



大型围栏适养海水鱼类肠道组织学比较

张家荣^{1,2,3}, 高云涛^{1,2,3}, 高云红^{1,2,3}, 李明月^{1,3}, 秦宏宇^{1,3},
谢婷^{1,3}, 关长涛^{1,3}, 贾玉东^{1,3*}

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

2. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

3. 青岛海洋科技中心海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266237)

摘要: 精准化投喂是保障大型围栏养殖鱼类高效摄食的关键, 而肠道是鱼类营养物质消化吸收的主要场所, 探明其组织形态结构可为精准化投喂提供理论基础。本研究通过组织切片和光学显微镜观察, 比较了5种围栏适养鱼类(圆斑星鲽、牙鲆、斑石鲷、绿鳍马面鲀、梭鱼)肠道组织形态结构, 统计了比肠长, 肠道褶皱高度、宽度、数量, 环肌、纵肌厚度和杯状细胞数量并进行相关性分析。结果显示, 比肠长数值大小为梭鱼>绿鳍马面鲀>斑石鲷>圆斑星鲽和牙鲆; 前肠褶皱发达程度为梭鱼>圆斑星鲽>斑石鲷>牙鲆>绿鳍马面鲀; 肠道肌层厚度为斑石鲷>圆斑星鲽>梭鱼>牙鲆和绿鳍马面鲀; 肠道杯状细胞数量为梭鱼>斑石鲷>牙鲆>圆斑星鲽>绿鳍马面鲀。相关性分析发现, 圆斑星鲽、牙鲆、斑石鲷、绿鳍马面鲀肠道肌层与褶皱呈显著负相关, 与杯状细胞数量呈显著正相关; 梭鱼肠道肌层与褶皱呈显著正相关。综上, 5种鱼类比肠长, 肠道褶皱数量、高度、宽度, 环肌和纵肌厚度以及杯状细胞数量和各参数间相关性存在显著种属间差异, 这表明5种围栏适养鱼类对摄食营养物质的消化吸收进程不同, 采取了不同策略保障正常营养状态, 维持正常生长发育。本研究为大型围栏适养鱼类制定精准化摄食投喂策略, 提供了基础性数据支撑和重要参考。

关键词: 鱼类; 比肠长; 道褶皱; 肠道肌层; 杯状细胞; 围栏养殖

中图分类号: Q 174; S 967.9

文献标志码: A

肠道是消化系统中的重要器官, 不仅在营养物质消化吸收过程中起着重要作用^[1], 还具有免疫, 分泌和屏障保护等功能^[2]。鱼类在长期进化和演变过程中, 生存环境、摄食类型等不同导致其肠道组织结构和细胞数量分布等产生显著种属间差异, 同时各肠段间组织结构也明显不同。大量研究发现, 肠道长度和肠道褶皱发达程度以及肠道肌层厚度同摄食营养物质消化能力显著正相关^[3-5]。且摄食习性不同的鱼类, 肠道内分泌细胞

分布和消化酶活性存在显著差异^[6-7]。植食性鱼类肠道一般较狭长, 弯曲盘绕在腹腔内, 通过延长食物在肠道内存留的时间, 对富含植物纤维的食物进行充分消化吸收, 而肉食性鱼类其摄食食物蛋白和脂肪含量较高, 较易消化吸收, 因此肠道较短^[8-10]。此外, 温度和溶解氧等重要环境因子也可通过对鱼类行为和生理状态产生影响, 间接调控其摄食消化进程^[11-12]。因此鱼类肠道组织形态学变化, 可间接反映摄食和环境改变对其生理状

收稿日期: 2022-01-17 修回日期: 2022-09-24

资助项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费专项(2023TD81); 中央引导地方科技发展基金项目(YDZX2022120)

第一作者: 张家荣(照片), 从事海水鱼类繁育理论和养殖技术研究, E-mail: zrong88a@163.com

通信作者: 贾玉东, 从事海水鱼类繁育和深远海养殖研究, E-mail: jiyad@ysfri.ac.cn



态的影响。

大型工程化围栏是指以柱桩嵌入或整体构架坐落于海床(底)、设施顶部始终在水面以上, 整体构架周边布设网体(衣)形成包围水体的水产养殖设施。围栏形成的养殖水体体积大, 相当于数十个或上百个网箱, 其底部直达海底, 养殖对象活动空间大, 品质更接近自然生态。与工厂化循环水和池塘等养殖模式不同, 围栏养殖位于水体充足和环境自然的开放海域, 更适宜于名特优水产品的养殖, 逐渐发展成为深远海养殖的重要模式之一^[13]。大型工程化围栏为中国特有一类养殖设施, 也是当前在积极探索和实践的深远海养殖设施之一, 目前主要有双圆周管桩式、双圆周大跨距管桩式和栅栏堤坝式三类, 分布在东海和黄渤海开放和半开放海域^[14]。目前在围栏广泛开展了大黄鱼(*Larimichthys crocea*)、斑石鲷(*Oplegnathus punctatus*)、许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*)和卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)等鱼类养殖, 取得了阶段性成果, 积累了经验^[15-17]。2018年在莱州湾海域建成了北方首座大型管桩式围栏, 初步构建了底栖性和中上层鱼类立体生态混养模式^[18]。但在养殖过程中涉及到陆海接力转运、大水面精准投喂、疾病防控, 高效起捕和环境监测等技术工艺尚不完善, 特别是在围栏适养品种的养殖投喂策略方面, 缺乏系统研究。在大型围栏圈养水体中, 可开展不同生态位鱼类混合养殖, 充分利用水体空间, 提高养殖生产效能, 但鱼类摄食习性存在显著种属差异, 因此要查明适养鱼类摄食消化特性, 针对性研发精准投喂技术, 既满足养殖鱼类正常生长需求, 又最大程度减少残饵量, 保障健康生态环境。

圆斑星鲷(*Verasper variegatus*)和牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)是底栖肉食性鱼类, 在北方黄渤海海域大规模养殖, 有较为完整的产业链, 市场需求稳定^[19-20]。斑石鲷和绿鳍马面鲷(*Thamnaconus modestus*)属于中下层杂食性鱼类, 经济价值高, 是目前围栏和网箱等深远海大型养殖设施积极开发的适养品种, 产业化前景广阔^[21-22]。梭鱼(*Mugil soiuy*)是中上层植食性鱼类, 可在自然海区内越冬度夏, 在大型深远海养殖设施可实现全周年连续养殖^[23]。上述5种鱼类作为工程化围栏或深水网箱等深远海大型养殖设施适养和备选品种, 其生态习性不同, 进行不同品种混养时科学精准投喂是保障高效养殖生产的关键环节之一。

基于此, 本研究以牙鲆、圆斑星鲷、斑石鲷、绿鳍马面鲷和梭鱼为研究对象, 通过分析肠道组织形态结构差异, 比较比肠长、肠道褶皱高度、宽度、数量, 肌层厚度和杯状细胞数量, 探讨5种大型围栏适养鱼类摄食消化吸收过程, 以期为北方黄渤海海域大型围栏养殖模式下摄食投喂策略优化提供理论依据和基础数据支撑。

1 材料与方法

1.1 实验动物

实验用圆斑星鲷(142.57±25.35) g、牙鲆(111.72±5.58) g、斑石鲷(158.70±5.00) g、绿鳍马面鲷(106.88±17.02) g、梭鱼(293.41±26.51) g各15尾由莱州明波水产有限公司和烟台市开发区天源水产有限公司提供。实验前分别在5个养殖水桶(100 L)中暂养2周, 暂养过程中保持正常流水, 圆斑星鲷、牙鲆和绿鳍马面鲷水温维持在(18.00±0.50)°C, 斑石鲷和梭鱼水温维持在(22.00±0.50)°C。水体溶解氧含量>7.50 mg/L、pH 7.60±0.30、盐度30.00±1.50。每日8:00和16:00进行饱食投喂[海童, 三通生物工程(潍坊)有限公司]。本实验中实验鱼处理程序按照中国水产科学研究院黄海水产研究所机构动物保护与利用委员会制定的规章制度执行。

1.2 样品采集

正式实验前, 实验鱼禁食24 h, 分别从每个养殖水桶中随机挑选7尾鱼, 放入含有200 mg/L的MS-222海水溶液中深度麻醉。测量体长后, 解剖分离出完整肠道组织(去除肠脂肪), 测量肠道长度, 随后将肠道组织保存于4%多聚甲醛, 用于组织切片。比肠长(relative length, RL)计算公式:

$$\text{比肠长 (RL)} = \frac{\text{肠道长度(IL)}}{\text{身体长度(BL)}}$$

1.3 石蜡切片与观察测量

肠道组织固定24 h后, 从4%多聚甲醛固定液中取出, 分别取前、中、后肠组织(图1)3~4 mm于包埋盒中, 经无水乙醇脱水、二甲苯透明、浸蜡后进行包埋(湖北孝感阔海医疗科技有限公司, KH-BL)。于切片机(湖北孝感阔海医疗科技有限公司, KH-Q330)上进行连续切片, 再经展片、烘干后, 进行苏木素-伊红(H.E)染色。封片后在显

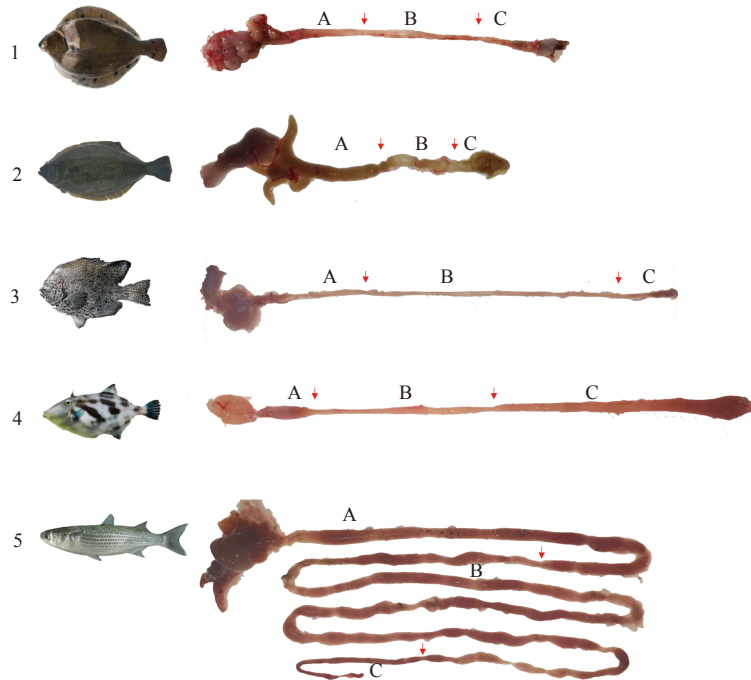


图 1 5 种鱼类肠道分段示意图

1. 圆斑星鲽, 2. 牙鲆, 3. 斑石鲷, 4. 绿鳍马面鲀, 5. 梭鱼, 图 2~图 5 同。A. 前肠, B. 中肠, C. 后肠。

Fig. 1 Segmented diagram of five fish intestinal

1. *V. variegatus* 2. *P. olivaceus* 3. *O. punctatus* 4. *T. modestus* 5. *M. soiuy*, the same as Fig.2-4. A. foregut, B. midgut, C. hindgut.

显微镜 (徕卡, DM500) 下观察肠道组织形态结构并拍照, 利用 Image Scope 软件, 测量肠道褶皱高度、宽度、数量, 环肌与纵肌厚度及杯状细胞数量 (图版)。褶皱高度 (μm): 褶皱顶端至肌层内侧边缘的垂直距离; 褶皱宽度 (μm): 褶皱两侧表面间的直线距离; 褶皱数量 (个): 一个肠道切片内的肠道褶皱数量; 环肌厚度 (μm): 环肌两侧边缘间的直线距离; 纵肌厚度 (μm): 纵肌两侧边缘间的直线距离; 杯状细胞数量 (个): 80 倍视野下可观察到的杯状细胞数量。

1.4 数据分析

本实验数据用平均值 \pm 标准差 (mean \pm SD) 表示, 用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 用 Duncan 氏法进行组间多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著。用 Origin 2021 Pro 对 5 种鱼类肠道各参数进行 Spearman 相关性分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 5 种鱼类比肠长

梭鱼比肠长数值最大, 显著大于其他 4 种鱼

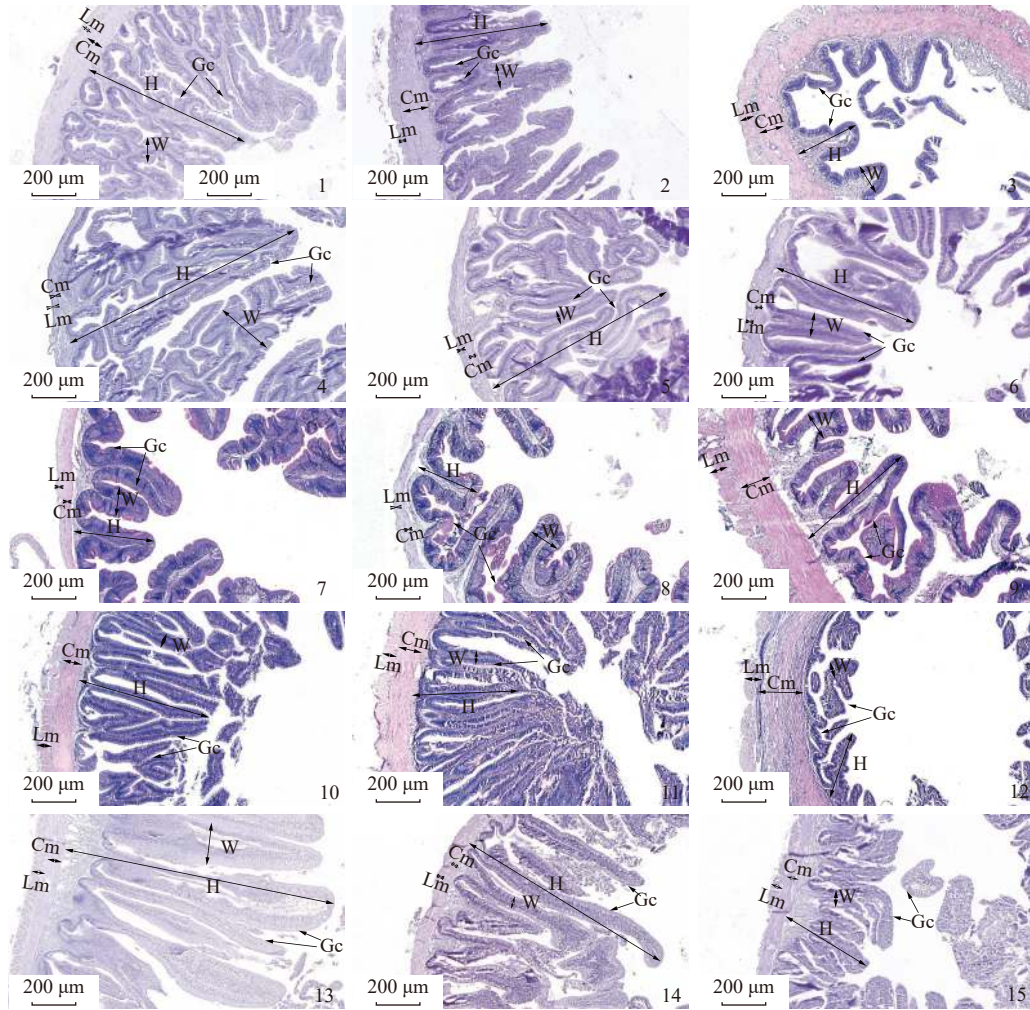
类 ($P < 0.05$) (表 1)。其次为绿鳍马面鲀, 显著大于斑石鲷 ($P < 0.05$), 圆斑星鲽和牙鲆比肠长值最小, 显著低于其他 3 种鱼类 ($P < 0.05$)。

2.2 5 种鱼类肠道组织形态比较

5 种鱼类肠道组织切片显示, 5 种鱼类肠道由内向外分别是黏膜层、黏膜下层、肌肉层和浆膜层 (图版)。黏膜层向上隆起形成肠道褶皱, 其长度由前肠至后肠呈递减趋势。牙鲆和圆斑星鲽肠道褶皱有大量分支, 绿鳍马面鲀和斑石鲷分支相对较少; 梭鱼肠道褶皱无分支。肌层分为内层的环肌和外层的纵肌, 环肌较纵肌发达。杯状细胞分布于肠道褶皱表面的黏膜层。

2.3 5 种鱼类肠道褶皱

5 种鱼类肠道褶皱高度比较, 发现圆斑星鲽, 绿鳍马面鲀前肠和中肠之间褶皱高度无显著差异, 但后肠褶皱高度显著小于前肠和中肠 ($P < 0.05$), 牙鲆和梭鱼前肠褶皱高度显著大于中肠和后肠 ($P < 0.05$), 斑石鲷肠道褶皱高度呈前肠至后肠逐渐递减趋势, 且各肠段间差异显著 ($P < 0.05$) (图 2-a)。5 种鱼类前肠褶皱高度梭鱼最高, 其次是斑石鲷和牙鲆, 圆斑星鲽和绿鳍马面鲀前肠褶皱高度最低。



图版 5 种鱼类肠道组织切片

1~3. 圆斑星鲽前肠、中肠和后肠；4~6. 牙鲆前肠、中肠和后肠；7~8. 绿鳍马面鲈前肠、中肠和后肠；10~11. 斑石鲷前肠、中肠和后肠；13~15. 梭鱼前肠中肠和后肠组织形态。H. 肠道褶皱高度；W. 肠道褶皱宽度；Cm. 环肌厚度；Lm. 纵肌厚度；Gc. 杯状细胞。

Plate Intestinal tissue morphology of five fish species

1-3. *V. variegatus* foregut, midgut and hindgut in turn; 4-6. *P. olivaceus* foregut, midgut and hindgut in turn; 7-8. *T. modestus* foregut, midgut and hindgut in turn; 10-11. *O. punctatus* foregut, midgut, and hindgut in turn; 13-15. *M. soiyu* foregut, midgut and hindgut in turn. H. the intestinal plica height; W. the intestinal plica width; CM. the thickness of circular muscle; LM. the thickness of longitudinal muscle.

表 1 5 种鱼类比肠长

Tab. 1 Relative intestinal length of five fish species

| 种类 species | 圆斑星鲽 <i>V. variegatus</i> | 牙鲆 <i>P. olivaceus</i> | 绿鳍马面鲈 <i>T. modestus</i> | 斑石鲷 <i>O. punctatus</i> | 梭鱼 <i>M. soiyu</i> |
|--------------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------|
| 体长 body length | 19.35±0.19 | 17.40±0.22 | 16.43±0.24 | 14.21±0.57 | 28.29±1.49 |
| 肠道长 intestinal length | 10.28±0.18 | 9.42±0.22 | 28.49±0.29 | 13.53±1.07 | 96.51±1.28 |
| 比肠长 relative intestinal length | 0.53±0.01 ^d | 0.55±0.06 ^d | 1.73±0.1 ^a | 0.95±0.06 ^b | 3.41±0.04 ^a |

注：表格中肩标不同字母表示差异显著(P<0.05)。

Notes: Values with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05).

比较肠道褶皱宽度，发现圆斑星鲽和牙鲆前肠褶皱宽度显著大于后肠 (P<0.05)，后肠褶皱宽度显著大于中肠 (P<0.05)。绿鳍马面鲈和斑石鲷前肠和中肠肠道褶皱宽度差异不大均显著大于后

肠 (P<0.05) (图 2-b)。梭鱼肠道褶皱宽度呈前肠至后肠递减趋势，且各肠段间差异显著 (P<0.05)。梭鱼前肠褶皱宽度最大，其次是圆斑星鲽，再次之是牙鲆和绿鳍马面鲈，斑石鲷肠道褶皱宽度最小。

比较肠道褶皱数量, 发现圆斑星鲈和绿鳍马面鲈前肠和中肠之间褶皱数量无显著差异 ($P>0.05$), 均显著大于后肠 ($P<0.05$); 牙鲆前肠褶皱数量显著大于中肠和后肠 ($P<0.05$); 斑石鲷肠道褶皱数量从前肠至后肠呈递减趋势且差异显著 ($P<0.05$) (图 2-c)。梭鱼前肠褶皱数量显著大于后肠 ($P<0.05$) 均显著大于中肠 ($P<0.05$)。圆斑星鲈前肠褶皱数量最多, 梭鱼次之, 斑石鲷再次之, 牙鲆和绿鳍马面鲈前肠褶皱数量最少。

牙鲆和梭鱼前肠肠道褶皱最为发达; 而圆斑星鲈、绿鳍马面鲈和斑石鲷前肠和中肠肠道褶皱都较为发达, 5 种鱼类前肠褶皱发达程度为梭鱼>圆斑星鲈>斑石鲷>牙鲆>绿鳍马面鲈。

2.4 5 种鱼类肠道肌层厚度

5 种鱼类肠道环肌比较, 发现圆斑星鲈前肠环肌厚度显著小于后肠 ($P<0.05$), 均显著大于中肠 ($P<0.05$) (图 3-a)。牙鲆和绿鳍马面鲈各肠段肠道环肌厚度差异不显著 ($P>0.05$); 斑石鲷肠道环肌厚度呈前肠至后肠递增趋势, 且各肠段间差异显著 ($P<0.05$)。梭鱼前肠环肌厚度显著大于后肠 ($P<0.05$), 均显著大于中肠 ($P<0.05$)。5 种鱼类中斑石鲷肠道环肌最厚, 圆斑星鲈次之, 梭鱼再次之, 牙鲆和绿鳍马面鲈肠道环肌厚最小。

比较肠道纵肌, 发现圆斑星鲈和牙鲆后肠纵肌厚度显著大于前肠和中肠 ($P<0.05$), 且前肠和中肠间差异不显著 ($P>0.05$) (图 3-b)。绿鳍马面鲈后肠肠道纵肌厚度显著大于中肠 ($P<0.05$), 前肠肠道纵肌与后肠差异不显著 ($P>0.05$)。斑石鲷肠道纵肌呈前肠至后肠递减趋势且各肠段间差异显

著 ($P<0.05$)。梭鱼前肠肠道纵肌厚度显著大于中肠和后肠 ($P<0.05$)。5 种鱼类中斑石鲷肠道纵肌厚度最大, 其次是梭鱼和圆斑星鲈, 牙鲆和绿鳍马面鲈最小。

5 种鱼类肠道肌层发达程度为斑石鲷>圆斑星鲈>梭鱼>牙鲆和绿鳍马面鲈。

2.5 5 种鱼类杯状细胞数量

通过比较 5 种鱼类肠道杯状细胞, 发现圆斑星鲈、牙鲆和斑石鲷肠道杯状细胞主要分布在后肠和前肠, 中肠较少, 且各肠段间杯状细胞数量差异显著 ($P<0.05$) (图 4)。绿鳍马面鲈前肠和中肠肠道杯状细胞数量无显著差异 ($P>0.05$), 均显著小于后肠 ($P<0.05$); 梭鱼中肠杯状细胞数量最多, 其次是前肠, 后肠最少, 且各肠段间差异显著 ($P<0.05$)。5 种鱼类肠道杯状细胞数量比较结果为梭鱼>斑石鲷>牙鲆>圆斑星鲈>绿鳍马面鲈。

2.6 5 种鱼类肠道参数相关性分析

5 种鱼类肠道各参数间相关性分析, 发现圆斑星鲈肠道褶皱间相关性不显著 ($P>0.05$) (图 5)。牙鲆、斑石鲷和梭鱼肠道褶皱高度与宽度呈显著正相关 ($P<0.05$); 绿鳍马面鲈肠道褶皱数量与宽度显著正相关 ($P<0.05$)。梭鱼肌层间相关性不显著 ($P>0.05$), 肌层与肠道褶皱呈显著正相关 ($P<0.05$)。其余 4 种鱼类肠道环肌厚度与纵肌厚度都呈显著正相关且与褶皱数量呈显著负相关 ($P<0.05$)。圆斑星鲈和斑石鲷肠道肌层厚度与杯状细胞数量呈显著正相关 ($P<0.05$)。5 种鱼类肠道各参数相关性分析结果显示, 圆斑星鲈、牙鲆、绿

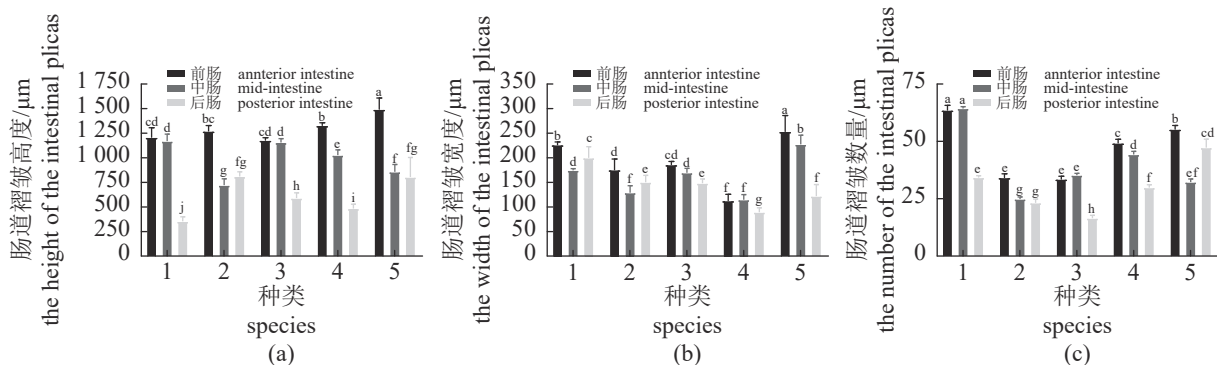


图 2 5 种鱼类肠道褶皱高度、宽度和数量

(a) 肠道褶皱高度比较, (b) 肠道褶皱宽度比较, (c) 肠道褶皱数量比较。不同小写字母表示组内差异显著 ($P<0.05$), 下同。

Fig. 2 Height, width and numbers of intestinal plica in five fish species

(a) intestinal plica height comparison, (b) intestinal plica width comparison, (c) the number of Intestinal plica comparison. Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$), the same below.

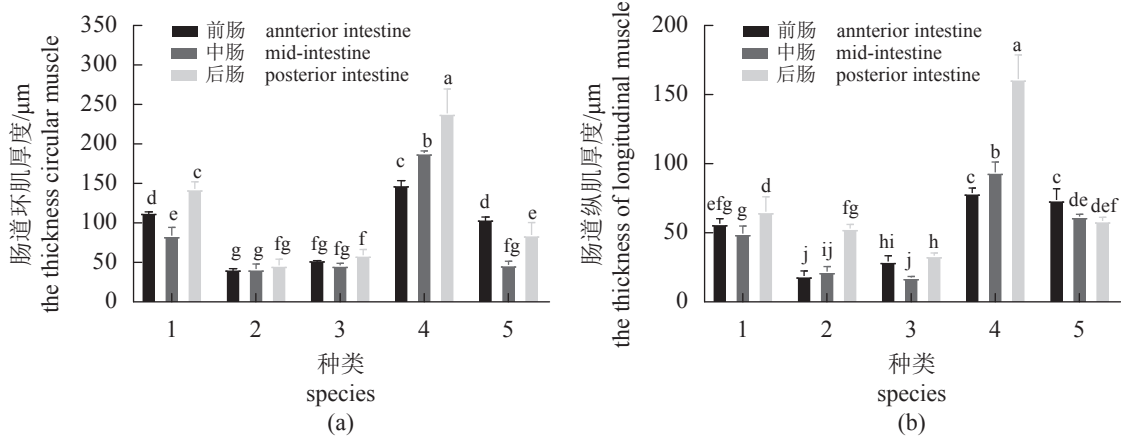


图 3 5 种类肠道肌层厚度

(a) 肠道环肌厚度比较, (b) 肠道纵肌厚度比较。

Fig. 3 The intestinal muscularis of five fish species

(a) intestinal circular muscle thickness comparison, (b) intestinal longitudinal muscle thickness comparison.

鳍马面鲀和斑石鲷肠道肌层与褶皱呈显著负相关 ($P < 0.05$), 与杯状细胞呈显著正相关 ($P < 0.05$)。而梭鱼肠道褶皱则与肌层呈显著正相关 ($P < 0.05$)。

3 讨论

肠道的相对长度通常用比肠长 (IL/BL) 来衡量, 其数值的大小与鱼类摄食习性密切相关, 同时存在显著种属间差异^[24]。研究表明, 在鱼类早期发育阶段, 投喂偏植物源性的饵料会增加其比肠长数值^[25]。通过比较不同食性鱼类比肠长, 发现肉食性鱼类比肠长数值最小 (< 1), 草食性鱼类比肠长数值为 2~8, 而杂食性鱼类介于二者之间^[26]。这是因植物源性饵料, 富含粗纤维, 相较于动物源性饵料更难消化吸收, 而更长的肠道能扩大食物消化吸收表面积, 延长摄食营养物质在肠道内停留时间, 从而提高消化吸收率^[27]。本实

验结果发现, 圆斑星鲈和牙鲆的比肠长分别为 0.53 和 0.55, 绿鳍马面鲀的比肠长为 1.75, 斑石鲷的比肠长为 0.97, 梭鱼的比肠长为 3.37, 5 种鱼类肠道比肠长, 显著符合植食性 > 杂食性 > 肉食性变化规律。在鲤 (*Cyprinus carpio*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙 (*Aristichthys nobilis*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 4 种食性不同的鱼类有关消化道的比较研究中^[28], 以及 3 种裂腹鱼的摄食及消化器官的比较研究中发现了相似的规律^[29]。以上结果进一步证明了鱼类比肠长与其摄食习性密切相关。

肠道黏膜层向上隆起形成肠道褶皱, 其高度和宽度以及数量决定了肠道的吸收表面积, 发达的肠道褶皱能增加肠道与食物接触和吸收的面积, 从而提高对摄食营养物质的吸收效率^[30-31]。大多数鱼类前肠或前肠和中肠拥有发达的褶皱结构, 是进行消化吸收的主要场所^[32-34]。肠道褶皱数量和结构, 同摄食习性密切相关, 肉食性鱼类肠道较短, 但通过增加肠道褶皱分支数量, 显著提高了肠道褶皱表面积, 从而提高对摄食营养物质消化吸收的能力^[35]。本研究结果发现, 5 种鱼类肠道褶皱高度、宽度和数量均在前肠或前肠和中肠较大, 显著大于后肠。肉食性鱼类圆斑星鲈和牙鲆前肠褶皱有大量分支且肠道最短。5 种鱼类前肠褶皱综合发达程度比较结果为梭鱼 > 圆斑星鲈 > 斑石鲷 > 牙鲆 > 绿鳍马面鲀。梭鱼为植食性鱼类, 食物为高植物纤维的藻类, 最难消化吸收^[36]。圆斑星鲈和斑石鲷主要摄食对象都为甲壳类, 也较难消化吸收^[37-38]。而牙鲆主要摄食其他小型鱼类

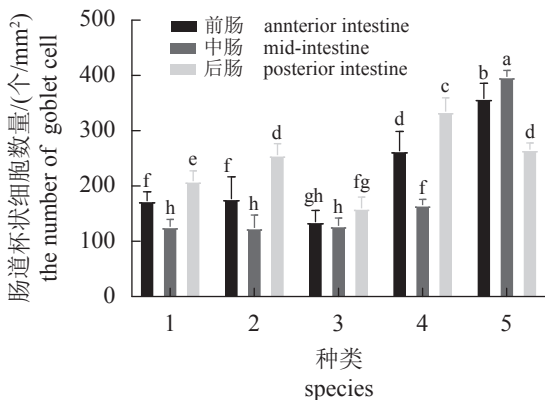


图 4 5 种类肠道杯状细胞数量

Fig. 4 Number of intestinal goblet cells in five fish species

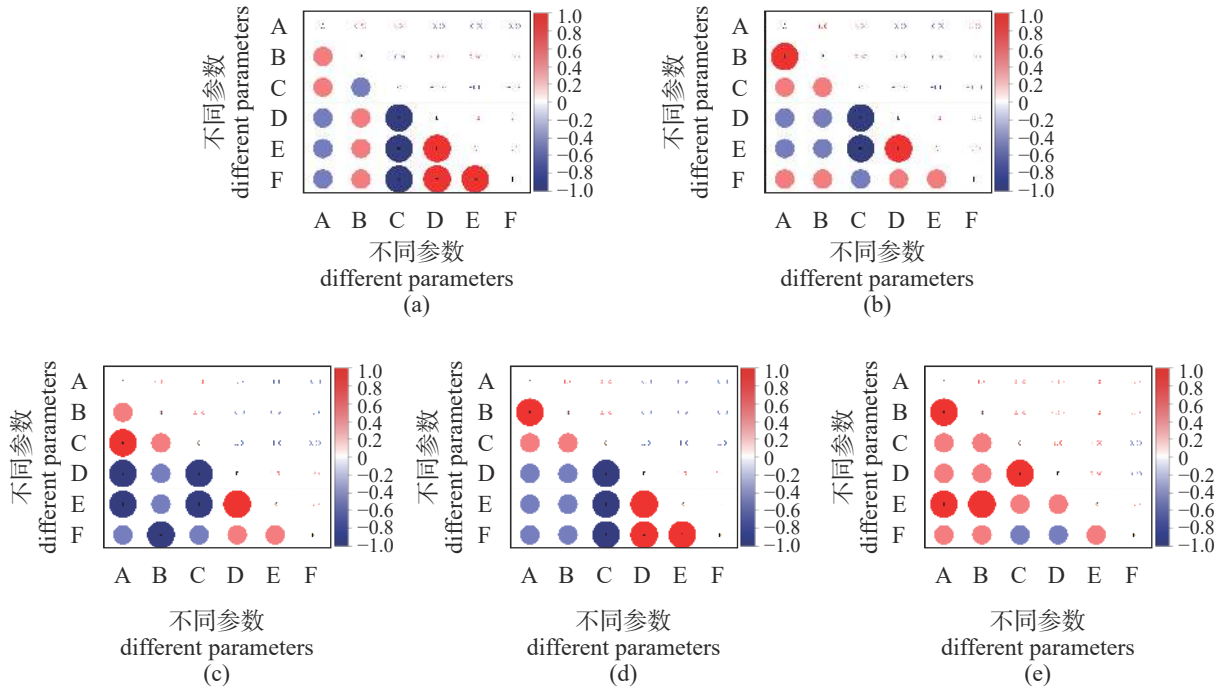


图 5 5 种鱼类肠道参数相关性分析

(a) 圆斑星鲽, (b) 牙鲆, (c) 绿鳍马面鲈, (d) 斑石鲷, (e) 梭鱼。A. 褶皱高度, B. 褶皱宽度, C. 褶皱数量, D. 环肌厚度, E. 纵肌厚度, F. 杯状细胞数量。*表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Fig. 5 Correlations of intestinal parameters in five fish species

(a) *V. variegatus*, (b) *P. olivaceus*, (c) *T. modestus*, (d) *O. punctatus*, (e) *M. soiuy*. A. plica height, B. plica width, C. the number of plica, D. circular muscle thickness, E. longitudinal muscle thickness, F. the number of goblet cells. * indicate significant difference ($P < 0.05$).

消化难度较小, 绿鳍马面鲈主要摄食浮游生物, 最易消化吸收^[39-40]。以上结果表明, 5 种鱼类前肠或前中肠具有发达的褶皱结构, 并且其发达程度与摄食营养物质消化难易程度相对应。

鱼类肠道肌层由内层环肌和外层纵肌组成, 肠道肌层可通过波状收缩推动食物团, 形成肠道蠕动, 使肠道内食物与消化液充分接触、混匀, 提高消化吸收效率, 同时伴随着消化吸收进程, 规律性肠道蠕动促进食物残渣的排出^[41]。研究发现, 大鳍异鲉(*Creteuchiloglanis macropterus*) 前肠和后肠肌层厚度显著大于中肠, 这与本研究中圆斑星鲽、绿鳍马面鲈和梭鱼肠道肌层观察结果一致^[42]。对大刺色鲈(*Chromobotia macracanthus*) 肠道研究发现, 其中肠和后肠肠道肌层厚度显著大于前肠^[43], 这与本研究中牙鲆和斑石鲷肠道肌层观察结果相似。本研究中 5 种鱼类肠道肌层厚度比较结果为斑石鲷>圆斑星鲽>梭鱼>牙鲆和绿鳍马面鲈。斑石鲷与圆斑星鲽肠道主要摄食甲壳类, 食物残渣较多, 因此需要发达的肠道肌层促进食物消化吸收和残渣排出^[37-38]。梭鱼肠道较长且食物较难消化吸收, 发达的肠道肌层可促进食物消

化吸收以及在较长的肠道内移动^[36]。而牙鲆肠道较短, 且摄食频率较低因此肠道肌层不发达^[39]。绿鳍马面鲈食物主要为浮游生物, 在肠道内较易移动, 因此肠道肌层最不发达^[40]。综上表明, 肠道肌层厚度不仅与食物消化难易程度密切相关, 同时也影响食物残渣排出进程。

肠道的杯状细胞能产生具有润滑、保护、免疫防御、消化和吸收等多种功能的黏蛋白, 有助于鱼类的消化吸收和食物残渣排出^[44]。在对尖吻鲈(*Lates calcarifer*)、克林雷氏鲈(*Rhamdia quelen*) 以及纹纹圆鲈(*Sphoeroides testudineus*) 的研究中均发现鱼类肠道杯状细胞主要分布于前肠和后肠, 而中肠杯状细胞较少^[45-47]。本研究在圆斑星鲽、牙鲆、绿鳍马面鲈和斑石鲷肠道上也观察到相似的结果。而在对大口虾虎鱼(*Chasmichthys gulosus*) 和子陵吻虾虎鱼(*Rhinogobius giurinus*) 的研究中发现, 二者肠道杯状细胞主要分布于前肠和中肠且中肠最多, 这与本研究中梭鱼的肠道杯状细胞分布相似^[48]。5 种鱼类肠道杯状细胞数量比较结果为梭鱼>斑石鲷>牙鲆>圆斑星鲽>绿鳍马面鲈。梭鱼肠道杯状细胞数量最多, 且主要分布于前中肠,

这有助于高植物纤维的食物消化吸收以及在弯曲盘绕的肠道内移动。其余4种鱼类肠道杯状细胞主要分布于前肠和后肠, 这有助于前肠食物的消化吸收, 以及后肠食物残渣的排出。以上结果表明鱼类肠道杯状细胞分布和数量存在显著种属差异, 且和摄食习性密切相关。

肠道褶皱高度、宽度、数量, 环肌、纵肌厚度和杯状细胞数量都是衡量肠道消化吸收能力的重要参数。肠道褶皱通过增加肠道表面积和食物在肠道内停留的时间, 来提高消化吸收的能力^[49]。肠道肌层, 杯状细胞促进食物的消化吸收和食物残渣的排出^[50]。本研究通过相关数据矩阵分析发现, 梭鱼肠道褶皱与肠道肌层呈显著正相关关系。圆斑星鲈、牙鲆、绿鳍马面鲀和斑石鲷肠道肌层与肠道褶皱呈显著负相关关系, 与杯状细胞数量呈显著正相关关系。梭鱼作为植食性鱼类, 同时拥有发达的肠道褶皱和肠道肌层, 可增强对植物性纤维的消化吸收。而其余4种鱼类主要摄食较易消化吸收的动物性蛋白, 代谢较快, 褶皱与肌层和杯状细胞数量呈负相关关系, 可能是为了平衡食物的消化吸收和食物残渣排出。

综上所述, 本实验结果表明, 5种围栏适养鱼类比肠长, 肠道褶皱高度、宽度、数量, 环肌、纵肌厚度, 杯状细胞数量存在显著种属间差异, 同其摄食习性, 代谢速率, 生活环境密切相关。圆斑星鲈和斑石鲷消化能力强, 代谢快, 摄食频率高, 而牙鲆和绿鳍马面鲀消化能力较弱, 代谢较慢, 摄食频率较低, 梭鱼消化能力强, 但食物消化时间长, 摄食频率也较低。因此, 在大型围栏养殖过程中应当根据不同鱼类特征制定摄食投喂策略, 根据不同水层鱼类摄食特性, 考虑饲料配比和沉降系数, 设置投喂间隔, 选择最佳投喂频率。从而提高摄食效率, 降低饲料成本, 减少养殖环境压力。相关结果为大型围栏适养鱼类制定精准投喂策略提供了理论依据和基础性数据支撑。

感谢莱州明波水产有限公司和烟台开发区天源水产有限公司在实验材料收集和保存过程中给予支持与帮助。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

[1] Wilson J M, Castro L F C. Morphological diversity of <https://www.china-fishery.cn>

the gastrointestinal tract in fishes[J]. *Fish Physiology*, 2010, 30: 1-55.

- [2] 米海峰, 孙瑞健, 张璐, 等. 鱼类肠道健康研究进展[J]. *中国饲料*, 2015(15): 19-22.
Mi H F, Sun R J, Zhang L, *et al.* Review on the intestinal health of fish[J]. *China Feed*, 2015(15): 19-22 (in Chinese).
- [3] 林浩然. 5种不同食性鲤科鱼的消化道[J]. *中山大学学报*, 1962(3): 65-78.
Lin H R. Digestive tracts of five carps with different feeding habits[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1962(3): 65-78 (in Chinese).
- [4] 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, 20(4): 81-84.
Zeng D, Ye Y T. Studies on digestive system and different feeding habits of some fishes in freshwater[J]. *Journal of Southwest Agricultural University*, 1998, 20(4): 81-84 (in Chinese).
- [5] 许宝红, 王亚楠, 肖调义, 等. 4种淡水经济鱼类消化系统的组织学比较[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(32): 47-55.
Xu B H, Wang Y N, Xiao T Y, *et al.* The comparative histology studies on digestive system of four species of economic freshwater fishes[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(32): 47-55 (in Chinese).
- [6] Pereira R T, Nebo C, de Paula Naves L, *et al.* Distribution of goblet and endocrine cells in the intestine: a comparative study in Amazonian freshwater Tambaqui and hybrid catfish[J]. *Journal of Morphology*, 2020, 281(1): 55-67.
- [7] Gioda C R, Pretto A, de Souza Freitas C, *et al.* Different feeding habits influence the activity of digestive enzymes in freshwater fish[J]. *Ciência Rural*, 2017, 47(3): e20160113.
- [8] Kramer D L, Bryant M J. Intestine length in the fishes of a tropical stream: 2. Relationships to diet - the long and short of a convoluted issue[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 1995, 42(2): 129-141.
- [9] Choat J H, Robbins W D, Clements K D. The trophic status of herbivorous fishes on coral reefs: II. Food processing modes and trophodynamics[J]. *Marine Biology*, 2004, 145(3): 445-454.
- [10] Karasov W H, del Rio C M. Physiological ecology: how animals process energy, nutrients, and toxins[M]. *Prin-*
中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- ceton: Princeton University Press, 2007.
- [11] 石华洪, 苗亮, 李凌云, 等. 水体低氧对香鱼幼鱼生长和消化酶活性的影响[J]. 生命科学研究, 2019, 23(6): 469-475.
Shi H H, Miao L, Li M Y, *et al.* Effects of hypoxia on growth and activities of digestive enzymes of juvenile sweet fish (*Plecoglossus altivelis*)[J]. Life Science Research, 2019, 23(6): 469-475 (in Chinese).
- [12] 施兆鸿, 谢明媚, 彭士明, 等. 温度胁迫对银鲳(*Pampus argenteus*)幼鱼消化酶活性及血清生化指标的影响[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(5): 30-37.
Shi Z H, Xie M M, Peng S M, *et al.* Effects of temperature stress on activities of digestive enzymes and serum biochemical indices of *Pampus argenteus* juveniles[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(5): 30-37 (in Chinese).
- [13] 李凌云, 苗亮, 俞淳, 等. 大黄鱼大型座底式围栏养殖的不同形式和管理的效果[J]. 宁波大学学报(理工版), 2019, 32(6): 30-34.
Li M Y, Miao L, Yu C, *et al.* Effects of different forms and management of large bottom-seated enclosure for culturing large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. Journal of Ningbo University (Natural Science & Engineering Edition), 2019, 32(6): 30-34 (in Chinese).
- [14] 桂福坤, 祝含接, 冯德军. 海洋养殖网衣水动力特性研究进展[J]. 渔业现代化, 2019, 46(5): 9-14, 21.
Gui F K, Zhu H J, Feng D J. Measuring the frequency of swimming fish tail beats based on computer vision method[J]. Fishery Modernization, 2019, 46(5): 9-14, 21 (in Chinese).
- [15] 周文博, 石建高, 余雯雯, 等. 中国海水围网养殖的现状与发展趋势探析[J]. 渔业信息与战略, 2018, 33(4): 259-266.
Zhou W B, Shi J G, Yu W W, *et al.* Current situation and development trend of marine seine culture in China[J]. Fishery Information & Strategy, 2018, 33(4): 259-266 (in Chinese).
- [16] 徐琰斐, 徐皓, 刘晃, 等. 中国深远海养殖发展方式研究[J]. 渔业现代化, 2021, 48(1): 9-15.
Xu Y F, Xu H, Liu H, *et al.* Research on the development way of deepsea mariculture in China[J]. Fishery Modernization, 2021, 48(1): 9-15 (in Chinese).
- [17] 石建高, 余雯雯, 卢本才, 等. 中国深远海网箱的发展现状与展望[J]. 水产学报, 2021, 45(6): 992-1005.
Shi J G, Yu W W, Lu B C, *et al.* Development status and prospect of Chinese deep-sea cage[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(6): 992-1005 (in Chinese).
- [18] 孔一颖. 明波模式“陆海接力”全年无间上市品质活鱼[J]. 海洋与渔业, 2019(2): 36-39.
Kong Y Y. Ming Bo model “Land-sea relay” uninterrupted quality live fish on the market throughout the year[J]. Ocean and Fishery, 2019(2): 36-39 (in Chinese).
- [19] 杨珍珠. 圆斑星鲈性别相关基因的克隆与表达分析 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
Yang Z Z. Cloning and expression analysis of sex-related genes of spotted halibut (*Verasper variegatus*)[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020 (in Chinese).
- [20] 宋立民, 于清海, 袁立来, 等. 回捕牙鲆生长和摄食状况调查研究[J]. 天津农业科学, 2019, 25(5): 33-38.
Song L M, Yu Q H, Yuan L L, *et al.* Growth and feeding status of the captured population of *Paralichthys olivaceus*[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2019, 25(5): 33-38 (in Chinese).
- [21] 丁民权. 东海绿鳍马面鲀群体及其分布[J]. 水产学报, 1994, 18(1): 45-56.
Ding M Q. On the stocks of filefish *Navodon septentrionalis* and their distributions in the East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 1994, 18(1): 45-56 (in Chinese).
- [22] 王枫林, 高云涛, 高云红, 等. 斑石鲷陆海接力养殖初步研究[J]. 渔业现代化, 2022, 49(4): 8-14.
Wang F L, Gao Y T, Gao Y H, *et al.* Preliminary study on land-sea alternate aquaculture of spotted knifejaw *Oplegnathus punctatus*[J]. Fishery Modernization, 2022, 49(4): 8-14 (in Chinese).
- [23] 施兆鸿, 彭士明, 侯俊利. 我国鲷、梭鱼类资源开发及其生态养殖前景的探讨[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(2): 120-125.
Shi Z H, Peng S M, Hou J L. The prospects of resources exploitation and ecological culture of Mugilidae in China[J]. Progress in Fishery Sciences, 2010, 31(2): 120-125 (in Chinese).
- [24] Davis A M, Unmack P J, Pusey B J, *et al.* Ontogenetic development of intestinal length and relationships to diet in an Australasian fish family (Terapontidae)[J]. BMC Evolutionary Biology, 2013, 13(1): 53.
- [25] 尾崎久雄. 鱼类消化生理-下册 [M]. 李爱杰, 沈宗武,

- 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- Ozaki H. Fish digestion and physiology-Volume 2[M]. Li A J, Shen Z W, trans. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985 (in Chinese).
- [26] 刘亚秋, 李新辉, 李跃飞, 等. 斑鳃消化系统组织结构及适应性特征研究[J]. *淡水渔业*, 2019, 49(2): 14-19.
- Liu Y Q, Li X H, Li Y F, *et al.* Study on tissue structure and adaptability characteristic for digestive system of *Mystus guttatus*[J]. *Freshwater Fisheries*, 2019, 49(2): 14-19 (in Chinese).
- [27] 麦康森. 水产动物营养与饲料学 [M]. 第 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- Mai K S. Aquatic animal nutrition and feed science[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2011 (in Chinese).
- [28] 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): 26-29.
- Bi B, Sun Z W, Mao T Q, *et al.* Relationship between digestive tract structure and feeding habits in common carp, grass carp, silver carp and bighead carp[J]. *Chinese Journal Fisheries*, 2011, 24(1): 26-29 (in Chinese).
- [29] 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).
- [30] 孟庆闻. 鱼类比较解剖 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- Meng Q W. Comparative anatomy of fish[M]. Beijing: Science Press, 1987 (in Chinese).
- [31] 翟少伟, 史庆超, 陈学豪. 饲料中添加抗菌肽 Surfactin 对吉富罗非鱼肠道健康的影响[J]. *水生生物学报*, 2016, 40(4): 823-829.
- Zhai S W, Shi Q C, Chen X H. Effect of dietary antimicrobial peptides-surfactin supplementation on parameters of intestinal health Indices of genetically improved farmed Tilapia (GIFT, *Oreochromis niloticus*)[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, 40(4): 823-829 (in Chinese).
- [32] 胡佐灿, 解崇友, 蔡瑞钰, 等. 同域共存的两种平鳍鳅科鱼类消化系统的形态差异[J]. *水生生物学报*, 2019, 43(2): 379-387.
- Hu Z C, Xie C Y, Cai R Y, *et al.* The morphological characteristics of the digestive system in two coexisting balitoridae[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(2): 379-387 (in Chinese).
- [33] 曹潇, 孙敏, 朱亮华, 等. 黑鲟消化系统的形态学及组织学研究[J]. *热带海洋学报*, 2018, 37(1): 20-26.
- Cao X, Sun M, Zhu L H, *et al.* Morphology and histology of the digestive system in *Girella leonina*[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2018, 37(1): 20-26 (in Chinese).
- [34] 赵彦花, 区又君, 李加儿, 等. 黄唇鱼消化系统组织结构及黏液细胞分布特征[J]. *渔业科学进展*, 2019, 40(3): 80-86.
- Zhao Y H, Ou Y J, Li J E, *et al.* Histology and distribution of mucous cells in digestive system of *Bahaba flavolabiata*[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(3): 80-86 (in Chinese).
- [35] Reifel C W, Travill A A. Structure and carbohydrate histochemistry of the intestine in ten teleostean species[J]. *Journal of Morphology*, 1979, 162(3): 343-359.
- [36] 林长虹. 梭鱼的生物学特性及人工养殖技术介绍[J]. *科学养鱼*, 2004(1): 19-20.
- Lin C H. The biological characteristics of *Liza haematocheila* and artificial breeding technology[J]. *Scientific Fish Farming*, 2004(1): 19-20 (in Chinese).
- [37] 陈四清. 圆斑星鲈 (*Verasper variegatus*) 人工繁育技术及遗传特性的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005.
- Chen S Q. Study on artificial breeding technique and hereditary characteristic of spotted halibut, *Verasper variegatus*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005 (in Chinese).
- [38] 许燕. 养殖斑石鲷黑身病的病原病理学及药物干预下肠道菌群结构分析 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- Xu Y. Study on etiology, histopathology of dark-body diseases in cultured spotted knifejaw (*Oplegnathus punctatus*) and variance of microbial community structure under antibiotic intervention[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017 (in Chinese).
- [39] 陈思行. 日本牙鲆增殖养殖技术[J]. *海洋渔业*, 1993(4): 184-188.
- Chen S X. Bastard halibut breeding technology[J]. *Marine Fisheries*, 1993(4): 184-188 (in Chinese).
- [40] 张家男. 绿鳍马面鲀的生殖调控与种苗繁育技术 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- Zhang J N. Reproductive regulation and fry breeding

- technology of *Thamnaconus septentrionalis* Günther[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011 (in Chinese).
- [41] 殷江霞, 张耀光, 李萍, 等. 华鲮消化道组织学与组织化学的初步研究[J]. 淡水渔业, 2005, 35(6): 7-10.
Yin J X, Zhang Y G, Li P, *et al.* A tentative study on histology and histochemistry of digestive tract in *Sinilabeo rendahli* Kimurai[J]. Freshwater Fisheries, 2005, 35(6): 7-10 (in Chinese).
- [42] 黄自豪, 易建华, 陈冬明, 等. 大鳍异鲮消化系统形态学和组织学观察[J]. 淡水渔业, 2015, 45(2): 8-14.
Huang Z H, Yi J H, Chen D M, *et al.* Morphological and histological observations of digestive system in *Creteuchiloglanis macropterus*[J]. Freshwater Fisheries, 2015, 45(2): 8-14 (in Chinese).
- [43] 史晋绒, 杨琴, 王永明, 等. 皇冠沙鳅消化道组织学观察[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(3): 67-71.
Shi J R, Yang Q, Wang Y M, *et al.* Histological observation on digestive tract of *Chromobotia macracanthus*[J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2016, 41(3): 67-71 (in Chinese).
- [44] Karam S M. Lineage commitment and maturation of epithelial cells in the gut[J]. *Frontiers in Bioscience*, 1999, 4(4): 286-298.
- [45] Purushothaman K, Lau D, Saju J M, *et al.* Morpho-histological characterisation of the alimentary canal of an important food fish, Asian seabass (*Lates calcarifer*)[J]. *PeerJ*, 2016, 4: e2377.
- [46] Hernández D R, Pérez Ganeselli M, Domitrovic H A. Morphology, histology and histochemistry of the digestive system of South American catfish (*Rhamdia quelen*)[J]. *International Journal of Morphology*, 2009, 27(1): 105-111.
- [47] Fagundes K R C, Rotundo M M, Mari R B. Morphological and histochemical characterization of the digestive tract of the puffer fish *Sphoeroides testudineus* (Linnaeus 1758) (Tetraodontiformes: Tetraodontidae)[J]. *Anais da Academia Brasileira De Ciências*, 2016, 88(3 Suppl): 1615-1624.
- [48] Hur S W, Kim S K, Kim D J, *et al.* Digestive physiological characteristics of the Gobiidae[J]. *Development & Reproduction*, 2016, 20(3): 207-217.
- [49] 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): 16-19.
Tu Y F, Song D J. Fish intestinal tissue structure and functional adaptability[J]. *Jiangxi Feed*, 2004(4): 16-19 (in Chinese).
- [50] 徐革锋, 陈侠君, 杜佳, 等. 鱼类消化系统的结构、功能及消化酶的分布与特性[J]. 水产学杂志, 2009, 22(4): 49-55.
Xu G F, Chen X J, Du J, *et al.* Fish digestive system: its structure, function and the distributions and characteristics of digestive enzymes[J]. *Chinese Journal Fisheries*, 2009, 22(4): 49-55 (in Chinese).

Comparison of fish intestinal histology in offshore aquaculture net pen

ZHANG Jiarong^{1,2,3}, GAO Yuntao^{1,2,3}, GAO Yunhong^{1,2,3}, LI Mingyue^{1,3}, QIN Hongyu^{1,3},
XIE Ting^{1,3}, GUAN Changtao^{1,3}, JIA Yudong^{1,3*}

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Qingdao Marine Science and Technology Center, Qingdao 266237, China)

Abstract: Large offshore net pen aquaculture is one of the most important modes for the development of deep-sea aquaculture. Precise feeding is the key to ensuring efficient farming, nutrient digestion and absorption for farming fish. Intestine is the main area for digesting and absorbing nutrients. Thus, investigating its structure will provide a theoretical basis for accurate feeding in captivity. The intestinal tissue of five marine fishes (*Verasper variegatus*, *Paralichthys olivaceus*, *Oplegnathus punctatus*, *Thamnaconus modestus*, *Mugil soiuy*) reared in offshore aquaculture net pen were detected via tissue sectioning, hematoxylin-eosin (H.E) staining and optical microscope observing in this study. Meanwhile, the relative intestinal length, the height, width, the number of intestinal folds, the thickness of the circular muscle, the longitudinal muscle, the number of goblet cells, the morphological differences of different intestinal segments and correlations were evaluated. The results showed that *M. soiuy* had the most significant relative with intestinal length, followed by *T. modestus* and *O. punctatus*, and *Verasper* and *P. olivaceus* were the least significant relationship. The intestinal fold number, height and width of five fishes decreased from anterior intestine to posterior intestine, and the degree of intestinal fold developed *M. soiuy*>*Verasper*>*O. punctatus*>*P. olivaceus*>*T. modestus*. At the same time, the muscle thickness of *O. punctatus* intestinal tract was the largest, significantly higher than that of the other four fishes ($P<0.05$). While *P. olivaceus* and *O. punctatus* had the smallest, significantly lower than that of the other three fishes ($P<0.05$), *M. soiuy* and *T. modestus* had no significant difference ($P>0.05$). There were substantial differences in the number and distribution of intestinal goblet cells in the five fishes. The number of intestinal goblet cells in the five fishes was showed as *sphyaenus*>*O. punctatus*>*P. olivaceus*>*Verasper*>*T. modestus*. *M. soiuy* goblet cells were mainly distributed in the foregut and middle intestine, *Verasper*, *P. olivaceus* and *O. punctatus* intestinal goblet cells were mainly distributed in the foregut and posterior, and *T. modestus* intestine goblet cells were mainly distributed in the posterior. Correlations analysis results showed that the intestinal muscular layer of *Verasper*, *P. olivaceus*, *O. punctatus*, *T. modestus* was significantly negatively correlated with intestinal folds, and was significantly positively correlated with the number of intestinal goblet cells. *M. soiuy* had a significant positive correlation among intestinal parameters. In summary, the relative intestinal length, the number, height, width of intestinal folds, the thickness of the circular and the longitudinal muscles, and the distribution of goblet cells in different intestinal segments of the five fishes which were breeding suitably by offshore aquaculture net pen have significant differences among species. The aforementioned parameters indicated that five fish reared in the offshore net pen adopts different digestion and absorption strategies due to species specific. Therefore, these results provided basic data for the designing of precise feeding and feeding strategies in offshore aquaculture net pen.

Key words: fish; relative of intestine; intestinal plicas; intestinal muscularis; goblet cell; offshore aquaculture net pen

Corresponding author: JIA Yudong. E-mail: jjayd@ysfri.ac.cn

Funding projects: Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2023TD81); Central Guiding Local Science and Technology Development Fund Project (YDZX2022120)