.6

## Effects of Water-retaining Fertilizer on Soil Water Storage Capacity and Optimal Fertilization

YAN Zhi-bin<sup>1,2</sup>, QIN Jia-hai<sup>1,4</sup>, WANG Ai-qin<sup>3</sup>,

XIAO Zhan-wen<sup>1,4</sup>, ZHAO Yun-chen<sup>1,4</sup>, CHENG Hong-yu<sup>1,4</sup>, ZHAO Jing<sup>1,4</sup>

(1. Department of Agriculture and Biologic Technology of Hexi College, Zhangye, Gansu 734000, China; 2. Gansu Dunhuang Seed Co. Ltd., Jiuquan, Gansu 735000, China;

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

4. The Provincial Key Laboratory of Characteristics Resources Utilization in Hexi Corridor, Zhangye, Gansu 734000, China)

**Abstract:** By field experiment, the effect of water retaining fertilizer on soil properties and the optimal fertilization were studied in Hexi Corridor. The result showed that the effect of factors which influenced corn yield was:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 > (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 > \text{furfural residue} > \text{water retaining fertilizer} > \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . The optimal factor combination was:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  600 kg/hm<sup>2</sup>,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  350 kg/hm<sup>2</sup>,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  30 kg/hm<sup>2</sup>, water retaining fertilizer 19.98 kg/hm<sup>2</sup>, and furfural residue 15 000 kg/hm<sup>2</sup>. Dosage of fertilizer was negatively correlated with soil bulk density, and positively correlated with porosity, water storage capacity, botany and economic properties of corn. Corn grain number, grain weight, and corn yield increased with the amount of fertilizer application, but the marginal output decreased. The regression equation of quadratic equation on fertilizer dosage and yield was provided. The optimal fertilization was 9.99 t/hm<sup>2</sup>.

**Keywords:** water retention type fertilizer; physical properties; soil water storage; best fertilizer rates

收稿日期: 2012-08-16

修回日期: 2012-11-21

资助项目: 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); 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); 甘肃高校河西走廊特色资源利用省级重点实验室项目(XZ1002)

作者简介: 闫治斌(1965—), 男(汉族), 甘肃省酒泉市人, 硕士, 研究员, 研究方向为新型肥料开发。E-mail: yzb18909379099@163.com。

通信作者: 秦嘉海(1954—), 男(汉族), 甘肃省张掖市人, 教授, 研究方向为新型肥料研发。E-mail: qinjiahai123@163.com。

甘肃省河西内陆灌区水资源丰富,光照时间长,昼夜温差大,气候干燥,天然隔离条件好,是玉米种子制种和贮藏的理想场所,近10 a来,建立了制种玉米生产基地 $1.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,产种量达 $6.5 \times 10^8 \text{ kg}^{[1]}$ 。但目前日益凸显的主要问题是河西内陆灌区蒸发量大,降水量小,水资源匮乏,制种玉米4月中旬播种时土壤自然含水量低,出苗不整齐,造成缺苗断垄,在开花期经常遇到干旱,使制种玉米不能正常授粉,结实率降低,导致制种玉米产量下降。因此,研究和开发集营养、保水为一体的制种玉米保水型专用肥成为复合肥研发的关键所在。近年来,有关复合肥研究受到了广泛关注<sup>[2-3]</sup>,有关制种玉米保水型专用肥还未见报道。针对上述存在的问题,本试验选择吸水率大的糠醛渣<sup>[4-5]</sup>,保水剂<sup>[6-7]</sup>, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 为原料,采用正交试验方法确定保水型专用肥原料最佳配方比例,合成保水型专用肥,并在甘肃省河西内陆灌区的制种玉米田上进行了验证试验。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在甘肃省张掖市甘州区甘俊镇高家庄村四社连作8 a的制种玉米田上进行,该区海拔高度为1 495 m,年均温度 $6.80 \text{ }^\circ\text{C}$ ,年均降水量116 mm,年均蒸发量1 900 mm,无霜期160 d。土壤类型是灌漠

土<sup>[8]</sup>,该地0—20 cm土层有机质含量为 $12.35 \text{ g/kg}$ ,碱解N含量为 $96.43 \text{ mg/kg}$ ,速效P含量为 $12.65 \text{ mg/kg}$ ,速效K含量为 $165.54 \text{ mg/kg}$ ,pH值为7.73,有效Zn含量为 $0.38 \text{ } \mu\text{g/g}$ 。

### 1.2 试验材料

选用甘肃民乐福民精细化工有限公司生产的保水剂,其吸水倍率为1 450 g/g,粒径1~2 mm; $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ,含N为46%, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ,含N为18%,含 $\text{P}_2\text{O}_5$ 46%; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,含Zn为23%;糠醛渣为临泽县汇隆化工有限责任公司生产,其有机质含量为76.36%,全N含量为0.55%。全P含量为0.23%,全K含量为1.18%,pH值为2.1,粒径2~3 mm。选用的玉米品系为德玉5号。

## 2 试验方法

### 2.1 保水型专用肥配方确定

2.1.1 试验设计 于2008年4月20日选择 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,保水剂,糠醛渣为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个试验处理(表1),按表1因子与水平编码括号中的数量称取各种原料混合均匀后组成9个试验处理。每个试验小区单独收获,将田间试验小区产量折合成公顷产量,采用正交试验分析方法计算出各因素不同水平的 $T$ 值和因素间效应值( $R$ ),确定因素间最佳组合,组成保水型专用肥配方。

表1  $L_9(3^5)$ 正交试验设计

试验处理	A[ $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ]	B[ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ]	C[ $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ]	D(保水剂)	E(糠醛渣)
1= $A_1 B_2 C_1 D_3$	1(300)	2(700)	1(15)	3(19.98)	2(30 000)
2= $A_3 B_1 C_1 D_1$	3(900)	1(350)	1(15)	1(6.66)	3(45 000)
3= $A_2 B_3 C_1 D_2$	2(600)	3(1 050)	1(15)	2(13.32)	1(15 000)
4= $A_2 B_1 C_2 D_2$	2(600)	1(350)	2(30)	2(13.32)	2(30 000)
5= $A_3 B_3 C_2 D_3$	3(900)	3(1 050)	2(30)	3(19.98)	3(45 000)
6= $A_1 B_2 C_2 D_1$	1(300)	2(700)	2(30)	1(6.66)	1(15 000)
7= $A_3 B_3 C_3 D_1$	3(900)	3(1 050)	3(45)	1(6.66)	2(30 000)
8= $A_1 B_2 C_3 D_2$	1(300)	2(700)	3(45)	2(13.32)	3(45 000)
9= $A_2 B_1 C_3 D_3$	2(600)	1(350)	3(45)	3(19.98)	1(15 000)

注:括号内数据为试验数据( $\text{kg/hm}^2$ )。

2.1.2 种植方法 田间试验小区面积为 $24 \text{ m}^2$ ( $6 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ ),每个小区四周筑埂,埂宽40 cm,埂高30 cm,种植玉米品系为德玉5号,播种时间2008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,1/3肥料在玉米播种前做底肥施入0—20 cm土层,剩余2/3肥料分别在玉米大喇叭口期和抽雄期做追肥穴施。

2.1.3 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 $4.65 \text{ L}/(\text{m} \cdot \text{h})$ ,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 $2.16 \text{ m}^3$ 。

### 2.2 保水型专用肥经济效益最佳施用量确定

2.2.1 保水型专用肥合成 根据筛选的配方,将 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ , $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,保水剂,

糠醛渣重量(kg/hm<sup>2</sup>)比按 600 : 350 : 30 : 19.98 : 15 000 混合,全部搅拌均匀过 5 mm 筛备用。

2.2.2 试验处理 保水型专用肥施用量梯度设计为 0.00, 2.50, 5.00, 7.50, 10.00, 12.50 t/hm<sup>2</sup> 共 6 个处理,以处理 1 为 CK(对照)。每个试验处理重复 3 次,随机区组排列。

2.2.3 种植方法 播种时间分别在 2009 年至 2011 年 4 月 22 日,小区面积、玉米品系和父本、施肥方法、株行距、灌水方法、灌水量与 2.1 试验相同。

### 2.3 测定项目与方法

连续 3 a 定点试验后,于 2011 年 9 月 26 日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,用四分法留 1 kg 混合土样测定自然含水量,分别在每个试验小区内用环刀采集 3 个原状土样测定土壤容重。

各指标的计算公式<sup>[9-10]</sup>分别为:

$$\text{自然含水量} = (\text{湿土重} - \text{烘干土重}) \div \text{烘干土重} \times 100\%$$

$$\text{容重} = \text{环刀内湿土质量} \div (100 + \text{自然含水量});$$

$$\text{总孔隙度} = (\text{土壤比重} - \text{土壤容重}) \div \text{土壤比重} \times 100\%$$

$$\text{毛管孔隙度} = \text{自然含水量} \times \text{土壤容重} \times 100\%$$

$$\text{非毛管孔隙度} = \text{总孔隙度} - \text{毛管孔隙度}$$

$$\text{饱和蓄水量} = \text{面积} \times \text{总孔隙度} \times \text{土层深度}$$

$$\text{毛管蓄水量} = \text{面积} \times \text{毛管孔隙度} \times \text{土层深度}$$

$$\text{非毛管蓄水量} = \text{面积} \times \text{非毛管孔隙度} \times \text{土层深度}$$

$$\text{边际产量} = \text{后一个处理产量} - \text{前一个处理产量}$$

$$\text{边际产值} = \text{边际产量} \times \text{产品价格}$$

$$\text{边际施肥量} = \text{后一个处理施肥量} - \text{前一个处理施肥量}$$

$$\text{边际成本} = \text{边际施肥量} \times \text{肥料价格}$$

$$\text{边际利润} = \text{边际产值} - \text{边际成本}$$

玉米收获时每个试验小区随机采集 30 株,测定玉米株高、茎粗、生长速度、地上部分干重、穗粒数、穗粒重、百粒重。玉米秸秆茎粗采用游标卡尺法,地上部分干重采用 105 °C 烘箱杀青 30 min, 80 °C 烘干至恒重。每个试验小区的玉米单独收获,将小区产量折合成单位产量(hm<sup>2</sup>)进行统计分析。

### 2.4 数据统计方法

土壤物理性质、蓄水量,玉米植物学性状、经济性状采用 DPS 13.0 软件分析,差异显著性采用多重比较,LSR 检验。依据经济效益最佳施用量公式计算出保水型专用肥经济效益最佳施用量( $x_0$ )<sup>[11]</sup>。

$$x_0 = [(P_x/P_y) - b] / 2c$$

依据肥料效应回归方程式求得保水型专用肥经

济效益最佳施用量时的玉米理论产量( $y$ )<sup>[12]</sup>。

$$y = a + bx - cx^2$$

## 3 结果分析

### 3.1 保水型专用肥配方确定

对 2008 年田间正交试验资料进行统计分析可以看出,不同因素间的效应( $R$ )依次为:  $A > B > E > D > C$ ,说明影响玉米产量的因素依次为:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 > (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 > \text{糠醛渣} > \text{保水剂} > \text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 。比较各因素不同水平的  $T$  值依次为:  $T_{A_2} > T_{A_3} > T_{A_1}, T_{C_2} > T_{C_3} > T_{C_1}$  说明制种玉米产量随  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  和  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  施用量的增大而增加,但  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  和  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  施用量超过 600 和 30 kg/hm<sup>2</sup>,制种玉米产量又随  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  和  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  施用量的增大而降低。  $T_{B_1} > T_{B_3}, T_{B_2}$  和  $T_{E_1} > T_{E_3}, T_{E_2}$  说明  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 、糠醛渣适宜用量一般为 350 和 15 000 kg/hm<sup>2</sup>。  $T_{D_3} > T_{D_2} > T_{D_1}$ ,说明随着保水剂施用量的增加,制种玉米产量在增加,保水剂适宜用量一般为 19.98 kg/hm<sup>2</sup>。从各因素的  $T$  值可以看出,因素间最佳组合是:  $A_2B_1C_2D_3E_1$  [(即  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  600 kg/hm<sup>2</sup>,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  350 kg/hm<sup>2</sup>,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  30 kg/hm<sup>2</sup>, 保水剂 19.98 kg/hm<sup>2</sup>, 糠醛渣 15 000 kg/hm<sup>2</sup>)](表 2)。

### 3.2 保水型专用肥对玉米制种田土壤物理性质的影响

土壤容重是表征土壤物理性质的一个重要指标<sup>[13]</sup>。土壤容重越小,其蓄水能力越强<sup>[14]</sup>,连续 3 a 定点试验后,于 2011 年 9 月 26 日玉米收获后,分别在试验小区内采集耕层 0—20 cm 土样测定结果可以看出,保水型专用肥施肥量与玉米制种田容重呈线性负相关关系,其回归方程为:

$$y = 1.3560 - 0.0124x \quad (R = -0.9381)$$

土壤孔隙的大小直接影响土壤中的水分状况,毛管孔隙度大的土壤蓄水能力强<sup>[15]</sup>。据 2011 年 9 月 26 日测定结果可以看出,保水型专用肥施肥量与玉米制种田土壤总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度呈线性正相关关系,相关系数( $R$ )分别为: 0.9648, 0.9793, 0.9086。保水型专用肥施肥量为 12.50 t/hm<sup>2</sup> 时,与对照(CK)比较,玉米制种田土壤总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度分别增加了 5.66%, 1.79% 和 3.87%,而容重降低了 0.15 g/cm<sup>3</sup>。究其原因保水型专用肥中的糠醛渣含有丰富的有机质,使土壤疏松,增大了土壤孔隙度,降低了土壤容重。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 2  $L_9(3^5)$  正交试验分析

试验处理	A [CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> ]	B [(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ]	C (ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O)	D (保水剂)	E (糠醛渣)	玉米产量/ (t · hm <sup>-2</sup> )
1=A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	1	2	1	3	2	0.82
2=A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	3	1	1	1	3	4.56
3=A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	2	3	1	2	1	4.86
4=A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	2	1	2	2	2	4.58
5=A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	3	3	2	3	3	4.66
6=A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	1	2	2	1	1	2.62
7=A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub> D <sub>1</sub>	3	3	3	1	2	0.21
8=A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub> D <sub>2</sub>	1	2	3	2	3	3.13
9=A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub> D <sub>3</sub>	2	1	3	3	1	7.28
T <sub>1</sub>	6.57	16.42	10.24	7.39	14.76	
T <sub>2</sub>	16.72	6.57	11.84	12.57	5.61	32.73(T)
T <sub>3</sub>	9.43	9.73	10.62	12.73	12.35	
R	10.15	9.85	1.60	5.37	9.15	

表 3 保水型专用肥对玉米制种田物理性质和蓄水量的影响

专用肥施用量/ (t · hm <sup>-2</sup> )	容重/ (g · cm <sup>-3</sup> )	总孔隙 度/%	毛管孔 隙度/%	非毛管 孔隙度/%	自然含 水量/%	饱和蓄水量/ (t · hm <sup>-2</sup> )	毛管蓄水量/ (t · hm <sup>-2</sup> )	非毛管蓄水量/ (t · hm <sup>-2</sup> )
0.00	1.34 <sup>aA</sup>	49.43 <sup>eEF</sup>	16.42 <sup>eC</sup>	33.01 <sup>bB</sup>	12.26 <sup>cC</sup>	988.60 <sup>fF</sup>	328.40 <sup>fEF</sup>	660.20 <sup>fF</sup>
2.50	1.33 <sup>abAB</sup>	49.81 <sup>eDE</sup>	16.74 <sup>eC</sup>	33.07 <sup>bB</sup>	12.59 <sup>eC</sup>	996.20 <sup>eE</sup>	334.80 <sup>dDE</sup>	661.40 <sup>eE</sup>
5.00	1.31 <sup>cC</sup>	50.56 <sup>dCD</sup>	17.36 <sup>bB</sup>	33.20 <sup>bB</sup>	13.25 <sup>dB</sup>	1 011.20 <sup>cdD</sup>	347.20 <sup>dD</sup>	664.00 <sup>dCD</sup>
7.50	1.28 <sup>dD</sup>	51.69 <sup>eC</sup>	17.82 <sup>bB</sup>	33.87 <sup>bB</sup>	13.92 <sup>eB</sup>	1 033.80 <sup>bcBC</sup>	356.40 <sup>bcBC</sup>	677.40 <sup>bcBC</sup>
10.00	1.21 <sup>eE</sup>	54.34 <sup>bAB</sup>	17.93 <sup>bB</sup>	36.41 <sup>aA</sup>	14.82 <sup>bA</sup>	1 086.80 <sup>bB</sup>	358.60 <sup>bB</sup>	728.20 <sup>bB</sup>
12.50	1.19 <sup>fEF</sup>	55.09 <sup>aA</sup>	18.21 <sup>aA</sup>	36.88 <sup>aA</sup>	15.30 <sup>aA</sup>	1 101.80 <sup>aA</sup>	364.20 <sup>aA</sup>	737.60 <sup>aA</sup>

注:同列数据大写字母不同表示 LSR<sub>0.01</sub>,不同小写字母表示 LSR<sub>0.05</sub>差异显著水平。下同。

### 3.3 保水型专用肥对玉米制种田土壤蓄水量的影响

土壤蓄水量是表征土壤贮水能力的重要指标<sup>[15-17]</sup>,连续 3 a 定点试验后,于 2011 年 9 月 26 日玉米收获后,分别在试验小区内采集耕层 0—20 cm 土样测定结果可以看出,保水型专用肥施用量与玉米制种田自然含水量、饱和蓄水量、毛管蓄水量、非毛管蓄水量呈线性正相关关系,相关系数(R)分别为 0.993 2, 0.964 9, 0.979 3, 0.908 9。保水型专用肥施用量为 12.50 t/hm<sup>2</sup> 时,与对照(CK)比较,玉米制种田自然含水量、饱和蓄水量、毛管蓄水量、非毛管蓄水量分别增加了 3.04%, 113.20 t/hm<sup>2</sup>, 35.80 t/hm<sup>2</sup> 和 77.40 t/hm<sup>2</sup>。其原因一是保水型专用肥中的保水剂,是一类高分子聚合物,这类物质分子结构交联成网络,本身不溶于水,却能在 10 min 内吸附超过自身重量 100~1 400 倍的水分,体积大幅度膨胀后形成饱和和吸附水球,吸水倍率很大,在提高土壤持水性能方面具有重要的作用<sup>[18]</sup>;二是保水型专用肥中的糠醛渣,在土壤中合成腐殖质,腐殖质的最大吸水量可以超过 500%<sup>[19]</sup>,因而提高了土壤的蓄水量。处理间的差异显著性,经 LSR 检验达到显著和极显著水平(表 3)。

### 3.4 保水型专用肥对玉米植物学性状的影响

连续 3 a 定点试验后,于 2011 年 9 月 26 日玉米收获后测定结果可以看出,保水型专用肥施用量与玉米株高、茎粗、生长速度、地上部分干重呈线性正相关关系,相关系数(R)分别为 0.867 4, 0.841 6, 0.867 7 和 0.994 8。保水型专用肥施用量 12.50 t/hm<sup>2</sup> 时,与对照(CK)比较,玉米株高、茎粗、生长速度、地上部分干重分别增加了 57.48 cm, 7.24 mm, 3.60 mm/d 和 99.77 g/株。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 保水型专用肥对玉米植物学性状的影响

专用肥施用量/ (t · hm <sup>-2</sup> )	株高/ cm	茎粗/ mm	生长速度/ (mm · d <sup>-1</sup> )	地上部干重 (g/株)
0.00	127.78 <sup>dD</sup>	31.17 <sup>dD</sup>	6.84 <sup>fC</sup>	197.11 <sup>fA</sup>
2.50	164.64 <sup>eC</sup>	36.28 <sup>deC</sup>	9.15 <sup>deB</sup>	218.56 <sup>eB</sup>
5.00	173.19 <sup>dB</sup>	36.98 <sup>dC</sup>	9.68 <sup>dB</sup>	231.49 <sup>dB</sup>
7.50	178.48 <sup>bcB</sup>	37.33 <sup>bcB</sup>	10.01 <sup>bcA</sup>	262.27 <sup>cA</sup>
10.00	182.08 <sup>bB</sup>	38.04 <sup>bB</sup>	10.24 <sup>abA</sup>	282.66 <sup>bA</sup>
12.50	185.26 <sup>aA</sup>	38.41 <sup>aA</sup>	10.44 <sup>aA</sup>	296.88 <sup>aA</sup>

### 3.5 保水型专用肥对玉米经济性状和产量的影响

连续 3 a 定点试验后,于 2011 年 9 月 26 日玉米收获后测定结果可以看出,保水型专用肥施用量与玉米穗粒数、穗粒重、百粒重、产量呈线性正相关关系,相关系数( $R$ )分别为 0.913 4,0.935 4,0.931 2 和 0.935 8。保水型专用肥施用量 12.50 t/hm<sup>2</sup> 时,与对照(CK)比较,玉米穗粒数、穗粒重、百粒重、产量分别增加了 84.17 粒,36.71 g,5.83 g 和 2 918.44 kg/hm<sup>2</sup>。但单位(1 kg)保水型专用肥的增产量则随着保水型专用肥施用量梯度的增加而递减。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)。

### 3.6 保水型专用肥对玉米的增产效应和经济效益

采用经济学原理分析可以看出,随着保水型专用肥施用量梯度的增加,玉米边际产量由最初的 1 343.55 kg/hm<sup>2</sup> 递减到 136.74 kg/hm<sup>2</sup>。

从经济效益变化来看,随着保水型专用肥施用量梯度的增加,边际利润由最初的 5 997.35 元/hm<sup>2</sup> 递减到 -36.70 元/hm<sup>2</sup>。保水型专用肥施用量在 10.00 t/hm<sup>2</sup> 的基础上,再增加施肥量 2.50 t/hm<sup>2</sup>,边际利润出现了负值。由此可见,保水型专用肥施用量 10.00 t/hm<sup>2</sup> 时,玉米增产效应和经济效益较好(表 6)。

表 5 保水型专用肥对玉米经济性状和产量的影响

专用肥施用量/ (t · hm <sup>-2</sup> )	穗粒数/粒	穗粒重/g	百粒重/g	产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	增产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	单位专用肥增产量/ (kg · kg <sup>-1</sup> )
0.00	221.28 <sup>fR</sup>	49.78 <sup>fE</sup>	22.49 <sup>fE</sup>	3 804.61 <sup>fF</sup>		
2.50	267.47 <sup>eE</sup>	66.68 <sup>eD</sup>	24.92 <sup>eD</sup>	5 148.16 <sup>eE</sup>	1 343.55	0.54
5.00	285.94 <sup>dCD</sup>	77.58 <sup>dC</sup>	27.13 <sup>dC</sup>	6 014.71 <sup>dD</sup>	2 210.10	0.44
7.50	296.94 <sup>cC</sup>	82.32 <sup>cB</sup>	27.72 <sup>bcB</sup>	6 391.54 <sup>cC</sup>	2 586.93	0.35
10.00	305.45 <sup>abAB</sup>	86.49 <sup>bA</sup>	28.32 <sup>bB</sup>	6 723.05 <sup>bAB</sup>	2 918.44	0.29
12.50	308.32 <sup>aA</sup>	88.21 <sup>aA</sup>	28.61 <sup>aA</sup>	6 859.79 <sup>aA</sup>	3 055.18	0.24

表 6 保水型专用肥对玉米增产效应及经济效益分析

专用肥施用量/ (t · hm <sup>-2</sup> )	产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	增产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	边际产量/ (kg · hm <sup>-2</sup> )	边际产值/ (元 · hm <sup>-2</sup> )	边际成本/ (元 · hm <sup>-2</sup> )	边际利润/ (元 · hm <sup>-2</sup> )
0.00	3 804.61 <sup>fF</sup>					
2.50	5 148.16 <sup>eE</sup>	1 343.55	1 343.55	6 717.75	720.40	5 997.35
5.00	6 014.71 <sup>dD</sup>	2 210.10	866.55	4 332.75	720.40	3 612.35
7.50	6 391.54 <sup>cC</sup>	2 586.93	376.83	1 884.15	720.40	1 163.75
10.00	6 723.05 <sup>bAB</sup>	2 918.44	331.51	1 657.55	720.40	937.15
12.50	6 859.79 <sup>aA</sup>	3 055.18	136.74	683.70	720.40	-36.70

注: CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 价格为 2 000.00 元/t, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 价格为 4 000.00 元/t, ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 价格为 4 000.00 元/t, 保水剂价格为 20 000.00 元/t, 糠醛渣价格为 100.00 元/t。CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 保水剂, 糠醛渣重量比按 600 kg : 350 kg : 30 kg : 19.98 kg : 15 000 kg 混合配制的保水型专用肥价格为 288.16 元/t; 制种玉米价格为 5 000.00 元/t。

### 3.7 保水型专用肥经济效益最佳施肥量的确定

将保水型专用肥施用量与玉米产量间的关系应用肥料效应回归方程拟合:  $y = 3 804.61 + 194.26x - 9.72x^2$ , 对回归方程进行显著性测验,  $F = 22.01 > F_{0.01} = 18.70$ ,  $R = 0.966 1$ , 说明回归方程拟合良好。保水型专用肥价格( $P_x$ )为 0.29 元/kg, 玉米价格( $P_y$ )为 5.00 元/kg, 将( $P_x$ ), ( $P_y$ ), 回归方程的  $b$  和  $c$ , 代入经济效益最佳施肥量计算公式:  $x_0 = [(P_x/P_y) - b]/2c$ <sup>[20]</sup>, 求得保水型专用肥经济效益最佳施肥量( $x_0$ )为 9.99 t/hm<sup>2</sup>, 将  $x_0$  代入回归方程求得玉米的理论产量( $y$ )为 6 715.33 kg/hm<sup>2</sup>, 计算结果与田间试验处理 5 相吻合(表 6)。

## 4 结论

影响玉米产量的因素由大到小依次为: CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> > (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> > 糠醛渣 > 保水剂 > ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O, 因素间最佳组合是: CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> 600 kg/hm<sup>2</sup>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 350 kg/hm<sup>2</sup>, ZnSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O 30 kg/hm<sup>2</sup>, 保水剂 19.98 kg/hm<sup>2</sup>, 糠醛渣 15 000 kg/hm<sup>2</sup>。保水型专用肥施用量与玉米制种田容重呈线性负相关关系, 与玉米制种田总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度呈线性正相关关系。随着保水型专用肥施用量梯度的增加, 玉米制种田自然含水量、饱和蓄水量、毛管蓄水量、非毛管蓄水量在增加; 保水型专用肥施用量与玉米株高、茎粗、生长速度、地上部分

干重呈线性正相关关系,处理间的差异显著性,经LSR检验达到显著和极显著水平。随着保水型专用肥施用量梯度的增加,玉米穗粒数、穗粒重、百粒重、产量在增加;但单位(1 kg)保水型专用肥的增产产量则随着保水型专用肥施肥量的增加而递减。随着保水型专用肥施用量的增加,玉米边际产量、边际利润在递减;保水型专用肥施用量在 $10.00\text{ t/hm}^2$ 的基础上,再增加 $2.50\text{ t/hm}^2$ ,收益出现负值。经回归统计分析,得到保水型专用肥经济效益最佳施肥量( $x_0$ )为 $9.99\text{ t/hm}^2$ ,玉米的理论产量( $y$ )为 $6\ 715.33\text{ kg/hm}^2$ ,统计分析结果与田间试验处理5相吻合。

#### [ 参 考 资 料 ]

- [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] 赵秉强,张福锁,廖宗文. 我国新型肥料发展战略研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004,10(5):536-545.
- [3] 刘果,李绍才,杨志荣. 我国多功能肥料的发展概况[J]. 中国土壤与肥料,2006(5):7-9.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [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] 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.
- [12] 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.
- [13] 王燕,王兵,赵广东,等. 江西大岗山3种林型土壤水分物理性质研究[J]. 水土保持学报,2008,22(1):151-153.
- [14] 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.
- [15] 陈晓燕,田有亮,包志刚,等. 大青山主要植被类型土壤物理特性的研究[J]. 水土保持通报,2009,29(5):30-34.
- [16] 王孟本,柴宝峰,李洪建,等. 黄土区人工林的土壤持水力与有效水状况[J]. 林业科学,1999,35(2):7-14.
- [17] 张光灿,夏江宝,王贵霞,等. 鲁中花岗岩山区人工林土壤水分物理性质[J]. 水土保持学报,2005,19(6):44-48.
- [18] 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.
- [19] 陆欣. 土壤肥料学[M]. 北京:中国农业出版社, 2004:50-52.
- [20] 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.
- [7] 傅晓华,赵运林. 湘江流域生态补偿标准计量模型研究[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(6):96-101.
- [8] 刘强,彭晓春,周丽旋,等. 城市饮用水水源地生态补偿标准测算与资金分配研究:以广东省东江流域为例[J]. 生态经济,2012(1):33-37.
- [9] 孙贤斌,傅先兰,倪建华,等. 安徽省会经济圈碳排放强度与生态补偿研究[J]. 地域研究与开发,2012,31(1): 135-138,155.
- [10] 王晓辉,关伟,徐会,等. 安徽省会经济圈建设中的生态补偿问题探讨[J]. 安徽农业大学学报:社会科学版, 2008,17(3):42-45.
- [11] 李芬,陈红枫. 海南省森林生态补偿机制的社会经济影响分析[J]. 中国人口·资源与环境,2007,17(6):113-118.
- [12] 王静雅,何政伟,于欢. GIS与层次分析法相结合的生态环境综合评价研究:以渝西地区为例[J]. 生态环境学报,2011,20(8/9):1268-1272.
- [13] 于术桐,黄贤金,程绪水,等. 流域排污权初始分配模型构建及应用研究:以淮河流域为例[J]. 资源开发与市场,2010,26(5):400-404.
- [14] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2002:225-230.
- [15] 汤国安,杨昕. ArcGIS地理信息系统空间分析实验教程. 北京:科学出版社,2006:446-449.
- [16] 孙贤斌. 安徽省会经济圈土地利用变化的碳排放效益研究[J]. 自然资源学报,2012,27(3):394-401.
- [17] 王女杰,刘建,刘磊,等. 中国生态补偿的保障机制研究[J]. 中国环境管理,2009(4):6-12.

(上接第199页)