

# 保水剂施用方式对河套灌区土壤水热条件及玉米生长的影响

杜社妮<sup>1,2</sup>, 耿桂俊<sup>3</sup>, 于健<sup>4</sup>, 张沛琪<sup>4</sup>, 白岗栓<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国水电顾问集团 西北勘测设计研究院, 陕西 西安 710065; 4. 内蒙古自治区 水利科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘要:** 为了鉴别保水剂不同施用方式对土壤水分、土壤温度和玉米生长的影响, 在内蒙古河套灌区以不施保水剂为对照, 开展了沟施、混施、撒施、穴施的田间试验。结果表明, 不同施用方式提高了土壤水分, 特别是在干旱的抽雄吐丝期、灌浆期具有显著作用。幼苗期、三叶期不同施用方式的土壤温度上升缓慢, 抑制了玉米幼苗的生长。拔节期到收获期不同施用方式促进了玉米生长, 延长了玉米生长期, 提高了玉米产量及生物量, 提高了水分利用效率、水分产出率和灌溉水产出率。不同施用方式中, 沟施的效果相对较好, 撒施较差。研究表明, 河套灌区玉米生产中施用保水剂应以沟施为主。

**关键词:** 保水剂; 施用方式; 土壤水分; 土壤温度; 玉米生长状况

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)05-0270-07

中图分类号: S512.12

## Effects of Super Absorbent Applied by Different Methods on Soil Moisture, Soil Temperature and Maize Growth

DU She-ni<sup>1,2</sup>, GENG Gui-jun<sup>3</sup>, YU Jian<sup>4</sup>, ZHANG Pei-qi<sup>4</sup>, BAI Gang-shuan<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Northwest Hydro Consulting Engineers, CHECC, Xi'an, Shaanxi 710065, China; 4. Inner Mongolia Institute of Hydraulic Research, Hohhot, Inner Mongolia 010020, China)

**Abstract:** In order to determine the effects of super absorbent applied by different methods on soil moisture, soil temperature and maize growth, field experiments were conducted in the Hetao irrigation district, Inner Mongolia. Super absorbent was applied using the four methods of furrowing, mixing, broadcasting and holling in contrast to the case without super absorbent applied. Results showed that all application methods increased soil moisture, particularly there were significant effects at drought stage when maize is in tasseling-silking and grain filling. All application methods decreased soil temperature at seedling and trefoil stage and inhibited the growth of maize seedling. All application methods promoted maize growth from jointing to maturing, extended maize growing period, and increased maize yields and biomass, water use efficiency, water production rate and irrigation water production rate. Among the four application methods, the effect of furrowing was better and the effect of broadcasting was worse. Optimum application method of super absorbent should be the furrowing in Hetao irrigation district in maize production.

**Keywords:** super absorbent; application method; soil moisture; soil temperature; maize growth status

内蒙古河套灌区地处干旱、半干旱、半荒漠草原带, 为无灌溉便无农业的区域。河套灌区农业用水资源日益短缺, 影响了当地农业持续、快速发展。保水

剂 (super absorbent 或 super absorbent polymer, SAP) 作为一种高分子化合物, 具有很强的吸水、保水能力及反复吸水的功能, 吸收的水分 85%~95% 可

收稿日期: 2011-11-21

修回日期: 2011-11-30

资助项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目“内蒙古河套灌区粮油作物节水技术集成与示范”(2011BAD29B03); 水利部科技推广项目“保水剂技术的推广应用”(TG1144); 国家“十二五”科技支撑计划项目“黄土丘陵沟壑区水土保持与高效农业关键技术集成与示范”(2011BAD31B05)

作者简介: 杜社妮(1966—), 女(汉族), 陕西省杨陵区人, 助理研究员, 主要从事蔬菜栽培与保水剂应用方面的研究。E-mail: sndu@nwsuaf.edu.cn.

通信作者: 白岗栓(1965—), 男(汉族), 陕西省富平县人, 研究员, 主要从事果树栽培与保水剂应用方面的研究。E-mail: gshb@nwsuaf.edu.cn.

缓慢释放供作物利用<sup>[1-5]</sup>。保水剂能提高土壤持水性,改善土壤水分入渗性能,调节土壤水、肥、气、热状况,改善作物生长条件,在节水农业和生态环境恢复中得到广泛应用<sup>[6-9]</sup>。有关保水剂在玉米生产中的应用研究较多<sup>[10-11]</sup>。由于地域不同,保水剂不同施用方法具有不同的效果。在河北省轻壤褐土上,夏玉米沟施保水剂优于种子包衣<sup>[12]</sup>;在甘肃省民勤绿洲,保水剂注水播种玉米可使土壤水分聚集在注水原点,提高了土壤水分利用效率及玉米产量<sup>[13-14]</sup>;在雨养农业的黄土丘陵沟壑区,沟施、穴施保水剂优于地面撒施<sup>[15]</sup>;在内蒙古河套灌区,杜社妮等<sup>[16]</sup>的试验结果表明向日葵生产中保水剂以沟施或混施效果较好,耿桂俊等<sup>[17]</sup>的试验结果表明番茄生产中保水剂以沟施效果较好,而有关保水剂在河套灌区玉米生产中施用方式缺乏研究,故开展了保水剂不同施用方式对土壤水分、温度和玉米生长的影响研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地自然条件

试验地位于河套灌区西部的磴口县坝楞村,海拔1 048.7 m,地处干旱、半荒漠草原带,年均气温7.6℃,日照时数3 209.5 h,作物生长期5—9月光合有效辐射 $1.68 \times 10^5 \text{ J/cm}^2$ ,年降雨量142.7 mm,年均蒸发2 381.8 mm,无霜期136~144 d,春季多大风及沙尘暴,年均风速3.0 m/s。试验地土壤为灌淤土,灌淤层达1.0 m以上,质地为壤土,耕层有机质约10.0 g/kg,田间持水量23.23%,凋萎系数11.07%,0—80 cm土层土壤容重较为一致,平均为 $1.48 \text{ g/cm}^3$ ,地下水位在3.0 m以下。

### 1.2 试验材料与设计

试验用保水剂为BJ2101-L保水剂,为白色颗粒,粒径1.6~4.0 mm,三维立体网状结构,为交联的聚丙烯酸铵<sup>[12]</sup>,由北京汉力森公司提供;参照吴娜等<sup>[7]</sup>、黄占斌等<sup>[10]</sup>、杜社妮等<sup>[15]</sup>的试验结果,BJ2101-L保水剂的施用量为 $45 \text{ kg/hm}^2$ 。

供试玉米与春小麦套种,春小麦种植带幅宽为2.4 m,玉米种植带幅宽为1.8 m。根据当地的种植习惯,春小麦种植带与玉米种植带之间无土埂隔挡,每次灌溉均同时漫灌玉米与小麦种植带。试验以春小麦/玉米种植带为小区,小区长为5.0 m,宽4.2 m,其中玉米种植带宽1.8 m。玉米品种为巴单3号,4月23日种植。

试验以不施BJ2101-L保水剂为对照,采用沟施、混施、撒施、穴施。对照为玉米种植前开深10 cm、宽15 cm的小沟,将化肥均匀地撒施于沟内,耧平小沟,

然后种植玉米。沟施是在开沟施肥时将保水剂均匀撒施于沟内。混施是在开沟前将保水剂均匀撒施在种植行上(宽15 cm),开沟施肥时与土壤搅拌均匀。撒施是在玉米种植后将保水剂撒施在种植行上(宽15 cm)。穴施是开沟施肥后以25 cm为株距,以种植点为中心,15 cm为长度,在施肥沟内撒施保水剂(即每间隔10 cm段撒施15 cm段保水剂)。

试验重复5次,其中每个处理有3个小区为标准样小区,2个小区为玉米生长期间的生物量采样小区。

### 1.3 农艺措施

玉米种植密度、施肥量、灌水次数及灌水量等与当地春小麦/玉米套种模式相同。

玉米采用宽窄行种植,种植4行玉米,中间大行距为80 cm,两侧小行距为30 cm,边行距小麦种植带20 cm,株距25 cm,密度为 $88\ 889 \text{ 株/hm}^2$ 。小区玉米基本苗为84株。

播种时施磷酸二铵用量 $375.0 \text{ kg/hm}^2$ ,硝酸钾用量 $150.0 \text{ kg/hm}^2$ ,三叶期追施尿素用量 $75.0 \text{ kg/hm}^2$ (5月24日),喇叭口期追施尿素用量 $225.0 \text{ kg/hm}^2$ (7月7日)。

玉米生长期共灌水6次,分别是小麦拔节初期(5月14日,玉米幼苗期)、小麦孕穗初期(5月24日,玉米三叶期)、小麦开花末期(6月23日,玉米拔节期)、小麦灌浆期(7月7日,玉米喇叭口期)、玉米抽雄吐丝期(8月4日)、玉米灌浆期(8月30日),每次灌水量为90 mm。玉米生育期内不同处理的灌溉量、灌溉次数、施肥、追肥、除草等管理措施相同。

### 1.4 测定项目

播种前采用棋盘法选择5个样点,用土钻每间隔10 cm土层采样1次,烘干法测定0—80 cm土层土壤水分。玉米幼苗期(5月12日)、三叶期(5月21日)、拔节期(6月12日)、大喇叭口期(7月15日)、抽雄吐丝期(7月30日)、灌浆期(8月27日)、成熟期(9月24日)在标准样小区测定0—80 cm土层土壤含水率(质量%),每个小区测定3处。根据不同土层的土壤体积质量、土层厚度和土壤含水率换算出不同土层的土壤水分(水层厚度 mm)<sup>[9,15]</sup>。

标准样小区固定10株玉米,在三叶期(5月19日)、拔节期(6月12日)、喇叭口期(7月6日)、抽雄吐丝期(8月6日)、灌浆期(9月5日)、成熟期(9月24日)测定不同处理的株高、茎粗(茎秆直径),同时在采样小区选取生长状况与标准小区固定植株相似的3株,测定叶片、茎秆、叶鞘(从抽雄吐丝期开始叶鞘从叶片中分离)、雄花序、雌花序生物量和根系分布

深度、根系幅度(根系水平分布最大直径)、根系生物量,成熟期测定雌花序、苞叶、穗轴、籽粒生物量及干粒质量。成熟期以标准样小区为单位,测定不同处理的产量。

玉米幼苗期(5月11—13日)、三叶期(5月21—23日)、拔节期(6月17—19日)在标准样小区用数显地温计连续3d每1h测1次分别测定7:00—19:00时不同处理窄行行中部地表和距离地表10cm,20cm处土壤温度并求平均值。

小区旁设有农田小气候监测仪,测定玉米生长期间的降水量。

试验地平整,土层深厚及土壤质地均一,地下水位较深,不产生渗漏、地下水补给和水分的水平运动,根据不同处理的生物量、籽粒产量和生长期间的有效降水量、灌溉量,计算不同处理的田间耗水量、水分利用效率、水分生产率<sup>[9,15]</sup>。

### 1.5 数据处理

试验数据采用 Excel 2003 制作图表,用 SPSS 10.0 软件进行单因素方差分析。如果差异显著,则采用 Duncan's 检验进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 玉米生长期间的降水量及成熟期

从播种到收获(4月23日到9月24日)降水102.5mm,其中有效降水93.8mm,其中喇叭口期、开花吐丝期降水较少(图1)。

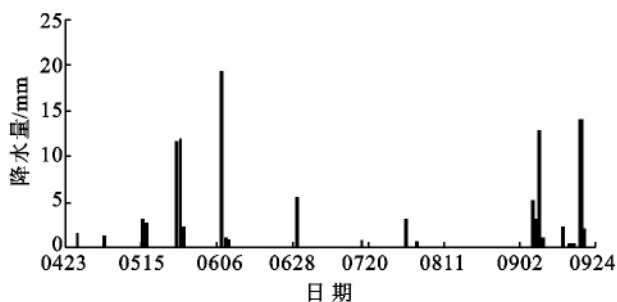


图1 玉米生长期间的降雨量

受降水及灌水体制的影响,抽雄吐丝期、灌浆期土壤水分供应不足。对照较不同施用方式(9月24日成熟)提早12~13d成熟。

### 2.2 对土壤水分的影响

玉米不同生长期土壤储水量为三叶期>拔节期>成熟期>喇叭口期>幼苗期>抽雄吐丝期>灌浆期。玉米播种到喇叭口期与小麦套种,灌水4次,灌水量360mm,且有效降水56.6mm,故该段时期土壤水分较高。喇叭口期后(7月10日)小麦收

获,7月7日至8月30日仅灌水90mm(8月4日),高温干旱,无有效降水,且玉米生长旺盛,故抽雄吐丝期、灌浆期土壤储水量最低。灌浆期后灌水90mm(8月30日),有效降水37.2mm,故成熟期土壤储水量较高(图2)。

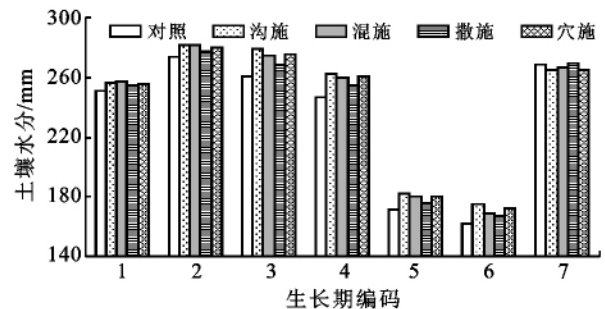


图2 不同生长期各处理0—80cm土层土壤水分

注:1为幼苗期;2为三叶期;3为拔节期;4为大喇叭口期;5为抽雄吐丝期;6为灌浆期;7为成熟期

玉米播种(4月23日)到幼苗期(5月12日)无有效降水和灌溉。幼苗期耕层土壤储水量对照为49.0mm,撒施为50.3mm,穴施为52.2mm,沟施为52.9mm,混施为53.1mm,适宜玉米生长(田间持水量75.0%,51.6mm),穴施、沟施、混施显著高于对照( $p < 0.05$ )。幼苗期不同处理0—80cm土层土壤储水量在251~258mm,无显著差异。

幼苗期到三叶期(5月21日)灌水(5月14日)90mm,有效降水5.4mm。三叶期耕层土壤储水量对照为51.4mm,撒施为53.5mm,适宜玉米生长,而混施为56.9mm,沟施为58.0mm,穴施为58.2mm,极显著高于对照( $p < 0.10$ ),显著高于撒施。混施、沟施、穴施土壤水分较高,不适宜玉米生长。不同处理0—80cm土层土壤储水量在273~283mm,无显著差异。

三叶期到拔节期(6月12日)有效降水46.0mm,灌水90mm(5月24日)。拔节期耕层土壤储水量对照为46.7mm,撒施为48.9mm,沟施、混施、穴施为52~53mm,均极显著高于对照,显著高于撒施,适宜玉米生长。不同处理0—80cm土层土壤储水量为260~278mm,且沟施>穴施>混施>撒施>对照,沟施、穴施、混施显著高于对照,不同施用方式间无显著差异。

拔节期到喇叭口期(7月15日)有效降水5.2mm,灌水2次,共180mm(6月23日90mm,7月7日90mm)。喇叭口期耕层土壤储水量对照为39.5mm,撒施为41.3mm,而沟施、混施、穴施在45.0~47.0mm,极显著高于对照,显著高于撒施。

大喇叭口期不同处理 0—80 cm 土层土壤水分在 249.0~263.0 mm,为沟施>穴施>混施>撒施>对照,沟施、穴施、混施显著高于对照。

大喇叭口期到抽雄吐丝期(7月30日)为玉米耗水的最高时期。此期无灌水及有效降水,耕层土壤储水量对照为 20.9 mm,撒施为 23.0 mm,沟施为 25.1 mm,混施为 24.9 mm,穴施为 25.4 mm,均极显著低于凋萎系数(11.07%,耕层土壤储水量为 32.8 mm),但沟施、混施、穴施极显著高于对照,显著高于撒施,撒施显著高于对照。抽雄吐丝期 0—80 cm 土壤水分 175.0 mm 左右,不同处理表现为:沟施>穴施>混施>撒施>对照,沟施、穴施、混施显著高于对照。

开花吐丝期到灌浆期(8月27日)无有效降水,灌水 90 mm(8月4日)。耕层土壤储水量对照为 21.9 mm,撒施为 22.1 mm,沟施为 23.4 mm,混施为 22.8 mm,穴施为 23.4 mm,极显著低于凋萎系数,但沟施、穴施仍显著高于对照。不同处理 0—80 cm 土层土壤储水量为 162.0~76.0 mm,且沟施>穴施>混施>撒施>对照,沟施、穴施、混施显著高于对照。

灌浆期到成熟期(9月24日)有效降水 37.2 mm,灌水 90 mm(8月30日)。成熟期耕层土壤储水量对照为 59.2 mm,撒施为 62.1 mm,沟施为 57.8 mm,混施为 59.9 mm,穴施为 58.1 mm,撒施显著高于沟施、穴施。收获期降水较多,撒施的保水剂在土壤表层保持了大量的雨水,提高了耕层土壤储水量。成熟期 0—80 cm 土层土壤储水量基本为 265~270 mm,不同处理间无显著差异。成熟期对照的土壤水分略高于沟施、穴施,主要是在开花吐丝期、灌浆期受干旱胁迫,对照的玉米以较快的生长方式完成其生育过程,较其他处理早成熟 10~12 d,成熟期耗水量已大量降低,因而土壤水分较高。

### 2.3 对土壤温度的影响

不同处理的地表温度和距地表 10 cm,20 cm 处的土壤温度基本随气温变化,为大喇叭口期最高,三叶期居中,幼苗期最低(图 3)。

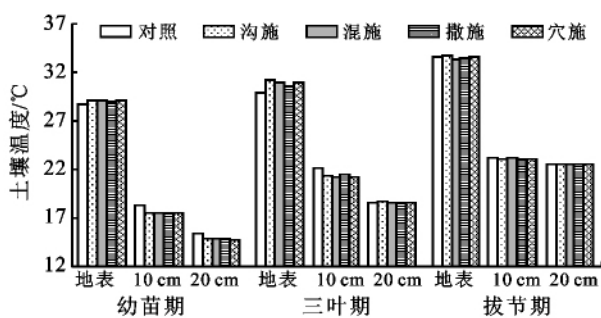


图 3 不同生长期各处理的土壤温度

幼苗期不同施用方式的表层土壤水分含量较高,由于水的热容量较大,温度变化平缓,不同施用方式地表温度表现为早晚较高,中午较低,日均温高于对照 0.2~0.4 °C,其中混施显著高于对照。不同施用方式距地表 10 cm 处土壤温度均为 17.6 °C,显著低于对照(18.3 °C);距地表 20 cm 处土壤温度在 14.7~14.8 °C,也显著低于对照(15.4 °C)。不同处理距地表 10 cm,20 cm 处土壤温度较对照低,主要是不同处理的保水剂施在 0—10 cm 土层,该土层土壤水分含量提高,土壤孔隙结构、土壤通气性及土壤微生物活动增强<sup>[18-20]</sup>,造成土壤温度上升缓慢。

三叶期对照的地表温度为 29.9 °C,沟施、混施、穴施撒施分别高于对照 1.3,1.1,1.1,0.7 °C,沟施、混施、穴施极显著高于对照( $p < 0.10$ ),撒施显著高于对照。三叶期距地表 10 cm 处土壤温度对照为 22.1 °C,沟施、混施、穴施、撒施低于对照 0.8,0.9,0.9,0.7 °C,不同施用方式均显著低于对照。三叶期不同处理距地表 20 cm 处土壤温度基本在 18.5~18.7 °C,不同处理之间无显著差异。

拔节期气温较高,各处理的地表温度和距地表 10 cm,20 cm 处土壤温度基本处于同一水平,无显著差异。

### 2.4 对玉米生长的影响

2.4.1 对玉米形态指标的影响 三叶期混施、沟施、穴施的土壤水分高于田间持水量的 75%,土壤温度较低,抑制了玉米生长,造成玉米生长状况较差。拔节期土壤温度较高,土壤水分已成为影响玉米正常生长的主导因子。拔节期沟施、混施、穴施的土壤水分较高,故其玉米生长状况较好。大喇叭口期、抽雄吐丝期、灌浆期土壤水分含量低,特别是抽雄吐丝期、灌浆期耕层土壤水分低于萎蔫系数,对照 0—80 cm 土壤水分低于沟施、混施、穴施,玉米生长受到严重抑制,株高、茎粗、根系分布深度及幅度均显著降低,生长发育不良。成熟期对照、撒施的生长状况低于沟施、混施和穴施(表 1)。

2.4.2 对玉米生物量的影响 三叶期沟施、混施、穴施的土壤水分含量较高,土壤温度较低,对照、撒施的叶片、根系生物量较高,但茎秆生物量不同处理间无显著差异。拔节期土壤温度适宜玉米生长,拔节期、大喇叭口期对照、撒施的土壤水分较低,故其生物量小。抽雄吐丝期、灌浆期是玉米生长的关键时期,而此期耕层土壤水分低于萎蔫系数,对照玉米生长受到严重抑制,故其生物量显著减少。由于抽雄吐丝期、灌浆期的严重干旱,导致对照的玉米生育期提前,成熟期提前,成熟期生物量显著降低(表 2)。

表 1 不同处理对玉米形态指标的影响

生长时期	处理	株高/cm	茎粗/ $\varphi$ mm	根系分布深度/cm	根系分布幅度/ $\varphi$ cm
三叶期	对照	15.9a	5.4a	16.5a	11.2aA
	沟施	14.7b	4.9b	14.9b	8.5cB
	混施	15.3ab	5.2a	15.1b	9.3bB
	撒施	15.7a	5.2a	16.1a	8.6cB
	穴施	14.4b	4.8b	14.9b	7.6dC
拔节期	对照	39.6cC	21.4bB	25.9b	14.7cB
	沟施	51.3aA	24.1aA	27.7a	15.7bAB
	混施	46.8bAB	23.8aA	26.5ab	17.0aA
	撒施	41.2cBC	22.9aAB	25.5b	16.9aA
	穴施	44.5bB	23.4aAB	27.5a	14.3cB
大喇叭口期	对照	187.2c	26.5b	28.2cB	25.5cB
	沟施	207.4a	28.8a	34.7aA	30.3bA
	混施	200.1ab	28.4a	31.6bA	32.6aA
	撒施	194.2b	28.0a	27.7cB	31.2abA
	穴施	197.5ab	28.1a	32.6bA	30.1bA
抽雄吐丝期	对照	252.1b	27.0b	31.2cB	28.3cB
	沟施	279.20a	29.3a	35.8aA	34.7aA
	混施	276.2a	29.0a	32.5bBA	33.8abA
	撒施	270.3a	28.6a	30.2cB	33.5abA
	穴施	272.8a	28.8a	33.0bBA	32.5bA
灌浆期	对照	266.2b	27.5b	32.1bAB	28.4bB
	沟施	291.4a	29.7a	36.1aA	34.6aA
	混施	281.1a	29.1a	32.6bAB	33.9aA
	撒施	278.6ab	28.9ab	30.2cB	33.2aA
	穴施	283.4a	29.3a	33.1bAB	32.9aA
成熟期	对照	264.3b	25.7b	31.5ab	27.1bB
	沟施	288.4a	27.9a	33.2a	31.5aA
	混施	278.2a	27.4a	31.8a	30.8aA
	撒施	275.4ab	27.1ab	30.0b	30.7aA
	穴施	279.3a	27.3a	32.2a	30.5aA

注:表中同一列数据采用 Duncan 多重比较法检验; a, b, c, d 表示差异显著水平达 0.05; A, B, C, D 表示差异显著水平达 0.10。下同。

保水剂不同施用方式不但对玉米生长状况、生物量具有一定的影响,而且影响了玉米雌、雄花序的生长状况。由于穴施的玉米发育较晚,抽雄吐丝期穴施的雌花序生物量显著小于混施和对照,雄花序则无显著差异。

灌浆期、成熟期不同处理的雌花序存在显著或极显著差异,沟施、混施、穴施的雌花序生物量较大,对照、撒施较低(表 3)。

成熟期不同处理的籽粒差异较大,沟施、混施、穴施较高,对照最低,不同处理间存在显著或极显著差异。不同处理的干粒质量为沟施>混施>穴施>撒

施>对照,沟施显著大于撒施及对照,混施、穴施显著大于对照,撒施与对照无显著差异。

表 2 不同处理对玉米生物量及产量的影响 mg/株

生长时期	处理	茎秆生物量	叶片生物量	根系生物量	叶鞘生物量
三叶期	对照	64.0a	57.0a	195.0aA	—
	沟施	63.0a	53.0c	163.0cB	—
	混施	63.0a	54.0bc	167.0bB	—
	撒施	64.0a	56.0ab	175.0bB	—
	穴施	61.0a	53.0c	158.0cB	—
拔节期	对照	12 250.0bB	14 210.0b	11 660.0cB	—
	沟施	13 870.0aA	15 450.0a	13 210.0aA	—
	混施	13 650.0aA	15 070.0a	12 410.0bAB	—
	撒施	13 350.0aAB	14 760.0ab	12 120.0bcAB	—
	穴施	13 410.0aAB	14 800.0ab	12 260.0bcAB	—
大喇叭口期	对照	36 010.0dC	34 660.0cB	28 890.0dB	—
	沟施	50 980.0aA	38 690.0aA	34 760.0aA	—
	混施	47 740.0bA	37 070.0abAB	32 100.0bAB	—
	撒施	39 890.0dBC	36 680.0bAB	30 210.0cdB	—
	穴施	42 230.0cB	37 010.0abAB	31 780.0bcAB	—
抽雄吐丝期	对照	85 550.0cB	46 360.0b	46 510.0dC	24 320.0a
	沟施	94 330.0aA	49 900.0a	68 790.0aA	24 970.0a
	混施	91 560.0abAB	49 290.0a	64 120.0bAB	25 000.0a
	撒施	89 000.0bAB	48 170.0ab	59 240.0cB	25 210.0a
	穴施	89 500.0bAB	49 220.0a	63 740.0bAB	24 900.0a
灌浆期	对照	89 610.0dC	43 990.0dB	42 030.0cC	24 350.0cC
	沟施	113 860.0aA	52 000.0aA	64 370.0aA	29 420.0aA
	混施	104 630.0bAB	48 400.0bcAB	61 120.0aA	28 760.0aAB
	撒施	98 120.0cBC	47 110.0cAB	55 100.0bB	26 100.0bBC
	穴施	108 960.0abAB	50 610.0abA	62 160.0aA	28 980.0aAB
成熟期	对照	45 410.0dC	38 750.0b	37 570.0cC	17 570.0c
	沟施	61 200.0aA	42 090.0a	49 710.0aA	19 440.0a
	混施	55 860.0bAB	40 870.0a	47 360.0aA	18 750.0ab
	撒施	52 510.0cB	40 000.0ab	41 740.0bB	18 410.0bc
	穴施	58 200.0aA	41 070.0a	47 540.0aA	19 040.0ab

## 2.5 对水分利用效率的影响

玉米生长期灌水量为 540.0 mm,有效降水量为 93.8 mm。播种到收获不同处理的耗水量为沟施>穴施>混施>对照>撒施,但无显著性差异。生物量、产量为沟施、混施、穴施较高,撒施、对照较低(表 4)。水分利用效率为沟施>混施>穴施>撒施>对照,其中沟施、混施、穴施较高,撒施、对照较低。水分产出率、灌溉水产出率为沟施显著高于混施和穴施,极显著高于撒施及对照;混施、穴施显著高于撒施,极显著高于对照;撒施极显著高于对照。

表 3 不同处理对玉米花序生物量的影响

生长时期	处理	雌花序生物量/(mg/株)					千粒质量/mg	雄花序生物量(mg·株)
		雌花序	穗轴	苞叶	花丝	籽粒		
抽雄吐丝期	对照	60590.0a	—	—	—	—	—	7 380.0a
	沟施	58 040.0ab	—	—	—	—	—	7 180.0a
	混施	60 910.0a	—	—	—	—	—	7 330.0a
	撒施	58 460.0ab	—	—	—	—	—	7 260.0a
	穴施	56 050.0b	—	—	—	—	—	7 110.0a
灌浆期	对照	208 570.0dC	—	—	—	—	—	6 580.0a
	沟施	278 940.0aA	—	—	—	—	—	6 430.0a
	混施	264 120.0bAB	—	—	—	—	—	6 610.0a
	撒施	241 910.0cB	—	—	—	—	—	6 440.0a
成熟期	穴施	253 140.0bcAB	—	—	—	—	—	6 430.0a
	对照	224 290.0dC	30 230.0b	22 230.0a	850.0a	170 980.0dC	300 970.0c	6 020.0a
	沟施	292 810.0aA	32 580.0a	23 280.0a	890.0a	236 060.0aA	321 670.0a	5 920.0a
	混施	278 730.0abAB	31 260.0ab	22 460.0a	870.0a	224 140.0bAB	316 330.0ab	5 810.0a
	撒施	258 460.0cB	31 180.0ab	22 590.0a	860.0a	203 830.0cB	309 500.0bc	5 760.0a
穴施	276 430.0bAB	31 190.0ab	22 480.0a	870.0a	221 890.0bAB	316 000.0ab	5 740.0a	

表 4 不同处理的耗水量及水分利用效率

处理	播种前土壤储水量/mm	收获期土壤水分/mm	有效降水量/mm	灌水量/mm	耗水量/mm	生物量/(kg·hm <sup>2</sup> )	产量/(kg·hm <sup>2</sup> )	水分利用效率/(kg·mm <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	水分产出率/(kg·mm <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	灌溉水产出率/(kg·mm <sup>-1</sup> ·hm <sup>-2</sup> )
对照	277.8	268.8	93.8	540	642.8a	29514.7dC	15 198.2dC	45.9cC	23.6dC	28.1dC
沟施	277.8	265.1	93.8	540	646.5a	37463.2aA	20 983.1 aA	58.0aA	32.5aA	38.9aA
混施	277.8	267.2	93.8	540	644.3a	35 557.4bAB	19 923.6 bAB	55.2aAB	30.9bAB	36.9bAB
撒施	277.8	270.2	93.8	540	641.4a	33345.8cB	18 118.2 cB	52.0bB	28.3cB	33.6cB
穴施	277.8	265.3	93.8	540	646.3a	35 598.3bAB	19 723.6 bAB	55.1aAB	30.5bAB	36.5bAB

注:生物量不含根系生物量。

### 3 讨论

玉米原产于美洲,喜温耐旱。河套灌区为干旱、半干旱区,在玉米与小麦套种期间灌水频繁且灌水量较大,施用保水剂保持了较多的水分,过高的土壤水分导致土壤温度上升缓慢,抑制了玉米生长。拔节期以后土壤温度较高,适宜玉米生长,保水剂在吸水—释水过程中形成了较大的土壤空隙,改善了土壤通气状况,促进了玉米根系生长。玉米抽雄吐丝期、灌浆期为河套灌区干旱时期,耕层土壤水分低于萎蔫系数,施用保水剂提高了土壤水分,且对耕层土壤水分的影响大于深层土壤,为玉米生长提供了相对良好的土壤水分环境,促进玉米正常生长,提高了玉米产量,这与黄占斌等<sup>[10]</sup>、赵敏等<sup>[12]</sup>、杜社妮等<sup>[15]</sup>的研究结果相一致。沟施、混施、撒施、穴施的效果不同,主要是由于BJ2101-L保水剂为颗粒剂,吸水后粒径膨胀可达30~40 mm,撒施于地表,吸水膨胀后大面积暴露于大气中,吸收的水分易散失到大气中,对土壤水分贡献较少;混施于土壤,吸水后随着水分的缓慢释

放进行收缩,膨胀—收缩会形成较大的土壤空隙,促进了土壤与大气之间的水分交换;沟施于土壤,在膨胀—收缩过程中也会形成较大的空隙,但有土层间隔,吸收、保持的水分与大气交换较弱,因而可保持较高的土壤水分;穴施于土壤,由于与土壤接触的面积小,保水量过分集中,水分不易散失,但在土壤水分相对充足苗期,易导致土壤通气不良而影响玉米生长。沟施、混施提高了土壤水分,与杜社妮等<sup>[15]</sup>在玉米田沟施、混施沃特保水剂的效果相同。BJ2101-L保水剂不同施用方式间的差异与杜社妮等<sup>[16]</sup>在向日葵生产中的结果比较一致,也与耿桂俊等<sup>[17]</sup>在垄沟栽培番茄时不同施用方式间的差异基本相同。

抽雄吐丝期、灌浆期是玉米产量形成的关键时期,同时又是河套灌区最为干旱的时期,施用保水剂后玉米的根系分布较深、较广,吸收的水分区域较广,在干旱季节基本维持了玉米的正常生长及授粉受精,而对照的玉米在干旱季节缩短了生长发育进程,导致玉米提早成熟,降低了产量及生物量。

玉米不同生长期的土壤水分差异较大,主要与灌

水量、有效降水量、玉米生长等密切相关。播种到大喇叭口期玉米与小麦套种,灌水次数多,而玉米耗水量较小,因而土壤水分较高。大喇叭口期到灌浆期无有效降水,灌水仅 90 mm,而此期玉米生长量大,蒸发强烈,特别是大喇叭口期到抽雄吐丝期小麦收获后地表裸露,土壤蒸散量增强,因此土壤水分显著降低。灌浆期到成熟期气温较低,阴雨天较多,有效降水多,因而土壤水分较高。

不同处理的耗水量、灌水量无显著差异,但不同施用方式的玉米生物量、产量显著高于对照,因此其水分利用效率、水分产出率、灌溉水产出率显著高于对照。

#### 4 结论

(1) 播种时施用保水剂,其不同施用方式在玉米幼苗期、三叶期保持了较多的土壤水分,导致耕层土壤温度回升缓慢,抑制了玉米幼苗的生长。保水剂不同施用方式提高了土壤水分,特别是在干旱的抽雄吐丝期、灌浆期沟施、混施、穴施显著提高了土壤水分,为玉米高产奠定了基础。

(2) 从玉米拔节期到收获期,保水剂不同施用方式促进了玉米的生长,特别是在干旱的抽雄吐丝期、灌浆期显著促进了玉米生长,延长了玉米生长期,提高了玉米产量及生物量。

(3) 保水剂不同施用方式的耗水量与对照无显著差异,但显著提高了水分利用效率、水分产出率、灌溉水产出率。保水剂不同施用方式中,沟施的效果相对较好,混施、穴施居中,撒施较差。

河套灌区在玉米与小麦套种状况下,施用保水剂应采用沟施,且以玉米拔节期开始施用效果较好。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 姚建武,王艳红,唐明灯,等. 施用保水剂对旱地赤红壤持水能力及氮肥淋失的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(5):191-194.
- [2] 白文波,王春艳,李茂松,等. 不同灌溉条件下保水剂对新疆棉花生长及产量的影响[J]. 农业工程学报,2010,26(10):69-76.
- [3] 白文波,宋吉青,李茂松,等. 保水剂对土壤水分垂直入渗特征的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(2):18-23.
- [4] Lentz R D, Shainberg I, Sojka R E, et al. Preventing irrigation furrow erosion with small application of polymers[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(6): 1926-1932.
- [5] 王成志,杨培岭,任树海,等. 保水剂对滴灌土壤湿润体影响的室内实验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(12):1-6.
- [6] 赵铭钦,赵进恒,张迪,等. 保水剂对烤烟光合特性日变化的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(6):1265-1273.
- [7] 吴娜,赵宝平,曾昭海,等. 两种灌溉方式下保水剂用量对裸燕麦产量和品质的影响[J]. 作物学报,2009,35(8):1552-1557.
- [8] Woodhouse J, Johnson M S. Effect of super absorbent polymers on survival and growth of crop seedling [J]. Agricultural Water Management, 1991,20(1):63-70.
- [9] 杜社妮,白岗栓,赵世伟,等. 沃特和 PAM 保水剂对土壤水分及马铃薯生长的影响研究[J]. 农业工程学报,2007,23(8):72-79.
- [10] 黄占斌,张玲春,董莉,等. 不同类型保水剂性能及其对玉米生长效应的比较[J]. 水土保持学报,2007,21(1):140-143,163.
- [11] 赵玉坤,武继承. 不同用量保水剂对玉米苗期生理生态特性的影响[J]. 河南农业科学,2010,39(6):31-34.
- [12] 赵敏,高会东,崔彦宏. 保水剂对夏玉米生长发育和产量的影响[J]. 玉米科学,2006,14(6):125-126.
- [13] 丁林,张新民. 保水剂对春玉米注水播种条件下土壤水分及生长发育的影响[J]. 中国农村水利水电,2010(11):56-60.
- [14] 王以兵,丁林,张新民. 免储水灌注水播种条件下保水剂使用对玉米生长发育的影响[J]. 水土保持通报,2010,30(4):152-156.
- [15] 杜社妮,白岗栓,赵世伟,等. 沃特和 PAM 施用方式对土壤水分及玉米生长的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(11):30-35.
- [16] 杜社妮,耿桂俊,白岗栓,等. 保水剂施用方式对土壤水分及向日葵生长的影响[J]. 水土保持学报,2011,25(4):139-143.
- [17] 耿桂俊,白岗栓,杜社妮,等. 保水剂施用方式对土壤水盐及番茄生长的影响[J]. 中国水土保持科学,2011,9(3):65-70.
- [18] 崔娜,张玉龙,曲波,等. 保水剂对苗期番茄根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. 北方园艺,2010(23):24-26.
- [19] 崔娜,张玉龙,白丽萍. 不同粒径保水剂对土壤物理性质和番茄苗期生长的影响[J]. 核农学报,2011,25(1):127-130.
- [20] 杜社妮,白岗栓,赵世伟,等. 沃特保水剂对西瓜生长及土壤环境的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(8):102-108.