

文章编号:1001-8166(2002)03-0396-06

高分辨率气候环境变化研究中的石笋微层*

刘启明^{1,2}, 王世杰¹, 欧阳自远¹

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:在全球变化研究领域, 高分辨率重建2 000年来的气候环境变化是近期工作的主要内容之一。石笋微层由于其沉积界面完整, 微层明显和组分构造有序, 从而成为综合研究气候环境变化的理想载体。详细分析了石笋微层灰度和石笋微层厚度的成因、类型和影响因素, 对石笋微层在高分辨率气候环境变化研究中的应用现状及目前所存在的问题作了简要介绍, 并对该领域今后的发展方向提出了一些看法。

关键词:石笋; 微层灰度; 微层厚度; 气候环境变化

中图分类号: P59 **文献标识码:** A

由于洞穴化学沉积物固有的沉积特征及其内所蕴含丰富的同位素、微量元素组成和年龄信息, 利用洞穴化学沉积物作古气候记录与古生态环境意义研究成为近一二十年来全球变化研究领域的一个热点, 并已取得了长足的发展与进步^[1-12]。从长尺度看, 通过选取合适的洞穴化学沉积物样品, 在精确定年控制下, 能够较为准确地反映不同历史时期的各个事件记录。但对短尺度的气候与生态环境意义研究, 尤其是对近2000年来高分辨率气候与环境变化的指示意义, 则是洞穴体系研究中相对薄弱的一环。

在不同类型的洞穴碳酸盐(石笋、石钟乳、钙板)中, 石笋由于其沉积剖面完整、微层明显和组分构造有序, 更能保存有系统的、连续的同位素、微量元素组成及年龄信息, 从而成为综合研究气候与生态环境变化的理想载体。石笋微层是垂直于石笋剖面平行生长的一系列纹理, 微层厚度 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ mm不等, 层与层之间具有韵律变化, 并由一个微细的界面隔开, 它是由响应于外界气候与生态环境变化的高频率的周期性沉积条件改变所形成。因此, 石笋微层研究在全球变化领域是高分辨率反映气候与生

态环境变化的有效手段之一。

石笋微层的高分辨率首先体现在微层通常为年层, 因此分析精度可达年甚至季。早在20世纪60年代初, Broecker等^[13]用¹⁴C方法测年, 证明在温带气候区, 一些快速生长的石笋微层是年层。1993年, Baker等^[8]利用高精度TIMS-U系技术对Sutherland的Tartair洞内一个全新世石笋的发光条带做年代测定, 再通过对微层计数, 在误差范围内完全证明了石笋微层即为石笋的年生长层。

石笋的形成是洞穴滴水沉淀的结果。因此, 洞穴滴水所携带的各类信息指标理论上在石笋微层中都应该有同步记录。虽有报道用二次离子质谱(SIMS)对微层单层内元素(Fe、Ba等)作原位分析^[14], Lauritzen^[15]也曾尝试使用激光熔样质谱(LA-MS)对石笋进行原位微层分析, 采集精确至微层的同位素数据, 希望获取年分辨率的信息, 遗憾的是, 受微层空间和样品量的限制, 迄今还未能从微层中成功检出有机质、同位素的具体组成, 无法对洞穴滴水带入的信息通过石笋微层分析反映出来。

目前, 在尚无其它理想的分析技术手段情况下,

收稿日期: 2001-07-12; 修回日期: 2001-10-23.

* 基金项目: 中国科学院知识创新工程项目“洞穴滴水及其沉积物的地球化学特征与生态环境意义”(编号: KZCX2-105); 环境地球化学国家重点实验室创新领域项目联合资助.

作者简介: 刘启明(1973-), 男, 江西瑞金市人, 博士生, 主要从事环境地球化学研究. E-mail: liuqiming@fm365.com

较多的研究工作集中于探讨石笋微层的周期性韵律变化中微层灰度和微层厚度所包含的气候环境意义,并希望藉此说明石笋微层生长的沉积学机理,建立连续而精确的石笋年表,提高石笋微层的科学利用价值。

1 石笋微层灰度

对石笋微层灰度的研究可以追溯到20世纪中叶,1954年,Gilson等^[16]就指出,洞穴碳酸盐中存在有机质,这些有机质是一种激活剂,受紫外线照射后能变成发光体。20世纪70年代,Gascoyne^[17]分析指出,洞穴碳酸钙条纹的颜色是其中存在的粘土和有机质所赋予的。到20世纪80年代,Shopov^[4]及White等^[18]通过实验证实了是有机质的存在使得石笋微层受激发出荧光,这些都属灰度研究范畴。

1.1 微层灰度分析

石笋微层广义上的灰度泛指在样品表面所测到的光线强度。光源不同、测量方式不同、测量的光线性质不同使得所测灰度的物理意义也不同。在普通透射光条件下由于石笋微层内沉积界面阻光测得的灰度是狭义的灰度。采用紫外光照射样品所测得到的表面激发光强度则为荧光。石笋微层灰度可以用两种样品测量,即光面测量和薄片测量。光面测量是将石笋沿中轴剖开后,直接在抛光的石笋表面测量反射光或荧光强度。由于光面下方石笋较厚,微层位置变化大,易受干扰,因此效果较差,而且不能测量透射光。这种方法对肉眼能够直接观测的较厚微层适于采用。薄片测量则是通过切制石笋薄片,在显微镜下测量薄片的灰度,对透射光、反射光和荧光都可以进行观测。由于石笋薄片厚度小,微层在薄片厚度方向上较稳定,干扰少,因此效果好,其缺点是样品易产生裂纹。

综上所述,灰度测量最好是在显微镜下测量石笋薄片的透射光强度或荧光强度。当然,微层较厚时,可以直接用扫描仪或CCD摄像机获得样品微层图像,微层较薄时则通过显微镜提取微层图像。如Shopov等^[19]用胶片拍摄出石笋薄片的荧光图像,然后用密度仪测量胶片的光学密度作为石笋荧光强度。Genty等^[20]利用数字图像处理技术提取石笋的灰度剖面来研究石笋生长。Baker等^[9]利用光谱仪直接测量一种UV激光灯照射下的石笋光面荧光强度。李彬等^[21]通过直接测量石笋光面反射光强度研究中国南方的长尺度环境变化。不同的测量方法得到的灰度意义各异,因此,在讨论、对比石笋微层

灰度的气候环境意义时,必须首先明确采用的方法和所测灰度合理的物理意义解释。

1.2 微层灰度形态

在显微镜下观测,通常可见石笋微层灰度的变化主要是由一些暗色物质组成的,这些暗色物质在透射光下亮度小,荧光下亮度大,二者变化大致相反,表明这些暗色物质的主要成分是有有机质。暗色有机质的来源有洞穴滴水从外界土壤层带入和石笋表面原地生长的两种。暗色有机质在微层的分布有一定规律性,石笋微层包含的一些气候环境意义也正是从微层灰度的规律性变化中推导出来的。秦小光等^[22]总结暗色有机质在微层的分布状态主要有以下两类:①浸染状颗粒:在微层内暗色有机质主要是一些小于 $5\mu\text{m}$ 的暗色颗粒呈浸染状分布在方解石晶体中,当薄片较厚时能分辨出这些颗粒明显的立体轮廓。浸染状暗色有机质颗粒是由洞穴滴水从外界地表土壤层带入的,经过洞顶岩层的过滤作用后,只剩下粒度细小且均匀的部分,在碳酸钙沉淀时被包裹在方解石晶体中。洞穴滴水中的有机质主要来自地表,石笋微层内有机质含量实际上就是地表生物量的再现。由于灰度是层内暗色有机质颗粒含量的直接反映,因此,灰度也可以作为地表生物量的替代指标;②条带状纹线:在石笋微层与微层之间,常常可见存在一条厚约 $0.5\sim 1.5\mu\text{m}$ 不等的暗色层构成的细小纹线,纹线平直且稳定连续,上下边界清晰,说明这些暗色有机质有一个较为稳定的沉积环境。它与层内浸染状分布的暗色颗粒截然不同,二者之间不存在过渡或渐变关系。它是在每年的旱季断水条件下,由于溶洞内终年湿度很大,因此在石笋表面能够稳定生长或吸附一些有机物(如藻类活微生物),并形成一层细薄的暗色有机质,成为微层之间的最好分界线。这种条带状纹线在北方石笋中极为常见,南方亚热带(热带)地区由于降雨量较大,有些洞穴滴水终年不断,使得条带状纹线无法生成,它的出现也可作为极端气候(干旱)年的标志。此外,还有其它如带状斑块状、刺形锥体状等,但通常只在石笋的局部存在且较为少见。

1.3 微层灰度影响因素

石笋微层灰度的韵律变化受多种因素的影响。从空间分布看,既有洞穴内部因素,也有洞穴外部因素;从性质类型看,既有有机质本身的变化,也有非有机质因素的干扰。下面从3个角度加以分析:①微层内部物质影响因素。显然,石笋微层不可能简单的只由碳酸盐和有机质两种物质组成,洞穴滴水

也常常带入其它的一些矿物杂质,如粘土等,这些矿物杂质的存在对由有机质产生的灰度会有一些的干扰,并且由于滴水中 Cu^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Zn^{2+} 对晶格内 Ca^{2+} 的交代作用,受区域地质状况影响,当石笋中某种元素富集到一定浓度时($100 \times 10^{-6} \sim 1000 \times 10^{-6}$),石笋微层常会呈现出一定的颜色,如 Cu^{2+} 为蓝色, Fe^{2+} 为红色等^[23]; ②气候与生态环境因素。温度和降水量影响着地表土壤有机质的总量及其迁移赋存规律,因此微层灰度蕴含了气温与降水信息。当地表植被类型不同时,洞穴滴水 and 石笋微层的荧光激发和发射波长也不相同^[24],据此可重建地表植被类型。地表植被生物量是通过微生物降解后,以溶解或微粒状态进入洞穴,从而在石笋微层中反映出来。因此,影响土壤层微生物活动的环境因素必然也会对微层灰度有影响。这些因子包括:温度、Eh 值、pH 值、土壤湿度(水分)、营养物质和太阳辐射等。Martin 等^[25]观测到土壤可溶性有机碳含量随温度升高而增加,证明温度使微生物加大繁殖速度,也增加了对土壤有机质的降解量,从而导致洞穴滴水中的有机质含量增加。太阳辐射对土壤微生物活动的影响在石笋微层灰度中也有记录,如 Shopov 等^[19]发现石笋微层荧光强度有着与太阳黑子活动类似的周期性(11 年)变化; ③水体下渗过程影响因素。土壤水渗入下伏岩层进入洞穴体系的过程中,可能会有围岩中的有机质及侧向水流携带的有机质加入。Baker 等^[26]通过分析发现,石笋和洞穴滴水的荧光波长与围岩的完全不同,并且通常围岩中的有机质分布较为均匀,由此说明围岩中的有机质对石笋微层灰度变化没有影响。而侧向水流相对要复杂,其所包含的有机质来源及种类很难确定,所以选点时要尽量避免洞穴顶部侧向水流可能的干扰。在水体下渗通道内滞留的老水与渗水混合会平滑渗水包含的气候环境信息,降低分辨率,从而造成“平滑效应”;渗水通道内围岩孔隙的吸附也会滤去水体中的有机质,形成“过滤效应”;此外,渗水通道较长或连通性较差时,也会使得洞内滴水滞后于洞外降水,造成“滞后效应”。从上面分析来看,对采样点的选择,必须充分考虑这 3 种效应的影响,太干净的样品或缺乏明显灰度序列变化的样品,表明了过强的过滤效应或平滑效应,均不适于作灰度研究。

2 石笋微层厚度

石笋微层厚度反映的气候环境意义相对于微层灰度要简单一些。从一般沉积学理论知道,由于某

种周期性的沉积环境或沉积条件的改变,会引起沉积物性质的变化或发生沉积间断,从而形成由物质界面或间断界面所确定的沉积旋回。据此,石笋微层厚度的韵律变化也必定是在石笋沉积过程中响应某一稳定自然周期变化的结果。

石笋的形成是饱和的洞穴滴水释放出 CO_2 气体产生碳酸盐沉积。洞穴内气温常年恒定,基本不影响 CO_2 的逸出比率。洞穴滴水的碳酸盐也是充分饱和的。而水则是石笋生长的唯一载体。所以我们有理由相信,在已证明石笋微层是年层的前提下^[8],微层厚度所反映的自然周期性变化就是年降水量的变化。这在我国不同地域生长的石笋中有明显的体现:北方地区降水量少,石笋微层普遍较薄,而南方多雨,石笋微层相对要厚一些。具体到每一个石笋,在同一时间序列内,微层厚度与器测年降水量的对应关系也得到较好的验证。刘东生等^[27]采集北京石花洞石笋,在确定石笋微层年龄序列后,将微层厚度值(μm)与同一时期的器测降水量(mm)作对比,二者曲线的起伏有很好的对应关系。

3 应用现状

自 Gascoyne^[17]和 White 等^[28]较早对石笋微层灰度开展工作以来,Shopov^[4]和 White 等^[18]也先后做了有益的探索。1993 年,Baker 等^[8]首次完全证明了石笋微层即为石笋的年生长层后,这一成果极大的推动了石笋微层学的发展。近几年来石笋微层应用于高分辨率气候环境变化研究已有了长足的进步:Baker 等^[8,9,24,26]从成因、类型、信息解译多方面对微层灰度作了较为系统的研究。Perrette 等^[29]则从实验方法上对微层灰度分析作了详尽的描述。Genty 等^[20]和 Dreybrodt 等^[30]也都成功的利用石笋微层灰度与厚度重建了试验点高分辨率气候环境的变迁状况。

我国的石笋微层研究在国际上具有一定的影响。刘东生等^[25]首先报道了石笋微层在中国的发现。通过对比我国南北方石笋微层灰度与厚度的异同点,秦小光等^[22,31-33]详细分析了不同气候环境对微层信息指标的影响,从理论上加深了对微层信息的理解,并据此成功地重建了北京地区最近 1 130 年来气候变化特征。

随着石笋微层在全球变化研究中所具有的优势日益凸显,必将会有更多的学者投身于此研究领域,从而推动整个学科的发展。

4 存在问题

石笋存在微层结构已众所周知,但真正全面、系统地研究石笋微层,并将其应用于示踪高分辨率气候环境变化则不过是近十多年间的工作,因此难免存在不少的问题。如通常将石笋微层的荧光强度作为地表植被生物量的替代指标,通过光谱分析可知,荧光强度只反映了胡敏酸和富啡酸含量,并不代表有机质总量,洞穴滴水中有有机质总量(TOC)与滴水的荧光强度(Lum)之间的关系式($TOC = 3.57 + 3.45 Lum$)二者间的相关系数也仅为0.63^[34]。尽管从理论上分析石笋微层厚度与降水量存在很好的对应关系,但是,由于洞穴的有效渗水是降水扣除径流和蒸发后的剩余水量,并且也可能受侧向水流的影响,再有其它不确定因素(地震、坍塌、堵塞)导致渗水通道的不稳定性,都可能会造成石笋微层厚度记录与实际降水量之间的偏离,最关键的是石笋微层与树轮年层一样也可能存在“伪年层”或“缺失年层”,石笋微层年代序列与实际年龄常常不能很好地一一对应,使得对石笋微层厚度与微层灰度同时作出错误的解译。受精度和样品量的限制,目前的测年技术还无法对每一微层进行精确定年。近期,国内有学者采用间接方法,对“伪年层”或“缺失年层”的辨识作了有益的尝试。根据石笋生长的同步性,谭明等^[35]提出“交叉定年”方法,即对于同一洞穴中平行生长的不同石笋样品,在同一时段内应能读出相似的气候振动信息,从而可根据层厚变化的相同趋势建立不同样品的共同时间序列,并能从中找出某些样品中的“伪年层”或“缺失年层”,进而建立精确的石笋年表。这一方法仍正在探索之中。现阶段,高分辨率短尺度的洞穴化学沉积物气候记录与生态环境意义的研究要有所突破,石笋微层年代学的发展已成为一个极为重要的关键所在。

5 结 语

近年来,在通过洞穴化学沉积物重建长尺度古气候环境已取得一定成果的基础上,配合IGBP的核心计划“过去全球变化/南北半球古气候计划”(PAGES/PANSH),更进一步地获取连续、高分辨率、短尺度的信息记录,区分气候环境的自然演化和人为干扰,已是岩溶学界在全球变化研究领域必然的发展趋势。其中,精度达年分辨率的气候环境记录指标——石笋微层成为国内外学者关注的焦点。通过对石笋微层厚度与微层灰度的研究,已使这一

方向取得了一定的成果。当前面临的最大问题是从沉积学机理及实验手段上尚无法对微层进行精确定年,在微层厚度与微层灰度的解译中也存在臆断性。这些都需要进一步地不断完善、发展。目前,尽管尚无法直接检出石笋微层内的同位素和其它物质组成,但仍可通过分析石笋物质的唯一来源——洞穴滴水,推断所包含的气候环境信息,并从“大气降水—土壤水—洞穴滴水”形成的过程机理上探讨各类信息指标的具体含义。这既是石笋微层气候环境记录研究中的有机组成部分,也是整个洞穴体系研究中必不可少的基础性工作。国内外这方面的工作少有报道,应该尽快加大研究力度,为洞穴化学沉积物在全球变化研究领域取得更大成就而作出贡献。

参考文献(References):

- [1] Tan Ming, Liu Dongsheng, Zhong Hua, et al. Preliminary study on the climatic data from stable isotopes of speleothems under monsoon[J]. Chinese Science Bulletin, 1997, 42(12): 1302-1306. [谭明,刘东生,钟华,等.季风条件下全新世洞穴碳酸盐稳定同位素气候信息初步研究[J].科学通报,1997,42(12):1302-1306.]
- [2] Li Hongchun, Gu Delong, Stott L D. Applications of interannual-resolution stable-isotope records of speleothem—climatic changes in Beijing and Tianjin, China during the past 500 years—the $\delta^{18}O$ Record[J]. Science in China (Ser D), 1998, 28(2):181-186. [李红春,顾德隆,Lowell D Stott,等.高分辨率洞穴石笋稳定同位素应用之一——京津地区500a来的气候变化—— $\delta^{18}O$ 记录[J].中国科学(D辑),1998,28(2):181-186.]
- [3] Li Bin, Yuan Daoxian, Lin Yushi, et al. Oxygen and carbon isotopic characteristics of rainwater, drip water and present speleothems in a cave in Guilin area and their environmental meanings[J]. Science in China (Ser D), 2000,30(1): 81-87. [李彬,袁道先,林玉石,等.桂林地区降水、洞穴滴水及现代洞穴碳酸盐氧碳同位素研究及其环境意义[J].中国科学(D辑),2000,30(1):81-87.]
- [4] Shopov Y Y. Laser luminescent microzonal analysis: A new method for investigation of the alterations of climate and solar activity during the Quaternary[A]. In: Kiknadze T, eds. Problems of Karst study in Mountainous Countries[C]. Tbilisi: Georgia, Metsniereba, 1987. 228-232.
- [5] Roberts M S, Smart P L, Hawkesworth C J, et al. Trace element variations in coeval Holocene speleothems from GB. cave, southwest England[J]. The Holocene, 1999, 9: 707-713.
- [6] Goede A, Vogel J C. Trace element variation and dating of a Late Pleistocene Tasmanian speleothem[J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 1991,88:121-131.
- [7] Gascoyne M. Trace-element partition coefficients in the calcite-water system and their paleoclimatic significance in cave studies[J]. Journal of Hydrology, 1983, 61:213-222.

- [8] Baker A, Smart P L, Edwards R L, *et al.* Annual growth banding in a cave stalagmite [J]. *Nature*, 1993, 364: 518-520.
- [9] Baker A, Caseldine C J, Gilmour M A, *et al.* Stalagmite luminescence and peat humification records of palaeo moisture for the last 2 500 years [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1999, 165 (1): 157-162.
- [10] Fairchild I J, Borsato A, Tooth A, *et al.* Controls on Trace-element (Sr-Mg) compositions of carbonate cave waters Implications for speleothem climatic records [J]. *Chemical Geology*, 2000, 166: 255-269.
- [11] Tan Ming, Liu Dongsheng. Study on paleoclimatic records from cave calcite deposits [J]. *Advance in Earth Sciences*, 1996, 11 (4): 388-395. [谭明, 刘东生. 洞穴碳酸钙沉积的古气候记录研究 [J]. *地球科学进展*, 1996, 11 (4): 388-395.]
- [12] Zhang Cheng, Yuan Daoxian. Study on continental paleoenvironmental proxy based on speleothems (drop stones) [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2001, 16 (3): 374-381. [章程, 袁道先. 洞穴滴水石笋与陆地古环境记录研究进展 [J]. *地球科学进展*, 2001, 16 (3): 374-381.]
- [13] Brecker W S. Radiocarbon measurement and annual rings in cave formations [J]. *Nature*, 1960, 185: 93-94.
- [14] Wang Xianfeng, Liu Dongsheng, Liang Handong, *et al.* Preliminary analyses by SIMS on trace components of stalagmite micro-layers and their climate significance [J]. *Quaternary Sciences*, 1999, (1): 59-66. [王先锋, 刘东生, 梁汉东, 等. 石笋物质组成的二次离子质谱初步分析及其气候意义 [J]. *第四纪研究*, 1999, (1): 59-66.]
- [15] Lauritzen S. Annually resolved stable isotope data from speleothem calcite by laser ablation/mass spectrometry [A]. In: Lauritzen S, ed. *Climate Change: The Karst Record* [C]. West Virginia: Karst Water Institute, Inc, 1996. 31-38.
- [16] Gilson J R, Macarthey E. Luminescence of speleothems from Devon UK. The presence of organic activators [J]. *Ashford Speleological Society Journal*, 1954, 6: 8-11.
- [17] Gascoyne M. Trace elements in calcite: The only cause of speleothem color? [J]. *National Speleological Society Bulletin*, 1978, 40: 90.
- [18] White W B, Brennan E S. Luminescence of speleothems due to fulvic acid and other activators [A]. In: 10th Proceedings of the International Speleology Congress [C]. 1989, 1: 212-214.
- [19] Shopen Y Y, Ford D C, Schwarz H P. Luminescent microbanding in speleothems-high-resolution chronology and paleoclimate [J]. *Geology*, 1994, 22 (5): 407-410.
- [20] Genty D, Baker A, Maire R. Comparison of annual luminescent and visible laminae in stalagmites [J]. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, Ser II, Fascicule A. Sciences De la Terre et des Planetes*, 1997, 325: 193-200.
- [21] Li Bin, Yuan Daoxian, Liu Yushi, *et al.* Luminescence and palaeoenvironmental record in a stalagmite in Parloug Cave, Guilin [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1997, 18 (4): 400-406. [李彬, 袁道先, 林玉石, 等. 桂林盘龙洞石笋发光特性及其古环境记录的初步研究 [J]. *地球学报*, 1997, 18 (4): 400-406.]
- [22] Qin Xiaoguang, Liu Dongsheng, Tan Ming, *et al.* Grey characteristics of microbanding of stalagmite in Shihua cave, Beijing and its climatic signification (I)—The study of microstructure of microbanding [J]. *Science in China (D)*, 1998, 28 (1): 91-96. [秦小光, 刘东生, 谭明, 等. 北京石花洞石笋微层灰度变化特征及其气候意义—I. 微层显微结构 [J]. *中国科学 (D)*, 1998, 28 (1): 91-96.]
- [23] Hill C, Forti P. *Cave minerals of the world* [Z]. National Speleological Society, 1997. 239-244.
- [24] Baker A, Genty A. Environmental Pressures on conserving cave speleothems—effects of changing surface land-use and increased cave tourism [J]. *Journal of Environmental Management*, 1998, 53 (2): 165-175.
- [25] Martin J C, Mark B D. Temperature and moisture effects on the production of dissolved organic carbon in a spodosol [J]. *Soil Biol Biochem*, 1996, 28 (9): 1 191-1 199.
- [26] Baker A, Barnes W L, Smart P L. Speleothem luminescence intensity and spectral characteristics—signal calibration and a record of palaeovegetation change [J]. *Chemical Geology*, 1996, 130: 65-76.
- [27] Liu Dongsheng, Tan Ming, Qin Xiaoguang, *et al.* Discovery of microbanding in speleothems in China and its significance in the study of global change [J]. *Quaternary Sciences*, 1997, 17 (1): 41-51. [刘东生, 谭明, 秦小光, 等. 洞穴碳酸钙微层理在中国的首次发现及其对全球变化研究的意义 [J]. *第四纪研究*, 1997, 17 (1): 41-51.]
- [28] White W B. Reflectance spectra and color in speleothems [J]. *National Speleological Society Bulletin*, 1981, 43: 20-26.
- [29] Perrette Y, Delannoy J J, Bolvin H. Comparative study of a stalagmite sample by stratigraphy, laser-induced fluorescence spectroscopy, EPR spectrometry and reflectance imaging [J]. *Chemical Geology*, 2000, 162: 221-243.
- [30] Dreybrodt W. Chemical-kinetics, speleothem growth and climate [J]. *Boreas*, 1999, 28 (3): 347-356.
- [31] Tan Ming, Qin Xiaoguang, Liu Dongsheng. Interannual, decadal and century scale climatic changes revealed by stalagmite records [J]. *Science in China (D)*, 1998, 28 (3): 272-277. [谭明, 秦小光, 刘东生. 石笋记录的年际、十年、百年尺度气候变化 [J]. *中国科学 (D)*, 1998, 28 (3): 272-277.]
- [32] Tan Ming, Qin Xiaoguang, Shen Linmei, *et al.* Biophysical microcycles of laminated speleothems from China and their chronological significance [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44 (6): 646-648. [谭明, 秦小光, 沈琳梅, 等. 中国洞穴碳酸盐双重光性显微旋回及其意义 [J]. *科学通报*, 1999, 44 (6): 646-648.]
- [33] Qin Xiaoguang, Liu Dongsheng, Tan Ming, *et al.* Grey characteristics of microbanding of stalagmite in Shihua cave, Beijing and its climatic signification (II)—The interannual change of grey [J]. *Science in China (D)*, 2000, 30 (3): 239-248. [秦小光, 刘东生, 谭明, 等. 北京石花洞石笋微层灰度变化特征及其气候意义—II. 灰度的年际变化 [J]. *中国科学 (D)*,

2000,30(3):239-248.]

organic matter content of stalagmite drip waters in lower cave[J].

[34] Baker B,William L B,Peter L S. Variations in the discharge and

Bristol Hydrological Processes,1997, 11:1 541-1 555.

THE STALAGMITE MICROBANDING IN RESEARCH OF HIGH RESOLUTION CLIMATIC-ENVIRONMENTAL CHANGES

LIU Qi-ming^{1,2}, WANG Shi-jie¹, OUYANG Zi-yuan¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: It's one of the most important task to reconstruct high resolution climatic-environmental changes in the last 2 ka of global change. The same as other natural materials (loess, ice-core, tree rings, sea deposits), speleothems are important repositories of palaeoclimatic and palaeoenvironmental information. On the basis of sedimentary characteristics and bedding-structure, stalagmite microbanding are ideal data in research of high resolution climatic-environmental changes, able to provide climate information with an annual resolutions and much longer time span compared to tree rings. Two aspects of annual banding of stalagmite have been reported, the luminescent microbanding observed under a fluoromicroscope and the lamina which is visible to the naked eye. It involves same climatic-environmental information, such as precipitation, temperature, soil and vegetation. In this paper, the authors analyze the causation, category and influencing factor of microbanding grey and microbanding thickness in detail, review and synthesize the recent advances in stalagmite microbanding research of high resolution climatic-environmental changes, and also point out the existing problems and forecast the trends.

Key words: Stalagmite; Microbanding grey; Microbanding thickness; Climatic-environmental Chang.