

聚丙烯酰胺增加土壤降雨入渗减少侵蚀的 模拟试验研究

I. 入渗*

唐泽军¹ 雷廷武^{1,2} 张晴雯² 赵 军²

(1 中国农业大学, 北京 100083) (2 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨凌 712100)

摘 要 土壤(特别是黄绵土)在雨水作用下,表面会形成结皮,显著地降低降雨入渗率,聚丙烯酰胺(PAM)能有效地抑制降雨过程中土壤结皮的形成,提高降雨入渗率。为了获得 PAM 使用量和覆盖率与入渗率之间的关系,进行了一系列的人工降雨模拟试验。试验采用了三个雨强: 50、100 和 150 mm h⁻¹, 四个坡度: 8.74%、17.63%、36.4% 和 46.63%, 及五种地表处理: 对照、秸秆覆盖和三个 PAM 覆盖率(A、B 和 C), 试验设三次重复。试验分 I、II 两个降雨阶段进行, 第 II 阶段在第 I 阶段降雨结束土壤放置 24h 后进行。分析建立了降雨入渗率与 PAM 的覆盖率间的相关关系, 确定了 PAM 的覆盖率对降雨入渗的影响。

关键词 人工模拟降雨, 入渗, PAM

中图分类号 S152.7

降雨过程中,由于分散、崩解等水土间的相互作用,土壤表面会因封闭作用形成结皮。这主要是由于:(1)雨滴冲击作用,使土壤的团聚体分散,形成分散的细小土壤颗粒,同时,改变土壤的表面结构,使土壤颗粒更紧密地堆积。(2)径流中的悬浮颗粒的沉积,堵塞土壤表面的孔隙^[1-9]。在许多土壤中,结皮是低入渗率、径流量增加及用水效益低的主要原因^[5]。结皮是一层厚 2~3 mm 的薄层,它比下部土壤具有更大的密度、更高的抗剪切力、更细的孔隙及更低的导水性^[3,10,11]。对于黄土,极易形成结皮,而结皮的形成可使土壤入渗率降低 2 个数量级^[12]。

抑制土壤结皮的形成是增加降雨入渗的有效方法之一,控制土壤结皮形成的一种方法是维护土壤表面的结构和增加团聚体的稳定性。使用有机化合物,特别是 PAM,减少结皮形成的可能性的研究近来一直在进行^[13,14]。许多学者发现降水入渗率随土壤中 PAM 量的增加而增加。PAM 对土壤的性质有着良好的改进作用,经 PAM 处理后土壤的入渗率要大得多,而且降水入渗率随 PAM 浓度的增大而增大。PAM 明显地吸附着土壤表面的颗粒,起着类似于黏结物质的作用,把土壤的单颗粒黏结在一起抵抗雨滴的破坏作用,防止了土壤表面颗粒的化学分离作用,阻碍土壤结皮的形成。同时,由于 PAM 能增加土壤中的凝聚作用,PAM 不仅能稳定土壤中原有的团聚体,而且能形成新的团聚体,这使得土壤表面空隙连通的结构和高入渗率得以维持^[13,15-17],增加 PAM 使用率能大大地增加湿土壤的团聚体的稳定性,对于干土壤的团聚体也有类似的结果^[15]。

为了更深入地理解 PAM 增加土壤的入渗量减少土壤侵蚀的机理,特别是为在我国西北干旱、半干旱的黄土地区开展 PAM 的应用研究,进行了一系列用 PAM 增加降雨入渗、减少土壤侵蚀的室内人工模拟降雨试验研究。试验的目的为:(1)通过人工降雨模拟试验,获得降水入渗率与不同的 PAM 的使用量及覆盖率之间的关系。(2)寻求不同的雨强、不同的坡度组合条件下最佳 PAM 的使用方法和使用量。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验装置由一液压升降槽和降雨系统组成,试验槽形状可以任意搭建,用金属材料构成一个长 8 m

* 山区雨水储蓄农业高效利用产业化示范工程、中国科学院“百人计划”资助

收稿日期: 2001-06-19; 收到修改稿日期: 2001-11-05

× 3 m 的试验土槽的框架, 在框架内用 3 mm 厚 PVC 板分隔成 15 个 8 m × 20 cm 的小槽, 每小槽下端连接一集流槽, 供收集径流、采集泥沙样品用。在试验土槽底部顺坡构成相距 0.5 m 的“人”字型排水通道, 以利于渗流的排放。试验土槽如图 1 所示。试验槽坡度变化范围 0~58%。降雨系统由两个侧喷系统相互对喷构成, 有效降雨覆盖面积为 13 × 15 m², 雨滴往上侧喷后自由落体降下, 降雨高度 18 m, 雨强变化范围为 20~300 mm h⁻¹, 雨滴直径变化范围 0.6~3 mm。

1.2 试验材料

试验土样取自于内蒙古清水河地区耕作表层土, 是典型的黄绵土, 为淡黄色。土壤颗粒以粉沙为主, 粉沙粒占总量的 60% 左右, 粘粒约占 15% 左右, 容重约为 1.2 g cm⁻³, 土体松软, 有团粒或团块结构。试验前将土样风干并过 1 × 1 cm 的粗筛, 剔除植物根系等杂物。

PAM 是一种线型水溶性高分子聚合物, 通常情况下为白色粉末晶体, 能以各种百分比溶于水, 其显著特点是具有很强的粘聚作用, 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。

PAM 及水解体是无毒的。美国使用 PAM 的实践表明, PAM 不会对生态环境造成危害, 它在土壤和水中不具毒性, 同时也不会产生在庄稼中产生积累^[18,19]。

为了使 PAM 能均匀地撒在土壤的表面并保证土壤结构的一致性, 将 PAM 按 1/1000(质量)的比例与黄绵土混合制作成 PAM 混合土。

1.3 试验方法

试验由三个雨强 (50 mm h⁻¹, 100 mm h⁻¹, 150 mm h⁻¹) 和四个坡度 (8.74%, 17.63%, 36.4%, 46.63%) 相互交叉的十二个试验构成。每个试验又分两个阶段, 在试验的前一阶段的降雨试验完成后, 将试验土样静置 24 h, 试验的后二阶段再重复前一次降雨试验过程。

试验过程中, 土壤表面采用五个处理, 即一个对照、一个秸秆覆盖和覆盖率分别为 A, B, C 的三个 PAM 覆盖, 覆盖率的大小循序是 A > B > C。每试验小槽采用一个处理。覆盖 PAM 时按每 m² 土壤表面 1 kg PAM 混合土使用量均匀播撒。试验采用三个重复。

试验程序如下: 选定试验坡度和雨强。每次降雨试验前进行雨强标定。试验槽底部先装 20 cm 厚的细沙, 然后在细沙上装 15 cm 厚的黄土, 细沙与土之间用细纱布隔开 (纱布的作用是下次试验只须换黄土)。装土的容重约为 1.2 g cm⁻³, 保持与野外耕作土基本相同, 试验土层的结构也与耕作土上部土层结构大致相同。依据不同的土壤表面 PAM 覆盖率, 依次在试验小槽的试验土表面上覆盖一层 1.0 mm 厚左右的 PAM 混合土。装土完毕后, 将试验槽调整到选定的坡度。开始连续不断的降雨, 一旦开始产流, 立即按 2、3、5、5、5 min 的时间间隔测定径流量。降雨时间取决于产流时间, 一般在最后一个试验小槽产流 30 min 后停止降雨, 完成第 I 阶段降雨试验。试验土样静置 24 h 后, 重复第 I 阶段降雨试验过程, 实现第 II 阶段降雨试验过程, 完成一组试验 (图 1)。

2 结果与讨论

PAM 能显著地增加土壤的降水入渗量, 十一组试验的数据表明 PAM 在不同坡度不同降雨强度的条件下都能不同程度地增加降水入渗量。图 2 是坡度 36.4%、雨强 100 mm h⁻¹ 条件下各种土壤表面处理的累积降水入渗量。在第 I 阶段降雨试验中, 当累积降雨量达到 65 mm 时, PAM 处理的累积降水入渗量开始显著大于对照的累积降水入渗量, 而且, PAM 覆盖率越高, 累积降水入渗量就越大。在第 II 阶段

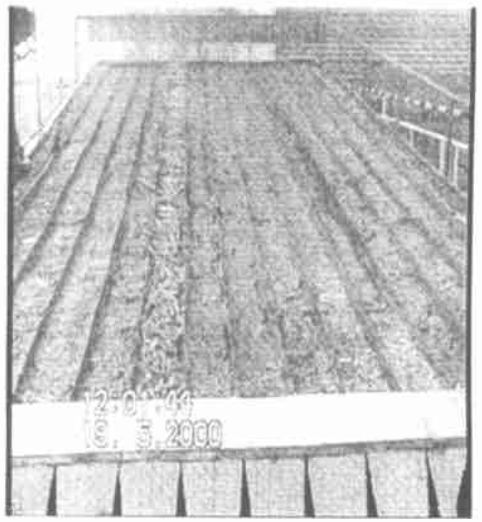


图 1 试验装置

Fig. 1 Photograph of experimental setup

降雨试验中,当累积降雨量达到 10 mm 时,PAM 处理的累积降水入渗量开始显著大于对照的累积降水入渗量。

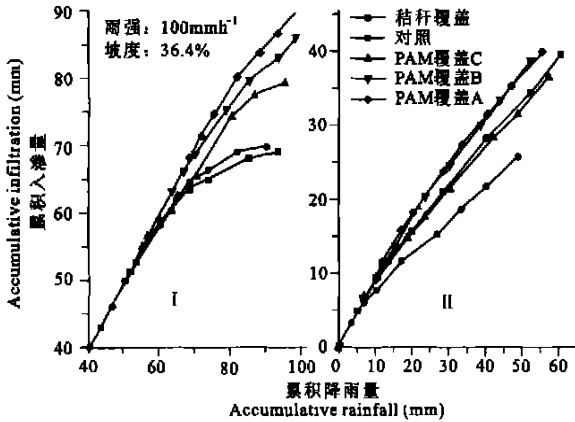


图 2 各种土壤表面处理累积入渗量对比

Fig. 2 Comparison of accumulated infiltration and rainfall between different treatments

降雨的过程中,由于雨滴的冲击和水土的相互作用,土壤表面存在着封闭作用(Sealing process) 和随之而形成的土壤表层结皮(Crust)。土壤表面的封闭现象非常复杂,它包括一系列的物理、化学作用过程,如雨滴的冲击引起土壤表面空隙变小,细颗粒在大空隙中的充填、堵塞,土壤空隙的负压和毛细现象,土壤表面径流中悬浮颗粒的运移和沉积等,封闭作用的一个直接结果就是在土壤表面形成一层致密的连续薄层—结皮。其结果使得入渗率急剧地下降,当封闭作用和结皮使得降水入渗率小于降雨强度时,就会形成径流。在径流和入渗的相互转换过程中,土壤表面的封闭作用和结皮起着十分重要的作用,PAM 正是通过改善土壤表面的结构,提高团聚体的稳定性,有效地抑制土壤结皮的形成,从而增加土壤的降水入渗和减少径流。试验表明,可以从两个方面看出 PAM 对径流和入渗产生的显著影响,一是产流的初始时间,二是径流量的大小。下面对各种雨强和坡度条件下这两个方面的特点进行讨论。

将对流的初始产流时间和其它处理产流滞后的时间列于表 1。在降雨的第 I 阶段,除了个别的情况,PAM 和秸秆覆盖的产流初始时间都滞后于对照,PAM 覆盖率越高产流滞后的时间越长,在雨强 50 mm h⁻¹、坡度 46.63% 的组合下,B 和 A 两个 PAM 覆盖率使产流滞后近 50 min,在雨强 100 mm h⁻¹左右、坡度 17.63% ~ 36.4% 条件下,PAM 对产流的初始时间影响较大,产流滞后的时间较长,从表 1 可以看出这样一种规律,小雨强大坡度、中雨强中坡度、大雨强小坡度的组合下,PAM 能显著地滞后径流的初始时间。在降雨的第 II 阶段,由于试验土壤处于过饱和状态,初始产流的时间出现很早,但各种处理的初始产流时间无一例外都滞后于对照的初始产流时间,PAM 覆盖率越高产流滞后的时间越长,在小雨强、小坡度的条件下,PAM 覆盖的滞后比较显著,大雨强、大坡度 PAM 覆盖的滞后则不十分明显。

秸秆覆盖的产流滞后非常有规律,坡度越小雨强越小产流滞后的时间越长。秸秆覆盖和 PAM 覆盖影响产流的机理是完全不一样的,秸秆覆盖产流滞后的原因:一是秸秆对水分的吸收,二是秸秆对雨水的阻挡,三是延长水土相互作用的时间而增加雨水的入渗。PAM 则是因为它对土壤表面结构良好的维护,保持了土壤孔隙的连通性,降低了土壤表面的封闭作用,从而延滞了产流的时间。

表 2 是 PAM、秸秆覆盖径流量与对照径流减少量的百分对比,设定对照每 min 的平均径流量为 100,其他处理每 min 的平均径流减少量与之对比。从表 2 中可看出,在降雨的第 I 阶段,PAM 就能显著减少径流量,PAM 覆盖率越高,径流量减少的效果就越明显。雨强小于 100 mm h⁻¹时,PAM 覆盖率 A 可在各种坡度条件下减少 40% ~ 50% 的径流量,PAM 覆盖率 B 可减少 25% ~ 50% 的径流量,PAM 覆盖率 C 也能减少 20% ~ 45% 的径流量。大雨强大坡度的情况下,PAM 的入渗效果要差一点,当雨强在 150 mm h⁻¹时,

表 1 PAM、秸秆覆盖产流滞后时间与对照初始产流时间

Table 1 Time of runoff initiation in control and time lag of runoff in the treatments of PAM and straw coverage(S)

雨强 Rainfall (mm h ⁻¹)	坡度 Slope(%)	降雨阶段 Rainfall phases	对照 Control	秸秆覆盖 Straw coverage	PAM 覆盖(C) PAM coverage (C)	PAM 覆盖(B) PAM coverage (B)	PAM 覆盖(A) PAM coverage (A)
50	8.74	I	4 320	+ 850	- 645	- 80	+ 1 410
		II	115	+ 265	+ 640	+ 1 230	+ 1 215
	36.4	I	2 620	+ 280	+ 280	- 240	+ 710
		II	150	+ 100	+ 80	+ 220	+ 290
100	8.74	I	3 360	+ 570	+ 1 200	+ 2 795	+ 2 220
		II	215	+ 25	+ 515	+ 485	+ 670
	17.63	I	1 440	+ 300	+ 480	+ 865	+ 1 028
		II	67	+ 210	+ 54	+ 571	+ 718
150	8.74	I	1 770	+ 290	+ 260	+ 620	+ 1 010
		II	80	+ 90	+ 30	+ 90	+ 130
	17.63	I	1 290	+ 220	+ 20	+ 60	+ 340
		II	60	+ 85	+ 25	+ 70	+ 180
36.4	8.74	I	780	+ 80	+ 296	+ 325	+ 385
		II	60	+ 40	+ 30	+ 60	+ 180
	17.63	I	570	+ 269	+ 140	+ 36	+ 70
		II	45	+ 30	+ 55	+ 35	+ 55
46.63	36.4	I	460	+ 75	+ 112	+ 15	+ 10
		II	60	+ 10	+ 60	+ 45	+ 20
	46.63	I	485	+ 20	+ 60	+ 295	+ 190
		II	40	+ 70	+ 25	+ 25	+ 70

1) + 为滞后, - 为提前

PAM 覆盖率 A 可在各种坡度条件下仍能减少 15% ~ 45% 的径流量, PAM 覆盖率 B、C 为 10% ~ 45% 的径流量。在降雨的第 II 阶段, 雨强小于 100 mm h⁻¹ 时, PAM 覆盖率 A 可在各种坡度条件下获得很好的径流量减少的效果, 一般在 70% 左右, PAM 覆盖率 B 可减少 30% ~ 60% 的径流量, PAM 覆盖率 C 为 40% ~ 60%。当雨强在 150 mm h⁻¹ 时, PAM 覆盖率 A 可在各种坡度条件下可减少 40% ~ 50% 的径流量, PAM 覆盖率 B、C 为 10% ~ 20% 的径流量。

试验表明在第 II 阶段降雨试验过程中, PAM 减少径流量的效果就更为明显, 这是因为在降雨的第 I 阶段, 对照土壤表面形成的结皮较为完善, 它降低了土壤的入渗率, 而有 PAM 覆盖的土壤, 由于 PAM 的作用, 有效地抑制了结皮的形成, 特别对 PAM 高覆盖率来说, 保持、甚至提高了土壤的入渗率。大雨强大坡度的情况下, PAM 低覆盖率不能有效地抑制结皮的形成, 其径流量的百分比相对要高些, 有的甚至和对照相近。

秸秆覆盖与对照径流量百分比显示出不同的特点, 在第 I 阶段降雨试验中, 秸秆覆盖的径流量一般减少 30% ~ 10%, 在第 II 阶段降雨试验中, 其百分比一般要小于第 I 阶段降雨试验的百分比, 即秸秆覆

盖的径流量相对对照来说有所增大,有的径流量甚至大于对照。

表 2 PAM、秸秆覆盖与对照径流减少量的百分对比

Table 2 The comparison of soil- losses from control with those under PAM and straw coverage (%)

雨强 Rainfall (mm h ⁻¹)	坡度 Slope(%)	降雨阶段 Rainfall phases	秸秆覆盖 Straw coverage	PAM 覆盖(C) PAM coverage (C)	PAM 覆盖(B) PAM coverage (B)	PAM 覆盖(A) PAM coverage (A)	
50	8.74	I	67.41	18.03	23.04	39.25	
		II	28.53	30.13	32.38	71.07	
	36.4	I	28.64	45.35	49.32	36.8	
		II	38.57	62.66	70.55	76.45	
	46.63	I	10.59	16.79	6.89	20.58	
		II	36.8	67.44	63.42	72.51	
100	8.74	I	31.02	43.37	57.91	62.15	
		II	23.08	28.05	31.59	66.35	
	17.63	I	25.23	7.62	36.22	41.59	
		II	2.28	14.5	23.39	33.53	
	36.4	I	16.63	33.64	42.77	54.64	
		II	-17.08	32.97	77.77	86.6	
	46.63	I	27.56	24.05	22.2	34.64	
		II	50.41	54.96	64.92	70.21	
	150	8.74	I	4.62	9.13	10.77	14.34
			II	8.08	16.62	21.58	40.04
		17.63	I	24.17	19	18.42	19.69
			II	7.63	14.46	13.98	30.89
36.4		I	38.68	44.48	45.14	43.9	
		II	-8.35	5.64	16.51	35.31	
46.63	I	37.82	28.93	39.42	43.91		
	II	25.26	9.54	26.01	50.21		

Segeen and Trout^[20]的研究表明没有形成结皮的土壤比形成结皮的土壤的降水入渗量要大 85%,这意味着 PAM 在提高降水入渗方面具有很大的潜力。Lentz 等^[21]的试验表明 1×10^{-5} 浓度的 PAM 灌溉水能增加 30%~40% 的入渗。Levy 等^[10]在连续的模拟喷灌试验中, 1×10^{-5} ~ 2×10^{-5} 浓度的 PAM 灌溉水使最终入渗量分别增加了 58% 到 70%。Kristian Aase^[18]在类似的模拟喷灌试验中使用 $2 \sim 4 \text{ kg hm}^{-2}$ 的 PAM, 使径流量大约减少了 60%。

径流产流的初始时间和径流量的大小是确定土壤最终入渗量的两个主要组成部分,显然,在我们这次试验中,PAM 处理的土壤最终入渗增加量不会小于相应条件下的径流减少量。

径流量随时间的变化曲线能清晰地展示径流历时过程和形成特征。对比对照、秸秆覆盖和 PAM 处理的径流曲线,可更深入更直观地理解 PAM 是怎样影响径流的形成。图 3 是雨强 100 mm h^{-1} 、坡度 8.74% 的条件下,各种处理的径流量随时间的变化曲线。对比对照、秸秆覆盖和 PAM 处理的径流曲线,可以看出对照的径流量比各种处理的径流量要大,而 PAM 处理的土壤中,PAM 的覆盖率越大,其径流量

就越小。这是由于土壤表面经 PAM 处理后有效地减少了封闭作用并抑制了土壤结皮的形成。试验表明,每一试验的对照径流曲线都显示了一个大致相同的趋势,产流形成后,在最初的短时间内,土壤的径流量急剧地增加,然后逐步地趋于稳定并达到最大值。这一趋势是由土壤的封闭过程决定的,径流形成以前,土壤表层经过长时间的封闭作用,入渗率大为降低,在径流形成后的短时间内,水土之间的阳离子交换作用和径流中的悬浮物质的沉积作用迅速地进行,这意味着土壤表面的封闭作用迅速地达到完善的程度并形成结皮,使土壤的入渗率远低于雨强,雨水迅速在土壤表面累积形成径流。对比 PAM 处理的径流曲线,它们的径流量是平缓地增加,显然,由于 PAM 的粘聚作用,缓解了土壤表层的封闭作用,土壤的入渗率不会在产流后的短时间内急剧地下降,因而使得 PAM 处理的径流曲线不同于对照径流曲线的趋势。秸秆覆盖的径流曲线则表现出完全不同的特点,它的径流量随时间很不稳定,可能突然增大也可能突然减小。这是由于秸秆的阻挡,在土壤表面可能形成滞水而减小径流量,或由于滞水的下泄而突然增大径流量。

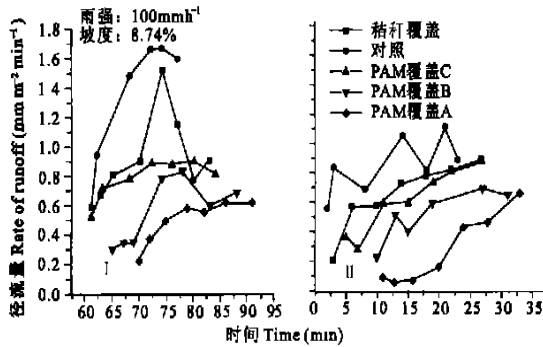


图3 径流量随时间的变化曲线

Fig. 3 Change in runoff with time for different treatments

对比图3中第II阶段与第I阶段的径流量随时间的变化曲线,可发现第II阶段各个处理的径流量都小于第I阶段相应的各个处理,对于PAM处理的土壤来说,其物理意义是十分明确的:(1)在降雨的第I阶段中,由于PAM的作用,抑制了土壤表面结皮的形成,维持了土壤较高的入渗率;(2)在第I阶段降雨试验最初时间及产流的最初时间里,PAM没有充分溶解,由于雨滴的打击,形成一些细小的土壤颗粒会充填或沉积在土壤表层的孔隙中,而第II阶段中,PAM已充分发挥作用,细小的土壤颗粒形成大的土壤团聚体,因而不存在那些充填和沉积等封闭作用。对于对照和秸秆覆盖来说,其径流量理应相差不多,为什么也会减小呢?这是因为在第I阶段时,对照及秸秆覆盖处理的土壤形成了一些侵蚀细沟,有些细沟深切到试验土层下部的细沙层,一部分雨水可通过沙层直接渗走,从而使径流量减小。这说明,表2中第II阶段PAM处理的径流减少量的百分比是一个比实际可能偏小的数据。

3 结论

试验表明PAM具有良好的黏结力,能有效改良土壤的表层结构,提高土壤的稳定性,增加土壤的入渗率。虽然在大坡度大雨强(150 mm h^{-1} 左右,在我国西北干旱、半干旱少见)的条件下,或在长时间的降雨的溶解和淋漓下,PAM的作用会受一定的削弱,但PAM仍然不失为一种良好的土壤改良剂。

试验结果表明土壤的降水入渗率与PAM的覆盖率成正相关关系,PAM的覆盖率越大,土壤的降水入渗率越高。小雨强、小坡度条件下,低的PAM覆盖率(C)就能增加20%~50%的入渗量,大的PAM覆盖率(A)则能增加40%~60%的入渗量。特别对于PAM覆盖率A来说,在大雨强、大坡度条件下,也能获得相当不错的入渗效果。第II阶段降雨的试验效果更是显示了PAM提高降水入渗率这方面的良好特性,在小雨强的条件下,对于PAM覆盖率A来说,增加了70%~80%的入渗量,PAM覆盖率B增加了30%~70%的入渗量,PAM覆盖率C增加了20%~70%的入渗量,大雨强条件下,PAM覆盖率A增加了40%~50%的入渗量,PAM覆盖率B增加了20%的入渗量,PAM覆盖率C则和对照相差不多。

本次试验的模拟条件涵盖了自然状态下的多种坡度和降雨强度的组合,坡度和雨强变化范围很大,因而 PAM 增加降水入渗的试验结果有着十分重要的现实意义。模拟试验的方法对自然条件下 PAM 的使用方法有着很好的借鉴和示范作用,根据 PAM 覆盖率与入渗量的试验结果,可在不同的地形坡度条件下采用不同的 PAM 使用量,如在坡度小于 8.74% 的农耕地,采用 PAM 覆盖率 B 或 C (这对农业生产来说在经济上是合理的),在坡度大于 8.74% 小于 36.40% 的山坡地,采用覆盖率 B,在坡度大于 36.4% 的陡坡地,采用覆盖率 A 或加大覆盖率,在降雨强度小于 100 mm h^{-1} 的条件下都能获得很好的入渗效果。

参考文献

1. Morin J, Van Winkel J. The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1996, 60: 1 223~ 1 227
2. Ber Hur M, Lety J, Shainberg I. Polymer effect on erosion under laboratory rainfall simulator conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1990, 54: 1 092~ 1 094
3. Gal M, Arcan L, Shainberg I, Keren R. Effect of exchangeable sodium and phosphogypsum on crust structure —Scanning electron microscope observations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1984, 48: 872~ 878
4. Bissonnis Y L, Fox D, Bresson I M. Incorporating crusting processes in erosion models. In: John Boardman, David Favis Mortlock. ed. *NATO ASI Series, Modelling Soil Erosion by Water*. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1998, 237~ 246
5. Onofiok O, Singer M J. Scanning electron microscope studies of soil surface crusts formed by simulated rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1984, 48: 1 137~ 1 143
6. Ginérez D, Dirksen C, Miedema R, *et al.* Surface sealing and hydraulic conductances under varying intensity rains. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1992, 56: 234~ 242
7. Levy G J, Levin J, Shainberg I. Seal formation and interrill soil erosion. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, 58: 203~ 209
8. 蔡强国, 王贵平, 陈永宗. 黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟. 北京: 科学出版社, 1998
9. Agassi M, Shainberg I, Morin J. Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1981, 45: 848~ 851
10. Levy G J, Levin J, Gal M, *et al.* Polymers' effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1992, 56: 902~ 907
11. McIntyre D S. Permeability measurements of soil crust formed by raindrop impact. *Soil Sci.*, 1958, 85: 813~ 817
12. 蒋定生, 等. 黄土高原水土流失与治理. 北京: 中国水利水电出版社, 1997
13. Helalia A M, Lety J, Graham R C. Crust formation and clay migration effects on infiltration rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1988, 52: 251~ 255
14. Nadler A, Perfect E, Kay B D. Effect of polyacrylamide application on the stability of dry and wet aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1996, 60: 555~ 561
15. Ber Hur M, Lety J. Effect of polysaccharides, clay dispersion, and impact energy on water infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1989, 53: 233~ 238
16. Ber Hur M, Keren R. Polymer effect on water infiltration and soil aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1997, 61: 565~ 570
17. Aly S M, Lety J. Physical properties of sodium treated soil as affected by two polymers. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1990, 54: 501~ 504
18. Kristian Aase J, Bjomeberg D L, Sojka R E. Sprinkler irrigation runoff and erosion control with polyacrylamide laboratory tests. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1998, 62: 1 681~ 1 687
19. Barvenik F W. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. *Soil Sci.*, 1994, 158: 235~ 243
20. Segren A G, Trout A R. Hydraulic resistance of soil surface seals in irrigated furrows. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1991, 55: 640~ 646
21. Lentz R D, Shainberg I, Sojka R E, *et al.* Preventing irrigation furrow erosion with small applications of polymers. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1992, 61: 565~ 570

EFFECTS OF POLYACRYLAMIDE APPLICATION ON INFILTRATION AND SOIL EROSION UNDER SIMULATED RAINFALLS I . INFILTRATION

Tang Ze jun¹ Lei Ting-wu^{1,2} Zhang Qing-wen² Zhao Jun²

(1 China Agriculture University, Beijing 100083, China)

(2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, and Ministry of Water Resources, Yangling,
Shaanxi 712100, China)

Summary

Surface crust of soil, especially Loess, formed under the impact of raindrops will significantly affect rain water infiltration rate. Polyacrylamide(PAM) can effectively prevent crust formation and improve soil structure and enhance soil permeability. To clearly relate PAM application with infiltration rate, experiments were conducted with rainfall simulator under laboratory conditions, at 3 different levels of rainfall intensity: 50 mm h^{-1} , 100 mm h^{-1} and 150 mm h^{-1} ; 4 slope gradients: 8.74%, 17.63%, 36.4% and 46.63% and 5 surface treatments: control, straw coverage and three PAM coverages-A, B, and C. Two rainstorms were simulated with a 24 h interval. Analyses were made to relate infiltration rates with PAM coverage and describe impacts of PAM application on infiltration.

Key words Rainfall simulation, Infiltration, PAM