

太阳耀斑及核试验 对大气中 ^{14}C 浓度的影响

戴开美

(南京大学物理系)

根据一系列简化模型和有关的观测资料, Lingenfelter 和 Ramaty^[1] 算得 1937—1967 年三个太阳活动周期内全球 ^{14}C 产率的平均值为 $2.2 \pm 0.4 \text{ }^{14}\text{C}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$, 以及 1956—1961 年太阳耀斑引起的年平均 ^{14}C 产率, 其中 1956. 2. 23 太阳耀斑引起的当年 ^{14}C 平均产率高达 $2.33 \text{ }^{14}\text{C}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$, 使大气中 ^{14}C 浓度增加近 8%。如果这些数据是可信的, 就有可能通过测定已知年代的含碳样品的 ^{14}C 含量的变化(它反映了大气中 ^{14}C 浓度的变化情况^[2]) 来了解相应期间内是否有过大的太阳耀斑爆发。

Fairhall 和 Young^[3] 估计, 1950 年以前大气中有 4.1×10^{28} 个 ^{14}C 原子, 到 1962 年底核试验(主要从 1952 年开始, 1961—1962 年达到高潮)使大气中增加了 6×10^{28} 个 ^{14}C 原子。这样, 1956 年的太阳耀斑产生的 ^{14}C 很可能被核试验产生的 ^{14}C 所掩盖, 因而无法判断这次耀斑是否引起了含碳样品 ^{14}C 含量的变化。

本世纪四十年代, Forbush^[4,5] 曾观测到宇宙射线强度因太阳耀斑爆发而增加过四次。这四次太阳耀斑爆发于 1942. 2. 28, 1942. 3. 7, 1946. 7. 25 和 1949. 11. 19。1946—1949 年核试验刚刚开始, 规模较小, 对大气 ^{14}C 浓度的影响很小。因而这 4 次耀斑爆发对大气中 ^{14}C 浓度的影响有可能在树木年轮等含碳样品的 ^{14}C 含量的变化中反映出来。我们测定了 1940—1967 树木年轮的 ^{14}C 含量, 其目的是了解太阳耀斑是否引起大气中 ^{14}C 浓度的可以测得的变化以及核试验对大气中 ^{14}C 浓度的影响。

一、样品制备与测量

树年轮样品取自生长在加拿大 Mackenzie 三角洲 ($68^\circ\text{N}, 130^\circ\text{W}$) 的白云杉。样品经 $\text{HCl}-\text{NaOH}-\text{HCl}$ 反复煮洗去除树脂后放入专门的制样系统, 在高温下与 Li 合成 Li_2C_2 。碳化锂与水作用产生 C_2H_2 。 C_2H_2 经催化剂 $\text{CrO}_3 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 的作用合成为 C_6H_6 。将闪烁体 PPO 及 POPOP 配制成闪烁液, 按 1:5 的比例加入苯样品内便可进行测量。测量瓶用石英材料制成, 瓶口用 914 胶密封以防苯的泄漏。

样品用本实验室研制的低本底液体闪烁计数器^[6]进行测量, 它具有塑料闪烁反符合等降低本底的装置, 测量精度可达 4% 左右。

二、结果和讨论

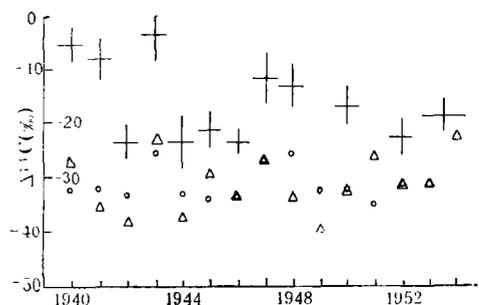
测得的 1940—1967 白云杉年轮的 ^{14}C 含量 $\Delta^{14}\text{C}$ 值见表 1。在图 1 中除画出了白云杉 1940—1954 年轮 $\Delta^{14}\text{C}$ 值外, 还画出了 Damon 等^[7]测得的 Radio Ridge 树(生长在 $32^{\circ}26'\text{N}$, $110^{\circ}47'\text{W}$) 年轮的 $\Delta^{14}\text{C}$ 值及 Burchuladze 等^[8]测得的 1940—1952 年陈酒(用生长在 38°N , 45°E 的谷物酿制)的 $\Delta^{14}\text{C}$ 值。

表 1 白云杉年轮的 $\Delta^{14}\text{C}$ 值

树轮年代	$\Delta^{14}\text{C}$ (‰)	树轮年代	$\Delta^{14}\text{C}$ (‰)	树轮年代	$\Delta^{14}\text{C}$ (‰)	树轮年代	$\Delta^{14}\text{C}$ (‰)
1940	-5.6	1947	-12.4	1956	43.7	1964	963.5
1941	-8.1	1948	-13.7	1957	96.5	1965	914.7
1942	-23.4	1950	-17.5	1958	174.7	1966	870.4
1943	-3.6	1952	-23.2	1959	266.6	1967	704.1
1944	-23.7	1953	-19.4	1960	236.8	1968	
1945	-21.5	1954	-2.2	1962	606.2		
1946	-23.7	1955	-2.2	1963	895.2		

由表 1 可以看出, 1963—1964 年的 $\Delta^{14}\text{C}$ 值比 1950 年几乎增加了一倍, 这是 1961—1962 年核试验的高潮所引起的。由此可见, ^{14}C 在高空产生到含碳样品的 $\Delta^{14}\text{C}$ 值出现极大之间往往有 1—2 年的滞后时间。根据核试验在大气中产生的 ^{14}C 原子数以及增加的 $\Delta^{14}\text{C}$ 值, 可以粗略估计 $\Delta^{14}\text{C}$ 每增加 10‰ 对应于大气中增加 6×10^{26} 个 ^{14}C 原子。由于核试验, 1954 年开始 $\Delta^{14}\text{C}$ 值就有较明显的增加, 因此测不到 1956 年的大太阳耀斑及 1956—1960 年的耀斑引起的大气中 ^{14}C 浓度增加的情况。

测量结果还表明: 1. 1943 年的 $\Delta^{14}\text{C}$ 值比 1942 年高 20‰ 左右, 因而可估计 1942 年的两次太阳耀斑大约使大气中增加了 10^{27} 个 ^{14}C 原子。但 1944 年的 $\Delta^{14}\text{C}$ 值又与 1942 年相近, 1944 年 $\Delta^{14}\text{C}$ 下降的原因还不清楚。Damon 等和 Burchuladze 等测得的 1942—1944 年的 $\Delta^{14}\text{C}$ 的变化与本结果符合得很好。2. 1947—1948 年的 $\Delta^{14}\text{C}$ 值比 1946 年高约 10‰, 因而可估计 1946 年的太阳耀斑大约使大气中增加了 6×10^{26} 个 ^{14}C 原子。Burchuladze 等测得的 1947—1948 年的 $\Delta^{14}\text{C}$ 值比 1946 年值的增加量与我们的结果是符合的。Damon 等的测量结果中 1947 年 $\Delta^{14}\text{C}$ 的增加是明显的, 但 1948 年又回到 1946 年的水平。白云杉的 $\Delta^{14}\text{C}$ 水平比 Radio Ridge 树及陈酒略高, 可能是样品的生长地点不同引起的。很可惜, 白云杉的 1949 年树轮样品在原先做木材直接合成 Li_2C_2 的试验时用掉了,



+白云杉年轮 (white spruce rings)
 Δ Radio Ridge 年轮 (Radio Ridge rings)
 ○ 陈酒 (wines)

图 1 $\Delta^{14}\text{C}$ 值随年份的变化,
 Fig. 1 Annual variations of $\Delta^{14}\text{C}$

所以不能测量 1949 年耀斑对 $\Delta^{14}\text{C}$ 的影响的大小。

参 考 文 献

- [1] Lingenfelter, R. E. and R. Ramaty, Radiocarbon Variations and Absolute Chronology (Ed. I. U. Olsson), John Wiley & Sons, p. 513, 1970.
- [2] 范章云和戴开美, 物理学进展, 第 4 卷, 第 413 页, 1984.
- [3] Fairhall, A. W. and J. A. Young, *Adv. in Chemistry Series*, Vol. 93, p. 401, 1970.
- [4] Forbush, S. E., *Phys. Rev.*, Vol. 70, p. 771, 1946.
- [5] Forbush, S. E., *Phys. Rev.*, Vol. 79, p. 501, 1950.
- [6] 戴开美, 李杰仁和陈廷扬, 核电子学与探测技术, 第 5 卷, 第 235 页, 1985.
- [7] Damon, P. E., A. de Long and E. I. Wallick, *Earth Planetary Sci. Letters*, Vol. 20, p. 300, 1973.
- [8] Burchuladze, A. A., S. V. Pagava, P. Povinec, G. I. Togonidze and S. Usacev, *Nature*, Vol. 287, p. 320, 1980.

The Influence of Solar Flare and Nuclear Tests on ^{14}C Concentration in Atmosphere

Dai Kai-mei

(Department of Physics, University of Nanjing)

Abstract

The ^{14}C content in 1940—1967 rings of a white spruce grown in Mackenzie Delta (68°N , 130°W) was measured in order to see if solar flare and nuclear tests could cause any measurable variation of ^{14}C concentration in the atmosphere. The results are presented and discussed.