

土壤结构改良剂对土壤水动力学参数的影响

潘英华¹, 雷廷武^{1,2}, 张晴雯¹, 刘纪根¹, 夏卫生¹

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100; 2 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘要: 该文研究土壤结构改良剂对土壤水动力学参数的影响。通过对试验数据进行初步分析后得出: 加入土壤结构改良剂后, 土壤饱和导水率有所提高; 各处理的非饱和和扩散率与对照相比, 施加土壤结构改良剂的处理, 在水平土柱试验中, 远水端同一距离处土壤含水率要低于对照处理的含水率; 土壤结构改良剂具有良好的吸水和保水性能, 使得土壤的持水能力增强。在水势相同的情况下, 与对照相比, 施加土壤结构改良剂的土壤可保持更多的水分, 并增加土壤中有效水含量。施加部位不同, 土壤结构改良剂对土壤所持水分的含量也有较大差别, 说明在实际应用中土壤结构改良剂的施用方法和施用深度也是影响土壤水分状况的一个较为重要的因素。

关键词: 土壤结构改良剂; 土壤水动力学; 导水率; 扩散率

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2003)04-0037-03

1 引言

土壤非饱和导水率 $K(\theta)$ 、非饱和扩散率 $D(\theta)$ 和比水容量 $C(\theta)$ 等土壤水分运动参数是非饱和土壤水分运动基本方程中的重要参数^[1]。土壤水动力学参数受质地、结构和容重等多种因素的影响, 表现为相对于介质及其所处环境的不确定性。另外, 土壤结构改良剂的应用对土壤水分运动参数的影响也是不容忽视的。

土壤结构改良剂具有调节土壤肥力状况、改善土壤结构及渗透性以及保水保土的能力。聚丙烯酰胺(Polyacrylamide, 记为 PAM) 作为一种土壤结构改良剂, 可以稳定或改良土壤结构和凝聚径流中的悬浮颗粒, 增加降雨入渗, 减少径流和土壤侵蚀, 从而改善土壤水分状况, 增加植物可利用水含量, 提高水分利用效率, 减少杀虫剂和肥料的流失, 改善生态环境。据 Lentz 和 Sojka 研究表明, 使用 PAM 减少了沟灌侵蚀 94% (范围 80% ~ 99%), 增加入渗 15% (范围 8% ~ 57%); 径流水中 P、N、生物化学需氧量(BOD) 和沉积物损失各减少 84%、83%、72% 和 57%^[2,3]。

国内学者的试验研究也表明, 土壤结构改良剂的主要作用是减少径流和增加水分入渗^[4,5]。但是从本质上来讲, 土壤结构改良剂之所以能起到减少径流增加水分入渗的作用, 主要是因为其对土壤结构的改善影响到土壤水分运动参数。本文在前人研究的基础上, 着重对土壤结构改良剂对土壤饱和导水率、土壤非饱和扩散率以及土壤水分特征曲线的影响进行研究, 为进一步研究土壤结构改良剂对土壤的作用机理提供基础。

2 材料与方法

2.1 供试材料

土壤: 采自陕北安塞地区, 土质为粉砂壤土。供试土

壤的颗粒组成见表 1。

表 1 供试土壤的颗粒组成

Table 1 Soil particle composition

粒径/mm	1~0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	0.005~0.001	< 0.001	< 0.01
含量/%	0.60	32.01	46.70	4.99	5.89	9.81	20.69

聚丙烯酰胺(PAM): 长链线型高分子聚合物, 吸水性极强, 通常为白色、无味、无毒害作用的粉末状物质。

磷石膏(PG): 灰色粉末状物质, 主要成份为硫酸钙(CaSO₄) 和五氧化二磷(P₂O₅)。水溶液为酸性, pH 值变化在 2~4。

2.2 土壤水动力学参数的测定方法

土壤饱和导水率的测定采用定水头法, 用马氏瓶控制水位, 水头控制在 1.5 cm。试验所用土柱直径为 10 cm, 高 15 cm。试验设计 PAM 用量为: 0、1、1.5、2、2.5 g/m² 以及不同 PAM 用量与磷石膏(Phosphogypsum, PG) 混合使用, 其中 PG 的用量为 200 g/m²。每种处理 3 个重复。

土壤水扩散率的测定采用水平土柱法, 由马氏瓶供水。试验所用土槽为有机玻璃质, 尺寸为: 75 cm × 15 cm × 10 cm。试验设计 PAM 的用量与土壤饱和导水率的测定相同。实验前将试验用土样自然风干, 磨细, 过 2 mm 的土筛。试验时把处理好的土样按照田间容重分层装入试验槽中, 制成具有均一初始含水率, 土质均匀的试验土柱, 由马氏瓶控制供水水位, 记录试验起始和终止时间。试验结束时, 从湿润锋开始隔一定距离迅速取土称重并烘干计算其含水率。结合解析法求得的计算公式, 通过计算求出 $D(\theta)$ ^[1]。

土壤水分特征曲线的测定采用压力膜法^[1]。PAM 的用量分别为: 0、2 g/m² 的 PAM 与 PG 混合使用。

3 结果分析与讨论

3.1 土壤结构改良剂对土壤饱和导水率的影响

施加土壤结构改良剂情况下, 采用定水头法测定土壤饱和导水率。试验测得在不同处理情况下土壤饱和导

收稿日期: 2002-12-05

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50179035)

作者简介: 潘英华, 在职博士生, 助理研究员, 陕西杨凌 中国科学院水利部水土保持研究所, 712100



水率如表 2 所示。

表 2 不同处理饱和和导水率值

处 理	导水率/ $10^3 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$	显著性检验	
		0.05	0.01
对照	3.70	f	f
PAM (1 [*])	3.93	ef	e
PAM (1.5)	4.00	de	bcd
PAM (2.5)	4.03	cd	ac
PG 处理	4.31	b	ad
PAM (1)+ PG	3.34	g	g
PAM (2)+ PG	4.55	a	a

* 注: 括号中所列数据代表 PAM 的不同用量, 例: PAM (1.5) 表示 PAM 用量为 1.5 g/m^2 。

从所得数据可以看出, 随着 PAM 应用量的增加, 土壤饱和和导水率有所增加。PAM 的应用使土壤饱和和导水率提高的原因可能是因为它能保持土壤的结构, 形成多颗粒土壤的团聚体^[7, 81]。PG 的应用使土壤的饱和和导水率明显增大。这可能是由于土壤在施加 PG 后, 水中的电解质浓度增加, 减少了土壤结皮的形成, 从而使土壤饱和和导水率增加。施加 PAM 与 PG 的混合物也使土壤的饱和和导水率发生变化, 当 PAM 用量为 2 g/m^2 时, 饱和和导水率大大增加, 但当 PAM 用量为 1 g/m^2 时饱和和导水率反而有所减小。其原因尚需进一步研究。

3.2 土壤结构改良剂对土壤水扩散率的影响

应用水平土柱入渗法测得的土壤水分扩散率情况见图 1 和表 3。

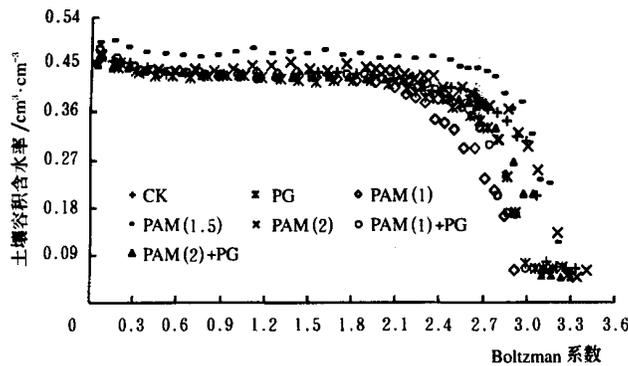


图 1 土壤含水率与 Boltzman 变换系数的关系
Fig 1 Relationship between soil moisture and Boltzman coefficient

Boltzman 变换系数是在土壤非饱和和扩散率的计算中引入的一个中间量, 它的表达式为 $\lambda = X T^{-1/2}$ 。由于其与土壤水分扩散的水平距离有关, 因此, 其与水平方向含水率的关系可反映土壤含水率在水平方向的变化情况。图 1 为各种处理土壤含水率与 Boltzman 变换系数的关系。从图中可以看出, 与对照相比, 当 Boltzman 变换系数在 0~2.1 之间时, 土壤含水率的分布在不同处理情况下, 除 PAM 用量为 1.5 g/m^2 的处理含水率值偏高外, 其它处理的含水率值差异很小。当 Boltzman 变换系数大于 2.1 时, 各处理的含水率分布略有变化。

对于同一含水率, 土壤表层施加土壤结构改良剂的处理, Boltzman 变换系数值要小于对照处理; 而对应于同一 Boltzman 变换系数值, 施加土壤结构改良剂的处理, 其近水端土壤含水率高于对照, 而远水端含水率低于对照处理。这可能是由于施加 PAM 的土壤在长时间的浸泡下, PAM 遇水膨胀, 粘滞性增强, 使水的粘滞度增加, 从而使土壤在试验条件下沿水平方向的扩散能力受到影响。

表 3 土壤水扩散率表达式拟合结果

处 理	模拟方程式 $D(\theta)$	相关系数 R^2
对 照	$D(\theta) = 0.0093e^{13.949\theta}$	0.9161
PAM (1)	$D(\theta) = 0.0116e^{15.384\theta}$	0.9611
PAM (1.5)	$D(\theta) = 0.0087e^{15.910\theta}$	0.9219
PAM (2)	$D(\theta) = 0.0108e^{15.79\theta}$	0.9179
PG	$D(\theta) = 0.008e^{15.994\theta}$	0.9023
PAM (1)+ PG	$D(\theta) = 0.0051e^{17.310\theta}$	0.9433
PAM (2)+ PG	$D(\theta) = 0.0128e^{15.456\theta}$	0.9311

经数据分析拟合得出土壤非饱和和扩散率的表达式为一指数函数, 拟合结果见表 3。从表中数据拟合情况可以看出, 用指数函数可很好地描述各种处理土壤非饱和和扩散率与含水率的关系。

3.3 土壤结构改良剂对土壤持水性能的影响

土壤水分特征曲线表示土壤水的能量和数量之间的关系, 是研究土壤水分的保持和运动所用到的反映土壤水分基本特性的曲线。本文测得不同吸力下土壤含水率变化情况如表 4 所示。

表 4 不同吸力下土壤含水率变化情况

处 理	土壤吸力/kPa							$\Delta \theta$
	5	10	30	70	350	500	1000	
对 照	43.67	39.76	35.75	23.55	21.00	20.56	19.47	24.20
PG 表层	44.35	40.31	36.98	28.72	21.96	21.42	19.09	25.26
比对照增加	1.56	1.36	3.45	21.96	4.56	4.19	-1.96	4.38
PG+ PAM 表层	44.57	40.97	36.49	23.34	20.84	20.76	19.73	24.84
比对照增加	2.06	3.05	2.07	-0.89	-0.75	0.98	1.33	2.64
PG	48.91	45.18	38.54	24.96	22.69	22.74	21.99	26.92
比对照增加	12.00	13.63	7.82	6.02	8.04	10.57	12.94	11.24
PG+ PAM	52.84	49.56	45.11	30.92	28.24	27.89	26.85	25.99
比对照增加	20.99	24.64	26.17	31.33	34.48	35.63	37.91	7.40
PAM	54.87	45.73	41.98	32.52	27.11	25.87	24.61	30.26
比对照增加	25.64	15.00	17.44	38.12	29.12	25.82	26.43	25.04
PAM 表层	44.33	40.53	33.94	20.84	18.00	17.62	16.79	27.54
比对照增加	1.52	1.93	-5.05	-11.47	-14.30	-14.30	-13.75	13.80

* 注: 表 3 中 PG 表层, PAM 表层, PAM + PG 表层表示将土壤结构改良剂与土壤的混合物施加在土样表面; 而 PG, PAM, PAM + PG 表示环刀中所装土样全部为土壤结构改良剂与土壤的混合物。Δθ: 土壤在最低吸力和最高吸力下的含水率差值。

从表 4 所列数据可以看出, 在土壤吸力为 5 kPa 和 10 kPa 时, 加入土壤结构改良剂的处理其土样含水率均高于对照处理, 其变化范围在 1.36%~25.64%, 而且, 表层施用土壤结构改良剂的处理其土样含水率均低

于土壤结构改良剂与土壤的混合物。当吸力大于 10 kPa 时, 除 PG 表层、PAM 表层以及 PAM + PG 表层 3 种处理在个别压力下表现为负增长外, 其它 3 种处理的土壤含水率都要高于对照处理, 其变化范围为 6.02% ~ 38.12%。压力越大, 施加土壤结构改良剂的土壤含水率与对照之间的差异越明显。另外, 从 $\Delta\theta$ 的变化情况可以看出, 土壤中加入结构改良剂后, 其含水率的变化范围增大。对植物来说, 可供植物吸收和利用的有效水分含量增加。说明土壤中加入结构改良剂后, 土壤的持水性能有所提高, 同时也说明, 土壤结构改良剂的施用方法和深度也影响着其持水有效性。

对各处理试验数据进行拟合, 得到土壤水分特征曲线以及比水容量表达式列于表 5 中。

表 5 土壤水分特征曲线与比水容量表达式

Table 5 Expression of soil water and specific water content

处 理	土壤水分特征曲线 $S(\theta)$	相关系数 R^2	比水容量 $C(\theta)$
对 照	$S(\theta) = 500\theta^{0.6546}$	0.9356	$C(\theta) = 35.369\theta^{0.6546}$
PG 表层	$S(\theta) = 50\theta^{0.9156}$	0.9854	$C(\theta) = 338.089\theta^{0.9156}$
PAM 表层	$S(\theta) = 140\theta^{0.6245}$	0.8672	$C(\theta) = 154.457\theta^{0.6245}$
PG+ PAM 表层	$S(\theta) = 70\theta^{0.4524}$	0.9236	$C(\theta) = 262.008\theta^{0.4524}$
PG	$S(\theta) = 12\theta^{0.4588}$	0.9133	$C(\theta) = 152.659\theta^{0.4588}$
PAM	$S(\theta) = 90\theta^{0.63763}$	0.9785	$C(\theta) = 153.344\theta^{0.63763}$
PG+ PAM	$S(\theta) = 100\theta^{0.65213}$	0.9231	$C(\theta) = 174.256\theta^{0.65213}$

* 注: $S(\theta)$ 单位为 kPa, θ 单位为 $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, $C(\theta)$ 单位为 $1/\text{cm}$ 。

4 结 论

1) 由于 PAM 具有维持土壤结构, 增加土壤稳定性等功能, 而 PG 中含有丰富的 Ca^{2+} , 可维持土壤良好的结构性, 因此, 土壤中加入 PAM 或 PG 及它们的混合物(施用部位只在表层 2 mm)后, 土壤的饱和导水率值有所增加, 与对照相比差异显著。

2) 对于同一含水率, 土壤表层施加土壤结构改良剂的处理, Boltzman 变换系数值要小于对照处理; 而对应于同一 Boltzman 变换系数值, 施加土壤结构改良剂的处理, 其近水端土壤含水率高于对照, 而远水端含水率低于对照处理。说明土壤中加入土壤结构改良剂后其水平方向的扩散作用会受到一定的影响。

3) 从土壤水分特征曲线的测定结果看, 土壤中加入结构改良剂后, 土壤的持水性能有所提高。压力越大, 施加土壤结构改良剂的土壤含水率与对照之间的差异越明显。而表层施加土壤结构改良剂的处理其持水性能略差于土壤结构改良剂与土壤混合的处理, 说明土壤结构改良剂的施用方法和深度影响着其土壤的持水有效性。由于 PAM 具有较强的吸水和保水能力, 当其施用于土壤表面时, 可将较多的水分保持在土表, 使得土壤水分向上运行的能力增强, 从而使表层以下的土壤含水率有所降低。因此, 在实际应用中, 应考虑将 PAM 施用在表层以下的适宜部位, 具体施用深度将依据土壤性质及植物的根系分布情况决定。

[参 考 文 献]

- [1] 雷志栋, 杨诗秀. 土壤水动力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 1989.
- [2] Sojka R E, Lentz R D. Time for yet another look at soil conditioners[J]. Soil Sci, 1994, 158: 233~ 234.
- [3] Lentz R D, Sojka R E, Foerster J A. Estimating polyacrylamide in irrigation water[J]. J of Envir Quality, 1996, 25: 1015~ 1024.
- [4] 夏海江, 肇普兴. PAM 对土壤物理性质影响的试验研究[J]. 东北水利水电, 1999(7): 7~ 8.
- [5] 王小彬, 蔡典雄. 土壤调理剂的 PAM 的农用研究和应用[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(4): 457~ 463.
- [6] 邵明安, 黄明斌, 等. 土-根系系统水动力学[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2000.
- [7] Trout T J, Sojka R E, Lentz R D. Polyacrylamide effect on furrow erosion and infiltration[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(3): 761~ 765.
- [8] Lentz R D, Stieber T D, Sojka R E. Applying polyacrylamide (PAM) to reduce erosion and increase infiltration under furrow irrigation[A]. In: Robertson L D, Nolte P, Vodraska B, King B, T (ed) Proc Winter Commodity Schools- 1995[C]. University of Idaho Cooperative Extension, Moscow, Idaho, 1995, 79~ 92.
- [9] Shainberg I. Effect of PAM combined with Phosphogypsum (PG) on R, Runoff and Erosion—Rain Simulation Studies (Submitted) [Z].

Effects of polyacrylamide on soil hydrodynamic parameters

Pan Yinghua¹, Lei Tingwu^{1,2}, Zhang Qingwen¹, Liu Jigen¹, Xia Weisheng¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling 712100, China; 2 College of Hydraulic and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In this paper, the effects of soil amendments on soil hydrodynamic parameters were studied. The results showed that, with soil amendments application, saturated hydraulic conductivity increased; unsaturated diffusivity was also affected. Compared with control, at the same distance far from water supply in horizontal column, water content was lower than that of control. With high water absorbing and holding capacities of soil amendments, soil treated with soil amendments can preserve more water than that without treatment. Soil amendments can increase content of effective soil water. Because applying part was different, there was a big difference in water content among treatments. The result implied that way and depth of soil amendment application were important factors which affected soil water condition.

Key words: polyacrylamide (PAM); soil hydrodynamic parameter; hydraulic conductivity; diffusivity