

文章编号: 1674-5566(2019)03-0448-08

DOI:10.12024/jsou.20181202466

西北太平洋柔鱼产卵场时空分布及最适水温范围的推测

王易帆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. 农业农村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. 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 201306; 5. 农业农村部大洋渔业资源环境科学观测实验站, 上海 201306)

摘要: 西北太平洋柔鱼种群生命周期短、且对中尺度气候变化和产卵场环境条件变化敏感是其资源量年际波动的主要原因。因此, 研究西北太平洋柔鱼产卵场环境条件有助于识别、量化其中的重要参数, 进而有利于深入资源量补充机制调控因素的研究。在稳定的中尺度气候模态下, 根据柔鱼产卵场最适温度的产卵场面积和产卵场总面积的比值(P_s)与其资源丰度存在正相关性这一科学结论, 对 1996—2007 年西北太平洋柔鱼资源丰度(以年均单船产量, CPUE)和 1—4 月假设产卵场的 P_s 进行回归分析, 筛选出 CPUE 和 P_s 在统计学上呈显著相关的产卵季节、产卵场和产卵场最适 SST 范围。研究认为: 1996—2007 年间, 柔鱼的产卵盛期为 1—3 月; 最适产卵场范围为 136.5°E ~ 167°E, 20.5°N ~ 27.5°N, 最适 SST 范围为 22.5 ~ 26 °C。这一研究结果有助于对柔鱼生活史过程的认识, 以及对其资源补充量预测, 为柔鱼资源的可持续开发和科学管理提供依据。

关键词: 柔鱼; 资源丰度; 产卵季节; 产卵场范围; 最适 SST 范围

中图分类号: S 932.4 **文献标志码:** A

柔鱼(*Ommastrephes bartramii*)是短生命周期大洋性洄游种类^[1]。中国于 1993 年开始对柔鱼资源进行探捕调查, 1994 年开始商业性开发, 并已成为中国鱿钓船的主要捕捞对象^[2]。多年来实际生产情况表明其相对资源量的年间波动较大。研究表明, 鱼类死亡多集中发生在仔鱼浮游生活阶段和幼体早期阶段, 这一阶段的资源量变化对种群补充量起着决定性作用^[3]。柔鱼具有一年生的短生命周期、产卵后即死亡的生物学特征, 上述特征使得每年的资源量几乎完全取决于其当年的资源补充量^[1], 这也使得该物种对中尺度气候变化和产卵场环境条件变化异常敏感, 进而导致其资源量在年间产生剧烈变化^[4-7]。因此, 研究西北太平洋柔鱼产卵场环境条件有助于识别、量化其中的重要参数, 有利于深入资源量补充机制调控因素的研究。

日本学者^[8-11]认为, 西北太平洋柔鱼的产卵季节集中在 1—4 月, 产卵场范围在 20°N ~ 30°N、130°E ~ 170°E, 产卵场最适海表温范围为

21 ~ 25 °C, 这一研究结果得到了应用^[7,12-13], 但是也存在一定的争议, 一些年份产卵场环境条件未能很好地解释翌年的资源丰度。那么是否可能存在更为合适的柔鱼产卵场时空条件和环境因子? 基于以上科学推断, 本研究结合多年西北太平洋柔鱼商业捕捞数据及其产卵场海表温(sea surface temperature, SST)的卫星数据, 通过设计多种产卵场时空环境条件, 分析产卵场环境与柔鱼资源丰度的关系, 重新推测产卵场适宜环境条件, 为柔鱼资源可持续开发和科学管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 渔业生产数据

余为等^[7]分析 1995—2011 年西北太平洋环境共经历了两个完整的太平洋年代际涛动(PDO)循环包括 PDO 冷期(PDOC)和 PDO 暖期(PDOW)以及一系列厄尔尼诺/拉尼娜事件。其中 2008—2009 年正处于 PDO 冷期, 同时受厄尔

收稿日期: 2018-12-09 修回日期: 2019-02-26

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

作者简介: 王易帆(1993—), 男, 硕士研究生, 研究方向为大洋性柔鱼资源中长期预报。E-mail: 952213443@qq.com

通信作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

厄尔尼诺/拉尼娜事件的中尺度气候变化影响,这使 2009 年的作业海域 SST 异常低,进而导致柔鱼 CPUE 和产量异常骤减(图 1)。为了避免中尺度气候条件对本研究产生影响,选取了 1996—2015

年间大气模态相对稳定的 1996—2007 年的渔业生产数据作为研究数据,来源于上海海洋大学鱿钓组,内容包括年份、产量(catch)以及捕捞努力量(effort)。

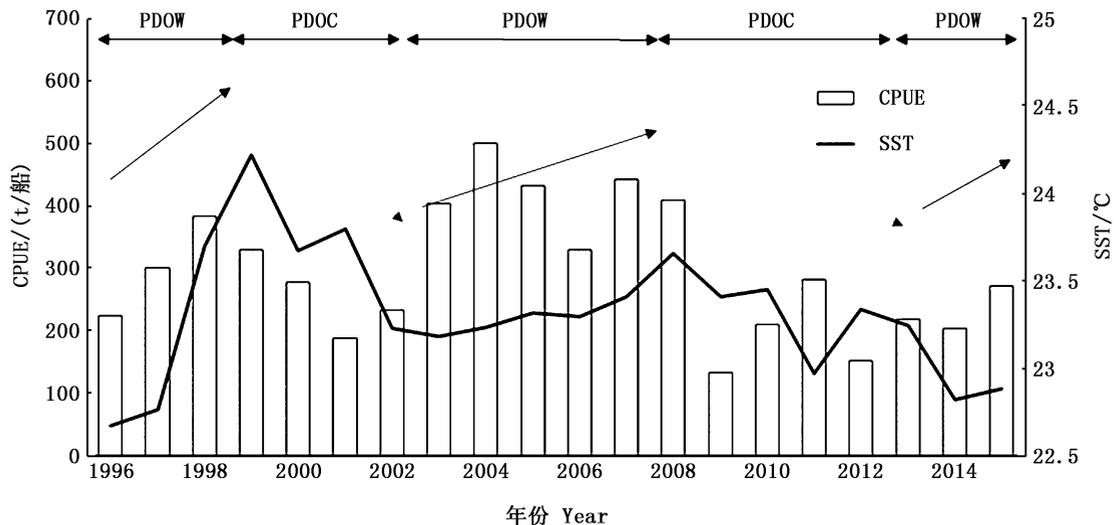


图 1 1996—2015 年不同 PDO 时期西北太平洋柔鱼 CPUE 和其经验产卵场 1—4 月平均 SST 年间变化

Fig. 1 CPUE of squid in northwest Pacific and its spawning ground average SST annual changes from Jan to Apr in different periods of PDO from 1996 to 2015

1.2 环境数据

产卵场 SST 数据来源于 1996—2007 年 1—4 月份的 Ocean Watch 网站,范围为 20°N ~ 30°N、130°E ~ 170°E,空间分辨率为 0.1° × 0.1°。(http://pifsc-oceanwatch.irc.noaa.gov/erddap/griddap/OceanWatch_pfgac_sst_weekly.csv?sst[(1996-12-30):1:(2007-04-30T00:00:00Z)][(20):1:(30)][(130):1:(170)])

1.3 实验与数据处理方法

余为^[12]利用 GAM 模型对西北太平洋柔鱼的年 CPUE 进行标准化。研究表明,标准化后的 CPUE 和之前的名义 CPUE 相差不大,变化趋势基本一致,因此本研究使用西北太平洋柔鱼名义 CPUE 代表其资源丰度,公式如下:

$$Y_{\text{CPUE-}i} = \frac{C_i}{E_i} \quad (1)$$

式中: $Y_{\text{CPUE-}i}$ 为 i 年份名义 CPUE 值, t/船; i 为年份; C 为年产量, t; E 为捕捞努力量, 船。

研究^[4-6]认为,柔鱼产卵场最适温度面积与其产卵场总面积的比值(P_s)与其资源丰度存在正相关性。因此,本研究使用 P_s 来反映产卵场环境变化情况,其计算公式如下:

$$P_s = \frac{S_{\text{SST}}}{S_s} \quad (2)$$

式中: S_{SST} 为产卵场最适温度面积, m^2 ; S_s 为产卵场总面积, m^2 。

本研究在 Microsoft Excel VBA 编程环境下,基于上述假设,采用 3 因素多水平独立均匀试验设计方法,回溯西北太平洋柔鱼产卵季节、产卵场范围以及产卵场最适温度范围。

因素一为产卵月份:根据日本学者的研究^[8-9]结果,假设西北太平洋柔鱼的产卵季节集中在 1—4 月,按月分辨率将产卵季节分为 1 月、2 月、3 月、4 月等 4 个水平的假设产卵场月份。

因素二为产卵场范围:根据 HAYASE 等^[14]对西北太平洋柔鱼产卵场的调查结果,认为经验产卵场范围为 20°N ~ 30°N、130°E ~ 170°E,假设产卵场范围在经验产卵场之内,并用 0.5° × 0.5° 的空间分辨率划分经验产卵场区域。同时,以 130°E ~ 160°E、20°N ~ 27°N 为初始的假设产卵场,按每 0.5° 为 1 个单位向东向北移动、扩大假设产卵场范围直至覆盖整个经验产卵场范围(图 2)。通过这种算法,最终在每个假设产卵月份中

获得 6 468 个水平的假设产卵场。

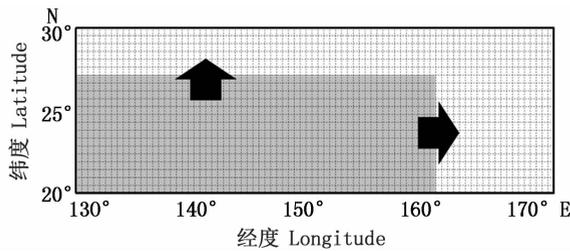


图 2 假设产卵场范围移动、扩大示意图

Fig. 2 The movement and expanded schematic of hypothetical spawning ground

因素三为产卵场最适 SST 范围: 相关研究^[10-11]认为西北太平洋柔鱼产卵场最适 SST 范围在 21 ~ 25 °C, 在此基础上假设柔鱼产卵场最适 SST 范围在 20 ~ 26 °C。根据不同 SST 范围差划分得到如下 18 个水平的假设最适 SST 范围。

(1) SST 范围差为 4 °C: 20 ~ 24 °C、20.5 ~ 24.5 °C、21 ~ 25 °C、21.5 ~ 25.5 °C、22 ~ 26 °C;

(2) SST 范围差为 3.5 °C: 20 ~ 23.5 °C、20.5 ~ 24 °C、21 ~ 24.5 °C、21.5 ~ 25 °C、22 ~ 25.5 °C、22.5 ~ 26 °C;

(3) SST 范围差为 3 °C: 20 ~ 23 °C、20.5 ~ 23.5 °C、21 ~ 24 °C、21.5 ~ 24.5 °C、22 ~ 25 °C、22.5 ~ 25.5 °C、23 ~ 26 °C。

利用计算机编程对所有不同水平(4 × 6 468 × 18 = 465 696 种)的组合中 P_s 与次年 CPUE 时间序列值进行相关性分析和一元线性回归分析, 利用相关性显著参数 P 值和线性拟合参数 R^2 值判断最优水平的实验组合范围, 比较分析经验产卵场和推测产卵场之间产卵场平均 SST 和 P_s 的年间变化趋势。

2 结果

2.1 柔鱼产卵季节以及产卵场范围推测结果

由表 1 可知, 在 1996—2007 年假设产卵场范围为 130°E ~ 160°E、20°N ~ 27°N 的情况下, 相同年份不同假设最适产卵 SST 范围下的产卵场范围大小差异显著, 不同年份相同假设最适产卵 SST 范围下的产卵场范围大小波动较小, 其中假设最适产卵 SST 范围为 22 ~ 26 °C 的平均 P_s 值最大, 达到 0.655 6; 而最适产卵 SST 范围为 20 ~ 23 °C 的平均 P_s 值最小, 只有 0.179 1。

表 1 1996—2007 年 1 月份假设产卵场范围(130°E ~ 160°E, 20°N ~ 27°N)的 P_s 值

Tab. 1 The P_s value of hypothetical spawning ground (130°E - 160°E, 20°N - 27°N) in January of from 1996 to 2007

SST 范围 Range of SST/°C	年份												平均值 Average
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
20.0 ~ 24.0	0.476 7	0.383 9	0.273 3	0.267 7	0.257 6	0.283 4	0.376 1	0.368 0	0.373 0	0.329 1	0.380 7	0.244 1	0.334 5
20.5 ~ 24.5	0.571 5	0.484 4	0.358 3	0.335 2	0.350 8	0.354 1	0.455 4	0.458 2	0.491 3	0.419 1	0.463 9	0.329 4	0.422 6
21.0 ~ 25.0	0.669 8	0.552 0	0.458 5	0.406 3	0.441 4	0.443 8	0.526 6	0.547 3	0.607 8	0.521 0	0.540 0	0.431 3	0.512 1
21.5 ~ 25.5	0.720 6	0.600 9	0.573 0	0.484 9	0.532 4	0.488 3	0.583 6	0.636 6	0.705 5	0.619 0	0.619 8	0.544 3	0.592 4
22.0 ~ 26.0	0.715 6	0.619 7	0.656 4	0.551 2	0.605 6	0.536 9	0.615 6	0.705 4	0.787 8	0.725 0	0.690 0	0.657 6	0.655 6
20.0 ~ 23.5	0.380 8	0.272 0	0.189 5	0.191 0	0.184 3	0.213 5	0.288 3	0.283 6	0.272 6	0.243 0	0.298 0	0.185 3	0.250 2
20.5 ~ 24.0	0.471 4	0.378 2	0.273 2	0.267 7	0.257 6	0.279 0	0.364 9	0.363 3	0.368 7	0.328 5	0.368 0	0.243 1	0.330 3
21.0 ~ 24.5	0.557 5	0.470 9	0.356 9	0.334 9	0.350 5	0.343 6	0.432 1	0.446 7	0.485 2	0.413 0	0.439 6	0.323 6	0.412 9
21.5 ~ 25.0	0.633 9	0.523 2	0.450 4	0.400 2	0.437 4	0.413 6	0.484 9	0.522 0	0.593 2	0.501 5	0.508 6	0.419 6	0.490 7
22.0 ~ 25.5	0.657 1	0.566 1	0.555 2	0.465 4	0.517 1	0.463 9	0.546 0	0.587 9	0.666 7	0.586 2	0.579 3	0.516 7	0.559 0
22.5 ~ 26.0	0.638 0	0.576 5	0.624 1	0.514 7	0.574 4	0.500 9	0.569 9	0.648 7	0.729 1	0.678 2	0.637 5	0.617 1	0.609 1
20.0 ~ 23.0	0.287 5	0.197 7	0.119 6	0.119 8	0.115 0	0.158 4	0.224 5	0.209 2	0.191 3	0.165 9	0.226 3	0.134 2	0.179 1
20.5 ~ 23.5	0.375 5	0.266 3	0.189 4	0.191 0	0.184 2	0.209 1	0.277 2	0.278 9	0.268 2	0.242 4	0.285 3	0.184 3	0.246 0
21.0 ~ 24.0	0.457 4	0.364 7	0.271 8	0.267 4	0.257 3	0.268 5	0.341 6	0.351 8	0.362 6	0.322 4	0.343 7	0.237 3	0.320 5
21.5 ~ 24.5	0.521 6	0.442 1	0.348 8	0.328 7	0.346 5	0.313 4	0.390 4	0.421 3	0.470 7	0.393 5	0.408 3	0.311 9	0.391 4
22.0 ~ 25.0	0.570 4	0.488 5	0.432 5	0.380 6	0.422 2	0.389 2	0.447 2	0.473 3	0.554 4	0.468 7	0.468 1	0.392 0	0.457 3
22.5 ~ 25.5	0.579 5	0.522 9	0.522 9	0.428 9	0.485 9	0.427 9	0.500 2	0.531 2	0.608 0	0.539 4	0.526 8	0.476 1	0.512 5
23.0 ~ 26.0	0.548 4	0.506 0	0.565 1	0.458 2	0.511 2	0.448 2	0.505 7	0.586 5	0.660 2	0.618 1	0.572 6	0.569 5	0.545 8

对柔鱼年 CPUE 和 1—4 月每个假设产卵月份的 6 468 个假设产卵场的 P_s (表 1) 分别进行一元线性回归分析, 最终筛选出 24 个假设产卵场范围(表 2)。回归结果表明, 这 24 个假设产卵场的 P_s , 在 1—3 月份每个月中, 均 CPUE 呈显著性

相关($P < 0.05$), 因此推测西北太平洋柔鱼产卵季节主要集中在 1—3 月份。同时, 根据假设产卵场范围的各列经纬度坐标, 计算得到各列经纬度坐标的中位数, 据此推测柔鱼产卵场最集中范围在 136.5°E ~ 167°E、20.5°N ~ 27.5°N。

表 2 1—3 月 CPUE 和 P_s 的回归结果均呈显著相关的假设产卵场范围Tab. 2 Hypothetical spawning ground in which the regression results between CPUE and P_s all showed significant positive correlation from Jan. to Mar.

序号 Number	假设产卵场范围 Hypothetical range of spawning grounds			
	起始经度 Start of longitude	结束经度 End of longitude	起始纬度 Start of latitude	结束纬度 End of latitude
01	136.5°E	166.5°E	20.0°N	28.5°N
02	136.5°E	166.5°E	20.0°N	29.0°N
03	137.0°E	167.0°E	20.0°N	29.0°N
04	135.0°E	168.0°E	20.5°N	27.5°N
05	135.5°E	167.5°E	20.5°N	27.5°N
06	135.5°E	168.0°E	20.5°N	27.5°N
07	136.0°E	166.5°E	20.5°N	27.5°N
08	136.0°E	167.0°E	20.5°N	27.5°N
09	136.0°E	167.5°E	20.5°N	27.5°N
10	136.0°E	168.0°E	20.5°N	27.5°N
11	136.0°E	166.5°E	20.5°N	28.0°N
12	136.5°E	166.5°E	20.5°N	27.5°N
13	136.5°E	167.0°E	20.5°N	27.5°N
14	136.5°E	167.5°E	20.5°N	27.5°N
15	136.5°E	168.0°E	20.5°N	27.5°N
16	136.5°E	166.5°E	20.5°N	28.0°N
17	136.5°E	166.5°E	20.5°N	28.5°N
18	137.0°E	167.0°E	20.5°N	27.5°N
19	137.0°E	167.5°E	20.5°N	27.5°N
20	137.0°E	168.0°E	20.5°N	27.5°N
21	137.0°E	167.0°E	20.5°N	28.0°N
22	137.0°E	167.0°E	20.5°N	28.5°N
23	137.5°E	167.5°E	20.5°N	27.5°N
24	137.5°E	168.0°E	20.5°N	27.5°N
中位数 Medium	136.5°E	167.0°E	20.5°N	27.5°N

2.2 西北太平洋柔鱼最适产卵 SST 范围推测结果

对筛选得到的 1—3 月共 72 个假设产卵场进行统计分析(图 3), 1—3 月连续 3 个月 P_s 和 CPUE 呈显著相关的假设产卵场主要集中在 SST 为 21.5 ~ 25.5 °C、22 ~ 26 °C、22 ~ 25.5 °C、22.5 ~ 26 °C、22.5 ~ 25.5 °C 和 23 ~ 26 °C 这 6 个假设范围。假设产卵场在这 6 个假设最适产卵 SST 范围的分布差异不大, 甚至在 22 ~ 26 °C、22.5 ~ 26 °C、23 ~ 26 °C 这 3 个假设最适产卵 SST 范围的分布完全相同(图 3), 因此推测西北太平洋柔鱼最适产卵 SST 范围为此 3 个假设最适产卵 SST 范围的中值, 为 22.5 ~ 26 °C。

2.3 经验产卵场和推测产卵场平均 SST 年间变化比较分析

由图 4 可知: 经验产卵季节产卵场平均 SST 的波动范围在 22.5 ~ 24.5 °C; 推测产卵季节产卵场平均 SST 的波动范围则在 23 ~ 25 °C, 均较经验产卵场平均 SST 高 0.5 °C 左右。然而, 两者

大致变化趋势相差不大, 在 1996—1998 年、2002—2007 年、2014—2015 年 PDO 暖期, 产卵场平均 SST 上升, 在 1999—2001 年、2008—2013 年 PDO 冷期, 产卵场平均 SST 下降。其两者的谷峰值均出现在 1996 和 1999 年, 分别为 22.67 °C、23.07 °C 和 24.22 °C、24.78 °C, 同时, 两者与 CPUE 的相关性均不显著($P > 0.05$)。

2.4 西北太平洋柔鱼经验产卵场和推测产卵场 P_s 年间变化比较

由图 5 可知, 1996—2007 年间 1—4 月经验产卵场和推测产卵场 P_s 值变化趋势大致相同, 推测产卵场最适产卵 SST 的范围明显大于经验产卵场。并且, 1—3 月两者 P_s 值与 CPUE 均呈显著相关(表 3)。由表 3 可知, 推测产卵场 P_s 值与 CPUE 的相关系数(R^2)均大于经验产卵场, 并且在 1 月和 3 月, 推测产卵场的 P_s 值与 CPUE 更是呈极显著相关($P < 0.01$)而在 4 月, 无论推测产卵场还是经验产卵场的 P_s 值与 CPUE 均无显著性相关($P > 0.05$)。

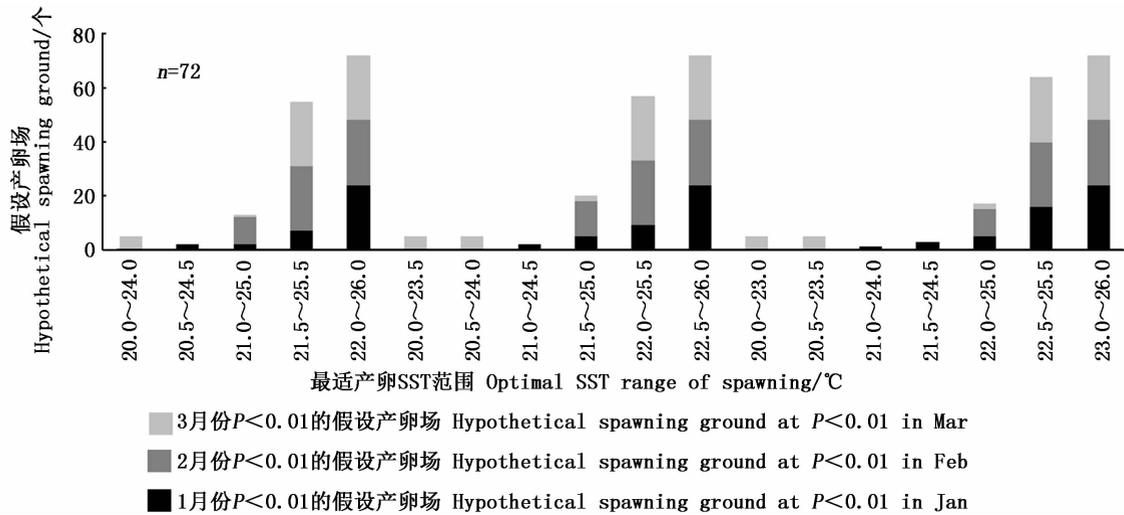


图3 1—3月 P_s 和 CPUE 呈显著相关的假设产卵场个数

Fig.3 The number of hypothetical spawning grounds with a significant positive correlation between P_s and CPUE from Jan. to Mar.

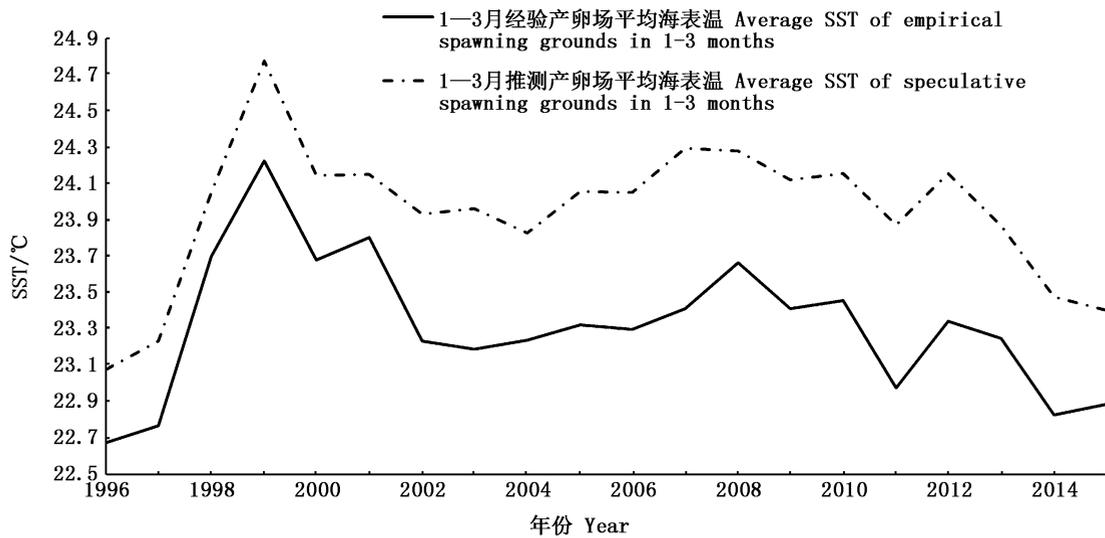


图4 1996—2015 年不同 PDO 时期西北太平洋柔鱼 CPUE 和产卵场平均 SST 年间变化

Fig.4 The CPUE and average annual SST its spawning ground in different periods of PDO from 1996 to 2015 in the northwest Pacific

表3 西北太平洋柔鱼经验产卵场和推测产卵场的 P_s 与 CPUE 回归结果

Tab.3 The regression results about P_s and CPUE of empirical spawning ground and predictive spawning ground in the northwest Pacific Ocean

P_s 与 CPUE 回归结果 Regression result of P_s and CPUE	经验产卵场最适 SST 为 22.5 ~ 26 °C Empirical spawning ground with optimum SST of 22.5 ~ 26 °C				推测产卵场最适 SST 为 22.5 ~ 26 °C Predictive spawning ground with optimum SST of 22.5 ~ 26 °C			
	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.
相关系数 R^2	0.470 6	0.371 9	0.430 9	0.301 0	0.562 7	0.482 0	0.527 9	0.190 9
P	0.013 8	0.035 2	0.020 4	0.064 7	0.005 0	0.012 2	0.007 4	0.155 5

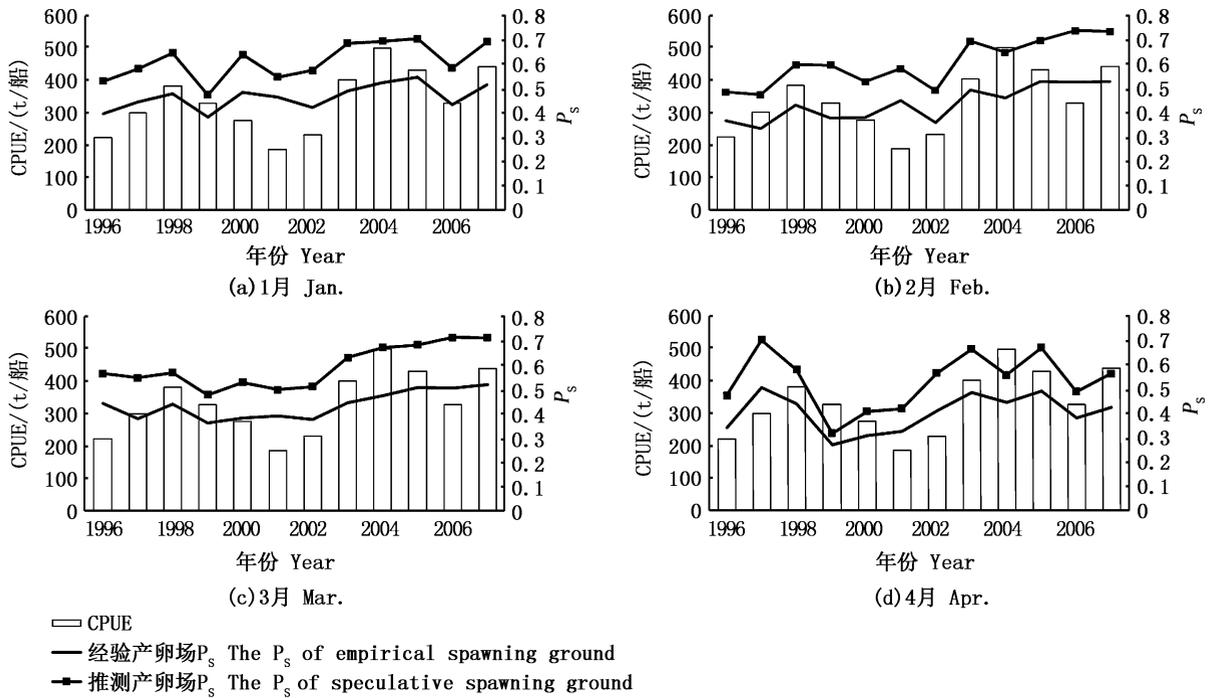


图5 1996—2007年1—4月份产卵场最适 SST 22.5 ~ 26 °C时经验产卵场和推测产卵场的 P_s 值年间变化比较
 Fig.5 Comparison of the P_s values of empirical spawning grounds and predictive spawning grounds in which the optimum SST was 22.5 ~ 26 °C from Jan. to Apr. of 1996 - 2007

3 讨论与分析

西北太平洋柔鱼独特的生物学特征使其对中小尺度气候变化和产卵场环境条件变化异常敏感。本研究在柔鱼产卵场的 P_s 与其资源补充量存在正相关性^[4-6]这一科学假设的基础上,对1996—2007年西北太平洋柔鱼年 CPUE 和1—4月每个月份的6468个假设产卵场的 P_s 分别进行回归分析,筛选出 CPUE 和 P_s 在统计学上呈显著相关($P < 0.05$)的产卵季节、产卵场范围和最适 SST。

研究认为,1996—2007年间,西北太平洋柔鱼的产卵高峰为1—3月。HAYASE等^[14]对西北太平洋柔鱼产卵场调查报告结果显示,在1993年4—5月获得的西北太平洋柔鱼样本多数为幼体,其中雄性幼体胴长集中在150 mm左右,雌性幼体胴长集中在160 mm左右。BIGELOW等^[15]研究表明一般柔鱼在35天胴长为12.1 mm,之后雄性个体生长率为1.1 ~ 2.1 mm/d,雌性个体生长率为1.1 ~ 2.5 mm/d。根据上述学者的研究结果,推测西北太平洋柔鱼产卵季节为1—3月,与本研究推测的产卵季节基本一致。研究结果表

明在4月份,无论推测产卵场还是经验产卵场的最适 SST 范围 P_s 值与 CPUE 在统计学上均无显著相关性($P > 0.05$,图5),可能原因是柔鱼主要产卵季节集中在1—3月,较少在4月产卵。因此在今后的研究中,可考虑进一步研究周、旬、月等不同时间分辨率,对产卵季节的影响。研究发现,1996—2007年间,西北太平洋柔鱼的最适产卵场位置为136.5°E ~ 167°E,20.5°N ~ 27.5°N。目前关于西北太平洋柔鱼产卵场位置的准确信息很少^[16],HAYASE等^[14]的调查报告结果显示,1993年4—5月份,采集的柔鱼幼体样本主要集中在143°E ~ 165.5°E,26°N附近海域,此范围与本研究推测的产卵场范围基本一致。研究结果(图4)显示,在1996—2007年间,无论是经验产卵场(130°E ~ 170°E,20°N ~ 30°N),还是推测产卵场(136.5°E ~ 167°E,20.5°N ~ 27.5°N),其产卵场平均 SST 在 PDO 暖期上升,在 PDO 冷期下降,但均和 CPUE 没有显著的相关性,这与余为^[7,12]等的研究结果大致相同。由相关性分析结果可知,推测产卵场范围较经验产卵场范围更小,相关性分析结果更优秀,并且由表3可知,1—3月两者 P_s 值与 CPUE 均呈显著相关,可能

是经验产卵场和推测产卵场的范围仍然过大。在今后的研究,可继续缩小产卵场范围,并对每个产卵月份分别进行产卵场适宜环境条件的研究,进一步考虑时间、空间和温度 3 种因子对产卵场分布的共同影响。研究发现,1996—2007 年间,西北太平洋柔鱼产卵的最适 SST 范围为 22.5 ~ 26 °C。其原因可能为西北太平洋柔鱼的卵孵化所需的海表面最适温度范围为 22.5 ~ 26 °C 之间,这与 VIJAI 等^[17-18]认为人工受精孵化的温度范围为 16 ~ 26 °C,器官发育的最适温度为 22 ~ 24 °C 的研究结果大致相同,也较经验产卵最适 SST 范围更为精确。HAYASE 等^[14]的调查报告结果显示,1993 年 4—5 月份,采集的柔鱼幼体样本主要集中在 143°E ~ 165.5°E、26°N 附近海域,这些采集海域的 SST 为 23.4 ~ 26.7 °C,这与本研究推测的产卵最适 SST 范围大致相同,主要原因可能为在 SST 为 23.4 ~ 26.7 °C 的海域较其他 SST 范围海域更适合浮游生物的生存^[12],从而更有利于西北太平洋柔鱼幼体的生长发育。KEITH 等^[15]调查认为,分布在美国夏威夷州附近海域(中东部太平洋)的冬春生柔鱼群体,其幼体样本胴长集中在 2.1 ~ 13.7 mm,虽然其采集海域与西北太平洋柔鱼相距甚远,但其采集海域的 SST 范围主要集中在 22.6 ~ 23.8 °C,此 SST 范围与本研究的推测产卵最适 SST 范围基本一致。

海洋环境条件对柔鱼的影响几乎贯穿其整个生命活动过程,其中 SST 作为主要海洋环境因素之一,对柔鱼的生命活动特别是早期生命活动更是极其重要^[16],但仅将 SST 作为表征产卵场海洋环境的因子进行研究未免有些单一。在今后的研究,可考虑加入更多的海洋环境因子(如海表面 *Chl. a* 浓度)、中尺度气候因素(如 PDO、ENSO 事件)等对产卵场的影响研究。

参考文献:

- [1] ROBERTS M J. The influence of the environment on chokka squid *Loligo vulgaris reynaudii* spawning aggregations: steps towards a quantified model [J]. south African Journal of Marine Science, 1998, 20(1): 267-284.
- [2] 陈新军, 田思泉, 许柳雄. 西北太平洋海域柔鱼产卵场和作业渔场的水温年间比较及其与资源丰度的关系 [J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 168-175.
CHEN X J, TIAN S Q, XU L X. Analysis on changes of surface water temperature in the spawning and feeding ground of *Ommastrephes bartrami* and its relationship with abundance index in the northwestern Pacific Ocean [J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(2): 168-175.
- [3] HOUDE E D. Patterns and trends in larval-stage growth and mortality of teleost fish [J]. Journal of Fish Biology, 1997, 51(sA): 52-83.
- [4] WALUDA C M, RODHOUSE P G, PODESTÁ G P, et al. Surface oceanography of the inferred hatching grounds of *Illex argentinus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) and influences on recruitment variability [J]. Marine Biology, 2001, 139(4): 671-679.
- [5] SAKURAI Y, KIYOFUJI H, SAITOH S, et al. Changes in inferred spawning areas of *Todarodes pacificus* (Cephalopoda: Ommastrephidae) due to changing environmental conditions [J]. ICES Journal of Marine Science, 2000, 57(1): 24-30.
- [6] ICHII T, MAHAPATRA K, WATANABE T, et al. Occurrence of jumbo flying squid *Dosidicus gigas* aggregations associated with the countercurrent ridge off the Costa Rica Dome during 1997 El Niño and 1999 La Niña [J]. Marine Ecology Progress Series, 2002, 231: 151-166.
- [7] YU W, CHEN X J, CHEN C S, et al. Impacts of oceanographic factors on interannual variability of the winter-spring cohort of neon flying squid abundance in the northwest Pacific Ocean [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2017, 36(10): 48-59.
- [8] MURAKAMI K, WATANABE Y, NAKATA J. Growth, distribution and migration of flying squid (*Ommastrephes bartrami*) in the north Pacific [M]//MISHIMA S. Pelagic Animals and Environments around the Subarctic Boundary in north Pacific. Hakodate: Hokkaido University, Research Institution north Pacific Fishery, 1981: 161-179.
- [9] YATSU A. Distribution of flying squid, *Ommastrephes bartrami*, in the north Pacific based on a jigging survey, 1976-1983 [R]. Tokyo: Bulletin - National Research Institute of Far Seas Fisheries, 1992.
- [10] HAYASE S. Cruise report of flying squid spawning survey by the Hokuho Maru in the north Pacific in April-May, 1989 [R]. Washington: Document submitted to the Annual Meeting of the International north Pacific Fisheries Commission, 1989: 1-21.
- [11] BOWER J R, ICHII T. The red flying squid (*Ommastrephes bartrami*): A review of recent research and the fishery in Japan [J]. Fisheries Research, 2005, 76(1): 39-55.
- [12] 余为. 西北太平洋柔鱼冬春生群对气候与环境变化的响应机制研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
YU W. Response mechanism of winter-spring cohort of neon flying squid to the climatic and environmental variability in the northwest Pacific Ocean [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.
- [13] WANG J T, CHEN X J, TANAKA K, et al. Environmental influences on commercial oceanic ommastrephid squids: A stock assessment perspective [J]. Scientia Marina, 2017, 81(1): 37-47.

- [14] HAYASE S. Distribution of spawning grounds of flying squid, *Ommastrephes bartrami*, in the north Pacific Ocean [J]. Japan Agricultural Research Quarterly, 1995, 29: 65-72.
- [15] BIGELOW K A, LANDGKAF K C. Hatch dates and growth of *Ommastrephes bartrami* paralarvae from Hawaiian waters as determined from statolith analysis [M]//OKUTANI T, O'DOR T K, KUBODERA T. Recent Advances in Cephalopod Fisheries Biology. Tokyo: Tokai University Press, 1993: 15-24.
- [16] 余为, 陈新军, 易倩, 等. 北太平洋柔鱼早期生活史研究进展[J]. 上海海洋大学学报, 2013, 22(5): 755-762.
YU W, CHEN X J, YI Q, et al. Review on the early life history of neon flying squid *Ommastrephes bartrami* in the north Pacific [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2013, 22(5): 755-762.
- [17] VIJAI D, SAKAI M, WAKABAYASHI T, et al. Effects of temperature on embryonic development and paralarval behavior of the neon flying squid *Ommastrephes bartrami* [J]. Marine Ecology Progress Series, 2015, 529: 145-158.
- [18] VIJAI D, SAKAI M, SAKURAI Y. Embryonic and paralarval development following artificial fertilization in the neon flying squid *Ommastrephes bartrami* [J]. Zoomorphology, 2015, 134(3): 417-430.

Suitable environmental conditions for spawning ground affecting the abundance of neon flying squid in northwestern Pacific Ocean

WANG Yifan¹, CHEN Xinjun^{1,2,3,4,5}

(1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Exploration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China; 3. National Engineering Research Center for Oceanic Fisheries, Shanghai 201306, China; 4. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China; 5. Scientific Observing and Experimental Station of Oceanic Fishery Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306, China)

Abstract: As a short life cycle species, the resources of neon flying squid in northwestern Pacific Ocean fluctuate greatly during the years, mainly because the population is extremely sensitive to mesoscale climate change and changes of environmental conditions of its spawning ground. Therefore, it is particularly important to study the environmental conditions of the spawning ground of neon flying squid and obtain the most suitable temporal and spatial environmental factors. In a stable mesoscale climate model, based on the scientific conclusion that the ratio of the optimal temperature range of the squid spawning field to its spawning range (P_s) is positively correlated with its resource replenishment, this study intends to conduct a regression analysis of the CPUE of the neon flying squid in 1996 – 2007 and the P_s of 6 468 hypothetical spawning grounds in each month of January-April, screening out the spawning season, spawning grounds and the optimum SST range of spawning grounds which were statistically significantly correlated with CPUE and P_s . Studies indicate: during 1996 – 2007, the spawning season is from Jan. to Mar.; The optimal spawning range is 136.5°E – 167°E, 20.5°N – 27.5°N; The optimum SST range for spawning ground is 22.5 – 26 °C. The results of this study contribute to the understanding of the life cycle process of squid and the prediction of its resource supplement, which provides a basis for the sustainable development and scientific management of squid resources.

Key words: neon flying squid; resource abundance; spawning season; spawning ground range; optimal SST range