

苯酚在饱水细砂土层中的迁移转化规律*

祝万鹏 温东辉 杨志华

(清华大学环境工程研究所, 北京 100084)

摘要 本文研究苯酚在细砂土层中的迁移转化规律, 包括静态吸附、降解及动态土柱实验三部分。实验结果用计算机进行线性拟合和参数估值。研究表明: 细砂土对苯酚的吸附能力较差而降解能力较强; 在好氧条件下, 苯酚更易降解; 水中存在的其它有机物在一定时间内会影响苯酚的降解, 但随着微生物对苯酚逐渐适应, 这种影响可被消除。

关键词 苯酚, 饱水细砂土层, 迁移转化。

近年来, 国内外对酚类化合物在土层中的迁移转化规律研究十分重视, 已取得不少成果, 但仍有不少问题有待深入研究。我们在本研究中, 模拟实际土地处理系统下包气带土层, 用投配一定量苯酚的生活污水为水样, 通过实验室条件下的静态吸附、静态降解和动态土柱试验, 对苯酚在饱水土层中迁移转化规律进行研究。

一、苯酚在土层中迁移转化的机理

苯酚在土层和地下水系统中的迁移转化途径主要有土壤水运移, 土壤颗粒对苯酚的吸附以及土壤微生物对苯酚的降解。此外, 植物的吸收和苯酚的挥发对其在土层中迁移转化也有影响, 但在下包气带土层中, 这种影响可以忽略。一般认为, 水在土层中运移符合推流模式, 若仅考虑弥散、吸附和降解作用, 则苯酚在土层中垂直向下迁移的基本方程为:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\rho}{n} \cdot \frac{\partial s}{\partial c} \cdot \frac{\partial c}{\partial t} + \left(1 + \frac{\rho}{n} \frac{\partial s}{\partial c}\right) \frac{\partial c}{\partial t} \quad (1)$$

式中, c ——水中苯酚浓度 ($M \cdot L^{-3}$);

x ——垂向运移距离 (L);

D ——弥散系数 ($L^2 T^{-1}$);

v —— x 方向渗透速度 ($L T^{-1}$);

s ——土中苯酚吸附浓度 ($M \cdot M^{-1}$);

ρ ——土层干容重 ($M \cdot L^{-3}$);

n ——有效空隙度。

式(1)右边第一项是弥散项, 第二项是对流项, 第三项是吸附作用项, 第四项是降解作用项。当苯酚浓度较低时, 吸附服从线性模式:

$s = K_d c + s_0$; 降解服从一级动力学模式: $c = c_0 e^{-K_1 t}$ 。因此,

$$\frac{\partial s}{\partial c} = K_d, \quad \frac{\partial c}{\partial t} = -K_1 c_0 e^{-K_1 t} = -K_1 c,$$

式(1)可简化为:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\rho}{n} \cdot K_d \frac{\partial c}{\partial t} - \left(1 + \frac{\rho}{n} K_d\right) K_1 c$$

或

$$R \frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} - R K_1 c \quad (2)$$

式中, $R = 1 + \frac{\rho}{n} K_d$, 称为迟滞因子, 它描述吸附作用对污染物迁移的滞留效应。若 $K_1 = 0$, $R = 1$, 则式(2)变成:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} \quad (3)$$

式(3)是无吸附和降解作用物质(保守物质)的一维迁移方程, 是弥散实验求解 D 值的依据。

若初始条件: $c(x, t)|_{t=0} = 0$

$$0 \leq x < +\infty$$

边界条件: $c(x, t)|_{x=0} = c_0$

$$0 \leq t < +\infty$$

* 本研究得到清华大学科研基金资助。

收稿日期: 1992 年 1 月 7 日

$$\lim_{x \rightarrow \infty} c(x, t) = 0 \quad 0 \leq t < +\infty$$

且 R 、 D 、 ν 、 K_1 均为常数时, 应用拉普拉斯变换解迁移方程(2), 得解析解为 (Van Genuchten, 1982):

$$\begin{aligned} c(x, t) = & \frac{\nu}{\nu + u} \exp \left[\frac{x(\nu - u)}{2D} \right] \\ & \operatorname{erfc} \left[\frac{Rx - ut}{2\sqrt{DRt}} \right] + \frac{\nu}{\nu + u} \\ & \exp \left[\frac{x(\nu - u)}{2D} \right] \operatorname{erfc} \left[\frac{Rx + ut}{2\sqrt{DRt}} \right] \\ & + \frac{\nu^2}{2DRK_1} \exp \left[\frac{\nu x}{D} - K_1 t \right] \\ & \operatorname{erfc} \left[\frac{Rx + \nu t}{\sqrt{2DRt}} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

式中, $u = (\nu^2 + 4DRK_1)^{\frac{1}{2}}$

$$\operatorname{erfc}(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_y^{+\infty} e^{-z^2} dz$$

称为余误差函数。因此, 只要参数 ν 、 R 、 D 、 K_1 确定之后, 即可得到所给初始条件和边界条件下在下包气带中污染物浓度的时空分布。本研究的目的是通过实验测定, 求得有关参数。

二、实验样品与分析方法

实验用土为细砂土, 取自山东莱阳大吕疃土地处理试验场, 该土经风干过筛 (4 目/cm) 后作为实验用土。土样的有关参数测定值如表 1 所示。

表 1 土样参数

项 目	数 值	备 注
干 密 度	1.50 g/cm ³	
比 重	2.52	
pH	5.8—6.0	
浸泡液 COD	322 mg/L	土水比 1:2
酚	未 检 出	取土 48.152 g

实验水样用生活污水和苯酚溶液配成, 对照实验水样用蒸馏水和苯酚溶液配成。配水所用的生活污水 COD 范围是 254—435 mg/L, BOD₅ 是 120—215 mg/L, 酚未检出。取来的生活污水静置沉淀后使用上清液。苯酚溶液用

高纯水配制。

苯酚经 4-氨基安替比林法显色, 用岛津 UV-250 紫外分光光度计测定, 测定浓度范围为 0.05—20 mg/L。COD 测定采用 C-86-3 型新型化学耗氧量测定仪, 测定范围为 100—1 000 mg/L。

三、静态吸附实验

1. 静态吸附实验条件

(1) 土水比 1:2 (重量比)。因为细砂土对苯酚的吸附量较小, 故选择较大的土水比, 土样 50 g, 水样 100 mL;

(2) 水样酚浓度 3—5 mg/L;

(3) 摇床振荡频率 180 次/min, 振幅 38 mm。动力学实验研究表明平衡时间为 8 h;

(4) 土水分离条件: 置于锥形瓶中的混合样经 8 h 振荡后, 取其上清液进行离心分离 (2 000—3 000 转/min) 5 min, 再对离心分离的上清液进行抽滤 (微孔滤膜孔径 0.65 μ m), 滤液由于有一定浊度, 故需将滤出液取出 50 mL 进行蒸馏, 再取馏出液 50 mL 测定酚浓度。

2. 实验结果与分析 图 1 为静态吸附实验结果, 从图 1 的曲线看, 吸附基本符合朗谬尔 (Langmuir) 吸附等温式, 即

$$S = \frac{S_{\max} bc}{1 + bc}$$

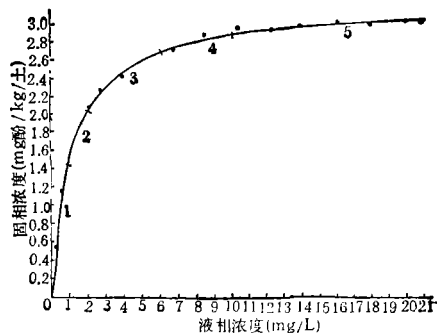


图 1 静态吸附实验结果

分段拟合线性方程:

1. $S = 1.4113c + 0.0188 \quad r = 0.9964 \quad (0 \leq c \leq 1)$
2. $S = 0.5617c + 0.8904 \quad r = 0.9795 \quad (1 \leq c \leq 2)$
3. $S = 0.1787c + 1.6812 \quad r = 0.9827 \quad (2 \leq c \leq 6)$
4. $S = 0.0438c + 2.4261 \quad r = 0.9943 \quad (6 \leq c \leq 10)$
5. $S = 0.0175c + 2.6909 \quad r = 0.9851 \quad (10 \leq c \leq 20)$

式中, S ——土样吸附量(mg 酚/kg 土);

$S_{\max}$ ——土样饱和吸附量(mg 酚/kg 土);

c ——水样中酚浓度 (mg/L);

b ——与吸附速率有关的常数。

实验数据的拟合方程为 $S = \frac{2.4356c}{1 + 0.7531c}$,

饱和吸附量为 3.2342mg 酚/kg 土, b 为 0.7531, 说明细砂土对苯酚的吸附性能较差, 而吸附平衡在适当的振荡频率下是易于达到的。从图 1 也可以看出, 吸附过程是非线性的, 不存在一个固定的吸附系数 K_d 。

四、静态降解实验

1. 实验方法

静态降解实验是考察封闭条件下, 土样对苯酚的降解能力。取两个 5L 的培养瓶, 分别模拟下包气带土层和耕作层两种情况进行静态降解实验, 实验条件见表 2。

表 2 静态降解实验条件

	一 号 瓶	二 号 瓶
模拟土层	下包气带土层	耕 作 层
物 理 条 件	密闭(厌氧条件) 全部遮光, 置于阴暗处 室温(20℃—32℃)	敞口(好氧条件) 下部遮光, 置于阳光处 室温(20℃—32℃)
土 样	1 500g	1 500g
土水比	1:2	1:2
水 样	3 000ml	3 000ml
	(1) 生活污水*720ml (2) 蒸馏水 1 680ml	(1) 生活污水*2 400ml (2) 100ppm 左右酚溶 液 600ml
	(3) 100ppm 左右酚溶 液 600ml 水样酚浓度 19.60mg/L	水样苯酚浓度为 19.62mg/l

* 生活污水 COD = 435mg/L, 根据一般经验, 耕作层对 COD 可以去除 70% 左右, 故一号瓶中生活污水投加量是二号瓶的 30%。

培养开始后, 每隔一定时间取 35mL 左右的上清液, 用微孔滤膜(孔径 0.65 μ m)抽滤后, 10mL 滤液用于测定 COD, 25mL 滤液经蒸馏后, 馏出液稀释到 50mL 测定酚浓度。实验进行到苯酚浓度小于 0.1mg/L 为止。

作为对照实验, 在其它条件不变的前提下, 改变水样为: 3 000mL 水样中有 300mL 为接种的生活污水, 600mL 为酚浓度 100mg/L 左右的苯酚溶液, 其余 2 100mL 为蒸馏水, 进行静态培养实验, 测定苯酚降解情况(蒸馏水配水实验)。

2. 实验结果与分析

污水配水的降解实验结果见图 2, 蒸馏水配水的降解实验结果见图 3。

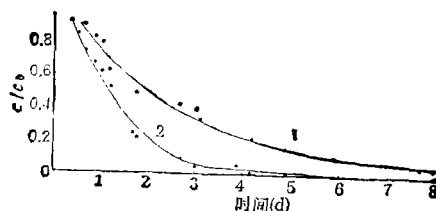


图 2 静态降解实验结果(污水配水)

1. 一号瓶 $\frac{c}{c_0} = e^{-0.3884(t-0.2068)}$ $r = 0.9790$

2. 二号瓶 $\frac{c}{c_0} = e^{-1.0914(t-0.3456)}$ $r = 0.9913$

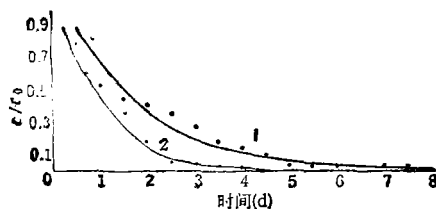


图 3 静态降解实验结果(清水配水)

1. 一号瓶 $\frac{c}{c_0} = 1.225e^{-0.6216t}$ $r = 0.9807$

2. 二号瓶 $\frac{c}{c_0} = 1.587e^{-1.3071t}$ $r = 0.9854$

降解曲线符合一级动力学方程, 即

$$\frac{dc}{dt} = -K_1 c$$

$$c = c_0 e^{-K_1 t}$$

式中, c ——基质(苯酚)浓度(mg/L);

K_1 ——一级动力学降解常数(1/d);

c_0 ——苯酚起始浓度(mg/L);

t ——时间(d)。

拟合曲线方程形式为 $c = c_0 e^{-K_1(t-t_0)}$, 其中, t_0 是土壤微生物为适应高浓度苯酚所需的驯化时间。苯酚在土壤中具有有良好的生物降解性, 各实验条件下的静态降解系数 K_1 列于表 3。

表 3 静态降解系数 K_1

瓶 号	主要实验条件	$K_1(1/d)$	$t_0(d)$
一号瓶	厌氧,污水配水	0.3884	0.2688
二号瓶	好氧,污水配水	1.0914	0.3436
三号瓶	厌氧,蒸馏水配水	0.6216	0.3264
四号瓶	好氧,蒸馏水配水	1.3071	0.3533

实验结果表明:

(1) 无论是在好氧条件还是厌氧条件,蒸馏水配水的苯酚降解系数均大于污水配水的苯酚降解系数。因此,可以认为其它有机物的存在对苯酚的降解有一定抑制作用。从驯化时间 t_0 看,微生物对苯酚的适应需要 6.5—8.5 小时,因此,在开始反应的 8 小时内,苯酚降解量很小,微生物优先降解水样中易生物降解的有机物,之后,微生物对苯酚逐渐适应,使酚的降解速率提高并趋于稳定。

(2) 无论是蒸馏水配水还是污水配水,好氧条件下的苯酚降解系数大于厌氧条件下的苯酚降解系数。因此,可以认为:耕作层的自净能力大于下包气带土层的自净能力,好氧条件有利于苯酚的降解。

五、迁移转化模拟实验

在动水条件下进行苯酚在饱和细砂土层中迁移转化的模拟实验,即动态土柱试验,测定苯酚的穿透曲线,以确定 D 、 K_d 、 K_1 和 ν 等各项参数。实验土质同二。

1. 实验方法

实验用饱和土柱为高 98cm, 内径 9cm 的有机玻璃柱。柱下端是带出水口的法兰盘,柱中依次装填卵石承托层,实验土样层和布水层,各层间用尼龙网分隔。实验土样分层装填,逐层压实,控制土容重接近自然状态。实验水样用恒水头装置自土柱上端通入,由下端出水口流出,供取样分析。在实验开始前,用去离子水洗柱,赶走气泡,保持土柱饱水条件,稳定柱内土层孔隙结构和渗透流速,降低土层中有机物(以 COD 计)浓度和含盐量。

实验开始时,先测定弥散系数:将含浓度

为 c_0 的示踪剂(保守物质,本实验用 NaCl)溶液连续注入土柱,测定不同时刻柱下端出水中示踪剂浓度 c ,作出 $c-t$ 曲线即穿透曲线,根据方程(3),经计算机拟合,求解弥散系数 D 。

测定弥散系数后的土柱,经去离子水洗柱后,进行苯酚溶液穿透曲线测定。实验共进行了两组,均为饱水条件,每组进行两个平行试验,分别称一号柱和二号柱。第一组水样由蒸馏水配制,苯酚浓度 20mg/L。在通入苯酚溶液前,向每个土柱中接种 500mL 生活污水;第二组水样用沉淀生活污水和苯酚配制,苯酚浓度 20mg/L。实验开始后,每隔一定时间取柱下端出水经过滤后测定酚浓度,绘制苯酚穿透曲线。

2. 结果与分析

弥散实验结果如图 4 所示。根据式(3)经

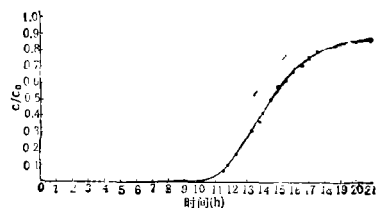


图 4 弥散实验穿透曲线(一号柱)
 $\nu = 0.016\text{m/hr} = 0.384\text{m/d}$ $n = 0.381$
 $D^* = 0.00292\text{m}^2/\text{d}$ $D = 0.00251\text{m}^2/\text{d}$

计算机拟合求得弥散系数 $D = 0.00251\text{m}^2/\text{d}$ 。弥散系数也可根据穿透曲线,用下述公式计算:

$$D = \frac{\nu^2}{8} (t_{0.84} - t_{0.16})^2 \quad (5)$$

式中, $t_{0.5}$, $t_{0.84}$, $t_{0.16}$ 分别为 c/c_0 等于 0.5, 0.84, 0.16 的时间。用式(5)求得的弥散系数为 $D = 0.00292\text{m}^2/\text{d}$, 两者十分接近。

苯酚迁移转化模拟实验结果见图 5 和图 6, 根据式(4),即 $c(x,t)$ 的解析解,编制程序进行曲线拟合所得曲线与实测点吻合很好。

动态土柱第一组实验主要集中于一天完成。土柱经过彻底清洗,因而柱内微生物量很少,所以这一组实验降解作用不显著, K_1 值较低。图 5 曲线主要反映的是弥散、吸附的共同

作用(一号柱有类似结果)。

动态土柱第二组实验持续时间较长,降解作用在这一组中表现明显,当吸附达到平衡后,降解作用在苯酚转化中起主要作用,即图 6 中的 b 段 K_1 值较高,并使穿透曲线形状发生变化(二号柱有类似结果)。

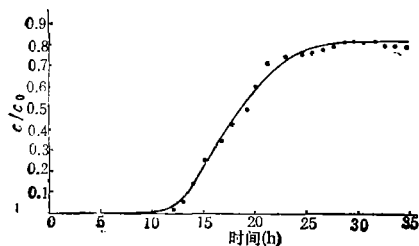


图 5 动态土柱穿透曲线(蒸馏水配水,二号柱)

$$v = 0.017 \text{ m/hr} = 0.408 \text{ m/d} \quad n = 0.232$$

$$\rho = 1.48 \text{ g/cm}^3 \quad D = 0.00258 \text{ m}^2/\text{d} \quad K_1 = 0.102 \text{ l/d}$$

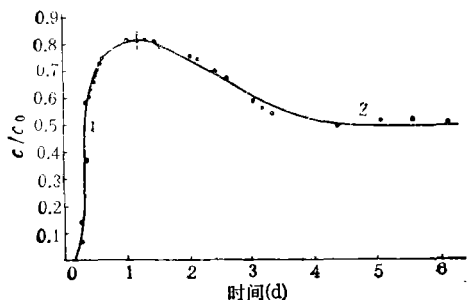


图 6 动态土柱穿透曲线(污水配水,一号柱)

$$1. \quad v = 0.033 \text{ m/hr} = 0.792 \text{ m/d} \quad n = 0.409$$

$$\rho = 1.48 \text{ g/cm}^3 \quad D = 0.00260 \text{ m}^2/\text{d} \quad K_1 = 0.100/\text{d}$$

$$2. \quad v = 0.022 \text{ m/hr} = 0.528 \text{ m/d} \quad n = 0.261$$

$$\rho = 1.48 \text{ g/cm}^3 \quad D = 0.00252 \text{ m}^2/\text{d} \quad K_1 = 0.786/\text{d}$$

蒸馏水配水穿透曲线的形状如图 7(a)所示,曲线 $c(t)$ 反映了弥散和吸附的共同作用,

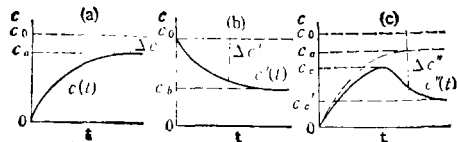


图 7 土柱穿透曲线示意图

$c_0 - c_e = \Delta c$ 是吸附造成的;根据有机物降解的一级动力学模式,连续进出水条件下的降解曲线的形状如图 7(b)所示, $c'(t)$ 与 c_0 之间的

差值 $\Delta c'$ 是 t 时间内有机物的降解量;以上两图叠加后如图 7(c) 形状, $c''(t)$ 与 c_0 间的差值 $\Delta c''$ 是吸附、降解共同造成的,此图的形状就是动态土柱污水配水的穿透曲线形状,因此,可以把土柱内弥散、吸附和降解的共同作用视作各项作用的简单叠加。

渗透流速对穿透曲线有影响。从理论上讲,渗透流速小,苯酚在柱中停留时间长,使苯酚与微生物接触时间长,降解较为充分。因此在实验中若渗透流速有变化,就要考虑在拟合曲线时消除这种变化的影响。第一组土柱实验,实验时间短,蒸馏水配水不易使柱内土层孔隙堵塞,整个实验过程中,渗透流速 v 基本保持恒定。第二组污水配水实验过程中,随时间推移,土层有效孔隙率减小,使渗透流速 v 逐渐下降。因此,在曲线拟合时,将曲线分成 a、b 两段,分别取平均渗透流速,进行分段拟合,可以基本消除 v 不等于常数的影响。

由于污水配制的水样中,溶解氧接近零,整个土柱处在饱水密封状态,所以,动态土柱试验是在厌氧条件下进行的。与厌氧条件下的静态降解试验相比,动态土柱试验测得的降解系数 K_1 较大。这是由于两种试验条件不同引起的,根据有机物降解的一般规律,有机物与微生物接触越充分,有机物降解速度越快。动态土柱试验有机物与微生物接触比静态实验充分,在其它条件相同时,动态降解性能应该比静态降解性能好。由于动态土柱试验是模拟自然土层中污水下渗的实际过程,反映了多种因素对降解的影响,所以,动态土柱试验测定的降解系数更合理、更可靠。

六、结 论

从实验结果可以得出以下结论:

1. 细砂土对苯酚吸附能力较弱,吸附过程服从朗缪尔 (Langmuir) 吸附模式;

2. 在饱水条件的细砂土中,苯酚具有良好的可生物降解性。好氧条件下苯酚降解速率远大于厌氧条件;水中其他有机物的存在在一定

(下转第 22 页)

量是否有差异,经选择了数个对人体营养有重要影响的元素进行测定,则未见与患病率有关。这与前述各村的发硒含量基本一致。

四、讨 论

本研究证明,在微地域环境内受地形地貌、土壤类型等多种因素的影响,不同地点的水、土、粮含硒量可能产生较大差异,导致相邻地点居住的、以当地粮为主食的人们摄入体内的硒量差异较大。并证明水、粮含硒量与病情呈显著负相关,这就从硒营养缺乏而致病的观点对病情不同的村庄往往交错分布以及重、非病村相邻的原因获得解释。

值得研究的是在粮硒低而水硒较高的无大骨节病流行的地点,人体的发硒往往低于粮硒较高而水硒低的轻病或非病地点。例如,第二微地域环境内河滩地的东嘴村,小麦含硒极低,但其饮水含硒远高于一般饮水含硒,为 2.1ppb。在该村内未检出大骨节病患儿,而发硒却仍属于病区儿童的含量范围,为 $93 \pm 8.4\text{ppb}$ 。此外,位于塬面的彭公村病情极轻,其水硒较居民患病率轻的龙头村高出 58%,较重病村高 5.3 倍,儿童发硒为 $92 \pm 14\text{ppb}$ 。这两村的儿童发硒却低于大骨节病区与非病区的发硒界线值 (110ppb)^[13]。笔者亦曾调查发现,永寿县的“许许沟”原为病村,但是自从改用了含硒 0.96ppb 的“基岩承压水”为饮用水,其病情逐年下降以至消失,但是该村儿童的发硒仍然稍低于界线值,平均含量为 102ppb。这些调查结果提示我们

应该进一步研究:从粮食摄入人体的有机态硒与从饮水摄入的无机硒在体内的代谢及发中的贮存量可能不同。因此,如果发现个别非病地点或某一非病区的人发含硒比一般非病区低,尚不能否定环境影响人体的硒低与大骨节病的产生确实有关,应该查明这些地点的人们摄入的硒主要是来自粮食,或是从饮水亦作了大量的补充。此外亦应调查居民膳食中是否有外来食品,因为如果食用了非病区的食物,发硒亦会增加,病情亦会下降。在查清人体摄入硒的数量及其不同来源后,终将证实大骨节病的产生与环境通过食物链而导致人体硒低确有密切关系。

参 考 文 献

- 1 李继云等. 地方病通讯. 1979, 2: 1
- 2 李继云等. 环境科学. 1981, 2(5): 18
- 3 侯少范等. 环境科学. 1981, 2(3): 29
- 4 永寿大骨节病科学考察队环境专题组. 环境科学学报. 1985, 5(1): 1
- 5 李崇正等. 中华医学杂志. 1979, 59: 169
- 6 王治伦等. 中国地方病学杂志. 1983, 2: 171
- 7 梁树棠等. 中国地方病学杂志. 1982, 1: 145
- 8 李继云等. 中国地方病学杂志. 1991, 2: 69
- 9 William H Strain et al. Trace Substances in Environmental Health-V. Columbia. Missouri, U.S.A. 1971: 383—387
- 10 Amers Chattapadhy et al. Trace Substances in Environmental Health-VIII Columbia Missouri. U.S.A. 1974: 31—34.
- 11 David Olatunbosin et al. Trace Substances in Environmental Health-X. Columbia. Missouri, U. S. A. 1976: 383—388
- 12 Dee H Barker et al. Trace Substances in Environmental Health-X. U.S.A. 1976: 71—81
- 13 李继云等. 环境科学学报. 1982, 2(2): 91

(上接第 10 页)

程度上降低苯酚的降解速度,随着微生物对苯酚的逐渐适应,这种影响可被消除;

3. 动态土柱试验模拟污水在饱水细砂土层中迁移转化的实际过程,又采用污水配制含苯酚水样,较接近实际情况,实验测得的参数具有实用意义。

参 考 文 献

- 1 W. 金士博, 杨汝均等译. 水环境数学模型. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987: 346—353
- 2 刘兆昌等. 地下水系统的污染与控制. 北京: 中国环境科学出版社, 1991: 226—230, 298—333
- 3 Wan Namkoong Raymond, C Loehr Joseph. F Meline. JWPFCF. 1989, 61 (2): 242

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

Water Pollution Detected by the Ultra-weak Luminescence Measurement Technique from Zebra Fish.

Wang Yingyan et al. (Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection 100037), Ma Yuqin, Zhang Yuejing, Li Xinyuan (Institute of Biophysics, Academia Sinica, Beijing 100080): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(6), 1992, pp.2—5
It is successful that the water pollutions were detected using the ultraweak luminescence measurement technique from Zebra fish. The results show the following three points: (1) The intensity of ultraweak luminescence from Zebra fish, which were treated by the investigated samples the water from different area, is parallel with both of physico-chemical indices and their pollution classes on water quality. (2) It could be identified the difference between pollution and nonpollution of water samples easily. (3) The changes of intensities of ultraweak luminescence are related to the type of physico-chemical indices, namely, in oil-chemical industrial area the intensity is inclose relationship with the oil components in the water, whereas in general industrial area it is in greater relationship with the organic compounds. In conclusion, the technique menthioned above is worth recommending to apply to the field of environmental monitoring.

Key words : ultraweak luminescence, Zebra fish, water pollution.

Research on Transport and Transformation of Phenol in the Saturated Vaclose Water Zone.

Zhu Wanpeng, Wen Donghui, Yang Zhibua (Dept. of Environmental Engineering, Tsinghua University Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(4), 1992, pp.6—10
The transport and transformation of phenol in saturated fine-sand soil were studied. The study included static adsorption, static degradation and dynamic soil column experiments. Longitudinal dispersion coefficient (D), adsorption coefficient (K_d) and biodegradation coefficient (K_1) were obtained through curve fitting and parameter estimation. The results indicate that phenol is hard to be adsorbed by the fine-sand but readily biodegraded in the soil.

Aerobic condition can fasten the degradation process. The existence of other organic compounds retarded the degradation, but this effect disappeared once the microorganisms became adapted to phenol.

Key words : phenol, transport equation, dispersion, adsorption, degradation.

Study on the Reactivity and Temperature-Characteristic of Colcium-Based Sulfur Sorbent.

Huang Xingyi, Li Zhijiang, Zhang Xuyi (Thermal Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **13**(6), 1992, pp.11—15

The reactivity and temperature-characteristic of sorbent are two critical factors affecting sulfur-capture efficiency in the process of fluidized bed combustion of coal. The synthetic sorbent developed by the authors, although mainly consisting of limestone fines, possesses higher reactivity than the limestone itself and could be used in a wider range of temperature up to 1100°C. In order to study the phenomenon, experiments were conducted by using a fixed bed reactor, a mercury porosimeter and a scanning electronic micro-scope etc. Two kinds of synthetic sorbents (with and without sulfur-retentive ash) and limestone were used in the study. Results demonstrate that large pores in the synthetic sorbents, wich were formed in the process of agglomeration, enhanced the diffusion of SO_2 and O_2 and, therefore, led to the high reactivity of the sorbent. In the meantime, sulfur-retentive ash deferred the occurance of sintering and thus made the optimum temperature shift to a high level.

Key words : fluidized bed boiler, fluized bed combustion, sulfur dioxide, desulfurization, limestone, synthetic sorbent.

Environmental Factors Causing the Low Level of Se in Human Body—A Survey on the Kaschin Beck Disease Region in Loess Plateau, Shanxi Provice.

Li Jivun (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica Beijing, 100085): *chin. J. Environ. Sci.*, **13**(6), 1992, pp.16—22
It has been demonstrated from the results of survey and study in the Kaschin-Beck disease occuring