

水文过程中降雨径流对非点源污染的影响

蒋金¹ 安娜¹ 张义² 李珏³ 高乃云¹ (1. 同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092; 2. 镇江市自来水公司, 江苏镇江 212001; 3. 镇江市给排水管理处, 江苏镇江 212001)

摘要 [目的]研究降雨径流对非点源污染的影响,拟通过控制降雨径流产生的污染来减少非点源污染。[方法]通过分析降雨径流的水文过程,其与非点源污染物的作用机理及其对非点源污染的影响,以及水文模型在该研究中的应用,探讨如何有效的减少非点源污染。[结果]降雨径流是非点源污染的主要原因,通过源头控制,加强地表非点源污染物清除和控制,在坡地上种植植被,可有效减少降雨径流对土地的冲刷和侵蚀,减少水土流失。水文模型的应用使该研究简单化。[结论]研究表明对降雨径流过程进行控制将有效减少非点源污染。

关键词 非点源污染; 水文过程; 降雨径流

中图分类号 X 705 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2012)06-03529-03

Influence of Rainfall Run-off in Hydrologic Process on Non-point Pollution

JIANG Jin et al (National Key Lab of Pollution Control and Resource Study of Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract [Objective] This study aimed to study on influence of rainfall runoff on non-point pollution and to reduce the pollution through control of the contamination produced from rainfall runoff. [Method] In order to explore effective methods to decrease non-point pollution, we conducted analysis on hydrological process of rainfall runoff, interaction mechanism between the process and non-point pollutants, the influence on non-point pollution and hydrological model application in the research. [Result] It was proved that rainfall runoff was the main factor of non-point pollution. Control from source strengthened clearing and controlling of non-point pollutants on the ground. Growing plants in slope effectively reduced the scour and erosion of rainfall runoff on soil. The study became simple for hydrological process. [Conclusion] The research indicated that non-point pollution would be effectively reduced through control of rainfall runoff.

Key words Non-point pollution; Hydrologic process; Rainfall run-off

非点源污染是指溶解的或者固体的污染物(地面上的各种物质如城市生活垃圾、农村家畜粪便、农药化肥、重金属和其他有害有机物等)从非特定的地点,在降水或融雪等的冲刷作用下,通过径流过程汇入受纳水体(包括河流、湖泊、水库和海湾等),引起水体的富营养化或者其他形式的污染^[1]。它与大气、水文、土壤、植被、地质、地貌、地形等环境条件和人类活动密切相关,具有滞后性、模糊性、潜伏性、随机性、影响因素多、危害范围广、污染物排放种类和数量不确定、污染负荷时空差异性显著等特点。

全球有 30% ~ 50% 的地表水体受到非点源污染的影响^[2]。据统计,美国的非点源污染量占污染问题的 2/3, 60% 的水体污染起源于非点源污染^[3]。在我国,非点源污染问题也日益严重,在太湖和滇池等重要湖泊,非点源污染已经成为水质恶化的主要原因之一。

非点源污染源包括暴雨径流、大气干湿沉降及底泥释放等诸多方面,其中暴雨径流是伴随水文循环初期过程而发生的一种污染面最大、随机性最强的污染来源^[4]。非点源污染物绝大多数是通过降雨(特别是暴雨)产生地面径流进入水体的。从狭义上讲,非点源污染就是降雨径流污染。美国 EPA(1993 年)已经把城市地表径流列为导致全美河流和湖泊污染的第 3 大污染源。黄振宁等^[5]研究表明,降雨径流携带的非点源污染是雨季河流的重要污染物来源之一。Hoffman^[6]研究发现滨岸沉积物中的 PAHS 主要来自于暴雨径流

污染。由此可见,自然界的水文过程对非点源污染有着至关重要的作用。

1 降雨径流的水文过程

降雨的淋洗和冲刷是非点源污染的重要一环。雨水中携带着各种与云结合的污染物,在降雨的过程中又淋洗大气中的漂尘、污染物颗粒等,降雨到达地面后产生径流,进一步冲刷地面累积的污染物质,一些可溶性物质或营养物质被溶解或吸附,随地表径流排入河流或渗入地下,从而污染地表水或地下水。降雨径流的水文过程机制如图 1 所示^[7]。

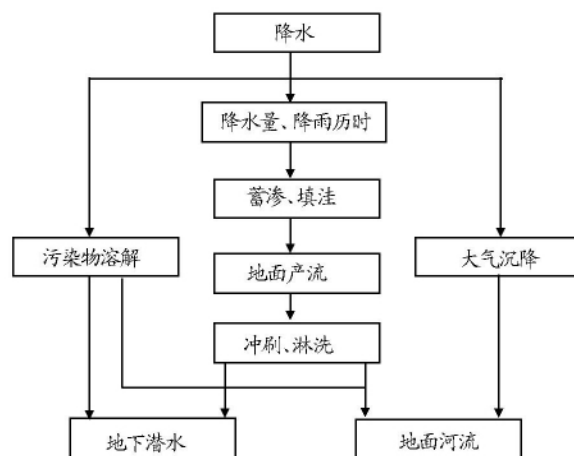


图1 降雨径流水文过程

2 降雨径流对非点源污染的影响

2.1 降雨过程 降雨是水文过程中的一个基本要素,它(尤其强降雨)是形成土壤侵蚀和水土流失的主要动力,是影响降雨径流污染的因素之一。

2.1.1 降雨与非点源污染物的作用机理。降雨与非点源污

基金项目 国家科技重大专项资助(2008ZX07421-002, 2008ZX07421-004); 国家高技术研究发展计划(863 计划)(2008AA06A412); 住房和城乡建设部研究开发项目(2009-K7-4)。

作者简介 蒋金(1988-),女,重庆人,硕士研究生,研究方向:水处理理论与技术, E-mail: lanseshui1988@163.com。

收稿日期 2011-10-28

染物的相互作用主要表现为 3 个方面: 降雨对地面的悬浮固体和地表土壤产生的颗粒具有冲刷作用; 表层土壤中的营养物质在雨滴作用下, 向雨水中释放或被雨滴溅蚀; 表层土壤中的营养物质随雨水向土壤入渗。雨滴溅蚀有利于地表径流形成和流动, 并使土粒或悬浮固体飞溅和迁移, 增大侵蚀和输沙能力^[8]。

2.1.2 降雨对非点源污染的影响。降雨强度决定淋洗非点源污染物的能力大小。雨强越大, 雨滴越大, 下降速度越快, 对土壤的侵蚀力和冲刷作用也越大。随着雨强增大, 营养物质的溶蚀作用相应有所增加。黄满湘等^[9]研究表明降雨强度是影响农田地表径流养分损失的重要因素。

坡地表面径流及侵蚀产沙在很大程度上取决于降雨强度。俞跃等^[10]研究表明降雨强度越大, 产流系数越大, 携带走的污染物越多, 所产生的污染程度越大。在不同雨强下, 地表径流中营养素的流失速率如表 1 所示。

表 1 不同雨强下地表径流中营养素的流失速率

降雨强度 Rainfall intensity	营养素流失速率/ $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$		
	TN	TP	COD
中雨	0.391	1.393	47.380
大雨	0.235	3.162	91.668
暴雨	0.664	6.686	174.670

郑涛等^[11]研究表明, 降雨强度直接影响径流 COD 发生量, COD 污染物负荷随雨强增大而上升。在不同雨强下, 地表径流携带污染物的量不同(表 2)。

表 2 不同雨强下地表径流中污染物负荷

降雨强度 mm/h	径流中污染物负荷			
	TN $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$	TP $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$	COD mg/L	TSS g/L
36	6.060	2.172	593	
72	10.108	4.983	966	2.24
108	68.929	25.222	1349	4.25

降雨量是降雨径流量的主要影响因子, 决定着稀释污染物的水量。范丽丽等^[12]研究发现降雨量对径流污染负荷有较大的影响, 总体表现为降雨量越大, 其污染负荷越大。在丰水期, 降雨量最大时大宁河流域中泥沙浓度和有机氮浓度分别为 1567 mg/L 和 0.53 mg/L ; 而在枯水期其分别为 0.0098 mg/L 和 0.0036 mg/L 。孟红旗^[13]等探讨了降雨历时、降雨量、降雨强度对径流产生和降雨侵蚀力的影响, 发现降雨侵蚀力受降雨量和降雨强度两大因素影响, 而降雨侵蚀力是影响径流产生的重要因素。

另外, 降雨历时也对非点源污染物的输出有着重要影响, 它决定污染物被冲刷的时间, 也决定降雨期间的污染物向地表输送的时间^[14]。

2.2 径流过程 当降雨强度超过土壤下渗速度时产生径流并逐渐汇集, 就会形成地表径流冲刷与沟蚀。径流的产生方式主要是超渗径流^[15]。其在地面形成、汇集和传递, 并携带大量污染物进入水体, 造成水环境的污染。

2.2.1 径流与非点源污染物的作用机理。径流与非点源污

染物主要发生 3 种作用: 径流对地面的悬浮固体具有冲刷和搬运的作用; 径流与表层土壤发生作用, 表现为浸提和冲洗 2 种方式, 土壤中的污染物因径流浸提向径流扩散, 土壤颗粒表面吸附的污染物因径流的冲洗作用而解吸, 溶解于径流中随径流流走; 径流的形成, 在径流的冲刷作用下, 一些土壤颗粒及其结合的污染物被径流携带流走^[16]。

2.2.2 径流对非点源污染的影响。径流对非点源污染物起着携带和搬运的作用, 土壤中营养物质的流失主要是通过径流流失。朱波等^[17]的研究中发现水稻田排水晒田会造成一定的非点源污染, 但其排放通量远低于坡耕地坡地径流迁移通量。单保庆等^[18]研究认为, 非点源污染物在土壤中会产生两种径流模式: 表面径流和壤中流。在相同雨强下, 农作物的覆盖作用能促进壤中流, 减缓表面流。该结果为研究控制土壤中营养元素随地表径流的流失奠定了基础。另有研究者认为降雨径流冲刷引起非点源污染物的输出, 多在浅流状态下发生, 并建立适合比水利条件的 Yalin 公式^[19]。

非点源污染物的输出与径流量的变化有密切关系。径流量大时, 非点源污染物的输出也高。而且非点源污染物的浓度变化趋势与径流变化趋势在形式上基本一致。年内丰水段, 非点源污染物浓度峰值和径流峰值同步出现; 年内平水段, 泥沙浓度、有机氮浓度和径流峰值同步出现, 硝酸盐浓度峰值滞后于径流峰值出现时间; 年内枯水段, 非点源污染物浓度滞后于径流峰值出现时间。在各种影响因素中, 径流对污染物浓度的变化起着决定作用, 两者之间存在着密切的线性相关关系^[12]。

径流的迁移过程受土地の利用方式影响, 从而使得非点源污染物的输出有较大差异。吕唤春^[20]等研究结果表明: 各坡地利用方式降雨径流中的总氮浓度的大小为耕(甘薯)地 > 园地 > 高坡林地 > 园林混交 > 小溪 > 灌木林 > 草地 > 林地。程红光等^[21]研究发现对于吸附态氮, 入河系数的大小排列依次为农田 > 城镇 > 草地 > 灌木 > 森林; 对于溶解态氮, 其入河系数的大小排列次序为农田 > 草地 > 灌木 > 森林 > 城镇。朱波等^[17]分析了典型小流域不同土地利用类型地块的氮磷流失特点, 发现小流域氮磷污染物含量与单位面积负荷均呈现集镇 > 村落 > 柑橘果园 > 坡耕地 > 水稻田 > 林地的特点。由此可见, 对土地の利用方式的控制, 可以有效地控制非点源污染。

3 水文模型在非点源污染研究中的应用

由于污染物在径流形成中的输移和转化过程复杂, 故常采用数学模拟的方法来分析研究非点源污染。

常用的水文模型有美国土壤保持局提出的 SCS 法, 夏青^[22]采用该法对北京市城市径流污染状况进行了评估, 发现北京因降雨径流带来的非点源污染量很大。贺宝根^[23]等根据上海郊区的季风气候、平原地形和小农田特点对 SCS 法中的前期损失量和径流曲线数进行修正, 拓宽了该法的适用性。

王晓燕^[24-25]等利用 GIS 建立石匣小流域非点源污染信息的数据库, 分别以 SCS 方程、USLE 方程和污染物迁移为核

心,初步建立非点源污染负荷模型,并采用实测资料对SCS法进行修正;作者还将地理信息系统引入石匣小流域非点源污染研究,利用Arc view地理信息系统进行重点小流域的地形地貌三维分析,建立包含非点源污染信息的数据库。利用GIS空间分析能力,综合分析数字高程模型(DEM)、坡度、土地利用、各种分级专题图,研究它们之间的相互关系,确定流域非点源污染的分布规律及重点控制区。李怀恩等^[26]根据我国国情提出流域汇流与非点源污染物逆高斯分布瞬时单位线形模型及流域产污过程模型,该模型考虑了水动力学和污染物迁移机理,且便于求解应用。将该模型应用于桥穿芳峪流域以及云南滇池的宝象河流域和松华坝农田小区,获得了较好的结果。另外,还有在此基础上考虑不同土地利用情况发展的非点源污染模型,如SWMM、STORM、NPS、HSPF等。胡远安^[27]等应用分散参数非点源模型SWAT对芦溪小流域进行模拟,发现SWAT能够有效模拟长时间序列的水文过程。

水文模型将复杂的问题简单化,减少了研究者的工作量。在相关领域,水文模型已经得到广泛和深入的应用,但其在精准度上还需要有更加深入的研究,而且模型的建立需要大量的资料,如何收集和筛选长期可靠的资料,也有待研究。对于跨省市的流域,需要各个省市之间沟通协商,协力做好流域管理工作。

4 讨论

近年来,随着点源污染的有效控制,非点源污染已经成为世界范围内地表水和地下水污染的主要来源,而降雨径流又是非点源污染的主要原因,所以对降雨径流产生非点源污染的过程进行研究具有重要的现实意义。

对降雨径流过程进行控制将有效减少非点源污染,很多城镇和乡区已经开始建立雨水收集处理系统,将雨水进行处理后排放,这种办法能有效减少降雨径流中的污染物,但其需要一定的投资成本,运行维护费用较大,很多污水处理厂不能发挥其应有功能。

我国现阶段处于经济发展腾飞时期,可能会因为利益因素忽略环境保护,往往只注重一时的经济效益,本着先污染后治理的原则大力发展经济,这对于环境的代价十分巨大,先不论治理工艺的可行性,就经济投资一方面就令人咋舌,与其在污染后进行治理,不如在源头上进行控制,例如加强对地表非点源污染物(如固体垃圾、农田中的化肥等)进行清除和控制,在坡地上种植植被,减少降雨径流对土地的冲刷和侵蚀,减少水土流失等等。此外,利用水文模型模拟降雨径流过程将对简化研究者的工作十分有效。但该模型的建

立需要结合各方有效资源,特别是针对跨省市的流域,更需多方协力,共同开发出适用于我国流域的水文模型。

参考文献

- [1] LEE S I. Non-point source pollution[J]. Fisheries, 1979, 2: 50-52.
- [2] DENNIS L C, PETER J V, KEITH L. Modeling non-point source pollution in vadose zone with GIS[J]. Environmental Science and Technology, 1997, 8: 2157-2175.
- [3] 付永峰, 陈文辉, 赵基花. 非点源污染的研究进展与前景展望[J]. 山西水利科技, 2003(3): 32-35.
- [4] 张军. 我国水环境非点源污染研究概述[J]. 牡丹江师范学院学报: 自然科学版, 2005(4): 58-59.
- [5] 黄振宁, 杨柳, 贺守东. 铁岭市城市降雨径流产生面源污染对辽河污染的研究[J]. 干旱环境监测, 2008, 22(4): 203-205.
- [6] HOFFMAN E J, LATIMER J M, MILLS G L, et al. Urban runoff as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons to coastal waters[J]. Environmental Science and Technology, 1984, 18: 580-587.
- [7] 王业雷. 南昌市城区降雨径流污染过程与防治措施研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2008.
- [8] 张兴昌, 邵明安. 坡地土壤氮素与降雨、径流的相互作用机理及模型[J]. 地理科学进展, 2000, 19(2): 128-135.
- [9] 黄满湘, 章申, 张国梁, 等. 北京地区农田氮素养分随地表径流流失机理[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 147-154.
- [10] 俞跃, 宋玉梅, 唐文浩. 模拟降雨条件下万泉河流域农田养分流失特征及面源污染源强研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(17): 9158-9160, 9189.
- [11] 郑涛, 穆环珍, 黄衍初, 等. 降雨径流对地表径流污染物负荷影响模拟试验研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2006, 7(2): 84-88.
- [12] 范丽丽, 沈珍瑶, 刘瑞民. 不同降雨-径流过程中农业非点源污染研究[J]. 环境科学与技术, 2008, 31(10): 5-8.
- [13] 孟红旗, 赵同谦, 张华, 等. 孟津黄河滩区降雨产流及面源污染特征研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(1): 48-51.
- [14] 王吉苹, 朱木兰. 厦门城市降雨径流氮磷非点源污染负荷分布探讨[J]. 厦门理工学院学报, 2009, 17(2): 57-61.
- [15] 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素[J]. 水土保持通报, 1981(3): 1-9; (4): 13-18.
- [16] 王爱国, 王雯. 土地利用方式对径流中N、P输出的影响[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(11): 153-156, 161.
- [17] 朱波, 汪涛, 王建超, 等. 三峡库区典型小流域非点源氮磷污染的来源与负荷[J]. 中国水土保持, 2010(10): 34-36.
- [18] 单保庆, 尹澄清, 于静, 等. 降雨-径流过程中土壤表层磷迁移过程的模拟研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(1): 7-12.
- [19] YALIN M S. An expression for bed-load transportation[J]. J Hydraulics Div ASCE, 1963, 83(3): 221-250.
- [20] 吕映春, 陈英旭, 方志发, 等. 千岛湖流域坡地利用结构对径流氮、磷流失量的影响[J]. 水土保持学报, 2002(6): 91-92, 132.
- [21] 程红光, 郝芳华, 任希岩, 等. 不同降雨条件下非点源污染氮负荷入河系数研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(3): 392-397.
- [22] 夏青. 城市径流污染系统分析[J]. 环境科学学报, 1982, 2(4): 271-278.
- [23] 贺宝根, 周乃晟, 高效江, 等. 农田非点源污染研究中的降雨径流关系——SCS法的修正[J]. 环境科学研究, 2001, 14(3): 49-51.
- [24] 王晓燕, 王振刚, 王晓峰. GIS支持下密云水库石匣小流域非点源污染[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(S1): 26-28.
- [25] 王晓燕, 王晓峰. 北京密云水库石匣小流域空间数据库的初步建立[J]. 科学环境与技术, 2004, 27(3): 42-44.
- [26] 李怀恩, 沈晋, 刘玉尔. 流域非点源污染模型的建立与应用实例[J]. 环境科学学报, 1997, 17(2): 141-147.
- [27] 胡远安, 程声通, 贾海峰. 非点源模型中的水文模拟——以SWAT模型在芦溪小流域的应用为例[J]. 环境科学研究, 2003, 16(5): 29-32, 36.

(上接第3407页)

- [4] 杨铁夫. 休闲式酒店园林景观设计的探析——以张家界湘电国际酒店园林设计为例[J]. 中外建筑, 2008(2): 114-116.
- [5] 帅民曦. 山水有清音——荔园山庄外部景观空间塑造[J]. 规划师, 2005(8): 40-43.
- [6] 谭奕为, 梁喜献, 林少芳. 南宁市园林绿化植物多样性及其应用调查

[J]. 广西热带农业, 2008(2): 53-55.

- [7] 庄雪影. 园林树木学(华南本)[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
- [8] 臧德奎. 彩叶树种选择与造景[M]. 北京: 中国林业出版社, 2003.
- [9] 冯丽, 颜兵文. 芳香植物在园林中的应用[J]. 热带生物学报, 2009, 1(3): 261-264.