

# 青海湖硅藻组合及其季节变化 ——来自沉积物捕获器的初步研究

彭玉梅<sup>1,2</sup>, RIOUAL Patrick<sup>3</sup>, 金章东<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地球环境研究所 黄土与第四纪地质国家重点实验室, 西安 710075;  
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院地质与地球物理研究所 新生代地质与环境重点实验室, 北京 100029)

**摘要:**通过对青海湖捕获器中2010年7月至2011年10月份沉积物样品与青海湖湖岸7个地点表层样品的分析,获得青海湖现代硅藻组合及季节变化特征。捕获器沉积物样品中共鉴定出硅藻2纲32属56种,主要为咸水种与微咸水种。其中,优势种为*Berkeleya rutilans*、*Cocconeis placentula* var. *euglypta*、*Cyclotella choctawhatcheeana* 和 *Nitzschia inconspicua*,此四种占总数的82%以上。硅藻组合变化具显著的季节性差异,冬季主要以浮游种*Cyclotella choctawhatcheeana* 占优势;非冰封期则以附生种*Berkeleya rutilans*、*Nitzschia inconspicua* 与 *Cocconeis placentula* var. *euglypta* 占优势。青海湖湖水具有高碱度,硅藻的保存率不高,其保存率具有夏季高、冬季低的季节性变化,但这不是造成硅藻组合显著季节性变化的主要原因,其季节性变化主要取决于水生植物的生长与湖区冰情。

**关键词:**青海湖; 硅藻; 时间序列捕获器; 季节变化; 保存率

中图分类号: Q948.8 文献标志码: A 文章编号: 1674-9901(2013)03-1338-08

## A brief assessment of diatom assemblages and seasonal dynamics in Lake Qinghai: a time-series sediment trap study

PENG Yu-mei<sup>1,2</sup>, RIOUAL Patrick<sup>3</sup>, JIN Zhang-dong<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Loess and Quaternary Geology, Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Key Laboratory of Cenozoic Geology and Environment, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Thirty sediment trap samples collected between July 2010 and October 2011 in Lake Qinghai and 21 modern samples collected in September 2012 offshore Lake Qinghai were analyzed for diatoms. Fifty-six diatom species belonging to 32 genera were identified. The diatom community was mainly composed of brackish species with a few freshwater species. *Berkeleya rutilans*, *Cocconeis placentula* var. *euglypta*, *Cyclotella choctawhatcheeana* and *Nitzschia inconspicua* were the dominant species, which accounted for more than 82% of the total diatom flux. Seasonal variation was distinct in the diatom assemblage succession. During winter, planktonic diatom *Cyclotella choctawhatcheeana* dominated in the trap samples, while epilithic and epiphytic species dominated during non-ice-covered period. However, on account of the high alkalinity in Lake Qinghai, dissolution of diatom is severe. Although the severity of dissolution also changed seasonally, as behaving as a high preservation in winter and low in summer, it was not the main factor driving the seasonal changes in diatom assemblage. We suggested that the seasonal variation in diatom assemblage might depend upon other factors, such as the growth of aqueous plant and ice cover.

**Key words:** Qinghai Lake; diatoms; sediment trap; seasonality; preservation

硅藻是一类具有色素体的单细胞植物,作为水体中的初级生产者,分布广泛且数量巨大。它是一种优良的指示生物,对水体pH、营养浓度、盐度等环境因子十分敏感,因而其种属组合与丰度变化能很好地反映水体理化性质与生物环境(Sommer et al, 1986; Flower et al, 2001)。硅藻细胞壁高度硅质化,能很好地保存在沉积物中(小泉格,1984),在古湖沼研究中被广泛地运用于湖泊古环境的重建(Stoermer and Smol, 2004)。

硅藻模型的建立与完善及化石沉积记录的精确解读,都以掌握每种硅藻的个体生态特征为基础(Tibby, 2004; Reid, 2005)。我国的硅藻定量化研究工作及现代硅藻数据库的建立工作仍处于起步阶段。虽然60年代对青海湖进行过较为系统的考察(中国科学院兰州地质研究所等,1979),但是硅藻的鉴定和分类没有细化到种;最近的研究发现青海湖中发育大量的淡水硅藻(姚维志等,2011),这与青海湖的微咸水环境是相矛盾的,因此有关青海湖硅藻的研究还有待进一步深入调查研究。目前,随着扫描电镜的广泛应用,硅藻的分类鉴定不断丰富与更新,为细化青海湖硅藻的分类提供了有利条件;此外,沉积物捕获器已成功应用于藻类的季节性研究中(Horn and Horn, 1990; Rioual et al, 2009; Wang et al, 2012)。沉积物捕获器具有的小尺度时间序列的样品采集,能够为我们提供更详细的数据,得到更精准的硅藻研究模型(Smol, 1990),同时也能够了解硅藻沉积过程的重要信息(Ryves et al, 2003)。

本文我们通过沉积物捕获器于2010年7月至2011年10月期间在青海湖南盆获得的连续样品,获得了青海湖沉积物捕获器中硅藻组合的分布特征与季节变化,为青海湖地区现代生态环境研究与古环境重建提供必要的基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品的采集

沉积物捕获器在青海湖南盆于2010年7月13日至2011年10月8日获得三批共33个沉积样品,三批样品设置的捕获时间间隔不同(金章东等,2013,本专辑)。第一批捕获器样品间距为10天,第二批为18.50天,第三批为14天。由于一些时段样品太少,无法分析硅藻,最终我们只分析了30个样品。其中,2010年7月至2011年6月初的样品来自于采用孔径为63 μm的尼龙筛子淋洗和湿筛后

>63 μm部分,2011年6月至10月的样品则为未经筛选的沉积物全样。

另外,我们于2012年9月在青海湖岸与湖中海心山边岸7个采样点(图1),共采集各类底栖硅藻样品21个,包括附生硅藻样品9个、沙生硅藻样品3个、沉积硅藻样品4个以及附着在捕获器上的硅藻样品5个,用以研究该区现生硅藻分布情况。

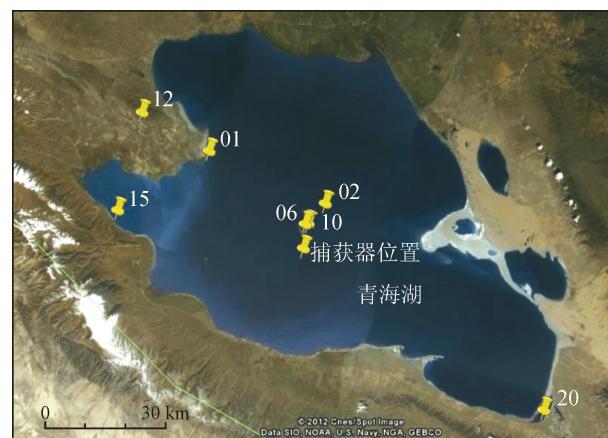


图1 青海湖捕获器位置及现生硅藻样品采样点分布

Fig. 1 Map of Lake Qinghai showing locations of sediment trap and sites sampled for living diatoms communities

### 1.2 样品的处理与分析

将捕获器中的沉积物样品放入真空冷冻干燥仪进行冷冻干燥后,称取适量干样品,用30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消解,去除有机质(Renberg, 1990)。将制备好的样品适度稀释,滴于盖玻片上,自然风干后用Naphrax®封片。封片前在捕获器的样品中加入适量已知浓度的微体小球,便于精确地计算样品中的硅藻浓度(Battarbee and Kneen, 1982)。利用NIKON OLYMPUS BX51在1000倍油镜下完成硅藻的鉴定与统计并拍照记录,每个样品统计不少于300个硅藻壳体,对于个别硅藻极少的样品,至少统计200个硅藻壳体。硅藻的鉴定与分类主要参照Krammer和Lange-Bertalot(1986, 1988, 1991a, b)、Lange-Bertalot(2000)、Snoeijs及其同事们(1993, 1994, 1995, 1996, 1998)等人的工作以及其他一些文献(Edlund et al, 2009; Trobajo et al, 2013)。对于一些难以区分的属种,用扫描电镜采集照片进一步确认。统计硅藻的数目时,对每一个观察到的硅藻按照保存完整与否分别统计,得到每个样品中保存完好的个数与鉴定统计总个数的比,即保存率(*F*),用以评价硅藻的保存状况:

$$F = N_g / N_2$$

其中,  $N_g$  为保存完整的硅藻个数,  $N_2$  为硅藻计数个数。

由于年际变化大, 为更好地表示硅藻组合的季节性变化, 本文用各属种的相对浓度来提供种群结构信息, 并选用相对浓度在 1% 以上的属种用于统计分析。根据已知浓度微体小球的个数, 可以准确的计算出硅藻的浓度:

$$C = C_1 G_1 N_2 / N_1 G_2$$

其中,  $C_1$  为小球浓度,  $G_1$  为加入的微体小球溶液的质量,  $N_1$  为小球计数个数,  $G_2$  为所用样品干重。

本研究所使用的 Mark 8-13 型时间序列沉积物捕捉器可以连续收集到  $0.25 \text{ m}^2$  范围内的沉积物颗粒, 计算出每平方米水域中硅藻日通量( $\text{瓣} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ ):

$$\text{Flux} = C \cdot G / 0.25T$$

其中,  $G$  为干样品总质量,  $T$  为该样品采集天数。

最后利用 C2 Data Analysis 程序 (Juggins, 2003—2010) 对数据进行处理, 统计硅藻组合、保存率与总浓度随时间的变化趋势。

## 2 结果与讨论

### 2.1 青海湖硅藻属种概况

本次研究在捕获器沉积物样品中共鉴定出硅藻

2 纲 32 属 56 种(表 1)。其中, 优势种为 *Berkeleya rutilans*、*Cocconeis placentula* var. *euglypta*、*Cyclotella choctawhatcheeana* 和 *Nitzschia inconspicua*, 此四者生物量之和占总生物量的 82%, 而其余 52 种硅藻仅占不到 1/5。

捕获器中硅藻主要为咸水种与微咸水种, 个别淡水种如 *Achnanthidium jackii*、*Nitzschia dissipata*、*Brachysira neoexilis* 等出现的次数与丰度都很低(表 1)。通过对沿岸及布哈河、黑马河口分布的硅藻进行分析, 发现捕获器中出现的淡水种与这些淡水河流中的优势种一致, 因此可以推断这些种属本身并未在湖中生长, 而是随河水带入湖中, 并进入捕获器里。又如, *Planothidium delicatulum* 为典型的海洋或咸水湖沙滩上的附沙生硅藻(Snoeijs, 1993), 在捕获器样品中也时有出现。这些硅藻在捕获器中的出现表明青海湖区域风大浪高, 对硅藻的分布影响很大。根据青海湖考察报告(中国科学院兰州地质研究所等, 1979), 布哈河流入青海湖后主流向东流动, 经海心山以北, 再向东为沙岛西延部分的湖底高低所阻, 部分折转向南西、北西方向流动, 形成青海湖的一个顺时针的主体环形湖流(图 1)。由此可以推测, 这些淡水种与沙生种可能是由青海湖的这个主体环形湖流带到湖心并沉积在捕获器中。

表 1 捕获器中硅藻在 30 个样品中出现的次数、最大百分数及其与前人研究  
(中国科学院兰州地质研究所等, 1979) 的对比

Table 1 Occurrence and maximum percentages of the diatom species identified in 30 sediment trap samples analyzed.  
Comparison with previous report of diatom genera found in Lake Qinghai  
(Institute of Lanzhou Geology, Chinese Academy of Sciences, et al, 1979).

硅藻属名(1979)	硅藻属种(2010—2011)	最大百分数	出现次数
<i>Achnanthes</i>	<i>Achnanthidium jackii</i>	1.45	8
	<i>Astartiella bahusiensis</i>	15.56	22
	<i>Planothidium delicatulum</i>	7.32	13
<i>Amphiprora</i>	<i>Entomoneis paludosa</i> var. <i>subsalina</i>	0.30	8
<i>Amphora</i>	<i>Amphora aff. binirkiana</i>	0.98	9
	<i>Amphora commutata</i>	1.95	9
	<i>Amphora soninkhishigae</i>	10.37	19
	<i>Halamphora coffeaeformis</i>	2.90	17
	<i>Halamphora gasseae</i>	3.25	18
	<i>Halamphora sp#1</i>	0.32	2
	<i>Halamphora sp#2</i>	0.32	2
<i>Cocconeis</i>	<i>Halamphora sp#3</i>	0.63	1
	<i>Halamphora tumida</i>	4.88	24
	<i>Cocconeis pediculus</i>	0.29	2
	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	0.97	1

(续表1)

硅藻属名(1979)	硅藻属种(2010—2011)	最大百分数	出现次数
<i>Cocconeis</i>	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>placentula</i>	17.68	3
	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i>	85.63	29
	<i>Cocconeis</i> sp#1	0.26	1
<i>Cyclotella</i>	<i>Cyclotella choctawhatcheeana</i>	84.81	30
	<i>Cyclotella ocellata</i>	1.31	2
	<i>Puncticulata radiosa</i>	2.41	2
<i>Cymbella</i>	-		
<i>Diatoma</i>	<i>Diatoma moniliformis</i>	0.30	10
	<i>Diatoma tenuis</i>	1.66	2
	<i>Diatoma vulgare</i>	0.60	1
<i>Epithemia</i>	-		
<i>Fragilaria</i>	<i>Opephora krumbeinii</i>	4.34	23
<i>Gomphonema</i>	-		
<i>Gyrosigma</i>	<i>Gyrosigma</i> sp#1	9.18	17
<i>Navicula</i>	<i>Adalfia minuscula</i>	0.30	2
	<i>Craticula</i> sp#1	0.60	3
	<i>Fallacia pygmaea</i>	0.30	2
	<i>Hippodonta</i> sp#1	1.16	16
	<i>Navicula antonii</i>	0.26	1
	<i>Navicula phyllepta</i>	5.40	27
	<i>Navicula phyleptosoma</i>	1.52	1
	<i>Navicula</i> sp cf <i>salinicola</i>	1.16	4
	<i>Parlibellus protracta</i>	0.33	3
<i>Placoneis</i>	<i>opportuna</i>	0.52	1
<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia</i> aff <i>bergii</i>	0.85	3
	<i>Nitzschia agnita</i>	2.65	14
	<i>Nitzschia dissipata</i>	1.22	7
	<i>Nitzschia elegantula</i>	4.55	20
	<i>Nitzschia inconspicua</i>	59.77	30
	<i>Nitzschia</i> sp cf <i>incrustans</i>	3.47	18
	<i>Tryblionella acuminata</i>	0.60	4
	<i>Tryblionella constricta</i>	0.33	6
<i>Pinnularia</i>	<i>Biremis</i> sp#1	5.84	14
<i>Rhoicosphenia</i>	<i>Rhoicosphenia adriatica</i>	0.28	2
<i>Stauroneis</i>	<i>Stauronella</i> sp cf <i>indubitabilis</i>	3.66	5
<i>Surirella</i>	<i>Surirella peisonis</i>	0.60	11
<i>Synedra</i>	-		
-	<i>Anomoeoneis costata</i>	0.95	7
-	<i>Berkeleya rutilans</i>	57.95	22
-	<i>Brachysira aponina</i>	3.88	16
-	<i>Brachysira neoexilis</i>	0.63	3
-	<i>Gomphonitzschia</i> sp#1	0.23	1
-	<i>Hantzschia amphioxys</i>	0.30	1
-	<i>Stephanodiscus minutulus</i>	13.09	1

注:第一列为《青海湖综合考察报告》中所报导的属,第二列为捕获器样品中硅藻的属种名称。“-”表示未发现相应的属种。

1961—1962年的青海湖综合考察对该区的硅藻分布的调查,共发现18个属,本次研究则发现32个属(表1)。虽然其中11个属的增加可能是由于名称变更的缘故,例如新出现的*Halaphora tumida*曾被划入*Amphora*属,*Tryblionella*曾命名为*Nitzschia*等。然而,*Anomoeoneis*、*Berkeleya*、*Brachysira*、*Gomphonitzschia*、*Hantzschia*、*Stephanodiscus*这六个属及它们的曾用名都未见报导,特别是*Berkeleya*在本次调查中最高含量达58%,为主要优势种。我们认为可能有两种情况造成这种差异:1)由于气候与水体环境的变化引起的。据调查,青海湖近50年来气温以每年0.028℃的速度呈线性升高,而降水波动变化却并无明显增加,气候变化导致青海湖水位降低近3m,盐度上升了22.5%(陈亮等,2011),而温度、水深、盐度等环境因子都是影响硅藻组合变化的重要因素(Battarbee,2002),因此青海湖的生物多样性可能发生了变化,导致生物种类近几十年发生显著的变化;2)样品的代表性和硅藻保存差异导致的。时间序列捕获器能够捕获全年所有时段的硅藻生长的信息。虽然60年代开展了非常系统的工作,但是并未连续监测,而硅藻具有非常明显的季节性生长特点,因此可能遗失了一些时段的硅藻。需要指出的是,过去报导的*Cymbella*、*Gomphonema*、*Synedra*、*Epithemia*四个属虽然未在的捕获器样品中出现,但在周边现生硅藻样品中发现,这说明捕获器样品的代表性也具有一定局限性。因此,为了更加全面了解青海湖硅藻的生态与沉积等方面的信息,将来我们有必要在不同区域、不同水深放置更多的捕获器。

## 2.2 青海湖硅藻组合特征与季节变化

硅藻主要属种(>0.5%)相对丰度的变化如图2所示,其组合变化具有鲜明的季节性,尤其是主要优势种的演替,反映了硅藻对湖水环境随季节变化的迅速响应。湖区硅藻组合在非封冻期以兼性浮游种*Berkeleya rutilans*、*Nitzschia inconspicua*与附生种*Cocconeis placentula* var. *euglypta*占优势,而封冻期内则以浮游种*Cyclotella choctawhatcheeana*占据绝对的优势。

非封冻期内,硅藻组合的季节变化,主要表现为*Berkeleya rutilans*在封冻前后的大量增长,夏季*Nitzschia inconspicua*占优势地位与*Cocconeis placentula* var. *euglypta*在秋季的大量出现。兼性浮游种*Berkeleya rutilans*、*Nitzschia inconspicua*和附植生种*Cocconeis placentula* var. *euglypta*在不同季节的优势地位可以归因于以下因素。一方面,表明青海

湖区风浪作用强烈,湖水稳定性差,易发生涡动混合,水体再悬浮作用明显;夏季期间,水体状况较好且较适宜硅藻的生长与繁殖,提供其附生基质的水生植物生长繁盛(Snoeijs, 1993; 羊向东等,2003),而10—11月*Cocconeis placentula* var. *euglypta*的爆发可能是与秋季青海湖区水生植物开始凋亡有关,附生基质由于潮流的搬运作用,被带至捕获器附近时,大量附植生硅藻沉降在捕获器中。

在旱季(12月底与次年4月初),硅藻组合发生很大的变化,这两个时间恰好是青海湖完全封冻与开始解冻的时间。在这期间,*Cyclotella choctawhatcheeana*占据绝对的优势。我们推测,首先,由于冰面覆盖,水体无大风大浪干扰,湖水相对稳定,底栖硅藻难以进入捕获器中;其次,冰下光照减弱,且水温接近冰点(金章东等,2013,本专辑),不利于水生生物的生长与繁殖,附生硅藻附着基质大大减少;此外,*Cyclotella choctawhatcheeana*偏好寡营养环境,对环境有广泛的耐受度,且与水体中二氧化硅的浓度呈负相关(Genkai, 2012),而冬季是青海湖湖水中硅浓度最低的时期(中国科学院兰州地质研究所等,1979),加之冬季水体出现逆温层,水体相对稳定,为浮游种提供了良好的生境。因此,*Cyclotella choctawhatcheeana*在冰封期内大量繁殖并进入捕获器中,占据绝对优势,而附生种*Berkeleya rutilans*、*Cocconeis placentula* var. *euglypta*和*Nitzschia inconspicua*相对丰度则大大减小。

另一个可能影响硅藻组合变化的因素是其在湖水中的溶解。从F指数来看(图2),青海湖中硅藻整体来说保存不是很理想,且变化趋势明显,具有季节性的差异,夏季较高而春秋冬三季较低。最大值为0.71,出现在2010年7月,最小值为0.11,出现在2011年2月。我们认为,青海湖较低的硅藻保存率主要取决于湖水的高碱度的环境,而出现季节变化的原因,则可能与湖水中硅浓度的变化有关。5—6月份开始,为青海湖的雨季,加之气温回暖,冰雪消融,大量河水与地下水进入湖中,带来大量的可溶性Si,F指数较高;至10月前后,青海湖开始进入旱季,水体中溶解Si浓度降低(中国科学院兰州地质研究所等,1979),不利于硅质壳体的保存,F指数相对降低。

虽然硅藻的保存率也表现出季节性的变化,但这不是造成硅藻组合显示明显季节性变化的原因。前人研究发现,溶解程度高的情况下样品中硅藻组合主要由较难溶解的属种构成,易溶解的属种则已

基本消失(Ryves et al., 2006)。在我们的样品中,即使在F指数较低(F指数低,表示整体溶解率高)的时期,硅藻也显示出显著的季节性变化特征,如严冬冰封期优势种为*Cyclotella choctawhatcheeana*;春季优势种为*Berkeleya rutilans*;秋季则无明显绝对优势种。此外,由图2可以发现,一些壳体薄、易溶解的属种,

如*Berkeleya rutilans*,在F指数小的时期反而占主导,而壳体厚、溶解率较低的种属(如*Nitzschia*与*Cocconeis*)相对丰度却较低。这些都表明捕获器中硅藻组合的变化并非由硅藻的溶解所造成的。通过浮游种和附生种的季节性演替,我们认为青海湖硅藻组合季节性变化主要反映水生植物的繁茂与湖区冰情。

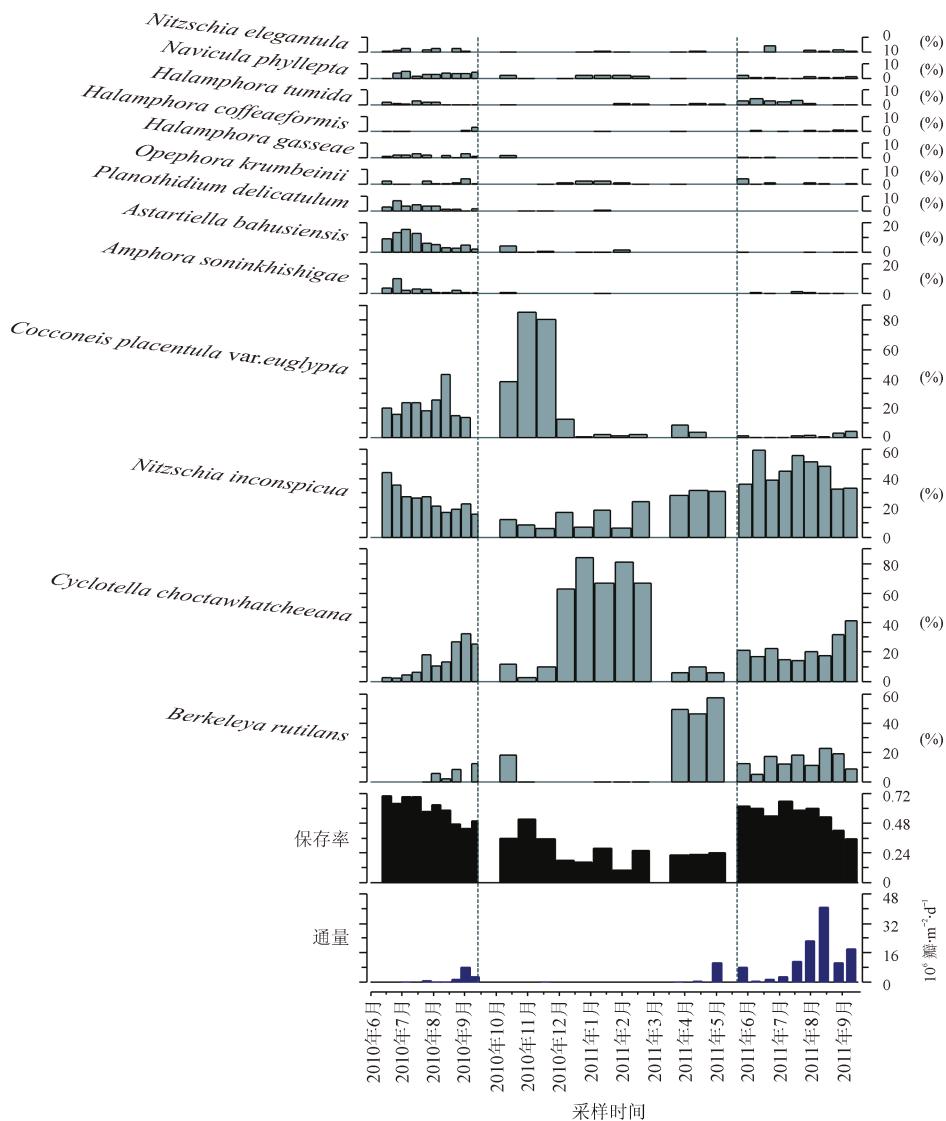


图2 2010年7月至2011年10月捕获器中主要硅藻属相对百分比、保存率及生物量随时间的变化(条形图的宽窄对应于样品采集的时间长短。虚线表示不同样品批次)

Fig. 2 Relative percentages of the most frequent diatom taxa, F index and diatom flux recorded in the sediment traps between July 2010 and October 2011. (The width of the bars represents the duration of sampling. The dashed lines represent the different sets of samples).

需要指出的是,青海湖沉积物捕获器中硅藻通量的变化从年际变化来看(图2),前两批样品与第三批样品差别较大,2011年7月至10月间平均生物量为 $1.6 \times 10^8$ 瓣· $m^{-2} \cdot d^{-1}$ ,2010年同期为 $1.5 \times 10^7$ 瓣· $m^{-2} \cdot d^{-1}$ ,近一个数量级的差

别,除了湖水环境的年际不同外,还可能和前后样品的处理方式有关。在前两次淋洗过程中,大小硅藻都有损失,引起通量降低,但是根据硅藻组合的结果来看,这个差别对组合及其百分比的影响似乎不是很大。

### 3 结论

青海湖中硅藻以咸水种与微咸水种为主,在河口与岸边湿地分布有淡水种与微咸水种。时间序列捕获器的连续研究发现,沉积物中共有硅藻32属56种,其组合变化四季分明,主要表现为浮游种和附生种的演替。水生植物的繁茂与湖区冰情是影响硅藻组合季节性变化的两个重要原因。

研究表明,利用时间序列捕获器能够方便有效地获得湖中硅藻种属及其组合的相关信息,但要全面认识青海湖中硅藻组合的年际变化及其对环境变化的响应,还需要更长时间的监测,并且对同期的水化学进行季节性变化研究。通过与前人的研究结果对比,发现利用捕获器研究湖中硅藻具有一定的优势,但在对全湖的研究上仍有一定局限,在以后的研究中在不同样点不同深度布设更多捕获器很有必要。

**致谢:**感谢中国科学院地质与地球物理研究所旺罗老师与中国科学院地球环境研究所张飞博士对本文完成给予的帮助。

### 参考文献

- 陈亮,陈克龙,刘宝康,等. 2011. 近50a青海湖流域气候变化特征分析[J]. 干旱气象, 29(4): 483—487. [Chen L, Chen K L, Liu B K, et al. 2011. Characteristics of climate variation in Qinghai Lake Basin during the recent 50 years [J]. *Journal of Arid Meteorology*, 29(4): 483—487.]
- 金章东,张飞,李福春,等. 2013. 青海湖湖水性质、颗粒物沉积通量季节和年际变化——来自沉积物捕获器的研究[J]. 地球环境学报, 4(3): 1306—1313. [Jin Z D, Zhang F, Li F C, et al. 2013. Seasonal and interannual variations of the lake water parameters and particle flux in Lake Qinghai: A time-series sediment trap study [J]. *Journal of Earth Environment*, 4(3): 1306—1313.]
- 小泉格. 1984. 硅藻[M]. 王开发, 郭箫民, 译. 北京: 地质出版社. [Grid K. 1984. Bacillariophyta [M]. Wang K F, Guo X M, translated. Beijing: Geological Press.]
- 羊向东,王苏民,Kamenik C, 等. 2003. 藏南沉错钻孔硅藻组合与湖水古盐度定量恢复[J]. 中国科学D辑, 33(2): 163—169. [Yang X D, Wang S M, Kamenik C, et al. 2003. The diatom assemblage and paleosalinity restoration from core samples of Chen Cu, South Tibet [J]. *Science in China(Series D)*, 33(2): 163—169.]
- 姚维志,史建全,祁洪芳,等. 2011. 2006—2010年夏季青海湖浮游植物研究[J]. 淡水渔业, 41(3): 22—28. [Yao W Z, Shi J Q, Qi H F, et al. 2011. Study on the phytoplankton in Qinghai Lake during summer of 2006—2010 [J]. *Freshwater Fisheries*, 41(3): 163—169.]
- 中国科学院兰州地质研究所, 等. 1979. 青海湖综合考察报告 [M]. 北京: 科学出版社. [Institute of Lanzhou Geology, Chinese Academy of Science, et al. 1979. *Qinghai Lake investigation report* [M]. Beijing: Science Press.]
- Battarbee R W, Jones V J, Flower R J, et al. 2002. Diatoms. In: Smol J P et al., eds. *Tracking environmental changes using lake sediments*. Vol. 3. *Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators* [M]. Kluwer Academic Publisher. 155—202.
- Battarbee R W, Kneen M J. 1982. The use of electronically counted microspheres in absolute diatom analysis [J]. *Limnology and Oceanography*, 27(1): 184—188.
- Edlund M B, Shinneman A L C, Levkov Z. 2009. Diatom biodiversity in Mongolia: A new amphoroid diatom from saline lakes in western Mongolia, *Amphora soninkhishigae* sp. nov. [J]. *Acta Botanica Croatica*, 68(2): 251—262.
- Flower R J, Dobinson S, Ramdani M, et al. 2001. Recent environmental change in North African wetland lakes: diatom and other stratigraphic evidence from nine sites in the CASSARINA Project [J]. *Aquatic Ecology*, 35: 369—388.
- Genkal S I. 2012. Morphology, taxonomy, ecology, and distribution of *Cyclotella choctawhatcheeana* Prasad (Bacillariophyta) [J]. *Inland Water Biology*, 5: 169—177.
- Horn W, Horn H. 1990. A simple and reliable method for the installation of sediment traps in lakes [J]. *International Review of Hydrobiology*, 75: 269—270.
- Juggins S. 2003—2010. C2 data analysis, version 1.6.5 [K]. Newcastle: University of Newcastle.
- Kato M, Tanimura Y, Matsuoka K, et al. 2003. Planktonic diatoms from sediment traps in Omura Bay, western Japan with implications for ecological and taphonomic studies of coastal marine environments [J]. *Quaternary International*, 105: 25—31.
- Krammer K, Lange-Bertalot H. 1986. Bacillariophyceae: Naviculaceae [M]// Ettl H, Gerloff J, Heyning H, Mollenhauer D. *Susswasserflora von Mitteleuropa*. Bd. 2, Teil 1. Gustav Fischer, Stuttgart.
- Krammer K, Lange-Bertalot H. 1988. Bacillariophyceae: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae [M]// Ettl H, Gerloff J, Heyning H, Mollenhauer D. *Susswasserflora von Mitteleuropa*. Bd. 2, Teil 2. Gustav Fischer, Stuttgart.
- Krammer K, Lange-Bertalot H. 1991a. Bacillariophyceae: Achanthaceae, Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema* Gesamtliteratur-

- verzeichnis [ M ]// Ettl H, Gerloff J, Heynig H, Mollenhauer D. Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2, Teil 4. Gustav Fischer, Stuttgart.
- Krammer K, Lange-Bertalot H. 1991b. Bacillariophyceae: Centrales, Fragilariaeae, Eunotiaceae [ M ]// Ettl H, Gerloff J, Heynig H, Mollenhauer D. Süsswasserflora von Mitteleuropa. Bd. 2, Teil 3. Gustav Fischer, Stuttgart.
- Reid M. 2005. Diatom-based models for reconstructing past water quality and productivity in New Zealand lakes [ J ]. *Journal of Paleolimnology*, 33: 13–38.
- Renberg I. 1990. A procedure for preparing large sets of diatom slides from sediment cores [ J ]. *Journal of Paleolimnology*, 4: 87–90.
- Rioual P, Chu G Q, Li D, et al. 2009. Climate-induced shifts in planktonic diatoms in lake Sihailongwan (Northeastern China): a study of the sediment trap and paleolimnological records [ C ]. Guadalajara, Mexico: 11th International Paleolimnology Symposium, 120.
- Ryves D B, Battarbee R W, Juggins S, et al. 2006. Physical and chemical predictors of diatom dissolution in freshwater and saline lake sediments in North America and West Greenland [ J ]. *Limnology and Oceanography*, 51: 1355–1368.
- Ryves D B, Jewson D H, Sturm M, et al. 2003. Quantitative and qualitative relationships between planktonic diatom communities and diatom assemblages in sedimenting material and surface sediments in Lake Baikal, Siberia [ J ]. *Limnology and Oceanography*, 48: 1643–1661.
- Schrader H J. 1971. Fecal pellets: role in sedimentation of pelagic diatoms [ J ]. *Science*, 174: 55–57.
- Smol J P. 1990. Are we building enough bridges between paleolimnology and aquatic ecology? [ J ]. *Hydrobiologia*, 214: 201–206.
- Snoeijs P. 1993. Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea [ M ]. Vol. 1. OPULUS Press.
- Snoeijs P, Vilbaste S. 1994. Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea [ M ]. Vol. 2. OPULUS Press.
- Snoeijs P, Potapova M. 1995. Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea [ M ]. Vol. 3. OPULUS Press.
- Snoeijs P, Kasperovičienė J. 1996. Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea [ M ]. Vol. 4. OPULUS Press.
- Snoeijs P, Balashova N. 1998. Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea [ M ]. Vol. 5. OPULUS Press.
- Sommer U. 1986. The periodicity of phytoplankton in Lake Constance (Bodensee) in comparison to other deep lakes of central Europe [ J ]. *Hydrobiologia*, 138: 1–7.
- Stoermer E F, Smol J P. 2004. The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences [ M ]. Cambridge University Press.
- Tibby J. 2004. Development of a diatom-based model for inferring total phosphorus in southeastern Australian water storages [ J ]. *Journal of Paleolimnology*, 31: 23–36.
- Trobajo R, Rovira L, Ector L, et al. 2013. Morphology and identify of some ecologically important small *Nitzschia* species [ J ]. *Diatom Research*, 28: 37–59.
- Wang L, Li J J, Lu H Y, et al. 2012. The East Asian winter monsoon over the last 15,000 years: its links to high-latitudes and tropical climate systems and complex correlation to the summer monsoon [ J ]. *Quaternary Science Reviews*, 32: 131–142.
- Witkowski A, Lange-Bertalot H, Metzeltin D. 2000. Diatom flora of marine coasts. Lange-Bertalot H. (ed.). Iconographia diatomologica Vol. 7 [ M ]. Ruggell: A. R. G. Gantner Verlag K. G.