

文章编号: 1674-5566(2023)04-0794-12

DOI:10.12024/jsou.20221204048

北部湾多齿蛇鲻繁殖生物学特征

王锦溪¹, 邓裕坚¹, 范瀛方¹, 颜志斌¹, 赵奕然¹, 何雄波^{1,2}, 颜云榕^{1,2,3}

(1. 广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524088; 2. 广东省深远海渔业管理与捕捞工程技术中心, 广东 湛江 524088; 3. 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江), 广东 湛江 524013)

摘要: 基于 2020 年在北部湾海域采集的 1 214 尾多齿蛇鲻(*Saurida tumbil*) 样本, 通过对生物学特征和卵巢组织学进行分析, 探究该海域多齿蛇鲻种群的繁殖特性及其适应性变化。结果表明, 2020 年北部湾多齿蛇鲻雌雄性比为 1.82:1, 雌性群体成熟性腺四季均有分布, 3—8 月性成熟系数(Gonad somatic index, GSI) 保持较高水平, 为主要繁殖期, 其中 3 月和 7 月为繁殖高峰期; 成熟卵巢中存在不同卵径大小的卵粒, 卵径组成分布呈明显多峰型; 绝对繁殖力波动范围较大(2 774~158 986 粒), 且成熟卵巢中存在不同发育时相的卵母细胞, 综合 GSI、繁殖期、卵径分布及组织切片等结果推断多齿蛇鲻为分批非同步产卵型鱼类; 相对繁殖力(267 粒/g) 保持在较高的水平, 有利于其在高强度捕捞压力下迅速建立稳定种群; 采用 Logistic 回归方程估算雌性群体的初次性成熟体长为 19.0 cm, 与性比随体长变化的重要转折点相同。研究发现, 北部湾多齿蛇鲻的繁殖特性相较以往结果有所改变, 同时, 研究结果进一步丰富了北部湾多齿蛇鲻的繁殖生物学资料, 为渔业资源保护和可持续利用提供科学参考依据。

关键词: 北部湾; 多齿蛇鲻; 性成熟系数; 繁殖力; 初次性成熟体长

中图分类号: S 917.4 **文献标志码:** A

繁殖是鱼类生命过程的重要环节之一, 作为鱼类自然种群补充的重要方式, 是维持鱼类群体数量发展和延续的根本^[1]。通过研究分析雌雄性比、繁殖周期、性腺发育、初次性成熟大小和繁殖力等繁殖生物学内容, 可以掌握鱼类的种群动力学, 也是管理和评估渔业资源工作的关键^[2]。

多齿蛇鲻(*Saurida tumbil*) 隶属仙女鱼目(Aulopiformes) 狗母鱼科(Synodontidae) 蛇鲻属(*Saurida*), 为暖水性底层鱼类, 分布于印度洋和太平洋西岸, 在我国广泛分布于东海和南海水域, 是北部湾海域渔业资源的重要组成种类^[3-4]。目前, 国外学者对多齿蛇鲻种群的繁殖生物学有较多的研究^[5-11], 主要集中在波斯湾、孟加拉湾以及红海等海域, 开展的研究内容包括雌雄性比、卵径、繁殖力、初次性成熟体长和性腺组织学特

征等。而国内学者对多齿蛇鲻繁殖生物学的研究^[3,12-16] 相对较少, 且涉及内容较为单一, 缺乏较为系统的研究报道。受过度捕捞和环境破坏等影响, 北部湾渔业资源不断衰退^[17], 常见鱼类的生物学特征也产生个体小型化、性成熟提前等适应性变化^[16,18]。多齿蛇鲻作为北部湾重要的渔获优势种, 已有研究^[19-20] 发现其繁殖力和初次性成熟体长等繁殖特征发生了改变。

为此, 本文对北部湾多齿蛇鲻进行周年采样, 研究分析雌雄性比、性腺发育、繁殖期、产卵类型、初次性成熟体长、繁殖力和卵母细胞卵径大小等繁殖生物学特征, 并探讨其历史变化情况, 以为多齿蛇鲻种群的保护和渔业资源的科学评估提供参考依据。

收稿日期: 2022-12-16 修回日期: 2023-03-13

基金项目: 国家自然科学基金区域创新发展联合基金(U20A2087); 广东海洋大学科研启动资助项目(060302022104); 广东省南海深远海渔业管理与捕捞工程技术研究中心配套经费项目(A17364)

作者简介: 王锦溪(1996—), 男, 硕士研究生, 研究方向为鱼类摄食生态。E-mail:jinxwang96@126.com

通信作者: 颜云榕, E-mail:yryan_gdou@163.com

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

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

http://www.shhydx.com

1 材料与方法

1.1 样品来源

本研究样品为 2020 年按季节在北部湾海域东部江洪港对底拖网渔获物中不同规格的多齿蛇鲭进行随机抽样,共 1 214 尾(表 1)。

2020 年春季(4 月)北部湾底拖渔船网调查时,在海上现场先对不同发育阶段的新鲜卵巢进行采样,参考分期标准肉眼观察卵巢形态特征,判断成熟期,每个成熟期的卵巢均采集 5 个样本,共计 30 个,对其进行固定和后续的组织学切片与观察。海上采样作业渔船为“北渔 69010”,总吨位 258,净吨位 109,主机功率 441 kW,底拖网具上纲约 44 m,每站拖网 1 h,平均拖速约为 3 kn。具体调查范围为 108°30'E ~ 110°00'E、20°00'N ~ 21°30'N。

表 1 北部湾多齿蛇鲭样品采样信息

Tab. 1 Sampling information of *S. tumbil* in the Beibu Gulf

季节 Season	月份 Month	网具 Fishing gear	采样数 Sample size/尾
春 Spring	3,4	底拖网	215
夏 Summer	6,7,8	底拖网	342
秋 Autumn	9,10,11	底拖网	416
冬 Winter	12,1	底拖网	241

1.2 生物学测定与性腺观察

按《海洋调查规范第 6 部分海洋生物调查》GB 12763.6—2007^[21]对多齿蛇鲭生物学特征进行测量,指标包括体长、体质量和性腺质量等,其中体长精确到 0.1 cm,体质量和性腺质量精确到 0.01 g,随后将Ⅳ期和Ⅴ期卵巢置于-20℃冷冻保存,以备后续实验分析。

参考《鱼类生态学》^[1]中鱼类性腺成熟度分期标准,具体如下:

Ⅰ期:性腺透明细线状,肉眼无法鉴别雌雄;

Ⅱ期:卵巢稍扩大,肩带状,略带淡黄色或浅肉红色;

Ⅲ期:卵巢质量增加,呈淡黄色、黄色,卵粒开始沉积卵黄;

Ⅳ期:卵巢质量达到顶点,占据大部分腹腔;卵粒大量沉积卵黄,在卵巢中紧密挤压成多角圆形,但还不能排卵;

Ⅴ期:卵透明、圆形,游离于卵巢腔中;

Ⅵ期:卵子排出,卵巢质量显著减轻,卵巢中还有少量未产卵。

1.3 组织切片

参照 BLAZER^[22]的方法,对多齿蛇鲭卵巢组织开展组织切片实验。在渔船上使用波恩氏液固定新鲜卵巢组织样本,24 h 后换 70%(体积分数)乙醇保存并带回实验室,带回实验室后进行梯度脱水处理。组织样品脱水后,进行浸蜡处理,随后将组织置于包埋机(JB-P5)内进行石蜡包埋。然后置于石蜡切片机(RM2016)上进行切片(切片厚度为 4 μm)。取切片漂浮于摊片机(KD-P)上展平(水温 40℃),用载玻片捞起贴附组织切片,放进烘箱(DHG-9140A)内烤片(60℃)。待水分烤干且蜡烤化后取出保存以备苏木素-伊红(H.E)染色。

将石蜡切片梯度脱水,二甲苯透明。随后进行梯度脱水处理,中性树脂胶封片。使用正置光学显微镜(NIKON ECLIPSE CI)观察。

1.4 产卵类型划分

依据卵巢细胞的发育特点可将鱼类的产卵类型分为 3 类,分别为完全同步型、分批同步型和分批非同步型。完全同步型为鱼类个体卵巢发育时,每个发育阶段中所有的卵巢细胞的发育时相一致,且单个繁殖周期内产卵 1 批次;分批同步型则在同一性腺内存在 2 种或以上发育时相的卵巢细胞,但单个繁殖期内只产卵 1 批次;分批非同步型性腺发育状态与分批同步型相似,不同点在于单个繁殖期内进行多批次产卵^[23]。

1.5 数据处理与分析

繁殖力与卵径测量,采用分层抽样法对 4 个季节随机抽取共计 76 个已成熟的卵巢(包括Ⅳ期和Ⅴ期),其中包括春季 33 个、夏季 29、秋季 12 个和冬季 2 个。根据质量估算法对多齿蛇鲭的繁殖力进行测定,先使用 5%的甲醛溶液对卵巢进行固定,后称量固定好的完整卵巢质量,接着在卵巢前、中、后 3 个部分各取 0.2 g,放入培养皿并统计沉积卵黄的卵粒数后,按以下公式计算繁殖力^[24]:

$$F = n \times W_0 / w \quad (1)$$

$$F_R = F / W_B \quad (2)$$

式中: F 为绝对繁殖力; n 为计数卵粒数; W_0 为卵巢质量,g; w 为所取卵巢样品的质量,g; F_R 为相对繁殖力; W_B 为体质量,g。

上述每个成熟卵巢随机抽取 75 枚卵粒,包括前、中、后 3 部分各 25 枚,平铺在载玻片上,使用双筒解剖镜 (LEICA ZOOM 2000 Z45V) 拍照,并利用软件 (IMAGE J) 进行卵径测量,精确到 0.01 mm。

性成熟系数 (Gonad somatic index, GSI) 能够反映鱼类性腺发育情况,是一种常用于描述鱼类性腺相对大小的指标^[1]:

$$G_{SI} = \frac{W_g}{W_b} \times 100\% \quad (3)$$

式中: G_{SI} 为性成熟系数,%; W_g 为多齿蛇鲻性腺质量,g; W_b 为纯体质量,g。

对体长数据以 1.0 cm 为组距进行分组,对各体长组的性成熟个体百分比拟合逻辑斯蒂曲线^[25],确定多齿蛇鲻初次性成熟体长:

$$P_i = \frac{1}{1 + e^{a+bl_i}} \quad (4)$$

$$L_{50} = -a/b \quad (5)$$

式中: P_i 为性成熟个体在该体长组内所占的百分比; l_i 为各体长组中值,cm; a 、 b 为该公式的估算

参数; L_{50} 为初次性成熟体长,cm。

利用 Excel 2016 和 SPSS 19.0 等软件进行数据统计分析和作图,使用独立样本 t 检验和单因素方差分析 (One-way ANOVA) 等检验方法进行差异性检验,采用卡方检验来判断雌雄性比是否符合 1:1。

2 结果

2.1 群体结构与性比

本研究多齿蛇鲻体长为 9.0~26.9 cm,优势体长为 16~21 cm,占总体的 60.21%。体质量为 13.12~285.55 g,优势体质量为 30~110 g,占总体的 73.97% (图 1)。在春季,优势体长为 19~23 cm,占比 61.86%,优势体质量为 70~110 g,占比 46.98%;在夏季,优势体长为 16~23 cm,占比 88.89%,优势体质量为 50~90 g,占比 54.39%;在秋季,优势体长为 17~21 cm,占比 53.61%,优势体质量为 30~90 g,占比 68.27%;在冬季,优势体长为 14~19 cm,占比 77.59%,优势体质量为 10~70 g,占比 79.25%。

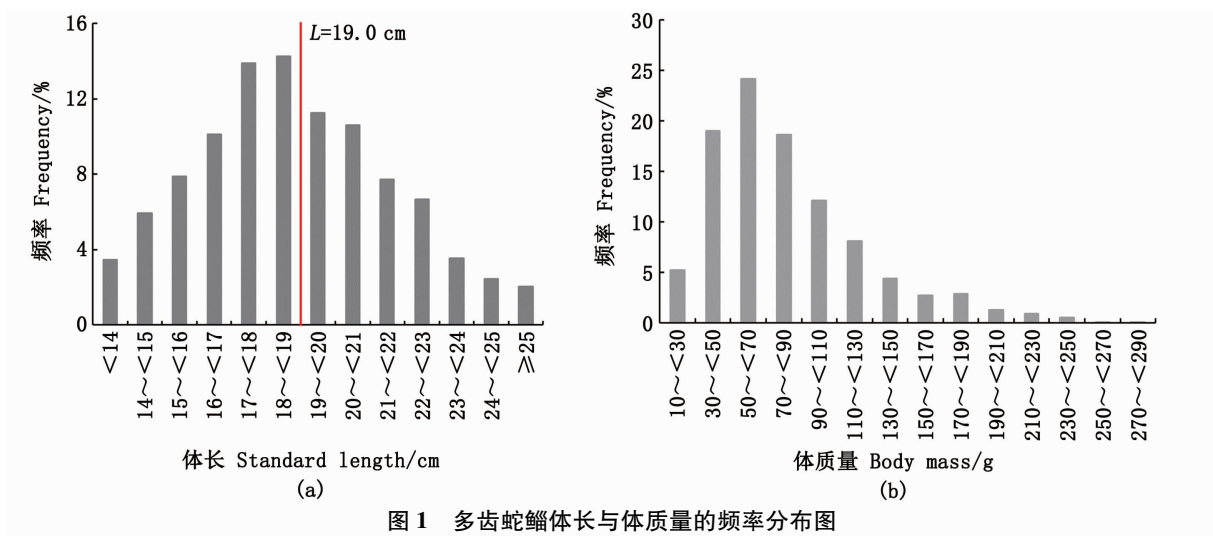


图 1 多齿蛇鲻体长与体质量的频率分布图

Fig. 1 Standard length and body mass distribution of *S. tumbil*

在 1 214 尾多齿蛇鲻的样本中,雌雄性比为 1.82:1,卡方检验结果为 $X^2 = 205.02$, $P < 0.01$,不符合 1:1 比例。不同季节,多齿蛇鲻的雌雄性比有差别。春季和夏季的雌雄差异最大,分别达到了 2.12:1 和 2.32:1;秋季和冬季的雌雄性比分

别为 1.44:1 和 1.62:1。同时,在体长 <19.0 cm 时,雌雄性比总体符合 1:1;体长 ≥ 19.0 cm (又长 ≥ 21.0 cm) 时,雌鱼显著多于雄鱼,且随体长增长,雌雄性比进一步提高 (图 2)。

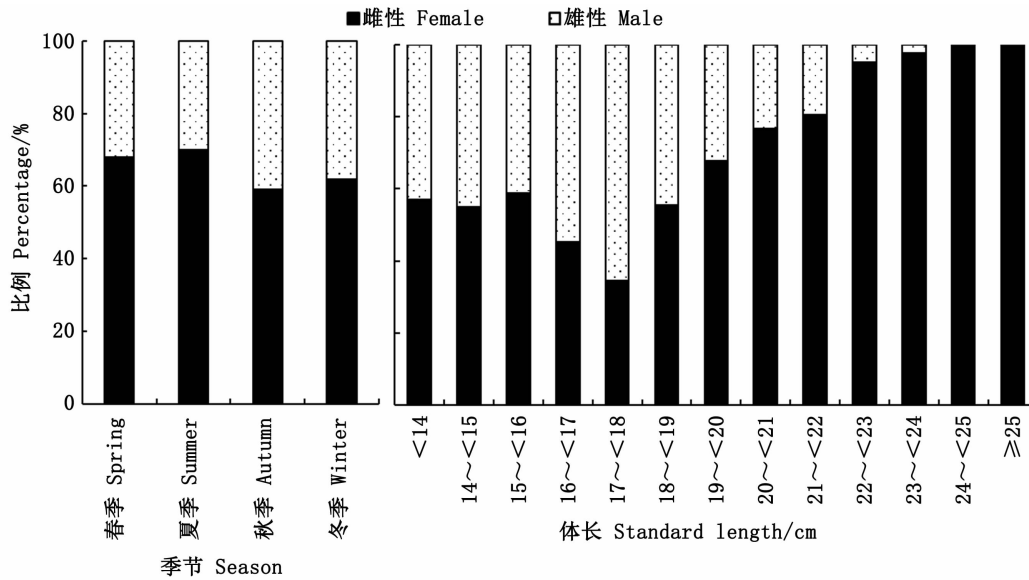


图2 北部湾多齿蛇鲭性比的季节和体长变化

Fig. 2 Season change and standard length change in sex ratio of *S. tumbil* in the Beibu Gulf

2.2 卵巢分期与卵母细胞发育

2.2.1 卵巢分期

基于性腺分期的分类标准,通过肉眼鉴别和组织学观察,将多齿蛇鲭卵巢发育过程分为6个时期(图3,图版)。

I期:卵巢呈细线状,透明,无可见卵粒,并紧贴于体壁内侧,周围被脂肪所包裹。组织学观察发现卵巢中卵母细胞主要处于第I时相。

II期:卵巢开始发育,为细管状,呈浅肉红色,但肉眼无法看到卵粒。组织学观察发现以第II时相卵母细胞为主,同时兼有少量第I和第III时相卵母细胞。

III期:体积明显增大,呈浅黄色,肉眼可看到相互黏成团块状的卵粒。组织学观察发现该时期卵巢以第III时相卵母细胞为主,同时还有少量第II时相卵母细胞和卵原细胞。

IV期:卵巢即将成熟,体积继续增大,血管明显,呈橘红色或橘黄色,卵粒较大,呈圆形且容易分离。组织学观察发现,卵巢中以第IV时相卵母细胞为主,同时存在少量第II、III时相卵母细胞。

V期:卵巢完全成熟,其体积和质量显著增大,几乎占据了整个体腔,卵粒大而透明,容易分离。组织学观察发现以第V时相卵母细胞为主,兼有少量其他时相卵母细胞。

VI期:产卵后的卵巢,体积显著缩小,呈暗红色。组织学观察发现排卵后的卵巢出现大量空滤泡以及重新发育的第II和III时相卵母细胞。

2.2.2 卵母细胞发育

根据组织学观察结果,将多齿蛇鲭卵母细胞发育过程分为5个时相(图版)。

第I时相卵母细胞:为卵原细胞阶段,体积很小,形态不规则,呈圆形、椭圆形、多角形等。核仁多为1个,分布在核的中央。细胞核经H. E染色后呈红色,细胞质经H. E染色后呈紫蓝色。

第II时相卵母细胞:处于初级卵母细胞小生长期阶段,核仁体积增大,数量多为1~2个,分布在核中央或边缘。细胞质中出现大量卵黄囊泡和深蓝色的卵黄核。

第III时相卵母细胞:处于初级卵母细胞大生长期阶段,细胞体积增大,呈多角形或圆形。核仁体积增大、数量增多,分布在核中央或边缘。同时,卵黄球首先以微小颗粒的形式出现在卵母细胞的外周细胞质中。

第IV时相卵母细胞:由初级卵母细胞向次级卵母细胞分裂过渡的阶段,卵母细胞形状不规则,卵黄球完全融合在一起。细胞核体积减小,位于中央,经H. E染色呈浅红色,核仁数量增多,分布在核膜附近。小油滴汇聚形成较大的脂肪滴,大量的卵黄颗粒聚集在一起,卵黄和脂肪滴几乎充满整个细胞质。

第V时相卵母细胞:进入初级卵母细胞大生长期晚期阶段,细胞体积显著增大,多呈圆形。细胞核出现极化现象,移至动物极,核膜溶解,核仁消失。细胞质中充满卵黄颗粒。

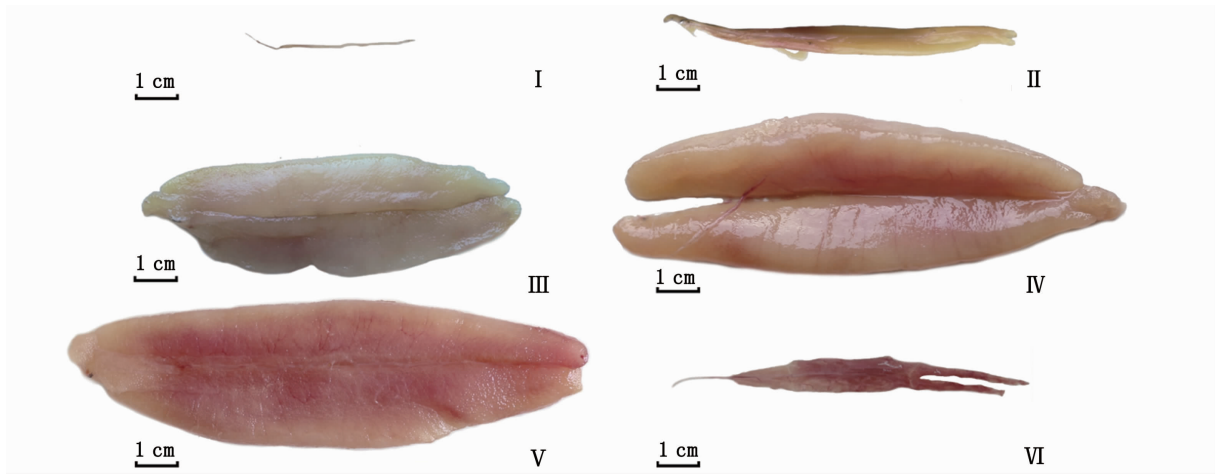
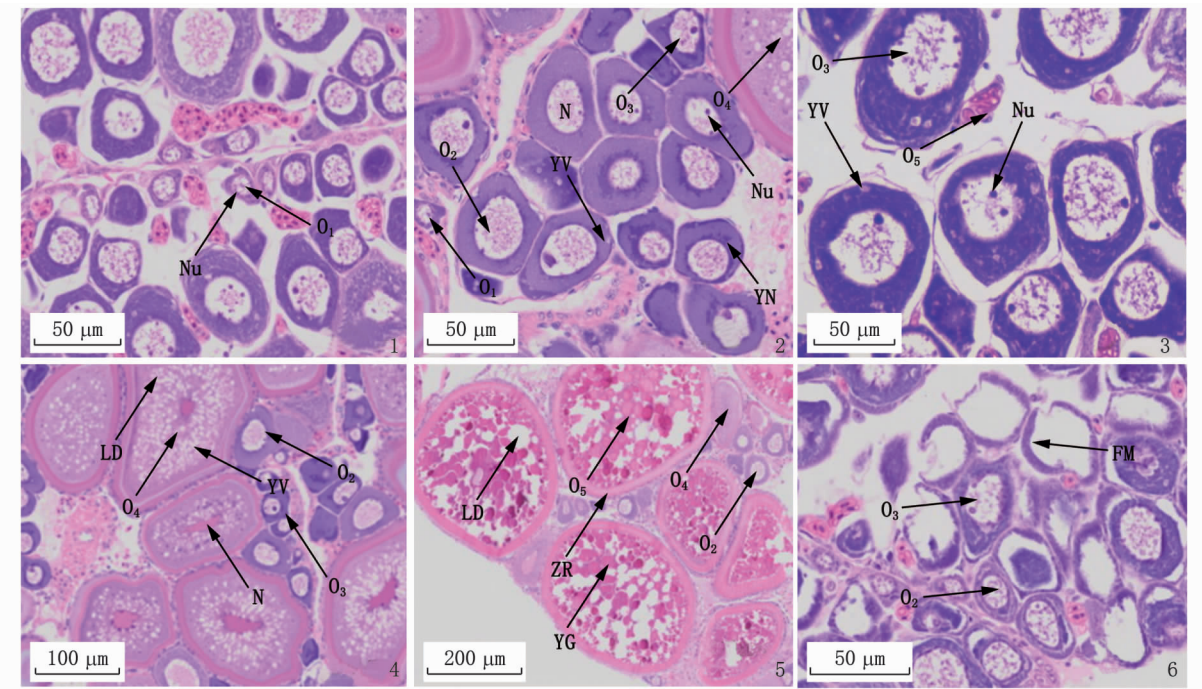


图3 北部湾多齿蛇鲻不同时期卵巢形态学特征

Fig. 3 Morphological characteristics of ovary at different stages of *S. tumbil* in the Beibu Gulf



1. I期; 2. II期; 3. III期; 4. IV期; 5. V期; 6. VI期; O₁. 第I时相卵母细胞; O₂. 第II时相卵母细胞; O₃. 第III时相卵母细胞; O₄. 第IV时相卵母细胞; O₅. 第V时相卵母细胞; N. 细胞核; YN. 卵黄核; Nu. 核仁; YV. 卵黄囊泡; YG. 卵黄颗粒; ZR. 放射膜; FM. 滤泡膜; LD. 脂肪滴。
 1. Stage I; 2. Stage II; 3. Stage III; 4. Stage IV; 5. Stage V; 6. Stage VI; O₁. Oocyte at the stage I; O₂. Oocyte at the stage II; O₃. Oocyte at the stage III; O₄. Oocyte at the stage IV; O₅. Oocyte at the stage V; N. Nucleus; YN. Yolk nucleus; Nu. Nucleolus; YV. Yolk vesicle; YG. Yolk granules; ZR. Zona radiate; FM. Follicle membrane; LD. Lipid droplet.

图版 北部湾多齿蛇鲻卵巢各时期的组织学特征

Plate Histological characteristics of the ovary at different stages of *S. tumbil* in the Beibu Gulf

2.3 性腺发育的时间变化

多齿蛇鲻不同月份的雌性成熟比例组成如表2所示,雌性群体II期、III期和V期几乎全年

各月都有出现,IV期出现的频率也比较高。以性腺成熟度为IV期及以上作为个体性成熟的标准,3月雌性群体都出现第一个性成熟比例峰值,4

月和6月2个月份的性成熟比例有所下降,7月达到第二次性成熟峰值。9月性腺成熟比例再次降至低谷,之后略有波动,保持较低水平。

雌性 GSI 的月变化较有规律性,在3月达到最大,为 9.04%,之后出现下降趋势,6月降至 1.55%,7月 GSI 出现小高峰,之后逐渐下降,并保持较低的水平过冬,在11月最低,为 0.31% (图4)。

表 2 北部湾多齿蛇鲷不同性腺成熟度的雌性个体百分比

Tab.2 Percentage of female individuals at different gonad maturity of *S. tumbil* in the Beibu Gulf

月份 Month	尾数 Number	II期 Stage II / %	III期 Stage III / %	IV期 Stage IV / %	V期 Stage V / %	VI期 Stage VI / %
1	37	72.97	2.70	0.00	2.70	21.62
3	91	0.00	4.40	28.57	65.93	1.10
4	55	10.91	9.09	7.27	52.73	20.00
6	65	44.62	9.23	10.77	4.62	30.77
7	100	2.00	6.00	19.00	45.00	28.00
8	67	4.48	10.45	35.82	44.78	4.48
9	83	46.99	25.30	19.28	7.23	1.20
10	81	44.44	14.81	9.88	2.47	28.40
11	51	66.04	1.89	0.00	1.89	30.19
12	88	71.59	1.14	0.00	0.00	27.27

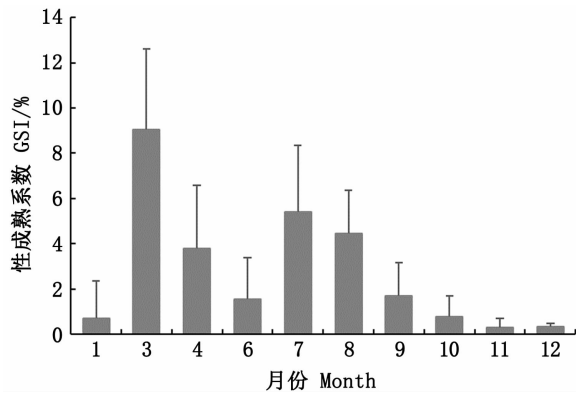


图 4 北部湾多齿蛇鲷雌性性成熟系数的月变化
Fig. 4 Monthly change in gonad somatic index of female *S. tumbil* in the Beibu Gulf

2.4 初次性成熟体长

根据雌性个体性成熟比例与体长拟合逻辑斯蒂曲线 (图 5), 得到相关公式: $P = 1 / (1 + e^{10.87 - 0.57L_i})$, 其中 a 、 b 分别为 10.87 和 -0.57。由初次性成熟体长公式计算得出雌性多齿蛇鲷的

初次性成熟体长为 19.0 cm。雌性多齿蛇鲷体长在 19.0 cm 及以上的群体在春季占比 97.95%, 夏季占比 61.64%, 秋季占比 23.20% 及冬季占比 58.60%。

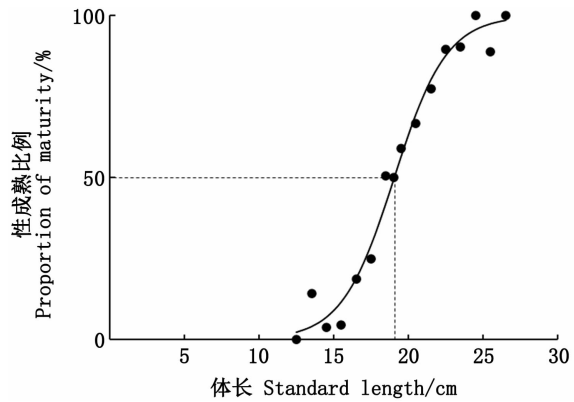


图 5 北部湾多齿蛇鲷雌性群体体长与性成熟比例关系

Fig. 5 Relationship between standard length and proportion of maturity for female *S. tumbil* in the Beibu Gulf

2.5 繁殖力与卵径

多齿蛇鲷的绝对繁殖力范围为 2 774~158 986 粒, 平均值为 37 084 粒; 相对繁殖力为 36~774 粒/g, 平均 267 粒/g。平均绝对繁殖力在不同季节变化较大, 春季 (90 280 粒) 和夏季 (24 845 粒) 明显大于秋季 (15 408 粒), 而由于冬季 (29 384 粒) 样本数量太少, 存在较大的偶然性。绝对繁殖力随体长和体质量的增加而增加, 呈二项式相关关系 (图 6), 相关方程分别为 $F = 1 853.1L^2 - 67 201L + 620 745 (R^2 = 0.75)$ 和 $F = 2.9548W^2 - 191.31W + 11 261 (R^2 = 0.76)$ 。

多齿蛇鲷成熟卵巢的卵径范围为 0.14~0.83 mm, 平均值为 (0.48±0.11) mm。在总体上, 优势卵径范围为 0.40~0.59 mm, 卵径组 0.40~0.49 mm 和 0.50~0.59 mm 内的个体分别占统计量的 23.69% 和 41.55%, 其他卵径组占据一定的比例。IV期卵巢卵径有 2 个高峰, 分别为 0.30~0.39 mm 和 0.50~0.59 mm。V期卵巢卵径分布与总体卵径分布类似, 卵径组 0.40~0.49 mm 和 0.50~0.59 mm 占总数 80% 以上, 其他卵径所占比例较小 (图 7)。

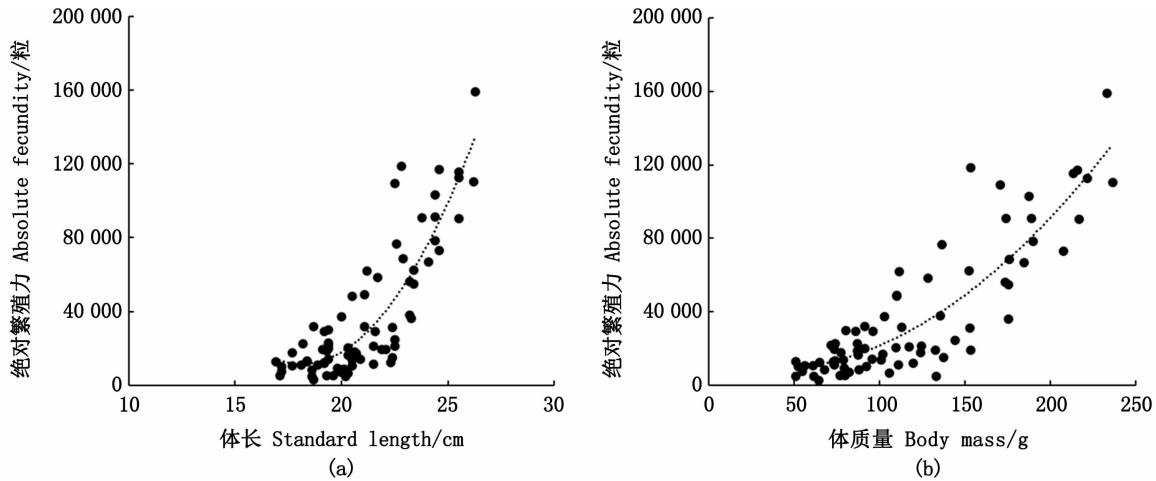


图 6 北部湾多齿蛇鲻绝对繁殖力与体长 (a) 和体质量 (b) 的关系

Fig. 6 Relationship between absolute fecundity and standard length (a), body mass (b) of *S. tumbil* in the Beibu Gulf

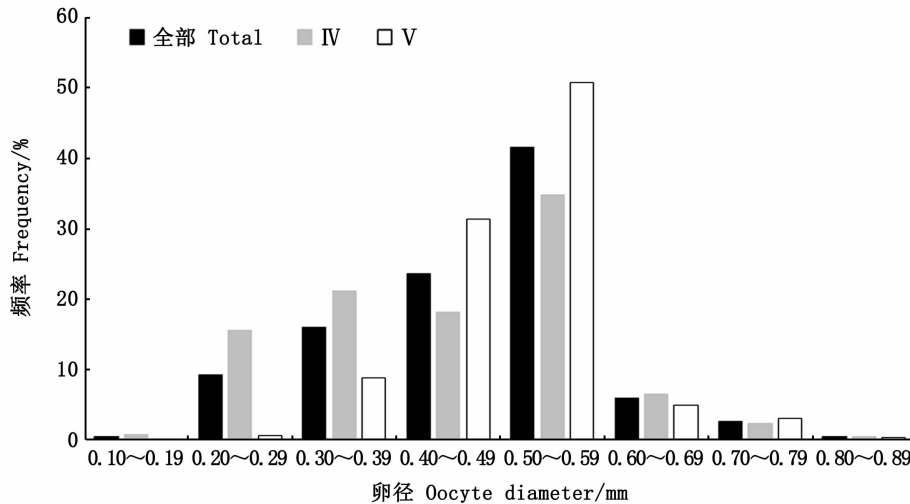


图 7 北部湾多齿蛇鲻卵径频率分布

Fig. 7 Frequency distribution of oocyte diameter of *S. tumbil* in the Beibu Gulf

3 讨论

3.1 繁殖期

鱼类繁殖期是指鱼类从事产卵活动,以保证种群的延续的特定季节,通过对鱼类性成熟比例及性腺成熟系数等研究可以判断鱼类的繁殖期^[1, 26]。本研究中,从性成熟度组成时间变化规律来看,雌性群体性成熟个体基本全年均有分布,说明多齿蛇鲻可能存在全年均可产卵的繁殖习性。从雌雄性比来看,北部湾多齿蛇鲻全年4个季节的性比均大1,说明该种群雌性群体全年均维持在较高水平;另外,春季和夏季的性比均维持在较高水平(2.12:1和2.32:1),秋冬和季

节性比水平处于下降趋势,可以推断多齿蛇鲻主要繁殖期为春、夏季。从初次性成熟的体长来看,雌性初次性成熟的体长为19.0 cm,春、夏季雌性多齿蛇鲻体长在19.0 cm以上的数量多于秋、冬季,表明春夏两季繁殖群体较多,进一步印证性比的分析结果。从GSI变化曲线看,3至8月GSI值整体保持较高水平,同样说明该时间段为多齿蛇鲻的主要繁殖期,其中,3月和7月的GSI值最高,成熟期个体的占比(95.60%和92.00%)均高于其他月份,说明3月和7月为北部湾多齿蛇鲻的繁殖高峰期。总的来看,北部湾多齿蛇鲻全年均可产卵,主要繁殖期从3月持续到8月,高峰期在3月和7月。

对比不同时期北部湾多齿蛇鲻的繁殖期特性^[14],本研究中多齿蛇鲻的繁殖期存在两个明显的差异。首先,早期研究发现北部湾多齿蛇鲻存在 3 个繁殖高峰期(分别为 3 月、6 月和 11 月),而本研究只发现了 2 个高峰期;其次,第一个高峰期均为 3 月,但本研究的第二个高峰期有所延后,从 6 月延迟至 7 月。推断其发生这种变化的原因,可能是因为伏季休渔结束后,在高强度的捕捞压力下,繁殖群体被大量捕捞,导致秋季繁殖高峰逐渐消失。另外,可能是面对这种捕捞压力,物种为保证种群数量的稳定和可持续性,通过提前、延后或者缩短繁殖期等繁殖习性的适应性改变,以实现高效精准繁殖。同样的情况,在波斯湾多齿蛇鲻研究中也出现过,由于栖息海域饵料资源的变化,ABASZADEH 等^[9]研究推断波斯湾多齿蛇鲻 2007—2008 年的繁殖期为 5—10 月,比 1997—1998 年 SOOFIANI 等^[8]的研究结果(3—10 月)短,并且开始繁殖的时间有所延后。因此,推断北部湾多齿蛇鲻可能发生了繁殖时间的调整,缩短繁殖期,并且将原来的秋季产卵高峰期提前至夏季。同时,繁殖活动所需外源因子受不同栖息水域环境(如水温、流速、水质等)的影响,也会导致不同地理群体多齿蛇鲻的主要繁殖时间有所差异。比如,孟加拉湾西北部海域种群产卵期在 10 月到次年 3 月,其中 11—12 月为产卵高峰^[5],闽南和台湾滩渔场同一种群的繁殖期为 2—5 月^[13]。

3.2 产卵类型

鱼类产卵类型与种群的数量波动形式有着密切关系^[27-28]。在不同海域,多齿蛇鲻产卵类型略有不同。比如,南海水产研究所调查研究南海北部多齿蛇鲻的产卵类型为多峰数次产卵^[12];阿拉伯海域群体的产卵类型为分批产卵鱼类,一年产卵 2~4 批次^[29];ABASZADEH 等^[9]通过组织学切片法研究伊朗布什尔海域的多齿蛇鲻,结果表明该海域的多齿蛇鲻为分批产卵。

在北部湾多齿蛇鲻卵径分布图中,卵径组 0.40~0.49 mm 和 0.50~0.59 mm 占比分别为 23.69% 和 41.55%,其他卵径也占据一定的比例,呈明显的多峰型,具有明显鱼类分批产卵的繁殖特征^[1,30],说明北部湾多齿蛇鲻属于分批产卵型鱼类。从繁殖力特征来看,本研究中多齿蛇鲻成熟个体的绝对繁殖力范围较大(2 774~158 986

粒),这也符合分批产卵的繁殖特点,且与孟加拉湾多齿蛇鲻种群^[5]具有类似的特征。同时,前文分析已经明确多齿蛇鲻的繁殖期较长,且具有 2 个产卵高峰,至少产卵 2 批次,这也是分批产卵鱼类的重要繁殖特征^[9,29]。另外,组织切片结果表明多齿蛇鲻各成熟期的卵巢中卵母细胞发育存在不同步的特征,每个发育阶段,除了以该时相的卵母细胞为主外,还会存在少量发育较慢,停留在低级的发育阶段的卵母细胞,如在 V 期卵巢的组织切片中以第 V 时相卵母细胞为主,兼有少量第 II、IV 时相卵母细胞。综合所述,北部湾多齿蛇鲻具有繁殖季节长且分批产卵,卵巢中存在不同时相的卵母细胞等特征,与施琼芳^[23]对分批非同步产卵类型的区分特征一致,因此推断北部湾多齿蛇鲻具有分批非同步产卵型的繁殖特点。

3.3 繁殖力

繁殖力是种群繁殖策略的一种体现,也是生物对环境变化的适应体现^[1]。研究^[31]发现,多齿蛇鲻的平均绝对繁殖力(3.7 万粒)远低于 20 世纪 60 年代的水平(13.5 万粒)。不同年代间的多齿蛇鲻的繁殖力差异巨大,可能是由于过度捕捞对北部湾多齿蛇鲻产卵群体造成极大破坏^[19],而相对繁殖力达 267 粒/g,表明多齿蛇鲻在其产卵亲体小型化、绝对繁殖力数量减少的情况下,通过保持较高的相对繁殖力增加补充群体的数量来保持种群的稳定,这也是多齿蛇鲻资源已经处于过度捕捞状态,但其资源密度并没有明显下降趋势的重要原因之一^[32]。性比和初次性成熟体长的变化对多齿蛇鲻群体的繁殖力也有重要影响^[33],研究发现多齿蛇鲻的雌性比平均值较以往的结果^[14]有所上升,但性比随体长变化的重要转折点为 19.0 cm(叉长 21.0 cm)相对刘金殿等^[14]研究结果明显变小(叉长 29.5 cm),推测可能是该海域多齿蛇鲻因过度捕捞导致种群个体出现小型化和低龄化等衰退特征^[16,28],为了种群的可持续发展,多齿蛇鲻通过性成熟提前、提高雌雄比和多次产卵等繁殖特性的适应性改变,以提高种群繁殖效率。多齿蛇鲻初次性成熟体长亦为 19.0 cm,略小于 20 世纪 60 年代南海北部群体($L_{50} = 20.0$ cm)^[19],但与 2008 年群体的结果相等^[16],推断是休渔政策对渔业资源起到重要的保护作用,黄梓荣^[34]研究表明降低或者控

制捕捞强度有效减缓了渔业资源衰退的趋势。MOTLAGH 等^[35]通过研究波斯湾多齿蛇鲻种群发现,当捕捞个体长度不小于 L_{50} 时,能在开发雌鱼资源过程中对雌性群体起到保护作用。因此,为更合理地利用北部湾多齿蛇鲻资源,避免其资源进一步衰竭,从初次性成熟体长等繁殖特征考虑,应当将开捕体长确定大于 19.0 cm,在利于保护产卵亲体的同时,更加有效防止补充型群体被过度捕捞。这与陈丕茂^[36]的观点一致,他提出的南海西沙群岛海域多齿蛇鲻开捕体长为 23.0 cm。

根据鱼类个体繁殖力与鱼体形态学的关系可以快速估算并预测该种群的繁殖力^[37]。其中,鱼类繁殖力和体长、体质量的关系最为显著,常见的拟合模型为线性、幂函数和二项式等方程^[38]。研究发现二项式关系是拟合北部湾多齿蛇鲻绝对繁殖力与体长、体质量关系的最佳方程,表明其繁殖力随体长、体质量增加而增加,其中体质量相关性优势高于体长。同时,繁殖力与体长、体质量的关系可以比较同一种鱼在不同时期或不同海域的繁殖力差异^[1],多齿蛇鲻的绝对繁殖力和体长、体质量的关系在孟买和波斯湾海域呈幂函数关系^[6,8],在伊朗南部海域呈线性关系^[10],而在孟加拉湾海域群体的绝对繁殖力与体长呈幂函数关系,与体质量呈线性关系^[5](表 3)。

表 3 不同海域多齿蛇鲻绝对繁殖力与体长、体质量的关系式
Tab. 3 Relationship between absolute fecundity and standard length or body mass of *S. tumbil* in different sea area

研究年份 Year	海域 Sea area	关系式 Relational expression
2020	北部湾	$F = 1.853 \cdot 1L^2 - 67.201L + 620.745$ $F = 2.954 \cdot 8W^2 - 191.31W + 11.261$
1963— 1970 ^[5]	孟加拉湾 西北部	$F = 0.001 \cdot 142L^{3.115 \cdot 1}$ $F = 9.000 \cdot 3 + 0.201 \cdot 7W$
1989— 1990 ^[6]	孟买海域	$F = 0.941 \cdot 1L^{1.662 \cdot 6}$ $F = 3.153 \cdot 037 \cdot 5W^{0.827 \cdot 8}$
1997— 1998 ^[8]	波斯湾	$F = 0.000 \cdot 04L^{3.386}$ $F = 3.917W^{0.694}$
2012— 2013 ^[10]	伊朗南部	$F = 8.331 \cdot 0L - 2.569$ $F = 227.6W - 54.578$

这些海域拟合的多齿蛇鲻繁殖力最佳函数类型与北部湾群体有所不同,可能海域营养条件和生长环境因子等因素导致不同地理群体的繁殖力有所差异^[39],或是不同海域多齿蛇鲻的体征差异造成的,如伊朗南部海域(27.4 cm)和孟加拉湾海域(30.0 cm)多齿蛇鲻群体的初次性成熟体长均大于北部湾群体(19.0 cm),凌建忠等^[40]在研究东海带鱼繁殖力时也得到过类似的结论。

参考文献:

- [1] 殷名称. 鱼类生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
YIN M C. Fish ecology[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1995.
- [2] FLEMING I A. Reproductive strategies of *Atlantic salmon*: Ecology and evolution[J]. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1996, 6(4): 379-416.
- [3] 陈再超, 刘继兴. 南海经济鱼类[M]. 广州: 广东科技出版社, 1982.
CHEN Z C, LIU J X. Commercial fishes of South China Sea[M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology, 1982.
- [4] 乔延龙, 林昭进, 邱永松. 北部湾秋、冬季渔业生物群落结构特征的变化[J]. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2008, 26(1): 100-104.
QIAO Y L, LIN Z J, QIU Y S. Change of fishery species community structure during Autumn and Winter in Beibu Gulf[J]. *Journal of Guangxi Normal University: Natural Science Edition*, 2008, 26(1): 100-104.
- [5] VENKATA K, RAO S. Maturation and spawning of lizard fishes (*Saurida* spp.) from northwestern part of Bay of Bengal[J]. 1983, 30(1): 27-45.
- [6] SINGH V N, ACHARYA P, JAISWAR A K. Preliminary observations on the morphometric characteristics, length weight relationship, food and feeding habits and fecundity of *Saurida tumbil* (Bloch) off Bombay coast[J]. *Journal of the Indian Fisheries Association*, 1995(25): 93-97.
- [7] BAKHSH A. Reproductive Biology of Lizard Fish, *Saurida tumbil* (Forsk.) in the Jizan Region of the Red Sea[J]. *Journal of King Abdulaziz University-Marine Sciences*, 1996, 71: 169-178.
- [8] SOOFIANI N M, KEIVANY Y, SHOOSHTARI A M. Contribution to the biology of the Lizardfish, *Saurida tumbil* (Teleostei: Aulopiformes), from the Persian Gulf[J]. *Zoology in the Middle East*, 2006, 38(1): 49-56.
- [9] ABASZADEH A, KEIVANY Y, SOOFIANI N M, et al. Reproductive biology of the greater lizardfish, *Saurida tumbil* (Bloch, 1795), in Bushehr coastal waters of Iran[J]. *Turkish Journal of Zoology*, 2013, 37(6): 717-722.

- [10] MIRZAEI M R, VALINASAB T, KHALIL M, et al. Reproductive cycle and spawning patterns of Lizardfish, *Saurida tumbil* (Bloch, 1795) in southern water of Iran[J]. International Journal of Biosciences, 2015, 6(6): 110-118.
- [11] MALI K S, KUMAR M V, FAREJIYA M K, et al. Reproductive Biology of *Saurida tumbil* (Bloch 1795) and *Saurida undosquamis* (Richardson 1848) Inhabiting North West Coast of India [J]. International Journal of Pure & Applied Bioscience, 2017, 5(6): 957-964.
- [12] 中华人民共和国水产部南海水产研究所. 南海北部底拖网鱼类资源调查报告(海南岛以东): 第2册下[M]. 1966.
South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences. Investigation report on bottom trawl fish resources in the northern part of the South China Sea, east of Hainan Island; volume 2[M]. 1966.
- [13] 徐旭才, 张其永. 闽南-台湾浅滩渔场多齿蛇鲷种群年龄和生长特性[J]. 台湾海峡, 1988, 7(3): 46-53.
XU X C, ZHANG Y Q. Age and growth of *Saurida tumbil* in the fishing ground of South-Fujian and Taiwan bank [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 1988, 7(3): 46-53.
- [14] 刘金殿, 卢伏胜, 朱立新, 等. 北部湾多齿蛇鲷雌雄群体组成、生长、死亡特征的差异[J]. 海洋渔业, 2009, 31(3): 243-253.
LIU J D, LU H S, ZHU L X, et al. The difference of growth, mortality and group composition between female and male *Saurida tumbil* in the Beibu Gulf[J]. Marine Fisheries, 2009, 31(3): 243-253.
- [15] 颜云榕, 王田田, 侯刚, 等. 北部湾多齿蛇鲷摄食习性及随生长发育的变化[J]. 水产学报, 2010, 34(7): 1089-1098.
YAN Y R, WANG T T, HOU G, et al. Feeding habits and monthly and ontogenetic diet shifts of the greater lizardfish, *Saurida tumbil* in the Beibu Gulf of the South China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(7): 1089-1098.
- [16] 邓裕坚, 易木荣, 李波, 等. 北部湾春季多齿蛇鲷生物学特征及其年际变化[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(2): 36-44.
DENG Y J, YI M R, LI B, et al. Biological characteristics and inter-annual changes of *Saurida tumbil* in Spring in the Beibu gulf, South China Sea [J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(2): 36-44.
- [17] 李寇军, 邱永松, 王跃中. 自然环境变动对北部湾渔业资源的影响[J]. 南方水产, 2007, 3(1): 7-13.
LI K J, QIU Y S, WANG Y Z. Influence of natural environment variation on fishery resources in Beibu Gulf[J]. South China Fisheries Science, 2007, 3(1): 7-13.
- [18] 何雄波, 李波, 王锦溪, 等. 不同时期北部湾日本带鱼营养生态位差异[J]. 应用生态学报, 2021, 32(2): 683-690.
HE X B, LI B, WANG J X, et al. Changes in the trophic niche of *Trichiurus japonicus* in the Beibu Gulf in different periods[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(2): 683-690.
- [19] 舒黎明, 邱永松. 南海北部多齿蛇鲷生物学分析[J]. 中国水产科学, 2004, 11(2): 154-158.
SHU L M, QIU Y S. Biology analysis of *Saurida tumbil* in northern South China Sea[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(2): 154-158.
- [20] 王雪辉, 林昭进, 孙典荣, 等. 北部湾夏季主要鱼类渔业生物学特征[C]//北部湾海洋科学研究论文集(第1辑). 北京: 海洋出版社, 2008: 300-306.
WANG X H, LIN Z J, SUN D R, et al. Biological characteristic of the main fishing fishes in Beibu Gulf in summer [C]//Beibu Gulf Marine Science Symposium; Volume 1. Beijing: China Ocean Press, 2008: 300-306.
- [21] 国家海洋局. GB/T 12763. 6-2007 海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
State Oceanic Administration. GB/T 12763. 6-2007 Specifications for oceanographic survey-part 6: Marine biological survey [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [22] BLAZER V S. Histopathological assessment of gonadal tissue in wild fishes[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2002, 26(1): 85-101.
- [23] 施璟芳. 鱼类生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1991: 288-303.
SHI Q F. Fish physiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991: 288-303.
- [24] 张志明, 刘成杰, 丁慧萍, 等. 额尔齐斯河银鲫繁殖生物学研究[J]. 水生生物学报, 2020, 44(2): 389-398.
ZHANG Z M, LIU C J, DING H P, et al. Reproductive biology of *Carassius auratus gibelio* in the Irtysh river, China [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2020, 44(2): 389-398.
- [25] GRANDCOURT E M, ABDESSALAAM T Z, FRANCIS F, et al. Reproductive biology and implications for management of the orange-spotted grouper *Epinephelus coioides* in the southern Arabian Gulf[J]. Journal of Fish Biology, 2009, 74(4): 820-841.
- [26] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2014.
CHEN X J. Fishery resources and fishery oceanography [M]. Beijing: China Ocean Press, 2014.
- [27] 陈大刚. 渔业资源生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
CHEN D G. Fishery resources biology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997.
- [28] 江艳娥, 许友伟, 范江涛, 等. 南海北部陆架水域多齿蛇鲷与花斑蛇鲷的年龄与生长[J]. 中国水产科学, 2019, 26(1): 82-90.
JIANG Y E, XU Y W, FAN J T, et al. Age and growth of *Saurida tumbil* and *Saurida undosquamis* in the continental shelf of the northern South China Sea[J]. Journal of Fishery

- Sciences of China, 2019, 26(1): 82-90.
- [29] BUDNICHENKO V A, DIMITROVA O S. The reproductive biology of *Saurida undosquamis* and *Saurida tumbil* (Family: Synodontidae) in the Arabian Sea [J]. Journal of Ichthyology, 1979, 19: 80-86.
- [30] 水柏年. 小黄鱼个体生殖力及其变化的研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2000, 19(1): 58-69.
SHUI B N. Study on the reproductive ability of *Pseudosciaena polyactis* and its change [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2000, 19(1): 58-69.
- [31] 邱永松, 曾晓光, 陈涛, 等. 南海渔业资源与渔业管理[M]. 北京: 海洋出版社, 2008.
QIU Y S, ZENG X G, CHEN T, et al. Fisheries resources and management of South China Sea [M]. Beijing: China Ocean Press, 2008.
- [32] 贾晓平, 李纯厚, 邱永松. 广东海洋渔业资源调查评估与可持续利用对策[M]. 北京: 海洋出版社, 2005.
JIA X P, LI C H, QIU Y S. Investigation and evaluation of marine fishery resources of Guangdong Province and countermeasures for sustainable utilization [M]. Beijing: China Ocean Press, 2005.
- [33] DIECKMANN U, HEINO M. Probabilistic maturation reaction norms; their history, strengths, and limitations [J]. Marine Ecology Progress Series, 2007, 335(4): 253-269.
- [34] 黄梓荣. 休渔对南海北部多齿蛇鲻资源的影响[J]. 湛江海洋大学学报, 2002, 22(6): 26-31.
HUANG Z R. Effect of closed season on bloch et schneider (*S. tumbil*) stock in the North of South China Sea [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2002, 22(6): 26-31.
- [35] MOTLAGH S A T, VAHABNEZHAD A, SHABANI M J, et al. Studies on the Reproductive Biology of the Female *Saurida tumbil* in the Persian Gulf (Bushehr Province, Iran) [J]. World Journal of Fish and Marine Sciences, 2012, 4(4): 400-406.
- [36] 陈丕茂. 南沙群岛西南部陆架 17 种鱼类最佳开捕规格和多鱼种拖网最佳网目尺寸[J]. 中国水产科学, 2003, 10(1): 41-45.
CHEN P M. Optimum catchable size of 17 fish species in southwestern continental shelf of Nansha Islands and optimum trawl mesh size for multiple fishes [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(1): 41-45.
- [37] 王银东, 熊邦喜, 马徐发, 等. 湖北道观河水库青梢鲌 (*Culter dabryi*) 的个体生殖力[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(2): 180-186.
WANG Y D, XIONG B X, MA X F, et al. Fecundity of *Culter dabryi* in Daoguanhe reservoir, Wuhan, China [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2007, 38(2): 180-186.
- [38] 黄艳飞, 彭林平, 陈丽媛, 等. 湖南沅水下游繁殖期内繁殖力和卵径的变化研究[J]. 水生生物学报, 2021, 45(1): 97-105.
HUANG Y F, PENG L P, CHEN L Y, et al. Characteristics of fecundity and oocyte diameter of *Hemiculter leucisculus* during the spawning season in the lower reaches of the Yuanshui river in Hunan province [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2021, 45(1): 97-105.
- [39] CAO L, SONG B Y, ZHA J M, et al. Age composition, growth, and reproductive biology of yellow catfish (*Peltobagrus fulvidraco*, Bagridae) in Ce Lake of Hubei Province, Central China [J]. Environmental Biology of Fishes, 2009, 86(1): 75-88.
- [40] 凌建忠, 程家骅, 任一平, 等. 东海带鱼主要体征与个体繁殖力的关系[J]. 中国水产科学, 2004, 11(2): 116-120.
LING J Z, CHEN J H, REN Y P, et al. Relationships between main physical characters and individual fecundities of hairtail *Trichiurus japonicus* in the East China Sea [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2004, 11(2): 116-120.

Reproductive biology of *Saurida tumbil* in the Beibu Gulf

WANG Jinxi¹, DENG Yujian¹, FAN Yingfang¹, YAN Zhibin¹, ZHAO Yiran¹, HE Xiongbo^{1,2}, YAN Yunrong^{1,2,3}

(1. Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, Guangdong, China; 2. Guangdong Provincial Engineering and Technology Research Center of Far Sea Fisheries Management and Fishing of South China Sea, Zhanjiang 524088, Guangdong, China; 3. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhanjiang), Zhanjiang 524013, Guangdong, China)

Abstract: Based on 1 214 greater lizardfish, *Saurida tumbil*, collected from the Beibu Gulf in 2020, the reproductive characteristics and its adaptive changes of the population were investigated by assessing the biological characteristics and ovary histology. The results showed that the overall sex ratio of female to male was 1.82:1, the mature gonads of the female population were distributed in all four seasons, and the gonad somatic index (GSI) remained higher level from March to August, which was the main spawning season with the peak spawning occurring in March and July. Oocytes with different egg diameters were found in the mature ovaries, and obviously multi-modal type was showed in the distribution of egg diameters. The range of absolute fecundity was large (2 774 - 158 986), and there were oocytes at different developmental stages in the mature ovaries. Based on the results of GSI, spawning season, oocyte diameter distribution and histological sections, it is concluded that *S. tumbil* belongs to the non-synchronized multiple batch spawner. The relative fecundity (267 eggs/g) was maintained at a higher level, which was conducive to establishing a stable population rapidly under the high intensity fishing pressure. The estimated body length at the first sexual maturity (L_{50}) for females (19.0 cm) was the same as the body length of the important turning point of the sex ratio. In this study, it was found that the reproductive characteristics of *S. tumbil* in the Beibu Gulf had difference compared with the previous population. The results further enriched the reproductive biological data available for *S. tumbil* and provided a scientific basis for the protection and sustainable utilization of *S. tumbil* resources in the Beibu Gulf.

Key words: Beibu Gulf; *Saurida tumbil*; gonad somatic index; fecundity; standard length at first sexual maturity