

淡水软体动物壳化石碳氧同位素组成 及其在恢复古气候环境中的应用

李玉成 徐永昌 沈平

(中国科学院兰州地质研究所生物、气体地球化学开放实验室)

摘要 本文研究了昆明滇池和太湖无锡湾软体动物壳化石的碳氧同位素组成,利用化石同位素组成,恢复了昆明盆地百万年以来和太湖无锡湾近四万年以来的古气候环境。研究表明:淡水软体动物壳化石氧同位素组成,在不同的环境条件下,最大差值可达7%;钻孔中的不同层位的贝壳化石碳氧同位素组成与现代贝壳同位素相比,既有富集重碳氧同位素的层段,也有富集轻碳氧同位素组成的层段,氧同位素变化周期为十万年;富集轻碳氧同位素组成层段与湿润期对应,而富集重碳氧同位素组成层段与干燥期对应。化石氧同位素记录了昆明盆地古气候干湿变化有十万年的周期,随时代变新,气候逐渐干燥;以化石碳氧同位素为主,综合沉积物特征,推断太湖无锡湾近20m地层形成于近四万份年至今,气候温和潮湿,环境可能为河口相。

关键词 淡水软体动物壳化石 氧碳同位素组成 古气候环境变迁 昆明盆地 太湖无锡湾地区

第一作者简介 李玉成 男 27岁 硕士 稳定同位素地球化学

前 言

全球古气候环境的演变研究,越来越受到人们的重视。它不仅为预测未来的气候变化提供信息,提高人类预防灾害的能力,而且也受气候和环境制约的“陆相生油理论”研究提供有机质聚集、保存和演化的新指标。大陆的古气候研究中,贝壳化石碳氧同位素的方法已显示出巨大的潜力。这是因为,陆相地层中贝壳广泛发育,贝壳化石碳氧同位素既继承了湖水的同位素特征,又记录了受温度影响的水-贝壳同位素交换平衡,所以能在较小的时间尺度上(小于几十年)记录气候变迁引起的湖水的矿化度的变化。然而,与海相软体动物壳化石同位素研究相比,由于湖相地层复杂,影响同位素分馏的因素多,研究难度大,故目前仍缺少系统可靠的数据。

本文选择了现代温湿略干气候的昆明滇池钻孔中的软体动物壳化石进行碳氧同位素分析。为了对比研究,还分析了现代温湿气候的太湖无锡湾钻孔中的贝壳化石。昆明滇池钻孔位于市东南的官渡村西,称参一井。样品采自220m至地表的层位中,相当于百万年至今(中科院南京地理所等,1988)。沉积特征为三角洲夹湖湾相沙泥岩。现代气候温和,干湿分明,蒸发量高于降雨量约500mm,滇池水矿化度较高,湖水的 $\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$ 为-6.2‰,雨水的 $\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$ 为-11.7‰,现代滇池软体动物壳同位素分布范围为: $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 为-5.1‰~-5.5‰; $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 为6.6‰~-7.4‰,不同种属的软体动物壳氧同位素相差很小,而碳同位素相差也不大。太湖无锡湾钻孔位于太湖水面下2m,孔深约20m。岩性主要为灰绿粘土、粉砂、粉砂粘土,沉积物具纹层状纹或交错层理。现代气候温和湿润,湖水的 $\delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})}$ 为

-5.5‰和雨水氧同位素接近。贝壳 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 为-5.3‰。

文中重点讨论了淡水软体动物壳化石的碳氧同位素组成并本着“将今论古”的原则，将笔者已有的现代贝壳同位素研究成果^①与贝壳化石结合起来，尝试性地讨论化石氧碳同位素记录的古气候环境变迁。

一、样品采集与分析

昆明滇池参1井的软体动物很发育。软体动物的种属特征。黄宝玉作过详细研究（中科院南京地理所等，1988）。现代滇池和其它湖泊软体动物壳氧、碳同位素研究表明：相同环境下，不同种属的壳氧碳同位素相差不大，^①如 $\delta^{18}\text{O}$ 相差1‰以内。为了使化石碳氧同位素组成能更好地代表某一沉积层段古气候环境特征，文中采集分析了软体动物群壳化石碎片。太湖无锡湾钻孔中，软体动物化石也较多。有兰蚬和大量的螺，大部分化石个体较小，只有毫米级。依钻孔中沉积特征按2m间距采集螺蚌混合样供分析用，其中3-8m无化石样，如图3。

样品除去有机质的方法是磨碎至100目以上，抽真空加热至450℃，处理好的样品和100%的磷酸反应，收集 CO_2 送至 MAT-251 测定同位素比值。以 PDB 为标准， $\delta^{13}\text{C}$ 的误差为0.1‰， $\delta^{18}\text{O}$ 误差为0.2‰。

二、百万年以来昆明滇池软体动物壳化石氧同位素组成及其记录的古气候环境变迁

笔者除了对参1井的软体动物壳化石进行同位素分析外，前人对距参1井仅30km，更接近现代滇池水面的科1孔中的螺（*Margarya*）也进行了氧同位素分析，每个螺有两个数据，一个高值，一个低值（肖永林等，1986）。本文综合了参1井和科1孔的贝壳化石氧同位素数据。由于两孔都有古地磁年令，因而把布容期沉积和松山期沉积及 Jaramillo 事件沉积等大的界限对应好，布容期内的沉积层对比，则参考了铀系年龄，近地表20m沉积则用¹⁴C年令进行对比，这样，按年代的先后顺序，建立了以绝对年代为标准的贝壳化石氧同位素气候曲线（图1）。为了便于对比讨论，图中还标出了深海有孔虫氧同位素曲线（图1，图2）。

（一）十万年尺度上贝壳氧同位素组成的变化

软体动物壳化石同位素分析结果表明：贝壳化石氧同位素组成在相邻的层段之间，最大差值可达7‰。明显高于海相化石 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化；钻孔中不同层位的贝壳化石碳氧组成分布范围为： $\delta^{13}\text{C}$ ：-3.8‰~-8.7‰， $\delta^{18}\text{O}$ ：-7.6‰~-14.6‰和现代滇池贝壳同位素值相比，既有富集重碳氧同位素组成的层段，也有富集轻碳、氧同位素组成的层段；百万年以来，贝壳化石氧同位素值的轻重变化具有清晰的十万年周期，十一次富集重氧同位素组成层段和十次富集轻氧同位素组成的层段交替出现，且随年代更新，同位素逐渐富集重氧同位素组成；最

^①淡水软体生物壳碳氧同位素组成 李玉成 徐永昌

富集轻氧同位素组成的年代迄今约 50~60 万年, $\delta^{18}\text{O}$ 为 -14.6% , 最富集重氧同位素组成的年代迄今约一万多年, $\delta^{18}\text{O}$ 分布为 -3.5% — 7.5% 。

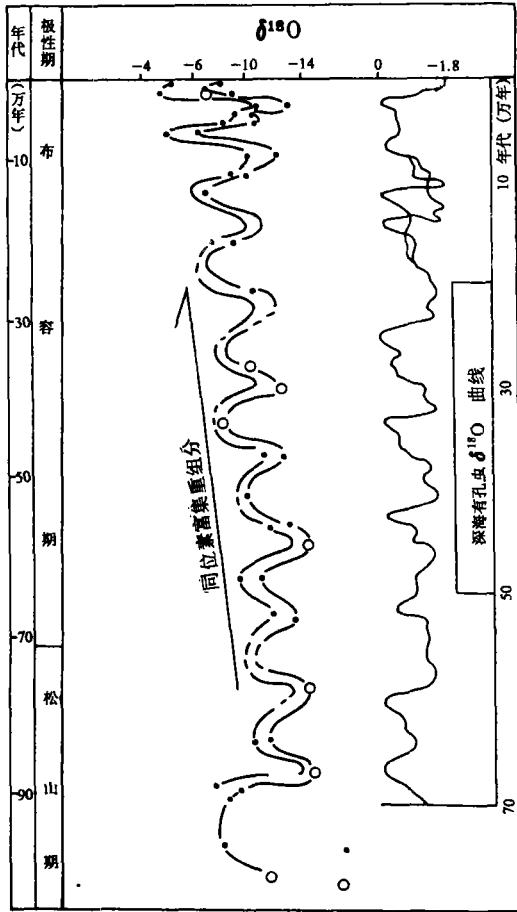


图 1 昆明盆地百万年以来氧同位素曲线

Fig.1 The Climatic curve of oxygen isotope in one million year at Kunming basin

详细的工作。在此工作基础上, 笔者选择参 1 井上半段尝试性地探讨百万年以来的气候环境变化。补充古气候环境演变的贝壳化石碳氧同位素的空白, 便于发现贝壳化石同位素在研究古气候环境方面优缺点。

现代不同气候环境下, 淡水贝壳碳氧同位素研究表明: 贝壳氧同位素主要受湖水矿化度影响。湿润气候, 矿化度小的湖泊贝壳碳氧同位素富集轻组成, 随气候干燥, 湖水矿化度的增高, 贝壳富集重碳氧同位素组成。对比滇池的现代贝壳与化石贝壳, 以及化石与化石之间的氧同位素组成后发现: 百万年以来, 很多层段的贝壳化石氧同位素较现代贝壳富集轻氧组成, 这说明过去的大多时间内, 昆明地区同位素记录的古气候应该较现代湿润, 古湖水的矿化度也较小; 代表湿润期的富集轻氧同位素值的峰在图 1 中出现了 10 次, 两湿润期之间差约十万年; 尽管两湿润期之间夹有明显富集重氧同位素组成的“干燥期”(指至少富集¹⁸O 达

(二) 玉木冰期万年尺度上贝壳同位素变化

80m 至地表的沉积物中, 贝壳化石同位素数据较密, 比较化石氧同位素曲线与格陵兰冰芯的 8 万年以来氧同位素曲线, 发现两者变化规律一致, 结合铀系测年, 推测这段沉积物形成于玉木冰期。化石氧同位素明显把玉木冰期分成三部分, 清楚地显示出万年尺度上变化特征, 如图 2。即: 富集轻氧同位素组成的层段与湿润温暖的玉木亚间冰期对应, 据研究, 此时古滇池出现高湖面, 面积相当于现代的三倍, (中科院南京地理所等, 1988), 而富集重氧同位素组成的层段与干冷的早或晚玉木冰期对应, 此时, 孢粉组合为暗针叶林带, 代表亚高山寒温带气候, (肖永林, 1986)。此外, 现代贝壳同位素研究也发现同样的规律。尤其值得注意的是: 湖相环境中, 与较温湿的玉木亚间冰期对应的贝壳化石氧同位素富集轻组成达 -13% , 接近于一般间冰期的贝壳化石氧同位素值, 和海相化石氧同位素特征 (Emiliani, 1974) 有明显的区别。

(三) 古气候环境演变

八十年代初, 中国科学院组织了南京地理所和兰州地质所等四个单位, 对云南的断陷湖泊进行了“环境与沉积”的综合研究, 其中昆明盆地的古气候环境演变的研究已从测年学、孢粉学、古生物生态学、沉积学等方面作了相当

1~2‰以上), 但它们的 $\delta^{18}\text{O}$ 值大多还是较现代贝壳 $\delta^{18}\text{O}$ 值要小, 因而看出, “干燥期”气候并不比现代昆明气候干; 随年代变新, 贝壳化石逐渐富集重氧同位素组成, 这意味着昆明地区古气候迄今是逐渐干燥的, 由于强烈的蒸发作用, 使 ^{16}O 大量逃逸而导致贝壳同位素变重

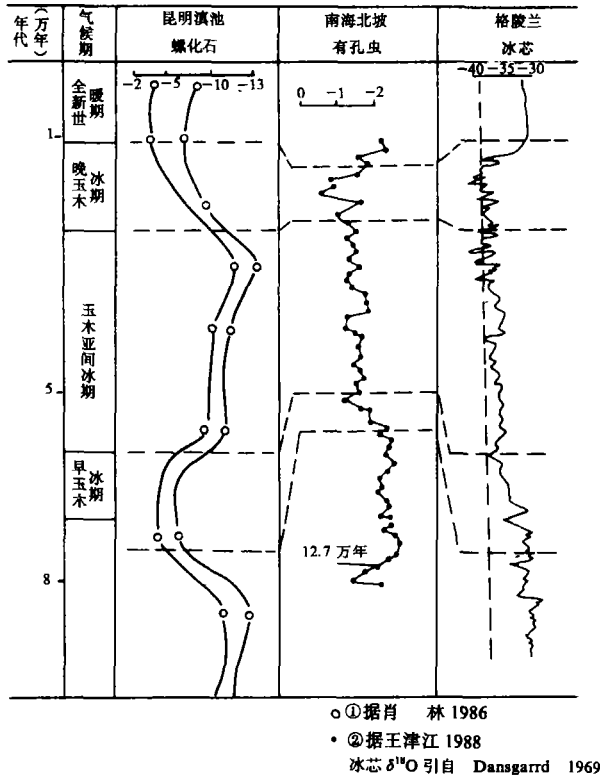


图2 玉木冰期滇池化石氧同位素气候曲线
Fig.2 The climatic curve of Oxygen isotope in Wurm glacier at Kunming basin

气候变干, 可能是云贵高原抬升造成的。比较图 1 不同时代的贝壳化石氧同位素还发现: 与氧同位素最小值($\delta^{18}\text{O}=-14.6\text{‰}$)对应的最湿润气候的年代约为 50—60 万年前后, 化石 $\delta^{18}\text{O}$ 比现代贝壳 $\delta^{18}\text{O}$ 偏负近 9‰, 化石非常富集 ^{16}O , 甚至此 $\delta^{18}\text{O}$ 值要比现代雨水 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}(-11.7\text{‰})$ 还要偏负。贝壳化石富集 ^{16}O 说明湖水富集 ^{16}O 。又因温湿气候条件, 降雨量越大, 湖水越富集 ^{16}O (Dansgaard, 1964), 至此可推断, 50—60 万年, 昆明地区古气候特点为: 蒸发作用很弱, 年降雨量大于现代, 古滇池水面也较大, 矿化度远小于现代。玉木冰期间, 贝壳化石氧同位素记录了万年尺度上的气候变化 (图 2)。早晚两个亚冰期, 化石富集重氧同位素组成, $\delta^{18}\text{O}$ 值与现代贝壳相近, 表明冰期间湿润程度与现代相当。中间的亚间冰期, 贝壳化石富集轻氧同位素组成可与间冰期的贝壳同位素

类比。这种富集 ^{16}O 的原因可能除了间冰期, 雨水量增多, 不仅会使湖水富集 ^{16}O , 而且这种雨量效应还大大掩盖了因温度增高而导致同位素富集重组成的趋势之外, 温暖的气候, 也会使盆地周围高山富集 ^{16}O 的冰雪融化汇入湖泊, 使湖水更加富集 ^{16}O , 生活在湖中的贝壳继承了同位素组成的特征, 从而富集了 ^{16}O 。玉木亚间冰期间, 贝壳化石富集轻同位素组成的现象, 在太湖无锡湾近 20m 的钻孔中的贝壳化石中也有体现。

三、玉木亚间冰期以来, 太湖无锡钻孔贝壳碳氧同位素组成及古气候环境意义。

(一) 贝壳化石同位素分布特征:

太湖无锡湾近 20m 深的钻孔中的贝壳化石碳氧同位素分析结果表明： $\delta^{13}\text{C}$ 分布范围为 -4.0‰ — 7.0‰ ， $\delta^{18}\text{O}$ 的分布范围为 -7.1‰ ~ 8.4‰ (图 3)。与海相化石氧同位素相比，富集轻氧同位素组成 5‰以上，与现代太湖贝壳 $\delta^{18}\text{O}$ 值 (-5.3‰) 相比，富集轻氧同位素也达 2‰以上，除钻孔中 3~8m 的冲积黄土层段无化石外，化石同位素数据集中分布在 8~18m 层段和 3m 深的近代淤泥中。

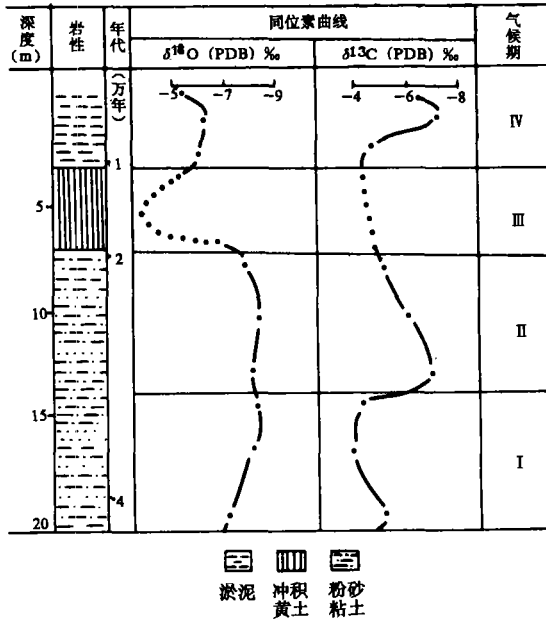


图 3 太湖无锡湾钻孔贝壳化石同位素曲线
Fig3. The climatic curve of carbon and oxygen Isifioe at Taihu lake

(二) 钻孔时代的推断

钻孔中 3~8m 的冲积黄土层广泛发育于太湖平原，构成现代太湖基底。其上分布有大量的古脊椎古文化遗址，时代相当于玉木晚冰期 (孙顺才等, 1987)，该层之上还有形成于全新世以来的泥碳 (景存义, 1985)，因此这层冲积黄土形成时代为二万至一万多年。黄土层之下 8~18m 湖相地层中贝壳化石碳氧同位素富集轻组成，应对应着温暖湿润的气候，类似于昆明盆地玉木亚间冰期贝壳化石同位素组成特征，因而推断这一层段形成于玉木亚间冰期间，年代约近 4 万年—2 万年。同理，黄土层之上含富集轻碳氧同位素组成的贝壳化石的 3m 淤泥层形成于全新世以来。

(三) 古气候环境演变

太湖地区古气候环境演变的研究工作也有相当的基础。王开发 (1984, 1987) 讨论了孢粉组合与气候变迁；杨怀仁等 (1985, 1988) 由海面升降、海岸线变迁、新构造运动、考古资料、微体古生物组合等方面探讨了古气候环境变化问题；孙顺才等 (1987) 也综合讨论了太湖的形成与演化，但是，有关太湖成因、海侵的影响等问题仍是众说纷云笔者则以化石贝壳碳氧同位素组成为主探讨古气候环境特征，为今后深入研究提供资料。

玉木亚间冰期，研究区贝壳化石的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值较小，它们都落在典型的淡水贝壳同位素组成的范围内和海相壳化石同位素相差较大，这可能表明当时贝壳生活的水体主要是淡水，环境可能是河口相，由于这个时期的贝壳化石同位素值比现代贝壳还要小，因而，玉木亚间冰期气候比现代湿润。就碳同位素而言，该时期贝壳富集 ^{12}C 和现代的相当，指示时植物和现代一样繁盛，有机质较丰富但大多被氧化。

全新世期间的贝壳化石氧碳同位素值和温湿气候淡水湖泊中贝壳同位素值相近。随贝壳化石时代变新，氧碳同位素逐渐富集重组成，这些同位素分布特征可能表明：太湖无锡湾全新世以来气候温湿，环境为湖泊沉积相，近期气候逐渐干燥的趋势。

结 语

淡水软体动物壳化石具有强烈富集轻碳氧同位素组成的特点, 不同的古环境, 其氧同位素值的差可达 7‰ 以上。中更新世以来的湖相剖面中, 含贝壳化石富集重同位素组成的层段和含富集轻同位素组成的层段交替出现, 由于湖泊沉积速度的不均一性, 相邻层段在沉积厚度上并不一定相等, 但绝对年代间隔都约十万年。富集重同位素组成的贝壳化石生活于干燥气候条件, 而富集轻同位素组成的贝壳化石则生活在湿润的气候条件, 与现代贝壳同位素组成特征一致。淡水贝壳氧同位素组成的另一显著特点是, 亚间冰期和间冰期 $\delta^{18}\text{O}$ 值相差不大, 而冰期和间冰期 $\delta^{18}\text{O}$ 值相差较大。通过贝壳化石碳氧同位素研究认为: 百万年以来, 昆明盆地古气候干湿变化有十万年的周期, 大多时间里古气候较现代湿润随年代渐新, 气候逐渐干燥; 太湖无锡湾玉木亚间冰期时为河口相环境, 淡水影响很明显, 全新世, 在黄上层之上积水形成太湖, 其成因和海浸无关。由于淡水贝壳主要受湖水矿化度和气候干湿程度影响, 因而有关温度变化的研究有待今后开展。

感谢王苏民研究员, 黄宝玉研究员, 陈克造研究员, 陈应泰研究员, 文启彬高级工程师在样品采集, 分析及论文写作过程的帮助。

收稿日期: 1989 年 9 月 1 日

参 考 文 献

- (1) 张彭熹等, 1988, 沉积学报, 6 卷 2 期, 1~14 页
- (2) 中国科学院南京地理研究所、兰州地质研究所等, 1988, 云南断陷湖泊环境和沉积, 科学出版社
- (3) 肖永林等, 1986, 中国地质科学院院报, 14 号, 地质出版社, 153—161 页
- (4) 孙顺才等, 1987, 中国科学 (B), 12 期, 1329—1339 页
- (5) Dansgaard W., 1964, *Tellus* V. 16: p.436—468
- (6) Dansgaard W., 1969, *Science* V. 166: p.377—381
- (7) Emiliani et al, 1974, *Science* V.183, p.511—514
- (8) Frifz P., 1987, *Paleogeogr. paleoclimato paleoecol.*V.58, p183—202.
- (9) Krantz D., 1987, *paleogeogr paleoclimato paleoecol* V.58, p.249—266

LACUSTRINE ENVIRONMENTAL AND CLIMATIC EVOLUTION RECORDED BY ISOTOPE OF INORGANIC CARBON AND OXYGEN

Li Yucheng Xu Yongchang Shen Ping

(Lanzhou Institute of Geology, Academia Sinica)

Abstract

Based on the analogical method on studying Paleotemperature and Paleoclimate with foraminiferal isotope

in marine sediments, the features of carbon and oxygen isotopic composition in lacustrine shell fossils from the wells of Kunming Basin, Taihu lake and Chaidamu Basin with their climatic and environmental significance have been reported for the first time in this paper.

By analysing isotopic compositions of about one hundred shell fossils in different terrestrial environments, some regularities are found by comparing them with as follows:

(1) Change of oxygen isotopic light and heavy composition in marine and terrestrial shell fossils is similar and show a period over 100, 000 years. This that global climatic change is synchronous.

(2) Change of oxygen isotopic composition of marine shell, utmost of which is 3‰, if not considering evolution of sea water and seasonal temperature change, is chiefly controlled by annually average temperature. As temperature has a change of 4.2°C, isotope has a change of 1‰. However oxygen isotopic composition of terrestrial shell, is not only influenced by temperature, but mainly by oxygen isotopic composition of precipitation and evaporation. That is, temperature, change of 1°C causes isotopic change of 1‰.

(3) In the same section, isotopic compositions of terrestrial shells with different age change quite. $\delta^{18}\text{O}$ difference of total shell is more than 7‰, and $\delta^{13}\text{C}$ is about 5‰.

For Kunming Basin, authors set up a climatic curve of oxygen isotope, chiefly based on data of this experiment and referencing paleomagnetic dating, uranium dating and ^{14}C dating measured by others. This curve coincides with oxygen isotopic curve of deep sea foraminifera and paleoclimatic curve of loess paleosol sedimentary system. Late Wurm glacial epoch (200, 000–100, 000 YBP) is period to accumulate most violently heavy isotopic composition ($\delta^{18}\text{O} = -3.5\text{‰} - 7.5\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C} = -3.5\text{‰}$) which implies that this period was the coldest and driest in Kunming basin. This result has been supported by data of sedimentary rock and palaeontology. The Period of the most violent accumulation of light isotopic composition was 500, 000–600, 000 YBP ($\delta^{18}\text{O} = -14.6\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C} = -8.3\text{‰}$) and it is deduced that precipitation of this period was 150mm–200mm / Y more than that of moder time. Isotope of shell fossils distributed in 10 meters thickness of lacustrine silt clay under the base of Taihu lake is abundant with lighter composition ($\delta^{18}\text{O} = 7.1\text{‰} - 8.4\text{‰}$) and it is suggested that sediment was deposited during Wurm subinterglacial epoch (400, 000–200, 000 YBP) and was in estuary environment of restricted marine. Isotopic composition of Holocene shell show that the transgression did not reach Taihu lake.