

水土保持的水环境效应研究

杨爱民¹, 段淑怀², 刘大根², 潘玉娟^{1,3}

(1. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 100044; 2. 北京市水务局水土保持工作站, 100038;
3. 北京林业大学水土保持学院, 100083; 北京)

摘要 非点源污染已成为我国很多湖库型水源地的主要污染源, 给人们的生活和健康以及经济社会的可持续发展造成严重危害。水土保持措施是防治非点源污染, 保护水源水质, 保障饮水安全的重要手段。笔者界定了水土保持水环境效应的概念; 将非点源污染的类型划分为农业型、水土流失型、农村生活型、城市径流型和降水降尘型; 首次系统地揭示水土保持的水环境效应机制; 定量分析小流域综合治理与区域综合治理水土保持的水环境效应。

关键词 水土保持; 水土流失; 水环境效应; 非点源污染; 综合治理

Effects of soil and water conservation on water environment

Yang Aimin¹, Duan Shuhuai², Liu Dagen², Pan Yujuan^{1,3}

(1. Depart. of Water Resources, IWHR, 100044; 2. General Station of Soil and Water Conservation, BWSB, 100038;
3. College of Soil and Water Conservation, BFU, 100083; Beijing, China)

Abstract Nonpoint source pollution has become main pollution source of many water source areas of lakes and reservoirs in China, caused serious jeopardy to the people's life and health and economic and social sustainable development. Soil and water conservation measures are an important means to control nonpoint source pollution, protect water source quality and ensure drinking water security. The concept of water environment effects of soil and water conservation was put forward by the paper and the types of nonpoint source pollution were divided into agriculture, erosional, rural life, urban runoff, precipitation and dustfalling. The mechanism of effects of soil and water conservation on water environment was systematically found out and the water environment effects of comprehensive small watershed management were quantitatively analyzed.

Key words soil and water conservation; soil erosion; water environment effects; nonpoint source pollution; comprehensive control

非点源污染已成为我国很多湖库型水源地的主要污染源, 如北京密云水库、天津于桥水库、上海淀山湖、无锡太湖、安徽巢湖、云南滇池和洱海、山东南四湖等水源地的非点源负荷已占总负荷的50%~80%, 给人民群众的生命健康和经济社会的可持续发展造成严重危害。我国大多数水库型水源地位于山区, 水土流失在输送大量泥沙的同时, 也将大量化

肥、农药、生活垃圾和重金属等非点源污染物带入水源地, 造成湖库淤积和非点源污染。

水土保持的水环境效应是指水土保持措施吸收、过滤、迁移和转化土壤与水体中的一些有害物质, 防治流域或区域非点源污染, 改善地表水和地下水水质的作用^[1]。在以往控制非点源污染的研究中, 仅仅定性地分析了水土保持措施在非点源污染

收稿日期: 2007-01-29 修回日期: 2007-04-27

项目名称: 973项目“海河流域水循环演变与水资源高效利用研究”之课题四“海河流域水循环及其伴生过程的综合模拟与预测”(2006CB403404); 水利部 中国科学院 中国工程院“中国水土流失和生态综合科学考察”项目之专题“水土保持的水资源与水环境效应研究”(2005SBKK10)

第一作者简介: 杨爱民(1963—), 男, 博士后, 教授。主要研究方向: 水土保持、水资源和水生态。E-mail: Y.aimin@iwhr.com

控制中的作用,而对水土保持措施控制非点源污染的机理与定量效应的研究几乎是空白;因此,加强水土保持的水环境效应研究对于防治非点源污染,保护水源水质,保障饮水安全具有重要的理论和实践意义。

1 非点源污染类型

根据污染物的来源和产生原因,非点源污染可分为如下类型。

1)农业型非点源污染。在农业生产中,通过喷洒农药、施用化肥、养殖畜禽、污水灌溉等途径产生的污染物随着径流进入水体而产生的水体污染。

2)水土流失型非点源污染。土壤颗粒中本身含有的和其表面吸附的N、P、K等营养物质及农药、重金属等物质随着土壤流失进入水体而产生的水体污染。水土流失不但是—种重要的非点源污染,也是其他类型非点源污染物进入水体的载体和重要途径。没有水土流失的存在,其他类型非点源污染物就难以进入水体。

3)农村生活型非点源污染。农村居民由于生活所产生的污水、固体废弃物随着径流进入水体而产生的水体污染。

4)城市径流型非点源污染。城市路面泥沙、融雪路盐、动植物的有机废弃物、汽车尾气中的重金属、绿地喷洒的农药等,随着径流进入水体而产生的水体污染。

5)降水降尘型非点源污染。大气中的污染物质随着降水降尘过程,一部分直接进入水体而引起水体的污染,另一部分降落到陆地表面,随着径流进入水体而产生的水体污染。

2 水土保持的水环境效应机制

各种非点源污染物通过化肥施用、农药喷洒、畜禽养殖、污水灌溉、生活污水排放、生活固体废弃物堆放和施用、大气降水降尘等途径进入土壤。这些非点源污染物从化学成分上可分为有机污染物与无机污染物2大类。有机物类主要包括有机氯、有机磷、酚、油类、多氯联苯及洗涤剂等,无机污染物主要包括N、P、K等营养物质与Hg、Cd、Pb、Cr、As等重金属。其中,N、P、K等营养物质主要通过施用化肥进入土壤,有机氯、有机磷等主要通过喷洒农药进入土壤,化肥、农药、畜禽粪便、污水、生活固体废弃物等均含有一定量的Hg、Cd、Pb、Cr、As等重金属,因此重金属可通过多种途径进入土壤。

化肥、农药、重金属等污染物进入土壤之后,通过植物吸收、微生物降解、化学降解、光化学降解、挥发、土壤颗粒吸附(主要吸附在粒径小于 $2\mu\text{m}$ 的土壤细粒,即土壤胶体的表面)、土壤侵蚀(径流冲刷、土壤流失)、径流淋失等途径在土壤中进行迁移、转化。光化学降解、挥发使污染物逸入大气,而产生大气污染。土壤颗粒吸附使呈吸附态的污染物随地表土壤流失进入水体,径流淋失使呈水溶态的污染物随地表径流、地下径流进入水体,而产生水体污染。土壤流失是引发水库、湖泊、河流等地表水体发生富营养化的重要根源。

非点源污染的控制有3种途径:一是对污染源发地的控制,亦称对污染源系统的控制,即对植物吸收、微生物降解、化学降解、光化学降解、挥发、土壤颗粒吸附等迁移转化途径进行控制;二是对污染物运移途径的控制,即对土壤流失、径流淋失等途径进行控制;三是对污染物汇集地的控制,也称对污染汇系统的控制,即对已经进入水体的污染物进行控制。水土保持对前2种控制途径均有重要影响。水土保持生物措施、工程措施和农业技术措施通过拦截地表径流,蓄水保土,防治水土流失的基本功能,可控制土壤的侵蚀和搬运过程,截断非点源污染的污染链,对化肥、农药、重金属等污染物随土壤流失和径流淋失进入水体的迁移途径起到重要逆向抑制作用,减少污染汇系统的污染物通量。水土保持3大措施,尤其是生物措施通过提高植物覆盖度、改善土壤质地、增加土壤团粒结构、提高土壤有机质含量、增加土壤微生物种类和数量、改善土壤水分条件等功能,对化肥、农药、重金属等污染物的植物吸收、微生物降解、化学降解等迁移途径具有显著的正向促进作用,减少污染源系统的污染物通量。

不同种类的植物对污染物的吸收能力是不同的,即不同种类的植物对污染物的吸收具有互补效应。植物根系类型对污染物的吸收也具有显著影响。由于须根比主根有更大的比表面积,其吸收污染物的能力也较强,同时,须根在土壤中通常处于土壤表层,而土壤表层往往比下层含有更多的污染物,致使须根吸收污染物的量高于主根;因此,禾本科植物比木本植物通常吸收和积累更多的污染物。水土保持植物措施不但自身可吸收和累积土壤污染物,而且对污染物的微生物降解具有显著的促进作用,这是由于有根圈土壤和无根圈土壤的理化性质差别很大。植物根系渗出的低分子有机物(单糖、氨基酸、脂肪酸、维生素、酮酸等)和高分子有机物(多糖、

聚乳酸等)以及多种无机物为微生物生长补充了碳源、氮源和能量,促进微生物大量繁殖,使得根圈内微生物种群的数量与活性明显高于根圈以外地带,可大大提高土壤微生物对污染物的降解作用;因此,配置水土保持生物措施时,将乔木、灌木和草本等不同生活型植物,深根性与浅根性植物,同一生活型的

不同种类植物进行有机结合,可增加对不同污染物的吸收效果,还可促进土壤微生物对污染物的降解作用^[2]。

基于上述机制,水土保持对控制非点源污染具有重要作用(图1),但对污染物的光化学降解与挥发迁移途径影响不大。

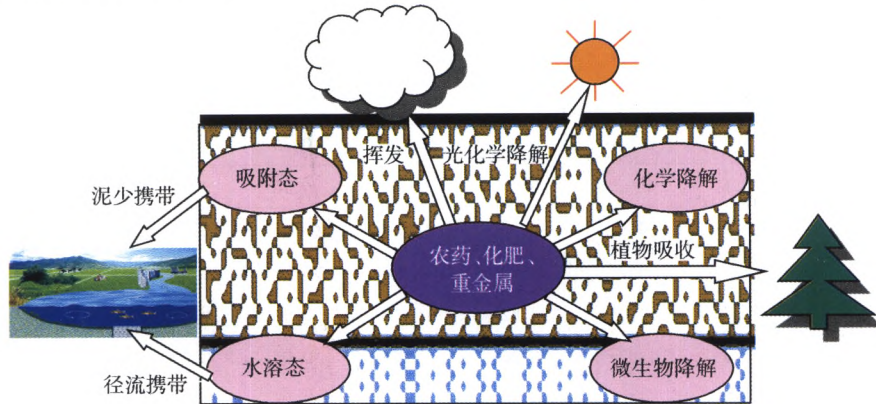


图1 水土保持的水环境效应机制

Fig.1 The mechanism of effects of soil and water conservation on water environment

3 水土保持的水环境效应分析

3.1 小流域综合治理的水环境效应分析

3.1.1 试验区概况 试验区为位于北京市密云水库上游北庄乡的土门北沟和土门中沟小流域,地处东经 116°31' ~ 117°31' 与北纬 40°13' ~ 40°48' 之间。属暖温带半湿润季风气候,多年平均气温 10.5℃,无霜期 176 d,多年平均降水量 669 mm,主要集中在 6—8 月,雨热同期。主要植被为油松林(*Pinus tabulaeformis*)和刺槐林(*Robinia pseudoacacia*)。土壤为褐土和潮土。

3.1.2 试验方法 试验采用对比流域法。土门中沟为综合治理小流域,治理措施以人工营造油松林和刺槐林为主。土门北沟为对比小流域,不采取任何水土流失治理措施。治理小流域与对比小流域的土地利用结构^[3]如表 1。

表 1 治理与对比小流域土地利用结构

Tab.1 Landuse structure of managed and contrast small watershed

小流域	hm ²				总面积	森林覆盖率/%
	林地	耕地	无林地	其他用地		
土门北沟	65.4	1.0	69.9	47.0	183.3	35.7
土门中沟	49.7	0	0	3.3	53.0	93.8

3.1.3 试验结果 根据地表径流水样的测定结果(表 2),比照 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》

可知,土门北沟小流域的地表径流溶解氧平均为 6.1 mg/L, pH 值平均为 8.9,地表径流溶解氧和 pH 值超标,水质为 V 类,已经被严重污染。土门中沟小流域的水质指标均符合 I 类水标准,水质优良^[3]。

由于土门中沟小流域的森林覆盖率为 93.8%,远远高于土门北沟小流域 35.7% 的森林覆盖率,而且土门中沟小流域没有耕地和裸地,使得其水质指标明显优于土门北沟的水质。由此可见,以森林植被为主要措施的小流域综合治理可有效地改善地表径流的水质。

3.2 区域综合治理的水环境效应分析

3.2.1 研究区概况

1) 自然条件。北京市位于华北平原的西北部,介于东经 115°25' ~ 117°39' 与北纬 39°28' ~ 41°05' 之间,总面积 1 万 6 807 km²,其中山区面积占 61.9%,平原区面积占 38.1%。地貌由西向东、由北向南形成中山、低山、丘陵,过渡到洪冲积台地和平原。

该市属温带半干旱半湿润季风气候,多年平均气温 11.5℃。多年平均陆面蒸发量 450 ~ 500 mm,水面蒸发量 1 120 mm。多年平均降水量为 595 mm,年际、年内分配不均匀,年降水量的 85% 集中在汛期 6—9 月,过于集中的降水容易形成洪涝灾害和水土流失危害。土壤类型多样,地带性土壤为褐土,海拔 1 800 m 以上为山地草甸土,1 800 ~ 800 m 主要为山地棕壤,800 ~ 500 m 以山地淋溶褐土为主,而在海

表 2 治理与对比小流域水质分析结果

Tab.2 The water quality analysis of managed and contrast small watershed

小流域	水样编号	pH 值	溶解氧 mg·L ⁻¹	总碱度 mg·L ⁻¹	硝酸盐氮 mg·L ⁻¹	亚硝酸盐氮 mg·L ⁻¹	氨氮 mg·L ⁻¹	总磷 mg·L ⁻¹	悬浮物 mg·L ⁻¹	大肠菌落数 个·L ⁻¹	水温 ℃
土 门 北 沟	950718	8.9	5.6	67.1	0.62	0.002	0.15	0.025	3.0	≤1 000	18.2
	950726	8.8	5.5	79.3	0.85	0.001	0.11	0.036	2.0	1 500	18.0
	950822	8.7	6.9	102.0	0.82	0.002	0.08	0.027	1.0	2 380	18.7
	950830	8.7	5.8	104.0	0.63	0.001	0.05	0.035	2.0	2 200	16.9
	950906	8.9	6.6	102.0	0.58	0.002	0.21	0.010	4.0	≤1 000	18.0
	950919	9.2	6.2	83.8	0.34	0.002	0.33	0.020	1.0	1 860	18.0
	平均	8.9	6.1	89.7	0.64	0.002	0.16	0.026	2.2	1 985	18.0
土 门 中 沟	950718	8.0	9.1	120	0.36	0.001	0.05	0.045	1.0	230	18.0
	950726	7.7	7.0	132	0.90	0.002	0.06	0.032	0.0	230	17.5
	950822	7.3	7.7	139	0.82	0.001	0.08	0.020	4.0	≤1 000	16.0
	950830	7.7	7.0	1443	0.26	0.001	0.05	0.020	3.0	1 390	17.2
	950906	8.0	6.8	140	0.32	0.004	0.08	0.005	2.0	230	19.0
	950919	8.0	7.5	123	0.56			0.008	0	≤1 000	16.6
	平均	7.8	7.5	350	0.54	0.002	0.06	0.022	1.7	520	17.4

拔 500 m 以下主要是山地褐土、粗骨褐土及碳酸盐褐土。2004 年,全市林木覆盖面积 2 827 km²,林木覆盖率 47.5%。全市森林面积 2 042 km²,森林覆盖率 34.3%,其中,山区林木覆盖率 63.8%,森林覆盖率 44.4%。

北京市属海河流域,境内从东到西分布有蓟运河、潮白河、北运河、永定河和大清河 5 大水系,共有支流 100 余条。除北运河外,其他 4 条水系均发源于河北、山西和内蒙古等省区。北京市是世界上缺水最严重的特大城市之一,人均当地水资源量约 300 m³,仅为全国人均水平的 1/8,世界人均水平的 1/30,远远低于国际公认的人均 1 000 m³ 的下限。

2) 水源区分布。山区是首都的天然生态屏障和主要的水源涵养及供给源地,也是居民休闲旅游度假胜地。水源区主要分布在密云、怀柔 and 官厅水库上游,共约 5 000 km²,占山区面积的 48%,其中一、二级保护区约 1 000 km²。密云、官厅两大水库是北京市地表水主要供水源地,年均供水量占全市地表水供给量的 70% 以上。自 1997 年官厅水库由于水体污染严重而退出饮用水供水系统后,密云水库成了北京市唯一的地表水饮用水源地。水库上游地区的水源保护直接关系到首都人民的饮水安全,对首都人民的的生活和健康以及经济社会的可持续发展具有重要的战略意义。

3) 水土流失与水环境。北京市的土壤侵蚀类型

以水力侵蚀为主。2000 年,全市土壤侵蚀总面积 4 088.91 km²,占全市幅员面积的 24.34%,其中,轻度侵蚀与中度侵蚀面积分别为 2 974.70 km² 与 1 114.21 km²,分别占土壤侵蚀总面积的 72.77% 与 27.23%。水土流失主要分布在密云县、延庆县、怀柔区、昌平区、平谷区、门头沟区及房山区(表 3)。密云、怀柔及官厅水库上游水土流失面积 1 935 km²。

表 3 2000 年北京市各区县土壤侵蚀面积

Tab.3 Soil erosion areas in different counties and prefectures of Beijing in 2000

区县	微度	侵蚀面积	轻度	中度	强度
房山区	1 411.56	582.06	436.22	145.84	0
门头沟	695.97	759.03	610.16	148.87	0
昌平区	1 137.34	214.66	179.26	35.40	0
延庆县	1 299.96	692.04	510.05	181.99	0
怀柔县	2 008.83	548.17	376.76	171.41	0
密云县	1 268.13	957.87	61.19	296.68	0
平谷县	789.36	285.64	167.77	117.87	0
其他区	4 281.19	49.44	33.29	16.15	0
合计	12 892.34	4 088.91	2 974.70	1 114.21	0

注:微度、轻度、中度、强度土壤侵蚀模数分别为 < 200、200 ~ 2 500、2 500 ~ 5 000 和 5 000 ~ 8 000 t/(km²·a)。

山区水土流失严重,特别是密云、官厅水库上游地区,土层浅薄,植被稀疏,水源涵养条件差,每逢暴

雨,洪水暴涨暴落,并携带大量泥沙和非点源污染物进入水库。目前,密云水库泥沙淤积已达 1.7 亿 m^3 ,官厅水库泥沙淤积已达 6.5 亿 m^3 。虽然经过多年的治理,2 库上游地区水土流失面积已由建国初期的 3 249 km^2 减少到 1 438 km^2 ,但水土流失作为一种非点源污染和其他非点源污染物的载体,已成为影响水库水质的重要污染源之一^[4]。

3.2.2 水土保持 20 世纪 50 年代初期,北京市水土流失面积 6 460 km^2 。进入 90 年代以后,北京市加

大了水土流失治理力度,陆续实施了多项水土保持生态环境建设工程,其中重点工程主要有京津风沙源治理工程、国家水土保持重点治理工程、21 世纪初期首都水资源可持续利用规划水土保持工程等。到 2004 年底,全市累计治理水土流失面积 3 493 km^2 ,占土壤侵蚀总面积的 85.42%。采取的水土保持综合治理措施主要有谷坊坝、树盘、拦沙坝、梯田、水平条、鱼鳞坑、水土保持林、经济林、生态自然修复和节水灌溉等(表 4)。

表 4 2004 年北京市累计治理水土流失面积

Tab.4 Accumulation of controlled eroded area of Beijing in 2004

区(县)	小流域数	治理面积/ km^2	主要治理措施保存面积/ hm^2						小型工程数
			梯田	坝地	水保林	经济林	种草	节水灌溉	
房山	77	238	1 710	1 352	9 727	2 848	712	635	9 225
门头沟	85	351	2 953	2 300	5 688	1 801	210	664	3 092
昌平	51	218	1 912	2 015	12 458	1 091	466	2 439	4 337
延庆	93	656	4 772	4 262	18 233	5 788	320	1 181	6 950
怀柔	103	956	1 415	1 903	17 245	5 393	594	1 204	7 663
密云	98	735	2 977	815	11 515	7 106	384	2 242	7 319
平谷	31	286	3 540	1 920	5 965	5 860	0	2 924	7 116
近郊	9	53							
合计	547	3 493	19 279	14 567	80 831	29 887	2 686	11 289	45 702

近年来,针对北京市水资源短缺、面源污染严重的形势,为了有效保护和改善密云、官厅和怀柔水库的水质以及怀柔、张坊、平谷 3 大应急水源,北京市水务局突破传统水土保持综合治理的理念,提出了以水源保护为中心,构筑“生态修复、生态治理、生态保护”3 道防线,建设生态清洁型小流域的水土保持新思路。到 2004 年底,全市共建设密云石匣、怀柔神堂峪、延庆上辛庄、平谷挂甲峪、昌平响潭、门头沟龙凤岭、房山三座庵等生态清洁小流域 18 条。

3.2.3 水土流失量及污染物流失量监测方法

1) 径流小区监测。在不同类型区的代表性地段设置坡地径流场 10 个,径流场内布设各种土壤侵蚀级别和坡地治理措施的径流小区 106 个,用以观测各类型的坡地水土流失及污染物流失状况。其中,在代表北部山区的潮白河流域、北运河流域、永定河流域、蓟运河流域分别设立径流场 4、1、1 和 1 个,分别布设径流小区 53、4、23 和 4 个。在代表西部山区的永定河流域、大清河流域分别设立径流场 2 和 1 个,分别布设径流小区 12 和 10 个。

2) 小流域监测。在 14 个典型小流域出口处设置观测断面及观测设施,用以观测小流域的水土流

失及污染物流失状况。其中,在代表北部山区的潮白河流域、永定河流域分别设立小流域沟道控制站 8 和 1 个。在代表西部山区的永定河流域、大清河流域分别设立小流域沟道控制站 1 和 4 个。

3.2.4 水土保持水环境效应分析 根据径流小区和小流域沟道控制站监测数据^[5],经取水样分析测定与计算,2004 年累计水土保持措施减少地表径流失量 2 754.12 万 m^3 ,占地表径流总量的 9.38%,其中水平条经济林、鱼鳞坑造林和梯田分别为 434.09 万、980.34 万和 1 339.69 万 m^3 ;减少土壤流失量 35.20 万 t,占土壤流失总量 18.30%,其中水平条经济林、鱼鳞坑造林和梯田分别为 3.00 万、11.00 万和 21.20 万 t;减少 TP 流失量 18.10 t,占 TP 流失总量的 44.80%,其中水平条经济林、鱼鳞坑造林和梯田分别为 2.00、6.10 和 10.00 t,减少流失负荷分别为 0.0295、0.310 9 和 0.075 t/ km^2 ;减少 TN 流失量 60.70 t,占 TN 流失总量的 32.62%,其中水平条经济林、鱼鳞坑造林和梯田分别为 11.00、25.70 和 25.00 t,减少流失负荷分别为 0.162 4、1.310 0 和 0.187 4 t/ km^2 ;减少 COD_{Mn} 流失量 223.70 t,占 COD_{Mn} 流失总量的 28.78%,其中水平条经济林、鱼鳞坑造林和梯田

分别为 45.00、99.70 和 0.592 3 t, 减少流失负荷分别为 66.450 0、5.080 7 和 0.592 3 t/km²(表 5~8)。

可见,水土保持措施可有效控制农业和水土流失型非点源污染,对密云水库保持国家Ⅱ类水质标准和官厅水库在三家店 3—10 月达到Ⅲ类水质标准起到了重要作用。

以上是传统水土保持综合治理的水环境效应,

并且未将水土保持措施减少的吸附态污染物的流失量和土壤本身含有的养分计算在内,而根据生态清洁型理念进行的水土保持综合治理除了具有传统水土保持综合治理的水环境效应外,还可有效控制农村生活型非点源污染,其水土保持的水环境效应更加显著。

表 5 2004 年北京市累计水土保持措施蓄水保土效益

Tab.5 Benefits of soil and water conservation measures of Beijing in 2004

水土保持措施	面积/km ²	减少地表径流流失量/万 m ³	占地表径流流失总量/%	减少土壤流失量/万 t	占土壤流失总量/%
水平条经济林	67.716 4	434.09	1.48	3.0	1.56
鱼鳞坑造林	19.623 4	980.34	3.34	11.0	5.72
梯田	133.383 8	1 339.69	4.56	21.2	11.02
合计	220.723 6	2 754.12	9.38	35.2	18.30

表 6 2004 年北京市水土保持措施减少地表径流 TP 流失效益

Tab.6 The reduction of TP loss in surface runoff caused by soil and water conservation measures of Beijing in 2004

水土保持措施	面积/km ²	减少 TP 流失量/t	占 TP 流失总量/%	减少 TP 流失负荷/(t·km ⁻²)
水平条经济林	67.716 4	2.0	4.95	0.029 5
鱼鳞坑造林	19.623 4	6.1	15.10	0.310 9
梯田	133.383 8	10.0	24.75	0.075 0
合计	220.723 6	18.1	44.80	
平均				0.138 5

表 7 2004 年北京市累计水土保持措施减少地表径流 TN 流失效益

Tab.7 The reduction of TN loss in surface runoff caused by soil and water conservation measures of Beijing in 2004

水土保持措施	面积/km ²	减少 TN 流失量/t	占 TN 流失总量/%	减少 TN 流失负荷/(t·km ⁻²)
水平条经济林	67.716 4	11.0	5.82	0.162 4
鱼鳞坑造林	19.623 4	5.7	13.59	1.310 0
梯田	133.383 8	25.0	13.22	0.187 4
合计	220.723 6	61.7	32.62	
平均				0.553 2

4 结论

1) 根据污染物的来源和产生原因,非点源污染可分为 5 种类型:农业型、水土流失型、农村生活型、城市径流型、降水降尘型非点源污染。水土流失不但是一种重要的非点源污染类型,也是其他类型非

表 8 2004 年北京市累计水土保持措施减少地表径流 COD_{Mn} 流失效益

Tab.8 The reduction of COD_{Mn} loss in surface runoff caused by soil and water conservation measures of Beijing in 2004

水土保持措施	面积/km ²	减少 COD _{Mn} 流失量/t	占 COD _{Mn} 流失总量/%	减少 COD _{Mn} 流失负荷/(t·km ⁻²)
水平条经济林	67.716 4	45.0	5.79	66.450 0
鱼鳞坑造林	19.623 4	99.7	12.83	5.080 7
梯田	133.383 8	79.0	10.16	0.592 3
合计	220.723 6	223.7	28.78	
平均				24.041 0

点源污染物进入水体的载体和重要途径。

2) 化肥、农药、重金属等污染物进入土壤之后,通过植物吸收、微生物降解、化学降解、光化学降解、挥发、土壤颗粒吸附、土壤流失、径流淋失等途径在土壤中进行迁移、转化。土壤中的氮素主要以水溶态的形式存在,通过地表径流、地下径流淋溶携带的途径进入水体。磷肥、农药、重金属等主要以吸附态的形式存在,通过土壤流失被土壤颗粒携带进入水体。土壤流失是引发水库、湖泊、河流等地表水体发生富营养化的重要根源。

3) 水土保持对非点源污染的源系统和污染物运移途径均有重要控制作用。水土保持措施通过拦截地表径流,蓄水保土,防治水土流失的基本功能,可控制土壤的侵蚀和搬运过程,截断非点源污染的污染链,减少污染汇系统的污染物通量。水土保持 3 大措施,尤其是生物措施通过提高植物覆盖度、改善土壤质地、增加土壤团粒结构、提高土壤有机质含

量、增加土壤微生物种类和数量、改善土壤水分条件等功能,减少污染源系统的污染物通量。

4)小流域综合治理和区域综合治理均可有效地控制农业和水土流失型非点源污染。未进行综合治理的小流域的地表径流溶解氧和 pH 值超标,水质为 V 类,而进行综合治理的小流域的地表径流的水质指标均符合 I 类水标准,水质优良。截至 2004 年底,北京市累计水土保持措施减少地表径流流失量 2 754.12 万 m^3 ,占地表径流总量的 9.38%;减少土壤流失量 35.20 万 t,占土壤流失总量的 18.30%;减少地表径流中 TP 流失量 18.10 t,占 TP 流失总量的 44.80%;减少地表径流中 TN 流失量 60.70 t,占 TN 流失总量的 32.62%;减少地表径流中 COD_{Mn} 流失量 223.70 t,占 COD_{Mn} 流失总量的 28.78%。如把水土保持措施减少的吸附态污染物的流失量和土壤本身含有的养分计算在内,水土保持控制非点源污染的

作用将更大。水土保持对密云水库保持国家 II 类水质标准和官厅水库在三家店 3—10 月达到 III 类水质标准起到了重要作用。

5 参考文献

- [1] 杨爱民,王浩,潘玉娟. 水土保持的水环境质量效应研究进展. 中国水土保持科学,2006,4(5):112-118
- [2] 孙铁珩,周启星,李培军. 污染生态学. 北京:科学出版社,2002
- [3] 余新晓,张志强,陈丽华,等. 森林生态水文. 北京:中国林业出版社,2004
- [4] 毕小刚,杨进怀,李永贵,等. 北京市建设生态清洁型小流域的思路与实践. 中国水土保持,2005(1):18-20
- [5] 北京市水务局. 北京市水土流失监测公报,2001,2002,2003,2004

(责任编辑:宋如华)