

东海区小黄鱼繁殖模型优化选择及其管理应用研究

张辉^{1,2}, 袁兴伟², 程家骅²

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090)

摘要: 根据 1999–2008 年东海区渔业资源底拖网大面定点调查获取的小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)渔业生物学资料, 利用 AIC(Akaike Information Criterion)与 BIC(Bayesian Information Criterion), 对小黄鱼的 Ricker、Beverton-Holt 和 Cushing 繁殖模型进行了拟合优度检验。针对选择的繁殖模型, 经单因子相关分析和逐步回归分析, 筛选对繁殖模型有重要影响的环境因子, 经模型的拟合和检验, 确定东海区小黄鱼的适用繁殖模型。结果表明: 3 种繁殖模型中, Ricker 繁殖模型更适合模拟小黄鱼亲体与补充量关系, 但吕泗渔场海域 3–4 月平均海水表温、7 月海水表温和 5 月长江径流量、7–8 月长江平均径流量以及当年夏季风速对模型中的补充量有着重要的影响; 优化后的 Ricker 繁殖模型不仅可以提高东海区小黄鱼亲鱼量与补充量的拟合精度, 而且可参考该模型修正当年度小黄鱼的资源管理目标, 提高资源管理的科学性。[中国水产科学, 2010, 17(6): 1300–1308]

关键词: 东海区; 小黄鱼; 亲体量; 补充量; 繁殖模型; AIC; BIC

中图分类号: S917

文献标识码: A

文章编号: 1005–8737–(2010)06–1300–09

近 20 年来, 东海区主要底层经济渔业资源一直处于高强度的利用态势, 强大的捕捞力量投入, 一方面导致了海域主要经济鱼种的衰退; 另一方面也导致了渔业生物群落结构的变更。尽管多年来渔业管理部门已从资源利用的投入控制方面出台了诸如禁渔区和禁渔期、捕捞船网工具指标限制等一系列管理制度, 但主要经济资源种群渔获个体低龄化、小型化的现象仍未得到有效的控制^[1]。究其原因, 除中国捕捞渔船过多、难于管理等客观因素外, 对资源过度捕捞类型认识不足、从渔业生物学角度的允许捕捞量化管理目标不明, 也是当前渔业资源管理中面临的主要技术难题。作为判定资源补充型过度捕捞主要依据^[2]的亲体与补充量关系(Stock and recruitment relationship,

SRR)模型, 即繁殖模型, 一直是国内外渔业资源评估研究领域的关注重点, 相关研究报道较多^[3–5]。中国学者曾先后报道了对虾^[6–8]、中华绒螯蟹^[9]、带鱼^[10–11]、鲢^[12]等物种的亲体与补充量关系。在东海小黄鱼方面, 程家骅等^[13]根据 1991–2002 年小黄鱼上一年度 1 龄以上的资源尾数为亲体量, 当年鱼资源尾数为补充量, 建立了东海区小黄鱼的亲体与补充量关系, 但该研究仅以 Ricker 繁殖模型为基础, 并未就繁殖模型的适用性进行选择研究, 同时也未考虑环境因子对该模型的作用与影响。为此, 本研究以 1999–2008 年东海区渔业资源底拖网大面定点调查获取的小黄鱼渔业生物学资料为基础, 继续探讨小黄鱼繁殖模型的优化选择方案, 着力提高模型精度, 以期今后该鱼种

收稿日期: 2010–03–08; 修订日期: 2010–04–21.

基金项目: 农业部渔业资源动态监测调查项目(1999–2008); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金(中国水产科学研究院东海水产研究所)资助项目(2008T03).

作者简介: 张辉(1983–), 男, 硕士研究生, 从事渔业资源与评估研究. E-mail: zhhui269@126.com

通讯作者: 程家骅, 研究员. E-mail: ziyuan@sh163.net

的资源量化管理目标的制订提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

1.1.1 亲体与补充量(Stock and recruitment, SR) 数据 研究数据取自 1999–2008 年东海区底拖网大面定点调查资料, 每年在春季(4 月)、夏季(6 月)、秋季(9 月)和冬季(12 月)分 4 个季节进行定点调查, 调查范围为 $27^{\circ}00'–33^{\circ}00'N$ 、 $127^{\circ}00'E$ 以西至机轮底拖网禁渔区线之海域, 每 $30' \times 30'$ 设一调查站位, 具体调查水域如图 1 所示。

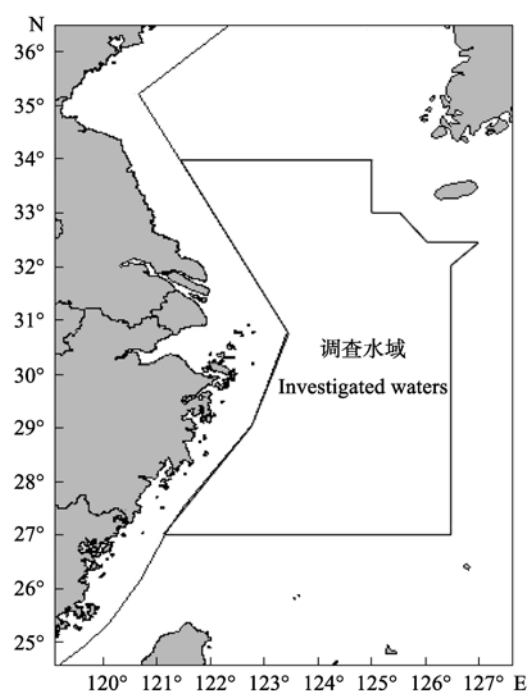


图 1 东海区调查水域示意图

Fig. 1 Diagram of investigated waters in the East China Sea

调查船为 220.5 kW 的双拖钢质渔船, 网具规格为 $100 \text{ 目} \times 400 \text{ cm}$, 网囊网目为 25 mm, 网口高度 20~23 m, 拖速为 3 海里/h, 拖网时间均标准化为 1h, 资源密度指数以实际取样尾数数量(ind/h)表示。

1.1.2 环境数据 作者选取了 1999–2008 年吕泗渔场($32^{\circ}00'–34^{\circ}00'N$, $120^{\circ}30'–122^{\circ}30'E$)海域 3–9 月平均表温、3–9 月长江径流量以及长江口区域

($28^{\circ}00'–32^{\circ}00'N$, $121^{\circ}00'–125^{\circ}00'E$)的当年夏季风(6–8 月)和前一个冬季风(9–5 月)等环境因子作为本研究的环境数据, 主要依据以下几个方面:

(1) 吕泗渔场是中国近海小黄鱼的最大产卵场, 该海域的温度、盐度等环境因子与小黄鱼的补充量有着较为密切的关系^[14];

(2) 长江口区域的径流量对产卵场区域的盐度高低有一定的影响, 进而对补充群体的生长发育有一定影响;

(3) 每年的 3–9 月是东海区小黄鱼性腺发育、生殖以及仔稚鱼育肥的主要时期^[13,15], 也是补充量波动较大的时期;

(4) 长江口区域的夏季风对长江口富含营养冲淡水的向外扩散作用有一定的影响, 此外, 前一个冬季的风力的表层降温 and 垂直混合作用也可能增加光合层营养(特别是磷)的供应而提升春夏季的初级生产, 从而影响了补充群体的营养盐与饵料供应^[16]。

其中, 表温数据来自哥伦比亚大学网站 <http://iridl1.ldeo.columbia.edu> 提供的环境信息, 空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$; 长江径流量数据来源于大通水文站观测数据; 长江季风数据来源于荷兰皇家气象研究所得网站 <http://www.knmi.nl> 提供的数据。

1.1.3 数据预处理

(1) 亲鱼量和补充量

将每个取样点的小黄鱼尾数换算为单位时间数量(ind/h), 即 CPUE, 并对所有调查点的小黄鱼 CPUE 进行正态分布检验。若不具正态分布条件, 则利用 Δ -分布模型法^[17]对 CPUE 进行标准化处理, 估算 CPUE 均值。

由于东海区小黄鱼 1 龄鱼即可性成熟产卵, 产卵高峰期 of 4 月份; 当龄鱼于秋季形成补充群体进入渔场被大量捕捞^[13]。故本研究选取春季小黄鱼生物量为亲鱼量, 选取秋季当龄鱼生物量为补充量。采用 Bhattacharya 方法^[18]估算秋季小黄鱼的补充群体比例, 并对春秋季节小黄鱼 CPUE 调查数据进行标准化处理, 估算 CPUE 均值, 求得各年度亲鱼量和补充量指数, 如表 1 所示。

表 1 1999–2008 年东海小黄鱼补充量与亲体量指数
Tab. 1 Stock and recruitment index of small yellow croaker from 1999 to 2008 in the East China Sea

年份 Year	补充量指数/(ind·h ⁻¹) Recruitment index	亲体量指数/(ind·h ⁻¹) Spawning stock index
1999	1251	400
2000	2564	270
2001	2632	107
2002	550	99
2003	1152	104
2004	927	88
2005	2515	200
2006	2325	266
2007	2198	88
2008	2174	114

(2) 环境因子

对各年份的环境因子, 采用极差相对值进行统一处理, 即各年份的环境因子数值:

$$X'_{it} = \frac{X_{it} - X_{i\min}}{X_{i\max} - X_{i\min}} [9].$$

式中, X_{it} 为 i 年 t 月的环境因子数值; $X_{i\min}$ 为 i 年环境因子数值最小值, $X_{i\max}$ 为 i 年环境因子数值最大值, X'_{it} 为变换后 i 年 t 月的环境因子数值。

1.2 方法

1.2.1 SRR 模型 本研究选用 Ricker 型繁殖模型、B-H 型繁殖模型和 Cushing 繁殖模型^[19]进行优化选择, 其中,

Ricker SRR 模型表达式为: $R = \alpha S e^{-\beta S}$

B-H SRR 模型表达式为: $R = \frac{\alpha S}{1 + \beta S}$

Cushing SRR 模型表达式为: $R = \alpha S^\gamma$

各模型式中, S 为亲体量, R 为补充量, α 、 β 、 γ 分别是模型参数。

1.2.2 SRR 模型参数估算及选择

(1) SRR 模型参数估算

本研究 SRR 模型参数采用最大似然法估算, 与最小二乘法相比, 该方法考虑了模型随机误差的起源及其具体分布形式^[18]。3 种 SRR 模型的似然值可表示为:

$$L(R/\theta) = \prod_{i=1999}^{2008} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[\ln(R_i) - \ln(\hat{R}_i)]^2}{2\sigma^2}}$$

其中, $L(R/\theta)$ 为每个模型补充量 R 的似然值, θ 为模型参数, R_i 和 $\hat{R}_i$ 为第 i 年补充量和相应模型估计的补充量, σ 为标准差。

对于最大似然值估算, 本研究采用对数转化, 进行线性回归求解参数 α 、 β 、 γ 值。

(2) SRR 模型参数选择

模型拟合的优劣往往需要某种指标来评判, 而评判模型拟合优劣的指标有很多, 如 R^2 、AIC 和 BIC 等等^[21]。本研究采用 AIC 与 BIC 法对 SRR 模型进行比较分析, 模型 AIC 与 BIC 最小值者为最适模型。

$$AIC = -2\ln(L) + 2m$$

$$BIC = -2\ln(L) + m\ln(n)$$

其中, L 为最大似然值, m 为模型中参数个数, n 为观测数据个数。

1.2.3 SRR 数据处理方法 采用 FiSAT II 软件中的 Bhattacharya 方法估算 1999–2008 年秋季小黄鱼的补充群体比例, 其余数据处理均采用 SPSS 统计软件和 Excel 软件工具进行。

2 结果与分析

2.1 不同模型的比较选择

根据表 1 中 1999–2008 年的小黄鱼亲鱼量指数与补充量指数数据, 用最大似然法分别对 Ricker、Beverton-Holt 和 Cushing 3 种繁殖模型进行拟合, 拟合的曲线见图 2, 求得的模型参数以及 AIC 与 BIC 检验值分别见表 2。结果显示, 3 种繁殖模型中的 AIC 和 BIC 检验值, 以 Ricker 模型为最小, 说明东海区小黄鱼种群的繁殖模型选用 Ricker 模型最适。

2.2 Ricker 繁殖模型优化

东海区小黄鱼发生、生长受环境条件的影响较大, 为进一步优化和提高 Ricker 繁殖模型精度, 本研究选用东海区小黄鱼主要产卵场和索饵场的吕泗渔场海域 3–9 月平均表温和 3–9 月长江径流量以及长江口区域当年夏季风与前一个冬季风等

环境因子, 以探讨其与小黄鱼补充量间的关系。由于 Ricker 繁殖模型中的补充量与系数 α 为正相关(图 3), 故按通常假设, 补充量与环境因子之间的关系, 可由模型系数 α 与环境因子之间的线性关系表达^[22], 即 Ricker 繁殖模型表达式变化为:

$$R_t = (\alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i X_{it}) S_t e^{-\beta S_t}$$

式中, X_{0t} 、 X_{1t} 、..... X_{it} 为第 t 年的各环境因子指数, α_0 、 α_1 、..... α_i 为各环境条件指数的参数。

将各年度东海区小黄鱼补充量指数与对应的环境要素通过单因子相关性分析, 发现只有 3-4

月平均海水表温指数、7 月海水表温指数、5 月长江径流量指数、7-8 月长江平均径流量指数和当年夏季风速与补充量指数的相关性较高, 如表 3 所示。在此基础上, 再将这些相关性较高的环境因子与补充量进行逐步回归分析发现, 这些环境因素指数与补充量指数之间关系均较显著。

利用最大似然法, 将所选环境因子(表 4)与 Ricker 繁殖模型系数 α 的各参数项进行回归分析, 求得各参数值 $\alpha_0=24.536\ 1$, $\alpha_1=-21.287\ 7$, $\alpha_2=-7.101\ 7$, $\alpha_3=4.755\ 4$, $\alpha_4=15.557\ 6$, $\alpha_5=3.689\ 9$; AIC 和 BIC 检验值分别为 142.493\ 5 和 144.006\ 4。由

表 2 小黄鱼 3 种模型的参数 α 、 β 、 γ 估计值及其 AIC 和 BIC 值
Tab. 2 Estimated α , β , γ , AIC and BIC for the three SRR models of small yellow croaker

模型	Model	α	β	γ	AIC	BIC
Ricker		26.7353	0.0045	—	161.1894	161.7945
B-H		0.0004	0.0190	—	163.2870	163.8922
Cushing		763.0114	—	0.1738	163.7187	164.3239

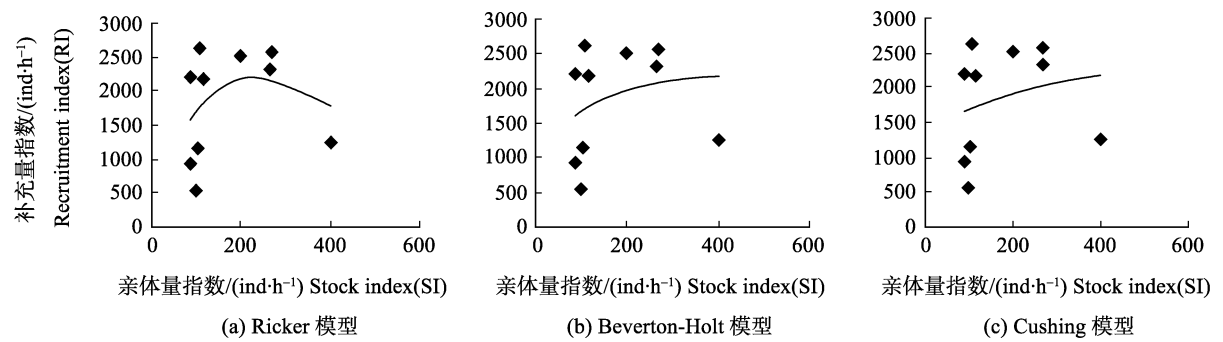


图 2 小黄鱼 3 种亲体补充量模型所拟合的曲线

Fig. 2 Fitness of the curves of three stock and recruitment models of small yellow croaker

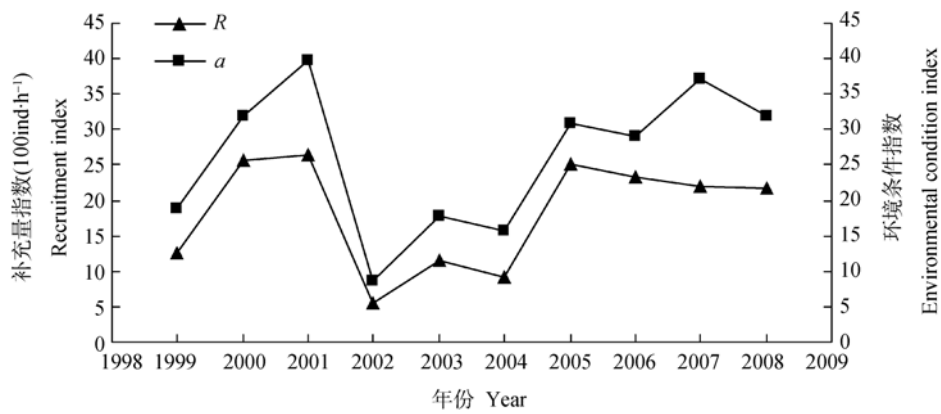


图 3 环境条件指数参数 α_t 与小黄鱼补充量指数 R 变化趋势图

Fig. 3 Variations of environmental conditions index α_t and the recruitment R of small yellow croaker

此, 考虑了环境要素影响后的优化 Ricker 繁殖模型可表达为:

$$R_t = (24.536 - 21.287 X_1 - 7.101 X_2 + 4.755 X_3 + 15.557 X_4 + 3.689 X_5) S_t e^{(-0.0045 S_t)}$$

由该模型可绘制出不同环境条件指数 α_t 条件下的亲体量与补充量关系变化趋势(图 4, 图 5)。从图

中可知, 在亲体量指数一定的情况下, α_t 的变化决定了补充量指数的高低, 即环境条件越好, 亲体孵化率和幼鱼成活率越高, 其补充量越大。

2.3 亲体补充量间的偏相关分析

影响东海区小黄鱼补充量的因素, 除亲体量以外, 环境因子也是一个重要的影响因素。为了

表 3 环境因子与小黄鱼补充量指数相关系数
Tab. 3 Correlation of environmental factors and recruitment index of small yellow croaker

环境因子 Environment factor	月份 Month	径流量相关系数 Correlation index
径流量 Runoff	3 月 Mar,	0.0678
	4 月 Apr.	-0.2377
	5 月 May	-0.6575
	6 月 June	-0.1179
	7 月 July	-0.4659
	8 月 Aug.	-0.5210
	9 月 Sept.	-0.0400
	7-8 月 July-Aug.	-0.6157
表温 Surface temperataure	3 月 March	-0.5044
	4 月 Apr.	-0.4241
	5 月 May	-0.1356
	6 月 June	-0.0557
	7 月 July	0.6538
	8 月 Aug.	0.1825
	9 月 Sept.	-0.0671
	3-4 月 March-Apr.	-0.6047
当年夏季风速 Wind speed of present year	6-8 月 June-Aug.	0.6607
前一个冬季风速 Wind speed of last year	9-5 月 Sept.-May	0.3476

表 4 所选取环境因子指数
Tab. 4 Selected environmental factor index

年份 Year	5 月径流量指数(X_1)	7-8 月径流量指数(X_2)	3-4 月表温指数(X_3)	7 月表温指数(X_4)	当年 6-8 月夏季长江口风速(X_5)
1999	0.4902	1.0000	0.5436	0.4588	0.1530
2000	0.1052	0.3173	0.3294	0.5232	0.5548
2001	0.4902	0.0820	0.5417	1.0000	0.7998
2002	1.0000	0.6262	1.0000	0.5736	0.0000
2003	0.6218	0.4328	0.3009	0.0919	0.6161
2004	0.4309	0.2576	0.3821	0.0000	0.8162
2005	0.3657	0.2365	0.0000	0.9015	0.9863
2006	0.3986	0.0000	0.0554	0.6707	0.8360
2007	0.0000	0.3781	0.4459	0.7238	1.0000
2008	0.1814	0.1762	0.1291	0.5583	0.8884

注: X_1 -5 月径流量指数; X_2 -7-8 月径流量指数; X_3 -3-4 月表温指数; X_4 -7 月表温指数; X_5 -当年 6-8 月夏季长江口风速。
Note: : X_1 -Runoff index of May; X_2 -Runoff index of July-Aug.; X_3 -Surface temperature index of March-Apr.; X_4 -Surface temperature index of June; X_5 -Wind speed in Yangtze River estuary during June to Aug. in the present year.

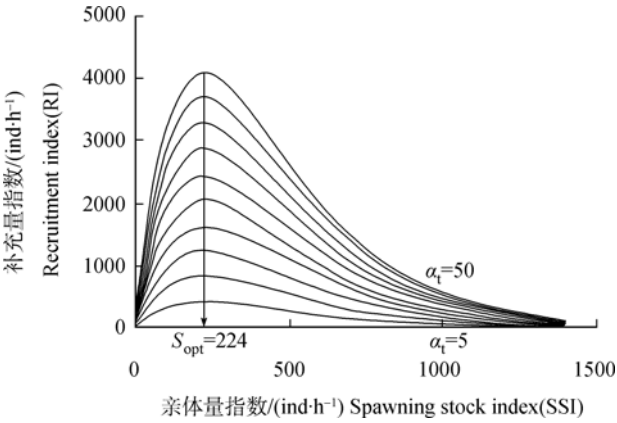


图 4 在不同环境条件下小黄鱼的亲体量指数关系曲线
Fig. 4 Curve of small yellow croaker spawning stock index and recruitment index in the different environmental conditions

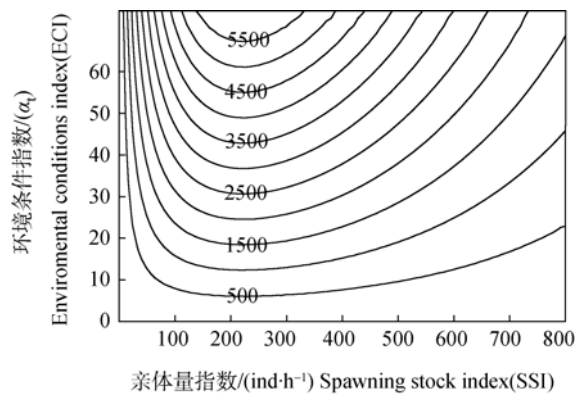


图 5 东海小黄鱼补充量等值线图与补充量指数
Fig. 5 Isopleth diagram curve of small yellow croaker in the East China Sea

进一步了解东海区小黄鱼亲体量与环境因子的主导地位, 本研究将环境因子作为控制变量对东海区小黄鱼亲体补充量关系作偏相关分析, 结果如表 5 所示。

从表 5 可以看出, 其双尾检验显著性水平均大于 0.05, 说明当环境因子作为控制变量时, 东海区小黄鱼亲体与补充量之间的相关性不显著, 即环境因子起主导作用。

2.4 模型精度比较

以 1999–2008 年 10 年间的东海区小黄鱼亲鱼量观测调查值为基准, 对比 Ricker 繁殖模型和经环境因子修正后的 Ricker 繁殖优化模型拟合精度发现, 后者较前者对补充量的拟合效果更好, 如图 6 所示。

表 5 偏相关分析结果表
Tab.5 Result of correlations

控制变量 Control variables	双尾检验显著性水平 Significance(2-tailed)
X_1	0.774
X_2	0.102
X_3	0.871
X_4	0.742
X_5	0.128

注: X_1 –5 月径流量指数; X_2 –7–8 月径流量指数; X_3 –3–4 月表温指数; X_4 –7 月表温指数; X_5 –当年 6–8 月夏季长江口风速。
Note: : X_1 –Runoff index of May; X_2 –Runoff index of July–Aug.; X_3 –Surface temperature index of March–Apr.; X_4 –Surface temperature index of June; X_5 –Wind speed in Yangtze River estuary from June to Aug. in the present year.

2.5 Ricker 繁殖模型的资源管理目标

应用 Ricker 繁殖模型的变换关系式 $S_s = \frac{ae^{-\beta S_s} - 1}{\alpha \beta e^{-\beta S_s}}$, 经反复迭代, 分别估算维持最大持续产量(MSY)指数所需的亲鱼量指数(S_s)。在此基础上, 进一步由关系式 $MSY = S_s (\alpha e^{-\beta S_s} - 1)$ 估算对象种群的资源管理目标。结果显示, 若要维持东海区小黄鱼最大持续产量指数, 不考虑环境因子条件下的 Ricker 繁殖模型计算结果, 所需亲体数量指数 S_s 为 201.63 ind/h, 各年间资源管理目标反演值 MSY 指数为常量 1 974.02 ind/h; 考虑环境因子条件下的 Ricker 繁殖优化模型计算结果, 各年间资源管理目标反演值 MSY 指数为变量, 分别波动于 819~2 967 ind/h 之间(图 7)。

3 讨论

3.1 繁殖模型适用性

选择并构建合适的资源评估模型, 是实现对象种群渔业资源科学管理的基础^[22]。就繁殖模型而言, 从渔业生物生活史的种群结构类型来考虑, 王艳君等^[23]认为, Ricker 模型比较适于 k 选择鱼类种群评估, 而 Beverton-Holt 模型和 Cushing 模型比较适于 r 选择鱼类种群评估。由于目前东海区小黄鱼种群仍然被划归 k 选择^[24], 因此本研究选用 Ricker 模型为小黄鱼最适繁殖模型, 其结果相符生态学基础理论。但是值得引起注意的是, 在研究小黄鱼种群繁殖模型适用性时发现, 3 种

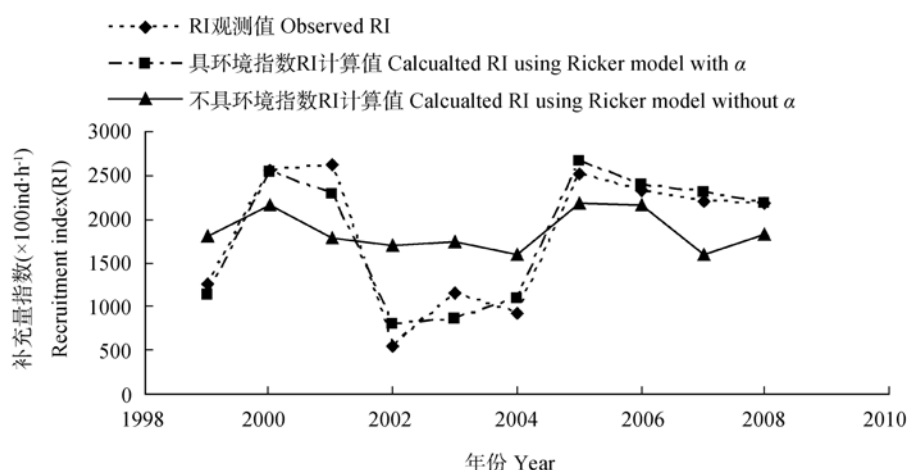


图 6 1999–2008 年东海区小黄鱼 Ricker 繁殖模型及其优化模型的补充量拟合值

Fig. 6 Comparison between observed and predicted recruitment of small yellow croaker in the East China Sea (1999–2008)

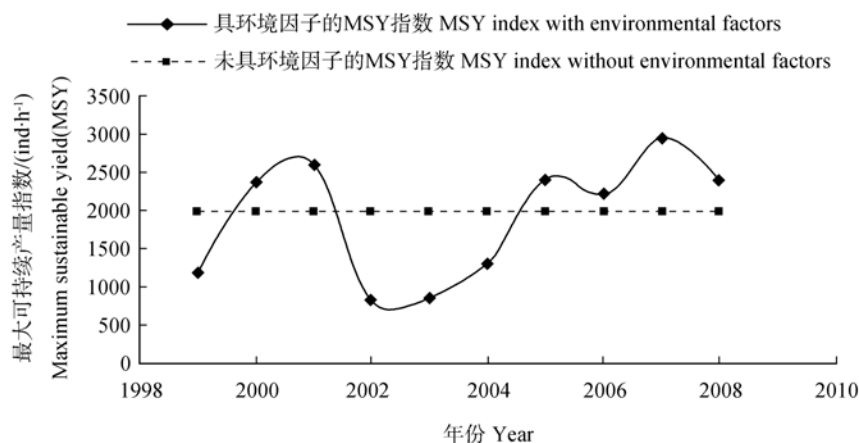


图 7 1999–2008 年环境因子对东海区小黄鱼 MSY 指数影响示意图

Fig. 7 Plot of impacts of environmental factors on MSY index of small yellow croaker in the East China Sea (1999–2008)

模型的 AIC 与 BIC 检验值相差很小。该结果提示, 小黄鱼种群属性可能存在着由 k 选择向 r 选择演变的风险。实际上, 现有的调查研究结论已经证明了这种预警, 即由于捕捞强度的不断加剧, 东海区小黄鱼资源结构显现了个体小型化、低龄化、性成熟提早的趋势^[25]。如果这种趋势进一步加剧, 其后果是东海区小黄鱼的最适繁殖模型将不再是 Ricker 模型, 而是 Beverton-Holt 模型或者 Cushing 模型。

3.2 环境因子对提高繁殖模型拟合度的作用

对于补充量主要由当龄鱼构成的鱼类种群, 其年间补充量通常受环境因子的影响较大^[20]。从偏相关分析的结果中可以看出, 补充量主要由环境因子主导。对于这一点, 作者认为主要是由于

近几年小黄鱼的亲体量处于较低的水平, 且小黄鱼的亲体补充量数据有限(只有 10 年数据), 从而导致小黄鱼亲体量对于补充量的影响处于较次的地位。对于环境因子的选择, 本研究借鉴了国内外部分学者的经验^[12,26], 选择了小黄鱼主要产卵场、索饵场的海水表温、长江径流量以及长江口季风风速三类可能影响补充量的环境因子来修正模型。研究结果表明, 5 月和 7–8 月长江径流量, 3–4 月和 7 月吕泗渔场海水表温以及当年夏季风速对补充量有着显著的影响, 且 5 月经流量和 7 月表温的影响权重相对更大(从优化的 Ricker 模型系数中可以看出)。图 6 结果显示, 与未考虑环境因子影响的 Ricker 繁殖模型相比, 经环境因子优化

后的 Ricker 繁殖模型, 其拟合的补充量模型预测值更接近实际调查观测值。由此可见, 合适的环境因子选用, 对于修正小黄鱼繁殖模型、提高其拟合精度有着非常重要的作用。至于小黄鱼补充量与 5 月和 7–8 月长江径流量、3–4 月和 7 月吕泗渔场海水表温以及当年夏季风速的相关性较好的原因。作者分析认为, 主要是由于环境因素对小黄鱼仔、稚、幼鱼的成活率影响所致。一般地, 海水鱼类幼体的活动能力相对较弱, 该生活史阶段, 其栖息海域中的饵料多寡、温度和盐度适合与否, 对幼体能否正常发育生长和当龄鱼种群丰度起着十分关键的作用。从东海区小黄鱼的生活史分析, 5–8 月是产卵孵化后小黄鱼仔稚幼鱼幼体主要栖息在沿岸和近海海域, 此阶段正是每年长江径流量和栖息海域海水温度的快速增幅期, 同时也是夏季风影响较大的时期。如果 5 月起径流量高于常年, 则吕泗渔场的盐度就会相对偏低, 进而影响小黄鱼幼鱼的发育生长质量和存活率; 同样当夏季海水温度高于常年, 则有利于小黄鱼幼鱼在沿岸和近海的快速生长。此外, 当夏季风速高于常年, 就会将长江口区域的营养盐和饵料大幅度扩散至小黄鱼的产卵场, 进而有利于小黄鱼幼鱼的生长发育。关于这些判断, 可由李建生等^[14]关于东海北部小黄鱼索饵群体分布特征以及 Qiu 等^[16]关于径流量和季风变化对东海渔业生产力影响的研究结论得到佐证。

3.3 Ricker 繁殖优化模型的资源管理应用

传统的 Ricker 繁殖模型是基于对象种群多年间的亲鱼量和补充量信息而建立的关系模型, 其评估的 MSY 值在模型反演过程中是一个稳定不变的常量, 通常该值被用作为下年度或今后近几年的资源管理目标, 这对于 k 选择或补充量受环境因素不大的种群而言较为适用。而目前东海区小黄鱼资源的现状是, 其种群主要由当年生的当龄鱼所构成, 渔业的利用主体也绝大多数是补充群体^[13], 因此本研究在对其 Ricker 繁殖模型的优化过程中, 充分考虑了环境因子对小黄鱼补充量的影响, 并在传统 Ricker 繁殖模型的基础上, 进一步优化改进了该模型。由图 7 可见, 考虑环

境因子条件下的 Ricker 繁殖优化模型, 其评估的 MSY 值在模型反演过程中各年间的变量以及环境的差异性决定了年间 MSY 值的差异。据此, 对于渔汛主汛期为秋冬季、利用主体为当年鱼资源的小黄鱼而言, 今后在对其年度资源管理策略应用方面, 先期可执行传统 Ricker 繁殖模型评估的 MSY 管理目标, 重在亲鱼量管理; 年中再根据获得的相关环境因子和当年亲鱼量水平, 利用 Ricker 繁殖优化模型重新评估其 MSY 值, 并以此作为秋冬汛东海区小黄鱼的资源管理目标依据, 加强补充量管理, 提高资源管理的精准性。由此可见, 东海区小黄鱼 Ricker 繁殖优化模型的研究应用, 对于该资源的可持续利用和科学管理具有十分重要的理论意义和现实的应用价值。

参考文献:

- [1] 林龙山, 郑元甲, 程家骅, 等. 东海区底拖网渔业主要经济鱼类渔业生物学的初步研究[J]. 海洋科学, 2006, 30(2): 22–25.
- [2] Schnute, J. A general theory for the analysis of catch and effort data[J]. Can J Fish Aqu Sci, 1985, 42: 414–429.
- [3] Zheng J, Gordon H K. Stock-recruitment for three major Alaskan crab stocks[J]. Fish Res, 2003, 65: 103–121.
- [4] Gjøsæter H, Bogstad B. Effects of the presence of herring (*Clupea harengus*) on the stock-recruitment relationship of Barents Sea capelin (*Mallotus villosus*) [J]. Fish Res, 1998, 38: 57–71.
- [5] Larry D J, Alec D M. Stock-recruitment models for Pacific sardine (*Sardinops sagax*) [J]. Can J Fish Aqu Sci, 1995, 52: 566–577.
- [6] 邓景耀, 朱金声, 任胜民. 渤海对虾亲体与补充量(SRR)动态特性的研究[J]. 中国水产科学, 1996, 3(2): 20–26.
- [7] 邓景耀, 庄志猛, 朱金声. 渤海对虾发生量与补充量动态特征的研究[J]. 动物学研究, 1999, 20(1): 46–49.
- [8] 刘海映, 李培军, 王文波, 等. 辽东湾中国对虾亲体与补充量关系[J]. 水产科学, 1993, 12(6): 1–3.
- [9] 詹秉义, 陈亚明, 戴小杰. 长江口中华绒螯蟹蟹苗资源的数量波动及其合理利用[J]. 上海水产大学学报, 1999, 8(4): 322–328.
- [10] 马永钧. 东海群系带鱼亲体与补充量的关系[J]. 浙江水产学院学报, 1989, 8(2): 79–85.
- [11] 徐汉祥, 刘子藩, 周永东. 东海带鱼生殖和补充特征的变

- 动[J]. 水产学报, 2003, 27(4): 322–327.
- [12] 郑芳, 刘群, 王艳君. 环境因子对黄海鲈鱼亲体-补充量关系影响的初步研究[J]. 南方水产, 2008, 4(2): 15–20.
- [13] 程家骅, 林龙山, 凌建忠, 等. 东海区小黄鱼伏季休渔效果及其资源合理利用探讨[J]. 中国水产科学, 2004, 11(6): 554–560.
- [14] 李建生, 林龙山, 程家骅. 东海北部秋季小黄鱼分布特征及其与底层温度和盐度的关系[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 348–356.
- [15] 林龙山, 程家骅, 姜亚洲, 等. 黄海南部和东海小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 产卵场分布及其环境特征[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3485–3494.
- [16] Qiu Y S, Wang Y Z, Chen Z Z. Runoff- and monsoon-driven variability of fish production in East China Seas[J]. Estuarine, Coast Shelf Sci, 2008, 77: 23–34.
- [17] 袁兴伟, 姜亚洲, 严利平. 东海区刺鲷资源密度不同估算方法的差异比较[J]. 海洋渔业, 2009, 31(1): 10–15.
- [18] Bhattacharya C G. A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components[J]. Biometrics, 1967, 23(1): 115–135.
- [19] Haddon M. Modelling and Quantitative Methods in Fisheries [M]. Hobart: Chapman & Hall/CRC, 2001.
- [20] 王艳君, 刘群, 任一平. AIC 和 BIC 在亲体-补充量模型选择中的应用及比较[J]. 中国海洋大学学报, 2005, 35(3): 397–403.
- [21] 陈思扬. 时间序列计量模型优劣比较方法的建立[J]. 商业现代化, 2009, 569: 86–88.
- [22] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [23] 王艳君. 渔业种群亲体与补充量关系研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] Marteinsdottir G, Thorarinsson K. Improving the stock-recruitment relationship in Icelandic cod (*Gadus morhua*) by including age diversity of spawners[J]. Can J Fish Aqu Sci, 1998, 55(6): 1372–1377.

Optimizing selection and application of reproduction model of small yellow croaker in the East China Sea

ZHANG Hui^{1,2}, YUAN Xingwei², CHENG Jiahua²

(1. College of Marine Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Key and Open Laboratory of Marine and Estuarine Fisheries, Ministry of Agriculture, Shanghai 200090, China)

Abstract: Based on time series of abundances collected from demersal trawling surveys in the East China Sea from 1999 to 2008, the author studied the relationship between stock and recruitment of the small yellow croaker in the East China Sea using Ricker, Beverton-Holt and Cushing reproduction models. The best relationship was selected using AIC (Akaike Information Criterion) and BIC (Bayesian Information Criterion) methods, respectively, which had the advantage of testing the significance of the difference between the functions of different model specifications. The environmental factors influencing the relationship between stock and recruitment, were selected using single factor correlation analysis and stepwise regression analysis. The result indicated that the Ricker reproduction model was the best among the three reproduction models. The environmental factors could obviously influence the relationship between stock and recruitment, including the average SST from March to April, and July of the sea area in Lusi fishing ground, the average runoff on May, July and August of Yangzi River and the speed of the summer monsoon in the very year. The optimized model not only increased the precision of predication ability of stock-recruitment model, but also could be used to improve the management objective of the stock. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(6): 1300–1308]

Key words: the East China Sea; small yellow croaker; spawning stock; recruitment; reproduction model; AIC; BIC

Corresponding author: CHENG Jiahua. E-mail: ziyuan@sh163.net