

## 保水剂对不同作物水分利用效率及产值的影响

邹超煜<sup>1</sup> 白岗栓<sup>1\*</sup> 于健<sup>2</sup> 宋日权<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;

2. 内蒙古自治区水利科学研究所, 呼和浩特 010020)

**摘要** 为鉴别保水剂对不同作物水分利用效率及产值的影响, 以便于保水剂的应用与推广, 在干旱半干旱区选择了西瓜、马铃薯和玉米 3 种作物, 在干旱区选择了春小麦、向日葵、玉米和番茄 4 种作物, 以不同作物不施保水剂为对照, 分析比较了不同作物施用保水剂的水分利用效率、水分生产率、产量和产值。结果表明干旱半干旱区西瓜的增产值最大, 但马铃薯的增值率最高且节水效果最好。干旱区向日葵的增产值最大, 但玉米的增值率略高于向日葵且有很好的节水效果。根据不同作物施用保水剂的水分利用效率和增产值情况, 建议干旱半干旱区推广、应用保水剂应优先选择马铃薯、西瓜, 干旱区应优先选择向日葵、玉米。

**关键词** 保水剂; 干旱半干旱区; 干旱区; 农作物; 水分利用效率; 产值

中图分类号 S 156.2

文章编号 1007-4333(2015)05-0066-08

文献标志码 A

## Effects of super absorbent polymer on water use efficiency and output value of different crops in different regions

ZOU Chao-yu<sup>1</sup>, BAI Gang-shuan<sup>1\*</sup>, YU Jian<sup>2</sup>, SONG Ri-quan<sup>2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Inner Mongolia Hydraulic Research, Huhhot 010020, China)

**Abstract** In order to improve water use efficiency and crop output value, promote the popularization and application of super absorbent polymer. The objective of this study was conducted to study the influences of super absorbent polymer on water use efficiency and crops output value. The experiment was conducted with watermelon, potato and maize as test crops in arid and semi-arid regions. Meanwhile, spring wheat, maize, sunflower and tomato as test crops in arid region. Different crops no applied super absorbent polymer as control in different regions. The water use efficiency, water output efficiency, crop yields and crop output value of different crops had been monitored and had been analyzed in different regions. The results showed that watermelon had the highest output value; however, potato had highest value adding rate and highest water saving effects in arid and semi-arid region. Meanwhile, sunflower had the highest output value; but maize had highest value adding rate and highest water output efficiency in arid region. Potato and watermelon should be the preference crops for popularization and application super absorbent polymer in arid and semi-arid regions, and sunflower and maize should be the preference crops in arid regions.

**Key words** super absorbent polymer; arid and semi-arid regions; arid region; crops; water use efficiency; output value

内蒙古河套灌区和陕北黄土丘陵沟壑区为干旱、干旱半干旱地区, 光照资源丰富, 土地资源广阔,

但降水量偏少, 水分缺乏成为影响生态环境建设和农业生产的主导因子。在农业生产中保水剂可能成

收稿日期: 2014-12-21

基金项目: 水利部科技推广项目(TG1403); 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD31B05, 2011BAD29B03)

第一作者: 邹超煜, 硕士研究生, E-mail: 1090761826@qq.com

通讯作者: 白岗栓, 研究员, 主要从事果树栽培及农田生态研究, E-mail: gshb@nwsuaf.edu.cn

为继农药、化肥和地膜之后应用最为广泛的化学合成材料：保水剂能吸收几百倍甚至上千倍的水分，吸收的水分可缓慢释放以供作物吸收利用<sup>[1-4]</sup>；保水剂可减少地表径流，减少土壤水分、养分流失，改良土壤结构，提高作物水肥利用率，减少环境污染<sup>[5-9]</sup>。保水剂在不同地区、不同作物生产中具有显著地节水增效作用<sup>[10-14]</sup>，但保水剂在同一地区不同作物上的节水增产未见报道。本试验拟在干旱半干旱区以常见作物玉米、马铃薯和西瓜为试验材料，干旱荒漠区以玉米、春小麦、番茄和向日葵为试验材料，开展保水剂在不同地区对不同作物的节水增效研究，以期在不同地区应用与推广保水剂筛选出适宜的农作物，充分发挥保水剂的节水增效作用。

## 1 试验地的自然条件

### 1.1 干旱半干旱区

试验地位于陕北黄土丘陵沟壑区安塞县沿河湾镇寨子湾村，年降水量 549.1 mm，年均气温 8.8 °C，日照时数 2 415.6 h， $\geq 10$  °C 的活动积温 3 171.2 °C，无霜期 159 d。试验地宽 20 m 左右，海拔 1 140.0 m。试验地土壤为黄绵土，耕层田间持水量 22.24%，土壤 pH 8.6，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。0~80 cm 土层土壤容重平均为 1.21 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.2 干旱区

试验地位于内蒙古河套灌区磴口县坝楞村，年降水量 142.7 mm，年蒸发量 2 381.8 mm，年均气温 7.6 °C，年均风速 3.0 m/s，日照时数 3 209.5 h，无霜期 136~144 d。试验地土壤为灌淤土，灌淤层 1.5 m~1.8 m，耕层田间持水量 23.23%，凋萎系数 7.48%，0~80 cm 土层土壤容重平均为 1.48 g/cm<sup>3</sup>，地下水位 3.0 m 以下。耕层土壤有机质 10.0 g/kg，全氮 0.59 g/kg，有效磷 12.6 mg/kg，速效钾 171.4 mg/kg，总孔隙度 45.02%，pH 8.8，含盐量 0.1% 左右。灌溉水为黄河过境水，矿化度 0.320 g/L 左右，pH 8.1。试验地宽 30.0 m，长 60.0 m。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料及作物

干旱半干旱区选用的保水剂为沃特保水剂，粉末状，由胜利油田长安集团提供，为有机—无机复合

保水剂，由丙烯酸 (Acrylic acid) 或丙烯酰胺 (Acrylamide) 与凹凸棒土 (Attapulgit) 通过杂化工艺合成，吸水倍率纯水为 500~1 000，生理盐水为 40~80，市场零售价为 25 元/kg。供试作物有西瓜 (西农 8 号)、马铃薯 (克新一号)、玉米 (沈单 10 号)。

干旱区选用的保水剂为 BJ2101-L 保水剂，颗粒状，粒径 1.6~4.0 mm，为脱钠处理的聚丙烯酸钠高吸水树脂，市场零售价为 45 元/kg，由北京汉力森有限公司提供。供试作物有春小麦 (永良 4 号)、向日葵 (DK119)、玉米 (巴单 3 号)、番茄 (石番 97-10)。

### 2.2 试验设计

在干旱半干旱区和干旱区，以每种作物不施保水剂为对照，测定不同作物的水分利用效率和产值。干旱半干旱区有 3 种作物 6 个处理，干旱区有 4 种作物 8 个处理。不同地区的试验小区均为 4.0 m×50.0 m，均重复 3 次，随机排列。

不同处理中，保水剂在西瓜栽培中采用穴施，每穴 2.0 g，折合 22.5 kg/hm<sup>2</sup>，其他作物均沿作物种植行，采用沟施，施用量为 45 kg/hm<sup>2</sup><sup>[10-14]</sup>。不同处理中，春小麦保水剂的施入深度为 4.0~5.0 cm，其他作物的施入深度均为 10.0 cm。

干旱半干旱区的西瓜于 2010 年 3 月 20 日开始温室育苗，三叶一心时 (4 月 26 日) 移栽，株距为 0.5 m，行距为 1.6 m，移栽前 1 d 穴施保水剂。马铃薯于 4 月 28 日采用宽窄行种植，宽行行距 0.55 m，窄行 0.4 m，株距 20.0 cm，播种深度为 10.0 cm。玉米于 4 月 28 日种植，行距 0.65 m，株距 0.4 m。干旱半干旱区除西瓜人工补充灌溉外，马铃薯、玉米均为雨养农业。

干旱区春小麦于 2010 年 3 月 25 日播种，播种量为 375.0 kg/hm<sup>2</sup>，行距为 11.0 cm。播种前先将保水剂沟施于土壤中，然后机播小麦 (种植深度为 2.0~3.0 cm) 和沟施化肥 (深度为 4.0~5.0 cm)。供试向日葵与春小麦间作，种植带宽 180.0 cm，于 5 月 30 日采用宽窄行种植，宽行行距 90.0 cm，窄行 35.0 cm，株距 40.0 cm，折合种植密度为 55 556 株/hm<sup>2</sup>。供试玉米与春小麦间作，种植带宽 180.0 cm，于 4 月 23 日采用宽窄行种植，宽行行距为 80 cm，窄行行距为 30.0 cm，株距 25.0 cm，折合种植密度为 88 889 株/hm<sup>2</sup>。供试向日葵、玉米均与间作春小麦之间无土埂阻挡，灌溉春小麦时同时漫灌向日葵和玉米种植带。

干旱区番茄采用垄沟栽培,供试垄面宽 100.0 cm,垄沟深 20.0 cm,垄沟宽 20.0 cm,垄面定值两行番茄,两行之间的距离为 70.0 cm,株距 50.0 cm,番茄距垄沟边缘 15.0 cm,折合密度为 33 333 株/hm<sup>2</sup>[15]。5月20日采用带有基质的番茄幼苗(苗龄5叶1心)定植移栽。定植前先将保水剂与化肥分批沟施于垄面,然后在垄沟内及垄面两侧 30.0 cm 覆盖地膜,最后用点播器将番茄定植在垄面两侧的地膜上。

不同试验区同一作物的施肥、除草、灌溉等管理措施等均相同。

### 2.3 测定项目

**降水量** 干旱半干旱区、干旱区的试验地旁均设有农田小气候观测仪,测定各种作物生长期间的降水量。

**灌溉量** 不同作物灌溉时均记录灌溉时期及灌溉量。干旱区的灌溉量采用量水堰测定。干旱半干旱区则根据实际灌溉量折合为灌水厚度。

**土壤水分** 不同作物播种(定值)前和收获期,以 10.0 cm 土层为单位,烘干法测定 0~80 cm 土层土壤含水率( $w/\%$ ),根据土层厚度、土壤容重换算成土壤水层厚度(mm)[16]。

**作物生物量和产量** 春小麦收获期以 1.0 m<sup>2</sup> 为单位,每个小区选择 3 个采样点,常规方法测定春小麦的生物量及产量。西瓜、马铃薯、玉米、向日葵和番茄收获期,每个小区随机选择 15 株(穴),常规方法测定不同作物的生物量及产量。

**水分利用效率和水分产出效率** 试验地质地均匀,地势平坦,无地下水渗漏、补给及水分的水平运动,根据不同作物生育期内的有效降水量、灌溉量和作物生长前后田间土壤水分变化来计算田间耗水量[17-18];根据不同作物的生物量、产量和田间耗水量来计算不同作物的水分利用效率、水分产出效率[17-18]。有效降水量是根据 1 次降水量或 24 h 降水量的降水有效利用系数进行计算[17-18]。

**经济效益** 根据不同作物的产量、市场价格和不同保水剂用量、价格,计算不同处理的增产值和增值率[18]。

### 2.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2007 制作图表,用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析;若差异显著,则采用 Duncan's 多重比较进行检验。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同作物生长期的降水量、灌水量及耗水量

干旱半干旱区西瓜从定值到收获(4月26日到7月22日)共灌溉 6 次,共计 15.0 mm;降水 288.6 mm,其中有效降水 232.2 mm。马铃薯、玉米从播种到收获期(4月28日到9月14日)共降水 362.8 mm,其中有效降水 291.5 mm(表 1)。

干旱区春小麦从播种到收获(3月25日到7月12日)共降水 59.1 mm,其中有效降水 56.6 mm;灌水 4 次,共计为 330.0 mm。向日葵从播种到收获(5月30日到9月24日)共降水 69.6 mm,其中有效降水 63.2 mm;灌水 3 次,共计为 255.0 mm。玉米从播种到收获(4月23日到9月24日)共降水 102.5 mm,其中有效降水量为 93.8 mm;灌水 6 次,共计为 540.0 mm。番茄从定植到拉秧(5月20日到9月28日)共降水 94.8 mm,其中有效降水 88.4 mm;灌水 5 次,共计 100.0 mm(表 1)。

干旱半干旱区 3 种作物收获期的土壤含水量普遍低于播种前(表 1)。3 种作物中,西瓜的生长期较短(87 d),生长量小,而玉米的生长期较长(153 d)且生长量较大,因而西瓜的耗水量较小,玉米较高。在干旱半干旱区,西瓜、马铃薯施用保水剂后的生物量、产量显著提高,造成土壤耗水量增加,故西瓜、马铃薯施用保水剂后的耗水量高于对照;玉米施用保水剂后的生物量、产量增长幅度相对较小,而保水剂具有一定的保水作用,故玉米施用保水剂后的耗水量降低(表 1)。

干旱区降雨稀少,作物生长依赖于灌溉。施用保水剂的春小麦和番茄生物量、产量均增加,故其耗水量也增加。向日葵、玉米幼苗生长期灌水次数、灌水量较多,保水剂吸附了大量水分,促进了向日葵、玉米生长,故二者的生物量、产量增加而耗水量则降低(表 1)。

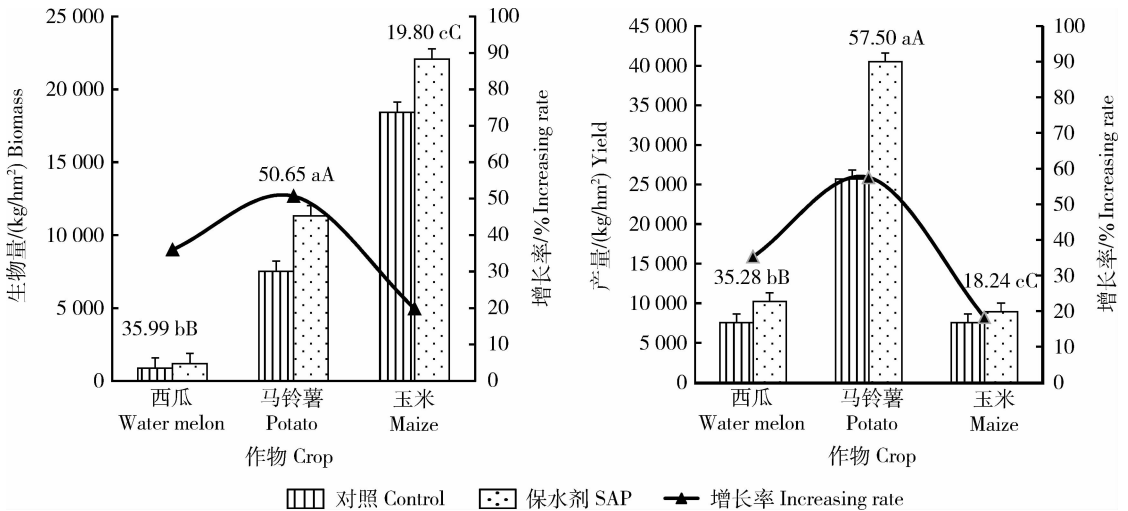
### 3.2 保水剂对不同作物生物量及产量的影响

干旱半干旱区西瓜、马铃薯和玉米 3 种作物的生物量分别增加了 35.99%、50.63%和 19.80%,产量分别增加了 35.28%、57.5%和 18.24%。马铃薯为块茎植物,块茎作物对土壤水分敏感,因而马铃薯施用保水剂后的生物量、产量增长率极显著高于西瓜。西瓜果实含水量约为 90%左右,对水分敏感程度高于玉米,因此其生物量和产量增长率极显著高于玉米。3 种作物中,马铃薯的生物量和产量增加幅度最大,玉米最低(图 1)。

表 1 不同地区不同作物的耗水量

Table 1 Water consumption of different crops in different regions

试验地 Experimental field	作物 Crop	处理 Treatment	土壤水分/mm Soil moisture			有效降水量/ mm Effective precipitation	灌水次数 Irrigation frequency	灌水量/ mm Irrigation amount	耗水量/ mm Water consumption
			播种前 Before sowing	收获期 Harvest stage	变化量 Change quantity				
			干旱半干旱区 Arid and semi-arid regions	西瓜 Watermelon	对照 Control				
		保水剂 SAP	122.80	99.50	23.30	232.2	6	15.0	270.50
	马铃薯 Potato	对照 Control	121.87	100.10	21.77	291.5	0	0	313.27
		保水剂 SAP	121.87	91.20	30.67	291.5	0	0	322.17
	玉米 Maize	对照 Control	125.68	67.15	58.53	291.5	0	0	350.03
		保水剂 SAP	125.68	88.87	36.81	291.5	0	0	328.31
干旱区 Arid region	春小麦 Spring wheat	对照 Control	298.30	274.98	23.32	56.6	4	330.0	409.92
		保水剂 SAP	298.30	267.68	30.62	56.6	4	330.0	417.22
	向日葵 Sunflower	对照 Control	279.59	212.93	66.66	63.2	3	255.0	384.86
		保水剂 SAP	279.59	230.93	48.66	63.2	3	255.0	366.86
	玉米 Maize	对照 Control	277.77	272.79	4.98	93.8	6	540.0	638.78
		保水剂 SAP	277.77	276.50	1.27	93.8	6	540.0	635.07
	番茄 Tomato	对照 Control	255.69	193.15	62.54	88.4	5	100	250.94
		保水剂 SAP	255.69	183.03	72.66	88.4	5	100	263.06



不同小写字母表示不同作物生物量、产量的增长率存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示存在极显著差异 ( $P < 0.01$ )。

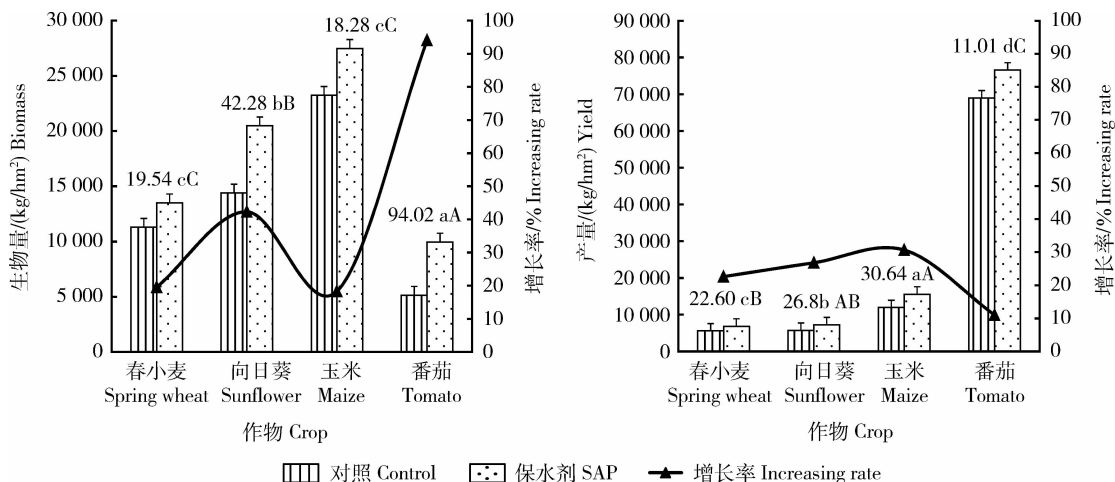
Different lowercase letters and capital letters above the histogram indicate significant difference of the increasing rate of biomass and yield of different crops at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level respectively.

图 1 干旱半干旱区不同作物的生物量、产量及增长率

Fig. 1 Biomass, yield and increasing rate of different crops in arid and semi-arid regions

干旱区春小麦、向日葵、玉米和番茄4种作物施用保水剂的生物量较其对照分别增加了19.54%、42.28%、18.28%和94.02%，产量分别增加了22.6%、26.8%、30.64%和11.01%。不同作物中，番茄的生物量增长率最高，产量则最低，而玉米的生物量增长率最低，产量则最高，这可能是番茄生长期灌水频繁，

土壤水分充足，施用保水剂进一步提高土壤水分，促进了营养生长，削弱了生殖生长，且过高的土壤水分易造成番茄霉烂，降低番茄产量。施用保水剂提高了土壤水分，促进了营养物质转移，利于灌浆及籽粒饱满，且玉米的株高、叶片等生长到一定程度将会停止，因而玉米的生物量增长率最低而产量增长率最高(图2)。



不同小写字母表示不同作物生物量、产量的增长率存在显著差异( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示存在极显著差异( $P < 0.01$ )

Different lowercase letters and capital letters above the histogram indicate significant difference of the increasing rate of biomass and yields of different crops at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level respectively

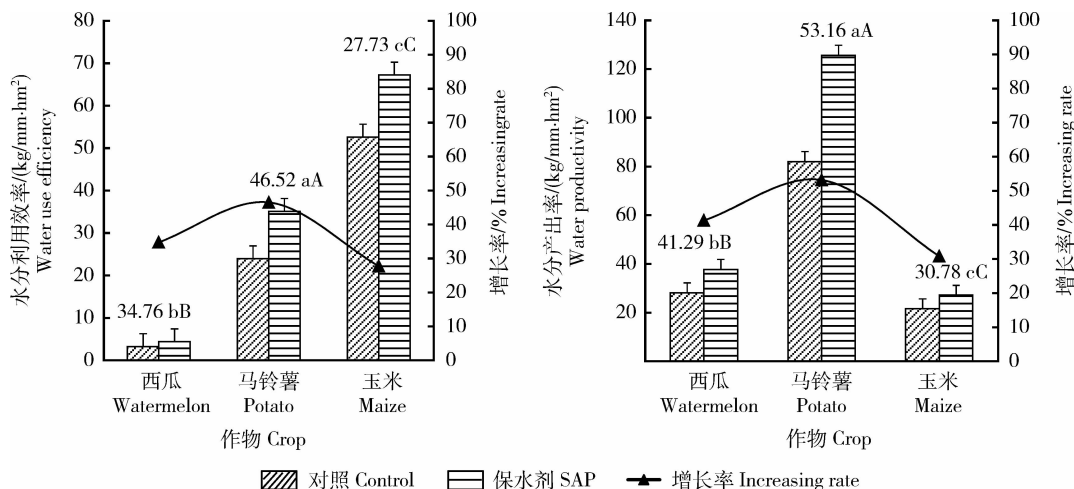
图2 干旱区不同作物的生物量、产量及增长率

Fig. 2 Biomass, yield and increasing rate of different crops in arid region

### 3.3 保水剂对不同作物土壤水分利用效率的影响

干旱半干旱区西瓜、马铃薯和玉米的水分利用效率分别增长了34.76%、46.52%和27.73%，水分

产出效率分别增长了41.29%、53.16%和30.78%，3种作物水分利用效率、水分产出效率的增长率均达到极显著差异(图3)。



不同小写字母表示不同作物水分利用效率、水分产出率的增长率存在显著差异( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示存在极显著差异( $P < 0.01$ )。

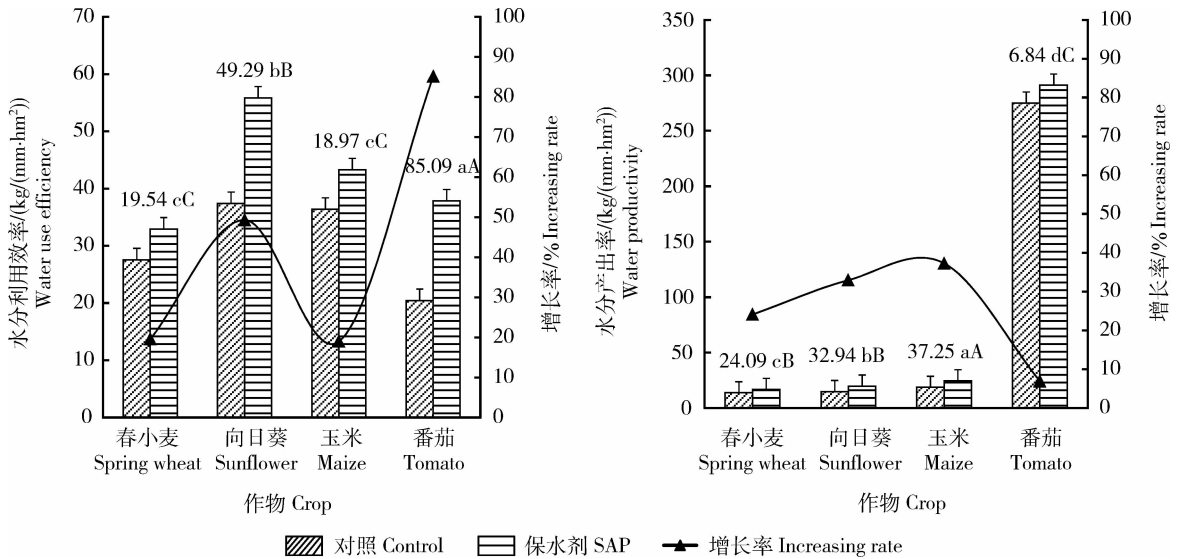
Different lowercase letters and capital letters above the histogram indicate significant difference of the increasing rate of water use efficiency and water productivity rate of different crops at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level respectively.

图3 干旱半干旱区不同作物的水分利用效率、水分产出率及增长率

Fig. 3 Water use efficiency, water productivity rate and increasing rate of different crops in arid and semi-arid regions

干旱区春小麦、向日葵、玉米和番茄施的水分利用效率分别增长了 19.54%、49.29%、18.97% 和 85.09%，水分产出率分别增长了 24.09%、32.94%、37.25% 和 6.84%，不同作物间的增长率

存在显著或极显著差异(图 4)。番茄的水分产出率远高于其他 3 种作物,主要与番茄收获的产品为鲜果且生长期耗水量较少有关。



不同小写字母表示不同作物水分利用效率、水分产出率的增长率存在显著差异( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示存在极显著差异( $P < 0.01$ )

Different lowercase letters and capital letters above the histogram indicate significant difference of the increasing rate of water use efficiency and water productivity rate of different crops at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level respectively

图 4 干旱区不同作物水分利用效率、水分产出率及增长率

Fig. 4 Water use efficiency, water productivity and increasing rate of different crops in arid region

### 3.4 保水剂对不同作物增产值的影响

参照 2010 年干旱半干旱区和干旱区不同作物收获期的价格,扣除保水剂的费用,干旱半干旱区西

瓜的增产值最大,为 2 636.64 元/hm<sup>2</sup>,但马铃薯的增值率最高,为 54.78%。3 种作物的增值率存在极显著差异(表 2)。

表 2 不同作物的增产效益

Table 2 Economic increasing rate of different crops

试验地 Experimental field	作物 Crops	处理 Treatments	农产品价格/ (元/kg) Price	产值/ (元/hm <sup>2</sup> ) Output value	增产值/ (元/hm <sup>2</sup> ) Increased value	增值率/% Increasing rate
干旱半干旱区 Arid and semi-arid regions	西瓜	对照	1.2	9 066.76		
		保水剂	1.2	11 703.40	2 636.64	29.08% bB
	马铃薯	对照	1.6	41 139.84		
		保水剂	1.6	63 675.96	22 536.12	54.78% aA
	玉米	对照	2.2	16 630.75		
		保水剂	2.2	18 538.61	1 907.86	11.47% cC

表2(续)

试验地 Experimental field	作物 Crops	处理 Treatments	农产品价格/ (元/kg) Price	产值/ (元/hm <sup>2</sup> ) Output value	增产值/ (元/hm <sup>2</sup> ) Increased value	增值率/% Increasing rate
干旱区 Arid region	春小麦	对照	2.8	15 720.04		
		保水剂	2.8	17 248.52	1 528.48	9.72% bB
	向日葵	对照	8.8	50 371.20		
		保水剂	8.8	61 846.90	11 475.7	22.78% aA
	玉米	对照	2.3	26 304.52		
		保水剂	2.3	32 338.12	6 033.60	22.94% aA
	番茄	对照	0.5	34 500.00		
		保水剂	0.5	36 275.00	1 755.00	5.14% cC

注:表中同列不同小写字母和大写字母表示存在显著差异( $P < 0.05$ )和极显著差异( $P < 0.01$ )。

Note: Different lowercase letters and capital letters in the same column in the table indicate significant difference at the  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  level.

干旱区4种作物中,向日葵的增产值最大,为11 475.7元/hm<sup>2</sup>;玉米的增产值仅为6 033.6元/hm<sup>2</sup>,但其增值率却略高于向日葵(表2)。

## 4 讨论

保水剂具有良好的吸水性,能有效提高土壤水分,为作物生长提供良好的土壤水分环境,促进作物生长<sup>[12]</sup>。在干旱半干旱区和干旱区,保水剂均显著提高了作物产量及水分利用效率,这与前人的研究结果相一致<sup>[18-21]</sup>。干旱半干旱区春季气温变化频繁且强度较大,易造成西瓜幼苗冻伤或灼伤,降低移栽成活率,延长缓苗时间,施用保水剂提高了土壤水分,可有效调节土壤的水热环境,促进幼苗生长,从而提高西瓜产量及产值。干旱半干旱区春季及初夏干旱少雨,马铃薯幼苗期对肥水需求量小但却非常敏感,施用保水剂提高了土壤水分,利于马铃薯匍匐茎、根系的生长发育,为健壮生长与丰产打下了基础,从而提高了马铃薯的生物量及产量<sup>[11]</sup>。干旱半干旱区施用保水剂可优先选择马铃薯、西瓜。

干旱区为灌溉农业区,农田土壤多为灌淤土,通气性差,不利于作物生长。BJ2101-L保水剂是一种大颗粒保水剂,不但可大量吸收、保持土壤水分,而且吸水膨胀后可达30~40 mm,在吸水-释水过程可形成大量孔隙,改善土壤结构,提高土壤通气性,提高水肥利用率<sup>[22]</sup>,促进作物生长。干旱区春小麦、

番茄生长期灌水频繁且土壤水分含量较高,因而施用保水剂的增产量及增产值较低<sup>[16,18,21]</sup>。向日葵从现蕾期到灌浆期,玉米从拔节期到灌浆期降水较少,灌溉次数较少,而此期为向日葵、玉米水分敏感期,施用保水剂提高了土壤水分,促进了向日葵和玉米生长,因而提高了向日葵和玉米的产量及产值<sup>[17,23]</sup>。干旱区可优先选择在向日葵和玉米生产中推广、应用保水剂。

## 5 结论

1)无论是在干旱半干旱区还是在干旱区,施用保水剂均可提高不同作物的生物量及产量,提高不同作物的土壤水分利用效率及水分产出效率,提高不同作物的经济产值。

2)干旱半干旱区可优先选择在西瓜和马铃薯生产中推广应用保水剂,干旱区可优先选择在向日葵和玉米生产中推广应用。

## 参 考 文 献

- [1] 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: 1926-1932
- [2] Alasdair B. Super absorbents improve plant survival[J]. World Crops, 1984, (1/2): 7-10
- [3] 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

- [4] 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
- [5] Sojka R E, Lentz R D, Westerman D T. Water and erosion management with multiple application of polyacrylamide in furrow irrigation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1998, 62: 1672-1680
- [6] Shainberg I, Levy G J. Organic polymers and soil sealing in cultivated soil[J]. Soil Sci, 1994, 158(4): 267-273
- [7] Huttermann A, Zommordi M, Reise K. Addition of hydrogels to soil for prolonging the survival of *pinus halepensis* seedlings subjected to drought[J]. Soil and Tillage Research, 1999, 50(3/4): 295-304
- [8] Levia J, Bern Hur M, Gal M, et al. Rain energy and soil amendments effect on infiltration and erosion of three different soil types[J]. Australian Journal of Soil Research, 1997, 29: 455-465
- [9] 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效率的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(5/6): 576-579
- [10] Woodhouse J, Johnson M S. Effect of super absorbent polymers on survival and growth of crop seedling[J]. Agricultural Water Management, 1991, 20: 63-70
- [11] 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
- [12] 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
- [13] 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
- [14] 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
- [15] 杜社妮, 于健, 耿桂俊, 等. 定植孔密封方式对土壤水热盐及番茄苗存活率的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 110-116
- [16] 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
- [17] 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
- [18] 张蕊, 耿桂俊, 白岗栓, 等. 保水剂施用方式对土壤水热及春小麦生产的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2012, 38(2): 211-219
- [19] 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, 2005, 35(8): 102-108
- [20] 张蕊, 于健, 耿桂俊, 等. PAM 施用方式对土壤水热及玉米生长的影响[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(3): 96-103
- [21] 张蕊, 耿桂俊, 白岗栓. 保水剂施用量对土壤水分和番茄生长的影响[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(2): 108-113
- [22] 李永胜, 杜建军, 刘士哲, 等. 保水剂对番茄生长及水分利用效率的影响[J]. 生态环境, 2006, 15(1): 140-144
- [23] 杜社妮, 耿桂俊, 于健, 等. 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[J]. 水土保持通报, 2012, 32(5): 270-276

责任编辑: 袁文业