植物营养与肥料学报 2000,6(4):457～463
Plant Nutrition and Fertilizer Science

土壤调理剂 PAM 的农用研究和应用

王小彬，蔡典雄
(中国农业科学院土壤肥料研究所,北京 100081)

摘要：90 年代,新型 PAM 产品(具有很高分子量的阴离子型 PAM)和改进的应用技术(低用量配合灌溉水)使得 PAM 在农业上的使用成本大大减少,而农用效益大大提高,土壤调理剂 PAM 的农用重新受到重视。目前美国西部已将 PAM 的农用作为一项农田水土保持新技术而得到越来越广泛的应用。土壤调理剂 PAM 曾于 80 年代后期介绍到我国,但是由于成本高等其它问题而未能在农业上推开,目前新型 PAM 的农用研究也在我国引起重视。国外大量研究和国内有关研究表明,PAM 的农用效益体现在水土保持、灌溉效率、农业生产、环境、经济等方面。土壤调理剂 PAM 用于农田水土保持、防止水土流失前景看好。

关键词：土壤调理剂;PAM;水土保持
中图分类号：S156.2　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2000)04-0457-07

土壤调理剂主要用于调节土壤水、肥功能,达到水土保持,提高作物产量的效果。我国水危机、水土流失等问题对农业生产的持续发展带来极大威胁,应用水土保持技术,改善水土资源利用价值和提高其生产能力越来越受到重视。如近些年来,利用土壤调理剂作为保持水土、防止水土流失的一项简便易行、经济有效的技术已越来越为人们所看好。

目前农业上使用的土壤调理剂多为高分子聚合物,分为水溶性聚合物(非交联性聚丙烯酰胺 PAM)和胶结性聚合物(淀粉接枝聚合物和交联性丙烯酰胺/丙烯酸共聚物)。

近年来,除了对高分子聚合物类土壤调理剂的研究应用产生兴趣外,石膏,硅铝酸盐矿物,废弃物(如木屑、动物粪便、废弃油……)等利用也引起重视,因其具有类似的保持水土的作用且价格低廉,尤其适用于水土流失严重地区、沙荒漠地、砂质土壤。

1　土壤调理剂 PAM 的研究背景及现状

利用高分子电解质改善土壤物理性状的研究可追溯到 50 年代初,早期研究采用的有机材料如多糖、瓜尔豆提取液、淀粉共聚物,及大量的人工合成材料包括水解聚丙烯腈(HPAN)、聚乙烯醇(PVA)、聚丙烯酰胺(PAM)及其各种共聚物等,主要用作土壤结构稳定剂[1]。70 年代人们对水溶性聚合物 PAM 的农用研究曾有过很大兴趣;80 年代后期美国等一些国家对于胶结性聚合物(高吸水性树脂或称保水剂)的农用研究也给予过很大的关注,其应用包括农业、温室、庭院、非灌溉/无杂草菜园或植树造林、重建植被、机械化农业、草坪和自然景观等范围。然而早期的研究,不管是水溶性聚合物还是胶结性聚合物并未得到广泛应用,主要是用量大、费用高、使用方法不当,效果不稳定。

90 年代,水溶性聚合物 PAM 因其具有水土保持价值而重新受到重视。与早期 PAM(分子量低、用量大 250～500kg/hm^2、翻入耕层)相比,新的聚合物(具有很高分子量的阴离子型 PAM)和新的使用技术(低用量配合灌溉水,每次仅用 0.5～3kg/hm^2)[2]在经济、环境、土壤保持、灌溉效率等方面均显示出一定的优越性。美国农业部农业服务中心(USDA-ARS)西北灌溉土壤研究实验室研究人员就 PAM 结合农田灌溉的应用进行了大量研究。随着 PAM 产品的改善、用量和费用减少、喷施或溶解于灌溉水施用效果较好,

收稿日期:1999-10-26
作者简介:王小彬,(1955—),女,北京人,副研究员,主要从事旱地农业和土壤保持研究。

1994年PAM在美国西部大部分州被注册作为土壤调理剂使用;1995年1月美国农业部国家自然资源保持服务中心批准将应用PAM作为美国西部一项临时的水土保持措施,规定使用的PAM为阴离子型、电荷密度18%、分子量12~15mg/mol、加入沟灌水的浓度要求为10mg/L[3]。近年来PAM已在美国西部灌溉农业区得到较大应用,如1995年PAM的应用面积为2万hm^2[3],1996年达20万hm^2[4],1998年扩大到约100万hm^2[5]。PAM的作用主要是减少径流和土壤侵蚀,稳定土壤结构和凝聚悬浮颗粒,改善土壤水分状况,增加植物有效水,提高水分利用效率,减少杀虫剂和肥料的流失。据Lentz和Sojka研究结果表明[6],使用0.7kg/hm^2(平均1.3kg/hm^2)PAM减少了沟灌沉积94%(范围80%~99%),增加入渗15%(范围-8%~57%);径流水中P、N、生物化学需氧量和沉积物损失各减少84%、83%、72%和57%。

ISCO'99国际土壤保持会议于1999年5月22~29日在美国Purdue大学由美国国家土壤侵蚀实验室组织召开。此次会议是以全球农业持续性发展为主题,重点探讨区域性土地管理保持技术。分组报告时,由美国农业部国家自然资源保持服务中心研究人员主持了关于"土壤调理剂控制侵蚀"的专题讨论,美国国家土壤侵蚀实验室研究人员就近年来关于PAM作为防止土壤侵蚀调理剂的应用、效果以及经济效益;石膏作为防止土壤侵蚀调理剂的效果;PAM对陡坡土壤上的冲刷、径流、出苗的影响;以及关于交联性和非交联性PAM对减少侵蚀、改善出苗和产量等效果的影响进行了探讨。目前,USDA-ARS美国国家土壤侵蚀研究实验室正在研究将PAM应用于雨养农业,其作用主要是减少土壤闭结或结壳,增加雨水入渗,改善出苗,增加产量1/3。

2 土壤调理剂PAM在国内的研究

80年代中期,PAM也曾由比利时介绍到我国,"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、新疆等地进行试验。室内模拟、盆栽和大田等试验结果表明,PAM的主要作用是增加入渗和减少径流,并对地温有所影响。然而,PAM的应用也因成本高等原因而未能在我国推广。"九五"期间,国外新型PAM也开始介绍到我国,中国农业科学院土壤肥料研究所组织开展对新PAM的研究。大田试验表明,新的PAM和改进的使用技术对作物产量的增加和经济效益的提高有较好效果。

2.1 PAM对土壤结构的影响

中国农业科学院土壤肥料研究所1987~1989年试验发现,土壤喷施PAM能减少0.1mm粒径的颗粒(减少51.3%~62.5%)[7],说明PAM能够絮凝细小土粒、稳定土壤结构。试验还发现,喷施PAM后土壤容重减轻,总孔隙度增加2.1%,透气性也得到改善,这显然也与细小土粒的减少有关。

2.2 PAM对土壤温度的影响

中国农业科学院土壤肥料研究所1992年在北京潮褐土冬小麦地试验,地表配施0.1%PAM观测小麦越冬期至次年小麦封垅前后地表温度变化,发现PAM处理对地表5cm土层温度影响最大,地表最高、最低温度和平均温度较对照均有提高,如1月30日至5月4日期间,PAM处理的5cm层平均地温较对照提高0.2~1.2℃[7]。由中国农业科学院土壤肥料研究所主持1998~1999年在山西万荣冬小麦地对新型PAM(0.3g/m^2)进行试验,观测比较PAM处理对土壤温度变化的影响,与对照比较,PAM对土壤温度略有影响,但差异不大;苗期至返青期土壤温度增加0.1~0.2℃(表1)。PAM对土壤温度的影响可能与PAM的使用浓度有关。

2.3 PAM对入渗的影响

由中国农业科学院土壤肥料研究所主持1987年试验表明,施用PAM后,土壤入渗速率明显增加(图1)[7],这与土壤细小颗粒减少和孔隙度增加有关。1998~1999年在山西万荣冬小麦地对新型PAM进行试验,测定小麦出苗-拔节期0~100cm土层土壤水分含量,PAM处理的0~100cm土壤含水量较对照有所提高(表2)。

中国科学院南京土壤研究所1990年温室盆栽试验结果表明,土壤施用聚丙烯酰胺PAM或水解聚丙

表 1　PAM 对冬小麦出苗-拔节期土壤温度(℃)的影响(1998～1999,山西万荣县城关镇)

Table 1　Effect of PAM on soil temperature(℃) at seedling emergence-jointing(1998～1999)

处理 Treat.	土壤层次 Soil depth (cm)	苗期 Seedling (11/19～11/23)	越冬期 Wintering (1/10～1/14)	返青期 Reviving (3/10～3/17)	拔节期 Jointing (4/6～4/10)	出苗-拔节 Seedling-Jointing (11/19～4/10)
CK	5	7.4	-2.6	10.6	15.2	7.7
	10	6.8	-1.8	10.4	15.1	7.6
	平均	7.1	-2.2	10.5	15.2	7.7
PAM	5	7.6	-2.4	10.7	15.2	7.8
	10	7.0	-1.7	10.5	15.1	7.7
	平均	7.3	-2.1	10.6	15.2	7.8

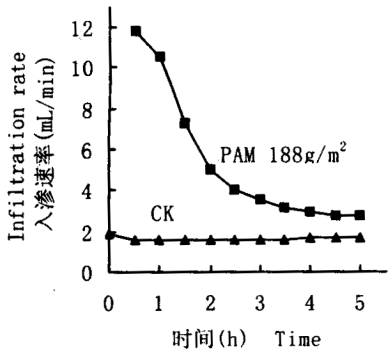

图 1　PAM 对土壤入渗速率的影响

Fig.1　Effect of PAM on water infiltration rate

(引自:汪德水等,1987)[6]

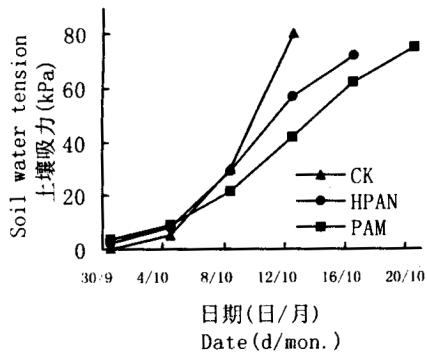

图 2　两种土壤调理剂对河南封丘潮土的水分吸力动态影响

Fig.2　Effects of two soil conditioners on soil water tension in Shangqiu, Henan

(引自:赵炳梓等,1990)[6]

烯腈 HPAN 后,由于蒸发受到抑制,可以推迟土壤遭受干旱的时间(图 2)。对照在 10 月 11 日其土水吸力已达到 79kPa,而施用 HPAN 和 PAM 两处理分别到 10 月 17 日和 10 月 21 日,其土水吸力才达到 79kPa,比对照分别推迟遭受干旱时间 6 天和 10 天[7]。

表 2　PAM 对冬小麦出苗-拔节期土壤含水量(%)的影响(1998～1999 山西万荣县城关镇)

Table 2　Effect of PAM on soil water content(%) at seedling emergence-jointing(1998～1999)

处理 Treatment	土壤层次 Soil depth(cm)			
	0～20	20～40	40～100	0～100
CK	9.5	10.6	11.9	10.9
PAM	9.9	10.7	12.1	11.5
±	+0.4	+0.1	+0.2	+0.6

2.4 PAM对土壤侵蚀的影响

中国农业科学院土壤肥料研究所1990年降雨模拟试验,在模拟坡度7度、降雨强度为25mm/h和50mm/h的条件下,喷施PAM处理地表流失量较对照减少96%以上,减少溅蚀54%以上[7]。

2.5 PAM对作物产量的影响

1998～1999特殊干旱年在山西襄汾、万荣、屯留县冬小麦地进行新型PAM试验,PAM处理分别较对照增产10.0%、4.7%和8.5%。PAM处理对产量三因素,尤其千粒重的影响较大,3个试验点的小麦千粒重增加0.8～1.7g;水分利用率较对照提高0.6～1.5kg·hm^2·mm^{-1}(表3)。

表3 PAM对冬小麦产量及水分利用效率的影响(1998～1999,山西)

Table 3 Effects of PAM on winter wheat yield and water use efficiency(1998～1999)

试验地点 Sites	处理 Treat.	穗数 No. of spike (×10^5/hm^2)	穗数 Seed Per spike(No.)	千粒重 1000-seeds wt. (g)	产量 Yield (kg/hm^2)	± (%)	水分利用效率 WUE (kg/hm^2·mm)
襄汾	CK	433.5	24.4	26.5	2376.0		7.80
	PAM	480.0	23.1	27.7	2613.0		9.30
	±	+46.5	-1.3	+1.2	+237.0	+10.0	+1.50
万荣	CK	267.0	27.8	30.4	2253.0		8.85
	PAM	265.5	28.5	31.2	2358.0		9.45
	±	-1.5	+0.7	+0.8	+105.0	+4.7	+0.60
屯留	CK	423.0	24.6	31.6	2467.5		8.25
	PAM	450.0	25.7	33.3	2677.5		9.45
	±	+27.0	+1.1	+1.7	+210.0	+8.5	+1.20

3 土壤调理剂PAM对环境的影响

聚丙烯酰胺是一种水溶性、高分子量人工合成的有机聚合物,多用在造纸、食品加工、水处理等方面。当其加入水中后,能使悬浮的固体颗粒迅速凝聚,而未凝聚的聚丙烯酰胺残留在水中成为污染物。聚丙烯酰胺又是一种土壤稳定剂,其与土壤颗粒结合形成团粒,留下上层清液。

人们担心PAM对环境的影响,据Seybold研究报道[8],大体来说,PAM是抗微生物作用的,主要是通过物理作用降解。PAM对人体、动物、鱼类和植物并无毒害作用,唯一令人担忧的是残留单体(丙烯酰胺)含量的毒性,因丙烯酰胺是一种已知的致癌物,对人体的神经有毒害作用,但这种残留单体可为生物降解,并且不在土壤中积累。Sojka和Lentz也指出[1],尽管会有少量单体随PAM的使用而进入土壤,然而,PAM单体在温度较高的土壤(30℃)中很快(几天)就会降解。如果将PAM产品的丙烯酰胺含量限制到最小,PAM本身对环境并无威胁,可有效的用作土壤调理剂[8]。美国食品医药管理署(FDA)和环境保护机构(EPA)对PAM产品的生产和使用有严格的标准,规定PAM产品中单体含量不得超过0.05%;当接触食品生产时尤需慎用。如用在食品加工和饮用水处理,其残留单体污染物含量应$<5\times10^{-6}$。各国对PAM用作饮水净化剂都有严格的许可剂量(表4)。

PAM能有效的减少径流损失,特别是减少了吸附在土壤上的杀虫剂的损失和地表磷流入河流和湖泊而损失;从环境的角度来看,使用PAM有助于改善河水质量。

我国目前农业上应用的PAM多为进口。国外对PAM的生产和使用有严格的规定,国内尽管也有一些厂家生产PAM,但用在农业上的PAM产品几乎没有,尚未建立统一的质量监督检测体系。国产PAM的生产和农业上使用标准还需进一步规范化。

表 4　各国用 PAM 作饮水净化剂的许可剂量

Table 4　Standard levels of PAM used in potable water treatment

国家 Countries	用途 Use	许可剂量 Standard levels
美国	饮料水处理最大添加量	1×10^{-6}
	蔬菜、果物洗净用	$<10\times10^{-6}$
	甘蔗糖汁、甜菜糖汁处理	$<5\times10^{-6}$
英国	饮料水处理平均使用量	0.5×10^{-6}
		$<1\times10^{-6}$
法国	饮用水处理	$<1\times10^{-6}$
日本	水处理后 PAM 残留单体	$<0.01\times10^{-6}$
前苏联	净化水中 PAM 残留单体	$<2\times10^{-6}$

引自:宫永信幸等,1977[9]。

4　土壤调理剂 PAM 应用中的问题

4.1　PAM 的应用范围

在一些干旱半干旱地区,土壤结构不稳定,降水或灌溉期间常导致土壤闭结,造成入渗减少和表面径流增加,土壤侵蚀严重的类似地区,PAM 应用前景较好[10~12]。PAM 适用于粉砂至粘质土壤,在砂性土壤上效果不大[13]。

4.2　PAM 选用类型

农用 PAM 应选用阴离子型(电荷密度 15%～20%)、大分子量 10～15mg/mol、单体含量在 0.05% 以下的产品[13]。阳离子 PAM 因带有较大的刺激和毒性而不宜采用[14]。

4.3　PAM 的使用量

用量不当也会影响使用效果。据美国研究表明,PAM 在低用量时具有较好凝结作用,可稳定土壤结构,可作为土壤稳定剂。在坡度 3.5% 土壤上,PAM 配合沟灌使用时以 10mg/L 用量为最好(第一次灌水配用 PAM 最重要),并随每一次灌水使用,再次灌水配用 PAM 用量可减少(约 1～5mg/L)。喷灌要求 PAM 用量高于沟灌,因为沟灌的地表处理面积仅为 25%～30%,喷灌处理面积为 100%[14]。灌溉土壤上 PAM 用量约为 1～4kg/hm^2(约 \$6.6/kg)。雨养农业土壤上 PAM 用量较高。一般为 15～20kg/hm^2(约 \$80～\$100/hm^2)。

一般认为,PAM 在 ESP(交换钠百分比)高、收缩-膨胀性粘粒含量高(蒙皂石,例如蒙脱石或"膨润土")或有机质含量高的土壤上配合灌溉应用时,需要增加使用量以达到控制侵蚀的效果[13]。

4.4　PAM 的使用时间和方法

PAM 应在土壤搅动后如耕翻或栽培作业后使用(未扰动土壤上 PAM 用量可减少至 1～5mg/L),最好随灌溉水使用[13];分次喷施不如随灌溉水使用效果好[14]。Lentz 和 Sojka 研究表明[15],PAM 干施和湿施都能明显减少季节沟灌沉积损失,PAM 干施和湿施分别减少季节土壤损失为 84% 和 92%,两种施法对减少土壤侵蚀的影响差异并不显著($P=0.27$)。问题是干施处理的 PAM 水化和分散不完全,施用的 PAM 没有完全利用。

4.5　PAM 与石膏配合使用

在 SAR(钠吸附比率)高和 EC(阳离子代换量)很低的土壤上,提高 PAM 的用量才能达到较好的效果,或加入二价电解质到灌溉水中(如加入石膏-$CaSO_4$)以提高 PAM 的效用[13]。与水化钠离子比较,二价阳离子有较小的水化半径,在阴离子 PAM 和土壤吸附点之间以键"桥"连接;钠离子则因电价低、体积大而削

弱这种"桥"连的作用[13]。

5 土壤调理剂 PAM 应用前景

我国是世界上水土流失最严重的国家之一。水土流失面积有 1.48 亿 hm^2,约占国土面积的 1/6。据全国第二次土壤普查资料,我国耕地水土流失面积 0.45 亿 hm^2,占耕地普查总面积的 34.26%;主要分布在我国广大丘陵山区的坡耕地上,坡耕地面积占耕地总面积的 35%,水土流失面积与坡耕地面积相吻合[16]。我国每年流失泥沙面积 50 亿吨,其中耕地的表土流失量约为每年 33 亿吨(按耕地水土流失面积计算,每公顷表土损失平均约 73 吨),占世界耕地水土流失总量的 14.35%,相当于全国耕地每年平均刮去 1cm 厚的表土,损失氮、磷、钾元素达 4000 多万吨。

PAM 能够较好的防止表土流失,若每年耕地表土流失量 33 亿吨的 90%未遭冲刷的话,意味着约 29.7 亿吨(66t/hm^2)的表土得到保持而免遭侵蚀。PAM 减少水土流失的同时也减少了养分的流失,若每年耕地表土上氮、磷、钾养分损失量 4000 多万吨的 80%~90%未被冲失的话,约 3200 万吨的养分得到保持。使用 PAM 意义还在于节约或减少肥料的投入,提高施肥效益。

PAM 增加水分入渗,如灌溉水或降水的入渗量提高 15%,灌溉效率或降水利用率将会提高,有重要的节水和保水意义;PAM 的增产作用是与 PAM 增加入渗和减少养分损失,改善作物水分、养分吸收有关;PAM 本身对环境无害,然而,PAM 能够减少表土中磷、硝酸盐、杀虫剂等化学制剂流入水体而导致水的污染。此外,从经济效益分析,使用 PAM 可保护沟渠、减少沟灌渠道清理和修整工作。

综上所述,PAM 在水土保持、灌溉效率、农业生产、环境、经济等方面具有应用前景。

参考文献:

[1] Sojka R E ad lentz R D. Time for yet another lookat soil conditioners[J]. Soil Sci., 1994, 158:233-234.

[2] Lentz R D. Irrigation(agriculture)[M]. McGraw-Hill Yearbook of Science & Technology. McGraw-Hill, 1996. 162-165.

[3] Lentz R D, Sojka R E and Foerster J A. Estimating polyacrylamide concentration in irrigation water[J]. J. of Envir. Quality, 1996, 25:1015-1024.

[4] Lilleboe D. PAM is looking good[J]! The Sugarbeet Grower, 1997, 35:22-24.

[5] Sojka R E, Lentz R D, Trout T J, Ross C W, Bjorneberg D L and Aase J K. Polyacrylamide effects on infiltration in irrigated agriculture[J]. J. Soil and Water Conser., 1998, 53:325.

[6] Lentz R D and Sojka R E. Field results using polyacryamide to manage furrow erosion and infitration[J]. Soil Sci., 1994, 158(4):274-282.

[7] 王维敏.中国北方旱地农业技术[M].北京:中国农业出版社,1994.155-166.

[8] Seybold C A. Polyacrylamide review:soil conditioning and environmental fate[J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1994, 25:11-12.

[9] 宫永信幸等.水中におけゐ高分子凝集剤の残性とちの毒性[J].水处理技术,1977,18(4):333-341.

[10] Ben-Hur M, Faris J and Letey J. Polymers as soil conditioners under consecutive irrigations and rainfall[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1989, 54(4):1173-1177.

[11] Rubio H O, Wood M K, Cardenas M and Buchanan B A. The effect of polyacrylamide on grass emergence in southcentral New Mexico[J]. J. of Range Manag., 1992, 45(3):296-300.

[12] Stern R, Van Der Merwe A J, Laker M C and Shainberg I. Effect of soil surface treatments of runoff and wheat yields under irrigation[J]. Agronomy J., 1992, 84(1):114-119.

[13] Lentz R D, Stieber T D and Sojka R E. Applying polyacrylamide(PAM) to reduce erosion and increase infitration under furrow irrigation[A]. *In*:Robertson L D, Nolte P, Vodraska B, King B, Tindall T, Romanko R and Gallian J(eds.). Proc. Winter Commodity Schools[C]. University of Idaho Cooperative Extension Woscow, Idaho. 1995.79-92.

[14] Sojka R E and Lentz R D. Polyacrylamide(PAM) A new weapon in the fight against irrigation-induces erosion. USDA -ARS Northwest Irrigation & Soils Research Lab Station Note #01-94, 1994.

[15] Lentz R D and Sojka R E. Applying polymers to irrigation water. evaluating strategies for furrow erosion control[J]. Presented at 1998 ASAE Annual International Meeting, Paper No. 992014. ASAE, 2950 Nilles Road, St Joseph, MI 49085-9659 USA, 1999.

[16] 中国农业科学院农业自然资源和农业区划研究所. 中国耕地[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1995. 119-147.

Research and application of soil conditioner in agriculture

WANG Xiao-bin, CAI Dian-xiong

(*Soil and Fertilizer Institute*, *CAAS*, *Beijing* 100081)

Abstract: In the 1990's a great interest to PAMs' agricultural use was renewed to arouse with the development of the advanced PAM(very high molecular weight anionic PAMs) and the new application strategies(at very low rate via irrigation water), which makes it possible to reduce the cost and increase the benefits for practical agricultural use. Nowadays, the use of PAM was issued a western states interim conservation practice in the USA. In the late of 1980's PAM was introduced into China, however, has not been adopted for agricultural use because of high cost and some other problems. Research on the new PAM used in agriculture is also being given reconsideration. Studies at home and abroad showed that the use of PAM could provide soil and water conservation, ingation, efficiency, crop production, and environmental and economical benefits. Use of soil conditioner PAM shows promise in protecting soil and water from erosion.

Key words: soil conditioner; PAM; soil and water conservation