

文章编号: 1000-0615(2018)06-0881-08

DOI: 10.11964/jfc.20171111040

东、黄海星康吉鳗生长、死亡和单位补充量渔获量

麻秋云¹, 牟秀霞¹, 任一平^{1,2*}, 孙远远³

(1. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003;

2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 山东 青岛 266237;

3. 日照市海洋与渔业研究所, 山东 日照 276800)

摘要: 依据2011年、2016年和2017年在东、黄海进行的底拖网调查数据, 研究了星康吉鳗的生长参数、死亡系数和单位补充量渔获量(YPR)。星康吉鳗的体长体质量关系和生长方程的拟合结果表明, 其条件因子 a 估计值为 4.5×10^{-4} , 其异速生长系数 b 的估计值为3.3。其渐近体长 L_{∞} 的估计均值为102 cm, 生长速率 K 的均值为0.21/年, 理论上体长为零时的年龄 t_0 估计均值为-0.19。通过Pauly经验公式求得星康吉鳗的自然死亡系数(M)为0.33。体长转换的渔获曲线求得总死亡系数为3.36, 进而求得现阶段的捕捞死亡系数(F)为3.03, 开发率高达90%。此外求得现阶段星康吉鳗的开捕体长为30 cm, 对应的开捕年龄为1.47龄, 远小于其体质量生长的拐点年龄(3.70龄)和临界年龄(3.39龄)。本研究根据单位补充量渔获量模型, 估计其在不同自然死亡系数和开捕体长的情况下随捕捞死亡系数的变化曲线, 并估算其生物学参考点。随 F 增加, YPR先增加到最大值, 再逐渐减小。现阶段星康吉鳗的YPR为27.14, 而当 M 为0.33时 F_{\max} 估计值为0.38, YPR_{\max} 为52.89, 即将 F 降低为1/8, 可获得将近2倍的YPR; 对应的 $F_{0.1}$ 为0.255, 比 F_{\max} 降低了三分之一, $YPR_{0.1}$ (50.38)只比最大值降低了不足5%。 M 越大, 求得的生物学参考点越大, 可获得的YPR越小; 当开捕体长增加时, F 和YPR都会有不同程度的增加。因此, 现阶段中国东黄海星康吉鳗的开发率过高, 开捕体长过小, 处于过度捕捞的状态。为了维持星康吉鳗种群的生态健康、实现该渔业的可持续发展, 建议大幅削减其捕捞强度, 降低捕捞死亡系数, 同时增加开捕体长。

关键词: 星康吉鳗; 生长; 死亡; 单位补充量渔获量; 东海; 黄海

中图分类号: S 931.1

文献标志码: A

星康吉鳗(*Conger myriaster*)是一种高经济价值的底栖鱼类, 分布于西北太平洋沿岸, 是中国、日本和朝鲜半岛的重要渔获种类, 是一种以底栖动物和游泳动物为食的凶猛鱼类^[1]。在中国, 其渔获方式以延绳钓和鳗鱼笼为主, 也是底拖网和张网的兼捕对象。目前关于星康吉鳗渔业方面的研究并不多, 限于星康吉鳗的摄食生态、渔具选择性、生物学特性、资源分布和养殖基础等^[1-4], 而对于其生长、死亡和资源量的研究较少。

星康吉鳗并没有被纳入中国渔业统计年鉴的统计范畴, 对其渔获量和资源量也缺乏系统的研究。鉴于其极高的经济价值, 关于星康吉鳗的研究越来越受到关注。研究其生长、死亡、资源量动态、渔业现状和渔业管理, 对保持种群的生态健康、获得最大渔获量、维持渔业的可持续发展具有非常重要的意义。

本研究依据2011年在海州湾以及2016年、2017年在东、黄海的底拖网调查数据, 研究星康吉鳗的体长体质量关系和生长方程, 计算其死

收稿日期: 2017-11-10 修回日期: 2018-01-07

资助项目: 中央高校基本科研业务费专项(201612004)

通信作者: 任一平, E-mail: renyip@ouc.edu.cn

亡系数(总死亡系数、自然死亡系数和捕捞死亡系数)和单位补充量渔获量,并据此求出各项生物学参考点,以期为星康吉鳗的渔业管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

依据东、黄海的调查数据计算星康吉鳗生长系数以及生物学参考点,包括2016年10月和2017年1—4月的底拖网调查(图1),共获得样品657尾。根据《海洋调查规范》(第6部分海洋生物调查GB/T 12763.6-2007),测定样本的全长、肛长、总重等生物学参数,并依据耳石测定其年龄。依据2011年3月、5月、7月、9月和12月在海州湾进行的底拖网调查数据计算星康吉鳗的死亡系数,包括生物学数据和同步测量的温度数据,采样和样品分析方法详见文献[1],文中所有星康吉鳗的体长均指其全长。

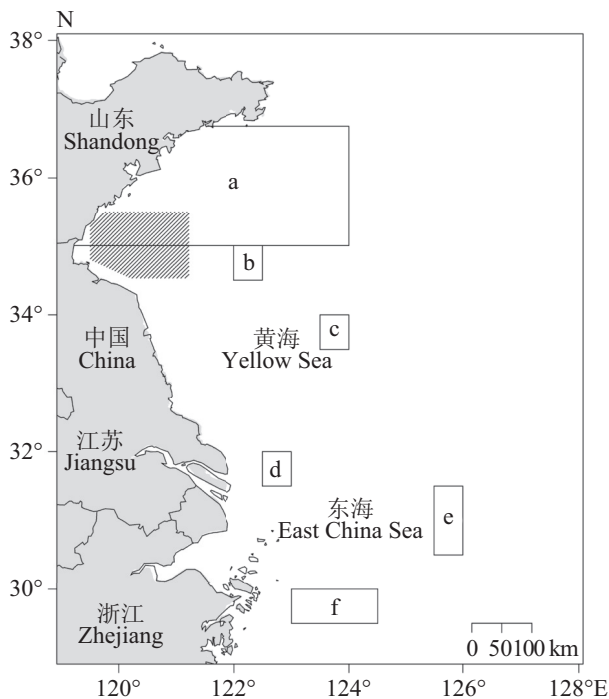


图1 东、黄海星康吉鳗样品的采集区域示意图

6个矩形框(a~f)代表2016和2017年的采样区域。阴影部分区域代表2011年海州湾采样区域

Fig. 1 Survey map of *C. myriaster* in the Yellow Sea and the East China Sea

Six rectangles (a-f) represent the sampling areas in 2016 and 2017. Shade area represents the sampling region Haizhou Bay in 2011

1.2 星康吉鳗的生长系数

体长体质量关系的拟合公式^[5]:

$$W = aL^b e^{\varepsilon} \quad \varepsilon \in N(0, \sigma_w^2) \quad (1)$$

式中, W 是总体质量(g); L 是体长(cm); a 是条件因子; b 是异速生长系数。

体长与年龄的关系采用von Bertalanffy生长方程^[6]来拟合:

$$L_t = L_{\infty} \left(1 - e^{-K(t-t_0)}\right) e^{\varepsilon_t} \quad \varepsilon_t \in N(0, \sigma_t^2) \quad (2)$$

式中, L_t 是年龄 t (年)时的平均体长(cm); L_{∞} 是渐近体长(cm); K 是生长系数,即生长曲线的平均曲率,表示趋近的相对速率(1/年); t_0 是理论上体长和体质量为零时的年龄(年)。

用Bootstrap方法提取各年龄的平均体长数据。在同一龄 t 的样品中,采用500次放回的抽样,每次抽取的样品计算各年龄的平均体长,以此获得每个年龄 t 的500个平均体长数据,用于拟合生长方程。此外依据体长体质量关系和生长方程,计算星康吉鳗的拐点年龄,即达到体质量最大生长速率的年龄。

1.3 星康吉鳗的死亡系数

总死亡系数(Z)通过体长转换的渔获曲线^[7-9]来计算,数据分析用R语言中的程序包TropFishR^[10]来实现,同时求出现阶段星康吉鳗的开捕年龄(t_c)和捕捞选择性(S_t)。

自然死亡系数(M)采用Pauly经验公式^[11]来计算:

$$\ln M = -0.0066 - 0.2790 \ln L_{\infty} + 0.6543 \ln K + 0.4634 \ln T \quad (3)$$

式中 T 为生长环境的水温。因星康吉鳗为底层分布鱼类,因此取底层水温,依据2011年海州湾的环境调查数据,年平均底层水温为(13.94±6.81)°C。

捕捞死亡系数(F)通过总死亡系数和自然死亡系数(M)的差值($F=Z-M$)来求得,开发率(E)为捕捞死亡系数和总死亡系数的比值($E=F/Z$)。此外,结合星康吉鳗的生长参数和死亡系数,计算其临界年龄,即在无捕捞的情况下达到最大资源生物量的年龄。

1.4 单位补充量渔获量

单位补充量渔获量(yield per recruitment, 即YPR)是基于Beverton-Holt动态综合模型来计算的,包括一系列渔获量、生物量和生长的公式和参数:

$$Y = \sum_{t=t_R}^{t_\lambda} W_t C_t \tag{4}$$

$$N_t = N_{t-1} \exp(-FS_t - M) \\ = R \exp \left[\sum_{t_R}^{t-1} (-FS_t - M) \right] \tag{5}$$

$$C_t = \frac{FS_t}{FS_t + M} N_t [1 - \exp(-FS_t - M)] \tag{6}$$

综合公式(4)、(5)和(6), 可得公式(7):

$$\frac{Y}{R} = \frac{1}{R} \sum_{t_R}^{t_\lambda} W_t C_t = \frac{1}{R} \sum_{t_R}^{t_\lambda} W_t \frac{FS_t}{FS_t + M} \cdot \\ [1 - \exp(-FS_t - M)] R \exp \left[\sum_{t_R}^{t-1} (-FS_t - M) \right] \tag{7} \\ = \sum_{t_R}^{t_\lambda} W_t \frac{FS_t}{FS_t + M} [1 - \exp(-FS_t - M)] \exp \left[\sum_{t_R}^{t-1} (-FS_t - M) \right]$$

式中Y是渔获量, R是补充量。本研究中假定星康吉鳗每年的补充量恒定不变, S_t是t龄个体的捕捞选择性, t_λ是最大年龄, t_R是补充年龄。

文献已报道的星康吉鳗最大年龄为8龄^[12], 因此, 本研究将t_λ定为8。基于以上各项参数, 构建YPR与F的模型, 并探讨不同的M对模型的影响。根据构建的模型, 计算YPR的最大值(YPR_{max})和对应的捕捞死亡系数(F_{max})。当YPR的增长率为最大值(F=0时, YPR的增长率最大)的0.1倍时, 对应的F和YPR分别为F_{0.1}和YPR_{0.1}。此外结合对星康吉鳗笼网选择性的研究^[2], 探讨不同开捕体长(即渔具选择率为50%时对应的体长)对星康吉鳗渔业的影响。相关的数据整理、统计分析和图形构建均在R语言程序中完成。

2 结果

用于星康吉鳗生长研究的样品共计657尾, 体长范围为17.6~83.4 cm, 均值为45.73 cm; 体质量范围为5.95~1 121.23 g, 均值为150.86 g; 其中测定年龄的样品为256尾, 年龄范围为1~6龄。分析结果显示星康吉鳗体长体质量关系中的条件因子a的估计值为4.5×10⁻⁴; 变速生长系数b的估计值为3.307(图2)。根据Bootstrap抽得的各年龄平均体长, 拟合得到生长方程(图3)。星康吉鳗的渐近体长L_∞的估计值为102.09 cm; 生长速率的

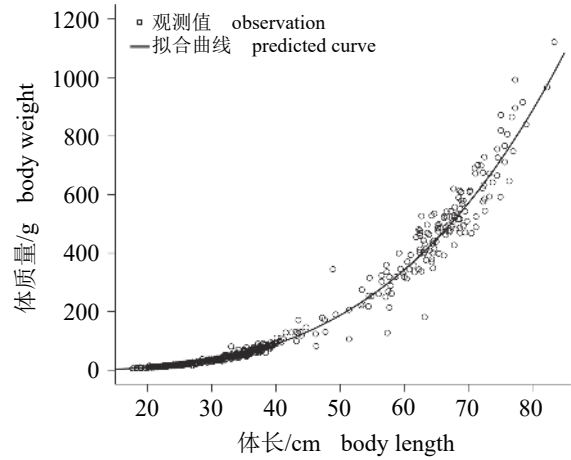


图2 东、黄海星康吉鳗体长体质量关系的拟合曲线
Fig. 2 The weight-length relationships of *C. myriaster* in the Yellow Sea and the East China Sea

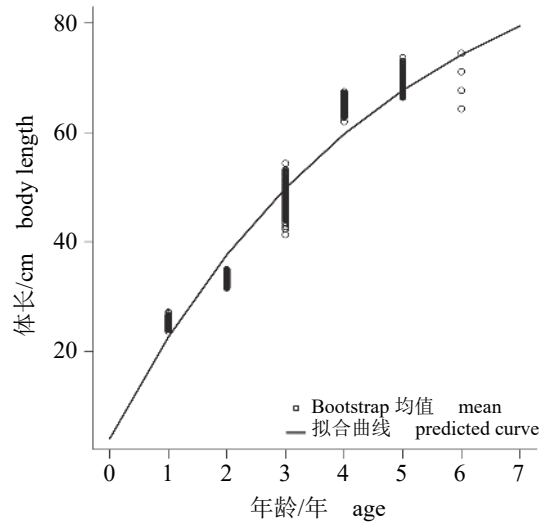


图3 东、黄海星康吉鳗生长曲线
Fig. 3 The length-age relationships of *C. myriaster* in the Yellow Sea and the East China Sea

估计值为0.21/年; 体长体质量理论值为零时的年龄t₀的估计值为-0.19。计算求得星康吉鳗体质量生长的拐点年龄估计均值为3.70龄, 对应的拐点体长和拐点体质量分别为57.0 cm和289.2 g。

根据求得的平均渐近体长102.1 cm、平均生长速率0.21/年和平均底层水温13.94 °C, 求得星康吉鳗的平均自然死亡系数为0.33, 范围为0.24~0.40。结合生长参数求得星康吉鳗的临界年龄为3.39龄, 对应的临界体长为54.0 cm, 临界体质量为241.5 g。

2011年海州湾5个航次的星康吉鳗样品共计715尾, 体长范围为13.8~58.5 cm, 以1 cm为间隔

将其分为45个体长组。通过体长频率求得渔获曲线(图4), 选择最后19个点进行线性回归, 其回归曲线的斜率的绝对值即为星康吉鳗的总死亡系数, 其均值和95%置信区间为3.36 (2.91、3.81), 标准差0.21。通过图4中的渔获曲线求得星康吉鳗的捕捞选择性(图5), 其开捕体长为30 cm, 开捕年龄为1.47龄。根据自然死亡系数和总死亡系数, 求得捕捞死亡系数的平均值为3.03, 开发率平均值为90%。

根据M的平均估计值0.33和0.24~0.40的范

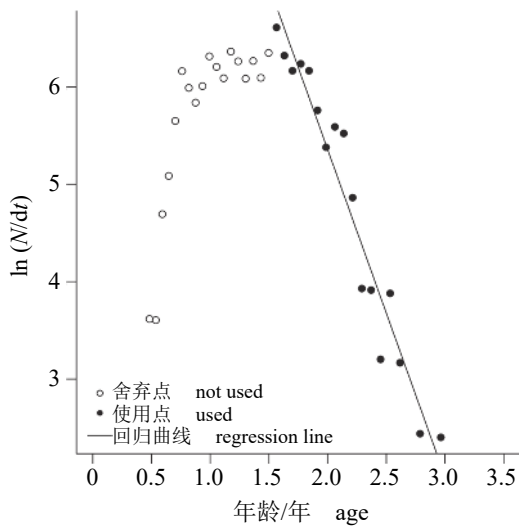


图4 海州湾星康吉鳗体长转化的渔获曲线
Fig. 4 The length-converted catch curve of *C. myriaster* in the Haizhou Bay

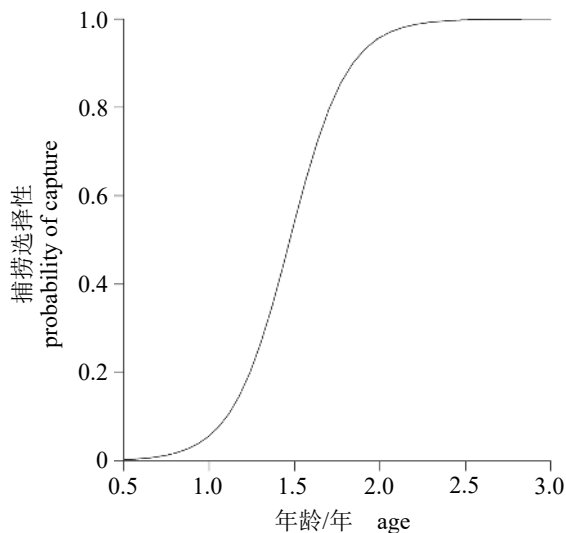


图5 海州湾星康吉鳗的捕捞选择性曲线
Fig. 5 The catch selectivity curve of *C. myriaster* in Haizhou Bay

围, 分别设定其为0.23、0.28、0.33、0.38和0.43, 研究不同M取值下的YPR与F的关系曲线。YPR先随F的增大而迅速增加, 到达最大值后开始逐渐降低(图6)。根据现阶段的F值(3.03), 星康吉鳗的YPR为21.51~34.31, M越大, 对应的YPR越小。

自然死亡系数为平均值0.33时, 对应的 F_{max} 估计值为0.38, 而 YPR_{max} 为52.89; 对应的 $F_{0.1}$ 为0.255, 对应的 $YPR_{0.1}$ 为50.38(表1)。自然死亡系数从0.23增加到0.43时, 对应的 F_{max} 和 $F_{0.1}$ 分别从0.320和0.225增加到0.465和0.290, 对应的 YPR_{max} 和 $YPR_{0.1}$ 则分别从85.31和81.68降低到34.39和32.43。当星康吉鳗笼网的网目从26、33、40 mm增加到55 mm时, 其 L_{50} (即开捕体长)从40 cm增加到67 cm; 根据单位补充量渔获量模型的计算结果, F_{max} 和 $F_{0.1}$ 均不断增加, 分别从0.545和0.325增加到1.375和0.690 ($M=0.33$ 时), 而对应的YPR也在不断增加(表2, 图7)。

3 讨论

本研究表明, 星康吉鳗的条件因子a的95%置信区间为 $4.13 \times 10^{-4} \sim 4.93 \times 10^{-4}$, 而条件因子的值可以反映鱼类的体型, 其中鳗形鱼类的条件因子为 $4.64 \times 10^{-4} \sim 2.25 \times 10^{-3}$ ^[13], 星康吉鳗属于鳗形鱼类中格外细长的体型。星康吉鳗的b的均值和95%置信区间[3.307 (3.282~3.332)]均显著大于3, 表明星康吉鳗属于异速生长, 其体周增长速率比体长增长速率更快, 因此星康吉鳗倾向于越长饱满度越高。Fishbase对星康吉鳗的贝叶斯分析表明, 其条件因子和异速生长参数分别为 5.5×10^{-4} ($3.4 \times 10^{-4} \sim 8.9 \times 10^{-4}$) 和3.22 (3.08~3.36), 本研究的结果均在此范围内^[12]。星康吉鳗的渐近体长估计值为102 cm, 略大于Fishbase记录的在日本近海采集样品的最大体长(100 cm)^[14]。星康吉鳗作为典型的底栖肉食性鱼类^[1], 生长较慢, 生长速率仅为0.21/年。有研究表明, 朝鲜半岛南部海域星康吉鳗的极限肛长是41.52 cm, 相当于体长116.283 cm, 比本研究中的星康吉鳗极限体长略大; 而其肛长生长速率0.15/年, 略慢于东、黄海星康吉鳗的体长生长速率^[15]。因前者采样的朝鲜半岛海域(33.5°~35.5°N)与本研究的东、黄海(29.5°~36.75°N)纬度存在差异, 水温不同使得鱼类生长发育速率和个体大小均存在差异; 另外前者采集的星康吉鳗样本中有肛长达42.1 cm的

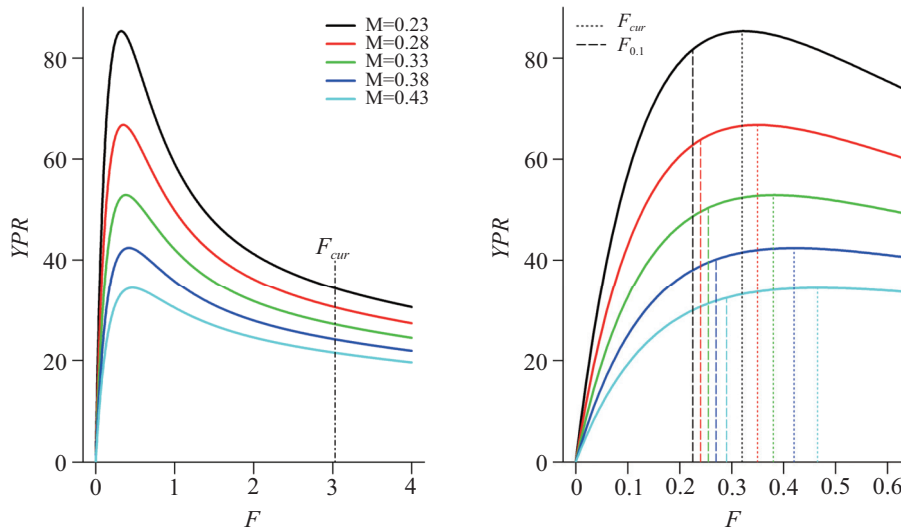


图 6 基于不同自然死亡系数的东、黄海星康吉鳗 YPR 与 F 的拟合曲线

不同自然死亡率(M)用不同颜色表示; F_{cur} 表示现阶段的捕捞死亡系数估计值; 生物学参考点 F_{max} 和 $F_{0.1}$ 分别用点线和断线表示, 右图为左图局部放大($F=0\sim 0.6$)

Fig. 6 Yield per recruitment (YPR) with fishing mortality (F) curves of *C. myriaster* based on different natural mortality in the Yellow Sea and the East China Sea

Different natural mortalities (M) are marked in different colors; F_{cur} means the current fishing mortality estimation; the biological reference points F_{max} and $F_{0.1}$ are presented in dotted lines and broken lines, respectively. The right panel is the zoomed part ($F=0\sim 0.6$) of the left panel

表 1 东、黄海星康吉鳗基于不同自然死亡系数的生物学参考点(保持现阶段的开捕体长 30 cm)

Tab. 1 Biological reference points (F and YPR) of *C. myriaster* based on different natural mortalities M in the Yellow Sea and the East China Sea (the current length at first capture $L_{50}=30$ cm)

M	YPR_{cur}	F_{max}	YPR_{max}	$F_{0.1}$	$YPR_{0.1}$
0.23	34.31	0.320	85.31	0.225	81.68
0.28	30.51	0.350	66.78	0.240	63.84
0.33	27.14	0.380	52.89	0.255	50.38
0.38	24.15	0.420	42.40	0.270	40.14
0.43	21.51	0.465	34.39	0.290	32.43

注: YPR_{cur} 表示基于现阶段捕捞死亡系数所获得的单位补充量渔获量
Notes: YPR_{cur} means the yield per recruitment based on the current fishing mortality

大个体, 而本研究的最大个体肛长仅为 32.1 cm, 这也造成了二者渐近体长的拟合结果存在差异。

本研究利用 Pauly 经验公式求得星康吉鳗的自然死亡系数为 0.33, 结合渔获曲线求得总死亡系数为 3.36, 差值所得为捕捞死亡系数 3.03, 是自然死亡系数的近 10 倍, 表明中国东、黄海海域星康吉鳗资源的开发程度极高, 开发率高达 90%, 已处于过度开发的状态。星康吉鳗体质量

表 2 东、黄海星康吉鳗基于不同开捕体长的生物学参考点(保持平均自然死亡系数为 0.33)

Tab. 2 Biological reference points (F and YPR) of *C. myriaster* based on different length at first capture L_{50} in the Yellow Sea and the East China Sea ($M=0.33$)

L_{50}	F_{max}	YPR_{max}	$F_{0.1}$	$YPR_{0.1}$
30	0.380	52.895	0.255	50.381
40	0.545	63.452	0.325	59.580
48	0.675	67.967	0.385	63.495
56	0.880	71.894	0.475	66.796
67	1.375	74.667	0.690	68.845

生长的拐点年龄为 3.70 龄, 此外没有捕捞的情况下达到最大资源生物量的临界年龄为 3.39 龄, 而现阶段星康吉鳗渔业开捕年龄仅为 1.47 龄, 远小于其初次性成熟年龄 3~4 龄^[4], 因此星康吉鳗的捕捞压力过大, 必会对其资源量状况和种群动力学造成极大的破坏。另外中国缺乏关于星康吉鳗资源量和渔获量的研究, 因此星康吉鳗种群现状和捕捞状态需进一步研究。

基于平均自然死亡系数(0.33), 星康吉鳗要取得最大的单位补充量渔获量(52.89)所需要的捕捞死亡系数为 0.38/年, 对比现阶段的 F 和 YPR,

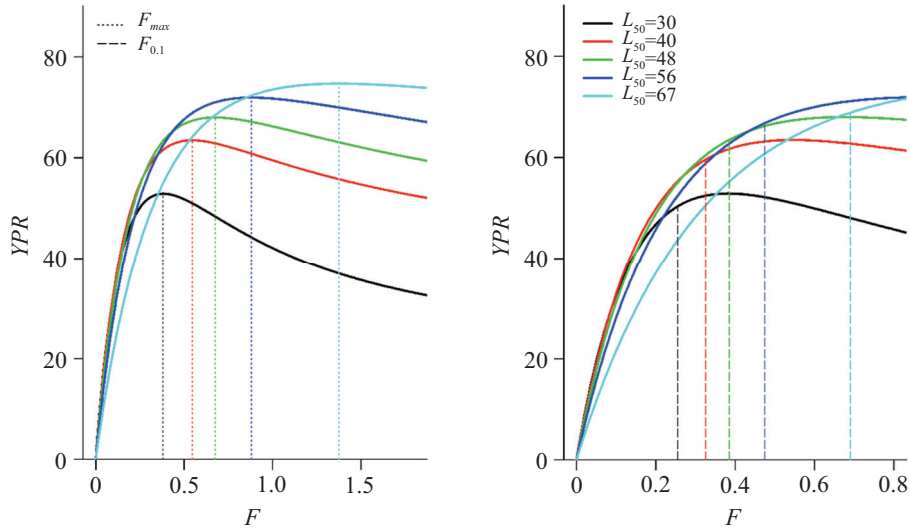


图 7 基于不同开捕体长的东、黄海星康吉鳗 YPR 与 F 的拟合曲线

不同开捕体长(L_{50})用不同颜色表示; 生物学参考点 F_{max} 和 $F_{0.1}$ 分别用点线和断线表示, 右图为左图局部放大($F=0\sim 0.8$)

Fig. 7 Yield per recruitment (YPR) with fishing mortality (F) curves of *C. myriaster* based on different length at first capture L_{50} in the Yellow Sea and the East China Sea

Different length at first capture L_{50} is listed in different colors; the biological reference points F_{max} and $F_{0.1}$ are presented in dotted lines and broken lines, respectively. The right panel is the zoomed part ($F=0\sim 0.8$) of the left panel

表明将 F 降低为现阶段的 $1/8$, 可获得 2 倍的 YPR; 而 $F_{0.1}$ 为 0.255, 比 F_{max} 小了三分之一, 对应的 $YPR_{0.1}$ 为 50.38, 只比最大值降低了不足 5%, 因此 $F_{0.1}$ 是更加保守安全的参考点, 且可以获得接近最大值的 YPR。考虑到采样过程, 样品代表性, 东、黄海环境差异等因素导致的不确定性, 依据自然死亡系数的范围 (0.24~0.40), 求得不同的 YPR-F 曲线, F_{max} 和 $F_{0.1}$ 分别为 0.320~0.465 和 0.225~0.290。且随 M 的增加, F_{max} 会变小, 相应的 YPR_{max} 会略有增加, $F_{0.1}$ 和 $YPR_{0.1}$ 的变化趋势相同。

开捕体长也对渔获物的 YPR 有重要影响, 因此, 在渔业管理中不仅要关注捕捞努力量, 还要考虑不同开捕体长。由于现阶段中国星康吉鳗渔业所用渔具选择性小, 开捕体长仅为 30 cm, 对该渔业资源造成极大的破坏。结合文献对星康吉鳗笼网不同网目的选择性^[2], 研究了增大开捕体长对星康吉鳗渔业生物学参考点的影响。当开捕体长从 30 cm 增加到 40 cm 时 (即鳗笼的网目尺寸为 26 mm), YPR_{max} 增加了 20%, $YPR_{0.1}$ 也增加了 18%; 开捕体长在从 40、48、56 到 67 cm 时, 每个阶段的 YPR_{max} 增长率约为 4%~7%, $YPR_{0.1}$ 的增速约为 3%~7%; 而相对应的 F_{max} 和 $F_{0.1}$ 也都不断增加。

综上所述, 为了维持星康吉鳗种群的生态健康、实现该渔业的可持续发展并获得更高的效益, 建议大幅削减其捕捞力度, 降低捕捞死亡系数, 同时增加开捕体长。例如将 F 从 3.03 降低到 2, 将开捕体长从 30 cm 增加到 40 cm (即开捕年龄从 1.47 龄增加到 2.18 龄, 鳗笼的网目尺寸定为 26 mm), YPR 将从现阶段的 27.14 增加到 51.30, 增加 89%。

动态综合模型是一种非常有效的用于资源评估的模型, 可以为渔业资源的管理提供生物学参考。该模型的实现需要生长参数、死亡系数等一系列的种群特征, 由于这些参数收集计算不易, 因此动态综合模型在国内的应用并不多。孙远远等^[16]运用该模型研究了海州湾大泷六线鱼 (*Hexagrammos otakii*) 的最适开捕体长; 高春霞等^[17]计算淀山湖刀鲚 (*Coilia nasus taihuensis*) 的相对单位补充量渔获量。二者的研究都运用 ELEFAN 和 FiSAT 软件来实现动态综合模型, 而本研究在 R 语言中编程来实现原始 YPR 方程, 并且考虑了不同年龄的捕捞选择性, 而不是将补充和网具选择性采用传统的刀型 (即补充年龄前的捕捞选择性为零, 之后均为 1), 这使得本研究可获得更加详细的研究结果。建议今后的相关研究能通过直观的编程语言来实现, 以便于

增加更多细节, 并根据各鱼种具体的特征进行调整。

感谢水产学院张弛老师在鉴定星康吉鳗样品的年龄和样品的采集与生物学测定过程中给予的指导, 同时感谢水产学院“渔业生态系统监测与评估”研究室的老师和同学们在样品采集和处理分析中的帮助!

参考文献:

- [1] 刘西方, 刘贺, 薛莹, 等. 海州湾星康吉鳗的摄食生态特征[J]. 中国水产科学, 2015, 22(3): 517-527.
Liu X F, Liu H, Xue Y, *et al.* Feeding ecology of *Conger myriaster* in Haizhou Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(3): 517-527(in Chinese).
- [2] 唐衍力, 孙国徽, 赵同阳, 等. 星康吉鳗笼网目选择性研究[J]. 中国水产科学, 2010, 17(1): 136-142.
Tang Y L, Sun G W, Zhao T Y, *et al.* Mesh size selectivity of *Conger myriaster* pot[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2010, 17(1): 136-142(in Chinese).
- [3] 田方. 山东近海星康吉鳗(*Conger myriaster*)延绳钓渔具性能研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
Tian F. Fishing efficiency of white-spotted conger longline fishing gear in Shandong Coastal Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013 (in Chinese).
- [4] 唐逸民, 吴常文. 星鳗*Astroconger myriaster* (Brevoort)的生物学特性与资源分布[J]. 浙江水产学院学报, 1988, 7(1): 19-26.
Tang Y M, Wu C W. On biologic habits and resources distribution of common Japanese conger *Astroconger myriaster* (Brevoort)[J]. *Journal of Zhejiang College of Fisheries*, 1988, 7(1): 19-26(in Chinese).
- [5] Keys A B. The weight-length relation in fishes[J]. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 1928, 14(12): 922-925.
- [6] von Bertalanffy L. A quantitative theory of organic growth (inquires on growth laws II)[J]. *Human Biology*, 1938, 10(2): 181-213.
- [7] Pauly D. Length-converted catch curves: a powerful tool for fisheries research in the tropics (part 1)[J]. *Fishbyte*, 1983, 1(2): 9-13.
- [8] Pauly D. Length-converted catch curves: a powerful tool for fisheries research in the tropics (part 2)[J]. *Fishbyte*, 1984, 2(1): 17-19.
- [9] Pauly D. Length-converted catch curves: a powerful tool for fisheries research in the tropics (III: Conclusion)[J]. *Fishbyte*, 1984, 2(3): 9-10.
- [10] Mildenerberger T K, Taylor M H, Wolff M. TropFishR: Tropical fisheries analysis[EB/OL]. <https://cran.r-project.org/package=TropFishR>. (2017.10.15)
- [11] Pauly D. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 1980, 39(2): 175-192.
- [12] Froese R, Pauly D. FishBase. World Wide Web electronic publication[EB/OL]. <http://www.fishbase.org/search.php>. (2017.10.15)
- [13] Froese R, Thorson J T, Reyes R B J. A bayesian approach for estimating length-weight relationships in fishes[J]. *Journal of Applied Ichthyology*, 2014, 30(1): 78-85.
- [14] Masuda H, Amaoka K, Araga C, *et al.* The Fishes of the Japanese Archipelago[M]. Tokyo, Japan: Tokai University Press, 1984.
- [15] Kim Y H, Lee E H, Kim J N, *et al.* Age and growth of whitespotted conger *Conger myriaster* in the Southern Coastal Waters of Korea[J]. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2011, 44(6): 689-694.
- [16] 孙远远, 咎肖肖, 徐宾铎, 等. 海州湾及邻近海域大泷六线鱼的生长、死亡和最适开捕体长研究[J]. 中国海洋大学学报, 2014, 44(9): 46-52.
Sun Y Y, Zan X X, Xu B D, *et al.* Growth, mortality and optimum catchable size of *Hexagrammos otakii* in Haizhou Bay and its adjacent waters[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2014, 44(9): 46-52(in Chinese).
- [17] 高春霞, 田思泉, 戴小杰. 淀山湖刀鲚的生物学参数估算及其相对单位补充量渔获量[J]. 应用生态学报, 2014, 25(5): 1506-1512.
Gao C X, Tian S Q, Dai X J. Estimation of biological parameters and yield per recruitment for *Coilia nasus-taihuensis* in Dianshan Lake, Shanghai, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(5): 1506-1512(in Chinese).

The growth, mortality and yield per recruitment of white-spotted conger (*Conger myriaster*) in the Yellow Sea and the East China Sea

MA Qiuyun¹, MU Xiuxia¹, REN Yiping^{1,2*}, SUN Yuanyuan³

(1. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes,

Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China;

3. Rizhao Ocean & Fisheries Research Institute, Rizhao 276800, China)

Abstract: The objective of this study was to provide biological reference points for the fisheries management of *Conger myriaster* in Yellow Sea and East China Sea. Specifically, we projected the yield per recruitment (YPR) model for *C. myriaster*, and obtained the biological reference points, such as F_{max} and $F_{0.1}$, and the suggested length of first capture (L_{50}). Through the scientific survey and the commercial fishery survey in the Yellow Sea and East China Sea in 2016 and 2017, 657 individuals of *C. myriaster* were collected and measured for the total length (cm) and weight (g), in which 256 samples were analyzed for their age according to the otoliths. Based on these 657 samples, the weight-length relationships were studied by a power law model. The condition factor a estimate was 4.5×10^{-4} , indicating the slender eel-like body shape of *C. myriaster*, while the estimate of parameter b was 3.3, meaning that *C. myriaster* tends to become relatively fatter or have greater girth as it grows longer. The von Bertalanffy growth model was used to analyze the length-age relationships based on those 256 samples with age data. The asymptotic length L_{∞} was estimated to be 102 cm, and the estimate for t_0 , the age at which weight and length were zero, was -0.19 . The exponential rate K of approach to the asymptotic length was 0.21 per year, indicating the slow growth rate of this larger demersal carnivorous species. Five scientific bottom trawl surveys were conducted in Haizhou Bay in March, May, July, September and December, 2011, in which 715 samples were collected and measured. In order to estimate the instantaneous total mortality rate Z , these samples were used to project the (length-converted) linearized catch curve to length-frequency data. This catch curve indicated that the estimate of Z was 3.36 and the length of first capture (L_{50}) was 30 cm, meaning that the age of first capture is 1.47 years. The Pauly empirical formula evaluated the natural mortality M to be 0.33, according to the above growth parameters and the water temperature. Therefore, the fishing mortality F was 3.03, and the exploitation ratio was 90%. Based on all above estimates for the growth and mortality parameters, the yield per recruitment models were projected for *C. myriaster*. YPR increased to maximum, then decreased, when F kept increasing. Different M (0.23, 0.28, 0.33, 0.38 and 0.43) and different lengths of first capture (30 cm, 40 cm, 48 cm, 56 cm and 67 cm) were considered in the YPR model. When M increased, the estimates for F_{max} and $F_{0.1}$ would increase with smaller YPR, while the increase of L_{50} would result in greater F_{max} , YPR_{max} , $F_{0.1}$, and $YPR_{0.1}$. The current YPR of *C. myriaster* was 27.14. When $M=0.33$, F_{max} was 0.38, one eighth of the current F , while YPR_{max} was 52.89, nearly double of the current YPR. And when $M=0.33$, $F_{0.1}$ was 0.255, 30% smaller than F_{max} , while $YPR_{0.1}$ was smaller than YPR_{max} by 5%. In conclusion, this fishery is undergoing heavy fishing pressure, with less length of first capture and extremely high fishing effort. Therefore, in order to keep this population health and the sustainable development of this fishery, we suggest to decrease the fishing effort largely and increase the length of first capture. For example, if F decreases from 3.03 to 2 and L_{50} increases from 30 to 40 cm, YPR would increase by 89%.

Key words: *Conger myriaster*; growth; mortality; yield per recruitment; East China Sea; Yellow Sea

Corresponding author: REN Yiping. E-mail: renyip@ouc.edu.cn

Funding projects: Fundamental Research Funds for the Central Universities (201612004)