

李 备, 韩占涛, 张发旺, 等. 丙烯酸-膨润土保水剂的制备及其保水效果研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(5): 289-292.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.05.075

# 丙烯酸-膨润土保水剂的制备及其保水效果研究

李 备<sup>1,2</sup>, 韩占涛<sup>2</sup>, 张发旺<sup>3</sup>, 张 威<sup>2</sup>, 宋 乐<sup>2</sup>

(1. 河北地质大学, 河北石家庄 050031; 2. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北石家庄 050061;

3. 中国地质科学院岩溶地质研究所, 广西桂林 541004)

**摘要:**将丙烯酸盐在膨润土层间进行聚合, 研发出一种高吸水性聚合矿物复合保水剂。经过对膨润土矿物添加量的研究得出了矿物复合保水剂吸水倍率在一定范围内随膨润土的量增加而减小的曲线分析; 经过对聚合反应时间的研究得出了搅拌时间对矿物复合保水剂吸水倍率的影响; 经过对释水速率的研究得出了释水曲线; 经过有无施用矿物复合保水剂盆栽试验的对比可知, 施用矿物复合保水剂的盆栽在节水保水方面取得了明显效果, 且在促进植物发芽方面有明显优势; 通过对盆栽质量变化的测定可知, 矿物复合保水剂可有效缓解水分蒸发速率; 通过对盆栽体积变化量的测定可知, 矿物复合保水剂可起到疏松土壤的功效; 通过不同施用比例和不同初始给水量量的盆栽试验对比得出, 利于植物生长的合适施用比例及不同初始给水量对植物萌发和生长的影响。

**关键词:**膨润土; 丙烯酸; 吸释水性; 矿物复合保水剂; 聚合反应; 水资源高效利用; 释水曲线

**中图分类号:** S157 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)05-0289-04

我国是一个干旱缺水的国家, 在干旱缺水的条件下实现作物高产以及治理沙漠化都需要高效利用当地宝贵的水资源。土壤保水剂作为一种可高效吸持水分, 并可为作物提供水分的特殊材料, 近 20 余年来在我国得到了大量推广利用。但是, 目前面世的保水剂以有机高分子材料为主, 价格较高, 并且其在土壤环境中风化较快。进一步研发价格低廉、吸水倍率高、风化慢、一次添加可具有多年保水效果的持久性保水剂, 是当前保水剂研究的主要方向<sup>[1-3]</sup>。将具有一定吸水性能的矿物与有机物单体混合后进行聚合, 所合成的复合保水剂具有较强的吸水能力、较快的吸水速度、较高的保水性能、较好的释水性能等优点<sup>[4]</sup>, 但前人研究中获得的复合保水剂性能各异, 仍需要进一步总结和优化。

本试验在前人研究基础上, 以具有一定层间吸附性能的膨润土与丙烯酸为原料制备矿物复合保水剂, 并系统研究了膨润土和丙烯酸的比率、合成时间等对其吸水性能的影响, 最

终确定出最优的保水剂配方, 并验证其在土壤中良好的保水效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

膨润土, 工业级, 河北省晋州百信商贸有限公司; 丙烯酸, 分析纯, 天津市百世化工有限公司; 氢氧化钠, 分析纯, 天津市光复科技发展有限公司; *N,N*-亚甲基双丙烯酰胺, 分析纯, 天津市百世化工有限公司; 过硫酸铵, 分析纯, 天津市永大化学试剂有限公司。

### 1.2 试验设备

水浴锅, DK-98-II, 天津泰斯特仪器有限公司; 天平, HZK-FA210 型, 赛多利斯科学仪器有限公司; 精密增力电动搅拌器, JJ-1 型, 江苏省金坛市鑫鑫实验仪器有限公司; 79-1 磁力加热搅拌器, 江苏省烟台凯拓电炉科技有限公司; 滴定管、移液管、电热鼓风干燥箱, 101-1A 型, 天津市泰斯特仪器有限公司。

### 1.3 复合保水剂的制备

称取一定量丙烯酸于烧杯中, 然后在冰水浴下边搅拌边缓慢加入浓度为 25% 的氢氧化钠溶液进行中和, 中和完毕稍加搅拌, 将反应物移入浸润在温度为 65 ℃ 水浴锅中的 4 个瓶内, 加入一定量的引发剂过硫酸铵, 另称取适量膨润土加入, 同时加入适量交联剂 *N,N*-亚甲基双丙烯酰胺, 便开始发生聚合反应, 在预订的时间停止合成后, 将样品移入培养皿中,

收稿日期: 2016-11-01

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(编号: 41130637); 河北省研究生创新资助项目(编号: 1007705)。

作者简介: 李 备(1990—), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事水文地质环境地质相关研究。E-mail: pingpangplayer@126.com。

通信作者: 张发旺, 博士, 研究员, 博士生导师, 俄罗斯科学院外籍院士, 主要从事水文地质环境地质相关研究。E-mail: zhangfawang@karst.ac.cn。

2010, 162(1): 295-306.

[28] Maeda R N, da Silva M M P, Santa Anna L M M, et al. Nitrogen source optimization for cellulase production by *Penicillium funiculosum*, using a sequential experimental design methodology and the desirability function [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2010, 161(1-8): 411-422.

[29] Zhou H, Wang C Z, Ye J Z, et al. Solid-state fermentation of

*Ginkgo biloba* L. residue for optimal production of cellulase, protease and the simultaneous detoxification of *Ginkgo biloba* L. residue using *Candida tropicalis* and *Aspergillus oryzae* [J]. European Food Research and Technology, 2015, 240(2): 379-388.

[30] 宋贤冲, 唐 健, 邓小军, 等. 产纤维素酶真菌的分离筛选、鉴定及其酶学性质分析[J]. 基因组学与应用生物学, 2013, 32(3): 372-378.

放入 80 ℃ 电热鼓风恒温干燥箱中干燥,至变成凝胶状后,剪成一定粒度,继续干燥至恒质量,粉碎备用<sup>[5-11]</sup>(图 1)。

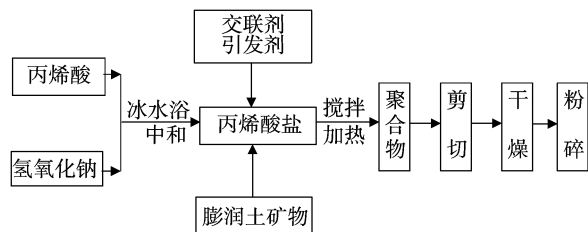
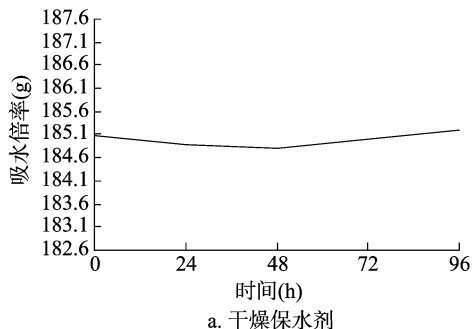


图1 矿物复合保水剂合成工艺流程

## 1.4 保水剂吸/释水性能测试

1.4.1 吸水性能测试 称取 0.1 g 制备好的保水剂加入 250 mL 烧杯中,再加入 100 mL 去离子水,放在磁力搅拌器上搅拌 5 min,搅拌完毕后静置 30 min,将保水剂移入已知质量的标准试验筛中,自然过滤 20 min,称量试验筛和保水剂的质量。



量。按公式(1)计算保水剂的吸水倍率:

$$n_1 = (G3 - G2 - G1) / G1 \quad (1)$$

式中: $n_1$  表示保水剂的吸水倍数, g/g;  $G1$  表示矿物复合保水剂的质量, g;  $G2$  表示试验筛的质量, g;  $G3$  表示试验筛和吸水后的保水剂的质量, g。

1.4.2 保水剂释水情况测试 将吸水后的样品放入小烧杯内,在室温 27 ℃、湿度 68% 条件下自然风干释水,定期称质量后计算释水量。

1.4.3 保水剂抗冷冻试验 干燥保水剂的抗冷冻性能测定:分别称取 0.1 g(精确到 0.001 g)保水剂(膨润土加入量为单体质量的 150%)样品 5 份装入自封袋内,放入 -20 ℃ 冰箱内冷冻。分别于 0、24、48、72、96 h 后取出样品,进行吸水性能测试(图 2-a)。含水保水剂的抗冷冻性能测定:分别称取 0.1 g(精确到 0.001 g)样品 2 份,吸水饱和后测质量并记录,而后放入 -20 ℃ 冰箱内冷冻。分别于 24、48 h 后取出,常温下解冻后,置于筛网上称质量(图 2-b)。

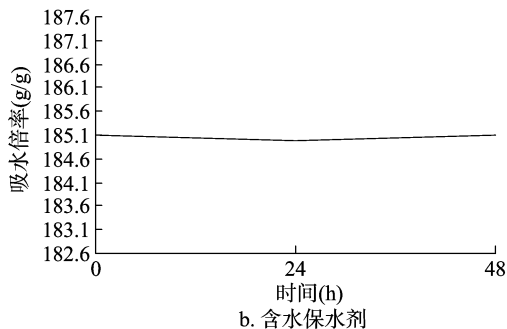


图2 冷冻实验吸水效果对比

1.4.4 保水剂在土壤中的保水效果测定 向 9 个 1 000 mL 量杯中各加入 800 g 细沙,1 个样品作为对照样,另外 4 个样品中加入 1.5 g 保水剂,4 个样品中加入 3 g 保水剂,所使用的保水剂中膨润土与丙烯酸单体的质量比为 1.5 : 1.0。各组样品质量分别加入 250、500、1 000 mL 的去离子水,并植入相同数量的白菜种子,然后放入植物培养箱中培养。培养箱白天光照 12 h,温度设定为 26 ℃,湿度保持 60%;晚上无光照 12 h,温度 18 ℃,湿度保持在 70%。每 2 d 观察 1 次,记录白菜发芽生长情况、样品总质量、体积等,观察时间为 41 d。

## 2 结果与分析

### 2.1 合成搅拌时间对保水剂吸水倍率的影响

研究发现,在 3.25 ~ 5.50 h 之间,吸水倍率随保水剂合成搅拌时间的延长而增加,在 5.50 h 之后,吸水倍率曲线明显平缓(图 3)。这与前人研究中得出的结论<sup>[12-14]</sup>相同,即在一定时间范围内,随搅拌时间的延长,聚合物的分子链越长,形成了更多的吸水空间,聚丙烯酸盐与膨润土融合也更为充分。

### 2.2 不同膨润土用量对吸水倍率的影响

随着膨润土用量的增加,所合成的复合保水剂吸水倍率逐渐减小(图 4),这与前人研究中得出的结论相同<sup>[15]</sup>。可能由于膨润土的加入影响了保水剂的合成质量,合成产品的吸水倍率低于根据保水剂含量计算出的理论吸水率(假设保水剂吸水,膨润土不吸水)。

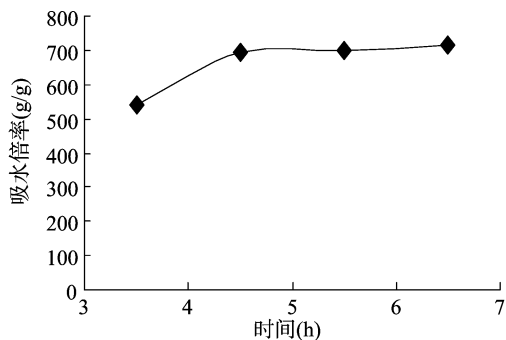


图3 不同搅拌时间对吸水倍率的影响

### 2.3 保水剂释水情况分析

称取 0.1 g 保水剂样品,使其吸水饱和后用 200 目筛网包裹,橡皮筋包扎,称质量后置于室温 27 ℃ 的实验室进行自然风干,同时取含水量为 80% 的黏性土壤 0.1 g,在相同条件下观测其释水速率进行对比(图 5)。结果发现,保水剂的释水速率明显慢于黏性土壤,充分证明了其保水效果。

### 2.4 矿物复合保水剂在土壤中保水效果

2.4.1 土壤质量变化 研究发现,在初始给水量为 250 mL 时,由于初始给水量不足,CK1、I 1 和 II 1 三者最终质量变化基本一致,但是在整个培养周期中, I 1 和 II 1 的蒸发量明显小于 CK1;当试验进行至 20 d 左右时,CK2 和 CK3 的重量基本恒定,可见盆栽中水分已经蒸发完毕,而 I 2、I 3 和 II 2、II 3 盆栽蒸发量仍在增加(图 6)。说明矿物复合保水剂起到

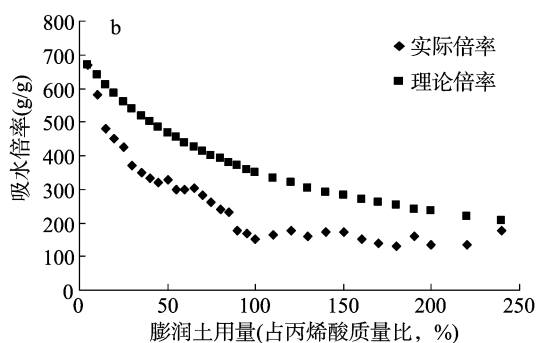
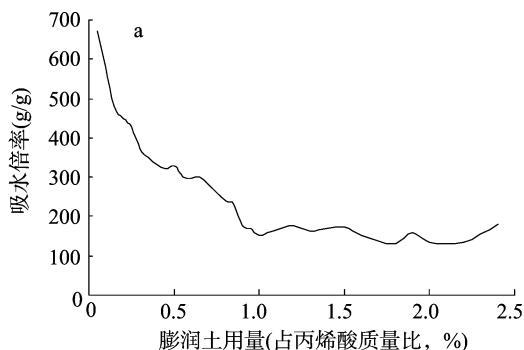


图4 不同膨润土量对吸水倍率的影响

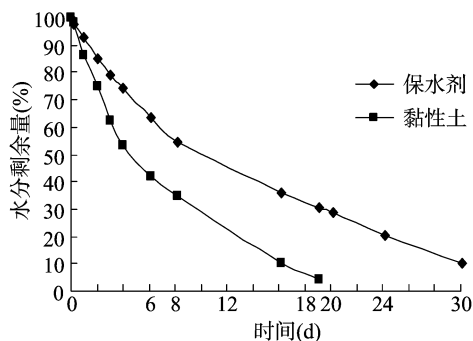


图5 释水曲线

了较好的保持水分,缓解蒸发的作用。

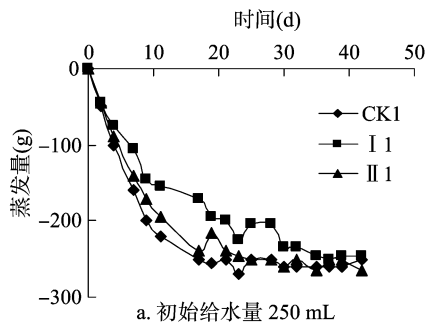
**2.4.2 白菜生长情况** 研究发现,在白菜生长后 9 d 时,Ⅱ组盆栽幼苗发芽最早、长势最好;Ⅰ3 未发芽,因初始给水量过大,造成土壤含水率过高,通透性差,不利于种子萌发;CK 组盆栽幼苗较Ⅱ组相比长势略差(图 7)。由此可见,虽然在Ⅰ组盆栽中添加的较多的矿物复合保水剂可以增强土壤持水能力,但是却抑制了种子萌发,发芽率不及 CK 组;添加相对

少量的Ⅱ组各盆栽种子萌发效果好,且在发芽率和幼苗长势方面均优于 CK 组。

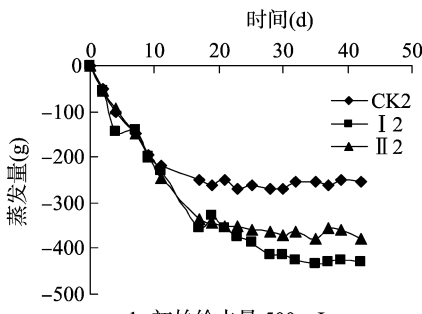
在白菜生长后 15 d 左右时,CK 组幼苗与Ⅰ组、Ⅱ组幼苗相比,长势明显减弱,CK1 枯萎严重,CK2 次之,CK3 中土壤水分尚可维持白菜生长;在白菜生长后 18 d 时,CK 组幼苗已经出现枯萎倾倒现象,与Ⅰ组、Ⅱ组幼苗对比明显(图 7),该现象表明未加入矿物复合保水剂的 CK 组各盆栽因土壤保水效果差导致供水不足,从而使得幼苗枯萎倾倒。

在白菜由 18 ~ 25 d 的生长过程中,CK 组白菜已全部干枯,Ⅰ组幼苗长势良好,Ⅱ组略显倾倒现象,到生长后 25 d 时,Ⅱ组幼苗也出现干枯倾倒现象,Ⅰ2 盆栽幼苗仍长势良好。白菜继续生长至 35 d 时,CK 组、Ⅱ组盆栽幼苗由于缺水均已干枯死亡,Ⅰ1、Ⅰ2 盆栽幼苗略显枯萎,但混入保水剂的土层仍能为其提供水分使其生长(图 7)。

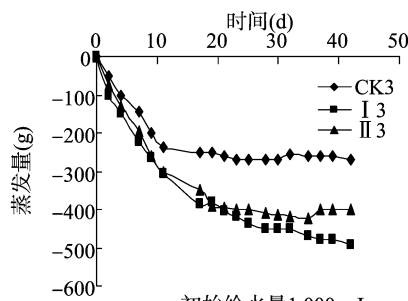
综上所述,向土壤中添加保水剂并不是越多越好,添加过量,会造成土壤通透性减弱,不利于种子萌发。在植物根植层添加适量保水剂对该层土壤有极好的保水保墒的作用,加入的保水剂可以形成 1 个微型水库,持续为植物供水。



a. 初始给水量 250 mL



b. 初始给水量 500 mL



c. 初始给水量 1 000 mL

图6 各样品释水量变化曲线

### 3 结论

矿物复合保水剂的研发试验可知,反映时间应控制在 4.5 h 左右为宜;膨润土矿物用量则根据保水倍率要求不同而变化。在不同矿物用量条件下制备的矿物复合保水剂吸蒸馏水倍率为 300 ~ 700 g/g。矿物复合保水剂在室温下(22 ℃, 湿度 68%)的水分蒸发速度非常缓慢,30 h 时水分减少不足 14%,且释水曲线斜率逐渐变缓。未吸水和吸水饱和试样在冷冻试验后,吸水倍率均未受影响,可见试样抗冷冻能力较强。应用过程中要注意施用量,以免土壤含水量过高造成通透性减弱,反而会对苗木的萌发产生不利影响。

### 4 发展前景

矿物复合保水剂具有良好的吸释水性能及保水性能,加入土壤后有利于土壤水分保持,在其反复吸释水的过程中还可增加土壤通透性,可用于农林业、沙漠治理等,对于干旱半干旱地区水资源高效利用研究及地下水循环研究有极其重要的意义<sup>[16-21]</sup>。

### 参考文献:

[1] 朱红,商平,赵鹏,等. 环境矿物材料复合型高吸水性树脂的研究[J]. 农业环境科学学报,2006,25(增刊2):729-732.

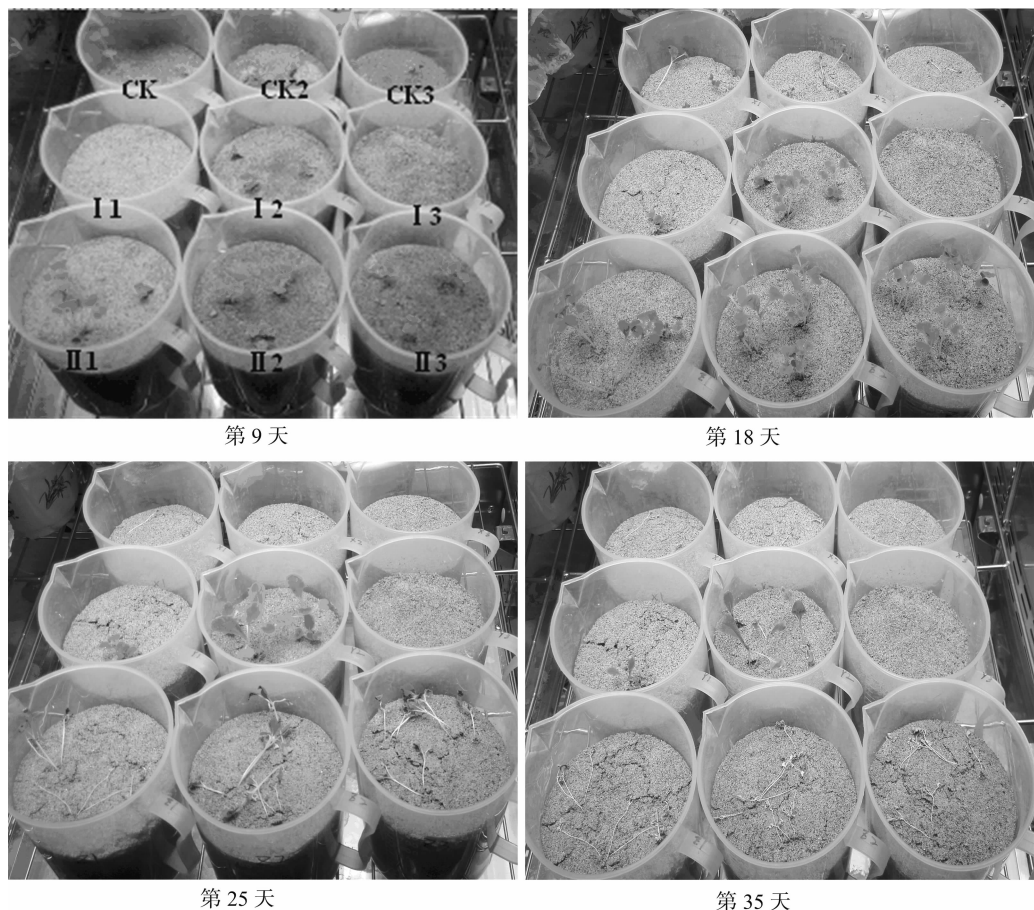


图7 白菜盆栽试验

- [2]田 巍,李天一,白福臣,等. 保水剂研究进展及应用[J]. 化工新型材料,2009,37(2):11-14.
- [3]陈晓蓉,刘 辉,陈 薇,等. 几种矿物复合保水剂的保水性能及养分增效研究[J]. 土壤学报,2012,49(1):194-197.
- [4]孙亚光,余丽秀,崔 巍. 耐盐型矿物/聚合物复合高吸水材料研究进展及评述[J]. 化工新型材料,2013,41(5):22-24.
- [5]成信东. 矿物/聚合物高吸水保水复合材料的研究[D]. 西安:长安大学,2007.
- [6]刘建朝,左可胜,李绍卿,等. 抗旱保水剂膨润土-聚丙烯酸盐吸水树脂研究[J]. 地球科学与环境学报,2005,27(4):58-62.
- [7]冯启明,王维清,李瑾丽. 膨润土/丙烯酸聚合物吸水保水剂合成及性能研究[J]. 非金属矿,2009,32(6):6-9,60.
- [8]马 鑫,魏占民,于 健,等. 保水剂粒径与不同质地土壤吸、失水特性的相关关系[J]. 水土保持学报,2014,28(1):270-275.
- [9]白福臣,于 力,温诗渺,等. 一种聚丙烯酸保水剂的制备方法: CN102060959A[P]. 2011.
- [10]吴自德. 一种抗旱保水剂: CN201110035599.9[P]. 13.
- [11]窦永位,秦伟志,郝军元. 用于沙漠绿化的保水剂材料及其制备方法: CN201110081670.7[P]. 2011.
- [12]张会宜,孙晓然. 合成条件对聚丙烯酸钠相对分子质量的影响[J]. 河北化工,2007,30(6):13-15.
- [13]许东颖,胡爱珍,陈甲华,等. 聚丙烯酸钠的合成研究[J]. 广西师范学院学报(自然科学版),2004,21(4):4-6.
- [14]黄良仙,安秋风,张西亚,等. 聚丙烯酸钠分散剂的制备及应用性能研究[J]. 山西大学学报(自然科学版),2005,28(4):388-391.
- [15]姜桂兰,张培萍. 膨润土加工与应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
- [16]何志明. 膨润土、粉煤灰改性聚丙烯酸钠农用保水剂的研究[D]. 阜阳:辽宁工程技术大学,2011.
- [17]汪丽梅,窦立岩. 环境矿物/高分子复合高吸水树脂的研究进展[J]. 广州化工,2012,40(2):17-19.
- [18]谢修银,宛 方,张 艳,等. 保水剂的研究现状与展望[J]. 化学与生物工程,2013,30(4):8-13.
- [19]蔡典雄,王小彬, Saxton K. 土壤保水剂对土壤持水特性及作物出苗的影响[J]. 土壤肥料,1999(1):13-16.
- [20]赵永贵. 保水剂的开发及应用进展[J]. 中国水土保持,1995(5):52-54.
- [21]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.
- [22]陈海丽,吴 震,刘明池. 不同保水剂的吸水保水特性[J]. 西北农业学报,2010,19(1):201-206.