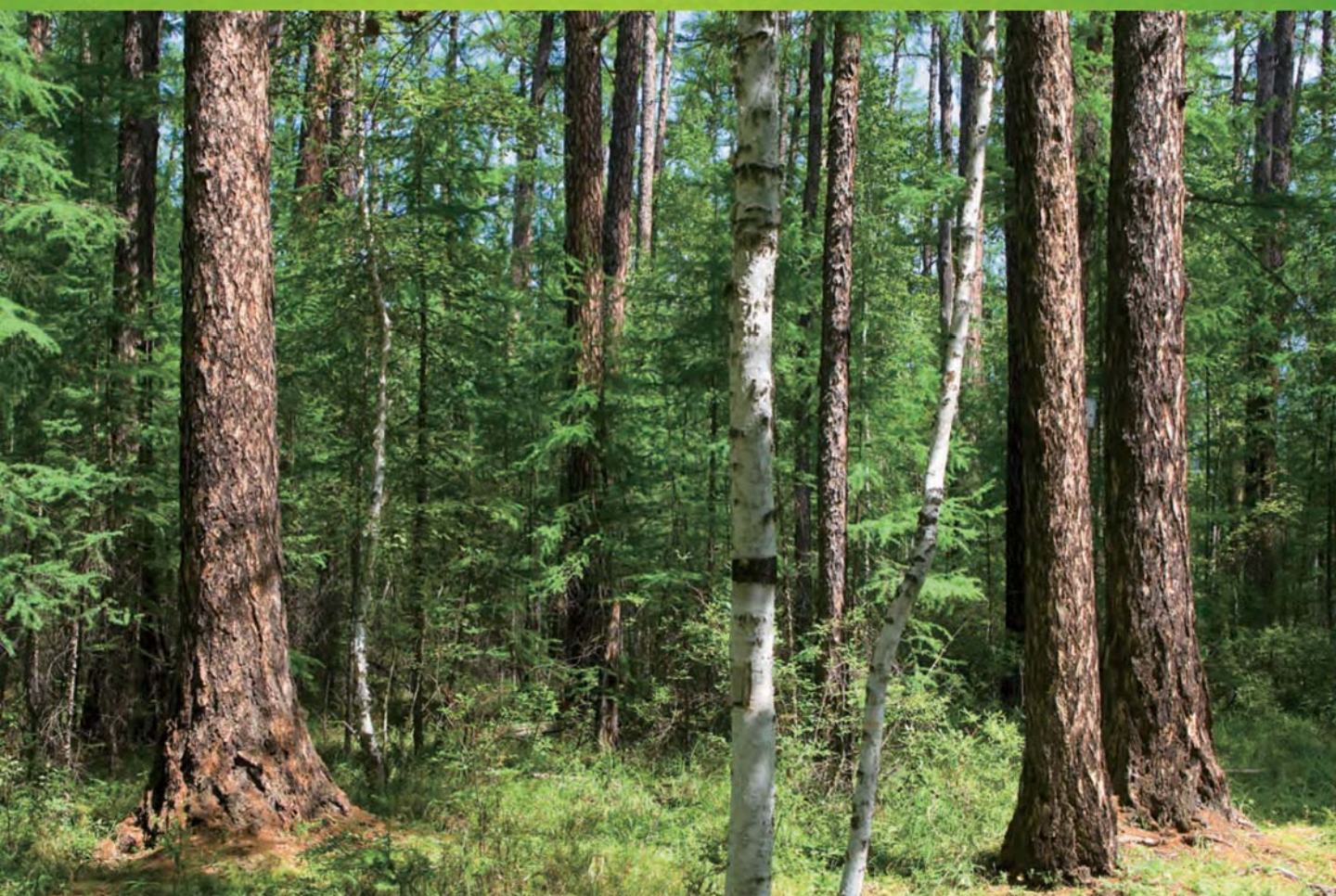


ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第23期 Vol.33 No.23 **2013**

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 33 卷 第 23 期 2013 年 12 月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 基于树干液流技术的北京市刺槐冠层吸收臭氧特征研究..... 王 华, 欧阳志云, 任玉芬, 等 (7323)
- 三疣梭子蟹增殖过程对野生种群的遗传影响——以海州湾为例..... 董志国, 李晓英, 张庆起, 等 (7332)
- 土壤盐分对三角叶滨藜抗旱性能的影响..... 谭永芹, 柏新富, 侯玉平, 等 (7340)
- 南美斑潜蝇为害对黄瓜体内 4 种防御酶活性的影响..... 孙兴华, 周晓榕, 庞保平, 等 (7348)

### 个体与基础生态

- 模拟氮沉降对华西雨屏区苦竹林凋落物养分输入量的早期影响..... 肖银龙, 涂利华, 胡庭兴, 等 (7355)
- 茎瘤芥不同生长期植株营养特性及其与产量的关系..... 赵 欢, 李会合, 吕慧峰, 等 (7364)
- 雷竹覆盖物分解速率及其硅含量的变化..... 黄张婷, 张 艳, 宋照亮, 等 (7373)
- 渍水对油菜苗期生长及生理特性的影响..... 张树杰, 廖 星, 胡小加, 等 (7382)
- 广西扶绥黑叶猴的主要食源植物及其粗蛋白含量..... 李友邦, 丁 平, 黄乘明, 等 (7390)
- 氮素营养水平对膜下滴灌玉米穗位叶光合及氮代谢酶活性的影响..... 谷 岩, 胡文河, 徐百军, 等 (7399)
- PFOS 对斑马鱼胚胎及仔鱼的生态毒理效应 ..... 夏继刚, 牛翠娟, 孙麓垠 (7408)
- 浒苔干粉末提取物对东海原甲藻和中肋骨条藻的克生作用..... 韩秀荣, 高 嵩, 侯俊妮, 等 (7417)
- 基于柑橘木虱 CO I 基因的捕食性天敌捕食作用评估 ..... 孟 翔, 欧阳革成, Xia Yulu, 等 (7430)
- 健康和虫害的红松挥发物对赤松梢斑螟及其寄生蜂寄主选择行为的影响.....
- ..... 王 琪, 严善春, 严俊鑫, 等 (7437)

### 种群、群落和生态系统

- 小麦蚕豆间作对蚕豆根际微生物群落功能多样性的影响及其与蚕豆枯萎病发生的关系.....
- ..... 董 艳, 董 坤, 汤 利, 等 (7445)
- 喀斯特峰丛洼地不同生态系统的土壤肥力变化特征..... 于 扬, 杜 虎, 宋同清, 等 (7455)
- 黄土高原人工苜蓿草地固碳效应评估..... 李文静, 王 振, 韩清芳, 等 (7467)

### 景观、区域和全球生态

- 粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响..... 李轶冰, 逢焕成, 杨 雪, 等 (7478)
- 三峡库区典型农林流域景观格局对径流和泥沙输出的影响..... 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等 (7487)
- 基于 BP 神经网络与 ETM+ 遥感数据的盐城滨海自然湿地覆被分类..... 肖锦成, 欧维新, 符海月 (7496)
- 寒温带针叶林土壤 CH<sub>4</sub> 吸收对模拟大气氮沉降增加的初期响应..... 高文龙, 程淑兰, 方华军, 等 (7505)
- 寒温带针叶林土壤呼吸作用的时空特征..... 贾丙瑞, 周广胜, 蒋延玲, 等 (7516)

黄土高原小麦田土壤呼吸季节和年际变化..... 周小平,王效科,张红星,等 (7525)

不同排放源周边大气环境中 NH<sub>3</sub> 浓度动态..... 刘杰云,况福虹,唐傲寒,等 (7537)

施加秸秆和蚯蚓活动对麦田 N<sub>2</sub>O 排放的影响 ..... 罗天相,胡 锋,李辉信 (7545)

资源与产业生态

基于水声学方法的天目湖鱼类资源捕捞与放流的生态监测..... 孙明波,谷孝鸿,曾庆飞,等 (7553)

应用支持向量机评价太湖富营养化状态..... 张成成,沈爱春,张晓晴,等 (7563)

研究简报

亚热带 4 种森林凋落物量及其动态特征 ..... 徐旺明,闫文德,李洁冰,等 (7570)

青蒿素对蔬菜种子发芽和幼苗生长的化感效应 ..... 白 祯,黄 玥,黄建国 (7576)

NO 参与 AM 真菌与烟草共生过程 ..... 王 玮,赵方贵,侯丽霞,等 (7583)

基于核密度估计的动物生境适宜度制图方法..... 张桂铭,朱阿兴,杨胜天,等 (7590)

施氮方式对转基因棉花 Bt 蛋白含量及产量的影响 ..... 马宗斌,刘桂珍,严根土,等 (7601)

学术信息与动态

未来地球——全球可持续性研究计划..... 刘源鑫,赵文武 (7610)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 292 \* zh \* P \* ¥ 90.00 \* 1510 \* 33 \* 2013-12



封面图说: 兴安落叶松林景观——中国的寒温带针叶林属于东西伯利亚森林向南的延伸部分,它是大兴安岭北部一带的地带性植被类型,一般可分为落叶针叶林和常绿针叶林两类。兴安落叶松林景观地下部分为棕色森林土,中上部为灰化棕色针叶林土,均呈酸性反应。随着全球气候持续变暖,寒温带针叶林生态系统潜在的巨大碳库将可能成为大气 CO<sub>2</sub> 的重要来源,研究表明,温度是寒温带针叶林生态系统土壤呼吸作用的主要调控因子,对温度的敏感性随纬度升高而增加,根系和凋落物与土壤呼吸作用表现出相似的空间变异性。

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

DOI: 10.5846/stxb201209071265

孙明波, 谷孝鸿, 曾庆飞, 王银平, 毛志刚, 谷先坤. 基于水声学方法的天目湖鱼类资源捕捞与放流的生态监测. 生态学报, 2013, 33(23): 7553-7562.

Sun M B, Gu X H, Zeng Q F, Wang Y P, Mao Z G, Gu X K. Ecological monitoring of the fish resources catching and stocking in Lake Tianmu basing on the hydroacoustic method. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(23): 7553-7562.

## 基于水声学方法的天目湖鱼类资源捕捞与放流的生态监测

孙明波<sup>1,2</sup>, 谷孝鸿<sup>1,\*</sup>, 曾庆飞<sup>1</sup>, 王银平<sup>3</sup>, 毛志刚<sup>1</sup>, 谷先坤<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 河南农业大学, 郑州 450002)

**摘要:**在天目湖捕捞赶鱼前(2011年12月)、赶鱼后(2012年1月)、捕捞与放流后(2012年3月)3个渔业阶段,结合渔业捕捞统计,采用水声学方法对天目湖鱼类资源(赶鱼后为不包括集鱼网箱的湖区鱼类资源)的捕捞与放流进行了生态监测,并构建GIS模型,得到鱼类种群结构、大小组成、鱼类密度、鱼类集群、鱼类资源量及其分布,为天目湖保水渔业的实施和渔业生产提供科学依据。天目湖鱼类种群以鲤科鱼类为主,鲢鳙2011年捕捞统计重量占比为98.07%,单网簖采样尾数占比为68.72%,鱼类资源受放流种类和规格影响较大;赶鱼前后和捕捞与放流后3个渔业阶段的鱼类平均目标强度( $TS$ )分别为 $(-47.84 \pm 4.79)$  dB、 $(-48.58 \pm 4.98)$  dB、 $(-47.24 \pm 5.10)$  dB,且差异性显著( $P < 0.05$ ),捕捞与放流后 $TS$ 在 $-45$ — $-40$  dB的鱼类明显升高到24.40%;3个渔业阶段的鱼类密度(FPCM)分别为 $(0.0124 \pm 0.0292)$  尾/ $m^3$ 、 $(0.0062 \pm 0.0227)$  尾/ $m^3$ 、 $(0.0098 \pm 0.0185)$  尾/ $m^3$ ,捕捞赶鱼作业显著( $P < 0.05$ )降低了鱼类密度,而捕捞与放流后鱼类密度显著( $P < 0.05$ )低于赶鱼前则是由于水深上升所致;在冬季的中下层水体出现典型的鱼类聚群,且随温度降低团聚程度提高;通过构建GIS模型评估鱼类资源量,赶鱼前约61万尾、赶鱼后约38万尾、捕捞与放流后约67万尾,资源量在中下游分布较高。

**关键词:**水声学;鱼类;大小组成;密度;分布;资源量

## Ecological monitoring of the fish resources catching and stocking in Lake Tianmu basing on the hydroacoustic method

SUN Mingbo<sup>1,2</sup>, GU Xiaohong<sup>1,\*</sup>, ZENG Qingfei<sup>1</sup>, WANG Yinping<sup>3</sup>, MAO Zhigang<sup>1</sup>, GU Xiankun<sup>1,2</sup>

1 State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography & Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

**Abstract:** Lake fishery is an important component of Chinese freshwater fisheries. The fish is at the top or higher trophic levels of the food chain in aquatic ecosystems. Stocking artificially in lakes (reservoirs) would lead to the increase of fish biomass and overfishing would lead to a sharp reduction of fish biomass. All these would have a deep impact on the lake ecosystem through food web trophic relation. Lake Tianmu fishery take both the protection of the water environment and fisheries production into account, mainly implementing the non-classical biological manipulation by stocking silver carp and bighead carp to filter the phytoplankton to prevent and control cyanobacterial bloom, which aims to improve water quality. Ecological monitoring of the fish resources is the foundation of fisheries regulation. Hydroacoustic method provides an efficient means of achieving this goal with such superiorities: quick and efficient, large surveying area, no damage to fish

**基金项目:**国家科技支撑计划资助项目(2012BAD25B07); 环保部环保公益资助项目(2010467014); 江苏省水产三项工程资助项目(PJ2011-55)

**收稿日期:**2012-09-07; **修订日期:**2013-04-18

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xhgu@niglas.ac.cn

resource, providing continuous data, positioning the fish spatial distribution in natural state.

Combining fisheries catching statistics and hydroacoustic method, an ecological monitoring of fish resources' (fish in aggregating cage was exclusive of fish resources after the fishery driving) catching and stocking in Lake Tianmu was carried out in three fishing stages, before the fishing driving (December 2011), after the fishing driving (January 2012) and after the fishing catching and stocking (March 2012). And then fish population structure, size component, fish density, fish aggregation, fish biomass and its distribution were gained with developing GIS model, which could provide scientific basis to the implementation of aquatic environment protection oriented fishery and fisheries production in Lake Tianmu. The cyprinids are the main fish populations in Lake Tianmu with the silver carp and bighead carp contributing weight ratio of 98.07% in the fisheries production of 2011 and mantissa ratio of 68.72 in single network bamboo sampling statistics. Fish resources are affected significantly by the types and size of stocking fish. The fish average target strength ( $TS$ ) of the three fishing stages was  $(-47.84 \pm 4.79)$  dB,  $(-48.58 \pm 4.98)$  dB and  $(-47.24 \pm 5.10)$  dB respectively with significantly ( $P < 0.05$ ) difference and the ratio of fish  $TS$  in  $-45$ — $-40$  dB went up to 24.40% after the catching and stocking. The fish density (FPCM) of the three fishing stages was  $(0.0124 \pm 0.0292)$  ind/ $m^3$ ,  $(0.0062 \pm 0.0227)$  ind/ $m^3$  and  $(0.0098 \pm 0.0185)$  ind/ $m^3$  respectively. The fishing driving decreased the fish density significantly ( $P < 0.05$ ), while the fish density after fishing catching and stocking was significantly ( $P < 0.05$ ) lower than before due to the arise of the water depth. Furthermore, classic fish aggregations were detected in the middle and bottom water body in winter and agglomeration improved with decreasing temperature. Assessment of the biomass were gained by developing GIS model with 610000 ind before the fishing driving, 380000 ind after the fishing driving and 670000 ind after the fishing catching and stocking. In addition, higher fish biomass was distributed in the middle and down reaches of the lake. Finally, discussions were performed on the efficacy of the fishing driving and the accuracy of the assessment of fish resources by hydroacoustic survey method in Lake Tianmu.

**Key Words:** hydroacoustic; fish; size component; density; distribution; biomass

渔业资源水声学评估相对于传统的网具采样等评估方法,具有快速高效、调查区域广、不损害生物资源、提供连续数据、自然状态下定位鱼类空间分布、准确估算鱼类密度和资源量等优势<sup>[1]</sup>,该方法在国外有广泛应用<sup>[2-6]</sup>,国内也有了初步的发展<sup>[7-11]</sup>。在鱼类生态学研究,水声学方法也逐步得到应用,如 Djemali 等<sup>[12]</sup>对突尼斯 3 个人工湖进行水声学调查,研究鱼类的空间分布与水深的关系,认为鱼类资源量分布与水深相关,在大坝的深水区具有较高的丰度;谭细畅等<sup>[13]</sup>采用 Simrad EY60 型裂波回声探测器研究了广东鲂产卵时的聚群特征、游泳速度等,提出了产卵场生境的差异性是导致广东鲂繁殖生态行为差异的主要原因;Brehmer 等<sup>[14]</sup>应用水声学方法对法国地中海沿岸人工贻贝养殖场生态系统的监测表明,入侵掠食鱼类的丰度、行为等受水下养殖场构筑物的影响,并针对构筑物和鱼类的区分进行了研究。水声学方法已经成为鱼类生态学研究的重要和有效的手段。

湖泊渔业是我国淡水渔业的重要组成。鱼类处于水生态系统中食物链的顶端或较高营养级,湖泊(水库)人工放流导致鱼类生物量的增加、过度捕捞导致鱼类生物量的急剧减少等,都会通过食物网营养关系对湖泊生态系统产生深刻影响<sup>[15]</sup>。天目湖发展渔业的目标是兼顾水环境保护和渔业生产,主要通过放流鲢鳙实施非经典生物操纵<sup>[16]</sup>,利用鲢鳙对浮游植物的滤食实现对蓝藻水华的预防和控制,实现以渔改水的目标。鱼类资源的生态监控是渔业生产调控的基础,水声学方法为这一目标实现提供了一个高效的手段。本文通过水声学方法对天目湖渔业捕捞与放流进行生态监测,并构建 GIS 模型,得出不同渔业阶段鱼类资源的大小组成特征、鱼类密度变化、鱼群空间分布、鱼类资源量及其分布,为确定合理的渔业管理和生产提供科学依据。

## 1 研究区域和研究方法

### 1.1 研究区域概况

天目湖(119.419747°E,31.291017°N)位于江苏省溧阳市南部丘陵地区,是水库型湖泊,于 1961 年建成蓄

水,集水域面积 148.5 km<sup>2</sup>,水库面积 9.8 km<sup>2</sup>,最大水深 16 m,平均水深 6—8m,总库容 1.3 亿 m<sup>3</sup>,南部有平桥河、中田河、下宋河流入。2011 年 4—11 月共布置 6 个网簖进行大个体鱼类的捕捞,冬季由于鱼类活动能力下降,采取在中游布置集鱼网箱,将上下游鱼类驱赶至集鱼网箱后再捕捞。赶鱼后进行渔业捕捞与放流,共捕捞大个体鱼类 838.2 kg,并放流规格约 0.4 kg/尾的鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)和鳙(*Aristichthys nobilis*) 30000 kg 以及规格约 0.2 kg/尾的长春鳊(*Parabramis pekinensis*) 800kg。

## 1.2 水声学调查

本研究在天目湖冬季捕捞赶鱼前(2011 年 12 月 8 日)、赶鱼后(2012 年 1 月 7 日)和捕捞与放流后(2012 年 3 月 28 日)3 个渔业阶段对鱼类资源(赶鱼后为不包括集鱼网箱的湖区鱼类资源)进行水声学调查,3 次调查均在 8:00—15:00 之间完成,调查间无风,实测赶鱼前、赶鱼后和捕捞与放流后的 1 m 水深处的表层水温分别为 11.5、4.1 ℃和 14.8 ℃。

水声学探测仪器为 Biosonics DT-X 型回声检测仪(半功率波束角 6.5°的分裂波束换能器,工作频率为 208 kHz)。采用 GPS(Garmin, 17x HVS)对位置数据同步采集存储,利用 Panasonic Tough Book 30 便携式电脑安装的 BioSonics Acquisition 6.0 软件进行水声学数据采集,采集过程中换能器脉冲频率为 8 pps,脉冲宽度为 0.5 ms,回波信号采集阈值为-130 dB。使用快艇进行走航调查,并利用 Garmin Oregon450 导航仪进行航线导航,采取“之”字形航线走航探测,先进行垂直探测,将换能器用铁架固定于船舷,吃水 0.4 m,数据收集距离为 0.5—20 m,返航时进行水平探测,同样将换能器用铁架固定于船舷,入水 1 m,并给予 3°向下的倾角,垂直于船体走航方向探测,数据收集距离为 1—30 m。探测航速约为 10 km/h。3 个渔业阶段的探测航程分别是:赶鱼前 20.3 km、赶鱼后 21.1 km、捕捞与放流后 20.1 km,按照 Aglen<sup>[17]</sup>覆盖率公式计算 3 次水声学调查的覆盖率:

$$Dc = \frac{L}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

式中, $L$ (m)为水声学调查走航航程, $A$ (m<sup>2</sup>)为水库水面面积, $Dc$ 为水声学调查覆盖率。

赶鱼前为 6.15,赶鱼后为 6.35,捕捞与放流后为 6.09,覆盖率都达到了 6 以上。在调查前使用 36 mm 的碳化钨标准球对仪器进行实地校准。

## 1.3 水声学数据处理和 GIS 建模

对采集到的水声学数据用 BioSonics Visual Analyzer 4.1 进行分析,其中单体回声检测识别的设定参数: Echo Threshold(回波阈值)-60 dB, Correlation Factor(相关系数) 0.9, Min Pulse Width Factor 0.75(最小脉冲宽度系数), Max Pulse Width Factor 3(最大脉冲宽度系数), End Point Criteria(回波时间计算点)-12 dB, TVG(Time-Varied Gain, 时变增益)为 40lgR。以从下游至上游每 300 个脉冲的距离(约 110 m)作为一个分析单元。垂直探测波束数据分析范围 1—20 m,分析结果包括单位面积鱼类个体数量 FPUA(Fish Per Unit Area, 尾/m<sup>2</sup>)、单位体积鱼类个体数量 FPCM(Fish Per Cubic Meter, 尾/m<sup>3</sup>)、单元起始坐标、单体识别结果、单元均水深等,另记下每个单元的中心脉冲坐标。水平探测数据分析波束从 5 m 开始,终止距离根据接近湖岸、船只摆动、水底凸起、水面回波、水底回波等实际情况人工划定,有效分析结果为 FPCM,代表表层水体(0—4 m)的鱼类密度(FPCM)。

由于鱼类在冬季倾向于深水越冬和反应减缓,赶鱼前(12 月)和赶鱼后(1 月)的水声学调查结果显示表层水体垂直探测(1—4 m)和水平探测的鱼类密度无显著性差异( $P>0.05$ ),故只采取垂直探测(1—20 m)的分析作为调查结果。捕捞与放流后(3 月)的探测采取以下方式进行拟合计算各单元调查结果。

$$FPUA = FPCM_h \times h \quad (h \leq 4) \quad (2)$$

$$FPUA = FPUA_v + FPCM_h \times 4 \quad (h > 4) \quad (3)$$

$$FPCM = FPUA/h \quad (4)$$

式中, $FPUA$ (尾/m<sup>2</sup>)为分析单元单位面积鱼类尾数, $FPCM$ (尾/m<sup>3</sup>)为分析单元单位体积鱼类尾数, $FPUA_v$

(尾/ $\text{m}^2$ )为分析单元垂直探测(4—20 m)的单位面积鱼类尾数, $\text{FPCM}_h$ (尾/ $\text{m}^3$ )为分析单元水平探测单位体积鱼类尾数, $h$ (m)为分析单元的平均水深。

采用 ArcGIS10.0 软件进行鱼类资源分布的建模<sup>[9]</sup>,将分析计算出的 FPUA、单元中心坐标 GPS 数据导入 ArcGIS 平台,采用 IDW 方法进行栅格插值运算<sup>[18-19]</sup>。设定栅格大小为  $0.0001^\circ$ ,大小约为  $11.5 \text{ m} \times 9.5 \text{ m}$ ,设定幂值  $p=2$ ,导出每个栅格的 FPUA 的数值,乘以相应的栅格面积,最后所有栅格值求和得到水库中鱼类总资源尾数。

#### 1.4 渔获物采样调查

2012 年 5 月 8 日对上游的一个网簰进行渔获物采样调查,采样网簰长 100 m,网箱宽 4 m,长 8 m,网目 1 cm。对该网簰的渔获物全部计数统计,记录鱼类种类、尾数、体长、体重数据。另外调查其他网簰渔获物鱼的种类。

#### 1.5 使用的经验公式和分析软件

本文参照 Ona E 和 Aglen A<sup>[20]</sup>提出的有鳔鱼类经验公式对鱼类长度进行初步估算:

$$TS = 20 \lg l - 72.5 \quad (5)$$

式中, $TS$ (Target Strength, dB)为鱼类的目标强度, $l$ (cm)为目标鱼类的体长。

所进行的数据描述性统计、正态性检验、非参数检验、相关性分析均采用 SPSS 17.0。鱼类分布建模采用 ArcGIS10.0。

## 2 结果与分析

### 2.1 渔业捕捞统计和渔获物采样

根据天目湖捕捞数据统计,2011 年捕捞产量为 46403.5 kg,捕获鱼类有鳊、鲢、鲫、鲤、花鲢、黄颡鱼、草鱼,其中鳊鳊占比为 98.07%。各月份渔获物组成重量百分比如图 1,其中 1 月和 3 月未进行捕捞。

对 2012 年 5 月的网簰渔获物进行采样调查,共采集到鱼类 18 种,鲤科鱼类 15 种,隶属 3 目 4 科 18 属。其中统计的单网簰,共采集鱼类 10 种,195 尾,如表 1,其他渔获物种类有青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鳊(*Siniperca chuatsi*)、中华鲮(*Rhodeus sinensis gunther*)、乌鳢(*Channa argus*)、棒花鱼(*Abbottina rivularis*)、长春鳊(*Parabramis pekinensis*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)。

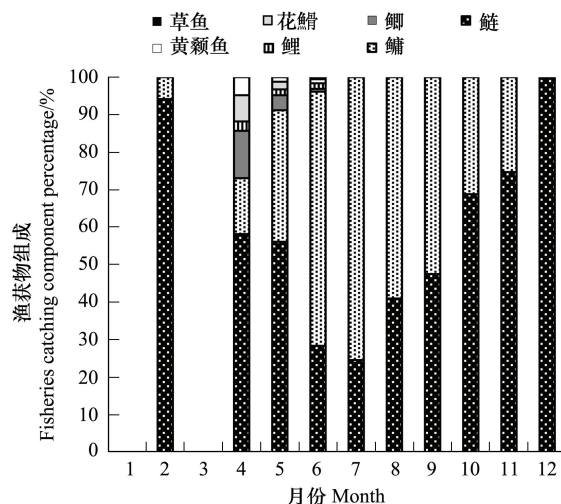


图 1 天目湖 2011 年各月渔业捕捞组成

Fig.1 The fisheries catching component of Lake Tianmu in 2011

表 1 单网簰渔获物统计参数

Table 1 The parameter of the catching in single bamboo network

| 种类<br>Species                            | 尾数百分比<br>Percentage | 最小体长<br>Min. length<br>/cm | 均体长±<br>标准差<br>Average length<br>± SD/cm | 最大体长<br>Max. length<br>/cm | 最小体重<br>Min. weight<br>/g | 均体重±<br>标准差<br>Average weight<br>± SD/g | 最大体重<br>Max. weight<br>/g |
|------------------------------------------|---------------------|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|
| 鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>            | 42.05               | 16.5                       | 33.1±11.4                                | 50.0                       | 98.4                      | 963.6±945.8                             | 3081.1                    |
| 鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>     | 26.67               | 23.0                       | 32.0±7.4                                 | 47.0                       | 219.8                     | 676.3±603.3                             | 2257.2                    |
| 鲫 <i>Carassius auratus</i>               | 7.69                | 9.5                        | 14.2±3.7                                 | 20.0                       | 23.4                      | 100.8±71.9                              | 246.2                     |
| 餐 <i>Hemiculter leuciclus</i>            | 6.67                | 7.5                        | 13.2±3.2                                 | 17.0                       | 11.8                      | 32.6±13.5                               | 59.2                      |
| 黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>       | 6.15                | 12.0                       | 15.5±1.6                                 | 16.0                       | 32.4                      | 61.3±12.5                               | 74.2                      |
| 花鲢 <i>Hemibarbus maculatus</i>           | 3.08                | 15.0                       | 19.4±5.0                                 | 27.0                       | 45.2                      | 171.9±115.8                             | 314.3                     |
| 黄尾鲴 <i>Xenocypris davidi</i>             | 2.56                | 15.5                       | 19.0±3.9                                 | 25.0                       | 56.5                      | 184.4±96.1                              | 322.8                     |
| 鲤 <i>Cyprinus carpio linnaeus</i>        | 2.05                | 19.5                       | 22.3±7.9                                 | 37.0                       | 162.8                     | 407.1±340.2                             | 911.7                     |
| 黑鳍鳈 <i>Sarcocheilichthys nigripinnis</i> | 1.54                | 10.5                       | 8.7±1.1                                  | 12.5                       | 46.2                      | 43.4±9.4                                | 65                        |
| 翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>               | 1.54                | 17.5                       | 16.0±3.4                                 | 24.0                       | 57.8                      | 85.3±35.9                               | 129.4                     |

2.2 鱼类目标强度分布

3 个调查阶段垂直探测到的鱼类回声信号基本信息如表 2, 经 Shapiro-Wilk 正态性检验, 3 个调查阶段的鱼类  $TS$  都不符合正态分布, 图 2 中也表明各阶段的鱼类  $TS$  分布皆略向低值倾斜。故采用非参数检验方法对不同阶段鱼类  $TS$  值的差异性进行检验, 结果为赶鱼后鱼类平均  $TS$  值显著 ( $P < 0.05$ ) 小于赶鱼前, 表明赶鱼后鱼类平均大小低于赶鱼前; 捕捞与放流后鱼类平均  $TS$  值显著 ( $P < 0.05$ ) 大于赶鱼前后, 表明捕捞与放流后鱼类平均大小升高。

表 2 三个调查阶段探测到的鱼类回声信号基本信息  
Table 2 The basic information of fish echo in three survey stages

| 调查阶段<br>Survey stage                  | 回波数<br>No. of Echo | 最大 $TS$<br>Max. $TS$<br>/dB | 最小 $TS$<br>Min. $TS$<br>/dB | 均 $TS \pm$ 标准差<br>Average $TS \pm SD$<br>/dB | 95% 置信区间<br>95% confidence interval<br>/dB |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 赶鱼前 Before driving                    | 922                | -27.31                      | -58.94                      | -47.84 $\pm$ 4.79                            | -48.15—-47.53                              |
| 赶鱼后 After driving                     | 826                | -28.22                      | -59.87                      | -48.58 $\pm$ 4.98                            | -48.92—-48.24                              |
| 捕捞与放流后<br>After catching and stocking | 1499               | -29.19                      | -58.71                      | -47.24 $\pm$ 5.10                            | -47.60—-46.87                              |

各阶段鱼类回声信号  $TS$  的分布见图 2。赶鱼前  $TS$  的变异系数为 0.10, 偏度 0.90, 峰度 1.66,  $TS$  在 -52—-45 dB (体长约 10—24 cm) 之间的鱼类回声信号百分比为 62.80%; 赶鱼后的  $TS$  的变异系数为 0.10, 偏度 1.06, 峰度 2.37,  $TS$  在 -52—-46 dB (体长约 10—21 cm) 之间的鱼类回声信号百分比为 60.43%; 捕捞与放流后  $TS$  的变异系数为 0.11, 偏度 0.424, 峰度 0.146,  $TS$  在 -50—-42 dB (体长约 13—33 cm) 之间的鱼类回声信号百分比为 63.33%。对分布曲线比较, 赶鱼后鱼类大小分布曲线向低  $TS$  值迁移, 而捕捞与放流后  $TS$  在 -45—-40 dB (体长约 23—42 cm) 的鱼类百分比明显上升, 达到了 24.40%。

2.3 鱼类空间分布

2.3.1 鱼类密度 (FPCM/尾/ $m^3$ )

3 个调查阶段探测到的鱼类密度 (以单位体积计, FPCM/尾/ $m^3$ ) 基本信息如表 3, 经 Shapiro-Wilk 正态性检验, 各调查阶段的鱼类密度 (FPCM) 值不符合正态分布 ( $P < 0.05$ )。故采用非参数检验方法对各阶段的鱼类密度差异性进行比较分析, 不同调查阶段之间的鱼类密度 (FPCM) 差异性显著 ( $P < 0.05$ ), 进行两两比较, 赶鱼后的鱼类密度 (FPCM) 显著 ( $P > 0.05$ ) 小于捕捞与放流后, 捕捞与放流后的鱼类密度 (FPCM) 显著 ( $P < 0.05$ ) 小于赶鱼前。天目湖赶鱼前后和捕捞与放流后水声学同步实测平均水深分别为: 6.35、6.26、7.59 m。

表 3 三个调查阶段探测到的鱼类密度基本信息  
Table 3 The basic information of fish density in three survey stages

| 调查阶段<br>Survey stage               | 最大密度<br>Max. FPCM<br>/(尾/ $m^3$ ) | 最小密度<br>Min. FPCM<br>/(尾/ $m^3$ ) | 均密度 $\pm$ 标准差<br>Average FPCM $\pm$ SD<br>/(尾/ $m^3$ ) | 95% 置信区间<br>95% confidence interval<br>/(尾/ $m^3$ ) | 变异系数<br>Coefficient of Variance |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------|
| 赶鱼前 Before driving                 | 0.2358                            | 0                                 | 0.0124 $\pm$ 0.0292                                    | 0.0084—0.0164                                       | 2.47                            |
| 赶鱼后 After driving                  | 0.176                             | 0                                 | 0.0062 $\pm$ 0.0227                                    | 0.0035—0.089                                        | 15.45                           |
| 捕捞与放流后 After catching and stocking | 0.2146                            | 0.0013                            | 0.0098 $\pm$ 0.0185                                    | 0.0073—0.0123                                       | 1.89                            |

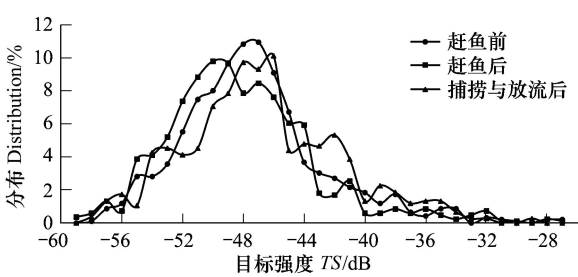


图 2 鱼类目标强度分布  
Fig.2 Target strength distribution of fish in three reservoir

3个调查阶段从下游至上游各统计单元的鱼类密度(FPCM)和平均水深如图3—图5所示,赶鱼前后和捕捞与放流后的鱼类密度(FPCM)与水深的相关系数分别为 $-0.127$ 、 $0.915$ 、 $-0.136$ ,相应的不相关单侧显著性值为 $0.028$ 、 $0.000$ 、 $0.023$ 。在 $0.05$ 显著水平下,赶鱼前的鱼类密度(FPCM)水平分布与水深存在显著的不完全负相关,赶鱼后鱼类密度(FPCM)水平分布与水深存在显著的不完全正相关,捕捞与放流后鱼类密度(FPCM)水平分布与水深存在显著的不完全负相关。其中赶鱼前0—50个分析单元为赶鱼作业完成区域,鱼类密度(FPCM)明显较低(图3)。

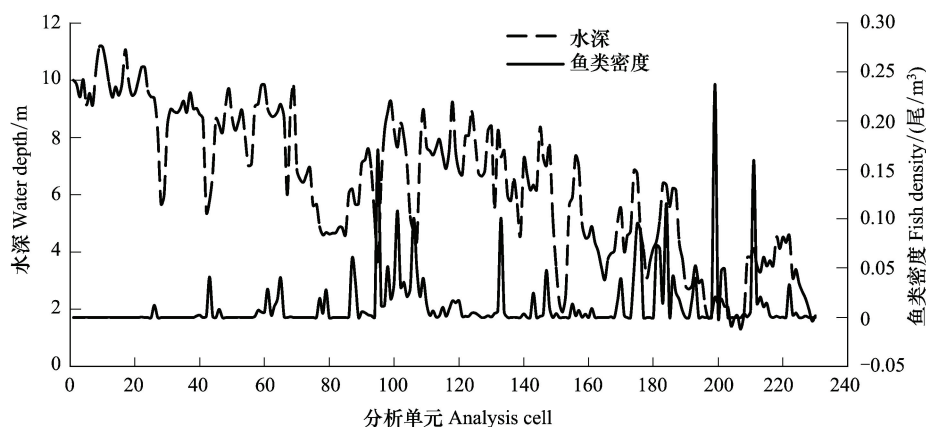


图3 赶鱼前下游至上游各单元水深与鱼类密度(FPCM)分布

Fig.3 Distribution diagram of water depth and fish density (FPCM) from down to up before driving

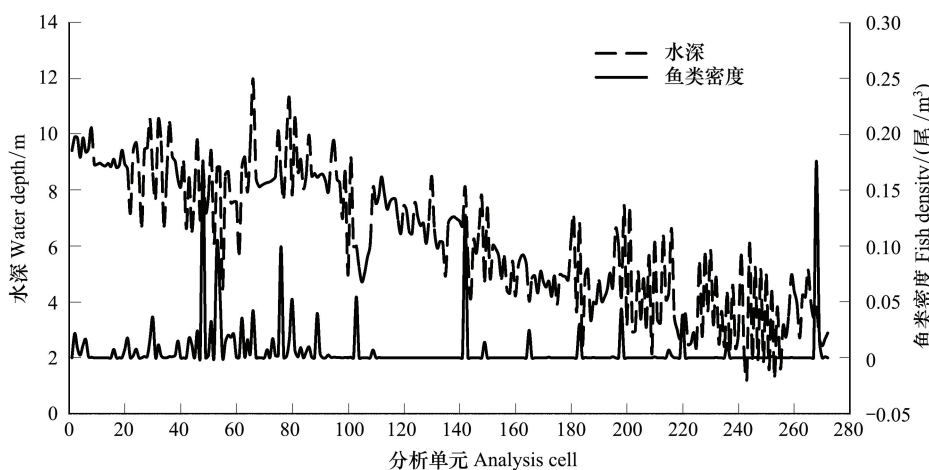


图4 赶鱼后下游至上游各单元水深与鱼类密度(FPCM)分布

Fig.4 Distribution diagram of water depth and fish density (FPCM) from down to up after driving

### 2.3.2 鱼类聚群

3个调查阶段探测到的鱼类密度变异系数都大于1,根据孙儒泳<sup>[21]</sup>种群分布型的划分标准,各调查阶段鱼类都属于成群分布。对12月赶鱼前( $11^{\circ}\text{C}$ )、1月赶鱼后( $4^{\circ}\text{C}$ )、3月捕捞与放流后( $14^{\circ}\text{C}$ )的回波图像分析,鱼类随着温度变化展现出不同的聚群行为,鱼群团聚程度差异明显,主要出现在4—7 m的中下层,各调查阶段典型的鱼类聚群如图6。

### 2.4 鱼类资源量

各单元中,赶鱼前鱼类分布最高值为 $0.7239$  尾/ $\text{m}^2$ ,中心坐标为 $31.30405^{\circ}\text{N}$ , $119.42797^{\circ}\text{E}$ ,平均水深为 $7.67$  m;赶鱼后鱼类分布最高值为 $1.3791$  尾/ $\text{m}^2$ ,中心坐标为 $31.31025^{\circ}\text{N}$ , $119.43259^{\circ}\text{E}$ ,平均水深为 $8.79$  m;捕捞与放流后鱼类分布最高值为 $5.7106$  尾/ $\text{m}^2$ ,中心坐标为 $31.31426^{\circ}\text{N}$ , $119.42865^{\circ}\text{E}$ ,平均水深为 $3.31$  m。

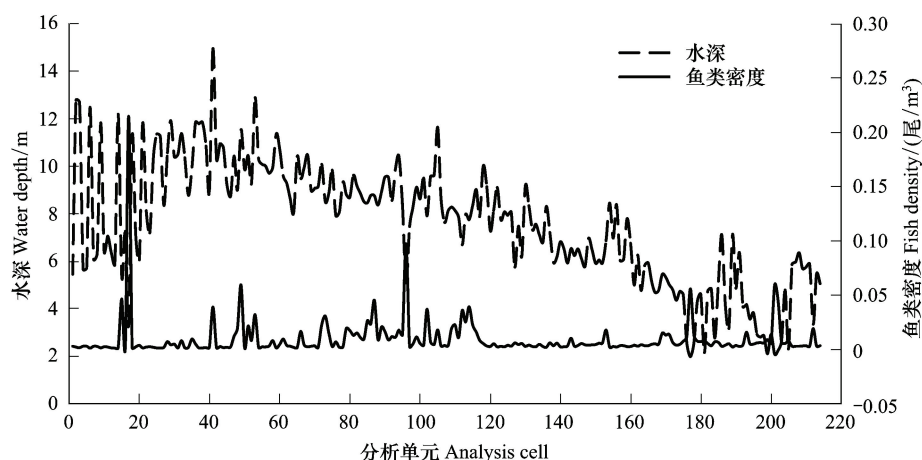


图5 捕捞与放流后下游至上游各单元水深与鱼类密度(FPCM)分布

Fig.5 Distribution diagram of water depth and fish density(FPCM) from down to up after catching and stocking

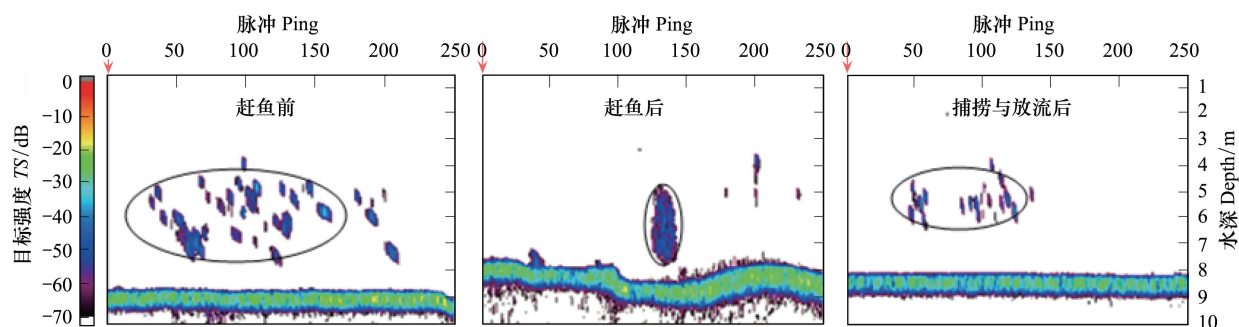


图6 鱼类聚群形态

Fig.6 Fish aggregations

基于 FPUA 对天目湖不同渔业阶段的鱼类资源量水平分布进行 GIS 建模(图 7),可见,鱼类在下游的资源量分布明显大于上游。并采用鱼类分布 GIS 建模的栅格化数据、各个栅格的水面面积,对鱼类资源总量(大于  $-60$  dB,体长约 4 cm)进行估算,天目湖赶鱼前鱼类资源总量约为 61 万尾,赶鱼后鱼类资源总量约为 38 万尾,捕捞与放流后鱼类资源量约为 67 万尾;对 TS 大于  $-45$  dB(体长约 24 cm)的鱼类进行统计,赶鱼前鱼类资源总量约为 16 万尾,赶鱼后鱼类资源总量约为 9 万尾,捕捞与放流后鱼类资源量约为 23 万尾。

### 3 讨论

#### 3.1 水声学探测技术在湖区中的应用分析

天目湖属于长江中下游的人工蓄水水库,成库蓄水近 50 年,是典型的水库型湖泊,具备相对稳定的湖泊生态学特征<sup>[22-24]</sup>,平均水深在 6—8 m,属于内陆浅水水体,其鱼类组成主要为鲤科种类,鱼类资源受人工捕捞与放流影响较大。国外已有研究认为由于近声区和鱼类回避行为的影响<sup>[25-26]</sup>,在浅水水体进行水声学方法调查时,水平探测是垂直探测的必要补充,本文采取将水平探测和垂直探测相结合的方法,保证了鱼类资源量水声学探测的准确度。垂直探测时得到的回波图像清晰,基本无干扰信号,在  $-60$  dB 以下的频数基本为 0,表明探测受气泡、紊流、航行噪声、自噪声影响非常低,但水平探测时易受干扰信号的影响,稳定较低的船速、静水的环境、较小的风浪、仪器良好的自噪声处理能力是本文准确探测的基础,另外水平探测时保证船体的左右平衡,避免摆动也至关重要。天目湖中主要优势种群是放流增殖的鲢鳙,2011 年的渔业产量重量比例达到了 98.07%,渔获物采样统计的数量占比也达到了 68.72%,12 月、1 月的水声学调查中表明大部分的鱼类倾向于在水体中下层成群分布,且反应迟缓,这显示了鲢鳙种群的冬季生态习性<sup>[27-28]</sup>,在此阶段进行水声学探测可

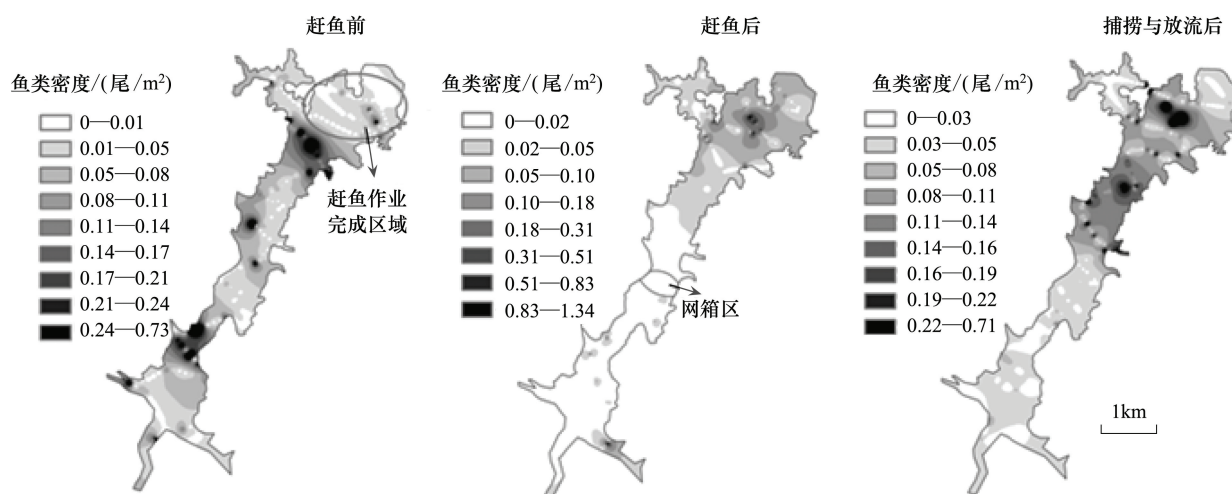


图7 3个调查阶段鱼类分布

Fig.7 Fish distribution in three survey stages

降低近声区和回避行为的影响。天目湖气候温和、条件适宜,水体中也存在较多的小型鱼类,由于捕捞渔具的选择性,并未将其统计在内,小型鱼类也有一定的占比,这可从鱼类目标强度分布曲线中(图2)中看出,在这种鱼类种类较多的温水性水体中,水声学方法尚不能探测分辨出鱼类的种类,仍将是水声学研究的面临的问题。 $TS$  是鱼类姿态的函数,垂直探测和水平探测入射角度不同,得到的鱼类  $TS$  差异也较大,淡水水体鱼类种类繁多,目前尚无法转化统一,本文与其他水声学研究一样仅采用垂直探测下的  $TS$  对鱼类大小组成特征进行了分析<sup>[7-10]</sup>。另外个体  $TS$  与鱼类种类、换能器工作频率相关,本文采用 Ona E 和 Aglen 提出的有鳔鱼类经验公式对鱼类体长进行了初步估算说明,但该公式仍有局限性,并不能完全准确计算我国淡水水体多种鱼类群的平均体长,虽我国近年有对鳙目标强度的研究<sup>[29]</sup>,仍需对我国淡水鱼类目标强度的系统研究。

### 3.2 湖区赶鱼前后鱼类资源变化特征及赶鱼功效评估

赶鱼后的鱼类平均  $TS$  显著( $P < 0.05$ )小于赶鱼前,赶鱼后鱼类大小分布曲线向低  $TS$  值迁移,表明赶鱼后鱼类平均大小(均体长约 15.7 cm)低于赶鱼前(均体长约 17.1 cm),且鱼类密度(FPCM)由赶鱼前的 0.0124 尾/ $m^3$  显著下降到赶鱼后的 0.0062 尾/ $m^3$ ,说明赶鱼作业对大中型个体具有较好的驱赶作用,而通过 GIS 建模评估的鱼类资源量也由赶鱼前的 61 万尾下降到赶鱼后的 37 万尾,即约 40% 的鱼类资源被驱赶至集鱼网箱。天目湖综合管理兼顾水质保护和渔业利用,渔业并不追求全部捕捞,目前赶鱼作业的技术手段基本满足渔业捕捞生产要求。赶鱼前鱼类密度(FPCM)的水平分布与水深呈现显著的不完全负相关,这可能与下游已开始的赶鱼作业具有一定关系,而赶鱼后鱼类密度(FPCM)水平分布与水深存在显著的不完全正相关,这与鱼类在冬季温度较低时迁移到深水区聚群越冬的生态习性有关。

### 3.3 湖区鱼类捕捞与放流后鱼类资源变化特征及水声学调查准确性评估

天目湖在赶鱼后共捕捞大个体鱼类 838.2 kg(鲢在 1.5 kg 以上,鳙在 2 kg 以上),鲢鳙占比 83.06%,捕捞个体总数量不会超过 1000 尾;根据放流总重量和放流规格计算放流数量,鲢鳙和长春鳊共计约 7.9 万尾,整体上捕捞与放流使天目湖鱼类资源量上升 7—8 万尾。捕捞与放流后的鱼类平均  $TS$  显著( $P < 0.05$ )大于赶鱼前后,说明天目湖鱼类资源平均大小(均体长约 18.2 cm)升高,这与天目湖在赶鱼后只进行了大个体鱼类的捕捞,捕捞个体数量相对较少,而同时又放流了 7—8 万尾个体较大的鲢鳙(体长约 27 cm)和长春鳊(体长约 25 cm)幼鱼有关。捕捞与放流后  $TS$  在 -45—-40 dB(体长约 24—42 cm)的鱼类百分比明显上升,达到了 24.40%,该  $TS$  区间正是放流幼鱼的大小范围,可见鱼类放流后水声学监测信息与实际放流规格的一致性。捕捞与放流后的鱼类密度显著( $P < 0.05$ )小于赶鱼前则是由于 3 月份水深升高了 1.2 m 所致。GIS 建模评估的鱼类资源量由赶鱼前的 61 万尾上升到捕捞与放流后的 67 万尾,鱼类资源量增加了约 6 万尾,这与捕捞与

放流造成的鱼类资源量上升 7—8 万尾变化基本一致,体现了结合 GIS 建模的水声学方法鱼类资源量调查评估的准确性。捕捞与放流后鱼类密度的水平分布与水深存在显著的不完全负相关,则表明随着春季温度升高鱼类有向上游迁移的趋势。3 个渔业阶段的调查中鱼类资源量的分布在下游深水区都高于上游,Djemali<sup>[12]</sup>对 3 个人工湖鱼类分布的研究也得到相似的结论,这与下游大坝前水体较深有关,但鱼类的空间分布是各种生境因子如水生植被状况、水深、底质、饵料和水温等共同作用的结果<sup>[30-31]</sup>,因此,鱼类资源生态学的研究需要考虑到系统的整体性。

### 3.4 水声学方法探测的优势及鱼类资源生态监测应用前景

水声学方法调查具有诸多优势,在本文的鱼类集群研究中更是体现出水声学方法可以在不干扰鱼群的自然状态下对鱼类集群进行探测,并得到鱼群团聚回波图像,根据软件分析得到聚群的大小、深度、团聚密度等信息,这是其他传统方法无法企及的,一些学者也利用水声学方法这种优势进行了鱼类生态聚群的研究<sup>[13,32]</sup>。在本文的研究中发现,天目湖的鱼类在 3 个调查阶段都属于成群分布,但随着温度的变化鱼类聚群团聚程度差异明显,表现为温度降低团聚程度加强,这与鲢鳙聚群越冬的生态习性具有一致性,对图 6 中 3 个较为典型的聚群分析,赶鱼前的聚群鱼类密度为 0.33 尾/ $\text{m}^3$ ,赶鱼后的聚群鱼类密度为 2.47 尾/ $\text{m}^3$ ,捕捞与放流后的聚群鱼类密度为 0.28 尾/ $\text{m}^3$ 。水声学方法可以在自然状态下探测到鱼类的分布,根据对天目湖鱼类分布的分析,天目湖可在鱼类资源量分布较高的近大坝下游处布置网簖,可提高渔业捕捞效率;在春季鱼类有向上游迁移的趋势,预计这一阶段在中游迁移通道上布置的网簖将有较高的捕捞量。因此,利用水声学方法快速高效、调查区域广、提供连续数据、准确定位鱼类空间分布的优势,结合渔获物对水体鱼类资源进行定期的生态监测,建立全年的鱼类大小组成、鱼类密度、鱼类空间分布模型,对于渔业生产及调控渔业水环境具有重要的意义。

### References:

- [1] Simmonds J, MacLennan D N. Fisheries Acoustics: Theory and Practice. 2nd ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005:1-8.
- [2] Knudsen F R, Petter L. Discriminating the diel vertical migration of fish and *Chaoborus flavicans* larvae in a lake using a dual-frequency echo sounder. Aquatic Living Resources, 2009, 22(3): 273-280.
- [3] Stockwell J D, Yule D L, Hrabik T R, Adams J V, Gorman O T, Holbrook B V. Vertical distribution of fish biomass in lake superior: Implications for day bottom trawl surveys. North American Journal of Fisheries Management, 2007, 27(3): 735-749.
- [4] Hale R S, Degan D J, Renwick W H, Vanni M J, Stein R A. Assessing fish biomass and prey availability in Ohio Reservoirs. Ohio: American Fisheries Society Symposium 62, 2008: 517-541.
- [5] Ohshimo S, Mitani T, Honda S. Acoustic surveys of spawning Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, in the waters off western and southern Kyushu, Japan. Fisheries Science, 1998, 64(5): 665-672.
- [6] Hughes S. A mobile horizontal hydroacoustic fisheries survey of the River Thames, United Kingdom. Fisheries Research, 1998, 35(1/2): 91-97.
- [7] 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.
- [8] 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): 86-91.
- [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] 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.
- [11] Chen G B, Li Y Z, Zhao X Y, Chen Y Z, Jin X S. Acoustic assessment of commercial fish resources in the northern waters of South China Sea. Journal of Fishery Sciences of China, 2005, 12(4): 445-451.
- [12] Djemali I, Laouar H, Toujani R. Distribution patterns of fish biomass by acoustic survey in three Tunisian man-made lakes. Journal of Applied Ichthyology, 2010, 26(3): 390-396.
- [13] Tan X C, Li X H, Lin J Z, Zhou D H, Gao X, Li J M. Ecological differentiation between two breeding populations of *Megalobrama hoffmanni* in the Pearl River based on hydro-acoustic research. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(4): 1756-1762.
- [14] Brehmer P, Gerlotto F, Guillard J, Sanguinède F, Guènnegon Y, Buestel D. New applications of hydroacoustic methods for monitoring shallow water aquatic ecosystems: the case of mussel culture grounds. Aquatic Living Resources, 2003, 16(3): 333-338.
- [15] Liu Q G, He G X, Chen M K. Theory of aquatic environment protection oriented fishery and application example. China Fisheries, 2009, (5):

20-22.

- [16] Xie P. Silver Carp and Bighead, and Their Use in the Control of Algal Blooms. Beijing: Science Press, 2003:19-69.
- [17] Aglen A. Random Errors of Acoustic Fish Abundance Estimates in Relation to the Survey Grid Density Applied. Norway: Symposium on Fisheries Acoustics, 1983: 293-298.
- [18] Petitgas P. Geostatistics for fish stock assessments: a review and an acoustic application. ICES Journal of Marine Science, 1997, 50(3): 285-298.
- [19] Li X, Chen G D, Lu L. Comparison of spatial interpolation methods. Advance in Earth Sciences, 2000, 15(3): 260-265.
- [20] Ye C C, Huang B. Fisheries Biomathematics. Beijing: China Agriculture Press, 1990: 178-180.
- [21] Sun R Y. Principles of Animal Ecology. 3rd ed. Beijing: Beijing Normal University Publishing Groups, 1987: 283-295.
- [22] Gao Y X, Zhu G W, He R R, Wang F. Variation of water quality and trophic state of Lake Tianmu, China. Environmental Science, 2009, 30(3): 673-679.
- [23] Zhang Y L, Chen W M, Yang D T, Huang W Y, Jiang J. Main physical and chemical factors in Tianmuhu Lake, with evaluation of eutrophication from 2001 to 2002. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(1): 99-103.
- [24] Zhang Y L, Chen W M, Yang D T, Huang W Y, Jiang J. Monitoring and analysis of thermodynamics in Tianmuhu Lake. Advances in Water Science, 2004, 15(1): 61-67.
- [25] Knudsen F R, Sægrov H. Benefits from horizontal beaming during acoustic survey: application to three Norwegian lakes. Fisheries Research, 2002, 56(2): 205-211.
- [26] Kubecka J and Wittingerova M. Horizontal beaming as a crucial component of acoustic fish stock assessment in freshwater reservoirs. Fisheries Research, 1998, 35(1/2): 99-106.
- [27] Li L C, Chen H Z, Xu W Y, Qin Y L. Fish Breeding Biology. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2007: 251-252.
- [28] Ni Y and Zhu C D. Fishes of the Taihu Lake. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2005: 134-136.
- [29] 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 the target strength and behavior characteristics of *Aristichthys nobilis*. Freshwater Fisheries, 2011, 41(2): 3-9.
- [30] Paramo J, Quiñones R A, Ramirez A. Relationship between abundance of small pelagic fishes and environmental factors in the Colombian Caribbean Sea: an analysis based on hydroacoustic information. Aquatic Living Resources, 2003, 16(3): 239-245.
- [31] Vögler R, Milessi A C, Quiñones R A. Influence of environmental variables on the distribution of *Squatina guggenheim* (Chondrichthyes, Squatinidae) in the Argentine-Uruguayan Common Fishing Zone. Fisheries Research, 2008, 91(2/3): 212-221.
- [32] Churnside J H, Demer D A, Mahmoudi B. A comparison of lidar and echosounder measurements of fish schools in the Gulf of Mexico. Ices Journal of Marine Science, 2003, 60(1): 147-154.

#### 参考文献:

- [7] 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.
- [8] 张慧杰, 杨德国, 危起伟, 杜浩, 张辉, 陈细华. 葛洲坝至古老背江段鱼类的水声学调查. 长江流域资源与环境, 2007, 16(1): 86-91.
- [9] 陶江平, 艾为明, 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] 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.
- [11] 陈国宝, 李永振, 赵宪勇, 陈毓桢, 金显仕. 南海北部海域重要经济鱼类资源声学评估. 中国水产科学, 2005, 12(4): 445-451.
- [13] 谭细畅, 李新辉, 林建志, 周东华, 高翔, 李嘉敏. 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.
- [15] 刘其根, 何光喜, 陈马康. 保水渔业理论构想与应用实例. 中国水产, 2009, (5): 20-22.
- [16] 谢平. 鲢、鳙与藻类水华控制. 北京: 科学出版社, 2003: 19-69.
- [19] 李新, 程国栋, 卢玲. 空间内插方法比较. 地球科学进展, 2000, 15(3): 260-265.
- [20] 叶臣昌, 黄斌. 渔业生物数学. 北京: 农业出版社, 1990: 178-180.
- [21] 孙儒泳. 动物生态学原理 (第三版). 北京: 北京师范大学出版社, 1987: 283-295.
- [22] 高永霞, 朱广伟, 贺冉冉, 王芳. 天目湖水水质演变及富营养化状况研究. 环境科学, 2009, 30(3): 673-679.
- [23] 张运林, 陈伟民, 杨顶田, 黄文钰, 江晶. 天目湖 2001—2002 年环境调查及富营养化评价. 长江流域资源与环境, 2005, 14(1): 99-103.
- [24] 张运林, 陈伟民, 杨顶田, 黄文钰, 江晶. 天目湖热力学状况的监测与分析. 水科学进展, 2004, 15(1): 61-67.
- [27] 李林春, 陈宏智, 徐文彦, 秦玉丽. 鱼类养殖生物学. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 251-252.
- [28] 倪勇, 朱成德. 太湖鱼类志. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 134-136.
- [29] 任玉芹, 王珂, 段辛斌, 阴双雨, 李世健, 刘绍平, 陈大庆. 鳊目标强度和行为特征的水声学研究. 淡水渔业, 2011, 41(2): 3-9.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.23 Dec., 2013 (Semimonthly)

## CONTENTS

### Frontiers and Comprehensive Review

- Ozone uptake at the canopy level in *Robinia pseudoacacia* in Beijing based on sap flow measurements ..... WANG Hua, OUYANG Zhiyun, REN Yufen, et al (7323)
- Genetic impact of swimming crab *Portunus trituberculatus* farming on wild genetic resources in Haizhou Bay ..... DONG Zhiguo, LI Xiaoying, ZHANG Qingqi, et al (7332)
- The effect of soil salinity to improve the drought tolerance of arrowleaf saltbush ..... TAN Yongqin, BAI Xinfu, HOU Yuping, et al (7340)
- Effects of *Liriomyza huidobrensis* infestation on the activities of four defensive enzymes in the leaves of cucumber plants ..... SUN Xinghua, ZHOU Xiaorong, PANG Baoping, et al (7348)

### Autecology & Fundamentals

- Early effects of simulated nitrogen deposition on annual nutrient input from litterfall in a *Pleioblastus amarus* plantation in Rainy Area of West China ..... XIAO Yinlong, TU Lihua, HU Tingxing, et al (7355)
- Relationship between nutrient characteristics and yields of tumorous stem mustard at different growth stage ..... ZHAO Huan, LI Huihe, LÜ Huifeng, et al (7364)
- Decomposition rate and silicon dynamic of mulching residue under *Phyllostachys praecox* stands ..... HUANG Zhangting, ZHANG Yan, SONG Zhaoliang, et al (7373)
- Effects of waterlogging on the growth and physiological properties of juvenile oilseed rape ..... ZHANG Shujie, LIAO Xing, HU Xiaojia, et al (7382)
- The crude protein content of main food plants of François' langur (*Trachypithecus francoisi*) in Fusui, Guangxi, China ..... LI Youbang, DING Ping, HUANG Chengming, et al (7390)
- Effects of nitrogen on photosynthetic characteristics and enzyme activity of nitrogen metabolism in maize under-mulch-drip irrigation ..... GU Yan, HU Wenhe, XU Baijun, et al (7399)
- Ecotoxicological effects of exposure to PFOS on embryo and larva of zebrafish *Danio rerio* ..... XIA Jigang, NIU Cuijuan, SUN Luyin (7408)
- Allelopathic effects of extracts from *Ulva prolifera* powders on the growth of *Prorocentrum donghaiense* and *Skeletonema costatum* ..... HAN Xiurong, GAO Song, HOU Junni, et al (7417)
- Predation evaluation of *Diaphorina citri*'s (Homoptera: Chermidae) natural enemies using the CO I marker gene ..... MENG Xiang, OUYANG Gecheng, XIA Yulu, et al (7430)
- Effect of volatiles from healthy or worm bored Korean pine on host selective behavior of *Dioryctria sylvestrella* and its parasitoid *Macrocentrus* sp. .... WANG Qi, YAN Shanchun, YAN Junxin, et al (7437)

### Population, Community and Ecosystem

- Relationship between rhizosphere microbial community functional diversity and faba bean fusarium wilt occurrence in wheat and faba bean intercropping system ..... DONG Yan, DONG Kun, TANG Li, et al (7445)
- Characteristics of soil fertility in different ecosystems in depressions between karst hills ..... YU Yang, DU Hu, SONG Tongqing, et al (7455)
- Evaluation on carbon sequestration effects of artificial alfalfa pastures in the Loess Plateau area ..... LI Wenjing, WANG Zhen, HAN Qingfang, et al (7467)

### Landscape, Regional and Global Ecology

- Effects of deep vertically rotary tillage on soil water and water use efficiency in northern China's Huang-huai-hai Region ..... LI Yibing, PANG Huancheng, YANG Xue, et al (7478)

- Effects of landscape patterns on runoff and sediment export from typical agroforestry watersheds in the Three Gorges Reservoir area, China ..... HUANG Zhilin, TIAN Yaowu, XIAO Wenfa, et al (7487)
- Land cover classification of Yancheng Coastal Natural Wetlands based on BP neural network and ETM+ remote sensing data ..... XIAO Jincheng, OU Weixin, FU Haiyue (7496)
- Early responses of soil CH<sub>4</sub> uptake to increased atmospheric nitrogen deposition in a cold-temperate coniferous forest ..... GAO Wenlong, CHENG Shulan, FANG Huajun, et al (7505)
- Temporal-spatial characteristics of soil respiration in Chinese boreal forest ecosystem ..... JIA Bingrui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (7516)
- Seasonal and interannual variability in soil respiration in wheat field of the Loess Plateau, China ..... ZHOU Xiaoping, WANG Xiaoke, ZHANG Hongxing, et al (7525)
- Dynamics of atmospheric ammonia concentrations near different emission sources ..... LIU Jieyun, KUANG Fuhong, TANG Aohan, et al (7537)
- Influence of residues and earthworms application on N<sub>2</sub>O emissions of winter wheat ... LUO Tianxiang, HU Feng, LI Huixin (7545)
- Resource and Industrial Ecology**
- Ecological monitoring of the fish resources catching and stocking in Lake Tianmu basing on the hydroacoustic method ..... SUN Mingbo, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (7553)
- Application of support vector machine to evaluate the eutrophication status of Taihu Lake ..... ZHANG Chengcheng, SHEN Aichun, ZHANG Xiaoqing, et al (7563)
- Research Notes**
- Amount and dynamic characteristics of litterfall in four forest types in subtropical China ..... XU Wangming, YAN Wende, LI Jiebing, et al (7570)
- Allelopathic effects of artemisinin on seed germination and seedling growth of vegetables ..... BAI Zhen, HUANG Yue, HUANG Jianguo (7576)
- Nitric oxide participates symbiosis between am fungi and tobacco plants ..... WANG Wei, ZHAO Fanggui, HOU Lixia, et al (7583)
- Mapping wildlife habitat suitability using kernel density estimation ..... ZHANG Guiming, ZHU A'xing, YANG Shengtian, et al (7590)
- Effects of nitrogen fertilizer methods on the content of *Bacillus thuringiensis* insecticidal protein and yield of transgenic cotton ..... MA Zongbin, LIU Guizhen, YAN Gentu, et al (7601)

# 《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 王德利

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 33 卷 第 23 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 23 (December, 2013)

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                   |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 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           | 王如松                                                                                                                | Editor-in-chief | WANG Rusong                                                                                                                                                                       |
| 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:100717                                                                       | 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@cspg.net                         | Distributed by  | Science Press<br>Add: 16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel: (010)64034563<br>E-mail: journal@cspg.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 90.00 元