

溶解性有机质对土壤镉形态及对莴笋吸收镉的影响*

闫 飞^{1, 2, 3} 李兴菊^{1, 2, 3} 王定勇^{1, 2, 3*}

(1 西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆, 400715; 2 西南大学资源环境学院, 重庆, 400716
3 重庆市农业资源环境研究重点实验室, 重庆, 400716)

溶解性有机质 (DOM) 是陆地生态系统和水生生态系统中的一种重要的活跃的化学组分, 是具有不同结构及分子量大小的有机物的连续体或混合体. 它影响着环境的酸碱特性、营养物质的有效性、污染物质的环境行为特性等. DOM 的浓度通常用溶解性有机碳 (DOC) 来衡量. 在土壤和水体中可充当难溶性污染物的主要助溶剂和载体. DOM 能够增加某些重金属, 如 Zn、Cd 和 Cu 的溶解性, 从而提高 DOM 对莴笋的毒性. 其次 DOM 影响重金属的沉淀-溶解平衡, 改变土壤中固相物质的表面活性, 从而影响重金属在土壤中的化学行为. 因此, DOM 对重金属环境行为的影响已成为研究前沿.

本文对两种土壤上施加两种不同 DOM, 考察对莴笋对 Cd 的吸收, 旨在探明 DOM 对重金属污染行为的影响.

1 样品的采集与分析

供试土壤为重庆菜地典型的紫色土和黄壤. 紫色土采自西南大学实验农场, 黄壤采自重庆市北碚区槽上蔬菜基地, 采样点附近未受工业污染, 采样深度为 0—20 cm. 土壤经自然风干、粉碎后过不同粒级筛进行相关测定. 供试 DOM 提取自西南大学实验农场所收集的猪粪和稻草.

设置 4 个处理进行盆栽试验, 各处理均重复 3 次. B1(对照): 土壤 + 莴笋; B2 土壤 + 重金属 + 莴笋; B3 土壤 + 重金属 + 猪粪 DOM + 莴笋; B4 土壤 + 重金属 + 稻草 DOM + 莴笋. 分别于 0、30、60、90 d 时采集土壤样品, 并各取两个平行进行土壤中 pH、DOM 含量测定和重金属形态分析; 在 90 d 时采集植株, 植株先用自来水冲洗, 再用去离子水洗净, 擦干, 分根、茎、叶于 105℃ 杀青 30 min, 然后在 65℃ 下烘干、磨细. 分析植株各部分重金属含量, 并进行分析.

猪粪 DOM 的提取参考 Balam 的方法^[1], 稻草 DOM 提取参考周立祥的方法^[2], 土壤基本性质测定方法参照《农业环境监测原理与应用》. 土壤中镉的总量测定采用王水-HClO₄消解法, 消解液用原子吸收分光光度计测定, 土壤中镉形态分析采用 Tissue 方法测定, 用原子吸收分光光度计测定重金属 Cd 的含量, 用 TOC 总有机碳测定仪测定滤液中有机碳含量, 将结果进行水分校正, 即为土壤中 DOM 含量.

2 不同土壤外源添加 DOM 后重金属在莴笋中的吸附积累

本实验选用莴笋来研究不同土壤外源添加 DOM 后重金属在植物中的吸附积累 (表 1).

表 1 莴笋对 Cd 的吸收量 (mg·kg⁻¹)

土壤	处理	Cd 在莴笋中的分配		
		根含量	茎含量	叶含量
紫色土	对照	0.136	0.075	0.231
	重金属	1.867	0.950	1.554
	重金属 + 猪粪 DOM	2.423	1.455	2.100
	重金属 + 稻草 DOM	1.985	0.997	1.631
黄 壤	对照	0.123	0.084	0.438
	重金属	4.431	3.266	4.797
	重金属 + 猪粪 DOM	3.670	2.516	3.790
	重金属 + 稻草 DOM	3.975	2.685	4.069

表 1 的结果表明, 不同土壤中莴笋各部位的吸收量有所不同. 黄壤中莴笋各部位的吸收量明显高于紫色土, 这与土壤 pH 值有一定联系, 但黄壤中莴笋各部位重金属相对于紫色土的增加值在添加外源重金属的处理中远高于对照处理, 说明在污染条件下, 黄壤中莴笋可吸收利用的重金属即莴笋有效态重金属较紫色土要多, 其危害也会更大. 添加

2009 年 8 月 11 日收稿.

* 国家自然科学基金 (40673063), 西南大学生态学重点学科 “211 工程” 建设经费.

* * 通讯作者: dywang@swu.edu.cn

DOM 可改变莴笋各部位对重金属吸收积累的数量。在紫色土中，添加猪粪和稻草 DOM 可促进莴笋对 Cd 的吸收，其中以猪粪 DOM 的效果更明显，在黄壤中，两种 DOM 都会阻碍莴笋对 Cd 的吸收，且都以猪粪 DOM 的作用更明显。

3 莴笋中各部位重金属含量与土壤重金属形态的相关性

在两种土壤中与莴笋各部分重金属相关性最好的均为交换态，它们之间表现出相同的增减规律，具良好的正相关性，将交换态含量与莴笋各部位含量进行线性回归发现，其相关系数为 $0.957^{*} - 0.997^{*}$ ($r_{0.05} = 0.95$ $r_{0.01} = 0.99$ $n = 4$)，达到显著或极显著水平。碳酸盐结合态与莴笋体内重金属的相关性也较强，黄壤中 Cd 与莴笋根的相关系数为 0.993^{*} ，达极显著相关，与茎、叶的为 0.979^{*} 和 0.981^{*} ，也达显著；铁锰氧化物结合态和有机结合态与莴笋各部位不具有明显的相关性，残留态与莴笋各部位重金属表现出负相关，但只在黄壤中吸收 Cd 时达显著 (根 0.978^{*} ，茎 0.961^{*} ，叶 0.964^{*})。因此与植株重金属累积关系最密切的形态是交换态，其含量高低直接影响到莴笋内重金属的浓度水平；碳酸盐结合态的活性比交换态低，但其时刻处于与交换态的转化平衡中，能持续提供重金属源，对莴笋吸收重金属也有一定的贡献；铁锰氧化物结合态和有机结合态较为稳定，生物活性较低，莴笋不易吸收，但也有向有效态转化的可能；残留态属强结合形态，活性最低，几乎不被莴笋吸收，其含量越高，说明土壤活性重金属占的比例越小，重金属向无效态转化。

外源添加 DOM 会改变重金属在莴笋体内的吸收量，其效果因土壤类型和 DOM 种类而异。栽种莴笋可在一定程度上提高了土壤 DOM 的含量，因此在农地施用有机物料时，必须将 DOM 对重金属的作用考虑在内，以防止 DOM 活化重金属而引起的食品污染。

4 土壤重金属形态变化与 DOM 变化的相关性

将试验整个阶段各处理土壤中重金属各赋存形态的含量与土壤中 DOM 的含量进行相关分析，结果表明 DOM 对重金属有效态的影响非常明显，紫色土均达显著水平，而黄壤中均达极显著水平。对于不同的土壤和重金属，DOM 对有效态的作用方向存在差异，紫色土中 DOM 含量与交换态 Cd 呈显著正相关 ($r = 0.408$)；黄壤中 DOM 含量与交换态 Cd 呈极显著负相关 ($r = -0.592$)。DOM 对土壤中重金属有机结合态也有较大的影响 (紫色土 $r = 0.250$ 黄壤 $r = 0.548$)。DOM 可促进其它形态向有机结合态的转化，说明 DOM 对于不同重金属有效态的作用效果是不同的，且在不同土壤上也存在差异。其原因可能是 DOM 在 pH 值较高的土壤中，DOM-重金属络合物更稳定，且 DOM 更不易被土壤吸附。也可能是土壤 DOM 比固相有机质具有更多的活性点位，是土壤生态系统中一种重要的活性组分，能够充当污染物的“配位体”和“迁移载体”，使有机和无机污染物的水溶性和迁移性提高，含有大量的功能基团，可以与土壤中的重金属通过络合和螯合作用，形成有机-金属配合，提高重金属的可溶性；同时，DOM 可以通过与土壤、水体和沉积物中金属离子、氧化物、矿物和有机物之间离子交换、吸附、氧化还原等反应，改变重金属活性，迁移规律、生物毒性及空间分布。

参 考 文 献

[1] Bahan J Sposito G, Chemistry of Water Soluble MetalComplexing Ligands Extracted from an Anaerobically-Digested Sewage Sludge [J] . *Journal of Environmental Quality*, 1983 12 (1) : 96—100

[2] 周立祥，中国城市污泥土地利用策略及其污泥重金属环境化学行为的机理研究 [R] . 北京：中国科学院地理研究所博士后报告，1998 64