

文章编号 1001-7410(2007)04-507-04

岱海¹⁴C 测年的现代碳库效应研究*

吴艳宏^① 王苏民^① 周力平^② 孙照斌^①

(^①中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; ^②北京大学地理学院地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要 碳库效应的复杂性是影响建立湖泊沉积物高精度年代序列的一大障碍。本研究通过我国内蒙古半干旱区封闭湖泊表层沉积物、湖水、现生沉水植物狐尾藻、现生鲤鱼鱼骨和湖岸表层土壤等一系列样品的¹⁴C 年代测定, 表明现代岱海确实存在碳库效应。碳库效应年龄因湖水盐度在湖区的不均而有所变化, 岱海西部湖区弓坝河径流补给量大, 湖水盐度较东部稍低, 碳库效应年龄也略小于东部湖区。表层沉积物中有机质包含浮游生物和沉水植物的混合信息, 因而其碳库效应年龄较沉水植物年龄轻, 岱海湖心表层沉积物碳库效应年龄在 2000a 左右。这一碳库效应年龄较通过沉积钻孔¹⁴C 年龄线性回归获得的年龄偏大, 可能的原因是在时间序列上碳库效应并非恒定。

主题词 ¹⁴C 测年 碳库效应 湖泊沉积物 岱海

中图分类号 P343.3, P597 **文献标识码** A

湖泊沉积物被认为是过去环境变化的良好信息载体, 其最大优势在于环境信息丰富、保存完整连续、分辨率高。而湖泊沉积物年代序列的建立左右着所揭示的环境变率的分辨率和准确性。¹⁴C 测年方法, 根据沉积物中有机质、植物残体、孢粉、生物壳体的无机碳酸盐以及自生碳酸盐中¹⁴C(放射性碳)的比度, 利用¹⁴C 的衰变原理, 计算出绝对年代^[1,2], 满足了近 3~4 万年以来的测年需要。然而,¹⁴C 测年的精度受到一系列因素的影响, 其中最主要的影响来自碳库效应^[3-8]。碳库效应最早在海洋沉积中发现, 也有了较多的研究^[9-12], 并建立了相应的数据库, 为全球的海洋沉积研究提供参考 (<http://calib.org/marine>)。湖泊沉积中同样存在碳库效应, 尤其是那些封闭的碱性高盐度湖泊中, 保存了较多的“老”碳, 导致了湖泊沉积物¹⁴C 年龄比沉积物形成的实际年龄偏老的现象。在我国干旱、半干旱区的湖泊多为封闭、半封闭湖泊, 湖水多呈碱性且盐度较高, 碳库效应较为明显^[6,8]。如何消除碳库效应的影响获得高精度的年代序列, 是古环境研究方面亟待解决的问题。

碳库效应对于古全球变化研究至关重要, 但迄今为止我们对它的认识还相当有限, 多学科的综合研究势在必行^[12]。海洋沉积物主要是通过获得某种有机体(如牡蛎壳)的日历年龄和¹⁴C 年龄来获得

碳库效应年龄^[10,11], 另外就是通过其他测年手段如热电离质谱(TIMS)技术的 U/Th 测年, 并对比同一层位的¹⁴C 年龄进行校正^[9]。海洋的碳库效应在时间和空间上是变化的^[11]。湖泊的区域特色更为明显, 湖水盐度、pH 值等水化学性质对气候变化的响应更敏感, 因而湖泊的碳库效应时空变化更显著, 获得已知日历年龄的有机体的可能性远远小于在海洋沉积物中, 种种困难导致碳库效应的研究难度更大。人们往往只能对已获得的¹⁴C 年龄数据进行线性回归, 将深度为 0 时的年龄回归值作为碳库效应年龄^[6,13-15]。

线性回归的方法所获得的碳库效应年龄是理想化的现代碳库效应的年龄。本研究试图通过岱海表层沉积物、不同深度湖水、水草、鱼骨和湖岸土壤样品的¹⁴C 年代测定, 探讨岱海现代碳库效应。

1 研究区概况

岱海(40°28'~40°37'N, 112°33'~112°47'E)位于内蒙古自治区乌盟凉城县境内, 是我国北方的一个典型内陆封闭湖泊, 东西长约 20km, 南北最大宽度 14km, 面积约 160km², 最大水深 16m, 流域面积为 2289km²。岱海地处我国半干旱与半湿润的过渡带, 气候上属于中温带半干旱季风气候, 冬季长而干冷, 夏季短而温暖, 年均温较低, 年温差和日温差较

第一作者简介: 吴艳宏 男 38 岁 研究员 湖泊沉积与环境变化专业 E-mail: yhwu@niglas.ac.cn

* 国家自然科学基金重点项目(批准号: 90411017)资助

2007-03-21 收稿, 2007-04-27 收修稿稿

大,多年平均降水量为412.95mm,而多年平均蒸发量则达到1032.57mm。主要入湖河流为东岸的目花河和西岸的弓坝河^[16]。

2 采样和实验方法

2006年4月在岱海采集了表层沉积物和鱼骨样品,2006年8月采集了水草和湖岸土壤样品,2006年10月采集了湖水样品(图1)。

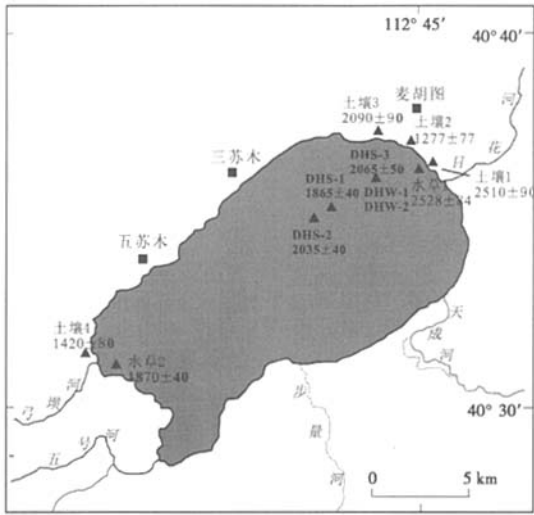


图1 岱海简要地图及采样位置

Fig.1 Sketch map of the Daihai Lake and the sampling sites

3个表层沉积物样品是利用重力采样器在湖心获得,采样位置分别见图1中DHS-1,DHS-2和DHS-3。在采样点采集了少量湖水用于水化学性质分析,同时在岱海东部和西部分别采集了少量湖水进行水化学分析。

湖水样品利用自制采水器,采自水深1m(DHW-1)和9m(DHW-2)处。所采湖水带回实验室后加CaCl₂,蒸发获得结晶CaCO₃用于¹⁴C年代测定。点位与表层沉积物样DHS-3位置相近。

在湖东部和西部分别采集沉水植物狐尾藻

(*Myriophyllum*),样品带回实验室冷冻干燥后,用于¹⁴C年代测定。

鱼骨样品采自岱海生长的鲤鱼(*Cyprinus carpio*),剔除鱼肉后带回实验室低温烘干。

湖岸土壤样品分别采自湖的东岸和西岸的表层5cm的土壤,剔除植物根及可见的植物残体,提取总有机质用于年代测试。

表层沉积物样品DHS-1和DHS-2在北京大学利用加速器质谱仪(AMS)测定,其余样品在中国科学院南京地理与湖泊研究所利用液体闪烁计数器(LSC)测定。

3 结果

3.1 水化学特征

岱海pH值在全湖变化不大,在9.1左右,湖水呈碱性。盐度方面全湖不均,总体看由湖西向东盐度呈升高的趋势,湖西样品较湖东样品低约1200mg/L。盐度变化特征可能与岱海西部弓坝河补给量较东部目花河大有关,另外湖区盛行西风^[16],湖流因此将较多的盐分带到湖的东部。HCO₃⁻和CO₃²⁻在全湖的分布与盐度的分布相似(表1)。

DHW-1和DHW-2表明纵向的湖水化学性质变化不大(见表1)。

3.2 ¹⁴C年代结果

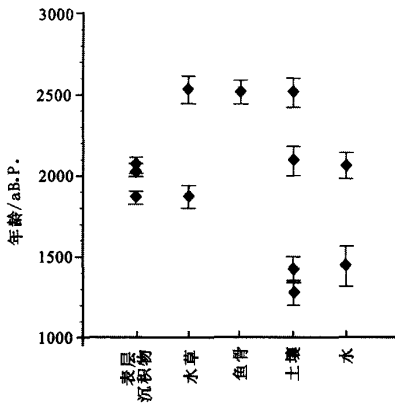
利用岱海湖泊表层沉积物样品、鱼骨、水草(狐尾藻)、水及湖岸土壤样品共获得¹⁴C年龄12个(表2和图2),表层沉积物年龄在1865~2065aB.P.之间,鱼骨年龄较老,为2513±73aB.P.,东部湖区所采狐尾藻年龄为2528±84aB.P.,西部湖区狐尾藻年龄为1870±40aB.P.,土壤样品年龄差异较大,从1277aB.P.到2510aB.P.不等,湖水年龄表层和底层亦存在差别,分别为1450±125aB.P.和1860±80aB.P.。

表1 各采样点水化学特性(单位:mg/L)
Table 1 Water chemical characteristics in sampling sites

样点	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	pH值	盐度
湖东	6.1	1597.0	162.4	31.9	479.2	104.0	408.9	2293.7	9.1	5084.7
湖西	5.0	1310.5	128.6	32.5	408.1	93.4	318.1	1876.7	9.0	3887.9
DHS-1	6.1	1557.5	125.5	29.6	478.0	113.4	446.6	2252.0	9.1	4913.7
DHS-2	6.1	1551.8	118.0	30.3	482.7	103.4	414.2	2215.5	9.1	4792.0
DHS-3	6.1	1588.2	126.0	30.2	484.2	106.7	437.5	2293.7	9.1	4962.8
DHW-1	6.1	1632.3	159.6	28.1	477.7	105.4	410.5	2345.8	9.1	5083.8
DHW-2	6.2	1613.4	161.2	28.7	464.3	103.2	407.9	2403.1	9.1	5120.7

表 2 不同样品¹⁴C 年龄测量结果Table 2 ¹⁴C dating results

样品	¹⁴ C 年龄/aB. P.
表层沉积物 (DHS-1)	1865 ± 40
表层沉积物 (DHS-2)	2035 ± 40
表层沉积物 (DHS-3)	2065 ± 50
鱼骨	2513 ± 73
东部湖狐尾藻	2528 ± 84
西部湖狐尾藻	1870 ± 40
土壤样-1	2510 ± 90
土壤样-2	1277 ± 77
土壤样-3	2090 ± 90
土壤样-4	1420 ± 80
水样 (DHW-1)	1450 ± 125
水样 (DHW-2)	1860 ± 80

图 2 岱海不同材料¹⁴C 年代结果Fig. 2 ¹⁴C dating results of different dating material

4 讨论

岱海表层沉积物、现生生物、湖水和湖岸土壤的¹⁴C 年代结果明显指示了碳库效应的存在,土壤样品的¹⁴C 年龄表明岱海流域内物质在入湖前就可能受到了“老”碳的污染,加剧了湖泊沉积物碳库效应的影响。明显的特征是越往湖东部,除鱼骨外各测年材料的碳库效应年龄越大。而岱海湖水化学性质表明,pH 值在全湖变化不大,而由于补给水和盛行风向的原因,由西向东湖水盐度存在上升梯度。因此,碳库效应年龄与湖水盐度可能呈正比。同一采样点不同深度湖水的年龄证明了这一假设,表层湖水的盐度略低于深部湖水,表层湖水的年龄也较深部湖水年龄稍轻。

狐尾藻是一种沉水植物,主要利用水体中的溶解碳进行光合作用,因此其年龄代表了底层水的年龄。鲤鱼是一种以进食水草为主的杂食性的底栖鱼类,其¹⁴C 年龄应接近于沉水植物的年龄,本研究中所获得一个鱼骨年龄与岱海东部湖区狐尾藻年龄相

近(见表 2)。

表层沉积物中有机碳主要来自于湖泊自生植物包括各种藻类^[17]。藻类中浮游藻类除利用湖泊水体中的溶解碳外,还利用部分大气 CO₂ 进行光合作用,因此浮游藻类受碳库效应的影响要小于沉水植物。表层沉积物碳库效应年龄因而取决于有机质来源的组成,是一个混合的信息。岱海不同位置的 3 个表层沉积物年龄均小于东部湖区的狐尾藻年龄和鱼骨年龄,理论上是合理的,表层沉积物的碳库效应年龄应在 2000a 左右。

Xiao 等^[14]、孙千里等^[15]对岱海湖心沉积物进行了¹⁴C 年代测定,用回归的方法估算沉积物年龄偏老 360~410a,并作为岱海的碳库效应年龄。用线性回归获得碳库效应年龄必须至少基于以下几个假设:1)在时间上碳库效应年龄是恒定的;2)在同一个湖区,碳库效应在空间上也是不变的;3)测年材料完全一致。对照本研究的结果以及海洋沉积的研究结果^[11],表明碳库效应年龄在时间和空间上并非恒定不变的,尤其是对于湖泊而言,区域特色更加明显;湖泊流域面积远小于海洋,地表径流带来的土壤和围岩中的“老”碳浓度更高;湖水受气候变化,湖水化学性质变化频繁,因而碳库效应年龄的时空变化更显著。同样用线性回归的方法,在青藏高原班公错碳库效应年龄为 6670a^[6]、青藏高原中部错鄂和兹格唐错分别为 3260a 和 2010a^[18]、青海湖为 1039a^[13],而岱海是 360~410a^[14,15],表明了区域上碳库效应年龄差异巨大。如何获得确切的不同时段的碳库效应年龄,尚需对不同层位沉积物进行仔细分析来确定。

5 结论

岱海沉积物、水生生物和湖水明显受到了碳库效应的影响,表层沉积物的碳库效应年龄应在 2000a 左右。碳库效应年龄与湖水盐度成正相关关系,由于入湖河流补给量的不同和湖区盛行风的原因,东部湖区湖水盐度较西部湖区略高,因而西部湖区表层沉积物碳库效应年龄应当低于东部湖区表层沉积物。表层水和生物的碳库效应年龄低于深部湖水和沉水植物的年龄。碳库效应年龄在时间序列上也是不断变化的。

致谢 中国科学院南京地理湖泊研究所金章东研究员、薛滨研究员协助采样,谨致谢意!

参考文献 (References)

- 1 Lowe J J. Radiocarbon dating: Recent application and future

- potential. *Quaternary Proceedings*, 1991, (1): 1~89
- 2 Schotton F W. An example of hard-water error in radiocarbon dating of vegetable matter. *Nature*, 1972, **240**: 460~461
 - 3 孙湘君, 杜乃秋, 陈因硕等. 西藏色林错湖相沉积物的花粉分析. *植物学报*, 1993, **35**(12): 943~950
Sun Xiangjun, Du Naiqiu, Chen Yinshuo *et al.* Analysis on pollen of lake sediment in Silling Co, Tibet. *Acta Botanica Sinica*, 1993, **35**(12): 943~950
 - 4 Colman S M, Jones G A, Rubin M *et al.* AMS radiocarbon analyses from Lake Baikal, Siberia: Challenges of dating sediments from a large, oligotrophic lake. *Quaternary Geochronology*, 1996, **15**: 669~684
 - 5 Björck S, Hjort C, Ingólfsson Ó *et al.* Radiocarbon dates from the Antarctic Peninsula region: Problems and potential. *Quaternary Proceedings*, 1991, (1): 55~65
 - 6 Fontes J C, Gasse F, Gibert E. Holocene environmental changes in Lake Bangong basin (West Tibet), Part 1: Chronology and stable isotope of carbonates of a Holocene lacustrine core. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1996, **120**: 25~47
 - 7 Wang R L, Scarpitta S C, Zhang S C *et al.* Later Pleistocene/Holocene climate conditions of Qinghai-Xizang Plateau (Tibet) based on carbon and oxygen stable isotopes of Zabuye Lake sediments. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, **203**: 461~477
 - 8 吴艳宏, 王苏民, 侯新花. 青藏高原中部错鄂全新世湖泊沉积物年代学研究. *中国科学(D辑)*, 2006, **36**(8): 713~722
Wu Yanhong, Wang Sumin, Hou Xinhua. Chronology of Holocene lacustrine sediments in Co Ngoin, Central Tibetan Plateau. *Science in China (Series D)*, 2006, **49**(9): 991~1001
 - 9 Hall B L, Henderson G M. Use of uranium-thorium dating to determine past ^{14}C reservoir effects in lakes: Examples from Antarctica. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, **193**(3~4): 565~577
 - 10 Bondevik S, Mangerud J, Birks H H *et al.* Changes in North Atlantic radiocarbon reservoir ages during the Allerød and Younger Dryas. *Science*, 2006, **312**: 1514~1517
 - 11 Reimer R W, Reimer P J. Marine reservoir corrections and the calibration curve. *Pages Newsletter*, 2006, **14**(3): 12~13
 - 12 Irka Hajdas. ^{14}C Chronology. *PAGES Newsletter*, 2006, **14**(3): 2
 - 13 Shen J, Liu X, Wang S *et al.* Palaeoclimatic changes in the Qinghai Lake area during the last 18000 years. *Quaternary International*, 2005, **136**: 131~140
 - 14 Xiao J, Xu Q, Nakamura T *et al.* Holocene vegetation variation in the Daihai Lake region of North-central China: A direct indication of the Asian monsoon climatic history. *Quaternary Science Reviews*, 2004, **23**: 1669~1679
 - 15 孙千里, 肖举乐. 岱海沉积记录的季风/干旱过渡区全新世适宜期特征. *第四纪研究*, 2006, **26**(5): 781~790
Sun Qianli, Xiao Jule. Characteristics of the Holocene optimum in the monsoon/arid transition belt recorded by core sediments of Daihai Lake, North China. *Quaternary Sciences*, 2006, **26**(5): 781~790
 - 16 王苏民, 余源盛, 吴瑞金等. 岱海: 湖泊环境与气候变化. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1990. 1~22
Wang Sumin, Yu Yuansheng, Wu Ruijin *et al.* The Daihai Lake: Environment Evolution and Climate Change. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1990. 1~22
 - 17 Meyers P A, Ishiwatari R. Lacustrine organic geochemistry: An overview of indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic Geochemistry*, 1993, **20**: 867~900
 - 18 Wu Y, Lücke A, Wünnemann B *et al.* Reservoir age in the central Tibetan Plateau: A case study in Co Ngoin and Zigé Tängco. 2007, (submitted to *Radiocarbon*, under review)

MODERN RESERVOIR AGE FOR ^{14}C DATING IN DAIHAI LAKE

Wu Yanhong^① Wang Sumin^① Zhou Liping^② Sun Zhaobin^①

(^①Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;

^②Department of Geography, Laboratory for Earth Surface Processes, Peking University, Beijing 100871)

Abstract

Reservoir effect on ^{14}C dating is a common problem in marine and lacustrine sediments. Our knowledge of reservoir ages, either modern or ancient, is still very limited. We present here a series of ^{14}C ages of lake surface sediments, lake water, submerged aquatic plant (*Myriophyllum*), fish (*Cyprinus carpio*) bone, and surface soil samples from the Daihai Lake, which is a closed lake located in semi-arid area of Inner Mongolia, China, in order to evaluate the modern reservoir age. Our results confirm that in the Daihai Lake, modern reservoir effect does exist in surface lake sediments, lake water, soil, submerged aquatic plant and even in the fish bones. The modern reservoir age varies with salinity in different parts of the lake. In western part of the lake, which is fed by more fresh water from the Gongba River, the salinity is a little lower than in the eastern part. The reservoir age there is younger than that in eastern part correspondingly. The reservoir age of the surface lake sediments is younger than that of submerged aquatic plant because of the organic matter in lake sediments which is a mixture of plankton and submerged plants. The reservoir age of the surface lake sediments from the center of the Daihai Lake is estimated to be ca. 2000a. This reservoir age is significantly older than those in some recent literatures which were obtained using linear extrapolation method. A possible explanation for the discrepancy is that the reservoir effect is temporally variable.

Key words ^{14}C dating, reservoir effect, lake sediments, Daihai Lake