

异丙隆在土壤中的淋溶迁移及其影响因素研究

田超¹, 项艳², 王米道², 司友斌²

(1. 安徽农业大学理学院, 合肥 230036 2. 安徽农业大学资源与环境学院, 合肥 230036)

摘要 采用室内土壤淋洗柱法, 以黄褐土、砂姜黑土和水稻土为供试土壤, 研究了异丙隆在土壤中的淋溶迁移行为, 探讨了淋溶水量、淋溶水 pH 值、施药量和添加外源木炭等因素对异丙隆在土壤中淋溶迁移的影响。结果表明, 不同土壤中异丙隆淋出率为黄褐土>砂姜黑土>水稻土, 淋溶水量与异丙隆的淋出率呈正相关, 且对淋溶后异丙隆在土层中的分布有明显影响; 用不同 pH 值的淋溶水时, 异丙隆的淋出率为 pH5>pH9>pH7, 施加不同药量时, 异丙隆的淋出率为 10 mg>5 mg>20 mg, 异丙隆的淋出率随外源木炭添加量的增大而减小, 而异丙隆在土壤柱中的滞留量则随着木炭添加量增大而增大, 提示添加外源木炭可明显减少异丙隆在土壤中的淋出率, 降低异丙隆在土壤中的淋溶深度。

关键词 异丙隆; 淋溶; 土壤; 木炭

中图分类号: X592 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2010)11-2121-07

Leaching Behaviors of Isoproturon in Soils and Its Influencing Factors

TIAN Chao¹, XIANG Yan², WANG Mi-dao², SI You-bin²

(1. School of Sciences, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract In this paper, leaching behaviors of isoproturon in soils and its influencing factors, such as the water volume, the pH value of leaching water, pesticide application rates and charcoal amendment, were studied using the soil column leaching method. The results showed that the amount of isoproturon leached in leachate in different soils followed the order yellow brown soil>shajiang black soil>paddy soil. The amount of isoproturon reclaimed in leachate increased with the water volume increasing. The distribution of isoproturon in soils was significantly influenced by water volume. The amount of isoproturon leached from soils varied with pH values, and followed the order pH5>pH9>pH7. Under the different pesticide application rates, the amount of isoproturon leached in leachate followed the order 10 mg>5 mg>20 mg. The amount of isoproturon in leachate decreased with the increase of charcoal addition to soil, while the residue of isoproturon in soils increased with charcoal content of soil samples. Charcoal amendment can significantly reduce the isoproturon leaching in soil.

Keywords isoproturon; leaching; soil; charcoal

异丙隆(Isoproturon)属取代脲类除草剂, 主要用于小麦、玉米、花生、棉花等农田防除禾本科杂草及大多数阔叶杂草, 由于其防除效果好、毒性低而得到广泛应用。异丙隆及其代谢产物是一种致癌物^[1]。由于其水溶性较大, 影响其在土壤中的吸附性能, 易被雨水或灌溉水从土壤中淋溶流失^[2], 因此, 异丙隆在环境中的存在对水生生态系统有很大的风险性^[3]。近年来, 异丙隆在欧洲国家的地表水和地下水中不断被检测到, 浓度超过了其最大允许残留量 0.1 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ^[4-6]。异丙隆

在环境中的行为及其归宿已引起了广泛关注。研究表明, 异丙隆在土壤中的淋溶迁移性可能与土壤有机质、黏土矿物、pH、阳离子交换容量(CEC)以及农业管理措施等影响因素有关^[7-12]。此外, 木炭对异丙隆在土壤中的吸附-解吸行为有较大影响^[13]。基于此, 笔者采用室内土壤柱法考察了异丙隆在土壤中的淋溶迁移及其影响因素, 特别是木炭对异丙隆在土壤中淋溶迁移的影响, 以期对土壤-水环境中异丙隆的污染防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为水稻土、砂姜黑土和黄褐土, 分别来自安徽的和县、蒙城和合肥。土壤采集后风干、过 20 目筛、分装、备用, 其理化性状见表 1。试验用水和供

收稿日期: 2010-05-11

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2007CB936604); 国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA06Z356); 安徽省科技攻关计划项目(07010302212)

作者简介: 田超(1961—), 男, 安徽合肥人, 研究生, 副教授, 研究方向为环境化学。E-mail: tianc654@yahoo.com.cn

通讯作者: 司友斌 E-mail: ybsi2002@yahoo.com.cn

试土壤在使用前均经高压蒸汽灭菌(121 °C, 0.5 h)。

供试木炭由上海海诺炭业有限公司生产,本研究选取粒径为 0.08 mm 的木炭作为添加木炭,其孔隙结构与表面特性见表 2。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 室内模拟土壤淋洗柱的制备^[14]

在直径 80 mm、长 400 mm 的有机玻璃柱下端塞一打孔的橡胶塞,然后在柱的底部依次垫一层滤纸、一层 40 目尼龙纱,再装入少量细砂(过 1 mm 筛)后,将供试土壤分多次均匀严实填入柱中,计算装入的土量,并求出柱中土壤密度(为保证柱内的一致性,土壤密度应控制一致)。土柱填充完毕后,在土柱上层分别均匀覆盖一层 10 g 含有一定量异丙隆的供试土壤,然后铺一层过 1 mm 筛的石英砂覆盖,再垫一层滤纸,并加盖少量粗砂压住滤纸(如图 1 所示)。利用虹吸装置,先用一定量的水预饱和土柱,静止放置一段时间使其吸附充分达到平衡,备用。

1.2.2 提取与分析

淋溶结束后,分段从采样孔中采集土样,将不同采样孔中的土壤样品(2 g)放入塑料离心管中,加入 10 mL 甲醇,以保鲜膜封口(防漏失)、加盖,充分混匀后,在(25±1)°C 条件下,恒温振荡提取(150 r·min⁻¹, 2 h)。然后在 4 000 r·min⁻¹ 的转速下,离心 10 min。轻轻取出离心管,将上清液过 0.45 μm 滤膜后,采用 HPLC 分析其中异丙隆的含量。同时将土柱下端收集的淋出水样充分混匀,以上述相同的转速和时间,离心分离出上清液,上清液过滤后用 HPLC 检测其中异丙隆的含量。试验设 2 次重复。

另外,采集土柱中一定量的土样于事先已干燥称重(W_0)的烧杯中,称出烧杯与土样的总重(W_1),将其置于烘箱中烘干(105 °C, 8 h),放入干燥器中冷却至室温时称重(W_2),再放入烘箱中,在 105 °C 条件下烘 3~5 h,冷却后称重,以验证是否恒重(两次重量差不超过 3 mg) 根据公式:

$$\text{土壤含水量}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100\%$$

计算土壤含水率,农药在土壤中的含量结果以风

表 2 供试木炭的孔隙结构与表面特性

Table 2 The pore structure and surface characteristics of the tested charcoal

木炭粒径/ mm	大孔容积 (>100 nm)	中孔容积 (10~100 nm)	微孔容积 (<10 nm)	比表面积/ m ² ·g ⁻¹
0.08	0.322	0.088	0.310	1 677

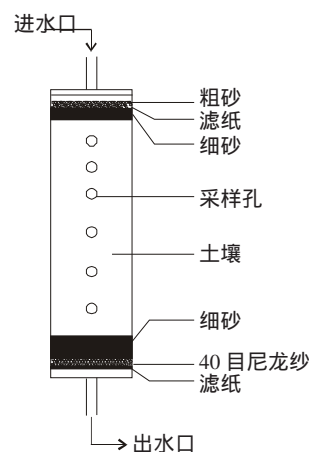


图 1 填充土柱

Figure 1 Packing soil column

干土壤计算。

异丙隆的 HPLC 测定条件^[15]:采用 Agilent 1100 型高效液相色谱仪,配可变波长紫外检测器和 HP 化学工作站。色谱操作条件: C18 Hypersil ODS 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm),流动相为甲醇/水=80/20(体积比),流速 1.0 mL·min⁻¹,柱温 40 °C,紫外检测波长 240 nm,进样量 20 μL。在该色谱条件下,异丙隆保留时间为 3.9 min。

1.2.3 异丙隆在土壤中的淋溶迁移行为

以水稻土、黄褐土和砂姜黑土做供试土壤分别填充土柱。将含 10 mg 异丙隆的甲醇溶液加入到 10 g 供试土壤中,通风橱内过夜,待甲醇完全挥发后将此含药土壤施于土柱表层(即施药量为 10 mg)。以 500 mL 水量淋溶土柱,其他步骤同 1.2.1 和 1.2.2。试验设 2 个重复。

1.2.4 淋溶水量对异丙隆在水稻土中淋溶迁移的影响

以水稻土为供试土壤,分别设定淋溶水量为 250、500、750 mL,其他步骤同 1.2.1、1.2.2 和 1.2.3。试验设 2 个重复。

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the tested soils

土壤类型	采样地点	pH	有机质/g·kg ⁻¹	阳离子交换量/ cmol·kg ⁻¹	机械组成/%		
					粘粒	粉粒	砂粒
水稻土	安徽和县	7.50	28.40	17.50	27.20	51.43	21.37
黄褐土	安徽合肥	6.50	15.40	14.40	38.51	33.57	27.92
砂姜黑土	安徽蒙城	8.30	13.00	26.70	35.57	39.55	24.88

1.2.5 淋溶水 pH 值对异丙隆在水稻土中淋溶迁移的影响

以水稻土为供试土壤,分别设定淋溶水 pH 值为 5、7 和 9(用 0.1 mol·L⁻¹ NaOH 溶液和 0.1 mol·L⁻¹ HCl 溶液调节淋溶水 pH 值)。其他步骤同 1.2.1、1.2.2 和 1.2.3。试验设 2 个重复。

1.2.6 施药量对异丙隆在水稻土中淋溶迁移的影响

以水稻土为供试土壤,分别设定施药量为 5、10、20 mg,其他步骤同 1.2.1、1.2.2 和 1.2.3。试验设 2 个重复。

1.2.7 外源木炭对异丙隆在土壤中淋溶迁移的影响

以添加不同比例[0、10、30 和 50 g·kg⁻¹(木炭/土)]木炭的水稻土、黄褐土和砂姜黑土作为供试材料分别填充土柱。其他步骤同 1.2.1、1.2.2 和 1.2.3。试验设 2 个重复。

2 结果与分析

2.1 异丙隆在土壤中的淋溶迁移行为

异丙隆在供试的水稻土、黄褐土和砂姜黑土等 3 种土壤中的淋溶均呈现一定向下迁移性,不同土壤间迁移情况差异较大,试验结果见表 3 和图 2。

由表 3 可以看出,经 500 mL 水淋溶后,3 种土壤的土柱中均有一定量的异丙隆渗出。其中,异丙隆在黄褐土中的淋溶向下迁移性最强,有 68.57% 的异丙隆渗出 40 cm 的土柱;在水稻土中,异丙隆的迁移性最弱,淋出率为 40.29%。而砂姜黑土介于二者之间,异丙隆淋出率为 45.90%。异丙隆在 3 种供试土壤中的淋溶向下迁移性顺序为黄褐土>砂姜黑土>水稻土。此外,在 10 次收集的淋溶渗出液中异丙隆的含量变化均表现为:在淋溶初期异丙隆含量很少,从第 4、5 次开始,淋溶液中异丙隆含量明显增大,之后快速增大到一最大值后,又逐渐下降至较低水平。

图 2 显示了淋溶结束后异丙隆在各土柱不同土层中的含量。可以看出,随着土层深度加深,异丙隆在土柱中的滞留量逐渐增大。异丙隆在水稻土中的滞留量明显高于在黄褐土和砂姜黑土中的滞留量,黄褐土

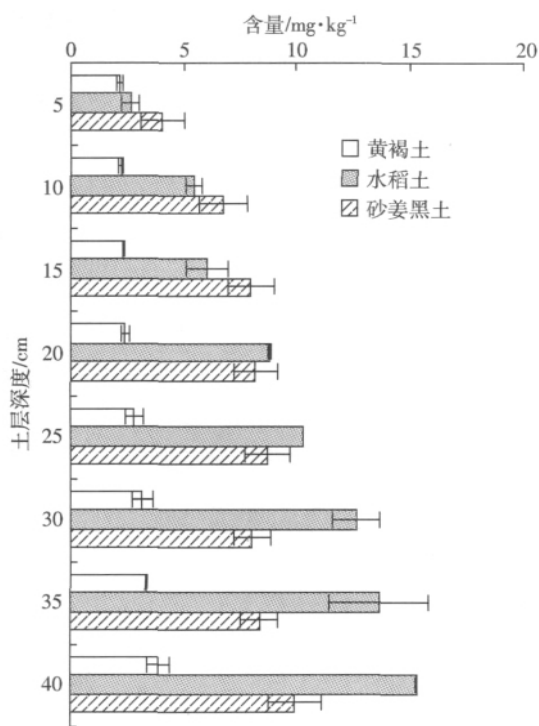


图 2 不同土壤类型中异丙隆的分布

Figure 2 The distribution of Isoproturon in different soil types

中的异丙隆滞留量最低。

2.2 淋溶水量对异丙隆在水稻土中淋溶迁移的影响

降雨和灌溉后农药下渗的数量与下渗的深度是评价农药对地下水污染状况的两个主导因素^[16]。不同淋溶水量对异丙隆在水稻土中淋溶迁移影响的结果见表 4 和图 3。

由表 4 可以看出,淋溶水量越大,异丙隆从土壤中的淋出率就越大,随着淋溶水量由 250 mL 逐步增大到 500 mL 和 750 mL,相应的淋出率由 5.37% 增大到 40.29% 和 79.26%。当淋溶水量为 250 mL 时,异丙隆在淋溶液中的含量呈上升趋势;当淋溶水量为 500 mL 时,异丙隆在淋溶液中的含量在前 8 次收集的淋溶液中呈逐步上升趋势,于第 8 次达到一峰值 17.76% 后略有下降;而当淋溶水量为 750 mL 时,异丙隆含量在第 9 次收集的淋溶液中达到最大值 21.72% 后逐渐降低,至第 15 次收集液,已降低到较低水平

表 3 不同土壤类型中异丙隆在淋溶液中的分布

Table 3 The distribution of isoproturon reclaimed in leachate in different soil types

土壤类型	每次收取 50 mL 淋溶水时的淋出率/%										总淋出率/%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
水稻土	0.54	0.33	0.35	0.34	5.56	8.33	13.39	17.76	17.34	16.66	40.29
黄褐土	0.53	0.49	0.47	0.47	6.83	37.08	32.44	26.20	18.87	13.76	68.57
砂姜黑土	0.45	0.43	0.72	4.38	10.66	15.7	16.39	15.21	14.26	13.59	45.90

表4 淋溶水量对异丙隆在淋溶液中分布的影响

Table 4 The influence of different leaching water volume on distribution of isoproturon reclaimed in leachate

淋溶水量/mL	每次收取 50 mL 淋溶水时的淋出率/%															总淋出率/%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
250	-	-	0.08	1.58	9.07											5.37
500	0.54	0.33	0.35	0.34	5.56	8.33	13.39	17.76	17.34	16.66					40.29	
750	-	-	-	0.79	5.74	11.72	18.45	21.45	21.72	19.28	17.37	12.43	12.06	9.92	7.58	79.26

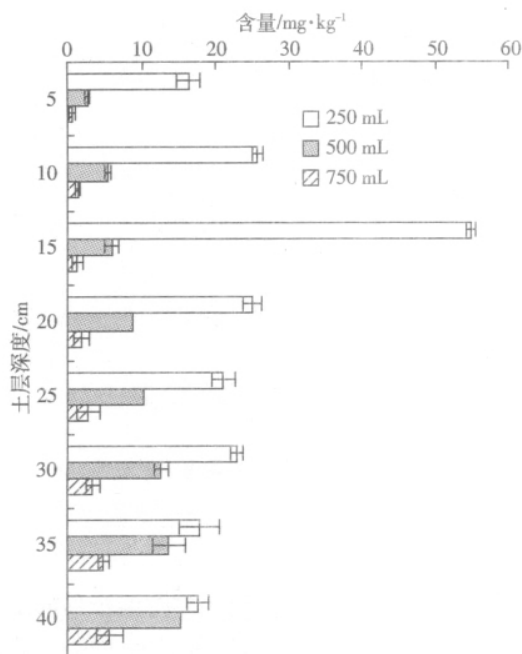


图3 不同淋溶水量时异丙隆在土层中的分布

Figure 3 The distribution of isoproturon in soil layers on different leaching water volume

7.58%。

淋溶水量对异丙隆在土层中分布的影响也很大(图3)。淋溶水量越大,异丙隆的淋出率越大,在土层中总的含量就越小;淋溶水量越大,异丙隆在土层中的淋溶深度越大,出现浓度最高值的土层深度也越大,两者呈正相关关系。从图3可以看出,当淋溶水量为250 mL时,异丙隆出现浓度最高峰的土层深度为15 cm,而当淋溶水量增大到750 mL时,出现浓度最高峰的土层深度在40 cm处。

2.3 淋溶水 pH 对异丙隆在水稻土中淋溶迁移的影响

表5给出了不同pH的淋溶水对异丙隆在水稻

表5 不同pH的淋溶水对异丙隆在淋溶液中分布的影响

Table 5 The influence of different pH of leaching water on distribution of isoproturon reclaimed in leachate

pH 值	每次收取 50 mL 淋溶水时的淋出率/%										总淋出率/%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
pH=5	-	-	-	1.22	8.83	22.07	26.50	27.58	23.28	18.56	64.02
pH=7	0.54	0.33	0.35	0.34	5.56	8.33	13.39	17.76	17.34	16.66	40.29
pH=9	-	-	-	-	-	3.04	17.66	24.48	23.81	22.01	45.50

土中淋溶迁移的影响情况,可以看出:当pH=5时,异丙隆在淋溶液中的浓度和总的淋出率均最大;而当pH=7时,淋出率最小;不同pH的淋溶水对异丙隆的淋出率大小顺序为pH5>pH9>pH7。由表1和2.1节可知,3种土壤的pH和其对应的异丙隆的淋出率大小顺序为黄褐土(pH6.50)>砂姜黑土(pH8.40)>水稻土(pH7.50),这与本节的结果是一致的。

不同pH的淋溶水对异丙隆淋溶后在土层中分布的影响结果如图4所示。可以看出,pH=5时,异丙隆在土柱土层中的滞留量明显小于pH=7和pH=9时的滞留量,pH=7时,异丙隆的滞留量最大。但淋溶水pH值的改变对异丙隆在土层中的分布影响不明显。用500 mL水淋溶土柱,在这3个pH值条件下,异丙隆在土层中的下渗深度均达到了土层底层40 cm处,且异丙隆浓度峰值也出现在40 cm深度处。

2.4 施药量对异丙隆在水稻土中淋溶迁移的影响

异丙隆在土壤中的淋溶迁移受施药量的影响情况见表6和图5。

表6显示,当施药量为5、10、20 mg时,相应的异丙隆总淋出率分别为22.05%、40.29%和17.63%,即不同施药量时异丙隆的淋溶性大小顺序为10 mg>5 mg>20 mg。显然,异丙隆在土壤中的淋溶性受施药量的影响,但与施药量大小无明显相关性。

由图5可以看出,施药量的不同虽在一定程度上影响了异丙隆从土壤中的淋溶量和异丙隆在土壤中的滞留量,但对淋溶后异丙隆在土壤中的垂直分布影响并不明显。

2.5 外源木炭对异丙隆在土壤中淋溶迁移的影响

表7给出了在土壤中添加不同比例的木炭时异丙隆的淋出率。比较表3和表7,可以看出,异丙隆在

表 6 不同施药量对异丙隆在淋溶液中分布的影响

Table 6 The influence of different application rate on distribution of isoproturon reclaimed in leachate

施药量/mg	每次收取 50 mL 淋溶水时的淋出率/%										总淋出率/%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
5	-	-	-	-	-	0.17	1.72	3.23	5.58	11.35	22.05
10	0.54	0.33	0.35	0.34	5.56	8.33	13.39	17.76	17.34	16.66	40.29
20	-	-	-	-	-	-	0.15	1.20	16.08	52.98	17.63

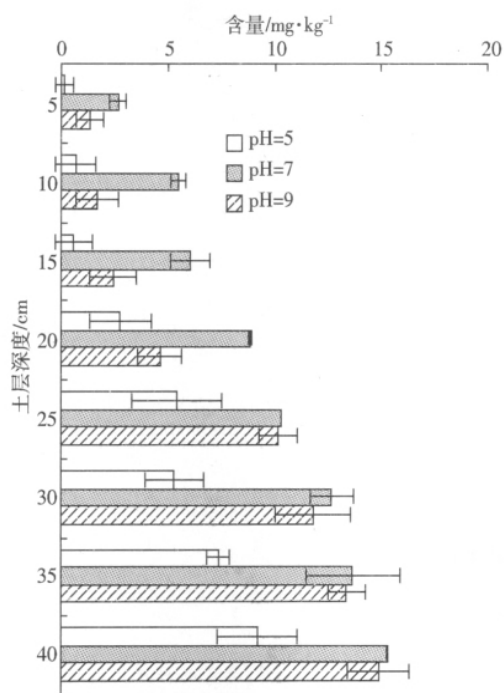


图 4 不同 pH 的淋溶水时异丙隆在土层中的分布

Figure 4 The distribution of isoproturon in soil layers

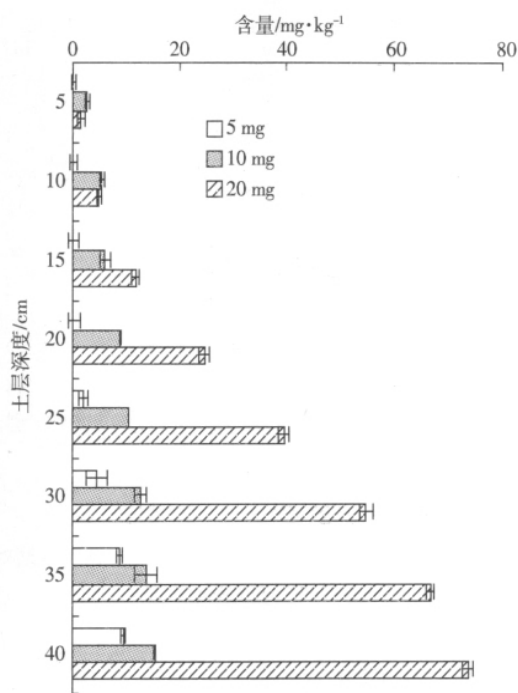


图 5 不同施药量时异丙隆在土层中的分布

Figure 5 The distribution of isoproturon in soil layers on different pH of leaching water on different application rate

添加了外源木炭的土壤中的淋出率明显小于没有添加木炭的,而且随着外源木炭添加量的增大,异丙隆在 3 种土壤中的淋出率均逐渐减小。

图 6 给出了外源木炭对异丙隆在淋溶进程中迁移状况的影响情况。可以看出,异丙隆在添加木炭的土壤中的淋出量明显小于其在未添加木炭土壤中的淋出量,且木炭添加量越大,淋出量越小,这与表 7 的结果类似。从图 6 的曲线趋势还可看出,在供试的 3 种土壤中,异丙隆在淋溶液中出现浓度峰值的收集次数随着木炭添加量的增大而推迟,即异丙隆的淋溶速率随着木炭添加量增大而减小。

添加不同比例木炭不仅影响了异丙隆在淋溶液

中的动态分布和异丙隆从土壤中的总淋出率,同时也对异丙隆在土层中的分布产生明显的影响(图 7)。图 7 显示:异丙隆在添加了外源木炭的土壤中的滞留量明显大于没有添加木炭的,且随着木炭添加量的增大,异丙隆在土层中的滞留量增大,二者成正相关。另外,在没有添加木炭的土壤中,异丙隆在土柱中的分布主要集中在底层,而随着木炭添加量的逐渐增大,异丙隆在土柱中的分布也逐渐向上层转移。在 3 种未添加木炭的供试土壤中,异丙隆在土柱中的浓度峰值均出现在土柱底层 40 cm 深处,而当木炭添加量增大到 50 g·kg⁻¹ 时,异丙隆在水稻土、黄褐土和砂姜黑土

表 7 不同木炭添加量时异丙隆在土壤中的淋出率

Table 7 The leaching rate of isoproturon on adding of charcoal

土壤类型	水稻土			黄褐土			砂姜黑土		
木炭添加量/(木炭 g/土壤 g)	1	3	5	1	3	5	1	3	5
淋出率/%	29.78	4.35	2.32	56.65	12.99	2.08	21.93	10.77	3.55

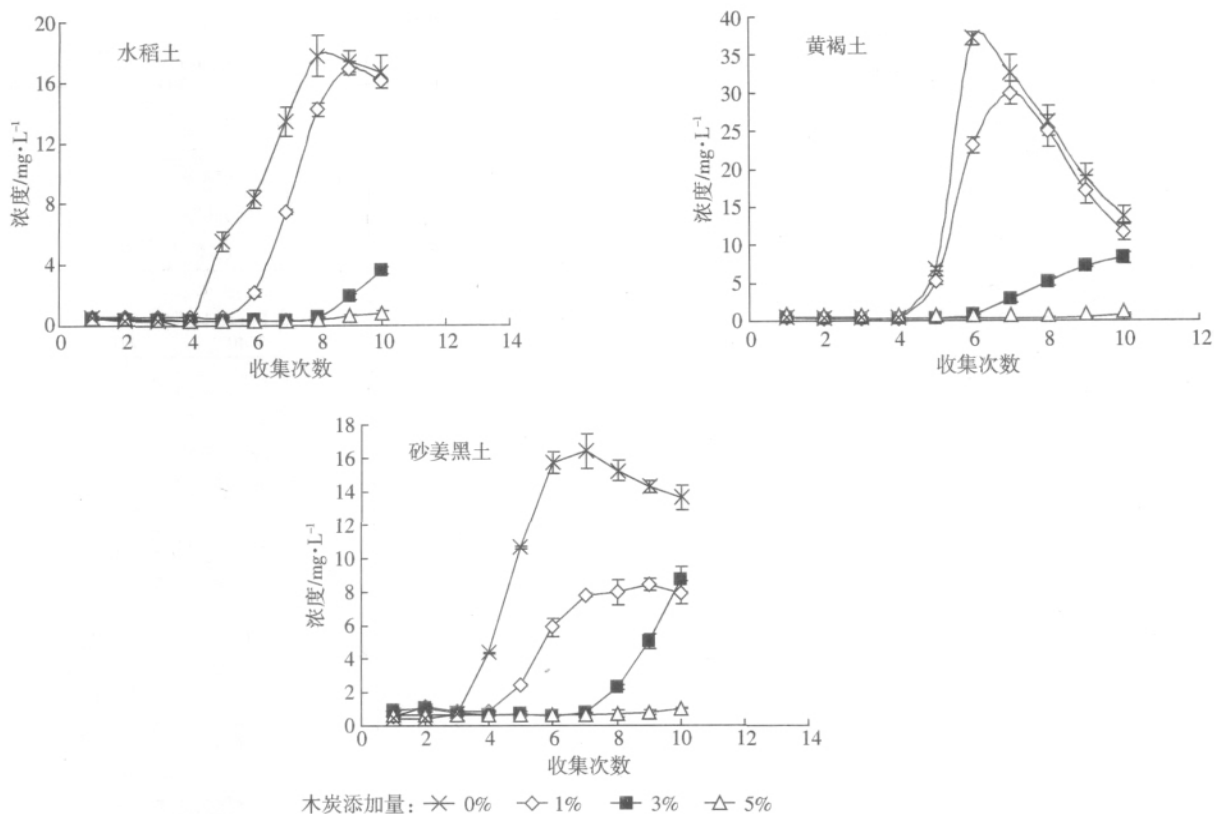


图6 木炭对异丙隆淋溶进程的影响
Figure 6 The influence of charcoal on leaching process of isoproturon

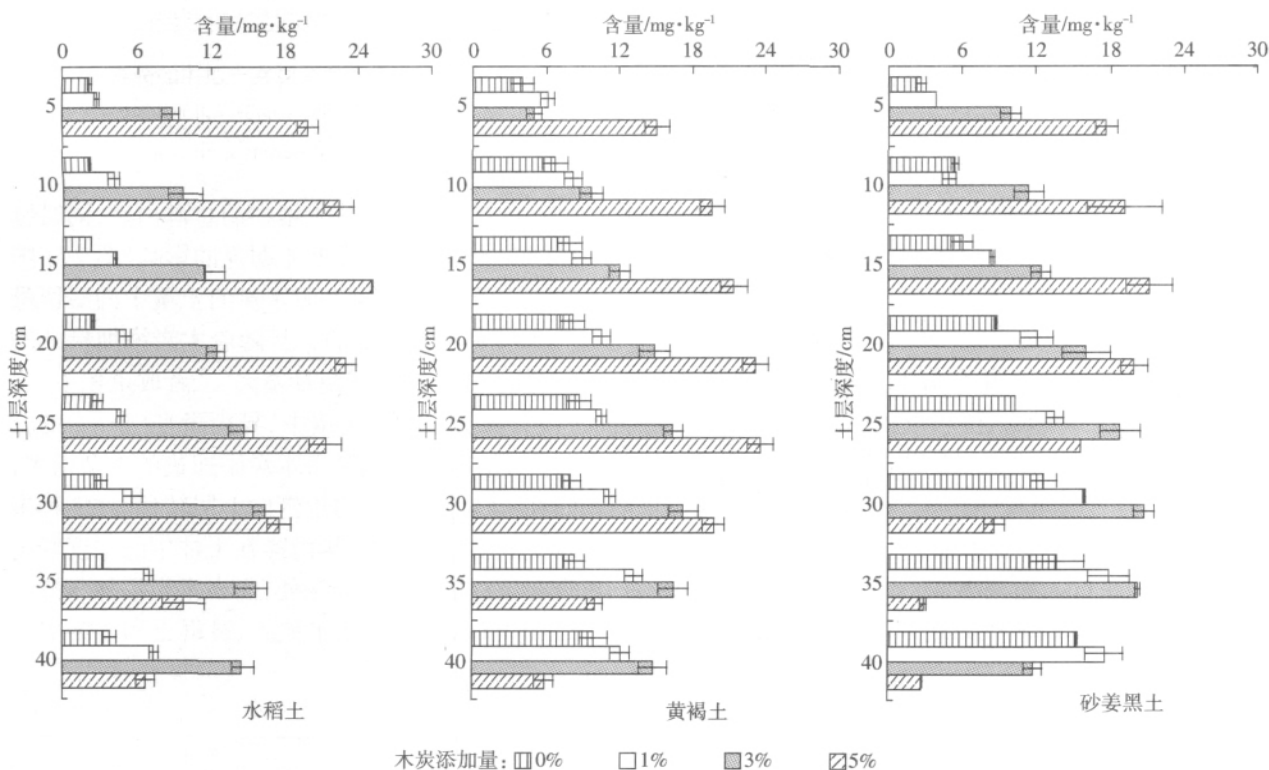


图7 木炭对异丙隆在不同土壤土层中分布的影响

Figure 7 The influence of charcoal in soil layers on distribution of isoproturon

中浓度峰值分别上移到 15、15、20 cm 土层处。显然, 添加外源木炭可减少异丙隆在土壤中的淋溶率, 并可明显降低异丙隆在土壤中的淋溶深度。

3 讨论

异丙隆在土壤中的淋溶迁移行为与其在土壤中的吸附性能有关^[17], 即异丙隆在土壤中的吸附性越强, 就越难从土壤中淋溶流失, 在土层中的滞留量也就越大。异丙隆在有机质含量较高的水稻土和阳离子交换量较大的砂姜黑土上吸附量较大, 在有机质含量和阳离子交换量较低的黄褐土上的吸附量则较低。pH=5 时, 异丙隆在土柱土层中的滞留量最小, 淋溶流失最大, 可能是由于此 pH 值条件下, 溶质和吸附质均为非极性的, 异丙隆的吸附主要受疏水作用控制所致^[18]。添加外源木炭对异丙隆在土壤中淋溶迁移影响的特征可能与木炭孔隙结构与表面性质及吸附特性有关^[13]。影响异丙隆在土壤中淋溶迁移行为的因素较多, 还需进行更全面深入的研究。

4 结论

(1) 异丙隆在不同类型土壤中的淋出率大小顺序为黄褐土>砂姜黑土>水稻土。

(2) 淋溶水量与异丙隆淋出率呈正相关, 淋溶水量亦影响淋溶后异丙隆在土层中的分布。

(3) 淋溶水的 pH 值不同, 异丙隆的淋出率也不同, 其大小顺序为 pH5>pH9>pH7。

(4) 施药量不同, 异丙隆的淋出率大小顺序为 10 mg>5 mg>20 mg。

(5) 外源木炭对异丙隆在土壤中淋溶迁移有明显影响。异丙隆的淋出率随着木炭添加量的增大而减小, 而异丙隆在土柱土层中的滞留量则随着木炭添加量增大而增大。

综上所述, 异丙隆能在土壤中被淋溶迁移。要减少异丙隆在土壤中的淋溶流失, 必须根据土壤类型、降雨量、降雨的 pH 值来控制施药量, 添加外源木炭可减少异丙隆在土壤中的淋出率, 并可明显降低异丙隆在土壤中的淋溶深度。在地下水水位较高的地块、降雨量较大的地区以及质地较轻的土壤中使用异丙隆时, 应该注意防止可能产生的地下水污染。

参考文献:

[1] Hoshiya T, Hasegawa R, Hakoi K, et al. Enhancement by non-mutagenic pesticides of GST-P positive hepatic foci development initiated

with diethylnitrosamine in the rat[J]. *Cancer Letters*, 1993, 72(1/2): 59-64.

- [2] Fouqué-Brouard C M, Fournier J M. Adsorption-desorption and leaching of phenylurea herbicides on soils[J]. *Talanta*, 1996, 43: 1793-1802.
- [3] Mansour M, Feicht E A, Behechti A, et al. Determination photostability of selected agrochemicals in water and soil [J]. *Chemosphere*, 1999, 39(4): 575-585.
- [4] Nitchke L, Schussler W. Surface water pollution by herbicides from effluents of waste water treatment plants[J]. *Chemosphere*, 1998, 36(1): 35-41.
- [5] Ertli T, Marton A, Földényi R. Effect of pH and the role of organic matter in the adsorption of isoproturon on soils [J]. *Chemosphere*, 2004, 57: 771-779.
- [6] Johnson A C, Besien T J, Bhardwaj C L, et al. Penetration of herbicides to groundwater in an unconfined chalk aquifer following normal soil applications[J]. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2001, 53: 101-117.
- [7] Spliid N H, Køppen B. Occurrence of pesticides in Danish shallow ground water[J]. *Chemosphere*, 1998, 37(7): 1307-1316.
- [8] Fouqué-Brouard C M, Fournier J M. Adsorption-desorption and leaching of phenylurea herbicides on soils[J]. *Talanta*, 1996, 43: 1793-1802.
- [9] Fløgeac K, Guillon E, Aplincourt M. Effect of metallic cations on the sorption of pesticides on soil[J]. *Environmental Chemistry Letters*, 2005, 3: 86-90.
- [10] Beck A J, Jones K. The effects of particle size, organic matter content, crop residues and dissolved organic matter on the sorption kinetics of atrazine and isoproturon by clay soil[J]. *Chemosphere*, 1996, 32(12): 2345-2358.
- [11] Pantani O L, Douset S, Schiavon M, et al. Adsorption of isoproturon on homoionic clays[J]. *Chemosphere*, 1997, 35(11): 2619-2626.
- [12] Worrall F, Parker A, Rae J E, et al. A study of the adsorption kinetics of isoproturon on soil and subsoil[J]. *Chemosphere*, 1997, 34(1): 71-86.
- [13] TIAN Chao, WANG Mi-dao, SI You-bin. Influences of charcoal amendment on adsorption-desorption of isoproturon in soils [J]. *Agricultural Sciences in China*, 2010, 9(2): 257-265.
- [14] 安凤春, 莫汉宏, 杨克武, 等. 农药在土壤中迁移的研究方法[J]. *环境化学*, 1994, 13(3): 214-217.
- AN Feng-chun, MO Han-hong, YANG Ke-wu, et al. Movement of pesticides in soil[J]. *Environmental Chemistry*, 1994, 13(3): 214-217.
- [15] 孙纪全, 黄星, 何健, 等. 异丙隆降解菌 Y57 的分离鉴定及其降解特性[J]. *中国环境科学*, 2006, 26(3): 315-319.
- SUN Ji-quan, HUANG Xing, HE Jian, et al. Isolation identification of isoproturon degradation bacterium Y57 and its degradation characteristic[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(3): 315-319.
- [16] 薛南冬, 杨仁斌. 丙硫克百威在几种土壤中的迁移和降解研究[J]. *土壤学报*, 2003, 40(1): 130-135.
- XUE Nan-dong, YANG Ren-bin. Studies on the translocation and degradation of benfuracarb in different soils[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(1): 130-135.
- [17] 刘维屏, 季谨. 农药在土壤-水环境中归宿的主要支配因素: 吸附和脱附[J]. *中国环境科学*, 1996, 16(1): 25-30.
- LIU Wei-ping, JI Jin. One of the most important factors affecting the fate of pesticide in soil-water environmental Sorption and desorption [J]. *China Environmental Science*, 1996, 16(1): 25-30.
- [18] Tímea Ertli, Aurél Marton, Rit Földényi. Effect of pH and the role of organic matter in the adsorption of isoproturon on soils[J]. *Chemosphere*, 2004, 57: 771-779.