

DOI: 10.12264/JFSC2023-0243

长江鱼类体长变化及其对资源变动的指征作用

张莹钰^{1,2}, 董芳¹, 方康¹, 万朝阳¹, 刘黄欣¹, 盖帅帅¹, 吴金明¹, 杜浩¹, 张曼², 张辉¹

1. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室, 湖北 武汉 430223;
2. 河南师范大学水产学院, 河南 新乡 453007

摘要: 本研究通过文献调研和野外调查相结合的方式, 对 20 世纪 80 年代以来部分代表性长江鱼类体长值变化进行了定量分析, 并探究了其变化对资源变动的指征作用。研究结果表明: (1) 对宜昌江段 7 种典型鱼类近 10~40 年体长变化的分析发现, 其体长值变化与生物学特性密切相关, 资源本底值高、食性广泛、性成熟年龄低且繁殖力强的鱼类在禁渔政策实施后体长增加较快, 反之则增加缓慢或不明显; (2) 对宜昌江段、金沙江、赤水河和洞庭湖 4 处水域近 20~40 年鱼类群落体长特征值的分析表明, 其变动大致可分为下降、波动上升和明显上升 3 个阶段, 与鱼类保护政策实施进程有较好的对应性; (3) 宜昌江段铜鱼和优势种鱼类群落的平均体长与单位捕捞努力量渔获量呈正相关关系(相关系数分别为 0.66 和 0.88), 表明鱼类体长值与资源丰度密切相关; (4) 基于 Logistic 曲线对宜昌江段鱼类群落体长特征值的分析预测表明, 2030 年该值将达 1.22, 与 20 世纪 80 年代鱼类群落体长特征值接近, 据此预测该江段鱼类资源在 2030 年可恢复到 20 世纪 80 年代水平。本研究发现天然水域鱼类群落体长特征值变动与种群、群落健康状况密切相关, 对资源丰度及其变动有较好的指示性作用, 可以作为长江鱼类资源常态化监测的一项重要重要参考指标。

关键词: 鱼类体长; 监测; 资源评估; 资源养护; 长江

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2023)12-1507-13

长江是中华民族的母亲河、生命河, 拥有水生生物 4300 多种, 其中鱼类 443 种, 特有鱼类 194 种, 鱼类资源十分丰富, 是我国淡水渔业生物天然的种质资源库^[1-2]。但近几十年来, 受多重高强度人类活动影响, 长江流域鱼类栖息环境日趋恶化, 渔业资源严重枯竭, 长江水生生物资源到了最差的“无鱼”等级^[3-5]。鱼类资源量方面, 年捕捞量在 20 世纪 50 年代最高可达 45 万 t, 而 80 年代初降至 20 万 t, 21 世纪以来已不足 10 万 t^[6-7]; 鱼类种类方面, 据 2017—2021 年长江专项调查共有鱼类 443 种, 其中历史有分布而该调查未采集到的鱼类

达 135 种, 占历史分布鱼类总种数的 30.5%^[2]; 生物学特征方面, 鱼类体型小型化、年龄结构低龄化趋势明显^[7-8]。为保护长江鱼类, 自 2021 年 1 月 1 日起, 长江流域重点水域实施为期十年的常年禁捕。目前, 资源养护成效已初步显现, 为全面掌握和准确研判鱼类资源和生物完整性状况的演变趋势, 开展长江鱼类资源的常态化监测评估十分必要。

鱼类资源调查评估是进行保护和利用的重要基础^[9], 在长江流域已经采用的资源评估方法主要包括水声学探测法^[10-12]、鱼卵仔鱼数量调查法^[13-14]

收稿日期: 2023-10-03; **修订日期:** 2023-12-22.

基金项目: 湖北省自然科学基金杰出青年项目(2022CFA058); 国家重点研发计划课题项目(2022YFF0608202); 农业农村部长江流域渔政监督管理办公室政府购买服务项目(CJBRKT2022-05).

作者简介: 张莹钰(1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生态学. E-mail: zyy0715111@163.com

通信作者: 张辉, 研究员, 研究方向为淡水渔业可持续发展生态学. E-mail: zhanghui@yfi.ac.cn

和体长股分析法^[15-17]等。目前,长江流域已有水声学相关研究涉及中下游干流和洞庭湖等水域^[10-12],研究结果可揭示相应区域的鱼类密度及时空分布特征等。鱼卵仔鱼数量调查法主要适用于产漂流性卵鱼类如四大家鱼、铜鱼(*Coreius heterodon*)^[13-14]等。体长股分析法所需样本量较大,但工作量相对减小,已有研究涉及长江上中游宜宾、江津、宜昌江段,以及赤水河等水域^[15-17]。总体而言,现有的调查工作多局限于局部水域和部分时段,研究投入工作量大、成本高、技术要求高,难以长时间、大规模地在全流域开展。

为及时和全面掌握长江鱼类资源恢复动态,迫切需要更简单快速的评估方法。鱼类体长作为一项关键的生物学特征,具有数据易获得、成本低及效率高等特点,常作为渔业生态系统的重要监测指标^[18-20]。生态质量目标(ecological quality objective, EQO)中采用大型鱼类比例作为评估指数^[21];欧盟委员会于《关于海洋水域良好环境状况标准的决定》中以大型鱼类相对丰度为主要指标衡量种群健康程度^[22];大鱼指数(large fish index, LFI)则基于鱼类大小评估鱼类群落状态,并已被奥斯陆和巴黎委员会(Oslo and Paris Commissions, OSPAR)采纳为“鱼类群落”指标,在《欧盟海洋战略框架指令》(Marine Strategy Framework Directive, MSFD)中被确定为“食物网”指标^[20,23-24]。由此可见,鱼类体长在生态系统健康评估方面具有较好的潜能。

为探究长江鱼类体长与资源变动的相关性,本研究通过文献调研与野外调查相结合的方式,汇总整理了 20 世纪 80 年代以来长江流域鱼类体长相关数据,分析了典型鱼类体长值和代表性水域鱼类群落体长特征值的变化特征,探讨了体长与资源丰度的相关性,并通过鱼类群落体长特征值变化预测分析了资源恢复前景。本研究可望为今后将鱼类群落体长特征值纳入长江流域鱼类监测和资源状况评估提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域

长江干流全长约 6390 km,流域面积约 180

万 km²,占全国总面积的 18.8%,干流及支流自西向东流经青海、西藏、四川、云南、重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海 11 个省级行政单元。长江流域多样的气候类型、复杂的地形地貌和水文水环境特征,造就了多样的生境,是我国淡水鱼类资源最为丰富的地区之一^[1,25]。为增加研究的代表性,本研究在干流、支流和湖泊分别选取典型水域作为研究对象。

1.2 数据来源

1.2.1 文献调研 采用“长江鱼类、鱼类资源、渔获物和鱼类体长”为关键词,在中国知网和 Web of Science 数据库中查询 1980—2023 年长江流域鱼类体长相关数据。共检索到相关文献 1220 篇,经人工筛选得到包含 4 处目标水域(宜昌江段、金沙江、赤水河和洞庭湖)鱼类体长数据的文献 20 篇。利用 Microsoft Excel 2021 对鱼类体长等生物学数据、文献篇名和作者信息进行整理分析。

1.2.2 野外调查 作者所在团队多年来持续在长江中游宜昌中华鲟自然保护区江段开展鱼类资源监测调查,2011 年以来取样主要使用三层流刺网(网长 30~40 m,网高 1~1.5 m,网目 3~5 cm)。2017—2022 年期间,由中国水产科学研究院作为总牵头,联合 20 余家科研院所及高校,在长江全流域设置 65 个调查站位,开展渔业资源与环境专项调查^[2]。经报请相关渔业渔政主管部门批准,调查取样主要使用流刺网(网长 100~300 m,网高 0.6~1.5 m,网目 1~5 cm)、定置刺网(网长 100 m,网目 2 cm)、地笼(长 10 m,每节尺寸 37 cm×22 cm,网目 4 mm)、小钩和虾笼等。采集的鱼类样本现场分类测量并记录全长(精确至 1 mm)、体长(精确至 1 mm)、体重(精确至 0.1 g)等基础生物学信息,对于现场难以鉴定的鱼类,保存带回实验室参照《中国淡水鱼类检索表》《湖北鱼类志》《湖南鱼类志》和《四川鱼类志》等^[26-29]专业书籍进行分类鉴定。

1.3 数据分析

根据汇总整理得到数据的完整性、连续性和代表性,遴选确定研究的代表性物种和代表性水域。代表性物种选择依据为:①连续多年或多次调查均可监测到,②种群数量占比位于渔获物前列,③优先选择饵料来源丰富、食性广泛、营养

级较低、繁殖力强的物种,即除捕捞外受其他人为或环境因素影响较小的物种。

(1) 典型鱼类体长值变化:以长江湖北宜昌江段 7 种最具代表性物种作为研究对象,分析其近 10~40 年间平均体长年际变化。

(2) 鱼类群落体长特征值变化:以长江干流、支流、湖泊的 4 处代表性水域为例,即湖北宜昌江段、金沙江下游江段、赤水河赤水市江段和洞庭湖。借鉴《欧盟委员会关于海洋水域良好环境状况标准》^[22]中大型鱼类相对丰度指标的概念(即“鱼类平均体长大于初次性成熟体长的比例”),首先计算出每种鱼类平均体长与初次性成熟体长的比值,再将该水域内多种鱼类计算出的比值进行算术平均,将该算术平均值作为该水域鱼类群落的体长特征值。为减少随机误差,每年视样本量选取代表性物种(5~11 种)作为研究对象。

(3) 体长值与资源丰度的相关性:以湖北宜昌江段为例,分别分析铜鱼体长、鱼类群落平均体长(每年选取代表性物种 4~11 种),与单位捕捞努力量渔获量(catch per unit effort, CPUE)的相关性。

(4) 通过鱼类群落体长特征值变化预测资源恢复:以宜昌江段为例,选取 8 种代表性物种计算鱼类群落体长特征值。基于 2017—2022 年鱼类群落体长特征值,采用 Logistic 增长曲线建立回归方程,预测“十年禁渔”期间(至 2030 年)鱼类资源恢复态势,并与吴国犀等^[30]20 世纪 80 年代在该水域的调查结果进行比较,研判未来鱼类资源恢复情势。

所有数据采用 Microsoft Excel 2021、SPSS 20.0 进行录入与处理分析,采用 Graphpad Prism 5.9 和 Origin 2021 软件作图。

2 结果与分析

2.1 典型鱼类体长值变化

从宜昌江段 7 种代表性鱼类体长值变化(图 1)可以看出,上升趋势比较明显的鱼类有铜鱼和瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*);铜鱼平均体长在 1984—2004 年呈持续下降趋势,2004—2016 年波动上升,2017—2022 年出现明显上升趋势,由 257.54 mm 上升至 305.60 mm (图 1a);瓦氏黄颡

鱼平均体长在 1998—2004 年呈下降趋势,2004—2016 年在 160.00 mm 左右波动,而 2016—2022 年期间则呈快速上升趋势,由 153.20 mm 上升至 213.24 mm (图 1b)。圆筒吻鮡(*Rhinogobio cylindricus*)和吻鮡(*Rhinogobio typus*)则呈现出波动略微上升的趋势;圆筒吻鮡平均体长 1998—2009 年在 180.00 mm 左右波动,2017—2022 年则呈现波动上升趋势,由 204.69 mm 上升至 239.99 mm (图 1c);吻鮡基本在 250.00 mm 左右浮动略微有上升(图 1d)。其他 3 种鱼类,银鲴(*Xenocypris argentea*)在 218.00 mm 左右浮动(图 1e),大鳍鱮(*Mystus macropterus*)在 273.00 mm 左右浮动(图 1f),鳊(*Siniperca chuatsi*)则在 196.00 mm 左右浮动(图 1g)。可以发现,捕捞胁迫消除后各鱼类体长值变化与其自身生物特性密切相关,资源本底值高、食性广泛、性成熟年龄低且繁殖力强的鱼类体长值增加更为明显。

2.2 代表性区域鱼类群落体长特征值变化

对 20 世纪 80 年代以来宜昌江段、金沙江、赤水河江段和洞庭湖鱼类群落体长特征值的分析发现,宜昌江段于 80 年代曾高达 1.22,1998—2016 年下降至 0.85 左右波动,而 2017—2022 年呈现稳定上升趋势,分别为 1.08、1.12、1.15、1.17、1.22、1.19 (图 2a)。金沙江鱼类群落体长特征值 2001—2015 年期间在 0.59~0.76 之间波动,2017—2022 年呈现波动上升,分别为 0.85、0.80、0.90、0.96、0.92 (图 2b)。赤水河鱼类群落体长特征值 1994—2018 年期间在 0.85 左右浮动,而 2019 年上升至 0.97,2022 年进一步升至 1.15 (图 2c)。洞庭湖鱼类群落体长特征值 20 世纪 90 年代在 0.65 左右浮动,之后逐年下降,并于 2005 年达到历史最低值 0.39,而后在 2012 年、2020 年和 2021 年明显回升,分别上升至 0.68、0.78 和 1.08 (图 2d)。

2.3 体长值与资源丰度的相关性

对 2011—2021 年期间宜昌江段铜鱼体长值、鱼类群落(4~11 种优势鱼类)体长值的分析表明,两者在 2011—2016 年期间均呈下降趋势,而 2017—2021 年则均呈上升趋势。CPUE 在 2011—2021 年期间也呈现出相同的阶段性变化特征。

Person 相关分析表明,铜鱼体长值、鱼类群落体长特征值与 CPUE 均呈正相关关系,相关系数分别为 0.66、0.88 (图 3、表 1)。

2.4 通过鱼类群落体长特征值变化预测资源恢复前景

采用 Logistic 增长曲线对 2017—2022 年宜昌

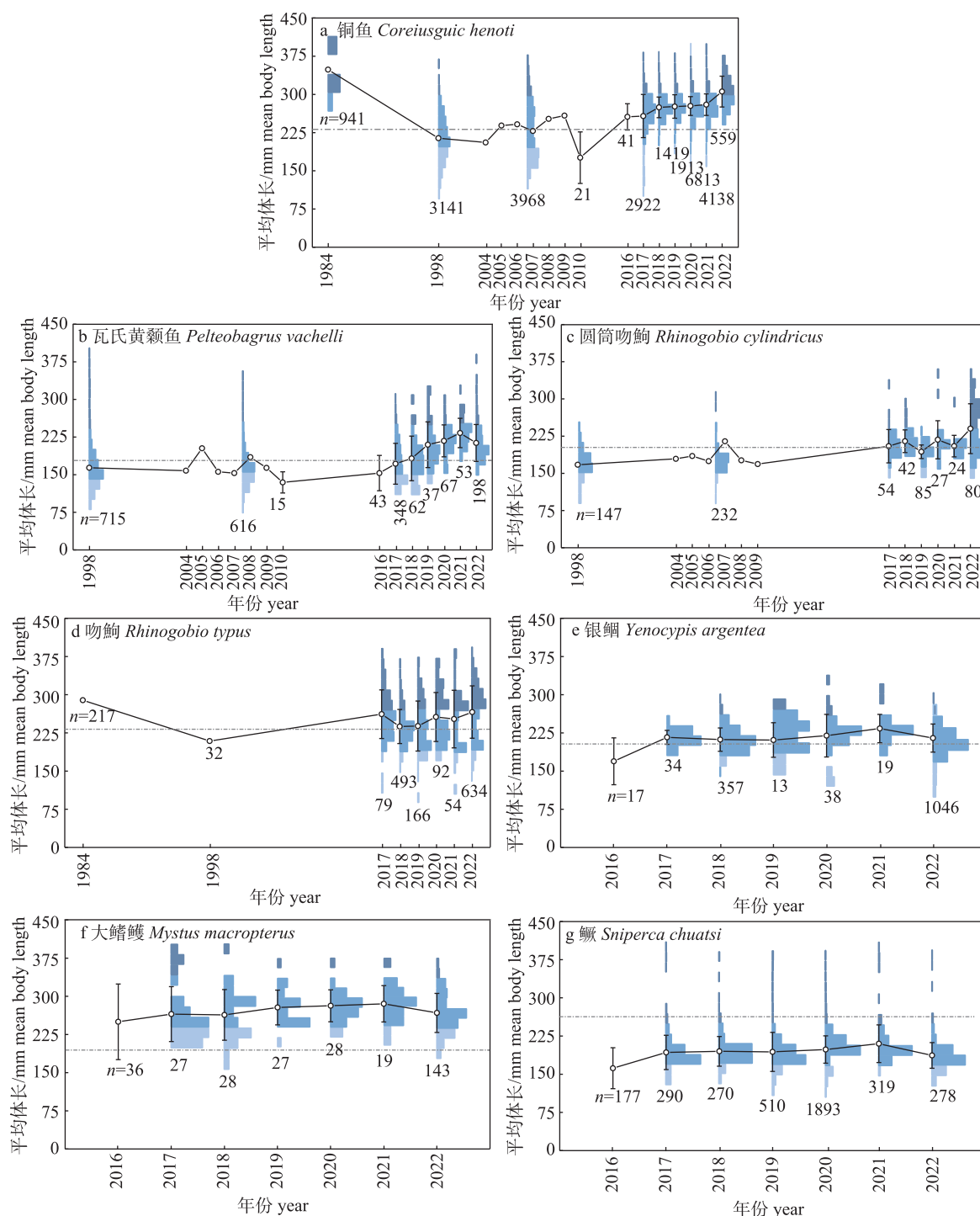


图 1 长江流域 7 种代表性鱼类体长值变化

柱状图表示鱼类体长频率分布; 实线表示鱼类体长平均值; 虚线表示初次性成熟体长; 数据来自文献[30-34]及近年来长江水产研究所调查未发表数据。

Fig. 1 Changes in body length values of 7 representative fish species in the Yangtze River

Bar chart: frequency distribution of fish body length; Solid line: mean body length of fish; Dotted line: length at first sexual maturity; Data are from the literature [30-34] and unpublished data from recent surveys by the Yangtze River Fisheries Research Institute.

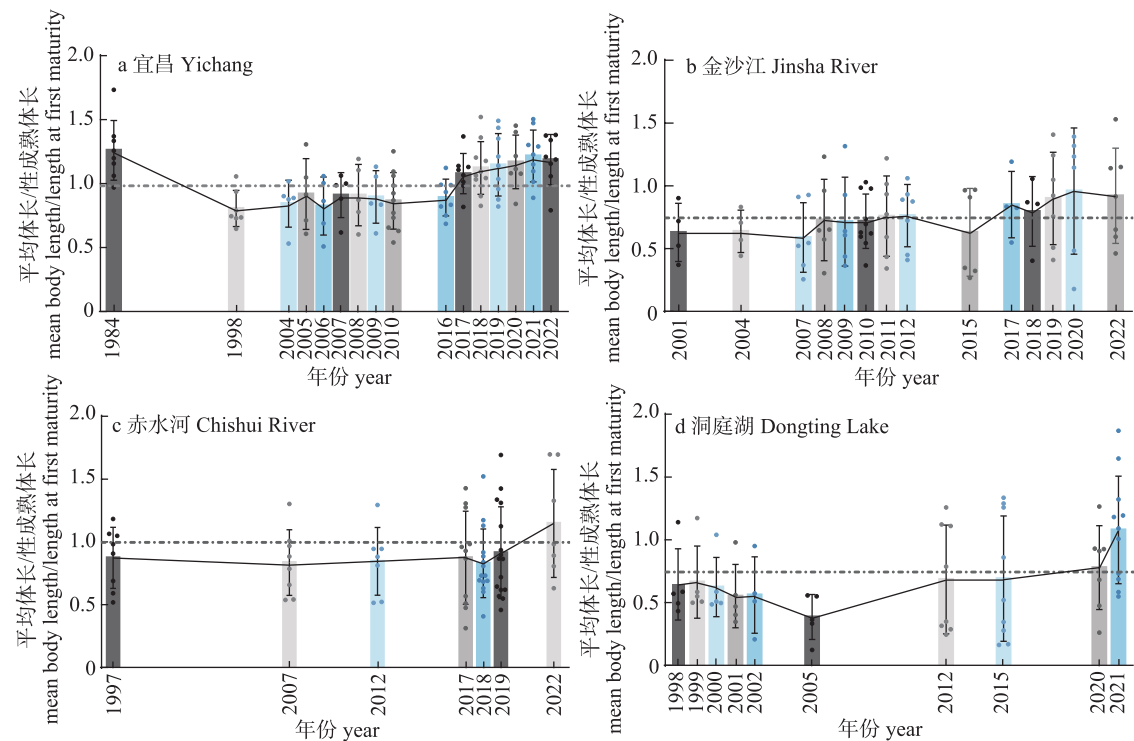


图 2 长江流域代表性水域鱼类群落体长特征值变化
圆点表示代表性鱼类体长特征值; 实线表示鱼类群落体长特征值; 虚线表示所有年份鱼类群落体长特征值均值;
数据来自文献[30-49]及近年来长江水产研究所调查未发表数据。

Fig. 2 Changes in body length values of fish communities in representative areas of the Yangtze River
Dot: body length values of representative fish; Solid line: body length values of fish communities; Dotted line: mean values of body length values of fish communities for all years; Data are from the literature [30-49] and unpublished data from recent surveys by the Yangtze River Fisheries Research Institute.

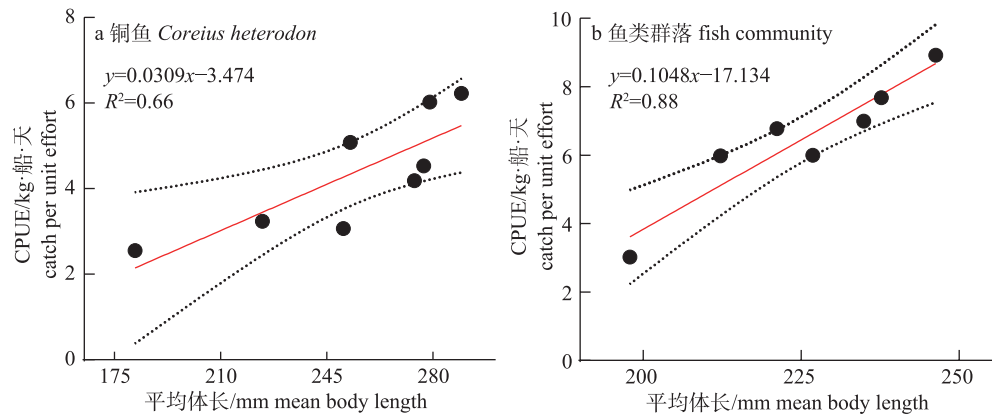


图 3 宜昌江段鱼类体长值与 CPUE 的相关性

红实线表示回归方程模拟曲线; 虚线表示置信区间; 圆点表示 2011、2014、2016—2021 年铜鱼和鱼类群落样本数据; 数据来自近年来长江水产研究所调查未发表数据。

Fig. 3 Correlation analysis between fish body length and CPUE in the Yichang section of the Yangtze River
Red solid line: regression equations simulate curves; Dotted line: confidence interval; Dot: *Coreius heterodon* and fish community sample data from 2011, 2014, 2016–2021. Data are from recent surveys by the Yangtze River Fisheries Research Institute.

江段鱼类群落(8 种优势种)体长特征值进行回归分析, 建立回归方程为: $y=1.244/(1+0.158e^{-0.156t})$ ($R^2=0.58$)。以此为基础, 可预测得出 2023—2030 年期间的体长特征值分别为 1.18、1.19、1.20、1.20、1.21、1.21、1.22、1.22。结果表明, 该江段当鱼类群落体长特征值达到 1.20 左右时增长速度

表 1 2011—2021 年期间宜昌江段鱼类
体长值与 CPUE

Tab. 1 Fish body length and CPUE in the Yichang
section of the Yangtze River during 2011–2021

种类 species	年份 year	平均体长/mm mean body length	CPUE/kg·船·日 catch per unit effort	样本量/尾 sample size
铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	2011	250.38	3.07	216
	2014	223.74	3.24	1182
	2016	181.81	2.55	726
	2017	252.74	5.08	1356
	2018	273.88	4.19	984
	2019	276.87	4.53	988
	2020	278.96	6.03	1395
	2021	289.35	6.23	1498
鱼类群落 fish community	2014	212.24	5.98	2806
	2016	197.90	3.02	786
	2017	226.83	5.99	1685
	2018	221.16	6.78	1546
	2019	234.90	6.99	1631
	2020	237.67	7.68	1812
	2021	246.27	8.92	1795

注：数据来自近年来长江水产研究所调查未发表数据。
Note: Data are from recent surveys by the Yangtze River Fisheries
Research Institute.

开始趋于平缓，最终趋近于 1.22 (图 4)。而根据吴国犀等^[30]20 世纪 80 年代的调查结果，计算得出当时该江段鱼类群落体长特征值为 1.22 (表 2)，此值与本研究对 2030 年的预测值 1.22 基本相符。据此推测，在生态环境现状不改变的情况下，在 2030 年宜昌江段鱼类资源状况可恢复到 20 世纪 80 年代水平。

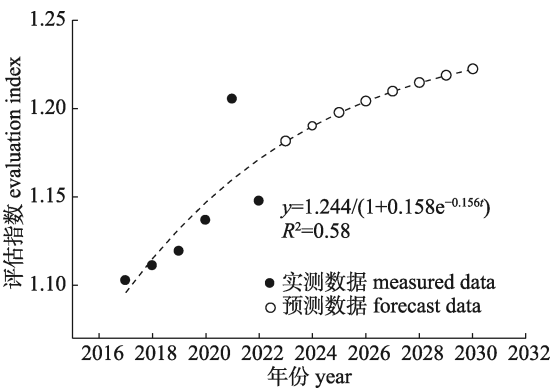


图 4 宜昌江段鱼类群落体长特征值的 Logistic 回归分析
虚线表示回归方程模拟曲线。

Fig. 4 Logistic regression of body length values of fish
communities in the Yichang section of the Yangtze River
Dotted line: regression equations simulate curves.

表 2 20 世纪 80 年代宜昌江段鱼类群落体长特征值

Tab. 2 Body length values of fish communities in
the Yichang section of the Yangtze River in the 1980s

种类 species	样本 量/尾 sample size	平均体 长/mm mean body length	性成熟 体长/mm length at first maturity	平均体长/性 成熟体长 mean body length/ length at first maturity
圆口铜鱼 <i>Coreius guichenoti</i>	1662	357.51	309	1.16
铜鱼 <i>Coreius heterodon</i>	941	348.73	291	1.20
长吻鮠 <i>Leiocassis longirostris</i>	284	651.86	476	1.37
吻鮠 <i>Rhinogobio typus</i>	217	289.22	230	1.26
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	141	520.00	300	1.73
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	121	367.02	275	1.33
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	105	792.78	747	1.06
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	38	872.89	900	0.97
赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	30	469.60	254	1.85
银鲴 <i>Xenocypris argentea</i>	29	295.00	203	1.45
鳊 <i>Elopichthys bambusa</i>	15	1185.20	1052	1.13
鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	13	491.92	236	2.08
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	13	743.77	662.5	1.12
鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	10	879.90	896	0.98
加权平均值 weighted average				1.22

注：数据来自文献[30]。
Note: Data are from the literature [30].

3 讨论

3.1 捕捞方法差异对鱼类体长统计值的影响

捕捞方法(包括采样网具和时段等)差异将对鱼类体长统计值产生重要影响。为了尽量降低取

样方法差异对本研究统计分析的干扰, 本研究从以下 3 个方面进行了考虑: (1) 在物种选择上, 选取主要优势种作为研究的代表性物种, 并确保种类数不少于 4 种, 这样可以排除丰度较低样本量较少物种引入分析带来的误差; 并且优先选择饵料来源丰富食性广泛营养级较低繁殖力较强的物种, 从而尽量降低除捕捞以外其他人为或环境因素对种群的影响。(2) 在样本体长特征值应用方面, 本研究采用的主要是各鱼类种群平均体长与性成熟个体体长的比值, 是物种内的比较, 如此可以有效排除取样网具不同对不同物种选择性捕捞的影响。(3) 在调查时段方面, 各水域尽量选择捕捞取样调查季节比较一致、样本量较多的数据进行应用。综合以上措施, 可有效降低捕捞调查网具类型和调查时段差异对本研究分析的不利影响。

3.2 鱼类种群恢复力的影响因素

长江“十年禁渔”政策实施后, 各鱼类种群的恢复速度与其自身生物学特性(如资源本底状况、食性、营养级、性成熟年龄、繁殖力等)以及种群间相互作用关系(如捕食关系、竞争关系等)密切相关^[50], 在水生生物保护工作中, 须根据各物种的生物、生态学特征和物种间关系, 制定有针对性的保护对策和措施。

3.2.1 种群生物学特征 资源本底状况: 鱼类种群基数越大, 繁殖效率和规模也就越高^[51]; 相反, 当种群大小或密度低于一定水平时, 会导致繁殖量小, 死亡率高, 进而削弱种群生存能力, 减缓恢复速度(即“Allee 效应”)^[52-54]。本研究中, 铜鱼和瓦氏黄颡鱼等资源本底值较高, 禁渔政策实施后恢复速度较快^[55-56]; 而大鳍鲩等种群规模较小的鱼类, 恢复速度则受到一定程度的抑制。

食性: Maliao 等^[57]通过对菲律宾 19 个保护区的荟萃分析发现, 不同食性的鱼类(植食性、浮游食性、杂食性、鱼食性和碎屑食性)在空间和时间上对于保护的反应不同^[58]。杂食性鱼类如铜鱼、圆筒吻鲈、瓦氏黄颡鱼和刀鲚(*Coilia nasus*)等, 可摄食的食物种类多样, 生态位幅度较宽, 对环境的适应能力强, 具有更大的生存优势。这与王银平等^[59]、茹辉军等^[60]、陈小华等^[61]、李捷等^[62]对长江下游、黄浦江、黄河等大型河流鱼类调查

的研究结果一致。因此, 杂食性鱼类在禁渔政策实施后恢复速度更快^[63-64]。相比之下, 大鳍鲩、吻鲈主要以动物性食物为主, 银鲴主要以硅藻和高等植物碎屑为食, 食物来源相对单一从而受到一定程度的限制, 因此恢复速度较慢。鳊是典型肉食性鱼类, 处于食物链的顶端, 以其他鱼类为主要食物, 因此其恢复程度取决于其他鱼类的恢复效果, 具有时滞性^[65-66]。

性成熟年龄: 瓦氏黄颡鱼和刀鲚属于典型 *r* 对策者, 瓦氏黄颡鱼最小性成熟年龄仅 2 龄, 初次性成熟体长仅达 155 mm; 洄游刀鲚一般性成熟年龄仅为 2 龄, 湖产刀鲚性成熟年龄仅 1 龄^[64,67], 故在禁渔政策实施后其资源量及体长值增长趋势较明显^[55-56]。

繁殖力: 不同鱼类在绝对繁殖力上存在巨大差异, 繁殖力强的鱼类可引起补充群体的大量增加, 如铜鱼绝对怀卵量平均可达 11.5 万粒, 刀鲚绝对怀卵量一般可达 3~4 万粒^[64], 因此恢复迅速。而繁殖力弱的鱼类则相反^[68], 如大鳍鲩绝对怀卵量平均仅 2000 粒左右^[69], 因此恢复缓慢。

3.2.2 种群间影响 捕食关系: 禁捕以后, 肉食性鱼类没有了捕捞胁迫因素的影响并且饵料生物资源增加, 导致个体生长迅速规格明显变大, 种群扩张态势明显, 如三峡水库等水域的鳊(*Elopichthys bambusa*)等肉食性鱼类数量爆发性增长, 出现了大规模集群现象^[70]。肉食性鱼类种群的扩张对小型鱼类造成明显的捕食压力, 从而可能抑制其存活数量、繁衍和恢复。本研究中, 银鲴、圆筒吻鲈等鱼类体型相对较小, 最大体长不超过 350 mm, 很容易成为肉食性鱼类的捕食对象, 这可能是导致其恢复较为缓慢原因之一。

竞争关系: 种群间生态位重叠会形成资源竞争关系, 争夺饵料资源和生存空间等, 如果资源稀缺将会限制有竞争群体的生长发育、繁殖和种群扩张。本研究中, 银鲴与黄尾鲴(*Xenocypris davidi*)、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)等物种占据有相同的生态位, 二者食性、栖息地和产卵环境相似, 均以水生植物、高等植物碎屑为食, 繁殖期(4~6月)集于流水处产卵, 冬季在深水处越冬, 存在较强的竞争性^[64]; 吻鲈、圆筒吻鲈、大

鳙鱼和蛇鮈(*Saurogobio dabryi*)等均为底层鱼类,且食性相似,主要摄食水生昆虫,存在食物资源上的竞争关系,熊星^[63]在 2010—2012 年对圆筒吻鲈的研究发现,其空肠率为 11.2%,说明其与食性相近种类的竞争激烈。这可能是导致银鲌、吻鲈、圆筒吻鲈和大鳙鱼等种群恢复态势不明显的主要原因。

3.3 鱼类群落体长特征值变化的影响因素

长江鱼类群落体长特征值变动与多种因素相关,包括捕捞和栖息地环境退化等,而其中与捕捞强度的关系最为直接。过度捕捞将直接导致鱼类小型化,即种群中大个体鱼类数量减少与比例降低,间接导致性成熟个体减少,繁殖规模下降,从而出现种群规模减小,并且个体平均规模变小。此外捕捞活动还有一定的选择性,即主要捕捞对象为较大个体的经济鱼类,大个体鱼类的移除意味着小型鱼比例上升从而也会导致鱼类群落平均个体规格减小。此外,由于种间竞争的影响,大个体肉食性鱼类的捕捞移除也为小型鱼类种群扩张提供了可能。在抽样统计的情况下,渔获物平均规格变大或者变小有两个方面的可能性,变大可能是小规格鱼类数量相对占比减小或大规格鱼类数量相对占比增加,变小则反之,小规格鱼类数量的变化更多反映种群补充的情况,而大规格鱼类数量的变化更多反映捕捞胁迫以及种群营养生态等情况。无论如何,一个健康的种群或群落,其中的性成熟个体、高龄的个体,或者说是规格比较大的个体往往是占有相当比例。本研究基于不同时间段多种优势种鱼类平均规格与性成熟体长比值的平均值进行比较分析,既能反映捕捞胁迫状况,也能反映种群补充情况等,是一个综合性的能反映鱼类群落健康状况的指标。

为保护长江鱼类资源,自 2002 年起,我国在长江流域的休禁渔政策由点到面逐步推进实施。自 2003 年开始实行春季禁渔制度,2016 年禁渔期延长,在此期间,鱼类群落体长特征值呈波动缓慢上升趋势。2017 年起,在赤水河开始常年禁渔试点^[1,63,71],随后逐步在长江流域水生生物保护区开始实行全面禁渔。可以发现,捕捞等胁迫因素消除后水生生物资源逐步恢复,鱼类群落体长特征值也整体呈现出稳定上升趋势。

但不同水域鱼类资源恢复速度存在差异。2017—2022 年 5 年间,宜昌江段鱼类群落体长特征值上升了 0.11,赤水河上升了 0.28,而洞庭湖仅 2020—2021 年 1 年间鱼类群落体长特征值就上升了 0.30。这说明湖泊鱼类资源恢复趋势较干支流更为明显,这与贾春艳^[11]对长江中游和东洞庭湖鱼类密度分布的研究结果相似。分析这主要是由于湖泊初级生产力、各种饵料资源丰富,可支撑水体食物网的各个环节^[72],从而为鱼类的生长和繁殖提供优越的生长环境,因此可以在短时间内迅速恢复。而干、支流水流湍急,营养物质和饵料生物相对贫乏,对鱼类的生长和繁殖均造成了一定的限制,因此恢复趋势较缓慢。禁捕后要切实掌握各水域生态特征和鱼类资源恢复程度,对不同水域采取有针对性的保护和生态调控措施。

3.4 利用鱼类体长评估资源变动的可行性

体长是鱼类重要的功能性状,可反映其生长阶段和健康状况。本研究中,铜鱼体长值、优势种鱼类群落体长特征值与资源丰度均呈正相关关系,证实了鱼类体长对资源恢复的指征作用。通过对禁捕后鱼类群落体长值变化进行预测,2030 年的预测值与 20 世纪 80 年代的本底值基本一致,进一步证明了采用鱼类体长评估鱼类资源状况的合理性。近 10 年来,许多学者已将鱼类体长纳入鱼类资源评估方法中,包括大鱼指数(LFI)^[73-74]、鱼类大小谱^[75]、贝叶斯生物量(length-based Bayesian biomass, LBB)^[76]和长度频率(length frequency, LF)^[77]等,并且这些方法都得到了较为准确的评估结果。综上所述,采用鱼类群落体长特征值来研判鱼类资源变动具有比较好的可行性。

3.5 采用体长评估鱼类资源变动的前景分析

将鱼类体长作为评估鱼类资源状况的指标,具有数据易于获取、分析相对简单、适用范围广等突出优势,可在长江流域实现大范围广覆盖长时期的鱼类资源监测评估,具有比较好的推广应用价值。但是,也需要留意,鱼类生物学样本的捕捞取样过程,具有一定的随机性,计算出的体长特征值可能受样本来源和数量的影响。未来,还应考虑进一步结合其他生物学特征数据,如相对重量指数(relative weight, Wr)^[78]、渐进体长^[79]和

肥满度^[80]等, 将鱼类群落体长特征值与多种生物学指标有机结合, 优化完善现有的评估方法, 进一步提高评估结果的准确性和实用价值。

参考文献:

- [1] Joint Investigation Group on Fishery Resources in Yangtze River. Fishery resources in the Yangtze River[M]. Beijing: Ocean Press, 1990: 50-52. [长江水系渔业资源调查协作组. 长江水系渔业资源[M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 50-52.]
- [2] Yang H L, Shen L, He Y F, et al. Status of aquatic organisms resources and their environments in the Yangtze River system (2017-2021)[J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(2): 1-28. [杨海乐, 沈丽, 何勇凤, 等. 长江水生生物资源与环境本底状况调查(2017—2021)[J]. 水产学报, 2023, 47(2): 1-28.]
- [3] Cao W X. Several questions on the fish resources conservation in the Yangtze River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(2): 163-164. [曹文宣. 有关长江流域鱼类资源保护的几个问题[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2): 163-164.]
- [4] Zhang H, Kang M, Shen L, et al. Rapid change in Yangtze fisheries and its implications for global freshwater ecosystem management[J]. Fish and Fisheries, 2020, 21(3): 601-620.
- [5] Zhang H, Jarić I, Roberts D L, et al. Extinction of one of the world's largest freshwater fishes: Lessons for conserving the endangered Yangtze fauna[J]. Science of the Total Environment, 2020, 710: 136242.
- [6] Fisheries and Fisheries Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2021 China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 3-60. [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2021 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 3-60.]
- [7] Chen D Q, Xiong F, Wang K, et al. Status of research on Yangtze fish biology and fisheries[J]. Environmental Biology of Fishes, 2009, 85(4): 337-357.
- [8] Chen D Q, Duan X B, Liu S P, et al. On the dynamics of fishery resources of the Yangtze River and its management[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(6): 685-690. [陈大庆, 段辛斌, 刘绍平, 等. 长江渔业资源变动和管理对策[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 685-690.]
- [9] Zhan B Y. Fish stock assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 59-74. [詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 农业出版社, 1995: 59-74.]
- [10] Duan X B, Xie Y J, Guo J, et al. Hydroacoustic surveys on temporal and spatial distribution of fishes in the section from Honghu to Yichang of the Yangtze River middle reaches[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(12): 1842-1849. [段辛斌, 谢意军, 郭杰, 等. 长江中游洪湖至宜昌江段鱼类空间分布特征的水声学[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(12): 1842-1849.]
- [11] Jia C Y. Hydroacoustic studies on fishes in the middle Yangtze from Yichang to the East Dongting Lake[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022. [贾春艳. 长江中游宜昌至东洞庭湖鱼类的水声学[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.]
- [12] Li D, Lin D Q, Wang Z G, et al. Spatial and temporal characteristics of fish resources in Zhenjiang Yangtze River dolphin provincial nature reserve were evaluated based on hydroacoustic frequency difference technique[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2023, 47(1): 121-132. [李栋, 蔺丹清, 王召根, 等. 基于水声学频差技术的镇江长江豚类省级自然保护区鱼类资源时空特征[J]. 水生生物学报, 2023, 47(1): 121-132.]
- [13] Liu L H, Wu G X, Wang Z L. Reproduction ecology of *Coreius heterodon* (Bleeker) and *Coreius guichenoti* (Sauvage et Dabry) in the main stream of the Changjiang River after the construction of Gezhouba Dam[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1990, 14(3): 205-215. [刘乐和, 吴国犀, 王志玲. 葛洲坝水利枢纽建成后长江干流铜鱼和圆口铜鱼的繁殖生态[J]. 水生生物学报, 1990, 14(3): 205-215.]
- [14] Meng Q. Study on the spatial-temporal patterns of the early-stage fish resources in the Jianli to Ezhou sections in the middle reaches of the Yangtze River[D]. Chongqing: Southwest University, 2020. [孟秋. 长江中游监利至鄂州江段鱼类早期资源时空格局研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.]
- [15] Wu J M, Lou B Y, Zhao H T, et al. Preliminary assessment of fish stock in the Chishui River[J]. Journal of Hydroecology, 2011, 32(3): 99-103. [吴金明, 娄必云, 赵海涛, 等. 赤水河鱼类资源量的初步估算[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(3): 99-103.]
- [16] Xiong F, Liu H Y, Duan X B, et al. Stock assessment of *Coreius guichenoti* in Jiangjin and Yibin sections of the Upper Yangtze River[J]. Chinese Journal of Zoology, 2014, 49(6): 852-859. [熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 长江上游江津和宜宾江段圆口铜鱼资源量估算[J]. 动物学杂志, 2014, 49(6): 852-859.]
- [17] Yu G L, Liu J, Xu Y G, et al. Estimation on abundance of benthonic fishes preying on eggs of Chinese sturgeon in reach below the Gezhouba dam in the Yangtze River[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2002, 26(6): 591-599. [虞功亮, 刘军, 许蕴珩, 等. 葛洲坝下游江段中华鲟产卵场食卵鱼类

- 资源量估算[J]. 水生生物学报, 2002, 26(6): 591-599.]
- [18] Ahti P A, Kuparinen A, Uusi-Heikkilä S. Size does matter—The eco-evolutionary effects of changing body size in fish[J]. *Environmental Reviews*, 2020, 28(3): 311-324.
- [19] Bonner N, Peters R H. The ecological implications of body size[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- [20] Greenstreet S P R, Rogers S I, Rice J C, et al. Development of the EcoQO for the North Sea fish community[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2011, 68(1): 1-11.
- [21] Heslenfeld P, Enserink E L. OSPAR Ecological Quality Objectives: the utility of health indicators for the North Sea[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2008, 65(8): 1392-1397.
- [22] The European Commission. Commission decision of 1 September 2010 on criteria and methodological standards on good environmental status of marine waters[EB/OL]. (2017-05-18). <https://repository.oceanbestpractices.net/handle/11329/1312>.
- [23] Greenstreet S P R, Rogers S I, Rice J C, et al. Erratum: A reassessment of trends in the North Sea Large Fish Indicator and a re-evaluation of earlier conclusions[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2012, 69(2): 343-345.
- [24] Heslenfeld P, Enserink E L. OSPAR Ecological Quality Objectives: The utility of health indicators for the North Sea[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2008, 65(8): 1392-1397.
- [25] Liu J K, Cao W X. Fish resources of the Yangtze River basin and the tactics for their conservation[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1992, 1(1): 17-23. [刘建康, 曹文宣. 长江流域的鱼类资源及其保护对策[J]. 长江流域资源与环境, 1992, 1(1): 17-23.]
- [26] Cheng Q T, Zheng B S. Freshwater fish retrieval in China[M]. Beijing: Science Press, 1987: 248-513. [成庆泰, 郑葆珊. 中国鱼类系统检索[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 248-513.]
- [27] Yang G R. Fishes of Hubei[M]. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1987. [杨干荣. 湖北鱼类志[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1987.]
- [28] Hunan Fisheries Science Institute. Fishes of Hunan[M]. Changsha: Hunan People Press, 1977. [湖南省水产科学研究所. 湖南鱼类志[M]. 长沙: 湖南人民出版社, 1977.]
- [29] Ding R H. Fishes of Sichuan[M]. Chengdu: Sichuan Publishing House of Science and Technology, 1994. [丁瑞华. 四川鱼类志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.]
- [30] Wu G X, Liu L H, Wang Z L. Ichthyofauna and catch composition of the Yichang River section below the Gezhouba water control project[J]. *Freshwater Fisheries*, 1988, 18(3): 8-13. [吴国犀, 刘乐和, 王志玲. 葛洲坝水利枢纽坝下宜昌江段鱼类区系和渔获物组成[J]. 淡水渔业, 1988, 18(3): 8-13.]
- [31] Yu G L, Xu Y G, Tan X C, et al. Status of fisheries in the section below the Gezhouba dam of the Yangtze River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, 23(6): 662-669. [虞功亮, 许蕴珩, 谭细畅, 等. 葛洲坝水利枢纽下游宜昌江段渔业资源现状[J]. 水生生物学报, 1999, 23(6): 662-669.]
- [32] Ma Q, Lin P C, Liu H Z, et al. Effects of the gillnets on fish resources in the Yichang reaches of the Yangtze River[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2014, 33(5): 762-767. [马琴, 林鹏程, 刘焕章, 等. 长江宜昌江段三层流刺网对鱼类资源影响的分析[J]. 四川动物, 2014, 33(5): 762-767.]
- [33] Fan Z H, Ba J W, Duan X B. Studies on fish resources and species diversity in the middle reaches of the Yangtze River from Yichang to Chenglingji section[J]. *Freshwater Fisheries*, 2012, 42(4): 20-25. [范振华, 巴家文, 段辛斌. 长江宜昌至城陵矶江段鱼类资源现状及物种多样性研究[J]. 淡水渔业, 2012, 42(4): 20-25.]
- [34] Xie X. The spatio-temporal dynamics of fish communities and protected areas optimization in the middle Yangtze River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019. [谢晓. 长江中游鱼类群落的时空动态与保护区优化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.]
- [35] Duan X B, Liu S P, Xiong F, et al. Analysis of fishing structure and biodiversity in the upper mainstream of the Yangtze River before and after three years' spring fishing off[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(6): 878-885. [段辛斌, 刘绍平, 熊飞, 等. 长江上游干流春季禁渔前后三年渔获物结构和生物多样性分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(6): 878-885.]
- [36] Xiong F, Liu H Y, Duan X B, et al. Present status of fishery resources in Yinbin section of the upper Yangtze River[J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2015, 37(11): 43-50. [熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 长江上游宜宾江段渔业资源现状研究[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2015, 37(11): 43-50.]
- [37] Gao S B, Tang H Y, Qiao Y, et al. Status of fishery resources in the mainstream of the lower reaches of Jinsha River[J]. *Journal of Hydroecology*, 2013, 34(1): 44-49. [高少波, 唐会元, 乔晔, 等. 金沙江下游干流鱼类资源现状研究[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(1): 44-49.]
- [38] Li L, Wei Q W, Wu J M, et al. Current status of fish assemblages in Yibin reaches of the Yangtze River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2013, 22(11): 1449-1457. [李雷, 危起伟, 吴金明, 等. 长江宜宾江段渔业资源现状调查[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(11): 1449-1457.]
- [39] Tian H W, He C, Liu M D, et al. Study on structure of gillnet

- catches in the upper reaches of the Yangtze River[J]. *Freshwater Fisheries*, 2016, 46(5): 37-42. [田辉伍, 何春, 刘明典, 等. 长江上游干流三层流刺网渔获物结构研究[J]. *淡水渔业*, 2016, 46(5): 37-42.]
- [40] Gao T H. Studies on Gobioninae fish resources and habitat selections in the upper Yangtze River[D]. Chongqing: Southwest University, 2016. [高天珩. 长江上游鮡亚科鱼类资源及生境选择策略研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016.]
- [41] Hu F F, Zhu T B, Gong J L, et al. Acoustic study of fish resources in Xiangjiaba Reservoir in the lower reaches of Jinsha River during the early period of ten-year fishing ban[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(2): 231-242. [胡飞飞, 朱挺兵, 龚进玲, 等. 十年禁渔初期金沙江下游向家坝水库鱼类资源变化的水声学研究[J]. *水产学报*, 2023, 47(2): 231-242.]
- [42] Wu J M, Zhao H T, Miao Z G, et al. Status and conservation of fish resources in the Chishui River[J]. *Biodiversity Science*, 2010, 18(2): 162-168. [吴金明, 赵海涛, 苗志国, 等. 赤水河鱼类资源的现状与保护[J]. *生物多样性*, 2010, 18(2): 162-168.]
- [43] Li L, Yuan W L, Liu F. Status of fishery resources in Chishui section of the Chishui River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(11): 1884-1890. [黎良, 袁维林, 刘飞. 赤水河赤水市江段鱼类资源现状[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(11): 1884-1890.]
- [44] Li C. Study on the investigation of main economic fishery resource and the law of its variety in the Dongting Lake[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2006. [李成. 洞庭湖主要经济鱼类资源调查及其变化规律研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2006.]
- [45] Liao F C, He X C, He W, et al. Status and protective regulation countermeasure in fishery resources and its environment of Dongting Lake[J]. *Journal of Yueyang Vocational Technical College*, 2006, 21(6): 32-37. [廖伏初, 何兴春, 何望, 等. 洞庭湖渔业资源与生态环境现状及保护对策[J]. *岳阳职业技术学院学报*, 2006, 21(6): 32-37.]
- [46] Li J Q. Ecological study on fish community and conservation strategies in Dongting Lake[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2013. [李杰钦. 洞庭湖鱼类群落生态研究及保育对策[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013.]
- [47] Xie Y J, Wang K, Guo J, et al. Fish spatial distribution and biomass assessment in East Dongting Lake using hydroacoustic method[J]. *Freshwater Fisheries*, 2016, 46(3): 40-46. [谢意军, 王珂, 郭杰, 等. 基于水声学方法的东洞庭湖鱼类空间分布和资源量评估[J]. *淡水渔业*, 2016, 46(3): 40-46.]
- [48] Jia C Y, Wang K, Li H F, et al. Spatial distribution and density changes of fish resources in East Dongting Lake during early fishing ban period[J]. *South China Fisheries Science*, 2022, 18(3): 48-56. [贾春艳, 王珂, 李慧峰, 等. 禁渔初期东洞庭湖鱼类资源的空间分布与密度变化[J]. *南方水产科学*, 2022, 18(3): 48-56.]
- [49] Jia C Y, Duan X B, Yang H, et al. Spatial-temporal distribution of fish resources and biomass assessment in East Dongting Lake using hydroacoustic method[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(12): 2633-2641. [贾春艳, 段辛斌, 杨浩, 等. 基于水声学的东洞庭湖鱼类资源时空分布与资源量评估[J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(12): 2633-2641.]
- [50] Reynolds J D, Mace G M, Redford K H, et al. *Conservation of Exploited Species*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.
- [51] 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.]
- [52] Jennings S. Patterns and prediction of population recovery in marine reserves[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2000, 10(2): 209-231.
- [53] Abesamis R A, Green A L, Russ G R, et al. The intrinsic vulnerability to fishing of coral reef fishes and their differential recovery in fishery closures[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 2014, 24(4): 1033-1063.
- [54] Hutchings J A, Reynolds J D. Marine fish population collapses: Consequences for recovery and extinction risk[J]. *BioScience*, 2004, 54(4): 297-309.
- [55] Wu J M, Li L K, Cheng P L, et al. Species identification and resource dynamics of *Coilia nasus* in the Poyang Lake[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(6): 743-750. [吴金明, 李乐康, 程佩琳, 等. 鄱阳湖刀鲚的鉴定与资源动态研究[J]. *中国水产科学*, 2021, 28(6): 743-750.]
- [56] Ma F J, Yang Y P, Fang D A, et al. Characteristics of *Coilia nasus* resources after fishing ban in the Yangtze River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, 46(10): 1580-1590. [马凤娇, 杨彦平, 方弟安, 等. 长江禁捕后长江口刀鲚资源特征[J]. *水生生物学报*, 2022, 46(10): 1580-1590.]
- [57] Maliao R J, White A T, Maypa A P, et al. Trajectories and magnitude of change in coral reef fish populations in Philippine marine reserves: A meta-analysis[J]. *Coral Reefs*, 2009, 28(4): 809-822.
- [58] Zhu S Q. The synopsis of freshwater fishes of China[M].

- Nanjing: Phoenix Science Press, 1995. [朱松泉. 中国淡水鱼类检索[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995.]
- [59] Wang Y P, Kuang Z, Lin D Q, et al. Community structure and species diversity of fish around the Xinzhou shoal in the Anqing section of the Yangtze River, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(7): 2417-2426. [王银平, 匡箴, 蔺丹清, 等. 长江安庆新洲水域鱼类群落结构及多样性[J]. *生态学报*, 2020, 40(7): 2417-2426.]
- [60] Ru H J, Wang H J, Zhao W H, et al. Fishes in the main stream of the Yellow River: Assemblage characteristics and historical changes[J]. *Biodiversity Science*, 2010, 18(2): 169-174. [茹辉军, 王海军, 赵伟华, 等. 黄河干流鱼类群落特征及其历史变化[J]. *生物多样性*, 2010, 18(2): 169-174.]
- [61] Chen X H, Li X P, Cheng X. Spatial-temporal distribution of fish assemblages in the upstreams of Huangpu River and Suzhou Creek[J]. *Biodiversity Science*, 2008, 16(2): 191-196. [陈小华, 李小平, 程曦. 黄浦江和苏州河上游鱼类多样性组成的时空特征[J]. *生物多样性*, 2008, 16(2): 191-196.]
- [62] Li J, Li X H, Tan X C, et al. Species diversity of fish community of Provincial Xijiang River Rare Fishes Natural Reserve in Zhaoqing City, Guangdong Province[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2009, 21(4): 556-562. [李捷, 李新辉, 谭细畅, 等. 广东肇庆西江珍稀鱼类省级自然保护区鱼类多样性[J]. *湖泊科学*, 2009, 21(4): 556-562.]
- [63] Xiong X. Preliminary studies on the biology and stock biomass of *Rhinogobio cylindricus* Günther[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2013. [熊星. 圆筒吻鲃(*Rhinogobio cylindricus* Günther)基础生物学及资源量研究[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2013.]
- [64] The Fish Laboratory of Institute Hydrobiology of Hubei Province. Fishes from the Yangtze[M]. Beijing: Science Press, 1976. [湖北省水生生物研究所鱼类研究室. 长江鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1976.]
- [65] Basille M, Calenge C, Marboutin É, et al. Assessing habitat selection using multivariate statistics: Some refinements of the ecological-niche factor analysis[J]. *Ecological Modelling*, 2008, 211(1-2): 233-240.
- [66] Yang Y H, Zhou J S, Lu L, et al. A comparison study on morphological character and serum biochemical parameters between *Silurus lanzhouensis* and *Silurus asotus*[J]. *Journal of Hydroecology*, 2013, 34(1): 87-91. [杨元昊, 周继术, 卢玲, 等. 兰州鲇与鲇形态特征和血清生化指标的比较研究[J]. *水生生态学杂志*, 2013, 34(1): 87-91.]
- [67] Li Y X. Reproductive ecology of anadromous *Coilia ectenes* in the Yangtze River[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2009. [黎雨轩. 长江洄游性刀鲚的繁殖生态学研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2009.]
- [68] Welcomme R L. The biology and ecology of the fishes of a small tropical stream[J]. *Journal of Zoology*, 1969, 158(4): 485-529.
- [69] Xiong F, Liu H Y, Duan X B, et al. Population parameters of *Rhinogobio typus* in the Jiangjin section of the upper Yangtze River[J]. *Freshwater Fisheries*, 2018, 48(6): 27-32. [熊飞, 刘红艳, 段辛斌, 等. 长江上游江津江段吻鲃的种群参数[J]. *淡水渔业*, 2018, 48(6): 27-32.]
- [70] Thepaper.cn. Predatory *Elopichthys bambusa* congregate in the Three Gorges Dam area[EB/OL]. (2023-05-30). https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_23279738. [澎湃新闻. 掠食性鳊鱼聚集三峡坝区! [EB/OL]. (2023-05-30). https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_23279738.]
- [71] Zhou H, Li Y, Zhang J F, et al. Chishui River: A national experimental base for protecting rare fish in the Yangtze River[J]. *Science World*, 2017(5): 45. [周虹, 李洋, 张家发, 等. 赤水河: 保护长江珍稀鱼类的国家级试验基地[J]. *科学世界*, 2017(5): 45.]
- [72] Chang J B, Cao W X. Fishery significance of the river-communicating lakes and strategies for the management of fish resources[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, 8(2): 153-157. [常剑波, 曹文宣. 通江湖泊的渔业意义及其资源管理对策[J]. *长江流域资源与环境*, 1999, 8(2): 153-157.]
- [73] Wu X T, Ding X X, Jiang X, et al. Variations in the mean trophic level and large fish index of fish community in Haizhou Bay, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(8): 2829-2836. [吴筱桐, 丁翔翔, 江旭, 等. 海州湾鱼类群落平均营养级和大型鱼类指数的变化特征[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(8): 2829-2836.]
- [74] Shephard S, Fung T, Rossberg A G, et al. Modelling recovery of Celtic Sea demersal fish community size-structure[J]. *Fisheries Research*, 2013, 140: 91-95.
- [75] Yan T M, He J Y, Yang D Y, et al. Fish community structure and biomass particle-size spectrum in the upper reaches of the Jinsha River (China)[J]. *Animals*, 2022, 12: 3412.
- [76] Wang Y B, Wang Y C, Liu S D, et al. Stock assessment using LBB method for eight fish species from the Bohai and Yellow Seas[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 164-170.
- [77] Hou G, Zhang H, Wang J R, et al. Stock assessment of 19 Perciformes in the Beibu Gulf, China, using a length-based Bayesian biomass method[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2021, 8: 731837.
- [78] Murphy B R, Willis D W, Springer T A. The relative weight index in fisheries management: Status and needs[J]. *Fisheries*, 1991, 16(2): 30-38.

- [79] He J X, Bence J R, Roseman E F, et al. Using time-varying asymptotic length and body condition of top piscivores to indicate ecosystem regime shift in the main basin of Lake Huron: A Bayesian hierarchical modeling approach[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2016, 73(7): 1092-1103.
- [80] Haberle I, Bavčević L, Klanjscek T. Fish condition as an indicator of stock status: Insights from condition index in a food-limiting environment[J]. Fish and Fisheries, 2023, 24(4): 567-581.

Changes in fish body length in the Yangtze River and its indicative effect on resource recovery

ZHANG Yingyu^{1,2}, DONG Fang¹, FANG Kang¹, WAN Chaoyang¹, LIU Huangxin¹, Gai Shuaishuai¹, WU Jinming¹, DU Hao¹, ZHANG Man², ZHANG Hui¹

1. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences; Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430223, China
2. College of Fisheries, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China

Abstract: To scientifically implement the conservation actions (ten-year fishing ban) on fish biodiversity in the Yangtze River, it is necessary to understand the dynamic changes in fish resources. Through a combination of literature research and field surveys, this study conducted a quantitative analysis of the changes in body length of representative Yangtze River fish since the 1980s and explored the indicative role of these changes in resource recovery. The research results showed that: 1) analysis of body length changes in seven typical fish species in the Yichang River section over the past 10 to 40 years revealed these changes are closely related to biological characteristics; high resource base values, wide-ranging feeding habits, low age of sexual maturity, and strong fecundity were associated with greater increase in body length after the fishing ban; 2) analysis of the body length of fish communities in the four waters of the Yichang reach, Jinsha River, Chishui River, and Dongting Lake over the past 20 to 40 years shows that changes can be roughly divided into three stages: decline, fluctuating increase, and obvious increase. This corresponds well with the progress of the fishing ban. 3) The average body length of *Coreius heterodon* and dominant fish communities in the Yichang River section is positively correlated with the catch per unit fishing effort (correlation coefficients are 0.66 and 0.88 respectively), indicating that the fish body length is closely related to resource abundance. 4) The analysis and prediction of the body length of the fish community in the Yichang River section based on the logistic curve showed that the value would reach 1.22 by 2030, which is close to the characteristic value in the 1980s. This suggests that fish resources in the river section can be restored to the resource levels of the 1980s by 2030. This study found that changes in fish body length in natural waters are closely related to the health status of populations and communities and have a good indicative effect on resource abundance and changes. The body length of fish can be used as an important reference indicator for routine monitoring of fish resources in the Yangtze River.

Key words: fish body length; monitoring; resource assessment; resource conservation; the Yangtze River

Corresponding author: ZHANG Hui. E-mail: zhanghui@yfi.ac.cn