

基于光谱学方法研究土壤对堆肥中可溶性有机物的吸附行为

缪闯和^{1,2}, 吕贻忠^{1,2*}, 于越¹, 赵康¹

1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100193

2. 农业部华北耕地保育重点开放实验室, 北京 100193

摘要 可溶性有机物(DOM)作为土壤有机碳库的重要组成部分,其在碳氮循环、养分转化及污染物迁移等土壤生物化学过程中具有重要作用。研究不同类型土壤对堆肥DOM的吸附行为,可为堆肥在不同类型土壤中合理施用以及研究堆肥DOM的土壤环境化学行为提供理论参考。该研究选取黑土和潮土两种土壤,以石英砂作对比,开展不同吸附时间下三种介质对DOM的吸附试验,并采用紫外-可见光谱和三维荧光光谱结合平行因子法分析吸附反应溶液中DOM的光谱特征。结果表明,DOM在土壤中能很快被土壤颗粒吸附,在最初的20 min内吸附速率最快,随着吸附时间延长,吸附速率会逐渐减慢,并在260 min时达到平衡。在吸附时间为20 min时,黑土、潮土和石英砂对DOM的吸附量,分别占到260 min时吸附量的61.94%, 67.43%和61.57%。在吸附时间达260 min时,黑土对DOM的吸附量为 $9.30 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,潮土对DOM的吸附量为 $9.18 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,石英砂对DOM的吸附量为 $8.90 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。紫外-可见光谱分析结果显示,在200~600 nm波长范围内,不同吸附反应溶液中DOM的吸光度值随吸附时间延长均降低,在最初5 min内降低幅度大于5~260 min时段,此外,吸附反应溶液中DOM的SUVA₂₅₄值先升高再降低。平行因子分析(PARAFAC)结果显示,吸附反应溶液中存在三个有机荧光组分,其中C1组分(325/410 nm)鉴定为UV类腐殖酸,C2组分(主峰为265/440 nm、次峰360/440 nm)鉴定为陆地植物源类腐殖酸,C3组分(主峰为370/485 nm、次峰290/485 nm)为典型的类腐殖质组分。C3组分的相对分子质量高于C1和C2组分,但芳香性构化程度低于C1和C2组分。黑土对C3组分的吸附能力最强,潮土对C1组分的吸附能力最强,石英砂对C2组分的吸附能力最强。综上所述,土壤类型和DOM自身的组成结构特征会影响土壤对DOM的吸附行为。该研究可为堆肥在不同类型土壤上合理施用提供理论依据。

关键词 堆肥;可溶性有机物;吸附;紫外-可见光谱;三维荧光光谱

中图分类号: S153.6⁺2 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)12-3832-07

引言

可溶性有机物(dissolved organic matter, DOM)是指粒径小于 $0.45 \mu\text{m}$ 的可溶性有机物的总称,包括不同分子量的有机物,如游离氨基酸、碳水化合物、有机酸以及多糖和腐殖质等^[1]。可溶性有机物可以影响土壤中多种营养元素的生物有效性、污染物(如重金属、持久性有机物、农药等)的迁移、成土过程、微生物代谢、土壤有机质分解与转化等过程^[2]。农田土壤施用堆肥可以提高土壤DOM的含量。因此,研究不同土壤对DOM的吸附行为对堆肥的合理施用具有重要的实践意义。

近年来,DOM的环境化学行为逐渐成为土壤学、环境科学、生态学等学科领域的研究热点之一。有研究结果表明,DOM具有比固相有机物更多的活性吸附位点^[3],可参与土壤中的多种反应过程,是土壤有机质库中最活跃的、最重要的组分^[4]。DOM进入土壤后,可以通过多种作用方式与土壤胶体结合^[5],从而被土壤吸附和固定、且在一定的条件下又会释放进入土壤溶液。目前,相关研究虽已开展不少,但大多是通过测定DOC含量来评估土壤对DOM的吸附行为^[6-7],很少深入研究DOM组分和结构特征与吸附行为的关系。紫外-可见光谱以及三维荧光光谱结合平行因子分析方法因其灵敏高效的特征,被广泛用于表征DOM的组成和结构^[8]。本研究选择了2种土壤(黑土和潮土)和石英砂,通

收稿日期: 2019-07-22, 修订日期: 2019-11-06

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划项目(2018YFD0500202), 国家自然科学基金面上项目(4157317)资助

作者简介: 缪闯和, 1994年生, 中国农业大学土地科学与技术学院硕士研究生 e-mail: mchhsf@163.com

* 通讯联系人 e-mail: lyz@cau.edu.cn

过对不同吸附时间下 DOM 吸附行为的比较,探讨 DOM 结构特征对其在土壤中吸附行为的影响。以期明确土壤对 DOM 吸附与 DOM 结构特征的关系,为未来研究 DOM 的环境化学行为提供理论基础,为指导堆肥在不同类型土壤上的合理施用提供理论依据。

1 实验部分

1.1 材料

试验选择黑土、潮土两种土壤和石英砂(分析纯)作为吸附介质。黑土采自吉林省梨树县,潮土采自河北曲周县。两种土样自然风干后过 1 mm 筛备用。供试土壤基本性质如表 1 所示。

本试验所用 DOM 溶液取自蘑菇渣鸡粪混合的二次发酵堆肥,该堆肥发酵时间为 60 d。DOM 浸提方法为:按固液

比(W/V) 1:10 混合,在水平恒温振荡器中振荡 2 h(25 °C, 200 r·min⁻¹)后,以 4 000 r·min⁻¹ 的转速离心 10 min,上清液过 0.45 μm 微孔滤膜,滤液即为 DOM 溶液。

1.2 试验设计

土样前处理:分别取 4 g 黑土、潮土、石英砂于 100 mL 于离心管中,分别加入去离子水 80 mL,放置过夜。在水平恒温振荡器上振荡 2 h(200 r·min⁻¹)后,以 4 000 r·min⁻¹ 转速离心 10 min,上清液弃去,如此重复操作三次,以减少土壤残留的 DOM 对试验产生影响。

土样前处理完成后,分别加入 DOM 溶液 80 mL,另滴入一滴 0.1 g·L⁻¹ 叠氮化钠以抑制微生物活动。在室温下 200 r·min⁻¹ 的水平恒温振荡器上分别振荡 0, 5, 10, 20 和 260 min,在 4 000 r·min⁻¹ 转速条件下,离心 10 min,上清液过 0.45 μm 微孔滤膜后,进行溶解性有机物(DOC)含量测定、紫外-可见光谱和荧光光谱分析。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Basical physical and chemical properties of the tested soils

土壤类型	成土母质	粘土矿物	有机质/ (g·kg ⁻¹)	粒径组成/%			
				粗砂 >0.2 mm	细砂 0.2~0.02 mm	粉粒 0.02~0.002 mm	黏粒 <0.002 mm
黑土	黄土状粘土沉积物	主要为蒙脱石	34.89	1.09	24.59	38.51	38.01
潮土	河流冲积物	主要为伊利石	4.55	7.01	82.02	0.50	10.47

1.3 测定方法

采用 Elementar Vario TOC 总有机碳分析仪测定可溶性有机碳(DOC)的含量。

使用 JINGHUA UV-1800PC 紫外可见分光光度计扫描样品紫外可见光吸收光谱,以超纯水为空白,扫描间隔 1 nm,扫描波长范围 200~700 nm,根据光谱数据计算光谱特征参数。SUVA₂₅₄ 计算公式为

$$\text{SUVA}_{254} = (A_{254}/\text{DOC}) \times 100$$

式中: A₂₅₄ 表征芳香性结构物质的含量、SUVA₂₅₄ 表征芳香性构化程度^[8]; E₂/E₃ 是 250 和 365 nm 处的紫外吸光度值之比,此值与 DOM 相对分子质量大小成反比^[8],一般腐殖酸的相对分子质量较大,富里酸的分子量则较小,可以通过 E₂/E₃ 值表征 DOM 的腐殖化程度。E₃/E₄ 是 300 和 400 nm 处的紫外吸光度值之比, E₃/E₄ < 3.5 时,以腐殖酸为主, E₃/E₄ > 3.5 时,以富里酸为主^[8]。

采用日立 F-7000 荧光光度计进行三维荧光光谱扫描,参数设置为:激发波长(excitation wavelength)范围为 220~500 nm,发射波长(emission wavelength)范围为 220~550 nm,激发和发射的狭缝均为 5 nm,扫描速度 2 400 nm·min⁻¹,增量为 5 nm, PMT 电压 700 V,响应时间 0.1 s。测定超纯水的三维荧光光谱,采用 MATLAB 2016b 软件对三维荧光光谱进行修正和扣除拉曼峰和瑞利散射峰^[10],采用 DOMFluor 工具箱进行 PARAFAC 分析,核心一致性分析确定荧光组分数,折半分析验证结果的可靠性^[9-12]。

1.4 数据分析

用 Excel 2019 和 Origin 2018 进行数据整理和图表制作。

采用 SPSS 21 软件中 ANOVA 统计分析方法进行吸附时间和介质类型两个因子的多因素方差分析,采用最小显著差(least significant difference, LSD)多重比较对不同吸附时间和介质类型进行差异显著性检验。

2 结果与讨论

2.1 不同介质对 DOM 的吸附量和含量随吸附时间的变化

如图 1 所示,为不同介质对 DOM 的吸附量(a)和溶液 DOC 含量(b)随吸附时间的变化情况。三种介质对 DOM 的吸附量随吸附时间的增加逐渐延长。在吸附反应的前 20 min 内的吸附量增量高于 20~260 min 时段。在吸附反应进行至 260 min 时,黑土对 DOM 的吸附量最大,为 9.30 mg·g⁻¹。吸附过程中吸附反应溶液的 DOC 含量随吸附时间增加而降低。在 10~20 min 时段内,吸附反应溶液中 DOC 含量出现反常升高,可能是黑土吸附的 DOM 解吸引起的。方差分析结果显示,吸附时间和介质类型二者存在显著的交互作用,表明吸附时间和介质类型对 DOM 吸附量和 DOC 含量均有显著影响。

2.2 吸附反应溶液中 DOM 的紫外-可见光谱特征

紫外-可见光谱所需样品量较少,且具有灵敏度较高等优点,因此常采用紫外-可见光谱来解析土壤 DOM 的组成结构和来源。本研究对不同吸附时间下吸附反应溶液取样并进行紫外-可见光谱扫描,结果如图 2 所示,随着吸附时间的延长,在 200~600 nm 波长范围内吸附溶液中 DOM 的吸光度值均有下降,其中以 200~400 nm 波长范围内下降幅度最

大。在 254 和 270~280 nm 波长处出现明显的吸光度值降低,表明 DOM 中具有共轭体系的芳香性结构物质被大量吸附^[8]。

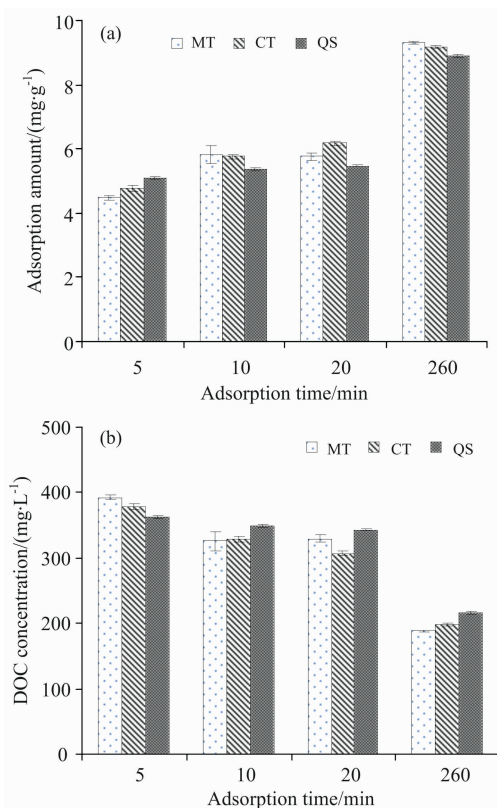


图 1 DOM 的吸附量 (a) 和 DOC 含量 (b) 随吸附时间的变化
MT: 黑土; CT: 潮土; QS: 石英砂

Fig. 1 The adsorbed amount of DOM (a) and DOC (b) concentration with adsorption time

MT: Black soil; CT: Fluvo-aquic soil; QS: Quartz sand

吸附反应溶液的 $SUVA_{254}$ 值随吸附时间的变化情况如图 3 所示。DOM 原溶液的 $SUVA_{254}$ 值为 $0.444 \text{ L} \cdot (\text{mg} \cdot \text{m})^{-1}$, A_{254} 值为 1.192。在吸附反应初始阶段,吸附反应溶液的 $SUVA_{254}$ 值均高于 DOM 原溶液,后随吸附时间的延长逐渐降低,吸附时间达 260 min 时,吸附反应溶液的 $SUVA_{254}$ 值较 DOM 原溶液低,而 A_{254} 值随吸附平衡时间的延长逐渐降低。这说明吸附反应刚开始时,三种介质对 DOM 中芳香性构化程度高的物质吸附比例较弱,但随着吸附时间的延长,对芳香性构化程度高的物质的吸附量逐渐增加。在吸附时间达 260 min 时,石英砂对 DOM 溶液中芳香性结构物质的吸附量最大,其次为黑土和潮土。

2.3 吸附反应溶液中 DOM 的三维荧光光谱分析

三维荧光光谱分析技术具有灵敏度高、所需样品量少、不破坏样品结构等优点,而且其通过同时扫描激发光和发射光而形成的三维荧光激发-发射光谱矩阵 (3D-EEMs),可以获得更全面的 DOM 组分信息^[8]。对不同吸附时间下吸附反应溶液取样并进行三维荧光光谱测定和平行因子法分析。结果表明:吸附反应溶液的 DOM 中存在 3 个有机荧光组分

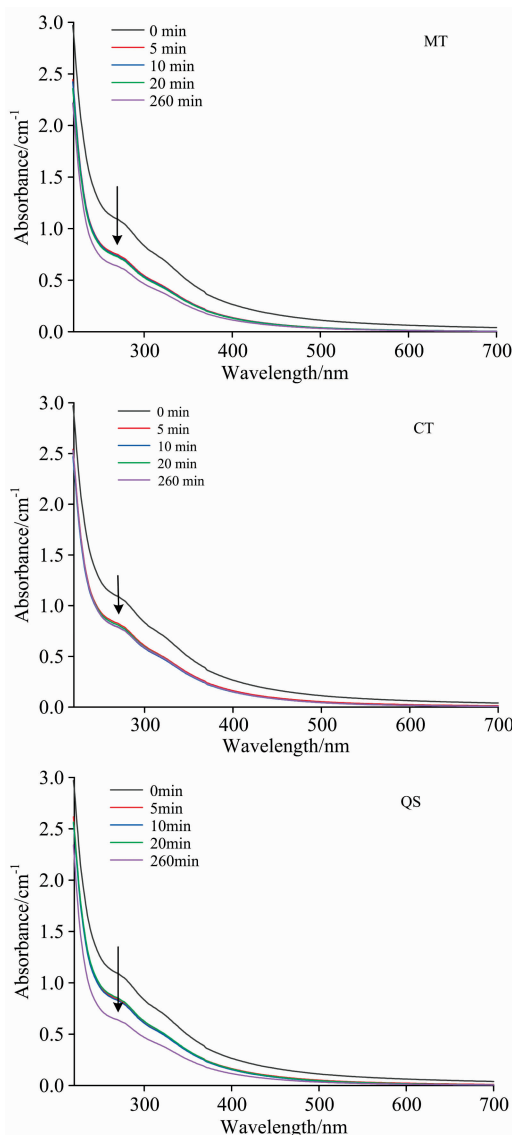
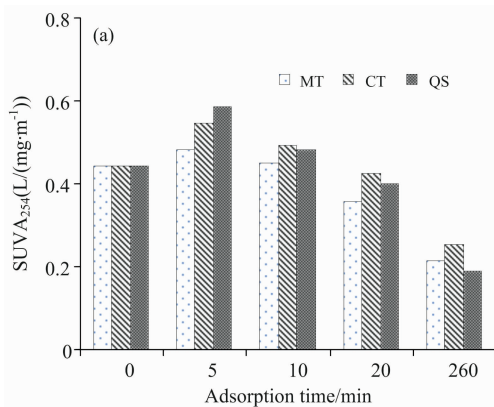


图 2 吸附反应溶液中 DOM 的紫外-可见光谱特征
MT: 黑土; CT: 潮土; QS: 石英砂

Fig. 2 UV-Visible spectral characteristics of DOM in equilibrium solution after adsorption

MT: Black soil; CT: Fluvo-aquic soil; QS: Quartz sand



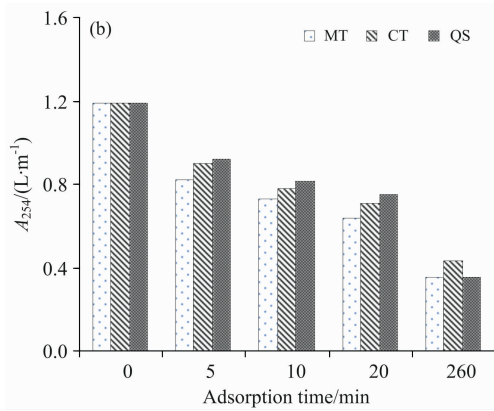


图 3 吸附反应溶液中 DOM 的参数(a)SUVA₂₅₄, (b)A₂₅₄ 值
Fig. 3 SUVA₂₅₄ (a) and A₂₅₄ (b) values of DOC in solution after adsorption

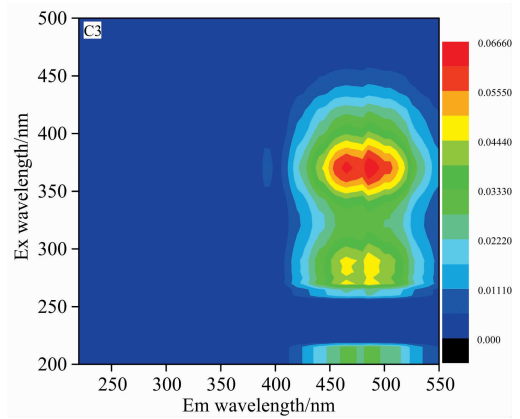


图 4 DOM 中 (C1,C2,C3) 3 个 PARAFAC 模型荧光组分图
Fig. 4 Fluorescence components (C1,C2,C3) of DOM identified by the PARAFAC model

(C1—C3, 如图 4 所示)。其中, C1 组分(325/410 nm)鉴定为 UV 类腐殖酸^[13], C2 组分(主峰为 265/440 nm、次峰 360/440 nm)鉴定为陆地植物源的类腐殖酸, 芳香化程度较高^[8, 14], C3 组分(主峰为 370/485 nm、次峰 290/485 nm)为典型的类腐殖酸组分, 大型植物源特征较弱^[15]。C2 组分相对分子量相对较小, 在水体环境中较为普遍, 在农业环境中也有发现, 其主要来源为陆生性和微生物源有机物。C3 组分的发射波长(485 nm)高于 C1 和 C2 组分, 说明 C3 组分的分子结构更复杂, 相对分子量更高^[16-17]。

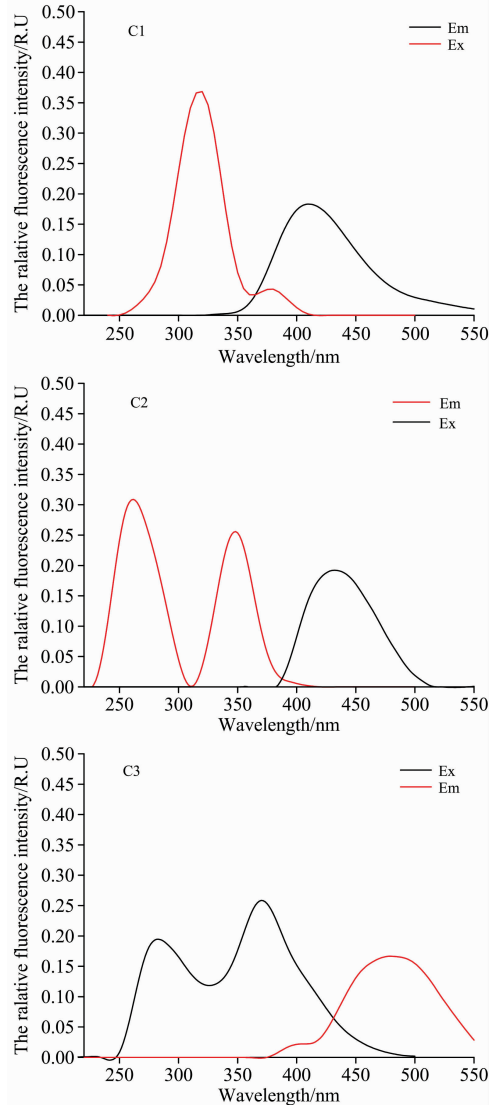
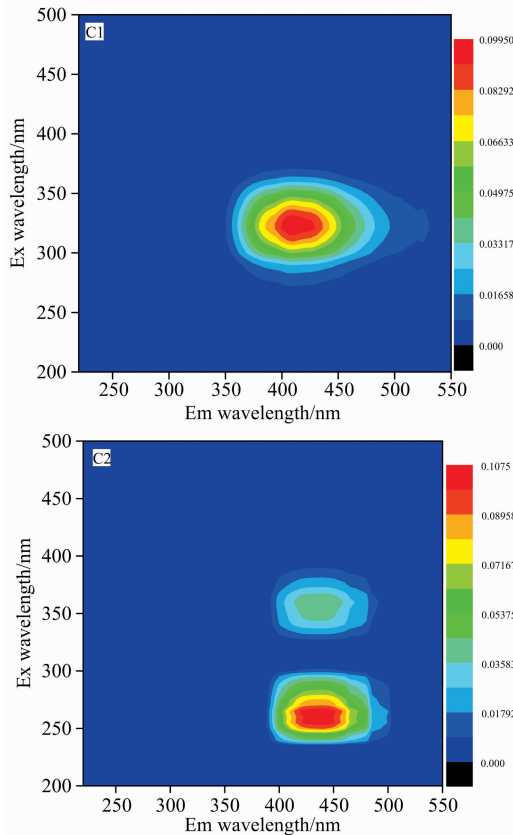


图 5 DOM 中 3 个 PARAFAC 模型荧光组分(C1,C2,C3)的载荷图
Fig. 5 Excitation and emission loadings of the three components (C1, C2, C3) identified by the DOM Fluor-PARAFAC model

PARAFAC 分析能够将 DOM 中主要的荧光组分识别出来,并对识别出的各荧光组分进行定量。在本研究中,以 DOM 中各组分的荧光强度(R.U)来指示其含量,以 DOM 中各组分荧光强度的减少值表示介质对 DOM 的吸附量。如图 6 所示,不同土壤对 DOM 中不同荧光组分的吸附能力存在差异。从吸附比例看,在吸附时间为 260 min 时,黑土对 C1 组分的吸附比例为 54.97%,低于潮土(57.47%)和石英砂(56.55%),黑土对 C2 组分的吸附比例为 48.87%,比潮土(56.07%)和石英砂(57.45%)低,黑土对 C3 组分的吸附

比例为 68.51%,高于潮土(63.73%)和石英砂(63.84%)。但从吸附量看,三种介质对 C1 组分的吸附量(0.014 8~0.015 2 R.U)最大,对 C3 组分的吸附量(0.008 5~0.009 1 R.U)却最小,这可能是因为 DOM 原溶液中 C1 组分含量较高,C3 组分含量较低。综合吸附量与吸附比例来看,黑土对 C1 和 C2 组分的吸附能力低于潮土和石英砂,但对 C3 组分的吸附能力却高于潮土和石英砂,潮土对 C1 组分的吸附能力最强,石英砂对 C2 组分的吸附能力最强。即黑土对相对分子量较大的 DOM 组分的吸附能力比潮土和石英砂强。

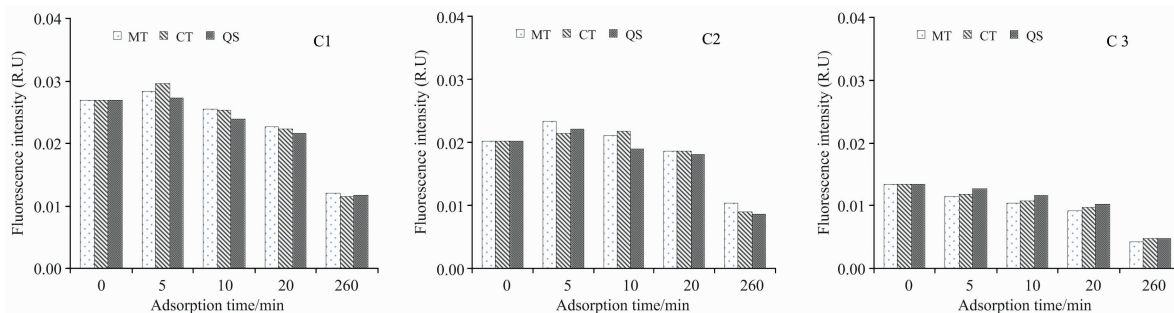


图 6 DOM 中 3 个 PARAFAC 模型荧光组分(C1,C2,C3)的荧光强度随吸附时间的变化情况

Fig. 6 The fluorescent intensity of the fluorescent components (C1,C2,C3) of three PARAFAC models in DOM with adsorption time

2.4 DOM 数量与其光谱参数之间的相关性

相关分析结果(表 2)表明,三种吸附反应溶液中 DOM 的 DOC, A_{254} , A_{260} , A_{280} , $SUVA_{254}$ 与 C1, C2 和 C3 存在极显著正相关关系($p < 0.05$),这表明 C1, C2, C3 三个组分均含有芳香性结构物质。C1, C2 和 C3 组分相互之间存在显著正相关关系($p < 0.05$),表明三个荧光组分可能具有相似的

物质来源或变化趋势,而且可能存在一种作用机制,有机物经微生物的分解作用后,促进分子量较大的腐殖酸类物质的合成。C2 与 A_{254} 的相关系数大于 C3 与 A_{254} 的相关系数,但 C2 与 $SUVA_{254}$ 的相关系数大于 C3 与 $SUVA_{254}$ 的相关系数,说明 C3 组分芳香性结构物质含量较高,但芳香性构化程度较 C2 组分低,这与 PARAFAC 分析结果一致。

表 2 DOM 的数量与光谱学参数之间的 pearson 相关性

Table 2 Pearson correlation coefficients between quantity, spectroscopic characteristics of DOM and fluorescence component

	A_{254}	A_{260}	A_{280}	$SUVA_{254}$	E_2/E_3	E_4/E_6	DOC	C1	C2	C3
A_{254}	1									
A_{260}	0.999 **	1								
A_{280}	0.999 **	1 *	1							
$SUVA_{254}$	0.733 **	0.734 **	0.724 **	1						
E_2/E_3	-0.832 **	-0.832 **	-0.840 **	-0.290	1					
E_4/E_6	-0.823 **	-0.822 **	-0.829 **	-0.266	0.914 **	1				
DOC	0.957 **	0.956 **	0.960 **	0.517 **	-0.899 **	-0.928 **	1			
C1	0.843 **	0.844 **	0.835 **	0.932 **	-0.419 **	-0.468 **	0.707 **	1		
C2	0.759 **	0.759 **	0.749 **	0.934 **	-0.283	-0.364 *	0.604 **	0.977 **	1	
C3	0.948 **	0.948 **	0.943 **	0.886 **	-0.619 **	-0.631 **	0.839 **	0.949 **	0.906 **	1

注: * 表示在 0.05 显著水平下显著相关; ** 表示在 0.01 显著水平下显著相关

Note: * indicate the correlations were significant the level of 0.05; ** indicate the correlations were significant the level of 0.01

3 结论

通过测定 DOC 含量,采用紫外-可见光谱、三维荧光光谱结合平行因子法分析不同吸附时间下吸附反应溶液中 DOM 的数量和光谱结构特征,得到以下结论:

(1)随吸附时间的延长,土壤对 DOM 的吸附量逐渐增

加,最初 20 min 内 DOM 吸附量大于 20~260 min 时段内的吸附量。吸附时间为 260 min 时,黑土对 DOM 的吸附量为 $9.30 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,潮土对 DOM 的吸附量为 $9.18 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,石英砂对 DOM 的吸附量为 $8.90 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

(2)吸附反应溶液的 DOM 中含有 3 个 PARAFAC 荧光组分:C1 组分为 UV 类腐殖酸,C2 组分为陆地植物源类腐殖酸组分,芳香性构化程度较高,C3 组分为类腐殖质组分,

大型植物源特征较弱, 相对分子质量较 C1 和 C2 组分大。黑土对 C1 和 C2 组分的吸附能力低于潮土和石英砂, 但对 C3 组分的吸附能力却高于潮土和石英砂, 潮土对 C1 组分的吸附能力最强, 石英砂对 C2 组分的吸附能力最强。

(3) 土壤性质和 DOM 结构特征都会影响 DOM 的吸附行

为。本研究中, 黑土对堆肥 DOM 的吸附量比潮土和石英砂对堆肥 DOM 的吸附量大。三种土壤对 DOM 中芳香性结构物质的吸附较为明显, 但在吸附反应初始阶段, 三种土壤更易吸附 DOM 中芳香性构化程度低的组分。

References

- [1] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, et al. *Soil Science*, 2000, 165(4): 277.
- [2] LI Rui, QU Ming(李睿, 屈明). *Ecology and Environmental Sciences(生态环境学报)*, 2004, (2): 271.
- [3] Temminghoff E, VanderZee S, DeHaan F. *Environmental Science & Technology*, 1997, 31(4): 1109.
- [4] McDowell W H. *Geoderma*, 2003, 113(3-4): 179.
- [5] HUANG Ze-chun, CHEN Tong-bin, LEI Mei(黄泽春, 陈同斌, 雷梅). *Acta Ecologica Sinica(生态学报)*, 2002, (2): 259.
- [6] KANG Lu, WU Jing-gui, ZHAO Xin-yu(康露, 吴景贵, 赵欣宇). *Journal of Northeast Forestry University(东北林业大学学报)*, 2013, 41(8): 130.
- [7] YANG Jia-bo, ZENG Xi-bai, LI Lian-fang, et al(杨佳波, 曾希柏, 李莲芳, 等). *Scientia Agricultura Sinica(中国农业科学)*, 2008, (11): 3656.
- [8] ZHOU Shi-lei, ZHANG Yi-ran, HUANG Ting-lin, et al(周石磊, 张艺冉, 黄廷林, 等). *Environmental Science(环境科学)*, 2019, 40(1): 172.
- [9] He W, Hur J. *Water Research*, 2015, (5): 217.
- [10] Zepp R G, Sheldon W M, Moran M A. *Marine Chemistry*, 2004, 89(1): 15.
- [11] Stedmon C A, Bro R. *Limnology and Oceanography-Methods*, 2008, (6): 572.
- [12] Murphy K R, Butler K D, Spencer R G M, et al. *Environ. Sci. Technol.*, 2010, (24): 9405.
- [13] Stedmon C A, Markager S, Bro R. *Marine Chemistry*, 2003, 82(3-4): 239.
- [14] Fellman J B, Petrone K C, Grierson P F. *Limnology and Oceanography*, 2011, 56(1): 243.
- [15] Lapierre J F, Frenette J. *Aquatic Sciences*, 2009, 71(1): 15.
- [16] YUAN Xiao-chun, LIN Wei-sheng, PU Xiao-ting, et al(元晓春, 林伟盛, 蒲晓婷, 等). *Chinese Journal of Applied Ecology(应用生态学报)*, 2016, 27(6): 1845.
- [17] ZHANG Tong, HE Xiao-song, LI Meng, et al(张桐, 何小松, 李猛, 等). *Acta Pedologica Sinica(土壤学报)*, 2019, 56(2): 398.

Study on Adsorption Behavior of Dissolved Organic Matter Onto Soil With Spectroscopic Method

MIAO Chuang-he^{1,2}, LÜ Yi-zhong^{1,2*}, YU Yue¹, ZHAO Kang¹

1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2. Key Laboratory of Arable Land Conservation(North China), Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China

Abstract Dissolved organic matter (DOM) is an important component of soil organic carbon pool, which plays a vital role in soil biochemical processes such as carbon and nitrogen cycle, nutrient conversion and pollutant migration. Exploring the adsorption behavior of DOM onto soil can provide a theoretical reference for the application of compost and the behavior of DOM in soil environmental. In this study, two different types of soils (black soil and fluvo-aquic soil), and quartz sand, were selected to carry out the adsorption experiment. UV-Visible spectroscopy and three-dimensional fluorescence spectroscopy combined with parallel factor method was applied to analysis the spectral characteristic of the DOM in the solution. The results showed that DOM was adsorbed by soil particles quickly. The adsorbed amount of DOM would gradually decrease with time. Due to the difference in properties of the three medium, the adsorbed amount of DOM is different. The adsorbed amount of DOM onto black soil, fluvo-aquic soil and quartz sand at 20 minutes, accounts for 61.94%, 67.43%, 61.57% of the adsorbed amount at 260 minutes. The adsorbed amount of DOM onto black soil, fluvo-aquic soil, and quartz sand up to 9.30, 9.18 and 8.90 mg · g⁻¹ at 260 minutes. The UV-Vis spectroscopy showed that the absorbance of DOM in the solution decreased with adsorption time in the wavelength range of 200~600 nm, and the decrease degree of absorbance was larger in the first 5 minutes than that at 5~260 minutes. In addition, SUVA₂₅₄ values increased firstly and then decreased with time. The results of PARAFAC

analysis showed that there were three organic fluorescent components in the adsorption equilibrium solution. The C1 component (325/410 nm) was identified as UV humic-like, originating from terrestrially-derived organic matter, and the C2 component (two peaks are 260/435 nm, 350/435 nm) identified as humic-like, aromatic and derived primarily from terrestrial plant material, C3 component (two peaks are 280/500 nm, 375/500 nm) is a typical humus-like component of terrestrial origin, the poor contribution of macrophytes, allochthonous. The relative molecular weight of the C3 component is higher than that of the C1 and C2 components, but the degree of aromatization is lower than that of the C1 and C2 components. Black soil shows lower adsorption capacity for C1 and C2 components than fluvo-aquic soil and quartz sand, but for C3 component higher than fluvo-aquic soil and quartz sand. Fluvo-aquic soil has the largest adsorption capacity for C1 component, and quartz sand has the largest adsorption capacity for C2 component. In summary, the soil types and the structural characteristics of DOM was the main factor that affect the adsorption behavior of DOM onto the soil. Therefore, this study could provide a theoretical reference for the rational application of compost on different types of soil.

Keywords Compost; Dissolved organic matter; Adsorption; UV-Vis spectra; 3D-EEMFS

(Received Jul. 22, 2019; accepted Nov. 6, 2019)

* Corresponding author

《光谱学与光谱分析》对来稿英文摘要的要求

来稿英文摘要不符合下列要求者，本刊要求作者重写，这可能要推迟论文发表的时间。

1. 请用符合语法的英文，要求言简意明、确切地论述文章的主要内容，**突出创新之处**。
2. 应拥有与论文同等量的主要信息，包括四个要素，即研究目的、方法、结果、结论。其中后两个要素最重要。有时一个句子即可包含前两个要素，例如“用某种改进的 ICP-AES 测量了鱼池水样的痕量铅”。但有些情况下，英文摘要可包括研究工作的主要对象和范围，以及具有情报价值的其他重要信息。在结果部分最好有定量数据，如检测限、相对标准偏差等；结论部分最好指出方法或结果的优点和意义。
3. 句型力求简单，尽量采用被动式，建议经专业英语翻译机构润色，与中文摘要相对应。用 A4 复印纸单面打印。
4. 摘要不应有引言中出现的内容，换言之，摘要中必须写进的内容应尽量避免在引言中出现。摘要也不要对论文内容作解释和评论，不得简单重复题名中已有的信息；不用非公知公用的符号和术语；不用引文，除非该论文证实或否定了他人已发表的论文。缩略语、略称、代号，除相邻专业的读者也能清楚地理解外，在首次出现时必须加以说明，例如用括号写出全称。