

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15431

象山港蓝点马鲛鱼卵、仔稚鱼的时空分布特征及其与环境因子关系

宋超^{1,2}, 王宇坛^{1,2}, 刘尊雷¹, 张辉¹, 林昱¹, 姜亚洲¹, 李圣法¹, 林楠¹

1. 中国水产科学研究院 东海水产研究所, 农业部东海与远洋渔业资源开发利用重点实验室, 上海 200090;

2. 上海海洋大学 海洋科学学院, 上海 201306

摘要: 为了研究象山港蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)鱼卵和仔稚鱼的时空分布特征及其与环境因子的相关关系, 在象山港港湾内设置 14 个站, 于 2015 年 4 月 3 日至 6 月 10 日期间按周采样, 共调查 10 个航次(~), 以方形网(网口为 1 m × 2 m, 网目 1.0 mm)采集象山港水域蓝点马鲛鱼卵、仔稚鱼, 同时利用 CTD 采集表层水温、表层盐度和水深等数据。结果表明, 象山港蓝点马鲛鱼卵出现时间为 4 月初至 6 月初, 鱼卵的丰度随时间呈先升后降趋势, 4 月中旬至 5 月初为高峰期。仔稚鱼出现时间相对滞后且提前结束, 持续时间短, 集中在 5 月初至 5 月中旬。鱼卵和仔稚鱼主要分布于港口和港中部水域, 其中鱼卵、卵黄囊期和前弯曲期仔鱼空间分布相似, 主要分布在较深水域, 而后弯曲期仔鱼和稚鱼主要分布在较浅的近岸水域。鱼卵丰度与表层水温、表层盐度和水深均呈显著性相关($P<0.05$), 最适表层水温范围为 15~19℃, 最适表层盐度范围为 25.5~26.0, 分布水深为 15~30 m。仔稚鱼仅与表层水温呈显著性相关($P<0.05$), 最适表层水温范围为 18~19℃。

关键词: 蓝点马鲛; 象山港; 鱼卵; 仔稚鱼; 时空分布; 环境因子

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)05-1197-08

蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)隶属鲈形目(Perciformes), 鲉科(Scombridae), 为大型暖水性中上层鱼类, 广泛分布于渤海、黄海和东海^[1]。象山港位于浙江省中北部沿海, 港体狭长且为半封闭型, 港内营养盐类含量较高, 饵料生物丰富, 是众多海洋鱼类栖息、生长、繁殖的良好场所^[2], 亦为蓝点马鲛重要产卵场之一, 其产卵群体于每年清明节前后进入港湾内产卵, 是当地重要的经济种类^[3]。为保护该资源, 农业部于 2010 年 11 月 25 日设立了象山港蓝点马鲛国家级水产种质资源保护区(中华人民共和国农业部第 1491 号公告)。长期以来, 对蓝点马鲛的研究主要集中于成体的摄食习性^[4]、种群形态特征^[5]和生态习性^[6~7]等方面, 早期生活史阶段的研究也多侧重于形态发育^[8], 而针对象山港蓝点马鲛研究也仅限于楼丹等^[3]的渔获情况分析, 对其早期生活史阶段的生

态习性知之甚少。

鱼卵、仔稚鱼的数量变动直接影响补充群体的大小, 是研究鱼类种群动态的基础^[9]。掌握鱼卵、仔稚鱼的分布特征及与环境因子的相关性是准确判断渔业资源补充现状和制定合理有效的渔业管理政策必不可少的工作之一^[10]。因此本研究利用 2015 年 4—6 月对象山港水域进行鱼卵、仔稚鱼的调查结果, 分析了蓝点马鲛鱼卵、仔稚鱼的数量变化和时空分布特征, 并对表层水温、表层盐度、水深等的影响进行了初步探讨, 旨在为其种质资源保护提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 调查时间与方法

2015 年 4 月 3 日至 6 月 10 日, 按周对布设于港湾内的 14 个站(图 1)进行 10 航次(I~X)的鱼

收稿日期: 2015-11-19; 修订日期: 2016-01-28.

基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201303047).

作者简介: 宋超(1991-), 男, 硕士研究生, 主要从事渔业资源和生态学研究. E-mail: 1185710183@qq.com

通信作者: 林楠, 助理研究员. E-mail: linn@eastfishery.ac.cn

卵、仔稚鱼调查(表 1)。为了更有效采集蓝点马鲛鱼卵和仔稚鱼样品,选用方形网^[11](网口为 1 m × 2 m, 网目 1.0 mm, 适用于采集运动能力较强的仔鱼)为调查网具(图 2)。采样时,网口上系有浮球和流量计(Hydro-Bios 438115 型),拖绳长 30~50 m,船速为 1~2 节,水平拖拽 10 min。起放网时分别记录流量计数字以计算滤水体积,现场用无水乙醇溶液固定样品,同时以 SEB-37 CTD 测量各站表层水温(℃)、表层盐度和水深(m)等数据。



图 1 2015 年 4—6 月象山港蓝点马鲛鱼卵、仔稚鱼调查站位

Fig. 1 Survey stations in the Xiangshan Bay from April to June in 2015

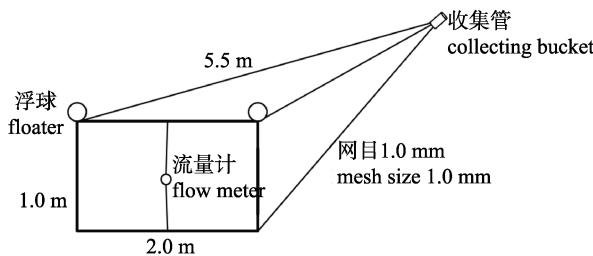


图 2 方形网示意图

Fig. 2 Schematic diagram of frame net

1.2 样品处理

实验室内挑拣出样品中的蓝点马鲛鱼卵、仔稚鱼,同时将仔稚鱼个体划分为卵黄囊期、前弯曲期、弯曲期、后弯曲期和稚鱼期 5 个发育阶段^[8, 12],并计数。

1.3 数据分析

根据流量计转数计算滤水体积 $V(V=0.3 \times S \times N,$

表 1 象山港各调查航次蓝点马鲛鱼卵和仔稚鱼的数量统计

Tab.1 The number of *Scomberomorus niphonius* eggs, larvae and juveniles in each survey cruise in Xiangshan Bay

航次 cruise	时间 date	卵数量 egg amount	仔稚鱼数量 larva and juvenile amount
	4.3—4.4	453	0
	4.11—4.12	1841	0
	4.19—4.20	3381	35
	4.26—4.27	2381	30
	5.4—5.5	2779	316
	5.11—5.12	823	378
	5.19—5.20	107	337
	5.26—5.27	580	6
	6.2—6.3	2	6
	6.9—6.10	0	0

S 为网口面积, N 为流量计转数), 从而将计数数量标准化为丰度表示(ind/100 m³), 计算公式为 $\rho = N/V$ (N 为样品数量)。运用 ANOVA 方法比较航次间蓝点马鲛鱼卵、仔稚鱼丰度变化, 并用 LSD 方法进行两两航次间丰度的差异比较。

利用等级聚类分析方法分析蓝点马鲛鱼卵与各发育阶段仔稚鱼空间分布的相似性^[13], 构建鱼卵和各发育阶段×站位(10 个航次的所有站位)的丰度矩阵, 为消除量纲差异, 将各站点丰度转化为丰度百分比, 计算各发育阶段的 Bray-Curtis 相似性系数, 运用未加权的组平均方法(UPGMA)进行聚类分析, 聚类分析利用 PRIMER 软件进行计算和绘图。

利用广义相加模型(generalized additive models, GAM)对影响蓝点马鲛鱼卵和仔稚鱼分布的因子

进行分析, 其表达式为^[14]: $g(\rho) = \alpha + \sum_{j=1}^n f_i(x_j) + \varepsilon$,

$g(\rho)$ 为关联函数(link function); ρ 为卵或仔稚鱼丰度; α 为适合函数中的截距; x_j 为解释变量, 包括表层水温、表层盐度和水深; $f_i(x_j)$ 为解释变量关系的非参数函数; ε 为误差项, 与解释变量 x_j 无关, $E(\varepsilon) = 0$, $\varepsilon = \sigma^2$, 符合正态分布。模型采用样条平滑法, 对数据图进行平滑处理。GAM 模型的构建及其检验在 R 软件(R2.11.1)内完成。

2 结果与分析

2.1 表层水温、表层盐度和水深

调查期间, 同一航次的不同站位间表层水温变化较小, 各航次的平均表层水温为 $14.3\sim22.7^{\circ}\text{C}$, 随时间推移而逐渐升高(图3a); 同一站位航次间表层盐度变化不大, 各站位平均表层盐度变化范围为 $24.7\sim26.0$, 从港口至港底呈递减趋势(图3b); 水深受潮汐变化影响, 各站位平均水深为 $2.7\sim28.6\text{ m}$, 港湾水域中间的2、5、8、9、12等站位水深较深, 其他站位较浅(图3b)。

2.2 卵、仔稚鱼的时空分布

调查期间, 各航次之间鱼卵的平均丰度范围为 $0.01\sim34.92\text{ ind}/100\text{ m}^3$, 差异较大($P<0.01$), 随时间呈先升后降的趋势, 主要集中在~航次, 平均丰度范围为 $13.55\sim34.92\text{ ind}/100\text{ m}^3$ 。空间上, ~航次鱼卵的站位出现率均为100%, 从VI航次开始, 出现率逐渐降低, 直至为零。鱼卵丰度较高期间, 各站位间平均丰度差异显著($P<0.01$),

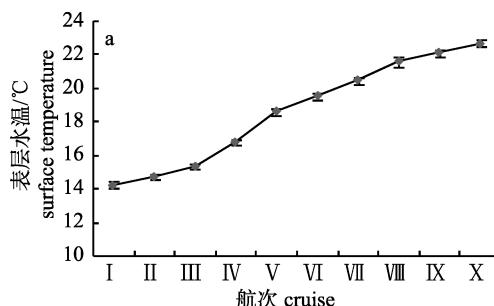


图3 象山港表层水温(a)、表层盐度和水深(b)变化

Fig. 3 The variation of the surface temperature (a), salinity and depth (b) in Xiangshan Bay

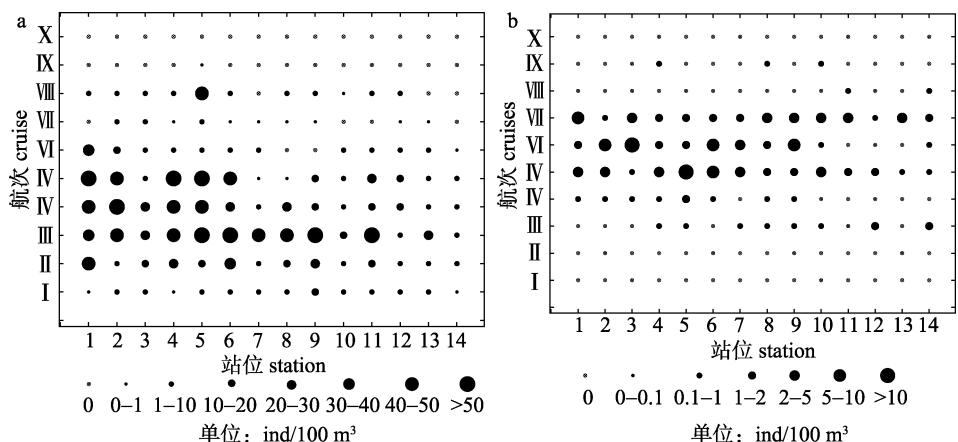
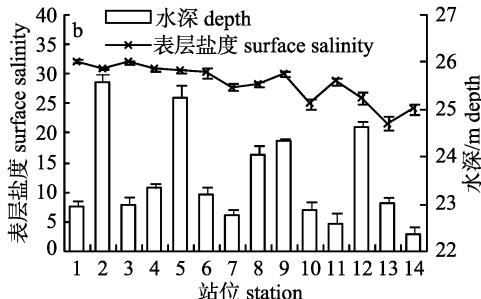


图4 象山港蓝点马鲛鱼卵(a)、仔稚鱼(b)的丰度变化

Fig. 4 The variation of abundance of *Scomberomorus niphonius* eggs (a), larvae and juveniles (b) in Xiangshan Bay

主要分布于靠近港口的水域(1~6号站), 占鱼卵总量的66.50%(图4)。

相比鱼卵, 蓝点马鲛仔稚鱼的出现时间较晚, 且持续时间较短, 仅在~航次出现(平均丰度范围为 $0.04\sim3.12\text{ ind}/100\text{ m}^3$), 主要集中在~航次(图4), 平均丰度范围为 $2.47\sim3.12\text{ ind}/100\text{ m}^3$ 。空间上, 仔稚鱼主要分布港口和港湾中部水域, 港底较少(图4)。

2.3 不同发育阶段个体的时空分布

象山港蓝点马鲛仔稚鱼的不同发育阶段个体时空分布差别较大, 卵黄囊期(平均丰度为 $0.15\text{ ind}/100\text{ m}^3$)和前弯曲期个体(丰度为 $0.41\text{ ind}/100\text{ m}^3$)出现时间为~航次, 集中于~和~航次, 主要分布于港湾中部水域; 弯曲期个体较少, 丰度仅为 $0.07\text{ ind}/100\text{ m}^3$, 零星分布于~航次的某些站位; 后弯曲期个体(丰度为 $0.18\text{ ind}/100\text{ m}^3$)出现在~和~航次, 主要集中于~航次; 稚鱼(丰度为 $0.09\text{ ind}/100\text{ m}^3$)仅在~航次出现, 主要分

布于港口水域(图 5)。

选择卵和仔稚鱼丰度较高的 ~ 航次数据进行聚类分析, 结果显示, 可将卵和不同时期仔稚鱼在空间分布特征上分为 3 组, 平均相似性指数为 50.68%。I 组(卵、卵黄囊期和前弯曲期仔鱼)和 组(后弯曲期仔鱼和稚鱼)的空间分布具有较高的相似性, 前者主要分布于港口和港湾中部水域, 后者主要分布于 1、3 和 9 站位, 港口和港湾中部近岸水域(图 6)。

2.4 卵、仔稚鱼分布与环境因子的关系

通过 GAM 模型回归显示, 表层水温、表层盐度和水深对鱼卵丰度的偏差解释率分别为 37.70%、10.70%、3.76%, 所有因子对鱼卵丰度的总偏差解释率为 70.70%; 表层水温、表层盐度和水深对蓝点马鲛仔稚鱼丰度的偏差解释率分别为 29.00%、6.23%、0.18%, 所有因子对仔稚鱼丰度的总偏差解释率为 29.40%。蓝点马鲛鱼卵的丰度与表层水温、表层盐度和水深的相关性均显著($P<0.05$), 且

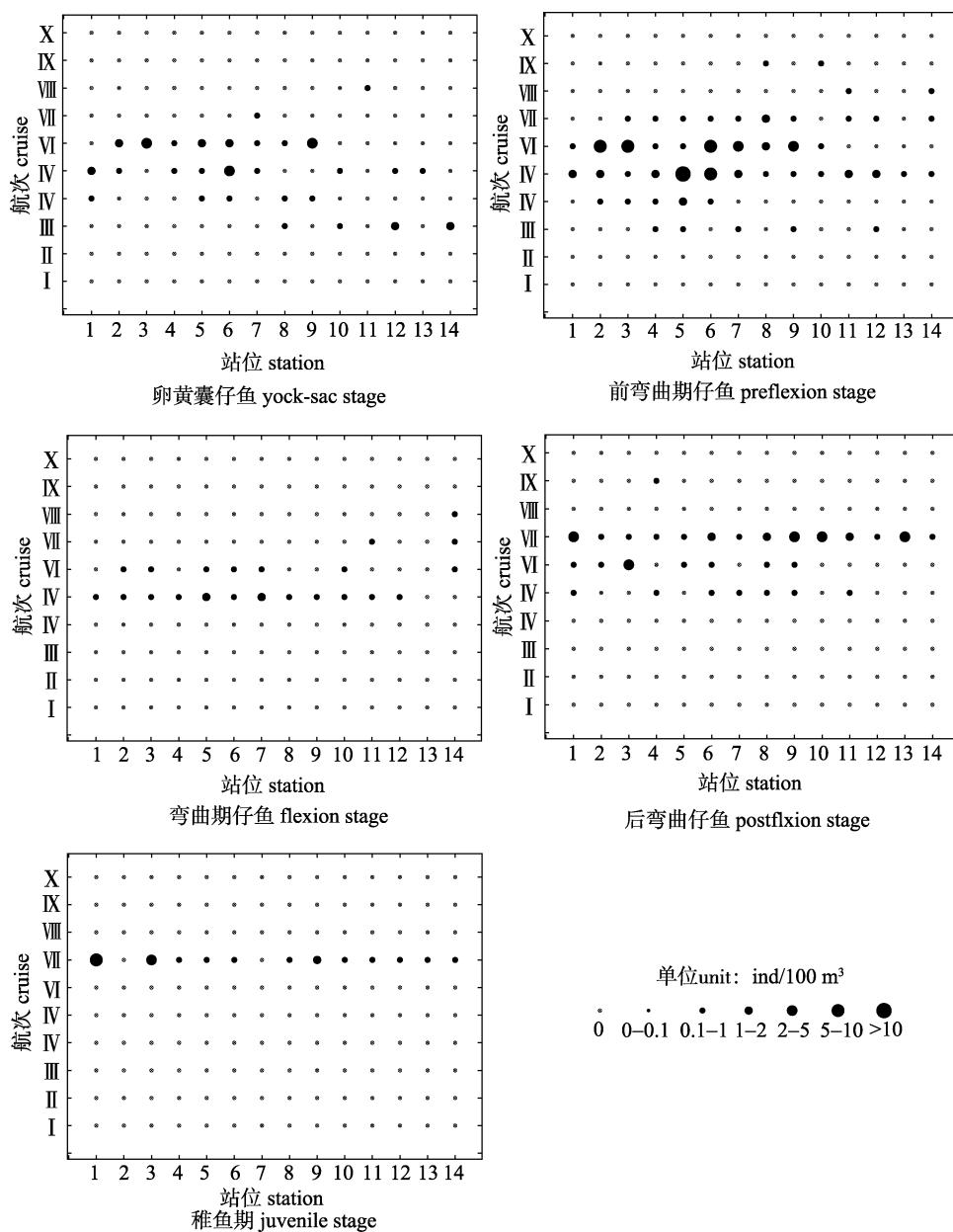


图 5 象山港蓝点马鲛仔稚鱼不同发育阶段个体丰度变化

Fig. 5 The variation of abundance of the *Scomberomorus niphonius* individuals in different development stages in Xiangshan Bay

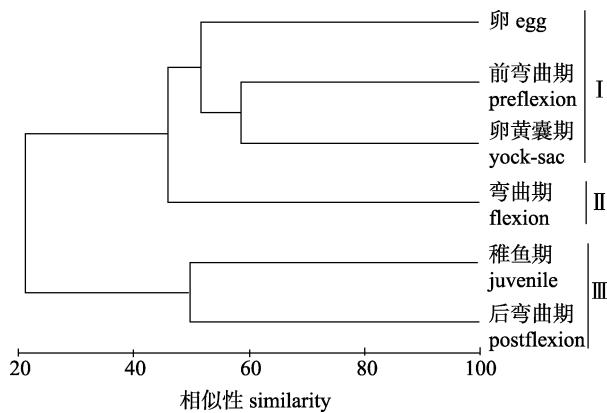


图6 蓝点马鲛不同发育阶段个体空间分布的聚类分析图

Fig. 6 Hierarchical cluster dendrogram of *Scomberomorus niphonius* eggs, larvae and juveniles

鱼卵的丰度与水深呈正相关, 随着水深的增加, 鱼卵的丰度上升, 蓝点马鲛鱼卵的最适温度为15~19℃, 最适表层盐度为25.5~26.0; 蓝点马鲛仔稚鱼的丰度与表层水温的相关性显著($P<0.05$), 最适表层水温为18~19℃, 但与表层盐度和水深的相关性不显著($P>0.05$, 表2, 图7)。

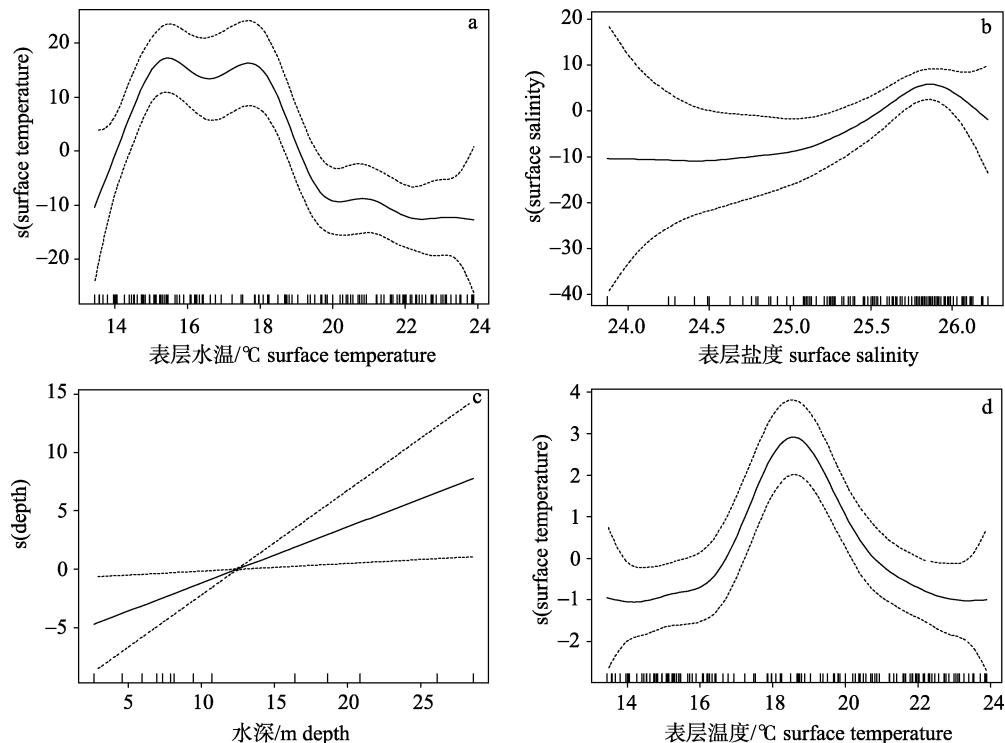


图7 环境因子对象山港蓝点马鲛鱼卵、仔稚鱼丰度的影响

a, b, c 为卵的模拟结果; d 为仔稚鱼的模拟结果.

Fig. 7 Effects of environmental factors on the distribution of *Scomberomorus niphonius* eggs, larvae and juveniles in Xiangshan Bay
a, b, c for eggs; d for larvae and juveniles.

表2 象山港蓝点马鲛卵、仔稚鱼 GAM 模型的方差分析
Tab. 2 Analysis of variance table of GAM for the eggs, larvae and juveniles of *Scomberomorus niphonius*

因变量 dependent variable	环境因子 environmental factor	偏差解释率/% deviance explained	F	P
卵 egg	表层水温×表层 盐度×水深	70.70		
	表层水温	37.70	9.40	9.9e ⁻¹¹ *
	表层盐度	10.70	3.00	0.0145*
仔稚鱼 larvae and juvenile	水深	3.76	5.39	0.0216*
	表层水温×表层 盐度×水深	29.40		
	表层水温	29.00	7.11	2.23e ⁻⁷ *
表层盐度	表层盐度	6.23	1.65	0.151
	水深	0.18	0.25	0.619

注: *表示显著相关($P<0.05$).

Note: * denotes correlation is significant at 0.05 level.

3 讨论

鱼卵、仔稚鱼是鱼类生活史上一个重要阶段^[15], 同时也是较为脆弱的时期, 极易受环境因素影响^[16]。

水温、盐度和深度等因子直接或间接影响鱼卵和仔稚鱼的分布^[17]。张迎秋等^[18]研究认为, 温度驱动鱼卵、仔稚鱼在时间上的变化, 而盐度和水深则驱动空间上的变化。本研究中鱼卵、仔稚鱼与表层水温均呈显著性相关, 表层水温范围为 15~19℃时鱼卵丰度较高, 仔稚鱼在表层水温为 18~19℃时出现较多, 而温度过高或过低时鱼卵和仔鱼丰度均较低, 这一趋势在肖瑜璋等^[19]的研究中亦有体现, 也说明在表层水温为 15~19℃时最适合蓝点马鲛产卵。相对于鱼卵的出现时间, 仔稚鱼出现时间滞后两周, 且持续时间较短。而蓝点马鲛鱼卵一般经 66 h 孵出仔鱼^[20], 表明象山港蓝点马鲛在产卵初期, 鱼卵较难成功孵化成仔鱼, 这可能与水温有着直接关系, 较低水温不利于鱼卵的孵化^[21], 并导致仔鱼的畸形率和死亡率增高^[22~23]; 同样较高水温也会引起鱼卵孵化率的降低^[24], 导致仔稚鱼出现时间提前结束。

由于象山港为半封闭、狭长型海湾, 受海水交换、淡水注入等影响^[25], 盐度从港底至港口呈现出递增趋势(24.7~26.0)。已有的研究表明, 盐度会影响鱼卵、仔稚鱼的分布范围^[26]。本研究中, 蓝点马鲛鱼卵分布受限于盐度变化($P<0.05$), 主要集中在港口和中部等盐度较高水域(25.5~26.0)。同样, 盐度对卵黄囊期和前弯曲期仔鱼也有较大影响, 这一发育期仔鱼也主要分布于盐度较高水域。但随着仔鱼个体生长和器官完善, 个体游泳能力和耐盐性增强^[27], 后弯曲期仔鱼和稚鱼亦在盐度较低水域大量出现。

海洋鱼类对产卵水深的要求不同^[28], 会导致鱼卵分布的差异, 如带鱼(*Trichiurus japonicus*)的产卵水深为 60~100 m 左右, 其鱼卵丰度分布与亲体密集区基本一致^[1], 而斑鰶(*Clupanodon punctatus*)的产卵水深为 7~15 m, 其鱼卵也主要分布于较浅水域^[20]。象山港蓝点马鲛鱼卵的丰度与水深呈显著性相关, 在水深为 15~30 m 水域丰度较高, 表明蓝点马鲛产卵群体倾向于在较深水域产卵^[20]。鱼卵随海流扩散, 在短时间内孵化^[20], 早期仔鱼(卵黄囊期和前弯曲期仔鱼)的游泳能力较弱, 主要在海流作用下漂流^[29], 又由于象山港内海水交

换平缓^[25], 因此其分布与鱼卵具有较大的相似性。而随着生长发育, 鳍条形成, 后弯曲期仔鱼和稚鱼游泳能力逐渐加强^[29], 对生境具有一定的选择能力, 逐渐移向较浅水域, 并在发育至稚鱼期时逐步离开港湾。这一分布模式在其他研究中亦有体现, Hibino 等^[30]曾研究发现, 在日本有明海, 花鮰(*Lateolabrax japonicus*)鱼卵在河口中心孵化, 并随水流漂移, 随着生长会向岸边移动, 当发育至前弯曲期和弯曲期时, 仔鱼大多都进入内湾浅水区栖息。葛珂珂等^[31]也描述了刀鲚(*Coilia nasus*)仔稚鱼在发育至前弯曲期时进入长江口碎波带浅水区栖息滞留约 23 d 后离开该水域的现象。

综上所述, 2015 年象山港蓝点马鲛的产卵高峰时间为 4 月中旬至 5 月初, 与楼丹等^[3]的研究结果一致。相比近海蓝点马鲛的繁殖特性^[20], 象山港蓝点马鲛产卵时对水深和温度要求较为一致, 均在水深 15~30 m、温度 14~19℃ 的水域产卵; 而盐度特征差别较大, 港湾内的盐度(25.5~26.0)低于近海(25.5~31.0), 表明蓝点马鲛产卵的盐度要求较低, 适宜范围较广, 在盐度为 25.5~31.0 的水域中均能产卵。

参考文献:

- [1] Seikai National Fisheries Research Institute. Biological and Ecological Characteristics of Valuable Fisheries Resources From the East China Sea and the Yellow Sea—Comparison between the Chinese and Japanese Knowledges[M]. Japan: Nihon Shiko Printing Co., LTD, 2001: 416~461. [日本水产厅西海区水产研究所. 东海黄海主要水产资源的生物、生态特征[M]. 日本: 日本纸工印刷, 2001: 416~461.]
- [2] Li T J, Ding Y P, Guo Y M, et al. Status of fishery resources along the coastal waters of Xiangshan port[J]. Journal of Zhejiang Ocean University: Natural Science, 2013, 32(3): 222~226, 232. [李铁军, 丁跃平, 郭远明, 等. 象山港附近海域渔业资源特征[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2013, 32(3): 222~226, 232.]
- [3] Lou D, Shi H X, Jiao H F, et al. Fishing output for spawning stock of *Scomberomorus niphonius* in Xiangshan Bay[J]. Hebei Fishery, 2010(10): 38~39. [楼丹, 施慧雄, 焦海峰, 等. 象山港蓝点马鲛渔获情况初步研究[J]. 河北渔业, 2010(10): 38~39.]
- [4] Kishida T. Feeding habits of Japanese Spanish mackerel in the central and western waters of the Seto Inland Sea[J]. Bull Natl Res Inst Far Seas Fish, 1986(20): 73~89.
- [5] Shui B N, Sun X F, Han Z Q, et al. Morphological variation

- analysis among populations of Japanese Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and East China Sea[J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(3): 445–451. [水柏年, 孙希福, 韩志强, 等. 黄海、东海蓝点马鲛群体的形态特征分析[J]. 水产学报, 2009, 33(3): 445–451.]
- [6] Yuan Y Y, Ye Z J, Liu Q, et al. Fishery oceanography and spatial-temporal distribution of *Scomberomorus niphonius* in spring in southern Yellow Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2009, 40(4): 506–510. [袁杨洋, 叶振江, 刘群, 等. 黄海南部春季蓝点马鲛(*Scomberomorus niphonius*)渔场海洋学特征与渔期渔场分布[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(4): 506–510.]
- [7] Wei S. The fishing seasons and grounds of the blue spotted mackerel, *Scomberomorus niphonius* in the Yellow Sea and Bohai in relation to environmental factors[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 1980(2): 34–40. [韦晟. 蓝点马鲛在黄、渤海的渔场、渔期与环境的关系[J]. 海洋与湖沼, 1980(2): 34–40.]
- [8] Sha X K, He G F, Zhang X W. A description of the morphological characters of the eggs and larvae of the blue spotted mackerel, *Scomberomorus niphonius*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1966, 8(1): 1–12. [沙学绅, 何桂芬, 张孝威. 蓝点马鲛卵子和仔、稚鱼形态特征的观察[J]. 海洋与湖沼, 1966, 8(1): 1–12.]
- [9] Kishida T. Fluctuations in year-class strength of Japanese Spanish mackerel in the central Seto Inland Sea[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1991, 57(6): 1103–1109.
- [10] Li J S, Hu F, Lin N. Ecological distribution of fish larvae and juveniles in the Yangtze River estuary and its adjacent waters in spring[J]. South China Fisheries Science, 2015, 11(1): 1–8. [李建生, 胡芬, 林楠. 长江口及邻近海域春季仔、稚鱼的生态分布研究[J]. 南方水产科学, 2015, 11(1): 1–8.]
- [11] Miller B S, Kendall A W J. Early Life History of Marine fishes[M]. London: University of California Press, 2009: 154–159.
- [12] Kendall A W J, Ahlstrom E H, Moser H G. Early life history stages of fishes and their characters[M]//Ontogeny and Systematics of Fishes. Lawrence: The American Society of Ichthyologists and Herpetologists, 1984: 11–12.
- [13] Field J G, Clarke K R, Warwick R M. A Practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1982(8): 37–52.
- [14] Hastie T, Tibshirani R. Generalized Additive Models[M]. London: Chapman and Hall, 1990: 335.
- [15] Chambers R C, Trippel E A. Early life history and recruitment in fish populations[J]. London: Chapman & Hall, 1997: 78–81.
- [16] Wan R J, Zeng D Y, Bian X D, et al. Species composition and abundance distribution pattern of ichthyoplankton and their relationship with environmental factors in the East China Sea ecosystem[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1375–1398. [万瑞景, 曾定勇, 卞晓东, 等. 东海生态系统中鱼卵、仔稚鱼种类组成、数量分布及其与环境因素的关系[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1375–1398.]
- [17] Zheng Y J, Chen X Z, Cheng J H, et al. The Living Resources and Its Habitat in the East China Sea Continental Shelf[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2003: 30–66. [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: 30–66.]
- [18] Zhang Y Q, Xian W W, Li W L. Fish assemblage structure in adjacent sea of Changjiang Estuary in spring of 2004 and 2007 and its association with environmental factors[J]. Periodical of Ocean University of China, 2013, 43(9): 67–74. [张迎秋, 线薇薇, 李文龙. 2004 和 2007 年春季长江口近海鱼类群落特征及其与环境因子的关系[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2013, 43(9): 67–74.]
- [19] Xiao Y Z, Wang R, Ou Q, et al. Relationship between abundance distribution of fish eggs, larvae and juveniles and environmental factors in the Pearl River Estuary waters in spring[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2010, 29(4): 488–495. [肖瑜璋, 王蓉, 欧强, 等. 春季珠江口水域鱼卵和仔稚鱼的分布及其与环境因子的关系[J]. 台湾海峡, 2010, 29(4): 488–495.]
- [20] Zhang R Z, Lu S F, Zhao C Y, et al. Fish eggs and larvae in the offshore waters of China[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985: 22–145. [张仁斋, 陆穗芬, 赵传纲, 等. 中国近海鱼卵与仔鱼[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 22–145.]
- [21] Pan S Y. The influence of environmental temperature on the embryonic development of goldfish[J]. Chinese Journal of Experimental Biology, 1961, 7(3): 271–279. [庞诗宜. 环境温度对金鱼胚胎发育的影响[J]. 实验生物学报, 1961, 7(3): 271–279.]
- [22] Kumkawa T, Okamoto T, Gen K, et al. Influence of water temperature on morphological deformities in cultured larvae of Japanese eel, *Anguilla japonica*, at completion of yolk resorption[J]. J World Aquac Soc, 2008, 39(6): 726–735.
- [23] Okamura A, Yamada Y, Horie N, et al. Effects of water temperature on early development of Japanese eel *Anguilla japonica*[J]. Fish Sci, 2007, 73(6): 1241–1248.
- [24] Hu F W, Pan L, Gao F X, et al. Embryonic development of *Hexagrammos otakii* and its relationship with incubation temperature[J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(1): 28–33. [胡发文, 潘雷, 高凤祥, 等. 大泷六线鱼胚胎发育及其与水温的关系[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(1): 28–33.]
- [25] Dong L X, Su J L. Numerical study of water exchange in Xiangshan Bay . Model application and water exchange study[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1999, 30(5): 465–471. [董礼先, 苏纪兰. 象山港水交换数值研究 . 模型应用和水交换研究[J]. 海洋与湖沼, 1999, 30(5): 465–471.]
- [26] Li L, Zhong J S, Tang J H, et al. Abundance and distribution of larvae and juveniles of *Stolephorus chinensis* in the coast

- of Jiangsu Province and its relationship with environmental factors[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(4): 415–420. [李黎, 钟俊生, 汤建华, 等. 江苏沿岸中华小公鱼仔稚鱼的分布特征及其与环境的关系[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(4): 415–420.]
- [27] Li B, Zhong Y B, Lv W Q. Salinity tolerance of *Pseudosciaena crocea* during early development[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(2): 204–211. [李兵, 钟英斌, 吕为群. 大黄鱼早期发育阶段对盐度的适应性[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(2): 204–211.]
- [28] Moir H J, Soulsby C, Youngson A. Hydraulic and sedimentary characteristics of habitat utilized by Atlantic salmon for spawning in the Girnock Burn, Scotland[J]. Fish Manag Ecol, 2003, 5(3): 241–254.
- [29] Kingsford M J, Leis J, Lindeman K, et al. Sensory environments, larval abilities and local self-recruitment[J]. Bull Mar Sci, 2002, 70(1): 309–340.
- [30] Hibino M, Ohta T, Isoda T, et al. Distribution of Japanese temperate bass, *Lateolabrax japonicus*, eggs and pelagic larvae in Ariake Bay[J]. Ichthyol Res, 2007, 54(4): 367–373.
- [31] Ge K K, Zhong J S. Daily-age structure and growth characteristics of *Coilia nasus* larvae and juveniles in the surf zone of Yangtze River estuary[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(4): 716–721. [葛珂珂, 钟俊生. 长江口沿岸碎波带刀鲚仔稚鱼的日龄组成与生长[J]. 水生生物学报, 2010, 34(4): 716–721.]

Relationship between environmental factors and distribution of *Scomberomorus niphonius* eggs, larvae, and juveniles in Xiangshan Bay

SONG Chao^{1,2}, WANG Yutan^{1,2}, LIU Zunlei¹, ZHANG Hui¹, LIN Yu¹, JIANG Yazhou¹, LI Shengfa¹, LIN Nan¹

1. Key Laboratory of East China Sea and Oceanic Fishery Resources Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture; East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China;

2. College of Marine Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

Abstract: Japanese Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*) is a large pelagic species that widely distributes in the Bohai Sea, the Yellow Sea, and the East China Sea. Xiangshan Bay is one of the most important spawning grounds of *S. niphonius*. In each year, the spawning stocks swim into Xiangshan Bay and prepare to spawn in early April. In this study, we analyzed the temporal and spatial distribution of fish eggs, larvae, and juveniles of *S. niphonius* in Xiangshan Bay to test their relationships with surface temperature, salinity, and depth. Ultimately, an understanding of the characteristics of the spawning and nursery grounds is essential for resource protection and sustainable utilization. Fourteen sampling stations were established, and eggs, larvae, and juveniles of *S. niphonius* were collected using small plankton trawls (1 m × 2 m, 1.0 mm mesh size) each week from April 3rd to June 3rd in 2015. The temperature, salinity, and depth at each sampling site were also measured at each sampling time. The results showed that *S. niphonius* spawned in Xiangshan Bay from early April to early June, with peak spawning from mid-April to early May. Larvae and juveniles appeared later than eggs, but were only present for a short time. The abundance of larvae and juveniles was high from early May to mid-May. Eggs, larvae and juveniles of *S. niphonius* were mainly distributed in the outside and middle area of the bay. The distributions of eggs, yolk-sac larvae, and preflexion larvae of *S. niphonius* were similar, and mainly concentrated in the deeper waters. The distributions of postflexion larvae and juveniles of *S. niphonius* were similar, and their densities were relatively high in shallow waters. Temperature, salinity, and depth were significantly related to the abundance of eggs. Depth was positively related to the abundance of eggs ($P<0.05$), suggesting that spawning stocks of *S. niphonius* tend to spawn in the profundal zone (15–30 m) of Xiangshan Bay. The results showed that surface temperatures of 15–19°C were suitable for the incubation of *S. niphonius*, and the optimum surface salinity for eggs was 25.5–26.0. The abundance of larvae and juveniles was significantly related to surface temperature, but not to surface salinity and depth. The optimum surface temperature for larvae and juveniles was 18–19°C.

Key words: *Scomberomorus niphonius*; Xiangshan Bay; egg; larva and juvenile; distribution; environmental factors

Corresponding author: LIN Nan. E-mail: linn@eastfishery.ac.cn