

降雨中有机氯农药土壤-水界面迁移过程的实验模拟^{*}

肖春艳 邵 超 赵同谦^{**} 何晓琪

(河南理工大学资源环境学院, 焦作, 454003)

摘 要 以人工降雨实验模拟的方法, 对有机氯农药在降雨过程中非点源污染的产生进行了研究. 结果表明, 在降雨过程中, 表层径流中有机氯农药的输出量高于土壤渗流液. 土壤径流中有机氯农药浓度的输出呈现先下降后平缓的趋势. 土壤有机质影响着降雨过程中有机氯农药浓度的输出变化趋势. 泥炭土径流中有机氯农药的输出量相对较高. 有机氯农药残留总量沿土壤剖面的总体变化趋势为随深度增加而下降, 其峰值出现在 0—5 cm, 反映了污染物的转移规律. 泥炭土中有机氯农药的残留量最低. 泥炭土、黄褐土和风沙土中有机氯农药含量的峰值均出现在第 2 次和第 3 次采样时间, 但在 30 d 后有有机氯农药的残留量仍较高, 表明有机氯农药在土壤中残留时间长, 可能存在着一定的生态风险.

关键词 降雨模拟, 表层径流, 土壤渗流液, 迁移, 有机氯农药.

有机氯农药 (Organochlorine pesticides, OCPs) 属持久性有机污染物 (Persistent Organic Pollutants, POPs) 的一类. 这类物质可以长期存在于自然环境 (如沉积物、土壤和水体) 中, 并可以通过食物链传递进入人体, 对人类健康造成危害^[1-2]. 随着人们对有机氯农药危害认识的加深, 各国对有机氯农药的生产和使用都制定了严格的限制措施, 因此, 有机氯农药所造成的点源污染在很大程度上得到控制. 然而, 历史上曾大量使用并在生产过程中排放有机氯农药, 长期在土壤、沉积物和水体中赋存、累积, 逐渐成为有机氯农药的释放源^[3-4]. 因此, 大面积降雨以及地表径流冲刷能够引起有机氯农药由土壤和沉积物等介质向水体迁移, 从而引起有机氯农药的非点源污染.

一般认为, 有机氯农药具有较强的亲脂憎水性, 然而, 在表面活性剂和可溶性土壤有机质等复合环境介质存在条件下, 土壤中的有机氯农药有可能从土壤和沉积物介质向水体迁移. 国外对土壤中有有机氯农药的含量与分布、迁移转化机理^[5-7]、应用几何方法评估有机氯农药残留量水平^[8] 等方面进行了研究, 而国内的相关研究主要集中在土壤及沉积物中有有机氯农药的来源、残留状况、生态风险评价和利用逸度模型模拟有机氯农药时空变化规律^[9-14] 等方面, 对有机氯农药在降雨过程中产生的非点源污染的研究尚不多见. 国内应用模拟降雨研究非点源污染造成的水体富营养化问题方面^[15-16] 以及土壤水分条件对非点源污染物迁移影响的研究较多^[17], 而对于引起有机氯农药等持久性有机污染物非点源污染的土壤-水体界面的迁移转化的基础研究鲜见报道.

本文采取降雨模拟方法研究有机氯农药在降雨过程中的非点源污染产生过程, 对不同土壤类型下引起两种土壤径流 (土壤表层径流和土壤渗流液) 中的有机氯农药迁移差别进行了比较研究, 阐明了有机氯农药在不同类型土壤的残留特征, 为区域有机氯农药污染的有效控制提供基础理论和科学依据.

1 实验部分

1.1 供试土壤

供试土壤采自河南孟津黄河湿地国家级自然保护区扣马段 3 种不同土质类型的土壤 (泥炭土、黄褐土、风沙土), 采样地点分别为河滩地 (泥炭土)、空地 (黄褐土) 和麦地 (风沙土), 采样深度为表层 0—20 cm, 室内自然风干, 经 5 mm 筛分, 装袋备用. 所采样品的基本性质见表 1.

2012 年 2 月 22 日收稿.

^{*} 国家自然科学基金 (31140039); 河南省杰出青年计划 (124100510003) 项目资助.

^{**} 通讯联系人, Tel: 0391-3987236; E-mail: zhaotq@hpu.edu.cn.

表 1 取样地土壤基本性质
Table 1 Type and character of soils at the sampling sites

样品	pH	有机质 /(g·kg ⁻¹)	全氮 /(g·kg ⁻¹)	全磷 /(g·kg ⁻¹)	粒径分布		
					<0.002 mm 粘粒	0.002—0.05 mm 粉粒	0.05—2 mm 砂
泥炭土	8.14	17.97	0.82	0.62	6.14	33.74	60.12
黄褐土	8.08	9.97	0.71	0.56	8.87	49.75	41.88
风沙土	8.20	5.11	0.07	0.02	2.69	11.18	86.13

1.2 实验设计

人工模拟降雨实验器材主要包括降雨装置、实验槽和取样装置. 降雨装置由蓄水池、抽水泵、流量计、支架和喷头等组成. 单个喷头的最大地表喷施面积为 0.25—0.3 m², 降雨强度可由喷头来调控. 实验槽由加厚玻璃做成, 分 3 个处理单元, 每个单元规格为 50 cm × 60 cm × 50 cm, 槽内供试土壤高度为 30 cm, 在最底层, 垫上一层大约 5 cm 厚的砂石, 促进降雨渗透. 槽周边和各个小单元之间分别用塑料薄膜密封, 各个单元末端分别在上表面和表面以下 30 cm 处平行各开 3 孔, 由之收集表层径流和土壤渗流液. 取样装置: 径流管、渗流管和水桶等. 实验装置结构如图 1 所示.

将泥炭土、黄褐土和风沙土分别装入 3 个处理单元, 土壤坡度约为 5°. 首先用喷壶将土壤表层均匀湿润, 然后在每个处理单元分别均匀喷洒 3 L 浓度为 100 μg·L⁻¹ 的有机氯农药标准溶液, 5 h 后实施降雨. 雨强采用 45 mm·h⁻¹, 降雨历时 300 min 左右. 收集并记录各处理径(渗)流的产流时间、产流量等.

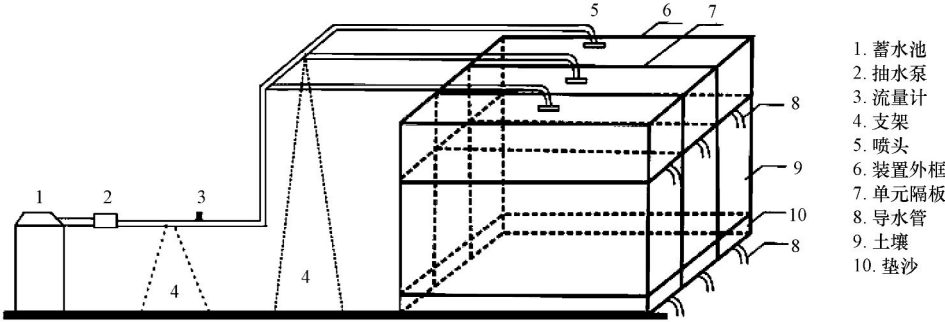


图 1 人工降雨装置示意图
Fig. 1 The sketch of the artificial rainfall equipment

1.3 样品采集与处理

1.3.1 样品采集

(1) 水样 径(渗)流出现后开始取样, 共取 12 个径流样品和 9 个渗流样品. 径(渗)流流经导流管的时间记为 0 min, 取样时间分别为: 径流, 0、5、10、20、30、40、60、90、120、180、240、300 min; 渗流, 0、5、15、30、40、60、120、180、300 min. 每次取水样 1500 mL, 水样置于冰箱中低温保存.

(2) 土壤样品 降雨实施后 7 d(表层土近干)开始采样, 以喷头正下方点为中心点, 由中心点和距中心点 4 个方向 0.15 m 处的点组成 1 个采样点位, 每个方向分点位采样约 25 g, 5 个分点位约 125 g 混合为 1 个样品. 分 4 层采集土壤样品, 深度分别为 0—5、5—10、10—15 和 15—20 cm. 此后, 每隔 7 d 采集一次样品, 采样 4 次, 即: T1(第 7 天)、T2(第 15 天)、T3(第 23 天)、T4(第 31 天), 共 48 个样品. 土壤样品置于冰箱中冷冻保存.

1.3.2 样品处理

(1) 水样处理参照文献[18], 取 1000 mL 水样于杯式过滤器中经 0.45 μm 滤膜真空过滤待用. 先活化 C₁₈ 小柱, 再用 10 mL 纯水平衡. 上样 1000 mL, 使水样连续通过, 调节真空度控制流速为 15—20 mL·min⁻¹ 左右. 水样全部抽完后用 10 mL 纯水洗涤小柱, 然后在真空下继续抽气干燥 30 min. 最后用 10 mL 正己烷洗脱 C₁₈ 小柱, 收集洗脱液, 经无水硫酸钠去水, 用高纯氮气吹扫浓缩至近干, 用正己烷定容至 0.5 mL, 进行 GC-MS 分析.

(2) 土壤样品处理参照文献[19], 将冷冻干燥后的样品精确称重后置于索氏提取器中, 加入 120 mL 二氯甲烷, 萃取 48 h. 萃取后将提取液置于旋转蒸发器上进行浓缩至 1 mL 左右. 然后过层析柱(由上至下: 无水硫酸钠、氧化铝和硅镁酸盐各 10 g, 使用时, 三者均需活化) 分离净化, 用 60 mL 正己烷淋洗, 淋洗液用旋转蒸发器浓缩, 用高纯氮气吹扫浓缩至近干, 用正己烷定容至 0.5 mL, 进行 GC-MS 分析.

活化方法: 无水硫酸钠于 500 °C 马弗炉中灼烧 8 h, 冷却后备用; 氧化铝和硅镁酸盐经二氯甲烷抽提 72 h, 分别于 250 °C 和 180 °C 活化 24 h, 冷却至 60 °C, 加入 3% 超纯水去活, 平衡后加入正己烷储于干燥器中备用.

1.4 质量控制

参照文献[18-19], 包括方法空白、加标空白、基质加标、基质加标平行样和样品平行样等. 水样的加标回收率为 86%—102% 之间; 土壤样品的加标回收率在 73%—97% 之间. 对同一实际样品 3 次重复测定, 水样和土壤样品的相对标准偏差分别为 7.03% 和 11.5%.

1.5 主要仪器与试剂

采用气相色谱-质谱联用仪(安捷伦 HP-6890, 5975MSD), 色谱柱为 DB-5MS 石英毛细管色谱柱 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm), 测定条件为: 载气为高纯 He, 恒流, 流速为 1.0 mL·min⁻¹. 初始温度为 80 °C, 保持 3 min, 先以 5 °C·min⁻¹ 速度升至 100 °C, 再以 3 °C·min⁻¹ 速度升至 300 °C, 保持 5 min 至样品完全流出. 进样口为无分流模式, 温度为 250 °C, 吹扫流速: 15 mL·min⁻¹, 吹扫时间: 0.5 min, 进样量为 1 μL. 质谱条件为: EI 电子源 70 eV, 质量范围为 50—500 amu, 离子源温度 230 °C, 采用选择离子模式(SIM).

有机氯农药标准溶液含 20 种有机氯农药, 包括 HCHs (α-HCH、β-HCH、γ-HCH、δ-HCH)、DDTs (4,4'-DDT、4,4'-DDE、4,4'-DDD)、艾氏剂、狄氏剂、异狄氏剂、α-氯丹、γ-氯丹、硫丹 I、硫丹 II、硫丹硫酸盐、异狄氏剂醛、异狄氏剂酮、七氯、环氧七氯和甲氧滴滴涕. 购自美国 Supelco 公司. 采用农残级甲苯配制成 40 mg·L⁻¹ 的贮备液, 再用丙酮稀释成 0.5、0.2、0.1、0.05 mg·L⁻¹ 系列浓度的工作溶液, 贮存在冰箱内保存. 实验所用试剂未加说明时均为分析纯. 试验用水为 Milipore 超纯水.

1.6 数据处理

本研究采用统计分析软件 SPSS18.0 进行数据的处理及相关统计分析, 绘图使用软件 Origin8.0.

2 结果与讨论

分别对 3 种土壤表层径流、土壤渗流液中有机氯农药浓度数据进行土壤质地间的方差分析, 对 3 种土壤中有机氯农药浓度的数据进行土层深度间的方差分析, 方差分析结果见表 2. 结果表明, 土壤质地对土壤表层径流和土壤渗流液中有机氯农药浓度的变化存在显著性差异, 土层深度对土壤中有机氯农药浓度的变化存在显著性差异 ($P < 0.05$).

表 2 方差分析

Table 2 The result of variance analysis for the data

样品	<i>F</i>	Sig	显著程度
土壤表层径流	11.158	0.013 *	显著
土壤渗流液	12.136	0.000 *	显著
泥炭土	7.695	0.007 *	显著
黄褐土	7.785	0.008 *	显著
风沙土	11.568	0.002 *	显著

* $P < 0.05$.

2.1 土壤径流过程中有机氯农药浓度变化

2.1.1 土壤表层径流中有机氯农药浓度变化

始流后土壤表层径流中有机氯农药的浓度变化如图 2 所示. 模拟实验结果表明, 土壤有机质含量影响着有机氯农药浓度的输出变化趋势. 单因素方差分析结果也表明, 土壤有机质对土壤表层径流中有机氯农药浓度的变化有显著影响. 由图 2 可知, 3 种类型土壤的表层径流中有机氯农药浓度的输出均呈现先下降后平缓的趋势. 表层径流中有机氯农药的浓度在径流开始的 0—10 min 最高, 随着降雨的进行,

有机氯农药的浓度呈明显下降趋势,在降雨 60 min 左右有机氯农药浓度达到稳定状态.这主要是由于裸露土壤受到雨滴击打溅蚀作用而使得径流前期中有机氯农药含量高.这与降雨导致氮、磷流失的研究结果相似^[20-21].不同类型土壤的表层径流中有机氯农药的输出量差异显著,泥炭土是有机氯农药的最大输出者.已有研究表明,吸附在有机质上的有机氯农药易随径流或淋溶迁移至水体^[22],这与本文的研究结论是一致的.

2.1.2 土壤渗流液中有机氯农药浓度变化

土壤内部空隙水分流动带动土壤有机氯农药的壤中迁移.始流后土壤渗流液中有机氯农药的浓度变化如图 3 所示.由图 3 可知,土壤渗流液中有机氯农药的迁移过程同表层径流比较相似,但迁移量存在明显差异.3 种类型土壤的渗流液中有机氯农药的输出量明显不同.泥炭土渗流液中有机氯农药的输出特征与表层径流相似,但黄褐土和风沙土渗流液中有机氯农药的输出量随降雨的进行变化不大,且泥炭土渗流液中有机氯农药的浓度明显高于黄褐土和风沙土.单因素方差分析结果也表明,土壤有机质对土壤渗流液中有机氯农药浓度的变化有显著影响.泥炭土中有机质含量较高,具有较高含量的土壤黏粒,遇水时收缩,使得初渗时渗流液中有机氯农药浓度较高.前人的研究也认为,土壤的物理结构(容重和孔隙度等)决定土壤内部水分和溶质迁移^[23].通过模拟,可以认为泥炭土的地下水更易受有机氯农药的污染.

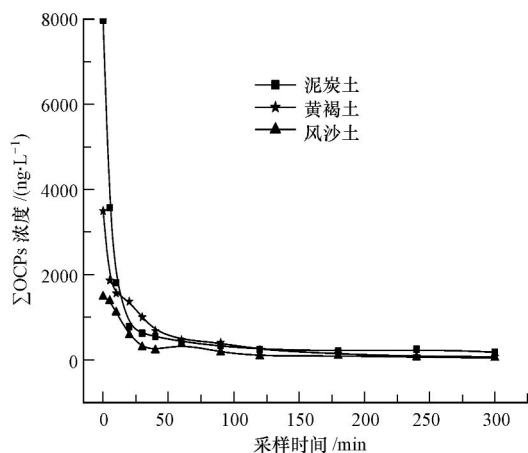


图 2 始流后土壤表层径流中有机氯农药浓度的变化

Fig. 2 The concentration variation of OCPs in the surface runoff

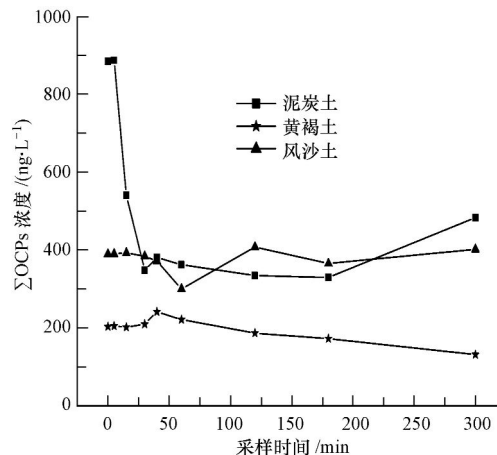


图 3 始流后土壤渗流液中有机氯农药浓度的变化

Fig. 3 The concentration variation of OCPs in the subsurface runoff

2.2 土壤中有有机氯农药残留特征

2.2.1 有机氯农药在土壤剖面的垂直分布特征

有机氯农药在土壤中扩散主要有两种形式,一种是有机氯农药分子不规则运动引起的横向迁移,另一种是土壤中有有机氯农药受流水或重力作用的下渗过程,后一种形式是土壤中有有机氯农药扩散的主要模式.3 种类型土壤剖面中有有机氯农药含量分布特征相似.4 个采样时期采样点每层土壤剖面中有有机氯农药含量分布特征如图 4 所示.每个点对应的有机氯含量为 20 种有机氯农药的总量.由图 4 可知,3 种类型土壤剖面中有有机氯农药均有检出,有机氯农药残留主要集中在 0—5 cm 土层中,5 cm 以下土层中有有机氯农药残留量明显低于表层土壤(0—5 cm).单因素方差分析结果也表明,土层深度对土壤中有有机氯农药浓度的变化有显著影响.本研究结果与文献报道的纵向分布特征基本一致^[24-25],反应了污染物转移规律.

3 种类型土壤的表层土壤中,泥炭土中有有机氯农药含量均为最低.土壤中有有机质对有机氯农药的吸附过程起着非常重要的作用,影响有机氯农药在土壤中的持留性,有机质含量高的土壤吸附亲脂性物质的能力强.有研究表明,农药在土壤中的残留与迁移,除了与农药本身的理化性质有关外,还与土壤质地、粘粒含量和类型^[26]、微生物含量^[27]等因素有关,因而农药残留在不同类型土壤中的垂直分布规律有所差别.有机氯农药的疏水性使得其较易于吸附到土壤有机质颗粒上,有机氯农药随着可溶性的有机质一起发生迁移,促成有机质含量高的土壤中有有机氯农药向水体迁移,从而在土壤中的残留相对较小.这与土壤表层径流和渗流液中有机氯农药浓度相对较高的结论是一致的.

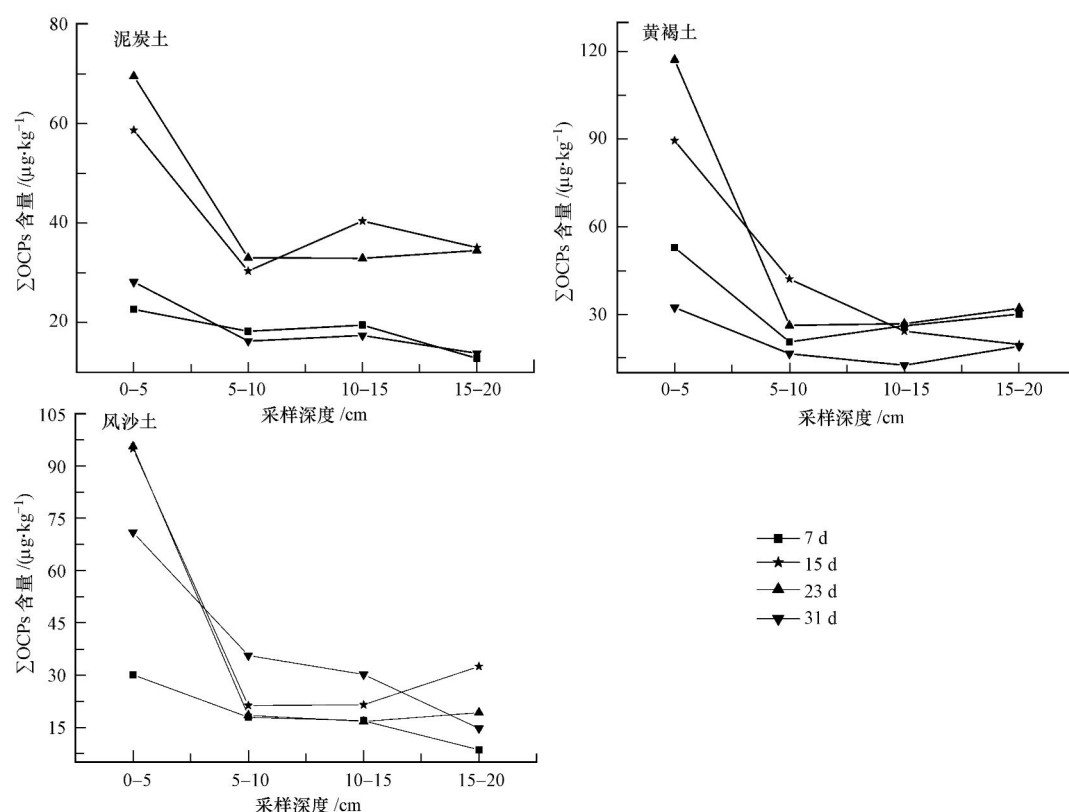


图4 土壤剖面中有机氯农药含量分布特征

Fig.4 Vertical distribution of the total concentration of OCPs in the soils

2.2.2 有机氯农药在土壤中随时间的残留特征

有机氯农药由于其稳定的化学性质而在土壤中的残留时间较长^[28]. 有机氯农药随时间在土壤中的残留量分布特征如图5所示. 每一个时间点对应的有机氯含量为4个采样深度的平均值. 由图5可以看出,在4个采样时期中,在第2次和第3次采样时间,有机氯农药的含量相对较高. 泥炭土和黄褐土中有机氯农药含量随时间变化较大;而风沙土中有机氯农药随时间变化不明显,尤其是后3个采样时期,有机氯农药含量无明显变化. 7 d和23 d采样检测结果表明,有机氯农药在3种不同土壤质地中的残留量为:黄褐土>风沙土≈泥炭土;15 d采样检测结果表明,有机氯农药在3种类型土壤中的残留量为:黄褐土>风沙土>泥炭土;31 d采样检测结果表明,有机氯农药在3种类型土壤中的残留量为:风沙土>黄褐土>泥炭土.

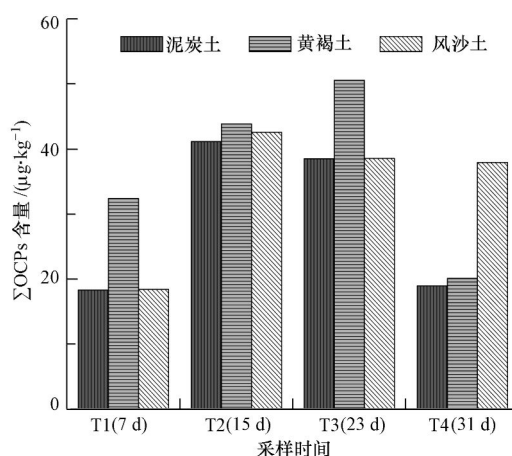


图5 土壤中有机氯农药含量随采样时间的变化

Fig.5 The concentration variation of OCPs in the soils at different sampling time

在不同采样时期,泥炭土中有机氯农药残留量最低,这与土壤有机质含量有关。有机氯农药具有低水溶性和高吸附系数等特点,易吸附在土壤有机质中。土壤有机质含量越高,土壤的吸附能力越大,有机氯农药在土壤中的有效浓度越低。第4次采样点中风沙土中有机氯农药的含量较高,可能是由于吸附性能小的砂性土壤较粘粒和有机质含量高的土壤不易吸附有机氯农药,使得农药易于淋溶。

3种类型土壤中有机氯农药的含量峰值均出现在第2次和第3次采样时间。其原因可能是因为第1次采样(7 d)时,大部分的有机氯农药还以游离态的形式存在与水中,而随着时间的推移,有机氯农药逐渐从水中的游离态转变为土壤的结合态,同时存在于土壤中的微生物对有机氯农药有降解作用,因此30 d后土壤中的有机氯农药含量反而下降。这一点也可以从图4中得到验证,泥炭中的微生物较为丰富,因此30 d后泥炭中的有机氯农药的含量要低于黄褐土和风沙土。

实验结果表明,在施药30 d后有机氯农药的残留量仍较高,验证了土壤是有机氯农药的主要储水库。由于有机氯农药易吸附在土壤有机质中,并能通过植物的吸收进入食物链,因此,虽然有机氯农药已经禁用20多年,但由于其高残留和强生物富集性仍污染着整个生态环境,存在着一定的生态风险。

3 结论

(1) 降雨过程中,地表径流和土壤渗流液中携带的有机氯农药是土壤中有机氯农药迁移的两个主要途径。表层径流中有机氯农药的输出量高于土壤渗流液。3种不同土壤质地的表层径流中有机氯农药浓度的输出均呈现先下降后平缓的趋势;而土壤渗流液有所不同,泥炭土渗流液中有机氯农药的输出特征与表层径流相似,但黄褐土和风沙土渗流液中有机氯农药的输出量随降雨的进行变化不大。

(2) 土壤有机质影响着降雨过程中有机氯农药浓度的输出变化趋势。吸附在有机质上的有机氯农药易随径流或淋溶迁移至水体,泥炭土表层径流和渗滤液中有机氯农药的输出量均相对较高。

(3) 有机氯农药各组分在不同土壤剖面层次的变化特征不同。有机氯农药残留总量沿土壤剖面的总体变化趋势为随深度增加而下降,其峰值出现在0—5 cm,反映了污染物的转移规律。土壤有机质也影响着土壤中有机氯农药的残留量。泥炭土中有机氯农药的残留量最低,与土壤径流中得出的结论一致。

(4) 3种类型土壤中有机氯农药含量的峰值均出现在第2次和第3次采样时间,但在30 d后有机氯农药的残留量仍较高,表明有机氯农药在土壤中残留时间长,存在着一定的生态风险。

参 考 文 献

- [1] Kellyn B. Tracking POPs across the planet[J]. *Environmental Science and Technology*, A-Page, 2006, 40: 4814-4815
- [2] Blais J M, Schindler D W, Muir D C G, et al. Accumulation of persistent organochlorine compounds in mountains of western Canada[J]. *Nature*, 1998, 395: 585-588
- [3] 吴启航, 麦碧娴, 杨清书, 等. 沉积物中多环芳烃和有机氯农药赋存状态[J]. *中国环境科学*, 2004, 24(1): 89-93
- [4] Daly G L, Lei Y D, Teixeira C, et al. Organochlorine pesticides in the soils and atmosphere of Costa Rica[J]. *Environmental Science and Technology*, 2007, 41(4): 1124-1130
- [5] Cantu E U, Mercedes M M, Valenzuela A I. Residues of organochlorine pesticides in soils from the southern Sonora, Mexico[J]. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2011, 87(5): 556-560
- [6] Sandra R R, Mario S G, Valdecir F X, et al. Organochlorine pesticides and polychlorinated biphenyls in soil and water samples in the northeastern part of Sao Paulo State, Brazil[J]. *Chemosphere*, 2006, 65: 1949-1958
- [7] Loukea C, Panagiotis G, Athanasios K, et al. Distribution of persistent organic pollutants, polycyclic aromatic hydrocarbons and trace elements in soil and vegetation following a large scale landfill fire in northern Greece[J]. *Environment International*, 2008, 34: 210-225
- [8] Samuel P C, Wayman E T, Dinald G P. Geometric mean estimation from pooled samples[J]. *Chemosphere*, 2007, 69: 371-380
- [9] 刘立丹, 王玲, 高丽荣, 等. 鸭儿湖表层沉积物中有机氯农药残留及其分布特征[J]. *环境化学*, 2011, 30(9): 1643-1649
- [10] 肖春艳, 邵超, 赵同谦, 等. 黄河湿地孟津段水体及沉积物中有机氯农药的分布特征[J]. *环境科学*, 2009, 30(6): 1614-1620
- [11] 刘兴健, 葛晨东, 崔雁玲, 等. 连云港滩涂表层沉积物中有机氯农药残留特征与风险评估[J]. *环境化学*, 2012, 31(7): 966-972
- [12] 邵超, 周天健, 赵同谦, 等. 丹江口水库淅川淹没区农田土壤中有机氯农药的分布特征及生态风险研究[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(4): 680-685
- [13] Feng J, Zhai M, Liu Q, et al. Residues of organochlorine pesticides (OCPs) in upper reach of the Huaihe River, East China[J].

- Ecotoxicology and Environmental Safety, 2011, 74(8): 2252-2259
- [14] Cao H Y, Liang T, Tao S, et al. Simulating the temporal changes of OCP pollution in Hangzhou, China[J]. Chemosphere, 2007, 67: 1335-1345
- [15] 梁涛, 王红萍, 张秀梅, 等. 官厅水库周边不同土地利用方式下氮、磷非点源污染模拟研究[J]. 环境科学学报, 2005, 25(4): 483-490
- [16] 周林飞, 郝利朋, 孙中华. 辽宁浑河流域不同土地类型地表径流和壤中流氮、磷流失特征[J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 737-742
- [17] 张玉斌, 郑粉莉, 曹宁. 近地表土壤水分条件对坡面农业非点源污染物运移的影响[J]. 环境科学, 2009, 30(2): 376-383
- [18] 杨丽莉, 母应锋, 胡恩宇, 等. 固相萃取-GC/MS 法测定水中有机氯农药[J]. 环境监测管理与技术, 2010, 20(1): 25-28
- [19] 麦碧娴, 林峥, 张干, 等. 珠江三角洲河流和珠江口表层沉积物中有机污染物研究——多环芳烃和有机氯农药的分布及特征[J]. 环境科学学报, 2000, 20(2): 192-197
- [20] 黄满湘, 章申, 唐以剑, 等. 模拟降雨条件下农田径流中氮的流失过程[J]. 土壤与环境, 2001, 10(1): 6-10
- [21] 单保庆, 尹澄清, 于静, 等. 降雨-径流过程中土壤表层磷迁移过程的模拟研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(1): 7-12
- [22] 安琼, 董元华, 葛成军, 等. 南京市小河流表层沉积物中的有机氯农药残留及其分布现状[J]. 环境科学, 2006, 27(4): 737-741
- [23] Daruel T C, Sharpley A N, Lemunyon J L. Agricultural phosphorus and eutrophication: a symposium overview [J]. Environment Quality, 1998, 27: 251-257
- [24] 朴秀英, 王学军, 陶澍, 等. 有机氯农药在天津耕作土壤剖面中的分布[J]. 环境科学研究, 2004, 17(2): 26-29
- [25] 冯雪, 李剑, 滕彦国, 等. 吉林松花江沿岸土壤中有机氯农药残留特征及健康风险评价[J]. 环境化学, 2011, 30(9): 1604-1610
- [26] Manz M, Wenzel K D, Dietze U, et al. Persistent organic pollutants in agricultural soils of central Germany[J]. Science of the Total Environment, 2001, 277: 187-198
- [27] 戴国华, 刘新会. 影响沉积物-水界面持久性有机污染物迁移行为的因素研究[J]. 环境化学, 2011, 30(1): 224-230
- [28] Cortes D R, Basu I, Sweet C W, et al. Temporal trends in gas-phase concentrations of chlorinated pesticides measured at the shores of the Great Lakes[J]. Environmental Science and Technology, 1998, 32(13): 1920-1927

Transport of organochlorine pesticides between the interface of soil and water by rainfall simulation method

XIAO Chunyan TAI Chao ZHAO Tongqian* HE Xiaoqi

(Department of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo, 454003, China)

ABSTRACT

The mechanism of non-point source pollution of organochlorine pesticides (OCPs) in runoff was studied by simulative rainfall method. The results show that surface runoff plays a more important role than the seepage water in the transport of OCPs from soil to water. The concentration of OCPs in the runoff decreased with sampling time and then reached steady state after 60 minutes. It was found that the content of soil organic matter had great influence on the transport of OCPs from soil to water. In the water, the highest concentration of OCPs was found in the runoff of the peat soils. In the soil, the total content of OCPs decreased with depth. Compared with other soil type, the content of OCPs in the peat was the lowest. The highest concentration of OCPs were found at second and third sampling times. The OCPs were detected in relatively high concentration even after 30 days, suggesting possible potential ecological risk of OCPs in the real environment.

Keywords: rainfall simulation, surface runoff, subsurface runoff, transformation, organochlorine pesticides.