

基于荧光光谱分析秸秆深埋还田黑土剖面 DOC 组分结构变化特征

匡恩俊^{1, 2, 3}, 迟凤琴¹, 张久明¹, 徐明岗^{2*}, Gilles Colinet³, 宿庆瑞¹, 郝小雨¹, 朱宝国⁴

1. 黑龙江省黑土保护利用研究院, 黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150086
2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081
3. Department of Biosystems Engineering (BIOSE), Gembloux Agro-Bio Tech of Université de Liège, Jean Bru, Belgium
4. 黑龙江省农业科学院佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154007

摘要 以黑土为研究对象, 分析不同深度玉米秸秆还田(0~2, 3~10, 11~20, 21~30 和 31~40 cm)后可溶性有机碳(DOC)的荧光特性差异, 探讨秸秆深还田后腐殖化程度的变化特征。结果表明: 秸秆还田可提高土壤 DOC 的含量。三维荧光光谱特征表明, 土壤 DOC 的荧光组分均为 2 种, CK~T4 处理分别为类腐殖物质组分(Ex/Em=250~275/455 nm)和类色氨酸物质组分(Ex/Em=225~237/340~350 nm), 而 T5 处理分别为类腐殖物质组分(Ex/Em=250~275/455 nm)和类酪氨酸物质组分(Ex/Em=225/304 nm), 还田 31~40 cm 深度有较小的自生成分, 且腐殖化系数最高。土壤 DOC 组分 C1 的荧光强度有随着秸秆还田深度的加深而增大的趋势, C2 组分则呈波动性的状态, 荧光强度先增强再减弱。土壤 DOC 受自生源和外生源共同作用(FI>1.4, 0.6<BIX<0.8), 呈现弱腐殖化的状态(HIX<1.0), 各处理 FI 的值均在 1.4~1.6 之间, 说明土壤中 DOC 主要来源于秸秆还田后经过微生物分解作用而产生新的 DOC。各处理的 FI 值以秸秆还田 21~30 cm 深度略高。相关分析表明, 土壤深度、秸秆还田及二者的互作对 DOC 及其组分的影响均为极显著水平。土壤 DOC 借助于土壤中土著微生物的作用提高, 加快了土壤腐殖物质间的转化速度。秸秆深还田可以储存更多的碳, 改善土壤有效碳库的质量, 维持土壤有机碳保持平衡。

关键词 秸秆还田; 土壤深度; 土壤 DOC; 三维荧光光谱; PARAFAC 分析

中图分类号: S153.6+ **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2022)10-3243-06

引言

可溶性有机碳(DOC)是土壤养分库中较活跃的组分, 仅占土壤总有机碳的 0.04%~0.22%^[1], 也是土壤环境健康和土壤质量变化的重要指标, 所以, 进一步研究 DOC 的现状, 对于认识土壤碳循环过程有着重要意义。DOC 含量受土地利用及施入的有机物料^[2]、土壤环境等条件影响明显^[3]。秸秆还田能显著提高耕层土壤 DOC 含量^[4], 其荧光组分腐殖质中结构相对简单的富里酸含量增加、结构简化, DOC 的疏水性组分与芳香类分子具有较强的吸附能力^[5]。将秸秆配合深翻等耕作措施, 对 40 cm 以下深层有机碳库也有影响^[6], 还能提高深层土壤养分含量^[7]。

近年来高强度的土地利用引起植被的快速转变和土壤碳输入的差异, 已经显著影响到深层有机碳库蓄积^[8], 在有效分析土壤 DOC 表征上, 三维荧光光谱技术具有重现性好、灵敏度高的特点, 应用此技术, 发现在低碳和高碳土壤上三维荧光光谱图也有差异, 低碳土壤主要有 3 个荧光峰, 类蛋白质荧光峰、类富里酸荧光峰和类胡敏酸荧光峰, 而高碳土壤上只有类富里酸和类胡敏酸 2 个荧光峰^[9]。从 DOC 的角度理解不同深度秸秆还田后对土壤的固碳机制, 解析 DOC 和土壤固碳的作用, 并通过三维荧光光谱技术结合平行因子分析, 进一步分析秸秆腐解过程中 DOC 的物质组成结构变化特征, 以期为黑土区农田土壤固碳机制提供科学理论依据。

收稿日期: 2021-08-16, 修订日期: 2021-11-18

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFD1500202), 科技支撑黑河市绿色农业发展合作项目(KJTG-2019-02HH-03), 黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”项目(HNK2019CX13)资助

作者简介: 匡恩俊, 女, 1982年生, 黑龙江省黑土保护利用研究院副研究员 e-mail: kuangenjun2002@163.com

* 通讯作者 e-mail: xuminggang@caas.cn

1 实验部分

1.1 研究区概况

试验在黑龙江省农科院的框栽场(哈尔滨)进行, 该区年平均气温 $3.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 降雨期集中在 7 月—8 月份, 年平均降雨量为 553.5 mm ; 年平均日照为 $2\ 500\text{ h}$, 无霜期 $135\sim 140\text{ d}$ 。土壤类型为典型黑土, 土壤有机碳 $18.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全氮 $2.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全磷 $2.0\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、全钾 $21.3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $103.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、有效磷 $70.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $167.7\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、pH 6.6 。

1.2 试验处理

本试验始于 2016 年, 在黑龙江省农科院的框栽试验地内进行, 框栽面积 4 m^2 。将玉米秸秆粉碎(长度约 2 cm)后, 按照田间秸秆全部还田量约 $7\ 500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 施入到土壤不同深度, 并调节 C/N 比到 25、田间持水量到 60%, 秸秆还田深度为: $0\sim 2$, $3\sim 10$, $11\sim 20$, $21\sim 30$ 和 $31\sim 40\text{ cm}$, 分别用 T1, T2, T3, T4 和 T5 表示, 同时设置秸秆不还田为对照(CK)。具体操作如下所示:

T1 处理: $0\sim 2\text{ cm}$ 的土层挖开, 将秸秆与土壤充分混合后回填到原土壤中;

T2 处理: 土壤 $0\sim 2\text{ cm}$ 土层挖开后单独放置, 将 $3\sim 10\text{ cm}$ 土层与秸秆充分混合后回填原土层, 然后将 $0\sim 2\text{ cm}$ 土壤回填至表面;

T3 处理: 土壤 $0\sim 10\text{ cm}$ 土层挖开后单独放置, 将 $11\sim 20\text{ cm}$ 土层与秸秆充分混合后回填原土层, 然后将 $0\sim 10\text{ cm}$ 土壤按原位回填;

T4 处理: $0\sim 10$ 和 $11\sim 20\text{ cm}$ 按照层次挖出, 单独放置, 将 $21\sim 30\text{ cm}$ 土层与秸秆充分混合后回填原土层, 各层次土壤按原始位置回填;

T5 处理: 依次将 $0\sim 10$, $11\sim 20$ 和 $20\sim 30\text{ cm}$ 土壤分层次挖出, 单独放置, $31\sim 40\text{ cm}$ 土层与秸秆充分混合后回填原土层, 各层次土壤按原始位置回填。

各处理于 2019 年按剖面层次取土壤样品($0\sim 2$, $3\sim 10$, $11\sim 20$, $21\sim 30$, $31\sim 40$ 和 $41\sim 50\text{ cm}$), 剔除根系及多余秸秆, 风干后过 2 mm 筛, 用于测定土壤 DOC 及荧光结构。

1.3 样品处理和测定方法

称取风干土样 0.01 g , 加 $2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的盐酸溶液酸解,

用总有机碳分析仪测定(Multi N/C 2100 型, 德国)土壤 SOC 含量。

取风干土壤 5 g 样品, 加水后(干土重与水体积比为 $1:10$)在室温条件下 $200\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 水平振荡 24 h , 然后在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下 $12\ 000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 20 min , 上清液过 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 的滤膜, 上机测定(Multi N/C 2100 型 TOC 仪)浓度, 即为 DOC; 所有样品的 DOC 浓度调至 $15\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 用荧光光谱仪(日立 F-7000 型, 日本)测定三维荧光光谱, 激发波长(Ex)和发射波长(Em)的扫描范围均为 $200\sim 500\text{ nm}$, 带宽 10 nm , 扫描速度为 $1\ 200\text{ nm}\cdot\text{min}^{-1}$ 。应用平行因子(PARAFAC)分析时, 消除拉曼散射对荧光数据的影响。

1.4 数据处理

数据采用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 进行处理分析, 三维荧光图谱绘制和平行因子分析用 Matlab 2013 软件, 荧光光谱指数的区域积分用 origin 2019。

2 结果与讨论

2.1 不同处理土壤剖面 DOC 含量变化

土壤 DOC 活性较强, 但也最易损失, 秸秆的输入会影响其含量^[2]。由图 1 可知, 秸秆还田后, 均能提高不同土壤深度 DOC 含量, 且在土壤中垂直分布呈现逐渐降低趋势, 这与前人研究结果一致^[10]。 $0\sim 2\text{ cm}$ 土层 DOC 含量高于其他土层, 这是由于地表土壤受秸秆还田的影响而使 DOC 的浓度偏高, 随着深度的加深, DOC 含量逐渐降低, 这是因为深层土壤黏粒增加, 对 DOC 的吸附也增加, 土壤微生物对有机质分解作用减弱^[4]。T1 和 T2 处理 DOC 含量最高, 平均超过了 $30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, T5 处理 DOC 含量最低。从秸秆还田深度看 DOC 浓度, T3 处理 $11\sim 20\text{ cm}$ 比 $3\sim 10\text{ cm}$ 高 8.4% , T4 处理的 $21\sim 30\text{ cm}$ 比 $11\sim 20\text{ cm}$ 高 3.0% , T5 处理 $31\sim 40\text{ cm}$ 比 $21\sim 30\text{ cm}$ 高 7.6% , 虽然差异并没有达到显著水平, 但施入秸秆的土层 DOC 含量均有提升。秸秆还田为微生物生长提供了良好的物质和能量, 进一步激发了土壤本身易分解有机质的分解; 另外, 秸秆碳矿化也增加了土壤可溶性碳的含量。

DOC/SOC% 的比值越大, 表征 SOC 的活性越大、越易被微生物分解, 对管理措施响应敏感^[11]。DOC 含量所占 SOC 的比例在 10 cm 以下的土层, 以 T1 处理最高, 各处理均

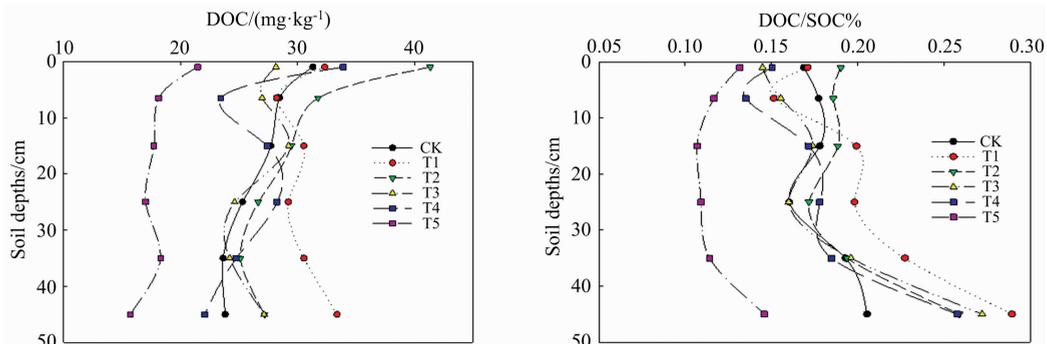


图 1 不同深度土壤 DOC 含量及 DOC 与 SOC 的百分比

Fig. 1 The content of DOC and percentage of DOC and SOC in different treatments

有随着土壤剖面的加深而增加的趋势。

2.2 不同深度秸秆还田对土壤 DOC 组分荧光指数分析

荧光光谱指数 FI, BIX 和 HIX 经常用来表征土壤腐殖质结构特性^[12], 其中, FI 可反映腐殖质的来源, 从表 1 可以看出, 无论秸秆还田与否, 各处理 FI 的值均在 1.4~1.6 之间, 说明土壤 DOC 来源于植物和微生物的混合物特征明显。各处理的 FI 平均值以 T3 略高为 1.54±0.03, 秸秆还田到 10~20 cm 深度, 土壤 DOC 借助于土壤中土著微生物的作用提高, 加快了土壤腐殖质物质间的转化速度。在更深的土层, 由于土壤水分和温度的影响, 土壤受外源物质的影响逐渐降低, 进程也会变慢, 但不同深度间差异不明显。

BIX 通常作为衡量自生源有机质的贡献大小, BIX 在 0.6~0.7, 0.7~0.8 和 0.8~1.0 之间时, 分别代表了溶解性有机质具有较少、中等、较强的自生源特征; 当 BIX 大于 1 时, 物质由生物细菌活动产生。在本研究中, 除了 T5 处理外, 各处理的 BIX 均在 0.8~1.0 之间, 表示出现较强的自生源特征; 而 T5 处理 BIX<0.7, 表明具有较小的自生成分。

土壤有机质腐殖化的程度用 HIX 来表示^[12], HIX 值越高, 表征土壤 DOC 的腐殖化程度越高, 其稳定性越好, 也说明存在的时间较长。当 HIX 小于 1.5 时, 属于生物或细菌来源, 当 HIX 大于 3.0 才属于强腐殖质特征。由表 1 可知, 各处理的 HIX 均小于 1.5, CK 和 T1 处理的 HIX 值最低为 0.72, 而 T5 处理最高为 0.83, 秸秆表层覆盖或者浅还田不利于腐殖化的进程, 深埋腐殖化程度较高。这可能是秸秆还田到 31~40 cm 深度的土壤中, 土壤的通气透水性较差, 微

生物活动也较弱, 分解完土壤中简单的易降解物质, 微生物只能利用土壤中较难分解的物质合成更加复杂而稳定的腐殖酸物质, 故土壤 DOC 的腐殖化程度增加。土壤的腐殖化程度随着还田年限的增加, 差异越来越显著^[13]。

表 1 不同处理土壤 DOC 的平均荧光光谱指数

Table 1 Average fluorescence spectral index of soil DOC in different treatments

处理	FI	BIX	HIX
CK	1.49±0.02	0.89±0.20a	0.72±0.16
T1	1.49±0.04	0.97±0.06a	0.72±0.04
T2	1.50±0.06	0.83±0.15ab	0.76±0.09
T3	1.54±0.03	0.88±0.17a	0.76±0.09
T4	1.51±0.05	0.91±0.17a	0.75±0.06
T5	1.52±0.05	0.68±0.03b	0.83±0.04

注: 表中所列数据为平均值±标准差; 小写字母代表差异显著 ($p < 0.05$), 未标记部分为不显著, 下同

Note: The values are mean±standard deviation; Different lowercase represent very significant difference ($p < 0.05$); The unmarked part is not significant, the same below

2.3 不同处理土壤 DOC 组分的荧光光谱特征

通过 PARAFAC 分析不同处理土壤 DOC 的三维荧光光谱数据, 如图 2 所示, 从 6 组样品中解析出 2 个荧光组分, CK~T4 分别为类腐殖质物质组分 C1 (Ex/Em=250~275/455 nm) 和类色氨酸物质组分 C2 (Ex/Em=225~237/340~

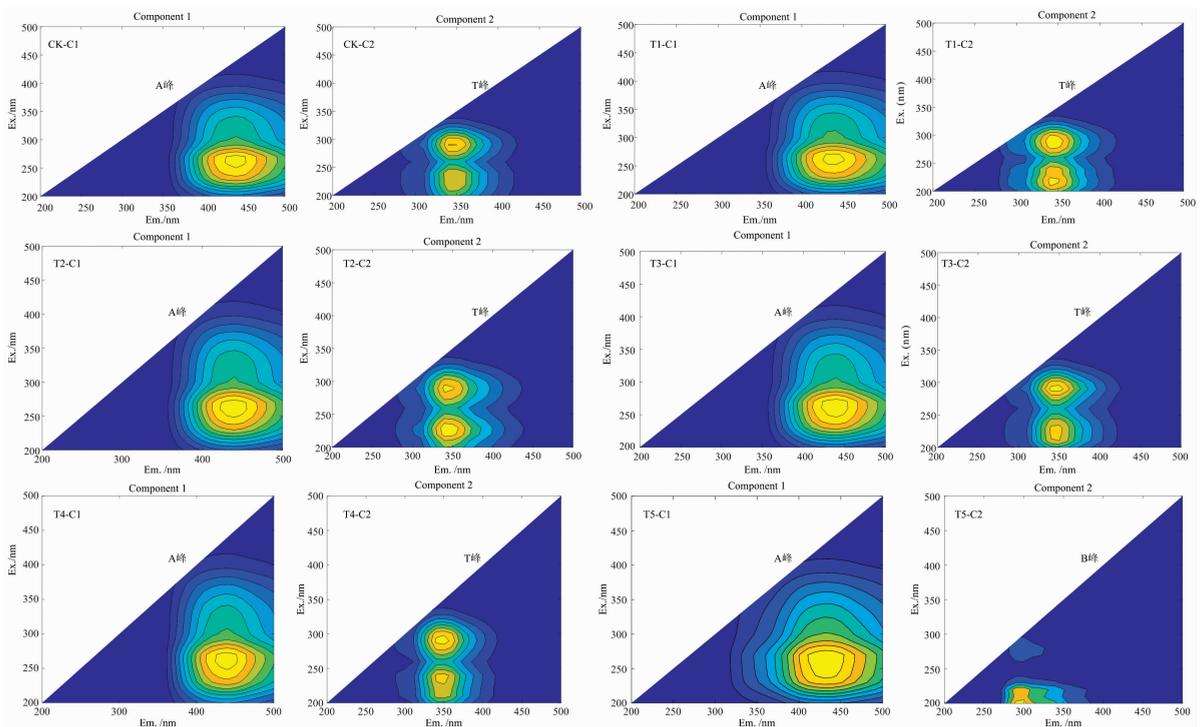


图 2 不同深度秸秆还田处理土壤 DOC 三维荧光组分

注: A 峰: 紫外光区类富里酸; T 峰: 短波类色氨酸(类蛋白质); B 峰: 酪氨酸(类蛋白质)

Fig. 2 Three dimensional fluorescence components of soil DOC in different treatments

Note: Peak A: fulvic-acid-like in UV region; Peak T: short wave tryptophan-like (protein-like); Peak B: Tyrosine-like (protein-like)

350 nm), 其中, C1 组分包含 1 个激发峰和 1 个发射峰, 对应着 A 峰, 是紫外光区的类富里酸, 代表了可降解物质较低、分子质量较大的有机物, 它体现了土壤肥力的供应缓冲能力; C2 组分包含有 2 个激发峰和 1 个发射峰, 对应着主峰 T 峰(类色氨酸物质), T 峰主要是细菌和微生物降解的代谢产物, 结合或者游离在蛋白质中; 而 T5 处理分别为类腐殖质物质组分 C1(250~275/455 nm)和类酪氨酸物质组分 C2(Ex/Em=225/304 nm), 其中, C1 组分包含 1 个激发峰和 1 个发射峰, 对应着主峰 A 峰; C2 组分包含 1 个激发峰和 1 个发射峰, 对应着 B 峰, B 峰是比类色氨酸更易降解的分子量小的类酪氨酸物质^[8]。

秸秆还田到 0~30 cm 荧光组分分别与羧基和羟基相关, 常用来表示输入到土壤的外源有机质; 当秸秆还田到 31~40 cm 时, 出现了更易降解的类酪氨酸物质, Kuang^[14]等的研究表明深埋有助提高秸秆生物量在土壤中的分解速率, 降低残留率。同时荧光强度增强, 促进类腐殖酸、类富里酸等物质的积累, 也促进了类溶性微生物代谢产物的降解。有研

究表明, 在 DOC 含量未发生明显变化的时, 对其结构的影响却很明显^[9]。

2.4 秸秆深还田对土壤 DOC 的荧光强度分析

土壤 DOC 不同组分的荧光强度在不同深度土层表现不同, 各组分的荧光强度值反映了其相对含量, 可用来表征土壤 DOC 的结构变化。秸秆还田后类富里酸的荧光强度增强, 且随着还田深度的加深而增大, 植物残体的腐解产生了高分子量有机物。C1 组分随着土壤深度的加深有增大趋势, 秸秆深还田荧光强度增强; C2 组分荧光强度先增强再减弱, 呈连续波动的状态。总荧光强度(C1+C2)以 T4 处理最高, 比 CK 高 26.5%, 其次是 T1, 比 CK 处理高 9.0%。秸秆还田到土壤不同深度, C1 和 C2 组分占比不同(见表 2), 各处理 C1 的百分比均高于 C2, 只有 T1 处理 C2 组分荧光强度增强。T5 处理的 C1 组分的荧光强度超过了 67%, 类腐殖质物质增强, 类蛋白质物质降低。随着秸秆还田深度的增加, 土壤中 DOC 的荧光组分以类富里酸为主, 类色氨酸相对百分比低。

表 2 不同处理土壤 DOC 组分荧光强度及其相对百分比

Table 2 Fluorescence intensity and relative percentage of soil DOC fluorescence components

处理	C1	C2	C1+C2	相对百分比/%	
				C1	C2
CK	1 191.21±571.61	827.41±416.34ab	2 018.62±860.58	55.79	44.21
T1	1 129.28±529.87	1 143.47±176.79a	2 272.75±567.54	46.84	53.16
T2	1 253.68±562.98	794.99±273.44ab	2 048.67±768.88	57.77	42.23
T3	1 269.22±418.39	932.04±127.29ab	2 201.26±407.54	56.24	43.76
T4	1 396.80±145.95	1 156.04±418.43a	2 552.84±498.05	55.87	44.13
T5	1 404.37±144.76	697.19±209.51b	2 101.56±276.95	67.19	32.81

注: 荧光组分数据为平均值±标准差; 小写字母代表差异显著($p < 0.05$)

Note: The fluorescence component values are mean±standard deviation; Different lowercase represent very significant difference($p < 0.05$)

2.5 秸秆还田后土壤 DOC 的相关性分析

将各处理的 DOC 及其荧光组分、DOC/SOC% 值进行显著性分析(表 3), 土壤深度、处理及二者的交互作用对 DOC 及其荧光组分的影响均为极显著水平($p < 0.01$)。土壤环境的微小变化就可影响 DOC 含量。土壤微生物活性是影响土壤

DOC 的重要因素, 深层土壤微生物活性减弱, 另外, 土壤养分和 pH 条件也可以影响到 DOC 含量, 从而也促使了蛋白质类物质向类胡敏酸与类富里酸的转化^[9]。

3 结论

(1) 秸秆还田后土壤 DOC 含量增加, 其来源受自生源和外生源共同作用的影响; 秸秆还田到 31~40 cm 有较小的自生成分, 且腐殖化系数最高。

(2) 秸秆还田到 0~30 cm 深度时, 土壤 DOC 的荧光组分包含类富里酸物质和类色氨酸物质, 类富里酸荧光强度有随着土层深度的加深而增大, 类色氨酸物质则呈波动性的状态; 31~40 cm 深度秸秆还田, 其荧光组分包含类富里酸和类酪氨酸。DOC 含量及其荧光组分受到秸秆还田、土壤深度及二者的交互作用影响显著。

综上, 秸秆深还田为深层土壤提供更多的可储存的碳, 在农田生产中起到了固碳减排的作用。

表 3 不同处理、深度及其交互作用对 DOC 结构的显著性分析

Table 3 Average fluorescence spectral index of soil DOC under different treatment

	DOC	DOC/SOC /%	C1 (类腐殖质)	C2 (类蛋白质)
处理	0.000	0.000	0.000	0.000
土壤深度	0.000	0.000	0.000	0.000
处理×土壤深度	0.000	0.000	0.000	0.000
R-Sq	94.08%	95.41%	99.68%	99.05%

References

- [1] LI Hong-yun, XIN Ying, ZHAO Yu-sen(李红运, 辛颖, 赵雨森). Journal of Soil and Water Conservation(水土保持学报), 2016, 30(5): 342.
- [2] WEI Dan, CAI Shan-shan, LI Yan, et al(魏丹, 蔡姗姗, 李艳, 等). Scientia Agricultura Sinica(中国农业科学), 2020, 53(6): 1180.
- [3] LIU Min, YU Wan-tai, JIANG Zi-shao, et al(柳敏, 宇万太, 姜子绍, 等). Chinese Journal of Ecology(生态学杂志), 2006, 25(11): 1412.
- [4] LI Bin-bin, WU Lan-fang(李彬彬, 武兰芳). Journal of Agro-Environment Science(农业环境科学学报), 2019, 38(7): 1567.
- [5] SUN Zhao-an, CHEN Qing, HAN Xiao, et al(孙昭安, 陈清, 韩笑, 等). Environmental Science(环境科学), 2018, 39(6): 2837.
- [6] SHENG Hao, ZHOU Ping, LI Jie, et al(盛浩, 周萍, 李洁, 等). Acta Ecologica Sinica(生态学报), 2014, 34(23): 7004.
- [7] KUANG En-jun, CHI Feng-qin, ZHANG Jiu-ming, et al(匡恩俊, 迟凤琴, 张久明, 等). Soils and Crops(土壤与作物), 2019, 8(4): 395.
- [8] ZHENG Ju-feng, CHENG Kun, PAN Gen-xing(郑聚锋, 程琨, 潘根兴). Journal of Nanjing Agricultural University(南京农业大学学报), 2020, 43(4): 589.
- [9] SHI Kun, XIA Xin, GUAN Qiang, et al(石坤, 夏昕, 关强, 等). Journal of Soil and Water Conservation(水土保持学报), 2016, 30(3): 227.
- [10] XIONG Li, YANG Yu-sheng, ZHU Jin-mao, et al(熊丽, 杨玉盛, 朱锦懋, 等). Acta Ecologica Sinica(生态学报), 2015, 35(17): 5711.
- [11] LI Jie, SHENG Hao, ZHOU Ping, et al(李洁, 盛浩, 周萍, 等). Ecology and Environmental Sciences(生态环境学报), 2013, 22(11): 1780.
- [12] JIANG You-ru, SHENG Hao, WANG Cui-hong, et al(蒋友如, 盛浩, 王翠红, 等). Journal of Subtropical Resources and Environment(亚热带资源与环境学报), 2014, 9(3): 61.
- [13] LI Bin-bin, WU Lan-fang, XU Yan-yan, et al(李彬彬, 武兰芳, 许艳艳, 等). Journal of Agro-Environment Science(农业环境科学学报), 2017, 36(12): 2535.
- [14] Kuang E J, Xu M G, Gilles Colinet, et al. Intl. J. Agric. Biol., 2020, 24: 77.

Analysis of DOC Component Structure of Black Soil Profile With Straw Deeply Bried and Based on Fluorescence Spectrum

KUANG En-jun^{1, 2, 3}, CHI Feng-qin¹, ZHANG Jiu-ming¹, XU Ming-gang^{2*}, Gilles Colinet³, SU Qing-rui¹, HAO Xiao-yu¹, ZHU Bao-guo⁴

1. Heilongjiang Academy of Black Soil Conservation & Utilization, The Key Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province, Harbin 150086, China
2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China
3. Department of Biosystems Engineering (BIOSE), Gembloux Agro-Bio Tech of Université de Liège, Jean Bru, Belgium
4. Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007, China

Abstract Taking black soil as the research object, the difference in the three-dimensional fluorescence spectrum of soil dissolved organic carbon (DOC) after returning maize straw to the field at different soil depths (0~2, 3~10, 11~20, 21~30 and 31~40 cm) were analyzed. The change characteristics of humification degree of maize straw return to deep soil were discussed. The results showed that straw return could increase the content of soil DOC. The characteristics of three-dimensional fluorescence spectra showed that there were two kinds of fluorescence components of soil DOC. CK~T4 treatments were humus like components (Ex/Em = 250~275/455 nm) and tryptophan like components (Ex/Em = 225~237/340~350 nm), while T5 treatment was humus-like components (250~275/455 nm) and tyrosine like components (Ex/Em = 225/304 nm), there were small authigenic components at a depth of 31~40 cm, and the humification coefficient was the highest. The fluorescence intensity of soil DOC component C1 increased with the deepening of straw returning depth, while the C2 component showed a fluctuating state, and the fluorescence intensity increased first and then decreased. Soil DOC was affected by both endogenous

and exogenous sources ($FI > 1.4$, $0.6 < BIX < 0.8$), showing a state of weak humification ($HIX < 1.0$), and the FI values of each treatment were between 1.4 and 1.6, indicating that the main source of DOC in soil was the microbial decomposition of straw after returning to the field. The FI value of each treatment was slightly higher at a depth of 21~30 cm. Correlation analysis showed that the effects of soil depth, straw return, and their interaction on DOC and its components were very significant. With the help of indigenous microorganisms in the soil, soil DOC improves and speeds up the transformation of soil humus. Straw returning can store more carbon, improve the quality of soil available carbon pool, and maintain the balance of soil organic carbon.

Keywords Straw return; Soil depth; Soil dissolved organic carbon; Three-dimensional fluorescence; PARAFAC analysis

(Received Aug. 16, 2021; accepted Nov. 18, 2021)

* 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。