

PAM与SAP交并施用对旱区坡耕地 氮素淋溶的影响

付晨星,魏占民,王晓宇,张金丁,王富,杨旭东

(内蒙古农业大学水利与土木工程建筑学院,内蒙古 呼和浩特 010018)

摘要:通过在旱区坡耕地上模拟降雨试验,研究在降雨强度 $40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 和历时为3 h的条件下,7种线性水溶性高分子聚合物(PAM)和新型节水保水材料(SAP)交并施用方式对径流和氮素淋溶的影响。结果表明:与对照处理(不施用PAM和SAP)相比较,施加PAM和SAP有效减少了径流量和氮素淋溶量,减少的地表径流量达93.29%,相应地降低水中总氮淋溶量达25.58%,保水作用SAP强于PAM;同时,减少的土壤侵蚀量达91.85%,相应地降低泥沙中总氮淋溶量达37.96%;由降雨后土壤剖面养分分布可知,0~15 cm深度土壤的含氮量比对照组高50.24%。说明施加PAM和SAP增加了根系层的持水和保肥能力,降低了土壤养分随水的深层渗漏,且保土作用PAM强于SAP。在坡耕地施加PAM和SAP不但可以减少水土流失,而且能降低土壤氮素的流失,防止肥料对地下水的污染。

关键词:PAM; SAP; 总氮淋溶量; 径流; 水土保持; 坡耕地

中图分类号:S157.2 **文献标志码:**A

Effects of combined application of polyacrylamide and super absorbent polymers on nitrogen leaching from sloping lands in arid area

FU Chen-xing, WEI Zhan-min, WANG Xiao-yu, ZHANG Jin-ding, WANG Fu, YANG Xu-dong

(Inner Mongolia Agricultural University, Huhehot, Inner Mongolia 010018, China)

Abstract: The combined application of polyacrylamid (PAM) and super absorbent polymers (SAP) are important for reducing soil nitrogen (N) runoff loss. To further understand the process, we studied the effects of seven combined application methods of PAM and SAP on runoff and N leaching under a simulated rainfall intensity of $40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ for a duration of 3 hours on sloping lands in arid area. The results showed that, compared with the control treatment, the combined application of PAM and SAP effectively reduced N runoff and N leaching. The runoff was decreased by 93.29% and the amount of total N leaching in runoff was reduced by 25.58%. The water holding effect of SAP was better than PAM. At the same time, the amount of soil erosion was reduced by 91.85%, and the amount of total N leaching in sediment was decreased by 37.96%. From the nutrient distribution of soil profile after rainfall, the N content in 0~15 cm soil was 50.24% higher than that of the control group, which indicated that the combined application of PAM and SAP increased the ability of water and N holding of the root layer, and reduced the deep layer leakage of soil nutrients with water. Soil conservation effect of PAM was better than SAP. The combined application of PAM and SAP in sloping lands can not only reduce soil erosion, but also can reduce soil N loss and prevent the pollution of fertilizers to groundwater, which provides a theoretical basis for the combined application of PAM and SAP in arid area.

Keywords: PAM; SAP; total nitrogen leaching; runoff; soil and water conservation; sloping lands

内蒙古自治区现有耕地746.3万 hm^2 ,其中坡耕地达333万 hm^2 ,占耕地总面积的44.6%。山丘

区坡耕地梯田和水平梯田仅47万 hm^2 ,大部分坡耕地仍在顺坡耕种。区内坡耕地的分布地区大部分

属于旱区,气候干燥,水资源贫乏,暴雨集中,植被稀少,农业生产用水主要依靠自然降雨。而暴雨易使表土产生结皮,破坏土壤结构,造成耕地表层的肥沃土壤和氮、磷、钾养分的大量流失,致使当地土壤质量严重退化,农作物生产力低下,作物产量低而不稳,严重制约农业的可持续发展,并导致山丘区土壤侵蚀、生态环境破坏不断发生^[1]。以往,坡耕地水土流失治理主要采用工程措施、植物措施、耕作措施等水土保持措施,通常存在着投资大、周期长、见效慢等不足。近年来,采用化学措施防治山丘区水土流失已成为一个新的研究领域,已被证实具有良好效果,为坡耕地水土流失防治和作物增产开辟了一条新途径。

PAM(Polyacrylamide)是一种线性水溶性高分子聚合物,一般为白色粉末晶体,可溶于水,具有很强的黏聚作用。PAM 的分子链很长,它的酰胺基可与许多物质亲和、吸附形成氢键,它能在两个粒子之间产生黏结。通常一个 PAM 分子能同时黏结几个粒子,形成新的团聚体,有效地缓解了雨滴对土壤表面的打击并抑制了结皮的形成,从而减少地表径流,防止水土流失^[2]。尽管施用 PAM 可显著增强坡耕地固土截流能力,但渗入到土壤的水分只有保蓄于作物根系层才能被作物使用^[3],满足作物生长需求,实现水分高效利用,达到作物高产稳产目的^[4-9]。目前一种新型节水保水材料 SAP(Super absorbent polymers)的出现为解决上述问题提供了一种新途径^[10]。SAP 是利用强吸水性树脂制成的一种超高吸水保水能力的高分子聚合物,能迅速吸收达自身重量百倍甚至上千倍的水分,可反复吸水,由于分子结构交联,分子网络所吸水分不能用一般物理方法挤出,吸水后形成的水凝胶可缓慢释放水分供作物利用^[11]。同时,SAP 能减少渗漏,抑制土面水分蒸发,改良土壤结构,提高水肥利用率^[12]。而关于 PAM 和 SAP 的研究多集中在单一材料上,而针对 PAM 和 SAP 在交并施用的研究罕见报道。本文针对内蒙古自治区旱区广泛分布的坡耕地,充分发挥 PAM 固土截流和 SAP 土壤水分保蓄的综合作用优势,通过田间试验,开展 PAM 和 SAP 交并施用对坡耕地氮素养分流失的研究,为旱区坡耕地水土保持的 PAM 和 SAP 交并施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验区位于内蒙古自治区乌兰察布市卓资县福生庄,这里山区广布,昼夜温差大,年均降雨量 544.5 mm,土壤水蚀和风蚀较为严重,坡耕地以顺坡

耕种为主。2017 年 4~9 月在试验区内选取 10°的坡耕地,用喷灌模拟人工降雨,降雨强度为 40 mm·h⁻¹,降雨历时为 3 h,每次试验前进行降雨 0.5 h 预湿,静置 24 h。根据当地农民的种植习惯,施用当地农家肥,定期进行除草。选取当地主要作物马铃薯为供试作物,株距与行距分别为 0.5 m 和 0.7 m,密度为 24 255 株·hm⁻²。土壤的基本理化性质为:砂粒含量为 52.25%,粉粒含量为 44.98%,黏粒含量为 2.77%,全氮含量 1.5 g·kg⁻¹,按照美国土壤质地分类标准,属砂质壤土。供试 PAM 聚丙烯酰胺为阴离子型,分子量为 800 万,SAP 高吸水树脂的粒度为 20~40 目≥90%,pH 值为 6.8~8.0。

1.2 试验方法

在山区设试验区,长 420 m、宽 20 m。试验设 7 个处理,分别为(括号内为施用量,单位 kg·hm⁻²):CK(PAM(0)+SAP(0))、PAM 喷施(60)+SAP 混施(45)(标记为 S1)、PAM 喷施(60)+SAP 混施(60)(标记为 S2)、PAM 喷施(60)+SAP 混施(75)(标记为 S3)、PAM 混施(45)+SAP 混施(60)(标记为 P1)、PAM 混施(60)+SAP 混施(60)(标记为 P2)、PAM 混施(75)+SAP 混施(60)(标记为 P3),在试验区内不同处理随机布置。混施是在土层深度 0~15 cm 处用翻地机使 PAM 和 SAP 与土壤进行充分混合,喷施是 PAM 与水 1:100 混合搅匀后喷洒在土层表面。每个处理设 3 个重复,共 21 个小区(小区面积长 8 m、宽 3.67 m),小区四周设保护带 0.3 m 用于防止肥料和水分的流入。在坡面末端接径流桶以便收集径流,并设 2 m 隔离带。试验在不同生育期进行三次模拟降雨,每次试验后,从径流桶中收集径流上清液 10 mL 水样,测定水中总氮的浓度。待集流桶中的径流浑浊液沉淀风干后,收集干燥土样测定总氮含量。试验后土壤中每 10 cm 为一层取样,垂直取 4 层,测定土壤中剩余的总氮含量。淋溶液中总氮用 UH3500 紫外分光光度计,土壤中的总氮用 KDN-04AA 双管定氮仪。

1.3 数据处理

文中数据均为 3 次测定的平均值,数据采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 等软件进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 PAM 和 SAP 交并施用对土壤径流和侵蚀的影响

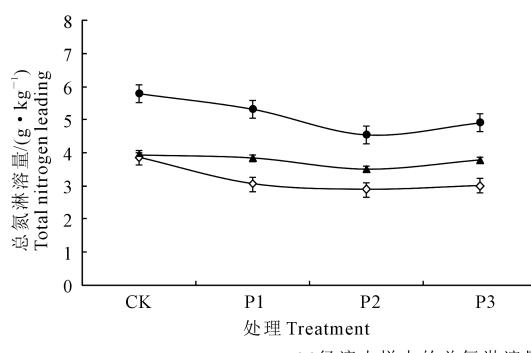
试验进行模拟降雨时,雨滴击打在坡耕地表面形成冲刷,25 min 后降雨强度大于土壤入渗率,土壤表面开始积水并产生径流。试验结束后,PAM 和 SAP 交并施用的径流总量和土壤侵蚀量见表 1,与对照组相比,均显著减小。随着 SAP 施用量的增

加,与对照组相比,径流总量分别减少了43.59%、54.51%、67.9%;土壤侵蚀量分别减少了80.15%、83.85%、91.26%。随着PAM施用量的增加,与对照组相比,径流总量分别减少了21.17%、46.99%、93.29%;土壤侵蚀量分别减少了59.93%、82.49%、91.85%。这是由于PAM和SAP能抑制地表结皮的形成,提高团聚体的稳定性,改善土壤结构,增强土壤抗侵蚀能力,具有减少水土流失和土壤侵蚀的功效。两者相比,PAM抗侵蚀能力更强,且喷施比混施效果更好,是由于PAM喷施在土壤表层更易与水相互作用,同时捕获小细沙形成凝胶层将土壤颗粒粘结在一起,从而不易被侵蚀^[13]。径流初期由于PAM还未形成凝胶层,径流携带泥沙,后期凝胶层形成后,径流中的悬浮颗粒迅速减少^[14]。

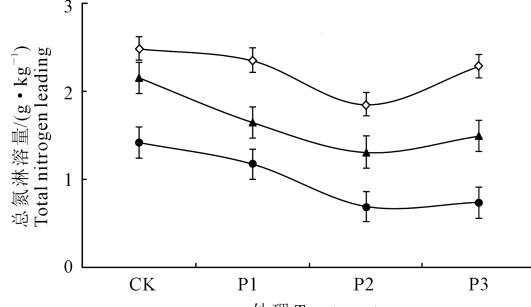
表1 PAM和SAP交并施用的径流总量和土壤侵蚀量

Table 1 Total runoff and soil erosion under the combined application of PAM and SAP

试验处理 Treatment	径流总量 Runoff $/(\text{10}^{-3}\text{m}^3)$	径流减少量		
		Runoff reduction $/(\text{10}^{-3}\text{m}^3)$	土壤侵蚀量 Soil erosion $/(\text{10}^{-3}\text{m}^3)$	侵蚀减少量 Erosion reduction $/(\text{10}^{-3}\text{m}^3)$
CK	15.90		0.93	
S1	8.97	6.93	0.18	0.75
S2	7.23	8.67	0.15	0.78
S3	5.09	10.81	0.08	0.85
P1	12.53	3.37	0.37	0.56
P2	8.43	7.47	0.16	0.77
P3	1.07	14.83	0.08	0.85



(a)径流水样中的总氮淋溶量 Total nitrogen leaching in runoff



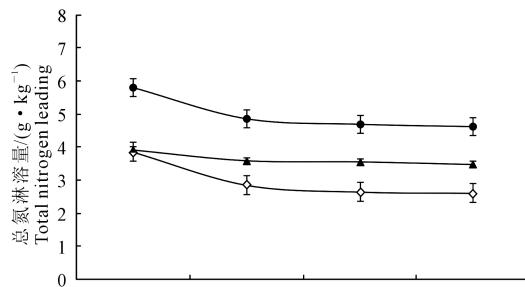
(b)径流泥沙中的总氮淋溶量 Total nitrogen leaching in runoff and sediment

● 第一次 First ▲ 第二次 Second ◆ 第三次 Third

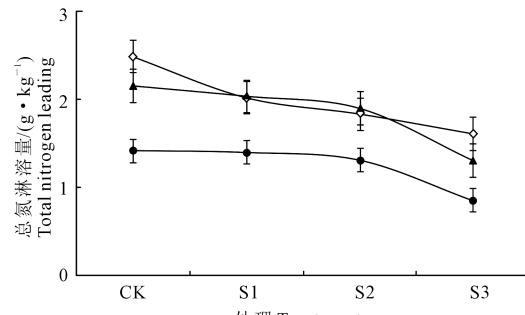
2.2 PAM和SAP交并施用对径流养分流失的影响

降雨时产生的径流会带走养分,是土壤氮素流失的载体。氮素淋溶流失是作物和土壤氮素损失的主要途径之一,也很容易引起地下水污染。施加PAM和SAP后影响径流过程,从而对土壤氮素流失也有一定影响。坡耕地上PAM和SAP交并施用对总氮淋溶量的影响见图1。

施加PAM和SAP的各处理对总氮淋溶量的影响均达到显著水平($P<0.05$)。随着淋溶次数增加,淋溶量呈减少趋势,是因为随着时间的推进,土壤表层的氮含量递减,加入PAM和SAP处理的氮素损失显著低于对照组。随着PAM施用量的增加,径流水样中的总氮淋溶量呈现先减少后增加的趋势。与对照组相比,三次淋溶量的平均值分别减少了9.92%、19.31%、13.81%,径流泥沙中的总氮淋溶量分别减少了14.77%、36.52%、25.58%。可以得出PAM施用量在 $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,抗淋溶能力最强。随着SAP施用的增加,径流水样中的总氮淋溶量呈降低趋势。与对照组相比,三次淋溶量的平均值分别减少了16.71%、19.71%、21.11%,径流泥沙中的总氮淋溶量减少了10.26%、17.02%、37.96%。从含量上比较,径流的水比泥沙携带氮素的含量更大,且泥沙中的总氮淋溶量基本与土壤侵蚀量趋势一致,所以,径流量是影响携带氮素的主要因素。



(a)径流水样中的总氮淋溶量 Total nitrogen leaching in runoff



(b)径流泥沙中的总氮淋溶量 Total nitrogen leaching in runoff and sediment

● 第一次 First ▲ 第二次 Second ◆ 第三次 Third

图1 PAM和SAP交并施用对总氮淋溶量的影响

Fig.1 The effect of PAM and SAP on the amount of total nitrogen leaching

在降雨强度为 $40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,雨水冲刷地表使土壤团聚体易被分解,产生一部分细粒物质,产生的径流和泥沙,带走了土壤的大量养分。在坡耕地上施加 PAM 和 SAP,由于 PAM 发挥固土截流的功能减少了表层土壤流失,SAP 发挥保水的功能降低了大量径流,两者综合作用减少了土壤氮素的流失。

2.3 PAM 和 SAP 交并施用对土壤剖面氮素分布的影响

当农家肥施用在马铃薯根系层(土层深度 15 cm 以上),降雨时,土壤养分和肥料受马铃薯根系作用和降水入渗的影响,向深层迁移^[15]。模拟降雨后,取根系层 0~40 cm 的土壤分析坡耕地 PAM 和 SAP 交并施用对土壤剖面氮素分布的影响,见图 2。

由图 2 可知,施用 PAM 和 SAP 处理与对照组

的土壤剖面总氮含量分布趋势一致,但含氮量随着施用量的增加呈增长趋势。对照组 0~25 cm 土层深度的含氮量均大于其他深度,施用 PAM 和 SAP 处理的 0~15 cm 土层含氮量较高,P1、P2、P3 处理 0~15 cm 深度的含氮量比对照分别高 26.79%,47.89%,50.24%,S1、S2、S3 处理比对照分别高 29.96%,46.71%,47.78%。是因为 PAM 和 SAP 在 0~15 cm 深度处形成保水层,PAM 能降低水分的垂直入渗率^[16],从而影响土壤水分再分配的过程,降低了土壤氮素的深层渗漏,导致了养分的保蓄。S1、S2、S3 处理在 15 cm 深度处含氮量比对照组分别高 31.03%,48.99%,50.22%,有着显著的保水保肥效果,是由于 SAP 混施在 0~15 cm,它能促使水分和养分向根系附近流动。

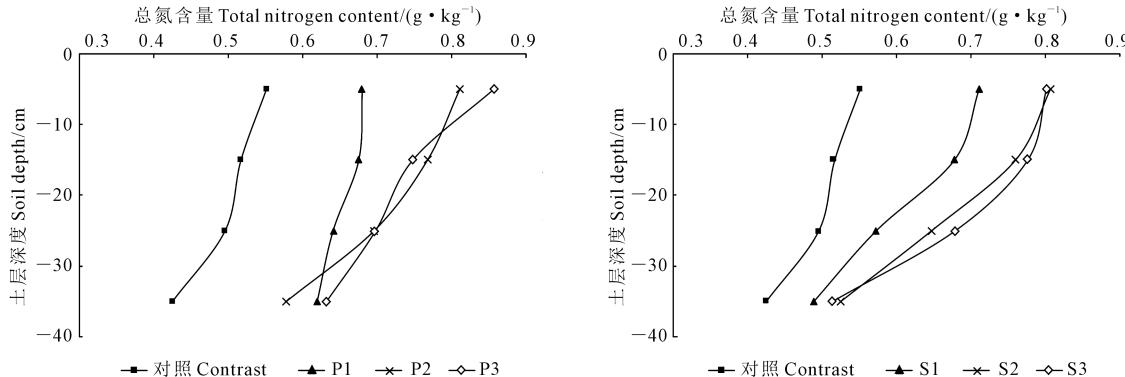


图 2 PAM 和 SAP 交并施用对土壤剖面氮素分布的影响

Fig.2 Effects of combined application of PAM and SAP on nitrogen distribution in soil profile

3 讨论与结论

本文通过田间试验,模拟旱区坡耕地遭遇暴雨时的水土流失情况。在坡度为 10° 的坡耕地上种植马铃薯,设置雨强为 $40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$,历时 3 h 的人工降雨,研究施加 PAM 和 SAP 对水土和氮素流失特征的影响。降雨在坡耕地上为二维运动,一部分水分平行地面形成径流,另一部分水分垂直向下入渗。

试验结果表明,与对照处理相比较,坡耕地施加 PAM 和 SAP 有效地抑制了水土和养分的流失,减少地表径流量达 93.29%,相应降低总氮淋溶量达 25.58%。同时,减少土壤侵蚀达 91.85%,相应降低总氮淋溶量达 37.96%。说明 PAM 和 SAP 能减少土壤径流和侵蚀,是由于其水解后具有吸附性,在土壤表面形成的凝胶层减少了雨水的冲刷,降低了径流携带土壤颗粒的能力,提高了土壤的水稳定性。

由降雨后土壤剖面氮素分布可知,施加 PAM 和 SAP 增加了根系层的持水和保肥能力,降低了土壤养分随水的深层渗漏,从而减少了肥料污染的危

险。在坡耕地施加 PAM 和 SAP 不但可以减少水土流失,而且还能降低土壤养分的流失,改善土壤结构,延缓土质退化,为旱区坡耕地水土保持的 PAM 和 SAP 交并施用提供理论依据。

综合试验结果,PAM 施用量为 $60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 SAP 施用量为 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 效果较好,在减少径流方面,PAM 喷施比混施效果更显著。但由于保水剂种类繁多,其功能和效益相差较大,笔者仅是研究了两种保水剂的交并施用,今后应研究更多不同类型保水剂相互作用的机理,从而为更好地利用保水剂,从源头减少肥料污染提供理论依据。

参 考 文 献:

- [1] 付晨星,魏占民,王晓宇,等.PAM 与 SAP 交并施用对一维水分垂直入渗特性的影响[J].节水灌溉,2016,(9):102-106.
- [2] 唐泽军,雷廷武,张晴雯,等.降雨及聚丙烯酰胺(PAM)作用下土壤的封闭结皮的形成[J].中国水土保持,2002,22(7):25-25.
- [3] 宋海燕,汪有科,汪星,等.保水剂用量对土壤水分的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):33-36.

(下转第 116 页)