

# 用加速器质谱法测定花粉的放射性碳年代

Thomas A. Brown 等

**内容提要** 总沉积物的放射性碳测年一直作为建立湖相沉积岩芯年代的标准方法,这一方法对于我们了解晚第四纪古环境做出了很大的贡献。这些总沉积物的年代被假定为直接代表实际研究标本(如花粉和大化石)的年代。然而新近的几个研究加深了对这一假定长期存在的疑虑。在本研究中,我们首次提出了用加速器质谱法测定花粉浓缩物的放射性碳年代。用此方法获得的年代为古环境研究提供了比用总沉积物测年所获得的更为可靠的年代。

**一、引言** 重建古环境和了解影响气候变化的机理已是很多研究的目的(如Duplessy等, 1986; Mott 等, 1986; Heusser and Rabassa, 1987; Broecker 等, 1988; COMAP, 1988)。用于这方面研究的代表性气候记录的精确年表的建立具有非常的重要性, 尤其是在试图确定相对短期事件(如地区性冰退, 新仙女木冰期或者树种的迁移)的时代和地理范围方面更为重要。在大陆古环境研究中, 主要依据取自湖相沉积岩芯中的花粉或植物大化石为其记录, 这些岩芯的年代序列是通过总沉积物(bulk sediments)中全部有机碳的放射性碳测

测定大洋对碳的生物吸收 如果认为, 大洋生物界对大气中 $\text{CO}_2$ 增加没有反应, 因为设生物吸收系数 $\mu^+$ (11)等于零, 则大洋全吸收系数仅能满足勒夏特利埃原理的最小值(16)。这时 $K$ 和 $\mu$ 完全由系数 $\mu^*$ 来决定,  $\mu^*$ 是前一节中按大气和海洋中 $^{13}\text{C}$ 含量变化数据来求出的。如果认为, 来自独立源的 $\text{CO}_2$ 通过界面的变换系数已知, 则关于另一稀有同位素 $^{13}\text{C}$ 含量变化的任何数据都不需要了, 这时所得大洋对碳的全吸收结果和大陆生物界有机碳含量的减少速度都与以前模型所得结果相符。

当 $\mu^+ = 0$ ,  $\mu = \mu_{\min} = 0.19$ 和交换系数 $K_{\text{as}} = 0.12 \text{年}^{-1}$ 时, 我们的确得到碳的大洋全吸收系数 $K = 0.023 \text{年}^{-1}$ 。这可给出大洋吸收碳的速度 $\Delta \dot{M}_{\text{as}} = K \Delta M_{\text{as}} = 3.2 \text{千兆吨碳/年}$ ( $\Delta M_{\text{as}} = 140 \text{千兆吨碳}$ )。当 $\Delta \dot{M}_{\text{as}} = 3 \text{千兆吨碳/年}$ ,  $\Delta \dot{M}_{\text{f}} = -5 \text{千兆吨/年}$ 。由平衡方程(1)得大陆生物界中碳减少速度 $\Delta \dot{M} = -1.2 \text{千兆吨碳/年}$ , 这与以前模型实验结果相符。 $\Delta \dot{M}_{\text{f}}$ 和 $\Delta \dot{M}_{\text{f}}$ 的负值相应于这些储库碳量的减少和向大气圈中排放。

为查明大洋对碳的生物吸收贡献值, 对于稳定的碳稀有同位素可利用方程(2)和(13)。从这些方程中可得到全吸收系数 $\mu$ 的以下表式:

$$\mu = \frac{a(\mu^* + \mu_1^*) - \mu^* \varepsilon}{1 - (1 - \mu^*)c^+ - \mu^* \varepsilon},$$

$$a = \frac{-K \Delta \delta^{13}\text{C}_{\text{a}} - \Delta \delta^{13}\text{C}_{\text{a}} - {}^{13}\sigma_1 \Delta \dot{X}_{\text{a}}}{K {}^{13}\sigma_1 \Delta x_{\text{a}}},$$

$$\Sigma \equiv (c^+ - c^-)/c, \quad c^{\pm} \equiv {}^{13}\sigma^{\pm}/{}^{13}\sigma_1, \quad (21)$$

$$\mu = \frac{b + \mu^* \Sigma}{(1 - \mu^*)c^+ + \mu^* \Sigma},$$

$$b = \frac{\Delta \delta^{13}\text{C} - (1 - \mu^*) \Delta \delta^{13}\text{C}_{\text{a}}}{{}^{13}\sigma_1 \Delta x_{\text{a}}}. \quad (25)$$

(24)式与文献[9]中的式(51)相符, 所不同的只是形式, 因为利用了无量纲系数(12)。

含有 $\Delta \delta^{13}\text{C}_{\text{a}}$ 的项是式(24)的主要贡献。包含在与 $c^+$ 成比例的项中的同位素分馏的修正值对系数 $\mu$ 的改变不大。测量这些修正值的一些误差值对结果的精确度实际上没有影响。与此相反, 对 $\mu$ 值(25)的主要贡献正是同位素分馏修正值提供的。所以, 结果的确精度严重依赖于这些修正值的测量误差。这样, 全吸收系数可根据两组完全无关的经验数据来求出。这就为检查在利用扰动理论(按小参数分解)的框架内所提出的全部假设是否协调提供了可能。

在下一期杂志上将发表本文的后一部分, 在该文中我们将分析大气和海洋中的 $\Delta \delta^{13}\text{C}$ 变化的现有实验数据。将获得方程(21)和(25)中的系数值 $\mu$ 和 $\mu_1$ , 并得到大陆生物界排放 $\text{CO}_2$ 的速率。

孙维杰译自《Изв. ВГО》, Т. 121, вып. 1, 1989

量而获得的。这种方法还不够理想,因为有许多途径和来源使得样品里的碳被污染,而这些污染碳能使总沉积物的放射性碳含量与指示气候的代表物的放射性碳含量之间发生明显的可变差异(Daves, 1974; Mathewes and Westgate, 1980; Sutherland, 1980; Andree 等, 1986; Olsson, 1986; MacDonald 等, 1987; Lowe 等, 1988; Vogel 等)。这种差异使得两者数据之间的可靠关系难以建立;正如克莱顿和莫兰(Clayton and Moran, 1982)提出:要正确了解北美中部的冰退事件最好放弃通常所用的总沉积物的测年数据,而只用发现于清楚地层中的木头所获得的年代。

我们开辟了一种样品制备方法,这种方法是从总沉积物中收集孢粉同时去掉含碳污染物,利用加速器质谱仪(AMS)可进行少量样品放射性碳测量的特点来测定花粉浓缩物(pollen concentrate)的年代。该方法是孢粉研究中常规样品预处理的延伸,并且从常规沉积物样品中即可制取足够的花粉浓缩物,可以起到事半功半的效果(它不同于大化石测年严格地受所需要测量物质有无的限制)。用这一方法制备的花粉浓缩物由占统治地位的花粉颗粒组成,并伴有少量木质碎块、针叶树气孔和其它表皮组织,偶然也有水藻和无法鉴别的纤维素质及蜡质组织。许多复杂的方法(包括从花粉浓缩物中手工分离花粉颗粒\*在内)都太耗费时间,不利于古环境研究中湖相沉积物的常规年代测定。我们利用放射性碳测定花粉浓缩物的年代能排除总沉积物测年过程中潜在的污染源,并且不必用次生物质测定所获得的放射性碳年代来推断花粉年代。

**二、方法** 本项研究所选择的沉积岩芯采自麦克湖(Mike Lake, 49° 20'N, 122° 30'W),麦克湖与广泛的国际生物计划研究地点——马里恩湖(Marion Lake)相毗邻(例如, Mathewes, 1973; Efford And Hall, 1975; Warnman 和 Mathewes, 1987; Walker and Mathewes, 1987)。这个岩芯的沉积物在区域上具冰后期粘土与腐泥过渡的特征,它是一条腐泥占优势其中夹有薄的且偶然出现的粘土层或碎屑层的全新世剖面。总沉积物或花粉浓缩物测年的样品(长1cm, 体积5cm<sup>3</sup>)都是从与先前测过年代并在整个地区具有影响的下列事件相联系的岩芯上挑选出来的。(1)本地冰退(大约距今12000年);(2)萨姆斯(Sumas)冰进(大约距今11300年);(3)美国黄杉(*Pseudotsuga menziesii*)的本地迁移(距今约10500年);(4)马扎莫(Mazama)火山灰沉积(距今约6600年)。

为了获得花粉浓缩物,样品的预处理仍按已知常规预处理程序进行酸碱处理(Faegri and Iversen, 1975);即加入6%的KOH溶液煮沸样品20分钟,过孔径为180μm的筛,然后将小于180μm粒级的部分加浓度为48%的氢氟酸(HF)经沸水浴25分钟,最后加浓度为1N的盐酸(HCl)沸水浴10分钟。为了避免因醋酸与大多数沉积物成分的反应而引起的可能碳污染,省去常规预处理过程的醋酸水解步骤。然后按下列步骤集中花粉:(1)预处理过的样品过孔径为88μm的筛;(2)小于88μm粒级的样品加入浓度为2~3%的NaOCl溶液漂白5分钟,过孔径为44μm的筛,保留粒径为44—88μm的部分;(3)小于44μm粒级的部分加入2~3%的NaOCl溶液再漂白5分钟,过孔径为20μm的筛,保留粒径为20—44μm

---

\* 我们实验室最近的工作表明:放射性碳测年的样品含碳总量可少到24μg(Vogel 等, 1987)。在开发这一超微量样品技术潜力的初步工作中,我们分离了50粒化石云杉花粉,并测量了它们的重量为9μg。加之孢粉素组成的聚合物中含60%的碳(Heslop-Harrison, 1968),这就说明一个含有200—500粒化石云杉花粉的样品可用AMS方法测定它的放射性碳年代(或相近数目的较大化石花粉如松、美国黄杉、西部铁杉等等)。

的部分。以上保留的部分将作为粒级为44—88 $\mu\text{m}$ 和20—44 $\mu\text{m}$ 的花粉浓缩物。漂白的目的是为了氧化纤细有机物碎屑,防止其发生絮凝作用,因而显著提高了花粉聚集过筛步骤的效率。

总沉积物的预处理是根据 $\beta$ —衰变放射性碳测年通常采用的实验步骤来处理的(象新近的出版物(例如, Lowe等, 1988)和放射性碳测年目录以及加拿大地质调查所论文集所陈述的那样),因此我们的测量结果代表“标准的”总沉积物年代。在浓度为1N的盐酸(HCl)中通过反复悬浮沉积物并用沸水浴加热15分钟来配备总沉积物测年样品。在预处理样品时,未见气体从样品中冒出,说明该样品不含有效碳酸盐成分。这样在处理样品时不必按照我们用热碱溶液处理样品的附加步骤进行预处理,当用 $\beta$ —衰变测定沉积物年代时,这一步通常也可省略。

**三、结果与讨论** 所有总沉积物及花粉浓缩物的副样用藏红染料染色并用甘油胶固定进行显微镜分析和照相。总沉积物与花粉浓缩物之间的比较\*表明,去掉矿物和无法鉴别的无定形有机物后的花粉浓缩物效果最显著。花粉浓缩物中的主要孢粉类型的频率分布列于表1。这些频率分布于马里恩湖先前更详细的孢粉研究结果(Mathewes, 1973)相一致。

表1 花粉浓缩物样品的孢粉组成(>4%总孢粉百分含量)

样 品	Abies	Picea	Pinus	Pseudo- tsuga	Tsuga heterophylla	Alnus	Cyper- aceae	Aster- aceae	炭类孢子
425 cm 20—44 $\mu\text{m}$	—	—	—	—	—	63	6	—	18
44—88 $\mu\text{m}$	—	—	—	62	26	4	—	—	—
428 cm 20—44 $\mu\text{m}$	—	—	4	—	—	53	—	—	32
44—88 $\mu\text{m}$	—	—	6	57	34	—	—	—	—
589 cm 20—44 $\mu\text{m}$	—	—	52	—	—	34	—	4	—
44—88 $\mu\text{m}$	—	27	40	4	23	—	—	—	—
598 cm 20—44 $\mu\text{m}$	—	—	75	—	—	13	—	—	—
44—88 $\mu\text{m}$	4	31	40	—	18	5	—	—	—
628 cm 20—44 $\mu\text{m}$	—	—	89	—	—	8	—	—	—
44—88 $\mu\text{m}$	7	4	83	—	—	4	—	—	—
640 cm 20—44 $\mu\text{m}$	—	—	97	—	—	—	—	—	—
44—88 $\mu\text{m}$	—	—	99	—	—	—	—	—	—

像在别处描述的那样(Nelson等, 1986),在麦克马斯特大学(McMaster University)用西蒙弗雷泽大学(Simon Fraser University)的加速器质谱仪对样品进行了放射性碳年代测定。最值得注意的研究结果是总沉积物测定的年代总是比来自同一沉积物的花粉浓缩物的年代老(表2)。为了评价这个差别的意义,我们把我们的结果与先前研究的四个事件所获得的年代作一对比。

**事件(I): 本地冰退** 以前本地冰退的年代上限是用 $\beta$ —衰变法测定马里恩湖岩芯中与末次冰期的粘土/腐泥过渡层相伴的样品而获得的。过渡层紧上7cm处的总沉积物样品的年代为距今12350 $\pm$ 190年(1—5960)(Mathewes, 1973),从过渡层下30cm处的粘土中筛出的扭叶松松叶年代为距今11900 $\pm$ 250年(1—6857)(Mathewes和Heusser, 1981)。麦克湖(Mike

\* 原文中总沉积物与花粉浓缩物样品镜下照片对比因翻拍有困难,故略去——译者。

表 2 放射性碳年代测定 (按 Stuiver and Polach (1977) 协定计算)

事件	岩芯深度 (cm)	总沉积物样品 <sup>a</sup>	花粉浓缩物样品	
			44—88 $\mu\text{m}$ <sup>a</sup>	20—44 $\mu\text{m}$ <sup>a</sup>
(i)	610	12600 $\pm$ 100 (-27.9; 1.37; RIDDL-653)	11610 $\pm$ 190 (-28.9; 0.225; RIDDL-1063)	11700 $\pm$ 130 (-28.7; 0.35; RIDDL-1061)
(ii)	628	11720 $\pm$ 80 (-29.6; 0.62; RIDDL-651)	11130 $\pm$ 150 (-28.3; 0.64; RIDDL-1000)	11130 $\pm$ 120 (-28.1; 0.86; RIDDL-1001)
(iii)	598	10610 $\pm$ 110 (-30.6; 1.02; RIDDL-650)	9540 $\pm$ 110 (-28.2; 0.55; RIDDL-1061)	9740 $\pm$ 110 (-29 <sup>b</sup> ; 0.51; RIDDL-1062)
(iii)	589	10060 $\pm$ 100 (-29.5; 1.37; RIDDL-619)	9730 $\pm$ 90 (-28.1; 0.57; RIDDL-1060)	9790 $\pm$ 180 (-29.6; 0.26; RIDDL-1127)
(iv)	428	7080 $\pm$ 60 (-28.5; 0.34; RIDDL-618)	6170 $\pm$ 100 (-28.4; 0.32; RIDDL-1058)	6170 $\pm$ 170 (-29 <sup>b</sup> ; 0.16; RIDDL-1059)
(iv)	125	6860 $\pm$ 60 (-29.7; 0.33; RIDDL-617)	6190 $\pm$ 80 (-28.4; 0.58; RIDDL-1057)	—

a 距今年代  $\pm 1\sigma$  (样品的  $\delta^{13}\text{C}$  值; 样品含碳毫克数; 实验编号)。

b 未测定; 依据其它样品的  $\delta^{13}\text{C}$  值估计。

Lake) 岩芯中粘土/腐泥过渡层出现在深 640cm 处, 测年样品采自过渡层之上第 1cm 的岩芯。所获的 20—44 $\mu\text{m}$  和 44—88 $\mu\text{m}$  粒级花粉浓缩物的年代非常接近, 其加权平均年代为距今 11670 $\pm$ 110 年。这个年代与以前的松叶年代一致 (即使没有作从过渡层上部到其下 30cm 处松叶包合物方面的校正), 而与从总沉积物获得的较老的年代不一致。

事件 (II): 萨玛斯 (Sumas) 冰进 一般承认的弗雷泽低地 (Fraser Lowland) 萨玛斯冰进年代距今 11300 $\pm$ 100 年 (GSC-2523) 是从冰碛物里的木头碎块而测得的 (Clague, 1974)。在麦克湖岩芯中, 我们将末次冰期粘土/腐泥过渡层上 12cm 处的薄层粘土与冰进事件相联系, 测年样品采自该层紧下的 628cm 深处。从这个样品中得到的 20—44 $\mu\text{m}$  和 44—88 $\mu\text{m}$  粒级花粉浓缩物的年代数据无统计学特征, 其加权平均年代为距今 11310 $\pm$ 90 年, 这个年代与上述冰碛物中木块的年代完全相同。而采自 628cm 深处的总沉积物样品的年代数据要老得多。

事件 (III): 美国黄杉的本地迁移 以前麦克湖地区美国黄杉花粉首次出现的放射性碳年代是从总沉积物样品测得的: 从马里恩湖岩芯中 5cm 长的一段岩芯得到的年代为距今 10370 $\pm$ 145 年 (I-6820), 从附近瑟普勒斯湖 (Surprise Lake) 岩芯中美国黄杉花粉出现处紧上采的一段 10cm 长样品的年代为距今 10340 $\pm$ 155 年 (I-6967) (Mathewes, 1973)。这些年代与遍及普盖特和弗雷泽低地 (Puget and Fraser Lowlands) 花粉记录中美国黄杉出现处可得到的总沉积物年代一致, 那里的年代范围在距今 11000—10000 年之间 (Barnosky, 1985), 上述年代也与美国黄杉从华盛顿州进入到不列颠哥伦比亚南部的年代大约距今 10000 年的意见相一致 (Tsukada, 1982)。美国黄杉花粉在麦克湖岩芯首先出现在 589—598cm 之间, 测年样品正好取自这一深度。从这些样品获得的四个孢粉浓缩物年代数据的统计学意义来看难以区分, 其加权平均值为距今 9690 $\pm$ 60 年, 这段岩芯的两个总沉积物样品的年代差异极大, 并且都比孢粉浓缩物加权平均年代老。

花粉浓缩物和总沉积物年代间的差异在统计学及古环境的含意方面都很明显。把总沉积物年代距今约 10300 年当作美国黄杉迁移的年代, 那就意味着不列颠哥伦比亚西南部在欧洲 (Watts, 1980) 和北美东部 (Mott 等, 1986) 新仙女木末期之前已发生实质性的变暖。花

粉浓缩物的结果完全认定美国黄杉迁移晚得多,表明当地气候环境直到大约距今9700年后还没有显著地变暖,即直到新仙女木末期之后。虽然依据这些有限的资料我们不能得出美国黄杉迁移进入弗雷泽低地的具体结论,但我们注意到用总沉积物测量的这个年代及先前的研究结论可能受到生物扰动混合\*或/和“老的”碳污染的影响,导致年代测定出现了600年的误差。标志着进入一个地区具有重要意义的树种的花粉颗粒单独和直接的年代测定,应是消除上述测年误差的最可靠的方法。可是,耗时的手工分离使得这种方法不大可能用于常规古环境的研究。

**事件(IV): 马扎莫(Mazama)火山灰堆积** 大多数通常引用的马扎莫火山灰层的年代距今约6600年(Fryxell, 1965),它是根据早期几个放射性碳年代得出的(Libby, 1952; Rubin和Alexander, 1960);稍晚一些的著作(Kittleman, 1973)表明了该火山灰层早的年代范围为距今6700—6000年,并加了一个250—500年的标准误差系数。近来,马扎莫火山灰层的放射性碳年代接近距今6700年,加了一个100—200年的标准误差系数,这个年代是从泥炭和其它有机物的测定获得的(Mehring等, 1977; Mack等, 1979; Sarna-Wojcicki等, 1983),另外的年代数据资料则提出了一个距今 $6560 \pm 120$ 年的年代值(Clague, 1980)。主张马扎莫火山喷发高潮期最精确的年代为距今 $6840 \pm 50$ 年,这个年代值是四个样品的加权平均值,它是从与火山灰有联系的本炭碎块测得的(Bacon, 1983)。以上这些研究中的许多都出现年代范围不确定的问题,这些年代都与马扎莫火山灰层有联系(所有年代都是从次生物质象泥炭层、总沉积物、烧焦的圆木和/或来自火山灰层上边、下边或火山灰层之中的细枝而获得的)。

在麦克湖岩芯中,马扎莫火山灰层约3cm厚,测年样品采自火山灰紧上的425cm和紧下的42cm深处,花粉浓缩物年代数据从统计学上看是难以区分的,其加权平均值为距今 $6480 \pm 60$ 年。两个总沉积物的年代极不相同,并且都老于花粉浓缩物的年代。就这些数据而论,我们强调三点:(1)尽管花粉浓缩物年代相对有些年轻,但它与一般公认的马扎莫火山灰层的年代一致;(2)两个总沉积物的年代都比通常公认的年代老,并且两个总沉积物年代数据之间的差异表明,差异可能是较老的不能分辨的、并且在预处理时未排除掉的成分所构成的各种污染物的反映;(3)直接测年已经为与火山灰层有联系的花粉地层学提供了一个年代,而不是建立在次生物质之上的“喷发事件”的年代,更不是假设代表花粉年代。培根(Bacon, 1983)的加权平均年代和我们的结果之间的明显差异表明,其它地点与马扎莫火山灰层有关的花粉浓缩物的放射性碳测年可为这个广泛应用的地层学标志提供一个更合乎情理的年代。

\* 对有孔虫的加速器质谱仪放射性碳测年表明,交互的丰度变化和生物扰动能导致海洋沉积物样品中生物种类的不同,测出的年代差异大于1000年(Duplessy等, 1986)。麦克湖沉积物的堆积速率为 $25-50\text{cm}/10^3\text{yr}$ ,可消除那些量度的影响。然而,随着在589—598cm段的样品中松花粉丰度的急剧下降(表1和Mathewes, 1973),一个10—15cm的生物扰动层内,交互作用可在这些样品中的花粉类型间产生100—800年的差异。598cm处花粉浓缩物的年代表明,生物扰动混合使得较老的松花粉向上进入到较年轻的且松花粉贫乏的沉积物中,从而可以导致20—11 $\mu\text{m}$ 的样品年代稍微老于11—88 $\mu\text{m}$ 的样品,因为20—11 $\mu\text{m}$ 粒级中含有较高比例的松花粉。上述交互过程会对我们测定美国黄杉迁移的年代有两个影响:(1)由于较老的松花粉向上进入到上部沉积物中,该沉积物样品中花粉浓缩物的年代将会老于该沉积物的沉积年代;(2)美国黄杉花粉的向下混合将会导致在此之前沉积物中该花粉的引入。这两个影响暗示我们,花粉浓缩物测年提供了美国黄杉迁移进入麦克湖地区的年代下限。

# 由计算机产生建造地貌立体模型之模片

[加拿大] J. R. 艾顿

**摘要:** 本文叙述两种用于绘制建造三维地貌立体模型所需模片的制图算法。从美国国防制图局的 1 : 250000 比例尺数字地形磁带中提取高程数据, 用来组装等高线立体模型和剖面立体模型。

三维地貌模型不但观察起来维妙维肖, 而且通过向模型的建造者传达等高线和剖面的原理, 还具有教育上的作用。本文简要论述两种用来产生构筑等高线立体模型和剖面立体模型所需模片的制图算法。使用的数据基础是美国国防制图局 1 : 250000 比例尺数字地形磁带的子集, 它是从美国地质测量局 (1979年) 得到的。从美国地形图图幅“亚基马西”的数据磁带中, 提取以华盛顿州雷尼尔山为中心的  $600 \times 600$  的网格单元子集, 用来制作等高线立体模型。由美国地形图图幅“大峡谷东”的数据磁带中, 提取  $600 \times 600$  的网格单元子集, 用来制作亚利桑那州俯视布莱特·安吉尔峡谷的公园总部的剖面立体模型。全部制图工作是在一台具有 0.127 毫米 (0.005 英寸) 笔尖分辨率的 8222 A 型 Versatec 静电绘图机上完成的。

**等高线立体模型** 等高线立体模型是由以栅格形式绘制成的模片构成的, 这些模片是用厂商 (Versatec 公司, 1978年) 提供的灰阶软件, 在 Versatec 静电绘图机上绘制出来的。要领会产生等高线模片的绘制过程, 就必须理解在 Versatec 绘图机上制作栅格等高线地图的方法; 艾顿 (1984年) 在栅格等高线图的制作方面有更详细的讨论。Versatec 绘图笔头含有一排横跨绘图机的书写笔尖, 每个绘图笔尖都可以连通电路, 致使承荷纸充上电荷; 然后, 着色剂粘附在电荷上, 可产生直径为 0.127 毫米 (0.005 英寸) 的小点。若想增大绘图尺寸, 可接通一组笔尖 (称为绘图象元), 来表示子集中的一个网格单元。通过在绘图象元中每隔一个笔尖接通一个笔尖, 可为子集的每个网格单元绘出一个中等灰色调; 而那些未接通的笔尖则在承荷纸上留下白色空间 (即呈现白点)。

---

**四、结 论** 我们从麦克湖岩芯中得出的结果与先前四个事件的测年数据的详细对比清楚地表明, 用花粉浓缩物测年所获得的数据在精度和一致性方面都有所提高。在任何情况下, 某一特殊事件几个花粉浓缩物的年代从统计学角度看难以区分, 并且与从其中所含大化石和 / 或相关的陆生物质所获得的公认的年代相一致。我们测得这些事件总沉积物的年代值与先前从大化石或相关的陆生物质获得的年代值不一致; 四个事件中有三个与相应事件先前总沉积物年代数据不同; 与先前总沉积物年代相同或不同的总沉积物测年中, 我们获得某一事件多个总沉积物的年代数据之间的一致性都比该事件几个花粉浓缩物的年代数据之间的一致性更差。我们已经获得的美国黄杉迁移进入麦克湖地区的测年结果表明, 当总沉积物年代被用来确定某一树种进入一个地区的迁移年代时, 生物扰动和 / 或污染物能引起很大的误差。我们认为花粉浓缩物测年的广泛应用将会极大地增强研究者们建立不同湖相沉积岩芯之间富有意义的年代关系能力, 并且大大改进解决大规模的短期的古气候事件的时代问题。

刘俊峰译自《Quaternary Research》, 32, 205—212, 1989 古仁镜校