

西藏色卡执湖区更新世晚期以来微体古生物记录的气候演变

刘俊英^{1,2,4)}, 王海雷^{1,3,4)}, 袁鹤然^{1,3,4)}

- 1) 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京, 100037; 2) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 3) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 4) 中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心, 北京, 100037

内容提要:研究了西藏色卡执盐湖一个 670 cm 厚的钻孔 SZK 剖面中微体古生物包含的古环境信息, 探讨湖区近 22 ka 以来环境气候的演变。SZK 孔剖面含有丰富的介形类, 但分异度较低, 计有 4 属 8 种。据其在地层中的分布特征, 将其划分为 8 个组合。根据这些组合及生态特征, 结合 U 系和 ¹⁴C 测年, 发现色卡执湖区在近 22ka 以来经历了几次较大的气候和环境变动: ① 22060~15070 a B. P., 湖水浅、水温低、气候较冷湿; ② 15070~12425 a B. P., 湖面扩大抬升, 水温回升, 气候转暖湿; ③ 12425~10010a B. P., 湖面下降, 水温低, 气候寒冷, 其中 10600~10010 a B. P. 期间, 气候突然变冷, 为全球新仙女木寒冷事件在本区的反应; ④ 10010~7550 a B. P., 湖盆水量增加, 气候冷湿; ⑤ 7550~6730 a B. P., 湖水温度继续回升, 气候转暖湿; ⑥ 6730~5760 a B. P., 湖面下降, 气候趋于干冷; ⑦ 5760~4750 a B. P., 湖盆发育晚期、气候干冷。

关键词: 西藏; 色卡执盐湖 晚更新世晚期; 微体古生物

青藏高原湖泊星罗棋布, 蕴含着丰富的古环境古气候信息。人们利用湖相沉积及其中赋存的微体古生物遗迹等, 开展了较多的古环境古气候的研究, 恢复了一些地区不同时代的古环境古气候的演变序列(王苏民等, 1990; 李元芳等, 1991, 1994, 1997, 2002; 孙湘君等, 1993; 吴玉书等, 1996; 彭金兰, 1997; 魏乐军等, 2002; 曲亚军等, 2006; 郑绵平等, 1998, 2007; 刘喜方等, 2007; 刘俊英等, 2007)。本文报导地处青藏高原西部色卡执盐湖的一个 670cm 深的钻孔 SZK 剖面保存的环境气候变化信息, 以平均<16 cm 间距, 采取微体古生物分析样 43 件, 几乎每样均有生物遗迹, 以介形类壳瓣量较大, 其次是瓣鳃类和轮藻类, 轮藻多系 Chara 藏卵器卵胞和营养体碎片。同时还分别采¹⁴C 和 U 系地层测年样共 6 件。通过微体古生物学分析, 提取古环境古气候信息, 为青藏高原的古环境古气候研究积累一些基础的研究资料。

色卡执盐湖位于西藏阿里地区革吉县(E82°02'; N31°59'), 离雄巴乡约 10 km, 现代湖区面积约

30km², 为一山间盆地汇水区。海拔 4568m, 周围山区海拔都在 5000m 以上。钻孔位置见图 1。

1 地层沉积特征与化石分布

钻孔 SZK 剖面厚 670 cm, 上部主要是浅灰、灰黑色碳酸盐淤泥; 中部为灰黑、浅灰色碳酸盐淤泥; 下部主要为浅灰、深黑色碳酸盐粘土或碳酸盐淤泥, 自上而下可划分为 8 层, 其沉积特征及化石地层分布见图 2。

2 地层时代讨论

SZK 钻孔剖面沉积物较单一, 均为碳酸盐沉积, 在剖面 16 cm、28 cm 和 110 cm 处采¹⁴C 测年样, 140 cm、306 cm 和 576 cm 处采 U 系法测年样, 测年数据见表 1。

本文综合两种方法的测年数据, 选用了孔深 16 cm 和 110 cm 处两个¹⁴C 测年数据和 306 cm 和 576 cm 处两个铀系法测年数据(另外两个年龄分别因为偏大和偏小暂不予采用)。因为剖面岩性较为均一,

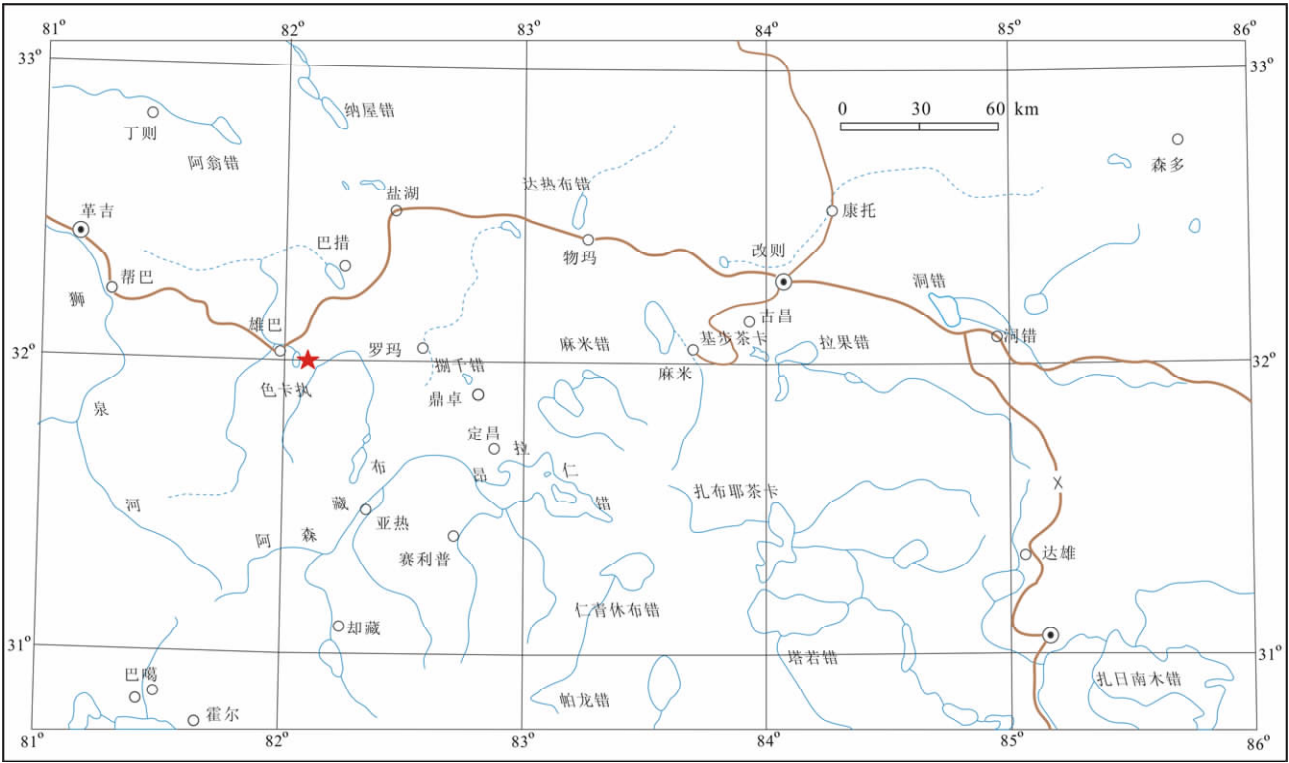


图 1 西藏革吉县色卡执古湖地理位置与 SZK 钻孔位置图
Fig. 1 Geographic location and corehole location of Sekazhi Salt lake, Gêgyai county, Tibet

从底部到表层变化不大,对其余年龄采用内插和外推法计算(图 3)。据此计算的沉积速率与周边其它湖泊的沉积速率有较大可比性(郑绵平等,2007;刘俊英等,2007;刘喜方等,2007),结果比较合理。据沉积速率推算,剖面底部 670 cm 处年龄应为 22060 a B. P.,而推算顶部为 4750 a B. P.。

表 1 色卡执钻孔 SZK 剖面测年数据

Table 1 Dating data of well SZK in Sekazhi Salt Lake

编号	深度(cm)	测年方法	距今年龄 a B. P.
SZK ¹⁴ C-1	16	¹⁴ C 测年	4950±150
SZK ¹⁴ C-2	28	¹⁴ C 测年	6080±90
SZK ¹⁴ C-3	110	¹⁴ C 测年	6140±80
SZK-U-1	140	铀系法测年	5100±40
SZK-U-2	306	铀系法测年	10600±70
SZK-U-3	576	铀系法测年	19100±160

3 介形类组合特征

该钻孔剖面含轮藻类少,而介形类丰度较大,但分异较低,有 4 属 8 种,分别为: *Candona gyirongensis* Huang, *C. xizangensis* Huang, *C. sp.*, *Ilyocypris dunschanensis* Mandelstam, *I. gibba* Ramdohr, *I. sp.*, *Limnocythere binoda*

Huang, *L. dubiosa* Daday, *Leucocythere mirabilis* Kaufman, *L. reticulata* Huang, *L. sp.*。各种在剖面的丰度值及百分含量变化情况如图 4,5 所示。其中以 *Candona gyirongensis*、*Limnocythere dubiosa*、*Leucocythere mirabilis* 和 *L. reticulata* 为优势种,特别是前 3 种含量较大(图 4)。剖面 80% 的样品中均含有 *C. gyirongensis*,尤其在 670~528 cm 层段,不但数量多,丰度值亦高;在 306~280 cm 层段,所有样品均有;在 280~172 cm 层段,含量仍占组合的 37% 以上;在 172~100 cm 层段数量不多,仅三分之二的样品含有。*Limnocythere dubiosa* 含量较大,分布较普遍,除 528~448 cm、306~280 cm 和 80 cm 层段未见外,其余地层均有出现;*Leucocythere mirabilis* 在剖面 448 cm 以下零星出现,448~364 cm 含量最大,364 cm 以上含量减少。*L. reticulata* 在 204 cm 开始断续出现,在 48 cm 处含量可达 84%。*Ilyocypris* 分子的含量不大,仅零星出现,在 448~364 cm 及 148~124 cm 处见及。

轮藻主要见于 424~384 cm 和 260~150 cm 层段,多为 *Chara sp.* 的藏卵器卵胞。主要据介形类化石地层分布规律,结合地层沉积特征,自下而上划分为 8 个化石组合(见图 5,6)。

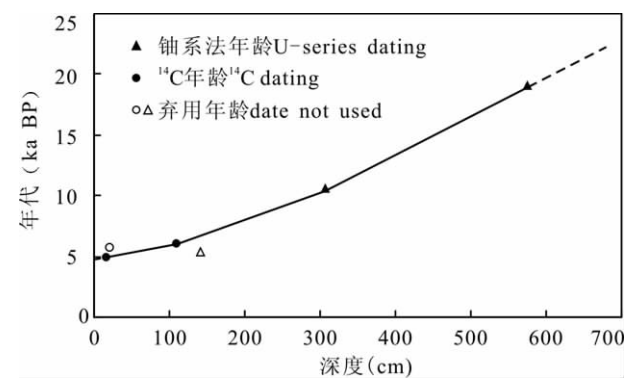


图 3 色卡执钻孔 SZK 年代数据曲线图
Fig. 3 Diagram showing dating data of well SZK in Sekazhi Salt Lake

(1) 组合 1 *Candona gyirongensis*-*Limnocythere dubiosa*。分布于 670~448 cm 之浅灰、灰黑色碳酸盐淤泥中。大约 22060~15070 a B. P.。

组合中的 *Candona gyirongensis* 丰度值高, 含量为 76.2%, *Limnocythere dubiosa* 为 21%, *Leucocythere mirabilis* 和 *Ilyocypris dunschanensis* 均为 1.4%。这 4 个种常常成对相伴出现于不同层段。在 670~640 cm 层段, *Candona gyirongensis* 含量可达 83%, 其余为 *Limnocythere dubiosa*; 640~608 cm 层段的两个种中 *Candona gyirongensis* 含量为 65.7%, *Limnocythere dubiosa* 为 34.2%; 608~528 cm 层段中, *Candona gyirongensis* 含量为 76.7%, *Limnocythere dubiosa* 为 23.3%; 528~448 cm 有 3 中介形类, 其中 60% 为 *Candona gyirongensis*, 其它两种 *Leucocythere mirabilis* 和 *Ilyocypris dunschanensis* 含量均为 20%。相对而言, 这 4 段地层含化石的丰度值自下而上依次为较低、较高、最高和最低。

(2) 组合 2 *Leucocythere mirabilis* ~ *Ilyocypris gibba*。分布于 448~364 cm 的灰黑、灰黄色碳酸盐淤泥夹土黄、浅灰色碳酸盐粘土中。大约 15070~12425 a B. P.。

组合中 *Leucocythere mirabilis* 含量为 58%, *Limnocythere dubiosa* 为 33%, *Candona gyirongensis* 为 7.4%, *Ilyocypris gibba* 为 1.1%, *I. dunschanensis* 为 0.4%。与组合 1 相比, 本组合的 *Candona gyirongensis* 丰度值有较大幅度的降低, 少了 69%; 而 *Leucocythere mirabilis* 丰度值升高许多, 达其剖面最高峰值; *Limnocythere dubiosa* 含量升高 12%; 新增加了 *Ilyocypris gibba* 和 *I.*

dunschanensis。在 448~400 cm 段中 *Leucocythere mirabilis* 含量占 54.8%, *Limnocythere dubiosa* 为 35.6%, *Candona gyirongensis* 为 8.2%, *Ilyocypris gibba* 为 1.4%。400~364 cm 层段有 4 个种, 其中 *Leucocythere mirabilis* 含量为 60.4%, *Limnocythere dubiosa* 为 32.8%, *Candona gyirongensis* 为 5.8%, *Ilyocypris gibba* 含量有 1%。在含化石的丰度值上, 上段较下段高。此外与介形类共生的尚有较多 *Chara* sp. 藏卵器卵胞等。

(3) 组合 3 *Limnocythere dubiosa*—*Leucocythere mirabilis*。分布于 364~306 cm 灰黑色碳酸盐淤泥中。大约 12425~10600 a B. P.。

该组合丰度值较组合 2 降低许多, 属种类型亦减少, 其中 *Limnocythere dubiosa* 含量为 59%, *Leucocythere mirabilis* 为 28%, *Candona gyirongensis* 为 12.8%。与组合 2 相比, *Candona gyirongensis* 含量减少一半, *Leucocythere mirabilis* 含量下降 32%, 而 *Limnocythere dubiosa* 含量却增加 30%。

(4) 组合 4 *Candona gyirongensis*-*Leucocythere mirabilis*。分布于 306~280 cm 灰黑色碳酸盐淤泥与同色粘土中。大约 10600~10010 a B. P.。

本组合介形类数量少, 属种类型更少, 以 *Candona gyirongensis* 为主体, 含量 94% 以上, 而伴随的 *Leucocythere mirabilis* 含量仅为 6%。

(5) 组合 5 *Leucocythere reticulata* ~ *Candona gyirongensis*。分布于 280~172 cm 浅灰、灰黑色淤泥中。大约 10010~7550 a B. P.。本组合介形类数量和属种类型较组合 4 有所增加。其中 *Candona gyirongensis* 和 *Limnocythere dubiosa* 的含量各占 37%, *Leucocythere mirabilis* 和 *L. reticulata* 分别为 17% 和 9%。与前组合相比 *Candona gyirongensis* 百分含量减少 35%。*L. reticulata* 初次出现。此外尚有 *Chara* sp. 藏卵器卵胞出现。

(6) 组合 6 *Leucocythere reticulata*—*Limnocythere binoda*。分布于 172~136 cm 灰黑色碳酸盐淤泥中。大约 7550~6730 a B. P.。

本组合的介形类数量增加, 类型多达 6 种, 包括: *Leucocythere reticulata* 含量为 52.5%, *L. mirabilis* 为 8.5%, *Limnocythere dubiosa* 为 28.8%, *L. binoda* 为 1.2%, *Candona gyirongensis* 为 5.0%, *Ilyocypris gibba* 含量为 1.2%。组合最大特征是 *Leucocythere reticulata* 含量达其剖面最



图 4 色卡执 SZK 钻孔介形类

Fig. 4 Ostracod shells from well SZK in Sekazhi Salt lake

1-4 *Leucocythere mirabilis* Kaufman, (1)LV, ev, L:490 mm; (2)RV, ev, L:446 mm; (3)LV, ev, L:473 mm; (4)RV, ev, L:459 mm. (5) *Ilyocypris dunschanensis* Mandelsham, LV, ev, L:534 mm. 6~8 *Limmocythere dubiosa* Daday, (6)RV, ev, L:340 mm; (7)LV, ev, L:418 mm; (8)RV, ev, L:437 mm. 9,10 *Candona gyirongensis* Huang, (9)LV, ev, L:445 mm; (10)RV, ev, L:451 mm

大峰值; *Ilyocypris gibba* 再次出现, *Candona gyirongensis* 含量减少。

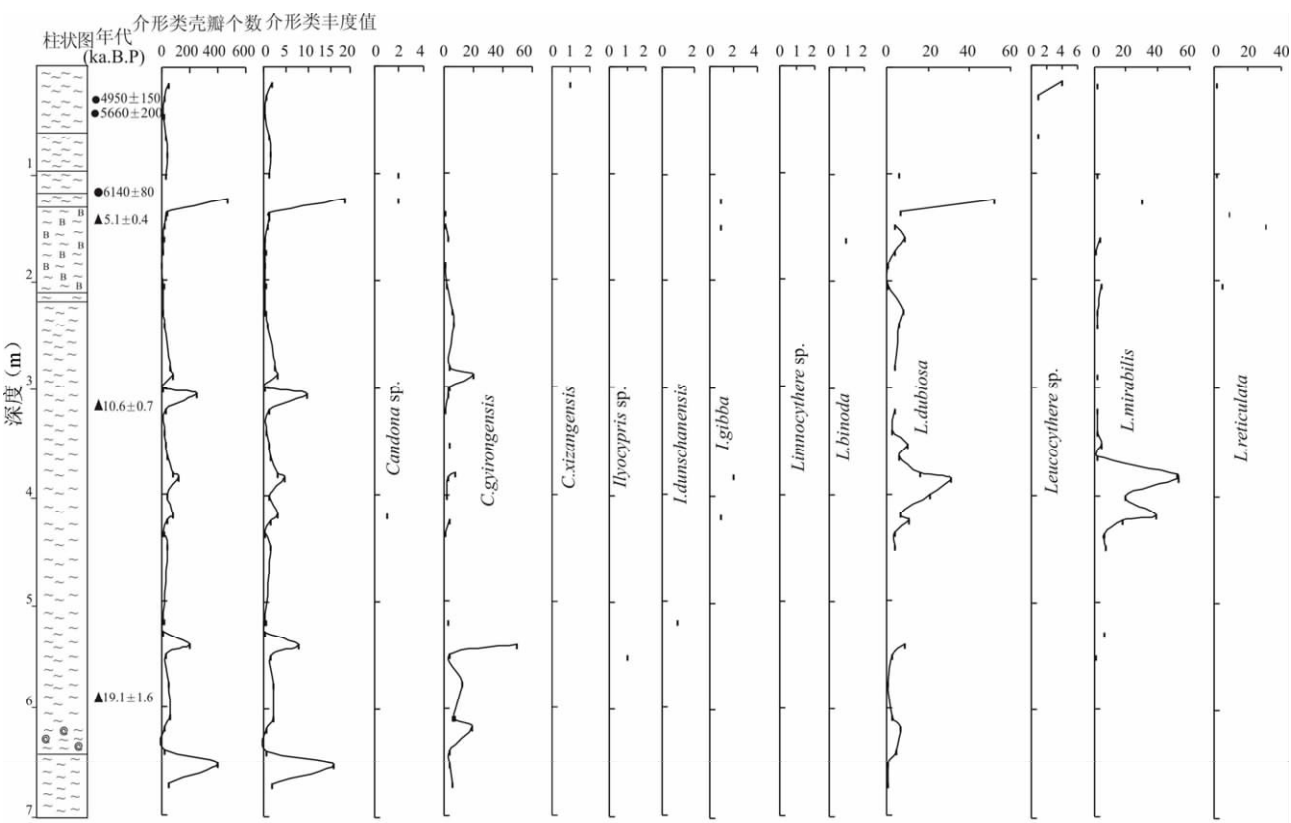


图 5 西藏色卡执 SZK 钻孔介形类丰度变化图

Fig. 5 Variation of ostracods abundance in section of borehole SZK at Sekazhi Salt lake, Tibet

(7) 组合 7 *Limnocythere dubiosa*—*Leucocythere mirabilis*。分布于 136~80 cm 墨黑、灰黑色碳酸盐淤泥。大约 6730~5760 a B. P.。

该组合中,介形类有五种类型,其中 *Limnocythere dubiosa* 含量为 54.2%,*Leucocythere mirabilis* 含量为 31.7%,*L. reticulata* 为 9.2%,*Candona gyirongensis* 为 4.2%,*Ilyocypris gibba* 为 0.8%。本组合最大特征是 *Limnocythere dubiosa* 和 *Leucocythere mirabilis* 含量较大,分别较前组合增加 23%~25%以上。

(8)组合 8 分布于 80~0 cm 的浅灰色碳酸盐淤泥。大约 5760~4750 a B. P.,介形类主要赋存于剖面顶部 16 cm 上下(大约 4950~4750 a B. P.)地层。主要是 *Leucocythere* 种群,伴少量的 *Candona xizangensis*。丰度较前组合大大减少。

4 介形类生态特征

生活于湖泊中的介形类、轮藻类等水生生物的发生发展、演替变化、死亡或绝灭等与其所在水体的矿化度等环境因素密切相关,产轮藻类的水体钙含量常为 15~20 mg/L。介形类对环境具有较强的敏

感性,其属种类型和分布特征、组合面貌是湖泊环境的直接反映(杨留法等,1982; Neale, 1988; 李元芳等,1994,2002; 彭金兰,1997,2000; 李守军等,2005; 杨藩等,2006; 刘俊英等,2007a, b)。因而地层中介形类的丰度、分异度是研究古气候暖湿、干冷变化较为有效的环境指标。

该钻孔剖面出现的 4 属 8 种介形类中, *Candona* 是厌热性介形类,多数种适于生活在 10℃ 以下水体中(庞其清,1985); 又是淡水属,主要生活在各种类型的淡水。我国柴达木盆地淡水—少盐水(0.5‰~5‰)水域分布广,数量多;当丰度值变大,可指示水体淡化。地层中主要产于灰绿、棕红色泥质岩和含盐量低的碳酸钙胶结的砂岩中(青海石油管理局勘探开发研究院等,1988; 彭金兰,1997)。本剖面自下而上几乎连续出现。*C. gyirongensis* 和 *C. xizangensis* 两个种最初报道于西藏吉隆小咸湖湖岸更新统中部至全新统。*C. gyirongensis* 被 Wrožyna C 等归入 *Fabaeformiscandona*, 并称其在西藏东部和柴达木盆地含盐度 0.1‰~1.3‰ 的湖泊分布。*C. xizangensis* 与欧洲狭温种 *C. neglecta* 十分相近,在藏南淡水湖泊深水区多(黄宝仁等,

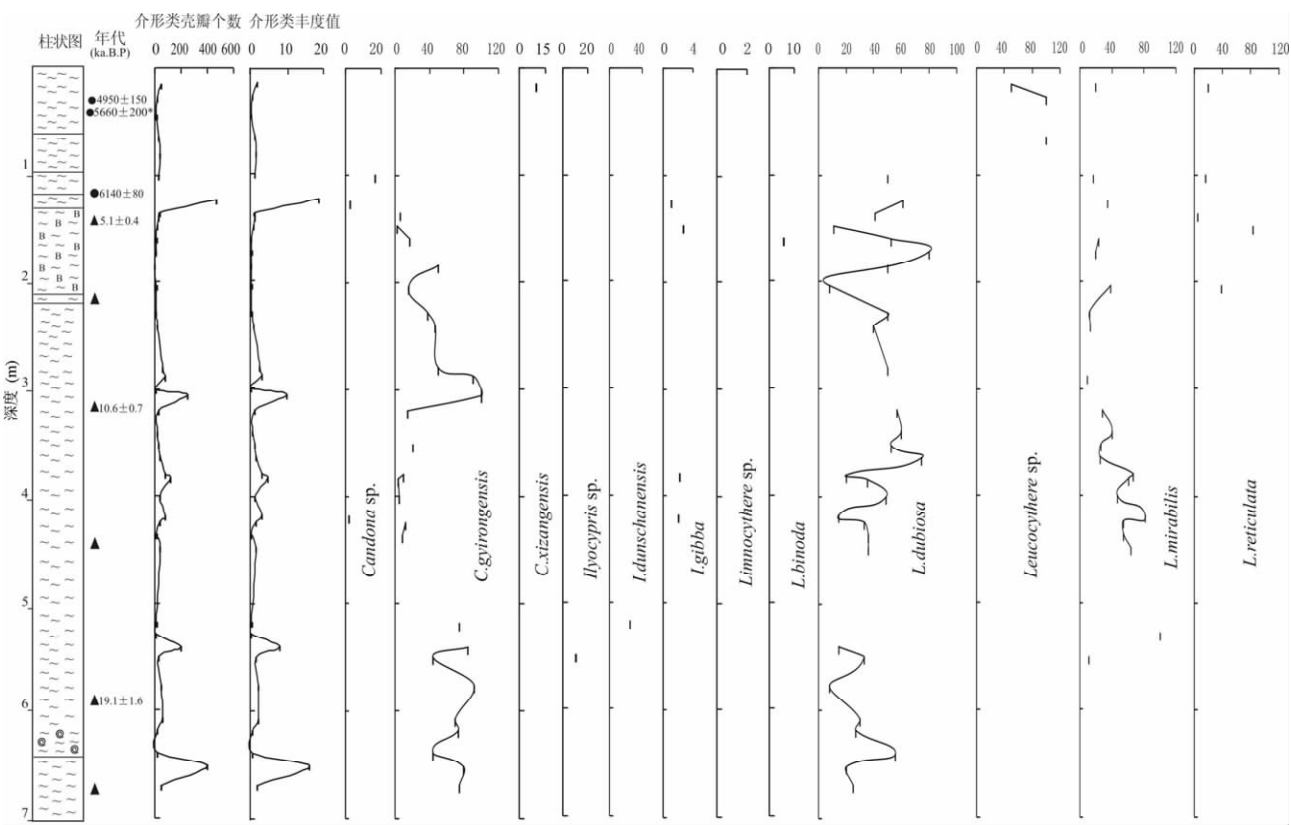


图 6 西藏色卡执 SZK 钻孔介形类百分含量变化图
Fig. 6 Percentage content variation in ostracods at section of borehole SZK at Sekazhi Salt lake, Tibet

1982; Wrozyńska C. et al., 2009), 这两个种均为较冷的介形类, 它们在西藏佩枯错三级阶地紧密共生, 在 12600~10600 a B. P. 冷湿期数量较大(彭金兰, 1997)。C. gyirongensis 还是西藏班戈错末次冰期介形类组合中的主要分子(李元芳等, 1994), 在本剖面 80% 的分析样品均含此种, 尤其是在 670~528 cm 层段数量多、丰度值高; 在 306~280 cm 层段, 几乎全是它。

Ilyocypris 是喜热属, 喜欢生在 10.5~20℃ 以上温度的水体, 主要栖息于淡水—少盐水水域, 单独出现指示流动水体, 往往是具水生生物及藻类的流动水的标志。地层中主要产于淡水至低盐量浅水沉积, 在低能量流动水为主的灰绿、黄绿色和棕红色砂质泥岩中含量较大(青海石油管理局勘探开发研究院等, 1988; 刘俊英等, 2007)。在本剖面 Ilyocypris 含量不大, 且零星分散出现, 在 448~364 cm 和 148~124 cm 见及。I. gibba 为具瘤型的 Ilyocypris 分子, 喜暖种, 浅而暖流的水体是其主要生存环境, 并且是低盐度、少盐度水体。地层中主要产自浅色粉砂和砂质泥岩中(杨藩等, 2002; 刘俊英等, 2007) I. dunschanensis 较早发现于新疆上新统独山子组。

Limnocythere 生活在湖泊湖底和湖滨泥滩, 淡水至咸水均有大量繁生。偏爱或适于静水水域, 适宜于碳酸盐含量较高的泥质湖底底质。此属在本剖面含量较大, 除 528~448 cm、306~280 cm 和 80 cm 以上层段外, 基本为连续出现, 有两个种, 其一 L. dubiosa 应当说其特征及生态环境与 C. inopinata 相同, 均喜好较稳定的静水水域。对环境的适应性很强, 多见其生活在碱性碳酸盐或碱性硫酸盐型微咸水至真盐水湖泊中, 在吉尔吉斯伊赛克湖、咸海以及我国西藏卓乃湖含盐量 1.498‰, 色林湖 18‰, 申错 23.5‰ 和 苟鲁错 33.71‰ 等有其活体。在青海湖区、柴达木盆地甘森区等第四系及阿里全新统早期蓝灰色碳酸盐粘土均曾出现, 在西藏西部聂尔错古湖 37/7 剖面上部 7000~3000 a B. P. 碳酸盐沉积物中, 此种含量较大, 达介形类组合的 51% 以上(杨藩等, 2006; 刘俊英等, 2007; 庞其清等, 2007; Wrozyńska C et al., 2009)。另一种为 L. binoda, 主要见于第四纪地层, 在青海湖区被视为第四纪冰川地区间冰期沉积的二郎尖组有一定含量(黄宝仁, 1984; 李元芳等, 1997)。在本钻孔剖面仅于 160 cm 处零星见及。Leucocythere 偏冷属。本剖面 448cm 以下零星

出现,448~364 cm 含量最大。其 *L. mirabilis* 在欧洲常与狭温种 *Candona neglata* 共生,我国西藏南部佩枯错三级阶地剖面 12650 a B. P. 和 6500 a B. P. 之冷湿期地层中含量丰富,丰度值较高;在西部的聂尔错古湖 18100~8700 a B. P. 凉湿期或凉偏干、冷干时期的介形类组合丰度值很大,平均含量可达 95% 以上(彭金兰,1997;刘俊英等,2007)。在奥地利 Monodsee 湖中主要出现于深水带,是深水带和次深水带介形类动物群的组成分子,青藏高原松西错钻孔剖面 7800~5800 a B. P. 和藏南红山湖钻孔 1885~1905 a B. P. 之湖泊扩张、水体加深阶段的沉积物中该种含量十分丰富,为剖面最大丰度值(李元芳等,1995,2002);此种还是广适性种,能忍受较大温度变幅,淡水、半咸水至超盐水湖中均能存活。西藏松西错(含盐度 0.487%)、西金乌湖(含盐度 256.733%)有活体;主要分布在富氧贫营养的环境中。在新生代地层广泛发现,在柴达木盆地青海湖区、渭河盆地等第四系大量出现(李元芳等,1997,2002)。*L. reticulata* 首次发现于西藏扎达县香孜区更新统下部,与之共生介形类亦有喜冷种 *L. mirabilis* 等(黄宝仁等,1982)。

轮藻类一般生长在沟渠、池塘和湖泊等静水水域,属于淡水及半咸水沉水性藻类植物。*Chara* 属的适应性很强,尤其在碳酸盐含量高,偏碱性的水体生长茂盛(王水,1959;Soulié,1989;韩福山等,1994)。

5 古环境、古气候讨论

从以上分析可以看出,色卡执湖区在大约 22060 a B. P. 以来,经历了几次气候冷暖和干湿的变化:

(1)约 22060~15070 a B. P.,670~448 cm 沉积时期,湖水浅、水温低、气候较冷湿,相当于介形类组合 1 生存时期。介形类动物群中有 76% 的厌热性 *Candona*,其中 *C. gyirongensis* 曾在西藏班戈错、佩枯错等 16000~10600 a B. P. 寒冷期含量较多。本钻孔 670~640cm(约 22060~21110 a B. P.),640~608cm(约 21110~20110 a B. P.),608~528 cm(约 20110~17590 a B. P.)和 528~448 cm(约 17590~15070 a B. P.)层段的含量分别为 83%、65.7%、76.7%和 60%;常栖息于湖泊湖底和湖滨泥滩的广盐性种 *Limnocythere dubiosa* 前三段的含量为 21%,在较早期约 22060~21110 a B. P. 的 670~640 cm 层段含量低于均量 8%,往后约

21110~20110 a B. P. 的 640~608 cm 层段超出 13% 以上;晚期约 18280 a B. P. 550 cm 后指示湖泊水体具流动性的 *Ilyocypris dunschanensis* 和较深水种 *Leucocythere mirabilis* 含量各有 1.4%。介形类的含量与分布是受其环境控制的,而温度是重要的环境要素,可以表示水温度的高低,同时也间接反映气候冷暖。剖面下部 22060~15070 a B. P. (670~448cm)喜冷介形类 *Candona gyirongensis* 和 *Leucocythere mirabilis* 之和达 77% 以上,指示湖水温度较低,适宜它们生存繁衍,而不是暖水介形类栖息的最佳场所,最后到本阶段末期可能水温有回升,*Ilyocypris dunschanensis* 得以零星见及;通常惯于湖底湖滨泥滩生活的广盐性种 *Limnocythere dubiosa* 占介形动物群含量的 20%,指示湖泊水体不深、水有一定含盐度。上述介形类的生态与环境的关系证明色卡执古湖此时的湖水水面较低,水体偏浅,基本不流动,水质有一定含盐度,反映湖区气候较冷。并且具有波动性冷暖变化,最冷时在 22060~21110 a B. P. 和 20110~17590 a B. P.,其间的 21110~20110 a B. P. 和 17590~15070 a B. P. 时段气温略有回升,末期 *Ilyocypris dunschanensis* 出现之时有小细流入湖,气候向暖湿过渡。

(2)大约 15070~12425 a B. P.,448~364 cm 的沉积时段,湖面扩大抬升,水温回升,气候转暖湿为介形类组合 2 生存时期,此时湖泊新生长了轮藻 *Chara*,介形类的生物生产率提高,广适性 *Limnocythere dubiosa* 和深水型 *Leucocythere mirabilis* 的丰度和峰值增高以及淡水、暖水分子 *Ilyocypris gibba* 等的添加,而厌热型的 *Candona* 含量减少近 70%。与前期相比,介形类组合特征变化很大。反映生态环境有较大改善,首先是 *Leucocythere mirabilis* 的含量由 1.4% 增为 58% 以上,达剖面最高峰值,指示湖泊水体增长较大,多了指示水生生物和藻类流动性的 *Ilyocypris* 分子等,反映此时的湖泊有水源补给,水体逐渐加深,环境潮湿,气候转暖,冰川融水与降水入湖,致使湖泊水面扩大抬升,水温提升,生物门类增加。相对而言,在本时段后期约 14000~12425 a B. P.,较前期 15070~14000 a B. P. 湖水更深,气候更潮湿。

(3)大约 12425~10010 a B. P.,364~280 cm 的沉积时段,湖面下降,水温低,气候寒冷

为介形类组合 3、组合 4 生存的环境。此时的地层主要为碳酸盐与粘土沉积,其上、下为黑色淤泥。沉积物的 Na、Cl 基本为剖面高峰值区, CaCO_3

处于低峰值区,反映温度和湿度有下降,湖水蒸发量大,湖泊水位下降,相应的含盐量提高。水体的温度、盐度对介形类属种生存与发育的巨大影响,所以本段生物量锐减,介形类的丰度、峰度值降低幅度大,类型也减少,*Ilyocypris* 暖属消失,较深水种 *Leucocythere mirabilis* 少 50% 以上,淡水型 *Candona* 的量少、且为不连续出现,唯有善于湖底、泥滩存活的 *Limnocythere dubiosa* 含量较前期增加 26% 以上,说明介形类动物群生态环境发生很大变化,以上生物生态信息反映此时的湖区气候干冷,无水源补给湖盆、水面下降,尤其是 11585~10010 a B. P. 时段,介形类数量和种类急剧减少,气候显得更加寒冷,湖中仅有少量能抵御寒冷的 *Candona gyirongensis*。末期仅有极稀少的 *Leucocythere mirabilis* 产出,反映到了该区气候最寒时期。

(4) 大约 10010~7550 a B. P., 280~172 cm 沉积时段,湖盆水量增加,气候冷湿

为介形组合 5 生存期,湖泊中又重现了轮藻 *Chara* 属,生物量增加,介形类的数量和属种类型增加。每个样品均含 *Candona gyirongensis* 和 *Limnocythere dubiosa*, 含量各占组合 37%; 60% 的样品产有 *Leucocythere mirabilis* 为组合的 17%, 新出现了 *L. reticulata*, 含量为 9%。反映动物群的生态环境较其前期有很大的改善。生物生产率提高、种类增加,反映湖区气温回升,空气潮湿度增大。指示湖泊有水源补给,入湖水量大于蒸发量,湖面扩大,水质略微淡化,但是以其喜冷的 *Candona gyirongensis* 和 *Leucocythere mirabilis* 之和达 54% 以上,指示湖泊水温仍然较低,说明湖区气候较冷湿。由于介形类动物群中尚有近三分之一为喜于咸水湖生活的 *Limnocythere dubiosa* 和 *Leucocythere reticulata*, 表明湖水尚有一定的含盐度。

(5) 大约 7550~6730 a B. P., 172~136 cm 沉积时段,湖水温度继续回升,气候转暖湿

正是介形类组合 6 繁衍生息时期,与前阶段相比生物量增加,属种类型多达 6 个,除前期 4 种继续繁衍生息外,新出现了 *Limnocythere binoda* 及 *Ilyocypris gibba* 的再现,反映动物群的生态环境又进一步改善。湖盆仍有水源补充,且具水生生物及藻类的流动水体,这是湖区气候湿润的反映,*Candona gyirongensis* 和 *Leucocythere mirabilis* 分别较前一时期含量减少 32% 和 9%, *Limnocythere dubiosa* 亦少 9%, 指示湖水温度略有提高,含盐度

有所降低。但是 *Leucocythere reticulata* 的丰度大,峰度值达其剖面最大峰值,由 9% 升为 52.5%, 因此湖泊水深和含盐度或许与前一时期相仿或湖水较前一时期略深微淡化。

(6) 大约 6730~5760 a B. P., 136~80 cm 沉积时段,湖面下降,气候趋于干冷

介形类 7 组合的生存时期。与前一时期相比,介形类的丰度与峰值发生重要变化,首先是广盐性 *Limnocythere dubiosa* 含量多达 54% 以上和 *Leucocythere mirabilis* 近 32%, 而淡水型的 *Ilyocypris gibba* 和 *Candona gyirongensis* 的量进一步减少,指示湖泊水面缩小、水位下降、水温降低,湖区气候较干旱,湖水蒸发量较大,湖水咸度增高,气候由暖湿转向冷干。

(7) 大约 5760~4750 a B. P., 剖面顶部 80 cm 以上地层沉积时段,湖盆发育晚期、气候干冷

介形类含量极低,类型少,除 64cm 和 28cm 层段有个别 *Leucocythere* 外,其它属种绝迹,生存环境已不宜介形类等生物生存。只到 16cm 层段时,湖区气候转暖、环境潮湿,有小水流入湖,出现极少量的 *Candona xizangensis* 和一些 *Leucocythere* 分子。冷水性介形类含量占绝对优势说明湖盆演化到 4950 a B. P. 时,气温虽较前一段时期略有回升,但总的仍是向干冷方向发展,导致湖盆萎缩、湖泊干涸。

6 结论

SZK 钻孔剖面揭露了色卡执古湖约 22060~4750 a B. P. 的沉积特征、相关地球化学背景值、微体古生物介形类的组合特征变化,反映该区第四纪晚期(国际地层委员会,2008;程裕淇等,2009)古气候、古环境之冷湿与温干交替变更规律。大约 22060~10010 a B. P. 为末次冰期晚冰阶或末次冰盛期(姚檀栋,1999;施雅风,2002;施雅风等,2006), 总的气候为冷湿趋向冷干,其间有一次气候回暖的波动。而 10600~10010 a B. P. 期间,介形虫数量和种类急剧减少,仅少许不畏严寒的 *Candona gyirongensis* 和 *Leucocythere mirabilis* 存活,表明湖区气候突然变冷,为全球新仙女木寒冷事件在本区的反应。之后进入全新世暖期,呈现冰后期的气候特征,气温回升,气候转暖湿,尤其是在约 7550~6730 a B. P. 期间,湖内生态环境更好,生物量增加,介形类数量与类型增长,进入全新世大暖期,6730 a B. P. 以后,湖区气候又变得干冷,其间虽也有小的气候颤动,但总的趋势是向干冷发展,直至湖盆萎

缩,大约 4750 a B. P. 湖泊干涸。

问题:SZK 钻孔剖面 670cm,地层测年数据 6 组,但是其中有 2 组暂时未用(显得偏大或偏小),我们尚感对地层时代讨论有些欠缺,容后,待机补充。

致谢:介形类化石为石家庄经济学院庞其清教授鉴定,铀系法测年由中国科学院地质地球物理研究所完成,¹⁴C 测年由 中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室完成,化石扫描照相系周慧工程师承担,图件制作是张岩、宋高同志完成,在此一并表示衷心感谢!

参 考 文 献

程裕淇,王泽九,黄枝高主编. 2009. 中国地层典总论. 北京:地质出版社,1~411.

国际地层委员会 2008. 国际地层学杂志,33(4):6.

黄宝仁,杨恒仁,尤坤元. 1982. 西藏南部和西南部上新世及第四纪介形类. 西藏古生物(第四分册),科学出版社,326~348.

黄宝仁. 1984. 青海湖区第四纪介形类. 中国科学院南京地质古生物研究所丛刊,7:187~236.

韩福山,李尧英. 1994. 轮藻门(中国淡水藻志,第三卷). 北京:科学出版社,1~267.

李元芳,张青松,李炳元,刘福清. 1991. 西藏班公错地区晚更新世晚期介形类及其古地理意义. 微体古生物学报,8(1):57~64.

李元芳,张青松,李炳元. 1994. 青藏高原西北部 17000 年以来的介形类及环境演变. 地球学报,49(1):46~53.

李元芳,张青松,李炳元. 1995. 青藏高原西部地区晚更新世晚期以来的介形类与环境演变. 青藏高原研究会编,青藏高原与全球变化研讨会论文集. 北京:气象出版社,52~61.

李元芳,李炳元,王国,李世杰,朱照宇. 1997. 西昆仑甜水海古湖泊介形类及环境意义. 湖泊科学,9(3):223~230.

李元芳,朱立平,李炳元. 2002. 藏南沉错地区近 1400 年来介形类与环境变化. 地理学报,57(4):414~421.

李守军,郑德顺,姜在兴等. 2005. 用介形类优势分异度恢复古湖盆的水深——以山东东营凹陷古近系沙河街组沙三段湖盆为例. 古地理学报,7(3):399~404.

刘俊英,袁鹤然,郑绵平,刘喜方. 2007. 西藏西部聂耳错古湖近 20000~2000aBP 的微体古生物与环境及气候变化. 古地理学报,9(6):575~587.

刘喜方,刘俊英,郑绵平. 2007. 西藏仲巴县旧儿古湖距今 40000~10000aBP 的介形类及其反映的环境和气候变化. 地质通报,26(1):8~13.

刘俊英,郑绵平,袁鹤然,刘喜方,王海雷. 2007. 西藏扎布耶湖区 128-14kaBP 的微体古生物与环境气候变化. 地质学报,81(12):1618~1635.

刘俊英,郑绵平,王海雷. 2007. 西藏中部扎西错布晚更新世晚期微体古生物与环境初步变化研究. 地质学报,81(12):1636~1644.

彭金兰. 1997. 西藏佩枯错距今 13000~4500 年间的介形类及环境变迁. 微体古生物学报,14(3):239~254.

彭金兰. 2000. 湖泊沉积介形类丰度、分异度是环境的敏感指标. 第

四纪研究,20(3):296.

庞其清,郑绵平,刘文高. 1985. 西藏奇林湖一班戈湖地区晚新生代介形虫化石及其地层意义. 青藏高原地质文集(16). 北京:地质出版社,243~264.

庞其清,刘俊英,郑绵平,赵希涛. 2007. 青藏高原昆仑山垭口地区第四纪介形虫及环境变迁的探讨. 地质学报,81(12):1672~1691.

齐文,郑绵平. 1995. 西藏扎布耶湖 ZK91-2 钻孔沉积特征与气候环境演化. 湖泊科学,7(2):133~140.

青海石油管道局勘探开发研究院,中国科学院南京地质古生物研究所. 1988. 柴达木盆地第三纪介形类动物群. 南京:南京大学出版社,1~190.

孙湘君,杜乃秋,陈因硕,顾兆炎,刘家麒,袁宝印. 1993. 西藏色林错湖相沉积物的花粉分析. 植物学报,35(12):943~950.

施雅风. 2002. 中国第四纪冰期划分改进建议. 中国冻土,24(6):687~692.

施雅风,崔之久,苏珍. 2006. 中国第四纪冰川与环境变化. 石家庄:河北科学技术出版社.

王水. 1959. 轮藻化石. 北京:科学出版社,1~33.

王苏民,余源盛,吴瑞金,等. 1990. 岱海—湖泊环境与气候变化. 安徽合肥:中国科学技术大学出版社,1~191.

魏乐军,郑绵平,蔡克勤,等. 2002. 西藏洞错全新世早中期盐湖沉积的古气候记录. 地学前缘,9(1):129~135.

吴玉书,肖家仪. 1996. 西藏扎布耶湖地区三万年以来的花粉记录. 海洋地质与第四纪地质,16(3):115~122.

杨潘,孙镇城,张永华,乔子真. 2002. 青海柴达木盆地第四纪介形类属 *Ilyocypris*—壳面瘤状装饰的分类意义. 微体古生物学报,19(1):15~32.

杨潘,乔子真,张海泉,张永华,孙镇城. 2006. 柴达木盆地新生代介形类动物群特征及环境意义. 古地理学报,8(2):143~155.

杨留法,范云崎,黄宝仁. 1982. 西藏高原现代湖泊沉积物中的介形类化石及其与湖水矿化度间关系的初步研究. 海洋湖泊通报,(1):20~28.

姚檀栋. 1999. 末次冰期青藏高原的气候突变—古里雅冰芯与格陵兰(GRIP)冰芯对比研究. 中国科学(D辑),29(2):175~184.

郑绵平,赵元艺,刘俊英. 1998. 第四纪盐湖沉积与古气候. 第四纪研究,18(4):297~307.

郑绵平,袁鹤然,刘俊英,李延河,马志邦,孙青. 2007c. 西藏高原扎布耶盐湖 128ka 以来沉积特征与古环境记录. 地质学报,81(12):1608~1617.

Chen Yuqu, Wang Zejiu, Huang Zaigao. 2009. Zhongguo Diceng Dian. Zonglun. Beijing: China Geological Press.

Han Fushan, Li Yaoying, Li Yijian, Ying Yuanjie, Wang Yajun. 1994. Charophyta (Flora Algarum Sinicarum, Tomus 3). Beijing: Science Press, 1~267. (in Chinese with English Abstract)

Huang Baoren, Yang Hengren, You Kunyuan. 1982. Pliocene and Quaternary ostracoda from southern southwestern Xizang. Xizang Paleontology, Xizang. Beijing: Science Press, 4: 326~348. (in Chinese with English Abstract)

Huang Baoren. 1984. Quaternary ostracoda in Qinghai Lake. Bull. Nanjing Inst. of Geol. & Palaeont., Acad. Sinica, 7: 187~

236. (in Chinese with English Abstract)
- Institute of Mineral Exploration and Development, Qinghai Petroleum Administration and Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, 1988. Tertiary Ostracod Fauna in the Qaidam Basin. Jiangsu Nanjing: Nanjing University Press, 1~190. (in Chinese)
- International Commission on Stratigraphy. 2008. International stratigraphic chart. *Journal of stratigraphy*, 33(4):6.
- Li Shoujun, Zheng Deshun, Jiang Zaixing, et al. 2005. Water depth of palaeo-lacustrine basin recovered by dominance diversity of Ostracoda: An example from sedimentary period of the Member 3 of Shahejie Formation of Paleogene in Dongying sag, Shandong Province. *Journal of Palaeogeography*, 7(3): 399~404. (in Chinese with English Abstract)
- Li Yuanfang, Li Bingyuan, Wang Guo, et al. 1997. Ostracoda and its environmental significance at the ancient Tianshuihai lake of the west Kunlun. *Journal of Lake Science*, 9(3): 223~230. (in Chinese with English Abstract)
- Li Yuanfang, Zhang Qingsong, Li Bingyuan, Liu Fuqing. 1991. Late Pleistocene ostracoda and its paleogeographical significance in Bangong Lake area, Tibet. *Acta Micropaleontologica Sinica*, 8(1): 57~64. (in Chinese with English Abstract)
- Li Yuanfang, Zhang Qingsong, Li Bingyuan. 1994. Ostracods and environmental evolution in the northwestern Qinghai-Tibet Plateau during the past 17000 years. *Acta Geoscientia Sinica*, 49(1): 46~53. (in Chinese with English abstract)
- Li Yuanfang, Zhang Qingsong, Li Bingyuan. 1995. Ostracods and environmental evolution on the western Qinghai-Tibet Plateau since the late part of the late Pleistocene. In: *Compilation Committee of the Society of the Qinghai-Tibet Plateau of China (ed), Proceedings of the Symposium on the Qinghai-Tibet Plateau and Global Change*. Beijing: China Meteorological press 52~61. (in Chinese)
- Li Yuanfang, Zhu Liping, Li Bingyuan. 2002. Environmental changes and ostracoda in the Chen Co Lake of southern Tibet in recent 1400 years. *Acta Geographica Sinica*, 57(4): 414~421. (in Chinese with English Abstract)
- Liu Junying, Yuan Heran, Zheng Mianping, Liu Xifang. 2007a. Micropaleontology, environmental and climatic changes of the Ny r Co paleolake in western Tibet between 20000~2000a BP. *Journal of Palaeogeography*, 9(6): 575~587. (in Chinese with English Abstract)
- Liu Junying, Zheng Mianping, Wang Hailei. 2007c. The Late Part of the Late Pleistocene Microfossil and Environment Chang in Zaxi Lake, Middle Tibet. *Acta Geologica Sinica*, 81(12): 1636~1644. (in Chinese with English Abstract)
- Liu Junying, Zheng Mianping, Yuan Heran, Liu Xifang, Wang Hailei. 2007d. Microfossils and Climatic and Environmental Changes in the Zangbuye Lake Area, Tibet, from 128 to 1.4 ka BP. *Acta Geologica Sinica*, 81(12): 1618~1635. (in Chinese with English Abstract)
- Liu Xifang, Liu Junying, Zheng Mianping. 2007. Ostracods in the Jiu er Paleolake, Zhongba, Tibet, Chian, and its environmental and climatic changes at 40000~10000a BP. *Geological Bulletin of China*, 26(1): 8~13. (in Chinese with English Abstract)
- Neale JW. 1988. Ostracods and palaeosalinity reconstruction. In: De Deckker Petal (eds). *Ostracoda in the Earth Sciences*. Amsterdam: Elsevier, 125~155.
- Pang Qiqing, Liu Junying, Zheng Mianping, Zhao Xitao. 2007. Quaternary Ostracoda in the Pass Area of the Kunlun Mountains, Northern Qinghai-Tibet Plateau, with a Discussion on the Environmental Change. *Acta Geologica Sinica*, 81(12): 1672~1691. (in Chinese with English Abstract)
- Pang Qiqing, Zheng Mianping, Liu Wengao. 1985. The late Cenozoic ostracoda of the Siling lake and Bangkog lake district in the Xizang (Tibet) and its stratigraphic significance. Contribution to the geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau. Beijing: Geological publishing Home 16: 243~276. (in Chinese with English Abstract)
- Peng Jinlan. 1997. ostracod assemblages and environmental changes during 13000 ~ 4500 a. B. P. in Peiku Co, Tibet. *Acta Micropaleontologica*, 14(3): 239~254. (in Chinese with English Abstract)
- Peng Jinlan. 2000. The abundance and diversity of ostracods in lake sediments are sensitive environmental indicators. *Quaternary Sciences*, 20(3): 296. (in Chinese with English abstract)
- Qi Wen, Zheng Mianping. 1995. Sedimentary characteristics of ZK91-2 core and climate environment evolution of Zabuye lake, Tibet plateau. *Journal of Lake Sciences*, 7(2): 133~140. (in Chinese with English Abstract)
- Shi Yafeng, Cui Zhijiu, Su zhen. 2006. The Quaternary glaciations and environmental variations in China. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Press, 1~618. (in Chinese with English Abstract)
- Shi Yafeng. 2002. A suggestion to improve the chronology of Quaternary glaciations in China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 24(6): 687~692. (in Chinese with English Abstract)
- Soulié Märsche, I. 1989. Etude comparée de gyrogonites de charophytes actuelles et fossils et phylogenie des genres actuels. Edition revisee du m moire de Th se d'Etat soutenue le 27. octobre 1979 à l' universite des Sciences et Techaiques du Languedoc, Montpellier.
- Sun Xiangjun, Du Naiqiu, Chen Yinshuo, Gu Zhaoyan, Liu Jiaqi, Yuan Baoyin. 1993. Holocene palynological records in lake Selincuo, northern Xizang. *Acta Botanica Sinica*, 35(12): 943~950. (in Chinese with English Abstract)
- Wang Shui. 1959. Fossil charophyta. Science Press, 1~33. (in Chinese with English Abstract)
- Wang Sumin, Yu Yuansheng, Wu Ruijin, et al. 1990. The Daihai Lake-environment evolution and climate change. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1~191. (in Chinese with English Abstract)
- Wei Lejun, Zheng Mianping, Cai Keqin, et al. 2002. Early-Middle

Holocene paleoclimate record from saline lake sediments. *Earth Science Frontiers*, 9(1): 129~135. (in Chinese with English Abstract)

Wrozyna c, Frenzel P, Xie Mamping, Zhu Liping, Schwalb A. 2009. A Taxonomical and ecological overview of recent and holocene ostracodes of the Nam co region, southern Tibet. *Quaternary Sciences* 29(4): 665~677.

Wu Jinglu, Schleser GH, Wang Sumin, L. cke A, Li Shijie, Xia Wailang, Shi Yafeng. 2002. Quantitative recuperation of climate sequences for the last 200 years in Xingcuo Lake, eastern Tibetan Plateau. *Science in China (Series D)*, 45(9): 832~841.

Wu Yushu, Xiao Jiayi. 1996. A pollen record during the past 30000 years from the Zabuye Lake, Tibet. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 16(3): 115~122. (in Chinese with English Abstract)

Yang Fan, Qiao Zizhen, Zhang Haiquan, et al. 2006. Features of the Cenozoic ostracod fauna and environmental significance in Qaidam Basin. *Journal of Palaeogeography*, 8(2): 143~155. (in Chinese with English Abstract)

Yang Fan, Sun Zhencheng, Zhang Yonghua, Qiao Zizhen. 2002. Taxonomic significance of nodal ornamentation of Quaternary genus *Ilyocypris* (ostracoda) from Qaidam Basin, Qinghai province. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 19(1): 15~32. (in Chinese with English Abstract)

Yang Liufa, Fan Yuqi, Huang Baoren. 1982. Relation between ostracode distribution in surface deposits and water salt of recent lakes in Xizang Plateau. *Transactions of Oceanology and Limnology*, (1): 20~28. (in Chinese with English Abstract)

Yao Tandong. 1999. Sudden climatic change of the Qinghai-Tibet Plateau in the last glacial stage-comparative study of the Guliya ice core, Tibet, China, and the GRIP ice core, Greenland. *Science in China (Series D)*, 29(2): 175~184. (in Chinese with English abstract)

Zheng Mianping, Yuan Heran, Liu Junying, Li Yanhe, Ma Zhibang, Sun Qing. 2007. Sedimentary characteristics and paleoenvironmental records of Zabuye salt lake, Tibetan Plateau, since 128 ka BP. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 81(12): 1608~1617.

Zheng Mianping, Zhao Yuanyi, Liu Junying. 1998. Quaternary saline lake deposition and paleoclimate. *Quaternary Sciences*, 18(4): 297~307. (in Chinese with English abstract)

Climatic Evolution since the Late Pleistocene in the Sêkazhig Lake Area, Tibet, Based on Microfossil Records

LIU Junying^{1,2,4)}, WANG Hailei^{1,3,4)}, YUAN Heran^{1,3,4)}

1) Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environment, Ministry of Land and Resources, Beijing, 100037; 2) Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences(CAGS), Beijing, 100037; 3) Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing, 100037; 4) R & D Center for Saline Lake and Epithermal Deposit, CAGS, Beijing, 100037

Abstract

The paper deals with the climatic evolution since 22 ka BP in the Sêkazhig Lake area, Tibet. By studying a 670 cm thick section of hole SZK, a great deal of paleoenvironmental information has been obtained based on the microfossil record there. The section contains plenty of ostracod fossils, but their diversity is comparatively low. The fossils comprise 8 species in 4 genera and are grouped into 8 assemblages according to their distribution in strata. Their ecological features, combined with U-series and ¹⁴C dating, reveal that the lake area has undergone several great changes in climate and environment since nearly 22 ka BP: ① 22,060~15,070 a BP: the lake was shallow with low water temperatures, and the climate was cold and wet; ② 15,070~12,425 a B. P. : the climate got warm and wet, and the lake was enlarged and uplifted with rising water temperatures; ③ 12,425~10,010 a BP: the lake water table went down with low water temperatures again, and the climate was cold, and during the period of 11,585~10,920 a BP the climate became cold suddenly in response to the Younger Dryas cold event; ④ 10,010~7550 a BP: the climate was cold and wet, and the lake was enlarged again; ⑤ 7550~6730 a BP: the climate turned warm and wet, and the water temperatures kept rising; ⑥ 6730~5760 a BP: the water level lowered and the climate tended to be cold and dry; ⑦ 5760~4750 a BP: the climate kept cold and dry, and the lake was in the late stage of its development.

Key words: Tibet, Sêkazhig Salt Lake, latest Pleistocene, microfossil