

青海湖介壳与无机碳酸盐氧同位素 组成差异的环境意义

曾 承

(阜阳师范学院社会发展学院 安徽 阜阳 236041)

摘 要: 青海湖 Q14B 沉积物柱芯 560 ~ 415 cm(约 14.0 ~ 10.5 ka B. P.) 段, 介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 高于无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 可能反映了此时青海湖表层水温高于底层水温; 介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 与无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 之间的较小差值可能揭示了此时青海湖水位很浅, 气候干冷; 介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅大于无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅, 则可能源于此时青海湖水位大幅度波动导致的底层水温变幅超过表层, 以及无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 测自全碳酸盐所致。在利用湖泊碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 进行气候及环境变化研究时, 有必要分别测试不同种属介形虫及不同无机碳酸盐矿物的同位素值。

关键词: 青海湖; 介壳; 无机碳酸盐; 氧同位素

中图分类号: P597.2

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2011)02-0020-05

位于青藏高原东北部的青海湖, 是我国内陆最大的闭流型水体, 位于东亚季风、西南季风和西风急流的汇聚带, 地理位置上处于中国季风区与西北干旱区过渡带, 湖区东邻黄土高原, 西部和北部为沙漠区, 独特的区域地理位置使青海湖沉积物的研究具有十分重要的意义。青海湖 Q14B 孔岩芯介壳氧同位素组成($\delta^{18}\text{O}$) 变化曲线自 1991 年发表以来^[1], 受到国内外同行的广泛关注和持续探讨^[2-7]; 其中余俊清等^[6]对 Q14B 孔岩芯下部 560 ~ 330 cm 层位进行了包括无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 在内的多指标研究。本文试图把 Q14B 孔岩芯相同层位介壳和无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 进行初步对比, 并尝试性地提出了自己的一些解释。

1 方法与结果

中瑞科学家在对青海湖联合科学考察中成功地获取了一系列湖底沉积岩芯和地震地层剖

面。根据地震地层剖面提供的情况选定钻探取芯位置, 采用 Kullenberg 型取芯装置在青海湖南部主湖盆中心区水深 26.5 m 处一次性穿透并获取湖底 5.6 m 深的沉积岩芯 Q14B。介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 测自两种介形 (*Limnocythere inoponata* 和 *Eucypris inflata*) , 见图 1 右^[1]; 无机碳酸盐矿物主要为自生文石、方解石和白云石, 其 $\delta^{18}\text{O}$ 见图 1 左^[5-6]; 用 VG Micromass 903 型质谱仪测定相对 PDB 的氧同位素组成。

曲线显示, 在 560 ~ 415 cm(约 14.0 ~ 10.5 ka B. P. ^[5]) 段, 无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 值在 -2‰ ~ 1‰ 之间波动, 变幅较小; 介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 值在 -2‰ ~ 5‰ 之间波动, 变幅较大。

2 讨 论

2.1 介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 高于无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 的环境意义

研究表明, 在平衡条件下从湖水中析出的

收稿日期: 2010-12-28; 修回日期: 2011-01-07

基金项目: 国家自然科学基金(40872114); 国家社会科学基金(10BZS052); 教育部人文社会科学研究青年基金项目(10YJC770003); 安徽省高校省级人文社会科学研究项目(2010sk337); 安徽省高校省级优秀青年人才基金项目(2010SQRW113); 安徽省教育科学规划项目(JG09160); 阜阳师范学院科学研究项目(2009FSKJ13); 阜阳师范学院

教学研究项目(2010JYXM35); 阜阳师范学院教学研究项目(2008JYXM45)

作者简介: 曾 承(1975-) 男, 博士, 副教授, 主要从事地球化学和环境变化研究。

碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ ($\delta^{18}\text{O}_c$) 是碳酸盐宿生水体同位素组成 ($\delta^{18}\text{O}_w$) 和水温的函数^[8-9]。 $\delta^{18}\text{O}_c$ 是 $\delta^{18}\text{O}_w$ 的主要反映^[10], 二者正相关^[9]; 而与湖水温度负相关^[9]。湖泊水体中碳酸盐与水体之间存在同位素交换反应:



湖水温度升高, 由于 ^{16}O 比 ^{18}O 具有更高活性, 更易于迁移, 在同位素交换反应中优先进入碳酸盐沉淀, 从而使得 $\delta^{18}\text{O}_c$ 降低^[9]。

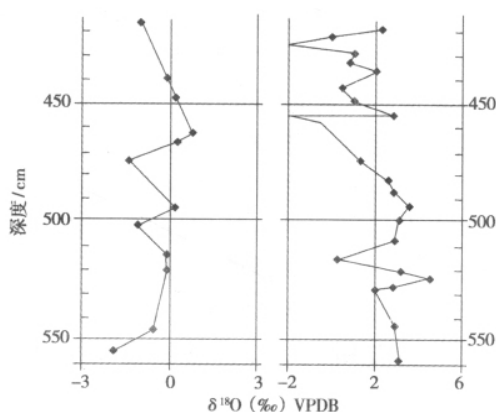


图1 青海湖 Q14B 孔岩芯 560 ~ 415 cm 段无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ (图左^[5-6]与介壳 $\delta^{18}\text{O}$ (图右^[11]) 随深度变化图
Fig.1 $\delta^{18}\text{O}$ variation of inorganic carbonate (left^[5-6]) and ostracod (right^[11]) with depth from 560 ~ 415 cm at the section of sediment core Q14B in Qinghai lake

碳酸盐常形成于暖季, 反映的是暖季水温; 对于青海湖而言, 则反映的是夏季水温。无机碳酸盐形成于湖水表层, 故其 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化反映的是湖水表层水温 (和表层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 值) 变化; 介壳则由于形成于湖水底层, 故其 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化反映的应是湖水底层水温 (和底层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 值) 变化。湖水表层水温与气温较为接近, 二者常同步变化; 而湖水底层水温与气温常不一致, 且其变化常不同步。特别对于深湖而言, 更是如此, 因为, 深湖湖底水温几乎常年恒定保持在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 远低于目前青海湖夏季平均 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的表层水温。

研究表明^[11], 青海湖湖水 $\delta^{18}\text{O}$ 随深度的变化较稳定, 其变化范围极小。在表层和底层水体氧同位素值相差无几的情况下, 表层水温高于底层水温应该是青海湖介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 高于无机碳

酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 的重要原因。

2.2 介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 与无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 相差不大的环境意义

水温对 $\delta^{18}\text{O}_c$ 的影响较小, 水温每变化 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}_c$ 仅变化 0.26‰ 左右^[12]。青海湖 Q14B 岩芯 560 ~ 415 cm (约 14.0 ~ 10.5 ka B. P.) 段介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 值仅高出无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 约为 2‰ 左右, 如果这种差异只是由于湖泊表层和底层水温差异所致, 则水温差只有 $7\sim 8\text{ }^{\circ}\text{C}$; 目前青海湖夏季表层与底层水温差在 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。

相似的情形亦出现在青海湖 QING6 孔岩芯 0 ~ 30 cm 段 (0.3 ~ 0 ka B. P.), 见图 2^[13]。无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 值只比介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 值低约 $1\text{‰} \sim 1.7\text{‰}$; 同理, 如果这种差异只是由湖泊表层和底层水温差异所致, 则水温差只有 $4\sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 而已。

因此, 介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 与无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 差值偏小可能还有其它原因: 一是湖泊表层与底层水体水温差偏小; 二是湖泊表层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 高于底层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 。

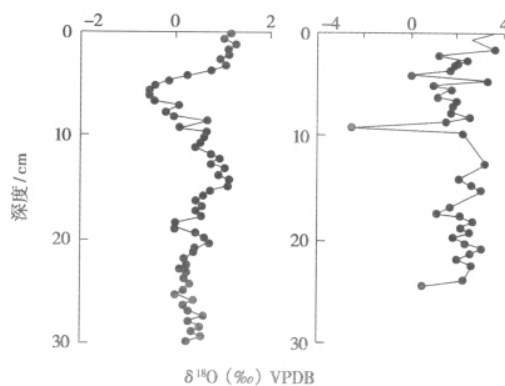


图2 青海湖 QING6 孔岩芯 0 ~ 30 cm 段无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ (图左) 与介壳 $\delta^{18}\text{O}$ (图右) 随深度变化图^[13]

Fig.2 $\delta^{18}\text{O}$ variation of inorganic carbonate (left) and ostracod (right) with depth from 0 ~ 30 cm at the section of sediment core QING6 in Qinghai lake

湖泊表层与底层水体水温差偏小可能表现为以下几种情形。夏季气温偏低导致表层水温偏低; 形成于暖季的无机碳酸盐形成月份稍偏早于生物碳酸盐, 表层水温偏低; 湖水较浅导致湖

泊底层水温并不恒定保持在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$,而是高于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$,与表层水温相差不大;湖泊底部可能有高于底层水温的地下径流注入。

湖泊表层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 高于底层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 可能表现为以下几种情形。无机碳酸盐夏季形成于湖泊表层,水体蒸发强烈导致表层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 偏高;有高于表层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 的地表径流注入或低 $\delta^{18}\text{O}$ 的地表径流注入的减少(如冰雪融水注入量的减少);湖泊底层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 偏低,尽管只是略微偏低^[11];湖底有低 $\delta^{18}\text{O}$ 地下水注入。

青海湖 Q14B 岩芯 560 ~ 415 cm (14.0 ~ 10.5 ka B. P.) 段 TCC 低至 20% ~ 35% ,白云石少于 5% ,介壳少,加之地震反射剖面等证据充分证明,此时水位很浅且微咸,气候干冷多风^[15-7],有助于介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 与无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 差值的偏小。

2.3 介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅大于无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅的环境意义

单就 Q14B 岩芯 560 ~ 415 cm (14.0 ~ 10.5 ka B. P.) 段介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 而言,其波动幅度较大曾被解释为此时青海湖水位很浅,缺少缓冲 $\delta^{18}\text{O}$ 值波动的能力^[1]。基于同样的理由,无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 值的波动亦应较大,同时,湖水位很浅,也会导致湖底水温同湖表水温相差不大,甚至等同,这样也会导致介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅较大。且在表层和底层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 相差无几的情况下,由于介壳所处的湖水底层水温变幅相对小于无机碳酸盐形成处的表层水温变幅(注:此处水温变幅是指二样品间隔时间范围内暖季平均水温的变幅,而非水温的年内季节变幅),介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅应小于无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅。

在测试数据可靠的前提下,介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅大于无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅,可能源于几方面的原因。一是湖泊底层水温变幅大于表层水温变幅;二是湖泊底层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅大于表层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅;三是介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 可能测自不同种属、体长的介形虫,而无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 则测自包括方解石、文石及白云石在内的全碳酸盐。

湖泊底层水温变幅大于表层水温变幅可表现为以下几种情形。湖泊水位曾发生过大幅度变化,当水位较深时,底层水温在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,当

水位较浅时,底层暖季水温远高于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$,接近于表层水温,即水位变化导致底层暖季水温出现大幅度变化,而表层暖季水温变幅很小;或者湖泊底部可能有异于底层水温的地下径流注入,且地下径流与湖底水体混合前后的水温差异超过表层水体暖季均温变化。湖泊底层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅大于表层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅可表现为湖底有异于底层水体 $\delta^{18}\text{O}$ 的地下水注入。

同一湖泊中不同生物碳酸盐可能因为生物生活环境、水源及食物来源不同而体现出不同的同位素值^[14]。测试结果显示,不同介形类的同位素值差异显著,即使同一介形类不同属种间的同位素差异值也常超过 1‰^[1,10,14-17],尽管这种差异是源于不同种属的“生命效应”还是源于不同季节的形成时间尚不得而知^[13]。研究表明,对于生物碳酸盐而言,相对于平衡状态下形成的方解石氧同位素,生命效应会导致氧同位素值偏高^[18],几乎所有的淡水介形类氧同位素值的生命效应均偏正 0.3‰ ~ 2.5‰ 左右^[18-20],这种差异可能源于 pH 值的不同及生物体内钙化速率^[15]。但这种生命效应似乎是系统性的且因种属而异,并且似乎在较大的温度范围内恒定^[14]。

560 ~ 415 cm (约 14.0 ~ 10.5 ka B. P.) 段, TCC 在 18.3% ~ 39.1% 范围内变化,其中文石相对含量为 15% ~ 34%,方解石相对含量为 38% ~ 63%,白云石相对含量为 5% ~ 10%^[5]。560 ~ 467 cm (约 14.0 ~ 11.6 ka B. P.) 部分,沉积物中只有 *Limnocythere inoponata* 介形壳且数量稀少;467 ~ 429 cm (约 11.6 ~ 10.7 ka B. P.) 部分,含有 *Eucypris inflata* 介形壳^[5]。介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 测自不同的种属,而不同温度下形成的成年壳体体长有差异,其 $\delta^{18}\text{O}$ 亦有所差别。王宁等^[21]的研究表明,青藏高原湖积物中不同无机碳酸盐矿物之间 $\delta^{18}\text{O}$ 差值可以很大,如方解石可比白云石更富集 ^{18}O 达 0.9‰ ~ 12.3‰,或白云石比方解石富集 ^{18}O 达 0.4‰ ~ 5.4‰;同时,全碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 值变幅也相对小于单一类型碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 值变幅。Q14B 无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 测自全碳酸盐,而在 560 ~ 415 cm (约 14.0 ~ 10.5 ka B. P.) 段方解石、文石和白云石 3 类矿物各自相对含量变化不小,则在—

定程度上减小了不同无机碳酸盐矿物之间 $\delta^{18}\text{O}$ 存在的差值。此消彼长的结果可能导致介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅超过无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅。

3 结 论

青海湖 Q14B 岩芯 560 ~ 415 cm (14.0 ~ 10.5 ka B. P.) 段,在表层和底层水体氧同位素值相差无几的情况下,表层水温高于底层水温是介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 高于无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 的重要原因。此时青海湖水位很浅且微咸,气候干冷多风则缩小了介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 与无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 之间的差值。介壳 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅大于无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 变幅,则可能源于此时青海湖水位大幅度波动导致的底层水温变幅超过表层,以及无机碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 测自全碳酸盐所致。在利用湖泊碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 进行气候及环境变化研究时,有必要分别测试不同种属介形类及不同类型无机碳酸盐矿物的同位素值。

致谢: 感谢阜阳师范学院地理专业陈玲玲老师在绘图过程中提供的帮助。

参考文献:

- [1] Lister G S, Kelts K, Chen K Z *et al.* Lake Qinghai, China: closed-basin lake levels and the oxygen isotope record for ostracoda since the latest Pleistocene [J]. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 1991, 84(1 - 4): 141 - 162.
- [2] 卫克勤, 林瑞芬. 内陆封闭湖泊自生碳酸盐氧同位素剖面的古气候意义[J]. *地球化学*, 1995, 24(3): 215 - 224.
- [3] 林瑞芬, 卫克勤. 新疆玛纳斯湖沉积物氧同位素记录的古气候信息探讨——与青海湖和色林错比较[J]. *第四纪研究*, 1998, 18(4): 308 - 318.
- [4] Wei K, Gasse F. Oxygen isotopes in lacustrine carbonates of West China revisited: implications for post glacial changes in summer monsoon circulation[J]. *Quaternary Science Reviews*, 1999, 18(12): 1315 - 1334.
- [5] Yu J Q, Kelts K. Abrupt changes in climatic conditions across the late-glacial/Holocene transition on the N. E. Tibet-Qinghai Plateau: evidence from Lake Qinghai, China [J]. *Journal of Paleolimnology* 2002, 28(2): 195 - 206.
- [6] 余俊清, Kelts K. 末次冰消期晚期青藏高原东北部气候变化[J]. *第四纪研究* 2002, 22(5): 413 - 423.
- [7] 曾承. 青海湖碳酸盐氧同位素环境记录再认识[J]. *盐湖研究* 2007, 15(1): 16 - 19.
- [8] Epstein S, Buchsbaum R, Lowenstam H A *et al.* Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 1953, 64(11): 1315 - 1325.
- [9] Craig H, Gordon L I. Deuterium and oxygen-18 variations in the ocean and marine atmosphere [M] // Tongiorgi E, ed. *Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures*. Pisa: Consiglio Nazionale delle Ricerche Laboratorio di Geologia Nucleare, 1965: 9 - 130.
- [10] Gasse F, Fontes J C, Plaziat J C *et al.* Biological remains, geochemistry and stable isotopes for the reconstruction of environmental and hydrological changes in the Holocene lakes from North Sahara [J]. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 1987, 60(1): 1 - 46.
- [11] 张彭熹, 张保珍, 杨文博. 青海湖冰后期水体环境的演化[J]. *沉积学报*, 1988, 6(2): 1 - 14.
- [12] Valero-Garcés B L, Kelts K, Ito E. Oxygen and carbon isotope trends and sedimentological evolution of a meromictic and saline lacustrine system: the Holocene Medicine Lake basin, North American Great Plains, USA [J]. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 1995, 117(3 - 4): 253 - 278.
- [13] Henderson A C, Holmes J A, Zhang J W *et al.* A carbon- and oxygen-isotope record of recent environmental change from Qinghai Lake, NE Tibetan Plateau [J]. *Chinese science bulletin* 2003, 48(14): 1463 - 1468.
- [14] Leng M J, Marshall J D. Palaeoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives[J]. *Quaternary Science Reviews* 2004, 23(23): 811 - 831.
- [15] Abell P I, Hoelzmann P. Holocene palaeoclimates in north-western Sudan: stable isotope studies on mollusks [J]. *Global and Planetary Change* 2000, 26(1 - 3): 1 - 12.
- [16] Keatings K W, Heaton T H E, Holmes J A. Carbon and oxygen isotope fractionation in non-marine ostracods: results from a 'natural culture' environment [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 2002, 66(10): 1701 - 1711.
- [17] Li X Z, Liu W G, Zhang P X *et al.* Species, valve size and pretreatment effects on $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values of ostracod valves from Lake Qinghai, Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Chemical Geology* 2007, 246(1 - 2): 124 - 134.
- [18] Holmes J A, Chivas A R. Ostracod shell chemistry-overview. In the ostracoda: applications in quaternary research [J]. *Geophysical Monograph* 2002, 131: 185 - 204.
- [19] Xia J, Engstrom D R, Ito E. Geochemistry of ostracode calcite-Part 1. An experimental determination of oxygen isotope fractionation [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1997, 61(2): 377 - 382.
- [20] Grafenstein U, Erlenkeuser H, Trimborn P. Oxygen and carbon isotope in modern fresh-water ostracod valves: assessing vital offsets and autecological effects of interest for palaeoclimate studies [J]. *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 1999, 148(1 - 3): 133 - 152.

[21] 王宁,刘卫国,徐黎明,等.青藏高原现代湖泊沉积物碳酸盐矿物氧同位素组成特征及影响因素[J].第四纪研

究,2008,28(4):591-600.

Environmental Significance of Oxygen Isotopic Composition Disparity between Co-existing Ostracod and Inorganic Precipitated Carbonate Minerals: Evidence from Qinghai Lake

ZENG Cheng

(School of Social Development ,Fuyang Teacher's College ,Fuyang 236041 ,China)

Abstract: At the 560 – 415 cm section of sediment core Q14B in Qinghai lake $\delta^{18}\text{O}$ of ostracod being heavier than of inorganic carbonate ,indicates the higher temperature of lake surface water than of lake bottom water. The minor difference between ostracod $\delta^{18}\text{O}$ and inorganic carbonate $\delta^{18}\text{O}$ reflects the situation of shallow lake water induced by the cold and dry climate. The changing range of ostracod $\delta^{18}\text{O}$ is in excess of that of inorganic carbonate $\delta^{18}\text{O}$,which possibly proves that the changing range of bottom water temperature exceeds that of surface water. When lacustrine carbonate $\delta^{18}\text{O}$ is used to study the climatic and/or environmental evolution ,it is of importance to test the single carbonate mineral $\delta^{18}\text{O}$.

Key words: Qinghai lake; Ostracod; Inorganic carbonate; Oxygen isotope

(上接第 15 页)

Climatic Variation and Runoff Response in Ebinur Lake Catchment

ZHANG Xiao-long

(Hydrographic and Water Resources Survey Bureau of Xinjiang Boertala Prefecture ,Bole ,833400 ,China)

Abstract: The climatic variation characteristics in Ebinur lake catchment were analyzed by using the temperature and precipitation data of 5 typical meteorological stations in past 45 years. The climate in Ebinur lake catchment changed significantly in past 45 years ,especially with increasing temperature and rainfall. The author got the conclusions that: 1) The temperature in Ebinur lake catchment turns warmer and the calefacient degree in winter is higher than in spring. 2) The precipitation in Ebinur lake catchment has been increasing ,especially in the 1990s and the precipitation increases more in summer half year than in winter half year. 3) The runoff of major rivers in Ebinur lake catchment is stable ,the runoff for Boertala river decreases while the runoff of Jinghe river increases. 4) The climatic warming makes the water quality in Ebinur lake deteriorated. Salinity of Ebinur lake and the downriver increases year by year. The water chemical type changes from carbonate type to carbonate-sulfate type and then sulfate-chloride type.

Key words: Runoff; Air temperature; Precipitation; Ebinur catchment