

¹⁴C 年代学

¹⁴C Dating Technique

王绍武^{1,2}

(1 北京大学 物理学院, 北京 100871;

2 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081)

利用¹⁴C的比度测定年代是一项划时代的工作,对推动考古学及古气候研究起了决定性的作用。这项工作是从Libby开始的,他创建了¹⁴C年代学的理论基础和实验方法。¹⁴C年代学的原理是放射性¹⁴C只存在于大气和一切与大气处于交换状态的含碳物质中。一旦该物质脱离交换状态,¹⁴C放射性不再得到补偿,只会按衰变规律降低。这样就可以按下列公式算出该物质的年龄,即:

$$T = \tau \ln(A_0/A) \quad (1)$$

式中: T 为¹⁴C年代(单位为a); $\tau = T_{1/2}/\ln 2$, $T_{1/2}$ 为¹⁴C半衰期,一般取5730 a; A_0 为物质处于交换平衡状态的¹⁴C比度; A 为物质残留的¹⁴C比度。为了得到一个物体的¹⁴C年,主要是 A 的测量,也就是¹⁴C计数。目前AMS计数方法的精度已达2.5%以上,即 (2000 ± 20) a^[1]。

de Vries^[2]发现过去几百年¹⁴C比度有明显的变化,1500 AD及1700 AD处于峰值,1600 AD及1800 AD处于谷值。这就是说 A_0 可能不是一个常数,显然这会影响到¹⁴C定年的结果。Damon *et al.*^[3]的测量表明,古埃及第三到第十二王朝已知年代的样品¹⁴C年龄普遍偏近0.7~1.4 ka。这意味着¹⁴C定年需要校正。要校正¹⁴C年龄就要有一个精确知道年龄的样本,树木年轮是最好的选择。这就是目前的考古学及古气候研究中广泛采用的树木年轮校正,或简称树轮校正。目前广泛采用的是Stuiver和Pearson^[4]的校正曲线。表1给出500~3500 BC的日历年、¹⁴C年和校正年数。表中BP指距今时间,国际统一规定以距1950年的年数为准。表2给出2.6~40.0 kaBP的日历年、¹⁴C年和校正年数,藉此可以对更新世晚期和全新世的年代学校正有一个明确的数量概念。

Damon *et al.*^[3]指出,大气¹⁴C比度 A_0 的变化可以用一个周期长度为9 ka、振幅为 $\pm 5\%$ 的正弦曲线来描述,

谷值约在1.7 kaBP,峰值在6.2 kaBP。Bucha^[5]发现¹⁴C比度的变化与地磁偶极矩 M 的变化有密切关系。根据理论计算,¹⁴C比度的变化应比 M 的变化落后2 ka,但实际观测两者几乎是同时的。Muscheler *et al.*^[6]指出,深水形成对大气 $\Delta^{14}\text{C}$ 有巨大影响。从树木年轮得到的 $\Delta^{14}\text{C}$ 与从格陵兰¹⁰Be换算的 $\Delta^{14}\text{C}$ 一般相当一致,而在新仙女木事件中换算的 $\Delta^{14}\text{C}$ 明显偏低。如果在计算模式中使深水形成减弱30%,就与观测得到的 $\Delta^{14}\text{C}$ 很一致。这说明碳循环过程对大气 $\Delta^{14}\text{C}$ 的影响。Bond *et al.*^[7]比较了北大西洋深海沉积与格陵兰冰芯的放射核素,发现北大西洋流冰碎石(ice-rafted debris, IRD)与大气中¹⁴C和¹⁰Be有很高的相关,12 kaBP以来它们的相关系数分别为0.44和0.56。这似乎说明太阳活动的变化可能主导了千年尺度的气候振荡。但是Beck *et al.*指出,¹⁴C可能因深海环流的开启与关闭而变化,同时¹⁰Be受到记录地区降水量与降水类型的影响,而海洋环流与大气降水均可能随千年尺度气候振荡而改变。因此,¹⁴C千年尺度变化的原因仍是一个需要进一步探讨的问题。■

王绍武: swwang@pku.edu.cn

参考文献

- [1] Pilcher J R. Radiocarbon dating and environmental radiocarbon studies [C]// Mackay A, Battarbee R, Birks J, *et al.* Global Change in the Holocene. London: ARNOLD, 2003, 63-74.
- [2] de Vries H. Variation in concentration of radiocarbon with time and location on earth [J]. Kon. Ned. Akad. Wet. Proc. Ser. B, 1958, 61: 94-102.
- [3] Damon P E, Long A. Arizona radiocarbon dates III [J]. Radiocarbon, 1962, 4: 239-249.
- [4] Stuiver M, Pearson G W. High-precision calibration of the radiocarbon timescale AD1950-500BC [J]. Radiocarbon, 1986, 28 (2B): 805-838.
- [5] Bucha V. The Earth's magnetic field and ¹⁴C [C]// Olsson I U. Radiocarbon Variation and Absolute Chronology (Nobel Symposium, 12th Proc.). Stockholm: Almqvist and Wiksell, 1970, 501-511.
- [6] Muscheler R, Beer J, Wagner G, *et al.* Changes in deep-water formation during the Younger Drays cold period inferred from a comparison of ¹⁰Be and ¹⁴C records [J]. Nature, 2000, 408: 567-570.
- [7] Bond G, Kromer B, Beer J, *et al.* Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene [J]. Science, 2001, 294: 2130-2136.

表 1 500–3500 BC 的日历年、¹⁴C 年和校正年数
Table 1 Calendar year, ¹⁴C year and years of calibration during 500–3500 BC

日历年 (BC)	日历年 (aBP)	¹⁴ C 年 (aBP)	校正年数 /a	日历年 (BC)	日历年 (aBP)	¹⁴ C 年 (aBP)	校正年数 /a
500	2450	2442	8(0)	2100	4050	3697	353(10)
600	2550	2527	23(1)	2200	4150	3789	361(10)
700	2650	2471	179(7)	2300	4250	3859	391(10)
800	2750	2638	112(4)	2400	4350	3881	469(12)
900	2850	2772	78(3)	2500	4450	4075	375(9)
1000	2950	2840	110(4)	2600	4550	4101	449(11)
1100	3050	2926	124(4)	2700	4650	4165	485(12)
1200	3150	2978	172(6)	2800	4750	4208	542(13)
1300	3250	3050	200(7)	2900	4850	4308	542(13)
1400	3350	3119	231(7)	3000	4950	4368	582(13)
1500	3450	3255	195(6)	3100	5050	4485	565(13)
1600	3550	3313	237(7)	3200	5150	4536	614(14)
1700	3650	3450	200(6)	3300	5250	4490	760(17)
1800	3750	3506	244(7)	3400	5350	4719	631(13)
1900	3850	3581	269(8)	3500	5450	4679	771(16)
2000	3950	3620	330(9)				

注：“校正年数”列括号中数字为校正年数占¹⁴C距今年数的百分比(%)

表 2 2.6~40.0 kaBP 的日历年、¹⁴C 年和校正年数
Table 2 Calendar year, ¹⁴C year and years of calibration during 2.6 to 40.0 kaBP

日历年 (ka BP)	¹⁴ C 年 (ka BP)	校正年数 /a	日历年 (ka BP)	¹⁴ C 年 (ka BP)	校正年数 /a
2.6	2.5	0.1(4)	11.4	10.0	1.4(14)
3.2	3.0	0.2(6)	13.0	11.0	2.0(18)
3.8	3.5	0.3(8)	14.0	12.0	2.0(17)
4.4	4.0	0.4(10)	15.5	13.0	2.5(19)
5.1	4.5	0.6(13)	16.8	14.0	2.8(20)
5.7	5.0	0.7(14)	18.0	15.0	3.0(20)
6.8	6.0	0.8(13)	23.5	20.0	3.5(18)
7.9	7.0	0.9(13)	29.0	25.0	4.0(16)
9.0	8.0	1.0(13)	34.5	30.0	4.5(15)
10.1	9.0	1.1(12)	40.0	35.0	5.0(14)

注：“校正年数”列括号中数字为校正年数占¹⁴C距今年数的百分比(%)