

不同分散相结构吸水材料对土壤水分富集效应的研究

宋宝兴¹, 刘建睿¹, 郭天文², 黄卫东¹, 宁荣昌¹, 姜小凤²

(1. 西北工业大学, 陕西 西安 710072; 2. 甘肃省农科院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 研究了不同分散相结构的高分子吸水材料对土壤水分的富集效果影响, 结果表明: 水溶性聚丙烯酸钾一聚丙烯酰胺聚合物在无机养分溶液中的吸液性较好; 小剂量水溶性聚丙烯酸钾一聚丙烯酰胺聚合物富集土壤水分的效果明显优于聚丙烯酸钾一聚丙烯酰胺吸水树脂; 并且随水溶性聚丙烯酸钾一聚丙烯酰胺聚合物用量的增加, 去离子水的粘度增幅较大, 而无机养分溶液的粘度增幅较小。

关键词: 水溶性聚丙烯酸钾一聚丙烯酰胺聚合物; 聚丙烯酸钾一聚丙烯酰胺吸水树脂; 土壤水分

中图分类号: S152.7⁺¹ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)04-0100-05

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, 保持水土和抗旱节水已成为我国旱地农业可持续发展面临的首要问题^[1]。保水剂(Super absorbent polymer)是近年来迅速发展的一项化学节水技术^[1]。然而, 吸水树脂的吸水能力不仅受到环境因素的影响(如灌水盐分及树脂在土壤中的分布状态和土壤保持高含水量的时间等因素都会制约保水剂的保水性能), 而且还受到自身结构(网状结构)的影响^[2,3]。本试验进行了以下几方面的研究, 初步对不同分子结构高分子聚丙烯酸钾一聚丙烯酰胺材料, 在干旱地区的应用提出了新的实验研究方法, 为吸水材料合理应用提供科学的参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

水溶性聚丙烯酸钾一聚丙烯酰胺聚合物(简称水溶性聚合物)和聚丙烯酸钾一聚丙烯酰胺吸水树脂(简称吸水树脂)均由西北工业大学提供。

1.2 试验设计

1.2.1 试验地概况 试验地设在甘肃省会宁县柴门乡, 海拔 1 720 m, 年平均降水量 432.7 mm, 80% 保证率的年降水量为 363 mm。年蒸发量 1 800 mm, 土壤质地属川地黄绵土, 耕作层土壤容重 1.18 g/cm³, 有机质含量 86 g/kg, 全氮 0.18 g/kg, 全磷 0.12 g/kg, 全钾 6.5 g/kg。

1.2.2 大田模拟试验处理设计 试验于 2005 年 9 月 26 日开挖模拟试验穴(30 cm×30 cm×20 cm)。将水溶性聚合物按与补入液体量的重量比分别为 0.1‰、0.2‰、0.4‰、0.6‰(溶胶一01、溶胶一02、溶胶一04、溶胶一06)称重, 每穴用量分别为 1.6、3.2、

6.5、9.7g, 在补灌水中溶解后, 形成水溶胶, 每试验穴中注入 3.2 L, 然后将回填土按重量 16.20 kg/穴注入试验穴内, 进行搅拌, 待水溶胶的液体在回填土中均匀分布后刮平表面, 盖上拍碎的原土 1cm; 吸水树脂按与干土的重量比为 0.6‰、1.2‰、2.0‰(凝胶一06、凝胶一12、凝胶一20), 每穴分别用 9.7、19.4、32.4 g, 与称重后原耕土均匀混合后浇水, 待表层水下渗完毕后, 盖上拍碎的原土 1 cm。

试验采取单因素随机区组排列, 共 7 个处理, 2 个对照(等量水及原耕土), 每个处理重复 3 次。

1.3 测试分析方法

1.3.1 两种吸水材料不同盐溶液吸液量测定 具体测定方法为: 分别称取 1 g 水溶性聚合物和吸水树脂, 加入到 1 000 ml 去离子水和 0.5 mol/L 的无机养分溶液中(无机养分溶液组分为 N 5.75, P₂O₅ 2.61, K₂O 7.13, MgO 0.2 g/kg)缓慢搅拌, 吸水溶胀静止 1 h 至完全均匀分散并对液体充分吸附后, 对由水溶性高分子聚合物形成的水溶胶和吸水树脂吸水后的水与凝胶混合物进行过滤, 用液体总量减去滤液, 所得未透过快速滤纸的水凝胶或高粘度水溶胶的重量, 即视为两种吸水材料的吸液量。

1.3.2 水溶性聚丙烯酸钾一聚丙烯酰胺聚合物粘度的测定 具体测定方法为: 将水溶性高分子聚合物按 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 g/L 逐次加入到去离子水和上述无机养分溶液中, 将混合液倒入平氏粘度计, 再将粘度计垂直固定于 30℃ 的恒温水槽中, 用吸耳球来回吸放, 待溶液温度与水浴温度平衡时, 记录样品在粘度计中的流出时间(*t*), 重复测量, 直到两次读数偏差不超过 0.2 秒, 求取 *t* 的平均值, 按下式计算样品的粘度: $\eta = K \times t$ 。

1.3.3 两种吸水材料不同处理土壤含水量的测定

试验于 2005 年 10 月 6 日、10 月 12 日和 10 月 18 日进行,用环刀法取垂直深度 10~15 cm 处土壤,然后用酒精燃烧法测定土壤含水量。

2 结果与分析

2.1 水溶性聚合物与吸水树脂对不同溶液吸液量测试结果

从丙烯腈水溶性聚合物到聚丙烯酸盐类吸水树脂的问世,人们对吸水树脂的吸水性能一直进行着研究,现在普遍认为:吸水树脂交联度的高低严重制约着吸水树脂的吸水能力^[4~6]。

表 1 的测试结果表明:水溶性聚合物和吸水树脂在低浓度的 Mg^{2+} 溶液、 Na^{+} 溶液和去离子水中,水溶性聚合物比吸水树脂的吸水率分别低 1.20%、60.71%和 34.73%;随着溶液中 Mg^{2+} 和 Na^{+} 含量的增加,两种吸水材料吸液量都有所下降,但吸水树脂在两种溶液不同浓度中吸液量的降低率明显大于水溶性高分子聚合物,其下降幅度比水溶性聚合物高出 4 倍和 10 倍;在无机养分溶液中吸水树脂的吸液量降幅更加明显;而水溶性聚合物对无机养分溶液的吸液量降幅相对较小,吸液量高于吸水树脂 107.32%。

表 1 两种吸水材料对不同溶液的吸液量

Table 1 The analysis results of absorbance for two resins to different water quality

溶液 Solution	浓度 Concentration (mol)	水溶性聚合物 Water-solubility polymer			吸水树脂 Water-absorbing resin			水溶性聚合物 与吸水树脂吸 液量的比较 Capacity comparison of water solubility polymer and water absorbing resin (%)
		吸液量 Capacity (g)	不同溶液不同 浓度降低率 Descending ratio of different solutions with different concentration (%)	相同溶液不同 浓度降低率 Descending ratio of the same solutions with different concentration (%)	吸液量 Concentration (g)	不同溶液不同 浓度降低率 Descending ratio of the different solutions with different concentration (%)	相同溶液不同 浓度降低率 Descending ratio of the same solutions with different concentration (%)	
			Different solutions with different concentration (%)	same solutions with different concentration (%)		Different solutions with different concentration (%)	same solutions with different concentration (%)	
Mg^{2+}	0.005	165	—3.51	—10.91	167	—36.26	—44.31	—1.20
	0.05	147	—14.04		93	—64.50		58.06
Na^{+}	0.01	66	—61.40	—6.06	168	—35.88	—66.67	—60.71
	0.1	62	—63.74		56	—78.63		10.71
无机养分溶液 Inorganic solutions	0.5	85	—50.29	—	41	—84.35	—	107.32
去离子水 Dision water	—	171	—	—	262	—	—	—34.73

注:①无机养分含 N 5.75、 P_2O_5 2.61、 K_2O 7.13、 MgO 0.2g/kg,其余为去离子水。②两种不同分子结构吸水材料的加入量均为 1 g/L。

Note: ①inorganic solutions including N 5.75、 P_2O_5 2.61、 K_2O 7.13、 MgO 0.2g/kg, the rest was dision water; ②Add 1 g/L water-solubility polymer or water-absorbing resin.

但总体来讲,两种不同分散相结构的吸水材料在无机养分溶液中的吸液量都有所下降,其原因是由于溶液中离子浓度的增加,溶液的渗透压降低,因而导致两种材料对无机养分溶液中的水分的吸液量下降,加之水溶性聚合物(交联度约为 5%左右)在共聚过程中产生的交联密度比吸水树脂(交联反应后的交联度都在 60%~80%之间)交联密度小,因而造成两种材料间吸液量变化趋势的差异^[7,8]。

Florvl 提出的高分子物质在水中的膨胀规律公式

$$Q^{5/3} = \zeta[(i/2 V_u S^{1/2})^2 + (1/2 - X_1)/V_1] / (V_e/V_o)$$

式中, $(i/2 V_u S^{1/2})^2$ 为渗透压, $(1/2 - X_1)/V_1$ 为与

水的亲和力,这两项之和为吸水能力, V_e/V 为交联密度。

可以看出:吸水树脂在水中的渗透压越大,且与水的亲和力愈大,树脂的吸水性能愈大;随着交联度的增加,聚合物网络结构的形成,聚合物吸液量提高。交联密度过大时,式中分母增大,其吸水能力降低,这是因为聚合物离子网络结构中交联点增多,交联点之间的网络变短,网络结构中微孔变小,故使聚合物的吸液量下降^[9,10]。所以对于去离子水,适宜的交联密度可以获得较高的吸液量,而溶液中的离子浓度对吸水树脂吸液量的影响十分明显。

2.2 水溶性聚合物水溶胶粘度测定结果

表 2 和图 1 的测定结果表明:水溶性聚合物对

去离子水和复合无机养分溶液的粘度影响趋势差异较大。具体来讲,随着水溶性高分子聚合物用量的增加,去离子水的粘度呈现明显的上升趋势,增幅十分明显,无机养分溶液的粘度呈缓慢增长趋势,增幅较小。从水溶性聚合物用量与两种溶液粘度间的相关分析结果来看:不同用量的水溶性聚合物与无机养分溶液粘度间的相关系数 $R=0.9958$,单位水溶性聚合物用量无机养分粘度的增幅为 $3.02\text{ mm}^2/\text{s}$

(图 1);不同用量的水溶性聚合物与去离子水粘度间的相关系数达 $R=0.9793$,单位水溶性聚合物用量去离子水的粘度增幅高达 $27.64\text{ mm}^2/\text{s}$ (图 1)。因为在去离子水条件下,水溶性聚合物所形成高分子的分子链长、支链多,结构更为复杂,而在无机养分液体中高分子分子链较短,支链少,其粘度易形成线性变化规律。

表 2 不同水溶性聚合物用量对去离子水和无机养分溶液粘度的影响
Table 2 Different dosage effect on dision water and the inorganic solutions

水溶性聚合物加入量 Water-solubility polymer (g/L)	去离子水 Dision water		复合无机养分溶液 Compound inorganic solutions	
	粘度 Viscosity (mm^2/s)	粘度增长率 Increasing ratio of viscosity (%)	粘度 Viscosity (mm^2/s)	粘度增长率 Increasing ratio of viscosity (%)
0.1	0.87	0.00	0.76	0.00
0.2	4.49	416.09	1.07	40.79
0.3	7.49	66.82	1.46	36.45
0.4	8.11	8.28	1.65	13.01
0.5	12.88	58.82	1.98	20.00

注:复合无机养分溶液中无机养分含量为 N:5.14‰;P₂O₅:1.72‰;K₂O:2.14‰;ZnSO₄:1.0‰。
Note: Compound inorganic solutions including N: 5.14‰;P₂O₅: 1.72‰;K₂O: 2.14‰;ZnSO₄: 1.0‰。

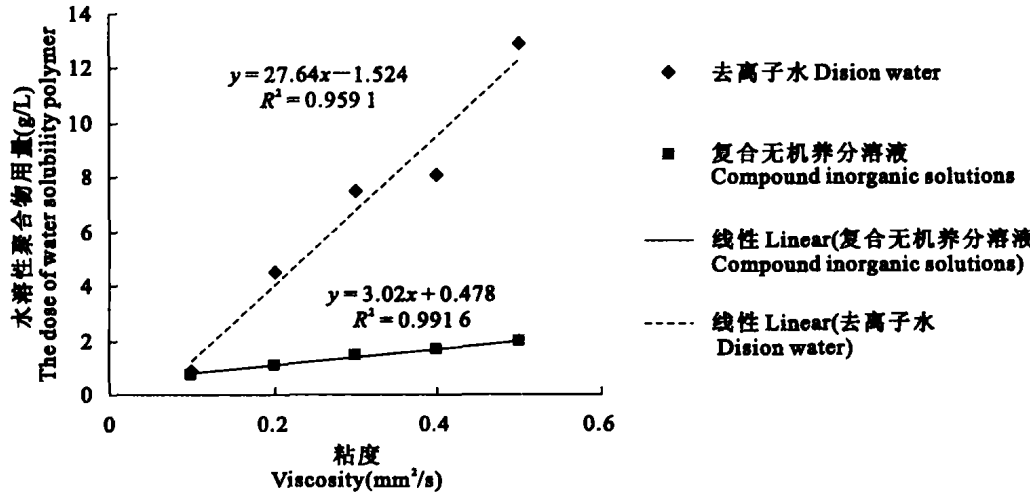


图 1 不同水溶性聚合物用量对去离子水和无机养分溶液粘度的影响

Fig. 1 The effect of different does water solubility polymer for dision water and inorganic solutions

2.3 两种吸水材料土壤含水量的变化趋势

2.3.1 两种吸水材料不同处理土壤含水量的差异性 表 3 为不同处理在补灌后的第 10 天、第 16 天和第 22 天分析结果。可以看出,第 10 天水溶性聚合物形成的溶胶—01、溶胶—02 和溶胶—04 处理与吸水树脂形成的凝胶—12 和凝胶—20 处理与等量水和空白对照之间差异极显著,与凝胶—06 处理差异显著,与溶胶—06 差异不显著。第 16 天溶胶—

01 与溶胶—06 处理、凝胶各处理、等量水和空白之间差异极显著,与溶胶—02 和溶胶—04 处理间差异不显著。第 22 天只有溶胶—01 处理与凝胶—20 处理、等量水和空白对照之间差异极显著,与凝胶—12 处理间差异显著,与溶胶—02、溶胶—04、溶胶—06 和凝胶—06 处理之间差异不显著。
说明由少量的水溶性聚合物所形成的土壤水分富集效果比吸水树脂明显,应该大力推广应用。

表 3 不同处理增加土壤含水量的显著性检验

Table 3 Analysis of moisture increase in soil with different treatment

处理 Treatments	第 10 天平均含水量 The 10th day average of soil water content (%)	第 16 天平均含水量 The 16th average of soil water content (%)	第 22 天平均含水量 The 22th day average of soil water content (%)
溶胶-01 Sol-01	20.56 aA	14.48 aA	13.86 aA
溶胶-02 Sol-02	20.53 aA	14.31 aAB	13.42 abAB
溶胶-04 Sol-04	20.34 aA	13.89 abABC	13.37 abAB
溶胶-06 Sol-06	19.57 abAB	13.50 bcBC	12.99 abcABC
凝胶-06 Gel-06	18.50 bcAB	13.36 bcC	12.75 abcABC
凝胶-12 Gel-12	17.80 cBC	13.30 bcC	12.28 bcdABCD
凝胶-20 Gel-20	16.03 dCD	13.08 cC	11.88 cdeBCD
等量水 The same quantity of water	15.37 dD	11.66 dD	11.49 deCD
CK	15.00 dD	11.30 dD	10.90 eD

注:大小字母分别代表 $LSD_{0.01}$ 和 $LSD_{0.05}$ 水平差异

Note: Capital and small letters mean difference at $LSD_{0.01}$ and $LSD_{0.05}$ respectively

2.3.2 两种吸水材料不同浓度对增加土壤含水量的影响 表 4 分析结果表明:不同浓度的水溶性聚合物与吸水树脂对增加土壤含水量有一定的差异。具体来讲:水溶性聚合物 0.1 g/L 处理与吸水树脂

所有处理间差异极显著,水溶性聚合物 0.2 g/L 与吸水树脂所有处理间差异显著,说明低剂量的水溶性聚合物在限量给水条件下,使局部土壤水分的富集效果优于吸水树脂。

表 4 单位数量吸水材料对土壤水分含量的影响

Table 4 Increment of water for absorbent resin in soil

材料 Material	浓度 Concentration (g/L)	水分增加量 The increasing quantity of water (ml/g)			平均增加量 Average increasing quantity (ml/g)
		第 10 天 The 10th day	第 16 天 The 16th day	第 22 天 The 22th day	
水溶性聚合物 Water-solubility polymer	0.1	563	316	300	393aA
	0.2	270	99	86	152bB
	0.4	117	51	64	77bcB
	0.6	93	50	42	62bcB
吸水树脂 Water-absorbing resin	0.6	18	29	17	21cB
	1.2	24	18	12	18cB
	2.0	18	13	11	14cB

2.4 两种分散相结构的吸水材料不同处理土壤含水量变化趋势

从图 2 看出:水溶性聚合物处理的土壤含水量随水溶性聚合物用量增减变化趋势差异不明显,4 条曲线走势十分相似,线间差距比较稳定,不同加入量处理的含水量均在 14%左右出现转折,土壤含水量变化趋于平缓。其原因是土壤间水分差形成的扩散动力与水溶性聚合物对水分的约束力相互持平。

从图 3 看出:在吸水树脂处理中,随加入量增大土壤初始含水量增加趋势明显。随着时间的推移,各浓度间的差距逐渐减小,初始含水量越高,下降趋势

越明显。而且吸水树脂不具有对水凝胶以外土壤水分的约束性,所以在土壤间扩散动力的作用下,土壤水分仍保持着继续扩散,含水量持续下降的状态。

3 小 结

1) 水溶性聚丙烯酸钾-聚丙烯酰胺聚合物在无机养分溶液中的吸液量相对较好;随着水溶性聚合物用量的加大,去离子水的粘度增幅明显,而无机养分溶液的粘度增幅较小;水溶性聚合物局部土壤水分富集效果优于吸水树脂。

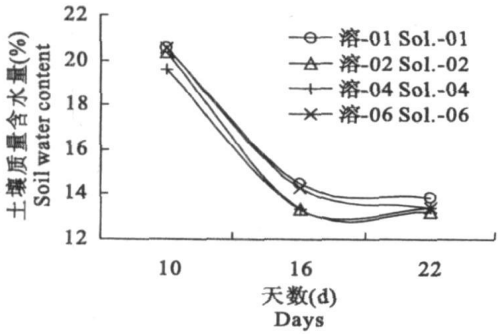


图 2 水溶性聚合物各处理土壤平均含水量

Fig.2 Average water content of soil treated with water-solubility polymer

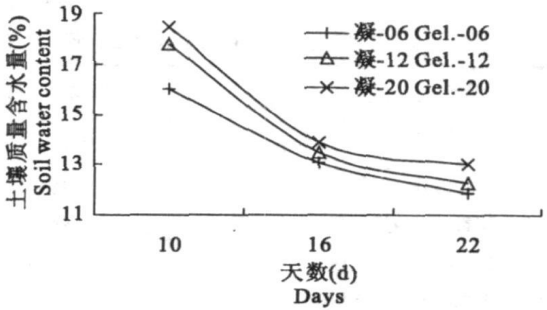


图 3 吸水树脂各处理土壤平均含水量

Fig.3 Average water content of soil treated with water-absorbing resin

2) 水溶性聚丙烯酸钾—聚丙烯酰胺聚合物分散于水中形成水溶胶后,再与回填土搅拌的施用技术方法,可以明显提高局部土壤含水量。

3) 利用水溶性聚丙烯酸钾—聚丙烯酰胺聚合物对水分预先约束的措施,在提高局部土壤水分含量的同时,明显降低了吸水材料的使用量。

通过上述结论初步分析认为,吸水材料在旱作区应用时,不能单纯以吸水树脂对去离子水的吸水倍数作为衡量其提高土壤含水量的功能指标。更重要的是要考虑吸水材料在土壤中的吸水条件,即土壤的盐分、所提供灌溉水源的水质、水量、维持土壤高含水量的时间,以及吸水材料在土壤中的分布状况和吸水速度等因素的制约。

参考文献:

[1] 高 超,李晓霞.聚丙烯酸钾盐型保水剂在红壤上的施用效果

[J]. 华中农业大学学报, 2005, 24(4): 355—358.

[2] 袁建强.聚丙烯酸钾与膨润土复合高吸水性树脂的合成与性能评价[J].精细石油化工进展, 2004, 9(5): 36—39.

[3] 张丽华, 闰 辉, 周秀苗.聚丙烯酸盐类高吸水性树脂的合成研究[J].科技进展, 2003, 1(17): 25—29.

[4] 杜太生, 康绍忠, 魏 华.保水剂在节水农业中的应用研究现状与展望[J].农业现代化研究, 2000, 21(5): 317—320.

[5] 李开扬, 任天瑞.高吸水性树脂在农业中的应用[J].农业工程学报, 2002, 2(1): 91—96.

[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, 18(1): 22—26.

[7] 崔英德, 郭建维, 阎文峰, 等.SA—IP—SPS 型保水剂及其对土壤物理性能的影响[J].农业工程学报, 2003, 19(1): 28—32.

[8] 张鸿雁, 王百田, 邹丽玲.半干旱黄土区保水剂使用浓度的研究[J].北京林业大学学报, 2003, 25(2): 14—18.

[9] 王砚田, 华 孟, 赵小雯, 等.高吸水性树脂的吸水保水特性[J].北京农业大学学报, 1989, 15(4): 431—437.

[10] 雪 萍, 翁志学, 黄志明.高吸水性树脂的结构与吸水机理陈[J].化工新型材料, 2002, 30(3): 19—21.

The effect of water-absorbing materials with different dispersed phase stucture on the form of soil water enrichment

SONG Bao-xing¹, LIU Jian-rui¹, GUO Tian-wen², HUANG Wei-dong¹,
NING Rong-chang¹, JIANG Xiao-feng²

(1. Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072, China;

2. Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The effects of water-absorbed materials with different dispersed phase structure on the form of soil water enrichment were studied. The results showed that the water-absorbing ratio of potassium—polyacrylate—polypropylene—acylamine is better in the inorganic solutions than polypropylene acylamine water-absorbing resin, and it is favorable to retain water. With increasing dosage of water-solubility potassium—polyacrylate—polypropylene—acylamine polymer, the viscosity in dision water obviously increase, while the viscosity in the inorganic solutions increase little.

Key words: water-solubility potassium—polyacrylate—polypropylene—acylamine polymer; potassium—polyacrylate—polypropylene—acylamine water-absorbing resin; soil water content