

# 藏北南部介形类分布与环境因子的 典范对应分析

宋高,王海雷,郑绵平

中国地质科学院矿产资源研究所,国土资源部盐湖资源与环境重点实验室,北京 100037

**摘要** 典范对应分析是一种直观反映动物群落、属种分布与环境因子间关系的直接排序方法,已在生物界及生态环境研究方面得到广泛应用。为调查西藏地区介形类与环境因子间的关系,2012年对藏北南部49个不同水体表层沉积物中的介形类进行调查,获得介形类10属22种,其中*Limnocythere dubiosa*、*Ilyocypris bradyi*和*Candona candida*在49个样点中出现频数分别达19次、13次和9次,是藏北南部地区的常见种。介形类的生存环境同其水体的物化性质(pH值、电导率及组分等)有重要关系,应用典范对应分析,对藏北南部地区49个样点的22种介形类与8个环境因子的相关性进行研究,得出介形类分布与8个环境因子间的相关性均在80%以上,表明该地区不同水体环境因子的变化对介形类分布的影响很大,水体的8个环境因子中对介形类分布影响最大的是电导率、pH值及亚硝酸盐含量。从物种分布看,*Eucypris rischtanica*、*Leucocythere dilitata*、*Cypricercus moguntiensis*和*Limnocytherellina kunlunensis* 4个种对环境的适应性相对较强。*Leucocythere postericosta*、*Limnocytherellina bispinosa*和*Candona houae* 3个种与电导率和亚硝酸盐含量明显正相关,且相关性较大,它们的高频度出现指示水体电导率及亚硝酸盐含量较高;在藏北南部地区的常见属种中,*Limnocythere dubiosa*的分布与pH值明显正相关,是水体高pH值良好的指示生物,而*Ilyocypris bradyi*和*Candona candida*则对水体低电导率有着良好的指示作用。

**关键词** 现生介形类;生态分布;典范对应分析;环境因子;藏北南部地区

**中图分类号** Q91

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.35.002

## Canonical Correspondence Analysis for Distribution of Extant Ostracodes and Environmental Factors in the South of Northern Tibet

SONG Gao, WANG Hailei, ZHENG Mianping

MLR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments; Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

**Abstract** Canonical correspondence analysis (CCA) is a direct sequencing method which can reflect the relationship among communities, distributions of species and environment factors in a simple way, and be used to study the relationship between the biology distribution and the environment factors effectively. It has been used in the biology and the ecological environment widely. In this paper, 49 surface sediment samples are collected to study the ecological distribution of extant ostracodes and their environmental implications for water bodies in south of northern Tibet in 2012. Total of 10 genera and extant ostracodes of 22 species are identified, among which, *Limnocythere dubiosa*, *Ilyocypris bradyi* and *Candona candida* are the common species with high occurrence frequency of 19, 13 and 9, respectively in Ali and Naqu regions, Tibet. CCA reveals a correlation coefficient of more than 80% between the extant ostracodes distribution and the eight environmental factors, suggesting that the distribution of many species is highly related to environmental changes. Among eight environmental factors, the conductivity, the pH value and the nitrite content are the most affective variables on the species occurrence. *Eucypris rischtanica*, *Leucocythere dilitata*, *Cypricercus moguntiensis* and

收稿日期:2014-09-16;修回日期:2014-11-05

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41372179);国土资源部公益性行业科研专项(201311140);中国地质调查局地质调查项目(12120114048501)

作者简介:宋高,博士研究生,研究方向为第四纪地质与全球气候环境变化,电子信箱:songgao1985128@126.com;王海雷(通信作者),副研究员,研究方向为微体古生物和全球变化,电子信箱:wanghailei77@126.com

引用格式:宋高,王海雷,郑绵平.藏北南部介形类分布与环境因子的典范对应分析[J].科技导报,2014,32(35):22-28.

*Limnocytherellina kunlunensis* have relatively strong adaptability to the water environment. The high occurrence frequency of *Leucocythere postericosta*, *Limnocytherellina bispinosa* and *Candona houae* corresponds to a high water conductivity and nitrite content, as the distribution of these species positively correlates with the water conductivity and the nitrite content, suggesting that the three species are good indicators for the water conductivity and the nitrite content. On the other hand, *Ilyocypris bradyi* and *Candona candida* are good indicators for the low conductivity. As for *Limnocythere dubiosa*, the most frequently occurred ostracode in Ali and Naqu regions, is a good indicator for the high pH value.

**Keywords** extant ostracodes; ecological distribution; canonical correspondence analysis; environmental factors; the south of northern Tibet

青藏高原面积广阔,平均海拔4000 m以上,是世界上海拔最高、地形最复杂的高原。其特殊的地理位置和地形地貌,不仅对邻近地区的气候环境产生了重要影响,对亚洲乃至全球大气环流的形成也产生了巨大影响,因而成为气候环境变化研究的热点区域<sup>[1-4]</sup>。青藏高原湖泊达1500多个,约占全国湖泊总面积的49.5%<sup>[5]</sup>,是地球上海拔最高、数量最多、面积最大的高原内陆湖区。湖泊沉积物包含的环境信息具有分辨率高、连续性好、时间跨度长的特点,而湖泊沉积物中的微生物对环境变化具有非常敏感的反应,其中介形类作为一种重要的环境指标得到广泛研究。介形虫是一种水生双壳类动物,在各种自然水体中,几乎均有介形虫的发育。介形虫在生长过程中对水环境因子(尤其是盐度、温度和水利条件等)非常敏感<sup>[6]</sup>,是研究环境气候变化很好的材料。介形虫在早奥陶世就已经出现,在各种海陆相地层中均有分布。不同盐度、温度及酸碱度的水体中介形类属种组合及其繁盛程度各不相同,依据现生介形类对环境指示意义推断古地层中介形类化石的环境指示意义,是对将今论古思想很好的诠释。

典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)是一种直接排序方法,能够在同一排序图上反应群落、物种分布与环境因子三者或两者间的关系,可以非常有效地研究生物分布与环境因子的关系<sup>[7]</sup>,目前已广泛应用于动植物分布与环境因子关系研究。Külkylioglu<sup>[8,9]</sup>运用CCA分析了土耳其Bolu境内Glky湖中介形虫分布与水中理化因子的关系;Mezquita等<sup>[7]</sup>运用CCA探讨了伊比利亚东部泉水中现生介形类的生态分布及其环境指示意义;禹娜等<sup>[10]</sup>运用CCA探讨了太湖介形类分布与环境因子间的关系。本研究探讨中国藏北南部地区49个湖泊表层沉积物中的介形类分布与水环境因子的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集及分析处理

2012年对藏北南部地区的49个湖泊、浅水坑、河流及湿地进行调查,采集表层沉积物样品及水化学样品。样点基本呈条带状遍布藏北南部的不同地区(图1),能较好地反映该地区介形类的分布状况。

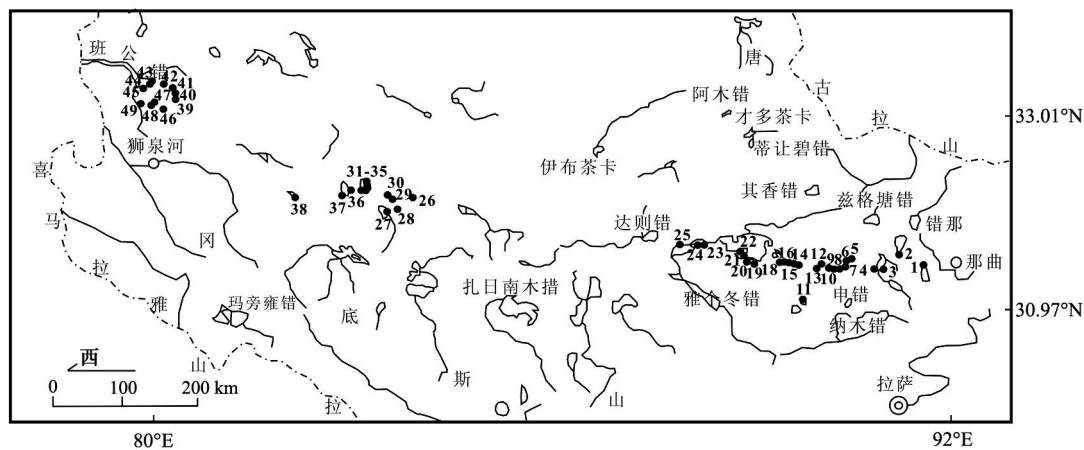


图1 样品采集位置(各点详细位置见附表1)

Fig.1 Sites of sediment samples (details are in the attached table)

采用抓斗式采泥器采集不同水体的沉积物,仔细刮取表层1 cm的沉积物样品。在室内烘干后称取50 g样品,用蒸馏水浸泡并过200目筛子,剩余物再烘干,仔细挑取其中的介形类壳体。在实验室用光镜对样品进行分检、鉴定和保存。属种鉴定主要参考《中国介形类化石》(第1卷、第2卷)。

### 1.2 环境因子的测定

在采样点采集沉积物样品时先采集水化样。测定的水体环境因子包括pH值、溶解氧(DO)、总磷(TP)、总有机碳(TOC)、电导率(Cond)、碳酸盐、硝酸盐及亚硝酸盐,其中pH值、溶解氧(DO)及电导率数据为现场实测。附表1给出了各

采样点详细的环境数据信息。

### 1.3 分析方法

对研究样点的环境数据进行标准化处理。将介形类出现频数(附表2)与标准化处理后的环境数据按CANOCO数据文件格式录入成beetles.env和beetles.spe 2个文件,应用国际标准通用软件CANOCO 4.5进行数据分析,用开平方法对介形类出现频度数据进行转换,生成的数据文件应用CANOCO 4.5作图,生成位图文件,应用种-环境因子图展示介形类属种分布与环境因子的关系。

## 2 结果与分析

### 2.1 物种组成

对藏北南部地区水体表层沉积物中的介形类进行调查共发现10属22种(附表2),分别为*Leuconythere dilitata*、*Leuconythere tropis*、*Leuconythere mirabilis*、*Leuconythere subsculpta*、*Leuconythere parasculpta*、*Leuconythere postericosta*、

*Limnocythere dubiosa*、*Limnocytherellina kunlunensis*、*Limnocytherellina trispinosa*、*Limnocytherellina bispinosa*、*Ilyocypris bradyi*、*Ilyocypris echinata*、*Ilyocypris xizangensis*、*Candona candida*、*Canoda rawsoni*、*Candona houae*、*Candona lijiangensis*、*Candoniella lactea*、*Eucypris rischtanica*、*Heterocypris salinus*、*Cypricercus moguntiensis*和*Cyprideis littoralis*。其中*Limnocythere dubiosa*、*Ilyocypris bradyi*和*Candona candida*在49个样点中出现频次最多,分别为19次、13次和9次,为藏北南部地区的常见现生种。

### 2.2 环境因子的相关性

8种环境因子间的相关性如表1所示,总磷与其他环境因子的相关性均较小;相关性最大的为电导率和亚硝酸盐,二者为正相关,相关系数为0.606;除此之外,碳酸盐和pH值及溶解氧和电导率之间均为负相关,相关系数分别为-0.556和-0.539,相关性也较大。

表1 49个样点8种环境因子间的相关性分析

Table 1 Correlation coefficients among environmental variables in 49 sample sites

环境因子	电导率	溶解氧	pH值	碳酸盐	总有机碳	总磷	硝酸盐	亚硝酸盐
电导率	1.000							
溶解氧	-0.539	1.000						
pH值	-0.459	0.358	1.000					
碳酸盐	0.125	0.124	-0.556	1.000				
总有机碳	-0.365	0.220	-0.033	0.167	1.000			
总磷	-0.053	0.277	0.064	0.091	0.029	1.000		
硝酸盐	-0.190	0.246	0.170	-0.146	-0.138	0.120	1.000	
亚硝酸盐	0.606	-0.400	-0.042	-0.253	-0.333	-0.159	0.044	1.000

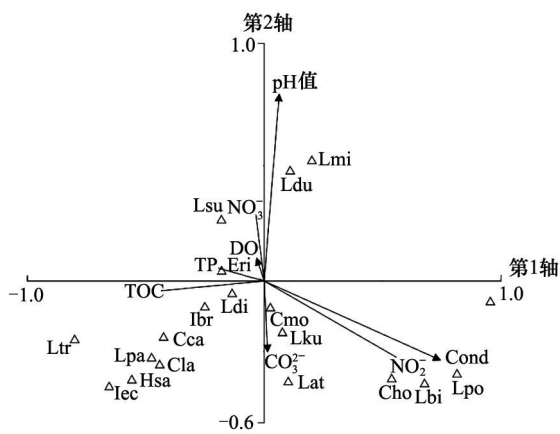
### 2.3 介形类分布于水环境因子间的典范对应分析结果

在22个物种和8个环境因子间应用典范对应分析的方法探讨藏北南部表层介形类分布与水环境因子间的关系。图2给出了分析排序结果。图2中2个排序轴的特征值分别为0.527和0.371,22个物种和8个环境因子排序轴的相关系数分别为0.918和0.814,说明排序能够较好地反应物种和环境因子间的关系,也表明藏北南部多数介形类的地区分布能正确表达环境因子的变动。

在由canodraw.exe生成的图中,环境因子使用带箭头的线段(矢量)表示,连线的长短表示物种分布与该环境因子关系的大小,箭头连线与排序轴的夹角表示该环境因子与排序轴相关性的大小,箭头所指方向表示该环境因子的变化趋势。通过表2和图2可以看出,在CCA排序图中,与第1轴相关性最大的水环境因子为电导率,其次为亚硝酸盐含量,它们都位于坐标轴的下方,为正相关,相关系数分别为0.734和0.548;总有机碳含量与第1轴的相关性也较大,但为负相关,

相关系数为-0.438。与第2轴相关性较大的水环境因子为pH值,位于坐标轴右侧,为正相关,相关系数为0.790;而电导率和亚硝酸盐含量与第2轴均为负相关,相关系数分别为-0.344和-0.328。

从图2可看出,*Eucypris rischtanica*、*Leuconythere dilitata*、*Cypricercus moguntiensis*和*Limnocytherellina kunlunensis* 4个种在坐标轴中点附近,说明这些种对环境的适应性较强,而其他种相对距中点较远,说明它们相对更易受环境变化的影响。从CCA排序图还可以看出,对藏北南部表层沉积介形类分布影响最大的环境因子为电导率、pH值和亚硝酸盐含量。*Leuconythere postericosta*、*Limnocytherellina bispinosa*和*Candona houae* 3个种位于电导率和亚硝酸盐含量轴附近,且与两环境因子轴均呈正相关;*Leuconythere mirabilis*位于pH轴附近,与pH轴明显正相关。3种常见种中,*Ilyocypris bradyi*和*Candona candida*与电导率明显负相关,而*Limnocythere dubiosa*与pH值明显正相关,且相关性较大。



Ldi: *Leucocythere dilitata*; Ltr: *Leucocythere tropis*; Lmi: *Leucocythere mirabilis*; Lsu: *Leucocythere subsculpta*; Lpa: *Leucocythere parasculta*; Lpo: *Leucocythere postericosta*; Ldu: *Limnocythere dubiosa*; Lku: *Limnocytherellina kunlunensis*; Lat: *Limnocytherellina trispinosa*; Lbi: *Limnocytherellina bispinosa*; lbr: *Ilyocypris bradyi*; lec: *Ilyocypris echinata*; lxi: *Ilyocypris xizangensis*; Cca: *Candona candida*; Cra: *Canoda rawsoni*; Cho: *Candona houae*; Cli: *Candona lijiangensis*; Cla: *Candoniella lactea*; Eri: *Eucypris rischtanica*; Hsa: *Heterocypris salinus*; Cmo: *Cypricercus moguntiensis*; Cyl: *Cyprideis littoralis*

图2 藏北南部表层介形类与环境因子的CCA二维排序  
Fig. 2 CCA two-dimensional ordination diagram of ostracodes and environmental factors in Ali and Naqu, Tibet

表2 环境变量与CCA第1、2轴的相关系数  
Table 2 Correlation coefficients of environmental variables and the first, second axes of CCA

变量	第1轴	第2轴
电导率	0.734	-0.344
溶解氧	-0.025	0.105
pH值	0.069	0.790
碳酸盐	0.022	-0.287
总有机碳	-0.438	-0.033
总磷	-0.196	0.061
硝酸盐	-0.033	0.275
亚硝酸盐	0.548	-0.328

### 3 讨论

介形类对研究古湖泊演化乃至古环境古气候演化具有重要的意义。明确现生介形类种属的环境指示意义,可以反推化石所记录的古生态环境,所以对现生介形类环境指示意义的研究是利用介形类研究古环境演化的基础。近年来对介形类分布及其与环境因子关系研究越来越多<sup>[11]</sup>,但是目前

这种介形虫的调查研究,在国内还仅限于少数几个区域,如太湖流域、青海湖地区<sup>[12]</sup>、贵州地区<sup>[13]</sup>、云南地区<sup>[14,15]</sup>和柴达木盆地<sup>[16]</sup>等。黄宝仁等<sup>[17]</sup>在西藏地区虽也开展了一些湖泊现生介形虫的调查,但没有做详细的分析研究。Mischke等<sup>[18,19]</sup>研究了青藏高原东部现代湖泊介形类的分布规律,建立了介形类属种与电导率的定量转换关系,并详细研究了青藏高原东缘冬给错纳湖不同水深的介形类组合,建立了介形类组合与水深的定量转换关系。但是这些定量转换关系,仅限于青藏高原东部地区,是否适用于整个青藏高原地区,仍需扩大研究范围进一步验证。

本次调查发现的 *Limnocythere dubiosa*、*Ilyocypris bradyi* 和 *Candona candida* 为藏北南部的常见属种,其中 *Limnocythere dubiosa* 是分布最广、数量最丰富的种。国内学者目前多只从盐度角度出发,探讨 *Limnocythere dubiosa* 的环境指示意义。刘俊英等<sup>[20]</sup>在对西藏色卡执地区介形类反应的环境进行研究时认为, *Limnocythere dubiosa* 是适应性很强的种,在淡水、半咸水至咸水中均能生活,为较喜盐的湖生咸水类型,其在青海湖、苏干湖、西藏的奇林湖、班戈湖、扎布耶湖、扎西错布、苛鲁湖、唐古拉山口等湖泊均有产出并且产量较大,另外在德国相当于中更新统的 Holstein 冰湖沉积物中也曾发现,其多喜于湖底滩,尤其在碱性碳酸盐或碱性硫酸盐型湖泊中很繁盛。杨留法等<sup>[21]</sup>也认为在咸水湖泊沉积中,该种特别丰富,是适应性强的淡水-咸水种。而在本次研究中发现,如果单从盐度适应性的角度来看,该种确实是在多盐水、真盐水的咸水环境中产量较大,这一特点与前人的观点一致。但从 CCA 排序图综合分析 *Limnocythere dubiosa* 与环境因子的关系时可以看出,8种环境因子中对 *Limnocythere dubiosa* 影响最大的是 pH 值,而不是电导率, *Limnocythere dubiosa* 的分布与 pH 值明显正相关,说明 *Limnocythere dubiosa* 的高频度分布是水体高 pH 值的良好指示。但是目前除少数学者讨论过淡水介形类<sup>[22,23]</sup>和某个特定属种<sup>[24,25]</sup>对水体 pH 值适应情况外,未见有人探讨过 *Limnocythere dubiosa* 的分布与水体 pH 值的关系,无从对比,明确该结论还需进一步的室内培养实验验证。 *Ilyocypris bradyi* 是本次调查的 *Ilyocypris* 属中分布最广泛,产量最高的种,主要适宜淡水-少盐水的浅水环境,在流动性水体中也有一定产出。刘俊英等<sup>[26]</sup>在对古昆仑湖地区的介形类与环境变迁关系进行探讨时指出, *Ilyocypris bradyi* 属于适应性很强的喜于淡水、浅水的流动性水体栖息的无瘤型 *Ilyocypris* 分子,有时在微咸水甚至湖面结冰的水塘里也能找到。 *Candona* 属中分布最广、丰度最高的 *Candona candida* 主要分布于淡水湖泊、浅水坑环境中。一般认为 *Candona candida* 主要生活在永久性清澈、富有机质的淡水水体底泥中,是淡水种。刘俊英等认为 *Candona candida* 为喜冷的淡水现生种,可生活在各种类型的淡水水体和冰冻水坑中。从 CCA 排序图中可以看出, *Ilyocypris bradyi* 和 *Candona candida* 均与电导率负相关,且 *Candona candida* 与电导率的相关性较 *Ilyocypris bradyi* 大,表明 *Candona candida* 对生活水体电导率的要求更加严格,二者

的出现均对低电导率具有一定的指示作用。

#### 4 结论

对藏北南部表层介形类分布影响最大的3种环境因子分别为电导率、pH值及亚硝酸盐的含量。不同生态环境中介形类的种群也各不相同, *Eucypris rischtanica*, *Leucocythere dilatata*, *Cypricercus moguntiensis* 和 *Limnocytherellina kunlunensis* 4个种对环境的适应性相对较强; *Leucocythere postericosta*, *Limnocytherellina bispinosa* 和 *Candona houae* 3个种与电导率和亚硝酸盐含量均为正相关, 且相关性较大; 在藏北南部的常见属种中, *Limnocythere dubiosa* 的分布与pH值明显正相关, 是水体高pH值良好的指示生物, 而 *Ilyocypris bradyi* 和 *Candona candida* 则对水体低电导率有良好的指示作用。

#### 参考文献(References)

- [1] 秦大河. 青藏高原的冰川与生态环境[M]. 北京: 中国藏学出版社, 1999: 78-102.  
Qin Dahe. The glaciers and ecological environment of Tibetan Plateau [M]. Beijing: China Tibetology Press, 1999: 78-102.
- [2] Chen Y, Chen P, Ge Q, et al. Global change research progress and prospect [J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(1): 11-18.
- [3] 郑度, 丁林, 朱立平. 青藏高原形成环境与发展[M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 2003: 79-114.  
Zheng Du, Ding Lin, Zhu Liping. The formation and evolution of the Tibetan Plateau[M]. Shijiazhuang: Hebei Science and Technology Press, 2003: 79-114.
- [4] 姚檀栋, 朱立平. 青藏高原环境变化对全球变化的响应及其适应对策[J]. 地球科学进展, 2006, 21(5): 459-464.  
Yao Tandong, Zhu Liping. The response of environmental changes on Tibetan Plateau to global changes and adaptation strategy[J]. Advances in Earth Science, 2006, 21(5): 459-464.
- [5] 潘红玺, 王苏民. 中国湖泊矿化度的空间分布[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(2): 185-191.  
Pan Hongxi Wang Sumin. Spatial distribution of mineralized degree of lakes in China[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2001, 32(2): 185-191.
- [6] Whatley R. Population structure of ostracods: some general principles for recognition of palaeoenvironments[C]//De Deckker P, Colin J P, Peypouquet J P. Ostracoda in the Earth Sciences. Amsterdam: Elsevier, 1988: 245-256.
- [7] Mezquita F, Tapia G, Roca J R. Ostracoda from springs on the eastern Iberian Peninsula: Ecology, biogeography and palaeolimnological implications[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1999, 148: 65-85.
- [8] Kulköylüoğlu O. On the usage of ostracods (Crustacea) as bioindicator species in different aquatic habitats in the Bolu region, Turkey[J]. Ecological Indicators, 2004, 4: 139-147.
- [9] Kulköylüoğlu O. Ecology and phenology of freshwater ostracods in Lake Gölü (Bolu, Turkey)[J]. Aquatic Ecology, 2005, 39: 295-304.
- [10] 禹娜, 陈立侨, 赵泉鸿. 太湖介形虫分布与水环境因子间关系的典范对应分析[J]. 微体古生物学报, 2007, 24(1): 53-60.  
Yu Na, Chen Liqiao, Zhao Quanhong. CCA of ostracod distribution and environmental factors in the Taihu lake[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2007, 24(1): 53-60.
- [11] Ruiz F, Abad M, Olias M, et al. The present environmental scenario of the Nador Lagoon (Morocco) [J]. Environmental Research, 2006, 102: 215-229.
- [12] 张玲, 孙镇城, 安芷生, 等. 青海湖区不同水体介形类分布特征的初步研究[J]. 微体古生物学报, 2006, 23(4): 425-436.  
Zhang Ling, Sun Zhencheng, An Zhisheng et al. A preliminary distribution analysis on ostracoda of different water bodies from Qinghai lake area, NW China[J]. Micropalaeontologica Sinica, 2006, 23(4): 425-436.
- [13] 孔婧, 禹娜, 赵泉鸿. 贵州省红枫湖现生介形类新纪录[J]. 微体古生物学报, 2013, 30(2): 166-174.  
Kong Qiang, Yu Na, Zhao Quanhong. New record of freshwater ostracods from the Hongfeng lake, Guizhou Province[J]. Micropalaeontologica Sinica, 2013, 30(2): 166-174.
- [14] 杨留法, 黄宝仁. 云南抚仙湖表层沉积物中的介形类及其分布规律的初步研究[J]. 科学通报, 1983, 28(10): 617-621.  
Yang Liufa, Huang Baoren. Ostracod and regularities of distribution in surface deposits in Fuxian lake in Yunnan[J]. Chinese Science Bulletin, 1983, 28(10): 617-621.
- [15] 禹娜, 赵泉鸿, 成鑫荣. 云南滇池淡水介形类新纪录[J]. 微体古生物学报, 2010, 27(4): 344-350.  
Yu Na, Zhao Quanhong, Cheng Xinrong. New record of freshwater ostracods from Dianchi lake, Yunnan Province[J]. Micropalaeontologica Sinica, 2010, 27(4): 344-350.
- [16] 杨藩, 乔子真, 张海泉, 等. 柴达木盆地新生代介形类动物群特征及环境意义[J]. 古地理学报, 2006, 8(2): 143-156.  
Yang Fan, Qiao Zizhen, Zhang Haiquan, et al. Features of the Cenozoic ostracod fauna and environmental significance in Qaidam Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(2): 143-156.
- [17] 黄宝仁, 杨留法, 范云琦. 西藏现代湖泊表层沉积物中的介形类[J]. 微体古生物学报, 1985, 2(4): 376-396.  
Huang Baoren, Yang Liufa, Fan Yunqi. Ostracodes from surface deposits of recent lakes in Tibet[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 1985, 2(4): 376-396.
- [18] Mischke S, Herzschuh U, Massmann G. An ostracod-conductivity transfer function for Tibetan lakes[J]. Journal of Paleolimnology, 2007, 38: 509-524.
- [19] Mischke S, Bößneck U, Diekmann B. Quantitative relationship between water-depth and sub-fossil ostracod assemblages in Lake Donggi Cona, Qinghai Province, China[J]. Journal of Paleolimnology, 2010, 43: 589-608.
- [20] 刘俊英, 王海雷, 袁鹤然. 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[J]. 地质学报, 2010, 84(11): 1668-1679.  
Liu Junying, Wang Hailei, Yuan Heran. Climatic evolution since the Late Pleistocene in the S Kazhig lake area, Tibet, based on microfossil records[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(11): 1668-1679.
- [21] 杨留法, 范云琦, 黄宝仁. 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[J]. 海洋湖沼通报, 1982, 1: 20-28.  
Yang Liufa, Fan Yunqi, Huang Baoren. Relation between ostracode distribution in surface deposits and water salt of recent lakes in Xizang Plateau[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1982, 1: 20-28.
- [22] 赵宇虹. 不同pH值水溶液对现生介形类壳体保存的影响[J]. 微体古生物学报, 1990, 7(1): 1-8.  
Zhao Yuhong. Preliminary studies on effects of different pH values on carapaces of living ostracods[J]. Micropalaeontologica Sinica, 1990, 7(1): 1-8.
- [23] Whatley R C, Wall D R. A preliminary account of the ecology and distribution of recent ostracoda in the Southern Irish Sea[C]//The Taxonomy, Morphology and Ecology of Recent Ostracoda. Edinburgh: Oliver & Boyd Press, 1988, 268-298.
- [24] Klassen R W, Delorme L D. Geology and paleontology of Pleistocene deposits in Southwestern Manitoba[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1967, 4: 433-447.
- [25] Delorme L D. Ostracods as Quaternary paleoecological indicators[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1969, 6: 1471-1476.
- [26] 刘俊英, 郑绵平, 王海雷. 古昆仑湖地区183—90 kaBP间的微体古生物与环境变迁[J]. 湖泊科学, 2010, 22(5): 739-748.  
Liu Junying, Zheng Mianping, Wang Hailei. Microfossils and environmental change in Paleo-Kunlun lake area during 183—90 kaBP[J]. Journal of Lake Sciences, 2010, 22(5): 739-748.

(责任编辑 吴晓丽)

附表1 西藏阿里、那曲地区各样点环境因子测定值

Appendix 1 Environmental factors values of each sample in Ali and Naqu regions, Tibet

序号	样品号	采样点	位置	电导率/ ( $\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	溶解氧/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	pH值	碳酸盐/%	总有机碳/ %	总磷/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	硝酸盐/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	亚硝酸盐/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	属/ 种数	丰度/ ( $50\text{g}^{-1}$ )
1	xz-1	那曲西浅水坑	31°34'15.78"N 91°31'30.65"E	815	5.99	9.16	24.00	5.88	0.464	0.515	-0.012	4/4	54
2	xz-2	懂错	31°35'36"N 91°07'29"E	19880	6.43	10.12	23.53	5.95	0.443	0.252	0.326	—	—
3	xz-3	蓬错	31°23'37.2"N 90°56'39.1"E	14710	5.70	10.08	12.54	2.64	0.426	-0.043	0.072	1/1	34
4	xz-4	那曲西浅水坑	31°23'56.1"N 90°53'45.1"E	479	4.83	8.56	13.64	4.08	0.240	0.383	-0.012	—	—
5	xz-5	班戈西小湖泊	31°29'49.6"N 89°55'37.8"E	1353	5.91	10.56	21.34	2.53	0.231	0.680	0.523	1/1	5
6	xz-6	班戈西小湖泊	31°29'29.9"N 89°55'12.1"E	504	6.28	11.14	11.65	2.42	0.253	0.006	-0.008	1/1	1
7	xz-7	班戈西浅水坑	31°28'41.9"N 89°55'03.4"E	303	4.89	8.68	15.50	1.32	0.259	0.517	-0.013	2/2	2
8	xz-8	班戈西小湖泊	31°28'17.6"N 89°54'07"E	355	4.79	9.01	5.76	5.45	0.259	0.218	-0.006	4/4	63
9	xz-9	班戈西小湖泊	31°28'32.3"N 89°53'4.6"E	344	6.55	9.01	49.22	4.24	0.234	0.514	-0.015	6/6	49
10	xz-10	班戈西小湖泊	31°28'26.5"N 89°53'08.2"E	418	5.16	8.76	57.36	6.52	0.204	0.352	-0.024	5/5	469
11	xz-11	班戈西小湖泊	31°28'10.1"N 89°53'49.6"E	327	6.26	9.62	26.27	10.68	0.238	0.231	0.009	4/4	93
12	xz-12	班戈西小湖泊	31°28'55.5"N 89°52'11.5"E	650	8.50	10.95	5.59	5.59	0.271	0.729	0.119	1/1	6
13	xz-13	班戈西浅水坑	31°28'15.9"N 89°48'45.9"E	503	7.73	8.95	55.85	4.40	0.254	0.389	0.015	4/5	290
14	xz-14	班戈湖西小湖	31°36'25.8"N 89°37'38.5"E	35400	5.46	9.65	20.30	3.14	1.038	0.119	0.089	—	—
15	xz-15	路边浅水坑	31°36'33.8"N 89°37'32.9"E	33800	8.52	9.68	30.69	9.98	1.153	-0.058	2.869	—	—
16	xz-16	班戈西小湖	31°36'40.6"N 89°37'06.6"E	1389	7.59	10.69	19.48	1.57	0.276	0.652	-0.038	2/2	5
17	xz-17	班戈西小湖	31°36'40.6"N 89°36'46.3"E	484	7.02	10.26	21.84	5.65	0.284	-0.052	-0.036	—	—
18	xz-18	班戈西小湖	31°36'56.7"N 89°35'55.5"E	694	8.36	9.97	11.00	1.74	0.510	0.576	-0.004	—	—
19	xz-19	班戈西湖泊	31°29'46.6"N 88°56'27.8"E	6050	5.59	10.34	18.06	2.92	0.275	0.771	-0.006	—	—
20	xz-20	班戈西湖泊	31°32'38.6"N 88°52'18.0"E	274	5.86	9.53	27.49	4.88	0.307	0.484	0.083	2/2	6
21	xz-21	错那	31°39'08.4"N 88°51'06.8"E	413	6.22	9.03	—	—	—	—	—	—	—
22	xz-22	错那对面小湖	31°39'54.0"N 88°49'24.9"E	7490	6.34	11.43	47.39	6.94	0.296	0.947	0.672	—	—
23	xz-23	班戈西湖泊	31°47'08"N 88°27'06"E	437	5.26	8.79	11.94	1.63	0.224	0.522	0.009	—	—
24	xz-24	班戈西湖泊	31°47'35.9"N 88°27'03.7"E	3320	5.88	9.25	31.33	1.70	0.269	0.084	0.037	—	—
25	xz-25	班戈西小湖	31°50'22.4"N 88°04'33.6"E	311	5.58	8.48	8.34	2.73	0.293	0.248	0.101	—	—
26	xz-26	洞错	32°50'32.64"N 84°40'43.46"E	65000	5.14	9.07	22.67	1.91	0.275	0.463	0.241	—	—
27	xz-27	麻米错	32°07'06.5"N 83°36'18.2"E	104900	4.13	8.52	18.08	1.44	0.250	-0.015	-0.021	—	—
28	xz-28	改则西湖泊	32°16'15"N 83°50'22.1"E	10770	5.92	9.77	30.68	1.95	0.855	0.738	-0.019	—	—
29	xz-29	改则西湖泊	32°20'09.3"N 83°43'45.0"E	11950	6.66	9.42	28.94	1.38	8.344	2.007	-0.061	1/1	6
30	xz-30	改则西湖泊	32°21'26.7"N 83°42'11.3"E	48800	6.22	9.78	23.95	1.57	2.801	1.743	1.397	—	—
31	xz-31	改则西湖泊	32°26'26.5"N 83°12'27"E	2080	5.65	9.63	57.30	1.72	0.192	0.257	-0.013	3/3	155
32	xz-32	改则西湖泊	32°26'35.9"N 83°12'01.4"E	565	5.73	9.00	44.23	1.16	0.175	0.139	1.862	—	—
33	xz-33	改则西湖泊	32°26'34.4"N 83°11'55.8"E	844	6.14	9.03	60.42	1.42	0.187	0.156	-0.004	—	—
34	xz-34	改则西湖泊	32°26'30.7"N 83°11'47.6"E	70300	5.23	9.49	54.42	1.95	0.225	0.270	4.003	—	—
35	xz-35	改则西湖泊	32°26'35.6"N 83°11'55.6"E	1088	6.20	8.88	63.55	1.58	0.193	0.368	0.026	—	—
36	xz-36	改则西湖泊	32°25'27.08"N 83°0'27.5"E	2610	5.53	9.71	38.35	0.91	0.198	0.198	2.023	—	—
37	xz-37	改则西湖泊	32°24'43.85"N 82°58'39.29"E	35400	5.16	9.26	19.39	0.87	3.634	0.883	0.014	2/2	2
38	xz-38	雄巴乡湖泊	32°3'50.8"N 81°57'19.19"E	940	6.22	9.56	10.80	1.54	0.301	0.599	1.093	—	—
39	xz-39	日土西湖泊	33°28'47.14"N 80°17'6.5"E	50200	6.16	9.61	25.83	1.31	1.065	0.109	0.059	2/2	10
40	xz-40	日土西湖泊	33°29'56.22"N 80°17'8.99"E	49900	5.31	9.60	51.90	4.05	1.040	0.122	0.082	—	—
41	xz-41	日土西浅水坑	33°31'51.2"N 80°15'20.41"E	81900	5.78	8.13	60.36	2.23	0.674	-0.003	-0.005	4/5	121
42	xz-42	日土西湖泊	33°33'10.94"N 80°9'8.68"E	150800	3.28	8.22	30.12	0.82	0.351	0.369	2.406	4/4	10
43	xz-43	日土西湖泊	33°34'2.71"N 79°56'57.73"E	942	7.73	8.64	56.49	4.67	0.182	0.606	0.010	7/11	467
44	xz-44	班公错西北岸	33°32'28.97"N 79°54'56.16"E	932	5.68	9.03	15.94	1.47	0.240	0.504	0.234	5/6	21
45	xz-45	班公错东南岸湿地	33°26'15.79"N 79°45'52.27"E	2810	8.77	9.70	33.54	4.06	0.227	0.870	-0.029	6/9	227
46	xz-46	日土西湖泊	33°6'13.61"N 80°22'7.5"E	4970	5.27	10.14	17.42	3.07	0.326	0.946	0.336	2/2	4
47	xz-47	日土西湖泊	33°6'56.1"N 80°14'37.93"E	1646	6.67	9.48	11.34	1.27	0.263	0.723	0.032	—	—
48	xz-48	日土西湖泊	33°6'11.02"N 80°11'45.85"E	240	6.77	10.41	1.44	1.58	0.199	0.735	1.859	3/4	73
49	xz-49	日土西河流	33°1'22.37"N 79°48'27.97"E	216	7.21	9.56	14.28	1.37	0.203	0.128	0.002	2/2	6

附表2 西藏阿里、那曲地区22种介形类在各采样点中的出现频度  
Appendix 2 Frequency of species ostracodes in sample sites of Ali and Naqu regions, Tibet %

属种	XZ-1	XZ-3	XZ-5	XZ-6	XZ-7	XZ-8	XZ-9	XZ-10	XZ-11	XZ-12	XZ-13	XZ-16	XZ-20	XZ-29	XZ-31	XZ-37	XZ-39	XZ-41	XZ-42	XZ-43	XZ-44	XZ-45	XZ-46	XZ-48	XZ-49
<i>Leucocythere dilatata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	4.13	0	2.14	23.81	2.2	0	0	0
<i>Leucocythere tropis</i>	0	0	0	0	0	71.43	0	1.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leucocythere mirabilis</i>	0	0	0	0	0	0	6.12	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leucocythere subsculpta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.43	14.29	0.88	50	0	0
<i>Leucocythere parasculta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2.15	0	7.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Leucocythere postericosta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	74.38	60	0.86	0	0	0	54.79	0
<i>Limnocythere dubiosa</i>	7.41	100	100	100	0	19.05	2.04	8.53	20.43	100	7.59	80	0	100	38.71	0	0	6.61	10	3.21	4.76	12.33	50	0	0
<i>Limnocytherellina kunlunensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.67	0	0	0	0	0	0	54.82	0	44.05	0	0	0
<i>Limnocytherellina trispinosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.71	0	1.32	0	0	0
<i>Limnocytherellina bispinosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	11.99	0	36.56	0	0	0
<i>Ilyocypris bradyi</i>	22.22	0	0	0	0	0	14.29	7.46	5.38	0	40.34	0	83.33	0	27.1	50	0	0.83	0	9.85	33.33	0	0	4.11	83.33
<i>Ilyocypris echinata</i>	0	0	0	0	0	4.76	0	0	0	0	9.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ilyocypris xizangensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	10	0	0	0	0	0	0
<i>Candona andida</i>	0	0	0	0	50	4.76	69.39	71	72.04	0	34.83	0	0	0	0	0	0	0	0	2.14	19.05	0	0	23.29	0
<i>Candona awsoni</i>	9.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Candona houae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.05	0	0	0	0	0	17.81	0
<i>Candona lijiangensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.76	0	0	0
<i>Candoniella lactea</i>	61.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.43	0	0	0	0	0
<i>Eucypris rischtanica</i>	0	0	0	0	0	0	6.12	11.3	0	0	0	0	0	34.19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16.67
<i>Heterocypris salinus</i>	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.43	0	0.44	0	0	0
<i>Cypricercus moguntiensis</i>	0	0	0	0	0	0	2.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.44	0	0	0
<i>Cyprideis littoralis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.76	0	0	0	0