

DOI: 10.11964/jfc.20230113877

## 基于体长模型和集成模型的山东近海黄鲫资源评估



韩青鹏<sup>1</sup>, 吴强<sup>1,2</sup>, 单秀娟<sup>1,2\*</sup>, 金显仕<sup>1,2</sup>, 苏程程<sup>1</sup>

1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 海水养殖生物育种与可持续产出全国重点实验室, 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 山东长岛近海渔业资源国家野外科学观测研究站, 山东 烟台 265800

### 摘要:

**【目的】**对同是经济鱼类和饵料鱼类, 在鱼类群落中占有重要地位的黄鲫资源进行科学评估与管理。

**【方法】**本研究使用基于体长的产卵潜力比模型(LB-SPR)、基于体长的综合混合效应模型(LIME)和基于这两个模型的集成模型(Ensemble modeling), 评估1999、2000、2006、2017和2021年山东近海黄鲫的资源状况。

**【结果】**3个模型估计的1999—2021年黄鲫产卵潜力比(SPR)呈现先上升后下降的趋势, SPR在2000年为最低水平, 此后持续好转, 2017年达到最好状态后开始下降, 2021年降为1999—2000年的相近水平。5个年份的LIME模型估计均高于LB-SPR模型估计。Ensemble模型SPR估计均低于LIME的结果, 但并非全部位于LIME结果和LB-SPR结果之间。Ensemble模型估计的SPR分别为0.48、0.45、0.68、0.77和0.47, 均大于规避风险值0.4, 这表明山东近海黄鲫资源在这期间均处于健康状态, 但黄鲫产卵群体的优势叉长组有小型化趋势, 因此, 建议综合权衡多个主要鱼种状况, 对渔具网目尺寸进行调整。

**【结论】**本研究将资源评估多模型组合应用到数据有限的渔业种群评估中, 可为山东近海黄鲫资源可持续利用提供科学依据, 也有助于推动数据有限种群的资源评估工作的进展。

**关键词:**黄鲫; 资源评估; 体长模型; 集成模型; 山东近海

山东省三面环海, 海岸线全长约占全国的六分之一, 海洋区位优势, 黄渤海和东海众多鱼类均洄游经过或聚集于山东近海进行繁殖、育幼等<sup>[1-2]</sup>, 山东近海汇聚了多个重要渔场<sup>[3]</sup>, 在黄渤海资源补充中占重要地位<sup>[4-6]</sup>。20世纪70年代以来, 在捕捞与气候等多重压力下, 山东近海渔业资源严重衰退<sup>[7-9]</sup>, 种群交替不断发生<sup>[5, 10-11]</sup>, 严重影响了山东近海渔业资源可持续发展<sup>[12-13]</sup>。

为实现近海渔业资源可持续利用, 需要对渔业资源进行针对性的科学管理, 而渔业资源的准确评估是实现科学管理的基础<sup>[14]</sup>。本实验

第一作者: 韩青鹏, 从事渔业资源评估与管理研究, E-mail: hanqp@ysfri.ac.cn



通信作者: 单秀娟, 研究员, 博士生导师, 从事渔业资源生态学研究, 主持国家重点研发计划、国家自然科学基金、UNDP/GEF项目等, E-mail: shanxj@ysfri.ac.cn



资助项目: 山东省重点研发计划(2022CXPT013); 国家自然科学基金(42176151); 山东省泰山学者专项; 黄渤海渔业资源与生态创新团队(2020TD01)

收稿日期: 2023-01-12  
修回日期: 2023-05-20

文章编号:  
1000-0615(2025)01-019312-10  
中图分类号: S 932.4  
文献标志码: A

作者声明本文无利益冲突

©《水产学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)  
Copyright © Editorial Office of Journal of Fisheries of China (CC BY-NC-ND 4.0)



以同是经济鱼类和饵料鱼类的黄鲫 (*Setipinna taty*) 为例进行研究, 探讨目前管理措施下的近海渔业资源状况变动及后续针对性管理措施。黄鲫属于近海集群性小型经济鱼类, 同时, 其可被 7 种以上经济鱼类所捕食<sup>[1,15]</sup>。每年 3 月下旬, 一部分群体从越冬场到达山东一带海域产卵和索饵, 秋季陆续离开山东近海<sup>[3]</sup>。自 20 世纪 80 年代以来, 黄鲫成为山东近海鱼类群落优势种群之一<sup>[13]</sup>。食物网拓扑结构研究发现, 黄鲫在山东半岛南部海域鱼类群落中有很强的信息交换和控制能力, 具有较强的上行控制效应<sup>[16]</sup>。因此, 其资源状况变动具有较大的生态效应, 掌握黄鲫资源状况, 评价其现行的开发水平是否适宜, 对科学管理黄鲫资源、维持山东近海渔业资源的可持续性至关重要。

由于传统或常规种群评估方法对数据要求的限制, 全球范围内只有约 50% 的已开发鱼类经过评估<sup>[17]</sup>。黄鲫资源评估同样面临这种瓶颈。近年来, 由于渔业资源管理需求迫切, 估计种群状况的有限数据方法得到迅速发展<sup>[18]</sup>。基于体长的评估方法, 只需要渔获物的平均体长或体长组成数据和生活史参数, 在评估数据有限或数据贫乏的鱼类种群状况方面已变得越来

普遍<sup>[19]</sup>, 基于体长的评估方法——基于体长的产卵潜力比模型 (length-based spawning potential ratio, LB-SPR)<sup>[19]</sup> 和基于体长的综合混合效应模型 (length-based integrated mixed effects, LIME)<sup>[20]</sup>, 及基于这两个模型的集成模型 (Ensemble modeling) 已被成功应用于黄海黄鲫资源的评估中<sup>[21]</sup>。

因此, 本研究以山东近海为研究区域, 基于渔业资源拖网调查数据以及文献资料, 利用 LB-SPR、LIME 和 Ensemble 模型<sup>[21]</sup>, 评价 1999、2000、2006、2017 和 2021 年山东近海黄鲫的资源状况, 以期为山东近海渔业资源管理与养护提供科学支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

根据程济生<sup>[22]</sup>和韩青鹏等<sup>[23]</sup>对山东近海的划分, 及综合各数据空间覆盖范围, 本研究将山东近海划分为 4 个区域 (图 1)。其中, 2021 年 6 月渔业资源调查数据来源于“中渔科 102”号调查船的拖网调查。调查船功率为 634 kW, 每站拖时为 1 h, 拖速为 3 kn。网具参数: 网衣长 58 m, 网口宽 20 m, 网口周长 88 m, 囊网网目 20 mm。站位间隔 0.5°, 均匀分布在莱州

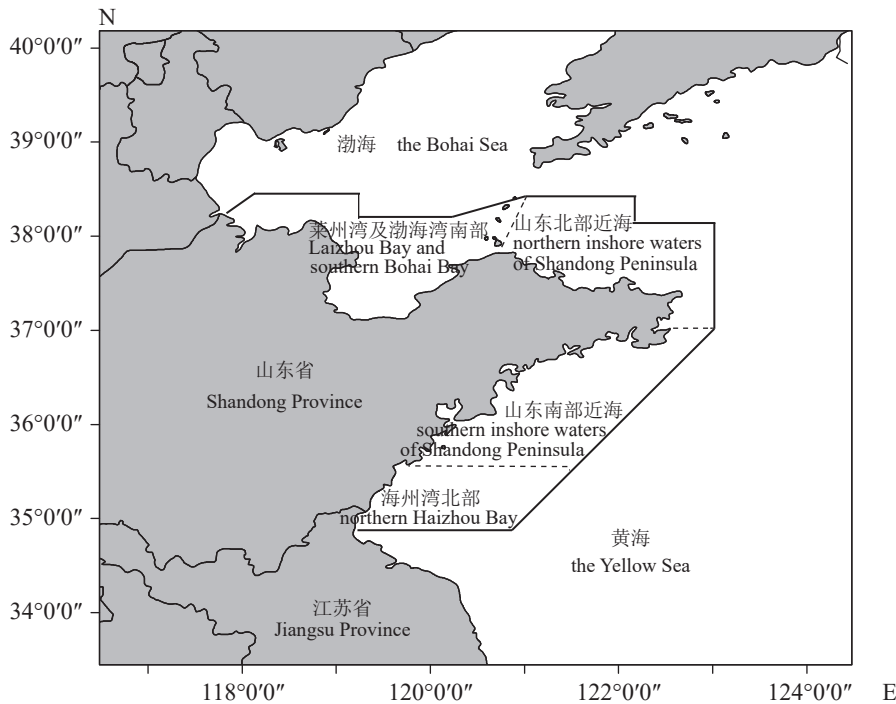


图 1 山东近海研究区域分布图

Fig. 1 Study area map of Shandong inshore waters

湾及渤海湾南部海域, 站位分布详见金显仕等<sup>[4]</sup>。黄鲫叉长组成数据来源见表 1。

### 1.2 资源评估模型

本研究使用了 3 种数据有限性资源评估模型, 以产卵潜力比 (spawning potential ratio, SPR) 作为指标来评估山东近海黄鲫在 20 多年间的资源变动状况, 即 LB-SPR<sup>[19]</sup> 和 LIME<sup>[20]</sup>, 及 Han 等<sup>[21]</sup> 基于 LB-SPR 和 LIME 开发的的 SVM 集成模型 (Ensemble modeling-SVM)。模型运行与结果绘制均通过 R 语言实现。模型所需参数输入及设置参考 Han 等<sup>[21]</sup>。模型结果为一种可持续的捕捞策略提供信息, 该策略以一个预计将产卵量维持在未捕捞时的 40% (“SPR<sub>40%</sub>”) 的捕捞死亡率为目标, 这对许多恢复力很低的种群来说被认为是可规避风险的<sup>[28]</sup>。SPR<sub>30%</sub> 被认为是一个阈值, 低于此值的鱼类被认为是过度捕捞的<sup>[20, 28-29]</sup>。因此, 本研究计算了这些数值作为捕捞死亡率参考点, 以评估黄鲫资源状况, 为渔业资源管理决策提供参考。在本研究中, 体长是一个广义的概念, 可以是叉长、全长等。对于黄鲫, 更多的是测量其叉长, 因此, 在本研究中将黄鲫叉长数据作为体长输入数据。

**基于体长的产卵潜力比模型** 基于体长的产卵潜力比是在数据有限的渔业中估计参考点的主要方法之一, 可以快速评估相对于未捕捞水平的种群状况。该模型通过使用一个静态、基于均衡的相对年龄结构模型<sup>[19]</sup> 来假设平衡条件 (恒定的补充和死亡率)。LB-SPR 的输入包括自然死亡系数与 von Bertalanffy 生长系数之比、

每年的体长数据、von Bertalanffy 渐近体长参数、50% 和 95% 性成熟概率对应的体长。LB-SPR 估计捕捞死亡系数与自然死亡系数的比率、渔业选择性为 50% 和 95% 的体长 ( $S_{50}$  和  $S_{95}$ ), 以最佳的拟合预测和观测到的体长组成比例, 并推导 SPR<sup>[19]</sup>。

**基于体长的综合混合效应模型** LIME<sup>[20]</sup> 是一个完整的年龄结构模型, 需要获得生物学信息和体长组成数据来推导 SPR。该模型放松了平衡条件, 将补充视为一个随着时间推移的随机效应, 将每年估计的  $F$ 、 $S_{50}$ 、 $S_{95}$  和补充标准差以及名义 (实测) 样本量和有效样本量之间关系的狄利克雷多项式参数为固定效应<sup>[20]</sup>。LIME 用狄利克雷多项式似然函数拟合预测的体长组成与观察到的体长组成。

**集成模型** 集成建模技术可以整合多个模型的结果, 提供更为准确的估计。Han 等<sup>[21]</sup> 通过数据模拟等, 把来自 LIME 和 LB-SPR 模型的 SPR 估计值作为预测因子, “真实”SPR 作为响应变量, 进行支持向量机拟合, 创建了黄鲫 SVM 集成模型 (Ensemble modeling-SVM)。模型测试结果显示, 相比 LIME 和 LB-SPR 模型, 其显著提升了 SPR 估计精度。

## 2 结果

山东近海黄鲫叉长分布如表 1 和图 2 所示, 2000 年左右黄鲫在莱州湾、青岛近海 (山东半岛南部) 与整个山东近海的叉长分布范围和均值无显著差异。这一定程度表明 2000 年左右山东近海各区域受到的捕捞压力相近。相比 1998

表 1 山东近海黄鲫叉长分布与数据来源

Tab. 1 Fork length distribution and data sources of *S. taty* in Shandong inshore waters

采样时间 sampling time	范围/mm range	均值/mm mean	优势范围/mm dominated range	样本量/尾 sample size	海域范围 study area	来源 source
1998—1999	75~163	133.5	120~140	321	莱州湾 Laizhou Bay	[24]
1998-05	71~167	131.0	100~160	150	山东近海 Shandong inshore	[22]
1998-11	60~170	130.0	90~160	150	山东近海 Shandong inshore	[22]
2000-03—2000-10	65~162	130.8	140~150	308	青岛近海 Qingdao inshore	[25]
2006-05	67~190	128.2	70~85, 115~135	311	山东近海 Shandong inshore	[26]
2006-10	60~195	120.6	70~140	284	山东近海 Shandong inshore	[26]
2016-10, 2017-01、 2017-05、2017-08	12~222	112.7	60~160	1402	山东近海 Shandong inshore	[27]
2021-06	78~167	108.8	80~125	120	莱州湾及渤海湾南部 Laizhou Bay and southern Bohai Bay	中渔科102调查数据 Zhongyuke#102 survey data

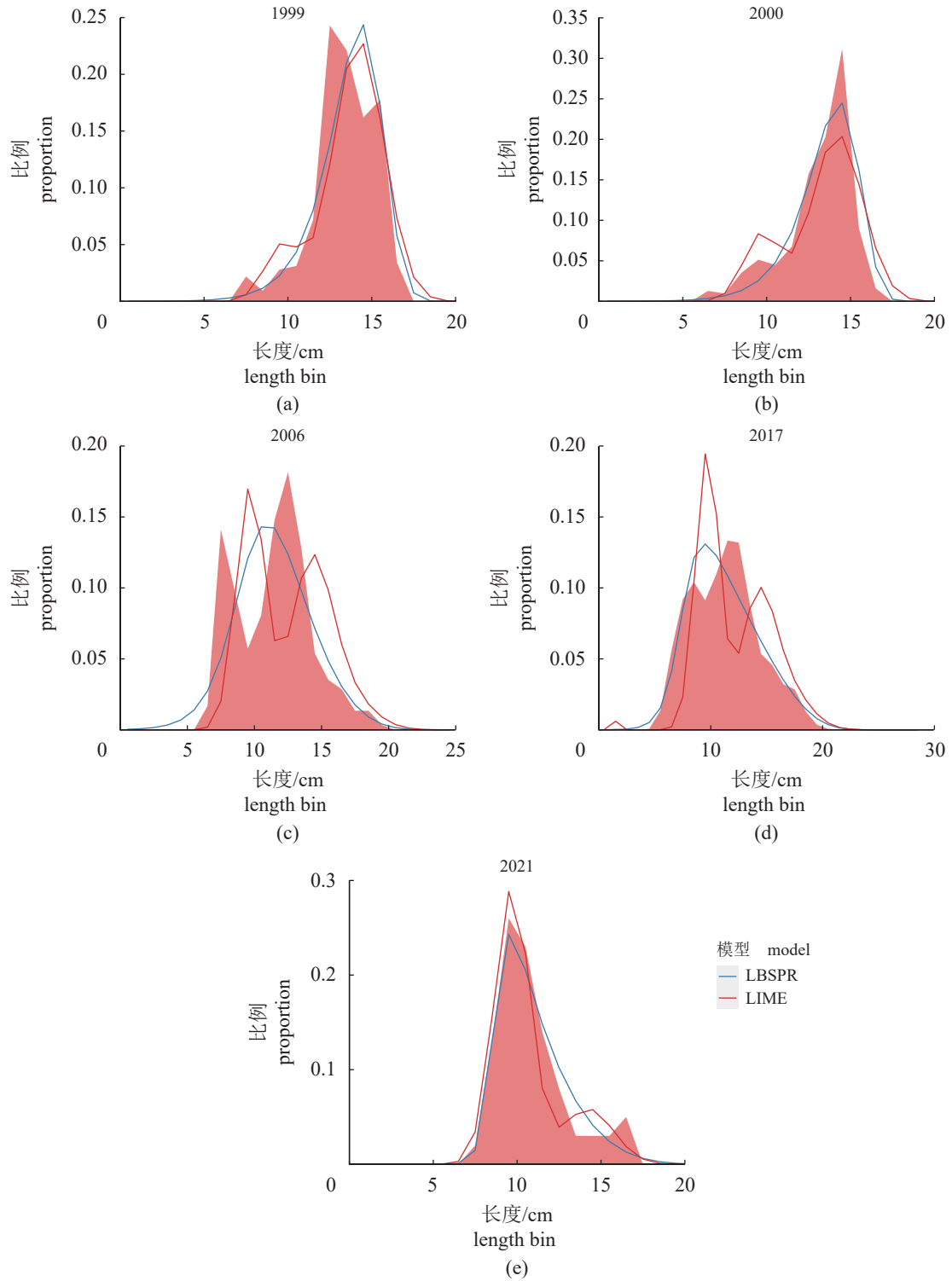


图 2 山东近海黄鲫叉长数据分布 (红色区块) 与模型拟合

Fig. 2 Fork length distribution (red zone) and model fitting of *S. taty* in Shandong inshore waters

年 5 月, 2006 年 5 月黄鲫叉长分布范围扩大, 有大个体被捕获, 并存在 2 个优势叉长组。2021 年 6 月尽管有相似的叉长分布, 但平均叉长有显著减少, 优势叉长范围向小个体移动。

产卵群体的优势叉长组成有小型化的趋势。相比 1999、2000 和 2021 年, 2006 和 2017 年双峰结构较为明显 (图 2)。

模型拟合显示 (图 2), 1999—2021 年 LB-

SPR 拟合均成单峰结构。而 LIME 除能拟合到黄鲫叉长的最大分布峰, 还能捕捉到次高峰的存在, 但这一拟合效果仍存在很大提升空间。这也造成了 LB-SPR 和 LIME 的 SPR 估计存在较大误差。LB-SPR 与 LIME 模型结果 (图 3) 均显示, 1999—2021 年山东近海黄鲫资源状况在 2000 年达到最低水平, 此后持续好转, 2017 年达到最佳状态后开始下降, 2021 年降为 1999—2000 年的相近水平。5 个年份的 LIME 模型估计均高于 LB-SPR 估计。Ensemble 模型 SPR 估计均低于 LIME 的结果, 但并非全部位于 LIME 结果和 LB-SPR 结果之间。图 2 结果也证明了 LB-SPR 并非一致低估或高估 SPR。Ensemble 模型显示的 1999、2000、2006、2017 和 2021 年 SPR 分别为 0.48、0.45、0.68、0.77 和 0.47, 均大于 0.40, 这表明山东近海黄鲫资源在此期间均处于健康状态。2021 年黄鲫叉长组成结构也与目标叉长组成结构 (SPR=0.40 时的叉长分布组成) 相似, 可被认为种群组成处于良好的状态 (图 4)。

### 3 讨论

#### 3.1 模型的适用性

LB-SPR 和 LIME 模型是最常用的基于体长的数据有限性的资源评估模型, 并得到了广泛的模拟测试与应用<sup>[21, 30-31]</sup>。Han 等<sup>[21]</sup> 基于黄渤海黄鲫种群模拟数据进行了测试, 两个模型的

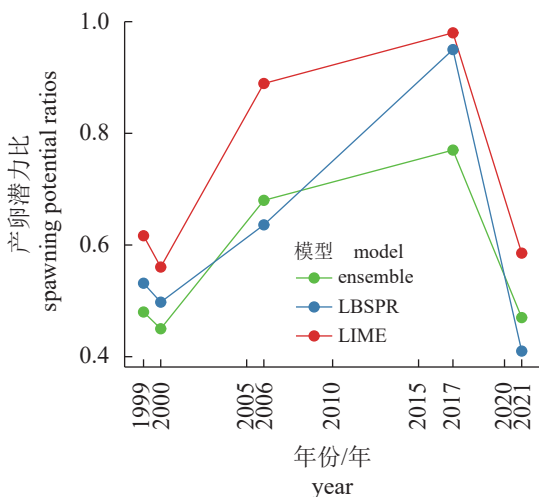


图 3 山东近海黄鲫产卵潜力比

Fig. 3 Spawning potential ratios of *S. taty* in Shandong inshore waters

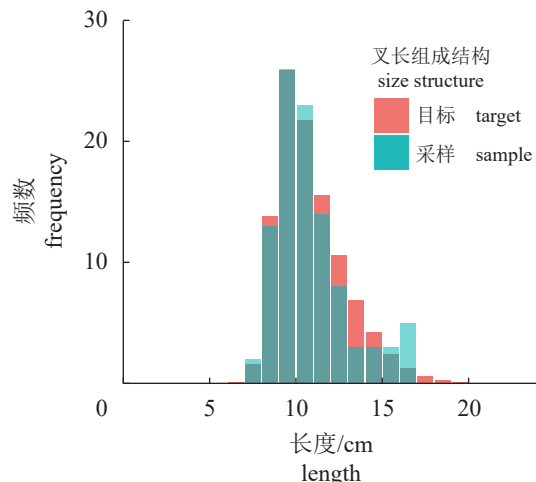


图 4 山东近海黄鲫叉长分布组成 (SPR=0.40)

Fig. 4 Composition of fork length of *S. taty* in Shandong inshore waters (SPR=0.40)

性能在各种情况下并不稳定, 存在一定误差。在此基础上, Han 等<sup>[21]</sup> 进一步开发了基于这两个模型黄鲫 SVM 集成模型, 性能优于单个模型。本研究结果显示, 黄鲫资源状况估计中 LB-SPR 和 LIME 具有很大的差异, 这将导致不同的管理决策。集成建模提供了解决这种困扰的有效办法<sup>[32]</sup>。相比模型平均, 集成方法更有优势, 可以将结果估计在两个单个模型结果之间的某个位置或之外的某个位置<sup>[21]</sup>。本研究中模型拟合 (图 2) 也显示 LB-SPR 和 LIME 的估计性能并不稳定, 在某些年份一个模型拟合较佳, 在另一个年份则是另一个模型拟合较佳, 这将导致真正的 SPR 不会出现在 LB-SPR 和 LIME 的 SPR 估计的中间位置。因此, 本研究应用了黄鲫 SVM 集成模型, 并基于此模型的结果分析山东近海黄鲫资源状况的变动。山东近海水域黄鲫往往被视为同一种群<sup>[1, 3-4]</sup>, 程济生<sup>[22]</sup> 的研究也表明, 同一年份山东近海各个区域黄鲫叉长组成无显著差异。针对 1998 年和 2006 年数据的预先分析表明, 不同月份黄鲫叉长组成数据对模型结果未造成显著改变。综上, 本研究认为不同年份黄鲫产卵潜力比可以反映山东近海黄鲫资源状况年际变化趋势。在此基础上, 本研究分析了黄鲫资源变动原因 (资源状况对应的环境基础的变化、捕捞压力的变化) 以及对黄鲫的管理建议进行了探讨。

#### 3.2 资源变动原因及管理建议

生物环境和非生物环境基础的变化 浮

游动植物不仅是环境动态的良好指示生物<sup>[22]</sup>, 部分浮游动物也是黄鲫主要饵料来源<sup>[3]</sup>。浮游动植物群落物种多样性和生物量大小对鱼类种群早期补充和资源动态均产生深远影响<sup>[4, 33]</sup>。非生物环境包括水文环境、栖息地人类活动等是影响鱼类生长和种群补充的关键因子<sup>[8, 13, 23, 34-35]</sup>。按照韩青鹏等<sup>[23]</sup>建立的山东近海产卵场健康评价体系, 本研究发现莱州湾海域除了浮游动物密度在 1998 和 2008 年处于不健康状态, 其他饵料生物指标和水文环境在 1998—2020 年均处于较健康或健康状态(表 2)。这表明该期间山东近海黄鲫生长和繁殖补充有较好的环境基础,

这为黄鲫资源处于健康状况(图 3)提供了一定保障。但开发强度的持续增加和核心产卵场面积的减少(表 2)可能会降低黄鲫产卵场和育幼场的质量<sup>[12-13]</sup>, 影响后续黄鲫资源补充。

**捕捞压力的影响** 自 20 世纪 80 年代初, 受捕捞压力及多重因素干扰, 渤海鱼卵、仔稚鱼数量和种类数持续降低, 种群种类更替现象明显<sup>[5]</sup>。渔业资源也在高捕捞压力和环境退化、恶化相互作用下呈衰退之势, 1959 年到 1982—1983 年密度下降了 54.6%, 到 1992—1993 年下降了 61.3%<sup>[36]</sup>。1982—2008 年山东北部水域优势种由高营养级的底层经济鱼类替换为低营养

表 2 莱州湾产卵场分布综合健康指数

Tab. 2 Comprehensive health indicators of spawning grounds in Laizhou Bay

指标 index	归一化赋值 normalized assignment				权重 W'	指标得分 index score			
	1998	2008	2014	2020		1998	2008	2014	2020
C <sub>1</sub>	0.689	0.644	1.000	0.889	0.017	0.012	0.011	0.017	0.015
C <sub>2</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035
C <sub>3</sub>	1.000	0.600	0.829	0.657	0.017	0.017	0.010	0.014	0.011
C <sub>4</sub>	0.145	0.108	1.000	1.000	0.035	0.005	0.004	0.035	0.035
C <sub>5</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
C <sub>6</sub>	0.968	1.000	1.000	0.987	0.050	0.048	0.050	0.050	0.049
C <sub>7</sub>	1.000	1.000	1.000	0.954	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013
C <sub>8</sub>	1.000	1.000	1.000	0.850	0.018	0.018	0.018	0.018	0.015
C <sub>9</sub>	0.625	0.100	1.000	1.000	0.016	0.010	0.002	0.016	0.016
C <sub>10</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
C <sub>11</sub>	1.000	0.993	0.978	0.914	0.033	0.033	0.033	0.032	0.030
C <sub>12</sub>	0.439	0.439	0.263	0.468	0.143	0.063	0.063	0.038	0.067
C <sub>13</sub>	0.206	0.011	0.210	0.046	0.077	0.016	0.001	0.016	0.004
C <sub>14</sub>	0.181	0.204	0.136	0.226	0.065	0.012	0.013	0.009	0.015
C <sub>15</sub>	0.059	0.012	0.065	0.028	0.050	0.003	0.001	0.003	0.001
C <sub>16</sub>	1.000	0.549	0.788	1.000	0.074	0.074	0.041	0.058	0.074
C <sub>17</sub>	0.088	0.057	0.022	0.074	0.056	0.005	0.003	0.001	0.004
C <sub>18</sub>	0.966	0.444	0.556	1.000	0.063	0.061	0.028	0.035	0.063
C <sub>19</sub>	1.000	0.500	0.944	1.000	0.063	0.063	0.032	0.060	0.063
C <sub>20</sub>	1.000	0.667	0.733	1.000	0.063	0.063	0.042	0.047	0.063
C <sub>21</sub>	0.670	0.917	0.650	0.600	0.044	0.029	0.040	0.029	0.026

注: C<sub>1</sub>. 浮游植物种类数; C<sub>2</sub>. 浮游植物密度; C<sub>3</sub>. 浮游动物种类数; C<sub>4</sub>. 浮游动物密度; C<sub>5</sub>. 水温; C<sub>6</sub>. 盐度; C<sub>7</sub>. 酸碱度; C<sub>8</sub>. 溶解氧; C<sub>9</sub>. 无机氮; C<sub>10</sub>. 活性磷酸盐; C<sub>11</sub>. 开发强度指数; C<sub>12</sub>. 鱼卵种类数; C<sub>13</sub>. 鱼卵密度; C<sub>14</sub>. 仔稚鱼种数; C<sub>15</sub>. 仔稚鱼密度; C<sub>16</sub>. 产卵群体种类数; C<sub>17</sub>. 产卵群体密度; C<sub>18</sub>. 长距离洄游种类数; C<sub>19</sub>. 短距离洄游种类数; C<sub>20</sub>. 地方性种类数; C<sub>21</sub>. 核心产卵场面积占比。

Notes: C<sub>1</sub>. species number of phytoplankton; C<sub>2</sub>. phytoplankton density; C<sub>3</sub>. species number of zooplankton; C<sub>4</sub>. zooplankton density; C<sub>5</sub>. water temperature; C<sub>6</sub>. salinity; C<sub>7</sub>. pH; C<sub>8</sub>. dissolved oxygen; C<sub>9</sub>. inorganic nitrogen; C<sub>10</sub>. reactive phosphate; C<sub>11</sub>. exploitation intensity indicator; C<sub>12</sub>. species number of eggs; C<sub>13</sub>. fish eggs density; C<sub>14</sub>. species number of fish larvae and juveniles; C<sub>15</sub>. density of fish larvae and juveniles; C<sub>16</sub>. species number of spawning stock; C<sub>17</sub>. density of spawning stock; C<sub>18</sub>. number of long-distance migratory species; C<sub>19</sub>. number of short-distance migratory species; C<sub>20</sub>. number of endemic species; C<sub>21</sub>. ratio of core spawning ground area to spawning ground area.

级的底层低值鱼类及中上层鱼类<sup>[37]</sup>。

黄鲫历来是黄渤海渔业的捕捞对象, 1971—1983年单位产量和总产量一直呈上升趋势, 资源处于中等开发程度<sup>[3]</sup>。从20世纪80年代开始黄鲫和日本鳀 (*Engraulis japonicus*) 所占总资源密度比重, 一度上升为56.7%<sup>[38]</sup>。二十世纪七八十年代捕捞压力上升<sup>[1]</sup>, 致使1991—1992年莱州湾和渤海湾黄鲫资源处于过度捕捞状态, 夏季幼鱼被损害严重<sup>[39]</sup>。山东近海的其他区域, 黄鲫资源也处于过度利用的状态<sup>[1]</sup>。但此后在伏季休渔等多种管理制度<sup>[40]</sup>实施下黄鲫资源迅速恢复, 本研究发现1999—2021年山东近海黄鲫资源状况均处于健康状态。其原因在于, 黄鲫具有强大的种群繁殖力, 并具有分批产卵的特性, 可以降低早期一次性死亡的风险, 从而资源在养护管理干预下可以得到迅速补充<sup>[24]</sup>。加之黄鲫与其他鳀科 (*Engraulidae*) 和鲱科 (*Clupeidae*) 鱼类在浮游生物饵料种类上有所差异及山东近海初级生产力较高<sup>[3, 24]</sup>, 促使黄鲫在高强度捕捞压力下的鱼类群落变动中脱颖而出<sup>[13, 16]</sup>, 保持一定的产量和资源量<sup>[40]</sup>。

**黄鲫资源管理的建议** 为了促进近海渔业资源的恢复, 我国在1995年开始伏季休渔。胡芷君等<sup>[40]</sup>研究表明, 该制度的实施取得了显著的效果, 其中黄鲫资源密度也有所增加。本研究估计的黄鲫资源状况也呈现向好趋势, 相比1998—2000年, 2006到2017年资源状况持续向好 (图3), 一定程度上佐证了上述伏季休渔效果。这表明了伏季休渔有助于减小捕捞压力的影响和优化资源结构。

许庆昌等<sup>[41]</sup>发现, 黄鲫为双船拖网的主要渔获之一, 法定网目下捕获了一定数量的幼鱼资源, 当网目内径增至60 mm, 可以有效保护黄鲫、小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 等幼鱼资源。张健等<sup>[42]</sup>研究表明, 张网网囊网目内径应控制在大于45 mm, 方可保护黄鲫幼鱼。胡芷君等<sup>[40]</sup>认为渤海黄鲫、火枪乌贼 (*Loligo beka*)、日本枪乌贼 (*L. japonica*) 和口虾蛄 (*Oratosquilla oratoria*) 等在每年伏季休渔结束后的高强度、高密度捕捞力量冲击下, 仅有平均14%能成为剩余群体进入第2年产卵。尽管目前的山东近海黄鲫刚达到充分利用的状态, 叉长组成结构仍优于可规避衰退风险阈值 ( $SPR_{40\%}$ ) 的结构 (图4), 但资源状况相比过去2个年代有所下降。

在气候变化日益加剧, 人类活动日益增加的背景下, 考虑到黄鲫在山东近海渔业生物群落中的关键位置及索饵期集群的特征, 建议对各捕捞网具网目尺寸进行调整研究, 提出合理网目尺寸以平衡生态保护与经济效益。

感谢中国水产科学研究院黄海水产研究所渔业资源与生态系统研究室各位同仁、“中渔科102”号全体船员在本研究中给予的支持; 感谢孙昕博士和天津大学沈家葳博士在本研究地图绘制方面给予的支持。

### 参考文献 (References):

- [1] 唐启升, 叶懋中. 山东近海渔业资源开发与保护 [M]. 北京: 农业出版社, 1990: 1-166.  
Tang Q S, Ye M Z. Exploitation and protection of offshore fishery resources in Shandong Province [M]. Beijing: Agricultural Press, 1990: 1-166 (in Chinese).
- [2] 陈大刚. 黄渤海渔业生态学 [M]. 北京: 海洋出版社, 1991: 2-135.  
Chen D G. Fishery ecology in the Yellow Sea and Bohai Sea [M]. Beijing: Ocean Press, 1991: 2-135 (in Chinese).
- [3] 刘效舜, 吴敬南, 韩光祖, 等. 黄、渤海区渔业资源调查和区划 [M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 1-22.  
Liu X S, Wu J N, Han G Z, et al. Fishery resources investigation and regionalization in Yellow Sea and Bohai Sea [M]. Beijing: China Ocean Press, 1990: 1-22 (in Chinese).
- [4] 金显仕, 赵宪勇, 孟田湘, 等. 黄、渤海生物资源与栖息环境 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 241-261.  
Jin X S, Zhao X Y, Meng T X, et al. Biological resources and habitats environment of the Yellow Sea and Bohai Sea [M]. Beijing: Science Press, 2005: 241-261 (in Chinese).
- [5] 卞晓东, 万瑞景, 金显仕, 等. 近30年渤海鱼类种群早期补充群体群聚特性和结构更替 [J]. 渔业科学进展, 2018, 39(2): 1-15.  
Bian X D, Wan R J, Jin X S, et al. Ichthyoplankton succession and assemblage structure in the Bohai Sea during the past 30 years since the 1980s [J]. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(2): 1-15 (in Chinese).
- [6] 中华人民共和国农业农村部. 中国近海渔业资源状况报告 [R]. 北京: 中华人民共和国农业农村部, 2021: 11-71.  
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Bulletin on the status of inshore fishery resources in China [R]. Beijing: Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, 2021: 11-71.
- [7] 林群, 王俊, 袁伟, 等. 捕捞和环境变化对渤海生态系统的影

- 响[J]. 中国水产科学, 2016, 23(3): 619-629.
- Lin Q, Wang J, Yuan W, *et al.* Effects of fishing and environmental change on the ecosystem of the Bohai Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(3): 619-629 (in Chinese).
- [ 8 ] 金显仕, 邱盛尧, 柳学周, 等. 黄渤海渔业资源增殖基础与前景[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 1-395.
- Jin X S, Qiu S Y, Liu X Z, *et al.* The foundation and prospect of stock enhancement of fishery resources in the Bohai Sea and Yellow Sea[M]. Beijing: Science Press, 2014: 1-395.
- [ 9 ] 韩青鹏, 单秀娟, 万荣, 等. 基于地统计二阶广义线性混合模型的黄海冬季小黄鱼时空分布和资源量指数估算[J]. 水产学报, 2019, 43(7): 1603-1614.
- Han Q P, Shan X J, Wan R, *et al.* Spatiotemporal distribution and the estimated abundance indices of *Larimichthys polyactis* in winter in the Yellow Sea based on geostatistical delta-generalized linear mixed models[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2019, 43(7): 1603-1614 (in Chinese).
- [10] 单秀娟, 金显仕, 李忠义, 等. 渤海鱼类群落结构及其主要增殖放流鱼类的资源量变化[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(6): 1-9.
- Shan X J, Jin X S, Li Z Y, *et al.* Fish community structure and stock dynamics of main releasing fish species in the Bohai Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2012, 33(6): 1-9 (in Chinese).
- [11] 苏程程, 韩青鹏, 张琦, 等. 山东半岛北部海域渔业生物群落结构及健康评价[J]. 渔业科学进展, 2023, 44(3): 1-11.
- Su C C, Han Q P, Zhang Q, *et al.* Structure and health of the fishery community in the northern Shandong Peninsula sea area[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2023, 44(3): 1-11 (in Chinese).
- [12] 金显仕, 窦硕增, 单秀娟, 等. 我国近海渔业资源可持续产出基础研究的热点问题[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(1): 124-131.
- Jin X S, Dou S Z, Shan X J, *et al.* Hot spots of frontiers in the research of sustainable yield of Chinese inshore fishery[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(1): 124-131 (in Chinese).
- [13] 金显仕. 渤海渔业种群对环境变化的适应性响应及资源效应[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020: 7-280.
- Jin X S. Adaptive response and resource effect of fishery population to environmental change in the Bohai Sea[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020: 7-280.
- [14] Hilborn R, Walters C J. Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics and uncertainty[M]. London: Chapman & Hall, 1992.
- [15] 张波. 渤海鱼类的食物关系[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(3): 11-22.
- Zhang B. Feeding ecology of fishes in the Bohai Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(3): 11-22 (in Chinese).
- [16] 苏程程, 单秀娟, 杨涛. 山东半岛南部海域渔业资源结构及关键种的年际变化[J]. 水产学报, 2021, 45(12): 1983-1992.
- Su C C, Shan X J, Yan T. Interannual changes of fish community structure and keystone species in the waters off southern Shandong Peninsula from 2016 to 2018[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(12): 1983-1992 (in Chinese).
- [17] Ricard D, Minto C, Jensen O P, *et al.* Examining the knowledge base and status of commercially exploited marine species with the RAM Legacy Stock Assessment Database[J]. *Fish and Fisheries*, 2012, 13(4): 380-398.
- [18] Free C M, Jensen O P, Wiedenmann J, *et al.* The refined ORCS approach: a catch-based method for estimating stock status and catch limits for data-poor fish stocks[J]. *Fisheries Research*, 2017, 193: 60-70.
- [19] Hordyk A, Ono K, Valencia S, *et al.* A novel length-based empirical estimation method of spawning potential ratio (SPR), and tests of its performance, for small-scale, data-poor fisheries[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2015, 72(1): 217-231.
- [20] Rudd M B, Thorson J T. Accounting for variable recruitment and fishing mortality in length-based stock assessments for data-limited fisheries[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2018, 75(7): 1019-1035.
- [21] Han Q P, Shan X J, Jin X S, *et al.* Data-limited stock assessment for fish species devoid of catch statistics: case studies for *Pampus argenteus* and *Setipinna taty* in the Bohai and Yellow Seas[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2021, 8: 766499.
- [22] 程济生. 黄渤海近岸水域生态环境与生物群落[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2004: 3-386.
- Cheng J S. Ecological environment and biological community in coastal waters of the Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2004: 3-386.
- [23] 韩青鹏, 单秀娟, 陈云龙, 等. 山东近海产卵场健康状况评价体系[J]. 中国水产科学, 2022, 29(1): 79-90.
- Han Q P, Shan X J, Chen Y L, *et al.* Health assessment system of the spawning ground in Shandong inshore waters[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(1): 79-90 (in Chinese).
- [24] 焦燕, 陈大刚, 刘群, 等. 莱州湾小型鯷鲱鱼类的生物学特征[J]. 水产学报, 2001, 25(4): 323-329.
- Jiao Y, Chen D G, Liu Q, *et al.* Biological characteristics of some small species in Engraulidae and Clupeidae[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2001, 25(4): 323-329 (in Chinese).
- [25] 任一平, 刘群, 李庆怀, 等. 青岛近海小型鯷鲱鱼类渔业生物学特性的研究[J]. 海洋湖沼通报, 2002(1): 69-74.
- Ren Y P, Liu Q, Li Q H, *et al.* Biological characteristics of some small species in Engraulidae and Clupeidae[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2002(1): 69-74 (in Chinese).



- Chinese).
- [26] 山东省海洋与渔业厅. 山东近海经济生物资源调查与评价[M]. 北京: 海洋出版社, 2010: 3-186.  
Department of Ocean and Fishery of Shandong Province. Investigation and evaluation of economic biological resources in Shandong Province inshore waters[M]. Beijing: China Ocean Press, 2010: 3-186.
- [27] Wang Y B, Wang Y C, Liu S D, *et al.* Stock assessment using LBB method for eight fish species from the Bohai and Yellow Seas[J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 164.
- [28] Clark W G.  $F_{35\%}$  revisited ten years later[J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 2002, 22(1): 251-257.
- [29] Nadon M O, Ault J S, Williams I D, *et al.* Length-based assessment of coral reef fish populations in the main and northwestern Hawaiian Islands[J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): e0133960.
- [30] Pons M, Kell L, Rudd M B, *et al.* Performance of length-based data-limited methods in a multifleet context: application to small tunas, mackerels, and bonitos in the Atlantic Ocean[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2019, 76(4): 960-973.
- [31] Chong L S, Mildenerberger T K, Rudd M B, *et al.* Performance evaluation of data-limited, length-based stock assessment methods[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2020, 77(1): 97-108.
- [32] Anderson S C, Cooper A B, Jensen O P, *et al.* Improving estimates of population status and trend with superensemble models[J]. *Fish and Fisheries*, 2017, 18(4): 732-741.
- [33] 金显仕, 程济生, 邱盛尧, 等. 黄渤海渔业资源综合研究与评价[M]. 北京: 海洋出版社, 2006: 1-395.  
Jin X S, Cheng J S, Qiu S Y, *et al.* The comprehensive research and assessment of fishery resources in Yellow Sea and Bohai Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 2006: 1-395.
- [34] 崔毅, 马绍赛, 李云平, 等. 莱州湾污染及其对渔业资源的影响[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(1): 35-41.  
Cui Y, Ma S S, Li Y P, *et al.* Pollution situation in the Laizhou Bay and its effects on fishery resources[J]. *Marine Fisheries Research*, 2003, 24(1): 35-41 (in Chinese).
- [35] 孙松. 水母暴发研究所面临的挑战[J]. 地球科学进展, 2012, 27(3): 257-261.  
Sun S. Challenges in the jellyfish bloom research[J]. *Advances in Earth Science*, 2012, 27(3): 257-261 (in Chinese).
- [36] 金显仕. 渤海主要渔业生物资源变动的研究[J]. 中国水产科学, 2000, 7(4): 22-26.  
Jin X S. The dynamics of major fishery resources in the Bohai Sea[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2000, 7(4): 22-26 (in Chinese).
- [37] 孙鹏飞. 莱州湾及黄河口水域渔业资源结构特征与渔业生态系统健康评价的初步分析[D]. 上海: 上海海洋大学, 2014: 21-69.  
Sun P F. Preliminary analysis of fishery resource structure and health assessment of fishery ecosystem in the Laizhou Bay and Yellow River Estuary[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2014: 21-69.
- [38] Jin X S. Long-term changes in fish community structure in the Bohai Sea, China[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2004, 59(1): 163-171.
- [39] 张孟海, 王勇, 张军. 渤海南部黄鲫生长与死亡特性的研究[J]. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2004, 23(1): 31-36.  
Zhang M H, Wang Y, Zhang J. Studies on the growth and death character of *Setipinna taty* in the south of Bohai Sea[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition)*, 2004, 23(1): 31-36 (in Chinese).
- [40] 胡芷君, 单秀娟, 杨涛, 等. 渤海伏季休渔效果初步评价[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(5): 13-21.  
Hu Z J, Shan X J, Yang T, *et al.* Preliminary evaluation of summer fishing moratorium in the Bohai Sea[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(5): 13-21 (in Chinese).
- [41] 许庆昌, 李显森, 孙珊, 等. 海州湾双船有翼单囊拖网渔获物组成及选择性分析[J]. 海洋渔业, 2019, 41(6): 676-683.  
Xu Q C, Li X S, Sun S, *et al.* On catch composition and selectivity of pair-trawling in the Yellow Sea[J]. *Marine Fisheries*, 2019, 41(6): 676-683 (in Chinese).
- [42] 张健, 蒋瑞, 王忠秋. 近海张网对黄鲫和小黄鱼的年龄选择性研究[J]. 海洋渔业, 2016, 38(5): 525-532.  
Zhang J, Jiang R, Wang Z Q. Age selectivity of offshore stow nets for hairfin anchovy *Setipinna taty* and little yellow croaker *Larimichthys polyactis*[J]. *Marine Fisheries*, 2016, 38(5): 525-532 (in Chinese).

## Stock assessment of *Setipinna taty* in Shandong inshore waters based on length-based model and ensemble model

HAN Qingpeng<sup>1</sup>, WU Qiang<sup>1,2</sup>, SHAN Xiujuan<sup>1,2\*</sup>, JIN Xianshi<sup>1,2</sup>, SU Chengcheng<sup>1</sup>

1. Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment,  
National Key Laboratory of Mariculture Biobreeding and Sustainable Goods,

Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Shandong Changdao Fishery Resources National Field Observation and Research Station, Yantai 265800, China

**Abstract:** Assessing the status of fish stocks is fundamental to the scientific management of fishery resources. *Setipinna taty*, an economically and ecologically significant forage species, plays a crucial role within fish communities, and changes in its stock status can have critical ecological impacts. It is essential that the management of *S. taty* resources is based on robust scientific analysis of stock status. The data requirements of traditional stock assessment methods have hindered their use in assessing *S. taty* due to data scarcity. The rapid development of data-limited methods for estimating stock status has made it possible to achieve a credible assessment of *S. taty* resources despite the inadequacy of the data to support conventional analysis methods. In this study, the length-based spawning potential ratio model (LB-SPR), the length-based integrated mixed effects model (LIME), and Ensemble modeling based on a combination of these two models were used to evaluate the status of *S. taty* in Shandong inshore waters in 1999, 2000, 2006, 2017, and 2021. The spawning potential ratio (SPR) estimated by these models served as a biological reference point (BRP) for this study and as a proxy for maximum sustainable yield (MSY) in the absence of information on population size. Model results could potentially inform a sustainable fishing harvest strategy that targets a fishing mortality rate expected to result in 40% of unfished spawning output (known as "SPR<sub>40%</sub>"), ensuring risk-averse management of populations with very low resilience. The SRP of SPR<sub>30%</sub> is a threshold below which stocks are often considered overfished. Both LB-SPR and LIME model results showed that from 1999 to 2021, stock status reached its lowest level in 2000, then improved to its best state in 2017, before beginning to decline, and by 2021 had fallen to a similar level as that during 1999–2000. The SPR estimates from the LIME model were higher than those of LB-SPR for all years. Ensemble model SPR estimates were all lower than LIME results, but not all of them occurred between the LIME and LB-SPR results. The ensemble estimates of SPR from 1999 to 2021 showed an increasing trend (0.48–0.77) followed by a decrease to 0.47, all greater than the risk-averse value of 0.4. These values implied that the *S. taty* stock in Shandong inshore waters was in a healthy state throughout the study period. During the study period, favorable environmental conditions supported the growth and reproduction of *S. taty* in Shandong inshore, providing a certain guarantee for the health status of the *S. taty* resources. However, continually increasing exploitation intensity and spatial contraction and habitat deterioration of the core spawning and nursery grounds may adversely affect the stock status in the future. Currently, the *S. taty* stock in Shandong inshore has just reached full utilization, yet the fork length compositional structure remains above the population decline risk threshold (SPR<sub>40%</sub>). Compression of this compositional structure nonetheless signals a need for precaution within the context of increasingly complex climatic change and increasing anthropogenic pressure. Considering the key position of *S. taty* in the Shandong fish community and its trophic characteristics should motivate fisheries researchers to evaluate the impacts of current commercial mesh net size of fishing gear and propose reasonable size constraints that can provide an optimal balance between ecological protection and economic benefit. The present study provides a credible scientific basis for the sustainable utilization of *S. taty* resources in Shandong inshore waters. It is the first public Chinese assessment report on the application of a multi-model combination to data-limited fishery stocks in China, and could help advance the progress of resource assessment for data-limited stocks throughout the country.

**Key words:** *Setipinna taty*; stock assessment; length-based model; ensemble model; Shandong inshore waters

**Corresponding author:** SHAN Xiujuan. E-mail: [shanxj@ysfri.ac.cn](mailto:shanxj@ysfri.ac.cn)

**Funding projects:** National Basic Research Program of Shandong Province (2022CXPT013); National Natural Science Foundation of China (42176151); Taishan Scholar Project; Innovation Team of Fishery Resources and Ecology in the Yellow and Bohai Seas (2020TD01)