

土壤环境化学调控 技术研究与应用

于 健 史吉刚 宋日权 闫永利 著



科学出版社

(S-1289.01)

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-049185-5



9 787030 491855 >

销售分类建议：土壤化学

定价：88.00元

土壤环境化学调控技术研究与应用

于 健 史吉刚 宋日权 闫永利 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统阐述了作者多年来在土壤环境化学调控技术研究与应用方面的研究成果。全书包括8章。第1章,绪论,主要介绍了土壤环境和土壤化学调控技术的概念,阐述了土壤环境化学调控的意义,主要的化学调控产品的应用研究进展,以及存在的问题;第2章,总体研究方案与设计;第3章,PAM机理试验研究;第4章,SAP机理试验研究;第5章,PAM田间试验研究;第6章,SAP田间试验研究;第7章,土壤环境化学调控产品研发;第8章,集成技术模式与应用。

本书可供土壤侵蚀、水土保持、流域地貌、生态环境、水文、自然地理、国土整治、土壤物理和水利等部门的研究人员及高等院校相关专业师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

土壤环境化学调控技术研究与应用 / 于健等著. —北京:科学出版社, 2016.6

ISBN 978-7-03-049185-5

I. ①土… II. ①于… III. ①土壤环境-土壤化学-化学调控 IV. ①S153
中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第143973号

责任编辑:霍志国 / 责任校对:何艳萍
责任印制:肖 兴 / 封面设计:东方人华

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>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年6月第1版 开本:720×1000 1/16

2016年6月第一次印刷 印张:13 3/4 插页:1

字数:280 000

定价:88.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

土壤环境化学调控技术是一种适宜北方旱作农业地区改善土壤结构、减少土壤侵蚀、节水、增产、调质型农业的综合技术。在科研部门和生产企业的共同努力下,目前土壤环境化学调控产品的生产工艺基本成熟,应用试验研究不断深入,在粮食作物、经济作物、花卉蔬菜、果树苗木等多种作物上得到了应用。我国土壤环境化学调控技术的研究起步较晚,总体而言,目前还处于摸索阶段,应用型试验较多,系统机理性研究缺乏;短期探索试验较多,长期应用型试验研究缺乏;单一技术研究较多,系统集成技术和综合配套成型技术研究甚少。

作者及其团队通过多年研究,在系统总结和分析国内外土壤环境化学调控技术机理研究及应用现状的基础上,开展了土壤环境化学调控技术的机理试验、田间试验、土壤环境化学调控产品研发、集成技术模式与应用、示范与推广等工作,取得了丰富的研究成果,可为我国半干旱地区农业的可持续发展提供技术支撑。

各章编写人员分工如下:第1章,于健(内蒙古自治区水利科学研究院)、晏清洪(中国水利水电科学研究院);第2章,于健、宋日权(内蒙古自治区水利科学研究院)、史吉刚(内蒙古自治区水利科学研究院);第3章,于健、闫永利(内蒙古农业大学职业技术学院)、宋日权;第4章,闫永利、史吉刚、宋日权;第5章,史吉刚、宋日权;第6章,宋日权、闫永利;第7章,翟乃华(青岛农业大学)、于健、史吉刚;第8章,宋日权、史吉刚、任志宏(内蒙古自治区水利科学研究院)、张瑞喜(内蒙古自治区水利科学研究院)、马鑫(内蒙古自治区水利科学研究院);吴迪、党鹏飞、韩冬、于海龙等在本书的编写中也做了一定工作。

本书是本研究团队十余年共同研究的结果,获得了国家“863”计划生物和现代农业技术领域专项课题“新型多功能保水剂系列产品研制与产业化开发”(2002AA4Z3171);国家科技成果重点推广计划项目“土壤结构改良剂(PAM)高效用水、固土综合技术的推广应用”(2004EC00090);国际科技合作重点项目计划“土壤结构调理剂综合技术研究及在内蒙古可持续旱作农业中的应用”(2004DFA03700);国家自然科学基金项目“干施PAM方法下湿润速度对其调控土壤入渗与侵蚀的影响”(50769006);内蒙古自然科学基金项目“不同土壤条件下应用高分子聚合物对降雨入渗及侵蚀的影响”(2000305);内蒙古自治区优

秀学科带头人计划项目“新型多功能保水剂系列产品研制与产业化开发”(20041001);内蒙古重点推广项目“土壤保水剂高效用水、固土综合技术示范”(20070801);内蒙古应用技术与开发资金项目“内蒙古旱作农业区节水综合技术研究”(20101810)等项目资助,在此表示诚挚的谢意。衷心感谢对此项研究工作给予支持的所有专家学者、领导和相关单位。

限于著者水平,书中难免存在疏漏,恳请读者批评指正,也敬请各位专家、学者多提宝贵意见。

作 者

2016年5月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 土壤环境与化学调控	1
1.2 土壤环境化学调控的意义	2
1.3 国内外研究进展	2
1.3.1 PAM 的研究与应用进展	3
1.3.2 SAP 的研究与应用进展	10
1.4 土壤环境化学调控技术发展存在的问题	18
第 2 章 总体研究方案与设计	20
2.1 研究方案	20
2.1.1 PAM 和 SAP 的机理与功效研究	20
2.1.2 SAP 与 PAM 应用技术研究	21
2.1.3 产品研发	21
2.1.4 PAM 与 SAP 综合技术模式	21
2.1.5 PAM 以及 SAP 技术田间示范	22
2.2 试验材料	22
2.2.1 PAM	22
2.2.2 SAP	22
2.2.3 土壤	23
2.3 测试内容	24
2.3.1 土壤特性指标	24
2.3.2 PAM 和 SAP 的特性指标	24
2.3.3 作物生长性状指标	24
2.4 研究示范区概况	24
2.5 技术路线	26
第 3 章 PAM 机理试验研究	28
3.1 干粉 PAM 与矿石膏混合施用对土壤入渗及侵蚀的影响	28
3.1.1 材料与方法	28
3.1.2 结果与分析	29

3.2	PAM 分子量与水解度对土壤入渗及侵蚀的影响	35
3.2.1	材料与方法	35
3.2.2	结果与分析	36
3.3	不同形态 PAM 及施用方法对土壤入渗和侵蚀的影响	40
3.3.1	材料与方法	40
3.3.2	结果与分析	43
3.4	施用 PAM 调节土壤抗风蚀能力研究	50
3.4.1	材料与方法	50
3.4.2	结果与分析	52
3.5	不同化控材料与表土混合对入渗率和侵蚀量的影响	55
3.5.1	材料与方法	55
3.5.2	结果与分析	56
3.6	预湿速度与 PAM 特性对土壤入渗与侵蚀的影响	59
3.6.1	材料与方法	59
3.6.2	结果与分析	61
3.7	不同湿润速度下 PAM 水解过程对砂壤土入渗、导气能力和 团聚体的影响	68
3.7.1	材料与方法	69
3.7.2	结果与分析	73
3.8	小结	78
第4章	SAP 机理试验研究	80
4.1	土壤特性与 SAP 特性对 SAP 吸水性能的影响	80
4.1.1	材料与方法	80
4.1.2	结果与分析	83
4.2	土壤特性对 SAP 释水性能的影响	91
4.2.1	材料与方法	91
4.2.2	结果与分析	92
4.3	不同浓度对土壤保水与释水性能的影响	97
4.3.1	材料与方法	97
4.3.2	结果与分析	99
4.4	SAP 施用浓度对 SAP 吸水性能的影响	111
4.4.1	材料与方法	111
4.4.2	结果与分析	112
4.5	不同水质对 SAP 吸水性能的影响	115

4.5.1 材料与方法	115
4.5.2 结果与分析	116
4.6 SAP 长效性对土壤持水性能的影响	117
4.6.1 材料与方法	117
4.6.2 结果与分析	118
4.7 小结	119
第5章 PAM 田间试验研究	121
5.1 试验内容	121
5.2 试验区概况	121
5.3 材料与方法	122
5.3.1 试验材料	122
5.3.2 试验方法	123
5.3.3 测试内容	126
5.4 结果与分析	128
5.4.1 PAM 不同处理对土壤含水量的影响	128
5.4.2 施用 PAM 对田间持水量的影响	129
5.4.3 不同 PAM 施用方式与施用量对胡萝卜出苗与产量的 影响	129
5.4.4 PAM 在其他作物上的应用效果	133
5.4.5 PAM 对地表径流与土壤侵蚀的影响	138
5.4 小结	139
第6章 SAP 田间试验研究	140
6.1 试验内容	140
6.2 试验区概况	140
6.3 材料与方法	143
6.3.1 试验材料	143
6.3.2 试验方法	143
6.3.3 测试内容	144
6.4 结果与分析	146
6.4.1 施用 SAP 对作物产量的影响	146
6.4.2 SAP 对作物生长及品质的影响	153
6.4.3 施用 SAP 对胡萝卜土壤特性的影响	160
6.4.4 SAP 对燕麦土壤水分含量的影响	166
6.4 小结	166

第7章 土壤环境化学调控产品研发	168
7.1 PAM 产品研发	168
7.1.1 PAM 产品的小试研究	168
7.1.2 PAM 产品的工艺开发	169
7.1.3 自主生产工艺	170
7.2 SAP 产品研发	172
7.2.1 高吸水树脂的发展	173
7.2.2 SAP 产品的生产工艺研发	177
7.2.3 SAP 产品的表征	178
7.2.4 SAP 为基体的新应用研究	183
7.3 小结	186
第8章 集成技术模式与应用	187
8.1 PAM 与 SAP 技术模式	187
8.1.1 PAM 应用综合技术	187
8.1.2 SAP 技术	188
8.1.3 PAM、SAP 与其他材料复配技术	191
8.2 技术模式	191
8.3 PAM 和 SAP 技术模式应用案例	195
8.3.1 察右中旗胡萝卜	195
8.3.2 商都县马铃薯	195
8.3.3 固阳县旱作马铃薯	196
8.3.4 内蒙古黄灌区	197
8.3.5 和林格尔县绿豆	199
8.3.6 准格尔旗糜子、谷子	200
8.4 小结	202
参考文献	203
彩图	

第1章 绪 论

1.1 土壤环境与化学调控

土壤环境是指岩石经过物理、化学、生物的侵蚀和风化作用,以及地貌、气候等诸多因素长期作用下形成的土壤的生态环境。土壤形成的环境取决于母岩的自然环境,由于风化的岩石受到元素和化合物的淋滤作用,并在生物的作用下产生积累,或溶解于土壤水中,形成多种植被营养元素的土壤环境。它是地球陆地表面具有肥力,能生长植物和微生物的疏松表层环境。土壤环境由矿物质、动植物残体腐烂分解产生的有机物质以及水分、空气等固、液、气三相组成。固相(包括原生矿物、次生矿物、有机质和微生物)占土壤总重量的90%~95%;液相(包括水及其可溶物)称为土壤溶液。各地的自然因素和人为因素不同,形成了各种不同类型的土壤环境。

土壤改良是针对土壤的不良质地和结构,采取相应的物理、生物或化学措施,改善土壤性状,提高土壤肥力,增加作物产量,以及改善人类生存的土壤环境的过程。

土壤化学改良是指用化学改良剂改变土壤酸性或碱性的措施。常用的化学改良剂有石灰、石膏、磷石膏、氯化钙、硫酸亚铁、腐殖酸钙等,视土壤的性质而择用。例如,对碱化土壤需施用石膏、磷石膏等以钙离子交换出土壤胶体表面的钠离子,降低土壤的pH;对酸性土壤,则需施用石灰性物质。化学改良必须结合水利、农业等措施,才能取得更好的效果。

土壤物理改良是指通过采取相应的农业、水利、生物等措施,改善土壤性状,提高土壤肥力的过程。具体措施有:适时耕作,增施有机肥,改良贫瘠土壤;客土、漫沙、漫淤等,改良过砂过黏土壤;平整土地;设立灌、排渠系,排水洗盐、种稻洗盐等,改良盐碱土;植树种草,营造防护林,设立沙障,固定流沙,改良风沙土等。

本书将应用环境友好型高分子化合物材料(土壤改良剂或土壤调理剂),调节土壤的物理和化学特性,改善作物耕层的土壤环境,减少水土流失,促进作物生长的化学技术,定义为土壤环境化学调控技术。土壤环境化学调控属于土壤改良的范畴。

1.2 土壤环境化学调控的意义

水土资源和生态环境是人类繁衍生息的根基，是社会发展进步过程中不可替代的物质基础和条件。实现水土资源的可持续利用和生态环境的可持续维护，是经济社会可持续发展的客观要求。

近几十年来，随着人口的大量增长和经济的迅速发展，特别是工业化、城镇化进程加速，我国耕地减少、水资源匮乏等资源约束日益趋紧。与此同时，大水漫灌、过量施肥现象还比较普遍，影响土壤结构，导致水肥利用率不高，土地生产力下降，农业生产效率低下。

我国是世界上干旱半干旱地区面积较大的国家，旱地面积占全国总面积的 52.5%，主要分布在我国北方的东北、华北和西北的 15 个省区。农业生产条件不稳定的半干旱地区（年平均降水量在 250 ~ 500mm）占我国国土面积的 21.7%（山仑等，2002），分布在我国广大西北地区。水资源匮乏、土壤贫瘠、水土流失是限制北方半干旱地区农业发展的主要因素。

我国半干旱地区降雨量较少而且比较集中，蒸发量大，加之土壤有机质含量低，降雨过程中土壤表面会产生封闭作用，进而形成土壤结皮（Duley, 1939; Helalia et al., 1988; 唐泽军等，2002），严重影响降水入渗，易引起地表径流与土壤侵蚀。地表径流和土壤侵蚀是导致水土流失与农业生产效率低下的一个主要原因（于健等，2003）。

半干旱地区土地面积广阔，难以通过大量施用有机肥，在短期内提高土壤有机质含量，改善土壤结构。有研究表明：在较多降雨与较高温度条件下，每年每公顷施用农家肥料 45 吨，9 年后土壤有机质含量才可从 0.9% 增加到 1.3%（史吉刚，2008）。

因此，针对目前我国半干旱地区农业应用中存在的土壤环境问题，开展土壤环境化学调控技术机理研究和应用，在不同区域和作物上进行推广示范，对于促进发展节水高效农业，缓解半干旱地区缺水矛盾，保障粮食以及生态安全，增加农民收入，支撑半干旱地区经济社会可持续发展具有重要意义。

1.3 国内外研究进展

土壤环境化学调控技术的研究始于 19 世纪末，经过长期的探索，土壤环境化学调控技术的研究有了很大的进展，其对土壤环境的调控效果有了非常明显的提高，但由于用量大、成本高而无法大面积推广。利用土壤改良剂与保水剂调控

土壤环境是近些年发展的具有代表性的两种化学调控技术,可有效地改善土壤结构、增加入渗、提高蓄水保墒能力,被广泛应用于防止土壤侵蚀、降低土壤水分蒸发或过度蒸腾、节约灌溉用水、促进植物健康生长等方面,具有操作简便、投入少、见效快等优点。其中聚丙烯酰胺 (polyacrylamide, PAM) 和保水剂 (super absorbent polymer, SAP) 是目前国内外主要研究与应用的土壤环境化学调控产品,取得了丰富的研究成果。

1.3.1 PAM 的研究与应用进展

PAM 是丙烯酰胺 (acrylamide, AM) 及其衍生物的均聚物和共聚物的统称,属高分子化合物。源于分子结构上的特性,PAM 具有特殊的物理化学性质,其分子量有很宽的调节范围,由于结构单元中含有酰胺基,易形成氢键,使其具有良好的水溶性。这使得许多化学反应得以进行,如水解、降解、羟甲基化、磺甲基化、氨甲基化、交联等。PAM 易于通过接枝或交联得到网状结构的多种改性物,它作为重要的絮凝剂、增稠剂、减阻剂、泥浆处理剂、表面活性剂、土壤改良剂、水土保持剂、种子包衣剂、纸力增强剂等广泛用于石油开采、水处理、纺织、造纸、医药、农业等行业。

PAM 作为土壤改良剂,开始应用于 20 世纪 50 年代。有土壤科学家发现土壤中本身存在 PAM,并且这种物质有助于土壤团聚体的稳定。出于对土壤结构调理的迫切需要,在当时兴起应用人工合成高分子化合物的热潮。但由于产品价格较高,大田的用量又较多,使用方法和施用量不合理等,PAM 在土壤环境方面没有得到推广。20 世纪 80 年代,土壤学家对土壤结构研究发现土壤结皮主要形成于土壤表面 1~2 mm 范围内,这一发现为 PAM 的再次应用奠定了重要的理论基础:①只需对土壤表面进行处理,而不需要像过去对整个耕层土壤进行混合;②大幅度降低了 PAM 用量。另外,石油化工业的快速发展使人工合成高分子化合物 (polymers) 造价大幅度降低,从而使 PAM 作为土壤改良剂的应用出现了第二次高潮。

20 世纪 80 年代中期,PAM 作为土壤改良剂由比利时引入我国。“七五”期间由中国农业科学院土壤肥料研究所组织,先后在北京、山东、河北、山西、陕西、宁夏、新疆等地进行了试验研究。但由于当时的施用技术体系不完善、成本高,PAM 未能在我国大面积推广。“九五”期间,新型 PAM 引入我国,由于产品成本的降低、使用方法的改进、调控土壤环境的效果显著,PAM 得到了国内研究者广泛的关注。

目前,关于 PAM 调控土壤环境的研究主要有以下几个方面。

1. PAM 对土壤物理性质的影响

国内外大量研究表明, PAM 施用得当, 可有效改善土壤结构, 使土壤大团聚体数目增加, 增大土壤表面粗糙度, 降低土壤容重, 使土壤总孔隙率和毛管孔隙度上升, 进而使土壤颗粒和孔隙结构保持稳定, 明显提高土壤入渗率, 增加土壤含水量 (Terry and Nelson, 1986; 龙明杰和曾繁森, 2000; 张淑芬, 2001; Busscher et al., 2009)。可以说, PAM 是调控土壤物理性状的有效手段之一。

土壤结构不仅影响植物生长所需土壤水分和养分的储量与供应能力, 而且决定土壤中的气体交流、热量平衡以及微生物活动和根系发展等。经 PAM 处理的土壤的物理性状明显不同于未经 PAM 处理的土壤, 主要表现在以下几个方面。

1) PAM 对土壤容重的影响

土壤容重是指在自然结构状态下, 单位体积土壤的重量, 是反映土壤紧实状况的物理参数。土壤容重值本身可以作为土壤的肥力指标之一。一般来讲, 土壤容重小, 表明土壤比较疏松, 孔隙多; 反之, 土壤容重大, 表明土地紧实, 结构性差, 孔隙少。适宜的容重使土壤具有合适的气液固三相比, 利于提高土壤的物理性能。

PAM 在降低土壤容重方面有明显的作用 (员学锋等, 2005a)。龙明杰等 (2002) 研究显示, PAM 能提高赤红壤中大于 0.25mm 的水稳性团聚体含量, 降低土壤容重。当 PAM 施用量从 0.01% 增至 0.20% 时, 赤红壤的容重比未加入 PAM 时减少 0.25 ~ 0.26 g/cm³。员学锋等 (2002) 研究显示, 施用 PAM 后陕西省杨陵地区的重壤土容重平均下降了 0.068g/m³。毛文娟等 (2010) 研究表明, 宁夏地区盐碱土土壤容重在施用 PAM 后, 与对照相比减小了 7.34%, 土壤孔隙度也随之增加了 11.02%。张婉璐等 (2012) 研究显示, 混施 PAM 后有效降低了河套灌区非盐渍土、轻度及中度盐渍土三种土的容重, 增大了孔隙度及毛管孔隙度。但同时, 员学锋 (2003) 和张婉璐等 (2012) 的研究也显示, 随 PAM 施用量的增大, 土壤容重呈先下降后上升的趋势。这可能是因为施加 PAM 在一定范围内可以增加土壤团聚体的含量, 使土壤内部孔隙增多, 从而使土壤孔隙度增大, 容重减小。但当 PAM 浓度持续增加时, 团聚体的数量及土壤内部孔隙均随之增多, 此时一部分团聚体又填补到土壤内部新形成的孔隙中, 从而减小了土壤的孔隙度, 使容重又增大。因此, 并不是 PAM 的施用量越大就越好, PAM 的施用量适度才能充分发挥其改良土壤的作用, 否则不能达到预期的效果反而造成浪费。

2) PAM 对土壤团聚体的影响

土壤团聚体, 是指土壤中大小、形状不一、具有不同孔隙度和机械稳定性、

水稳定性的结构单位,通常将粒径大于 0.25mm 的结构单位称为大团聚体。大团聚体分为水稳性和非水稳性两种,土壤水稳性团聚体含量是评价土壤结构的主要指标之一。

Cook 和 Nelson (1986) 在板结土壤上施用 22 kg/hm²、45 kg/hm²、67 kg/hm² 和 90 kg/hm² 四种浓度 PAM,各处理下的土壤水稳性团聚体含量分别由对照的 20.7% 增加到 59.5%、90.4%、79.3% 和 90.7%。Nadler 等 (1996) 测定了黏壤土施用 PAM 后,土壤水稳性团聚体含量较对照土壤提高了 3~4 倍。夏海江和肇普兴 (1997) 发现砂壤土和中壤土经 PAM 处理后,水稳性团粒含量增加了 30%~50%。龙杰明等 (2002) 施用浓度为 0.025%~0.050% 的 PAM 后,赤红壤的水稳性团粒含量比对照增加了 29.74%~39.78%。员学锋等 (2002) 发现,当 PAM 用量为 0.25~1.25 g/cm² 时,团聚体总量 (>0.25mm) 平均增加 30.2%。张婉璐等 (2012) 研究发现,经 PAM 处理后,河套灌区非盐渍土、轻度及中度盐渍土 3 种土壤的团聚体含量均高于对照,并且随 PAM 浓度的加大其含量也呈上升趋势。

PAM 增加了团聚体水稳性,改良了土壤的团聚性,有利于形成良好的土壤结构。这些大团聚体在土壤中主要起到保水作用,对改善土壤通透性,减少土面蒸发,防止土面板结、龟裂,减少土面蒸发等均有较好的作用 (Shainberg et al., 1990; Lentz et al., 1992; Green et al., 2004)。

3) PAM 对土壤入渗性能的影响

土壤入渗特性是评价土壤水源涵养作用和抗侵蚀能力的重要指标。在许多土壤中,结皮是低入渗率、径流量增加及用水效益低的主要原因。结皮是一层厚 2~3mm 的薄层,它比下部土壤具有更大的密度、更高的抗剪切力、更细的孔隙及更低的导水性。抑制土壤结皮的形成是增加降雨入渗的有效方法之一,控制土壤结皮形成的一种方法是维护土壤表面的结构和增加团聚体的稳定性。许多学者研究表明,经 PAM 处理后土壤的入渗率要大得多,PAM 明显地吸附着土壤表面的颗粒,起着类似于黏结物的作用,黏结土壤的单颗粒形成大的团聚体抵抗雨滴的破坏作用,使土壤表面的结构和高入渗率得以维持,阻碍土壤结皮的形成,减少土壤侵蚀。由于 PAM 能增加土壤中的凝絮作用,其不仅能稳定土壤中原有的团聚体,而且能形成新的团聚体,这保持了土壤表面空隙连通的结构和高入渗率。增加 PAM 使用率,能大大地增加湿土壤的团聚体的稳定性,从而增加土壤的降水入渗和减少径流。

Shainberg 等 (1990) 将干燥的颗粒状 PAM 溶解在水中,按照 1000 mg/L 的浓度制成 PAM 溶液,以 10~20 kg/hm² 的施用量喷施于土壤表面,可提高稳定入渗率一个数量级以上,成倍地减少地表径流,并进一步发现将磷石膏与 PAM 溶

液混合施用于土壤表面,更能增强 PAM 减少径流和土壤侵蚀的效果。Levy 等 (1992) 在连续的模拟喷灌试验中,发现 $1 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-5}$ g/ml 的 PAM 灌溉水能使入渗量增加 58% ~ 70%。Aase 等 (1998) 在类似的模拟喷灌试验中使用 2 ~ 4 kg/hm² 的 PAM,减少了 7% 的土壤流失量,增加了 70% 的入渗量。Lentz 和 Sojka (1994) 以平均用量为 1.3 kg/hm² 的 PAM 溶于灌溉水施用在坡耕地土壤上,可以使土壤流失减少 94%,平均增加入渗 15%。Ben-Hur 和 Keren (1997) 在室内模拟降雨条件下,研究了在 25% 倾角上应用 PAM 提高渗透率的情况,在 PAM 施用 50 kg/hm² 和 75 kg/hm² 时,渗透率为 28 mm/h,对照试验的渗透率仅为 8 mm/h。Flanagan 等 (1997a, 1997b) 发现用 5 mg/L、10 mg/L 和 20 mg/L 的 PAM 对于增加喷灌入渗和减少土壤流失具有明显的效果。Santos 和 Serralheiro (2000) 用 PAM 对地中海土壤进行连续和次地沟灌试验发现,两种情况下累积渗透分别增加了 20% 和 14%。在小雨强、小坡度条件下,较低的 PAM 覆盖率就能增加 20% ~ 50% 的入渗量,较高的 PAM 覆盖率则能增加 70% ~ 80% 的入渗量 (Yu et al., 2003; 唐泽军等, 2003)。于晓光等 (2003) 专门对砂土进行了试验,结果表明,施用 PAM 可以缩短水分渗入土壤的时间,加快水分渗入土壤的速度,减少土壤水分渗出量,抑制土壤水分蒸发。Green 等 (2004) 在灌溉土壤中施用 PAM 发现, PAM 能提高渗透率,平均可以提高 3 ~ 5 倍土壤的渗透率。雷廷武等 (2004) 通过室内试验研究,发现 PAM 的施用可以减小砂壤土的入渗率,施用 PAM 对于提高该地区地面灌溉效率将会有很大的作用。张振华等 (2006) 研究了 PAM 对一维垂直积水入渗的入渗率、累积入渗量以及湿润峰的影响,结果表明,在同一时刻, PAM 浓度越大,入渗率、累积入渗量越小;对湿润峰的抑制也越明显。因此,在田间施用 PAM 将有助于减少降雨后的地面径流和深层渗漏,增强土壤的持水能力和保水性能。

4) PAM 对土壤水力特性的影响

PAM 可以增强土壤的持水能力,干旱时可有效抑制蒸发,从而提高土壤的保水性能。PAM 的吸水过程主要有两种作用,即水合作用和渗透压作用,其中,结构内部的亲水基离子是决定因素,它不但与水分结合起着张网的作用,同时导致产生渗透压,使其有了吸水的性能。施用 PAM 后,土壤的持水能力大大加强,在土壤中形成很多的“小水库”。当土壤干旱时,土壤中水分因渗透压作用而缓慢释放供作物吸收利用,从而有效防止水分流失和无效蒸发,达到保墒抗旱作用,为作物增产提供条件。

Lentz 和 Sojka (1994) 对土壤水力传导度进行了研究,结果显示,经 PAM 处理后,对于结构好的土壤,水力传导度随 PAM 质量浓度的增加而增加;对于中等结构的土壤,其水力传导度的增加值要比结构好的土壤大。介晓磊等

(2000) 对将 PAM 施入轻壤质潮土和黄潮土壤后的持水性进行了研究, 结果表明, 在土壤低吸力阶段 ($0 \sim 80\text{Pa}$), 随 PAM 用量的增加, 土壤液相比比例增加, 固相、气相成比例相对减少, 土壤持水量增大, 增加了作物可利用的有效水。杨永辉等 (2007) 研究了 PAM 对黄土高原主要土壤类型 (黄绵土、黑垆土及壤土) 的持水性能、保水性能及抗蒸发等方面的作用效果。结果表明, PAM 提高了黄绵土和黑垆土的持水量, 而对壤土效果不明显。在一定用量范围内, PAM 可以提高黄绵土和黑垆土导水性能, 但壤土的饱和导水率在施入 PAM 后降低。李俊颖 (2009) 研究表明, 用不同剂量的聚丙烯酰胺 (PAM) 处理, 冷沙黄泥田间持水量分别较对照增加 $20.66\% \sim 33.67\%$, 毛细管持水量分别较对照增加 $18.42\% \sim 29.06\%$, 潮土田间持水量分别较对照增加 $8.43\% \sim 13.42\%$, 毛细管持水量分别较对照增加 $3.55\% \sim 9.83\%$ 。

2. PAM 对土壤养分的影响

高分子聚合物不仅具有良好的保水能力, 而且由于其具有对离子吸附和缓慢释放的特性还能起到保肥作用, 可以用来调节植物不同生长期的养分供给。施加 PAM 后, 可以使分散的微土粒聚集和凝絮, 创建人工团粒结构, 并在人工和天然团粒表面形成疏水性的保护网, 提高团粒的稳定性, 通过创建水稳性团粒和对肥料元素的吸附作用, 减少了进入土壤液相的肥料, 抑制了肥料元素的流失, 使土壤肥力得以保持, 有利于作物吸收利用, 从而有利于提高肥料的利用率 (Lentz et al., 1998)。Kay-Shoemake 等 (1998) 发现 PAM 本身也可以部分地转换为氮源, 为作物生长提供一定的养分来源。

不同的 PAM 类型 (中性、阴离子型和两性聚合物) 与作物营养元素氮、磷、钾之间也存在着不同的相互作用, 从而影响 PAM 对营养元素氮、磷、钾流失的抑制效果。不同的 PAM 类型影响土壤团聚体对各种养分离子的吸附效果。阴离子型 PAM 聚合物分子链上的阴离子基团对 NH_4^+ 和 K^+ 具有更强的吸附作用, 因此该类型的 PAM 可以显著地减少 NH_4^+ 和 K^+ 养分的流失。而对 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 来说, PAM 分子链上的阴离子基团对其吸附有抑制作用, 并且在土壤表面 PAM 可与 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 形成竞争吸附, 导致一定比例的 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 进入土壤液相, 降低了土壤对这两种阴离子养分的吸附和保持作用。因此, 阴离子型 PAM 对阳离子养分的保持能力一般高于阴离子养分 (龙明杰等, 2001)。对于两性的 PAM 聚合物, 其分子链上兼具阴、阳两种离子基团, 对土壤中的养分离子 NH_4^+ 、 K^+ 、 NO_3^- 和 PO_4^{3-} 都具有较强的吸附作用, 所以对土壤中氮、磷、钾肥的流失均具有较好的抑制作用。高分子聚合物分子链上的离子基团类型对土壤中异性离子的吸附以及同离子之间的竞争吸附作用, 在一定程度上影响 PAM 对土壤肥料元