

西藏土壤中汞的含量及其地理分布

张晓平

朱延明

(中国科学院长春地理研究所, 长春 130021)

(长春地质学院, 长春 130026)

摘要 分析了采自西藏地区 205 个样品的土壤含汞量,并用数理统计方法和微机进行了数据的存入和有关计算。研究结果表明,西藏土壤中汞的含量为 0.021mg/kg ,明显低于全国 0.040mg/kg 的平均水平。西藏土壤中汞的含量呈由东(南)-西(北)逐渐降低的总趋势,这与西藏植被和土壤地带性的演替变化方向一致。亚东地区土壤垂直带谱中土壤汞的含量随海拔高度的升高而下降。汞的含量与土壤的基本属性密切相关,有着向土壤有机质、土壤粘粒富集的趋势。

关键词 汞,土壤,西藏,地理分布

西藏被人称之为“世界第三极”,由于地理条件、交通和社会历史发展等原因,自然资源开发利用程度很低,生态环境基本上保持着原生状态,是至今地球上受人类活动影响和污染最少的地区之一。所以,西藏也是进行环境背景值研究最为理想的场所。汞对人体和生物具有明显的毒性,它能在厌氧微生物的作用下转化为剧毒的甲基汞,通过食物链常使人体产生中枢神经系统中毒症状。所以,汞污染所造成的环境问题已受到人们广泛的重视。西藏土壤中汞的背景数据不但可以为这一地区环境监测与评价等提供基础信息和依据,而且可以成为全国乃至全世界土壤汞环境背景和参比资料,对进一步研究西藏高原表生环境中汞的地球化学特征也具有重要意义。

1 自然环境概况

西藏自治区位于我国西南部,北纬 $26^{\circ}52'$ — $36^{\circ}32'$,东经 $78^{\circ}24'$ — $99^{\circ}06'$ 之间。它东连川西滇北横断山地,北以昆仑山脉、唐古拉山与新疆、青海接壤。南部和西部分别与印度、不丹、锡金、尼泊尔和巴基斯坦等国邻接,总面积约 $120 \times 10^4\text{km}^2$,占全国土地总面积的 $1/8$ 。因受喜马拉雅等造山运动及印度板块和欧亚大陆板块相互顶撞的影响,导致了这一地区地壳的强烈隆起和抬升,形成海拔高度平均在 4000m 以上,位居中低纬度的高原寒冷环境。高原周边地带地形陡峻,相对高差大,常在 3000m 以上,其南缘更有世界最高山脉喜马拉雅山和最高峰珠穆朗玛峰屹立其上,相对高差超过 6000m 。由于西藏高原

地势变化急剧,地貌类型极为特殊和复杂,决定了这一地区复杂多变的气候条件和生物类型,同时也决定了土壤类型的分布的复杂多样性。西藏共存在十几个土壤类型,其中分布面积较大的有:黄壤、黄棕壤、棕壤、褐土、暗棕壤、草甸土、沼泽土、盐土、黑毡土、巴嘎土、莎嘎土、寒漠土、高山漠土等。西藏高原土壤的成土年龄晚,母质风化程度弱。在高原的大部分地区,土壤中都含有大量的砾石、砂粒等粗骨性物质,它是西藏土壤的重要特点之一^[1]。

2 样品的采集与分析方法

笔者等在西藏共采集了 205 个土壤表层样品和 75 个土壤 C 层样品。这些样品来自东起金沙江,西至班公错,北从唐古拉山口,南到亚东、樟木、吉隆、普兰(除羌唐高原北部以外)的西藏广大地区(见图 1)。

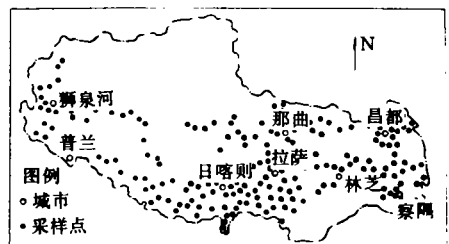


图 1 采样点位置

汞的测定采用冷原子吸收法,所用仪器是 F-732,检测下限为 $0.031 \times 10^{-3}\mu\text{g/ml}$ 。有机质

用重铬酸钾法。土壤 pH 测定的水土比为 2.5 : 1。土壤机械组成分析用比重计法。

实验室分析数据用 IBM/XT 微机及 DBASE III 进行存入和整理,然后应用数理统计方法^[2]和 BASIC 语言进行有关计算。

3 结果与讨论

3.1 西藏土壤中汞的含量及水平分异

由于受母质、地形、气候和生物等诸多因素的影响,微量元素在土壤中迁移、积聚等的能力和速度不同,使其分布特征在区域间和土类间存

在着很大差异,这些差异兼有水平分异和垂直分异的三维特征。

西藏土壤中汞的含量的统计数据接近于对数正态分布。从统计结果(表 1)可以清楚看到:表土中汞的平均含量明显低于全国的平均水平。由于西藏的特殊地理环境,工业国家和地区环境中的汞难以气态的形式迁移^[3]到西藏。所以西藏是全世界受汞污染最少的地区之一,这可能也是西藏土壤中汞的含量水平显著低于全国平均水平的原因之一。

西藏土壤中汞背景值最低的区域分布在中

表 1 西藏与全国土壤中汞含量水平比较(mg/kg)

地区	算术平均值	几何均值	中位数	变异系数(%)	95%范围值	克拉克值(梨形) ^[4]
西藏	0.026	0.021	0.022	66.2	0.006—0.073	0.089
全国	0.065	0.040	0.038	123.1	0.006—0.272	

喜马拉雅山北翼的岗巴、定日和吉隆一带,平均含汞量仅为 0.0085mg/kg,其中为数不少的样点土壤含汞量低于西藏 95% 范围值的下限(0.006mg/kg)。而超过上限(0.073mg/kg)的高汞背景点则以灶状散布在藏南的亚东、聂拉木、米林、林芝和波密的暗棕壤和棕壤地带以及藏东江达、丁青的黑毡土分布区。

就西藏土壤汞的总体水平分布而言,汞的含量呈现出东(南)-西(北)方向逐渐降低的总趋势。西藏的地势是由东(南)-西(北)逐渐升高,其水热条件也由高温湿润向干旱寒冷渐变。西藏的土壤类型也是主要沿着东(南)-西(北)方向演替。如从金沙江到念青唐古拉山脉,其土壤类型变化的顺序依次为:褐土、棕壤、黑毡土、草毡土、莎嘎土、寒漠土。从表 2 可以看出,西藏土壤中汞的含量随着土壤类型由东(南)向西(北)方向演替,也相应地由东(南)向西(北)(褐土除外)方向递减。这表明西藏土壤中汞的含量与西藏的地势倾向、水热变化走向及其土壤水平地带性分布密切相关。

表 2 西藏不同土类中汞的含量¹⁾

土类	褐土	棕壤	黑毡土	草毡土	莎嘎土
Hg(mg/kg)	0.026	0.033	0.020	0.019	0.016

1) 表中数据均为几何均值,下同。

西藏流域间表土中汞的含量变化和汞含量随土壤地带性变化所表现出来的总趋势一样,也有由东(南)向西(北)方向演替变化的趋势:三江(金沙江、澜沧江、怒江)流域(0.024mg/kg) > 雅鲁藏布江流域(0.023mg/kg) > 高原内流区(0.017mg/kg)。

西藏各类土壤中含汞量存在着较大的差异(见图 2),几种森林土壤含汞量均超过全藏的平均含量。方差分析和多重比较表明(见表 3),土类之间汞的含量水平差异显著。按土类汞的含量水平大体可划出 4 段:暗棕壤 > 棕壤 > 黄棕壤,褐土 > 黑毡土、高山漠土、草毡土、巴嘎土、草甸土、寒漠土、莎嘎土和沼泽土。

3.2 西藏土壤中汞的垂直分异

3.2.1 土壤垂直带谱中汞的垂直分异

西藏因其特殊的地貌及土壤发生环境,汞在土壤中的含量分布如同土壤分布那样,除了在高原表现出水平分异外,还明显地表现出垂直变化的特点。西藏高原土壤中汞含量的水平分异如同上节所述,它的水平分异方向与西藏土壤水平地带性分布极为相似,——均沿着东(南)向西(北)方向演替变化。产生上述情况的原因是:西藏高原土壤的水平地带分布与高原由东(南)向西(北)地势的逐渐升高而引起的成土环境改变密

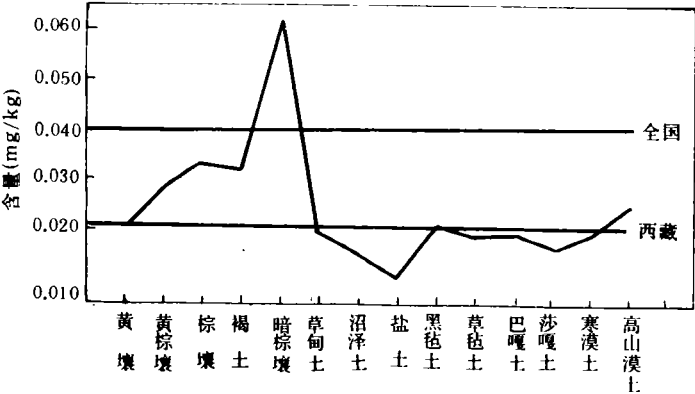


图 2 汞在各类土壤中的含量比较

表 3 各类土壤汞含量的多重比较¹⁾

类别	样品数	平均值	多重比较
暗棕壤	7	0.058	a
棕 壤	16	0.032	b
黄棕壤	6	0.028	bc
褐 土	17	0.026	bc
黑毡土	24	0.021	c
高山漠土	6	0.020	c
草毡土	22	0.019	c
巴嘎土	32	0.019	c
草甸土	10	0.019	c
寒漠土	4	0.019	c
莎嘎土	46	0.017	c
沼泽土	7	0.015	c

1) $F=4.36$ $F_{0.1}=1.5$

切相关。所以,高原土壤的水平地带性实际土就包含着某些土壤垂直带的结构特征。由此可见,西藏土壤中汞含量的地域水平分异现象本身就隐含着垂直分异的因素。

以上是把青藏高原作为一个大的土壤垂直带谱进行分析,现再对某一区域的土壤垂直带谱做一分析。西藏土壤垂直带谱种类繁多,本文仅以亚东地区垂直带谱上土壤中汞含量的情况进行讨论。亚东地区土壤垂直带谱中处于我国境内的基带是棕壤,往上依次是暗棕壤和黑毡土。亚东垂直带上的土壤是在温带、寒温带生物气候条件下形成的较窄土壤带谱段。从表 4 可以看出,汞的含量随海拔高度的升高而下降。

3.2.2 土壤剖面发生层间汞含量的分异

土壤剖面发生层间汞的含量并非是一个均匀的整体,现仅以分布面积较大,较常见的莎嘎

土、巴嘎土、草毡土、黑毡土、棕壤和暗棕壤来探讨土壤发生层的汞含量及其影响因素(表 5)。

表 4 亚东地区土壤垂直带表层汞含量(mg/kg)

土类	海拔高度(m)	pH	有机质(%)	Hg 含量
棕壤	3080	6.2	2.73	0.092
暗棕壤	3520	4.9	11.6	0.081
黑毡土	3850	6.4	8.56	0.017

表 5 不同土类各发生层汞的平均含量(mg/kg)

发生层	土 类					
	棕壤	暗棕壤	黑毡土	草毡土	莎嘎土	巴嘎土
A 层	0.037	0.075	0.027	0.019	0.017	0.019
B 层	0.033	0.035	0.013		0.019	0.018
C 层	0.046	0.031	0.017	0.020	0.017	0.018

从表 5 可以看出,棕壤、暗棕壤、黑毡土、草毡土和巴嘎土 5 种土类汞含量都表现为 A 层>B 层,只有莎嘎土一个土类的 B 层汞含量略大于 A 层。但剖面汞含量变化差异较为显著的只有暗棕壤和黑毡土,它们 A 层汞含量都是 B 层的 1 倍多。出现上述情况的原因可能与暗棕壤和黑毡土 A 层有机质含量高于 B 层数倍,而粘粒含量相差不大有关(暗棕壤有机质:A 层 13.24%,B 层 1.86%;<0.001mm 粘粒:A 层 2.49%,B 层 1.42%。黑毡土有机质:A 层 4.21%,B 层 1.05%;<0.001 mm 粘粒:A 层 2.60%,B 层 3.86%)。而棕壤和草毡土虽 A 层有机质高于 B 层数倍,但它的 B 层粘粒含量却也高于 A 层数倍(棕壤有机质:A 层 8.85%,B 层 2.90%;<0.001mm 粘粒:A 层 1.33%,B 层 8.89%。草毡

土有机质：A 层 4.10%，B 层 0.977%；<0.001mm 粘粒：A 层 1.38%，B 层 6.95%）。而莎嘎土和巴嘎土 A 层和 B 层有机质含量相对而言相差都不是很大（莎嘎土有机质：A 层 1.26%，B 层 0.867%；巴嘎土有机质：A 层 1.94%，B 层 1.03%）。

3.3 影响土壤中汞含量的因素

3.3.1 母质、母岩的影响

汞在地壳的丰度为 0.089mg/kg（黎彤，1976）。

从表 6 可以看出，西藏不同母质、母岩发育的土壤汞的含量差异不是十分明显。它在一定程度上说明西藏境内母质、母岩不是影响土壤中汞含量及分布的主要因素。

表 6 西藏不同母质土壤中汞含量的多重比较¹⁾

类别	样品数	平均值	多重比较
砂岩	35	0.025	a
灰岩	13	0.022	ab
页岩	43	0.022	ab
花岗岩	42	0.022	ab
洪积-冲积物	43	0.019	ab
基性火成岩	4	0.016	b
冰碛物	5	0.015	b
湖相沉积物质	9	0.015	b

1) $F=1.26$ 2) $F_{0.1}=1.5$

3.3.2 土壤 pH 值、有机质和土壤粒度的影响

相关因子分析表明($N=102, R_{0.05}=0.195, R_{0.01}=0.254$)，土壤的基本理化性质对汞的含量及分布均存在着不同程度的影响。土壤中汞与有机质、0.01—0.001mm 粒级土壤呈极显著正相关，与土壤 pH 值呈极显著负相关(相关系数 R 分别为 0.470、0.280、-0.471)。说明土壤有机质对汞的螯合作用以及土壤细粉粒对汞的吸附作用均强烈地影响着汞的迁移和累积。这可能是西藏全区土壤中汞的含量分布呈现出东(南)三江外流域高，而西(北)内陆高原面低的主要原因所在，也是森林土壤汞的含量普遍明显高于亚高山草甸土、亚高山草原土、高山草原土和荒漠土壤的重要原因。

参考文献

1 中科院青藏高原综合科学考察队. 青藏高原考察丛书. 北京：科学出版社，1984
2 刘多森等. 土壤和环境研究中的数学方法与建模. 北京：农业出版社，1987：110—113
3 刘英俊等. 元素地球化学. 北京：科学出版社，1984：336—346
4 南京大学地质系. 地球化学(修订本). 北京：科学出版社，1979：78—81

• 新仪器 •

氢化物原位富集石墨炉自动进样器

根据我中心多年的研究成果——氢化物石墨炉原位富集分析方法而研制的氢化物原位富集石墨炉自动进样器已于 1991 年 5 月通过中国科学院主持的技术鉴定，并于 1993 年 3 月生产出单片机控制的改进型仪器。

该仪器是根据金属钼、锑等元素对能形成氢化物的砷、碲、锑、铋、锗、硒、汞、铅和锡等元素有选择性吸收特性而研制的一种无火焰原子吸收仪用的氢化物自动进样器。

该仪器配合石墨炉原子吸收仪可分析砷、硒等能形成氢化物的 9 种有益有害元素，其中分析砷的指标如下：

灵敏度：11pg/0.0044A，检出限：21pg/ml

重现性： 6.2×10^{-3} ，

本仪器由于采用了原位富集方法，不但样品前处理

简单，而且灵敏度比常规分析方法高 2 个数量级。仪器使用方便，不须对原子吸收仪做任何改动放在石墨炉旁即可配合作用。

本仪器配合石墨炉原子吸收仪可用于人的血、尿、头发和食品，自来水等样品中有益有害元素的超痕量分析，也可用于环境保护，商品检验，地矿样品等分析。该仪器配合石墨炉原子吸收仪具有灵敏度高，重现性好，检出限低，操作简单，自动化程度高等优点，是利用石墨炉原子吸收仪分析氢化物的分析工作者有利的辅助仪器。

联系人：李绍元

地 址：北京市海淀区双清路 15 号中科院生态环境研究中心

邮 编：100085 电话：2555378

Experiment-based Evaluation of the Materials for Removal of Fluorides from Drinking Water. Qu Changling et al. (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085); *Chin. J. Environ. Sci.*, 15(4), 1994, pp. 19—22

The optimum conditions for polyaluminum species, CF-1 and PC85-3 to remove fluorides from drinking water, such as pH value, ageing and agitation, were compared in detail and activated alumina, bone carbon and UR-3700 chelate resin were tested for their equilibrium capacity of fluoride removal, the effect of water hardness, etc. The results show that polyaluminum species, CF-1 and PC85-3 removed the excessive fluorides from drinking water to an acceptable level for drinking use but had limited applications. Activated alumina and bone carbon were more effective filters for removing fluorides from drinking water. The optimum pH values for the fluoride removal by polyaluminum species were 6—7. The efficiency of fluoride removal was the same at water temperatures ranged from 10—30 °C. The stirring time of 1—3 min and agitation time of 10—15 min were satisfactory for fluoride removal from drinking water. The equilibrium capacity of fluoride removal for activated alumina was 0.89—1.75 mg/g. The efficiency of fluoride removal was related to pH, concentration of fluoride, salinity and hardness. **Key words:** fluoride removal, polyaluminum, activated alumina, bone carbon, drinking water.

Selection of the Methods for Extraction and Determination of Extracellular Polymers from Anaerobic Sludge. Liu Zhijie et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084); *Chin. J. Environ. Sci.*, 15(4), 1994, pp. 23—26

Extracellular polymers (ECPs) were extracted from 4 kinds of anaerobic sludge by using 6 different ECPs extracting processes, i. e., sulfuric acid process, sodium hydroxide process, ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) process, boiling benzene process, distilled water process and steaming process, which have been used to extract ECPs from activated sludge. The concentrations of polysaccharides in the extracts were determined by both the phenol-sulfuric acid method and the anthrone-sulfuric acid method, and the concentrations of nucleic acid were also measured to examine the degree of cells damaged. The results show that the sulfuric acid process can extract more ECPs from anaerobic sludges, with a less degree of damage to cells, than other processes. The phenol-sulfuric acid method was found more suitable to measure the concentration of polysaccharide. The level and composition of ECPs in anaerobic sludges were also discussed.

Key words: anaerobic sludge, extracellular polymer, extraction method, sulfuric acid process for ECP

Levels of Mercury in Soil and Their Geographical Distribution in Tibet. Zhang Xiaoping et al. (Changchun Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021); *Chin. J. Environ. Sci.*, 15(4), 1994, pp. 27—30

205 Samples of soil were taken from different sites in Tibet and analysed for their levels of mercury in soil. The data obtained were processed by using a method for mathematical programming statistics on a microcomputer and making some related computations. The results show that the average level of mercury in soils from Tibet was 0.021 mg/kg and significantly lower than the average national level of 0.04 mg/kg. The level of mercury in soil was distributed in Tibet with a total trend of gradually decreasing from the southeast to the northwest that was consistent with the direction of changes in the zonal successions of vegetation and soil in Tibet. The level of mercury was closely related to the basic attributes of soil and mercury tends to be concentrated up to the organic matter and glutinous grains of soil.

Key words: mercury, soil, Tibet.

Study on the Treatment of Dye-stuff Wastewater with an Anaerobic/Aerobic Process. Zhu Jianrong et al. (Dept. of Environ. Eng., Tsinghua University, Beijing 100084); *Chin. J. Environ. Sci.*, 15(4), 1994, pp. 31—34

The results were reported from a study on the treatment of dye-stuff wastewater by using an anaerobic/aerobic process, wherein the anaerobic stage was carried out in a UASB reactor and the aerobic stage was using a conventional activated sludge process. The results show that with a raw dye-stuff wastewater of 1150—1300 mg COD/L and 500 fold colourity (a colour scale meant by the number of dilution times leading to a colour that seems to be the colour of tap water) under the condition of HRT 6—10 h at the anaerobic stage, the COD removal was more than 60% and the colourity was reduced to 50—100 folds. If followed by an additional 6 h aeration treatment, the total COD removal was up to 85%—90% and the colourity was further reduced to about 20 folds. The spectrometric analyses of influent and effluent revealed that the decolouration of dye-stuff wastewater mainly took place at the anaerobic stage and was achieved through biological degradation. It was concluded that the anaerobic/aerobic process was a cost-effective way to treat a dye-stuff wastewater and was of a great value of practical application.

Key words: dye-stuff wastewater, UASB reactor, activated sludge process, COD removal, decolouration.

Study on the Total Mercury and Methyl Mercury Contaminations in Fish from the Songhuajiang