

# PCBs 在土壤半野外试验系统中迁移与消失的规律

竺晓恺, 夏希娟, 杜秀英, 安凤春, 徐晓白 (中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

**摘要:** 利用构建的土壤半野外试验系统, 在接近野外 (半干旱气候) 条件下, 研究高含量 (400 mg/kg) 高氯代 PCBs (以五氯代为主) 在系统中的迁移与消失规律。结果表明, 在处理后的 12 个月内, PCBs 几乎没有迁移, 也几乎没有减少; 处理 24 个月后, 仅有不超过 2% 的 PCBs 向下层迁移, 但迁移不超过 10cm; 在处理 24 个月后, 处理层 PCBs 的浓度降低 10.19%, 这其中包含向下迁移的部分。该项研究为 PCBs 的填埋或其它处理措施提供了科学依据, 并为 PCBs 及其类似污染物的生态风险评价提供了基础资料。

**关键词:** 多氯联苯 (PCBs); 土壤半野外试验系统; 迁移; 消失

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301 (2003) 03-03-0158

## The Disappearance and Transfer Behavior of PCBs Bestrewed into Semi-field Soil Systems

Zhu Naikai, Xia Xijuan, Du Xiuying, An Fengchun, Xu Xiaobai (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

**Abstract:** The disappearance and transfer behavior of polychlorinated biphenyl (PCBs) (the mains of pentachlorinated PCBs) at higher concentrations (400 mg/kg) bestrewed into semi-field soil systems were studied under near field conditions (semi-dry climate in North China). The result showed that PCBs did not lose and transfer forward below after 12 months of treatment. And after 24 months of treatment, only less than 2% of PCBs transferred vertically no more than 10cm and PCBs concentration at treatment layers decreased 10.19% including the amount of transfer. It provides the scientific foundation for the landfill or other treatment measurements of PCBs, also gives the basic data for ecological risk assessment of PCBs and other relative compounds.

**Keywords:** polychlorinated biphenyl (PCBs); semi-field soil systems; disappearance; transfer behavior

多氯联苯 (Polychlorinated biphenyl, PCBs) 是一类化学性质稳定、具有多种用途的人工合成化合物。然而由于 PCBs 的大量生产和使用, 导致了环境污染, 引起世人关注, 以至到 20 世纪 70 年代 PCBs 被限制或禁止生产和使用。尽管如此, 地球上生产的 PCBs 还有 2/3 在使用中或者被填埋。至今, PCBs 仍是环境中分布广、毒性强而且极为保守的污染物, PCBs 的污染防治仍是很棘手的环境问题之一。

本课题组构建了土壤半野外试验系统, 用于在接近野外条件下研究 PCBs 在系统中的迁移与降解、受 PCBs 污染的生态系统的自组织能力以及可行的修复技术等。在这之前, 本课题组已对我国南方地区水稻田中 PCBs 的迁移规律

进行过研究<sup>[1]</sup>, 本文报告在我国北方半干旱气候条件下 PCBs 在土壤半野外系统中的迁移与消失规律, 为 PCBs 的填埋或其它处理措施提供了科学依据, 并为 PCBs 及其类似污染物的生态风险评价提供基础资料。

### 1 材料与方法

#### 1.1 土壤半野外试验系统的构建

将 3 个直径为 50cm, 高 50cm 的塑料桶, 底部打眼, 埋入土壤中, 桶的顶部边缘略高出地面。桶内用过筛土回填。其中 2 个设为试验, 一

个为对照.过一个月后,分别按照从表层往下 0 ~ 3,3 ~ 8,8 ~ 18,18 ~ 28cm 分层取土样观测土壤微生物(细菌、霉菌、放线菌)的种群结构以及土壤酶系(过氧化氢酶)和土壤有机质的含量.

1.2 PCBs 的施入

分别将 2 个试验桶的表土拨开,在距表面 5cm 处的土层均匀喷施五氯 PCBs (来自上海电化厂,经 GC/MS 分析,含五氯 PCBs 50 % 以上,四、六氯 PCBs 各占约 20 %) 2.00g(用二甲基亚砷溶解).3 个月后取样,观测土壤微生物(细菌、霉菌、放线菌)的种群结构和土壤酶系(过氧化氢酶)的变化.通过比较两次试验结果,初步判定试验系统趋于稳定状态.为使实验剂量更接近于规定的允许填埋剂量以及 PCBs 检测灵敏度问题,在半野外试验装置中分别施入较高剂量水平的五氯 PCBs(11.05g,用玉米油溶解),均匀喷施于距表层 5cm 处的土层.对照则只喷溶剂.

1.3 采样与分析

采样用直径约 5cm 的土壤采样器,可分别采集不同层次的土样.土壤有机物含量的测定用重铬酸钾法,细菌总数、霉菌总数和放线菌总数用常规平板稀释法<sup>[2]</sup>,反映土壤微生物活性的过氧化氢酶活性的测定用高锰酸钾法<sup>[2]</sup>,均按参考文献中的操作方式进行.PCBs 的样本处理和测定方法:取 2g 过筛土样 + 2g 无水硫酸钠,研磨后 + 内标(十氯联苯) + 12 mL 正己烷(分析纯,重蒸),震荡 30 min,静置过夜,倾出清液,再用正己烷提取 2 次,合并提取液并浓缩至 2 mL,过氟罗里土柱净化.GC 分析仪,5880 (HP),检测器温度 300 ℃,DB-5 毛细管柱,200 ℃,1 min,3 ℃/min 至 270 ℃,进样口温度 270 ℃,载气为高纯氮气.回收率在 76 % 以上.

2 结果与讨论

2.1 土壤半野外试验系统稳定后的基本情况  
在喷施 PCBs 之前,对土壤半野外试验系统的基本状态作了调查,结果见表 1.

表 1 土壤半野外试验系统稳定后的基本状态  
Table 1 The basic state of semi-field soil systems

| 测定项目                                       | 土层(对照)/cm |       |        |         | 土层(实验)/cm |       |        |         |
|--------------------------------------------|-----------|-------|--------|---------|-----------|-------|--------|---------|
|                                            | 0 ~ 3     | 3 ~ 8 | 8 ~ 18 | 18 ~ 28 | 0 ~ 3     | 3 ~ 8 | 8 ~ 18 | 18 ~ 28 |
| 有机物含量/ %                                   | 1.28      | 0.67  | 0.55   | 0.57    | 0.81      | 0.54  | 0.49   | 0.51    |
| 细菌总数 × 10 <sup>6</sup> /个·g <sup>-1</sup>  | 56.5      | 64.0  | 30.5   | 13.0    | 37.5      | 42.0  | 15.0   | 9.5     |
| 霉菌总数 × 10 <sup>3</sup> /个·g <sup>-1</sup>  | 9.5       | 3.5   | 1.5    | 1.5     | 10.5      | 5.0   | 3.0    | 1.0     |
| 放线菌总数 × 10 <sup>5</sup> /个·g <sup>-1</sup> | 8.0       | 5.5   | 2.5    | 3.0     | 8.0       | 4.0   | 4.5    | 4.0     |
| 过氧化氢酶活性/ mL·(g·min) <sup>-1</sup>          | 1.237     | 1.167 | 1.058  | 1.082   | 1.264     | 1.210 | 1.103  | 1.119   |
| 含水量/ %                                     | 9.29      | 11.26 | 10.73  | 11.09   | 10.38     | 11.34 | 11.27  | 11.03   |

该半野外试验系统的土质属粉砂壤土,其渗漏性小于砂壤土、大于粉砂粘壤土.表 1 的数据表明,土壤有机物含量和微生物种群数量属于中等水平.

2.2 试验期间 PCBs 在土壤半野外试验系统中的时空分布

从图 1 看出,①将施入 PCBs 后立即采样看成是 0 点,此时除了处理层 3 ~ 8cm 这一层外,其它各层都应为 0,但实际不是这样,这些测定值只能解释为试验误差.我们认为误差来源主要是采样时带来的.②在处理后的 12 个月内,

PCBs 几乎没有迁移,因为在与处理层最邻近的下面一层 8 ~ 18cm 的测量值在如前所分析的试验误差范围内.③在处理 24 个月后,仅有不超过 2 % (减去误差后为 1.66 %) 的 PCBs 向下层迁移,但迁移不超过 10cm,因为再下一层 18 ~ 28cm 可视为无检出.④在处理 12 个月内,PCBs 几乎没有减少,因为处理层的 3 次测量结果均与初始值没有显著性差异.⑤在处理 24 个月后,处理层的测量浓度降低 10.19 %,这其中包含向下迁移的部分.这就是说,处理后 24 个月内 PCBs 消失不超过 10 %.早期的研究表明,

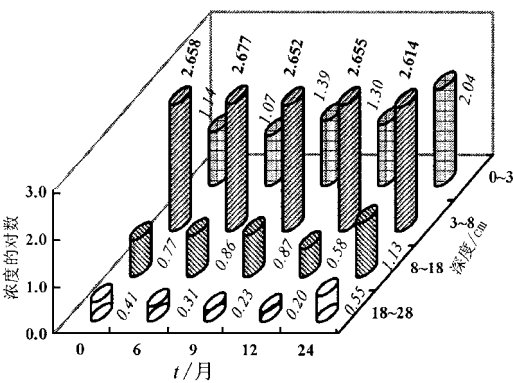


图 1 试验期间 PCBs 在土壤半野外  
试验系统中的时空分布

Fig.1 Distribution of PCBs in the semi-field soil  
systems during test period

生物降解和可逆吸附都不能引起高氯代 PCBs 的明显损失<sup>[3]</sup>,这里再一次证明,PCBs 的纵向迁移和消失都十分缓慢.缓慢的原因,除了绝大多数实验所证实了的由 PCBs 本身的化学结构和化学性质所决定外,在本试验中 PCBs 的浓度较高,而 PCBs 的消失量是以测定 PCBs 的减少来计算的,限于测定方法的灵敏度而且因为试验是在接近野外条件下进行,试验误差较大,

很难将微小的变化分辨出来<sup>[4]</sup>.

3 小结

- (1) 我国北方半干旱地区,在试验土壤系统中,PCBs(高氯代)的纵向迁移十分缓慢,2 年内仅有不超过 2 % 向下层迁移,但迁移不超过 10cm.
- (2) 在试验条件下,PCBs(高氯代,高含量)2 年内消失不超过 10 %.

致谢:岛津公司渠峰工程师对 GC/MS 分析给予大力相助;同事莫汉宏教授和储少岗教授在 GC 分析方面给予热情指导,在此一并表示真诚的谢意.

参考文献:

- 1 毕新慧,储少岗,徐晓白.多氯联苯在水稻田中的迁移行为.环境科学学报,2001,21(4):454~458.
- 2 中国科学院南京土壤研究所微生物室编著.土壤微生物研究法.北京:科学出版社,1985.
- 3 Alcock R E et al. Persistence and fate of polychlorinated biphenyl (PCBs) in sewage-sludge-amended agricultural soil. Environ. Pollut., 1996, 93: 83~92.
- 4 Martin Alexander. Biodegradation and bioremediation. California: Academic Press, 1994. 159~176.