

南极阿德雷岛湖泊沉积 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 定年及其环境意义

孙立广¹ 谢周清¹ 赵俊琳² 项亮³

(1: 中国科学技术大学极地研究室, 合肥 230026;

2: 北京师范大学环境科学研究所, 北京 100875; 3: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008)

提 要 测试了南极阿德雷岛两个湖泊(Y2 和 G)沉积物的 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 比度, 根据 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 比度垂向变化特征, 采用 CRS 模式对 G 湖进行了定年, 年龄跨度大约为 134 ± 43 年, 并据此计算了 G 湖的沉积速率. 近大约 100 年来 G 湖呈增长变化的沉积速率以及沉积物 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 蓄积量和沉降通量远大于大气直接沉降, 可能是温度升高引起该地区大量冰雪(盖)融水携带补充的结果.

关键词 南极 湖泊沉积物 ^{210}Pb ^{137}Cs 定年

分类号 P512.3

国内外许多学者对南极南设得兰群岛湖泊沉积进行了研究^[1-11]. 孙立广^[2]根据南极阿德雷岛湖泊沉积物中的地球化学元素特征, 提取出了企鹅粪沉积与该地区气候演变的关系; 赵俊琳^[7]利用生物地球化学指示法对南极菲尔德斯半岛乔治王岛长城站附近的西湖沉积物进行分析, 定量恢复了该地区距今 4000 年以来的降水量; Hodgson^[21]分析了 Signy 岛湖泊沉积物中的海豹毛含量, 指出海豹数量的变化受到人为活动的影响; Appley^[3]等对南极南设得兰群岛的 Signy 岛三个湖泊沉积物进行了 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 定年, 并据此探讨了该地区气候变化特征, 这是迄今为止对南极湖泊进行 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 研究的唯一一篇报道.

本文根据 Appley^[3]的研究方法, 对南极阿德雷岛湖泊沉积物中 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 蓄积量和沉降通量进行了估算, 讨论了在南极特定环境条件下, 核素示踪的意义及对定年影响, 并由此探讨了该地区现代气候环境的变化.

1 采样点的位置与环境

阿德雷岛位于西南极乔治王岛, 与菲尔德斯半岛以沙坝连接. G 湖与 Y2 湖分布在阿德雷西侧(图 1), 它们都是水深不超过 0.5m 的小型淡水湖, G 湖的海拔高度约 20m, 周边隆起, 水源主要来自原地冰雪融水, 多有苔藓分布. Y 湖海拔高度约 12m, 南侧邻海地势东高西低, 东部三个阶地上分布有小型水盆地, 它们是 Y 湖的供水系统.

样品用经过清洁处理的 PVC 塑料管采集, Y2 湖泥芯 67.5cm, G 湖泥芯 53cm.



图 1 南极阿德雷岛地理位置
和湖泊样品采集位置

Fig.1 The map of Ardley Island,
Antarctica and the sampling location

2 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 样品的制备和测量

按 1cm 间隔分别对 Y2 湖芯 1~15cm, G 湖芯 1~10cm 分取样品. 样品核素比活度采用 γ 谱分析系统对样品进行无损破坏直接测量的方法测定. 分析仪器为美国 EG&G Ortec 公司生产的由高纯锗井型探测器. 低环境本底由全封闭屏蔽室保证. 测试中, 用中国原子能科学院提供的与测量样品几何构形完全一致的标准体源标定, 并与英国利物浦大学环境放射研究中心分析

• 国家自然科学基金(40076032)和中国科学院创新项目(KZCX2-303)联合资助.

收稿日期: 2000-04-24; 收到修改稿日期: 2000-12-07. 孙立广, 男, 1965 年生, 副教授.

结果进行了对比。

3 结果和讨论

Y2 湖和 G 湖 ^{210}Pb , ^{137}Cs 和母体 ^{226}Ra 的比度测试结果列于表 1。

表 1 Y2 湖和 G 湖沉积物 ^{210}Pb , ^{137}Cs 和母体 ^{226}Ra 的比度(Bq/kg)
Tab. 1 The activities of ^{210}Pb , ^{137}Cs and ^{226}Ra in the sediments of Y2 lake and G lake (Bq/kg)

深度(cm)	^{210}Pb (Bq/kg)		^{226}Ra (Bq/kg)		^{137}Cs (Bq/kg)	
	Y2 湖	G 湖	Y2 湖	G 湖	Y2 湖	G 湖
0.0-1.0	75.10 ± 15.02	169.20 ± 13.54	26.00 ± 2.34	46.50 ± 4.19	24.20 ± 3.63	40.30 ± 6.05
1.0-2.0	76.90 ± 15.38	186.60 ± 14.93	46.80 ± 4.21	52.80 ± 4.75	26.60 ± 3.99	63.90 ± 9.59
2.0-3.0	124.30 ± 9.94	127.40 ± 10.19	39.60 ± 3.56	43.10 ± 3.88	25.10 ± 3.77	32.50 ± 4.88
3.0-4.0	64.10 ± 12.82	154.80 ± 12.38	30.20 ± 2.72	49.20 ± 4.43	27.30 ± 4.10	
4.0-5.0	121.00 ± 9.68	67.30 ± 13.46	37.90 ± 3.41	32.60 ± 2.93	40.80 ± 6.12	
5.0-6.0	112.20 ± 8.98	45.00 ± 9.00	36.70 ± 3.30	37.60 ± 3.38	37.40 ± 5.61	
6.0-7.0	79.40 ± 15.88	34.50 ± 6.90	22.20 ± 2.00	38.20 ± 3.44	34.40 ± 5.16	
7.0-8.0	74.80 ± 14.96	46.10 ± 9.22	23.30 ± 2.10	46.50 ± 4.19	25.70 ± 3.86	
8.0-9.0	130.80 ± 10.46	/	36.20 ± 3.26	/	45.90 ± 6.89	
9.0-10.0	109.20 ± 8.74	48.40 ± 9.68	35.80 ± 3.22	46.10 ± 4.15	35.80 ± 5.37	
10.0-11.0	97.00 ± 19.40		35.80 ± 3.22		51.10 ± 7.67	
11.0-12.0	186.90 ± 14.95		46.90 ± 4.22		48.20 ± 7.23	
12.0-13.0	74.90 ± 14.98		31.70 ± 2.85		58.30 ± 8.75	
13.0-14.0	74.60 ± 14.92		61.00 ± 5.49		51.90 ± 7.79	
14.0-15.0	75.00 ± 15.00		27.40 ± 2.47		32.70 ± 4.91	

3.1 核素蓄积量和沉降通量估算

G 湖和 Y2 湖母体 ^{226}Ra 的比度与 Appleby 测试的结果相似^[4], G 湖平均为 43.6Bq/kg, Y2 湖平均为 36Bq/kg. G 湖过剩 ^{210}Pb 的含量没有显现明显的单调递减变化趋势, 0-1cm 含量较高, 1-2cm 含量最高达到 133.80Bq/kg, 5-6cm 下降到 7.40Bq/kg, G 湖 ^{210}Pb 的比度与母体 ^{226}Ra 在深度 6-7cm 处达到平衡. G 湖 ^{210}Pb 的蓄积量为 $488.6 \times 10^{-3} \text{Bq}/(\text{cm} \cdot \text{g})$, 以平均密度为 $0.3 \text{g}/\text{cm}^3$ ^[4] 换算, 则为 $1465.6 \text{Bq}/\text{m}^2$, 通量是 $45.8 \text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. G 湖 ^{210}Pb 沉降通量大约是该地区大气沉降通量 $5.5 \text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ^[4] 的 8 倍, 这表明沉积物中过量 ^{210}Pb 并非都来源于大气在湖泊水面的直接沉降. 研究表明^[4], 该地区冰雪中的 ^{210}Pb 在融雪后被带到湖水中沉积是导致沉积物中 ^{210}Pb 的含量增大的主要原因. 据此估算, 湖泊补给区大约应是湖区面积的 7 倍. 尽管 Y2 湖与 G 湖相邻, 但其过剩 ^{210}Pb 含量与 G 湖很不相似, Y2 湖深度 11-12cm 含量最大, 达到 140Bq/kg. 按沉积物的平均密度为 $0.3 \text{g}/\text{cm}^3$ 计算^[4], 其中的 ^{210}Pb 蓄积量为 $2816 \text{Bq}/\text{m}^2$, 这大约是 G 湖的 2 倍, 通量为 $88 \text{Bq}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Y2 湖区面积大约为 0.01km^2 , 它的补给区大约应是湖区面积的 14.6 倍, 是 G 湖的 2 倍.

G 湖 ^{137}Cs 含量变化在前 3cm 与 ^{210}Pb 相似, 在 1-2cm 最高达到 63.90Bq/kg, 3cm 以下没有检测到. 其 ^{137}Cs 蓄积量为 $410.1 \text{Bq}/\text{m}^2$, 根据 ^{210}Pb 算出的湖补给区面积与湖区(G 湖湖区面积大约 0.0125km^2) 的比值即大约为 8 倍计算 G 湖的 ^{137}Cs 应有 $1440 \text{Bq}/\text{m}^2$, 因此, G 湖 ^{137}Cs 蓄积量大约有丢失 69%. ^{137}Cs 相对于 ^{210}Pb 来说, 较容易丢失. Appleby 计算了 Signey 岛三个湖的 ^{137}Cs 含量后也发现有大约 50% 的 ^{137}Cs 丢失^[3]. Y2 湖

的 ^{137}Cs 的含量变化从表层到15cm呈递增趋势,在12-13cm时达到最大为58.30Bq/kg。 ^{137}Cs 蓄积量为1696.2Bq/m²。按湖补给区面积与湖区的比值为14.6计算,Y2湖的 ^{137}Cs 应有2496Bq/m²。这说明大约有32%的 ^{137}Cs 丢失。

3.2 核素定年和沉积速率

Y2湖海拔较低且开阔,位于海边二级阶地上,对外界环境的变化较敏感。根据其 ^{137}Cs 的比度自上而下递增的变化趋势,且在15cm深处依然检测到,可以看出沉积物明显地受到过扰动。因此,不能根据其 ^{210}Pb 的比度计算年龄。

G湖的 ^{210}Pb 含量变化自上而下并没有表现出单调递减现象,表明沉积速率有明显的变化,因此,采用CRS模式计算沉积年代及速率(图2)。根据 ^{137}Cs 比度,2cm处的峰值定为1965年,而3cm处定为1954年。CRS模型计算的 ^{210}Pb 年龄把1965年定在大约2.5cm处,与根据 ^{137}Cs 定的1965年相差了0.5cm。这可能是因为 ^{137}Cs 本身通过孔隙水以分子扩散的形式向上迁移的结果[12]。

从以上结果可以看出,沉积速率自下而上呈现出递增的变化趋势。即近一个世纪以来,G湖的沉积速率呈递增趋势。Appleby在研究Signy岛的湖泊沉积物时也发现从1950年以来沉积速率突然增大。他把此归结为近年来气候变暖,导致侵蚀速率增大[4]。在20世纪1949年-1989年的50年间,温度升高使得该岛大约35%的冰盖消融,湖泊集水区增大,同时使沉积物的 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 蓄积量增大[4]。这说明Y2湖和G湖的沉积速率增大以及 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 含量大于大气 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的直接沉降可能是温度升高的结果。G湖和Y2湖的 ^{210}Pb 蓄积量在1043-4410Bq/m²范围内。G湖海拔大约20m,Y2湖海拔大约12m。Y2湖上方分布有大大小小的湖泊。湖水的大量补给来自冰雪(盖)的融化。冰雪(盖)的融水可携带大量的 ^{210}Pb 补充到湖泊沉积物中。

另外,由于 ^{137}Cs 是人工放射性核素,在1954年之后沉积物中才能检测到。Y2湖在40多年间也不可能沉积15cm厚,因为这需要沉积速率达到0.375cm/a,这比沉积速率很快的长城站西湖0.07cm/a大了5倍左右。这表明

沉积物中的 ^{137}Cs 存在沉积后迁移或近年发生过事件性沉积。野外观察发现,现在该地区每隔3-4d就有一个气旋,每一次气旋都伴有10级以上的大风,对水深仅0-0.5m的湖底会产生强烈的搅动作用,另一方面,气温升高,降水量增大,冰雪融水有可能影响到Y2湖沉积物的保存。

4 结论

南极阿德雷岛地区Y2和G湖沉积物中 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 比度变化特征以及近100多年来不断增大的沉积速

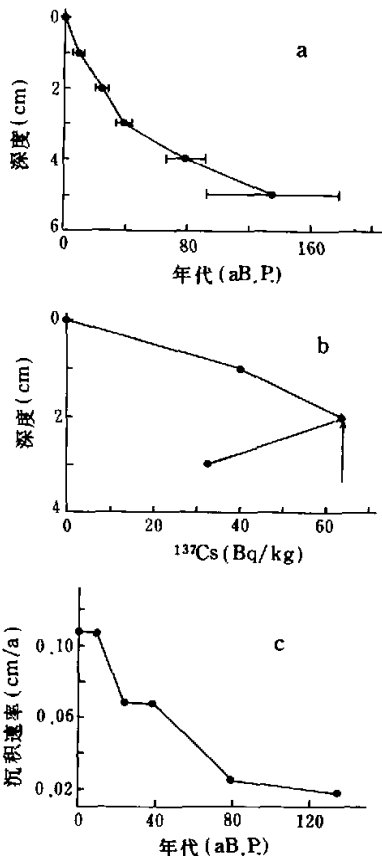


图2 a. G湖 ^{210}Pb CRS模式定年;
b. G湖 ^{137}Cs 比度随深度变化;
c. 根据 ^{210}Pb CRS模式定年估算的G湖沉积速率
Fig. 2 a. G lake age determined from CRS ^{210}Pb model;
b. Change of ^{137}Cs activity of G lake sediment versus depth;
c. The evaluated sedimentation rates of G lake based on the CRS ^{210}Pb model.

率表明该地区温度可能在升高。Y2 湖沉积物可能受到后期自然扰动无法用 ^{210}Pb 、 ^{137}Cs 定年。而 G 湖沉积物保存良好, 其 ^{210}Pb 年龄大约为 134 年。

致谢 感谢国家海洋局极地办和第 15 次南极科考队长长城站队友的大力支持和协助。

参 考 文 献

- 1 Sun L G, Xie Z Q, Zhao J L. A 3000-year record of penguin populations. *Nature*, 200, 407(6806):858
- 2 孙立广, 谢周清, 赵俊琳等. 南极阿德雷德岛湖泊沉积序列: 企鹅粪沉积识别. 极地研究, 2000, 12(2):1-10
- 3 Hodgson D A, Johnston N M. Inferring seal populations from lake sediments. *Nature*, 1997, 387:30-31
- 4 Appleby P G, Jones V J, Ellis-Evans J C. Radiometric dating of lake sediments from Signy Island (maritime Antarctic): evidence of recent climatic change. *J Paleolimnology*, 1995, 13:179-191
- 5 余素华, 郑洪汉等. 燕鸥湖沉积物的化学特征及物质来源. 南极研究, 1992, 4(3):31-36
- 6 Björck S, Hakansson H, Zale R, *et al.* A late Holocene lake sediment sequence from Livingston Island, South Shetland Island, with palaeoclimatic implications. *Antarct Sci*, 1991, 3:61-72
- 7 赵俊琳. 南极长城站地区现代环境地球化学特征与自然环境演变. 北京: 科学出版社, 1991
- 8 Schmidt R, Mausbacher R, Müller J. Holocene diatom flora and stratigraphy from sediment cores of two Antarctic lakes (King George Island). *J Paleolimnology*, 1990, 3:55-74
- 9 Zhao Junlin. The features of environmental evolution in the area of Fildes Peninsula, King George Island, Antarctic. *Chinese Science Bulletin*, 1990, 35(8):661-666
- 10 Omoto K. The problem and significance of radiocarbon geochronology in Antarctica. In: Oliver R L, *et al.* eds. Fourth International Symposium on Antarctic Earth Science, 1982. 450-452
- 11 Orland H A. The fossil flora of the surroundings of Ardley Peninsula (Ardley Island), De Mayo Island (King George Island), South Shetland Islands. *Antarct. Geology*, 1963:629-636
- 12 项 亮. ^{137}Cs 湖泊沉积年代学方法应用的局限——以 Crawford 湖为例. 湖泊科学, 1995, 6(4):307-313

^{210}Pb , ^{137}Cs Dating of Lake Sediments from Ardley Island (Maritime Antarctic) and Their Environmental Implications

SUN Liguang¹ XIE Zhouqing¹ ZHAO Junlin² XIANG Liang³

(1: Institute of Polar Environment, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, P. R. China;

2: Institute of Environmental Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, P. R. China;

3: Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, P. R. China)

Abstract

The activity of ^{210}Pb and ^{137}Cs of lake sediments, namely Y2 and G, respectively from Ardley Island, Antarctica have been measured. According to the profiles of ^{210}Pb and ^{137}Cs activity, we used CRS model to date the G lake, which spans about 134 ± 43 years. Based on the dating, we estimate the velocity of deposition. The increased sedimentation rates and the inventories of ^{210}Pb and ^{137}Cs as well as their flux being higher than the atmospheric deposition could be reasonably attributed to the supply of a great amount of ice-melt water.

Key Words Antarctica, lake sediment, ^{210}Pb dating, ^{137}Cs dating