

·学科发展·

白垩纪以来地外星体撞击效应对植物演化影响的新思索

李承森 王宇飞 孙启高 耿宝印 宋书银

(中国科学院植物研究所, 北京 100093)

陈永亨

(中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640)

【摘要】 地外星体撞击引发的全球环境变化的巨大效应日益受到关注。植物作为敏感的环境指示, 从植被组成和演替、类群分布和分化、形态和结构、细胞与分子生物学等不同层次上, 对这种撞击引发的全球变化都应有所反映。从地学与生物学角度, 协同研究撞击效应与植物演化的相互关系及相互作用的过程与规律, 成为有关学科发展的前沿。

【关键词】 白垩纪以来, 地外星体撞击效应, 植物演化

在地球长达 45 亿多年的演化历史中, 全球环境的变化受制于地球内部和外部诸多因素的综合作用。已经证明: 太阳常数并非是一个常数, 从而引起太阳辐射能的变化; 地球轨道参数的改变又进一步引起所接受的太阳辐射总量的涨落 (米兰柯维奇曲线 Milankovitch curve); 宇宙中的星体对地球的撞击导致地球环境的突然改变和撞击后气候恢复期的漫长过程^[1]; 地核热量通过地幔热柱 (mantle plume) 向上传递, 产生火山活动; 大洋暖流, 板块运动, 古地磁极性反转以及青藏高原的隆起等, 均直接或间接影响全球气候的变化。大气层中的组分及含量变化, 特别是 CO₂ 的变化, 影响到温室效应; 冰山的形成和发展, 既是全球气候变化的产物, 又反过来影响气候的进一步变化。

陆地生物, 特别是陆地植物的起源和演化, 与环境之间, 尤其是与全球气候条件的变化存在着密不可分的关系^[2]。生物的发生和发展是其内在遗传因素与外界环境的辩证统一。生物史是一个短期、快速变化, 与长期、相对停滞的两个时期相互交替的历史^[3]。当环境条件趋于长时间的稳定时, 占有优势地位的生物类群会得到长足的发展, 成为当时生物界的主宰。而随着环境发生突发性的重大改变时, 已经占统治地位的优势类群必然会急剧衰败, 或仅有少数延续下来, 或全体绝灭, 构成重大的生物事件。同时, 具有潜在优势的类群会在新的空间, 新的条件下发展壮大起来。这样, 一衰一兴即构成生物界息息不止的演化, 又揭示了生物对环境和气候条件的响应。

本文于 1996 年 10 月 28 日收到。

1 全球环境动态变化的总趋势和白垩纪以来植物的总体发展

根据氧同位素的研究,古生物地理学和地球化学所提供的证据以及显生宙热力波动兆周所显示的温度变化曲线^[4],中生代到早新生代是高温期,隔开前后两个冷期。从热力水平上看,中生代高,古新世到晚第三纪居中,第四纪最低。具体到全球气候变化上,白垩纪温暖,局部干热,后期逐渐变冷。在白垩纪和第三纪相交之时(K/T界限距今约65 Ma),温度呈明显降低。第三纪早期,古新世和始新世,温度继续减退,始新世结束时急剧变冷,至渐新世早期(距今约34 Ma)达到温度低点,后略有回升。总体上,渐新世是一个相对低温时期。渐新世晚期,气温略呈回暖趋势,变化幅度不大。持续到中新世中期(距今约15 Ma)气温再一次明显变冷,中新世晚期虽有回暖之势,但到上新世结束时(距今约2.4 Ma)又显著变冷。进入第四纪,冰期和间冰期呈周期性发展(图1),直到近代,全球气候又出现变暖趋势。

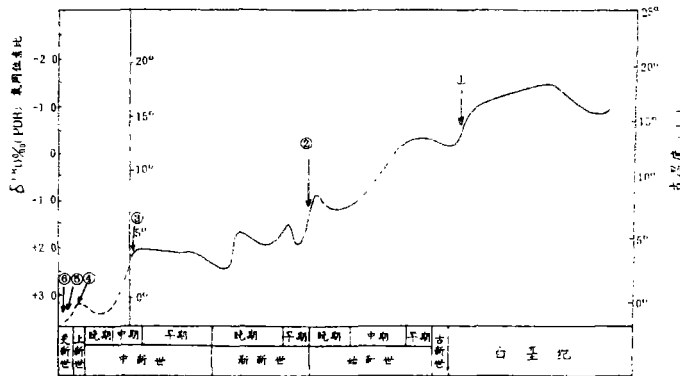


图1 根据氧同位素比推算的太平洋北部古海底白垩纪至中新世中期水温度曲线(据 Deveraux, 1967. New Zealand Journal of Science. V10: 988 和 Stevens, 1971. Journal of Royal Society of New Zealand. V1: 145—158 修改。图中①②③④⑤⑥分别表示六次已知地外撞击事件的位置)

目前普遍认为:被子植物起源于早白垩世;晚白垩世开始繁盛,逐渐代替裸子植物成为植被景观的主要类群;老第三纪被子植物进一步分化、辐射发展;新第三纪,适应气候转凉及多样化生境,草本类型渐次增多;第四纪受冰川活动影响,全球气温普遍下降,气候带位置虽有波动,植物区系面貌已接近现代。

2 撞击事件及其环境效应

进入90年代,科学界对地外天体撞击及其造成气候突然和重大改变的研究方兴未艾。特别是人类亲眼目睹了1994年彗木撞击的罕见天象,21个直径为1—3km的彗核碎块,以60.5km/s的速度撞击木星,产生的能量相当于5至6亿颗广岛原子弹,形成的火球温度高达7200℃(比太阳表面温度高1700℃),火球爆炸抛射出的微小物质以10km/s的速度向3300km的高空冲击,形成10000多公里的尘埃云^[5]。此次彗木撞击和1908年通古斯

(Tunguska) 彗星爆炸事件, 拓宽和加速了对地质历史上地外星体对地球撞击的研究^[6]。越来越多的证据表明, 撞击事件造成地层中的铀异常^[7,8]和钨丰度及其与铀的相关性^[9], 微玻璃陨石的发现^[10], 地磁的倒转和磁化率异常^[11,12], 特别确认了新生代以来地球承受6次重大的地外星体的撞击(分别距今65, 34, 15, 2.4, 1.0, 0.7 Ma)^[11]。撞击所产生的激烈的物理和化学作用, 将大量气化物质、细微的熔融溅射物质和尘埃等输送到平流层及近地空间, 屏蔽太阳辐射, 使地面急剧降温; 同时大气中CO₂的浓度降低^[13], 形成漫长而黑暗的冬天, 引起地球环境恶化, 抑制植物光合作用, 中断某些动物的食物链, 引发了一系列重大的灾难事件。发生在K/T界线(白垩纪和第三纪之交)的距今65 Ma的一颗直径10km的小行星撞击地球的事件, 使地面温度下降至零下48℃持续1 000天, 温度逐渐恢复到原有水平约需要5 000天(14年)。由于撞击引起的整个温度效应持续17年^[14](相当于近万年没有光照、十分寒冷的冬天)。毫无疑问, 这些变化对当时生物界的打击是摧毁性的, 白垩纪末, 动、植物有2 868个属, 至第三纪初仅剩1 502个属, 属的灭绝率达48%, 种的灭绝率达60%至80%, 直接或间接导致恐龙绝灭, 裸子植物森林在陆地景观中的优势地位被进一步削弱, 为哺乳动物的大发展和被子植物的兴盛, 生物大类群的更替提供了可能。后五次撞击事件引起类似的降温效应, 只是温度下降的幅度和持续的时间略有差异。这6次撞击事件发生的时间和所引发的温度急剧下降, 与其它研究手段所得出的新生代的温度变化是相吻合的。

3 植物界在不同层次上对撞击效应的响应及其研究热点

新生代以来的重大撞击事件所引发的全球性气候环境变化的强度和持续时间不等, 植物界在植被组成、类群分布、属种的个体形态与细胞结构、分子遗传等不同层次上的响应强度亦不相同。植物在其分子遗传基础、生长发育、形态结构与生理功能协同及植被群落演替方面, 出现适应性响应, 在一个比较大的程度上影响到植物界的演化。同时, 植物作为环境变化的敏感生物指示, 可以从定性到定量地分析出当时当地气候环境参数的变化^[15]。各地点不同时期气候参数值在空间和时间的三维动态座标上的变化趋势可以揭示新生代以来环境气候变化的过程与规律, 为未来气候的预测提供可参考的重要依据。

国际上对撞击事件的研究主要是运用地层学、地球化学、古地磁学等地学方法来确认撞击事件的存在和分析环境改变的方式及程度, 虽也考虑撞击事件与生物演化之间的关系, 但多从物种绝灭的角度研究集群绝灭的可能性。K/T界线上生物事件中植物大的类群的演替, 含有多大大程度上的集群绝灭? 其后的生物复苏如何形成大绝灭后植物演化的新阶段? 如何认识新生代其它5次撞击事件中植物演替的过程? 未来研究热点是以新生代发生的重大撞击事件为背景, 在高分辨率的地层对比的基础上, 研究事件发生前后的一段时间内植物的变化, 包括植被组成、类群分布、属种个体的形态与细胞结构及分子水平上的变异, 从定性到定量来反映相应点上环境参数的变化, 探讨撞击事件对植物演化的影响, 植物自身的改变对气候的响应, 撞击事件所造成的环境、气候条件的改变, 以及对温度、湿度和CO₂的变化进行定量的分析。

4 研究方法

古植物学与多学科的交叉逐渐形成从植被组成、类群分布、属种个体形态、细胞结构到分子进化各个层次上进一步提取环境信息的较成熟的方法。采用叶结构(leaf architecture)

和角质层分析 (cuticle analysis) 相结合的生物学性状分析方法使各地古气候参数恢复的推论建立在可靠的植被组成基础上。运用叶相分析方法 (pysiognomic methodology), 得到不同气候状态下的植被组成中全缘叶、大型叶植物种类在植被中所占的比例, 与气候参数年均温、年较差存在函数关系, 可以定量计算相应的年均温、年较差^[15]。据此再利用气候诺模图解释历史上相应植被类型与所对应的气候因子变化。在北半球, 生态适应幅度狭窄的, 尤其对热量、降水量要求严格的植物的分布北界往往为其生长临界值, 其分布的南北界之差为其气候适应变幅。采用逐步判别分析方法^[16], 选出影响属种分布的气候因子, 通过多因子点聚图方法, 定量确定主要气候因子的值。再根据同一植物群中多种植物所反映的气候因子变幅交叠程度, 可反映出古气候参数特征的变幅。被子植物叶片上叶脉密度能反映其结构与功能的关系, 气孔密度与大气中 CO₂ 浓度存在线性函数关系^[17,18]。据此, 在同种植物中, 可推算历史上大气中 CO₂ 浓度变化及其在大尺度时间范围内的变化曲线和规律^[19,20]。木材年轮的有无, 反映季相的变化, 年轮的宽窄反映水分状况, 年轮中输导组织成分比值反映生存环境的中生值偏离程度; 连续的年轮变化曲线精确地反映逐年持续状态下的气候波动状况, 年轮稳定碳同位素的变化, 反映大气 CO₂ 浓度的波动历史^[21]。90 年代, 北美中新世植物叶化石 DNA 提取及序列分析^[22,23]和植物化学成分分析, 可以反映环境突发事件导致的生物大分子水平上遗传基因 DNA 碱基替换的速率及植物次生代谢产物的变化。

我国北方地区, 自黑龙江嘉荫、辽宁抚顺、河北繁峙、山东山旺到山西太谷的白垩纪至第三纪地层层序连续, 且有长期而扎实的地质和古生物工作基础。在此基础上, 采用地质和生物学研究的新的技术手段, 研究中国晚白垩世以来植物的演进及环境变迁, 尤其深入研究撞击事件对植物演化的影响, 从而可揭示我国新生代植物多样性的形成与发展, 阐明珍稀濒危植物形成的历史与机制, 为植物保护生物学提供依据和指导; 同时, 由植物反映的气候变化在阐明历史变迁的同时, 有利于现有气候预测模型的校验, 提高对未来气候的预测能力, 为人类保护环境、预防灾难性事件的发生或减小灾害程度提出对策。

注: 本项目除获国家自然科学基金资助外, 还获中国科学院古生物和古人类特别支持费、中国科学院生物科学与技术研究特别支持费 (财政部专项资助) 和中国科学院资源与生态环境研究重大项目资助。

参 考 文 献

- [1] 欧阳自远, 王世杰, 肖志峰等. 新生代地外物体撞击事件诱发的古气候环境灾变. 第四纪研究, 1995(4): 324 - 331.
- [2] 李承森. 生物进化的重大事件——陆地植物的起源及其研究的新进展. 中国科学基金, 1994, 8(4): 238 - 244.
- [3] 戎嘉余, 方宗杰, 陈旭等. 生物复苏——大绝灭后生物演化历史的第一幕. 古生物学报, 1996, 35(3): 259 - 271.
- [4] Velichko A A. Evolutionary Analysis of the Contemporary Landscape Sphere of the Earth and Prognosis. Quaternary International, 1989, 2: 35 - 42.
- [5] 国家自然科学基金委员会 1995 年年度报告. 中国科学技术出版社, 1996, 第 8 页.
- [6] 王世杰, 欧阳自远, 张福勤. 一种全新的全球演化营力: 撞击作用. 地质地球化学, 1995, (4): 80 - 82.
- [7] 钟筱春, 唐文松, 赵秀兰等. 新疆吐鲁番坳陷连木沁剖面陆相白垩第三系界线灾变事件初步研究. 科学通报, 1993, 38(4): 341 - 344.
- [8] 柴之芳, 孔屏, 毛雪瑛等. 白垩系——第三纪界线粘土层异常浓的赋存状态的研究. 科学通报, 1990, 35(14): 1083 - 1085.

- [9] 辛晓滨, 许祥源, 吉望西等. 白垩纪—第三纪界线事件地外成因新证据——钉的丰度及其与铱的相关性. 科学通报, 1994, **39**(6): 530 - 532.
- [10] 李春来, 林文祝, 欧阳自远. 黄土中 0.73 Ma B. P. 微玻璃陨石赋存层位地球化学——I. 撞击效应对古气候的影响: 稳定碳同位素研究. 科学通报, 1994, **39**(7): 629 - 632.
- [11] 彭汉昌, 丛友滋, 庄世杰. 太平洋岩芯微玻璃陨石层的发现和与地磁事件及地磁倒转的联系. 科学通报, 1992, **37**(2): 150 - 153.
- [12] 李春来, 林文祝, 欧阳自远. 黄土中 0.73 Ma B. P. 微玻璃陨石赋存层位地球化学——II. 磁化率特征. 科学通报, 1994, **39**(14): 1309 - 1311.
- [13] 肖志峰, 欧阳自远. K/T 天体撞击与大气二氧化碳含量变化. 地质地球化学, 1995, (4): 98 - 101.
- [14] 肖志峰, 欧阳自远, 林文祝. 新生代巨大天体撞击作用的气候效应模拟. 科学通报, 1995, **40**(2): 151 - 153.
- [15] Wolfe J A. A Method of Obtaining Climatic Parameters from Leaf Assemblages. US. Geol. Survey Bulletin 2400, United States Government Printing Office, Washington, 1993.
- [16] 梁幼林, 王晓春, 孔昭宸等. 逐步判别分析在恢复古气候中的应用. 科学通报, 1991, **36**(22): 1731 - 1734.
- [17] Malone S et al. Stomatal Density and Aperture Length in Four Plant Species Grown Across a Subambient CO₂ Gradient. Amer. J. Bot., 1993, **80**(12): 1413 - 1418.
- [18] 蒋高明. 全球大气二氧化碳浓度升高对植物的影响. 植物学通报, 1995, **12**(4): 1 - 7.
- [19] Arthur M A et al. Cretaceous and Cenozoic Atmospheric Carbon Dioxide Variation and Past Global Climate Change. Geol. Soc. Amer. Abstracts with Program, 1991, **130**: 1 - 235.
- [20] Beerling D J, Chaloner W G. Atmospheric CO₂ Changes Since the Last Glacial Maximum: Evidence from the Stomatal Density Record of Fossil Leaves. Rev. Palaeobot. Palynol., 1994, **81**: 11 - 1.
- [21] 李正华, 刘荣漠, 安芷生等. 工业革命以来大气 CO₂ 浓度不断增加的树轮稳定碳同位素证据. 科学通报, 1994, **39**(23): 2172 - 2174.
- [22] Golenberg E M et al. Chloroplast DNA Sequence from a Miocene Magnolia Species. Nature (London), 1990, **344**: 656 - 658.
- [23] Soltis P S et al. An rbcL Sequence from a Miocene Taxodium (bald cypress). Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1992, **89**: 449 - 451.

MEDITATION ON PLANT EVOLUTION INFLUENCED BY BOLIDE-IMPACT EVENTS SINCE CRETACEOUS

Li Chengsen Wang Yufei Sun Qigao Geng Baoyin Song Shuyin

(*Institute of Botany, CAS, Beijing 100093*)

Chen Yongheng

(*Guangzhou Institute of Geochemistry, CAS, Guangzhou 510640*)

Abstract Global environmental changes induced by bolide-impact on the earth have attracted more and more attention recently. Plant kingdom, as sensitive bio-index to environmental changes, should have responded to such kinds of bolide-impact effect at different levels of vegetation succession, taxon differentiation, morphological and anatomical features, even molecular biology, etc. The important events of bolide-impact since Cretaceous were responsible for the progress of plant evolution. To explicate the courses and laws of interaction between bolide-impact effect and plant evolution, using combinative methods of biology and geology, becomes a new highlight.

Key words bolide-impact, plant evolution, Cretaceous