

4种保水剂吸持水特性的比较研究

白文波, 宋吉青, 李茂松

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 农业部农业环境与气候变化重点开放试验室, 北京 100081)

摘要: 通过室内试验, 比较研究了白金子(BJ), 沃特(WT), 巴斯夫(BF), 黑金子(HJ)等4种保水剂的吸持水特性及对不同酸碱溶液的反应。结果表明, 4种保水剂在蒸馏水中的吸水倍率最大, 其次为1:5的土壤浸提液中, 在0.9%的NaCl溶液中的最小; 且在土壤浸提液中, 吸水倍率大小依次为: 白金子(BJ) > 沃特(WT) > 巴斯夫(BF) > 黑金子(HJ)。4种保水剂在pH 5~9的范围内, 能吸收比自身重200多倍的水分。保水剂在蒸馏水中重复使用6次后, 其吸水倍率仍可达到初始吸水倍率的50%以上。4种保水剂中, BF和WT具有快速吸水、缓慢释放的特性。初步认为测试的4种保水剂中BF的吸持水特性最好, 其次为WT, 最后是BJ和HJ。

关键词: 保水剂; 吸水性; 持水性; 释水性; pH

中图分类号: S152.71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)05-0100-05

干旱缺水和土壤退化是制约我国农业持续发展的重要因素。近年来, 在农业生产中应用化学材料或者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^[1]。保水剂是其中重要的、用途多、应用发展前景广泛的化学节水制剂。保水剂是一种具有高吸水特性的高分子材料, 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^[2]。保水剂应用是一种通过改善植物根土界面环境, 供给植物水分的化学节水技术。

保水剂在农业上的应用越来越受到国内外研究者的重视, 但我国保水剂的相关研究起步较晚, 应用基础理论研究很薄弱, 且在实际中还存在吸水倍率低、耐盐碱性差、成本高、盲目应用等问题。因此, 我们对目前应用较多的4种保水剂的吸持水特性进行了综合比较, 试图找出保水剂的内在性质与吸持水特性的关系, 为其在今后的合理应用中提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

选择4种保水剂: 沃特 WT(胜利油田长安控股集团有限公司)、巴斯夫 BF(德国巴斯夫中国公司)、白金子 BJ 和黑金子 HJ(唐山博亚科技集团有限公

司), 它们均属于合成高分子树脂类保水剂, 其中 WT 属于聚丙烯酰胺—无机矿物复合型保水剂, BF 是聚丙烯酸类保水剂, BJ 和 HJ 属于聚丙烯酸—无机矿物复合型保水剂。

1.2 保水剂性能测定

所有测定均在中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所农业减灾中心实验室进行。

1.2.1 吸水倍率 准确称取 0.50 g (m_1) 保水剂样品于 500 mL 的烧杯中, 加入 500 mL 蒸馏水, 静置 45 min 后, 把烧杯中形成的凝胶倒入 0.18 mm 的标准筛中(先称其质量 m_2), 让其水平放置 15 min, 再倾斜标准筛 45°, 静置 15 min, 称其重量 (m_3)。以后再静置直至每分钟内质量 (m_3) 的减少在 1 g 内, 否则, 继续倾斜静置。吸水倍数计算公式为: $(m_3 - m_2 - m_1) / m_1$ 。每种保水剂做 3 个平行测试。

配制浓度为 0.9% 的 NaCl 水溶液, 按照上述方法测定 4 种保水剂的吸水倍率。

用稀释的 NaOH 和 HCl 溶液 (0.05 mmol/L) 配置 pH 值分别为 2、3、5、7、9、11、13 的水溶液, 按照上述方法, 测定不同酸碱溶液中 4 种保水剂的吸水倍率。

从中国农业科学院东门试验田中选择适量的土, 风干后过 1 mm 的土筛, 称取 50.00 g 土样, 按照土水比 1:5 加入 250 mL 蒸馏水, 搅拌 1 h 后静置, 过滤, 取浸提液。按照上述方法分别测定 4 种保

收稿日期: 2008-04-29

基金项目: 国家 863 计划“绿色环保多功能保水制剂”(2006AA100215); 国家科技支撑计划“南方季节性干旱防控技术研究”(2006BAD04B07)

作者简介: 白文波(1980—), 女, 山西忻州人, 博士, 主要从事植物逆境生理生态适应性方面的研究。E-mail: wbbai@sohu.com。

通讯作者: 宋吉青, 男, 研究员, 主要从事作物生长环境与材料的开发和利用、盐碱地生物修复与资源化利用技术等领域的研究。E-mail: sokise63@yahoo.com.cn。

水剂的吸水倍率。

1.2.2 失水性能 称取 250.00 g 充分吸胀后的保水剂于 500 mL 的烧杯中,然后将烧杯放置于烘箱中,定温 35℃,定时称重,直至完全失水。

1.2.3 重复吸水性能 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。

1.2.4 吸水速率 盆中加入充足的蒸馏水,把 0.18 mm 的标准筛放入水中(先前应称其浸水后放置一段时间不再滴水时的质量 m_2)。准确称取 1.00 g (m_1) 保水剂样品,将其撒入筛中,并记时开始,10 s 后取出标准筛,静置至每 20 s 无一滴水滴出,然后称其质量(m_3)。同样步骤,把筛子放入水中分别记录间隔 20 s,30 s,1 min,2 min,4 min,8 min,8 min,8 min 每一次的质量。如果前后的质量差大于 2 g,则再放入水中使其再吸水 8 min。每种保水剂做 3 个平行测试。

1.3 数据处理

图中所有数据均是 3 次重复的平均值,采用 Excel 进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 保水剂在不同水溶液中的吸水倍率

由 4 种保水剂在蒸馏水、土壤浸提液、盐水(0.9%的 NaCl 溶液)中的吸水倍率可以看出,它们在 3 种溶液中吸水趋势完全一致,吸水倍率均为蒸馏水 > 土壤浸提液 > 盐水(图 1)。对于测试的任何一种保水剂,其在盐水中的吸水倍率分别仅为蒸馏水和土壤浸提液中的 12.5% ~ 27.0% 和 17.1% ~ 29.9%。相比较而言,WT、BF、BJ 和 HJ 在土壤浸提液中的吸水倍率比蒸馏水中分别减少了 38.7%、9.66%、26.8% 和 36.6%。与此同时,分别比较 4 种保水剂在同一溶液中的吸水倍率,其趋势各不相同。蒸馏水中,WT > BJ > HJ > BF,WT 的吸水倍率是其余三者的 1.03、1.23 和 1.62 倍;土壤浸提液中,BJ > WT > BF > HJ,WT 的吸水倍率是其余三者的 0.86、1.10 和 1.18 倍;盐水中,WT > BF > HJ > BJ,WT 的吸水倍率是其余三者的 1.05、1.29 和 1.44 倍。

2.2 保水剂的失水性能

保水剂的失水性能在一定程度上可以反映其保水能力的大小。4 种保水剂在 35℃ 的恒温下,失水量呈现不同程度的线性递减;WT、BF、BJ 和 HJ 经过连续恒温蒸发 108 h 后,水凝胶的质量分别减少

了 95.9%、72.6%、96.3% 和 89.3% (图 2)。比较 4 种保水剂的失水量,总的趋势是:BJ > HJ > WT > BF,但在各不同时间段,其趋势略有变化。其中,BJ 和 HJ 的失水量随时间变化的趋势基本一致,在 60 h 内,BJ 减少的量略微大于 HJ;此后,随着继续恒温蒸发,BJ 的失水量显著大于 HJ;在 108 h 时,二者达到最大差值 17.3 g。除 108 h 时,WT 的失水量迅速增加,大于相同时刻 HJ 的失水量外,其余任意时刻,WT 和 BF 的失水量均小于 BJ 和 HJ。

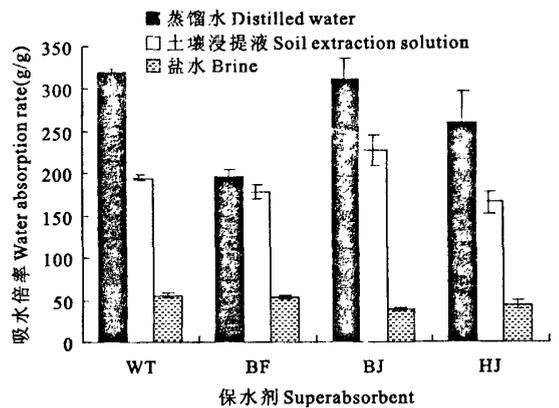


图 1 保水剂在不同溶液中的吸水倍率
Fig. 1 The water absorption rate of superabsorbents in different solutions

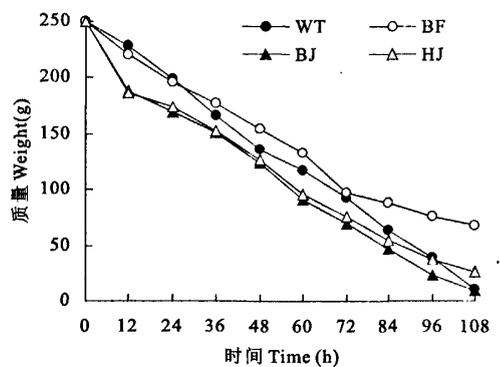


图 2 保水剂失水量随时间的变化
Fig. 2 The change of superabsorbents' weight with time

2.3 保水剂的重复吸水性能

图 3 中,4 种保水剂 WT、BF、BJ 和 HJ 在蒸馏水中的吸水次数(x)与吸水倍率(y)的关系分别为:
 $y = -18.10x + 347.24, R^2 = 0.890$; $y = -7.38x + 190.64, R^2 = 0.744$; $y = -27.36x + 354.35, R^2 =$

0.886; $y = -14.08x + 270.3$, $R^2 = 0.966$, 即吸水倍率均随着使用次数的增加, 呈不同程度的线性递减; 其吸水倍率降低幅度的大小分别为: BJ > WT > HJ > BF。但即使是重复使用 6 次后, WT、BF、BJ 和 HJ 的吸水倍率仍可达到初始吸水倍率的 70.6%、78.1%、53.1% 和 74.2% 左右, 表明这 4 种保水剂具有较好的重复使用性能, 可满足农作物在生长时的用水需求。

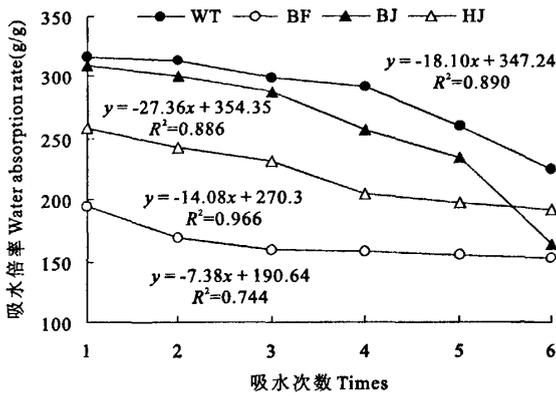


图 3 保水剂的重复吸水性能

Fig. 3 The water absorption rate of superabsorbents after several times of re-swelling

2.4 保水剂的吸水速率

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^[3]。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。如图 4 所示, 4 种保水剂基本都是随着吸水时间的延长, 吸水量增加; 其中, HJ 吸水增加的幅度较小, 在 20 s 前吸水迅速, 比起始时刻 10 s 的吸水量增加了 1.92 倍, 此后呈缓慢增加的趋势, 40 min 后的吸水量仅比 20 s 时的增加了 15.0%。相反, WT 在前 1 min 内, 吸水量增加的幅度很小, 随后直至 24 min 这一时间段, 吸水量急剧增加, 达到起始时刻吸水量的 8.59 倍, 之后又呈缓慢的增加。BF 和 BJ 的变化趋势完全一致, 且在 2 min 内, 二者吸水量随时间增加的幅度相同, 此后相同时刻内, BF 增加的幅度始终大于 BJ, 40 min 内二者均达到最大吸水量。

2.5 保水剂在不同 pH 溶液中的吸水倍率

对保水剂来说, 要在农业中得以广泛使用, 土壤的 pH 也是不可忽视的因素。由图 5 可见, 4 种保水剂在较低的 pH (pH < 3) 或较高的 pH (pH > 11) 下, 吸水倍率较低。pH 介于 3 至 11 时, 除 HJ 外 (pH =

5), 其余 3 种保水剂均是在 pH 为 7 时达到最大吸水量。WT、BJ 和 HJ 的吸水倍率均呈不对称的“抛物线”趋势变化, 都以达到最大吸水量为界, 此前随着 pH 的增加, 吸水倍率增大, 此后则减小。BF 的吸水倍率呈现不同的变化趋势, 在溶液 pH 为 5 时, 有明显的降低, 甚至比 pH 为 3 的减少了 20.6%; 在达到最大吸水倍率后, 随着 pH 的增加而降低。

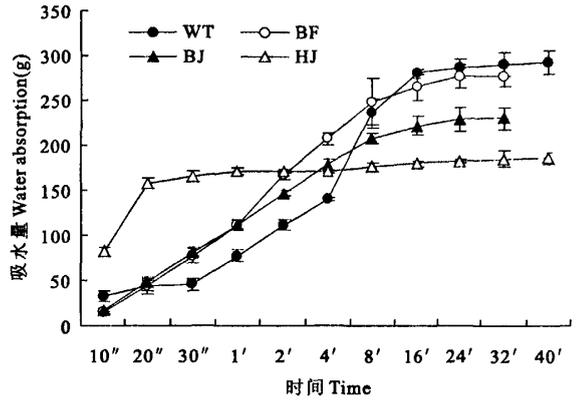


图 4 保水剂吸水量随时间的变化

Fig. 4 The change of superabsorbents' water absorption with time

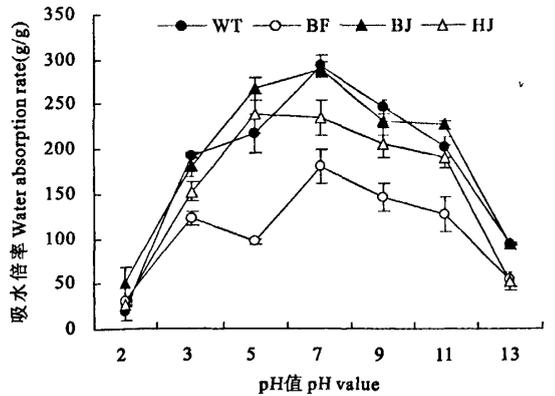


图 5 不同 pH 下保水剂的吸水倍率

Fig. 5 The water absorption rate of superabsorbents in different pH values

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重复吸水性来反映。本研究中, 4 种保水剂在蒸馏水中的吸水倍率最大, 土壤中的次之, 盐水中的最小 (图 1)。保水剂对蒸馏水的吸水能力只是一个表现

的测试指标,而对含盐分溶液的吸收能力才是真正实用的指标,较能衡量其吸水能力。4种保水剂中,白金子BJ在0.9%盐水中的吸水倍率最小,仅能吸收自身重量30多倍的水分,这就一定程度上说明BJ的耐盐性较差,不适宜在含盐量高的土壤中的应用;而沃特WT和巴斯夫BF在盐水中能吸收自身重量50多倍的水分。在推广应用中,如何提高保水剂产品对盐水的吸收倍率(即抗盐性)是对其进行改进的主要课题之一。

保水剂在土壤浸提液中的吸水能力一方面能够反映保水剂的综合耐盐碱性,另一方面可以反映出其施用到土壤中的实际效果^[4],也就是说,保水剂在土壤浸提液中的吸水倍率最接近于实际应用的情况。在刘瑞凤等人的研究中,均是采用了1:10的土水比进行浸提^[4,5],但是一般来讲,浸提液的水土比例愈大,对作物生长的相关性愈差^[6],因此,为了更接近于实际的田间湿度情况,我们选用了1:5的浸提液。试验中,BJ在土壤浸提液中的吸水倍率最大,能吸收自身重200多倍的水分;WT和BF的次之,HJ的最小,但也能吸收自身重量160多倍的水分(图1)。

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。本研究中,HJ除起始阶段20s内吸水迅速,此后缓慢吸水;在8min内,BF吸水速度最快,其次是BJ和WT(图4)。相对应的,4种保水剂释水速度的总变化趋势是:BF < WT < HJ < BJ(图2)。综合这两个指标,BF和WT既能短时间内快速吸水,又能较长时间保持和释放水分,在实际应用中满足作物不同生长阶段的需水。

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^[3]。本试验中,虽然4种保水剂在蒸馏水中的吸水倍率都会随着吸水次数的增加而降低,但总的来看降低的幅度较小;即使是重复使用6次后,除BJ外,其余3种保水剂的吸水倍率仍可达到初始吸水倍率的70%以上,尤其是BF(图3)。这就在一定程度上说明测试的4种保水剂的重复使用性较好。

但本研究中保水剂的重复使用性是在蒸馏水中进行的,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。

土壤pH的大小直接影响土壤肥力的变化和养分的存在状况,还影响土壤微生物的活动^[7]。不同pH溶液中,保水剂吸水能力的大小在一定程度上可以反映其在酸性(或碱性)土壤中的应用效果。大多数保水剂对酸碱比较敏感,一般都是在中性条件下适用。本试验中的4种保水剂的适用范围较广,在pH介于3~11的范围内,吸水倍率均达到了150g/g以上,尤其在5~9的范围内,能吸收比自身重200多倍的水分(图5)。

综上所述,通过对测试的4种保水剂吸持水特性的比较分析,初步认为BF的性能最优,其次为WT,最后是BJ和HJ。在后续的研究中,我们将进一步探究它们对土壤理化性状的改善作用,土壤中的施用效果,以及在土壤中的降解、生态安全等问题。虽然有研究表明,保水剂安全、无毒、对环境无不良影响^[8],但保水剂应用于农林中,其迁移、降解^[9~11]引发的深远影响还并未得到认识,而这很可能将给生态环境带来不可估量的长期危害,必须引起我们足够的重视。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 刘世亮,刘芳,化克领,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.
- [3] 黄占斌,等.农业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.
- [4] 刘瑞凤,李安,王爱勤.PAA-atta有机无机复合保水剂保水性能研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(4):73—77.
- [5] 刘瑞凤,张俊平,王爱勤.PAA-atta有机无机复合保水剂的保水性能及影响因素研究[J].农业工程学报,2005,19(2):47—50.
- [6] 南京农业大学.土壤农化分析(第二版)[M].北京:农业出版社,1996.118—122.
- [7] 刘瑞凤,杨红善,李安,等.PAA-atta复合保水剂对土壤物理性质的影响[J].土壤通报,2006,37(2):231—235.
- [8] AL-Harbi A R. Efficiency of a hydrophilic polymer declines with time in greenhouse experiments[J]. Horticultural Science, 1999, 34(2):223—224.
- [9] Smith E A. Biodegradation of polyacrylamide and its potential neurotoxicity[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 1991, 31:120—156.
- [10] Smith E A, Prues S L, Oehme F W. Environmental degradation

of polyacrylamides. II. Effects of environmental (outdoor) exposure[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 1997, 37(1):76—91.

[11] 李志茹,武颖文. 丙烯酰胺降解微生物的研究—降解菌的分离、筛选[J]. *北京林业大学学报*, 2001, 23(2):40—43.

Comparative study of water absorbing and retaining characteristics of four superabsorbents

BAI Wen-bo, SONG Ji-qing, LI Mao-song

(1. *Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agro-Environment & Climate Change, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China*)

Abstract: Experiment was made to compare water absorbing and retaining characteristics of four superabsorbents, and their corresponding response to different alkali - saline solutions. The results indicated that the water absorption rate was the largest in distilled water, while in 0.9% NaCl solution, it was the least. In 1:5 soil saturation extract, the water absorption rate of the superabsorbents was compared as the following: BJ > WT > BF > HJ. The four superabsorbents could absorb water more than 200 times of their own weight, and the water absorption rate maintained over 50% of their original water absorption rate, even when they were reused for six times. BF and WT had the ability to absorb water quickly and release water slowly. We concluded that BF had the best water absorbing and retaining characteristics in four superabsorbents; secondly, it was WT. BJ and HJ were relatively worse.

Keywords: superabsorbent; water absorbing; water retaining; water releasing; pH

(上接第 93 页)

The investigation of weeds growing situation in different conservative farming system in the winter wheat fields

FANG Ri-yao¹, ZHANG Hui-qing¹, FANG Juan²

(1. *Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China*;

2. *Vegetation Protection Station of Weinan, Weinan, Shaanxi 714000, China*)

Abstract: Based on the investigation of random block, investigation and study on weeds kinds and their quantity were conducted in the winter wheat fields under different conservative farming systems. The results showed that the dynamic of increasing and declining on weed species and number was affected significantly by various tilling systems. Among four treatments, fallowing, mulching of leaving high stubble, sub soiling tillage and sub soiling tillage with mulching, the weeds species and number showed a maximal number in the system of fallowing, while mulching of leaving high stubble sub soiling tillage and sub soiling tillage mulching would be favor for controlling and inhibiting weeds growth and their widespread. Under different conservative farming systems, the species and relative abundance of weeds were changed and the diversity indices of Shannon's H and Margalef's DMG were different. It is due to ecological environment, amount of available soil nutrients and water of available soil that may have different impacts on the growth of different weeds.

Keywords: conservative farming system; weed of wheat field; biodiversity