

37-43

P532, P531

# 龙感湖地区近 3000 年来的气候环境变迁

瞿文川<sup>1</sup> 吴瑞金<sup>1</sup> 羊向东<sup>1</sup> 王苏民<sup>1</sup> 吴艳宏<sup>1</sup> 薛 滨<sup>1</sup> 童国榜<sup>2</sup>

(1: 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放实验室, 南京 210008;

2: 地质矿产部水文地质工程研究所, 正定 050803)

**提 要** 本文通过分析龙感湖沉积物中的色素、孢粉、硅藻研究结果, 探讨该区近 3000 年来环境气候波动特点。结果表明: 3200—2400aBP, 色素含量较高, 与温度条件较好有关。该带孢粉浓度也最高, 阔叶乔木树种花粉丰富, 湿生及水生植物经常出现。总体上为相对暖湿阶段, 其中仍有凉湿波动。2400—1600aBP, 具体分为两个阶段, 前期约 2400—2000aBP, CD、TC、Myx 含量明显较低, 水生、湿生草本减少, 气候偏凉干; 后期各种色素含量均升高, 与暖性木本属种增多相对应, 表明气温有升高趋势。这一时期色素总体含量较上一阶段略低, 与孢粉组合反映的气候温凉略湿特征一致。1600—1500aBP, 该段 CD、TC、Osc、Myx 均为谷值, 反映湖泊生物量减少, 富营养化程度低, 对比孢粉曲线其木本为谷值段, 以禾本科为主, 气候上反映为明显的降温事件。1500—1100aBP, CD、NC、TC、Osc 及 Myx 含量均明显增大, 湖泊生产力有所提高, 反映了此时期气候好转, 这也与孢粉资料吻合。1100—100aBP, 整个阶段色素含量低, 达到整个剖面的最低段。湖泊富营养化程度低, 水质好转。而孢粉资料表明此阶段孢粉浓度低, 针叶花粉增多, 反映气温低, 植被不发育, 与色素结果对比较好。时段上相当小冰期。100aBP 至今, 各项色素含量明显增高, 一方面反映湖泊的水体发生富营养化, 蓝藻大量增多, 溶解氧减少, 水质恶化, 本世纪尤其最近几十年有加重的趋势; 另一方面反映人为活动影响显著, 可能是引起湖泊富营养化的主要原因。

**关键词** 色素, 龙感湖, 沉积物, 硅藻, 孢粉, 古环境  
**分类号** P343.3 P532

古气候

龙感湖位于皖中平原西部(29°50'—30°05'N, 115°55'—116°20'E), 横跨安徽、湖北两省, 地处长江北岸, 与鄱阳湖隔江对峙(图 1)。湖水面积为 316.2km<sup>2</sup>, 平均水位 31.15m, 平均水深 1.7m。本湖北部汇集丘陵山地的地表水流, 东南西三面通过湖泊或闸门与长江相通, 成为长江的浅水区。历史上曾与大官湖、鄱阳湖连成一片, 称为彭蠡泽(据“禹贡”记载)。该区属亚热带湿润季风区, 年均温为 16.6℃, 年降雨量 1316.5mm。地带性植被属中亚热带常绿、落叶阔叶林北部亚地带中的平原栽培植被、水生植被区<sup>[1]</sup>。由于人类长期的耕种活

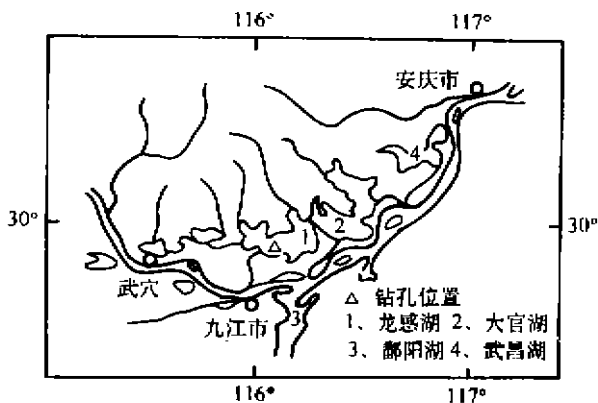


图 1 龙感湖地理位置

Fig. 1 Geographic position of Longgan Lake

• 中国科学院湖泊专项和国家九五攀登资助项目, 收稿日期: 1998-01-04. 瞿文川, 男, 1968 生, 硕士。

动,自然植被荡然无存,仅有丘陵和村镇附近种有各种乔木及灌木植物,如,苦槠 *Castanopsis selerophylla*、青冈 *Cyclobalanopsis glauca*、小叶栎 *Quercus chemii*、马尾松 *Pinus massanian* 等。

钻孔剖面位于湖的中部(图 1)水深 2.95m 处,孔深 250cm,岩性以灰色粘土为主。样品间距上部为 3.4cm,下部为 2.1cm,共采得 89 个。该湖处于季风盛行区,对气候波动反映较敏感。本文拟通过分析龙感湖沉积物中的色素含量揭示该地区近 3000 年来气候波动特点。

## 1 材料和方法

### 1.1 色素含量测定<sup>[2]</sup>

首先称取新鲜沉积物样品 4—5g,自然风干,测定含水量,然后粗磨后称取约 10g,进行样品(烧失量)有机质含量分析。记录水分及有机质数据,待进一步计算时使用。再称取新鲜沉积物样品约 10g 样品于塑料离心管中,加入 90%丙酮 20—30mL,放置 8—10h 后,在 5000 转/min 速度下离心 2—3min,过滤于 100mL 容量瓶中,再向离心管中加入 90%丙酮 20—30mL,反复萃取 3—4 次,每次将离心液也过滤至容量瓶中,最后用 90%丙酮定溶至 100mL。

(1) 叶绿素 Chlorophyll Derivate (CD)和未分解叶绿素 Nativel Chlorophyll (NC)含量的测定:从容量瓶中取 10mL 待测液,用紫外可见分光光度计,在 666nm 波长处测定。

(2) 总胡萝卜素 Total Carotenoid (TC)的测定:从容量瓶中取 20mL 待测液加入分液漏斗中,加入 KOH(w/v)甲醇溶皂化 2 小时,加入石油醚 30mL 进行萃取,分层后将下层弃去,用蒸馏水洗涤石油醚层至中性,并用硫酸钠脱水,将溶液在此 300—600nm 波长范围内进行扫描,于 448nm 波长处测定。

(3) 颤藻黄素 Oscillaxanthin (Osc)和蓝藻叶黄素 Myxoxanthin (Myx)的测定:从容量瓶中取 60mL 待测液,通过抽真空处理约 24 小时(溶液约剩 5mL),最后用无水乙醇定容至 25mL,于 412nm、504nm、528nm 波长处测定。

### 1.2 孢粉和硅藻的分析

孢粉和硅藻均采用两次重液离心提取,进行百分比及浓度计算。

### 1.3 沉积年代的测定

利用低本底液体闪烁计数法进行钻孔<sup>14</sup>C 年龄年代测定。龙感湖孔柱的底部(240cm)测年为 3210±45aBP;123cm 附近年龄为 1892±73aBP 可以初步确定其年代序列(图 2)。

## 2 结果和讨论

### 2.1 色素研究结果

以往一直用沉积物中有机碳含量等指标反映生物量,实际上有机碳来源广泛,并且沉积后的分解过程十分复杂,而沉积物中叶绿素及其衍生物可能是比有机碳更为敏感的指标。根据它们在沉积物中的含量种类可测定湖泊初级生产力、湖泊生产力与湖泊光照、温度和营养物质等环境因素相关,后者又受气候变化的制约<sup>[3]</sup>。

湖泊水生生物如藻类含有一定数量的叶绿素、类胡萝卜素和叶黄素等,这些色素在一定条件下埋藏于沉积物中不易变化,从而通过测定湖泊沉积物柱样各层位的色素含量,结合<sup>14</sup>C 年代和沉积速率(<sup>210</sup>Pb)可以揭示湖泊环境演化的历史。

叶绿素及其衍生物在淡水和海洋沉积物中均存在并富集,表现在富营养湖泊沉积物中有

机质浓度极高;Myx 可为浮游生物中占主导地位的蓝藻提供重要的沉积依据;Osc 可以揭示湖泊营养状况变化的时序;NC 是指未分解的叶绿素,指示了沉积物中色素的保存程度,间接反映湖泊水深。CD/TC, Osc/Myx 是度量湖泊营养状况和原始生产力平衡的指标。一般 CD/TC 值越高,水越浅。与富营养湖相比,CD/TC 比在贫营养湖中较高,因为贫营养湖接收较多异地有机质,或湖泊氧化层较厚,TC 分解较快所致。Osc/Myx 的变化指示了蓝藻植物群的组合变化<sup>[4]</sup>。剖面中色素变化大致分几个阶段(图 3):

250—230cm (3200—3050aBP), 叶绿素、未分解叶绿素、胡萝卜素含量均较高,均值分别达 45mg/kgC<sub>org</sub>, 26% 和 55mg/kgC<sub>org</sub>, 可能反映当时较高的湖泊生产力;颤藻黄素和蓝藻叶黄素等色素含量较高,均值分别达 29、265mg/kgC<sub>org</sub>, 可能反映浮游藻类增长,水温升高,浊度减小,可使蓝藻的竞争性加强。

230—204cm (3050—2750aBP), 色素含量比前段略低,尤其胡萝卜素、颤藻黄素和蓝藻叶黄素为谷值段。表明温度有所下降,但降幅不大,陆源叶绿素较丰富,湖泊保持较大水深。

204—170cm (2750—2400aBP), 色素含量升高,胡萝卜素、颤藻黄素和蓝藻叶黄素的含量为剖面峰值段。180cm 上下是各项指标的峰值,叶绿素达 50mg/kgC<sub>org</sub>, 未分解叶绿素为 25%, 总胡萝卜素为 75mg/kgC<sub>org</sub>, 颤藻黄素为 53mg/kgC<sub>org</sub> 和蓝藻叶黄素为 380mg/kgC<sub>org</sub>。

170—140cm (2400—2070aBP), CD、TC、Myx 含量明显较低。

140—103cm (2070—1600aBP), 各色素含量均升高,CD、TC 和 Myx 呈明显的峰值段。

103—96cm (1600—1500aBP), 该段 CD、TC、Osc、Myx 均为谷值。平均值分别为 25mg/kgC<sub>org</sub>, 29mg/kgC<sub>org</sub>, 12mg/kgC<sub>org</sub>, 120mg/kgC<sub>org</sub>。

96—63cm (1500—1000aBP), 各项色素明显增大。

63—7.0cm (1100—100aBP), 整个阶段色素含量低,几乎均达到整个剖面的最低段。其中平均值 CD 为 15mg/kgC<sub>org</sub>, NC 为 14%, TC 为 14mg/kgC<sub>org</sub>, Osc 为 21mg/kgC<sub>org</sub> 和 Myx 为 50mg/kgC<sub>org</sub>。

7—0cm (100aBP 至今), 各项色素含量明显较高,特别是表层叶绿素含量达 60mg/kgC<sub>org</sub>, 总胡萝卜素达 64mg/kgC<sub>org</sub>, 这和湖泊的富营养化程度有关。Myx 的高值 350mg/kgC<sub>org</sub> 和 Osc/Myx 的低值指示湖中蓝藻占优势。

## 2.2 龙感湖孢粉组合特征及浓度在剖面上的变化

依据孢粉组合及浓度在剖面上的变化可划分为几个孢粉带。

250—174cm, 该带孢粉浓度最高,一般大于  $2 \times 10^4$  粒/g, 阔叶乔木树种花粉丰富,且连续出现。乔木树种主要有松 *Pinus*、栎 *Quercus*、青冈 *Cyclobalanopsis*、栲 *Castanopsis*, 有时出现山核桃 *Carya*、枫香 *Liquidambar* 及桦 *Betula* 等。草本植物主要有蒿 *Artemisia*、禾木科

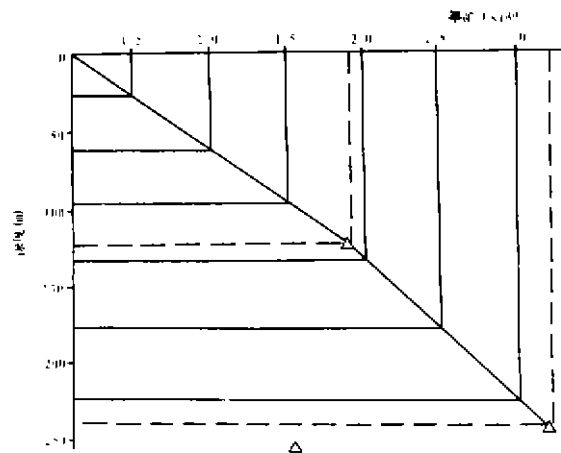


图 2 龙感湖年代与深度关系  
Fig. 2 Relationship between the age and the depth of Longgan Lake

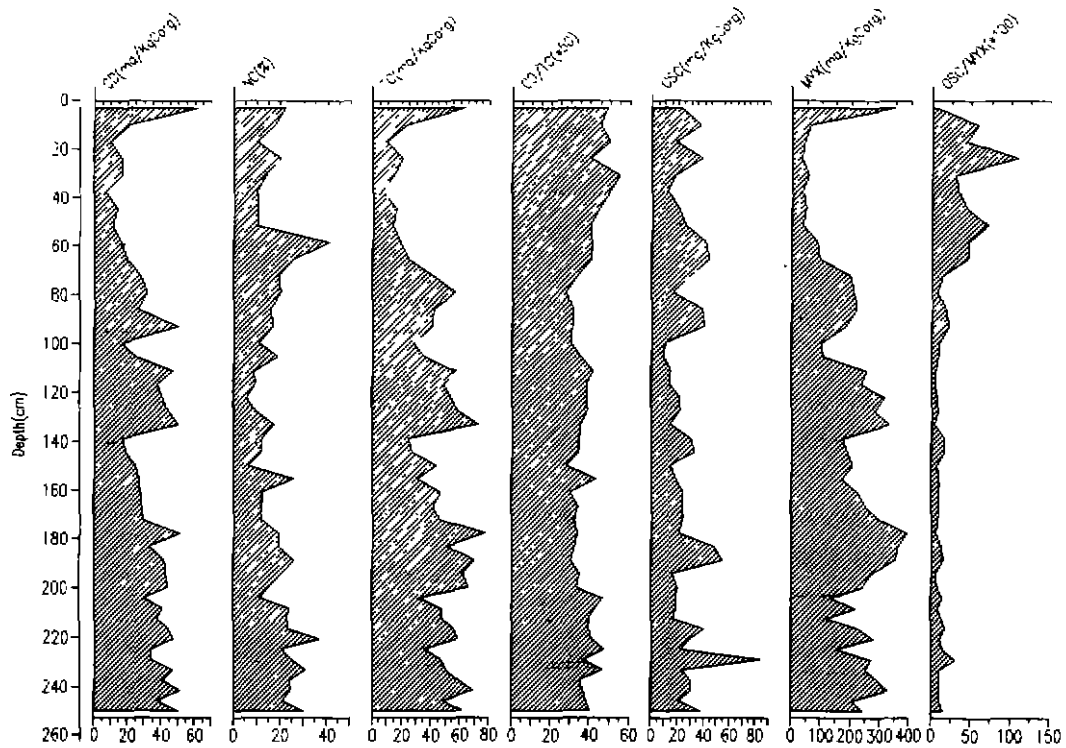


图3 龙感湖各色素指标分布

Fig. 3 The distribution of pigment indicators in Longgan Lake

Gramineae、蓼属 *Polygonum*，湿生及水生植物经常出现，如：莎草科 Cyperaceae、狐尾藻属 *Myriophyllum* 等。

174—103cm，该带孢粉尚丰富，浓度一般大于  $1 \times 10^4$  粒/g，其组合面貌与前带相似，但阔叶树种减少，针叶树种增多。草本植物中蒿、蓼较前带增多，水生、湿生草本略有减少，反映气候温凉、半湿，呈现针叶、阔叶混交林景观。

103—46.5cm，该带孢粉浓度较低，小于  $1 \times 10^4$  粒/g，乔木树种花粉降低到剖面的最低值，其中常绿阔叶树种消失，落叶阔叶树种偶有增多（较前带），如：栎、栗 *Castanea*、榆 *Ulmus* 等。草本植物花粉以禾本科为主，其次为蒿、蓼，偶见少量水生及湿生草本。反映该时期气候凉冷，半湿、半干旱，呈现含落叶阔叶林，湖周草本植物发育茂盛。

46.5—0cm，该带孢粉浓度达到剖面的最低值，有时仅为  $1.5 \times 10^3$  粒/g，其中针叶树种花粉占优势，一般为50%左右，最高达68%。落叶阔叶树种花粉继续减少，偶见常绿阔叶树种花粉。草本植物以蒿为主，其次有少量禾本科及蓼属。

### 2.3 龙感湖硅藻在剖面上的变化

根据硅藻组合的变化可划分为以下几个硅藻带。

250—223cm，硅藻丰富，以浮游小环藻 *Cyclotella* 为主，其次有多种附生及底栖类型。附生种有新月桥弯藻 *Cymbella cymbiformis*、斑纹窗纹藻 *Epithemia Zebra* 以及底栖类型简单舟形藻 *Navicula simplex*、最小舟形藻 *N. minnima*、橄榄形异极藻 *Gomphonema olivaceum*、尖异极

藻布雷变种 *G. acuminatum* var. *brebissonii*, 其次还有大型底栖附生长圆舟形藻 *N. oblonga*、尖头舟形藻 *N. cuspidata* 等。

223—200cm, 硅藻丰富, 组合面貌与前相近, 但浮游类型增多, 其主要分子有颗粒直链藻 *Melosira granulata*、扭曲小环藻 *Cyclotella comata*, 其次常见多种卵形藻 *Cocconeis* spp.、脆杆藻 *Fragilaria* spp.、针杆藻 *Synedra* spp.、及底栖缓流硅藻池生菱形藻 *Nitzschia stagnorum*、南方短缝藻 *Eunotia sudetica*、强壮短缝藻 *E. valida*。此外还见少量双菱藻 *Surirella* spp.

200—190cm, 该带硅藻较少, 组合单调。其中沿岸带的斑纹窗纹藻 *Epithemia zebra* 占优势, 其次有普通等片藻 *Diatoma vulgare*、简单舟形藻及少量放射舟形藻 *Navicula radiosa*、最小舟形藻。当时水体变浅, 湖泊萎缩, 流速加大, 浮游种大量减少, 沿岸种增多。

190—154cm, 硅藻尚丰富, 属种类型较多。浮游类型较前带增多, 仅直链藻属达 20% 以上, 大型底栖及附生藻类, 有长圆舟形藻、扁圆舟形藻 *N. plucentula*、光亮窗纹藻 *Epithemia argus*、新月桥弯藻 *Cymbella cymbiformis*、月型短缝藻 *Eunotia lunaris*、菱形藻多种 *Nitzschia* spp. 等。此外, 见沿岸带附生的普通等片藻及苔腐殖营养的菱形肋缝藻 *Frustulia rhomboids*。

154—134cm 硅藻贫乏, 仅见个别的直链藻、等片藻、小环藻、舟形藻或卵形藻等。

134—105cm, 该带组合与 190—154cm 带相似, 但组成更趋单调, 浮游类型又一次增多, 底栖及附生硅藻个体减小。常见类型有颗粒直链藻、小环藻多种、普通等片藻、最小舟形藻、英吉利舟形藻 *Navicula unglia*、斑纹窗纹藻、光亮窗纹藻及菱形藻多种。反映当时湖水动荡, 湖水加深, 营养尚丰富。

105—0cm, 硅藻贫乏, 仅见个别的直链藻、等片藻、小环藻、舟形藻或卵形藻等。此层位中均有一定数量的水生及湿生维管束植物。因此, 其硅藻贫乏的原因可能与气候变冷变干有关。

#### 2.4 龙感湖 3000 年来演化历史

综合分析色素、孢粉、硅藻<sup>[5]</sup>等指标, 并依据<sup>14</sup>C 测年数据, 重建龙感湖 3000 年以来气候环境演化的序列。总体上从 3000 年以来气候趋势降温变干, 大致分为几个阶段:

3200—2400 aBP, 相当于该孔柱 250—174cm 为棕灰色、灰色粘土, 含少量螺壳。这一时期色素含量高, 可能反映当时较高的湖泊生产力, 且藻类发育, 植被增长, 水温较高, 浊度减小, 硅藻丰富, 以浮游小环藻为主, 其次有多种附生及底栖类型。反映营养丰富, 水生植被茂盛。该带孢粉浓度也最高, 一般大于  $2 \times 10^4$  粒/g, 反映当时气候温暖而湿润, 落叶、常绿阔叶乔木繁盛, 水体扩大, 湖边湿地众多。从色素、孢粉和硅藻等变化曲线可以发现这一时期经历了暖凉交替的情况。即: 3200—3050aBP (250—230cm); 2750—2400aBP (204—174cm) 的暖阶段, 3050—2750aBP (230—204cm) 的相对凉湿的阶段。

2400—1600aBP, 相当于该孔柱 174—103cm, 为灰色粘土, 含丰富螺壳。具体分为两个阶段, 2400—1600aBP (174—138cm), CD、TC、Myx 含量明显较低。草本植物中蒿、蓼较前带增多, 水生、湿生草本, 如莎草科减少, 反映气候偏凉, 较干的特征; 2070—1600aBP (138—103cm), 各种色素含量均升高, 草本植物中蒿、蓼较低, 水生、湿生草本植物略高, 气温有升高趋势。该带硅藻组成也有相应的变化, 下部较贫乏, 上部浮游藻类增多, 但也是底栖和附生种。该带孢粉尚丰富, 浓度一般大于  $1 \times 10^4$  粒/g, 其组合面貌与前带相似, 但阔叶树种减少, 针叶树种增多。总体反映出气候温凉、具有明显的干湿波动。

1600—1500aBP, 相当于该孔柱 103—96cm。该段 CD、TC、Osc、Myx 均为谷值, 反映湖泊

生物量减少,富营养化程度低,对比孢粉曲线其木本为谷值段,以禾本科为主,气候上反映为明显的降温事件。

1500—1100aBP,相当于该孔柱 96—63cm, CD、TC、Osc 及 Myx 含量均明显增大,湖泊生产力有所提高,反映了此时期气候好转,这也与孢粉资料吻合。

1100—100aBP,相当于该孔柱 63—7.0cm,整个阶段色素含量低,达到整个剖面的最低段,其中平均值 CD 为 15mg/kgC<sub>org</sub>, NC 为 14%, TC 为 14mg/kgC<sub>org</sub>, Osc 为 21mg/kgC<sub>org</sub> 和 Myx 为 50mg/kgC<sub>org</sub>, 湖泊富营养化程度低,水质好转,而孢粉资料表明此阶段孢粉浓度低,针叶花粉增多,反映气温低,植被不发育,与色素结果对比较好,时段上相当小冰期,另外从色素的曲线中可以发现内部仍有波动,在 390aBP, 580aBP 为两个最低值,反映此时段内小冰期的两个冷波动,小冰期在上世纪后期的冷波动在本剖面中未有表现。

100aBP 至今,相当于该孔柱 7—0cm,各项色素含量明显较高,特别是表层叶绿素含量达 60mg/kgC<sub>org</sub>,总胡萝卜素达 64mg/kgC<sub>org</sub>, Myx 的高值 350mg/kgC<sub>org</sub> 和 Osc/Myx 的低值指示湖中蓝藻占优势,同时孢粉中松含量为最高值,一方面反映湖泊的水体发生富营养化,蓝藻的大量增多,溶解氧减少,水质恶化,本世纪尤其最近几十年有加重的趋势,另一方面反映人为活动影响显著,是引起湖泊富营养化的主要原因。

### 3 结论

本文拟通过分析龙感湖沉积物中的色素、孢粉、硅藻含量和组合特征,探讨了该区近 3000 年来环境气候波动特点。

(1) 总体上从 3000 年以来气候趋势降温变干,大致经历以下几个阶段:温暖湿润(3200—3050aBP)→偏凉、略湿(2070—1600aBP)→凉冷(1600—1500aBP)→较暖(1500—1100aBP)→凉冷,偏干(1100—100aBP)→现代(100aBP 至今)。

(2) 硅藻植物群的发展揭示了该湖的气动型特征,气候变冷变干时,湖泊萎缩,硅藻化石组合首先是浮游类型减少,沿岸种增多,进而组合单调,再则硅藻贫乏。

(3) 1000aBP 左右各种指标反映的降温事件,可能是全新世晚期持续降温变干的极点。

(4) 龙感湖地区气候冷暖与干湿变化基本同步,而根据孢粉、色素及硅藻在剖面上组合和变化情况,表明在温度偏高时,色素含量尤其颤藻黄素和蓝藻黄素等色素含量较高,可能反映随气温的升高,植被增长,水温升高,浊度减小,可使蓝藻的竞争性加强,且与同一时期硅藻丰富,孢粉中暖湿性属种增多相对应,表明温度是影响该地区气候的主要因子,这可能和该湖处于季风盛行区,对气候波动反映较敏感的特点有关。

### 参 考 文 献

- 1 吴征镒. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1993. 853—854
- 2 Swain B. Measurement and interpretation of sedimentary pigments. *Freshwater Biology*, 1985, 15: 53—75
- 3 韩晓钟, 沈翰, 王苏民等. 青海湖沉积物的色素含量及其意义, 见: 刘东生, 安芷生主编, 黄土. 第四纪地质, 全球变化, 北京: 科学出版社, 1992. 116—121
- 4 马 燕, 王苏民, 潘红玺. 硅藻与色素在古环境演化研究中的意义——以固城湖为例. *湖泊科学*, 1996, 8(1): 16—26
- 5 童国榜, 吴瑞金, 羊向东等. 龙感湖地区近 3000 年来的植被及其气候定量重建. *海洋地质与第四纪地质*, 1997, 17(2): 53—61

## The Palaeoenvironmental and Palaeoclimatic Changes of Longgan Lake since the Past 3000 Years

Qu Wenchuan<sup>1</sup> Wu Ruijin<sup>1</sup> Yang Xiangdong<sup>1</sup> Wang Sumin<sup>1</sup>

Wu Yanhong<sup>1</sup> Xue Bin<sup>1</sup> Tong Guobang<sup>2</sup>

(1: Lake Sedimentation and Environment Lab., Nanjing Institute of Geography and Limnology, CAS Nanjing 210008;

2: Institute of Hydrologic and Engineering Geology, MGMR Sinica, Zhengding 050803)

### Abstract

According to the contents and assemblages of pigments, diatom and spore-pollen from the sediments core of Longgan lake, Anhui Province, this paper mainly deals with the climatic and environmental changes during the last 3000 years in Longgan Lake. The environment of this region changed as follows:

During 3200—2400aBP, the contents of CD, NC, TC were high, reflecting higher lake productivity. The higher pigment value of Osc and Myx were relative to the temperature condition, moreover the abundance of vegetation, higher water temperature and lower turbidity could strengthen the competition of blue algae. Pollen concentration had the highest point comparing other stages, deciduous tree pollen was very abundant and also often occur other pollen of water and wet plants representing a relative warm and wet period with a cool—dry oscillation.

During 2400—1600aBP, this period may be divided into two stages. In early period (about 2400—2070aBP), the contents of CD, TC, Myx decreased obviously, some herbs such as *Artemisia*, *Polygonum* increased while other water and wet herbs decreased, indicating a cool-dry climate; lately all the pigment percentages increased, indicating a higher temperature trend. Compared to first stages, the content of pigment at the stage was lower, inferring a tame cool and little wet climate.

During 1600—1500 aBP, the lower pigment value of CD, TC, Osc and Myx showed that lake biomass reduced and the lake was extremely trophic. Meanwhile arboreal was in its valley period.

During 1500—1100 aBP, the contents of CD, TC, Myx increased obviously, reflecting higher productivity and a higher temperature tendency.

1100—100 aBP, pigment percentage and pollen concentration decreased to its lowest point of the whole section. It indicate a cool and dry climate reflecting as Little Ice Age.

100 aBP—present, the higher value of pigment of surface sediment may be related to the eutrophic status of the lake which maybe caused by the human activity.

**Key Words** Pigment, Longgan Lake, sediment, diatom, spore-pollen, palaeoenvironment