

对三种阳离子金属具有明显的降毒效应,对 As 降毒不明显。试验证明粘土矿物及其组成是影响土壤重金属毒性的最基本因素。无定形氧化锰对 Cu、Cd、Pb 的降毒能力大于无定形氧化铁,而对 As 的效应二者则相反。不同吸附剂对阳离子金属显示基本相同的降毒顺序为炉烟灰>活性炭>泥炭>干活性污泥。不同配比吸附剂对红壤添加性 Cu、Cd、Pb 和东乡铜矿污染土壤均具有明显的降毒作用,其中碳酸钙、泥炭+碳酸钙对红壤添加性重金属和东乡铜矿污染土降毒作用特别显著,它们的土浸液毒性均被消除。水稻幼苗效应表明,随添加吸附剂对东乡铜矿污染土毒性的降解,也消除或减轻了其对水稻种芽的急性毒害。

试验所获结果,可能为重金属污染红壤,尤其江西铜矿污染土壤的改良和调控提供理论依据。

参 考 文 献

- [1] 顾宗灏,环境科学,4(5),30(1983).
- [2] 朱月珍,环境化学,1(5),359(1982).
- [3] 朱月珍,土壤学报,22(4),390(1985).
- [4] 陈家坊等,环境化学,7(2),8(1988).
- [5] 武玫玲等,环境化学,2(1),61(1983).
- [6] 陈其蓉等,环境科学学报,8(4),411(1988).
- [7] 顾宗灏等,土壤学报,24(4),318(1987).
- [8] 吴留松等,土壤,19(3),145(1987).
- [9] 周密等,环境容量,第7页,东北师范大学出版社,长春,1987年.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所主编,中国土壤,第258页,科学出版社,北京,1978年.
- [11] Ellitt H. A. 等,土壤学进展,16(6),38(1988).
- [12] 于天仁等,土壤化学原理,第152页,科学出版社,北京,1987年.
- [13] Bulich, A. A and Isenerg, D. L., *ISA transactions* 20(1), 30(1981).
- [14] Tchan, Y T. et. al., *Soil. Biol. Biochem.*, 7, 30 (1974).
- [15] Bulich, A. A., *Process Biochem.*, 17, 45(1982).

(收稿日期:1990年10月16日)

街道地表物的累积与污染特征

——以成都市为例

施 为 光

(四川省环保科研所)

摘要 本文研究了成都市区 74km² 范围内地表物的累积规律和污染特征。结果表明,街道地表物累积受土地用途影响;地表有机物受人类活动的影响;重金属受城市交通的影响。粒径分布研究发现街道地表物小于 360μm 的微粒占 70%,且各种污染物主要吸附于细小的微粒上。使用地表污染物边坎累积模型计算了街道地表物和各种污染物的累积量。成都市区每天累积地表物达 111 吨, BOD₅ 达 78kg, COD 达 411kg, 克氏氮 6kg 和总磷 2kg。

关键词 城市径流污染, 街道地表物, 模型, 成都。

城市降雨径流污染与大气沉降、土地利用、降雨过程、交通强度、地表覆盖和清扫方式等许多因素有关。由于街道地表物累积的复杂性和随机性,对其监测、评价与研究都存在较多的困难。本文在成都市区 74km² 内对街道地表物的采样布点方法、累积规律、粒径

分布和污染特征等问题进行了研究,旨在探索我国城市降雨径流污染研究中污染源调查方法和实际应用的可行性。

一、样品采集与分析

1. 街道地表物的采集

1972 年以来,人们根据美国 Sartor 等人的研究成果^[1],采集街道地表物。近年来,国外研究者提出城市街道地表物 80% 聚集在离街道边坎 15 cm 的范围内,95% 聚集在 1m 的范围内,因此应以边坎长度定面积采样更为恰当^[2]。为探索样品采集方法,在旱季(4 月)选择成都市两条主要街道作样品采样方法实验点(图 1)。远离清扫时间,在两实验点各采集 10 组样品(每天采样一组)。统计结果表明,成都市街道离边坎 1m 范围地表物占总量的 90% 以上。因此,选用离边坎距离计算面积的方式进行成都街道地表物采样。

在成都市区 74km² 范围内按工业区、居民区、商业区和交通繁华区四种土地使用类型,大至按 3.5km² 布一个采样点,共布 21 个采样点。在可能引起地表物冲刷的暴雨期(6 月 5 日至 9 月 15 日)进行 100 天固定面积、固定时间(远离清扫时间)的连续采样。样品用毛刷清扫,每天每个点采集一个样品,所有采样点均采集 80 多个样品。

2. 样品分析

选取不同功能区共 9 个采样点的地表物样品,用加罩电极(CE)发射光谱法作金分析,共分析出 37 个金属元素。

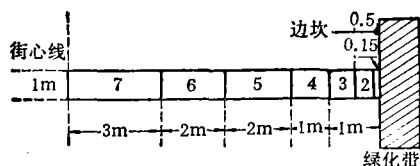


图 1 采样试验点示意图

地表物和分级地表物(金属筛分级)样品中的 pH 用玻璃电极法; COD 用重铬酸钾法; BOD₅ 用培养法; NH₃-N 用纳氏比色法; NO₃-N 用酚二磺酸法; NO₂-N 用 N-1 萘-乙二胺比色法; 克氏氮(KN)用重铬酸钾-硫酸消化法; 总磷(T-P)用钼兰比色法; 有机碳用重铬酸钾法。除金属样品外,样品分

析时均按质控要求进行分析质量控制。

二、结果分析与讨论

1. 街道地表物特征

(1) 累积受土地用途影响显著 连续 100 天采样统计结果(表 1)表明,不同土地用途累积结果差异较大,顺序为工业区>居民区>交通区>商业区。最大值与最小值之间相差 100 倍左右,这显示了城市街道地表物累积过程的复杂性和随机性。

表 1 成都市街道地表物累积 (g/m·d)

土地使用类型	最小值 (Min)	最大值 (Max)	平均值 ($\bar{x}$)	标准差 (s)
工业区	7.7	349.4	41.7	39.9
居民区	1.5	567.8	38.4	48.4
商业区	2.6	235.2	20.2	21.0
交通区	3.3	359.1	36.7	37.1

离街道边坎宽 1m 处采样

(2) 有机物含量受人类活动影响 街道地表污染物含量分析结果(表 2)表明有机污染物含量较高,KN 一般高出 NH₃-N 1 倍以上,特别是居民区 KN 高出 NH₃-N 3 倍左右,反映了街道地表物中有机氮含量很高的特征。人为活动强烈的区域如商业区、居民区的 T-P 比其他区域含量更高。

(3) 重金属污染受交通影响 地表物样品中共测出 37 种金属元素,从中选出 12 种元素与成都土壤背景值比较(表 3),可以发现 Cu、Pb、Zn、Ni、Cr、Mn 6 种元素明显偏高。受交通影响的 Cu、Pb、Zn 3 种元素在交通区偏高特别显著。

2. 地表物粒径分级研究

(1) 粒径分布 对街道地表物用于筛进行粒径分级研究的结果(表 4)表明,成都市街道地表物中粒径小于 360 μm 的微尘占 70% 左右,大于 560 μm 的粗沙颗粒占 15%,大于 2000 μm 的粗颗粒物占 3.25%。美国研究者得出街道垃圾大多数是粗颗粒的,大约相当于沙子和砾石的粒径^[3],其中大于

表 2 成都市街道地表污染物含量 (ppm)

项 目	工 业 区				居 民 区				商 业 区				交 通 繁 华 区			
	Min	Max	$\bar{x}$	s	Min	Max	$\bar{x}$	s	Min	Max	$\bar{x}$	s	Min	Max	$\bar{x}$	s
PH	8.03	9.97	9.42	0.49	8.30	9.42	9.00	0.41	7.72	9.43	8.44	1.31	8.07	10.82	9.04	0.57
COD	1306	8850	3971	1721	1097	5671	3151	1225	2023	9360	4952	2226	1929	9087	4064	1650
BOD ₅	152	3293	743	743	41	2041	740	658	32	2399	876	756	21	1983	582	448
NH ₃ -N	9.64	68.45	27.18	11.57	0.681	74.05	26.48	18.86	10.76	140.69	39.61	31.84	12.61	93.09	38.99	36.01
KN	20.5	223.2	74.81	51.99	7.08	284.3	79.89	87.84	12.10	304.77	70.62	66.61	13.80	190.2	61.55	48.21
NO ₃ -N	3.7	12.0	7.46	2.10	8.0	310.0	42.20	94.18	5.8	360.0	36.23	88.88	5.0	410	37.31	84.69
NO ₂ -N	0.40	6.10	2.07	1.51	0.40	2.10	1.15	0.61	0.30	5.25	1.08	1.18	0.10	4.80	1.36	1.32
T-P	2.27	39.08	13.12	9.23	4.93	36.73	18.74	9.90	2.37	49.96	22.03	15.58	3.52	96.03	16.04	14.82
有机碳(%)			3.73	0.39			2.39	0.31			4.01	0.59			3.17	0.68

表 3 街道地表物金属元素含量 (ppm)

功 能 区	元 素		Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	Co	Mn	Sn	Hg	Cd	Ag	Sb
工业区			135	275	270	110	127	13.0	650	56.0	0.02	0.62	3.8	4.7
居民区			119	85.0	340	47.0	85.0	8.6	570	15.0	0.14	0.48	2.1	1.4
商业区			118	88.0	220	40.0	126	7.8	630	8.1	0.09	0.37	0.70	0.81
交通区			132	124.0	310	47.8	82.7	8.0	607	13.8	0.22	0.54	0.57	1.9
平均值			126	143	285	61.2	105	9.4	614	23.2	0.12	0.51	1.8	2.2
成都土壤背景值			28.4	23.1	79.7	27.3	69.5	12.8	270.7	—	0.111	0.16	—	—

2000 μm 的粗颗粒物占 24.4%。成都市街道地表物粒径分级结果与此相反, 细尘占大多数, 且小于 560 μm 的微尘占 85% 以上。不同功能区地表物的粒径分布累积曲线 (图 2) 表明, 不同功能区的地表物也是细尘占大多数, 且工业区, 居民区, 交通区呈大致相似的曲线。

交通风引起街道地表物微粒运动的状态大致有 3 种^[3]: 表面滚动 (粒径为 500 μm —1000 μm), 跳跃 (50 μm —500 μm), 悬浮物 ($\phi < 100 \mu\text{m}$)。由表 4 可知, 成都市街道地表物中表面滚动的颗粒大约占 10%, 跳跃的微粒大约占 85%。交通风引起的表面滚动和跳跃运动的微粒移动到街道两旁聚集起来, 被雨水冲刷到受纳水体。这样, 从微观上决定了城市降雨径流污染主要是由粒径为 50 μm —1000 μm 的细尘引起。

表 4 成都市街道地表物粒径分布

筛网目数及粒径 (μm)	粒径代号	平均值 (%)	标准差 (s)
>325 <43	1	6.85	3.59
325—220 43—65	2	7.51	2.29
220—140 65—104	3	6.49	2.61
140—100 104—150	4	18.83	2.76
100—80 150—200	5	14.78	2.27
80—50 200—360	6	15.27	1.50
50—32 360—560	7	15.05	4.57
32—18 560—1000	8	8.41	2.19
18—10 1000—2000	9	3.57	1.31
<10 >2000	10	3.25	1.56

(2) 污染物主要吸附于微尘上 街道地表物粒径分级样品的分析化验结果 (表 5) 表明, 除有机碳在不同粒径范围含量分布大致均匀外, BOD₅, 总氮 (T-N), 总磷 (T-P) 都是随地表物粒径变小而含量增大, 且粒径最小的微尘含量最大。美国的统计资料表明^[3], 小于 104 μm 的微粒在街道地表物中占 16.6%, 可是 BOD₅ 和总磷的负荷确可占到 41.6% 和 85.8%。成都市街道地表物小于 104 μm 的微粒占 20.9%, 而 BOD₅、总氮和总磷

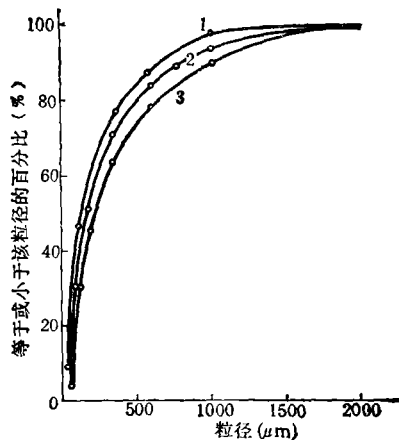


图 2 街道地表物粒径分布累积曲线

1. 工业区 2. 交通区 3. 居民区

表 5 街道地表物不同粒径范围的污染物浓度 (ppm)

筛网目数及粒径 (μm)	有机碳 (%)	BOD ₅	T-N	T-P
>325 <43	6.34	317.12	288	43.42
325—220 43—65	5.15	283.94	290	42.93
220—140 65—104	5.19	314.87	211	34.82
140—100 104—150	3.91	279.12	192	28.41
100—80 150—200	3.18	225.98	120	13.30
80—50 200—360	2.60	250.80	96	10.74
<50 >360	4.16	133.06	84	8.86

的负荷也分别达到 30.4%, 38.5% 和 44.1%。两者对比, 成都市的负荷与美国的较相似。图 3 表明, 成都市街道地表污染物在 150 μm 粒径上有一个明显的峰值, 它说明了在此粒径分布附近地表污染物负荷最大

从以上分析, 可以得出城市街道地表污染物主要吸附于微尘上的结论, 它与国外研

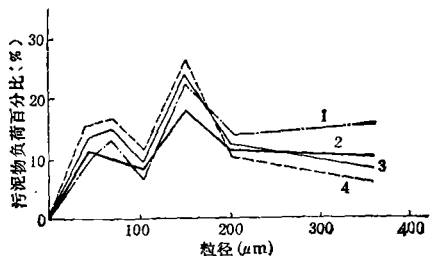


图 3 地表污染物在不同粒径范围的负荷分布

1. BOD₅ 2. 有机碳 3. T-N 4. T-P

究者的结论相符。

三、街道地表污染物的累积

1. 累积模型

城市街道地表污染物的累积是一个高度随机性的非线性过程。迄今为止还没有一个公认的数学模型能够精确地描述这个复杂的过程。也未见我国对这方面系统研究的报道。本文根据成都市的情况,尝试采用国外在类似气候、地理条件下,使用得较为成功的模型——街道地表污染物边坎累积模型^[2],计算成都市街道地表污染物的累积量。模型为:

$$P = A[1 - \exp(-Et)]/E \quad (1)$$

$$A = (1/2)W(C_1 + L) + C_2 \times F \times R \quad (2)$$

$$E = 0.0116(V_1 + V_2)\exp(0.088h) \quad (3)$$

式中, P 为街道地表污染物到下次清扫时的总累积量 (g/m); A 为单位边坎长度污染物聚积速率 ($\text{g}/\text{m} \cdot \text{d}$); E 为通风和自然风所引起的散失系数 ($1/\text{d}$); t 为街道清扫间隔时间 (d); W 为街道宽度 (m); C_1 为大气降尘率 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$); L 为地表污染物在单位面积上的聚积速率 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$); C_2 为交通车辆散发污染物的速率 ($\text{g}/\text{km} \cdot \text{辆}$); F 为交通流量 (千辆/ d); R 为道路状况系数; V_1 为交通速度 (km/h); V_2 为自然风速 (km/h); h 为街道边坎高度 (cm)。

2. 污染物累积量的计算

使用(1)式原则上可计算街道地表的各种污染物如 N 、 P 、 Pb 、 Zn 等的累积量。但计算这些污染物累积量时确定方程的参数是较为困难的。国外经验表明,使用(1)式计算地表物的累计量能取得与实测值较为符合的结果。所以本文首先用模型计算出地表物的累积量,再根据实测含量确定污染物的累积总量。

有关统计资料表明成都市街道边坎高 20cm ; 大气降尘实测平均值为 $0.407\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$; 交通速度为 $40\text{km}/\text{h}$; 交通流量为 2 千辆/ d 。

未见我国交通车辆散发污染物速率的研究报道,我们选用国外的测试值, C_2 为 $1.15\text{g}/\text{辆} \cdot \text{km}$ 。 L 可由街道地表物边坎长度的累积率(表 1)换算成街道单位面积的聚积速率值。道路状况系数在大城市一般选为 1 计算,即 R 为 1.0 。成都市街道每天清扫一次,即清扫间隔时间为一天,则 t 为 1d 。

把以上参数初值代入(1)式,计算成都市街道地表物的累积总量,可得出各种土地使用类型的累积值为: $P_{\text{工}} = 43.92\text{g}/\text{m}$; $P_{\text{居}} = 40.75\text{g}/\text{m}$; $P_{\text{商}} = 23.41\text{g}/\text{m}$; $P_{\text{交}} = 39.15\text{g}/\text{m}$ 。

研究的成都市区街道总面积为 8.04km^2 , 换算成道路总长度为 $1.413 \times 10^6\text{m}$ 。按边坎计算长度为 $2.826 \times 10^6\text{m}$ 。成都市各功能区街道所占比例为: 工业区 20% , 居民区 40% , 商业区 10% , 交通区 30% 。据此可计算出各功能区街道地表物日累积量分别为: $M_{\text{工}} = 24.82\text{t}$; $M_{\text{居}} = 46.06\text{t}$; $M_{\text{商}} = 6.62\text{t}$; $M_{\text{交}} = 33.19\text{t}$ 。成都市区每天累积地表物 111 吨。每年累积地表物 40403.7 吨。以上计算的日累积量与成都市环卫部门近几年来统计的街道垃圾日清扫量相符合。这说明,边坎累积模型可用于我国城市街道地表物累积量的计算。

由污染物 BOD_5 、 COD 、 K-N 、 T-P 的实测浓度值和地表物的日累积量可计算出各污染物在不同功能区的累积负荷量。计算结果(表 6)表明,成都市不仅每天累积地表物 111 吨,而且含有大量的有机物和 N 、 P 元素,这是造成市区河流污染不可忽视的因素。成都市水污染防治规划中应统一全面地考虑

表 6 成都市街道地表污染物日累积量 (kg/d)

土地使用 类型	BOD_5	COD	KN	T-P
工业区	18.44	98.59	1.99	0.349
居民区	34.10	145.14	1.31	0.928
商业区	5.79	32.76	0.53	0.164
交通区	19.32	134.88	2.21	0.574
合 计	77.65	411.37	6.04	2.015

城市街道地表污染物的影响和防治问题。

四、结 语

1. 我国大多数城市街道每天机械清扫一次,这给街道地表物的采样调查增加了难度。本文采用 3.5 km^2 范围设置一个地表物采样点和暴雨期连续 100 天的采样,可从空间上和时间上保证地表物采样的代表性和可靠性。

2. 采用沿街道边坎长度定面积采集街道地表物的方法比雨水井口长度定面积采样的方法,更直观更简单。实践证明此方法可行。

3. 本文采用街道地表污染物边坎累积模型,计算成都市街道地表物累积量,由污染物实测值推算街道各种污染物含量是一种有益的尝试。理论计算值与实测统计值相符,证明了此模型可用于我国街道地表物累积量的计

算。

4. 成都市街道地表物主要由小于 $560 \mu\text{m}$ 的微尘组成。BOD₅, 总氮、总磷等主要污染物都是随粒径变小而含量增大。可见研究城市径流污染时应特别注意小粒径地表物的危害和动向。

致谢 本工作得到了王华东、顾永祚、高荣松教授、夏青、林芳荣高级工程师的指导,谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] Sartor, J. D., *J. Water Pollution Control Federation*, **46**(3), 458(1974).
- [2] Novotny, et al., *Handbook of Nonpoint Pollution, Sources and Management*, pp. 313—347, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1981.

(收稿日期: 1990 年 7 月 29 日)

(上接第61页)

靠性。

TM 数码 μP 测尘仪只有一台,无法对其进行进一步的误差分析。从现场标定的情况看,在测点无烟雾的情况下,它的显示结果是相当稳定的。

四、结 束 语

通过这次对光学测尘仪的现场实际标定,得出了仪器读数对现场具体粉尘的质量浓度转换系数,克服了实验室标准粒子标定法的局限性。同时,用呼吸性粉尘采样器标定光学测尘仪(测定呼吸性粉尘)比用总粉尘采样器标定,方法更合理,所得数据更接近现场实际情况。

最后值得指出的是,由于光学测尘仪对

不同性质粉尘的散射光量不同,当被测粉尘的性质发生变化时,需重新求取转换系数 K 值。

参 考 文 献

- [1] 国家标准局,作业场所空气中粉尘测定方法, GB 5748-85, 第 2 页,中国标准出版社,1985 年。
- [2] 中国预防医学中心卫生研究所,大气污染监测方法,第 888—914 页,化学工业出版社,1984 年。
- [3] National Academy of Sciences, National Research Council, *Measurement and Control of Respirable Dust in Mines*, pp. 401—405, Washington, D. C., 1980.
- [4] Johnson C. J. and Bise C. J., *Mining Engineering*, **41**(8), 854(1989).
- [5] Roepke, W. W. *Mining Engineering*, **36**(6), 836(1984).

(收稿日期: 1990 年 5 月 28 日)

Biochemical Mineralization of Polyvinyl Alcohol (PVA) and Its Natural Degradation. Luo Ji-dan, Lin Shao-ning (China Textile University, Shanghai): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(3), 1991, pp. 2—6

The primary intent of this work is to explore biochemical degradability of PVA in natural water and soil, where it will be mineralized and the matter structure transformed. It is showed in the experiments that mineralization rate of PVA was as high as 50—70% through microbial conversion, in which macromolecules were decomposed to be low molecular inorganics. The results demonstrate that PVA will not accumulate in natural water or soil, and PVA wastewater can be treated by biochemical method.

Key Words: polyvinyl alcohol, mineralization rate, microbial degradation.

Anaerobic Sludge Granulation in a UASB Reactor Treating Protein-containing Wastewater. Liu Shuang-jiang, Hu Ji-cui, Gu Xia-sheng (Department of Environmental Engineering, Tsinghua University, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(3), 1991, pp. 7—12

This paper describes the results of culturing anaerobic granular sludge in a UASB reactor treating protein-containing wastewater. It was showed that granular sludge formed in the reactor when the sludge loading rate was above 0.67 kg/kg VSS·d and pH of effluent was in the range of 7.2—7.5, the propionate in the effluent was below 300 mg/L. It was found by microbiological analyses that only when a variety of bacteria (fermentative bacteria, propionate degraders, butyrate degraders, acetoclastic methanogens and formate/H₂+CO₂ methanogens) had got a proper number and in appropriate proportion, did the sludge granulate. After granular sludge matured, its components were relatively stable. Compared with the seed sludge, the catabolic activity of granular sludge was much higher due to the increase of bacteria in the granular sludge.

Key Words: UASB reactor, anaerobic granular sludge, methanogenesis.

Factors Affecting Biological Toxicity of Heavy Metals in Soils and Their Regulation. Wu Liu-song, Gu Zong-lian, Xie Si-qin, Zhou Dezhi (Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(3), 1991, pp. 12—18

The detoxifying effects of soil types, clay minerals, amorphous metal oxides and adsorbents on heavy metal solution and heavy-metal-polluted soils were determined

in terms of a photobacteria approach. Red earths and latosols had a negative effect on the toxicity reduction of Cu, Cd and Pb, but an evident reducing effect of them was found on the toxicity of As. Black soil and yellow brown earths had an obvious reducing effect on the toxicity of the cationic metals in the experiments, but they had no notable reducing effect on the toxicity of As. Experimental results showed that clay minerals and their composition were the most fundamental factors affecting the toxicity of heavy metals in soils. Amorphous manganese oxides were proved to have a greater detoxication on the cationic metals than amorphous iron oxides, but their effects on As were quite contrary. The effects of different adsorbents on the detoxication of Cu, Cd and Pb were found in the following order: furnace dust > active carbon > peat > dry activated sludge. All applied adsorbents in different proportions were found to be significant in detoxifying the cationic metals added into red earth and soil polluted by Dongxiang copper ores. The acute poison symptoms of rice shoots in the ore-polluted soils were eliminated or alleviated with the adsorbents having been applied.

Key Words: biological toxicity, heavy metal, soil, detoxication.

Sediment on the Urban Street: Accumulation and Characteristics. Shi Wei-guang (Sichuan Provincial Research Institute of Environmental Protection, Chengdu): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(3), 1991, pp. 18—23

The main purpose of this paper is to research accumulation and characteristics of the street surface sediment in an area of 74 km² of Chengdu City, the Capital of Sichuan Province. The results showed that the way of land use affected accumulation of sediment, in which organic pollutants come from human activities and heavy metals in it derived from vehicular traffic. It has been found that the diameters of particles below 360 μm took 70% in the sediment and various pollutants adsorbed on them. By modelling the sediment accumulation near the street curbs, the calculated data are as follows: 111 tons per day of sediment on the streets, COD 412 kg/d, BOD 78 kg/d, K-nitrogen 6 kg/d and total phosphorus 2 kg/d. The data are agreeable to the actual situation.

Key Words: street surface sediment, accumulation, modelling.

Study on the Efficiency of Separating Surface-active Substances by Foam. Chen Xue-ming, Wang De-hui, He Li-min (Zhejiang University, Hanzhou); T. E. Carleson (Idaho University, USA): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(3), 1991, pp. 24—26