

聚丙烯酰胺(PAM)在土壤改良中的应用进展

员学锋, 吴普特, 冯浩

(中国科学院水利部水土保持研究所, 西北农林科技大学, 国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 聚丙烯酰胺(PAM)是一种新型的高效土壤结构改良剂, 属高分子聚合物, 具有很强的絮凝性, 近年来一直是人们研究的热点。详细论述了国内外 PAM 的研究进展状况, 综合分析得出 PAM 今后在农业领域应用前景广阔。

关键词: 聚丙烯酰胺(PAM); 研究进展; 应用前景; 土壤结构改良

中图分类号: S156.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2002)02-0141-05

Development of Application of Polyacrylamide to Soil Amelioration

YUN Xue-feng, WU Pu-te, FENG Hao

(Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,
Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, National Engineer Research Center
of Water Saving Irrigation in Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: Polyacrylamide (PAM), a kind of macromolecule compound and a new type of effective soil structure-improved additive, has high ability of flocculation. The researchers have paid much attention to the study of PAM in recent years. The development of the study and the application of PAM are stated. After a comprehensive analysis, a conclusion is drawn. It shows that PAM has a good application prospects in the area of agriculture in the future.

Key words: Polyacrylamide; development; application prospects; soil structure-improved additive

缺水是干旱半干旱地区农业发展的首要限制因子, 尤其近年来我国北方的持续干旱及地下水严重超采, 使得农业水资源供需矛盾日益突出。因此合理高效利用有限的水资源是今后农业生产中必须注重的一个关键问题。灌溉中水土流失及土壤板结等问题已逐渐引起人们的关注。同时, 我国旱区面积占国土面积的 70%, 旱作农业的比重相当大。无论旱地或水浇地, 做好水分蓄积和保持, 调节土壤水库的吐纳功能。都将是提高降水和灌溉水利用率的一个重要途径^[1,2]。

已有研究表明, 灌溉用水约有 50% 消耗在田间, 加强对田间节水技术的研究和开发显得尤为重要, 有关控制土壤蒸发的覆盖和化学调控等土壤保墒技术的研究和开发越来越受到重视^[3]。而 PAM

作为土壤结构改良剂, 可以增加土壤表层颗粒间的凝聚力, 维系良好的土壤结构, 防止土壤结皮、增加土壤的入渗率, 减少地表径流, 防止土壤流失以及具有较好的抑制土壤水分蒸发能力, 具有保水、保土、保肥、增产等效用。

1 聚丙烯酰胺(PAM)简介

聚丙烯酰胺(PAM)是一种高分子聚合物, 其单体为丙烯酰胺。

分子式为:
$$\text{—CH}_2\text{—}\underset{\text{CONH}_2}{\text{CH—}}$$

PAM 由 γ 射线高能辐射引发聚合而成, 呈白色细沙状粉末或无色透明胶体, 水溶性好, 不溶于大多数有机溶剂, 具有良好的絮凝性, 能和水中悬浮的

固体颗粒相结合,使这些颗粒迅速地和水分离,从而使水得到澄清。可调节分子量并可引入各种离子基团以得到特定的性能,是水溶性高分子中用量最大、用途最广泛的一种,被广泛应用于石油、造纸、纺织行业,以及作为增强剂、上浆剂、增稠剂、粘合剂、润滑剂、絮凝剂等。现在它已发展成为产品形式多样、品种齐全的多功能化工产品。近年来在土壤改良、水土流失方面有了广泛的研究。

2 聚丙烯酰胺(PAM)研究应用进展

早在 50 年代,人们已开始开展聚合物改善土壤物理性能的研究,但直到近 10 年,高性能的聚丙烯酰胺(PAM)高分子聚合物才得到广泛应用。在早期的研究中,聚合物多混拌在 12~25 cm 的耕层中,其施用量大,混施困难且成本较高造成经济上不可行,因此,在农业领域很难得到认可。80 年代人们发现阴离子型聚丙烯酰胺(PAM)能达到同样的效果且成本大大降低。由于不再需与土拌施,施用起来方便且效果显著。1986 年,Wallace A. O 曾指出, PAM 在土壤管理中具有很大的潜力^[4]。

2.1 PAM 对土壤物理性状的影响

聚丙烯酰胺(PAM)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,使土壤入渗率明显提高,增加了土壤含水量^[5,6]。

Hedick 和 Moury 研究发现使用聚合物 PAM 作为土壤改良剂能稳固土壤团聚体,减少土壤结皮的生成,使土壤维持良好的渗透性和透气性。Kijne 在几种灌溉土壤中施用 PAM,研究表明 PAM 能增加团聚体水稳性,提高渗透率^[7]。

Lakatos 发现, PAM 高分子聚合物类型和水质对其处理效果影响很大; Shammuganthan 和 Oades 发现 PAM 能增加水力传导性,增加土壤孔隙度,提高土壤水容量; Helalia et al 研究表明 PAM 可以减少土壤颗粒分散^[8]。

Lentz et al^[9]研究发现,在降雨或喷灌的大田里以 20~67 kg/hm² 施放 PAM 可以增加入渗 60%~100%; Malik et al 有关 PAM 在土壤中的作用范围进行了研究,他将 PAM 以液态形式喷于地表,研究表明其作用范围主要集中在耕层距地表 0~5 cm 深处; Janczuk et al 和 Bryan 研究发现 PAM 可以增加土壤的湿润性及持水能力。Malik et al 研究发现 PAM 可有效控制土壤的吸胀性,有效降低土壤结皮的生成^[10]。

Sojka et al^[11]在大田进行试验发现, PAM 施用于田间车辙区几乎对其入渗和灌水进程毫无影响,这说明土壤结构性状越差, PAM 的作用效果越不明显。

J. Woodhouse, M. S. Johnson^[12]通过试验研究高分子聚合物对灌溉有限的粗沙土上种植的莴苣和大麦生长的影响,结果表明:施有 PAM 对大麦和莴苣到达萎蔫点的时间影响随着浓度的增加而增加。即使较低的浓度(0.2%),到达萎蔫点的时间也比未施加 PAM 的沙土延长了 5 倍,这一研究表明施有 PAM 的土壤具有很好的保水性和抗旱性。

介晓磊^[13]等人就 PAM 施入轻壤质潮土后土壤的持水性进行了研究,结果表明:在土壤低吸力阶段(0~80 Pa),随 PAM 施用量的增加,土壤液相组比例增加,固相、气相成比例相对减少,土壤持水容量增大,增加了作物可利用的有效水。随着 PAM 浓度的增大,土壤容重呈下降趋势,土壤总孔隙度和毛管孔隙度则呈上升趋势,但土壤凋萎系数随 PAM 增加的增幅不大。

张淑芬^[3]在坡地就有关 PAM 防治水土流失的试验表明,施用 PAM 后,土壤渗透系数增加 0.007,结构系数增加 6.0,分散系数减少 6.0。

2.2 PAM 防止土、水、肥流失效应研究

施加聚丙烯酰胺(PAM)以后,增加了径流的剥蚀难度。在水的润湿下, PAM 开始反应,由颗粒状变成多枝纤维状,将颗粒紧紧缠绕保持土壤表层结构稳定,可大大减少土壤表面结皮的形成,降低雨滴溅击力和减少地表径流对表层土壤的破坏程度^[25]。而土壤沉降系数、结构系数、土壤大粒径含量和各级水稳性团粒的增加提高了土壤的持水性和渗透系数,从而达到减少地表径流,减少地表冲刷侵蚀的作用,使土壤肥力得以保持。

Shain bery 研究发现,施有 PAM 的土壤具有很好的抗雨滴溅蚀能力, Lents et al 将 PAM 以 > 0.7 kg/hm² (平均 1.3 kg/hm²) 用于坡耕地壤土灌水中可使土壤流失减少 94% (80%~99%),平均增加入渗 15%^[14]。

Sokja^[15]等人通过 2 年的沟灌实验进一步确定了在灌溉中施加 PAM,以 10~20 mg/kg 施用 PAM 可使农田内水中的泥沙含量可减少 94%,土壤入渗性能可提高 15%~50%。

Shock, C. C., B. G. Feibert et al^[16]在 1.5% 的坡度的壤土进行 PAM 和秸秆防止水土流失的对照试验,表明 PAM 浓度控制在 0.12 g/m² 可减少土壤流失 90%~95%。研究还揭示,在相同条件下,

PAM 处理过的土壤在 80 cm 的分布范围土壤水分含量均高于对照。这说明 PAM 具有很好的保水作用。

Clint shock, Jan Trenkel et al^[17]在 3 种不同坡度以 0.1 g/m² 的浓度对 PAM 进行研究,测得用 PAM 处理过的土壤流失较对照减少 90%,土壤入渗率较对照增加 23.6%~53.1%。

Daniel Burton, Jan Trenkel et al^[18]将 PAM 以 0.09 g/m² 溶解喷施和以 0.18 g/m² 的量干施于 1.4% 的坡地上,所后进行相同的灌溉处理直至产生一定径流。在总灌水量中,对照的入渗水量占 62.5%,径流量占 37.5%;喷施处理的入渗量和径流量分别占总用水量的 70.8% 和 62.5%;干施处理分别为 73.3% 和 26.5%。可以看出,喷施 PAM 效果较好。

Jan Trenkel, Daniel Burton et al^[19]在 2.02% 的坡度上用秸秆和 PAM 进行覆盖处理并进行冲刷。二者浓度分别为 0.1 g/m² 和 15 g/m²。实验结果表明,秸秆和 PAM 两种处理分别较对照减少土壤流失 33% 和 61%。J. Kristian et al^[20]在喷灌条件下研究 PAM 的保水保土效应,研究表明,2 kg/hm² 的施用量可减少径流 70% 和降低土壤流失 75%,但在随后的灌溉中其效果大大降低。

何丙辉 Michael Hicham n et al^[21]在人工降雨条件下,研究了 PAM 和除草剂组合处理对美国中西部典型土壤侵蚀的影响,结果表明其防止土壤侵蚀效果显著。

D. V. Amburst^[22]有关 PAM 的防止风蚀效果进行了室内模拟研究,发现在一般条件下,与自然降雨相比,PAM 防止风蚀效果并不明显。

我国学者对 PAM 在水土保持效应方面也进行了研究。肇普兴、夏海江^[23]在辽宁不同地区、不同降雨量和不同的土壤条件对 PAM 进行试验,结果表明,在坡度分为 6°、10°、15° 时施有 PAM 的保土率分别为 77%、67%、57%,远远超过我国水土保持规范所求的防治标准;3 种坡度的保肥率分别为 80%、65% 和 55%;杜尧东、夏海江^[24]通过田间坡地试验研究表明,坡地施用阴离子型分子量 300~400 万的 PAM 可以减少地表径流,提高土壤水分含量,促进土壤沉降,减少土壤侵蚀量和肥力流失。由于土壤结构性和水稳性的改善,其持水性和抗蚀性也相应提高了,减少了土壤侵蚀量和肥力流失量。研究还表明坡地施用 PAM 后,6°、10°、15° 三个不同坡度地表径流分别较对照平均减少了 3.8%、13.4%、15.0%,土壤侵蚀量分别是对照的 41.1%、51%、57%,有机

质、速效氮、速效磷、速效钾的流失量平均分别是对照的 30.5%、23.2%、29.8%、30.3%。

冯浩、吴普特、黄占斌^[25]以法国 SNF 公司生产的 PAM 为供试剂对黄土坡地产沙过程的影响进行了研究,结果表明:以 0.8 g/m² 施加 PAM 于武功土,其径流量减少 16%,泥沙量减少 88%,当 PAM 浓度为 0.08 g/m² 时,PAM 几乎失去效果,研究同时表明:PAM 施放与黄土上的效果远优于黄绵土。

2.3 PAM 具有增产效应

PAM 在防止水土流失的过程中增加了土壤保水性和保肥性,改良了土壤,使土壤结构松散,增加了土壤团粒结构,改善了土壤的通透性和抗旱能力,给作物的增产提供了条件。

Levy, G. J., M. Ben-Hur et al^[26]通过试验发现,在棉花地施加 PAM 可大大增加土壤颗粒间的凝聚作用并提高土壤渗透率,在净化污水的同时,提高棉花产量,他还发现 PAM 的施入可大大增加灌溉速率。Stern et al^[27]在灌溉向土表以 20 kg/hm² 的量撒施 PAM,结果表明,小麦产量显著提高,提高幅度平均达到 9.0%。

Shock, C. C., B. G. Feibert et al^[16] Erik B. G. Feibert, Clinton C. Shock et al^[28]在马铃薯地施加 PAM (浓度为 1.2~3 lb/0.12~0.13 g/m²) 后,和对照相比,PAM 处理过的马铃薯块茎较大,产量提高相当显著,产量增长幅度为 7.6%~12.5%。J. Woodhouse, M. S. Johnson et al^[12]通过试验研究高分子聚合物对有限灌溉的粗沙土上种植的莴苣和大麦生长的影响,结果表明:施用 PAM 可促使作物干物质质量增加,最高处理水平比对照增产 4 倍 ($P < 0.001$);水分利用率增长了 3 倍。

Clint shock, Erik Feibert et al^[29]通过试验表明 PAM 可以减少土壤结皮从而提高作物出苗率。肇普兴、夏海江^[19]在辽宁坡耕地施加聚丙烯酰胺(PAM)的试验表明,坡耕地平均粮食的增产幅度为 10%。

杜尧东、夏海江^[20]通过田间坡地施用阴离子型分子量 300~400 万的 PAM,结果表明施加 PAM 可使产量增加 18.7%~32.4%,研究还表明适宜施用 PAM 对环境无不良影响。

2.4 PAM 的施用量、施用方法及应用

从以上的研究结果可以看出 PAM 的使用量差异很大,这说明不同产品类型、不同土壤对其施用量的影响很大,其施用效果也随土壤类型、施用量、施用方法的不同而有所差别。总之,以溶液形式施用效

果优于直接干施 PAM 于地表的效果。

1994 年 PAM 作为商业性产品在美国西部许多州登记注册, 1995 年 6 月, U S D A N R C S 颁布了为控制因灌溉引起的土壤侵蚀而使用 PAM 的临时性使用规范, 规定 PAM 的施用量为 10 mg/kg 。同时要求在每一季节的第一次灌水或土壤受扰动后的灌水时应用足 PAM, 允许以后 PAM 的施用量可适当减少。

孟维忠^[30]等通过室内模拟试验对 PAM (辽宁省抚顺市化工六厂生产) 防治土壤侵蚀的最优剂型、适宜用量、抗溅蚀性及对土壤的物理性质的影响进行了探讨, 实验证明阴离子型分子量 300~ 400 万的 PAM 减少辽宁棕壤土侵蚀量的效果最好, 平均较对照减少土壤侵蚀量 78.1%, PAM 适宜用量为 $0.3 \sim 1.3 \text{ g/m}^2$, 坡度小时可采用下限值, 坡度大时可采用上限值, 当雨量一定时, 土壤溅蚀量随 PAM 用量的增加而减少。

截至 1997 年, PAM 在美国的推广应用面积已超过 $240\,000 \text{ hm}^2$, 大约减少土壤流失量 500~ 1 000

万 t, 而且其后使用 PAM 的趋势快速增长。

3 存在问题

有关 PAM 的研究已取得了一定的成果, 作为一种新型材料, 寻求一套较为适宜的 PAM 施用技术体系很有必要, 可以研究其不同土壤类型、不同灌溉条件下的适宜施用量、施用时期及相应的施用方法。为 PAM 在干旱、半干旱地区的推广应用提供理论依据和技术支撑。

4 PAM 应用前景展望

我国是水资源较缺的国家, 随着国民经济建设和人口的不断增长, 淡水资源将日趋紧张。应用 PAM 作为保水增产的一条新途径, 可以说是一种简单易行、切实可靠、投资少、见效快的新举措。目前 PAM 在农林业上的应用研究正在深入开展, 不久的将来, PAM 将成为农林业生产上不可缺少的物质, 其应用前景相当广阔。

参考文献:

- [1] 川岛和夫 农用土壤改良剂——新型保水剂[J]. 姚德兴译 土壤学进展, 1986, (3): 49- 52
- [2] 刘效端, 任克俊, 等 土壤保水剂对农作物的增产增收效果[J]. 干旱地区农业研究, 1993, 11(2): 32- 35
- [3] 贾大林, 孟兆江, 王和洲 农业高効用水及农艺节水技术[J]. 节水灌溉, 1999, (4): 7- 10
- [4] Norton, LD, I. Shainberg, KW King Utilization of gypsiferous amendments to reduce surface sealing in some humid soils in the eastern U S A [J]. J. W. A., 1993(1): 77- 92
- [5] 张淑芬 坡耕地施用聚丙烯酰胺防治水土流失试验研究[J]. 水土保持科技情报, 2001, (2): 18- 19
- [6] Terry, RE, SD Nelson Effect of polyacrylamide and irrigation method on soil physical properties[J]. Soil Sci., 1986, 141: 317- 320
- [7] RD Lentz, RE Sojka Field results using polyacrylamide to furrow erosion and infiltration[J]. Soil Sci., 1994, 158: 247- 282
- [8] TJ Trout, RE Sojka, RD Lentz Polyacrylamide effect on furrow erosion and infiltration[J]. ASA E., 1994, 38(3): 761- 765
- [9] RD Lentz, I Shainberg, RE Sojka, et al Preventing irrigation furrow erosion with small application of polymers[J]. Soil Sci, Soc Am. J., 1992, 56: 1 926- 1 932
- [10] XC Zhang, W P Miller Polyacrylamide effect on infiltration and erosion in furrows[J]. Soil Sci Soc Am. J., 1996, 60: 866- 872
- [11] RE Sojka, RD Lentz, CW Ross, et al Polyacrylamide effects on infiltration in irrigated agriculture[J]. Soil Water Cons., 1999, 53(4): 325- 331
- [12] J Woodhouse, M S Johnson 超吸水性多聚物对作物幼苗存活和生长的影响[J]. 党秀丽编译 水土保持科技情报, 2001 (3): 17- 19
- [13] 介石磊, 李有田, 等 保水剂对土壤持水特性的影响[J]. 河南农业大学学报, 2000(1): 22- 24
- [14] Bob, Sojka, Rick Lentz Polyacrylamide for furrow-irrigation erosion control[J]. Irrigation Journal 1996, 1: 8- 11
- [15] RE Sojka, RD Lentz Reducing furrow irrigation erosion with Polyacrylamide (PAM) [J]. J. Prod Agric. 1997, 10: 47- 52
- [16] Shock, CC, BG Feibert, LD Saunders A comparison of straw mulching and PAM for potato production[R]. OSU, Malheyr Experiment Station Special Report 1997, 978: 71- 78

- [17] Clint Shock, Jan Trenkel, D. Burton, et al Season - long comparative effectiveness of polyacrylamide and furrow mulching to reduce sediment loss and improve water infiltration in furrow irrigated onions [R]. OSU, Malheur Experiment Station Special Report 1996, 964: 176- 185.
- [18] Daniel Burton, Jan Trenkel, CCSHock. Effects of polyacrylamide application method on soil erosion and water infiltration [R]. OSU, Malheur Experiment Station Special Report 1996, (964): 186- 191.
- [19] Jan Trenkel, Daniel Burton, Clint Shock. PAM and low rates of straw furrow mulching to reduce soil erosion and increase water infiltration in a furrow irrigated field, 1995 Trial [R]. OSU, Malheur Experiment Station Special Report 1996, 964: 167- 175.
- [20] J Kristian Aase, David L Bjorneberg, Robert E Sojka. Sprinkler irrigation run off and erosion control with polyacrylamide- Laboratory test [J]. Soil Sci Am. J., 1998, (62): 1 681- 1 687.
- [21] 何丙辉, Michman. 土壤改良剂和除草剂交互作用对土壤侵蚀的影响 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(3): 48- 51.
- [22] DV Ambrust. Effectiveness of Polyacrylamide (PAM) for wind erosion control [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1999, 3: 557- 559.
- [23] 肇普兴, 夏海江. 聚丙烯酰胺的保土保水保肥及改土增产作用 [J]. 水土保持研究, 1997, 4(4): 98- 104.
- [24] 杜尧东, 夏海江. 聚丙烯酰胺防治坡地水土流失田间试验研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 2000, 14(3): 10- 13.
- [25] 冯浩, 吴普特, 黄占斌. 聚丙烯酰胺(PAM)在黄土高原雨水利用中的应用研究 [A]. 全国雨水利用学术讨论会暨国际研讨会论文集 [C], 甘肃兰州: 2001. 174- 177.
- [26] Levy, GJ, M Ben - Hur, MA gassi. The effect of polyacrylamide on run off, erosion and cotton yield from fields irrigated with moving sprinkler system [J]. Irri Sci, 1991, 12: 50- 60.
- [27] Stern, R, AJ Van Der Merwe, et al. Effect of soil surface treatments on runoff and wheat yields under irrigation [J]. Agron J., 1992, 84: 114- 119.
- [28] Erik BG Feibert, Clinton C. Shock, Lamont Saunders. Yield and quality of four potato cultivars in response to polyacrylamide treatment of irrigation water [R]. Special Report 1982: 111- 117.
- [29] Clint Shock, Erik Feibert, Monty Saunders, et al Treatment of soil with bright sun soil booster and polyacrylamide as soil conditioners for improved seeding emergence [J]. Agron J., 1992, 84: 160- 165.
- [30] 孟维忠, 杜尧东, 夏海江. 聚丙烯酰胺防治坡地土壤侵蚀的室内模拟试验 [J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 14- 17, 83.

(上接第 123 页)

管道输水 230.7 hm^2 , 葡萄园滴灌 123.4 hm^2 , 沟灌 72.6 hm^2 ; 同时在杨村乡夏家沟村建立节水灌溉高新技术示范区 67 hm^2 , 形成集节水增效, 参观学习, 观光旅游, 科学试验于一体的综合基地。要完成上述工程, 需在争取国家投资的同时, 积极发动群众筹资投劳, 增加对节水灌溉工程的投入。只有这样, 建设一批具有一定规模, 集国内外节水灌溉高新技术和各种先进节水灌溉技术于一体的综合性示范工程的目标, 才能顺利实现。

5.3 完善节水灌溉服务体系建设

健全完善乡镇水管站建设, 充实基层业务技术队伍, 加强培训技术人员, 提高节水灌溉工程的规划设计、施工管理水平。

5.4 加快水利产权体制改革

水利产权体制改革是节水灌溉健康发展的重要条件, 要逐步理顺以水权、水价、水分配为核心的水利产权体制, 加强水资源统一管理, 在此基础上继续将新建节水灌溉工程根据不同情况分别以拍卖、租赁、承包的形式进行改制, 并积极摸索新的改革思路, 形成自我维持滚动发展的节水之路。