

聚丙烯酰胺的土壤改良效应

董 英, 郭绍辉, 詹亚力

(石油大学(北京)环境工程研究所, 北京 102249)

摘要:分析了阴离子型、高分子量、中等离子度的线型聚丙烯酰胺(PAM)改良土壤的机理及影响因素,全面总结了PAM的保土、保水、保肥和增产的四大效应。文章还提到了PAM在土壤中的降解及应用的安全性,展示了其广泛的应用前景。

关键词:聚丙烯酰胺;土壤改良;降解;水土保持

聚丙烯酰胺(Polyacrylamide, 简称PAM)是丙烯酰胺(Acrylamide, 简称AMD)及其衍生物的均聚物和共聚物的总称。PAM产品可分为阴离子、阳离子和非离子等类型,其分子可分为网状和线型。因为它具有独特的化学和物理性质,现已广泛用于污水及饮用水处理、造纸、石油开采、矿冶、建材、纺织等行业。与土壤有关的PAM应用主要有两种,一种为阳离子网状PAM,它是一种高吸水性树脂,可用做农田保水剂。另外一种就是阴离子线型PAM,因其分子链长等特征,用作土壤改良剂,在控制土壤侵蚀、防止水土流失方面起到了重要的作用。

众多试验表明,PAM可有效的改善土壤结构,增加大团聚体数目,降低土壤容重,提高渗透率,增加土壤的含水量,提高土壤抗蚀能力,进而提高作物产量。概括说来,PAM具有保土、保水、保肥和增产的四大效应。

1 PAM的作用机理及影响因素

PAM对土壤的改良效果主要是通过土壤对聚合物的吸收来实现的。阴离子PAM带有与土壤表面相同的负电荷,本应与土壤颗粒相斥,但是它却能够通过阳离子桥的作用与土壤相结合。土壤中的二价阳离子(如 Ca^{2+})可以分别结合土壤颗粒表面和阴离子PAM的负相,形成阳离子桥,即 $\text{PAM}-\text{Ca}^{2+}$ -土壤颗粒^[1]。土壤颗粒对PAM的吸收程度取决于PAM和土壤的性质。通常,主要的影响因素有PAM的分子量、离子度以及土壤中阳离子的含量。

1.1 PAM分子量影响

分子量高分子链长的聚合物,在分散土壤细粒间的桥键作用和在团粒外表面形成保护网的作用较强,因此在水土保持方面的效果比分子量低的聚合物好,但分子量过高,分子不易在土层中扩散和对流,限制改良土层深度,并容易在土壤表面形成高分子胶结土壤的膜状薄层,反而减弱土壤的渗透性^[2]。因此,应根据不同土质选择适合分子量的PAM。一般来说,砂土通常选择高分子量PAM(18mg/mol),而质地较密实的壤土可以选择分子量较低的PAM(6mg/mol)^[3]。

1.2 PAM离子度影响

在PAM分子量相同的情况下,离子度是影响阳离子桥形成的重要因素。高离子度能引起聚合物

作者简介:董英(1979—),女,辽宁沈阳人,石油大学(北京)在读硕士生,主要从事水处理方面的研究。

分子之间的相互排斥,致使聚合物分子链互相缠绕,降低土粒对其的吸收程度。而具有一定的阴离子度是 PAM 能够被土粒吸收的先决条件,所以实际采用的是离子度 20%~30%的 PAM^[3]。

1.3 土壤中阳离子影响

通常,聚丙烯酰胺在自来水介质中施用,对土壤的最终渗透率、累积渗透率和流失量的改善程度都优于在去离子水介质中施用。这是因为多价金属阳离子能够影响聚合物分子和分散土粒间的吸附作用,由于静电排斥,阴离子聚合物分子很难在负电性的分散土粒表面吸附,改良土壤的作用不明显,多价金属阳离子在两者之间形成桥状化学键,促进了阴离子聚合物分子的吸附^[2]。

2 PAM 对土壤物理性状的影响

土壤颗粒对 PAM 的吸收,有效地改善了土壤的物理性状,增加土壤水稳性团粒数目、降低土壤容重、提高渗透性和孔隙度,提高土壤的水分含量,维系了良好的土壤结构。

2.1 容重

随 PAM 施用量的增大,土壤容重呈下降趋势。当 PAM 施用量从 0.010% 增至 0.200% 时,实验室中赤红壤容重比未加入 PAM(对照)时减少 0.25~0.26 g/cm³^[4];当 PAM 用量为 0.75~1.25 g/cm² 时可使陕西田间重壤土容重平均下降 0.068 g/cm³^[5]。

2.2 孔隙度

随着 PAM 的增加,田间试验的土壤毛管孔隙度和总孔隙度都呈上升趋势^[5],但实验室试验的土壤凋萎系数增幅不大^[6]。

2.3 土壤结构

龙明杰等施用浓度为 0.025~0.050% 的 PAM,赤红壤的水稳性团粒含量比对照增加了 29.74%~39.78%^[4];员学锋等发现,当 PAM 用量为 0.25~1.25 g/cm² 时团聚体总量(>0.25 mm)平均增加 30.2%,从而起到疏松土壤、减缓土壤水分蒸发,调节土壤的水肥气状况的作用^[5]。

2.4 水分

施加浓度为 0.025%~0.050% 的 PAM,土壤的毛管水量比对照增加 3.7%~18.6%,表层土水分百分含量增加 3.0%~11.6%^[4]。介晓磊等在黄潮土中施入 PAM,在 0~80 kPa 吸力范围内土壤持水量随聚合物用量的增加而增大,同时增加了有效水含量^[6]。于晓光等专门对砂土进行了试验,结果表明,施用聚丙烯酰胺可以缩短水分渗入土壤的时间,加速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。因此,在田间施用聚丙烯酰胺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。施用聚丙烯酰胺还可以减缓土壤密度的增大,避免土壤紧实板硬,从而保持土壤良好的疏松结构,这将有助于作物的生长发育^[7]。

2.5 渗透性

在 PAM 施用量从 0.010% 增至 0.200% 时,土壤的渗透系数比对照增加 $1.07 \sim 5.35 \times 10^{-4}$ cm/s。Green 等考察了三种离子度(20%、30%、40%),三种分子量(6、12、18 mg/mol)的 PAM 对三种质地的土壤(砂土、壤土、黏土)作用的渗透率变化,得出离子度 20%~30% 时,不同分子量的 PAM 对不同质地的土壤均有很好的效果,平均可以提高这些土壤的渗透率 3~5 倍^[3]。

Ben-Hur 在室内模拟降雨条件下,研究了 25° 倾角上应用 PAM 提高渗透率的情况,结果表明,在 PAM 施用 50 和 75 kg/ha 时,渗透率为 28 mm/h,而此时,对照试验的渗透率为 8 mm/h^[8]。

Santos 用 PAM 对地中海土壤进行连续和阶段地沟灌试验发现,两种情况下累积渗透分别增加了 20% 和 14%,并认为 PAM 有很好的改善表层土壤结构,增加渗透率的作用,同时能够在田间管

理中节省人力,应用安全^[9]。

3 PAM的保土、保水、保肥、增产作用

PAM通过对土壤结构的改善,增加了土壤水稳性团粒数量,增强了土壤的透气、渗透性能,减少了地表径流,有效地增强了土壤的抗蚀能力,使PAM处理过的土壤具有很好的保水、保土、保肥、增产的作用。

3.1 保土

PAM处理过的土壤表面紧密的结构和较高的团聚体稳定性有效抑制了土粒的分散,可以有效地防止土壤的侵蚀^[10]。

Levy等利用小型水道进行了针对壤土和黏土的PAM沟灌试验。试验中,壤土的渗透率减少了59%,而黏土减少了22%,这主要是由于具有不稳定结构、窄孔隙的壤土比黏土更易被沉积物阻塞。试验还表明,PAM处理有效地减少了流水侵蚀^[11]。

Kristian等在实验室建立了喷淋灌溉系统,水滴降落在倾角为2.4%的壤土层上。2kg/ha的PAM在第一次20mm的灌溉中就对对照降低径流70%,减少土壤流失75%。由此可见,PAM有效地减少了径流和侵蚀,且对侵蚀的控制比对径流更有效^[12]。

Lentz等使用两种土壤改良剂对Portneuf砂壤土进行灌溉,发现阴离子PAM比阴离子淀粉共聚物在控制土壤侵蚀上有更好的效果。在以5~20g/m³PAM灌溉1~2h后,沉积物损失减少45%~98%。低浓度PAM经多次灌溉或是定期灌溉也能达到同样的效果。用湍流灌溉也不会影响到土粒对PAM的吸收^[13]。

Levin等研究了土壤改良剂存在条件下雨滴动能对渗透系数和土壤侵蚀的影响。他们采用的土壤改良剂是阴离子PAM与磷石膏混合而成。随着雨滴动能的增加,这种改良剂抑制土壤密封的作用也逐渐提高,这是PAM稳定团聚体结构,缓解因雨滴对团聚体的击打而崩解的结果。文章还指出土壤的侵蚀与土壤的渗透系数之间很可能不是直接相关的^[14]。

Lentz和Sojka用中等离子度的阴离子PAM有效地控制了沟灌中的沉积物损失。未经处理的沟渠有75%超过了沉积物损失的最大容许值,而经PAM处理后的沟渠只有13%超过这一容许值。这些处理平均减少了94%的沉积物损失并且增加了15%的净渗透^[15]。

夏海江对PAM的保土效果进行了观察,结果表明,在坡度为6°、10°、15°时,田面土壤流失量分别比对照减少73.8%、69.5%、43.8%^[16]。并且还发现PAM有很强的抗溅蚀作用,溅蚀量随着用量的增加而减小^[17]。顾英武在田间施用PAM后,减少土壤侵蚀量26.6%~56.9%^[15]。还有研究表明,拌土撒施和水溶液喷施两种方法比较,减少土壤侵蚀量差异不明显,减少的量从57%~77%不等,15°坡施用PAM减少地表径流作用明显^[19]。

3.2 保水

PAM具有很好的保水效果,在玉米生育期的不同测定时间段内,PAM处理过的土壤在较长时间内保持较高的水分含量,且随浓度的增加其保水效果增强^[15]。在PAM施用后一个汛期内,多保蓄雨水153m³/km²,相当于一次37.5mm降雨^[18]。

3.3 保肥

龙明杰等通过土壤吸附肥料实验和土壤肥料淋溶实验得出,PAM可以使土壤对NH₄⁺、K⁺、NO₃⁻、PO₄³⁻的吸附分别增加30.6%~162.6%、14.5%~20.6%、2.5%~16.3%、0.9%~21.8%;NH₄⁺、K⁺、NO₃⁻、PO₄³⁻的淋溶下移率分别为40.1%(对照为63.7%)、27.6%(64.4%)、68.5%(77.0%)、46.2%(57.0%)。由此可见,无论土壤对肥料的吸附还是淋溶,PAM都能够起到不同程

度的保肥作用^[20]。

在农田灌溉实验中,PAM 的加入可以减少径流中带出的总磷(对照的 84%)、氮(83%)和 BOD(72%),能够有效地控制土壤肥分的流失^[15];施用 PAM 还可以降低有机质、速效氮、速效磷、速效钾的流失量,保肥效果最高可达 80%以上^[19]。

3.4 增产

PAM 的增产效果显著,当其浓度为 $0.75 \sim 1.25 \text{ g/cm}^2$ 时玉米增产幅度为 11.7%~18.3%^[5]。田间施用 PAM 后增产幅度为 5%~10%^[18]。

4 PAM 在土壤中的降解

AMD 是 PAM 的单体,它对温血动物的毒性主要作用于周围神经,特别是坐骨神经和胫腓神经,经消化道和皮肤易于吸收,并可以在身体内累积^[21]。试验证明 PAM 水溶液会随温度和光照的增加而降解成为丙烯酰胺(AMD)^[22]。因此,研究 PAM 施入土壤后的降解情况对于 PAM 应用的安全性是十分必要的。

Smith 等对施加 PAM 的土壤径流中 AMD 进行了一系列检测,一直未能检测到可测含量的 AMD。这可能是由于 PAM 与可溶性颗粒结合抑制了 PAM 的降解或是 PAM 在土壤和光照条件下降解成其他产物^[23]。

Lande 等研究发现,AMD 在土壤中的分解和迁移不会污染到地下水,因为土壤中 AMD 的分解速度和迁移速度是保持平衡的。土壤中 AMD 的降解产物为 CO_2 和其他无毒性的物质。在 22°C 时,25ppm 的 AMD 半衰期范围是 18~45h。降低温度和提高 AMD 浓度都会增加 AMD 的半衰期^[24]。Shanker 等发现 30°C 时 500 mg/kg 的 AMD 加入到花园土后,降解得非常迅速。5 天后,研究者已经无法检测到 AMD 单体的存在,同时 AMD 的分解产物还为土壤提供了 N 和 C 源。他们还证明了这一降解过程为生化过程^[25]。

Grula 等证明 PAM 不易生物降解,但在土壤环境中,PAM 可以提供微生物所需的 $\text{NH}_3\text{-N}$,从而促进几种假单胞菌和硫酸盐还原菌的生长^[26]。Kay-Shoemake 报道了在酰胺酶的作用下,土壤中的 PAM 可以生物转化,同时释放 $\text{NH}_3\text{-N}$,分解出的单体 AMD 可以在土壤中迅速降解,并为土壤微生物提供 C 源,使土壤中微生物数量增加^[27]。

PAM 表现出来的毒性与其含有和释放出的 AMD 单体含量密切相关。多项试验研究证明 PAM 对食品、药物和环境是安全的。美国规定饮用水体中 PAM 单体最大浓度为 0.05%。土壤系统的产品,含残余 AMD<0.05%就可以使用^[28]。

5 PAM 的应用前景

PAM 用做土壤改良剂,技术操作简单、方便、易学、且投入少,公顷平均需 PAM 材料费仅 120~225 元;但效益大,直接增产效益及改土、保土、保水、保肥等社会、生态效益总值达到投入的 10~15 倍。1994 年“聚丙烯酰胺防治田间水土流失研究”被列入“八五”期间辽宁省重点科技攻关项目。截止到 1998 年底,辽宁省坡耕地推广应用 PAM 面积近 20 万公顷,总(折合)经济效益达 2 亿多元^[16]。

1995 年 1 月,美国农业部讨论了西方国家使用 PAM 控制沟渠灌溉侵蚀的临时保护行动标准。到 1996 年,在美国西部大约有 160000 到 200000 公顷的土地得到处理,5 百万到 1 亿吨土壤得到保

护^[29]。

我国是世界上土壤侵蚀最为严重的国家之一,其范围遍布全国各地。只要根据各地的土壤质地条件选择合适分子量、用量的PAM进行处理,不但对农作物和环境无害,还可以起到水土保持的作用,其应用前景十分广阔。

参考文献:

- [1] Laird D A. Soil Science, 1997, 162(11): 826~832.
- [2] 龙明杰, 等. 水土保持通报, 2000, 20(3): 5~9
- [3] Green V S, Stott D E, Norton L D, Gravelle J G. Soil Soc Am J, 2000, 64: 1786~1791.
- [4] 龙明杰, 等. 土壤通报, 2002, 33(1): 9~13.
- [5] 员学锋, 等. 水土保持研究, 2002, 9(2): 55~58.
- [6] 介晓磊, 等. 河南农业大学学报, 2000, 34(1): 22~24.
- [7] 于晓光, 宋国献, 等. 中国水土保持, 2003(5): 26~27.
- [8] Ben-Hur M, Keren R. Soil Sci Soc Am J, 1997, 61: 565~570.
- [9] Santos F L, Serralheiro R P. J Agric Engng Res, 2000, 76: 83~90.
- [10] Shainberg I, Laflen J M, Bradford J M, Norton L D. Soil Sci Am J, 1994, 58: 1007~1012.
- [11] Sirjacobs D, Shainberg I, Rapp I, Levy G J. Soil Sci Am J, 2000, 64: 1487~1495.
- [12] Aase J K, Bjorneberg D L, Sojka R E. Soil Sci Am J, 1998, 62: 1681~1687.
- [13] Lentz R D, Shainberg I, Sojka R E, Carter D L. Soil Sci Soc Am J, 1992, 56: 1926~1932.
- [14] Levin J, Ben-Hur M, Gal M, Levy G J. Aust J Soil Res, 1991, 29: 455~465.
- [15] Lentz R D, Sojka R E. Soil Science, 1994, 158(4): 274~282.
- [16] 夏海江, 等. 东北水利水电, 2000, 18(3): 41~49.
- [17] 夏海江, 等. 水土保持学报, 2000, 14(3): 14~17.
- [18] 顾英武. 广州化工, 1997, 25(3): 64~65.
- [19] 张淑芬. 水土保持科技情报, 2001, (2): 18~19.
- [20] 龙明杰, 等. 土壤肥料, 2000(5): 13~18.
- [21] 兰州医学院训练部聚丙烯酰胺毒性研究小组. 卫生研究, 1997(6): 455~462.
- [22] Smith E A, Prues S L, Oehme F W. Ecotoxicology and Environmental Safety, 1996, 35: 121~135.
- [23] Smith E A, Prues S L, Oehme F W. Ecotoxicology and Environmental Safety, 1997, 37: 76~91.
- [24] Lande S S, Bosch S J, Howard P H. J Environ, 1979, 8(1): 133~137.
- [25] Shanker R, Ramakrishna C, Seth P K. Archives of Microbiology, 1990, 154: 192~198.
- [26] Grula M M, Huang M L, Sewell G. Soil Science, 1994, 158(4): 291~300.
- [27] Kay-Shoemaker J L, Watwood M E, Lentz R D, Sojka R E. Soil Biol Biochem, 1998, 30(8/9): 1045~1052.
- [28] Barvenik F W. Soil Science, 1994, 158(4): 235~243.
- [29] Sojka R E, Lentz R D, Westermann D T. Soil Sci Soc Am J, 1998, 62: 1672~1680.

Polyacrylamide Effects on Soil Amendments

DONG Ying, GUO Shao-hui, ZHAN Ya-li

(Institute of Environmental Engineering, University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: The mechanism and influence factors of linear, anionic PAM of high molecular weight and median charge density are analyzed in the paper. The four effects of PAM on water, soil and fertility conservation and harvest increasing are summarized. The paper also refers to degradation of PAM in soil and application safety, and shows a wide application prospect.

Key words: Polyacrylamide; Soil amendment; Degradation; Soil and water conservation