

土壤中 2,2',5,5'-四氯联苯的锁定效应及其影响因素^{*}

王 芳 冯 流^{**} 黄 鑫

(北京化工大学环境科学与工程系, 北京, 100029)

摘 要 以 2,2',5,5'-四氯联苯(PCB52)为典型代表,采用微波提取法研究了土壤中多氯联苯的锁定效应及其影响因素.实验表明,老化时间、土壤的有机质含量、含水率、pH 值以及老化环境温度都对土壤锁定 2,2',5,5'-四氯联苯的效果有显著影响.2,2',5,5'-四氯联苯锁定量随着老化时间的增长而增加,添加 20 d 后尤为显著,之后变化缓慢,趋于平衡;随着土壤有机质含量的增加而显著增加;随着土壤含水率的增大而下降,且表现出一定的线性相关性;在 pH 5.5—10.5 范围内,随着土壤 pH 值的升高而增大;在 15 ℃到 40 ℃范围内随着老化环境温度的升高而降低.此外,多氯联苯自身的性质也会影响土壤对其的锁定效果.

关键词 锁定, 吸附, 多氯联苯.

多氯联苯(Polychlorinated Biphenyls, PCBs)是联苯苯环上的若干氢原子被氯取代而形成的一类弱极性有机氯化化合物的总称,属于内分泌干扰物,对动物和人类的神经系统、生殖系统和免疫系统造成很大的伤害^[1]. PCBs 在土壤以及江、河、湖的底泥中残留量最大,土壤和底泥是 PCBs 在环境中循环的最终受体^[2].土壤中有有机污染物的“锁定”(Sequestration)是指土壤中有有机污染物与降解生物发生隔离或者转化为不能被利用状态的限速过程^[3],污染物的锁定将影响其在土壤内部及土壤与其它介质界面的迁移转化、交换和最终归宿,从而影响其生物毒性和其它环境风险^[4-6].锁定的典型例子是在施用 19 年后的土壤中仍能检出 1,2-二溴乙烷,虽然它挥发性很大且具有一定的水溶性和很好的微生物降解性^[7].上述现象证实了锁定效应的存在以及它对有机污染物环境风险的影响.研究 PCBs 在土壤中的锁定效应,对了解其在环境中的迁移行为特征和归趋具有很好的指导作用,对于环境风险评估和污染修复标准的制定都具有参考价值.

锁定发生的原因是疏水性有机物在土壤中的吸附-解吸并不是瞬时的、线性的、可逆的相平衡分配过程,污染物的解吸存在着明显的滞后和不可逆性,部分污染物的解吸非常困难,表现为锁定.关于锁定的机理虽然学术界提出了多种假设,但是不同学者得出的结论差异很大,有的甚至相悖^[7-10],至今没有达成统一的结论,主要是因为现有的研究手段很难从微观角度去观察锁定行为.目前大致可以分为两大类,基于缓慢扩散的锁定机理和基于物理捕获的锁定机理^[11].土壤中难降解有机污染物的锁定受到诸多因素的影响,主要包括土壤性质(有机质含量^[12-14]、湿度^[15]、pH^[16-17]等)、污染物自身性质^[18],以及老化温度^[7]等环境条件,其中土壤有机质含量对污染物的锁定行为影响巨大.

本文以 2,2',5,5'-四氯联苯作为多氯联苯的典型代表,研究土壤中多氯联苯的锁定效应,以及各个影响因素对其锁定效果的影响,以期科学、经济地开展污染土壤修复工作提供科学基础和理论支持.

1 材料与方法

1.1 实验仪器与试剂

配有⁶³Ni 放射源 ECD 检测器的 GC2010 气相色谱(岛津),DB-5 色谱柱(30 m×0.32 mm×0.25 μm,美国 J&M 公司),KL512 型氮吹仪(北京康林科技有限责任公司),XH-800C 双控微波消解仪(北京祥鹄科技发展有限公司),RE-52 旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器厂),K-D 浓缩瓶(北京玻璃仪器厂),HZQ-F160 恒温振荡培养箱(哈尔滨东联电子技术开发有限公司),AR2140 分析天平(OHAUS),标准分样筛

2011 年 12 月 30 日收稿.

^{*} 国家自然科学基金(20777007);教育部中央高校科研业务费项目(ZD0904);北京市环境工程重点学科资助项目资助.

^{**} 通讯联系人, E-mail: fengliu-buct@vip.sina.com

(浙江上虞市公路仪器厂),SHB-III 循环水式多用真空泵(郑州长城科工贸有限公司)。

2,2',5,5'-四氯联苯(PCB52)、2,2',4,5,5'-五氯联苯(PCB101)、2,2',3,4,4',5'-六氯联苯(PCB138)、2,2',3,4,4',5,5'-七氯联苯(PCB180)(标准物质,纯度 $\geq 99\%$,Cerilliant),高纯氮气(含量 $\geq 99.999\%$,北京欧亚气体制品有限公司),氮气(北京东方医用气体公司),正己烷(色谱纯,Fisher),丙酮(色谱纯,Fisher),无水硫酸钠(分析纯),98%浓硫酸(分析纯),重铬酸钾(分析纯)。

实验所用的玻璃仪器均经超声波清洗器清洗,用自来水洗净,在铬酸洗液中浸泡过夜,用去离子水洗净,烘干备用,使用前再用丙酮淋洗,烘干。

1.2 土壤样品的采集与制备

实验采用的土壤样品采自元大都公园表层土壤(采样深度 0—40 cm),置于玻璃采样瓶中。样品采集后运回实验室,土壤样品室温条件下自然风干、碾碎,去除大块杂质和植物根须,过 10 目标准筛备用。

1.3 不同有机质含量土壤样品的制备

在元大都采集的土壤样品中添加不同量过 200 目筛的落叶松树皮粉末,搅拌均匀,加入适量去离子水,老化几天后,土壤和树皮粉末结合很好,得到不同有机质含量的土壤。参照 GB9834—88《土壤有机质含量的测定》测定配制好的土壤样品中的有机质含量。

1.4 不同 pH 土壤样品制备

在元大都表层土壤中添加一定量的盐酸和氢氧化钠水溶液调节土壤 pH,制备不同 pH 的土壤样品供老化实验使用。

土壤 pH 检测方法:称取过 1 mm 孔径筛子的风干土 5 g,放入 50 mL 烧杯中,加入蒸馏水 25 mL,用玻璃棒搅拌 1 min,使土体充分散开,静置 0.5 h,此时应避免空气中氨或挥发性酸的影响,然后用精密 pH 试纸测定上清液的 pH 值。

1.5 老化实验

土壤样品添加 2,2',5,5'-四氯联苯标准物质 $1000\text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$,添加后立即采用微波提取法提取并检测此时土壤样品中 2,2',5,5'-四氯联苯的浓度,定义为未锁定时的初始浓度 $C_0(\text{ng}\cdot\text{g}^{-1})$,在恒温培养箱中避光恒温老化,一定天数后检测土样中 2,2',5,5'-四氯联苯的浓度,为老化某天土样中剩余可提取的 2,2',5,5'-四氯联苯浓度 $C_t(\text{ng}\cdot\text{g}^{-1})$,此时的浓度 C_t 与初始浓度 C_0 的差值在本文中定义为 2,2',5,5'-四氯联苯的锁定量 $C_s(\text{ng}\cdot\text{g}^{-1})$,锁定量 C_s 占初始浓度 C_0 的百分比定义为 2,2',5,5'-四氯联苯锁定率 $R_s(\%)$ 。考察土样老化时间的影响时,测定老化不同时间后土壤中 2,2',5,5'-四氯联苯的可提取量 C_t ,从而计算锁定率 R_s 随老化时间的变化。考察不同土壤性质和环境条件的影响时,在其它条件不变的情况下,改变要考察的参量,测定初始浓度 C_0 和老化一定天数后的 C_t ,从而得到各个影响因素对土壤锁定 2,2',5,5'-四氯联苯效果 R_s 的影响。

土壤样品添加 2,2',5,5'-四氯联苯污染物的方法:称取一定量的土壤,高温 $180\text{ }^\circ\text{C}$ 下灭菌 2 h,加入一定量的 2,2',5,5'-四氯联苯正己烷溶液使其刚好没过土样,置于通风橱中使正己烷完全挥发,得到污染后的土样。

1.6 土壤样品中 2,2',5,5'-四氯联苯的检测方法

前处理:自然风干的土壤样品研磨后过 200 目标准分样筛,称取 3 g 土样加入无水硫酸钠($500\text{ }^\circ\text{C}$ 灼烧 4 h 备用)3 g,加入正己烷:丙酮体积比为 3:1 的混合溶剂 40 mL, 600 W 、 $110\text{ }^\circ\text{C}$ 下微波提取,加热时间 15 min,保持 20 min。冷却后过滤($0.45\text{ }\mu\text{m}$ 有机滤膜),用正己烷淋洗 3 次,收集滤液和洗液至 100 mL 旋转蒸发瓶,旋转蒸发至 5 mL 转移至 K-D 浓缩瓶,再用正己烷淋洗 3 次一并收集,采用缓流氮气吹脱浓缩至干,用正己烷定容至 1 mL,保存于自动进样瓶中待测。

气相色谱检测条件:采用高纯氮气作为载气,色谱柱选用 DB-5 色谱柱($30\text{ m}\times 0.32\text{ mm}\times 0.25\text{ }\mu\text{m}$)。升温程序: $150\text{ }^\circ\text{C}$,保持 1 min, $10\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$,升至 $200\text{ }^\circ\text{C}$,再以 $3.5\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升至 $265\text{ }^\circ\text{C}$,以 $10\text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 升至 $300\text{ }^\circ\text{C}$,保持 5 min。检测器温度 $300\text{ }^\circ\text{C}$,信号采集 40 ms,延迟时间 3.00 min,载气总流量 $8.8\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$,色谱柱流量 $0.88\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$,进样方式不分流,进样时间 0.75 min。

实验结果为 2 组平行数据的平均值,相对标准偏差在 1% 到 7% 之间,多氯联苯检测的方法检出限为 $1.0\text{--}1.7\text{ pg}^{[19]}$,4 种多氯联苯的加标回收率在 92.8% 至 107.4% 之间,平均回收率为 101.4%。

2 结果与讨论

2.1 老化时间的影响

含水率 0.89%、pH 值为 6.5、有机质含量 1.02% 的土壤样品,添加 2,2',5,5'-四氯联苯污染物 1000 ng·g⁻¹后,恒温 30 ℃下在黑暗环境中老化,每隔一段时间测定其浓度,并计算锁定率.实验结果如图 1 所示,随着老化时间的延长,2,2',5,5'-四氯联苯的锁定量逐渐增大,在新添加 20 d 后内尤为显著,之后变化速率放缓,趋于平衡;土壤中的 2,2',5,5'-四氯联苯在添加后 100 d 左右吸附-解吸基本达到平衡,其浓度不再随时间而变化,锁定量达到饱和,最终锁定率达到 18.30%. 多氯联苯在土壤中的吸附经历快、慢两个过程,快过程可在短时间内完成,其吸附和解吸是基本平衡的,而慢吸附过程则需要较长时间来完成,其间解吸的滞后和不可逆性是发生锁定的主要原因.

2.2 土壤有机质含量的影响

含水率 0.89%、pH 值为 6.5、有机质含量不同的土壤样品,添加 2,2',5,5'-四氯联苯污染物 1000 ng·g⁻¹后,恒温 30 ℃下在黑暗环境中老化 10 d,微波萃取测定老化前后土样中 2,2',5,5'-四氯联苯的浓度,计算其锁定率.实验所得 2,2',5,5'-四氯联苯锁定率与土壤有机质含量的关系如图 2. 图 2 显示有机质对土壤锁定多氯联苯有显著的影响,锁定效率随着土壤有机质含量的增加而显著增加,这与很多文献报道的研究结果相一致^[12,13]. 在供实验的所有土壤样品中,有机质含量最高的土样,其有机质含量为 15.90%,在老化 10 d 后锁定了最多的 2,2',5,5'-四氯联苯,其锁定率高达 21.22%;而有机质含量最低为 1.02% 的土壤仅锁定了 6.96% 的 2,2',5,5'-四氯联苯. 有机污染物在土壤中的吸附是发生锁定的前提,土壤中有有机质是吸附有机污染物的主要活性组分,被认为是锁定发生的主要原因,被锁定的难降解有机污染物可能与土壤有机质发生各种物理化学作用,很难被解吸出来.

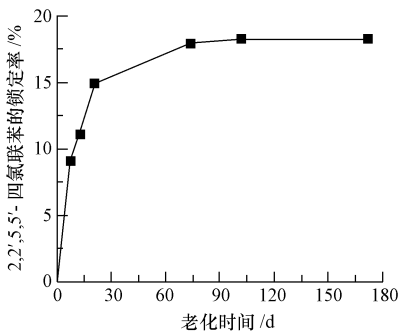


图 1 土壤中 2,2',5,5'-四氯联苯的锁定随老化时间的变化

Fig. 1 Sequestration of 2,2',5,5'-tetrachlorobiphenyl in soil as a function of aging time

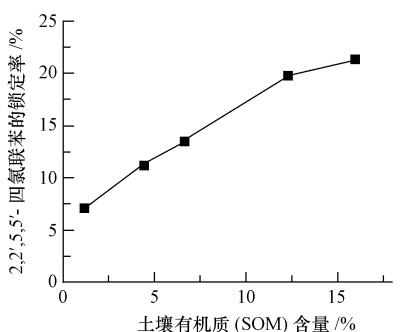


图 2 不同有机质含量土壤中 2,2',5,5'-四氯联苯的锁定

Fig. 2 Sequestration of 2,2',5,5'-tetrachlorobiphenyl in soil samples with different SOM content

2.3 土壤含水率的影响

pH 值为 6.5、有机质含量 6.57%、含水率不同的土壤样品,在添加 2,2',5,5'-四氯联苯污染物 1000 ng·g⁻¹后,在恒温 30 ℃下老化 10 d,微波萃取测定其在土壤中锁定前后的浓度变化,计算锁定率,实验结果如图 3. 图 3 表明含水率对土壤中多氯联苯的锁定也有显著影响,2,2',5,5'-四氯联苯的锁定量随着土壤含水率的上升而下降,且表现出一定的线性相关性,线性相关系数 $R^2 = 0.998$. 当土壤含水率从 1.40% 升高到 70.65% 时,2,2',5,5'-四氯联苯老化 10 d 的锁定率从 13.15% 下降到 5.51%. 出现这种现象的原因可能是,水分的存在不利于多氯联苯向土壤中的不可逆吸附位点转移,土壤湿度可影响水分子对土壤极性电位的竞争,从而影响土壤对多氯联苯的锁定. Kottler 等^[15]研究也表明,若加入有机物时土壤湿度较大,可使土壤的锁定行为剧烈减弱,可能是由于水的极性对有机污染物向土壤有机质或土壤微孔的扩散产生阻碍作用,也可能是由于有机污染物和水之间在某些吸附点位产生了竞争.

2.4 土壤 pH 的影响

含水率 10.09%、有机质含量 6.57%、不同 pH 值的土壤,添加 2,2',5,5'-四氯联苯标准物质

1000 ng·g⁻¹污染后,在恒温 25 ℃下老化 30 d,微波萃取测定老化前后土样中 2,2',5,5'-四氯联苯的浓度,实验所得 2,2',5,5'-四氯联苯锁定率与土壤 pH 的关系如图 4 所示. 图 4 表明土壤 pH 对 2,2',5,5'-四氯联苯的锁定效果影响显著,在 pH 值 5.5 到 10.5 范围内,2,2',5,5'-四氯联苯的锁定量随着土壤 pH 值的升高而增大. 当土壤 pH 值从 5.5 升高到 10.5 时,老化 30 d 后 2,2',5,5'-四氯联苯的锁定率从 22.17% 增大到 41.75%. pH 影响土壤锁定多氯联苯的机理目前还不是很明确,可能是由于酸化可以促进有机污染物的解吸. Brusseau 等^[16]研究表明酸化土壤悬浮物可以使卤化物脂肪烃解吸加速,pH 值由中性酸化到小于 2 时,1 h 内的解吸量由 13% 增加到 80%.

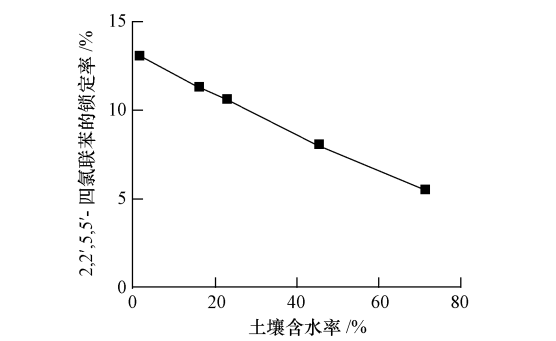


图3 不同含水率土壤中 2,2',5,5'-四氯联苯的锁定
Fig.3 Sequestration of 2,2',5,5'-tetrachlorobiphenyl in soil samples with different moisture content

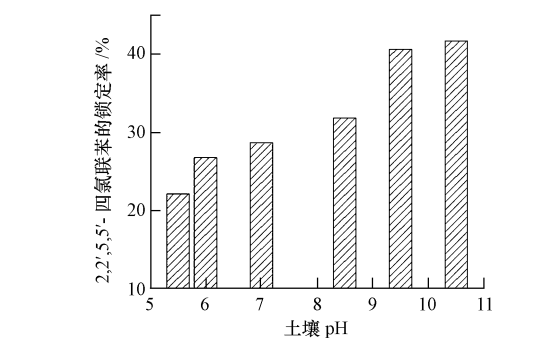


图4 不同 pH 值土壤中 2,2',5,5'-四氯联苯的锁定
Fig.4 Sequestration of 2,2',5,5'-tetrachlorobiphenyl in soil samples with different pH

2.5 老化环境温度的影响

含水率 0.89%、有机质含量 6.57%、pH 值为 6.5 的土壤,加入 2,2',5,5'-四氯联苯 1000 ng·g⁻¹后,在不同温度下黑暗环境中恒温老化 30 d,测定其老化前后在土壤中的浓度变化. 实验所得 2,2',5,5'-四氯联苯锁定率与环境温度的关系如图 5 所示.

温度对于多氯联苯在土壤中的老化有一定的影响,当老化环境温度升高时,2,2',5,5'-四氯联苯的锁定率随之降低. 老化环境温度从 15 ℃升高到 40 ℃时,老化 30 d 后 2,2',5,5'-四氯联苯的锁定率由 38.23% 下降到 22.99%. 产生这种现象的主要原因是温度对于吸附-解吸平衡的影响,一般认为,锁定的机理是土壤对有机污染物的不可逆吸附,而有机污染物的吸附是放热过程,而解吸则是吸热过程,温度升高会使吸附-解吸平衡偏向解吸方向移动,从而不利于锁定的发生. Steinberg^[7]的研究表明,温度从 25 ℃上升到 40 ℃时,土壤中残留 EDB(1,2-二溴乙烷)的解吸速率增加了 7 倍,Carroll^[20]也证明了加热能够增加河流沉积物中氯苯的解吸速率.

2.6 多氯联苯自身性质对锁定的影响

含水率 0.89%、有机质含量 6.57%、pH 值为 6.5 的土壤,分别加入 1000 ng·g⁻¹的 4 种多氯联苯,它们分别是 2,2',5,5'-四氯联苯(PCB52)、2,2',4,5,5'-五氯联苯(PCB101)、2,2',3,4,4',5'-六氯联苯(PCB138)和 2,2',3,4,4',5,5'-七氯联苯(PCB180),在 25 ℃下黑暗环境中老化 30 d,测定其老化前后在土壤中的浓度变化,考察多氯联苯自身性质对其锁定效果的影响,实验结果如图 6 所示. 由图 6 可以看出,多氯联苯自身的性质对锁定效果也有很大的影响,随着联苯苯环上取代氯原子数的增加,多氯联苯在土壤中的锁定效果降低. 相同条件下,2,2',3,4,4',5,5'-七氯联苯(PCB180)比 2,2',5,5'-四氯联苯(PCB52)的锁定率小很多,二者老化 30 d 后的锁定率分别为 8.18% 和 28.33%. 一般认为有机污染物的疏水特性是发生锁定的基础,污染物的辛醇-水分配系数越高,其在土壤有机质中的吸附分配系数就越大,也就越容易被锁定. 但是除此之外,污染物的空间结构也影响污染物在土壤颗粒中的结合状态和传质过程,由于空间位阻作用,有机污染物分子所占空间越大,越难进入土壤的微孔结构,也就越难锁定. 本实验中,随着联苯苯环上取代氯原子数的增加,多氯联苯分子越大,越难进入土壤微孔结构,并且很难通过土壤孔隙结构进入土壤内部与有机质结合,表现为锁定量的下降. 在本实验条件下,土壤锁定多氯联苯的过程中空间位阻作用的影响占主导.

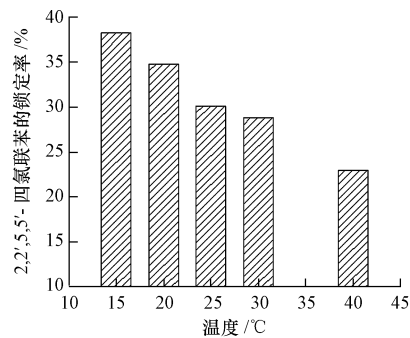


图5 不同环境温度下土壤中2,2',5,5'-四氯联苯的锁定
Fig.5 Sequestration of 2,2',5,5'-tetrachlorobiphenyl in soil samples under different environment temperature

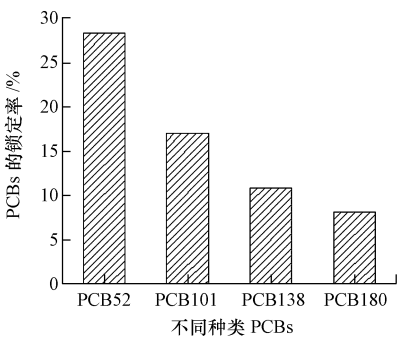


图6 不同种类 PCBs 在土壤中的锁定
Fig.6 Sequestration of different PCBs in soil

3 结论

实验表明老化时间、土壤有机质含量、含水率、pH 值以及老化环境温度对土壤锁定 2,2',5,5'-四氯联苯的效果均有显著影响. 土壤锁定 2,2',5,5'-四氯联苯的量随着老化时间的延长而增大,添加后20 d 内变化显著,之后变化缓慢,趋于平衡;100 d 后吸附-解吸基本达到平衡,最终锁定率达到 18.30%. 在土壤有机质含量 1.02%—15.90% 范围内,锁定效率随着土壤有机质含量的增加而明显增大. 在土壤含水率 1.40% 到 70.65% 范围内,土壤中 2,2',5,5'-四氯联苯锁定量随着土壤含水率的增加而下降,且表现出一定的线性相关性. 在 pH 值 5.5—10.5 范围内 2,2',5,5'-四氯联苯的锁定随着土壤 pH 值的升高而增强,老化 30 d 后 2,2',5,5'-四氯联苯的锁定率从 22.17% 增大到 41.75%. 老化环境温度从 15 ℃ 升高到 40 ℃ 时,老化 30 d 时 2,2',5,5'-四氯联苯的锁定率由 38.23% 下降到 22.99%. 此外,多氯联苯自身的性质也会影响土壤对其的锁定效果,随着联苯苯环上取代氯原子数的增加,多氯联苯在土壤中的锁定效果降低.

有机污染物在土壤中的吸附是一个复杂的过程,可能同时包括多种作用模式和机制,如吸附到土壤矿物和有机质的表面、填充在土壤的微孔隙之中、以及与一些特殊位点的相互作用等,通过对土壤锁定有机污染物各个影响因素的研究可以更好地理解锁定的机理. 通过实验结果可以推测,土壤有机质是其吸附多氯联苯的主要活性组分之一;水分的存在不利于多氯联苯向土壤中的不可逆吸附位点转移,表明吸附偏向于具有选择性的化学吸附;温度升高使多氯联苯的锁定明显降低,也表明化学吸附在本实验锁定发生过程起到了重要作用;空间位阻作用在锁定发生过程中也可以占据主导地位,在本实验中的表现为多氯联苯分子所占空间越大越难被锁定.

参 考 文 献

[1] Lehmler H J, Harrad S J, Hunerfuss H, et al. Chiral polychlorinated biphenyl transport, metabolism, and distribution: A review[J]. Environ Sci Technol, 2010, 44: 2757-2766

[2] Kim Y S, Eun H, Cho H S, et al. The characterization of PCDDs, PCDs, PCDFs and coplanar PCBs during the past 50 years in Gwangyang Bay, South Korea[J]. J Hazard Mater, 2008, 154: 756-765

[3] Lanno R, Wells J, Conder J, et al. The bioavailability of chemicals in soil for earthworms[J]. Ecotox Environ Safe, 2004, 57: 39-47

[4] Dercová K, šeligová J, Dudášová H, et al. Characterization of the bottom sediments contaminated with polychlorinated biphenyls: Evaluation of ecotoxicity and biodegradability[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2009, 63(4): 440-449

[5] Chen W, Cong I, Hu H I, et al. Relsase of adsorbed polycyclic aromatic hydrocarbons under cosolvent treatment: Implications for availability and fate[J]. Environ Toxicol Chem, 2008, 27: 112-118

[6] Choi H, Al-Abed S R. PCB congener sorption to carbonaceous sediment components: Macroscopic comparison and characterization of sorption kinetics and mechanism[J]. J Hazard Mater, 2009, 165: 860-866

[7] Steinberg S M, Pignatello J J, Sawhney B L. Persistence of 1,2-dibromoethane in soils: Entrapment in intraparticle micropores[J]. Environ Sci Technol, 1987, 21:1201-1208

- [8] Reid B J, Jones K C, Semple K T. Bioavailability of persistent organic pollutants in soils and sediments; A perspective on mechanisms, consequences and assessment [J]. Environ Pollut, 2000, 108: 103-112
- [9] Pignatello J J, Xing B S. Mechanisms of slow sorption of organic chemicals to natural particles [J]. Environ Sci Technol, 1996, 30: 1-11.
- [10] Xing B, Pignatello J J. Dual-mode sorption of low-polarity compounds in glassy ploy (Vinyl chloride) and soil organic matter[J]. Environ Sci Technol, 1997, 31: 792-799
- [11] 段林, 张承东, 陈威. 土壤和沉积物中疏水性有机污染物的锁定及其环境效应[J]. 环境化学, 2011, 30(1):242-251
- [12] Yang Y, Tao S, Zhang N, et al. The effect of soil organic matter on fate of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil: A microcosm study [J]. Environ Pollut, 2010, 158(5): 1768-1774
- [13] Clark Ehlers G A, Forrester S T, Scherr K E, et al. Influence of the nature of soil organic matter on the sorption behaviour of pentadecane as determined by PLS analysis of mid-infrared DRIFT and solid-state ¹³C NMR spectra[J]. Environ Pollut, 2010, 158(1): 285-291
- [14] Yang Y, Zhang N, Xue M, et al. Effects of soil organic matter on the development of the microbial polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) degradation potentials[J]. Environ Pollut, 2011, 159(2): 591-595
- [15] Kottler B D, White J C, Kelsey J W. Influence of soil moisture on the sequestration of organic compounds in soil[J]. Chemosphere, 2001, 42: 893-898
- [16] Brusseau M L, Wood A L, Rao P S C. Influence of organic cosolvents on the sorption kinetics of hydrophobic organic chemicals[J]. Environ Sci Technol, 1991, 25(5): 903-910
- [17] Boivin A, Amellal S, Schiavon M, et al. 2,4-dichlorophenoxyacetic acid(2,4-D) sorption and degradation dynamics in three agricultural soils[J]. Environ Pollut, 2005, 138(1): 92-99.
- [18] Kottler B D, Alexander M. Relationship of properties of polycyclic aromatic hydrocarbons to sequestration in soil[J]. Environmen Pollut, 2001, 113: 293-298
- [19] 徐恒振, 王晓芳, 周传光, 等. 微波萃取海洋沉积物中有机氯农药和多氯联苯[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(3): 420-423
- [20] Carroll K M, Harkness M R, Bracco A A, et al. Application of a permeant/polymer diffusional model to the desorption of polychlorinated biphenyls from Hudson River sediments[J]. Environ Sci Technol, 1994, 28(2): 253-258

Sequestration of 2,2',5,5'-tetrachlorobiphenyl in soils

WANG Fang FENG Liu* HUANG Xin

(Department of Environmental Science and Technology, Beijing University of Chemical Technology, Beijing, 100029, China)

ABSTRACT

Taking 2,2',5,5'-tetrachlorobiphenyl (PCB52) as a test compound and using microwave extraction method, the sequestration of PCBs in soil and its influencing factors were studied in this paper. It can be concluded that aging time, soil organic matter (SOM), soil moisture content, soil pH and environment temperature all had significant effects on the sequestration of PCBs in soil. The sequestration of PCB52 in soil first increased greatly along with the aging time, and then changed slightly and tended to balance after 20 d of aging; It increased obviously with the SOM content in the soil and showed a negative correlation to the soil moisture. It also increased with soil pH from 5.5 to 10.5, and increased with environment temperature from 15 °C to 40 °C.

Keywords: sequestration, sorption, polychlorinated biphenyl.