



澳洲鲭太平洋群系的资源评估与管理策略

张 畅¹, 陈新军^{1,2,3,4,5*}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室, 青岛国家海洋科学技术实验室, 山东 青岛 266237;

3. 上海海洋大学, 大洋渔业资源可持续开发教育部重点实验室, 上海 201306;

4. 上海海洋大学, 国家远洋渔业工程技术研究中心, 上海 201306;

5. 上海海洋大学, 农业农村部大洋渔业开发重点实验室, 上海 201306)

摘要: 澳洲鲭是西北太平洋重要的经济种类, 了解和掌握澳洲鲭太平洋群系资源开发状况对确保其可持续利用具有重要的意义。根据日本中央水产研究所提供的1995—2015年澳洲鲭太平洋群系的生产统计和资源调查资料, 利用基于年龄结构的实际种群模型和单位补充量产量模型等进行资源量评估, 分析澳洲鲭太平洋群系资源利用情况及其管理策略。结果显示, 历年澳洲鲭太平洋群系资源量虽有波动但仍保持在较高水平, 2015年资源量最高约为65万t; 年平均捕捞死亡系数呈波动下降趋势, 2015年捕捞死亡系数只有0.15, 近五年平均捕捞死亡系数 $F_{cur}=0.33$, 单位补充量亲体量是未开发时的32.7%, 不存在生长型捕捞过度, 也不存在补充型捕捞过度, 处于可持续开发状态。研究还探讨了水温变化引起自然死亡波动以及不同开捕年龄对澳洲鲭太平洋群系资源状况的影响。研究表明, 该渔业目前开发和利用程度合理, 建议使用 $F_{0.1}$ 做为管理参考点进行渔业资源的管理。

关键词: 澳洲鲭; VPA; 单位补充量产量模型; 管理参考点; 太平洋群系

中图分类号: S 932.4

文献标志码: A

澳洲鲭(*Scomber australasicus*), 又称为花腹鲭, 广泛分布在太平洋、印度洋以及红海等海域。在北太平洋主要分为东海群系、南海群系和太平洋群系, 各个群系间由于地域、海流等原因, 没有明显的交流现象^[1-2]。澳洲鲭的太平洋群系分布海域广泛, 有明显的洄游路径, 产卵时间主要为冬春季(1—6月), 鱼卵与仔鱼由于游泳能力较弱, 在4—7月随黑潮向东北方向扩散至更广阔的海域^[3], 其生活史受潮流和环境因素影响明显^[4-5]。太平洋群系主要捕捞渔具为围网和定置网等, 主要捕捞国家为日本、韩国, 渔获物以0、1龄鱼为主, 全年都有捕捞作业^[4]。

根据统计, 1995—1997年太平洋群系渔获量维持在13~18万t, 1998年下降至5.8万t, 随后渔获量呈波动上升, 2006年达19.4万t, 2007年又下降至12.1万t, 后又逐年上升, 2010年达到18.9万t, 2011—2015年渔获量大致呈逐年下降趋势, 2015年仅为6.8万t(图1), 从整体上看, 20多年的澳洲鲭渔获量变化波动较大^[6]。目前, 太平洋群系资源量研究主要由日本学者利用Pope世代分析法进行评估^[4, 7], 国内研究较为缺乏。作为西北太平洋重要的经济种类, 了解和掌握其资源开发利用状况, 确保可持续利用和科学管理, 具有重要意义。

收稿日期: 2017-12-31 修回日期: 2018-03-18

资助项目: 海洋局公益性行业专项(20155014); 上海市科技创新计划(15DZ1202200)

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

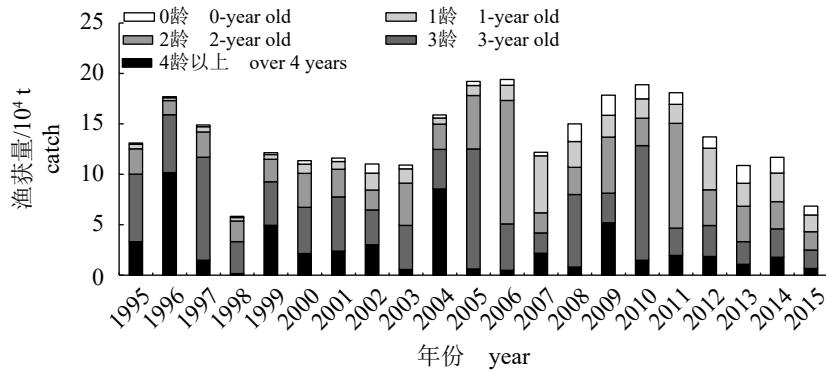


图 1 澳洲鲭太平洋群系1995—2015年渔获量及其年龄组成

Fig. 1 Catch and age structure of *S. australasicus* for the Pacific stock

实际种群模型(virtual population analysis, VPA)由Fry (1949)和Gulland (1965)等人提出与完善^[7], 该模型可避免使用难以测量和收集的捕捞努力量, 降低了对资料内容的要求, 在鱼类资源评估中得到广泛的应用^[8-10]。单位补充量产量模型(yield per recruit, YPR)可预测在不同捕捞努力量下单位补充量和相对产量之间的关系, 常被用于鱼类资源评估管理^[8, 11]。为此, 本研究基于以上2个模型对澳洲鲭太平洋群系历年资源量进行评估并设置管理参考点, 为澳洲鲭的可持续开发和科学管理提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 渔获数据

研究所用数据来自2016年日本中央水产研究所提供的澳洲鲭太平洋群系资源评估报告(<http://abchan.fra.go.jp/digests27/index.html>), 数据包括1995—2015年渔获量数据和资源调查资料(CPUE)。

1.2 自然死亡系数

自然死亡系数 M 根据Pauly经验公式估算^[8], 其表达式: $M=0.8 \times \exp(-0.015-0.279 \ln L_{\infty}+0.654 \ln k+0.463 \ln T)$ 。式中, T 为栖息海域多年平均海表面温度($^{\circ}\text{C}$), 澳洲鲭太平洋群系渐进体长 L_{∞} 为44.89 cm, 生长参数 k 为0.264^[12]。式中 T 的计算方法: 根据已有文献研究^[7]选取澳洲鲭栖息水域($140^{\circ}\sim 155^{\circ}\text{E}$, $35^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$), 计算1995—2015年的年平均海表面温度, 数据来自http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/IGOSS/nmc/Reyn_SmithOlV2/monthly/datasettables.html。

1.3 资源量估算

应用年龄结构实际种群分析评估澳洲鲭太

平洋群系的资源量, 并利用Fisheries Toolbox中的渔业资源评估软件VPA进行计算(<http://nft.nefsc.noaa.gov/>)。根据2015年各年龄组渔获尾数与重量数据、资源调查资料(CPUE)以及自然死亡系数, 该模型可回推计算历年各年龄组资源尾数、重量、亲体量与捕捞死亡系数。资源量计算见公式(1)、(2)、(3)和(4)。公式(4)用于计算各年(除2015)捕捞死亡系数, 模型通过多次迭代CPUE与资源量之间的协调情况, 得出最优情况下的 $F_{a,2015}$ 。具体计算过程可参考VPA软件说明^[13]。

$$Z_{a,t} = F_{a,t} + M_{a,t} \quad (1)$$

$$\frac{N_{a+1,t+1}}{C_{a,t}} = \frac{Z_{a,t}e^{-Z_{a,t}}}{F_{a,t}(1 - e^{-Z_{a,t}})} \quad (2)$$

$$N_{a,t} = \frac{C_{a,t}Z_{a,t}}{F_{a,t}(1 - e^{-Z_{a,t}})} \quad (3)$$

$$F_{a,t} = \ln \frac{\sum^{N_{a,t}} e^{-M_{a,t}}}{\sum^{N_{a+1,t+1}}} \quad (4)$$

式中, $Z_{a,t}$ 为 t 年 a 龄群的总死亡系数; $C_{a,t}$ 为 t 年 a 龄群的渔获量; $F_{a,t}$ 为 t 年 a 龄群的捕捞死亡系数; $N_{a,t}$ 为 t 年 a 龄群的资源量。

1.4 管理参考点估算

单位补充量产量模型 单位补充量产量模型YPR曲线可得渔业管理中两个重要的生物参考点 F_{\max} 和 $F_{0.1}$ ^[14]。

YPR表达式:

$$YPR = W_{\infty}e^{M(t_r-t_0)}g(1-c)^{-g} B_{1-c}(m+g, \beta+1) \quad (5)$$

$$c = 1 - e^{-k(t_c-t_0)} \quad (6)$$

$$g = \frac{F}{k} \quad (7)$$

$$m = \frac{M}{k} \tag{8}$$

$$B_{1-c}(m+g, \beta+1) = \int_{1-c}^0 y^{m+g-1} (1-y)^\beta dy \tag{9}$$

式中，YPR为单位补充量产量(kg)， W_∞ 为极限体质量， t_c 为初捕年龄， t_r 为进入补充群体时的年龄， k 为生长参数， t_0 为理论上体长、体质量为0时的年龄， β 为幂指数系数， F 为捕捞死亡系数。

根据已有文献研究^[12]，各生长参数设定： $W_\infty=1.311$ kg， $t_r=1$ 龄， $t_0=-1.85$ 龄， $\beta=3.36$ 。通过太平洋群系各年龄渔获物体长统计结果与生长方程比对^[4, 7]，可知0龄渔获物体长范围为20~25 cm， $t_c=0.4$ 龄(20 cm)。

$F_{0.1}$ 的定义：

$$\left. \frac{dYPR}{dF} \right|_{F=F_{0.1}} = 0.1 \times \left. \frac{dYPR}{dF} \right|_{F=0} \tag{10}$$

式中， $F_{0.1}$ 表示YPR曲线最大斜率的10%对应的捕捞死亡系数，并在YPR最大时对应的捕捞死亡系数设为 F_{max} 。

生殖潜能比例 生殖潜能比例(spawning potential ratio, SPR)由Goodyear^[15]定义为现阶段渔获率水平下单位补充量亲体量与未开发渔场时单位补充量亲体量的比例，SPR曲线在渔业管理中可作为判断补充型过度捕捞的标准，一般建议其生殖潜能比例避免低于20%^[1]。

$$\frac{SSB}{R} = e^{-Z(t_m-t_c)} (Y/R) / F \tag{11}$$

$$PR = \frac{SSB/R}{SSB/R|_{F=0}} \tag{12}$$

式中，SSB(spawning stock biomass)为亲体量，SSB/R为单位补充量亲体量(kg)， t_m 为50%成熟年龄。根据已有文献研究， t_m 设定为1.5龄^[4, 7]。

2 结果

2.1 自然死亡系数计算

1995—2015年澳洲鲭太平洋群系栖息地年平均水温为16.38 °C，通过Pauly经验公式估算得自然死亡系数为0.42。

2.2 资源量与亲体量估算

根据历年资源量的评估结果(图2)，1995—2003年资源量较低，约为17~28万t，2004年为44万t，之后几年资源量处于波动上升的状态，2015年资源量最高约为65万t。其亲体量与资源量有相同的变化趋势(图2)，2015年亲体量为27万t。

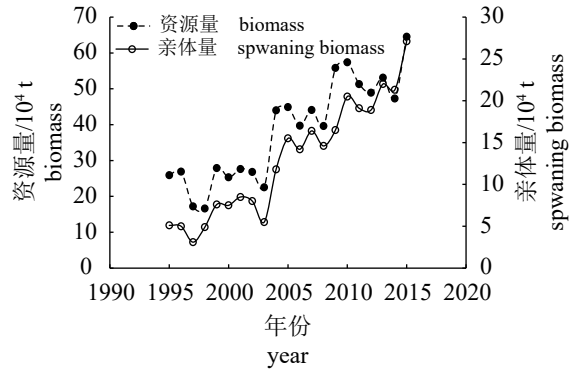


图2 澳洲鲭太平洋群系资源量与亲体量评估结果
Fig. 2 Stock and spawning biomass of *S. australasicus* for the Pacific stock

各个年龄组捕捞死亡系数在1995—2007年间均有较大波动，2008年后变化趋势较为平缓，2015年有较大幅度下降，年平均捕捞死亡系数 F 在0.15~1.10的范围内变化(图3)，近5年平均捕捞死亡系数 F_{cur} 为0.33。从资源量、亲体量与 F 的变化趋势分析(图2，图3)，该群体在总资源量和亲体量上的捕捞压力较小。

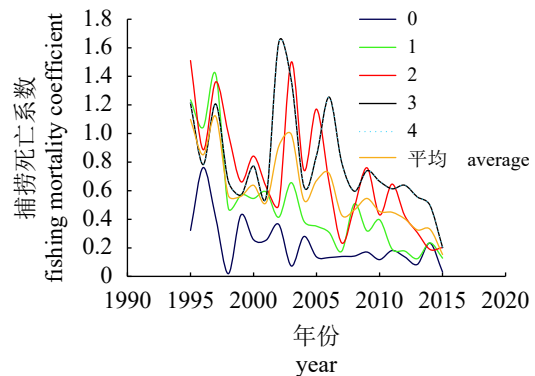


图3 澳洲鲭太平洋群系各年龄组的捕捞死亡系数
Fig. 3 Fishing mortality of all ages for Pacific stock of *S. australasicus*

2.3 单位补充量产量分析

当开捕年龄为0.4龄时，能获得最大单位补充量产量(0.159 kg/尾)的捕捞系数为0.69，SPR为11.1%； $F_{0.1}$ 为0.32，对应的YPR为0.145 kg/尾，SPR为32.7%； F_{cur} 为0.33，对应的YPR为0.146 kg/尾，SPR为31.6%(图4)。

2015年平均捕捞死亡系数 F 为0.15，未超过最大渔获死亡系数 F_{max} 和管理参考点 $F_{0.1}$ ，未出现生长型捕捞过度。近5年捕捞死亡系数 F_{cur} 未超过 F_{max} ，接近管理参考点 $F_{0.1}$ ，但对应的SPR是未开

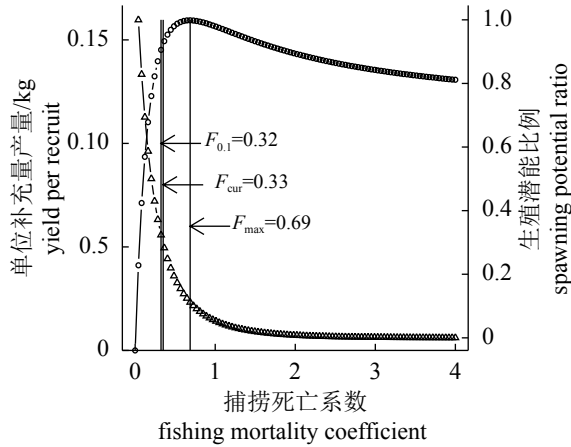


图 4 澳洲鲭太平洋群系YPR与SPR示意图

Fig. 4 Figure of YPR and SPR for Pacific stock of *S. australasicus*

发状态下的31.6%，表明未出现补充型过度捕捞。

图5为太平洋群系澳洲鲭等渔获量曲线图，虚线AB之间的区域为最适产量区，从当前的 t_c 与 F_{cur} (图5点P处于最适产量区)判断，现阶段对澳洲鲭的太平洋群系资源利用合理，且存在较大的开发潜力。

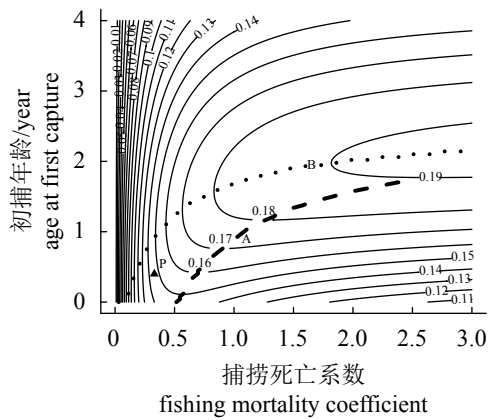


图 5 澳洲鲭太平洋群系等渔获量曲线图

Fig. 5 Curve of equal catch at various age for Pacific stock of *S. australasicus*

3 讨论

3.1 自然死亡系数对资源量的影响

本次研究所用 M 值与其他评估研究中所用的 M 值相近^[3, 6]。太平洋群系的栖息海域为黑潮与亲潮的冷暖潮流交汇区^[16-17]，海表面温度范围变化大，计算多年海表面平均温度时，不同时间空间的选择会对 M 值的估算造成一定的影响。澳

洲鲭分布受温度影响明显，适宜温度范围为17~25 °C^[5, 18]，对应的 M 值为0.4~0.5。研究中也尝试加入不同的 M 值(0.40、0.45和0.50)，从整体来看，资源量历年变化趋势相似，随 M 值的增大总资源量呈上升状态，特别是在资源量波峰年份(2005、2007和2010年)呈现出更大的差异(图6)。在不同的 M 值下资源量有所差异，而管理参考点 $F_{0.1}$ 差异较小(图7)。

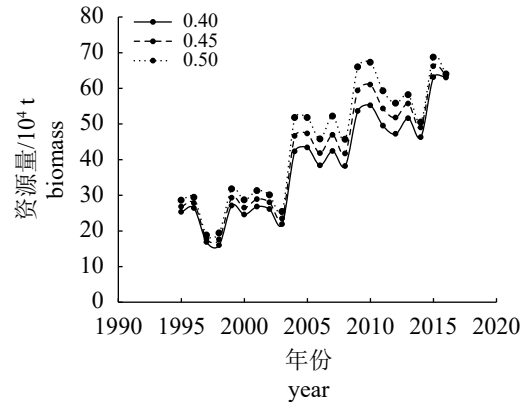


图 6 不同 M 值下资源量的变动

Fig. 6 Change of stock biomass under different M values

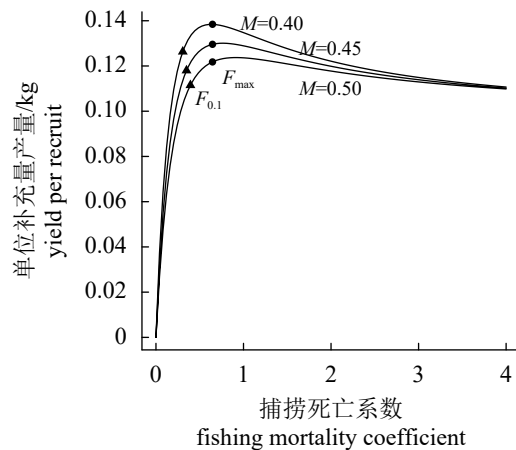


图 7 比较不同 M 值在YPR中的结果

Fig. 7 Comparing the results of different M values in YPR

3.2 初捕年龄

太平洋群系在日本沿太平洋一侧海域有较多产卵场，其中日本关东周边海域有较大产卵场^[4, 7]，故本次研究选用该海域澳洲鲭样本的生物学参数。初捕年龄可能由于不同的捕捞作业情况而变化，但在相同捕捞死亡系数下，初捕

年龄从0龄到0.6龄, YPR数值基本一致, 都处于最适渔获量区(图5)。在今后的研究中需加大对不同海域样本的收集与比较, 获取更准确、更具代表性的生物学参数, 规范渔具渔法, 改进评估结果。

3.3 评估结果分析及展望

从图4、图5结果可知太平洋群系目前开发较为合理, 即不存在生长型捕捞过度, 也不存在补充型捕捞过度。 F_{max} 对应的SPR为11.1%, 小于20%, 对亲体量的捕捞压力较大, 容易导致补充型捕捞过度从而使资源量下降, $F_{0.1}$ 相对于 F_{max} 减少了53.6%, 而对应的YPR仅减少8.8%, 因此需采用更为保守的 $F_{0.1}$ 作为管理参考点。

本次评估与日本学者评估结果相比, 历年资源量变化趋势较为一致, 但二者历年资源量大小存在差异^[7]。主要的原因: 在日本学者的研究中, 考虑了更多的资源调查资料(0龄鱼的尾叉长、0龄鱼的出现率、个别海域的产卵量以及平均渔获尾叉长等), 但是每年放入评估模型中的调查指数都不相同, 放入不同的调查指数可能会得到相反的结果, 这些调查指数是否具有代表性以及具体选取的标准都需要进一步研究; 在日本学者研究中, 使用Pope世代分析法是在一定范围内对VPA模型的简化, 其主要的假设条件是 $\frac{Z(1-e^F)}{F(1-e^Z)} \approx e^{-M/2}$, 即 $Z < 1$ (当 $M = 0.4$ 时 $F < 0.6$), 当 $Z > 1$ 时, 不适用于Pope近似公式^[4, 7, 19], 但无论是本次研究(图3)还是日本学者研究中, 都有 $Z > 1$ 的情况出现。

澳洲鲭为狭温性物种, 喜高温高盐, 其资源量波动不仅与自身生长繁殖或捕捞等因素有关, 与环境气候等因素也有十分明显的联系^[20-21]。澳洲鲭中心渔场的形成、产卵索饵时间与产卵索饵场分布等都与环境因素有关, 且不同的环境因素对其资源量的影响方式和程度都不相同^[5, 22]。在今后研究中, 应考虑不同环境气候因素对其的影响, 加强渔业海洋学研究, 探究影响资源变动的关键影响因子, 并与资源量评估工作结合, 为更准确有效地评估提供技术支持。

参考文献:

[1] Tzeng C H, Chen C S, Tang P C, *et al.* Microsatellite and mitochondrial haplotype differentiation in blue

<http://www.sxuebao.cn>

mackerel (*Scomber australasicus*) from the western North Pacific[J]. ICES Journal of Marine Science, 2009, 66(5): 816-825.

[2] 程娇. 西北太平洋两种鲭属鱼类的分子系统地理学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.

Cheng J. Molecular phylogeography of two *Scombers* species in Northwestern Pacific[D]. Qingdao: China Ocean University, 2013(in Chinese).

[3] Ryuga U, Watanabe C, Uemura Y, *et al.* Stock assessment and evaluation for the Pacific stock of spotted mackerel [R]. Japan: the National Research Institute of Fisheries Agency, 2015:16-20.

[4] Sassa C, Tsukamoto Y. Distribution and growth of *Scomber japonicus* and *S. australasicus* larvae in the southern East China Sea in response to oceanographic conditions[J]. Marine Ecology Progress Series, 2010, 419: 185-199.

[5] 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.

[6] Ryugu Y, Watanabe C, Uemura Y, *et al.* Stock assessment and evaluation for the Pacific stock of spotted mackerel [R]. Japan: the National Research Institute of Fisheries Agency, 2016:4-13.

[7] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 291-298.

Zhan B Y. Fish Stock Assessment[M]. Beijing: Agricultural Sciences in China, 1995: 291-298(in Chinese).

[8] 陈卫忠, 李长松, 胡芬. 实际种群分析法在绿鳍马面鲈资源评估中的应用和改进[J]. 水产学报, 2000, 24(6): 522-526.

Chen W Z, Li C S, Hu F. Application and improvement of Virtual Population Analysis (VPA) in stock assessment of *Thamnaconus septentrionalis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(6): 522-526(in Chinese).

[9] Butterworth D S, Rademeyer R A. Statistical catch-at-age analysis vs. ADAPT-VPA: the case of Gulf of Maine cod[J]. ICES Journal of Marine Science, 2008, 65(9): 1717-1732.

[10] Punt A E. The performance of VPA-based management[J]. Fisheries Research, 1997, 29(3): 217-

中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

- 243.
- [11] 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(in Chinese).
- [12] Koaki A. Study on the age and growth of blue mackerel (*Scomber australasicus*) in Kanto[R]. Japan: Chiba county aquaculture test site, 1978: 27-30(in Japanese).
- [13] NOAA.VPA/ADAPT Version 3.0 reference manual [EB/OL]. (2014). <http://nft.nefsc.noaa.gov/VPA.html>.
- [14] 官文江. R语言在海洋渔业中的应用[M]. 北京: 海洋出版社, 2015.
Guan W J. The Application of R in Marine Fisheries[M]. Beijing: China Ocean Press, 2015(in Chinese).
- [15] Goodyear C P. Spawning stock biomass per recruit in fisheries management: foundation and current use[M]//Smith S J, Hunt J J, Rivard D. Risk Evaluation and Biological Reference Points for Fisheries Management. Ottawa: Fisheries and Oceans Canada, 1993: 67-81.
- [16] 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(in Chinese).
- [17] Kamimura Y, Takahashi M, Yamashita N, *et al.* Larval and juvenile growth of chub mackerel *Scomber japonicus* in relation to recruitment in the western North Pacific[J]. Fisheries Science, 2015, 81(3): 505-513.
- [18] Tanoue T, Kurata Y, Tokudome Y. On the spawning-season of the mackerel, *Pneumatophorus tapeinocephalus*, Bleeker in three different regions, East China sea, Satsunan and Izu[J]. The Japanese Society of Fisheries Science, 1960, 26(3): 277-283.
- [19] Hilborn R, Walters C J. Quantitative Fisheries Stock Assessment[M]. New York: Chapman and Hall, 1992: 177-178.
- [20] 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(in Chinese).
- [21] 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(in Chinese).
- [22] 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 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(in Chinese).

Management and assessment of spotted mackerel (*Scomber australasicus*) biomass in the Pacific Ocean

ZHANG Chang¹, CHEN Xinjun^{1,2,3,4,5*}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

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

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

3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education,

Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

5. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploitation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs,

Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Spotted mackerel (*Scomber australasicus*) is an important economic species in northwest Pacific. The paper evaluates the Pacific stock biomass by age structure virtual population analysis (VPA) and yield per recruit model, and analyses the utilization of stock biomass by using the mackerel catch and CPUE data of the Pacific group which is supplied by Japan's central fisheries research institute from 1995 to 2015. The results show that the biomass of spotted mackerel remains at a high level. The stock biomass is about 650000 tons in 2015, the average fishing mortality shows a trend of falling volatility and fishing mortality of 2015 is 0.15, the current fishing mortality (F_{cur}) is 0.33, the spawning potential ratio (SPR) remains 36.5%. There is no growth overfishing and recruitment overfishing. It is also discussed that the fluctuations of natural mortality caused by water temperature change and different fishing age affect the resources of spotted mackerel. The study suggests that the fishery is currently utilized in the sustainable way and has great potential for development. It also suggests that the fishery resources could be developed and utilized by using the management reference point $F_{0.1}$.

Key words: *Scomber australasicus*; VPA; yield per recruit; management reference point; Pacific stock

Corresponding author: CHEN Xinjun. E-mail: xjchen@shou.edu.cn

Funding projects: Public Welfare Industry Special Project of Oceanic Administration (20155014); Shanghai Science and Technology Innovation Plan (15DZ1202200)