

文章编号: 1009-3850(2014)04-0086-06

青藏高原湖泊沉积物色素与湖泊环境的响应

马宏海¹, 任雅琴¹, 张成君², 王 鹏²

(1. 兰州大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730030; 2. 兰州大学 地质科学与矿产资源学院, 甘肃 兰州 730030)

摘要: 本文通过对青藏高原湖泊表层沉积物色素、有机碳含量和环境因子的测定和分析, 初步探讨了青藏高原湖泊中色素的来源特征和该地区湖泊浮游植物群落组成结构等信息。结果表明, 青藏高原湖泊沉积物 TOC 含量多在 4%~6% 之间, 藻类植物是沉积物色素的重要来源。颤藻科和蓝藻科在青藏高原湖泊浮游植物中生长优势明显, 颤藻科在数量上相对蓝藻科有明显优势。青藏高原湖泊溶解氧(DO)、电导率(SC)对湖泊中藻类生长状况影响明显, 其中 SC 的升高对该地区湖泊中藻类生长有抑制作用。

关键词: 青藏高原; 湖泊沉积; 色素; 环境响应

中图分类号: P66

文献标识码: A

湖泊是反映区域自然环境变化和人与自然的相互作用最为敏感、影响最为深刻的地理单元之一^[1]。由于湖泊分布广泛, 在人与自然系统中相对独立, 因此很多科学家将湖泊作为反映区域环境的主要研究对象^[2], 已在有机碳同位素、孢粉、磁性参数、元素含量及其比值、碳酸盐含量、介形类、色素等方面进行了研究^[3]。色素广泛存在于植物体内。一般情况下色素按其结构特点可以分为 3 类: 第一类是叶绿素, 第二类是类胡萝卜素, 第三类是胆藻素^[4]。沉积物色素具有丰富的地球化学信息, 可用来研究湖泊浮游植物的丰度和组成^[5-8], 也可表征区域湖泊的生产力水平^[6]和水体富营养化状况等信息^[8-9]。另外, 分析湖泊沉积物中总有机碳和沉积物色素的相关性, 结合湖泊周围的环境状况, 可以指示湖泊沉积物中色素的来源途径^[10]。我国学者也对沉积物色素进行了一些研究。彭爱华等(2006)通过分析天鹅洲湖泊沉积物中色素的含量、种类以及相应参数初步探讨了天鹅洲的环境演化过程和浮游植物的变化趋势^[11]; 金海燕等(2009)利用光合色素的组成信息探讨了东海 31°N 纬度断面

上的浮游植物类群组成结构, 表征了沉积物中的有机碳组成及来源特征^[12]; 赵军等(2010)通过提取分析海洋中沉积物色素的来源、分类信息, 探讨了海洋沉积物色素生物标志物等^[13]。

目前国内开展的湖泊沉积物中色素的研究大多数集中在东南沿海地区, 而在典型的高寒地区西藏的研究却很鲜见。西藏地区具有湖泊分布密度大、人类活动微弱且生态环境特殊等特点, 湖泊环境与东南沿海地区存在很大差异。因此, 对青藏高原展开沉积物色素的研究, 对该地区生态环境有重要意义。

1 研究区概况

青藏高原那曲地区和阿里地区分布在青藏高原的腹地, 该地区包括长江源山原、黄河源山原和藏北高原区, 东西跨度大, 地势西北高, 东南低, 从西往东地表逐渐平缓, 平均海拔 4500m 以上。内陆封闭, 小湖泊星罗棋布, 地势起伏较小^[14]。气候寒冷干旱, 云层较薄日照充足, 多大风天气, 年平均气温为-4.5℃~1.5℃, 昼夜温差大。降雨量由东南向

收稿日期: 2014-05-11; 改回日期: 2014-05-18

作者简介: 马宏海(1989-), 男, 硕士研究生。专业: 资源环境、水资源。E-mail: mahh09@lzu.edu.cn

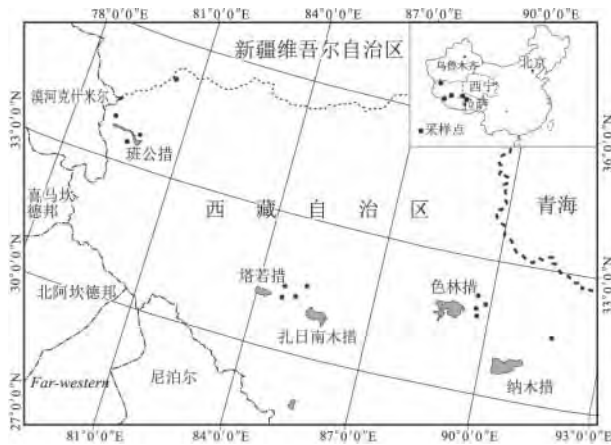


图1 采样区域与采样点分布

Fig.1 Sampling sites in the Nagqu and Ngari region on the Qinghai-Xizang Plateau

西北逐渐递减,河流纵横其间且人类活动微弱^[15]。植被类型主要有山地荒漠、山地灌丛、高山草原、高寒草甸和高寒荒漠等;土壤类型有高寒荒漠土、高山草原土和高山草甸土^[9,16]。

2 样品采集及实验方法

2.1 样品采集

2012年6~7月,在西藏自治区那曲地区南部至阿里地区西北部沿途经度(31.10°N~35.00°N)、纬度(79.10°E~91.6°E)范围内的湖泊采用表层采样器采集了湖泊表面样,采样位置见图1。对沉积物样品进行采集的同时,详细记录了采样的时间、位置,并对沉积物样品所属湖泊的类型及周围的植被覆盖情况和周围生物活动情况等特征进行描述。同时,现场利用 WTWi450 水质分析仪测定并记录采样湖泊的温度、pH、溶解氧和电导率等理化指标。

2.2 实验方法

2.2.1 沉积物有机碳(TOC)的测定

沉积物有机碳测定采用浓硫酸-重铬酸钾滴定法^[17]。称取0.5g左右(精确到0.001g)过60目筛子的沉积物土样置于试管,用移液管准确加入0.136mol/L重铬酸钾-硫酸($K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$)溶液10ml。预先将液体石蜡油浴锅加热至185℃~190℃,在严格控制温度的情况下将试管放入铁丝笼中,将铁丝笼放入油浴锅中加热,放入后温度应控制在170℃~180℃,待试管中液体沸腾发生气泡时开始计时,准确煮沸5分钟,取出试管,稍冷后擦拭试管外部油液。待试管冷却后,将试管内容物全部洗入250ml的三角瓶中,控制瓶内液体总体积在60~70ml,此时溶液的颜色应为橙黄色或淡黄色。加邻

啡罗啉指示剂3~4滴,用0.2mol/l的标准硫酸亚铁($FeSO_4$)溶液滴定,溶液由黄色经过绿色、淡绿色突变为棕红色即为终点。根据公式(1)计算总有机碳含量。

$$\text{有机碳(TOC) g/kg} = [(V_0 - V) N \times 0.003 \times 1.1) / \text{样品重}] \times 1000 \quad (1)$$

式中:

V_0 —滴定空白液时所用去的硫酸亚铁毫升数

V —滴定样品液时所用去的硫酸亚铁毫升数

N —标准硫酸亚铁的浓度, mol/L

2.2.2 沉积物色素的测定

色素的测试参照 Swain^[18]的方法,准确称取沉积物混合样品约10g置于50ml塑料离心管中,加入25ml体积分数为90%的丙酮摇匀,超声振荡10分钟,静置5分钟,往复两次后在室温下避光静置24小时。在3000r/min速度下离心10分钟,将上清液转移至50ml容量瓶中避光保存。再向离心管中加入10ml体积分数为90%的丙酮,摇匀后以3000转/分钟速度下离心3分钟,反复一次,每次均将离心液转移至容量瓶中。最后用体积分数为90%的丙酮定容至50ml。

(1) 叶绿素及其衍生物(CD)、自然叶绿素(NC)含量的测定

使用英国 Unicam 公司生产的 Unicam UV 300 型紫外可见分光光度计。以90%丙酮对仪器较零,以空白为样品,样品为空白进行走样,选取吸光度小的比色皿样品为空白,以尽可能减小误差。在避光条件下,取出提取液5ml,用紫外可见分光光度计在500~800nm波长范围内以1nm为间隔进行扫描。在666nm波长附近,有一明显吸收峰,此即为叶绿素的特征吸收峰,读出吸光度值666B,由公式(2)计算出沉积物样品中的叶绿素及其衍生物(CD)的含量。加入稀 HNO_3 1~2滴至样品比色皿中,酸化2min后,在同一波长处测得吸光度666A,即为自然叶绿素(NC)的吸光度。根据公式(3)计算出沉积物样品中的自然叶绿素(NC)的含量,式中TOC表示称取样品中TOC(g)含量。

$$CD(\mu\text{g/g org}) = (666B / \text{TOC}) \times 100\% \quad (2)$$

$$NC(\mu\text{g/g org}) = [(666B - 666A) / (0.7 \times 666A)] \times 100\% \quad (3)$$

(2) 总胡萝卜素(TC)的含量测定

取出10ml提取液于分液漏斗中,加5ml 20% KOH溶液(即200g/L),摇匀后皂化2小时。加10ml石油醚摇匀静置,萃取0.5h,分层后将下层液

弃去。用蒸馏水将石油醚层洗至中性。再加入 2g 无水硫酸钠脱水至分层明显(约 10 分钟)。

以石油醚为空白,吸取上述上层液,在 200 ~ 700nm 波长范围内对其进行扫描。在 448nm 波长附近,有一明显吸收峰,即为胡萝卜素的特征吸收峰,读出其吸光度 448A,此吸光度代表溶液中胡萝卜素的总量。根据公式(4)计算出沉积物样品中的胡萝卜素(TC)含量,式中 TOC 表示称取样品中 TOC(g)含量。

$$TC(\mu g/g\ org) = (2/3 \times 448A/TOC) \times 100\% \quad (4)$$

(3) 颤藻黄素(Osc)和蓝藻叶黄素(Myx)的测定

从上述容量瓶中提取 30ml 待测液移入分液漏斗,加 20ml 石油醚,震荡 3 小时。待静置液分层,取下层液相至 50ml 烧杯中,室温挥发至干燥。再将其溶于无水乙醇中,定容至 5ml,以无水乙醇为空白,较零紫外分光光度计。分别在 412nm、504nm、528nm 波长处测定吸光度,然后根据公式(5)与(6)分别计算沉积物样品中颤藻黄素(Osc)和蓝藻叶黄素(Myx)的含量。式中 TOC 表示称取样品中 TOC(g)

含量,V(ml)表示乙醇提取体积。

$$Osc(\mu g/g\ org) = 20000 \times V \times O_{495} / (1450 \times 0.7 \times TOC) \quad (5)$$

$$Myx(\mu g/g\ org) = 20000 \times V \times M_{473} / (2100 \times 0.7 \times TOC) \quad (6)$$

式中 O_{495} 、 M_{473} 计算方法如下:

$$O_{528} = 1.266A_{528} - 0.219A_{504} - 0.081A_{412}$$

$$M_{504} = 1.358A_{504} - 1.308A_{528} - 0.031A_{412}$$

$$O_{495} = 1.27O_{528}$$

$$M_{473} = 1.20M_{504}$$

3 实验结果

测量结果如表 1 所示。研究区湖泊平均 pH 值为 9.8,均呈碱性;溶解氧(DO)含量较低,在 5.3 ~ 8.7mg/l 之间波动,平均为 6.8mg/l;电导率(SC)变化范围大,且无明显规律。整个研究区域的湖泊沉积物 TOC 含量范围为 1.38% ~ 10.68%,70% 的沉积物样品 TOC 含量在 4% ~ 6% 之间,且高值多出现在水草繁茂的小型封闭湖泊。

表 1 湖泊沉积物色素及环境指标

Table 1 The lake sediment pigment contents and environmental indicators

编号	TOC (%)	CD ($\mu g/g\ org$)	NC(%)	TC ($\mu g/g\ org$)	Osc ($\mu g/g\ org$)	Myx ($\mu g/g\ org$)	pH	溶解氧 (mg/l)	电导率 (ms/cm)
1	5.88	0.06	40.43	0.27	7.05	0.72	9.16	5.99	0.82
2	4.68	0.12	78.10	0.14	39.11	6.74	10.56	5.91	1.35
3	10.68	0.03	14.05	0.13	2.12	0.25	9.62	6.26	0.33
4	5.59	0.16	79.08	0.31	4.80	0.23	10.95	8.50	0.65
5	9.98	0.06	32.74	0.13	8.08	1.02	9.68	8.52	33.80
6	5.66	0.12	44.29	0.25	24.19	2.58	10.26	7.02	0.48
7	4.88	0.07	54.29	0.26	2.12	0.67	9.53	5.86	0.27
8	6.94	0.02	82.86	0.08	1.13	0.29	11.43	6.34	7.49
9	3.83	0.06	76.53	0.02	11.38	1.48	9.25	5.84	13.93
10	1.38	0.09	47.62	0.06	4.16	3.02	9.42	6.66	11.95
11	4.05	0.01	35.71	0.22	3.35	0.43	9.60	5.31	49.90
12	4.67	0.11	63.03	0.07	23.01	7.21	8.64	7.73	0.94
13	4.06	0.06	2.98	0.05	1.95	0.51	9.70	8.77	2.81

4 讨论

色素具有丰富的表征信息,国际上通用 4 项指标来表征沉积物色素:叶绿素及其衍生物(CD)、自然叶绿素(NC)、颤藻黄素(Osc)、蓝藻叶黄素(Myx)。表 2 列举出了沉积物色素指标及其指示的环境意义。

4.1 青藏高原湖泊沉积色素的保存状况

自然叶绿素(NC)是指沉积物中未分解的叶绿素。通过分析 NC 与 CD、TC、Osc、Myx 的相关性(图 2)发现,NC 与 TC、CD、Osc、Myx 相关性均不明显。结合现场采样环境描述记录,采样湖泊多是封闭湖泊,人类活动微弱,湖泊周边没有或很少有河流注入,只有少部分湖泊有被水草等小型植被覆盖和生

表 2 沉积物色素及其所指示的环境意义

Table 2 Environmental significance indicated by sediment pigments

色素指标	所指示的环境意义
CD 和 TC	湖泊初始生产力水平 ,高的 CD 和 TC 值反映良好的藻类生长状况
Myx	浮游生物中蓝藻科的含量 ,为浮游生物占主导地位的蓝藻提供沉积依据
Osc	浮游生物中颤藻科的含量 ,可用作判断湖泊富营养化的指标
NC	未分解的叶绿素 ,指示沉积物中色素的保存程度 ,NC 值越高表示色素保存程度越好 ,反之则相反
CD/TC	衡量异地与内生有机碳平衡的指标 ,CD/TC 值高时表示外源有机碳对湖泊总有机质碳贡献大 ,反之则相反
Osc /Myx	比值高低变化表示湖泊中蓝藻植物群组合的变化 ,比值高表示颤藻科是优势藻类 ,其值低则表示多种蓝藻的混合组合

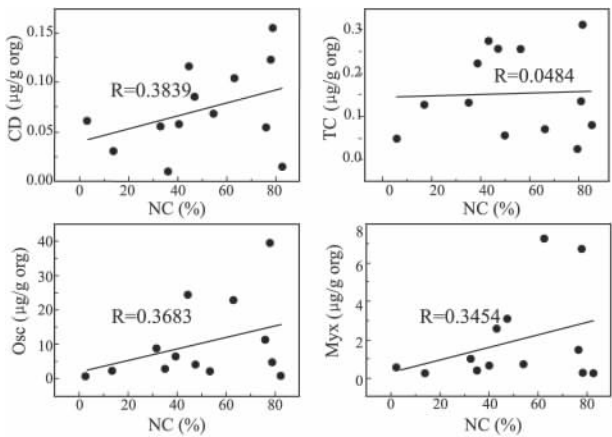


图 2 CD、TC、Osc 和 Myx 4 种色素与 NC 之间的相关性

Fig.2 Correlation of CD ,TC ,Osc and Myx with NC

物活动的记录。测试分析得到该地区自然叶绿素 (NC) 均值为 54.75% ,说明该区域沉积物色素保存较为完整。综合采样地区湖泊环境和 NC 与 CD、TC、Osc、Myx 的相关性分析 ,青藏高原湖泊色素的保存状况较好且受藻类生长的干扰较弱。

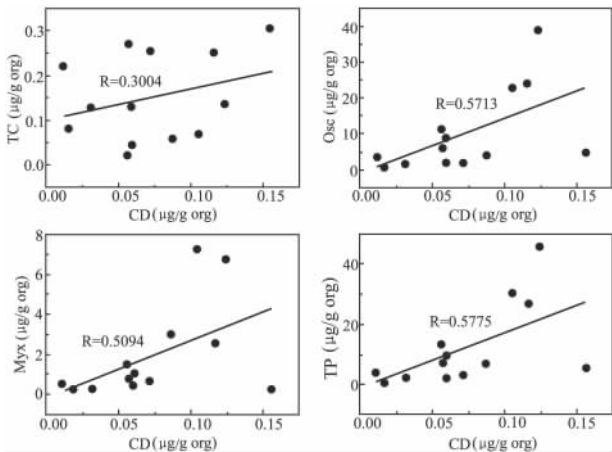


图 3 TP、TC、Osc、Myx 和 CD 之间的相关性

Fig.3 Correlation of TP ,TC ,Osc and Myx with CD

4.2 青藏高原湖泊沉积色素的来源

通过分析 CD 与色素总量(用缩写 TP 表示 ,指

CD、TC、Osc、Myx 色素含量之和)、Osc、Myx 的相关性(图 3) ,发现 CD 与 Osc、Myx、TP 具有较强的相关性 ,说明与胡萝卜素相关的藻类生长优势不明显; CD 与 TP 较明显的相关性(R =0. 5775) 说明藻类仍然是青藏高原湖泊沉积物色素的主要来源; CD 与 Osc 和 Myx 之间的相关性则达到了 R =0. 5713 和 R =0. 5709 ,这说明以颤藻黄素(Osc) 为代表的颤藻科和以蓝藻叶黄素(Myx) 为代表的蓝藻科的含量在青藏高原湖泊浮游植物中占主导地位。结合 CD 与 TC、Osc、Myx 之间相关性分析可知 ,青藏高原湖泊浮游植物颤藻科和蓝藻科的数量占明显优势 ,且颤藻科的数量远远大于蓝藻科的数量。湖泊中蓝藻科浮游植物所占比例很小 ,无富营养化现象 ,说明沉积物色素在青藏高原地区对环境有准确的指示意义。

4.3 色素含量与环境因子

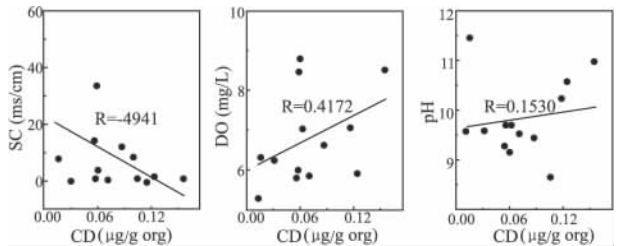


图 4 CD 与溶解氧(DO) 、电导率(SC) 、pH 的相关性分析

Fig.4 Correlation of DO、SC and pH with CD

选择青藏高原湖泊中的溶解氧、电导率、pH 等环境因子与湖泊中叶绿素及其衍生物(CD) 进行相关性分析(图 4) 。CD 含量与溶解氧含量、电导率相关性较大。其中 ,CD 与溶解氧含量呈较明显的正相关关系 ,说明溶解氧是青藏高原湖泊浮游植物生长较为重要的限制因子。CD 与电导率呈比较明显的负相关关系 ,电导率的增加将抑制湖泊藻类的生长 ,说明青藏高原湖泊中的游离离子含量过多 ,已影响到湖泊中藻类的生长。

5 结论

(1) 青藏高原湖泊的总有机碳(TOC) 含量较高, 多数湖泊有机质含量在 4% ~ 6% 之间, 分布无明显规律。

(2) 青藏高原湖泊中的藻类是沉积物色素的最重要来源; 湖泊沉积物色素受湖泊中藻类的干扰较小, 色素保存程度较好。

(3) 青藏高原湖泊藻类中颤藻科和蓝藻科生长优势明显, 且颤藻科的数量相对蓝藻科的数量有较为明显的优势; 沉积物色素对该地区环境有准确的指示意义。

(4) 青藏高原湖泊总体呈碱性, 环境因子中的溶解氧(DO) 和电导率(SC) 是影响该地区藻类生长的主要环境因子, 其中 SC 的升高抑制了该地区湖泊中藻类的生长。

参考文献:

- [1] 王苏民, 龚鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [2] 张振克, 王苏民. 中国湖泊沉积记录的环境演变: 研究进展与展望[J]. 地球科学进展, 1999, 14(4): 417-422.
- [3] 沈吉. 湖泊沉积研究的历史进展与展望[J]. 湖泊科学, 2009, 21(3): 307-313.
- [4] 申慧彦, 李世杰, 舒卫先. 湖泊沉积物中色素的研究及其环境指示意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(3): 37-42.
- [5] 姜珊, 刘晓东, 徐利强, 等. 北极新奥尔松地区湖泊沉积物色素含量变化及环境意义[J]. 极地研究, 2009, 21(3): 211-220.
- [6] HODGSON D A, WRIGHT S W, TYLER P A, et al. Analysis of fossil pigments from algae and bacteria in meromictic Lake Fidler, Tasmania and its application to lake management [J]. Journal of Paleolimnology, 1998, 19(1): 1-22.
- [7] HURLEY J P, ARMSTRONG D E. Fluxes and transformations of aquatic pigments in Lake Mendota, Wisconsin [J]. Limnol. Oceanogr., 1990, 35(2): 384-398.
- [8] ADAMS M S, PRENTKI R T. Sedimentary pigments as an index of the trophic status of Lake Mead [J]. Hydrobiology, 1986, 143: 71-77.
- [9] 王根绪, 胡宏昌, 王一博, 等. 青藏高原多年冻土区典型高寒草地生物量对气候变化的响应[J]. 冰川冻土, 2007, 29(5): 671-679.
- [10] MEYERS P A, SHIWATARI R. Lacustrine organic Geochemistry - an overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments [J]. Organic Geochemistry, 1993, 20(7): 867-900.
- [11] 彭爱华, 邱海鸥, 王义壮, 等. 湖北省天鹅洲沉积物中色素记录的环境意义[J]. 江汉大学学报: 自然科学版, 2006, 34(1): 27-30.
- [12] 金海燕. 近百年来长江口浮游植物群落变化的沉积记录研究[D]. 浙江大学, 2009.
- [13] 赵军, 姚鹏, 于志刚. 海洋沉积物中色素生物标志物研究进展[J]. 地球科学进展, 2010, 25(9): 950-959.
- [14] 胡军. 青藏高原湖泊表层沉积物磁化率特征及环境意义[D]. 兰州大学, 2013.
- [15] 杨元合, 朴世龙. 青藏高原草地植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J]. 植物生态学报, 2006, 30(1): 1-8.
- [16] 江新胜, 崔晓庄, 伍皓, 等. 青藏高原东缘古近纪沙漠及其对季风起源的启示[J]. 沉积与特提斯地质, 2012, 32(3): 54-63.
- [17] 刘昌岭, 朱志刚, 贺行良, 等. 重铬酸钾氧化-硫酸亚铁滴定法快速测定海洋沉积物中有机碳[J]. 岩矿测试, 2007, 26(3): 205-208.
- [18] SWAIN E B. Measurement and interpretation of sedimentary pigments [J]. Freshwater Biology, 1985, 15(1): 53-75.

Lacustrine sedimentary pigments and environmental responses on the Qinghai-Xizang Plateau

MA Hong-hai¹ , REN Ya-qin¹ , ZHANG Cheng-jun² , WANG Peng²

(1. *School of Resources and Environments , Lanzhou University , Lanzhou 730030 , Gansu , China*; 2. *School of Geological Sciences and Mineral Resources , Lanzhou University , Lanzhou 730030 , Gansu , China*)

Abstract: The present paper gives a preliminary study of the pigment sources in the lake sediments and community structures of the phytoplanktons in some lakes on the Qinghai-Xizang Plateau. The results of research show that total organic carbon (TOC) contents in the lakes mostly vary between 4% and 6% , and the aquatic pigments come mainly from algae and bacteria in the lakes. Oscillatoriaceae and *Arthrospira platensis* (cyanobacteria) have a marked advantage of growth in the phytoplanktons in the lakes on the Plateau. The number of Oscillatoriaceae is much more than that of *Arthrospira platensis*. The dissolved oxygen (DO) and specific conductance (SC) have an important effect on the phytoplanktons in the lakes. In particular , the increase of the specific conductance may restrain the growth of the phytoplanktons in the lakes.

Key words: Qinghai-Xizang Plateau; lake sediments; pigment; environmental response