

引文格式: 王静, 雷春云, 梁祥, 等. 鲢、鳙的滤食器官和消化组织特征以及摄食策略[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2023, 38(6): 942–947. DOI: [10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).202202005](https://doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).202202005)

## 鲢、鳙的滤食器官和消化组织特征以及摄食策略\*

王 静, 雷春云, 梁 祥\*\*, 薛绍伟, 熊 燕, 王文玉, 张建斌

(云南省渔业科学研究院, 云南 昆明 650051)

**摘要:**【目的】研究鲢、鳙对浮游生物的摄取与自身摄食器官、消化组织的特征差异, 解析鲢、鳙对饵料选择的差异与摄食器官、消化组织构造的相关性。【方法】采集云龙水库的鲢、鳙, 摘取鳃耙进行形态观察和可量数据分析; 制备鲢、鳙前肠组织切片, 分析组织差异; 提取鲢、鳙肠内容物, 分析饵料组成。【结果】鲢的鳃耙长于鳃丝, 鳃耙彼此相连, 融合且长, 似梳子, 鳃膜覆于鳃耙外侧面, 形成筛板, 鳃内侧具有海绵状的鳃丝网, 整个鳃耙似海绵状; 鳙的鳃耙结构致密, 无鳃丝网, 鳃耙稍短于鳃丝, 各鳃弓都有 2 列对称的鳃耙。鲢、鳙前肠组织均由黏膜层、黏膜下层、肌肉层和浆膜层构成, 鲢肌肉层较鳙肌肉层厚。鲢、鳙肠内容物中浮游动物共 7 种, 重合率为 57.14%, 鳙对浮游动物的摄食量大于鲢; 浮游植物共 44 种, 鲢摄食 38 种, 鳙摄食 31 种, 有 25 种浮游植物同时被鲢、鳙摄食, 重合率为 56.82%。可见, 鲢、鳙同时摄食浮游动物和浮游植物, 鲢以摄食浮游植物为主, 鳙以摄食浮游动物为主。【结论】滤食器官及消化组织的构造对鲢、鳙摄食策略有重要决定作用。

**关键词:** 鲢; 鳙; 鳃耙; 肠; 摄食策略

中图分类号: S917.4

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X (2023) 06-0942-06

## Characteristics of Filter Feeding Organs and Digestive Tissues, and Feeding Strategies of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis*

WANG Jing, LEI Chunyun, LIANG Xiang, XUE Shaowei,

XIONG Yan, WANG Wenyu, ZHANG Jianbin

(Yunnan Fishery Research Institute, Kunming 650051, China)

**Abstract:** [Purpose] To study the characteristic differences of plankton uptake, self-feeding organs and digestive tissues between *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichthys nobilis*, and to analysis the correlation between different bait selection and feeding organs structure and digestive tissues of *H. molitrix* and *A. nobilis*. [Methods] *H. molitrix* and *A. nobilis* of Yunlong Reservoir were collected and the gill rakers were extracted for morphological observation and measurable data analysis. Tissue sections of *H. molitrix* and *A. nobilis* foregut were prepared to analyze the tissue differences. The intestinal contents of *H. molitrix* and *A. nobilis* were extracted to analyze the bait composition.

收稿日期: 2022-02-16

修回日期: 2023-11-13

网络首发日期: 2023-12-22

\*基金项目: 云南省高层次科技人才及创新团队选拔专项—技术创新人才培养对象项目 (2019HB067); 云南丰源水务股份有限公司项目 (2019FY[H]/3-其他-001); 乡村振兴科技专项—云南省科技特派员 (202004BK090787)。

作者简介: 王静 (1990—), 女, 云南陆良人, 硕士, 助理研究员, 主要从事水生动物疾病防治研究。

E-mail: [18468237331@163.com](mailto:18468237331@163.com)

\*\*通信作者 Corresponding author: 梁祥 (1986—), 男, 云南建水人, 硕士, 副研究员, 主要从事水产资源可持续利用及水域生态学研究。E-mail: [kmlxiang@126.com](mailto:kmlxiang@126.com)

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/53.1044.S.20231222.1034.002>



[**Results**] The gill rakers of *H. molitrix* were longer than the gill filaments, gill rakers connected to each other, fusion and long, like a comb, the gill membrane was covered on the outside of the gill raker, forming a sieve plate, the inside of the gill had a spongy gill silk mesh, the whole gill rakers liked spongy. The gill rakers of *A. nobilis* were dense without the gill filament mesh, the gill rakers were slightly shorter than the gill filament, and each gill arch had two rows of symmetrical gill rakers. Both the foregut tissues of *H. molitrix* and *A. nobilis* were composed of mucosal layer, submucosal layer, muscle layer and serosa layer. The muscle layer of *H. molitrix* was thicker than the muscle layer of *A. nobilis*. A total of seven zooplankton species were found in the intestinal contents of *H. molitrix* and *A. nobilis*, with an overlap rate of 57.14%, and *A. nobilis* fed more on zooplankton than *H. molitrix*. There were 44 species of phytoplankton in the intestinal contents of *H. molitrix* and *A. nobilis*, 38 species were ingested by *H. molitrix* and 31 species were ingested by *A. nobilis*. 25 species of phytoplankton were both ingested by *H. molitrix* and *A. nobilis*, with an overlap rate of 56.82%. *H. molitrix* and *A. nobilis* fed on both zooplankton and phytoplankton, *H. molitrix* mainly fed on phytoplankton, and *A. nobilis* mainly fed on zooplankton. [**Conclusion**] The structure of filter-feeding organs and digestive tissue plays an important role in determining the feeding strategy of *H. molitrix* and *A. nobilis*.

**Keywords:** *Hypophthalmichthys molitrix*; *Aristichthys nobilis*; gill raker; intestine; feeding strategy

鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*) 和鳙 (*Aristichthys nobilis*) 作为中国“四大家鱼”成员, 二者具有相似的形态特征, 但体表斑点及头长比有较显著差异<sup>[1]</sup>。鲢和鳙具有生长速度快、适应能力强、养殖产量高等优点, 是中国淡水养殖的常规品种, 二者不仅为国民提供了优质、价廉、充足的蛋白质, 还具有调节生态系统的重要作用, 尤其在水华控制中发挥着重要作用<sup>[2-3]</sup>。

鱼类具有一系列适应各自食性类型和摄食方式的形态学特征, 每种鱼对其食物都有特定的形态学适应。研究显示: 鱼类食性与摄食器官的形态具有密切联系, 遵从生物器官形态与功能相统一的生物学规律<sup>[4-6]</sup>。鲢、鳙均以浮游生物为食, 已有研究报道二者的消化道结构、食性类型及摄食能力等存在差异<sup>[4-10]</sup>。近年来, 随着水环境保护治理的不断深入, 在水质修复及维持中, 尤其是以营养盐超标为主要影响因素的水体中, 常投放鲢、鳙以控制藻类生长<sup>[11-14]</sup>。本研究通过对鲢、鳙的滤食器官、消化器官及肠内容物开展进一步分析, 以期为天然水域鲢和鳙的摄食行为研究提供基础资料, 也为广泛开展净水渔业提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验鱼

鲢、鳙样本均采自昆明云龙水库, 鲢样本

102 尾, 鳙样本 47 尾, 其体长、全长和体质量分别用直尺与电子天平测量。

### 1.2 样品采集

分别取鲢、鳙背鳍基部前缘下侧和侧线以上鳞片, 浸泡于无水乙醇 (南京华嘉化学试剂有限公司) 中用于鉴定年龄。活鱼现场急杀, 摘取最外侧鳃耙, 清水洗净置于解剖盘拍照, 体视镜下计测单位长度鳃耙数量, 并用游标卡尺测量鳃弓至鳃耙末端的最长距离。将样本解剖, 用细线封住前肠两端后将肠道取出, 置于 10% 福尔马林 (南京华嘉化学试剂有限公司) 中固定。

### 1.3 肠内容物分析

各取 3 尾鲢、鳙前肠未消化的食物团置于培养皿中, 加适量清水混匀, 在解剖镜 (型号: MOTIC SMZ-140) 和显微镜 (型号: Nikon E200) 下鉴定食物种类, 其中浮游生物等小型种类尽可能鉴定到属, 水生昆虫尽量鉴定到种<sup>[15-17]</sup>。

### 1.4 肠组织学分析

将鲢、鳙前肠组织分别用 70% 乙醇冲洗 3 次, 脱水步骤为: 70% 乙醇→80% 乙醇→95% 乙醇 I→95% 乙醇 II→无水乙醇 I→无水乙醇 II, 各历时 1 h。透明程序为:  $V_{\text{无水乙醇}}:V_{\text{二甲苯}}=1:1$ →二甲苯 I→二甲苯 II, 各历时 40 min。浸蜡步骤为: 蜡杯 I 40 min→蜡杯 II 50 min→蜡杯 III 1 h→包埋。用旋转式切片机将蜡块切成厚 5  $\mu\text{m}$  的薄片, 50  $^{\circ}\text{C}$  烤片 30 min。脱蜡程序为:

二甲苯 I 和二甲苯 II 各 15 min→ $V_{\text{二甲苯}}:V_{\text{无水乙醇}}=1:1$  为 5 min。苏木精—伊红染色常规方法：磷钨酸苏木精染色 30 min，5% 冰乙酸分色 40 s，伊红染色 5 min。常规方法脱水透明后制作成永久切片<sup>[18]</sup>，倒置于显微镜 (型号：徕卡 DMI3000B) 观察并采集图谱。

## 2 结果与分析

### 2.1 基本生物学情况

102 尾鲢的体长范围为 31.00~61.10 cm，平均 42.10 cm；体质量范围为 530.00~4 270.00 g，平均 1 466.86 g；年龄范围为 2~5 年；鳃弓至鳃耙末端最长距离随着年龄的增长而增大 (表 1)，且变化差异显著 ( $P<0.05$ )。47 尾鳙的体长范围为 43.60~69.00 cm，平均 52.60 cm；体质量范围为 1 520.00~6 020.00 g，平均 2 754.68 g；年龄范围为 4~5 年；鳃弓至鳃耙末端最长距离随着年龄的增长无显著变化 ( $P>0.05$ )；鳃耙间距随着年龄的增长而增大，且变化差异显著 ( $P<0.05$ ) (表 1)。

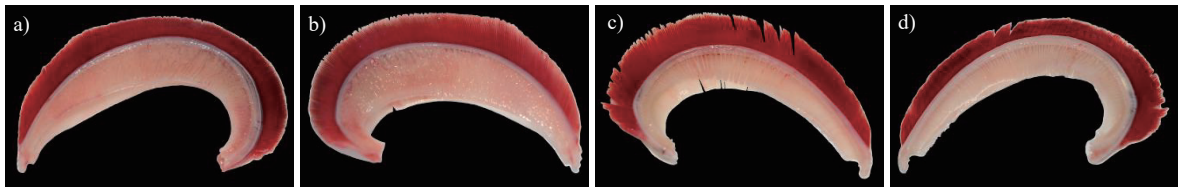
### 2.2 鳃的特征

鲢和鳙均以浮游生物为食，二者的鳃耙构造较为特殊。鲢的鳃耙构造较为复杂，鳃耙长于鳃丝，彼此相连成一片，融合且长，似梳子，鳃膜覆于鳃耙外侧面，形成筛板，筛板上有许多不规则孔隙，透过孔隙可见紧密排列的鳃耙，筛板上鳃膜形成许多横隔，整个鳃耙似海绵状 (图 1)。鳙的鳃耙结构致密，无鳃丝网，鳃耙稍短于鳃丝，各鳃弓都有 2 列对称的鳃耙 (图 1)，口咽腔顶壁每侧有 4 条腭褶 (鳃耙褶)，当口闭合时，腭褶正好嵌合于各鳃弓的内外鳃耙列之间，鳃耙数众多，彼此分离不连接，鳃耙有宽窄之分，宽鳃耙的小突起在下半部呈片状突出，2 种鳃耙的近内侧面均具 1 纵列颗粒状小突起，与相邻鳃耙彼此相互嵌合，使邻近两鳃耙间仅形成狭窄的鳃耙间隙，当浮游生物随水进入口咽腔后，水由耙间隙流入鳃腔，食物则留在各鳃弓左右两片鳃耙间的鳃耙沟内，鳃耙间隙中的黏膜分泌黏液，将食物包成颗粒团。

表 1 鲢和鳙样本生物学数据

Tab. 1 Biological data of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichys nobilis* samples

| 物种<br>species           | 年龄<br>age | 数量<br>number | 鳃弓至鳃耙末端最长距离/mm<br>the maximum distance from the gill arch to the end of gill raker |         | 鳃耙间距/ $\mu\text{m}$<br>gill rakers spacing |         |
|-------------------------|-----------|--------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------------------------------------------|---------|
|                         |           |              |                                                                                    |         |                                            |         |
|                         |           |              | 范围 range                                                                           | 均值 mean | 范围 range                                   | 均值 mean |
| 鲢<br><i>H. molitrix</i> | 2         | 7            | 12.20~16.24                                                                        | 14.25   | —                                          | —       |
|                         | 3         | 72           | 13.63~19.32                                                                        | 16.99   | —                                          | —       |
|                         | 4         | 13           | 14.89~24.89                                                                        | 19.51   | —                                          | —       |
|                         | 5         | 10           | 19.93~27.84                                                                        | 21.98   | —                                          | —       |
| 鳙<br><i>A. nobilis</i>  | 4         | 44           | 14.99~22.79                                                                        | 18.40   | 27.03~38.46                                | 33.64   |
|                         | 5         | 3            | 18.33~23.79                                                                        | 20.49   | 34.48~45.45                                | 38.99   |



注：a) 鲢外侧鳃耙；b) 鲢内侧鳃耙；c) 鳙外侧鳃耙；d) 鳙内侧鳃耙。

Note: a) outside of gill raker of *H. molitrix*; b) inside of gill raker of *H. molitrix*; c) outside of gill raker of *A. nobilis*; d) inside of gill raker of *A. nobilis*.

图 1 鲢、鳙鳃耙结构

Fig. 1 Gill raker structure of *Hypophthalmichthys molitrix* and *Aristichys nobilis*

### 2.3 肠容物组成

#### 2.3.1 浮游动物

鲢、鳙肠容物中浮游动物共 7 属 (表 2)，分

别为象鼻溞属 (*Bosmina*)、剑水蚤属 (*Cyclops*)、泡轮属 (*Pompholyx*)、龟纹轮属 (*Anuraeopsis*)、臂尾轮属 (*Brachionus*)、龟甲轮属 (*Keratella*) 和异尾轮属 (*Trichocerca*)；其中，鲢肠容物有 6 属，

表 2 鲢、鳙肠容物的浮游动物组成

Tab. 2 Zooplankton composition of intestinal contents of *H. molitrix* and *A. nobilis*

| 鱼类<br>fish              | 象鼻溞属<br><i>Bosmina</i> | 剑水蚤属<br><i>Cyclops</i> | 泡轮属<br><i>Pompholyx</i> | 龟纹轮属<br><i>Anuraeopsis</i> | 臂尾轮属<br><i>Brachionus</i> | 龟甲轮属<br><i>Keratella</i> | 异尾轮属<br><i>Trichocerca</i> |
|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 鲢<br><i>H. molitrix</i> | 1 881.00               | 154.00                 | 22.00                   | 968.00                     | —                         | 14 714.33                | 231.00                     |
| 鳙<br><i>A. nobilis</i>  | 63 006.67              | 1 550.00               | —                       | —                          | 200.00                    | 41 025.33                | 1 362.67                   |

鳙肠容物有 5 属, 有 4 属同时被鲢、鳙摄食, 重合率为 57.14%, 且鳙对象鼻溞属、剑水蚤属、龟甲轮属和异尾轮属的摄食量分别是鲢的 33.0 倍、10.0 倍、2.8 倍和 5.8 倍, 平均为 12.9 倍。可见, 鳙对浮游动物的摄食量大于鲢。

2.3.2 浮游植物组成

鲢、鳙肠容物中浮游植物共 44 属 (表 3), 其中, 鲢摄食 38 种, 鳙摄食 31 种, 有 25 种同时被鲢、鳙摄食, 重合率为 56.82%。可见, 鲢以摄食浮游植物为主。

2.4 肠的组织学分析

由图 2 可知: 鲢、鳙的前肠组织均由黏膜层、黏膜下层、肌肉层和浆膜层构成。黏膜层的上皮由单层柱状上皮细胞构成, 其间散布杯状细胞; 黏膜下层是很薄的结缔组织层, 是肠黏膜褶的支柱; 肌肉层由平滑肌组成, 平滑肌内层为环肌, 外层为纵肌; 浆膜层由一薄层疏松结缔组织

构成。鲢肌肉层较鳙肌肉层厚。黏膜层主要负责分泌、消化和吸收工作; 黏膜下层分布血管和淋巴管, 主要负责营养物质、免疫物质的输送; 肌层分内环肌和外纵肌 2 层, 肌层间分布着神经, 肌层主要负责肠道蠕动, 促进食物推进、排泄及神经反应相关生理活动; 浆膜层与外界组织接触, 起保护肠道的作用。

3 讨论

鱼类年龄鉴定的材料有鳞片、耳石、鳍条、匙骨、脊椎骨、鳃盖骨、舌骨等, 鳞片是常用的年龄鉴定材料<sup>[19-20]</sup>, 其上有代表年轮的标志, 根据鳞片上的年轮标志能迅速、准确地确定鱼类的年龄, 是鲢、鳙年龄鉴定的常选材料<sup>[2, 13]</sup>。本研究选择鳞片作为鲢、鳙年龄的鉴定材料, 获得了鲢、鳙种群的年龄组成, 并分析了随年龄增长鲢、鳙鳃耙的变化情况, 发现鲢的鳃弓至鳃耙末

表 3 鲢、鳙肠容物的浮游植物组成

Tab. 3 Phytoplankton species of *H. molitrix* and *A. nobilis*

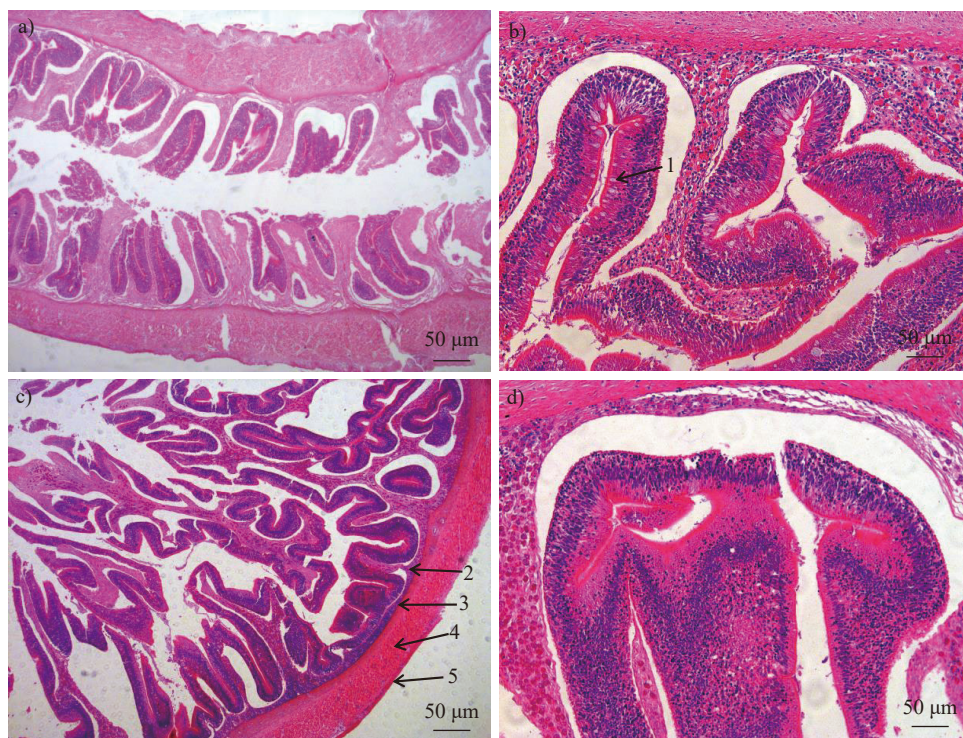
| 鱼类<br>fish              | 小环藻属<br><i>Cyclotella</i> | 直链藻属<br><i>Melosira</i> | 星杆藻属<br><i>Asterionella</i> | 脆杆藻属<br><i>Fragilaria</i> | 针杆藻属<br><i>Synedra</i> | 菱形藻属<br><i>Nitzschia</i> | 桥弯藻属<br><i>Cymbella</i> | 异极藻属<br><i>Gomphonema</i> | 舟形藻属<br><i>Navicula</i> | 曲壳藻属<br><i>Achnanthes</i> | 短缝藻属<br><i>Eunotia</i> |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| 鲢<br><i>H. molitrix</i> | 1 841.01                  | 23.76                   | —                           | 2.10                      | 5.06                   | 6.18                     | 0.44                    | —                         | 1.54                    | 0.22                      | 0.88                   |
| 鳙<br><i>A. nobilis</i>  | 103.51                    | 1 577.87                | 108.50                      | 267.87                    | 423.83                 | 2.73                     | 0.33                    | 0.14                      | 0.14                    | —                         | —                      |

| 鱼类<br>fish              | 弓形藻属<br><i>Schroederia</i> | 纤维藻属<br><i>Ankistrodesmus</i> | 拟新月藻属<br><i>Closteriopsis</i> | 蹄形藻属<br><i>Kirchneriella</i> | 四角藻属<br><i>Tetraedron</i> | 被刺藻属<br><i>Franceia</i> | 多芒藻属<br><i>Golenkinia</i> | 微芒藻属<br><i>Micractinium</i> | 网球藻属<br><i>Dictyosphaerium</i> | 卵囊藻属<br><i>Oocystis</i> | 盘星藻属<br><i>Pediastrum</i> |
|-------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 鲢<br><i>H. molitrix</i> | 0.59                       | 1.61                          | 0.66                          | 1.47                         | 19.95                     | 0.22                    | 0.59                      | 1.03                        | 55.98                          | 15.89                   | 15.72                     |
| 鳙<br><i>A. nobilis</i>  | —                          | 4.98                          | —                             | —                            | 7.07                      | 0.14                    | 0.33                      | —                           | 13.33                          | 80.49                   | —                         |

| 鱼类<br>fish              | 空星藻属<br><i>Coelastrum</i> | 栅藻属<br><i>Scenedesmus</i> | 韦斯藻属<br><i>Westella</i> | 丝藻属<br><i>Ulothrix</i> | 衣藻属<br><i>Chlamydomonas</i> | 空球藻属<br><i>Eudorina</i> | 盘藻属<br><i>Gonium</i> | 实球藻属<br><i>Pandorina</i> | 新月藻属<br><i>Closterium</i> | 角星鼓藻属<br><i>Staurastrum</i> | 转板藻属<br><i>Mougeotia</i> |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 鲢<br><i>H. molitrix</i> | 8.28                      | 9.56                      | —                       | 1.80                   | 8.63                        | 34.93                   | —                    | 39.70                    | 0.46                      | 1.83                        | 13.57                    |
| 鳙<br><i>A. nobilis</i>  | 2.47                      | 7.27                      | 4.34                    | 1.87                   | 2.87                        | 3.41                    | 1.07                 | 12.46                    | —                         | —                           | 74.00                    |

| 鱼类<br>fish              | 锥囊藻属<br><i>Dinobryon</i> | 色球藻属<br><i>Chroococcus</i> | 平裂藻属<br><i>Merismopedia</i> | 微囊藻属<br><i>Microcystis</i> | 鱼腥藻属<br><i>Anabaena</i> | 束丝藻属<br><i>Aphanizomenon</i> | 颤藻属<br><i>Oscillatoria</i> | 伪鱼腥藻属<br><i>Pseudoanabaena</i> | 裸甲藻属<br><i>Gymnodinium</i> | 裸藻属<br><i>Euglena</i> | 囊裸藻属<br><i>Trachelomonas</i> |
|-------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 鲢<br><i>H. molitrix</i> | 0.44                     | —                          | 3.89                        | 67.59                      | —                       | 4.91                         | 30.97                      | 23.21                          | 10.32                      | 2.64                  | 1.59                         |
| 鳙<br><i>A. nobilis</i>  | 113.33                   | 40.00                      | —                           | 274.26                     | 13.25                   | —                            | 222.51                     | 1.40                           | 1.40                       | —                     | —                            |





注: a) 鲢肠组织 (10×5); b) 鲢肠组织 (10×20): 1. 杯状细胞; c) 鳙肠组织 (10×5): 2. 黏膜层, 3. 黏膜下层, 4. 肌肉层, 5. 浆膜层; d) 鳙肠组织 (10×20)。

Note: a) intestine of *H. molitrix*; b) intestine of *H. molitrix*: 1. beaker cells; c) intestine of *A. nobilis*: 2. mucous layer; 3. submucosa; 4. muscle layer; 5. serosa layer; d) intestine of *A. nobilis*.

图 2 鲢、鳙前肠局部组织切片图

Fig. 2 Localized histological sections of the foregut of *H. molitrix* and *A. nobilis*

端最长距离随着年龄增长而增大, 鳙的鳃耙间距随年龄增长而增大, 说明随着鲢、鳙年龄的增长, 所摄食的浮游生物种类也有所变化。

滤食性鱼类是一类用鳃耙过滤水中微小的浮游生物、细菌、有机碎屑等的鱼类, 鲢和鳙是最常见的滤食性鱼类<sup>[21-22]</sup>。鳃耙为鳃部的过滤器官, 用以阻挡食物和沙粒随水流经鳃裂流出, 其长短疏密因物种和食性而异<sup>[23-25]</sup>。本研究对比鲢、鳙的鳃耙结构差异, 发现鲢的鳃耙彼此相连成一片, 融合且长, 整个鳃耙似海绵状, 鳃耙间距小; 鳙的鳃耙数量多, 彼此分离不连接, 因此鲢滤食的颗粒物比鳙滤食颗粒物的小。这与已有对鲢、鳙鳃耙结构的研究<sup>[1, 11]</sup>一致, 证实鲢、鳙对饵料选择的差异与摄食器官鳃耙密切相关, 滤食鱼类鳃耙的结构和间距直接影响其摄食的浮游生物种类。

鲢、鳙肠容物分析是研究鲢、鳙食性的常用手段<sup>[8, 26]</sup>。本研究鲢、鳙肠容物中分别发现 38 和 31 种浮游植物, 5 和 6 种浮游动物, 浮游植物有 25 种同时被鲢、鳙摄食, 浮游动物有 4 种同时被

鲢、鳙摄食, 与已报道的太湖 3 个抑藻放流区鲢、鳙肠含物中分别观察到 119 和 89 种浮游植物、11 和 16 种浮游动物<sup>[11]</sup>的趋势一致。证实鲢、鳙同时摄食浮游动物和浮游植物, 鲢滤食更多体型较小的浮游植物, 鳙摄食更多种类的浮游动物, 这也与大多数报道研究<sup>[3, 27-30]</sup>一致。

肠是消化和吸收的重要场所<sup>[31]</sup>, 鱼类肠组织由黏膜层、黏膜下层、肌肉层和浆膜层组成<sup>[8, 18]</sup>。本研究发现: 鲢肌肉层较鳙肌肉层厚, 肌层分内环肌和外纵肌 2 层, 肌层间分布着神经, 肌层主要负责肠道蠕动, 促进食物推进、排泄及神经反应相关生理活动<sup>[32-34]</sup>。浮游植物与浮游动物相比更不易被消化<sup>[11]</sup>, 所以和鳙相比, 鲢肠道较厚的肌肉层与其食性相适应。

鱼类索饵摄食过程中呈现出的系列形态、行为、生态和生理特性是长期进化与自然选择的结果, 这些特性保证了鱼类具有最强的摄食生态适应性<sup>[35-36]</sup>。目前已有利用鲢、鳙调节水域营养状况的报道<sup>[12-13, 28-30]</sup>, 进一步了解鲢、鳙的滤食器官、消化组织特征与其摄食能力及饵料摄选取的

相关性, 对利用鲢、鳙调节水域营养状况具有指导意义, 可通过适当调整鲢、鳙放养比例来加大其对水域浮游生物调节的作用。

#### 4 结论

本研究通过分析鲢、鳙对浮游生物的摄取与自身摄食器官、消化组织的特征差异, 进一步了解了鲢、鳙对饵料选择差异与摄食器官、消化组织构造的相关性, 证实了滤食器官及消化组织的构造对鲢、鳙摄食策略有重要的决定作用。

#### [参考文献]

- [1] 中国科学院中国动物志委员会. 中国动物志: 硬骨鱼纲: 鲤形目(中卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [2] 代培, 韩飞, 尹思慧, 等. 鲢、鳙生长特征研究进展[J]. 水产养殖, 2021, 42(10): 31. DOI: 10.3969/j.issn.1004-2091.2021.10.008.
- [3] 刘敏, 徐敏娟, 许迪亮, 等. 鲢、鳙非经典生物操纵作用的研究进展与应用现状[J]. 水生生态学杂志, 2010, 3(3): 99. DOI: 10.15928/j.1674-3075.2010.03.004.
- [4] 孙晓明, 孟庆闻. 鲢、鳙滤食及消化器官的发育、构造与食性的相互关系[J]. 水产学报, 1992, 16(3): 202.
- [5] 董双林, 李德尚. 鲢、鳙摄食能力的比较研究[J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(1): 53. DOI: 10.3321/j.issn:0029-814X.1995.01.009.
- [6] 牟洪民, 姚俊杰, 方贵镇, 等. 贵阳红枫湖鲢、鳙的食性研究[J]. 淡水渔业, 2012, 42(3): 44. DOI: 10.3969/j.issn.1000-6907.2012.03.009.
- [7] 毕冰, 孙中武, 毛天强, 等. 鲤、鲢、鳙、草鱼消化道结构与食性的研究[J]. 水产学杂志, 2011, 24(1): 26. DOI: 10.3969/j.issn.1005-3832.2011.01.005.
- [8] 栾雅文, 戴高柱, 刘龙翔, 等. 鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)消化系统组织学的初步研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1997, 28(5): 659.
- [9] 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. DOI: 10.13859/j.cjz.201902008.
- [10] 宋固. 千岛湖鲢、鳙鱼食性研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
- [11] 刘栋, 徐雪英, 沈振华, 等. 太湖3个抑藻放流区鲢、鳙食性的时空特征[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(20): 191. DOI: 10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.049.
- [12] 杨姣姣, 过龙根, 尹成杰, 等. 富营养化初期湖泊放养鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)控藻生态效果的初步评估[J]. 湖泊科学, 2019, 31(2): 386. DOI: 10.18307/2019.0208.
- [13] 李大命, 唐晟凯, 刘燕山, 等. 漏湖鲢、鳙种群生长特征及起捕规格[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(6): 134. DOI: 10.15889/j.issn.1002-1302.2021.06.023.
- [14] 卢子园, 王丽卿, 季高华, 等. 淀山湖基于初级生产力的鲢鳙富营养化控制[J]. 生态学杂志, 2010, 29(7): 1365. DOI: 10.13292/j.1000-4890.2010.0227.
- [15] 梁象秋. 水生生物学(形态和分类)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [16] 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 1995.
- [17] 张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- [18] 王宁军, 赵燕, 刘娟. 斑马鱼器官石蜡组织切片制作与观察[J]. 解剖学研究, 2019, 41(3): 240. DOI: 10.3969/j.issn.1671-0770.2019.03.020.
- [19] 谢玺, 鲍积月, 王庆志. 鱼类年龄硬组织鉴定方法研究应用进展[J]. 大连海洋大学学报, 2021, 36(6): 1071. DOI: 10.16535/j.cnki.dlhyxb.2021-037.
- [20] 田中昌子, 石原胜敏. 用鳞片生长线数鉴定鲤鱼年龄的研究[J]. 国外水产, 1983(1): 19.
- [21] 詹新生, 王乐平. 滤食性鱼类对大水面水体的净化作用分析[J]. 河南水产, 2019(4): 37.
- [22] 肖霞, 赵娟娟. 养殖滤食性鱼类对大水面水体净化作用的探讨[J]. 河南水产, 2021(3): 1.
- [23] 孟庆闻, 苏锦祥, 李婉端. 鱼类比较解剖[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [24] 王亚龙, 李昊成, 何勇凤, 等. 长湖5种鲢摄食器官形态学的比较[J]. 淡水渔业, 2016, 46(6): 26. DOI: 10.13721/j.cnki.dsyy.2016.06.005.
- [25] 张安琪, 赵文. 五种典型鲢形目鱼类摄食器官形态与食性研究[J]. 海洋湖沼通报, 2019(1): 154. DOI: 10.13984/j.cnki.cn37-1141.2019.01.021.
- [26] 周丹. 太湖鲢、鳙肠道微生物群落结构特征研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
- [27] 何美峰, 肖九兰, 梁忠连, 等. 泰宁金湖鱼类群落结构及鲢、鳙生长特征[J]. 渔业研究, 2023, 45(5): 462. DOI: 10.14012/j.cnki.fjsc.2023.05.006.
- [28] 张佳敏, 高健, 杨诚, 等. 以鲢、鳙放养为主的武山湖后生浮游动物群落结构特征[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(8): 1848. DOI: 10.11870/cjlyzyyhj202108007.
- [29] 龚进玲, 李学梅, 何勇凤, 等. 青鱼—鲢、鳙生态池塘浮游生物群落结构特征及其与环境因子的关系[J]. 水产科学, 2022, 41(4): 517. DOI: 10.16378/j.cnki.1003-1111.20212.
- [30] 张佳敏, 高健, 杨诚, 等. 以鲢、鳙养殖为主的长江中下游武山湖浮游植物群落结构特征[J]. 湖泊科学, 2020, 32(6): 1771. DOI: 10.18307/2020.0617.
- [31] 涂永锋, 宋代军. 鱼类肠道组织结构及其功能适应性[J]. 江西饲料, 2004(4): 16. DOI: 10.3969/j.issn.1008-6137.2004.04.007.
- [32] 曾端, 叶元土. 鱼类食性与消化系统结构的研究[J]. 西南农业大学学报, 1998(4): 81.
- [33] 勾效伟. 四种不同食性鱼类消化道组织学和组织化学研究[D]. 广州: 广东海洋大学, 2008.
- [34] 邹文超, 李云兰, 邓玉平, 等. 5种常规淡水鱼摄食消化器官的形态学观察研究[J]. 饲料研究, 2015(15): 42. DOI: 10.13557/j.cnki.issn1002-2813.2015.15.012.
- [35] 颜云榕. 北部湾主要鱼类摄食生态及食物关系的研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2010.
- [36] 曾燊, 刘焕章. 鲷亚科鱼类下咽骨和下咽齿的形态差异及其功能适应[J]. 动物学研究, 2009, 30(6): 699. DOI: 10.3724/SP.J.1141.2009.06699.

责任编辑: 何承刚