

表 7 福建省土壤若干元素溶解迁移指数 (DTI)

| 元 素                    | Zn   | V    | Cr  | Pb  | Cu  | Ni  | Co  | As  | Se   | Hg    | Cd    |
|------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|
| 迁移指数 $DTI \times 10^3$ | 19.7 | 18.6 | 9.8 | 8.5 | 5.1 | 3.2 | 1.8 | 1.4 | 0.13 | 0.019 | 0.013 |

$DTI = \text{某元素背景值} / \text{Ti 元素背景值}$

种。7 种元素含量在土壤剖面 A、B、C 3 层中分布特征见图 2。A 层为表土层,或称腐殖质层、淋溶层等; B 层为心土层或淀积层; C 层为底土层或母质岩层。一般在 0—120 cm 深度内采 A、B、C 3 层样品。

由于水稻土受水耕施肥熟化及氧化还原条件变化等影响,在 B 层 Cu 增大, Zn 减少; Ni、F 和 Co 在 C 层积累,而 Mn 从表土层向心土层明显增大,但 Se 变化趋向相反,这可能与水稻对 Mn 的需要量较大有关。

赤红壤区,气温较高,地表蒸发较强烈,质地较轻,雨季水力作用渗透淋溶较强,表层元素含量往往较低, B、C 层变化平缓,唯有 Se 随深度增加明显积累,这与 Se 元素地球化学行为较强烈地受控于环境中有机质含量和土壤结构指数有关。

红壤剖面中,除 Zn 含量变化不大, Se 含量随深度增加而降低外,其余元素含量均随土壤深度的增加而逐渐增大,其规律比较一致,这与 Ni、Mn、Cu 和 Co 之间地球化学行为较相近有关。

黄壤区气候潮湿,淋溶强烈,除 Se 表层积累, Ni 变化平缓外,其它元素含量均在表层被淋失,而向心土层逐渐积累增大。

#### 4. 土壤资源合理开发利用建议

(1) 从福建省土壤若干元素溶解迁移指数 (DTI) (见表 7) 可以看出,矿产资源开采过程,如不注意综合利用,必将引起相关元素的流失及其对土壤环境的污染。其流失程度:  $Zn > V > Cr > Pb > Cu > Ni > Co > As$ ;

Se、Hg、Cd 相对不易流失。

(2) 当土壤  $pH < 6$  时,植物对元素的摄取率随 pH 值升高而增加。福建省土壤 pH 值为 4.7,因此在培养真菌过程中,要特别注意土壤(或培养基)中 Hg、Cd 的污染;另一方面,努力改善条件,利用我省酸性土壤和 Se 元素背景值较高的特点,提高食用菌内 Se 元素含量,生产硒蘑菇、木耳、供缺硒地区作食物治疗之用。

(3) 由于福建省土壤中 Mo 元素背景值较高,建议设立专题进行研究,开发土壤中 Mo 元素在种植业中应用价值。据报导福建省未经发酵的茶中 Se 含量为  $n \times 10^{-10}$  ppb,相当于美国西红柿中 Se 含量(干样为 36 ppb),建议有关部门对食用作物进行 Se 含量的普查,进一步挖掘我省土壤中 Se 含量较高的潜在价值。

(4) 调查研究结果表明,福州、泉州、漳州平原地带农业开发区,由于历史上使用农药的原因,土壤中 Hg 含量相对较高,应禁止使用如西力生、赛力散等残毒高的农药。

致谢 参加工作的主要成员还有林子新、陈秀珍、倪源锟、黄建东和王隆发等同志,一并致谢。

#### 参 考 文 献

- 1 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 329—492

## 乌鲁木齐地区河、库、污水中重金属的化学形态与污染特征

陈喜保 章 申 唐以剑

(中国科学院地理研究所, 北京 100101)

**摘要** 水体中重金属元素的生态效应和运动规律与其存在的形态密切相关。本文研究了该地区主要水系乌鲁木齐河中下游、头屯河、水磨河及位于四宫的乌市排污水中重金属 Cd、Zn、Pb 和 Cu 的物理化学形态及其分布特征。应用 UV 照射分离有机物, ASV 法测定, 获 4 元素的总量、悬浮颗粒态、溶解态及溶解态中不稳定态、稳定无机态和稳定有机态的含量。并对这些形态的形成、分配比和分布进行了分析讨论。

**关键词** 化学形态, 重金属污染, 背景值。

许多资料说明水质中重金属的生态效应和迁移能力主要取决于它的存在形态。

乌鲁木齐地区(以下简称乌区)的工业废水及生活污水主要排放到乌市以北的局部水域或农田中作灌溉用,人均排放量为  $70.0\text{m}^3/\text{人}\cdot\text{年}$ 。为了摸清水体污染状况,科学评价水质,以及合理开发利用水资源,本工作研究了该区受污染的河库水,排污及较清洁的背景点水中重金属元素 Cd、Zn、Pb、Cu 的含量水平及物理化学形态的分布特征。

## 一、研究方法

### (一) 采样

根据污水排放情况,选择具有代表性、典型性的断面布点,同时还选了二个较清洁样点作背景点,共计 14 个样点(图 1)。采样时间为 1987 年 8 月中下旬。采样方法见参考文献 [1]。

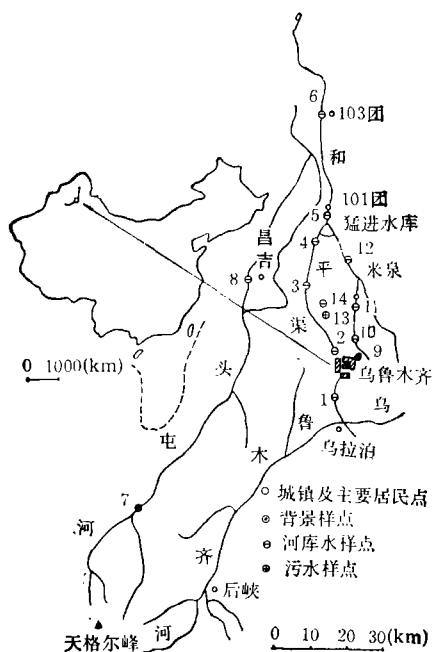


图 1 采样点位置

### (二) 分析

本文将重金属溶解态分为不稳定态 (MALi) 和稳定态 (MALb)。不稳定态包括游离(或水合)金属离子,不稳定的无机、有机吸附络合物,它在一定电化学条件下有电活性,能用阳极溶出伏安法(以下简称 ASV 法)直接测定。据文献报道,这部分是重金属中生物效应高的组分<sup>[1]</sup>,常常表现出较高的毒性。稳定态又分为无机 (MAb) 和有机态 (MLb) 二种,它们均无电活性,生物效应也较低。但水样在紫外光照射下,待有机物被破坏后稳定有机态金属即释放出来,显示出电活性。基于上述各形态的不同化学行为,采用

的分析步骤为:① 先用 ASV 法直接测出水样中元素的不稳定态 (MALi);② 水样用 500W 紫外灯照射 3 小时后马上用 ASV 法测量,获得元素的不稳定态与稳定有机态之和 (MALi + MLb);③ 将酸化的原水和过滤水样分别用  $\text{HNO}_3$  (高纯)- $\text{HClO}_4$  (优级)消化,再用 ASV 法测出元素总量 ( $M_t$ ) 和溶解态含量 ( $M_s$ );④ 用上述测得的数值分别计算出下列三种形态的含量,悬浮颗粒态  $M_p = M_t - M_s$ ,稳定有机态  $\text{MLb} = (\text{MALi} + \text{MLb}) - \text{MALi}$ ,稳定无机态  $\text{MAb} = M_s - (\text{MALi} + \text{MLb})$ 。测定的具体条件见参考文献 [1]。

## 二、结果和讨论

### (一) 重金属的含量水平

乌区河、库、污水及背景点水中 4 元素的含量 ( $M_t$ 、 $M_p$ 、 $M_s$ ) 分布见图 2。各水体中元素总量水平及其与背景值的比较列于表 1。

#### 1. 元素总量 ( $M_t$ ) 的分布

从图 2 和表 1 看出,乌河中下游与头屯河昌吉段河水中重金属总量高于背景河段,但差距均不太大,约为背景河段的 2—4 倍,污染较严重的是水磨河(沟)和四宫排污。水磨河接纳了从该河至卡子湾和朱泉县工业区排放的大量各种工业废水。四宫排污点汇集了乌市排出的各种污水。该二处水中重金属总量明显升高,尤其是 10、11 样点, Pb、Cu 总量大约  $25\mu\text{g/L}$ ,为背景区的十至数十倍, Pb 超过国家地面水一级标准, Cu 超过二级标准,四宫污水中 Zn 超过三级标准的 3.5 倍。但大部分重金属结合在悬浮颗粒物上,易沉入水底或被土壤吸附,因而对污水流经地区附近的地下水没有很大影响。例如靠近四宫的 14 号地下水中 Cd 和 Zn 浓度与乌河背景河段处于同一水平,而 Pb、Cu 总量还低于它。水磨河下游的 12 号塔桥湾库水中重金属总量也已明显下降到正常水平。

#### 2. 悬浮颗粒态 ( $M_p$ ) 的分布

乌区各类型水中重金属悬浮颗粒态含量占总量之比如表 2 所示。可以看出:① 清洁水 (7 号、9 号、14 号) 中重金属主要呈溶解态存在;② 乌河中下游、水磨河及四宫污水中 Zn、Pb、Cu 主要以悬浮颗粒态存在,特别是元素总量高的 10、11、13 号样点,悬浮颗粒态占有比高达 75—98%,这种存在形态对净化水质起了重要作用;③ Cd 在不同类型水体中都主要以溶解态存在,一般溶解态 Cd 易随水流迁移到下游,但从水磨河上游至下游河段看, Cd 的溶解态含量在逐渐减少,说明它还是得到较大程度净化,这可能是由于在河水流动过程中 Cd 离子不断被悬浮颗粒物吸附后沉降所致。

#### 3. 溶解态 ( $M_s$ ) 的分布

该区域不同水域中重金属溶解态的含量较低,变

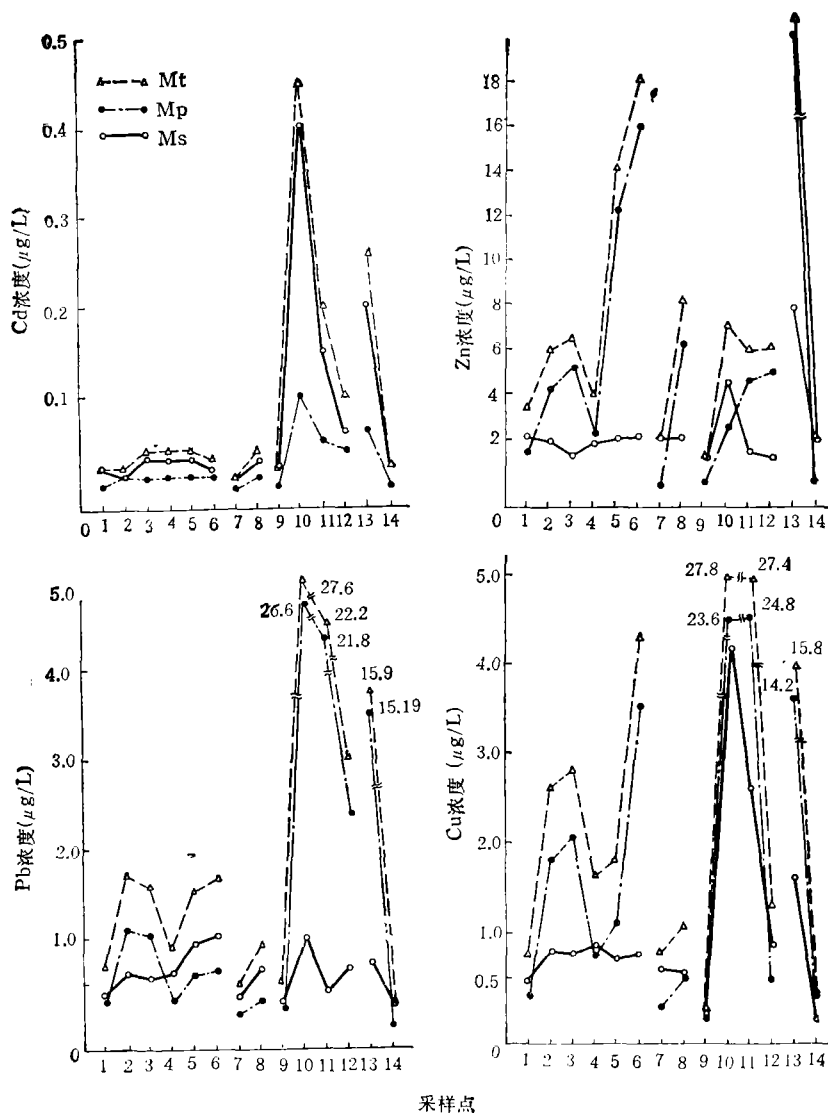


图2 乌区河、库、污水中 Cd、Zn、Pb、Cu 的总量 ( $M_t$ )、悬浮颗粒态含量 ( $M_p$ ) 和溶解态含量 ( $M_s$ ) 的分布

1,2,3,4,5,6. 乌河采样点 7,8. 头屯河采样点 9,10,11,12. 水磨河采样点 13, 14. 四宫污水和四宫地下水采样点

表1 乌区河、库、污水和其他清洁水中  $M_t$  比较 ( $\mu\text{g/L}$ )

| 元素 | 水域           |                 | 头屯河  |              | 水磨河  |                            | 乌区北部         |               | 背景水域                    |                              |                    |
|----|--------------|-----------------|------|--------------|------|----------------------------|--------------|---------------|-------------------------|------------------------------|--------------------|
|    | 中下游(乌拉泊水库以下) | 上游背景区(望峰—乌拉泊水库) | 昌吉州段 | 庙尔沟(背景点, 7号) | 河库水  | 泉水 <sup>1)</sup> (背景点, 9号) | 排污水(四宫, 13号) | 地下水(四宫比, 14号) | 长江源(头河流 <sup>2)</sup> ) | 湘江上游(湘漓分派—归阳) <sup>11)</sup> | 世界未污染淡水            |
| Cd | 0.032        | 0.017           | 0.04 | 0.01         | 0.27 | 0.02                       | 0.26         | 0.02          | 0.067                   | 0.047                        |                    |
| Zn | 8.70         | 2.0             | 8.2  | 2.0          | 6.4  | 1.2                        | 451          | 2.0           | 4.0                     | 7.2                          | 8.0 <sup>13)</sup> |
| Pb | 1.35         | 0.57            | 0.94 | 0.47         | 17.6 | 0.52                       | 15.9         | 0.28          | 1.88                    | 0.84                         | 0.6 <sup>13)</sup> |
| Cu | 2.31         | 1.17            | 1.04 | 0.75         | 18.8 | 0.15                       | 15.8         | 0.32          | 1.28                    | 0.88                         | 1.0 <sup>14)</sup> |

1) 为水磨河的补给源

2) 长江水系水环境背景值成因研究专题组, “长江水系水体环境背景值形成与影响因素的研究”。

表 2 乌区各类水中  $M_p$  占  $M_i$  之比 (%)

| 元素 | 水域 | 乌河中下游 | 头屯河<br>(昌吉州段) | 水磨河  | 污水<br>(四宫) | 地下水<br>(四宫北) | 背景点        |           |
|----|----|-------|---------------|------|------------|--------------|------------|-----------|
|    |    |       |               |      |            |              | 头屯河<br>庙尔河 | 水磨河<br>泉水 |
| Cd |    | 26.4  | 25.6          | 28.3 | 23.1       | 0            | 0          | 0         |
| Zn |    | 70.1  | 75.6          | 65.2 | 98.3       | 5.0          | 0          | 8.3       |
| Pb |    | 48.0  | 31.9          | 91.2 | 95.5       | 3.6          | 29.8       | 46.2      |
| Cu |    | 62.2  | 47.1          | 70.6 | 89.9       | 6.2          | 24.0       | 33.3      |

表 3 乌区河、库、污水和其他清洁水中  $M_i$  的比较 ( $\mu\text{g/L}$ )

| 元素 | 水域 | 乌鲁木齐河                |                             | 头屯河      |                      | 水磨河  |                     | 乌区北部                 |                      | 背景水域       |                                          |                                |
|----|----|----------------------|-----------------------------|----------|----------------------|------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|------------------------------------------|--------------------------------|
|    |    | 中下游<br>(乌拉泊<br>水库以下) | 上游背<br>景区(望<br>峰—乌拉<br>泊水库) | 昌吉<br>州段 | 庙尔沟<br>(背景点,<br>7 号) | 河库水  | 泉水<br>(背景点,<br>9 号) | 排污水<br>(四宫,<br>13 号) | 地下水<br>四宫北,<br>14 号) | 长江源<br>头河流 | 湘江上游<br>(湘湖分<br>派—归<br>阳) <sup>(1)</sup> | 世界未<br>污染<br>淡水 <sup>(2)</sup> |
| Cd |    | 0.023                | 0.017                       | 0.03     | 0.01                 | 0.20 | 0.02                | 0.20                 | 0.02                 | 0.017      | 0.03                                     | 0.02 <sup>(4)</sup>            |
| Zn |    | 1.83                 | 1.74                        | 2.0      | 2.0                  | 2.33 | 1.10                | 7.8                  | 1.9                  | 1.4        | 5.4                                      | 1.8                            |
| Pb |    | 0.68                 | 0.39                        | 0.64     | 0.33                 | 0.67 | 0.28                | 0.71                 | 0.27                 | 0.19       | 0.46                                     | 0.2                            |
| Cu |    | 0.72                 | 0.71                        | 0.55     | 0.57                 | 2.53 | 0.10                | 1.60                 | 0.30                 | 0.76       | 0.48                                     | 0.4                            |

表 4 乌区河、库、污水的物理化学参数及 Cd、Zn、Pb、Cu 的  $M_p$  占  $M_i$  之比

| 水域                    | 编号 | 采样点       | pH   | DOC<br>(mg/L) | IS<br>(g/L) | Cd<br>(%) | Zn<br>(%) | Pb<br>(%) | Cu<br>(%) |
|-----------------------|----|-----------|------|---------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 乌鲁木齐河<br>(和平渠)<br>中下游 | 1  | 乌拉泊水库下    | 8.5  | 3.2           | 0.171       | 0         | 41.2      | 47.8      | 40.0      |
|                       | 2  | 和平渠供电局桥下  | 9.2  | 4.8           | 0.236       | 50.0      | 70.0      | 64.7      | 69.2      |
|                       | 3  | 和平渠宣仁墩    | 9.2  | 2.8           | 0.275       | 25.0      | 80.0      | 65.0      | 73.2      |
|                       | 4  | 和平渠高家湖    | 8.6  | 3.6           | 0.377       | 25.0      | 55.0      | 33.3      | 46.9      |
|                       | 5  | 101 团     | 8.35 | 7.2           | 0.374       | 25.0      | 85.9      | 39.0      | 61.1      |
|                       | 6  | 103 团     | 8.35 | 2.8           | 0.363       | 33.3      | 88.4      | 38.1      | 82.6      |
| 头屯河                   | 7  | 庙尔沟(背景点)  |      |               | 0.1985      | 0         | 0         | 29.8      | 24.0      |
|                       | 8  | 昌吉州       | 8.6  | 6.8           | 0.206       | 25.0      | 75.6      | 31.9      | 47.1      |
| 水磨河                   | 9  | 泉水(背景点)   | 7.5  | 2.4           | 0.993       | 0         | 8.3       | 46.2      | 33.3      |
|                       | 10 | 苇湖梁下红光公社  | 8.0  | 11.4          | 1.486       | 20.0      | 35.2      | 96.4      | 85.0      |
|                       | 11 | 米泉十三户     | 8.5  | 6.8           | 1.697       | 25.0      | 78.3      | 98.3      | 90.5      |
|                       | 12 | 塔桥湾水库     | 9.2  | 7.3           | 1.308       | 40.0      | 82.0      | 79.0      | 36.2      |
| 污水                    | 13 | 四宫苗圃乌市排污水 | 7.6  | 20.8          | 1.344       | 23.1      | 98.3      | 95.5      | 89.9      |
|                       | 14 | 四宫北地下水    | 7.8  |               | 0.546       | 0         | 5.0       | 3.6       | 6.2       |

幅小。乌河中下游与头屯河昌吉州河段水中的元素含量已接近背景值水平(表 3), 四宫污水(13 号样点)与水磨河水中的 Pb 含量也接近背景点的含量水平, 但其余元素仍高于和略高于背景点, 特别是 Cd, 平均约为背景值的 10 倍。

(二) 4 元素溶解态中不稳定态 (MALi)、稳定无机 (MAb) 和稳定有机态 (MLb) 的分布

将各水体的 pH 值、溶解有机碳 (DOC) 和无机盐 (IS) 的含量及 4 元素的  $M_p$  占  $M_i$  之百分比列于表 4。4 元素的形态分配列于表 5。由于受地形南高北低、气候干旱等自然地理条件的影响, 河水中 IS 含量由南往北逐渐增加, 又由于各河水的主要补给源不同和受污染程度不同, 如乌河和头屯河主要补给靠冰雪融水, 只受轻度污染, 而水磨河补给源主要是泉水, 污染也较严

表 5 乌区河、库、污水中  $M_i$  ( $\mu\text{g/L}$ ) 及其三种形态的比例(%)

| 水域   |         | 乌鲁木齐河中下游(和平渠) |          |        |        |      |      | 头屯河      |      | 水磨河     |          |       |       | 污水           | 地下水  |
|------|---------|---------------|----------|--------|--------|------|------|----------|------|---------|----------|-------|-------|--------------|------|
| 编号   |         | 1             | 2        | 3      | 4      | 5    | 6    | 7        | 8    | 9       | 10       | 11    | 12    | 13           | 14   |
| 元素   | 形态      | 乌拉泊水库下        | 和平渠供电局桥下 | 和平渠宣仁墩 | 和平渠高家湖 | 101团 | 103团 | 庙尔沟(背景点) | 昌吉州  | 泉水(背景点) | 苇湖梁下红光公社 | 米泉十三户 | 塔桥湾水库 | 四官苗圃乌鲁木齐市排污水 | 四官北  |
|      | $M_s$   | 0.02          | 0.01     | 0.03   | 0.03   | 0.03 | 0.02 | 0.01     | 0.03 | 0.02    | 0.4      | 0.15  | 0.06  | 0.2          | 0.02 |
|      | $MAL_1$ | 100           | 100      | 33.3   | 33.3   | 33.3 | 50.0 | 100      | 66.7 | 50.0    | 75.0     | 0     | 0     | 0            | 100  |
|      | $MAB$   | 0             | 0        | 66.7   | 66.7   | 66.7 | 50.0 | 0        | 0    | 50.0    | 0        | 66.7  | 66.7  | 50.0         | 0    |
| $Cd$ | $MLb$   | 0             | 0        | 0      | 0      | 0    | 0    | 0        | 33.3 | 0       | 25.0     | 33.3  | 33.3  | 50.0         | 0    |
|      | $M_s$   | 2.0           | 1.8      | 1.3    | 1.8    | 2.0  | 2.1  | 2.0      | 2.0  | 1.1     | 4.6      | 1.3   | 1.1   | 7.8          | 1.9  |
|      | $MAL_1$ | 75.0          | 66.7     | 15.4   | 22.2   | 10.0 | 14.3 | 100      | 0    | 90.9    | 8.7      | 0     | 0     | 44.9         | 100  |
|      | $MAB$   | 20.0          | 22.2     | 69.2   | 66.7   | 75.0 | 71.4 | 0        | 90.0 | 9.1     | 87.0     | 61.5  | 72.7  | 35.9         | 0    |
| $Zn$ | $MLb$   | 5.0           | 11.1     | 15.4   | 11.1   | 15.0 | 14.3 | 0        | 10.0 | 0       | 4.4      | 38.5  | 27.3  | 19.2         | 0    |
|      | $M_s$   | 0.35          | 0.60     | 0.56   | 0.60   | 0.94 | 1.04 | 0.33     | 0.64 | 0.28    | 1.0      | 0.38  | 0.63  | 0.71         | 0.27 |
|      | $MAL_1$ | 54.3          | 41.7     | 28.6   | 30.0   | 26.6 | 23.1 | 45.4     | 31.2 | 53.6    | 22.0     | 7.9   | 39.7  | 18.3         | 55.6 |
|      | $MAB$   | 37.1          | 28.3     | 53.6   | 50.0   | 46.8 | 57.7 | 39.4     | 50.0 | 28.6    | 38.0     | 47.4  | 28.6  | 35.2         | 25.9 |
| $Pb$ | $MLb$   | 8.6           | 30.0     | 17.9   | 20.0   | 26.6 | 19.2 | 15.2     | 18.8 | 17.9    | 40.0     | 44.7  | 31.8  | 46.5         | 18.5 |
|      | $M_s$   | 0.45          | 0.80     | 0.75   | 0.85   | 0.70 | 0.75 | 0.57     | 0.55 | 0.10    | 4.16     | 2.6   | 0.83  | 1.60         | 0.30 |
|      | $MAL_1$ | 33.3          | 43.8     | 33.3   | 29.4   | 35.7 | 40.0 | 17.5     | 0    | 30.0    | 55.3     | 61.5  | 36.1  | 0            | 66.7 |
|      | $MAB$   | 11.1          | 6.2      | 13.3   | 5.9    | 7.1  | 13.3 | 29.8     | 9.1  | 30.0    | 3.8      | 3.9   | 3.6   | 38.8         | 16.7 |
| $Cu$ | $MLb$   | 55.6          | 50.0     | 53.3   | 64.7   | 57.1 | 46.7 | 52.6     | 90.9 | 40.0    | 40.9     | 34.6  | 60.2  | 61.2         | 16.7 |

重,故水中 DOC 和 IS 含量明显高于乌河和头屯河。

### 1. 镉

在较清洁的水(1、2、7、9、14号样点)中,Cd 主要呈不稳定态(MALi)存在,该形态平均占  $M_i$  的90%。按 Cd 的水解性质及对  $Cl^-$  有较强的络合能力,可推测这些水体中 Cd 的 MALi 主要有 Cd 的羟基络离子  $CdOH^+$  和游离或水合离子  $Cd^{2+}$ 、 $Cd(H_2O)_2^{2+}$ ,而9号泉水中,  $[Cl^-]$  达  $4mmol/L$ ,足可形成  $CdCl^+$ 。但在其他河、库、污水中,随着无机、有机组分含量和种类不同程度的增加,Cd 的络合、吸附过程有一定增强,故它的 MALi 占有比随之减少,乌河中减少到约 1/3,头屯河中约 2/3,水磨河中减少最多,大部分样点减至零。它们经转化,主要以稳定无机态(MAb)存在。DOC 含量高的样点,部分生成稳定有机态(MLb)。唯红光公社(10号样点)河水中 DOC 达  $11.4mg/L$ ,Cd 的  $M_i$   $0.4\mu g/L$ ,高于其它点,但 MALi 仍占 75% 之多,稳定有机态较少(25%),这可能与该点  $M_p$  % 低(20%),与 Cd 对有机物络合能力弱有关,Cd 主要形成了不稳定的有机络合物。

### 2. 锌

在较清洁水(7、9、14号样点)中,不稳定态(MALi)占绝对优势,其含量占溶解态 Zn 的 90—100%。在乌河中游(1、2样点),Zn 的不稳定态占有比(MALi %)也较高,但随无机盐含量(IS)的增加逐渐减少,而稳定无机态占有比(MAb %)却逐渐增高,且 MAb (%)与 IS 之间有显著相关性,相关系数  $r=0.8778$ ,  $P<0.05$ ,  $MAb=263.24 IS-24.71$ 。MAb 的均值为 54%。水磨河中 IS 含量高于乌河,Zn 的 MALi % 接近零,MAb 约为 74%。Zn 的 MALi 与 MAb 二种形态的分配受该水中 IS 一定影响。此外,它还受 pH 的重要影响,pH 7—7.5 时开始水解,生成  $ZnOH^+$  离子,而 pH 8—10 时,稳定的  $Zn(OH)_2$  占优势。对照表 4、5,MALi 占优势的大部分样点,水的 pH 值在 8 以下。四官污水(13样点)中虽 IS 含量较高,但 pH 值在 8 以下,故 MALi 仍占主要地位。而头屯河昌吉州段(8号样点)IS 含量较低,但 pH 值在 8.5—9.0 范围,MALi 为零,主要呈 MAb 存在。另外,Zn 的  $M_p$  (%)对 MALi 的分布也有一定影响,一般  $M_p$  (%)低的样点,其 MALi (%)都较高。在所研究的水体中,MALi (%)与  $M_p$  (%)之间呈良好负相关, $r=-0.7670$ ,  $P<0.01$ ,而 MAb (%)与  $M_p$  (%)之间有一定正相关, $r=0.6666$ ,  $P<0.01$ 。很明显,Zn 的 MAb 为 Zn 与无机组分(包括  $OH^-$ )的稳定络合和络合吸附在无机溶胶颗粒上。Zn 也有少部分形成稳定有机态(MLb),其占有比大小为:水磨河>乌河≈头屯河,这主要与 DOC 含量与组成有关。

### 3. 铅

各水域中三种形态均存在。在较清洁水体(1、7、

9、14样点)中,MALi 占优势,其含量占  $M_i$  的 52%。在乌河水(1—6样点)中,MAbi 占有比随 IS 的增加而逐渐下降,平均值约为 34%,主要形态为 MAb,约占  $M_i$  的 46%。头屯河水(7—8样点)中 Pb 的主要形态同样为 MAb,占有比近 45%。水磨河与四官污水(10—13样点)中,由于 DOC 含量较高,Pb 的 MLb 为 41%,略高于 MAb (37%)。在这些水体中,Pb 的形态分配同上述元素一样受到 pH、IS 和  $M_p$  (%)的影响,反映在乌河水(1—6样点)中,Pb 的 MALi 与 IS 间呈负相关, $r=-0.8975$ ,  $P<0.05$ 。但由于 Pb 的吸附性较强,所以总体看受  $M_p$  (%)的影响较明显。因为 Pb 可结合在粒径小于  $0.45\mu m$  的悬浮颗粒上,减少了 MALi 的分量,故一般  $M_p$  (%)高的样点,MALi (%)较低,MALi (%)与  $M_p$  (%)之间呈显著负相关,相关系数  $r=-0.6110$ ,  $P<0.05$ 。Pb 的化合物在 pH 大于 6 时开始水解,生成  $PbOH^+$ ,pH 8.5 时  $PbOH^+$  占优势,当 pH 9—10 才形成不溶的  $Pb(OH)_2$ ,据此估计 Pb 的 MALi 主要为  $PbOH^+$ 。乌河中下游与头屯河水中  $HCO_3^-$  浓度较高,Pb 除吸附在溶胶微粒上外,还可能形成  $Pb_2(OH)_2CO_3$  络合物。从 MALi (%)看,乌河中下游和头屯河均高于长江干流水(10—15%),这可能是由于本区干旱等自然因素的影响,水体中无机胶体发育条件差, $M_p$  (%)低于长江水造成的。

### 4. 铜

其原子结构决定了它对有机等配位体有较强的络合能力,许多天然水与受污染水体中,Cu 主要呈有机结合态存在<sup>[6,7]</sup>,在本区水体中,Cu 的存在形态同样具有这种特征。在所研究的大部分样点水中,稳定有机态(MLb)均占优势,14个样点水中,MLb 约占  $M_i$  的 52%,其中头屯河、乌河中下游和水磨河分别约占 72、55、44%。MLb 占有比值受 DOC 含量及组成的影响,表示在  $\frac{MLb}{MAb}$  与  $\frac{DOC}{PIC}$  之间有良好的正相

关关系(见图 3)。仅次于 MLb 的是不稳定态(MALi),它是 Cu 的生物有效态,在乌河中下游,平均占 36%,水磨河中较高,约占 48%,尤其在红光公社(10号)和米泉十三户(11号)比例达 60% 左右,都明显高于乌河上游背景河段(<10%)。其原因可能是这些河水中溶解无机盐(IS)含量不同,乌河上游、中下游和水磨河中 IS 含量分别约为 0.2、0.3、1.37 mg/L,10 与 11 样点较高,分别接近 1.5、1.7 mg/L。实验证明,无机盐的增加会减小 Cu 与有机物结合的可能。另外,该二点 Cu 的  $M_i$  较高,Cu 有随含量增加而转变为不稳定态的趋势<sup>[11]</sup>。综上所述,水体中 DOC、IS 对 Cu 的形态起着重要影响,这可说明头屯河昌吉州段(8号)水中 MALi 为零,MLb % 高达 91% 的主要原因是由于 IS 低,DOC 含量高且络合性较强所造成。四官污

水(13号)非常混浊,悬浮颗粒态浓度高,Cu完全被络合、吸附,故MALi也为零。

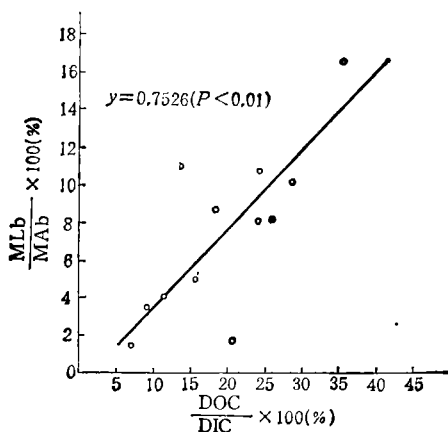


图3 乌区水体中Cu的MLb/MAb与水中DOC/DIC的关系

如上所述,元素存在形态随环境条件的变化而转化,在这些环境条件中,本区水中的1S对Cd、Zn、Pb三元素和Cu元素MALi的形成起了相反的影响。

### 三、小 结

1. 所得结果说明乌河中下游和头屯河受重金属污染较轻,4元素的总量约为背景河段的2—4倍,溶解态含量接近国内外的背景值。而水磨河与四官排污水则受重金属污染较重,Pb、Cu和Zn总量分别超过国家地面水一、二、三级标准,但它们主要呈悬浮颗粒态,溶解态含量较低,接近背景值范围。仅Cd主要以溶解

态存在,其含量为背景值的10倍左右。

2. 本区河水组分复杂,对元素存在形态有较大影响。Cd、Zn和Pb在较清洁水体中主要呈MALi存在,其占有比顺序为: Cd≈Zn(约90%)>Pb(约52%)。但随着水中无机、有机组分的增加,络合和吸附过程增强,致使MALi(%)逐渐降低,Cd和Zn转化为主要呈MAb存在,而Pb在乌鲁木齐河中下游与头屯河水中同样转变为以MAb存在为主,但在水磨河与四官污水中,MLb分量略高于MAb,  $\frac{MLb}{MAb} =$

1.1。对于Cu,绝大部分样点,MLb占优势,且MLb/MAb与DOC/DIC之间有良好的相关性,但其MALi尚占M,相当高的比例,它的分布为:水磨河(48%)>乌鲁木齐河中下游(36%)>头屯河(8%)。这种分配比的变化主要与无机盐的影响及本身浓度有关。

3. 不同水体中元素存在形态分配比例的变化在一定程度上反映了本区干旱等自然环境与污染影响特征。

### 参 考 文 献

- 1 喜陈保,章申. 环境科学学报. 1986,6(2): 131
- 2 Florence T M. *The Analyst*. 1986, 111(5): 489
- 3 A A 别乌斯;朱颜明等译. 环境地球化学. 北京: 科学出版社, 1982: 128
- 4 Salomons W, Forsner U. *Metals in the Hydrocycle*. Berlin: Springer-Verlag, 1984: 160
- 5 Florence T M, Batley G E. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 1980, 9(3): 219
- 6 Stiff M J. *Water Res.* 1971, 5(8): 585
- 7 Mantoura R F C et al.. *Estuarine Coastal Mar. Sci.* 1978, 6(4): 387

## 望虞河环境生物质量评价与渔业关系

赵利华 姚根娣 曹正光 黄晋彪

(上海市水产研究所, 上海 200433)

**提要** 望虞河为太湖流域引水、泄洪综合治理骨干工程之一,贯通江苏省东太湖与长江,全长60.8km。穿越苏州、无锡、常熟经济发达区,受流域性经济发达区所伴随的热污染和有机污染影响。1986年9月至10月在全河流共完成18个点的浮游植物、浮游动物、透明度调查,并勘察和收集高等水生植物、蚌类、增殖、捕捞、拦网养规模、渔业经济等有关样品和资料。全河流被明显地分成三个不同富营养型河段,其中重、中的二个富营养型河段渔业发达且受益,但在夏季的中富营养型西河段,水温超越38℃已成为渔业危险期和危险区。工程可改善富营养化程度和环境质量,但在渔业上依赖浮游生物为主的渔业产品结构可被高质高值的品种所替换。

**关键词** 望虞河,生物学评价,渔业。

10 mine dust samples. AFB<sub>1</sub> and 15 fungal extracts. The results showed that 10 (100%) mine dust, AFB<sub>1</sub> and 5(33.3%) fungal extracts significantly increased the frequency of micronucleated cells in *vicia faba* root tips with a clear dose-effect relationship suggesting that these samples had mutagenic activity and the relevant environmental factors might be responsible for the incidence of lung cancer in the mine area and liver cancer in Fu-shui county. Thus micronucleus test in *vicia faba* root tips proved to be an effective method in the research of environmental mutagens.

**Key words:** *vicia faba* root tips, micronucleus, mine dust, fungal extracts, mutagenicity.

**Study on a Long Life BOD Microbial Sensor.** Sun Yusheng, Liu Xianmei et al. (Hebei Institute of Chemical Technology and Light Industry, Shijiazhuang 010050): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp.59—63  
A microbial sensor consisting of thin membrane which was prepared by using *Bacillus cereus* cells (isolated from active sludge) immobilized in synthetic polymers and oxygen electrode combined with the sensor were used for the estimation of BOD. The lifetime of the sensor was determined to be more than 16 months. A linear relationship was observed between the relative current decrease and the level of BOD of the standard solution (GGA) in a range of 5—60mg/L. The response time of the biosensor is less than 8 minutes and the average relative error is 1% when an environmental standard sample was used to test the sensor, BOD values determined with the sensor were identical to those determined with the conventional method for the same water samples.

**Key words:** BOD sensor, BOD electrode, microbial sensor.

**Determination of Nitrate-N and Nitrite-N in Surface Water by Highly Sensitive Spectrophotometric Method.** Qiu Xingchu, Zhu Yingquan, (Environmental Science Research Institute of Ganzhou Prefecture, Ganzhou 341000, Jiangxi Province), Li Cui-sheng (Forestry Science Research Institute of Ganzhou Prefecture, Ganzhou 341000, Jiangxi Province.): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp. 63—66

The conditions of the reaction of nitrate-N and nitrite-N with N-phenylanthranilic acid (N-PAA) were studied in detail and a highly sensitive spectrophotometric method was developed for the determination of trace amount of nitrate-N and nitrite-N in surface water. Maximum absorptions of both the colour products (N-PAA-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and N-PAA-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N) appeared at wavelengths of 560—565 nm and the corresponding molar absorptivities were found to be  $1.07 \times 10^4$  (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) and  $1.77 \times 10^4$  L. mol<sup>-1</sup> · cm<sup>-1</sup> (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N). Beer's law was obeyed, in a concentration range of 0.03—0.15 µg/ml for NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and 0.05—0.20 µg/ml for NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N. The interferences of foreign ions were examined and the method has been used to determine NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N in surface water with satis-

factory results obtained.

**Key words:** Nitrate-N, nitrite-N, spectrophotometry, N-phenylanthranilic acid, water pollution.

**Identification of Spilled Oil at Sea Surface with Fuzzy Maximum Matrix Method.** Xu Hengzhen, Li Zongping (Institute of Marine Environmental Protection, SOA, Dalian 116023): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp. 67—69

A Model of fuzzy maximum matrix for the identification of spilled oil at sea surface is established. the concept of fuzzy area of confidence level  $\lambda_i$  for identifying types of oil was introduced. Fuzzy dynamic clustering charts of fourteen common types of oil, two types of weathered oil and oil spill at sea surface are given out. Confidence level  $\lambda_i$  was found to be greatly influenced by weathering. After 30 days weathering, confidence levels for differentiating Ren Qiu Crude oil and 35# heavy diesel oil, from other thirteen types of oil, are in the ranges of  $0.99939 > \lambda_i > 0.99725$  and  $0.99791 > \lambda_i > 0.99026$ , respectively. The method proved to be able to give more accurate result than the fingerprint recognition method.

**Key words:** fuzzy maximum matrix, fuzzy dynamic clustering chart, oil spills at sea.

**Study on Soil Environmental Background Values in Fujian Province.** Chen Zhenjin, Chen Chunsui, Liu Yongqing (Fujian Institute of Environment Protection 350003); Wu Yudian, Yang Sunkai, Lu Changyi (Institute of Environment Protection, Xiamen University 361005): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp. 70—75

With the methods of network and systematic layers, 123 typical sampling sections were selected and soil environmental background values for 61 elements were determined in the whole region of Fujian province. The results show that the soil background values for 15 rare-earth elements in Fujian are higher than those in the country, that the background values for sulphophilic and siderophilic elements in Fujian are also higher compared with those of the same elements in the country and that the background value of Se in the soil of Fujian is 0.55mg/kg, 2.5 times as high as the level of the country. The major factors affecting soil environmental background values in the province are analyzed and suggestions for reasonable development of soil resource proposed.

**Key words:** soil environmental background value, earth elements, Fujian province.

**Chemical Speciation and Pollution of Heavy Metals in Rivers, Reservoirs and Waste Water in Urumqi Area.** Chen Xibao et al. (Institute of Geography, Academia Sinica Beijing 100012): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp. 75—81

A research on physico-chemical speciation and characteristics of pollution of heavy metals Cd, Zn, Pb and Cu in certain water bodies in Urumqi area was carried out with a view of developing water resource as well as evaluating water quality in this area. The physico-chemical speciation of the heavy metals in water samples were determined by means

of ASV technique. The main results are as follows: (1) The Urumqi River and Toutun River were slightly polluted and the Shuimo River and waste water were seriously polluted. However, most of the heavy metals existed in the form of suspended particulates and dissolved heavy metal levels were close to the normal levels of unpolluted fresh water. (2) Environmental conditions such as pH, DOC, IS and proportions of suspended particulates of the heavy metals have a profound effect upon the chemical forms of the dissolved metals. In general, the labile forms for Cd, Zn and Pb were dominant in unpolluted or slightly polluted waters, whereas in more polluted waters, along with the increase in processes like adsorption and complexing, their stable forms became more and more important. While for Cu, the major forms were substances associated with organic matter in most of the water bodies studied.

**Key words:** speciation, heavy metal, cadmium, zinc, lead, copper.

**The Relationship between Environmental Biological Quality Assessment and Fishery in Wangyu River.** Zhao Libua, Yao Gendi, Cao Zhengguan, Huang Jinbiao (Shanghai Fisheries Research Institute Shanghai 20043): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp. 81—86

Wangyu River is affected by heat and organic chemical pollution from industrial zones. Samples of phytoplankton and zooplankton as well as samples for measuring water transparency were collected at 18 sampling stations in the river

to examine the levels of pollution. The corresponding samples of higher hydrophyte, freshwater mussels, and information for extensive stocking and intensive culture, catching, scope of net cage culture, and fish culture economy were also gathered. The river could obviously be divided into three different trophic sections. Fish-culture is flourishing in eutrophic and mesotrophic sections. However, fish-culture in the west mesotrophic section was endangered in summer due to the high water temperature ( $> 38^{\circ}\text{C}$ ).

**Key words:** Wangyu River, heat pollution, chemical pollution, water pollution, fishery.

**Spray of Emulsion Suppressant for Controlling Dust in the Roadway of the Shandong Aluminium Mine.** Ren Xiaohua et al. (Environmental Protection Division, General Research Institute of Non-Ferrous Metals, Beijing 100088): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp. 87—89

Spray with a dosage of  $0.8\text{--}2.0\text{ kg/m}^2$  of the emulsified suppressant prepared from 2.0—5.0% pre-treated heavy oil, water and 0.05% emulphor could make the concentration of dust in the atmosphere above the roadway of the Shandong Aluminium Mine reduced from  $9.6\text{--}33.3\text{ mg/m}^3$  to lower than  $10\text{ mg/m}^3$  (average  $4.3\text{--}5.8\text{ mg/m}^3$ ) within 15 day. Further exploration found that the excellent dust suppressing effect resulted from the physicochemical characters of the emulsion.

**Key words:** dust control, emulsion suppressant.

**CORRECTION:** The editor feels apologetic for the misuse of the word "wave" in the English abstract for the paper entitled "Experimental Investigation of Complex Mountain Wake Structure and Its Influence on Plume Diffusion in the Wind Tunnel", which appeared on page 12—18, No 1, Vol 12, 1991. All the words "wave" in the abstract should be replaced by the word "wake".