



新闻动态

您现在的位置: 首页 > 新闻动态 > 学术前沿

- ☛ 图片新闻
- ☛ 头条新闻
- ☛ 通知公告
- ☛ 学术活动
- ☛ 综合新闻
- ☛ 科研动态
- ☛ 研究亮点
- ☛ 学术前沿

NG: 树轮放射性碳揭示过去千年太阳活动存在11年周期

2021-02-09 | 【大 中 小】【打印】【关闭】

太阳是地球重要的能量来源, 虽然人类对太阳活动(太阳黑子)的观测仅有400年历史, 但是由宇宙射线产生的宇成核素会被记录在树轮或者冰芯中, 可以作为追溯上千年前太阳活动变化的重要线索。 ^{14}C 是一种碳的放射性同位素, 是由大气圈上部氮气受宇宙射线轰击而形成。这些 ^{14}C 在大气中被氧化形成 $^{14}\text{CO}_2$, 通过光合作用被树木吸收, 记录在当年形成的树木年轮中, 并不再与外界进行交换。因此, 树木年轮中的 ^{14}C 丰度变化可以恢复古大气中 ^{14}C 的变化, 进而记录宇宙射线强度和太阳活动。树木年轮具有定年准确、分辨率高、连续性好的特点, 具有重建年际甚至季节尺度太阳活动变化的潜力(Uusitalo et al., 2018)。此外, 高分辨率的历史文献资料, 如太阳黑子活动历史和古代朝鲜极光年表(SILSO WDC, 2019; 魏勇, 万卫星, 2020), 具有年代准确, 时间分辨率高的特点, 也可用于研究太阳活动。

日本学者Miyake曾通过测量年分辨率的树轮 ^{14}C 记录, 发现了公元774-775年、公元992-993年 ^{14}C 丰度显著增加现象, 揭示出两次强宇宙射线事件(Miyake et al., 2012, 2013)。这两次事件的发生, 极有可能与太阳高能粒子事件有关(Mekhaldi et al., 2015; 参见前沿报道《公元774-775年的强太阳活动》)。但上述研究仅利用了片段的树轮 ^{14}C 记录。目前仍然缺乏具有年分辨率且连续千年的树轮 ^{14}C 记录。

瑞士苏黎世联邦理工学院Brehm团队近期在Nature Geoscience上发表了目前最长的、连续的、具有年分辨率的树轮 ^{14}C 记录。该树轮 $\Delta^{14}\text{C}$ 记录了过去1000年中 $\Delta^{14}\text{C}$ 三次快速的增加现象(图1a), 而短时间内大气 ^{14}C 快速增加与太阳高能粒子事件有关。第一次发生在公元993年, 此次太阳高能粒子事件导致 ^{14}C 产量在一年内增加近三倍。第二次 $\Delta^{14}\text{C}$ 明显增加发生在公元1052年, 并可以通过模型在前人发表 $\Delta^{14}\text{C}$ 数据集中得到验证(图2a)。然而, 模型并未检测到发生在公元1279年的第三次 ^{14}C 丰度明显增加事件, 这可能与所选数据集精度等有关(图2b)。即便如此, 这两次疑似事件的发现也说明太阳高能粒子事件可能远比我们想象中更频繁。值得注意的是, 三次太阳高能粒子事件发生在公元990-1290年之前, 最近700年来一直没有发生, 而且公元1052年和公元1279年的事件都发生在太阳活动极小期内。

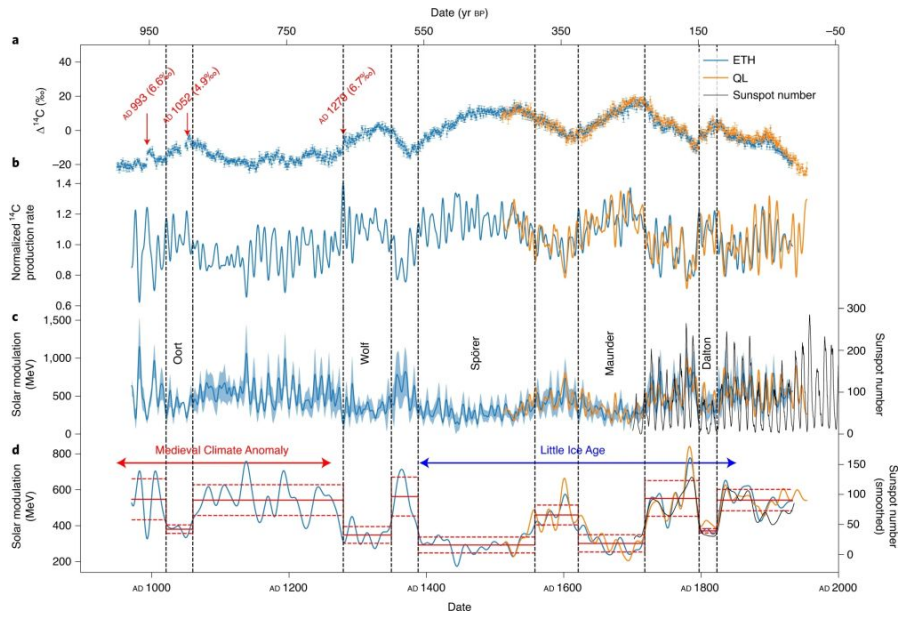


图1 公元969-1933年 $\Delta^{14}\text{C}$ 变化以及太阳调控 (Brehm et al., 2021)

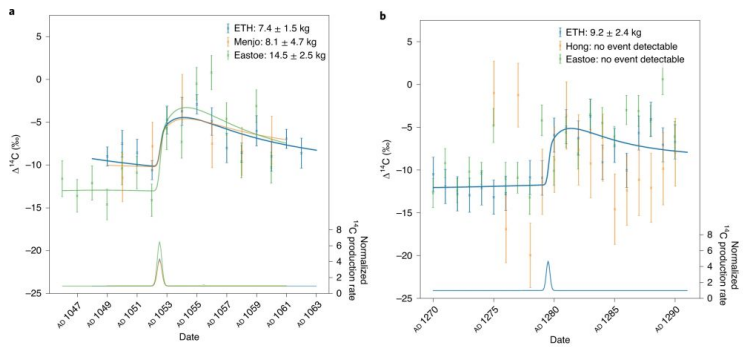


图2 过去千年发现的两次新的疑似 ^{14}C 丰度增加事件 (Brehm et al., 2021)

太阳活动具有11年周期，上述周期导致的 ^{14}C 变化会被记录到树轮中，但这项研究非常具有挑战性，因为太阳11年的周期性活动引起的 $\Delta^{14}\text{C}$ 变化仅为2%，而 $\Delta^{14}\text{C}$ 的平均分析误差就达 $1.8 \pm 0.2\%$ ，这必然导致真正的周期信号与噪音混淆。Brehm等对 $\Delta^{14}\text{C}$ 以及太阳黑子记录开展了带通滤波分析并计算了峰间距离 (peak-to-peak distance)，将振幅小于1.2%的信号设定为噪音 (图3)。结果表明，具有较小振幅的周期很有可能是噪音导致的。这些噪音导致极小期时太阳活动呈现出较小的振幅和较短的周期。这意味着以后观察极小期或者振幅较小时的太阳活动，要考虑噪音的可能影响。

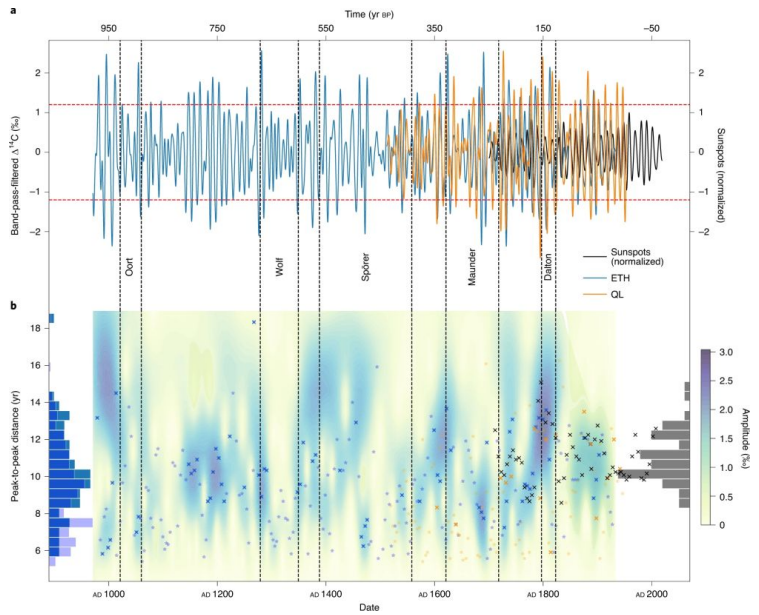


图3 带通滤波 $\Delta^{14}\text{C}$ 记录的频谱分析 (Brehm et al., 2021)。b图中蓝色和橙色的叉代表振幅 $>1.2\%$ 的峰间距离, 深蓝色直方图代表振幅 $>1.2\%$ 周期的周期长度, 黑色代表太阳黑子数周期长度分布

为进一步评估 $\Delta^{14}\text{C}$ 记录中噪音导致的周期和振幅的变化, 作者将带通滤波后的 $\Delta^{14}\text{C}$ 周期和振幅与随机生成的测试数据进行比较 (图4)。结果发现, 当模拟数据选择振幅为 0.8% 、周期为 10.4 年的正弦信号时, 在周期和振幅分布上可与实测记录达到最佳匹配。因此, $\Delta^{14}\text{C}$ 记录中确实记录了 11 年的太阳活动周期, 且其平均振幅为 0.8% , 这个结果要比前人报道的振幅 (2%) 更低一些。这个振幅也并不是常数, 而是取决于太阳活动的强弱。在太阳活动极小期时, 振幅为 0.6% , 而在太阳活动极大期, 振幅在 0.9% 左右。

该研究的意义在于利用高分辨率的树轮 ^{14}C 记录发现了新的太阳高能粒子事件, 重建了太阳变化的长趋势和年代际变化, 揭示了太阳活动的规律及其导致的 ^{14}C 变化。目前, 越来越多的研究利用高分辨率树轮 ^{14}C 记录揭示太阳活动的变化规律。

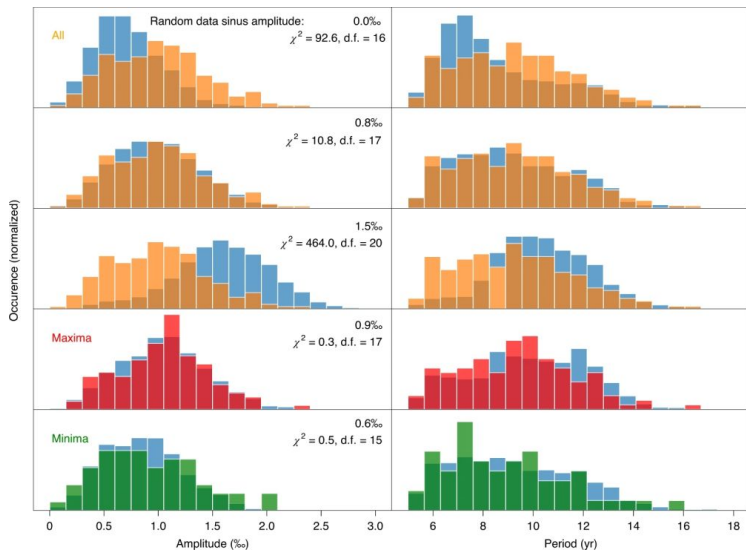


图4 振幅和周期分布 (Brehm et al., 2021)。橙色代表带通滤波之后的 $\Delta^{14}\text{C}$ 记录, 蓝色代表包含 10.4yr 周期信号以及不同振幅的模拟数据

主要参考文献

魏勇, 万卫星. 古代朝鲜极光年表. 北京: 科学出版社, 2020.

Brehm N, Bayliss A, Christl M, et al. Eleven-year solar cycles over the last millennium revealed by radiocarbon in tree rings[J]. Nature Geoscience, 2021: 1-6. (原文链接)

Mekhaldi F, Muscheler R, Adolphi F, et al. Multiradionuclide evidence for the solar origin of the cosmic-ray events of AD 774/5 and 993/4[J]. Nature communications, 2015, 6(1): 1-8.

Miyake F, Masuda K, Nakamura T. Another rapid event in the carbon-14 content of tree rings[J]. Nature Communications, 2013, 4(1): 1-6.

Miyake F, Nagaya K, Masuda K, et al. A signature of cosmic-ray increase in AD 774 - 775 from tree rings in Japan[J]. Nature, 2012, 486(7402): 240-242.

Uusitalo J, Arppe L, Hackman T, et al. Solar superstorm of AD 774 recorded subannually by Arctic tree rings[J]. Nature Communications, 2018, 9(1): 1-8.

(撰稿: 许晨曦, 赵卿宇/新生代室)



地址: 北京市朝阳区北土城西路19号 邮编:100029 电话: 010-82998001 传真: 010-62010846
版权所有© 2009-2021 中国科学院地质与地球物理研究所 京ICP备05029136号 京公网安备110402500032号

