

10 种农用保水剂基本性能的比较研究

刘亚琦¹, 黄占斌^{1,2*}, 林 杉¹, 李嘉竹^{1,2}, 李汉杰¹

(1. 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083;

2. 中国科学院水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为了比较目前市场上各类保水剂的基本性能, 为保水剂应用提供参考, 文章比较分析了国内外 10 种农用保水剂在纯水中的吸水倍数、吸水速率、保水性能、反复吸水性, 以及两种类别的保水剂在不同肥料溶液中的吸水性能。结果表明: 所有保水剂在纯水中都有较高的吸水倍数; 吸水速率方面, BY、S1、S2、S3 和 JF 都能较快地吸水; 在 35℃ 加热蒸发条件下, HJ、BY、WT、FB、S2 的保水能力好于其他保水剂; 经过 6 次反复吸水—烘干后, WT、FB、S2 和 JD 的吸水倍率仍可达到初始值的 63.4%、75.7%、51.5% 和 66.6%; 试验所用三种肥料溶液对保水剂吸水性能都有明显影响, 受影响程度聚丙烯酸—无机矿物型保水剂大于聚丙烯酰胺—无机矿物型保水剂, 且 NKP 复合肥的影响大于有机肥。

关键词: 保水剂; 吸水性能; 肥料

中图分类号: S143.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)06-0147-05

干旱缺水和土壤退化一直是制约我国农业持续发展以及经济社会发展的一个重要因素。在世界范围内, 由于干旱胁迫所造成的减产可能要超过其它因素所导致的产量损失的总和^[1]。近年来, 应用化学材料或制剂来提高作物产量和水分利用效率的做法非常广泛, 逐步形成了化学节水的农业抗旱、节水、增产的新技术途径^[2]。

保水剂又称高吸水剂、超强吸水树脂(SAP), 是利用强吸水树脂或者淀粉等材料制成的一种超高吸水保水能力的高分子聚合物, 能迅速吸收比自身重数百倍甚至上千倍的纯水, 而且有反复吸水功能, 吸水后的水凝胶可缓慢释放水分供作物利用^[3]; 同时, 保水剂又能增强土壤保水性, 改良土壤结构, 自身无毒无污染, 因而是一种用途广泛的化学抗旱节水制剂, 其在农业上的应用越来越受到国内外研究者的重视。继美国首次研制出保水剂以来, 许多国家都进行了实验和应用, 并取得了良好效果^[4]。

目前保水剂的研制与生产方向是低成本、多功能复合产品。多功能复合产品主要为保水剂与化肥的复合应用, 保水剂与化肥复合应用出现的相互影响效应机理和效果研究, 是目前研究的一个热点。以此为促进保水剂推广的契机, 可以预见保水剂的市场潜力巨大, 但由于应用基础理论研究很薄弱, 生产中技术不规范, 使得保水剂实际应用中出现产品

性能不稳定, 效果差异大, 吸水倍率低、耐盐碱性差等问题突出, 极大影响了保水剂的规范应用和推广。所以, 采用统一方法, 比较和分析目前开发和生产的保水剂吸水特性, 以及保水剂与化肥复合的相互效应, 是非常重要的一项应用基础研究工作。对此, 本研究通过收集国内外主要保水剂产品和进行分类, 选择 10 种不同类型和厂家的保水剂, 对其吸持水特性进行综合比较, 以期为促进保水剂的应用提供依据和参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究通过信息发布、厂家提供等办法选择了 10 种国内外主要保水剂产品的样品作为实验材料, 供试保水剂样品的基本情况见表 1。

1.2 保水剂性能测定

主要包括在纯水中的吸水(液)倍率、吸水速率、保水性、反复吸水性; 不同浓度的两种复合肥(NPK1、N:K:P=25:10:15; NPK2、N:K:P=17:17:17)和一种有机肥溶液(均为湖北中化东方肥料有限公司提供)对保水剂吸水倍率的影响等指标。所测试验处理均设 3 个重复。

1.3 测定方法^[5~7]

1.3.1 保水剂吸水倍数的测定 依据下式计算:

收稿日期: 2011-04-10
基金项目: 国家十二五“863”课题(2011AA100503); 国家自然科学基金(40971164); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501—258)
作者简介: 刘亚琦(1985—), 女, 主要从事农业水土工程及环境材料方面研究。E-mail: 694593848@qq.com。
* 通讯作者: 黄占斌(1961—), 男, 教授, E-mail: zhhuang2003@163.com。
(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$Q = (m_2 - m_1) / m_1$$

式中, m_1 、 m_2 为干、吸水饱和后的保水剂质量。

1.3.2 保水剂吸水速率的测定 按照测定吸水倍

率的过滤方法称取保水剂 1 g 数份,置于水中静置,依次以不同时间进行过滤称量,得到保水剂在不同时间的吸水倍数从而计算吸水速率。

表 1 供试保水剂基本概况

Table 1 Outline of super absorbent polymers applied in the experiment

保水剂类型 SAP type	代码 Code	生产厂家或产地 Manufacturing place	粒径* Particle size	颜色 Color
聚丙烯酸-无机矿物型 Polyacrylic-inorganic mineral	HJ	唐山博亚树脂有限公司 Tangshan	小颗粒 Small	深褐色 Dark brown
聚丙烯酰胺-无机矿物型 Polyacrylamide-inorganic mineral	WT	胜利油田长安控股集团有限公司 Dongying	小颗粒 Small	黄绿色 Yellowish green
聚丙烯酸盐型 Polyacrylate	BY	唐山博亚树脂有限公司 Tangshan	大颗粒 Big	白色 White
	FB	日本 Japan	小颗粒 Small	白色 White
	JD	北京金元易生态工程技术中心 Beijing	大颗粒 Big	白色 White
	JF	北京金元易生态工程技术中心 Beijing	粉末 Powder	白色 White
	S1	天津三农金科技有限公司 Tianjin	小颗粒 Small	淡黄色 Light yellow
淀粉-丙烯酸共聚型 Starch-acrylate	S2	天津三农金科技有限公司 Tianjin	小颗粒 Small	淡黄色 Light yellow
	S3	天津三农金科技有限公司 Tianjin	小颗粒 Small	淡黄色 Light yellow
	S4	天津三农金科技有限公司 Tianjin	大颗粒 Big	淡黄色 Light yellow

注:小颗粒粒径约 100 目;大颗粒粒径约 60~80 目;粉末粒径约 150 目。
Note: small particle is about 100 mesh, big article 60~80 mesh, and powder particle 150 mesh.

1.3.3 保水剂保水能力测定 称取 250.00 g 充分吸胀后的保水剂溶胶于 500 mL 的烧杯中,将烧杯置于烘箱中定温 35℃,定时称重(每 12 h)。

1.3.4 保水剂反复吸水次数测定 称取 0.50 g 保水剂样品于烧杯中,加入蒸馏水,使其充分吸水,24 h 后过滤,称取凝胶质量,然后将吸胀后的保水剂于 80℃烘干,再加入蒸馏水,如此反复测试 6 次。

1.4 数据处理

采用 Excel 进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 不同保水剂在纯水中的吸水倍率

从图 1 中看出,在纯水中,吸水倍率最高的是 BY 和 S4,分别达到了自身重量的 552 倍和 560 倍,最低的是 HJ 和 FB,仅为自身重量的 263 倍和 237 倍。

将不同类型保水剂比较发现,聚丙烯酸-无机矿物复合型保水剂(HJ)和聚丙烯酰胺-无机矿物复合型保水剂(WT)吸水情况均较差,玉米淀粉-丙

烯酸共聚型保水剂(S1,S2,S3,S4)中,除 S2 外,吸水倍数均在 450 以上,而同为聚丙烯酸盐型保水剂的 BY 和 FB 吸水倍数相差 2 倍以上,说明结构并不是影响保水剂吸水倍数的唯一因素。

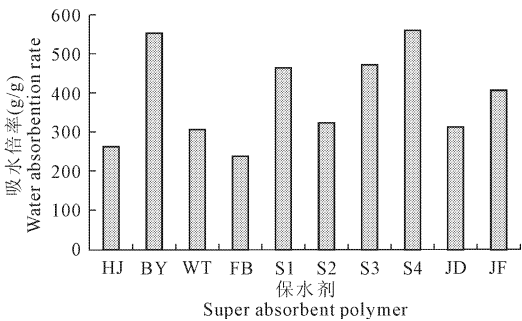


图 1 不同保水剂在纯水中的吸水倍率

Fig.1 Water absorbent capacity of each super absorbent polymer in distilled-water

比较同为聚丙烯酸盐型保水剂的 JD 和 JF 发现,大颗粒 JD 的吸水倍数明显高于粉末状的 JF,而玉米淀粉-丙烯酸共聚型保水剂中大颗粒 S4 的吸水倍数均高于其他几种小颗粒,也可以说明粒径大

小也是影响保水剂吸水倍数的因素之一,且粒径大的吸水性要优于小粒径的。

2.2 保水剂在纯水中的吸水速率

吸水速率是指单位质量保水剂在单位时间内能吸收相当于自身质量多少倍的水溶液,是衡量保水剂能否快速吸水的一个重要指标^[8]。

保水剂属弹性凝胶,吸水速率主要取决于保水剂表面结构、外形和颗粒大小^[9]。保水剂的吸水过程符合一般吸附过程,即开始吸水较快,以后较慢,达到饱和与平衡后不再吸水。

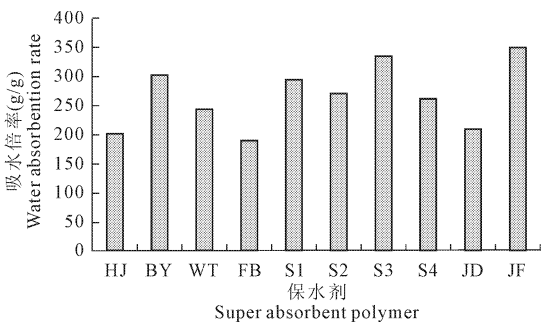


图 2 8 min 时各保水剂的吸水量

Fig.2 Water absorbent capacity of each super absorbent polymer in 8 minutes time

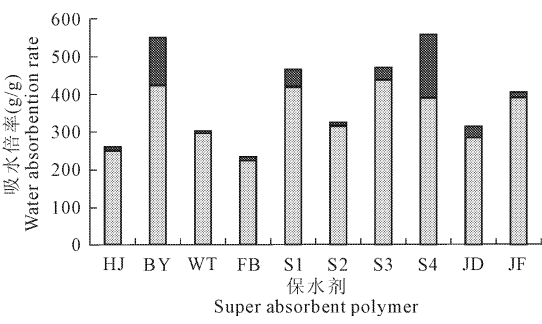


图 3 48 min 时各保水剂的吸水量

Fig.3 Water absorbent capacity of each super absorbent polymer in 48 minutes time

图 3 中,深色部分表示 48 min 时,各保水剂的吸水倍数与其饱和吸水倍数间的差距,除 BY 和 S4 外,其余保水剂的吸水倍数趋近饱和,说明 BY 和 S4 的吸水速率相对较慢。

选取粒径大小相同的 4 种保水剂 HJ、WT、FB、S1 为研究对象。其中,HJ 吸水增幅较小,20 s 前吸水迅速,后呈缓慢增加;WT 在前 1 min 内,吸水量增幅很小,后吸水量急剧增加,再后缓慢;FB 吸水速率开始很快,后逐渐变缓;S1 整个过程中吸水速率平稳。所以,聚丙烯酸-无机矿物复合型保水剂 HJ 在一开始便能迅速吸水,相比较之下更适用于农业生产。

以保水剂颗粒大小为指标,发现同为聚丙烯酸盐型保水剂的 JD 和 JF,JF 开始吸水速率很快,之后吸水速率下降,直至饱和;JD 吸水速率始终平稳,变幅很小。这可能是 JF 为粉状,与水接触面积较大,迅速吸水。可见粒径对保水剂吸水速率影响很大。

2.3 保水剂的保水能力比较

保水剂的保水能力指的是吸水后的膨胀体保持其水溶液不离析的能力,是反映所获溶液是否能被充分利用并长期加以应用的一项重要指标^[10]。测定方法有烘箱加热蒸发法,自然风干蒸发等方法。本文选择烘箱加热蒸发法。

通过在烘箱加热蒸发观察不同保水剂的保水率。结果(表 2)表明:恒定温度(35℃)烘箱中加热 24 h 后,所有保水剂保水率都在 80%以上,加热 96 h 时各保水剂的保水率还能保持 40%以上,说明都有较好的保水性,其中 HJ,BY,WT,FB,S2 的保水率要略高于其他保水剂,说明这 5 种保水剂在加热条件下,性能较稳定。这 5 种保水剂中除 BY 外其他均为小颗粒,说明小粒径保水剂保水性能相对较好。

表 2 35℃ 加热蒸发条件下保水率(%)测定的比较

Table 2 Comparison of determination of moisture-preserving capacity under 35℃ heated evaporation condition

保水剂类型 SAP type	加热时间 Heating time			
	24 h	48 h	72 h	96 h
HJ	86.4	73.7	62.9	52
BY	85.9	71.8	60.1	49.1
WT	88.3	75.2	62.5	51.8
FB	87.8	73.3	61.7	51.2
S1	85.7	70.6	59	48
S2	87.1	73.7	62	49.3
S3	84.3	69.6	58.1	45.6
S4	83.7	67.7	56.2	43.6
JD	83.4	67	56	44.6
JF	86.8	69.9	59.2	46.1

注:表中数据为加热蒸发一定时间后的保水剂凝胶质量与饱和吸水未蒸发前的凝胶质量之比,单位为%。

Note: The data are the ratio between gel quality in certain time after heating and that before heating, and the unit is %.

2.4 保水剂的反复吸水性能

反复吸水性是衡量保水剂作用寿命的重要指标。反复吸水次数越多,吸水倍率的减少量越少,其反复吸水性能越好。

从表 3 中看出,各保水剂的吸水倍率均随着使用次数增加,呈不同程度递减,在 6 次反复吸水一烘干一再吸水后,WT,FB,S2,JD 吸水倍率仍可达到初始吸水倍率 50% 以上(分别为 63.4%、75.7%、51.5%和 66.6%),其他保水剂均在 45% 以下,表明

这 4 种保水剂有相对较好的重复性能,在实际应用中使用寿命较长。

表 3 不同保水剂的反复吸水性能(%)

Table 3 Re-swelling water ability of two kinds of SAPs

反复吸水次数 Times of re-absorbency	HJ	BY	WT	FB	S1	S2	S3	S4	JD	JF
1	61.3	85.5	93.7	86.6	89.5	90.7	80.1	62.3	78.2	88.2
6	36.0	43.6	63.4	75.7	22.1	51.5	17.8	24.7	66.6	44.0

注:数据为吸水后保水剂凝胶质量与首次吸水的保水剂凝胶质量之比,单位为%。
Note: The data are the ratio between gel quality of SAP after absorbing water and that in the initial time, and the unit is %.

从表中看出:4 种玉米淀粉-丙烯酸共聚型保水剂中,S1,S3,S4 反复吸水性均较差,在 6 次反复吸水-烘干一再吸水后,吸水倍率只有初始吸水倍率的 22.1%、17.8% 和 24.7%,说明玉米淀粉-丙烯酸共聚型保水剂反复吸水性相对较差,但 S2 号却仍能保持 51.5% 的吸收率。

比较粒径对保水剂反复吸水性的影响,同为大颗粒的 BY,S4,JD 的反复吸水性能相差较大,而同为小颗粒的 HJ,WT,FB,S1 的反复吸水性也并无明显规律性,说明粒径并不是影响保水剂反复吸水性的主要因素。

2.5 复合肥、有机肥对保水剂吸水倍率的影响

为探讨肥料对保水剂性能的影响,本试验选取聚丙烯酸-无机矿物复合型和聚丙烯酰胺-无机矿物复合型的 HJ 和 WT 为对象,测定两者在两种 NKP 复合肥和一种有机肥溶液中的吸水情况。

从表 4 看出,3 种肥料对保水剂吸水倍率的影响趋势基本一致,都是随着溶液浓度的增加,保水剂的吸水倍率大幅降低。NKP-1、NKP-2、有机肥溶液浓度仅为 0.2% 时,HJ 的吸水倍率分别降低为纯水中的 42.3%、44.4% 和 58.9%,WT 的吸水倍率分别降低为纯水中的 52.2%、54.6%、87.9%。

表 4 HJ 和 WT 在不同肥料溶液中的吸水倍率(%)

Table 4 The water absorption rate of WT and HJ in different liquid of fertilizers

项目 Items		溶液浓度 Solution concentration				
		0.2%	0.4%	0.6%	0.8%	1%
NKP-1	WT	52.2	41.7	37	30.8	30
	HJ	42.3	37.7	30.6	29.6	24.5
NKP-2	WT	54.6	44.3	38.2	32.2	31.3
	HJ	44.4	37.6	31.4	28.8	28.1
有机肥	WT	87.9	66.2	50.8	43.9	41.6
	HJ	58.9	47.9	43	37.8	37.6

注:表中数据为 HJ 和 WT 在肥料溶液中完全吸水后的凝胶质量与在纯水中完全吸水后的凝胶质量之比,单位为%。
Note: The data are the ratio between gel quality of HJ and WT in fertilizer liquid and that in fresh water, and the unit is %.

3 讨 论

保水剂的吸持水特性是评价保水剂性能的重要指标之一。保水剂的吸水性能可以通过吸水倍率和反复吸水性来反映。本研究中,10 种保水剂在蒸馏水中的吸水倍率为:S4>BY>S3>S1>JF>S2>JD>WT>HJ>FB。其中,玉米淀粉-丙烯酸共聚型保水剂的吸水性能较其他类型保水剂较好。粒径大小是影响保水剂吸水倍数和吸水速率因素之一,大粒径的吸水倍数要优于小粒径保水剂。

保水剂重复使用次数可以说明保水剂持续使用期及作用效果。一般交联度大,高分子网络孔径小,水分进入网络所受阻力和吸水速率就会增大,保水剂吸水倍率

低,但重复吸水稳定;交联度小,凝胶强度小,保水剂在一次吸水后部分凝胶溶解,吸水倍率降低较快。要保证保水剂良好的使用性能,需要协调好二者的矛盾^[9]。本试验中,各种保水剂的吸水倍率均随使用次数增加,呈不同程度递减,在经过反复烘干吸水后吸水性基本趋于平稳,其中 BY、S1、S3、S4 的反复吸水性较差,WT、FB、S2、JD 的反复吸水性较好。但本研究中保水剂的重复使用性是在去离子水中进行的,而实际应用于农业中,土壤的团粒结构、紧实度以及含盐量等都有可能影响保水剂的重复使用性,因此,在进一步的研究中,拟结合不同理化性质的土壤深入探究保水剂的持续使用效果。

保水剂应用于土壤后,能否快速吸收水分,并适

时将水分释放出来,即保水剂的保水性是一项尤为重要的指标,特别是保水剂对土壤水分进行调控的过程中,保水性较吸水性更为重要。吸水速度越快、释放速度越慢,其保水性能就越好^[5]。本研究中,在 8 min 内, BY, S1, S2, S3, JF 的吸水量要高于其他保水剂,说明这 5 种保水剂的吸水速度较其他保水剂快;而在 35℃ 恒温条件下经过 96 h 加热蒸发,各保水剂的保水率均保持 40% 以上,说明试验保水剂释放水速度均较慢,都具有较好的保水性,其中 HJ, BY, WT, FB, S2 保水性要略优于其他保水剂。

试验的结果表明,三种肥料对保水剂的吸水性能都有明显的影响,在较低浓度时,就能使保水剂吸水倍率大幅度下降;保水剂的吸水倍率与溶液中肥料的浓度呈负相关,即随肥料溶液浓度的增加,保水剂的吸水倍率呈下降趋势。这是因为保水剂容易受到水中电解质的影响而改变其吸水能力。根据保水剂的吸水机理,保水剂与水接触后,由于离子型亲水基团的电离,造成树脂结构内外产生渗透压,这是保水剂吸水的动力之一。当水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,结果导致保水剂吸水性能的降低^[11];比较 WT 和 HJ 的吸水情况可以看出,三种肥料溶液对 HJ 吸水倍率的影响均要大于 WT,说明 WT 的抗离子性要优于 HJ。比较三种肥料溶液可以发现,两种 NKP 复合肥对保水剂吸

水倍数的影响均要大于有机肥,说明在实际生产应用中将保水剂与有机肥配合使用更有利于保水剂作用的发挥。

参考文献:

- [1] Kramer P L. Adaptation of plants to water and high temperature stress [M]. New York: John Wiley & Sons, 1980: 7—20.
- [2] 辛小桂, 黄占斌. 不同化学节水材料在农业生产中的应用[J]. 中国农业科技导报, 2003, 5(6): 29—33.
- [3] 刘世亮, 刘芳, 化党领, 等. 抗旱保水剂对烤烟生长及品质的影响研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(4): 109—113.
- [4] 王斌瑞, 罗彩霞, 王克勤. 国内外土壤蓄水保墒技术研究动态[J]. 世界林业研究, 1997, (2): 37—43.
- [5] 白文波, 宋吉青, 李茂松. 4 种保水剂吸水特性的比较研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(5): 100—104.
- [6] 黄占斌, 张国桢, 李秧秧, 等. 保水剂特性测定及其在农业中的应用[J]. 农业工程学报, 2002, (1): 22—25.
- [7] 汪亚峰, 李茂松, 卢玉东, 等. 20 种保水剂吸水特性研究[J]. 中国农学通报, 2005, 21(1): 167—170.
- [8] 张建刚, 汪勇, 汪有科, 等. 10 种保水剂基本特性对比研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(2): 208—212.
- [9] 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: 36—54.
- [10] 金丽, 姜秋, 张凌晓. 两种保水剂性能的测试研究[J]. 科技与推广, 2004, (4): 43—44.
- [11] 宋影亮. 不同种类的单质肥料对保水剂吸水性能的影响[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(1): 122—123.

Comparative study on fundamental properties of ten kinds of super absorbent polymers

LIU Ya-qi¹, HUANG Zhan-bin^{1,2*}, LIN Shan¹,

LI Jia-zhu^{1,2}, LI Han-jie¹

(1. School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry-land Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to understand the basic property of different kinds of super absorbent polymers (SAP) in market presently so that to provide reference for the practice application, water absorbent capacity, water absorption rate, water retention capacity and times of re-absorbency of 10 kinds of SAPs from domestic and overseas, and water absorbing properties in fertilizer solution of two kinds of them were tested. The results indicated that all kinds of SAPs have high water absorption capacity in distilled water, while the water absorption rate of BY, S1, S2, S3 and JF is faster than that of others. Under 35℃ heated evaporation condition, the water retention capacity of HJ, BY, WT, FB and S2 is better than that of others. After 6 times of recurrent absorbency-drying, the water absorbent of WT, FB, S2 and JD still reaches 63.4%, 75.7%, 51.5% and 66.6% of their original water absorption capacity, respectively. Three kinds of fertilizer solution in the experiment all have a significant impact on SAP water absorbing properties, and the influence on polyacrylic-inorganic mineral polymer is stronger than polyacrylamide-inorganic mineral polymer, and the influence of NKP compound fertilizer is stronger than that of organic fertilizer.

Keywords: super absorbent polymer; water-preserving capability; fertilizer