

西北灌漠土长期不同施肥改变土壤可溶性有机质的化学及光谱学特性

常单娜^{1,2}, 曹卫东^{1,3*}, 包兴国^{4*}, 白金顺¹, 张久东⁴,
卢秉林⁴, 高嵩涓^{1,2}, 曾闹华¹, 王雪翠^{1,2}, 志水胜好⁵

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. 青海大学, 青海 西宁 810016
4. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730073
5. Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan

摘要 依托在河西走廊灌漠土上开始于1988年的长期定位试验,利用紫外-可见光谱、红外光谱、元素分析等方法研究了不同施肥处理下土壤可溶性有机质(DOM)的变化。试验设施用有机肥、绿肥、化肥和不施肥对照4个处理。结果表明,施肥增加DOM的含量,相比对照处理,有机肥处理、绿肥处理、化肥处理的可溶性有机碳(DOC)分别增加37%,29%,16%,可溶性有机氮(DON)分别增加334%,257%,182%,总碳水化合碳(TCs)分别增加90%,25%,2%,总有机酸碳(TOAs)分别增加195%,116%,58%。有机肥处理各指标比对照处理均差异显著,除TCs外绿肥处理、化肥处理的其他指标也比对照处理差异显著。紫外-可见光谱结果,施肥提高了DOM的紫外吸收特征值SUVA₂₅₄,SUVA₂₆₀,SUVA₂₇₂,SUVA₂₈₀,表明施肥增加了DOM的芳香及疏水部分比例、腐殖化程度、平均分子量,使DOM更趋于稳定。不同施肥处理间表现出相当一致的规律,有机肥效果最为明显,其次是绿肥、化肥。红外光谱分析结果,有机肥处理相对于其他处理芳香族特征峰从1625 cm⁻¹处向近红外方向移动出现在1649 cm⁻¹处,接近土壤胡敏酸芳香族特征峰(1650 cm⁻¹),说明有机肥处理土壤DOM的芳香性更高。绿肥处理在归属于糖、醇类及羧酸物质C—O伸缩振动的1260~1000 cm⁻¹吸收峰高于其他处理,说明绿肥处理增加了土壤DOM的富氧基团类物质。化肥处理在归属于N—H振动的3559,3419和1456 cm⁻¹吸收峰高于其他处理,表明化肥增加了土壤DOM的胺类物质。元素分析结果显示有机肥、绿肥、化肥分别增加了C,O,N的相对含量。

关键词 长期不同施肥;可溶性有机质;紫外-可见光谱;红外光谱;元素分析

中图分类号:O657.3 文献标识码:A DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2016)01-0220-06

引言

可溶性有机质(DOM)由一系列大小、结构不同的分子组成,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^[1]。它是可溶性有机碳(DOC)、可溶性有机氮(DON)、可溶性有机磷(DOP)、可溶性有机硫(DOS)的总称,但以可溶性有机碳(DOC)为主^[2]。土壤DOM含量很少,占土壤有机质的比例很小,但其化学性质活跃且容易被微生物利用,是土壤中重要的活性碳库和养分库,能更敏感的反映土壤管理状况与质量变化。在微生

物的作用下,DOM参与土壤碳、氮、磷、硫等养分的地球化学物质循环^[1],同时影响重金属、农药的转化和运移^[3],近年来已成为土壤学、环境学、生态学研究的热点。

目前关于土壤DOM的研究多针对森林生态系统以及控制条件下的室内培养实验^[4-6],对田间条件下研究较少。大多研究也主要关注DOC和DON的变化,对于DOM的其他成分如碳水化合物、有机酸等指标很少涉及。光谱分析与元素分析可以在不破坏样品的前提下方便快速的检测样品的组成,已广泛地应用于DOM的研究,但大部分是研究水体^[7]DOM的变化以及堆肥过程^[8]DOM的变化。施肥是人工干预土壤的重要措施之一,是提升有机质、培肥土壤的有效途

收稿日期:2014-09-22,修订日期:2014-12-30

基金项目:公益性行业(农业)科研专项项目(201103005),中国农业科学院科技创新工程、国家自然科学基金项目(41261061)资助

作者简介:常单娜,1987年生,中国农业科学院研究生院硕士研究生 e-mail:chang1988917@126.com

* 通讯联系人 e-mail: caoweidong@caas.cn; xinguobao@aliyun.com

径,但一般认为有机质含量变化缓慢。DOM 是土壤有机质中最活跃的成分,可作为反映有机质变化的灵敏指标,能更好地响应施肥措施。秸秆、有机肥、无机肥的施用都会对土壤 DOM 产生影响^[2],但研究土壤 DOM 响应长期不同施肥制度的报道尚不多见。为此,本研究利用河西走廊的一个灌漠土不同施肥制度长期定位试验,通过紫外-可见光谱、红外光谱、元素分析等技术,探讨了不同施肥处理下土壤 DOM 的变化,为阐释农田土壤培肥机制提供理论支持。

1 实验部分

1.1 试验点概况

土壤样品采自甘肃省农业科学院武威绿洲农业试验站(北纬 38°37',东经 102°40'),土壤类型为石灰性灌漠土。该试验区位于甘肃河西走廊的东段,祁连山北麓,海拔 1 500 m,无霜期 150 d 左右,年降雨量 150 mm,年蒸发量 2 021 mm,年平均气温 7.7℃。

1.2 试验设计与样品采集

长期定位试验始于 1988 年,设有机肥、绿肥、化肥、对照(不施肥)4 个处理。有机肥为风干后的牛圈底厩肥每亩 8 000 kg,含水量 12%,干物质全氮平均 2.05 g·kg⁻¹、有机碳平均 19.1 g·kg⁻¹,折合成纯养分每亩 14.4N kg 和 134.5C kg;绿肥为毛叶苕子压青每亩 3 000 kg,含水量为 83%,干物质全氮平均 2.5%、有机碳平均 40%,折合成纯养分每亩 12.8N kg 和 118.3C kg;化肥为尿素每亩 25 kg,含氮(N)46%,折合成纯养分每亩 11.5N kg。除对照处理外,其他处理均施用重过磷酸钙每亩 10 kg,含磷(P₂O₅)42%,不施钾肥。绿肥在前一年 10 月切碎翻压到 20 cm 的耕层内,随即灌水,以利腐解。有机肥、磷肥全部作基肥在当年小麦播种前施入。氮肥在小麦播种前全小区基施 20%,小麦拔节期在小麦带追施 20%,玉米拔节期在玉米带追施 30%,玉米抽雄期在玉米带追施 30%。试验随机区组排列,3 次重复,小区面积 31.5 m²。耕作制度为小麦玉米带状间作,一年一熟。小麦于 3 月 12 日播种 7 月 14 日收获,玉米在 4 月 28 日播种 10 月 5 日收获。

于 2013 年 9 月 28 日玉米收获前每个小区同时采集玉米带和小麦带耕层 0~20 cm 土样,每带各采集 2 个点混合均匀。

1.3 测定方法

DOM 浸提:称取 60 g 新鲜土样,土水比 1:2(鲜土重量 g:液体体积),室温下 200 r·min⁻¹振荡 2 h 后 4℃、12 000 r·min⁻¹离心 15 min,过 0.45 μm 滤膜,滤液一部分 4℃冷藏保存用于化学指标及紫外-可见光谱的分析测定,另一部分冷冻干燥后 60℃烘干用于红外光谱与元素的分析测定。

DOM 化学指标及元素测定:化学指标主要包括 DOC、DON、总碳水化合物碳(TCs)、总有机酸碳(TOAs)。DOC 采用 TOC/N 仪(德国,耶拿 multi N/C2100)测定;DON 采用 TOC/N 仪测定可溶性总氮(TN)减去无机氮,无机氮用连续流动分析仪(德国,SEAL AutoAnalyzer3)测定;TCs 以葡萄糖作为标准物质蒽酮比色法、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。元素测定采用元素分析仪(德国,Elemental, Vario PYR Ocube),在 CNS 模式和 HO 模式下测定 C, N, S, H, O 含量。

DOM 光谱分析:紫外-可见光谱用紫外-可见分光光度计(北京,瑞利 UV2100)进行扫描,波长范围 190~800 nm。特定波长下的单位吸光度值(吸光度值/DOC 含量)叫做紫外吸收特征值,选取 254, 260, 272 和 280 nm 波长下的单位吸光度值 SUVA₂₅₄, SUVA₂₆₀, SUVA₂₇₂, SUVA₂₈₀ 进行分析。红外光谱用傅里叶变换红外光谱仪(德国, Bruker, VERTEX70)KBr 压片法(按样品:KBr=1:100,称 2 mg 样品 200 mg KBr 磨碎混合均匀)测定,分辨率 4 cm⁻¹,扫描次数 32 次。

2 结果与讨论

2.1 长期不同施肥对土壤 DOM 含量的影响

DOM 是一个复杂的混合物,只有部分物质可以用化学方法分析鉴定,如可溶性有机碳、碳水化合物、有机酸、氨基酸等,这些化合物可以作为描述 DOM 组分和化学组成的替代参数^[1]。本研究对长期不同施肥灌漠土的 DOC, DON, TCs, TOAs 进行了探讨。

2.1.1 DOC 和 DON

由图 1(a)和(b)可知,施肥明显提高了土壤 DOC 和 DON 含量,相对化肥而言,有机肥及绿肥的作用更强。有机肥、绿肥、化肥处理土壤 DOC 含量比对照处理分别增加了 37%, 29%, 16%, 差异均达到显著性水平,有机肥、绿肥处理比化肥处理分别增加了 18%和 11%, 差异也达到显著水平。有机肥、绿肥、化肥处理的土壤 DON 分别比对照处理增加了 334%, 257%, 182%, 与对照组相比均差异显著;有机肥、绿肥处理比化肥处理的 DON 分别提高了 54%和 26%, 差异也达到显著水平。因此,长期施肥后,土壤微生物可利用的碳氮来源大幅度增加,有机肥与绿肥比化肥效果明显。

2.1.2 TCs 和 TOAs

由图 1(c)和(d)可知,施肥增加了土壤中 TCs 和 TOAs 的含量,有机肥处理的效果最明显。有机肥处理土壤 TCs 含量比绿肥处理、化肥处理、对照处理分别增加 52%, 86%,

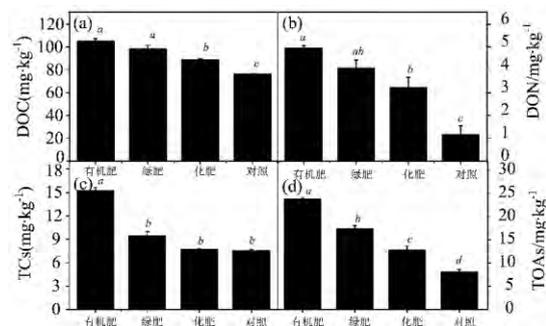


Fig 1 Influence of long-term different fertilizations on the contents of soil DOM. Note: Different lower letters in the figure mean significant difference at $p < 0.05$

90%，差异显著。绿肥、化肥处理土壤 TCs 含量比对照处理分别增加 25% 和 2%，但无显著性差异。施肥也显著提高了土壤 TOAs 含量，有机肥、绿肥、化肥处理相比对照处理分别增加 195%，116%，58%，差异显著，各施肥处理间也呈现差异显著，有机肥作用最强，其次是绿肥，再次是化肥。可见，长期施肥后，尤其是长期施用有机肥及绿肥，增加了土壤 DOM 成分中更为活泼的 TCs 和 TOAs，提高了土壤碳源的生物有效性。

2.2 长期不同施肥对土壤 DOM 组成的影响

2.2.1 土壤 DOM 的紫外-可见光谱特征

由图 2 可知，在可见光波长范围内(400~800 nm)吸光值随波长几乎无变化。在紫外光波长范围内(<400 nm)吸光值随着波长的递减增加，400 nm 处缓慢增加至 260 nm 左右有一平台，在 250 nm 处迅速增加至 200 nm 左右有一吸收峰，之后又快速下降。不同处理 DOM 的可见光波长范围内(400~800 nm)几乎无差异，但在紫外光波长范围内(<400 nm)各施肥处理大于对照处理的吸光值。在 200 nm 左右吸收峰处的吸光值有机肥处理≈化肥处理>绿肥处理>对照处理。说明施肥增加了紫外区域的吸光值，有机肥的效果最为明显，其次是绿肥，再次是化肥。

紫外吸收特征值 $SUVA_{254}$ ， $SUVA_{260}$ ， $SUVA_{272}$ ， $SUVA_{280}$ 分别与 DOM 的芳香性、疏水性、腐殖化程度、平均

分子量成正比^[9-10]。由表 1 可知，施肥明显改变了土壤 DOM 的紫外吸收特征值 $SUVA_{254}$ ， $SUVA_{260}$ ， $SUVA_{272}$ ， $SUVA_{280}$ ，且不同施肥处理间表现出相当一致的规律，均是有机肥>绿肥>化肥>对照，施肥处理显著高于对照处理，并且有机肥处理显著高于绿肥和化肥处理。这表明施肥增加了土壤 DOM 的芳香性、疏水性、腐殖化程度、平均分子量，使其更趋于稳定，且有机肥效果最明显，其次是绿肥处理，再次是化肥处理。

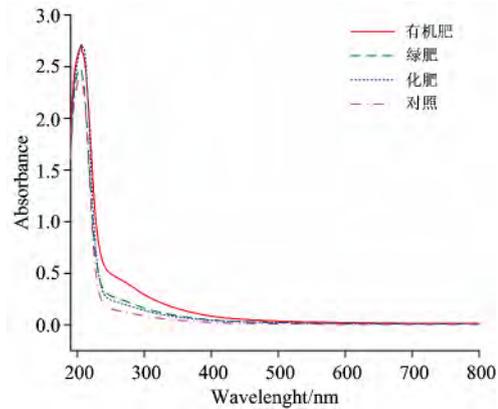


Fig 2 Ultraviolet and visible spectrum characteristics of soil DOM in long-term different fertilization treatments

Table 1 Characteristic ultraviolet spectrum absorption values of soil DOM in long-term different fertilization treatments

| 处理 | $SUVA_{254}/(L \cdot mg \cdot^{-1} \cdot m^{-1})$ | $SUVA_{260}/(L \cdot mg \cdot^{-1} \cdot m^{-1})$ | $SUVA_{272}/(L \cdot mg \cdot^{-1} \cdot m^{-1})$ | $SUVA_{280}/(L \cdot mg \cdot^{-1} \cdot m^{-1})$ |
|-----|---|---|---|---|
| 有机肥 | 1.02a | 1.04a | 0.94a | 0.86a |
| 绿肥 | 0.65b | 0.62b | 1.56b | 0.51b |
| 化肥 | 0.61b | 0.58b | 0.52b | 0.48b |
| 对照 | 0.45c | 0.42c | 0.38c | 0.34c |

Note: Different lower letters in the same column mean significant difference at $p < 0.05$, the same below

2.2.2 土壤 DOM 的红外光谱特征

由图 3 可知，虽然不同处理的 DOM 具有相似的红外吸收光谱特征，但各处理特征峰的相对吸收强度不同，说明相应官能团的含量存在一定差异。各处理都有 2 个强吸收区域(4 000~3 000 和 2 000~1 000 cm^{-1})和 1 个弱吸收区域(900~600 cm^{-1})。按照红外光谱官能团的归属，4 000~3 000 cm^{-1} 宽且强的吸收带是氢键结合的—COOH、醇及苯酚中的—OH 的伸缩振动吸收峰，3 559 和 3 419 cm^{-1} 是 N—H 的伸缩振动双峰，1 625 cm^{-1} 为苯环、烯烃类 C=C 和分子间或分子内形成氢键，1 456 cm^{-1} 中等强度吸收峰是 N—H 弯曲振动的吸收峰，1 260~1 000 cm^{-1} 的强吸收峰是多糖类、醇类、羧酸类及酯类 C—O 的伸缩振动峰，870~640 cm^{-1} 的尖峰是苯环 C—H 面外弯曲振动吸收峰^[8]。这些红外光谱吸收峰说明了土壤 DOM 中含有羧酸、醇类、苯酚、多糖、胺类等物质。不同处理间的差异表现在，3 559 和 3 419 cm^{-1} 伸缩振动双峰化肥处理明显高于其他处理，这与化肥处理在 1 456 cm^{-1} 吸收峰高于其他处理表现一致，说明化肥处理胺类化合物含量高于其他处理。不同于其他处理，有机肥处理在 1 625 cm^{-1} 处的峰向高频移动出现在 1 649 cm^{-1} 处，

接近土壤胡敏酸芳香族特征峰(1 650 cm^{-1})，说明有机肥处理土壤 DOM 的芳香性更高。1 260~1 000 cm^{-1} 处的强吸收峰表明土壤 DOM 含有大量的多糖、醇类及羧酸物质，其中绿肥处理的吸收峰要稍微高于其他处理。870~640 cm^{-1} 处的尖峰只有有机肥处理比较明显，说明有机肥处理土

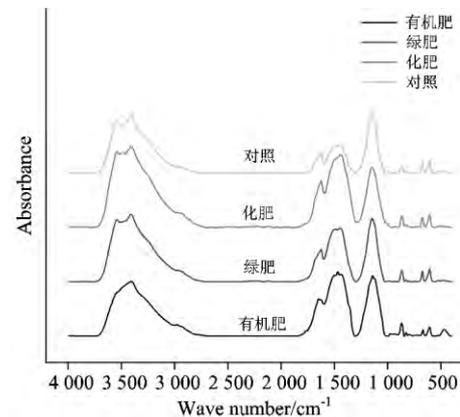


Fig 3 Infrared spectroscopy characteristics of soil DOM in long-term different fertilization treatments

壤 DOM 的苯环较丰富。

2.3 长期不同施肥下土壤 DOM 的 C, H, N, O, S 元素组成

由表 2 可以看出, 不同处理改变了土壤 DOM 的元素相对含量以及元素间比例。有机肥处理后 C 含量最高而 H 和 O 含量最低, H/C, O/C, S/C 最低, C/N 最高, 说明有机肥处理土壤 DOM 含有更多的饱和含碳化合物。绿肥处理 O 含量最高, 说明绿肥处理土壤 DOM 含有较多的富氧基团化合

物。化肥处理 N 含量最高, C/N 最低, 说明化肥处理的土壤 DOM 富含胺类化合物。对照处理 S 含量最高, S/C 最高, 这是因为对照处理没有外源碳的大量投入, 加之微生物的消耗, 使得 S 相对含量较高。土壤 DOM 的元素组成的差异本质是物质组成的差异, 元素含量的变化印证了施肥改变土壤 DOM 各物质相对含量的结果。

Table 2 Percentages of elements of soil DOM in long-term different fertilization treatments

| 处理 | C/% | H/% | O/% | N/% | S/% | H/C | O/C | C/N | S/C |
|-----|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 有机肥 | 13.56a | 2.38b | 38.98b | 2.37b | 5.54d | 0.18d | 2.88c | 5.72a | 0.41d |
| 绿肥 | 8.48b | 2.66a | 44.04a | 2.10c | 7.81b | 0.31c | 5.19b | 4.04b | 0.92b |
| 化肥 | 8.20b | 2.73a | 43.34a | 2.86a | 6.74c | 0.33b | 5.28b | 2.87d | 0.82c |
| 对照 | 7.40b | 2.72a | 42.93b | 2.07c | 8.51a | 0.37a | 5.80a | 3.58c | 1.15a |

2.4 施肥提高土壤 DOM 活性成分的含量

试验中, 不论施有机肥、绿肥还是化肥, 均增加了 DOM 中活性成分 DOC, DON, TCs, TOAs 的含量, 有机肥的效果最为明显, 其次是绿肥、化肥。不论是腐熟的还是新鲜的牛粪都含有大量的 DOC 和 DON^[11], 绿肥施入土壤后在腐解过程中会产生大量的 DOM, 这些物质投入农田必然导致土壤 DOM 的变化。不仅如此, 施肥措施有利于提高作物产量, 从而可以通过增加作物根系生物量以及微生物活动来增加 DOM 含量。沈玉芳等^[5]把不同碳氮比的有机物料添加到土壤中, 结果均可增加 DOC 和 DON 含量。稻草秸秆、猪粪两种有机肥料施入土壤后 DOC 含量增加^[6]。有机肥、化肥及有机肥化肥配施研究表明, 三种施肥方式均能增加 DOC 和 DON 含量, 其中以有机肥化肥配施效果最好, 其次是有机肥、化肥^[12]。TCs 和 TOAs 也是 DOM 中重要的部分, 而且生物有效性很高, 特别是 TCs 极易被微生物分解利用^[13]。从本研究的结果看, 有机肥处理的 DOC 和 DON 虽然高于绿肥处理, 但未见显著性差异, 而两处理的 TCs 和 TOAs 则显示出显著性差异, 有机肥处理显著高于绿肥处理。试验中, 绿肥处理的毛叶苕子前一年 10 月初即施入土壤, 并切碎配合灌水以利于腐解, 到第二年玉米收获取样时分解释放的 TCs 和 TOA 已大都被消耗但仍高于化肥处理。有机肥投入每年为每亩 8 t 牛圈底厩肥, 干物质质量较大, 含水量低, 当地气候干旱圈底厩肥中的牛粪腐解慢, 分解释放 TCs 和 TOAs 的速度也慢, 到玉米收获期 TCs 和 TOAs 水平仍然较高, 致使显著高于绿肥处理。综上, 有机肥、绿肥是提高土壤 DOM 生物有效性的有效手段, 有利于土壤活性有机物的积累。

2.5 土壤 DOM 光谱特征及元素组成与施肥的关系

研究中土壤 DOM 紫外光谱特征与张甲坤等^[14]研究的我国中东部地区的 17 种土壤 DOM 紫外光谱特征一致, 说明土壤 DOM 的紫外吸收光谱比较稳定。施肥增加了紫外区域吸光值, 这主要是施肥增加了 DOM 中位于紫外区域的发色团(如 C=C 和 C=O 基团)和助色基团(如 C—OH 和 C=NH)所致^[13]。推测 200 nm 附近的吸收峰, 可能因胺类物质电子的 $n \rightarrow \sigma$ 跃迁形成^[8]。化肥处理施肥量低于其他

施肥处理, 但其紫外光谱图中 200 nm 左右的吸收峰与有机肥处理此处的吸收峰相当, 明显大于绿肥处理与对照处理, 可能是化肥处理所施的是氮肥, 并且进行了追肥, 在采样时期土壤中残留的氮较多, 绿肥由于施入土壤较早土壤中残留的氮较少, 故此处的吸收峰小于化肥处理。

长期施肥提高了紫外吸收特征值 $SUVA_{254}$, $SUVA_{260}$, $SUVA_{272}$, $SUVA_{280}$, 说明长期施肥增加 DOM 的芳香及疏水性部分的比例、腐殖化程度、平均分子量大小, 其中有机肥处理与其他处理差异显著。这是因为本试验所用的牛圈底厩肥碳氮比大, 有助于碳的积累。研究表明相对于单施化肥, 施有机肥可以增加 DOM 的芳香性部分的比例, 使其更加稳定^[12]。

研究各处理土壤 DOM 的红外光谱图与占新华等^[15]研究的水稻土、猪粪、污泥、绿肥四种有机物料的 DOM 的红外光谱图的吸收区域大致相同, 说明 DOM 是一类成分比较稳定的物质, 不同来源 DOM 只是各物质的含量不同。红外光谱技术只能定性地推测每个吸收峰含有的官能团, 但无法定量判断每个吸收峰的具体物质; 元素分析也只能判定 DOM 的元素组成, 无法确定物质成分。但结合红外光谱与元素分析结果, 再加上紫外-可见光谱结果, 可以大致推断 DOM 的物质组成。化肥处理 3 559 和 3 419 cm^{-1} 伸缩振动双峰以及 1 456 cm^{-1} 吸收峰均明显高于其他处理, 可能是因为化肥处理投入的是氮肥尿素, 使其胺类化合物含量高于其他处理, 这与紫外-可见光谱显示的化肥处理在 200 nm 左右处的吸收峰高于其他处理一致, 也与元素分析结果化肥处理含 N 最高一致。绿肥处理 1 260~1 000 cm^{-1} 吸收峰稍高于其他处理, 此峰代表的是多糖、醇类及羧酸等富含 O 的化合物, 与元素分析中绿肥处理含 O 最高相一致。有机肥处理 870~640 cm^{-1} 显现出的尖峰说明有机肥处理土壤 DOM 的苯环较丰富, 与紫外-可见光谱分析结果有机肥处理土壤 DOM 的芳香化程度最高相一致, 同样与元素分析结果有机肥处理含 C 最高相一致。综上, 施肥对土壤 DOM 的物质组成有一定的影响, 不同施肥处理表现不同。

3 结 论

(1)长期施肥提高土壤 DOM 的含量及稳定性,不同施肥的作用差异明显。施肥处理的 DOC, DON, TCs, TOAs 含量增加,芳香及疏水部分的比例、腐殖化程度、平均分子量

提高。有机肥处理效果最为明显,其次分别是绿肥、化肥。

(2)不同施肥对 DOM 的物质组成影响不同。有机肥、绿肥、化肥处理分别增加 DOM 的芳香类物质、富氧基团物质、胺类物质的相对含量,同时分别增加了 DOM 中 C, O, N 元素的相对含量。

References

- [1] Kalbitz K, So linger S, Park J H, et al. *Soil Science*, 2000, 165(4): 277.
- [2] WANG Mei-li, LI Jun, ZHU Zhao-zhou, et al(王美丽, 李 军, 朱兆洲, 等). *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry(矿物岩石地球化学通报)*, 2010, 3(29): 304.
- [3] GAO Tai-zhong, ZHANG Hao, ZHOU Jian-wei(高太忠, 张 昊, 周建伟). *Ecology and Environmental Sciences(生态环境学报)*, 2011, 20(4): 652.
- [4] GUO Jian-fen, YANG Yu-sheng, CHEN Guang-shui, et al(郭剑芬, 杨玉盛, 陈光水, 等). *Journal of Fujian Normal University(福建师范大学学报)*, 2008, 24(4): 102.
- [5] SHENG Yu-fang, TAO Wu-hui, LI Shi-qing(沈玉芳, 陶武辉, 李世清). *Journal of Agro-Environment Science(农业环境科学学报)*, 2011, 30(1): 139.
- [6] 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.
- [7] YANG Nan, YU Hui-bin, SONG Yong-hui, et al(杨 楠, 于会彬, 宋永会, 等). *Acta Scientiae Circumstantiae(环境科学学报)*, 2014, 34(7): 1751.
- [8] ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang, SHEN Qi-rong, et al(占新华, 周立祥, 沈其荣, 等). *Acta Scientiae Circumstantiae(环境科学学报)*, 2001, 21(4): 470.
- [9] Dilling J, Kaiser K. *Water Research*, 2002, 336: 5037.
- [10] Kalbitz K, Schmerwitz J, Schwesig D, et al. *Geoderma*, 2003, 113(3/4): 273.
- [11] ZHAO Man-xing, ZHOU Jian-bin, CHEN Zhu-jun, et al(赵满兴, 周建斌, 陈竹君, 等). *Acta Ecologica Sinica(生态学报)*, 2007, 27(1): 397.
- [12] CHEN Wu-rong, LIU Qin, YU Hong-shuang, et al(陈武荣, 刘 勤, 禹洪双, 等). *Journal of Soil and Water Conservation(水土保持学报)*, 2010, 24(6): 111.
- [13] SHI Ji-ping, ZHANG Fu-dao, LIN Bao(史吉平, 张夫道, 林 葆). *Scientia Agricultura Sinica(中国农业科学)*, 2002, 35(2): 174.
- [14] ZHANG Jia-shen, CAO Jun, TAO Shu(张甲坤, 曹 军, 陶 澍). *Acta Pedologica Sinica(土壤学报)*, 2003, 40(1): 118.
- [15] ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang, LU Yan-yu(占新华, 周立祥, 卢燕宇). *China Environmental Science(中国环境科学)*, 2010, 30(5): 619.

Long-Term Different Fertilizations Changed the Chemical and Spectrum Characteristics of DOM of the Irrigation-Desert Soil in North-Western China

CHANG Dan-na^{1, 2}, CAO Wei-dong^{1, 3*}, BAO Xing-guo^{4*}, BAI Jin-shun¹, ZHANG Jiu-dong⁴, LU Bing-lin⁴, GAO Song-juan^{1, 2}, ZENG Nao-hua¹, WANG Xue-cui^{1, 2}, Shimizu Katsuyoshi⁵

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. Qinghai University, Xining 810016, China

4. Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China

5. Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan

Abstract By using Ultraviolet-visible Spectrometry, Fourier Transform Infrared Spectrometer and Elemental Analyzer, spectrum and chemical characteristics of soil DOM affected by long-term different fertilizations were investigated in irrigation-desert

soil in North-western China based on an experiment started from 1988. Four different fertilization treatments were included, i. e., organic fertilizer (OF), green manure (GM), chemical fertilizer (CF) and a control of no fertilization (CK). The results showed that fertilization could increase the contents of DOM. Compared to CK, the treatments of OF, GM, CF increased the dissolved organic carbon (DOC) by 37%, 29%, 16%; increased the dissolved nitrogen (DON) by 334%, 257%, 182%; increased the total carbohydrate (TCs) by 90%, 25%, 2%; and increased the total organic acids (TOAs) by 195%, 116%, 58%; respectively. Furthermore, DOC, DON, TCs, and TOAs in the OF treatment were significantly higher than those in CK, they were also significantly higher in the GM and CF treatments except for TCs. The ultraviolet-visible analysis showed that fertilizations enhanced the $SUVA_{254}$, $SUVA_{260}$, $SUVA_{272}$ and $SUVA_{280}$ of DOM, indicating that fertilizations increased the aromatic and hydrophobic percentage, humification degree, and average molecular weight, and thus resulting in more stability of DOM. Same trends were showed for all the 4 ultraviolet spectrum absorption values in different fertilizations, i. e., the strongest effect was found in the OF treatment, and then was the GM treatment and CF treatment successively. From the results by the Fourier Transform Infrared Spectrometry, the characteristic peak of aromatic in the OF treatment was observed shifting from 1 625 to 1 649 cm^{-1} , which was close to the characteristic peak of humin, suggesting that the aromaticity of DOM in the OF treatment was higher than the other treatments. The characteristic peaks of C—O at 1 260~1 000 cm^{-1} belonging to sugar, alcohol, and carboxylic acid were highest in the GM treatment, showing that the green manure could increase rich oxygen radicals. The highest characteristic peaks of N—H at 3 559, 3 419 and 1 456 cm^{-1} were observed in the CF treatment, indicating that the chemical fertilizer could increase amine substances. The contents of C, O and N in the OF, GM, CF treatments were also increased respectively according to the elemental analysis.

Keywords Long-term different fertilization; Dissolved organic matter; Ultraviolet-visible spectrum; Infrared spectroscopy; Element analysis

(Received Sep. 22, 2014; accepted Dec. 30, 2014)

* Corresponding authors