

北部湾深水金线鱼种群参数的动态变化

陈作志^{1*}, 孔啸兰^{1,2}, 徐姗楠¹, 邱永松¹, 黄梓荣¹

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

2. 上海海洋大学水产与生命学院,上海 201306)

摘要: 根据1992年—1993年(1992年)、1997年—1999年(1997年)和2009年—2010年(2009年)北部湾底拖网渔业资源调查的生物学资料,对深水金线鱼群体组成、生长和死亡参数等种群生物学参数进行研究。结果表明,北部湾深水金线鱼的种群生物学有明显的年际变化,种群趋向小型化和低龄化,生长速度加快,性成熟提前。平均体长从1992年138.25 mm下降到1997年的112.70 mm和2009年的118.28 mm,相应地平均体质量分别为60.06 g、39.03 g和48.85 g。1992年、1997年和2009年间 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242.2 mm、0.39、-0.39; 220.4 mm、0.45、-0.35和235.5 mm、0.48、-0.32。体质量拐点年龄(t_r)分别为从1992年2.19龄提前到1997年1.97龄和2009年1.86龄。50%性成熟体长(L_{50})则从1992年的128.6 mm下降到1997年116.5 mm和2009年的110.5 mm。1992年、1997年和2009年间的开发率(E)分别为0.57、0.62和0.58,表明自20世纪90年代以来,北部湾深水金线鱼种群已处过度捕捞状态。深水金线鱼的种群参数的一系列变化表明,在高捕捞强度的胁迫下,深水金线鱼为延续种群,其种群产生了适应性变化。

关键词: 深水金线鱼; 种群参数; 动态变化; 北部湾

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

鱼类的生长、死亡和性成熟等生物学特征是渔业资源研究的重要内容,也是进一步开展种群数量变动和渔业生态系统研究的基础工作。研究表明,在受到高强度捕捞胁迫和外界环境变化等因素影响下,鱼类的生物学特征参数会出现一定的适应性响应。黄海的鳀(*Engraulis japonicus*)^[1],黄海南部、东海北部的小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)^[2-3]均出现了个体小型化、性成熟提前和生长加快的现象。

深水金线鱼 [*Nemipterus bathybius* (Snyder)] 为暖水性底层经济鱼类,在我国仅分布于南海,是南海北部底拖网渔业的重要捕捞对象^[4]。在1964年—1965年南海北部(海南岛以东)底拖网鱼

类资源调查中,该鱼种居底拖网渔获物鱼类的首位^[5]。近年来,由于捕捞强度的不断加大,南海北部的深水金线鱼资源已出现过度开发现象,渔获物主要以幼鱼为主,种群结构表现为低龄化特征^[6-7]。为了研究捕捞活动和环境变化对北部湾深水金线鱼种群生物学特征的影响,以1992年—1993年(1992年)、1997年—1999年(1997年)和2009年—2010年(2009年)年间北部湾底拖网渔业资源的生物学资料,对3个时间段深水金线鱼的群体组成、生长和死亡参数等种群参数进行分析,旨在为北部湾深水金线鱼资源的有效管理和可持续利用提供科学依据。

收稿日期: 2011-08-22 修回日期: 2011-12-24

资助项目: 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, 2011YD03); 海洋公益性行业科研专项(2010418012)

通讯作者: 陈作志, E-mail: zzchen2000@163.com

1 材料与方法

1.1 实验材料

研究采用的样品主要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, 采样站点基本相同, 均按照经纬度 30' 设置(图 1)。1992 年底拖网调查在 5 月、7 月、8 月和 9 月进行; 1997 年和 2009 年底拖网调查则按 2 月(春季)、5 月(夏季)、8 月(秋季)、11 月(冬季)4 季分别进行。渔获样品在现场处理后冰冻保存, 航次结束后运回实验室进行分析测定。每站深水金线鱼的尾数多于 50 尾时测定 50 尾, 不足 50 尾时全部测定。1992 年调查共测定 650 尾, 1997 年测定 870 尾, 2009 年测定 450 尾。生物学测定项目为体长、体质量、性成熟度、胃饱满度等。

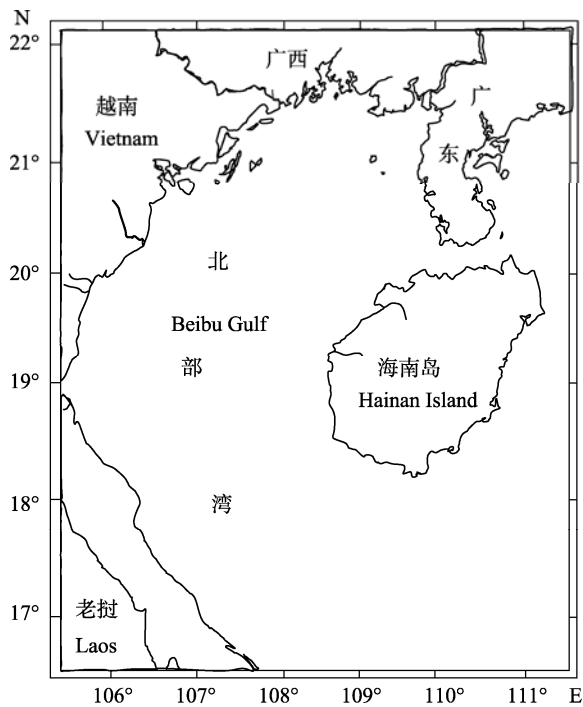


图 1 采样站点示意图

Fig. 1 Sketch maps of sampling sites in the Beibu Gulf

确定体长分组组距是应用体长频率分析法的必要步骤, 5 mm 和 10 mm 组距被认为是进行体长频率分析的最佳组距^[8]。因此, 本研究中的体长频率按月以 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。由于南海北部深水金线鱼种群雌雄的体长与体质量关系间没有显著差异^[9], 因此本研究将样品中雌雄个体作为一个整体进行分析, 不再区分雌雄群体间种群参数的差别。

1.2 方法

生长参数 深水金线鱼的生长选用 von Bertalanffy 生长方程拟合。

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}] \quad (1)$$

式中, k 为生长系数, L_∞ 为渐近体长, t_0 为理论初始年龄。

体长与体质量关系可用以下公式表示:

$$W = aL^b \quad (2)$$

式中, a 为生长的肥满度指数, 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, 即体形不变, 比重不变的特征)。

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。生长参数 L_∞ 、 k 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^[10]。其中理论生长起点年龄 t_0 和体质量生长拐点 t_r 用经验公式^[11]计算:

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

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

死亡参数 总死亡系数 (Z) 采用“转换体长渔获量曲线法”估算^[12], 而自然死亡系数 (M) 采用 Pauly^[13]的经验公式:

$$\ln M = -0.0066 - 0.279 \ln L_\infty + 0.6543 \ln k + 0.4634 \ln T \quad (5)$$

式中, L_∞ 和 k 分别为渐近全长 (cm) 和生长系数, T 为该鱼种栖息水层的平均温度 (°C)。根据各年间调查站位深水金线鱼的渔获量和底层水温, 经过加权平均计算得 1992 年, 1997 年和 2009 年的年平均栖息水温分别为 22.6°C、23.8°C 和 24.2°C。

由于式(5)中 L_∞ 为渐近全长, 因此, 需要将各年代间的渐近体长转换为渐近全长。选取各年代间 120 尾深水金线鱼的体长 (body length, BL) 与全长 (total length, TL) 数据进行回归, 以此来推断深水金线鱼的渐近全长。

$$1992 \text{ 年: } TL = 1.315BL - 3.321 \quad (r = 0.952) \quad (6)$$

$$1997 \text{ 年: } TL = 1.325BL - 6.358 \quad (r = 0.967) \quad (7)$$

$$2009 \text{ 年: } TL = 1.421BL - 24.141 \quad (r = 0.955) \quad (8)$$

性成熟 深水金线鱼的性成熟按照 VI 期标准进行划分, 其中规定 IV~VI 为性成熟样品。50% 性成熟体长 (L_{50}) 采用 Logistic 曲线来计算^[14-15]。

$$P_L = \frac{1}{1 + e^{-\delta(L-L_{50})}} \quad (9)$$

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

2 结果

2.1 群体组成

1992 年、1997 年和 2009 年 3 个时间段的体长和体质量组成表明, 北部湾深水金线鱼的个体趋向小型化(表 1)。1992 年深水金线鱼体长为 51~220 mm, 体长频率分布呈双峰型, 优势体长组为 111~120 mm 和 131~150 mm, 分别占个体体长总数的 22.75%和 32.93%, 个体平均体长为 138.25 mm。体质量为 3.5~322 g, 优势体质量为 40~70 g, 占总数的 58.6%, 个体平均体质量为 62.06 g(表 1, 图 2)。

1997 年深水金线鱼体长范围为 51~200 mm, 体长频率分布呈单峰型, 优势体长组为 101~140 mm, 分别占个体体长总数的 58.0%, 个体平均体

长为 112.70 mm。体质量为 4.0~172 g, 优势体质量为 21~60 g, 占总数的 64.0%, 个体平均体质量为 39.03 g(表 1, 图 2)。

2009 年深水金线鱼体长为 41~230 mm, 体长频率分布呈单峰型, 优势体长组为 111~120 mm 和 131~150 mm, 分别占个体体长总数的 69.0%, 个体平均体长 118.28 mm。体质量为 14~191 g, 优势体质量为 21~50 g, 占总数的 70.0%, 个体平均体质量为 48.85 g(表 1, 图 2)。

2.2 生长特征

体长—体质量关系方程 深水金线鱼体长—体质量关系呈幂函数相关。图 3 为 3 个年代的体长、体质量进行回归拟合曲线, 其关系式为

$$1992 \text{ 年: } W=9.4495 \times 10^{-5} L^{2.754} \quad (r^2=0.959, n=650) \quad (10)$$

$$1997 \text{ 年: } W=5.8689 \times 10^{-5} L^{2.840} \quad (r^2=0.920, n=870) \quad (11)$$

$$2009 \text{ 年: } W=5.2529 \times 10^{-5} L^{2.851} \quad (r^2=0.928, n=450) \quad (12)$$

由上述 3 式可见, 线性回归的相关系数 r^2 均大于 0.92, 表明该回归方程具有很好的相关性。t-检验表明, 3 个时间段的条件因子 b 存在着显著的差异($P<0.01$)。

表 1 深水金线鱼体长、体质量组成的年际变化

Tab. 1 Annual changes of composition of body length and weight of *N. bathybius*

项目 item		1992 年	1997 年	2009 年
体长组成/mm	范围 range	51~220	51~200	41~230
body length	优势组 dominant	111~120, 131~150	101~140	101~130
composition	优势组比例 proportion	22.75%, 32.93%	58.0%	69.0%
	平均 mean	138.25	112.70	118.28
体质量组成/g	范围 range	3.5~322	4.0~172	14~191
body weight	优势组 dominant	40~70	21~60	21~50
composition	优势组比例 proportion	58.6%	64.0%	70.0%
	平均 mean	62.06	39.03	48.85

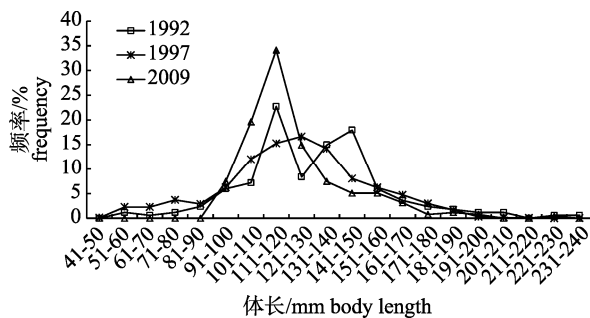


图 2 深水金线鱼的体长组频率分布的年际变化
Fig. 2 Annual changes of body length frequency distribution of *N. bathybius*

生长参数 根据 ELEFAN 技术估算 3 个时间段的生长参数见表 2。1992 年、1997 年和 2009 年间的体长和体质量生长存在年间差异。1992 年的渐近体长为 242.2 mm, 到 1997 年下降为 220.4 mm, 2009 年又上升至 238.5 mm。生长系数 k 则从 1992 年的 0.39 上升至 2009 年的 0.48。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, 其中, 生长系数(k)、理论初始年龄(t_0)和拐点年龄(t_r)差异极为显著(表 2)。

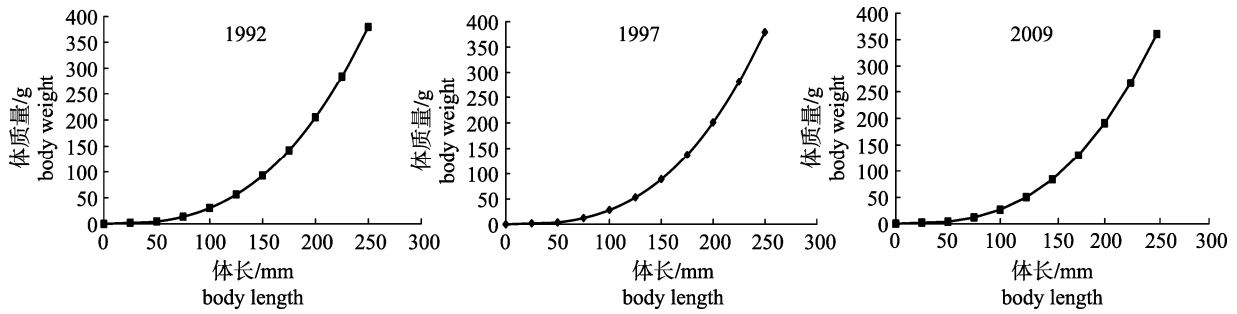


图 3 深水金线鱼体长与体质量关系曲线的年际变化

Fig. 3 Annual changes of relationship between body length and body weight of *N. bathybius*

表 2 深水金线鱼的生长参数的年际变化
Tab. 2 Annual changes in the growth parameters of *N. bathybius*

项目 item	1992 年	1997 年	2009 年	P
生长系数(k) growth coefficient	0.39	0.45	0.48	$P < 0.001$
初始年龄(t_0) zero-length age	-0.39	-0.35	-0.32	$P < 0.001$
渐近体长(L_∞)/mm asymptotic length	242.2	220.4	235.5	$P < 0.01$
拐点年龄(t_r) inflection age	2.19	1.97	1.86	$P < 0.001$

3 个时间段的 von Bertalanffy 生长方程见公式(13)~(15), 拟合不同年代间的体长和体质量生长曲线见图 4。

$$1992 \text{ 年: } L_t = 242.2 \times [1 - e^{-0.39(t+0.39)}] \quad (13)$$

$$1997 \text{ 年: } L_t = 220.4 \times [1 - e^{-0.45(t+0.35)}] \quad (14)$$

$$2009 \text{ 年: } L_t = 235.5 \times [1 - e^{-0.48(t+0.32)}] \quad (15)$$

生长速度参数 图 5 为 3 个时间段北部湾深水金线鱼体长和体质量生长速度曲线, 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 1992 年、1997 年和 2009 年间深水金线鱼的体质量生长拐点年龄分别为 2.19 龄, 1.97 龄和 1.86 龄(表 2)。

2.3 死亡参数

总死亡参数 图 6 给出运用“转换体长渔获量曲线法”估算的北部湾深水金线鱼的总死亡系数的回归直线。回归数据点的选取以“未全面补充年龄段和体长接近渐近体长的年龄段不能用来回归”为原则。选取图中黑色的点进行线性回归(前边的点所对应的年龄还没达到完全补充年龄, 后边的点由于不具代表性, 因而未加利用)。计算得到的各年代间的总死亡系数分别见表 2。

自然死亡参数 根据公式(6)~(8)计算的 1992 年、1997 年和 2009 年间的渐近全长 L_∞ 分别为 302.1 mm, 285.7 mm 和 314.8 mm。因此, 根据 Pauly 经验公式估算的各年间的自然死亡系数分别为 0.95、1.08 和 1.11(表 3), 计算的各年间的捕捞死亡系数($F=Z-M$)分别为 1.26、1.75 和 1.55, 相应地, 各年间的开发率($E=F/Z$)分别为 0.57、0.62 和 0.58(表 3)。

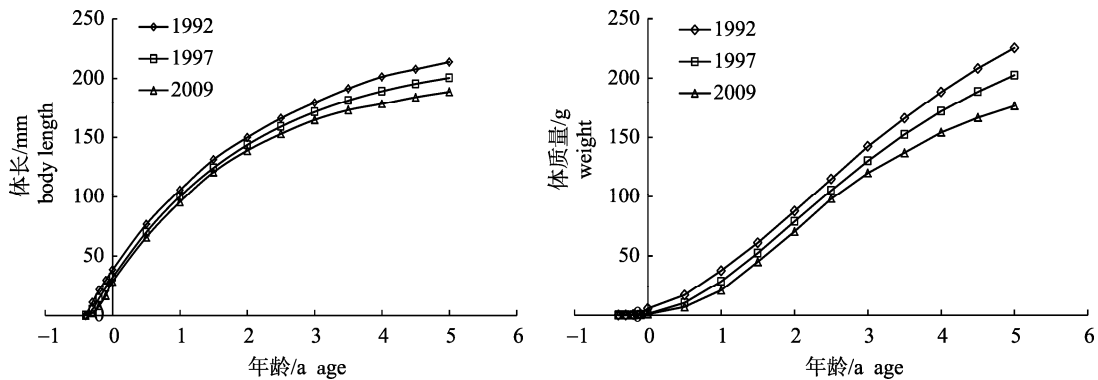


图 4 深水金线鱼体长与体质量生长曲线的年际变化

Fig. 4 Annual changes in growth curve of body length and body weight of *N. bathybius*

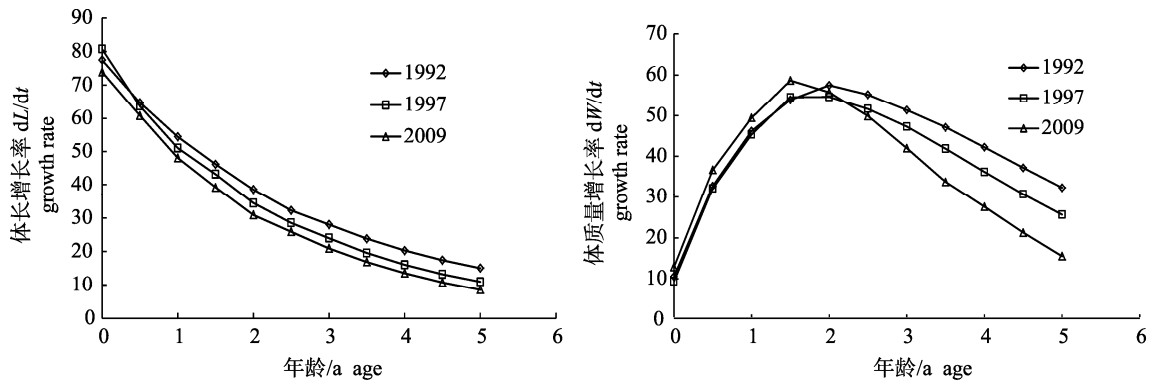


图 5 深水金线鱼体长与体质量生长速度曲线的年际变化
Fig. 5 Annual changes in growth rate of body length and body weight of *N. bathybius*

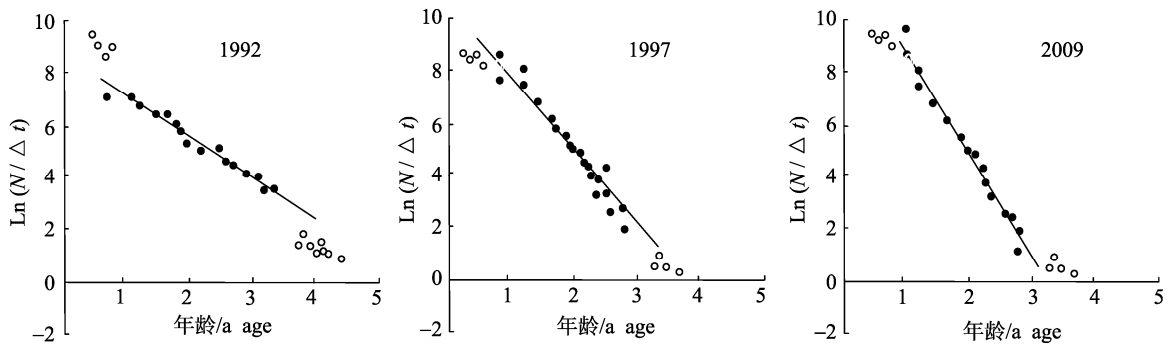


图 6 根据体长变换渔获曲线估算的深水金线鱼总死亡系数
Fig. 6 Total mortality of *Nemipterus bathybius* estimated by length converted catch curve

表 3 深水金线鱼死亡参数的年间变化

Tab. 3 Annual variations in the mortality parameters of *N. bathybius*

项目 item	1992 年	1997 年	2009 年
总死亡系数(Z) total mortality coefficient	2.41	2.83	2.66
自然死亡率(M) natural mortality coefficient	0.95	1.08	1.11
捕捞死亡率(F) fishing mortality coefficient	1.26	1.75	1.55
开发率(E) exploitation rate	0.57	0.62	0.58

2.4 性成熟

性成熟度 北部湾深水金线鱼的主要产卵补充季节为 6~9 月。以各年份 9 月份的渔获样品数进行统计, 1992 年、1997 年和 2009 年间深水金线鱼的雌雄比为 0.75 : 1、0.78 : 1 和 0.85 : 1, 雌雄比例相差不大。不同年代间性成熟度比例见图 7。IV 和 V 期的性成熟比例在 1992 年、1997 年和 2009 年间分别为 64.0%、53.0%和 45.0%, 尤其是性成熟 V 期的比例下降比较大, 从 1997 年的 26.0%下降到 2009 年的 10%, 降幅达 61.5%。

50%性成熟体长(L_{50}) 在公式(9)中, 参数 δ

为描述体长组性成熟百分比变化的斜率。因此, 由于各体长组的性成熟比例已知, 根据公式 9, 可以用最小二乘法来计算 L_{50} 和 δ 值, 计算得到 1992 年、1997 年和 2009 年间的 L_{50} 分别为 128.6 mm、116.5 mm 和 110.5 mm(图 8)。对不同年间的 L_{50} 差异进行显著性检验(t -检验), 结果显示年间差异显著($P < 0.01$)。

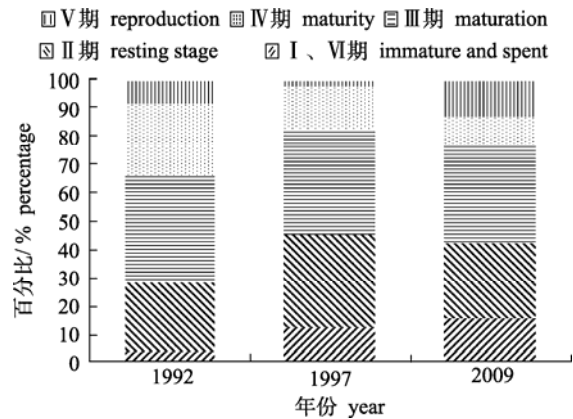


图 7 深水金线鱼性成熟度的年际变化
Fig. 7 Annual changes of maturity stage of *N. bathybius*

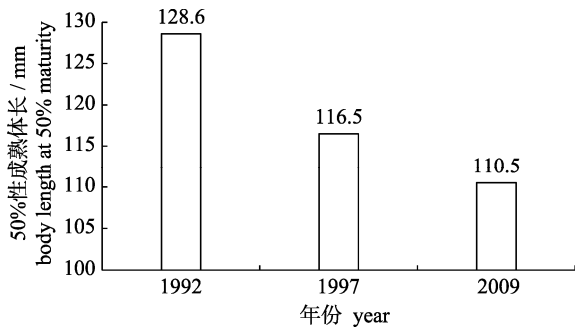


图 8 深水金线鱼 50%性成熟体长的年际变化
Fig. 8 Annual changes in body length at 50% maturity of *N. bathybius*

3 讨论

南海北部湾深水金线鱼属于热带小型底层鱼类, 主要分布在北部湾中南部 60 m 以深海域, 具有生长快速、生命周期短等生物学特点, 可以承受较大的捕捞压力^[9]。南海水产研究所 20 世纪 60 年代中期对南海北部进行拖网调查时, 深水金线鱼处于未完全开发状态^[5], 其总死亡系数与捕捞死亡系数分别为 0.70 和 0.22。从本研究运用体长变换渔获曲线法估算的死亡参数来看, 北部湾深水金线鱼的总死亡系数和捕捞死亡系数均以 20 世纪 90 年代最高, 其开发率也从 20 世纪 60 年代的 0.32 上升到 90 年代初期的 0.57, 90 年代末期则达到 0.62。2009 年的开发率与 20 世纪初期大致相当, 为 0.58(表 2)。以 Gulland^[16]提出的一般鱼类开发率为 0.5 来判断, 本研究结果表明, 自 20 世纪 90 年代以来, 北部湾的深水金线鱼就处于过度捕捞状态。邱永松^[17]根据北部湾国营底拖网(1983 年—1992 年)的渔获统计资料, 研究表明北部湾深水金线鱼种群的渔获率从 1983 年的 12.8 kg/h 下降到 1991 年的 2.9 kg/h, 年龄结构趋于简单, 渔获物样品年龄主要以 1 龄以内的幼鱼占优势, 指出包括深水金线鱼在内的北部湾主要经济鱼类资源实际上自 20 世纪 80 年代以来就已出现不同程度的衰退。

大部分的鱼类在经过较大的捕捞胁迫后, 开发种群的表型性状(phenotypic traits)普遍都会产生适应性响应^[18-19], 其中表现比较明显的就是体长的变化^[20]。本研究表明, 在 20 多年持续的捕捞胁迫下, 北部湾深水金线鱼的群体组成也发生了明显的变化, 其体长频率分布曲线也从 20 世纪初期的双峰态转变为 2009 年的明显的单峰态(图 2)。渔获物平均体长从 1992 年的 138.25 mm 下降到 1997

年的 112.70 mm; 平均体质量也从 1992 年的 62.06 g 下降到 1997 年 39.03 g, 下降超过 23 g。虽然 2009 年其平均体长小幅上升至 118.28 mm, 平均体质量也上升到 48.85 g, 但群体结构总体仍呈现简单化的趋势。从生长参数来看, 深水金线鱼生长系数 k 则从 1992 年的 0.39 上升至 2009 年的 0.48; 体质量拐点年龄也逐渐从 1992 年 2.19 龄提前到 1997 年 1.97 龄和 2009 年 1.86 龄, 生长速度明显加快, 种群趋向低龄化。性成熟是动植物有机体生活史最重要的特征, 性成熟年龄和大小影响到其生长率、繁殖力和存活率^[21]。 L_{50} 分别从 1992 年 128.6 mm 减少到 1997 年 116.5 mm, 2009 年进一步下降到 110.5 mm(图 7), 表明北部湾深水金线鱼产卵群体小型化和性早熟的趋势明显。此外, 与 1992 年相比, 1997 年和 2009 年的体长—体质量关系中的条件因子 b 呈增大趋势。根据 Richer^[22]的研究结果, 这种变化是深水金线鱼对资源结构性衰退的生物学适应性响应所致, 黄海的鳀^[1]和东海的小黄鱼^[3]也出现了相同的变化趋势。

可见, 在高强度的捕捞压力下, 北部湾深水金线鱼生物学性状发生了明显的变化, 个体生长速度明显加快。造成种群参数发生这一变化的原因主要有两种解释: 一种是捕捞引起进化(fishing inducing evolution, FIE), 即在长期的“捕大留小”的选择性捕捞, 可能导致生长慢的基因的流失, 生长快的基因得以延续, 从而导致开发种群的生物学特性的改变, 而由于基因流失导致的进化发生是不可逆^[23]; 另一种是环境胁迫说, 即过大的捕捞强度使得资源群体的密度稀疏, 剩余群体的饵料丰度和易得性大大提高, 从而改善其生长环境使得生长加快, 这种变化在停止捕捞或捕捞强度下降时会出现逆转。Conover 等^[24]对美国东北部海域的银鱼研究表明, 如果停止捕捞那些已经变得很小的鱼类, 渔获物的小型化的趋势将在 12 年或 12 世代后出现逆转。因此, 北部湾深水金线鱼表型性状的变化更适合用环境胁迫理论来解释。自从 1999 年, 我国政府开始在包括北部湾在内的南海区实施伏季休渔、转产转业等减轻捕捞压力的活动, 加上燃油价格不断上涨, 使得捕捞作业收益不断下降, 造成北部湾的开发强度也呈下降趋势^[25], 本研究表明北部湾深水金线鱼的开发率从 1997 年的 0.62 下降到 2009 年 0.58, 与 1992 年(0.57)基本

相当。在捕捞强度降低的10年后,深水金线鱼的 L_{∞} 从1997年220.4 mm上升到2009年的235.5 mm,其平均体长也从1997年112.7 mm恢复到118.28 mm。可见,在FIE的背景下,如果能够及时降低捕捞强度,捕捞导致的鱼类小型化趋势有可能会逆转,但这一推断仍需要更多的证据。

需要指出的是,本实验的生长参数的研究结果是基于体长频率(EFEFAN)技术,该方法是根据鱼类体长频率的时间系列进行体长频率样品重构,将“峰”和“谷”分离出来,使体长频率形成的波峰和波放大,便于拟合最佳生长曲线^[7],因此对生物学样本容量和频率分布要求较高。由于本研究的样本均以季节采样,由于样本容量的限制可能会产生参数方程模拟时曲线穿过“峰”的位置最多,穿过“谷”的位置最少,使得参数估算值出现一定的误差。因此,经济鱼类对捕捞压力的适应性响应还需要来自种群遗传学和室内生态受控实验的进一步证据。

参考文献:

- [1] 朱建成, 赵宪勇, 李富国. 黄海鳀鱼的生长特征及其年际与季节变化[J]. 海洋水产研究, 2007, 28(3): 64-72.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [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] 南海水产研究所. 南海北部底拖网鱼类资源调查报告(第五册)[R]. 中华人民共和国水产部南海水产研究所, 1966: 1-45.
- [6] 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: 178-179.
- [7] 李忠炉, 卢伙胜, 甘喜萍, 等. 北部湾口海域深水金线鱼的生长和死亡研究[J]. 水产科学, 2009, 28(20): 556-562.
- [8] 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, 2008, 15(4): 659-666.
- [9] 王雪辉, 邱永松, 杜飞雁. 南海北部深水金线鱼生物学及最适开捕体长[J]. 应用生态学报, 2005, 1(12): 2428-2434.
- [10] Pauly D, David N, Ingles J. ELEFAN I: User's instruction and program listings [M]. ICLARM, Manila, 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] Pauly D. Length-converted catch curves: a powerful tool for fisheries research in the tropics (Part I) [J]. Fishbyte, 1983, 18(2): 9-13.
- [13] Pauly D. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks [J]. Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer, 1980, 39: 175-192.
- [14] Lysack W. 1979 Lake Winnipeg fish stock assessment program[R]. Canada: Manitoba Department of Natural Resources Manuscript Report No.30, 1980: 1-118.
- [15] Freddy A, Alexander B. Sex ratios, spawning seasonality, sexual maturity, and fecundity of white marlin (*Tetrapturus albidus*) from the western central Atlantic [J]. Fisheries Research, 2009, 95: 98-111.
- [16] Gulland J A. Fish stock assessment: a manual of basic method[M]. New York: FAO/Wiley Ser 1, 1985: 223.
- [17] 邱永松. 南海北部渔业资源状况与合理利用对策[C]//我国专属经济区和大陆架勘测论文集. 北京: 海洋出版社, 2002: 360-361.
- [18] Conover D, Munch S. Sustaining fisheries yield over evolutionary time scales [J]. Science, 2002, 297: 94-96.
- [19] Law R. Fishing, selection, and phenotypic evolution [J]. ICES Journal of Marine Science, 2000, 57: 659-668.
- [20] Law R. Selective fishing and phenotypic evolution: past, present and future [C]. ICES Annual Science Conference, 2002, Y 11, 1-10.
- [21] Dieckmann U, Heino M. Probabilistic maturation reaction norms: their history, strengths, and limitations [J]. Marine ecology progress series, 2007, 335: 253-269.
- [22] Richer W E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations [J]. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, 1975, 191: 1-382.
- [23] Willams E H, Shertzer K W. Effects of fishing on growth traits: a simulation analysis [J]. Fishery Bulletin, 2005, 103: 392-403.
- [24] Conover D O, Munch S, Arnott S A. Reversal of evolutionary downsizing caused by selective harvest of large fish [J]. Proceedings of the Royal Society, 2009, 276: 2015-2020.
- [25] 陈作志, 林昭进, 邱永松. 基于AHP的南海海域渔业资源可持续利用评价[J]. 自然资源学报, 2010, 25(2): 249-258.

Dynamic changes of population parameters of *Nemipterus bathybius* in the Beibu Gulf

CHEN Zuo-zhi^{1*}, KONG Xiao-lan^{1,2}, XU Shan-nan¹, QIU Yong-song¹, HUANG Zi-rong¹

(1. Key Laboratory of South China Sea Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China;

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

Abstract: *Nemipterus bathybius* is a small-size demersal species, which is mainly distributed in tropical and subtropical oceanic waters. The species is mostly in habitat offshore areas (>60 m) and caught commercially by hook-and-line and bottom trawl. The output of *N. bathybius* ranked first in the catch compositions of demersal fishes during bottom trawl survey conducted in 1964—1965. Recently, the stock density and yield of *N. bathybius* have changed dramatically, and the catches mainly consisted of young fish and the population structure was low-aged and miniaturization. Therefore, the aims of this research are to elucidate the effects of fishing activities and environment variations on its biological parameters, and provide theoretic basis for reasonable utilization and exploration. Based on the biological data obtained from bottom trawl conducted in the Beibu Gulf during 1992—1993 (1992), 1997—1999 (1997) and 2009—2010 (2009), population structure, growth and mortality parameters, as well as its annual variations of *N. bathybius* were analyzed. The results presented miniaturization and maturation at younger ages (and/or smaller sizes) of *N. bathybius*, as well as the growth rate increased and sexual maturity became earlier. The average body length of *N. bathybius* lessened from 138.25 mm in 1992 to 112.70 mm in 1997, and 118.28 mm in 2009, respectively, the corresponding average body weight were 60.06 g, 39.03 g and 48.85 g. The parameters, asymptotic length (L_{∞}), growth coefficient (k) and zero-length age (t_0) in the von Bertalanffy growth equation in 1992, 1997 and 2009, were 242.2 mm, 0.39 and -0.39 a; 220.4 mm, 0.45 and -0.35 a; 235.5 mm, 0.48 and -0.32 a, respectively. The inflexion age reduced from 2.19a in 1992 to 1.97a in 1997 and 1.86 a in 2009. Body length at 50% sexual maturity (L_{50}) diminished from 128.6 mm in 1992 to 116.5 mm in 1997, and 110.5 mm in 2009. The exploitation rates (E) in 1992, 1997 and 2009 were 0.57, 0.62 and 0.58, respectively. It suggested that the stock has been over-exploited since the 1990s. A series of changes of population parameters of *N. bathybius* in the Beibu Gulf indicated that in order to sustain their populations, *N. bathybius* has undergone adaptive changes under high fishing pressure.

Key words: *Nemipterus bathybius*; population parameters; dynamic changes; Beibu Gulf

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