



当代  
杰出青年  
科学文库

# 有机-无机复合 高吸水性树脂

王爱勤 张俊平 著



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

当代杰出青年科学文库

# 有机-无机复合 高吸水性树脂

王爱勤 张俊平 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

高吸水性树脂作为一种功能高分子材料,具有吸水保水、改良土壤、缓释肥料和水土保持等特性,已经在许多领域得到了应用。近年来,有机-无机复合高吸水性树脂受到广泛关注,其研究开发和应用工作取得了长足的进展。本书重点综述了对不同黏土类型有机-无机复合高吸水性树脂的研究进展,探讨了不同黏土类型有机-无机复合高吸水性树脂对吸水保水性能的影响,分析了有机-无机复合高吸水性树脂的表征方法,展望了有机-无机复合高吸水性树脂的应用前景。

本书可供从事高吸水性树脂研究开发和生产的科研人员参考使用,也可供从事农林、医药卫生、建筑材料和日用化学等行业的研究人员、技术人员和生产人员参考,还可供大专院校相关专业师生参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

有机-无机复合高吸水性树脂/王爱勤,张俊平著. —北京:科学出版社, 2006

(当代杰出青年科学文库/白春礼主编)

ISBN 7-03-017732-0

I. 有… II. ①王…②张… III. 高分子材料:复合材料-吸水性-树脂  
IV. TQ320

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 084469 号

责任编辑:杨 震 袁 琦 吴伶俐 / 责任校对:赵桂芬  
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2006年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2006年9月第一次印刷 印张:10 3/4

印数:1--2 500 字数:199 000

定价:35.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

## 《当代杰出青年科学文库》编委会

主 编 白春礼

副主编 (按汉语拼音排序)

程津培 李家洋 谢和平 赵沁平 朱道本

编 委 (按汉语拼音排序)

柴玉成 崔一平 傅伯杰 高 抒 龚健雅

郭 雷 郝吉明 何鸣鸿 洪友士 胡海岩

康 乐 李晋闽 罗 毅 南策文 彭练矛

沈 岩 万立骏 王 牧 魏于全 邬江兴

袁亚湘 张 杰 张 荣 张伟平 张先恩

张亚平 张玉奎 郑兰荪

## 序

我国是世界上水资源最缺乏的国家之一。我国干旱半干旱地区总面积为 455 万  $\text{km}^2$ , 约占国土总面积的 47%, 即使在降水较多的地区, 也存在季节性干旱或水分胁迫等问题。随着我国干旱缺水问题的日趋加剧, 水资源越来越成为制约农业可持续发展的重要因素之一。

从我国目前的农业生产环境和生态恢复需要等客观环境条件来看, 高吸水性树脂的市场前景十分看好。其原因有三个: 其一, 我国不仅水资源紧缺, 而且水资源的时空分布不均匀, 不仅北方旱区缺水, 南方很多地区也存在季节性缺水; 其二, 我国水资源和肥料的利用率低, 应用高吸水性树脂可以提高水和肥料的利用率; 其三, 在西部大开发退耕还林和生态建设方面, 对高吸水性树脂也有很大的需求。

面对巨大的市场需求, 高吸水性树脂未能得到广泛应用的主要制约因素有: 一是高吸水性树脂的理论吸水倍率高, 而实际使用吸水倍率低。在农业实际使用过程中, 土壤中的金属离子、水环境的 pH 等因素对其吸水保水性能有显著影响。在纯水中具有上千倍吸水能力的高吸水性树脂, 在高盐碱地区的实际使用过程中, 仅具有几十倍甚至几倍的吸水能力, 大大降低了高吸水性树脂的实用价值。二是一次吸水倍数高, 而反复使用性能差。除包衣和蘸根等应用外, 为了使高吸水性树脂真正起到吸水、保水和节水的作用, 高吸水性树脂必须具备很好的反复使用性能。由于盲目地追求吸水倍率, 而忽略产品的保水性和凝胶强度等性能, 因而在使用时出现了一些问题。三是成本高。目前, 生产量最大的仍然是丙烯酸类和丙烯酰胺类高吸水性树脂, 其优点是制备工艺相对简单, 产物吸水力强, 产品应用面广, 但丙烯酸类高吸水性树脂成本很高。四是功能单一。高吸水性树脂仅有吸水保水性, 很难发挥其综合性能。

在高吸水性树脂的开发中, 可持续发展的观念和相应的技术体系开发越来越受到重视。所以, 在兼顾自然资源高值化的同时, 实现农用高吸水性树脂的复合化和低成本已成为该产品未来重要的发展方向。

目前, 商业化的高吸水性树脂以丙烯酸类或丙烯酰胺类聚合物为主, 这些单体受市场的影响, 价格一直居高不下。尽管可以进一步改善二元或三元聚合物的性能, 但是仍然不能降低其生产成本。因此, 引入价廉的无机原料对其进行改性, 合成有机-无机复合高吸水性树脂则成为了一种较理想的方法。这些无机原料包括各种矿物黏土和金属氧化物。黏土本身具有改良土壤的作用, 富含多种植物生长

所必需的微量元素。凹凸棒黏土、蒙脱土和高岭土等诸多黏土都已用于保水剂的合成探索。近年来,中国科学院兰州化学物理研究所系统地开展了这方面的研究工作,取得了阶段性的成果。其研制的聚丙烯酸/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂和聚丙烯酰胺/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂在提高吸水倍率的同时,极大地降低了生产成本,改善了耐盐碱性能,并已在胜利油田长安集团控股有限公司实现了产业化。该书的主要内容取材于作者参加的国家“十五”重大专项“新型多功能保水剂系列产品研制与产业化开发”的部分成果。在2005年科技部组织的专家验收会上,该研究取得的进展被认为是该重大专项的标志性成果。

任何一种产品的发展都离不开技术的创新,只有技术的持续创新,才能研制出高性能、低成本的高吸水性树脂产品,才能满足我国节水农业和生态建设的需要。因此,从源头上开展有关高吸水性树脂的创新研究,发挥科学技术的先导作用,是促进高吸水性树脂产业发展的基本前提。

该书结合作者的研究工作,总结了近年来有机-无机复合高吸水性树脂的研究进展,集中了该领域最新的研究成果,我相信该书的出版必将有助于进一步推动我国高吸水性树脂的研究和应用。

中国科学院  
晏宏坤  
2006年5月

## 前 言

高吸水性树脂是一种新型的功能高分子材料,由于在其分子结构上带有大量的亲水基团,它能吸收其自身质量数百倍甚至上千倍的纯水或数十倍的生理盐水。同时,交联形成的三维网络使它不溶于水或缓慢释放所吸收的水分,因而它在农业、林业、园艺、医药卫生、建筑材料、食品工业和日用化学品等领域得到了广泛应用。

高吸水性树脂自 20 世纪 70 年代在美国率先实现工业化生产后,其应用领域迅速由农业向医药卫生和建筑材料等领域扩大。目前,美国、日本、德国、英国、法国、俄罗斯和韩国等在高吸水性树脂产品的生产方面占据了大量的市场份额,全世界年生产高吸水性树脂超过 200 万 t。

国内高吸水性树脂的研究开发工作始于 20 世纪 80 年代初,经历了剖析仿制、跟踪研发和自主创新三个发展阶段。20 世纪 80 年代,一些科研单位通过剖析仿制,开发出了高吸水性树脂,并将其应用于农业、林业领域,但均未实现批量生产。90 年代,通过对文献资料的跟踪研发,开发出了不同类型的高吸水性树脂,并陆续建厂生产高吸水性树脂,但由于其生产工艺不配套或关键工艺没有实现突破,产品性能满足不了实际的使用要求,一批生产企业陆续倒闭或转行。进入 21 世纪后,我国一些科研院所和大专院校在高吸水性树脂方面的研发已有相当积累,并结合现代科学技术的发展趋势,开始了自主创新的研发工作。同时,国家创新体系的建立和对高新技术经费投入力度的加大以及投入模式的变化(2002 年科技部在“十五”“生物与现代农业”领域的节水重大专项中,将其列入“新型多功能保水剂系列产品研制与产业化开发”专题,由企业与科研院所和大专院校共同承担),使高吸水性树脂的产、学、研进入了一个新阶段,极大地促进了高吸水性树脂的研发进度和产业化步伐。具有自主知识产权的有机-无机复合高吸水性树脂于 2004 年在胜利油田长安控股集团有限责任公司实现了产业化,这标志着我国高吸水性树脂的研发生产进入了新阶段。

有机-无机复合高吸水性树脂的研究起步于 20 世纪 80 年代中期,但近几年才受到人们的重视并得到极大的发展。有机-无机复合高吸水性树脂所用的无机成分主要是黏土类物质,包括凹凸棒黏土、膨润土、高岭土、云母和蛭石等。这些物质的表面大多存在功能基团,可以与丙烯酸和丙烯酰胺等发生聚合反应。无机成分的引入不仅大大降低了高吸水性树脂的成本,而且也改善了高吸水性树脂的吸水保水、耐盐碱和重复使用等性能,同时也为非金属矿的高值化应用开辟了新的途径。

我国是一个贫水国家,由于人口增长和气候异常等因素,在节水农业和生态恢复中,对节水材料的需求非常迫切。地膜和高吸水性树脂几乎是同时作为新产品在节水农业中推广应用的,但结果却截然不同。价格高是制约高吸水性树脂不能大面积应用的关键因素。在生态恢复中,高吸水性树脂也没有得到广泛应用,其主要原因还是性价比的问题:价格低的高吸水性树脂满足不了高盐碱土壤对使用性能的要求,而价格高的高吸水性树脂又使用不起。因此,开发新型的有机-无机复合高吸水性树脂显得十分重要。

近年来,我国陆续出版了几部有关高吸水性树脂的专著,但还没有系统介绍有机-无机复合高吸水性树脂的著作。为此,本书在介绍高吸水性树脂国内外发展动态的基础上,结合作者近几年在有机-无机复合高吸水性树脂领域的研究工作[中国科学院“西部行动计划”项目(KGCXZ-SW-502)和国家“863”“新型多功能保水剂系列产品研制与产业化开发”(2002AA2Z4171、2005AA2Z4030)以及科技部农业科技成果转化资金项目(03EFN216200236)],重点对几种黏土类有机-无机复合高吸水性树脂的合成、特性和反应机理做了论述,总结了有机-无机复合高吸水性树脂已经取得的一些研究成果,以期能为加快高吸水性树脂的研究开发和推动其在农业、林业生产中的应用发挥积极作用。

全书共8章。第1章和第8章由王爱勤编写,第2章由王爱勤、李安编写,第3~7章由王爱勤、张俊平编写。陈浩、刘瑞凤和汪琴等同志协助整理部分资料。在本书的写作过程中,得到了中国科学院生态环境研究中心冯宗炜院士的精心指教,中国科学院兰州化学物理研究所和有关单位同仁给予的极大支持与帮助。在此,向关心本书编写和出版的领导、老师和同志们表示衷心感谢!此外,在编写过程中,作者还参考了大量的文献资料,对所引用文献的作者表示诚挚的谢意。

由于复合高吸水性树脂研究与应用涉及的学科领域较多,发展速度很快,加之作者的水平及能力有限,本书不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

作者

2006年5月



# 目 录

序

前言

<b>第 1 章 概论</b> .....	1
1.1 高吸水性树脂的发展概况 .....	1
1.1.1 引言 .....	1
1.1.2 高吸水性树脂 .....	2
1.1.3 高吸水性树脂的特点 .....	2
1.1.4 高吸水性树脂的发展 .....	4
1.2 高吸水性树脂的分类 .....	5
1.2.1 淀粉类高吸水性树脂 .....	5
1.2.2 纤维素类高吸水性树脂 .....	6
1.2.3 合成类高吸水性树脂 .....	6
1.2.4 生物降解型高吸水性树脂 .....	6
1.2.5 有机-无机复合高吸水性树脂 .....	7
1.2.6 具有缓释肥料功能的高吸水性树脂 .....	9
1.3 高吸水性树脂的应用 .....	9
1.3.1 在日用品中的应用 .....	9
1.3.2 在节水农业中的应用 .....	10
1.3.3 在生态治理方面的应用 .....	11
1.3.4 在建筑工程方面的应用 .....	11
1.3.5 在其他方面的应用 .....	12
1.4 高吸水性树脂的发展方向 .....	12
1.4.1 高吸水性树脂存在的问题 .....	12
1.4.2 高吸水性树脂的发展趋势 .....	14
1.4.3 复合高吸水性树脂的应用展望 .....	16
<b>第 2 章 丙烯酸系凹凸棒黏土复合高吸水性树脂</b> .....	18
2.1 凹凸棒黏土的结构与性质 .....	18
2.1.1 凹凸棒黏土的晶体结构 .....	18

2.1.2	凹凸棒黏土的结构特征和化学组成	18
2.1.3	凹凸棒黏土的基本性质	20
2.2	聚丙烯酸/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂	21
2.2.1	聚丙烯酸/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的制备	21
2.2.2	聚丙烯酸/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的表征	27
2.2.3	聚丙烯酸/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的性能测试	30
2.2.4	聚丙烯酸/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的溶胀行为	32
2.3	聚(丙烯酸-co-丙烯酰胺)/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂	36
2.3.1	聚(丙烯酸-co-丙烯酰胺)/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的制备	36
2.3.2	聚(丙烯酸-co-丙烯酰胺)/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的表征	38
2.3.3	聚(丙烯酸-co-丙烯酰胺)/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的溶胀行为	39
<b>第3章</b>	<b>丙烯酰胺系凹凸棒黏土复合高吸水性树脂</b>	<b>42</b>
3.1	聚丙烯酰胺/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂	42
3.1.1	基本原理	42
3.1.2	聚丙烯酰胺/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的制备	43
3.1.3	聚丙烯酰胺/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的溶胀行为	48
3.2	酸处理凹凸棒黏土对复合高吸水性树脂性能的影响	51
3.2.1	凹凸棒黏土的酸处理	51
3.2.2	盐酸浓度对吸水性能的影响	51
3.2.3	盐酸处理时间对吸水性能的影响	52
3.2.4	不同温度酸处理凹凸棒黏土对吸水性能的影响	53
3.3	热处理凹凸棒黏土对复合高吸水性树脂性能的影响	54
3.3.1	凹凸棒黏土的热活化	55
3.3.2	不同温度热活化凹凸棒黏土的性质	55
3.3.3	热处理凹凸棒黏土对吸水性能的影响	57
3.4	有机化凹凸棒黏土对复合高吸水性树脂性能的影响	58
3.4.1	凹凸棒黏土的有机改性	58
3.4.2	有机改性凹凸棒黏土对吸水性能的影响	59
3.4.3	凹凸棒黏土有机化程度对吸水性能的影响	61
3.4.4	有机化凹凸棒黏土复合树脂的 SEM 和 TEM	62
<b>第4章</b>	<b>生物质系凹凸棒黏土复合高吸水性树脂</b>	<b>64</b>
4.1	淀粉-g-聚丙烯酰胺/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂	64

4.1.1	淀粉-g-聚丙烯酰胺/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的制备	64
4.1.2	淀粉-g-聚丙烯酰胺/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的表征	68
4.1.3	淀粉-g-聚丙烯酰胺/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的性能测试	69
4.2	磷酸酯淀粉-g-聚丙烯酰胺/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂	70
4.2.1	磷酸酯淀粉与丙烯酰胺比例对吸水倍率的影响	70
4.2.2	凹凸棒黏土含量对吸水倍率的影响	71
4.2.3	磷酸酯淀粉-g-聚丙烯酰胺/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的表征	71
4.2.4	磷酸酯淀粉-g-聚丙烯酰胺/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的溶胀行为	73
4.3	聚丙烯酸/腐殖酸钠/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂	74
4.3.1	聚丙烯酸/腐殖酸钠/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的制备	75
4.3.2	腐殖酸钠的缓释性质	76
4.4	聚(丙烯酸-co-丙烯酰胺)/腐殖酸钠/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂	76
4.4.1	聚(丙烯酸-co-丙烯酰胺)/腐殖酸钠/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的制备	77
4.4.2	腐殖酸钠的缓释性质	78
4.4.3	聚(丙烯酸-co-丙烯酰胺)/腐殖酸钠/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的溶胀行为	79
4.5	壳聚糖-g-聚丙烯酸/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂	82
4.5.1	壳聚糖-g-聚丙烯酸/凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的制备	83
4.5.2	壳聚糖相对分子质量对吸水倍率的影响	83
4.5.3	壳聚糖与丙烯酸的比例对吸水倍率的影响	83
4.5.4	凹凸棒黏土含量对吸水倍率的影响	84
<b>第5章</b>	<b>膨润土复合高吸水性树脂</b>	<b>85</b>
5.1	膨润土的结构和性质	85
5.1.1	膨润土的晶体结构	85
5.1.2	膨润土的化学组成	86
5.1.3	膨润土的基本性质	86
5.2	聚丙烯酸/膨润土复合高吸水性树脂	88
5.2.1	聚丙烯酸/膨润土复合高吸水性树脂的制备	88
5.2.2	丙烯酸中和度对吸水倍率的影响	89

5.2.3	膨润土含量对吸水倍率的影响 .....	90
5.2.4	交联剂用量对吸水倍率的影响 .....	91
5.2.5	复合高吸水性树脂的吸水性能 .....	91
5.3	聚丙烯酰胺类/膨润土复合高吸水性树脂 .....	92
5.3.1	聚丙烯酰胺类/膨润土复合高吸水性树脂的制备 .....	92
5.3.2	膨润土用量对吸水倍率的影响 .....	94
5.3.3	膨润土对复合树脂其他性能的影响 .....	96
5.4	其他膨润土基复合高吸水性树脂 .....	102
5.4.1	聚乙烯醇/膨润土复合高吸水性树脂 .....	102
5.4.2	淀粉/膨润土复合高吸水性树脂 .....	103
<b>第6章</b>	<b>高岭土复合高吸水性树脂</b> .....	<b>105</b>
6.1	高岭土的结构和性质 .....	105
6.1.1	高岭土的晶体结构 .....	105
6.1.2	高岭土的化学组成 .....	106
6.1.3	高岭土的基本性质 .....	106
6.2	聚丙烯酸/高岭土复合高吸水性树脂 .....	107
6.2.1	聚丙烯酸/高岭土复合高吸水性树脂的制备 .....	107
6.2.2	丙烯酸中和度对吸水倍率的影响 .....	109
6.2.3	高岭土含量对吸水倍率的影响 .....	109
6.2.4	高岭土含量对凝胶强度的影响 .....	110
6.3	聚丙烯酰胺类/高岭土复合高吸水性树脂 .....	111
6.3.1	聚丙烯酰胺类/高岭土复合高吸水性树脂的制备 .....	111
6.3.2	高岭土对吸水倍率的影响 .....	112
6.3.3	高岭土对吸水速率和保水性能的影响 .....	113
6.4	其他高岭土基复合高吸水性树脂 .....	114
6.4.1	淀粉-g-聚丙烯酰胺/高岭土复合高吸水性树脂 .....	114
6.4.2	纤维素-g-聚丙烯酰胺/高岭土复合高吸水性树脂 .....	114
6.4.3	聚乙烯醇/高岭土复合高吸水性树脂 .....	115
<b>第7章</b>	<b>其他复合高吸水性树脂</b> .....	<b>116</b>
7.1	云母复合高吸水性树脂 .....	116
7.1.1	云母的化学成分 .....	116
7.1.2	云母对复合高吸水性树脂吸水倍率的影响 .....	117

7.1.3 钾基云母和有机化云母对复合高吸水性树脂吸水倍率的影响 .....	118
7.1.4 绢云母对复合高吸水性树脂吸水倍率的影响 .....	119
7.2 硅藻土复合高吸水性树脂 .....	120
7.2.1 硅藻土的化学成分 .....	120
7.2.2 硅藻土复合高吸水性树脂的制备 .....	120
7.2.3 硅藻土添加量对吸水倍率的影响 .....	121
7.3 水滑石复合高吸水性树脂 .....	121
7.3.1 水滑石的结构特征 .....	121
7.3.2 水滑石复合高吸水性树脂的制备 .....	121
7.3.3 水滑石含量对吸水倍率的影响 .....	122
7.3.4 复合高吸水性树脂的插层机理 .....	122
7.4 硅酸钠复合高吸水性树脂 .....	124
7.4.1 硅酸钠复合高吸水性树脂的制备 .....	124
7.4.2 硅酸钠含量对复合高吸水性树脂吸水倍率的影响 .....	124
7.4.3 硅酸钠复合高吸水性树脂的可降解性 .....	124
7.4.4 硅酸钠复合高吸水性树脂的红外光谱 .....	125
7.5 辉沸石、伊利石和累托石复合高吸水性树脂 .....	126
7.5.1 辉沸石复合高吸水性树脂 .....	126
7.5.2 伊利石复合高吸水性树脂 .....	127
7.5.3 累托石复合高吸水性树脂 .....	127
7.6 SiO <sub>2</sub> 复合高吸水性树脂 .....	128
7.6.1 SiO <sub>2</sub> 复合高吸水性树脂的制备 .....	128
7.6.2 SiO <sub>2</sub> 含量对吸水倍率的影响 .....	128
7.6.3 SiO <sub>2</sub> 复合高吸水性树脂的表征 .....	129
7.7 其他复合高吸水性树脂 .....	129
7.7.1 玻璃微球复合高吸水性树脂 .....	129
7.7.2 氧化铝交联高吸水性树脂 .....	130
<b>第 8 章 复合高吸水性树脂的表征方法与复合机理 .....</b>	<b>132</b>
8.1 红外光谱分析 .....	133
8.1.1 凹凸棒黏土复合高吸水性树脂的红外光谱 .....	133
8.1.2 膨润土复合高吸水性树脂的红外光谱 .....	136
8.1.3 高岭土复合高吸水性树脂的红外光谱 .....	137

---

8.1.4 其他复合高吸水性树脂的红外光谱	140
8.2 X射线衍射	140
8.2.1 凹凸棒黏土复合高吸水性树脂	140
8.2.2 膨润土复合高吸水性树脂	141
8.2.3 高岭土复合高吸水性树脂	142
8.2.4 云母复合高吸水性树脂	143
8.3 扫描电子显微镜	143
8.3.1 凹凸棒黏土复合高吸水性树脂	144
8.3.2 膨润土复合高吸水性树脂	144
8.3.3 高岭土复合高吸水性树脂	145
8.4 热分析	146
8.4.1 凹凸棒黏土复合高吸水性树脂	146
8.4.2 蒙脱土复合高吸水性树脂	147
8.4.3 高岭土复合高吸水性树脂	148
8.4.4 硅溶胶复合高吸水性树脂	149
8.5 其他表征方法	150
参考文献	153

# 第 1 章 概 论

## 1.1 高吸水性树脂的发展概况

### 1.1.1 引言

水是生命之源,水是维持生态系统功能和支撑社会经济系统发展不可替代的资源。我国的水资源总量为 28 100 亿  $\text{m}^3$ ,人均水资源量约 2200 $\text{m}^3$ ,仅为世界平均值的 1/4。预计到 21 世纪 30 年代,当我国人口达到 16 亿高峰时,在降水总量不减少的情况下,人均水资源量将下降到 1760 $\text{m}^3$ ,逼近国际公认的 1700 $\text{m}^3$  严重缺水警戒线。因此,我国是一个水资源十分短缺的国家。

水资源紧缺已成为严重制约我国国民经济可持续发展的瓶颈(郑家喜,2000)。农业是我国的用水大户,用水总量为 4000 亿  $\text{m}^3$ ,占全国总用水量的 70%,其中农田灌溉用水量为 3600 亿~3800 亿  $\text{m}^3$ ,占农业用水量的 90%~95%。农业用水中的浪费现象相当严重,一方面是农田灌溉水的利用率低,平均利用率仅为 45%左右;另一方面是农田对自然降水的利用率低,仅达到 56%。根据权威部门的预测结果,在不增加现有农田灌溉用水量的情况下,2030 年全国的缺水量将高达 1300 亿~2600 亿  $\text{m}^3$ ,其中农业缺水达 500 亿~700 亿  $\text{m}^3$ 。若将农田灌溉水的利用率由目前的 45%提高到发达国家的 70%的水平,则可以节水 900 亿~950 亿  $\text{m}^3$ ;如果同时提高水的利用效率,农业实施节水后不仅可满足 7 亿 t 左右的粮食生产用水,还能节约出 400 亿~500 亿  $\text{m}^3$  的水量用于国民经济的其他重要行业,这无疑会对未来的国民经济持续发展与社会安全和稳定做出重大贡献。

随着全球性水资源供需矛盾的日益加剧,世界各国特别是发达国家都把发展节水高效农业作为现代农业可持续发展的重要措施。目前,研究的重点正从工程节水向农艺节水、生物(生理)节水、管理节水等方向倾斜,尤其重视农业节水技术与生态环境保护技术的密切结合。在新型农业节水技术中,节水材料与产品的开发越来越受到人们的重视。化学节水技术是农业、林业生产中抗旱节水的一项高新技术,它是利用化学材料或制剂通过将其作用于植物,或者间接作用于土壤来改善植物水分和耗水特性,进而提高植物的水分利用率和水分利用效率。目前,土壤固化剂、复合土工膜料、坡面积雨固土材料、植物蒸腾抑制剂、种衣剂、液体覆盖材料和保水剂等一批新型、低成本、高效率、多功能化学节水材料已经在节水农业中

得到了实际应用,并取得了较好的节水效果(崔毅,2005)。

在国际上,保水剂被称为继化肥、农药、地膜之后最有希望被农民接受的农用化学制品,但在我国并没有被大面积地推广应用,其主要原因有三个:一是价格太高;二是产品性能不能满足实际需求;三是缺乏有针对性的使用方法。为此,科技部在“十五”“863”计划“生物与现代农业”领域的重大专项研究中,专门设立了“新型多功能保水剂系列产品研制与产业化开发”专题,这充分说明保水剂在现代节水农业中具有重要的作用。

### 1.1.2 高吸水性树脂

高吸水性树脂是一种新型的功能高分子材料,它能吸收并保持自身质量的数百倍甚至上千倍的纯水或数十倍的生理盐水,通常又将其称为高吸水性聚合物、吸水性高分子材料或超强吸水树脂等,作为农用时俗称为保水剂。

高吸水性树脂是一种亲水性高分子材料,通常采用含羧基、羟基或氨基等的亲水性单体,在引发剂和交联剂的作用下,发生聚合、水解、交联等化学反应,形成不溶于水但在水中能高度溶胀的三维网状聚合物。这种聚合物遇水后能迅速膨胀,将水保存在网状聚合物中间,这正是该类聚合物能吸水 and 保水的主要原因。

在高吸水性树脂的合成过程中,选用的单体不同,形成的网状结构也不一样,因而其吸水性能也有较大差别。一般分子结构上带有大量的羧基时,其吸水倍率较高。吸水倍率的大小与交联剂用量的多少密切相关,一般视高吸水性树脂的用途而定。交联剂用量越小,吸水倍率越大,但其凝胶强度越差,可用来制备种子包衣和植树造林蘸根用水凝胶;交联剂用量越大,吸水倍率越小,但其凝胶强度越高,可用作卫生巾和反复使用的农用保水材料。

### 1.1.3 高吸水性树脂的特点

通常,高吸水性树脂的合成方法和用途不同,其特性的表现也有一定的差别。就高吸水性树脂的自身特性而言,一般具有如下特点:

(1) 吸水倍率高。传统的吸水材料,如棉花和海绵等,只能吸收自身质量的20倍左右的水分,而高吸水性树脂对水分具有强烈的吸收能力,可吸收自身质量的数百倍至数千倍的纯水。这是因为高吸水性树脂分子的结构中含有羧基、羟基、酰胺基等强亲水性基团,在与水接触时,水分子通过毛细作用及扩散作用渗透到树脂中,树脂链上的电离基团在水中电离,而链上同离子之间的静电斥力使高分子链伸展、溶胀。由于电中性要求,反离子不能迁移到树脂外部,树脂内、外溶液之间的离子浓度差形成渗透压。水在渗透压的作用下进一步进入到树脂中,形成水凝胶。

表 1-1 给出了部分市售产品的吸水倍率和吸水速率(王亚峰等,2005)。从表 1-1 中可以看出,不同类型的产品在吸水倍率上有一定的差别。ABD 型高吸水性



树脂吸纯水倍率最大达 438 倍,最小为 292 倍,吸生理盐水(0.9%NaCl 溶液)最大倍率为 66 倍,最小为 45 倍,它们吸纯水和生理盐水的特性具有一定的相关性,具体表现为吸纯水倍率最大的产品相应吸盐水的量也大,其从小到大的顺序为: ABD4 型<ABD6 型<ABD5 型<ABD3 型<ABD2 型<ABD1 型。

表 1-1 各种产品吸水特性比较

产品名称	吸水倍率/(g/g)		吸水速率(纯水)/(g/g)							
	纯水	0.9%NaCl	1	2	4	8	16	24	32	40
ABD6 型	364	50	104	172	220	260	300	321	351	364
ABD5 型	382	60	137	189	227	280	310	348	380	382
ABD4 型	292	45	139	179	213	244	276	292	293	293
ABD3 型	404	61	221	266	365	371	399	398	405	404
ABD2 型	425	62	212	264	324	391	423	425	425	425
ABD1 型	438	66	222	283	337	403	436	436	438	438
四达 3 型	214	49	80	124	163	176	204	210	213	214
四达 2 型	282	49	238	270	275	279	280	281	282	282
四达 1 型	293	45	243	255	262	288	290	292	293	293
PR3006KL	212	23	25	39	66	91	123	164	181	196
PR3005KM	292	39	127	176	220	260	281	291	291	292
水星 GR-18	285	37	112	137	155	183	221	240	279	285
白金子 B	290	33	16	33	69	127	197	248	272	285
白金子 $\mu$	365	36	118	199	286	338	364	366	365	365
科瀚 98	414	50	235	278	342	384	406	409	413	414
永泰田 YTT-1	447	29	67	104	152	257	366	406	445	447

(2) 保水能力强。在一定温度和压力下,高吸水性树脂能自发地吸水,水进入树脂中使整个体系的自由焓降低,直到平衡为止。若水从树脂中逸出,使体系的自由焓升高,则不利于体系的稳定。差热分析表明,高吸水性树脂吸收的水在 150℃ 以上仍有 50% 封闭在凝胶网络中。因此,常温下即使对其施加压力,水也不会从高吸水性树脂中逸出,这是由高吸水性树脂的热力学性质决定的。

(3) 具有较好的释水性能。高吸水性树脂吸收水分后,虽然限制了水分的自由移动,但是对作物的根系来说,主要取决于高吸水性树脂对水分的吸附力和植物的水分吸收生理特性(黄占斌等,2005)。据测定,高吸水性树脂所吸收的水分主要保持在 10~50kPa 低吸力范围内,其中的 98% 为自由水,是植物最易吸收利用的水分。它的最大吸水力高达 13~14kgf/cm<sup>2</sup>①,而根系的吸水力大多为 17~18kgf/cm<sup>2</sup>。所以,在一般情况下不会出现根系水分倒流的情况。此外,高吸水性树脂具有吸水—释水—干燥—再吸水的反复吸水功能,但经过反复使用的高吸水性树脂的吸水倍率会有所下降。

① 1kgf/cm<sup>2</sup> = 9.806 65 × 10<sup>4</sup> Pa, 下同。