

胶州湾滨海湿地土壤溶解性有机碳淋溶特征

郝敏¹, 刘姝红¹, 张艳艳², 李悦¹, 孔范龙¹

(1. 青岛大学 环境科学与工程学院, 山东 青岛 266071; 2. 浙江瑞阳环保科技有限公司, 浙江 杭州 310019)

摘要: [目的] 在山东省青岛市胶州湾滨海湿地采集光滩、碱蓬、芦苇和米草 4 种不同植被类型土壤, 探究滨海湿地土壤溶解性有机碳淋溶特征。[方法] 通过室内土柱淋溶试验, 测定土壤淋出液溶解性有机碳 (DOC) 浓度, 利用紫外—可见分光光度法对土壤淋出液 DOC 结构进行分析。[结果] 土壤淋出液 DOC 浓度随土层深度增加而增加; 芦苇湿地的土壤淋出液 DOC 浓度最高, 为 23.12 mg/L, 其次分别为碱蓬湿地、米草湿地和光滩湿地, 分别为 15.22 mg/L, 14.44 mg/L 与 8.38 mg/L。4 种土壤淋出液 DOC 光谱特征值存在一定的差异性, 碱蓬湿地土壤淋出液 DOC 的芳香性和腐殖化程度最高, 米草湿地土壤淋出液 DOC 的分子量和团聚化最大; 随土层深度的增加土壤淋出液 DOC 的芳香性、腐殖化程度增大, 分子量以及团聚化程度逐渐减小。[结论] 植被残体的分解以及土壤的解吸附能力的差异是造成不同土层土壤淋出液 DOC 浓度差异的主要原因; 而植被类型是影响土壤淋出液 DOC 结构变化的关键因素。

关键词: 滨海湿地; 土壤溶解性有机碳; 淋溶; 解吸附; 光谱分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)01-0016-07

中图分类号: X144

文献参数: 郝敏, 刘姝红, 张艳艳, 等. 胶州湾滨海湿地土壤溶解性有机碳淋溶特征[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1): 16-22. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2019.01.003; Xi Min, Liu Shuhong, Zhang Yanyan, et al. Leaching characteristics of soil dissolved organic carbon in coastal wetlands of Jiaozhou Bay[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(1): 16-22.

Leaching Characteristics of Soil Dissolved Organic Carbon in Coastal Wetlands of Jiaozhou Bay

Xi Min¹, Liu Shuhong¹, Zhang Yanyan², Li Yue¹, Kong Fanlong¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Qingdao University, Qingdao, Shandong 266071, China; 2. Zhejiang Ruiyang Environmental Protection Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310019, China)

Abstract: [Objective] To collect soil samples covered by four different types of vegetation (mudflat, *Suaeda glauca*, *Phragmites australis* and *Spartina alterniflora*) around Jiaozhou Bay coastal wetland in Qingdao City, Shandong Province, in order to explore the leaching characteristics of soil dissolved organic carbon (DOC) in coastal wetland. [Methods] The DOC contents of soil leachate from the soil samples were determined by soil column leaching test in laboratory, and the DOC structure was analyzed by UV-visible spectrophotometry. [Results] The DOC content in soil leachate increased with the increase of soil depth. The highest DOC content was 23.12 mg/L in soil leachate from *P. australis*, followed by the *S. glauca* (15.22 mg/L), *S. alterniflora* (14.44 mg/L) and mudflat (8.38 mg/L). The aromaticity and humification of DOC in the soil leachate of the *S. glauca* was the highest, and the molecular weight and aggregation degree of DOC in the soil leachate of *S. alterniflora* was the largest. With the increase of soil depth, the aromaticity and humification of DOC in the soil leachate increased, while the molecular weight and aggregation degree decreased. [Conclusion] The decomposition of vegetation residues and the difference in soil desorption capacity are the main factors influencing the DOC concentration of leachate in different soil layers. The vegetation type is the key factor affecting the DOC chemical structure in soil leachate.

Keywords: coastal wetland; soil dissolved organic carbon; leaching; desorption; spectral analysis

收稿日期: 2018-07-24

修回日期: 2018-09-01

资助项目: 国家自然科学基金项目“滨海小流域湿地‘DOC 流’关键过程及机理研究”(41771098)

第一作者: 郝敏(1978—), 女(汉族), 山东省泰安市人, 教授, 硕士生导师, 主要从事湿地变化及环境效应研究。E-mail: ximin@qdu.edu.cn.

通讯作者: 孔范龙(1979—), 男(汉族), 山东省临沂市人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事人工湿地生态工程研究。E-mail: kongfanlong@qdu.edu.cn.

土壤溶解性有机碳(dissolved organic carbon, DOC)的淋溶作用是指土壤 DOC 在渗漏水的作用下由土壤上部向下部迁移,或发生侧向迁移的一种土壤发生过程^[1-2]。淋溶作用下导致的 DOC 流失是土壤总有机碳(TOC)损失的重要途径^[3-4]。土壤中 DOC 的长期淋失会使生态系统的限制性元素(N,P)也随之流失,进而导致土壤的肥力和质量下降,影响生态系统养分循环过程和生态系统生产力^[5]。同时,DOC 的淋溶作用会导致土壤微生物可直接利用的有机碳源减少,抑制土壤微生物的活性,影响营养物质的供给和有效性^[6]。因此,开展土壤溶解性有机碳的淋溶特征的研究,对科学理解土壤有机质的积累和迁移过程具有重要意义。

目前,土壤 DOC 淋溶已经开展了部分的研究工作,研究区域主要集中于森林^[7-8]、农田^[9]、草地^[10-11]等生态系统,研究内容主要侧重于其含量时空变化的分析^[2-3]及影响因素等,且对影响因素的关注尤为显著,主要关注土壤植被种类和覆盖度、微生物种类和数量、土壤温湿度、降水量、土地利用方式等因素的影响^[12-16]。研究结果表明,生物因素(植被和微生物)直接影响土壤淋溶过程中 DOC 的生成和淋失,而非生物因素(土壤温湿度、降水等)和人为因素(土地利用和土地管理)通过影响微生物活性、植被生长、土壤颗粒对 DOC 的吸附能力等而间接影响土壤淋溶过程中 DOC 含量的动态变化^[17]。总体来看,对于土壤 DOC 淋溶特征的关注主要集中于其含量方面,而关于结构的研究相对较少。淋溶过程中 DOC 结构的改变会使土壤的矿物质成分发生变化,影响微生物对有机碳的分解能力和土壤有机碳的稳定性^[18],影响 DOC 在土壤中的截留、转化^[15],进而影响土壤对 DOC 的解吸附能力^[19]。因此,在当前更为关注含量的基础上,加强淋溶过程中 DOC 结构的研究,是对土壤 DOC 淋溶过程研究的深入和完善。

滨海湿地处于陆地和海洋的过渡带,是连接水生生态系统和陆地生态系统的重要生态交错带^[20],其生态系统水文波动频繁,淋溶过程频繁发生^[21]。且滨海湿地的土壤粒径较大,具有较高的孔隙度和较小的容重,长期的潮汐作用使其盐碱化程度存在一定的差异,这些特征对水的渗透、胶结物质的形成等有明显的影响,必然使其淋溶过程有别于其他生态系统。但目前关于滨海湿地土壤淋溶的相关研究尚不系统。选择 4 种不同湿地土壤为供试土壤,采用室内土柱模拟试验,探究滨海湿地土壤 DOC 的淋溶迁移特征,以期揭示不同土壤 DOC 含量及结构特征的动态变化,有助于全面认识 DOC 在土壤剖面中的含量分

布、迁移转化过程等环境行为,同时可为滨海湿地土壤碳素研究提供更全面的基础数据。

1 研究区域与方法

1.1 研究区概括

胶州湾滨海湿地位于山东省青岛市(N36°07'—36°13',E120°03'—120°10'),地处于胶州湾的北部及西北部沿岸,是山东半岛面积最大的河口海湾型湿地,已被列入《中国重要湿地名录》。该区域湿地总面积约 1.78×10^5 hm²,海拔 0~5 m,属于温带季风气候,年平均降雨量为 900 mm,年均温度 12 ℃,无霜期 220 d 左右^[22]。土壤受海水潮汐作用、植被演替、降水以及人为因素的影响,其土质不断发生变化。本研究区位于大沽河口和洋河口,大沽河作为青岛的母亲河,其流域面积为 6 131.3 km²,流量约占注入胶州湾的 4 条主要河流总流量 85.6%,大沽河距海由近及远已形成由无植被覆盖光滩到碱蓬以至芦苇的梯度性植被景观;洋河干流全长 49 km,流域面积为 303 km²,自 1963 年从国外引进米草以来,洋河口逐渐形成典型的米草草滩。研究区土壤主要是黏质土和沙质土。

1.2 土壤样品采集

根据湿地水文条件及植被分布状况,采用 GPS 定位,于 2015 年 8 月在胶州湾滨海湿地选取了 4 种具有代表性的湿地土壤(光滩湿地、碱蓬湿地、芦苇湿地、米草湿地)进行采样研究。每个样地随机选择 3 处采样点,每个采样点分别挖掘 3 个平行土壤剖面,每个剖面采集 0—20 cm,20—40 cm,40—60 cm 的土样(待样品风干后,将平行土壤剖面同一土层样品混合来代表该样点对应土层样品),4 个样地共采集 36 份土样。将土壤样品分别装于袋中带回实验室,捡去动植物残体、石块等杂物,置于阴凉处风干后磨碎,过 20 目孔筛。一部分用于土壤基本理化性质的测定,另一部分在 4 ℃ 条件下保存备用,用于土柱的填充。供试土壤的理化性质见表 1。

1.3 试验设计

采用土柱模拟试验淋溶法,淋溶装置由 3 个直径 5 cm,高 10 cm 的有机玻璃材质土柱组成。柱子顶盖和底端的中心处各设置一个孔径为 2 cm 的圆孔,以便于添加淋溶液和收集淋滤液。土柱由下往上依次为:一张定性快速滤纸,2~3 mm 脱脂棉(压实),2~3 cm 的石英砂(粒径 250~550 μm),约 160 g 土样(石英砂校正),再加一层脱脂棉,最后在土柱顶部均匀的加一层粗颗粒的石英砂。淋滤过程中为保证每一批柱子都以相同的速率添加淋溶液以减少人为误差,在各土柱

间均连接蠕动泵。土柱装置示意图如图 1 所示。试验所用的淋滤液均为去离子水,利用蠕动泵使去离子水以恒定的速度泵入 0—20 cm 土层,淋溶完成后取出 50 ml 滤出液将其过 0.45 μm 玻璃纤维滤膜后待测,其余

则继续淋溶 20—40 cm 土层,以此类推,直至逐层淋溶完 40—60 cm。每个剖面用于淋溶试验的初始去离子水与 3 层土柱的土重之和保持 1:1 的比例。试验设计一周为一个淋溶周期,每个土柱共淋溶 7 次。

表 1 供试土壤的基本理化性质

样地	采样深度/cm	pH 值	含水率/ %	容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	电导率/ ($\text{s} \cdot \text{m}^{-1}$)	含盐量/ %	TOC/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	DOC/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
光滩湿地	0—20	7.51	47	1.18	0.92	3.37	8.27	101.81
	20—40	7.46	55	1.56	0.93	3.54	5.93	98.62
	40—60	7.55	59	1.11	0.92	3.38	6.33	94.36
碱蓬湿地	0—20	7.41	36	1.26	0.40	1.53	7.44	52.87
	20—40	7.54	53	1.10	0.52	2.03	6.17	49.68
	40—60	7.41	54	1.14	0.55	2.07	5.99	58.19
芦苇湿地	0—20	7.65	30	1.24	0.33	1.09	5.73	25.21
	20—40	7.62	31	1.30	0.24	1.05	5.13	23.09
	40—60	7.59	35	1.33	0.27	1.10	4.82	19.89
米草湿地	0—20	7.19	109	0.68	1.21	4.80	11.84	92.77
	20—40	7.24	101	0.72	1.07	4.14	9.96	74.15
	40—60	7.29	74	0.93	7.22	2.82	6.36	66.70

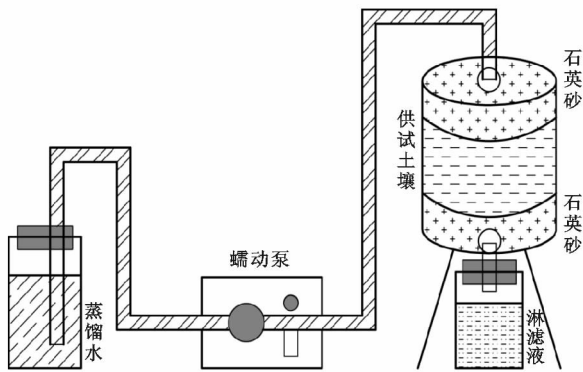


图 1 土柱淋溶装置示意图

1.4 样品分析

土壤含水率、容重、pH 值分别采用称重法、环

刀法、电位法测定,土壤含盐量则通过对土壤中八大离子 (K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-}) 的含量之和计算。土壤 TOC 含量的测定采用重铬酸钾外加热容量法^[23];DOC 含量测定采用比色法;DOC 结构特征的分析采用紫外可见分光光度法^[24]分别测定 203, 240, 250, 253, 254, 280, 365, 420 nm 处的吸收值。本次研究中,相关紫外—可见光谱参数见表 2。

1.5 数据处理方法

本文使用的数据均通过试验获得,并采用 Excel 2007 软件对试验数据进行初步整理,采用 Pearson 相关分析与单因素方差分析的方法,利用 SPSS 20.0 软件,对整理的数据进行分析。采用 Origin 8.0, Corel Draw X7 软件进行绘图。

表 2 紫外—可见光谱参数描述

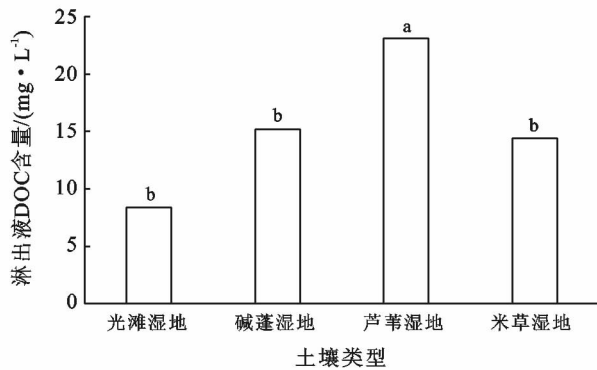
光谱参数	定义	相关描述
A254	单位 DOC 浓度在波长 254 nm 处的吸光系数	表征 DOC 的腐殖化程度 ^[25]
A280	单位 DOC 浓度在波长 280 nm 处的吸光系数	表征 DOC 的结构复杂性 ^[25]
A253/A203	DOM 在 253 nm 与 203 nm 处的吸光度比值	反映芳香环的取代程度和取代种类 ^[26]
A250/A365	DOC 在 250 nm 与 365 nm 处吸光度的比值	表征 DOC 的芳香性和分子量大小 ^[27]
A240/A420	DOM 在 240 nm 与 420 nm 处的吸光度比值	表征 DOM 分子量大小 ^[27]

2 结果与分析

2.1 土壤淋出液 DOC 含量变化

2.1.1 土壤淋出液 DOC 含量变化 淋溶结束,土壤淋出液 DOC 含量整体表现为芦苇湿地 (23.12 mg/L)

>碱蓬湿地 (15.22 mg/L) >米草湿地 (14.44 mg/L) >光滩湿地 (8.38 mg/L) (图 2)。经单因素方差分析,仅芦苇湿地土壤淋出液 DOC 含量与其余湿地土壤淋出液 DOC 含量差异显著,其余 3 种湿地间无显著性差异 (图 2)。

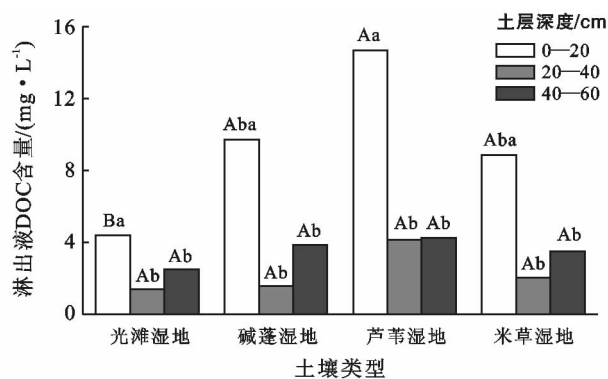


注:单位 mg/L 是指假设每一土柱淋出 1 L 溶液时 DOC 的淋出量,相同字母表示两两比较无显著性差异,不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。

图 2 不同土壤淋出液 DOC 含量变化

2.1.2 不同土层淋出液 DOC 含量变化 淋溶周期内,DOC 的含量随土层深度的增加而逐渐升高,且 DOC 含量在淋溶上层土壤后大量增加,中层和下层土壤淋出液 DOC 含量增加不明显(图 3)。上层土壤淋出液 DOC 含量在 4.42~14.71 mg/L 之间,平均为 9.44 mg/L,占土壤淋出液 DOC 含量的 52.74%~63.99%,平均为 61.69%;中层土壤淋出液 DOC 含量在 1.44~4.15 mg/L 之间,平均为 2.31 mg/L,占土壤淋出液 DOC 含量的 10.51%~17.94%,平均为 15.10%;下层土壤淋出液 DOC 含量在 2.52~4.27 mg/L 之间,平均为 3.55 mg/L,占土壤淋出液 DOC 含量的 18.46%~30.07%,平均为 23.21%。

经单因素方差分析,上层不同土壤淋出液 DOC 含量存在显著性差异,中层和下层无显著性差异;同一土壤淋出液 DOC 含量上层与中层、下层存在显著差异性,中层与下层之间无显著性差异。



注:相同大写字母表示同一土层不同样地两两比较不存在显著性差异,不同大写字母表示差异性显著($p < 0.05$);相同小写字母表示同一样地不同土层两两比较不存在显著性差异,不同小写字母表示差异性显著($p < 0.05$)。

图 3 不同土层淋出液 DOC 含量变化

2.2 土壤淋出液 DOC 结构变化

2.2.1 土壤淋出液 DOC 的吸收光谱特征 4 种土壤淋出液 DOC 的光谱特征值(A_{280} , A_{254} , A_{253}/A_{203} , A_{250}/A_{365} , A_{240}/A_{420})存在一定的差异性。淋溶结束时,土壤淋出液 DOC 的 A_{254} 值为碱蓬湿地(0.647 8) > 光滩湿地(0.536 3) > 芦苇湿地(0.433 9) > 米草湿地(0.427 7); A_{280} 值表现为碱蓬湿地(0.474 2) > 光滩湿地(0.386 1) > 米草湿地(0.323 6) > 芦苇湿地(0.316 3); A_{253}/A_{203} 比值为芦苇湿地(0.551 3) > 米草湿地(0.432 4) > 碱蓬湿地(0.375 9) > 光滩湿地(0.357 9); A_{250}/A_{365} 和 A_{240}/A_{420} 比值为光滩湿地(6.707 7, 16.353 6)最大,碱蓬湿地(5.490 0, 13.659 7)和芦苇湿地(5.824 0, 11.782 7)居中,而米草湿地(5.131 3, 10.841 0)最小(图 4)。

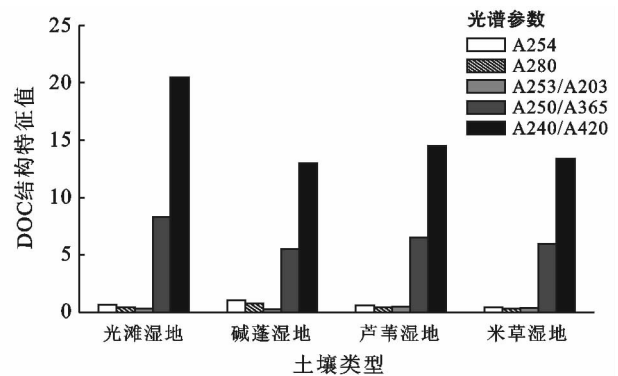


图 4 不同土壤 DOC 紫外-可见光谱特征参数

2.2.2 不同土层淋出液 DOC 的吸收光谱特征 各层土壤淋出液 DOC 的光谱特征值(A_{254} , A_{280} , A_{253}/A_{203} , A_{250}/A_{365} , A_{240}/A_{420})进行分析比较,反映土壤淋出液 DOC 腐殖化程度和芳香性的 A_{254} , A_{280} 在垂直方向上表现为下层 > 中层 > 上层。表征土壤淋出液 DOC 中芳香环可取代程度的 A_{253}/A_{203} 在垂直方向上为上层 > 中层 > 下层(图 5),且数值变化特征不明显。表征土壤中溶解性有机碳分子量和聚合度的 A_{250}/A_{365} 和 A_{240}/A_{420} 在垂直方向上均表现为下层 > 中层 > 上层(图 5)。

3 讨论

3.1 土壤淋出液 DOC 含量变化特征

研究得出,土壤与其淋出液中 DOC 含量呈极显著负相关($r = -0.876$, $p < 0.01$),光滩湿地土壤 DOC 含量最高,其淋出液 DOC 含量最低;有植被覆盖的 3 种土壤中,DOC 含量最低的芦苇湿地其淋出液 DOC 含量反而最高。分析认为,土壤中植物残体的分解和土壤自身理化性质的差异导致了这一结果。

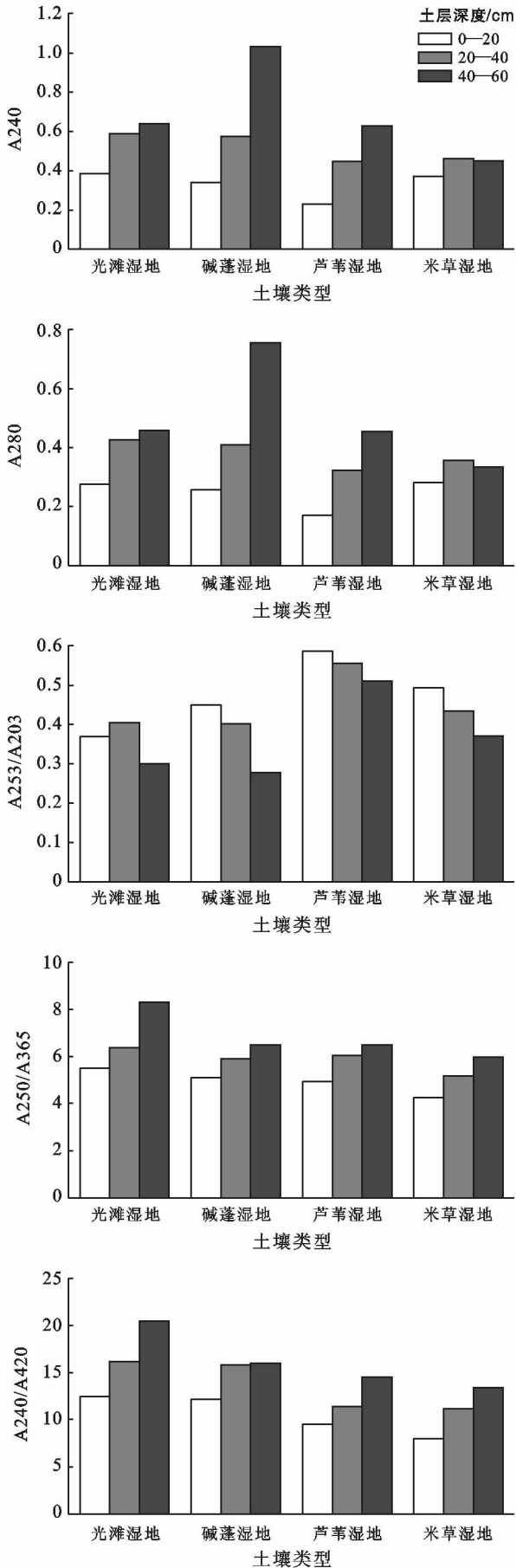


图 5 不同土层 DOC 紫外-可见光谱特征参数

已有研究认为,土壤中植被残体分解有利于提高土壤淋出液 DOC 含量^[28],而光滩湿地几乎无植被覆盖,植被残体较少,因此直接导致其淋出液 DOC 的含量较低。在 3 种有植被覆盖的土壤中,其淋出液 DOC 含量主要受到土壤自身理化性质的影响,芦苇湿地所处区域干湿交替现象严重,干湿交替时期植物残体的分解常数远大于连续渍水或干旱时期,干湿交替会引起土壤收缩和膨胀,使一些团聚体中的有机质暴露在土壤的表面^[29],且土壤多为砂质土壤,吸附可溶性有机质的能力较弱,有利于淋溶过程中 DOC 随淋滤液淋出,导致淋出液 DOC 含量较高;而米草湿地由于长期处于水淹状态下,土壤黏性较大且通透性差,导致土壤对 DOC 的吸附能力强^[30],使得 DOC 在淋溶过程中不易流失。关于土壤自身的理化性质影响土壤 DOC 淋溶过程,这在姜海超^[8]对吉林省主要土壤 DOC 开展的淋溶试验研究中也得到了相同的结论。

由于土壤性质和 DOC 含量的不同,土壤淋出液 DOC 含量在不同土层之间存在一定差异。随着土层深度增加,淋出液 DOC 含量表现为增加趋势。究其原因,土壤 DOC 易迁移,表现为疏水性组分吸附土壤、亲水性组分随有机质向深层迁移,致使深层土壤亲水性 DOC 组分较多^[31],随着淋溶过程的发生易与淋滤液相结合,且在淋溶过程中各土层 DOC 都出现了解吸现象,导致淋出液 DOC 含量逐层增加。这与熊丽等^[7]用超纯水淋溶米楮天然林土壤得出的研究结果一致。虽然土壤淋出液 DOC 含量随土层深度增加,但上层 DOC 占比最大,达 61.69%;中层和下层相比,中层(15.10%)小于下层(23.21%),这主要取决于不同层土壤 DOC 的含量以及土层对土壤 DOC 的解吸附能力差异。土壤上层因植被凋落物和根系分布、潮汐作用带来的藻类、海洋悬浮物等的堆积^[32],以及湿地土壤上层水热条件适宜,土壤酶以及微生物的活性高等因素的影响,导致 DOC 含量最高,直接表现为上层淋出液 DOC 含量占比最大^[33]。而随着土层深度的增加,可供微生物利用的有机质减少^[34],土壤颗粒及矿物质的吸附截留和土壤水分的减少,导致有机碳的淋溶作用减弱,从而直接减少了淋出液 DOC 含量。而由中层到下层的淋溶过程中,土壤淋出液 DOC 的占比由 15.10%上升到 23.21%,主要是土层对土壤 DOC 的解吸附能力差异造成的,与中层相比,下层有机碳含量低、黏粒和铁铝氧化物含量高,未被占据的吸附位点也较多^[35],土壤吸附 DOC 的能力强,导致下层淋出液 DOC 的含量高于中层,这一研究结果与余元春等^[36]研究结果一致。

3.2 土壤淋出液 DOC 结构变化特征

不同土壤淋出液 DOC 的芳香性、腐殖化程度、分

子量和聚合度存在一定的差异。碱蓬湿地淋出液 DOC 芳香性和腐殖化程度最高,这主要由土壤中 DOC 来源于不同植被决定^[37]。碱蓬是藜科的叶肉质化真盐生植物,与同为禾本科的芦苇和米草相比,所含化学成分更易分解,其植被及腐烂根系的分解使得土壤 DOC 芳香性和腐殖化程度高,直接导致碱蓬湿地淋出液 DOC 的芳香性和腐殖化程度最高,这与相关研究表明植物的叶片质量和结构差异会影响 DOC 化学组成和性质的结论一致^[38]。米草湿地淋出液 DOC 分子量和聚合度最大,主要由土壤中 DOC 的来源不同所致,来源于植物的 DOC 含有较多的疏水性组分(聚合度和分子量)^[39]。米草是一种根状茎禾本科植物,具有耐盐耐淹、根系发达和繁殖力强等特点,米草自身凋落物残体以及米草固碳作用使得大量的有机碳进入土壤,增加了土壤微生物对土壤中活性有机碳的利用程度,加强土壤中烷氧碳的利用程度,使烷基碳相对富集,导致烷基碳/烷氧碳比值增加,从而有助于提高土壤有机碳分子量大小和团聚体结合的稳定性^[30],导致米草湿地淋出液 DOC 分子量和聚合度最大。另一方面米草湿地距海较近,受潮汐作用影响强烈,小分子组分易溶解于潮水中迁移至海洋,导致米草湿地中 DOC 分子量和聚合度大的物质多,淋出液 DOC 分子量和聚合度大于其他有植被覆盖的湿地。关于土壤淋出液 DOC 结构特征受 DOC 自身的化学性质影响的研究结论,与曾敏^[37]等人在红壤侵蚀退化地土壤对不同来源可溶性有机碳的吸附特征的研究结果一致。

随着土层深度的增加,土壤淋出液 DOC 的芳香性和腐殖化程度增加,团聚化程度和分子量逐渐减小。这主要是由于随着土层深度的增加,土壤受外界环境影响越小,而土壤自身的解吸附作用成为影响淋出液 DOC 性质的主要原因^[40]。淋溶完上层土壤后,淋出液中 DOC 芳香性和腐殖化程度增加,主要因为上层土壤中有机物分解的残留物含量较高,这些残留物含有较多的芳香化合物^[39]。而随着淋溶过程的发生,下层土壤中部分芳香类的物质发生了解吸^[7],且上层淋溶下来的物质不易被土壤吸附,导致随土层深度增加淋出液 DOC 的芳香性和腐殖化程度逐渐增加。由于上层淋失下来的 DOC 中大分子组分优先被下层土壤吸附,而同时土壤中的小分子组分又易发生解吸^[7],导致团聚化程度和分子量逐渐减小。这是大分子物质优先吸附和小分子物质解吸共同作用的结果,与相关学者^[17]在林地土壤溶解性有机碳淋溶过程提出的共同作用的研究结果一致。

4 结论

胶州湾滨海湿地不同土壤淋出液 DOC 含量不同,水平方向上表现为芦苇湿地>碱蓬湿地>米草湿地>光滩湿地;垂直方向上随土层深度的增加而增大。表明土壤中植被残体分解可以提高土壤淋出液 DOC 含量,且土壤 DOC 的含量以及各土层对土壤 DOC 的解吸附能力对土壤淋出液 DOC 的含量有显著影响。

4 种土壤淋出液 DOC 的光谱特征值存在一定的差异性,碱蓬湿地淋出液 DOC 的芳香性和腐殖化程度最高,米草湿地淋出液 DOC 分子量和团聚化最大;垂直方向上随土层深度的增加,土壤淋出液 DOC 的芳香性和腐殖化程度增大,团聚化程度和分子量逐渐减小。这主要是由于来源于不同植被的土壤 DOC 结构存在明显的差异性,且淋溶过程的发生会导致土壤中大分子物质优先吸附和小分子物质易解吸,使得土壤 DOC 中芳香性物质含量增加,土壤 DOC 的结构更加稳定,有利于土壤中有有机碳的长期积累并成为一个巨大的碳汇。

[参 考 文 献]

- [1] 郭冬楠,臧淑英,赵光影,等. 排水造林对小兴安岭湿地土壤溶解性有机碳生物降解和淋溶的影响[J]. 环境科学学报,2016,36(7):2631-2637.
- [2] 杨展. 地理学大辞典[M]. 安徽 合肥:安徽人民出版社,1992.
- [3] Guo Yuedong, Song Changchun, Wan Zhongmei, et al. Dynamics of dissolved organic carbon release from a permafrost wetland catchment in Northeast China[J]. Journal of Hydrology, 2015,531:919-928.
- [4] Wallage Z E, Holden J, McDonald A T. Drain blocking: An effective treatment for reducing dissolved organic carbon loss and water discoloration in a drained peatland [J]. Science of the Total Environment, 2006,367:811-821.
- [5] Li Zhong, Zhao Qiguo. Organic carbon content and distribution in soils under different land uses in tropical and subtropical China[J]. Plant and Soil, 2001,231(2):175-185.
- [6] Kei Nambu, Koyo Yonebayashi. Role of dissolved organic matter in translocation of nutrient cations from organic layer materials in coniferous and broad leaf forests[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 1999,45(2):307-319.
- [7] 熊丽,杨玉盛,王巧珍,等. 可溶性有机碳在米楮天然林土壤中的淋溶特征[J]. 亚热带资源与环境学报,2014,9(1):46-52.
- [8] 姜海超. 吉林省主要土壤溶解性有机碳及其淋溶特性研究[D]. 吉林 长春:吉林农业大学,2015.

- [9] 汪景宽,李丛,于树,等.不同肥力棕壤溶解性有机碳、氮生物降解特性[J].生态学报,2008,28(12):6165-6171.
- [10] 杨继松,刘景双,于君宝,等.草甸湿地土壤溶解有机碳淋溶动态及其影响因素[J].应用生态学报,2006,17(1):113-117.
- [11] 夏品华,喻理飞,寇永珍,等.贵州高原草海湿地土壤有机碳分布特征及其与酶活性的关系[J].环境科学学报,2017,37(4):1479-1485.
- [12] Guo Mingxin, Chorover Jon. Transport and fractionation of dissolved organic matter in soil columns[J]. Soil Science, 2003,168(2),108-118.
- [13] 王燕,庞卓,贾月,等.生物炭对北京郊区砂土持水力和氮淋溶特性影响的土柱模拟研究[J].土壤环境,2017,36(9):1820-1828.
- [14] 杨继松,刘景双.小叶章湿地土壤微生物生物量碳和可溶性有机碳的分布特征[J].生态学杂志,2009,28(8):1544-1549.
- [15] 熊丽,杨玉盛,朱锦懋,等.可溶性有机碳在米楮天然林不同土层中的迁移特征[J].生态学报,2015,35(17):5711-5720.
- [16] 白军红,邓伟,朱颜明,等.霍林河流域湿地土壤碳氮空间分布特征及生态效应[J].应用生态学报,2003,14(9):1494-1498.
- [17] 解怀亮,王玉刚,李彦,等.灌溉淋溶对土壤有机碳和无机碳及理化性质的影响[J].水土保持学报,2014,28(4):188-193.
- [18] 丁虎,郎赟超,刘丛强.土壤碳淋溶流失研究进展[J].地球与环境,2016,44(1):139-146.
- [19] 徐嘉晖,孙颖,高雷,等.土壤有机碳稳定性影响因素的研究进展[J].中国生态农业学报,2018,26(2):222-230.
- [20] 郝敏,刘红玉,吕宪国.流域湿地水质净化功能研究进展[J].水科学进展,2006,17(4):566-573.
- [21] 曾园园,郝敏,孔范龙,等.胶州湾滨海湿地土壤有机碳时空分布及储量[J].应用生态学报,2016,27(7):2075-2083.
- [22] Xi Min, Zi Yuanyuan, Wang Qinggai, et al. Assessment of the content, structure, and source of soil dissolved organic matter in the coastal wetlands of Jiaozhou Bay, China[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2018,103:35-44.
- [23] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [24] 熊丽,杨玉盛,万菁娟,等.可溶性有机碳在土壤剖面淋溶过程中的分馏[J].应用生态学报,2015,26(5):1289-1296.
- [25] Kalbitz K, Schmerwitz J, Schwesig D, et al. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties[J]. Geoderma, 2003,113(3):273-291.
- [26] 史玲珑,张莉,王圣瑞,等.洱海沉积物溶解性有机氮释放及环境影响机制[J].中国环境科学,2017,37(7):2715-2722.
- [27] Zhang Li, Xu Kechen, Wang Shengrui, et al. Characteristics of dissolved organic nitrogen in overlying water of typical lakes of Yunnan Plateau, China[J]. Ecological Indicators, 2018,84:727-737.
- [28] Kalbitz K, Solinger S, Park J H, et al. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils; A review [J]. Soil Science, 2000,165(4):277-304.
- [29] 张雪雯,莫熠,张博雅,等.干湿交替及凋落物对若尔盖泥炭土可溶性有机碳的影响[J].湿地科学,2014,12(2):134-140.
- [30] 杭子清,王国祥,刘金娥,等.互花米草盐沼土壤有机碳库组分及结构特征[J].生态学报,2014,34(15):4175-4182.
- [31] Xi Min, Kong Fanlong, Li Yue, et al. Temporal-spatial variation of DOC concentration, UV absorbance and the flux estimation in the Lower Dagu River,China[J]. Frontiers of Earth Science, 2017,11(4):660-669.
- [32] Ma Weiwei, Wang Hui, Huang Rong, et al. Distribution of soil organic carbon storage and carbon density in Gahai Wetland ecosystem [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014,25(3):738-744.
- [33] 曾园园,孔范龙,郝敏,等.胶州湾滨海湿地土壤溶解性有机质的三维荧光特性[J].应用生态学报,2016,27(12):3871-3881.
- [34] 霍莉莉,邹元春,郭佳伟,等.垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响[J].环境科学,2013,34(1):283-287.
- [35] 韩成卫,李忠佩,刘丽,等.溶解性有机碳在红壤水稻土中的吸附及其影响因素[J].生态学报,2008,28(1):445-451.
- [36] 俞元春,何晟,李炳凯,等.杉林土壤溶解有机碳吸附及影响因素分析[J].南京林业大学学报:自然科学版,2005,29(2):15-18.
- [37] 曾敏,吕茂奎,陈坦,等.红壤侵蚀退化地土壤对不同来源可溶性有机碳的吸附特征[J].水土保持学报,2018,32(2):191-197.
- [38] Lajtha K, Sollins P, Caldwell B A. Chemical and seasonal controls on the dynamics of dissolved organic matter in a Coniferous Old-Growth Stand in the Pacific Northwest, USA[J]. Biogeochemistry, 2005,71(2):197-223.
- [39] McKnight D M, Bencala K E, Zellweger G W, et al. Sorption of dissolved organic carbon by hydrous aluminium and iron oxides occurring at the confluence of Deer Creek with the Snake river, Summit County, Colorado[J]. Environmental Science and Technology, 1992,26(7):1388-1396.
- [40] 曾从盛,王维奇,徐欢欢,等.艾比湖湿地土壤活性有机碳及其对厌氧条件下碳分解的影响[J].亚热带资源与环境学报,2011,6(2):10-15.