

研究论文

北极新奥尔松 (Ny-Ålesund) 地区环境中
有机碳组成来源的初步分析

李中乔 吴莹 张经

(华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要 对 2010 年 8 月从北极新奥尔松地区 (Ny-Ålesund) 中国黄河站附近所采集的土壤、沉积物和苔藓进行整体指标 [OC%, TN%, $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$] 和木质素 (lignin-derived phenols) 分析; 并对土壤和沉积物进行粒度分析。结果显示 OC% 与 TN% 具有相同的来源; 但是粒度并不是控制有机物分布的主要因素。数据显示当地木质素主要来自当地的维管植物和苔藓, 但是可能会受到当地动物或者微生物的影响。木质素的降解参数 (Ad/Al)_v 值的大小顺序为沉积物 < 土壤 < 苔藓, 可能是由于苔藓的表面吸附了细颗粒的煤炭, 但是缺少 ^{14}C 数据, 无法定量计算煤炭对环境中有有机碳的贡献; 另外一个降解参数肉桂基酚类两种单体 (CAD/FAD) 比值由苔藓、土壤、沉积物依次降低, 反映出成岩作用增强, 木质素降解程度增加。综合 OC%、TN%、 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 和木质素数据, 中国北极黄河站周围环境中的有机碳来源主要为当地的苔藓和维管植物, 也有可能吸附了一些煤颗粒, 但是由于技术手段的限制, 煤炭的贡献在当前的数据解析下无法定量评估。

关键词 北极 黄河站 有机碳 稳定碳同位素 木质素 苔藓 煤炭

doi:10.13679/j.jdyj.2014.4.425

0 引言

北极地区是大气-海洋物质能量交换的重要地区之一, 在全球气候系统形成和变化中具有重要的作用^[1]。最近的研究指出北极的平均气温正在上升^[1], 并伴随着极地河流向海输送有机物的增加^[2]; 另外, 随着气温的增加, 极地冻土带在全球碳循环过程中的作用也正在改变, 从原先的碳汇逐渐向碳源转变^[3]。北极更是全球变化的敏感区, 也因为其地表特征、自然环境和生态特点而在全球变化研究中有重要地位^[4]。目前, 由于全球变化正在加剧, 世界各国加强了北极地区的研究, 组织或者联合组织了许多研究计划^[5]。新奥尔松 (Ny-Ålesund) 位

于斯瓦尔巴特地区, 是地球上有人居住的最北的地方之一, 该地区属苔原气候, 多年生苔藓等成为优势植物, 多年生维管植物较少^[6]。位于新奥尔松 (Ny-Ålesund) 的黄河站附近有很多废弃的煤矿, 煤矿开采等人类活动对该地区环境的影响早有人研究, 如袁林喜等于 2006 年研究了该地区环境中重金属的分布, 发现煤矿开采等人类活动对当地的重金属污染比较明显^[7]; Jiao 等^[8] 分析同地区样品中的 PAHs、PBDEs、PCBs 和 OCPs 等有害污染物, 揭示了长距离大气输送影响并且评价了当地煤炭开采和燃烧对环境的影响。国际上也正在实施一些计划对北极环境污染物进行监测和评估^[9]。但是如煤炭开采等人类活动是否对当地周围环境中有机碳的分布产生影响却不得而知。先前有限的有机地化工作表

【收稿日期】 2013 年 10 月收到来稿, 2014 年 3 月收到修改稿

【基金项目】 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室自主课题 (2011KYYW02) 和国家海洋局极地考察项目 (2012YR11011) 资助

【作者简介】 李中乔, 男, 1984 年生。博士研究生, 研究方向为海洋有机地球化学

【联系作者】 吴莹, 女。教授, E-mail: wuying@sklec.ecnu.edu.cn

明:当地土壤化程度低,总体有机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ (‰) 变化范围宽^[10],但是通过生物标志物研究当地的有机碳个案还较少。

本文通过分析采集于北极黄河站附近的样品中

OC%、TN%、 $\delta^{13}\text{C}$ (‰) 和木质素 (lignin-derived phenols),来探讨黄河站周围环境中有机碳的来源和控制因素,并且评价煤矿开采等人类活动对当地有机碳分布的可能影响。

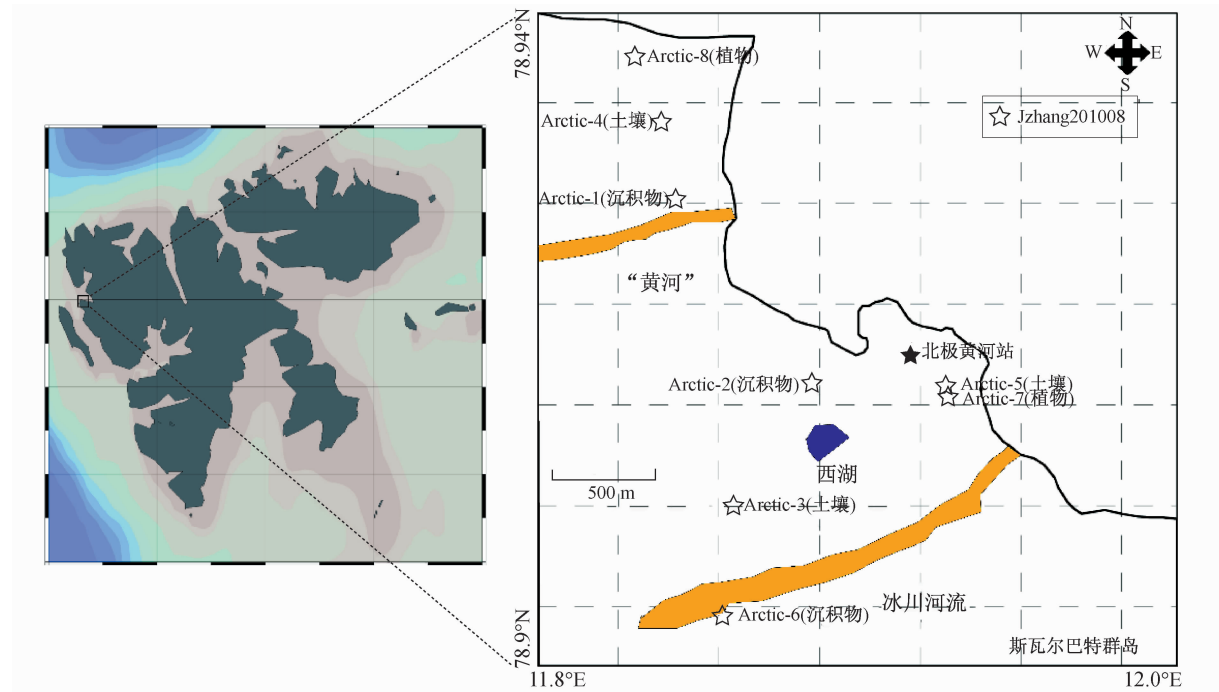


图 1 黄河站采样站位示意图
Fig. 1. The sample stations around the Arctic Yellow River Station of China

1 材料与方

北极新奥尔松地区位于斯瓦尔巴特群岛,处于巴伦支海和格林兰海之间,是地球上最北的有人居住的地区之一,该地区 60% 为冰雪覆盖,冻土层厚达 500 m。植被稀疏,大部分为苔原植被,也有部分矮小的草本维管植物,没有大型的灌木存活。夏天时会有部分冰川融化,融水形成河流,其中最大的一条被中国科学家命名为“黄河”。2010 年 8 月份,从中国黄河站附近采集了两个河流沉积物、一个湖泊沉积物、三个土壤以及两个植物样品,采样信息如图 1 和表 1 所示。其中两个沉积物为黄河河流沉积物,一个为湖边的沉积物。采集沉积物时,使用不锈钢小勺收集表层 1—2 cm,装入自封袋,赶走空气后封口。土壤采集时先将表层的明显植物碎屑层去掉,用不锈钢小勺收集,装入自封袋,赶走空气后封口。植物采样时也要戴手套,样品装入自封袋,赶走

空气后封口保存。样品采集后,在 50℃ 下烘干,带回实验室分析。

表 1 采样点及样品类型描述				
Table 1. Sampling locations and description of the samples				
站位	类别	描述	纬度/(°N)	经度/(°E)
Arctic-1	河流沉积物	黄河边滩沉积物	78.932	11.836
Arctic-2	湖泊沉积物	西湖边沉积物	78.921	11.870
Arctic-3	土壤	河流上游土壤	78.915	11.852
Arctic-4	土壤	河沟边土壤	78.936	11.828
Arctic-5	土壤	黄河站东旧铁矿以东 500 m	78.920	11.901
Arctic-6	河流沉积物	冰川河流上游沉积物	78.908	11.843
Arctic-7	植物	黄河站东旧铁矿以东 500 m	78.920	11.901
Arctic-8	植物	苇藓	78.941	11.823

沉积物和土壤带回实验室后进行粒度测定。首先过筛去粒度 >2 mm 的颗粒,然后将剩余样品置于玻璃烧杯中,加入 H₂O₂,静置,除去 H₂O₂;再加入 HCl,静置后除去未反应的 HCl,加入去离子水清洗样品中残留的 H₂O₂ 和 HCl。粒度测定前,在样品中

加入5%的六偏磷酸钠溶液作为分散剂,超声15 min后上机测试。测试仪器使用LS100Q粒度仪。

余下的沉积物和土壤样品使用玛瑙研钵仔细研磨,在分析天平上称取20 mg左右的样品加入10%的HCl除去无机碳,烘干后包样,使用Delta Plus XP进行OC%和 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 测定。植物样品使用粉碎机粉碎后称取2mg左右的样品包样后上Delta Plus XP进行OC%和 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 测定, $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 的计算如式1, $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 平行样品之间的误差 <0.1 。TN%样品直接包样,沉积物和土壤量为70—100 mg,植物样在20 mg左右,使用Vario EL III元素分析仪测定,测定精度RSD $<5\%$ 。

$$\delta^{13}\text{C} = \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{stand}}} - 1 \right) \times 1\,000$$
$$R = \frac{{}^{13}\text{C}}{{}^{12}\text{C}}$$

(1)

木质素(lignin-derived phenols)的测定使用Hedges开发的,Goñi改进的碱性CuO分解法^[11]。该方法的大致流程是:在样品中加入CuO,硫酸亚铁铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]$ 和NaOH溶液,在160℃下消化3 h。消化后固液分离,酸化,萃取,衍生化后上气相色谱测定^[11]。测定使用安捷伦5890型气相色谱仪,FID检测器,DB-1色谱柱,规格:30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.15 μm 。升温程序为初温100℃,以4℃ $\cdot$ min⁻¹的速率升到270℃,保持27.5 min,该方法的相对标准偏差RSD $<10\%$ ^[12]。

表2 文中涉及到的木质素参数及其意义
Table 2. The parameters of lignin-derived phenols and their implications

参数	意义
P	三种对羟基酚类
S	三种紫丁香基酚类
V	三种香草基酚类
C	两种肉桂基酚类
Σ8	S+V+C的绝对含量
A8	S+V+C相对有机碳的含量
S/V	紫丁香基酚类比香草基酚类,来源参数
C/V	肉桂基酚类比香草基酚类,来源参数
P/V	对羟基酚类比香草基酚类,来源参数
PON/P	羟基苯乙酮比对羟基酚类,来源参数
CAD/FAD	对香豆酸比阿魏酸(C系列),降解参数
(Ad/Al)v	香草基酚类中的酸比醛,降解参数

2 结果与讨论

2.1 粒度、OC%、OC/TN和 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$

土壤和沉积物平均粒径如表3所示,土壤的平均粒径范围位于5.4—28.7 μm 内,变化较小;沉积物的平均粒径范围大,在38.0—223.0 μm 之间,其中河流沉积物变化范围较宽,分别为223.0和38.0 μm ;湖泊沉积物(Arctic-2)的平均粒径为128.0 μm 。但是总体上沉积物的粒径都大于土壤,原因是这些沉积物都是在岸边采集的,在水动力的作用下,比较细颗粒的沉积物随着水流带向湖中心或者下游,导致沉积物的粒径比起土壤来更大^[13]。有机碳含量(OC%)与样品类别有关,两个苔藓植物样品的OC%含量远远高于土壤和沉积物样品,苔藓植物的OC%平均为31.90 $\pm$ 4.6,土壤样品的OC%平均为1.09 $\pm$ 0.29;但是湖泊沉积物和河流沉积物之间OC%有明显区别,湖泊沉积物的OC%高达4.97,远远高于河流沉积物(0.06 $\pm$ 0.01)。除了样品类别控制OC%含量之外,粒径也可能是控制有机碳的含量的一个重要因素,特别是沉积物和土壤样品,细的粒径有着比较大的比表面积,可以吸附更多的有机碳^[14-15]。但是在此处所采的沉积物和土壤样品中,OC%以及后文的TN%和木质素含量与粒径之间没有相关性,说明粒径在该区域不是控制有机碳分布的主要因素。在黄河站附近,较粗的湖泊沉积物相对于河流沉积物和土壤具有较高的OC%和TN%,应该这是由于其中混入了植物碎屑,植物碎屑导致样品整体的OC%和TN%水平偏高。土壤和沉积物样品的TN%值分布在0.004—0.315之间,两个植物样品的TN%远于土壤和沉积物,平均值为0.916 $\pm$ 0.001。河流沉积物的平均氮含量(均值0.005)要比土壤(均值0.071)的平均氮含量低;湖泊沉积物Arctic-2站的有机碳和总氮远远高于河流沉积物,并且 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 也偏负,与新鲜苔藓植物的 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 类似,因此湖泊Arctic-2沉积物的OC%和TN%的高值是由于植物碎屑的混入造成的。土壤的OC%和TN%平均值比河流沉积物的高,比植物和湖泊沉积物的低,这种次序也说明了OC%和TN%的来源问题,经过细菌的作用,植物碎屑被降解,有机质组分会显著降低。除去两个植物样品,样

品的 TN% 和 OC% 存在显著的相关 ($R^2 = 0.99, p < 0.001$), OC/TN 值变化较小,说明该区域土壤和沉积中的有机质来源是一致的;植物样品的 OC/TN 值

比土壤和沉积物的 OC/TN 比值高,也说明有机物从植物到土壤到沉积物的过程中,经历了明显的降解过程^[16]。

表 3 北极黄河站周围样品结果
Table 3. The results of samples around Arctic Yellow River Station of China

类别	站位	平均 粒径/ μm	OC%	TN%	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\Sigma 8/(\text{mg} \cdot 10\text{g dw}^{-1})$	$\Delta 8/(\text{mg} \cdot 100 \text{ mg OC}^{-1})$	S/V	C/V	P/V	PON/P	CAD/FAD	(Ad/Al) _v
河流沉积物	Arctic-1	223.0	0.07	0.004	-23.0	0.05	0.75	0.15	0.36	2.62	0.32	0.75	0.60
湖泊沉积物	Arctic-2	128.0	4.97	0.315	-25.2	4.65	0.94	0.94	0.58	1.57	0.06	0.89	0.76
土壤	Arctic-3	5.4	1.04	0.063	-24.2	0.86	0.82	0.69	0.25	1.22	0.07	0.71	1.16
土壤	Arctic-4	5.4	0.77	0.049	-24.1	0.49	0.63	0.57	0.27	1.84	0.05	0.55	1.43
土壤	Arctic-5	28.7	1.47	0.100	-23.6	1.74	1.19	0.59	0.14	0.95	0.05	0.72	0.67
河流沉积物	Arctic-6	38.0	0.06	0.005	-19.6	0.04	0.72	0.07	0.18	2.63	0.18	0.83	0.51
植物	Arctic-7	—	36.57	0.919	-26.3	80.63	2.20	0.44	0.45	0.55	0.14	1.50	1.19
植物	Arctic-8	—	27.30	0.914	-26.6	39.51	1.45	1.23	0.53	2.49	0.12	4.01	1.82

—未测定

$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 可以指示有机物中碳同位素分馏的程度,不同来源的有机碳的分馏程度不同,因此可以区分有机碳的来源^[17]。北极维管植物的 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 在 -25.8—-31.6,苔藓植物类的 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 在 -21.0—-30.7,淡水藻类的 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 在 -6.9—-26.3^[18]。本研究所采的样品中有机碳的 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 分布在 -19.6—-26.8 之间,碳同位素的分馏程度苔藓植物 > 土壤 > 沉积物。样品的 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 范围稍稍偏离了北极维管植物和苔藓植物的 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 范围,这种差异可能是由于有机物的降解引起的,有机物的降解会导致样品中 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 升高^[19]。由样品中有机碳的 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 可以初步推测,该地区样品中有机物来源于当地苔藓和维管植物。

北极动物是极地生态系统重要的组成部分,新奥尔松地区生活着鹿、北极熊、海豹、海鸟等动物,这些动物的粪便为苔藓和维管植物的生长提供了养分,而且这些粪便有可能是极地环境有机碳的直接来源。已有工作通过鉴定北极动物排泄物的 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 以及 $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ 来确定食草动物的食谱^[20]。本文所采用的 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 参数没有能力来区分动物粪便对该地区有机碳分布的影响,因为植物有机碳的稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ 范围很宽,并且不会随着动物的消化而改变^[20]。木质素的参数中有可能指示动物对当地环境中有机碳的贡献。

2.2 木质素参数

木质素是维管植物中重要的有机质,在苔藓中也存在可以生产木质素的基因^[21]。木质素由于其特殊的结构特征,在环境中抗降解能力比较强,可以

在环境中长时间地保存。木质素大分子经过碱性 CuO 分解后产生 11 种单体,包括对羟基酚类(p-hydroxyl phenols,简称 P 系列),紫丁香基酚类(syringyl phenols,简称 S 系列),香草基酚类(vanillyl phenols,简称 V 系列),肉桂基酚类(cinnamyl phenols,简称 C 系列)。根据它们的含量和互相之间的比值可以得到一系列的参数(表 2),用以评估木质素含量、来源等^[22]。

本次研究所采集的样品木质素数据如表 3 所示,结果显示苔藓植物无论是 $\Sigma 8$ 还是 $\Delta 8$ 都大于土壤和沉积物中的木质素含量,但是却远远低于其他地区的维管植物^[12],这可能和苔藓植物比较低等,还没有完全进化到典型的木质部有关;土壤和沉积物中木质素含量与 OC% 含量有关,OC% 含量高,木质素含量高(相关系数 $R^2 = 0.99, p < 0.001$);但是总体上土壤中木质素的含量要高于沉积物中含量(Arctic-2 站除外),因为 Arctic-2 是采自湖泊的沉积物,其余两个是河流沉积物,湖泊与河流的水动力条件不同。河流的水流快速,持续冲刷会将沉积物表面细颗粒以及密度小的物质冲走,剩下的都是粗颗粒,密度大颗粒。湖泊处于静水环境,有机物含量高,密度低的苔藓碎屑会持续堆积。这种因素会导致湖泊沉积物中有机物含量变高。水动力条件对有机物分布早有研究,Bianchi^[13]对密西西比河研究发现,沉积物经历了水动力的分选后,一些木质素含量高的细颗粒物质被冲刷,粗颗粒的沉积物木质素含量比细颗粒未被水动力冲刷的含量低,虽然密西西比河与本文研究环境明显不同,但是水动力对物质

的分选作用是类似的。

样品中木质素的特征参数 C/V 分布在 0.14—0.58 之间,苔藓植物中的 C/V 均值为 0.49,沉积物的平均 C/V 为 0.37,土壤的平均 C/V 为 0.22,都大于 0.20(表 3),说明样品中的木质素是来源于植物的草本组织^[12-13,22];样品中木质素另一个特征参数 S/V 分布范围较宽,在 0.07—1.23 之间,而且不同种类的样品间没有显著的差别,说明样品中的木质素来自裸子和被子植物的混合^[12-13,22];综上,样品中木质素的 C/V 和 S/V 比值指示其来源为裸子和被子草本组织混合(图 2)。这与当地的植被情况是符合的,当地的主要植物为苔藓,并有少量的草本维管植物。苔藓的 C/V 和 S/V 值都比典型的草本被子植物高(表 2),在所采的样品当中,苔藓,沉积物和土壤的值都比文献报道苔藓的端元值低,这可能有二个原因。首先土壤和沉积物的低值可能是降解导致的,木质素的三种($V+S+C$)单体在环境中的降解速率不是一致的,降解速率由快到慢的排列是 $C>S>V$ ^[23],随着降解程度的增加会导致 C/V 和 S/V 值降低。其次苔藓样品中的低值可能是吸附煤炭导致的,煤炭经过长时间的地质变化,容易降解的 C 和 S 系列早已降解,剩下的是 V 系列,如果苔藓样品中吸附了细颗粒的煤炭就会导致 C/V 和 S/V 值的降低^[24]。

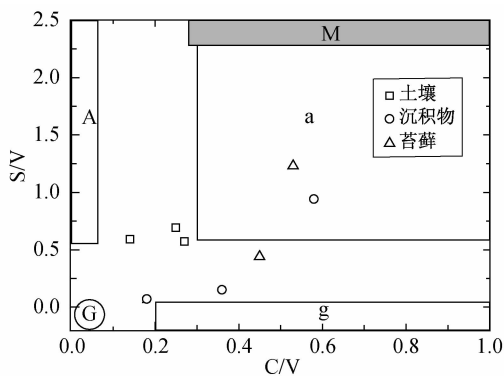


图2 黄河站周围样品中木质素的 C/V 和 S/V 分布
Fig. 2. The C/V and S/V of samples around Arctic Yellow River Station of China

在 P 系列的三种单体中,对羟基苯乙酮(PON)的唯一来源是植物木质素;而另外两种单体,对羟基苯甲酸(PAD)和对羟基苯甲醛(PAL)除来自木质素外还可能来自于蛋白质和糖^[25],可以用 PON/P 作为木质素的来源指示,在黄河站周围环境中,除去河

流沉积物外,湖泊沉积物和土壤样本的 PON/P 平均为 0.06,苔藓样本的 PON/P 平均为 0.13,而河流沉积物的 PON/P 高达 0.25,这种现象说明 P 系列酚类的来源并不是单一的,可能还含有以下两个源。首先新奥尔松地区除了苔原和草本维管植物外,还生活着鹿、北极熊、海豹、海鸟等动物,这些动物的粪便中含有蛋白质和糖类,这些蛋白质和糖类可能会向环境中释放额外的 PAD 和 PAL,会导致 PON/P 值的降低。此外,当地的微生物活动也很活跃,Chu^[26]发现北极地区的细菌与其他地区的生物群落没有明显的区别,细菌等微生物生产的蛋白质也可能提供额外的 PAD 和 PAL,这些物质的输入也会导致北极环境中 PON/P 值得降低。 P/V 也是反映木质素来源的一个参数, V 系列仅仅来自植物,而 P 系列还可能有动物或者微生物的来源,所以 P/V 的值可以反映环境中动物和微生物等活动对有机碳的贡献^[27]。此处 P/V 平均值为 1.73,高于典型维管植物的 P/V 端元值,低于苔藓的端元值($P/V \sim 9$)^[25,27],说明样品中 P 系列和其他系列的来源不一致,大部分的 P 系列酚类来自于生物活动的贡献(图 3)。

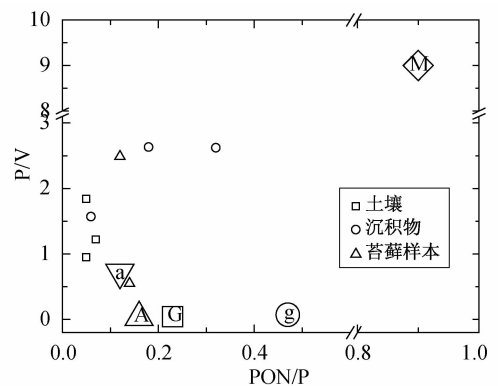


图3 黄河站周围样品中木质素的 PON/P 和 P/V 分布^[22,25]
Fig. 3. The PON/P and P/V of samples around Arctic Yellow River Station of China^[22,25]

V 系列的酸和醛的比值 $(Ad/Al)_v$ 表示样品中木质素的降解程度,新鲜维管植物的 $(Ad/Al)_v$ 约为 0.20,苔藓的 $(Ad/Al)_v$ 在 0.82 左右,而经过长时间地质作用煤炭的 $(Ad/Al)_v$ 可以达到 3^[22,24-25,28]。Shakya^[28]对休斯顿的气溶胶样品中木质素进行了研究,发现其 $(Ad/Al)_v$ 达到 (4.5 ± 1.7) , $(Ad/Al)_v$ 达到如此的高值,大部分的原因是因为煤炭颗粒的贡献。在本研究样品中,木质素 V 系列的 $(Ad/Al)_v$ 分布在 0.51—1.82 之间,而 $(Ad/Al)_v$ 的分布趋势

为苔藓植物 > 土壤 > 沉积物,这与一般规律不同,说明存在另外一个木质素 V 系列 $(Ad/Al)_v$ 非常高的来源。极地的大风可能使得煤炭碎屑分布变广并附着在吸附面积很大的苔藓植物上,导致植物样品 V 系列的 $(Ad/Al)_v$ 偏大,袁林喜^[7]在该区对重金属的研究发现风会使得苔藓样品的重金属含量变高,与我们观察到的苔藓植物 $(Ad/Al)_v$ 偏高一致,支持我们的推测。煤炭对有机碳的贡献最好的方法是测定放射性¹⁴C 年龄,煤炭经过数亿年的地质作用,其中的¹⁴C 早已衰减,现代植物以及土壤中的¹⁴C 几乎没有衰变过或者衰变的时间较短,¹⁴C 年龄会比煤炭年轻得多。分析样品中的¹⁴C 年龄,可以定量估算煤炭对有机碳的贡献比例。Kim^[29]对新奥尔松附近海洋沉积物进行了¹⁴C 分析,发现煤炭对沉积物有机碳的贡献比例很高。如果要进一步评估煤炭对环境中有机碳的贡献,甚至做到定量评估需要测定样品中的¹⁴C 年龄,这是下一步工作的重点。

两种木质素 C 系列的两个单体的比值 (CAD/FAD) 可以作为成岩作用的指示,由于 CAD 更容易溶解,随着成岩作用,溶解态中木质素 CAD/FAD 值会升高,而遗留下的木质素中的 CAD/FAD 值会降低^[30-31]。在所测试的样品当中,两个苔藓植物的 CAD/FAD 值最高,其次为土壤,沉积物的 CAD/FAD 值最低,说明从植物到土壤到沉积物经历了明显的成岩作用过程(图 4)。

3 结论

通过对北极黄河站附近样品进行有机地球化学

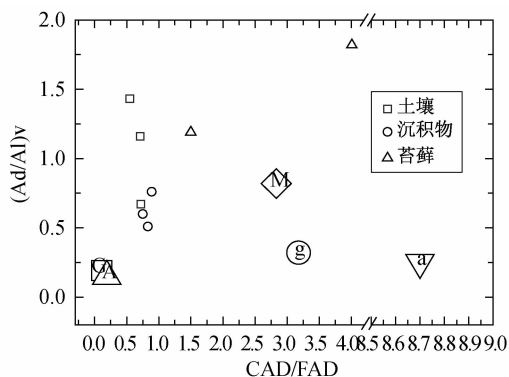


图 4 黄河站周围样品中木质素的 CAD/FAD 和 $(Ad/Al)_v$ 分布^[22,25]

Fig. 4. The CAD/FAD and $(Ad/Al)_v$ of samples around Arctic Yellow River Station of China^[22,25]

和木质素 (lignin-derived phenols) 分析,得出初步结论。

中国北极黄河站周围环境中土壤和沉积物中有机碳的含量低,氮含量也低,C/N 比值类似,低于植物样品的 C/N 比,而且样品类型控制有机质的含量,粒度并没有像其他地区报道的是控制有机质含量的主要因素;当地土壤化水平低,有机碳同位素处于文献报告的极地样品范围内。

通过木质素 (lignin-derived phenols) 分析,表明当地环境中的木质素主要来自于苔原环境中的苔藓和维管植物,PON/P 的低值表明当地的动物和细菌可能也是环境中有机质的重要来源,当地的煤炭碎屑可能是有机质的另一来源,但是缺少¹⁴C 数据,无法定量确定已经¹⁴C 衰变完全的煤炭对当地有机碳的贡献。

参考文献

- 1 Solomon S. Climate Change 2007-The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- 2 Peterson B J, Holmes R M, McClelland J W, et al. Increasing river discharge to the Arctic Ocean. Science, 2002, 298(5601): 2171—2173.
- 3 Oechel W C, Hastings S J, Vourltis G, et al. Recent change of Arctic tundra ecosystems from a net carbon dioxide sink to a source. Nature, 1993, 361(6412): 520—523.
- 4 陈立奇. 北极海洋环境与海气相互作用研究. 北京: 海洋出版社, 2003.
- 5 邓海滨, 陆龙骅, 卞林根. 北极苔原 Ny-Ålesund 地区短期气候特征. 极地研究, 2005, 17(1): 32—44.
- 6 滕海波, 唐学玺, 肖慧, 等. 北极黄河站植物根际土壤放线菌分离培养及其鉴定. 极地研究, 2009, 21(1): 33—42.
- 7 袁林喜, 龙楠桦, 谢周清, 等. 北极新奥尔松地区现代污染源及其指示植物研究. 极地研究, 2006, 18(1): 9—20.
- 8 Jiao L P, Zheng G J, Minh T B, et al. Persistent toxic substances in remote lake and coastal sediments from Svalbard, Norwegian Arctic: levels,

- sources and fluxes. *Environmental Pollution*, 2009, 157(4): 1342—1351.
- 9 Jensson H, Caturov J, Stone D, et al. AMAP assessment 2002: persistent organic pollutants in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 2004.
- 10 Mann D H, Sletten R S, Ugolini F C. Soil development at Kongsfjorden, Spitsbergen. *Polar Research*, 1986, 4(1): 1—16.
- 11 Goñi M A, Nelson B, Blanchette R A, et al. Fungal degradation of wood lignins: Geochemical perspectives from CuO-derived phenolic dimers and monomers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1993, 57(16): 3985—4002.
- 12 杨丽阳. 沉积物中的木质素在物源示踪和环境演变研究中的应用初探. 上海: 华东师范大学, 2009.
- 13 Bianchi T S, Galler J J, Allison M A. Hydrodynamic sorting and transport of terrestrially derived organic carbon in sediments of the Mississippi and Atchafalaya Rivers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, 73(1-2): 211—222.
- 14 Bergamaschi B A, Tsamakis E, Keil R G, et al. The effect of grain size and surface area on organic matter, lignin and carbohydrate concentration, and molecular compositions in Peru Margin sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1997, 61(6): 1247—1260.
- 15 Mayer L M. Surface area control of organic carbon accumulation in continental shelf sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1994, 58(4): 1271—1284.
- 16 Lerch T Z, Nunan N, Dignac M F, et al. Variations in microbial isotopic fractionation during soil organic matter decomposition. *Biogeochemistry*, 2011, 106(1): 5—21.
- 17 Hedges J, Oades J M. Comparative organic geochemistries of soils and marine sediments. *Organic Geochemistry*, 1997, 27(7-8): 319—361.
- 18 Blake Jr W. Ratios of stable carbon isotopes in some High Arctic plants and lake sediments. *Journal of Paleolimnology*, 1991, 6(2): 157—166.
- 19 Thornton S F, McManus J. Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratios as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: evidence from the Tay Estuary, Scotland. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1994, 38(3): 219—233.
- 20 Kristensen D K, Kristensen E, Forchhammer M C, et al. Arctic herbivore diet can be inferred from stable carbon and nitrogen isotopes in C₃ plants, faeces, and wool. *Canadian Journal of Zoology*, 2011, 89(10): 892—899.
- 21 Xu Z Y, Zhang D D, Hu J, et al. Comparative genome analysis of lignin biosynthesis gene families across the plant kingdom. *BMC Bioinformatics*, 2009, 10(Suppl 11): S3.
- 22 Goñi M A, Rittenberg K C, Eglinton T I. A reassessment of the sources and importance of land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1998, 62(18): 3055—3075.
- 23 Feng X J, Benitez-Nelson B C, Montluçon D B, et al. ¹⁴C and ¹³C characteristics of higher plant biomarkers in Washington margin surface sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2013, 105: 14—30.
- 24 Christopher L. Integrated Forest Biorefineries: Challenges and Opportunities. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2012.
- 25 Goñi M A, Yunker M B, Macdonald R W, et al. Distribution and sources of organic biomarkers in Arctic sediments from the Mackenzie River and Beaufort Shelf. *Marine Chemistry*, 2000, 71(1-2): 23—51.
- 26 Chu H Y, Fierer N, Lauber C L, et al. Soil bacterial diversity in the Arctic is not fundamentally different from that found in other biomes. *Environmental Microbiology*, 2010, 12(11): 2998—3006.
- 27 Amon R M W, Rinehart A J, Duan S, et al. Dissolved organic matter sources in large Arctic rivers. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2012, 94: 217—237.
- 28 Shakya K M, Louchouart P, Griffin R J. Lignin-derived phenols in Houston aerosols: Implications for natural background sources. *Environmental Science & Technology*, 2011, 45(19): 8268—8275.
- 29 Kim J H, Peterse F, Willmott V, et al. Large ancient organic matter contributions to Arctic marine sediments (Svalbard). *Limnology and Oceanography*, 2011, 56(4): 1463—1474.
- 30 Houel S, Louchouart P, Lucotte M, et al. Translocation of soil organic matter following reservoir impoundment in boreal systems: Implications for in situ productivity. *Limnology and Oceanography*, 2006, 51(3): 1497—1513.
- 31 Sanger L J, Anderson J M, Little D, et al. Phenolic and carbohydrate signatures of organic matter in soils developed under grass and forest plantations following changes in land use. *European Journal of Soil Science*, 1997, 48(2): 311—317.

THE COMPOSITION AND SOURCE OF ORGANIC CARBON AROUND YELLOW RIVER STATION IN NY-ÅLESUND, THE ARCTIC

Li Zhongqiao, Wu Ying, Zhang Jing

(State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract

Samples of soils, sediments, and two mosses around China's Yellow River Station in the Arctic were collected in August 2010. The samples were analyzed for grain size, organic carbon content (OC%), total nitrogen (TN%), isotope of organic carbon ($\delta^{13}\text{C}$ (‰)), and lignin-derived phenols. The OC% and TN% in soil and sediment samples were linearly correlated ($R^2 = 1$, $p < 0.001$), which indicated common sources. The grain size was not the main factor controlling the distribution of OC and TN. Data showed the source of lignin was mosses and non-woody vascular plants. The average degradation indicator (Ad/Al)_v for all samples was 1.02. The results indicated that the addition of coal dust might lead to a higher (Ad/Al)_v compared with fresh vascular plants. The ratio of CAD to FAD ranged from 0.55 to 4.01, and individual yields decreased from the mosses to the soils to the sediments. This pattern showed an increased diagenetic characteristic. We concluded that the sources of organic carbon around Yellow River Station were moss and non-woody vascular plants, and the contribution of coal was difficult to distinguish.

Key words Yellow River Station, organic carbon, stable carbon isotopes, lignin-derived phenols, moss, coal dust

王倩等 4 位同志获得“2013—2014 年度极地研究青年优秀论文奖”

为促进极地科学交流与培养极地青年人才,从 2010 年开始设立“极地研究青年优秀论文奖”。目前已举行了 5 届,在我国极地领域取得了良好的反响。

2013—2014 年度极地研究青年优秀论文,是从符合评选基本条件的、《极地研究》和 *Advances in Polar Science* 的论文中,遴选出 41 篇入选论文。按物理科学、生命科学和地球科学 3 个组进行了第一轮专家函评,确定了 6 篇候选论文。

2014 年 10 月 14 日,进行了第二轮专家会议评审,6 位候选人进行现场陈述和答辩,7 位专家进行提问、评议和投票,最终评选出 4 位青年优秀论文奖获得者,并在“2014 中国极地科学学术年会”期间举行了青年优秀论文颁奖仪式。

具体获奖名单如下:

1. 王倩,西安电子科技大学,获奖论文“Auroral event detection using spatiotemporal statistics of local motion vectors”;
2. 张海峰,国家海洋局第二海洋研究所,获奖论文“白令海北部陆坡全新世以来的生物标志物记录及其古环境意义”;
3. 章陶亮,同济大学,获奖论文“西北冰洋楚科奇海台 08P23 孔氧同位素 3 期以来的古海洋与古气候记录”;
4. 刘胜浩,国家海洋局第一海洋研究所,获奖论文“Phylogenetic analysis and in vitro culture of mosses from the Antarctic Fildes Peninsula”。