

文章编号: 1000-0550(2000)01-0013-05

近 2600 年来内蒙古居延海湖泊沉积物的色素含量及环境意义^①

瞿文川¹ 吴瑞金¹ 王苏民¹ 张振克²

1(中国科学院南京地理与湖泊研究所 南京 210008)

2(烟台师范学院地理系 山东烟台 264025)

摘要 通过分析东居延海 S₁ 探坑剖面色素含量, 结合碳酸盐、介形类化石、腐殖酸、磁化率及化学元素等多环境指标分析结果, 探讨该区近 2600 年来环境气候波动特点。研究区气候变化大致经历几个阶段: 温暖湿润(2 650~2 560 aB. P.)→湖泊萎缩, 气候偏干暖(2 560~2 360 aB. P.)→暖湿气候背景下湖泊的扩张(2 360~2 120aB. P.)→冷湿向冷干转换, 湖泊由大湖开始萎缩(2 120~1 600 aB. P.)→气候暖湿, 湖泊再次扩张,(1 600~650 aB. P.)→湖泊由扩张到萎缩, 气候由冷湿向暖干变化(650 aB. P. 一至今)。同时尝试把色素与其它指标的结合作为指示湖泊古初始生产力的有效性, 以及识别沉积记录有关人类活动的可能性。

关键词 湖泊沉积物 色素 居延海 环境演化

第一作者简介 瞿文川 男 1968 年出生 博士 地球化学

中图分类号 P595; P532 **文献标识码** A

通常有机碳的含量可指示湖泊的古生产力。而湖泊沉积物有机碳的来源混杂, 可以是来自内源的湖泊生物也可以是外源湖盆周围的陆生植物, 同时还存在沉积后分解作用的复杂性。近年来在湖泊沉积与环境演变研究中, 色素作为一种有效的环境代用指标开始得到广泛的应^[1, 2], 由于古色素比有机碳稳定, 分解较弱, 其所反映的湖泊古生物量与湖泊温度、水深、盐度、营养状况等有密切关系, 故可指示湖泊环境演化的历史。本文拟通过分析东居延海 S₁ 探坑剖面的色素含量, 并结合碳酸盐、介形类化石、磁化率及化学元素等多环境指标分析结果, 探讨该区近 2600 年来环境气候波动特点, 以及湖泊环境的演化趋势。

1 湖区自然环境概况

居延海位于内蒙古巴彦卓尔盟额济纳旗境内, 位于北纬 42°7', 东经 102°4'。由东、西居延海组成, 东居延海又称索古绰尔。湖区气候干旱, 年降水量 38.2 mm, 而潜在蒸发量则高达 3 700 mm, 日照强烈, 热量充足, 平均气温 8.2℃, ≥10℃积温为 3 400℃以上。索古绰尔解放前后至 1958 年水面面

积 35.5 km², 最大水深曾达到 1.80 m。但近年来由于上游截流灌溉用水已多次干涸, 近两年来更是滴水皆无, 严重影响着绿洲的生态环境^[3, 4]

2 样品的采集与测试

2.1 样品的采集

1995 年 9 月通过在居延海中部干涸的湖底开挖探槽, 获得 S₁ 湖泊沉积剖面, 深度 1.58 m, 按 2 cm 间隔采样, 获样品 79 个, 样品装入塑料袋密封后冷冻保存。

2.2 沉积年代测定

用低本底液体闪烁计数法对三个深度的样品进行¹⁴C 年龄年代测定。

结果如下: 136~140 cm 为(2 470±76)aB. P., 66~76 cm 为(1 866±60)aB. P., 28~30cm 为(780±55)aB. P. 据此初步确定其年代序列, 见图 1。

2.3 色素含量测定

首先称取新鲜沉积物样品约 5 g 自然风干, 测定含水量。粗磨后称取约 10 g, 进行样品烧失量(有机质)含量分析。再称取新鲜沉积物样品约 10 g 置于塑料离心管中。加入 90%丙酮 20~30 ml, 放置 8~10 h 后, 在 5 000 转/min 速度下离心 2~3 min 过

① 中国科学院湖泊专项支持与国家自然科学基金项目(编号: 49672132)联合资助

收稿日期: 1998-06-12 收修改稿日期: 1999-09-23

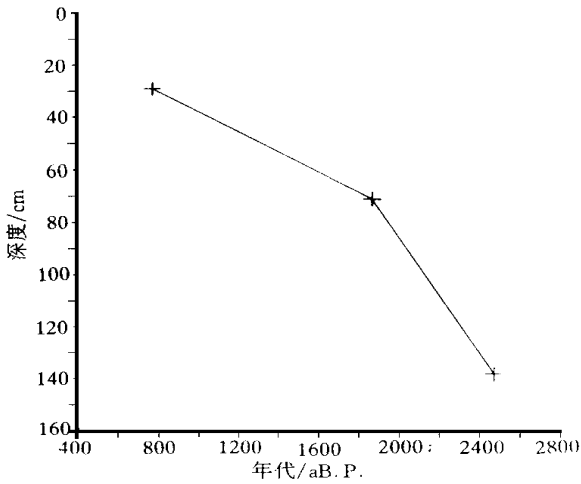


图1 居延海年代与深度关系

Fig. 1 Age-depth curve of Juyanhai Lake

滤于 100 ml 容量瓶中,再向离心管中加入 90% 丙酮 20~30 ml,反复萃取 3~4 次,每次将离心液也过滤至容量瓶中。最后用 90% 丙酮定容至 100 ml。

2.3.1 叶绿素(CD)含量的测定

从容量瓶中取 10 ml 待测液,用惠普 8452 型紫外可见分光光度计,在 666 nm 波长处测定。

2.3.2 总胡萝卜素(TC)的测定

从容量瓶中取 20 ml 待测液加入分液漏斗中, KOH(w/v) 甲醇溶皂化 2 小时,加入石油醚 30 ml 进行萃取,分层后将下层弃去。用蒸馏水洗涤石油醚层至中性。并用硫酸钠脱水。将溶液在 300~600 nm 波长范围内进行扫描。于 448 nm 波长处测定。

2.3.3 颤藻黄素(Osc)和蓝藻叶黄素(Myx)的测定

从容量瓶中取 60 ml 待测液,通过抽真空处理约 24 小时(溶液约剩 5 ml),最后用无水乙醇定容至 25 ml。于 412 nm、504 nm、528 nm 波长处测定。

2.4 沉积物中腐殖酸的提取与测定^[5]

取沉积物样品 200 g 左右(自然风干),过 100 目筛子,经加 1 mol/L 的盐酸浸泡 20 h,水洗,加 0.1 mol/L NaOH,加 Na₂SO₄ 沉淀,调节 pH,离心水洗等步骤得到腐殖酸。用惠普 8452 型紫外可见分光光度计在 190~800 nm 波长范围内扫描。

2.5 其它指标分析

沉积物磁化率参数的分析用英国 Bartington 公司生产的 MS2 型磁化率测量仪分别测得低频(0.4kHz)与高频(4.7kHz)磁化率 $Xlf(SI)$ 和 $Xhf(SI)$,并计算出频率磁化率 $Xfd(%)$;元素分析用

美国产 IL-PLASMA200 型电感耦合等离子体原子发射光谱仪(ICP)测定;沉积物介形类化石鉴定在中国科学院南京古生物研究所进行;碳酸盐含量采用中科院南京地理与湖泊研究所研制的碳酸盐库仑仪测定。

3 结果和讨论

3.1 色素研究理论依据

以往我们一直用沉积物中有机碳含量等指标反映生物量,实际上有机碳来源广泛,并且沉积后的分解过程十分复杂。而沉积物中叶绿素及其衍生物可能是比有机碳更为敏感的指标。根据它们在沉积物中的含量种类可测定湖泊初级生产力。湖泊生产力与湖泊光照、温度和营养物质等环境因素相关,后者又受气候变化的制约^[6]。

湖泊水生生物如藻类含有一定数量的叶绿素、类胡萝卜素和叶黄素等。这些色素在一定条件下埋藏于沉积物中不易变化,从而通过测定湖泊沉积物柱样各层位的色素含量,结合沉积速率(¹⁴C、²¹⁰Pb)可以揭示湖泊环境演化的历史。

叶绿素及其衍生物在淡水和海洋沉积物中均存在并富集。表现为富营养湖泊沉积物中有机质浓度极高;蓝藻叶黄素(Myx)可为浮游生物中占主导地位的蓝藻科提供重要的沉积依据;颤藻黄素(Osc)可以揭示湖泊富营养化状况变化的时序;自然叶绿素(NC)是指未分解的叶绿素,指示了沉积物中色素的保存程度,间接反映湖泊水深。叶绿素与总胡萝卜素比值(CD/TC)和颤藻黄素与蓝藻叶黄素比值(Osc/Myx)在古色素学中作为度量湖泊营养状况和原地生产力平衡的指标。与富营养湖相比,CD/TC 之在贫营养湖中较高,因为贫营养湖接收较多异地有机质,或湖泊氧化层较厚,TC 分解较快所致。Osc/Myx 的变化指示了蓝藻细菌植物群的组合变化^[7]。

综上所述古色素反映的湖泊古生物量与湖泊温度、水深、盐度、营养状况等有密切关系,可指示湖泊环境演化的历史。

3.2 沉积物中腐殖酸的环境指示意义

一般湖泊沉积物中的腐殖酸来源于陆生和水生植物残体。利用腐殖酸的含量、结构和组成信息,结合 $\Delta I_g K$ (K 为特定波长)可以判断沉积物的腐殖化程度,它们与生物量关系密切。另外腐殖酸含量受保存条件的限制,如沉积物中重金属离子含量高,有

利于与腐殖酸的结合, 从而有利于腐殖酸的保存。

3.3 东居延海沉积物色素等含量变化及 2600 年演化历史

根据东居延海 S1 剖面湖泊沉积物的色素、碳酸盐、介形、磁化率及元素等多环境指标分析结果, 并

依据¹⁴C 测年数据, 将湖泊环境演变大致分为几个阶段(图 2):

(1) 2 650 ~ 2 560 aB. P, 相当于剖面 158 ~ 145 cm。

该阶段湖泊沉积物岩性为灰黄—灰绿色中细

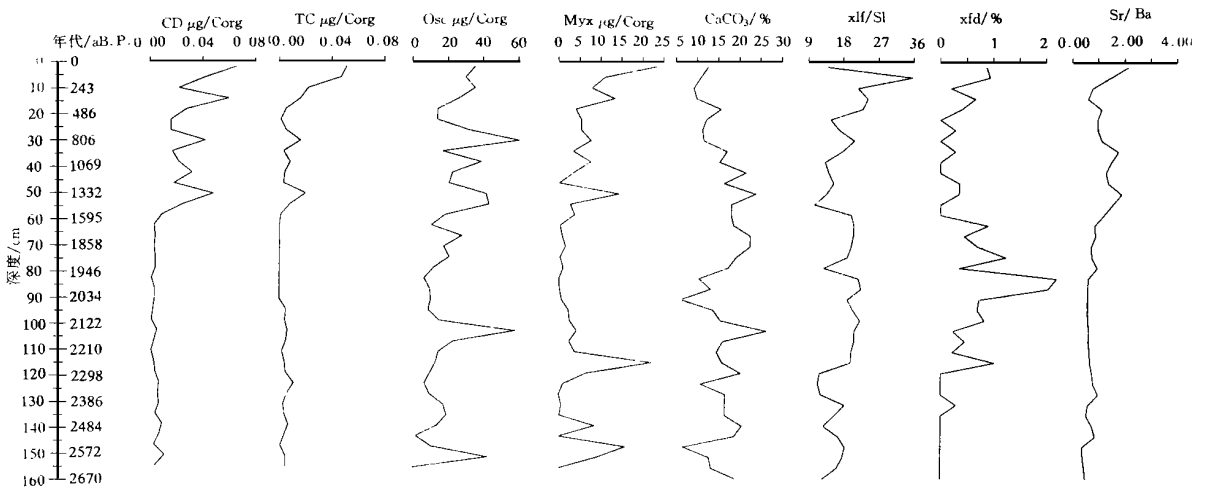


图 2 东居延海 S1 孔湖泊沉积物的环境指标变化

Fig. 2 Curves of environmental proxy of lake sediments in s1 core of East Juyanhai Lake

砂、粘土质中细砂, 沉积物岩性由粗变细, 反映湖泊扩张, 见螺壳碎片和植物碎屑残体。叶绿素、胡萝卜素含量平均值分别为 $0.007 \mu\text{g/gC}_{\text{org}}$ 和 $0.005 \mu\text{g/gC}_{\text{org}}$, 腐殖酸含量达 0.9%, 可能反映当时较高的湖泊生产力; 颤藻黄素和蓝藻叶黄素等色素含量呈峰值, 最高值分别达到 $42.4 \mu\text{g/gC}_{\text{org}}$ 和 $15.9 \mu\text{g/gC}_{\text{org}}$, 可能反映浮游藻类增长, 水温升高, 浊度减小, 可使蓝藻的竞争性加强。沉积物中碳酸盐含量与元素比值 Sr/Ba 为低值段, 结合介形类化石组合指示湖水盐度不高, 入湖水量增加。磁化率升高, 可能由于有机质的吸附作用造成 S₁ 孔细铁磁性颗粒增加。总体该时期气候暖湿, 湖泊扩张。

(2) 2560 ~ 2360 aB. P, 相当于剖面 145 ~ 124 cm。

该段沉积物色素较低, 尤其颤藻黄素和蓝藻叶黄素含量处于低值段, 其中颤藻黄素变化范围 $1.6 \sim 18.8 \mu\text{g/gC}_{\text{org}}$, 平均值为 $11.9 \mu\text{g/gC}_{\text{org}}$; 蓝藻叶黄素变化范围 $0 \sim 8.48 \mu\text{g/gC}_{\text{org}}$, 平均值 $2.38 \mu\text{g/gC}_{\text{org}}$, 反映湖泊环境严重咸化恶化, 不利于藻类生长发育。湖泊沉积物 120 ~ 145 cm 出现高盐物种 *Eucypris inflata*, 反映湖泊盐度增加, 该阶段介形种

类异常丰富, 多达 20 种, 指示气候变暖, 介形类繁盛发育。该阶段岩芯沉积物中存在较多的螺壳碎片, 腐殖酸含量仅为 0.16%, 可能和湖泊水位浅偏氧化环境, 不利于有机质保存有关, 这与沉积物中碳酸盐含量呈峰值段, 元素 Sr/Ba 比值呈上升趋势, Fe/Mn 为低值段, 表明入湖水量减少, 湖泊呈咸化趋势一致。所以这一时期湖泊萎缩, 气候偏干暖。

(3) 2 360 ~ 2 120 aB. P, 相当于剖面 124 ~ 100 cm。

该阶段沉积物色素中颤藻黄素和蓝藻叶黄素出现峰值, 颤藻黄素变化范围 $6.5 \sim 58.0 \mu\text{g/gC}_{\text{org}}$, 平均值为 $20.6 \mu\text{g/gC}_{\text{org}}$; 蓝藻叶黄素变化范围 $1.1 \sim 22.1 \mu\text{g/gC}_{\text{org}}$, 平均值 $6.67 \mu\text{g/gC}_{\text{org}}$, 反映水温偏高颤藻与蓝藻等藻类发育, 腐殖酸含量达 0.7%, 芳构化程度高, 湖泊营养条件改善。元素 Sr/Ba 比与碳酸盐含量变化呈下降趋势, 表明湖泊来水量增加, 湖泊扩张, 湖水淡化; 介形类化石组合由下部的高盐介形组合向较低盐介形组合变化, 沉积物颗粒变细, 导致频率磁化率上升。表明该段在暖湿气候背景下, 湖泊的扩张。

(4) 2 120 ~ 1 600 aB. P, 相当于剖面 100 ~ 60 cm。

湖泊沉积物色素含量在整个剖面上为最低段, 叶绿素变化范围 $0.001 \sim 0.004 \mu\text{g}/\text{gC}_{\text{org}}$, 平均为 $0.003 \mu\text{g}/\text{gC}_{\text{org}}$, 胡萝卜素几乎为零值。反映湖泊环境条件不适合湖泊生物的生存, 湖泊生产力低, 腐殖酸含量仅为 0.15% 。由于居延海人类活动的影响, 如农业开垦, 入湖细磁性矿物增加, 沉积物频率磁化率出现剖面上的最大峰值。结合其他环境指标的分析结果均显示气候冷湿向冷干转换, 湖泊由大湖开始萎缩。

(5) $1600 \sim 650 \text{ aB.P.}$, 相当于剖面 $60 \sim 22 \text{ cm}$ 。

湖泊沉积物岩性表现为灰绿色杂色粉砂质泥, 含大量植物残体碎屑。湖泊沉积物几种色素含量迅速增加, 总体较高为峰值段。其中叶绿素平均值达 $0.03 \mu\text{g}/\text{gC}_{\text{org}}$, 胡萝卜素平均达 $0.01 \mu\text{g}/\text{gC}_{\text{org}}$; 颤藻黄素平均值 $38.1 \mu\text{g}/\text{gC}_{\text{org}}$; 蓝藻叶黄素 $5.39 \mu\text{g}/\text{gC}_{\text{org}}$ 。反映湖泊环境改善, 水生植物与藻类发育繁盛的特点。沉积物 Sr/Ba 比与碳酸盐含量呈下降趋势, 也指示湖水盐度变化呈下趋势, 湖泊扩张。总体反映气候暖湿, 湖泊再次扩张, 中间有小波动变化也明显, 环境指标的组合反映为暖干—冷湿交替。

(6) $650 \sim 0 \text{ aB.P.}$, 相当于剖面 $22 \sim 0 \text{ cm}$ 。

湖泊沉积记录该阶段 CD、TC、O_{sc} 和 Myx 色素含量变化呈从低值逐渐上升趋势, 指示气候变暖的特征。碳酸盐含量与 Sr/Ba 比值变化反映湖泊盐度亦呈上升趋势, 反映湖泊逐渐咸化。湖泊由扩张到萎缩, 气候由冷湿向暖干变化。与近代史料记载的居延海湖泊萎缩事实, 流域气候暖干特征一致^[3]。

4 结论

本文通过分析居延海沉积物中的色素含量和组合特征并结合碳酸盐、介形、腐殖酸、磁化率及元素等多环境指标分析结果, 探讨了该区近 2600 年来环境气候波动特点。

1) 总体上从 2600 年来大致经历以下几个阶段: 温暖湿润 ($2650 \sim 2560 \text{ aB.P.}$) → 湖泊萎缩, 气候偏干暖 ($2560 \sim 2360 \text{ aB.P.}$) → 暖湿气候背景下, 湖泊的扩张 ($2360 \sim 2120 \text{ aB.P.}$) → 冷湿向冷干转换, 湖泊由大湖开始萎缩 ($2120 \sim 1600 \text{ aB.P.}$) → 气候暖

湿, 湖泊再次扩张, ($1600 \sim 650 \text{ aB.P.}$) → 湖泊由扩张到萎缩, 气候由冷湿向暖干变化 ($650 \sim 0 \text{ aB.P.}$)。

2) 东居延海沉积物色素指标与其它指标所反映的环境演化历史和发展过程十分吻合, 表明了色素作为反映古环境古气候演变的代用指标的有效性。

3) 据东居延海 2600 年来湖泊沉积记录的环境变化, 可以重建内蒙古西部干旱气候区历史时期的环境演化过程, 同时为预测未来该地区的气候环境趋势提供了理论依据。内蒙古西部干旱区在 100 年尺度上主要表现为冷湿—暖干组合, 代表西风带的特点。同时干涸现象频繁发生说明人类对水资源的过度开发, 已直接威胁到索古绰尔湖泊的存亡和限制了额济纳旗绿洲经济发展。

4) 研究结果表明内陆干旱—半干旱气候区封闭湖泊, 具有对气候波动反映较敏感的特点, 利用湖泊沉积记录的环境变化信息可恢复该区域古气候环境演变的历史, 并可与我国其它地区资料进行对比, 这对于过去全球变化的研究也有着重要意义^[8~10]。

参 考 文 献

- 1 王苏民, 羊向东, 马燕等. 江苏固城湖 15 ka 以来的环境变迁与古季风关系探讨[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(2): 137~141
- 2 王苏民, 薛滨, 夏威岚, 希门错 2000 多年来气候变化的湖泊记录[J]. 第四纪研究, 1997, 1: 62~69
- 3 高前兆, 李福兴. 黑河流域水资源合理开发利用[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1990. 16~22
- 4 中国科学院南京地理与湖泊研究所《蒙新高原湖泊》课题组. 蒙新高原湖泊志[M]. 1996. 113~114
- 5 文启孝. 土壤有机质研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1984. 107
- 6 韩晓钟, 沈瀚, 王苏民等. 青海湖沉积物的色素含量及其意义[A]. 见: 刘东生, 安芷生主编, 黄土. 第四纪地质. 全球变化[C]. 北京: 科学出版社, 1992. 116~121
- 7 马燕, 王苏民, 潘红玺. 硅藻与色素在古环境演化研究中的意义—以固城湖为例[J]. 湖泊科学, 1996, 8(1): 16~26
- 8 贾铁飞, 何雨, 李容全. 全新世内蒙古自然环境演变及其特点[J]. 干旱区地理, 1996, 19(4): 19~25
- 9 李华章, 刘清泗, 汪家兴. 内蒙古高原黄旗海岱海全新世湖泊演变研究[J]. 湖泊科学, 1992, 4(1): 31~39
- 10 李容全, 郑良美, 朱国荣. 内蒙古高原湖泊与环境变迁[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1990

Sedimentary Pigment and Its Environmental Signification of East Juyanhai in Inner Mongolia since the Past 2600 Years

QU Wen-chuan¹ WU Rui-jin¹ WANG Su-min¹ ZHANG Zhen-ke²

¹(Nanjing Institute of Geography and Limnology, Nanjing 210008)

²(Geography Department of Yantai Teachers College, Yantai Shandong 264025)

Abstract

Organic carbon content in lake sediment is often used to indicate the lake paleoprimary productivity. The main sources of organic carbon include autochthonous lake organism and allochthonous terrestrial plant, and there is complex degradation after deposition. Therefore the total organic carbon in lake sediments only can offer rough information about lake paleoprimary productivity.

Compared with organic carbon, pigments are more stable and have close relationship with lake temperature, water depth, salinity, trophic status. Recently pigments are used as an effective environment index in the study of lake environmental evolution.

According to the contents and assemblages of pigments and other environmental multiproxy from the sediments core of S₁ Core in East Juyanhai in Inner Mongolia, this paper mainly deals with the climatic and environmental changes during the past 2600 years of this area. The characteristics of climate assemblages have the feature with the process of warm wet (2540 ~ 2650 aB. P.) → lake shrink, warm dry (2360 ~ 2540 aB. P.) → warm wet, lake expand (2150 ~ 2360 aB. P.) → cold wet to cold dry, lake shrink (1630 ~ 2150 aB. P.) → warm wet, lake expand (600 ~ 1630 aB. P.) → cold wet to warm dry (600 aB. P. ~ present). In the meantime, the authors also try to contribute the pigment and other environmental index to evaluate the paleoprimary productivity, and to distinguish the human activities in lake records. The natural climate change played an important role in the process of environmental evolution in the area of Juyanhai Lake during the past 2600 years, and human activities affected the lake environment greatly only in a special period.

Key words pigment Juyanhai Lake lake sediment environment changes