

雨养沼泽泥炭腐殖化过程中的腐植酸性质成因与变化研究

Oskars Purmalis¹, Maris Klavins¹ 著 任忠秀² 包雪梅² 于家伊² 译

(1 拉脱维亚大学环境科学系 里加 拉脱维亚 999082

2 北京嘉博文生物科技有限公司 北京 100085)

摘 要: 研究生命有机物质的腐殖化过程是了解碳的生物化学循环所必不可少的。本研究的主要目的是分析泥炭性质、泥炭腐植酸与泥炭腐殖化度三者之间的关系。对两个雨养泥炭沼泽的泥炭剖面各层中提取的腐植酸样品进行了分析, 并对泥炭年龄、分解度、腐殖化度、植物构成、泥炭腐植酸性质(元素和有效成分)进行了研究。结果发现, 泥炭腐植酸的组成受造炭生命有机物质前体的组成影响较小, 对造炭生物性质多样性的研究要比对泥炭性质多样性的研究更有意义, 由此可以揭示腐殖化过程对泥炭性质的主导性作用。

关键词: 泥炭 腐植酸类物质 腐植酸 腐殖化过程

中图分类号: TQ314.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-9212(2013)04-0028-10

Formation and Changes of Humic Acid Properties during Peat Humification Process within Ombrotrophic Bogs

Oskars Purmalis¹, Maris Klavins¹ write, Ren Zhongxiu², Bao Xuemei², Yu Jiayi² translate

(1 Department of Environmental Sciences, University of Latvia, Riga, Latvia, 999082

2 Beijing Goldenway Bio-tech Co. Ltd., Beijing, 100085)

Abstract: Studies of the living organic matter humification process are essential for understanding the carbon biogeochemical cycle. The aim of this study is to analyze relations between the properties of peat, peat humic acids and peat humification degree. The analysis has been done on samples of humic substances extracted from peat profiles in two ombrotrophic bogs and relations between peat age, decomposition and humification degree, botanical composition and properties of peat humic acids (elemental, functional composition) were studied. The found variability of peat properties is less significant than differences in the properties of peat-forming living matter, thus revealing the dominant impact of humification process on the properties of peat. Correspondingly, composition of peat humic acids is little affected by differences in the composition of precursor living organic material.

Key words: peat; humic substances; humic acids; humification

在碳的生物化学循环中, 生命有机物质转化成难降解有机物质(腐植酸类物质, 例如腐植酸、富里酸和胡敏素)的过程, 或腐殖化过程是非常重要的。腐殖化过程可以被定义成将大量有机物质(蛋白质, 碳水化合物, 脂类等)或生物有机物质的个别分子转化成一系列具有类似性质物质(腐植酸类物质)的过程。腐殖化过程对煤炭的成岩作用影响较大。腐殖化过程是一系列极端复杂过程的总

称, 包括降解与合成反应。当然, 也要考虑到影响生物有机物质降解的各种环境条件、缓慢进行着的腐殖化反应和构成生物有机物质的有机分子的结构差异。据报道, 环境条件可能对生物有机物质的耐热中间转化产物—腐植酸类物质的结构和性质存在一定的影响作用。从这个角度看, 在一个相对稳定的环境中研究腐殖化过程是很有必要的。例如, 在沼泽地中进行腐殖化过程研究就

[收稿日期]2013-07-12

[译者简介]任忠秀, 女, 1986年生, 硕士研究生。主要研究方向为林木营养与施肥。E-mail: renzhongxiu86@126.com。



可减少不同环境因素对腐殖化过程造成的影响。

泥炭是由苔藓和其他苔藓植物、沙草、草、灌木或树木在淹水条件下经过部分腐解后形成的一种浅棕色到黑色的有机物质。对泥炭性质的研究越来越多,这是因为泥炭可以作为一种研究沼泽与湿地生态系统的有用物质,泥炭剖面可以被作为标志古气候环境的“档案”。大量的有机碳以泥炭的形式被储藏,因此,泥炭在碳的生物化学循环中发挥着重要作用,这对目前的气候变化研究是至关重要的。目前,泥炭在工农业中的应用越来越多,大量的泥炭资源被开采利用。因此,人们也越来越关注对泥炭性质及成岩作用的研究。在不同地理环境(从热带地区到北极)和不同年龄(古泥炭的形成可持续上千年)的泥炭中均有腐殖化作用的发生。甚至在一个植被、温度、降雨量变化较大的特殊环境中,或者沼泽水文环境和低洼湿地环境中均已有大量泥炭生成。因此,我们不但要弄明白泥炭腐植酸类物质性质的变化,

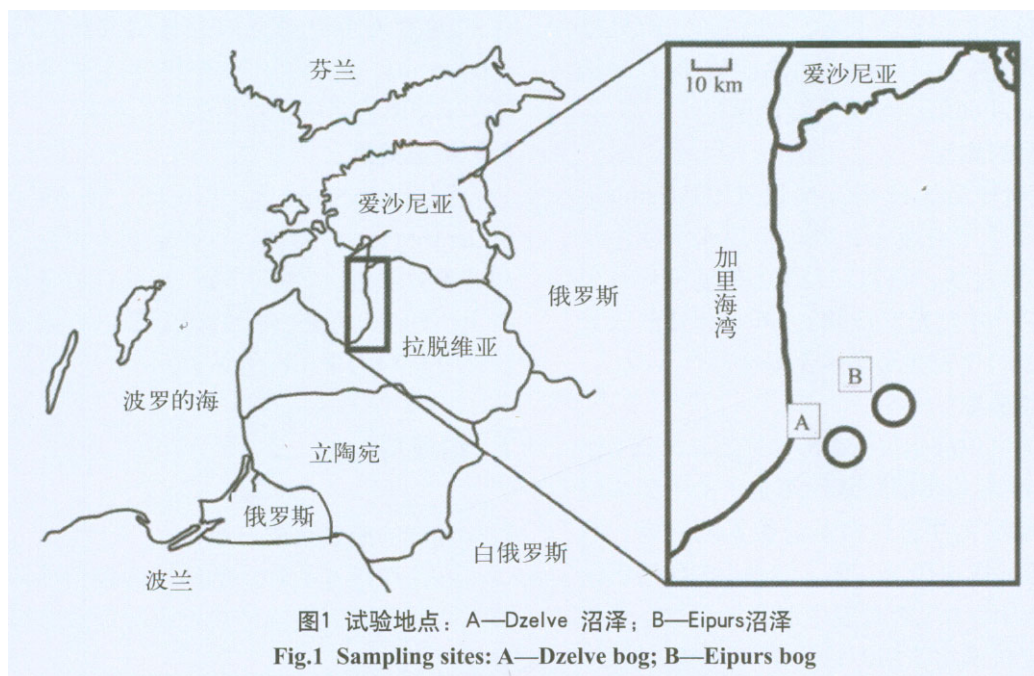
而且还要从分子水平上阐述泥炭的成岩过程。尽管在这方面的研究非常重要,对有关泥炭性质(特别是在整个泥炭剖面上的研究)与泥炭腐植酸类物质性质关系的研究相对较少,且只有少许研究。

本研究的主要目的是分析研究泥炭性质、泥炭腐植酸与泥炭腐殖化度三者之间的关系。

1 材料与方法

1.1 试验地点

在位于拉脱维亚共和国中部的两个雨养泥炭沼泽地中,开展了有关不同埋藏深度沼泽泥炭的成分组成、腐殖化度和泥炭腐植酸性质的研究(试验地点见图1)。在整个泥炭的纵向剖面上,以5 cm 分割为一个分析层进行各层泥炭性质的分析与泥炭腐植酸的提取。利用卡尔·蔡司双目显微镜观察分析了各层泥炭的植物构成,进而判断泥炭的分解度。



1.2 泥炭腐植酸的分离

利用国际腐殖质学会(IHSS)推荐使用的方法分离、提纯腐植酸。

1.3 泥炭与腐植酸性质的分析方法

在塔林技术大学(爱沙尼亚)地质研究所中,应用碳14计年法对各层泥炭的年龄进行了测定。利

用E A - 1108型号元素分析仪(卡洛·埃尔巴仪器)采用燃烧气体色谱法进行了泥炭中碳、氢、氮、硫元素含量与腐植酸样品的碳、氢、氮、硫元素浓度的分析与测定。将50 mg泥炭样品放于750 °C条件下烘8 h后进行泥炭灰分含量的测定。根据灰分含量进行对元素组成的修正,氧气含量是根据差

额计算得出的。元素分析被用来计算元素比值、氧化程度 ω (公式1)和缺氢指数 ψ (公式2)。

$$\omega = (2O + 3N) - \frac{H}{C} \quad (1)$$

$$\phi = \frac{(2C + 2) - H}{2} \quad (2)$$

原子比率从元素分析计算,利用公式(3)、(4)。

$$O/C = \frac{(M_c \cdot O\%)}{(M_o \cdot C\%)} \quad (3)$$

$$H/C = \frac{(M_c \cdot H\%)}{(M_H \cdot C\%)} \quad (4)$$

根据元素分析进行原子比值的计算。式中, M_x 表示原子质量, $X\%$ 表示样品中各元素的百分比含量。将由10 mL 0.05 mol/L氢氧化钠溶液提取的含10 mg腐植酸的提取液放于Thermospectronic Helios γ 紫外分光光度计(热电子有限公司产)的1 cm光径比色杯中,在波长465 nm和665 nm处进行吸光度的测定,并计算 E_4/E_6 的比值(泥炭碱提取液在465 nm和665 nm的吸光度比值)。

1.4 腐殖化度的测定

将1 g泥炭样品与25 mL 8%氢氧化钠(NaOH)溶液加入25 mL塑料瓶中,置于恒温水浴锅中加热(95 $^{\circ}\text{C}$)1 h后过滤,吸取12.5 mL的滤液稀释到100 mL,利用分光光度计测量540 nm处的吸光度,此吸光度即代表泥炭腐殖化程度。

1.5 羧基与总酸度

利用自动电位滴定仪(Schott-Geräte公司生产)进行腐植酸羧基和酚羟基的测定。基于醋酸的形成,利用醋酸钙法进行羧基总数的测定:将20 mg腐植酸试样与10 mL 0.2 mol/L的醋酸钙溶液在充满 N_2 的100 mL容量瓶中混合均匀后,放置24 h,采用电位滴定法用0.1 mol/L的氢氧化钠标准液调至pH 9为止。总酸度的测定:将20 mg腐植酸试样溶解于10 mL 0.1 mol/L的氢氧化钡溶液,在 N_2 条件下振摇一夜后过滤,并用蒸馏水洗涤溶液,用0.1 mol/L的盐酸标准溶液进行电位滴定,pH 8.4为终点。

1.6 疏水性的测定

利用腐植酸类物质在聚乙烯(PEG)和水两相

中的分配系数KPEGW(类似于正辛醇/水分配系数KOW的测定)可表示腐植酸类物质的疏水性。利用2 mL 30%聚乙烯溶液、2 mL硫酸铵溶液和2 mL腐植酸制备液(每毫升0.05 mol/L的氢氧化钠溶液可提取2 mg的腐植酸)制备出“10%聚乙烯-10%硫酸铵-腐植酸”混合溶液,将混合溶液摇匀10 min,待两相完全分离后,吸取每相溶液1 mL,并分别用0.05 mol/L的碳酸氢钠稀释10倍。然后用D/R2000分光光度计(哈希公司产)在464 nm处测定吸光度。利用以下公式计算分配系数。

$KPEGW$ = 腐植酸类物质在聚乙烯相中的465 nm处的吸光度 / 腐植酸类物质在水相中的465 nm处的吸光度。

1.7 荧光光谱

将25 mg/L含腐植酸类物质的样品溶液,用0.5 mol/L的盐酸调节至pH 7后,利用Perkin Elmer LS 55荧光分光光度计绘制样品溶液的荧光光谱。在荧光分光光度计固定波长350 nm处绘制发射光谱(扫描速度为500 nm/min,测量波长范围为380 nm~650 nm)。将460 nm与510 nm处的荧光强度比值(I_{460}/I_{510})作为腐殖化作用的一个指标。

1.8 数据处理

利用SPSS16进行数据处理。采用Kolmogorov-Smirnov tests检验法进行数据的正态分布检验。利用非参数法进行数据的进一步分析,各指标间的关系采用斯皮尔曼的等级相关系数进行评估,所有的数据分析均采用0.05显著水平。

2 结果与讨论

2.1 泥炭的成分组成与变化

在拉脱维亚共和国的两个泥炭沼泽地的泥炭剖面上开展了对泥炭腐殖化过程和泥炭腐植酸形成过程的研究。

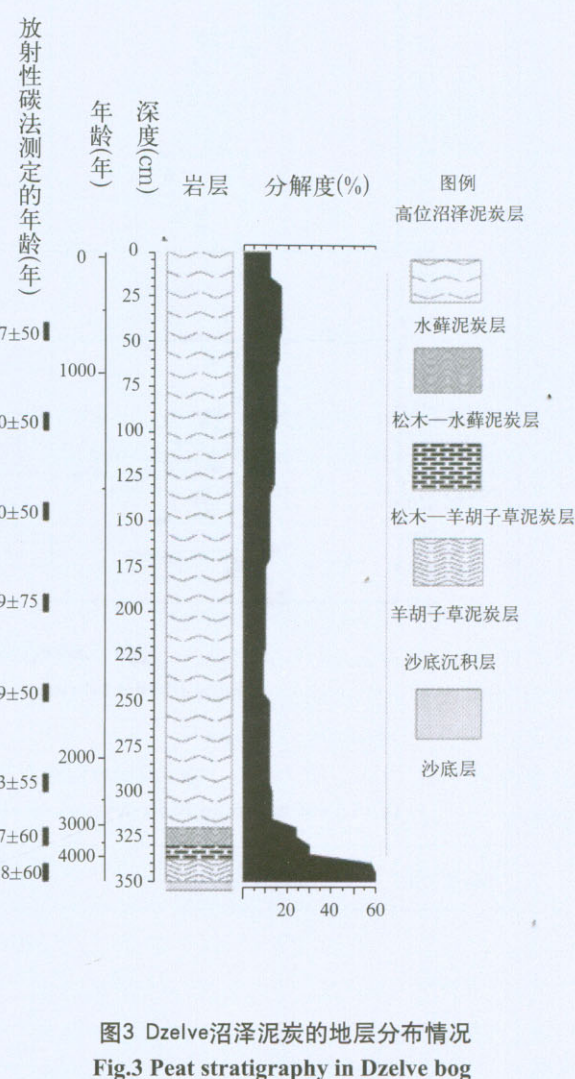
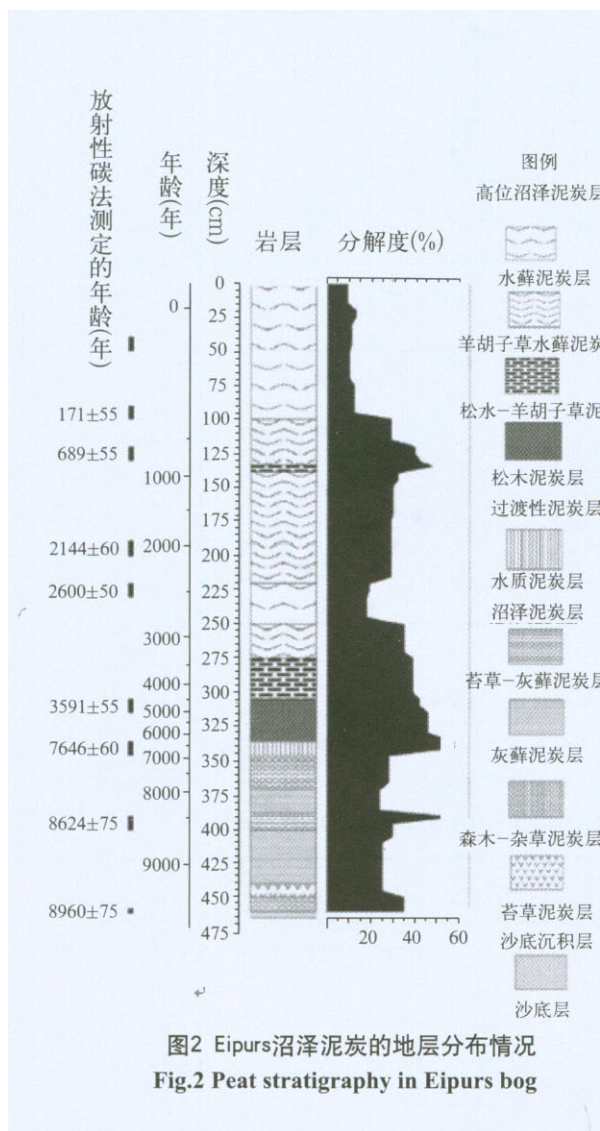
对古植物(植物构成与花粉分析)的调查表明:两个沼泽地的泥炭形成原理和性质既存在许多不同之处,也有相似之处。Dzelve沼泽地是由于冰川后期地面发生小幅度凹陷,地表水位迅速上升和潮湿环境所造成的沙地沼泽化形成的。Dzelve沼泽沙底层上面覆盖着一层由羊胡子草生成的高位泥炭层,该层之上覆盖着一层由松木与羊胡子草生成的泥炭



层。3.2 m厚的上层泥炭是由泥炭藓生成的, 该层泥炭的分解度为9%~17%(图2)。多数沼泽的植物构成是相对复杂的: 锈色泥炭藓占60%~75%, 白毛羊胡子草占10%~15%, 红泥炭藓占10%~15%, 低矮灌木占10%~15%。

Eipurs沼泽的植被构成类型多样, 虽然这些植物起源相似(图3)。Eipurs沼泽底三层的泥炭由下往上依次为松木-杂草泥炭层, 灰藓泥炭层,

苔草-灰藓泥炭层(图3)。这三层泥炭的上面覆盖着一层过渡型木本泥炭。再上一层的泥炭是一层3.45 m厚的高位沼泽泥炭, 该层泥炭的类型多样, 分解度不同。例如, 分解度较高(40%~48%)的松木-羊胡子草泥炭层分布在1.18~1.39 m深处(图3)。该研究中, 所选的两块沼泽地虽然相距不远(距离12 km), 但它们的泥炭形成环境条件是不同的。



通过对泥炭元素(氢、氮、氧、硫)组成的测定分析了泥炭的基本性质, 这些元素含量值见图4和表1。测得的泥炭灰分含量为 $0.3\% \pm 0.05\%$ ~ $6.10 \pm 0.05\%$, 平均值为 $1.8 \pm 0.05\%$ 。碳元素浓度为40%~55%, 氢元素浓度为5.4%~6.7%, 氮

元素浓度为0.5%~1.5%, 硫元素浓度为0.2%~1.7%, 氧元素浓度为38%~49%。Eipurs沼泽各层泥炭的元素组成差异明显, 这表明该沼泽泥炭的分解度不同, 且泥炭类型多样。泥炭碳元素浓度从1 m深处开始随深度逐渐增加, 直到浓度增加到

53%时又开始下降。各层泥炭的氢元素浓度差异较大, 氮元素浓度的变化(沼泽上层和下层的泥炭氮元素浓度随深度逐渐增加, 这种现象与各层泥炭的植物构成和环境条件是相符合的)与各层泥炭的植物构成和腐解度不同有关。表层几厘米泥炭的硫元素浓度明显比较低, 沿着整个泥炭纵剖面

看, 硫元素浓度的变化相对比较稳定。同样, 表1列出的Dzelve沼泽各层泥炭的元素构成也明显不同, 这很好的反应出了泥炭的组成: 表层泥炭的碳元素含量较低(45%), 且上层3.25 m厚泥炭层的碳元素含量差异不大, 从3.25 m深处开始向下, 碳元素含量随深度迅速增加, 最高浓度值为55%。

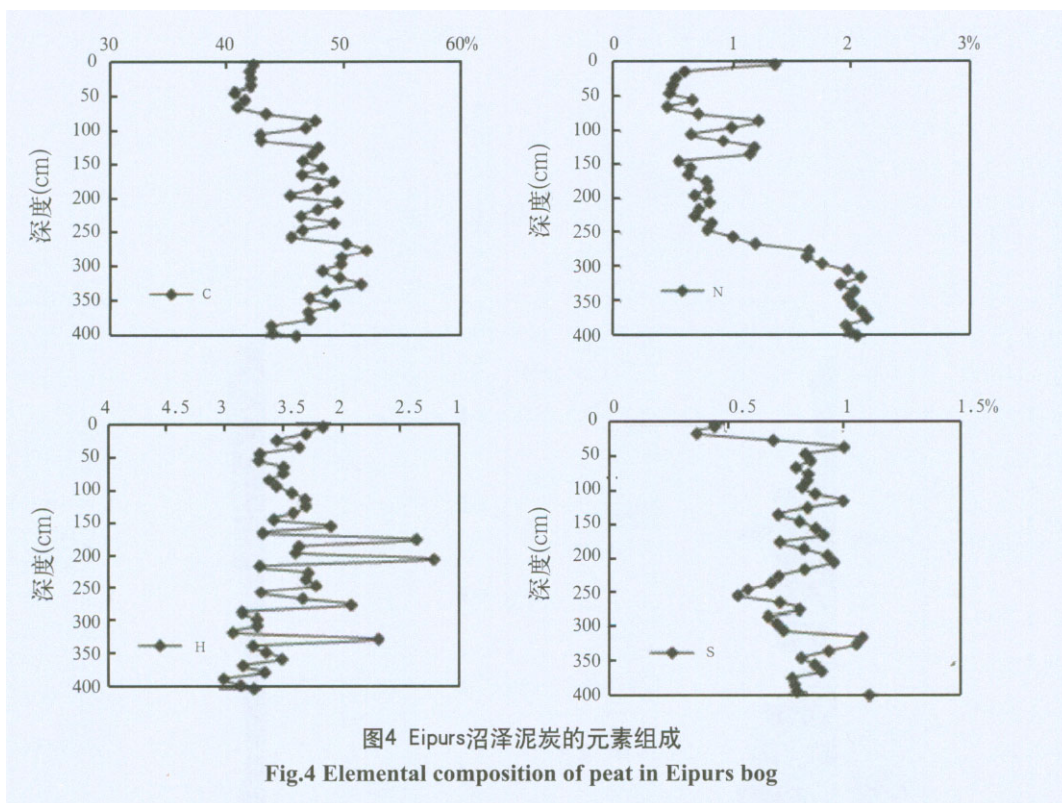
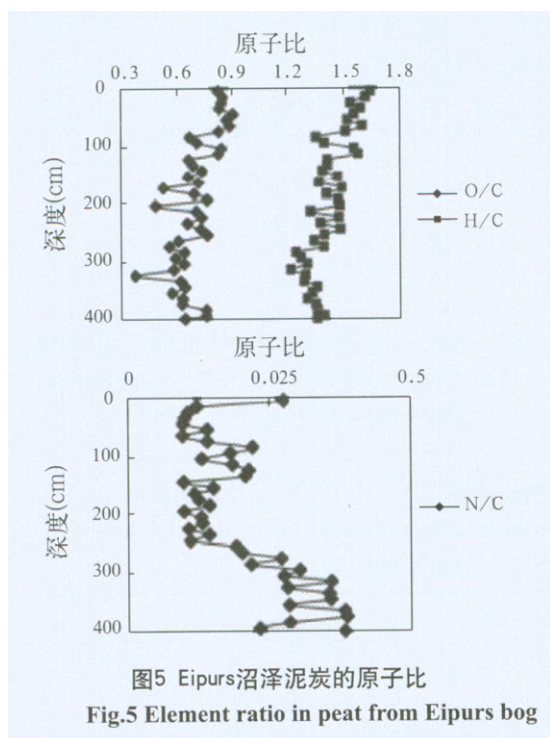


表1 Dzelve沼泽泥炭的分解度和元素组成

Tab.1 Peat decomposition degree and elemental composition of peat in Dzelve bog

深度(cm)	分解度(%)	C%	H%	N%	S%	O/C	H/C	N/C
5	12	44.77	5.91	0.73	0.89	0.80	1.58	0.014
105	14	45.68	5.78	0.53	0.88	0.77	1.52	0.010
160	12	46.05	5.81	0.55	0.88	0.76	1.51	0.010
205	10	45.53	5.60	0.47	0.81	0.78	1.47	0.009
240	9	44.84	5.47	0.45	0.88	0.81	1.46	0.009
305	13	47.42	5.75	0.76	0.87	0.72	1.45	0.014
320	12	45.73	5.55	0.62	1.22	0.77	1.45	0.012
325	24	44.73	5.44	0.60	0.64	0.82	1.46	0.012
335	30	52.10	5.20	1.51	0.73	0.58	1.20	0.025
340	38	52.70	5.20	1.70	0.77	0.56	1.18	0.028
350	>60	55.53	6.20	1.23	1.19	0.48	1.34	0.019

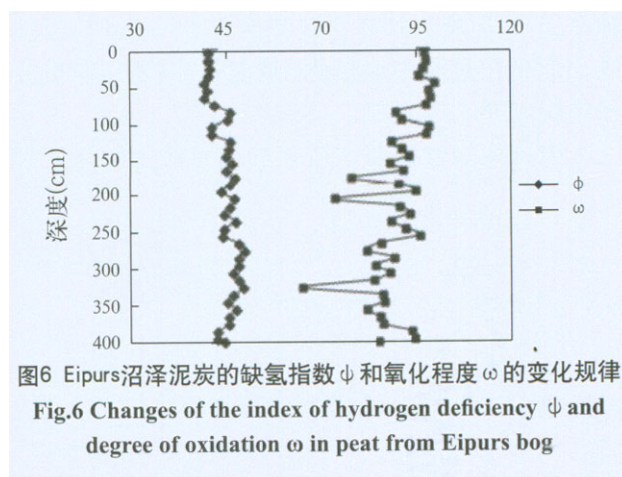
对泥炭元素比值(表1、图5)的研究要比对泥炭元素构成的研究更有意义。由于腐殖化初期厌氧环境、酸性环境及含氮化合物丰富的泥炭环境中发生了特定微生物活动,使得N/C原子比可以作为表征泥炭腐殖化初期降解程度高低的一个重要指标。N/C值越小表明泥炭分解度越高(由于微生物活性降低)。N/C值越大表明泥炭分解度越低。H/C原子比是表征泥炭分子复杂程度的指标(也就是泥炭芳香缩合程度),H/C原子比值范围从1.6到1.2,H/C原子比与泥炭层深度存在一定关系:在深50 cm以下的泥炭层,H/C原子比随泥炭层深度增加逐渐降低。O/C原子比就其本身而言可以作为碳水化合物与羧基含量多少的指标,它与泥炭有机质的芳构化有直接关系。O/C原子比随泥炭层深度逐渐降低,然而,在一些分解度较高的泥炭层中泥炭O/C原子比值也会比较高。



各层泥炭的H/C和O/C原子比值与平均值均相差不大,这表明各层泥炭的分解度和造炭植被群落差异不大(图2)。总体而言,N/C原子比随泥炭层深度呈现出增加的趋势,并且表层泥炭的N/C原子比值较高(可能是由于表层泥炭中富含高蛋白生物有机物质的原因)。从250 cm处的泥炭层开

始,N/C原子比值随着泥炭层深度逐渐增加。这表明仅通过对泥炭原子比值的分析来研究泥炭的腐殖化过程是不科学的,因为造炭植物组成和气候条件在泥炭腐殖化过程中也有重要影响。

元素分析数据还可用来计算缺氢指数 ψ 和氧化程度 ω 指数。本研究中,缺氢指数 ψ 和氧化程度 ω 指数与Eipurs沼泽各层泥炭性质多样性的关系不大。在泥炭剖面的研究中各层泥炭的缺氢指数 ψ 和氧化程度 ω 指数的变化是相对均匀的(图6)。



2.2 泥炭腐殖化作用的特点

研究生命有机物质的腐殖化过程对深入了解碳的生物化学循环具有极其重要的作用。从这个角度来看,研究剖面泥炭的成岩作用和识别泥炭性质(年龄、分解度、植物组成、元素和有效成分)、泥炭腐殖化作用、从泥炭中提取的腐植酸性质三者之间的关系是很有必要的。此类研究可以帮助我们了解腐殖化过程,发掘腐殖化过程中的一些新生物化学反应。鉴于此种方法,在本研究中,我们选择了两个年龄相似、距离相近的沼泽地进行了试验研究(图1),但它们的泥炭地层结构(图2、图3)、各层泥炭的植物组成和分解度等方面均存在明显差别。因此,所选择的研究对象应该是一些适合用来分析泥炭性质之间关系与识别泥炭腐殖化作用的指标,当然也要能够很好的描述生命有机物质的转化过程。

泥炭碱提取液在可见光540 nm处的吸光度值的大小可以作表征泥炭腐殖化过程的一个简单指标(图7)。如图7所示:两个沼泽泥炭剖面的泥炭

D_{540} 值差异较大,这主要与各层泥炭的分解度和泥炭成分组成不同有关。为了给泥炭的成岩作用提供可靠有用的信息,我们进一步开展了表征泥炭成分组成的参数(O/C、H/C、N/C)对描述泥炭腐殖化作用的参数(HA/FA、 D_{540} 、 E_4/E_6 、 I_{460}/I_{510})的影响研究(图8、表2、表3)。这些参数之间的关系在两个沼泽地中略有不同。一般而言,这些参数之间的相关性适合用来表示生物有机物质转化成泥炭有机质的过程。

从图8中可以看出,表征泥炭组成参数(H/C原子比)与泥炭分解度之间关系密切。由此可以反映出腐殖化过程中腐殖化-脱氢反应(氢从有机分子中脱离)的分子机制。

表征泥炭性质基本变化的腐殖化指数与元素

原子比值之间存在一定的关系,这有助于描述有机物腐殖化过程中的有机物料变化情况。泥炭有机物的其他指标(包括:HA/FA、 D_{540} 、 E_4/E_6)同样也能很好的描述泥炭的转化过程,然而, I_{460}/I_{510} 比值对腐殖性质质的表示效果要比对泥炭性质的表示效果好的多(表2、表3)。

通过泥炭的紫外可见吸收值的大小可以得知该泥炭的腐殖化程度。 E_4/E_6 一般被用来作为表征含碳芳香结构物质缩合度的指标。该值越低,芳香化合物的缩合度越高,该值越高,表明脂环结构数量越多,稠环芳烃数量越少。 E_4/E_6 比值同样与芳香度、胶体粒子大小、分子量和酸度之间呈反比例关系。本研究中,泥炭剖面各层提取的腐植酸 E_4/E_6 比值差异不大(表2、表3)

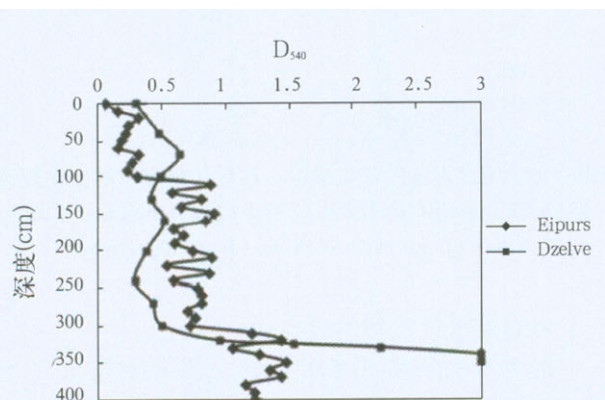


图7 Dzelve和Eipurs沼泽泥炭腐殖化系数随深度的变化情况
Fig.7 Changes of humification index versus depth in peat from Dzelve and Eipurs bogs

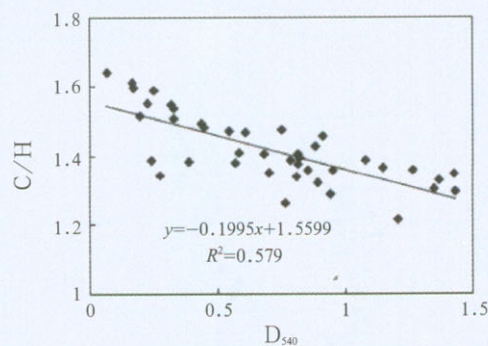


图8 Dzelve和Eipurs沼泽泥炭H/C原子比与 D_{540} 之间的相关性
Fig.8 Correlation between peat decomposition, elemental ratio of peat H/C and D_{540}

表2 表征Eipurs沼泽生命物质分解的一系列指标与泥炭成分参数(O/C、H/C、N/C)之间的关系
Tab.2 Correlations between indicators describing decomposition of the precursor living materials and peat composition parameters (O/C, H/C, N/C) in Eipurs bog

深度(cm)	O/C	H/C	N/C	年龄	E_4/E_6	I_{460}/I_{510}	HA/FA	D_{540}
分解度, %	0.585	0.616	0.626	0.575	0.055	0.330	0.437	0.860
深度, cm	0.517	0.588	0.624	0.858	0.175	0.393	0.201	0.794
O/C	—	0.667	0.487	0.292	0.051	0.568	0.474	0.543
H/C	—	—	0.582	0.476	0.008	0.555	0.543	0.592
N/C	—	—	—	0.636	0.242	0.387	0.578	0.667
年龄	—	—	—	—	0.313	0.250	0.323	0.741
E_4/E_6	—	—	—	—	—	0.239	0.260	0.664
I_{460}/I_{510}	—	—	—	—	—	—	0.843	0.857
HA/FA	—	—	—	—	—	—	—	0.776

注:显著水平 $P=0.05$,下同。



表3 表征Dzelve沼泽生命物质分解的一系列指标与泥炭成分参数(O/C、H/C、N/C)之间的关系
Tab.3 Correlations between indicators describing decomposition of the precursor living materials and peat composition parameters (O/C, H/C, N/C) in Dzelve bog

深度(cm)	O/C	H/C	N/C	年龄	E_4/E_6	I_{460}/I_{510}	HA/FA	D540
分解度, %	0.587	0.689	0.469	0.871	0.525	0.466	0.458	0.792
深度, cm	0.318	0.525	0.226	0.700	0.304	0.159	0.201	0.461
O/C	—	0.668	0.705	0.786	0.574	0.768	0.642	0.785
H/C	—	—	0.804	0.738	0.495	0.520	0.538	0.735
N/C	—	—	—	0.491	0.419	0.610	0.638	0.720
年龄	—	—	—	—	0.695	0.632	0.578	0.813
E_4/E_6	—	—	—	—	—	0.774	0.859	0.694
I_{460}/I_{510}	—	—	—	—	—	—	0.865	0.817
HA/FA	—	—	—	—	—	—	—	0.732

2.3 泥炭腐植酸的元素组成和功能特征

对从泥炭剖面各层中提取的腐植酸进行元素组成的研究,可为泥炭形成过程中的腐殖化反应提供有用信息。

从剖面的各层泥炭中提取的腐植酸的元素组成差异较大。从不同沼泽各层泥炭中提取的腐植酸元素含量幅度变化较大(图9):碳元素浓度为

42.74%~59.49%,氢元素为3.98%~5.41%,氮元素为1.80%~2.79%,硫元素为0.23%~1.71%,灰分含量为0.34%~1.46%,根据物料平衡原则确定了氧元素的含量,其含量值为32.52%~48.78%。总的来说,碳元素与氢元素含量随着泥炭层深度逐渐增加,氮元素含量随深度逐渐降低,各层泥炭的硫元素含量变化较大,无规律可循。

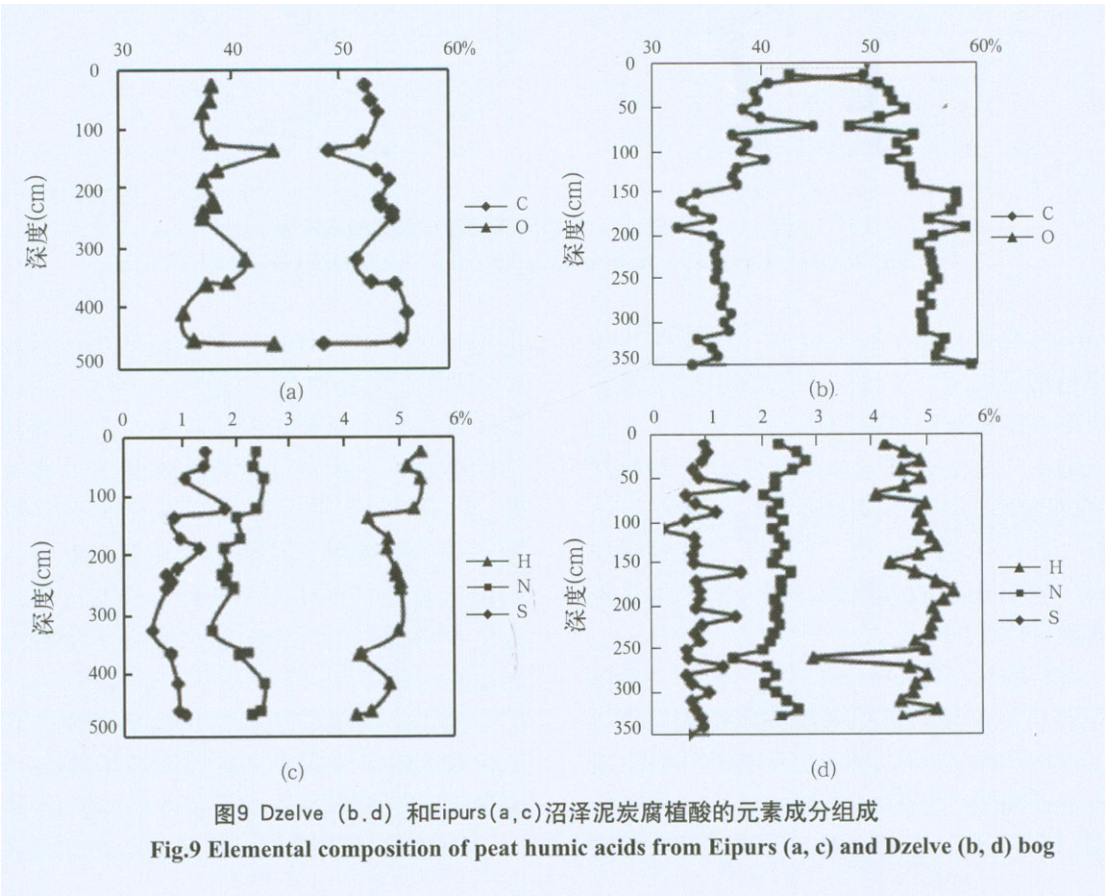
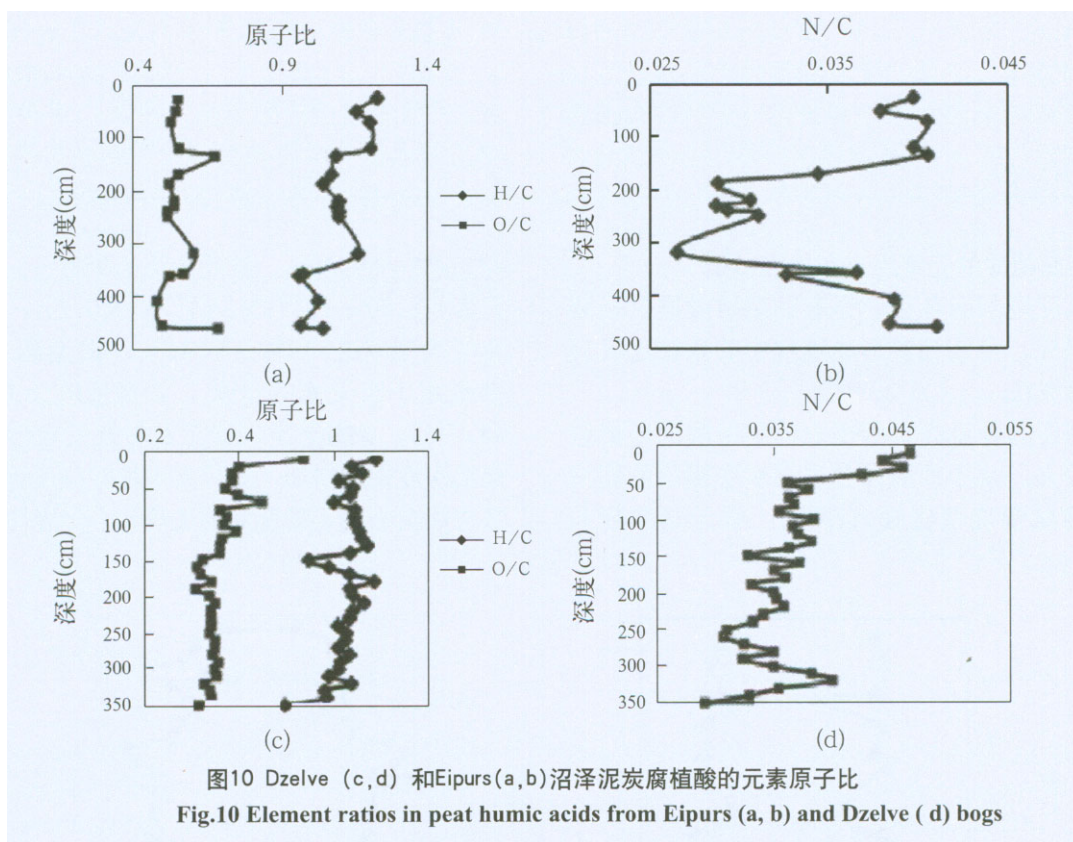


图9 Dzelve (b, d) 和Eipurs(a, c)沼泽泥炭腐植酸的元素成分组成
Fig.9 Elemental composition of peat humic acids from Eipurs (a, c) and Dzelve (b, d) bog

从两个沼泽的各层泥炭中提取的腐植酸的主要元素的原子比值(H/C 、 N/C 、 O/C)变化情况见图10。 O/C 与 N/C 的原子比的变化规律表明：腐植酸的脱羧反应与腐植酸氮原子含量相对碳原子含量随深度有所降低的变化规律是相符合的。

从Dzelve沼泽泥炭中提取的腐植酸 H/C 原子

比的变化规律，表明了泥炭沉积速率的重要性。Dzelve沼泽剖面中层至底层泥炭的腐植酸 H/C 原子比呈现出随深度增加逐渐降低的趋势。上层泥炭腐植酸的 H/C 原子比值变化不大，碳原子和氢原子含量相对较高，氧原子含量随深度增加逐渐降低。



Eipurs沼泽地从深于3.5~4.62 m处的泥炭中提取的腐植酸 H/C 原子比值与从剖面其它各层泥炭中提取的腐植酸 H/C 原子比值差异较大，其值要明显低的多。全部或部分由木本植物(一般指松树)形成的泥炭的碳、氢元素含量与 H/C 原子比值一般较低，而 O/C 原子比值一般较高，这些现象表明泥炭中含有大量的木质素。同时，木本泥炭的分解度普遍较高。

通过腐植酸 H/C 和 O/C 原子比之间的关系图(图11)(范克雷维伦图常被用来研究腐植酸类物质和碳的生物化学循环)可以反映出腐植酸元素组成的变化，进而有助于识别腐植酸的结构变化和成熟度。图11表示了腐殖化过程，反映了腐植酸的

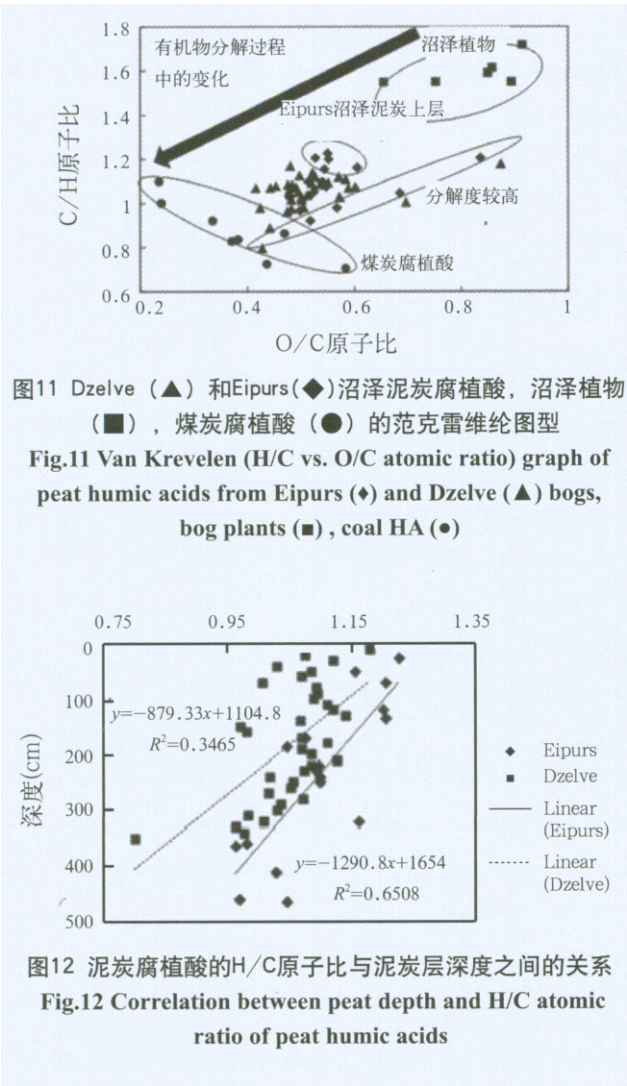
腐熟程度和降解强度，如腐植酸形成过程中的脱氢反应(H/C 比降低)，脱羧反应(O/C 比降低)和脱甲基反应，从化学角度来看，泥炭腐植酸的原子比能够反应出成岩过程中腐植酸的成分组成变化，这是一个不稳定结构(碳水化合物、氨基酸等)遭到破坏的过程。从热力学角度来看，这是一个较稳定芳烃和多环芳烃结构生成的过程。相对而言，本研究中的泥炭腐植酸正处于生物有机物质转化的初期阶段。

为了给腐植酸成岩作用提供可靠、有用的信息，我们进一步研究了有关泥炭年龄(深度与分解度)对泥炭元素组成和泥炭腐植酸的影响(图12)。

H/C 原子比值与泥炭深度呈负相关，这表泥



脱氢反应为泥炭老化过程中的主要反应。



3 结论

通过对各层泥炭提取出的腐植酸样品分析, 并对泥炭年龄、分解度、腐殖化度、植物构成、泥炭腐植酸性质(元素和有效成分)进行了研究。结果发现, 泥炭提取出的腐植酸的性质与泥炭分解度之间具有相关性; 腐殖化过程中发生的一些主要反应说明了泥炭有机质的成岩作用(图13)。

泥炭初期阶段的降解强度比较剧烈, 可能与泥炭腐植酸的脱氢反应有关, 这将导致芳香结构的生成。另外, 由于泥炭有机质在降解和腐殖化过程中生成羧基结构导致酸性物质大量生成的现象也比较明显。

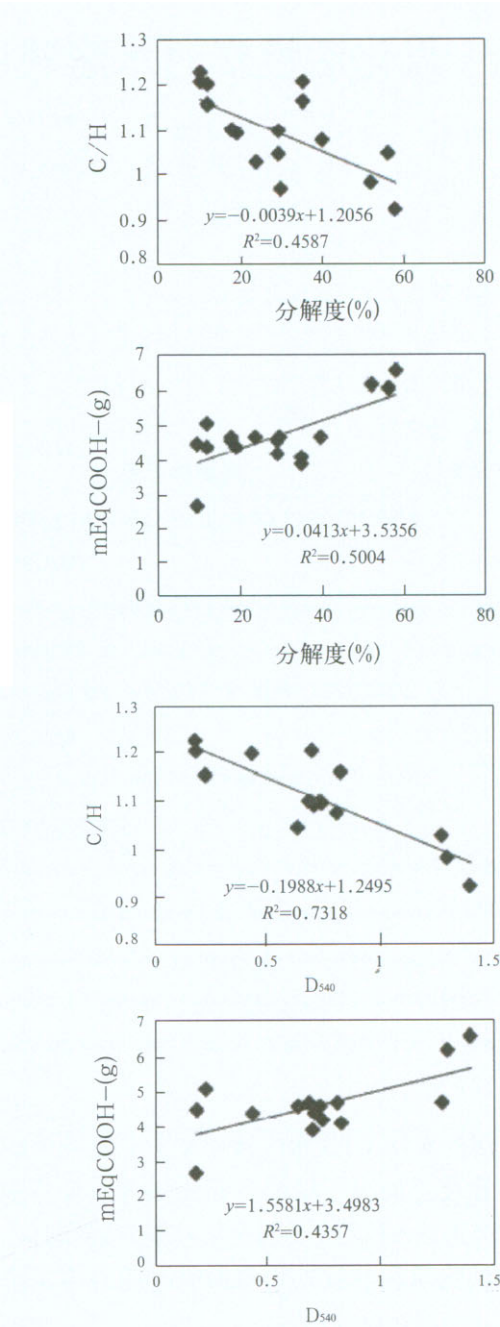


图13 Eipurs沼泽泥炭的D₅₄₀、分解度及泥炭腐植酸性质之间的关系

Fig.13 Correlation among the properties of humic acid and peat decomposition degree, and D₅₄₀ of Eipurs bog

参考文献 (略)

译自: *Open Journal of Soil Science*, 2012, 2, 100~110.