

DOI: 10.12264/JFSC2020-0452

三峡水库鱼类群落结构及主要鱼类种群年龄与生长

廖传松¹, 陈思宝^{1,2}, 叶少文¹, 卢涛³, 李为¹, 王齐东¹, 郭传波¹, 张堂林¹, 刘家寿¹

1. 中国科学院水生生物研究所, 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430072;

2. 长江勘测规划设计研究院, 湖北 武汉 430010;

3. 秭归县农业综合执法大队, 湖北 宜昌 443600

摘要: 三峡水库蓄水后鱼类资源的变化及其管理备受关注。为探究三峡水库鱼类群落空间格局及主要鱼类种群生态学特征, 于 2015—2016 年调查了三峡水库的鱼类资源, 分析了 12 种鱼类的年龄结构。调查期间共采集到鱼类 89 种, 其中库首、库中和库尾分别采集到 62、62 和 85 种。鱼类群落结构呈现空间差异, 从生物量来看, 库首以鲤(*Cyprinus carpio*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙属(*Hemiculter* spp.)等为优势类群; 库中为黄颡鱼属(*Pelteobagrus* spp.)、蛇鮈属(*Saurogobio* spp.)和银鮈属(*Squalidus* spp.)、长吻鮠(*Leiocassis longirostris*)等; 库尾则是吻鮈属(*Rhinogobio* spp.)和铜鱼属(*Coreius* spp.)等。基于定居类型、生活水层和摄食习性, 三个江段鱼类群落均呈现明显的梯度变化。12 种鱼类的年龄为 1~7 龄, 以 1~3 龄为优势年龄组, 比例占到了 88.51%。研究结果表明, 三峡水库蓄水后鱼类群落呈现空间梯度变化, 重要鱼类种群呈现低龄化现象, 本研究可为禁渔生态效益评估和鱼类资源管理提供科学依据。

关键词: 三峡水库; 鱼类群落; 鱼类种群; 生态类型; 年龄结构

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2021)06-0695-08

鱼类是水域生态系统的重要组成部分, 可以通过上行和下行效应影响水域环境和各类水生生物^[1]。鱼类从产卵、孵化、仔稚鱼至成鱼的生活史各阶段具有不同环境需求, 易受到水环境变化的影响^[2]。河流建坝在灌溉、防洪和供电等方面发挥了重要功能^[3], 但也会改变河流的形态、流态和水文规律等, 成为人为影响鱼类资源的重要因素之一^[4-5]。例如, 建坝阻断洄游通道导致洄游性鱼类种类减少或资源衰退的案例有很多^[6-7]。蓄水后河流生境被湖泊生境所替代, 破坏了流水性鱼类产卵环境, 其多样性或资源量下降也是常见结果^[8]。同时, 水库为发展天然增殖渔业提供了广阔的水域, 具有重要的渔业功能。由于饵料资源的变化, 水库鱼类的生物量随蓄水历程一般会经历

“上升-下降-缓慢上升-平稳”的变化过程^[9], 不过这种效应随大坝类型和规模的不同而有所差异^[5]。

三峡水库位于长江上游, 是世界上已建成的最大水库, 其一共经历了 3 个蓄水阶段, 分别于 2003 年、2006 年和 2009 年将水位提高到 135 m、156 m 和 175 m^[10]。正常蓄水位 175 m 时, 三峡水库总长度为 667 km, 水域面积为 1080 km², 库容为 393 亿 m³, 极大改变了原有的河流生境, 变成了库首湖泊到库尾河流的生境连续体。现有研究从鱼类物种丰富度、资源量和渔获物结构等角度研究了三峡水库蓄水后鱼类群落的变化^[10-14], 在此基础上对库区主要鱼类的种群生态学开展研究, 对于进一步阐明鱼类资源现状并进行科学管理具有重要生态学意义。

收稿日期: 2020-11-30; 修订日期: 2021-02-09.

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0900600); 中国博士后科学基金资助项目(2020M672448).

作者简介: 廖传松(1991-), 男, 博士, 从事渔业生态学研究. E-mail: liaocs@ihb.ac.cn

通信作者: 刘家寿, 研究员, 从事渔业生态学研究. E-mail: jsliu@ihb.ac.cn

本研究比较了三峡水库不同库段的鱼类群落结构,并分析了主要鱼类种群的年龄和生长特征,旨在探究三峡水库鱼类群落空间格局及主要鱼类种群生态学特征,为库区重要鱼类资源保护和全面禁渔背景下的渔业资源管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

三峡水库经历了 3 次蓄水阶段,于 2003 年、2006 年和 2009 年分别蓄至 135 m、156 m 和 175 m,回水分别至重庆市丰都县、江北区和江津区。本研究选取三峡水库秭归、万州和木洞三个江段作为研究水域,分别代表库首、库中和库尾(图 1)。其中,秭归段(30°51'36.6"N, 110°59'51.9"E)位于湖北省宜昌市秭归县,紧邻三峡大坝,处于湖泊生境状态;万州段(30°49'46.9"N, 108°25'03.8"E)位于重庆市万州区,代表库中水域,距离大坝约 300 km,年平均流速约 0.26 m/s;木洞段(29°34'51.4"N, 106°51'01.2"E)位于重庆市巴南区,代表库尾水域,距离大坝约 600 km,年平均流速约 1.28 m/s^[15]。

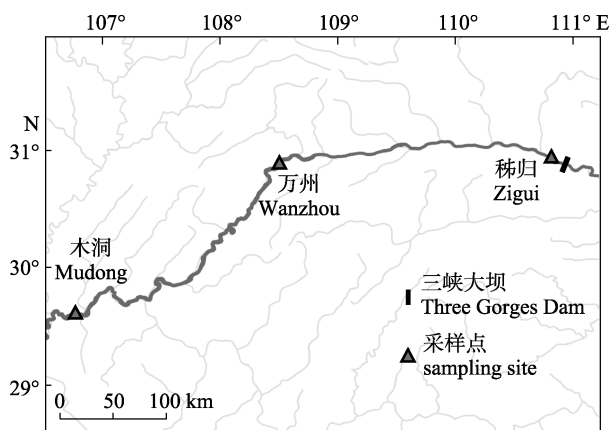


图 1 三峡水库及采样点分布图

Fig. 1 Map of the study area along the Three Gorges Reservoir and three sampling sections

1.2 样本采集和数据收集

2015 年至 2016 年,每个季节从 3 个江段的渔获物中采集鱼类样品,在库首和库中采集鱼类所使用的渔具为定置刺网和地笼,库尾则是定置刺网、流刺网、拖网和地笼。记录调查到的所有鱼

类物种,物种鉴定参照《四川鱼类志》^[16]。测量鱼类的全长(TL)和体重(W),分别精确到 0.1 cm 和 0.1 g。采集鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)等 12 种鱼类的鳞片或耳石用于年龄鉴定。基于各鱼类种群的年龄和对应的全长,计算各年龄的生长指标 C_{Lt} , 计算公式为 $C_{Lt} = (\lg L_n - \lg L_{n-1}) / 0.4343 \times L_{n-1}$, 其中 L_n 和 L_{n-1} 分别表示 n 龄和 $n-1$ 龄的平均全长^[17]。

1.3 数据分析

为便于比较不同江段间的鱼类群落结构,按照渔获物主要类群对鱼类进行分类,一共分成 20 个大类: 1. 鲟属(*Acipenser* spp.); 2. 短颌鲚(*Coilia brachygnathus*); 3. 银鱼科(*Salangidae* spp.); 4. 鳅科(*Cobitidae* spp.); 5. 草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*); 6. 鲢(*H. molitrix*); 7. 鳙(*A. nobilis*); 8. 鲮属(*Hemiculter* spp.); 9. 鮰属(*Culter* spp.); 10. 鳊属和鲂属(*Parabramis* and *Megalobrama* spp.); 11. 蛇鮈属和银鮈属(*Saurogobio* and *Squalidus* spp.); 12. 铜鱼属(*Coreius* spp.); 13. 吻鮈属(*Rhinogobio* spp.); 14. 鲤(*Cyprinus carpio*); 15. 鲫(*Carassius auratus*); 16. 鲇属(*Silurus* spp.); 17. 黄颡鱼属(*Pelteobagrus* spp.); 18. 长吻鮠(*Leiocassis longirostris*); 19. 鳊属(*Siniperca* spp.); 20. 其他(others)。采用卡方检验(Chi-square test)比较江段间鱼类群落结构的差异。基于鱼类生态类型将鱼类群落进行分类,根据鱼类的定居类型分成河海洄游性、广适性、定居性和喜流水性鱼类^[18]; 根据生活水层分成上层、中上层、中下层和底层鱼类; 根据摄食习性分成肉食性、无脊椎动物食性、浮游生物食性、杂食性和草食性鱼类^[16]。采用 SigmaPlot 14.0 或 R 4.0.2 作图。

2 结果与分析

2.1 鱼类群落结构

在 3 个江段共采集鱼类 89 种,隶属于 16 科 56 属。其中,在秭归、万州和木洞段分别采集鱼类 62、62 和 85 种。在所有目中,鲤形目(Cypriniformes)种类数最多,共计 4 科 62 种;鲇形目(Siluriformes)次之,共计 5 科 16 种,这两个目

的种类数占种类总数的 87.64%。在所有科中, 鲤科(Cyprinidae)种类数最多(49 种); 其次是鲮科(Bagridae)和鳅科(Cobitidae), 分别包括 10 种和 9 种, 这三个科的种类数占种类总数的 76.4%。

三个江段的鱼类群落结构显著不同($\chi^2=11011.53, P<0.01$)。从生物量来看, 秭归段的优势

鱼类类群为鲤、鲮属、鲢、鮰属、鳊属和鲂属、黄颡鱼属、蛇鮈属和银鮈属, 占总生物量的 78.71%; 万州段为长吻鮠、黄颡鱼属、蛇鮈属和银鮈属、鲢、铜鱼属和鲤, 占总生物量的 78.83%; 木洞段则是吻鮈属、铜鱼属、黄颡鱼属、蛇鮈属和银鮈属、鲤, 占总生物量的 79.67%(表 1)。

表 1 三峡水库秭归、万州和木洞段鱼类群落结构

Tab. 1 Fish assemblage structure in Zigui, Wanzhou, and Mudong sections of the Three Gorges Reservoir

鱼类类群 fish fauna	秭归 Zigui	万州 Wanzhou	木洞 Mudong	%
鲟属 <i>Acipenser</i> spp.	0.44	0	0	
短颌鲚 <i>Coilia brachygnathus</i>	0.14	0.49	0.05	
银鱼科 <i>Salangidae</i>	1.03	0	0	
鳅科 <i>Cobitidae</i>	0	0.04	3.89	
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	2.89	0.5	1.87	
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	12.62	11.73	1.89	
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	4.76	0.35	0.33	
鲮属 <i>Hemiculter</i> spp.	16.13	3.34	4.52	
鮰属 <i>Culter</i> spp.	8.26	5.52	0.52	
鳊属和鲂属 <i>Parabramis</i> and <i>Megalobrama</i> spp.	7.72	2.57	0.27	
蛇鮈属和银鮈属 <i>Saurogobio</i> and <i>Squalidus</i> spp.	7.26	12.01	6.99	
铜鱼属 <i>Coreius</i> spp.	0.12	7.61	19.41	
吻鮈属 <i>Rhinogobio</i> spp.	0	0	32.83	
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	19.38	6.56	4.96	
鲫 <i>Carassius auratus</i>	3.27	4.94	1.39	
鲇属 <i>Silurus</i> spp.	0.16	0.76	1.43	
黄颡鱼属 <i>Pelteobagrus</i> spp.	7.34	12.66	16.18	
长吻鮠 <i>Leiocassis longirostris</i>	0.05	28.3	2.6	
鳊属 <i>Siniperca</i> spp.	4.38	1.11	0.15	
其他 others	4.05	1.61	0.72	

注: 表中数字表示该类群生物量占总生物量的百分比。
Note: Numbers in the table are proportional weight of each fish group.

2.2 鱼类生态类型

根据鱼类的生活水层, 木洞和万州段以底层鱼类为优势类群, 其生物量分别占总生物量的 89.68%和 73.69%; 秭归段则是中上层鱼类占优势, 占 43.42%, 底层鱼类占 38.01%。

根据鱼类的定居类型, 木洞段喜流水性鱼类的比例高于万州和秭归段, 分别占 58.83%、38.04%和 0.2%; 广适性鱼类则相反, 在木洞、万州和秭归段所占比例分别为 35.2%、49.63%和 63.08%; 秭归段湖沼定居型鱼类占 33.73%, 高于万州(11.92%)和木洞(5.35%)。

根据鱼类的摄食习性, 秭归、万州和木洞段分别以杂食性、肉食性和无脊椎动物食性鱼类为优势类群, 分别占 38.78%、47.86%和 63.21%; 无脊椎动物比例从木洞至秭归段依次降低, 浮游生物食性、杂食性和草食性鱼类比例则依次升高(图 2)。

2.3 主要鱼类年龄结构和生长指标

鲢、鳙等 12 种主要鱼类的年龄结构如下: (1) 鲢、鳙分别由 1~6 龄和 1~5 龄组成, 1 龄和 2 龄为优势年龄; 鲢 1 龄和 2 龄个体分别占 32.6%和 27.6%, 鳙则分别占 25.2%和 40.3%。(2) 鲤由 1~6

龄组成,以 1~3 龄为主,共占 83.3%;鲫由 1~6 龄组成,以 2 龄和 3 龄为优势年龄,共占 81.2%。(3) 翘嘴鲌(*C. alburnus*)共 5 个年龄组,以 1 龄和 2 龄为主,分别占 58.0%和 23.4%;达氏鲌(*C. dabryi*)共 5 个年龄组,优势年龄为 1、2 和 3 龄,分别占 19.6%、42.1%和 32.3%;蒙古鲌(*C. mongolicus*)共

4 个年龄组,其中 2、3 和 4 龄分别占 38.1%、50.8%和 7.9%。(4) 铜鱼(*C. heterodon*)共 4 个年龄组,以 2 龄和 3 龄为主,分别占 42.2%和 37.8%;圆口铜鱼(*C. guichenoti*)共 3 个年龄组,分别占 25.7%、39.4%和 34.9%。(5)黄颡鱼属 3 种鱼类由 1~6 龄组成,优势年龄均为 2 龄和 3 龄(图 3)。

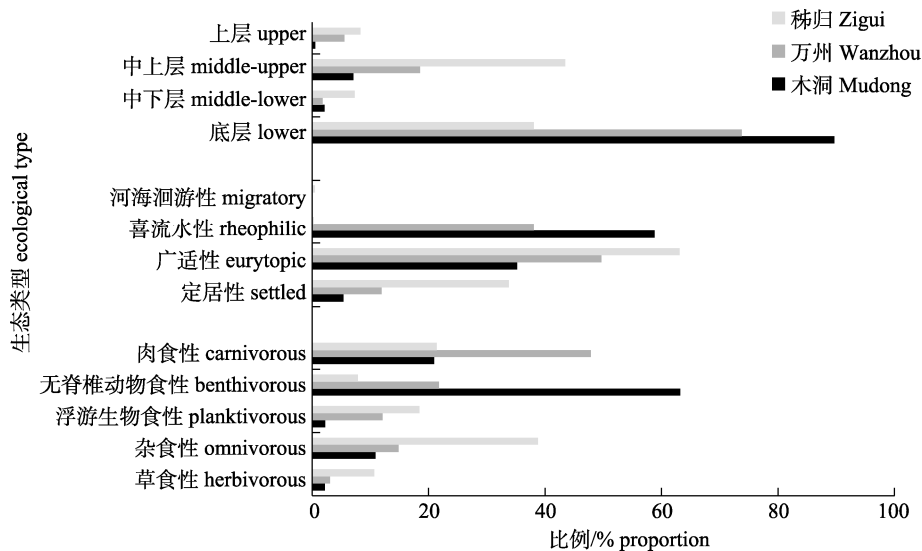


图 2 三峡水库秭归、万州和木洞段不同生态类群鱼类在鱼类群落中的比例
Fig. 2 Proportions of different fish faunas in fish assemblages in Zigui, Wanzhou, and Mudong sections of the Three Gorges Reservoir

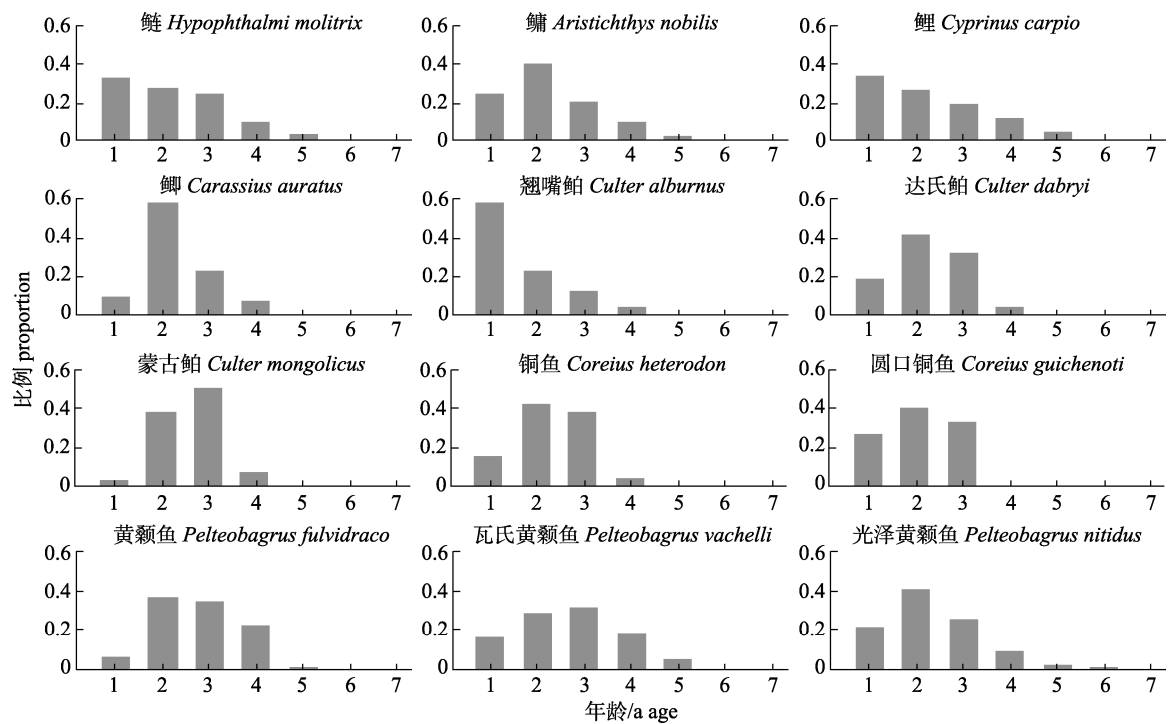


图 3 三峡水库 12 种主要鱼类的年龄结构
Fig. 3 Age structures of 12 main fish populations in the Three Gorges Reservoir

对 12 种鱼类各年龄段对应的种群平均全长进行了汇总, 计算各年龄段之间的生长指标(表 2), II、III、IV、V 和 VI 龄生长指标最高的鱼类分别是蒙古鲌、鳊、鳙、翘嘴鲌和鲢。

表 2 三峡水库 12 种主要鱼类不同年龄段的生长指标
Tab. 2 The growth indexes of 12 main fish populations at different ages in the Three Gorges Reservoir

年龄 age	鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	鲫 <i>Carassius auratus</i>	翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	达氏鲌 <i>Culter dabryi</i>	蒙古鲌 <i>Culter mongolicus</i>	铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	圆口铜鱼 <i>Coreius guichenoti</i>	黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>
II	9.09	6.71	8.13	4.75	8.98	8.56	9.89	5.41	2.78	3.6	4.57	3.18
III	11.35	12.81	11.66	3.62	10.86	3.87	5.16	4.8	6.14	3.92	5.19	1.54
IV	6.64	21.08	9.55	2.52	11.23	6.06	6.62	4.36	—	3.74	5.88	1.02
V	12.28	14.69	9.01	2.64	19.42	5.37	—	—	—	3.29	5.86	1.46
VI	13.74	—	8.92	2.22	—	—	—	—	—	—	—	0.05
VII	—	—	8.66	—	—	—	—	—	—	—	—	—

3 讨论

3.1 鱼类物种丰富度对蓄水进程的响应

鱼类物种丰富度可一定程度反映鱼类多样性水平^[19]。本研究在三峡水库共调查到鱼类 89 种, 其中长江上游特有鱼类 13 种, 均较蓄水前所调查到的种类数减少^[20], 中华鲟(*Acipenser sinensis*)等河海洄游性鱼类未被调查到, 主要由于葛洲坝和三峡大坝阻隔了洄游通道, 这是建坝的常见结果^[6]。另一方面, 目前库尾和库中鱼类物种数与首次蓄水后接近, 表明鱼类群落具有较强的抵抗力。有研究发现, 在全球尺度上, 由于外来种比例升高, 建坝对鱼类物种丰富度无明显影响^[21]。本研究也发现了一些建坝前未记录的种类, 如太湖新银鱼(*Neosalanx taihuensis*)、大银鱼(*Protosalanx chinensis*)、下口鲶(*Hypostomus plecostomus*)和短颌鲚等, 这与建坝后生态位空缺相关^[21-22], 其中短颌鲚和银鱼的资源量呈现上升趋势, 其入侵机制和潜在的生态学影响需要深入研究^[23]。

与其他一些水库生态系统相似^[24-25], 三峡水库库尾鱼类物种数高于库中和库首。一方面, 由于库尾生境异质性更高, 可满足更多元的生态需求, 承载更高的鱼类物种丰富度^[26]; 另一方面, 流态和底质的变化破坏了喜流水性鱼类繁殖和摄食条件^[8], 本研究仅在库尾采集到了圆口铜鱼、中华沙鳅(*Sinibotia superciliaris*)和犁头鳅(*Lepturichthys fimbriata*)等鱼类。鱼类物种丰富度的空间

格局也因水库而异。例如, 亚马逊平原的 Peixe Angical 水库和 Coaracy Nunes 水库则是库首物种数最高^[5-6], 这可能与大坝规模有关。

3.2 鱼类生态类型的空间格局

从鱼类的定居类型、生活水层和摄食习性等方面来看, 三峡水库鱼类群落结构均呈梯度变化。从库尾至库首, 喜流水性鱼类比例下降, 静水性和广适性鱼类比例上升。考虑到库尾更接近建坝前的流态, 一定程度上反映了蓄水后流态变化对鱼类群落的影响^[6]。建坝前(1975 年)三个江段具有相似的鱼类群落结构, 以铜鱼和圆口铜鱼等喜流水性鱼类为优势类群^[20]。三峡大坝截流后, 库中和库尾仍具有相似的群落结构^[27], 首次蓄水后开始呈现差异^[10], 表明随着蓄水进程, 越来越多的河流生境被改变, 鱼类群落所受影响的范围和程度不断增大^[28]。

鱼类的摄食习性和生活水层紧密相关, 从库尾至库首, 底层鱼类和无脊椎动物食性鱼类比例逐渐下降, 上层、中上层鱼类和浮游生物食性、杂食性鱼类比例逐渐上升。Dias 等^[29]研究巴西 4 个水库建坝前后、库区不同位置鱼类营养结构, 也发现了类似的现象, 广食性鱼群在建坝后优势度升高。这种空间格局是鱼类与饵料和环境之间相互作用的结果^[30]。三峡大坝蓄水后, 由于水深和底质发生变化, 库区无脊椎动物资源受到明显影响, 库尾底栖动物的密度显著高于库中和库首^[31], 支持了更高的无脊椎动物食性鱼类物种丰

富度和生物量。同时,库首的类湖泊生境为浮游生物食性和肉食性鱼类等提供了有利环境^[29]。

3.3 重要鱼类种群的年龄与生长及其变化

本研究所调查的 12 种鱼类的年龄结构主要为 1~3 龄, 占有个体数的 $(88.51 \pm 2.16)\%$, 呈现低龄化特征。其中, 铜鱼属鱼类是长江上游的重要鱼类, 庄平等^[17]曾在 1990—1995 年调查到圆口铜鱼种群共 6 个年龄组; 刁晓明等^[32]调查到长江上游的铜鱼种群有 7 个年龄组, 以 2~4 龄为主。当前铜鱼和圆口铜鱼种群年龄结构趋于简单, 多数个体未达性成熟年龄, 不过这种低龄化趋势在首次蓄水前后即已开始呈现^[11,27], 可能是由于建坝后环境变化叠加捕捞压力所致, 尽管库尾这些种群的生长性能较前期研究并无明显变化^[17], 但低龄化可能影响这些种群的恢复过程。鲤、鲫、鲢、鳙、黄颡鱼属和鮡属鱼类作为广适种, 成为了目前库区的优势鱼类类群, 这些种群的年龄结构和生长性能与其他自然水域相近^[33-36], 表明这些种类已适应蓄水后的环境。近 20 年这些种群的年龄结构较为稳定, 例如, 本研究中鲢的平均年龄为 2.26 龄, 与 1996—1999 年(2.1 龄)^[37]、1997—2000 年(2.06 龄)^[27]、2005—2006 年(2.26 龄)^[11]接近; 鲤的平均年龄为 2.32 龄, 与 1996—1999 年(1.8 龄)^[37]、1997—2000 年(2.81 龄)^[27]相比变化不大, 但总体上仍表现出低龄化的现象。长江禁渔措施实施后, 建议对这些重要鱼类种群年龄结构和资源量的变化进行定期监测。

参考文献:

- [1] Reis A D S, Albrecht M P, Bunn S E. Food web pathways for fish communities in small tropical streams[J]. *Freshwater Biology*, 2020, 65(5): 893-907.
- [2] Toussaint A, Charpin N, Brosse S, et al. Global functional diversity of freshwater fish is concentrated in the Neotropics while functional vulnerability is widespread[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 22125.
- [3] WCD (World Commission of Dams). Dams and development: A new framework for decision-making. The Report of the World Commission on Dams[R]. London: Earthscan Publishers, 2000: 2-13.
- [4] Pelicice F M, Pompeu P S, Agostinho A A. Large reservoirs as ecological barriers to downstream movements of Neotropical migratory fish[J]. *Fish and Fisheries*, 2015, 16(4): 697-715.
- [5] Lima A C, Agostinho C S, Sayanda D, et al. The rise and fall of fish diversity in a neotropical river after impoundment[J]. *Hydrobiologia*, 2016, 763(1): 207-221.
- [6] Sá-Oliveira J C, Hawes J E, Isaac-Nahum V J, et al. Upstream and downstream responses of fish assemblages to an eastern Amazonian hydroelectric dam[J]. *Freshwater Biology*, 2015, 60(10): 2037-2050.
- [7] Loures R C, Pompeu P S. Temporal changes in fish diversity in lotic and lentic environments along a reservoir cascade[J]. *Freshwater Biology*, 2019, 64(10): 1806-1820.
- [8] Cheng F, Li W, Castello L, et al. Potential effects of dam cascade on fish: Lessons from the Yangtze River[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2015, 25(3): 569-585.
- [9] Agostinho A A, Pelicice F M, Gomes L C. Dams and the fish fauna of the Neotropical region: Impacts and management related to diversity and fisheries[J]. *Brazilian Journal of Biology*, 2008, 68(4 Suppl): 1119-1132.
- [10] Gao X, Zeng Y, Wang J W, et al. Immediate impacts of the second impoundment on fish communities in the Three Gorges Reservoir[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2010, 87(2): 163-173.
- [11] Wu Q, Duan X B, Xu S Y, et al. Studies on fishery resources in the Three Gorges Reservoir of the Yangtze River[J]. *Freshwater Fisheries*, 2007, 37(2): 70-75. [吴强, 段辛斌, 徐树英, 等. 长江三峡库区蓄水后鱼类资源现状[J]. *淡水渔业*, 2007, 37(2): 70-75.]
- [12] Yang S R, Gao X, Li M Z, et al. Interannual variations of the fish assemblage in the transitional zone of the Three Gorges Reservoir: Persistence and stability[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2012, 93(2): 295-304.
- [13] Zhao S S, Ye S W, Xie S G, et al. The current situation of fishery resources in the Xiangxi River of the Three Gorges Reservoir and advices on the management[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, 39(5): 973-982. [赵莎莎, 叶少文, 谢松光, 等. 三峡水库香溪河鱼类资源现状及渔业管理建议[J]. *水生生物学报*, 2015, 39(5): 973-982.]
- [14] Liao C S, Chen S B, de Silva S S, et al. Spatial changes of fish assemblages in relation to filling stages of the Three Gorges Reservoir, China[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2018, 34(6): 1293-1303.
- [15] Ecological and Environmental Bulletin of Three Gorges Project 2014[EB/OL]. <http://www.cnemc.cn/jcbg/zjsxgcstyhjicbg/201706/W020181008686516645916.pdf>. [长江三峡工程生态与环境监测公报 2014[EB/OL]. <http://www.cnemc.cn/jcbg/zjsxgcstyhjicbg/201706/W020181008686516645916.pdf>.]

- [16] Ding R H. The Fishes of Sichuan, China[M]. Chengdu: Sichuan Scientific & Technical Publishers, 1994: 28-536. [丁瑞华. 四川鱼类志[M]. 四川科学技术出版社, 1994: 28-536.]
- [17] Zhuang P, Cao W X. Growth characteristics of *Coreius heterodon* in the middle and upper reaches of the Yangtze River [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1999, 23(6): 577-583. [庄平, 曹文宣. 长江中、上游铜鱼的生长特性[J]. 水生生物学报, 1999, 23(6): 577-583.]
- [18] Dai Y G, Chen Y F. Fish fauna and its ecological types of Qingshui River in Guizhou Province, Southwest China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(5): 682-687. [代应贵, 陈毅峰. 清水江的鱼类区系及生态类型[J]. 生态学杂志, 2007, 26(5): 682-687.]
- [19] Kang B, Huang X X, Yan Y Z, et al. Continental-scale analysis of taxonomic and functional fish diversity in the Yangtze River[J]. Global Ecology and Conservation, 2018, 15: e00442.
- [20] Investigation Group of Fishery Resource of the Yangtze River in Sichuan Province. Investigation Report of Fishery Resource in Main Stream of Yangtze River, Sichuan Province[M]. 1975: 1-22. [四川省长江水产资源调查组. 四川省长江干流鱼类及鱼类资源调查报告[M]. 四川省长江水产资源调查资料汇编, 1975: 1-22.]
- [21] Liew J H, Tan H H, Yeo D C J. Dammed rivers: Impoundments facilitate fish invasions[J]. Freshwater Biology, 2016, 61(9): 1421-1429.
- [22] Ba J W, Chen D Q. Invasive fishes in Three Gorges Reservoir area and preliminary study on effects of fish invasion owing to impoundment[J]. Journal of Lake Sciences, 2012, 24(2): 185-189. [巴家文, 陈大庆. 三峡库区的入侵鱼类及库区蓄水对外来鱼类入侵的影响初探[J]. 湖泊科学, 2012, 24(2): 185-189.]
- [23] Tuckett Q M, Ritch J L, Lawson K M, et al. Landscape-scale survey of non-native fishes near ornamental aquaculture facilities in Florida, USA[J]. Biological Invasions, 2017, 19(1): 223-237.
- [24] de Freitas Terra B, Santos A B I D, Araújo F G. Fish assemblage in a dammed tropical river: An analysis along the longitudinal and temporal gradients from river to reservoir[J]. Neotropical Ichthyology, 2010, 8(3): 599-606.
- [25] Lianthumlaia L, Mishal P, Panda D, et al. Understanding spatial and temporal patterns of fish diversity and assemblage structure vis-a-vis environmental parameters in a tropical Indian reservoir[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019, 26(9): 9089-9098.
- [26] Jacquemin S J, Pyron M. Fishes of Indiana streams: Current and historic assemblage structure[J]. Hydrobiologia, 2011, 665(1): 39-50.
- [27] Duan X B, Chen D Q, Liu S P, et al. Studies on status of fishery resources in Three Gorges Reservoir reaches of the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(6): 605-611. [段辛斌, 陈大庆, 刘绍平, 等. 长江三峡库区鱼类资源现状的研究[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 605-611.]
- [28] Rolls R J, Arthington A H. How do low magnitudes of hydrologic alteration impact riverine fish populations and assemblage characteristics?[J]. Ecological Indicators, 2014, 39: 179-188.
- [29] Dias R M, Ortega J C G, Stricter L, et al. Fish trophic guild responses to damming: Variations in abundance and biomass [J]. River Research and Applications, 2020, 36(3): 430-440.
- [30] Vašek M, Prchalová M, Říha M, et al. Fish community response to the longitudinal environmental gradient in Czech deep-valley reservoirs: Implications for ecological monitoring and management[J]. Ecological Indicators, 2016, 63: 219-230.
- [31] Wang B Q, Liu X Q, Peng Z H, et al. The community structure of zoobenthos in the Three Gorges Reservoir: A comparison before and after the impoundment[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(5): 965-972. [王宝强, 刘学勤, 彭增辉, 等. 三峡水库底栖动物群落结构特征及其与蓄水前资料的比较[J]. 水生生物学报, 2015, 39(5): 965-972.]
- [32] Diao X M, Zhou R S. Preliminary study of age and growth of *Coreius heterodon*[J]. Sichuan Journal of Zoology, 1994, 13(1): 32-33. [刁晓明, 周容树. 铜鱼年龄与生长的初步研究[J]. 四川动物, 1994, 13(1): 32-33.]
- [33] Liu S P. A study on the biology of *Pseudobagrus fulvidraco* in Poyang Lake[J]. Chinese Journal of Zoology, 1997, 32(4): 10-16. [刘世平. 鄱阳湖黄颡鱼生物学研究[J]. 动物学杂志, 1997, 32(4): 10-16.]
- [34] Feng G P, Ye S W, Li Z J, et al. Age and growth of *Culter alburnus* and *Cultrichthys erythropterus* in Niushan Lake[J]. Freshwater Fisheries, 2007, 37(1): 39-42. [冯广朋, 叶少文, 李钟杰, 等. 牛山湖翘嘴鲈和红鳍原鲈的年龄与生长[J]. 淡水渔业, 2007, 37(1): 39-42.]
- [35] Wang Y L, He Y F, Wang X G, et al. Study on the growth characteristics and resource status of humpback (*Culter dabryi*) in Lake Changhu[J]. Chinese Journal of Zoology, 2017, 52(6): 1015-1022. [王亚龙, 何勇凤, 王旭歌, 等. 长湖达氏鲈的生长特性及其资源现状[J]. 动物学杂志, 2017, 52(6): 1015-1022.]
- [36] Lü D W, Zhou Y F, Ge Y, et al. Age structure and growth characteristics of *Culter alburnus* from Dianshan Lake[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2018, 42(4): 762-769. [吕大伟,

- 周彦锋, 葛优, 等. 淀山湖翘嘴鲈的年龄结构与生长特性[J]. 水生生物学报, 2018, 42(4): 762-769.]
- [37] Chen D Q, Liu S P, Duan X B, et al. A preliminary study of the fisheries biology of main commercial fishes in the middle and upper reaches of the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(6): 618-622. [陈大庆, 刘绍平, 段辛斌, 等. 长江中上游主要经济鱼类的渔业生物学特征[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 618-622.]

Fish assemblage structure and age and growth of the primary fish populations in the Three Gorges Reservoir

LIAO Chuansong¹, CHEN Sibao^{1,2}, YE Shaowen¹, LU Tao³, LI Wei¹, WANG Qidong¹, GUO Chuanbo¹, ZHANG Tanglin¹, LIU Jiashou¹

1. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China;
2. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China;
3. Agricultural Comprehensive Law Enforcement Unit of Zigui, Yichang 443600, China

Abstract: The changes in fish resources after the impoundment of the Three Gorges Reservoir have attracted considerable attention. To explore the fish assemblage structure and population dynamics of the major fish populations in the Three Gorges Reservoir, we sampled fish from the lower to upper sections of the reservoir from 2015 to 2016, and analyzed the age structures of 12 primary fish populations. A total of 89 fish species were identified, with 62, 62, and 85 species recorded in the lower, middle, and upper sections, respectively. Fish assemblages were dominated by *Cyprinus carpio*, *Hemiculter* spp., and *Hypophthalmichthys molitrix* in the lower section; *Leiocassis longirostris*, *Pelteobagrus* spp., *Saurogobio* spp., and *Squalidus* spp. in the middle section; and *Rhinogobio* spp. and *Coreius* spp. in the upper section. In contrast, fish assemblages exhibited spatial gradients from the perspective of settlement type, habitat use, and feeding habit. These populations were composed of ages 1–7 years, and 1–3 years individuals that dominated the populations with an average proportion of 88.51%. Our results revealed that the fish community showed spatially gradient changes, and the key fish populations tended to be of younger age. This study raises suggestions for the evaluation of the ecological effects of fishing ban and further fish resource management.

Key words: Three Gorges Reservoir; fish assemblage; fish population; ecological type; age structure

Corresponding author: LIU Jiashou. E-mail: jsliu@ihb.ac.cn