

北盘江董箐与光照库区鱼类资源水声学调查

莫伟均¹, 王从锋^{1,2}, 秦孝辉¹, 张敏娟³, 刘慧杰¹

(1. 三峡大学水利与环境学院, 湖北 宜昌 443002;

2. 三峡地区地质灾害与生态环境湖北省协同创新中心, 湖北 宜昌 443002; 3. 贞丰县农业局, 贵州 贵阳 562200)

摘要:2014年7月16-28日,首次利用双频识别声纳 DIDSON 对贵州北盘江光照与董箐库区的鱼类进行了水声学调查,同步进行水质监测。航线均采用“之”字形,平均航速约 5 km/h,董箐库区航程 15.30 km,光照库区航程总计 11.57 km。同步水质监测使用 Hydrolab DS5 多参仪,走航过程中坐标位置由 GPS (MobileMapper 10) 读取。水质采样点上用 vector Pluse 多普勒点式流速仪测量该点表层流速。监测期间,在各个江段进行水声学探测后,使用网目 6 cm 的流刺网在水体底层进行生物采样。董箐库区体长 50~100 cm 鱼所占比例为 49.48%,光照库区体长 20~50 cm 鱼比例达 60.55%。董箐库区的鱼类多分布在 0~15 m 的中上层水层,而光照库区的鱼类多集中在 15~30 m 的中下层水层。各水层分布的鱼类数量,董箐库区相差不大,而光照库区差异较大。2 库区表层水体中温度、溶氧和叶绿素 a 值存在显著差异;中层水体中温度、溶氧和叶绿素 a 值差异显著;底层水体的温度和溶氧差异显著。董箐与光照库区表层水流流速差异显著。鱼类平均密度董箐库区为 $(17\,240 \pm 6\,240) \times 10^3$ 尾/km³,光照库区为 $(11\,750 \pm 1\,860) \times 10^3$ 尾/km³。董箐库区探测江段共收集渔获物 94 580.62 g, 鱼类 20 种、231 尾;放流的长臀鮠 *C. boudierius*、光倒刺鲃 *S. hollandi*、白甲鱼 *O. sima* 和花鲢 *H. maculats* 占渔获物重量 66.17%、数量 44.23%。光照库区探测段共收集渔获物 92 165.45 g, 鱼类 13 种、155 尾;放流的 4 种鱼占渔获物重量 28.22%、数量 31.41%。北盘江梯级电站开发以来,董箐和光照库区现存鱼类资源密度偏低,但生长结构基本合理。

关键词:鱼类资源;水声学调查;双频识别声纳仪;北盘江

中图分类号:S932.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2015)03-0010-08

北盘江发源于曲靖市马雄山西北坡,与南盘江在贵州省望谟县蔗香交汇形成红水河,全长 441.9 km,流域位于 24°50'~26°50'N、103°50'~106°15'E,其干流分为上游、中游、下游 3 段。云南省沾益县马雄山至贵州省六盘水市水城县都格为上游段,都格至贵州省安顺市关岭县板贵乡付家寨(打邦河汇口)为中游段,付家寨至贵州省望谟县蔗香双江口(北盘江与南盘江汇合口)为下游段。中游河段长约 188.7 km,落差 563.4 m,平均比降 0.299%。根据珠江流域梯级电站规划方案,在北盘江中游段设有光照水电站与董箐水电站。董箐水电站位于光照电站下游,目前均已处于正常蓄水运行阶段。梯级电站的修建必将对鱼类的生境造成影响,使水生生境呈现明显片段化,不同的河段鱼类组

成的数量和特点有显著的差异。随着梯级规划项目的进一步实施,流域生境进一步破碎,彻底改变原有水流生境,部分产卵场遭到破坏,水质恶化等问题都会突显出来,鱼类资源将受到更为严重的影响。

自光照与董箐电站建成运行以来,有相关学者就梯级电站的运行对 2 库区鱼类资源的影响进行了研究(官民和申剑,2010;冯顺田等,2011;申剑,2011;周路等,2011),周路等(2011)对光照水电站建站前后的鱼类资源变化进行了分析比较。这些研究主要还是依赖于渔获物统计这种传统的方法,效率低、调查范围小,只能获取调查水域鱼类种类组成、规格、年龄结构和鱼类资源的相对丰度,不能描述董箐与光照库区的鱼类资源分布及密度。在国外,水声学调查已被广泛地运用于渔业资源的评估(Duncan & Kubecka,1994;Gerlotto et al,1999;Melvin & Cochrane,2003;Moursund et al,2003),不会对渔业资源造成破坏,调查范围广,被认为是最有效的评估手段(Elliott & Fletcher et,2001)。近年来,国内学者成功运用水声学手段对渔业资源进行了调查评估。陈国宝等(2005)利用 Simrad EK500 获取了

收稿日期:2014-09-14

基金项目:水利部公益性行业科研专项(201201030);贵州北盘江电力股份有限公司合作项目(SDHZ2012136)。

作者简介:莫伟均,1989年生,男,硕士研究生,研究方向为生态水利学。E-mail:sdmoweijun@163.com

通信作者:王从锋。E-mail:wangcf@163.ctgu.edu.cn

南海北部海域的渔业资源资料;谭细畅等(2002)使用 PS-20R 型便携式声探测仪对东湖鱼类的空间分布进行了逐月探测,各区域鱼类密度差异显著;张慧杰等(2007)利用 Bisonics DT-X 科学回声探测仪对葛洲坝-古老背-葛洲坝下游中华鲟(*Acipensersinensis* Gray)自然保护区核心江段(30 km)的鱼类进行了水声学调查,划分了各江段鱼类密度分布以及资源总量;武智等(2014)利用 Simrad EY60 鱼探仪对珠江禁渔期西江段进行了鱼类资源调查,认为禁渔期鱼类密度得到了有效提升,并且获取了鱼类垂直方向和体长的分布信息。

目前比较先进的鱼类资源调查声学仪器有 Bisonics 公司的 DT-X、Simrad 公司的 EY-60 等,这类仪器通过回波计数法(单体鱼)和回波积分法(鱼群)估算鱼类资源量。其中回波积分法需要知道鱼类的目标强度值(TS)才能计算得到鱼类个体数,而鱼类的目标强度随着鱼的种类、体长、方位以及声学仪器频率的变化而变化,使得探测结果不是很稳定。水域中的鱼类密度较低,可通过水声学仪器直接计数,将计数结果除以探测水体体积,得到鱼类密度(Misund,1997)。目前除以上声学仪器外,国外运用双频识别声纳 DIDSON 进行鱼类计数的方法逐渐成熟(Han et al,2009;Doehring et al,2011)。DIDSON 能在黑暗浑浊的水中利用声学镜头通过声波聚焦来生成接近光学照片质量的图像,其后处理中可基于校准结果直接获得相对准确的体长数据和鱼类计数。但是国内在该领域的研究还处于探索阶段。2014 年 7 月 16-28 日,作者运用 DIDSON 双频

识别声纳 SMC-300 对北盘江董箐与光照库区进行鱼类资源声学调查并结合同步水质监测,试图通过水声学的方法总体上来描述 2 库区的鱼类资源密度、鱼类资源的垂直水层分布以及现存鱼类资源的生长结构,为北盘江鱼类资源保护提供科学依据,为增殖放流活动提供技术参考,并推动水声学在北盘江流域鱼类资源调查中的应用。

1 材料与方法

1.1 调查区域与航线

董箐水电站属于日调节电站,水位常年变化不大,主要受上游光照电站(年调节电站)发电泄洪影响。本次走航探测时段正值光照电站泄洪期。根据海洋渔业声学调查规范,调查范围应尽可能涵盖调查对象的整个分布区域。董箐库区选取北盘江大桥断面至打帮河断面之间的江段进行调查,地理坐标为 25°34'51.00"~25°56'49.00"N、105°15'27.00"~105°45'26.00"E,水深范围为 30~45 m。光照库区则出于调查对象较为集中、分布格局较为稳定的原则,通过走访渔民,选取库区左格江段(25°59'00.00"~25°59'28.00"N,105°14'17.00"~105°15'22.00"E)与茅口江段(26°01'32.11"~26°03'01.00"N,105°11'41.69"~105°13'40.00"E)进行鱼类资源密度调查评估。2 库区调查区域均偏向于狭长带状分布,因此航线均采用“之”字形,平均航速约 5 km/h,董箐库区航程 15.30 km、光照库区航程总计 11.57 km。声学调查走航示意图 1。

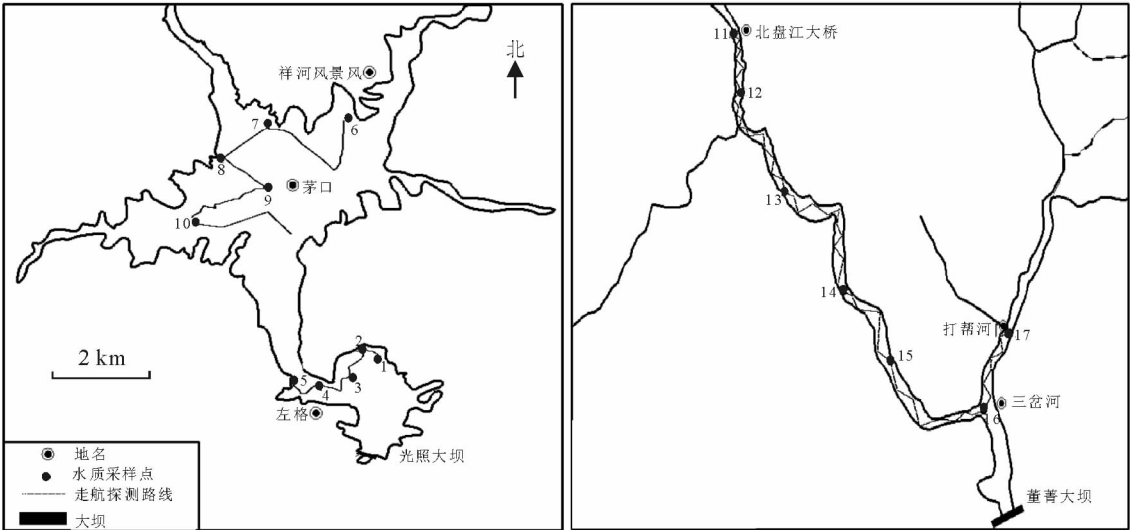


图 1 库区声学调查走航示意

Fig. 1 Route of the acoustic survey in Dongqing and Guangzhao Reservoir areas

1.2 声学调查仪器

水声学探测仪器为 DIDSON 双频识别声纳 SMC-300。声纳中具有声学透镜,通过透镜将声波压缩汇聚,形成狭窄的波束,可以得到高清的二维图像数据,成像距离范围为 1~40 m。可根据探测范围自动变换频率状态,分为高频(1.8 MHz)和低频(1.1 MHz)。高频状态下双频识别声纳在水平方向发射 96 条波束,波束宽度为 0.3°,最大探测量程为 10 m;低频状态下在水平方向发射 48 条波束,宽度为 0.6°,此时最大的量程为 40 m。工作时视角水平方向为 29°,垂直方向为 14°。探测过程中将 DIDSON 固定于艇的前舷,下水约 0.5 m, DIDSON 以与水平方向成 60°夹角方式进行探测。探测结果中的水深分布是换算后的垂直水深。

同步水质监测使用 Hydrolab DS5 多参仪,走航过程中坐标位置由 GPS(MobileMapper 10)读取。水质采样点上用 vector Pluse 多普勒点式流速仪测量该点表层流速。

1.3 生物采样

监测期间,在各个江段进行水声学探测后,使用三层流刺网在水体底层进行生物采样,其中外层网目 40 cm,内层网目 6 cm。在为期 7 d 的生物采样中,共获得 386 尾渔获物,对渔获物进行种类、体重(精确到 0.01 g)、体长(精确 0.01 cm)的现场测定并做记录,使用 10% 福尔马林水溶液浸泡固定。

1.4 数据处理

1.4.1 DIDSON 数据处理 国内外学者运用 DIDSON 进行定点监测获取了高质量数据(Ann et al, 2014;熊锋等,2014),而利用 DIDSON 进行走航监测时,会遇到江底和鱼类同样处于运动状态的问题,而且水体中的鱼类图像清晰,在江底区域几乎没有鱼类的回波信号。后处理时可通过参数中的“Range”范围设置,将江底区域扣除掉,仅保留水体部分,视实际情况合理增加阈值,去除噪点,使用 DIDSON 自带 V5 软件进行鱼类数目自动统计,最后进行人工排错,得到较为准确的鱼类数目。

最后可从后处理软件中导出文本文件,该文本记录了 DIDSON 识别的每尾鱼的体长和所处水深等参数,以 5 m、15 m、30 m 作为水层分界点提取水深参数对库区鱼类的水层分布进行分析,使用 Origin 9.0 进行鱼类垂直分布分析与作图。

1.4.2 鱼类密度评估计算方法 Misund(1997)认为,假如鱼类以个体形式散点分布且密度足够低,可通过水声学仪器直接计数,将计数结果除以探测水

体体积,得到鱼类密度。将 DIDSON 形成一帧画面所探测的水体近似看做四面体(图 2),通过走航探测到的水体示意图见图 3。

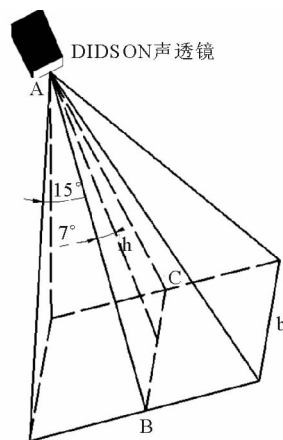


图2 DIDSON 一帧画面形成的四面体

Fig.2 Schematic diagram of the tetrahedral image detected by DIDSON

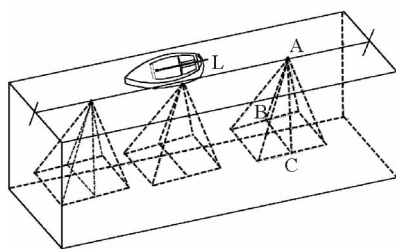


图3 走航过程 DIDSON 探测水体示意

Fig.3 Schematic diagram of water scanned by DIDSON

鱼类资源密度通过下列公式计算:

$$\rho = 10^9 n / V \quad (1)$$

$$V = S_{ABC} L \quad (2)$$

$$S_{ABC} = \frac{1}{2} b h \quad (3)$$

$$b = 2 h \tan 7^\circ \quad (4)$$

式中: ρ 为调查区域鱼类的密度(10^3 尾/ km^3); V 为探测水体体积(m^3); n 为调查区域识别到的鱼类数量(尾),本次董管库区 6 段有效航程中共识别 9 590 尾,光照库区 2 段有效航程中共识别 6 540 尾; S_{ABC} 为垂直走航方向的四面体中心垂面面积(m^2); L 为船航行路程(m),董管库区中记录了 6 段有效走航航程(每 2 个水质采样点为一段)总计 11.32 km,光照库区中记录了 2 段有效走航航程(分别为 1~5 采样点段和 6~10 采样点段)总计 11.33 km; b 为 DIDSON 探测最远端截面的宽度(m); h 为 DIDSON 探测水体成像最远距离(m),本次探测取值 20 m。

1.4.3 水质数据处理 从 Hydrolab DS5 多参仪和 vector Pluse 多普勒点式流速仪测量的指标中提取水温、溶氧、水深、浊度、叶绿素以及流速等指标数据。以水深 5 m 和 15 m 作为分层点对各项指标进行分层处理,并用 SPSS19.0 软件对 2 库区各水层间各水质指标数据进行独立样本 t 检验,分析差异显著性($P < 0.5$),统计值以平均数 $\pm$ 标准差($\bar{X} \pm SD$)描述。

2 结果与分析

2.1 鱼类的体长分布

此次声学探测所识别的鱼类中,无论是董箐库区还是光照库区,体长范围在 20 ~ 100 cm 的鱼类均为优势群体。其中,董箐库区在 50 ~ 100 cm 的所占比例为 49.48%,光照库区在 20 ~ 50 cm 的比例达到 60.55%(图 4)。总体上 2 库区的鱼类体长分布结构较为合理,董箐库区中体较长的鱼资源更为丰富。

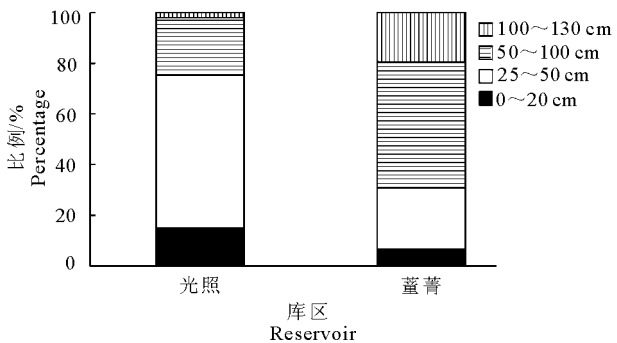


图 4 董箐与光照库区鱼类体长分布

Fig.4 Body length distribution of fish resources in Dongqing Reservoir and Guangzhao Reservoir

2.2 鱼类的垂直分布

董箐和光照库区识别的鱼类所处水层深度,受 DIDSON 的局限性,最小深度为 1.67 m,最大深度为

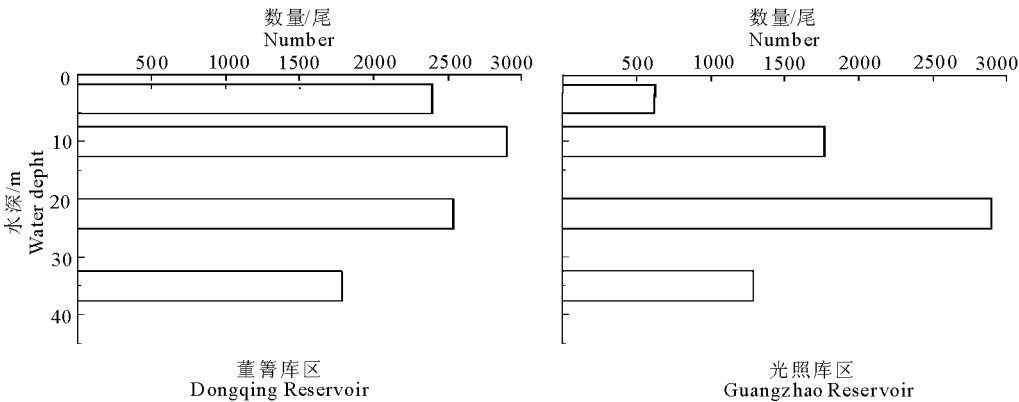


图 5 探测区域鱼类垂直分布

Fig.5 Vertical distribution of fish resources in the detecting area

41.29 m,但是基本包含了 2 库区的水域深度范围,在各个水层都能监测到鱼类的活动。其中,董箐库区的鱼类多分布在 0 ~ 15 m 的中上层水层,而光照库区的鱼类多集中在 15 ~ 30 m 的中下层水层(图 5)。各水层分布的鱼类数量,董箐库区相差不大,而光照库区差异较大。

2.3 同步水质与流速监测结果

声学探测走航探测期间,在“之”字形路线的拐点及特征点处使用 Hydrolab DS5 多参仪对探测水体进行水质参数与流速的同步监测,光照库区中标记监测点为 1 ~ 10,董箐库区中标记监测点为 11 ~ 17。

2.3.1 水质监测 17 个采样点表层(0 ~ 5 m)、中层(5 ~ 15 m)和底层(15 m 以下)水体水质参数监测结果见图 6。表层水体的温度、pH、溶氧和叶绿素 a 表现出一定的空间变化趋势,而电导率和浊度基本无变化。中层水体水质参数中呈现出与表层水体相同的趋势,除电导率和浊度参数外,其他参数都表现出空间变化趋势。底层水体水质参数中,温度和溶氧有较为明显的空间变化趋势,叶绿素 a 和 pH 在少数采样点之间有变化,而电导率和浊度除了个别点变化幅度较大外,总体上仍然表现出无变化。

董箐库区与光照库区水质参数 t 检验结果见表 1。2 库区表层水体中温度、溶氧和叶绿素 a 值存在显著差异($P < 0.05$);中层水体中温度、溶氧和叶绿素 a 值差异显著($P < 0.05$);底层水体的温度和溶氧差异显著($P < 0.05$)。

2.3.2 流速监测 由于监测船只设备的局限性,声学探测期间使用 vector Pluse 多普勒点式流速仪只获取了 17 个采样点的表层(0 ~ 5 m)水体水流流速数据(图 7)。各采样点间的流速变化十分明显, t 检验,董箐库区与光照库区表层水流流速差异显著。

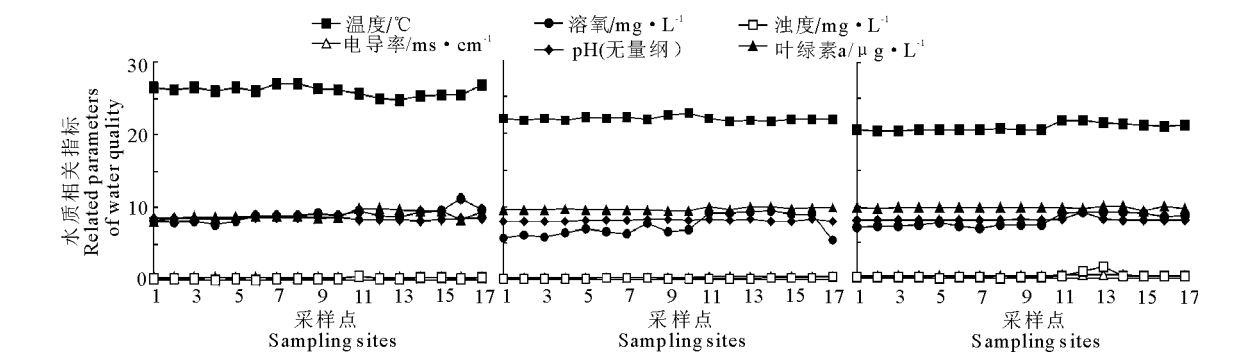


图6 各采样点表层、中层和底层水体水质参数

Fig.6 Spatial variations in water quality parameters of the upper, middle and bottom layers of water at different sampling sites

表1 董箐与光照库区各水层水质指标t检验

Tab.1 Test of water quality parameters measured in the water layers of Dongqing Reservoir and Guangzhao Reservoir

水层	库区	温度/℃	pH	溶氧/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	叶绿素 a/ $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
表层(0~5 m)	董箐	25.56 ± 0.60^a	8.33 ± 0.09^a	9.51 ± 1.03^a	9.43 ± 0.58^a
	光照	26.79 ± 0.40^b	8.56 ± 0.08^b	8.51 ± 0.34^b	8.59 ± 0.22^b
中层(5~15 m)	董箐	21.86 ± 0.19^a	8.16 ± 0.13	9.19 ± 0.19^a	9.86 ± 0.10^a
	光照	22.74 ± 0.78^b	8.09 ± 0.09	8.40 ± 0.40^b	9.01 ± 0.73^b
底层(15 m 以下)	董箐	21.48 ± 0.24^a	8.07 ± 0.20	9.11 ± 0.20^a	9.91 ± 0.04
	光照	20.69 ± 0.14^b	8.07 ± 0.05	7.17 ± 0.34^b	9.87 ± 0.02

注:同一水层中同列上标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Values with different superscript letters, in the same column and layer, were significantly different ($P<0.05$).

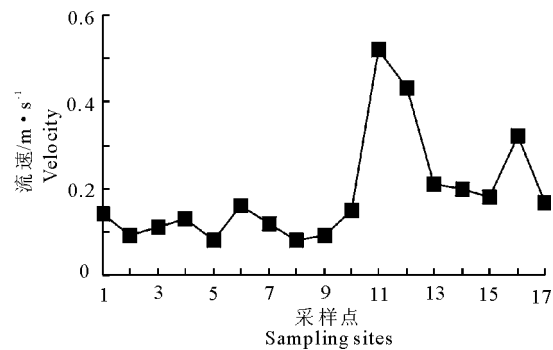


图7 表层水体流速变化

Fig.7 Spatial variation in velocity of surface water

2.4 鱼类密度评估

利用 DIDSON 进行鱼类资源声学监测,根据 DIDSON 的特点设计了计算鱼类密度的方法。董箐

库区按6个江段进行鱼类密度计算,平均为 $(17\,240 \pm 6\,240) \times 10^3$ 尾/ km^3 ;光照库区按左格(包括1~5采样点)和茅口(包括6~10采样点)2个江段计算鱼类密度,平均为 $(11\,750 \pm 1\,860) \times 10^3$ 尾/ km^3 。董箐库区鱼类密度高于光照库区。

2.5 放流渔获物

2库区放流的长臀鮠(*C. boudierius*)、光倒刺鲃(*S. hollandi*)、白甲鱼(*O. sima*)和花鲢(*H. maculats*)的渔获情况见表2。董箐库区鱼类资源声学探测江段共收集渔获物94 580.62 g,有鱼类20种,共231尾;放流4种鱼占渔获物重量66.17%,占数量44.23%。光照库区探测段共收集渔获物92 165.45 g,有鱼类13种,共155尾;放流的4种鱼占渔获物重量28.22%,占数量31.41%。2库区采

表2 董箐与光照库区放流鱼种渔获物信息

Tab.2 Catch information for fish species artificially released into Dongqing Reservoir and Guangzhao Reservoir

种 类	平均体长/cm		平均体重/g		占总渔获总重/%		占总渔获总数/%	
	董箐	光照	董箐	光照	董箐	光照	董箐	光照
长臀鮠 <i>C. boudierius</i>	23.25 ± 6.18	20.85 ± 5.21	388.80 ± 116.78	230.83 ± 110.25	3.80	1.44	3.96	3.70
光倒刺鲃 <i>S. hollandi</i>	30.15 ± 4.35	32.14 ± 3.65	1557.07 ± 515.32	1255.30 ± 426.55	31.90	18.50	8.65	8.76
白甲鱼 <i>O. sima</i>	22.36 ± 7.23	21.32 ± 3.87	403.544 ± 123.50	285.43 ± 110.08	11.11	3.53	11.27	7.35
花鲢 <i>H. maculats</i>	21.87 ± 4.58	18.27 ± 2.69	396.27 ± 85.62	243.50 ± 56.74	19.36	4.75	20.35	11.60
总 计	—		—		66.17	28.22	44.23	31.41

集的渔获物总重相差不大,董箐库区中放流的4种鱼总重和数量所占渔获物的比例高于光照库区。

3 讨论

3.1 鱼类资源密度差异影响因素

此次调查监测,董箐库区的鱼类平均密度高于光照库区,而且董箐库区中捕获到的北盘江原生鱼种类也多于光照库区。董箐库区保持着一定距离的天然流水段,为一些喜流水生境的鱼提供了栖息场所,减缓了大坝建成后水体向静水生境的急剧转变,鱼类物种丰富度要高于光照库区。且通过提取渔获物信息,可进一步推断董箐库区相对较高的鱼类密度得益于4种放流鱼特别是光倒刺鲃、白甲鱼和花鲢在该区域有较高的成活率。而光照库区受网箱养鱼的影响(大量投饵),表层水质呈现较为明显的碱性,各层水体水温也要显著高于董箐库区,其他水质条件也劣于董箐库区,不利于鱼类的生存。此外,网箱养鱼造成的逃逸鱼类争食天然饵料、大量繁衍挤占生态位现象也会在一定程度上造成光照库区物种多样性的下降进而减少鱼类资源量(刘飞,2014;潘勇等,2007)。

3.2 鱼类垂直分布与水质关系

声学探测结果显示,董箐库区鱼类主要分布在0~15 m中上层水体,而光照库区鱼类多集中于15~30 m中下层水体,同步水质监测结果表明在中上层水体中,董箐库区的叶绿素a值与溶氧值均显著高于光照库区。叶绿素a是浮游植物丰富度的重要指标(Reynolds,1984),也是反映水体营养状况的重要参数,可用于推算初级生产力和鱼产量(吕培顶等,1984;费尊乐等,1988),处于食物链中的重要一环,在适当的范围叶绿素a值越大,鱼类的天然饵料量越多。董箐库区表层水体叶绿素a的值为8.28~9.98 $\mu\text{g/L}$,根据相关划分标准(金相灿和屠清瑛,1990),该水层处于富营养化状态;但是按照吴阿娜等(2011)、吕学研等(2012)的研究,叶绿素a值在8.28~9.98 $\mu\text{g/L}$ 不易爆发水华。因此笔者认为叶绿素a含量是造成2库区鱼类在中上层水体中分布有差异的重要原因,董箐库区中上层水体相对丰富的天然饵料会吸引更多的鱼类在该区域觅食。此外,水中的溶解氧可保证鱼类各器官组织正常的新陈代谢,也是浮游植物的重要物质能量物质(屠清瑛,1990),其值的差异也会进一步影响鱼类的分布。当然鱼类在水层的分布还与自身的习性相关。

3.3 现存鱼类资源生长结构

2库区的鱼类资源体长分布都呈现出两头小、中间大的趋势。董箐库区中体长在50~100 cm的鱼占较高比例,光照库区中体长在20~50 cm的鱼则成为该水域的优势群体,由此推测梯级电站的开发对流域内的鱼类生境造成了严重影响,使得鱼类资源量减少。但董箐与光照库区中鱼类资源的生长结构保持着较为合理状态,在今后的鱼类资源保护中,需要继续坚持增殖放流措施以及警惕外来鱼种的入侵所造成的生态破坏。

本次调查监测首次使用双频识别声纳DIDSON对鱼类资源进行调查评估,经过反复走航式监测设计的鱼类密度计算公式简便、实用性强,结果可为鱼类资源量的估算提供参考,并期望将这种方法推广到整个北盘江梯级电站开发流域以支持鱼类资源的生态评估和保护。但使用双频识别声纳DIDSON调查评估鱼类资源存在以下几个问题:(1)存在1 m左右的盲区,当鱼类距离声透镜太近时不能探测识别;(2)声纳的波束并非一起发射,有一定的间隔,若DIDSON安装在船上且移动速度较快时会出现锯齿状轮廓,因此船速需要控制较慢(5 km/h以内)才可以保证较好的图像质量;(3)探测过程表层水体因风、船只运行和流速的干扰会产生与幼鱼目标强度值相近的气泡(Trevorrow & Tanaka,1997;Gal et al,1999),使得识别数据出现误差;(4)DIDSON形成一帧画面所探测的水体体积较小,适合于水深较小的水域,对于较深的水域探测其准确性有待验证。不足之处需要在以后的研究中不断改进。

参考文献

- 陈国宝,李永振,赵宪勇,等. 2005. 南海北部海域重要经济鱼类资源声学评估[J]. 中国水产科学, (4): 445-451.
- 费尊乐,毛兴华,朱明运,等. 1988. 渤海生产力研究——Ⅱ初级生产力及潜在渔获量的估算[J]. 海洋学报, (4): 481-489.
- 冯顺田,杨昌齐,詹飞. 2011. 北盘江水电梯级开发对鱼类资源的影响预测与对策[J]. 贵州水力发电, (1): 54-56.
- 官民,申剑. 2010. 北盘江流域梯级水电开发对鱼类资源的影响分析[J]. 贵州水力发电, (5): 5-7.
- 金相灿,屠清瑛. 1990. 湖泊富营养化调查规范: 二版[M]. 北京: 中国环境科学出版社.
- 刘飞. 2014. 长江流域的外来鱼类及其危害[J]. 大自然, (2): 38-40.
- 吕培顶,费尊乐,毛兴华,等. 1984. 渤海水域叶绿素a的分布及初级生产力的估算[J]. 海洋学报, (1): 90-98.

- 吕学研,张文涛,吴时强. 2012. 水华前后叶绿素 a 变化及其与水质因子的关系[J]. 人民黄河, (2): 73 - 75.
- 潘勇,曹文宣,徐立蒲,等. 2007. 鱼类入侵的过程、机制及研究方法[J]. 应用生态学报, (3): 687 - 692.
- 申剑. 2011. 北盘江干流梯级水电开发对鱼类资源的保护措施[J]. 贵州水力发电, (1): 57 - 59.
- 谭细畅,夏立启,立川贤一,等. 2002. 东湖放养鱼类时空分布的水声学研究[J]. 水生生物学报, (6): 585 - 590.
- 屠清英. 1990. 巢湖 - 富营养化研究[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社: 37 - 41.
- 吴阿娜,朱梦杰,汤琳,等. 2011. 淀山湖蓝藻水华高发期叶绿素 a 动态及相关环境因子分析[J]. 湖泊科学, (1): 67 - 72.
- 武智,谭细畅,李新辉,等. 2014. 珠江首次禁渔西江段鱼类资源声学跟踪监测分析[J]. 南方水产科学, (3): 24 - 28.
- 熊锋,王从锋,刘德富,等. 2014. 葛洲坝 1 号船闸启闭闸门对近闸区域鱼类活动规律的影响[J]. 水生态学杂志, (5): 8 - 14.
- 张慧杰,杨德国,危起伟,等. 2007. 葛洲坝至古老背江段鱼类的水声学调查[J]. 长江流域资源与环境, (1): 86 - 91.
- 周路,张竹青,李正友,等. 2011. 北盘江光照水电站建设前后鱼类资源变化[J]. 水生态学杂志, (5): 134 - 137.
- 周路,张竹青,林艳红,等. 2011. 梯级开发对北盘江中下游鱼类资源的影响[J]. 贵州农业科学, (10): 134 - 137.
- Ann B G, Michael M B, Joseph D, et al. 2014. Multibeam sonar (DIDSON) assessment of American shad (*Alosa sapidissima*) approaching a hydroelectric dam[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 71(4): 545 - 558.
- Duncan A, Kubecka J. 1994. Hydroacoustic methods of fish surveys[J]. National Rivers Authority, 32: 52.
- Doehring K, Young R G, Hay J, et al. 2011. Suitability of Dual-frequency Identification Sonar (DIDSON) to monitor juvenile fish movement at floodgates[J]. New Zeal J Mar Fresh, 45(3): 413 - 422.
- Elliott J M, Fletcher J M. 2001. A comparison of three methods for assessing the abundance of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, in Windermere (northwest England) [J]. Fisheries Research, 53(1): 39 - 46.
- Gerlotto F, Soria M, Freon P. 1999. From two dimensions to three: the use of multibeam sonar for a new approach in fisheries acoustics[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 56: 6 - 12.
- Gal G, Rudstam L G, Greene C H. 1999. Acoustic characterization of *Mysis relicta* [J]. Limn Oceanogr, 44, 371 - 381.
- Han J, Honda N, Asada A, et al. 2009. Automated acoustic method for counting and sizing farmed fish during transfer using DIDSON[J]. Fisheries Science, 75(6): 1359 - 1367.
- Melvin G D, Cochrane N A, Li Y. 2003. Extraction and comparison of acoustic backscatter from a calibrated multi- and single-beam sonar[J]. ICES Journal of Marine Science, 60: 669 - 677.
- Misund O A. 1997. Underwater acoustics in marine fisheries and fisheries research[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 7(1): 1 - 34.
- Moursund R A, Carlson T J, Peters R D. 2003. A fisheries application of a dual frequency identification sonar acoustic camera [J]. ICES Journal of Marine Science, 60: 678 - 683.
- Reynolds C S. 1984. The ecology of fresh water phytoplankton [M]. London: Cambridge University Press.
- Trevorrow M V, Tanaka Y. 1997. Acoustic and in situ measurements of freshwater amphipods (*Jesogammarus annandalei*) in Lake Biwa [J]. Japan Limn Oceanogr, 42: 121 - 132.

(责任编辑 张俊友)

Acoustic Monitoring on Fish Resources in the Dongqing and Guangzhao Reservoirs of Beipan River

MO Wei-jun¹, WANG Cong-feng^{1,2}, QIN Xiao-hui¹, ZHANG Min-juan³, LIU Hui-jie¹

(1. College of Hydraulic and Environmental Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, P. R. China;

2. Synergistic Innovation Center of Geological Disasters and Ecological Environment in the Three Gorges Region in Hubei Province, Yichang 443002, P. R. China;

3. Agricultural Bureau of Zhen Feng County, Guiyang 562200, P. R. China)

Abstract: Since the cascaded Dongqing and Guangzhao hydropower stations began operating on the middle reaches of Beipan River, researchers have studied the resulting changes in fishery resources in the reservoirs based on fish catch statistics. However, the acoustic survey is recognized as the most effective means for fish resource assessment and has been widely used because the method does not harm fish and is useful in a wide range of applications. While the use of Dual-frequency Identification Sonar (DIDSON) for counting fish has gradually matured abroad, it is still in the exploratory stage in China. The objective of this study was to describe the density, vertical distribution and structure of the existing fishery resources in Dongqing and Guangzhao reservoirs by means of acoustic monitoring. The results provide scientific evidence for fishery conservation and technical reference for the fish breeding and release program in Beipan River. Our work will also promote the application of underwater acoustic measurements for fish resource assessment in China. Acoustic surveys of the fishery resource was conducted in Dongqing and Guangzhao reservoirs on July 16 – 28, 2014 using DIDSON SMC-300 sonar and water quality was monitored simultaneously. The ship route lengths were 15.30 km and 11.57 km, respectively, in Dongqing Reservoir and Guangzhao Reservoir and the average speed was approximately 5 km/h, following a zigzag path. A Hydrolab DS5 multi sensor probe was used for water quality monitoring and the ship's coordinates during the surveys were monitored using GPS (MobileMapper 10). A vector Pulse Doppler point current meter was used to probe surface velocity at water quality sampling locations. Gill nets with 6 cm mesh size were used during the surveys to collect specimens after the acoustic detection. Results indicate that fish with body lengths of 50 – 100 cm accounted for 49.48% of the fish resource in Dongqing Reservoir and fish were mainly distributed in the middle and upper layers (0 – 15 m), with little variation in fish number between layers. In Guangzhao Reservoir, fish of body length 20 – 50 cm dominated, accounting for 60.55% of the total and the fish were distributed mainly in the middle and lower layer (15 – 30 m), with a large difference between layers. Significant differences were observed between the two reservoirs: surface water velocity; water temperature and dissolved oxygen in surface, middle and lower layers; and chlorophyll-a in the surface and middle layers. The fish density in Dongqing Reservoir was higher than in Guangzhao Reservoir with average fish densities, respectively, of $(17\,240 \pm 6\,240) \times 10^3$ ind/km³ and $(11\,750 \pm 1\,860) \times 10^3$ ind/km³. A total of 231 individuals, weighing 94 580.62 g, and representing 20 species, were obtained from Dongqing Reservoir. Dominant species were four fish species in the artificial breeding and releasing program including *Cranoglanis boudierius*, *Spinibarbus hollandi*, *Onychostoma sima* and *Hemibarbus maculatus*, accounting for 66.17% of the mass and 44.23% of the number. In Guangzhao Reservoir, 155 individuals weighing 92 165.45 g and representing 13 species were collected and the four species accounted for 28.22% of the mass and 31.41% of the number. In summary, densities of the existing fish resources in Dongqing Reservoir and Guangzhao Reservoir are low but the fish community structure is reasonable since the cascaded hydropower stations began operation on Beipan River.

Key words: fish resources; acoustic survey; dual-frequency identification sonar; Beipan River