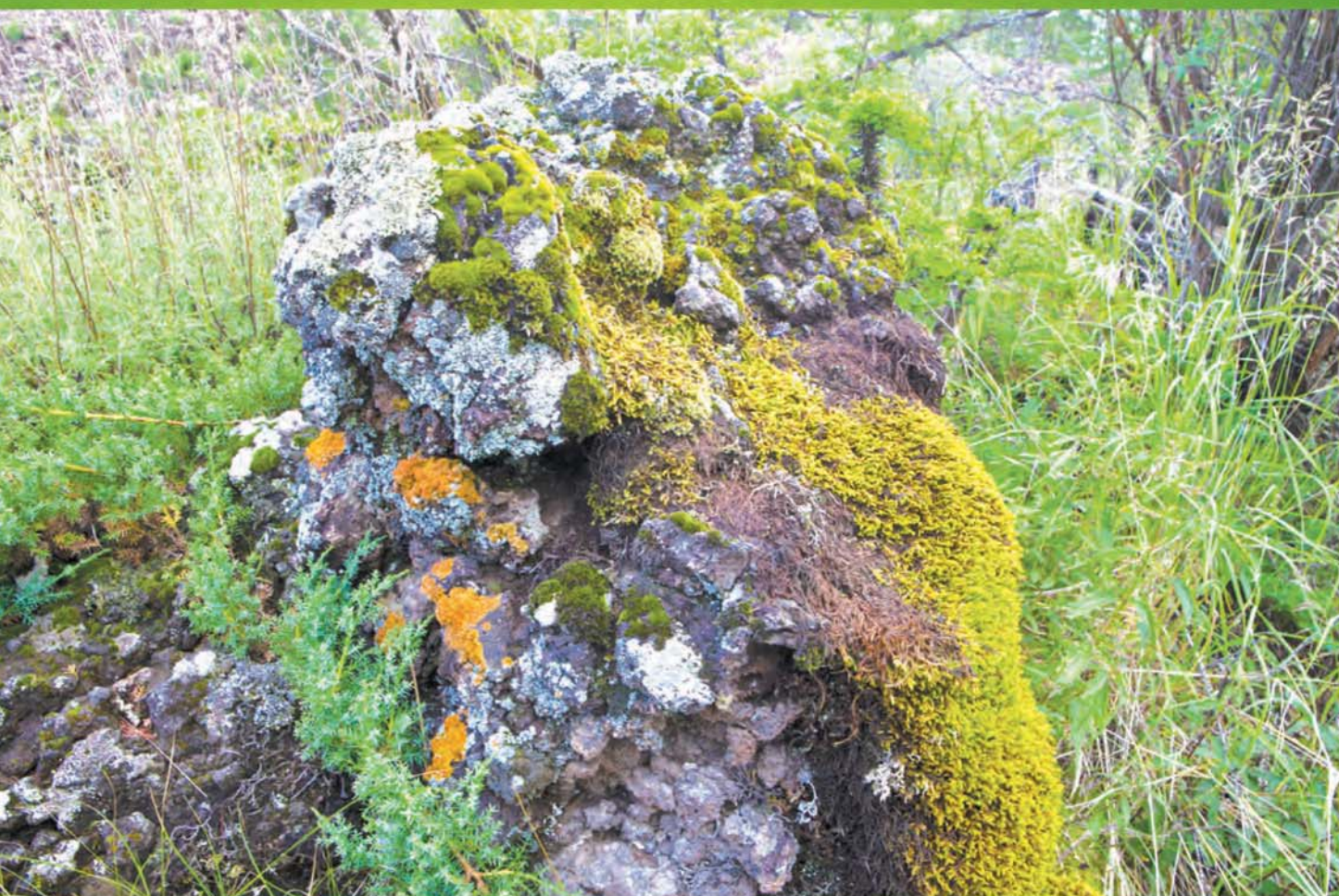


ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第6期 Vol.32 No.6 **2012**

中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 6 期

2012 年 3 月 (半月刊)

## 目 次

|                                                                                    |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例·····                                                    | 周坚华,魏怀东,陈芳,等 (1663)  |
| 基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价·····                                                         | 殷旭旺,渠晓东,李庆南,等 (1677) |
| 哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用·····                                                   | 杞金华,章永江,张一平,等 (1692) |
| 青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系·····                                                          | 杨金鹏,姜勇,胡晓钟 (1703)    |
| 增温对青藏高原高寒草甸生态系统固碳通量影响的模拟研究·····                                                    | 亓伟伟,牛海山,汪诗平,等 (1713) |
| 三峡水库消落带植物叶片光合与营养性状特征·····                                                          | 揭胜麟,樊大勇,谢宗强,等 (1723) |
| 三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学·····                                                           | 任玉芹,陈大庆,刘绍平,等 (1734) |
| 强壮前沟藻化感物质分析·····                                                                   | 冀晓青,韩笑天,杨佰娟,等 (1745) |
| 饥饿对中间球海胆 MYP 基因转录表达的影响·····                                                        | 秦艳杰,孙博林,李霞,等 (1755)  |
| 贺兰山牦牛冬春季的生境选择·····                                                                 | 赵宪南,苏云,刘振生,等 (1762)  |
| 利用元胞自动机研究一类捕食食饵模型中的斑块扩散现象·····                                                     | 杨立,李维德 (1773)        |
| 转 <i>Cry1Ab</i> 和 <i>Cry1Ac</i> 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响·····                   | 李志毅,隋贺,徐艳博,等 (1783)  |
| 光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响·····                                                          | 范凡,任红敏,吕利华,等 (1790)  |
| 荧光素对舞毒蛾核型多角体病毒不同地理品系的增效与光保护作用·····                                                 | 王树娟,段立清,李海平,等 (1796) |
| 不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征·····                                                       | 李海峰,曾凡江,桂东伟,等 (1803) |
| 稻田温室气体排放与土壤微生物菌群的多元回归分析·····                                                       | 秦晓波,李玉娥,石生伟,等 (1811) |
| 黄土高原典型区域土壤腐殖酸组剖面分布特征·····                                                          | 党亚爱,李世清,王国栋 (1820)   |
| 紫色土菜地生态系统土壤 $N_2O$ 排放及其主要影响因素·····                                                 | 于亚军,王小国,朱波 (1830)    |
| 中国亚热带典型天然次生林土壤微生物碳源代谢功能影响因素·····                                                   | 王芸,欧阳志云,郑华,等 (1839)  |
| 基于 K-均值算法模型的区域土壤数值化分类及预测制图·····                                                    | 刘鹏飞,宋轩,刘晓冰,等 (1846)  |
| 淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征·····                                                           | 杨志敏,陈玉成,张赞,等 (1854)  |
| 推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响·····                                                      | 王红光,于振文,张永丽,等 (1861) |
| 江苏省冬小麦渍害的风险区划·····                                                                 | 吴洪颜,高苹,徐为根,等 (1871)  |
| 草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现·····                                                | 郭宇然,王炜,梁存柱,等 (1880)  |
| 亚热带 6 种树种细根序级结构和形态特征·····                                                          | 熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (1888) |
| 高寒草原植物群落种间关系的数量分析·····                                                             | 房飞,胡玉昆,张伟,等 (1898)   |
| 菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定·····                                                     | 孙艳,高海顺,管志勇,等 (1908)  |
| 南方菟丝子寄生对喜旱莲子草生长及群落多样性的影响·····                                                      | 王如魁,管铭,李永慧,等 (1917)  |
| 基于 cDNA 克隆的亚热带阔叶林和针叶林生态系统担子菌漆酶基因多样性及其群落结构研究·····                                   | 陈香碧,苏以荣,何寻阳,等 (1924) |
| 细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素·····                                                              | 黄锦学,凌华,杨智杰,等 (1932)  |
| 基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究·····                                                    | 董斌,陈立平,王萍,等 (1943)   |
| 基于 CFD 的城市绿地空间格局热环境效应分析·····                                                       | 刘艳红,郭晋平,魏清顺 (1951)   |
| 专论与综述                                                                              |                      |
| 生态补偿效率研究综述·····                                                                    | 赵雪雁 (1960)           |
| 研究简报                                                                               |                      |
| 黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响·····                                              | 陈凯,肖能文,王备新,等 (1970)  |
| 期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 34 * 2012-03 |                      |

封面图说: 植物生命演进石——这不是一块普通的火山岩,而是一块集中展示植物“原生演替”过程最有价值的石头。火山熔岩冷却后的玄武岩是无生命无土壤的真正“裸石”,风力使地衣的孢子传入,在一定温湿度环境下,开始出现了壳状地衣,壳状地衣尸体混合了自然风化的岩石碎屑提供的条件使叶状、枝状地衣能够侵入,接着苔藓侵入,是它们启动了土壤的形成,保持了土壤的湿度,并使营养物质反复循环。于是蕨类定居,草丛长了起来,小灌木出现,直到树木生长,最终形成森林。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201103010249

任玉芹, 陈大庆, 刘绍平, 段辛斌, 李世健, 王生, 王珂. 三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学. 生态学报, 2012, 32(6): 1734-1744.

Ren Y Q, Chen D Q, Liu S P, Duan X B, Li S J, Wang S, Wang K. Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1734-1744.

## 三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学

任玉芹<sup>1,2</sup>, 陈大庆<sup>1</sup>, 刘绍平<sup>1</sup>, 段辛斌<sup>1</sup>, 李世健<sup>1,3</sup>, 王生<sup>4</sup>, 王珂<sup>1,\*</sup>

(1. 农业部长江中上游渔业资源环境重点野外科学试验站, 中国水产科学研究院长江水产研究所, 武汉 430223;

2. 中国水产科学研究院北戴河中心实验站, 秦皇岛 066100; 3. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070;

4. 西南大学生命科学学院, 重庆 400715)

**摘要:** 为了解三峡库区支流澎溪河鱼类时空分布变化, 2009—2010 年的秋季、冬季和春季, 使用 Simrad EY60 鱼探仪对澎溪河的鱼类资源量及其时空分布特征进行 3 次声学调查。结果表明: 3 个季节鱼类水平分布不均匀, 鱼类最大密度分别为 67.07 尾/1000 m<sup>3</sup>, 19.66 尾/1000 m<sup>3</sup>, 17.25 尾/1000 m<sup>3</sup> 且不同季节上层、中层鱼类密度水平分布有显著性差异 ( $P \leq 0.01$ ,  $P = 0.03$ ); 各季节鱼类密度垂直分布也有一定差异, 冬季上层鱼类密度和下层鱼类密度差异较为显著 ( $P = 0.05$ ); 另外鱼类密度昼夜分布有显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 造成该现象的原因主要是由于鱼类的昼夜垂直节律 (Diel Vertical Migration, DVM) 引起; 3 个季节的鱼类目标强度 (TS 值) 的差异极其显著 ( $P < 0.01$ ), 其中秋季鱼类 TS 最高 ( $-57.0 \pm 5.6$  dB), 春季 TS 值最低 ( $-58.6 \pm 4.9$  dB), 造成该差异的原因是 4—6 月是长江上游鱼类繁殖季节, 仔稚鱼居多。鱼类空间分布及其位点的水深关系分析显示, 鱼类密度水平分布秋季、冬季与水深不相关 ( $|r| < 0.2$ ), 春季与水深中度负相关 ( $r = -0.5$ ,  $P \leq 0.05$ )。

**关键词:** 澎溪河; 三峡水库; 时空分布; 水声学

## Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir

REN Yuqin<sup>1,2</sup>, CHEN Daqing<sup>1</sup>, LIU Shaoping<sup>1</sup>, DUAN Xinbin<sup>1</sup>, LI Shijian<sup>1,3</sup>, WANG Sheng<sup>4</sup>, WANG Ke<sup>1,\*</sup>

1 Key Field Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment of the Middle and Upper Reaches of the Yangtze River of the Ministry of Agriculture, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Wuhan, 430223, China

2 Beidaihe Center Experiment Station, Chinese Academy of Fishery Science, Qinhuangdao 066100, China

3 College of Fisheries, Huazhong Agriculture University, Wuhan 430070, China

4 School of Life Science, Southwest University, Chongqing 400715, China

**Abstract:** The Pengxi River has become an important anabranch of the Three Gorges reservoir following construction of the Three Gorges Dam. The river has the largest submersed area and the most extensive riparian zone of all of the tributaries to the reservoir. Changes to the hydrology of the system are expected to affect both the abundance and distribution of fish fauna and environmental conditions in the Pengxi River. We documented the temporal and spatial distribution of fish in the river by conducting acoustic surveys, using a split-beam echo-sounder (Simrad EY60, 200 kHz), in autumn (October to November, 2009), winter (December 2009 to January 2010), and spring (April to May, 2010). During the same period, we also collected samples of the fish assemblage using gill nets and shrimp pots. The acoustic surveys were typically completed during the day, although we also surveyed some sections of the river at night during the winter. We estimated fish density using the echo integral method at three depth strata and in the entire water column several times during each of the

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项经费资助 (200903048)

收稿日期: 2011-03-01; 修订日期: 2011-09-14

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangkelily@126.com

three seasons. The depth strata were classified as surface (from transducer to 1/3 total depth), mid-depth (1/3 to 2/3 total depth) and bottom (2/3 total depth to the riverbed). We tested for differences in the distribution of fish throughout the Pengxi River (horizontally, vertically, day and night, and seasonally) using the survey data. Our results suggest there are significant differences in the spatio-temporal distribution of fish in the impounded section of Pengxi River. For example, the horizontal distribution of fish density was not homogeneous, and varied significantly among seasons within the surface ( $P \leq 0.01$ ) and mid-depth ( $P = 0.03$ ) water strata, but not among seasons within entire water column ( $P = 0.70$ ). The highest density of fishes was found at the confluence of the Pengxi River arm and the main body of the impoundment. The maximum density was 67.07, 19.66, and 17.25 ind./1000 m<sup>3</sup> in autumn, winter, and spring, respectively. Within seasons, fish density varied vertically between the surface and bottom strata in winter ( $P = 0.05$ ), but not among other depth strata or seasons ( $0.15 \leq P \leq 0.89$ ). Fish density varied significantly between day and night ( $P < 0.05$ ) mainly due to diel vertical migration of the fish. The target strength (TS) of the fish varied significantly among seasons ( $P < 0.01$ ), with TS highest in autumn ( $-57.0 \pm 5.6$ ) dB and lowest ( $-58.6 \pm 4.9$ ) dB in spring, possibly due to recruitment of juvenile fish. Catch statistics suggest the assemblage was dominated by small fish in all three seasons, which is consistent with the size estimated from the regression equation between mean target strength and length. Furthermore, a large number of fry (body length: 10—15 cm) were released prior to the survey in the spring, likely contributing to the low TS during the subsequent survey. The distribution of fish was not correlated to the depth of water in autumn and winter ( $|r| < 0.2$ ), but was moderately and negatively correlated to depth in spring ( $r = -0.5, P \leq 0.05$ ). However, the pattern of vertical distribution suggests fish were selecting certain depths. In autumn and winter, the fish were most dense between 22—49 m, and 22—44 m, respectively. In contrast, the majority of fish selected depths between 10—40 m in spring. We hypothesize that a number of ecological factors affect the behavior and distribution of fish in this area.

**Key Words:** the Pengxi River; Three Gorges Reservoir; temporal and spatial distribution; hydroacoustics

澎溪河是长江北岸重要的一级支流,渔业资源丰富。三峡大坝蓄水后,三峡水库从以前的河流生态系统逐步向水库型生态系统演变,同期澎溪河成为库区淹没面积最大、消落区面积最广的一级支流,其生态环境保护将直接影响到三峡水库的生态状况。近年来,澎溪河的研究多集中在水体的富营养化调查和评价方面<sup>[1-4]</sup>,对鱼类资源及分布状况等方面研究较少。由于鱼类是水生态系统的顶级群落,水生态系统的任何变化均可能在鱼类中得到响应。因此为了解蓄水对三峡水库水生态的影响,选择以澎溪河作为一个研究区域进行鱼类资源研究有着十分重要的意义。

水声学探测目前已成为渔业资源评估的重要手段之一<sup>[5]</sup>,该方法在三峡水库中也有一些应用。王珂等于2006年至2007年调查分析了三峡库区大宁河的时空分布特征<sup>[6]</sup>;陶江平等于2007年4月底对三峡水库鱼类空间分布进行了水声学探测<sup>[7]</sup>。谭细畅等于2007年4月对三峡库首鱼类分布格局进行了评估<sup>[8]</sup>。这些调查均采用水声学探测技术,但并没有同时进行生物取样数据对照和周年调查。于2009—2010年秋季、冬季和春季,分别利用 Simrad EY60 回声探测仪对三峡库区澎溪河进行了3次水声学调查,同期进行渔获物调查。对澎溪河秋季、冬季和春季的鱼类资源量及时空分布特征进行分析,以期为三峡库区澎溪河的渔业资源评估提供依据,同时获得鱼类资源量的数据可为水库水生态系统的综合研究提供更多有价值的参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 调查区域和时间

澎溪河位于三峡库区中部,是长江重要的一级支流。起源于开县,在云阳双江镇(现为新云阳县)汇入长江。由于澎溪河上游江段水深几乎在10 m以下,故本研究选择澎溪河口(N30°56.898', E108°39.671')至云阳养鹿下行5 km位置(N31°06.500', E108°35.781')约40余公里江段作为研究区域(图1),分别于秋季(10—11月,2009)、冬季(12月,2009—1月,2010)和春季(4—5月,2010)3个季节(以下简称“3个季节”)对

该江段进行了3次水声学探测。其中,2009年冬季对双江镇—黄石代李子江段(箭头指向江段)的鱼类分布特征进行了昼夜探测。

## 1.2 声学调查方法

声学调查使用的设备为 Simrad EY60 型鱼探仪,并携带分裂波束式换能器,换能器的工作频率为 200kHz 半功率角(3dB Beam width)为 7°。使用长约 20 m 的监测船进行声学探测,船速为 9—11 km/h。在探测过程中换能器固定于监测船的船舷中部并入水约 0.5 m,方向垂直向下。由于河面大部狭窄,船只只能沿航道行驶,每次调查有进程(偏向右岸)和返程(偏向左岸)即两条航行纵向平行曲线。同时采用 Garmin 公司生产的 60CSx 型号 GPS 进行导航。采用 ER60 软件对声学数据和 GPS 数据同步存储。数据采集过程中,换能器的发射功率为 300 W,脉冲宽度(Pulse Duration)为 64 us。

为消除不同介质条件对换能器的影响,确保回波强度的准确度,在探测之前按照设备的出厂说明的要求,采用直径为 13.7 mm 的钨铜金属球对 TS 的标准值进行实地校准,校准方法参见文献<sup>[9-10]</sup>。

## 1.3 渔获物调查

为了解声学调查水域鱼类种类组成及其种群分布情况,特在进行声学探测的期间,进行渔获物统计。

2008—2010 年在澎溪河研究区域进行了 3 次渔获物调查。秋冬季网具使用虾笼和三层流刺网,所有渔获物个体进行种类鉴别,测量体长和体重。春季由于处于禁捕期,采用走访渔民了解渔获物情况。

## 1.4 声学数据的映像分析

采用 Sonar-5 分析软件(Lindem Data Acquisition, Oslo, Norway)对声学数据进行转换和分析。对于获得连续采样数据,按照 600—1200 ping(声脉冲的一次循环采样的过程:包括准备、脉冲发射、回波接收、信号处理等)将所获得的数据分成若干分析单元。秋季、冬季均获得 44 个采样单元,春季获得 34 个采样单元(包括进程和返程),每个单元航程约为 1.8—2.3 km。

对于获得的各个分析单元数据,为了有效的消除噪音干扰并准确的提取低信噪比的信号。首先采用交叉过滤(Cross Filter Detector, CFD)方法合理设置参数,有效的消除噪音干扰并准确的提取低信噪比的信号。相关的参数设置为:前景滤波器[1, 3]、背景滤波器[55, 1]、目标平滑滤波[1, 3]、信号长度[3, 30],声学截面的最大增益补偿(MGC)为 6 dB。同时采用单回声检波与跟踪分析(single echo detection and tracking methods, STM)方法进行回声映像的分析,逐一提取目标信号参数,保存为 txt 格式。单回声检波映像(SED)和回波包络映像(AMP)的阈值分别设置为-65—-20 dB。其他参数设置参考文献<sup>[8,11]</sup>。

## 1.5 鱼类资源量估算

采用 Sonar-5 软件提供的生物量估算方法—— $s_v/\sigma_{bs}$  回波积分方法进行资源量估算,计算方法见文献<sup>[12]</sup>。单独计算各单元鱼类密度。利用 ARCGIS 分别导入 3 个季节的各单元鱼类密度和单元中心的 GPS 位点数据,与澎溪河流域矢量图配准,基于克里格插值法获取鱼类密度分布状况图参照文献<sup>[13]</sup>。同时为了获得不同水层的鱼类资源量及其分布形式,本研究对所得的数据进行水体分层处理。由于河床处于变化状态,故分层按照换能器至河床之间的比例划分为上层、中层和底层,0—33% 探测范围处定义为上层水体,33%—

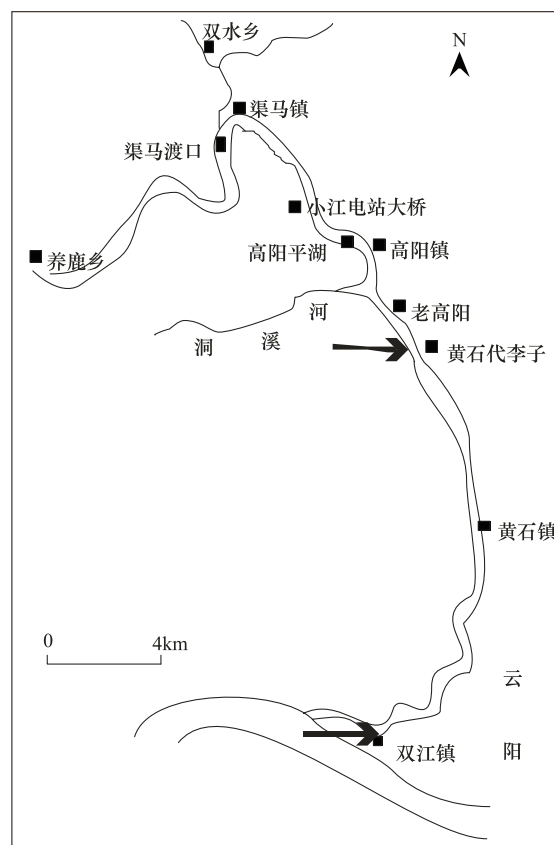


图1 澎溪河调查区域

Fig. 1 Acoustic surveys area of Pengxi River

66% 探测范围定义为中层水体,66%—100% 探测范围定义为底层水体。各层鱼类密度均按照回波积分方法进行分析。

## 1.6 数据统计分析

以各单元中心 GPS 位点为依据,将秋季、冬季和春季调查区域分别划分 22、22 和 17 个小江段。对鱼类在纵向空间分布进行方差分析,比较鱼类水平空间分布的季节变化差异性;对鱼类密度垂直分布进行两两  $t$  检验,比较鱼类密度垂直分布及其季节变化差异性;对鱼类密度、数量昼夜分布分别进行方差分析和  $t$  检验分析,比较鱼类昼夜分布差异性;对 3 个季节的鱼类目标强度进行方差分析,比较不同季节鱼类个体分布的差异性;分析鱼类空间分布和水深的相关性。数据的统计分析采用 SPSS 软件行进。

## 2 结果与分析

### 2.1 鱼类个体大小季节差异性

#### 2.1.1 渔获物组成

秋冬季在澎溪河流域收集到 52 船渔获物,共采集到鱼类 1894 尾,网具为虾笼、三层流刺网等。通过统计得到该江段鱼类有 41 种,主要组成鱼类为餐属、黄颡鱼属、蛇鮈、蒙古红鲃、银鲃、鲤、鲢鳙等,其数量比依次为 37.0%、28.5%、6.4%、5.2%、2.8%、5.4%,重量比依次为 2.7%、1.6%、1.0%、8.4%、0.2%、13.3%、59.9%,具体鱼类组成见表 1。2010 年 4 月初云阳县举行增殖放流活动,向澎溪河流域放流各类 10—15 cm 左右规格鱼类 225.8 万尾,其中鲢鳙所占比例最大<sup>[14]</sup>。并通过走访渔民了解到,春季主要组成鱼类是鲢、鳙、长吻鮠、鲤、鳊、餐、鳊等,其中鲢鳙为优势种,所占比例约为 60%。

#### 2.1.2 目标强度特征

统计分析显示,3 个季节鱼类目标强度分布均呈偏态分布(图 2)。秋季、冬季和春季鱼类平均目标强度分别为  $(-57.0 \pm 5.6)$  dB、 $(-57.1 \pm 5.5)$  dB、 $(-58.6 \pm 4.9)$  dB;对 3 个季节鱼类目标强度进行方差分析显示,3 个季节的鱼类目标强度存在极显著性差异( $F=357.13, P<0.01$ )。其中,秋季、冬季鱼类目标强度分别与春季鱼类目标强度存在极显著差异( $P<0.01, P<0.01$ )。

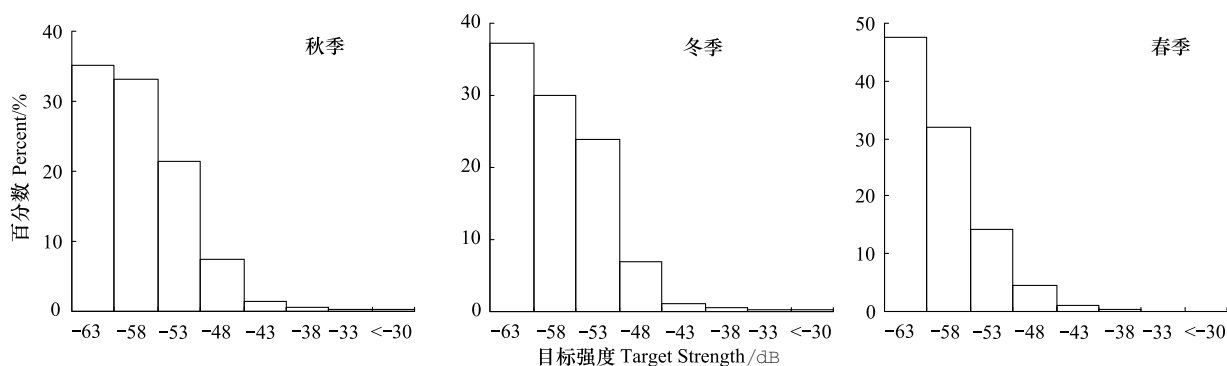


图 2 3 个季度鱼类目标强度值分布

Fig. 2 Distribution diagram of fish target strength among three seasons

秋季、冬季目标强度范围-61.0—-54 dB 均占到总体的 50%,且平均目标强度均为  $(57.8 \pm 2.0)$  dB。按照 Foote 等<sup>[15]</sup>推导的有鳊鱼类  $TS$  值与体长经验公式  $TS=20\lg L-71.9$  dB 进行转换,得到此范围信号个体体长范围为 3.6—7.9 cm。秋冬季主要鱼类平均体长为 5 cm。春季目标强度范围-63—-56 dB 占总体的 50% 以上,平均目标强度为  $(59.9 \pm 2.0)$  dB。渔获物调查知澎溪河鲢鳙为优势种,按照任玉芹等<sup>[16]</sup>对鳙目标强度标定实验得到的体长经验公式  $TS=22.3\lg L-84.5$  dB 进行转换,得到此范围信号个体体长范围为 8.7—17.6 cm,主要鱼类平均体长为 12 cm。并根据春季放流情况鲢鳙鱼苗为主要放流品种,因此,推断鲢鳙鱼苗在  $TS$  值范围-63—-56 dB 内占的比例较大。

表 1 秋冬季彭溪河鱼类组成

| Table 1 The composition of fish in Pengxi River |                              |                                |                        |                          |                       |                        |                  |                          |  |
|-------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|------------------|--------------------------|--|
| 鱼名<br>Fish list                                 | 体长范围/cm<br>Body length range | 平均体长/cm<br>Average body length | 重量范围/g<br>Weight range | 平均体重/g<br>Average weight | 总重量/g<br>Total weight | 重量比例/%<br>Weight ratio | 尾数/尾<br>Quantity | 数量比例/%<br>Quantity ratio |  |
| 贝氏餐 Hemiculter bleekeri Warpachowsky            | 7.0—12.5                     | 10.8±0.6                       | 5.2—40.9               | 13.16±2.3                | 5527.8                | 1.7                    | 420              | 22.2                     |  |
| 光泽黄颡鱼 Pelteobagrus nitulus                      | 5.2—18.5                     | 8.8±1.7                        | 2.4—81.7               | 8.4±6.4                  | 3138.5                | 1.0                    | 374              | 19.7                     |  |
| 餐 H. leucisculus                                | 5.8—14.0                     | 10.4±0.8                       | 2.4—35.3               | 11.7±3.4                 | 2850.8                | 0.9                    | 244              | 12.9                     |  |
| 瓦氏黄颡鱼 P. vachelli                               | 6.0—18.5                     | 8.5±1.8                        | 2.9—103.2              | 11.9±12.5                | 1992.6                | 0.6                    | 167              | 8.8                      |  |
| 蛇鮈 Saurogobio dabryi Bleeker                    | 9.5—20.7                     | 13.8±2.0                       | 11.8—70.7              | 27.2±11.8                | 3317.7                | 1.0                    | 122              | 6.4                      |  |
| 蒙古红鲌 Erythroculter mongolicus mongolicus        | 6.8—41.0                     | 23.8±9.4                       | 3.0—1350.0             | 280.4±235.3              | 27754.8               | 8.4                    | 99               | 5.2                      |  |
| 银鮈 Squalulus argentatus                         | 7.0—11.5                     | 9.9±1.1                        | 5.0—23.2               | 11.5±3.1                 | 688.5                 | 0.2                    | 60               | 3.2                      |  |
| 鲢 Musculis Hypophthalmichthys molitrix          | 10.4—65.0                    | 43.2±15.1                      | 18.8—4977.8            | 2039.2±1647.1            | 106040.9              | 32.2                   | 52               | 2.7                      |  |
| 鳊 Aristichthys nobilis                          | 10.4—58.5                    | 39.0±16.7                      | 20.1—3773.0            | 1786.7±1435.9            | 91121.4               | 27.7                   | 51               | 2.7                      |  |
| 鲤 Cyprinus carpio Linnaeus                      | 8.6—41.0                     | 27.1±10.4                      | 11.2—2050              | 809.1±657.9              | 42875.3               | 13.0                   | 53               | 2.8                      |  |
| 鲫 Carassius auratus                             | 8.6—20.0                     | 14.6±3.4                       | 18.1—250               | 110.6±75.3               | 4423.8                | 1.3                    | 40               | 2.1                      |  |
| 张氏餐 H. tchangii Fang                            | 6.5—12.5                     | 10.2±1.5                       | 4.4—20.3               | 11.5±4.2                 | 412.5                 | 0.1                    | 36               | 1.9                      |  |
| 翘嘴红鲌 E. ilisaeformis                            | 7.5—29.5                     | 15.6±7.6                       | 3.7—277.3              | 68.6±82.5                | 2264.2                | 0.7                    | 33               | 1.7                      |  |
| 兴凯鲌 Achelognathus chankaensis                   | 5.0—8.3                      | 7.1±0.8                        | 3.9—13.5               | 7.0±3.1                  | 119.7                 | 0.0                    | 17               | 0.9                      |  |
| 草鱼 Genopharyngodon idellus                      | 20.0—41.0                    | 33.9±7.1                       | 167.5—1450             | 815.6                    | 10603.0               | 3.2                    | 13               | 0.7                      |  |
| 子陵栉鲌虎鱼 Genogobius giurinus                      | 5.0—6.2                      | 5.6±0.5                        | 2.7—4.5                | 3.83±0.6                 | 46.0                  | 0.0                    | 12               | 0.6                      |  |
| 麦穗鱼 Pseudorasbora parva                         | 5.6—8.5                      | 7.5±0.9                        | 3.9—12.7               | 9.4±2.3                  | 103.1                 | 0.0                    | 11               | 0.6                      |  |
| 铜鱼 Coreius heterodon                            | 9.6—35.0                     | 15.6±6.4                       | 11.1—195.8             | 73.6±76.9                | 662.3                 | 0.2                    | 9                | 0.5                      |  |
| 鲈 Siniperca chuatsi                             | 9.6—12.2                     | 10.7±0.8                       | 16.6—36.8              | 24.2±6.8                 | 217.9                 | 0.1                    | 9                | 0.5                      |  |
| 大口鲈 Silurus meridionalis Chen                   | 24.5—64.0                    | 51.3±11.8                      | 102.8—2800             | 1769.1±811.1             | 14152.8               | 4.3                    | 8                | 0.4                      |  |
| 华鱼泉 Sarcocheilichthys sinensis sinensis Bleeker | 10.7—11.3                    | 10.9±0.2                       | 25.8—29.2              | 26.9±1.1                 | 188.2                 | 0.1                    | 7                | 0.4                      |  |
| 似鲈 Pseudobrama sinoni                           | 8.3—10.5                     | 9.7±0.7                        | 6.8—32.1               | 18.0±10.5                | 126.3                 | 0.0                    | 7                | 0.4                      |  |
| 赤眼鲈 Squaliobarbus curriculus                    | 17.0—30.7                    | 26.9±5.9                       | 55.0—500.4             | 367.0±192.1              | 2202.1                | 0.7                    | 6                | 0.3                      |  |
| 光唇蛇鮈 S. gymnocheilus                            | 8.5—14.2                     | 10.8±2.0                       | 5.2—29.5               | 14.5±8.5                 | 101.8                 | 0.0                    | 6                | 0.3                      |  |
| 斑点叉尾鲌 Ictalurus punctatus                       | 25.0—38.0                    | 34.5±6.3                       | 100.7—950              | 712.7±40.9               | 2850.7                | 0.9                    | 4                | 0.2                      |  |
| 大鳍鱬 Mystus macropterus                          | 9.5—37.5                     | 21.7±11.8                      | 13.7—900               | 291.8±416.2              | 1167.2                | 0.4                    | 4                | 0.2                      |  |
| 鲇 S. asotus Linnaeus                            | 11.0—35                      | 23.3±9.9                       | 8.5—400                | 170.9±167.2              | 683.5                 | 0.2                    | 4                | 0.2                      |  |
| 中华倒刺鲃 Spinibarbus sinensis                      | 8.5—25.6                     | 14.5±8.0                       | 14.8—195.6             | 69.0±86.0                | 275.9                 | 0.1                    | 4                | 0.2                      |  |
| 圆口铜鱼 C. guichenoti                              | 11.0—20.5                    | 17.3±5.5                       | 12.1—174               | 120.03±93.5              | 360.1                 | 0.1                    | 3                | 0.2                      |  |
| 吻鲈 Rhinogobio typus Bleeker                     | 17.5—18.5                    | 16.2±32.1                      | 78.3—87.2              | 62.0±36.2                | 186.0                 | 0.1                    | 3                | 0.2                      |  |
| 银鲫 C. gibelio                                   | 10.0—12.0                    | 11.9±0.2                       | 40.0—48.3              | 45.5±4.8                 | 136.6                 | 0.0                    | 3                | 0.2                      |  |
| 鳊 Carassius Megalobrama                         | 26.0—28.5                    | 27.3±1.8                       | 500.0—800              | 250.0±212.1              | 500.0                 | 0.2                    | 2                | 0.1                      |  |
| 丁鲃 Tincaeus                                     | 10.8—14.5                    | 12.7±2.6                       | 24.3—47.3              | 35.8±16.3                | 71.6                  | 0.0                    | 2                | 0.1                      |  |
| 黑鳍鱼泉 S. nigripinnis                             | 7.0—7.5                      | 7.3±0.4                        | 6.6—7.1                | 6.85±0.4                 | 13.7                  | 0.0                    | 2                | 0.1                      |  |
| 其他 Others                                       | 7.5—46.2                     | 17.1±13.7                      | 6.2—1350.0             | 234.7±496.4              | 1642.6                | 0.5                    | 7                | 0.4                      |  |
| 总体 Totality                                     | 5.0—65.0                     | —                              | 2.4—4977.8             | —                        | 328819.9              | 100.0                  | 1894             | 100.0                    |  |

## 2.2 鱼类分布特征

### 2.2.1 水平分布及季节性变化

3 个季节澎溪河鱼类水平分布呈现不均匀性(图 3)。秋季各采样单元平均鱼类密度为 $(2.20 \pm 10.07)$  尾/1000m<sup>3</sup>;冬季各采样单元平均鱼类密度为 $(1.84 \pm 3.89)$  尾/1000m<sup>3</sup>;春季各采样单元平均鱼类密度为 $(3.22 \pm 4.50)$  尾/1000m<sup>3</sup>。澎溪河鱼群密集区域也存在季节性变化。秋季,黄石镇附近鱼群最为密集,密度最高达到了 67.07 尾/1000m<sup>3</sup>;冬季,黄石代李子、洞溪河汇入处、高阳平湖鱼群较为密集,密度最高达到了 19.66 尾/1000m<sup>3</sup>;春季,高阳平湖鱼群最为密集,密度高达 17.25 尾/1000m<sup>3</sup>。但是整个水层鱼类水平分布 3 个季节之间差异不显著( $F=0.37, P=0.70$ )。

对不同水层的统计结果,上层鱼类水平分布 3 个季节之间有极显著性差异( $F=12.63, P<0.01$ ),其中秋季、冬季上层均与春季上层有极显著性差异( $P<0.01, P<0.01$ )。中层鱼类纵向分布有显著性差异( $F=3.81, P=0.03$ ),其中秋季与春季中层鱼类分布有极显著性差异( $P<0.01$ )。底层鱼类水平分布没有显著性差异( $F=1.24, P=0.30$ )。

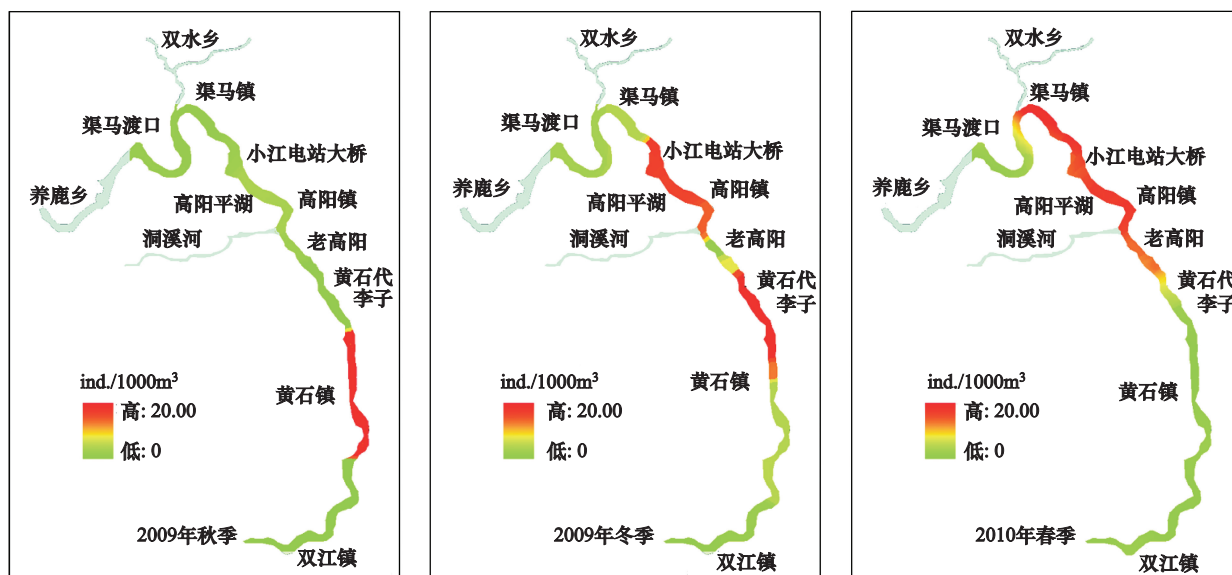


图 3 澎溪河调查区域鱼类密度分布

Fig. 3 Distribution of fish density in the Pengxi River

蓝色水域代表未探测区域

### 2.2.2 鱼类垂直分布及季节性变化

澎溪河鱼类密度在各单元各水层分布不均匀,有一定的差异性。秋季、冬季中、下层鱼类密度大于上层,具体表现为下层鱼类密度 > 中层鱼类密度 > 上层鱼类密度,上层和下层鱼类密度比最大;春季下层鱼类密度大于中、上层,中、上层鱼类密度相差不大,密度比为 0.96,中层和下层鱼类密度比最大(表 2)。各季节  $t$  检验分析结果表明秋季、春季各层鱼类密度差异不显著, $P$  值范围为  $0.15 \leq P \leq 0.89$ ;冬季鱼类密度上层和中层,中层和下层差异不显著( $P=0.11, P=0.37$ ),上层和下层差异较为显著( $P \leq 0.05$ )。

### 2.2.3 鱼类昼夜节律特征(DVM)

双江码头—黄石代李子江段冬季鱼类昼夜分布差异明显(图 4)。白天该江段鱼信号很少,稀疏的随机分布在水层中,而傍晚鱼群活跃起来,从图 4 中可以看出,鱼群布满了整个水层,20—50 m 水层中鱼群最为密集。统计分析显示,白天该江段平均鱼类密度为 $(0.18 \pm 0.12)$  个/1000m<sup>3</sup>,变化范围为 0.02—0.44 尾/1000m<sup>3</sup>;傍晚该江段平均密度为 $(4.35 \pm 6.27)$  尾/1000m<sup>3</sup>,变化范围为 0.43—19.66 尾/1000m<sup>3</sup>。通过单因素方差分析(ANOVA)结果显示,鱼类密度存在显著性差异( $F=4.42, P<0.05$ ),傍晚鱼类密度明显高于白

天(图 5), 约是白天鱼类密度的 24 倍。该江段白天各单元平均鱼类个体数为  $(61\pm33)$  尾, 变化范围为 22—126 尾; 傍晚各单元平均鱼类个体数为  $(310\pm267)$  尾, 变化范围为 93—986 尾。对昼夜各采样单元鱼类个体数进行单因素方差分析, 结果表明, 白天和傍晚鱼类个体数分布存在极显著性差异 ( $F=8.48, P=0.009$ ), 傍晚鱼类个体数远远多于白天(图 5), 约是白天鱼类数量的 5 倍。

表 2 3 个季节上、中、下层鱼类密度 *t* 检验分析  
Table 2 T-test among the fish densities of surface, middle and bottom layers in three seasons

| 季度<br>Season               | 水层<br>Water layer | 平均密度<br>/(尾/1000m <sup>3</sup> )<br>Average density | 最小值<br>/(尾/1000m <sup>3</sup> )<br>Min. density | 最大值<br>/(尾/1000m <sup>3</sup> )<br>Max . density | <i>P</i> | 平均密度比<br>Avrage<br>density ratio |
|----------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------|----------------------------------|
| 2009 年秋季<br>Autumn of 2009 | 上层                | 0.26±0.82                                           | 0.00                                            | 3.64                                             | 0.15     | 3.54                             |
|                            | 中层                | 0.92±1.93                                           | 8.52                                            | 0.00                                             | 0.21     |                                  |
|                            | 上层                | 0.26±0.82                                           | 0.00                                            | 3.64                                             |          |                                  |
|                            | 下层                | 5.33±18.58                                          | 0.03                                            | 87.99                                            | 0.28     | 20.50                            |
|                            | 中层                | 0.92±1.93                                           | 0.00                                            | 8.52                                             |          |                                  |
|                            | 下层                | 5.33±18.58                                          | 0.03                                            | 87.99                                            |          |                                  |
| 2009 年冬季<br>Winter of 2009 | 上层                | 0.62±1.65                                           | 0.00                                            | 7.49                                             | 0.11     | 3.31                             |
|                            | 中层                | 2.05±3.78                                           | 0.07                                            | 18.40                                            | 0.05     |                                  |
|                            | 上层                | 0.62±1.65                                           | 7.49                                            | 0.00                                             |          |                                  |
|                            | 下层                | 3.54±6.65                                           | 0.04                                            | 37.09                                            | 0.37     | 5.71                             |
|                            | 中层                | 2.05±3.78                                           | 0.07                                            | 18.40                                            |          |                                  |
|                            | 下层                | 3.54±6.65                                           | 37.09                                           | 0.04                                             |          |                                  |
| 2010 年春季<br>Spring of 2010 | 上层                | 3.97±4.21                                           | 0.00                                            | 11.97                                            | 0.89     | 0.96                             |
|                            | 中层                | 3.80±3.76                                           | 0.01                                            | 11.85                                            | 0.32     |                                  |
|                            | 上层                | 3.97±4.21                                           | 0.00                                            | 11.97                                            |          |                                  |
|                            | 下层                | 26.44±78.51                                         | 0.12                                            | 375.85                                           | 0.31     | 6.66                             |
|                            | 中层                | 3.80±3.76                                           | 0.01                                            | 11.85                                            |          |                                  |
|                            | 下层                | 26.44±78.51                                         | 0.12                                            | 375.85                                           |          |                                  |

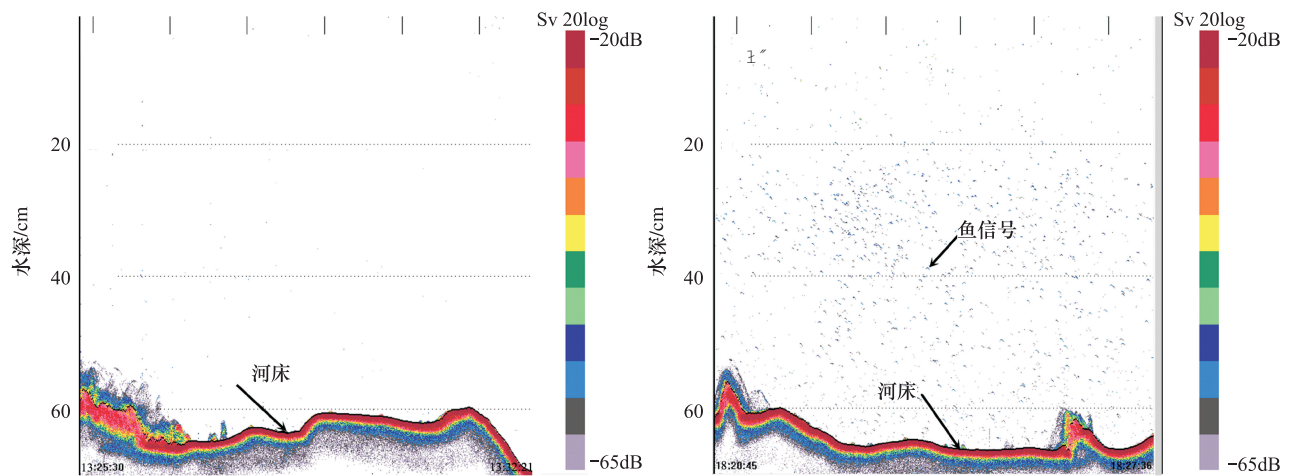


图 4 双江码头至黄石代李子江段鱼类昼夜探测回波图  
Fig.4 Echogram of day and night about fish in the section between Shuangjiang Wharf and Huangshidailizi

2.3 鱼类分布与水深的关系

澎溪河调查水域内, 秋季水深范围 4.85—70.30 m, 平均水深  $(40.50\pm11.16)$  m; 冬季水深范围 20.93—70.80 m, 平均水深  $(45.88\pm13.66)$  m; 春季水深范围 7.90—54.18 m, 平均水深  $(39.83\pm11.26)$  m。

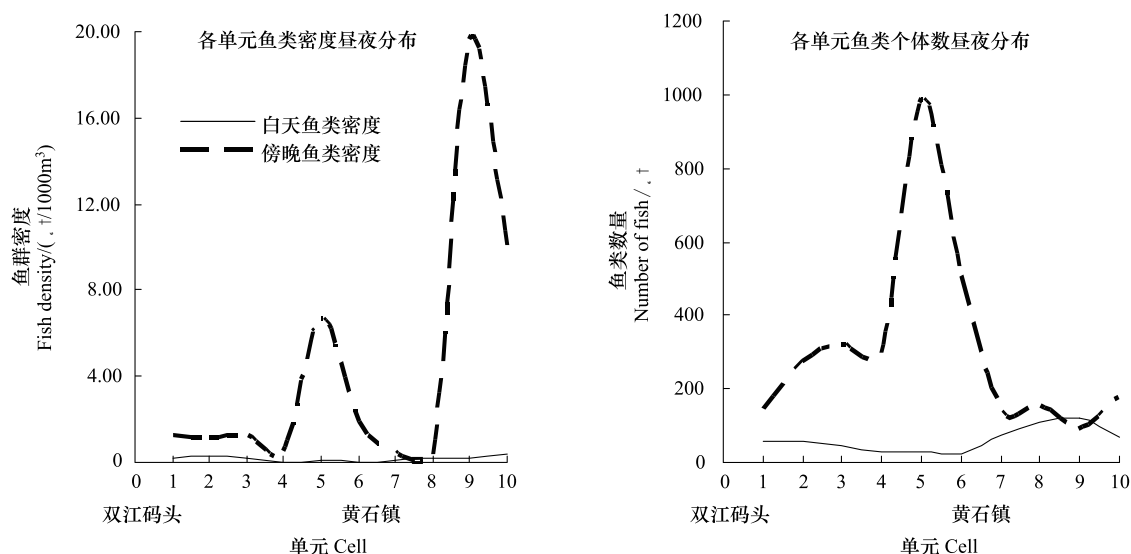


图5 双江码头至黄石代李子江段鱼类昼夜分布图

Fig. 5 Distribution diagram of day and night about fish in the section between Shuangjiang Wharf and Huangshidailizi

对鱼类密度和水深、目标深度等相关性分析显示:秋季、冬季各江段鱼类密度均与水深、目标深度不相关( $|r| < 0.2$ );春季各江段鱼类密度与水深、目标深度均呈中度负相关( $P \leq 0.05, r \leq -0.5$ );3个季节各江段水深和目标深度均呈高度正相关( $P < 0.01, r > 0.8$ )。秋季上层、中层鱼类密度与目标深度呈中度负相关( $P < 0.05, r \leq -0.5$ ),冬季和春季上层、中层鱼类密度均与目标深度呈低度负相关( $-0.4 \leq r < -0.3$ ),3个季节的下层鱼类密度均与目标深度不相关( $|r| < 0.3$ )。鱼类空间分布与水深的关系达到了显著相关水平,可见该水域内鱼类垂直分布对水深有一定的选择性,其中秋季水深范围22—49 m、冬季水深范围22—44 m、春季水深范围10—40 m的水层为鱼类的主要分布聚集区。

3个季节澎溪河鱼类密度的变异系数(方差/平均值)均大于1,根据孙儒泳种群分布型的划分标准<sup>[17]</sup>,3个季节澎溪河鱼类成聚群分布。

### 3 讨论

#### 3.1 声学探测结果与渔获物比较分析

大于-30 dB的信号可能是河底的石头、水中杂物或大型鱼体。统计分析显示3个季节大于-30dB的信号非常少,分别占总信号的0.32%、0.17%、0.06%,此信号是大型鱼体信号还是水中杂物需要进一步研究论证,但对鱼类密度、目标强度分析不会造成影响。3个季节目标强度主要集中在-63—-50 dB之间,均占到了70%以上,由于鱼类TS值与体长的对数正相关<sup>[15,18-19]</sup>,所以3个季节以中小型鱼类为主。秋冬季渔获物统计显示主要以餐属、黄颡鱼属、蛇鮈等中小型鱼类为主,2010年春季云阳县向澎溪河放流各类10—15 cm左右规格鱼苗225.8万尾。由此可以推断出3个季节澎溪河流域主要以中小型鱼类为主,与水声学探测结果吻合。

由于虾笼、刺网捕鱼有选择性,而且种类多,不能够将渔获物调查获得的数据与目标强度值进行分配,故本文只能参考TS值与体长经验公式来估算秋冬季主要鱼类的体长范围。通过各种经验公式<sup>[15,20-22]</sup>与渔获物优势种餐属、黄颡鱼属的体长范围进行比较,最终发现根据长江所资源学科组推导鳊的经验公式 $TS = 22.9 \log L - 84.5 \text{ dB}$ 转换得到主要鱼类体长范围为10.6—21.5 cm,接近渔获物组成的优势种餐属、黄颡鱼属体长范围。但是同规格的餐属、黄颡鱼属和鳊的TS值是否相近,还需对餐属、黄颡鱼属进行TS值标定实验。因此,本文采用Foote提出的有鳊鱼类的经验公式估算秋冬季主要鱼类的体长范围和主要鱼类平均体长,估算值低于渔获物统计值。主要原因是虾笼、刺网有选择性,体长非常小的个体统计不全以及Foote提出的经验公式是否符合澎溪河鱼类目标强度与鱼类体长关系还有待进一步研究。

目标强度存在季节变化的差异性,秋季、冬季目标强度均与春季目标强度有显著性差异。相关研究显示,TS 值跟鱼类的种类、体长、鱼体在水中的姿态倾角等因素有关<sup>[10,23]</sup>。渔获物数据和通过走访渔民得知,澎溪河水域秋冬季优势种为餐属、黄颡鱼属等,春季优势种为鲢、鳙等。鱼种的变化可能导致 TS 值季节性变化。另外春季探测前澎溪河放流鱼苗,仔稚鱼数量相对增加,这也是澎溪河春季鱼类 TS 值较秋冬季低的原因之一。由于澎溪河鱼群种类并不单一,不能具体估算出某一种鱼的具体资源量。

### 3.2 鱼类时空分布差异性分析

相关研究表明鱼类时空分布差异与水深、盐度、水温、水流、浮游生物等有关<sup>[24-26]</sup>。

本次调查结果显示,鱼类主要分布于黄石镇附近、洞溪河汇入处下游、高阳平湖 3 个河段处。黄石镇附近接纳两岸的生活用水<sup>[2]</sup>,其排放为鱼类提供饵料来源,形成良好的生活栖息地;洞溪河汇入区域江面开阔,流态复杂,适合鱼类聚集生存;高阳平湖江段密集很多网箱,饵料的投放增加了食物的来源,同时高阳平湖类似浅水湖泊,是澎溪河极易发生水华的河段,浮游生物量丰富,相应鱼在此江段比较密集。

3 个季节的数据比较分析,发现春季鱼类密度普遍比秋季、冬季高。4—6 月份期间为长江上游鱼类繁殖季节<sup>[6]</sup>,很多鱼类溯游到流速较高的支流完成产卵活动;另外,环境因子的改变,如春季水温升高,溶氧量增加等,经过越冬期的鱼类活动增加;春季水体富营养化程度远高于秋、冬季<sup>[3]</sup>,其浮游生物量相对较高,为鱼类提供了丰富的饵料。另外,4 月初云阳县放流鱼苗也是春季鱼类密度高于秋季、冬季鱼类密度的原因之一。但 2010 年春季鱼类密度比 2007 年陶江平等<sup>[7]</sup>探测的春季鱼类密度低,可能由于水质、浮游生物等环境因子变化引起,具体原因需深入研究。

本文研究发现鱼类垂直分布对水深有一定的选择性。鱼类主要聚集在十几米至四十几米水深范围内,所以水深可能是造成不同水层鱼类密度差异的原因之一。另外,秋季、冬季表层水温低于中底层水温<sup>[6]</sup>,鱼群主要群聚在中底层,这可能是秋、冬季鱼类密度水平分布与水深分布相关不大的原因。秋、冬季群聚现象可能跟温度低、环境胁迫大有关,鱼类表现群体抵御策略。春季群集现象可能跟鱼类溯河产卵有关。由于经过越冬期后鱼类游动相对活跃,春季中、上层鱼类密度相差不大。春季整个水层的鱼类密度纵向分布与水深呈中度负相关,高阳至渠马镇江段水深相对较低,而鱼群主要集中在此江段。

昼夜调查结果显示,傍晚鱼类密度明显高于白天鱼类密度。这是鱼类昼夜节律变化(DVM)引起的。白天鱼类多栖息在水底以躲避敌害的侵袭等;傍晚鱼类会上浮至水体中上层进行觅食等行为。另外声波在接近水底的位置有一定的盲区,故无法探测水底的全部鱼类,但在傍晚底层鱼类上浮后,底层无法获得的鱼类在夜间可以探测到。所以夜晚探测的数量肯定比白天多,傍晚鱼类密度高于白天鱼类密度<sup>[27-28]</sup>。建议在今后的调查研究中,条件允许傍晚探测效果较好。

水声学探测与传统的鱼类资源量评估方法相比,具有快速有效、不损坏生物资源、提供持续的数据等优点<sup>[29]</sup>,但也存在一些不足<sup>[30-33]</sup>,其作为一种新的方法正逐步完善起来。本研究选择风平浪静的天气和水质较好时进行探测,降低了气泡、浮游动植物等干扰造成的误差。分析数据时考虑了盲区的存在,降低了分析误差。春季鱼类密度高于秋季、冬季鱼类密度,原因之一是 4 月初云阳县进行了增殖放流活动,因此在今后的研究工作中,水声学探测作为增殖放流监测评估手段之一,比较放流前后鱼类资源量变化,可有效的评估增殖放流效果。

### 3.3 鱼类保护建议

本研究表明澎溪河鱼群分布呈现不均一性,主要集中在洞溪河与澎溪河交汇处、高阳平湖等江段。高阳平湖是小江一个非常独特的河段,在物理特征上近似于浅水湖泊,其上游和下游为峡谷河段。因此,建议应加强两河交汇处及类似高阳平湖江段的鱼类保护。

## References:

- [1] Li Z, Fang F, Guo J S, Chen J, Zhang C, Tian G. Spring algal bloom and nutrients characteristics in Xiaojiang River backwater area, Three Gorge

- Reservoir, 2007. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(1): 36-44.
- [ 2 ] Guo J S, Chen J, Li Z, Fang F, Zhang C, Tian G. Investigation of phytoplankton and assessment of Algal diversity on Backwater Area of Xiaojiang River in Three Gorges Reservoir after its initiate impounding to the water level of 156m in Spring. Chinese Journal of Environmental Science, 2008, 29(10): 2710-2715.
- [ 3 ] Pan X J, Peng J H, Zhang Z Y, Zheng Z W. The annual characteristics of phytoplankton Communities in Pengxi River. Environmental Science & Technology, 2009, 32(Special): 95-101.
- [ 4 ] Pei T Q, Wang L A, Han Y, Ma P D, Wang H L, Dong J M. Fuzzy assessment of water utrophication for Xiaojiang River Basin in Three Gorges Region. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(4): 1427-1431.
- [ 5 ] Tan X C, Shi J Q, Zhang H, Tao J P, Yang J X, Qi H F, Li X H. Hydroacoustic assessment of fish resources in the Lake Qinghai with EY60 echosounder. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(6): 865-872.
- [ 6 ] Wang K, Duan X B, Liu S P, Li Z H, Chen D Q. Survey on temporal and spatial distribution of fish in the Daning River. Acta Hydrobiologica Sinica, 2009, 33(3): 516-521.
- [ 7 ] Tao J P, Chen Y B, Qiao Y, Tan X C, Chang J B. Hydroacoustic surveys on spatial distribution of fishes in the Three Gorges Reservoir during the first impoundment. Journal of Hydroecology, 2008, 1(5): 25-33.
- [ 8 ] Tan X C, Chang J B, Tao J P, Li X H. Survey on fish distribution in the forequarter of the Three Gorge Reservoir using EY60 Split-beam echosounder. Ecological Science, 2008, 27(5): 329-334.
- [ 9 ] Tao J P, Ai W M, Gong Y T, Chen Z J, Li S L, Xie Q L, Chen S B, Zhou Z M. Assessment of fish abundance and distribution using fisheries acoustics and GIS modeling in the Nanxi River of Wenzhou City. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(11): 2992-3000.
- [ 10 ] Zhao X Y, Chen Y Z, Li X S, Chen W Z, Li Y Z, Sun J M, Jin X S, Tang Q S. Acoustic estimation of multi-species marine fishery resources. Acta Oceanologica Sinica, 2003, 25(Suppl 1): 192-202.
- [ 11 ] Mason D M, Johnson T B, Harvey C J, Kitchell J F, Schram S T, Bronte C R, Hoff M H, Lozano S J, Trebitz A S, Schreiner D R, Lamon E C, Hrabik T. Hydroacoustic estimates of abundance and spatial distribution Pelagic Prey Fishes in Western Lake Superior. Journal of Great lakes Research, 2005, 31: 426-438.
- [ 12 ] Balk H, Lindem T. Sonar4, Sonar5 and Sonar6 post processing systems. Operator manual version 5.9.6, 2005: 164-184.
- [ 13 ] Petilgas P. Geostatistics for fish stock assessments: a review and an acoustic application. ICES Journal of Marine Science, 1993, 50(3): 285-298.
- [ 14 ] Xiong B. 2.2 million tail fishes were enhanced and released and "newcomers" were added in the river valley. Yuyang Nets, (2010-04-02) [2010-12-15]. [http://www.yyxw.net/content/2010-04/02/content\\_593314.htm](http://www.yyxw.net/content/2010-04/02/content_593314.htm).
- [ 15 ] Foote K G. Fish target strengths for use in echo integrator surveys. Journal of the Acoustical Society of American, 1987, 82(3): 981-987.
- [ 16 ] Ren Y Q, Wang K, Duan X B, Yin S Y, Li S J, Liu S P, Chen D Q. In situ hydroacoustic estimates of target strength and behavior characteristics of *Aristichthys nobilis*. Freshwater Fisheries, 2011, 41(2): 3-9.
- [ 17 ] Sun R Y. The Animal Ecology Principle. Beijing: Beijing Normal University Press, 1987: 283-295.
- [ 18 ] Simmonds E J, MacLennan D N. Fisheries and plankton acoustics. ICES Journal of Marine Science, 1996, 53(2): 129-535.
- [ 19 ] Zhao X Y, Chen Y Z. In situ target strength measurements on walleye Pollock (*Theragra chalcogramma* Pallas). Journal of Fishery Sciences of China, 1996, 3(4): 19-27.
- [ 20 ] Kang D H, Hwang D J. *Ex situ* target strength of rockfish (*Sebastes schlegeli*) and red sea bream (*Pagrus major*) in the Northwest Pacific. ICES Journal of Marine Science, 2003, 60(3): 538-543.
- [ 21 ] O'Driscoll R L, Rose G A. *In situ* acoustic target strength of juvenile capelin. ICES Journal of Marine Science, 2001, 58(1): 342-345.
- [ 22 ] Lilja J, Marjomaki T J, Riikonen R, Jurvelius J. Side-aspect target strength of Atlantic salmon (*Salmo salar*), brown trout (*Salmo trutta*), whitefish (*Coregonus lavaretus*), and pike (*Esox lucius*) Indice de réflexion latérale du saumon Atlantique (*Salmo salar*), de la truite de mer (*Salmo trutta*), du corégone (*Coregonus lavaretus*) et du brochet (*Esox lucius*). Aquatic Living Resources, 2000, 13(5): 355-360.
- [ 23 ] Liu B S, Lei J Y. Acoustic Theory. Harbin: Harbin Engineering University Press, 1997: 7-8.
- [ 24 ] Mowbray F K. Changes in the vertical distribution of capelin (*Mallotus villosus*) of Newfoundland. ICES Journal of Marine Science, 2002, 59: 942-949.
- [ 25 ] Tameishi H, Shinomiya H, Aoki I, Sugimoto T. Understanding Japanese sardine migrations using acoustic and other aids. ICES Journal of Marine Science, 1996, 53: 167-171.
- [ 26 ] Liu G C, Chon T S, Park Y S. Macroinvertebrate community structure in microhabitats of polluted stream. Journal of Shenyang Agricultural University, 1999, 30(3): 273-276.
- [ 27 ] Knudsen F R, Larsson P, Jakobsen P J. Acoustic scattering from a larval insect (*Chaoborus flavicans*) at six echosounder frequencies; implication

for acoustic estimates of fish abundance. *Fisheries Research*, 2006, 79(1/2): 84-89.

- [28] Tao J P, Gao Y, Qiao Y, Zheng H T, Wang X, Wan L, Chang J B. Hydroacoustic observation of fish spatial patterns and behavior in the ship lock and adjacent areas of Gezhouba Dam, Yangtze River. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 233-239.
- [29] Elliott J M, Fletcher J M. A comparison of three methods for assessing the abundance of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, in Windermere (northwest England). *Fisheries Research*, 2001, 53(1): 39-46.
- [30] Tan X C, Xia L Q, Tatsukawa K, Xie P, Chang J B. Hydroacoustic surveys on temporal and spatial distributions of stocked carps in the East Lake. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(6): 585-590.
- [31] Zhang H J, Yang D G, Wei Q W, Du H, Zhang H, Chen X H. Hydro-acoustic survey on fishes in the reach from Gezhouba Dam to Gulaobei of the Yangtze River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(1): 86-90.
- [32] Soria M, Fréon P, Gerlotto F. Analysis of vessel influence on spatial behavior of fish schools using a multi-beam sonar and consequences for biomass estimates by echo-sounder. *ICES Journal of Marine Science*, 1996, 53: 453-458.
- [33] Eckmann R. Allocation of echo integrator output to small larval insect (*Chaoborus* sp.) and medium-sized (juvenile fish) target. *Fisheries Research*, 1998, 35(1/2): 107-113.

#### 参考文献:

- [1] 李哲, 方芳, 郭劲松, 陈杰, 张超, 田光. 三峡小江回水区段 2007 年春季水华与营养盐特征. *湖泊科学*, 2009, 21(1): 36-44.
- [2] 郭劲松, 陈杰, 李哲, 方芳, 张超, 田光. 156m 蓄水后三峡水库小江回水区春季浮游植物调查及多样性评价. *环境科学*, 2008, 29(10): 2710-2715.
- [3] 潘晓洁, 彭建华, 张志永, 郑志伟. 澎溪河浮游植物群落结构的周年变化特征. *环境科学与技术*, 2009, 32(专刊): 95-101.
- [4] 裴廷权, 王里奥, 韩勇, 马培东, 王华梁, 董倩蒙. 三峡库区小江流域水体富营养化的模糊评价. *农业环境科学学报*, 2008, 27(4): 1427-1431.
- [5] 谭细畅, 史建全, 张宏, 陶江平, 杨建新, 祁洪芳, 李新辉. EY60 回声探测仪在青海湖鱼类资源量评估中的应用. *湖泊科学*, 2009, 21(6): 865-872.
- [6] 王珂, 段辛斌, 刘绍平, 李志华, 陈大庆. 三峡库区大宁河鱼类的时空分布特征. *水生生物学报*, 2009, 33(3): 516-521.
- [7] 陶江平, 陈永柏, 乔晔, 谭细畅, 常剑波. 三峡水库成库期间鱼类空间分布的水声学. *水生态学杂志*, 2008, 1(5): 25-33.
- [8] 谭细畅, 常剑波, 陶江平, 李新辉. 三峡库首鱼类分布格局的水声学探测评估. *生态科学*, 2008, 27(5): 329-334.
- [9] 陶江平, 艾为民, 龚昱田, 陈志俭, 李尚鲁, 谢起浪, 陈少波, 周志明. 采用渔业声学方法和 GIS 模型对温州楠溪江鱼类资源量及空间分布的评估. *生态学报*, 2010, 30(11): 2992-3000.
- [10] 赵宪勇, 陈毓桢, 李显森, 陈卫忠, 李永振, 孙继闽, 金显仕, 唐启升. 多类海洋渔业资源声学评估技术和方法探讨. *海洋学报*, 2003, 25(增刊 1): 192-202.
- [14] 熊彬. 增殖放流 220 万尾小江流域再添“新丁”. 云阳网, (2010-04-02) [2010-12-15]. [http://www.yywx.net/content/2010-04/02/content\\_593314.htm](http://www.yywx.net/content/2010-04/02/content_593314.htm).
- [16] 任玉芹, 王珂, 段辛斌, 阴双雨, 李世健, 刘绍平, 陈大庆. 鲮目标强度和行为特征的水声学. *淡水渔业*, 2011, 41(2): 3-9.
- [17] 孙儒泳. 动物生态学原理. 北京: 北京师范大学出版社, 1987: 283-295.
- [19] 赵宪勇, 陈毓桢. 狭鳕 (*Theragra chalcogramma* Pallas) 目标强度的现场测定. *中国水产科学*, 1996, 3(4): 19-27.
- [23] 刘伯胜, 雷家煜. 水声学原理. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1997: 7-8.
- [26] 刘广纯, Chon T S, Park Y S. 污染水域微栖境中的无脊椎动物群落结构特征. *沈阳农业大学学报*, 1999, 30(3): 273-276.
- [30] 谭细畅, 夏立启, 立川贤一, 谢平, 常剑波. 东湖水放养鱼类时空分布的水声学. *水生生物学报*, 2002, 26(6): 585-590.
- [31] 张慧杰, 杨德国, 危起伟, 杜浩, 张辉. 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): 86-90.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 6 March, 2012 (Semimonthly)

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                                                         |                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data; a case study in Maqu County, Gansu Province, China                                                                        | ZHOU Jianhua, WEI Huaidong, CHEN Fang, et al (1663)    |
| Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China                                                                                                                                    | YIN Xuwang, QU Xiaodong, LI Qingnan, et al (1677)      |
| Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought                                                                        | QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (1692) |
| The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao                                                                                                                               | YANG Jinpeng, JIANG Yong, HU Xiaozhong (1703)          |
| Simulation of effects of warming on carbon budget in alpine meadow ecosystem on the Tibetan Plateau                                                                                                                     | QI Weiwei, NIU Haishan, WANG Shiping, et al (1713)     |
| Features of leaf photosynthesis and leaf nutrient traits in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir, China                                                                                                  | JIE Shenglin, FAN Dayong, XIE Zongqiang, et al (1723)  |
| Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir                                                                                                                              | REN Yuqin, CHEN Daqing, LIU Shaoping, et al (1734)     |
| Analysis on allelochemicals in the cell-free Filtrates of <i>Amphidinium carterae</i>                                                                                                                                   | JI Xiaoqing, HAN Xiaotian, YANG Baijuan, et al (1745)  |
| Effect of starvation on expression patterns of the MYP gene in <i>Strongylocentrotus intermedius</i>                                                                                                                    | QIN Yanjie, SUN Bolin, LI Xia, et al (1755)            |
| Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China                                                                                                                                       | ZHAO Chongnan, SU Yun, LIU Zhensheng, et al (1762)     |
| Using cellular automata to study patchy spread in a predator-prey system                                                                                                                                                | YANG Li, LI Weide (1773)                               |
| Effects of insect-resistant transgenic <i>Bt</i> rice with a fused <i>Cry1Ab+Cry1Ac</i> gene on population dynamics of the stem borers, <i>Chilo suppressalis</i> and <i>Sesamia inferens</i> , occurring in paddyfield | LI Zhiyi, SUI He, XU Yanbo, et al (1783)               |
| Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of <i>Frankliniella Occidentalis</i> (Pergande)                                                                                                 | FAN Fan, REN Hongmin, LU Lihua, et al (1790)           |
| The synergistic action and UV protection of optical brightener on three different geographic isolates of Asian Gypsy Moth Nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)                                                                 | WANG Shujuan, DUAN Liqing, LI Haiping, et al (1796)    |
| The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China                                                                                                      | LI Haifeng, ZENG Fanjiang, GUI Dongwei, et al (1803)   |
| Multivariate regression analysis of greenhouse gas emissions associated with activities and populations of soil microbes in a double-rice paddy soil                                                                    | QIN Xiaobo, LI Yu'e, SHI Shengwei, et al (1811)        |
| Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau                                                                                                             | DANG Ya'ai, LI Shiqing, WANG Guodong (1820)            |
| N <sub>2</sub> O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions                                                                                                    | YU Yajun, WANG Xiaoguo, ZHU Bo (1830)                  |
| Relationships between carbon source utilization of soil microbial communities and environmental factors in natural secondary forest in subtropical area, China                                                          | WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1839)       |
| Numerical soil classification using fuzzy K-means algorithm and predictive soil mapping at regional scale                                                                                                               | LIU Pengfei, SONG Xuan, LIU Xiaobing, et al (1846)     |
| Releasing characteristics of nonpoint source pollutants from straws under submerging condition                                                                                                                          | YANG Zhimin, CHEN Yucheng, ZHANG Yun, et al (1854)     |
| Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and NO <sub>3</sub> -N migration in wheat                                                                                  | WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (1861) |
| Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province                                                                                                                                     | WU Hongyan, GAO Ping, XU Weigen, et al (1871)          |
| Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China                                                                              | GUO Yuran, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1880)        |
| Fine root architecture and morphology among different branch orders of six subtropical tree species                                                                                                                     | XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (1888) |
| Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak                                                                                                                             | FANG Fei, HU Yukun, ZHANG Wei, et al (1898)            |
| Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of <i>Chrysanthemum grandiflorum</i> and its closely related genera                                              | SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, et al (1908)       |
| Effect of the parasitic <i>Cuscuta australis</i> on the community diversity and the growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i>                                                                                        | WANG Rukui, GUAN Ming, LI Yonghui, et al (1917)        |
| Diversity and community structure of basidiomycete laccase gene from subtropical broad-leaved and coniferous forest ecosystems based on cDNA cloning                                                                    | CHEN Xiangbi, SU Yirong, HE Xunyang, et al (1924)      |
| Fine root longevity and controlling factors in subtropical <i>Alingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests                                                                                              | HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (1932)      |
| Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images                                                                                                                   | DONG Bin, CHEN Liping, WANG Ping, et al (1943)         |
| Urban green space landscape patterns and thermal environment investigations based on computational fluid dynamics                                                                                                       | LIU Yanhong, GUO Jinping, WEI Qingshun (1951)          |
| <b>Review and Monograph</b>                                                                                                                                                                                             |                                                        |
| Review of the ecological compensation efficiency                                                                                                                                                                        | ZHAO Xueyan (1960)                                     |
| <b>Scientific Note</b>                                                                                                                                                                                                  |                                                        |
| The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying                                                            | CHEN Kai, XIAO Nengwen, WANG Beixin, et al (1970)      |

# 《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 6 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 6 2012

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                   |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel: (010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>Shengtaixuebao@rcees.ac.cn |
| 主 编           | 冯宗炜                                                                                                                | Editor-in-chief | FENG Zong-Wei                                                                                                                                                                     |
| 主 管           | 中国科学技术协会                                                                                                           | Supervised by   | China Association for Science and Technology                                                                                                                                      |
| 主 办           | 中国生态学学会<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                        | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                  |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:1000717                                                                      | Published by    | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                 |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                          |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail: journal@csbg.net                         | Distributed by  | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel: (010)64034563<br>E-mail: journal@csbg.net                                               |
| 订 购           | 全国各地邮局                                                                                                             | Domestic        | All Local Post Offices in China                                                                                                                                                   |
| 国外发行          | 中国国际图书贸易总公司<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China                                                                                       |
| 广告经营<br>许 可 证 | 京海工商广字第 8013 号                                                                                                     |                 |                                                                                                                                                                                   |



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元