

79-86
云南鹤庆盆地晚第四纪硅藻植物群与环境*

石英 童国榜

(地质矿产部水文地质工程地质研究所, 石家庄 050061)

王苏民 羊向东

(中国科学院湖泊沉积与环境开放研究实验室, 南京 210008)

Q 914.663

摘要 依据鹤庆HQ孔0~19m沉积的硅藻资料,建立了7个硅藻组合带。它们记录了近7万年来鹤庆古湖中硅藻植物群的演化及反映的环境。该时期存在4个浮游硅藻繁盛的深水湖时期。与其相间的三个浅水湖时期,以底栖和附着类型硅藻为主,或缺乏硅藻化石。30~13 kaB. P.湖水频繁波动的时期为环境恶化时期。深水湖发生在气候温暖的末次间冰期及全新世大暖期的后半期。冰后期气候回返中的深水湖是西南季风活动的结果。浅水湖时期的气候一般偏暖,如全新世大暖期的前半期为浅水湖,与模拟的大气降水结果一致。

关键词 硅藻植物群, 古湖面, 晚第四纪, 云南鹤庆盆地

云南鹤庆盆地位于云贵高原西部,属断陷盆地。面积约144km²,呈南北长条形展布,与构造带走向一致,南北长约22km,东西宽约6~10km,地势低平,海拔2193~2240m,北高南低,坡度约1°~3°。盆地四周有小溪、小河汇入,中部低洼地积水形成草海,现在湖水变浅。盆地东部有漾弓河自北向南流过,出盆地后折向东流入金沙江,成为金沙江水系。

盆地内堆积了厚约700m的松散湖相和河流相沉积,保存有丰富的古环境信息,是研究我国第四纪西南季风和湖泊生态环境演变的有利地区之一。

此次研究的钻孔(HQ孔)位于盆地中部鹤庆县城西南角(图1),孔深121.35m,主要为灰色、深灰色、灰绿色粘土层,含有丰富的硅藻、孢粉及螺化石。该孔取得3个¹⁴C测年数据,1.48m处年龄为5885±110aB. P., 3.52m处年龄为11858±370aB. P., 8.11m处年龄为30500±1120aB. P.。且发现古地磁布拉克事件位于25m处,约为110kaB. P.。本文研究了19.26m以上地层中的硅藻化石,并试图探讨晚第四纪以来鹤庆古湖的环境演变及其与

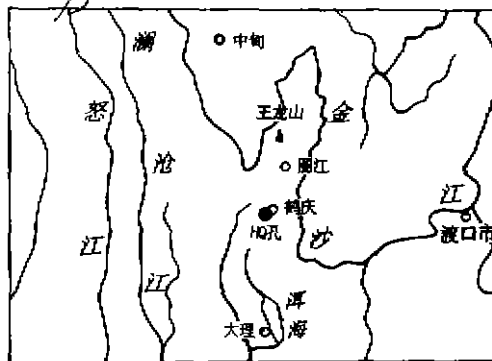


图1 钻孔位置图

Fig. 1 Location of drilling

* 国家自然科学基金资助项目(第49572131号)

第一作者简介:石英,女,1939年出生,副研究员,从事地质环境学、岩石矿物学及第四纪地质研究。

收稿日期:1998-01-22 周立君编辑

古气候的关系。

1 硅藻组合特征

该孔 0.00~19.26m,共取样 65 个,经分析鉴定均取得了丰富的硅藻化石,共计 36 907 粒,平均每个样 567 粒,分属 32 属 140 多种,全为淡水硅藻。主要有扭曲小环藻(*Cyclotella comta*)、菱形小环藻(*C. rhombideo-elliptia*)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、连结脆杆藻(*Fragilaria construens*)、羽纹脆杆藻(*F. pinnata*)、扁圆卵形藻(*Cocconeis placentula*)、舟形藻(*Navicula*)、窗纹藻(*Epithemia*)、羽纹藻(*Pinnularia*)、椭圆双壁藻(*Diploneis elliptica*)、桥弯藻(*Cymbella*)、马鞍藻(*Campylodiscus*)及双菱藻(*Surirella*)等。根据主要属种百分含量变化及浮游与底栖+附着类型的比值差异,共划分 7 个硅藻带(见图 2)。第 II 带(深度 10.59~8.00 m)缺乏硅藻化石,各带特征从下而上分述如下:

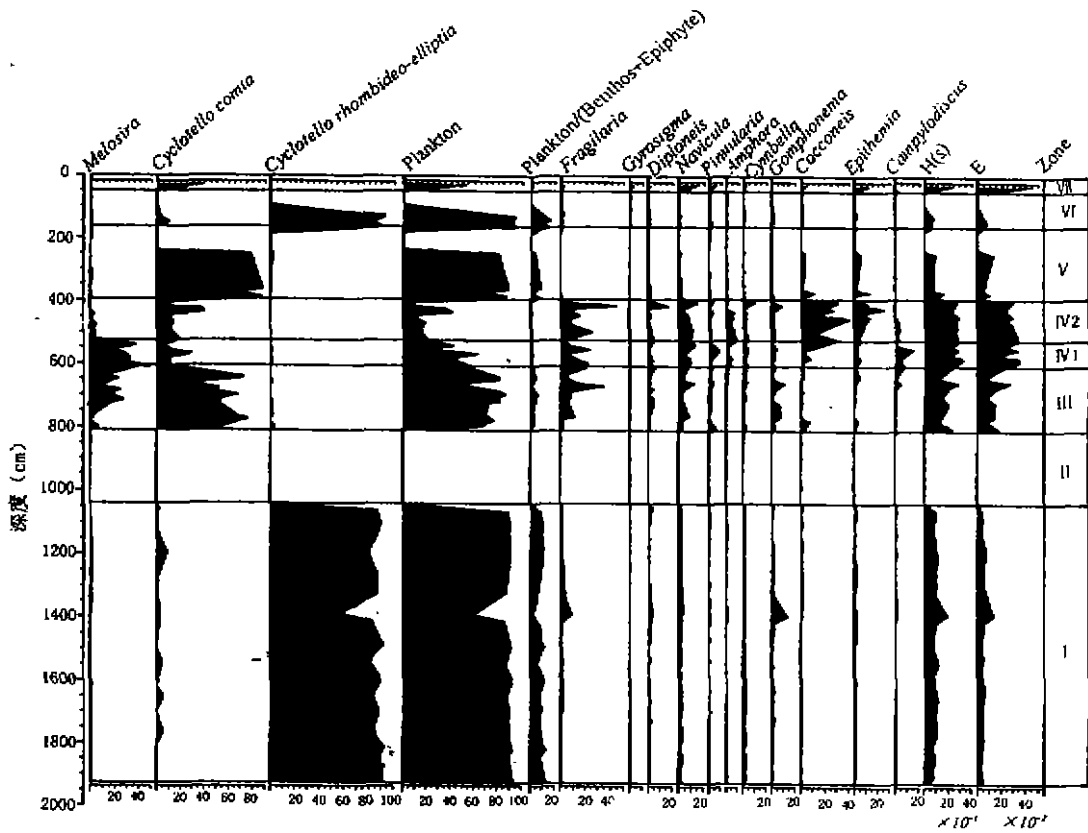


图 2 鹤庆盆地晚第四纪硅藻图式

Fig. 2 Quaternary diatom percentage diagram of Heqing Basin

1.1 *Cyclotella rhombideo-elliptica* 带(I)

深度 19.26~10.59m,该带硅藻极丰富,浮游类型占绝对优势,底栖和附着类型含量很少,但属种多(见表1)。浮游类型以菱形小环藻为主,平均值 85.94%,最高达 92.02%,其次有扭曲小环藻(1.72%),颗粒直链藻、波形直链藻(*Melosira undulata*),偶见冠盘藻(*Stephanodiscus*)等。常见底栖和附着类型有椭圆双壁藻、边纹双壁藻(*Diploneis marginetriata*)、桥弯藻、舟形藻、格氏异极藻(*Gomphonema grovei*)、卵圆双眉藻(*Amphora ovalis*),偶见窗纹藻、扁圆卵形藻及其多孔变种(*Cocconeis placentula* var. *euglypta*)、双菱藻、波缘藻(*Cymatopleura*)、马鞍藻及环状扇形藻(*Meridion*)、蛾眉藻(*Ceratoneis*)等。

表 1 硅藻带主要参数表

Table 1. Main parameters for diatom zones

硅藻带	样品数	属数	种数(S)	浮游/(底栖+附着)			浮游(%)	复合分导度 H(s)*	均衡度 E*
				均值	最大	最小			
VI	1	14	23	1.26			51.83	2.173	0.414
VI	4	21	51	13.13	17.21	9.47	92.53	0.577	0.059
V	5	25	86	5.27	8.31	1.74	81.05	0.987	0.078
IV	IV ₂	9	101	0.25	0.71	0.03	18.78	2.641	0.277
	IV ₁	6	87	0.84	1.46	0.29	43.60	2.513	0.260
III	13	29	85	2.92	5.43	0.92	71.52	1.694	0.133
II									
I	27	31	143	8.36	12.07	1.37	88.18	0.892	0.041

$$* H(s) = - \sum_{i=1}^S P_i \cdot \ln P_i, P_i \text{ 为种的百分含量, } S \text{ 为种数}$$

$$* E = \frac{e^{H(s)/0.69}}{S}$$

1.2 *Cyclotella comta-Melosira-Fragilaria* 带(II)

深度 8.00~6.09m,该带硅藻丰富,属种较多,浮游类型占优势,但组合与前带不同,底栖和附着类型较 I 带多。浮游类型以扭曲小环藻为主,平均值 55.29%,其次有颗粒直链藻(13.21%)、菱形小环藻,偶见冠盘藻等。常见的底栖和附着类型有连结脆杆藻和羽纹脆杆藻(9.22%),其次还见少量的椭圆双壁藻、边纹双壁藻、扁圆卵形藻及其多孔变种、格氏异极藻、斑窗纹藻(*Epithemia zebra*)、弧形短缝藻(*Eunotia arcus*)、盾舟形藻(*Navicula scutelloides*),偶见放射舟形藻(*N. radiosa*)、瞳孔舟形藻(*N. pupula*)、卵圆双眉藻、马鞍藻、尖头桥弯藻(*Cymbella cuspidata*)、埃伦桥弯藻(*C. ehrenbergii*)、新月桥弯藻(*C. cymbiformis*)、箱形桥弯藻(*C. cistula*)、半月桥弯藻(*C. lunata*)等,偶见环状扇形藻和蛾眉藻。

1.3 *Fragilaria-Cyclotella comta-Cocconeis* 带(IV)

深度 6.09~3.93m,该带硅藻丰富,属种多,底栖和附着类型占优势,浮游与底栖+附着类型比值波动很大,所以将本带分为两个亚带。

1.3.1 *Melosira-Fragilaria-Cyclotella* 亚带(N-1)

深度 6.09~5.26m, 该亚带底栖和附着类型略多于浮游类型, 其比值平均为 0.84(见表 1)。底栖和附着类型主要有连结脆杆藻和羽纹脆杆藻, 均值 14.60%, 最高达 23.37%, 其次有放射舟形藻(2.10%)、盾形舟形藻(2.50%)、马鞍藻(6.82%)、扁圆卵形藻及其多孔变种(4.80%)、北方羽纹藻(*Pinnularia brorealis*, 0.54%)、微绿羽纹藻(*P. viridis*)、布纹藻(2.70%)、桥弯藻(2.40%)、卵圆双眉藻(1.93%)、斑窗纹藻(1.56%)、格氏异极藻及椭圆双壁藻, 还见少量双菱藻、辐节藻(*Stauroneis*)、长篦藻(*Neidium*)等。浮游类型有直链藻, 均值 29.55%, 最高 40.42%, 其次有扭曲小环藻(11.77%)及少量菱形小环藻等。

1.3.2 *Cocconeis-Cyclotella comta-Fragilaria* 亚带(N-2)

深度 5.26~3.93m, 该带硅藻丰富, 属种较多, 底栖和附着类型占绝对优势, 浮游与底栖+附着类型的比值, 平均为 0.25, 最大 0.71, 最小 0.034, 与前带相差很大, 浮游类型含量急降, 底栖和附着类型猛增(71.22%)。底栖和附着类型以扁圆卵形藻及其多孔变种为主, 平均 25.59%, 最高达 38.42%, 其次有脆杆藻, 平均 12.64%, 最高达 44.46%, 窗纹藻^[2](9.70%)、放射舟形藻(4.11%, 最高 12.52%)、盾形舟形藻(0.62%)、布纹藻(4.42%)、卵圆双眉藻(3.72%)、异极藻(2.32%)、椭圆双壁藻(1.32%)、双菱藻(1.17%)、美壁藻(*Caloneis*, 1.16%)、马鞍藻(1.00%), 少量北方羽纹藻、微绿羽纹藻、长篦藻、辐节藻、披针曲壳藻、波缘藻、短缝藻、针杆藻等。浮游类型主要有扭曲小环藻, 平均 17.19%, 最高 40.23%, 还有少量直链藻、菱形小环藻及波形直链藻等。

1.4 *Cyclotella comta* 带(V)

深度 3.93~1.62m, 该带硅藻较丰富, 组合单调, 浮游类型占绝对优势, 其含量高, 但属种类型少, 而底栖和附着类型含量低, 属种类型多。浮游类型中扭曲小环藻占绝对优势, 平均为 80.41%, 最高达 89.05%, 其次还有少量颗粒直链藻、波形直链藻等。常见底栖和附着类型有窗纹藻(3.80%)、扁圆卵形藻及其多孔变种(3.48%)、放射舟形藻(1.00%)、其次见少量的卵圆双眉藻、椭圆双壁藻、桥弯藻、双菱藻、羽纹藻、长篦藻、马鞍藻、美壁藻及波缘藻等。本带顶部 2.50~1.62m 缺硅藻化石。

1.5 *Cyclotella rhombideo-elliptia* 带(VI)

深度 1.62~0.60m, 该带硅藻丰富, 组合单调, 浮游类型占绝对优势。浮游种以菱形小环藻为主, 平均 88.11%, 最高达 92.69%, 其次还有扭曲小环藻(3.80%), 颗粒直链藻等。常见底栖和附着类型有格氏异极藻、斑窗纹藻、双尖菱板藻、扁圆卵形藻、盾形舟形藻、羽纹藻、布纹藻、桥弯藻及偶见短缝藻、披针曲壳藻、美壁藻、双壁藻、卵圆双眉藻及长篦藻等。本带顶部 1.28~0.60m 缺硅藻化石。

1.6 *Cyclotella-Navicula-Epithemia* 带(VII)

深度 0.60~0.30m, 该带硅藻化石少, 属种类型也较少(见表 1), 浮游类型(51.83%)略高于底栖和附着类型。浮游种以扭曲小环藻(37.20%)为主, 其次是小环藻(未定种, 14.63%)。常见底栖和附着类型有凸出舟形藻(*Navicula protracta*, 9.15%)、放射舟形藻(3.05%)、窗纹藻(9.15%)、短缝藻(8.54%)、双尖菱板藻(14.27%)、北方羽纹藻(2.44%)、

扁圆卵形藻及其多孔变种(3.05%)、布纹藻、菱形藻(1.80%)、舟形桥弯藻(*Cymbella naviculiformis*, 1.22%)及少量的椭圆双壁藻、辐节藻、脆杆藻等。

2 古环境探讨

淡水硅藻的生态与沉积环境关系密切^[3~5],它具有浮游、底栖和附着生活方式^①,能较敏感地反映生活水域的盐度、pH值、温度及营养水平。根据本孔硅藻组合,参考国内外现生硅藻生态资料、结合岩性组合、孢粉分析结果和¹⁴C测年数据,重建鹤庆古湖70kaB.P.以来的环境演化序列如下。

2.1 70~40kaB.P. 较深湖时期

该时期沉积了深灰色及青灰色粘土,其中有丰富的硅藻化石,浮游硅藻占绝对优势,而菱形小环藻占85.94%,该种最适宜生长在湖水<10m、pH为8.4~8.7、中等营养型的湖泊中,仅在云南亚热带地区的一些湖泊中可见到^[6];其次还有喜碱(pH值为6.2~9.0)、喜富营养的温暖水体的浮游种颗粒直链藻^[7],底栖和附着型很少。复合分异度($H(s)$)和均衡度(E)^[8,9]很低(见表1),表明优势种含量很高,无明显的主要种。反映了水域环境稳定,为具微碱性、温暖、中等营养型的较深水湖。

在50kaB.P.前浮游硅藻突然减少约30%,冷水种连结脆杆藻^[2,10],由0.65%突增到6.80%,同时出现丰富的螺壳化石,这都表明水体有过短暂的变浅、变冷过程。它与黄土高原的古土壤风化强度减弱事件(LW5)相对应^[11]。

2.2 40~30kaB.P. 浅湖时期

该时期沉积了灰黄色含粉砂粘土及青灰色粘土,其中有丰富的螺壳,未发现硅藻,总体显示湖水较前一时期为浅。此时,松粉增高,但孢粉总浓度不高,反映气候温偏干。

2.3 30.0~21.5kaB.P. 深湖时期

该时期沉积了深灰色及绿灰色粘土,其中含有较丰富的硅藻化石。浮游占71.52%,其中扭曲小环藻占55.29%,该种为浮游、喜碱、广盐性,喜生于亚高山湖泊中的世界性的普生种^[12]。颗粒直链藻占13.21%,底栖和附着型由11.12%增到28.48%,脆杆藻增到9.22%,还有冷水种放射舟形藻及北方羽纹藻^[10]。复合分异度和均衡度增大,优势种含量降低,主要种增加,属种多,水体环境相对稳定,湖水较深、水温偏凉、微碱性、贫—中等营养型。该时期孢粉植物群为铁杉、云杉、高山栎组成的针阔混交林,气候凉湿。

2.4 21.5~14.0kaB.P. 浅湖时期

该时期沉积了灰绿色粘土,含少量粉砂,见植物碎屑及螺壳碎片。由于环境动荡变化,又可一分为二,前期底栖和附着型增到56.40%,浮游减少,脆杆藻高达23.37%,放射舟形藻达7.10%,北方羽纹藻也有所增加,而颗粒直链藻和菱形小环藻很少,复合分异度和均衡度

① 小泉格编著,王开发,郭蕃民译.硅藻分析,1981

显著升高,无优势种,而主要种增多。反映湖水变冷、变浅,为贫营养型。后期底栖和附着型急增至 81.22%,脆杆藻高达 44.46%、放射舟形藻高达 12.52%,反映湖水更冷、更浅。其时间约为 19~14kaB. P.,与通常所指的末次盛冰期相当。

2.5 14~9kaB. P. 深湖时期

该时期沉积了青灰色粘土,其中含有较丰富的硅藻化石。浮游硅藻占绝对优势,以扭曲小环藻为主,有少量的颗粒直链藻和波形直链藻,而脆杆藻大大减少以至趋于零,放射舟形藻减少到 1.00%。复合分异度和均衡度大大降低,优势种含量高。环境相对稳定,湖水较深、偏温,为微碱性、贫—中等营养型。此时针叶树种中的松、云杉增多,气候温凉湿润。

2.6 9~6.5kaB. P. 浅湖时期

该时期沉积了黄色及褐灰色粘土,未见硅藻化石,孢粉以草本占优势,气候温暖偏干。

2.7 6.5~5kaB. P. 深湖时期

该时期沉积了灰黑色粘土,含有丰富的硅藻。浮游硅藻高达 92.53%,其中菱形小环藻占绝对优势,为 88.10%,还有颗粒直链藻。底栖和附着型很少。复合分异度和均衡度都很低,优势种含量很高,无主要种。水体环境稳定、较深,为微碱性、中等—富营养型。此时,孢粉植物群中的云杉、冷杉及高山栎树种增多,反映气候冷湿。

2.8 5~2kaB. P. 浅湖时期

该时期沉积了棕灰色粘土及黄色含砂粘土。前期(5~3kaB. P.)缺硅藻化石,孢粉植物群为草原植被,气候温偏干。晚期(3~2kaB. P.)硅藻化石较少,浮游硅藻略高于底栖和附着型硅藻。主要种有扭曲小环藻、舟形藻、窗纹藻、短缝藻、扁圆卵形藻及少量冷水种放射舟形藻(3.05%)、北方羽纹藻(2.44%)、舟形桥弯藻(1.22%)及脆杆藻^[10]。复合分异度和均衡度都较高,无优势种,主要种增多。反映湖水偏凉、较浅、为微碱性、贫营养型。

3 讨论与结论

综上所述,鹤庆古湖从 70kaB. P. 以来,硅藻植物群经历了 7 个发展时期,湖水有 4 次深、浅波动,水温也相应地有 4 次明显的冷暖变化,其波动周期渐短,次级波动在 30~13kaB. P. 表现最为显著。

(1)深水湖阶段:古湖深水阶段发生在 70~40,30~21.5,14~9,6.5~5kaB. P. 时期,后两时期与全新世数值模拟的大气降水丰富期相一致^[1],也与西南地区高湖面时期吻合。这是由于高原面上的湖泊,其汇水范围有限,湖水的深、浅灵敏地记载了大气降水的变化。

(2)生态特征:本孔硅藻分异度表现为随着底栖和附着类型的增多而增大,其时正值乔木树种繁盛时期,表明湖水清澈透明,因而硅藻种数增多。相反,浮游硅藻繁茂时,分异度较低,反映深水硅藻种数减少。这与陆地淡水盆地中生物群与沉积环境的关系一致^[8]。

(3)西南季风:本区处在西南季风活动的控制下,70kaB. P. 来主要为湿润、半湿润环境,湖水较深,森林植被繁茂。区域性的变“干”发生于 9~6.5 及 5~3kaB. P. 期间,湖水变浅,草

原植被扩展, 乔木树种少见。总之气候经历了暖湿—温偏干—凉湿—冷半湿—温凉湿润—温暖偏干—冷湿—温偏干—凉半湿的历程。

(4) 湖水波动: 30~13kaB. P. 期间湖水频繁波动, 温暖种与冷水种硅藻相互消长, 浮游硅藻迅速增减, 形成 7~8 个周期。冷水种脆杆藻出现的高峰对应于 14、16、18、20、22、24、26.5 及 28kaB. P.。21.5~13kaB. P. 时脆杆藻盛衰的周期约 2ka, 而 30~21.5kaB. P. 约为 2.3ka。

(5) 古湖的消亡: 在 40kaB. P. 前为古湖的盛期, 其后进入消亡期, 湖水深浅波动频繁, 经过 5kaB. P. 的深湖阶段后, 湖面显著收缩, 2kaB. P. 时湖水退出。

本文仅是初步的研究成果, 有关 40~30kaB. P. 及 9~6.5kaB. P. 的环境特征及影响原因等问题, 有待综合多方面的资料进一步研究。

致谢: 在成文期间, 承蒙许清海研究员、郭盛桥副研究员、曹密华高级工程师、杨小兰及杨丽娟工程师的帮助和支持, 一并致谢。

参 考 文 献

- 1 吴锡浩, 安正生, 王苏民, 刘晓东, 李小强, 周卫健, 刘俊峰, 陆济军, Porter S C, Kutzbach J E. 中国全新世气候适宜期东亚夏季风时空变迁. 第四纪研究, 1994, (1): 24~35
- 2 李文漪, 李家英, 梁玉莲. 西藏曼冬错硅藻土中的孢粉和硅藻分析. 见李炳元等. 西藏第四纪地质. 北京, 科学出版社, 1983. 172~178
- 3 胡鸿钧, 李尧英, 魏印心, 朱慧忠, 陈嘉佑, 施元新. 中国淡水藻. 上海: 科学技术出版社, 1979. 130~199
- 4 黄成彦等. 颐和园昆明湖 3 500 余年沉积物研究. 北京: 海洋出版社, 1996. 119~142
- 5 刘雪娟. 吉林省长白山等地硅藻土中硅藻植物群及其沉积环境研究. 南京大学学报(藻类专辑), 1982, 167~180
- 6 张宗祜主编. 川滇南北构造带中段晚新生代地质研究. 北京, 石油工业出版社, 1994. 224~234
- 7 马燕, 王苏民. 内蒙岱海近 400 年来的硅藻植物群及其古环境意义. 湖泊科学, 1992, 4(2): 19~23
- 8 黄镇国, 方国祥, 宋永强, 林晓东, 黄光庆. 地貌统计. 广州, 科学普及出版社广州分社, 1989. 42~54
- 9 李家英, 严维枢. 香港西博寮海峡 WB7 孔的第四纪沉积及硅藻研究. 地质论评, 1997, 43(6): 616~629
- 10 李家英, 李光岑. 藏北地区纳木湖(错)阶地第四纪硅藻. 地质部青藏高原地质文集编委会. 青藏高原地质文集(第 7 集). 北京: 地质出版社, 1985. 327~358
- 11 郭正堂, 刘东生, 吴乃琴, 吕厚远, 韩家楸. 最后两个冰期黄土中记录的 Heinrich 型气候节拍. 第四纪研究, 1996, (1): 21~30
- 12 齐雨藻. 中国淡水藻志. 北京: 科学出版社, 1995, 4: 2~74
- 13 施雅风, 孔昭宸. 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 1992, 1~18
- 14 童国榜, 张俊峰, 严富华, 麦学舜. 华北平原东部地区晚更新世以来的孢粉序列与气候分期. 地震地质, 1991, 13(3): 259~268

LATE QUATERNARY DIATOM COMMUNITY AND ENVIRONMENT CHANGES IN HEQING BASIN, YUNNAN PROVINCE

Shi Ying Tong Guobang

(*Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Academia Sinica, Shijiazhuang 050061, China*)

Wang Sumin Yang Xiangdong

(*Nanjing Institute of Geography and Limnology, Academia Sinica, Nanjing 210008, China*)

Abstract

Seven diatom zones, *Cyclotella rhombideo-elliptica* zone, diatom-free zone, *Cyclotella comta-Melosira-Fragilaria* zone, *Melosira-Fragilaria-Cyclotella comta* zone, *Cocconeis-Cyclotella comta-Fragilaria* zone, *Cyclotella comta* zone, *Cyclotella rhombideo-elliptica* zone and *Cyclotella-Navicula-Ephithemia* zone, and diatom community and environment changes since 70kaB. P. have been found at 0-19m deep sediments in Heqing core, Yunnan Province. There were 4 deep lake stages dominated by planktonic diatoms, that is, 7-40kaB. P., 30-15kaB. P., 14-9kaB. P. and 6.5-5kaB. P., and there were shallow lake stages dominated by benthonic and epiphytic diatoms or diatom-free stage between each two lake periods. Frequent fluctuation period of the lake level indicated the environmental deteriorative stage from 30-13kaB. P. and deep lake period represented warm climates of the last interglacial and later times of the Holocene megathermal. The deep lake that resulted from the warm of the postglacial was a consequence of the increase of the southwest monsoon. The shallow lake period was in the early time of the Holocene megathermal (10-6.5kaB. P.), which coincided with the atmospheric precipitation simulation.

Key words: diatom community ancient lake level Late Quaternary southwest monsoon