

# 保水剂与磷肥的相互影响及节水保肥效果

李永胜<sup>1</sup>, 苟春林<sup>1,2</sup>, 杜建军<sup>1</sup>, 王新爱<sup>3</sup>

(1. 仲恺农业工程学院 植物营养与新型肥料研究中心, 广州 510225;

2. 宁夏农林科学院, 农产品质量监测中心, 银川 750002; 3. 仲恺农业工程学院化学化工学院, 广州 510225)

**摘 要:**采用茶袋法测定保水剂在磷酸一铵、过磷酸钙溶液中的吸水倍率,并以差减法计算保水剂对磷素养分的吸持量,研究不同磷肥对保水剂吸水性能以及保水剂对不同磷肥的吸持作用的影响;盆栽条件下以玉米为供试作物,研究保水剂和不同磷肥配合施用下的节水保肥效果。结果表明:保水剂在不同磷肥溶液中的吸水倍率随肥料浓度的增加而下降,过磷酸钙对保水剂吸水倍率的影响大于磷酸一铵;保水剂在大量吸水的同时,也对溶于水中的磷素养分有吸持作用,吸持量随肥料浓度的增加出现先增大后减小的规律;保水剂和磷肥配合施用能增加叶片净光合速率和气孔导度,提高玉米生物量和水肥利用效率,保水剂与磷酸一铵配合施用水肥调控效果较好。

**关键词:**保水剂; 磷肥; 相互影响; 玉米

中图分类号: S143.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)06-0067-05

## Interaction Between Water Retaining Agent and Phosphorus Fertilizers and the Effect of Water and Fertilizer Conservation

LI Yong-sheng<sup>1</sup>, GOU Chun-lin<sup>1,2</sup>, DU Jian-jun<sup>1</sup>, WANG Xin-ai<sup>3</sup>

(1. Research Center for Plant Nutrition and New Fertilizer, Zhongkai University of Agricultural and Engineering, Guangzhou 510225, China; 2. Analysis and Test Center of Agriculture, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China; 3. College of Chemistry and Chemical Engineering, Zhongkai University of Agricultural and Engineering, Guangzhou 510225, China)

**Abstract:** Water absorbencies of water retaining agent (WRA) in different solution of ammonium phosphate and super phosphate were determined by tea bag method, and phosphorus adsorption capacities of WRA were determined by the difference of phosphorus amounts in the solution before and after adsorption occurred. The effects of different phosphorus fertilizers on water absorbent characteristics of WRA and nutrients adsorption by WRA were studied. Maize was used as the tested crop in a pot experiment to study the effect of water and fertilizer conservation when WRA and different phosphorus fertilizers were applied in combination. The results showed that the water absorbency of the WRA decreased obviously along with the increase of concentrations of various phosphorus fertilizers. Calcium super phosphate had much stronger influence on the water absorbency of WRA. While WRA absorbed water, it could also absorb phosphate in the solution. With the increase of concentrations of fertilizers, phosphorus adsorption capacity increased at the first stage and then decreased at the second stage. WRA and phosphorus fertilizers applied in combination could obviously increase the net photosynthetic, stomatal conductance and bioyield, as well as phosphorus use efficiency and WUE. WRA and ammonium phosphate applied in combination had the best effect of water and fertilizer conservation.

**Key words:** water retaining agent (WRA); phosphorus fertilizer; interaction; maize

收稿日期: 2013-12-28

修回日期: 2014-01-26

**资助项目:**国家自然科学基金“基于表面聚合机制的高吸水性树脂包膜尿素的制备与水肥调控机理研究”(31172031);国家自然科学基金“保水剂与肥料、土壤相互影响及机理研究”;广东省自然科学基金重点项目(10251022501000000);广东省科技计划项目(2008B021000043);(2012A020100004);广州市科技计划项目(2012J4300114)

**作者简介:**李永胜(1964—),男,湖北黄陂人,硕士,副教授。研究方向为土壤肥力与肥料资源高效利用。E-mail: yongshlee@163.com

**通信作者:**杜建军(1966—),男,陕西商州人,博士,教授。主要从事环境友好型肥料研发及保水剂应用方面的研究工作。E-mail: dujj@tom.com

保水剂又称高吸水树脂,是具有超强吸水能力的功能性高分子材料,能在短时间内吸收其自身质量几百倍甚至几千倍的水分,并对水分具有良好的保持性,吸收的水分即使在受热、加压条件下也不易散失,而且其保持的水分85%以上可供作物吸收利用。由于其独特的性能,保水剂在农业生产和水土保持中得到广泛的应用<sup>[1-3]</sup>。有人预言,保水剂将成为继化肥、农药、塑料薄膜之后第四大农用化学品<sup>[4]</sup>。早期对保水剂的研究主要集中在保水剂的保水、节水效果和对土壤物理性质及作物生长的影响,结果表明,保水剂能起到改良土壤结构、抗旱保水、提高苗木成活率、促进作物生长、增加产量、提高水分利用效率等作用<sup>[5-8]</sup>。近年来,随着研究的不断深入,保水剂与养分的相互作用逐渐受到重视,特别是保水剂对氮素的吸附和缓释作用已有不少研究<sup>[9-12]</sup>,但保水剂与不同磷肥的相互作用及水肥调控效果尚未见报道。本文主要研究保水剂在吸水保水的同时,对不同磷肥的吸持作用、不同磷肥对保水剂吸水保水性能的影响以及保水剂和不同磷肥配合施用下的节水保肥效果,为保水剂合理使用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

保水剂:聚丙烯酰胺—丙烯酸盐共聚物保水剂,吸水倍率:230 g/g;粒径:0.23~0.40 mm;含水率≤90 g/kg。磷肥:磷酸一铵、过磷酸钙。土壤:旱地赤红壤,取自仲恺农业工程学院农场玉米地。土壤pH6.68,有机质17.6 g/kg,全氮、全磷、全钾分别为3.39 g/kg、0.144 g/kg和4.41 g/kg,有效氮、有效磷、有效钾分别为76.6 mg/kg、52.4 mg/kg和83.9 mg/kg。作物:玉米,品种为仲糯三号。

### 1.2 试验方法

1.2.1 保水剂吸水倍率测定 吸水倍率测定采用茶袋法<sup>[10]</sup>:称取保水剂0.200 g,放入12 cm×15 cm的200目的已知质量的尼龙袋中,封口后于25℃下,放入200 ml去离子水中静置12 h,保水剂充分吸水后吊起尼龙袋30 min,沥尽水分,称重,并收集滤液,计算吸水倍率。

1.2.2 肥料对保水剂吸水倍率的影响及保水剂对肥料吸持量测定 以同体积的一定浓度系列的磷酸一铵、过磷酸钙溶液(磷酸一铵浓度为0~2%,过磷酸钙浓度为0~0.8%)代替去离子水按1.2.1在同样条件下进行测定,收集滤液,计算保水剂在不同磷肥溶液中的吸水倍率,以保水剂在去离子水中的吸水倍率为100%,计算相对吸水倍率,滤液以钒钼黄比色

法测定磷含量<sup>[13]</sup>,用差减法计算保水剂对磷肥的吸持量。

1.2.3 盆栽试验 保水剂用量分别为0 g/kg土和4 g/kg土,磷肥品种分别为磷酸一铵和过磷酸钙,磷肥用量为每千克土80 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,共6个处理,每个处理4次重复。所有处理均以尿素和氯化钾补充氮、钾养分,氮、钾用量分别为120 mg/kg土和100 mg K<sub>2</sub>O/kg土。每盆装风干土4 kg(过3 mm筛),装盆时先把保水剂与少量细土混匀,再与其余土壤混合,最后与氮、磷、钾肥料混合均匀。每盆播种4粒发芽的玉米种子,出苗后留长势均匀的2株苗。玉米出苗后第10 d开始水分控制处理,每次间隔15 d。每次水分控制前每个处理在1 d内分3次等量灌水900~1 200 ml,即每次300~400 ml,以使土壤和保水剂充分吸水,大量灌水之后进行水分胁迫处理:以不施磷肥、不加保水剂的处理为对照,使土壤含水量达到田间最大持水量的50%(称重法控制),其它处理灌水量与对照相同。水分胁迫期间,把盆中渗漏出的溶液又重新倒入盆中,以保证所有处理的等养分条件,如此重复,共胁迫处理3次,直至收获。第二次水分胁迫期间,于晴好天气上午10:00测定玉米植株的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO<sub>2</sub>浓度等生理指标。试验在仲恺农业工程学院温室进行,播种后53 d收获,分别取地上部和根系烘干称重,并测定植株全磷含量。

植株全磷测定用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>—H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮,钒钼黄比色法<sup>[13]</sup>;光合生理指标采用便携式CI-310光合仪测定同一叶位叶片的净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Cd)和胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci)。

### 1.3 数据处理

试验数据以DPS软件统计分析并进行多重比较和差异性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 磷肥对保水剂吸水倍率及其养分吸持的影响

保水剂在不同磷肥溶液中的相对吸水倍率以及对磷的吸持见表1。可以看出:磷酸一铵对保水剂相对吸水倍率的影响在肥料浓度为0.2%时,保水剂的相对吸水倍率下降到37.54%,随着肥料浓度的增加,相对吸水倍率逐渐降低,在肥料浓度为2.0%时,保水剂的相对吸水倍率下降到15.68%。相比于磷酸一钙,过磷酸钙对保水剂吸水倍率的影响更大,低浓度的过磷酸钙溶液可使保水剂的吸水倍率发生很大的变化,过磷酸钙浓度仅为0.05%时,保水剂相对

吸水倍率为 54.70%，浓度为 0.80% 时，保水剂的相对吸水倍率降为 13.04%，降幅为 319.48%。相对吸水倍率与肥料溶液浓度之间的相关关系可用幂函数表示如下：

磷酸一铵 $y=3.379x^{-0.3862}$  $R^2=0.9971$

过磷酸钙 $y=1.049x^{-0.5159}$  $R^2=0.9925$

表 1 不同磷肥对保水剂吸水倍率及其养分吸持的影响

项目	磷酸一铵肥料浓度/%							过磷酸钙肥料浓度/%						
	0	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	0	0.05	0.10	0.20	0.40	0.60	0.80
相对吸水倍率/%	100	37.54	28.21	22.15	18.23	16.47	15.68	100	54.70	34.63	27.44	17.36	14.52	13.04
吸持 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 量/(mg·g <sup>-1</sup> )	0	97.34	167.27	397.08	578.13	107.11	43.20	0	3.853	7.479	14.59	7.504	7.844	5.958
吸持率/%	0	32.19	27.56	22.19	17.39	4.974	1.893	0	35.93	29.14	20.07	8.038	4.053	3.150

注:1.表中数据是 3 次重复的平均数;2.肥料浓度中磷酸一铵浓度为 0~2.0%，过磷酸钙浓度为 0~0.8%

从保水剂对 P 素的吸持来看,不同磷肥品种都是随着磷浓度的增大,保水剂吸持 P 素的量呈现先增大后减小的趋势,而吸持率则随浓度的增加而减少。在磷酸一铵溶液中,当浓度为 1.2% 时,保水剂对 P 素吸持达到最大量,为 578.13 mg/g,此后随浓度的增加吸持量逐渐降低,当浓度为 2.0% 时,保水剂对 P 素吸持量降至 43.2 mg/g,只有浓度为 1.2% 时最大吸持量的 7.47%。在过磷酸钙溶液中,当浓度为 0.20% 时,保水剂对 P 素吸持达到最大量,为 14.59 mg/g,此后随浓度的增加吸持量逐渐降低,当浓度为 0.80% 时,保水剂对 P 素吸持量降至 5.958 mg/g,只有浓度为 0.20% 时最大吸持量的 40.83%。

2.2 保水剂与磷肥配施对玉米生长的影响

从表 2 可以看出,在相同灌水和供磷水平条件下,施用保水剂后均可不同程度提高玉米植株生长量。不施磷肥、施用磷酸一铵和施用过磷酸钙三种条件下,配施保水剂与未施保水剂相比,玉米地上部干重分别增加了 23.10%,16.38%和 15.40%,根系干重分别增加了 96.00%,88.41%和 61.78%,配施保水剂与未施保水剂玉米地上部干重和根系干重都达到显著性差异。从不同磷肥品种来看,保水剂配施磷酸一钙玉米地上部干重比保水剂配施过磷酸钙提高了 3.2%,二者差异显著,说明保水剂和磷酸一铵配施的效果好于保水剂和过磷酸钙配施。

2.3 保水剂与不同磷肥配施对玉米水肥利用效率的影响

从表 3 可见,未施用保水剂时,施用磷肥和不施磷肥玉米植株含 P 量差异不显著,而施用保水剂后,施用磷肥比不施磷肥玉米植株含 P 量显著提高,这是因为施用保水剂后提高了土壤水分含量,从而促进植株对磷的吸收。而配施保水剂与未施保水剂的相应处理相比,植株的含 P 量均有所降低,其中不施磷肥

式中:y——相对吸水倍率;x——肥料浓度。直线斜率、指数的大小表示保水剂相对吸水倍率对磷肥浓度影响的敏感程度,直线斜率、指数越小,表示保水剂相对吸水倍率对肥料浓度越敏感,肥料对保水剂吸水倍率影响较大,可见,过磷酸钙对保水剂吸水倍率的影响更显著。

表 2 保水剂与不同磷肥配施对玉米生长的影响				
保水剂用量/(g·kg <sup>-1</sup> )	磷肥	生物量/g	根系干重/g	
0	不施磷肥	41.17d	7.465c	
	磷酸一铵	44.26c	8.20bc	
	过磷酸钙	43.24c	9.55b	
4	不施磷肥	50.68ab	14.62a	
	磷酸一铵	51.51a	15.45a	
	过磷酸钙	49.90b	15.45a	

注:表中数据为 4 次重复的平均数,同列数据中具有相同字母表示经 LSD 法检验差异不显著(p=0.05),下同。

表 3 保水剂与不同磷肥配施的玉米水肥利用效率				
保水剂用量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	磷肥	含磷量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	磷肥利 用率/%	水分利用效 率/(g·kg <sup>-1</sup> )
0	不施磷肥	3.800a	—	4.553d
	磷酸一铵	3.941a	11.24c	4.858c
	过磷酸钙	3.941a	8.46d	4.887c
4	不施磷肥	3.170b	—	6.054b
	磷酸一铵	3.721a	23.34a	6.200a
	过磷酸钙	3.800a	20.87b	6.050b

从磷肥利用率来看,不施保水剂和配施保水剂,磷肥利用率都是磷酸一铵大于过磷酸钙,差异都达到显著性水平,磷肥利用率增幅分别为 32.9%和 11.8%,这一方面说明本试验条件下施用磷酸一铵效果优于过磷酸钙,另一方面也说明配施保水剂后降低了二者之间的差异。同一磷肥品种,配施保水剂后玉米植株的磷肥利用率都比单施磷肥的大,磷酸一铵和过磷酸钙两个处理分别增加了 107.65%和146.69%,达显著水平。

未施用保水剂时,施用磷肥比不施磷肥玉米水分利用效率(WUE)显著提高,施磷酸一铵和过磷酸钙后玉米 WUE 分别增加了 6.81%和 7.47%,但不同

磷肥品种处理玉米 WUE 差异不显著(表 4)。与未施保水剂相比,配施保水剂的相应处理 WUE 均显著提高,不施磷肥、施磷酸一铵和施过磷酸钙 WUE 分别提高了 33.0%,27.6%和 23.8%,这是因为保水剂有很强的吸水保水能力,能减少水分的渗漏和蒸发,为植物生长提供更多的水分,从而提高玉米 WUE。在施用保水剂的 3 个处理中,施用磷酸一铵与不施磷肥及施用过磷酸钙之间玉米 WUE 差异显著,而施过磷酸钙与不施磷肥之间差异不显著,说明保水剂与磷酸一铵配施对玉米植株 WUE 的提高作用更好。

2.4 保水剂与不同磷肥配施对玉米光合特征及其生理因子的影响

水是光合作用的原料,水分胁迫条件下不同处理

玉米光合特征及其生理因子表现出不同的特性。从表 4 可知,相同磷素用量和肥料种类条件下,施用保水剂后,玉米的净光合速率和气孔导度均有所增大,蒸腾速率和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度却是减小的,其中净光合速率的影响最为明显,其中磷肥配施保水剂与未施保水剂相比净光合速率差异显著,不施磷肥、施用磷酸一铵和施用过磷酸钙三种条件下,配施保水剂与未施保水剂相比,净光合速率分别增加了 8.94%,6.50%和 33.30%。此外,在未施保水剂时,磷酸一铵和过磷酸钙两种磷肥品种处理的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度差异显著,而施用保水剂后,它们之间的差异都不显著,这是因为施用保水剂后改善了土壤的水分条件,降低了不同磷肥品种对玉米光合特性的影响。

表 4 保水剂与不同磷肥配施的玉米光合特性

保水剂用量/ (g·kg <sup>-1</sup> )	磷肥	净光合速率/ (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	蒸腾速率/ (mmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	气孔导度/ (mmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	胞间 CO <sub>2</sub> 浓度/ (μmol·mol <sup>-1</sup> )
0	不施磷肥	11.18bc	1.313a	25.81bc	350.6a
	磷酸一铵	12.31b	1.387a	26.14b	348.2ab
	过磷酸钙	10.18c	1.140b	23.72c	343.2b
4	不施磷肥	12.18b	1.224ab	27.72ab	345.9ab
	磷酸一铵	13.11a	1.148b	28.02ab	346.1ab
	过磷酸钙	13.57a	1.114b	28.97a	341.3b

3 讨论与结论

根据 Flory-Huggins 的吸水理论模型,保水剂的吸水倍率主要受保水剂本身的结构和外部电解质溶液的离子强度及电解质性质<sup>[14]</sup>。根据保水剂的吸水机理,离子型保水剂与水接触后,由于离子型亲水基团的电离,树脂结构内外产生渗透压,这是保水剂吸水的动力之一。当溶液中有电解质盐类存在时,就会使树脂内部的渗透压降低,结果保水剂吸水能力降低。本研究表明,随着磷酸一铵和过磷酸钙浓度的增加,保水剂吸水倍率显著降低,由于 Ca<sup>2+</sup> 为二价阳离子,而 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 为一价阳离子,因而过磷酸钙对保水剂吸水倍率的影响更大,这与前人的研究结果一致<sup>[15-16]</sup>。

保水剂一般都含有微孔,可让一些小分子或离子扩散进入,进入到保水剂分子内部的养分离子或分子,可以暂时被溶胀的保水剂包裹起来,或被带电基团激活作定向排列,从而将养分吸附保持住<sup>[17-19]</sup>。本试验结果也表明,保水剂对 P 素有一定的吸持作用,不同磷肥品种都是随着磷浓度的增大,保水剂吸持 P 素的量呈现先增大后减小的趋势,而吸持率则随浓度的增加而减少。

保水剂与肥料配施后,既能保持水分,又能吸附养分离子,在一定程度上对水肥在同一时空条件下起到一体化调控作用,以肥调水,以水促肥,充分发挥水肥的协同效应,改善了作物干旱胁迫时的水肥条件,有利于作物对水分和养分的吸收,从而提高光合效率,促进作物生长,提高水肥利用效率。在本研究中,保水剂用量为 4 g/kg 土时,与未施保水剂相比,玉米净光合速率、生物量、磷肥利用率及水分利用率都显著提高。

4 结论

(1) 保水剂在不同磷肥溶液中的吸水倍率随肥料浓度的增加而下降,过磷酸钙对保水剂吸水倍率的影响大于磷酸一铵;保水剂在大量吸水的同时,也对溶于水中的磷素养分有吸持作用,吸持量随肥料浓度的增加出现先增大后减小的规律,而吸持率则随浓度的增加而减少。

(2) 保水剂与磷酸一铵、过磷酸钙配合施用能增加叶片净光合速率和气孔导度,减小蒸腾速率和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度,显著提高玉米生物学产量和水肥利用效率;相比与过磷酸钙,保水剂与磷酸一铵配合施用的水肥调控效果最好。

## 参考文献:

- [1] 黄占斌,朱书全,张铃春,等. 保水剂在农业改土节水中的效应研究[J]. 水土保持研究,2004,11(3):57-60.
- [2] 李晶晶,白岗栓. 保水剂在水土保持中的应用及研究进展[J]. 中国水土保持科学,2012,10(1):114-120.
- [3] 尤晶,李永胜,朱国鹏,等. 保水剂农业应用研究现状与展望[J]. 广东农业科学,2012,39(12):76-79.
- [4] Ben-Hur M, Keren R. Polymer effects on water infiltration and soil aggregation[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997,61(2):565-570.
- [5] 李继成,张富仓,孙亚联,等. 施肥条件下保水剂对土壤蒸发和土壤团聚性状的影响[J]. 水土保持通报,2008,28(2):48-53.
- [6] 白文波,李茂松,赵虹瑞,等. 保水剂对土壤积水入渗特征的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(24):5055-5062.
- [7] 杨永辉,武继承,韩庆元,等. 保水剂对土壤孔隙影响的定量分析[J]. 中国水土保持科学,2012,9(6):88-93.
- [8] TERRY R E, Nelson S D. Effects of polyacrylamide and irrigation method on soil physical properties[J]. Soil Science,1986,141(5):317-320.
- [9] 李永胜,杜建军,谢勇,等. 保水剂对基质持水保肥力及番茄生长的影响[J]. 长江蔬菜,2006(8):57-58.
- [10] 苟春林,杜建军,曲东,等. 氮肥对保水剂吸水保肥性能的影响[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(6):78-84.
- [11] 王新爱,李永胜,杜建军,等. 保水剂在不同铵盐溶液体系中的吸水和吸附铵离子特征[J]. 农业工程学报,2012,28(7):117-123.
- [12] 苟春林,王新爱,李永胜,等. 保水剂与氮肥的相互影响及节水保肥效果[J]. 中国农业科学,2011,44(19):4015-4021.
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [14] 邹新禧. 超强吸水剂[M]. 北京:化学工业出版社,2001.
- [15] 杜建军,王新爱,廖宗文,等. 不同肥料对高吸水性树脂吸水倍率的影响及养分吸持研究[J]. 水土保持学报,2006,19(4):27-31.
- [16] 苟春林,曲东,杜建军. 不同价态离子对保水剂吸水倍率的影响[J]. 中国土壤与肥料,2009(2):52-55.
- [17] 杜建军,廖宗文,王新爱,等. 高吸水性树脂包膜尿素的结构特征及养分控/缓释性能[J]. 中国农业科学,2007,40(7):1447-1455.
- [18] He X, Liao Z W, Huang P Z, et al. Characteristics and performance of novel water-absorbent slow release nitrogen fertilizers[J]. Agricultural Sciences in China, 2007,6(3):338-346.
- [19] Liang R, Liu M, Wu L. Controlled release NPK compound fertilizer with the function of water retention[J]. Reactive and Functional Polymers, 2007, 67(9):769-779.