

长白山圆池泥炭常量和微量元素分布特征及其环境意义

贾琳^{1,2}, 王国平^{1,2}, 刘景双^{1,2}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 探讨了长白山圆池泥炭常量和微量元素的分布规律。利用荷兰 Wardenaa 泥炭采样器野外采取四个新鲜泥炭剖面, 现场用不锈钢面包刀从上至下按 1~2 cm 间隔准确分层取样。针对圆池特殊的自然地理条件, 应用澳大利亚产型号为 GBC-906 原子吸收分光光度计分析了 Al、Ti、Mn、Fe、Pb、Zn、Cu, 应用日本岛津产型号为 7500 IC 等离子体发射光谱仪分析了 Ca、Mg、Na、K 等元素在不同类型泥炭剖面的积累。研究分析了不同泥炭剖面所测元素的分布趋势及富集状况, 结果表明: 高位泥炭剖面 Mn、Zn 和 Pb 由下层至上层含量有明显增高的特点, 其在表层的富集, 表明该地区大气污染的环境问题有加重的趋势。

关键词: 常量元素; 微量元素; 泥炭; 长白山圆池

中图分类号: X144 P931.7

文献标识码: A

泥炭沼泽作为一种由气候、水文、土壤和植物等因子相互作用发育形成的特殊的生态系统, 在记录区域小环境变化和整个大环境变化及其关系等方面有着十分重要的作用。泥炭的形成和积累是各种自然因素综合作用的结果, 泥炭分层积累的特性, 使其记录着不同时段各种环境因子作用的痕迹^[1]。泥炭中各种不同分解程度的植物残体可以反映泥炭的形成环境和演化过程, 并且通过泥炭剖面矿物质分析可以追溯其来源^[1]。早在 1990 年柴岫曾就泥炭的基本理论及其研究方法以及开发保护等方面进行了系统的阐述和总结^[2]。但近年来, 泥炭学研究成果较多的集中在北欧、西欧、美国、俄罗斯等, 尤其泥炭剖面常量和微量元素分布及其对环境的指示作用在国外已经有了广泛而深入的研究^[3-5], 国内报道较少。雨养泥炭沼泽养分主要依靠大气降水补给, 所以大气颗粒物的污染历史在泥炭积累时得以保存^[6]。利用雨养泥炭沼泽追溯人类活动相关的大气污染历史的研究工作开始于 20 世纪 70 年代后

期^[7]。本文拟以此为出发点, 针对长白山圆池特殊的自然地理环境, 分析其周围不同类型泥炭剖面中元素含量和垂直分布及其对环境的指示作用。

1 研究区概况

长白山地区泥炭有比较广泛的分布, 其中龙岗山脉和敦化盆地的泥炭分布区前人已经做了深入的分析^[8], 而长白山圆池周围也有着不同类型泥炭的发育。圆池位于长白山天文峰东 30 km, 是由火山积水成池, 直径 180 m, 面积 4.04 km²。水面平均海拔为 1 270 m, 无水流注入也无溢口。由于长白山地区特殊的大陆性山地气候的影响, 该地区冬季漫长寒冷, 夏季短暂暖湿。与其相适应的是池区周围生长着茂盛的苔草, 小叶杜鹃和茅膏菜等灌木丛, 外围大环境为落叶松林。由于上述各种环境因素的相互作用, 圆池周围发育着不同类型的泥炭, 体现了泥炭由低位向中位、高位的发育过程^[9]。

收稿日期 (Received date): 2006-03-11; 改回日期 (Accepted): 2006-07-11。

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金项目 (40471136) 与省部共建实验室开放基金 (DS2004-01) 资助项目。[Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40471136) and Key Laboratory of Ecological Recovering and Ecosystem Management of Jilin Province (No. DS2004-01)]

作者简介 (Biography): 贾琳 (1980-), 女, 山东省烟台人, 硕士研究生, 主要从事湿地与环境研究。E-mail: jialin04@mails.gucas.ac.cn 联系电话: 0431-5542356。[Jia Lin (1980-), female, Born in Yantai, Shandong province, master graduate student, major in research in relation between wetland and environment.]

2 样点布设和样品分析

2 1 样点的布设及采样方法

针对圆池周围不同泥炭发育类型及其分布和植被状况,在其周围确定了四个采样点。泥炭发育沿池由低向中、高位发展,其海拔高度也小有差异(表 1)。

表 1 圆池样点及其地理位置

Table 1 Samples in Yuanchi and its geographical position

采样点	地理坐标	海拔 (m)	深度 (cm)	周围环境
Y- 1	N42° 01′ 54″ E 128° 26′ 2″	1 281	46	圆池西,毛果苔草沼泽。
Y- 2	N42° 01′ 52″ E 128° 26′ 6″	1 282	40	圆池南,苔草向藓类沼泽过渡阶段,芦苇生长茂盛。
Y- 3	N42° 01′ 52″ E 128° 26′ 10″	1 281	39	圆池东,笃斯越桔灌木茂盛。
Y- 4	N42° 01′ 6″ E 128° 26′ 3″	1 288	32	圆池北,藓丘藓丘高出地面 30~ 35 cm,笃斯越桔繁茂。

样品采于 2005- 09 初。利用荷兰 W ardenaar 泥炭采样器^[10]分别采取了四个新鲜泥炭剖面。所采泥炭剖面大约为 10×10×D cm (D 为所采剖面深度)(表 1)。用不锈钢面包刀现场从上至下按剖面准确分层取样至 1~ 2 cm,上层为 1 cm,靠近底层为 2 cm 切割。然后装入标号的自封袋里,以免彼此的混淆和样品之间的干扰及水分的流失。

2 2 样品的处理及分析

运回的新鲜样品立即进行容重及灰分的测定。灰分是利用 50 ml 瓷坩埚通过上述烘干程序后在马

弗炉里 550 ℃下灰化 12 h 后称重计算得出^[11]。烘干样品用玛瑙研钵研磨均匀。样品处理过程远离灰尘和其他因素的干扰以确保样品的代表性。

四个剖面总的样品数为 157 个。所有研磨样用 HNO₃- HClO₄在聚四氟乙烯坩埚消解后,用 ICP- AES 测定 Al Ti Fe Mn Zn 和 Pb 的浓度。用 GBC- 906AAS 测定 Na K、Mg 和 Ca 的浓度。

3 结果与讨论

3 1 泥炭剖面的灰分含量

灰分值用来表明泥炭中矿物质含量。圆池泥炭沼泽发育基质为火山碎屑物,火山活动对泥炭沉积有很大的影响^[12]。由于该沼泽火山灰成分 Al₂O₃、SO₂含量较高,故其泥炭灰分含量较高,平均含量达 30% ~ 60% (表 2),与国外泥炭灰分含量(3% ~ 10%)差异较大^[4]。四个剖面灰分分布的共同规律是:在同一剖面上,表层和底层的灰分值较高,中间层含量较低(表略),这与我国大部分泥炭灰分的垂直分布规律是一致的^[11]。由于 Y-1 底层 38~ 40 cm 处为泥炭-砂土过渡层,容重灰分值开始缓慢增加,由上层灰分含量 19.7% 增至 54.8%,40~ 46 cm 为砂土层,灰分值增加较快至 82.7%; Y-2(26~ 35 cm, 35~ 40 cm)、Y-3(29~ 37 cm, 37~ 39 cm)也有类似的规律。通过对比发现, Y-4 底层(24~ 30 cm, 30~ 32 cm)容重和灰分的垂直分布大致呈一致的趋势,并表现了与前三个剖面不同的分布趋势。

表 2 圆池各采样点常量及微量元素统计分析表

Table 2 Major and trace element statistical analysis in Yuanchi peat samples

单位	元素	Y- 1				Y- 2				Y- 3				Y- 4			
		mean	max	min	std	mean	max	min	std	mean	max	min	std	mean	max	min	std
%	Ca	0.4	0.7	0.3	0.1	0.5	0.7	0.3	0.1	0.3	0.6	0.2	0.1	0.5	0.7	0.3	0.1
	Na	0.8	3.0	0.1	0.8	1.0	3.1	0.3	0.7	1.1	3.0	0.3	0.7	1.2	3.0	0.2	0.9
	K	0.8	2.9	0.1	0.7	0.9	2.6	0.3	0.6	1.0	3.5	0.3	0.6	0.9	2.3	0.2	0.6
	Fe	0.6	1.6	0.2	0.4	0.5	1.3	0.2	0.3	0.6	1.3	0.3	0.3	0.8	1.7	0.3	0.4
	Al	1.6	4.2	0.5	0.9	1.4	3.5	0.7	0.6	1.9	4.4	0.7	1.0	1.9	5.3	0.6	1.1
	灰分	0.3	0.9	0.1	0.2	0.6	1.0	0.2	0.2	0.5	0.9	0.1	0.2	0.5	1.0	0.2	0.2
mg/kg	Mn	156.7	504.6	75.2	108.8	140.0	421.6	29.0	107.9	143.4	408.4	38	696.9	182.5	527.9	14.7	155.5
	Pb	9.0	25.7	1.0	6.3	8.5	27.1	0	7.4	9.6	20.3	2.4	5.0	10.5	30.7	0	7.0
	Zn	35.8	83.0	10.7	21.1	38.5	97.5	11.3	24.2	41.2	82.9	13.7	18.6	35.0	56.4	13.2	11.5
	Ti	802.3	2 477.2	143.2	523.1	936.1	2 796.2	395.1	590.0	1 031.3	2 048.3	284.2	429.9	1 269.6	2 772.9	260.2	774.7
	Mg	707.0	2 415.6	72.5	519.1	813.5	2 276.1	78.4	557.4	510.2	1 266.5	70.2	292.4	781.0	2 137.0	129.6	524.0

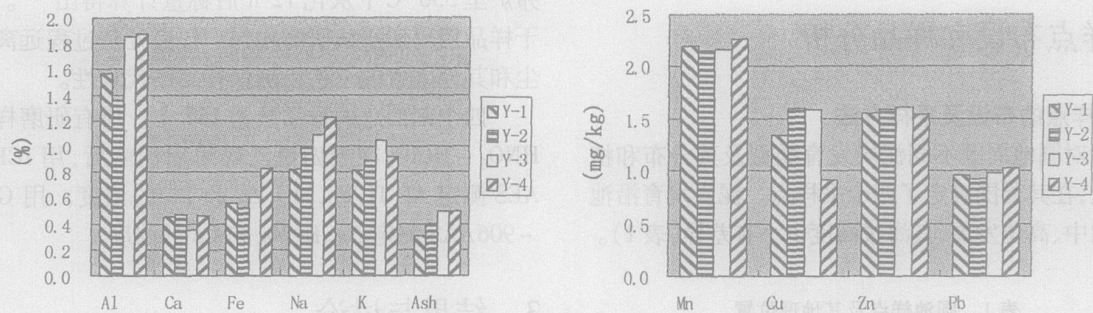


图 1 圆池泥炭剖面不同元素的平均含量比较

Fig. 1 Comparison among average content of different elements in peat profiles in Yuanchi

3.2 泥炭中元素的分布

3.2.1 Al和Ti

早在 20 世纪 60~80 年代, 不同国家学者对泥炭的研究已表明: Al/Ti 元素和灰分在泥炭剖面分布显示极强的相关性^[13], 因而其在泥炭垂直剖面也表现了大致类似的分布趋势。Y-1 (0~11 cm), Y-2 (0~9 cm) 泥炭表层 Al/Ti 含量较高, 其均值分别为 1.5%、713.7 mg/kg 而 Y-4 (0~8 cm) 泥炭表层二者的含量最低, 分别为 0.7%、398.2 mg/kg。Y-1, Y-2, Y-3 过渡层 Al/Ti 含量分布趋势较缓, 但有一定的波动。三个剖面砂土层 Al/Ti 增加较快, 如 Y-1 剖面 Al 的增长速率由 3.4%/cm 至 24.4%/cm, 但仍有一定的波动。Y-4 二者的含量分布呈现四段: 泥炭层先增 (0~10 cm) 后减 (0~24 cm), 过渡层稍减、砂土层又增。Shoty (1988) 在回顾泥炭的无机地球化学特征时曾总结出^[13], Al 和 Ti 主要来源于大气尘土沉降。圆池主要受季风影响, 加上近年来人为影响 (如道路的修建等), 因而大气尘土沉降也会带来一定的矿物质的输入。但是由于其周围大环境为落叶松林, 大气尘土沉降引入泥炭沼泽的矿物质积累并不是很明显。Al 在泥炭沉积后易受泥炭酸碱性的影响, 故选择 Ti 对泥炭剖面元素进行归一化处理。Al 相对于 Ti 的归一化处理进一步表明其较少的大气尘土沉降 (图 2)。

3.2.2 Ca Mg Na和K

通过四个剖面 Ca Mg Na 和 K 在剖面的分布趋势来看, Na 和 K 呈现几乎完全一致的分布趋势, 且随深度增加递增; 而 Ca Mg 差异较大, 且均随深度增加含量递减。其原因有三: 沼泽发育基质的化学组成能够参与沼泽生态系统的物质迁移、转化和循环过程, 且二者呈极显著相关关系^[12], 而圆池岩石

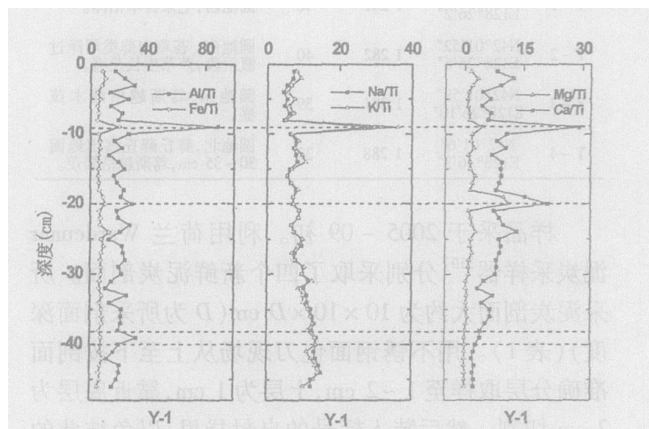


图 2 圆池泥炭剖面常量元素 Ti 的比值分析图

Fig. 2 Ratio of major elements with Ti with depth in peat profiles in Yuanchi

组成为碱性粗面岩, Na 和 K 含量较多^[12]; 其二, Ca Mg 和 K 均为植物必需元素^[11], 植被的提升造成其在泥炭表层滞留是其表层富集的主要原因。Na 和 K 为易溶性元素, 易随泥炭孔隙水进行迁移, 而 Ca 和 Mg 溶解度相对较小, 故前者在剖面底层富集。其相对 Ti 的归一化处理也表明了同样的规律 (图 2)。差异之处在于四种元素在不同剖面不同深度 (Y-1 (10 cm), Y-2 (9 cm), Y-3 (6 cm)), Y-4 (10 cm) 处显示了共同的峰值, 但峰值大小有差异, 表明植被类型的差异导致元素在泥炭表层富集程度的差异。

3.2.3 Mn Fe Pb Zn和Cu

泥炭发育类型及其 pH 值、有机质含量和水分含量等都会影响泥炭中金属含量及其形态^[2]。Fe 和 Mn 属铁族元素, 类似的化学特性使其在四个泥炭剖面呈现大致类似的分布趋势, 凡是铁含量比较

高的泥炭剖面, Mn 含量也相应高(表 2)。尤其是在泥炭表层, 四个剖面 Mn Fe 含量的相关系数达 99.4% (置信水平: 0.99)。但其归一化处理表明其前三个泥炭剖面二者的富集量较少, 分布趋势与 Al 大体一致, 而 Y-4 表层富集明显(图 3), 这主要是因为 Y-4 泥炭为高位泥炭, 其大气沉降来源及好氧条件导致其较少的富集, 这与前人在温带地区研究保持一致^[14]。Cu 的归一化处理表明其四个剖面泥炭表层富集量均较少, 表明其较少的大气沉降来源。四个剖面泥炭表层 Pb 和 Zn 都有一定的富集, 但其原因不同。尽管 Zn 的 A/F (A/F = 人类释放的金属量/自然释放的金属量 $\times 100\%$) 值为 23.46, 但由于 Zn 是生物必需元素, 其在泥炭表层的富集(图 3)还可能源自生物的富集作用, 故 Y-4 泥炭表层 Zn 的富集还有待于进一步的探讨。Shotyk (1988)在总结前人研究泥炭剖面中 Pb 的分布及来源时指出大部分研究都表明 Pb 的最大值出现在亚表层, 且在泥炭剖面呈“C”形分布, 同时冰芯的解译数据已证明大气沉降 Pb 的显著增加, 其 A/F 值达 345.83^[13]。前人对长白山的火山灰研究表明: 火山灰成分 Pb 的含量并不高^[12]。但圆池四个剖面表层 Pb 都有不同程度的富集, 且其大体分布也呈“C”形。尽管 Pb 在沉积后的迁移性曾被证明相对稳定^[3], 但对其归一化处理后 Pb 在泥炭表层的富集更为明显(图 3), 这充分表明了高位泥炭沼泽金属元素的大气沉降来源。泥炭剖面这种由下层至上层微量元素含量明显增高的趋势充分体现了人类活动的影响, 对环境污染趋势有一定的指示意义。

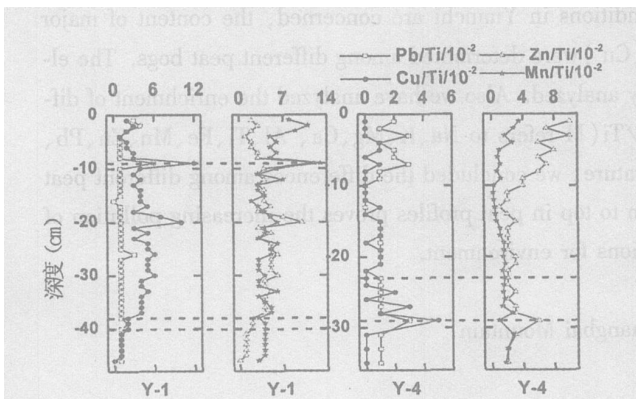


图 3 圆池泥炭剖面 Pb Zn Mn 和 Cu 与 Ti 的比值分析

Fig 7 Ratio of Pb Zn Mn and Cu with Ti with depth in peat profiles in Yuanchi

3.3 常量和微量元素的平均含量

常量元素包括 Al Ca Fe Na K。由于其含量高, 故以百分含量计。微量元素包括 Mn Cu Zn Pb 等, 以 mg/kg 计。常量元素的平均含量以 Al 居多, 其次为 Na K, Fe Ca。Al Fe Na Ca 主要来源于矿物质, 因而其在四个剖面中的平均含量与灰分平均含量基本保持一致。四个剖面 K 含量的不同主要是源自不同的地表植被。

因微量元素含量相差悬殊, 所以对其原始值取以 10 为底对数来分析其分布情况(图 1)。综合四个剖面的情况, 元素平均含量为 $Mn > Zn > Cu > Pb$, 并且四个剖面中除 Cu 外其余元素的平均含量并没有大的差异。

4 结论

通过圆池四个剖面常量和微量元素的分析, 结合其周围的植被环境, 揭示了如下规律: 第一, 常量元素由于植物的吸收和循环利用在泥炭表层有一定的富集量, 但是由于该地区特殊的水文环境, Na K 元素随水淋溶导致其在底层的富集; 第二, 重金属元素 Mn Zn Pb 在不同类型的泥炭中其表层的富集量有差异, 在 Y-1 Y-2 Y-3 泥炭表层的富集量明显不及 Y-4 这一方面与泥炭不同类型的元素补给来源有关, 前三种为低中位泥炭沼泽, 泥炭表层富集较少; Y-4 是高位泥炭沼泽, 大气沉降为其主要元素来源, Mn Zn Pb 主要集中在泥炭表层。这充分体现了大气沉降带来的元素在泥炭中的累积, 进而表明近年来环境污染加重的趋势; 第三, 泥炭沼泽发育的基质化学组成对其剖面元素的含量有较大的影响, 尤其体现在泥炭底层元素的含量上, 凡是基质成分中含量高的元素, 其剖面中元素含量也较高, 进一步补充了前人的分析。

参考文献 (References)

- [1] Ma Xuehui An approach to the characteristics and development processes of peat in China [A]. In Huang Xi-chou M ie research in China [C]. Beijing: Science Press, 1988. 9~17 [马学慧. 我国泥炭性质及其发育的探讨 [A]. 见: 黄锡畴主编. 中国沼泽研究 [C]. 北京: 科学出版社, 1988. 9~17]
- [2] Chai Xiu Peatland [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990 [柴岫. 泥炭地学 [M]. 北京: 地质出版社, 1990.]
- [3] Shotyk W. Atmospheric deposition and mass balance of major and trace elements in two oceanic peat bog profiles northern Scotland and the Shetland Islands [J]. Chemical Geology, 1997. 138. 55~

- [4] Sholyk W., D. Weiss J. D. Kramers Geochemistry of the peat bog at Etang de la Gruerie, Jura Mountains, Switzerland and its record of atmospheric Pb and lithogenic trace metals (Sc, Ti, Y, Zr and REE) since 12,370 ¹⁴C yr BP [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001, 65(14): 2337~2360
- [5] Jensen A. Historical deposition rates of Cd, Cu, Pb and Zn in Norway and Sweden estimated by ²¹⁰Pb dating and measurement of trace elements in cores of peat bogs [J]. *Water Air and Soil Pollution*, 1997, 95: 205~220
- [6] Ohtfield E., K. Tolonen and R. Thompson History of particulate atmospheric pollution from magnetic measurements in dated Finnish peat profiles [J]. *Ambio* 1981, 10: 185~188
- [7] Parkarinen, P. and K. Tolonen Regional Survey of Heavy Metals in Peat Mosses (Sphagnum) [J]. *Ambio* 1976, 5: 38~40
- [8] Zhao Hongyan, Wang Shengzhong, Li Hongkai Geochemistry of the Holocene peatland in Changbaishan Mountains and its implication for paleoenvironmental change [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2004, 6(3): 256~362 [赵红艳, 王升忠, 李鸿凯. 长白山地区全新世泥炭剖面地球化学特征及其古环境意义 [J]. 古地理学报, 2004, 6(3): 256~362]
- [9] Zhou Zhongli The peat swamp surrounding the Yuanchi area of the Changbaishan Mountain and its ecotourist [J]. *Hailongjiang Geology*, 2001, 12(4): 147~150 [周忠立. 长白山圆池的泥炭沼泽及生态旅游 [J]. 黑龙江地质, 2001, 12(4): 147~150]
- [10] Wardenaar E. C. P. A new hand tool for cutting peat profiles [J]. *Can. J. Bot.* 1987, 65: 1772~1773
- [11] Weiss D. W., Sholyk, J. Rieley et al The geochemistry of major and selected trace elements in a forested peat bog, Kalimantan, SE Asia and its implications for past atmospheric dust deposition [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001, 66(13): 2307~2323
- [12] Song Haiyuan Study on Changbai Mountain [C]. Yanji: Yanbian University Press, 1990. [宋海远. 长白山火山研究 [C]. 延吉: 延边大学出版社, 1990]
- [13] Sholyk W. Review of the inorganic geochemistry of peats and peatland waters [J]. *Earth-Science Reviews*, 1988, (25): 95~176
- [14] Steinhann P. and W. Sholyk. Chemical composition, pH and redox state of sulfur and iron in complete vertical pore water profiles from two Sphagnum peat bogs, Jura Mountain, Switzerland [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1997, 61: 1146~116

Distribution and Implications of Major and Trace Elements in Peat Profiles of Yuanchi, Changbai Mountain

JIA Lin^{1,2}, WANG Guoping^{1,2}, LU Jingshuang^{1,2}

(1 Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Changchun Jilin 130012, China;

2 Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract This article discussed the distribution of major and trace elements of peat in Yuanchi, Changbai Mountain. Four profiles were collected with Wardenaar peat sampler produced in Netherlands. Each sample was cut into 1~2 cm at the present. As far as the special physical conditions in Yuanchi are concerned, the content of major and trace elements (Na, K, Mg, Ca, Al, Ti, Fe, Mn, Zn, Pb, Cu) were determined among different peat bogs. The elements distribution with depth in each peat profile was fully analyzed. Also we have analyzed the enrichment of different elements in peat profiles. Through the calculated M/Ti (M refers to Na, K, Mg, Ca, Al, Ti, Fe, Mn, Zn, Pb, Cu) ratio compared with ratio of M/Ti collected from literature, we concluded the differences among different peat bogs. The increasing content of Mn, Zn and Pb from bottom to top in peat profiles proves the increasing pollution of them in present environment, which has profound implications for environment.

Key words major and trace elements, peat, Yuanchi of Changbai Mountain