

沃特和 PAM 对土壤水分及玉米生长的影响

杜社妮^{1,2}, 赵世伟^{1,2}, 白岗栓^{1,2}

(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)

摘要: 为了鉴别沃特保水剂的施用效果及确立合理的施用量, 在陕北黄土丘陵沟壑区, 采用田间试验方法, 开展沟施不同用量沃特及 PAM 对土壤水分和玉米生长的影响研究. 结果表明, 玉米生育期间 10~20 cm 土层和 40~50 cm 土层土壤贮水量均随沃特、PAM 施用量的增大而提高. 玉米三叶期 0~50 cm 土层、拔节期 0~100 cm 土层、抽穗吐丝期 0~150 cm 土层、成熟期 0~200 cm 土层土壤贮水量均显著高于对照, 且随沃特、PAM 施用量的增大而提高. 玉米叶片光合速率、茎叶生物量、根系生物量、果穗生物量、茎秆粗度、籽粒产量、千粒重均随沃特、PAM 施用量的增加而提高. 从播种到成熟期, 玉米耗水量减少, 水分利用效率、水分生产率极显著提高. 相同施用量沃特、PAM 的土壤贮水量和玉米生物量、产量无显著差异. 在陕北黄土丘陵沟壑区, 沃特、PAM 在玉米生产中沟施应以 45 kg·hm⁻² 左右为宜.

关键词: 沃特; PAM; 玉米; 土壤水分; 生长状况

中图分类号: S152.7 文献标识码: A

DU She ni^{1,2}, ZHAO Shi wei^{1,2}, BAI Gang shuan^{1,2} (1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Effects of Wote super absorbent and PAM on soil moisture and maize growth. Journal of Zhejiang University (Agric & Life Sci), 2008, 34(1): 81-88

Abstract: In order to explore using effect and using amount of Wote super absorbent, field experiments of applying 0(CK), 15, 30, 45, 60 kg·hm⁻² Wote super absorbent and PAM respectively in furrow were conducted to study their effects on soil moisture and maize growth in loess hilly and gully regions of northern Shaanxi. The result shows that soil moisture increased with increasing amounts of Wote and PAM in 10-20 cm and 40-50 cm soil depth during the growth season of maize. Soil moisture with Wote and PAM treatments was significantly ($P < 0.05$) higher than that of CK in 0-50 cm soil depth in three leaves stage, in 0-100 cm soil depth in jointing stage, in 0-150 cm soil depth in tasselling silking stage, and in 0-200 cm soil depth in maturing stage, and soil moisture increased with increasing amounts of Wote and PAM. Photosynthesis rate of leaves, biomass of stem and leaves, roots, corn ear, and the diameter of stem, kernel yields, 1000 kernel weight all increased with increasing amounts of Wote and PAM. From seeding to maturing stage, water consumption of maize with Wote and PAM treatments was

收稿日期: 2007-04-03

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD09B07; 2006BAD09B08); 中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2-XB2-05-01); 国家高技术研究发展计划“863”资助项目(2006AA100219).

作者简介: 杜社妮(1966—), 女, 陕西杨凌人, 硕士, 助理研究员, 主要从事设施栽培方面的研究. Tel: 029-87011863; E-mail: sнду@nwsuaf.edu.cn.

通讯作者: 白岗栓, 男, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事果树生态方面的研究. Tel: 029-87011863; E-mail: baig@cern.ac.cn.

lower than that of CK, but water use efficiency and water output rate were super significantly ($P < 0.01$) higher than that of CK. There were no differences in soil moisture, biomass, and yields between same amount of Wote and PAM. Optimum amount of Wote and PAM in maize furrow cropping system should be $45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in loess hilly and gully regions of northern Shaaxi.

Key words: Wote super absorbent; PAM; maize; soil moisture; growth status

陕北黄土丘陵沟壑区为干旱半干旱地区, 土地广阔, 光照资源丰富, 但降水偏少且分布不均, 土壤水分亏缺已成为影响农业生产和生态环境建设的主导因子. 如何提高、保持土壤中的水分是该区农业生产中的主要问题. 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, 能吸收自身重量几百倍甚至上千倍的水分, 吸收的水分可缓慢释放供作物利用, 且有反复吸水的功能^[1-4]; 保水剂可提高作物干物质积累, 改善土壤结构, 增强土壤保水性, 减少土壤水分、养分流失, 提高水肥利用率和苗木成活率, 在农业生产中有广泛的应用^[1,5-8]. 玉米 (*Zea mays* L.) 是耗水较多的作物, 保水剂在玉米生产中有较强的增产作用^[9-14]. 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) 为主生产的, 成本高, 在农业生产应用中受到限制. 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 (Attapulgite) 杂化工艺合成的有机-无机复合保水剂, 能吸收自身重量 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%^[15]. PAM 是一种土

壤结构改良剂, 可增加降水入渗和减少土壤侵蚀, 改良土壤结构, 提高土壤含水量, 具有一定的保水作用^[1]; PAM 能吸收自身重量 1300 倍的纯水或 1.0% NaCl 溶液 63 倍^[3]. 为了鉴别沃特的施用效果, 探寻适宜的施用量, 以相同施用量的 PAM (法国进口) 为对比, 开展沟施不同用量沃特对土壤水分及玉米生长的影响研究.

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, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的持续天数为 171 d, 活动积温为 3170.3°C . 4~9 月平均气温为 17.95°C , 极端最高气温为 36.8°C , 平均日较差为 13.9°C , 降水量为 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 (质量含水量) 19.68%, 有机质 $6.26 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效氮 $34.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $1.12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $49.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, pH 值 8.6, 播种前 0~200 cm 土层土壤贮水量为 342.82 mm, 0~200 cm 土层土壤密度平均为 $1.23 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, 分层土壤密度见表 1.

表 1 实验地不同土层的土壤密度

Table 1 Soil bulk density of different soil depth in experiment lands

| | | | | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 土层深度/cm | 0~10 | 10~20 | 20~30 | 30~40 | 40~50 | 50~60 | 60~70 | 70~80 | 80~90 | 90~100 |
| 密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 1.18 | 1.20 | 1.20 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.21 | 1.22 | 1.23 | 1.23 |
| 土层深度/cm | 100~110 | 110~120 | 120~130 | 130~140 | 140~150 | 150~160 | 160~170 | 170~180 | 180~190 | 190~200 |
| 密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 1.23 | 1.23 | 1.23 | 1.24 | 1.26 | 1.26 | 1.26 | 1.26 | 1.26 | 1.26 |

1.2 试验材料与设 计

供试玉米品种为沈单 10 号. 试验设 3 个处理: 以不施沃特、PAM 为对照, 沃特、PAM 施用量分别为 15、30、45、60 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 即对照、沃

特 15、沃特 30、沃特 45、沃特 60、PAM 15、PAM 30、PAM 45、PAM 60. 试验每 1 水平为 1 小区, 重复 3 次. 小区面积 $4 \text{ m} \times 25 \text{ m}$, 株行距 $0.4 \text{ m} \times 0.65 \text{ m}$. 播种前按试验设计沟施 (深度

为 10 0 cm) 沃特与 PAM, 并与土壤搅拌均匀。

1.3 测定项目

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 10~20 cm、40~50 cm 土层的土壤含水量(质量%)。在沟施沃特与 PAM 前(4月28日)、拔节期(6月16日)、抽雄吐丝期(7月22日)、成熟期(9月14日)测定玉米株间(距植株约 20 cm 处)0~200 cm 土层的土壤含水量, 用土钻每间隔 10 cm 土层采样 1 次, 每个小区测定 3 处。根据土壤含水量与土层厚度、土壤密度的关系, 将土壤含水量换算成土壤贮水量/mm。常规方法测定玉米的出苗率、产量、地上部生物量、地下部生物量等。抽雄吐丝期(7月22日~7月25日)选择晴朗无风天气, 以穗部叶位叶片中部为测定部位, 用 LF6400 便携式光合测定仪(叶室 6 cm²)测定叶片的光合速率。小区旁设置雨量筒, 观测玉米生长期期间的降水量。

玉米从播种到收获期间不灌水, 不同处理

生长期期间的追肥、除草等管理均相同。由于试验地平整, 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。玉米田间耗水量计算公式: 田间耗水量/mm = 生育期间的有效降水量 - 生育期间土壤贮水量的变化(有效降水量是指 24 h 或 1 次降水量大于或等于 3 mm 以上的降水量)。水分利用效率/(kg·mm⁻¹·hm⁻²) = 生物总量/耗水量, 水分产出率/(kg·mm⁻¹·hm⁻²) = 经济产量/耗水量。监测数据采用新复极差法检验不同处理、不同施用量间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 试验期间的降水量

播种到收获期共降水 362.8 mm, 其中有效降水 358.3 mm。降水主要集中在苗期、拔节期和抽雄吐丝期, 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)。

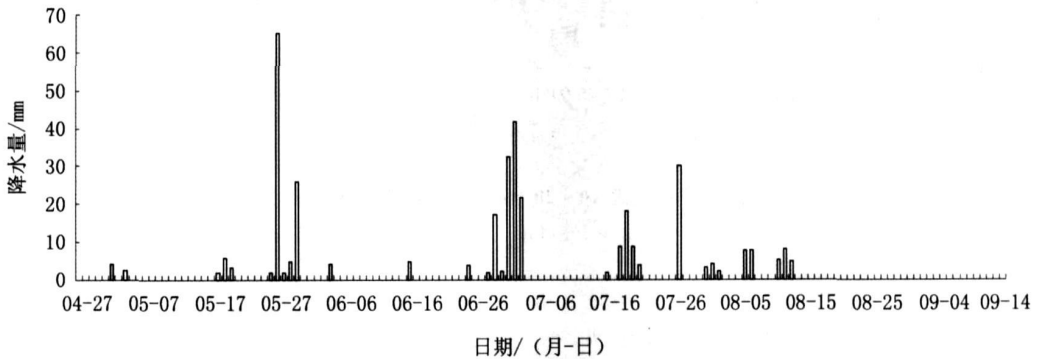


图 1 试验期间的降水量

Fig. 1 Precipitation in experimentation term

2.2 不同处理土壤贮水量

2.2.1 不同土层土壤贮水量 10~20 cm 土层土壤贮水量和沃特、PAM 密切相关。降雨后(5月27日、7月6日、7月26日)沃特、PAM 处理的土壤贮水量均高出对照 10.0% 以上, 达到极显著差异, 且相邻施用量亦达到显著差异(表 2)。播种到成熟期土壤贮水量均随沃特、PAM 施用量的增大而提高(图 2), 其中沃特 15 和 PAM 15 高出对照 7.0%~8.0%, 达到显著差异, 其他施用量高出对照 13.0% 以上,

达到极显著差异; 沃特 60 高出沃特 15、沃特 30 达 10.0% 以上, 达到极显著差异; 沃特 45 高出沃特 15 达 12.81%, 达到极显著差异; PAM 60、PAM 45 高出 PAM 15 达 10.0% 以上, 达到极显著差异(表 2)。相同施用量沃特和 PAM 土壤贮水量无显著差异。

沃特、PAM 处理的 40~50 cm 土层土壤贮水量变化趋势基本与 10~20 cm 土层相同, 但 40~50 cm 土层最高贮水量较低而最低贮水量较高, 不同施用量的差距较小(图 3)。

表2 不同处理不同测定时期 10~20 cm 土层土壤贮水量

Table 2 Soil moisture of different measure time with Wote and PAM treatments in 10-20 cm soil depth

mm

| 处 理 | 测定时期 | | | |
|-----|---------|-----------|-----------|-----------|
| | 5月27日 | 7月06日 | 7月26日 | 播种到成熟期 |
| 对 照 | 19.78fE | 16.96fF | 16.15fE | 12.54eD |
| 沃 特 | 15 | 22.24eD | 18.90eDE | 13.43dCD |
| | 30 | 24.68dCD | 21.69cdBC | 14.37cBC |
| | 45 | 26.66cBC | 23.41bAB | 15.15abAB |
| | 60 | 28.65abAB | 24.98aA | 15.92aA |
| PAM | 15 | 23.60deD | 18.60eE | 13.50dCD |
| | 30 | 26.20cBC | 20.60dCD | 14.26cBC |
| | 45 | 28.20bAB | 22.10cBC | 14.91bcAB |
| | 60 | 30.00aA | 23.60bAB | 15.47abAB |

注:表中数据采用新复极差法检验;同列数据后不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著;同列数据后不同大写字母表示在 $P < 0.01$ 水平差异显著。

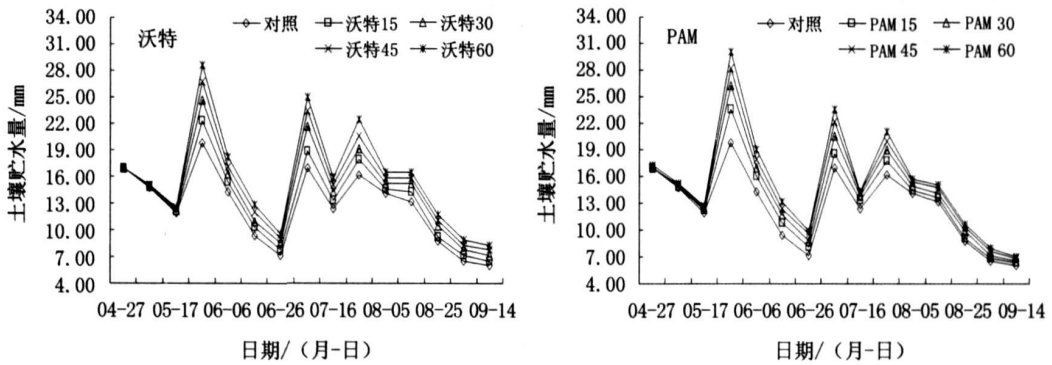


图2 不同处理 10~20 cm 土层土壤水分变化曲线

Fig. 2 Soil moisture change curve of different treatments in 10-20 cm soil depth

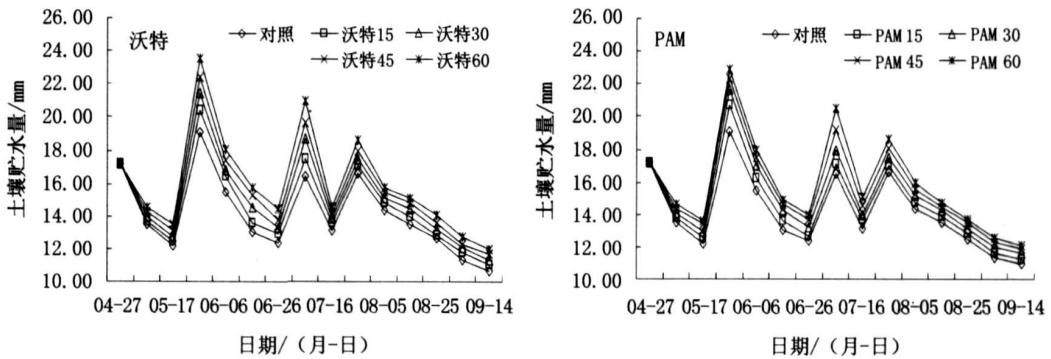


图3 不同处理 40~50 cm 土层土壤水分变化曲线

Fig. 3 Soil moisture change curve of different treatments in 40-50 cm soil depth

2.2.2 不同生长期 0~200 cm 土层土壤贮水量
播种到三叶期降水偏少,三叶期仅 0~50 cm 土层土壤贮水量高于对照,其中沃特45、

沃特60、PAM 30、PAM45、PAM 60 土壤贮水量高出对照 7.0% 以上,达到显著差异;沃特、PAM 其他施用量与对照无显著差异;沃特、

PAM 不同施用量及相同施用量土壤贮水量均无显著差异(表 3)。

拔节期降水较多, 0~ 50 cm 土层土壤贮水量沃特 15 高出对照 9.71%, 达到显著差异; 沃特其他施用量和 PAM 均高出对照 11.0% 以上, 达到极显著差异; 沃特、PAM 不同施用量存在着显著或极显著差异。50~ 100 cm 土层沃特 15 土壤贮水量高出对照 4.01%, 与对照无

显著差异; 沃特 30、PAM 15 高出对照 7.0~ 8.0%, 达到显著差异; 沃特、PAM 其他施用量高出对照 11.0% 以上, 达到极显著差异; 沃特 60、PAM 60 高出其他施用量 10.0% 以上, 达到极显著差异。由于降水下渗较少, 不同施用量 100~ 150 cm、150~ 200 cm 土层土壤贮水量无显著差异。相同施用量沃特和 PAM 土壤贮水量无显著差异(表 3)。

表 3 三叶期、拔节期各处理的土壤贮水量

Table 3 Soil moisture of different treatments in three leaves stage and jointing stage

mm

| 处 理 | 三叶期(5月22日) | | | | 拔节期(6月16日) | | | |
|-----|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| | 0~ 50 cm | 50~ 100 cm | 100~ 150 cm | 150~ 200 cm | 0~ 50 cm | 50~ 100 cm | 100~ 150 cm | 150~ 200 cm |
| 对 照 | 66.21b | 78.62 | 84.58 | 86.34 | 54.15eC | 73.75eD | 78.69 | 82.52 |
| 沃 特 | 15 | 68.42ab | 78.46 | 84.64 | 59.41dBC | 76.75d eCD | 79.54 | 83.65 |
| | 30 | 70.46ab | 78.87 | 84.54 | 64.92cB | 79.35cdBCD | 80.41 | 84.05 |
| | 45 | 71.68a | 78.56 | 84.65 | 74.73bA | 84.95bB | 81.12 | 82.96 |
| | 60 | 72.43a | 78.68 | 84.64 | 82.15aA | 95.41aA | 80.74 | 83.84 |
| PAM | 15 | 69.42ab | 78.66 | 84.43 | 60.48dB | 79.43cdBCD | 79.54 | 83.41 |
| | 30 | 71.26a | 78.94 | 84.34 | 66.14cB | 82.12b eB | 80.58 | 84.05 |
| | 45 | 72.48a | 79.06 | 84.28 | 73.65bA | 85.06bB | 80.75 | 82.67 |
| | 60 | 73.64a | 79.12 | 84.36 | 80.65aA | 94.38aA | 81.42 | 83.89 |

注: 表中数据采用新复极差法检验; 同列数据后不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著; 同列数据后不同大写字母表示在 $P < 0.01$ 水平差异显著。

抽穗-吐丝期 0~ 50 cm 土层土壤贮水量沃特 15 略高于对照, 无显著差异, 沃特其他施用量均高出对照 15.0% 以上, 达到极显著差异; PAM 15 高出对照 9.63%, 达到显著差异, PAM 其他施用量均高出对照 16.0% 以上, 达到极显著差异; 沃特、PAM 不同施用量亦存在着显著或极显著差异。50~ 100 cm 土层中, 沃特 15、PAM 15 略高于对照, 无显著差异; 沃特 30、PAM 30 高出对照 8.6%~ 9.2%, 达到显著差异; 沃特、PAM 其他施用量均高出对照 17.0% 以上, 达到极显著差异; 沃特、PAM 不同施用量亦存在着显著或极显著差异。100~ 150 cm 土层中, 沃特 15、PAM 15 略高于对照, 无显著差异; 沃特 30、沃特 45、PAM 30、PAM 45 高出对照 5.0%~ 10.0%, 达到显著差异; 沃特 60、PAM 60 高出对照 11.0% 以上, 达到极显著差异; 沃特 60、PAM 60 与沃特 15、PAM 15 亦存在着显著差异; 相同施用量的沃特和 PAM 无显著差异。150~ 200 cm 土层中,

沃特、PAM 与对照及不同施用量的土壤贮水量均无显著差异(表 4)。

灌浆到乳熟期, 沃特、PAM 不同施用量 0~ 50 cm、50~ 100 cm、100~ 150 cm、150~ 200 cm 土层土壤贮水量存在着显著或极显著差异(表 4)。

2.3 不同处理玉米的光合速率和生长状况

2.3.1 不同处理玉米的光合速率

抽穗-吐丝期是玉米光合速率最大的时期。对照光合速率平均为 $19.36 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 沃特 15、沃特 30、沃特 45、沃特 60 分别为 20.34 、 21.30 、 22.20 、 $22.97 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 沃特 30、沃特 45、沃特 60 光合速率高出对照 10.0% 以上, 达到极显著差异; 沃特 60 与沃特 15 达到极显著差异。PAM 15、PAM 30、PAM 45、PAM 60 光合速率分别为 20.02 、 20.92 、 21.80 、 $22.49 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, PAM 45、PAM 60 高出对照 12.0% 以上, 达到极显著差异; PAM 60 与 PAM 15 达到极显著差异。相同施用量沃特和 PAM 的光合速率无显著差异(图 4)。

表 4 抽穗吐丝期和成熟期各处理的土壤贮水量

Table 4 Soil moisture of different treatments in tasselling-silking stage and maturing stage

mm

| 处理 | 抽穗吐丝期(7月22日) | | | | 成熟期(9月14日) | | | | |
|-----|--------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|---------|
| | 0~ 50 cm | 50~ 100 cm | 100~ 150 cm | 150~ 200 cm | 0~ 50 cm | 50~ 100 cm | 100~ 150 cm | 150~ 200 cm | |
| 对照 | 82 14eE | 81 16cC | 83 38cB | 82 71 | 34 99eC | 48 95dD | 56 24eD | 76 95b | |
| 沃特 | 15 | 87 17deDE | 85 67bcC | 85 07bcAB | 82 84 | 41 53cdB | 55 86cBC | 63 98dC | 79 48ab |
| | 30 | 94 46bcBCD | 88 16bBC | 87 83abA B | 82 88 | 43 76abAB | 60 87bAB | 70 81bcAB | 81 71ab |
| | 45 | 102 29aAB | 96 26aAB | 91 38abA B | 83 83 | 46 08aA | 65 01aA | 75 84aA | 83 19a |
| | 60 | 107 62aA | 98 34aA | 93 14Aa | 84 04 | 45 27abAB | 63 05abA | 77 28aA | 82 16a |
| PAM | 15 | 90 05cdCDE | 85 80bcC | 85 18bcAB | 82 53 | 39 07dB | 51 97dCD | 63 60dC | 78 86ab |
| | 30 | 95 34bcBCD | 88 58bBC | 87 95abA B | 82 85 | 43 36bcA B | 56 17cBC | 68 23cBC | 81 26ab |
| | 45 | 98 90abABC | 95 07aAB | 91 13abA B | 83 44 | 45 86aA | 60 22bAB | 72 82abAB | 82 97a |
| | 60 | 103 85aAB | 97 85aA | 92 63aA | 84 07 | 44 87abAB | 61 54bAB | 73 18abAB | 82 86a |

注:表中数据采用新复极差法检验;同列数据后不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著;同列数据后不同大写字母表示在 $P < 0.01$ 水平差异显著。

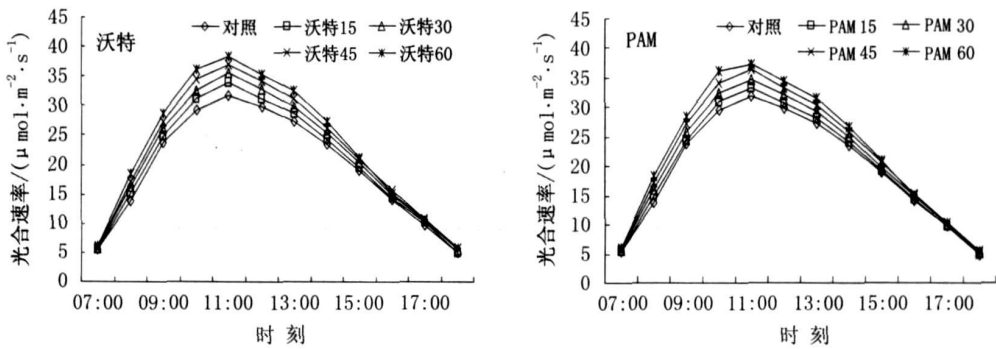


图 4 不同处理抽穗吐丝期的日光合曲线

Fig. 4 Daily photosynthesis curve of different treatments in tasselling-spinning stage

2.3.2 不同处理玉米的生长状况 播种到出苗期耕层土壤贮水量较少且降水较少,对照及沃特、PAM 的出苗率均在 75.0%~80.0% 之间,沃特、PAM 与对照及沃特、PAM 不同施用量无显著差异。

成熟期沃特、PAM 玉米茎秆高度均在 242~248 cm 之间,与对照无显著差异。玉米茎秆粗度沃特 15、PAM 15 与对照无显著差异,其他施用量均高出对照 6.0% 以上,达到显著差异。茎叶生物量中,沃特 45、沃特 60 高出对照、PAM 15 达 6.0% 以上,达到显著差异,其他施用量均与对照无显著差异。根系生物量中,沃特 30、沃特 45、沃特 60、PAM 45、PAM 60 均高出对照 6.0% 以上,达到显著差异;沃特 60 与沃特 15、沃特 30,沃特 45 与沃特 15, PAM 60 与 PAM 15、PAM 30 亦达到显著差异。沃特、PAM

玉米果穗生物量均高出对照 15.0% 以上,达到极显著差异;沃特 60 与沃特 15, PAM 60 与 PAM 15 亦达到极显著差异。沃特、PAM 的籽粒增产较多,最低的 PAM 15 亦超过 15.0%,均与对照达到极显著差异;沃特 60 的籽粒产量与沃特 15、沃特 30 达到极显著差异, PAM 60 与 PAM 15 达到极显著差异。沃特、PAM 的千粒重均高于对照,沃特增重在 13.0%~27.0%,与对照达到极显著差异;PAM 增重在 7.0%~10.0%,与对照达到显著差异。相同施用量沃特、PAM 玉米的株高、茎粗、茎叶生物量、根系生物量、果穗生物量、籽粒产量均无显著差异,但沃特千粒重高出 PAM 千粒重 5.0%~15.0%,其中沃特 15 与 PAM 15、沃特 30 与 PAM 30 达到显著差异,沃特 45 与 PAM 45、沃特 60 与 PAM 60 达到极显著差异(表 5)。

表 5 不同处理玉米成熟期的生长状况

Table 5 Growth status of maize of different treatments in maturing stage

| 处 理 | 株高/cm | 茎粗/cm | 生物量/(g·株 ⁻¹) | | | | 籽粒/(g·株 ⁻¹) | 千粒重/g |
|-----|-------|--------|--------------------------|--------|-----------|------------|-------------------------|-----------|
| | | | 茎叶 | 根系 | 果穗 | 合计 | | |
| 对 照 | 244 | 2.43c | 272.1c | 72.6d | 242.8dC | 587.5dC | 188.1dD | 346.4fC |
| 15 | 242 | 2.49bc | 278.3bc | 75.8cd | 284.5bcB | 638.6cABC | 221.4bcC | 393.1cdAB |
| 30 | 246 | 2.61ab | 282.9abc | 77.2bc | 289.2bcAB | 649.3bcABC | 225.5bcBC | 407.8bcAB |
| 沃 特 | 45 | 2.63ab | 291.4ab | 80.1ab | 295.1bAB | 666.6abcAB | 231.1bABC | 421.3abA |
| 60 | 248 | 2.71a | 301.7a | 86.4a | 318.6aA | 706.7aA | 251.8aA | 436.7aA |
| 15 | 245 | 2.50bc | 274.9c | 74.4cd | 279.3cB | 628.6cBC | 216.4cC | 373.1eBC |
| 30 | 246 | 2.59ab | 279.4bc | 75.6cd | 291.8bcAB | 646.8bcABC | 226.1bcBC | 376.4deBC |
| PAM | 45 | 2.62ab | 283.1abc | 77.5bc | 297.7bAB | 658.3abcAB | 231.3bABC | 378.1deBC |
| 60 | 247 | 2.62ab | 284.7abc | 81.3ab | 320.7aA | 686.7abAB | 250.9aAB | 379.6deBC |

注:表中数据采用新复极差法检验;同列数据后不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著;同列数据后不同大写字母表示在 $P < 0.01$ 水平差异显著。

2.4 不同处理的耗水量和水分利用率

从播种到成熟期对照的耗水量最高,为 484.0 mm,沃特 15、PAM15 的耗水量分别为 460.3、467.6 mm,低于对照但无显著差异;其他施用量均低于对照 6.0% 以上,达到显著差异。沃特、PAM 水分利用效率高出对照 10.0% 以上,均与对照达到极显著差异。沃特 60 水分利用效率高于沃特 15、沃特 30,达到极显著差异;沃

特 45 高于沃特 15,达到极显著差异;PAM60 高于 PAM15,达到极显著差异;沃特、PAM 水分产出率均高出对照 19.0% 以上,达到极显著差异。沃特 60 高于沃特 15、沃特 30,沃特 45 高于沃特 15,达到极显著差异;PAM60 高于 PAM15、PAM30, PAM45 高于 PAM15,达到极显著差异。相同施用量的沃特、PAM 的玉米耗水量、水分利用效率、水分产出率等均无显著差异(表 6)。

表 6 不同处理玉米的耗水量和水分利用率

Table 6 Water consumption and water use efficiency of different treatments

| 处 理 | 耗水量/mm | 生物总量/(kg·hm ⁻²) | 籽粒产量/(kg·hm ⁻²) | 水分利用效率/(kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²) | 水分产出率/(kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²) | |
|-----|----------|-----------------------------|-----------------------------|---|--|-------------|
| 对 照 | 484.0a | 22596.15 | 7234.62 | 46.69fE | 14.95E | |
| 15 | 460.3abc | 24561.54 | 8515.38 | 53.36deCD | 18.50deCD | |
| 沃 特 | 30 | 444.0bcd | 24973.08 | 8673.08 | 56.25cBCD | 19.54bcdBCD |
| 45 | 431.0d | 25638.46 | 8888.46 | 59.49bAB | 20.62cdAB | |
| 60 | 429.4d | 27180.77 | 9684.62 | 63.31aA | 22.56aA | |
| 15 | 467.6ab | 24176.92 | 8323.08 | 51.70eD | 17.80eD | |
| PAM | 30 | 452.1bcd | 24876.92 | 8696.15 | 55.03cdBCD | 19.24cdCD |
| 45 | 439.3cd | 25319.23 | 8896.15 | 57.64bcABC | 20.25bcABC | |
| 60 | 437.7cd | 26411.54 | 9650.00 | 60.35abAB | 22.05aAB | |

注:表中数据采用新复极差法检验;同列数据后不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著;同列数据后不同大写字母表示在 $P < 0.01$ 水平差异显著。

3 讨 论

沃特、PAM 具有良好的吸水性,能够有效地增加降雨入渗,增加可供作物利用的水资源,为作物生长提供良好的土壤环境,促进作物生

长^[1617]。陕北黄土丘陵沟壑区,施用沃特、PAM 提高了 10~20 cm、40~50 cm 土层土壤贮水量,且施用量越大,土壤贮水量越高。播种到三叶期降水偏少,0~50 cm 土层土壤贮水量随沃特、PAM 施用量的增加而提高。拔节期 0~100 cm 土层、抽穗-吐丝期 0~150 cm 土层土

壤贮水量随沃特、PAM 施用量的增加显著提高。灌浆到成熟期无降水过程, 0~200 cm 土层土壤贮水量仍显著高于对照。随着沃特、PAM 施用量的增大, 玉米生长均显著提高, 耗水量显著减少, 水分利用效率、水分产出率显著提高。

相同施用量的沃特、PAM 处理的土壤贮水量和玉米生长均无显著差异, 但沃特千粒重显著高出 PAM。沃特与 PAM 有着相同的吸水、保水作用。

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 0 元·kg⁻¹; PAM: 40 0 元·kg⁻¹), 沃特、PAM 在玉米生产应用中沟施应以 45 kg·hm⁻² 左右为宜。

References:

- [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
- [2] HUANG Zhar bin, XIA Chur liang(黄占斌, 夏春良). A study on impact principles and development trend of agricultural super absorbent [J]. **Research of Soil and Water Conservation**(水土保持研究), 2005, 12(5): 104-106. (in Chinese)
- [3] LIU Rui feng, ZHANG Jur ping, WANG Ai qin(刘瑞风, 张俊平, 王爱勤). Water absorbency and its influence factor of PAM-ata superabsorbent composite [J]. **Transactions of the CSAE**(农业工程学报), 2005, 21(9): 47-50. (in Chinese)
- [4] YANG Hong shan, LIU Rui feng, ZHANG Jur ping, et al.(杨红善, 刘瑞风, 张俊平, 等). Effects of poly(acrylic acylamide)/attapulgit superabsorbent composite on soil water content and physical properties [J]. **Journal of Soil and Water Conservation**(水土保持学报), 2005, 19(3): 38-41. (in Chinese)
- [5] MA Huar cheng, LUO Zhi bin, CHEN Yi qun, et al.(马换成, 罗质斌, 陈义群, 等). Hydrogel's role in retention of nutrients in soil [J]. **Journal of Zhejiang Forestry College**(浙江林学院学报), 2004, 21(4): 404-407. (in Chinese)
- [6] SUN Hong yi, LI Fang, YANG Xir min, et al.(孙宏义, 李芳, 杨新民, 等). Wind erosion resistance of soil treated by water retaining agent [J]. **Journal of Desert Research**(中国沙漠), 2005, 25(4): 618-622. (in Chinese)
- [7] Michael S, Johnson M S. The effect of gel-forming polyacrylamides on moisture storage in sandy soil [J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 1984, 35: 1196-1200.
- [8] WANG Qi ji, WANG Wei ying, JING Zeng chun, et al.(王启基, 王文颖, 景增春, 等). The effect of the search on soil water and plant growth of degraded grassland in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers [J]. **Pratacultural Science**(草业科学), 2005, 22(6): 52-57. (in Chinese)
- [9] GAO Feng wen, LUO Sheng guo, JIANG Bai wen(高凤文, 罗盛国, 姜佰文). Effect of super absorbent polymers on soil evaporation and drought resistance of corn seedings [J]. **Journal of Northeast Agricultural University**(东北农业大学学报), 2005, 36(1): 11-14. (in Chinese)
- [10] HUANG Zhar bin, ZHU Yuan jun, LI Mao song, et al.(黄占斌, 朱元骏, 李茂松, 等). Effects of different applying methods of super absorbent polymer on growth and water use efficiency of maize [J]. **Journal of Shenyang Agricultural University** 沈阳农业大学学报), 2004, 35(5-6): 576-579. (in Chinese)
- [11] CHI Yong gang, HUANG Zhar bin, LI Mao song(迟永刚, 黄占斌, 李茂松). Effects of aqasorb combined with other chemical materials on physiological characteristics of maize [J]. **Agricultural Research in the Arid Areas**(干旱地区农业研究), 2005, 23(6): 132-136. (in Chinese)
- [12] LIU Shi liang, KOU Tai ji, JIE Xiao lei, et al.(刘世亮, 寇太记, 介小磊, 等). Studies on the effects of water retaining agents on maize growth and soil nutrient transformation [J]. **Journal of Henan Agricultural University**(河南农业大学学报), 2005, 39(2): 146-150. (in Chinese)
- [13] CHEN Qiong xian, GUO He rong, PENG Zhi ping, et al.(陈琼贤, 郭和蓉, 彭志平, 等). Effect of soil modifier on corn yield and soil fertility [J]. **Chinese Journal of Soil Science**(土壤通报), 2005, 6(3): 463-464. (in Chinese)
- [14] TANG Ze jun, LEI Ting wu, ZHAO Xiao yong, et al.(唐泽军, 雷廷武, 赵小勇, 等). Impacts of polyacrylamide application on soil water status of loess and the growth of corn [J]. **Transactions of the CSAE**(农业工程学报), 2006, 22(4): 216-219. (in Chinese)
- [15] YANG Yong hui, ZHAO Shi wei, HUANG Zhar bin, et al.(杨永辉, 赵世伟, 黄占斌, 等). Study on water conserving ability of multifunctional water absorbent [J]. **Agricultural Research in the Arid Areas**(干旱地区农业研究), 2006, 24(5): 35-37. (in Chinese)
- [16] HUANG Zhar bin, ZHANG Ling chun, DONG Li, et al.(黄占斌, 张玲春, 董莉, 等). Study on properties of different kinds of water retentive agents and effects on growth of maize [J]. **Journal of Soil and Water Conservation**(水土保持学报), 2007, 21(1): 140-143, 163. (in Chinese)
- [17] YUAN Xue feng, WANG You ke, WU Pu te, et al.(袁学锋, 汪有科, 吴普特, 等). Effects and mechanism of PAM on soil physical characteristics [J]. **Journal of Soil and Water Conservation**(水土保持学报), 2005, 19(2): 37-40. (in Chinese)