

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2018.03.003

## 不同气候模态下西北太平洋秋刀鱼海况特征分析

李 非<sup>1</sup>, 陈新军<sup>1,2</sup>, 朱清澄<sup>1,2</sup>, 花传祥<sup>1,2</sup>

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

**摘要:** 根据 1985—2013 年日本秋刀鱼 (*Cololabis saira*) 生产数据, 结合海表温度 (sea surface temperature, SST)、海表温度距平值 (sea surface temperature anomaly, SSTA) 及亲潮、黑潮环境数据, 探究太平洋年代际振荡 (Pacific decadal oscillation, PDO) 冷、暖 2 种气候模态下秋刀鱼产卵场、索饵场海况特征及资源丰度差异。结果表明, PDO 暖期内单位捕捞量努力量 (catch per unit effort, CPUE) 略高于冷期, 另 CPUE 与 PDO 指数存在滞后关系, 且前者滞后于后者 3 年时相关系数最大 (-0.318); PDO 冷、暖模态转换对索饵场 SST 影响较产卵场大 ( $P < 0.05$ ), 产卵场及索饵场 SSTA 与 PDO 指数间均呈负相关性, 滞后时间分别为 -1 和 0 年时相关系数最大; PDO 暖期内黑潮经向流量年间变化率低于冷期, 冷、暖 2 种模态下亲潮春季占有面积存在显著差异 ( $P < 0.01$ ), 且冷、暖模态转换对亲潮影响程度大于黑潮。研究表明, 2 种气候模态通过影响秋刀鱼产卵场及索饵场的海表温、海况环境, 进而对西北太平洋秋刀鱼资源量产生年间波动影响。

**关键词:** 秋刀鱼; 气候模态; 海表温度; 海况; 西北太平洋

中图分类号: S 931.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2018)03-0020-09

## Characteristic analysis of fishing condition of saury in Northwest Pacific under different climate regimes

LI Fei<sup>1</sup>, CHEN Xinjun<sup>1,2</sup>, ZHU Qingcheng<sup>1,2</sup>, HUA Chuanxiang<sup>1,2</sup>

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

**Abstract:** We studied the sea current characteristics and the difference of resource abundance in spawning and feeding ground under the effects of two climate regimes of Pacific Decadal Oscillation (PDO) based on the catch data of Pacific saury (*Cololabis saira*) in Japan from 1985 to 2013, and the environmental data including sea surface temperature (SST), sea surface temperature anomaly (SSTA), Oyashio and Kuroshio data. The results show that the catch per unit effort (CPUE) in warm period was slightly higher than that in cold period, and the maximum correlation coefficient was -0.318 between CPUE and PDO index when the former lagged the latter three years. The effect of change of PDO index on SST in feeding ground was higher than that in spawning ground ( $P < 0.05$ ) and SSTA was negatively correlated with PDO index in spawning and feeding grounds, and the maximum correlation coefficient was obtained when the lag time was -1 and 0 year. The interannual variability of longitude flow of Kuroshio was lower in warm regime

收稿日期: 2017-06-12; 修回日期: 2017-12-18

资助项目: 国家自然科学基金项目 (NSFC41476129); 上海市科技创新计划资助项目 (15DZ1202200)

作者简介: 李 非 (1991—), 男, 硕士研究生, 从事捕捞学研究。E-mail: 1756573641@qq.com

通信作者: 陈新军 (1967—), 男, 教授, 从事远洋渔业资源研究。E-mail: xjchen@shou.edu.cn

of PDO, while the average occupied area in spring of Oyashio had significant difference under two climate regimes ( $P < 0.01$ ), and the impact degree caused by the change of cold and warm regimes on Oyashio was greater than that on Kuroshio. The results show that two different climate regimes have annual fluctuation influence on saury resource in the Northwest Pacific by affecting SST and sea state condition of spawning and feeding grounds.

**Key words:** Pacific saury (*Cololabis saira*); climate regime; sea surface temperature; sea state; Northwest Pacific

秋刀鱼 (*Cololabis saira*) 广泛分布于亚热带和温带的亲潮、黑潮水域, 属冷水性高度洄游鱼类, 最适温度为  $15\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ <sup>[1]</sup>。秋刀鱼一年中春、秋、冬三季都可产卵<sup>[2-3]</sup>, 寿命短, 资源恢复力强<sup>[4]</sup>, 年间资源量波动显著<sup>[5-6]</sup>。有学者提出秋刀鱼资源量急剧波动的直接原因并非过度捕捞, 而与环境影响下的亲体繁殖力、卵及幼鱼成活率有直接联系<sup>[7]</sup>。太平洋年代际振荡 (Pacific decadal oscillation, PDO) 是以  $15\sim 25$  年为周期且分冷、暖 2 种位相的年代际气候变化现象, 由于全球海-气系统相互作用, 致使冷位相时期北太平洋海表温度 (sea surface temperature, SST) 偏高, 暖位相时期 SST 偏低<sup>[8]</sup>, 从而影响渔业资源丰度及分布情况<sup>[9]</sup>。已有研究表明 PDO 对鲑 (*Salmo*)、柔鱼 (*Ommastrephes bartramii*)、秋刀鱼资源有影响<sup>[10-12]</sup>; 此外, 秋刀鱼资源量和分布对海温、海况等环境因子也较敏感<sup>[13-15]</sup>, 但不同 PDO 模态下秋刀鱼产卵场、索饵场的海况及其生境有何差异尚不清楚。为此, 本研究结合近 30 年西北太平洋气候和秋刀鱼渔、海况资料, 基于 PDO 指数、水温和海况指标, 探讨 2 种冷、暖模态对西北太平洋秋刀鱼资源量影响, 为预测秋刀鱼资源丰度变化及资源合理开发提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源

1) 渔获数据源自 1985—2013 年日本秋刀鱼生产统计数据, 包括历年渔获量、作业网次及标准化单位捕捞量努力量 (catch per unit effort, CPUE,  $\text{t}\cdot\text{net}^{-1}$ )。数据下载自 <http://abchan.fra.go.jp/>。

2) 环境数据包括 PDO 指数、SST、海表温度距平值 (sea surface temperature anomaly, SSTA)、黑潮、亲潮资料, 时间范围均为 1985—2013 年。PDO 指数是以  $20^{\circ}\text{N}$  以北太平洋 SST 异常进行经验正交函数标准化得到的第一分量<sup>[8]</sup>, 数据来自美国华盛顿大气与海洋联合研究所 (<http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest>), 时间分辨率为月。SST 和 SSTA 数据覆盖每年 1—3 月 (冬生群产卵期) 及 5—7 月 (索饵期), 区域范围分别为  $134^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 、

$30^{\circ}\text{N}\sim 34^{\circ}\text{N}$  (主产卵场) 及  $150^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{E}$ 、 $40^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$  (索饵场)<sup>[16-18]</sup>, 空间分辨率为  $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ , 时间分辨率为月。SST 数据来自美国 NOAA Ocean-watch 数据库 (<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/las/servelets/dataset>); SSTA 数据来自美国哥伦比亚大学环境数据库 (<http://iridl.ldeo.columbia.edu>); 黑潮、亲潮数据包括黑潮夏、冬两季流量及北限纬度, 亲潮春季平均分布面积及南限纬度。黑潮流量由日本气象厅以  $137^{\circ}\text{E}$  断面测得, 亲潮占有面积定义为日本以东 ( $148^{\circ}\text{E}$  以西,  $43^{\circ}\text{N}$  以南) 水深  $100\text{ m}$ 、温度低于  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  区域。数据来自日本国土交通省气象厅 (<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>)。

### 1.2 研究方法

1) 以渔船年标准化 CPUE 作为西北太平洋秋刀鱼资源丰度指标<sup>[19]</sup>, 分析 PDO 冷、暖 2 种气候模态下近 30 年秋刀鱼资源量变化情况及 PDO 指数与 CPUE 间关系。

2) 利用 Marine Explore 软件绘制秋刀鱼索饵场、产卵场在冷、暖模态下的 SST 分布图, 以图中等温线疏密程度表征 SST 梯度大小, 水温较周边温度高的水团定义为高温暖水团。分析 2 种气候模态下产卵场、索饵场 SST 变动情况, 并探讨每种模态下产卵场、索饵场 SST 分布月间变化及差异。

3) 分析 2 种气候模态下秋刀鱼产卵场、索饵场 SSTA 与 PDO 指数在时间尺度上的变化, 并利用 Matlab 软件分别分析两者在产卵场、索饵场内的交相关关系。

4) 利用黑潮、亲潮相关数据, 探究 2 种气候模态下黑潮、亲潮海况变化及差异对秋刀鱼产卵场、索饵场影响。

## 2 结果

### 2.1 PDO 冷、暖模态下秋刀鱼资源量变动及与 CPUE 的关系

秋刀鱼渔获量、CPUE 及 PDO 指数变化情况见图 1。日本近 30 年内秋刀鱼平均年渔获量约  $24.2\times 10^4\text{ t}$ , 以 2008 年产量最高 ( $34.32\times 10^4\text{ t}$ ), 1999 年产量最低 ( $13.49\times 10^4\text{ t}$ ), 对应 CPUE 分别

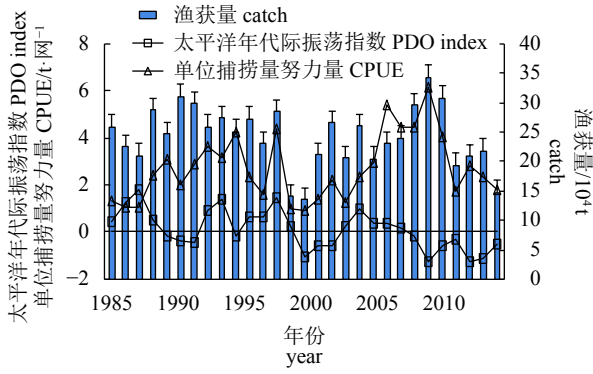


图1 日本1985—2013年秋刀鱼渔获量、太平洋年代际振荡指数及单位捕捞量努力量变化

PDO 为正数代表气候模式处于暖期, 为负数代表处于冷期

Fig.1 Variation of saury catch, PDO index and CPUE in Japan from 1985 to 2013

Positive PDO index indicates that the climate is in warm period, while negative PDO index indicates that the climate is in cold period.

为  $6.13 \text{ t}\cdot\text{网}^{-1}$  和  $0.92 \text{ t}\cdot\text{网}^{-1}$ , 渔获量及资源丰度波动明显。本研究中 PDO 暖期年为 1985—1988 年、1992—1998 年和 2002—2006 年, 对应平均年标准

化 CPUE 分别为  $1.46 \text{ t}\cdot\text{网}^{-1}$ 、 $2.91 \text{ t}\cdot\text{网}^{-1}$  和  $3.27 \text{ t}\cdot\text{网}^{-1}$ , 总平均 CPUE 为  $7.64 \text{ t}\cdot\text{网}^{-1}$ ; 冷期年为 1989—1991 年、1999—2001 年和 2007—2013 年, 对应平均标准化 CPUE 分别为  $2.65 \text{ t}\cdot\text{网}^{-1}$ 、 $1.52 \text{ t}\cdot\text{网}^{-1}$  和  $3.32 \text{ t}\cdot\text{网}^{-1}$ , 总平均 CPUE 为  $7.49 \text{ t}\cdot\text{网}^{-1}$ 。对比发现 PDO 暖期内 CPUE 稍高于 PDO 冷期, 但差别不大。秋刀鱼渔获量在 PDO 冷、暖模态转换时往往出现较大变化, 如 1998 年、2002 年、2007 年渔获量均出现显著波动 ( $P < 0.05$ , 图 1), 表明 PDO 冷、暖模态转换对渔获量可能有一定程度的影响。CPUE 与渔获量年间变化趋势表现出较高的一致性, 但在 1990 年和 2005 年两者差异较大; 另外, CPUE 与 PDO 指数经滞后相关性检验表明前者滞后于后者 3 年时相关性最大, 相关系数为  $-0.318$  (图 1)。

### 2.2 2 种气候模态下产卵场、索饵场 SST 分布

分析产卵场在冷、暖模态下 1—3 月 SST 分布 (图 2-a~f)。SST 值均在  $17\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 所有 PDO 暖期

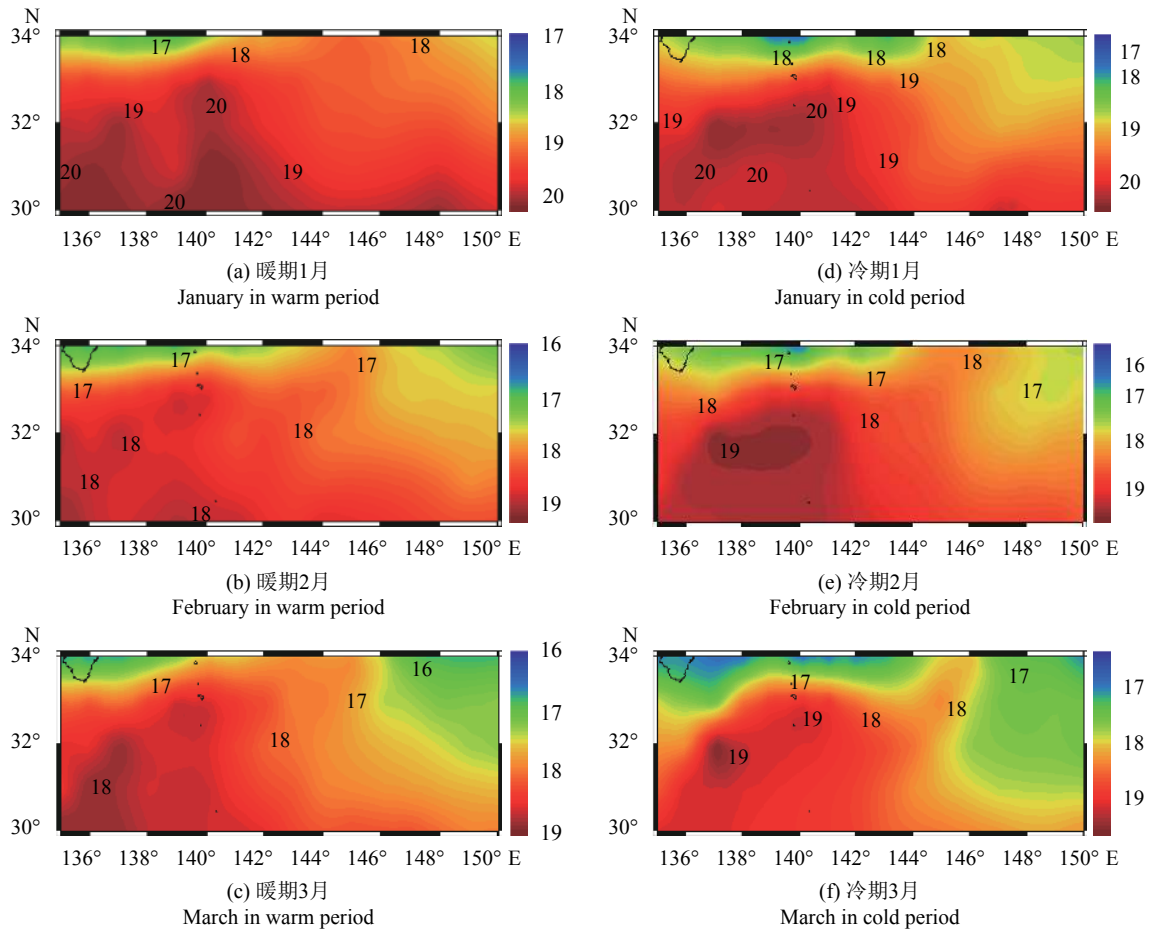


图2 产卵场内太平洋年代际振荡冷、暖位相下月平均海表温度分布

Fig.2 Monthly mean SST distribution in cold and warm periods of PDO in spawning ground

年的 1 月平均 SST (19.27 °C) 高于 2 月 (18.03 °C)、3 月平均 SST (17.73 °C)，而冷期内 2 月平均 SST (19.31 °C) 高于 1 月 (18.37 °C)、3 月平均 SST (18.82 °C)，说明暖水团在暖期内较冷期提前 1 个月。根据 SST 分布图中等温线疏密程度发现，冷、暖模态下 1 月 SST 变化梯度均大于 2 月、3 月 SST 变化梯度，但平均 SST 在冷期内稍高于暖期。另外，PDO 暖期内产卵场主要存在 2 个高温暖水团，而冷期内只有 1 个高温暖水团，这种情况在 1 月尤为明显，2 月、3 月有所减弱；冷暖模态下高温暖水团都分布在 142°E 以西，但冷期内中心暖水团相对于暖期内中心暖水团向北稍有移动。

秋刀鱼索饵场处于亲潮海域及亲潮、黑潮混合

区北部。根据各月 SST 值及分布 (图 3-g~l) 发现，5—7 月内 PDO 暖期月平均 SST 分别为 7.75 °C、10.73 °C、14.29 °C；对应冷期为 8.51 °C、11.38 °C、15.13 °C。*t* 检验结果表明冷、暖模态下的月平均 SST 间差异不显著 ( $P>0.05$ )；2 种气候模态下，索饵场内等温线均较产卵场密集表明前者 SST 变化梯度大，并随着月份 (5—7 月) 推移逐渐加大。此外，5 月的平均 SST 均明显低于 6 月、7 月，且 44°N 以北海区 SST 普遍较低。

根据索饵场、产卵场月平均 SST 随时间变化趋势 (图 4)，索饵场 SST 随月份增加逐渐升高，平均月间 SST 变化率为 25.5%，产卵场 SST 随月份增加而逐渐降低，相应变化率仅达 3.5%，产卵

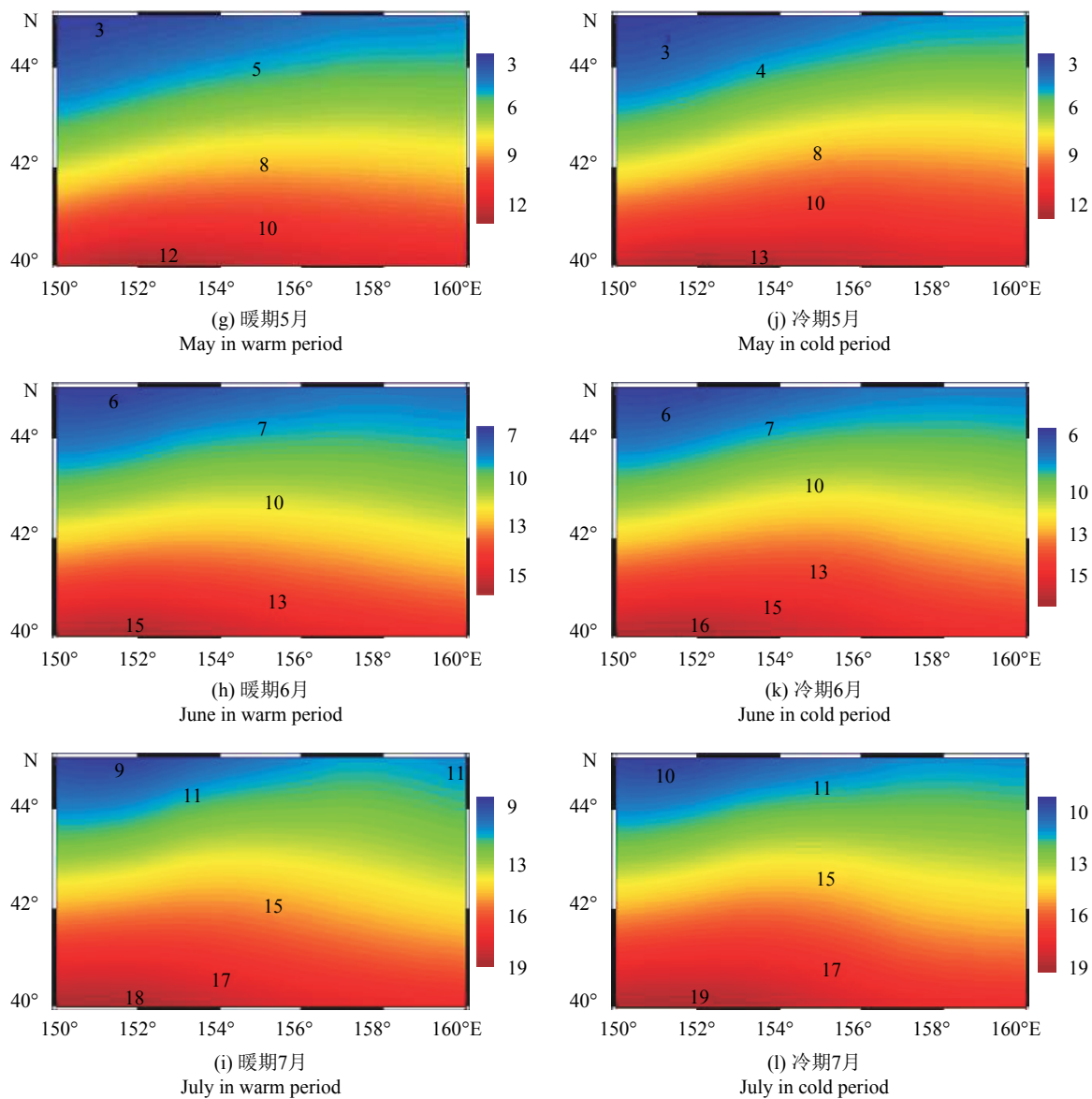


图3 索饵场内太平洋年代际振荡冷、暖位相下月平均海表温度分布

Fig.3 Monthly mean SST distribution in cold and warm periods of PDO in feeding ground

场、索饵场 SST 分布图中的等温线疏密程度 (图 2、图 3) 和  $t$  检验结果均表明索饵场与产卵场 SST 差异明显 ( $P < 0.05$ ), 且前者 SST 变化率较后者大, 说明 PDO 冷、暖模态转变对索饵场的影响较产卵场大。

### 2.3 2 种气候模态下产卵场、索饵场 SSTA 与 PDO 指数在时间上的关系

1985—2013 年秋刀鱼产卵场 1—12 月内 SSTA 值变化较显著, 在  $-1.20 \sim 2.25$  °C 范围内变动 (图 5)。绝大多时期内 SSTA 为正值, PDO 暖期年内产卵场 1—3 月平均 SSTA 分别为  $-0.05$ 、 $0.29$ 、 $0.24$ , 明显低于冷期年内的平均 SSTA ( $0.11$ 、 $0.66$ 、 $0.28$ )。另外, 1—3 月内 SSTA 波动较 1—12 月内显著 ( $P < 0.05$ ), 且自 1994 年后两者

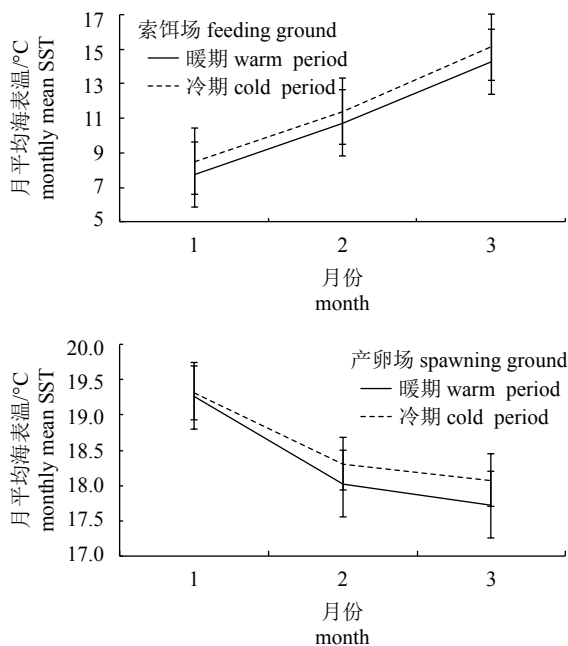


图4 索饵场、产卵场月平均海表温度随时间变化趋势  
Fig.4 Variation trends of monthly mean SST in feeding and spawning ground along with time

SSTA 变化同步性较高; 从时间序列上发现, 产卵场 SSTA 与 PDO 指数间呈负相关性, 且 SSTA 滞后 PDO 指数。PDO 指数与 SSTA 间交相关分析结果 (图 6) 表明, 1—12 月的年 SSTA 滞后 PDO 指数  $-1 \sim 1$  年, 且在 0 年时相关系数最大, 为  $-0.764$  (图 6-a); 1—3 月产卵期的月 SSTA 滞后 PDO 指数  $-2 \sim 1$  年, 且在  $-1$  年时相关系数最大, 为  $-0.562$  (图 6-b)。

1985—2013 年西北太平洋秋刀鱼索饵场 1—12 月内 SSTA 值变动非常剧烈 (图 7), 变化范围为  $-1.90 \sim 3.60$  °C。PDO 暖期年内索饵场 5—7 月平均 SSTA 分别为  $-0.35$ 、 $-0.31$ 、 $0.17$ , 低于冷期年内索饵场 5—7 月平均 SSTA ( $-0.02$ 、 $0.99$ 、 $0.58$ )。另外, 2000 年和 2002 年 5—7 月 SSTA 较 1—12 月 SSTA 波动十分显著; 时间序列上索饵场 SSTA 与 PDO 指数间呈显著负相关性, 且 SSTA 滞后 PDO 指数。交相关分析结果表明 5—7 月 SSTA 滞后 PDO 指数  $0 \sim 1$  年, 且 0 年时相

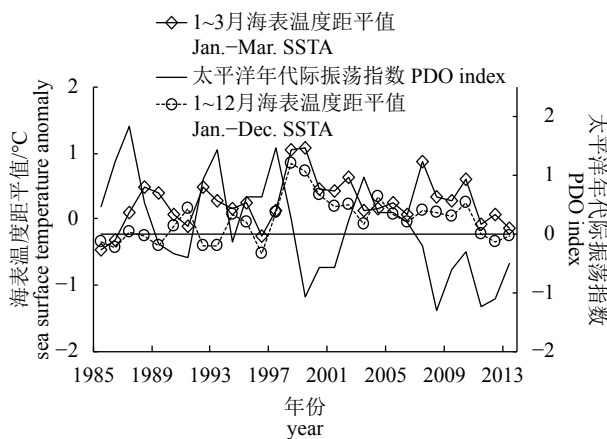


图5 1985—2013年产卵场平均海表温度距平值与太平洋年代际振荡指数关系

Fig.5 Relationship between mean SSTA and PDO index of spawning ground from 1985 to 2013

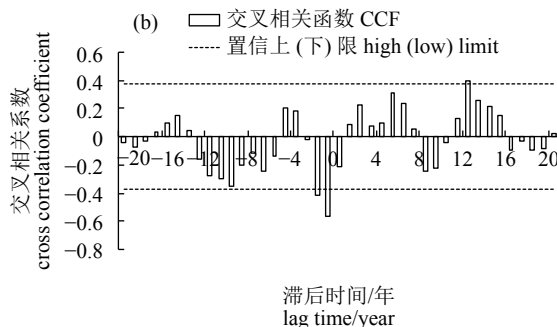
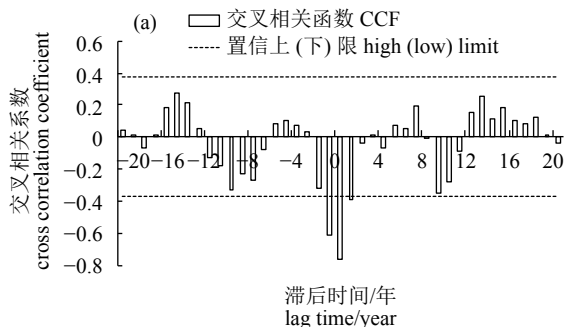


图6 太平洋年代际振荡指数与1—12月 (a)、1—3月 (b) 海表温度距平值交相关系数

Fig.6 Cross correlation coefficients between PDO index and SSTA from January to December (a) and January to March (b)

关系数最高, 为  $-0.612$  (图 8)。

### 2.4 2 种气候模态下产卵场、索饵场内黑潮、亲潮海况变化

鱼类的生殖和繁衍依赖于生活环境, 由于秋刀鱼产卵季节为春、秋、冬季, 故产卵场冬、春季海况在很大程度上影响幼鱼生长和成鱼补充量。从图 9 可看出, 1985—2013 年中绝大多数年内黑潮夏季经向流量高于冬季经向流量, 且夏季流量变动幅度较冬季流量变动大, PDO 暖期内黑潮流量年间变化低于 PDO 冷期。从整个时间尺度分析, 发现黑潮流量与 PDO 指数间存在滞后性, 但不同 PDO 时期内滞后时间长短不同。暖期内, 1985—1988 年黑潮夏季经向流量明显存在上升趋势, 冬季经流增加量相对减少; 1992—1998 年, 前两年夏、冬季流量年间变动较小, 后四年夏季经流量下降幅度达  $19.5 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , 其中 1994 年夏、冬两季经流量间差异很大, 为  $20.5 \times 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ; 2002—2006 年, 前两年黑潮冬季经流量与夏季经流量相差不多, 但 2003 年后流量差异剧烈增大。冷期

内, 1989—1991 年黑潮夏、冬季流量均出现大幅度升高再降低的情况; 1999—2001 年黑潮夏季较冬季经流量变化大, 但变化趋势一致性较高; 2007—2013 年中, 夏、冬季流量间差异逐渐缩小, 前半阶段内夏季流量明显降低, 冬季流量逐渐升高, 而后半阶段内夏、冬季流量均有所增加。

由 1985—2013 年亲潮春季平均占有面积分析得出, 亲潮最大占有面积为  $17.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 最小为  $5.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 差异达 94.3% (图 10)。PDO 冷、暖模态下, 亲潮分布面积出现明显差异 ( $P < 0.01$ ), 暖期内平均分布面积为  $13.44 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 冷期内平均分布面积为  $11.56 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 表明 PDO 暖期内亲潮分布面积较冷期内分布面积大。

1985—2013 年, 亲潮的南限纬度波动程度较大且有逐渐北移趋势 (图 11), 最小值发生在 1986 年  $36^\circ\text{N}$  附近, 最大值发生在 2002 年  $41^\circ\text{N}$  附近, 与索饵场内绝大数时期的 SSTA 为正值 (图 7) 这一情况相符; 近 30 年黑潮的北限纬度在  $31^\circ\text{N} \sim 33.5^\circ\text{N}$  间变动, 变化较小。

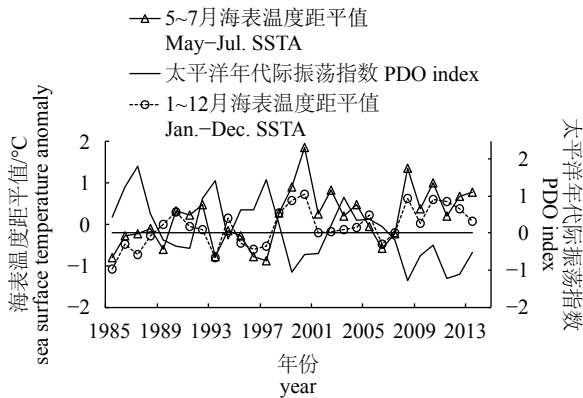


图7 1985—2013年索饵场平均海表温度距平值与太平洋年代际振荡指数关系

Fig.7 Relationship between mean SSTA and PDO index in feeding ground from 1985 to 2013

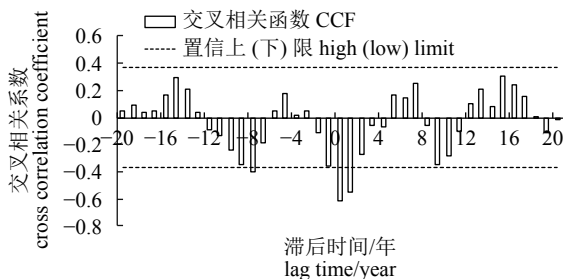


图8 太平洋年代际振荡指数与5—7月海表温度距平值交叉相关系数

Fig.8 Cross correlation coefficients between PDO index and SSTA from May to July

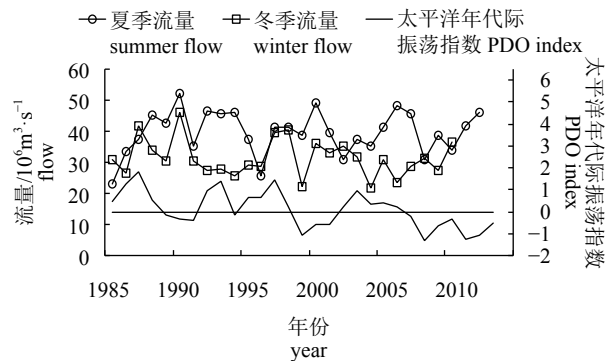


图9 1985—2013年黑潮夏、冬两季流量与太平洋年代际振荡指数关系

Fig.9 Relationship between Kuroshio transport and PDO index during summer and winter from 1985 to 2013

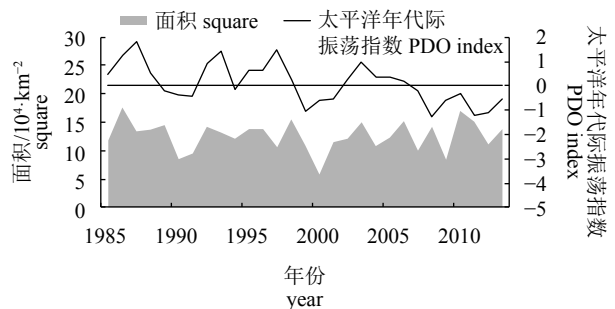


图10 1985—2013年亲潮春季平均占有面积与太平洋年代际振荡指数关系

Fig.10 Relationship between average occupied area in spring of Oyashio and PDO index from 1985 to 2013

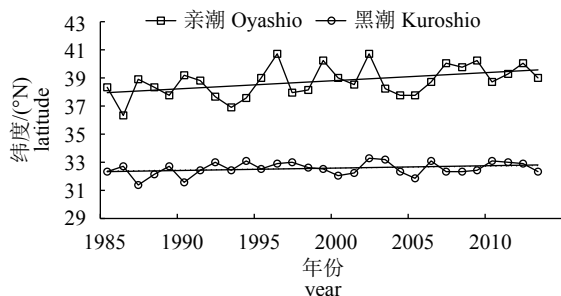


图11 1985—2013年亲潮南限纬度与黑潮北限纬度变动

Fig.11 Limit latitude variability of Oyashio and Kuroshio from 1985 to 2013

### 3 讨论

#### 3.1 气候模态对秋刀鱼资源丰度的影响

秋刀鱼主要分布在日本沿海专属经济区、千岛群岛及西北太平洋公海内<sup>[20-21]</sup>。从时间序列发现, CPUE 随 PDO 冷、暖转换呈波动性变化, 且前 10 年秋刀鱼年间波动较近 20 年波动小, 很大程度上与近年来气候、环境变化频率加快有关。1998 年秋刀鱼渔获量急速下降, 而该年正处于模态转换时期, 表现为黑潮表温较往常偏高, 亲潮海温偏低, 说明该现象在一定程度上是由 PDO 等气候因素变化造成的, 这与 Tian 等<sup>[16]</sup>认为厄尔尼诺南方涛动可通过海况影响秋刀鱼资源量的研究结论一致。1990 年和 2005 年秋刀鱼 CPUE 与渔获量间差别均很大, 可能是因为渔场内渔船数量发生变动导致标准化后 CPUE 与渔获量不一致<sup>[22]</sup>; 2008 年 PDO 冷期达到最强, 黑潮夏季流量突降, 渔获量突增, 可能是因为冷期内产生了有利于秋刀鱼生长和繁殖的条件, 说明环境因素对资源量有强烈影响。海洋自身热惯性使得海温变化速率低于气温变化速率<sup>[8]</sup>, 导致 CPUE 与 PDO 间存在滞后性, 证实了图 1 中两者的变化趋势。余为等<sup>[23]</sup>针对北太平洋柔鱼研究表明 PDO 冷期和暖期间 CPUE 差别较大, 本研究中秋刀鱼冷、暖期间 CPUE 差别较小。由于柔鱼和秋刀鱼 2 个物种在生活习性、栖息水层、繁殖能力等方面有很大差别, 这可能是本研究与该研究结论存在差异的主要原因。秋刀鱼渔获量变化周期大约为 11~13 年, 符合日本 2015 年秋刀鱼资源评估报告中所指出的秋刀鱼渔获量以 10~20 年周期波动<sup>[24]</sup>。鉴于这一周期与 PDO 波动周期相近, 故可根据十年前的秋刀鱼资源波动情况和气候模态, 结合目前的资源调查及气候状态粗略地预测当下资源丰度变化情况, 以期对西北太平洋公海秋刀鱼渔

情预报提供帮助。

#### 3.2 PDO 对产卵场及索饵场 SST、SSTA 的影响

秋刀鱼冬季产卵场位于黑潮内, 其暖水团位置可能影响亲体的产卵行为, 鱼群在夏季 5 月左右到达索饵场南部, 并随着水温升高逐渐向北扩散<sup>[25]</sup>。因鱼类早期生长发育状况在其整个生活史中至关重要, 故 PDO 暖期模态下, 产卵场内暖水团较冷期提前一个月可能会对成鱼产卵行为、鱼卵及幼鱼生长情况等产生很大影响。本研究结果显示产卵场 SST 高于索饵场 SST, 但索饵场内水温变化率较产卵场内大, 主要是因秋刀鱼不同生长阶段对水温要求不同, 同时也显示黑潮、亲潮受不同气候系统控制, 这与田永军等<sup>[26]</sup>研究结果高度一致。谢斌等<sup>[27]</sup>研究表明 1 月黑潮及 6 月亲潮 SST 与秋刀鱼 CPUE 显著相关 ( $P < 0.05$ ), 其与本研所得 SST 间的微小差异可能是由研究区域及时间尺度不同造成。Tian 等<sup>[5]</sup>研究表明黑潮 SST 与大型秋刀鱼群资源量关系显著, 而黑潮、亲潮混合区及亲潮 SST 对中型秋刀鱼群影响很大。由于分类和所选气候因素不同, 致使其研究结果与本研究在说法上有所差异。

产卵场 SSTA 波动影响秋刀鱼鱼卵发育, 直接影响下两年的资源补充量, 索饵场 SSTA 与渔场分布紧密联系, 关系到当年渔获产量多少, 气候因素正是通过影响西北太平洋 SST 及 SSTA 间接地影响秋刀鱼资源丰度及分布。本研究中个别冷、暖期内 SSTA 出现异常, 应是多种外部因素交互影响的结果。如 PDO 冷期在 1997 年开始加强, 加上 1998 年发生的强厄尔尼诺<sup>[28]</sup>, 致使索饵场内的 SSTA 异常的高; 2004 年附近几年内 SSTA 虽为正值, 但 SSTA 与 PDO 指数间负相关性很弱, 可能是因为产卵场内出现异常暖水团而影响了局部海区 SST。比较产卵场和索饵场 SSTA, 发现产卵场 SSTA 波动明显低于索饵场, 可能是因索饵场更靠近黑潮、亲潮混合区, 导致其 SST 波动比较大, 秋刀鱼常聚集在锋面附近索饵的习性也证明了这一点。图 6-b 及图 8 显示 SSTA 与 PDO 指数在 12 年、-8 年时相关性也较高, 但鉴于秋刀鱼寿命仅为 2 年左右, 故认为其实际应用意义较小。Gong 和 Suh<sup>[29]</sup>通过对 SSTA 波动研究表明海域春、冬两季的 SST 受不同因素的影响, 其所调查区域为受陆地影响较大的对马海区, 故探究了季节对 SST 的作用。本研究区域 SST 受季节影响较

小, 而气候受季节影响很大, 故研究了不同气候模态下春、冬季潮流变化。

### 3.3 2种气候模态对海况及渔获量的影响

分析历年亲潮面积、黑潮流量及两者极限纬度变动情况, 发现亲潮和黑潮间大多呈此消彼长的关系。结合秋刀鱼历年渔获量变化, 发现当黑潮流量变大、亲潮势力变弱时, 对应下两年渔获量会增加, 推测是因为该海况适宜卵及幼鱼生长, 使得补充量增加, 致使渔获量升高, 这一分析结果在1990年、1997年、2008年渔获量突变时更为明显, 反之渔获量则会下降。1997年受PDO及强厄尔尼诺现象影响, 1998年内黑潮流量大幅降低, 亲潮势力有所减弱, 虽然黑潮与亲潮间的混合区加大, 但由于黑潮海况对卵的发育影响更大, 使得补充量减少, 导致渔获量相应急速降低, 不足上年的二分之一。夏季流量变动与PDO指数间存在一定的滞后性, 故可根据PDO冷暖模态与黑潮、亲潮间的联系, 预测近年内海况大致情况, 进而推测秋刀鱼渔获量年间变动情况。本研究发现PDO模态转换与亲潮占有面积的变化一致, 表明亲潮受到2种气候模态的调控。Baitaliuk等<sup>[30]</sup>研究表明海流运动、涡流位置以及混合区结构等对秋刀鱼洄游路线均有一定的影响。Oozeki等<sup>[31]</sup>利用粒子追踪法研究秋刀鱼产卵场表明海况会影响鱼卵及稚鱼的分布。这些研究从其他角度同样说明海况对秋刀鱼有至关重要的影响。

## 4 展望

本文重点研究了PDO冷暖气候模态下水温因子以及海况差异对秋刀鱼的影响, 但其他方面影响还有待考虑, 如海表层水温垂直梯度<sup>[14]</sup>及其他气候因素<sup>[5]</sup>。另外, 国外现有对秋刀鱼气候模态研究多是基于时间序列模式上的统计分析, 日后研究可结合物理海洋模型及海洋气候学等方面以更好地探究北太平洋气候变化对秋刀鱼资源丰度的影响。

### 参考文献:

- [1] 商李磊, 朱清澄, 晏磊, 等. 西北太平洋公海秋刀鱼生物学特性研究[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(10): 198-201.
- [2] SUYAMA S, KURITA Y, UENO Y. Age structure of Pacific saury *Cololabis saira* based on observations of the hyaline zones in the otolith and length frequency distributions[J]. Fish Sci, 2006, 72: 742-749.
- [3] 朱清澄, 高玉珍, 花传祥, 等. 西北太平洋秋刀鱼耳石透明带的初步研究[J]. 海洋渔业, 2016, 38(3): 236-244.
- [4] 吴越, 黄洪亮, 刘健, 等. 2004-2011年中国台湾秋刀鱼作业渔场年代际变化初步分析[J]. 渔业信息与战略, 2014, 29(4): 263-271.
- [5] TIAN Y J, UENO Y, SUDA M, et al. Climate-ocean variability and the response of Pacific saury (*Cololabis saira*) in the northwestern Pacific during the last half century[J]. Fish Sci, 2002, 68(1): 158-161.
- [6] 张孝民, 朱清澄, 花传祥. 2013年北太平洋公海秋刀鱼渔场与海洋环境的关系[J]. 上海海洋大学学报, 2015, 24(5): 773-782.
- [7] MATSUMIYA Y, TANAKA S. 東北-北海道沖の南下サンマの資源動態についてⅢ[J]. 日本水産學會誌, 1978, 44(5): 451-455.
- [8] 谷德军, 王东晓, 李春晖. PDO源地与机制的若干争论[J]. 热带气象学报, 2003, 19(z1): 136-144.
- [9] 方海, 张衡, 刘峰, 等. 气候变化对世界主要渔业资源波动影响的研究进展[J]. 海洋渔业, 2008, 30(4): 363-370.
- [10] MANTUA N J, HARE S R, ZHANG Y, et al. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production[J]. B Am Meteorol Soc, 1997, 78(6): 1069-1079.
- [11] CHEN X J, CAO J, CHEN Y, et al. Effect of the Kuroshio on the spatial distribution of the red flying squid *Ommastrephes bartramii* in the Northwest Pacific Ocean[J]. B Mar Sci, 2012, 88(1): 63-71.
- [12] TIAN Y J, UENO Y, SUDA M, et al. Decadal variability in the abundance of Pacific saury and its response to climate/oceanic regime shifts in the northwestern subtropical Pacific during the last half century[J]. J Mar Syst, 2004, 52: 235-257.
- [13] 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.
- [14] 朱清澄, 花传祥, 许巍, 等. 西北太平洋公海7~9月秋刀鱼渔场分布及其与水温的关系[J]. 海洋渔业, 2006, 28(3): 228-233.
- [15] TSENG C T, SUN C L, BELKIN I M, et al. Sea surface temperature fronts affect distribution of Pacific saury (*Cololabis saira*) in the Northwestern Pacific Ocean[J]. Deep-Sea Res II, 2014, 107: 15-21.
- [16] TIAN Y J, AKAMINE T, SUDA M. Variations in the abundance of Pacific saury (*Cololabis saira*) from the northwestern Pacific in relation to oceanic-climate changes[J]. Fish Res, 2003, 60(2/3): 439-454.
- [17] 孙满昌, 叶旭昌, 张健, 等. 西北太平洋秋刀鱼渔业探析[J]. 海洋渔业, 2003, 25(3): 112-115.
- [18] WATANABE Y. Growth and survival of Pacific saury *Cololabis saira* in the Kuroshio-Oyashio transitional waters[J]. J Oceanogr, 2003, 59: 403-414.
- [19] BERTRAND A, JOSSE E, BACH P, et al. Hydrological and trophic characteristics of tuna habitat: consequences on tuna distribution and longline catchability[J]. Can J Fish Aquat Sci, 2002, 59(6): 1002-1013.

- [20] TAKASUKA A, NISHIKAWA K, KURODA H A, et al. Growth variability of Pacific saury *Cololabis saira* larvae under contrasting environments across the Kuroshio axis: survival potential of minority versus majority[J]. *Fish Oceanogr*, 2016, 25(4): 390-406.
- [21] 张孝民. 西北太平洋公海秋刀鱼渔场研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016: 1-4.
- [22] 田思泉, 陈新军, 冯波, 等. 西北太平洋柔鱼资源丰度与栖息环境的关系及其时空分布[J]. *上海海洋大学学报*, 2009, 18(5): 586-592.
- [23] 余为, 陈新军, 易倩. 不同气候模式下西北太平洋柔鱼渔场环境特征分析[J]. *水产学报*, 2017, 41(4): 525-534.
- [24] Tohoku National Fisheries Research Institute. Stock assessment and estimation of the acceptable biological catch in 2015 for the Pacific saury (*Cololabis saira*) in the Northwestern Pacific[R]. Miyagi: Fisheries Research Agency, 2015: 8-9.
- [25] 朱清澄, 杨明树, 高玉珍, 等. 西北太平洋秋刀鱼耳石生长与性成熟度、个体大小的关系[J]. *上海海洋大学学报*, 2017, 16(2): 263-270.
- [26] 田永军. 北西太平洋におけるサンマ資源の長期変動特性と気候変化[J]. *水産海洋研究*, 2012, 66(1): 16-25.
- [27] 谢斌, 汪金涛, 陈新军, 等. 西北太平洋秋刀鱼资源丰度预报模型构建比较[J]. *广东海洋大学学报*, 2015, 35(6): 58-63.
- [28] 王闪闪. 黑潮、厄尔尼诺-南方涛动和太平洋年代际涛动的相互联系及对气候影响的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2015: 5-10.
- [29] GONG Y, SUH Y S. Effect of climate-ocean changes on the abundance of Pacific saury[J]. *J Environ Biol*, 2013, 34: 23-30.
- [30] BAITALIUK A A, ORLOV A M, ERMAKOV Y K. Characteristic features of ecology of the Pacific saury *Cololabis saira* (Scomberesocidae, Beloniforms) in open waters and in the North-east Pacific ocean[J]. *J Ichthyol*, 2013, 53(11): 899-913.
- [31] OOZEKI Y, WATANABE Y, KITAGAWA D. Environmental factors affecting larval growth of Pacific saury, *Cololabis saira*, in the northwestern Pacific Ocean[J]. *Fish Oceanogr*, 2004, 13(1): 44-53.