

PAM 调控土壤养分元素迁移与流失试验研究

张艳艳, 唐泽军

(中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘要: [目的] 研究聚丙烯酰胺(PAM)对氮磷钾素在砂土中的迁移和淋溶损失的影响,为探索 PAM 对控制养分元素的迁移、淋溶损失,提高水肥利用率的作用机制提供理论依据。[方法] 采用室内土柱模拟淋溶试验,共设置 5 个不同质量分数水平(0,0.02%,0.05%,0.1%和 0.2%)的阴离子型聚丙烯酰胺处理组,观察 PAM 对氮磷钾淋溶和迁移的影响。[结果] PAM 能降低土壤淋溶液中的氮浓度,各 PAM 处理组与对照组相比,土壤淋溶液中氮浓度降低了 28.8%~45.5%,同时能抑制土壤中的氮向下迁移;PAM 促进了土壤对氮的吸附与固定,各处理组土壤中的氮含量与对照组相比增加了 135.2%~285.7%;PAM 能够降低土壤淋溶液中的钾浓度,各 PAM 处理组与对照组相比,土壤淋溶液中钾浓度降低了 33.2%~51.8%,同时能抑制土壤中的钾向下迁移;PAM 促进了土壤对钾的吸附与固定,各处理组土壤中的钾含量与对照组相比增加了 42.5%~65.7%;PAM 不能减少土壤溶液中磷的淋溶损失,对土壤吸附固定磷没有明显的作用,反而减弱了土壤对磷的吸附固定能力。[结论] 土壤中施加 PAM 能有效减少氮、钾在土壤中的淋溶损失,增加土壤对氮、钾的保持固定作用,但对磷的作用效果并不理想。

关键词: 聚丙烯酰胺(PAM); 氮; 磷; 钾; 养分迁移; 淋溶损失

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)04-0033-07

中图分类号: S153.3, S27

文献参数: 张艳艳, 唐泽军. PAM 调控土壤养分元素迁移与流失试验研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 33-39. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.006; Zhang Yanyan, Tang Zejun. Regulation and control of PAM on vertical transport and leaching loss of soil nutrient[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(4): 33-39. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.006

Regulation and Control of PAM on Vertical Transport and Leaching Loss of Soil Nutrient

ZHANG Yanyan, TANG Zejun

(College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] The effects of polyacrylamide(PAM) on the migration and leaching loss of nitrogen, phosphorus and potassium in sandy soil were investigated to provide a more accurate scientific basis about how PAM acts in the migration and leaching loss of soil nutrient and for the improvement of water and fertilizer use efficiency. [Methods] A laboratory soil column experiment was conducted in the study. Four PAM application rates, 0.02%, 0.05%, 0.1% and 0.2% were tested against the control of containing no PAM. [Results] PAM effectively reduced the nitrogen leaching loss in soil. The leachate soluble N concentration was reduced by 28.8%~45.5% in comparison with the value of the control. The effectiveness of this action increased with the increasing rate of applied PAM. PAM clogged the natural flow path of soil solutions and therefore restrained nitrogen migration. PAM enhanced nitric absorption and immobility in the soil. The N concentration increased by 135.2%~285.7% when compared with the control value. PAM effectively reduced the potassium leaching loss in soil. The leachate soluble K concentration was reduced by 33.2%~51.8% in comparison with control value. PAM clogged the natural flow path of soil solutions, and therefore restrained potassium migration. PAM enhanced potassium absorption and its immobility in the soil. The K

收稿日期: 2016-10-19

修回日期: 2016-12-21

资助项目: 国家自然科学基金项目“沙漠固结层与植被重构条件下风蚀调控机理研究”(51379211)

第一作者: 张艳艳(1992—), 女(汉族), 河南省郑州市人, 硕士研究生, 研究方向为农业水土工程。Email: zyy_yvonne@126.com。

通讯作者: 唐泽军(1958—), 男(汉族), 湖南省湘潭市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持与荒漠化防治工程以及水文水资源研究。E-mail: tangzejun@sina.com。

concentration increased by 42.5%~65.7% in comparison with the control value. The effectiveness of this action was increased with the increasing application rate of PAM. The 0.1% PAM treatment generated better results than those of others. In contrast, PAM did not reduce leachate soluble P concentration in comparison with the control. PAM affected both the phosphorus absorption and the immobility in the soil and the P concentration was decreased by 1.4%~14.3% in comparison with the control. [Conclusion] PAM effectively reduced the nitrogen and potassium leaching loss, and restrained nitrogen and potassium migration in soil. The effect of PAM on the reducing of phosphorus leaching loss was not observed.

Keywords: polyacrylamide(PAM); nitrogen; phosphorus; soil nutrient migration; leaching loss

数据^[1]表明,从 1980 年起,我国化肥供应量每年以 4% 的速度增长,目前,中国已是世界上最大的化肥消费国。作为粮食的“粮食”,肥料特别是化学肥料在农业生产中发挥着举足轻重的作用。目前肥料的淋溶损失,不但造成了环境面源污染同时也是肥料利用率低的主要原因。提高肥料利用率提高农业生产能力,减少由于肥料损失带来的环境污染一直是人们关注的课题。聚丙烯酰胺(PAM)作为一种土壤改良剂,目前对其的研究主要是集中在对土壤的物理性质以及入渗率、土坡侵蚀和径流的影响上^[2-8],关于 PAM 与肥料、土壤的相互影响程度及其机理,还有对土壤养分流失及作物的生长的影响的相关研究并不多。PAM 通过改变施加养分元素的环境来控制养分流失,主要表现在随着地表径流的流失、垂直方向上的迁移和淋溶损失以及土壤对肥料离子吸附特性等三方面的影响。本文通过室内土柱模拟淋溶试验,在土壤中施加不同质量分数的 PAM,通过提取分层土壤溶液和淋溶液,研究氮磷钾垂直方向上的迁移情况和淋溶损失情况,为进一步揭示 PAM 对养分保持的作用机制,控制养分元素的迁移和淋溶损失以及提高水肥利用率提供可靠的理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土样与材料

试验土样取自内蒙古达拉特旗库尔其沙漠,根据美国制土壤质地分类标准确定试验土壤为砂土,容重 1.58 g/cm³,pH 值 8.26。土壤中的氮磷钾 3 种养分元素分别由尿素,过磷酸钙和硝酸钾提供。试验选用 300 万分子量阴离子型聚丙烯酰胺(PAM),由广东西陇化工股份有限公司生产,市场采购。

1.2 试验方案

试验前先将土样过 2 mm 筛,剔除土壤中的杂物,然后自然风干待用。选用内径为 15 cm,高 70 cm 的有机玻璃土柱,外侧壁设有土壤溶液采集器陶土头的埋设孔,顶端和底部设有进出水口。土样填装时,以 2 cm 为一层,层间打毛,均匀夯实,共 5 层进行填装,填装高度 50 cm。出水口以上每隔 3 cm 铺设

粒径从大到小的砾石,共三种粒径防止土壤颗粒渗漏,填装完成后在顶部覆盖 3 cm 粒径为 5 mm 左右的砾石,防止水流对土壤的冲刷破坏,每间隔 10 cm 在土柱侧壁埋设陶土头,利用真空压力泵抽取土壤中的溶液。

填装时设计干容重为 1.5 g/cm³,根据氮肥、磷肥、钾肥通常的施用量,尿素、过磷酸钙和硝酸钾与风干土样均按 0.2 g/kg 设计比例混合均匀^[9-11],填装土样中尿素,过磷酸钙和硝酸钾分别施加 13 g,折合纯 N 6 g, P₂O₅ 2.1 g,纯钾 5 g。试验共设置 5 个 PAM(0,0.02%,0.05%,0.1%,0.2%)施水平,以不添加 PAM 的土柱作为对照组,分别记为 DZ, P₁, P₂, P₃, P₄,试验共 2 次重复。将处理后土壤经去离子水充分润湿后静置 24 h 后填装,以 2 cm 为一层,层间打毛,均匀夯实,共 5 层进行填装,填装高度 50 cm。

1.3 试验设计

试验开始前先从底部供水,令土柱自下而上逐渐饱和,当土柱顶部出现积水时停止底部供水。开始从土柱顶部供水,待出流稳定后开始取样。试验采用定水量供水间歇淋溶法,每次收集淋溶液时,向每一个土柱注入 1 000 ml 的水量,然后对每个土柱进行土壤溶液分层取样,最后进行淋溶液的收集,每个土柱共收集 1 个淋溶水样和 4 个分层土壤水样。试验 7 d 为一个周期,对每一个周期收集到的水样进行速效氮,速效磷和速效钾含量的测定。设计观察周期为 35 d,35 d 后停止供水,令水分自由落干 2 d 后将土壤分层取出,测定其质量含水率以及土壤中的速效氮,速效磷和速效钾的含量。速效氮采用流动与分析仪测定法,速效磷采用钼锑抗比色测定法,速效钾采用火焰光度计测定法。

2 结果与分析

2.1 PAM 对土壤含水率的影响

取样结束后,待水分自由落干 2 d,然后将土壤分层取出测得各层土壤的质量含水率,图 1 反映的是不同土柱分层土壤含水率的变化情况,尽管在不同深度

的土壤剖面的土壤含水率的大小和 PAM 的施用质量分数水平没有呈现正比关系,但从大体趋势来看,随着施加 PAM 质量的分数的增加,土壤含水率较对照组都有明显的增加。利用 SPSS 23.0 分别对不同深度的土壤含水率随 PAM 质量分数变化进行方差分析,各深度处的 p 值均小于 0.05,具有显著差异,说明 PAM 浓度的变化对土壤含水率的影响具有显著相关性。

对于在 10 cm 深度剖面土壤含水率出现对照组土壤含水率大于 P_1 和 P_2 处理组,这很有可能是因为随着试验的进行,一部分 PAM 随着水分的入渗而减少,同时 10 cm 层的土壤最容易受阳光和温度的影响,使其土壤中的 PAM 降解。最后都会导致 P_1 和 P_2 处理组的 PAM 浓度过低难以发挥作用,使 10 cm 深度处土壤含水率和对照组相差无几。从本次试验数据来看,施加 PAM 处理组与对照组相比,土壤含水率有不同程度的增幅,这可能与试验所用土壤类型有关,试验用土采用的是砂土,结构较差且土壤中缺乏能够分解的颗粒,在加入 PAM 后,当浓度过低时,PAM 水溶液呈现网状结构,随着施加 PAM 量的增加,溶液中的链-链接触点增加,使 PAM 水溶液呈凝胶状,网状结构和凝胶状结构对土壤持水能力会产生不同的影响。

对照组的土壤平均含水率最低,为 11%, P_1 , P_2 , P_3 和 P_4 处理组的土壤平均含水率分别较对照组提高了 7%,22%,33%和 56%。PAM 能够增强土壤对水分的保持,目前普遍认为的作用机理是由于 PAM 具有水合作用,在水的湿润下,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,土壤溶液在聚合物网状结构内外形成离子浓度差,水分子在渗透压的作用下进入网状结构形成网孔水,随着外界水分的散失,网孔水逐渐释放出来。PAM 通过延伸至土壤液相分子链上的酰胺基和羧钠基对偶极化水分子的强烈吸附和分子滞留形成以水分子为中心的水动力学体积,缩小了多孔介质中水流通道的有效直径,使得土壤孔隙中的堵塞作用提高了土壤溶液的黏度,减缓土壤水分运动。同时,在农业生产中,作物所需的营养元素只有溶解在水中,才能比较容易被作物的根系吸收利用,水分与养分的迁移有很密切的关系,水分充足,能使 PAM 更有效的发挥它的作用,同时养分元素越多溶解在水中,就越有利于作物的吸收利用,而水分缺乏,会导致养分元素和施加的 PAM 无法充分溶解发挥它的作用,同时造成肥料利用率低。

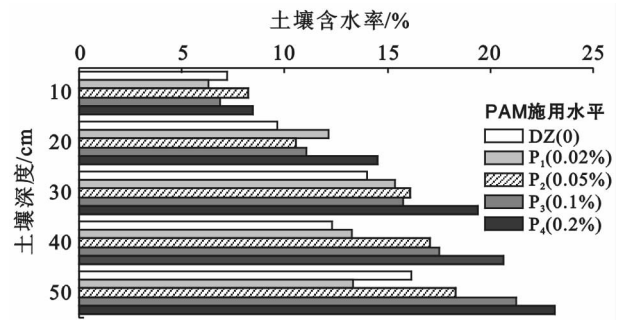


图 1 不同 PAM 施用水平分层土壤含水率变化

2.2 PAM 对土壤溶液中氮浓度的影响

土壤溶液中氮浓度的高低反映了土壤淋溶损失的程度。图 2 反映了淋溶液中氮浓度的变化情况,淋溶液中的氮浓度随着 PAM 施加质量分数的增加而提高,基本呈现施加 0.2% PAM 处理组淋溶液中氮浓度最低的趋势。整个试验过程, P_1 , P_2 , P_3 和 P_4 处理组淋溶液中氮浓度淋溶损失累积量较对照组分别降低了 28.8%,35.8%,38.5%和 45.5%。利用 SPSS 23.0 分别对不同周期内的淋溶液氮浓度随 PAM 质量分数变化进行方差分析,发现每个周期的 p 值均小于 0.05,具有显著差异,说明 PAM 浓度的变化对土壤淋溶液氮浓度的影响具有显著性。第 1 周期的土壤淋溶液氮浓度随 PAM 质量分数变化虽然也具有显著差异,但其相关性不是很强, p 值接近于 0.05,这很有可能在试验开始的初期,因为 PAM 是和土壤混施,PAM 还没有充分溶解于水中,没能在试验初期发挥作用,造成第一周期 PAM 质量分数的变化对淋溶液内氮浓度的变化没有产生特别强的显著相关性。

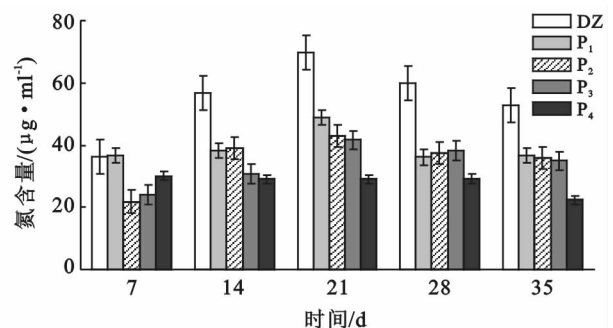


图 2 不同 PAM 施用水平淋溶液中氮浓度变化

图 3 反映的是整个试验周期,不同深度的土壤溶液中平均氮浓度与第一层土壤溶液相比的升降幅度的百分比,各个处理组在不同试验周期,土壤溶液中的氮浓度随着深度的增加而变化的程度反映了可溶性氮随着土壤水的入渗而迁移的情况,可以发现 PAM 处理组土壤溶液中的氮浓度随着深度的增加

而提高的幅度明显小于对照组,而且从图形的斜率来看,除了加入 0.02%PAM 处理组,其他 PAM 处理组的氮下移率明显小于对照组。其中当施加质量分数为 0.02%和 0.05%的处理组的增幅程度和对照组相差不大,说明 PAM 施加量太少,不会对土壤对氮的吸附与固定产生太大的影响,作用效果不明显,当施加质量分数为 0.1%和 0.2%时,PAM 的作用效果很显著,说明土壤中施加质量分数 0.1%和 0.2%的 PAM 加强了土壤对氮的吸附和固定,降低土壤溶液中的氮浓度,能在一定程度上减少可溶性氮随着土壤水分的向下迁移。

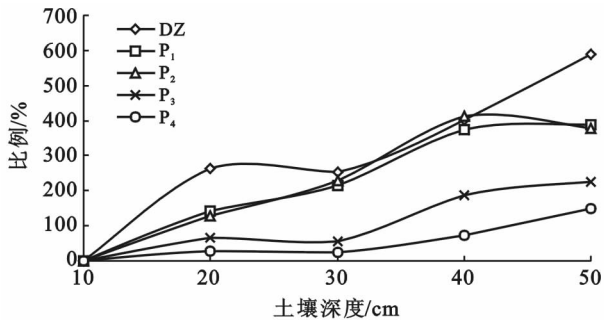


图 3 不同 PAM 施用水平土壤溶液平均氮浓度随深度变化

2.3 PAM 对土壤中氮含量的影响

土壤中氮含量的多少反映了土壤固定氮能力的大小。在试验结束后,水分自由落干 2 d 将土壤分层取出,图 4 反映了不同土柱各层土壤中氮含量的变化情况。试验结束后对不同土柱的土壤总氮含量进行测定,与土壤溶液中氮浓度随着 PAM 施加水平提高而降低相比,土壤中的氮含量随着 PAM 施加质量分数的增加而增加(除了 P₂ 和 P₃ 处理组),各处理组土壤中的氮含量较对照组分别增加了 135.24%, 230%, 204.7% 和 285.7%。说明 PAM 增强土壤对氮的吸附与固定效果十分显著,能有效减少可溶性氮的淋失。P₂ 和 P₃ 处理组土壤中的氮含量相差不大,可以认为在施加 PAM 质量分数为 0.05%和 0.1%时,PAM 对土壤的作用效果没有产生很明显的差异。考虑到经济因素的影响和当施加过高的 PAM 质量分数时,浓度过高,溶液含有很多链—链接触点会使 PAM 水溶液呈凝胶状,黏度很大,土壤表面的水土过程的封闭作用会降低土壤的入渗率,同时会影响作物的呼吸和对肥料的吸收,所以施加质量分数为 0.05%~0.1%PAM 对于砂土保持土壤中氮的不流失是最合理的。

利用 SPSS 23.0 对不同剖面土壤中的氮含量与 PAM 质量分数和深度进行主效应的两因素方差分析,发现 PAM 质量分数和深度的 p 值都小于 0.05,

对土壤氮含量具有显著影响。10—40 cm 深处土壤中的氮含量都随着施加 PAM 质量分数的增加而增加,在 50 cm 深处的土壤中,施加质量分数为 0.2%的 PAM 的土壤氮含量出现了小于施加质量分数为 0.05%和 0.1%PAM 的土壤氮含量的现象,这很有可能和氮在土柱中的迁移情况有关,施加 PAM 质量分数最高的土壤能够有效增强对氮的固定,在一定的程度上抑制氮在垂直方向的迁移,导致在最深层土壤中氮累计含量减少,才出现了在 50 cm 处 PAM 施加量越多,土壤中氮含量反而小于其他两组土壤中氮含量的现象。

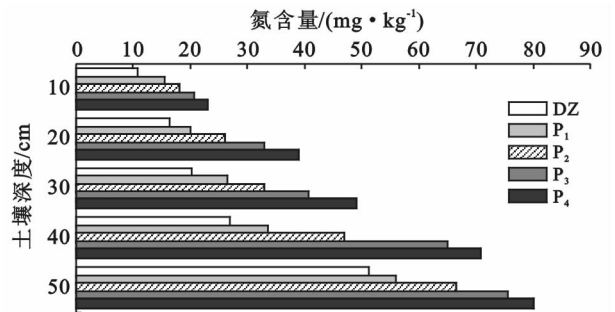


图 4 不同 PAM 施用水平土壤中氮含量变化

2.4 PAM 对土壤溶液中磷浓度的影响

土壤溶液中磷浓度的高低反映了土壤中磷的淋溶损失程度。图 5 反映了淋溶液中磷浓度的变化情况,在相同的淋溶周期内,与对照组相比,其他处理组的磷浓度基本都比对照组高;淋溶液中的磷浓度随着 PAM 施加质量分数的增加而提高,其中在施加质量分数为 0.1%时磷素淋溶损失最严重。整个试验过程,P₁,P₂,P₃ 和 P₄ 处理组淋溶液中磷浓度淋溶损失累积量较对照组分别增加了 13.7%, 27.7%, 83.7% 和 55.8%。利用 SPSS 23.0 分别对不同周期内的淋溶液磷浓度随 PAM 质量分数变化进行方差分析,第 1 周期内 $p=0.087>0.05$,说明在第 1 周期内,PAM 对磷在土壤中的淋溶情况没有产生显著影响,不具有相关性。这很有可能是因为磷在土壤中的移动性小,易发生化学固定,尤其是在试验开始的初期,因为 PAM 是和土壤混施,当第一周期开始进行淋溶液取样时,PAM 还没有充分溶解于水中,没能在试验初期发挥作用,造成第 1 周期 PAM 质量分数的变化对淋溶液内磷浓度的变化没有产生显著相关性。PAM 在水平方向上增加了磷的淋溶损失量,才导致 PAM 处理组土壤溶液中磷浓度高于对照组,以不同处理组各自的第一层土壤溶液中磷浓度作为参照值,计算得出的磷浓度随深度增加的幅度百分比,发现 PAM 处理组土壤溶液中的磷浓度随着深度的增加而升高的

幅度比对照组的增幅百分比小。土壤经 PAM 处理后,增强了对磷的淋溶损失能力,这和其他研究者得到相同的结论^[12-15]但是 PAM 在一定程度上能控制土壤中的可溶性磷随着水分向下迁移与 PAM 促进土壤磷的垂直方向上的淋溶损失并不矛盾。因为 PAM 作为一种高分子聚合物,能够改善土壤的物理性质,增加土壤团聚体,当 PAM 遇水时疏水集团转向内侧,通过延伸至土壤水分子链上的酰胺基和羧钠基对偶极化水分子的强烈吸附,造成水分滞留,缩小了多孔对介质中水流通道的有效直径,使得土壤孔隙中的堵塞作用提高了土壤溶液的黏度,抑制土壤水分的下移,减缓土壤水分的运移也间接影响养分元素随土壤水分的淋失。溶液中的磷则主要与土壤发生物理化学吸附,聚丙烯酰胺主要降低了土壤对磷的物理吸附,不仅使吸附量降低,而且使被吸附的磷有利于解吸。虽然 PAM 结网阻碍了水分和养分向下迁移,但这种阻力小于 PAM 降低土壤磷的吸附强度,即使在垂直方向上 PAM 阻碍了水分和磷的向下迁移,但是每单位的土壤溶液中的磷浓度基数很大,使得土壤淋溶液中的磷浓度呈现增加的现象。

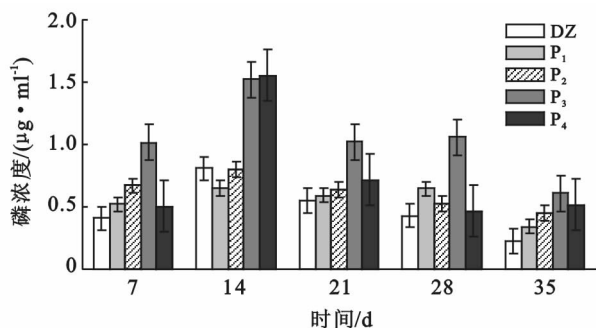


图 5 不同 PAM 施用水平淋溶液中磷浓度变化

图 6 反映的是整个试验周期,不同深度的土壤溶液中平均磷浓度与第一层土壤溶液相比较的升降幅度的百分比,各个处理组在不同试验周期,土壤溶液中的磷浓度随着深度的增加而变化的程度反映了可溶性磷随着土壤水的入渗而迁移的情况,可以发现 PAM 处理组土壤溶液中的磷浓度随着深度的增加而提高的幅度明显小于对照组,说明施加 PAM 的土壤能在一定程度上有效抑制可溶性磷向下迁移。

2.5 PAM 对土壤中磷含量的影响

土壤中磷含量的多少反映了土壤固持磷能力的大小。图 7 反映了不同土柱各层土壤中磷含量的变化情况。试验结束后,待水分自由落干 2 d,将土壤分层取出,对不同处理土柱的土壤总磷含量进行测定,土壤中的磷含量随着 PAM 施加质量分数的增加没

有呈现明显的增加趋势,反而随着 PAM 施加质量分数的增加,土壤中磷含量低于对照组。各 PAM 处理组的土壤中磷含量较对照组分别减少了 6.5%, 1.4%, 14.3% 和 8.6%。这与土壤淋溶液中不同处理组磷淋失情况相对应从而为磷的输入与输出形成互补。

利用 SPSS 23.0 对不同剖面土壤中的磷含量与 PAM 质量分数和深度进行主效应的两因素方差分析,发现在加入 10 cm 深度处的土壤磷含量时,PAM 质量分数和深度的 p 值都大于 0.05,对土壤磷含量没有显著影响。但在去除 10 cm 土壤剖面数据再进行分析,发现 PAM 质量分数和深度的 p 值都小于 0.05,具有显著相关性。磷在土壤中的迁移受多方面的影响,包括土壤质地,土壤含水率,温度,土壤有机质,pH 值,土壤磷含量等。本次试验 10 cm 剖面层是最顶层土壤,首先暴露在空气与阳光中,再加上每次淋溶时加水对土壤的冲刷,都很有可能最后导致 PAM 不是影响土壤磷含量的最主要因素。

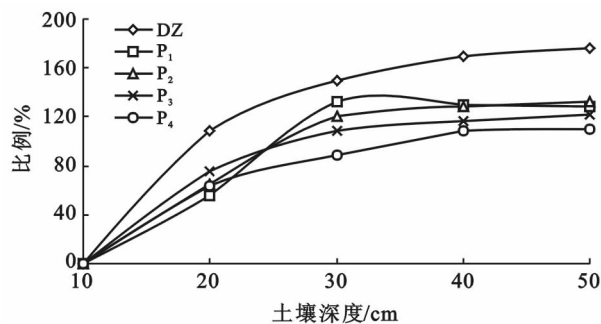


图 6 不同 PAM 施用水平土壤溶液平均磷浓度随深度变化

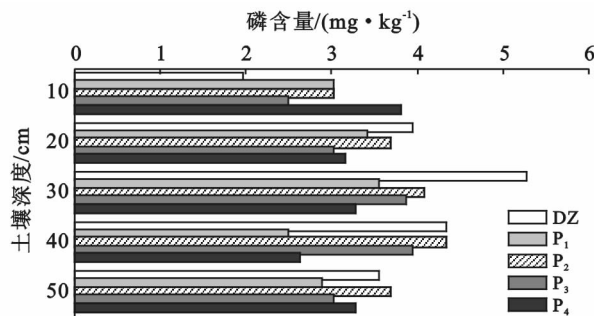


图 7 不同 PAM 施用水平土壤中磷含量变化

龙明杰等^[14]在高聚物对土壤肥料作用研究中,认为阴离子型聚合物能够降低土壤对 PO_4^{3-} 离子的吸附量。本试验所采用的是阴离子型聚丙烯酰胺,与 PO_4^{3-} 同为阴离子,同性相斥,会在一定程度上减少土壤对磷的吸附。土壤溶液中的磷处于动态平衡中,磷在土壤中存在吸附与解析两种相互可逆且关系密切的过程,土壤经 PAM 处理之后,能够降低土壤对

磷的吸附,增强土壤对磷的解吸过程,磷的解吸过程不但关系到土壤吸附的磷能否转化溶入到溶液中,同时也是土壤有效性的决定因素。这可能与聚丙烯酰胺自身所带有的基团比如羟基与磷酸根交换有关。PAM与土壤颗粒表面的金属离子发生反应,竞争、掩盖了土壤表面一些对磷的吸附点位,从而减少了土壤颗粒对磷的吸附;另一方面,向土壤中加入PAM还可以降低土壤表面能,这也能导致土壤对磷吸附的减少^[12]。施加PAM不能控制土壤的磷淋溶损失反而会增强淋溶的程度,试验结果与杜建军,龙明杰等的研究一致。但也有些学者认为虽然PAM减少了土壤对磷的吸附,但是吸附强度仍然没有减弱,在一定程度上还是可以控制磷的淋溶损失。目前关于保水剂对磷的作用效果结论并不统一,还有待更进一步的研究与探讨。

如果仅仅从施入磷的生物有效性看,可能会增加磷的生物有效性,但如果从环境的角度看,可能会增加磷的淋溶损失,造成非点源面源污染。所以,以生产实际为出发点,应该从磷的形态比如颗粒磷还是水溶性磷和损失途径(径流损失、淋溶损失)分析PAM对磷损失的影响。在农业生产中,磷主要是以水溶液形式通过淋溶而损失,施用PAM不仅不能减少磷淋溶损失,反而还会加重磷损失,依据本次试验结果来看,PAM在农业生产中的应用还有待进一步的研究与分析。对于农业生产中土壤磷淋溶问题,我们研究的唯一目的是在保证农业生产经济和可持续发展的基础上,减少土壤中磷的淋溶损失,增加土壤磷的作物有效利用率,达到增产和防治磷造成的环境污染。磷在土壤中很容易被固定然后被积累在土壤中,土壤中磷的累积是发生淋溶损失的先决条件,这是一颗“化学炸弹”,因此应该积极推广平衡施肥和计划施肥。同时水分是磷淋溶的介质,减少多余的水分向土壤下部及土体外渗透,是减少磷淋溶的根本举措,推行节水灌溉,加强土壤水分管理,进行合理灌溉,减少农业生产中的排水量,这些都是控制土壤中磷淋溶损失的根本性举措。

2.6 PAM对土壤溶液中钾浓度的影响

可以发现,PAM对土壤中氮和钾的淋溶和迁移的影响具有很大程度的相同之处。土壤溶液中的钾浓度的高低反映了土壤淋溶损失的程度。图8反映了淋溶液中钾浓度的变化情况,整个试验过程,P₁,P₂,P₃和P₄处理组淋溶液中钾浓度淋溶损失累积量较对照组分别减少了33.2%,36.2%,47.1%和51.8%。利用SPSS 23.0分别对不同周期内的淋溶液钾浓度随PAM质量分数变化进行方差分析,每一

周期内的 p 值均小于0.05,具有显著差异,说明PAM浓度的变化对土壤淋溶液钾浓度的影响具有显著相关性。第1周期所取得的土壤淋溶液钾浓度随PAM质量分数变化虽然也具有显著差异,但其相关性不是很强,这很有可能在试验开始的初期,因为PAM是和土壤混施,当第1周期开始进行淋溶液取样时,PAM还没有充分溶解于水中,没能在试验初期发挥作用,造成第1周期PAM质量分数的变化对淋溶液内钾浓度的变化没有产生特别强的显著相关性。

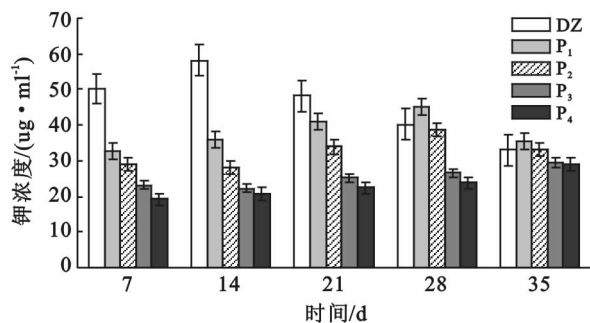


图8 不同PAM施用水平淋溶液中钾浓度变化

图9反映的是整个试验周期,不同深度的土壤溶液中平均钾浓度与第一层土壤溶液相比的升降幅度的百分比,各个处理组在不同试验周期,土壤溶液中的钾浓度随着深度的增加而变化的程度反映了可溶性钾随着土壤水的入渗而迁移的情况,可以发现PAM处理组土壤溶液中的钾浓度随着深度的增加而提高的幅度明显小于对照组,而且从图形的斜率来看,PAM处理组的钾下移率明显小于对照组,说明土壤施加PAM之后,加强了土壤对钾的吸附和固定,能在一定程度上减少可溶性钾随着土壤水分的向下迁移。

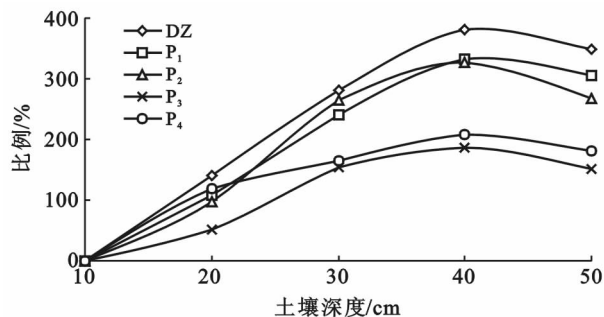


图9 不同PAM施用水平土壤溶液平均钾浓度随深度变化百分比

2.7 PAM对土壤中钾含量的影响

土壤中钾含量的多少反映了土壤保持固定钾能力的大小。在试验结束后,待水分自由落干2d,将土壤分层取出,图10反映了不同土柱各层土壤中钾含

量的变化情况, 试验结束后对不同土柱的土壤总钾含量进行测定, 与土壤溶液中钾浓度随着 PAM 施加水平提高而降低相比, 除了 P_1 处理组, 土壤中的钾含量与 PAM 施加质量分数呈现正比关系, 具有很强的二次相关性, 相关系数可达 0.92, 各处理组土壤中的钾含量较对照组分别增加了 42.5%, 51.5%, 65.7% 和 47.8%。说明 PAM 能有效增强土壤对钾的吸附与固定, 减少可溶性钾的淋失。在施加 0.05% 和 0.1% 的 PAM 时, 土壤对钾的固定效果最佳。根据此次试验结果, 可以看出在砂土中施加质量分数为 0.1% PAM 最适宜, 能有效控制钾的淋溶损失, 增强土壤对钾的吸附与固定。

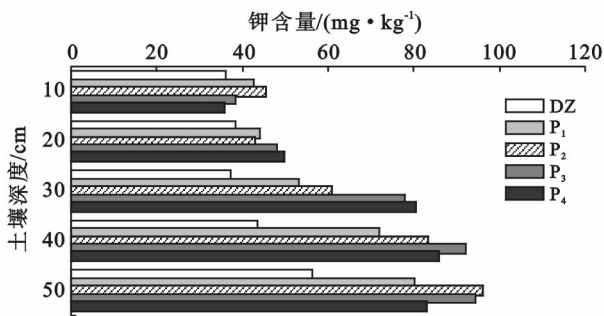


图 10 不同 PAM 施用水平分层土壤中钾含量变化

在第 4 次与第 5 次淋溶周期时发现对照组土壤溶液中钾浓度低于 PAM 处理组, 这很有可能是因为钾素很容易被水分淋失掉, 试验开始施加的钾是一定量的, 因为所供钾有限, 在前几次淋溶周期内, 对照组土柱内的钾已经达到了它的淋溶损失的最大值, 而施加过 PAM 的土壤能减少钾素的淋失所以在接下来的淋溶周期内, 溶液中的钾浓度就出现了低于 PAM 处理组的现象。可以看出没有施加 PAM 的对照组钾淋溶损失很严重, 土壤中的钾含量也很少。钾素在土壤中一般以 K^+ 形态存在, 易被土壤中的胶体吸附或置换而出。土壤钾素在运移过程中会与土壤发生吸持反应, 对其运移产生阻滞作用, 阻滞作用的大小与土壤质地有关, 淋溶性较强的砂质土壤上, 固钾作用不明显, 钾肥施用后容易损失。这主要是因为土壤颗粒在表面电场和剩余力场的作用下形成非自由态膜状水, 土壤颗粒愈细, 颗粒含量愈高, 水膜越厚, 膜状水越多, 扩散阻力越大, 吸附解吸阻力越小, 钾运移速率越小^[16]。对于多数土壤, 施钾后大部分有效钾转为非交换性钾, 钾的固定导致植物有效钾离子浓度降低, 只有小部分可被当季作物利用。尤其是在固钾能力较强的土壤上, 施用的钾肥只有先满足土壤的固定需要以后, 余下的部分才能发挥增产作用^[17]。Cassman 等^[18]认为施入的钾被固定可能是有益的,

因为它降低了因淋溶和作物奢侈吸收而造成的钾的损失, 有利于保存肥力和提高肥效, 这部分被固定的钾将是一个潜在的有效钾库。通过长期施肥建立起来土壤养分库, 对作物的增产作用常常超过当季施用足量肥料的效果, 所以应该利用 PAM 对土壤固钾的显著有效性进行培肥, 尽量保持当季土壤中的钾含量, 减少淋溶损失。

3 讨论与结论

(1) PAM 能够降低土壤淋溶液中的浓度, 各 PAM 处理组与对照组相比使土壤淋溶液中氮浓度降低了 28.8%~45.5%; PAM 加强了土壤对氮的吸附与固定, 各处理组土壤中的氮含量与对照组相比增加了 135.2%~285.7%, 效果十分显著。施加 PAM 能够抑制土壤中的氮向下迁移。

(2) PAM 控制土壤溶液中的磷淋溶损失效果并不理想, 与对照组相比并不能减少土壤溶液中的磷浓度。PAM 对土壤吸附固定磷没有明显的作用, 反而减弱了土壤对磷的吸附固定能力。

(3) PAM 能够降低土壤淋溶液中的钾浓度, 各 PAM 处理组与对照组相比使土壤淋溶液中钾浓度降低了 33.2%~51.8%。PAM 加强了土壤对钾的吸附与固定, 各处理组土壤中的钾含量与对照组相比分别增加了 42.5%~65.7%。施加 PAM 能够抑制土壤中的钾向下迁移, 当施加 0.1% 的 PAM 时, 土壤对钾的固定效果最佳。

[参 考 文 献]

- [1] 闫湘. 我国化肥利用现状与养分资源高效利用研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
- [2] Sojka R E, Bjerneberg D L, Entry J, et al. Polyacrylamide(PAM) in agriculture and environmental land management[M]// Sparks, D. Boca-Raton: Advances in Agronomy, Academic Press, 2007.
- [3] Entry J A, Sojka R E, The efficacy of polyacrylamide to reduce nutrient movement from an irrigated field[J]. Transactions of the ASABE, 2003, 46(1): 75-83.
- [4] Aase J K, Bjerneberg D L, Sojka R E. Sprinkler irrigation runoff and erosion control with polyacrylamide: Laboratory tests [C] // National Irrigation Symposium. Proceedings of the, Decennial Symposium, Phoenix, Arizona, Usa, November, 1998: 1681-1687.
- [5] Levy G J, Ben-Hur M, Agassi M. The effect of polyacrylamide on runoff, erosion and cotton yield from fields irrigated with moving sprinkler system[J]. Irrigation Science, 1991, 12(2): 50-60.

- 1944.
- [2] He Qihua, He Syonghua, Bao Weikai. Research on dynamics of soil moisture in arid and semiarid mountainous areas[J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(2): 149-156.
- [3] 姚雪玲, 傅伯杰, 吕一河. 黄土丘陵沟壑区坡面尺度土壤水分空间变异及影响因子[J]. *生态学报*, 2012, 32(16): 4961-4968.
- [4] 刘宏伟, 余钟波, 崔广柏. 湿润地区土壤水分对降雨的响应模式研究[J]. *水利学报*, 2009, 40(7): 822-829.
- [5] 刘鹤, 赵文智, 何志斌, 等. 祁连山浅山区不同植被类型土壤水分时间异质性[J]. *生态学报*, 2008, 28(5): 2389-2394.
- [6] 胡相明, 赵艳云, 程积民. 云雾山自然保护区环境因素对土壤水分空间分布的影响[J]. *生态学报*, 2008, 28(7): 2964-2971.
- [7] 陈洪松, 邵明安, 王克林. 黄土区深层土壤干燥化与土壤水分循环特征[J]. *生态学报*, 2005, 25(10): 2491-2498.
- [8] Nyberg L. Spatial variability of soil water content in the covered catchment at Gårdsjön, Sweden[J]. *Hydrological Processes*, 1999, 10(1): 89-103.
- [9] 陈斌, 丁裕国, 刘晶森. 土壤湿度的一种统计预报模型初步试验[J]. *气象科学*, 2005, 25(3): 231-237.
- [10] 张聪聪, 陈孝民, 张勇, 等. 气象因子对太湖地区旱作农田土壤水分动态的影响[J]. *中国农业学*, 2013, 46(21): 4454-4463.
- [11] 唐振兴, 何志斌, 刘摇鹄, 祁连山中段林草交错带土壤水热特征及其对气象要素的响应[J]. *生态学报*, 2012, 32(4): 1056-1065.
- [12] 张玉柱, 俞冬兴, 毕广有, 等. 黑龙江省西部地区生态林建设技术研究[J]. *防护林科技*, 2014(7): 27-29, 39.
- [13] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 等. 土壤水分时空变异及其与环境因子的关系[J]. *生态学杂志*, 2007, 26(1): 100-107.
- [14] 王孟本, 李洪建. 晋西北黄土区人工林土壤水分动态的定量研究[J]. *生态学报*, 1995, 15(2): 178-184.
- [15] 黄志刚, 欧阳志云, 李峰瑞, 等. 南方丘陵区不同坡地利用类型方式土壤水分动态[J]. *生态学报*, 2009, 29(6): 3136-3147.
- [16] 李谦, 郑锦森, 朱青, 等. 太湖流域典型土地利用类型土壤水分对降雨的响应[J]. *水土保持学报*, 2014, 28(1): 6-11.
- [17] 刘宏伟, 余钟波, 崔广柏. 湿润地区土壤水分对降雨的响应模式研究[J]. *水利学报*, 2009, 40(7): 822-829.
- [18] 徐庆华, 刘勇, 马履一, 等. 东北农田黑土蒸发量与土壤水分及气象因子的关系[J]. *东北林业大学学报*, 2009, 37(11): 82-83, 95.
- [19] 张卫强, 贺康宁, 朱艳艳, 等. 黄土半干旱区油松苗木蒸腾特性与影响因子的关系[J]. *中国水土保持科学*, 2007, 5(1): 49-54.
- [20] 韩湘云, 景元书, 李根. 低丘红壤坡面土壤水分变化的气象因素冗余分析[J]. *生态学杂志*, 2013, 32(9): 2368-2374.

(上接第 39 页)

- [6] Stern R, Van Der Merwe A J, Laker M C, et al. Effect of soil surface treatment of runoff and when yields under irrigation[J]. *Agronomy Journal*, 2000, 84(1): 114-119.
- [7] Entry J A, Sojka R E. The efficacy of polyacrylamide to reduce nutrient movement from an irrigated field[J]. *Transactions of the ASABE*, 2003, 46(1): 75-83.
- [8] Rodrick D L, Robert E S, Charles W R, et al. Polyacrylamide for surface irrigation to increase nutrient-use efficiency and protect water quality[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2001, 32(7/8): 1203-1220.
- [9] 林琪, 侯立白, 韩伟. 不同肥力土壤下施氮量对小麦子粒产量和品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(6): 561-567.
- [10] 沈善敏. 论我国磷肥的生产与应用[J]. *土壤通报* 1985(3): 97-103.
- [11] 柳金来, 宋继娟, 周柏明, 等. 钾肥施用量与土壤肥力和植株养分及水稻产量的关系[J]. *土壤肥料*, 2003(2): 21-24.
- [12] 王旭东, 杨雪芹. 聚丙烯酰胺对磷素在土壤中吸附—解析与迁移的影响[J]. *环境科学学报*, 2006, 02: 300-305.
- [13] 杨雪芹, 胡田田, 王旭东, 等. 聚丙烯酰胺对磷素在土壤中吸附—解吸的影响[J]. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 87-90.
- [14] 龙明杰, 张宏伟, 谢芳, 等. 高聚物土壤结构改良剂的研究(II): 高聚物对土壤肥料的作用[J]. *土壤肥料*, 2000(5): 13-18.
- [15] 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.
- [16] 冯建, 赵玉安, 丁晋丽. 塬土和黑土小同层次钾运移研究[J]. *甘肃农业科技*, 2006(12): 6-8.
- [17] 徐晓燕, 马毅杰. 土壤矿物钾的释放及其在植物营养中的意义[J]. *土壤通报*, 2001, 32(4): 173-176.
- [18] Cassman K G, Roberts B A. Soil potassium balance and cumulative cotton response to annual potassium additions on a vermiculitic soil [J]. *Soil Science Society of American Journal*, 1989, 53(3): 805-812.