

高分子保水剂在土壤水肥保持和污染治理中的应用进展

黄占斌, 孙朋成, 钟建, 陈雨菲

(中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083)

摘要: 高分子保水剂(super absorbent polymer, SAP)是一种具有高吸水 and 保水能力的高分子聚合物, 应用土壤具有水肥保持和土壤改良等多重效应, 近年在农业生产、水土保持和污染治理中应用受到重视。该文通过作者多年研究积累和文献综合分析, 回顾了高分子保水剂发展历程, 提出其效应原理的理论体系, 包括保水剂自身吸水、保水和释水原理, 保水剂促进土壤改良和保持效应原理; 保水剂提高肥料等农化产品利用效率原理; 保水剂调节植物生理节水效应原理和固化土壤重金属效应原理。此外, 文章对保水剂在农业水肥保持与高效利用、土壤重金属污染治理等方面的研究进展进行了系统分析, 并根据其存在问题, 指出加强新型产品研制及其应用基础研究, 加快应用技术推广是保水剂发展的主要方向。

关键词: 土壤; 污染; 农业; 高分子保水剂(SAP); 土壤改良; 水土保持; 水肥利用效率; 重金属污染

doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.017

中图分类号:S15

文献标志码:A

文章编号:1002-6819(2016)-01-0125-07

黄占斌, 孙朋成, 钟建, 陈雨菲. 高分子保水剂在土壤水肥保持和污染治理中的应用进展[J]. 农业工程学报, 2016, 32(01): 125-131. doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.017 <http://www.tcsae.org>

Huang Zhanbin, Sun Pengcheng, Zhong Jian, Chen Yufei. Application of super absorbent polymer in water and fertilizer conversation of soil and pollution management[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(01): 125-131. (in Chinese with English abstract) doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.017 <http://www.tcsae.org>

0 引言

高分子保水剂(super absorbent polymer, SAP)是具有吸水 and 保水能力的一类高分子聚合物, 一般可吸收自身400~600倍甚至更高倍数的纯水, 其所吸水分可缓慢释放供植物利用。SAP应用于土壤可以改善植物根系与土壤界面的环境状况, 直接提供植物的水分供应; 还可通过改善植物根际土壤结构而促进土壤保水, 间接供应植物水分。由于SAP有应用量少、见效快、应用范围广等特点, 因此在农业生产、水土与保持和环境治理等方面得到广泛应用, 发展前景广阔。

中国农业生产和环境生态建设问题较多, SAP应用范围多样, 主要包括农业土壤抗旱保水、土壤污染治理等。本文藉此通过对SAP的效应原理理论体系总结和应用研究进行分析, 期望为促进SAP在农业生产、水土保持及其环境治理等方面的应用提供参考。

1 高分子保水剂效应原理的研究进展

1.1 高分子保水剂的研发历程与现状

保水剂的研制起源于20世纪中期, 美国研制的淀粉型保水剂在玉米、大豆等作物应用后, 引起各方面关注^[1-2]。

其中日本研发速度最快, 现已成为全球最大SAP生产国, 主要20家公司年产能已达到10万t。法国研制出能吸水500~700倍数的“水合土”, 在沙特阿拉伯旱区的土壤改良应用取得成功。俄罗斯研制出SAP在伏尔加格勒用量100 kg/hm², 作物增产20%~70%。

中国SAP研发和应用经历3次较大发展^[3]。首次是20世纪80年代, 全国40多个科研院所开展研发, 在植树造林和旱区土壤改良等方面得到应用。90年代后期, 新型SAP研制加快并得到广泛应用研究, 使用范围也不断扩大, 形成SAP研发应用的第二次高潮。21世纪以来, 随着气候变化、植树造林和抗旱节水等方面的加强, SAP产品研发和应用到土壤改良、城市绿化和荒坡造林、水土保持、边坡治理、矿区废弃地复垦, 以及保水肥料等新型肥料研发等方面, 形成SAP研发与应用的第三次高潮, 复合、多功能和低成本保水剂成为发展重要方向。作为一种化学节水技术, 中国对SAP研发和应用非常重视, “十五”到“十二五”期间国家“863”节水农业重大专项一直设立“多功能保水剂系列产品研制与产业化开发”课题, 作者有幸也一直参与相关课题研究。

1.2 高分子保水剂合成途径与产品类型

高分子保水剂的合成, 主要是天然亲水性单体经交联剂和引发剂等助剂发生合成反应而成, 其合成反应类型可分3种^[3]: 一是接枝共聚反应, 羧甲基化反应和交联反应。接枝共聚反应主要是亲水单体与聚合物主链的活动中心发生聚合, 聚合需要交联剂和引发剂使单体接枝聚合, 如以丙烯酸或丙烯酰胺为单体, N,N-亚甲基双丙烯酰胺为交联剂, 以过硫酸钾和亚硫酸氢钠体系为引发剂, 采用水溶液聚合法合成的丙烯酸-丙烯酰胺保水剂; 羧甲基

收稿日期: 2015-10-08 修订日期: 2015-11-22

基金项目: 国家自然科学基金(41571303); 三峡后续工作科研课题(2015HXKY2-4)

作者简介: 黄占斌(1961-), 男, 陕西武功人, 教授, 博士生导师, 1983-2003在中国科学院水利部水土保持研究所工作, 2003至今在现单位。主要从事农田水土保持与高效利用、植物生理生态、环境材料和化学节水等方面科教工作。北京 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 100083。Email: zbh Huang2003@163.com

化反应主要是淀粉和纤维素等多糖类单体经羧甲基化后
可直接植被保水剂,改善了保水剂对盐分的吸收;交联反
应是目前最活跃的研发应用技术,主要是含有羧基、酰胺
基和羟基等单体自身交联或加入交联剂聚合的反应,该
方法可使不同类型原料的亲水单体聚合,可赋予保水剂
更多的功能,如凝胶强度和耐盐性等。保水剂的合成方法
一般有本体共聚法、溶液共聚法、反向悬浮聚合法和反向
乳液聚合法,较先进的方法还有光辐射聚合法和保水剂
的共混和复合。目前,SAP 按其原料和合成技术可分为有
机单体聚合(如:聚丙烯酸钠)、淀粉聚合(如:淀粉接枝丙
稀酸钠)、有机无机复合(如:凹凸棒/聚丙烯酸钠)、有机单
体与功能性成分复合(如:腐殖酸型保水剂)等类型^[4]。

1.3 高分子保水剂的效应原理

作者从 SAP 相关研究文献,结合大量研究和应用是
实践,总结提出 5 方面 SAP 效应原理的理论体系,其中
SAP 对土壤重金属化学固化效应是其应用研究领域的新
发展。

1)高分子保水剂自身吸水、保水和释水原理。高分子
保水剂具有吸水速度快、吸水倍数大的特点,主要是其含
有大量羧基、羟基及酰胺基、磺酸基等亲水性基团,对水分
有较强的吸附能力,对纯水的吸水倍数可达 400~600 倍;
其次,SAP 的保水能力也很强,其保水方式有吸水 and 溶胀
2 种方式,以后者为主;此外,SAP 的释水性能也很好,可
直接为作物提供较长时间供水。研究发现^[5],SAP 吸水力
13~14 kg/m²,植物根系对水的吸力达 17~18 kg/m²。因此,
保水剂所吸持水分的 85%以上可为植物可利用水。实验证
明^[6],SAP 具有吸水 and 释水,在干燥 and 再吸水的反复吸水能
力,保水剂的每次反复吸水,其吸水倍率可下降 10%~
70%,最终失去吸水功能。

不同类型保水剂在保水特性方面,特别是对去离子
水、自来水(电导率 0.8~1.0 s/cm)和不同离子溶液中的吸
水倍数降低率、反复吸水性等方面有较大差异^[7],对其应
用范围有重要影响(表 1)。

有机单体聚合保水剂(聚丙烯酸盐)在去离子水吸水
倍数最高,在自然条件下 10 多天的保水性能;淀粉聚合类
保水剂成本较低易分解,适宜作物成苗等短时期的土壤
保水;有机无机复合保水剂(凹凸棒聚丙烯酸钠)、有机单
体与功能性成分复合保水剂(腐殖酸型保水剂),反复吸水
性和抗二价(Ca²⁺)和三价(Fe³⁺)离子特性明显,适合盐碱
地和废弃地的土壤改良应用。

2)高分子保水剂促进土壤改良和水分保持效应原理。

SAP 自身有多种官能团,能与周边土壤发生各种物理化学
反应而促进土壤结构改变,增加土壤的团聚体数量。试验
表明^[6],SAP 对 0.5~5 mm 土壤粒径的大团粒形成效应明
显,经过比较发现,SAP 添加土壤 0.005%~0.01%量使土壤
团聚体增加效果最明显。根据 SAP 在土壤溶液中吸水倍
数降低 60%左右的结果反推^[3],SAP 直接作用土壤水分的
效应为 40%,其余效应为其提高土壤吸水能力,增加土壤
含水量,SAP 改良土壤结构的效应则占其效应力的 60%。
正是该效应使 SAP 使土壤的容重下降、孔隙度增加,土壤
的水、肥、气、热得到协调而促进作物生长。研究证明^[9],土
壤加入 0.1%保水剂在 15%坡度模拟降雨条件下,土壤第
一次降雨的水分入渗率达到 11 mm/h,较无保水剂土壤对
照处理高 43%,土壤径流量和土壤流失量分别较对照降低
1%和 34%;第二次降雨时的水分入渗率、水分和土壤流失
量分别较对照高 44%、5%和 9.4%。

3)高分子保水剂可促进肥料、农药等农化品的利用效
率原理。SAP 的表面含有多种官能团,可与土壤间可进行
多种离子的吸附和交换。化学氮肥的铵离子等官能团被
SAP 上离子交换或络合,在植物根系量作用下缓慢释放,
提高氮肥利用效率。另一方面,SAP 上的一些官能团受土
壤中离子效应,也会降低其自身的吸水 and 保水能力,故应
用 SAP 是应考虑此问题。试验表明^[7],不同类型保水剂对
氮素(硝态氮、铵态氮和尿素)保肥效果差异很大,尿素等
非电解质肥料与 SAP 混用保肥效果都较好;聚丙烯酸钠
保水剂对尿素保持较对照提高 16%~22%,但对铵态氮保
肥效果很差,甚至加速流失;有机无机复合保水剂对尿素
和铵态氮保氮效果较对照提高 5%~12%;腐殖酸型保水剂
对硝铵氮保肥提高 20%~30%,对尿素氮肥保持效果在
20%。田间试验^[8]发现,SAP 与尿素氮肥配合使用,吸氮量
和氮肥利用率分别提高 18.7%和 27.1%。陕西延安试验^[9],
沟施 SAP 和尿素的马铃薯经济产量分别较对照增加
42.7%和 33.3%,但 SAP 与尿素混用则使马铃薯增产达
75%以上。

目前中国农田的当季氮肥利用率仅 30%~35%,磷肥
20%~30%,钾肥 40%~50%;全国每年农药用量 50~60 万 t,
其中高毒农药占总量 70%。过量或不合理使用使 70%~
80%农药逸失到环境。因此,SAP 应用化肥和农药,促进其
利用效率提高是治理农田面源污染的重要途径。

4)高分子保水剂对植物生理节水的调节效应原理。
SAP 的植物效应与其应用方法有关。SAP 直接可为种子包
衣材料促进种子发芽;采取土壤穴施或沟施应用 SAP,可

表 1 不同保水剂的吸水性能比较^[7]

Table 1 Water absorbent comparison of different kinds of SAP

保水剂类型 Type of SAP	去离子水 Deionized Water	6 次反复吸水降低 6th repeated water reduce/%	自来水 Tap-water	自来水吸水降低 Tap water reduce/%	0.9%NaCl 吸水降低 0.9%NaCl Waetr reduce/%	0.01%Ca ²⁺ 吸水降 低%0.01% Ca ²⁺ water reduce/%	0.05%Fe ³⁺ 吸水降低 0.05% Fe ³⁺ water reduce/%
聚丙烯酸钠 Sodium polyacrylate	894.4	65	282.8	68.4	91.3	97.0	89.2
淀粉接枝丙烯酸钠 Starch grafted sodium polyacrylate	522.4	72	243.6	53.4	84.8	94.3	92.3
凹凸棒/聚丙烯酸钠 Aattapulgit/sodium polyacrylate	406.4	36	271.2	33.3	89.0	90.6	97.5
腐殖酸/聚丙烯酸钾 Humic acid/potassium polyacrylate	362.8	25	201.6	44.4	80.0	89.1	51.8

明显改善植物的根际土水环境,形成干湿交替或植物部分根系受旱,受旱根系产生一种植物受旱信号—植物激素ABA(脱落酸),ABA随植物茎秆运输到叶片部分调节气孔,减少蒸腾而产生植物生理节水效应。试验证明^[10],作物生长发育过程中在土壤干湿交替或者部分根系受旱时,会产生生长补偿效应来弥补产量减少。

1.4 高分子保水剂施用方法与成本问题

保水剂在农林生产中应用一般有种子处理(包衣和涂层等)、根部处理(蘸根)和土壤应用,后者是目前应用的主要方法,包括穴施、沟施、地面散施和苗床混施等。实践证明^[3],单纯施用保水剂的用量,根据作物、果树等施用植物用量不同,如小麦、玉米等或本科作物土壤施用量在30~45 kg/hm²,成年果树每株15~20 g;在保水剂的效益分析中,施用保水剂的增产增效是明显的,但影响产投比最明显的是施用保水剂的人工成本较高。所以,目前高分子保水剂的主要施用方法是与肥料混合,开发肥料与保水剂复合的保水肥也成为高分子保水剂应用基础研究的重要方面。

2 高分子保水剂在水肥保持与高效利用方面应用

2.1 水肥保持及其高效利用与农业生产的发展问题

水是农业生产的基础,中国农业年用水约4000亿m³,占总用水量的71%左右,其中约90%为农田灌溉^[11]。农灌水存在3大突出问题:一是水资源不足,制约农灌面积进一步扩大,干旱加剧,年受旱面积2000~2700万hm²。二是用水浪费严重,灌水利用率40%左右(发达国家80%~90%)。三是水资源遭受严重污染。

肥料是农业生产和生态环境治理的重要应用物质。同世界发展中国家一样,20世纪70年代以来,化肥应用已成为中国农业增产的主要方式。化肥用量持续增加,2013年中国生产纯氮、磷肥产量分别为4710、1656万t,农业用氮、磷肥纯度2400万t和829万t,已成为世界第一大化肥生产和消费国^[12]。化肥平均用量400 kg/hm²,为世界警戒上限225 kg/hm²的1.8倍以上,更是欧美平均用量4倍以上。中国农田当季氮肥的利用率仅25%~35%,比发达国家低10%~15%^[13]。

化肥利用率低造成严重资源浪费,还引起地表水富营养化面源污染和地下水污染。以氮肥为例,氮肥施入土壤经微生物作用变成硝酸盐,除作物吸收部分外,大部分以NO₃-N在土壤中累积造成土壤酸化或盐碱化而影响土壤质量,部分在土壤侵蚀中流失到河流湖泊造成水体富营养化,还有部分氮素反硝化形成NO₂-N淋渗造成地下水污染,或形成N₂O到挥发造成温室效应和引起臭氧层破坏,形成NO_x排放产生酸雨对环境产生系列危害,甚至威胁人畜健康^[14]。磷是植物大量的必需元素,目前中国耕地中74%缺磷,所使用的磷肥的当季利用率也仅10%~20%。磷肥利用率低造成直接经济损失,也随地表径流加速水体富营养化^[15]。据报道^[16],世界30%~50%土地、中国近50%地下水受到农业面源污染。吉林市1988~2004年地下水硝酸盐含量检出率达65.22%,是饮用水水质标准11.5倍^[17]。因此,氮磷肥为主的化肥低利用率不仅造成经济损

失,对环境造成危害,还并威胁人类健康。

2.2 高分子保水剂促进水肥保持及其高效利用的进展

土壤水肥保持增效技术包括物理、化学和生物,以及农业工程和地面覆盖、节水灌溉和配方施肥等农艺技术。其中,SAP研究和应用取得一定进展^[18-19],主要表现在对水分保持增效和肥料缓释增效方面。

1)在水分保持增效方面。主要包括土壤水分保持、土壤改良和植物生理节水效应3方面,这在SAP作用原理部分已基本介绍。补充说明的是,SAP对水分保持和土壤改良的研究不断增多。研究发现^[20],在土壤结构差、保水性能低的南方用红壤施用0.2%的SAP也显著改善土壤水分保持,同时促进1~0.5 mm土壤团粒结构形成,有效促进玉米生长。SAP能促进土壤水分入渗^[21]。SAP对沙土保水性提高效果明显,并促进玉米生长^[22]。但是,众多研究多停留在对特定SAP保水特性研究,对SAP对土壤改良效应过程中土壤微结构变化和外界因素影响,以及其保水、保肥及重金属固化等多重效应机理及其应用缺乏系统研究。

2)在肥料保持增效方面。随着中国面源污染问题加剧,本世纪以来SAP对肥料保持增效研究加快,中国农业部2015年2月发布《到2020年化肥使用量零增长行动方案》,减小化肥用量和提高化肥利用效率是2大关键措施。所以,肥料保持增效和新型肥料研发已成为研究重点^[23]。但目前SAP对氮肥品种效应有一些积累,对磷肥和复合肥效应研究较少。据报道^[24-25],SAP在大幅提高土壤持水量的同时,能提高肥料利用效率。试验证明^[26],电解质类肥料如NH₄Cl、Zn(NO₃)₂等会降低SAP的溶胀度。百喜草栽培中土壤添加SAP,作物生长和产量都得到提高,土壤营养元素淋溶损失也减少明显^[27]。SAP在氮肥溶液中吸水倍数降低,且随氮肥浓度增大而降低^[28]。据报道^[29],田间持水量75%和100%时土壤含水量,施0.05%~0.80% SAP可使尿素累积氮挥发量减少8.97%~47.65%和16.78%~72.40%。随SAP用量增加养分淋失量显著减少。研究表明^[30],尿素等非电解质肥料与SAP等材料混施,能很好地发挥材料的协同作用,实现土壤水分和氮肥最佳耦合,较常规施肥提高水分和氮素利用效率110%和39%以上,增产47.4%。模拟实验表明^[30],SAP有削减径流和抑制产沙的作用,淋溶液中总氮和总磷流失量较对照减少28.9%和26.6%。

目前对氮、磷肥等肥料的保持增效的单项研究有一些积累,但对水肥保持效应过程机理研究不足,缺乏SAP对氮、磷肥复合下的水肥保持效应机理及其过程,特别是土壤重金属污染下SAP对氮磷肥复合保持效应机理。

3 高分子保水剂在土壤重金属污染治理中的应用

3.1 土壤重金属污染及其危害

随着社会经快速发展,不合理农业施肥、污水灌溉、污泥应用使土壤重金属污染已严重威胁中国生态环境安全。重金属污染导致土壤退化、作物产量和品质降低,还通过食物链危害人体健康。2014年《全国土壤污染状况调查公报》表明,中国土壤重金属总超标率为16.1%,其中耕地达19.4%,Cd、Pb、Ni点位超标率分别为7.0%、1.5%、4.8%。在分布上,南方土壤污染重于北方,矿区周边和城郊

污灌区是重金属污染的重点地区。24 个省(市)工矿、城郊 320 污灌点中,重金属超标农产品占 80%以上,其中,重金属 Cd、Pb 复合污染为主。据报道^[31],中国的重金属污染每年减产粮食 1 000 万 t 以上,污染粮食 1 200 万 t,其经济损失达到 200 亿元以上。

3.2 高分子保水剂与重金属污染的治理

土壤重金属污染的修复技术,按照学科可分为工程技术、物理化学技术、化学技术和生物技术。文献计量分析表明,生物修复技术和化学固化修复技术及其配套是目前主要的研究和应用方面^[32]。其中,化学稳定化或钝化固化是重要发展方向,其原理是向土壤添加钝化剂材料,通过物理化学的吸附、沉淀、络合和氧化还原等效应改变重金属的价态,增加重金属残渣态和有机态的比例,降低重金属的生物有效性^[33]。目前,农田应用的重金属钝化固化材料主要有石灰、粘土矿物、磷酸盐,以及沸石等矿物吸附材料,以及有机肥及微生物等。

SAP 是近年发现对重金属有固化效应的新材料。报道证明^[34],交联合成的 SAP 可促进污水中微生物菌对 Cd 和 Zn 稳定化去除。据报道^[35],SAP 不仅促进土壤保水改土,还明显降低土壤中 Cu、Zn、Pb 水溶性态含量。研究发现^[36-37],聚丙烯酸盐类 SAP 可改变土壤理化性质,提高土壤 pH,降低土壤 Cu、Cd 和 Ni、Zn 等的生物有效性。盆栽试验证明^[38],土壤添加 0.2% SAP,可降低高粱对土壤 Cd 的生物有效性

并促进植物生长。在含有重金属 Cu、Pb、Al、As 等污染的废弃物堆场修复中添加 SAP 施用 75–170 kg/hm²,可明显促进土壤水分保持和营养吸收,降低植物吸收重金属^[39]。

研究表明^[40],SAP 在农田对植物有直接效应,还有就是通过改良土壤理化性能和调节土壤生物的间接作用,通过两方面降低重金属的生物有效性。盆栽试验证明^[41],环境材料(腐殖酸 HA、SAP、粉煤灰 FM 和沸石 FS)及复合材料 F1、F2、F3(分别 FM+SAP+HA+FS、FS+HA+SAP、FM+SAP+HA)对玉米、大豆生长及土壤重金属 Pb、Cd 吸收影响(表 2)。单个环境材料及复合较对照明显减少作物吸收重金属 Pb、Cd,并促进作物生长。SAP 及其复合材料 F3、F2 对土壤重金属 Pb、Cd 的固化效果明显。对比发现,SAP 复合材料可使玉米的 Pb 吸收量较对照降低 50%以上,Cd 降低 80%以上;SAP 复合材料使大豆吸收重金属 Pb 降低 69%以上,Cd 降低 33%以上。研究发现,SAP 及其复材料对土壤 Pb、Cd 的钝化固化效应与土壤 pH、EC、有机质、养分及土壤酶活性等变化紧密相关。

目前有关 SAP 对土壤重金属污染修复研究刚起步,有许多问题有待研究。如:SAP 对单个和多种重金属及其在土壤污染的效应范围?SAP 在土壤水分和氮磷肥不同组合条件下,对重金属单个和复合污染下的固化效应?SAP 对植株生长和土壤质量效应的机理?SAP 在土壤水肥和重金属污染治理中的生态风险评价。

表 2 环境材料对大豆、玉米植株干重和吸收土壤重金属 Pb、Cd 影响^[41]
Table 2 Dry matter and heavy metal Pb、Cd content in ground part of soybean and maize to using environmental materials in soil

处理方式 Treatment	大豆 Soybean			玉米 Maize		
	植株干质量 Dry Matter of plants/g	Pb 含量 Pb Content/(mg·kg ⁻¹)	Cd 含量 Cd Content/(mg·kg ⁻¹)	植株干质量 Dry Matter of plants/g	Pb 含量 Pb Content/(mg·kg ⁻¹)	Cd 含量 Cd Content/(mg·kg ⁻¹)
复合 F1(FM+SAP+HA+FS) Compound F1(FM+SAP+HA+FS)	0.449 b	3.16 a	11.51 a	0.507 a	3.58 a	17.11 a
复合 F2(FS+HA+SAP)C F2(FS+HA+SAP)	0.329 ab	4.09 a	14.62 ab	0.560 a	3.89 a	14.44 a
复合 F3(FM+SAP+HA)C F3(FM+SAP+HA)	0.294 a	4.15 a	9.87 a	0.446 a	5.77 a	12.83 a
腐殖酸(HA)Humic acid (HA)	0.383 b	6.14 b	14.56 ab	0.311 a	10.76 b	24.33 b
高分子保水剂(SAP) Super absorbent polymer(SAP)	0.261 a	4.10 a	9.16 a	1.128 c	3.47 a	11.27 a
粉煤灰(FM)Flyash(FM)	0.207 a	6.21 b	13.08 ab	0.880 b	4.05 a	20.47 ab
沸石(FS)Zolite (FS)	0.307 b	3.82 a	14.16 ab	0.274 a	11.14 b	29.86 b
对照(CK)Control (CK)	0.278 b	13.31c	21.70 c	0.406 a	11.75 b	70.70 c

4 结论与展望

高分子保水剂(SAP)是近年来化学节水的一项重要技术产品,也是备受各界关注的农业水土工程研究课题。经过多年的研究与应用实践,对 SAP 的作用机理基本形成较系统的理论体系,主要包括 SAP 自身吸水、保水和释水原理、促进土壤改良和水分保持效应原理、提高肥料、农药等农化产品利用效率原理、调节植物生理节水效应原理,以及钝化土壤重金属污染原理。在农业生产、植被建造、水土保持理等方面的土壤水分保持、化肥高效利用取得一定成效和进展,在土壤污染治理方面对重金属钝化的研究也开展一些探索。

根据近年来 SAP 研究的进展和实践,结合存在问题,高分子保水剂的发展需要加强但方面工作:一是新型环保的 SAP 产品研制,向多功能方向发展。随着科学技术进步,SAP 原料来源广泛,不仅是石油裂解的丙烯酸,利用壳聚糖、淀粉和生物质等为原料研发抗盐碱和可生物降解的保水剂,是环保型产品研发的重要方向。此外,结合其应用技术,研发其与吸附材料、营养材料等复混产品,如盐碱地、矿区废弃地的水肥快速改良剂,水土保持型、草地、林地和农地改良的复合保水肥等产品。二是加强 SAP 的应用基础研究,包括 SAP 对土壤和植物效应时效问题,SAP 对水肥保持和重金属污染治理的同步增效问题,以及 SAP 应用对土壤和农业生产的环境影响评价问题。建立

SAP 在不同领域的应用产品和技术标准;三是加快 SAP 的应用技术推广与示范,包括适合不同气候和地区的 SAP 施用方式、施用量和施用技术等。随着可持续发展理论和循环经济理论的不断深化和生态文明建设加快与深入发展,农业生产、植被建造、水土保持和污染治理中对 SAP 应用将呈现出广阔的应用前景和巨大的市场潜力。

[参 考 文 献]

- [1] Sojka R E, James A E, Jeffry J F. The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil[J]. *Applied Soil Ecology*, 2006, (32): 243–252.
- [2] Varennes D A and Torres M O. Soil remediation with insoluble polyacrylate polymers: an review[J]. *Revista de Cinei as Agrarias*, 2000, 23(2): 13–22.
- [3] 黄占斌. 农用保水剂应用原理与技术. 中国农业科学技术出版社[M]. 北京, 2005.
- [4] 黄占斌, 张玲春, 董莉, 等. 不同类型保水剂性能及其对玉米生长效应的比较[J]. *水土保持学报*, 2007, 21(1): 140–148.
Huang Zhanbin, Zhang Lingchun, Dong Li et al. Study on Properties of different kinds of water retentive agents and effects on growth of maize, *Journal of Water and Soil Conservation*, 2007, 21(1): 140–148 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王砚田, 华孟, 赵小雯, 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, 16(2): 181–186.
Wang Yantian, Hua Meng, Zhao Xiaowen, et al. Effects of some synthetic high water-retaining resins on soil physical properties [J]. *Acta of Pekinensis Agriculture Universities*, 1990, 16 (2): 181–186 (in Chinese with English abstract).
- [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.
Huang Zhanbin, Zhang Guozhen, Li Yangyang, et al. Characteristics of aquasorb and its application in crop production [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2002, 18(1): 22–26 (in Chinese with English abstract).
- [7] 黄震, 黄占斌, 李文颖, 等. 不同保水剂对土壤水分和氮素保持的比较研究[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(2): 245–249.
Huang Zhen, Huang Zhanbin, Li Wenying, et al. Effect of different super absorbent polymers on soil moisture and soil nitrogen holding capacity[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(2): 245–249 (in Chinese with English abstract).
- [8] 李嘉竹, 黄占斌, 陈威, 等. 环境功能材料对半干旱地区土壤水肥利用效率的协同效应[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(1): 232–236.
Li Jiazhu, Huang Zhanbin, Chen Wei, et al. Synergistic effects of environmental functional materials to water & fertilizer use efficiency in semi-arid region[J]. *Journal of Water and Soil Conservation*, 2012, 26 (1): 232–236.(in Chinese with English abstract)
- [9] 俞满源, 黄占斌, 方锋, 等. 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.
Yu Manyuan, Huang Zhanbin, Fang Feng, et al. Response of aquasorb, fertilizer and their interaction to growth and yield of potato[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(3): 15–19.(in Chinese with English abstract)
- [10] 李志军, 张富仓, 康绍忠. 控制性根系分区交替灌溉对冬小麦水分与养分利用的影响[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(8): 17–21.
Li Zhijun, Zhang Fucang, Kang Shaozhong. Impacts of the controlled roots-divided alternative irrigation on water and nutrient use of winter wheat[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2005, 21(8): 17–21. (in Chinese with English abstract)
- [11] 吴普特, 冯浩, 牛文全, 等. 中国用水结构发展态势与节水对策分析[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(1): 1–5.
Wu Pute, Feng Hao, Niu Wenquan, et al. Analysis of developmental tendency of water distribution and water-saving strategies[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2003, 19(1): 1–5. (in Chinese with English abstract)
- [12] 孟远奇, 杨帆, 姜义, 等. 我国化肥市场供需情况调查与分析[J]. *磷肥与复肥*, 2014, 29(3): 7–10.
Meng Yuanduo, Yang Fan, Jiang Yi, et al. Study on fertilizer supply and demand in China [J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2014, 29(3): 7–10 (in Chinese with English abstract).
- [13] 孙爱文, 石元亮, 张德生, 等. 硝化/脲酶抑制剂在农业中的应用[J]. *土壤通报*, 2004, 5(3): 357–361.
Sun Aiwen, Shi Yuanliang, Zhang Desheng, et al. Application of nitrification-urease inhibitors in agriculture [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(3): 357–361 (in Chinese with English abstract).
- [14] 蔡燕华. 氮肥施用中的污染问题及防治对策[J]. *安徽农学通报*, 2007, 13(18): 48–50.
Cai Yanhua. Pollution problems of nitrogen fertilizer application on environment and its countermeasures [J]. *Anhui Agri. Sci. Bull.* 2007, 13(18): 48–50. (in Chinese with English abstract)
- [15] 程明芳, 何萍, 金继运. 我国主要作物磷肥利用率的研究进展[J]. *作物杂志*, 2010(1): 12–14.
Cheng Mingfang, He Ping, Jin Jiyun. Advance of phosphate recovery rate in Chinese main crops [J]. *Crops*, 2010(1): 12–14. (in Chinese without English abstract)
- [16] 章立建, 朱立志. 我国农业立体污染防治对策研究[J]. *农业经济问题*, 2005, (2): 4–7.
Zhang Jianli, Zhu Li Zhi. China's agricultural stereoscopic pollution control countermeasures [J]. *Agricultural-economic problems*, 2005(2): 4–7. (in Chinese without English abstract)
- [17] 梁秀娟, 肖长来, 盛洪勋, 等. 吉林市地下水中/三氮迁移转化规律[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2007, 37(2): 335–345.
Liang Xiujuan, Xiao Changlai, Sheng Hongxun, et al. Migration and transformation of ammonia-nitritenitrates in groundwater in the city of Jilin [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2007, 37(2): 335–345.(in Chinese with English abstract)
- [18] 黄占斌, 孙在金. 环境材料在农业生产及其环境治理中的应用[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(1): 88–95.
Huang Zhanbin, Sun Zaijin. Application of environmental materials in agricultural production and environmental treatment [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*. 2013, 21(1): 88–95 (in

- Chinese with English abstract).
- [19] 杨培岭, 廖人宽, 任树梅, 等. 化学调控技术在旱地水肥利用中的应用进展[J]. 农业机械学报, 2013, 44(6): 100–109.
Yang Peiling, Liao Renkuan, Ren Shumei, et al. Application of chemical regulating technology for utilization of water and fertilizer in dry-land agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(6): 100–109 (in Chinese with English abstract).
- [20] 高超, 李晓霞, 蔡崇法, 等. 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(8): 355–358.
Gao Chao, Li Xiaoxia, Cai Chongfa, et al. Application of potassium-polyacrylate water-retaining agents in red soil [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2005, 24 (8): 355–358. (in Chinese with English abstract)
- [21] 白文波, 李茂松, 赵虹瑞, 等. 保水剂对土壤积水入渗特征的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(24): 5055–5062.
Bai Wenbo, Li Maosong, Zhao Hongrui, et al. Effect of super absorbent polymer on the ponding infiltration characteristics of soil water[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(24): 5055–5062. (in Chinese with English abstract)
- [22] 李杨, 王百田. 高吸水性树脂对沙质土壤物理性质和玉米生长的影响[J]. 农业机械学报, 2012, 43(1): 76–82.
Li Yang, Wang Baitian. Influence of superabsorbent polymers on sandy soil physical properties and corn growth [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(1): 76–82 (in Chinese with English abstract).
- [23] 何绪生, 廖宗文, 黄培钊, 等. 保水缓/控释肥料的研究进展[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 184–190.
He Xusheng, Liao Zongwen, Huang Peizhao, et al. Research advances in slow/controlled-release water-storing fertilizers [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(5): 184–190 (in Chinese with English abstract).
- [24] Bowman D C, Evans R Y, Paul J L. Fertilizer salts reduce hydration of polyacrylamide gels and affect physical properties of gel-amended container media[J]. J. Amer. Soc. Hort. Sci, 1990, (115): 382–386.
- [25] Liu M, Liang R, Zhan F, et al. Preparation of superabsorbent slow release nitrogen fertilizer by inverse suspension polymerization [J]. Polym. Int., 2007, (56): 729–737.
- [26] 丁和平, 王帅, 王楠, 等. 氮肥增效技术研究现状及发展趋势[J]. 现代农业科学, 2009, 16(2): 24–26.
Din Heping, Wang Shuai, Wang Nan, et al. Nitrogen fertilizer efficiency technology research and development trends [J]. Modern Agricultural Sciences, 2009, 16(2): 24–26 (in Chinese with English abstract).
- [27] 陈晓佳, 吕晓男, 麻万诸. 保水剂对肥料淋失和百喜草生长的影响[J]. 浙江农业科学, 2004, (3): 130–131.
Chen Xiaojia, Lv Xiaonan, Ma Wanzhu. Effects of water retention agent the fertilizer leaching and bahia grass growth[J]. Journal of Agricultural Science, 2004, (3): 130–131. (in Chinese without English abstract)
- [28] 宫辛玲, 刘作新, 尹光华, 等. 土壤保水剂与氮肥的互作效应研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 50–54.
Gong Xinling, Liu Zuoxin, Yin Guanghua, et al. Interactive effects of super absorbent polymer and nitrogenous fertilizer[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24 (1): 50–54. (in Chinese with English abstract)
- [29] 杜建军, 苟春林, 崔英德, 等. 保水剂对氮肥挥发和氮磷钾养分淋溶损失的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1296–1301.
Du Jianjun, Gou Chunlin, Cui Yingde, et al. Effects of water retaining agent on ammonia volatilization and nutrient leaching loss from N, P and K fertilizers[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26 (4): 1296–1301. (in Chinese with English abstract)
- [30] 安娟, 刘占仁, 王立志, 等. 沂蒙山区保水剂对径流态氮磷输出的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(5): 95–98.
An Juan, Liu Zhanren, Wang Lizhi, et al. The role of water retaining agent on nitrogen and phosphorus losses in runoff in Yimeng mountainous area [J]. Journal of Water and Soil Conservation, 2013, 27(5): 95–98. (in Chinese with the English abstract)
- [31] 郝玉芬, 杨璐, 胡振琪. 矿-粮复合区土地利用规划环境影响评价[J]. 中国矿业, 2007, 16(9): 42–44.
Hao Yufen, Yang Lu, Hu Zhenqi. Environment impact assessment of land use planning for overlapped areas of crop and mineral production[J]. China Mining Magazine, 2007, 16(9): 42–44. (in Chinese with the English abstract)
- [32] 杨苏才, 南忠仁, 曾静静. 土壤重金属污染现状与治理途径研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(3): 549–552.
Yang Sucai, Nan Zhongren, Zeng Jingjing. Current situation of soil contaminated by heavy metals and research advances on the remediation techniques[J]. Journal of Anhui Agri. Sci. 2006, 34 (3): 549–552. (in Chinese with the English abstract)
- [33] 周泽庆, 招启柏, 朱卫星, 等. 重金属污染土壤改良剂原位修复研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(11): 5100–5102.
Zhou Zeqing, Zhao Qibo, Zhu Weixing, et al. Advances in research on remediation in situ of modifiers for tobacco-planted soil polluted by heavy metals[J]. Journal of Anhui Agri. Sci. 2009, 37(11): 5100–5102, 5124 (in Chinese with the English abstract).
- [34] Carlos P, Ana P G C, Marquesa A G, et al. Removal of heavy metals using different polymer matrixes as support for bacterial immobilization[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011 (191): 277–286.
- [35] 曲贵伟. 聚丙烯酸盐对重金属污染修复作用的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2010.
Qu Guiwei. Remediation of Dcontaminated With Heavy Metals Using Polyacrylate Polymers[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2010. (in Chinese with the English abstract).
- [36] Varennes D A and Queda C. Application of an insoluble polyacrylate polymer to copper-contaminated soil enhances plant growth and soil quality[J]. Soil Use and Management. 2005, (21): 410–414.
- [37] Varennes D A, Michael J G, Miguel M. Remediation of a sandy soil contaminated with cadmium, nickel and zinc using an insoluble polyacrylate polymer[J]. Communication in soil science and plant analysis, 2006, (37): 1639–1649.

- [38] Guiwei Q, Varennes D A, Martins L L, et al. Improvement in soil and sorghum health following the application of polyacrylate polymers to a Cd-contaminated soil [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, (173): 570–575.
- [39] Santos E S, Abreu M M, Macías F, et al. Improvement of chemical and biological properties of gossan mine wastes following application of amendments and growth of *Cistus ladanifer* L[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, (147): 173–181.
- [40] 彭丽成, 黄占斌, 石宇, 等. 环境材料对 Pb、Cd 污染土壤玉米生长及土壤改良效果的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(6): 1386–1392.
- Peng LiCheng, Huang Zhanbin, Shi Yu, et al. Effects of environmental materials on maize growth and soil remediation of Pb and Cd contaminated soils[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(6): 1386–1392. (in Chinese with the English abstract)
- [41] 黄震, 黄占斌, 孙朋成, 等. 环境材料对作物吸收重金属 Pb、Cd 及土壤特性研究[J]. *环境科学学报*, 2012, 32(10): 2490–2499.
- Huang Zhen, Huang Zhanbin, Sun Pengcheng, et al. A study of environmental materials on lead and cadmium absorption by crops and soil characteristics[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, 32(10): 2490–2499. (in Chinese with the English abstract)

Application of super absorbent polymer in water and fertilizer conversation of soil and pollution management

Huang Zhanbin, Sun Pengcheng, Zhong Jian, Chen Yufei

(School of Chemical and Environmental Engineering, China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China)

Abstract: Super Absorbent Polymer (SAP) is one kind of polymer with function of strong water absorbent and conservation. It has been paid attention to application in agricultural production, soil & water conservation and the pollution management in recent years. SAP is synthesized by natural hydrophilic monomer with crosslinking agent and initiator; there are three kinds of reaction type, such as graft copolymerization, carboxymethyl reaction and crosslinking reaction. Based on the raw material and synthetic techniques, the type of SAP can be divided into organic monomer polymer (such as Sodium Polyacrylate), starch polymer (such as starch graft acrylic acid sodium), organic-inorganic compound polymer (such as Bump/sodium polyacrylate) and organic monomer and functional component polymer (such as humic acid polymer). In order to summarize the new achievement of SAP research and analysis the development direction, based on authors' research accumulation and the literature's review, the paper reviews SAP development history, and summarizes the acting principle system of SAP, including five aspects. First is the principle of water absorbing, retaining and releasing of SAP itself. SAP can absorb deionized water 400~600 times or tap water 100 times of its own weight by method of water absorption and the swelling, and more than 85% water can be used by plants. Second is the principle of SAP improving soil and water conservation. SAP can improve the soil aggregate structure, increase the soil porosity and water infiltration, and reduce the evaporation of soil surface. Third is the principle of effect on SAP raising the use ratio of fertilizer, pesticide and other chemical materials. On fertilizer conservation and the use efficiency, SAP has the function on controlling nitrogen release and increasing the phosphorus release in soil. The key rule of SAP is major on reducing the rate of nitrogen release owing to nitrogen ions exchanged with functional groups of SAP and soil, the effect is stronger with increasing of SAP amount in soil. Meanwhile, SAP can increase the release rate of phosphorus fertilizer owing to the activating of soil phosphates. Fourth is the principle of effect on SAP raising water use efficiency by adjusting the plant physiological function to raise water use efficiency. This is related with SAP use way, in normal SAP is used in pot or furrow, this way can supply water directly for part root of plants, and other part root is in drought that can make plant root produce hormone ABA, and which can be moved to leaf to adjust stomata optimally for water use efficiency. Fifth is the principle of SAP effect on soil heavy metal immobilization. Heavy metal pollution in soil is a very serious problem in farmland environmental protection in China, especially Cd and Pb compound pollution. The experimental certificated that SAP and the compound materials can decrease over 50% heavy metal Pb and 80% Cd absorbent by maize in soil, and also immobilized over 69% Pb and 33% Cd absorbent by soybean in soil. On the other hands, the paper also analyzes the research development in agricultural production, vegetation construction, soil & water conservation and the pollution management, especially on water and fertilizer conservation and the high efficiency use, heavy metal pollution management of soil, etc. According to the existing problems and practice production requirement, the development direction of SAP is to enhance the develop new type of SAP, strengthen the application basic research and the extensive technology transfer in future.

Keywords: soils; pollution; agriculture; super absorbent polymer(SAP); soil improving; soil & water conservation; water and fertilizer use efficiency; heavy metal pollution