

# 青藏高原当雄错晚更新世末期-全新世早期叠层石新发现

雒洋冰<sup>1,2</sup>, 郑绵平<sup>1,2</sup>, 卜令忠<sup>1,2</sup>, 张雪飞<sup>1,2</sup>

1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037

2. 中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心, 北京 100037

**摘要** 在青藏高原首次发现当雄错第四纪晚期叠层石群, 其发现对于阐明高原第四纪晚期古环境演化有重要意义。通过对当雄错第四纪晚期发育的3层叠层石的地球化学特征以及<sup>14</sup>C年龄研究发现: 叠层石发育最佳温度20~30℃, 当温度低于12~15℃时, 蓝藻停止生长。目前, 当雄错湖水年均温度为4.8℃, 可知当时水温高于现代10℃; 这3层叠层石的<sup>14</sup>C年龄分别与同布林(Bölling)和阿路罗德(Allövöd)两次暖期事件, 及10.5 ka~9 kaBP全新世早期转暖期一致, 并且叠层石中 $\delta^{18}\text{O}$ 均值在-7.23~-6.6之间,  $\delta^{13}\text{C}$ 均值在4.75~5.65之间, 两者均较高, 可知当雄错当时气温较高。该时段3个暖期的发现, 对详细建立划分青藏高原第四纪晚期气候-年代学标尺有重要价值。

**关键词** 青藏高原; 第四纪晚期; 当雄错; 叠层石

叠层石的发现已有200多年的历史<sup>[1-3]</sup>。现在一般认为叠层石是由蓝细菌、真核藻类和微生物的生命活动引起的周期性矿物沉淀、沉积物捕捉和胶结作用所形成<sup>[4-5]</sup>。

叠层石的生长受到环境的制约, 多发现于热带或亚热带<sup>[3,6]</sup>, 如西澳大利亚Hamelin盆地南段温暖的浅水中发育叠层石<sup>[6]</sup>; 新西兰North群岛的Waimangu热水湖湖泊中发育大型硅质叠层石<sup>[7]</sup>, 盐湖叠层藻在南美puna高原和波斯湾潮坪<sup>[3]</sup>均有分布。叠层石能够有效地反映生长时期的沉积环境, 因此被作为一种研究古环境和古气候的最佳“指示器”<sup>[3, 8-9]</sup>。

中国关于叠层石的报道多集中于前寒武纪, 如北京西山晚前寒武纪地层中产出叠层石<sup>[10-11]</sup>, 山西五台地区滹沱群中发现Gymnosolen属的叠层石<sup>[12-13]</sup>, 云南震旦和四川西南部的晚前寒武纪<sup>[14-15]</sup>, 安徽北部晚前寒武均发现叠层石<sup>[16-17]</sup>。已报道的近现代叠层石均早于第四纪晚期, 如在柴达木盆地中新世发育大量湖相叠层石<sup>[18, 18-21]</sup>, 河北泥河湾发现早第四纪叠层石<sup>[22-27]</sup>。

西藏当雄错地处亚寒带干旱气候区, 笔者等在当雄错发现第四纪晚期叠层石群。这一发现对于阐明高原第四纪晚期古环境演化有重要意义。

## 1 地质概况

当雄错位于青藏高原西南, 隶属于西藏自治区那曲地区尼玛县文部乡。地理坐标: 东经86°38'00"E~86°49'00"E, 北纬31°30'00"N~31°40'00"N, 盐湖面积为55 km<sup>2</sup>。当雄错深居藏北高原腹地西部, 位于近南北向许如错-当雄错山间盆地北部, 具高山深盆地貌。

现代当雄错地处亚寒带干旱气候区, 高寒缺氧。2003年8月开始, 由中国地质科学院盐湖中心建立盐湖科学观察站, 相应建立了气象站。据2004—2010年数据可知, 当雄错年平均气温为3.5℃, 当雄错湖水年平均水温为4.8℃。

湖区出露的主要地层: 二叠系、白垩系和第四系。第四系主要分布于当雄错湖周和湖底, 分布较广泛。湖相地层T<sub>1</sub>~T<sub>4</sub>阶地由高至低, 颗粒渐细, 出露湖相地层年代为中更新世至现代。

## 2 当雄错叠层石产状与年龄的测定

2005年7月7日, 本课题组首次在当雄错西北岸发现第四系晚期湖成叠层石群。经多次调查表明, 该叠层石群紧贴T<sub>1-2</sub>阶地产出, 高可达1~1.2 m, 沿当雄错西北-西岸断续分布, 延伸长度超过10 km, 高离现代湖面10~12 m(图1)。

收稿日期: 2016-08-04; 修回日期: 2016-09-28

基金项目: 中国地质调查局大地调项目(1212011120982)

作者简介: 雒洋冰, 博士, 研究方向为盐湖学与盐类矿床地质, 电子信箱: luoyangbing0319@126.com; 郑绵平(通信作者), 中国工程院院士, 研究方向为盐湖学与盐类矿床地质学, 电子信箱: zhengmp2010@126.com

引用格式: 雒洋冰, 郑绵平, 卜令忠, 等. 青藏高原当雄错晚更新世末期-全新世早期叠层石新发现[J]. 科技导报, 2016, 34(21): 95-100; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.21.013



图1 当雄错叠层石分布

Fig. 1 Distribution of stromatolites at Damxung Co



图2 当雄错叠层石形态

Fig. 2 Physical form of stromatolites at Damxung Co

### 2.1 叠层石产状

本研究的叠层石沉积由下、中、上三层构成(图2):下叠层石厚约60 cm,由紧密排列基部相连接的圆顶叠层石层所构成,基体为 $T_{1-2}$ 碳酸盐黏土层/黏土碳酸盐层,酷似莲花状,单个叠层石高1~3 cm;中叠层石厚约40 cm,亦由紧密排列的基部相连的莲花状圆顶叠层石组成;上叠层石厚约20~30 cm,与下中叠层石层不同,由紧密排列基部相连的层柱状

叠层石层构成。

上叠层石层单个层-柱叠层石状似手指,长2~3 cm,直径1~0.5 cm,在个体之间下部为碳酸盐包裹物(图3)。

据薄片观察,下、中、上叠层石的内部结构相近,均为明暗相间碳酸钙(以文石为主)组成(图4)。暗层有机质含量较高,形成平坦或向上拱起的藻席层,反映微生物周期活动的变化(图5)。镜下未能见到清晰的藻席遗体和藻类的化石。推测为蓝藻(蓝菌)门Cyanophyta,因作为建造叠层石的蓝菌一般很难保存<sup>[28]</sup>。

### 2.2 叠层石年龄的测定

根据野外观察,可以确凿说明:叠层石群均不整合于 $T_{1-2}$ 级阶碳酸盐黏土层之上,以其为基体,而朝古湖水中发育(图6)。

$T_{1-2}$ 中部碳酸盐黏土 $^{14}C$ 年龄为 $(19520 \pm 360)$ aBP,顶部粉砂黏土碳酸盐 $^{14}C$ 年龄为 $(13160 \pm 150)$ aBP;而下叠层石层底部 $^{14}C$ 年龄为 $(13068 \pm 446)$ aBP,上部叠层石层顶部 $^{14}C$ 年龄为 $(8931 \pm 325)$ aBP(图6)。因此该叠层石群大致分为二期:第一期分为两个亚期,分别同布林(Bölling)和阿路罗德(Allevöd)暖事件相当,两暖期事件之间有一小间断;第一、二期之间有一间断大致在12 ka~11 kaBP,为新仙女木期(Younger Dryas);10.5 ka~9 kaBP为全新世早期转暖期(表1)。

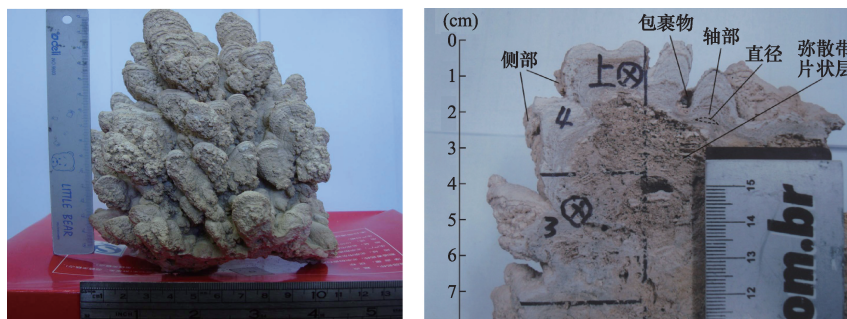


图3 上叠层石层“层-柱叠层石”形态与纵切面

Fig. 3 Form and longitudinal section of upper stromatolite

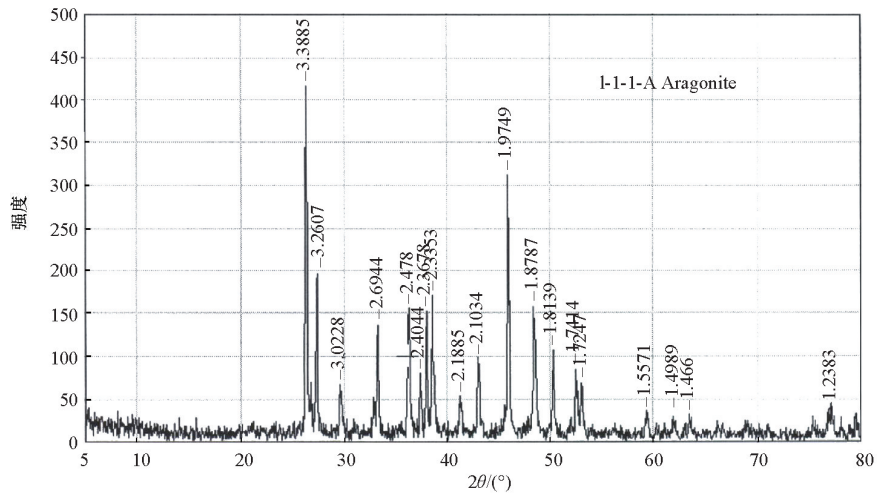


图4 叠层石X光衍射图谱

Fig. 4 X-ray diffraction pattern of stromatolite

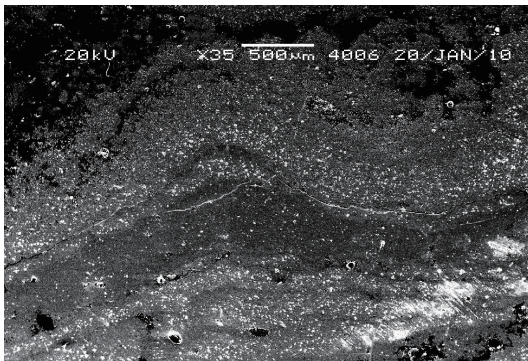


图5 上叠层石层电子显微镜照片

Fig. 5 Electron microscope photo of upper stromatolite

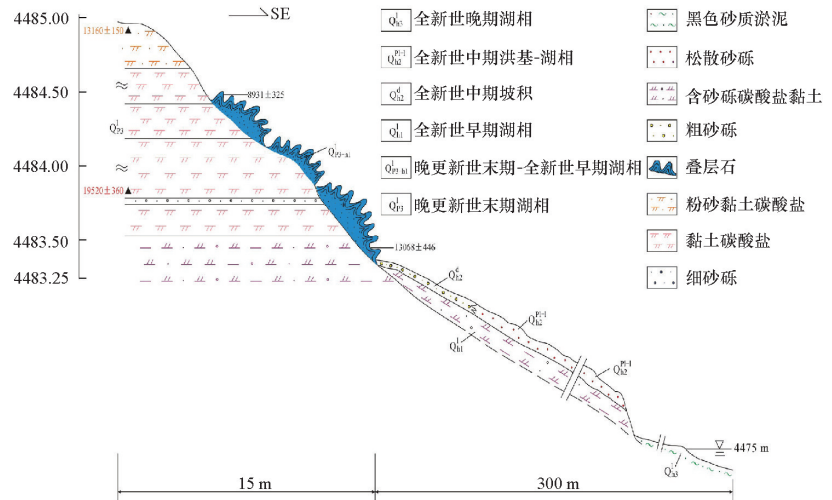


图6 当雄错西北岸T<sub>1-2</sub>阶坡前叠层石产状及形成年代

Fig. 6 Form and occurrence of T<sub>1-2</sub> terrace in Damxung Co

表1 叠层石层年龄与反映气候条件

Table 1 <sup>14</sup>C age and the climate conditions of stromatolite

地理位置	沉积物	<sup>14</sup> C 年龄/aBP	沉积接触关系	欧洲冰后期经典分期	
				名称	<sup>14</sup> C 年龄/aBP
T <sub>1-2</sub> 阶地 坡前	上叠层石层 (厚20 cm)	8931±325(顶)	沉积间断 短暂沉积间断 局部不整合	全新世初转暖期(前北方期)	10250—9450
	中叠层石层 (厚20 cm)			新仙女木冷期(Younger Dryas)	11350—10250
	下叠层石层 (厚60 cm)			阿路罗德暖期(Allevöd)	12150—11350
T <sub>1-2</sub> 阶地	粉砂黏土碳酸盐层	13068±446(底)	T <sub>1-2</sub> 顶部 T <sub>1-2</sub> 中部(距顶部1.2 m)	较老仙女木期(Older Dryas)	12350—12150
		13160±150		布林(Bölling)暖期	12750—12350
	黏土碳酸盐	19520±360		最老仙女木期(OlderDryas)	13000—12750

### 3 叠层石的地球化学特征

当雄错是许如错-当雄错多级湖盆最后闭流湖,泥晶文石和少量方解石均是在该湖形成的自生碳酸盐,由于该类自生矿物是与外界同位素平衡条件下形成的,故其碳氧同位素组成可指示当时的沉积环境。

剖面中 $\delta^{18}\text{O}$ 均值在 $-7.23\sim-6.6$ 之间, $\delta^{13}\text{C}$ 均值在 $4.75\sim 5.65$ 之间(表2),两者均较高,有较好正相关。下、上叠层藻层 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 均值较中叠层藻层稍高。由于当雄错为闭流湖,因此湖水体的 $\delta^{18}\text{O}$ 主要取决于该湖在大气降水中的 $\delta^{18}\text{O}$ <sup>[25, 28]</sup>;而其 $\delta^{18}\text{O}$ 又与年均温度正相关,同时,湖水体的 $\delta^{18}\text{O}$ 还与盐度有关,在温度一定的条件下,两者正相关。因此,在湖泊同位素平衡条件下,湖相碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 较高,可指示比较温暖干旱的气候环境。湖中 $\delta^{13}\text{C}$ 则与盐度有密切的关系,盐度愈高, $\delta^{13}\text{C}$ 愈高,同样可以说明当时较为暖干的气候条件。

表2 当雄错叠层石碳氧同位素  
Table 2  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  of stromatolite in Damxung Co.

位置	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$		$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	
	区间	均值	区间	均值
上叠层石层	$-6.8\sim-6.4$	-6.6	$5.2\sim5.4$	5.3
中叠层石层	$-6.8\sim-7.6$	-7.23	$4.1\sim5.4$	4.75
下叠层石层	$-6.5\sim-6.3$	-6.96	$5.5\sim5.8$	5.65

当雄错叠层石原以钙碳酸盐为主,仅含少量石英硅酸盐碎屑,经化学分析和能谱分析,上-下叠层藻层Si含量在 $0.95\%\sim 3.03\%$ ,平均 $1.87\%$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Ba}$ 总量在 $1.202\%\sim 2.865\%$ ,平均 $1.95\%$ (表3)。说明水体较为清静,动荡不大,入湖的陆源碎屑物较少。

表3 叠层石元素含量分布特征表  
Table 3 Distribution of elements in stromatolite

位置	Si含量(均值)/%	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{Sr}$ 、 $\text{Ba}$ 总量(均值)/%
上叠层石层	$0.95\sim 1.11(1.03)$	$1.202\sim 1.494(1.348)$
中叠层石层	$2.03\sim 3.03(2.53)$	$2.056\sim 2.951(2.5035)$
下叠层石层	$1.08\sim 2.69(1.973)$	$1.366\sim 2.865(2.0115)$

### 4 结论

当雄错叠层石镜下内部结构为明暗相间的层状碳酸钙(图5),暗层含有机质较高,镜下未能见到清晰的藻席遗体和藻类的化石,与可可西里以蓝藻建造的叠层石相同<sup>[28]</sup>。说明当雄错叠层石为蓝藻建造。叠层石发育最佳温度 $20\sim 30^\circ\text{C}$ <sup>[29]</sup>,当温度低于 $12\sim 15^\circ\text{C}$ 时,蓝藻停止生长<sup>[30]</sup>。目前,当雄错湖水年均温度为 $4.8^\circ\text{C}$ ,可知当时水温高于现代 $10^\circ\text{C}$ 。

这3层叠层石从下叠层石层底部 $^{14}\text{C}$ 年龄为 $(13068\pm 446)$ aBP,上部叠层石层顶部 $^{14}\text{C}$ 年龄为 $(8931\pm 325)$ aBP,分别同布林(Bölling)和阿路罗德(Allevöd)两次暖期事件,及 $10.5\text{ ka}\sim 9\text{ kaBP}$ 全新世早期转暖期一致(图6,表1),说明当时气温较

高。叠层石中 $\delta^{18}\text{O}$ 均值在 $-7.23\sim-6.6$ 之间, $\delta^{13}\text{C}$ 均值在 $4.75\sim 5.65$ 之间,两者均较高(表2)。湖相碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 较高,可指示比较温暖干旱的气候环境。湖中 $\delta^{13}\text{C}$ 越高,盐度愈高,同样说明当时较为暖干的气候条件。目前,当雄错年均气温为 $3.5^\circ\text{C}$ ,由于叠层石发育温度不可低于 $12\sim 15^\circ\text{C}$ <sup>[30]</sup>,说明当时气温高于现代,但由于发现当雄错周围有大量热泉发育,因此当时气温高于现代多少有待进一步研究。

现代叠层石和藻席多发现于热带或亚热带<sup>[3, 6]</sup>。当雄错第四纪晚期叠层石群,在青藏高原是首次发现。它的发现对于阐明高原第四纪晚期古环境演化有重要意义,特别是对该时段3个暖期的发现,不仅对详细建立划分青藏高原第四纪晚期气候-年代学标尺有重要价值,而且对阐明当代科学热点全球变暖形成机制有重要借鉴价值。

### 参考文献(References)

- [1] Visscher P T, Gritzner R F, Leadbetter E R. Low-molecular-weight sulfonates, a major substrate for sulfate reducers in marine microbial mats[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1999, 8(65): 3272-3278.
- [2] Visscher P T, Reid R P, Bebout B M. Microscale observations of sulfate reduction: Correlation of microbial activity with lithified micritic laminae in modern marine stromatolites[J]. Geology, 2000, 10(28): 919-922.
- [3] 曹瑞骥,袁训来. 叠层石[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2006. Cao Ruiji, Yuan Xunlai. Stromatolite[M]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2006.
- [4] Semikhatov M A, Raaben M E. Dynamics of the global diversity of Proterozoic stromatolites. Article 2: Africa, Australia, North America, and general synthesis[J]. Stratigraphy and Geological Correlation, 1996, 4: 24-50.
- [5] Semikhatov M A, Raaben M E. Proterozoic stromatolite taxonomy and biostratigraphy[M]//Microbial sediments. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2000: 295-306.
- [6] Allen M A, Goh F, Burns B P, et al. Bacterial, archaeal and eukaryotic diversity of smooth and pustular microbial mat communities in the hypersaline lagoon of Shark Bay[J]. Geobiology, 2009(7): 82-96.
- [7] Jones B, Renaut R W, Konhauser K O. Genesis of large siliceous stromatolites at Frying Pan Lake, Waimangu geothermal field, North Island, New Zealand[J]. Sedimentology, 2005, 52(6): 1229-1252.
- [8] 温志峰,钟建华,刘云田,等. 柴达木盆地中新世叠层石沉积特征及其环境和构造意义[J]. 地质科学, 2005, 40(4): 547-557. Wen Zhifeng, Zhong Jianhua, Liu Yuntian, et al. Significance of the Miocene stromatolites in western Qaidam Basin[J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(4): 547-557.
- [9] Flügel E. Triassic reef patterns[M]//Kiessling W, Flügel E, Golonka J. Phanerozoic Reef Patterns. Tulsa, Okla: SEPM, 2002.
- [10] 赫云兰,刘波,秦善,等. 北京西山下苇甸中寒武统张夏组生物丘发育特征及其地质意义[J]. 地质科技情报, 2012, 31(1): 9-15. He Yunlan, Liu Bo, Qin Shan, et al. The bioherm and geological significance of Middle Cambrian Zhangxia Formation at Xiaweidian profile in west hill, Beijing, China[J]. Geological Science and Technology Information, 2012, 31(1): 9-15.
- [11] 梅冥相,刘丽,胡媛. 北京西郊寒武系凤山组叠层石生物层[J]. 地质

- 学报, 2015, 89(2): 440-460.
- Mei Mingxiang, Liu Li, Hu Yuan. Stromatolitic biostrome of the Cambrian Fengshan Formation at the Xiaweidian Section in the western suburb of Beijing, North China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2015, 89(2): 440-460.
- [12] 高危言, 李江海, 白翔, 等. 五台山古元古代巨型叠层石的结构特征及成因意义[J]. *岩石学报*, 2009, 25(3): 667-674.
- Gao Weiyan, Li Jianghai, Bai Xiang, et al. Structural characterister of a huge Paleoproterozoic stromatolite in Mt. Wutai, and its genetic implication[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(3): 667-674.
- [13] 朱士兴, 徐朝雷, 高建平. 五台山及其邻区的早元古代叠层石[C]//中国地质科学院天津地质矿产研究所文集(17). 北京: 地质出版社, 1987.
- Zhu Shixing, Xu Chaolei, Gao Jianping. Early Proterozoic stromatolites from Wutai Mt. and its adjacent regions[C]//*Bulletin Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources*(17). Beijing: Geological Publishing House, 1987.
- [14] 刘文剑, 曾保成, 杨凤军, 等. 云南东川前寒武纪叠层石类型与找矿意义[J]. *古生物学报*, 2015, 54(3): 387-395.
- Liu Wenjian, Zeng Baocheng, Yang Fengjun, et al. Research on the type of Precambrian stromatolite and its prospecting significance in Dongchuan ore fields, Yunan[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 2015, 54(3): 387-395.
- [15] 赵东旭. 四川城口陡山沱组的 Epiphyton 锰质叠层石[J]. *科学通报*, 1992, 37(20): 1873-1875.
- Zhao Dongxu. Epiphyton manganese stromatolite in Doushantuo Formation in Chengkou, Sichuan Province[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1992, 37(20): 1873-1875.
- [16] 贾志海, 张利伟, 洪天求, 等. 安徽巢湖早三叠世叠层石的发现及其意义[C]//中国古生物学会第十次全国会员代表大会暨第25届学术年会——纪念中国古生物学会成立80周年. 南京: 中国古生物学会, 2009.
- Jia Zhihai, Zhang Liwei, Hong Tianqiu, et al. Early Triassic stromatolite in Chaohu, Anhui province and its implication[C]//*The 10th National Congress of Palaeontological Society of China (PSC), The 25th Annual Conference of PSC*. Nanjing: PSC, 2009.
- [17] 罗茂, 陈中强, 石光荣, 等. 安徽宿松早三叠世叠层石地球生物学研究及其古环境意义[C]//全国沉积学大会沉积学与非常规资源. 武汉: 长江大学, 2015.
- Luo Mao, Chen Zhongqiang, Shi Rongguang, et al. Geobiology of Early Triassic stromatolite in Susong, Anhui province and its Palaeoenvironmental implication[C]//*China National Conference of Sedimentology*. Wuhan: Yangtze University, 2015.
- [18] 温志峰, 钟建华, 李勇, 等. 柴达木盆地中新世叠层石成因与古环境研究[J]. *西北地质*, 2005, 38(2): 40-48.
- Wen Zhifeng, Zhong Jianhua, Li Yong, et al. Study on Miocene stromatolites genesis and related paleo-environment in Qaidam basin[J]. *Northwestern Geology*, 2005, 38(2): 40-48.
- [19] 曾令旗, 伊海生, 夏国清. 柴达木盆地西部新生代湖相叠层石沉积序列及古气候意义[C]//全国沉积学大会沉积学与非常规资源. 武汉: 长江大学, 2015.
- Zeng Lingqi, Yi Haisheng, Xia Guoqing. Sedimentary sequence and paleo-climate implication of Cenozoic lacustrine stromatolites in Western Qaidam Basin[C]//*China National Conference of Sedimentology*. Wuhan: Yangtze University, 2015.
- [20] 温志峰, 刘显太, 钟建华, 等. 柴达木盆地新近纪叠层石中微生物化石组合的发现与钙化方式研究[J]. *地质学报*, 2010, 84(2): 263-271.
- Wen Zhifeng, Liu Xiantai, Zhong Jianhua, et al. Discovery of microorganism fossil and study on microorganism induced calcification in Miocene stromatolites, Qaidam Basin, China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2010, 84(2): 263-271.
- [21] 温志峰, 钟建华, 王冠民, 等. 柴达木盆地古近纪-新近纪湖相叠层石与藻礁的沉积组合特征与意义[J]. *地质学报*, 2005, 79(4): 444-452.
- Wen Zhifeng, Zhong Jianhua, Wang Guanmin. Miocene stromatolites associated with lacustrine algal reefs: Qaidam Basin, China[J]. *Acta geologica Sinica*, 2005, 79(4): 444-452.
- [22] 迟振卿, 闵隆瑞, 朱关祥. 河北平原东目连第四纪湖相叠层石[J]. *中国区域地质*, 2001, 20(2): 153-157.
- Chi Zhenqing, Min Longrui, Zhu Guanxiang. Quaternary lacustrine stromatolites at Dongmulian, Yanyuan, Hebei[J]. *Regional Geology of China*, 2001, 20(2): 153-157.
- [23] 韩志勇, 杨淳, 王永, 等. 泥河湾盆地虎头梁叠层石的时代研究[J]. *第四纪研究*, 2005, 25(1): 86-92.
- Han Zhiyong, Yang Chun, Wang Yong, et al. Age of stromatolites at Hutouliang in Nihewan basin[J]. *Quaternary*, 2005, 25(1): 86-92.
- [24] 李容全, 袁宝印. 泥河湾地区更新世叠层石的发现[J]. *地质科学*, 1992(1): 97-99.
- Li Rongquan, Yuan Baoyin. Discovery of pleistocene stromatolites in Nihewan area, Hebei Province[J]. *Chinese Journal of Geology(Scientia Geologica Sinica)*, 1992(1): 97-99.
- [25] 闵隆瑞, 迟振卿, 朱关祥, 等. 河北平原东目连第四纪叠层石古环境分析[J]. *地质学报*, 2002, 76(4): 446-453.
- Min Jongrui, Chi Zhenqing, Zhu Guanxiang, et al. Analysis of the Palaeo environment of Quaternary Stromatolites at Dongmulian, Yangyuan County of Hebei Province[J]. *Acta Geologic Sinica*, 2002, 76(4): 446-453.
- [26] 夏正楷, 韩军青. 泥河湾盆地虎头梁湖相叠层石的生态环境分析[J]. *第四纪研究*, 1998, 25(4): 344-350.
- Xia Zhengkai, Han Junqing. Ecological environment of lacustrine stromatolites in the Hutouliang, Nihewan Basin[J]. *Quaternary*, 1998, 25(4): 344-350.
- [27] 夏正楷, 张昀. 泥河湾层中叠层石的发现及其古环境意义[J]. *中国科学: B辑*, 1993(8): 874-879.
- Xia Zhengkai, Zhang Yun. Discovery of stromatolite in Nihewan basin and its palaeoenvironmental significance[J]. *Scientia Sinica Chimica: Series B*, 1993(8): 874-879.
- [28] 伊海生, 林金辉, 周恩恩, 等. 可可西里地区中新世湖相叠层石成因及其古气候意义[J]. *矿物岩石*, 2008, 28(1): 106-113.
- Yi Haisheng, Lin Jinhui, Zhou Kenken, et al. The origin of miocene lacustrine stromatolites in the Hoh Xil area and its paleoclimatic implications[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2008, 28(1): 106-113.
- [29] Flügel E, Kiessling W. A new look at ancient reefs[M]//Kiessling W, Flügel E, Golonka J *Phanerozoic Reef Patterns*. Tulsa, Okla: SEPM, 2002: 3-10.
- [30] 王自强, 全秋琦. 宜昌峡东地区的现代叠层石[J]. *地质科学*, 1982, 17(4): 403-407.
- Wang Ziqiang, Quan Qiuqi. Modern stromatolite in Xiadong area, Yichang[J]. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 1982, 17(4): 403-407.

## New discovery of Late Pleistocene–Early Holocene stromatolites in Damxung Co, Qinghai–Tibet Plateau

LUO Yangbing<sup>1,2</sup>, ZHENG Mianping<sup>1,2</sup>, BU Lingzhong<sup>1,2</sup>, ZHANG Xuefei<sup>1,2</sup>

1. MLR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments; Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China
2. R&D Center for Saline Lake and Epithermal Deposit, Chinese Academy of Geological Science, Beijing 100037, China

**Abstract** The Late Quaternary stromatolite assemblages at Damxung Co have been found on the Qinghai–Tibet Plateau for the first time. The discovery has great significance for elucidation of the paleoenvironmental evolution on the plateau in the Late Quaternary. Geochemical characteristics and <sup>14</sup>C ages of these three layers stromatolites are studied in this paper. The result shows that the optimum temperatures for stromatolite growth are 20°C to 30°C, and that when the temperature is lower than 15°C, the growth of blue algae will stop. At present, the annual mean temperature of lake water is 4.8°C, suggesting that the water temperature then was 10°C higher than the modern times temperature. The result also shows that <sup>14</sup>C ages of these three layer stromatolites are consistent with Bölling, Alleröd and early Holocene warm period events, with mean values of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  being high in these three layer stromatolites, i.e.,  $-7.23$  to  $-6.6$  and  $4.75$  to  $5.65$ , respectively, suggesting that the air temperature was high. The discovery of three warm stages in this period is of vital value for the establishment of the Late Quaternary climatic–chronological scale of the Qinghai–Tibet.

**Keywords** Qinghai–Tibet Plateau; Late Quaternary; Damxung Co; stromatolite

(责任编辑 刘志远)