

# 土壤重金属污染治理方法研究进展

夏星辉 陈静生

(北京大学城市与环境学系, 北京 100871)

**摘要** 根据90年代国际最新文献, 从污染治理途径角度, 对土壤重金属污染治理方法的研究进展作简要介绍和述评. 包括利用细菌降低土壤中重金属毒性, 添加粘合剂固定土壤中重金属, 用电动力学方法、热解吸法、提取法和植物治理法去除土壤中重金属.

**关键词** 土壤污染, 治理方法, 重金属.

环境中的重金属, 由于其化学行为和生态效应的复杂性, 近30年来一直是环境科学界不衰的研究课题. 已有的研究多集中于以下几方面: ①重金属的环境化学, 陆地生态系统与水生生态系统中重金属的含量、形态、行为、归宿和生物地球化学循环等; ②重金属的分析技术(重金属形态分析技术、多元素分析技术等); ③重金属对健康的影响(金属及有机金属化合物对人体的毒理学、重金属的代谢模式、与金属有关的流行病学等); ④金属污染治理和管理(生物吸收作用的控制、地下水重金属污染防治、污泥与固体废弃物中的重金属治理、与重金属有关的土壤改良等). 其中, 第四方面问题的研究相对薄弱, 在我国尤其如此.

目前, 治理土壤重金属污染的途径主要有2种, ①改变重金属在土壤中的存在形态、使其固定, 降低其在环境中的迁移性和生物可利用性; ②从土壤中去掉重金属. 围绕这2种治理途径, 已相应地提出各自的物理、化学和生物治理方法. 但绝大部分这类方法尚处在实验室批实验和模拟试验阶段, 已达到现场应用程度的成熟方法很少. 当前的研究侧重于寻求治理效率高, 治理费用低和现场可操作性强的方法.

## 1 利用细菌降低土壤中重金属的毒性

细菌产生的特殊酶能还原重金属, 且对 Cd, Co, Ni, Mn, Zn, Pb 和 Cu 等有亲和力 (Geesey G. G., 1989). 如 *Citrobacter* sp. 产生的酶能使 U, Pb 和 Cd 形成难溶磷酸盐 (Macaskie L E. 1987). L. L. Barton 等人对利用细菌去除废弃物中 Se、Pb 毒性的可能性进

行了研究. 他们选用从含 10 mmol/L Cr(VI)、Zn 和 Pb 的土壤中分离出来的菌种 *Pseudomonas mesophila* 和 *P. maltophilia*. 分别配制初始浓度均为 1.0 mmol/L 亚硒酸钠、硒酸钠, 和醋酸铅的待治理溶液; 将分离出的细菌在含 0.25% 的酵母和 0.1% 的葡萄糖的培养液中培养和驯化后, 加于待治理的溶液中, 在 32℃ 恒温条件下震荡, 5 d 后, 离心收集待治理溶液中产生的硒和铅的胶体. 结果表明, 上述菌种能将硒酸盐和亚硒酸盐还原为胶态的硒, 能将二价铅转化为胶态的铅. 胶态硒与胶态铅不具毒性, 且结构稳定.

Hai Shen 等人研究了细菌 (*Escherichia coli* strain, ATCC33456) 对六价铬的还原作用, 研究了3种酚类化合物(苯酚、2-氯苯酚和对甲苯酚)、4种金属离子 ( $Zn^{2+}$ 、 $Cu^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$  和  $Pb^{2+}$ )、两种电子接受体(硫酸盐和硝酸盐)对六价铬还原的影响. 结果表明, 当菌种浓度大于  $10^9$  个/mL 时, 分别以葡萄糖、醋酸盐、丙酸酯、甘油或氨基酸为基质, 在厌氧和好氧的条件下, 试验菌种能将六价铬 ( $K_2CrO_4$ ) 还原; 当酚类物质的浓度高于 900 mg/L 时, 对六价铬的还原产生抑制作用;  $Zn^{2+}$  和  $Cu^{2+}$  对六价铬还原的抑制作用大于酚类化合物的作用; 当 pH 为 7, 培养温度为 36℃ 时, 六价铬的还原速率最大<sup>[2]</sup>.

## 2 向土壤中投加粘合剂固定土壤中的重金属

美国环保局将固化作用和稳定化作用 (Solidification/Stabilization (S/S)) 定为一种确认

的治理技术,并且选择 S/S 作为 25% 的超级基金治理项目的治理技术.所谓 S/S 技术是将污染土壤从现场挖出后置于一定的处理设施中进行处理,将污染土壤、沉积物或污泥与某种粘合剂混合,通过粘合剂使土壤、沉积物中的重金属固定,使其不再向周围环境迁移.在众多的粘合剂中,水泥被认为是一种有效、易得和价廉的产品.Charles M. Wilk 等报道, S/S 技术也已被用于治理正在修建的 Utah 高速公路附近的铅/酸电池废弃物的污染.采用水泥作粘合剂,固化后的废弃物可用于建筑公路路基的材料.淋滤液毒性试验研究 (Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP)) 表明,处理后废弃物中淋滤出来的铅不至达到有毒的浓度<sup>[3]</sup>.

在一定的 pH 条件下,重金属能被铁锰氧化物所固定. Valerie Sappin-didier 等人研究了利用钢渣 (steel shots) 对土壤中  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$  的固定作用.钢渣易被腐蚀,在土壤中能被氧化成铁的化合物,对  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$  有吸附和共沉淀作用,从而使重金属固定.他们的实验设计如下:往 1kg 干燥的污染土壤中加入一定量的钢渣,混匀后再加入水,使土壤含水量为田间持水量的一半,在 20 °C 下放置一个月后,取样进行金属的活动性测定,用 0.025mol/L 的  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  作提取剂.结果表明,对于 pH = 7.2 的沙性土壤,当钢渣含量为 1% (W/W) 时,可使土壤中初始浓度分别为 96mg/kg、247mg/kg、155mg/kg 的 Cd、Ni、Zn 的活动性分别降低 40%、60%、和 55%.当钢渣含量增至 10% 时,重金属活动性都降低 80%.此方法对固定土壤中的重金属很有效,但还需对重金属和钢渣在土壤中的物理、化学和生物性能进行长期的监测<sup>[1]</sup>.另外, Irina Rebedea 等的研究表明,具有高阳离子交换容量的合成沸石能降低土壤中重金属的生物可利用性<sup>[4]</sup>. Qi Yingma 等人研究了磷酸盐岩石对废水溶液和污染土壤中铅的固定作用,此岩石主要组成为  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$  或  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4\text{CO}_3)\text{F}_2$ .实验:一,溶液中铅的固定实验,将 0.1g、0.2g 岩石分别加入 200ml Pb 浓度为  $4.82\mu\text{mol/L}$ 、 $48.2\mu\text{mol/L}$  的硝酸铅溶液中,经一段时间后测定铅的浓度;二,污染土壤中铅

的固定实验,将 0、1、2、4g 磷灰石分别加入 10g 含 Pb 浓度为 2560mg/kg 的土壤中,混合后加适量水放置一段时间,结果表明,此磷灰石能去除废水溶液中 38.8% – 100% 的 Pb 和污染土壤中 56.8% – 100% 的水溶性铅.

### 3 应用电动力学方法去除土壤中的重金属

Alexandra Ribeiro 等和 Arne Villumsen 等研究了应用电动力学方法去除土壤中 Cu、Cr 和 As 的方法.研究表明,电流能打破所有的金属-土壤键,当电压固定时,去除效率与通电时间成正比<sup>[4]</sup>. Pamukcu (1990) 等的研究表明,对于渗透性较高,传导性较差的土壤,电动力学方法所能起的作用微弱,此方法不适合用于对沙性土壤重金属污染的治理.鉴于电动力学方法具有水流慢、金属离子电迁移速度不够大的缺点, Banerjee 等人 (1988) 研究了将电动力学方法与水力淋滤法联合使用以去除土壤中的 Cr(VI),结果表明,联合方法使土壤中 Cr 的去除速度比运用任何单一方法均要快.在上述工作基础上, Lutful I. Khan 等对电动力学与水力梯度法的联合运用进行了进一步的研究.研究是在实验室内进行的,采用石墨作电极,为了增加电极和溶液的接触面积,将电极做成网格状.供试土壤的孔隙度约为 40%,土壤的渗透系数为  $1.38 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ ,土体柱长为 8cm、直径为 2.5cm.实验时首先提高阳极的水位,阳极产生的  $\text{H}^+$  在水力梯度的作用下向阴极移动,同时溶解土壤中的重金属,达到阴极的重金属离子,与阴极产生的  $\text{OH}^-$  作用,生成沉淀,积聚在阴极池的底部.同时将阴极池上部的液体通过水泵抽到阳极池以提高阳极的水位以形成水流的闭路循环.此项研究结果表明:单一的电动力学方法和单一的水力淋滤法都不能有效地去除土壤中以沉淀形式存在的重金属.实验表明,对于土壤中初始浓度分别为 1875mg/kg、634mg/kg 和 178mg/kg 的 Zn、Mn 和 Pb,当采用 220V 电压和 1ml/min 的水流时,对 Zn 和 Mn 的去除率都为 72%,对 Pb 的去除率为 46%<sup>[6]</sup>.

M. D. Brewster 和 R. J. Passmore (1994 年) 对运用电解产生的铁离子去除地下水中的

重金属离子污染物进行了理论和实验研究。用铁板作阳极,电解产生的亚铁离子能还原 Cr(VI)和用过氧化氢氧化亚铁离子,使其生成水合铁氧化物,调节 pH,加入絮凝剂,则其它重金属如 Al、As、Cr( )、Hg、Pb、Se、Zn、Ni 等能和水合铁氧化物共沉淀得以去除。通过改变两极电压控制亚铁离子的浓度。当铁离子的浓度为 20mg/L 时,所有处理过污染废水中的金属离子浓度都在规定的排放标准以下,而且,生成的淤泥能通过 TCLP 实验,在规定的淋滤浓度水平以下。此种方法的处理效率高,较经济,而且,电化学产生的亚铁离子和它的氯化亚铁和硫酸亚铁比较,具有产生固体淤泥少的优点<sup>[7]</sup>。

#### 4 应用热解吸法去除土壤中的重金属

对于挥发性的重金属如汞,采取加热的方 法能将汞从土壤中解吸出来,然后再回收利用。美国的一家汞回收服务公司对汞的回收利用进行了实验室和中型模拟实验研究,最后成功地应用于现场治理,并且开始了商业化服务。迄今为止,此项技术已成功地治理了 2300t 以上被汞污染的土壤,治理后土壤中汞的浓度达到了背景值( $< 1\text{mg/L}$ )。

此种汞去除/回收技术包括以下几个方面 的程序:(1)将被污染的土壤和废弃物从现场挖掘后进行破碎;(2)往土壤中加入特定性质的添加剂,此添加剂既能有利于汞化合物的分解,又能吸收处理过程中产生的有害气体;(3)在不断对小体积土壤以低速通入气流的同时,加热土壤,且加热分两个阶段,第一阶段为低温阶段( $190\sim 212^{\circ}\text{F}$ ),主要去除土壤中的水分和其它易挥发的物质,第二阶段温度较高( $1000\sim 1200^{\circ}\text{F}$ ),主要是从干燥的土壤中分解汞化合物并汽化汞,然后收集汞并凝结成纯度为 99% 的汞金属;(4)对低温阶段排出的气体通过一气体净化系统,用活性炭吸收各种残余的汞类蒸气和其它气体,然后将水蒸气排入大气;(5)对在高热阶段产生的气体通过第(4)程序净化后再排入大气。为了保证工作环境的安全,程序操作系统采用双层空间,双层空间中存在负压,以防止事故发生时汞蒸气向大气中散发<sup>[8]</sup>。

#### 5 应用提取法去除土壤中的重金属

提取法又分为洗土法、堆摊浸滤法和冲洗法。这 3 种方法的原理相同,都是运用试剂和土壤中的重金属作用,形成溶解性的重金属离子或金属-试剂络合物,最后从提取液中回收重金属,并循环利用提取液<sup>[9]</sup>。

Stephen W. Paff(1994)等人报道美国曾将酸提取法用于对 4 个被 As、Cd、Cr、Cu、Pb、Ni、Zn 污染的超级基金项目治理,治理后金属的淋溶性均在 RCRA(资源保护回收法)规定的限度以下<sup>[10]</sup>。

采用表面活性剂作为重金属的去除试剂是在近年来开始研究的新技术。美国的 Kimf. Hayes 研究了季胺型表面活性剂对土壤中微量金属阳离子的解吸作用。结果表明,当表面活性剂的吸附作用等于或超过土壤的阳离子交换量时,表面活性剂能显著促进微量金属阳离子的解吸作用,而且,表面活性剂的链越长,效应越高<sup>[11]</sup>。虽然表面活性剂能去除重金属,但由于其自身容易给环境带来影响,所以有必要采用易降解和无毒性的表面活性剂,如生物表面活性剂。Hua Tan 等人研究了由 *pseudomonas aeruginosa* ATCC7027 产生的一种阴离子型生物表面活性剂对 Cd 的络合作用。试验在 pH 缓冲溶液中进行,结果表明,每个表面活性剂分子能络合 0.2 个  $\text{Cd}^{2+}$ ,而且可采用加酸沉淀再分离的办法将表面活性剂从  $\text{Cd}^{2+}$  的络合物中分离并回收<sup>[12]</sup>。David C. Herman 等认为生物表面活性剂能被生物降解;表面活性剂的种类多,对不同重金属具有各自的专一性;生物表面活性剂在污染土壤中能自发产生再络合去除重金属。他们通过批实验和土柱实验研究了一种生物表面活性剂对  $\text{Cd}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$  和  $\text{Zn}^{2+}$  的络合能力及络合机理。供试土样为砂壤土,有机质含量为 0.11%。所有的络合实验都在  $\text{pH}=6.8$  的缓冲溶液中进行。结果表明,表面活性剂能和阳离子交换树脂竞争吸附金属离子,当表面活性剂的浓度为  $4.2\text{mmol/L}$  时,88%–97% 的  $\text{Cd}^{2+}$  能被其络合;表面活性剂对土壤中的重金属具有解吸作用,而且,当有重金属存在的情况下表

面活性剂本身在土壤上的被吸附较弱<sup>[13]</sup>.

美国的 K. F. Mobley 等在通过土柱实验对应用 EDTA 络合剂去除土壤中的 Cu、Ni、Cd、Zn 进行了研究. 结果表明, 采用 0.01mol/L EDTA 能去除初始浓度为 100–300mg/kg 重金属的 80%<sup>[4]</sup>. William E. Fristad(1995) 报道美国曾联合应用 Cognis Terrament 淋滤法和 Bescorp 洗土法成功地治理了被 8 种重金属 (Cd、Cu、Hg、Cr、Ni、Ag、Pb 和 Tb) 污染的土壤. 处理程序设计如图 1 所示, 采用的提取剂为酸性溶剂, 并添加了合适的氧化剂、还原剂或络合剂. 重金属的初始浓度都在 1600mg/L 以上. 经过治理后, Pb 的浓度 < 175mg/L, 达到了治理标准, 其它金属的浓度均达到了土壤背景值. 此项技术治理了 20000t 被污染的土壤, 重金属得到了回收利用, 治理过程没有产生废水和任何危险性废弃物<sup>[14]</sup>.

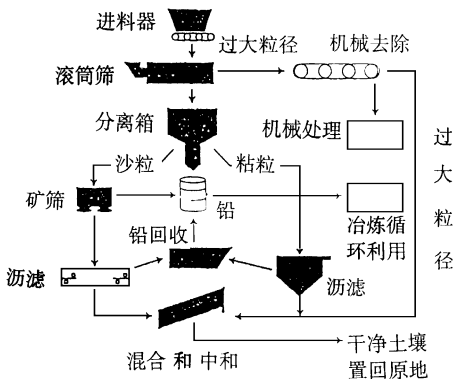


图1 洗土/沥滤程序图

## 6 应用植物治理去除土壤中的重金属

柳 (*Salix*) 属的某些植物种能大量富集 Cd, 瑞典的 Tommy Landberg 等对不同土壤中不同无性系的 *salix* 富集 Cd 的情况进行了研究, 发现 *salix* 的不同 clones 对 Cd 的吸收情况不同, 而且土壤的物理化学性质 (pH、有机质含量、CEC 等) 对富集也有重要影响<sup>[4]</sup>. 另外, 还有其它影响植物吸收重金属的因素, 如电渗透作用、磷营养元素和土壤中的金属螯合剂等. 向植物根系通直流电能提高金属的活动性, 增加金属和植物接触的机会. Jianwei W. Huang 等以铅为例进行了这方面的研究, 以石墨为电极,

向植物根系的生长介质中通 0.2–0.5mA 的电流能使 *Artemisia tillessi* (蒿属) 根系中的 Pb、Fe、Cu、Ca 和 Al 的浓度增加 1 倍. 对于 ragweed (豚草属) 植物, 直流电能使根上部分 Pb 的浓度增加 1 倍<sup>[4]</sup>. 另外, P. B. A Nanda Kunar 在盆栽试验的基础上, 对作物吸收重金属的机理和影响因素 (接触时间、重金属的初始浓度) 进行了研究. 实验设计如下: 秧苗在温室中 (光照 16h, 24–28 °C) 生长 10d 后, 移入圆型塑料盆中, 用水和硝酸溶液 (0.40g/L) 浇灌 7d 后, 向盆中加入重金属, 在处理初始阶段, 每次向植物生长介质中加入 10ml 左右的重金属溶液, 对照植物只浇灌硝酸钾溶液. 结果表明 *Brassicas* 能富集 Pb, 当土壤中 Pb 的浓度为 625μg/g 时, Pb 在植物枝干部分的含量为 34.5mg/g, 在根部的含量为 108.3mg/g, 而且, *Brassica juncea* (L.) Czern (芥菜) 的一些栽培变种有很强的在根部富集 Pb 同时将 Pb 转移至枝干部的能力, 另外在以硫酸盐和磷酸盐作为肥料的情况下, *B. juncea* 在枝干部富集 Cr、Cd、Ni、Zn、Cu 的倍数分别达 58、52、31、17、7 倍<sup>[15]</sup>.

另外, 近年来, 生物聚合物由于其环境温和性以及与重金属有较强的结合力也得到了应用研究. S. Krishnamurthy 从生物聚合物的分子结构、物理化学性质以及和重金属的络合机理方面探讨了生物聚合物去除重金属的可能性. 对明角质、淀粉、藻类、纤维类物质等进行了研究<sup>[16]</sup>. 但研究主要还处在探索阶段.

## 参 考 文 献

- 1 Bartan L L, David A Sabatini. Transport and Remediation of Subsurface Contaminants. Washington D. C.: American Chemical Society, 1992: 99–107
- 2 Shen Hai and Wang Yitin. Journal of Environmental Engineering, 1994, 120(3): 560–571
- 3 Charles M. Wilk and Raghu Arora. Remediation, 1995, 5(3): 103–110
- 4 Abstract of the third international conference on the biogeochemistry of trace elements, Paris: Reproduct par Instaprint S. A., 1995: 40
- 5 Ma Qiying et al.. Environ. Sci. Technol., 1995, 29(4): 1118–1126
- 6 Lutful I. K and Sahidul M A. Journal of Environmental Engineering, 1994, 120(6): 1524–1543
- 7 Brewster M D and Passmore R J. Environmental Progress, 1994, 13(2): 143–148
- 8 Michael V Rose et al.. Remediation, 1995, 5(3): 89–101
- 9 Hanson A T, David A Sabatini. Transport and Remediation of Subsurface Contaminants. Washington D. C.: American Chemical Society, 1992: 108–121

10

Stephen W Paff et al. . Center for Hazardous Material Research. EPA Report. Pittsburgh PA, 1994: 513

11

Kimf F Hayes. Soil Science, 1995, **59**(2): 380– 387

12

Tan Hua et al.. Environ. Sci. Technol. , 1994, **28**( 13): 2402– 2406

13

David C Herman et al. . Environ. Sci. Technol. , 1995, **29**(9): 2280– 2285

14

William E Fristad. Remediation, **5**(4): 61– 72

15

Nadna Kumar P B A. Environ. Sci. Technol. , 1995, **29**(5): 1232– 1238

16

Krishnamurthy S et al. . Remediation, 1994, **4**( 2): 235 – 243

17

Bruce R James. Environ. Sci. Technol. , 1995, **29**(9): 2377 – 2381

18

Sa V Ho et al. . Environ. Sci. Technol. , 1995, **29**(10): 2528– 2534

被引次数最多的100种期刊

名次	被引刊名	1989—1995年 被引次数	历年被引 总次数	名次	被引刊名	1989—1995年 被引次数	历年被引 总次数
1	分析化学	1497	2110	51	中华消化杂志	209	288
2	科学通报	1227	1865	52	石油化工	208	372
3	高等学校化学学报	932	1165	53	遗传学报	204	507
4	中国科学 B	636	950	54	环境化学	203	316
5	分析试验室	540	703	54	中国激光	203	290
6	植物学报	520	1034	54	中华微生物学和免疫学杂志	203	299
7	化学学报	436	787	57	数学学报	201	426
8	理化检验化学分册	429	590	57	中华放射学杂志	201	327
9	物理学报	408	638	59	计算机学报	190	242
10	植物生理学通讯	372	807	60	高能物理与核物理	189	238
11	冶金分析	364	438	60	解剖学报	189	330
12	光学学报	362	480	62	中国药理学通报	187	225
13	中华医学杂志	356	779	63	中华结核和呼吸杂志	186	246
14	中华内科杂志	347	647	64	硅酸盐学报	185	307
15	中国科学 A	344	550	64	机械工程学报	185	272
16	中华外科杂志	319	672	64	生物化学杂志	185	245
17	中华血液学杂志	315	479	67	华中理工大学学报	184	215
18	中国中药杂志	313	315	68	中成药	183	191
19	药学报	304	635	69	大气科学	182	277
20	中国免疫学杂志	295	396	69	中华医学检验杂志	182	277
21	化学通报	283	463	71	园艺学报	181	347
22	中草药	281	549	72	中华流行病学杂志	180	246
23	化学试剂	274	421	73	营养学报	176	290
24	环境科学	263	415	74	中国药理学报	175	323
25	中华心血管病杂志	260	387	75	催化学报	174	277
26	物理化学学报	258	307	76	第四纪研究	173	176
27	中华肿瘤杂志	253	452	77	中国超声医学杂志	171	199
28	光谱学与光谱分析	248	292	77	中国环境科学	171	284
28	中国农业科学	248	546	79	中国药学杂志	171	175
30	地球物理学报	247	466	80	海洋学报	170	318
31	中华妇产科杂志	243	366	81	生物物理学报	169	205
32	生物化学与生物物理进展	236	445	81	土壤学报	169	439
33	高分子材料科学与工程	232	253	83	金属热处理	168	320
33	植物生理学报	232	577	83	力学学报	168	272
33	作物学报	232	446	83	色谱	168	224
36	岩矿测试	228	272	83	中医杂志	168	391
37	金属学报	226	377	87	化工学报	167	242
37	中西医结合杂志	226	553	88	病毒学报	166	216
39	应用化学	224	276	88	钢铁	166	241
39	中华骨科杂志	224	411	90	中华整形烧伤外科杂志	160	203
41	中国病理生理杂志	223	256	91	海洋与湖泊	157	340
42	上海免疫学杂志	220	356	92	环境科学学报	156	257
43	生物化学与生物物理学报	219	367	93	水利学报	155	275
44	中华病理学杂志	218	330	93	有机化学	155	219
45	自动化学报	217	281	95	中药材	154	194
46	药物分析杂志	216	328	96	北京医科大学学报	153	205
47	食品科学	215	304	97	半导体学报	150	182
48	中国地方病学杂志	214	311	97	中华神经外科杂志	150	209
49	电子学报	212	286	99	中国医药工业杂志	149	162
49	高分子学报	212	247	99	中国中西医结合杂志	149	154

stability.

**Study on Effects of Developing Touristry for Songshan Conservation Area.** Song Xiujie and Zhao Tongrun (Beijing Municipal Research Academy of Environmental Protection, 100037): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(3), 1997, pp. 57\_ 59

In order to evaluate effect of touristry development for Songshan Conservation Area, the investigating site and monitoring water, quality which include surface and underground water, and atmospheric quality were carried out. It was found that the natural landscape of the conservation area was destroyed lightly because of trampling, picking and throwing by tourists and touristry facilities established, but quality of surface water and underground water are fit for National Standard. Atmospheric pollutants are fit for First National Standard. Need to strenthen management of the conservation area was suggested.

**Key words:** Songshan Conservation Area, environmental effect, touristry development, management.

**Effect of Calcium on Cell Membrane Permeability in Acid Rain Stressed *Cucumis melo* Seedling.** Zhou Qing and Huang Xiaohua et al. (Dept. of Biology Suzhou Railway Teachers College, Suzhou 215009): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(3), 1997, pp. 60\_ 61

The relationship of calcium to cell membrane permeability in acid rain stressed *Cucumis melo* seedling has been studied. Calcium obviously decreased cell membrane permeability and protected cell membrane from acid rain insult. Optimum protection effect is that *Cucumis melo* seedling is spraiend continuously two times (once every 24 hours) with concentration of 30mmol/L  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  at the test conditions. The mechanism perhaps is calcium reagent stabilizing the structure of cell membrane of *Cucumis melo* and raising catalase activity.

**Key words:** *Cucumis melo* seedling, calcium, cell membrane permeability, acid rain stress.

**Spectrophotometric Determination of Manganese with Diantipryl-(P-Bromo)-Phenylmethane.** Yin Jiayuan and Yang Guangyu et al. (Department of Chemistry, Yunnan University, Kunming 650091): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(3), 1997, pp. 62\_ 63

Diantipryl-(p-bromo)-phenylmethane (DAPBM) was synthesized and indentified. A highly sensitive spectrophotometric method has been developed for the determination of manganese with DAPBM. In the presence of  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$  can reacts with DAPBM to form an orange and yellow product in phosphoric acid medium. The molar absorptivity is  $1.28 \times 10^6 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  at 480nm. Beer's law

is in keeping in the range of 0.1 – 0.9 $\mu\text{g}/25\text{ml}$ . This method has been applied to the determination of manganese in food and water, the results are satisfacted.

**Key words:** diantipryl-(p-bromo)-phenylmethane, spectrophotometric, manganese.

**Determination of  $\text{CH}_3\text{SH}$  in Air Using Capillary GC/FID.** Wang Lizhong, Lu Yongsen et al. (Key State Lab. of Pollution Control and Resources Reuse, School of Environ. Eng., Tongji University, Shanghai 200092), Wang Wenling (Department of Chemistry, Fudan University, Shanghai 200433): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(3), 1997, pp. 64\_ 66

The analytical procedure for methylmercaptan in air was investigated which involves four phases of sampling, low temperature concentration with liquid nitrogen, thermal separation and then capillary column GC/FID analysis. Under the conditions selected, a method linear range of 0.2– 200 ng was obtained with a minimal detection limit of 0.2 ng. The recovery was about 92.6% with a relative standard deviation of 3.2%. This Procedure was applied to determine the concentration of methylmercaptan in the environmental air around a waste water plant and a polluted river successfully. The odour strength of the air at different sampling points was also calculated, and the distribution characteristic with methylmercaptan sounded reasonable.

**Key words:** methylmercaptan, GC/FID analysis, sampling, malodor.

**Progresses of Bioremediation Studies and Applications.** Lin Li and Yang Huifang (Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080): *Chin. J. Environ. Sci.* **18**(3), 1997, pp. 67\_ 71

A review concerns principles and techniques on degradation of xenobiotics and recalcitrants in contaminated site. The basic principle of bioremediation that for special contaminated site different treatment techniques were selected on three factors which are decrease the toxicity of pollutants and increase the bioavailability of pollutants and the bioactivity of microorganisms. The recently advances at in-situ and ex-situ bioremediation techniques are involved in the paper which include adding nutrient, inoculate species, bioventing, land-farming, composting piles, biopiles and slurry techniques. The methods of collecting the site information and of evaluating treatment were discussed also.

**Key words:** bioremediation, contaminated site, xenobiotics, recalcitrants, microorganisms, bioavailability, bioactivity.

**Advances in the Study of Remediation Methods of Heavy Metal-Contaminated Soil.** Xia

Xinghui, Chen Jingsheng (Urban & Environment Science Department, Peking University, Beijing 100871): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18** (3), 1997, pp. 73\_ 77

The remediation methods of soil heavy metal contaminated were introduced and evaluated based on the international literature in the 1990's, which include solidification/stabilization, electrodynamics, thermal desorption, extraction and bioremediation etc..

**Key words:** soil contamination, remediation methods, heavy metal.

**The Typical Reactions and Applications of Strengthened Ozonation for Treating Organic Polluted Wastewater.** Qu Jiuhui (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(3), 1997, pp. 77\_ 79

Ozone and strengthened ozonation technology have been studied and applied in wastewater treatment widely and successfully. Based on the summary on the current strengthened ozonation methods, this paper discusses the typical reactions and applications of strengthened ozonation to degrade organic contaminants in wastewater. It has been proved that the coupling of ozonation and other chemical physical processes can effectively improve the ability and efficiency of ozonation for wastewater treatment, and the consumption of  $O_3$  will also be reduced. The process of strengthened ozonation does performance a very obvious advantage and good future in treating the wastewater containing concentrated organic contaminants.

**Key words:** strengthened ozonation, organic wastewater treatment, reactions, application.

**Estimation of Aluminum Concentration in Natural Water.** Li Jinhui, Tang Hongxiao (State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18**(3), 1997, pp. 80—82

The geochemistry behaviors of aluminum in natural water are introduced. The approaches for predicting concentration of the  $Al^{3+}$  and

organic aluminum in natural water are summarized. According to the solubility product of minerals, experience formulas, and organic aluminum models with pH value, thermo-constants, and concentration of ligands, the estimation approaches of all species aluminum in natural water are put forward.

**Key words:** aluminum, organic aluminum, species, prediction, aquatic chemistry of acid rain.

**Advances in Biological Treatment Processes of Antibiotic Production Wastewater.** Yang Jun, Lu Zhengyu et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. sci.*, **18**(3), 1997, pp. 83—85

The characteristics of ten kinds of antibiotic production wastewater and the aerobic and anaerobic processes for treating these effluents were reviewed. A combined process of the pretreatment-anaerobic-aerobic treatment with reliability and economy of operation were then suggested, and the function and available technology used in each process were analyzed. Finally, the focal points of the research such as hybrid reactors with high efficiency and low cost, biodesulphurization-denitrification process and anaerobic toxicity assay were proposed.

**Key words:** antibiotic production wastewater, biological treatment, pretreatment, anaerobic process, aerobic process.

**Carbon Cycle in Natural Ecosystem in Russia.** Zhang Chuanqing (College of Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094): *Chin. J. Environ. Sci.*, **18** (3), 1997, pp. 86\_ 87

Carbon cycle in natural ecosystem in Russia was summarized. Forest, tundra, peat-bog and soil organic matter are main carbon stocks. Green plant is a main  $CO_2$  absorber, soil is a fundamental  $CO_2$  source in natural ecosystem of Russia. Russian natural ecosystem is one of biggest  $CO_2$  absorber & source on the Earth.

**Key words:** Russia, natural ecosystem, carbon cycle.