

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2012.00321

北部湾花斑蛇鲻生物学特征的演化

陈作志, 邱永松, 徐姗楠, 黄梓荣

农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 中国水产科学研究院 南海水产研究所, 广东 广州 510300

摘要: 根据 1959–1960 年、1992–1993 年、1997–1999 年和 2009–2010 年北部湾底拖网渔业资源调查的生物学资料, 对花斑蛇鲻(*Saurida undosquamis*)群体组成、生长和生殖力参数等生活史特征进行了研究。结果表明, 花斑蛇鲻的平均体长从 1959–1960 年的 185.5 mm 下降到 1992–1993 年的 163.1 mm、1997–1999 年的 133.2 mm 和 2009–2010 年的 130.5 mm, 相应地平均体质量分别为 66.5 g、46.4 g、23.8 g 和 22.6 g。1959–1960 年、1992–1993 年、1997–1999 年和 2009–2010 年间的 Von Bertalanffy 生长方程的渐近体长(L_{∞})、生长参数(k)和理论初始年龄(t_0)分别为 497.8 mm, 0.26, -0.49; 424.1 mm, 0.28, -0.48; 385.3 mm, 0.33, -0.41 和 342.5 mm, 0.39, -0.36。体质量拐点年龄(t_r)分别从 1959–1960 年的 4.05 龄提前到 1992–1993 年的 3.66 龄、1997–1999 年 3.05 龄和 2009–2010 年 2.43 龄。50%性成熟体长(L_{50})则从 1959–1960 年 111.2 mm 下降到 1992–1993 年的 105.2 mm、1997–1999 年的 95.6 mm 和 2009–2010 年的 96.7 mm。对于同一体长组, 当前花斑蛇鲻的个体相对生殖力比 20 世纪 60 年代上升了 56.4%。花斑蛇鲻种群生活史特征参数的一系列变化表明, 在捕捞引起进化背景下, 北部湾花斑蛇鲻种群产生了适应性进化反应, 种群明显趋向小型化和低龄化, 生长速度加快, 性成熟提前。

关键词: 花斑蛇鲻; 生物学参数; 捕捞引起进化; 北部湾

中图分类号: S931.5

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2012)02-0321-08

过度捕捞超过其他人类活动的影响, 如污染、水体恶化以及人类活动引起的气候变化等, 是引起海洋经济鱼类死亡的主要原因^[1]。根据 FAO 的预测, 目前世界海洋捕捞产量已经达到顶峰, 3/4 的种群已经充分利用或过度利用^[2]。猛烈的捕捞活动不仅降低了目标鱼种的丰度, 同样也影响了其个体大小、性成熟年龄、性比及群体的遗传组成等, 使得鱼类种群经常呈现性早熟、小型化的迹象, 这就是捕捞引起鱼类的进化现象(fishing-induced evolution, FIE)^[3]。然而, 目前我们对这种进化的潜在机制及其效应尚不清楚。

花斑蛇鲻[*Saurida undosquamis*(Richardson)], 属灯笼鱼目, 狗母鱼科, 系暖水性底层鱼类, 广泛分布于印度洋非洲东岸, 太平洋美洲西岸南至

澳大利亚海域, 是中国南海区典型的底层经济鱼类之一^[4]。根据北部湾历年大规模调查统计资料, 1959–1960 年的花斑蛇鲻平均资源密度为 14.6 kg·km⁻², 1992–1993 年上升到 44.0 kg·km⁻², 1998–1999 年的平均资源密度为 15.1 kg·km⁻², 但目前渔获物主要以幼鱼为主^[5], 表明目前北部湾花斑蛇鲻资源密度虽然相对稳定, 但由于捕捞强度的不断加大, 其已出现过度开发的现象^[6]。生活史特性是决定种群动力学的主要因素之一, 它的演化将对种群生物量、种群统计学和经济产量产生重要作用, 从而影响渔业管理政策的成效^[7–8]。为了系统地研究 FIE 背景下海洋经济鱼类的适应性变化, 以花斑蛇鲻为研究对象, 根据 1959–1960 年、1992–1993 年、1997–1999 年和

收稿日期: 2011-08-29; 修订日期: 2011-10-10。

基金项目: 广东省自然科学基金(9451030002002475); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(2010ZD01); 广东省科技计划(2011B031100001); 海洋公益性行业科研专项(20100418012)。

作者简介: 陈作志(1978–), 男, 博士, 副研究员, 主要从事渔业资源评估与管理研究。E-mail: zzchen2000@163.com

2009–2010 年间北部湾底拖网渔业资源的生物学资料, 对不同年代间花斑蛇鲻的群体组成、生长和性成熟等生活史特征进行分析, 以阐明 FIE 对海洋经济鱼类生活史的影响及其演化趋势, 旨在制定科学的渔业管理政策提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

样品来自南海水产研究所历年在北部湾海域的底拖网调查资料。1959–1960 年底拖网采样按月进行周年调查, 1992–1993 年底拖网调查在 5 月、7 月、8 月和 9 月进行; 1997–1999 年间和 2009–2010 年间底拖网调查则按 4 月、7 月、10 月、1 月, 分别代表春、夏、秋、冬 4 季分别进行。渔获样品在现场处理后冰冻或固定保存, 航次结束后运回实验室进行分析测定。采样与生物学测定均按《海洋调查规范》(GB12763.6–2007)^[9]进行, 生物学测定项目为体长、体质量、性别、性成熟度、胃饱满度及怀卵量等。每站花斑蛇鲻样本多于 50 尾时测定 50 尾, 不足 50 尾时全部测定。1959–1960 年共测定 2 150 尾, 1992–1993 年测定 550 尾, 1997–1999 年测定 1 053 尾, 2009–2010 年测定 2 425 尾。

1.2 方法

1.2.1 体长与体质量关系 体长与体质量关系可用以下公式表示:

$$W=aL^b \quad (1)$$

a 为生长的条件因子, b 为幂指数(据是否等于 3 可判断是否匀速生长——长、宽、高方向生长速度相等, 即具体形不变, 比重不变的特征)。参数 a 和 b 可用最小二乘法来估算。

1.2.2 生长参数 花斑蛇鲻的生长选用 von Bertalanffy 生长方程拟合。

$$L_t = L_\infty \left[1 - e^{-K(t-t_0)} \right] \quad (2)$$

式中, k 为生长系数, L_∞ 为渐近体长, t_0 为理论初始年龄。

生长过程的特征变化, 则分别用生长速度和生长加速度曲线来描述。根据体长频率的时间序列, 用 FAO 开发的 FiSAT (Version 0.3.1) 软件中的

ELEFAN (Electronic Length Frequency Analysis) 技术估算生长参数 L_∞ 和 k ^[10–11]。陈国宝等^[12]认为, 以 5 mm 和 10 mm 作为体长的分组组距被认为是进行体长频率分析的最佳组距。因此, 本文的体长频率按月以 10 mm 为间距进行整理, 据取样比率进行加权, 组成体长频率时间系列。不同年代间生长曲线根据 ELEFAN 中的拟合优度 (SCORE) 来选择, 该值分布在 0 与 1 间, 减小或增大渐近叉长 L_∞ 与 k 值都会改变 S 值。选取 S 最优值 (相应的参数在生物学上能被接受且 S 值尽量大) 对应的参数组 (L_∞ 与 K) 作为生长参数的估计值。

理论生长起点年龄 t_0 和体质量生长拐点 t_r 用经验公式^[10]计算:

$$\ln(-t_0) = -0.3922 - 0.2752 \ln L_\infty - 1.308 \ln k \quad (3)$$

$$t_r = \frac{\ln b}{k} + t_0 \quad (4)$$

1.2.3 生殖力参数 花斑蛇鲻的性成熟按照我国常用的鱼类性腺成熟度 VI 期的划分标准, 50% 性成熟体长 (L_{50}) 采用 Logistic 曲线来计算^[13–14]。

$$P_L = \frac{1}{1 + e^{-\delta(L_{50} - L)}} \quad (5)$$

式中, P_L 指各体长组 L 性腺成熟度的百分比, δ 指性成熟度增长系数, L 为性成熟雌鱼体长值, L_{50} 即 50% 性成熟体长。

北部湾花斑蛇鲻的一年多次繁殖类型, 以 3–6 月尾产卵盛期^[15]。生殖力是根据怀卵量来统计的, 本文的个体绝对生殖力的分析方法参考《海洋水产资源调查手册》^[16]。1993 年以前的资料引用文献^[17–18]。2009–2010 年间选取 5 月份的 IV~V 期的 18 个性腺样品用于生殖力的研究, 样品的体长范围为 140~210 mm, 体质量范围为 29.5~96.8 g。用重量比例法各从性腺左、右卵巢的前、中、后部分取样, 记录成形卵子数。

2 结果

2.1 群体组成

表 1 为 4 个年代间的北部湾花斑蛇鲻的体长和体质量组成。1959–1960 年花斑蛇鲻体长频率分布呈多峰型, 体长范围为 81~440 mm, 平均体长为 185.5 mm, 优势体长组为 131~280 mm, 占

体长总数的 65.2%。体质量范围 4.55~1 106.0 g, 平均优势体质量为 66.5 g, 优势体质量组为 21.4~254.0 g, 占总数的 78.3%(表 1)。

1992–1993 年花斑蛇鲻体长范围为 51~340 mm, 平均体长 161.3 mm, 优势体长组为 101~200 mm, 占个体体长总数的 65.9%。体质量范围 1.2~501.4 g, 优势体质量组为 10.4~92.2 g, 占总数的

66.9%, 个体平均体质量为 46.4 g(表 1)。

1997–1999 年花斑蛇鲻体长范围为 51~290 mm, 体长频率分布呈单峰型, 优势体长组为 91~180 mm, 占个体体长总数的 71.0%, 平均体长 133.2 mm。体质量范围 1.1~272.9 g, 优势体质量 21.3~80.5 g, 占总数的 83.1%, 个体平均体质量为 23.8 g(表 1)。

表 1 不同年代间花斑蛇鲻的体长组成和体质量组成
Tab. 1 Composition of body length and weight of *Saurida undosquamis* during four decades in the Beibu Gulf

组成 composition	项目 item	1959–1960	1992–1993	1997–1999	2009–2010
体长组成/mm body length composition	范围 range	81–440	51–340	51–290	41–280
	优势组 dominant	131–280	101–200	91–180	11–150
	优势组比例/% proportion	65.2	65.9	71.0	55.6
	平均 mean	185.5	161.3	133.2	130.5
体质量组成/g body weight composition	范围 range	4.5–1106.0	1.2–501.4	1.1–272.9	1.0–212.0
	优势组 dominant	21.4–254.0	10.4–92.2	21.3–80.5	13.6–38.5
	优势组比例/% proportion	78.3	66.9	83.1	87.2
	平均 mean	66.5	46.4	23.8	22.6

2009–2010 年花斑蛇鲻体长范围为 41~280 mm, 优势体长组为 111~150 mm, 占个体体长总数的 55.6%, 平均体长 130.5 mm。体质量范围 1.0~212.0g, 优势体质量 13.6~38.5g, 占总数的 87.2%, 个体平均体质量为 22.6g(表 1)。

2.2 生长特征

2.2.1 体长–体质量关系方程

图 1 为 4 个年代的花斑蛇鲻的体长和体质量的回归拟合曲线。可见, 花斑蛇鲻体长 - 体质量关系呈幂函数, 其相关其关系式为:

1959–1960:
 $W=0.275\times10^{-5}\cdot L^{3.255}$ ($r^2=0.985, n=2\ 150$) (6)

1992–1993:
 $W=0.419\times10^{-5}\cdot L^{3.191}$ ($r^2=0.974, n=550$) (7)

1997–1999:
 $W=0.526\times10^{-5}\cdot L^{3.133}$ ($r^2=0.983, n=2\ 425$) (8)

2009–2010:
 $W=1.17\times10^{-5}\cdot L^{2.966}$ ($r^2=0.966, n=1\ 053$) (9)

由上述四式可见, 线性回归的相关系数 R^2 均大于 0.96, 表明该回归方程具有很好的相关性。 t -检验表明, 不同年代间的幂指数 b 存在着显著的差异($P < 0.01$)。

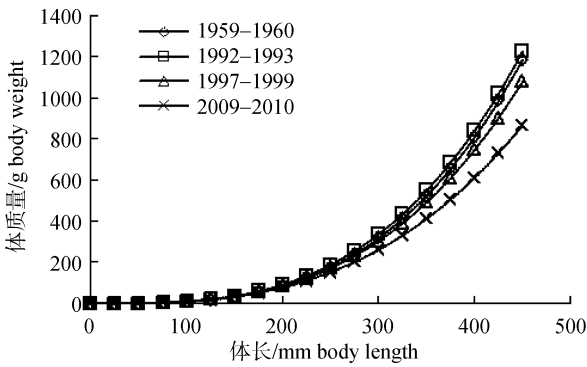


图 1 不同年代间花斑蛇鲻体长与体质量关系曲线
Fig. 1 Relationship between bodylength and body weight of *Saurida undosquamis* during four decades in the Beibu Gulf

2.2.2 生长参数 根据 ELEFAN 技术估算 4 个年代间的生长参数见表 2。1959–1960 年、1992–1993 年、1997–1999 年和 2009–2010 年间的生长参数存在明显的年间差异。1959–1960 年的渐近体长为 497.8 mm, 之后呈逐年下降趋势, 1992–1993 年的渐近体长为 424.1 mm, 到 1997 年下降为 385.3 mm, 2009–2010 年则为 342.5 mm。生长系数 k 则从 1959–1960 年的 0.26 上升至 2009–2010 年的 0.39。同时, 理论初始年龄也从 1959–1960 年间的–0.49 龄逐步增大到 2009–2010 年的–0.36

表 2 花斑蛇鲻生长参数的年间变化
Tab. 2 Annual variations in the growth parameters of *Saurida undosquamis* in the Beibu Gulf

项目 item	1959–1960	1992–1993	1997–1999	2009–2010	P
生长系数(k) growth coefficient	0.26	0.28	0.33	0.39	<0.001
初始年龄(t_0) zero-length age	-0.49	-0.48	-0.41	-0.36	<0.001
渐近体长(L_∞)/mm asymptotic length	497.8	424.1	385.3	342.5	<0.001
拐点年龄(t_r) inflexion age	4.05	3.66	3.05	2.43	<0.001

龄。单因素方差分析表明,不同年代间的生长参数存在显著性差异($P<0.001$)(表 2)。

不同年代间的 von Bertalanffy 生长方程见式(10)–(13);拟合的不同年代间的体长和体质量生长曲线见图 2。

1959–1960 年: $L_t=497.8\times[1-e^{-0.26(t+0.49)}]$ (10)

1992–1993 年: $L_t=424.1\times[1-e^{-0.28(t+0.48)}]$ (11)

1997–1999 年: $L_t=385.3\times[1-e^{-0.33(t+0.41)}]$ (12)

2009–2010 年: $L_t=342.5\times[1-e^{-0.39(t+0.36)}]$ (13)

2.2.3 生长速度参数 图 3 为 4 个年代间北部湾花斑蛇鲻体长和体质量生长速度曲线。可见,各年代的生长速度曲线存在明显的年间变化。根据

式(4)计算 1959–1960 年、1992–1993 年、1997–1999 年和 2009–2010 年间花斑蛇鲻体质量生长拐点年龄分别为 4.05 龄、3.66 龄、3.05 龄和 2.43 龄(表 2)。

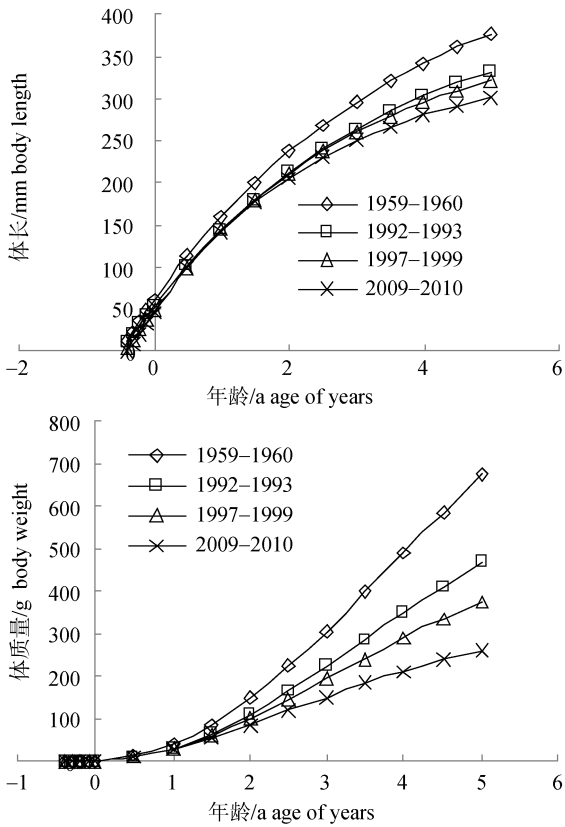


图 2 不同年代间花斑蛇鲻体长与体质量生长曲线
Fig. 2 Growth curve of body-length and body weight of *Saurida undosquamis* during four decades

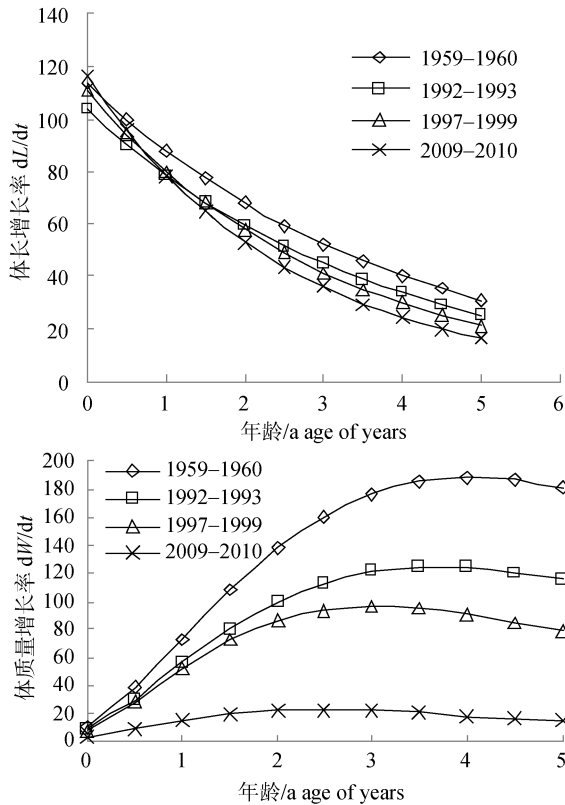


图 3 不同年代间花斑蛇鲻体长与体质量生长速度曲线
Fig. 3 Growth rate of body-length and body weight of *Saurida undosquamis* during four decades

2.3 生殖力参数

2.3.1 性成熟度 北部湾花斑蛇鲻为分批产卵类型,主要产卵补充季节为 3–6 月。因此,选取各年份的 5 月份,体长组范围 100~200 mm 的渔获样品数进行统计。不同年代间 5 月份花斑蛇鲻的性成熟度比例见图 4。IV–V 期的性成熟样品比例在 1959–1960 年、1992–1993 年、1997–1999 年和

2009–2010 年间分别为 16.5%、10.5%、8.5%和 8.4%(图 4)。

2.3.2 50%性成熟体长 根据公式(5), 本研究采用最小二乘法计算了不同年代间的 L_{50} 分别为 111.2 mm, 105.2 mm, 95.6 mm 和 96.7 mm(图 5)。对不同年代间的 L_{50} 进行显著性检验, 结果表明年间差异显著($P<0.01$)。

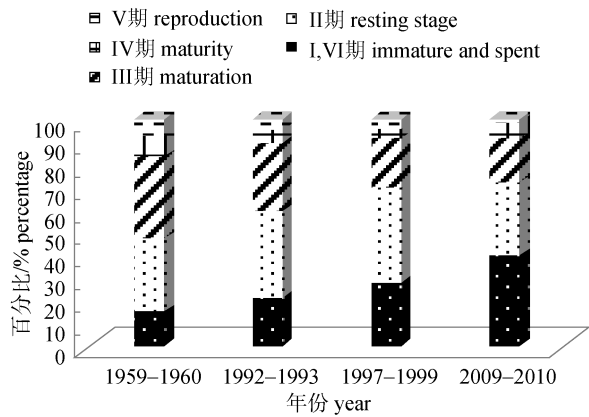


图 4 不同年代间花斑蛇鲻的性成熟度数量比例
Fig. 4 Percentages of maturity stage of *Saurida undosquamis* during four decades

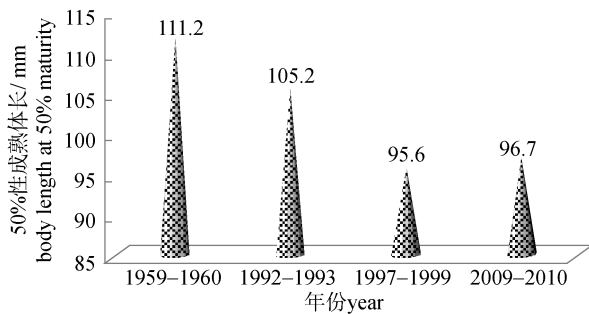


图 5 不同年代间花斑蛇鲻 50%性成熟体长
Fig. 5 Body length at 50% sexual maturity of *Saurida undosquamis* during four decades

2.3.3 生殖力

2009–2010 年间北部湾花斑蛇鲻的个体绝对生殖力波动于 $1.72\times10^4\sim12.4\times10^4$ 粒之间, 平均为 5.12×10^4 粒。花斑蛇鲻的个体相对生殖力 r/L 波动于 114.7~576.7 粒/mm 之间, 平均为 289.7 粒/mm。

对个体繁殖力与鱼体长进行回归, 两者呈指数相关, 其关系式为:

$$r=2.658\times10^{-9}\cdot L^{4.555} \quad (r^2=0.944, n=18) \quad (14)$$

3 讨论

北部湾的花斑蛇鲻种群组成趋向小型化。与 1959–1960 年相比, 1992–1993 年, 1997–1999 年和 2009–2010 年间群体组成变化较大, 其优势体长组已从 1959–1960 年的多峰态变成了 2009–2010 年的单峰态, 平均体长也从 1959–1960 年 185.5 mm 下降到 1992–1993 年 163.1mm、1997–1999 年的 133.2 和 2009–2010 年的 130.5mm。与 1959–1960 年相比, 花斑蛇鲻的体质量下降了 55 g, 平均每 10 年下降 5.5 g。根据不同年代间的生长参数方程逆算, 20 世纪 60 年代花斑蛇鲻的年龄组成为 1~5 龄, 以 1~2 龄为主, 3~5 龄的个体数占样品总量的 15.7%。自 20 世纪 90 年代以来, 北部湾花斑蛇鲻的群体组成主要以当龄鱼和幼鱼组成, 在 1997–1999 年调查中, 渔获样品不足 1 龄的幼鱼占 50%~60%^[19], 资源结构组成趋向简单化。北部湾花斑蛇鲻的生长参数也发生了较大的变化, 其渐近体长 497.8 mm 下降到 2009–2010 年间的 342.5 mm, 平均每 10 年下降 15.5 mm, 进一步说明北部湾花斑蛇鲻小型化趋势明显。与此同时, 内秉生长参数 k 和理论初始年龄 t_0 不断增大, 尤其是 k 值从 1959–1960 年的 0.26 增大到 2009–

表 3 2009 年 5 月花斑蛇鲻的绝对生殖力与体长的关系
Tab. 3 Relationship between individual absolute fecundity and body length of *Saurida undosquamis* in May, 2009

体长/mm body length	<i>n</i>	平均绝对生殖力/($\times10^4$ 粒) average individual absolute fecundity/($\times10^4$ pills)	变动范围/($\times10^4$ 粒) range/($\times10^4$ pills)
140–160	6	2.63	1.72–3.12
161–180	8	3.88	2.69–5.84
181–200	3	6.95	2.58–10.36
201–220	1	12.4	12.4

2010 年的 0.39, 平均每 10 年增大 0.013。体质量生长拐点年龄也从 1959–1960 年的 4.05 龄提前到 2.43 龄。可见, 目前北部湾花斑蛇鲷种群的小型化和低龄化现象相当突出, 体生长速度加快。北部湾花斑蛇鲷生活史的这种变化与大西洋鳕^[20]、东海、渤海的小黄鱼^[21–22]等变化是一致的。

性成熟涉及鱼类生活史阶段的转换, 鱼类的性成熟年龄和大小是其生活史重要特征^[23], 直接影响着鱼类种群的生长率、繁殖力和成活率^[24]。北部湾花斑蛇鲷的性成熟特征也发生了明显的变化。1959–1960 年性成熟度 IV–V 期 的个体占样品总数的 14.2%, L_{50} 为 111.2 mm, 之后呈明显下降趋势, 至 2009–2010 年间这部分个体的性成熟为 8.4%, L_{50} 为 96.72 mm(图 5、图 6), 表明种群已明显出现性早熟的趋势。在外界环境条件影响下, 个体生殖力也会出现适应性变化。在历史报告中, 1959–1960 年间北部湾花斑蛇鲷的个体绝对生殖力波动于 $1.06 \times 10^4 \sim 57.19 \times 10^4$ 粒之间, 平均为 11.27×10^4 粒^[17]; 1992–1993 年个体绝对生殖力波动于 $1.1 \times 10^4 \sim 38.7 \times 10^4$ 粒, 平均为 9.32×10^4 粒^[18]。2009–2010 年间北部湾花斑蛇鲷的个体绝对生殖力波动于 $1.72 \times 10^4 \sim 12.4 \times 10^4$ 粒之间, 平均为 5.12×10^4 粒。从个体生殖力总量来看, 目前北部湾花斑蛇鲷的怀卵量明显低于 20 世纪 60–90 年代。然而, 花斑蛇鲷为一年多次产卵类型, 其绝对生殖力随体长的增长而缓慢增加, 体长在 220–440 mm, 个体绝对生殖力较旺盛^[17]。因此, 比较个体体长相对繁殖力较有意义。1959–1960 年间体长组为 140–160 mm 的花斑蛇鲷个体相对繁殖力(r/L)为 67.7–214.4 粒/mm, 平均为 185.2 粒/mm; 2009–2010 年间该体长组的花斑蛇鲷个体相对繁殖力(r/L)为 114.7–576.7 粒/mm 之间, 平均为 289.7 粒/mm。与 20 世纪 60 年代相比, 当前花斑蛇鲷的相对生殖力提高了 56.4%。可见, 在外界环境变化下, 北部湾花斑蛇鲷的个体相对繁殖力明显上升。黄海北部银鲳^[25]和渤海的小黄鱼^[26]生殖力变化也出现了类似的趋势, 这可能是海洋经济鱼类种群应对资源衰退保存种群的一项策略选择。

北部湾花斑蛇鲷生活史特征的年间变化表明,

在外界环境的胁迫下, 其种群趋向小型化和低龄化, 性成熟提前, 生长速度加快。我们推测造成这一变化的主要原因之一可能是选择性捕捞。经典的捕捞理论总是指导“捕大留小”, 而大的个体通常是生长快的那部分鱼类。因此, 长期的选择性捕捞, 可能导致生长快的基因的流失, 生长慢的基因得以延续, 从而导致开发性种群的生活史特征出现逆向进化, 如小型化、性早熟等^[27–29]。已有研究结果表明, FIE 现象广泛地发生在不同种类和不同地区^[30–32]。当前, 人们对选择性捕捞引起进化的后果的担忧逐渐上升, 因为这样的进化可能会导致低水平的可持续产量以及种群可持续生产能力的降低^[33]。本研究结果为捕捞可能会引起开发性群体生活史特征的快速进化提供了新的证据。如果不采取合适的措施, 在可预见的未来, 为了适应外部环境的变化, 该鱼种仍将继续进化。

参考文献:

- [1] Jackson B C, Michael X, Wolfgang H, et al. Historical over-fishing and the recent collapse of coastal ecosystems[J]. Science, 2001, 293(27): 629–638.
- [2] FAO. The Global Fisheries Crisis[Z]. Http: / www. fao.org/fish.1997/1999–12–09.
- [3] Jorgensen C, Katja E, Erin S, et al. Managing fish stocks[J]. Science, 2007, 318: 2147–2148.
- [4] 陈再超, 刘继兴. 南海经济鱼类[M]. 广州: 广东科学与技术出版社, 1982: 184–188.
- [5] 舒黎明, 邱永松. 南海北部花斑蛇鲷生长死亡参数估计及开捕规格[J]. 湛江海洋大学学报, 2004, 24(3): 29–35.
- [6] 孙典荣, 林昭进. 北部湾主要经济鱼类资源变动分析及保护对策探讨[J]. 热带海洋学报, 2004, 2(2): 62–68.
- [7] Dieckmann U. Can adaptive dynamics invade? [J]. Trends in Ecology & Evolution, 1997, 12: 128–131.
- [8] Dieckmann U, Marrow P, Law R. Evolutionary cycling in predator prey interactions: population dynamics and the Red Queen[J]. J Theor Biol, 1995, 176: 91–102.
- [9] 国家技术监督局, 国家标准化委员会. 海洋调查规范-第 6 部分: 海洋生物调查(GB/T-127763.6-2007) [M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [10] Pauly D. ELEFAN I: User's instruction and program listings[M]. Manila: ICLARM, 1980.
- [11] Pauly D. On improving operation and use of the ELEFAN

- programs. Part II. Improving the estimation of L_{∞} [J]. Fishbyte, 1986, 4(1): 18–20.
- [12] 陈国宝, 李永振, 陈丕茂, 等. 鱼类最佳体长频率分析组距研究[J]. 中国水产科学, 2009, 15(4): 659–666.
- [13] Ly sack W. Lake winnipeg fish stock assessment program[R]. Canada: Manitoba Department of Resources, 1980.
- [14] Freddy A, Alexander B. Sex ratios, spawning seasonality, sexual maturity, and fecundity of white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the western central Atlantic[J]. Fish Res, 2009, 95: 98–111.
- [15] 曾炳光, 张进上, 陈冠贤. 南海区渔业资源调查与区划[M]. 广州: 广东科技出版社, 1989: 117.
- [16] 黄海水产研究所. 海洋水产资源调查手册(第二版)[M]. 上海: 上海科技出版社, 1981.
- [17] 南海水产研究所. 北部湾花斑蛇鲻生物学学习性调查报告[R]. 广州: 南海水产研究所, 1965: 35.
- [18] 袁蔚文. 北部湾渔业资源调查论文集[C]. 广州: 南海水产研究所, 1994: 53.
- [19] 贾晓平, 李纯厚, 林昭进, 等. 北部湾渔业生态环境与渔业资源[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 181.
- [20] Steward J. Evidence of age-class truncation in some exploited marine fish populations in New South Wales, Australia[J]. Fish Res, 2011, 108: 209–213.
- [21] 郭旭鹏, 金显仕, 戴芳群. 渤海小黄鱼生长特征的变化[J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 243–248.
- [22] 林龙山, 程家骅, 任一平, 等. 东海区小黄鱼种群生物学特性的分析[J]. 中国水产科学, 2004, 11(4): 333–338.
- [23] Esben M O, Mikko Heino, George R, et al. Maturation trends indicative of rapid evolution preceded the collapse of northern cod[J]. Nature, 2004, 248: 932–935.
- [24] Diechmann U, Heino M. Probabilistic maturation reaction norms: their history, strengths, and limitations[J]. Mar Ecol Progr Ser, 2007, 335: 253–269.
- [25] 曾玲, 金显仕, 李富国. 黄海南部银鲳的生殖力及其变化[J]. 海洋水产研究, 2005, 26(6): 1–5.
- [26] 曾玲, 金显仕, 李富国, 等. 渤海小黄鱼生殖力及其变化[J]. 海洋科学, 2005, 29(5): 80–83.
- [27] Stokes K, Law R. Fishing as an evolutionary force[J]. Mar Ecol Progr Ser, 2000, 208: 307–309.
- [28] Sutherland W J. Evolution and fisheries[J]. Nature, 1990, 344: 814–815.
- [29] Reznick D N, Ghalambor C K. Can commercial fishing cause evolution? Answers from guppies (*Poecilia reticulata*)[J]. Can J Fish Aqu Sci, 2005, 62: 791–801.
- [30] Nussle S, Brechon A, Wedekind C. Change in individual growth rate and its link to gill-net fishing in two sympatric whitefish species[J]. Evolut Ecol, 2010, 25(3): 681–693.
- [31] Conover D O, Munch S B. Sustaining fisheries yields over evolutionary time scales[J]. Science, 2002, 297: 94–96.
- [32] 朱晓光, 房元勇, 严力蛟, 等. 高捕捞强度环境下海洋鱼类生态对策的演变[J]. 科技通报, 2009, 25(1): 51–55.
- [33] Stockwell C A, Hendry A P, Kinnison M T. Contemporary evolution meets conservation biology[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2003, 18: 94–100.

Evolution of biological characteristics of *Saurida undosquamis* (Richardson) in the Beibu Gulf, South China Sea

CHEN Zuozhi, QIU Yongsong, XU Shannan, HUANG Zirong

Key Laboratory for Exploitation and Utilization of Marine Fisheries Resource in South China Sea, Ministry of Agriculture; South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China

Abstract: We evaluated the population structure, growth and fecundity of *Saurida undosquamis* (Richardson) in the Beibu Gulf using biological data obtained from bottom trawls conducted during 1959–1960, 1992–1993, 1997–1999 and 2009–2010. The mean body length of *S. undosquamis* decreased from 185.5 mm in 1959–1960 to 163.1 mm in 1992–1993, 133.2 mm in 1997–1999, and 130.5 mm in 2009–2010. Similarly, mean body weight decreased from 66.5 g in 1959–1960 to 46.4 g in 1992–1993, 23.8 g in 1997–1999, and 22.6 g in 2009–2010. The asymptotic length (L_{∞}), growth coefficient (k), and zero-length age (t_0) in the von Bertalanffy growth equation during the periods 1959–1960, 1992–1993, 1997–1999, and 2009–2010 were 497.8 mm, 0.26, -0.49; 424.1 mm, 0.28, -0.48; 385.3 mm, 0.33, -0.41, and 342.5 mm, 0.39, -0.36, respectively. The inflexion age of body weight decreased from 4.05 years between 1959–1960 to 3.66 years between 1992–1993, 3.05 years in 1997, and 2.43 years between 2009–2010. Body length at 50% sexual maturity (L_{50}) decreased from 111.2 mm between 1959–1960 to 105.2 mm between 1992–1993, 95.6 mm between 1997–1999, and 96.7 mm between 2009–2010. For the same body length, the current individual relative fecundity of *S. undosquamis* increased by 56.4% compared to the early 1960s. The changes in the life history traits of *S. undosquamis* in the Beibu Gulf during the last five decades suggest that the stock has undergone fishing-induced evolution (FIE), characterized by miniaturization, an increase in the speed of growth, and a decrease in time to maturity.

Key words: *Saurida undosquamis*; biological parameters; fishing-induced evolution; Beibu Gulf

Corresponding author: CHEN Zuozhi. E-mail: zzchen2000@163.com