

雨水径流对受纳水体的污染特性研究

韩玉龙, 刘振中

(南昌大学 建筑工程学院, 南昌 330031)

摘要:以前湖校区为研究对象,以润溪湖为受纳水体,通过对路面雨水径流及湖水在雨前、雨中、雨后的水样进行pH、浊度、SS、COD、TP和氨氮指标测试,探究各项污染物浓度在三个阶段的变化规律,对水体水质作了综合评价,进行受纳水体污染物浓度增加值与雨水径流水质相关性分析。结果表明:雨水径流的汇入,使受纳水体的pH有所降低、其余5项指标浓度均有所增加,水质类别从Ⅳ类水增加到Ⅴ类水,相关性分析结果显著,说明雨水径流的汇入是造成水体污染物增加的主要原因,显著性相关回归方程可用于推算该区域内受纳水体污染物的增加量,预测水体污染程度。并提出了相应的建议,为解决由城市雨水径流所引起的非点源污染问题提供理论参考依据。

关键词:雨水径流; 受纳水体; 水质评价; 污染特性; 非点源污染

中图分类号:X524

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)06-0065-07

Research on Characteristics of the Receiving Water Body Polluted by Rainwater Runoff

HAN Yulong, LIU Zhenzhong

(School of Civil Engineering and Architecture, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: Taking Qianhu campus as the research site and Runxi lake as the receiving water, we tested pH, turbidity, SS, COD, TP and ammonia nitrogen of road rainwater runoff and lake water to explore the changes of the concentration of pollutants before the rain, during the rain occurrence and after the rain. Correlation analysis between the concentration increase of pollutants in the receiving water body and water quality characteristics of rainwater runoff was performed to determine the characteristics of the receiving water body polluted by city rainwater runoff. The results showed that pH reduced but the others indicators increased and water quality characteristics varied from Type IV to V of the surface water standard because of rainwater runoff, and the regression equation can be used to calculate the increment of pollutants in the receiving water body with significant correlation. Responsible recommendations were suggested to provide theoretical reference basis to solve the problem of non-point source pollution caused by rainwater runoff of the city roads.

Keywords: rainwater runoff; receiving water body; water quality assessment; pollution characteristics; non-point source pollution

随着工业化的发展和城镇化进程的加快,由城市雨水径流所引起的非点源污染问题日益突出。美国对水体污染的调查显示,以城市路面雨水径流作为主要污染源的污染水体占30%^[1],非点源污染占污染负荷总量的2/3^[2],已经成为环境污染的第一要素,并且美国环保局把城市地表径流列为导致美国全境湖泊和河流的第三污染源^[3]。在我国,非点源污染问题更加严重,污染物质主要为氮和磷,分别占到水体污染的81%和93%^[4]。雨水径流携带大量的污染物质进入湖泊、河流,引发水体富营养化、藻类爆发、水

质恶化等一系列水质污染问题,但目前在国内仍未引起足够重视。据此,文章以润溪湖为例进行雨水径流对受纳水体的影响与污染特性研究,掌握雨水径流污染状况,用于分析预测受纳水体污染程度,为开展雨水径流污染的处理与控制提供理论参考。

1 材料及方法

前湖校区位于江西省南昌市赣江之滨,重工业污染少,环境较好,且全市水网密布,湖泊众多,雨水充沛,降水主要集中在汛期4—6月,雨量约占全年降水

量的 50%。前湖校区总面积 300 万 m^2 , 内有原生态山林 33.3 万 m^2 , 水面面积 26.7 万 m^2 , 润溪湖位于校区北侧, 周围环绕有生活区、教学区、商业区、餐饮区及马路、绿地、山林等复杂环境, 湖面面积 11 万 m^2 。

结合校区水域分布、周边环境、污染状况等因素, 湖水取样点选取在润溪湖的北端和南端各一处, 其中, 取样点 1 位于南端主教学楼附近, 周围有大量植被, 路面及建筑物等硬化面较少, 湖水流动性较大; 取样点 2 位于北端学生公寓 3 栋附近, 处于湖湾, 湖水流动性较小, 周围有沥青马路、食堂、商业街等, 污染较严重。取样时间分别在 2014 年 2 月 25 日、3 月 7 日、3 月 12 日、3 月 28 日、3 月 31 日、4 月 12 日、4 月 19 日、4 月 21 日, 共 8 次。

对于每场降雨, 每个取样点分别收集 4 个水样。一是雨水径流形成后未汇入湖泊前收集的地面雨水径流。其余三个分别为降雨前、雨水径流开始汇入湖泊后 30 min、雨水径流停止向湖泊汇入后 60 min 的湖泊水样, 作为雨前、雨中、雨后水样。

测试指标为 pH、浊度、SS、COD、TP 和氨氮, 测试方法见表 1。

表 1 水样分析项目及方法

项目	标准编号	检测方法
pH 值	GB/T 6920—1986	玻璃电极法
浊度	GB/T 13200—1991	比色法
SS	GB/T 11901—1989	重量法
COD	GB/T 11914—1989	重铬酸钾法
TP	GB/T 11893—1989	钼酸铵分光光度法
氨氮	HJ 535—2009	纳氏试剂分光光度法

2 结果与分析

2.1 雨水径流对受纳水体的影响分析

2.1.1 降雨前后 pH 值的变化 由图 1, 图 2 可以看出, 在降雨径流形成 30 min 时, 两个采样点历次降雨的 pH 较雨前均有所降低, 平均降低了 0.22, 0.24, 降低最大值分别为 0.44, 0.38。下降的主要原因是路面降雨径流汇入。雨前湖水 pH 均在 7 以上, 而路面降雨径流 pH 大多低于 7, 均小于湖水, 故雨水径流汇入后造成了湖水 pH 有所降低。在雨后 60 min, 由于稀释和藻类植物的同化作用, 使湖水的 pH 有所回升, 但幅度不大。同时, 采样点 1 处湖水较采样点 2 的 pH 略高, 由于水体 pH 的升高, 能促进沉积物中磷释放量的增加^[5], 故采样点 1 比采样点 2 的 TP 浓度略高。

2.1.2 降雨前后浊度的变化 由图 3, 图 4 可以看出, 两个采样点历次降雨的雨中浊度较雨前均有所增加, 平均增加了 11.1 NTU 和 10.5 NTU, 增加最大值为 20.6 NTU。雨中浊度大幅增加的原因主要有

三个。一是雨水径流携带大量对增加浊度值贡献较大的污染物汇入湖中, 包括路面上的沙尘、轮胎磨损物及食堂周围的油污等; 二是湖泊周围的倾斜土坡, 在雨水径流冲刷作用下, 泥土颗粒会随之流入湖中; 三是降雨、径流及风浪作用对水体形成扰动, 不仅使颗粒物质无法尽快沉入水底, 而且会造成底泥中已经积累的大量污染物再次上浮释放, 对水体形成二次污染, 从而增加水体浊度^[6]。

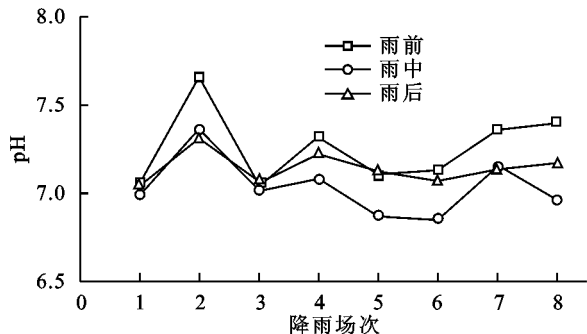


图 1 取样点 1 处湖水的 pH 变化

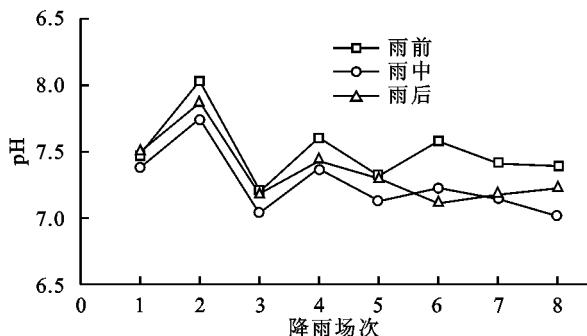


图 2 取样点 2 处湖水的 pH 变化

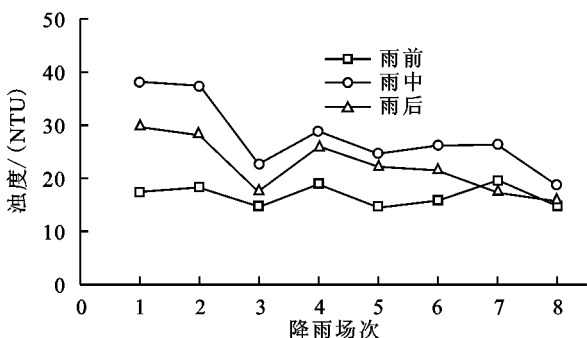


图 3 取样点 1 处湖水的浊度变化

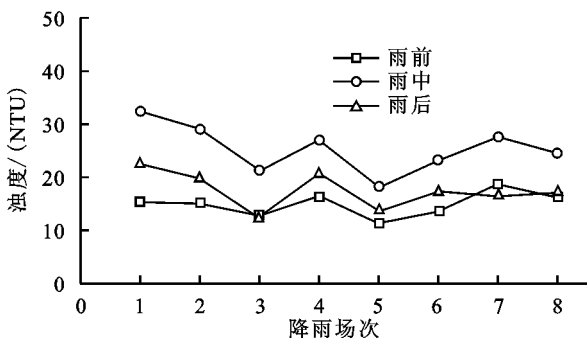


图 4 取样点 2 处湖水的浊度变化

雨后 60 min,两采样点较雨中分别平均下降 5.6 NTU 和 7.9 NTU,下降最大值分别为 9.3 NTU 和 11.0 NTU。下降的原因主要有三个,一是在雨后,不存在降雨对受纳水体的扰动,不溶解的颗粒物通过水体自身的沉降作用而沉淀下来;二是大量的雨水径流汇入湖中,对水体产生了稀释作用,降低了水体中杂质的浓度;三是大部分污染物存在于降雨初期径流中,后期径流污染物浓度较小,汇入水体中的污染物也就相应减少,故水体中浊度较雨中大降低。

相比于雨前湖水的浊度,大部分雨后浊度要高于雨前值,主要是由于沉淀时间较短,下降的并不彻底。而个别点会低于雨前值,是因为该点雨水径流的浊度本身就较低,甚至低于受纳水体的浊度,因此经过汇合后的稀释作用,出现低于雨前浊度的情况。

2.1.3 降雨前后 SS 浓度的变化 由图 5,图 6 可以看出,两个采样点历次降雨的 SS 浓度雨中较雨前均有所增加,平均增加值分别为 17 mg/L 和 14 mg/L,最大增加了 30 mg/L。雨中较雨前 SS 浓度增加与浊度增加的原因类似。值得注意的是,采样点 1 较采样点 2 的 SS 浓度略高,主要是由于采样点 2 附近受沥青路面及油污污染较重,以有机物为主,采样点 1 处主要受泥土污染,以无机物为主。而对 SS 浓度的影响起主导作用的是无机物,而非有机物^[7]。其次,采样点 1 处水流速度快,风浪作用大,扰动作用强,引起底泥再悬浮,增加 SS 浓度,采样点 2 位于湖湾,水流较稳,扰动作用小,且长有水生植物,对悬浮物起到过滤和抑制上浮作用,降低了水体中 SS 浓度。此外,悬浮物还是影响湖水透明度的主要因素,故采样点 1 处湖水较采样点 2 浑浊,浊度略高。

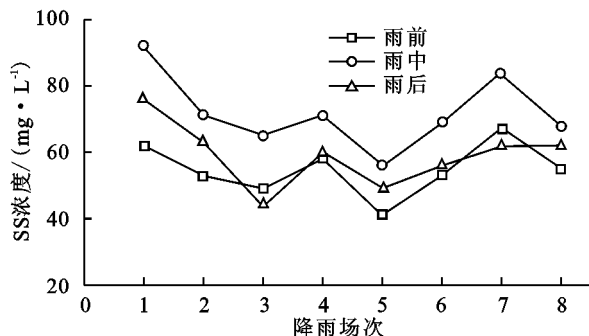


图5 采样点1处湖水的SS变化

2.1.4 降雨前后 COD 浓度的变化 由图 7,图 8 可以看出,受纳水体的雨中 COD 浓度较雨前值均有大幅增加。两个采样点平均增加 21.4 mg/L 和 18.8 mg/L,最大增加值分别为 34.4 mg/L 和 34.0 mg/L。由于 COD 的增加意味着水中含有大量的还原性物质,而对其贡献最大的就是有机物。因此,沥青路面上的大量轮胎磨损物、食堂附近的油污、湖泊周围

树木喷洒的农药等,都随雨水径流汇入湖中,较之前,这无疑极大的增加了水体中 COD 浓度。

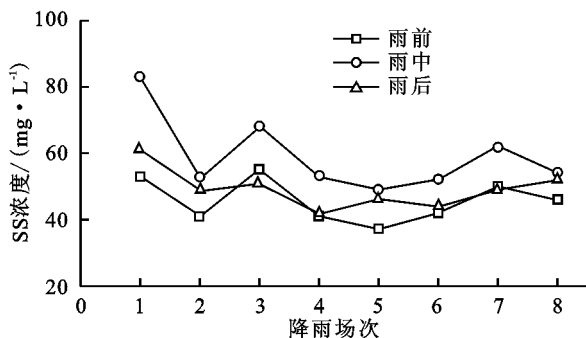


图6 采样点2处湖水的SS变化

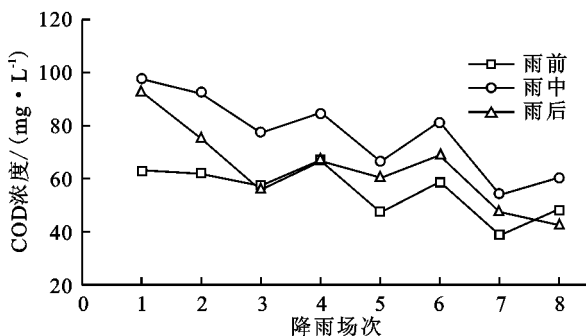


图7 采样点1处湖水的COD浓度变化

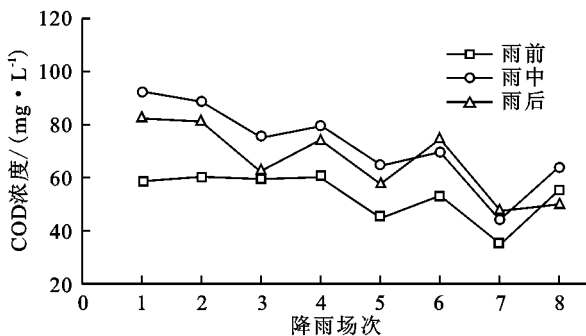


图8 采样点2处湖水的COD浓度变化

雨后 60 min,各点 COD 浓度较雨中有所降低,两采样点分别降低 13.2 mg/L 和 13.5 mg/L。其主要原因除了径流对湖水的稀释作用、自身沉降作用以及后期雨水径流污染物较少的原因外,还有一个重要原因就是雨水径流对湖水的扰动,促使 COD 在耗氧条件下不断分解,浓度降低。

大部分雨后 COD 浓度要高于雨前,主要是由于 COD 的降解受很多因素的影响。研究表明,COD 的降解速率受水温和 COD 初始浓度的影响较大,受 pH、光照强度、盐度等的影响较小^[8]。即 COD 初始浓度越高,悬浮物浓度越高,水温越高,则 COD 降解速率越快。而盐度越高,则降解速率越慢。当降雨时,湖水水温较低,且初始 COD 浓度也较低,故 COD 降解缓慢,从而湖水 COD 浓度的增加速率要大于降解速率,导致 COD 浓度无法及时降解到雨前值。

2.1.5 降雨前后 TP 浓度的变化 从图 9—10 中可

以看出,降雨 30 min 时,较之雨前 TP 浓度有所增加,平均分别增加了 0.018 mg/L 和 0.027 mg/L。其中,增加最大值为 0.054 mg/L。TP 浓度的增加,主要来源于以下几个方面。一是地面径流中磷的汇入,主要是路面上含有大量磷元素的有机污染物和富含磷矿石的泥土;二是湖边树木所施的肥料及喷洒的农药中含有大量的有机磷,在雨水径流冲刷下汇入湖中,造成水体中的磷浓度升高;三是湖底的底泥中,沉积大量的鱼虾等水生生物残骸,其含磷量非常高,由于降雨径流对湖水造成了扰动,引发底泥中磷的再释放,从而增加了水体中 TP 的浓度。

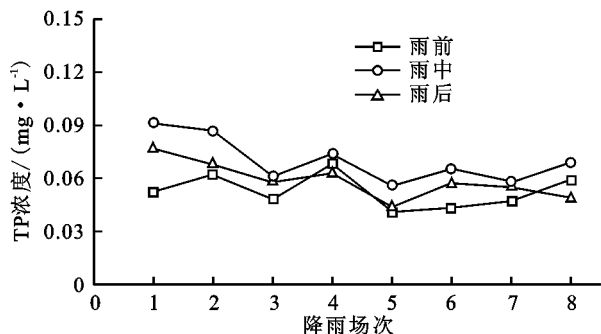


图 9 取样点 1 处湖水的 TP 浓度变化

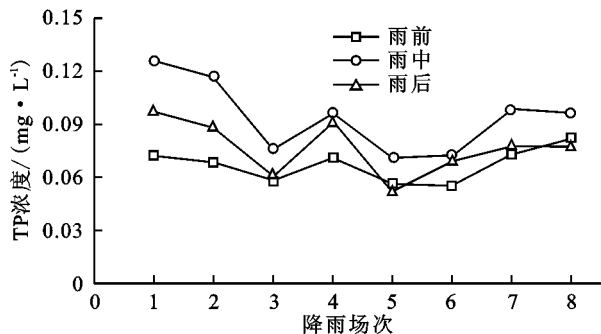


图 10 取样点 2 处湖水的 TP 浓度变化

雨后 60 min,各点 TP 浓度较雨中均有所下降。两采样点平均下降了 0.011 mg/L 和 0.017 mg/L,其中下降最大值为 0.029 mg/L。主要原因除了径流的稀释作用、自身沉降作用外,还有一个重要原因就是温度。底泥中磷的释放随温度的升高而升高,其中,温度升高 1~3℃,TP 释放量就会增加 9%~57%^[9]。由于降雨时会造成湖泊水体水温降低,底泥中 TP 释放缓慢,因此,TP 浓度会略有下降,但由于时间较短,下降幅度并不明显。

2.1.6 降雨前后氨氮浓度的变化 通过对图 11—12 的分析,两采样点氨氮浓度雨中较雨前平均增加了 0.331 mg/L 和 0.321 mg/L。最大增加了 0.682 mg/L,而雨后 60 min,各点氨氮浓度有所下降,分别下降了 0.239 mg/L 和 0.220 mg/L,但基本上仍高于雨前值。氨氮浓度变化的规律同 TP 的变化相似,但还有另一个重要原因,即大气营养元素的输入,包

括空气中和天然降水中含有的 N 元素。研究表明,由于大气环境的污染及酸雨的加重,雨水在云层中形成而未降落进入水体之前,就已经受到了较严重的大气氮化合物的污染^[10]。这更加重了降雨径流对湖泊水体的氨氮污染。

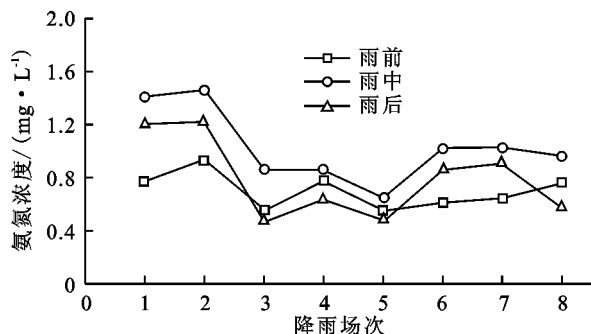


图 11 取样点 1 处湖水的氨氮浓度变化

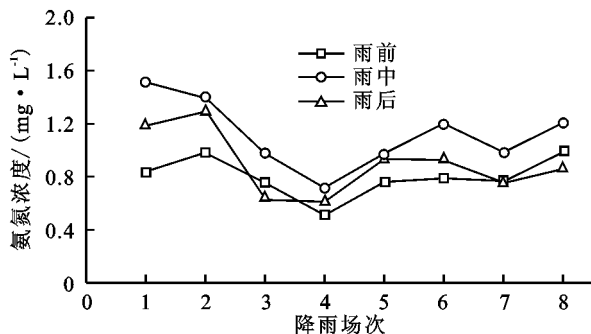


图 12 取样点 2 处湖水的氨氮浓度变化

2.2 雨水径流污染评价

对雨水径流污染进行定性、定量的合理评价,是进行受纳水体污染特性研究、制定水环境整治方案的重要依据。文章采用单因子^[11]、综合水质标识指数方法^[12]对雨水径流主要污染物 COD、TP、氨氮进行科学评价,在不同类别的水质指标中分析水质污染程度,确定雨水径流主要污染物,并对水体是否黑臭作出判断。

单因子水质指数 P 表示为

$$P_i = X_1 X_2 X_3 \quad (1)$$

式中: X_1 ——第 i 项水质指标的水质类别; X_2 ——监测数据在 X_1 类水质变化区间中所处的位置; X_3 ——水质类别与功能区划设定类别的比较结果,视评价指标的污染程度。

综合水质指数 I_{wq} 表示为

$$I_{wq} = X_1 X_2 X_3 X_4 \quad (2)$$

式中: X_1 ——水体的综合水质类别; X_2 ——综合水质在 X_1 类水质变化区间中所处的位置,用以比较同类水质中的水质优劣; X_3 ——参与综合水质评价的水质指标中,劣于水环境功能区目标的单项指标个数; X_4 ——综合水质类别与水体功能区类别的比较结果,视综合水质的污染程度。是否黑臭判别标准为

$6.0 < X_1 X_2 \leq 7.0$,水质劣于Ⅴ类,但不黑臭; $X_1 X_2 > 7.0$,水体黑臭。

监测共 48 个样本,由表 2 和表 3 可知,污染指数大小排序为 $COD > TP > \text{氨氮}$,COD 污染最为严重,劣于Ⅴ类,TP 和氨氮能达到水环境功能区要求。雨水径流的汇入使受纳水体污染程度增加了近一个级别,其中采样点 2 处第一场降雨的氨氮指数增加近两

个级别,可见雨水径流对受纳水体的水质污染造成极大的影响。由表 4 的综合水质指数分析可知,两个采样点处雨前水质基本为Ⅳ类,当雨水径流汇入后,水质指数增加近一个级别,为Ⅴ类,但 $X_1 X_2 < 6.0$,故水质并未黑臭。雨后污染程度较雨中略有下降,但仍高于雨前。基于以上分析,进一步证明了雨水径流对受纳水体造成严重的污染,严重威胁水环境安全。

表 2 采样点 1 单项水质指标评价结果 mg/L

名称	降雨场次	COD			TP			氨氮		
		雨前	雨中	雨后	雨前	雨中	雨后	雨前	雨中	雨后
采样点 1	1	6.61	7.42	7.32	4.00	4.80	4.50	3.60	4.80	4.40
	2	6.51	7.32	6.91	4.20	4.70	4.40	3.90	4.90	4.40
	3	6.41	6.91	6.41	3.90	4.20	4.20	3.10	3.70	2.90
	4	6.71	7.12	6.71	4.40	4.50	4.30	3.50	3.70	3.30
	5	6.21	6.71	6.51	3.60	4.10	3.80	3.10	3.30	3.00
	6	6.51	7.03	6.71	3.70	4.30	4.10	3.20	4.00	3.70
	7	5.90	6.41	6.21	3.90	4.20	4.10	3.30	4.10	3.80
	8	6.21	6.51	6.11	4.20	4.40	4.00	3.50	3.90	3.20

表 3 采样点 2 单项水质指标评价结果 mg/L

名称	降雨场次	COD			TP			氨氮		
		雨前	雨中	雨后	雨前	雨中	雨后	雨前	雨中	雨后
采样点 2	1	6.51	7.32	7.12	4.40	5.30	4.90	3.70	5.00	4.40
	2	6.51	7.22	7.03	4.40	5.20	4.80	4.00	4.80	4.60
	3	6.51	6.91	6.61	4.20	4.50	4.20	3.50	4.00	3.30
	4	6.51	7.03	6.91	4.40	4.90	4.80	3.00	3.40	3.20
	5	6.11	6.61	6.41	4.10	4.40	4.00	3.50	3.90	3.90
	6	6.31	6.71	6.91	4.10	4.40	4.40	3.60	4.40	3.90
	7	5.50	6.11	6.21	4.50	5.00	4.60	3.50	4.00	3.50
	8	6.41	6.61	6.31	4.60	4.90	4.50	4.00	4.40	3.70

表 4 综合水质指数评价结果

降雨场次	采样点 1			采样点 2		
	雨前	雨中	雨后	雨前	雨中	雨后
1	4.710	5.710	5.410	4.810	5.510	5.110
2	4.910	5.610	5.210	4.610	5.010	4.810
3	4.510	4.910	4.510	4.810	5.210	5.110
4	4.910	5.110	4.810	4.710	5.310	4.910
5	4.310	4.710	4.410	4.610	5.010	4.810
6	4.510	5.110	4.810	4.910	5.410	5.110
7	4.400	4.910	4.710	3.400	3.710	3.610
8	4.610	4.910	4.410	2.110	2.210	2.110

2.3 受纳水体污染物浓度增加值与雨水径流水质相关性分析

雨水径流的汇入增加了受纳水体中污染物的浓度,通过对受纳水体雨中较雨前污染物浓度的增加值(pH 为降低值)与雨水径流水质的相关性分析,研究雨水径流对受纳水体的污染程度,对确定水体污染主要污染因素、控制污染源,减少水体污染具有重要意义。

如表 5 所示,受纳水体 pH 的降低与雨水径流具有较好的相关性,微酸性雨水径流的汇入降低了受纳

水体的 pH 值,尽管变化幅度较小,但仍值得警惕。加拿大有 8 500 个湖泊酸化,美国至少有 1 200 个湖泊酸化,成为“死湖”。由酸雨引发的湖泊酸化问题,会妨碍水体自净,造成水生动植物的死亡。因此,预防雨水径流引发水体酸化迫在眉睫。两个采样点浊度、SS 和 COD 的增加值与雨水径流均具有较好的相关性,说明雨水径流中大量的污染物是造成水体浊度、SS 和 COD 增加的主要原因。因此,应加强对雨水径流的处理,通过控制雨水径流污染物的汇入量来降低水体污染。

通过对两采样点处受纳水体 TP 增加值与雨水径流的相关系数分析可知,采样点 1 处相关性较好,而采样点 2 处相关性较差。这主要是由于二者所处地理位置及周围环境不同造成的^[13]。采样点 1 位于主教一侧,周围草木较多,施肥与喷洒农药也较多,这就增加了在雨水径流冲刷作用下磷的汇入量。其次,此处湖水流动性大,由于降雨所引起的扰动作用相对较小,底泥中磷的释放也相应较少,说明在流动性较

大的水体中,降雨扰动并不是造成 TP 增加的主要原因,而是主要来自于降雨径流中所携带的含磷污染物,这才表现出与雨水径流较好的相关性。而采样点 2 位于学生公寓 3 栋一侧,周围以建筑物居多,含磷

污染物相对较少,且此处湖水较平缓,流动性小,受降雨的扰动作用较大,极易引起底泥中磷的再释放,即水体中 TP 增加受雨水径流的影响与采样点 1 相比较小,因此,其相关性较差。

表 5 受纳水体污染物浓度增加值与雨水径流水质相关性分析

指标	采样点	增加值/ (mg·L ⁻¹)	雨水径流水质/ (mg·L ⁻¹)	相关系数	回归方程	相关性	相对标准偏差/%	相对误差 <20%的百分比
pH	采样点 1	0.23	6.89	0.8955	$y=-0.9072x+6.4733$	显著	18.23	88
	采样点 2	0.24	6.89	0.8057	$y=-0.6244x+4.5429$	显著	11.69	75
浊度	采样点 1	11.1	24.0	0.8215	$y=0.2433x+4.6299$	显著	9.68	88
	采样点 2	10.5	24.0	0.9046	$y=0.4432x+0.4390$	显著	16.66	100
SS	采样点 1	17	84	0.9057	$y=0.1993x+0.6100$	显著	10.01	100
	采样点 2	14	84	0.8879	$y=0.2465x-6.9588$	显著	15.68	88
COD	采样点 1	21.4	62.8	0.9745	$y=0.5076x-10.4534$	显著	11.59	100
	采样点 2	18.8	62.8	0.8737	$y=0.5652x-16.7343$	显著	14.73	88
TP	采样点 1	0.018	0.064	0.8469	$y=0.2987x-0.0013$	显著	18.51	75
	采样点 2	0.027	0.064	0.4421	$y=0.3128x+0.0071$	不显著	—	—
氨氮	采样点 1	0.331	1.289	0.7321	$y=0.3287x-0.0925$	不显著	—	—
	采样点 2	0.321	1.289	0.9126	$y=0.3175x-0.0881$	显著	16.99	100

氨氮的相关性变化与 TP 呈现相反的情况,采样点 1 相关性较差,采样点 2 则较好,这仍然与其所处位置不同有关。采样点 2 附近沥青道路较多,而沥青、轮胎磨损物及汽车尾气中,都含有大量氮化合物,并且此处草木及地表落叶较少,植被冠层对雨水滴落速度的减缓作用较小,导致雨水直接打击地表,这些氮化合物在雨水径流的冲刷作用下被携带而汇入水体,使水体中氨氮浓度增加,故其相关性较好。采样点 1 附近路面较少,主要以草木为主,周边环境含氮相对较少,受雨水径流的影响也就相应较小,故其相关性较差。

对计算结果进行相关系数的临界值统计分析表明,除采样点 2 的 TP 和采样点 1 的氨氮外,其他样品的相关系数范围在 0.805 7~0.974 5,都呈显著性相关。根据回归方程推算受纳水体污染物浓度增加的计算值与实测值之间的相对标准偏差为 9.68%~18.51%、相对误差小于 20% 的数据比例至少占 75%,显示出受纳水体污染物浓度增加值采用雨水径流污染物浓度换算所产生的误差是可以接受的^[14]。对于计算由雨水径流引起的受纳水体污染物增加量,需分别检测雨前、中、后期的受纳水体各项污染物指标,且受风浪、流速等随机因素影响,水样测试结果波动较大,操作麻烦。因此,可通过表 5 中显著性相关的回归方程来推算受纳水体中污染物浓度增加量,为该区域受纳水体污染程度的预测提供一定指导。

4 结 论

(1) 雨水径流对受纳水体造成了不同程度的污

染,受雨水径流汇入的影响,受纳水体中 pH 值有所下降,其余 5 种污染物指标均有所增加,且浊度和 COD 浓度增加最明显。

(2) 雨水径流停止汇入后,各污染物指标较雨中有所下降,但由于沉淀时间较短等原因,基本仍要高于雨前值。

(3) 雨前受纳水体为地表水环境质量标准Ⅳ类,由于雨水径流汇入造成的污染,受纳水体在雨中为Ⅴ类,雨后部分采样点仍处于Ⅴ类,且受 COD 污染较严重。

(4) 受纳水体各采样点污染物雨中较雨前的增加值与雨水径流大部分保持显著的相关性,说明雨水径流的汇入是造成水体短时间污染物增加的主要原因,显著性相关回归方程可用于该区域内受纳水体污染物浓度增加量的推算及污染程度的预测。

(5) 在水体流动性较平缓的地方,扰动所引起底泥中磷的再释放增加了水体中 TP 的浓度,而在草木较多的地方,肥料与农药则对 TP 浓度的增加起到了重要作用。对于氨氮,则主要受沥青路面等含氮化合物的影响。

5 建 议

(1) 加大对降雨径流及受纳水体的长期水质监测,通过全面、系统的数据整理与分析,对雨水径流的污染程度进行科学评估,为降雨径流的控制管理奠定理论基础。

(2) 针对受纳水体所处不同的地理位置、周边环

境、水质特点、流动性大小等具体情况,应分别分析其主要污染途径,据此有针对性的进行雨水处理和技术管控。

(3) 加强工程措施与非工程措施相结合,对汇入受纳水体前的雨水径流综合运用截污、沉淀、过滤、生物滞留与渗流系统以及湿地系统等技术手段,并定期进行路面清扫、减少农药喷洒次数、对水体定期清淤,进行初期雨水弃流^[15],能有效去除其中的污染物质^[16]。

(4) 从水文、生态、景观角度,树立雨水最佳管理实践的新理念,应用新技术,对雨水径流进行规范的引导和有效的管理,达到控制径流、减少对受纳水体污染的目的,实现水资源的可持续发展。

参考文献:

- [1] Opher T, Ostfeld A, Friedler E. Modeling highway runoff pollutant levels using a data driven model [J]. Water Science and Technology, 2009, 60(1): 19-27.
- [2] Hardy S D, Koontz T M. Reducing nonpoint source pollution through collaboration: policies and programs across the US states[J]. Environmental Management, 2008, 41(3): 301-310.
- [3] 蒋艳红, 吴珏金, 钟小敏, 等. 城市降雨径流对桂林四湖水质的影响[J]. 北方环境, 2011, 23(11): 56-58.
- [4] Ongley E D, Xiaolan Z, Tao Y. Current status of agricultural and rural non-point source pollution assessment in China [J]. Environmental Pollution, 2010, 158(5): 1159-1168.

- [5] 唐孟成, 王寿祥, 朱荫涓. 西湖湖水碱化对水体理化性质的影响[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(4): 449-453.
- [6] 夏波, 张庆河, 蒋昌波, 等. 水体紊动作用下湖泊泥沙解吸释放磷的试验研究[J]. 泥沙研究, 2014(1): 74-80.
- [7] 李一平. 太湖水体透明度影响因子试验及模型研究[D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [8] 宋学宏, 祁旭文, 孙丽萍, 等. 阳澄湖养殖水体 COD 降解动力学研究[J]. 安徽农业大学学报, 2010, 37(2): 328-332.
- [9] Liikanen A N U, Murtoniemi T, Tanskanen H, et al. Effects of temperature and oxygen availability on greenhouse gas and nutrient dynamics in sediment of a eutrophic mid-boreal lake [J]. Biogeochemistry, 2002, 59(3): 269-286.
- [10] 杨龙元, 秦伯强, 吴瑞金. 酸雨对太湖水环境潜在影响的初步研究[J]. 湖泊科学, 2001, 13(2): 135-142.
- [11] 徐祖信, 我国河流单因子水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2005, 33(3): 321-325.
- [12] 徐祖信, 我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2005, 33(4): 482-488.
- [13] 伊元荣, 海米提, 依米提, 等. 乌鲁木齐市不同下垫面雨水径流水质特性分析[J]. 水土保持研究, 2010, 17(2): 247-251.
- [14] 陈光, 刘廷良, 孙宗光. 水体中 TOC 与 COD 相关性研究[J]. 中国环境监测, 2005, 21(5): 9-12.
- [15] 孙欢, 刘志强, 刘洪海, 等. 天津市某大学校园雨水利用探究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 288-292.
- [16] 何金兰, 钱国平, 秦志斌, 等. 路面径流污染处治技术的研究进展[J]. 环境科学与技术, 2010, 33(12): 430-439.

(上接第 64 页)

- [9] 李生, 任华东, 姚小华, 等. 典型石漠化地区不同植被类型地表水土流失特征研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(2): 1-6.
- [10] 尹辉, 蒋忠诚, 罗为群, 等. 西南岩溶区水土流失与石漠化动态评价研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 66-70.
- [11] 蒋忠诚, 曹建华, 杨德生, 等. 西南岩溶石漠化区水土流失现状与综合防治对策[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(1): 37-42.
- [12] 魏兴萍, 袁道先, 谢世友. 西南岩溶区水土流失与石漠化的变化关系研究: 以重庆南川岩溶区为例[J]. 中国岩溶, 2010, 29(1): 20-26.
- [13] 李晋, 熊康宁, 李晓娜. 中国南方喀斯特地区水土流失特殊性研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(23): 227-233.
- [14] 吕涛, 蓝安军. 喀斯特石漠化的遥感: GIS 典型研究: 以贵州省为例[M]. 北京: 地质出版社, 2002.

- [15] 陈起伟, 熊康宁, 蓝安军. 基于“3S”的贵州喀斯特石漠化现状及变化趋势分析[J]. 中国岩溶, 2007, 26(1): 37-42.
- [16] 李阳兵, 王世杰, 魏朝富, 等. 贵州省碳酸盐岩地区土壤允许流失量的空间分布[J]. 地球与环境, 2007, 34(4): 36-40.
- [17] 曹建华, 蒋忠诚, 杨德生, 等. 我国西南岩溶区土壤侵蚀强度分级标准研究[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(6): 1-7.
- [18] 李瑞玲, 王世杰, 熊康宁, 等. 喀斯特石漠化评价指标体系探讨: 以贵州省为例[J]. 热带地理, 2004, 24(2): 145-149.
- [19] 熊康宁, 李晋, 龙明忠. 典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J]. 地理学报, 2007, 26(1): 37-42.
- [20] 李晋, 熊康宁, 王仙攀. 喀斯特地区小流域地下水流失观测研究[J]. 中国水土保持, 2012(6): 38-40.