

快速混合法氯化消毒及其效果研究

沈 耀 良

朱 庆 爽

(苏州城建环保学院环保系, 苏州 215008)

(清华大学环境工程系, 北京 100084)

摘要 本文提出了以固定混合器作为促进混合效果装置的快速混合法,并以 *E. Coli* 作为指示微生物、液氯作为消毒剂进行了研究。结果表明,均匀快速而剧烈的初始混合作用,可大大改善灭菌效果。在短至 5 秒的接触时间内即可达到 99.99% 以上的灭活效率。投氯量和接触时间对 *E. Coli* 灭活率的影响随混合程度的提高而减弱。与传统法相比,灭活率可提高 100 倍以上,投氯量可下降 4—8 倍,接触时间可大大缩短。

关键词 水氯化消毒,快速混合,固定混合器。

迄今为止,氯仍是应用最广的水消毒剂。但是,传统的氯化消毒过程至少存在以下两个缺陷:一是消毒效果不理想^[1];二是经氯化消毒后的出水中存在一定量的致癌性氯化有机物 (THM)^[2,3]。为此,许多研究者开展了一定的研究以寻求新的氯化技术或代用消毒剂。根据目前的情况,要广泛地使用诸如臭氧等代用消毒剂,尚不具备充分的条件^[4]。根据氯消毒的原理,采用快速混合法以克服传统法的不足,提高处理效率及氯的利用率,降低出水中 THM 的含量,是一项颇具吸引力的研究,国外已有一定的经验,国内则刚起步。本研究借助于具有强烈快速混合特性的固定混合器作为氯消毒的混合反应设备,对液氯灭活大肠杆菌 (*E. Coli*) 的效果进行了动态研究。

一、氯消毒及固定混合器的基本原理

氯极易溶于水并几乎立即离解成次氯酸 (HOCl) 及次氯酸根 (OCl^-)。一般将 HOCl 和 OCl^- 称有效游离态氯。消毒过程中,起主要消毒作用的 HOCl 破坏细菌的酶系统而使其失活。 OCl^- 也有一定的消毒作用,但它比 HOCl 差得多,杀菌力仅为 HOCl 的 1/100。被处理水中 HOCl 和 OCl^- 的含量与水温 and pH 有关,在常温中性水中,它们的比值为 4:1。当它们处于游离态时,具有较强的杀菌力,并能杀灭一定量的病毒。但水中含有氨类化合物时,有效氯便会与其化合生成杀菌力仅为 HOCl 1/200 的氯胺。因此,如能有效地控制上述反

应,充分利用游离态氯的作用,期望会获得更好的消毒效果。即如果能在刚加氯后有效氯变成结合氯或与其它有机物作用之前,便完成消毒作用,则用少量的氯便可达到较高的灭菌效果。要做到这一点,氯投加时与被处理水间的初始快速混合是非常重要的。

固定混合器是一种良好的快速混合设备,在臭氧水处理中已显示出它的优越性^[2]。它是一种无运动部件混合器,是一种高效的液液或气液快速混合装置。它由一定数目的螺旋形元件按右旋和左旋交替排列、相互垂直连接安装于与这些元件紧密吻合的管道内而组成(图1)。这种混合装置有两个功能,一是分割流体作用,二是径向混合作用。混合器内的水流近于推流式反应器,水流在管内由于混合元件的螺旋作用而具有充分的径向混合作用,这种混合作用大大促进了水流与消毒剂间的混合扩散和传质作用,提高了接触面积^[4]。

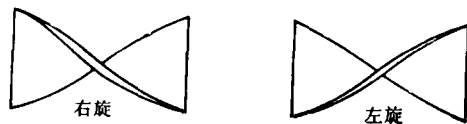


图1 固定混合器元件

二、实验过程

1. 水样配制

实验过程中所用水样为浓度 $(2.0—4.0) \times$

收稿日期: 1991年6月12日

1) 沈耀良,清华大学环境工程系硕士论文,1986。

2) 朱庆爽,固定混合器原理及其在臭氧法水处理中的应用,清华大学环境工程系,1984。

10^7 个/L 的大肠杆菌水样 (根据一般城市污水中的含菌量配制)。大肠杆菌购自中国科学院微生物研究所, 为 1.1259 纯种大肠杆菌 (*E. Coli*)。实验过程中水样的 pH 值为 6.7—7.1, 水温为 17.0—20.0℃。

2. 检测方法

试验过程中, 在稳态运行条件下从取样口取样, 测定出水的 *E. Coli* 数及余氯量。测定 *E. Coli* 时, 取样瓶中装适量的 1mol 硫代硫酸钠溶液 (约为所取水样体积的 1/10) 以立即消除余氯的作用^[9]。大肠杆菌的培养采用北京市卫生防疫站推荐的方法。用碘量法测定出水中的余氯量。

3. 实验流程

图 2 为本试验的实验流程。试验过程中所用消毒剂为液氯 (漂白粉)。由流量计控制水量及投药量。在固定混合器上设 4 个取样口。试验过程中, 对不同流量 (400L/h, 600L/h, 800 L/h) 进行试验, 相应于各流量时的各取样口的接触时间列于表 1。水样与液氯在固定混合器进口处混合, 待运行稳定后取样测定 (重复三次)。

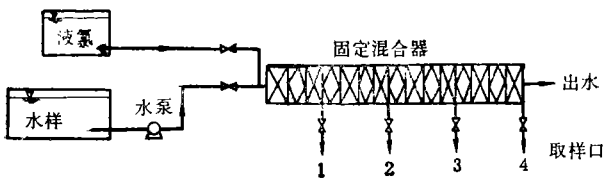


图2 试验流程

表1 不同取样口处的接触时间 (s)

取样口 进水流量 (L/h)	1	2	3	4
400	0.63	1.27	1.90	2.53
600	0.42	0.84	1.27	1.70
800	0.32	0.64	0.95	1.27

三、实验结果与分析

1. 氯灭活 *E. Coli* 效果的分析

(1) 投氯量对灭活效果的影响 根据实验结果并对数据进行线性回归处理后, 将氯对 *E.*

Coli 的灭活效果绘于图 3 至图 5。从图中可以看出, 氯对大肠杆菌的灭活作用呈现出二阶段型, 即出现两种不同的灭活速率。实验过程中投氯量分别为 0.5mg/L、1.0mg/L、2.0mg/L 和 4.0mg/L, 不同进水量时各取样口处的接触时间在 0.32—2.53s 之间变化。在上述接触时间内, 当进水量为 400L/h、600L/h 和 800L/h 时, 投氯量为 0.5mg/L, *E. Coli* 的灭活率分别达到 99.94%、99.96% 和 99.97% 以上; 当投氯量增加到 4.0mg/L 时, 灭活率提高不明显。由此可见, 投氯量的大小, 在快速混合及满足需氯量的条件下, 对灭活效果的影响并不重要 (经余氯测定, 上述情况下的需氯量分别为 0.12mg/L 和 0.18mg/L), 关键在于氯与 *E. Coli* 之间的快速混合接触和扩散传质作用。

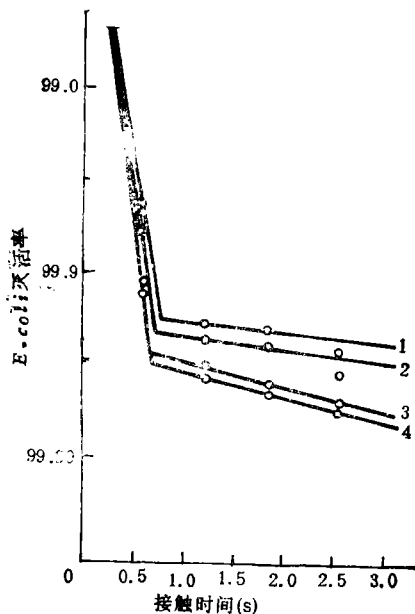
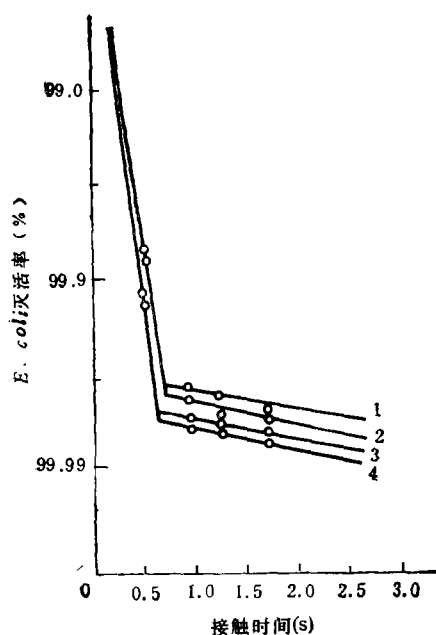


图3 不同投量下 *E. Coli* 灭活效果 (400L/h)

图中纵坐标单位 (%)

1. 投氯量 0.5mg/L pH7.0 水温 18.5℃
2. 投氯量 1.0mg/L pH6.9 水温 18.0℃
3. 投氯量 2.0mg/L pH6.85 水温 19.0℃
4. 投氯量 4.0mg/L pH6.95 水温 18.3℃

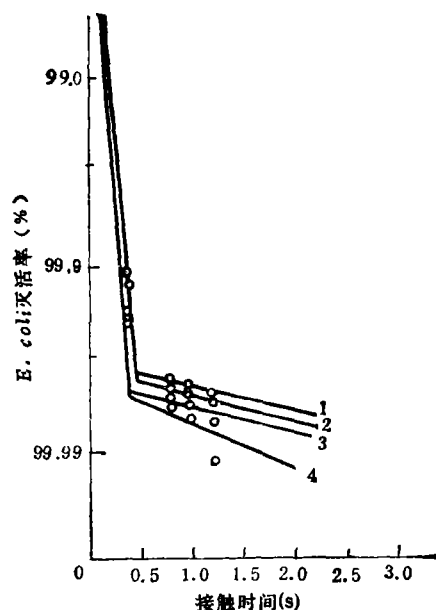
(2) 混合度对灭活效果的影响 从图 3 至图 5 可见, 当进水量由 400L/h 增加到 800L/h 时, 固定混合器内的混合程度随之加剧, 进一步均化了所投氯在水中的分布, 促进了氯快速向 *E. Coli* 体内的传质作用及氯的利用率。如当

图 4 不同投量下 *E. Coli* 灭活效果 (600L/h)

1. 投氯量 0.5mg/L pH6.93 水温 18.5℃
2. 投氯量 1.0mg/L pH6.95 水温 18.4℃
3. 投氯量 2.0mg/L pH6.90 水温 19.4℃
4. 投氯量 4.0mg/L pH6.94 水温 17.7℃

投氯量为 1.0mg/L 时, 进水量由 400L/h 增加到 800L/h, *E. Coli* 的灭活率由 99.95% 提高到 99.99%。由图还可看出, 混合器第一个取样口处所获得的灭活率与第二个取样口处的灭活率之差要比第二与第三个取样口处的差值大, 原因是第一个取样口处混合元件数较少 (仅为 3 个)。实验中所用固定混合器内径为 15—16 mm, 据计算此时被元件所分割的水层厚度为 1.875—2.0mm。大肠杆菌的尺寸一般为 1—5 μm , 因此此时尚未达到完全混合的程度。后续三个取样口的元件数分别为 15、27 和 40 个, 按理论计算, 该三个取样口处的水层厚度均小于 1 μm , 足以使所有的 *E. Coli* 都暴露于消毒剂之中, 这样可达到满意的混合程度和消毒效果。另外, 进水量较小时水流的径向混合程度较弱, 也会影响消毒效果。当进水量由 400L/h 提高到 800L/h 时, 混合器内的紊动度 (雷诺数 Re) 由 7800 提高到 15600, *E. Coli* 的灭活效果也明显提高。

快速混合对污水氯化处理效果的影响尤为

图 5 不同投量下 *E. Coli* 灭活效果 (800L/h)

1. 投氯量 0.5mg/L pH6.90 水温 19.3℃
2. 投氯量 1.0mg/L pH6.98 水温 19.1℃
3. 投氯量 2.0mg/L pH6.91 水温 18.1℃
4. 投氯量 4.0mg/L pH7.10 水温 17.9℃

明显。Collins 等人用不同类型的混合装置进行了研究, 接触时间为 6s (水温 15—21℃, pH 7.0~7.2)。结果表明, 在机械混合作用下, *E. Coli* 的灭活率比传统法提高了 4 个对数值^[6]。古里明璠等人用 JD 装置对污水进行了研究并指出, 游离态氯在水中存留的时间为 5.2s (pH 7.0), 借助于喷射扩散装置 (JD) 的快速混合作用可充分利用自由态有效氯在上述时间内完成灭菌作用。

(3) 接触时间对灭活效果的影响 和国外研究的 JD 装置一样, 固定混合器也是以秒计的快速混合装置。实验表明, 由于加强了氯与水之间的接触, 促进了氯向 *E. Coli* 内的扩散作用, 使 *E. Coli* 在极短的时间内被灭活。如当进水量为 800L/h 时, 接触时间为 0.64s, *E. Coli* 的灭活率已达到 99.96%。因此, 可以推断, 如对传统法加以改进以加强混合作用, 则接触时间可大大缩短。对实验数据回归分析表明, 不同条件下 (流量及投氯量) 达到 99.99% 灭活率所需要的接触时间为几秒或十几秒。这说明,

在强烈混合及投氯量满足需氯量的条件下,接触时间对灭活效果的影响并不十分重要。如当流量为 400L/h, 投氯量为 0.5mg/L 时, 达到 99.99% 灭活率所需接触时间为 18.7s; 同样投氯量, 流量为 800L/h 时, 所需接触时间为 4.4s。图 6 为根据回归分析所作的达到 99.99% 灭活率时的投氯量-接触时间线。

2. 快速混合法与传统法的比较

(1) 投氯量和灭菌效果的比较 实验表明, 快速混合法氯化消毒可充分利用有效游离态氯的强力杀菌作用, 使接触时间大大缩短(以秒计)且投氯量可较大幅度降低。与传统法相比, 消毒效果可提高 100 倍以上; 与 JD 法相比, 也可大幅度提高(图 7)。据调查, 目前国内自来水厂中投氯量为 2.0~4.0mg/L, 源水污染严重时, 投量则更高。接触时间一般规定为 30 min; 污水处理过程中投氯量高达 20~40mg/L, 接触时间为 1.0~2.0h。国外使用 JD 装置使污水消毒过程中的投氯量下降 6 倍的结论是可信的。国内重庆市自来水公司的推流式加氯实践也取得了良好的效果^[7]。应用固定混合器则投氯量可进一步降低。表 2 是对我国几家自来水公司的调查结果与本研究比较。由于实验过程中所配水样是根据污水中大肠杆菌的含量而配制的 ($10^6 \sim 10^7$ 个/L), 而实际给水处理过程

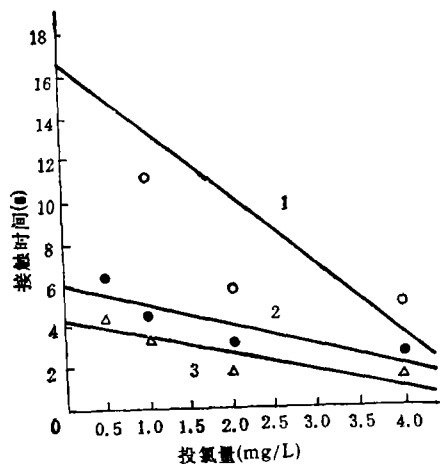


图 6 灭活率为 99.99% 时的投氯量-接触时间关系
(点为实测值, 线为回归值)
1. 400L/h 2. 600L/h 3. 800L/h

表 2 快速混合法与传统法的比较

方法	投氯量 (mg/L)	余氯量 (mg/L)	接触时间 (s)	灭活率 (%)
快速混合法	0.5	0.38	5	>99.99
传统法	2.0—4.0	0.04—0.30	900—1800	95.0—99.5

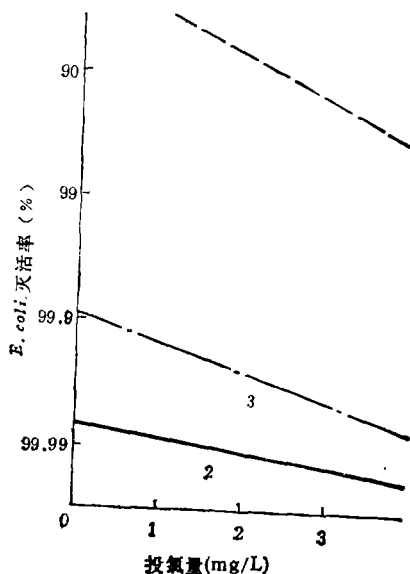


图 7 不同氯化法灭菌效果比较

图中虚线为 1

1. 传统法: 接触时间 15—30min 2. 快速法: 接触时间 3s 3. JD 法

中原水的 *E. Coli* 含量远小于此值, 一般为 $10^4 \sim 10^5$ 个/L, 而经过混凝沉淀及过滤等处理工艺后, 及至消毒进水中的大肠杆菌数就更少, 为 $10^2 \sim 10^3$ 个/L。所以表 3 中采用本实验数据的低值。

表 3 运行费用的比较*

方 法	规模 (万吨/d)	运行费 (元/1000t)	氯耗 (kg/d)
快速混合法	30	0.628	150
传统法	30	1.039	600—1200

* ① 运行费包括用氯、电费、人员工资等, 比较时仅考虑用氯量。

② 氯价以 300 元/吨计。

(2) 经济和环境效益的比较 表 3 列出了快速混合法与传统法在运行费方面的经济性比较。可以看出, 快速混合法在投氯量和接触时

间上都有明显改进,故而运行费可大幅度下降。在环境效益方面,经氯化消毒的出水中存在三卤甲烷类有害物质是目前人们所关心的问题。本实验未在这方面作深入研究,但可以肯定本法在控制 THM 生成方面也有良好的效果。国内外研究表明,三卤甲烷的生成量不仅与投氯量有关,还与时间有关(还与被处理水中母体物的含量有关)^[8]。如图 8 所示,在污水处理

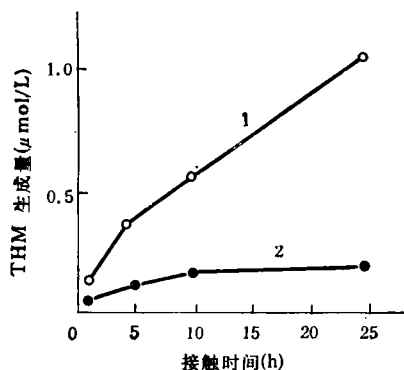


图 8 氯化出水中 THM 生成量^[10]

1. 40mg/L 2. 20mg/L

中,接触时间为 10 小时,投氯量为 40mg/L 和 20mg/L 时,出水中 THM 的含量分别为 0.5 $\mu\text{mol/L}$ 和 0.15 $\mu\text{mol/L}$;另接触时间越长则 THM 的生成量也越多。传统法由于氯与目标微生物接触不良,接触时间长,使大部份有效氯与其它有机物反应,一方面降低了杀菌效率,另一方面生成了三卤甲烷,造成了二次污染。快

速混合法则可防止或削弱 THM 的生成,具有良好的环境效益。

四、结 论

1. 使用固定混合器作为快速混合装置,可在投氯量为 0.5mg/L、接触时间为 5s 以内,获得 99.99 % 以上的 *E. Coli* 灭活效率。

2. 快速、均匀、充分的混合条件是获得良好灭菌效果的关键。混合强度到达一定程度时,投氯量及接触时间对灭菌效果的影响并不重要。

3. 与传统法相比,快速混合法可充分利用有效游离态氯的高效灭菌作用,降低处理费用,防止 THM 生成,具有良好的环境经济效益。

4. 本法处理出水中的大肠杆菌再生问题有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 沈耀良. 城镇供水. 1985,5(2): 17
- 2 沈耀良. 西南给排水. 1986,6(2): 13
- 3 Page T et al. *Science*. 1976, 193(4247): 55
- 4 Rice R G et al. *Handbook of Ozone Technology and Applications*, Ann Arbor Science Publications, Inc., 1982.
- 5 Grabow W O K et al. *Appl. and Environ. Microbol.*, 1983, 46(3): 619
- 6 Collins H F et al. *Jour. of the Sanit Engrg. Div., Proc. of the ASCE*, 1971, 97(SA5): 549
- 7 张大川. 给水技术. 1986,1(1): 1
- 8 Chow B M et al. *Jour. of the Environ. Engrg. Div., Proc. of the ASCE*. 1981, 107(EE4): 609

(上接第 90 页)

二、结 语

(一) 用电厂粉煤灰生产含磷复合肥料技术可行,粉煤灰的掺加量在 20—40% 范围内,磷的构溶率可达 90% 以上,所生产的肥料含有多种有效成分。

(二) 本生产工艺方案与我国高炉法钙镁磷肥的生产方法相同,所用的主要原料也基本相同,但所生产的粉煤灰肥料可节约 20—40% 的矿物原料(蛇纹石、硅石)。另外,粉煤灰含碳量一般在 10% 左右,因此,每生产一吨该肥料至少可节约焦炭(或煤) 20 公斤,这对于能源和资源紧张的今天,具有重要的实际意义。同时达到综合利用粉煤灰的目的。故具有明显的经济效益和环境效益。

(三) 经情报检索查新可知,用本方案制肥料在国内外还未发现,因此,具有新颖性。在我国应尽快进行放大试验,以推广该粉煤灰肥料的大批量生产,满足农业生产的需要,从而起到粉煤灰综合利用、变废为宝的作用。

环境工程专业 90 届毕业生董文增、李海峰、宋玉梅、田欣参加了实验工作。

参 考 文 献

- 1 乔关根等, 高炉法钙镁磷肥生产. 北京: 化学工业出版社, 1960, 40—48, 129—133, 149.
- 2 曾亚斌. 化工环保. 1990, 10(3), 169
- 3 评论员文章. 中国建材报. 1990 年 6 月 2 日
- 4 陈冀宇. 粉煤灰综合利用. 1990, (2) 17

(Chemical Planning Institute), Zhang Huiming, Qian Yi (Department of Environmental Engineering, Tsinghua University): *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(3), 1992, pp. 45—50

In this study, a biological process for controlling the concentration of residual nitrogen in coke-plant wastewater was investigated on a bench scale and through pilot plant experiments. It is concluded that the cultivation and acclimation of nitro bacteria is the key step of biodenitrification process, continuous acclimation gave better results than intermittent operations. 98—99% of $\text{NH}_3\text{-N}$ and more than 75% of the total nitrogen could be removed using A-A/O system when the fluctuation of influent quality is low and the operation parameters are rational. The anaerobic pre-treatment plays an important role in the process.

Key words: coke-plant wastewater, anaerobic pretreatment, nitrification, denitrification.

A Study on the Treatment of Tetracycline Spent Liquor by an Anaerobic-aerobic Process. Wang Lei, Yu Yixin (Department of Environmental Engineering, Tsinghua University): *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(3), 1992, pp. 51—54

The anaerobic-aerobic process under study may effectively remove COD and tetracycline from the tetracycline spent liquor. The total retention time for the liquor is 30h (24h for anaerobic stage and 6h for the aerobic), the temperature for anaerobic stage is kept at 35°C and the volumetric loading for COD is 1.51 kg/m³·d. After removal of oxalic acid, being diluted and its pH value adjusted, the tetracycline spent liquor is used as sample water. The maximum allowable concentration of tetracycline was found to be 300 mg/L for anaerobic digestion.

Key words: anaerobic-aerobic process, tetracycline.

Rapid Mixing Chlorination for Water Disinfection and Its Efficiency. Shen Yaoliang (Department of Environmental Protection, Suzhou Institute of Urban Construction and Environmental Protection), Zhu Qinshi (Department of Environmental Engineering, Tsinghua University): *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(3), 1992, pp. 55—59

Rapid Mixing chlorination process for water disinfection was developed with static mixer as the mixing device. Experimental results show that inactivation of *E. Coli*, which was chosen as the indicator of disinfection, by chlorine can be greatly improved by initial rapid strong mixing. 99.99% of *E. Coli* Killing efficiency can be obtained within 5 sec. of contact time. Effects of chlorine dosage and contact time on inactivation efficiency become less important with the increase of mixing strength. Compared with traditional chlorination processes, this method is 100 times more effective. In addition, both chlorine dosage and contact time can be greatly decreased.

Key Words: chlorination, water disinfection, *E. Coli*

Approaches to the Research of Environmental Impact Related to Water Conservancy Projects. Chen Guojie (Chengdu Institute of Mountain Disaster and Environment, Chinese Academy of Sciences): *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(3), 1992, pp. 60—65

This paper gives briefly the contemporary trend of the utilization of water resources and the studies on environmental impact related to water conservancy projects. It also summarizes the progress, achievements and weakness of the studies in the area in China. Finally, the paper lists the steps towards strengthening the research of environmental impact related to water conservancy projects: (1) emphasizing the guiding role of idea of value in environmental impact assessment; (2) deepening and widening the studies on environmental carrying capacity for resettlement (3) paying more attention to the research in economic assessment; (4) developing risk analysis of environmental impact in the projects; (5) strengthening the studies of countermeasure system for adjusting environmental impact; (6) making efforts to set up fixed field observatories and stations.

Key words: environmental impact assessment, water conservancy project, environmental carrying capacity for resettlement

Rapid COD Determination by Using $\text{CuSO}_4\text{-KAl}(\text{SO}_4)_2\text{-Na}_2\text{MoO}_4$ as Catalyst. Wang Jun, Fan Shunli, Liu Xingwang (Henan Normal University, Xinxiang, Henan): *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(3), 1992, pp. 66—69

A new procedure for the rapid determination of COD of waste water in the medium of H_2SO_4 and H_3PO_4 with $\text{CuSO}_4\text{-KAl}(\text{SO}_4)_2\text{-Na}_2\text{MoO}_4$ as catalyst was developed. Orthogonal experiments indicated the optimal conditions of the determination as: CuSO_4 , 0.4g, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$, 1.8g, Na_2MoO_4 , 0.5g, $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_3\text{PO}_4$ (V/V)=3:1, and the reflux time, 0.5 hour. Experimental results show that the proposed procedure is similar to the standard procedure in accuracy and reproducibility. The reflux time and the cost of reagents, however, were reduced to 0.5 hour and 50 percent of the standard procedure, respectively.

Key words: COD, determination, catalysts.

A Study on the Monitoring of Soil Pollution with the Technique of *Vicia Faba* Micronucleus. Jin Bo, Chen Guangrong, Li Ming, Wang Xingguo (Department of Biology, Central China Normal University, Wuhan): *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(3), 1992, pp. 74—77

This paper reports the application of the technique of micronucleus from leaf and/or root tip cells of *vicia faba* to the detection of agricultural soil pollution in the suburbs of the cities of Honghu and Yingcheng. Through statistical analysis, it was observed that the MCN‰ of leaf and root cells of *vicia faba* treated with the soils of wheat and cotton field, rice field and vegetable plots by means of pot culture