

农用保水剂作用原理研究与发展趋势分析

黄占 斌<sup>1,2</sup>, 夏春良<sup>3</sup>

(1. 中国矿业大学( 北京) 化学与环境工程学院, 北京 100083;

2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100;

3. 胜利油田长安实业( 集团) 公司有限责任公司, 山东 东营 257000)

摘 要: 保水剂应用是一项化学节水抗旱新技术, 近年在农业节水方面研究较多、发展较快。本文简要总结了国内外保水剂发展现状, 研究和提出保水剂作用原理理论体系, 结合农用保水剂研制和应用中应注意问题, 指出其发展前景和研究方向, 为我国未来保水剂研究与大范围推广应用提供参考。

关键词: 保水剂; 作用原理; 研究方向; 土壤水分

中图分类号: S 152. 73; S156. 2 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409( 2005) 05-0104-03

A Study on Impact Principles and Development  
Trend of Agricultural Super Absorbent

HUANG Zhan-bin<sup>1,2</sup>, XIA Chun-liang<sup>3</sup>

( 1. School of Chemical and Environmental Engineering, China

University of Mining & Technology- Beijing, Beijing 100083, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Shengli Oilfield Chang'an Industrial ( Group ) Co. , Ltd, Dongying, Shandong 257000, China)

**Abstract:** Super absorbent has become a kind of high technology on chemical agent used on water saving, drought resistance widely and quickly in agriculture in recent years. Based on summarizing the present situation of super absorbent on research and the application at home and abroad, the theory system of super absorbent action principles on water conservation and soil science are studied and expounded. Combing with the related problems on synthesis and application technology, it also pointed out to study aspects and development direction in future. These can give a great reference to enhance research and application of super absorbent in China.

**Key words:** super absorbent; impact principles; research direction; soil moisture

1 保水剂应用是一项农业抗旱节水新技术

干旱缺水是世界范围内农业持续发展的主要制约因素, 特别是中国西北地区。据资料, 北方旱区水资源量和耕地面积分别占全国 17% 和 64%, 仅为南方地区 1/4 和 1/9, 人均和每公顷耕地平均水资源量为 938 m<sup>3</sup> 和 6 810 m<sup>3</sup>。目前我国 45% 的地区年均降水量不足 400 mm, 灌溉农田缺水 300 多亿 m<sup>3</sup>。同时, 有限的水资源没有得到有效利用, 大部分水分被土壤表面蒸发而损失, 在我国西北半干旱地区其量一般占作物总耗水量的 1/4 ~ 1/2, 占年降水量的 55% ~ 65%。在植物利用降水的部分中, 被植物无效消耗的蒸腾作用又占植物利用水分的 95% 以上。因此, 降低土壤表面蒸发和降低作物蒸腾, 就成为提高农田水分利用效率的中心。在农业生产实际中, 最直接和有效的相应途径就是采用各种措施, 增加土壤保水和供水能力; 同时促进植物适应干旱环境的能力, 进而达到有限水资源的高效利用和产量增加。化学节水技术正是针对解决这些问题, 近年发展迅速的新技术。

保水剂应用是近年来发展迅速的化学节水技术。保水剂 (Super absorbent 或 Super absorbent Polymer, SAP) 是利用强吸水性树脂制成的一种超高吸水保水能力的高分子聚合物。它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, 吸水后的水可缓慢释放水分供作物利用。同时, 保水剂能增强土壤保水性, 改良土壤结构, 减少土壤水分养分流失, 提高水肥利用率。具有用途广、投资少、见效快, 在农业生产等诸多方面, 具有较广泛的应用发展前景。

2 保水剂研制和应用现状

保水剂应用是一种通过改善植物根土界面环境、又供给植物水分的化学节水技术。20 世纪中期美国研制出淀粉型保水剂并在玉米、大豆涂层和造林应用取得良好效果后, 世界各国竞相研制保水剂。日本发展最快, 成为世界上最大超强吸水性树脂生产国, 其生产公司有 20 余家, 年达产 8 万 t。英国研制出防止土壤侵蚀保证作物需水防蚀聚合物和保水聚合物。法国研制出能吸收自身水 500 ~ 700 倍“水合土”, 用

① 收稿日期: 2004-04-26  
作者简介: 黄占斌( 1961- ), 男, 教授、博士生导师, 研究方向, 植物生理生态、化学节水、环境生物技术等。

于改良沙特阿拉伯干旱地区的土壤结构。俄罗斯合成的保水剂用于节水农业, 在伏尔加格勒每公顷使用 100 kg, 节水 50%, 农作物增产 20% ~ 70%。在生产能力方面, 1980 年世界保水剂年产 0.5 万 t, 1989 年升至 21 万 t, 1998 年 85 万 t, 现已超过 100 万 t。

我国保水剂研制和应用始于 20 世纪 80 年代中期, 发展较快。全国有 40 余个单位研究开发, 并陆续应用于农林生产领域, 但未批量化。90 年代以来, 一批新型保水剂厂家和产品陆续问世。例如, 中国矿业大学(北京)利用风化煤研制出腐殖酸复合保水剂; 中国科学院兰州化物所研制出凹凸棒复合保水剂, 在胜利油田长安实业(集团)公司有限责任公司建成 3 000 t/a 的生产线, 率先在国内实现了有机/无机复合保水剂的产业化; 唐山博亚科技(集团)有限公司研发 12 个系列农用保水剂产品, 年产保水剂 1.5 万 t, 被农业部命名“国家保水剂生产示范基地”。在科研部门和生产企业的共同努力下, 目前单一保水剂产品的生产技术基本成熟, 可查申报的保水剂相关专利 110 多项。应用范围从林业生产推广至大田作物 60 多种作物, 年推广面积超过 20 万  $\text{hm}^2$ 。目前收集发表相关保水剂研究的论文有 518 篇。国家“十五”863 项目中“新型多功能保水剂系列产品研制与产业化开发”列为重要内容。

### 3 保水剂作用原理研究及其理论体系建立

保水剂的作用原理是一个复杂和系统过程。因为保水剂施用于土壤, 其作用不仅包括自身理化特性的表现, 还包括对土壤、土壤中其他化学品相互作用, 以及通过植物根系影响整个植物生长发育。同时, 保水剂应用于土壤, 其作用的发挥还存在一个效应时间和效应空间的范围问题。因此, 保水剂的作用原理及其理论体系, 是一个非常重要和长期研究课题。

对于保水剂作用原理的研究资料, 已经有相当多的研究资料积累, 大多数研究集中于对土壤理化性能改变和性能改良方面, 对保水剂自身理化特性研究, 多数集中实验室对产品的性能比较。因此, 作用原理的研究零散而不成体系。作者在总结已有研究成果资料基础上, 进行大量的系列试验研究, 提出保水剂作用原理的理论体系。认为保水剂作用原理包括四方面: 一是保水剂自身吸水、保水和释水原理; 二是保水剂的改土保水原理; 三是保水剂对肥料和农药等农化材料的效应原理; 四是植物水分关系与保水剂效应原理。

#### 3.1 保水剂自身吸水、保水和释水原理

保水剂的吸水、保水和释水原理, 主要与保水剂的基本特征, 包括物理化学结构、吸水保水特性, 也包括与外界离子类型和浓度、外界 pH 值和温度、光照辐射等因素影响的关系, 还包括应用的土壤类型和应用比例、植物对保水剂中水分利用的有效性等因素。

保水剂吸水速度快, 溶胀比大。保水剂分子含有羧基、羟基以及酰胺基、磺酸基等强亲水性官能团, 对水分有强烈的缔合能力, 纯水中的吸水溶胀比为 400 ~ 1 000 倍或更高。

保水剂保水能力强。保水方式最少包括吸水 and 溶胀, 前者比后者要低得多, 一般约低于一个数量级。

保水剂释水性能好, 供水时期长。保水剂吸收水分对作物的根系来说, 绝大部分是有效水。王砚田等(1990)研究表明, 保水剂所吸持的水分主要保持在 10 ~ 50 kPa 低吸力范围内, 98% 为自由水, 是植物最易吸收利用的水分。最大吸水力达 13 ~ 14  $\text{kg/m}^2$ , 根系吸水力大多为 17 ~ 18  $\text{kg/m}^2$ , 故一般情况下不会出现根系水分倒流。此外, 保水剂有吸水-释水-干燥-再吸水反复吸水功能, 但反复的保水剂吸水倍率下降 10% ~ 70% 或失去吸水功能。

#### 3.2 保水剂对土壤改良和保持原理

一是能够增加土壤团聚体, 改善土壤结构。保水剂在土壤中吸水膨胀, 把分散的土壤颗粒粘结成团块状, 使土壤容重下降, 孔隙度增加, 调节土壤中的水、气、热状况而有利作物生长。作者发现(1999), 保水剂对土壤团粒结构形成有促进作用, 特别对 0.5 ~ 5 mm 粒径土壤团粒结构形成最明显。且当土壤中保水剂 0.005% ~ 0.01% 范围时土壤团聚体增加量明显。

二是提高土壤吸水能力, 增加土壤含水量。保水剂分子内部有大量可电解羧酸盐基团, 吸水后网状结构撑开, 蓄水空间加大, 持水能力增强。盆栽菜豆试验, 培养基质中保水剂 0.27%、0.54% 和 0.81%, 结果田间持水量分别比对照增加 9%、18% 和 36%; 浇水量分别减少 37%、45% 和 55%。

三是增加土壤保持水分能力, 降低土壤水分蒸发量和土壤水分渗透速度。试验表明, 保水剂一般可提高土壤持水力 40% 左右。同时, 土壤保持大量水分, 土壤热容量增加, 蒸发缓慢, 使土壤热损失减少, 从而维持较稳定的土壤温度。作者试验发现(2000), 施有 0.05% ~ 1% 保水剂的土壤移栽烤烟, 缓苗期缩短 2 d, 缺水存活天数较对照多 5 ~ 20 d。

#### 3.3 保水剂对肥料农药等农化产品效应原理

保水剂表面分子有吸附、离子交换作用, 肥料和农药中的铵离子等官能团能被保水剂上的离子交换或络合, 活以“包裹”方式把土液中离子包裹起来, 减少肥效药效淋失。但同时会使保水剂失去亲水性, 降低保水能力, 故保水剂不能与锌、锰、镁等二价金属元素的肥料混用, 可与硼、钼、钾、氮肥混用。尿素等非电解质肥料与保水剂结合应用, 保水剂的保水和保肥作用都能得到充分发挥。田间试验证明, 保水剂与氮肥或氮磷肥配合使用, 吸氮量和氮肥利用率分别提高 18.72% 和 27.06%。保水剂与氮磷肥混施时, 磷肥利用率从 16.49% 提高到 20.91%。在陕西延安旱台地进行马铃薯试验, 发现开沟 10 ~ 15 cm 单施保水剂和单用 N 肥的马铃薯产量分别增加 26.67% ~ 56.67% 和 33.33%, 保水剂加 N 肥使马铃薯产量增加 75% 以上, 直径 10 cm 商品薯产量所占比例明显增加。

#### 3.4 保水剂对植物直接效应原理

保水剂对植物的效应原理, 主要基于保水剂对土壤和植物两方面的效应。对于植物的效应, 主要与保水剂的应用方法有关。对于种子处理, 主要是保水剂为种子提供相对湿润的小环境; 对于土壤使用, 包括穴施或者沟施, 主要与保水剂改变根土水环境, 造成部分根系干旱产生 ABA 信号而调控植物生理节水有关。作者采用模拟实验证明, 作物在其生长发育过程中具有适应土壤干湿交替环境能力, 即作物在受到一定程度的水分胁迫时, 能够通过补偿效应来弥补产量减少或减少损伤。梁宗锁等发现, 当玉米根系一半处于高水势一半处于低水势时, 处于低水势的根系中根源 ABA 含量明显增加。ABA 作用机理目前还未清楚, 但当根区土壤干燥时, 根源激素 ABA 出现积累, ABA 经木质部导管传输到作物的地上部分, 作物叶片根据 ABA 强度, 调节气孔开度, 使之与土壤水分达到最适(减少无效蒸腾失水); 同时根系经过一定程度的水分胁迫锻炼, 复水后水分传导高于未经水分胁迫锻炼的水分传导。这两方面作用使作物根系表现出补偿效应。

胡芬等(1994)试验证明保水剂(KH841)对玉米生长有直接促进作用, 单株叶面积和干物重都比对照显著增长, 产量提高 19.6% ~ 25.5%, WUE 提高 23.1% ~ 25.2%。

### 4 农用保水剂发展趋势与研究方向

#### 4.1 加强保水剂的应用基础研究

保水剂应用存在许多问题需要研究, 包括保水剂对土壤

和植物作用的时间效应问题, 长期施用保水剂对作物、土壤、环境的影响及其降解性、持效性问题。保水剂与肥料等农业化学品的偶合问题, 保水剂对不同类型土壤改良的机理问题、保水剂在植物根土界面水分变化与植物效应的关系问题等。这些问题没有完全清楚回答, 很难解决保水剂在应用推广中的技术问题。因此, 建议国家 863 计划中在“十一五”中能够设立包括保水剂在内的化学节水制剂和保水剂应用基础研究专题, 组织精干的研究队伍, 协同解决保水剂应用中重要关键基础问题。

#### 4.2 加强低成本、长效、多功能、复合、专用保水剂研制

一是加强低成本和抗离子性研究。针对丙烯酸等化工原料涨价和成本高问题, 开发抗离子交联的保水剂有机分子单体, 研究抗水解、抗光老化、微生物降解缓慢的保水材料添加剂, 改进保水剂合成生产工艺, 生产长效新型保水剂。

二是加强研究保水剂添加其它农林制剂, 形成植树造林、防沙治沙、农田生产(经济植物、大田作物)、绿化护坡等不同用途专用, 以及拌种、土壤施用、灌水施用等不同剂型的

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 胡芬, 姜雁北. 高吸水剂 KH841 在旱地农业中的应用[J]. 干旱地区农业研究, 1994, 12(4): 83– 86.
- [3] 张富仓, 康绍忠. BP 保水剂及其对土壤与作物的效应[J]. 农业工程学报, 1999, 15(2): 74– 78.
- [4] 冯金朝, 赵金龙, 等. 土壤保水剂对沙地农作物生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 1993, 11(2): 36– 40.
- [5] 华孟, 苏宝林. 高吸水树脂在农业上的应用的基础研究[J]. 北京农业大学学报, 1989, 15(1): 37– 43.
- [6] 黄占斌, 万惠娥, 邓西平, 等. 水剂在改良土壤和作物抗旱节水中的效应[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(4): 52– 56.
- [7] 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.
- [8] 黄占斌, 辛小桂, 宁荣昌, 等. 保水剂在农业生产中的应用与发展趋势研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 11– 14.
- [9] 王砚田, 华孟, 等. 高吸水性树脂对土壤物理形状影响[J]. 北京农业大学学报, 1990, (2): 181– 186.
- [10] 吴德瑜. 保水剂在农业上的应用进展[J]. 作物杂志, 1990, (1): 22– 23.
- [11] 俞满源, 黄占斌, 山仑. 保水剂氮肥及其交互作用对马铃薯生长和产量的效应[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 15– 19.
- [12] 邹新禧. 超强吸水剂[M]. 北京: 化学工业出版社, 1991.
- [13] 山仑, 黄占斌, 张岁岐. 节水农业[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [14] 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.

(上接第 100 页)

(2) 加快科技成果的推广应用。西北地区水土保持生态环境建设方面的科研机构不少, 技术力量雄厚, 多年来取得了大量具有应用价值的科研成果, 各省区要重视对这些现有科技成果的推广应用, 落实推广经费, 健全技术推广和技术服务体系, 使科技成果尽快转化为现实生产力。

(3) 加强动态监测。针对西部地区气候恶劣、地形复杂等状况, 加快构建适合西北生态环境保护和建设的可持续发展评价体系、监测网络和先进的信息管理系统, 做到统一布点, 集中管理, 持续监测, 为工程建设和决策提供科学依据。

(4) 实施生态教育, 建立技术和管理人才的培养体系。通过生态修复网络, 联合各地科研、教育、推广等单位, 建立起

参考文献:

- [1] 郭廷辅. 中国水土保持成就与展望[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [2] 蒋定生, 等. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [3] 段巧甫, 等. 从西北五省区水土保持经验看西部生态环境建设[J]. 中国水土保持, 2002, (1): 3– 6.
- [4] 杨新民, 等. 水土保持发展的战略目标及建议[J]. 中国水土保持, 2001, (4): 14– 16.
- [5] 苗光忠. 关于西部地区生态环境建设的思考[J]. 中国水土保持, 2002, (3): 14– 16.
- [6] 焦居仁. 生态修复的探索与实践[J]. 中国水土保持, 2003, (1): 1– 4.
- [7] 虎有泽. 论西部大开发中的民族法制建设[J]. 民族研究, 2003, (1): 12– 13.
- [8] 丁琳霞. 生态环境建设与西部大开发的战略思考[J]. 水土保持研究, 2002, 9(3): 35– 38.
- [9] 梁宗锁, 左长清. 简论生态修复与水土保持生态建设[J]. 中国水土保持, 2003, (4): 28– 31.

多功能保水剂系列化复合产品。形成专用性、多元素全营养性、生物防治无污染性、用途明确的环保新型多功能保水剂。

#### 4.3 建立保水剂及其系列产品的应用技术规范

农用保水剂应用一般技术主要有拌种(种子涂层)、种子丸衣造粒、根部涂层(亦称蘸根)、土壤直接施用法、用作育苗培养基质等方法(吴德瑜, 1990; 山仑、黄占斌等, 1999; 杜太生等, 2000)。应用最多的是土壤直接施用法。但在实际应用中, 缺乏对保水剂作用原理理论的全面正确理解, 应用技术缺乏规范, 使得保水剂的作用没有得到充分发挥, 甚至出现一些相反的结果。以往相关的一些研究已经有较多报道, 但多数为试验报告, 没有形成针对不同产品或应用范围的应用技术规范, 这也是制约保水剂应用推广的重要方面。因此, 必须加强保水剂应用原理的全面普及, 并研究和制定针对不同保水剂产品和应用目的的应用技术规程, 包括研究适合不同气候、地区、土壤的保水剂最佳施用量、施用方式和施肥方式保水剂应用技术; 研究保水剂与其它旱作农业措施相结合为特征的综合保水技术。