

# 岱海湖心沉积物分析及其 600 年来环境演变\*

乌云格日勒

(中国社会科学院考古研究所, 北京 100710)

刘清泗

(北京师范大学资源与环境科学系, 北京 100875)

**提 要** 本文通过对岱海湖心 2 号钻孔剖面沉积物的粘土矿物分析、化学元素分析、有机质含量分析、孢粉分析、介形类及其附近地区历史文献资料分析, 研究了该地区 600 年来环境演变的过程和各阶段的环境特征。

**关键词** 岱海湖心 环境演变 孢粉分析 对应分析

岱海位于内蒙古自治区乌兰察布盟凉城县境内, 现代湖泊面积约 134 km<sup>2</sup>, 是一个规模不大的内陆微咸水湖。湖水来源主要依靠流域内地表径流及降水补给。在气候上它处于温带半干旱区向干旱区过渡地带, 位于东亚季风的西北边缘地带。全新世以来, 由于季风的强弱进退变化引起的气候带界线迁移非常频繁, 使本区成为环境敏感地区。我们在湖泊沉积中心深水区打了 1.2 m 深的湖心 2 号钻孔, 采取密集取样, 并作多种分析测试研究。

## 1 环境演变的证据

### 1.1 剖面沉积物分析

该钻孔剖面位于岱海湖中心稍偏东北, 钻孔时水面距湖底 14.75 m, 钻孔深 120 cm。整个剖面的岩性、沉积韵律变化不明显, 通体为深灰到褐色粉砂质粘土, 84 cm 以下为浅褐色、深灰色粘土质粉砂, 以上为深褐色至灰黑色粉砂质粘土。采取 4 cm 等间距取样, 共取样 30 块。对样品分别进行了有机质含量、粘土矿物、化学元素、孢子花粉及介形类个体数量变化等项分析。湖心 2 号孔因取样重量不够, 未能做出 <sup>14</sup>C 年代数据, 故此借用王苏民等<sup>[1]</sup>在岱海中相近地点 DH<sub>32</sub> 钻孔用 <sup>210</sup>Pb 测得的沉积速率,  $S_0 = 2.1 \text{ mm/a}$  作为参考, 并推测年代。湖心 2 号孔位于岱海北岸三苏木村 SE130° 方向, 距岸 2 150 m, 水深 14.75 m, DH<sub>32</sub> 钻孔位于三苏木村 SE125° 方向, 距岸约 2 500 m, 水深大于 14 m。即本孔在 DH<sub>32</sub> 号孔 SW220° 方向, 相距约 500 m, 属同一地貌部位, 相似沉积环境。如取平均沉积速率 2 mm/a, 推算湖心 2 号孔深 120 cm、80 cm 和 40 cm 深处的年龄分别为 600 a BP、400 a 和 200 a BP。

从有机质含量看, 120 cm~80 cm (1~10 号样) 有机质含量较高, 平均含量达 4.736%,

\* 国家自然科学基金资助项目, 编号: 国际合作 (89) 224 号 (Supported by National Natural Science Foundation of China)。岱海湖心孔为 1991 年本课题组与澳大利亚专家合作打的钻孔之一。参加本文野外工作的还有李华章先生、方晶同志, 孢粉分析由降廷梅老师完成, 粘土矿物和化学元素由北师大测试中心协助完成, 在此一并致谢。

来稿日期: 1997-01-10; 收到修改稿日期: 1998-10-20。

向上逐渐波动下降, 80 cm~40 cm (11~20 号样) 平均含量为 3.516%, 40 cm~0 cm (21~30 号样) 平均含量为 2.7045%。这种有机质含量向上逐减的趋势说明气候向干旱方向变化。

从表 1 中可见, 粘土矿物蒙脱石、伊利石在剖面中的百分含量有向上增加的趋势, 而高岭石和绿泥石有向上减少的趋势, 说明环境条件逐渐干旱。

表 1 粘土矿物百分含量分段平均值

Tab. 1 Average level value of clay mineral percentage contents

| 深度/cm  | 蒙脱石   | 伊利石    | 高岭石    | 绿泥石    |
|--------|-------|--------|--------|--------|
| 40~0   | 3.613 | 69.274 | 11.746 | 15.370 |
| 80~40  | 4.060 | 69.224 | 11.260 | 15.458 |
| 120~80 | 3.354 | 67.447 | 13.706 | 15.504 |

## 1.2 孢子花粉分析

该剖面沉积物中孢子花粉种类比较丰富, 已分析鉴定出 55 种, 其中乔木花粉含量在 1.39%~57.1% 之间, 以松属、桦属为主, 其次还有栎属、云杉属、鹅耳枥属、榆属、桤木属等, 偶见冷杉属、松属、胡桃属、椴属、栗属等。灌木和草本花粉含量为 6%~98.43%, 主要有蒿属、藜科、麻黄属、菊科、禾本科等, 另外还有莎草科、香蒲科、白刺属、律草属、毛茛科、石竹科、茜草科、泽泻、菝葜属、十字花科等。蕨类孢子主要有卷柏属、真蕨纲。偶见零星藻类, 如盘星藻、星形明盘藻等。

**1.2.1 孢粉带的划分** 根据孢粉组合的变化, 本剖面自下而上划分为 A、B、C 三个孢粉带:

**A 带:** 位于孔深 120 cm~80 cm, 乔木花粉占 10%~57.1%, 主要以松属、桦属为主, 其次还有栎、榆、云杉、鹅耳枥、胡桃、椴、桤木等属; 灌木及草本植物花粉含量为 40.6%~90%, 主要有蒿属、藜科及少量的莎草科、香蒲属、蓼科、白刺属、禾本科、唐草属、菊科、石竹科; 孢子和藻类约占 0.13%~2.31%, 主要为卷柏属、水龙骨科、真蕨纲、透明光面球藻等。本带孢粉组合为蒿—藜—松—桦—云杉, 疏树草原环境, 反映当时的气候为寒冷半湿润的特点。但本带内 120 cm~95 cm 和 95 cm~80 cm 两段孢粉组合已有明显不同, 上段乔木花粉明显减少, 而蒿属、藜科明显增加。

**B 带:** 位于孔深 80 cm~40 cm, 乔木花粉含量 5%~24.6%, 主要以松、桦两属为主, 其次为栎、鹅耳枥、榆属等; 灌木及草本植物花粉含量为 75.14%~95%, 主要为蒿属、藜科, 其次有菊科、蓼科、麻黄属、禾本科、莎草科、香蒲科、白刺属、酱草科、石竹科; 还有少量湿生的水龙骨科和卷柏等。本带孢粉组合特征为蒿—藜—松—桦—麻黄, 反映了寒冷半干燥的疏树草原到灌丛草原的过渡类型。这一时期藜科明显增多, 说明环境由冷湿向冷干的转变。但整个孢粉带 80 cm~60 cm 和 60 cm~40 cm 两段又有明显差别, 后期环境更为干些, 但栎属含量上升, 说明温度略有升高。

**C 带:** 位于孔深 40 cm 至表层, 乔木花粉含量 3.12%~16.3%, 主要以松、桦两属为主, 偶见几粒栎、榆、桤木、鹅耳枥等属花粉; 灌木及草本植物花粉含量为 79.35%~96.72%, 主要有蒿属、藜科, 其次有蓼科、禾本科、麻黄属、菊科等。本带孢粉组合特征为蒿—藜—松—麻黄, 总体特征为温凉半干燥的灌丛草原景观, 与现代自然环境接近。与

B 带相比, 蒿属含量增多, 藜科含量减少, 但在 16 cm 处又出现藜科高值蒿属低值, 反映气候波动较大, 在温干环境中还有相对冷干环境时段的存在。

**1.2.2 草原化指数** 草原环境是自然环境中最脆弱的生态环境之一, 一旦气候转向湿润, 草原环境便向森林草原以至森林环境转变。反之, 气候变向干旱, 又会反向变化, 草原将变为荒漠草原。近年来一些研究者为了研究草原环境的变化, 将样品中灌木草本花粉数量与全部各类孢粉总量的比值作为草原化指数。其值变动在 0~1 之间, 当值为 0 时, 为森林环境; 当值为 1 时, 为草原或荒漠环境。可见草原化指数越小, 气候的湿润程度越高; 草原化指数越接近 1, 干旱程度越严重<sup>[2,3]</sup>。

湖心孔剖面孢粉分析表明, 该剖面由下向上植被类型由疏树草原转变为灌丛草原, 气候由相对的冷湿—冷干—温干的变化过程。按上述草原化指数的定义, 算出该剖面各样品的草原化指数, 并连出变化曲线 (图 1)。其曲线表明, 草原化指数由下往上总体上是逐渐增大的, 反映气候向干旱方向转变的总趋势<sup>[4]</sup>。

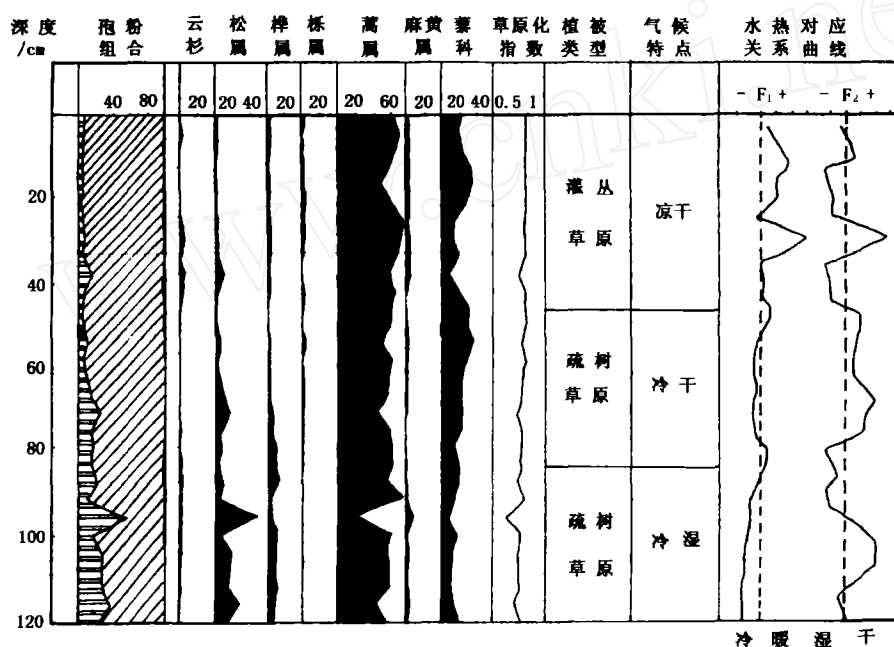


图 1 孢粉组合图式及水热对应关系图

Fig. 1 Pollen and spore assemblage chart and humidity and temperature comparative relation chart

**1.2.3 对应分析** 孢粉组合的变化, 不仅受到气候变化的影响, 而且还有其它因素的干扰, 因此要利用孢粉资料正确地恢复古气候, 就必须削弱或消除其它因素的干扰, 提取正确的气候信息。在这面对应分析是有效的方法之一<sup>[5]</sup>, 通过对应分析可以找出孢粉类型与气候因子的对应关系, 建立孢粉气候因子载荷变化系列, 建立因子载荷与气候指标之间的联系, 将因子载荷转变为量化气候指标。通过 R 型对应分析的结果, 确立每个主因子的环境意义, 再根据 Q 型结果, 在已确立环境意义的主因子上画出相应环境变化曲线。由于湖心孔孢粉类型多, 分布相对集中, 特选取了比较能够代表冷热、干湿的一些植物孢粉, 如云杉属、松属、桦属、栎属、蒿属、麻黄属、藜科、禾本科、菊科、香蒲科等的孢粉相对百分含量

作为对应分析的基本数据,以科属作为变量,以地层顺序作为样本。统计结果表明,R 型对应分析共选出两个主因子,累积方差达 79.95%。在第一主因子 F1 上,因子载荷所占比例最大的是松、麻黄、藜、蒿,反映温暖类型的孢粉位于正方向,反映寒冷类型的孢粉位于负方向;在第二主因子 F2 上,因子载荷所占比例最大的是藜科、桦属、蒿属、麻黄属、香蒲科,反映干旱类型的孢粉位于正方向,反映湿润类型的孢粉位于负方向(表 2),而且在 F1 因子上载荷较大的在 F2 因子上载荷较小,在 F2 因子上载荷较大的在 F1 因子上载荷较小,说明 F1 是反映温度的因子,F2 是反映湿度的因子。根据 Q 型结果,按地层顺序画出载荷值大小曲线,即相对的古温度(在 F1 因子上)和古湿度(在 F2 因子上)的变化曲线(图 1)。这虽然是反映古气候因子变化的相对大小,但是如果知道现在及地层中某一特定时期的古气候因子数值,则可求出温度或湿度随因子载荷值变化的增值,这样就可以求出每个样品沉积时的温度和湿度的值。

表 2 R 型因子载荷矩阵

Tab. 2 R-typed factor loading matrix

| 因子 | 孢粉 | 云杉属      | 松属       | 桦属       | 栎属       | 蒿属       | 麻黄属      | 藜科       | 禾本科      | 香蒲科      | 菊科       |
|----|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 载荷 | F1 | +0.038 3 | +0.351 3 | +0.077 0 | +0.030 4 | -0.108 6 | +0.126 9 | -0.115 8 | -0.038 0 | +0.062 9 | -0.021 0 |
|    | F2 | -0.026 7 | +0.039 3 | -0.087 8 | +0.015 3 | -0.075 7 | +0.037 1 | +0.139 6 | +0.030 8 | -0.034 8 | -0.006 0 |

从图 1 右侧的水热对应关系曲线看出:沉积初期的 120 cm~80 cm 段总体为相对冷湿期,但其中下段的 110 cm~100 cm 段为明显的干冷时段,而 100 cm~80 cm 为冷湿明显特征段;中段 80 cm~40 cm 总体为相对冷干期,但其中 80 cm~60 cm 段干冷程度更强,60 cm~40 cm 段温度略升,干燥度下降;40 cm 至表层,水热关系曲线有几次波动,从下至上表现的气候特征为凉湿—暖干—暖湿—凉干的变化过程,总体特征是以凉干为主。

### 1.3 附近地区历史文献资料分析

根据《内蒙古自然灾害史料》和《内蒙古及邻近地区气象灾害旱涝丰歉年表(公元前 872 年~公元 1974 年)》记载,从温度和湿度两个方面进行半定量统计分析,对 600 年来各朝代气候的干、湿、冷、暖进行定性阶段划分(如表 3)<sup>[3]</sup>。

表 3 岱海地区 600 年来历史气候统计表

Tab. 3 Climate history statistical table of the last 600 years in Daihai area

| 时代  | 距今年代/a BP | 公元年代      | 历时/a | 气候特征  |
|-----|-----------|-----------|------|-------|
| 元   | 740~600   | 1260~1390 | 140  | 冷湿    |
| 明   | 600~450   | 1390~1540 | 150  | 温暖干旱  |
| 明、清 | 450~230   | 1540~1760 | 220  | 冷湿转冷干 |
| 清   | 230~130   | 1760~1860 | 100  | 暖干    |
| 清末  | 130~现在    | 1860~现在   |      | 温凉偏干  |

## 2 600 年来的环境演变

按上述各种环境信息,可将该剖面的环境演变划分为三个不同的阶段。

(1) 600 a BP~400 a BP 为比较冷凉的半湿润期 剖面 120 cm~80 cm 的沉积约相当

于 600 a BP~400 a BP, 本段有机质含量明显偏高, 高岭石和绿泥石含量偏高, 而蒙脱石和伊利石平均含量偏低, 这些都说明气候较潮湿。潮湿性化学元素如 Si、Al、Fe、Mn、Ni 等含量普遍呈高值, TiO/CrO、TiO/ZnO 等比值也呈高值, 而  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、Ca/Mg、Mg/Fe、 $\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$  呈低值, 皆指示湿润环境。剖面下部 2 号、4 号样发现少数微咸水湖花介和淡水玻璃介, 其它样均未发现介形类, 可能是因为这一时期湖水过淡, 不适于介形类生存<sup>[1]</sup>。孢粉以蒿属、藜科、松属、桦属为主。指示冷湿环境的桦属花粉是全剖面最高值阶段, 乔木花粉平均含量达 27.5% 也是全剖面的最高值阶段, 这些反映为冷凉半湿润环境下的疏树草原景观。本带草原化指数也是最小, 水热对应关系曲线显示前半期冷干, 后半期凉湿。

(2) 400 a BP~200 a BP 为比较冷凉半干燥期 剖面 80 cm~40 cm 段为此时期的沉积物。本段沉积物中有机质含量高于上部, 低于下部; 蒙脱石、伊利石含量明显高于下部, 高岭石低于下部。这些都指示环境变干; 潮湿性气候元素 Al、Fe、Mn、Ni、Cu、Pb 等含量明显呈低值; 草原化指数比前期升高; 介形类个体数量明显增多, 并在 72 cm 和 48 cm 出现两个高峰值, 每克样品的介形个体壳瓣数分别达到 1 309 个和 2 383 个 (小三瘤白花介和中华小白花介), 表明湖水已为微咸水环境。本段乔木花粉明显减少, 以松、桦为主, 灌木及草本花粉明显增多, 已达到 75%~95%, 以蒿、藜为主, 反映为冷凉半干燥条件下的疏树草原到灌丛草原的过渡类型。本段下部指示冷湿环境的桦属较多, 而上部指示冷干环境的藜科增多, 反映气候的冷湿—冷干变化过程。从水热关系对应曲线看 80 cm~60 cm 段表现为冷干环境, 而 60 cm~40 cm 段, 温度条件略有上升, 湿度条件较前段略有上升。这一时期相当于历史上明、清两代冷湿转冷干的气候特点。

(3) 200 年以来的温凉半干燥期 该剖面 40 cm 以上相当于这一时期的沉积。本段沉积物中有机质含量明显减少, 伊利石含量增高, 绿泥石含量降低, 这都指示环境变干; 该段介形类数量变化较大, 以意外湖花介和小三瘤白花介为主, 反映为微咸至稍咸水环境。在 16 cm 处介形类个体数量出现较大峰值, 达到每克样 1 500 个以上, 可能因为湖水盐度适宜, 而 36 cm~28 cm 段, 可能因为盐度过小, 介形类数量很少, 这样可从湖水盐度的两次变化来推测气候的湿—干—湿—干变化过程。该段孢粉以蒿属、藜科和麻黄属为主, 乔木花粉含量很少, 反映为温凉半干燥条件下的灌丛草原景观, 其下部指示暖干环境的蒿属比重增加, 中部蒿属又减少, 藜科又增加, 上部蒿属又增加, 藜科再减少, 表明这一时期气候由暖干到凉干的三次波动。从水热关系对应曲线看本段由初期的凉湿—短暂的暖干—暖湿—凉干的发展过程。这与清至清末以来的暖干—温凉偏干的气候特点基本一致。

在剖面 16 cm、48 cm 和 72 cm 处分别出现介形类个体数量高峰值, 表明湖水变咸和干旱阶段的存在。前两个峰值与王苏民对岱海湖底所做的大量短柱状沉积综合分析所得的结果相一致。他们认为 16 cm~18 cm 和 54 cm~58 cm 曾有两处明显的低湖面时期, 时间大约在 100 年和 300 年前后。这种推断与历史记载相吻合, 即 17 世纪后半叶和 19 世纪后半叶的两次干冷低湖面时期。19 世纪末, 小冰期气候的结束, 使中国北方进入了一个相对温暖的阶段<sup>[8]</sup>。岱海近百年来湖面变化便是以这个相对温暖阶段为背景而显示出的千年尺度变化中的一个次一级气候波动<sup>[7]</sup>。

### 3 结束语

(1) 600 年来的环境演变是晚全新世千年尺度环境演变的最后阶段, 是晚全新世温凉

半干旱环境中的次一级气候波动。

(2) 600 年来的环境演变, 经过疏树草原到灌丛草原的演化过程, 在总体温凉半干燥的背景中, 又可进一步划分出相对比较凉爽半湿润期—冷凉半干燥期—温凉半干燥期的次一级气候波动阶段。并且近代气候有向温凉干燥方向发展的趋势<sup>[4]</sup>。

(3) 从孢粉分带和 600 年来环境演变阶段划分以及环境信息周期看, 本钻孔 600 年来的环境演变存在一个 200 年气候变化的准周期。

### 参 考 文 献 (References)

- 1 Wang Sumin, Yu Yuanwei, Wu Ruijin et al. The Dahai Lake— Environment Evolution and Climate Change. Anhui: Science and Technology University of China Publishing House, 1990. 155~181. (In Chinese) [王苏民, 余源威, 吴瑞金等. 岱海——湖泊环境与气候变化. 合肥: 中国科技大学出版社, 1990. 155~181.]
- 2 Li Rongquan, Zheng Liangmei, Zhu Guorong et al. Lakes and Environment Change in the Neimenggu Plateau. Beijing: Beijing Normal University Publishing House, 1990. 140~201. (In Chinese) [李容全, 郑良美, 朱国荣等. 内蒙古高原湖泊与环境变迁. 北京: 北京师范大学出版社, 1990. 140~201.]
- 3 Zhou Tingru, Zhang Lansheng, Liu Qingsi. Holocene Environmental Evolution and Prediction of the Zigzag of Farming and Animal Husbandry of North China. Beijing: Geological Publishing House, 1992. 16~54. (In Chinese) [周廷儒, 张兰生, 刘清泗. 中国北方农牧交错带全新世环境演变及预测. 北京: 地质出版社, 1992. 16~54.]
- 4 Liu qingsi, Li Huazhang. Holocene Environment Evolution of Daihai Basin and it's development. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 1989, 3(3): 37~45. (In Chinese) [刘清泗, 李华章. 岱海湖盆全新世环境演变及其开发利用. 干旱区资源与环境, 1989, 3(3): 37~45.]
- 5 Chao Junmin. Statistics and Analysis of Modern Geography. Beijing: Beijing Normal University Publishing House, 1990. 257~314. (In Chinese) [巢俊民. 现代地理统计分析. 北京: 北京师范大学出版社, 1991. 257~314.]
- 6 Jia Tiefert, Li Rongquan. The change of Dahai Lake Surface During the past One Century and Its Indication Significance for Natural Environment. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 1991, 27(1): 111~118. (In Chinese) [贾铁飞, 李容全. 近百年来岱海湖面变化的特点及对自然环境变化的指示意义. 北京师范大学学报(自然科学版), 1991, 27(1): 111~118.]
- 7 Liu Qingsi, Wuyun Gerile. Analysis of the Environmental Evolution for Past 3000 Years in Daihai Lake, Neimonggu. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Science)*, 1996, 14(3): 23~32. (In Chinese) [刘清泗, 乌云格日勒. 内蒙岱海游乐场孔沉积物分析及其 3000 年来环境演变. 贵州师范大学学报(自然科学版), 1996, 14(3): 23~32.]
- 8 Liu Qingsi. The past, present and future of human living environment in the zigzag zone of farming and animal husbandry in northern China. In: Liu Tungshen et al. Environmental Change and Quaternary Research. Southwest China Normal University Press, 1996. 52~66.

## SEDIMENT ANALYSIS OF THE CENTRAL DRILLING SECTION IN DAIHAI LAKE AND ITS ENVIRONMENTAL EVOLUTION FOR THE PAST 600 YEARS

Wuyungerile

(The Institute of Archaeology Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100710)

Liu Qingsi

(Department of Resources and Environmental Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875)

**Key words** Daihai Central drilling, environmental evolution, sporepollen analysis, corresponding analysis

### Abstract

The article studied the process of environmental evolution and characters of each stages for the past 600 years in Daihai District, through the clay minerals analysis, microelements analysis, organic matter content analysis, sporepollen analysis and ostracoda compound analysis of the sediment in the drills of central Daihai Lake and its historical data.

Sediment in the 120 cm~80 cm part of drilling hole (600 a BP~400 a BP) contains high contents of organism and humid climate elements as Si, Al, Fe, Mn, and Ni, while the contents of ostracoda are low, with only less-salt-water *limnocythere* and fresh-water *Candona* existing in the middle of the this part of drill, reflecting a fresh-water environment of that period. The sporepollen contents are mainly *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Pinus* and *Betula*. Near the end of that period, the contents of *Betula* pollen increased a lot, and the average content of arbor sporepollen is over 27.5%. Such data illustrate a temperate-cold and semihumid environmental of that period.

Sediment in the 80 cm~40 cm part of drilling hole (400 a BP~200 a BP) contains more Ostracoda than its former period does. Between 72 cm and 48 cm, a gram of sediment contains 1309~2383 Ostracodas, reflecting the more salty lake water. During this period, Illite and Boron contents are higher, while the warm-humid elements content become low. The content of Arbor sporepollen mainly *Pinus* and *Betula*, decreases a lot, while bush and grass sporepollen contents reach 75%~95%. The deeper part of this stage contains more *Betula* pollen, while the upper part contains more of *Chenopodiaceae*. These data represent a temperate-cold and semi-arid environmental character.

The number of Ostracoda, mainly *Limnocythere dubiosa* and *Leucocytherella trinoda*, increases greatly in the sediment 40 cm to up (200 a BP~now), reflecting a more-salty-water environment. Sporepollen are dominately bush and grass, with little content of Arbor, and the humid climate elements decrease a lot, showing the temperate-cool and semi-arid environment and the developing tendency of arid climate.

Form the division of sporepollen zone and environmental evolution periods, and also from the changing of environment data cycle, it can be concluded that there exists a quasi-cycle of climate during the past 600 years' evolution which changes every 200 years.