

黄河小浪底水库主河道水域渔业资源声学评估

李 斌¹, 李佩杰¹, 汤 勇^{1*}, 孙建富¹, 胡亚东², 张剑波²

(1. 大连海洋大学海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023;

2. 河南省水产科学研究院, 河南 郑州 450044)

摘要: 2013 年 11 月 25 日和 2014 年 5 月 22 日, 使用分裂式波束科学鱼探仪 (Simrad EY60, 70 kHz, 挪威) 对黄河小浪底水库库尾大坝至黄河三峡段主河道的渔业资源进行了 2 次声学调查。通过对鱼类目标强度的现场测量, 使用回波积分方法对库区内不同区域鱼类资源平均密度、资源量和空间分布进行了探查和评估。结果表明, 2013 年 11 月和 2014 年 5 月库区内调查水域声学积分值 (nautical area scattering coefficient, NASC) 分别为 $29.38 \text{ m}^2/\text{nm}^2$ 和 $49.77 \text{ m}^2/\text{nm}^2$, 对应的鱼类资源平均密度分别为 $0.016 \text{ 尾}/\text{m}^2$ 和 $0.290 \text{ 尾}/\text{m}^2$, 资源量分别为 41.56 t 和 606.70 t。库区调查区域鱼类密度的空间水平分布, 在大坝附近、主河道中游、上游以及黄河三峡 2013 年 11 月分别为 0.016、0.023、0.024 和 0.009 $\text{尾}/\text{m}^2$, 2014 年 5 月分别为 0.848、0.248、0.077 和 0.083 $\text{尾}/\text{m}^2$ 。2013 年 11 月鱼类资源主要集中于主河道中上游水域, 而 2014 年 5 月则主要集中于主河道中下游水域。鱼类的垂直分布显示了层状分布特征, 黄河三峡段鱼类主要分布于 10~20 m 水层, 其他主河道区域则主要分布在表层以及 20~30 m 水层。2013 年 11 月和 2014 年 5 月鱼类目标强度分别以 -59.5 dB 和 -56.5~-53.5 dB 所占比例最高, 体长较小且经过半年体长有所增加。研究表明, 声学方法适用于黄河小浪底水库渔业资源调查。

关键词: 渔业资源; 声学调查; 资源评估; 时空分布; 小浪底水库

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

小浪底水库位于黄河中游最后段峡谷的出口处, 上距三门峡水库 130 km, 南距河南省洛阳市 40 km, 北距济源市 30 km, 全长 175 km, 水面面积 296 km^2 , 库容量 126.5 亿 m^3 , 是治理开发黄河的关键性工程^[1]。2002 年以来, 黄河水利委员会已经组织开展了 17 次黄河调水调沙。调水调沙时间为每年的 6 月 18 日至 7 月 5 日。小浪底水库一次调水调沙的基本水量是 30 亿 m^3 , 最大流量达到 $4000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。虽然小浪底水库的调水调沙工程对治理黄河起到较为积极的作用, 但是对黄河中下游的鱼类、浮游生物等产生较大影响, 使库区内渔业资源现状和生态的变动把握困难^[2-3]。小浪底水库每年秋季 11 月中下旬进行增殖放流, 主要放流鱼类包括鲢 (*Hypophthalmichthys*

molitrix)、鳙 (*Aristichthys nobilis*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)、鲤 (*Cyprinus carpio*)、鲇 (*Silurus asotus*)、鳊 (*Parabramis pekinensis*) 等, 苗种规格大于 50 g, 每年放流数量不少于 500 万尾。2010 年水库捕捞渔业产量在 2 600 t 左右^[4], 由于库区内多以流刺网和定置网的捕捞方式作业, 且库区捕捞管理分属不同县市, 以拖网采样以及渔获统计方式进行渔业资源现存量评估效率较低。

渔业资源声学调查评估方法以其高效、非接触、不损害渔业资源、回波映像数据可保存与回放以及对比分析便捷等优点, 近年来其已成为欧美等渔业发达国家进行渔业资源现存量调查和数据对比分析的主要方法, 是制定海域不同鱼类总允

收稿日期: 2015-03-22 修回日期: 2015-06-03

资助项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303050); 国家自然科学基金 (10774021)

通信作者: 汤 勇, E-mail: tang@dlou.edu.cn

许渔获量 (total allowable catch, TAC) 的主要依据,在渔业资源评估和生态环境调查等领域得到了广泛应用^[5-8]。国内的相关研究始于上世纪 80 年代,近年来随着渔业声学基础研究的开展和实际应用技术的推广,该方法广泛应用于黄海、东海和南海水域,内陆长江、珠江等主要河流和湖泊水库的渔业资源调查和评估,获得了较好的效果^[9-17]。

本研究选取鱼类增殖放流后和调水调沙前时期对小浪底水库大坝至黄河三峡间主航道水域 (长约 30 km) 的渔业资源进行了 2 次声学调查,通过对比分析不同时期渔业资源量以及资源密度空间分布变化来探讨调水调沙和增殖放流对库区渔业资源的影响,分析渔业声学调查方法在黄河中下游流域的适用性,为开展黄河流域渔业资源调查评估奠定基础,为合理治理黄河、建立新型黄河中下游生态系统提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 调查方法

声学调查时间选择小浪底水库鱼类增殖放流后的 2013 年 11 月 25 日 (日间) 和小浪底水库调水调沙前的 2014 年 5 月 22 日 (日间)。由于小浪底水库库汉内密布养殖网箱,调查区域选择黄河小浪底水库大坝至黄河三峡之间的主河道水域。调查航线设计参考北美大湖渔业声学调查规范和我国海洋生物调查规范的声学调查选项^[18-19]。结合小浪底水库主河道较为狭长的地理地貌特征,将调查航线设计为“之”字型,但受部分主河道区域的定置网箱影响,实际调查过程中该区域航线与设计航线出现一定偏差 (图 1)。

声学调查使用的主要仪器为分裂式波束科学鱼探仪 (Simrad EY60, 70 kHz, 挪威) 和 GPS (Gamin GPS60CSx, 美国)。利用以太网将科学鱼探仪与笔记本电脑 (Dell, D630) 连接,使用专用软件 ER60 进行声学数据采集收录;GPS 通过 RS232 接口与笔记本电脑连接,动态获得经、纬度位置信息。科学鱼探仪设定的发射功率为 1 kw、脉冲宽度 512 μ s、数据采集深度 150 m。换能器波束半功率指向全角为 7.1°、等效波束角为 -21 dB。吸收系数和声速根据现场调查水温由仪器根据计算模型获得,2013 年 11 月分别为 1.078 dB/km 和 1 482.34 m/s,2014 年 5 月分别

为 1.143 dB/km 和 1 475.87 m/s,对回波的强度和距离进行补偿。调查前使用直径 38.1 mm 钨碳合金标准球 (tungsten carbide standard sphere),按照仪器使用说明方法对科学鱼探仪进行系统收发增益系数等校正。调查船使用长度 16 m 的玻璃制渔政快艇,换能器悬挂于船体左舷外侧,垂直向下固定于水下 1 m 处。采用航行断面生物回波采样方式,航速 5-7 kn。

1.2 资源量的声学评估方法

声学数据后处理及资源评估使用专用软件 Echoview4.6 (Myriax),采用回波积分法进行资源密度计算及其空间分布特征分析^[7]。该研究针对 2013 年 11 月调查数据中的鱼类回波分布和地理位置特征将调查区域分为 4 个区进行资源量统计,其中大坝附近水域为 I 区,库区主航道中游为 II 区,主航道上游为 III 区,黄河三峡段为 IV 区,然后对 2014 年 5 月的调查数据进行对比分析 (图 1)。在鱼类垂直空间分布特征统计分析方面,考虑黄河三峡段的狭长地理特征,将其与主航道库区分开处理分析,以 10 m 水深为间隔,从表层至库底分别计算统计不同水层的渔业资源密度。

在回波映像数据的处理过程中,将不同类型的回波映像进行分类,剔除水库表层附近的航行气泡回波、浮游生物回波、空化效应引起的回波断裂和库底多重回波等映像,重新设置表层积分上限和库底积分下限,保留用于评估渔业资源量的鱼群和单体鱼映像数据。

由于该研究没有进行网具采样,而且大多数鱼类呈单体目标形式存在 (图 2),鱼类目标强度 (target strength, TS, dB) 采用现场 (in situ) 测定法。使用 Echoview 软件对声学数据进行单体目标检测和单体目标轨迹追踪后,进行鱼类 TS 测定 (最小阈值设定为 -65 dB),获得鱼类 TS 的频度分布。然后通过对不同调查区域内平均面积散射系数 (area backscattering coefficient, s_a , m^2/m^2) 的测定^[7],在不考虑体长分布情况下可获得各调查区域资源平均密度 (average density of resources, 尾/ m^2) $\bar{\rho} = \frac{\bar{s}_a}{\sigma_{bs}}$,式中, s_a (m^2/m^2) 为面积散射系数, σ_{bs} 为后向散射截面 (backscattering cross-section, $m^2/尾$),它与 TS 的关系为 $TS = 10 \log \sigma_{bs}$,考虑不同体长分布,可获得不同 TS 阶层对应的资源平均

密度 $\bar{\rho}_i = \frac{\bar{S}_a}{\sigma_{bsi} \sum_{i=1}^k p_i \sigma_{bsi}}$, 式中, s_a (m^2/m^2) 为面积散

射系数, p 为其频度分布, σ_{bs} ($\text{m}^2/\text{尾}$) 为后向散射截面, i 表示鱼类不同体长阶级。

根据库区内鱼类均为有鳔鱼类的特征, 平均 TS 与鱼体全长的换算使用一般有鳔鱼类模型^[7] $TS = 20 \log L_{\text{cm}} - 66$, 式中, L_{cm} (cm) 为鱼体全长。体重 (W, g) 计算参照黄河鲫鱼 (*Carassius auratus*) 的体重体长拟合关系式^[20] $W = 0.0381 L_{\text{cm}}^{2.929}$ 。库区内渔

业资源量 (fisheries resources, g) 为 $B = \sum_{j=1}^4 A_j \sum_{i=1}^k \bar{\rho}_i W_i$, 式中, j 为不同调查区域, A 为主河道 4 个调查区域面积 (不包括库汉, km^2), 利用谷歌地图软件测算主河道调查水域面积约 50 km^2 。其中, I 至 IV 区面积分别为 15.28 、 16.43 、 12.79 及 5.83 km^2 (图 1)。不同区域的声学积分值 (nautical mile area scattering coefficient, $NASC = 4\pi (1852)^2 s_a, \text{m}^2/\text{nmi}^2$) 通过平均 s_a 值进行换算。

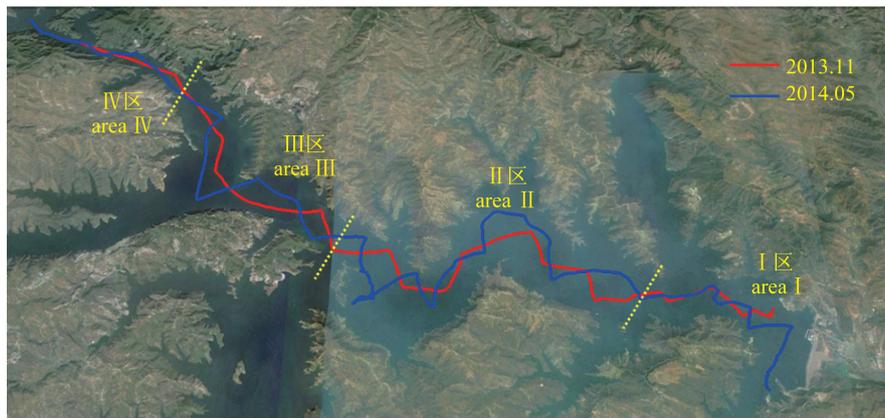


图 1 小浪底水库渔业声学调查航线及探测区域划分图

Fig. 1 The acoustic survey track of fisheries in Xiaolangdi reservoir and the partitions of investigating areas

2 结果

2.1 各区域的回波特征

利用 Echoview 软件对比分析 2013 年 11 月和 2014 年 5 月小浪底水库各调查区域回波映像的区域特征。整体而言 2014 年 5 月较 2013 年 11 月的回波强度有较大增强, 分布面积也有所扩大。在大坝附近的深水区域, 回波层状分布, 集中在 $0 \sim 8 \text{ m}$ 及 $15 \sim 25 \text{ m}$ 水层, 25 m 以下较多分散单体回波, 10 m 以浅水层有密集小型鱼群回波, 底层存在较多单体回波 (图 2 - a)。在主河道中游水域, 回波层状分布。2013 年 11 月集中于 $10 \sim 20 \text{ m}$ 水层呈连续带状分布, 2014 年 5 月则主要集中于 10 m 以浅及 20 m 以深水层, 其余水层存在分散单体回波, 10 m 以浅偶有小型密集鱼群回波, 底层存在较多单体回波 (图 2 - b, c)。在主河道上游水域, 回波分散分布, 存在大量回波强度较大的单体回波, 部分区域单体回波较为密集, 底层存在密集单体回波 (图 2 - d)。在黄河三峡区域, 回波层状分布, 集中于 $12 \sim 21 \text{ m}$ 水层呈非连续带状

分布, 在 $5 \sim 15 \text{ m}$ 水层偶有鱼群回波, 底层存在大量单体回波 (图 2 - e)。

2.2 单体鱼类目标强度的分布

利用 Echoview 软件进行鱼类单体目标检测和轨迹追踪, 获得不同区域单体鱼类的现场平均 TS (图 3)。

根据公式进行 TS 与鱼体全长换算, 2013 年 11 月在黄河小浪底库区 (I - IV 区) 均以 -59.5 dB 所占比例最高, 对应鱼体全长约 2.1 cm 。从大坝附近 (I 区) 至黄河三峡 (IV 区), TS 有增大的趋势。2014 年 5 月大坝附近 (I 区) 检测到的鱼类 TS 以 -56.5 dB 所占比例最高 (约 3.0 cm 的个体); 主河道库区中游 (II 区) 以 -56.5 dB 和 -53.5 dB 为主, 且所占比例相差不大, 对应鱼体全长约 3.0 和 4.2 cm 的个体; 主河道库区上游 (III 区) 和黄河三峡 (IV 区) 以 -53.5 dB 所占比例最高, 对应鱼体全长约 4.2 cm 的个体。2 次调查鱼类体长虽有所增长, 但以表层小个体鱼类占据绝大多数。2013 年 11 月规格较大鱼类所占比例较 2014 年 5 月的高 (图 3)。

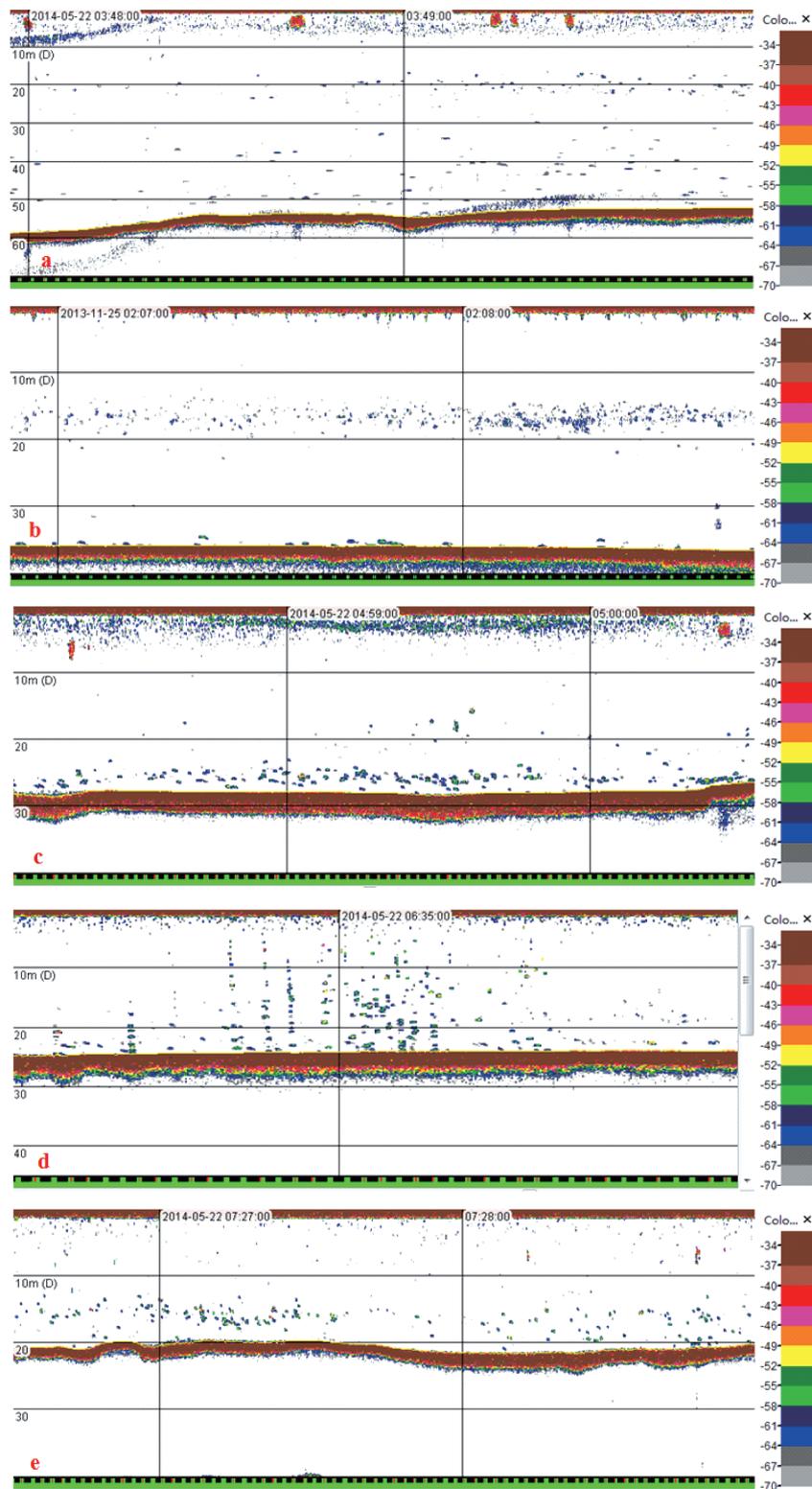


图 2 各调查区域鱼类回波分布特征图

(a)I区,2014年5月;(b)II区,2013年11月;(c)II区,2014年5月;(d)III区,2014年5月;(e)IV区,2014年5月(回波图时间为格林尼治时间)

Fig. 2 The features of fish echo distribution in different areas

(a) area I, May, 2014; (b) area II, November, 2013; (c) area II, May, 2014; (d) area III, May, 2014; (e) area IV, May, 2014 (the time shown in echogram is GMT)

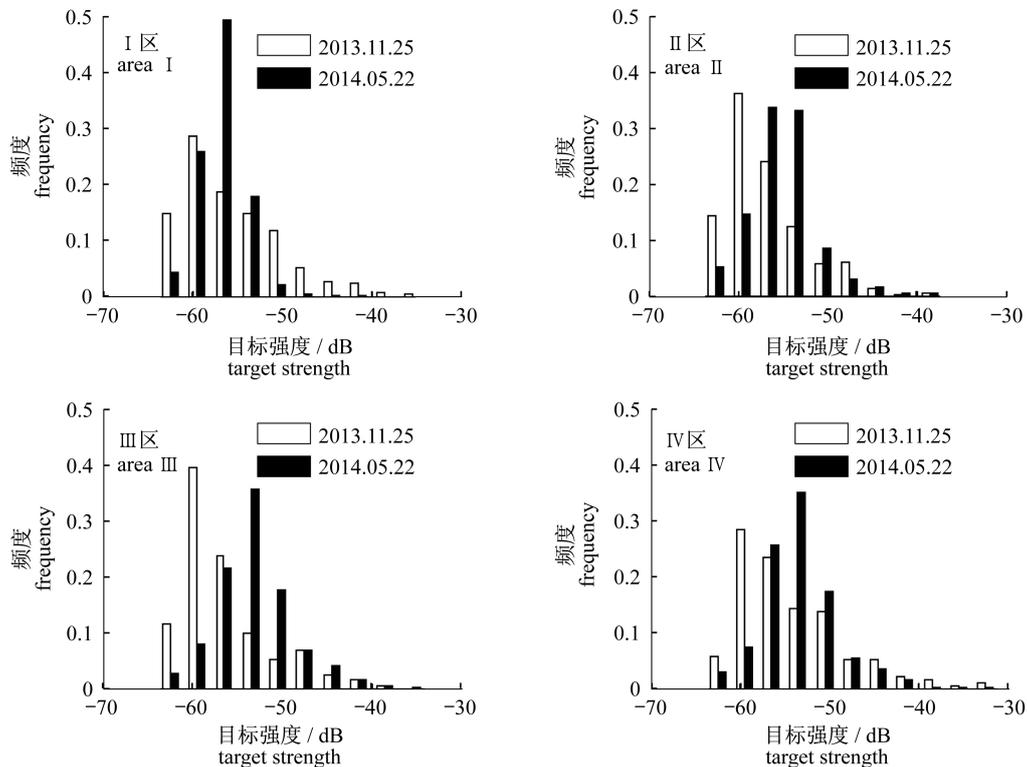


图3 小浪底水库不同区域现场目标强度频数分布图

Fig.3 The frequency distribution of fish target strength (in situ) in various areas

2.3 资源密度和资源量评估

2013年11月和2014年5月调查库区内的声学积分值(NASC)分别为29.38和49.77 m²/nm²,各调查区域(I-IV)的声学积分值依次为5.61、4.60、5.52、6.47 m²/nm²及

94.09、53.18、28.27、29.38 m²/nm²。考虑不同体长分布,获得2次调查库区内各调查区域(I-IV)不同TS阶层对应的渔业资源密度及各调查区域的资源量结果(表1,2)。

表1 2013年11月和2014年5月各调查区域不同TS阶层渔业资源密度

Tab.1 The fisheries resources density of different TS sectors for various survey areas in November,2013 and May,2014

目标强度/dB target strength	时间 time	资源平均密度/(尾/m ²) average resources density			
		I区 area I	II区 area II	III区 area III	IV区 area IV
-62.5	2013.11	0.002 32	0.003 43	0.002 69	0.000 52
	2014.05	0.034 72	0.012 45	0.002 00	0.002 38
-59.5	2013.11	0.004 52	0.008 61	0.009 32	0.005 15
	2014.05	0.212 89	0.035 00	0.006 03	0.006 00
-56.5	2013.11	0.002 94	0.005 72	0.005 59	0.004 23
	2014.05	0.410 06	0.081 27	0.016 42	0.020 94
-53.5	2013.11	0.002 35	0.002 95	0.002 35	0.002 57
	2014.05	0.148 70	0.079 66	0.028 74	0.029 55
-50.5	2013.11	0.001 86	0.001 32	0.001 24	0.002 48
	2014.05	0.016 77	0.020 61	0.013 54	0.014 15
-47.5	2013.11	0.000 82	0.001 45	0.001 59	0.000 92
	2014.05	0.004 06	0.007 19	0.005 24	0.004 30

续表 1

目标强度/dB target strength	时间 time	资源平均密度/(尾/m ²) average resources density			
		I 区 area I	II 区 area II	III 区 area III	IV 区 area IV
-44.5	2013.11	0.000 42	0.000 30	0.000 55	0.000 92
	2014.05	0.001 57	0.003 54	0.003 06	0.002 83
-41.5	2013.11	0.000 36	0.000 06	0.000 35	0.000 37
	2014.05	0.000 92	0.001 29	0.001 22	0.001 13
-38.5	2013.11	0.000 11	0.000 12	0.000 07	0.000 28
	2014.05	0	0.000 86	0.000 35	0.000 11
-35.5	2013.11	0.000 07	0	0	0.000 09
	2014.05	0	0	0.000 09	0.000 11
-32.5	2013.11	0	0	0	0.000 18
	2014.05	0	0	0	0.000 11

表 2 2013 年 11 月和 2014 年 5 月各调查区域渔业资源量

Table 2 The fisheries resources for various survey areas in November,2013 and May,2014

时间 time	鱼类资源量/t fishery resources				总计/t total
	I 区 area I	II 区 area II	III 区 area III	IV 区 area IV	
	2013.11	10.34	13.69	10.81	
2014.05	412.40	137.55	37.26	19.49	606.70

2.4 资源平均密度空间分布

资源平均密度水平空间分布 2013 年 11 月主河道库区上游区域(III 区)资源密度最高为 0.024 尾/m²,库区中游(II 区)次之为 0.023 尾/m²,与库区上游区域差别不大。而大坝附近水域(I 区)资源密度为 0.016 尾/m²,黄河三峡区

域(IV 区)资源密度则最低为 0.009 尾/m²。2014 年 5 月大坝附近(I 区)资源密度最高为 0.848 尾/m²,库区中游(II 区)次之为 0.248 尾/m²,而黄河三峡区域(IV 区)资源密度为 0.083 尾/m²,主河道上游(III 区)资源密度则最低为 0.077 尾/m²(图 4)。

根据单体目标以表层小型鱼类为主的特征(图 3),而增殖放流多为中下层鱼类,为了考察增殖放流效果,进行 10 m 以下水层的资源平均密度计算。2013 年 11 月和 2014 年 5 月大坝附近区域(I 区)至黄河三峡区域(IV 区)10 m 以下水层资源密度依次为 0.015、0.016、0.013、0.008 尾/m²和 0.091、0.039、0.030、0.035 尾/m²,各区域资源平均密度分别增加了 6.07、2.44、2.31、4.38 倍(图 4)。

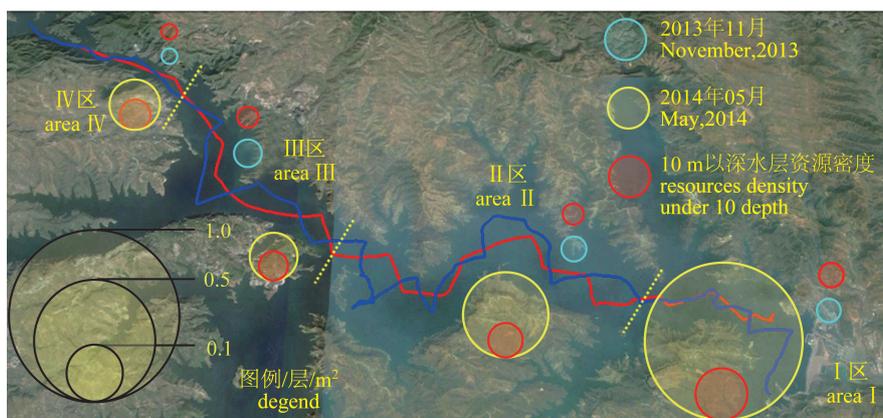


图 4 黄河小浪底水库资源平均密度水平空间分布图

Fig. 4 The horizontal spatial distribution of average resources density in the Yellow River Xiaolangdi reservoir

资源平均密度垂直空间分布 通过对不同水层的鱼类目标回波积分,结合对应 TS 的测定分布,获得两次调查水库主航道区域(I - III 区)和

黄河三峡段(IV 区)的资源平均密度垂直空间分布(图 5)。2013 年 11 月的调查中,主航道区域鱼类主要分布在 10 ~ 20 m 水层,密度为 0.018

尾/ m^2 ,黄河三峡区域鱼类主要分布于10 m以下水层密度为0.005~0.008尾/ m^2 。2014年5月调查中,主航道区域鱼类则主要集中于10 m以浅水层分布密度为0.062尾/ m^2 ,20~30 m水层次之,密度为0.020尾/ m^2 ,其他水层分布较少且较为均匀,密度在0.005~0.010尾/ m^2 之间。黄河三峡区域鱼类则主要分布于10~20 m水层,密度为0.034尾/ m^2 。

除了主航道区域的10~20 m水层以及黄河三峡区域的20~30 m水层,其他水层在2014年5月的密度都要远高于2013年11月的密度。

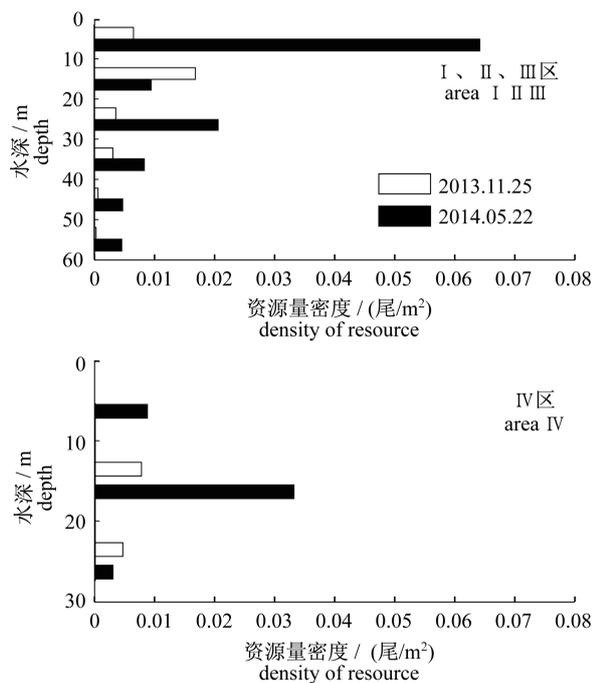


图5 黄河小浪底水库资源平均密度垂直空间分布
Fig. 5 The vertical spatial distribution of average resources density in the Yellow River Xiaolangdi reservoir

3 讨论

3.1 声学调查方法的适用性

该调查针对小浪底库区的狭长地理特征,实施“之”字形调查采样航线,设计调查航线覆盖系数为5.16,实际调查航线覆盖系数为5.65^[18-19]。调查结果显示,库区以鱼类单体回波分散分布为主,可以满足空间采样随机性的声学采样要求。但受调查区域内部分水面存在定置网具的影响,局部设计航线被现场修改,临时绕行。同时由于调查船只较小,抗风浪性较差,容易偏离设计航线。在后期处理过程中,通过分区域计算平均声

学积分值的方法(分区采样方式)降低航线偏差所产生空间采样密度不均匀的影响。

对于库区内资源现存量的统计计算,受调查船只无网具对应声学目标进行采样,不同鱼种单体目标强度测定的基础工作尚未开展,鱼类体长对应的TS模型和鱼类体质量体长换算模型没有根据库区鱼种测定,需在今后的研究中完善。受声学目标识别没有针对鱼种和捕捞数据统计不够充分等因素限制,绝对资源量评估的准确性存在问题,但对于讨论不同时节鱼类资源量的相对变化影响不大,能够较为准确地反映库区资源量现状变化和空间结构分布,说明声学调查评估方法完全适用于该水域。对于将来能够精确到不同鱼种的资源声学调查评估,还需要逐步完成以上的基础研究。由于调查水域的库区内布满了养殖网箱,无法进行声学调查采样,因此2次调查结果仅代表小浪底水库大坝至黄河三峡之间约30 km主河道水域内的渔业资源现存量。

3.2 调水调沙及增殖放流对库区渔业资源的影响

该研究利用声学回波积分方法对小浪底水库主河道水域进行了不同季节的渔业资源评估,根据声学积分值(NASC)的变化,2013年11月为29.38 m^2/nmi^2 ,2014年5月为49.77 m^2/nmi^2 ,以及资源密度的变化反映出调水调沙前及增殖放流后库区内渔业资源的变化状况。但是由于缺少调水调沙后的调查数据,该研究尚不能量化说明调水调沙对库区渔业资源的影响,需在后续的研究中进行补充。库区在每年的4月1日至6月30日为禁渔期,放流品种多为10 m以深水层分布的鱼类,选择该水层范围鱼类密度进行对比分析,可以反映相同鱼类的资源变动,根据增殖放流后到调水调沙前的资源增长现状,除了库区内鱼类自然繁殖的增长,增殖放流对库区渔业资源恢复起到较好的补充作用。但是,增殖放流效果的准确评价尚需结合网具采样以及库区渔获数据等进行更为细致的调查和分析。库区内较大个体鱼类的密度较低,且较大型个体($TS > -36$ dB,全长大于30 cm)2013年11月的相对量要高于2014年5月,也反映出库区内增殖放流后至调水调沙前较大型个体鱼类的现状。

3.3 单体目标检测和资源密度

由于回波积分法的使用,鱼类的现场TS测定

是关键环节。Sawada等^[21]研究表明,现场测量鱼类TS受鱼群的密度影响,过大的鱼群密度会导致单体目标检测数量过少而产生采样偏差。其定义的 N_v 即采样体积内鱼类尾数(均值)在不超过0.04时现场目标强度的测定有效^[21]。2013年11月和2014年5月两次调查 N_v 分别为0.0006和0.01,说明现场测定TS的方法有效,使用回波积分法所评估的资源密度及空间分布具有较好的效果。鱼类目标强度的空间和时间分布特性对研究鱼类行为和鱼种的声学识别具有很好的支持作用,但是由于该研究没有实施对应回波的网具采样,无法对此进行分析,需在后续研究中开展。

淡水调查船只一般没有拖网工具,因此鱼类采样问题较为突出,限制了渔业资源声学评估技术的推广,是否可以使用三重流刺网等选择性较低的渔具渔法进行生物学研究,需要今后进行实验研究。

3.4 鱼类的空间分布

以往的研究表明淡水鱼类不同季节的垂直空间分布特征变化明显^[22-23]。该研究结果显示小浪底水库也具有相同的特点,对应不同季节鱼类受水温及溶氧等因素的影响需在今后的研究中进一步开展。

对于库区鱼类的水平分布,2013年11月主要分布于水库主河道中上游水域,而2014年5月则主要分布于库区主河道的中下游水域。相比而言,黄河三峡段鱼类资源密度2次调查均较低。10 m以下水层的鱼类密度分布2次调查结果趋势基本相同,大坝附近密度略大,主航道水域基本相同,而黄河三峡段较低。

根据2次调查平均TS的变化,2013年11月-59.5 dB,2014年5月-56.5和-53.5 dB所占比例最高,库区内鱼类主要以表层小规格野生鱼类为主,且经过半年体长有所增长。根据捕捞数据应为鳊条(*Hemiculter leucisculus*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)等小型鱼类,而2014年5月调查中密集小型鱼群则有可能为集群的银鱼(*Hemisalanx prognathus*)。同时2014年5月的调查中,大坝附近水域体现了小型鱼类高密度分布的特点,需要在以后的研究中进行确认。

综上所述,声学方法适用于小浪底水库渔业资源现存量调查与评估,在今后的研究中既可以通过对比调水调沙前后的资源量及空间分布状态

的变化,来分析调水调沙对库区渔业资源生态变动的影响,同时也可以结合渔获数据评价增殖放流对恢复库区渔业资源的作用。

参考文献:

- [1] Qiu X S, Zhi G Z, Feng Y W. SAS linear regression model on the Yellow River's man-made floods and sand drainage in Xiaolangdi [J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry: Natural Science, 2006, 21(3): 94-97. [邱学绍, 职桂珍, 冯延伟. 黄河小浪底调水调沙问题的SAS回归模型. 郑州轻工业学院学报:自然科学版, 2006, 21(3): 94-97.]
- [2] Jie Z L, Zhu W J. The water-sediment regulation of Xiaolangdi Reservoir impact on fisheries resources on the lower reaches of the Yellow River and countermeasures research [J]. Henan Fisheries, 2010(1): 7-9. [介子林, 朱文锦. 小浪底水库调水调沙对黄河下游渔业资源影响及对策研究. 河南水产, 2010, (1): 7-9.]
- [3] Jie Z L, Hu Y D, Zhang K, et al. The research on measures of slowing the water-sediment regulation of Xiaolangdi Reservoir impacts on fisheries resources [J]. Henan Fisheries, 2012(1): 31-32. [介子林, 胡亚东, 张坤, 等. 减缓小浪底水库调水调沙对鱼类资源影响措施研究. 河南水产, 2012, (1): 31-32.]
- [4] Lü X S. The fisheries development problems and countermeasures of Xiaolangdi Reservoir [J]. Henan Fisheries, 2013(3): 42-44. [吕无双. 小浪底水库渔业发展的问题与对策. 河南水产, 2013, (3): 42-44.]
- [5] Koslow J A. The role of acoustics in ecosystem-based fishery management [J]. Ices Journal of Marine Science, 2009, 66(6): 966-973.
- [6] Simmonds E J, Gutierrez M, Chipollini A, et al. Optimizing the design of acoustic surveys of Peruvian anchoveta [J]. Ices Journal of Marine Science, 2009, 66(6): 1341-1348.
- [7] Simmonds J, MacLennan D. Fisheries acoustics: Theory and practice [M]. 2nd Edition. Oxford: Blackwell Science, 2005: 59-379.
- [8] Harbitz A, Ona E, Pennington M. The use of an adaptive acoustic-survey design to estimate the abundance of highly skewed fish populations [J]. Ices Journal of Marine Science, 2009, 66(6): 1349-1354.

- [9] Zhao X Y, Wang Y, Dai F Q. Depth-dependent target strength of anchovy (*Engraulis japonicus*) measured in situ [J]. *Ices Journal of Marine Science*, 2008, 65 (6): 882 - 888.
- [10] Zhao X Y. In situ target - strength measurement of young hairtail (*Trichiurus haumela*) in the Yellow Sea [J]. *Ices Journal of Marine Science*, 2006, 63 (1): 46 - 51.
- [11] Li N N, Chen G B, Yu J, *et al.* Assessment of biomass in artificial reef area of Yangmeikeng in Daya Bay using acoustic method [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35 (11): 1640 - 1649. [李娜娜, 陈国宝, 于杰, 等. 大亚湾杨梅坑人工鱼礁水域生物资源量声学评估. 水产学报, 2011, 35 (11): 1640 - 1649.]
- [12] Chen G B, Li Y Z, Zhao X Y, *et al.* Acoustic assessment of five groups commercial fish in South China Sea [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2006, 28 (2): 128 - 134. [陈国宝, 李永振, 赵宪勇, 等. 南海 5 类重要经济鱼类资源声学评估. 海洋学报, 2006, 28 (2): 128 - 134.]
- [13] Chen G B, Li N N, Chen P M, *et al.* Target strength measurements of pearl-spotted spinefoot (*Siganus oramin*) in the South China Sea [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17 (6): 1293 - 1299. [陈国宝, 李娜娜, 陈丕茂, 等. 南海黄斑蓝子鱼的目标强度测量研究. 中国水产科学, 2010, 17 (6): 1293 - 1299.]
- [14] Tao J P, Gong Y T, Tan X C, *et al.* Spatiotemporal patterns of the fish assemblages downstream of the Gezhouba Dam on the Yangtze River [J]. *Scientia China; Life Scientia*, 2012, 42 (8): 677 - 688. [陶江平, 龚昱田, 谭细畅, 等. 长江葛洲坝下江段鱼类群落变化的时空特征. 中国科学: 生命科学, 2012, 42 (8): 677 - 688.]
- [15] Tan X C, Li X H, Lin J Z, *et al.* Ecological differentiation between two breeding populations of *Megalobrama hoffmanni* in the Pearl River based on hydro-acoustic research [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29 (4): 1756 - 1762. [谭细畅, 李新辉, 林建志, 等. 基于水声学探测的两个广东鲂产卵群体繁殖生态的差异性. 生态学报, 2009, 29 (4): 1756 - 1762.]
- [16] Tao J P, Chen Y B, Qiao Y, *et al.* Hydro-acoustic surveys on spatial distribution of fishes in the Three Gorges Reservoir during the first impoundment [J]. *Journal of Hydroecology*, 2008, (5): 25 - 33. [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, (5): 25 - 33.]
- [17] Wang J, Zhang C, Wang D, *et al.* Acoustic assessment of sliver carp and bighead carp in Qinghe Reservoir: Comparing echo - counting and echo - integration methods [J]. *South China Fisheries Science*, 2010, 6 (5): 50 - 55. [王靖, 张超, 王丹, 等. 清河水库鲢鳙鱼类资源声学评估一回波计数和回波积分法的比较. 南方水产, 2010, 6 (5): 50 - 55.]
- [18] Parker - Stetter S L, Rudstam L G, Sullivan P J, *et al.* Standard operating procedures for fisheries acoustic surveys in the great lakes [M]. Michigan: Special Publication, 2009: 53 - 62.
- [19] General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GBT 12763. 6 - 2007 Specifications for oceanographic survey - Part 6: Marine biological survey [S]. Beijing: China Standard Press. [中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GBT 12763. 6 - 2007 海洋调查规范—第 6 部分: 海洋生物调查. 北京: 中国标准出版社, 2007]
- [20] Qiu X C, Wang Y J. Calculation and analysis on the scale-radius and body-length, body-length and body-weight of Huanghe River *Carassius auratus* by computer [J]. *Journal of Ningxia University: Natural Science Edition*, 2000, 21 (2): 186 - 188. [邱小琮, 王远吉. 黄河鲫鱼鳞径与体长、体长与体重相关关系的微机计算分析. 宁夏大学学报: 自然科学版, 2000, 21 (2): 186 - 188.]
- [21] Sawada K, Furusawa M, Williamson N J. Conditions for the precise measurement of fish target strength in situ [J]. 1993, 20: 15 - 79.
- [22] Ren Y Q. Studies on fish distribution and relative environmental factors in the Pengxi River of Three Gorges Reservoir [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011. [任玉芹. 三峡库区澎溪河鱼类分布特征及相关环境因子的研究. 武汉: 华中农业大学, 2011.]
- [23] Zhang Z, Lin D Q, Tang Y, *et al.* Seasonal variability of fisheries resources in Dahuofang Reservoir based on acoustic survey method [J]. *South China Fisheries Science*, 2014, 10 (6): 12 - 19. [张赞, 蔺丹清, 汤勇, 等. 基于声学测量方法的大伙房水库鱼类资源季节变动特征. 南方水产科学, 2014, 10 (6): 12 - 19.]

Acoustic survey of the fisheries resources in the main channel of Xiaolangdi Reservoir in the Yellow River

LI Bin¹, LI Peijie¹, TANG Yong^{1*}, SUN Jianfu¹, HU Yadong², ZHANG Jianbo²

(1. College of Marine Sci-Tech and Environment, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

2. Fisheries Science Research Institute of Henan Province, Zhengzhou 450044, China)

Abstract: The Xiaolangdi reservoir is a key water-control project located in the middle reaches of the Yellow River in Henan Province, China. Since 2002, the water and sediment regulation operations have been conducted in this area during June or July every year. In autumn, juvenile fish is artificially released into the reservoir to prevent the fishery resources from decreasing as a result of the project. In order to know the influence of this project on the fishery resources, acoustic investigations on fishery resources were conducted in the main channel areas from the dam to the Yellow River Three Gorges in the Xiaolangdi reservoir. A split-beam scientific echo sounder (Simrad EY60, 70 kHz, Norway) was used on November 25, 2013 (after the water and sediment regulation) and May 22, 2014 (before water and sediment regulation), respectively. The average density of fishery resources, the population size and the spatial distribution in different areas of reservoir were surveyed and estimated according to the survey on fish target strength in situ and the use of echo integration methods. As a result, the acoustic integral value; Nautical Area Scattering Coefficient (NASC) in the reservoir were 29.38 m^2/nm^2 and 49.77 m^2/nm^2 in November 2013 and May 2014, respectively, also the average density of fishery resources were 0.016 ind/ m^2 and 0.290 ind/ m^2 , and the population size were 41.56 t and 606.70 t, respectively. For the horizontal distributions of fishery resources in the different investigated areas, the average density of fishery resources in the areas are as follows: areas close to the dam saw a horizontal distribution of 0.016 ind/ m^2 ; the middle reaches of the river with 0.023 ind/ m^2 ; the upper reaches with 0.024 ind/ m^2 ; and Three Gorges area with 0.009 ind/ m^2 in November 2013. In May 2014, the horizontal distributions of fishery resources for the same locations were 0.848 ind/ m^2 , 0.248 ind/ m^2 , 0.077 ind/ m^2 , 0.083 ind/ m^2 , respectively. The NASC in the corresponding areas were 5.61 m^2/nm^2 , 4.60 m^2/nm^2 , 5.52 m^2/nm^2 , 6.47 m^2/nm^2 in November 2013; and 94.09 m^2/nm^2 , 53.18 m^2/nm^2 , 28.27 m^2/nm^2 , 29.38 m^2/nm^2 in May 2014 for the respective area segments. The fishery resources were distributed mainly in the upper and middle reaches of the reservoir in November 2013, and in the lower and middle reaches in May 2014. Fish in the reservoir showed the characteristics of layered vertical distribution. In the area of the Yellow River Three Gorges, fish is mainly distributed in the 10 m to 20 m water layer. In the main channel area, fish is mainly distributed in the surface water layer and the 20 m to 30 m layer. The fish target strength (in situ) had respectively highest proportions of -59.5 dB in November 2013, and -56.5 dB to -53.5 dB in May 2014. This shows that the fish size was relatively small and the body length increased six months later. These results support the idea that the fishery acoustic survey is an effective method for the fishery resources assessment in the Xiaolangdi reservoir.

Key words: fishery resources; acoustic survey; resource assessment; spatial-temporal distribution; Xiaolangdi reservoir

Corresponding author: TANG Yong. E-mail: tang@dlou.edu.cn