

DOI: 10.12264/JFSC2022-0359

基于水声学评估的博斯腾湖鱼类时空分布研究

王普泽^{1,2}, 宋聃^{1,3}, 张尹哲¹, 李俊锋¹, 刘家寿¹, 叶少文¹

1. 中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430072;
2. 云南大学生态与环境学院, 高原湖泊生态与治理研究院, 云南 昆明 650504;
3. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070

摘要: 本研究旨在通过水声学方法评估博斯腾湖鱼类的季节和空间分布特征, 掌握鱼类群落结构和时空分布规律。于2019年4—10月使用分裂波束回声鱼探仪(Simrad EY60, 120 kHz)进行全湖走航式断面探测, 定量分析了鱼类密度、大小组成(以目标强度衡量)、水平和垂直分布的时空变化。研究结果显示, 博斯腾湖春季、夏季和秋季鱼类密度分别为(709±141) ind/hm²、(8783±2611) ind/hm²和(743±499) ind/hm², 平均目标强度分别为-52.95 dB、-59.91 dB和-57.73 dB。水平方向上, 春季和秋季鱼类主要分布于沿岸带和敞水区, 夏季鱼类更多地分布在沿岸带和水草生长区域。垂直方向上, 3个季节鱼类密度在水深3 m以下均随水深逐渐减小。目标强度在春季和秋季均呈现随水深逐渐增加趋势; 夏季在水深3~12 m之间随水深逐渐增大, 但在大于12 m水深区域有所减小。推测博斯腾湖鱼类群落的时空动态与繁殖、生长和捕捞等因素有关。本研究为保护和合理利用博斯腾湖鱼类资源提供了重要的基础资料, 同时也为认识该湖生态系统提供了科学依据。

关键词: 博斯腾湖; 渔业声学; 群落结构; 时空分布; 鱼类资源评估

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2023)05-0525-08

博斯腾湖是中国最大的内陆淡水吞吐湖, 位于天山东段焉耆盆地东南部, 新疆维吾尔自治区巴音郭楞蒙古自治州博湖县境内, 是干旱和半干旱地区最具代表性的湖泊之一^[1]。在1960年代以前, 博斯腾湖的初级生产力较低, 水环境相对稳定, 但自20世纪60年代以来, 由于人类活动和气候变化导致水位下降、盐度上升、富营养化程度升高, 湖泊生态系统发生显著改变^[2]。博斯腾湖历史上仅记录有4种土著鱼类, 1958年开始从疆内外引进不同鱼种开展增殖。由于引种、捕捞和湖泊环境改变, 博斯腾湖的鱼类组成处于不断变动之中, 形成当前以池沼公鱼(*Hypomesus olidus*)、鲶(*Hemiculter leucisculus*)和鲫(*Carassius auratus*)为优势种的鱼类群落。有关博斯腾湖鱼类研究主

要集中在分类学、物种组成和生物学等方面^[3-6], 但对鱼类时空分布特征状况仍知之甚少。因此, 有必要开展不同空间尺度和季节的鱼类分布动态研究, 以完善博斯腾湖鱼类生态学基础资料, 加深理解鱼类资源动态变化过程和趋势, 为鱼类资源保护和渔业管理提供科学指导。

湖泊鱼类在空间和时间上并非随机分布, 而是表现出一定的时空模式, 了解驱动鱼类时空分布的因素既是一个重要的生态学问题, 也是鱼类资源保护的基本要求^[7]。过去, 由于采样网具和水下观测技术的限制, 在较大空间尺度上对鱼类时空动态进行研究存在耗时、费力等困难。近几十年来, 水声学探测方法为鱼类资源评估提供了新的手段^[8], 该方法具有高效、快捷、不损伤调查对

收稿日期: 2022-10-10; 修订日期: 2022-12-09.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0900603); 西北地区重点水域渔业资源与环境调查项目.

作者简介: 王普泽(1995-), 男, 博士研究生, 研究方向为渔业生态学. E-mail: wangpuze@mail.ynu.edu.cn

通信作者: 叶少文, 副研究员, 研究方向为渔业生态学. E-mail: yeshw@ihb.ac.cn

象的优点,在国内外湖泊鱼类资源调查中得到了广泛应用^[9-13]。通过水声学探测可获得鱼类在不同水域和水层的数量及分布信息,有助于提高鱼类资源评估的准确性和可重复性^[9]。目前,尚未有博斯腾湖鱼类资源的水声学调查报告,为此本研究于 2019 年使用分裂波束回声鱼探仪对博斯腾湖开展了声学走航探测,旨在评估鱼类在不同季节和空间尺度上的分布特征,掌握博斯腾湖鱼类群落结构和资源状况,为鱼类资源保护和合理利用提供科学参考。

1 材料与方 法

1.1 研究区域

博斯腾湖(86°42'E~87°26'E, 41°49'N~42°09'N, 图 1)海拔 1045 m, 面积 1210.5 km², 地处欧亚大陆腹地,光照充足,雨量稀少,多年平均降水量 68.2 mm,为内陆荒漠型气候^[1]。湖岸平直少弯曲,湖盆扁平呈碟形,中间底平,周围迅速抬高至于湖岸,最深处 16 m,平均水深 10 m 左右。本研究水声学探测走航路线如图 1 所示,覆盖了博斯腾湖整个湖区水面。

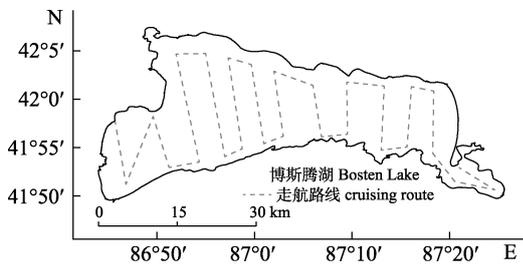


图 1 博斯腾湖轮廓图及水声学探测走航路线

Fig. 1 Contour map of Lake Bosten and hydroacoustic cruising route

1.2 水声学探测方法

水声学探测调查时间为 2019 年 5 月(春季)、7—8 月(夏季)、10 月(秋季),三航次走航路线基本一致。冬季因湖面结冰,未能开展走航式调查。每个季节在湖区调查持续 7 d 左右,探测时间为采样当天的 8:00~18:00,采用平行走航断面探测(图 1)。

水声学设备为 Simrad EY60 型分裂波束回声探测仪,换能器频率为 120 kHz, -3 dB 波束宽为

7°。在探测之前采用直径 23 mm 标准铜球对换能器进行实地校准,步骤按标准方法进行^[14]。通过不锈钢制换能器支臂固定在探测船只右侧,距离船首 1/3 船体长度,入水深度 0.5 m。回声探测仪与笔记本电脑相连,实时显示和存储数据。采用 GPS (Garmin 60CSx)实时确定探测位置。

调查时回声探测仪的功率设定为 100 W,脉冲宽度选择 128 μs,以最快的频率发射脉冲(约为 10 pings/s)。水声学探测时航速为 8~10 km/h,走航覆盖率为 8 左右,符合 Algen^[15]关于水声学探测覆盖率大于 6 的建议。

1.3 水声学数据处理

使用 Echoview 软件处理 ER60 程序采集的水声学原始数据,采用回波积分法进行鱼类密度的量化分析。首先对回声映像进行水底自动识别,再经人工修正,提取换能器前方 1 m 至水底的数据。根据声学映像中信号目标强度(target strength, TS, 单位 dB)的分布情况,将背景噪声阈值设置为 -66 dB。鉴于回声映像中鱼体信号分散和噪声较多,经测试后采用分裂波束单体目标判别方法 2 (split-beam method 2)对鱼体信号进行轨迹追踪和判别,根据轨迹追踪计数并计算水体鱼类密度,各参数设置如表 1。鱼体目标强度与全长的换算采用有鳔鱼类 TS-TL 公式^[16]:

$$TS=20\lg TL-71.9 \quad (1)$$

式中,TS 为目标强度(dB),TL 为全长(cm)。

表 1 分裂波束单体目标判别方法 2 参数设置

Tab. 1 Parameters used in single target detection split beam method 2

参数 parameter	设置 setting
目标强度阈值 TS threshold	-66 dB
脉冲宽度决定水平 pulse determination level	6 dB
最小标准脉宽 minimum normalized pulse length	0.4
最大标准脉宽 maximum normalized pulse length	1.5
最大波束补偿 maximum beam compensation	6 dB
短轴角度最大标准偏差 maximum standard deviation of minor-axis angles	0.6
长轴角度最大标准偏差 maximum standard deviation of major-axis angles	0.6

1.4 数据分析

为了评估博斯腾湖鱼类的水平分布特征,将

水声学探测得到的声学映像以 200 m 为单位划分为单元, 并分别计算各单元的鱼类密度。再将每个调查单元的鱼类密度和单元中心点的 GPS 信息导入 Arcgis Pro 2.0 软件, 使用普通克里金插值法获得鱼类水平分布的 GIS 图。为了评估鱼类的垂直分布特征, 将回声映像按 3 m 划分为若干个水层, 分别计算每个水层的鱼类密度, 然后计算每个水层的鱼类密度占比。单因素方差分析用于检验鱼类密度的季节差异, 卡方分析用于检验鱼类目标强度组成的季节差异, 显著性水平设为 0.05。

2 结果与分析

2.1 鱼类密度季节变化

博斯腾湖鱼类密度在季节间有显著差异 ($P < 0.05$, 表 2), 多重比较分析表明, 夏季和春季、秋季的差异均显著 ($P < 0.05$), 春季和秋季之间差异不显著 ($P > 0.05$)。全湖夏季鱼类密度最高, 平均值为 (8783 ± 2611) ind/hm², 分布范围为 4~568303 ind/hm²; 春季和秋季鱼类平均密度分别为 (709 ± 141) ind/hm² 和 (743 ± 499) ind/hm², 分布范围各为 1~11790 ind/hm² 和 2~116934 ind/hm²。博斯腾湖鱼类密度季节变化的主要原因可能在于,

春季调查时正值鱼类繁殖期, 体现在夏季调查时小个体幼鱼数量大量增加, 夏季和秋季之间湖区开展了捕捞作业, 加之鱼类早期阶段的自然死亡, 因此秋季调查期间湖区鱼类数量减少。

表 2 水声学方法估算的博斯腾湖鱼类密度的季节变化
Tab. 2 Seasonal variation of fish density in Lake Bosten estimated by hydroacoustic approach

季节 season	最小值 min	最大值 max	平均值 mean±SD
春季 (2019 年 5 月)	1	11790	709±141
夏季 (2019 年 7-8 月)	4	568303	8783±2611
秋季 (2019 年 10 月)	2	116934	743±499

2.2 鱼类水平时空分布

根据水声学探测的博斯腾湖鱼类密度水平分布季节变化如图 2 所示, 春季和秋季鱼类主要分布在沿岸带和敞水区; 夏季敞水区鱼类密度相对较低, 鱼类主要分布在沿岸和水草生长区域等位置。分析鱼类水平分布的季节差异潜在原因, 一方面与水体理化因子和水草分布的时空动态相关, 另一方面则与鱼类觅食和逃避敌害等生境需求有较大联系。

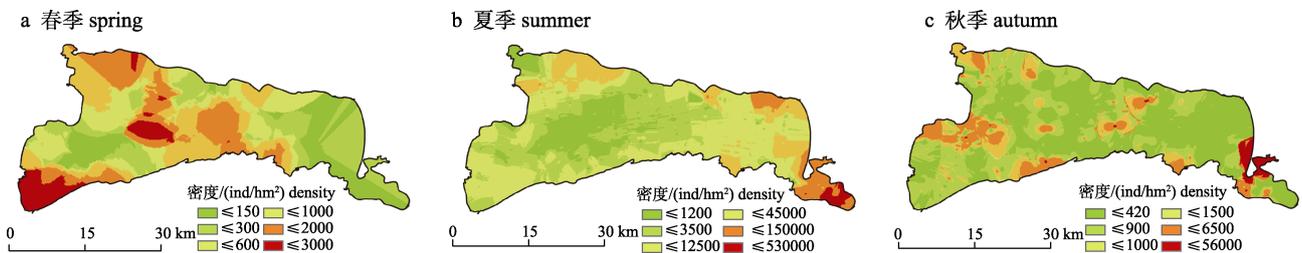


图 2 博斯腾湖鱼类密度水平分布的季节变化

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季.

Fig. 2 Seasonal variations in the horizontal distribution of fish densities in Lake Bosten

a. Spring; b. Summer; c. Autumn.

2.3 鱼类大小组成的季节变化

水声学目标强度(TS)大小是衡量鱼类个体大小的关键指标。水声学探测结果显示, 博斯腾湖鱼类 TS 范围在-66 dB~-30 dB (图 3), 春季、夏季和秋季的鱼类平均目标强度分别为-52.95 dB、-59.91 dB 和-57.73 dB。根据目标强度与体长之间的经验公式推算, 春季、夏季和秋季鱼类的平均

体长分别为 8.8 cm、4.0 cm 和 5.1 cm。卡方分析表明, 不同季节鱼类目标强度之间存在显著差异 ($df=17, P < 0.05$, 图 3)。夏季和秋季全湖小型个体鱼类占比高, 表现在夏季目标强度小于-55 dB (对应体长为 7 cm)的鱼类个体占比为 86%; 秋季目标强度小于-55 dB 的鱼类个体占比为 77%; 春季鱼类 TS 峰值集中在-54~-48 dB (体长范围为

7.8~15.6 cm), 占比为 45%。

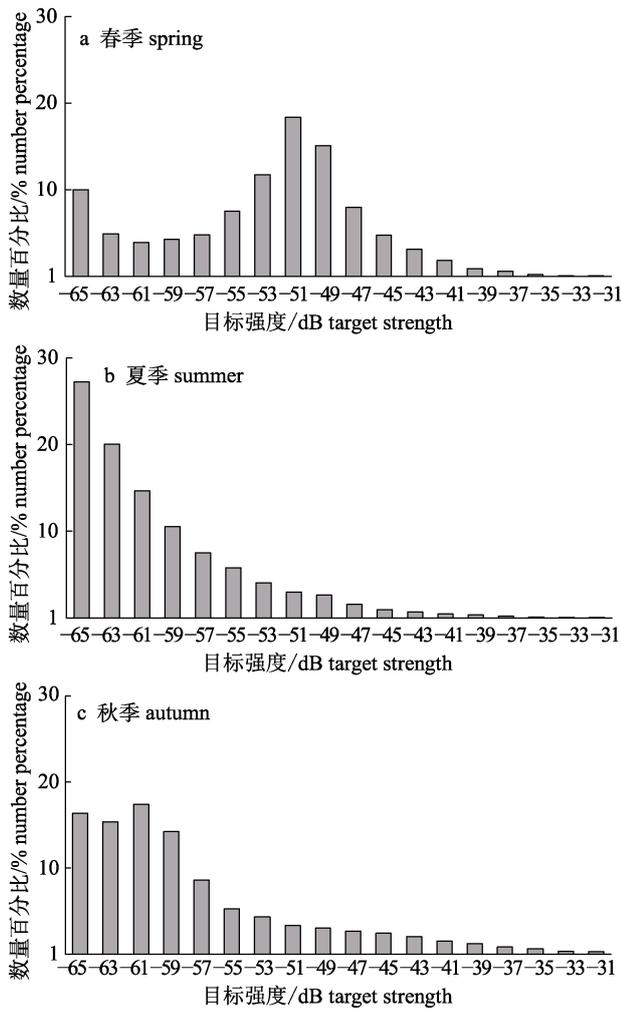


图3 博斯腾湖鱼类目标强度分布季节变化

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季.

Fig. 3 Seasonal variations in the composition of target strength of fish in Lake Bosten

a. Spring; b. Summer; c. Autumn.

2.4 鱼类垂直时空分布

水声学探测结果显示, 博斯腾湖鱼类密度和目标强度在垂直方向上存在明显的变化(图4)。春季、夏季和秋季总体上呈现从水面到水底鱼类密度逐渐减小的趋势, 在同一季节的不同水层之间, 鱼类密度也存在显著性差异($df=5, P<0.05$)(图4)。由于换能器的入水深度和换能器表面盲区的影响, 本研究仅统计了水面下 2.5 m 至水底的声学数据。在春季和秋季, 水深 2.5~3 m 之间鱼类密度较低, 3 m 以下鱼类密度随水深增加而减小, 夏季鱼类密度从 2.5 m 至水底逐渐减小。春季和秋季鱼类

目标强度随水深增加而增加, 夏季鱼类目标强度则先增加后减小, 即在水深 3~12 m 随水深逐渐增大, 在大于 12 m 水深区域有所减小。

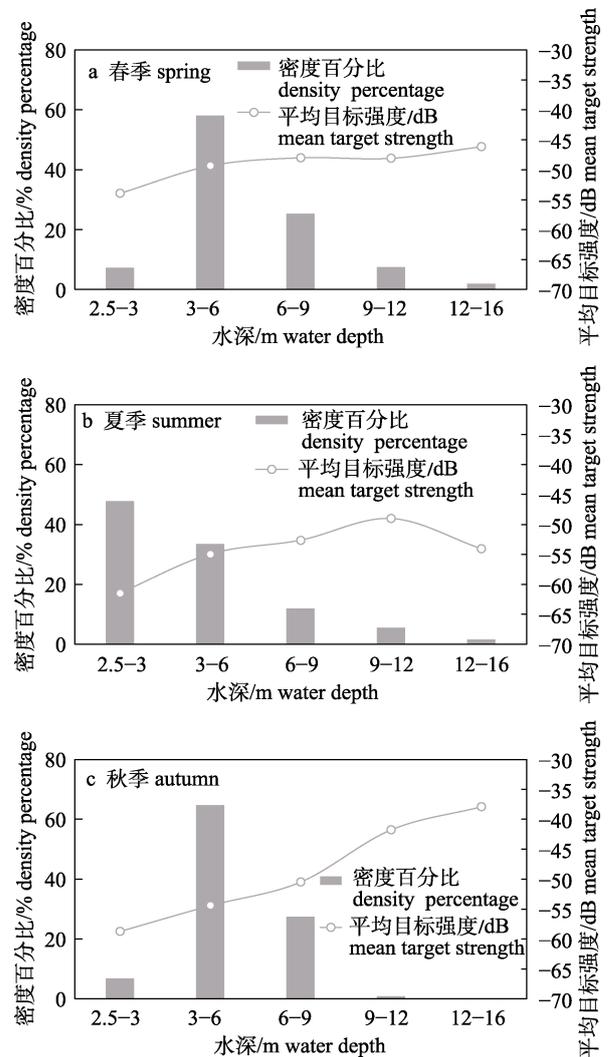


图4 博斯腾湖鱼类密度和目标强度垂直分布的季节变化

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季.

Fig. 4 Seasonal variations in the vertical distribution of fish density and target strength in Lake Bosten

a. Spring; b. Summer; c. Autumn.

3 讨论

3.1 鱼类水平分布的影响因素

鱼类群落在环境中很少呈现均匀或随机分布, 它们的分布与各种环境和生态位条件有关, 例如鱼类群落在环境梯度上具有密度和生物量的差异。水体资源和环境条件的异质性也是种群动态和群落稳定的基础, 不同种群对栖息生境利用的

差异, 往往就反映出了物种的时空分布差异^[17]。本研究表明博斯腾湖夏季鱼类密度最高, 春季和秋季鱼类密度较低; 从个体大小上来看, 夏季鱼类个体最小, 秋季次之。结合之前对博斯腾湖鱼类组成情况的研究, 主要鱼类种类为池沼公鱼、鲫和鳊^[6]。池沼公鱼在早春时游至湖泊岸边浅水(水深 20~40 cm)的砂砾或水草上产卵, 产卵后大部分死亡, 产卵群体 80%~90%为 1 冬龄鱼, 2 冬龄鱼极少^[4]。鳊的繁殖季节一般在 6—7 月, 在浅水的缓流地区或静水中进行产卵^[18]。鲫的繁殖季节是 4 月下旬到 7 月上旬, 产卵场广布于湖泊沿岸水草丛生的浅水区域^[19]。春季水声学数据主要反映越冬后的鱼类情况, 探测到的春季鱼类目标强度(个体大小)最大, 与实际情况相符。夏季探测时, 主要为当年出生的幼鱼, 原因在于池沼公鱼、鲫和鳊均具有较高的繁殖力, 导致夏季鱼类密度大量增加, 个体大小减小。秋季探测时, 经过捕捞作业, 全湖鱼类密度大量减少, 但由于经过摄食生长, 个体大小有所增加。

本研究发现, 在夏季, 鱼类更多地栖息于沿岸带区域和水草生境, 而敞水区鱼类密度较低。此时以刚出生的幼鱼为主, 沿岸带区域为鱼类提供了食物来源, 是多数鱼类的重要栖息地^[20]。栖息地是生态系统必不可少的组成部分, 鱼类种群中大多数个体的死亡都发生在早期生活史阶段, 良好的栖息地具备生物学特征(如食物丰富、捕食者少等)和适宜的理化特征(如温度、溶解氧等)^[21-22]。博斯腾湖沿岸带多处有水草生长, 为众多水生生物提供重要生境, 小型无脊椎动物和浮游生物的分布通常与水草有关, 鱼类在此类生境中可以寻觅到更为多样化的食物, 并躲避捕食者^[23]。在春季, 湖区以刚越冬结束的 1 龄鱼为主, 水温逐渐上升, 摄食活动增强。在秋季, 当年出生的 0 龄鱼完成由仔稚鱼的较单一食性向幼鱼的更多样化食性转变, 因此鱼类分散在沿岸带区域和敞水区等多种生境下寻觅食物^[24-25]。

3.2 鱼类垂直分布的影响因素

水声学探测结果显示, 博斯腾湖 3 个季节鱼类密度由浅到深均呈现逐渐降低趋势。一般而言,

影响鱼类垂直分布的因素包括光照、水温、溶解氧、食物可获得性, 以及来自捕食者的捕食压力^[26]。就博斯腾湖优势种鱼类而言, 池沼公鱼主要摄食浮游动物, 栖居于湖泊中上层, 白天在较深水层, 傍晚和夜间游到表层和岸边摄食。鳊属于杂食性鱼类, 常栖居于水体沿岸区的上层, 鲫也属于杂食性鱼类, 栖息于湖泊中下层, 可以看出博斯腾湖优势种鱼类各有其自身的空间生态位与食性生态位。通常, 鱼类垂直分布表现出与个体大小和水深相关模式^[27], 大个体居于较深水层, 小个体居于较浅水层, 这种分布模式与资源利用、逃避敌害、水温变化等因素有关^[28-29]。因此, 水深、食物资源和鱼类种类组成及种群动态部分解释了博斯腾湖春季、夏季和秋季鱼类密度随水深逐渐减小, 春季和秋季目标强度随水深逐渐增大, 夏季目标强度在 0~12 m 水深逐渐增大等现象。

除了生物因素, 非生物的环境因素也通常在影响鱼类垂直分布中具有重要作用。博斯腾湖最大水深为 16 m, 本研究调查期间通过水质多参数仪(YSI EXO 3)测量水温和溶解氧的垂直变化如图 5 所示。可以看出, 春季和秋季水温随水深变化幅度较小, 无分层现象; 在夏季的两处深水测量点中, 一处 12 m 左右出现水温的大幅变化, 另一处则没有。3 个季节溶解氧的变化主要发生在水下 10~12 m; 与水温相似, 夏季的一处深水测量点在 12 m 左右溶解氧出现大幅变化, 可能与夏季的环境条件(如风力)更为复杂和多变有关。通过本研究探测的鱼类垂直分布特征, 结合环境因子的垂直变化情形, 推测在春季水深 12 m 以下和秋季 9 m 以下鱼类密度减少可能与水温垂直变化有关, 夏季 12 m 以下鱼类密度快速减少可能与溶解氧和水温的大幅降低相关, 且较大个体鱼类对水温和溶解氧的适应范围更广。

3.3 鱼类资源保护与渔业管理建议

本研究通过水声学方法评估了博斯腾湖鱼类群落的季节和空间分布特征, 初步分析了鱼类密度和大小组成在多个时空维度上的动态变化, 目前尚未见到有关博斯腾湖鱼类资源评估的水声学研究报道, 因此本研究将有助于完善博斯腾湖鱼

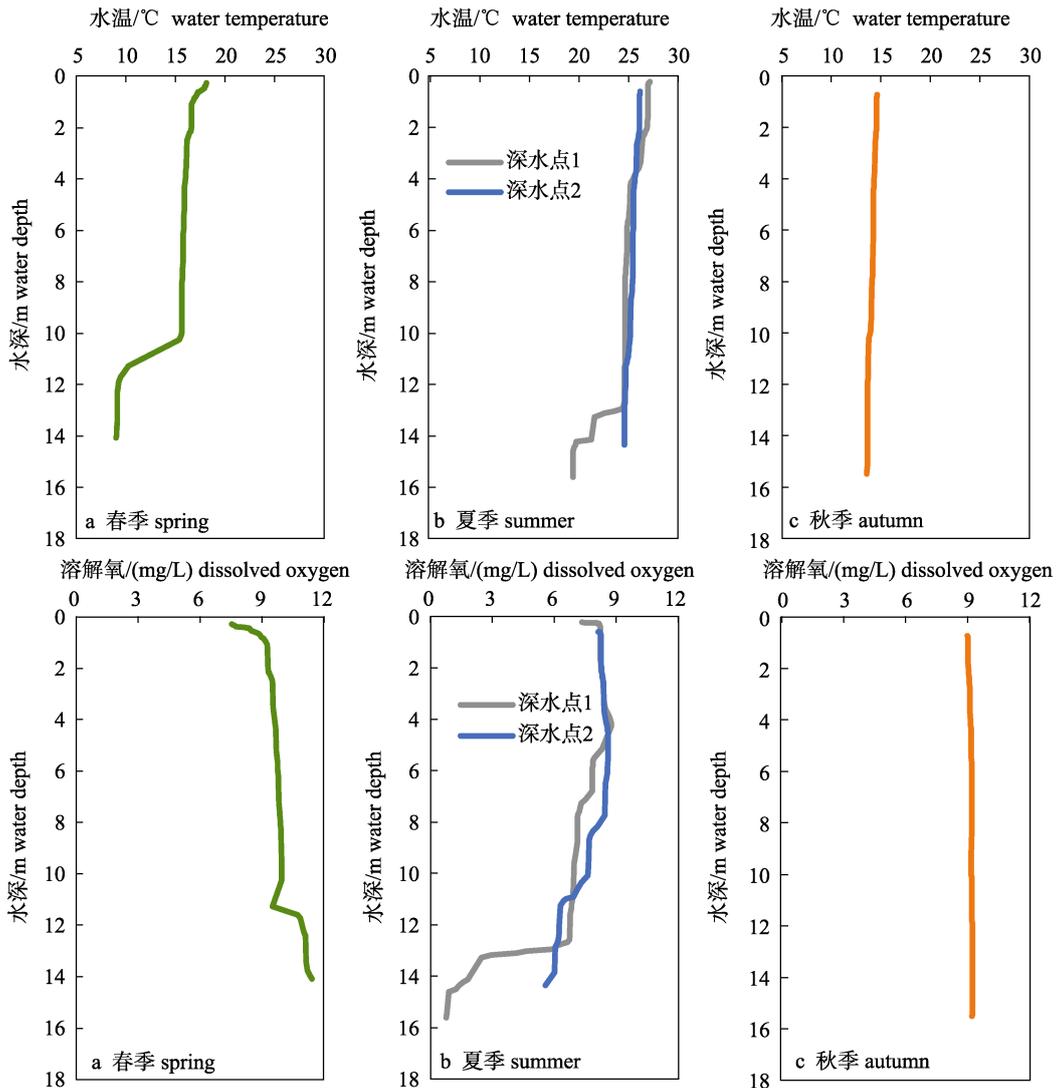


图 5 博斯腾湖水温和溶解氧的垂直变化

a. 春季; b. 夏季; c. 秋季.

Fig. 5 Vertical variation of water temperature and dissolved oxygen in Lake Bosten
a. Spring; b. Summer; c. Autumn.

类资源基础资料, 同时为博斯腾湖鱼类资源保护和合理利用提供科学参考。围绕本研究结果和博斯腾湖其他文献^[2-6], 建议在以下方面加强相关研究与管理工: (1) 鱼类资源保护: 春夏季是鱼类繁殖、仔稚鱼和幼鱼生长的关键时期, 因而需要进一步加强博斯腾湖鱼类繁殖生态学和生境需求等方面研究, 同时加强对沿岸带、水草区等关键栖息地的巡查和保护, 维护沿岸带生境完整性并合理控制水位; (2) 渔业选择性捕捞: 捕捞时间应根据博斯腾湖鱼类繁殖期确定, 延长亲鱼繁殖保护期, 同时严格限制渔具网目规格。博斯腾湖

目前优势种为池沼公鱼、鲮和鲫, 其中池沼公鱼和鲮属于中上层鱼类, 主要摄食浮游动物, 从食物链角度不利于对浮游植物的控制; 鲫主要生活在湖泊中下层, 其活动(尤其是在繁殖季节)扰动底泥造成营养盐释放, 进而影响水质, 因此这 3 种优势种的种群规模需要通过捕捞等手段进行控制; (3) 合理增殖放流: 近些年博斯腾湖富营养化加剧, 应科学评估水体营养水平、饵料生物的鱼产潜力以及生态系统的容纳量, 在此基础上适量放养滤食性鱼类以利用浮游生物, 同时通过繁殖保护和人工放流等途径, 提高土著凶猛性鱼类的

自然种群规模, 以达到控制池沼公鱼、鲮和鲫等小型杂食鱼类的生态调控目的, 进而起到优化鱼类群落结构和生态系统完整性作用。

参考文献:

- [1] Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences. Survey Report on Lakes in China[M]. Beijing: Science Press, 2019. [中国科学院南京地理与湖泊研究所. 中国湖泊调查报告[M]. 北京: 科学出版社, 2019.]
- [2] Liu W, Ma L, Abuduwaili J. Anthropogenic influences on environmental changes of Lake Bosten, the largest inland freshwater lake in China[J]. Sustainability, 2020, 12(2): 711.
- [3] Guo Y, Zhang R M, Cai L G, et al. Fish Resources and Fisheries in Lake Bosten[M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Press, 2005. [郭焱, 张人铭, 蔡林钢, 等. 博斯腾湖鱼类资源及渔业[M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2005.]
- [4] Guo Y, Zhang R M, Cai L G, et al. Ichthyology of Xinjiang[M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Press, 2012. [郭焱, 张人铭, 蔡林钢. 新疆鱼类志[M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2012.]
- [5] Chen P, Ma Y W, Xie C G, et al. Preliminary study on community structure of fishes in Lake Bosten[J]. Freshwater Fisheries, 2014, 44(2): 36-42. [陈朋, 马燕武, 谢春刚, 等. 博斯腾湖鱼类群落结构的初步研究[J]. 淡水渔业, 2014, 44(2): 36-42.]
- [6] Wang P Z, Song D, Zhang Y Z, et al. Resource composition, length-weight relationship and condition factor of fishes in Bosten Lake[J]. Amino Acids and Biotic Resources, 2020, 42(2):181-187 [王普泽, 宋聘, 张尹哲, 等. 博斯腾湖鱼类资源组成、体长与体重关系及生长状况[J]. 生物资源, 2020, 42(2): 181-187]
- [7] Planque B, Loots C, Petitgas P, et al. Understanding what controls the spatial distribution of fish populations using a multi-model approach[J]. Fisheries Oceanography, 2011, 20(1): 1-17.
- [8] Simmonds J, MacLennan D. Fisheries Acoustics: Theory and Practice[M]. 2nd ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2005.
- [9] Pollom R A, Rose G A. A global review of the spatial, taxonomic, and temporal scope of freshwater fisheries hydroacoustics research[J]. Environmental Reviews, 2016, 24(3): 333-347.
- [10] Porto C P, Casarim R, Prado I G, et al. Vertical distribution of fish in the deepest Brazilian Reservoir[J]. Fisheries Management and Ecology, 2022, 29(3): 310-318.
- [11] Godlewska M, Balk H, Izydorczyk K, et al. Rapid *in situ* assessment of high-resolution spatial and temporal distribution of cyanobacterial blooms using fishery echosounder [J]. Science of the Total Environment, 2023, 857: 159492.
- [12] Lian Y X, Huang G, Godlewska M, et al. Hydroacoustic assessment of spatio-temporal distribution and abundance of fish resources in the Xiangxi River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(5): 920-929. [连玉喜, 黄耿, Godlewska M, 等. 基于水声学探测的香溪河鱼类资源时空分布特征评估[J]. 水生生物学报, 2015, 39(5): 920-929.]
- [13] Li P J, Wang Z G, Lin D Q, et al. Space-time characteristics of fishery resources of the Dolphin Provincial Nature Reserve of the Yangtze River in Zhenjiang based on acoustic survey[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(1): 141-148. [李佩杰, 王召根, 蔺丹清, 等. 基于水声学的长江豚类省级自然保护区水域(镇江)渔业资源时空特征[J]. 中国水产科学, 2022, 29(1): 141-148.]
- [14] Foote K G. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: A practical guide. Int. Coun. Explor[M]. Sea Coop. Res. Rep., 1987, 144: 1-69.
- [15] Aglen A. Random errors of acoustic fish abundance estimates in relation to the survey grid density applied[M]. FAO Fisheries Report, 1983, 300: 293-298.
- [16] Foote K G. Fish target strengths for use in echo integrator surveys[J]. The Journal of the Acoustical Society of America, 1987, 82(3): 981-987.
- [17] Parker G A, Smith J M. Optimality theory in evolutionary biology[J]. Nature, 1990, 348(6296): 27-33.
- [18] Li wen jing, Gao X, Liu huan zhang, et al. Coexistence of two closely related cyprinid fishes (*Hemiculter bleekeri* and *Hemiculter leucisculus*) in the Upper Yangtze River, China[J]. Diversity, 2020, 12(7): 284.
- [19] Beatty S J, Allen M G, Whitty J M, et al. First evidence of spawning migration by goldfish (*Carassius auratus*); implications for control of a globally invasive species[J]. Ecology of Freshwater Fish, 2017, 26(3): 444-455.
- [20] Junqueira N T, Macedo D R, Souza R C R, et al. Influence of environmental variables on stream fish fauna at multiple spatial scales[J]. Neotropical Ichthyology, 2016, 14.
- [21] Ye S W, Feng G P, Zhang B, et al. Characteristics of community structure and biomass estimates of small-size fishes in Niushan Lake, Hubei Province, China[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(5):854-862 [叶少文, 冯广朋, 张彬, 等. 牛山湖小型鱼类群落结构特征及生物量估算[J]. 中国水产科学, 2012, 19(5): 854-862]
- [22] Zorn T G, Kramer D R. Changes in habitat conditions, fish populations, and the fishery in northern green bay, Lake Michigan, 1989-2019[J]. North American Journal of Fisheries

- Management, 2022, 42(3): 549-571.
- [23] Misteli B, Pannard A, Aasland E, et al. Short-term effects of macrophyte removal on aquatic biodiversity in rivers and lakes[J]. *Journal of Environmental Management*, 2023, 325: 116442.
- [24] Li L, Du R, Liu Q G, et al. The ontogenetic dietary shift of Japanese grenadier anchovy (*Coilia nasus*) in the Qingcaosha Reservoir near the Yangtze River Estuary[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2019, 26(4):765-773. [李丽, 杜蓉, 刘其根, 等. 长江口青草沙水库刀鲚食性转变[J]. *中国水产科学*, 2019, 26(4): 765-773]
- [25] Nunn A D, Tewson L H, Cowx I G. The foraging ecology of larval and juvenile fishes[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2012, 22(2): 377-408.
- [26] Specziár A, György Á I, Erős T. Within - lake distribution patterns of fish assemblages: the relative roles of spatial, temporal and random environmental factors in assessing fish assemblages using gillnets in a large and shallow temperate lake[J]. *Journal of Fish Biology*, 2013, 82(3): 840-855.
- [27] Wilkins P D, Marsden J E. Differences in seasonal distribution of wild and stocked juvenile lake trout by depth and temperature in Lake Champlain[J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2021, 47(1): 252-258.
- [28] Järvalt A, Krause T, Palm A. Diel migration and spatial distribution of fish in a small stratified lake[J]. *Hydrobiologia*, 2005, 547(1): 197-203.
- [29] Lyche-Solheim A, Feld C K, Birk S, et al. Ecological status assessment of European lakes: A comparison of metrics for phytoplankton, macrophytes, benthic invertebrates and fish[J]. *Hydrobiologia*, 2013, 704(1): 57-74.

Hydroacoustic assessment of spatio-temporal distribution and resource status of fish in Lake Bosten

WANG Puze^{1,2}, SONG Dan^{1,3}, ZHANG Yinzhe¹, LI Junfeng¹, LIU Jiashou¹, YE Shaowen¹

1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China;
2. Institute for Ecological Research and Pollution Control of Plateau Lakes, School of Ecology and Environment, Yunnan University, Kunming 650504, China;
3. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China

Abstract: To assess fish distribution characteristics in Lake Bosten at different seasons and spatial scales as well as the status of fish resources, we conducted lake-wide cruise surveys using a split-beam echosounder (Simrad EY60, 120 kHz) from April to October in 2019. We quantified the spatial and temporal variations in fish density, size composition, and horizontal and vertical distribution. The results showed that fish densities in Lake Bosten in spring, summer, and autumn were 709 ± 141 , 8783 ± 2611 , and 743 ± 499 ind/hm², respectively, with mean target strengths (TS) of -52.95 , -59.91 , and -57.73 dB, respectively. In the horizontal dimension, fish distributed in both the littoral zone and open water area in spring and autumn, and more frequently in the littoral zone and macrophytic area in summer. In the vertical dimension, fish densities decreased with water depth below 3 m in spring, summer, and autumn. The target intensity showed a trend toward increasing with water depth in both the spring and autumn. In summer, the target intensity gradually increased with water depth between 3 and 12 m, while it decreased at water depth greater than 12 m. It is assumed that the spatial and temporal distribution of fish in Lake Bosten is related to factors such as reproduction, growth, and fishing. This study can provide basic data for fish conservation and the rational utilization of fishery resources in Bosten Lake, as well as a scientific basis for lake ecosystem management.

Key words: Lake Bosten; fisheries acoustics; community structure; spatial and temporal distribution; fish resource assessment

Corresponding author: YE Shaowen. E-mail: yeshw@ihb.ac.cn