

涪陵地区农田径流污染输出负荷定量化研究*

陈西平 黄时达

(四川省环境保护科研监测所)

摘要 本文将降雨-径流-污染物输出视为一个系统,研究了山区地表径流污染物流失规律。在实现小区污染物输出模型化和定量化的基础上,外推建立了涪陵地区五种污染物的各次降雨冲刷预测方程。定量计算结果表明:涪陵地区年污染物流失模数为: BOD₅ 1666kg/km²; SS 188810kg/km²; COD 3216kg/km²; 总氮 1145kg/km²;总磷 117kg/km²。

关键词 涪陵地区;农田径流;各次降雨冲刷污染物预测方程。

涪陵地区是一个不封闭区域,在这样的区域用实测资料建立统计模型计算农田径流污染物输出量较为可靠。本研究则选择有代表性的小区农田径流实验场,通过对小区资料统计,外推计算涪陵地区农田径流输出负荷量。

一、自然地理概况

涪陵地区位于四川盆地东南边缘,东经 106°34'—108°13',北纬 28°46'—30°31'。全区辖涪陵,丰都,南川,武隆和垫江五县市。南北长 188km,东西宽 144km,幅员面积 12800.1km²。全区大部地区为山地,其中以低山为主,间有中山,地势起伏较大。

涪陵地区属亚热带湿润季风气候,平均气温 16.5—18.3℃,降雨量 1073.5—1180.6mm,多集中在 5—10 月,年平均相对湿度 78—82%。全区有耕地 2477.3km²,其中旱地占 60% 以上。地形坡度大,降雨时段集中,传统的耕作方式是造成该区土壤和污染物流失的主要原因。

二、材料和方法

在调查区内地形,坡度,降雨,植被和土壤类型分布的基础上,本研究在涪陵市荔枝乡选定了面积为 0.219km² 半封闭小区为径流观测实验场。为使实验场水量水质观测有较好的代表性,首先修整实验场边界,以保证观测区水量的可靠性。并在场内设置雨量计,在出水口用矩形堰观测径流量。

在实验场共取得 5 次降雨径流配套数据和 4 次降雨、径流、水质配套数据。出水口流量每 5 或 10min 观测一次。水质观测一般 30min 采一个水

样,当降雨历时较长时,适当延长采样时间间隔,每次必须采集降雨的全过程,四次降雨共采集水样品 56 个。径流水体中污染物测定方法一般按《环境分析方法》进行**。BOD₅ 用叠氮化钠修正的典量法;COD 用重铬酸钾法;SS 用重量法;总氮用重铬酸钾-硫酸消化法;总磷用钼蓝比色法。

根据径流实验场流量观测和污染物测定结果,用以下各式计算各次降雨的径流总量和污染物流失量。

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{q_i + q_{i+1}}{2} \Delta t \quad (1)$$

$$S_i = \sum_{j=1}^n \left(Q_j \frac{c_j + c_{j-1}}{2} \right) \quad (2)$$

$$Q_j = \frac{q_j + q_{j+1}}{2} \Delta t \quad (3)$$

式中, Q 为一次降雨径流总量 (m³); q_i, q_{i+1} 为 i 时刻和 $i+1$ 时刻的流量 (m³/s); Δt 为两次测流的时间间隔 (s); S_i 为一次降雨径流 i 污染物输出负荷量; c_j, c_{j+1} 为 j 时刻和 $j+1$ 时刻水样污染物浓度 (g/m³)。

通过小区实验场降雨、径流、水质同步观测,建立降雨-径流,径流-水质相关方程,并用实测数据验证其精度,用验证精度的水质水量相关方程模拟全年降雨量大于 10mm 降雨单位面积污染物输出量。根据模拟结果,找出污染物流失与降雨参数的最佳相关关系,建立研究区域降雨冲刷污染物预测方程,

* 李幼学,杨序同,廖仿明,张彤,钱骏,陈章华,曾超,盖克等同志参加了野外采样工作,在此一并致谢。

** 城乡建设环境保护部环境保护局环境监测分析方法编写组,环境监测分析方法,1983。

表 1 1989 年径流实验场各次降雨径流量计算结果

监测日期	5 月 22—23 日	6 月 3—4 日	6 月 14—15 日	6 月 27—28 日	7 月 8—9 日
降雨量 (mm)	20.5	64.0	45.8	39.6	33.5
径流量 (m ³)	2859.9	8972.2	6552.3	5299.7	5626.4
径流深 (mm)	13.0	40.8	29.8	24.1	25.6
径流系数	0.634	0.638	0.651	0.609	0.764

表 2 实验场 1989 年地面径流水质测定结果统计 (mg/L)

采样时间 污染物	5 月 22—23 日 1 次(16)*			6 月 3—4 日 2 次(15)			6 月 14—15 日 3 次(12)			6 月 27—28 日 4 次(13)		
	平均值	标准差	变异系数 (%)	平均值	标准差	变异系数 (%)	平均值	标准差	变异系数 (%)	平均值	标准差	变异系数 (%)
SS	73	72	98.63	381	59	15.49	863	668	77.40	273	217	79.49
BOD ₅	1.59	0.29	18.24	3.52	0.21	5.97	4.12	0.71	17.23	1.83	0.37	20.22
COD	3.14	0.10	3.18	5.34	0.82	15.36	6.65	1.81	27.22	4.54	0.75	16.52
T-N	1.41	0.20	14.18	1.82	0.30	16.48	2.22	0.38	17.12	2.29	0.29	12.66
T-P	0.024	0.024	100.00	0.237	0.167	70.46	0.154	0.138	89.66	0.122	0.051	41.80

* () 内为样品数

通过该方程计算涪陵地区农田径流污染物流失量。

三、结果与分析

1. 径流实验场降雨径流关系

由径流实验场取得 5 场降雨、径流观测数据,用式(1)计算各次降雨小区径流总量,其实验场 1989 年 5 次降雨量及每次径流总量计算结果见表 1。

回归分析表明,各次降雨总量与径流总量和径流深之间存在较好的线性关系:

$$R = 1.705 + 0.614p \quad r = 0.979 \quad (4)$$

$$Q = 374.365 + 134.90p \quad r = 0.980 \quad (5)$$

式中, R 为径流深 (mm); Q 为径流量 (m³); p 为降雨量 (mm)。

2. 径流实验场水质水量相关方程

径流实验场 4 次降雨全过程水质采样污染物监测结果(从略)用 Shapiro-Wilk 法进行正态假设检验,结果浓度概率分布多属正态分布。根据检验结果统计各次降雨污染物含量(表 2)。从表 2 可见,四次降雨径流污染物含量以第二、三次含量较高,第四次次之,第一次最低。各次降雨中 SS 和 T-P 含量变化较大,变异系数一般在 70% 以上; BOD₅、COD、T-N 在径流水体中变化较小,其变异系数一般均低 20%。

表 3 给出了第四次降雨径流中污染物两个相邻时段的浓度均值 $\left(\frac{c_i + c_{i-1}}{2}\right)$ 。该值反映了降雨径流

水体中污染物随时间变化的趋势,可见污染物含量一般以产流中间时段较高,首尾较低。除 SS 和 T-P 以外, BOD₅、COD 和 T-N 随时间变化浓度变化较小。

用式(2)计算各次降雨各污染物流失总量(第一、二、三次降雨污染物流失计算过程表从略),其中第四次降雨各污染物流失量计算过程见表 3。1—4 次降雨污染物流失总量计算结果见表 4。

将表 4 径流实验场各次降雨污染物流失量计算结果换算为单位面积污染物流失量,引入径流次雨流失模数和污染物流失模数,见表 5。用 $M_i = aQ_i^b$ 和 $M_i = a + b \ln Q_i$ (式中 M_i 为一次降雨 i 污染物流失量)关系进行曲线拟合和回归分析,得单位面积各次降雨污染物流失方程如表 6。

3. 涪陵地区各次降雨冲刷污染物预测方程

在验证单位面积污染物流失方程精度的基础上,用式(5)和表 6 回归方程推断 1988 年 4 月至 10 月各次降雨径流污染物负荷量,获得 22 次降雨污染物输出负荷量如表 7。

经相关分析,发现降雨历时,降雨量,最大雨强三个参数中,降雨量与污染物输出量有较好的相关关系,形式为: $q_i = ap_i^b$ 。

由此得涪陵地区各次降雨冲刷污染物流失方程:

$$q_{BOD_5} = 0.11487p_i^{1.7431} \quad (6)$$

$$q_{SS} = 26.4911p_i^{1.5648} \quad (7)$$

表 3 径流场第四次降雨污染物输出过程及总量计算 (89 年 6 月 27—28 日)

时 段 (时·分—时·分)	时段径 流量 Q_j (m^3)	$\frac{c_j + c_{j-1}}{2}$ (mg/L 或 g/ m^3)					$(Q_j \cdot \frac{c_j + c_{j-1}}{2})$ (kg)				
		SS	BOD ₅	COD	T-N	T-P	SS	BOD ₅	COD	T-N	T-P
27 日 3 时以前	12.00	74*	1.75	3.44	2.80	0.051	0.888	0.021	0.0413	0.0336	6.1×10^{-4}
3:00—3:25	40.35	80	1.625	3.44	2.73	0.056	3.228	0.0656	0.1388	0.1102	2.26×10^{-4}
3:25—4:30	194.85	166	1.775	4.12	2.59	0.075	32.345	0.3459	0.8028	0.5027	0.01461
4:30—5:40	391.95	334	2.00	5.175	2.45	0.128	130.911	0.7839	2.0283	0.9603	0.05017
5:40—7:00	516.30	526.5	2.125	5.40	2.42	0.117	271.832	1.0971	2.7880	1.2494	0.06041
7:00—9:00	811.80	645	2.25	5.40	2.52	0.133	523.611	1.8266	4.3837	2.0457	0.10797
9:00—11:00	745.20	574.5	2.325	5.29	2.355	0.192	428.117	1.7326	3.9421	1.7549	0.14308
11:00—14:00	805.20	398	2.225	5.03	2.115	0.176	320.470	1.7922	4.0517	1.7036	0.14177
14:00—17:00	571.50	290	1.825	5.285	2.12	0.168	165.735	1.0430	2.7346	1.2116	0.09601
17:00—21:00	519.30	216	1.75	4.595	2.105	0.154	112.169	0.9088	2.3862	1.0879	0.07997
21:00—28 日 2 时 30 分	384.30	126	1.675	4.31	2.085	0.127	48.422	0.6437	1.6563	0.8013	0.04881
2:30—6:40	202.20	72	1.35	3.953	2.03	0.099	14.558	0.2730	0.7957	0.4105	0.02002
6:40—10:40	104.40	51.5	1.30	3.86	1.93	0.091	5.377	0.1352	0.4030	0.2015	0.0095
总量	5299.7						2057.834	10.669	26.153	12.061	0.7755

* 第一时段前浓度不存在 $\frac{c_j + c_{j-1}}{2}$, 故用第一个样品测值乘时段径流量行污染物输出量。

表 4 实验场各次降雨污染物流失量计算结果 (kg)

日期 项目	5 月 22—23 日	6 月 3—4 日	6 月 14—15 日	6 月 27—28 日
SS	110.35	3827.43	2589.5	2057.834
BOD ₅	4.109	32.216	26.226	10.669
COD	8.883	52.933	51.495	26.153
T-N	4.083	21.338	13.722	12.061
T-P	0.084	2.628	0.701	0.7755

表 5 实测单位面积次雨径流量和污染物流失量

日期 项目	5 月 22—23 日	6 月 3—4 日	6 月 14—15 日	6 月 27—28 日
径流量 (m^3/km^2)	12999.5	40782.7	29783.2	24089.5
SS (kg/km^2)	501.591	17397.409	11770.454	9353.791
BOD ₅ (kg/km^2)	18.677	146.436	119.391	48.496
COD (kg/km^2)	40.377	240.605	234.068	118.877
T-N (kg/km^2)	18.559	96.991	62.373	54.823
T-P (kg/km^2)	0.382	11.945	3.186	3.525

表 6 径流模数与污染物流失模数相关方程

污染物	回 归 方 程	相关系数
SS	$M_{SS} = -137324.355 + 14533.645 \ln Q_i$	0.998
BOD ₅	$M_{BOD_5} = 2.7566 \times 10^{-7} Q_i^{1.902}$	0.974
COD	$M_{COD} = 5.4946 \times 10^{-6} Q_i^{1.6766}$	0.967
T-N	$M_{T-N} = 2.3023 \times 10^{-5} Q_i^{1.4416}$	0.991
T-P	$M_{T-P} = 4.9456 \times 10^{-13} Q_i^{2.8971}$	0.978

表 7 1988 年涪陵地区次雨污染物流失量计算

降雨时间 (月,日)	降雨历时 (h)	降雨量 (mm)	最大雨强 (mm/h)	污 染 物 流 失 量 (kg/km ²)				
				SS	BOD ₅	COD	T-N	T-P
4,6	29	31.7	4.7	7421.96	46.48	97.96	39.52	1.68
4,11	21	12.7	4.0		10.14	25.61	12.47	0.17
4,21	11	30.3	6.9	6818.65	42.95	91.38	37.22	1.49
4,27	16	26.1	4.3	4850.29	33.20	72.82	30.62	1.01
5,5	7	14.4	4.8		12.36	30.48	14.48	0.22
5,7	13	46.4	16.0	12584.43	91.34	177.69	65.94	4.70
5,18	18	69.4	7.5	18160.77	189.50	338.08	114.64	14.29
5,21	9	52.2	7.4	14205.51	122.93	214.23	77.44	6.50
5,30	22	42.4	5.2	11353.52	77.75	154.17	58.36	3.68
6,11	9	39.7	11.6	10456.03	69.14	139.01	53.39	3.08
6,18	24	41.6	2.5	11088.78	75.11	149.54	56.85	3.49
6,21	12	27.9	5.2	5725.60	37.23	82.31	33.40	1.20
6,27	22	38.9	6.8	10180.16	66.68	134.66	51.95	2.91
7,25	7	15.6	10.6		14.04	34.10	15.95	0.27
7,28	16	22.1	6.0	2678.11	24.98	56.68	24.69	0.65
8,19	6	30.6	10.7	6954.11	43.72	92.82	37.73	1.53
8,25	10	13.5	3.0		11.16	27.86	13.40	0.19
9,2	20	118.0	40.2	25641.93	504.45	801.28	240.75	63.52
9,7	15	20.0	3.9	1394.46	21.12	48.88	21.74	0.51
9,13	14	62.1	4.1	16610.53	154.71	282.72	98.30	10.49
10,5	13	27.5	3.0	5531.24	36.29	78.77	32.76	1.15
10,17	20	20.6	3.1	1804.75	22.28	51.25	22.64	0.55

$$q_{COD} = 0.5253 p_i^{1.5263} \quad (8)$$

$$q_{T-N} = 0.41796 p_i^{1.321} \quad (9)$$

$$q_{T-P} = 0.0001805 p_i^{2.6939} \quad (10)$$

式中, p 为一次降雨量 (mm); q_{BOD_5} , q_{SS} , q_{COD} , q_{T-N} , q_{T-P} 为一次降雨 BOD₅、SS、COD、T-N、T-P 单位面积负荷量 (kg/km²).

依据预测方程(6),(7),(8),(9),(10),可根据气象预报降雨量预测各次降雨农田径流污染物流失量.

4. 涪陵地区污染物流失模数

利用涪陵地区气象站降雨资料,将全年各次降

雨量值逐次代入各次降雨冲刷预测方程(6)~(10)式,求得涪陵地区全年单位面积污染物流失量如表 8.

根据各污染物的流失模数和涪陵地区幅员面积 (12800.1km²) 可计全区各污染物的年流失总量.

四、讨论与结语

1. 径流实验场代表性

径流实验场是否有较好的代表性直接影响研究结果的准确性. 本研究实验场为 0.219km²,场内大

表 8 涪陵地区单位面积污染物流失量

污染物	流失模数 (kg/km ²)
BOD ₅	1666
SS	188810
COD	3216
T-N	1145
T-P	116.8

于 25 度的坡地占实验场总面积的 20.2%, 全区大于 25 度的坡地为 2274.7 km², 占总幅员面积的 17.8%。场内紫色土和黄壤土分别占实验场面积的 40.7% 和 33.1%, 全区紫色土和黄壤土分别占总幅员面积的 45% 和 30%。径流实验场水田 5.75 × 10³ km², 占总耕地面积的 42%, 旱地占 58%, 全区有水田 948.7 km², 占全区耕地的 38.3%, 旱地占 61.7%。小区实验场夏季农作物种植面积, 耕作方式和单位面积化肥使用量与全区比例基本相等。实验场选择有较好的代表性。

2. 污染物流失模数相关方程的精度

用实测值验证单位面积 SS、BOD₅、COD、T-N、T-P 流失方程的精确度, 验证结果表明: BOD₅ 最大百分偏差在 ±25% 左右, SS 不超过 ±30%, COD, T-N, T-P 的百分偏差均低于 ±25% (表略)。证明单位面积污染物流失方程有较高的精度。

自 70 年代以来, 国内外对农田径流污染都进行了研究^[1-4]。但在国内, 如何计算完全不封闭区域的农田径流污染物输出负荷还在探索之中。随着农业生产的发展, 农村径流污染对受纳水体的影响已越来越严重。为加强环境管理, 区域性农田径流污染输出负荷量已成为环境管理部门所关注的问题。本文建立的涪陵地区各次降雨冲刷污染物预测方程, 可通过气象预报降雨量预测污染物流失量, 为环境管理提供了较为可靠的信息。

参 考 文 献

- [1] 王昕皓, 中国环境科学, 5(5), 63(1985).
- [2] 朱 萱等, 环境科学, 6(5), 6(1985).
- [3] 陈西平, 四川环境, 5(3), 47(1986).
- [4] Girffin, D. M., J. WPCF., 52(4), 780 (1980).

(收稿日期: 1990 年 7 月 17 日)

应用沉积学原理评价太子河支流 主要重金属污染及潜在生态危害

贾振邦 邓宝山 王清平 黄汉辉

黄雅裕 刘庚胥 郑明子

(北京大学地理学系)

(鞍山市环保研究所)

摘要 本论文根据重金属环境化学行为的特点, 应用沉积学原理, 对南沙河、运粮河、杨柳河主要重金属污染状况进行了研究; 并在国内首次采用瑞典国家环境保护局乌普萨拉水质实验室的 Lars Håkanson 指数法对重金属的潜在生态危害进行了评价研究。经过几年的调查研究与测试, 发现工业硫酸中含有较多的汞, 这是今后研究水体污染必须重视的一个问题。

关键词 沉积学; 重金属; 污染; 生态危害指数。

鞍山是我国重要的钢铁城市。地形总趋势为东南高、西北低。境内有大小河流 17 条, 大部分由东向西汇入太子河。其中南沙河、运粮河、杨柳河接纳全市总废水量的 88.7%。为了查明重金属对河流的影响, 对主要排污口及主要监测断面的河流底质进行系统采样, 分析了 Hg、Cd、Pb、Cu、Zn、Cr 6 种重金属元素的总量和不同的地球化学相 (化学形态), 并取本地区清洁区摩云山的表层土壤为对

照。

一、实验部分

1. 布点与采样

在南沙河、运粮河、杨柳河、太子河沿岸所有的排污口及监测断面上均布设了采样点。(见图 1)。

为反映当前污染状况, 采沉积物表层 0—5cm 厚的样品, 在室温条件下风干、研碎。为使各样品的测

Key Words: anaerobic biological treatment, wastewater containing sulfate, sulfate-reducing bacteria.

Activity Level and Distribution of ^{137}Cs in Ground Surface of Anhui Province. Zhang Qin-wen, Lin Chao, Chen Ying-qiang, Tan Fu-wen (Changsha Uranium Geological Research Institute, Changsha): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(2), 1991, pp. 72—74

The sampling points were distributed evenly all over Anhui Province where 222 samples of surface soil were collected and their activities of ^{137}Cs determined. The results showed that an average activity of ^{137}Cs is 5.56 Bq/kg in the province. The activity levels in southern mountainous areas are higher than those in northern plain. Its high value belt runs basically from northwest to southeast. It tends to be higher along both sides of the mountains.

Key Words: cesium-137, activity level, ground surface.

Quantitation of Pollutant Transfer by Farmland Runoff in Fuling Area. Chen Xi-ping, Huang Shi-da (Sichuan Provincial Research & Monitoring Institute of Environmental Protection, Chengdu): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(3), 1991, pp. 75—79

By taking rainfall-runoff-pollutants as a system, the overall situation of pollutant loss of surface runoff in the Fuling mountainous area has been studied. Based on modelling and quantifying pollutants run off in the sub-areas, the predictive equations of five pollutants washed away in Fuling area are established by extrapolation. The results of quantitative calculation show that the moduli of annual pollutant loss in the area are as follows. BOD_5 1666kg/km², SS 188810 kg/km², COD 3216kg/km², total nitrogen 1145kg/km² and total phosphorus 117kg/km².

Key Words: quantitation of pollutant transfer, runoff, farmland, predictive equation.

Application of Sedimentological Principle to Appraisal of Heavy Metal Pollution and Potential Ecological Risk in the Affluents of the Taizihe River, Northeast China. Jia Zhengbang et al. (Department of Geography, Peking University, Beijing); Huan Ya-yu et al. (Anshan Municipal Research Institute of Environmental Protection): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(2), 1991, pp. 79—84.

Based on the principle of sedimentology and the

environmental behavior characteristics of heavy metals, this paper reports heavy metal pollution in the main affluents of the main affluents of the Taizihe River, namely, the Nanshahe River, Yunlianghe River and Yangliuhe River in Liaoning Province. In the research, the potential ecological risk index presented by Lars Hakanson of Upsala Water Quality Laboratory, Swedish National Environmental Protection Board, was first applied to assess potential ecological impact of heavy metals in China. This research reveals that industrial sulphuric acid contains fairly high content of mercury, which may be an important source of water pollution. So this source must be taken into account for further study on water pollution.

Key Words: water pollution, sedimentology, heavy metals, ecological risk index.

Appraisal on Several Forecasting Methods of Atmospheric Environment. Cheng Shui-yuan (Department of Environmental Engineering, Hebei Institute of Light Industry and Chemical Engineering, Shijiazhuang): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(3), 1991, pp. 85—87

In this paper, the average concentrations of SO_2 which is typical pollutant in the atmosphere for a longtime, have been calculated with different diffusion models and methods acting to routine meteorologic data in Shijiazhuang City and the height of mixing layer over the city. By comparing calculated values of the concentrations with monitored air concentrations, their errors were analyzed and every kinds of calculating methods were appraised. Finally the characteristics and feasibility of these calculating methods in forecasting atmospheric environment have also been discussed.

Key Words: Gaussian diffusion models, box diffusion models, integral average quantity method T check method.

Botanical Nutrients Running off from Paddy Fields and the Suitable Control Measures. Wu Bing-fang (Institute of Geography, Academia Sinica, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(3), 1991, pp. 88—91

The botanical nutrients running off from paddy fields occupy a dominant part in the agricultural non-point pollution loading. The analysis of running ways is the key to suitable control measures for reducing botanical nutrient loss from paddy fields. The ways of nutrient loss are rainfall run-off and irrigating return-flow, and the nutrient concentrations are dependent on soil types, crop growing and fertilizing etc. The best way for controlling the loss is to improve the methods of cultivation.

Key Words: botanical nutrient, paddy field, control method.