

文章编号: 1674-5566(2023)04-0841-11

DOI:10.12024/jsou.20230204075

3 种鲃亚科鱼类对不同禁捕策略的响应

李昊轩^{1,2}, 邓文博^{2,3}, 郭茜茜^{2,3}, 陶 昆², 冯 凯², 苑 晶², 刘家寿²,
成永旭¹, 王齐东²

(1. 上海海洋大学 农业农村部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306; 2. 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; 3. 华中农业大学 水产学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 为阐明不同湖泊禁捕策略对 3 种鲃类的种群动态与生态位重叠的影响, 本研究选取全年禁捕湖泊西凉湖与季节性禁捕湖泊斧头湖为研究地点, 翘嘴鲃 (*Culter alburnus*)、达氏鲃 (*Culter dabryi*) 和红鳍原鲃 (*Cultrichthys erythropterus*) 为研究对象, 分析鱼类单位捕捞努力生物量、单位捕捞努力质量、全长、体质量与饱满度指数等种群动力参数; 采用稳定同位素技术分析鲃类的食物来源及贡献率, 比较不同禁捕策略湖泊中的 3 种鲃类的时空生态位宽度、营养生态位宽度及重叠指数。结果表明: 全年禁捕湖泊中的 3 种鲃类的单位捕捞努力生物量显著高于季节性禁捕湖泊, 且全长分布范围比季节性禁捕湖泊更广; 季节性禁捕湖泊中, 3 种鲃类的时空生态位显著重叠; 全年禁捕湖泊中, 3 种鲃类具有更广的营养生态位宽度。研究结果将为长江流域重点水域的禁捕制度的完善和渔业资源的持续利用提供科学依据。

关键词: 禁捕策略; 鲃亚科鱼类; 渔业资源; 时空生态位; 营养生态位

中图分类号: S 937 **文献标志码:** A

捕捞渔业为人类供给了大量的蛋白质, 也创造了大量的就业机会及可观的经济效益。据联合国粮农组织 (Food and agriculture organization, FAO) 报道, 2020 年全球淡水捕捞量约为 1 150 万 t, 海洋捕捞约 7 880 万 t^[1]。然而, 长期存在的掠夺式渔业捕捞造成了天然水域的鱼类种群结构发生变化, 渔业资源遭受不可逆的损害^[2-3]。高强度的捕捞压力不仅会显著降低鱼类群落生物量、丰度及多样性^[4], 也会影响鱼类群落的平均体长^[5]。除此之外, 有研究^[6]发现捕捞压力与鱼类营养结构呈负相关; 陈作志等^[7]对比研究了 20 世纪 60 年代与 90 年代我国北部湾的渔业资源数据, 发现不断增加的捕捞强度显著改变了北部湾生态系统的结构与功能, 高营养级鱼类生物量显著下降。

捕捞过程中的选择性“捕大留小”不仅对鱼类群落结构产生影响, 还会对鱼类种群结构产生影响^[8-9]。有研究^[10]表明, 大体型的鱼类有着更

高的繁殖能力, 其后代也具有更高的存活率。VAN WIJK 等^[11]利用模拟实验的方式, 证实了针对大个体的选择性捕捞加速了鱼类朝小型化的方向演替, 不利于种群遗传多样性维持。因此, 了解鱼类全长与体质量等种群动态参数是鱼类保护与管理的重要基础^[12-13]。

生态位 (Niche) 是指生物在与其他生物、环境相互作用中实际在生态系统中所占据的位置^[14]。生态位宽度反映种群对时空及资源的利用能力, 生态位重叠能反映物种对资源选择的相似性, 其本质是资源的竞争^[15]。特定物种在完整生活史过程中可能跨越 2~3 个营养级, 而平均营养级会随着捕捞强度的增加而下降, 其目的是为了缓解捕捞对物种生态位的影响^[16-17]。为降低资源竞争, 物种通常会出现生态位的分化。例如: MATLEY 等^[18]研究了澳大利亚昆士兰海域两种石斑鱼的共存机制, 发现营养生态位高度重叠的鱼类可通过异化空间利用形式达到共存; 陈亚

收稿日期: 2023-02-06 修回日期: 2023-05-11

基金项目: 国家自然科学基金 (32002396); 中国科学院青年创新促进会项目 (2022344)

作者简介: 李昊轩 (1997—), 男, 硕士研究生, 研究方向为渔业生态学。E-mail: 13262527513@163.com

通信作者: 王齐东, E-mail: wangqd@ihb.ac.cn

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部 (CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydx.com>

东等^[19]研究表明,营养生态位的分化将导致时空生态位重叠降低,从而减少竞争以实现共存。

为了保护、恢复与可持续利用鱼类资源,禁渔区和禁渔期制度被全球各类型水域广泛的实行,并取得了一定的成效^[20]。PEREIRA等^[21]对禁捕两年后的保护区进行调查,研究发现禁捕后保护区鱼类的丰度、多样性及体长均有显著增加;同样有研究^[22]表明,大型鱼食性鱼类的平均密度和多样性与保护期限呈显著正相关,并且鱼类资源的恢复还能同步提高临近非保护区的渔业捕捞产量。2021年1月我国宣布开始实施长江十年禁渔计划(10-year fishing ban),长江干流和重要支流等天然水域十年期间禁止天然渔业资源的生产性捕捞^[23],位于长江中游的西凉湖与斧头湖为毗邻湖泊。目前,两处湖泊实行不同的渔业管理办法,其中,西凉湖作为国家级水产种质资源保护区实行全年禁捕,斧头湖在每年4—10月进行季节性禁捕管理,其他时间开放捕捞。

为此,本研究选取西凉湖与斧头湖的3种鮡类作为研究对象。鮡类是常见的淡水鱼食性鱼类,在内陆捕捞渔业中占重要的地位^[24-25],长江

中下游湖泊中常见的鮡类包括翘嘴鮡(*Culter alburnus*)、达氏鮡(*Culter dabryi*)、红鳍原鮡(*Cultrichthys erythropterus*),它们同隶属于鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae)鮡亚科(Cultrinae)。分别分析鱼类单位捕捞努力生物量、单位捕捞努力质量、全长、体质量与肥满度指数等^[26],分析3种鮡类的时空生态位宽度与重叠指数,并采用稳定同位素方法^[27-28]评估鮡类的营养生态位,阐明不同禁捕策略对3种鮡类的种群动态与生态位重叠的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区域

西凉湖(114°00'E~114°10'E, 29°51'N~30°02'N)湖区面积85.2 km²,属国家级水产种质资源保护区,2017年完全拆除围栏养殖后,2018年作为332个长江流域水生生物保护区之一率先实行全面禁捕;斧头湖(114°10'E~114°15'E, 29°56'N~30°07'N)湖区面积126.0 km²,2017年完全拆除围栏养殖后,实行季节性禁捕,禁渔期为每年4—10月(图1)。

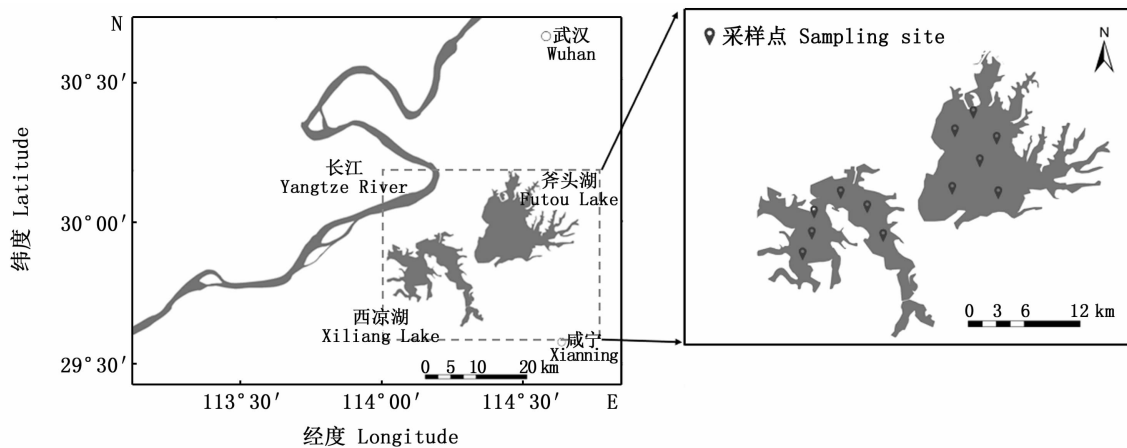


图1 西凉湖、斧头湖地理位置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the geographic location of Xiliang Lake and Futou Lake

1.2 鱼类种群调查与分析

2022年4月12—17日、7月20—27日、10月18—25日分别在斧头湖和西凉湖开展了鱼类群落调查,两个湖泊分别设置6个采样点(图1)。鱼类采集使用定制多网目复合刺网(高2.0 m,长30.0 m,共分为12个网目,网目2a分别为1.0、1.6、2.0、2.5、3.1、4.0、4.8、6.0、7.5、8.5、11.0、

12.5 cm, a为网眼边长)和地笼(长15 m,宽0.4 m,高0.3 m,网目2a为1.0 cm,两侧各有20个入口)。每个站点分别布置3条浮网、3条沉网、3条地笼,定置时间自18:00至翌日6:00共12 h。鱼类鉴定到种,种类鉴定参考包括《中国动物志硬骨鱼纲》和《湖北鱼类志》,鉴定后测量鱼类全长(精确至1 mm)、体质量(精确至0.01 g),

并采集肌肉组织样本。

统计以 1 条沉网、1 条浮网、1 条地笼为 1 组网具单元,换算单位捕捞努力生物量 [NPUE, ind./ (net · h)] 和单位捕捞努力质量 [BPUE, g/ (net · h)]。

1.3 稳定同位素样品采集与分析

鱼类样本鉴定测量后,采集背鳍与侧线之间的白肌,用去离子水反复冲洗后放入 5 mL 离心管, -20 °C 冷冻保存。大型无脊椎底栖动物等稳定同位素样品均用去离子水反复冲洗后放入 5 mL 离心管, -20 °C 冷冻保存。所有样品经 65 °C 烘箱烘干 48 h 至恒重,然后研磨成细粉状放入干燥器备用。

稳定同位素的测定仪器为 Delta Plus Finnigan 同位素比率质谱仪, $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 测定使用的标准物质分别为 VPDB (Pee Dee Belemnite) 和纯化的大气中的氮气。

碳、氮稳定同位素比值表示为

$$\delta R = (X_{\text{sample}} - X_{\text{standard}}) / X_{\text{standard}} \times 1000 \quad (1)$$

式中: R 为 ^{13}C 或 ^{15}N ; X_{sample} 和 X_{standard} 分别为样品和标准物质中的 ^{13}C 或 ^{15}N 的同位素比值。

1.4 生态位宽度与重叠指数

采用 Shannon 指数计算时间与空间生态位宽度^[29-30], 公式如下:

$$B_i = - \sum_{j=1}^R (P_{ij} \ln P_{ij}) \quad (2)$$

采用 Pianka 指数计算时间与空间生态位重叠指数^[31], 公式如下:

$$Q_{ik} = \sum_{j=1}^R P_{ij} P_{kj} / \sqrt{\sum_{j=1}^R P_{ij}^2 \sum_{j=1}^R P_{kj}^2} \quad (3)$$

式中: B_i 为生态位宽度指数; P_{ij} 与 P_{kj} 分别为 i 和 k 在第 j 个资源状态下的个体数占该种所有个体数的比例; j 为某个站位; R 为总站位数; Q_{ik} 为生态位重叠指数, 其值介于 0~1, 当 $Q_{ik} > 0.3$ 时视为有重叠意义, 当 $Q_{ik} > 0.6$ 时视为显著重叠^[32]。

物种的多维生态位特征值采用各维生态位特征值的乘积来表示, 即时空生态位宽度 (重叠) = 时间生态位宽度 (重叠) × 空间生态位宽度 (重叠)^[33]。

LAYMAN 等^[34] 提出了一系列针对 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{15}\text{N}$ 稳定同位素比率的度量标准, 其中以 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ 双位图中所包围多边形的总面积 (Total area, TA) 表示营养生态位宽度。实际运用中 TA 易受样本容量与种类数量的限制, 故而采用计算

标准椭圆面积 (Standard ellipse area, SEA) 代替 TA 作为营养生态位宽度的度量标准^[35]。针对样本量较小的研究, 常采用校正后的标准椭圆面积 (A corrected standard ellipse, SEAc) 来表示营养生态位宽度^[36]。

1.5 统计分析

采用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 进行显著性检验, 采用对数、平方根或平方转换以满足数据正态分布和方差齐性。数据分析用 SPSS version 20.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA), 统计结果中 $P < 0.05$ 定义有统计学差异。食物源贡献率使用 R 4.2.0 (R core development team, 2022) 中 “Simmer” 程序包计算; 使用 “Spaa” 程序包计算时空生态位宽度与重叠指数; 使用 “Siber” 程序包计算营养生态位宽度、重叠指数等参数。文中所有绘图均在 Origin 2021 (OriginLab, Inc., Northampton, MA, USA) 中完成。

采用幂函数公式 $W = a \cdot L^b$ 拟合全长与体质量数据, 估算参数 a 和 b ^[37], 生长状况肥满度用 Ricker 相对状态指数 (Relative condition factor, K') 表示^[38]。

Ricker 相对状态指数 (K') 计算公式如下:

$$K' = (W/L^b) \times 100 \quad (4)$$

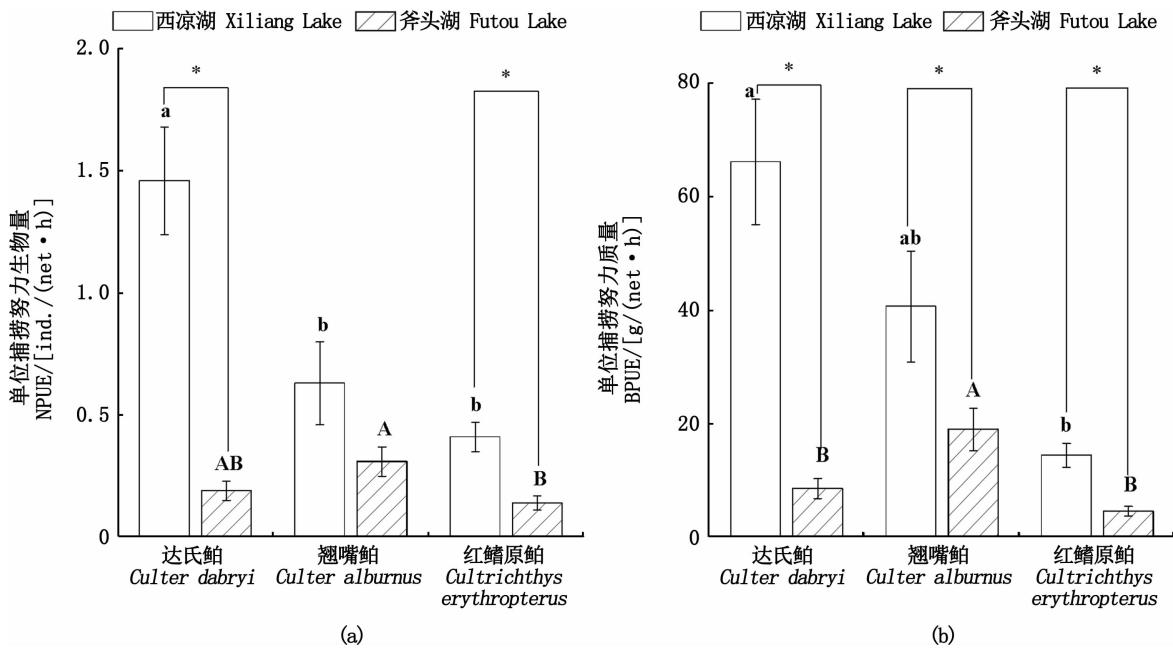
式中: W 为鱼类体质量, g; L 为鱼类全长, cm。

2 结果

2.1 群落分析

西凉湖中的 3 种鲇类的单位捕捞努力生物量均高于斧头湖。在西凉湖, 达氏鲇 [1.46 ind./ (net · h)] 的单位捕捞努力生物量最高, 其次为翘嘴鲇 [0.63 ind./ (net · h)] 和红鳍原鲇 [0.14 ind./ (net · h)]。在斧头湖, 翘嘴鲇 [0.31 ind./ (net · h)] 的单位捕捞努力生物量最高, 其次为达氏鲇 [0.19 ind./ (net · h)] 和红鳍原鲇 [0.14 ind./ (net · h)]。见图 2。

西凉湖中的 3 种鲇类单位捕捞努力质量同样均高于斧头湖。在西凉湖, 达氏鲇 [66.18 g/ (net · h)] 的单位捕捞努力质量最高, 其次为翘嘴鲇 [40.69 g/ (net · h)] 和红鳍原鲇 [14.51 g/ (net · h)]; 在斧头湖, 翘嘴鲇 [19.06 g/ (net · h)] 的单位捕捞努力质量最高, 其次为达氏鲇 [8.65 g/ (net · h)] 和红鳍原鲇 [4.67 g/ (net · h)]。见图 2。



大写字母与小写字母分别为斧头湖与西凉湖 3 种鲃类之间的显著性, * 为同一种鲃类在两湖之间的显著性;字母不同或标注 * 为各实验组之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

Uppercase and lowercase letters represent the significance of three cultrinae fishes respectively in Futou Lake and Xiliang Lake, while * represents the significance of the same species of cultrinae between the two lakes; Values with the same letters or marked * are not significantly different ($P < 0.05$).

图 2 3 种鲃类 NPUE 与 BPUE 统计
Fig. 2 NPUE and BPUE statistics of three cultrinae fishes

2.2 全长频数分布统计

西凉湖与斧头湖中的翘嘴鲃的平均全长分别为 (220.23 ± 0.86) mm 与 (213.30 ± 1.22) mm; 西凉湖与斧头湖中的红鳍原鲃的平均全长分别为 (162.94 ± 0.80) mm 与 (173.71 ± 3.76) mm; 西凉湖与斧头湖中的达氏鲃的平均全长分别为 (195.29 ± 2.09) mm 与 (199.48 ± 1.85) mm。见图 3。

西凉湖与斧头湖中的 3 种鲃类的平均全长无显著差异 ($P < 0.05$), 而西凉湖中的鱼类全长分布范围比季节性禁捕湖泊更宽。例如, 西凉湖与斧头湖中的翘嘴鲃的全长范围分别为 116 ~ 612 mm 与 126 ~ 435 mm; 红鳍原鲃分别为 93 ~ 390 mm 与 115 ~ 240 mm; 达氏鲃分别为 90 ~

390 mm 与 103 ~ 252 mm。见图 3。

2.3 生长状态分析

Ricker 相对状态指数可指示物种的肥满度。西凉湖和斧头湖中的翘嘴鲃的 Ricker 相对状态指数无显著差异 ($P > 0.05$), 而西凉湖和斧头湖中的达氏鲃与红鳍原鲃的 Ricker 相对状态指数均呈显著差异 ($P < 0.05$)。西凉湖中的达氏鲃的 Ricker 相对状态指数显著低于斧头湖 ($P < 0.05$), 分别为 0.39 与 0.58; 西凉湖中的红鳍原鲃的 Ricker 相对状态指数显著低于斧头湖 ($P < 0.05$), 分别为 0.34 与 0.67。总体上, 全年禁捕湖泊中的 Ricker 相对状态指数小于季节性禁捕湖泊 (表 1 和图 4)。

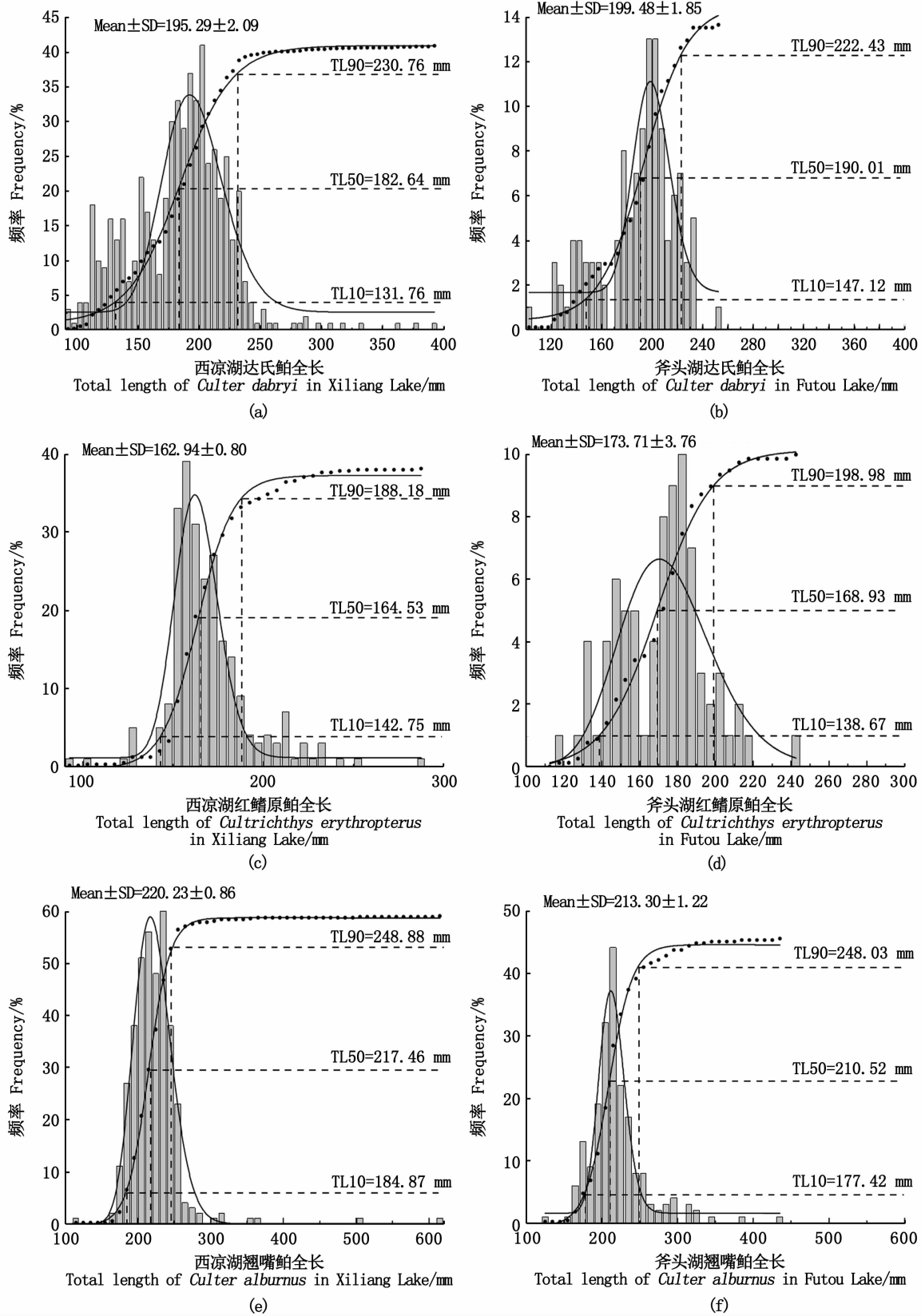


图 3 3 种鲃类全长频率分布统计

Fig. 3 Statistics of total length frequency distribution of three cultrinae fishes

表 1 西凉湖与斧头湖中的 3 种鲌类的全长-体质量关系式参数

Tab. 1 Parameters of length-body mass relationships for three cultrinae fishes in Xiliang Lake and Futou Lake

物种 Species	湖泊 Lakes	<i>n</i>	<i>b</i>	<i>r</i> ²
达氏鲌 <i>Culter dabryi</i>	西凉湖 Xiliang Lake	548	3.188 9	0.980 9
	斧头湖 Futou Lake	120	3.042 6	0.968 7
红鳍原鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	西凉湖 Xiliang Lake	246	3.257 4	0.958 5
	斧头湖 Futou Lake	79	3.027 2	0.962 9
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	西凉湖 Xiliang Lake	371	2.845 0	0.954 8
	斧头湖 Futou Lake	200	2.851 6	0.977 0

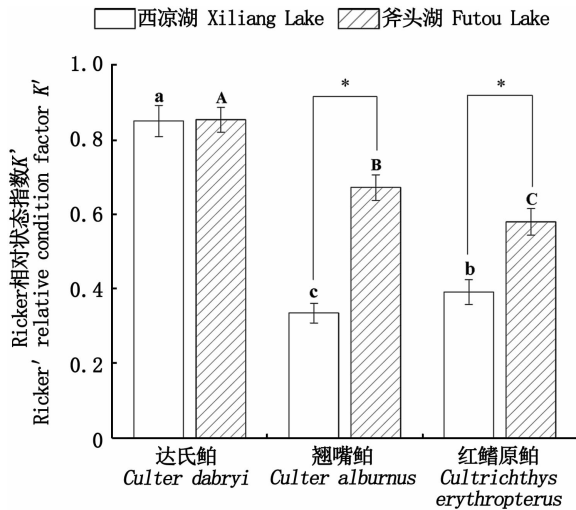


图 4 3 种鲌类 Ricker 相对状态指数
Fig. 4 Ricker' Relative condition factor of three cultrinae fishes

大写字母与小写字母分别为斧头湖与西凉湖 3 种鲌类之间的显著性, * 为同一种鲌类在两湖之间的显著性;字母不同或标注 * 为各实验组之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。Uppercase and lowercase letters represent the significance of three cultrinae fishes respectively in Futou Lake and Xiliang Lake, while * represents the significance of the same species of cultrinae between the two lakes; Values with the same letters or marked * are not significantly different ($P < 0.05$).

2.4 生态位宽度与重叠指数

西凉湖中的鲌类的时间生态位宽度为 0.693 6~0.945 1,斧头湖中的鲌类的时间生态位

宽度为 0.615 5~1.007 2,最大值均为红鳍原鲌。西凉湖中的鲌类的空间生态位宽度为 2.144 1~2.496 1,斧头湖中的鲌类的空间生态位宽度为 2.300 5~2.474 6,最大值也为红鳍原鲌;综合时间与空间生态位宽度,西凉湖中的鲌类的时空生态位宽度为 1.487 1~2.359 1,斧头湖中的鲌类的为 1.416 0~2.492 4(表 2)。

西凉湖中的红鳍原鲌与翘嘴鲌的时空生态位具有显著重叠 (64.55% > 60%),而达氏鲌与其他种类间均没有重叠 (< 30%);斧头湖中的 3 种鲌类的时空生态位均具有显著重叠 (> 60%),甚至达氏鲌与翘嘴鲌之间重叠达到了 89.08% (表 3)。

西凉湖与斧头湖中的 3 种鲌类的食物源结构及贡献比例的分析结果表明,鲫 (*Carassius auratus*) 对鲌类的食物贡献率差异较大,分别为 65% 和 9%,其他饵料生物对西凉湖中的鲌类的贡献率均小于斧头湖(图 5)。

西凉湖与斧头湖中的 3 种鲌类的营养生态位宽度分别为 3.9 与 2.1(表 4),全年禁捕湖泊中的鲌类拥有更广的食物来源。西凉湖和斧头湖中的鲌类的营养生态位重叠指数为 9.66%,表明西凉湖和斧头湖中的 3 种鲌类的食源结构具有显著差异。

表 2 西凉湖与斧头湖中的 3 种鲌类时空生态位宽度

Tab. 2 Temporal-spatial niche breadth for three cultrinae fishes in Xiliang Lake and Futou Lake

物种 Species	湖泊 Lakes	时间生态位宽度 Temporal niche breadth	空间生态位宽度 Spatial niche breadth	时空生态位宽度 Temporal-spatial niche breadth
达氏鲌 <i>Culter dabryi</i>	西凉湖 Xiliang Lake	0.926 9	2.391 9	2.217 1
	斧头湖 Futou Lake	0.699 6	2.328 6	1.629 1
红鳍原鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	西凉湖 Xiliang Lake	0.945 1	2.496 1	2.359 1
	斧头湖 Futou Lake	1.007 2	2.474 6	2.492 4
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	西凉湖 Xiliang Lake	0.693 6	2.144 1	1.487 1
	斧头湖 Futou Lake	0.615 5	2.300 5	1.416 0

表 3 西凉湖与斧头湖中 3 种鲌类的时空生态位重叠指数

Tab. 3 Temporal-spatial niche overlap of three cultrinae fishes in different lakes

物种 Species	翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	红鳍原鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	达氏鲌 <i>Culter dabryi</i>
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>		65.68	89.08
红鳍原鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	64.55		62.20
达氏鲌 <i>Culter dabryi</i>	19.55	17.82	

注:主对角线以下为西凉湖时空生态位重叠指数;主对角线以上为斧头湖时空生态位重叠指数。

Notes: Values under the main diagonal are Xiliang Lake's temporal-spatial niche overlap; Values above the main diagonal are Futou Lake's temporal-spatial niche overlap.

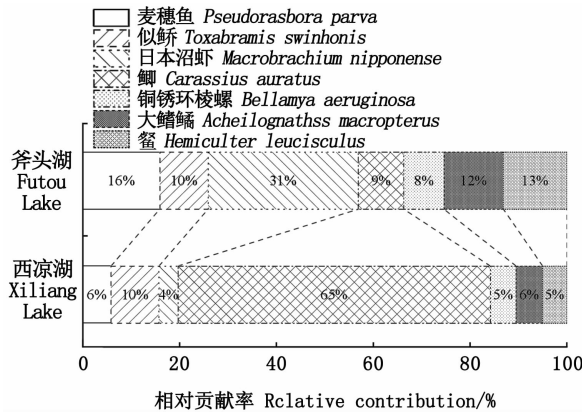


图 5 西凉湖和斧头湖中的 3 种鲌类的食物源贡献率

Fig. 5 Food contribution to three cultrinae fishes in different lakes/%

3 讨论

实行全年禁捕的保护区可有效恢复特定种类的鱼类生物量与密度^[39],本研究发现在全年禁

捕湖泊中的 3 种鲌类的单位捕捞努力生物量均显著高于季节性禁捕湖泊。更为重要的是,全年禁捕湖泊中的 3 种鲌类的全长分布范围更广,尤其是大个体体长更大,而季节性禁捕湖泊明显较窄,这与 GALAL 等^[40]在红海 Nabq 自然保护区 5 年连续研究的结果一致。

全年禁捕和季节性禁捕湖泊中的 3 种鲌类全长未呈显著差异,原因可能包括两个方面:一方面,全年禁捕使得西凉湖的鱼类资源有所恢复,但偷捕、垂钓等小规模捕捞活动仍会对鱼类资源造成影响^[41];另一方面,季节性禁捕能保障特定种类的鱼类资源在短时间内有所恢复。但是 WILLIAMS 等^[42]评估了跨度超过 20 年的间断性禁捕管理对保护区鱼类资源的影响,研究发现间断性的禁捕不足以弥补重新开捕带来的鱼类资源下降,这并不是一个有效的鱼类资源保护与恢复措施。

表 4 西凉湖和斧头湖中的 3 种鲌类的营养生态位宽度与重叠指数

Tab. 4 Trophic niche breadth and niche overlap of three cultrinae fishes in different lakes

指数 Index	湖泊 Lakes	
	西凉湖 Xiliang Lake	斧头湖 Futou Lake
营养生态位宽度 Trophic niche breadth	3.9	2.1
营养生态位重叠 Trophic niche overlap/%	9.66	

全年禁捕湖泊中的达氏鲌与其他 2 种鲌类均没有显著的时空生态位重叠,而在季节性禁捕湖泊中有显著重叠,其中与翘嘴鲌的时空生态位重叠指数达到 89.08% (表 3)。进一步的研究表明,3 种鲌类的食物组成相近,相互之间有较高的营养生态位重叠^[43-44]。尽管鱼类在营养生态位无显著分化,但可通过时空生态位分化来减少对资源的竞争,从而实现共存^[45]。

鱼类在不同生活史阶段会随其个体发育和栖息环境演变而产生对食物源利用的适应性

(Feeding flexibility)^[46],表现为食物组成的变化^[47-48],这种差异更多地受资源可获得性(Resource availability)的影响,而非鱼类的摄食偏好^[49-50]。全年禁捕湖泊中的 3 种鲌类的营养生态位宽度比季节性禁捕湖泊更高,同时全年禁捕湖泊中的 3 种鲌类摄食鱼类的比例更高,由此可见全年禁捕湖泊中的 3 种鲌类的猎物资源更丰富,为鲌类种群恢复提供了充足的食物资源。

LOCHAM 等^[51]研究发现,高营养级鱼类为了

捕猎其他鱼类,转而扩宽食物来源,选择捕猎在更小范围能更易获得的食物。鲇类体型侧扁,游泳迅速,性格凶猛,下颌伸展度大,有着较高的咬捕力度,故而有着捕食其他鱼类的性状^[52]。本研究发现,季节性禁捕湖泊中的鲇类食物源主要以日本沼虾以及小型鱼类为主,这与 LOCHAM 等^[51]的研究结果相似。ROMANUK 等^[53]研究发现,捕捞能改变鱼类种群的体型大小分布,从而影响鱼类口裂等功能性状,降低了鱼类营养级水平,其中鱼类的营养级水平与其体型大小呈显著正相关。本研究发现全年禁捕湖泊中的鲇类体型更大,因而在食物选择上更偏向体型更大的猎物,从而占据更广的营养生态位^[54]。

4 结论

在长江禁渔政策背景下,本文阐释了两种广泛实行的禁捕策略对长江中游典型湖泊中的3种鲇类种群动态与生态位重叠的影响,主要发现:(1)全年禁捕湖泊中的3种鲇类的单位捕捞努力生物量显著高于季节性禁捕湖泊,且鱼类全长分布范围比季节性禁捕湖泊更宽,尤其是大个体鱼类体长更大;(2)季节性禁捕湖泊中的3种鲇类的时空生态位显著重叠,表现较高的资源竞争;(3)全年禁渔湖泊中的3种鲇类具有更广的营养生态位宽度;本研究将为长江流域湖泊渔业资源养护与持续利用提供科学依据。

参考文献:

- [1] FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2022[R]. Rome: FAO, 2022.
- [2] ANDERSON C N K, HSIEH C H, SANDIN S A, et al. Why fishing magnifies fluctuations in fish abundance[J]. *Nature*, 2008, 452(7189): 835-839.
- [3] ZHOU S J, SMITH A D M, PUNT A E, et al. Ecosystem-based fisheries management requires a change to the selective fishing philosophy[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(21): 9485-9489.
- [4] LOKRANTZ J, NYSTRÖM M, NORSTRÖM A V, et al. Impacts of artisanal fishing on key functional groups and the potential vulnerability of coral reefs [J]. *Environmental Conservation*, 2009, 36(4): 327-337.
- [5] PET-SOEDE C, VAN DENSEN W L T, PET J S, et al. Impact of Indonesian coral reef fisheries on fish community structure and the resultant catch composition[J]. *Fisheries Research*, 2001, 51(1): 35-51.
- [6] CAMPBELL S J, MUKMININ A, KARTAWIJAYA T, et al. Changes in a coral reef fishery along a gradient of fishing pressure in an Indonesian marine protected area[J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2014, 24(1): 92-103.
- [7] 陈作志, 邱永松, 贾晓平, 等. 捕捞对北部湾海洋生态系统的影响[J]. *应用生态学报*, 2008, 19(7): 1604-1610. CHEN Z Z, QIU Y S, JIA X P, et al. Effects of fishing on the marine ecosystem of Beibu Gulf[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(7): 1604-1610.
- [8] 刘其根, 沈建忠, 陈马康, 等. 天然经济鱼类小型化问题的研究进展[J]. *上海水产大学学报*, 2005, 14(1): 79-83. LIU Q G, SHEN J Z, CHEN M K, et al. Advances of the study on the miniaturization of natural economical fish resources [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2005, 14(1): 79-83.
- [9] 梁振林, 闫伟, 孙鹏, 等. 刺网选择性对鱼类表型性状的选择作用研究[J]. *海洋与湖沼*, 2012, 43(2): 329-334. LIANG Z L, YAN W, SUN P, et al. A study on the impact of gillnet on the phenotypic traits of fish population [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, 43(2): 329-334.
- [10] MARSHALL D J, BODE M, MANGEL M, et al. Reproductive hyperallometry and managing the world's fisheries [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2021, 118(34): e2100695118.
- [11] VAN WIJK S J, TAYLOR M I, CREER S, et al. Experimental harvesting of fish populations drives genetically based shifts in body size and maturation[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2013, 11(4): 181-187.
- [12] 李忠炉, 金显仕, 单秀娟, 等. 小黄鱼体长-体质量关系和肥满度的年际变化[J]. *中国水产科学*, 2011, 18(3): 602-610. LI Z L, JIN X S, SHAN X J, et al. Inter-annual changes on body weight-length relationship and relative fatness of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(3): 602-610.
- [13] NALLATHAMBI M, JAYAKUMAR N, ARUMUGAM U, et al. Length-weight relationships of six tropical estuarine fish species from Pulicat lagoon, India [J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2020, 36(1): 125-127.
- [14] HUTCHINSON G E. Homage to Santa Rosalia or why are there so many kinds of animals? [J]. *The American Naturalist*, 1959, 93(870): 145-159.
- [15] LEA J S E, HUMPHRIES N E, BORTOLUZZI J, et al. At the turn of the tide: space use and habitat partitioning in two sympatric shark species is driven by tidal phase [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 624.
- [16] PAULY D, CHRISTENSEN V, DALSGAARD J, et al. Fishing down marine food webs [J]. *Science*, 1998, 279(5352): 860-863.

- [17] CADDY J F, CSIRKE J, GARCIA S M, et al. How pervasive is “fishing down marine food webs”? [J]. *Science*, 1998, 282(5393): 1383-1383.
- [18] MATLEY J K, HEUPEL M R, FISK A T, et al. Measuring niche overlap between co-occurring *Plectropomus* spp. Using acoustic telemetry and stable isotopes [J]. *Marine and Freshwater Research*, 2017, 68(8): 1468-1478.
- [19] 陈亚东, 任泷, 徐跑, 等. 昆承湖优势种鱼类时空-营养生态位[J]. *生态学报*, 2023, 43(4): 1655-1663.
CHEN Y D, REN L, XU P, et al. Spatio-temporal and trophic niche of dominant fish species in Kuncheng Lake[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(4): 1655-1663.
- [20] ROCHET M J, BENOÎT E. Fishing destabilizes the biomass flow in the marine size spectrum [J]. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2012, 279(1727): 284-292.
- [21] PEREIRA T J, MANIQUE J, QUINTELLA B R, et al. Changes in fish assemblage structure after implementation of Marine Protected Areas in the south western coast of Portugal [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2017, 135: 103-112.
- [22] RUSS G R, ALCALA A C. Do marine reserves export adult fish biomass? Evidence from Apo Island, Central Philippines [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1996, 132: 1-9.
- [23] WANG H J, WANG P Z, XU C, et al. Can the “10-year fishing ban” rescue biodiversity of the Yangtze River? [J]. *The Innovation*, 2022, 3(3): 100235.
- [24] 黄艳飞, 段国旗, 彭林平. 翘嘴鲈的资源现状和生物学特征综述[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(19): 10-13.
HUANG Y F, DUAN G Q, PENG L P. Reviews on the resource status and biological characteristics of *Cluterburnus* [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(19): 10-13.
- [25] 刘良国, 王文彬, 杨春英, 等. 洞庭湖水系资江干流鱼类资源现状调查[J]. *南方水产科学*, 2014, 10(2): 1-10.
LIU L G, WANG W B, YANG C Y, et al. Survey on status of fish resources in mainstream of Zijiang River of Dongting Lake water system [J]. *South China Fisheries Science*, 2014, 10(2): 1-10.
- [26] JONES R E, PETRELL R J, PAULY D. Using modified length - weight relationships to assess the condition of fish [J]. *Aquacultural Engineering*, 1999, 20(4): 261-276.
- [27] BOECKLEN W J, YARNES C T, COOK B A, et al. On the use of stable isotopes in trophic ecology [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2011, 42: 411-440.
- [28] GRALL J, LE LOC'H F, GUYONNET B, et al. Community structure and food web based on stable isotopes ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) analysis of a North Eastern Atlantic maerl bed [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 338(1): 1-15.
- [29] SHANNON C E, WEAVER W. The mathematical theory of communication [M]. Urbana: The University of Illinois Press, 1949.
- [30] MARSHALL S, ELLIOTT M. A comparison of univariate and multivariate numerical and graphical techniques for determining inter- and intraspecific feeding relationships in estuarine fish [J]. *Journal of Fish Biology*, 1997, 51(3): 526-545.
- [31] PIANKA E R. The structure of lizard communities [J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4: 53-74.
- [32] KREBS C J. *Ecological methodology* [M]. New York: Harper & Row Publishers, 1998.
- [33] MAY R M. Some notes on estimating the competition matrix [J]. *Ecology*, 1975, 56(3): 737-741.
- [34] LAYMAN C A, ARRINGTON D A, MONTAÑA C G, et al. Can stable isotope ratios provide for community-wide measures of trophic structure? [J]. *Ecology*, 2007, 88(1): 42-48.
- [35] JACKSON A L, INGER R, PARNELL A C, et al. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER-Stable Isotope Bayesian Ellipses in R [J]. *Journal of Animal Ecology*, 2011, 80(3): 595-602.
- [36] SWANSON H K, LYSY M, POWER M, et al. A new probabilistic method for quantifying *n*-dimensional ecological niches and niche overlap [J]. *Ecology*, 2015, 96(2): 318-324.
- [37] 朱立新, 刘金殿, 梁振林. 一种稳健的贝叶斯方法在威海近海白姑鱼体长与体重关系研究中的应用 [J]. *海洋湖沼通报*, 2017(1): 109-121.
ZHU L X, LIU J D, LIANG Z L. Application of a robust Bayesian method in studying on the weight-length relationship of silver croaker *Pennahia argentata* inhabiting the coastal water of Weihai [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2017(1): 109-121.
- [38] 戴强, 戴建洪, 李成, 等. 关于肥满度指数的讨论 [J]. *应用与环境生物学报*, 2006, 12(5): 715-718.
DAI Q, DAI J H, LI C, et al. Discussion on relative fatness [J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2006, 12(5): 715-718.
- [39] HALPERN B S, WARNER R R. Marine reserves have rapid and lasting effects [J]. *Ecology Letters*, 2002, 5(3): 361-366.
- [40] GALAL N, ORMOND R F G, HASSAN O. Effect of a network of no-take reserves in increasing catch per unit effort and stocks of exploited reef fish at Nabq, South Sinai, Egypt [J]. *Marine and Freshwater Research*, 2002, 53(2): 199-205.
- [41] SHEARS N T, USMAR N R. Response of reef fish to partial and no-take protection at Mayor Island (Tuhua) [M]. Wellington: Science & Technical Publishing, 2006.
- [42] WILLIAMS I D, WALSH W J, MIYASAKA A, et al. Effects of rotational closure on coral reef fishes in Waikiki-Diamond Head Fishery Management Area, Oahu, Hawaii [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2006, 310: 139-149.

- [43] 肖善势, 张爱菊, 刘金殿, 等. 千峡湖三种肉食性鱼类肠道微生物群落结构分析[J]. 水产学杂志, 2022, 35(3): 73-79.
XIAO S S, ZHANG A J, LIU J D, et al. Analysis on intestine microbial community structure of three carnivorous fishes in QianxiaLake, China [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2022, 35(3): 73-79.
- [44] 徐瑛, 祝孔豪, 郭钰伦, 等. 高营养级捕食者在浅水湖泊沿岸带与敞水区能量耦合的维持作用[J]. 水生生物学报, 2022, 46(3): 403-409.
XU Y, ZHU K H, GUO Y L, et al. The role of upper trophic level predators in maintaining the pelagic and littoral habitat energy coupling in shallow lakes [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2022, 46(3): 403-409.
- [45] GUO Z Q, LIU J S, LEK S, et al. Coexisting invasive gobies reveal no evidence for temporal and trophic niche differentiation in the sublittoral habitat of Lake Erhai, China [J]. Ecology of Freshwater Fish, 2017, 26(1): 42-52.
- [46] DE MÉRONA B, RANKIN-DE-MÉRONA J. Food resource partitioning in a fish community of the central Amazon floodplain [J]. Neotropical Ichthyology, 2004, 2(2): 75-84.
- [47] JONES J I, WALDRON S. Combined stable isotope and gut contents analysis of food webs in plant-dominated, shallow lakes[J]. Freshwater Biology, 2003, 48(8): 1396-1407.
- [48] POUILLY M, BARRERA S, ROSALES C. Changes of taxonomic and trophic structure of fish assemblages along an environmental gradient in the Upper Beni watershed (Bolivia) [J]. Journal of Fish Biology, 2006, 68(1): 137-156.
- [49] ADITE A, WINEMILLER K O. Trophic ecology and ecomorphology of fish assemblages in coastal lakes of Benin, West Africa [J]. Écoscience, 1997, 4(1): 6-23.
- [50] WOLFF L L, CARNIATTO N, HAHN N S. Longitudinal use of feeding resources and distribution of fish trophic guilds in a coastal Atlantic stream, southern Brazil [J]. Neotropical Ichthyology, 2013, 11(2): 375-386.
- [51] LOCHAM A G, KAUNDA-ARARA B, WAKIBIA J G, et al. Diet and niche breadth variation in the marbled parrotfish, *Leptoscarus vaigiensis*, among coral reef sites in Kenya [J]. African Journal of Ecology, 2015, 53(4): 560-571.
- [52] 王亚龙, 李昊成, 何勇凤, 等. 长湖5种鲃摄食器官形态学的比较[J]. 淡水渔业, 2016, 46(6): 26-32.
WANG Y L, LI H C, HE Y F, et al. Morphological variations of feeding organs of five species of Culter from Changhu Lake [J]. Freshwater Fisheries, 2016, 46(6): 26-32.
- [53] ROMANUK T N, HAYWARD A, HUTCHINGS J A. Trophic level scales positively with body size in fishes [J]. Global Ecology and Biogeography, 2011, 20(2): 231-240.
- [54] KEPPELER F W, MONTAÑA C G, WINEMILLER K O. The relationship between trophic level and body size in fishes depends on functional traits [J]. Ecological Monographs, 2020, 90(4): e01415.

Response of three cultrinae fishes to different fishing ban strategies

LI Haoxuan^{1,2}, DENG Wenbo^{2,3}, GUO Qianqian^{2,3}, TAO Kun², FENG Kai², YUAN Jing², LIU Jiashou², CHENG Yongxu¹, WANG Qidong²

(1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. State Key Laboratory of Freshwater Ecology and Biotechnology, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, Hubei, China; 3. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China)

Abstract: In order to elucidate the effects of fishing ban strategies in different lakes on population dynamics and niche overlap of three cultrinae fishes, Xiliang Lake, a complete fishing ban strategy lake, and Futou Lake, a seasonal fishing ban strategy lake, were selected as the study sites. Three cultrinae fishes *Culter alburnus*, *Culter dabryi* and *Cultrichthys erythropterus* were studied. The dynamic parameters of fish population such as quantity per unit effort, biomass per unit effort, total length, body weight and relative fatness were analyzed. The food sources and contribution rates of three cultrinae fishes were analyzed using stable isotope technique, and the spatio-temporal niche breadth, trophic niche breadth and overlap indices of three cultrinae fishes in lakes with different fishing ban strategies were compared. The results showed as follows: The biomass per unit effort of three cultrinae fishes in the complete fishing ban strategy lake was significantly higher than that of the seasonal fishing ban strategy lake, and their total length distribution range was wider than that of the seasonal fishing ban strategy lake; In the seasonal fishing ban strategy lake, the temporal-spatial niche of three cultrinae fishes overlapped significantly; In the lake that complete fishing ban strategy, three species of cultrinae had wider trophic niche breadth. The results provide scientific basis for the improvement of the fishing ban strategies and the sustainable utilization of fishery resources in the key waters of the Yangtze River basin.

Key words: fishing ban; cultrinae fishes; fishery resource; spatio-temporal niche; trophic niche