

## 绿肥对华北潮土土壤可溶性有机物的影响

常单娜<sup>1,2,3</sup>, 曹卫东<sup>1,4\*</sup>, 白金顺<sup>1</sup>, 高高涓<sup>1,2</sup>, 王雪翠<sup>1,2</sup>, 曾闹华<sup>1</sup>, 志水胜好<sup>5</sup>

1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业部植物营养与肥料重点实验室, 北京 100081
2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081
3. 华中农业大学资源与环境学院, 湖北 武汉 430070
4. 青海大学青海省农林科学院土壤肥料研究所, 青海 西宁 810016
5. Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan

**摘要** 在华北潮土上种植不同绿肥,于绿肥翻压前原位采集其地上部及土壤样品,进行56d的绿肥翻压模拟试验。设毛叶苕子(*Vicia villosa* Roth.)、二月兰(*Orychophragmus violaceus* L.)、黑麦(*Secale cereale* L.)三个绿肥处理和无绿肥对照处理,分析培养过程中土壤可溶性有机物(DOM)组分及其紫外-可见光谱参数的变化,以探究绿肥对土壤DOM的影响。种植和翻压绿肥增加土壤可溶性有机碳(DOC)、总有机酸碳(TOAs)和总碳水化合物碳(TCs)含量,三者的变化趋势一致,各处理均在培养第1d上升至峰值后迅速下降。毛叶苕子提高DOC和TOAs的效果最好,最高比对照增加114.01%(培养第1d)和109.10%(培养第14d)。黑麦提高TCs的效果最好,最高比对照增加323.18%(培养第42d)。种植和翻压绿肥增加土壤可溶性有机氮(DON)含量,与DOC变化趋势不同,各处理在培养第1d上升后迅速下降一段时间后又迅速上升。毛叶苕子提高DON的效果最好,最高比对照增加305.83%(培养第42d)。绿肥增加了SUVA<sub>254</sub>, SUVA<sub>260</sub>, SUVA<sub>272</sub>, SUVA<sub>280</sub>, SAUC<sub>240-400</sub>,降低了A<sub>250</sub>/A<sub>365</sub>和A<sub>240</sub>/A<sub>420</sub>。紫外-可见光谱参数的主成分分析显示SUVA<sub>254</sub>, SUVA<sub>260</sub>, SUVA<sub>272</sub>, SUVA<sub>280</sub>间有很高正相关性,A<sub>250</sub>/A<sub>365</sub>和A<sub>240</sub>/A<sub>420</sub>间亦有很高正相关性,SAUC<sub>240-400</sub>是这些参数中表征DOM性质的关键因子。综上结果表明,种植翻压绿肥增加了土壤DOM含量,提高了土壤DOM的芳香性、疏水性、腐殖化程度、平均分子量,增加了土壤DOM的稳定性。

**关键词** 华北潮土; 绿肥; 可溶性有机物; 紫外-可见光谱参数

中图分类号: S142 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2017)01-0221-06

### 引言

可溶性有机物(dissolved organic matter, DOM)是指能通过0.45 μm滤膜的水溶性有机物的总称,包括低分子量的游离氨基酸、碳水化合物、有机酸以及大分子量的多糖和腐殖质等<sup>[1]</sup>。DOM是土壤有机质中的活性成分,是土壤的活性碳库和养分库,可以作为指示有机质响应施肥的灵敏指标。其中,土壤可溶性有机碳(DOC)是土壤微生物容易利用的碳源<sup>[2]</sup>,土壤可溶性有机氮(DON)是土壤微生物和植物直接或潜在可利用的氮源<sup>[3]</sup>,碳水化合物极易被微生物分解利用<sup>[4]</sup>,有机酸能够促进矿质养分的溶解与运移<sup>[5]</sup>。植物凋落物、农作物秸秆、垃圾堆肥等有机物料都是土壤DOM的重

要来源<sup>[6]</sup>,人为添加这些外源物质短时间内会引起土壤DOM的巨大变化。倪进治等发现在潮土中加入猪粪和稻草秸秆均能增加土壤DOC等活性有机质组分;周江敏等通过培养实验发现水稻秸秆腐解前期显著增加了土壤DOC和碳水化合物含量;卢萍等发现小麦秸秆还田可以增加土壤DOC和DON含量;杨秀虹等把红树凋落叶添加到土壤中增加了土壤DOC含量,同时影响土壤DOM的光谱学性质;沈玉芳等把烘干粉碎的绿肥添加到土壤中增加了土壤DOC和DON含量<sup>[2,4,7-9]</sup>。但是,目前几乎没有关于新鲜绿肥对土壤DOM影响的研究报道。

绿肥在腐解过程中会产生大量水溶性有机物,必然会引起土壤DOM的变化<sup>[10]</sup>,有必要对这些变化特征加以研究。DOM成分复杂,难以用一般的化学方法进行检测。紫外-可

收稿日期: 2015-08-14, 修订日期: 2015-12-30

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201103005), 中国农业科学院科技创新工程项目资助

作者简介: 常单娜,女,1987年生,中国农业科学院农业资源与农业区划研究所硕士研究生 e-mail: chang1988917@126.com

\* 通讯联系人 e-mail: caoweidong@caas.cn

见光谱技术具有用时短、成本低、灵敏度高、样品不被破坏且无需分离等优点已被广泛应用于 DOM 性质的研究。特征性紫外光谱吸收值、紫外光谱吸收比、特征性紫外光谱吸收面积等参数可以用来估测 DOM 的芳香性、疏水性、腐殖化程度、分子量大小<sup>[11-12]</sup>, 这些参数可以很好地指示 DOM 性质变化。毛叶苕子(*Vicia villosa* Roth.)、二月兰(*Orychophragmus Violaceus* L.)、黑麦(*Secale cereale* L.)是华北典型绿肥, 这三种绿肥中的碳在翻压后前 14 d 左右分解迅速, 一个月至两个月期间分解缓慢, 之后基本稳定<sup>[13-14]</sup>, 但新鲜绿肥翻入土壤后土壤 DOM 如何改变尚不了解。绿肥一般是种植后在盛花期前后就地翻压, 本文利用室内培养模拟绿肥的就地翻压, 研究了新鲜绿肥翻压后土壤 DOM 组分及紫外-可见光谱特征, 以探究绿肥腐解过程中土壤 DOM 的性质变化, 追踪土壤中有机的腐殖化过程, 为揭示绿肥培肥土壤提供理论机制。

## 1 实验部分

### 1.1 供试土壤和绿肥

供试土壤采集于中国农业科学院德州实验站山东陵县试验基地, 该区属于暖温带半湿润季风气候, 年平均气温 12.5 °C, 全年无霜期平均 202 d, 年平均降雨量 550 mm。土壤属于盐化潮土, 耕层土壤含盐量 2.3 g · kg<sup>-1</sup>, 耕层土壤容重 1.35 g · cm<sup>-3</sup>, 土壤含水量 20%, 有机质 16.17 g · kg<sup>-1</sup>、全氮 0.95 g · kg<sup>-1</sup>、有效磷 55.68 mg · kg<sup>-1</sup>、速效钾 154.59 mg · kg<sup>-1</sup>, pH 8.5, DOC 28.15 mg · kg<sup>-1</sup>, DON 1.38 mg · kg<sup>-1</sup>, 总碳水化合物(TCs)3.1 mg · kg<sup>-1</sup>、总有机酸碳(TOAs)13.22 mg · kg<sup>-1</sup>。绿肥为华北地区典型品种毛叶苕子(*Vicia villosa* Roth.)、二月兰(*Orychophragmus Violaceus* L.)、黑麦(*Secale cereale* L.), 本试验中各绿肥翻压前的养分状况见表 1。

表 1 绿肥的基本性质

Table 1 Basic properties of the green manures

绿肥	含水量 /%	TOC /%	全氮 /%	全磷 /%	全钾 /%	碳氮比 C : N
毛叶苕子	88	47.94	3.10	0.67	4.90	15.48
二月兰	88	46.00	2.77	0.37	3.59	16.61
黑麦	86	48.05	3.80	0.39	3.51	12.73

Note: TOC is total organic carbon of manure

### 1.2 试验设计

试验设毛叶苕子(*Vicia villosa* Roth.)、二月兰(*Orychophragmus Violaceus* L.)、黑麦(*Secale cereale* L.)及无绿肥对照 4 个处理。土壤及植株样品获取方法: 分四个小区于 2013 年 9 月 30 日分别种植毛叶苕子、二月兰、黑麦, 同时设置无绿肥对照。2014 年 4 月 11 日分别采集毛叶苕子、二月兰、黑麦地上部及相对应原位耕层 20 cm 土样, 同时采集对照土样。此时毛叶苕子、黑麦处于盛花期前, 二月兰处于盛花期。样品迅速处理, 土样过 2 mm 筛, 绿肥切碎至 2 cm。称

取相当于 50 g 风干土的新鲜土样放置于塑料杯中, 每杯添加 1 g 新鲜绿肥样, 混合均匀, 每个处理 36 杯。调节含水量为田间持水量, 用透气封口膜封口, 每隔 3 d 称重法调节含水量, 25 °C 恒温培养。在第 1, 3, 5, 7, 14, 21, 28, 42 和 56 d 破坏性取样, 每处理取样 4 杯, 测定土壤 DOM 的组分和紫外-可见光谱特征。

### 1.3 测定方法

DOM 浸提: 称取一定量新鲜土样, 1 : 2 土水比(鲜土重量 g : 液体体积 mL), 室温下 200 r · min<sup>-1</sup> 振荡 2 h 后 4 °C, 12 000 r · min<sup>-1</sup> 离心 15 min, 过 0.45 μm 滤膜, 滤液即为 DOM, 4 °C 冷藏保存用于组分及紫外-可见光谱的分析测定。

DOM 组分的分析测定: 测定主要包括 DOC, DON, TCs 和 TOAs。DOC 采用 TOC 仪(德国, 耶拿 multi N/C2100)测定; DON 采用 TOC 仪(德国, 耶拿 multi N/C2100)测定的可溶性总氮(TN)减去无机氮, 无机氮用连续流动分析仪 AA3 测定; TCs 以葡萄糖作为标准物质、TOAs 以乙酸作为标准物质, 然后用紫外-可见分光光度计(北京, 瑞利 UV2100)分别在 625 和 500 nm 测定吸光度。

DOM 紫外-可见光谱扫描: 用紫外-可见分光光度计(北京, 瑞利 UV2100)进行扫描, 波长范围 190~800 nm。主要测定参数: 特征性紫外光谱吸收值 SUVA<sub>254</sub>, SUVA<sub>260</sub>, SUVA<sub>272</sub>, SUVA<sub>280</sub>(特定波长吸光值/DOC 浓度), 主要用来表征 DOM 的芳香性、疏水性、腐殖化程度、分子量大小; 特征性紫外光谱吸收面积 SAUC<sub>240-400</sub>(240~400 nm 下的面积积分/DOC 浓度), 主要用来表征 DOM 的电子转移条带强度; 紫外-可见光谱吸收比 A<sub>250</sub>/A<sub>365</sub>(250 nm 处吸光值/365 nm 处吸光值)、A<sub>240</sub>/A<sub>420</sub>(240 nm 处吸光值/420 nm 处吸光值), 主要用来表征 DOM 的腐殖化程度、分子量大小。

### 1.4 数据分析

Excel2013 处理数据, Origin8.5 作图, Canoco5 进行主成分分析画图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 绿肥对土壤 DOM 组分的影响

由图 1(a)可知, 绿肥种植后 DOC 的含量显著升高(土壤 DOC 基础值为 28.15 mg · kg<sup>-1</sup>), 毛叶苕子、二月兰、黑麦根系分泌的 DOC 分别为 17.45, 12.01 和 10.06 mg · kg<sup>-1</sup>, 比绿肥种植前分别增加 61.99%, 42.66% 和 35.74%, 差异均达到显著水平, 对照处理无绿肥种植土壤 DOC 为 29.20 mg · kg<sup>-1</sup> 变化很小。由此可见, 绿肥种植过程中显著增加了土壤 DOC 含量, 这是由于根系分泌物是土壤 DOC 的来源之一<sup>[1]</sup>。

培养第 1 d, 各处理土壤 DOC 均明显增加并达到峰值, 绿肥处理上升幅度高于对照处理, 毛叶苕子、二月兰、黑麦分别比对照增加 114.01%, 62.68% 和 38.99%。各绿肥处理除去根系分泌的部分, 毛叶苕子、二月兰、黑麦处理第 1 d 腐解产生的 DOC 分别为 57.09, 37.90 和 28.48 mg · kg<sup>-1</sup>, 比绿肥种植前分别增加 202.80%, 134.63% 和 101.17%。绿肥腐解后显著增加了土壤 DOC 含量, 是因为绿肥本身是很好

的碳源, 翻压后产生大量可溶性有机物增加了土壤 DOC 含量<sup>[10]</sup>。从表观数据看新鲜绿肥还田比绿肥根系分泌对土壤 DOC 的影响更大, 但由于土壤 DOC 含量是微生物分解外源物质和土壤原有可溶性有机物动态平衡的结果, 还无法评估种植和翻压还田这两个过程中微生物对土壤 DOC 影响的大小。培养第 3 d 后各处理土壤 DOC 呈快速下降趋势, 但绿肥处理仍高于对照处理, 毛叶苕子最明显。从培养初始至第 14 d 期间, 土壤 DOC 的变化幅度较大, 这是因为翻压前期绿肥新鲜多汁, 易分解化合物分解迅速<sup>[13-14]</sup>, 产生大量 DOC, DOC 可以作为微生物周转的碳源, 微生物快速生长繁殖导致土壤 DOC 含量又迅速下降。

由图 1(b) 可知, 绿肥种植后土壤 DON 含量显著升高(土壤 DON 基础值为  $1.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), 毛叶苕子、二月兰、黑麦分别上升为  $2.98$ ,  $2.34$  和  $2.56 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 而对照无绿肥处理土壤 DON 为  $1.41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  变化很小, 说明绿肥种植过程中增加了土壤 DON 含量。由于微生物的固持作用, 培养第 1 d 到第 7 d 各处理土壤 DON 含量不断下降, 随后开始累积。培养第 42 d 时绿肥处理增幅最大, 毛叶苕子、二月兰、黑麦分别比对照增加  $305.83\%$ ,  $143.63\%$  和  $117.05\%$ 。

由图 1(c) 和图 1(d) 可知, TCs 和 TOAs 的变化规律与 DOC 一致, 培养第 1 d 上升至峰值, 之后迅速下降。各绿肥处理土壤 TCs 和 TOAs 显著高于绿肥种植前土壤 TCs 和 TOAs 的基础值, 而对照处理土壤 TCs 和 TOAs 则无明显变化, 说明绿肥种植过程中增加了土壤 TCs 和 TOAs 含量。绿肥处理的 TCs 含量始终显著高于对照处理, 毛叶苕子、二月兰、黑麦分别比对照最高增加  $205.96\%$ ,  $306.19\%$  和  $323.18\%$ 。绿肥处理的 TOAs 含量也始终高于对照处理(除黑麦处理第 28 d 外), 毛叶苕子、二月兰、黑麦分别比对照最高增加  $109.10\%$ ,  $62.20\%$  和  $69.73\%$ 。

总的来看, 种植和翻压绿肥可以显著增加土壤 DOC, DON, TCs 和 TOAs 的含量, 绿肥腐解过程中前期分解迅速, 随后逐渐减弱。不同绿肥之间有所差异, 毛叶苕子增加 DOC, DON 和 TOAs 效果最好, 黑麦增加 TCs 的效果最好。本研究结果与添加有机肥、作物秸秆对土壤 DOM 的影响相似, 均是在前期增加效果明显, 随后逐渐减弱。但由于添加的外源物质的性质不同, 对土壤 DOM 的影响程度及时间有所差异, 一般在一个月后土壤 DOM 的变化幅度逐渐平缓, 至两个月后土壤 DOM 基本平稳<sup>[2, 4, 7-9]</sup>。秸秆含有更多的纤维素、木质素, 其腐殖质系数一般大于绿肥, 绿肥相对于秸秆更容易腐解。同时, 绿肥以一种种植模式纳入到农田种植系统, 鲜体就地翻压。与作物秸秆相比, 绿肥对土壤 DOM 的影响应当不同, 今后应当加强相互之间的比较。

绿肥对土壤 DOM 的影响具有积极的肥力学意义。一方面, DOM 中的小分子有机酸、碳水化合物和氨基酸可以被植物直接利用, 促进植物的生长发育。不同来源的 DOM 都具有一定的营养功能, 从猪粪、稻草、紫云英中提取的 DOM 可以提高水稻的分蘖数、株高、根长、根重、茎叶重等, 还能促进水稻根系对铁、锌等元素的吸收<sup>[15]</sup>。另一方面, DOM 中的有机酸成分可以活化土壤矿质养分。研究表明低分子量的有机酸可以增加石灰性潮土中无机磷含量<sup>[5]</sup>, 这对北方石

灰性潮土磷的活化具有重要意义。本研究证实了种植翻压绿肥增加了土壤中有机酸含量, 这为今后利用绿肥来提高土壤磷的有效性提供了思路。

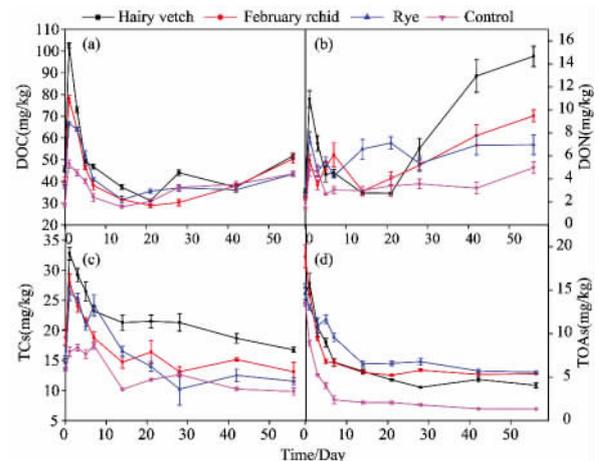


图 1 培养过程中土壤 DOM 组分的动态变化  
Fig 1 Dynamics of soil DOM components during the incubation

## 2.2 绿肥对土壤 DOM 的紫外-可见光谱特性的影响

### 2.2.1 特征性紫外光谱吸收值

由图 2 可知, 培养过程中  $SUVA_{254}$ ,  $SUVA_{260}$ ,  $SUVA_{272}$ ,  $SUVA_{280}$  这 4 个特征性紫外光谱吸收值变化规律一致, 均是先上升后下降, 这说明土壤 DOM 的芳香性、疏水性、腐殖化程度、平均分子量先增加后减小。这是由于绿肥腐解过程中产生的 DOM 成分中的单糖、氨基酸、小分子有机酸、碳水化合物迅速被微生物利用, DOM 成分中的木质素、纤维素、半纤维素、腐殖质以及芳香类化合物的比例升高, 随后这些难降解的大分子物质开始被微生物分解减少比例降低。种植和翻压绿肥增加了 4 个特征性紫外光谱吸收值, 说明种植和翻压绿肥增加了土壤 DOM 的稳定性, 这与凋落叶输入增加了土壤 DOM 的稳定性一致<sup>[8]</sup>。

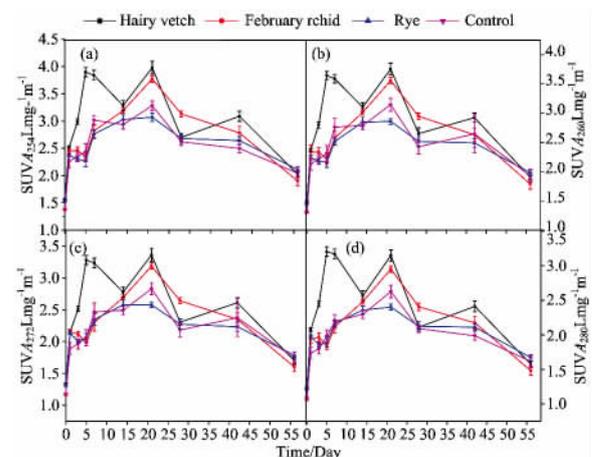


图 2 不同处理土壤 DOM 的特征性紫外光谱吸收值  
Fig 2 Characteristic ultraviolet spectrum absorption values of soil DOM in different treatments

### 2.2.2 特征性紫外光谱吸收面积

紫外吸收光谱 240~400 nm 通常被称为电子迁移带, 芳香环上极性官能团如羟基、羰基、羧基和酯类可以增加其电子转移强度, 而非极性的脂肪族官能团则对电子转移强度无影响<sup>[11]</sup>。由图 3 可知, 在培养过程中, 各处理的 SAUC<sub>240-400</sub> 均呈现先上升后下降的趋势, 这表明土壤 DOM 芳香环上极性官能团如羟基、羰基、羧基和酯类等含氧官能团的替代比例先增加后减小。种植和翻压绿肥增加了土壤 DOM 的 SAUC<sub>240-400</sub> 是因为绿肥生长过程中分泌的根系分泌物及绿肥腐解过程中产生物质含有羧酸、醇、酯类等物质, 它们取代了土壤 DOM 芳香类物质苯环上脂肪族非极性官能团。这些含氧官能团的产生增加了 DOM 与土壤中重金属的络合能力, 可以带来一系列的环境效应<sup>[16]</sup>。种植翻压绿肥产生大量的 DOM, 这会对土壤中重金属产生怎样的影响值得进一步探究。

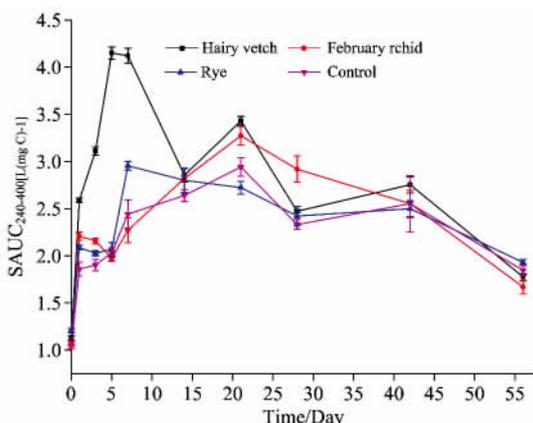


图 3 不同处理土壤 DOM 的特征性紫外光谱吸收面积

Fig 3 Characteristic ultraviolet spectrum absorption area of soil DOM in different treatments

### 2.2.3 紫外-可见光谱吸收比

特定波长的紫外-可见光谱吸光度比值可以表征 DOM 的腐殖化程度和分子量大小。 $A_{250}/A_{365}$  与分子量大小成反比<sup>[11]</sup>,  $A_{240}/A_{420}$  与土壤有机质的腐殖化程度及分子量大小成反比<sup>[17]</sup>。由图 4 可知, 培养过程中这两个紫外吸收比  $A_{250}/A_{365}$ ,  $A_{240}/A_{420}$  的变化趋势一致, 种植和翻压绿肥降低了  $A_{250}/A_{365}$  和  $A_{240}/A_{420}$ , 说明种植和翻压绿肥增加了土壤

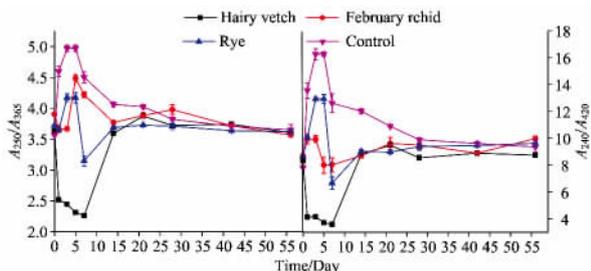


图 4 不同处理土壤 DOM 的紫外吸收比

Fig 4 Ultraviolet spectrum absorption ratios of soil DOM in different treatments

DOM 的腐殖化程度及分子量大小, 即增加了土壤 DOM 的

稳定性, 这与特征性紫外光谱吸收值的变化得出的结论一致。

### 2.2.4 DOM 紫外-可见光谱特征参数的主成分分析

选取  $SUVA_{254}$ ,  $SUVA_{260}$ ,  $SUVA_{272}$ ,  $SUVA_{280}$ ,  $SAUC_{240-400}$ ,  $A_{250}/A_{365}$  和  $A_{240}/A_{420}$  共 7 个常用来表征 DOM 性质的紫外光谱参数进行主成分分析, 以了解这些紫外光谱参数间的关系。由图 5 可知, 主成分分析产生两个组分, PCA1 累积方差贡献率为 78.73%, PCA2 累积方差贡献率为 19.58%, 累积方差贡献率为 98.31% (>85%), 说明这 7 个紫外光谱参数已经能够反映土壤 DOM 的大部分性质特征。 $SUVA_{254}$ ,  $SUVA_{260}$ ,  $SUVA_{272}$  和  $SUVA_{280}$  间有很高的正相关性,  $A_{250}/A_{365}$  和  $A_{240}/A_{420}$  间有很高的正相关性, 这与它们所表征的土壤 DOM 性质关系相对应。 $SAUC_{240-400}$  与第一轴的相关性最好, 说明  $SAUC_{240-400}$  是这 7 个紫外-可见光谱参数中最能表征 DOM 性质的关键因子。

前人关于土壤 DOM 紫外-可见光谱参数研究中, 特征性紫外-可见光谱值  $SUVA_{254}$ ,  $SUVA_{260}$ ,  $SUVA_{272}$  和  $SUVA_{280}$  都有涉及到, 也有用单独用吸光度  $A_{254}$  和  $A_{280}$  去表征的, 但其大小易受 DOC 浓度的影响, 而  $SUVA_{254}$  和  $SUVA_{280}$  则不受其影响。紫外-可见吸收比除了用  $A_{250}/A_{365}$  和  $A_{240}/A_{420}$  外, 也有用  $A_{465}/A_{665}$  表示的, 文献中缺乏这些参数间的相互比较。本文通过对这 7 个紫外-可见光谱参数的主成分分析印证了它们间的关系, 今后在选取紫外-可见光谱参数指标时  $SUVA_{254}$ ,  $SUVA_{260}$ ,  $SUVA_{272}$  和  $SUVA_{280}$  中可任意选取其中一个或两个,  $A_{250}/A_{365}$  和  $A_{240}/A_{420}$  亦如此。总的来说, 紫外-可见光谱参数的变化能很好地指示土壤 DOM 性质的变化, 这对揭示土壤中有机的腐殖化过程具有重要的意义。

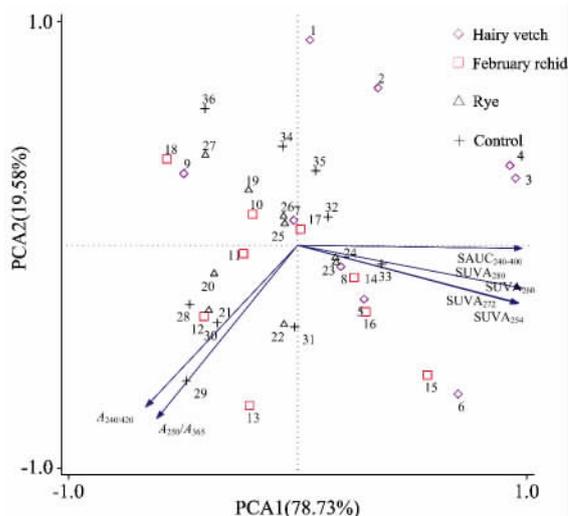


图 5 土壤 DOM 不同紫外-可见光谱特征参数的主成分分析  
注: 图中 1~9, 10~18, 19~27 和 28~36 分别为毛叶苕子、二月兰、黑麦、对照不同天数的土壤样本号

Fig 5 PCA for different ultraviolet spectrum characteristic parameters of soil DOM

Note: 1~9, 10~18, 19~27, 28~36 represent the soil sample numbers on different sampling day of Hairy vetch, February orchid, Rye, the control of no green manure respectively

### 3 结 论

华北潮土上, 种植和翻压绿肥均可以增加土壤 DOM 中 DOC, DON, TCs 和 TOAs 的含量, 不同绿肥间有所差异, 毛叶苕子增加 DOC, DON 和 TOAs 效果最好, 黑麦增加

TCs 的效果最好。绿肥在翻压后前 14 d 分解迅速, 其后逐渐缓慢。绿肥增加了土壤 DOM 芳香性、疏水性、腐殖化程度、平均分子量, 提高了土壤 DOM 的稳定性。本研究中, 紫外-可见光谱特征参数能够很好地指示土壤 DOM 性质的变化。

致谢: 感谢中国农业科学院德州盐碱土改良实验站李志杰老师在绿肥及土壤样品准备方面给予的帮助。

### References

- [ 1 ] Kalbitz K, So linger S, Park J H, et al. *Soil Science*, 2000, 165(4): 277.
- [ 2 ] NI Jin-zhi, XU Jian-min, XIE Zheng-miao(倪进治, 徐建民, 谢正苗). *Journal of Agro-Environment Science(农业环境科学学报)*, 2003, 22(4): 416.
- [ 3 ] ZHOU Jian-bin, CHEN Zhu-jun, ZHENG Xian-feng(周建斌, 陈竹君, 郑险峰). *Chinese Journal of Soil Science(土壤通报)*, 2005, 1(2): 1.
- [ 4 ] ZHOU Jiang-min, CHEN Hua-lin, TANG Dong-min, et al(周江敏, 陈华林, 唐东民, 等). *Plant Nutrition and Fertilizer Science(植物营养与肥料学报)*, 2008, 14(4): 678.
- [ 5 ] XUE Yan-feng, ZHAO Hui-jie, LI Yi-lin(薛延丰, 赵会杰, 李亦林). *Chinese Journal of Soil Science(土壤通报)*, 2004, 35(4): 449.
- [ 6 ] Chantigny M H. *Geoderma*, 2003, 113(1): 357.
- [ 7 ] LU Ping, SHAN Yu-hua, YANG Lin-zhang, et al(卢 萍, 单玉华, 杨林章, 等). *Acta Pedologica Sinica(土壤学报)*, 2006, 43(5): 736.
- [ 8 ] YANG Xiu-hong, PENG Lin-jing, LI Shi-yu, et al(杨秀虹, 彭琳婧, 李适宇, 等). *Ecology and Environment(生态环境学报)*, 2013, 22(6): 924.
- [ 9 ] SHEN Yu-fang, TAO Wu-hui, LI Shi-qing(沈玉芳, 陶武辉, 李世清). *Journal of Agro-Environment Science(农业环境科学)*, 2011, 30(1): 139.
- [10] Wershaw R L. *US Geological Survey Scientific Investigations Report*, 2004, 5121.
- [11] He X S, Xi B D, Jiang Y H, et al. *Chemosphere*, 2011, 82: 541.
- [12] Dilling J, Kaiser K. *Water Research*, 2002, 336: 5037.
- [13] LIU Jia, CHEN Xin-you, ZHANG Jie, et al(刘 佳, 陈信友, 张 杰, 等). *Chinese Journal of Grassland(中国草地学报)*, 2013, 35(6): 58.
- [14] NING Dong-feng, MA Wei-ping, SUN Wen-yan, et al(宁东峰, 马卫萍, 孙文彦, 等). *Acta Agriculturae Boreali-Sinica(华北农学报)*, 2011, 26(6): 164.
- [15] GAO Shu-fang, WANG Guo, FANG Ling(高树芳, 王 果, 方 玲). *Journal of Fujian Agricultural University(福建农业大学学报)*, 2001, 30(1): 87.
- [16] FU Mei-yun, ZHOU Li-xiang(付美云, 周立祥). *Environmental Science(环境科学)*, 2007, 28(2): 243.
- [17] ZHANG Jia-shen, CAO Jun, TAO Shu(张甲琿, 曹 军, 陶 澍). *Acta Pedologica Sinica(土壤学报)*, 2003, 40(1): 118.

## Effects of Green Manures on Soil Dissolved Organic Matter in Moisture Soil in North China

CHANG Dan-na<sup>1, 2, 3</sup>, CAO Wei-dong<sup>1, 4\*</sup>, BAI Jin-shun<sup>1</sup>, GAO Song-juan<sup>1, 2</sup>, WANG Xue-cui<sup>1, 2</sup>, ZENG Nao-hua<sup>1</sup>, Shimizu Katsuyoshi<sup>5</sup>

1. Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer, Ministry of Agriculture/Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China
2. The Graduate School, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China
3. College of Resources and Environmental Science, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China
4. Soil and Fertilizer Institute, Qinghai Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Qinghai University, Xi'ning 810016, China
5. Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan

**Abstract** Soil dissolved organic matter (DOM) plays an important role in the biogeochemistry of carbon, nitrogen, and phosphorus and in the transport of heavy metals and pesticides in soil. In moisture soil, green manures and soils were sampled in situ at the ploughed stage of green manures. A 56-day laboratory incubation experiment was conducted to simulate the dynamic changes of soil DOM influenced by the decomposition of green manures, the green manures were Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.), February orchid (*Orychophragmus Violaceus* L.), Rye (*Secale cereale* L.), the soil without green manure was used as a control (CK). The composition and ultraviolet-visible spectrum parameters of soil DOM were investigated at different incubation stages. Results showed that green manures could increase the dissolved organic carbon (DOC), the total organic acids (TOAs) and total carbohydrate (TCs) contents, and all treatments were reached a peak on the 1st day and decreased later. Hairy vetch affected DOC and TOAs most and were increased by 114.01% and 109.10% higher than CK respectively at the 1st and 14th day. Rye influenced the total carbohydrate (TCs) most and was maximumly 323.18% higher than CK at the 42nd day. Green manures could increase the dissolved organic nitrogen (DON) content, DON in all green manure treatments increased on the 1st day, decreased several days later and increased again after 20~30 d. Hairy vetch effected DON best and was 305.83% higher than CK at the 42nd day. All green manures increased in  $SUVA_{254}$ ,  $SUVA_{260}$ ,  $SUVA_{272}$ ,  $SUVA_{280}$  and  $SAUC_{240-400}$ , while decreasing in  $A_{250}/A_{365}$  and  $A_{240}/A_{420}$ . The PCA analysis of ultraviolet-visible spectrum parameters showed that  $SUVA_{254}$ ,  $SUVA_{260}$ ,  $SUVA_{272}$ ,  $SUVA_{280}$  had a high positive correlation between each other, and the same situation was found between  $A_{250}/A_{365}$  and  $A_{240}/A_{420}$ . Among them,  $SAUC_{240-400}$  was a key factor parameter featuring the characteristics of DOM. The results suggested that green manures could increase the contents of DOM and its aromaticity, hydrophobic percentage, humification degree and average molecular weight, and could be increased and the stability of DOM could be enhanced accordingly. The ultraviolet-visible spectrum parameters could indicate the changes of characteristics of DOM in this study.

**Keywords** Moisture soil in North China; Green manure; Dissolved organic matter; Ultraviolet-visible spectrum parameter

(Received Aug. 14, 2015; accepted Dec. 30, 2015)

\* Corresponding author