

# 退耕还湿后不同植物群系土壤溶解性有机质的荧光光谱特征

史传奇<sup>1,2</sup>, 李艳<sup>3</sup>, 于少鹏<sup>2</sup>, 胡宝忠<sup>1,2\*</sup>, 金梁<sup>4</sup>

1. 东北农业大学生命科学学院, 黑龙江 哈尔滨 150038
2. 哈尔滨学院, 黑龙江省寒区湿地生态与环境研究重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150086
3. 东北农业大学资源与环境学院, 黑龙江 哈尔滨 150038
4. 北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100097

**摘要** 三维荧光光谱荧光峰位置和荧光强度可表征荧光物质的类型和浓度, 被广泛应用于溶解性有机质(DOM)性质的研究中。为探讨退耕还湿后不同植物群系条件下的土壤特征, 指导退耕还湿工作, 本研究通过采集榆树、松江柳、猪毛蒿、芦苇、灰脉藁草、香蒲 6 种典型植物群系的表层土壤, 应用三维荧光光谱一平行因子分析法, 测定土壤 DOM 的荧光光谱, 分析 6 种植物群系土壤中 DOM 的来源和组成。结合土壤理化指标, 进一步分析土壤 DOM 有机组分的影响因素。结果表明: 6 种植被类型土壤的腐殖化指数(HIX)差异不大, 其中湿生芦苇群系土壤腐殖化程度显著高于旱生猪毛蒿群系。土壤 DOM 的荧光指数(FI<sub>370</sub>)均介于陆生源特征值(1.4)和自生源特征值(1.9)之间, 说明其来源既由微生物活动产生, 也有植物凋落物及根系分泌物的输入。灰脉藁草群系和香蒲群系土壤的 FI<sub>370</sub> 和生物指数(BIX)相对较高, 表明两者具有相对较强的自生源特征, 而芦苇群系和猪毛蒿群系的陆生源特征相对较高。6 种植物群系土壤 DOM 中共识别出 3 个有机组分: 类富里酸组分(C1)、类胡敏酸组分(C2)和类蛋白组分(C3)。芦苇群系土壤 DOM 相对浓度较高, 其次为香蒲群系, 灰脉藁草群系相对较低。除芦苇群系外, C3 组分在各植物群系土壤中均占有相对较高的比例, 其次为 C1, C2 相对较低, 反映出表层土壤 DOM 中小分子物质相对丰富, 腐殖化程度不高。不同植物群系土壤 pH 值差异不显著, 旱生环境具有较高的土壤容重, 而湿生环境土壤含水量和阳离子交换量较高。木本植物群系土壤总有机碳、总氮、总磷、总钾含量均高于草本植物群系。土壤容重、含水量及阳离子交换量可显著影响土壤 DOM 有机组分结构。因此, 退耕还湿过程中增加湿生草本植物面积可在一定程度上提高土壤腐殖化程度。

**关键词** 三维荧光光谱; 土壤溶解性有机质; 植物群系; 退耕还湿

**中图分类号:** S153 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)11-3472-05

## 引言

溶解性有机质(dissolved organic matter, DOM)是具有酸、碱及水溶性的一系列复杂的有机分子的综合体, 土壤中 DOM 主要来源于微生物活动、植物凋落物、根系分泌物等<sup>[1]</sup>, 可参与土壤有机质的累积、碳循环、重金属迁移及污染物去除等过程, 促进土壤发育, 并有效地反映土壤有机质组成与外部环境间的相关关系<sup>[2-4]</sup>, 对不同植被类型、土地利用方式、气候条件等具有响应<sup>[5-7]</sup>。应用三维荧光光谱可

以测定 DOM 中各有机组分的荧光特征, 结合平行因子分析法, 判定各有机组分的种类, 如类富里酸、类胡敏酸、类蛋白等, 荧光强度还可以表征各有机组分浓度<sup>[1, 8]</sup>。因此, 三维荧光光谱技术被广泛应用于研究不同条件下土壤 DOM 的来源、组成和性质, 评价土壤环境质量<sup>[2, 9]</sup>。

退耕还湿是湿地生态恢复的重要措施, 其中植被恢复是退耕还湿的基本条件之一, 对提高植物多样性、保护野生动物栖息地、提升土壤环境质量、重建湿地生态系统具有重要意义。土壤环境质量监测作为退耕还湿恢复效果评价体系的重要组成部分, 其中土壤 DOM 是土壤环境监测的重要指标

收稿日期: 2020-03-19, 修订日期: 2020-07-10

基金项目: 黑龙江省寒区湿地生态与环境研究重点实验室开放课题项目(201906), 国家自然科学基金项目(41977095), 中挪国际合作项目(CHN-17/0019)资助

作者简介: 史传奇, 1986 年生, 东北农业大学生命科学学院博士后

e-mail: chuanqi0730@163.com

\* 通讯联系人 e-mail: bzhu@neau.edu.cn

之一。不同植被覆盖条件下,土壤 DOM 的组分及其来源、性质有所差异<sup>[6, 10]</sup>, 探明这一差异性可为湿地土壤恢复方法提供参考依据。

本研究采集哈尔滨阿勒锦岛国家湿地公园退耕还湿后 6 种典型植物群系条件下土壤样品,应用三维荧光-平行因子分析的方法测定土壤中 DOM 的荧光光谱特征,探明退耕还湿后不同植物群系条件下土壤 DOM 的来源、组成和影响因素。研究结果可作为不同植被恢复方式土壤环境质量评价指标,并可指导退耕还湿过程中植物物种选择,以更好的实施退耕还湿工作。

## 1 实验部分

### 1.1 土壤样品采集

本研究于 2019 年 7 月 30 日,在位于松花江哈尔滨城区的阿勒锦岛国家湿地公园(126°37'26"—126°40'29"E, 45°47'30"—45°48'38"N)内进行。退耕还湿工作已开展 12 年,植被恢复效果显著。目前该湿地公园规划面积约 419 公顷,具有河流湿地和沼泽湿地两大类,湿地率为 71.1%。依据 2019 年 5 月—7 月该湿地公园植物多样性监测结果,分别采集榆树(*Ulmus pumila*, U)群系、松江柳(*Salix unglanica*, S)群系、猪毛蒿(*Artemisia coparia*, A)群系、芦苇(*Phragmites australis*, P)群系、灰脉藁草(*Carex appendiculata*, C)群系和香蒲(*Typha orientalis*, T)群系土壤。其中, U、S 群系以木本植物为主,植物多样性较其余 4 种草本植物群系丰富。U、S 和 A 群系处于旱生环境, P、C 和 T 群系处于湿生环境,且土壤采集时 P 和 T 群系有季节性积水。各群系内随机选取 3 个 1 m×1 m 样方,作为 3 次重复,两样方间距离大于 10 m。将样方的 4 个顶点和中心点作为小样点,利用环刀(直径 4 cm)于距地表 5~10 cm 处取土壤样品 50 g,分别将 5 个小样点土壤样品去除植物根系等杂质后充分混合,依次做好标记,低温保存带回实验室。

### 1.2 方法

参考文献[8],各取土壤样品 5 g,加入 50 mL 双蒸水,200 r·min<sup>-1</sup>(室温)水平振荡 24 h,2 800 r·min<sup>-1</sup>(4℃)离心 10 min,上清液过 0.45 μm 孔径的玻璃纤维滤膜,即得到 DOM 溶液。利用 Multi N/C 2100 型 TOC 分析仪(德国耶拿)测定 DOM 溶液中溶解性有机碳(dissolved organic carbon, DOC)含量,加入双蒸水,将所有样品的 DOC 浓度调至 15 mg·L<sup>-1</sup>。采用 F-7000 型(日本日立)荧光光谱测定仪测定 DOM 样品三维荧光光谱,激发光源 450 W 氙弧灯, PMT 电压 700 V,扫描范围激发波长(Ex)和发射波长(Em)均为 200~600 nm,扫描速度 2 400 nm·min<sup>-1</sup>,间隔为 10 nm,狭缝宽度为 5 nm。荧光发射光一侧加 290 nm 的截止滤光片以避免荧光光谱图出现二级瑞利散射。

采用 pH 仪(上海雷磁 PHS-3C)测定土壤 pH 值《NY/T1121.2—2006》,环刀法测定土壤容重(bulk density, BD)《NY/T1121.4—2006》,烘干法测定土壤含水量(moisture content, MC)《NY/T1121.4—2006》,乙酸铵法测定土壤阳离子交换量(cation exchange capacity, CEC)《LY/T1243—

1999》,Multi N/C 2100 型 TOC 分析仪(德国耶拿)测定土壤总有机碳(total organic carbon, TOC)含量,半微量凯氏定氮法测定土壤全氮(total N, TN)含量《NY/T53—1987》,HClO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>法测定土壤全磷(total P, TP)含量《NY/T88—1998》,酸消解-火焰光度法测定土壤全钾(total K, TK)含量《NY/T87—1988》,每个样品各项指标测定重复 3 次。

### 1.3 数据分析

利用荧光光谱测定仪软件[FL WinLab software (Perkin Elmer)]收集数据,利用 Matlab R2013a 软件 Removescatter 工具包进行去散射, DOMFluor 工具包进行平行因子分析,对半分析和残差分析检验模型的可靠性,确定有机组分个数,绘制三维荧光图谱。参考文献[10]和[11],利用 Origin 2019b 软件对去散射数据中激发波长 Ex=254 nm 时发射波长在 435~480 与 300~345 nm 范围内的荧光峰面积的比值计算腐殖化指数(humification index, HIX)。利用 Excel 2010 对去散射数据中激发波长 Ex=370 nm 时发射波长 450 nm : 500 nm 条件下的荧光强度比值计算荧光指数(fluorescence index, FI<sub>370</sub>),激发波长 Ex=310 nm 时发射波长 380 nm : 430 nm 条件下的荧光强度比值计算生物指数(biological index, BIX)。利用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析及 Duncan 多重比较和 Pearson 相关性分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤 DOM 的荧光光谱指数

利用去散射数据计算土壤 DOM 荧光光谱指数(表 1)。HIX 可代表土壤 DOM 的腐殖化程度,6 种植物群系的 HIX 在 0.830~1.699 范围内,依据文献[8]和[11]中所参考的标准,本研究中 HIX 平均值均小于 1.5,即 6 种植物群系土壤的腐殖化程度较低。P 群系土壤 HIX 显著高于 A 群系,但两者各自与其余 4 种群系土壤 HIX 差异不显著,说明该湿地公园内不同植物群系条件下土壤腐殖化程度相接近。

表 1 土壤 DOM 荧光光谱指数

Table 1 Fluorescence spectrum indices of soil DOM

群系	HIX	FI <sub>370</sub>	BIX
U	1.285±0.190ab	1.676±0.011bc	0.787±0.012c
S	1.187±0.215ab	1.666±0.016bc	0.801±0.020bc
A	1.028±0.057b	1.597±0.067c	0.713±0.016d
P	1.449±0.274a	1.637±0.013c	0.716±0.001d
C	1.092±0.228ab	1.802±0.081a	0.833±0.003a
T	1.124±0.231ab	1.747±0.011ab	0.816±0.024ab

注:表中数据为平均值±标准差。不同字母间代表差异显著( $p < 0.05$ )。

Note: The values are mean±standard error. Different letters represent significant difference ( $p < 0.05$ ).

FI<sub>370</sub>可用于反映土壤 DOM 的来源<sup>[1, 10]</sup>,由表 1 可知, FI<sub>370</sub>分布于 1.533~1.894 范围内,介于陆生源特征值(FI<sub>370</sub>=1.4)与自生源特征值(FI<sub>370</sub>=1.9)之间,说明该湿地公园

内土壤 DOM 的来源既有微生物活动产生, 也有植物残体、根际分泌物等陆源输入。C 和 T 群系的  $FI_{370}$  相对较高, 即两个群系具有相对较强的自生源特性。

BIX 可表征土壤 DOM 中自源性 与 陆源性 有机质 间的比例, 本研究 BIX 范围在 0.700~0.839, 同文献[11]结果相近, 其中 S 群系平均值接近区间值 0.8, U, A 和 P 群系土壤 DOM 属中度新近自生源( $BIX < 0.8$ ), 而 C 和 T 群系土壤自生源较强( $0.8 < BIX < 1$ ), 即 C 和 T 群系土壤 DOM 更多的来自于微生物活动, 说明相比于旱生环境, 湿生环境土壤具

有较高的自生源特征, 这与文献[8]的结论相一致。

## 2.2 土壤 DOM 的荧光光谱特征

基于平行因子分析绘制三维荧光图谱(图 1), 参考文献[1]对荧光组分的鉴定方法, 本研究 6 种植物群系土壤 DOM 中识别出 3 个有机组分。其中, C1(250/400 nm)鉴定为类富里酸组分, C2(270/450 nm)鉴定为类胡敏酸组分, C3(220/330 nm)鉴定为类蛋白组分。3 个有机组分常见于草甸<sup>[1]</sup>、农田<sup>[7]</sup>及林地<sup>[8]</sup>土壤中。

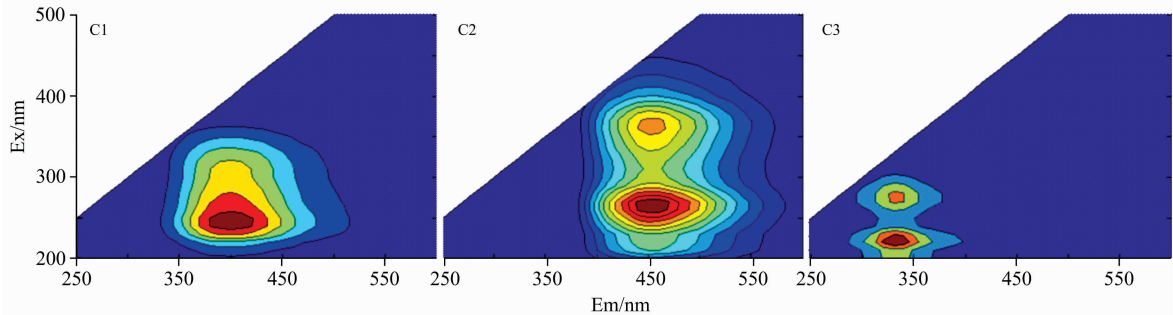


图 1 土壤 DOM 三维荧光组分

Fig. 1 Three dimensional fluorescence components of soil DOM

表 2 土壤 DOM 中各有机组分的荧光强度

Table 2 Fluorescence intensity of organic components of soil DOM

群系	C1	C2	C3	总组分和
U	958.24±26.70b	679.78±13.66a	1 050.96±237.93bc	2 688.98
S	633.62±84.36c	538.35±67.93b	979.85±197.96bc	2 151.82
A	645.28±28.33c	418.81±26.74c	1 023.76±95.08bc	2 087.84
P	1 530.40±148.72a	733.58±11.27a	1 192.39±109.33ab	3 456.38
C	703.46±106.28c	507.77±63.46b	756.10±138.04c	1 967.33
T	959.30±79.06b	749.40±54.12a	1 520.86±348.01a	3 229.57

注: 表中数据为平均值±标准差。不同字母间代表差异显著( $p < 0.05$ )。

Note: The values are mean±standard deviation. Different letters represent significant difference ( $p < 0.05$ ).

对 6 种植物群系土壤 DOM 中 3 个有机组分的荧光强度进行方差分析(表 2), C1 组分的荧光强度在 P 群系中最高; C2 组分在 U, P 和 T 群系中最高, 三者差异不显著; C3 组分在 P 和 T 群系中最高。各植物群系总组分和同时反映出, P 群系具有相对较高的荧光强度, 即 DOM 具有较高的相对浓度, 其次为 T 群系, C 群系相对较低。

对土壤 DOM 中 3 个有机组分的相对比重进行方差分析(表 3)。除 P 群系中 C1 组分相对比重较高外, 其余植物群系中 C3 组分的相对比重均较高, 接近 50%。从总组分和的比例上看, 6 种植物群系土壤 DOM 中 C3 相对比重最高, 其次为 C1, C2 相对较低, 即该湿地公园表层土壤中类蛋白小分子物质占有较大比例, 进一步说明腐殖化程度较低。

表 3 土壤 DOM 中各有机组分的相对比重 (%)

Table 3 Relative ratio (%) of organic components of soil DOM

有机组分	群系						占总组分和的比例
	U	S	A	P	C	T	
C1	35.64±0.99a	29.45±3.92b	30.91±1.36b	44.28±4.30a	35.76±5.40ab	29.70±2.45b	34.85
C2	25.28±0.51b	25.02±3.16b	20.06±1.28c	21.22±0.33c	25.81±3.23b	23.20±1.68b	23.28
C3	39.08±8.85a	45.54±9.20a	49.03±4.55a	34.50±3.16b	38.43±7.02a	47.09±10.78a	41.87

注: 表中数据为平均值±标准差。不同字母间代表差异显著( $p < 0.05$ )。

Note: The values are mean±standard deviation. Different letters represent significant difference ( $p < 0.05$ ).

## 2.3 土壤 DOM 有机组分与土壤理化性质相关性

如表 4, 不同于大尺度空间条件下的土壤样品<sup>[1, 8, 11]</sup>, 本研究中 6 种植物群系土壤 pH 值无显著性差异, 且土壤均呈中性。受季节性积水的影响, U, S 和 A 群系土壤处于相对干旱环境, BD 显著高于其余湿生植物群系土壤, 而 MC

在湿生植物群系土壤中较高。P, C 和 T 湿生植物群系土壤 CEC 显著高于旱生环境。木本植物群系 U, S 中 TOC, TN, TP 和 TK 含量均较高, 可能与此两种木本植物群系具有较高的植物多样性有关。

表 4 土壤样品理化性质  
Table 4 Physiochemical properties of soil samples

群系	pH	BD/ (g · cm <sup>-3</sup> )	MC/%	CEC/ (cmol · kg <sup>-1</sup> )	TOC/ (g · kg <sup>-1</sup> )	TN/%	TP/%	TK/%
U	6.97±0.12a	1.35±0.02a	32.89±2.20c	8.00±0.12d	51.33±2.80a	6.22±0.13b	0.65±0.06a	7.32±0.16a
S	6.82±0.27a	1.23±0.09b	30.63±1.53c	6.85±0.22d	42.00±2.86b	6.62±0.14a	0.52±0.04b	2.64±0.04b
A	6.77±0.37a	1.40±0.03a	23.18±1.90d	3.30±0.04e	9.51±0.36e	1.45±0.12f	0.33±0.03d	1.83±0.04d
P	6.63±0.11a	0.89±0.03d	52.99±2.78a	18.63±1.35a	27.68±2.04c	3.44±0.12e	0.43×0.02c	1.68±0.05d
C	6.73±0.09a	1.00±0.04c	40.46±1.65b	12.03±0.15b	7.73±0.45e	4.78±0.10d	0.42±0.01c	0.86±0.04e
T	6.76±0.22a	0.81±0.02d	53.51±2.68a	10.82±0.90c	16.45±1.66d	5.33±0.10c	0.31±0.02d	2.28±0.14c

注：表中数据为平均值±标准差。不同字母间代表差异显著( $p < 0.05$ )。

Note: The values are mean±standard deviation. Different letters represent significant difference ( $p < 0.05$ ).

利用土壤 DOM 的 3 个有机组分的荧光强度, 结合 8 项土壤理化指标做 Pearson 相关性分析。如表 5, BD 与 C1、C2 组分具有显著负相关性, MC 与 3 个有机组分具有极显著或显著的正相关性, CEC 与 C1、C2 组分具有极显著正相关性。说明在本研究中, BD、MC、CEC 可显著地影响土壤 DOM

有机组分结构。pH 值对土壤 DOM 含量具有影响<sup>[12]</sup>, 但本研究中由于样品来源于较小的空间尺度, 不同植物群系土壤 pH 值差异不显著, 因此未表现出与土壤 DOM 有机组分间具有显著相关性。其余 4 项土壤养分指标与各有机组分的相关性不显著, 但仍可能是影响土壤 DOM 的间接因素。

表 5 土壤 DOM 各有机组分与理化指标间相关性  
Table 5 Correlation between organic components of soil DOM and physiochemical properties

有机组分	pH	BD	MC	CEC	TOC	TN	TP	TK
C1	-0.294	-0.519*	0.683**	0.810**	0.169	-0.106	0.014	0.048
C2	-0.130	-0.570*	0.754**	0.614**	0.351	0.375	0.131	0.303
C3	0.082	-0.374	0.486*	0.191	0.043	0.026	-0.281	0.058

注：\* 代表具有显著相关性( $p < 0.05$ ), \*\* 代表具有极显著相关性( $p < 0.01$ )。

Note: \* represent significant difference( $p < 0.05$ ), \*\* represent very significant difference( $p < 0.01$ ).

### 3 结 论

退耕还湿后榆树、松江柳、猪毛蒿、芦苇、灰脉藎草、香蒲 6 种典型植物群系土壤腐殖化程度均较弱, 土壤 DOM 同时来源于土壤微生物活动与植物凋落物、根系分泌物等输入。

土壤 DOM 中含有 3 种有机组分, 相对比重由大到小依次为类蛋白组分、类富里酸组分、类胡敏酸组分。湿生芦苇

群系土壤 DOM 相对浓度较高。

各植物群系土壤呈中性, pH 值差异不显著。旱生植物群系具有较高的土壤容重, 湿生植物群系土壤含水量及阳离子交换量较高。木本植物群系土壤养分含量高于草本植物群系。土壤容重、含水量和阳离子交换量可显著影响土壤 DOM 有机组分结构。

总体上看, 阿勒锦岛国家湿地公园实施退耕还湿后, 木本植物群系提高了土壤养分含量, 而湿生草本植物群系可在一定程度上提高土壤腐殖化程度。

### References

- [1] YANG Wei-shan, LI Meng, SUN Xiao-lei, et al (杨威杉, 李 猛, 孙笑蕾, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2019, 39(5): 1477.
- [2] Gao J K, Liang C L, Shen G Z, et al. Chemosphere, 2017, 176: 108.
- [3] Wang X N, Pan X L, Gadd G M. Science of the Total Environment, 2019, 658: 8.
- [4] Li S D, Hou X, Shi Y, et al. Environmental Monitoring and Assessment, 2020, 192(2): 103.
- [5] Seifert A G, Roth V N, Dittmar T, et al. Science of the Total Environment, 2016, 571: 142.
- [6] Thieme L, Graeber D, Hofmann D, et al. Biogeosciences, 2019, 16(7): 1411.
- [7] Shang P, Lu Y H, Du Y X, et al. Science of the Total Environment, 2018, 612: 1442.
- [8] Qin X Q, Yao B, Jin L, et al. Aquatic Geochemistry, 2020, 26: 71.
- [9] Gu N T, Song Q B, Yang X L, et al. Environmental Pollution, 2020, 258: 113807.
- [10] Gao S J, Zhao C, Shi Z H, et al. Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2016, 2016: 1480857.
- [11] Li S Y, Li M, Wang G X, et al. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 2019, 6(1): 20.

[12] Curtin D, Peterson M E, Anderson C R. *Geoderma*, 2016, 271: 161.

## Fluorescence Spectral Characteristics of Soil Dissolved Organic Matter in Different Plant Formations After Reverting Farmland to Wetland

SHI Chuan-qi<sup>1,2</sup>, LI Yan<sup>3</sup>, YU Shao-peng<sup>2</sup>, HU Bao-zhong<sup>1,2\*</sup>, JIN Liang<sup>4</sup>

1. College of Life Science, Northeast Agricultural University, Harbin 150038, China

2. Heilongjiang Province Key Laboratory of Cold Region Wetland Ecology and Environment Research, Harbin University, Harbin 150086, China

3. College of Resource and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150038, China

4. Plant Nutrition and Resources Institute, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China

**Abstract** The peak position and intensity of three-dimensional fluorescence spectroscopy can be used to characterize the type and concentration of fluorescent substances, which is widely used in the study on dissolved organic matter (DOM) properties. In order to study the soil characteristics of different plant formations and guide the work of reverting farmland to wetland, the surface soil of six typical plant formations of *Ulmus pumila*, *Salix sungkianica*, *Artemisia scoparia*, *Phragmites australis*, *Carex appendiculata*, and *Typha Orientalis* were collected in this study, and the fluorescence spectroscopy of soil DOM was determined, the source and composition of soil DOM of the six plant formations were analyzed by three-dimensional fluorescence spectroscopy with parallel factor analysis method. Combined with physiochemical soil indexes, the influencing factors of soil DOM organic components were further analyzed. The results showed that there was no significant difference in the humification index of the six plant formations, the humification degree of the hygrophyte *Phragmites australis* formation was significantly higher than that of the xerophyte *Artemisia scoparia* formation. The fluorescence index of soil DOM was between the terrestrial eigenvalue (1.4) and the autochthonous eigenvalue (1.9), indicating that the source of soil DOM was not only generated by microbial activities, but also by the input of plant litter and root exudates. The fluorescence index and biological index of the soil in the *Carex appendiculata* formation and the *Typha orientalis* formation were relatively high, which indicated that the two formations had relatively strong autochthonous characteristics, while the terrestrial characteristics of the *Phragmites australis* formation and the *Artemisia scoparia* formation were relatively high. Three organic components, fulvic-acid-like component (C1), humic-acid-like component (C2) and protein-like component (C3), were identified from soil DOM of the six plant formations. The soil DOM relative concentration of *Phragmites australis* formation was higher than that of *Typha orientalis* formation, and that of *Carex appendiculata* formation was lower. Excepting for the *Phragmites australis* formation, C3 accounted for a relatively high proportion in the soil of each plant formation, followed by C1 and C2, which reflected that the surface soil DOM was relatively rich in small molecular substances, and indicated that the degree of humification was not high. There was no significant difference in soil pH value among different plant formations. The dry environment had higher soil bulk density, while the wet environment had higher soil water content and cation exchange capacity. The contents of soil total organic carbon, total N, total P and total K in woody plant formation were higher than those in herbaceous plant formation. Soil bulk density, water content and cation exchange capacity could significantly affect the soil DOM organic component structure. Therefore, increasing the area of hygrophyte herbage in the process of reverting farmland to a wetland can improve the degree of soil humification to a certain extent.

**Keywords** Three-dimensional fluorescence spectroscopy; Soil dissolved organic matter; Plant formation; Reverting farmland to wetland

\* Corresponding author

(Received Mar. 19, 2020; accepted Jul. 10, 2020)