

沉积物粒度记录的异龙湖近百年环境演变过程

陈金龙

云南师范大学地理学部, 云南 昆明

收稿日期: 2024年2月26日; 录用日期: 2024年3月15日; 发布日期: 2024年4月9日

摘要

2021年1至3月, 在云南师范大学地理学部实验室使用马尔文激光粒度分析仪对异龙湖东西湖区两根钻孔沉积物样本进行粒度分析, 依据有关研究建立沉积物年代序列, 结合人类活动和历史资料对两根钻孔沉积物粒度组分进行分别研究, 揭示了沉积物粒度记录的近百年来异龙湖环境演化过程和标志事件。研究表明1918年、1952年、1978年、2005年、2011年异龙湖区域的环境事件在钻孔沉积物粒度中均有粒度记录, 沉积事件的识别特征明显。基于同样的机理, 如其他湖泊有类似的沉积特征, 可对其他湖区沉积物粒度的解释提供一定参考。

关键词

异龙湖, 沉积物, 粒度, 环境演变

Environmental Evolution of Lake Yilong Recorded by Sediment Grain Size in Recent 100 Years

Jinlong Chen

Faculty of Geography, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan

Received: Feb. 26th, 2024; accepted: Mar. 15th, 2024; published: Apr. 9th, 2024

Abstract

From January to March in 2021, the grain size of sediment samples from two boreholes in the East-West Lake area of Yilong Lake was analyzed by Malvern laser particle size analyzer in the laboratory of the Department of geography of Yunnan Normal University. Based on the relevant research, the sediment age sequence was established. Combined with human activities and historical data, the grain size components of sediments from two boreholes were studied respectively. It

reveals the environmental evolution process and marker events of Yilong Lake recorded by sediment grain size in recent 100 years. The results show that the environmental events in Yilong Lake area in 1918, 1952, 1978, 2005 and 2011 have grain size records in the borehole sediments, and the identification characteristics of sedimentary events are obvious. Based on the same mechanism, if other lakes have similar sedimentary characteristics, it can provide some reference for the interpretation of sediment grain size in other lakes.

Keywords

Lake Yilong, Sediment, Grain Size, Environmental Evolution

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

湖泊是研究季风演化和人地关系历史的理想载体, 湖泊沉积物以其连续性好、敏感性强和高分辨率的特点, 在恢复和重塑各种短时间尺度(千年、百年、十年)的气候和环境演化序列上有重要意义[1]。湖泊的大小、水位的变化可由湖泊沉积物粒度分布特征反映, 同时, 湖泊的粒度分布特征还反映沉积环境中入湖河流处所受水动力强度以及流域的风化侵蚀强度等信息, 由此而间接反映流域内的植被及气候变化状况, 因此, 在古环境重建研究中, 湖泊沉积物粒度特征被广泛的采用[2]。湖泊沉积物保存了丰富的环境演化以及人类活动等信息, 具有环境放大作用, 是研究环境变化的重要载体[3]。湖泊沉积物是湖泊物理、化学、生物、水文以及地质构造等诸多要素在沉积物形成过程中的综合体, 对于湖泊研究有重要意义。粒度作为科学研究的重要指标, 有其不可替代的作用。异龙湖作为云南九大高原湖泊之一, 具有重要的科学研究价值。关于异龙湖的研究是丰富且多样的, 但是, 目前在异龙湖粒度特征所揭示的环境演变过程研究方面还处于较浅显研究阶段。本文通过对异龙湖东、西两个湖区采集的沉积物钻孔进行粒度分析, 结合历史资料和人类活动, 准确识别沉积物样本的粒度组分异同, 探究其在异龙湖区域环境演变中的指示意义, 以期对以后的研究提供有依据的参考。

2. 研究区概况

异龙湖位于云南省红河哈尼族彝族自治州石屏县(102°28'E~102°38'E, 23°28'N~23°42'N)境内, 为高原断陷溶蚀湖泊, 呈东西向条带状, 流域内地势平坦, 湖泊呈半封闭状态, 是云南九大高原湖泊之一, 湖水依赖地表径流、流域降水和地下水补给, 主要入湖河流有城河(赤瑞海河)、城南河、城北河, 其中城河上游与赤瑞湖相通[4]。据 2020 年资料, 异龙湖区平均海拔 1411.11 米, 湖泊水域面积 28.4 km², 流域面积 360.4 km², 是云南典型的富营养化高原浅水湖[5]。现湖面面积约 28.369 km², 最大水深 5.7 m、平均水深 3.9 m, 属典型的高原浅水湖泊[6] [7]。河流多为季节性河流[8] (见图 1)。

异龙湖流域历史时期人类活动强度大、频次高, 使其成为云南九大高原湖泊中人为破坏活动最严重的湖泊之一。据资料记载, 1952 年初湖面水位为 1416.87 m, 湖体容积为 1.2×10^8 m³, 湖泊面积高达 52.6 km²。同年底深挖海尾河放水发电, 围湖造田水位下降了 2.55 m。1971 年青鱼湾工程使异龙湖水系由珠江水系改为红河水系, 又一次大规模放水和造田, 使湖水水位下降至 1411.97 m。湖泊面积不足四 km², 1981 年曾发生湖水干涸。19 世纪 80 年代以来, 随着改革开放和经济发展, 异龙湖区域大力发展网箱养

殖, 周边农田大量施用化肥农药, 入湖物质大量增加, 异龙湖呈现严重的富营养化, 湖泊发生了严重的沼泽化, 水质恶化, 供需矛盾突出。

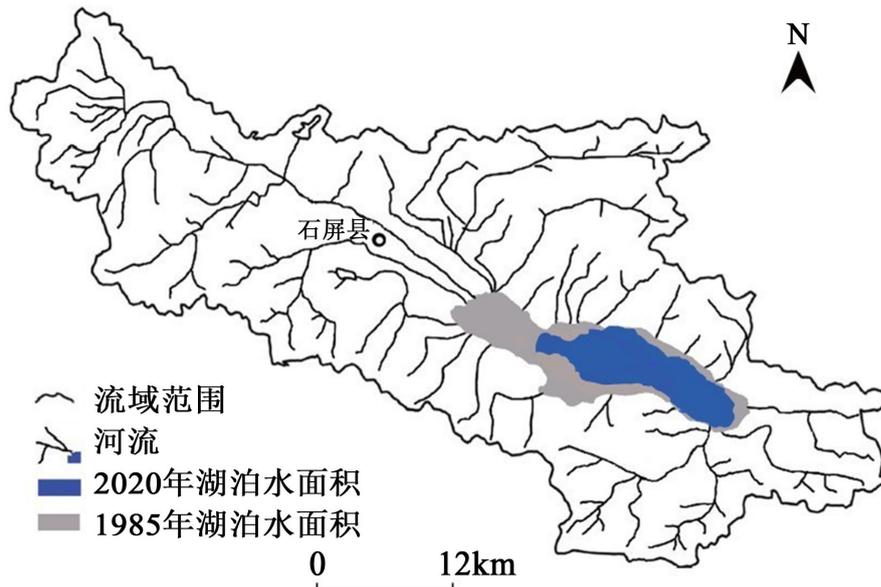


Figure 1. Water system map of Yilong Lake
图 1. 异龙湖水系图

3. 材料与方法

2020年6月, 我们利用重力取样器在异龙湖东西两处取得两根平行沉积物柱状样品(见图2), 西部湖区采样点位于石屏县城以东, 城南河入湖区域(102°31'29"E, 23°41'10"N), 采样点水深1.8米, 采样时湖水透明度20.5 cm, 沉积物钻孔长38 cm; 东部湖区采样点位于坝心镇以西, 湖水经海尾河出湖区域(102°35'58"E, 23°39'54"N), 采样点水深3.1 m, 采样时湖水透明度19 cm, 沉积物钻孔长28 cm。钻孔沉积物带回实验室按1 cm间隔进行分样, 共得到样品66个。样品处理完成后使用英国帕纳科公司生产的马尔文激光粒度分析仪(Mastersizer 2000)测定样品粒度。

粒度测试方法: 取冻干后的样品0.5 g置于烧杯中, 加足量10%过氧化氢溶液并加热, 完全反应以除去样品中的有机质; 加足量10%稀HCl, 加热使其充分反应, 除去碳酸盐; 注满蒸馏水静置24 h; 倒去上层清液, 加10 mL 0.05 mol/L (NaPO₃)₆, 用超声波震荡10 min后, 用Mastersize 2000型激光粒度仪进行粒度测量。

粒度组分拟合: 利用秦小光[9]等开发的沉积物粒度分析软件, 对沉积物粒度频率曲线进行拟合, 该软件拟合公式如下:

$$F(x) = \sum_{i=1}^n \left[\frac{c_i}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{(x-\alpha_i)^2}{2\sigma_i^2}\right) dx \right] \quad (1)$$

式中, n 是拟合的粒度组分个数, $x = \ln(d)$, d 是粒径值, 单位为 μm [9]。 c_i 是第 i 组分的百分含量, $c_i \geq 0$, $c_1 + \dots + c_n = 100\%$ 。 σ_i 是第 i 组分的标准差。 α_i 是第 i 组分对数粒径值的中值, 单位为 μm 。 $\alpha_i = \ln(d_i)$, $\alpha_i > 0$ 。根据实际研究需要, 我们将粒度组分拟合个数设置为三个, C1 为黏土质(0~2 μm), C2 为粉砂质(2~63 μm), C3 为砂质(>63 μm)。

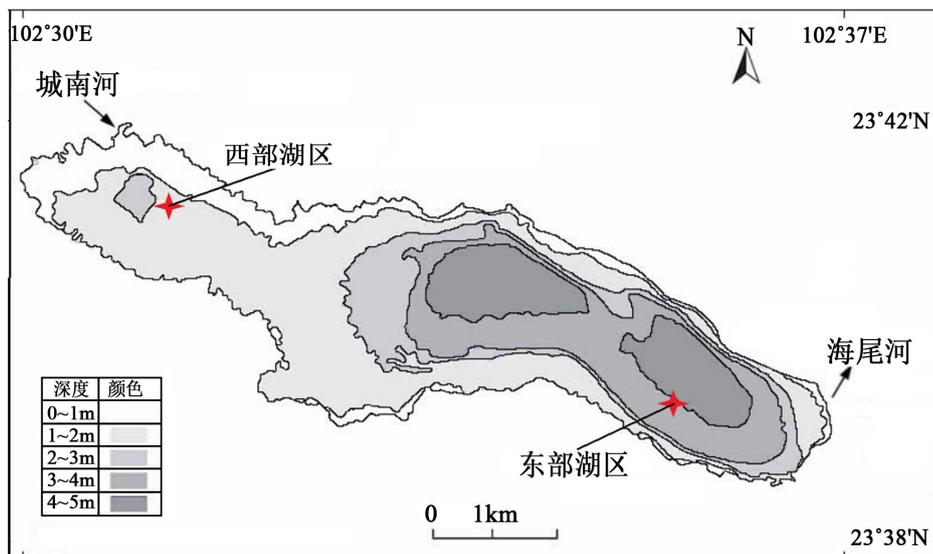


Figure 2. Water depth and sampling point layout of Yilong Lake

图 2. 异龙湖水深和样点布置图

4. 结果与分析

4.1. 沉积年代建立

准确获取沉积物的年代是通过湖泊沉积物进行环境变化研究的基础。异龙湖深水区地势相对平坦，且表层沉积物粒度各组分变化稳定，反映出异龙湖深水区物源稳定[10]。另外，异龙湖流域气候干湿季分明，多季节性河流，旱季(11月~次年4月)降水稀少，物质输入少。本研究采样日期为2020年6月，属于旱季，无明显物质沉积，沉积物基本代表2020年及其以前的物质沉积。因此，本研究可将异龙湖岩芯与2013年7月采取的YL-1-GC2(23°39'53"N、102°36'15"E)沉积岩芯代用指标[11]进行对比研究来获取本研究钻孔的年代序列。据此判定，沉积物剖面深度32 cm处沉积年代约为1918年，沉积深度在21 cm处的沉积年代约为1958年，沉积深度在10 cm处的沉积年代约为2000年。

4.2. 粒度测试结果

经分析软件正态拟合处理后，东、西部湖区在部分粒度组分上存在较明显差异(见图3、图4)。东部湖区C1组分(黏土)平均百分含量为14.73%，C2组分(粉砂)平均百分含量为82.59%，C3组分(砂)平均百分含量为2.68%，颗粒平均中值粒径为8.52 μm；西部湖区C1组分(黏土)平均百分含量为10.89%，C2组分(粉砂)平均百分含量为82.01%，C3组分(砂)平均百分含量为7.10%，颗粒平均中值粒径为10.54 μm。就直观含量而言，东部湖区的C3组分(砂)百分含量远远低于西部湖区，而东部湖区的C1组分(黏土)百分含量却高于西部湖区；东西部湖区的C2组分(粉砂)平均百分含量基本一致，东部湖区的颗粒粒径中值则略小于西部(见表1)。

Table 1. Average percentage of grain size of sediments in the East and west parts of Yilong Lake

表 1. 异龙湖东西湖区沉积物粒度平均百分含量

YLH-21 东部湖区(%)				YLH-23 西部湖区(%)			
中值(um)	黏质	粉砂质	砂质	中值(um)	黏质	粉砂质	砂质
8.52	14.73	82.59	2.68	10.54	10.89	82.01	7.10

东部湖区 C1 (黏土)组分含量数据离散率较高, 在第 5 cm、第 7 cm、第 17 cm、第 21 cm、第 25 cm 处百分含量出现了异常增加的现象(图 3(b)), 西部湖区的同组分数据离散程度则较低, 数据变化较平缓, 没有异常变化的情况发生(图 4(b))。东部湖区 C2 (粉砂)组分含量数据离散率较高, 在第 5 cm、第 7 cm、第 10 cm、第 17 cm、第 21 cm、第 25 cm 处出现了异常降低的现象(图 3(c)), 西部湖区的同组分数据离散程度则较低, 数据变化较平缓(图 4(c))。对于 C3 (砂)组分而言, 除去在第 10 cm、第 13 cm 处东部湖区百分含量高于西部湖区外, 其他深度上东部湖区的百分含量均低于西部湖区(图 4(d))。

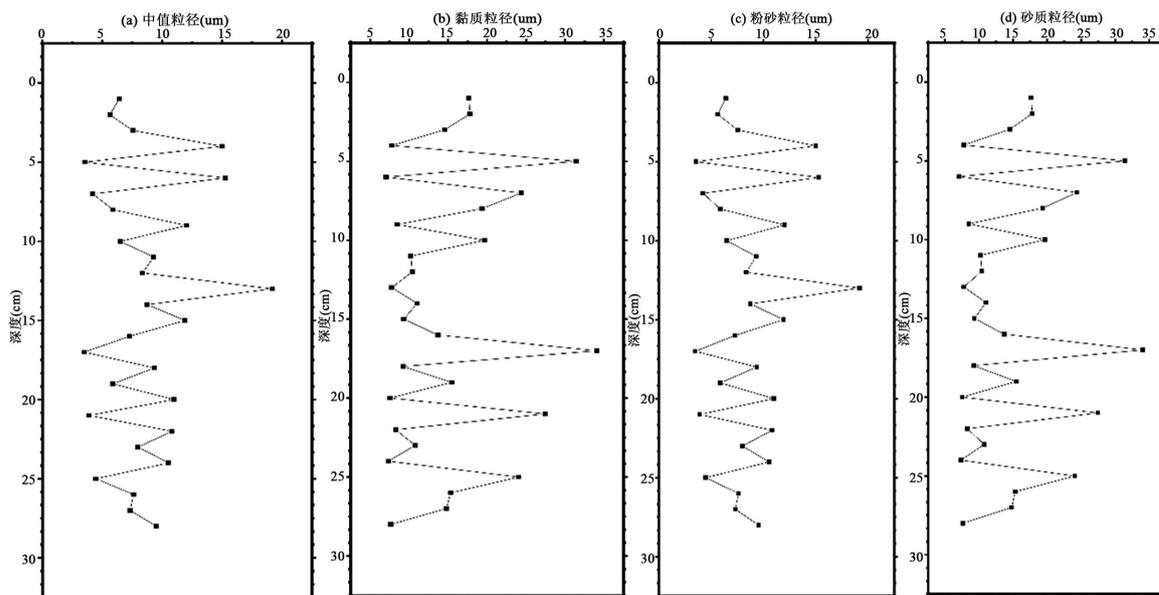


Figure 3. Grain size test results of Eastern sediment boreholes

图 3. 东部沉积物钻孔粒度测试结果

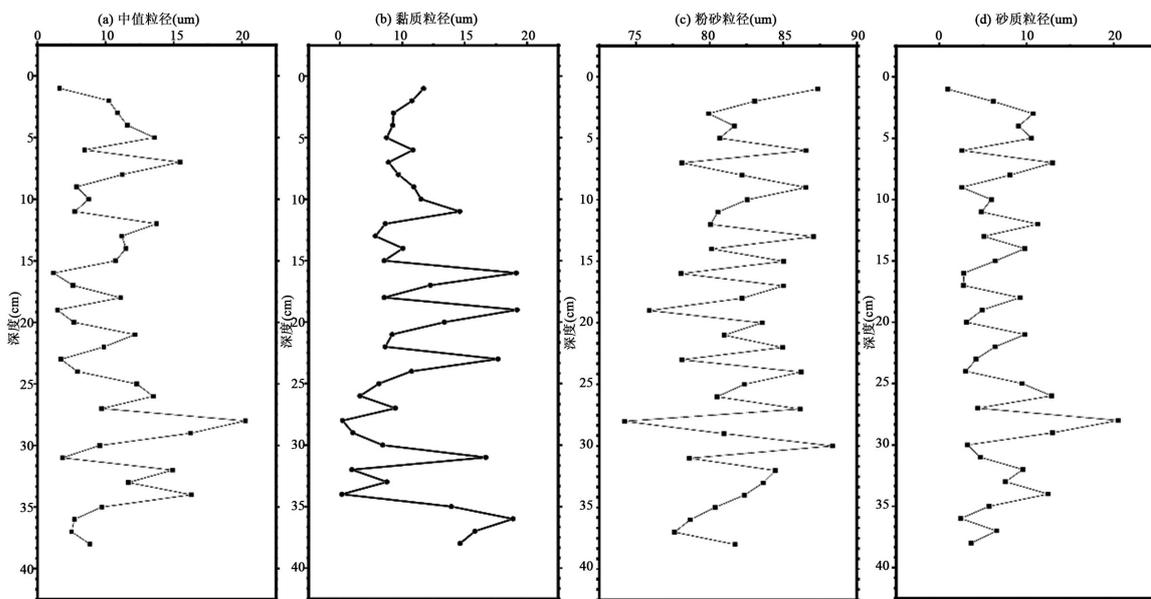


Figure 4. Grain size test results of Western sediment boreholes

图 4. 西部沉积物钻孔粒度测试结果

4.3. 沉积物粒度揭示的异龙湖环境演化过程

异龙湖东西部湖区之间沉积环境差异较大, 经充分检验后选择沉积物连续性和数据科学性较高的东部湖区沉积钻孔作为粒度数据研究的目标, 根据年代确定结果(见图 5)解释异龙湖区域近百年的环境变化。

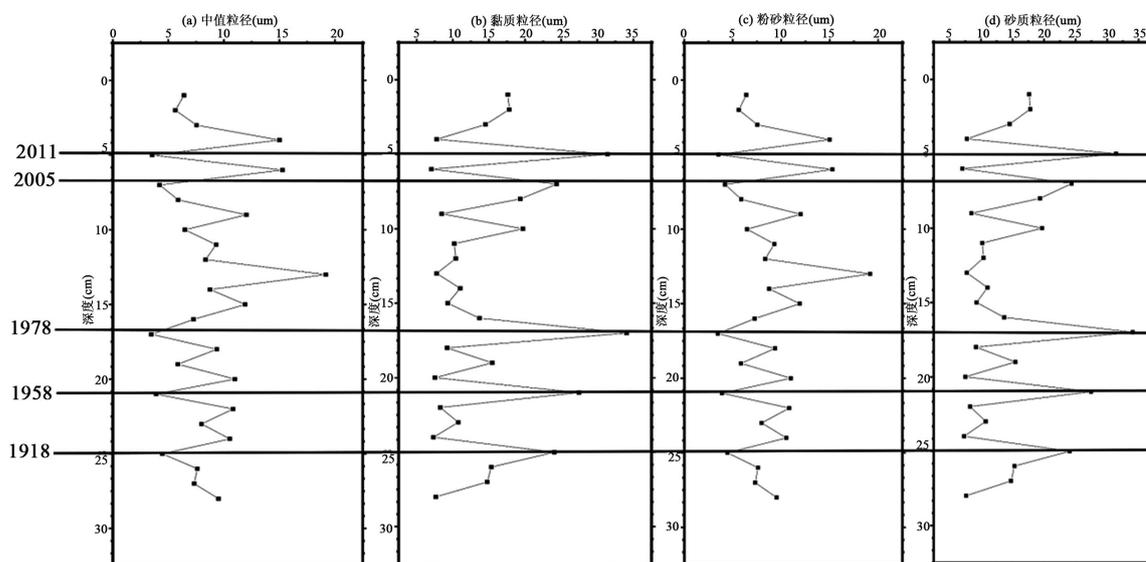


Figure 5. Grain size distribution of sediments in the eastern part of Yilong Lake based on age data

图 5. 结合年代数据的异龙湖东部湖区沉积物粒度结果

较细颗粒主要赋存于连续堆积作用占优势的深水区, 而在浅水区, 由于在地形开阔地区以侵蚀作用和搬运作用为主, 物质一般较粗。吴汉(2020 年)等研究了近百年以来异龙湖沉积物有机碳、氮同位素的变化, 并分析了这些指标的变化与异龙湖区域水环境深度变化的关系[12], 揭示了湖水深度对沉积环境的影响。异龙湖浅水区沉积过程受陆上径流、沿岸湖流、风浪等复杂沉积动力环境影响, 沉积类型多样。2020 年 6 月采样时, 西部湖区采样点水深为 1.8 m, 东部湖区采样点水深为 3.1 m, 结合其他研究和历史资料分析, 异龙湖西部湖区水深历来较浅, 与东部湖区水深存在约一倍的差异(图 2)。由于水深的差异, 造成东西湖区沉积环境的不同。东部湖区湖水深度较深, 沉积环境相对稳定, 沉积物受到湖浪和湖流的影响较西部湖区较少, 造成了东部湖区 C3 (砂质)组分低于西部湖区的结果, 这一结果与其他类似研究基本一致, 也与基本沉积结论相符合。

诸多学者也将粒度指标用于指示湖泊水位变化, 即粒度越粗水位越低, 反之, 粒度越细水位越高。东部湖区 C1 (黏土)在第 5 cm、第 7 cm、第 17 cm、第 21 cm、第 25 cm 处百分含量出现了异常增加的现象, 对照年代序列可以知道分别对应 2011 年、2005 年、1978 年、1958 年和 1918 年, 结合历史文献资料, 我们可以对以上几个异常点位做出解释。根据云南省水文资料记录, 2014 年和 2005 年, 云南省出现了较为严重的干旱状况, 特别是 2010 年以来, 云南省出现了百年一遇的特大干旱状况, 云南、贵州、四川等省份严重受灾, 在此背景下, 异龙湖湖水出现了大幅度的下降, 湖泊水位下降导致湖泊沉积环境改变, 因此东部湖区第 5 cm 处、第 7 cm 处 C1 粒度数据出现了严重的异常增加; 20 世纪 80 年代以来, 因为经济发展的需要, 异龙湖区域大力发展网箱养殖和开展围湖造田活动[13], 导致异龙湖湖泊面积严重缩小, 由于养殖需要向湖水中投入了大量的外源物质, 造成湖水水质严重恶化, 东部湖区第 17 cm 处 C1

组分的粒度数据也异常增加, 1978年C1粒度组分异常增加的主要贡献是外源物质的进入; 1952年年底挖深海尾河, 放水发电、围湖造田, 异龙湖水位下降2.55 m [4], 水位下降导致第21 cm处C1组分异常增加; 基于同样的解释方法, 1918年C1组分的异常增加不外乎两种情况, 一是该时期内异龙湖水位出现了较大的变化, 导致沉积环境改变造成组分含量异常, 二是该时期进入异龙湖的外源物质增多, 导致组分异常, 具体情况需要结合其他研究和文献记载进行进一步的研究后才能得出结论。

综上所述, 异龙湖粒度组分的变化主要揭示了1918年到2020年近百年以来湖区水位和进入湖泊的物质的综合变化。在气候变化相对稳定的条件下, 湖泊区域内的人类活动可以影响沉积物的粒度, 如不合理的土地利用会使土壤表层遭到破坏, 进入湖泊的沉积物细颗粒含量将会增多[13]; 但如果人类活动导致流域内植被破坏, 流域侵蚀强度则会加大, 未完全风化物质被带入湖泊, 沉积物粒度则可能变粗, 由于整个湖区呈东西向条带状, 为一断陷溶蚀湖盆, 盆地周围山峦起伏, 在湿润期, 入湖径流量大, 携带粗颗粒能力增强, 易将成分较粗的陆源碎屑颗粒物带入湖中[14]。在干旱期则相反, 粒径变细。因此, 异龙湖沉积物粒度的变化反应了湖泊水位的变化, 间接指示了湖区降水变化, 但由于20世纪20年代以来人类活动的影响, 还需要借助其他沉积环境指标来进行综合判断。

粒径参数作为研究沉积特征及鉴别沉积环境的主要依据, 对其深入分析有助于阐明海底沉积物来源、判定物质搬运方式和识别沉积作用环境类型等[15][16]。沉积类型分布主要受控于沉积物源、流场动力、地形地貌、区域本底物质组成等因素[17][18][19][20]。

5. 结论

沉积物粒度组分特征能与该地区的沉积环境、风尘活动、冰川进退相联系, 但研究区都不是孤立的, 总是处在一个复杂的气候环境体系当中。输入湖泊的物质一方面被水生植物吸收和利用, 转化为自身的一部分, 促进了湖泊生产力的发展, 同时随着水生植物的凋亡而沉积下来成为沉积物的一部分, 另一方面在湖体中发生一系列理化反应后沉积下来, 沉积的同时记录下了湖泊当时的环境状况。在进行沉积物粒度的综合研究当中, 单一的解释某一指标是不可取的, 必须借助综合的体系来进行沉积物粒度研究与解释。

本文解释的异龙湖沉积物揭示的环境演化过程是结合历史文献资料进行的, 那对于没有历史文献资料记载的沉积物粒度变化数据该如何探讨, 还需要后来人的进一步研究与补充。

参考文献

- [1] 陈敬安, 万国江, 黄荣贵. 云南程海沉积物粒度研究[J]. 环境科学进展, 1999, 7(4): 77-80.
- [2] 郭晓阳, 王维, 王国良, 等. 季风边缘区湖泊表层沉积物粒度组分分布特征与影响因素[J]. 地理研究, 2016, 35(4): 677-678.
- [3] 章婷曦, 文莹亭, 董丹萍, 等. 太湖西北部表层沉积物粒度特征与沉积环境[J]. 湖泊科学, 2018, 30(3): 836-846.
- [4] 陈思思, 张虎才, 常凤琴, 等. 异龙湖湖泊沉积对流域人类活动的响应[J]. 山地学报, 2016, 34(3): 274-281.
- [5] 周虹霞, 刘卫云, 孔德平, 等. 异龙湖湿地大型水生植物群落特征分析[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(9): 199-203.
- [6] 赵磊. 云南异龙湖生态系统稳态转换过程与关键灾变因子反演研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 2013.
- [7] 王苏民, 窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 379-381.
- [8] 李浩杰, 种丹, 范硕, 张世强, 王杰. 近三十年云南九大高原湖泊水面面积遥感变化监测[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(S1): 32-37.
- [9] Qin, X.G., Cai, B.G. and Liu, T.S. (2005) Loess Record of the Aerodynamic Environment in the East Asia Monsoon Area Since 60,000 Years before Present. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **110**, B01204.

<https://doi.org/10.1029/2004JB003131>

- [10] 张龙吴, 张虎才, 常凤琴, 等. 云南异龙湖沉积物粒度空间变化特征及其环境指示意义[J]. 第四纪研究, 2019, 39(5): 1159-1170.
- [11] 胡葵. 滇东南湖泊藻类响应流域开发和极端气候的长期特征[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 云南师范大学, 2017.
- [12] 吴汉, 常凤琴, 张虎才, 等. 异龙湖近百年来湖泊沉积物有机碳、氮稳定同位素变化及其环境指示意义[J]. 生态学杂志, 2020, 39(8): 2478-2487.
- [13] 和向东, 陈积颖, 丁德鼎, 等. 异龙湖表层沉积物有机质含量空间分布初步研究[J]. 环境科学导刊, 2020, 39(6): 18-20.
- [14] 王阿敏. 近百年来长江中游牛轭湖沉积对人类活动的响应——以天鹅洲、中洲子为例[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海师范大学, 2016.
- [15] Friedman, G.M. (1979) Address of the Retiring President of the International Association of Sedimentologists: Difference in Size Distributions of Populations of Particles among Sands from Various Origins. *Sedimentology*, **26**, 3-32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1979.tb00336.x>
- [16] 金秉福. 粒度分析中偏度系数的影响因素及其意义[J]. 海洋科学, 2012, 36(2): 129-135.
- [17] Gao, S., Collins, M.B., Lanckneus, J., *et al.* (1994) Grain Size Trends Associated with Net Sediment Transport Patterns: An Example from the Belgian Continental Shelf. *Marine Geology*, **121**, 171-185. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0025-3227(94)90029-9)
- [18] Zhao, L., Peng, X.C., Zhong, H.X., *et al.* (2016) Characteristics of Grain Size Distribution of Surface Sediments and Depositional Environments in the Northern Shelf Region of the South China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, **36**, 111-122.
- [19] Ge, C.D., Slaymaker, O. and Pedersen, T.F. (2003) Change in the Sedimentary Environment of Wanquan River Estuary, Hainan Island, China. *Chinese Science Bulletin*, **48**, 2357-2361.
- [20] 殷勇, 朱大奎, 唐文武, 等. 博鳌地区沙坝-泻湖沉积及探地雷达的应用[J]. 地理学报, 2002, 57(3): 301-309.