

文章编号:1000-0550(2020)02-0340-09

DOI: 10.14027/j.issn.1000-0550.2019.032

程海表层沉积物粒度空间分布特征及其影响因素

胡京九¹,张虎才^{1,2},常凤琴^{1,2},李婷¹,蔡萌¹,段立曾²,张龙吴¹,张扬¹

1. 云南师范大学旅游与地理科学学院,高原湖泊生态与全球变化实验室,昆明 650500

2. 云南大学资源环境与地球科学学院,高原湖泊生态与污染治理研究院高原湖泊生态与环境变化实验室,昆明 650504

摘要 由于受湖泊动力条件和物质来源的影响,湖泊表层沉积物的各粒度组分表现出不同的空间分布特征。选择滇西北程海作为研究对象,通过测试程海表层沉积物的粒度,分析了其不同粒度组分的空间分布特征,对影响程海表层沉积物粒度空间分布的因素进行探讨。研究表明:程海表层沉积物的优势粒级为粉砂,各样品沉积类型为黏土质粉砂。粒度组分及其参数的空间分布特征变化差异明显,黏土组分含量呈现出由南向北逐渐增加的趋势,而粉砂、中值粒级则呈现出相反的变化趋势,表明程海沉积物粒径受盛行南风的控制与影响,表现为湖泊水动力由南向北逐渐减弱。程海表层沉积物的粒度空间分布特征表明,其表层沉积物易受盛行风的影响向北扩散,因此,应加强该地区沿岸,特别是南岸人类活动的管理,有效控制人为物质的输入,减少污染物的扩散。

关键词 程海;表层沉积物;粒度;空间分布

第一作者简介 胡京九,男,1992年出生,硕士,湖泊沉积与环境演化,E-mail: HJJ0026@163.com

通信作者 张虎才,男,教授,E-mail: zhanghc@ynu.edu.cn

中图分类号 P512.2 **文献标志码** A

0 引言

湖泊是陆地上相对独立的综合体,流域内的物质最终沉积于湖泊当中,湖泊的沉积物是湖区生态环境以及气候变化信息的忠实记录者^[1-2]。表层沉积物作为研究湖泊现代环境过程的一个重要载体,能够有效地反映其现代过程的物理、化学、生物等过程^[1-2]。粒度是作为沉积物重建环境变化的一个重要指标,在研究沉积环境当中已被广泛运用^[3-6]。通常,湖泊的粒度粒径的大小由离岸距离的远近决定的,是指示湖泊水动力强弱的一个重要指标^[7]。不同流域湖泊的粒度的气候指示不同,如北方的湖泊的沉积物粒度较多的指示风沙强弱、季风强度等的变化^[8-9],而南方的湖泊沉积物粒度大多数是指示区域的降水量和入湖水量的变化^[10]。

程海是云南九大湖泊之一,目前的研究主要集中在生态、气候环境等方面^[11-12],而对表层沉积物粒度方面的研究还有待加强。研究程海表层沉积物,不仅有利于了解其现代的沉积过程以及其沉积过程

中所记录的环境特征,而且能够有效判别研究区的人类活动和自然变化对表层沉积物粒度的影响,进而分析流域内人类活动对湖泊沉积过程产生的影响。因此本文选择程海作为研究对象,通过分析程海表层沉积物粒度的各组分空间变化特征,揭示粒度空间变化的影响因素,认识湖泊的现代沉积过程,并为流域环境保护提供理论基础。

1 研究区概况

程海是云贵高原典型的深水湖泊(图1),位于永胜县境内(26°27'~26°38' N,100°38'~100°41' E)。作为一个典型的构造断陷湖,程海在地质历史时期为一个开放湖,据记载湖于1851年淤塞形成内流湖。程海湖泊面积为77.3 km²,流域面积318.3 km²,水位1503 m,南北长19 km,东西宽4.3 km。湖泊最大水深35 m,平均水深26.5 m,蓄水量为19.87×10⁸ m³。不同的深度范围内,程海的水生植物种类表现较为明显的多样性和复杂性^[13]。程海的汇水面积小,入湖河流短小且多为季节性河流(图1)。程海流域属于亚

收稿日期:2018-11-26; 收修改稿日期:2019-03-16

基金项目:云南省领军人才项目(2015HA024);云南省高端人才引进项目(2010CI111)[**Foundation:** Yunnan Provincial Government Leading Scientist Program, No. 2015HA024; Yunnan Provincial Government Senior Talent Program, No. 2010CI111]

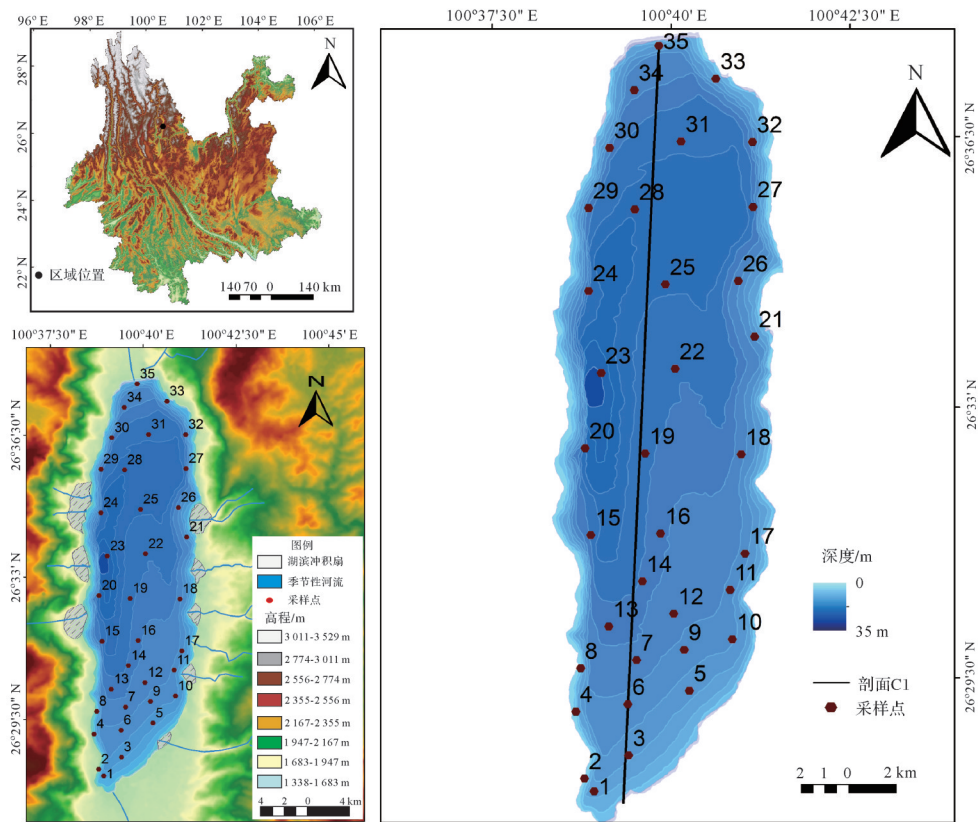


图1 程海流域、水深及采样点分布

Fig.1 Catchment, water depth, and distribution of sampling points in Lake Cheng

热带高原气候区,受西南季风影响,年均降水量为738.6 mm,主要集中在6、7、8、9月,年蒸发量为2 040.3 mm,年均温为13.5 °C。降水量最大的7月,平均温度反比6月和8月低(图2),是持续厚层云量对于太阳辐射的反射和吸收量增大,降低了地表太阳辐射量减少的结果。对于程海而言,湖水补给主要是地表径流和大气降水^[14]。

2 材料与方法

2018年3月,在湖区不同位置用重力钻采集35个表层沉积物样品(图1),考虑湖水深度变化分布并用GPS定位,采样水深介于5.7~31.2 m,基本覆盖整个湖区。采样时,在用重力采样器提取沉积样品后,静置以使取样管上部水体中颗粒物沉淀,然后用吸管抽去上部水,吸取度约为1~2 cm表层易于流动的沉积物作为现代沉积样品,装入7号聚乙烯样品自封袋,带回实验室用冻干机冻干密封保存,以备进行相关指标的测试分析。

沉积物粒度测试步骤为取0.5 g样品于容量为

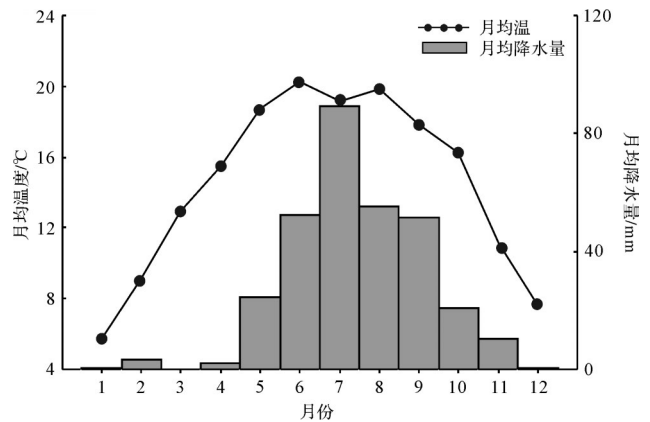


图2 程海地区2017年月均温和降水量(资料来源于中国气象数据网)

Fig.2 Monthly mean temperature and precipitation of Lake Cheng region in 2017 (data from China meteorological data network)

50 mL的烧杯当中,并注入10 mL10%浓度的双氧水,用加热板控制温度适当加热,使得烧杯中的沉积物充分反应以去除其有机质,直到烧杯中并没有明显的气泡产生时,再加入10 mL浓度为10%的盐酸充分反应以去除烧杯样品中的碳酸盐,直至无气泡产生,

并于实验室静置24小时后,将烧杯中的上部清液抽去,加入5 mL10%浓度的六偏磷酸钠作为分散剂,并用微波振荡仪使其均匀的振荡10分钟后待测。粒度上机测定采用Mastersizer2000型激光粒度仪。在测定时,每个样品测定三次取其平均值,保证样品重复测量相对误差小于1%。以上实验均在云南师范大学高原湖泊生态与全球变化重点实验室完成。

依据谢帕德三角分类法^[15]对程海表层沉积物的粒度进行分类命名,并根据矩法对表层沉积物样品中的粒度参数包括:平均粒径(M_z)、分选系数(S_0)、偏态(Sk_ϕ)、峰态(Kg)进行计算,并利用软件

ArcGIS10.2对样品粒度参数计算的结果进行插值,得到空间分布图。

3 结果

3.1 沉积物粒度各组分空间分布特征

按照Udden-Wentworth的标准,将程海表层沉积物的粒径划分为黏土($<4\ \mu\text{m}$)、粉砂($4\sim 64\ \mu\text{m}$)和砂($>64\ \mu\text{m}$)3个组分。一般情况下,湖泊沉积物粒度由于受风力、水动力搬运及物质来源的影响,往往表现为多个组分^[16-17]。各个组分的所占百分比用Arcgis10.2绘制成表层粒度各组分空间分布图(图3,4)。

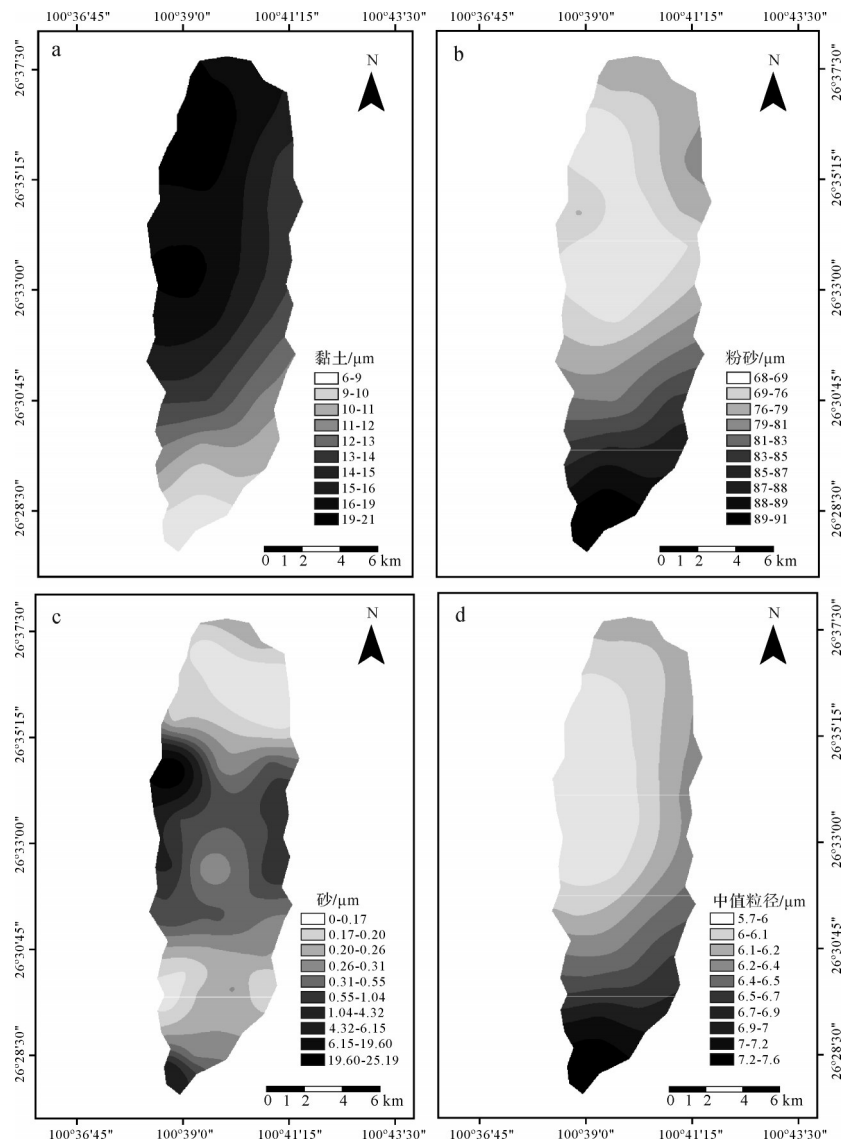


图3 程海表层沉积物中黏土(a)、粉砂(b)、砂百分含量(c)及中值粒径(d)分布
Fig.3 Percentage content of clay (a), silt (b), sand (c), and median grain size (d) in surface sediments from Lake Cheng

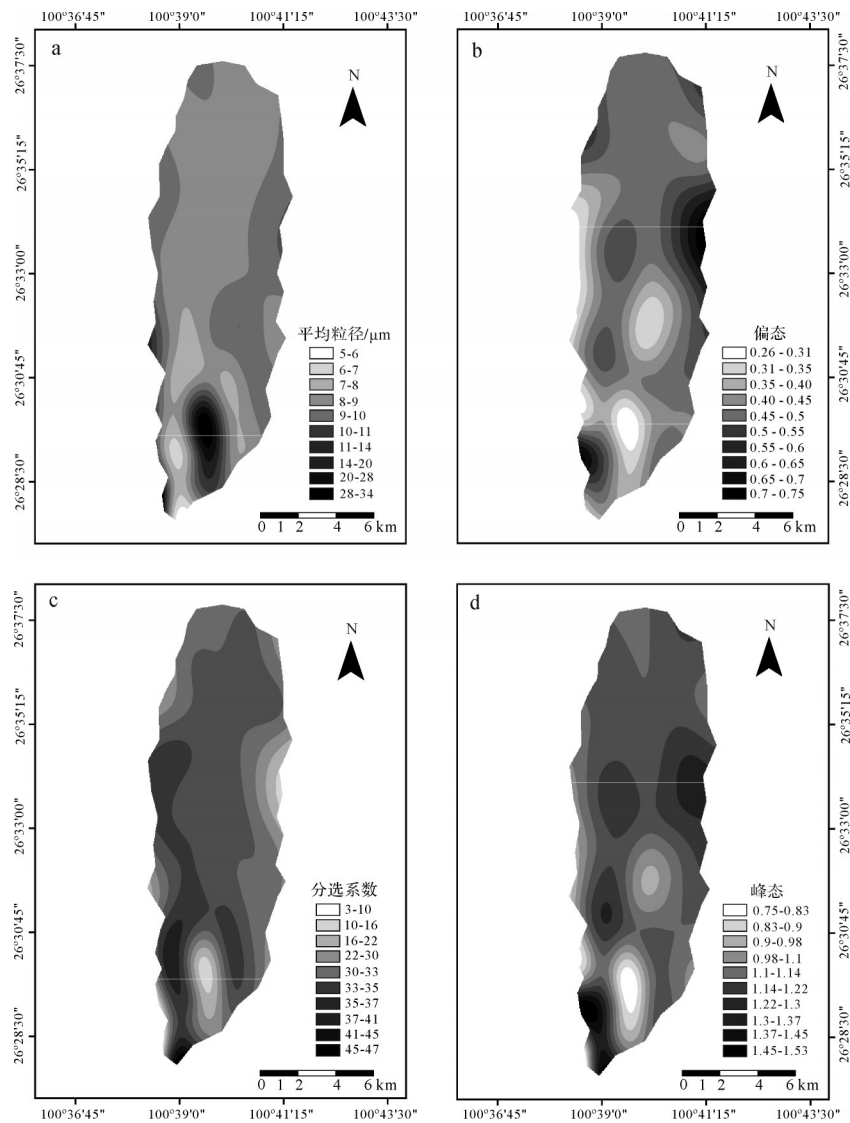


图4 程海表层沉积物平均粒径(a)偏态;(b)分选系数;(c)和峰态(d)空间分布图

Fig.4 Spatial distribution of mean sizes (a), sorting coefficient (b), skewness (c), and kurtosis (d) in the surface sediments of Lake Cheng

程海表层沉积物样品中的黏土含量介于6.64%~20.6%,平均值为15.53%,黏土含量呈现出由湖岸向湖心逐渐增加的趋势。由图3a可以看出黏土质含量由浅水区向深水区递增,高值位于湖泊深水位,浅水区值较低。通过对程海表层沉积物黏土含量与对应深度做了相关性分析,得出黏土含量与水深呈显著正相关($r=0.589, p<0.01$),这表明黏土粒径随着湖泊深度的增加而变细,与湖泊沉积的一般规律相符^[9]。

粉砂百分含量变化范围在68.17%~90.55%之间,平均值为82.66%,为研究区表层沉积物粒度的优势粒级。在空间分布上,粉砂含量值变化由南向北递减(图3b),其变化趋势与黏土含量趋势相反,表现

为高值位于湖区南部,深水区含量最小,同时具有湖区北部粉砂含量变化微弱,而南部变化幅度较大的特点。

砂组分的百分含量占比变化范围为0~25.19%,平均值为1.81%。砂的百分比含量值呈不规则分布,高值位于深水区,湖区中部的靠近湖岸的数值较高(图3c)。通过对砂含量与其对应深度的相关性分析,可知二者之间呈负相关关系($r=-0.411, 0.01<p<0.05$),表明随着湖泊深度的增加,砂组含量的减小。

中值粒径是沉积物粒度组成中的一个重要参数,反映湖泊整体沉积物粒度含量变化情况^[9]。对比

分析发现,程海的表层沉积物的中值粒径与粉砂组分的分布特征较为相似(图3d),这是粉砂组分为程海沉积物粒度的主组分决定的。

3.2 沉积物粒度参数变化特征

在研究湖泊沉积物时,常用平均粒径(M_z)、分选系数(S_0)、偏态(Sk_ϕ)、峰态(Kg)指标来反映湖泊形成时的物质来源、物质搬运以及沉积环境等信息^[18-19]。平均粒径是沉积物粒度平均大小的指标,对湖泊水动力的大小较为敏感的反映;分选系数指示的是沉积物粒度分选性的好坏,也是对粒度差异性的一种反映^[18];偏态指示的是粒度频率曲线的不对称程度,与粒度的分选性之间有密切联系;峰态指示的是粒度的频率曲线的两尾端与其中中央部分分选的比例,是对粒径分布趋势集中程度的一种反映^[18]。

程海表层沉积物的平均粒径值介于5~34 μm ,其平均值为9.8 μm (图4a),其中湖盆北部的平均粒径值变化幅度较小,南部的平均粒径变化幅度大且存在大于28 μm 的高值区。从图4a可以看出,平均粒径高值区域所占的面积小,8~9 μm 组分占湖区面积大,分布范围是和粗砂与砂的空间分布一致,即粗颗粒主要分布在水动力较强或者人类活动较强的近岸区域。

沉积物粒度偏态数值介于0.26~0.75,平均值为0.47(图4b)。偏态数值指示,整个湖区数值均为正值,说明整个湖区的粒度以偏粗颗粒为主,分选性较差。分选系数数值介于3~47,指示分选极差(图4c),说明物质以近源搬运为主。这与程海流域面积较小、入湖河流长度有限有关。

程海表层沉积物粒度峰态数值变化介于0.75~1.504,平均值为1.147。从峰态值等值线分布特征可以看出(图4d),峰态较高值的分布范围较大,通过峰态和分选系数之间的相关性分析得出,两者之间呈负相关的关系,皮尔森相关系数 $r = -0.372$ ($p > 0.05$)。

沉积物粒度的粒径、粒度组分的特征和研究区的沉积环境特点可以用粒度的频率曲线很好的表示出来^[20],从程海表层沉积物的所有样品的粒径频率分布曲线(图5)可以看出,形态多呈正太分布,为了分析程海表层沉积物的沉积类型以及其沉积作用方式,本文沿着研究区剖面C1(图1),共选取了程海的12个表层采样点,依次为CH-1→CH-3→CH-6→CH-7→CH-14→CH-16→CH-19→CH-22→CH-25→CH-28→

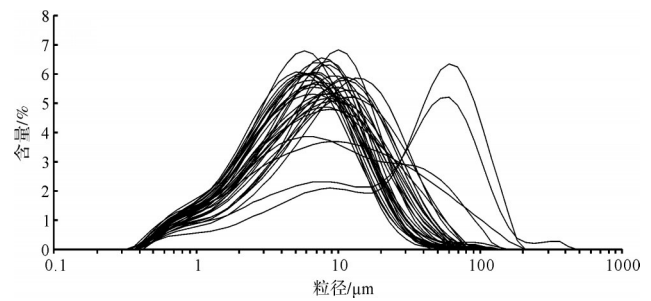


图5 程海表层沉积物所有样品粒径频率分布曲线

Fig.5 Distribution curve of grain size frequency for all samples in surface sediments from Lake Cheng

CH-34→CH-35,分析了程海表层沉积物的粒度参数南北向的空间变化(图6)。根据剖面C1的粒度频率曲线(图6)显示,以多峰为主,形态大体一致,呈正态分布,这与程海的中值粒径的空间分布特征一致,越往湖心地区,随着深度的增加,水动力的减弱,物质的搬运能力降低。

4 讨论

物源和水动力条件是影响沉积物粒度各组分空间分布差异的重要因素^[21]。在不同的自然地理背景条件下,其影响因素也表现显著的差异性。湖泊沉积物的粒度粗颗粒含量在空间上的分布具有很直观的表现,例如距岸的远近关系、湖区的周围的地质地貌条件^[22]。湖区的水动力特征也是影响粒度颗粒含量空间分布的重要因素,与水下植物分布、湖底地形、岛屿分布及位置共同作用了不同湖区区域的沉积物的类型^[9,17,22]。

湖泊沉积物的来源中,主要存在四类,一是风力搬运影响的黏土和粉砂组分^[23-25],受风力作用的影响,表现为黏土搬运较远,粉砂搬运较近的特征;二是湖泊水体中的化学和生物过程影响的极细粒黏土部分^[26];三是通过洪积搬运的砂和悬移细砂组分^[27-29],受入湖河流的影响较大;四是湖岸水侵蚀的砂和粉砂组分^[30-31]。所以,影响湖泊表层沉积物的粒度的组成和形成过程的因素是多方面的。

程海是断陷作用形成的南北狭长的内流湖,东西向窄小。因此,湖泊物质的输入主要受湖岸坡面的汇流以及水动力(盛行风向)的影响。其中,湖岸坡面物质来源主要是湖盆周围的风化产物,湖区坡面径流是携带物质入湖的重要形式^[32],并且程海地区也是金沙江滑坡群的组成部分^[33],形成的物质很容易

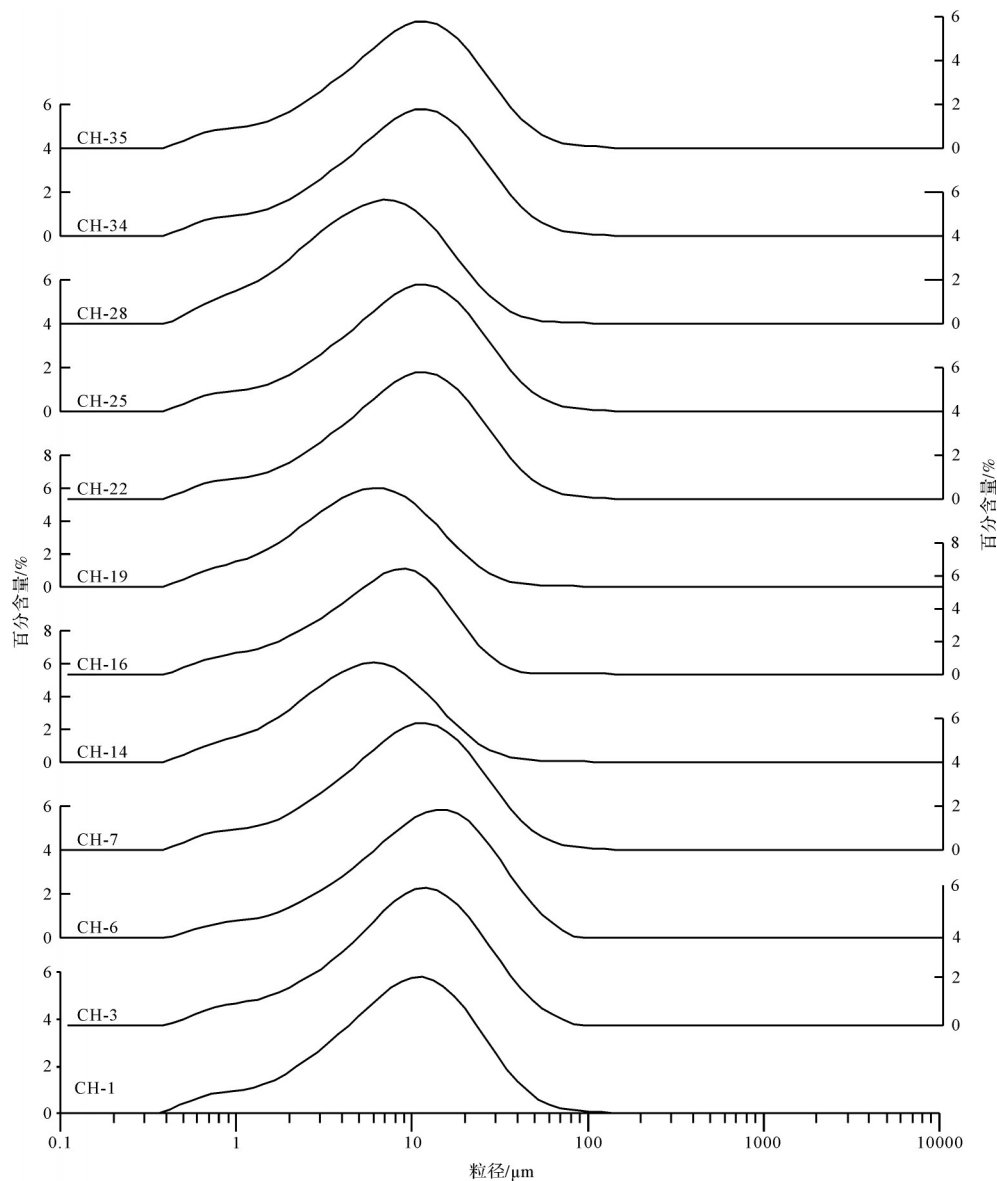


图6 沿剖面C1的粒度空间变化

Fig.6 Spatial variation of grain size along section C1

被带入湖区。程海表层沉积物的砂含量分布存在明显的不规律性(图3c),其中,在湖区的东部和西部的岸边,零散的分布着砂含量高值的区域,且分选性差,受雨季降水及地形的影响,程海湖区的东岸和西岸有短小的季节性河流的存在(图1),一定程度上发育大小不一的冲积扇地形(图1),与程海表层沉积物砂含量高值区域相吻合。

蒋庆丰等^[34]在研究乌伦古湖的沉积物粒度与其古气候环境的关系上指出,在沉积的早期,风力作用是研究区物质搬运和沉积的主要形式之一;鞠建廷等^[22]在研究藏南普莫雍错的粒度及探讨青藏高原湖泊水动力的现代过程中指出,湖水的搬运能力以悬

移为主,并且粒径趋势分析指出沉积物的净输运为自西向东,与湖泊的河道型特点相符合。程海位于亚热带高原气候区,盛行西南风^[35],加之程海东、西、北三面环山,地形陡峭,南面地势较为平坦,形成一个集风区。据相关资料记载,程海湖地区属于云南四个盛行风区之一的西南风区,频率一般位于15%~20%^[36],说明湖区表层沉积物粒度分布特征受到主风向的影响。因此,风力的搬运以及湖泊地形的特点是程海粒度研究需要考虑的重要因素,这也是程海黏土含量整体由南向北递增,而粉砂、砂含量变化趋势与之相反的主要原因。并且程海湖区南浅北深,受盛行风的影响,南区水动力强劲,导致南部的粗颗粒较多。

5 结论

通过对程海35个表层沉积物样品的粒度参数变化的空间变化及分布特征进行分析得出以下结论:

(1) 程海表层沉积物的优势粒级为粉砂,黏土和粉砂组分的空间变化规律较为明显,其中,黏土组分由南向北随着深度的增加而增加,而粉砂组分变化趋势相反,砂组分主要分布在湖区南部以及湖区东西岸的近岸地区。

(2) 物源和水动力是影响程海表层沉积物粒度各组分分布的主要影响因素。研究区物质的来源复杂,并且湖区周围也有大小不一的冲积扇零散分布,所以表层沉积物粒度的分选性较差,对研究区的表层沉积物粒度组分的物源贡献较大;程海湖为南北走向,东西狭窄并盛行西南风,研究区表层沉积物粒度组成以及形成过程与研究区的盛行风向密切相关。

(3) 程海作为云南典型的湖泊之一,对其表层沉积物的粒度研究是关于研究程海湖泊沉积动力过程以及环境变化重要一步,对研究程海的物质输入状况以及湖泊水动力条件具有重要的意义,并且对研究程海地区的古气候环境具有一定的参考价值。同时,程海南湖岸也是该湖盆流域人类活动最为强烈的地区,对湖泊表层沉积物的来源影响较大。因此,应加强湖泊南段湖岸农业活动管理,防止大量污染物从湖泊南端扩展到湖泊北端,影响湖泊的生态环境。

参考文献(References)

- [1] 沈吉,薛斌,吴敬禄,等. 湖泊沉积与环境演化[M]. 北京:科学出版社,2010. [Shen Ji, Xue Bin, Wu Jinglu, et al. Lake sediment and environmental evolution[M]. Beijing: Science Press, 2010.]
- [2] 万国江. 环境质量的地球化学原理[M]. 北京:中国环境科学出版社,1988. [Wan Guojiang. Geochemical principle of environmental quality[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1988.]
- [3] 鹿化煜,安芷生. 黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J]. 中国科学(D辑):地球科学,1998,28(3):278-283. [Lu Huayu, An Zhisheng. Paleoclimatic significance of grain size of loess-palaeosol deposit in Chinese Loess Plateau[J]. Science China (Series D): Earth Sciences, 1998, 28(3): 278-283.]
- [4] 强明瑞,陈发虎,周爱锋,等. 苏干湖沉积物粒度组成记录尘暴事件的初步研究[J]. 第四纪研究,2006,26(6):915-922. [Qiang Mingrui, Chen Fahu, Zhou Aifeng, et al. Preliminary study on dust storm events documented by grain size component of Suga Lake sediments, North Qaidam Basin[J]. Quaternary Sciences, 2006, 26(6): 915-922.]
- [5] Heywood H. The physics of blown sand and desert dunes[J]. Nature, 1941, 148(3756): 480-481.
- [6] 雷国良,张虎才,张文翔,等. Mastersize 2000型激光粒度仪分析数据可靠性检验及意义:以洛川剖面S4层古土壤为例[J]. 沉积学报,2006,24(4):531-539. [Lei Guoliang, Zhang Hucai, Zhang Wenxiang, et al. The reliability and significance of the grain-size obtained by Mastersize 2000 Laser analyzer: A case study on the typical S4 from Luochuan section[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(4): 531-539.]
- [7] 吴汉,常凤琴,张虎才,等. 泸沽湖表层沉积物粒度空间分布特征及其影响因素[J]. 沉积学报,2016,34(4):679-687. [Wu Han, Chang Fengqin, Zhang Hucai, et al. Grain-size distribution patterns of the surface sediments and their influential factors in Lake Lugu[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2016, 34(4): 679-687.]
- [8] 金章东,王苏民,沈吉,等. 岱海地区近400年来的“尘暴”事件:来自岱海沉积物粒度的证据[J]. 湖泊科学,2000,12(3):193-198. [Jin Zhangdong, Wang Sumin, Shen Ji, et al. Dust-storm events in Daihai Lake area, Inner Mongolia during the past 400 years: Evidence from grain-size analysis of lake sediments[J]. Journal of Lake Sciences, 2000, 12(3): 193-198.]
- [9] Qiang M R, Chen F H, Zhang J W, et al. Grain size in sediments from Lake Suga: A possible linkage to dust storm events at the northern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Environmental Geology, 2007, 51(7): 1229-1238.
- [10] 李华勇,张虎才,陈光杰,等. 云南高原湖泊表层沉积物粒度特征及环境指示意义[J]. 沉积学报,2017,35(3):499-507. [Li Huayong, Zhang Hucai, Chen Guangjie, et al. The grain size distribution characteristics of surface sediments from plateau lakes in Yunnan province and their environmental significances[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2017, 35(3): 499-507.]
- [11] 朱正杰,陈敬安. 云南程海沉积物碳酸盐来源辨识[J]. 湖泊科学,2009,21(3):382-386. [Zhu Zhengjie, Chen Jing'an. Distinguishing the source of carbonates from lake sediments of Lake Chenghai, Yunnan province[J]. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(3): 382-386.]
- [12] 王苏民,窦鸿身. 中国湖泊志[M]. 北京:科学出版社,1998. [Wang Sumin, Dou Hongshen. Chinese lake chronicle[M]. Beijing: Science Press, 1998.]
- [13] 路志明,张虎才,常凤琴,等. 程海水水质参数季节变化特征与空间异质性[J]. 地理科学研究,2017,6(3):157-167. [Lu Zhiming, Zhang Hucai, Chang Fengqin, et al. Seasonal variation and spatial heterogeneity of water quality parameter in Chenghai[J]. Geographical Science Research, 2017, 6(3): 157-167.]
- [14] 吴敬禄,蒋雪中,夏威夷,等. 云南程海近500年来湖泊初始生产力的演化[J]. 海洋地质与第四纪地质,2002,22(2):95-98.

- [Wu Jinglu, Jiang Xuezhong, Xia Weilan, et al. Climate and primary productivity over the last 500 years of the Chenghai Lake, Yunnan [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2002, 22(2): 95-98.]
- [15] Shepard F P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1954, 24(3): 151-158.
- [16] 殷志强, 秦小光, 吴金水, 等. 湖泊沉积物粒度多组分特征及其成因机制研究[J]. *第四纪研究*, 2008, 28(2): 345-353. [Yin Zhiqiang, Qin Xiaoguang, Wu Jinshui, et al. Multimodal grain-size distribution characteristics and formation mechanism of lake sediments[J]. *Quaternary Sciences*, 2008, 28(2): 345-353.]
- [17] Paterson G A, Heslop D. New methods for unmixing sediment grain size data [J]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2015, 16(12): 4494-4506.
- [18] 曹伯勋. 地貌学及第四纪地质学[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1995. [Cao Boxun. *Geomorphology and quaternary geology* [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1995.]
- [19] 古立峰, 刘永, 占玄, 等. 湖泊沉积物粒度分析方法在古气候环境研究中的应用[J]. *化工矿产地质*, 2012, 34(3): 169-174. [Gu Lifeng, Liu Yong, Zhan Xuan, et al. The application of grain size of lake sediments in reconstructing the paleoclimate and paleoenvironment [J]. *Geology of Chemical Minerals*, 2012, 34(3): 169-174.]
- [20] 蒲佳, 马龙, 吉力力·阿不都外力, 等. 新疆博斯腾湖表层沉积物粒度空间分布特征[J]. *干旱区研究*, 2018, 35(2): 477-485. [Pu Jia, Ma Long, Abuduwaili J, et al. Spatial distribution of grain size composition of surface sediment in the Bosten Lake region, Xinjiang [J]. *Arid Zone Research*, 2018, 35(2): 477-485.]
- [21] 孙千里, 周杰, 肖举乐. 岱海沉积物粒度特征及其古环境意义[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2001, 21(1): 93-95. [Sun Qianli, Zhou Jie, Xiao Jule. Grain-size characteristics of Lake Daihai sediments and its paleoenvironment significance [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2001, 21(1): 93-95.]
- [22] 鞠建廷, 朱立平, 冯金良, 等. 粒度揭示的青藏高原湖泊水动力现代过程: 以藏南普莫雍错为例[J]. *科学通报*, 2012, 57(19): 1775-1784. [Ju Jianting, Zhu Liping, Feng Jinliang, et al. Hydrodynamic process of Tibetan Plateau lake revealed by grain size: Case study of Pumayum Co [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2012, 57(19): 1775-1784.]
- [23] Pye K. *Aeolian dust and dust deposits*[M]. London: Academic Press, 1987.
- [24] Tsoar H, Pye K. Dust transport and the question of desert loess formation[J]. *Sedimentology*, 1987, 34(1): 139-153.
- [25] Sun D H, Bloemendal J, Rea D K, et al. Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components [J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 152(3/4): 263-277.
- [26] 肖舜, 陈发虎, 强明瑞, 等. 青海苏干湖表层沉积物粒度分布模式与大气粉尘记录[J]. *地理学报*, 2007, 62(11): 1153-1164. [Xiao Shun, Chen Fahu, Qiang Mingrui, et al. Distribution pattern of grain size in surface sediments from Sugan Lake and its potential in recording aeolian dust in arid China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(11): 1153-1164.]
- [27] Bennett S J, Best J L. Mean flow and turbulence structure over fixed, two-dimensional dunes: Implications for sediment transport and bedform stability[J]. *Sedimentology*, 1995, 42(3): 491-513.
- [28] Kranck K, Smith P C, Milligan T G. Grain-size characteristics of fine-grained unflocculated sediments II: 'multi-round' distributions[J]. *Sedimentology*, 1996, 43(3): 597-606.
- [29] P'Sse T. Grain size distribution expressed as *tanh*-functions[J]. *Sedimentology*, 2010, 44(6): 1011-1014.
- [30] Sly P G. Sediment dispersion: part 1, Fine sediments and significance of the silt/clay ratio [J]. *Hydrobiologia*, 1989, 176(1): 99-110.
- [31] Sly P G. Sediment dispersion: part 2, Characterisation by size of sand fraction and percent mud[J]. *Hydrobiologia*, 1989, 176(1): 111-124.
- [32] 陈敬安, 万国江. 云南程海现代沉积物环境记录研究[J]. *矿物学报*, 2000, 20(2): 112-116. [Chen Jing'an, Wan Guojiang. Environmental records in recent sediments of Lake Chenghai, Yunnan province [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2000, 20(2): 112-116.]
- [33] 杜泽, 王品, 官琦. 程海断裂带金沙江段滑坡群的发现[J]. *科学技术与工程*, 2012, 12(33): 8815-8821, 8825. [Du Ze, Wang Pin, Guan Qi. The discovery of landslide group along Jinshajiang segment of Chenghai fault [J]. *Science Technology and Engineering*, 2012, 12(33): 8815-8821, 8825.]
- [34] 蒋庆丰, 刘兴起, 沈吉. 乌伦古湖沉积物粒度特征及其古气候环境意义[J]. *沉积学报*, 2006, 24(6): 877-882. [Jiang Qingfeng, Liu Xingqi, Shen Ji. Grain-size characteristics of Wulugu Lake sediments and its palaeoclimate and palaeoenvironment implication [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(6): 877-882.]
- [35] 叶远达, 徐海, 蓝江湖. 等. 云南程海沉积物粒度对水深的指示意义[J]. *第四纪研究*, 2018, 38(4): 1007-1016. [Ye Yuanda, Xu Hai, Lan Jianghu, et al. Sedimentary grain size at Lake Chenghai, Yunnan province: Indicator for water depth [J]. *Quaternary Sciences*, 2018, 38(4): 1007-1016.]
- [36] 陈永森, 郭荫卿, 王霞斐, 等. 云南省志一卷一: 地理志[M]. 昆明: 云南人民出版社, 1998. [Chen Yongsen, Guo Yinqing, Wang Xiafei, et al. Records of Yunnan province volume 1: geography [M]. Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1998.]

Spatial Distribution of Grain Size Composition of Surface Sediments in Lake Cheng (Chenghai) and Their Influential Factors

HU JingJiu¹, ZHANG HuCai^{1,2}, CHANG FengQin^{1,2}, LI Ting¹, CAI Meng¹, DUAN LiZeng²,
ZHANG LongWu¹, ZHANG Yang¹

1. Key Laboratory of Plateau Lake Ecology & Global Change, Yunnan Provincial Key Laboratory of Geographical Process and Environmental Change on the Plateau, College of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China

2. Key Laboratory of Plateau Lake Ecology & Environment Change, Institute of Plateau Lake Ecology and Pollution Management, School of Resource Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650504, China

Abstract: Due to the influence of dynamic conditions and material sources in a lake, the spatial distribution characteristics of the surface sediment are different. In this study, Lake Cheng (or Cheng Hai) in northwest Yunnan was selected as the research object. We tested the surface grain size index, analyzing the spatial distribution characteristics for the different components of surface sediment grain size and discussing factors affecting the spatial distribution of grain size. The results show that silt is the dominant granule of surface sediments in Lake Cheng, and the sedimentary types of the samples are clay silt. The spatial distribution for the sediment particle size components and their parameters on the surface of Lake Cheng is obviously different. Clay shows an increasing trend from south to north, while powder sand and median grain size indicate the opposite, indicating that, in Lake Cheng, the hydrodynamic force gradually decreases from south to north under the influence of a prevailing south wind. The spatial distribution of surface sediments in Lake Cheng indicates that the surface sediments are subject to the prevailing wind and spread northward. Therefore, the management of human activities on the coast of this area should be strengthened to reduce the diffusion of pollutants.

Key words: Lake Cheng; surface sediment; grain size; spatial distribution