

文章编号: 1674-5566(2019)01-0154-07

DOI:10.12024/jsou.20170602086

基于灰色系统的澳洲鲈太平洋群系资源量预测模型

张 畅¹, 陈新军^{1,2,3,4}

(1. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306; 2. 农业部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306; 3. 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306; 4. 农业部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘 要: 利用 1995—2014 年日本中央水产研究所提供的澳洲鲈 (*Scomber australasicus*) 太平洋群系资源量与渔获量数据, 结合索饵场和产卵场的海表面温度以及黑潮指标等, 建立 6 种基于灰色系统的澳洲鲈资源量预测模型。建立的模型包括不考虑任何环境因子的 GM(1,1) 模型, 分别基于索饵场 (140°E ~ 160°E, 35°N ~ 50°N) 海表面温度 SST1、产卵场 1 (130°E ~ 132°E, 30°N ~ 32°N) 海表面温度 SST2、产卵场 2 (138°E ~ 141°E, 34°N ~ 35°N) 海表面温度 SST3 和黑潮潮位差 TR 的 GM(1,2) 模型, 以及综合以上 4 个因子的 GM(1,5) 模型, 6 种模型的平均误差分别为 6.72%, 3.73%, 4.41%, 4.78%, 29.56%, 19.38%。研究表明, 基于索饵场、产卵场海表面温度因子建立的灰色预测模型, 对澳洲鲈太平洋群系资源量预报精度较高, 可应用于后续渔业生产中。对 GM(1,5) 模型的灰色参数值 a 、 b 分析可知, 所有因子中 SST2 和 SST3 对模型的制约影响最高, 即对资源量的影响最大。产卵场温度与资源量具有较高的相关性, 结合最适温度, 可推测在该适宜温度范围内资源量随着产卵场温度的升高而增加。可见, 全球气候变暖海水温度升高, 可能对澳洲鲈资源波动存在积极影响。

关键词: GM 模型; 澳洲鲈; 太平洋群系; 产卵场海表面温度; 黑潮潮位差

中图分类号: S 932.4 **文献标志码:** A

澳洲鲈 (*Scomber australasicus*) 广泛分布于太平洋海域, 在中国、日本、澳大利亚和新西兰等国的沿海海域均有分布^[1-3]。在北太平洋, 澳洲鲈主要分为东海群系和太平洋群系。太平洋群系分布在日本沿太平洋一侧海域, 主要捕捞国家有日本和韩国, 其产量一直保持在较为平稳的状态^[4]。澳洲鲈喜高温高盐, 温度对其分布、产卵等存在明显影响^[4-6]。澳洲鲈太平洋群系处于黑潮流经区, 受水团洋流运动的影响十分显著^[7]。澳洲鲈作为各国重要的经济种类, 掌握其资源量变动以及科学预测其资源量, 在渔业生产和科学管理中显得尤为重要。

灰色系统是常用的不确定性系统研究理论, 能有效地解决“小样本”“贫信息”等问题^[8], 灰色预测模型[如 GM(1,1)、GM(1,n) 等模型]已在渔业上广泛应用, 也取得了较好的预测效果^[9-11]。

为此, 根据日本中央水产研究所提供的澳洲鲈太平洋群系渔获量与资源量数据, 采用灰色关联分析和灰色预测模型, 分析环境因子对澳洲鲈太平洋群系资源量的影响, 并对澳洲鲈太平洋群系资源量进行预测, 为澳洲鲈的可持续开发和科学管理提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 渔获数据

(1) 澳洲鲈资源量: 数据来源于 2015 年日本的澳洲鲈太平洋群系资源评估报告 (<http://abchan.fra.go.jp/digests27/index.html>), 时间为 1995—2014 年, 数据包括澳洲鲈资源量和渔获量数据等。利用 1995—2012 年数据进行建模, 用 2013 和 2014 年的数据进行验证比较。

(2) 海洋环境数据。海洋环境数据包括海表

收稿日期: 2017-06-17 修回日期: 2018-10-20

基金项目: 海洋局公益性行业专项(20155014); 上海市科技创新行动计划(5DZ1202200); 海洋二号卫星地面应用系统项目(HY2A-HT-YWY-006)

作者简介: 张 畅(1994—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业资源。E-mail: ItsChang@foxmail.com

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

面温度 (sea surface temperature ,SST)、黑潮潮位差 (tidal range,TR) 和太平洋年代际振荡 (pacific decadal oscillation, PDO)。参照澳洲鲈太平洋群系资源评估报告中的分布区域^[12] (图 1),海表面温度分别选择索饵场 (140°E ~ 160°E,35°N ~ 50°N)海表面温度 SST1、产卵场 1 (130°E ~ 132°E, 30°N ~ 32°N)海表面温度 SST2 和产卵场 2 (138°E ~ 141°E,34°N ~ 35°N)海表面温度 SST3,共 3 个海表面温度因子。利用 SPSS 19.0 分析比较各个区域每月平均温度与资源量的相关性,选取线性相关系数最高月份温度,作为影响资源量的环境因子。SST 数据的空间分辨率为 1° × 1°,时间分辨率为月。网站来源: <http://iridl. ldeo.>

[columbia. edu/SOURCES/. IGOSS/. nmc/. Reyn_SmithOiv2/. monthly/datasettables. html](http://columbia.edu/SOURCES/. IGOSS/. nmc/. Reyn_SmithOiv2/. monthly/datasettables. html)。

黑潮流经区温盐变化极为显著,已有研究^[13-15]表明,黑潮对中上层渔业资源渔场影响显著。黑潮的势力强弱采用黑潮的潮位差的表示,选取全年平均 TR 数据,网站来源: [http://www. data. jma. go. jp/kaiyou/data/shindan/b_2/kuroshio_stream/kuroshio_stream. html](http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/b_2/kuroshio_stream/kuroshio_stream. html)。PDO 可直接造成太平洋及周边地区气候的年代际变化,也会对中上层鱼类资源造成影响^[16-17]。为此,选取全年平均的 PDO,网址来源: [research. jisao. washington. edu/pdo/PDO. latest](http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO. latest)。

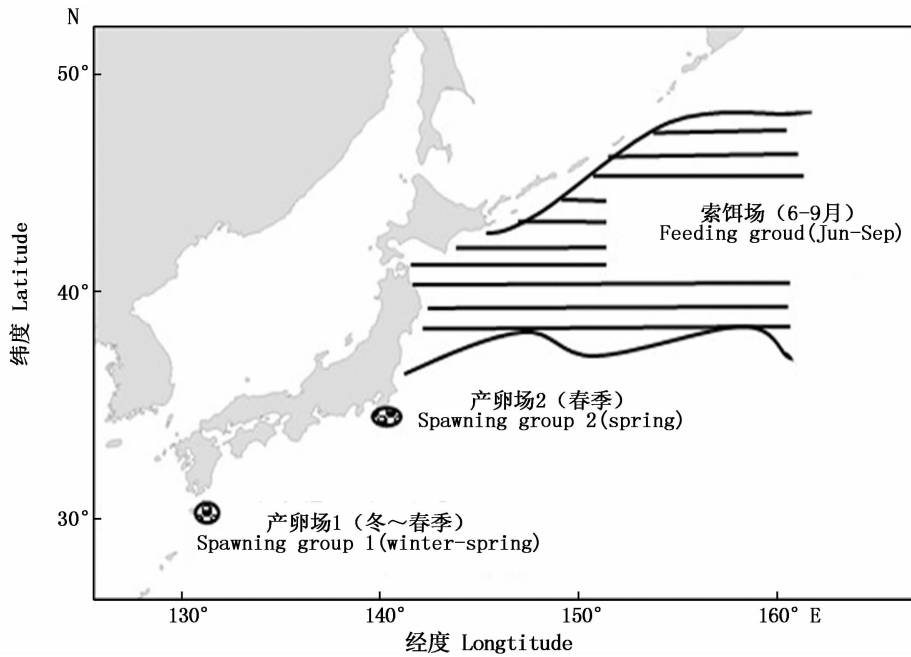


图 1 澳洲鲈太平洋群系的产卵和索饵示意图

Fig. 1 Spawning ground and feeding grounds of Pacific stock for *Scomber australasicus*

1.2 灰色关联度

以资源量为母序列,以各环境因子 (SST1, SST2, SST3, TR, PDO) 为子序列,进行灰色关联度分析,分析不同环境与气候因子对资源量的影响程度。采用均值化处理数据,计算方法见文献 [8]。

1.3 模型建立

利用 DPS 数据处理软件建立多种灰色预测模型。主要预测模型:(1)GM(1,1)模型,不考虑环境因子的情况下,使用 1995—2012 年资源量建

立 GM(1,1)模型,对资源量时间序列数据进行预测。(2)加入环境与气候因子建立 GM(1,N)预测模型,即多变量一阶线性动态模型,主要用于系统的动态分析,对澳洲鲈太平洋群系资源量预测^[17],根据第 1.2 节筛选出 M 个环境因子,依次构建 M 个 GM(1,2)模型;以及一个包含 M 个环境因子的 GM(1, $M + 1$)模型。GM(1,1)和 GM(1,N)的建模过程可参照文献 [8]。

2 结果

2.1 海表面温度

相关分析(表1)表明:索饵场8月份海表面温度与资源量的相关系数最高,达到0.42;产卵

场1的1月份和产卵场2的5月份海表面温度与资源量的相关系数最高,分别为0.60和0.52。根据结果分别选取索饵场8月份海表面温度,产卵场1的1月份海表面温度和产卵场2的5月份海表面温度作为模型的预报因子。

表1 产卵场和索饵场各月海表面温度与资源量的相关性分析

Tab.1 Correlation analysis between sea surface temperature of spawning and feeding grounds and resources in each month

海表面温度 Sea surface temperature	月份 Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SST1	0.19	0.34	0.01	0.17	0.21	0.22	0.21	0.42	0.28	0.09	0.16	0.19
SST2	0.6	0.26	0.01	0.26	0.48	0.23	0.02	0.11	0.07	0.02	0.28	0.58
SST3	0.5	0.37	0.26	0.24	0.52	0.43	0.07	0.08	0.18	0.3	0.15	0.27

2.2 环境与气候因子的筛选

根据灰色关联度分析,可得各因子与资源量关联度如下: $L(SST1) = 0.879$; $L(SST2) = 0.871$; $L(SST3) = 0.870$; $L(TR) = 0.860$; $L(PDO) = 0.231$ 。分析可知, $L(SST1) > L(SST2) > L(SST3) > L(TR) > L(PDO)$ 。选取 $L > 0.600$ 作为建立 GM 模型的环境与气候因子,因此选择 SST1、SST2、SST3 和 TR 用于资源预测建模。

2.3 灰色预测模型

如表2所示为各灰色预测模型的分析结果。由表2可知:不考虑环境因子的 GM(1,1)模型,其平均误差为最低,仅18.65%;基于潮位差(TR)的 GM(1,2)模型,其误差为最大,达到33.79%。其他模型的平均误差均在26%~30%之间。

表2 各模型的分析结果

Tab.2 Results of each models

模型 Model	响应函数 Response function	a	b	平均误差 Average error
模型1 Model 1	$B(t+1) = 19861.437 \text{EXP}(0.013t) - 19544.720$	-0.013	250.230	18.65%
模型2 Model 2	$B(t+1) = (309.000 - 46.840 \times \text{SST1}) \text{EXP}(-0.099t) + 46.840 \times \text{SST1}$	0.099	4.650	28.53%
模型3 Model 3	$B(t+1) = (309.000 - 44.629 \times \text{SST2}) \text{EXP}(-0.089t) + 44.629 \times \text{SST2}$	0.089	3.955	28.93%
模型4 Model 4	$B(t+1) = (309.000 - 43.841 \times \text{SST3}) \text{EXP}(-0.090t) + 43.841 \times \text{SST3}$	0.090	3.945	29.46%
模型5 Model 5	$B(t+1) = (309.000 - 55.209 \times \text{TR}) \text{EXP}(-0.127t) + 55.209 \times \text{TR}$	0.127	7.004	33.79%
模型6 Model 6	$B(t+1) = (309.000 - 224.427 \times \text{SST1} + 182.049 \times \text{SST2} + 13.187 \times \text{SST3} - 33.412 \times \text{TR}) \text{EXP}(-0.262t) + 224.427 \times \text{SST1} - 182.049 \times \text{SST2} - 13.187 \times \text{SST3} + 33.412 \times \text{TR}$	0.262	$b1 = 58.756$ $b2 = -47.667$ $b3 = -3.452$ $b4 = 8.747$	26.51%

2.4 资源量预测

利用以上模型对2013和2014年澳洲鲈太平洋群系的资源量进行预测,具体结果如表3所示。基于SST1的GM(1,2)模型的平均预测误差

最小,只有3.73%;基于SST2的GM(1,2)模型,平均预测误差为4.41%;基于SST3的GM(1,2)模型平均预测误差为4.78%;基于TR的GM(1,2)模型,平均预测误差最大,达到29.56%。

表 3 2013 与 2014 年澳洲鲈太平洋群系资源量预测

Tab. 3 The predicted biomass of spotted mackerel for the Pacific stock in 2013 and 2014

资源量预测 Predicted biomass	GM(1,1)	基于 SST1 的	基于 SST2 的	基于 SST3 的	基于 TR 的	GM(1,5)
		GM(1,2) Based on SST1	GM(1,2) Based on SST2	GM(1,2) Based on SST3	GM(1,2) Based on tidal range	
2013 年资源量预测 The predicted biomass in 2013	838.95	810.26	768.48	784.87	498.39	792.62
2014 年资源量预测 The predicted biomass in 2014	896.34	822.01	788.65	767.36	936.88	1 052.95
平均误差 Average error/%	6.72	3.73	4.41	4.78	29.56	19.38

3 分析与讨论

3.1 澳洲鲈历年产量变化

西北太平洋为鲈鱼的主要产区,中国、日本、韩国的渔获量占绝对优势^[19]。中国船队的主要鲈鱼作业场所位于中国近海,日本和韩国船队在中国和日本近海都有捕捞作业,但日本沿太平洋一侧海域的鲈鱼渔场主要作业船队为日本和韩国船队^[20]。图 2 为 1982—2014 年澳洲鲈太平洋群系的渔获量统计。澳洲鲈太平洋群系渔获量在 1991 年达到最低,随后持续上升至 1996 年,其后资源量处于波动变化,在 2006 和 2010 年左右达到峰值。这期间除了渔业资源本身的影响外,各国渔具渔法的改进、渔业政策的改变对澳洲鲈太平洋群系渔获量的变化都有明显影响^[21-22]。

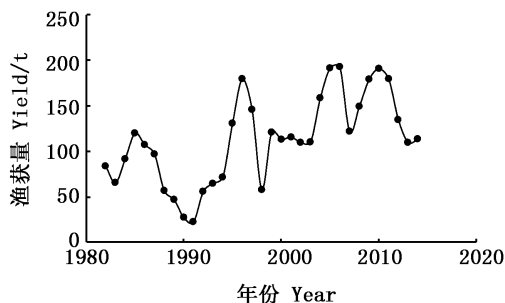


图 2 1982—2014 年澳洲鲈太平洋群系渔获量统计
Fig. 2 Catch of spotted mackerel for the Pacific stock from 1982 to 2014

3.2 灰色预测模型分析

从各个模型的平均误差分析来看,GM 模型是实际有效的预测资源量的方式,但具体影响作用在模型本身无法体现,因此各个因子的选择十分重要。从预测结果分析来看,加入 SST1、SST2 和 SST3 因子后的 GM(1,2)模型的平均误差均比资源量 GM(1,1)模型的平均误差要小,但是加入

潮位差因子后的模型平均误差大于资源量 GM(1,1)模型,原因可能是 TR 对于澳洲鲈生活史的影响机制与海表面温度等环境因子不同,在后期的研究中需选择正确的环境气候因子,并更充分了解其作用机制才能有效提高模型预测的精确性。

在 GM(1,N)模型中, a 值称为系统的发展系数^[8,23]。在 GM(1,1)模型中,根据陈新军^[8]对 GM(1,1)模型预测与发展系数的研究,当 $-a \leq 0.3$ 时,此 GM(1,1)可用作中长期预测。在其余的 GM(1,N)模型中, a 值可以反映主因素与各子因素之间的协调程度^[23], $a > 0$ 表示系统不协调,且 a 值越大不协调程度越大,5 个 GM(1,N)模型的 a 值虽然都大于零,但是 a 值并不高,表明不协调的程度还不严重,且资源量与 SST2 模型 ($a = 0.089$) 的协调程度最高,其次为资源量与 SST3 模型 ($a = 0.090$) 和资源量与索饵场 SST1 模型 ($a = 0.099$)。资源量与潮位差模型 ($a = 0.127$) 的协调程度相对较低,GM(1,5)模型 ($a = 0.262$) 协调性最低。

在 GM(1,N)模型中, b 值称为系统的协调系数,可以反应该因素对主因素的动态变化影响。在 GM(1,2)模型中,所有的 b 值都大于零,说明各因子对澳洲鲈模型的评估结果皆有促进作用,但在 GM(1,5)模型中, b_2 和 b_3 小于零(见表 2),可知两个产卵场,特别是产卵场 1 (130°E ~ 132°E、30°N ~ 32°N) 的海表面温度对评估模型有较大的制约因素,即温度数据的变动对模型有较大的影响,说明现阶段这两个产卵场区域温度变动对于资源的变化有重要的影响。产卵场温度与资源量具有较高的相关性,结合澳洲鲈最适产卵温度 17 ~ 25 °C^[1],可推测在该温度范围内资源量随着产卵场温度的升高而增加。即全球气候

变暖等气候活动导致产卵场海域温度增加,对澳洲鲈太平洋群系资源量波动有积极影响,这与YUKAMI等^[24]的研究结果相同。

3.3 各环境因子影响分析

澳洲鲈太平洋群系产卵季节一般在12月到翌年6月,根据纬度的差异产卵时间有所不同^[12]。有研究^[24]认为,随着太阳直射点的北移,黑潮暖流的加强,17~25℃等温线向北移动,产卵场逐渐北移。本次研究选取的两个产卵场为冬春季产卵场,纬度较低的产卵场1(130°E~132°E,30°N~32°N)选取的月份早于纬度较高的产卵场2(138°E~141°E,34°N~35°N)月份,故相关分析选取的月份符合实际情况具有代表性。6至9月份澳洲鲈洄游进入索饵场,夏季浮游生物量丰富^[25-26],7月中旬至8月左右温度明显升高有助于索饵场浮游生物量的快速增加^[27],浮游生物数量的增加也使得以此为饵料的澳洲鲈形成更明显的集群现象。群体结构分析^[28]表明,强烈的索饵活动对澳洲鲈个体生长也有明显影响。因此,该期间的索饵场温度对澳洲鲈太平洋群系资源量的变动起着重要的影响。

澳洲鲈太平洋群系喜高温高盐,其中心渔场受黑潮强弱影响明显^[29]。黑潮与亲潮相遇形成多种海洋锋面,对于叶绿素、盐度等分布产生明显作用^[30],从而对澳洲鲈的生长分布产生影响。黑潮影响范围广泛,但是具体的影响形式还需要结合海洋锋面进行更多的研究。

3.4 展望

澳洲鲈太平洋群系在日本沿太平洋一侧沿岸均有产卵场分布,且由于潮流等作用,每年都会有多个补充群进入成熟群^[31-32],产卵群系复杂,地域广泛。澳洲鲈资源的变动受到资源本身、环境和气候等多方面的影响,且影响形式各有不同,产生的结果也不同。今后的研究可以增加不同空间时间尺度的环境因子来建立预测模型,加强研究资源丰度、渔场分布与海洋环境因子、气候因子的关系,为今后澳洲鲈资源预测和科学管理提供更好的理论基础。

参考文献:

- [1] COLLETTE B, ACERO A, CANALES RAMIREZ C, et al. 2011. *Scomber australasicus*. The IUCN Red List of Threatened Species [R] 2011; e. T170329A6750490. <http://www.iucnredlist.org/details/170329/0>
- [2] 李建生, 严利平, 胡芬. 2004年夏季东海南部海域围网渔业生产动态[J]. 渔业信息与战略, 2005, 20(7):19-21.
LI J S, YAN L P, HU F. Trend of purse seine production in the southern area of the East China Sea in summer in 2004 [J]. Modern Fisheries Information, 2005, 20(7):19-21.
- [3] 王凯, 严利平, 程家骅, 等. 东海鲈鱼资源合理利用的研究[J]. 海洋渔业, 2007, 29(4):337-343.
WANG K, YAN L P, CHENG J H, et al. Study on the reasonable utilization of chub mackerel in the East China Sea [J]. Marine Fisheries, 2007, 29(4):337-343.
- [4] YUKAMI R, OHSHIMO S, YODA M, et al. Estimation of the spawning grounds of chub mackerel *Scomber japonicus*, and spotted mackerel *Scomber australasicus*, in the East China Sea based on catch statistics and biometric data [J]. Fisheries Science, 2009, 75(1):167-174.
- [5] NASHIDA K, HONDA H, SAKAJI H, et al. Migration of spotted mackerel *Scomber australasicus* estimated from a tagging experiment off Ashizuri cape and around the Izu Islands, central and Southern Pacific Coast of Japan [J]. Bulletin of Fisheries Research Agency, 2006.
- [6] TAKASUKA A. Multi-species regime shifts reflected in spawning temperature optima of small pelagic fish in the western North Pacific [J]. Marine Ecology Progress, 2008, 360(1):211-217.
- [7] KEANE J P, NEIRA F J. Larval fish assemblages along the south-eastern Australian shelf: linking mesoscale non-depth-discriminate structure and water masses [J]. Fisheries Oceanography, 2008, 17(4):263-280.
- [8] 陈新军. 灰色系统理论 [M] 北京: 中国农业出版社, 2003: 26-128.
CHEN X J. Grey System Theory [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003:26-128.
- [9] 白福臣. 灰色 GM(1, N) 模型在广东海洋经济预测中的应用 [J]. 技术经济与管理研究, 2009(2):9-11.
BAI F C. The Application of Gray GM (1, N) Model to Ocean Economic Forecast of Guangdong [J]. Technoeconomics & Management Research, 2009(2):9-11.
- [10] 陈新军, 周应祺. 中国海洋渔业人力资源结构的灰色分析及其预测 [J]. 湛江海洋大学学报, 2001, 21(1):22-29.
CHEN X J, ZHOU Y Q. Analysis and forecast of manpower resources in Chinese marine fisheries by using grey theory [J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2001, 21(1):22-29.
- [11] 周元建, 关则良. 海洋渔业产量的灰色预测与分析 [J]. 湛江水产学院学报, 1994(1):53-55.
ZHOU Y J, GUAN Z L. Forecasting and analysing of production of marine fisheries [J]. Journal of Guangdong Ocean University, 1994(1):53-55.
- [12] 上龍嗣, 渡邊千夏子, 上村泰洋, 等. 平成27(2015)年度ゴマサバ太平洋系群の資源評価 [R]. 日本: 中央水産研究所, 2015:16-20.

- RYUGAUJI, CHINAKO W, UEMURA Y, et al. Resource evaluation of spotted mackerel Pacific group in 2015 [R]. Japan: Central Fisheries Research Institute, 2015:16-20.
- [13] 陈新军, 曹杰, 田思泉, 等. 表温和黑潮年间变化对西北太平洋柔鱼渔场分布的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2010, 25(2):119-126.
- CHEN X J, CHAO J, TIAN S Q, et al. Effect of inter-annual change in sea surface water temperature and Kuroshio on fishing ground of squid *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific [J]. Journal of Dalian Ocean University, 2010, 25(2):119-126.
- [14] 李曰嵩, 潘灵芝, 严利平, 等. 基于个体模型的东海鲈鱼渔场形成机制研究[J]. 海洋学报, 2014, 36(6):67-74.
- LI Y S, PAN L Z, YAN L P, et al. Individual-based model study on the fishing ground of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 36(6):67-74.
- [15] 沈建华, 韩士鑫, 樊伟, 等. 西北太平洋秋刀鱼资源及其渔场[J]. 海洋渔业, 2004, 26(1):61-65.
- SHAN J H, HAN S X, FAN W, et al. Saury resource and fishing grounds in the northwest pacific [J]. Marine Fisheries, 2004, 26(1):61-65.
- [16] 杨修群, 朱益民, 谢倩, 等. 太平洋年代际振荡的研究进展[J]. 大气科学, 2004, 28(6):979-992.
- YANG X Q, ZHU Y M, X Q, et al. Advances in studies of pacific decadal oscillation [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2004, 28(6):979-992.
- [17] 吕俊梅, 琚建华, 张庆云, 等. 太平洋海温场两种不同时间尺度气候模态的分析[J]. 海洋学报, 2005, 27(5):30-37.
- LV J M, JU J H, ZHANG Q Y, et al. The analysis of two climate patterns on different time scales in Pacific sea temperature fields [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 27(5):30-37.
- [18] 唐启义. DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2017: 1422-1436.
- TANG Q Y. DPS data processing system [M]. Beijing: Science Press, 2017:1422-1436.
- [19] 李纲. 东、黄海鲈鱼资源评估及其管理策略风险分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2008.
- LI G. Assessment of mackerel fish resources in the East and Yellow sea and their management strategy risk analysis [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2008.
- [20] 李纲, 陈新军. 东海鲈鱼资源和渔场时空分布特征的研究[J]. 中国海洋大学学报, 2007, 37(6):921-926.
- LI G, CHEN X J. Tempo-spatial characteristic analysis of the mackerel resource and its fishing ground in the East China Sea [J]. Periodical of Ocean University of China, 2007, 37(6):921-926.
- [21] 李纲, 陈新军, 官文江, 等. 东黄海鲈鱼资源评估与管理决策研究[M]. 北京: 科学出版社, 2011:15-23.
- LI G, CHEN X J, GUAN W J, et al. Fish resource assessment and management decision research in east yellow sea [M]. Beijing: Science Press, 2011:15-23.
- [22] 缪圣赐. 2005 年韩国 9 鱼种的总容许渔获量 (TAG) 为 215,983t 同比减少 1% [J]. 现代渔业信息, 2005, 20(3):34-34.
- MIAO S C. In 2005, the total allowable fishing allowance (TAG) of 9 fish species in South Korea was 215 983 t, 1 percent less than the previous year [J]. Journal of Modern Fisheries Information, 2005, 20(3):34-34.
- [23] 肖新平, 毛树华. 灰预测与决策方法[M]. 北京: 科学出版社, 2013:183-277.
- XIAO X P, MAO S H. Grey prediction and decision making method [M]. Beijing: Science Press, 2013:183-277.
- [24] YUKAMI R, OHAHIMO S, YODA M, et al. Estimation of the spawning grounds of chub mackerel *Scomber japonicus*, and spotted mackerel *Scomber australasicus*, in the East China Sea based on catch statistics and biometric data [J]. Fisheries Science, 2009, 75(1):167-174.
- [25] 凌建忠, 李圣法, 严利平. 东海区主要渔业资源利用状况的分析[J]. 海洋渔业, 2006, 28(2):111-116.
- LING J Z, LI S F, YAN L P. Analysis on the utilization of main fishery resources in the East China Sea [J]. Marine Fisheries, 2006, 28(2):111-116.
- [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.
- ZHENG Y J, CHEN X Z, CHENG J H, et al. Biological resources and environment on the east China sea shelf [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2003.
- [27] 王云龙, 沈新强, 李纯厚, 等. 中国大陆架及邻近海域浮游生物[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005:133-142.
- WANG Y L, SHEN X Q, LI C H, et al. The plankton in Chinese continental shelf and the adjacent waters [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2005:133-142.
- [28] 李建生, 严利平, 程家骅. 2006 年夏秋季东海群系澳洲鲈数量分布特征[J]. 海洋渔业, 2008, 30(1):49-55.
- LI J S, YAN L P, CHENG J H. On the quantitative distribution characteristics of *Scomber australasicus* colony in the East China Sea during summer and autumn 2006 [J]. Marine Fisheries, 2008, 30(1):49-55.
- [29] 李建生, 严利平, 胡芬. 夏秋季东海中部和南部海域澳洲鲈渔汛和渔场的年际变化[J]. 中国水产科学, 2011, 18(1):178-184.
- LI J S, YAN L P, HU F. Annual change of spotted mackerel *Scomber australasicus* fishing sea-season and fishing grounds in central and southern East China Sea in summer and autumn [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2011, 18(1):178-184.
- [30] 陈新军. 渔业资源与渔场学[M]. 北京: 海洋出版社, 2007:149-153.
- CHEN X J. Fishery resources and fisheries [M]. Beijing:

- China Ocean Press, 2007:149-153.
- [31] KONDO K. Growth of Japanese Mackerel-II. Age determination with use of scales [J]. Bulletin of Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory, 1966, 47:31-53.
- [32] LIZUKA K, Hamasaki S. Ecology of common mackerel (*Scomber japonicas*) in the southwestern Japan Sea and the East China Sea, 1; Change of fishing grounds and catch fluctuation [J]. Bulletin of the Seikai Regional Fisheries Research Laboratory, 1983.

Forecasting model for spotted mackerel biomass based on grey system theory

ZHANG Chang¹, CHEN Xinjun^{1,2,3,4}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China; 3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 4. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai 201306, China)

Abstract: GM (1, n) is established by the Spotted mackerel (*Scomber australasicus*) resources of the Pacific group which is supplied by Japan's central fisheries research institute from 1995 to 2012, combined with the sea surface temperature (SST) of spawning and feeding ground and tidal range. There are six models: GM (1,1) without environmental factor; four GM (1,2) models established by the SSTs of the feeding ground (140°E - 160°E, 35°N - 50°N, SST1), spawning ground1 (130°E - 132°E, 30°N - 32°N, SST2), spawning ground2 (138°E - 141°E, 34°N - 35°N, SST3) and tidal range of Kuroshio; GM (1, 5) established by all the factors. The average error of each model is 6.72%, 3.73%, 4.41%, 4.78%, 29.56% and 19.38% respectively. The results show that the GM models based on feeding and spawning grounds temperature have a high accuracy in the spotted mackerel resource forecast, and can be used into more researches. By analyzing the gray parameters a and b , it is concluded that the SST2 and SST3 are the most restrictive to the model, which means the fluctuation of those factors had the greatest effect on the amount, and the temperature of spawning ground has a high correlation with the resources. When compared with the optimum temperature, it is presumed that the mackerel resources in the appropriate temperature range can increase with the temperature of the spawning ground. The global warming and gradual increase of SST are likely to have a positive effect on the spotted mackerel stock.

Key words: GM model; *Scomber australasicus*; The Pacific stock; sea surface temperature of spawning ground; tidal range of Kuroshio