

DOI: 10.11964/jfc.20230113870

## 分布于雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的饵料生物组成与摄食特性



李筱芹<sup>1</sup>, 曾如奎<sup>2</sup>, 倪达富<sup>1</sup>, 冯钢<sup>2</sup>, 万卓坤<sup>3</sup>, 王洁<sup>2</sup>,  
吴彤飞<sup>1</sup>, 鲁桃秀<sup>1</sup>, 邓华堂<sup>4</sup>, 姚维志<sup>1</sup>, 付梅<sup>1</sup>, 吕红健<sup>1\*</sup>

1. 西南大学水产学院, 农业农村部长江上游水生生物多样性保护研究中心, 西南大学渔业资源环境研究中心, 重庆 400716; 2. 雅砻江流域水电开发有限公司, 四川成都 610000; 3. 雅安市雨城区农业农村局, 四川雅安 625000; 4. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 农业农村部长江中上游渔业资源环境科学观测实验站, 湖北武汉 430223

### 摘要:

**【目的】**研究雅砻江中游现有厚唇裸重唇鱼的饵料生物组成与摄食特性。

**【方法】**通过分析于2020年10月至12月、2021年3月和2022年5月在四川省甘孜藏族自治州内新龙县至雅江县江段采集的207尾厚唇裸重唇鱼样本的摄食强度, 并分别选取30与53尾样本测量肠道长度、分析肠道内容物。

**【结果】**雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的总体摄食强度较低, 且在繁殖期的摄食强度最低。厚唇裸重唇鱼所摄食饵料生物的总种类数为38种, 主要饵料生物为大型无脊椎动物中的纹石蛾幼虫, 并兼食等片、舟形藻、桥弯藻、异极藻等着生藻类。厚唇裸重唇鱼肠道系数(IC)平均值为 $1.61 \pm 0.06$ , 处于已有研究裂腹鱼类的中下游水平; 其饵料生物Shannon-Wiener多样性指数( $H'$ )和Pielou均匀度指数( $J$ )分别为2.10和0.58, 处于已有研究裂腹鱼类的上游水平。此外, Amundsen图示法和Schoener重叠指数结果均表明, 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼不同体长组及不同性别之间的饵料生物重叠程度较高, 而不同季节采集样本之间的饵料生物重叠程度较低。

**【结论】**雅砻江中游厚唇裸重唇鱼属广食性鱼类, 也属偏食底栖无脊椎动物的杂食性鱼类, 且相较于体型与性别而言, 季节更替对其饵料生物组成的影响更为明显。研究结果丰富了厚唇裸重唇鱼的基础生物学资料, 同时为其野生资源保护、人工驯养、饲料研发等提供了基础数据。

**关键词:**裂腹鱼亚科; 厚唇裸重唇鱼; 饵料生物组成; 摄食特性; 雅砻江中游

第一作者: 李筱芹, 从事渔业资源与环境保护研究, E-mail: 1968448759@qq.com



通信作者: 吕红健, 从事渔业资源与环境保护研究, E-mail: hongjianlv@swu.edu.cn

资助项目: 国家重点研发计划(2022YFC3204200); 国家自然科学基金(31802296); 雅砻江流域水电开发有限公司资助科研项目(YLGZ-GZA-ZZ2020232); 农业农村部长江流域渔政监督管理办公室资助项目(17200302)

收稿日期: 2023-01-07  
修回日期: 2023-05-29

文章编号:  
1000-0615(2025)03-039311-20  
中图分类号: S 931.3  
文献标志码: A

作者声明本文无利益冲突

©《水产学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)  
Copyright © Editorial Office of Journal of Fisheries of China (CC BY-NC-ND 4.0)

雅砻江作为金沙江的一级支流地处川西高原腹地, 属高山峡谷型河流, 大部分河段河谷宽阔, 有少量浅丘峡谷<sup>[1]</sup>。根据历史文献记载, 雅砻江渔业资源丰富, 优势类群包括鲤科(Cyprinidae)的裂腹鱼亚科



(Schizothoracinae), 例如短须裂腹鱼 (*Schizothorax wangchiachi*)、裸腹叶须鱼 (*Ptychobarbus kaznakovi*)、厚唇裸重唇鱼 (*Gymnodiptychus pachycheilus*) 等, 以及条鳅科 (Nemacheilidae) 的高原鳅属 (*Triplophysa*) 等适应流水生境的种类, 例如斯氏高原鳅 (*T. stoliczkae*)、短尾高原鳅 (*T. brevivida*)、梭形高原鳅 (*T. leptosoma*) 等<sup>[2-3]</sup>。近年来, 由于受到水环境污染、全球气候变化及涉水工程建设等多重因素的影响, 雅砻江原有鱼类栖息地的形态、水文、水化学和水生生物学特征已发生明显变化, 加之过度捕捞等其他人为因素的干扰, 雅砻江流域的渔业资源现状 (包括渔获物种类组成、生物量、种群结构、增长潜力等) 已发生明显变化<sup>[2, 4-6]</sup>。其中, 对高原缺氧、强辐射、低水温等表现出极强适应性的裂腹鱼类, 受自身生物学特性的限制 (包括生长速度慢、初次性成熟晚、繁殖力较低等), 其在雅砻江的野生资源已表现出严重衰退迹象<sup>[4-7]</sup>。

厚唇裸重唇鱼, 俗称重唇花鱼、麻鱼, 隶属鲤形目 (Cypriniformes) 鲤科 (Cyprinidae) 裂腹鱼亚科 (Schizothoracinae) 裸重唇鱼属 (*Gymnodiptychus*), 是我国特有种, 主要分布于黄河水系上游和金沙江水系雅砻江中上游干支流的高原宽谷河段<sup>[3, 8]</sup>。相关研究和调查结果表明, 厚唇裸重唇鱼的野生资源量近十几年来已呈明显下降趋势<sup>[9-12]</sup>。至 2021 年初, 厚唇裸重唇鱼被列为国家二级保护动物<sup>[13]</sup>, 并于 2021 年 6 月被《中国生物多样性红色名录》收录为易危物种<sup>[14]</sup>。此外, 相较于其他裂腹鱼类而言, 厚唇裸重唇鱼的野生种群还具有分布范围较窄、资源总量较少、生物量和数量占比较小等特点, 其野生资源一旦受到破坏, 必将难以修复<sup>[8, 10-11, 15-16]</sup>。因此, 基于对厚唇裸重唇鱼野生资源保护的考虑, 应尽快开展有关其基础生物学方面的研究。

众所周知, 鱼类摄食是其生命活动与生物学特征的重要组成部分, 鱼类通过摄食不仅可以获得机体生存、生长和繁殖的能量, 还能对鱼类群体的营养关系、行为规律、饵料环境以至种群的数量变动产生一定影响<sup>[17]</sup>。鱼类摄食研究的具体内容包括摄食强度、食饵组成、摄食时空变化、食性类型比较、食饵选择、鱼类营养级等, 研究鱼类的摄食及摄食与环境的关系, 对渔业生产也具有重要意义<sup>[15, 17]</sup>。此外,

获取鱼类的食饵或食性资料是开展渔业资源保护与利用的基础<sup>[18-19]</sup>。然而, 迄今为止, 针对厚唇裸重唇鱼摄食 (包括饵料生物组成与摄食特性) 方面的研究尚无完整资料可供查阅, 部分相关研究也仅限于在少量年代较久远的书籍中定性描述了厚唇裸重唇鱼摄食器官的形态和简单的食饵组成, 上述书籍中记载厚唇裸重唇鱼主要以石蛾和摇蚊的幼虫、石蝇稚虫、其他水生昆虫及桡足类、钩虾等为食, 也摄食部分水生植物枝叶和藻类<sup>[20-22]</sup>, 其中甚至连具体的食谱 (即饵料生物物种组成) 和食性 (包括植食性、肉食性或杂食性, 以及广食性或狭食性的划分) 都没有记载。因此, 本研究将通过肠道内容物的定性和定量分析, 对雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的摄食强度及其季节变化、饵料生物组成及多样性、食性及不同体长、不同性别、不同季节的饵料生物组成差异等开展深入研究, 以期阐明厚唇裸重唇鱼的饵料生物组成与摄食特性。研究结果将进一步丰富厚唇裸重唇鱼的基础生物学资料, 同时为其野生资源保护、人工驯养、饲料研发等提供基础数据和科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样本采集

分别于 2020 年 10 月至 12 月、2021 年 3 月和 2022 年 5 月, 分 5 次在四川省雅砻江中游甘孜藏族自治州内的新龙县至雅江县江段 (约 156 km, 取样海拔在 2 600~3 500 m), 使用三层流刺网 (长度: 30.0 m, 高度: 1.5 m, 网目: 10 cm) 和地笼 (长度: 10.0 m, 网目: 2 cm) 采集厚唇裸重唇鱼样本 207 尾。自上游至下游共设 5 个采样点, 并依次编号为 I~V (图 1)。上述采样点是在对雅砻江中上游江段实地考察, 以及走访当地原有渔民基础上设定的。将采集的厚唇裸重唇鱼样本冷冻保存后, 带回实验室统一分析, 样本采集信息见表 1。本研究中的厚唇裸重唇鱼野外样本采集, 均是在四川省农业农村厅申请获批特许捕捞证后, 并在地方渔政监管部门监督下开展。此外, 本研究获得了西南大学实验动物伦理审查委员会批准, 实验过程中操作人员严格遵守西南大学实验动物伦理审查委员会伦理规范, 并按照西南大学实验动物伦理审查委员会制定的规章制度执行。

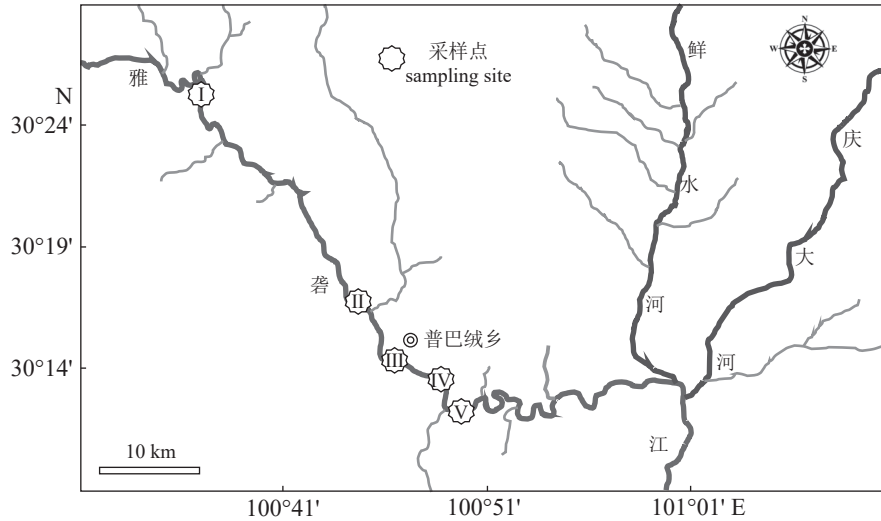


图1 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼采样点示意图

Fig. 1 Sampling sites for *G. pachycheilus* in the middle reach of Yalong River

表1 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的采集信息

Tab. 1 Basic data of *G. pachycheilus* from different sampling sites in the middle reach of Yalong River

采样点 sampling sites	经纬度 longitude and latitude	不同采样时间的采集样本数/尾 no. of samples collected in different months					样本总数/尾 total number of samples	体长范围/mm range of standard length	体重范围/g range of body weight
		2020		2021		2022			
		10月 October	11月 November	12月 December	3月 March	5月 May			
I	30°26'N 100°38'E	7	8	16	22	0	53	186.0~455.0	73.8~1 240.0
II	30°17'N 100°43'E	6	25	0	0	10	41	176.0~436.0	65.7~1 159.3
III	30°15'N 100°47'E	6	26	0	0	0	32	191.0~296.0	72.8~239.8
IV	30°13'N 100°49'E	10	6	0	0	8	24	184.0~317.0	58.0~385.4
V	30°12'N 100°50'E	11	18	28	0	0	57	184.0~446.0	74.0~1 068.1

## 1.2 样本预处理与分析

将带回实验室的厚唇裸重唇鱼样本编号后, 测量所有样本的全长、体长(精确至 1 mm), 称量所有样本的体重和空壳重(精确至 0.1 g)。取微耳石作为厚唇裸重唇鱼样本的年龄鉴定材料<sup>[23]</sup>, 微耳石的处理、年龄鉴定及年龄表示方法具体参照殷名称<sup>[15]</sup>和谢从新<sup>[24]</sup>。按照不同年龄组样本量应尽量平均分布原则, 分别在 4、5、6、7、8 年龄组样本中各随机选取 8、6、6、6、4 尾样本(共 30 尾)测量肠道长度(精确至 1 mm), 上述 30 尾样本的体长范围为 184~365 mm, 体重范围为 74.0~675.6 g。解剖厚唇裸重唇鱼样本观察性腺, 并鉴定性别, 采用目测等级法确定样本的性腺发育分期。采用 6 级标准(即 0~5 级)<sup>[15]</sup>, 对厚唇裸重唇鱼样本的肠道充塞度进行划分。

## 1.3 饵料生物种类鉴定

按照 3—5 月属春季、6—8 月属夏季、9—11 月属秋季、12—次年 2 月属冬季的季节划分方式, 将在不同月份采集的厚唇裸重唇鱼划分为春季、秋季、冬季样本(本研究并未采集到厚唇裸重唇鱼的夏季样本)。本研究所调查厚唇裸重唇鱼样本中肠道充塞度 $\geq 1$ 的共 188 尾, 按照不同体长组样本量应尽量平均分布原则, 分别在春季、秋季、冬季样本中随机选取 15、19、19 尾样本(共 53 尾)用于饵料生物组成分析, 上述 53 尾样本的体长范围为 178~436 mm, 体重范围为 65.7~797.8 g, 对应年龄为 4~8 龄。取其完整肠道, 分离肠道中的所有内容物, 用吸水纸吸干内容物多余水分后, 置于电子天平称重(精确至 0.000 1 g)。将称重后的肠道内容物用于后续饵料生物种类鉴定, 首先, 将肠道内



容器用纯水冲洗入培养皿中, 而后使用三层筛网(筛网孔径: 上、中、下层分别为 2.5、0.9、0.3 mm) 筛取大型饵料生物, 对留在筛网中的饵料生物使用肉眼鉴定、计数, 并用电子天平称重(精确至 0.000 1 g), 底栖动物鉴定参照伍跃辉等<sup>[25]</sup>与王业耀<sup>[26]</sup>; 然后, 用纯水充分冲洗筛网上的肠道内容物收集藻液, 并将其与培养皿中的剩余藻液一并置于锥形瓶中, 用浓度为 2% 的甲醛固定并沉降 24 h 后, 保留下层藻液定容至 50 mL, 而后对所取藻液采用 0.1 mL 计数框在显微镜(OLYMPUS CX33)下进行藻类鉴定和计数, 藻类鉴定参照赵文<sup>[27]</sup>与水利部水文局等<sup>[28]</sup>, 重量计算参照赵文<sup>[27]</sup>与张觉民等<sup>[29]</sup>。

#### 1.4 数据分析

**摄食强度** 采用空肠率( $E$ , %)和肠饱满指数( $K$ ) 研究和分析摄食强度, 具体计算公式:

$$E(\%) = (\text{肠道无饵料生物尾数} / \text{总尾数}) \times 100\% \quad (1)$$

$$K = (\text{饵料生物的总重量} / \text{去内脏体重}) \times 10^4 \quad (2)$$

**饵料生物组成** 采用饵料生物的出现频率( $F$ , %)、个数百分比( $N$ , %)、重量百分比( $W$ , %)、相对重要性指数(IRI)<sup>[30]</sup>和相对重要性指数百分比(IRI%)<sup>[31]</sup> 研究和分析饵料生物组成, 具体计算方法:

$$F(\%) = (\text{含某饵料生物的胃肠道数量} / \text{含饵料生物的胃肠道数量}) \times 100\% \quad (3)$$

$$N(\%) = (\text{某饵料生物的个体数} / \text{所有饵料生物的总个数}) \times 100\% \quad (4)$$

$$W(\%) = (\text{某饵料生物的重量} / \text{所有饵料生物的总重量}) \times 100\% \quad (5)$$

$$IRI = F \times (N + W) \quad (6)$$

$$IRI\% = (\text{某饵料生物的IRI} / \text{所有饵料生物的IRI总和}) \times 100\% \quad (7)$$

采用 Shannon-Wiener 多样性指数( $H'$ )<sup>[32]</sup>和 Pielou 均匀度指数( $J$ )<sup>[33]</sup> 研究和分析不同季节、不同体长和不同性别的饵料生物物种多样性和均匀度, 计算公式:

$$H' = - \sum P_i (\ln P_i) \quad (8)$$

$$J = H' / \ln S \quad (9)$$

式中,  $P_i$  为每个物种的个数百分比,  $S$  为物种数目。将 53 尾厚唇裸重唇鱼样本按照样本数量平均分布分为 3 个体长组, 即 <250 mm、250~280 mm 和 >280 mm 组, 对应样本数量分别为 19、18 和 16 尾。

**摄食策略** 采用对 Costello 图示法<sup>[34]</sup>加以改进的 Amundsen 图示法<sup>[35]</sup> 描述摄食策略。Amundsen 图示法以  $F$  为横坐标, 特定饵料丰度为纵坐标共同构建二维图。其中, 特定饵料丰度( $W_p$ , %) 是指某种饵料在有该种饵料出现的捕食者的食物中所占的比例, 具体计算方法:

$$W_p(\%) = (\text{某饵料生物的重量} / \text{含该种饵料生物的捕食者肠道内饵料生物总重量}) \times 100\% \quad (10)$$

**肠道系数** 采用肠道系数(又称比肠长, intestinal coefficient, IC) 研究和分析食性, 具体计算方法:

$$IC = \text{肠长} / \text{体长} \quad (11)$$

一般认为当 IC < 1 时, 目标鱼种属肉食性鱼类; 当 IC 在 1~2 时, 属杂食性鱼类; 当 IC > 2 时, 属植食性鱼类<sup>[36]</sup>

**不同季节、不同体长和不同性别的饵料生物重叠程度** 采用 Schoener 重叠指数( $C_{xy}$ )<sup>[37]</sup> 研究和分析不同季节、不同体长和不同性别样本的饵料生物重叠程度(或称重叠水平)与差异性, 具体计算方法:

$$C_{xy} = 1 - 0.5 \sum |P_{xi} - P_{yi}| \quad (12)$$

式中,  $P_{xi}$ 、 $P_{yi}$  为共有饵料  $i$  在  $x$ 、 $y$  组的肠道内容物中所占的比例(采用相对重要性指数百分比),  $C_{xy}$  的值在 0~1, 0 表示饵料完全不重叠, 1 表示饵料完全重叠。一般认为当重叠指数大于 0.6 时, 表示饵料达到显著重叠水平<sup>[38]</sup>。

#### 1.5 数据处理

本研究将所得数据均以平均值±标准误(mean±SE)的形式表示, 采用单因素方差分析(ANOVA)对不同季节  $K$  的差异进行比较; 采用 Kruskal-Wallis 非参数检验<sup>[39]</sup>对不同季节、不同体长组和不同性别的饵料生物组成差异进行比较; 并使用 0.05 差异显著性水平, 当  $P \leq 0.05$  时为差异显著。数据处理使用 Microsoft

Excel 2016 和 SPSS (IBM SPSS Statistics 22.0) 软件, 图表绘制使用 Origin 2021 (Origin Lab)。

## 2 结果

### 2.1 摄食强度及其季节变化

用于空肠率 ( $E$ , %) 分析的厚唇裸重唇鱼样本共 207 尾, 肠道充塞度为 0、1、2、3、4 级的样本数分别为 19、71、67、45、5 尾, 总  $E$  为 9.18%。春、秋、冬季样本分别有 40、123、44 尾, 肠道充塞度为 0 级的样本数分别为 8、8、3 尾, 对应  $E$  分别为 20.00%、6.50%、6.82%。此外, 用于肠饱满指数 ( $K$ ) 分析的 53 尾厚唇裸重唇鱼样本平均  $K$  值为  $374.80 \pm 20.50$ , 其中春、秋、冬季样本平均  $K$  值分别为  $285.00 \pm 38.88$  ( $n=15$ )、 $429.05 \pm 29.84$  ( $n=19$ )、 $381.01 \pm 30.62$  ( $n=19$ ) (图 2)。单因素方差分析 (ANOVA) 结果显示, 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼春季与秋季样本间的  $K$  值存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 且春季样本的  $K$  值显著小于秋季样本的; 春季与冬季、秋季与冬季样本间的  $K$  值均无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 饵料生物组成

53 尾厚唇裸重唇鱼样本的肠道内容物中共检出藻类和大型底栖无脊椎动物两大类饵料生物, 饵料生物总种类数为 38 种 (为了与同类型

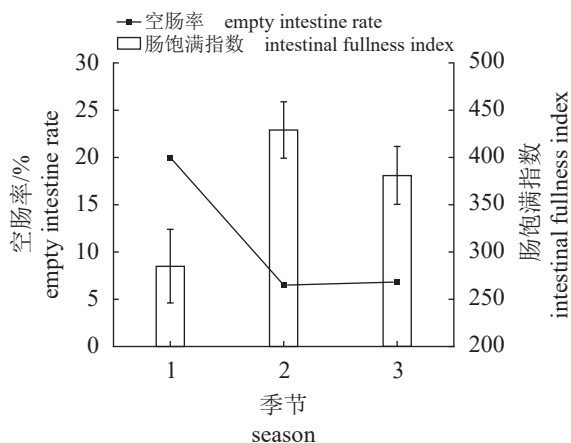


图 2 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼不同季节的空肠率和肠饱满指数

1. 春季, 2. 秋季, 3. 冬季。

Fig. 2 Empty intestine rate and intestinal fullness index of *G. pachycheilus* sampled in different seasons in the middle reach of Yalong River

1. spring, 2. autumn, 3. winter.

研究相统一, 藻类只统计到属)。其中, 藻类共有 3 门 33 属, 包括硅藻门 (Bacillariophyta) 22 属, 绿藻门 (Chlorophyta) 10 属, 黄藻门 (Xanthophyta) 1 属; 大型底栖无脊椎动物包括节肢动物门 (Arthropoda) 的纹石蛾科 (Hydropsychidae)、短石蛾科 (Brachycentridae) 和摇蚊科 (Chironomidae) 幼虫以及纯襮属 (*Paragnrtina*) 和扁蜉属 (*Heptagenia*) (表 2), 部分饵料生物照片见图版。

从出现频率 ( $F$ , %) 来看, 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼经常摄食藻类中的舟形藻 (*Navicula* spp.,  $F=98.11\%$ )、桥弯藻 (*Cymbella* spp.,  $F=94.34\%$ )、异极藻 (*Comphonema* spp.,  $F=88.68\%$ )、等片藻 (*Diatoma* spp.,  $F=83.02\%$ )、针杆藻 (*Symedra* spp.,  $F=79.25\%$ )、菱形藻 (*Nitzschia* spp.,  $F=77.36\%$ ), 且均属硅藻门, 以及大型无脊椎动物中的短石蛾幼虫 (Brachycentridae larvae,  $F=86.79\%$ ) 与纹石蛾幼虫 (Hydropsychidae larvae,  $F=84.91\%$ )。从个数百分比 ( $N$ , %) 来看, 以等片藻 ( $N=28.42\%$ )、舟形藻 ( $N=19.22\%$ )、桥弯藻 ( $N=13.64\%$ )、异极藻 ( $N=12.45\%$ ) 的数量占比分列前四。从重量百分比 ( $W$ , %) 来看, 又以纹石蛾幼虫 ( $W=77.94\%$ )、短石蛾幼虫 ( $W=17.64\%$ )、摇蚊幼虫 (Chironomidae larvae,  $W=2.08\%$ ) 和扁蜉属 ( $W=1.32\%$ ) 的重量占比分列前四。此外, 从相对重要性指数 (IRI) 和相对重要性指数百分比 (IRI%) 来看, 纹石蛾幼虫 (IRI=6 617.89, IRI%=40.64%) 是雅砻江中游厚唇裸重唇鱼最重要的饵料生物, 其次分别是等片藻 (IRI=2 377.42, IRI%=14.60%)、舟形藻 (IRI=1 893.02, IRI%=11.62%) 和短石蛾幼虫 (IRI=1 531.44, IRI%=9.40%)。

全部 53 尾厚唇裸重唇鱼样本的饵料生物  $H'$  和  $J$  分别为 2.10 和 0.58。不同季节样本的饵料生物  $H'$  和  $J$  均有一定差别, 其中以秋季样本的饵料生物  $H'$  最大, 冬季样本的饵料生物  $J$  最大, 春季样本的饵料生物  $H'$  和  $J$  均最小。不同体长组样本的饵料生物  $H'$  和  $J$  同样存在一定差别, 具体表现为体长大于 280 mm 组样本的饵料生物  $H'$  最大, 体长为 250~280 mm 组样本的饵料生物  $H'$  最小, 体长小于 250 mm 组样本的饵料生物  $J$  小于另外两个体长组。此外, 53 尾厚唇裸重唇鱼样本中性别未辨样本的饵料生物  $H'$  和  $J$  均最大, 雌性样本的饵料生物  $H'$  最小, 雄性样本的饵料生物  $J$  最小 (表 3)。

### 2.3 摄食策略

以  $F\%$  和特定饵料丰度 (即  $W_p$ , %) 分别为

表 2 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的饵料生物组成

Tab. 2 Food organisms of *G. pachycheilus* in the middle reach of Yalong River

饵料类别 food item	对应藻种 corresponding species	出现频率 (F)/% frequency of occurrence	个数(N) 百分比/% percent of number	重量(W) 百分比/% percent of weight	相对重要性 指数 relative importance index IRI	相对重要性 指数百分比/% percent of relative importance index IRI
<b>藻类 algae</b>						
<b>硅藻门 Bacillariophyta</b>						
桥弯藻属 <i>Cymbella</i>	膨胀桥弯藻 <i>C. tumida</i>	94.34	13.64	0.07	1 293.26	7.94
	偏肿桥弯藻 <i>C. ventricosa</i>					
	微细桥弯藻 <i>C. parva</i>					
	近缘桥弯藻 <i>C. affinis</i>					
舟形藻属 <i>Navicula</i>	简单舟形藻 <i>N. simplex</i>	98.11	19.22	0.07	1 893.02	11.63
	短小舟形藻 <i>N. exigua</i>					
	双头舟形藻 <i>N. dicephala</i>					
	双球舟形藻 <i>N. amphibola</i>					
	急尖舟形藻 <i>N. cuspidata</i>					
	长圆舟形藻 <i>N. oblonga</i>					
	最小舟形藻 <i>N. minima</i>					
	尖头舟形藻 <i>N. cuspidata</i>					
	放射舟形藻 <i>N. radiosa</i>					
	异极藻属 <i>Comphonema</i>	橄榄形异极藻 <i>C. olivaceum</i>	88.68	12.45	0.02	1 105.66
中间异极藻 <i>C. intricalum</i>						
缢缩异极藻 <i>C. constrictum</i>						
纤细异极藻 <i>C. gracile</i>						
尖顶异极藻 <i>C. augur</i>						
扁鼻异极藻 <i>C. simus</i>						
小型异极藻 <i>C. parvulum</i>						
赫迪异极藻 <i>C. hedinii</i>						
近棒形异极藻 <i>C. subclavatum</i>						
菱形藻属 <i>Nitzschia</i>	线形菱形藻 <i>N. linearis</i>	77.36	8.20	0.02	636.32	3.91
	泉生菱形藻 <i>N. fonticola</i>					
	谷皮菱形藻 <i>N. palea</i>					
	双头菱形藻 <i>N. amphibia</i>					
	奇异菱形藻 <i>N. paradoxa</i>					
	长菱形藻 <i>N. longissima</i>					
针杆藻属 <i>Symedra</i>	肘状针杆藻 <i>S. ulna</i>	79.25	5.29	0.05	423.50	2.60
	尖针杆藻 <i>S. acus</i>					
	双头针杆藻 <i>S. amphicephala</i>					
	放射针杆藻 <i>S. actinastroides</i>					
脆杆藻属 <i>Fragilaria</i>	钝脆杆藻 <i>F. capucina</i>	60.38	4.85	0.01	293.67	1.80
	中型脆杆藻 <i>F. intermedia</i>					
	短线脆杆藻 <i>F. brevistriata</i>					

· 续表 2 ·

饵料类别 food item	对应藻种 corresponding species	出现频率 (F)% frequency of occurrence	个数(N) 百分比/% percent of number	重量(W) 百分比/% percent of weight	相对重要性 指数 relative importance index IRI	相对重要性 指数百分比/% percent of relative importance index IRI
	克罗顿脆杆藻 <i>F. crotonensis</i>					
双眉藻属 <i>Amphora</i>	卵圆双眉藻 <i>A. ovalis</i>	1.89	0.01	+	0.02	+
曲壳藻属 <i>Achnanthes</i>	披针形曲壳藻 <i>A. lanceolata</i>	35.85	1.98	+	71.30	0.44
	膨大曲壳藻 <i>A. javanica</i>					
	近缘曲壳藻 <i>A. amoena</i>					
辐节藻属 <i>Stauroneis</i>	双头辐节藻 <i>S. anceps</i>	39.62	1.13	0.02	45.52	0.28
	尖辐节藻 <i>S. acuta</i>					
	矮小辐节藻 <i>S. pygmaea</i>					
卵形藻属 <i>Cocconeis</i>	扁圆卵形藻 <i>C. placentula</i>	30.19	0.61	+	18.57	0.11
等片藻属 <i>Diatoma</i>	普通等片藻 <i>D. vulgare</i>	83.02	28.42	0.21	2 377.42	14.60
	念珠状等片藻 <i>D. moniliforme</i>					
	冬生等片藻 <i>D. hiemale</i>					
	中型等片藻 <i>D. mesodon</i>					
	纤细等片藻 <i>D. tenue</i>					
	长等片藻 <i>D. elongatum</i>					
羽纹藻属 <i>Pinnularia</i>	弯羽纹藻 <i>P. gibba</i>	24.53	0.23	+	5.64	0.03
	双戟羽纹藻 <i>P. bilobata</i>					
	绿色羽纹藻 <i>P. viridis</i>					
	著名羽纹藻 <i>P. nobilis</i>					
小环藻属 <i>Cyclotella</i>	梅尼小环藻 <i>C. meneghiniana</i>	22.64	1.10	+	24.96	0.15
布纹藻属 <i>Gyrosigma</i>	尖布纹藻 <i>G. acuminatum</i>	1.89	+	+	+	+
直链藻属 <i>Melosira</i>	颗粒直链藻 <i>M. granulate</i>	16.98	0.25	+	4.23	0.02
菱板藻属 <i>Hantzschia</i>	双尖菱板藻 <i>H. amphioxys</i>	3.77	0.04	+	0.17	+
扇形藻属 <i>Meridion</i>	环状扇形藻 <i>M. circulare</i>	22.64	0.24	+	5.48	0.03
蛾眉藻属 <i>Ceratoneis</i>	弧形蛾眉藻 <i>C. arcus</i>	18.87	0.20	+	3.82	0.02
双菱藻属 <i>Surirella</i>	粗壮双菱藻 <i>S. robusta</i>	15.09	0.35	+	5.25	0.03
	端毛双菱藻 <i>S. capronii</i>					
短缝藻属 <i>Eunotia</i>	月形短缝藻 <i>E. lunaris</i>	20.75	0.58	+	12.12	0.07
	弧形短缝藻 <i>E. arcus</i>					
双楔藻属 <i>Didymosphenia</i>	双生双楔藻 <i>D. geminata</i>	5.66	0.05	+	0.30	+
波缘藻属 <i>Cymatopleura</i>	草鞋形波缘藻 <i>C. solea</i>	3.77	0.02	+	0.10	+
<b>绿藻门 Chlorophyta</b>						
集星藻属 <i>Actinastrum</i>	集星藻 <i>A. hantzschii</i>	3.77	0.08	+	0.28	+
顶棘藻属 <i>Chodatella</i>	四刺顶棘藻 <i>C. quadriseta</i>	1.89	0.02	+	0.04	+
纤维藻属 <i>Ankistrodesmus</i>	镰形纤维藻 <i>A. falcatus</i>	5.66	0.25	+	1.41	0.01
小球藻属 <i>Chlorella</i>	小球藻 <i>C. vulgaris</i>	18.87	0.62	+	11.67	0.07
月牙藻属 <i>Selenastrum</i>	月牙藻 <i>S. bibrainum</i>	1.89	0.02	+	0.04	+
小椿藻属 <i>Characium</i>	狭形小椿藻 <i>C. angustum</i>	1.89	+	+	+	+
栅藻属 <i>Sceaedesmus</i>	四尾栅藻 <i>S. quadricauda</i>	3.77	0.01	+	0.06	+
四胞藻属 <i>Tetraspora</i>	柱状四胞藻 <i>T. cylindrical</i>	1.89	0.01	+	0.02	+

· 续表 2 ·

饵料类别 food item	对应藻种 corresponding species	出现频率 (F)/%	个数(N) 百分比/%	重量(W) 百分比/%	相对重要性 指数 relative importance index IRI	相对重要性 指数百分比/% percent of relative importance index IRI
四角藻属 <i>Tetraëdron</i>	三角四角藻 <i>T. trigonum</i>	5.66	0.04	+	0.24	+
新月藻属 <i>Closterium</i>	拟新月藻 <i>C. longissima</i>	5.66	0.04	+	0.22	+
<b>黄藻门 Xanthophyta</b>						
黄丝藻属 <i>Tribonema</i>	小型黄丝藻 <i>T. minus</i>	1.89	+	+	+	+
<b>大型底栖无脊椎动物 benthic macroinvertebrates</b>						
<b>节肢动物门 Arthropoda</b>						
纹石蛾幼虫 Hydropsychidae larvae		84.91	+	77.94	6 617.89	40.64
短石蛾幼虫 Brachycentridae larvae		86.79	+	17.64	1 531.44	9.40
摇蚊幼虫 Chironomidae larvae		39.62	+	2.08	82.54	0.51
纯襁属 <i>Paragnrtina</i>		5.66	+	0.53	2.99	0.02
扁蜉属 <i>Heptagenia</i>		11.32	+	1.32	14.90	0.09

注：“+”表示该饵料生物所对应指标的数值<0.01。

Notes: "+" means that the indicator value of the food organism is less than 0.01.



图版 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼样本的部分饵料生物照片

1. 纹石蛾幼虫头部, 2. 纹石蛾幼虫背部, 3. 短石蛾幼虫头部, 4. 短石蛾幼虫背板, 5. 膨胀桥弯藻, 6. 微细桥弯藻, 7. 偏肿桥弯藻, 8. 缢缩异极藻, 9. 近棒形异极藻, 10. 扁鼻异极藻, 11. 赫迪异极藻, 12. 钝脆杆藻, 13. 中型脆杆藻, 14. 肘状针杆藻, 15. 谷皮菱形藻, 16. 简单舟形藻, 17. 尖头舟形藻, 18. 长等片藻, 19. 念珠状等片藻, 20. 冬生等片藻。

**Plate Photos of partial food organisms for *G. pachycheilus* from the middle reach of Yalong River**

1. head of Hydropsychidae larvae, 2. back of Hydropsychidae larvae, 3. head of Brachycentridae larvae, 4. back of Brachycentridae larvae, 5. *C. tumida*, 6. *C. parva*, 7. *C. ventricose*, 8. *C. constrictum*, 9. *C. subclavatum*, 10. *C. simus*, 11. *C. hedinii*, 12. *F. capucina*, 13. *F. intermedia*, 14. *S. ulna*, 15. *N. palea*, 16. *N. simples*, 17. *N. cuspidate*, 18. *D. elongatum*, 19. *D. moniliforme*, 20. *D. hiemale*.



横纵坐标的 Amundsen 图显示雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的多数饵料生物分布在图的下半部分 (图 3), 表明其属广食性鱼类。其中, 纹石蛾幼虫拥有较高的  $F$  和  $W$ , 是雅砻江中游厚唇裸重唇鱼最主要的饵料生物。此外, 本研究中高  $F$  和 IRI 的饵料生物多分布在图的右下方, 表明雅砻江中游厚唇裸重唇鱼种群的生态位宽度存在较高的表现型内成分, 即高 WPC (high within-phenotype component)。换言之, 雅砻江中游现有厚唇裸重唇鱼种群内不同个体间的饵料生物组成差异较小, 饵料生物重叠程度较高。

#### 2.4 肠道系数

30 尾厚唇裸重唇鱼样本的肠道系数 (IC) 分析结果表明, 随着年龄的增长以及体长和体重的增加, 雅砻江中游厚唇裸重唇的 IC 随之增大 (图 4)。此外, 4 至 8 龄各年龄组样本的平均 IC 在 1.44~1.93 之间, 且所有 30 尾样本的平均 IC 为  $1.61 \pm 0.06$  (表 4)。

#### 2.5 不同季节、不同体长和不同性别的饵料生物重叠程度

Schoener 重叠指数表明春季与秋季, 春季与冬季厚唇裸重唇鱼样本间的饵料生物重叠程度较低 ( $C_{xy} < 0.6$ ), 秋季与冬季厚唇裸重唇鱼样本间的饵料生物重叠程度较高 ( $C_{xy} > 0.6$ )。经 Kruskal-Wallis 非参数检验, 表明厚唇裸重唇鱼春季样本的饵料生物组成与秋季和冬季样本间

均存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 秋季与冬季样本间的饵料生物组成无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。Schoener 重叠指数表明不同体长组厚唇裸重唇鱼样本间的饵料生物重叠程度均较高 ( $C_{xy} > 0.6$ )。经 Kruskal-Wallis 非参数检验, 表明不同体长组厚唇裸重唇鱼样本间的饵料生物组成均不存在显著性差异 ( $P > 0.05$ )。此外, Schoener 重叠指数表明不同性别厚唇裸重唇鱼样本间的饵料生物重叠程度同样较高 ( $C_{xy} > 0.6$ ) (表 5)。经 Kruskal-Wallis 非参数检验, 表明不同性别厚唇裸重唇鱼样本间的饵料生物组成均不存在显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

### 3 讨论

截至目前, 在我国已发现的 97 种或亚种裂腹鱼亚科鱼类<sup>[40]</sup>中共有 18 种开展过关于饵料生物组成与摄食特性的研究。本研究整理并统计了上述研究中对应裂腹鱼的种类、采样地点、饵料生物种类数、主要饵料生物、IC、食性、 $H'$  和  $J$  (表 6), 旨在通过不同裂腹鱼类间的比较研究, 进一步阐明雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的饵料生物组成与摄食特性。研究结果表明: 首先, 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的饵料生物种类数为 38 种, 食谱宽幅较 10 种裂腹鱼类窄, 处于已有研究裂腹鱼类的中等偏下水平; 其次, IC 最大值为 2.26, 较 11 种裂腹鱼类小, 且 IC 平均值为 1.61, 较 8 种裂腹鱼类小, 处于已有

表 3 雅砻江中游不同季节、体长组和性别的厚唇裸重唇鱼样本饵料生物物的 Shonnon-Wiener 多样性指数 ( $H'$ ) 和 Pielou 均匀度指数 ( $J$ )

Tab. 3 The Shonnon-Wiener diversity ( $H'$ ) and Pielou evenness index ( $J$ ) in food organisms of *G. pachycheilus* from different season, size, and gender groups in the middle reach of Yalong River

分组 groups		样本数量/尾 number of samples	Shannon-Wiener 多样性指数 Shonnon-Wiener diversity index, $H'$	Pielou 均匀度指数 Pielou evenness index, $J$
季节 season	春 spring	15	1.81	0.54
	秋 autumn	19	2.11	0.62
	冬 winter	19	1.95	0.63
体长组/mm size groups	<250	19	2.04	0.59
	250~280	18	2.02	0.63
	>280	16	2.06	0.62
性别 gender	雌性 females	18	2.05	0.61
	雄性 males	22	2.07	0.59
	性别未辨样本 gender-indistinguishable group	13	2.08	0.62
全部样本 all samples		53	2.10	0.58

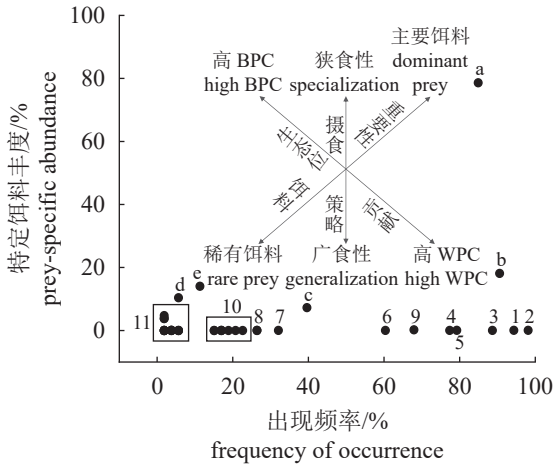


图3 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼饵料生物的 Amundsen 图

BPC. 表现型间成分, WPC. 表现型内成分, 1. 桥弯藻, 2. 舟形藻, 3. 异极藻, 4. 菱形藻, 5. 针杆藻, 6. 脆杆藻, 7. 曲壳藻, 8. 辐射藻、卵形藻, 9. 等片藻, 10. 羽纹藻、小环藻、直链藻、扇形藻、蛾眉藻、双菱藻、短缝藻、小球藻, 11. 双眉藻、布纹藻、菱板藻、双楔藻、波缘藻、集星藻、顶棘藻、纤维藻、四胞藻、小椿藻、月牙藻、黄丝藻、栅藻、四角藻、新月藻, a. 纹石蛾幼虫, b. 短石蛾幼虫, c. 摇蚊幼虫, d. 纯襁属, e. 扁蜉属。

Fig. 3 Amundsen graph based on food organisms of *G. pachycheilus* in the middle reach of Yalong River

BPC. between-phenotype component, WPC. within-phenotype component, 1. *Cymbella* spp., 2. *Navicula* spp., 3. *Comphonema* spp., 4. *Nitzschia* spp., 5. *Symedra* spp., 6. *Fragilaria* spp., 7. *Achnanthes* spp., 8. *Stauroneis* spp., *Cocconeis* sp., 9. *Diatoma* spp., 10. *Pinnularia* spp., *Cyclotella* sp., *Melosira* sp., *Meridion* sp., *Ceratoneis* sp., *Surirella* spp., *Eumotia* spp., *Chlorella* sp.; 11. *Amphora* sp., *Gyrosigma* sp., *Hantzschia* sp., *Didymosphenia* sp., *Cymatopleura* sp., *Actinastrum* sp., *Chodatella* sp., *Ankistrodesmus* sp., *Tetraspora* sp., *Characium* sp., *Selenastrum* sp., *Tribonema* sp., *Scaeaesmus* sp., *Tetraëdron* sp., *Closterium* sp., a. Hydropsychidae larvae, b. Brachycentridae larvae, c. Chironomidae larvae, d. *Paragnrtina*, e. *Heptagenia*.

研究裂腹鱼类的中下游水平; 最后, *H'*和*J*分别为 2.10 和 0.58, 仅较新疆天池调查到的新疆裸重唇鱼 (*G. dybowskii*)<sup>[41]</sup> 小, 处于已有研究裂腹鱼类的上游水平。此外, 所有已研究裂腹鱼类均属杂食性鱼类 (包括本研究的厚唇裸重唇

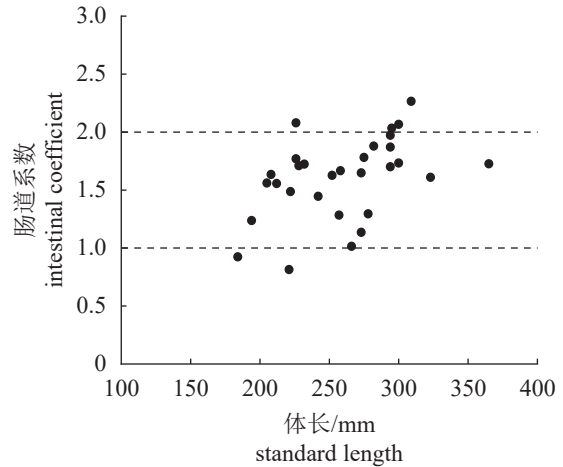


图4 不同体长厚唇裸重唇鱼的肠道系数

Fig. 4 Intestinal coefficient of *G. pachycheilus* with different standard length

鱼), 其摄食的主要饵料生物大多为硅藻和底栖无脊椎动物, 仅少数摄食鱼类, 例如扁吻鱼 (*Aspiorhynchus laticeps*)<sup>[42]</sup> 和尖裸鲤 (*Oxygymnocypris stewartii*)<sup>[43-44]</sup> (表 6)。

### 3.1 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的摄食强度及其季节变化

本研究采集的所有厚唇裸重唇鱼样本中, 肠道充塞度为 1 至 2 级的个体数量最多, 共 138 尾, 占样本总数的 66.67% ( $N=207$ ), 且无肠道充塞度为 5 级的样本。上述研究结果表明, 雅砻江中游的厚唇裸重唇鱼在野生状态下总体摄食强度较低。分析原因, 不难发现雅砻江流域地处青藏高原东南部, 地形变化急剧, 山高坡陡, 特别是中上游区段谷深流急, 水文波动较大, 加之地质构造复杂, 滑坡、崩塌、泥石流等灾害频发, 导致雅砻江中上游的干流区段水生生物饵料资源相对匮乏<sup>[61-62]</sup>。因此, 所分布江段内饵料生物自身生物量的不足可能是引起雅砻江中游厚唇裸重唇鱼摄食强度较低的一

表 4 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼不同年龄组的肠道系数

Tab. 4 Intestinal coefficient of *G. pachycheilus* from different age group in the middle reach of Yalong River

年龄组 age group	4龄 4-year	5龄 5-year	6龄 6-year	7龄 7-year	8龄 8-year	全部样本 all samples
样本数量/尾 number of samples	8	6	6	6	4	30
体长/mm standard length	211.9±6.2	241.5±7.2	266.2±7.0	300.0±4.3	311.8±16.7	259.6±41.1
体重/g body weigh	117.4±11.1	173.3±18.7	237.6±17.9	338.5±14.7	425.7±74.7	237.9±22.9
肠道系数 intestinal coefficient, IC	1.44±0.08	1.50±0.18	1.52±0.12	1.82±0.06	1.93±0.13	1.61±0.06

表 5 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼不同季节、体长和性别之间的饵料生物 Schoener 重叠指数

Tab. 5 The Schoener overlap index in food organisms of *G. pachycheilus* among different season, size, and gender groups in the middle reach of Yalong River

		分组 groups	秋 autumn	冬 winter	250~280	>280	雄性 males	性别未辨样本 gender-indistinguishable group
季节 season	春 spring		0.40	0.37				
	冬 winter		0.84					
体长组/mm size groups	<250				0.81	0.78		
	250~280					0.73		
性别 gender	雌性 females						0.87	0.62
	雄性 males							0.66

个重要原因。此外, 本研究采集的 207 尾厚唇裸重唇鱼样本中, 有 127 尾是在 2020 年 11 月和 12 月采集的, 占样本总数的 61.35%。本研究的采样地点地处高原地区, 海拔在 2 600~3 500 m, 11 月和 12 月的水温均在 10.3 °C 以下, 在此水温条件下鱼体自身代谢强度会相应降低<sup>[63]</sup>, 加之饵料生物种类和数量的进一步减少<sup>[64]</sup>, 可能共同导致了厚唇裸重唇鱼的摄食强度维持在一个较低水平。综合  $E\%$  和  $K$  的研究结果, 厚唇裸重唇鱼的摄食强度由高到低依次为秋季、冬季、春季, 且春季的摄食强度显著低于秋季与冬季, 秋季与冬季的摄食强度无显著性差异。截至目前, 有关厚唇裸重唇鱼摄食节律方面的研究鲜见报道, 但有关其繁殖期的报道已有不少, 例如姜忠玉等<sup>[9]</sup>研究发现, 黄河上游水系的厚唇裸重唇鱼繁殖期为 4—6 月, 而长江上游和雅砻江水系的厚唇裸重唇鱼繁殖期为 4—5 月<sup>[21]</sup>。上述研究结果表明, 无论是黄河水系还是长江水系或雅砻江水系的厚唇裸重唇鱼均在每年 4 月前完成性腺发育, 并在 4 月进入繁殖期。现有研究表明, 鱼类受自身生理发育节律和环境变化的限制, 其在冬季或繁殖期普遍呈现出摄食减少或停止的特性<sup>[45, 50, 65]</sup>。另外, 也有学者认为鱼类在性腺发育期和繁殖期, 发育的性腺会占据一定的腹腔空间, 进而压缩原有消化道所占空间, 从而对鱼类摄食意愿和强度产生较大影响<sup>[50, 66]</sup>。结合本研究结果, 即雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的春季样本性腺发育程度最高达到了 II 期, 且春季样本表现出的摄食强度最低, 可能便是厚唇裸重唇鱼在性腺发育期或繁殖前期摄食意愿或强度会有一定减退所造成的。由于本研究分析的厚唇裸重唇鱼样

本性腺发育程度均不高 (I~III 期), 因此, 有关性腺发育和繁殖对厚唇裸重唇鱼摄食意愿和强度的影响, 还有待进一步研究与验证。

### 3.2 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的饵料生物组成及多样性

本研究中, 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼所摄食饵料生物总种类数为 38 种, 食谱宽幅较雅鲁藏布江的拉萨裂腹鱼 (*S. waltoni*)<sup>[56]</sup> 和双须叶须鱼 (*P. dipogon*)<sup>[49]</sup>、乌江上游的四川裂腹鱼 (*S. kolzovi*)<sup>[58]</sup> 等 10 种裂腹鱼类窄, 处于已有研究裂腹鱼类的中等偏下水平 (表 6)。据历史调查资料记载, 厚唇裸重唇鱼主要以石蛾和摇蚊的幼虫、石蝇稚虫、其他水生昆虫及桡足类、钩虾等为食, 也摄食部分水生植物枝叶和藻类<sup>[20-22]</sup>。同上述记载资料相比, 桡足类、钩虾、水生植物枝叶等未出现在本次调查样本的肠道中, 厚唇裸重唇鱼的饵料生物种类数较历史资料明显偏少。造成这一现象的原因, 可能有两个方面: 首先, 是由不同研究的采样时间、地点、周期和样本数量不同所造成的结果<sup>[15]</sup>, 即本研究所调查江段为雅砻江两河口水电站库区江段, 由于夏季水库水位较高和水流过大, 本研究未采集到厚唇裸重唇鱼的夏季样本。因此, 由于夏季样本的缺失, 可能影响到了厚唇裸重唇鱼饵料生物总种类数的最终统计结果。其次, 由于两河口水电站涉水工程的建设, 以及人类其他活动的影响, 导致本研究所调查江段的水环境发生了较大变化, 从而引起可作为厚唇裸重唇鱼饵料生物的水生生物在种类数和生物量上的降低<sup>[4-6, 62]</sup>, 进而引起厚唇裸重唇鱼所摄食饵料生物总种类数的减少。

诸多研究表明鱼类的饵料生物多样性会随

表 6 不同裂腹鱼类的饵料生物组成与摄食特性  
Tab. 6 Food organisms and feeding characteristics of different Schizothoracinae species

种类 species	采样地点 sampling locations	饵料生物种类数 number of food organisms	主要饵料生物 main food organisms	肠道系数 intestinal coefficient, /C		食性 feeding habits	Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index, $H'$	Pielou均匀度 指数 Pielou evenness index, $J$	文献来源 reference
				范围 range	平均值 average (mean $\pm$ SE)				
新疆裸重唇鱼 <i>Gymnoditrychus dybowskii</i>	天池	—	硅藻、摇蚊幼虫、轮虫	—	—	杂食性偏动物	2.40	1.00	[41]
扁吻鱼 <i>Aspiorhynchus laticeps</i>	特克斯河、喀什河、巩乃斯河	63	硅藻、纹石蛾幼虫、摇蚊幼虫	—	—	杂食性偏动物	—	—	[45]
尖裸鲤 <i>Oxygymnocypris stewartii</i>	木扎提河-克孜尔水库	—	鲤科鱼类、摇蚊幼虫	—	—	杂食性偏动物	—	—	[42]
	雅鲁藏布江	37	鳅科鱼类、鲤科鱼类、纹石蛾幼虫、摇蚊幼虫	0.51~1.45	0.91 $\pm$ 0.15	杂食性偏动物	0.78	—	[44]
	雅鲁藏布江	18	鳅科鱼类、摇蚊幼虫	0.75~0.89	0.80 $\pm$ 0.04	杂食性偏动物	0.78	—	[43]
极边扁咽齿鱼 <i>Platypharodon extremus</i>	黄河上游	—	硅藻、绿藻	—	—	杂食性偏植物	—	—	[46]
裸腹叶须鱼 <i>Psychobarbus kaznakovi</i>	赠曲	52	水生昆虫、硅藻	—	—	杂食性偏动物	—	—	[47]
	怒江	67	摇蚊幼虫、硅藻	0.99~2.38	1.32 $\pm$ 0.31	杂食性偏动物	0.43	0.24	[48]
	雅鲁藏布江	77	摇蚊幼虫、纹石蛾幼虫、硅藻	0.90~2.44	1.64 $\pm$ 0.26	杂食性偏动物	2.09	0.48	[49]
双须叶须鱼 <i>Psychobarbus dipogon</i>	雅鲁藏布江	38	摇蚊幼虫、纹石蛾幼虫、硅藻	1.13~1.68	1.42 $\pm$ 0.19	杂食性偏动物	1.55	—	[43]
	雅鲁藏布江	91	硅藻、纹石蛾幼虫、摇蚊幼虫	1.41~3.76	—	杂食性偏植物	1.32	0.29	[50]
拉萨裸裂尻鱼 <i>Schizopygopsis younghusbandi</i>	雅鲁藏布江	51	硅藻、摇蚊幼虫、纹石蛾幼虫	1.41~3.76	—	杂食性偏植物	—	—	[51]
	雅鲁藏布江	39	硅藻、水蚯蚓、摇蚊幼虫	3.04~4.06	3.43 $\pm$ 0.44	杂食性偏植物	0.76	—	[43]
热裸裂尻鱼 <i>Schizopygopsis thermalis</i>	怒江	55	硅藻、绿藻、原生动物	1.24~5.53	3.48 $\pm$ 1.24	杂食性偏植物	1.01	0.56	[48]



· 续表 6 ·

种类 species	采样地点 sampling locations	饵料生物种类数 number of food organisms	主要饵料生物 main food organisms	肠道系数 intestinal coefficient, IC		食性 feeding habits	Shannon-Wiener 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index, $H'$	Pielou均匀度 指数 Pielou evenness index, $J$	文献来源 reference
				范围 range	平均值 average (mean ± SE)				
异齿裂腹鱼 <i>Schizothorax ocomori</i>	雅鲁藏布江	109	硅藻、摇蚊幼虫	3.86~8.74	5.78±1.23	杂食性偏植物	1.72	0.37	[52]
齐口裂腹鱼 <i>Schizothorax prenanti</i>	雅鲁藏布江 金沙江下游	35 —	硅藻、水蚯蚓 硅藻、肉足虫、摇蚊幼虫	6.76~9.24 —	7.80±0.78 —	杂食性偏植物 杂食性偏植物	0.76 —	— —	[43] [53]
中华裂腹鱼 <i>Schizothorax sinensis</i>	嘉陵江	—	硅藻、摇蚊幼虫	2.20~6.96	—	杂食性偏植物	—	—	[54]
昆明裂腹鱼 <i>Schizothorax grahami</i>	乌江上游	—	硅藻	—	—	杂食性偏植物	—	—	[55]
拉萨裂腹鱼 <i>Schizothorax waltoni</i>	雅鲁藏布江	65	摇蚊幼虫、纹石蛾幼虫、硅藻	1.35~2.73	2.02±0.26	杂食性偏动物	2.07	0.48	[56]
巨须裂腹鱼 <i>Schizothorax macropogon</i>	雅鲁藏布江	38	水蚯蚓、摇蚊幼虫、硅藻	1.81~2.07	1.98±0.05	杂食性偏动物	1.43	—	[43]
怒江裂腹鱼 <i>Schizothorax nukiangensis</i>	怒江	44	摇蚊幼虫、纹石蛾幼虫、硅藻	—	—	杂食性偏动物	2.08	0.51	[57]
四川裂腹鱼 <i>Schizothorax kolzovi</i>	乌江上游 乌江上游	52 —	水生昆虫、硅藻 水生昆虫、硅藻	1.10~5.50 —	— —	杂食性偏动物 杂食性偏动物	— —	— —	[58] [55]
小裂腹鱼 <i>Schizothorax parvus</i>	羊龙潭水库、大龙潭水 库、漾弓江	10	水生昆虫、硅藻、水绵	—	—	杂食性偏动物	—	—	[59]
云南裂腹鱼 <i>Schizothorax yunnanensis</i> <i>yunnanensis</i>	澜沧江	10	昆虫、水绵	1.20~2.30	—	杂食性偏动物	—	—	[60]

注：饵料生物种类数中的藻类只统计到属，—，未做研究。

Notes: The number of food organisms for algae were only counted in genus, —, no study.

着体长的增加而增大, 摄食的饵料生物种类数也随之增加 (常用  $H$  来表示), 从而使鱼类大规模个体在生态系统的饵料生物竞争中处于优势地位<sup>[67-69]</sup>, 且鱼类对饵料生物的选择会随着不同发育阶段的生理需求发生变化 (常用  $J$  来表示)<sup>[50, 63]</sup>。本研究中, 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼所有样本的  $H$  和  $J$  分别为 2.10 和 0.58, 与其他裂腹鱼类相比, 厚唇裸重唇鱼的  $H$  和  $J$  都处于上游水平 (表 6)。据此推断, 相较于其他裂腹鱼类, 虽然厚唇裸重唇鱼所摄食饵料生物总种类数并不多, 但其对上述 38 种饵料生物摄食较平均, 即选择性并不高。此外, 本研究中厚唇裸重唇鱼不同体长组的饵料生物  $H$  和  $J$  同样存在一定差别, 具体表现为体长大于 280 mm 样本组的饵料生物  $H$  最大, 体长小于 250 mm 样本组的饵料生物  $J$  最小。据此推断, 体型较大的厚唇裸重唇鱼会相应增加所摄食饵料生物的种类数, 而体型较小的厚唇裸重唇鱼会增加对部分优质饵料生物的选择性, 进而增加对雅砻江中游饵料匮乏环境的适应性。厚唇裸重唇鱼不同体长组样本的肠道内容物中动物性饵料  $W$  的变化趋势也印证了这一推论, 即随着厚唇裸重唇鱼体长的增加, 其肠道内容物中动物性饵料的  $W$  呈现下降趋势, 具体表现为体长 <250 mm、250~280 mm、>280 mm 样本饵料生物组成中动物性饵料的  $W$  分别为 99.71%、99.56%、99.39%。

### 3.3 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的食性及不同季节、不同体长和不同性别的饵料生物组成差异

根据现有研究资料统计, 所有裂腹鱼类均属杂食性鱼类, 且根据主要饵料生物的分类, 又可将裂腹鱼类的食性细分为 3 类: 首先, 便是鱼种数量最多的偏食底栖无脊椎动物的杂食性鱼类, 如雅鲁藏布江的拉萨裂腹鱼<sup>[43, 56]</sup>、巨须裂腹鱼 (*S. macropogon*)<sup>[43, 57]</sup> 和双须叶须鱼<sup>[43, 49]</sup> 等, 共 9 种, 占已有研究的 50.00% ( $n/N=9/18$ ); 其次, 为偏食着生藻类的杂食性鱼类, 如雅鲁藏布江的异齿裂腹鱼 (*S. oconnori*)<sup>[43, 52]</sup>、拉萨裸裂尻鱼 (*S. younghusbandi younghusbandi*)<sup>[43, 50-51]</sup> 和怒江的热裸裂尻鱼 (*S. thermalis*)<sup>[48]</sup> 等, 共 7 种, 占已有研究的 38.89% ( $n/N=7/18$ ); 另外, 还有 2 种偏食鱼类的杂食性鱼类, 分别是克孜尔水库的扁吻鱼<sup>[41]</sup> 和雅鲁藏布江的尖裸鲤<sup>[43-44]</sup> (表 6)。本研究结果表明, 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼所

摄食饵料生物既有植物性饵料, 又有动物性饵料。从 IRI% 来看, 厚唇裸重唇鱼最主要的饵料生物是纹石蛾幼虫 (IRI%=40.64%), 其次是等片藻 (IRI%=14.60%)、舟形藻 (IRI%=11.62%)、短石蛾幼虫 (IRI%=9.40%) 等 (表 2)。据此推断, 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼应属典型的杂食性鱼类。一般来说, 鱼类的营养类型还与 IC 存在密切关系, 即当  $IC < 1$  时, 认为研究目标鱼种属肉食性鱼类; 当  $IC$  在 1~2 之间时, 属杂食性鱼类; 当  $IC > 2$  时, 属植食性鱼类<sup>[36]</sup>。从  $IC$  来看, 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的平均  $IC$  为 1.61 (表 4), 介于 1~2 之间 (图 4)。此外, 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的  $IC$  最大值较 11 种裂腹鱼类小,  $IC$  平均值较 8 种裂腹鱼类小, 处于已有研究裂腹鱼类的中等偏下水平 (表 6), 且其饵料生物中所有底栖无脊椎动物的累计 IRI% 较所有藻类的高, 即 50.66% > 49.34%。因此, 综合上述所有研究结果, 认为雅砻江中游厚唇裸重唇鱼是偏食底栖无脊椎动物的杂食性鱼类。

Amundsen 图示法研究结果显示雅砻江中游厚唇裸重唇鱼是广食性鱼类, 最主要的饵料生物为纹石蛾幼虫, 且不同个体间饵料生物重叠程度较高 (图 3)。这一结果, 同样被不同体长组及不同性别的 Schoener 重叠指数所印证, 即雅砻江中游厚唇裸重唇鱼不同体长组及不同性别间的饵料生物重叠程度均较高, 饵料生物组成均无显著性差异 (表 5)。造成这一现象的原因可能正是雅砻江中上游的水生生物饵料资源相对匮乏。这里需要指出的是, Schoener 重叠指数研究结果还表明厚唇裸重唇鱼春季与秋季, 春季与冬季的饵料生物重叠程度较低, 而秋季与冬季的厚唇裸重唇鱼样本饵料生物重叠程度较高。换言之, 季节的变化影响到了雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的饵料生物组成。表现在具体数据上, 便是厚唇裸重唇鱼春季所摄食的藻类在饵料生物中的占比最高 (IRI%=50.33%), 其次是秋季 (IRI%=49.27%), 而冬季最低 (IRI%=47.66%)。众所周知, 鱼类的饵料生物组成与其栖息水域饵料生物的丰富程度密切相关<sup>[51, 56]</sup>, 且水温对着生藻类的生物量会产生较大影响, 具体表现为: 单位面积着生藻类的生物量会随水温升高呈现出增加的趋势<sup>[64]</sup>。我们的调查结果显示雅砻江中游秋季和冬季的平均水温较春

季低, 而这一水温变化特性会引起水体中着生藻类生物量的相应变化。再加上厚唇裸重唇鱼在雅砻江中游主要摄食底栖生物, 其摄食的藻类大多为着生藻类, 从而引起厚唇裸重唇鱼秋季和冬季摄食的藻类在饵料生物中的占比降低的现象。总之, 不同季节、不同体长和不同性别厚唇裸重唇鱼的饵料生物组成和重叠程度的变化, 与物种自身特性以及雅砻江中的水生生物随时间的变化特性密切相关。

### 3.4 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的饵料生物组成与摄食特性的针对性保护措施建议

已有研究表明, 目前雅砻江中游厚唇裸重唇鱼野生资源量已呈现下降趋势, 主要表现为在渔获物中的数量百分比偏小, 种群年龄结构呈现低龄化, 体型呈现小型化等<sup>[16]</sup>。对厚唇裸重唇鱼这一国家二级保护动物的保护已刻不容缓。因此, 针对厚唇裸重唇鱼在雅砻江中游的资源现状, 并结合本研究有关其饵料生物组成与摄食特性的结果, 本研究尝试提出以下针对性保护措施。首先, 应尽快开展基于人工苗种培育技术的增殖放流。考虑到饵料是影响鱼类生存和繁衍的重要因素之一, 且直接影响到鱼类增殖放流后的放流存活率<sup>[17, 50]</sup>, 为了实现较好的增殖放流效果, 应根据鱼类的生物学特性选择适宜的放流地点及季节, 即应选择鱼类饵料丰富度和易得性较高的季节实施增殖放流, 同时应依据水环境中的饵料基础选择适宜的江段(包括支流)开展增殖放流。调查发现, 长江鱼类增殖放流多数选择在春季实施, 如中华鲟(*Acipenser sinensis*)、达氏鲟(*A. dabryanus*)、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)等<sup>[70]</sup>。根据雅砻江中游厚唇裸重唇鱼摄食强度的季节性差异分析结果, 相较于春季和冬季而言, 厚唇裸重唇鱼在秋季的摄食强度最高。据此推断, 在雅砻江中游秋季时, 厚唇裸重唇鱼饵料生物的丰富度和易得性可能较高。因此, 针对厚唇裸重唇鱼在雅砻江中游的增殖放流, 可以选择在秋季(以初秋9—10月为宜), 且饵料生物(特别是大型底栖无脊椎动物)丰富度较高的江段或支流实施。其次, 应尽快研发出适合厚唇裸重唇鱼的人工配合饲料。开展珍稀鱼类的人工繁殖及苗种培育是保护渔业资源的重要措施, 也是开展增殖放流的重要前提<sup>[36]</sup>, 科学研发出适合厚唇裸重唇鱼的饲料可提高人工繁育过程的苗种存活率

与生长速度。本研究结果表明, 厚唇裸重唇鱼在雅砻江中游主要摄食纹石蛾幼虫、短石蛾幼虫、等片藻、舟形藻、桥弯藻、异极藻等, 属偏食底栖无脊椎动物的杂食性鱼类。因此, 在厚唇裸重唇鱼饲料研发过程中, 饲料各营养成分(包括蛋白质、脂肪、糖类等)的配比应尽量参照上述天然水域中饵料生物的营养成分。这样既可以提高人工饲料各营养成分的科学性, 又可以在缺少天然生物饵料驯化的增殖放流过程中, 提高人工培育的厚唇裸重唇鱼苗种在雅砻江中游对天然河道中饵料生物的适应性, 进而降低放流后的死亡率。最后, 建议针对厚唇裸重唇鱼一个或多个鱼种在雅砻江中游适宜江段(包括支流)设置保护区, 包括水产种质资源保护区或水生生物自然保护区(省市级或国家级)。众所周知, 栖息地保护是物种保护最有效的措施之一, 且基于鱼类重要生境(包括产卵场、越冬场、索饵场等)调查的保护区建设常作为我国对珍稀物种保护的重要手段<sup>[71]</sup>。基于本研究结果, 当针对厚唇裸重唇鱼的野生资源保护在雅砻江设立保护区时, 建议除考虑不同江段厚唇裸重唇鱼野生资源量这一表观数据外, 不同江段厚唇裸重唇鱼天然饵料生物的本底值也应作为保护区划定的考量标准之一, 且这一点在水生生物饵料资源相对匮乏的雅砻江中上游江段显得尤为重要。

综上所述, 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的总体摄食强度较低, 这可能与雅砻江中上游水环境恶劣, 饵料生物匮乏有关。受自身生理特性影响或环境因素限制, 厚唇裸重唇鱼在繁殖期的摄食明显减少。雅砻江中游厚唇裸重唇鱼是广食性鱼类, 其主要的饵料生物是大型底栖无脊椎动物中的纹石蛾幼虫, 并兼食着生藻类(包括硅藻门中的等片藻、舟形藻、桥弯藻、异极藻等), 属偏食底栖无脊椎动物的杂食性鱼类。此外, 个体大小和性别对厚唇裸重唇鱼在雅砻江中游的饵料生物组成影响不大, 而季节变化影响其饵料生物组成更为明显。基于上述研究结果, 实验提出了雅砻江中游厚唇裸重唇鱼的针对性保护措施建议, 包括增殖放流策略优化、人工饲料研发, 以及保护区划定标准的建议。

### 参考文献 (References):

- [1] 姚昆, 张存杰, 何磊, 等. 雅砻江中上游流域生态环境脆弱性动态评价及预测[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(4): 199-208.

- Yao K, Zhang C J, He L, *et al.* Dynamic evaluation and prediction of ecological environment vulnerability in the middle-upper reaches of the Yalong River[J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2020, 32(4): 199-208 (in Chinese).
- [ 2 ] 吴江, 吴明森. 雅砻江的渔业自然资源 [J]. *四川动物*, 1986(1): 1-5,10.
- Wu J, Wu M S. Fishery natural resources of Yalong River[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 1986(1): 1-5,10 (in Chinese).
- [ 3 ] 张春光, 赵亚辉. 中国内陆鱼类物种与分布 [M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- Zhang C G, Zhao Y H. Species diversity and distribution of inland fishes in China[M]. Beijing: Science Press, 2016 (in Chinese).
- [ 4 ] 邓嘉俊, 王小东, 同琳钰, 等. 雅砻江中游支流力丘河鱼类资源现状 [J]. *四川动物*, 2022, 41(4): 444-453.
- Deng J J, Wang X D, Tong L T, *et al.* Fish diversity and spatial pattern in the Liqiu River, a tributary of the middle Yalong River[J]. *Sichuan Journal of Zoology*, 2022, 41(4): 444-453 (in Chinese).
- [ 5 ] 蒋红, 谢嗣光, 赵文谦, 等. 二滩水电站水库形成后鱼类种类组成的演变 [J]. *水生生物学报*, 2007, 31(4): 532-539.
- Jiang H, Xie S G, Zhao W Q, *et al.* Changes of fish assemblages after construction of ertan reservoir in Yalongjiang River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(4): 532-539 (in Chinese).
- [ 6 ] 杨青瑞, 陈求稳, 马徐发. 雅砻江下游鱼类资源调查及保护措施 [J]. *水生态学杂志*, 2011, 32(3): 94-98.
- Yang Q R, Chen Q W, Ma X F. Status of fish resources and protection measures in the lower reaches of Yalong River[J]. *Journal of Hydroecology*, 2011, 32(3): 94-98 (in Chinese).
- [ 7 ] 马宝珊, 谢从新, 霍斌, 等. 裂腹鱼类生物学研究进展 [J]. *江西水产科技*, 2011(4): 36-40.
- Ma B S, Xie C X, Huo B, *et al.* Biology of Schizothoracinae: a review[J]. *Jiangxi Fishery Sciences and Technology*, 2011(4): 36-40 (in Chinese).
- [ 8 ] 伍献文. 中国鲤科鱼类志 (上卷) [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1964.
- Wu X W. The Cyprinid fishes of China (I)[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1964 (in Chinese).
- [ 9 ] 娄忠玉, 秦懿, 王太, 等. 厚唇裸重唇鱼繁殖生物学 [J]. *水产科学*, 2012, 31(1): 32-36.
- Lou Z Y, Qin Y, Wang T, *et al.* Reproductive biology and spawning habitats of *Gymnodiptychus pachycheilus*[J]. *Fisheries Science*, 2012, 31(1): 32-36 (in Chinese).
- [10] 李柯懋, 高桂香. 厚唇裸重唇鱼生物学特性及保护建议 [J]. *河北渔业*, 2012(6): 18-19,25.
- Li K M, Gao G X. *Gymnodiptychus pachycheilus* Herzenstein in Yellow River biological characteristics and protection suggestions[J]. *Hebei Fisheries*, 2012(6): 18-19,25 (in Chinese).
- [11] 苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等. 基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构 [J]. *生态学报*, 2012, 32(13): 4191-4198.
- Su J H, Zhang Y P, Lou Z Y, *et al.* Genetic structure of *Gymnodiptychus pachycheilus* from the upper reaches of the Yellow River as inferred from *mtDNA* control region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(13): 4191-4198 (in Chinese).
- [12] 杜岩岩, 史小宁, 宋福俊, 等. 黄河上游甘肃段厚唇裸重唇鱼资源分布现状调查 [J]. *甘肃畜牧兽医*, 2016, 46(15): 124-126.
- Du Y Y, Shi X N, Song F J, *et al.* Distribution and research status of *Gymnodiptychus pachycheilus* resources in the upper reaches of the Yellow River, Gansu[J]. *Gansu Animal and Veterinary Sciences*, 2016, 46(15): 124-126 (in Chinese).
- [13] 何静平. 国家重点保护野生动物名录 [J]. 中华人民共和国国务院公报, 1989(2): 46-60.
- He J P. List of key protected wild animals in China[J]. *Gazette of the State Council of the People's Republic of China*, 1989(2): 46-60 (in Chinese).
- [14] 蒋志刚. 中国生物多样性红色名录: 第四卷, 脊椎动物、两栖动物 [M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- Jiang Z G. China's red list of biodiversity Volume III-Vertebrates Amphibians[M]. Beijing: Science Press, 2021 (in Chinese).
- [15] 殷名称. 鱼类生态学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- Yin M C. Fishery ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995 (in Chinese).
- [16] 李筱芹, 郑江, 万卓坤, 等. 雅砻江中游厚唇裸重唇鱼种群结构与生长特性 [J]. *生态学报*, 2023, 43(16): 6833-6850.
- Li X Q, Zheng J, Wan Z K, *et al.* Population structure and growth characteristics of *Gymnodiptychus pachycheilus* in the middle reach of Yalong River[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43(16): 6833-6850. (in Chinese).
- [17] 邓景耀, 赵传网. 海洋渔业生物学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1991.
- Deng J Y, Zhao C Y. Marine fishery biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991 (in Chinese).
- [18] Lammens E H R R. The central role of fish in lake restoration and management[J]. *Hydrobiologia*, 1999, 395: 191-198.
- [19] Skov C, Lousdal O, Johansen P H, *et al.* Piscivory of 0<sup>+</sup> pike (*Esox Lucius* L.) in a small eutrophic lake and its implication for biomanipulation[J]. *Hydrobiologia*, 2003, 506(1): 481-487.
- [20] 武云飞, 吴翠珍. 青藏高原鱼类 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1991.
- Wu Y F, Wu C Z. The Fishes of the Qinghai-Xizang Plateau[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1991 (in Chinese).
- [21] 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.
- Fish Department, Hubei Institute of Hydrobiology. Yangtze fish[M]. Beijing: Science Press, 1976 (in Chinese).
- [22] 丁瑞华. 四川鱼类志 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994.
- Ding R H. The fishes of Sichuan[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 1994 (in Chinese).
- [23] 万卓坤, 甘维熊, 赵春娟, 等. 雅鲁江中游厚唇裸重唇鱼不同年龄鉴定材料的比较 [J]. 水产学报, 2024, 48(6): 069308.
- Wan Z K, Gan W X, Zhao C X, *et al.* Comparative studies on age identification materials of *Gymnodiptychus pachycheilus* from the middle reaches of Yalong River[J]. Journal of Fisheries of China, 2024, 48(6): 069308. (in Chinese).
- [24] 谢从新. 鱼类学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- Xie C X. Ichthyology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2009 (in Chinese).
- [25] 伍跃辉, 李中宇. 松花江流域底栖动物图谱 [M]. 北京: 中国环境出版集团, 2019.
- Wu Y H, Li Z Y. Atlas of benthos in Songhua River basin[M]. Beijing: China Environmental Publishing Group, 2019 (in Chinese).
- [26] 王业耀. 中国流域常见水生生物图集 (上下册)[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- Wang Y Y. Atlas of common aquatic organisms in Chinese rivers[M]. Beijing: Science Press, 2020 (in Chinese).
- [27] 赵文. 水生生物学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- Zhao W. Hydrobiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007 (in Chinese).
- [28] 水利部水文局, 长江流域水环境监测中心. 中国内陆水域常见藻类图谱 [M]. 武汉: 长江出版社, 2012.
- Hydrology Bureau of the Ministry of Water Resources, Yangtze River Basin Water Environment Monitoring Center. Atlas of common algae in inland waters of China[M]. Wuhan: Yangtze River Press, 2012 (in Chinese).
- [29] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1991.
- Zhang J M, He Z H. Handbook of inland waters fisheries natural resources survey[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991 (in Chinese).
- [30] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna, and bonito in California waters[J]. Fishery Bulletin, 1971(152): 8591664.
- [31] Cortés E. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1997, 54(3): 726-738.
- [32] Shannon C E. A mathematical theory of communication[J]. The Bell System Technical Journal, 1948, 27(3): 379-423.
- [33] Pielou E C. The measurement of diversity in different types of biological collections[J]. Journal of Theoretical Biology, 1966, 13: 131-144.
- [34] Costello M J. Predator feeding strategy and prey importance: a new graphical analysis[J]. Journal of Fish Biology, 1990, 36(2): 261-263.
- [35] Amundsen P A, Gabler H M, Staldvik F J. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data—modification of the Costello (1990) method[J]. Journal of Fish Biology, 1996, 48(4): 607-614.
- [36] 谢从新, 马徐发, 覃剑晖, 等. 雅鲁藏布江黑斑原鲃的生物多样性及养护技术研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- Xie C X, Ma X F, Qin J H, *et al.* Studies on biodiversity and conservation technology of *Glyptosternum maculatum* in the Yarlung Zangbo River[M]. Beijing: Science Press, 2016 (in Chinese).
- [37] Schoener T W. Nonsynchronous spatial overlap of lizards in patchy habitats[J]. Ecology, 1970, 51(3): 408-418.
- [38] Wallace Jr R K. An assessment of diet-overlap indexes[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1981, 110(1): 72-76.
- [39] Zar J H. Biostatistical analysis[M]. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1999.
- [40] 谢从新, 霍斌, 魏开建, 等. 雅鲁藏布江中游裂腹鱼类生物学与资源保护 [M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- Xie C X, Huo B, Wei K J, *et al.* Biology and resource conservation of Schizothoracinae fishes in the Middle Reaches of the Yarlung Zangbo River[M]. Beijing: Science Press, 2019 (in Chinese).
- [41] 张媛媛, 苏辉明, 刘凯, 等. 新疆天池裸重唇鱼的食性分析及虹鳟入侵对其食性的影响 [J]. 生态与农村环境学报, 2022, 38(9): 1157-1164.
- Zhang Y Y, Su H M, Liu K, *et al.* Feeding habits of *Gymnodiptychus dybowskii* and the changes of its food type caused by the introducing of rainbow trout[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2022, 38(9): 1157-1164 (in Chinese).
- [42] 任波, 任慕莲, 郭焱, 等. 扁吻鱼的生物学研究 [J]. 水产学杂志, 2006, 19(2): 9-22.
- Ren B, Ren M L, Guo Y, *et al.* Studies on the biological characteristics of *Aspiorhynchus laticeps* (Day)[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2006, 19(2): 9-22 (in Chinese).
- [43] 季强. 六种裂腹鱼类摄食消化器官形态学与食性的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- Ji Q. The study on the morphology of feeding organs and the feeding habits of six Schizothoracine fishes[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2008 (in Chinese).
- [44] 霍斌. 尖裸鲤个体生物学和种群动态学研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- Huo B. Study on the biology and population dynamics of *Oxy-*

- gymnocypris stewartii*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014 (in Chinese).
- [45] 牛玉娟. 伊犁河新疆裸重唇鱼个体生物学研究 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2015.  
Niu Y J. Study on the individual biology of *Gymnodiptychus dybowskii* Kessler in the Ili River[D]. Alaer: Tarim University, 2015 (in Chinese).
- [46] 张艳萍, 娄忠玉, 秦懿, 等. 黄河上游玛曲段极边扁咽齿鱼的资源现状与保护措施 [J]. 西北师范大学学报 (自然科学版), 2010, 46(1): 84-89.  
Zhang Y P, Lou Z Y, Qin Y, *et al.* Distribution status and protection measure of *Platypharodon extremus* Herz population in Maqu section at upper reaches of Yellow River[J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science Edition), 2010, 46(1): 84-89 (in Chinese).
- [47] 朱挺兵, 李飞, 杨德国. 金沙江上游赠曲的鱼类与裸腹叶须鱼的食性 [J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(7): 1086-1092.  
Zhu T B, Li F, Yang D G. Fish resources and feeding habits of *Ptychobarbus kaznakovi* in the Zengqu River, a tributary of the upper Jinsha River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, 25(7): 1086-1092 (in Chinese).
- [48] 王起, 刘明典, 朱峰跃, 等. 怒江上游三种裂腹鱼类摄食及消化器官比较研究 [J]. 动物学杂志, 2019, 54(2): 207-221.  
Wang Q, Liu M D, Zhu F Y, *et al.* Comparative study of three species of Schizothoracine on feeding and digestive organs in upper Nujiang River[J]. Chinese Journal of Zoology, 2019, 54(2): 207-221 (in Chinese).
- [49] 杨鑫. 雅鲁藏布江双须叶须鱼年龄生长、食性和种群动态研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.  
Yang X. Study on age, growth, feeding habits and population dynamics of *Ptychobarbus dipogon* in the Yarlung Tsangpo River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015 (in Chinese).
- [50] 杨学峰. 拉萨裸裂尻鱼的食性及食物选择的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.  
Yang X F. Feeding habits and selectivity of *Schizopygopsis younghusbandi younghusbandi* regan[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011 (in Chinese).
- [51] 段友健. 拉萨裸裂尻鱼个体生物学和种群动态研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.  
Duan Y J. Study on the biology and population dynamics of *Schizopygopsis younghusbandi*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015 (in Chinese).
- [52] 马宝珊. 异齿裂腹鱼个体生物学和种群动态研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.  
Ma B S. Study on the biology and population dynamics of *Schizothorax o'connori*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011 (in Chinese).
- [53] 段鹏翔. 金沙江下游齐口裂腹鱼种群动态研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015.  
Duan X P. Study on the population dynamics of *Schizothorax prenanti* in the lower reaches of Jinsha River[D]. Changsha: Hunan Agriculture University, 2015 (in Chinese).
- [54] 冷永智, 周祖清, 黄德祥. 中华裂腹鱼的生物学资料 [J]. 动物学杂志, 1984(6): 45-47.  
Leng Y Z, Zhou Z Q, Huang D X. Biology information of *Schizothorax sinensis*[J]. Chinese Journal of Zoology, 1984(6): 45-47 (in Chinese).
- [55] 钱瑾, 徐刚. 乌江上游两种裂腹鱼食性的初步分析 [J]. 毕节师专学报, 1998(1): 79.  
Qian J, Xu G. Preliminary analysis on feeding habits of two schizothorax species in the upper reaches of Wujiang River[J]. Journal of Bijie Teachers College, 1998(1): 79 (in Chinese).
- [56] 周贤君. 拉萨裂腹鱼个体生物学和种群动态研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.  
Zhou X Z. Study on the biology and population dynamics of *Schizothorax waltoni*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014 (in Chinese).
- [57] 刘洁雅. 西藏巨须裂腹鱼个体生物学和种群动态研究 [D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2016.  
Liu J Y. Study on biology and population dynamics of *Schizothorax macropogon* in the Yarlung Tsangpo River[D]. Alaer: Tarim University, 2016 (in Chinese).
- [58] 张晓杰, 代应贵. 四川裂腹鱼摄食习性与资源保护 [J]. 水生生态学杂志, 2011, 32(2): 110-114.  
Zhang X J, Dai Y G. Feeding habits and resources protection of *Schizothorax kozlovi*[J]. Journal of Hydroecology, 2011, 32(2): 110-114 (in Chinese).
- [59] 冷云, 徐伟毅, 刘跃天, 等. 小裂腹鱼的食性初探 [J]. 水利渔业, 2003, 23(1): 16.  
Leng Y, Xu W Y, Liu Y T, *et al.* A preliminary study on the feeding habits of *Schizothorax parvus*[J]. *Journal of Hydroecology*, 2003, 23(1): 16 (in Chinese).
- [60] 冷云, 徐伟毅, 刘跃天, 等. 云南裂腹鱼食性研究 [J]. 水利渔业, 2004, 24(1): 23.  
Leng Y, Xu W Y, Liu Y T, *et al.* Study on the feeding habits of *Schizothorax yunnanesis yunnanesis*[J]. Journal of Hydroecology, 2004, 24(1): 23 (in Chinese).
- [61] 常晓军, 魏伦武, 王德伟. 雅砻江流域地质灾害分布特征及其影响因素分析 [J]. 灾害学, 2009, 24(3): 83-88.  
Chang X J, Wei L W, Wang D W. Distribution characteristics and influencing factors of geological hazards in Yalong River basin[J]. *Journal of Catastrophology*, 2009, 24(3): 83-88 (in Chinese).
- [62] 吴乃成, 唐涛, 黎道丰, 等. 雅砻江 (锦屏段) 及其主要支流底栖藻类群落与环境因子的关系 [J]. 生态学报, 2009, 29(4):

- 1697-1703.
- Wu N C, Tang T, Li D F, *et al.* Benthic algal communities in Jinping reach of Yalong River and its main tributaries in relation to environmental variables[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 1697-1703 (in Chinese).
- [63] 王建峰. 长江口棘头梅童鱼食物组成与摄食习性初步研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- Wang J F. The preliminary study of food composition and feeding habit of collichthy lucidus in the Yangtze River estuary[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015 (in Chinese).
- [64] 刘冬启. 观道河水库周丛生物群落结构和渔产潜力的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2001.
- Liu D Q. Studies on the communities structure and potential fishery production capacity of periphyton in Guandaohu reservoir[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2001 (in Chinese).
- [65] Hovde S C, Albert O T, Nilssen E M. Spatial, seasonal and ontogenetic variation in diet of Northeast Arctic Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*)[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2002, 59(2): 421-437.
- [66] Olaso I, Rauschert M, De Broyer C. Trophic ecology of the family Artedidraconidae (Pisces: Osteichthyes) and its impact on the eastern Weddell Sea benthic system[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2000, 194: 143-158.
- [67] Schafer L N, Platell M E, Valesini F J, *et al.* Comparisons between the influence of habitat type, season and body size on the dietary compositions of fish species in nearshore marine waters[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2002, 278(1): 67-92.
- [68] 张波, 金显仕, 戴芳群. 黄海中南部细纹狮子鱼的摄食习性及其变化[J]. 水产学报, 2011, 35(8): 1199-1207.
- Zhang B, Jin X S, Dai F Q. Feeding habits and their variation of seasnail (*Liparis tanakae*) in the central and southern Yellow Sea[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35(8): 1199-1207 (in Chinese).
- [69] 张波. 黄海中部高眼鲈的摄食及随体长的变化[J]. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1849-1854.
- Zhang B. Diet composition and onto genetic variation in feeding habits of *Cleithenes herzensteini* in central Yellow Sea[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(8): 1849-1854 (in Chinese).
- [70] 危起伟, 杜浩. 长江珍稀鱼类增殖放流技术手册[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- Wei Q W, Du H. Technical manual of rare fish stocking in Yangtze River[M]. Beijing: Science Press, 2014 (in Chinese).
- [71] 王健, 张富斌, 胡华明, 等. 雅鲁藏布江下游弧唇裂腹鱼的年龄结构与生长特性[J]. 水生生物学报, 2022, 46(12): 1770-1779.
- Wang J, Zhang F B, Hu H M, *et al.* Characteristics of age and growth of *Schizothorax Curvilabiatus* in the lower reaches of the Yarlung Zangbo River[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, 46(12): 1770-1779 (in Chinese).

## Food organism compositions and feeding characteristics of *Gymnodiptychus pachycheilus* in the middle reach of Yalong River

LI Xiaoqin<sup>1</sup>, ZENG Rukui<sup>2</sup>, NI Dafu<sup>1</sup>, FENG Gang<sup>2</sup>, WAN Zhuokun<sup>3</sup>, WANG Jie<sup>2</sup>,  
WU Tongfei<sup>1</sup>, LU Taoxiu<sup>1</sup>, DENG Huatang<sup>4</sup>, YAO Weizhi<sup>1</sup>, FU Mei<sup>1</sup>, LÜ Hongjian<sup>1\*</sup>

1. Conservation and Research Centre for Aquatic Biodiversity in the Upper Reaches of Yangtze River, Research Central of Fishery Resources and Environment, College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Yalong River Hydropower Development Company, Ltd., Chengdu 610000, China;

3. The Bureau of Agriculture and Rural Affairs of the Yucheng Ya'an, Ya'an 625000, China;

4. Fishery Resources and Environmental Science Experimental Station of The Upper-Middle Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China

**Abstract:** *Gymnodiptychus pachycheilus*, a native fish species of the Schizothoracinae subfamily in China, is primarily distributed in the upper reaches of the Yellow River and the middle to upper reaches of the Yalong River. To analyze the feeding characteristics (including feeding intensity and its seasonal variation, composition and diversity of food organisms, and feeding strategy) of *G. pachycheilus* in the middle reaches of the Yalong River, a total of 207 samples were collected from this region in Ganzi Tibetan Autonomous Prefecture, Sichuan Province, between October 2020 and May 2022. Specifically, 207, 30, and 53 *G. pachycheilus* samples were used to assess feeding intensity and food composition among different size, gender, and seasonal groups, measure intestinal length (IC), and analyze intestinal contents, respectively. Results indicated that the overall feeding intensity of *G. pachycheilus* was low in the middle reaches of the Yalong River, with the lowest intensity observed during the reproduction season. A total of 38 prey species were identified for *G. pachycheilus*, with Hydropsychidae larvae (a benthic macroinvertebrates) being the primary food source. *G. pachycheilus* also consumed attached algae of Bacillariophyta (e.g., *Diatoma* spp., *Navicula* spp., *Cymbella* spp., *Comphonema* spp., etc.). The average intestinal (IC) of 30 *G. pachycheilus* samples was  $1.61 \pm 0.06$ , which was considered a lower-middle level of Schizothoracinae fishes according to the previous studies. The Shannon-Wiener diversity index ( $H'$ ) and Pielou evenness index ( $J$ ) of the food organisms for *G. pachycheilus* were 2.10 and 0.58, respectively, indicating relative high levels of dietary diversity and evenness compared to other Schizothoracinae species. Furthermore, analysis using the Amundsen graphic method and Schoener overlap index revealed higher dietary overlap among *G. pachycheilus* samples from different body length and gender groups, while lower overlap was observed among seasonal groups. Overall, *G. pachycheilus* in the middle reaches of the Yalong River is an euryphagous and omnivorous species that prefers benthic invertebrates. Seasonal changes had a more significant impact on food composition than body size or sex. The findings of this study enrich the basic biological data for *G. pachycheilus* and provide a scientific basis for the conservation of wild resources, artificial domestication, and the development of suitable feeds.

**Key words:** Schizothoracinae; *Gymnodiptychus pachycheilus*; composition of food organisms; feeding characteristics; middle reach of Yalong River

**Corresponding author:** LÜ Hongjian. E-mail: [hongjianlv@swu.edu.cn](mailto:hongjianlv@swu.edu.cn)

**Funding projects:** National Key Research and Development Program of China (2022YFC3204200); National Natural Science Foundation of China (31802296); Yalong River Hydropower Development Company Ltd. Research Project (YLGZ-GZA-ZZ2020232); Fishery Administration Supervision Office of Yangtze River Basin, Ministry of Agriculture and Rural Affairs Research Project (17200302)