

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20210224005

http://www.yykxjz.cn/

马本贺, 王海华, 徐先栋, 李燕华, 王梦杰, 吴斌, 陶志英. 大刺鲃消化道结构及食性研究. 渔业科学进展, 2022, 43(3): 56-63

MA B H, WANG H H, XU X D, LI Y H, WANG M J, WU B, TAO Z Y. Research on structure of digestive tract and feeding habits in *Mastacembelus armatus*. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(3): 56-63

大刺鲃消化道结构及食性研究*

马本贺 王海华^① 徐先栋 李燕华 王梦杰 吴斌 陶志英

(江西省水产科学研究所 农业农村部湖泊渔业资源环境科学观测实验站
南昌市特种水产繁育与健康养殖重点实验室 江西 南昌 330039)

摘要 为了解大刺鲃(*Mastacembelus armatus*)消化道结构特点及其功能与食性的关系,以采自东江和桃江水域的大刺鲃为研究对象,采用解剖、石蜡切片、HE染色和胃含物分析等方法,研究了大刺鲃消化道的形态学、组织学结构及食性特征。结果显示,大刺鲃消化道由口咽腔、食道、胃和肠构成;口咽腔具舌、咽骨和咽磨;食道黏膜上皮为复层扁平上皮,含有丰富的杯状细胞,内壁具纵行褶皱和次级分支,肌层由横纹肌和平滑肌共同组成;胃壁和肠壁均由黏膜层、黏膜下层、肌层和浆膜层构成,肌层为平滑肌,分为环肌和纵肌;胃呈“V”型,分为贲门部、胃体部、幽门部3个部分,各部分的肌层厚度相比差异显著($P<0.05$),贲门部向胃体部逐渐增粗,且含有胃腺细胞,幽门部肌层极为发达,形成幽门括约肌;肠较短,具一个弯曲,肠道系数为 0.325 ± 0.050 ,肠绒毛丰富,前肠、中肠和后肠的肠绒毛高度相比差异显著($P<0.05$);胃幽门部和前肠间有2个幽门盲囊。大刺鲃食谱较广,消化道中鉴定出虾类、水生昆虫、鱼类、螺、卵和植物碎屑6大类饵料,摄食时食物不经咀嚼直接吞入;食物多样性指数(H')为2.19,不确定性较低,饵料优势指数(D)为0.33,集中性较高;虾类为大刺鲃的主要食物,其相对重要性指数百分比(IRI%)、质量百分比($W\%$)和数量百分比($N\%$)分别为97.75%、92.29%和73.07%。研究表明,大刺鲃属肉食性鱼类,其消化道形态和组织学结构表现出与食性相适应的特点,该研究可为大刺鲃人工养殖和饲料开发提供理论参考。

关键词 大刺鲃; 消化道; 形态学; 组织学; 食性

中图分类号 Q955 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2022)03-0056-08

大刺鲃(*Mastacembelus armatus*)俗称猪麻锯、刀鲃,主要分布在我国长江及其以南水系,属温水性鱼类(Nelson, 2006; 林婷婷, 2017)。大刺鲃肉质鲜美、营养均衡,含有丰富的氨基酸和不饱和脂肪酸(樊海平等, 2018),具有较高的经济和食用价值,市场前景广阔。随着自然资源的过度捕捞、栖息环境受到人为影响,大刺鲃野生资源遭到严重破坏(吴斌等, 2020)。

福建、广东等省已将大刺鲃列为省级重点保护野生动物名录,并先后建立了大刺鲃国家级种质资源保护区,在一定程度上保护了大刺鲃的种群数量和野生资源(何美峰等, 2015)。

大刺鲃人工养殖产业尚处于起步阶段,已有科研单位和相关工作者开展其繁养殖研究并取得阶段性进展,但繁苗量和成活率偏低。受到苗种供应和养殖

*江西省重点研发计划项目(20171ACF60012)和江西省现代农业产业技术体系建设专项(JXARS-10)共同资助 [This work was supported by Key Research and Development Plan of Jiangxi Province (2017ACF60012), and the Earmarked Fund for Jiangxi Agriculture Research System (JXARS-10)]. 马本贺, E-mail: mabenhe@126.com

^① 通讯作者: 王海华, 研究员, E-mail: haihuawang998@sina.com.cn

收稿日期: 2021-02-24, 收修改稿日期: 2021-03-24

技术的限制,大刺鲃商业化养殖规模和产量较小,随着人们对食物种类多样化和品质提升的要求,大刺鲃越来越不能满足市场需要。近年来,大刺鲃相关研究主要集中在形态学(周惠强等, 2019; 舒琥等, 2017)、生物学(Verma *et al.*, 2015; 陈方平等, 2015; 薛凌展, 2018)、遗传多样性(杨华强等, 2016; 房祖业等, 2018)和种质资源(Wu *et al.*, 2019; 徐先栋等, 2020)等方面,从进化上来看,大刺鲃与黄鳝(*Monopterus albus*)的关系更为接近(Tian *et al.*, 2021)。开展消化道结构和食性的研究是了解和探讨鱼类消化吸收生理机制的重要途径(赵彦花等, 2019),也是其野生资源保护、探索人工养殖模式和配合饲料开发的重要前提,目前,国内外未见定量描述大刺鲃消化道结构与食性相关性的研究报道。本研究对赣南地区大刺鲃的消化道形态结构及食性开展探索,以期为大刺鲃资源保护和人工养殖提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2018年3月—2020年9月,每年3、6、9和12月分别于江西省赣州市信丰县桃江水域和定南县东江水域使用地笼作业方式采集野生大刺鲃。实验期间,共采集大刺鲃278尾,体长为9.26~42.78 cm。选取体长 ≥ 20.00 cm、体表无伤、健康正常的大刺鲃,对其空胃样本开展形态学及组织学观察,实胃样本进行食性分析,现场观察测量及取样固定。

1.2 研究方法

1.2.1 形态学及组织学观察 观察大刺鲃外表形态,测量体重(精确到0.01 g)、体长、吻长、口裂长和肠长(精确到0.01 cm),现场解剖观察消化道的形态构造。取空胃大刺鲃用于组织学研究,采集消化道各组织块分别置于中性甲醛溶液中常温固定,进行常规石蜡切片制作、HE染色。显微镜下观察拍照(NIKON Eclipse Ci, 日本)。每张切片挑选3个视野进行拍照,拍照时尽量让组织充满整个视野,保证每张照片的背景光一致。应用Image-Pro Plus 6.0软件测量黏膜层、黏膜下层、肌层、浆膜层等相应指标的数值(精确到0.01 μm)。

1.2.2 食性分析 选用胃含物分析法,对胃内有食物的大刺鲃个体,称取胃重后将胃置于5%福尔马林溶液中常温固定,带回实验室进行分析。饵料尽量鉴定到最小分类单元,不完整饵料依据如附肢、外壳等残存的器官进行鉴定(赵文, 2005)。参照李波等(2019)

的方法使用空胃率和胃饱满指数表示摄食强度,用食物组成的质量百分比($W\%$)、数量百分比($N\%$)、出现频率($F\%$)(Hysolp *et al.*, 1980)和相对重要性指数百分比(IRI%)(Pinkas *et al.*, 1971)来评价大刺鲃各饵料成分的重要性,采用Shannon-Wiener(H')多样性指数和饵料优势指数(D)反映食物生态位宽度(洪巧巧等, 2012)。

肠道系数(intestinal coefficient)=肠长/体长

空胃率(empty stomach rate, %)=空胃数/总胃数 $\times 100$

胃饱满指数(gastric fullness index, %)=胃内食物质量(g)/鱼体长(cm) $\times 100$

$F\%$ =含某饵料生物的胃数/实胃数 $\times 100$

$N\%$ =某饵料生物的个数/胃含物饵料生物总个数 $\times 100$

$W\%$ =某饵料生物的实际质量(g)/胃含物总质量(g) $\times 100$

$$\text{IRI} = (N\% + W\%) \times F\% \times 10\,000 \quad (1)$$

$$\text{IRI}\% = \text{IRI}_i / \left(\sum_i^n \text{IRI}_i \right) \times 100 \quad (2)$$

$$H' = - \sum_i^n P_i \log_2 P_i \quad (3)$$

$$D = \sum_i^n P_i^2 \quad (4)$$

式中, P_i 为某一饵料在大刺鲃胃含物饵料组成中所占的比例,在计算食物多样性指数和饵料优势指数时采用 $N\%$ 。

1.2.3 数据处理 实验数据采用平均值 \pm 标准差(Means \pm SD)表示,数据统计使用SPSS 17.0和Excel 2010软件,采用单因素方差(one-way ANOVA)分析法进行显著性分析($P < 0.05$)。

2 结果

2.1 消化道结构

2.1.1 消化道形态学特征 采集空胃大刺鲃样本10尾,平均体长为(29.91 \pm 7.34) cm,平均体重为(60.51 \pm 32.52) g。大刺鲃消化道由口咽腔、食道、胃和肠组成,在体内呈“Z”型排列(图1)。口腔和咽腔分界不明显,合称口咽腔。大刺鲃吻细长、前端有2个左右分布的鼻管,口下位,唇较厚,口裂长/吻长为0.763 \pm 0.065。上颌长于下颌,上下颌均有尖锐的细齿;下颌后方生有骨质舌,前端游离。鳃弓5对,第5对鳃弓特化为咽骨;咽背面生有一对纵向分布的咽磨,咽磨为表面粗糙的椭圆形角质硬垫。食道连接

口咽腔与胃, 是1条直管, 内壁有发达的纵行褶皱。胃呈“V”型, 内壁具褶皱, 分为贲门部、胃体部和幽门部3个部分。贲门部向胃体部逐渐增粗, 幽门部肌层增厚, 胃腔直径变小。大刺鲃具2个状似凸起的幽门盲囊, 由肠的始端分别向幽门部左右延伸, 2个盲囊的中间为胃幽门部与肠的接口。肠道具有1个弯曲, 输胆管开口于前肠, 中肠肠径小于前肠和后肠, 后肠直达肛门, 肠道系数为 0.325 ± 0.050 。

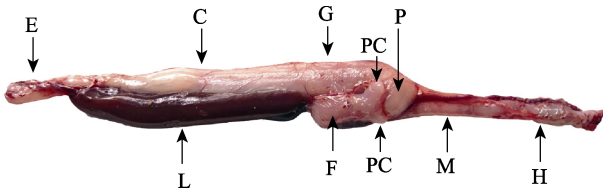


图1 大刺鲃消化道形态学观察
Fig.1 Morphological observation of digestive tract in *M. armatus*

E: 食道; C: 贲门; G: 胃体; P: 幽门; F: 前肠;
M: 中肠; H: 后肠; PC: 幽门盲囊; L: 肝
E: Esophagus; C: Cardia; G: Gastric body; P: Pylorus;
F: Foregut; M: Midgut; H: Hindgut;
PC: Pyloric caeca; L: Liver

2.1.2 消化道组织结构 口咽腔: 口咽壁主要由黏膜层、黏膜下层和肌层组成。黏膜层平均厚度为 $(104.71\pm 4.66)\mu\text{m}$, 黏膜层上皮为复层扁平上皮细胞, 上皮中分布有味蕾和黏液细胞。黏膜下层相对较薄, 与黏膜层分界不明显。最内侧为横纹肌组成的肌层, 肌层较厚(图2A)。

食道: 食道壁自内而外由黏膜层、黏膜下层、肌层和浆膜层组成。黏膜层平均厚度为 $(107.46\pm 11.19)\mu\text{m}$, 内壁纵向褶皱发达, 可产生褶皱分支, 褶皱表面为复层扁平上皮, 上皮细胞间分布有大量杯状细胞。黏膜下层由疏松结缔组织构成, 平均厚度为 $(40.43\pm 7.54)\mu\text{m}$ 。黏膜下层外与肌层相连, 食道中部肌层由横纹肌和平滑肌共同构成。最外层是较薄的浆膜层, 平均厚度为 $(23.70\pm 6.17)\mu\text{m}$, 主要由结缔组织构成(图2B)。

胃: 胃是消化管中最膨大的部分, 胃壁由内而外依次为黏膜层、黏膜下层、环肌层、纵肌层和浆膜层。黏膜层向内腔突起形成黏膜褶皱, 由固有膜和单层柱状上皮构成, 黏膜上皮中无柱状细胞。贲门部黏膜褶皱高度较大, 上皮向固有膜凹陷形成胃小凹, 固有膜中分布胃腺细胞, 腺细胞开口于胃小凹, 可分泌腺液(图2C); 胃体部的黏膜褶皱高度达到胃的最大值, 胃腺细胞数量增多, 在黏膜层下出现少量黏膜肌

(图2D); 幽门部黏膜褶皱高度最低, 固有膜中无胃腺细胞, 黏膜肌增加(图2E)。黏膜下层为结缔组织, 分布有毛细血管。胃壁中肌层为发达的平滑肌, 环肌层厚于纵肌层; 环肌和纵肌厚度在贲门部、胃体部、幽门部分别依次增大(表1), 均在幽门部达到胃的最大值, 并形成幽门括约肌, 使得胃与肠的连接处骤然缩为一个孔。胃的浆膜层很薄, 主要为疏松结缔组织。

肠: 肠壁同样由黏膜层、黏膜下层、环肌层、纵肌层和浆膜层构成。肠黏膜层发达, 向肠腔内突起形成指状的肠绒毛, 由单层柱状上皮及固有膜组成; 上皮细胞呈高柱状, 其细胞核位于基部, 游离端形成纹状缘, 杯状细胞分散在上皮细胞间; 肠根据弯曲位置和肠径大小可分为前肠、中肠、后肠; 前肠绒毛长而密, 黏膜褶皱高度达到最大, 几乎充满了整个肠腔(图2G); 肠绒毛宽度和上皮细胞高度在前肠、中肠、后肠3个部分依次减小(图2H和图2I)。黏膜下层为疏松的结缔组织, 含有丰富的毛细血管。环肌与纵肌的厚度差异逐渐变小; 肌层厚度在肠道中呈先升高后降低的趋势, 中肠肌层厚度最大。肠道浆膜层较薄, 各部分厚度基本一致(表2)。幽门盲囊横切面为圆形, 组织学结构与前肠相似, 盲囊壁较薄, 内腔充满了发达的黏膜褶皱(图2F)。

2.2 食性分析

2.2.1 摄食强度和食物多样性 实验期间, 共采集到体长 $\geq 20\text{ cm}$ 大刺鲃 213 尾。其中, 实胃样本 56 尾, 空胃样本 157 尾, 空胃率 73.71%。56 尾实胃个体均采集于 6 月和 9 月, 平均体长为 $(26.32\pm 6.18)\text{ cm}$ 、体重为 $(51.64\pm 27.35)\text{ g}$, 平均胃饱满指数为 $(2.86\pm 1.69)\%$, H' 为 2.19, D 为 0.33。

2.2.2 食物组成 大刺鲃饵料生物主要由虾类、水生昆虫、鱼类、螺、卵和植物碎屑 6 个大类(9 个小类)组成。虾类包括日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)和秀丽白虾(*Exopalaemon modestus*); 水生昆虫包括划蝽(Corixidae)和仰泳蝽(Notonectidae), 均为半翅目(Hemiptera); 螺为淡水壳菜(*Limnoperna fortunei*)和福寿螺(*Pomacea canaliculata*)。食物组成中, 日本沼虾的 $W\%$ 、 $N\%$ 、 $F\%$ 和 $IRI\%$ 均最高, 分别为 72.23%、51.92%、67.86% 和 81.99%。秀丽白虾的 $W\%$ 、 $N\%$ 、 $F\%$ 和 $IRI\%$ 分别为 20.06%、21.15%、39.29% 和 15.76%, 各项指标仅次于日本沼虾, 排在第 2 位。从饵料生物的 $W\%$ 、 $N\%$ 、 $F\%$ 和 $IRI\%$ 分析, 大刺鲃的主要饵料类群为虾类, 其他饵料类群的比例相对较低(表 3)。

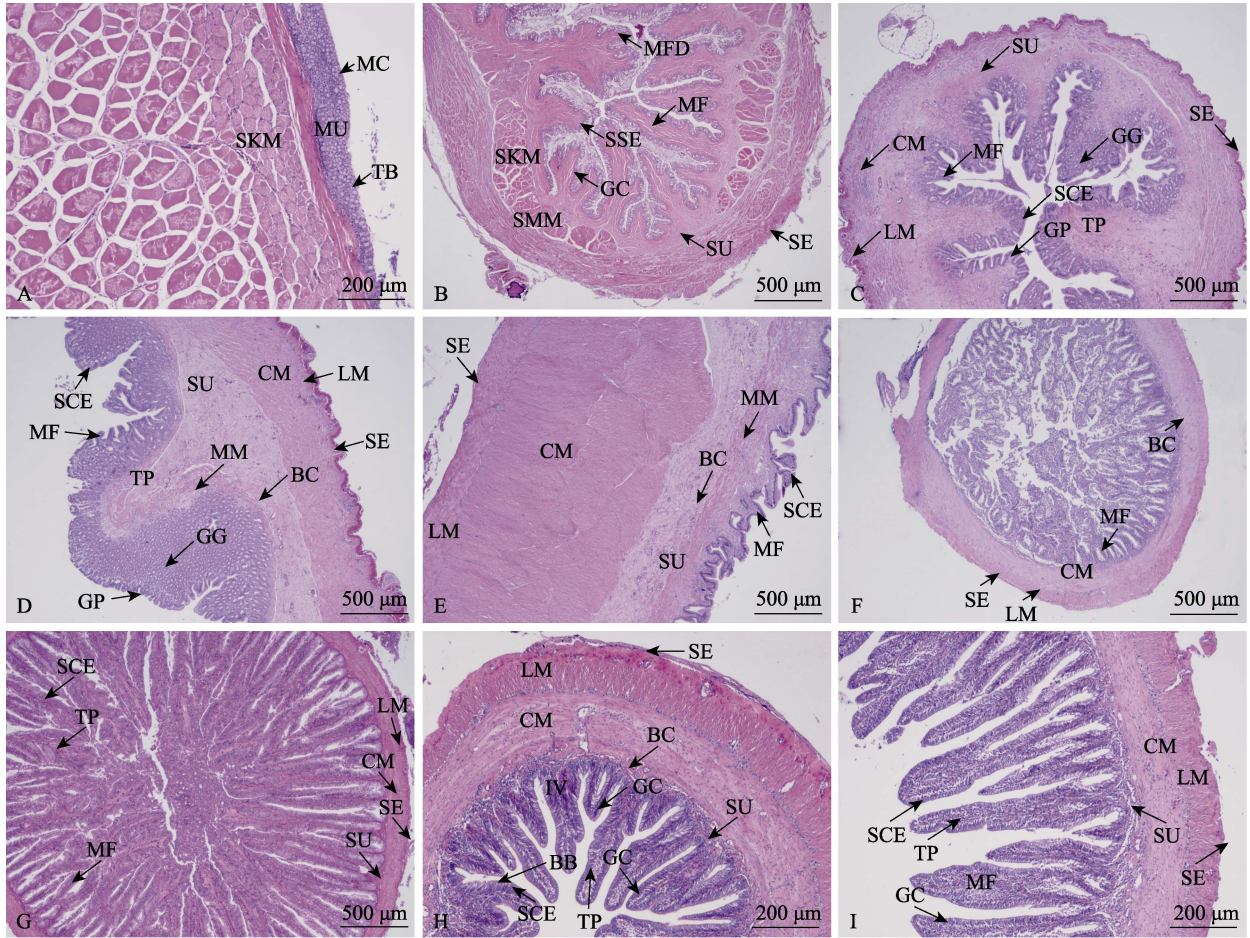


图 2 大刺鲃消化道组织学结构

Fig 2. Histological structure of digestive tract in *M. armatus*

- 1: 口咽腔横切; 2: 食道横切; 3: 贲门横切; 4: 胃体横切; 5: 幽门纵切;
6: 幽门盲囊横切; 7: 前肠横切; 8: 中肠横切; 9: 后肠横切

MC: 粘液细胞; MU: 黏膜层; TB: 味蕾; SKM: 横纹肌; SMM: 平滑肌; GC: 杯状细胞; MF: 黏膜褶皱; MFD: 黏膜褶皱分支; SSE: 复层扁平上皮; SE: 浆膜层; SU: 黏膜下层; TP: 固有膜; CM: 环肌; LM: 纵肌; GG: 胃腺; GP: 胃小凹; SCE: 单层柱状上皮; MM: 黏膜肌; BC: 毛细血管; BB: 纹状缘; IV: 肠绒毛

- 1: Cross-section of oropharyngeal cavity; 2: Cross-section of esophagus; 3: Cross-section of cardia;
4: Cross-section of gastric body; 5: Longitudinal-section pylorus; 6: Cross-section of pyloric caeca;
7: Cross-section of foregut; 8: Cross-section of midgut; 9: Cross-section of hindgut

MC: Mucous cell; MU: Mucosa; TB: Taste bud; SKM: Skeletal muscle; SMM: Smooth muscle; GC: Goblet cell; MF: Mucosal fold; MFD: Mucosal fold branch; SSE: Stratified squamous epithelium; SE: Serosa; SU: Submucosa; TP: Tunica propria; CM: Circular muscle; LM: Longitudinal muscle; GG: Gastric gland; GP: Gastric pit; SCE: Single columnar epithelium; MM: Muscularis mucosa; BC: Blood capillary; BB: Brush border; IV: Intestinal villus

表 1 大刺鲃胃各组织结构比较(μm)

Tab.1 Comparison of various tissue structures of the stomach in *M. armatus* (μm)

形态指数 Morphological index	贲门部 Cardia	胃体部 Gastric body	幽门部 Pylorus
黏膜褶皱高 Spiral valve height	405.76±77.78 ^a	599.72±62.13 ^b	345.12±28.84 ^a
黏膜下层厚 Submucosa thick	25.00±2.62 ^a	367.95±43.23 ^b	338.74±6.10 ^b
环肌层厚 Circular muscle thick	227.02±11.79 ^a	368.50±15.51 ^b	1 301.34±28.44 ^c
纵肌层厚 Longitudinal muscle thick	33.70±7.43 ^a	76.55±7.16 ^b	212.21±16.79 ^c
浆膜层厚 Serosa thick	21.15±1.82 ^b	84.33±7.50 ^c	15.98±3.00 ^a

注: 表中数据均为平均值±标准差; 同一行中不同字母上标表示差异显著(P<0.05), 下同

Note: Values presented as Mean±SD; The data with different superscripts in the same row are significantly different (P<0.05), the same as below

表2 大刺鲃肠各组织结构比较(μm)Tab.2 Comparison of various tissue structures of the intestine in *M. armatus* (μm)

形态指数	Morphological index	前肠 Foregut	中肠 Midgut	后肠 Hindgut
黏膜褶皱高	Spiral valve height	1 254.96±67.18 ^c	391.26±43.19 ^a	617.52±59.28 ^b
黏膜下层厚	Submucosa thick	56.93±7.28 ^a	51.68±12.68 ^a	62.04±16.00 ^a
环肌层厚	Circular muscle thick	82.87±9.09 ^a	171.86±18.36 ^c	116.65±7.42 ^b
纵肌层厚	Longitudinal muscle thick	42.75±4.22 ^a	100.36±11.04 ^c	78.30±8.41 ^b
浆膜层厚	Serosa thick	37.16±6.06 ^a	30.13±5.85 ^a	28.71±5.79 ^a
黏膜褶皱宽	Spiral valve width	100.33±12.85 ^b	75.88±22.61 ^{ab}	56.29±19.72 ^a
上皮细胞高	Epithelial cell height	33.21±2.63 ^b	19.49±3.78 ^a	18.51±1.49 ^a

表3 大刺鲃饵料组成

Tab.3 Food composition of *M. armatus*

胃含物组成	质量百分比	数量百分比	出现频率	相对重要性指数百分比
Food contents	Quality percentage/(W%)	Numerical percentage/(N%)	Occurrence/(F%)	Relative importance index percentage/(IRI%)
日本沼虾 <i>M. nipponense</i>	72.23	51.92	67.86	81.99
秀丽白虾 <i>E. modestus</i>	20.06	21.15	39.29	15.76
仰泳蝽 <i>Notonectidae</i>	0.77	5.77	7.14	0.45
划蝽 <i>Corixidae</i>	0.74	3.85	3.57	0.16
斗鱼 <i>Belontiidae</i>	4.86	1.92	3.57	0.24
淡水壳菜 <i>Limnoperna fortunei</i>	0.98	1.92	3.57	0.10
福寿螺 <i>P. canaliculata</i>	0.12	1.92	3.57	0.07
卵 Eggs	0.19	5.77	10.71	0.62
植物碎屑 Plant detritus	0.05	5.77	10.71	0.61

3 讨论

3.1 大刺鲃的食物组成与摄食习性

从食物组成来看,大刺鲃动物性饵料的 $W\%$ 和 $N\%$ 分别为 99.95%和 94.23%,食物中植物碎屑 $F\%$ 为 10.71%,但 $W\%$ 仅为 0.05%,营养贡献小,参照刘其根等(2015)对光泽黄颡鱼(*Pelteobagrus nitidus*)的研究方法,推测植物碎屑可能是大刺鲃在摄食动物性饵料过程中产生的被动摄食,认为大刺鲃属于肉食性鱼类,这与汀江水域大刺鲃(黄永春,1999)的研究结果相符。综合 $W\%$ 、 $N\%$ 、 $F\%$ 和 $IRI\%$ 来看,本研究中大刺鲃的主要食物为虾类。从虾类、水生昆虫和鱼类在大刺鲃胃中的形态看到,大刺鲃从猎物头部、尾部位置的摄食均有发生,大刺鲃室内暂养时投喂水蚯蚓发现,大刺鲃还会从水蚯蚓的背部将其吞食,说明大刺鲃的袭击方式多样。

大刺鲃属温水性鱼类,最适水温为 20℃~29℃,当水温较低时,将逐渐减少或停止摄食(曾庆祥等,2016),采样过程中样本在地笼内存留的时间长短不一,大刺鲃空胃率偏高,且实胃样本集中在 6 月、9 月,可能是受到季节和地笼作业方式的影响。大刺鲃习性

凶猛,其摄食前悄悄靠近猎物,然后迅速袭击将猎物整个吞入。实胃样本中大部分食物形体较完整,且集中在胃体部,肠道中的食物均为糜状。胃饱满指数与摄食强度成正比。Xue (2005)研究指出,鱼类的食物质量与其体长之间的相关性比与体重之间的相关性更好。本研究中,使用体长计算胃饱满指数,减少大刺鲃因性腺发育对胃饱满指数的影响。胃饱满指数最高可达 11.39%,说明大刺鲃在食物充足时,可大量摄食进行能量储备,在食物短缺时,则可长时间不摄食或少摄食。大刺鲃食物的多样性指数 H' 值为 2.19,属中等水平;饵料优势指数 D 为 0.33,食物组成优势种群集中性较高(洪巧巧等,2012),这与饵料生物的 $IRI\%$ 相符合。

3.2 大刺鲃消化道结构及其功能关系

消化道是鱼类食物消化吸收的主要场所。鱼类口裂的大小与其食性密切相关,大刺鲃吻细长,导致口裂长/吻长的平均值为 0.763±0.065。上下颌生有细密的小齿,可以固定食物,防止猎物逃脱。口咽腔中含有强有力的骨骼肌,配合咽骨和咽磨,有利于将食物压紧送往食道。食道前端含有收缩能力强的横纹肌,内壁为粗大的纵行褶皱,有助于输送食物;食道黏膜

层为复层扁平上皮,且其中含有大量杯状细胞;复层扁平上皮细胞具有很强的再生修复能力,对摩擦和损伤的耐受能力强;杯状细胞可分泌黏液到管腔中,保持食道的润滑(赵柳兰等,2018;任永丽等,2020),对于未经咀嚼直接吞入的食物,具有保护食道减少机械损伤的作用(Cinar *et al*,2006),这与大刺鲃将食物不经咀嚼直接吞咽的摄食习性相适应。

胃是大刺鲃消化食物的主要器官,胃从贲门部到胃体部为逐渐增粗的长管状结构,充满食物时膨大成囊状;胃壁的环肌厚度较大,有助于增加胃的伸缩性和提高食糜的机械消化效率,同时,扩大了胃的容量,增加大刺鲃的一次摄食量(张杰等,2015)。胃体部的黏膜褶皱较高且固有层发达,大大增加了与食物的接触面积,胃腺分泌大量腺液,促进食物的快速消化(曹潇等,2018)。幽门括约肌发达且与肠的通道口极小,有效地延缓胃内食物糜团排空和防止肠道内容物逆流(庾云等,2019)。初庆柱等(2009)对粤西水域大刺鲃的消化系统组织学开展了定性描述并指出,其幽门盲囊数量为一个。本研究发现,大刺鲃具有2个幽门盲囊,从解剖形态学观察来看,2个幽门盲囊大小、长短各不一,且不同样本个体间幽门盲囊的形态也有所差异,推测前人研究将其中1个较小的幽门盲囊归为肠道,亦或是大刺鲃2个地理群体间存在差异。幽门盲囊的形态结构与肠相似,是为了增加肠道功能而进化的适应性结构(Khayyami *et al*,2015),具有容纳食物、辅助消化吸收的作用。

肠是大刺鲃食物营养吸收的主要场所,肠道系数是鱼类形态学的重要参数之一,Albrecht等(2001)研究指出,肠道系数与其食性有着密切的关系。一般而言,典型肉食性鱼类肠道系数较小,植食性鱼类的肠道系数较大,杂食性鱼类介于二者之间(Davis *et al*,2013)。大刺鲃的肠道较短,结构简单仅有一个弯曲,平均肠道系数为 0.325 ± 0.050 ,小于黄鳝、乌鳢(*Channa argus*)、鳊(*Siniperca chuatsi*)、大口黑鲈(*Microperus salmoides*)等肉食性鱼类(潘黔生等,1996)。鱼类的肠绒毛数量和高度与消化吸收能力相关,前肠、中肠和后肠的肠绒毛高度存在显著差异,前肠中黏膜褶皱高度、宽度和上皮细胞高度均达到最大,有助于食物的消化吸收(曾端等,1998)。

综上所述,大刺鲃口咽腔具咽骨和咽磨,上下颌生有细齿,食道内壁纵行褶皱粗大且富含黏液细胞,有利于捕食和吞咽;胃壁肌层发达,含有丰富的皱褶,具有较大的食物容纳量和较高的消化效率;肠道较短,仅有一个弯曲,肠绒毛细长而密集,是营养吸收的主要场所。大刺鲃属肉食性鱼类,虾类是其最主要

食物。大刺鲃表现出消化道形态、结构与摄食习性相适应的特点。其在人工养殖中应投喂动物性饵料或以动物性蛋白饲料为主,宜采取少量多次的投喂策略。

参 考 文 献

- ALBRECHTI M P, FERREIRA M F N, CARAMASCHI E P. Anatomical features and histology of the digestive tract of two related neotropical omnivorous fishes (Characiformes; Anostomidae). *Journal of Fish Biology*, 2001, 58(2): 419-430
- CAO X, SUN M, ZHU L H, *et al*. Morphology and histology of the digestive system in *Girella leonine*. *Journal of Tropical Oceanography*, 2018, 37(1): 20-26 [曹潇, 孙敏, 朱亮华, 等. 黑鲷消化系统的形态学及组织学研究. *热带海洋学报*, 2018, 37(1): 20-26]
- CHEN F P, LI L C, ZHA G C, *et al*. Study on the correlation between accumulated temperature and induced-spawning efficiency of *Mastacembelus armatus*. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015, 43(19): 116-117 [陈方平, 李林春, 查广才, 等. 大刺鲃催产效率与积温的相关性研究. *安徽农业科学*, 2015, 43(19): 116-117]
- CHU Q Z, CHEN G, ZHANG J D, *et al*. Histological studies on digestive system of *Mastacembelus armatus*. *Freshwater Fisheries*, 2009, 39(2): 14-18 [初庆柱, 陈刚, 张健东, 等. 大刺鲃消化系统的组织学研究. *淡水渔业*, 2009, 39(2): 14-18]
- CINAR K, SENOL N, OZEN M R. Immunohistochemical study on distribution of endocrine cells in astrointestinal tract of flower fish (*Pseudophoxinus antalyae*). *World Journal of Gastroenterology*, 2006, 12(42): 6874-6878
- DAVIS A M, UNMACK P J, PUSEY B J, *et al*. Ontogenetic development of intestinal length and relationships to Australasian fish family (*Terapontidae*). *BMC Evolutionary Biology*, 2013, 13(1): 53-55
- FAN H P, QIU M L, ZHONG Q F, *et al*. Comparison of nutritional component of wild and cultured *Mastacembelus armatus* in different growth stages. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2018, 46(8): 92-96 [樊海平, 邱曼丽, 钟全福, 等. 不同生长阶段野生和养殖大刺鲃营养成分的比较. *安徽农业科学*, 2018, 46(8): 92-96]
- FANG Z Y, CHEN X D, WU Y S, *et al*. Screening and characteristic analysis on di- / tri- / tetra - nucleotide- repeated microsatellites in *Mastacembelus armatus*. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2018, 49(1): 174-182 [房祖业, 陈晓东, 吴咏诗, 等. 大刺鲃(*Mastacembelus armatus*)二、三、四碱基重复微卫星标记的筛选和特征分析. *海洋与湖沼*, 2018, 49(1): 174-182]
- HE M F, YUAN D Q, CUI L F, *et al*. Study on fish community and impact factors in *Mastacembelus armatus* national aquatic reserve in Tingjiang River. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, 24(1): 121-129 [何美峰, 袁定清, 崔利峰, 等. 汀江大刺鲃国家级水产种质资源保护区鱼类群落结构及其影响因子. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(1): 121-129]
- HONG Q Q, ZHUANG P, YANG G, *et al*. Feeding habits of *Lateolabrax maculatus* in Yangtze River estuary. *Acta*

- Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4182–4190 [洪巧巧, 庄平, 杨刚, 等. 长江口中国花鲈食性分析. 生态学报, 2012, 32(13): 4182–4190]
- HUANG Y C. Feeding habit and reproductive biology of *Mastacembelus armatus* in Tingjiang River. Journal of Fisheries of China, 1999, 23(s1): 1–6 [黄永春. 汀江大刺鲃食性和繁殖生物学. 水产学报, 1999, 23(s1): 1–6]
- HYSOLP E J. Stomach contents analysis a review of methods and their application. Journal of Fish Biology, 1980, 17(4): 411–429
- KHAYYAMI H, ZOLGHARNEI H, SALAMAT N, *et al.* Morphological variability of *Liza klunzingeri* (Day, 1888) from Bandar abbas port and qeshm island in northeastern Persian gulf. Journal of Fisheries and Aquatic Science, 2015, 10(3): 191–198
- LI B, YANG X F, WANG J X, *et al.* Feeding ecology of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the South China Sea. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2019, 50(2): 337–346 [李波, 阳秀芬, 王锦溪, 等. 南海大眼金枪鱼(*Thunnus obesus*)摄食生态研究. 海洋与湖沼, 2019, 50(2): 337–346]
- LIN T T. Isolation of microsatellite markers and population genetic diversity analysis in *Mastacembelus armatus*. Master's Thesis of Guangzhou University, 2017, 1–3 [林婷婷. 大刺鲃(*Mastacembelus armatus*)微卫星标记开发及野生群体遗传多样性分析. 广州大学硕士研究生学位论文, 2017, 1–3]
- LIU Q G, WU J Y, YAN K T, *et al.* Feed habits of *Pelteobagrus nitidus* in Dianshan Lake. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(6): 859–866 [刘其根, 吴杰洋, 颜克涛, 等. 淀山湖光泽黄颡鱼食性研究. 水产学报, 2015, 39(6): 859–866]
- NELSON J S. Fish of the world. Hoboken: Wiley and Sons, 2006, 316–317
- PAN Q S, GUO G Q, FANG P Z, *et al.* The comparative anatomy studies on digestive system of 6 fish species of stomach-containing teleost in freshwater. Journal of Huazhong Agricultural University, 1996, 15(5): 463–469 [潘黔生, 郭广全, 方平之, 等. 6种有胃真骨鱼消化系统比较解剖的研究. 华中农业大学学报, 1996, 15(5): 463–469]
- PINKAS L, OLIPHANT M S, IVERSON L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and bonito in California waters. Calif. Fish Game, 1971, 152: 105
- REN Y L, NIE Z L, YANG Z J, *et al.* Morphology and histology studies of the digestive system of *Schizothorax biddulphi*. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(6): 49–57 [任永丽, 聂竹兰, 杨志军, 等. 塔里木裂腹鱼消化系统形态学与组织学研究. 渔业科学进展, 2020, 41(6): 49–57]
- SHU H, JIANG X L, YANG H Q, *et al.* Analysis of morphological variations among seven wild populations of *Mastacembelus armatus* in south china area. Journal of Guangzhou University, 2017, 16(3): 8–14 [舒琥, 江小璐, 杨华强, 等. 华南地区 7 个大刺鲃野生群体的形态差异分析. 广州大学学报, 2017, 16(3): 8–14]
- TIAN H F, HU Q M, LI Z. A high-quality denovo genome assembly of one swamp eel (*Mastacembelus armatus*) strain with Pacbio and Hi-C sequencing data. G3 Genes Genomes Genetics, 2021, (11)1: 1–9
- TUO Y, XIAO T Y, LI W C. Morphological and histological characteristics of the digestive system in *Spinibarbus caldwelli*. Journal of Hydroecology, 2019, 40(4): 83–92 [庾云, 肖调义, 李伟臣. 刺鲃幼鱼消化系统形态学和组织学研究. 水生态学杂志, 2019, 40(4): 83–92]
- WU B, WANG H H, MA B H, *et al.* Estimation of population parameters and stock assessment of *Mastacembelus armatus* in the Taojiang River, Xinfeng County, Jiangxi Province, China. Indian Journal of Animal Research, 2019, 1185
- WU B, WANG H H, ZENG Q X, *et al.* Population viability analysis and minimum viable population estimation of simulated population of *Mastacembelus armatus*. Acta Agriculturae Jiangxi, 2020, 32(9): 107–112 [吴斌, 王海华, 曾庆祥, 等. 大刺鲃模拟种群生存力分析及最小可存活种群估算. 江西农业学报, 2020, 32(9): 107–112]
- XU X D, WANG H H, LI Y H, *et al.* Investigation on LDH and EST isozymes in different tissues of *Mastacembelus armatus*. Hunan Agricultural Sciences, 2020(9): 76–78 [徐先栋, 王海华, 李燕华, 等. 大刺鲃不同组织乳酸脱氢酶及酯酶同工酶研究. 湖南农业科学, 2020(9): 76–78]
- XUE L Z. Effects of exogenous hormone, temperature and parental weight on artificial induced spawning and incubation of *Mastacembelus armatus*. Acta Hydrobiologica Sinica, 2018, 42(2): 333–341 [薛凌展. 外源激素、温度和亲本规格对大刺鲃人工催产及孵化的影响. 水生生物学报, 2018, 42(2): 333–341]
- XUE Y, JIN X, ZHANG B, *et al.* Seasonal, diel and ontogenetic variation in feeding patterns of small yellow croaker in the central Yellow Sea. Journal of Fish Biology, 2005, 67(1): 33–50
- YANG H Q, LI Q, SHU H, *et al.* Genetic diversity of *Mastacembelus armatus* southern china and surrounding areas based on ISSR analysis. Acta Hydrobiologica Sinica, 2016, 40(1): 63–70 [杨华强, 李强, 舒琥, 等. 华南及邻近地区大刺鲃遗传多样性的 ISSR 分析. 水生生物学报, 2016, 40(1): 63–70]
- ZENG D, YEE Y T. Studies on digestive system and different feeding habits of some fishes in fresh water. Journal of Southwest Agricultural University, 1998, 20(4): 361–364 [曾端, 叶元土. 鱼类食性与消化系统结构的研究. 西南农业大学学报, 1998, 20(4): 361–364]
- ZENG Q X, FANG Y, ZENG X P, *et al.* The biological characteristics and artificial breeding technology of *Mastacembelus armatus*. Fisheries of China, 2016(3): 70–73 [曾庆祥, 方园, 曾学平, 等. 大刺鲃的生物学特性与人工繁殖技术. 中国水产, 2016(3): 70–73]
- ZHANG J, WANG Y B, LI X M, *et al.* Histological observation on digestive system of *Plectropomus leopardus* under industrialized culture. Marine Fisheries, 2015, 37(3): 233–243 [张杰, 王永波, 李向民, 等. 工厂化养殖条件下豹纹鳃棘鲈消化系统组织学的观察. 海洋渔业, 2015, 37(3): 233–243]
- ZHAO L L, CHEN Q L, YANG S, *et al.* Analysis of histological structure, the types and distribution of mucous cells of digestive tract in largemouth bass (*Micropterus samoides*). Journal of Sichuan Agricultural University, 2018, 36(4): 549–554 [赵柳兰, 陈侨兰, 杨淞, 等. 大口黑鲈消化道组织结构及粘液细胞的类型和分布. 四川农业大学学报,

- 2018, 36(4): 549–554]
- ZHAO W. Hydrobiology. Beijing: China Agriculture Press, 2005, 1–526 [赵文. 水生生物学. 北京: 中国农业出版社, 2005, 1–526]
- ZHAO Y H, OU Y J, LI J E, *et al.* Histology and distribution of mucous cells in digestive system of *Bahaba flavolabiata*. Progress in Fishery Sciences, 2019, 40(3): 80–86 [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. 渔业科学进展, 2019, 40(3): 80–86]
- ZHOU H Q, LI F, SHU H, *et al.* Analysis on morphological indexes and discrimination of male and female *Mastacembelus armatus*. Journal of Guangdong Ocean University, 2019, 39(1): 1–6 [周惠强, 李芬, 舒璇, 等. 大刺鳅雌雄个体形态差异分析. 广东海洋大学学报, 2019, 39(1): 1–6]

(编辑 陈 辉)

Research on Structure of Digestive Tract and Feeding Habits in *Mastacembelus armatus*

MA Benhe, WANG Haihua^①, XU Xiandong, LI Yanhua, WANG Mengjie, WU Bin, TAO Zhiying

(Jiangxi Fisheries Research Institute, Experimental Station of Lake Fishery Resources and Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanchang Key Laboratory of Special Aquaculture Breeding and Healthy Aquaculture, Nanchang, Jiangxi 330039, China)

Abstract *Mastacembelus armatus* is primarily distributed in the Yangtze River and aquatic systems in the south of China, and is affiliated with *Mastacembelus*, Mastacembelidae, and Symbranchiformes. It has great economic value and breeding prospects owing to its high meat quality and balanced nutritional content. However, with overfishing and human influences on its habitat, the population of *M. armatus* has gradually decreased. We characterized the morphology and histology of the *M. armatus* digestive tract, aiming to investigate the relationship between the morphological and histological features of the digestive tract and its feeding behavior. Anatomy, paraffin sections, HE staining, and stomach content analysis were used to study samples collected from the Dongjiang River and Taojiang River in Ganzhou, Jiangxi Province. The results indicated that the digestive tract was composed of the oropharyngeal cavity, esophagus, stomach, and intestine. The oropharyngeal cavity contained the tongue, pharyngeal bone, and callous pad. The mucosal surface of the esophagus was covered with squamous epithelial cells, and the inner wall was full of longitudinal folds and secondary branches. The muscle layer consisted of striated and smooth muscles. The gastric wall and intestinal wall were composed of the mucosal layer, submucosa, muscle layer, and serosal layer. The mucosal layer was a single layer of the columnar epithelium, and the muscle layer was a smooth muscle that was divided into circular and longitudinal muscles. The “V-shaped” stomach was divided into the cardia, gastric body, and pylorus. The thickness of the muscular layer in each part was significantly different. There were no goblet cells in the mucosa, but many glands were located in the cardia or body of the stomach. The gastric pylorus muscle layer was extremely developed. There were two pyloric caeca between the stomach and intestine. The intestine had a curve and included three parts: The foregut, midgut, and hindgut. The average intestinal coefficient of *M. armatus* was 0.325 ± 0.050 . There were significant differences among the anterior, middle, and posterior intestinal villi. Nine prey items were identified in the digestive tract of *M. armatus*, including shrimp, aquatic insects, fish, snails, eggs, and plant detritus. The average percentage of the stomach fullness index was 2.86%. The prey diversity H' was 2.19, and prey dominance D was 0.33. Shrimp were dominant in the stomach contents, accounting for the relative importance index percentage of 97.75%, numerical percentage of 92.29%, and quality percentage of 73.07%. In conclusion, the histological structure of the digestive system of *M. armatus* is related to its function and feeding habits. This study provides a theoretical basis for wild resource conservation and nutrition research on *M. armatus*.

Key words *Mastacembelus armatus*; Digestive tract; Morphology; Histology; Feeding habits

① Corresponding author: WANG Haihua, E-mail: haihuawang998@sina.com.cn