

# 沃特和 PAM 保水剂对土壤水分及马铃薯生长的影响研究

杜社妮<sup>1,2</sup>, 白岗栓<sup>1,2\*</sup>, 赵世伟<sup>1,2</sup>, 侯喜录<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:** 在陕北黄土丘陵沟壑区以不施为对照, 开展了浸种、穴施保水剂沃特和 PAM 对土壤水分和马铃薯生长影响研究。结果表明: 沃特、PAM 不同处理 10~20 cm、30~40 cm 土层土壤含水率在盛花前略高于对照, 茎叶衰老后略低于对照。不同处理 0~100 cm 土层土壤含水量苗期略高于对照; 花期沃特、PAM 穴施用量 15 和 30 kg/hm<sup>2</sup> 处理极显著高于对照, 沃特、PAM 穴施用量 60 kg/hm<sup>2</sup> 和 1.0% 浸种处理显著低于对照; 收获期不同处理均低于对照。不同处理花期、收获期均表现为沃特、PAM 施用量越大, 生物量、块茎产量越高, 块茎个数越少, 最大块茎越大。从播种到花期沃特、PAM 穴施用量 15 和 30 kg/hm<sup>2</sup> 处理的耗水量显著低于对照, 从播种到收获期不同处理的耗水量与对照无显著差异, 但花期、收获期不同处理的水分利用率和水分产出率均极显著高于对照。沃特和 PAM 在马铃薯生产应用中, 穴施应以 30 kg/hm<sup>2</sup> 到 45 kg/hm<sup>2</sup> 为宜。用 1.0% 的浓度浸种, 可成为沃特和 PAM 在马铃薯生产中利用的主要方式。

**关键词:** 沃特保水剂; PAM 保水剂; 马铃薯; 土壤水分; 生长状况

中图分类号: S 152.7; S532 文献标识码: A 文章编号: 1002-6819(2007)8-0072-08

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.

Du Sheni, Bai Gangshuan, Zhao Shiwei, et al. Effects of Wote Super Absorbent and PAM absorbent on soil moisture and growth of potato[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(8): 72-79. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

保水剂 (Super absorbent 或 Super absorbent polymer, SAP) 是近年来迅速发展起来的一种新型高分子材料, 具有很强的吸水、保水能力, 能迅速吸收自身质量几百倍甚至上千倍的水分, 且有反复吸水的功能, 吸持后的水分可缓慢释放供作物利用<sup>[1,2]</sup>。保水剂可增加土壤团聚体, 改良土壤结构, 提高土壤吸水能力, 增加土壤水含率, 提高土壤保水、保肥能力, 减少水土流失, 提高水肥利用率<sup>[3,4]</sup>。保水剂可提高播种出苗率, 提高苗木成活率, 缩短移栽缓苗期, 促进作物生长发育, 增强作物的抗旱性, 提高作物的干物质积累, 提高作物产量和水分利用率, 并且对作物无毒、无害、无副作用<sup>[5,6]</sup>。保水剂在玉米 (*Zea mays* L.)、马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 等作物上有显著的增产作用, 并可显著提高马铃薯

的商品率<sup>[7-11]</sup>。保水剂在日本、美国、欧盟等发达国家有着广阔的生产前景和消费市场。目前商品化的保水剂大多以聚丙烯酸 (Polypropylic Acid, PAA) 或聚丙烯酰胺 (Polyacrylamide, PAM) 为主生产, 成本高, 耐盐碱性能差, 在农业生产应用中受到一定的限制。沃特保水剂是胜利油田长安集团采用丙烯酸或丙烯酰胺与凹凸棒土 (Attapulgit) 杂化工艺合成的有机-无机复合保水剂, 能吸收自身质量 500~1 000 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>[12-15]</sup>。PAM 是一种土壤结构改良剂, 能吸收自身质量 1300 倍的纯水或 1.0% NaCl 溶液 63 倍, 可增加降水入渗和减少土壤侵蚀, 改良土壤结构, 提高土壤水含率, 具有一定的保水作用<sup>[1,16-18]</sup>。为了鉴别沃特的施用效果, 探寻适宜的施用量, 2005 年在陕北黄土丘陵沟壑区以相同施用量的 PAM (法国进口) 为对比, 开展了浸种和穴施不同用量的沃特对土壤水分和马铃薯生长影响的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地的自然条件

试验地位于陕北黄土丘陵沟壑区的安塞县沿河湾镇寨子湾村, 年均气温 8.8℃, 7 月 22.6℃, 1 月 -6.9℃, 极端最高气温 36.8℃, 极端最低气温 -23.6℃, 平均日较差 13.9℃, <math>-10^{\circ}\text{C}</math> 的活动积温 3171.2℃, 年太阳辐射

收稿日期: 2006-06-08 修订日期: 2007-07-16  
基金项目: 国家“十一·五”科技支撑项目 (2006BAD09B07; 2006BAD09B08); 国家“863”计划项目 (2006AA100219); 中国科学院知识创新项目 (KZCX2-XB2-05-01)  
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方面的研究。杨凌 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100。Email: sнду@nwsuaf.edu.cn  
通讯作者: 白岗栓 (1965-) 男, 陕西富平人, 副研究员, 主要从事果树栽培方面的研究。杨凌 西北农林科技大学水土保持研究所, 712100。Email: baig@term.ac.cn

528.6 kJ/cm<sup>2</sup>, 日照时数 2415.6 h, 年降水量 549.1 mm, 无霜期 159 d。

试验地海拔 1140.0 m, 梯田面宽 20 m 左右, 黄绵土, 轻壤。0~20 cm 土层土壤密度 1.19 g/cm<sup>3</sup>, 20~30 cm 土层土壤密度为 1.20 g/cm<sup>3</sup>, 30~70 cm 土层土壤密度为 1.21 g/cm<sup>3</sup>, 70~80 cm 土层土壤密度为 1.22 g/cm<sup>3</sup>, 80~100 cm 土层土壤密度为 1.23 g/cm<sup>3</sup>, 0~100 cm 土层土壤密度平均为 1.21 g/cm<sup>3</sup>, 田间持水率为 19.68%。耕层有机质为 6.26 g/kg, 速效氮为 34.6 mg/kg, 速效磷为 1.12 mg/kg, 速效钾为 49.8 mg/kg, pH 值为 8.6。

## 1.2 试验材料与试验设计

供试马铃薯品种为克新一号, 2005 年 4 月 28 日种植于种植穴中部, 每穴种植种薯 1 块, 播种深度为 10 cm。种植穴长×宽×深为 20 cm×20 cm×15 cm。

试验设 11 个处理, 沃特、PAM 穴施用量均为 0(对照)、15、30、45、60 kg/hm<sup>2</sup> 和 1.0% 浸种, 即对照、沃特 15、沃特 30、沃特 45、沃特 60、沃特 1.0% 和 PAM 15、PAM 30、PAM 45、PAM 60、PAM 1.0%。试验每 1 处理为 1 小区, 重复 3 次。

试验小区面积为 4 m×25 m, 马铃薯株行距为 40 cm×55 cm, 每小区播种 7 行, 每行 60 株, 每小区 420 株。播种前按试验设计穴施沃特与 PAM, 并与土壤搅拌均匀。播种前 1 d 用沃特、PAM 对马铃薯进行浸种(切块后的种薯放入 1.0% 的沃特、PAM 水溶液中浸泡 2~3 min, 用量约为 7.5 kg/hm<sup>2</sup>) 并晾晒。

## 1.3 测定项目

在穴施沃特与 PAM 前(4 月 28 日)、幼苗期(6 月 16 日)、盛花期(7 月 22 日, 即块茎增长期)、收获期(9 月 14 日)用土钻每间隔 10 cm 土层采样 1 次, 用烘干法测定马铃薯株间植株(种植穴中部) 15 cm 处 0~100 cm 土层土壤含水率(%), 每个小区测定 3 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(水层厚度 mm)<sup>[32]</sup>。

$$w = \frac{S_w - S_d}{S_d} \times 100\% \quad (1)$$

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

$$g = H_s \cdot w \cdot d \cdot 10 \quad (2)$$

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

0~100 cm 土层土壤含水量为 0~10 cm、10~20 cm ……90~100 cm 土层土壤含水量之和。

从播种到采收期, 每隔 10 d 测定株间植株 15 cm 处 10~20 cm(块茎形成层)和 30~40 cm(根系分布层)

土层的土壤含水率。常规方法测定马铃薯的出苗率、块茎产量、地上部生物量、地下部生物量、块茎个数等。小区旁设置雨量筒, 观测生长期间的降水量。

马铃薯从播种到收获期不灌水, 不同处理生长期间的追肥、除草等管理措施均相同。由于试验地平整, 地下水水位深, 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, 因此马铃薯田间耗水量的计算公式为

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

式中  $ET$ ——田间耗水量, mm;  $p$ ——生育期间的有效降水量, mm;  $\Delta h$ ——生育期间土壤水含量的变化, 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  $\leq 5$  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  $WUE$ ——水分利用率, kg/(mm·hm<sup>2</sup>);  $B$ ——生物总量, kg/hm<sup>2</sup>;  $ET$ ——耗水量, mm。

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

式中  $A$ ——水分产出率, kg/(mm·hm<sup>2</sup>);  $Y$ ——块茎产量(鲜物质质量), kg/hm<sup>2</sup>。

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

式中  $E$ ——单位施用量单位面积的增产效果, kg/(kg·hm<sup>2</sup>);  $\Delta Y$ ——某一处理的增产量, kg;  $Q$ ——沃特或 PAM 某一处理的施用量, kg;  $S$ ——某一处理的面积, 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 试验期间的降水量

从播种到收获期(4 月 28 日到 9 月 14 日)共降水 362.8 mm, 其中有效降水 328.5 mm。降水主要集中在幼苗期(出苗-孕蕾)和花期(块茎增长期), 在马铃薯生长的后期即淀粉累积期(8 月 14 日到 9 月 14 日)无降水过程(图 1)。

### 2.2 土壤水分

#### 2.2.1 不同土层的土壤含水率

10~20 cm 土层土壤含水率与降水量密切相关, 表现为降水量越大, 土壤含水率越高(图 2)。在发芽期(块茎萌芽~出苗)、幼苗期、块茎形成期(孕蕾-开花初)、

块茎增长期(盛花-茎叶衰老)即生长前期,沃特、PAM不同施用量的土壤含水率均高于对照,且穴施用量越大,土壤水分越高,但不同施用量之间,不同施用量与对照均无显著差异。从块茎增长期(7月26日)到淀粉累积期(茎叶衰老-茎叶枯萎,8月5日以后),不同施用量的土壤含水率与对照基本相同,无显著差异。生长后期即从淀粉累积期到收获期,不同施用量的土壤含水率

均降低,且穴施用量越大,土壤水分越低,但不同施用量之间,不同施用量与对照无显著差异。在马铃薯整个生育期,沃特、PAM浸种的土壤含水率均低于对照,穴施的均高于对照,且穴施用量越大,土壤含水率越高,但不同处理之间,沃特和PAM相同施用量之间均无显著差异。10~20 cm土层是马铃薯块茎生长形成层,沃特、PAM施用量越大,吸收、保存的土壤水分越多,同时马

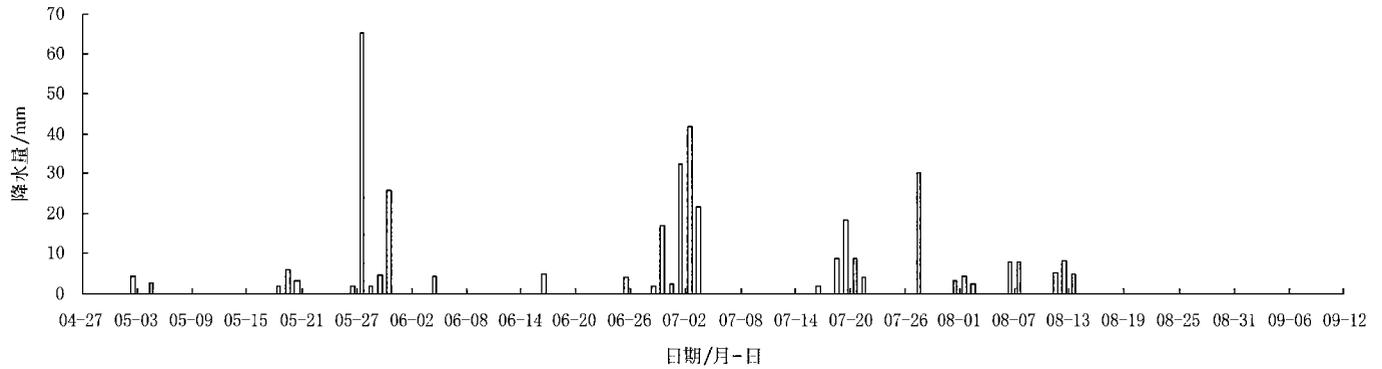


图1 试验期间的降水量

Fig. 1 Precipitation in experimentation term

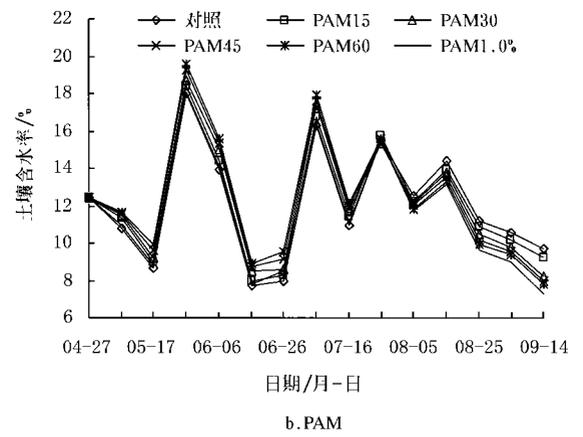
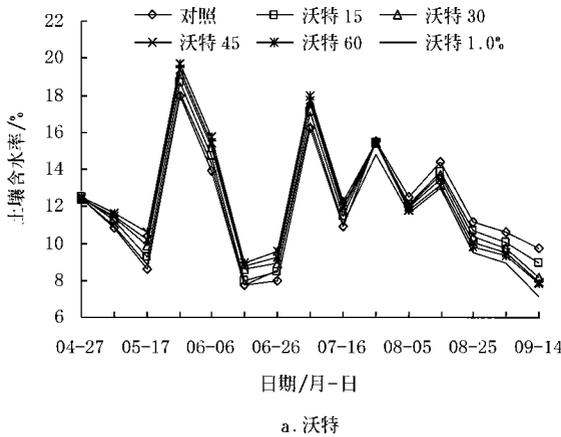


图2 不同处理 10~20 cm 土层土壤水分变化曲线

Fig. 2 Variations of soil moisture in 10~20 cm deep soil for different treatments

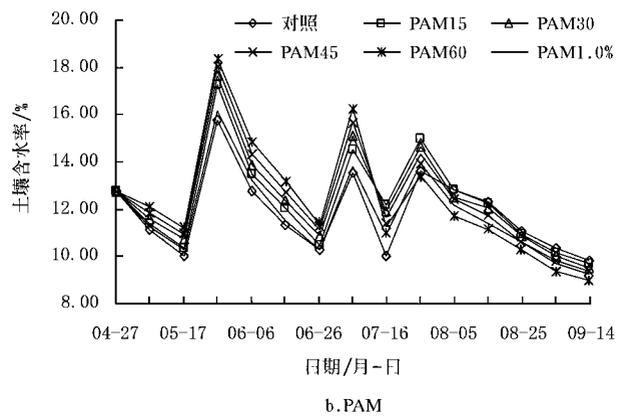
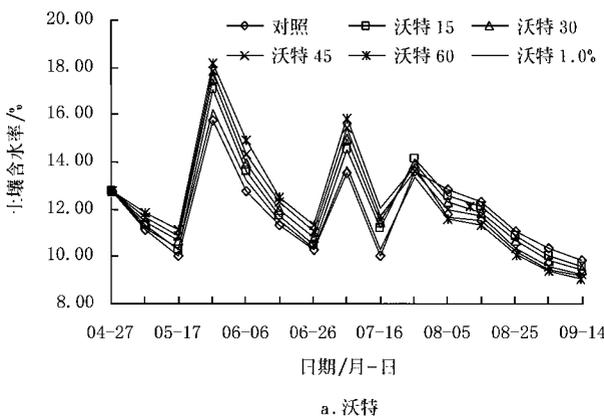


图3 不同处理 30~40 cm 土层土壤水分变化曲线

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

铃薯的生物量越大, 消耗的土壤水分越多, 块茎吸收、贮存的土壤水分越多, 在沃特、PAM 和马铃薯的共同作用下, 不同处理 10~20 cm 土层土壤含水率不易形成显著差异。

30~40 cm 土层是马铃薯根系生长分布层, 不同处理 30~40 cm 土层的土壤含水率变化状况基本上与 10~20 cm 土层的相同, 但 30~40 cm 土层的变幅较小, 其土壤最高含水率较低而土壤最低含水率较高(图 3)。

### 2.2.2 不同生长期 0~100 cm 土层土壤含水量

按(2)式计算, 幼苗期 0~100 cm 对照土层土壤含水量为 138.0 mm, 沃特浸种、穴施的均在 140.7~145.7 mm 之间, PAM 穴施、浸种的均在 140.5~147.0 mm 之间, 表现为穴施用量越大, 土壤水含量越高, 但沃特、PAM 与对照, 沃特、PAM 不同处理之间, 沃特、PAM 相同施用量之间均无显著差异(表 1)。这主要是由于施用量越大土壤水含量越高, 同时马铃薯生长量越大, 耗水量越多, 从而导致不同处理之间, 不同处理与对照之间不易形成显著差异。

盛花期 0~100 cm 土层土壤含水量对照为 199.3 mm, 沃特 15、沃特 30 分别为 229.0 mm 和 229.6 mm, 高于对照且有极显著差异; 沃特 45 为 195.1 mm, 低于对照但无显著差异; 沃特 60、沃特 1.0% 为 188.2 mm、188.0 mm, 低于对照且有显著差异。PAM 15、PAM 30 为 227.2 mm、222.9 mm, 高于对照且有极显著差异; PAM 45 为 193.2 mm, 低于对照但无显著差异; PAM 60、PAM 1.0% 为 181.9 mm、185.8 mm, 低于对照且有显著差异。沃特和 PAM 相同施用量之间无显著差异(表 1)。

表 1 不同处理不同生长期 0~100 cm 土层土壤含水量

Table 1 Soil moisture in 0~100 cm deep soil at different growth stages for different treatments mm

处理	施用量 /kg·hm <sup>-2</sup>	播种前	苗期	盛花期	收获期
对照	0	152.4	138.0	199.3bB	131.8a
	15	152.4	140.8	229.0aA	126.7ab
	30	152.4	141.9	229.6aA	125.6ab
	45	152.4	143.2	195.1bB	123.6b
沃特	60	152.4	145.7	188.2cB	116.1b
	1.0%	152.4	140.7	188.0cB	121.8b
	15	152.4	143.2	227.2aA	127.2ab
	30	152.4	144.6	222.9aA	126.4ab
PAM	45	152.4	145.4	193.2bB	121.4b
	60	152.4	147.0	181.9cB	117.8b
	1.0%	152.4	140.5	185.8cB	122.1b

注: 表中数据采用新复极差法检验, a、b、c 等表示显著水平达 0.05, A、B、C 等表示显著水平达 0.01, 同一列不含相同字母的差异显著, 下表同。

收获期 0~100 cm 对照土层土壤含水量为

131.8 mm, 沃特浸种、穴施的在 116.1~126.7 mm 之

间, PAM 浸种、穴施的在 117.8~127.2 mm, 表现为沃特、PAM 穴施用量越大, 土壤水含量越低, 其中沃特 45、沃特 60、沃特 1.0% 和 PAM 45、PAM 60、PAM 1.0% 与对照有显著差异。沃特和 PAM 相同施用量之间无显著差异(表 1)。

## 2.3 马铃薯的生长状况

### 2.3.1 花期的生长状况

不同处理的出苗率均为 100.0%, 但沃特、PAM 浸种的出苗比对照及其他处理晚 4~5 d。幼苗期(6月16日)沃特、PAM 浸种的苗高在 10~11 cm 左右, 对照及其他处理均在 13~14 cm 之间。

花期不同处理马铃薯块茎的鲜物质质量、干物质质量均大于对照, 其中沃特 1.0%、PAM 15、PAM 1.0% 鲜物质质量与对照有显著差异, 沃特 30、沃特 45、沃特 60 和 PAM 30、PAM 45、PAM 60 与对照有极显著差异; 沃特 30、沃特 45、PAM 30、PAM 45 的干物质质量与对照达到显著差异, 沃特 60、PAM 60 有极显著差异。沃特、PAM 穴施用量越大, 块茎个数越少, 最大块茎越大。沃特、PAM 不同处理马铃薯根、茎、叶鲜物质质量及干物质质量均高于对照, 其沃特 45、沃特 60、PAM 45、PAM 60 与对照有极显著差异。按式(7)计算, 沃特单位施用量的增产效果为沃特 1.0% > 沃特 60、沃特 45、沃特 30 > 沃特 15; PAM 为 PAM 1.0% > PAM 15 > PAM 45 > PAM 60、PAM 30(表 2)。

花期相同水平的沃特与 PAM 增产效果为 PAM 15 > 沃特 15, 沃特 30 > PAM 30, 达到极显著差异; 沃特 60 > PAM 60 达到显著差异; 沃特 45 与 PAM 45 无显著差异。浸种与穴施相比, 块茎个数减少, 最大块茎增大, 单位施用量的增产效果显著增强(表 2)。

### 2.3.2 收获期的生长状况

收获期马铃薯块茎的鲜、干物质质量表现为沃特 60 > 沃特 1.0%、沃特 45 > 沃特 30 > 沃特 15 > 对照, 除沃特 60 与沃特 1.0%、沃特 45、沃特 15 与对照有极显著差异外, 其它均有显著差异; PAM 为 PAM 60 > PAM 1.0% > PAM 45 > PAM 30、PAM 15 > 对照(表 3), 除 PAM 45 与 PAM 30、PAM 15 有显著差异外, 其它均有极显著差异。沃特与 PAM 穴施用量越大, 块茎个数越少, 最大块茎越大, 根、茎、叶的鲜物质质量及干物质质量也越大。不同处理中, 沃特与 PAM 浸种的块茎个数最少, 最大块茎最大。沃特单位施用量的增产效果为沃特 1.0% > 沃特 15 > 沃特 60、沃特 30 > 沃特 45; PAM 为 PAM 1.0% > PAM 15 > PAM 60 > PAM 30 > PAM 45。相同施用量的沃特与 PAM 相比, 沃特单位施用量的增产效果高于 PAM, 达到极显著差异。收获前即淀粉积累期, 沃特、PAM 施用量越大, 植株茎叶枯萎越

晚,沃特 60、PAM 60 比对照晚 3~5 d。

表 2 不同处理马铃薯花期的生长状况

Table 2 Growth conditions of potato in florescence phase for different treatments

处 理	施用量 /kg·hm <sup>-2</sup>	块茎				根、茎、叶		单位施用量的增产效果 /kg·(kg·hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>
		鲜物质质量/g	干物质质量/g	个数	最大块茎鲜物质质量/g	鲜物质质量/g	干物质质量/g	
对照	0	126.5fC	28.78eB	4.8aA	35.3hF	376.4dC	43.25dC	0
沃特	15	131.2defC	29.14deAB	4.3bB	42.6fDE	389.6cdC	44.75cdC	13.16fE
	30	139.8bcAB	30.43bcdAB	4.1bcBC	46.9eD	411.4cdAB	47.26bABC	18.62cC
	45	146.7abAB	30.92abcAB	3.8dC	57.4cdBC	436.5aAB	50.12aAB	18.85cC
	60	153.4aA	32.12aA	3.2gD	62.8bAB	448.8aA	51.32aA	18.83cC
	1.0%	135.9cBC	29.85bcdeAB	2.8hE	68.9aA	398.2bcBC	45.79bcBC	52.64aA
PAM	15	134.6cBC	29.45cdeAB	4.2bB	39.6gE	385.6cdC	44.48cdC	22.68bB
	30	137.8bcAB	30.31bcdAB	3.9cdBC	44.2efD	406.8bcABC	46.84bcBC	15.82eD
	45	145.9abAB	31.04abAB	3.5efCD	54.6dC	434.8aAB	50.56aAB	18.11cdC
	60	151.4aA	32.03aA	3.3fgD	58.3cBC	442.3aA	50.98aA	17.43dCD
	1.0%	136.8cdC	30.01bcdeAB	2.9hE	59.8bcBC	401.1bcBC	46.04bcBC	57.68aA

注:鲜、干物质质量及块茎个数以每株的计。

表 3 不同处理马铃薯收获期的生长状况

Table 3 Growth of potato in harvest phase of different treatments

处 理	施用量 /kg·hm <sup>-2</sup>	块茎				根、茎、叶		单位施用量的增产效果 /kg·(kg·hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>
		鲜物质质量 /g	干物质质量 /g	个数	最大块茎鲜物质质量 /g	鲜物质质量 /g	干物质质量 /g	
对照	0	612.2gG	129.07gF	5.7aA	270hG	426efgDE	49.88efCD	0
沃特	15	815.6eEF	171.88eE	4.4bB	318fEF	436efCDE	51.09efCD	569.5cC
	30	892.7dDE	188.12dDE	4.3bB	324fEF	474dCD	55.51dC	392.7dDE
	45	964.3cCD	203.31cCD	3.8dCD	433cCD	566bAB	66.28bAB	328.6fEF
	60	1195.4aA	252.03aA	3.6eD	495bB	612aA	71.67aA	408.2dD
	1.0%	996.6cBC	210.06cBC	3.2fE	764aA	414gE	48.48fD	2152.6aA
PAM	15	740.6fF	156.07fE	4.3bB	302gF	441efCDE	51.64eCD	359.5eE
	30	764.2fF	161.13fE	4.1cBC	348eE	467dCD	54.69dC	212.8gG
	45	812.8eEF	171.25eE	3.8dCD	411dD	534cB	62.53cB	187.2hH
	60	1071.3bB	225.87bB	3.6eD	445cBCD	608aA	71.21aA	321.4fF
	1.0%	958.7cCD	202.04cCD	3.1fE	476bBC	422fgDE	49.42efCD	1940.4bB

注:鲜、干物质质量及块茎个数以每株的计。

## 2.4 不同处理的耗水量和水分利用率

### 2.4.1 不同处理花期的耗水量和水分利用率

播种前 0~100 cm 土层土壤水含量为 152.4 mm,从播种到花期(从 4 月 28 日到 7 月 22 日)降水 288.6 mm,其中有效降水 254.3 mm。播种到花期沃特 15、沃特 30 和 PAM 15、PAM 30 的耗水量低于对照,达到极显著差异,PAM 60、PAM 1.0% 的耗水量高于对照,差异达到显著水平,沃特 60、沃特 45、PAM 45、沃特 1.0% 略高于对照,与对照无显著差异。沃特和 PAM 相同施用量之间无显著差异(表 4)。

从播种到花期,穴施沃特的水分利用率高于对照和沃特 1.0%,差异达到极显著水平;沃特 30 高于沃特 45、沃特 60,差异达到极显著水平。从播种到花期 PAM

穴施的水分利用率高于对照和 PAM 1.0%,除 PAM 60 与对照、PAM 1.0% 差异达到显著水平外,其它均与对照、PAM 1.0% 差异达到极显著水平。沃特和 PAM 同水平之间无显著差异(表 4)。

从播种到花期,穴施沃特的水分产出率高于对照和沃特 1.0%,差异达到极显著水平;其中沃特 30 的水分产出率最高,与沃特 45、沃特 60 有极显著差异。从播种到花期,穴施 PAM 的水分产出率高于对照和 PAM 1.0%,差异均达到极显著水平。沃特和 PAM 同水平之间的水分产出率无显著差异(表 4)。

### 2.4.2 不同处理收获期的耗水量和水分利用率

播种到收获期(从 4 月 28 日到 9 月 14 日)降水 362.8 mm,其中有效降水 328.5 mm。播种到收获期不

同处理的耗水量均在 350.9~366.6 mm 之间, 不同处理与对照、不同处理之间无显著差异(表 4)。

播种到收获期沃特和 PAM 穴施、浸种的水分利用率均高于对照, 差异达到极显著水平。沃特不同处理中, 沃特 60> 沃特 45、沃特 1.0%、沃特 30> 沃特 15, 差异达到极显著水平。PAM 不同处理中, PAM 60> PAM 1.0%、PAM 45、PAM 1.0%> PAM 30、PAM 15, 差异达到极显著水平。沃特与 PAM 相同施用量中, 沃特 30> PAM 30, 沃特 45> PAM 45, 达到极显著差异; 沃特 15> PAM 15, 沃特 60> PAM 60, 差异达到显著水平(表 4)。

播种到收获沃特和 PAM 处理的水分产出率均高于对照, 均达到极显著差异。沃特不同处理中, 沃特 60> 沃特 1.0%、沃特 45、沃特 30, 差异达到极显著水平; 沃特 30> 沃特 15, 达到显著差异沃特。PAM 不同处理中, PAM 60、PAM 1.0%> PAM 45、PAM 30、PAM 15, 差异达到极显著水平(表 4)。相同施用量的沃特与 PAM 相比, 穴施沃特的水分产出率均高于 PAM, 其中沃特 30 与 PAM 30, 沃特 45 与 PAM 45 差异达到极显著水平, 沃特 15 与 PAM 15, 沃特 60 与 PAM 60 差异达到显著水平。

表 4 不同处理马铃薯的耗水量和水分利用率

Table 4 Water consumption and water use efficiency for different treatments

处 理	播种到花期					播种到收获期					
	耗水量 / mm	生物总量 / kg · hm <sup>-2</sup>	块茎产量 (鲜物质质量) / kg · hm <sup>-2</sup>	水分利用率 / kg · (mm · hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	水分产出率 / kg · (mm · hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	耗水量 / mm	生物总量 / kg · hm <sup>-2</sup>	块茎产量 (鲜物质质量) / kg · hm <sup>-2</sup>	水分利用率 / kg · (mm · hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	水分产出率 / kg · (mm · hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>	
对照	209.2cA	3025.26	5313.0	14.46dC	25.40eC	350.9	7515.90	25712.4	21.42iG	73.28gF	
沃特	15	179.5dB	3103.38	5510.4	17.29bA	30.70bcAB	356.0	9364.74	34255.2	26.31fgEF	96.22eDE
	30	178.9dB	3262.98	5871.6	18.24aA	32.82aA	357.1	10232.46	37493.4	28.65deCDE	104.99dCD
	45	213.4bcA	3403.68	6161.4	15.95cB	28.87dB	359.1	11322.78	40500.6	31.53cBC	112.78cBC
	60	220.3abcA	3504.48	6442.8	15.91cB	29.25cdB	366.6	13595.40	50206.8	37.09aA	136.95aA
	1.0%	220.5abcA	3176.88	5707.8	14.41dC	25.89eC	360.9	10858.68	41857.2	30.09cdCD	115.98bcBC
PAM	15	181.3dB	3105.06	5653.2	17.13bAB	31.18abAB	350.9	8723.82	31105.2	24.86hF	88.64fE
	30	185.6dB	3240.30	5787.6	17.46abA	31.18abAB	355.5	9064.44	32096.4	25.50gF	90.29efE
	45	215.3abcA	3427.20	6127.8	15.92cB	28.46dB	361.3	9818.76	34137.6	27.18efDEF	94.49eDE
	60	226.6aA	3486.42	6358.8	15.39cBC	28.06dB	365.0	12477.36	44994.6	34.18bAB	123.27bAB
	1.0%	222.7abA	3194.10	5745.6	14.34dC	25.80eC	360.6	10561.32	40265.4	29.29dCD	111.66cdBC

### 3 讨 论

沃特、PAM 具有良好的吸水性, 能够有效地减少地表径流, 增加降雨入渗, 增加土壤的贮水量, 在土壤中形成许多“小水库”, 在一定的时间内保持土壤中的水分, 增加可供作物利用的水资源。马铃薯幼苗期、块茎形成期、块茎增长期降水量较多, 施用沃特、PAM 后, 土壤水分得到改良, 马铃薯生物量高于对照, 消耗的土壤水分较多, 在沃特、PAM 的吸水、保水和马铃薯的耗水共同作用下, 10~20 cm、40~50 cm 土层土壤含水率略高于对照, 且施用量越大, 土壤含水率越高, 但不同处理与对照, 不同处理之间差异不显著。淀粉累积期到收获期无降水过程, 不同处理的生物量显著高于对照, 消耗的土壤水分亦应高于对照, 由于沃特、PAM 吸收的水分在土壤水分较低时可缓慢释放供马铃薯吸收利用, 故不同处理的土壤含水率与对照基本相同, 无显著差异。由于浸种马铃薯生物量大于对照, 而浸种施用沃特、PAM 较少, 吸收的水分较少, 因此马铃薯生育期浸种

的土壤含水率略低于对照; 而穴施沃特、PAM 施用量较大, 吸收的水分较多, 因此马铃薯生育期穴施的土壤含水率略高于对照, 且穴施量越大, 土壤含水率越高。

沃特、PAM 浸种施用量(7.5 kg/hm<sup>2</sup>)少于穴施 15 kg/hm<sup>2</sup>, 但花期、收获期块茎产量均极显著高于穴施 15 kg/hm<sup>2</sup>, 主要原因与马铃薯的生长习性和沃特、PAM 改善土壤水分环境有关。马铃薯出苗前即匍匐茎形成期对水分敏感, 浸种将土壤水分吸附在种薯周围, 初生的匍匐茎能够迅速吸收土壤中的水分, 促进块茎的形成和生长, 抑制地上部茎叶的生长, 因而块茎产量提高; 穴施 15 kg/hm<sup>2</sup> 种薯周围的水分含量比浸种的低, 匍匐茎初始生长阶段生长量较小, 因而块茎产量较低。

花期降水量比较大, 沃特 15、沃特 30、PAM 15、PAM 30 生物量较小, 蒸腾消耗的土壤水分较少, 沃特、PAM 吸收、保持了较多的水分, 0~100 cm 土层土壤含水量极显著高于对照; 花期沃特 60、PAM 60 的生物量较大, 蒸腾消耗的水分较多, 尽管沃特、PAM 吸收、保持了较多的水分, 但耗水量较大, 故 0~100 cm 土层土

壤水含量低于对照达到显著差异;沃特 45、PAM 45 吸收、保持的水分较多,蒸腾消耗的水分亦较多,土壤水含量与对照处于同一水平;浸种施用沃特、PAM 的量较少,吸收的土壤水分较少而生物量较大,0~100 cm 土层土壤水含量低于对照达到显著差异。

淀粉累积期到收获期无降水过程,沃特、PAM 无降水可吸收,施用沃特、PAM 的马铃薯生物量高于对照,因而消耗的水分较多,故收获期 0~100 cm 土层土壤水含量低于对照。

#### 4 结 论

1) 沃特、PAM 均可吸收降水,提高土壤水含量,且土壤水分随降水量、施用量的增大而提高;当土壤干旱时沃特、PAM 可释放其吸收的水分,缓和土壤的水分状况。

2) 沃特、PAM 促进马铃薯生长,提高块茎产量,减少块茎个数,增大最大块茎,且穴施用量越大,块茎产量越高,块茎个数越少,最大块茎越大,根、茎、叶的生物量也越大。

3) 沃特、PAM 均可提高土壤水分利用率和水分产出率,穴施用量越大,水分利用率和水分产出率越高。

4) 相同施用量的沃特与 PAM 相比,花期耗水量、水分利用率、水分产出率无显著差异;收获期土壤水含量和耗水量无显著差异,但沃特的块茎产量、水分利用率、水分产出率显著高于 PAM。

5) 浸种与穴施相比,块茎个数减少,最大块茎增大,单位施用量的增产效益提高。根据沃特、PAM 不同施用量的增产效果及沃特、PAM 的价格(沃特:25 元/kg;PAM:40 元/kg),在马铃薯的生产应用中,沃特、PAM 穴施应以 30 kg/hm<sup>2</sup> 到 45 kg/hm<sup>2</sup> 为宜,建议以浸种为主,可减少使用量。

#### [参 考 文 献]

- [1] 黄占斌. 农用保水剂应用原理与技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005: 1-12.
- [2] 黄占斌, 夏春良. 农用保水剂作用原理研究与发展趋势分析[J]. 水土保持研究, 2005, 12(5): 104-106.
- [3] 孙宏义, 李 芳, 杨新民, 等. 保水剂处理土壤的抗风蚀性能研究[J]. 中国沙漠, 2005, 25(4): 618-622.
- [4] 王启基, 王文颖, 景增春, 等. 保水剂对江河源区退化草地土壤水分和植物生长发育的影响[J]. 草业科学, 2005, 22(6): 52-57.
- [5] 刘煜宇, 马换成, 黄金义. 保水剂与肥料交互作用对石楠抗旱效应的影响[J]. 西南林学院学报, 2005, 25(3): 10-13.
- [6] 林文杰, 马换成, 周 蛟, 等. 干旱胁迫下保水剂对苗木生长及生理的影响[J]. 干旱区研究, 2004, 21(4): 353-357.
- [7] 刘世亮, 寇太记, 介小磊, 等. 保水剂对玉米生长和土壤养分转化供应的影响研究[J]. 河南农业大学学报, 2005, 39(2): 146-150.
- [8] 高风文, 罗盛国, 姜伯文. 保水剂对土壤蒸发及玉米幼苗抗旱性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2005, 36(1): 11-14.
- [9] 尹 艳, 余红英, 尹国强, 等. 大田超甜玉米施用保水剂效应的研究[J]. 湖北农业科学, 2004, (5): 46-47.
- [10] 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.
- [11] 俞满源, 黄占斌, 方 锋, 等. 保水剂、氮肥及其交互作用对马铃薯生长和产量的效应[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 15-19.
- [12] 杨永辉, 赵世伟, 黄占斌, 等. 沃特多功能保水剂保水性能研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(5): 35-37.
- [13] 刘瑞风, 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.
- [14] 杨红善, 刘瑞风, 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [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.

## Effects of Wote Super Absorbent and PAM absorbent on soil moisture and growth of potato

Du Shen<sup>1,2</sup>, Bai Gangshuan<sup>1,2</sup>, Zhao Shiwei<sup>1,2</sup>, Hou Xilu<sup>1,2</sup>

(1. Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Institute of Soil and Water Conservation, Yangling 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Compared with no used Wote super absorbent and PAM in loess hilly and gully regions of northern Shaanxi, applying Wote super absorbent and PAM in small holes near seed potato and soaking seed potato with 1.0% Wote super absorbent and 1.0% PAM, the effects of Wote and PAM on soil moisture and growth of potato were researched. The results showed: soil moisture in 10~20 cm and 30~40 cm deep soil of all treatments were slightly higher than that in CK before florescence of potato, and were slightly lower than that in CK after stem and leaves withered. In seedling phase, soil moisture in 0~100 cm deep soil of all treatments was slightly higher than that in CK. In florescence, soil moistures in 0~100 cm soil depth of Wote15, Wote30, PAM15 and PAM30 were super significantly ( $p < 0.01$ ) higher than those in CK, and Wote60, Wote1.0%, PAM45, PAM60, PAM1.0% were significantly ( $p < 0.05$ ) lower than that in CK. In harvest phase, soil moisture in 0~100 cm deep soil of all treatments was lower than that in CK. In florescence and harvest phase, with amounts of Wote and PAM, biomass, tuber yields, biggest tuber increased, tuber number decreased. From seeding to florescence phase, water consumptions of potato of Wote15, Wote30, PAM15 and PAM30 were significantly lower than that in CK. From seeding to harvest phase, water consumption of potato of all treatments had no difference with that in CK. In florescence and harvest phase, water use efficiency and water output rate of Wote and PAM treatments were super significantly higher than that in CK. In potato production, optimum amounts of applying Wote and PAM in small holes near the seed potato should be from 30 kg/hm<sup>2</sup> to 45 kg/hm<sup>2</sup>. Soaking the seed potato with 1.0% Wote and 1.0% PAM should become a chiefly used way in planting potato.

**Key words:** Wote super absorbent; PAM; potato; soil moisture; growth condition