

东海南部海洋初级生产力与鲈鱼资源量变动关系的研究

官文江^{1,2}, 陈新军^{1,2}, 高峰^{1,2}, 李纲^{1,2}

(1. 上海海洋大学, 海洋科学学院, 上海 201306;

2. 大洋渔业资源可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海海洋大学, 上海 201306)

摘要: 海洋初级生产力决定海洋渔业资源的潜在产量, 我国应用海洋初级生产力方法估算渔业资源量亦已取得不少研究成果, 但海洋生态系统中的营养控制机制复杂多样, 将影响海洋初级生产力与鱼类资源量的关系。本文利用中国大型灯光围网渔业在东海南部渔场的鲈鱼 (*Scomber japonicus*) 捕捞数据与海洋净初级生产力的遥感资料分析了鲈鱼资源量变化与净初级生产力的关系, 探讨了其生态系统营养控制机制。研究表明, 净初级生产力与标准化 CPUE (Catch Per Unit Effort) 不存在显著的线性关系 ($P > 0.05$), 但呈显著非线性关系 ($P < 0.05$), 且这种非线性关系表现为倒抛物线, 即鲈鱼资源量随净初级生产力的增加而提高, 但当净初级生产力进一步增加, 鲈鱼资源量则呈下降趋势。净初级生产力与标准化 CPUE 呈显著的倒抛物线关系表明生态系统存在上行控制机制, 但并非受该机制完全控制。种间竞争或浮游动物资源量的变动均可能引起鲈鱼资源的相对丰度与净初级生产力呈倒抛物线关系。

关键词: 东海南部, 净初级生产力, 鲈鱼, 资源量

中图分类号: S931.3

收稿日期: 修订日期:

基金项目: 国家发改委产业化专项 (编号2159999), 上海市科技创新行动计划 (编号12231203900) 和海洋高分辨率卫星遥感系统研制与示范应用项目资助

作者简介: 官文江 (1974.9-), 男, 江西余干人, 副教授, 研究方向: 海洋渔业遥感, Email: wjguan@shou.edu.cn

1 引言

海洋初级生产力决定海洋渔业资源的潜在产量^[1-2]，但不同生态系统类型的营养控制机制复杂多样如存在上行控制 (Bottom-up Control)、下行控制 (Top-down Control) 及“蜂腰”控制 (Wasp-waist Control)^[3-6]等，从而使海洋初级生产力与渔业资源量的关系复杂化。但基于生态系统的渔业管理^[2]需深刻理解初级生产力与渔业资源量的关联关系，以进一步揭示生态系统的状态、承载力及其与渔业资源可持续开发之间的联系性^[7]。

我国应用海洋初级生产力估算渔业资源的潜在产量已取得不少研究成果^[8]，但较少使用海洋初级生产力的遥感资料，以利用其长时间、大面积获取数据的特点，分析海洋初级生产力与渔业资源量变动的关系、研究海洋生态系统的营养控制机制。据此，本文利用中国大型灯光围网渔业在东海南部渔场的捕捞数据及初级生产力遥感资料分析鲈鱼 (*Scomber japonicus*) 资源量的变化与初级生产力的关系，探讨东海南部鲈鱼渔场的营养控制机制，为该渔业资源的评估与管理提供科学依据。

2 材料与方法

2.1 数据

2.1.1 渔业数据

1998至2012年，中国大型灯光围网渔业在东海南部渔场的捕捞数据来自上海海洋大学围网渔业技术组，数据记录包括捕捞位置、日期、渔船名、捕捞产量、捕捞网次等。东海南部是鲈鱼的重要产卵场、育肥场及渔场^[9-10]，中国大型灯光围网渔业在东海南部渔场的捕捞，自1998至2004年，主要集中在30°N以南的陆架锋区，自2005年开始，在更北海域也有部分产量分布。为使各年捕捞数据在研究区域内分布相对均衡，以使资源指数（标准化CPUE，见下文）能代表该海域鲈鱼资源量，因此以1998至2004年的捕捞位置为基础，建立外包四边形区域为研究区域（见图1），该区域覆盖了东海南部鲈鱼的主要产卵场、育肥场及渔场^[9-10]。

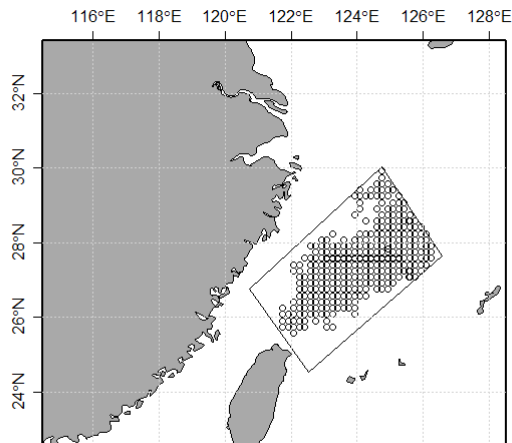


图1 研究海域与1998至2012年鲈鱼的捕捞位置

2.1.2 净初级生产力数据

基于SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field of View Sensor) 与MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 数据的净初级生产力 (Net Primary Production: NPP) 产品来自俄勒冈州立大学网站 (<http://www.science.oregonstate.edu/ocean.productivity/>)，净初级生产力的反演算法为VGPM

(Vertically Generalized Production Model)。SeaWiFS与MODIS数据月份齐全的年代分别为1998至2007年、2003至2012年。所有数据的时间分辨率为月，空间分辨率为 10×10 。

2.2 方法

2.2.1 渔业数据处理

CPUE (Catch Per Unit Effort) 定义如下:

$$CPUE_{Y,m,LC,C} = \frac{Catch_{Y,m,LC,C}}{Hauls_{Y,m,LC,C}} \quad (1)$$

其中 $Catch_{Y,m,LC,C}$ 与 $Hauls_{Y,m,LC,C}$ 分别是 Y 年, m 月, LC 阴历, C 渔业公司的捕捞产量和捕捞努力量。

CPUE 采用 GLM 模型进行标准化, 以获得渔业资源量变化的年效应:

$$\eta(u) = Year + Comp + L_C + L_C^2 \quad (2)$$

$$u = E[CPUE_{Y,m,LC,C} + 1.0] \quad (3)$$

其中 η 为连接函数, E 为期望, $Year$ 为资源变化的年效应, $Comp$ 为公司效应, L_C 表示阴历 (即月相) 引起的效应, GLM 模型的误差分布假设为 Gamma 分布^[11]。假设 1998 年为标准年, 其资源指数为 1, 则相对于 1998 年的年效应为该年的资源指数, 即标准化的 CPUE (Standardized CPUE: SCPUE)^[12]。通过 CPUE 的标准化, 可使捕捞系数为常数, 从而建立其与资源量的正比关系^[12]。

为对比标准化的效果, 本文定义名义 CPUE (Nominal CPUE: NCPUE) 为:

$$NCPUE_Y = \frac{Catch_Y}{Hauls_Y} \quad (4)$$

其中, $Catch_Y$ 与 $Hauls_Y$, 分别为 Y 年总产量与总网次。

2.2.2 NPP 数据的处理

1) 研究区域内净初级生产力的计算

研究区域内每月总净初级生产力 (记为: ANPP) 计算如下式:

$$ANPP_{Y,m} = \sum_{i \in FA} NPP_{Y,m,i} S_i Days_m \quad (5)$$

其中, S_i 为第 i 像素的面积, $Days_m$ 为 m 月的天数, FA 为研究区域见图 1。

研究区域内年总净初级生产力 (记为: YNPP) 计算如下式:

$$YNPP_Y = \sum_{m=1}^{12} ANPP_{Y,m} \quad (6)$$

2) 利用 MODIS 数据, 延长 SeaWiFS 净初级生产力时间系列长度

基于 MODIS 与 SeaWiFS 的净初级生产力产品在 2003 至 2007 年均有效, 但 YNPP 数据长度有限 (仅 5 个数据), 因此利用 2003 至 2007 年 SeaWiFS 与 MODIS 的 ANPP 数据, 建立两者之间的线性关系。利用该线性关系及 MODIS 的 2008 至 2012 年的数据, 将 SeaWiFS 的净初级生产力时间系列扩展至 2012 年。

2.2.3 YNPP 与 SCPUE 的关系分析

利用相关分析与多元回归方法分析 YNPP 与 SCPUE 之间的关系。

3 结果

3.1 CPUE 的标准化

GLM 模型估计的年效应均显著 ($P < 0.001$)，其它变量除青岛海裕渔业公司 (青渔) 效应不显著 ($P = 0.08$) 外亦均显著 ($P < 0.001$)，观测值与模型预测值显著相关 ($r = 0.26$, $P < 0.001$)。尽管标准化 CPUE 与名义 CPUE 在个别年份相对差异较大如 1998 年,但二者呈显著线性相关 ($r = 0.98$, $P < 0.001$) (图 2)。

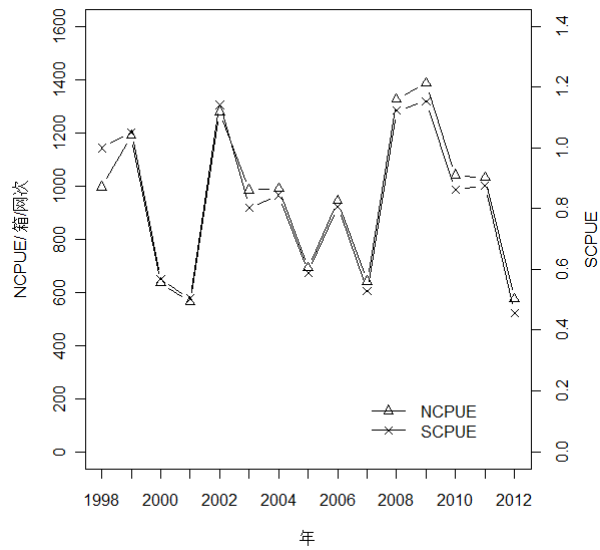


图 2 名义 CPUE (NCPUE) 与标准化 CPUE (SCPUE) 随年的变化

3.2 YNPP 时间系列

基于 SeaWiFS 的 ANPP 数据与基于 MODIS 的 ANPP 数据显著线性相关 ($P < 0.001$, 图 3)，利用该线性关系，分别将 SeaWiFS 的 YNPP 时间系列扩展至 2012 年 (图 4，垂线右侧部分)。图 4 表明，YNPP 数据存在明显的年际变化。

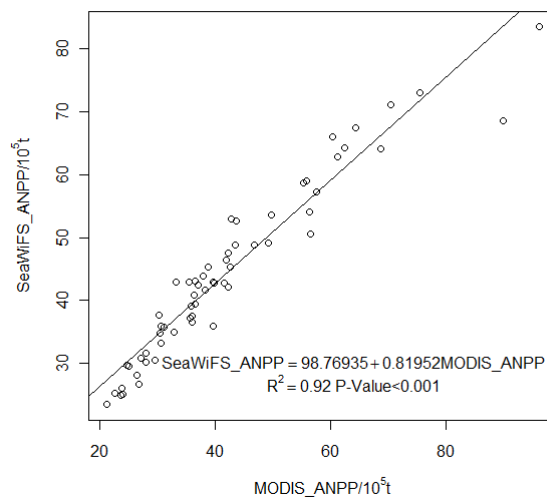


图 3 SeaWiFS 与 MODIS 的每月区域净初级生产力 (ANPP) 间的线性关系

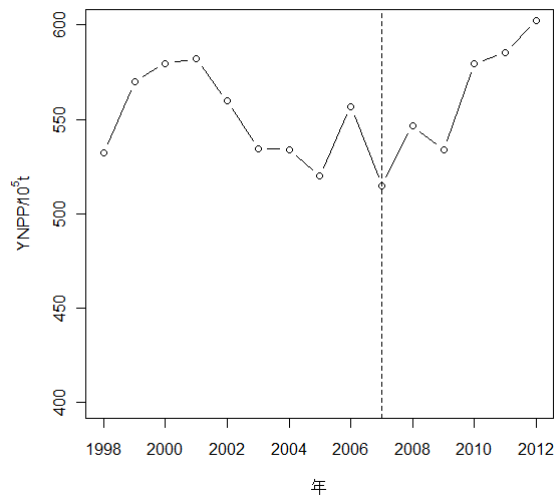


图4 年净初级生产力 (YNPP) 随年的变化, 虚线左侧基于 SeaWiFS 数据, 右侧采用 MODIS 数据及图 3 的线性关系计算出的结果。

3.3 YNPP 与标准化 CPUE 之间的关系

标准化 CPUE 与 YNPP 不存在显著的线性关系 ($P > 0.05$), 但利用 YNPP 的二次多项式能较好拟合其与标准化 CPUE 间的非线性关系 ($P < 0.05$, 图 5), 且这种非线性关系表现为倒抛物线 (图 5), 即鲈鱼资源量随净初级生产力的增加而提高, 但当净初级生产力进一步增加, 鲈鱼资源量则呈下降趋势。

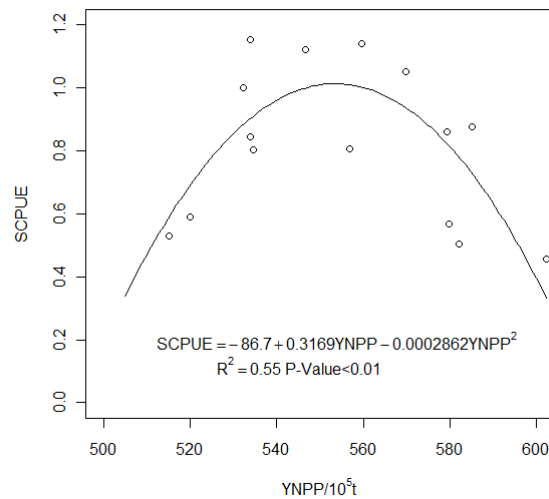


图5 年初级生产力 (YNPP) 与标准化 CPUE 的关系.

4 讨论

4.1 CPUE 的标准化

由于中国大型灯光围网渔业各渔业公司捕捞效应存在显著差异^[11], 月相等对捕捞效应有显著影响^[13], 因此, 本文采用 GLM 模型对 CPUE 数据进行标准化以去除这些因素对捕捞系数的影响,

从而使捕捞系数稳定。GLM 模型中的变量主要选择渔业公司与阴历（代表月相），因为其它变量如月、海表水温等效应不显著。

由于每年捕捞努力量在各月相（阴历）的分布类似，尽管月相对捕捞效率有显著影响，但对捕捞系数年际变动影响较小。渔业公司捕捞努力量的分布在该海域存在年际变化，如 1998 年辽宁海洋渔业公司（辽渔）在该海域没有作业，自 2006 年后，上海海洋渔业公司（沪渔）、2007 年后舟山海洋渔业公司（舟渔）、2008 年后青渔没有在该海域作业。由于渔业公司间的捕捞效率存在显著差异，其捕捞努力量的年际变化将引起捕捞系数的年际变化，且相对于其它渔业公司，沪渔、舟渔、青渔捕捞效率较低，而辽渔捕捞效率较高^[11]。因此，结合图 2 结果可知标准化的 CPUE 更具有合理性。

4.2 净初级生产力遥感

净初级生产力遥感算法众多^[14]，本文选择 VGPM 算法^[15]主要是因为：（1）VGPM 算法计算最大光合作用率的方程为水温的 6 次多项式，该方程在接近 20℃ 时获得最大值，此后随温度升高，最大光合作用率下降。由于东海南部鲈鱼渔场水温常年能维持在较高水平，水温不是光合作用的主要限制性因素，而水温升高则会增加浮游植物的呼吸作用，因此，在该海域，VGPM 的水温多项式能更好计算最大光合作用率。Friedland 等^[14]的结果也表明在高温水域，VGPM 算法有较高的估算精度。

（2）官文江等^[16]利用该多项式反演了中国近海的初级生产力，取得了较好的效果。

由于每一个传感器均有一定的使用期限，而基于不同传感器的遥感产品存在差异（图 3）。但由于，基于两传感器数据的净初级生产力产品均源自同一区域，数据间存在较好的线性关系（图 3）。因此，可利用该线性关系以去除两数据间的系统性误差，从而能有效延长净初级生产力时间系列的长度。

4.3 鲈鱼资源量的变动

由图 4 可知，1998 至 2012 年间，净初级生产力存在两个上升峰，即 1998 至 2001 年，2009 至 2012 年。与此相对应，鲈鱼资源量的相对丰度从 1998 年的 1.00 跌倒 2001 年的低值 0.50，从 2009 年 1.15 跌倒 2012 年的低值 0.46，而从周边主要捕捞国家与地区的捕捞努力量等数据看^[17-18]，捕捞强度不应是导致该渔业资源量周期性下降的主要原因。因此，鲈鱼资源的相对丰度与净初级生产力呈显著的倒抛物线关系，表明渔业资源的变动受海洋生态环境内在营养动力的影响。相关研究也表明海洋生态环境变化如模态转换（Regime Shift）等^[9,19-21]，对该海区鲈鱼资源的变动具有重要影响，但这些因素内在关系，则有待深入研究。

因此，鲈鱼资源变动受到捕捞压力与生态环境压力的共同影响，而在强大捕捞压力的作用下，鲈鱼资源出现低龄化等现象^[22]，这种种群结构的退化将进一步加强生态环境的作用，更易引起种群的波动^[23]。鲈鱼产卵生物量与资源补充量的关系不明显^[9]，且鲈鱼繁殖力强^[24]，尽管受到强大的捕捞压力，合适环境仍能能使鲈鱼资源得到恢复。近十多年，鲈鱼资源量亦呈波动变化趋势（图 2）。但目前，我国浙江、福建两省有囊灯光围网（俗称“三角虎”围网）出现盲目发展，渔船数量增长过快的现象，而当前，鲈鱼生态环境又处于不利年份，该渔业存在较大风险，因此，管理部门应有效控制捕捞努力量。

4.4 东海南部鲈鱼渔场营养控制机制

海洋生态系统中，浮游植物通过光合作用，固定有机碳，同时通过呼吸作用，消耗部分有机碳，固定的有机碳量减去呼吸作用消耗的有机碳则为净初级生产力，净初级生产力为海洋生态系统中异养生物能直接或间接利用的有机质总量。借助于食物链，净初级生产力的变化能向上传递，影响整个营养层种群的动态，形成上行控制^[25]；而食物链上层生物量的变化，则可通过营养级联效

应 (Trophic Cascade Effect), 影响食物网下层生物资源种群数量的变化, 形成下行控制^[3,26]; 同样, 营养级中间层的关键种亦可控制食物网, 形成蜂腰型控制^[27], 何种控制机制发挥作用取决于生态系统的状态, 多样性和完整性^[7,25]。

由于鲈鱼主要摄食浮游动物, 并以甲壳动物为主, 如磷虾类、桡足类、端足类等, 其次摄食小型鱼类, 如鲱形目和鲈形目的小型鱼类以及软体动物中的小乌贼等^[24,28], 其营养级为3.55 (浮游植物营养级为1.0)^[29]。考虑到鲈鱼在食物网中的位置, 较难推定鲈鱼资源的减少能引起净初级生产力的提高, 即较难推定存在下行控制。但种间竞争或浮游动物资源量的变动则均有可能引起鲈鱼资源的相对丰度与净初级生产力呈倒抛物线关系。

有研究表明鲈鱼与带鱼 (*Trichiurus haumela*)^[30]、大型水母^[31]等存在捕食竞争关系, 在生境较好年份, 带鱼或大型水母资源量的提高均能造成鲈鱼资源量的下降^[30-31], 而不较理想的生态环境对鲈鱼有利^[30]。本文分析了东海带鱼亲体 (1龄及以上带鱼资源量) 数据^[32]与本文标准化CPUE的关系, 结果表明两者之间存在显著的负相关关系 (图6, $r=-0.65$, $P<0.05$), 这进一步证明了两种群间竞争关系的存在。因此, 在此条件下, 生态系统仍将是上行控制, 但由于带鱼与鲈鱼的最优环境窗口^[33]不同^[30]及两种群间存在竞争关系, 当鲈鱼渔场的净初级生产力提高, 并维持在中等水平将有利于增加鲈鱼的资源量, 但随鲈鱼渔场净初级生产力的进一步提高, 生态环境有利于带鱼, 带鱼将对鲈鱼资源量的提高起到抑制作用^[30], 从而能造成鲈鱼资源的相对丰度与净初级生产力呈倒抛物线关系。

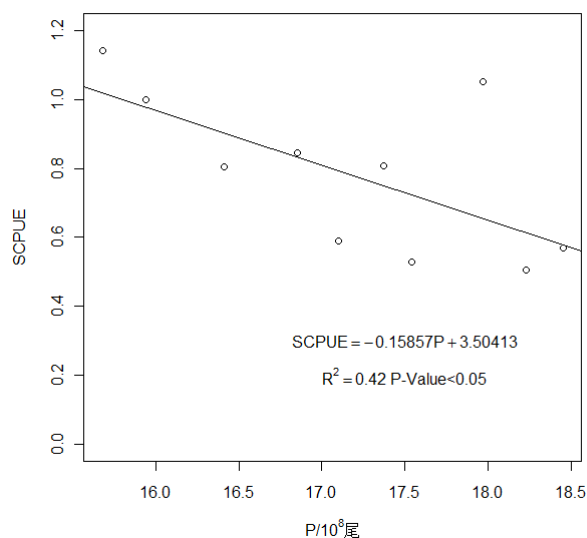


图6 日本鲈的标准化CPUE (SCPUE) 与东海带鱼亲体 (P) 的关系

注: 东海带鱼亲体数据来自文献32, 表1, 1998至2007年.

同时, 注意到, 当浮游植物资源量达到一定水平时, 东海浮游植物与浮游动物间可能存在反馈抑制机制, 如在东海, 桡足类数量与夜光藻、硅藻数量之间的关系, 均表明反馈抑制机制存在^[34-35]。这将使得浮游动物资源量随净初级生产力的进一步增加而减少, 而浮游动物的资源量直接制约中上层鱼类如鲈鱼的资源量^[36]。若鲈鱼资源的变动受到中间营养级如浮游动物等关键种的控制, 则东海南部生态系统可能存在蜂腰型营养控制机制, 即一方面, 净初级生产力的提高, 有利于浮游动物资源量的提高, 进而提高了鲈鱼资源量; 另一方面, 当净初级生产力超过一定量后, 浮游植物与浮游动物间的反馈抑制机制使得浮游动物数量减少, 从而减少了鲈鱼资源量。但目前, 少有文献分析东海南部渔场浮游动物的资源量、种群组成等长期变动特点及其成因机制, 因此, 难以进一步分析浮游动物在鲈鱼资源的波动中所起的作用。此外, 东海净初级生产力的提高与藻华的关系

系也值得研究, 因为, 藻华有可能对鲈鱼渔场生态系统直接造成影响^[37]。

基于目前的数据, 难以断定东海南部鲈鱼渔场是何种营养控制机制发挥作用, 因此, 其仍需深入研究。但本文研究表明, 受东海南部鲈鱼渔场复杂营养关系的影响, 净初级生产力与鲈鱼资源量既存在正关系又同时存在负关系, 即呈倒抛物线关系。

5 结论

海洋初级生产力呈现出年际间的波动, 利用实测海洋初级生产力资料估算渔业资源量和评价渔业资源状态^[38-41], 其时效性等方面存在不足, 但海洋初级生产力遥感资料将能为该方面的研究提供有效支持。

利用海洋初级生产力可以估算鱼类资源的潜在产量^[38-41], 其主要假设是存在上行控制机制、鱼类资源量与净初级生产力正相关^[38-41], 但受海洋生态系统状态等影响, 海洋生态系统的营养控制机制复杂多样^[7, 25], 净初级生产力与鱼类资源量有可能存在负相关关系, 如本文。因此在使用初级生产力进行渔业资源评估前, 应对生态系统的营养控制机制进行细致的研究。

参考文献:

- [1] Pauly D, Christensen V. Primary production required to sustain global fisheries [J]. *Nature*, 1995, 374: 255-257.
- [2] Pikitch E K, Santora C, Babcock E A, et al. Ecosystem-based fishery management [J]. *Science*, 2004, 305: 346-347.
- [3] Frank K T, Petrie B, Choi J S, et al. Trophic Cascades in a Formerly Cod-Dominated Ecosystem [J]. *Science*, 2005, 308:1621-1623.
- [4] Ware D M, Thomson R E. Bottom up ecosystem trophic dynamics determine fish production [J]. *Science*, 2005, 308:1280-1284.
- [5] Bakun A. Wasp-waist populations and marine ecosystem dynamics: navigating the predator pit topographies [J]. *Progress in Oceanography*, 2006, 68 :271-288.
- [6] 纪炜炜, 李圣法, 陈雪忠. 鱼类营养级在海洋生态系统研究中的应用 [J]. *中国水产科学*, 2010, 17 (4) :878-887.
- [7] Chassot E, Mélin F, Pape O L, Gascuel D. Bottom-up control regulates fisheries production at the scale of eco-regions [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2007, 343: 45655.
- [8] 王增焕, 李纯厚, 贾晓平. 应用初级生产力估算南海北部的渔业资源量 [J]. *海洋水产研究*, 2005, 26 (3) :9-15.
- [9] Hiyama Y, Yoda M, Ohshimo S. Stock size fluctuation in chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China Sea and the Japan/East Sea [J]. *Fisheries oceanography*, 2002, 11(6):347-353.
- [10] 由上龍嗣, 依田真里, 大下誠二, 等. 平成 23 年マサバ対馬暖流系群の資源評価 [EB/OL]. [2012-10-28]. <http://abchan.job.affrc.go.jp/digests23/details/2306.pdf>.
- [11] 官文江, 陈新军. 应用一般线性模型估算鲈鲷鱼大型灯光围网渔业的捕捞效率 [J]. *水产学报*, 2009, 33 (2) :220-228.
- [12] Maunder M N, Punt A E. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches [J]. *Fishery Research*, 2004, 70:141-159.
- [13] 官文江, 陈新军, 高峰, 等. 海洋环境对东、黄海鲈鱼 (*Scomber japonicus*) 灯光围网捕捞效率的影响 [J]. *中国水产科学*, 2009, 16 (6) : 949—958.
- [14] Friedland K D, Stock C, Drinkwater K F, et al. Pathways between Primary Production and Fisheries Yields of Large Marine Ecosystems [J]. *PLoS ONE*, 2012,7(1): e28945. doi:10.1371/journal.pone.0028945.

- [15]Behrenfeld M J, Falkowski P G. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration [J]. *Limnology and Oceanography*, 1997, 42: 1-20.
- [16]官文江, 何贤强, 潘德炉, 等. 渤、黄、东海海洋初级生产力的遥感估算[J]. *水产学报*, 2005, 29(3):367-372.
- [17]李纲, 陈新军, 官文江, 等. 东黄海鲈鱼资源评估与管理策略决策研究[M]. 北京:科学出版社, 2011.
- [18]官文江. 基于海洋遥感的东、黄海鲈鱼渔场与资源研究[D].上海:华东师范大学博士学位论文, 2008.
- [19]Yatsu A, Watanabe T, Ishida M, et al. Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management [J]. *Fisheries oceanography*, 2005, 14(4):263-278.
- [20]Hwang S D. Population Ecology of pacific mackerel, *Scomber japonicus*, off Korea [D]. Chungnam National University, PhD thesis, 1999.
- [21]官文江, 陈新军, 李纲.海表水温和拉尼娜事件对东海鲈鱼资源及时空变动的的影响[J].*上海海洋大学学报*, 2011,20(1):102-107.
- [22]程家骅, 林龙山. 东海区鲈鱼生物学特征及其渔业现状的分析研究[J]. *海洋渔业*, 2004, 26(2):73-78.
- [23]Hsieh C H, Reiss C S, Hunter J R, et al. Fishing elevates variability in the abundance of exploited species [J]. *Nature*, 2006, 443(19):859-862.
- [24]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.
- [25]Hunter M D, Price P W. Playing chutes and ladders: heterogeneity and the relative roles of bottom-up and top down forces in natural communities [J]. *Ecology*, 1992, 73:7246732.
- [26]Pace M L, Cole J J, Carpenter S R, et al. Trophic cascades revealed in diverse ecosystems [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1999, 14:4836488.
- [27]Cury P, Bakun A, Crawford J M, et al. Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in wasp-waist ecosystems [J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2000, 57:6036618.
- [28]张波. 中国近海食物网及鱼类营养动力学关键过程的初步研究[D]. 青岛:中国海洋大学博士学位论文, 2005.
- [29]张波, 唐启升. 渤、黄、东海高营养层次重要生物资源种类的营养级研究[J]. *海洋科学进展*, 2004, 22(4):393-404.
- [30]洪华生, 何发祥, 杨圣云. 厄尔尼诺现象和浙江近海鲈鱼渔获量变化关系-长江口 ENSO 渔场学问题之二[J]. *海洋湖沼通报*, 1997, (4):8-16.
- [31]江红, 程和琴, 徐海根. 大型水母爆发对东海生态系统中上层能量平衡的影响[J]. *海洋环境科学*, 2010, 29(1):91-95.
- [32]徐汉祥, 刘子藩, 周永东, 等. 伏季休渔条件下东海带鱼的亲体和补充[J]. *渔业现代化*, 2011, 38(1):64-69.
- [33]Cury P, Roy C. Optimal Environmental Window and Pelagic Fish Recruitment Success in Upwelling Areas [J]. *Canadian journal of fisheries and Sciences*, 1989, 46: 6706680.
- [34]徐兆礼. 中国海洋浮游动物研究的新进展[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2006, 45(增刊2):16-23.
- [35]徐兆礼, 蒋玫, 陈亚瞿, 等. 东海赤潮高发区春季浮游桡足类与环境关系的研究[J]. *水产学报*, 2003, 27(增刊):49-54.

- [36]陈亚瞿, 徐兆礼. 南黄海、东海鲈鳎鱼索饵场浮游动物生态特征[J]. 应用生态学报, 1990,1(4):327-332.
- [37]王巧宁. 大规模藻华区低氧对海洋生物的影响研究[D]. 青岛:中国科学院海洋研究所硕士学位论文, 2010.
- [38]卢振彬, 戴泉水, 颜尤明. 台湾海峡及其邻近海域鲈鳎鱼类群聚资源的评估[J].中国水产科学, 2000,7(1): 41-45.
- [39]宁修仁, 刘子琳, 史君贤. 渤、黄、东海初级生产力和潜在渔业生产量的评估[J]. 海洋学报, 1995, 17(3):72-84.
- [40]李雪丁, 卢振彬. 福建近海渔业资源生产量和最大可持续开发量[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2008, 47(4):16-23.
- [41]黄良敏;谢仰杰;张雅芝, 等. 厦门海域渔业资源现存量评析[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2010, 15(2):81-87.

Study on the dynamics of biomass of chub mackerel based on ocean primary production in south East China Sea

GUAN Wenjiang^{1,2}, Chen Xinjun^{1,2}, Gao Feng^{1,2}, Li Gang^{1,2}

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

2. The Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Shanghai Ocean University, Ministry of Education, Shanghai 201306, China)

Abstract: The potential fish production was controlled largely by ocean primary production (OPP) and there were a lot of research findings of estimating fish production by using OPP in China. The relationships between the biomass of fishery stock and OPP were often complicated by the varieties of trophic control in the ecosystem. In this paper, we examined the relationship between biomass of chub mackerel (*Scomber japonicus*) and net primary production (NPP) and discussed mechanism of trophic control in the ecosystem of chub mackerel fishing ground in south East China Sea by using catch and effort data from the large purse seine of China fishery and NPP derived from remote sensing. The results showed there was a significant non-linear relationship between NPP and standardized CPUE (Catch Per Unit Effort) ($P < 0.05$) instead of the linear trend. The non-linear relationship could be described by a reversed parabolic curve, which meant the biomass of chub mackerel increased with NPP and then decreased when the NPP exceeded a point. The results implied there were other trophic controls in addition to bottom-up control occurred in the ecosystem in south East China Sea. We speculated the change of abundance of the key species at intermediate trophic levels or/and interspecific competitions contribute to the relationship.

Key words: south East China Sea, net primary production, *Scomber japonicus*, biomass