

## EY60 回声探测仪在青海湖鱼类资源量评估中的应用\*

谭细畅<sup>1</sup>, 史建全<sup>2\*\*</sup>, 张 宏<sup>2</sup>, 陶江平<sup>3</sup>, 杨建新<sup>2</sup>, 祁洪芳<sup>2</sup>, 李新辉<sup>1</sup>

(1: 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 广州 510380)

(2: 青海湖裸鲤救护中心, 西宁 810016)

(3: 水利部、中国科学院水工程生态研究所, 武汉 430079)

**摘 要:** 2006年8月16–18日通过使用回声探测仪(Simrad公司EY60型, 200kHz换能器)对青海湖的鱼类资源进行了探测评估。结果表明: 青海湖裸鲤(*Gymnocypris przewalskii*)水平分布具不均匀性, 有小型鱼群聚集现象; 在不同的设定分区, 鱼类密度在0.168–12.8 ind./1000m<sup>3</sup>之间, 均值为1.16 ind./1000m<sup>3</sup>; 布哈河口鱼类较为密集, 密度最大值为12.8 ind./1000m<sup>3</sup>。初步估算青海湖裸鲤可达捕规格(体长大于20cm)个体数量为6.5×10<sup>7</sup> ind., 95%置信度区间为35.6×10<sup>7</sup>–118.4×10<sup>7</sup> ind., 应用资源密度体积法估算青海湖裸鲤的可捕资源量约为15275t。探测实验还证实, EY60回声探测仪在青海湖中进行鱼类资源评估时探测效果良好, 分析软件Sonar5可以对鱼类个体自动识别、计数, 便于进行鱼类资源量评估。

**关键词:** 青海湖; 回声探测; 鱼类资源量; 评估; EY60

## Hydroacoustic assessment of fish resources in the Lake Qinghai with EY60 echosounder

TAN Xichang<sup>1</sup>, SHI Jianquan<sup>2</sup>, ZHANG Hong<sup>2</sup>, TAO Jiangping<sup>3</sup>, YANG Jianxin<sup>2</sup>, QI Hongfang<sup>2</sup> & LI Xinhui<sup>1</sup>

(1: Pearl River Fishery Research Institute, Chinese Academic of Fishery Science, Guangzhou 510380, P.R.China)

(2: Qinghai Naked Carp Rescue Center, Xining 810016, P.R.China)

(3: Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources & Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P.R.China)

**Abstract:** A SIMRAD EY60 echo-sounder with 200kHz split-beam transducer was used to survey the fish school in Lake Qinghai on August 16–18, 2006. The transducer was tied on the side of the ship downward at one meter depth. The cruising speed is 8–10km/h. Also, a GPS was connected with EY60 echo-sounder for obtaining the survey position data. The pulse duration was set at 64μs. At post-processing, the Sonar5-pro software (versions 5.9.6) was used to analyze the echo-sounder data. The results show that the *Gymnocypris przewalskii* is not uniform distribution in horizontal direction in Lake Qinghai, and appears the feature of small aggregation. For different survey subarea, the density of fish is 0.168–12.8 ind./1000m<sup>3</sup>, and the average is 1.16 ind./1000m<sup>3</sup> where the maximum appeared near the Buha estuary. The biomass of catchable size is estimated at 6.5×10<sup>7</sup> ind. near 15275 ton, at 35.6×10<sup>7</sup>–118.4×10<sup>7</sup> ind. with 95% confidence interval. Our results also indicated that the EY60 echo-sounder is suitably applicable in Lake Qinghai to estimate the fish productions effectively.

**Keywords:** Lake Qinghai; hydroacoustic; fish resources; assessment; EY60

青海湖是我国面积最大的内陆咸水湖泊, 地处青藏高原, 湖泊面积为4273.7km<sup>2</sup>, 位于东经99°36'–100°16', 北纬36°32'–37°15'之间。青海湖裸鲤(*Gymnocypris przewalskii*)当地俗称“湟鱼”, 属鲤形目, 鲤科, 裂腹鱼亚科, 裸鲤属, 是青海湖中唯一的经济鱼类, 处于青海湖生态系统的核心地位。由于气候干旱、人类活动加剧及过度捕捞等因素的影响, 近年来青海湖裸鲤的资源状况呈恶化的趋势, 如: 渔业产

\* 青海省科技厅“青海湖裸鲤淡水全人工养殖”项目资助。2009–02–10 收稿; 2009–04–22 收修改稿。谭细畅, 男, 1973年生, 博士研究生, 助理研究员; E-mail: jimtxc@hotmail.com.

\*\* 通讯作者; E-mail: shjq1204@163.com.

量由开发初期 1960 年的  $2.8 \times 10^4$ t 锐减至 1999 年的  $0.27 \times 10^4$ t<sup>[1]</sup>; 1995 年因最大的入湖河流布哈河断流造成 300t 产卵亲鱼死亡; 2001 年又因沙柳河断流造成了近 150t 产卵亲鱼死亡<sup>[2]</sup>。鉴于青海湖裸鲤在维持湖区生态平衡及区域经济与资源保护与可持续发展利用中有重要作用, 有必要加强对青海湖裸鲤的资源保护, 并对其资源状况进行监测。青海湖水域辽阔, 高原环境复杂, 如何对其资源状况进行有效监测和保护, 是一个具有挑战性的课题。

青海湖裸鲤的产卵季节一般在每年的 4-7 月, 为溯河产卵; 其产卵场较为分散, 在布哈河、沙柳河、哈尔盖河及黑马河等主要支流都有分布, 7 月下旬大部分产卵亲鱼陆续返回湖中<sup>[3]</sup>。青海湖年最高水温 22℃, 年均水温 5.2℃, 每年 11 月至翌年 4 月处于冰冻状态; 湖区全年受高空风的影响, 冬、春季风速最为猛烈<sup>[3]</sup>。因此夏季(特别是 8 月份)是在该湖进行相关研究的理想时间。

随着计算机技术的发展及仪器性能的提高, 水声学探测目前已成为进行鱼类资源评估的重要手段之一。水声学探测因其具有速度快、准确性高等优点, 目前已在欧美日等国家普遍采用。近年来, 我国相关科研机构也进行了多次水声学探测研究。1985 年黄海水产研究所从挪威引进“北斗”号渔业资源调查船, 并通过配备的回声探测仪(EK500)对黄、渤海鱼类资源进行了详细调查<sup>[4]</sup>。之后, 赵宪勇等<sup>[5]</sup>对狭鳕(*Theragra chalcogramma* Pallas)目标强度的现场测定, 李永振等<sup>[6-7]</sup>、陈国宝<sup>[8]</sup>等利用回声探测仪对南海北部海域鱼类资源状况进行了评估。以上水声学探测研究充分结合分层拖网的鱼类取样, 进行积分分配, 从而得到目标强度与鱼体长度的换算关系式, 最后估算海域鱼类资源量及分布, 其结果相对其它方法更为准确。在内陆湖泊及河流, 水声学探测也应用于鱼类资源的评估, 作者于 2000 年应用热敏纸式回声探测仪对武汉东湖鱼类的时空分布进行了探测研究, 2008 年应用 EY60 对珠江江段青皮塘产卵场广东鲂繁殖群体进行水声学探测<sup>[9-10]</sup>; 近年国内同类研究还有张慧杰等对长江葛洲坝至古老背江段鱼类资源进行水声学评估<sup>[11]</sup>, 陶江平等对三峡水库成库期间鱼类空间分布的水声学研究<sup>[12]</sup>。以上内陆水体的鱼类资源水声学探测中, 鱼类的种类识别是一个难题, 并且由于鱼类取样上难以采取海洋中使用的拖网, 常用的刺网捕捞具选择性, 另外在野外探测中, 也难以进行鱼类目标强度的测定, 因此在目标强度与鱼体长度的换算上只能借鉴于经验公式。在青海湖, 应用水声学探测对鱼类资源进行评估颇具优势, 不需要进行种类识别。

本文利用 Simrad 公司 EY60 型分裂波束回声探测仪, 在渔获物统计的基础上, 对青海湖的鱼类资源进行探测, 以期了解青海湖裸鲤的空间分布及资源量等, 为其生态保护、资源恢复提供基础性数据, 同时探索水声学探测在内陆水体鱼类资源量评估上的应用。

## 1 材料与方 法

### 1.1 水声学设备及软件介绍

回声探测仪: Simrad 公司生产的 EY60 型分裂波束(split-beam)回声探测仪; 换能器频率为 200kHz, -3dB 波束宽(beam width)7°, 脉冲宽度(pulse duration)64μs, 采样间隔(sample interval)16μs, 分辨精度 0.012m。

GPS 导航仪: Garmin 公司 GPSmap 60CS 型。数据采集及分析分别采用 EY60 配套软件 ER60 及 Sonar5。使用船只青海湖渔政船, 全长 23m, 宽 5.5m, 功率 184kW。声学探测时航速为 8-10km/h。

EY60 分裂波束回声探测仪的换能器有四组垂直交叉排列的阵列, 通过 Sonar5 软件可以根据测量目标的方位自动补偿目标强度的测定值。Sonar5 软件通过对噪声交叉过滤及单体回波轨迹追踪技术可以捕捉对单尾鱼体运动的轨迹, 从而能够进行单体信号的自动识别和统计, 但是需要设置相关参数, 如交叉过滤、图象光滑处理、追踪信号长度范围等。ER60 软件实时采集 GPS 导航仪中的方位坐标数据, 并与回声探测仪数据一起储存。

### 1.2 调查区域及探测方法

探测实验在青海湖主要湖区进行, 为期 3d, 航线上采用“之”字形。考虑到天气情况、水深及礁石分布, 为保证安全性, 部分湖区未进行探测。2006 年 8 月 16 日 15:21 从原青海湖渔场码头出发, 夜泊二郎剑; 8 月 17 日从二郎剑出发经海心山、黑马河口, 夜泊布哈河口; 8 月 18 日从布哈河口出发, 经沙柳河口绕过海心山返回二郎剑, 结束探测实验, 总航程达 230km。

超声波换能器固定于船体左侧前舷,水面下约 1m,垂直向下.使用 GPSmap 60CS 导航仪记录探测航线.测量水温及盐度数据,输入 ER60 数据采集程序,以设置环境参数.

### 1.3 渔获物统计

经当地渔政部门批准,实验期间使用刺网(网目为 6cm)在黑马河口湖区捕捞取样,统计记录渔获物中鱼类种类组成及体长、体重等相关数据.

### 1.4 数据处理及分析

使用 Sonar5 软件(版本 5.9.6)转换 ER60 程序采集的水声学原始数据,转换模式为时间可变增益  $TVG=40lgR$ . 在 Sonar5 软件中对转换后的数据设置自动识别水底,并人工校对.之后设置信号目标强度(Target Strength,  $TS$ )背景噪声阈值  $<-80dB$  及交叉过滤参数,通过 Sonar5 软件对鱼体信号进行自动追踪及判别,结果保存为 Excel 文件格式,以便进行信号统计.

为获得软件对鱼类个体自动识别的最佳效果,对黑马河口附近一段 2.1km 探测区间的鱼体信号进行不同参数水平下交叉过滤识别.另外,本文对海心山到黑马河口探测区域鱼体信号的  $TS$  值分布情况进行了统计.采用 Lilja 等<sup>[13]</sup>对白鲢(*Coregonus lavaretus*)  $TS$  值与体长的换算公式对青海湖裸鲤的信号数据进行分析.

为了解青海湖鱼类的空间分布,本文将整个探测航线分为 113 个单元,每个单元航程约 2km,单独计算各单元的鱼体密度,其方法参照谭细畅等<sup>[9]</sup>;依据 GPS 位点数据,参照王建等<sup>[14]</sup>利用 Surfer 软件数字化青海湖地图,并以最小曲率法插值及网格化数据后作图.

参照唐启升等<sup>[4]</sup>资源量估算方法及凌建忠等<sup>[15]</sup>对东海头足类资源量的资源密度面积法,将青海湖划分为若干个调查层区,单独计算各小区的水体体积及鱼类平均密度.鱼类资源量估算依照下式进行:

$$N = \sum_{i=1}^n \rho_i V_i$$

式中,  $N$  为全湖总资源量,  $\rho_i$  为  $i$  调查层区鱼类的平均密度,由该调查层区各单元(或最邻近的单元)鱼类密度值求得,  $V_i$  为  $i$  调查层区的水体体积,由该调查层区面积与平均水深求出.

数据分析及作图使用软件 Origin 6.1.

## 2 结果

### 2.1 青海湖裸鲤的渔获物组成

在黑马河口湖区使用刺网共计采集鱼类 306 尾,总重 84.3kg,全部为青海湖裸鲤,体长范围 18-47.5cm,均值为  $28.6 \pm 3.26cm$ (图 2);体重范围为 100-960g,均值为  $235 \pm 92.9g$ .

### 2.2 EY60 回声探测仪在青海湖探测效果

使用 EY60 回声探测仪在青海湖中探测时得到的鱼体的回波图像清晰,背景噪声较小,湖底反射信号明显(图 3).实验中,以最短脉冲宽度进行探测,距离方向分辨率为 1.2cm,单体鱼的位置清晰可辨.在另外探测结果表明,青海湖中存在小型鱼群聚集(图 3).

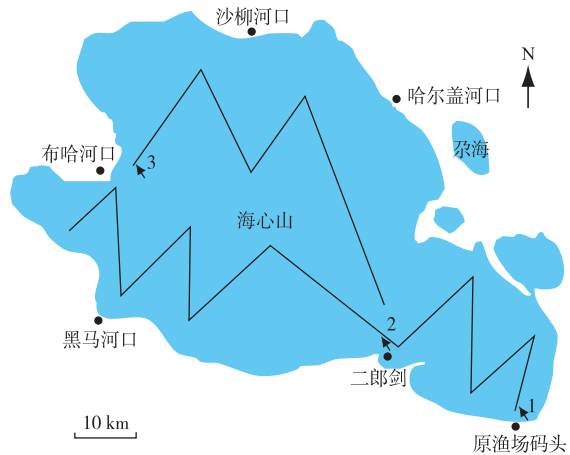


图 1 青海湖水声学探测航线示意图  
(图中箭头及数字表示日期序号)

Fig.1 Routes of hydroacoustic survey in Lake Qinghai

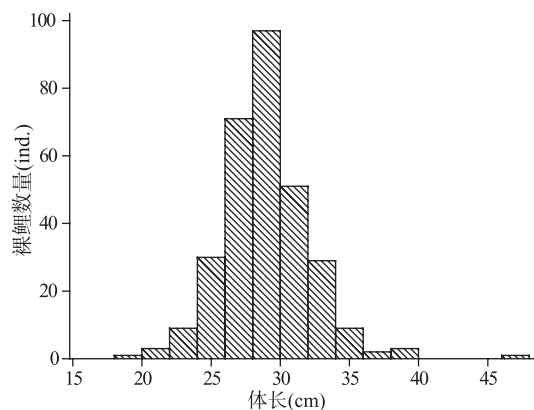


图 2 黑马河口湖区刺网(网目 6cm)渔获物体长分布  
Fig.2 Length distribution of fish caught in Lake Qinghai near Heima estuary (with 6cm mesh nets)

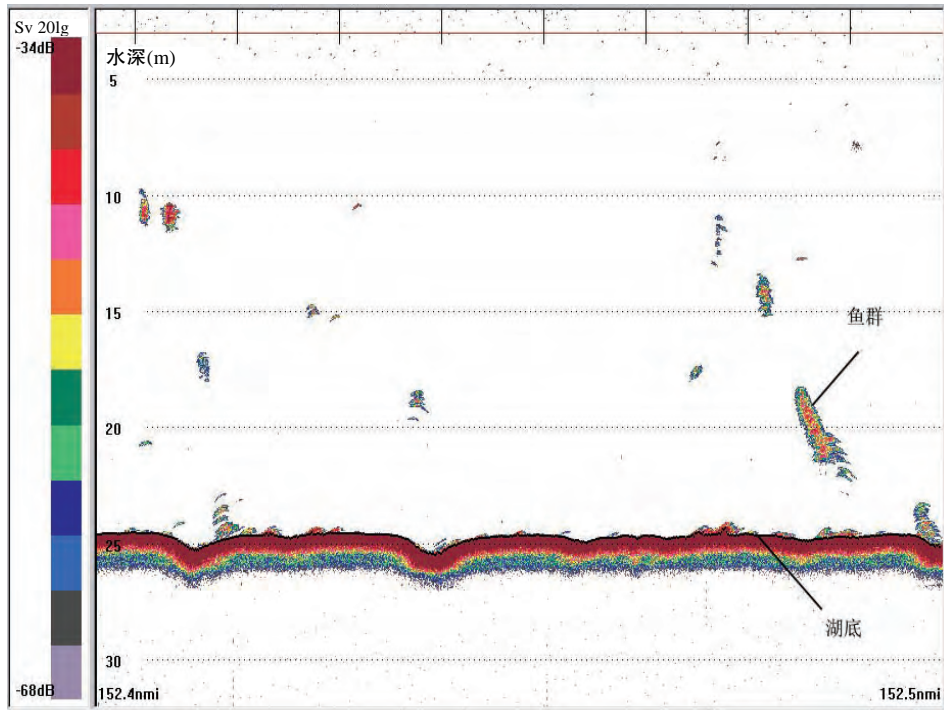


图 3 EY60 在青海湖中水声学探测回波图像  
Fig.3 Echogram of EY60 echosounder in Lake Qinghai

2.3 Sonar 5 软件对鱼类个体信号自动判别

图 4 为鱼体经过超声波束时的运动轨迹, 其中圆形为超声波波束, 4 个分区分别代表一个波束. 单个

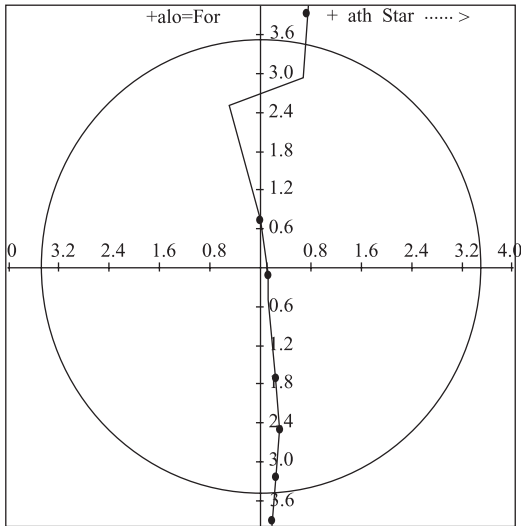


图 4 Sonar5 软件中鱼类个体轨迹追踪  
Fig.4 Auto-tracking of single fish echo by using Sonar5 software

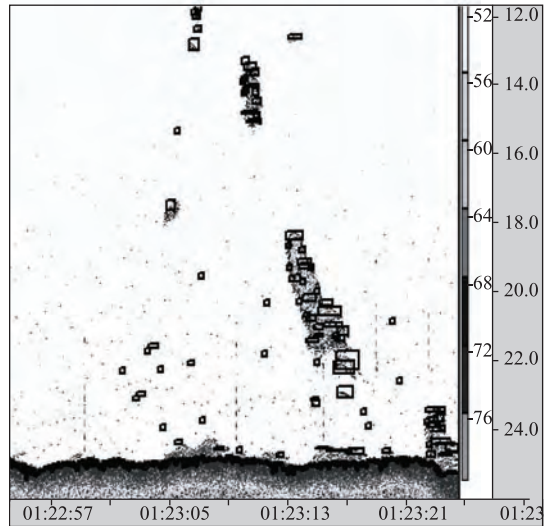


图 5 Sonar5 软件中鱼体自动识别(方框标记为自动识别的鱼体信号)  
Fig.5 Auto-detection of single fish by Sonar5 software (square block indicate the auto-detected individual)

鱼体信号轨迹的确定,可以减少误判,为鱼类自动识别计数提供了必要条件.图5为 Sonar5 软件自动识别鱼体界面(图5对应图3相同的区域),其中自动识别后的鱼体图像用方框标示.结果显示 Sonar5 软件自动识别效果理想.

参考 Sonar5 使用手册及 Helge Balk<sup>[16]</sup>的研究,将交叉过滤自动识别时参数分为4个等级(表1).表1中的自动识别数据来源为黑马河口附近一段 2.1km 区间探测结果.参数设置不同,可识别的鱼体数目及信号过滤质量都有明显的差异(表1).

表1 不同参数水平 Sonar 5 对鱼体自动识别效果  
Tab.1 Auto-detection of single fish with different system config in Sonar5 software

设置	交叉过滤 (高, 宽)	信号长度	平滑处理 (高, 宽)	自动识别个数			检测 机率 <i>DP</i> *	追踪质量 <i>TQ</i> **	
				总数	<-30dB	-30 至-65 dB			<-65dB
1	1, 3	2-30	1, 3	768	14	364	392	0.97	2.58
2	1, 1	1-30	3, 3	1078	52	468	520	0.98	2.07
3	1, 5	2-25	1, 5	471	10	305	156	0.95	3.24
4	3, 5	1-30	1, 5	471	10	305	156	0.95	3.24

\* *DP* (Detection Probability): 检测机率; \*\**TQ* (Track Quality): 追踪质量.

#### 2.4 青海湖裸鲤的目标强度值分布及其分析

从海心山到黑马河口通过 Sonar5 软件共自动识别了 10195 个信号(>-80 dB), 其 *TS* 值分布如图6所示, 大部分 *TS* 值低于-60 dB, 在-45 dB 左右有一个峰值. 根据对单个信号的检视, >-30 dB 的信号都来自于水底, 为自动识别时将底质石头或杂物的误判, 不属于鱼体信号. 初步推断-60 dB 至-80 dB 范围内的信号主要为青海湖裸鲤幼鱼及风浪等噪声, 湖区中青海湖裸鲤比例最多的个体 *TS* 为-45 dB.

采用 Lilja 等<sup>[13]</sup>推导的白鲑 *TS* 值与体长经验公式(3), 对青海湖裸鲤-30 dB 至-60 dB 范围的信号进行转换, 得到此范围信号个体的体长范围为 75.9-10.5cm, *TS* 值为-45 dB 的个体对应换算体长为 28.3cm. 考虑到网目 6cm 的刺网捕捞规格基本在 20cm 以上, 故将-30 至-50 dB 作为青海湖裸鲤可捕规格的目标强度值范围.

$$TS=351gL-95.8 \text{ dB} \tag{3}$$

#### 2.5 青海湖中鱼类的水平分布

青海湖中鱼类(*TS* 范围-30dB 至-50dB)的密度分布呈现出分布的不均匀性(图7). 鱼类分布的密度范围为 0.168-12.8ind./1000m<sup>3</sup>, 均值为 1.16ind./1000m<sup>3</sup>. 其中以布哈河口、二郎剑等位置鱼群最为密集, 密度最高达到了 12.8ind./1000m<sup>3</sup>.

#### 2.6 青海湖裸鲤的可捕资源量估算

将青海湖大致划分为 18 个调查层区(图7), 利用式(1)计算资源量, 就要单独计算各湖区水体体积及鱼类平均密度, 包括 95%置信度区间(缺失的密度及水深数据以邻近的周边探测单元计算), 计算得到青海湖水体总量约为 7.0×10<sup>10</sup>m<sup>3</sup>, 根据刺网鱼类采样结果(平均体重 235g/ind.计算), 初步估算青海湖裸鲤可

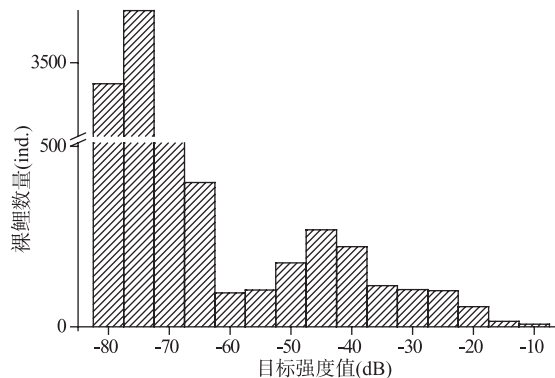


图6 青海湖裸鲤目标强度值分布  
Fig.6 *TS* distribution of *Gymnocypris przewalskii* in Lake Qinghai

捕规格的数量为  $6.5 \times 10^7 \text{ ind.}$ , 95%置信度区间为  $35.6 \times 10^7 - 118.4 \times 10^7 \text{ ind.}$ ; 应用资源密度面积法估算, 青海湖裸鲤的可捕资源量约为 15275t.

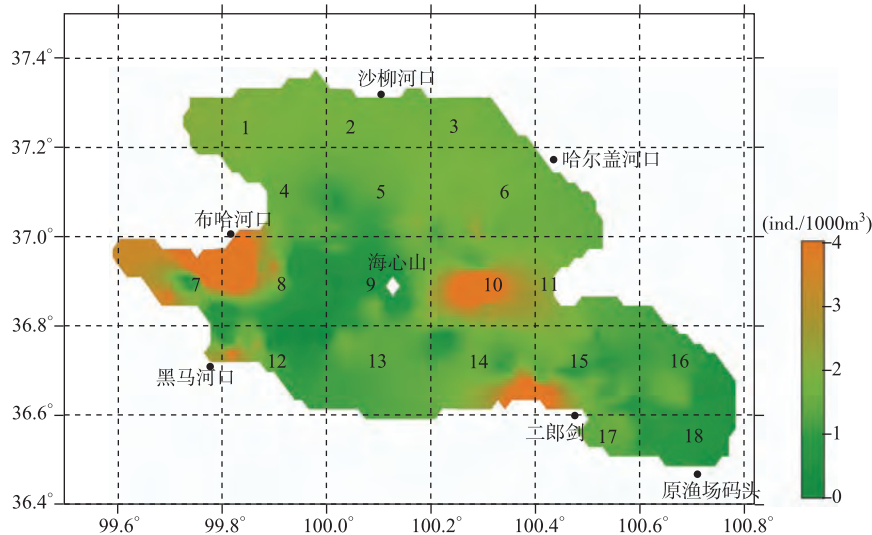


图 7 青海湖裸鲤的密度水平分布(1-18 为各调查层区编号)

Fig.7 Horizontal distribution of *Gymnocypris przewalskii* in Lake Qinghai

### 3 讨论

#### 3.1 水声学探测应用于青海湖鱼类资源评估的优势

水声学探测应用于青海湖鱼类资源评估的优势是湖中鱼类单一, 可以不考虑种类鉴别. 通过水声学方法对鱼类种类鉴别是一个难点, 探测结果分析时一般需结合渔业捕捞的数据<sup>[17]</sup>. 青海湖高原环境的独特性, 唯一的水生经济鱼类仅有青海湖裸鲤<sup>[1]</sup>. 尽管湖区仍有少量鳅类的分布, 但鳅类个体小, 体长一般都小于 15cm, 未达到青海湖裸鲤可捕捞个体的统计规格(>20cm), 其声波信号不在设定的 *TS* 值的统计范围(-30 dB 至 -50 dB)之内, 因此对青海湖裸鲤的资源量估算基本没有影响.

应用 EY60 回声探测仪对青海湖裸鲤进行资源探测评估不但准确性高, 而且相对其它一些调查方法(如刺网采样、电捕等), 其在手段上无疑更为经济、环保、快捷. 作为一种常规的资源调查方法, 有必要将水声学探测在青海湖持续地开展.

#### 3.2 基于个体识别的水声学探测在内陆水体更具合适性

在鱼类资源的水声学探测研究中, 通常将回声信号进行积分后再换算成资源量. 海洋中, 许多经济鱼类的分布一般为密集的鱼群, 因此通过回声积分比较合适. 但在内陆水体中, 鱼类的密度一般很低, 以个体形式分散分布, 对回声信号积分可能受环境噪声影响较大, 而通过水声学仪器及软件直接计数, 并计算鱼类密度, 方法上更合适.

EY60 回声探测仪以一定的频率进行探测采样, 由于单个鱼体在回声图像上将会有多个信号, 对这些信号进行判别时必须应用到追踪技术(tracking). 追踪技术的任务一方面要将鱼体信号从噪声背景中区分出来, 另一方面进行鱼体轨迹预测、追踪, 减少误判. 进行设置时主要参数有信号长度(echo length)、ping-gap、波值补益、相差及交叉过滤(Cross-filter)等. 信号长度值太低则增加了将单个鱼体的多个信号判为两个或多个鱼体的可能性. ping-gap 值太高则减少了区分不同鱼体信号的能力. 不同参数水平下识别的鱼体数目存在差异(表 1). 因此数据分析时, 应该对检视 Sonar5 软件自动识别鱼体的结果, 从而确定最佳的参数配置, 本文采用的表 1 中参数配置模式 1 进行计数.

目前基于个体识别的水声学探测方法在国内很少有报道, 该方法充分利用了 EY60 设备的高分辨率

(1.2cm), 及 Sonar 5 软件的噪声过滤、鱼体自动判别的技术, 一定程度上避免了目标强度  $TS$  与体长的换算上的不足, 在鱼类资源量估算上具良好准确性, 在水声学探测应用上颇具创新性。

### 3.3 目标强度与体长关系式的选择

水声学探测中, 鱼类种类繁多, 在数据分析上常采用目标强度  $TS$  与体长经验公式。目标强度  $TS$  与体长的换算公式, 一方面与种类有关, 另一方面, 也与超声波频率有关。通常采用的换算式为经验公式<sup>[14,18]</sup>:

$$TS=A\lg L+B \quad (4)$$

式中, 系数  $A$ 、 $B$  则主要依据鱼类的种类及超声波频率实际测定, 其中  $B$  一般为负值。对鱼体的目标强度进行标定常在实验室中进行, 且难度较大。由于本文没有对青海湖裸鲤进行目标强度的实验室标定, 另外考虑到刺网的选择性, 鱼类采集得到的数据没有目标强度值的分配, 仅用于资源量的估算, 故本文只能参考其它鱼类的经验公式来进行青海湖裸鲤  $TS$  值体长换算。

表 2 为部分  $TS$  与体长经验公式换算结果。历史资料表明青海湖裸鲤体长超过 62cm 的个体非常少见<sup>[21]</sup>, 且海心山到黑马河口湖区探测到个体  $TS$  体长换算峰值(28.3cm)与刺网渔获物统计的体长峰值(29cm)基本接近。而其它  $TS$  与体长换算公式, 青海湖裸鲤许多个体体长可达 90cm, 这明显与实际不符。Lilja 等应用于白鲢的经验公式  $TS=35\lg L-95.8$  在青海湖裸鲤  $TS$  与体长换算上最为接近实际情况, 故本文予以采用表 2 中第 1 种换算公式进行计量。

表 2 青海湖裸鲤依据不同  $TS$  与体长经验公式换算结果\*

Tab.2 Several empirical relationships using for  $TS$  to body length of *Gymnocypris przewalskii*

编号	经验公式	频率(kHz)	$TS$ 换算体长(cm)			种类
			-30 dB	-45 dB	-60 dB	
1	$TS=35\lg L-95.8$	200	75.8	28.3	10.5	白鲢 <sup>[13]</sup>
2	$TS=20\lg L-71.9$	38	124.5	22	3.9	大西洋鲱 <sup>[19]</sup>
3	$TS=20\lg L-74.1$	200	160	28.5	5.0	真鲷 <sup>[20]</sup>
4	$TS=23.3\lg L-77.1$	38	105	23.8	5.4	秋刀鱼 <sup>[20]</sup>
5	$TS=26.1\lg L-81.2$	200	91.6	24.4	6.5	白斑狗鱼 <sup>[13]</sup>

\*白鲢 *Coregonus lavaretus*, 大西洋鲱 *Clupea harengus*, 真鲷 *Pagrusomus major*, 秋刀鱼 *Cololabis saira*, 白斑狗鱼 *Esox lucius*。

诚然, 白鲢的经验公式可能不完全适用于青海湖裸鲤, 为进一步提高水声学探测数据的准确性, 有必要在今后研究中具体测定青海湖裸鲤的目标强度。

### 3.4 青海湖裸鲤的分布与总资源量估算

青海湖中鱼类的分布不均匀, 在布哈河口位置密度最高。笔者认为鱼类在河口区域分布较密集, 应该跟河口位置营养物质及饵料相对丰富有关(由于天气原因, 沙柳河口及哈尔盖河口附近区域没有进行探测, 其密度插值的结果可能偏小, 所以没有反映出鱼类密集的情况)。

由于青海湖中鱼类分布不均匀, 在资源量估算时采用分区进行密度体积法无疑会更为精确。如仅用平均密度  $1.16\text{ind./}1000\text{m}^3$  计算, 全湖可捕捞规格的数量为  $0.81\times 10^8\text{ind.}$ , 比分区法计算结果多达 25%。

### 3.5 调查中存在的问题

由于青海湖所处的高原环境颇为独特, 天气多变, 除了原渔场码头, 没有其它可以避风的码头, 考虑到人员、船只的安全性, 探测实验必须在 3-4d 的时间内完成。这样探测实验覆盖的区域有限, 且在探测航线的设计上也颇为困难。故探测航线采用“之”字形, 既可以节约时间, 又可以同时进行各湖区的监测, 覆盖面广。

刺网在鱼类个体的采集上明显具有较强的选择性, 但由于其操作简单, 故本实验仍予以采用。刺网在湖区采集到的青海湖裸鲤平均体长( $28.6\pm 3.26\text{cm}$ ), 远高于陈大庆等<sup>[22]</sup>2002-2003 年在青海湖及周边河流调查的结果(青海湖裸鲤平均体长为  $20.2\pm 3.42\text{cm}$ ), 其原因推测是青海湖裸鲤在空间分布上具有差异性, 小个体较为集中于沿岸及河口地带, 不便于生产捕捞, 也不在本次实验的调查范围之内。因此在青海湖

裸鲤的可捕资源量的估计上, 本文通过刺网采集得到平均体长数据具较好的适用性。

由于鱼类对考察船只存在回避行为, 浅水区域的鱼类密度估算可能偏低。如何了解近岸带鱼类的分布, 仍是一个需要深入的课题。

由于风浪及水草等因素的影响, -60dB 至-80dB 范围内的信号分析上仍很困难, 且无法将青海湖裸鲤幼鱼与噪声环境分开, 探测数据仍需要进一步挖掘。

致谢: 青海湖渔政人员在野外探测实验中给予了大力支持, 在此衷心感谢!

#### 4 参考文献

- [1] 史建全, 祁洪芳, 杨建新等. 青海湖裸鲤资源评析. 淡水渔业, 2000, **30**(11): 38-40.
- [2] 王基琳. 青海湖裸鲤 *Gymnocypris przewalskii* (Kessler)产卵场破坏. 现代渔业信息, 2005, **20**(6): 11-12.
- [3] 胡安, 唐诗声, 龚生兴. 青海湖裸鲤[*Gymnocypris przewalskii przewalskii*(Kessler)]繁殖生物学的研究. 青海省生物研究所. 青海湖地区的鱼类区系和青海湖裸鲤的生物学. 北京: 科学出版社, 1975: 49-64.
- [4] 唐启升, 王为祥, 陈毓楨等. 北太平洋狭鳕资源声学评估调查研究. 水产学报, 1995, **19**(1): 8-20.
- [5] 赵宪勇, 陈毓楨. 狭鳕(*Theragra chalcogramma* Palas)目标强度的现场测定. 中国水产科学, 1996, **2**(4): 19-27.
- [6] 李永振, 陈国宝, 孙典荣等. 南海区多鱼种声学评估工作程序. 湛江海洋大学学报, 2003, **23**(1): 35-40.
- [7] 李永振, 陈国宝, 赵宪勇等. 南海北部海域小型非经济鱼类资源声学评估. 中国海洋大学学报, 2005, **35**: 206-212.
- [8] 陈国宝, 李永振, 赵宪勇等. 南海北部海域重要经济鱼类资源声学评估. 中国水产科学, 2005, **12**(4): 445-451.
- [9] 谭细畅, 夏立启, 立川贤一等. 东湖放养鱼类时空分布的水声学研究. 水生生物学报, 2002, **26**(6): 585-590.
- [10] 谭细畅, 李新辉, 赖子尼等. 青皮塘产卵场广东鲂繁殖群体的水声学探测研究. 生态学杂志, 2008, **27**(5): 785-790.
- [11] 张慧杰, 杨德国, 危起伟等. 葛洲坝至古老背江段鱼类的水声学调查. 长江流域资源与环境, 2007, **16**(1): 86-91.
- [12] 陶江平, 陈永柏, 乔晔等. 三峡水库成库期间鱼类空间分布的水声学研究. 水生态学杂志, 2008, **1**(1): 25-33.
- [13] Lilja J, Marjomaki TJ, Riikonen R *et al.* Side-aspect target strength of Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), whitefish (*Coregonus lavaretus*), and pike (*Esox lucius*). *Aquat Living Resource*, 2002, **13**(20): 355-360.
- [14] 王建, 白世彪, 陈晔. Sufer® 8 地理信息制图. 北京: 中国地图出版社, 2004.
- [15] 凌建忠, 严利平, 李建生. 应用资源密度面积法估算东海区头足类资源量. 海洋渔业, 2008, **30**(1): 56-61.
- [16] Helge Balk. Development of hydroacoustic methods for fish detection in shallow water. Norway: University of Oslo, 2001: 191-208.
- [17] Lawson G, Barange M, Fréon P. Species identification of pelagic fish schools on the South African continental shelf using acoustic descriptors and ancillary information. *Journal of Marine Science*, 2001, **58**: 275-287.
- [18] Foote KG. Fish target strengths for use in echo integrator surveys. *Journal of the Acoustical Society of American*, 1987, **82**: 981-987.
- [19] Kang DH, Hwang DJ. Ex situ target strength of rockfish (*Sebastes schlegeli*) and red sea bream (*Pagrusomus major*) in the Northwest Pacific. *Journal of Marine Science*, 2003, **60**: 538-543.
- [20] O'Driscoll RL, Rose GA. In situ acoustic target strength of juvenile capelin. *Journal of Marine Science*, 2001, **58**(1): 342-345.
- [21] 张玉书, 陈瑗. 青海湖裸鲤种群数量变动的初步分析. 水产学报, 1980, **4**(2): 157-176.
- [22] 陈大庆, 张信, 熊飞等. 青海湖裸鲤生长特征的研究. 水生生物学报, 2006, **30**(2): 173-179.