

# 高分子聚合物对坡地产流产沙特征影响的研究\*

吴淑芳 吴普特 冯浩 朱献文

(1 西北农林科技大学, 陕西杨凌 712100)

(2 中国科学院水利部水土保持研究所, 国家节水灌溉杨凌工程技术中心, 陕西杨凌 712100)

## EFFECTS OF MACROMOLECULE POLYMERS ON RUNOFF AND SEDIMENT ON SLOPE LAND

Wu Shufang Wu Pute Feng Hao Zhu Xianwen

(1 Northwest Sci-Tech University for Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

(2 Institute of Soil and Water Conservation Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,  
National Engineering Research Center for Water Saving Irrigation at Yangling, Yangling, Shaanxi 712100, China)

关键词 高分子聚合物; 人工降雨; 坡面径流; 侵蚀量

中图分类号 S156.2 文献标识码 A

干旱缺水与水土流失并存是制约干旱半干旱地区经济社会可持续发展的主要限制因子, 坡面降雨径流既是产生水土流失的动力, 又是缓解干旱缺水的重要水源。通过地表径流调控手段, 消除水土流失动力, 同步实现水土流失治理与水土资源高效利用一直是近年来人们研究的热点课题。近年来, 采用化学措施防治水土流失已成为新的研究领域。高分子聚合物以其独特的结构和多样的功能以及低廉的价格用于改良土壤结构, 调节降雨径流, 已是我国农业及水土保持研究的热点。

自 Bear 在 1951 年率先提出名叫 Krilium 的化学改良剂以来, 其他化学改良剂陆续被报道。国内外相继出现了一批新兴较便宜的结构改良剂用来改善土壤结构, 例如聚丙烯酰胺 (PAM), 基丙酰胺 (Methacrylate)、艾莫利尔硫酸盐 (Ammonium-sulfate)、磷硫酸钙 (Phosphogypsum)、丙烯酰胺、脲醛树脂等等。Bouranis 等对高分子聚合物改良剂对土壤改良及水土保持效果的研究历史作了较全面的综述<sup>[1-3]</sup>。可以发现, 已有高分子聚合物对土壤结构改良、水土保持影响的研究缺乏对比、系统试验分析。笔者根据室内对数十种高分子聚合物与土壤混合后, 通过测定土壤入渗性能, 筛选出可明显改变土

壤入渗, 且对环境无污染, 价格相对低廉的聚丙烯酸、聚乙烯醇、脲醛树脂三种高分子聚合物, 并将其对土壤物理性质的影响作了系统的分析<sup>[4]</sup>, 在此基础上, 本文通过室外人工模拟降雨试验, 坡面施加不同浓度的三种高分子聚合物对坡面产流、产沙, 防治土壤侵蚀的效果研究进行了分析, 并确定其适宜用量, 筛选出作用效果最佳聚合物。

## 1 材料与方法

前期实验初选的聚丙烯酸、聚乙烯醇、脲醛树脂三种聚合物, 均市购, 易溶于水, 具有胶结作用, 可作为絮凝剂、堵水剂、纸物处理剂、结构改良剂, 大多用于水处理剂, 是一种环保性材料。

### 1.1 试验准备

试验主要在陕西杨凌节水示范园进行。采用微喷头组合模拟人工降雨进行坡面冲刷试验, 降雨强度控制在  $1.0 \text{ mm min}^{-1}$  左右, 每次降雨历时为 1h。冲刷槽长 5.1m, 宽 2.0m, 坡度为  $6^\circ$ , 为减少实验次数将 2m 宽分为 3 等份, 中间用 PVC 板分开, 每一小区面积为  $0.66 \times 5.1 = 3.366 \text{ m}^2$ , 在每小区的下端设有出水口, 盛接径流量和土壤侵蚀量。试验土样选

\* 国家 863 计划项目“雨水高效集蓄利用技术与行走式节水机具” (2001AA242011) 资助

作者简介: 吴淑芳 (1977~), 女, 回族, 宁夏吴忠人, 博士, 主要从事水资源高效利用工作

收稿日期: 2003-12-12; 收到修改稿日期: 2004-05-15

择具有代表性的关中 土, 小区深 40cm, 分层填土 高为 35cm, 容重控制在  $1.20\text{g cm}^{-3}$  左右, 含水量控

制在 17.0% 左右, 将表面抹平拍实。供试土壤物理 性质见表 1。

表 1 供试土壤物理性质

土壤 类型	质地	容重( $\text{g cm}^{-3}$ )	总孔隙度 (%)	各级颗粒含量百分数(%)						水稳性团粒 含量(%)	
				1~	0.25~	0.05~	0.01~	0.005~			
				0.25mm	0.05mm	0.01mm	0.005mm	0.001mm	< 0.001mm < 0.01mm		
土	重壤土	1.204	53.5	0.1	2.3	36.7	13.3	14.6	32.9	60.0	53.3

表 2 高分子聚合物喷施方法及配比浓度

聚合物 名称	六种处理及配比浓度						施用 方法
	对照	1	2	3	4	5	
聚丙烯酸	0%	1.2%	2.4%	3.6%	4.8%	6%	喷施
聚乙烯醇	0%	0.4%	0.8%	1.2%	1.6%	2.0%	拌施
脲醛树脂	0%	2.5%	5.0%	7.5%	10.0%	12.5%	喷施

注: 以上浓度指的是 100ml 水所需聚合物的体积 (ml) 或重量 (g), 而每平方米需水 4.4L, 聚乙烯醇需拌土  $5\text{kg m}^{-2}$

### 1.2 试验处理

各小区处理方法见表 2。对于同一种化合物而言, 有 6 种处理, 在每一种处理中, 降雨实验前测定土壤含水量、容重, 降雨后测定径流量、泥沙含量, 观察表面破坏情况, 每个处理设 3 次重复, 每次并将各实验因子调换位置, 尽可能减少误差。

## 2 结果与分析

### 2.1 高分子聚合物对坡面产流特征的影响

坡面产流实质上是水分在下垫面垂向运动中各种因素综合作用下的发展过程, 也是下垫面对降雨的再分配过程。降雨在裸露地表, 首先满足土壤入渗的要求, 当降雨强度大于土壤入渗性能时, 径流开始产生<sup>[5~7]</sup>。已有研究表明, 当聚丙烯酸、聚乙烯醇、脲醛树脂的喷施浓度分别为 4.8%~6.0%、1.6%~2.0%、10.0%~12.5% 时, 土壤入渗、土壤容重及水稳性团粒含量有显著的改善<sup>[4]</sup>。

图 1、图 2 显示了高分子聚合物在上述浓度范围内, 雨强  $1.0\text{mm min}^{-1}$ 、降雨历时为 1h 坡面平均产流时间、平均产流速率和平均产流量的变化。从图 1 可以看出: 坡面喷施高分子聚合物后, 产流时间和产流速率都有明显的下降, 产流时间较对照推迟 4.25 min, 平均产流速率为  $2.40\text{L min}^{-1}$ , 较对照减少 24.3%。产流初期, 产流速率增加速度快, 随降雨历时的延长, 各处理产流速率趋于稳定。对照坡面产流时间为 6.0 min, 产流速率稳定在  $3.098\text{L min}^{-1}$ , 聚丙烯酸处理小区产流推迟最明显, 产流时间 14min, 产流速率稳定在  $1.902\text{Lmin}^{-1}$ , 较对照

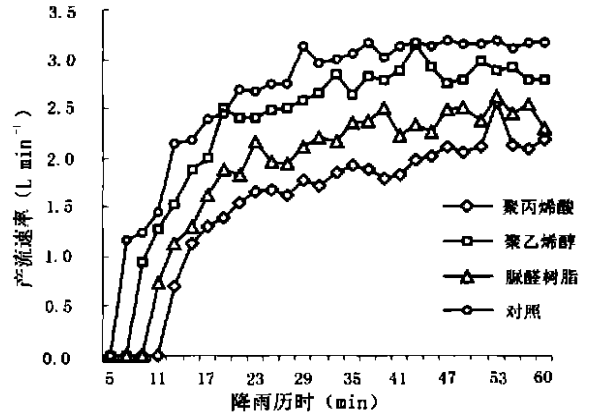


图 1 高分子聚合物对产流速率的影响

降低 38.66%; 脲醛树脂处理产流时间为 12.5 min, 较对照降低 25.16%; 聚乙烯醇产流时间 10.5 min, 较对照降低 9.34%。很明显, 聚丙烯酸处理随时间的推移, 坡面产流速率增加较其他缓慢, 说明其土壤入渗速率增加较其他快。

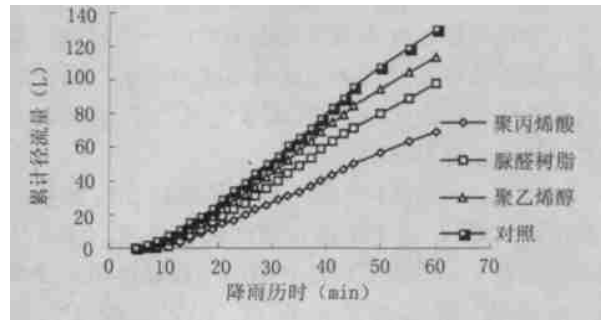


图 2 高分子聚合物对产流量的影响

由图 2 可以看出, 坡面施加聚丙烯酸后, 小区产生的径流总量 69.21 L, 较对照产生的径流减少了 46.95%。脲醛树脂较对照减少 25.38%; 聚乙烯醇径较对照减少了 12.3%。由于土槽上没有其他水出口, 所以减少的径流即为土壤中增加的入渗。

### 2.2 高分子聚合物对土壤侵蚀量的影响

高分子聚合物不但可以增加土壤团聚体数量、改善土壤结构, 从而增加土壤入渗, 减少地表径流, 提高土壤抗蚀性<sup>[8,9]</sup>。另一方面, 高分子聚合物的粘滞作用使土壤形成较好的团粒结构, 分子链之间的相互作用和滑韧性使表土抗冲能力增强, 进而减

弱水流对表土的机械破坏作用和输移能力<sup>[10,11]</sup>。

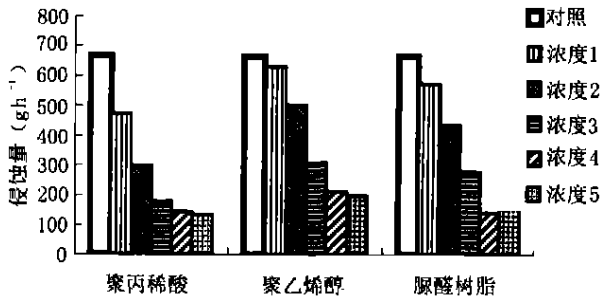


图3 不同高分子聚合物处理的坡面侵蚀量

图3表示在雨强 $1.0 \text{ mm min}^{-1}$ , 时间1h的降雨下, 施用不同浓度高分子聚合物时坡面侵蚀量变化情况。可以看出: 随聚合物浓度的增加, 坡面泥沙侵蚀量显著减少。聚丙烯酸浓度 $> 4.8\%$ 时, 侵蚀量基

表3 高分子聚合物的最适施用浓度及适宜用量

聚合物	适宜浓度(%)	适宜用量( $\text{ml m}^{-2}$ )	价格(元 $\text{kg}^{-1}$ )	径流量减少百分比(%)	侵蚀量减少百分比(%)	治理费用(元 $\text{m}^{-2}$ )
聚丙烯酸	4.8~ 6.0	116~ 145	10	49.65	79.4	1.56
脲醛树脂	10.0~ 12.5	180~ 240	5	25.38	71.3	1.64
聚乙烯醇	1.6~ 2.0	36~ 40 <sup>1)</sup>	15	12.30	61.0	0.65

1) 单位为  $\text{g m}^{-2}$

### 3 讨论

喷施高分子聚合物对调节坡面径流和防止土壤侵蚀是非常有效的。稳定降雨时, 聚合物可改善土壤结构、推迟产流时间、减少地表径流和土壤侵蚀量, 且在一定范围内随浓度的增加效果更加显著。根据三种高分子聚合物作用于地表综合效果分析得出: 聚丙烯酸作用效果最佳, 脲醛树脂次之, 聚乙烯醇最差。

高分子聚合物之所以具有减流减沙、防治土壤侵蚀的作用, 主要因为它可以增加土壤团聚体数量, 形成一定胶体物质, 增加土壤孔隙度和入渗能力, 从而减少地表径流, 增强土壤抗蚀性; 而且高分子聚合物的黏滞作用, 使土壤形成较好的团粒结构, 分子链之间的相互作用和滑韧性减弱了水流对表土的机械破坏作用和输移能力, 从而也增强表土抗冲能力<sup>[14~16]</sup>。黄土高原主要的土壤流失类型是黄绵土, 土壤质量差于本实验选用的土。但从高分子聚合物作用土壤这一机理看出, 无论哪种土壤质地, 只要有土壤颗粒存在, 它就会与土壤发生胶结作用, 形成某些聚集体。因此在黄土高原地区, 应用聚合物防治土壤侵蚀, 改善土壤结构具有很大的前景。但是, 今后还需对其不同的立地条件施用聚合物的

本稳定, 浓度为 $6.0\%$ 时侵蚀量仅为 $138.7\text{g}$ , 较对照减少 $79.4\%$ 。而脲醛树脂浓度在 $10.0\% \sim 12.5\%$ 时, 土壤流失量较对照较少 $71.3\%$ , 聚乙烯醇在浓度在 $10\% \sim 2.0\%$ 时较对照减少 $61.0\%$ 。

上述表明, 施加高分子聚合物后, 坡面侵蚀量均有明显的降低。但是, 聚合物的浓度应该控制在一定适合范围内。浓度过低会影响其减蚀效果, 可能原因是低浓度高分子聚合物对土壤改良效果不明显, 土壤渗透性未得到明显改善, 进而不能大幅增加入渗、减弱径流对地表冲刷能力; 另一方面, 浓度过高不但成本增加, 而且高分子聚合物与土壤颗粒并未充分发生反应, 多余的聚合物分子遇水后膨胀堵塞了土壤孔隙, 坡面过早的出现超渗产流, 反而会使泥沙侵蚀量增加<sup>[12,13]</sup>。通过以上研究分析, 我们确定了各种聚合物的最适浓度及适宜用量(见表3)。

适宜用量和施用方法, 效果的持续期等进一步研究。另外, 建议这项技术能和传统的水土保持措施如植树造林、坡改梯、等高沟垄等结合起来, 尽可能实现对坡面防治水土流失、土壤侵蚀的最优控制。

### 参考文献

- [1] Sojka R E, Lentz R D. Reducing furrow irrigation erosion with PAM. Journal of Production Agriculture, 1997, 10(1): 47~ 52
- [2] Michael H. Influence of soil Amendment-Herbicide Interactions on soil Erosion. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1998, 9(4): 154~ 161
- [3] 吴淑芳, 吴普特. 化学物质对提高雨水利用率的应用研究进展. 水土保持研究, 2002, 9(2): 146~ 149
- [4] 吴淑芳, 吴普特, 冯浩. 高分子聚合物对土壤物理性质的影响研究. 水土保持通报, 2003, 23(1): 42~ 45
- [5] 冯浩, 吴普特. 聚丙烯酰胺(PAM)对黄土坡地降雨产流产沙过程的影响. 水土保持学报, 2000, 20(4): 23~ 27
- [6] 冯浩, 吴普特. HEC 和 AAM 添加剂对提高黄土集流效率的试验研究. 农业工程学报, 2001, (3): 28~ 31
- [7] 冯浩, 吴普特. 人工模拟条件下垫面材料的产流特征试验研究. 见: 中国西北地区水资源开发战略与利用技术. 北京: 中国水利水电出版社, 2001. 6
- [8] 刘晓勇, 吴普特. 硬地面产汇流特征模拟试验研究. 农业工程学报, 2000, 11(6): 40~ 43
- [9] Brandsma R T, Fullen M A, Hocking T J. 土壤结构改良剂对土壤结构和土壤侵蚀的影响. 水土保持科技情报, 2001, 14~ 17

- [10] 夏海江, 杜尧东, 孟维忠. 聚丙烯酰胺防治坡地土壤侵蚀的室内模拟试验. 水土保持学报, 2000, 14(3): 14~ 17
- [11] 张淑芬. 坡耕地使用聚丙烯酰胺防止水土流失试验研究. 水土保持科技情报, 2001, 18~ 19
- [12] 吴发启, 赵晓光, 刘秉正. 坡耕地降雨、入渗对产流的影响分析. 水土保持研究, 2000, 7(1): 13~ 17
- [13] 何丙辉, Michael H. 土壤改良剂和除草剂的交互作用对土壤侵蚀的影响. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(1): 48~ 51
- [14] 龙明杰, 张宏伟. 聚合物在水土保持中的应用. 水土保持通报, 2000, 20(3): 5~ 9
- [15] 傅涛, 倪九派, 魏朝福, 等. 坡耕地土壤侵蚀研究进展. 水土保持学报, 2001, 15(3): 123~ 128
- [16] 肇普兴, 夏海江. 聚丙烯酰胺的保土保水保肥改土增产作用. 水土保持研究, 1997, (4): 44~ 47

## 中国成功获得第十三届国际土壤微形态学大会主办权

第十二届国际土壤微形态学大会于 2004 年 9 月 20~ 26 日在土耳其的阿达拉召开。中国科学院成都山地灾害与环境研究所的贺秀斌研究员代表中国土壤学会向国际土壤微形态学专业委员会提出在中国主办第十三届大会的申请, 经过申请陈述和答辩, 成功获得第十三届国际土壤微形态学大会的主办权。同时提交申请的还有加拿大、巴西和波兰。国际土壤微形态学大会是四年一届定期举行的土壤学、第四纪地质及考古和环境科学的国际盛会, 已有 60 多年的历史。

土壤微形态学是利用显微技术研究土壤结构与功能之间相互关系的科学。由奥地利学者库比纳在上世纪 30 年代首次提出, 他利用生物显微镜、偏光显微镜和双目实体显微镜, 研究土壤生物、土壤中的结晶形成物、垒结和孔隙特征与土壤发生环境之间的关系。近年来, 电子扫描显微镜、原子力显微镜、激光共焦显微镜(Laser Confocal Microscopy)、核磁共振成像技术(Magnetic Resonance Imaging)、X 光一断层摄影术(X-Ray Compute Tomography)和 X 光一同步加速器计算机显微图像技术(Synchrotron X-Ray Computed Microtomography)等显微观测与探测技术都成功地应用于土壤微形态研究。同时, 学科的交叉, 特别是与其他方法与手段的结合, 如矿物学、生物学方法及计算机图像处理与分析技术的应用, 使土壤微形态学研究由定性描述向定量分析、由静态剖析向动态机理研究、由二维向三维、由微观向超微观发展。土壤微形态学不仅在土壤发生学领域为特殊土壤的发生过程和古环境研究提供重要的信息和证据; 随着土地资源持续利用概念的出现, 对自然条件下和人为作用下农业生态环境中土壤结构的形成过程和功能研究已成为一个新的热点, 特别是土壤水分与溶质运移、结皮的形成与土壤侵蚀、以及根系与根际生态过程和土地退化与土壤质量等方面, 土壤微形态学研究起着不可替代的作用。土壤微形态学还渗透到第四纪地质、工程地质与灾害、石油、海洋、工矿、土建, 直至细胞学、基因工程等学科和经济部门。

我国在上世纪 60 年代开始广泛的土壤微形态研究, 几乎涉及到各个领域。刘东生、朱显谟、安芷生、唐克丽、郭正堂等利用土壤微形态的方法研究黄土-古土壤剖面的形成过程及其古环境意义; 曹升赓、龚子同、黄瑞采等利用土壤微形态的方法对南方红壤及水稻土发生分类等进行了研究; 侯光炯、何毓蓉等开展了紫色土的研究。这些研究工作在国际土壤微形态学领域有着重要的影响。贺秀斌研究员在此次大会宣读的“全新世黄土剖面形成环境的三元性特征”和“土壤结构质量指标化方法”两篇论文, 得到了与会者的广泛关注。

来自 40 多个国家的 300 多位学者在土耳其的阿达拉出席了第十二届国际土壤微形态学会议, 并就大会主题“农业生态环境变化的土壤结构响应”, 从(1)土壤结构与土壤质量;(2)土壤保护与土地持续管理;(3)矿物风化与土壤发生;(4)环境变化的古土壤指标;(5)干旱地区土壤微形态学;(6)土壤微形态学在其他领域的应用等 6 个议题进行了广泛的讨论。会议期间组委会和学术委员会还举行了圆桌会议, 就学会的发展、科研项目的组织及系列刊物的出版发行等问题交流了意见。第十三届国际土壤微形态学大会将于 2008 年 9 月 21~ 26 日在中国成都召开, 主办单位为中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 这是该会首次在亚洲举办, 将有利于提高我国在该领域的学术研究水平和学术地位。