

电子垃圾拆解地稻田土壤中阻燃剂得克隆的含量与组成

吴江平^{1,2*}, 陈小云^{1,2}, 麦碧娴³

¹安徽省水土污染治理与修复工程实验室, 芜湖, 241002; ²安徽师范大学环境科学与工程学院, 芜湖, 241002; ³中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广州, 510640

摘要:

得克隆 (DP) 是一种氯代阻燃剂, 被广泛添加于电子电器产品 (如电视和电脑等) 的塑料高聚物中以降低产品的可燃性. 虽然 DP 已有 50 多年的使用历史, 但其在环境中检出仅有 10 余年, 是一种“新型”污染物. 关于 DP 的环境行为研究, 主要集中于水体沉积物, 土壤 (特别是稻田土壤) 中 DP 的行为研究较少, 影响稻田土壤中 DP 含量和组成的因素尚不完全清楚. 本研究以 DP 典型污染地—电子垃圾拆解地稻田土壤为研究对象, 探寻不同电子垃圾类型、土壤中有机碳含量和水稻根系等因素对土壤中 DP 含量和组成的影响.

稻田土壤样品采集于广东省清远市. 根据所拆解电子垃圾的类型选择了 4 个采样点 (样点 A、B、C 和 D), 各样点拆解的主要电子垃圾类型见表 1. 此外, 在离电子垃圾拆解地东北约 20 km 处的稻田 (样点 R, 该采样点附近没有电子垃圾拆解活动) 采集了稻田土壤样品, 作为对照样.

表 1 电子垃圾拆解区各采样点拆解的电子垃圾类型

采样点	电子垃圾拆解类型
A	电路板、汽车零部件和变压器等
B	电子元件和电路板等
C	电视机、显示器和电缆线等
D	空调、冰箱等

DP 有两种异构体, 即顺式 (*syn-*) 和反式 (*anti-*) 构型. 电子垃圾拆解地 4 个采样点土壤中 $\sum DP$ (*syn-DP* 和 *anti-DP* 含量之和) 的平均含量是对照点的 3~50 倍, 表明粗犷的电子垃圾拆解活动已造成附近稻田土壤中 DP 的严重污染. 本研究样点 A 和 B 土壤中 $\sum DP$ 含量与已报道的电子垃圾拆解地稻田土壤中 DP 的含量相近, 但样点 C 和 D 土壤中 $\sum DP$ 含量高于已有报道值的 4~8 倍.

统计分析发现, 电子垃圾拆解地 4 个样点中 C 和 D 点土壤中 $\sum DP$ 含量显著高于样点 A 和 B, 可能与不同样点拆解的电子垃圾类型不同有关. 样点 C 和 D 主要拆解电缆线、显示器、空调和冰箱(表 1), 而 DP 作为阻燃剂主要添加于电缆线及电脑、电视等电器的电源接头或插线板中.

电子垃圾拆解地 4 个样点土壤中 $\sum DP$ 含量的对数值均与土壤中总有机碳 (TOC) 含量具有显著的正相关性 ($r^2 > 0.74, p < 0.05$), 表明稻田土壤中 TOC 含量是影响 DP 含量的一个重要因素.

我们在样点 A 同时采集了根际土和非根际土. 检测结果发现, 水稻根际土中 $\sum DP$ 含量显著高于非根际土. 这一结果暗示, 水稻根系可能加速了 DP 在稻田土壤中的运移.

我们采用 *anti-DP* 所占 $\sum DP$ 的比例 (f_{anti}) 表征土壤中 DP 的异构体组成特征. 4 个采样点之间相比, 土壤中样点 A 和 B 土壤中 f_{anti} 值显著低于样点 C 和 D, 可能与不同样点 DP 含量差异有关. 进一步统计分析发现, f_{anti} 值与 $\sum DP$ 具有显著正相关性. 此外, 统计分析还发现, 电子垃圾拆解地 4 个样点土壤中 f_{anti} 值均与 TOC 具有显著正相关性. 在同一样点(A 点), 水稻根际土中 f_{anti} 值显著低于非根际土, 可能是由于 *anti-DP* 在稻田土壤中的运移能力较 *syn-DP* 低造成。

我们的研究表明, 电子垃圾类型、土壤中 TOC 含量及水稻根系均影响稻田土壤中 DP 的含量与组成. 影响 DP 在稻田土壤中行为的其他因素 (如水稻不同生长期) 及典型污染地稻米中 DP 的膳食暴露风险应进一步研究.

* 通讯作者, 吴江平, E-mail: jpwu@ahnu.edu.cn