

# 沃特和 PAM 施用方式对土壤水分及玉米生长的影响

杜社妮<sup>1,2</sup>, 白岗栓<sup>1,2\*</sup>, 赵世伟<sup>1,2</sup>, 吴瑞俊<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100)

**摘要:** 为了鉴别沃特保水剂和 PAM 不同施用方式的施用效果, 在陕北黄土丘陵沟壑区开展了撒施、沟施、穴施对土壤水含量和玉米生长影响的田间试验。结果表明不同施用方式提高了 0~10 cm 土层土壤水含量, 而 30~40 cm 土层土壤水含量则随降水量的多少呈现出不同的规律性。随着玉米的生长, 不同施用方式影响的土层深度逐渐加深, 从三叶期 0~50 cm 土层增加到成熟期的 0~200 cm 土层, 土壤水含量表现为沟施、穴施高于撒施, 撒施高于对照。3 种施用方式对玉米出苗无显著影响, 但均提高了玉米生物量、籽粒产量、水分利用效率, 降低了玉米的耗水量, 其中沟施、穴施的效果强于撒施。沃特、PAM 相同施用方式对土壤水含量和玉米生长无显著影响, 且沟施和穴施之间无显著性差异, 但沃特单位施用量单位面积的增产量高于 PAM。玉米生产中, 沃特、PAM 应以沟施或穴施为主。

**关键词:** 土壤水含量, 施用方式, 沃特保水剂, PAM, 玉米, 生长状况

**中图分类号:** S147.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-11-0030-06

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.

Du Shen, Bai Gangshuan, Zhao Shiwei, et al. Effects of Wote super absorbent and PAM with different application methods on soil moisture and maize growth[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(11): 30-35. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

沃特保水剂是胜利油田长安集团采用聚丙烯酸 (Polypropylic Acid, PAA) 或聚丙烯酰胺 (Polyacrylamide, PAM) 与凹凸棒土 (Attapulgite) 杂化工艺合成的有机-无机复合保水剂, 能吸收自重 500~1000 倍的纯水或 40~80 倍的生理盐水, 反复吸收和释放水分 5 次后吸水能力仍大于其初始吸水能力的 85%<sup>[1-3]</sup>。沃特保水剂可显著提高土壤水含量, 提高土壤团聚体、土壤孔隙度及阳离子交换量, 降低土壤密度<sup>[4,5]</sup>, 可显著提高马铃薯、西瓜、玉米的生物量和产量<sup>[6-8]</sup>, 在干旱和半干旱地区有广阔的应用前景。PAM 作为土壤改良剂, 能增加土壤表层颗粒间的凝聚力, 维系良好的土壤结构, 防止土壤结皮, 抑制水分蒸发, 增加降雨入渗, 提高土壤水含量、土壤孔隙度及阳离子交换量, 降低土壤密度, 减少土壤侵蚀等<sup>[9-14]</sup>。PAM 可提高作物的产量和水分利用率, 促进作物生长<sup>[6-8,15-18]</sup>。目前沃特保水剂在农业生产中利用的主要方式是浸种、沟施、穴施, PAM 主要是地面撒施、浸种等。沃特保水剂、PAM 在干旱和半干旱地区已开展推广, 但不同施用方式对同一作物的施用效果缺乏研究, 影响了沃特保水剂、PAM 在农业生产中的应用。玉米 (*Zea*

*mays* L.) 是耗水较多的作物, 且水分利用率较高, 2005 年以玉米为试材, 开展沃特保水剂、PAM 不同施用方式对土壤水分及玉米生长的影响研究, 对沃特保水剂、PAM 在农业生产中推广应用有积极的指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地的自然条件

试验地位于黄土高原丘陵沟壑区陕西省安塞县沿河湾镇寨子湾村,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的持续天数 171 d, 无霜期 159 d, 活动积温 3170.3 $^{\circ}\text{C}$ 。4~9 月平均气温 17.95 $^{\circ}\text{C}$ , 极端最高气温 36.8 $^{\circ}\text{C}$ , 平均日较差 13.9 $^{\circ}\text{C}$ , 降水量 438.1 mm。

试验地海拔 1140.0 m, 梯田 (宽 20 m), 土壤为黄绵土, 轻壤。耕层田间持水量 196.8 g/kg, 有机质 6.26 g/kg, 速效氮 34.6 mg/kg, 速效磷 1.12 mg/kg, 速效钾 49.8 mg/kg, pH 值 8.6, 0~200 cm 土层土壤密度平均为 1.23 g/cm<sup>3</sup> (不同土层土壤密度见表 1)。2005 年春季播种前 0~200 cm 土层土壤贮水量为 337.08 mm。

表 1 试验地不同土层的土壤密度

Table 1 Soil density at different soil depths in the experiment land

土层深度/cm	0~10	10~20	20~30	30~40
密度/g·cm <sup>-3</sup>	1.18	1.20	1.20	1.21
土层深度/cm	40~50	50~60	60~70	70~80
密度/g·cm <sup>-3</sup>	1.21	1.21	1.21	1.22
土层深度/cm	80~90	90~100	100~110	110~120
密度/g·cm <sup>-3</sup>	1.23	1.23	1.23	1.23
土层深度/cm	120~130	130~140	140~150	150~160
密度/g·cm <sup>-3</sup>	1.23	1.24	1.26	1.26
土层深度/cm	160~170	170~180	180~190	190~200
密度/g·cm <sup>-3</sup>	1.26	1.26	1.26	1.26

收稿日期: 2007-10-25 修订日期: 2008-10-20

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目 (2006BAD09B07; 2006BAJ10B06); 国家“863”计划项目 (2006AA100219)

作者简介: 杜社妮 (1966-), 女, 陕西杨凌人, 助理研究员, 主要从事设施蔬菜栽培与保水剂应用方面的研究。杨凌 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100。Email: sndu@nwsuaf.edu.cn

\*通讯作者: 白岗栓, 男, 硕士生导师, 副研究员, 主要从事果树生态与保水剂应用方面的研究。杨凌 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100。

Email: baig@cem.ac.cn; gshb@nwsuaf.edu.cn

## 1.2 试验设计

试验涉及沃特保水剂和 PAM 两种, 沃特保水剂由胜利油田长安集团生产并提供, PAM 从法国进口, 由 SNF 公司生产。试验设 7 个处理, 对照 (不施沃特、PAM)、地面撒施、沟施、穴施, 即对照、沃特撒施、沃特沟施、沃特穴施、PAM 撒施、PAM 沟施、PAM 穴施, 重复 3 次, 共 21 个小区, 小区面积 12.5 m×8.0 m。参照杜社妮的试验结果<sup>[8]</sup>, 沃特保水剂、PAM 地面撒施、穴施、沟施用量均为 45 kg/hm<sup>2</sup>。

## 1.3 农艺措施

试验研究作物为玉米, 品种为沈单 10 号, 株行距 0.4 m×0.65 m。对照、撒施、沟施的玉米均开沟种植 (沟深 10 cm, 上宽 20 cm), 穴施的穴播 (播种穴长、宽均为 20 cm, 深 10 cm)。不同处理的播种深度均为 5~6 cm。沟施、穴施小区在玉米播种 (4 月 28 日) 前施沃特保水剂或 PAM (深度 0~10.0 cm), 并与土壤搅拌均匀; 撒施小区播种完后沿播种行 (宽 20 cm) 地面撒施沃特保水剂或 PAM, 其他的管理措施同大田作物。

## 1.4 测定项目

在施用沃特保水剂、PAM 前 (4 月 27 日) 及玉米三叶期 (5 月 22 日)、五叶期 (5 月 31 日)、拔节期 (6 月 16 日)、抽雄—吐丝期 (7 月 22 日)、成熟期 (9 月 14 日) 用土钻每间隔 10 cm 土层采样 1 次, 用烘干法测定玉米株间 (距植株约 20 cm 处) 0~200 cm 土层土壤含水率 (质量%), 每个小区测定 2 处。根据不同土层的土壤密度、土层厚度和土壤含水率换算出不同土层的土壤含水量 (土层厚度 mm)。

$$w = \frac{Sw - Sd}{Sd} \times 100\% \quad (1)$$

式中  $w$ ——土壤含水率, %;  $Sw$ ——湿土质量, g;  $Sd$ ——干土质量, g。

$$h = Hs \times w \times d \times 10 \quad (2)$$

式中  $h$ ——土壤含水量, mm;  $Hs$ ——土层深度, cm;  $w$ ——土壤含水率, %;  $d$ ——土壤密度, g/cm<sup>3</sup>。

0~200 cm 土层土壤含水量为 0~10 cm、10~20 cm……190~200 cm 土层土壤含水量之和, 其他土层依此类推。

从播种到成熟期每隔 10 d 用烘干法测定株间距植株 20 cm 处 0~10 cm (表层)、30~40 cm (犁底层) 土层土壤含水量。常规方法测定玉米的出苗率, 并在玉米三叶期、五叶期、拔节期、抽雄—吐丝期、成熟期测定玉米地上部、地下部生物量和产量等, 抽雄—吐丝期以玉米植株为中心, 以 30 cm 为半径, 以 10 cm 为一层, 调查不同处理玉米根系分布状况。小区旁设置雨量筒, 观测玉米生长期间的降水量。

玉米从播种到收获期间不灌水, 不同处理生长期间的追肥、除草等管理均相同。试验地平整, 地下水位深, 土层深厚及土壤质地均一, 试验地不产生渗漏、地下水补给和水分的水平运动, 玉米田间耗水量主要与生育期间有效降水量和生育期间土壤含水量的变化有关。

$$ET = p \pm \Delta h \quad (3)$$

式中  $ET$ ——田间耗水量, mm;  $p$ ——生育期间的有效降水量, mm;  $\Delta h$ ——生育期间土壤含水量的变化, mm。

$$p = \lambda \cdot p' \quad (4)$$

式中  $p$ ——有效降水量, mm;  $\lambda$ ——降水有效利用系数;  $p'$ ——降水量, mm。

当一次降水量或 24 h 降水量 ≤ 5 mm,  $\lambda$  为 0; 当降水量为 5~50 mm 时,  $\lambda$  为 1.00; 当降水量为 50~150 mm 时,  $\lambda$  为 0.75~0.85 (试验期间最大日降水量为 65 mm,  $\lambda$  为 0.80); 当降水量 > 150 mm 时,  $\lambda$  为 0.7<sup>[19]</sup>。

$$WUE = B / ET \quad (5)$$

式中  $WUE$ ——水分利用效率, kg/(mm·hm<sup>2</sup>);  $B$ ——生物总量, kg/hm<sup>2</sup>;  $ET$ ——田间耗水量, mm。

$$A = Y / ET \quad (6)$$

式中  $A$ ——水分产出率, kg/(mm·hm<sup>2</sup>);  $Y$ ——玉米籽粒产量, kg/hm<sup>2</sup>;  $ET$ ——田间耗水量, mm。

$$E = \Delta Y / Q / S \quad (7)$$

式中  $E$ ——单位施用量单位面积的增产量, kg/(kg·hm<sup>2</sup>);  $\Delta Y$ ——某 1 处理的增产量, kg;  $Q$ ——沃特保水剂或 PAM 某 1 处理的施用量, kg;  $S$ ——某 1 处理的面积, hm<sup>2</sup>。

监测数据均采用新复极差法检验, 检验不同处理间的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 玉米物候期及降水量

试验玉米于 2005 年 4 月 28 日播种, 4 月 29 日~5 月 7 日为出苗期, 5 月 8 日~5 月 21 日为幼苗期, 5 月 22 日~5 月 28 日为三叶期, 5 月 29 日~6 月 14 日为五叶期, 6 月 15 日~7 月 16 日为拔节期, 7 月 17 日~7 月 24 日为抽雄—吐丝期, 7 月 25 日~9 月 14 日为灌浆—成熟期。

播种到收获期 (4 月 28 日到 9 月 14 日) 降水 362.8 mm, 有效降水 324.2 mm。降水主要集中在三叶期、拔节期、抽雄—吐丝期和灌浆期, 玉米生长后期即淀粉累积期 (8 月 14 日到 9 月 14 日) 无降水过程 (图 1)。

### 2.2 土壤含水量

#### 2.2.1 不同土层土壤含水量

0~10 cm 土层土壤含水量与降水量和不同施用方式密切相关。雨后 (5 月 27 日、7 月 06 日、7 月 26 日、8 月 15 日) 不同处理土壤含水量均高出对照 10.0% 以上, 达到极显著差异; 在大雨降后的 5 月 27 日 (连续 2 d 降水 66.9 mm), PAM 不同处理土壤含水量显著高于沃特保水剂; 淀粉累积期到成熟期连续 32 d 无降水过程, 不同处理土壤含水量 (9 月 14 日) 极显著高于对照。从三叶期到成熟期不同处理的土壤含水量均极显著高于对照 (图 2)。除 5 月 27 日外, 不同处理之间的土壤含水量基本相同, 无显著差异。

不同施用方式 30~40 cm 土层土壤含水量与 0~10 cm 土层差异较大。当一次有效降水大于 20 mm 以上 (5 月 27 日、7 月 06 日、7 月 26 日) 后, 不同处理的土壤含水量与对照基本相同, 无显著差异; 在玉米五叶期到拔节期 (5 月 31 日~6 月 26 日) 连续 27 d 无有效降水,

沟施、穴施的显著高于撒施及对照；拔节期（7月04日~7月16日）连续13d无有效降水，沟施、穴施的极显著高于撒施及对照。淀粉积累期到成熟期（8月14日到9月14日）无降水过程，由于沟施、穴施的玉米生长势强，消耗的土壤水分多，沟施、穴施的土壤水含量显著低于撒施及对照。抽雄—吐丝期前沃特保水剂、PAM沟施、穴施的土壤水含量高于撒施和对照，抽雄—吐丝期后则低于撒施和对照，撒施与对照基本相同。播种到成熟期

不同处理 30~40 cm 土层土壤水含量平均值与对照基本相同。沃特保水剂、PAM 相同施用方式的土壤水含量基本相同，无显著差异（图3）。沃特、PAM 不同施用方式对 30~40 cm 土层土壤水含量影响呈现为当降水较多时不同处理的土壤水含量与对照基本相同，当降水较少时沟施、穴施的高于撒施及对照，当干旱时沟施、穴施的低于撒施及对照。

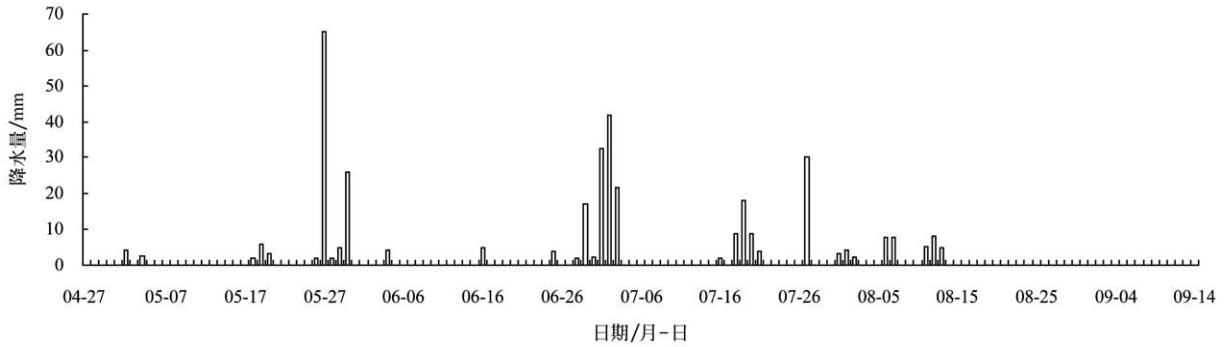


图 1 试验期间的降水量

Fig.1 Precipitation in experimentation term

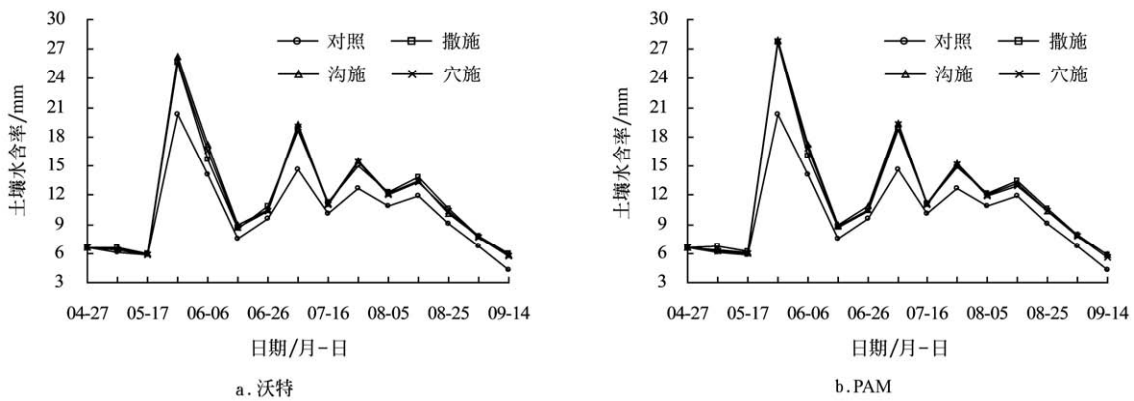


图 2 不同处理 0~10 cm 土层土壤水含量变化曲线

Fig.3 Variations of soil moisture for different treatments in 0~10 cm deep soil

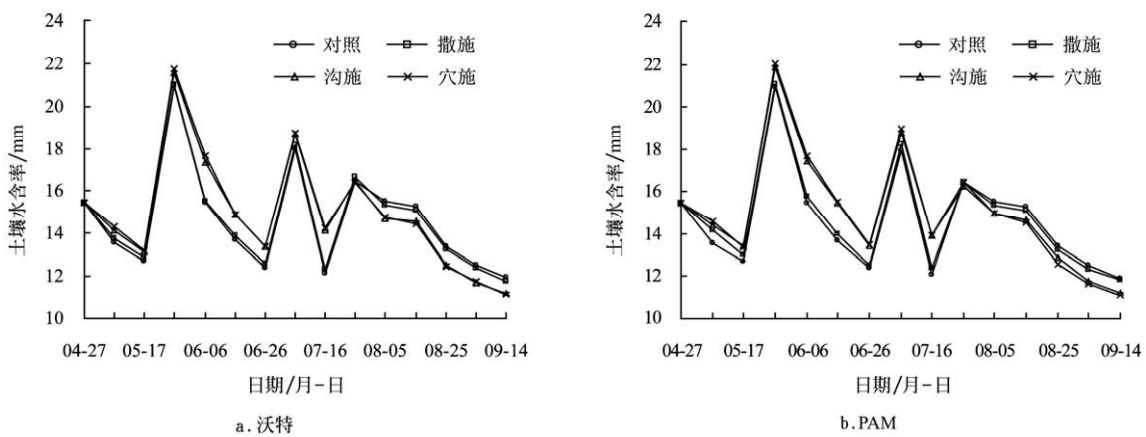


图 3 不同处理 30~40 cm 土层土壤水含量变化曲线

Fig.3 Variations of soil moisture for different treatments in 30~40 cm deep soil

2. 2. 2 不同生长期 0~200 cm 土层土壤水含量

播种到三叶期降水偏少，不同处理仅 0~50 cm 土层土壤水含量显著高于对照。五叶期降水较多，不同处理

0~50 cm 土层土壤水含量极显著高于对照，且沟施、穴施极显著高于撒施。拔节期是玉米快速生长期，消耗的水分相对较多，而此期降水量相对较少，不同处理 0~

50 cm 土层土壤水含量差异与五叶期相同，50~100 cm 土层沟施、穴施显著高于撒施，撒施显著高于对照。抽穗一吐丝期是玉米生长最活跃的时期，同时也是日水分消耗较多的时期，不同处理 0~50 cm 土层土壤水含量差异与五叶期、拔节期相同；50~100 cm 土层沟施、穴施极显著高于撒施，撒施显著高于对照；100~150 cm 土层沟施、穴施显著高于撒施，撒施显著高于对照。淀

粉积累期到成熟期玉米耗水较多，玉米成熟前连续 32 d 无降水过程，成熟期沟施、穴施 0~50 cm 土层、50~100 cm 土层、100~150 cm 土层土壤水含量均极显著高于撒施，撒施极显著高于对照；150~200 cm 土层沟施、穴施显著高于对照（表 2）。沃特、PAM 相同施用方式土壤水含量无显著差异，沟施、穴施间无显著差异（表 2）。

表 2 不同生长期各处理的土壤水含量

Table 2 Soil water contents for different treatments at different growth stages

处理	土层深度 /cm	mm																			
		三叶期				五叶期				拔节期				抽穗-吐丝期				成熟期			
		0~50	50~100	100~150	150~200	0~50	50~100	100~150	150~200	0~50	50~100	100~150	150~200	0~50	50~100	100~150	150~200	0~50	50~100	100~150	150~200
对照	66.21b	78.62	84.58	86.34	82.41C	94.63	83.25	84.75	54.15C	73.75cB	78.69	82.52	82.14C	81.16cB	82.21cB	82.71	34.99C	48.95C	56.24C	76.95b	
沃特	撒施	73.46a	78.61	84.23	86.54	102.63B	95.68	83.56	84.83	64.02B	78.96bAB	79.68	82.68	92.08B	87.56bB	86.56bAB	83.21	39.02B	56.21B	63.56B	79.86ab
	沟施	72.68a	78.56	84.65	86.28	112.36A	95.97	83.68	84.79	74.73A	84.95aA	81.12	82.96	102.29A	96.26aA	91.38aA	83.83	46.08A	65.01A	75.84A	83.19a
	穴施	72.89a	78.43	84.67	86.71	114.64A	96.12	83.43	84.62	75.68A	85.62aA	81.01	82.54	103.12A	97.42aA	91.56aA	83.54	46.87A	65.48A	74.89A	83.26a
PAM	撒施	73.68a	78.91	85.01	86.16	105.78B	96.24	83.21	84.67	63.58B	78.24bAB	79.46	82.96	91.68B	86.58bB	86.42bAB	83.41	39.14B	56.74B	64.01B	79.12ab
	沟施	72.78a	79.06	84.28	86.32	116.41A	95.89	83.42	84.54	73.65A	85.06aA	80.75	82.67	101.90A	95.07aA	91.13aA	83.44	45.86A	65.22A	73.82A	82.97a
	穴施	73.01a	78.86	84.86	86.24	115.94A	96.02	83.24	84.61	74.21A	85.72aA	80.56	82.47	100.98A	96.12aA	91.39aA	83.29	46.12A	65.01A	74.18A	82.56a

2.3 玉米生长状况

2.3.1 生长状况

播种到出苗无有效降水，耕层土壤水含量较低，不同施用方法及对照的出苗率均在 76.8%~79.6%之间，无显著差异。三叶期不同处理的株高均显著高于对照，生物量与对照基本相同。五叶期不同处理的株高均显著高于对照，生物量极显著高于对照。拔节期沟施、穴施的株高和茎、叶、根系生物量及总生物量极显著高于撒施，撒施极显著高于对照。抽穗一吐丝期沟施、穴施的株高和茎、根系生物量及总生物量均极显著高于撒施，撒施

显著高于对照；沟施、穴施的叶生物量显著高于撒施，撒施显著高于对照。成熟期不同处理的株高与对照基本相同；沟施、穴施的茎秆粗度显著高于撒施，撒施显著高于对照。成熟期沟施、穴施的茎、籽粒、苞叶、根系生物量和植株总生物量极显著高于撒施，撒施显著高于对照；沟施、穴施的叶、穗轴生物量显著高于撒施，极显著高于对照，撒施显著高于对照；沟施、穴施的千粒重极显著高于撒施，撒施的极显著高于对照。成熟期沃特、PAM 相同施用方式玉米的株高、生物量、籽粒产量等基本相同，沟施与穴施之间无显著差异（表 3）。

表 3 不同生长期玉米的生长状况

Table 3 Growth conditions of maize for different treatments at different growth stages

处理	出苗率 /%	三叶期/5月22日		五叶期/5月31日		拔节期/6月16日				抽穗-吐丝期/7月22日				成熟期/9月14日												
		株高/cm	生物量/g·株 <sup>-1</sup>	株高/cm	生物量/g·株 <sup>-1</sup>	株高/cm	生物量/g·株 <sup>-1</sup>			株高/cm	生物量/g·株 <sup>-1</sup>			株高/cm	茎粗/cm	千粒重/g	生物量/g·株 <sup>-1</sup>									
							茎	叶	根系	合计		茎	叶	根系	合计				茎	叶	籽粒	穗轴	苞叶	根系	合计	
对照	76.8	13.2b	2.55	44.6b	9.96B	86.7C	2.22C	21.28C	3.21C	26.71C	252.6cB	84.8cB	54.2cB	76.7cB	215.7cB	280.4	2.34c	342.6C	78.4cB	56.4cB	196.6cB	42.6cB	35.4cB	69.8cB	479.2cB	
沃特	撒施	78.4	14.2a	2.59	52.6a	12.34A	97.9B	2.53B	23.52B	3.65B	29.70B	260.3bB	91.4bB	57.8bAB	84.2bB	233.4bB	283.9	2.51b	378.4B	86.9bB	60.1bAB	209.8bB	45.2bAB	38.5bB	76.4bB	516.9bB
	沟施	79.6	14.3a	2.61	52.2a	12.46A	108.8A	2.91A	25.94A	4.02A	32.87A	276.4aA	103.2aA	62.9aA	95.6aA	261.7aA	286.4	2.67a	416.9A	97.4aA	65.3aA	232.4aA	48.2aA	44.3aA	86.5aA	574.1aA
	穴施	77.9	14.1a	2.58	52.9a	12.48A	109.5A	2.92A	25.86A	4.05A	32.83A	277.4aA	102.9aA	63.2aA	96.1aA	262.2aA	287.2	2.68a	417.8A	98.1aA	64.9aA	234.1aA	48.1aA	44.4aA	86.6aA	576.2aA
PAM	撒施	77.6	14.4a	2.60	51.8a	12.21A	96.2B	2.51B	23.50B	3.56B	29.57B	259.6bB	90.6bB	57.6bAB	83.7bB	231.9bB	281.8	2.49b	373.7B	85.8bB	59.6bAB	207.4bB	44.9bAB	38.6bB	76.2bB	512.5bB
	沟施	78.2	14.1a	2.57	52.6a	12.36A	107.9A	2.89A	25.88A	3.94A	32.71A	274.0aA	102.4aA	62.4aA	93.9aA	258.7aA	284.9	2.66a	413.8A	97.1aA	64.5aA	232.1aA	47.9aA	44.3aA	85.9aA	571.8aA
	穴施	78.6	14.1a	2.58	52.2a	12.41A	107.4A	2.90A	25.87A	3.96A	32.73A	274.6aA	103.1aA	62.8aA	94.1aA	260.0aA	285.4	2.67a	412.9A	96.9aA	64.7aA	229.8aA	48.2aA	44.4aA	86.1aA	570.1aA

2.3.2 根系分布状况

抽穗一吐丝期对照 0~10 cm 土层根系分布量占根系总量的 63.51%，沃特撒施为 66.13%，沃特沟施为 62.12%，沃特穴施为 61.98%，PAM 撒施为 66.76%，PAM 沟施为 62.24%，PAM 穴施为 62.31%。对照 0~30 cm 土层根系分布量占根系总量的 89.80%，沃特撒施为 92.44%，沃特沟施为 88.68%，沃特穴施为 88.84%，PAM 撒施为 92.74%，PAM 沟施为 88.46%，PAM 穴施为 88.54%。沃特、PAM 撒施促进根系向上层土壤分布，而沟施、穴施

促进根系向下层土壤分布。

2.4 不同处理的耗水量和水分利用状况

2.4.1 不同处理的耗水量

播种到三叶期(4月28日到5月22日)降水 18.0 mm，有效降水 11.3 mm，期间对照耗水量最高，与不同处理达到极显著差异；不同施用方式中，PAM 撒施的耗水量最低，与沃特、PAM 沟施达到显著差异。播种到五叶期(4月28日到5月31日)、拔节期(4月28日到6月16日)降水分别为 117.4 mm 和 126.3 mm，有效降水均为

93.9 mm, 播种到五叶期、拔节期对照的耗水量极显著高于撒施, 撒施的极显著高于沟施和穴施。播种到抽雄—吐丝期(4月28日到7月22日)降水288.6 mm, 有效降水252.4 mm, 期间对照、撒施的耗水量极显著高于沟施、穴施, 对照显著高于撒施。播种到收获期(4月28日到9月14日)降水362.8 mm, 有效降水324.2 mm, 期间对照的耗水量极显著高于沟施、穴施, 显著高于撒施。沃特、PAM相同施用方式的耗水量无显著差异, 撒施的耗水量显著高于沟施、穴施; 沟施、穴施的耗水量基本相同(表4)。

#### 2.4.2 不同处理的水分利用状况

播种到三叶期不同处理的水分利用效率极显著高于对照。播种到五叶期、拔节期、抽雄—吐丝期、成熟期沟施、穴施的水分利用效率极显著高于撒施, 撒施的极显著高于对照。沟施、穴施的水分产出率极显著高于撒施, 撒施的极显著高于对照(表5)。沃特和PAM相同施用方法水分利用效率、水分产出率无显著差异。

沟施、穴施单位施用量单位面积的增产量极显著高于撒施。沃特穴施单位施用量单位面积的增产量显著高于PAM沟施, 极显著高于PAM穴施; 沃特沟施显著高于PAM穴施; 沃特撒施极显著高于PAM撒施。沃特保水剂单位施用量单位面积的增产量高于PAM(表5)。

表4 不同处理不同生长期玉米的耗水量

处理	生长期					
	三叶期	五叶期	拔节期	抽雄—吐丝期	成熟期	
对照	32.63aA	85.94A	141.87A	261.26aA	444.15aA	
沃特	撒施	25.54bcB	64.28B	125.64B	240.07bA	422.63bAB
	沟施	26.21bB	54.18C	107.22C	215.72cB	391.16cB
PAM	穴施	25.68bcB	52.17C	106.13C	213.84cB	390.78cB
	撒施	24.62cB	61.08B	126.74B	241.39bA	422.27bAB
沃特	沟施	25.94bB	50.72C	108.85C	217.94cB	393.41cB
	穴施	25.41bcB	51.17C	108.02C	217.70cB	393.41cB

表5 不同处理不同生长期玉米的水分利用效率、水分产出率及单位施用量单位面积的增产量

处理	水分利用效率/kg·(mm·hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>					水分产出率/kg·(mm·hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	单位施用量单位面积的增产量/kg·(kg·hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>
	三叶期	五叶期	拔节期	抽雄—吐丝期	成熟期		
对照	3.01 B	4.46 C	7.24 C	31.75 C	41.50 C	17.02 C	0
沃特	撒施	3.90 A	7.38 B	9.09 B	37.39 B	47.04 B	11.28d C
	沟施	3.83 A	8.85 A	11.79 A	46.66 A	56.45 A	30.60 abAB
PAM	穴施	3.86 A	9.20 A	11.90 A	47.16 A	56.71 A	32.05 aA
	撒施	4.06 A	7.69 B	8.97 B	36.95 B	46.68 B	9.23 eD
沃特	沟施	3.81 A	9.37 A	11.56 A	45.65 A	55.90 A	30.34 bAB
	穴施	3.91 A	9.33 A	11.65 A	45.93 A	55.73 A	28.38 cB

### 3 讨论

沃特、PAM不同施用方式均提高了表层土壤水含量, 但表层土壤水含量主要与降水量密切相关, 与不同施用方式关系较低, 主要原因是撒施、沟施、穴施表层土壤均施入大量的沃特、PAM, 沃特、PAM均吸收了大量的降水, 使表层土壤水分处于同一水平。陈渠昌等<sup>[13]</sup>认为PAM对坡地降雨径流入渗的调节存在一个阈值, 当PAM用量大于3 g/m<sup>2</sup>时可明显降低地表径流入渗率, Yu Jian等<sup>[20]</sup>认为PAM易在地表形成“结皮”, 减少雨水入渗。本试验沃特保水剂、PAM地面撒施、穴施、沟施用量均为45 kg/hm<sup>2</sup>, 撒施是沿播种行对宽20 cm地面撒施沃特保水剂或PAM, 而玉米的株行距为0.4 m×0.65 m, 地面撒施的施用量相当于14.6 g/m<sup>2</sup>, 地面撒施的大量沃特、PAM导致雨水入渗量减少, 而沟施、穴施的沃特保水剂、PAM由于与0.0~10.0 cm土层土壤混合均匀, 不存在表层土壤“结皮”现象, 沃特保水剂、PAM吸收大量降水并促进了降水向深层土壤入渗, 因而30~40 cm土层及深层土壤水含量高于撒施。由于沟施、穴施深层土壤水分含量较高, 为玉米生长提供了较好的土壤水分环境, 因此沟施、穴施的玉米生长良好, 根、茎、叶等生物量高于撒施, 产量及千粒重高于撒施。由于撒施表层土壤水分含量较高, 沟施、穴施深层土壤水分含量较高, 因

此撒施的玉米根系上层土壤分布较多, 沟施、穴施的下层土壤分布较多。沟施、穴施的土壤水分较高, 玉米生长良好, 生物量较大, 产量较高, 因此降低了玉米的耗水量, 提高了水分利用效率和水分产出率。沃特保水剂单位施用量单位面积的增产量高于PAM, 这可能与沃特保水剂含有一定的营养元素有关。沃特保水剂、PAM地面撒施的土壤水含量高于对照, 玉米生物量、籽粒产量、水分利用效率和水分产出率等高于对照, 耗水量低于对照, 说明沃特保水剂、PAM地面撒施仍具有一定的吸水、保水作用。

### 4 结论

1) 沃特保水剂、PAM不同施用方式提高了0~10 cm土层土壤水含量, 而30~40 cm土层土壤水含量则随降水量的多少呈现出不同的规律性。随着玉米的生长, 不同施用方式影响的土层深度逐渐加深, 三叶期和五叶期影响0~50 cm土层, 拔节期影响0~100 cm土层, 抽雄—吐丝期影响0~150 cm土层, 成熟期影响0~200 cm土层, 不同施用方式的土壤水含量表现为沟施、穴施高于撒施, 撒施高于对照。

2) 沃特保水剂、PAM不同施用方式对玉米的出苗率无显著影响。不同施用方式提高了玉米的株高、生物量、籽粒产量, 其中沟施、穴施高于撒施。沃特、PAM撒施

促进根系向上层土壤分布, 沟施、穴施促进根系向下层土壤分布。

3) 沃特保水剂、PAM 不同施用方式降低了玉米的耗水量, 提高了水分利用效率和水分产出率, 其中沟施、穴施的强于撒施。沃特保水剂与 PAM 相同施用方式对土壤水含量和玉米生长、水分利用效率等无显著影响, 且沟施、穴施的效果基本相同, 但沃特保水剂单位施用量单位面积的增产量高于 PAM。

4) 玉米生产中, 沃特保水剂、PAM 应沟施或穴施, 可提高沃特保水剂和 PAM 的施用效果。

#### [参 考 文 献]

- [1] 杨永辉, 赵世伟, 黄占斌, 等. 沃特多功能保水剂保水性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 35—37.
- [2] 刘瑞凤, 张俊平, 王爱勤. PAM—atta 复合保水剂的保水性能及影响因素研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 47—50.
- [3] 张俊平, 刘瑞凤, 王爱勤. PAM/凹凸棒粘土复合高吸水性树脂的吸水性能[J]. 高分子材料科学与工程, 2006, 22(5): 151—154, 158.
- [4] 刘瑞凤, 张俊平, 郑欣, 等. PAM—atta 复合保水剂对土壤物理性质的影响[J]. 土壤, 2006, 38(1): 86—91.
- [5] 杨红善, 刘瑞凤, 张俊平, 等. PAM—atta 复合保水剂对土壤持水性及其物理性能的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3): 38—41.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 杜社妮, 赵世伟, 白岗栓. 沃特和 PAM 对土壤水分及玉米生长的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2008, 34(1): 81—88.
- [9] 崔海英, 任树梅, 刘东, 等. 聚丙烯酰胺对不同土壤坡地降雨产流产沙的影响研究[J]. 中国水土保持, 2006, (2): 20—23.
- [10] 崔海英, 任树梅, 杨培岭, 等. PAM 和石膏对坡地水分入渗及土壤流失的影响 [J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(4): 53—55.
- [11] Lentz R D, Sojka R E. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion and infiltration[J]. Soil Sci, 1994, 158: 274—282.
- [12] 和继军, 蔡强国, 唐泽军. PAM 控制土壤风蚀的风洞实验研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 12—15
- [13] 陈渠昌, 雷廷武, 李瑞平. PAM 对坡地降雨径流入渗和水力侵蚀的影响研究[J]. 水利学报, 2006, 37(11): 1290—1296.
- [14] 员学锋, 汪有科, 吴普特, 等. PAM 对土壤物理性状影响的实验研究及机理分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 37—40.
- [15] 唐泽军, 雷廷武, 赵小勇, 等. PAM 改善黄土水土环境及对玉米生长影响的田间试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 216—219.
- [16] 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.
- [17] 黄占斌, 朱元骏, 李茂松, 等. 保水剂聚丙烯酸钠不同施用方法对玉米生长和水分利用率的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(5-6): 576—579.
- [18] 迟永刚, 黄占斌, 李茂松. 保水剂与不同化学材料配合对玉米生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(6): 132—136.
- [19] 武汉水利电力学院《农田水利》编写组. 农田水利[M]. 北京: 人民教育出版社, 1977: 94—96.
- [20] Yu Jian, Lei T, Shainberg I, et al. Infiltration and erosion in soil treated with dry PAM and gypsum[J]. Soil Sci Soc Am, 2003, 67: 630—636.

## Effects of Wote super absorbent and PAM with different application methods on soil moisture and maize growth

Du Shen<sup>1,2</sup>, Bai Gangshuan<sup>1,2\*</sup>, Zhao Shiwei<sup>1,2</sup>, Wu Ruijun<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

**Abstract:** In order to determine the effects of Wote super absorbent and PAM with various application methods, field experiments were conducted to investigate their effects on soil moisture and maize growth in the loess hilly and gully areas of northern Shaanxi Province. Wote super absorbent and PAM were applied with three treatments of broadcasting, furrowing, and holing. The results showed that the three treatments could increase soil moisture within 10 cm deep below soil surface, while soil moisture in 30~40 cm layer showed different regimes with various precipitations at the maize growing stage. At the maize growing stage, soil depth affected by the treatments extended from 50 cm at three leaves stage to 200 cm at the maturation stage. The application treatments, in terms of soil moisture, were ranked in the descendant order of furrowing and holing, broadcasting, and CK. The three application methods could hardly influence maize germination, but could increase maize biomass, kernel yield, and water use efficiency and decrease water consumption by maize. The effects of furrowing and holing treatments were better than that of broadcasting treatment. Wote super absorbent and PAM with the same application method did not significantly affect soil moisture and maize growth. There was no evident difference between furrowing and holing treatments as well. Yield per unit amount of application for Wote super absorbent was higher than that for PAM. Optimum application method of Wote and PAM should be furrowing or holing application in maize production.

**Key words:** soil moisture, application methods, Wote super absorbent, PAM, maize, growth condition