

文章编号: 1000-0615(2018)09-1399-09

DOI: 10.11964/jfc.20170610888

围网养殖对华阳河湖鱼类群落结构的影响

谢 涵, 蒋忠冠*, 夏治俊, 郭婉昀

(安徽大学资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230601)

摘要: 为了发展渔业生产, 人们将大量自然湖泊通过围网的方式投放鱼苗进行养殖。目前, 这种养殖模式对鱼类群落的影响没有得到有效的评估。本研究于2016年在华阳河湖围网养殖区和非养殖区分别设置采样点对鱼类进行季度调查, 探讨围网养殖对鱼类群落结构的影响。结果显示, 在围网养殖区共采集鱼类6目12科35属46种, 非养殖区采集鱼类6目11科40属57种, 其中以鲤形目种类最多, 分别占养殖区和非养殖区鱼类总数的65.22%和63.16%。非养殖区的优势种为蟹和短颌鲚, 而鲢、鳙是围网养殖区的优势种。与非养殖区相比, 围网养殖区山溪河流性鱼类百分比从21.05%降低至15.22%。通过双因素方差分析解析养殖与季节对鱼类群落结构的影响, 发现围网养殖区的鱼类密度、物种数、优势度指数都显著低于非养殖区, 而均匀度指数显著高于非养殖区。通过SIMPER分析得出, 造成养殖区和非养殖群落结构差异的重要贡献物种为短颌鲚、蟹、鲤、太湖短吻银鱼、鲫、鳊、鲢和鳙。

关键词: 鱼类; 围网养殖; 群落结构; 生物多样性; 华阳河湖

中图分类号: Q 958.15; S 965

文献标志码: A

长江中下游浅水湖泊水深适宜, 水草生长茂盛, 自然条件优越, 一直是洄游性鱼类良好的育肥场所和定居性鱼类、虾类、贝类生长繁殖的地方^[1]。然而为了发展渔业生产, 大量的自然湖泊被人们通过围网投苗的方式进行水产养殖。虽然近年来在湖泊保护的大背景下, 围网养殖的面积有所减少, 但在一些区域仍有一定的规模^[2]。网围养殖是指在湖泊、水库等水域通过围、拦、隔等工程措施, 围拦一定面积的水域, 在其中从事集约化的鱼类养殖^[3]。目前常见的围网养殖有两种模式, “自然天养”(投苗不投饵)和“人工喂养”(投苗也投饵)。“人工喂养”在投放饵料以进一步增加产量的同时, 势必会引入过多的营养盐造成水质恶化和水体富营养化。“自然天养”虽不投饵料, 但高密度养殖鱼类的排泄物也会给水质带来不利影响^[4]。除水质退化外, 围网养殖也会通过生态阻隔和生境片段化

等影响野生鱼类群落。然而, 目前尚未对这种影响进行有效的评估。

湖泊作为地球水循环的重要组成部分, 承载着维持区域生态平衡和生物多样性的功能, 也是调节区域气候和记录区域环境变化的重要生态系统^[5-7]。而鱼类处在湖泊生态系统食物链的顶端, 其群落结构对湖泊生态环境的改变有着非常敏感的反应^[8]。鱼类群落是特定水域内鱼类种群相互结合的一种结构单元, 鱼类与周围环境及其他物种相互依赖、相互作用, 组合成具有内在联系与结构特点的整体单元^[9]。围网养殖造成的湖泊环境条件的改变会破坏单元的整体性, 改变鱼类群落结构, 如养殖带来的生境退化和水质恶化会引起水体缺氧和表观浑浊, 导致敏感鱼类窒息死亡, 鱼类群落多样性降低^[2, 10]。同时围网物理的阻隔降低了江湖之间、湖泊之间的物种和基因的交流, 从而导致

收稿日期: 2017-06-29 修回日期: 2017-09-29

资助项目: 国家自然科学基金(31600438); 安徽高校自然科学基金项目(KJ2016A789)

通信作者: 蒋忠冠, E-mail: zhongguan6@163.com

鱼类群落结构的单一和简单化^[11]。

华阳河湖位于安徽安庆宿松县,地理位置介于116°00′~116°33′E, 29°52′~30°58′N,由龙感湖、黄湖和大官湖组成^[12]。华阳河湖可养殖水域面积位居全省第一,近20年来人们以围网的方式对湖面进行分割以及承包经营,引入高产鱼类进行规模化养殖,造成湖泊从贫营养向富营养化转变^[13]。华阳河湖现有养殖模式为“自然天养”(投苗不投饵),主要投放鱼苗的种类为鳊(*Aristichthys nobilis*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、鲫(*Carassius auratus*)、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)等。目前,尚没有围网养殖对野生鱼类群落影响的报道。本研究以华阳河湖为例,通过在围网养殖区(enclosure aquaculture area, EA)和非养殖区(non-enclosure aquaculture area, NEA)设置采样点进行鱼类的周年季度调查,试图阐明围网养殖对自然湖泊的鱼类群落造成的影响,同时为鱼类保护和利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况及鱼类的调查采集

华阳河湖流域属于亚热带季风气候,年平均气温16.6~16.8℃,年平均降雨量127.8~136.5 mm。华阳河湖属于受闸坝控制的通江湖泊,龙感湖北纳二郎河和凉亭河来水,与大官湖、黄湖以港汊相通,湖水东流经筑墩泄入大官湖、黄湖,由杨湾、华阳、杨林闸注入长江。龙感湖、黄湖和大官湖的水面面积分别为31 620 hm²、12 000 hm²和14 680 hm²。龙感湖平均水位14.12 m,平均水深3.78 m。黄湖和大官湖平均水位13.99 m,平均水深4.15 m。龙感湖、黄湖和大官湖沿湖缘和湖梢,以菰(*Zizania latifolia*)种群为主,组成湖岸边挺水植物带。在龙感湖湖梢、湖湾菱(*Trapa incisa*)群丛成小片或连片星散分布,每丛1~12枝不等,盖度达70%~90%,而在黄湖和大官湖,菱群丛以北半部密集而多,湖汊及湖湾无菱分布。三个湖区的沉水植物以苦草(*Vallisneria spiralis*)群丛为主。华阳湖群历史上渔业以捕捞为主,20世纪50年代后实行养捕结合,到2011年,围网养殖面积达到5 042.7 hm²。

此次研究的样点覆盖华阳河湖的龙感湖、黄湖和大官湖三个湖区,它们相互连通且渔业作业方式相同。湖区的渔业捕捞主要采取网簰的捕捞方法,为了较大限度的捕捞鱼类,网簰基本设置在离沿岸带较远的敞水区,生境条件较为类似。本研究于2016年1月—12月在华阳河湖围网养殖区和非养殖区分别选取样点进行周年的鱼类调查采集,每季度进行1次采样,共4次(1月、4月、8月、11月),研究区域位置和具体样点如图1所示。调查网具的选择性在一定程度上会影响鱼类的多样性指数及丰富度指数,本研究为了使各样点的数据有可比性,所有样点都使用网簰的捕捞方法,每个样点选取2组相同规格的网簰过夜捕捞后进行统计。网簰由引网、围网、网袋组成^[14],每组网簰引网长150 m,围网面积约为500 m²,网袋2个。引网和围网高出水面1 m,三部分均由网目为15 mm的聚乙烯网片组成。每次取样后均在现场对渔获物进行物种鉴定,将不能当场鉴定的鱼类用10%的福尔马林溶液浸泡制成标本带回实验室鉴定,测量体长、体质量,并记录。体长用量鱼板测量,精确到1 mm;体质量用电子秤称量,精确到0.1 g。

1.2 数据处理

多样性指数的计算 采用物种数(Richness指数)、Shannon-Wiener指数、Simpson指数、优势度(Margalef)指数和均匀度(Pielou)指数对不同区域鱼类群落结构特征进行评价。

群落多样性指数运用以下公式计算:

Richness指数=鱼类的物种数目

Shannon-Wiener指数(H)= $-\sum(P_i \times \ln P_i)$

Simpson指数(D)= $1 - \sum(N_i/N)^2$

Margalef指数(Ma)= $(S-1)/\ln N$

Pielou指数(E)= H/H_{\max}

式中, N_i 为*i*物种个体数, N 为总个体数, S 为群落中的总数目, P_i 为第*i*种占总尾数的比例。

重要值指数的计算 采用频率和相对多度计算重要值指数评估不同区域鱼类群落的优劣势。

重要值指数运用以下公式计算:

频率(F , %)= $(S_i/S) \times 100$

相对多度(P , %)= $(N_i/N) \times 100$

重要值指数(I_{VT})= $F_i \times P_i \times 10^4$

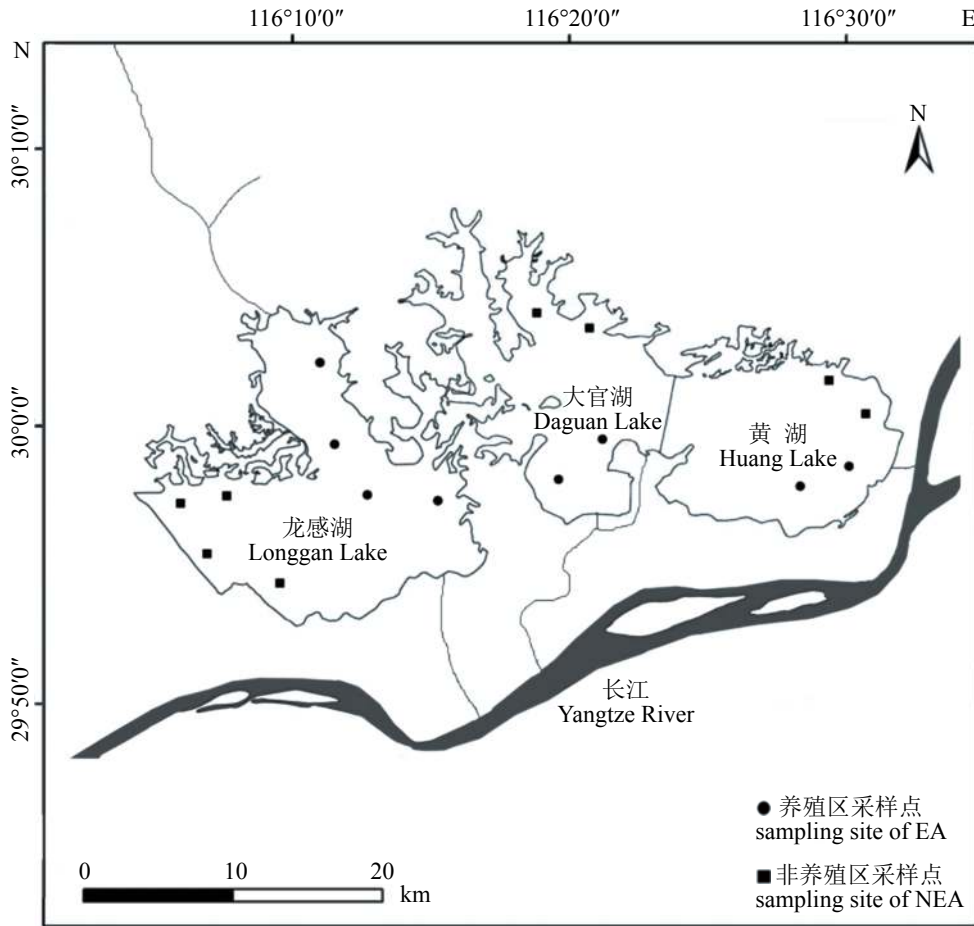


图 1 华阳河湖研究样点示意图

Fig. 1 Sampling sites in the Huayanghe Lake

式中, S_i 和 N_i 分别代表物种*i*的采到次数和累计个体数, S 、 N 和分别代表全部采样次数、全部鱼类个体数。

双因素方差分析和SIMPER分析 为了比较围网养殖区和非养殖区不同季节鱼类群落结构的差异, 对养殖区和非养殖区各样点鱼类的各种多样性指数和密度进行双因素方差分析(Two-Way ANOVA)。在双因素方差分析得到养殖区与非养殖区鱼类群落差异显著的情况下, 通过SIMPER分析找出造成养殖区与非养殖区鱼类群落结构差异的关键物种。

各种多样性指数和SIMPER分析采用PAST软件进行计算, 在R语言中用Vegan包进行双因素方差分析, 用Origin 8.0绘图。

2 结果

2.1 物种组成

围网养殖区共采集鱼类1 743尾, 隶属6目

35属46种, 以鲤形目(Cypriniformes)种类最多, 共31种, 占总数的67.6%; 鲱形目(Clupeiformes)2种, 占总数的4.3%; 鲇形目(Siluriformes)6种, 占总数的13.0%; 颌针鱼目(Beloniformes)1种, 占总数的2.1%; 鲈形目(Perciformes)5种, 占总数的10.9%; 合鳃目(Synbranchiformes)1种, 占总数的2.1%(表1)。非养殖区共采集鱼类2 343尾, 隶属6目40属57种, 其中鲤形目(Cypriniformes)41种, 占总数的72.0%; 鲱形目(Clupeiformes)2种, 占总数的3.5%; 鲇形目(Siluriformes)6种, 占总数的10.5%; 颌针鱼目(Beloniformes)1种, 占总数的1.8%; 鲈形目(Perciformes)6种, 占总数的10.5%; 合鳃目(Synbranchiformes)1种, 占总数的1.8%(表1)。

2.2 优势度

优势度以重要值大于100为标准, 非养殖区重要值最高的优势种为鲮(*Hemiculter leucisculus*)和短颌鲚(*Coilia brachygnathus*), 鲫和太湖短吻银

表1 华阳河湖养殖区和非养殖区的物种组成

Tab. 1 The species composition of EA and NEA in the Huayanghe Lake

| 目 order | 科 family | 养殖区 EA | | 非养殖区 NEA | |
|-------------------------|-----------------------|------------|--------------|------------|--------------|
| | | 属 genus | 种 species | 属 genus | 种 species |
| 鲱形目 Clupeiformes | 鲱科 Clupeidae | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 银鱼科 Salanidae | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 鲤形目 Cypriniformes | 鲤科 Cyprinidae | 23 | 30 | 24 | 36 |
| | 鳅科 Cobitidae | 1 | 1 | 5 | 5 |
| 鲇形目 Siluriformes | 鲇科 Bagridae | 2 | 4 | 2 | 5 |
| | 鲇科 Siluridae | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 颌针鱼目 Beloniformes | 鱊科 Hemirhamphidae | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 鲈形目 Perciformes | 鲈科 Serranidae | 1 | 2 | 1 | 3 |
| | 塘鳢科 Eleotridae | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | 虾虎鱼科 Gobiidae | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | 鳢科 Ophiocephalidae | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 合鳃目 Synbranchiformes | 鳃鳃科 Chaudhuriidae | 1 | 1 | 1 | 1 |

鱼(*Neosalanx tangkahkeii*)的优势度次之;与非养殖区不同的是,鲢和鳙是围网养殖区特有的优势种,它们在非养殖区重要值不高(表2)。

2.3 生态类型

与非养殖区相比,围网养殖区山溪河流性鱼类的数量和百分比均有明显的减少,物种数和百分比分别从12种、21.05%减少到7种、

15.22%;湖泊定居性鱼类物种数虽减少了7种,但百分比差别不大(65.21% vs. 64.66%);江湖洄游性鱼类百分比虽有所降低,但物种数变化不大(9种 vs. 8种)(表3)。

2.4 多样性指数

通过双因素方差分析解析养殖和季节因子对华阳河湖鱼类群落的影响,发现非养殖区的物种数,鱼类密度和优势度指数显著高于养殖区($P < 0.05$)(图2-a, 2-d, 2-f, 表4);均匀度指数显著低于养殖区($P < 0.05$)(图2-e, 表4);Shannon-Weiner指数和Simpson指数在非养殖区和养殖区的差异不显著($P > 0.05$)(图2-b, 2-c, 表4)。

2.5 群落结构差异贡献种

在前面得出围网养殖区和非养殖区物种组成、生态类型和多样性有差异的基础上,为进一步找出引起2个区域鱼类群落差异的关键物种,通过SIMPER分析得出对群落组成差异贡献较大(累积贡献率 $> 90\%$)的鱼类:短颌鲚、鳙、太湖短吻银鱼、鲫、鳊(*Hemirhamphus kurumeus*)、鲢、鳙、花鲢(*Hemibarbus maculatus*)、翘嘴鲌(*Culter ilishaeformis*)、似鳊(*Pseudobrama simony*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、达氏鲌(*Culter dabryi*)、棒花鱼(*Abbottina rivularis*)、黄颡鱼(*Pseudobagrus fulvidraco*)、银鮡(*Squalidus argentatus*)、光泽黄颡鱼(*P. nittidus*)、银鲌(*Xenocyparis argentea*)、华鳊(*Sarcocheilichthys sinensis*)、似刺鳊鮡(*Paracanthobrama guichenoti*)、黑鳍鳊(*S. nigripinnis*)(表5)。

表2 华阳河湖围网养殖区和非养殖区鱼类频率、相对多度和重要值指数

Tab. 2 Frequency of occurrence, relative abundance and importance value index for fishes collected in EA and NEA of the Huayanghe Lake

| 物种 species | 相对多度P/% relative abundance | | 频率F/% frequency of occurrence | | 重要值指数IVI importance value index | | | |
|------------------------------|----------------------------|-----|-------------------------------|----|---------------------------------|-------|----------|----------|
| | 非养殖区 | NEA | 养殖区 | EA | 非养殖区 | NEA | 养殖区 | EA |
| 短颌鲚 <i>C. brachygnathus</i> | 25.01 | | 10.67 | | 72.22 | 60.00 | 1 806.33 | 640.28 |
| 太湖短吻银鱼 <i>N. tangkahkeii</i> | 5.55 | | 9.41 | | 27.78 | 35.00 | 154.12 | 329.32 |
| 鲤 <i>C. carpio</i> | 1.28 | | 15.43 | | 55.56 | 85.00 | 71.13 | 1 311.82 |
| 鲫 <i>C. auratus</i> | 8.62 | | 17.33 | | 88.89 | 85.00 | 766.35 | 1 472.75 |
| 鳊 <i>H. leucisculus</i> | 22.66 | | 6.77 | | 100.00 | 50.00 | 2 266.33 | 338.50 |
| 鲢 <i>H. molitrix</i> | 0.60 | | 12.16 | | 50.00 | 95.00 | 29.88 | 1 155.48 |
| 鳙 <i>A. nobilis</i> | 0.21 | | 10.38 | | 22.22 | 90.00 | 4.74 | 934.60 |

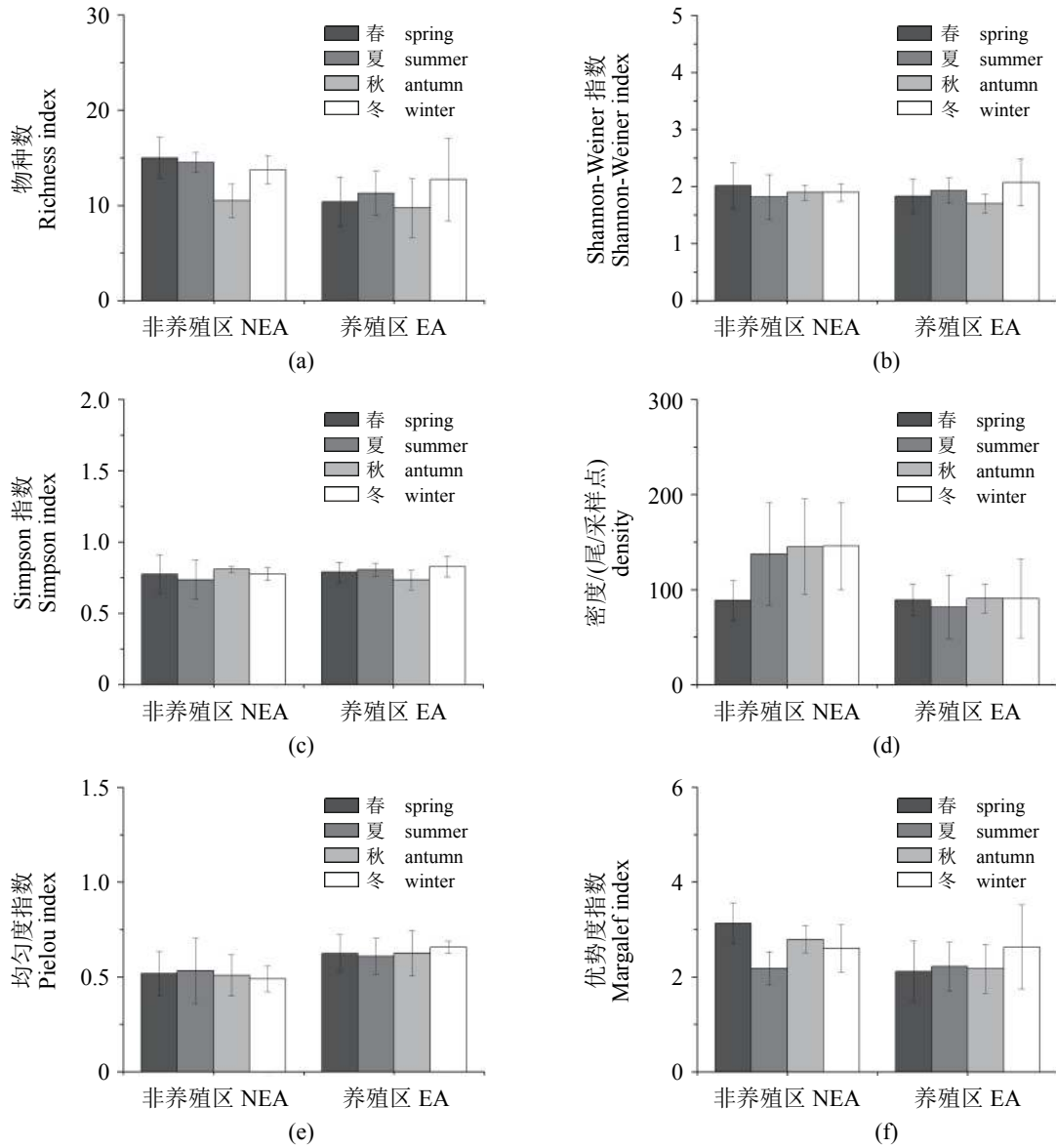


图 2 不同季节养殖区和非养殖区鱼类密度和多样性指数的平均值和标准差

(a) 物种数; (b) Shannon-Weiner多样性指数; (c) Simpson指数; (d) 密度; (e) Pielou指数; (f) 优势度指数

Fig. 2 Mean value and standard deviation of density and diversity indices in EA and NEA among four seasons

(a) Richness index; (b) Shannon-Weiner index; (c) Simpson index; (d) density; (e) Pielou index; (f) Margalef index

3 讨论

近年来, 随着湿地生态系统的日益退化, 湖泊面积逐渐萎缩^[15]。在过度捕捞、水质污染、生境破碎化等影响下, 湖泊的自然捕捞已经远远不能满足渔业发展的需求, 针对自然湖泊投放鱼苗发展水产养殖非常普遍^[16]。目前, 仍有大量的自然湖泊被人们通过围网的方式投放鱼苗进行集约化养殖, 而围网阻断了鱼类在江湖间的交流, 致使原湖泊为洄游和半洄游鱼类提供“三场一通道”(索饵场、育肥场、繁殖场和洄游

通道)的功能丧失, 从而对鱼类多样性产生极为不利的影 响, 致使鱼类群落结构向简单化、单一化的方向发展^[11]。在本研究中, 与非养殖区相比, 养殖区的物种数从57种减少到46种, 这主要源自鲤科和鳅科山溪河流性鱼类的减少, 分别减少了6种和4种。同时, 养殖区和非养殖区山溪河流性鱼类的百分比也从21.05%降低至15.22%。围网的阻隔在一定程度上切断了鱼类在不同湖域环境之间的交流, 致使山溪河流性鱼类的百分比降低, 鱼类物种数减少。

表3 华阳河湖养殖区和非养殖区鱼类生态类型

Tab. 3 The ecological types of fish species in EA and NEA of the Huayanghe Lake

| 生态类型 ecological type | 养殖区 EA | | 非养殖区 NEA | |
|---------------------------------|-----------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| | 物种数 richness | 百分比/% percentage | 物种数 richness | 百分比/% percentage |
| 湖泊定居性鱼类 lake resident | 30 | 65.21 | 37 | 64.66 |
| 山溪河流性鱼类 riverine species | 7 | 15.22 | 12 | 21.05 |
| 江湖洄游性鱼类 river-lake migratory | 9 | 19.57 | 8 | 14.29 |

表4 养殖和季节因子对鱼类群落多样性影响的显著性

Tab. 4 The significance of cultural and seasonal factors on fish communities

| 多样性指数 index of diversity | | 养殖 enclosure cultural | 季节 season | 交互作用 interaction |
|--|----|-----------------------------|--------------|---------------------|
| 物种数 Richness index | F值 | 9.947 | 2.786 | 1.229 |
| | P值 | 0.004** | 0.058 | 0.316 |
| Shannon-Weiner指数 Shannon-Weiner index | F值 | 0.010 | 0.558 | 0.977 |
| | P值 | 0.923 | 0.647 | 0.416 |
| Simpson指数 Simpson index | F值 | 0.663 | 0.203 | 1.319 |
| | P值 | 0.422 | 0.894 | 0.287 |
| 密度 density | F值 | 12.067 | 0.951 | 1.223 |
| | P值 | 0.002** | 0.429 | 0.319 |
| 均匀度指数 Pielou index | F值 | 9.102 | 0.004 | 0.267 |
| | P值 | 0.005** | 1.000 | 0.848 |
| 优势度指数 Margalef index | F值 | 4.259 | 1.304 | 2.219 |
| | P值 | 0.048* | 0.291 | 0.107 |

注: *表示 $0.01 < P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$

Notes: * stands for $0.01 < P < 0.05$, ** stands for $P < 0.01$

此外,围网养殖也在一定程度上引起了鱼类群落多样性的改变。与非养殖区相比,围网养殖区鱼类的物种数和优势度指数都显著低于非养殖区。这可能由以下几方面引起:首先,围网养殖通过围网的物理阻隔切断江湖间的鱼类交流,使洄游、半洄游性鱼类以及山溪河流性鱼类的多样性降低^[17];其次,围网造成湖泊生态环境的片段化和破碎化,进一步造成鱼类群落多样性的下降^[18];最后,高密度养殖鱼类及其排泄物会给水质带来不利影响,随着养殖年限的延长,这种不利影响会愈发凸显,主要表现为水质恶化和水体富营养化程度的逐渐加重^[19],这将打破原有的生态平衡,导致对水质变化敏

表5 关键种对养殖区和非养殖区鱼类群落结构差异的贡献

Tab. 5 Species-specific contributions to the differences of fish assemblages between EA and NEA in the Huayanghe Lake %

| 物种 species | 贡献率 contribution | 累积贡献率 cumulative contribution |
|-----------------------------|---------------------|----------------------------------|
| 短颌鲚 <i>C. brachygnathus</i> | 16.49 | 16.49 |
| 鲮 <i>H. leucisculus</i> | 15.60 | 32.09 |
| 鲤 <i>C. carpio</i> | 7.40 | 39.49 |
| 太湖短吻银鱼 <i>N. tangkahkei</i> | 7.28 | 46.77 |
| 鲫 <i>C. auratus</i> | 7.09 | 53.86 |
| 鳊 <i>H. kurumeus</i> | 6.53 | 60.39 |
| 鲢 <i>H. molitrix</i> | 6.08 | 66.47 |
| 鳙 <i>A. nobilis</i> | 5.38 | 71.85 |
| 花鲢 <i>H. maculatus</i> | 2.55 | 74.40 |
| 翘嘴鲌 <i>C. ilishaeformis</i> | 2.50 | 76.90 |
| 似鳊 <i>P. simony</i> | 2.51 | 79.41 |
| 麦穗鱼 <i>P. parva</i> | 1.78 | 81.19 |
| 达氏鲌 <i>C. dabryi</i> | 1.66 | 82.85 |
| 棒花鱼 <i>A. rivularis</i> | 1.44 | 84.29 |
| 黄颡鱼 <i>P. fulvidraco</i> | 1.16 | 85.45 |
| 银鲌 <i>S. argentatus</i> | 0.98 | 86.43 |
| 光泽黄颡鱼 <i>P. nittidus</i> | 0.80 | 87.23 |
| 银鲴 <i>X. argentea</i> | 0.80 | 88.03 |
| 华鳊 <i>S. sinensis</i> | 0.75 | 88.78 |
| 似刺鳊鲌 <i>P. guichenoti</i> | 0.71 | 89.49 |
| 黑鳍鳊 <i>S. nigripinnis</i> | 0.67 | 90.16 |

感鱼类的消失,鱼类多样性进一步下降^[20];此外,引入和投放的鱼类可能会打破原有的食物网关系,与土著种类发生竞争,造成群落结构的演替或多样性的降低^[21]。然而与物种数和优势度指数不同的是,围网养殖区的均匀度指数显著高于非养殖区,这与围网养殖引起养殖区鱼类物种组成的同质化有一定的关系^[22]。

为了进一步探讨引起养殖区和非养殖区物种组成和多样性差异的关键物种, SIMPER分析显示,鲮、短颌鲚、鲢和鳙对2个区域鱼类群落结构差异贡献较大。鲮和短颌鲚是长江流域泛滥平原湖泊较为常见的野生优势类群,而鲢、鳙是华阳河湖围网养殖区集约化养殖的重点投放

鱼种。鲢、鳙能有效控制湖泊中藻类的过度增长和蓝藻水华的暴发, 有效防止水体富营养化和水质恶化的发生^[23-25]。此外, 鲢、鳙生长周期短、肉质鲜美细嫩, 是目前养殖产量最大的两种淡水经济鱼类^[26-27]。因此, 华阳河湖围网养殖区大规模投放的鲢、鳙取代鳖和短颌鲚成为优势种, 而非养殖区仍然以野生的鳖和短颌鲚占优势。

鱼类位于水生态系统食物链的顶端, 对环境变化较为敏感, 是评价水生态系统健康的重要指示类群^[28-29]。围网养殖不仅可以通过对江湖复合生态系统的阻隔作用, 降低湖泊内洄游和半洄游性鱼类的物种多样性, 同时也经人为引种、湖泊微生境的片段化和破碎化以及水质污染, 致使鱼类群落结构朝单一化和同质化方向发展, 造成鱼类多样性的减退。除围网养殖外, 华阳河湖的生态健康还面临着其他的威胁和挑战: 围湖造田和各类填湖工程使湖泊湿地向滩涂甚至是陆地格局转变, 湖泊面积进一步萎缩^[12]; 随着污染负荷的不断增加, 沉水植物的不断减少, 华阳河湖正在从草型湖泊向藻型湖泊转变, 水体自净能力下降, 湖泊生态环境问题严峻^[13]。针对华阳河湖围网养殖和生态环境的现状, 为了有效利用和保护华阳河湖的鱼类资源, 维持湖泊生态系统的健康, 建议扩大保护区的面积, 进一步减少围网养殖的区域并控制围网养殖面积, 有效控制养殖物种的投放密度, 防止水质的进一步恶化和湖泊富营养化的发生。

参考文献:

- [1] 鲍金友. 浅论阳澄湖围网养殖现状与发展[J]. 科学养鱼, 1999(3): 1.
Bao J Y. The brief analysis of status and development of enclosure aquaculture in Lake Yangcheng[J]. Scientific Fish Farming, 1999(3): 1(in Chinese).
- [2] Wang Q D, Cheng L, Liu J S, *et al.* Freshwater aquaculture in PR China: trends and prospects[J]. Reviews in Aquaculture, 2015, 7(4): 283-302.
- [3] 葛彩霞, 张国真, 张文平, 等. 天然水域鱼类养殖之网围养鱼[J]. 渔业致富指南, 2016(5): 29-31.
Ge C X, Zhang G Z, Zhang W P, *et al.* The enclosure aquaculture in natural water bodies[J]. Fishery Guide to be Rich, 2016(5): 29-31(in Chinese).
- [4] 吴庆龙, 陈开宁, 高光, 等. 大水面网围精养对水环境的影响及其对策[J]. 水产学报, 1995, 19(4): 343-349.
Wu Q L, Chen K N, Gao G, *et al.* Effects of pen fish culture on water environment and their countermeasure[J]. Journal of Fisheries of China, 1995, 19(4): 343-349(in Chinese).
- [5] 戴雄武. 中国湖泊的现状和开发途径[J]. 地域研究与开发, 1989, 8(2): 4-7, 29.
Dai X W. Present conditions and development way of lakes in China[J]. Areal Research and Development, 1989, 8(2): 4-7, 29(in Chinese).
- [6] 姜加虎, 窦鸿身, 黄群. 湖泊资源特征及其功能的关系分析[J]. 自然资源学报, 2004, 19(3): 386-391.
Jiang J H, Dou H S, Huang Q. Relational analysis of the features of resources and functions of lakes[J]. Journal of Natural Resources, 2004, 19(3): 386-391(in Chinese).
- [7] 陈志梅, 刘兆桐, 张晓慧, 等. 青岛气温和降水的突变特征分析[J]. 山东气象, 2006, 26(1): 1-4.
Chen Z M, Liu Z T, Zhang X H, *et al.* Jump analyses of temperature and precipitation in Qingdao City[J]. Journal of Shandong Meteorology, 2006, 26(1): 1-4(in Chinese).
- [8] Li J P, Dong S K, Peng M C, *et al.* Effects of damming on the biological integrity of fish assemblages in the middle Lancang-Mekong River basin[J]. Ecological Indicators, 2013, 34: 94-102.
- [9] 叶富良, 张健东. 鱼类生态学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 2002.
Ye F L, Zhang J D. Fish Ecology[M]. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 2002(in Chinese).
- [10] 王雨春, 朱俊, 马梅, 等. 西南峡谷型水库的季节性分层与水质的突发性恶化[J]. 湖泊科学, 2005, 17(1): 54-60.
Wang Y C, Zhu J, Ma M, *et al.* Thermal stratification and paroxysmal deterioration of water quality in a canyon-reservoir, Southwestern China[J]. Journal of Lake Sciences, 2005, 17(1): 54-60(in Chinese).
- [11] 王利民, 胡慧建, 王丁. 江湖阻隔对涨渡湖区鱼类资源的生态影响[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(3): 287-292.
Wang L M, Hu H J, Wang D. Ecological impacts of disconnection from the Yangtze on fish resources in Zhangdu Lake[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(3): 287-292(in Chinese).
- [12] 妙丹, 王石英, 李波, 等. 华阳湖群地区滩涂地动态

- 遥感监测研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(6): 158-163, 170.
- Miao D, Wang S Y, Li B, *et al.* Study on tidal flat of Huayang Rivers and Lakes District based on remote sensing dynamic monitoring[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(6): 158-163, 170(in Chinese).
- [13] 杜宏伟, 张恒军, 范中亚, 等. 华阳河湖群底泥沉积物特性研究[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(4): 128-132.
- Du H W, Zhang H J, Fan Z Y, *et al.* Study on characteristics of sediments in Huayang River-Lake group[J]. Environmental Science and Technology, 2015, 38(4): 128-132(in Chinese).
- [14] 李为, 林明利, 连玉喜, 等. 肖四海湖五种渔具的鳊鱼获结构特征及其对鳊资源的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(5): 712-719.
- Li W, Lin M L, Lian Y X, *et al.* The catch structure characteristics of *Siniperca chuatsi* captured by five fishing gears and its impact on *Siniperca chuatsi* resources in Xiaosihai Lake[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(5): 712-719(in Chinese).
- [15] 安树青, 李哈滨, 关保华, 等. 中国的天然湿地: 过去的问题、现状和未来的挑战[J]. AMBIO-人类环境杂志, 2007, 36(4): 317-324.
- An S Q, Li H B, Guan B H, *et al.* China's natural wetlands: past problems, current status and future challenges[J]. AMBIO-A Journal of the Human Environment, 2007, 36(4): 317-324(in Chinese).
- [16] 万安, 张晓可, 谢枫, 等. 低头坝养鱼对上下游局域栖息地和鱼类群落时空格局的影响[J]. 湖泊科学, 2016, 28(1): 178-186.
- Wan A, Zhang X K, Xie F, *et al.* Low-head-dam fish culture effects on spatial-temporal patterns of local habitat and fish assemblages in the upstream and downstream of rivers[J]. Journal of Lake Sciences, 2016, 28(1): 178-186(in Chinese).
- [17] 茹辉军, 刘学勤, 黄向荣, 等. 大型通江湖泊洞庭湖的鱼类物种多样性及其时空变化[J]. 湖泊科学, 2008, 20(1): 93-99.
- Ru H J, Liu X Q, Huang X R, *et al.* Diversity of fish species and its spatio-temporal variations in Lake Dongting, a large Yangtze-connected lake[J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(1): 93-99(in Chinese).
- [18] Aunders D A, Hobbs R J, Margules C R. Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review[J]. Conservation Biology, 1991, 5(1): 18-32.
- [19] 邓朝阳, 朱仁, 严云志. 长江芜湖江段鱼类多样性及其群落结构的时空格局[J]. 淡水渔业, 2013, 43(1): 28-36.
- Deng Z Y, Zhu R, Yan Y Z. Spatial and temporal patterns of fish diversity and assemblage structures in the Wuhu section of the Yangtze River[J]. Freshwater Fisheries, 2013, 43(1): 28-36(in Chinese).
- [20] 廖晶新, 施泽明, 黄鹄飞, 等. 水体富营养化的来源、危害及治理研究[J]. 四川有色金属, 2012(3): 46-48.
- Liao J X, Shi Z M, Huang H F, *et al.* Formation, harmfulness, prevention, control and treatment of waters eutrophication[J]. Sichuan Nonferrous Metals, 2012(3): 46-48(in Chinese).
- [21] 酆珊, 陈家宽, 王小明. 淡水鱼类入侵种的分布、入侵途径、机制与后果[J]. 生物多样性, 2016, 24(6): 672-685.
- Li S, Chen J K, Wang X M. Global distribution, entry routes, mechanisms and consequences of invasive freshwater fish[J]. Biodiversity Science, 2016, 24(6): 672-685(in Chinese).
- [22] 王光美, 杨景成, 姜闯道, 等. 生物同质化研究透视[J]. 生物多样性, 2009, 17(2): 117-126.
- Wang G M, Yang J C, Jiang C D, *et al.* A literature review on biotic homogenization[J]. Biodiversity Science, 2009, 17(2): 117-126(in Chinese).
- [23] Smith D W. Biological control of excessive phytoplankton growth and the enhancement of aquacultural production[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1985, 42(12): 1940-1945.
- [24] 李琪, 李德尚, 熊邦喜, 等. 放养鲢鱼(*Hypophthalmichys molitrix* C et V)对水库围隔浮游生物群落的影响[J]. 生态学报, 1993, 13(1): 30-37.
- Li Q, Li D S, Xiong B X, *et al.* Influence of silver carp (*Hypophthalmichys molitrix* C et V) on plankton community in reservoir enclosures[J]. Acta Ecologica Sinica, 1993, 13(1): 30-37(in Chinese).
- [25] Domaizon I, Devaux J. Experimental study of the impacts of silver carp on plankton communities of eutrophic Villerest reservoir (France)[J]. Aquatic Ecology, 1999, 33(2): 193-204.
- [26] 黄安翔, 黎显明. 浅谈鳊鱼养殖技术[J]. 农村经济与科技, 2011, 22(12): 33, 32.
- Huang A X, Li X M. The brief discussion of the techno-

- logy of *Aristichthys nobilis* aquaculture[J]. Rural Economy and Technology, 2011, 22(12): 33, 32(in Chinese).
- [27] 廖基政. 生态鲢鱼规范化养殖技术[J]. 北京农业, 2015(22): 154-155.
- Liao J Z. The normalized ecological aquaculture of *Hypophthalmichthys molitrix*[J]. Beijing Agriculture, 2015(22): 154-155(in Chinese).
- [28] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. Fisheries, 1981, 6(6): 21-27.
- [29] Simon T P, Lyons J. Application of the index of biotic integrity to evaluate water resource integrity in freshwater ecosystems[M]//Davis W S, Simon T P. Biological Assessment and Criteria: Tools for Water Resource Planning and Decision making. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1995: 245-262.

The impacts of enclosure aquaculture on fish community in the Huayanghe Lake

XIE Han, JIANG Zhongguan*, XIA Zhijun, GUO Wanyun

(School of Resources and Environmental Engineering, Anhui University, Hefei 230601, China)

Abstract: A large number of natural lakes have experienced severe disturbances of the enclosure aquaculture for fish farming purposes. Nevertheless, the impacts of the enclosure aquaculture on fish fauna are still largely unknown. We hence evaluated the impacts of enclosure aquaculture on fish communities based on seasonal fishery survey in enclosure (EA) and non-enclosure aquaculture area (NEA) in the Huayanghe Lake in 2016. A total of 46 (belonging to 6 orders, 12 families, 35 genera) and 57 fish species (belonging to 6 orders, 11 families, 40 genera) were collected in EA and NEA, with dominant Cyprinidae accounting for 65.22% and 63.16% of the total respectively. The dominant species in NEA were *Hemiculter leucisculu* and *Coilia brachygnathus* while *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis* were dominant in EA. The percentage of riverine species in EA declined from 21.05% to 15.22% compared with NEA. The Richness index, fish density and the Margalef's diversity index were significantly lower, whereas the Pielou's diversity index were significantly higher in EA than in NEA. The fish fauna differences between EA and NEA were determined by the abundance of *Coilia brachygnathus*, *H. leucisculus*, *Cyprinus carpio*, *Neosalanx tangkahkeii*, *Carassius auratus*, *Hemirhamphus kurumeus*, *H. molitrix* and *A. nobilis*.

Key words: fish; enclosure aquaculture; community structure; biodiversity; the Huayanghe Lake

Corresponding author: JIANG Zhongguan. E-mail: zhongguan6@163.com

Funding projects: Natural Science Foundation of China (31600438); Natural Science Foundation of the Anhui Higher Education Institutions of China (KJ2016A789)