宋大德, 汪金涛, 陈新军, 等. 时间序列分析模型在黄海南部小黄鱼资源量预测中的应用[J]. 海洋学报, 2020, 42(12): 26–33, doi:10.3969/j.issn.0253−4193.2020.12.003

Song Dade, Wang Jintao, Chen Xinjun, et al. Application of time series analysis model on stock prediction of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in the southern Yellow Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2020, 42(12): 26–33, doi:10.3969/j.issn.0253−4193.2020.12.003

时间序列分析模型在黄海南部小黄鱼资源量预测中的应用

宋大德[1,2], 汪金涛[1], 陈新军[1], 仲霞铭[2], 熊瑛[2*], 汤建华[2], 吴磊[2]

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 江苏省海洋水产研究所, 江苏 南通 226007)

摘要: 本文选取 2003−2014 年黄海南部帆式张网小黄鱼渔获量的监测数据, 运用时间序列分析模型 ARIMA (1, 2, 0) 进行拟合及预测, 并用 2015−2016 年小黄鱼年单位捕捞努力量渔获量值进行验证。结果显示, 2003−2014 年的小黄鱼年单位捕捞努力量渔获量模拟值与真实值接近, 相关系数为 0.881 (p<0.05), 相关性显著; 2015 年和 2016 年预测值分别为 47.66 kg/网和 49.16 kg/网, 与实际值 (51.10 kg/网和 40.05 kg/网) 相对误差分别为 6.73% 和 22.75%, 总体相对误差为 14.74%。表明 ARIMA (1, 2, 0) 模型对黄海南部小黄鱼渔获量时间序列的变化趋势进行拟合和预测是可行的, 在短期预测方面更具优势。不同时间序列数据 ARIMA 模型的 p、d、q 值不尽一致, 在数据分析时不能简单地套用固定模型, 应根据相关理论指导和分析, 确定适宜的 p、d、q 值。

关键词: 小黄鱼; 资源量; 时间序列分析; ARIMA 模型; 黄海南部

中图分类号: S917.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253−4193(2020)12−0026−08

1 引言

小黄鱼(*Larimichthys polyactis*)属硬骨鱼纲(OSTEICHTHYES)、鲈形目(Perciformes)、石首鱼科(Sciaenidae)、黄鱼属(*Larimichthys*), 广泛分布于东海、黄海和渤海近底层水域, 也是中、日、韩三国共同利用的主要经济鱼种, 在我国近海海洋渔业中具有重要的地位, 曾为我国“四大渔业”之一[1]。20 世纪 50−80 年代, 小黄鱼资源经历了从成熟期到衰退期的演变, 主要由于 70 年代后捕捞强度增大和环境恶化的影响。20 世纪 90 年代后, 我国实施了禁渔期、禁渔区和保护区等系列手段以保护小黄鱼的产卵场和补充群体, 其资源得到了有效保护[2], 产量逐年上升。21 世纪以来, 小黄鱼产量处于居高不下的态势, 与之相伴随的是小黄鱼低龄化、小型化和性成熟提前等日益凸显的特征[3−4], 如若不及时控制捕捞强度改变此种状况, 小黄鱼渔业很有可能面临崩溃的风险[5−6]。因此, 基于长周期的资源监测调查对小黄鱼资源动态进行研究, 明确其资源量以有效控制捕捞强度, 对当前渔业管理具有重要的参考意义。

迄今为止, 在小黄鱼资源评估方面缺乏较为系统的定量研究[7−11], 且其中大多是采用基于调查设计的方法, 用扫海面积法来评估一个年度春、夏、秋、冬四季资源的时空变化; 基于模型的评估方法则较少应用, 仅见于剩余产量模型、贝叶斯模型等方法[5,12−13]。而在基于模型的方法中, 时间序列分析模型相对于静态处理统计方法在分析和处理方面具有无可比拟的优势, 随着数值方法和计算机的发展, 已经形成了一

收稿日期: 2020−03−25; **修订日期:** 2020−07−01。

基金项目: 国家自然科学基金(31802297); 江苏省六大人才高峰项目(NY-031); 农业农村部专项——东海区海洋渔业资源调查与监测研究专项; 江苏省农业农村综合信息统计监测调查; 江苏省水生野生动物普查专项(ZYHB16-2)。

作者简介: 宋大德(1997—), 男, 江苏省徐州市人, 主要从事渔业资源生物学研究。E-mail: 1315822749@qq.com

*** 通信作者:** 熊瑛, 研究员, 主要从事海洋渔业资源研究。E-mail: yxiongshfu@126.com

套完整的分析和预测体系[14], 在渔情预报渔获量预测方面已有较好的应用[15−19], 且与人工神经网络、贝叶斯模型相比, 时间序列分析模型表现出更高的精度[20]。

帆式张网(学名: 单锚张纲张网)是黄海南部最主要的捕捞形式之一, 其作业原理是根据捕捞对象的生活习性和作业区域的水文条件, 将网敷设在海中鱼、虾类等的洄游通道上, 依靠水流的作用, 迫使捕捞对象进入网囊中; 其作业位置并非一直固定不变, 而是随着鱼群分布变化而转移作业场所。2008−2015 年《中国渔业统计年鉴》显示, 张网类渔具捕捞量仅次于拖网类、刺网类, 位居第三位, 占我国近海海洋捕捞量的 12%～13%; 曾有学者用张网渔获监测数据估算东海区小黄鱼总允许渔获量[21] 和最大持续产量[12] 及分析黄海南部小黄鱼时空分布特征[2], 以上研究均已为小黄鱼渔业资源管理提供了积极的指导作用。本文利用 2003−2016 年黄海南部帆式张网小黄鱼渔获监测数据, 应用时间序列 ARIMA(Autoregressive Integrated Moving Average , ARIMA)模型, 对黄海南部小黄鱼资源量进行拟合和预测, 旨在为小黄鱼的有效管理和可持续利用提供科学依据。

2　材料和方法

2.1　数据来源

数据来源于江苏省海洋水产研究所 2003−2016 年 1−12 月(伏休期除外)黄海南部帆式张网小黄鱼渔获监测资料。监测船为“苏启渔 02420”“苏启渔 03203”“苏启渔 02105”“苏启渔 02377”“苏启渔 03650”; 所用网具为帆式张网, 渔具规格 220 m×200 m(网口装扎周长×纵向网衣拉直长度), 最大网目尺寸 700 mm(网口), 向后沿纵向依次递减至 25 mm(网囊); 2003−2016 年黄海南部帆式张网监测船数、航次数和总投网次数详见表 1。监测范围涉及黄海南部吕泗渔场、大沙渔场、长江口渔场以及沙外渔场和江外渔场紧邻 125°E 的我国渔船可生产海域(图 1)。

表 1　2003−2016 年黄海南部帆式张网监测船数、航次数和总投网次数

Table 1　The number of monitoring vessel by canvas stow net, voyage and hauls from 2003 to 2016 in the southern Yellow Sea

年份	监测渔船数量/艘	航次数/次	总投网次数/网
2003	2	34	1 908
2004	2	25	1 897
2005	2	31	1 749
2006	2	30	1 722
2007	2	31	2 015
2008	2	32	2 202
2009	2	32	2 012
2010	2	35	2 005
2011	2	30	2 756
2012	4	34	2 268
2013	2	32	1 502
2014	2	32	3 035
2015	3	37	3 422
2016	2	36	2 892

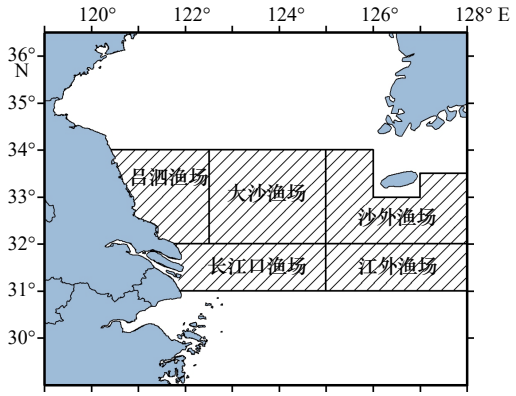

图 1　2003−2016 年黄海南部帆式张网调查区域所涉渔场

Fig. 1　The fishing grounds surveyed by canvas stow nets in the southern Yellow Sea from 2003 to 2016

2.2　数据分析

2.2.1　数据处理

单位捕捞努力量渔获量(Catch Per Unit Effort, CPUE)为每年小黄鱼渔获量除以相应投放网口数, 以该 CPUE 值作为黄海南部海域小黄鱼资源的丰度指标[22]。主要运用 SPSS24、Eviews8.0 和 Arcmap10.4 软件进行数据处理。

采用 ARIMA 模型对小黄鱼年 CPUE 进行时间序列拟合及预测, 该方法的基本思路是: 对于非平稳的时间序列, 用若干次阶差分使其成为平稳序列, 再用 ARMA(p, q)对该序列建模。

2.2.2　ARIMA(p, d, q)模型

一个 ARIMA(p, d, q)过程包括自回归项(p)、差分阶数(d)和移动平均项(q), 一般情况下, p、d、q 各参数的值不超过 2, 否则会导致数据失真, 用数学公式表示如下:

$$A(B)\nabla^d y(t) = C(B)e(t), \tag{1}$$

$$A(B) = 1 - a_1 B - a_2 B^2 - \cdots - a_p B^p, \tag{2}$$

$$C(B)=1-c_1B-c_2B^2-\cdots-c_pB^p, \quad (3)$$

式中，$y(t)$、$e(t)$分别表示原序列和白噪声序列；B 是滞后算子，满足表达式：$B^n y(t)=y(t-n)$，$n=1, 2, \cdots, n$；$\nabla^d=(1-B)^d$ 是 d 阶差分，$d=1$，进行一次差分处理，即令 $z1(t)=\nabla y(t)=y(t)-y(t-1)$；$d=2$，进行两次差分处理，即 $z2(t)=\nabla^2 y(t)=\nabla z1(t)=z(t)-z(t-1)$，依此类推。

Box-Jenkins 法应用于时间序列建模，预测的过程如下 5 个步骤逐级进行：

（1）数据的预处理：包括差分平稳化处理和零均值化处理，这一步骤是使该序列满足时间序列建模的前提条件。

（2）模型结构的辨识：根据不同模型自相关函数（Autocorrelation Function, ACF）和偏相关函数（Partial Autocorrelation Function, PACF）的性质（表 2），确定模型的阶数。AR（p）和 MA（q）模型的区别在于其所依据的变量不同，AR 模型依据滞后序列进行预测，而 MA 模型依据误差数据序列的未来变化进行预测；多数情况下这两种模型需要结合使用，就形成了 ARMA（p, q）模型。上述 3 种模型都是基于平稳的时间序列建立的，当时间序列数据不平稳时，就需要用到 ARIMA（p, d, q）模型对数据预处理，如步骤（1）。

表 2 中，拖尾是指 ACF 或 PACF 随着时滞 k 的增加呈现指数衰减并趋于 0，而截尾则是指 ACF 或 PACF 在某步之后全部为 0。

表 2 4 类模型的相关函数性质

Table 2 The correlation function properties of four types of models

模型系数	AR (p)	MA (q)	ARMA (p, q)	ARIMA (p, d, q)
ACF	拖尾	q阶截尾	拖尾	非平稳时间序列
PACF	p阶截尾	拖尾	拖尾	

（3）模型参数估计：本文采用最小二乘法估计模型的参数，最小二乘法就是根据一组 X 和 Y 的观测值，选择 Y 的逼近函数 $f(x^i; b, c, \cdots)$ 使得偏差的平方和最小，确定逼近函数中的参数 $b, c, \cdots$，以确定 Y 和 X 之间的经验关系。如下式：

$$Y=b+c_1X+c_2X^2+c_3X^3+\cdots+c_iX^i\ (i=1, 2, 3, \cdots), \quad (4)$$

式中，b 和 $c_1, c_2, \cdots, c_i$ 代表常数。

（4）模型检验：通过对原时间序列与所建模型之间误差序列是否有随机性的检验来实现；若模型检验不能通过，则需要回到步骤（2）重新进行模型结构的鉴别。

（5）模型预测：利用所建立的合适模型导出其预测模型，应用于实际预测。

3 结果

3.1 时间序列的平稳性检验

对水平序列、一阶差分序列和二阶差分序列进行单位根检验，结果如表 3。

表 3 水平序列和差分序列单位根检验表

Table 3 Unit root test of horizontal sequence and difference sequence

数据处理	单位根检验	1%显著水平	5%显著水平	10%显著水平
水平序列	−2.766 2	−4.200 1	−3.175 4	−2.729 0
一阶差分序列	−4.337 7	−4.297 1	−3.212 7	−2.747 7
二阶差分序列	−6.318 4	−4.420 6	−3.259 8	−2.771 1

从表 3 中可以看出，水平序列的单位根检验 t 值为−2.766 2 明显大于其 1% 水平值，水平序列存在单位根，所以水平序列不平稳。经过一阶差分后的序列 t 值略微小于其 1% 水平值。经过二阶差分后的序列 t 值明显小于其 1% 水平值。初步判定模型为 ARIMA（p, 2, q）模型。

3.2 时间序列的 ACF 和 PACF 图

运用 SPSS 软件，绘制出二阶差分序列的 ACF 和 PACF 图（图 2），由图 2 中 ACF 图可以看出：当延迟期数大于 1，其自相关系数位于置信度区间内，因此黄海南部 2003−2014 年小黄鱼年 CPUE 二阶差分序列的自相关系数是 1 阶截尾的。由 PACF 图可以看出其系数值都处在置信度区间内，处于拖尾状态，因此 ARIMA 模型的 q 值为 0。对本研究序列建立 ARIMA（1, 2, 0）和 ARIMA（2, 2, 0）。

3.3 ARIMA 模型拟合及检验

利用 SPSS 对模型 ARIMA（1, 2, 0）和 ARIMA（2, 2, 0）进行拟合，运行结果显示：ARIMA（1, 2, 0）模型贝叶斯信息准则（Bayesian Information Criterion, BIC）值为 6.031，ARIMA（2, 2, 0）模型 BIC 值为 6.345。依据贝叶斯信息准则，ARIMA（1, 2, 0）模型拟合的效果较好。利用最小二乘法法对 ARIMA（1, 2, 0）模型进行参数估计（表 4）。由表 3 得其数学表达式为：$y_t=-0.714-1.006y_{t-1}+e_t$。

通过观察模型的残差 ACF、PACF 图（图 3）检测模型适应性，从图 3 中分析可知，残差自相关函数和偏相关函数均落在置信区间内，残差序列为白噪声过程。因此，用该模型拟合得较好，可将原时间序列中

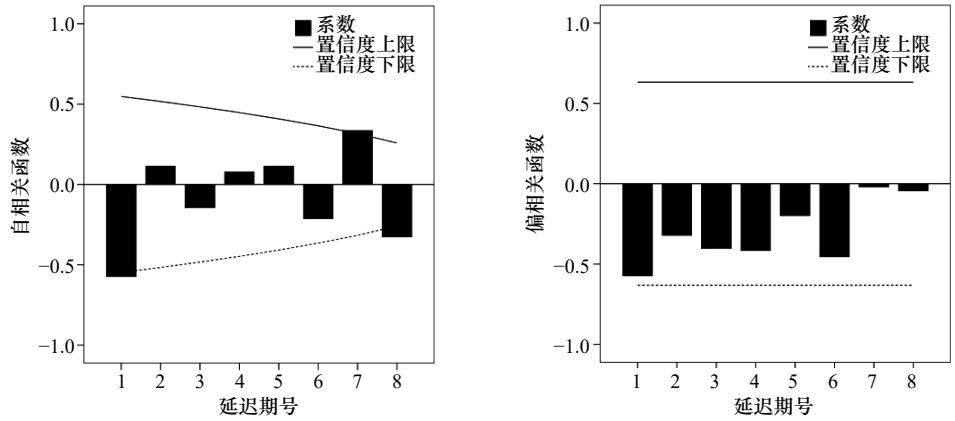

图 2　二阶差分序列的自相关函数(ACF)和偏相关函数(PACF)图

Fig. 2　The ACF and PACF diagrams of second order difference sequence

表 4　ARIMA（1，2，0）模型参数估计表

Table 4　The parameter estimation of the ARIMA (1, 2, 0) model

模型	参数	估计值	标准误
ARIMA(1, 2, 0)	AR1	−1.006	2.969
	常数项	−0.714	0.246

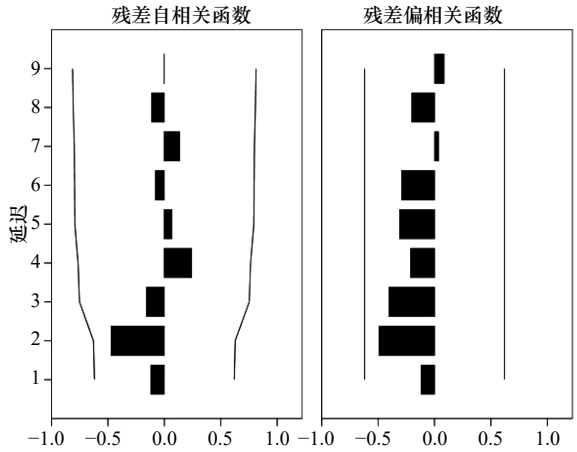

图 3　ARIMA(1, 2, 0)模型残差序列自相关函数(ACF)和偏相关函数(PACF)图

Fig. 3　The ACF and PACF diagrams of the ARIMA (1, 2, 0) model residual sequence

所蕴含的相关性充分提取出来。综上分析，可确定 ARIMA(1, 2, 0)为最佳模型。

3.4　ARIMA 模型预测

运用 ARIMA(1, 2, 0)模型，对 2003−2014 年黄海南部小黄鱼年 CPUE 时间序列进行拟合，结果如图 4，拟合值与实际值相关系数为 0.881，且相关性显著(p<0.05)。对 2015−2016 年黄海南部小黄鱼年 CPUE 值进行预测，模型预测值分别为 47.66 kg/网和 49.16 kg/网，与实际值 51.10 kg/网和 40.05 kg/网的相

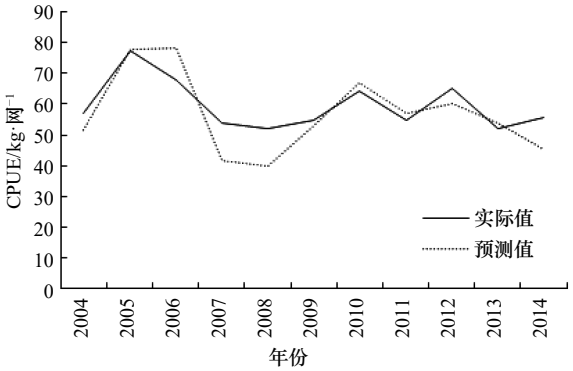

图 4　2003−2014 年黄海南部小黄鱼年 CPUE 模型拟合值与实际值关系

Fig. 4　The relationship between simulated and actual CPUE of small yellow croaker in the southern Yellow Sea from 2003 to 2014

对误差分别为 6.73% 和 22.75%，总体相对误差为 14.74%。因此，可说明运用 ARIMA(1, 2, 0)模型能有效地对黄海南部小黄鱼年 CPUE 拟合和预测。

4　分析与讨论

2003−2016 年黄海南部帆式张网的监测数据显示，小黄鱼年 CPUE 值的变化趋于平稳，表明近 14 年小黄鱼渔获产量并没有出现下降的态势。这与《中国渔业统计年鉴》中江苏海域小黄鱼产量一直居高不下的趋势一致，亦与严利平等[23]在小黄鱼资源研究中认为“小黄鱼资源自 20 世纪 90 年代后半期以来处于稳定丰厚期”的结论一致，究其原因：其一，高强度捕捞是造成黄海小黄鱼渔获量较高的主要因素[24]；其二，我国政府自 1995 年以来实施伏季休渔制度并不断调整优化，并于 2010 年设立“吕泗渔场小黄鱼银鲳国家级水产资源保护区”等举措对小黄鱼资源起到增殖效果[2, 23]；其三，张吉喆[25]认为中韩两国 2001 年签署的

《中华人民共和国政府和大韩民国政府渔业协定》，对小黄鱼资源也起到了很好的养护作用；其四，小黄鱼 1 龄鱼性成熟比例和个体绝对繁殖力显著提高，这对小黄鱼的资源补充能力提升起到了关键作用[6]。过度捕捞是诱导小黄鱼生命史特征演变的关键因素，许多开发性鱼类资源因过度捕捞而衰退甚至枯竭[26]。鉴于此，应加强小黄鱼资源评估，选取最优模型和参数配置对管理措施下的现行资源状况进行正确评估和精准预测，以确保真正实现渔业资源种群结构的好转和合理化。

通过比较扫海面积法、剩余产量模型、贝叶斯模型和时间序列模型在小黄鱼资源评估上拟合和预测效果，逐一分析了各类评估方法和模型使用时的缺陷，以及影响评估效果的因素。采用扫海面积法评估小黄鱼资源状态的文章较少，林龙山[8]曾用扫海面积法对东海区小黄鱼资源量进行估算，但实际产量与估算结果相差较大；关丽莎等[27]曾用扫海面积法和地阶广义线性混合模型分别对黄海南部小黄鱼资源量进行评估，结果表明模型估算精度比扫海面积法估算的要高。分析其原因认为，扫海面积法中所使用小黄鱼的可捕系数不仅受其昼夜垂直移动特征影响[27]，还与栖息水域、首次性成熟年龄[28]以及个体大小[29]等有关。

多数研究者采用剩余产量模型对小黄鱼资源状况进行评估，其中参数估计是影响模型预测精度的主要因素，如自然死亡系数 M 对生长方程中的参数、生物参考点估计影响较大，进而造成模型预测结果的偏差[30]。林龙山[8]研究 2002 年东海区域小黄鱼资源，估算 M 值为 0.58；周永东等[12]研究 1996−2009 年东海区域小黄鱼资源，估算 M 值约为 0.12；高春霞等[31]研究 2016 年浙江南部近海小黄鱼资源时估算 M 值为 1.34。上述研究中小黄鱼自然死亡系数 M 值偏离较大，笔者认为，除调查水域小黄鱼栖息水温因素影响外，更有可能是估算 M 值的方程由于调查区域不同、年代变迁等因素出现不适用性。例如，詹秉义等[32]曾在 1984 年评估绿鳍马面鲀资源时推导出 M 值的线性回归方程，该方程在多种渔业资源群体中一直沿用至今，其中包括小黄鱼群体。基于上述 M 值变化的分析，笔者认为该线性方程可能已不适用于当前我国小黄鱼资源群体评估。日本学者田中昌一提出采用年龄数据估算鱼类自然死亡系数 M 值的线性回归方程需要更多的、更新的数据进行及时修正，否则参数设置所得出的评估结果作为渔业管理参考依据将会影响渔业资源可持续利用管理决策的正确性[33]。官文江和吴佳文[34]采用剩余产量模型对印度洋黄鳍金枪鱼资源评估时发现，形状参数很难被估计，而且随着数据时间段变化，形状参数的最佳取值差别很大。使用模型过程中参数估算的不确定性是无法避免的，需采用更为科学准确的方法降低不确定性，此后有学者开始采用贝叶斯方法试图解决这一问题[35−37]，贝叶斯方法充分考虑了模型和参数值存在的不确定性，其参数后验分布集合了其他参数所有可能值，因此可以提高模型评估的可信度。

时间序列是一组依赖于时间 t 的随机变量，这组随机变量所具有的自相关性和依存关系表征了预测对象发展的延续性，用相应的数学模型近似描述这种相关性，就可以从时间序列的过去值，预测其将来的值[38]。时间序列分析是一种数据驱动的方法，Bakker 等[39]采用多种模型研究地下水流问题时，发现时间序列分析模型较常规评估模型不仅简单，而且拟合效果更好。董江水和诸英富[16]曾基于统计数据用时间序列分析模型对江苏省河蟹总产量进行预测，模型拟合值与实际值的相关系数为 0.995，产量预测相对误差为 3.8%，相较本文模型拟合与预测结果要高，其原因可能是本文的原始时间序列数据取自固定监测样本船，相较统计数据波动性较大，因此模型的拟合值与实际值间的相关性就会被削弱，致使预测精度下降。但本模型预测精度近 90%，进一步表明帆式张网监测船渔获数据适用于时间序列分析模型的预测。

需要注意的是，即使是同一海域、同一物种，同一时间序列数据也不能简单套用时间序列分析模型，不同时间序列数据 ARIMA 模型的 p、d、q 值不尽一致，应根据相关理论指导和分析，对具体的资料进行详尽分析以确定适宜的 p、d、q 值[40]。本文构建的 ARIMA(1, 2, 0)模型通过了适应性检验，能较好地拟合黄海南部小黄鱼资源量的变动趋势，说明时间序列模型用于渔业资源量预测是可行的，但由于 ARIMA 模型的局限性，在短期预测方面更具优势[38]。

参考文献：

[1] 郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海区生物资源环境底层生物资源[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003.
Zheng Yuanjia, Chen Xuezhong, Cheng Jiahua, et al. The Bottom Biological Resources in the East China Sea[M]. Shanghai: Shanghai

Science & Technical Publishers, 2003.
[2] Xiong Ying, Zhong Xiaming, Tang Jianhua, et al. Migration and population structure characteristics of the small yellow croaker *Larimichthys polyactis* in the southern Yellow Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2016, 35(6): 34−41.
[3] 张国政, 李显森, 金显仕, 等. 黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化[J]. 生态学报, 2010, 30(24): 6854−6861.
Zhang Guozheng, Li Xiansen, Jin Xianshi, et al. Changes of biological characteristics of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in the central and southern Yellow Sea[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(24): 6854−6861.
[4] 李忠炉, 金显仕, 单秀娟, 等. 小黄鱼体长−体质量关系和肥满度的年际变化[J]. 中国水产科学, 2011, 18(3): 602−610.
Li Zhonglu, Jin Xianshi, Shan Xiujuan, et al. Inter-annual changes on body weight-length relationship and relative fatness of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(3): 602−610.
[5] 李九奇, 叶昌臣, 王文波, 等. 基于Bayes方法的东海小黄鱼资源评析[J]. 上海海洋大学学报, 2011, 20(6): 873−882.
Li Jiuqi, Ye Changchen, Wang Wenbo, et al. A stock assessment of small yellow croaker by Bayes-based Pella-Tomlinson model in the East China Sea[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2011, 20(6): 873−882.
[6] 严利平, 刘尊雷, 张辉, 等. 小黄鱼生物学特征与资源数量的演变[J]. 海洋渔业, 2014, 36(6): 481−488.
Yan Liping, Liu Zunlei, Zhang Hui, et al. On the evolution of biological characteristics and resources of small yellow croaker[J]. Marine Fisheries, 2014, 36(6): 481−488.
[7] 程炎宏, 樊伟. 东海区海洋捕捞产量的时间序列分析研究[J]. 中国水产科学, 2001, 8(3): 31−34.
Cheng Yanhong, Fan Wei. Study of time-serial analysis of marine capture yield in East China Sea region[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2001, 8(3): 31−34.
[8] 林龙山. 东海区小黄鱼现存资源量分析[J]. 海洋渔业, 2004, 26(1): 18−23.
Lin Longshan. Analysis on extant abundance of small yellow croaker *Pseudosciaena polyactis* in the East China Sea[J]. Marine Fisheries, 2004, 26(1): 18−23.
[9] 张寒野, 刘勇, 程家骅. 应用改进的Leslie法估算东海区小黄鱼资源量[J]. 海洋渔业, 2012, 34(3): 357−360.
Zhang Hanye, Liu Yong, Cheng Jiahua. Biomass assessment of *Larimichthys polyactis* in the East China Sea region by improved Leslie method[J]. Marine Fisheries, 2012, 34(3): 357−360.
[10] 袁兴伟, 刘尊雷, 杨胜龙, 等. 基于对数正态分布理论上的小黄鱼三种资源密度估算方法比较[J]. 海洋渔业, 2012, 34(1): 15−22.
Yuan Xingwei, Liu Zunlei, Yang Shenglong, et al. Comparative study on estimating stock density of *Larimichthys polyactis* in the East China Sea based on lognormal theory[J]. Marine Fisheries, 2012, 34(1): 15−22.
[11] 李凡, 李显森, 赵宪勇. 底拖网调查数据的Delta-模型分析及其在黄海小黄鱼和银鲳资源评估中的应用[J]. 水产学报, 2008, 32(1): 145−151.
Li Fan, Li Xiansen, Zhao Xianyong. Bottom trawl survey data analysis based on Delta-distribution model and its application in the estimation of small yellow croak and silver pomfret in Yellow Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(1): 145−151.
[12] 周永东, 徐汉祥, 潘国良, 等. 东海区鲳鱼、小黄鱼资源量及其持续渔获量的估算[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2013, 32(1): 1−5.
Zhou Yongdong, Xu Hanxiang, Pan Guoliang, et al. Biomass estimates and MSY of silvery pomfret, small yellow croaker calculated in the East China Sea[J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2013, 32(1): 1−5.
[13] 刘尊雷, 袁兴伟, 杨林林, 等. 亲体量和环境对东海小黄鱼补充成功率的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(2): 588−600.
Liu Zunlei, Yuan Xingwei, Yang Linlin, et al. Effect of stock abundance and environmental factors on the recruitment success of small yellow croaker in the East China Sea[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(2): 588−600.
[14] 陈新军, 高峰, 官文江, 等. 渔情预报技术及模型研究进展[J]. 水产学报, 2013, 37(8): 1270−1280.
Chen Xinjun, Gao Feng, Guan Wenjiang, et al. Review of fishery forecasting technology and its models[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(8): 1270−1280.
[15] 张瑜. 基于生态足迹模型的山东省海洋渔业资源可持续利用研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
Zhang Yu. Study on the marine fishery resources in Shandong province based on ecological footprint[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
[16] 董江水, 诸英富. 时间序列分析模型在江苏省河蟹总产量预测中的应用[J]. 金陵科技学院学报, 2008, 24(3): 102−105.
Dong Jiangshui, Zhu Yingfu. Application of time series analysis model on total yield of Chinese mitten-handed crab in Jiangsu Province[J]. Journal of Jinling Institute of Technology, 2008, 24(3): 102−105.
[17] 刘中华, 王庆, 黄伟健. 武汉东湖鱼产量时间序列模型及回归分析[J]. 生态科学, 2006, 25(1): 52−55.
Liu Zhonghua, Wang Qing, Huang Weijian. Time series models and regressive analysis of fish yield in Lake Donghu, Wuhan[J]. Ecologic Science, 2006, 25(1): 52−55.
[18] Georgakarakos S, Haralabous J, Valavanis V, et al. Loliginid and ommastrephid stock prediction in Greek waters using time series analysis techniques[J]. Bulletin of Marine Science, 2002, 71(1): 269−287.
[19] Ciepielewski W. Use of time series analysis in forecasting fish catch in some Pomeranian lakes[J]. Archiwum Rybactwa Polskiego, 1999, 7(1): 15−33.
[20] Georgakarakos S, Koutsoubas D, Valavanis V, et al. Time series analysis and forecasting techniques applied on loliginid and ommastrep-

hid landings in Greek waters[J]. Fisheries Research, 2006, 78(1): 55−71.
[21] 林龙山, 王小勇, 马春艳. 东海区小黄鱼总允许渔获量初探[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(2): 30−32.
Lin Longshan, Wang Xiaoyong, Ma Chunyan. A preliminary study on total allowable catch (TAC) of *Pseudosciaena polyactis* in the East China Sea region[J]. Marine Environmental Science, 2006, 25(2): 30−32.
[22] Bertrand A, Josse E, Bach P, et al. Hydrological and trophic characteristics of tuna habitat: Consequences on tuna distribution and longline catchability[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2002, 59(6): 1002−1013.
[23] 严利平, 刘尊雷, 金艳, 等. 延长拖网伏季休渔期的渔业资源养护效应[J]. 中国水产科学, 2019, 26(1): 118−123.
Yan Liping, Liu Zunlei, Jin Yan, et al. Effects of prolonging the trawl net summer fishing moratorium period in the East China Sea on the conservation of fishery resources[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(1): 118−123.
[24] 刘笑笑, 王晶, 徐宾铎, 等. 捕捞压力和气候变化对黄渤海小黄鱼渔获量的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2017, 47(8): 58−64.
Liu Xiaoxiao, Wang Jing, Xu Binduo, et al. Impacts of fishing pressure and climate change on catches of small yellow croaker in the Yellow Sea and the Bohai Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(8): 58−64.
[25] 张吉喆.《中韩渔业协定》框架下两国相互入渔的分析研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
Zhang Jizhe. The analysis of Chinese and Korea fishing under the framework of “China-ROK Fisheries Agreement”[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
[26] 郑元甲, 陈雪忠, 程家骅, 等. 东海大陆架生物资源与环境[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003, 472−488.
Zheng Yuanjia, Chen Xuezhong, Cheng Jiahua, et al. The Living Resources and Environment of the Continental Shelf in the East China Sea[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 2003: 472−488.
[27] 关丽莎, 单秀娟, 金显仕, 等. 昼夜垂直移动对黄海中南部小黄鱼可捕系数的影响[J]. 海洋学报, 2018, 40(2): 53−60.
Guan Lisha, Shan Xiujuan, Jin Xianshi, et al. The effects of diel vertical movements on the catchability of small yellow croaker in the middle and south Yellow Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2018, 40(2): 53−60.
[28] Aranceta-Garza F, Arreguín-Sánchez F, Seijo J C, et al. Determination of catchability-at-age for the Mexican Pacific shrimp fishery in the southern Gulf of California[J]. Regional Studies in Marine Science, 2020, 33: 100967.
[29] Van Poorten B T, Walters C J, Ward H G M. Predicting changes in the catchability coefficient through effort sorting as less skilled fishers exit the fishery during stock declines[J]. Fisheries Research, 2016, 183: 379−384.
[30] 官文江, 吴佳文, 曹友华. 利用后向预报方法分析印度洋黄鳍金枪鱼资源评估模型[J]. 中国海洋大学学报, 2020, 50(2): 52−59.
Guan Wenjiang, Wu Jiawen, Cao Youhua. Evaluating the stock assessment and management quality of Indian Ocean yellowfin tuna with hindcasting method[J]. Periodical of Ocean University of China, 2020, 50(2): 52−59.
[31] 高春霞, 麻秋云, 田思泉, 等. 浙江南部近海小黄鱼生长、死亡和单位补充量渔获量[J]. 中国水产科学, 2019, 26(5): 925−937.
Gao Chunxia, Ma Qiuyun, Tian Siquan, et al. Growth, mortality and yield per recruitment of small yellow croaker in offshore waters of southern Zhejiang[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2019, 26(5): 925−937.
[32] 詹秉义, 楼冬春, 钟俊生. 绿鳍马面鲀资源评析与合理利用[J]. 水产学报, 1988, 10(4): 409−418.
Zhan Bingyi, Lou Dongchun, Zhong Junsheng. An assessment of the filefish population and rational exploitation of the resource[J]. Journal of Fisheries of China, 1988, 10(4): 409−418.
[33] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
Zhan Bingyi. Fishery Resource Assessment[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995.
[34] 官文江, 吴佳文. 剩余产量模型形状参数对印度洋黄鳍金枪鱼资源评估的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(2): 298−304.
Guan Wenjiang, Wu Jiawen. Impacts of shape parameter of surplus production model on stock assessment of Indian Ocean yellowfin tuna[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(2): 298−304.
[35] Griffiths S P, Kuhnert P M, Venables W N, et al. Estimating abundance of pelagic fishes using gillnet catch data in data-limited fisheries: a Bayesian approach[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2007, 64(7): 1019−1033.
[36] 官文江, 朱江峰, 田思泉. 应用贝叶斯生物量动态模型评估印度洋黄鳍金枪鱼资源[J]. 中国水产科学, 2018, 25(3): 621−631.
Guan Wenjiang, Zhu Jiangfeng, Tian Siquan. Assessment of the Indian Ocean yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) using a Bayesian biomass dynamic model[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(3): 621−631.
[37] Guan Wenjiang, Tang Lin, Zhu Jiangfeng, et al. Application of a Bayesian method to data-poor stock assessment by using Indian Ocean albacore (*Thunnus alalunga*) stock assessment as an example[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2016, 35(2): 117−125.
[38] 石美娟. ARIMA模型在上海市全社会固定资产投资预测中的应用[J]. 数理统计与管理, 2005, 24(1): 69−74.
Shi Meijuan. The application of ARIMA model in investing forecast in fixed assets of Shanghai[J]. Application of Statistics and Management, 2005, 24(1): 69−74.
[39] Bakker M, Schaars F. Solving groundwater flow problems with time series analysis: you may not even need another model[J]. Groundwater, 2019, 57(6): 826−833.
[40] 孟凡强. ARIMA模型在空气污染指数预测中的应用[J]. 统计与决策, 2009(7): 33−35.
Meng Fanqiang. Application of the ARIMA model in the prediction of air pollution index[J]. Statistics and Decision, 2009(7): 33−35.

Application of time series analysis model on stock prediction of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) in the southern Yellow Sea

Song Dade[1,2], Wang Jintao[1], Chen Xinjun[1], Zhong Xiaming[2], Xiong Ying[2], Tang Jianhua[2], Wu Lei[2]

(1. *College of Marine Sciences*, *Shanghai Ocean University*, *Shanghai* 201306, *China*; 2. *Jiangsu Marine Fisheries Research Institute*, *Nantong* 226007, *China*)

Abstract: In this paper, the time series analysis model ARIMA (1, 2, 0) was applied to simulate and predict the stock of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) based on the monitoring catches data of canvas stow net in the southern Yellow Sea from 2003 to 2014 and verified by the monitoring catches data of 2015 and 2016. The results showed that the simulated and actual values for the catch yield from 2003 to 2014 were correlated significantly (p<0.05) and the correlation coefficient was 0.881. The relative error between predicted and actual value in 2015 and 2016 were respectively 6.73% and 22.75%, the overall relative error was 14.74% and the regression equation fitted the real situation better, which illustrated that the time series analysis model ARIMA (1, 2, 0) can be applied to simulate the catches trend of *L. polyactis* and predict the catch stock, especially superior in short-term forecasting. However, in any case the fixed model of *L. polyactis* is not always suitable for all data analysis, and the values of p, d and q in ARIMA model are considered to be variable according to different time series. Therefore, the optimal values of p, d and q should be determined based on the guidance and analysis of relevant theories in order to avoid copying directly the fixed model.

Key words: small yellow croaker; stock; time series analysis; ARIMA model; the southern Yellow Sea