

# 聚合物在水土保持中的应用

龙明杰, 张宏伟, 曾繁森, 陈志泉

(华南理工大学高分子系, 广东 广州 510640)

**摘要:** 介绍了近年来聚合物在水土保持中的应用, 聚合物通过创建和稳定团粒结构, 增强土壤的渗透性及抗侵蚀能力, 可有效地抑制了水土流失。聚合物的性质、施用方式和电解质的盐效应等因素可影响聚合物在水土保持中的效果。

**关键词:** 聚合物 水土保持 应用 影响因素

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2000)03-0005-06

中图分类号: S157.9

## Applications of Polymers in Soil and Water Conservation

LONG Ming-jie, ZHANG Hong-wei, ZENG Fan-sen, CHEN Zhi-quan

(Department of Polymer Materials Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, PRC)

**Abstract** The recent progress of polymers applied in soil and water conservation is reviewed. By means of creating and stabilizing aggregate structure, improving water infiltration and decreasing soil erosion, the soil and water runoff was controlled by polymeric amendments. The beneficial results of polymeric amendments in soil and water conservation were influenced by a few factors, such as properties of polymer, methods of addition and salt effect of electrolyte, etc.

**Keywords** polymer; soil and water conservation; application; influencing factors

团粒结构是土壤具有使用价值的基本结构, 天然团粒是由矿物质分散颗粒与无机、有机胶体通过一系列物理化学、液相以及生物的复杂作用形成的。由于人类活动造成了土壤的加速侵蚀, 土壤中的有机物质特别是天然聚合物(腐殖酸、多糖等)大量流失, 使天然团粒急剧减少, 土壤的微观结构恶化, 在外营力作用下极不稳定, 产生危害性极大的水土流失现象。

传统的水土保持措施有植树造林、牧区种草和兴修水利工程等。选择和腐殖酸等土壤有机物质具有相似功能团的聚合物, 模拟土壤中有有机大分子物质的作用, 可创建人工团粒和稳定天然团粒, 可增大土壤的孔隙度和渗透性, 减少地表径流; 同时, 形成水蚀保护层, 提高土壤稳定性, 增加土壤抗外力侵蚀的能力, 防止水土流失, 使土壤具有农林牧价值, 这是一项水土保持的新技术<sup>[3]</sup>, 具有功效高、见效快、易于实施等优点。有关这方面的研究开始于 20 世纪 50 年代, 60-70 年代由于技术和经济上的原因处于停顿状态, 80 年代后期, 由于人口猛增对粮食的需求和水土流失对环境的危害已威胁人类的生存, 该项技术重新成为研

究的热点, 并研制出了一些具有广泛应用前景的聚合物水土保持剂。

### 1 聚合物在水土保持中的作用

土壤在降雨或灌溉时的表层板结现象也是引起水土流失的因素之一, 形成表层板结的机理有 2 种: (1) 物理机理: 外力导致团粒分散, 土壤孔隙变小和表层密度增大, 形成 2~3 mm 厚的不透水层; (2) 化学机理<sup>[4]</sup>: 土壤中电解质盐的类型和浓度变化使黏土粒分散, 分散细粒渗入次表面层, 堵塞和填充孔隙, 形成低渗透层。土壤的板结性与其化学组成和黏土矿物的类型有关, 可交换性钠离子 (ESP) 的含量越高, 土壤越易板结, 蒙脱石在土壤中的比例影响土壤侵蚀和水土流失。聚合物和无机电解质盐协同作用, 使分散的微土粒聚集和絮凝分散的黏土矿物, 创建人工团粒结构, 并在人工和天然团粒表面形成疏水性的保护网, 提高团粒的稳定性, 从而在降雨或灌溉时抑制板结, 减少地表径流, 防止水土流失。

施用脲醛树脂和亚硫酸盐纸浆废液及焦油酸混

合物,土壤水稳性团粒数增加,并改善了水的渗透性。脲醛树脂混合七水硫酸亚铁施用于沙土,土壤的稳定系数和稳定墒分别从 0.53, 21.29 增至 7.9, 519.27 在脲醛缩聚物及其三氮烷衍生物中加入铵盐作为固化剂,施用于易流失的松散土壤,土壤的团粒稳定性和粒径分布、表层透水性、抗压性和水分物理状态等都有改善,且促进植物的根系生长。

聚乙烯醇和水铝矿与绿泥石混合后使用,有效地抑制了土壤的表层板结,磺化木质素加强了聚乙烯醇的这种作用<sup>[5]</sup>。丙烯晴接枝硝化腐殖酸应用于沙漠土壤,在表面形成一定强度的高分子黏结土壤薄层,起到治理流沙的作用,并使沙漠植物根系区温度下降,促进生长,有利于沙漠绿化,用于沙漠固定的聚合物还有聚乙烯醇、磺化一脲一密胺一甲醛共聚物<sup>[6]</sup>、丙烯酸接枝淀粉等<sup>[7]</sup>。磺化木质素和丙烯酸的聚合物可作为风和水严重侵蚀土壤的稳定剂,同时也可作为煤堆和磷矿的防蚀剂。

多糖类物质属于天然聚合物,施入土壤后,提高表土层的渗透性,防止土壤板结,抑制干旱和半干旱地区的水土流失<sup>[8]</sup>,土壤液相的电导率影响聚合物的作用效果,易流失的碱性土壤含有较低的钠离子交换量时,应用低电子多糖的效果较好,土壤的最终渗透率和水土流失量之间存在着指数函数关系<sup>[9]</sup>,多糖类物质还能提高易板结土壤的种子出苗率,并有利于幼苗生长,增加农作物的产量。

用聚苯乙烯泡沫颗粒制得的渗透材料能减少水和风对土壤的侵蚀,苯乙烯-丁二烯共聚物具有固坝和控制飞尘及防止水土流失的作用。在聚环乙亚胺中加入少量多价金属盐,施入土壤后,水土流失率由 10%~20% 减至 1%,种子出苗率提高 80%~90%。EB-30 [聚 2-甲基-N-乙烷基咪唑]能提高盐碱土的渗透性和离子迁移率,有利于灌溉和排水,水解聚丙烯腈针织工业废料的产物,能提高土壤中粒径大于 1 mm 的团粒数,降雨或灌溉时土表层无板结层形成,1,3-二氯甘油二胺乙烯能加强聚丙烯腈在减少土壤表层板结和增加作物种子出苗率方面的作用。

聚乙烯醇、聚丙烯酰胺和丙烯酸-尿素共聚物多组分混合使用时,在降低沙性沃土的水土流失量方面的效果,比施用同质量的单组分好。对干旱和半干旱及热带土壤而言,风和水的侵蚀、使用重型机械和过度开垦是水土大量流失的直接因素,改良这种土壤常施用从煤炭中提取腐殖酸,腐殖酸的亲水基团结合土粒表面的多价金属离子,创建人工团粒,其疏水基团在团粒表面起隔水涂层的作用,提高团粒的水稳性和

机械稳定性,因此土壤的流失率减少了 40%<sup>[10]</sup>。在丙烯酰胺-丙烯酸共聚物的水分散体系中加入草种和微生物等,洒在易流失土壤的表面,可以形成稳定的、具有渗透性的抗侵蚀结构层,使草种很容易发芽和生长。膨润土、石膏和羟乙基纤维素的混合物可作为易流失土壤和废物堆的加固剂。

有关聚丙烯酰胺在水土保持方面的研究和应用较多,在坡度为 6°, 10° 和 15° 的坡上施用聚丙烯酰胺,保土率分别为 77%, 67% 和 57%,其保肥率分别为 80%, 65% 和 55%,在 8 次扰动土壤的情况下,防治水土流失的效果下降 50% 左右,聚合物的作用可持续 2~3 a。部分水解的聚丙烯酰胺改善土壤的渗透性,促进了黏土和沙性沃土的稳定,未耕作的黏性沃土中施用聚丙烯酰胺后,团粒稳定性提高 17%~18%,表层板结度降低了 10 倍,渗透率增大 2 倍<sup>[11]</sup>,当它和树胶或醋酸乙烯马来酸共聚物以 1:1 比例混合后,即使施用量很小(0.0025%)也能改善土壤的渗透性能<sup>[12]</sup>。离子型聚丙烯酰胺可以降低易板结土壤在降雨或灌溉后的板结度,增加作物种子的出苗率<sup>[13]</sup>。多糖、柠檬酸、硫酸铵等加强了聚丙烯酰胺在减少土壤松散度和改良渗透性方面的作用。粉状聚丙烯酰胺撒洒在潮湿土壤表层,以模拟降雨仪测定其改善土壤侵蚀率的作用(表 1)<sup>[14]</sup>,对这 2 种土壤而言,作用效果与施用量成比例,用量达 16.8 kg/hm<sup>2</sup> 时,土壤侵蚀几乎停止。阴离子聚丙烯酰胺中添加少量石膏喷洒于干土表面<sup>[15]</sup>,发现水的渗透率是对照实验的 2 倍,粒径大于 0.5 mm 的团粒增加了 45%,水土流失从 1.62 kg/m<sup>2</sup> 减至 0.03 kg/m<sup>2</sup>。

表 1 聚丙烯酰胺在改善土壤侵蚀率中的作用

处 理	施用量 / (kg·hm <sup>-2</sup> )	侵蚀率 / (mg·hm <sup>-2</sup> )	减少率 / %	
沙 性 土	对 照	0.0	5.10	-
	处理 1	5.6	0.57	89.7
	处理 2	11.2	0.14	97.3
	处理 3	16.8	0.00	100.0
壤 土	对 照	0.0	4.45	-
	处理 1	5.6	1.11	75.0
	处理 2	11.2	0.33	92.6
	处理 3	16.8	0.08	98.2

降雨发生时,雨滴撞击土壤表面,分散土粒,使其发生移动而产生溅蚀,同时由于雨滴的撞击作用,破坏表土结构,堵塞土壤孔隙,形成地表板结,减少降雨入渗,增加地表径流,径流汇集发生细沟侵蚀,使土壤的流失量成倍,甚至 10 倍多地增大。在土壤中施入聚合物后,团粒数增多且团粒的水稳性和机械强度增

大,因此抑制了溅蚀和细沟侵蚀,控制了水土流失(表 2)<sup>[16]</sup>。阴离子树胶及聚丙烯酰胺树脂通过改善土壤团粒的裂开压、抗张强度和裂开系数改良土壤内聚强度<sup>[17]</sup>,增加抑制外营力侵蚀的机械稳定性。离聚物的电子密度、土壤湿度、土壤中可交换离子种类等影响离聚物增强干湿团粒稳定性的最低施用量<sup>[18]</sup>。此外,也有关于人工防蚀生草膜、土壤改良剂和除草剂的混合物应用于水土保持的报道<sup>[19,20]</sup>。

表 2 不同动能雨滴撞击下聚丙烯酰胺(PAM)

处理土壤渗透量		mm/d		
雨滴功能 / ( $J \cdot mm^{-1} \cdot m^{-2}$ )	3.6	8.0	12.4	
PAM+ PG, DW	80.0	76.6	64.6	
PAM, TW	80.0	77.8	67.1	
PG, DW	67.6	47.6	31.1	
对照, TW	50.4	26.0	18.9	
PAM, DW	79.4	38.4	32.1	
对照, DW	28.3	10.8	9.1	

注:① 聚合物施用量为  $20 \text{ kg/hm}^2$ ; ② TW 为自来水; ③ DW 为蒸馏水; ④ PG 为磷石膏。

应用聚合物进行水土保持的同时也抑制了肥料元素流失,聚乙烯醇施入土壤后减少钾和磷元素的流失<sup>[21,22]</sup>。淀粉-丙烯酸钾-丙烯酰胺共聚物使  $\text{NH}_4^+$  流失率从 62% 减至约 10%<sup>[23]</sup>。某些吸水树脂能同时减少钾离子、铵根离子和硝酸根离子流失<sup>[24]</sup>。

## 2 影响聚合物水土保持作用的因素

### 2.1 聚合物性质的影响

聚合物种类、分子量及其分布、在溶液中的离子类型和电荷密度等因素影响聚合物分子结构化土壤和其水土保持作用。稀释的天然乳胶几乎可以应用于各种类型的易流失土壤,而另一种不确定组成的聚合物只对黏性土壤起作用<sup>[25]</sup>。合成聚丙烯酰胺和天然多糖是研究水土保持的常用高分子,两者在抑制土壤流失方面效果差异显著(表 3)<sup>[26]</sup>,这归结于强极性的多糖强烈吸附在黏土微粒表面,分子和分子链节难以解吸,限制了其在微团粒间的桥联作用,因而形成的团粒粒径较小,且团粒被破坏后的再生能力也不强,作用效果相对较差。聚丙烯酰胺的分子和分子链节在黏土微粒表面的吸附强度不如多糖,它的一部分分子间形成微团粒作用,另一部分分子间以桥状链链接微团粒,使微团粒聚集成有价值大团粒结构,因此在减少土壤流失方面优于天然的多糖。另外,由于多糖的吸附作用比聚丙烯酰胺强,不容易在土层中扩散和对流,改良土壤的深度不如聚丙烯酰胺,因此在保持土壤渗透率和防止板结方面的持续效用期比后者短

表 3 连续灌溉条件下的表土流失

土壤	施用量 / ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )	土壤流失量 / ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )	
		PAM	PSD
土壤 1	5	954	1433
	10	543	1131
	20	499	1058
土壤 2	5	1122	1433
	10	601	1454
	20	522	1312

溶液状态下聚合物分子的离子类型和电荷密度影响其水土保持功效,4种树胶衍生多糖(PSD):阴离子型的 T-4246 非离子型的 HP-8 高阳离子含量型的 T-4141 低阳离子含量型的 CP-14,对沙性沃土的渗透性影响的差异极为显著(图 1)<sup>[27]</sup>,在极低浓度 ( $0 \sim 10 \text{ g/m}^3$ ) 下,阴离子型和非离子型的多糖几乎没有作用,而阳离子型多糖的作用显著,且聚合物中的阳离子含量越高,提高土壤渗透性的作用越明显。聚合物和土壤之间的吸附反应是形成和稳定团粒的基础<sup>[28]</sup>,土壤粒子一般为负电荷表面,阳离子聚合物能强烈吸附在其表面,而阴离子和非离子型聚合物和土壤粒子的吸附作用弱,因此两者在改善易流失土壤的效果上差异较大。

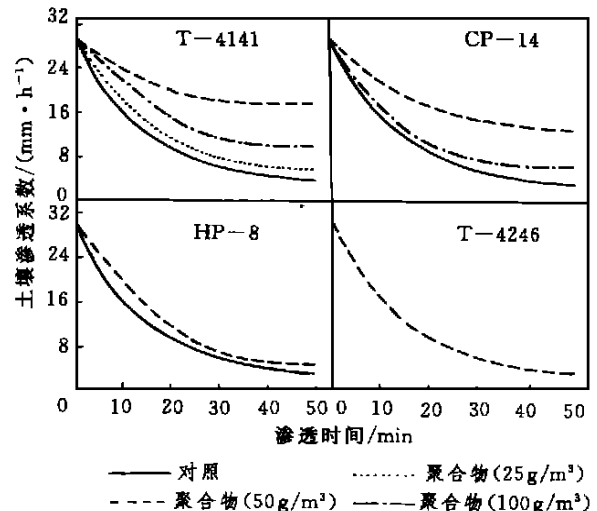


图 1 聚合物离子类型和电荷密度对沙性沃土渗透性的影响

高分子量聚丙烯酰胺以 3 种用量 ( $10, 20, 40 \text{ kg/hm}^2$ ) 施入土壤,用量为  $20 \text{ kg/hm}^2$  时减少水土流失的效果最佳<sup>[29]</sup>,而中等分子量的聚丙烯酰胺需施用  $80 \text{ kg/hm}^2$  才能达到同样的改良效果。分子量高,分子链长,在分散土壤细粒间的桥键作用和团粒外表面形成保护网的作用较强,因此在水土保持方面的效果比分子量低的聚合物好。但分子量过高,分子不易在土层中扩散和对流<sup>[30]</sup>,限制改良土层深度,并容易在土壤表面形成高分子胶结土壤的膜状薄层,反而减弱土

## 壤的渗透性

### 2.2 聚合物施用方法的影响

(1) 聚合物和土壤的整个耕层混合,增加雨水或灌溉水在不同深度土层上的渗透能力,最大限度地减小水土流失;(2) 聚合物只施用于 1~3 cm 厚的表土层,施用量为 1~75 kg/hm<sup>2</sup>,其目的是使易碎土壤表层不板结,减少地表径流的侵蚀作用;(3) 聚合物以稀乳液形式喷洒于表面,形成可渗透的防侵蚀保护层,聚合物的浓度和用量宜适中,否则影响其渗透性;(4) 聚合物溶解在灌溉水中,对抑制因喷灌和沟灌及暴雨溅蚀引起的水土流失的作用显著;(5) 聚合物作为胶结剂施用于沙土和流沙,抑制风和水的侵蚀,起到治沙的作用。这几种方法各有优缺点,应根据改良对象选择适宜的实施方案,或结合几种方法使用,以达到最佳的水土保持效果

对同一种流失土壤而言,施用方法影响聚合物在保持水土中的功效(表 4)<sup>[31]</sup>。施用量相同时,对降低土壤侵蚀率而言,聚丙烯酰胺以稀溶液喷洒在土层的方法,效果比直接在土壤表面撒洒聚合物干粉和聚合物与土层均匀混合这 2 种方法好;对改善渗透率而言,却是聚合物和土层混合的方法效果明显。当足够量聚合物和一定深度土壤均匀混合时,土壤渗透率达到最大,几乎难以被侵蚀。许多研究发现,无论是以稀溶液或干粉把聚合物施用在土壤表面,还是聚合物稀释在灌溉水中,随聚合物施用量的增加,作用效果先增大,再减小,这是因为过多的聚合物分子并没有渗入土壤深层,而是在土壤表层过度黏结土粒,抑制了水的渗透。粉状聚合物撒洒在土壤表面时,这种现象更加严重。因此,应选择适宜的施用方法和施用量。

表 4 施用聚合物对土壤侵蚀的影响

处 理	侵蚀速率 / (10 <sup>3</sup> g·h <sup>-1</sup> ·m <sup>-2</sup> )	减蚀率 / %	渗透率 / (mm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
对照	35.57		70.4
表施 <sup>①</sup>	0.87	97.5	129.0
表施,湿润 <sup>①</sup>	6.84	80.8	32.3
和 12 mm 厚表土混匀,湿润 <sup>①</sup>	6.84	80.8	484.4
和 38 mm 厚表土混匀,湿润 <sup>②</sup>	0.00	100.0	774.9

注:① 施用量为 65 kg/hm<sup>2</sup>,施用浓度为 0.1%;② 施用量为 260 kg/hm<sup>2</sup>,浓度同①。

### 2.3 无机电解质盐效应的影响

稀释聚合物的水中电解质及和聚合物同时使用的无机物(石灰,石膏等),能增大阴离子和非离子聚合物,减小阳离子聚合物在水土保持中的作用效果,这种影响称为盐效应。例如,水解聚丙烯酰胺稀释在自来水介质中施用,对土壤的最终渗透率、累积渗透

率和流失量的改善程度都优于在去离子水介质中施用(表 1,表 5<sup>[29]</sup>),加入磷石膏后,最终渗透率从 6.8 mm/h 增至 23.5 mm/h,土壤流失率的减少更加显著。同时注意到含电解质的水和磷石膏本身也影响土壤的渗透率和流失量。这可能是因为无机盐促进了土壤中的天然高分子对土壤的改良作用。

表 5 聚合物对土壤渗透率和流失率的影响

处 理	最终渗透率 / (mm <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	渗透量 / mm	流失率 / %
DW,对照	2.0	12.3	84.6
DW, PAM	6.5	38.3	52.1
TW,对照	3.6	16.8	79.0
TW, PAM	15.0	56.2	29.8
PG,对照	6.8	31.5	60.8
PG, PAM <sup>①</sup>	15.7	49.4	38.3
PG, PAM	23.5	64.2	19.8

注:聚合物施用量为 20 kg/hm<sup>2</sup>,DW 为蒸馏水,TW 为自来水,PG(磷石膏)施用量为 5 t/hm<sup>2</sup>,PMA 施用量为 10 kg/hm<sup>2</sup>。

盐效应产生的原因是多价金属阳离子影响聚合物分子和分散土粒间的吸附作用,由于静电排斥,阴离子聚合物分子很难在负电性的分散土粒表面吸附,改良土壤的作用不明显,多价金属阳离子在两者之间形成桥状化学键,促进了阴离子聚合物分子的吸附。桥状化学键有 2 种:内球形结构和外球形结构。吸附反应发生时伴随黏土粒子表面的水分子被取代,取代过程的熵变为正值,这种正熵效应是聚合物分子被吸附的驱动力之一<sup>[32]</sup>。

黏土的絮凝反应是创建和稳定团粒结构的先决条件,在黏土的分散体系中加入聚合物,絮凝反应能否发生取决于聚合物的离子性质和水介质的电导率( $C_E$ ,即电解质浓度)。钠蒙脱石悬浮在地下水( $C_E=0.7$  dS/m)或地表水( $C_E=0.05$  dS/m)中形成分散体系,阳离子聚丙烯酰胺和多糖使地表水分散体系絮凝,对地下水分散体系作用很小;阴离子聚丙烯酰胺和多糖在地下水介质中促进絮凝反应,在地表水介质中是分散剂,对体系起分散作用;聚合物分子与黏土的吸附和絮凝作用同其改善土壤的渗透性和板结是一致的,加入无机电解质,可增强阴离子聚合物在水土保持中的作用;由于无机阳离子和阳离子聚合物分子在土壤粒子表面的竞争吸附,将抑制阳离子聚合物在水土保持中的作用<sup>[33]</sup>。

## 3 结 论

天然或合成聚合物除了应用于水土保持外,还广泛应用于提高低产地的土壤肥力和作物产量、改善干

旱和半干旱土壤的水分物理状况、提高农药和化肥的利用率、盐碱地和污染土壤的改良和再生等方面,这是在现代化工基础上发展起来的一项改良和提高土壤价值的新技术。从改善土壤结构出发是聚合物水土保持技术有别于传统水土保持的特点,该技术在增加土壤稳定性、抑制土壤板结和流失方面的效果十分明显,如果和传统的水土保持方法(植树造林、牧区种草和兴修水利工程等)结合起来,则能最大限度地发挥 2 种方法的优势,达到理想效果。目前看来,该技术还有不足,如施用量高、效用持续期短等。进一步的研究需探讨以下问题:(1)聚合物的结构性质和在水土保持中的功效之间的构效关系;(2)聚合物分子在黏土矿物质纳米层间的吸附和在团粒结构中的空间构型;(3)降低施用量、延长效用持续期;制备出多功能的、经济适用的水土保持用聚合物

致谢:参加此工作的还有宁平、彭汉、崔跃飞、任力等同志,特表谢意

#### 参 考 文 献

- [1] 郭廷辅. 水土保持的发展与展望 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [2] 王礼先主编. 水土保持学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995.
- [3] Bouranis D L, Theodoropoulos A G, Drossopoulos J B. Designing synthetic polymers as soil conditioner [J]. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1995, 26(9, 10): 1455-1480.
- [4] Agassi M, Shainberg I, Moïnn J. Effect of electrolyte concentration and soil society on infiltration rate and crust formation [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1981, 45: 848-851.
- [5] Gallebaut F. The effect of polymer structure on soil physicochemical properties and soil water evaporation [J]. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 1979, 79(70): 723-729.
- [6] Lahalin S M. U. S. Patent [P], U S 5, 1997 607, 567.
- [7] Meaver M O, Fanta G F. Effect of some anionic starches on the stability of soil particles in water [J]. *J. Polym. Mater.* 1987, 4(1): 51-65.
- [8] Gal M, Stern R, Levin J. Polymer effect on infiltration and erosion of sodic soils [J]. *Afr S J. Plant Soil.* 1992, 19(2): 108-112.
- [9] Wallace A, Wallace A G. Effect of polymeric soil conditioners on emergence of tomato seedlings [J]. *Soil Sci.* 1986, 141(5): 321-323.
- [10] Piccolo A, Mbagwu J S C. Exogenous humid substances as conditioners for the rehabilitation of degraded soils [J]. *Agro- Food- Ind. Hi- Tech.* 1997, 8(2): 2-4.
- [11] Terry R E, Nelson S D. Effects of polyacrylamide and irrigation method on soil physical properties [J]. *Soil Sci.* 1986, 141(5): 317-320.
- [12] Wallace A, Wallace A G. Effects of very low rates of synthetic soil conditioners on soils [J]. *Soil Sci.* 1986, 141(5): 324-327.
- [13] Cook D F, Nelson S D. Effects of polyacrylamide on seedlings emergence in crustforming soils [J]. *Soil Sci.* 1986, 141(5): 328-333.
- [14] Smith H J C, Levy G J, I. Shainberg. Water droplet energy and soil amendments: effect on infiltration and erosion [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1990, 54: 1084-1087.
- [15] Zhang X C, Miller W P. Polyacrylamide effect on infiltration and erosion in furrows. 1996, 60(3): 866-872.
- [16] Levy G J, Frenkel H, I. Shainberg. Aggregates stability and seal formation as affected by drops impact energy and soil amendments [J]. *Soil Sci.* 1992, 145(2): 113-119.
- [17] Nadler A, Perfect E, Kay B D. Effect of polyacrylamide application on the stability of dry and wet aggregates [J]. 1996, 60(2): 555-561.
- [18] Aly S M, Letey J. The effect of two polymers and water qualities on dry cohesive strength of three soils [J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1989, 53(1): 255-259.
- [19] 张科利, 细山田健三. 人工防蚀草膜保持及改良土壤作用的研究 [J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1997, 3(4): 20-24.
- [20] 何丙辉, Michanel Hickman. 土壤改良剂和除草剂的交互作用对土壤侵蚀的影响 [J]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1998, 4(3): 48-51.
- [21] 刘义新, 李忻. 聚乙烯醇对土壤钼吸附的影响 [J]. *土壤通报*. 1996, 27(6): 283-284.
- [22] Marsh M H, Groerevelt D H. Effect of surface application of PV A on phosphorus loss in runoff and corn growth [J]. *Environ J.* 1992, 21(1): 36-40.
- [23] Janet C H, David L H. Ammonium and nitrate retention by a hydrophilic gel [J]. *Hortscience*, 1985, 20(4): 667-668.
- [24] Yeager T H, Barret J E. Influence of an anion exchange resin on phosphorous and sulfur leaching from a soilless container medium [J]. *Hortscience*, 1986, 21(1): 152.
- [25] Bernas S M, Oakes J M, Churchman G J. *Aust. J. Soil Res.* 1995, 33(5): 805-816.

泥沙影响的状况,但在计算泥沙变化的过程中,其作用往往被忽略。

(2) 产沙经验公式的建立,一方面应从产沙机理入手选择适当的形式,所选的指标能全面反映某个区域、流域中降雨或径流对产沙的影响;另一方面要求所选降雨或径流指标和产沙量确实相关,而不能进行人为的构造,同时产沙经验公式应相对简单,因为 50—60 年代观测资料较少,如果依靠后来的插补,误差会更大

(3) 为了方便利用实测水文泥沙资料,对黄河上中游地区泥沙变化的研究大都以支流流域为计算单元,很少以不同侵蚀类型区、不同侵蚀强度区为单元研究它们的泥沙变化情况。例如对侵蚀模数超过  $15000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  的强烈侵蚀产沙区,目前的研究未确切地回答它在目前治理情况下的泥沙变化情况,从而给水保规划带来困难。

(4) 目前的预测是在某一种或几种治理规划的前提下进行的,并不利于实际的应用。只有根据自然(气候、土地利用状况)、社会经济(人口、经济发展情况)因素进行人为的模拟配置,预测各种治理情况下、不同水文年的减沙效益和入黄泥沙量,才能从宏观上为黄河中游地区的治理提供决策的依据

#### 参 考 文 献

- [1] 张胜利. 略论黄河中游水沙变化及水土保持减沙效益 [J]. 水土保持通报, 1994, 14(3): 8—11.
- [2] 景可. 黄河泥沙与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1993. 88—89.
- [3] 倪晋仁, 等. 黄河中游水保措施对入黄干支流泥沙特性的影响: I. 泥沙粒径变化 [J]. 自然资源学报, 1997, 12(1): 1—9.
- [4] 林银平, 等. 黄河中游多沙粗沙区输沙模数变化分析 [J]. 水土保持通报, 1998, 18(3): 10—15.
- [5] 洪业汤. 黄河泥沙的环境地质特征 [J]. 中国科学, 1990(11): 1175—1184.
- [6] 汤立群, 等. 大中流域长系列径流泥沙模拟 [J]. 水利学报, 1997(6): 19—26.
- [7] 赵有恩. 黄河中游水保减沙效益分析方法的改进和应用 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996(3): 29—34.
- [8] 苏光全, 等. 流域减沙效益拓扑分析——以延河流域为例 [J]. 水土保持通报, 1994, 14(3): 12—19.
- [9] 樊兰英. 应用灰色理论分析水土保持效益 [J]. 水土保持通报, 1986(2): 89—92.
- [10] 郭锐, 等. 应用灰色系统动态模型群分析泾河流域减沙效益 [J]. 水土保持通报, 1991, 11(1): 44—48.
- [11] 赵文林, 等. 黄河中游水利水保措施减沙效益分析中几个值得注意的问题 [J]. 中国水土保持, 1993(6).
- [12] 赵文林, 等. 三川河水沙变化及人类活动影响 [J]. 人民黄河, 1992(11): 22—26.
- [13] 顾文书. 黄河中游水沙变化的宏观分析 [J]. 人民黄河, 1988(4): 10—14.
- [14] 熊运阜, 等. 梯田、林地、草地减水减沙效益指标初探 [J]. 中国水土保持, 1996(8): 10—14.
- [15] 张胜利. 黄河中游大型煤田开发对侵蚀和产沙影响的研究 [J]. 泥沙研究, 1993(3): 26—39.
- [16] 唐克丽, 等. 黄河流域侵蚀与径流泥沙变化 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993. 220—231.
- [17] 张胜利, 等. 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因及发展趋势 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998. 180—191.
- [18] 景可, 等. 黄河中游侵蚀环境特征和变化趋势 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 1997. 148—154.
- [19] 胡荣轩, 等. 黄河中游区水、沙变化趋势及其预测 [J]. 地理学报, 1992, 47(4): 315—324.
- [26] Levy G J, Levin J, Gal M, Ben-Hur M. Polymers' effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigations [J]. Soil Sci. Soc. Am. J. 1992, 56 902—907.
- [27] Ben-Hur M, Letey J. Effect of polysaccharides, clay dispersion, and impact energy on water infiltration [J]. Soil Sci. Soc. Am. J. 1989, 53 233—238.
- [28] Theng B K G. Clay-polymer interactions summary and perspectives [J]. Clays and Clay Minerals, 1982, 30(1): 1—10.
- [29] Shainberg I, Warrington D, Rengasamy P. Water quality and PAM interactions in reducing surface sealing [J]. Soil Sci. 1990, 149, 301—307.
- [30] Brraclough D, Nye D H. The effect of molecular size on diffusion characteristics in soil [J]. J. of Soil Sci. 1979, 30 29—42.
- [31] Wallace A G, Wallace A. Control of soil erosion by polymer soil conditioners [J]. Soil Sci, 1986, 141(5): 363—367.
- [32] Lyklema J, Fleer G J. Adsorption isotherms of polyanions on soils using tritium labeled compounds [J]. Colloids Surf. 1987, 25 357—368.
- [33] Ben-Hur M, Lark D C, Letey J. Exchangeable Na, polymer and water quality effects on water infiltration and soil loss. Arid. Soil Res. Rehab. 1992, 6 311—317.

(上接第 9 页)