

杭州湾北部安氏白虾的繁殖生物学特征

王淼^① 周轩^① 徐开达^{②*}

① 上海市水产研究所渔业检验监测中心 上海 200433; ② 浙江省海洋水产研究所,

浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室 舟山 316021

摘要: 采用2017年4月至2018年3月张网逐月采样数据分析杭州湾北部安氏白虾(*Palaemon annandalei*)的繁殖生物学特征。结果显示, 安氏白虾体平均体长(32.0 ± 5.4) mm (14 ~ 51 mm, $n = 3\ 210$), 抱卵群体平均体长(36.3 ± 3.4) mm (27 ~ 51 mm, $n = 375$)。体重分布范围为0.016 ~ 1.700 g, $n = 3\ 210$, 平均体重(0.565 ± 0.282) g, 抱卵群体体重分布范围为0.400 ~ 1.700 g, $n = 375$, 平均体重(0.868 ± 0.225) g。雌、雄个体间平均体长和平均体重都具有显著性差异($P < 0.01$); 雌雄性比为1.27 : 1, 雌性个体数显著多于雄性个体数($P < 0.01$)。繁殖期从4月下旬一直持续至10月下旬, 6月和8月为两个繁殖旺期, 抱卵率(B)和性比(S)具有显著线性相关关系($P < 0.05$), 关系式为 $B = 41.80S - 21.06$ ($R^2 = 73.9$)。绝对繁殖力为17 ~ 179粒, 平均绝对繁殖力(60 ± 26)粒, 平均相对繁殖力(70 ± 24)粒/g, $n = 375$ 。绝对繁殖力(F_A , 单位粒)与体长(L , 单位mm)、体重(W , 单位g)均呈二次函数显著相关($P < 0.01$), 关系式分别为 $F_A = 0.29L^2 - 18.52L + 342.67$ ($R^2 = 76.8$)和 $F_A = 97.32W^2 - 100.75W + 71.66$ ($R^2 = 94.5$)。卵长径分布范围为1.090 ~ 2.688 mm, 平均长径(1.599 ± 0.158) mm, 短径分布范围0.807 ~ 1.992 mm, 平均短径(1.141 ± 0.118) mm, $n = 2\ 787$ 。研究表明, 与20世纪80年代相比, 安氏白虾个体朝小型化方向发展, 繁殖周期延长, 繁殖旺期由单峰型变为双峰型, 这可能是生态环境持续恶化和高强度捕捞压力所致。

关键词: 安氏白虾; 性比; 繁殖力; 繁殖特征; 杭州湾北部

中图分类号: Q958.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2019) 04-509-08

Reproductive Biology of *Palaemon annandalei* in Northern Hangzhou Bay

WANG Miao^① ZHOU Xuan^① XU Kai-Da^{②*}

① *Fishery Inspection Monitoring Section, Shanghai Fisheries Research Institute, Shanghai 200433;*

② *Key Laboratory of Sustainable Utilization of Technology Research for Fisheries Resources of Zhejiang Province,*

Marine Fishery Research Institute of Zhejiang Province, Zhoushan 316021, China

基金项目 上海市农口系统青年人才成长计划项目(沪农青字[2017]第3-6号), 上海市科技兴农重点攻关项目(No. 2017-02-08-00-07-F00075), 浙江省重点研发计划项目(No. 2019C02056), 浙江省海洋渔业资源可持续利用技术研究重点实验室开放基金项目(No. 2016KF07);

* 通讯作者, E-mail: xkd1981@163.com;

第一作者简介 王淼, 男, 工程师; 研究方向: 渔业资源生态学; E-mail: wang_m_520@163.com。

收稿日期: 2019-02-20, 修回日期: 2019-05-24 DOI: 10.13859/j.cjz.201904008

Abstract: *Palaemon annandalei* is a commercially important shrimp in China, which is mainly distributed in the Yellow Sea, the East China Sea and the western coast of the Korean Peninsula. *P. annandalei* are especially abundant at the Yangtze Estuary and its adjacent waters, which are the main catches by set net in northern Hangzhou Bay. A monthly sampling of *P. annandalei* by set net in northern Hangzhou Bay during the period from April 2017 to March 2018 was conducted for studying on its reproductive biology. The methods using to analyze these captures included curve estimation, chi square test, independent sample T test and paired sample T test. We analyzed the reproductive biological index such as body length, weight and sex ratio *et al.* of *P. annandalei* and got the results as the following: the distribution of body length of the shrimp ranged from 14 to 51 mm, whereas the average body length was 32.0 ± 5.4 mm, $n = 3\ 210$. The body length ranged from 27 to 51 mm, whereas the average body length was 36.3 ± 3.4 mm, $n = 375$. The body weight ranged from 0.016 to 1.700 g, whereas the average body weight was 0.565 ± 0.282 g, $n = 3\ 210$. The body weight of spawning stock ranged from 0.400 to 1.700 g with a mean body weight of 0.868 ± 0.225 g, $n = 375$. There was a significant difference ($P < 0.01$) between female and male on average body length and average body weight. The sex ratio of female to male was 1.27 : 1, females were significantly more than that of males ($P < 0.01$). The reproductive period of the shrim in northern Hangzhou Bay lasted from late April to late October with two peak periods in June and August; a significant linear correlation was detected between brood porportion (B) and sex ratio (S) ($P < 0.05$), for the relational expression was: $B = 41.80S - 21.06$ ($R^2 = 73.9$). The absolute fecundity (F_A , egg) ranged from 17 to 179 eggs, and the average absolute fecundity was 60 ± 26 eggs, while the average relative fecundity (F_R , egg) was 70 ± 24 eggs/g, $n = 375$. The absolute fecundity was significantly correlated with body length (L , mm) and body weight (W , g) by quadratic function ($P < 0.01$), and the two relational expressions were $F_A = 0.29L^2 - 18.52L + 342.67$ ($R^2 = 76.8$) and $F_A = 97.32W^2 - 100.75W + 71.66$ ($R^2 = 94.5$), respectively. The long egg diameter ranged from 1.090 to 2.688 mm with a mean of 1.599 ± 0.158 mm; whereas the short egg diameter ranged from 0.807 to 1.992 mm with a mean value of 1.141 ± 0.118 mm, $n = 2\ 787$. Comparing our data with those collected in the 1980s, we found out that the body size of *P. annandalei* has miniaturized, while the shrimp has prolonged its reproduction period from single peak to double peak and increased its individual fecundity ability, as results from both environment degradation and higher fishing pressure.

Key words: *Palaemon annandalei*; Sex ratio; Fecundity; Reproductive characteristics; Northern Hangzhou Bay

安氏白虾 (*Palaemon annandalei* = *Exopalaemon annandalei*) 隶属十足目 (Decapoda) 长臂虾科 (Palaemonidae) 长臂虾属 (*Palaemon*), 是一种河口性小型经济虾类 (宋海棠等 2006)。其主要分布于我国黄海、东海沿岸、朝鲜半岛西岸, 尤其以长江口及其邻近水域产量较高 (王幼槐等 1984)。安氏白虾主要以藻类和小型甲壳动物为食 (姚根娣 1989), 同时也是中华鲟 (*Acipenser sinensis*) (罗刚等 2008)、棘头梅童鱼 (*Collichthys*

lucidus) (王建锋等 2016) 等重要保护动物和经济鱼类的摄食对象。在整个海洋食物链中, 安氏白虾发挥关键的“结点”作用, 生态地位显著。

安氏白虾为我国重要的经济白虾资源之一, 与脊尾白虾 (*P. carinicauda*) 相似, 生长和繁殖均在河口、港湾等低盐度水域进行 (吴耀泉等 1991)。目前, 国内针对脊尾白虾繁殖生物学的研究开展较多, 20 世纪 80 年代便有关于海水养殖脊尾白虾繁殖生物学的报道 (王

绪娥 1987), 其后针对脊尾白虾繁养技术(施永海等 2009, 于天基 2014)和胚胎发育形态(陈卫平 2005, 栗治国 2013)等的研究陆续展开, 最近发展到利用分子技术阐释了脊尾白虾卵黄蛋白原基因表达(李志敏 2015)等。但作为与脊尾白虾同属的虾类, 安氏白虾却很少引起学者的重视, 特别是针对其繁殖生物学特征的研究, 仅在 20 世纪 80 年代安氏白虾的生物学与生态分布的研究中有所提及(吴常文等 1993)。由于研究年代较为久远, 研究结果已不能反映出安氏白虾繁殖生物学的现状特征。

本研究以杭州湾北部自然生长的安氏白虾为研究对象, 利用张网逐月采样数据分析了安氏白虾的繁殖生物学特征, 揭示了其周年繁殖规律, 为安氏白虾资源的可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查站位与网具

在杭州湾北部设置 3 个站位, 利用单桩张网定点采集安氏白虾(图 1)。为确保样品采集具有代表性, 在不同水层设置张网, 其中 1 号站水深 6~10 m, 2 号和 3 号站水深 1~3 m。

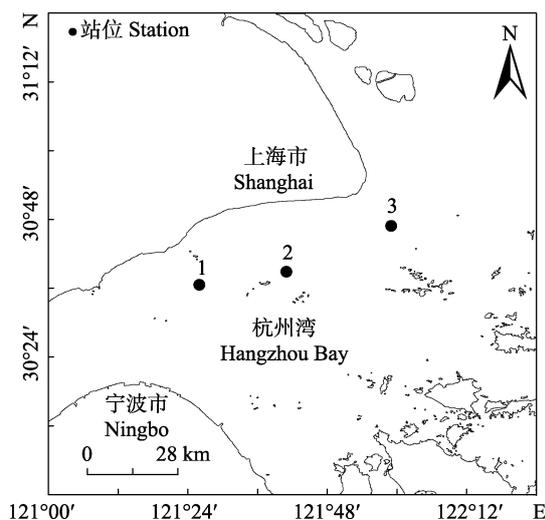


图 1 采样站位

Fig. 1 Sampling sites

1.2 调查方法

2017 年 4 月至 2018 年 3 月, 每月大潮汛期间于 S1、S2 和 S3 站位分别进行 1 次样品采集, 其中, 2018 年 3 月仅 S2 站位采集到样品, 周年调查期间共计有效进行了 34 次样品采集。每个站位采集 1~3 kg 安氏白虾样品, 带回实验室进行分析与鉴定。采用随机取样法, 每个站位选取 100 尾安氏白虾进行繁殖生物学测定, 测定内容包括体长、体重、性别、抱卵数和卵径, 测定方法参照《海洋调查规范》(GB12763.6-2007)第六部分《海洋生物调查》(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 2007)进行。站位样本数不足 100 尾则全部取样测定。共计测量安氏白虾 3 210 尾, 其中包括抱卵虾 375 尾。

1.3 数据处理与分析

1.3.1 体长和体重 体长(L)为眼柄基部至尾节末端的直线距离。体重(W)是指用吸水纸吸去虾体表面水分后的湿重。使用剑鱼牌钢尺(精度 1 mm, 量程 50 cm)测定体长, 使用 JM-B 1003 型纪铭电子天平(精度 0.001 g, 量程 100 g)测定体重。以 3 mm 和 0.2 g 为组距, 分别对体长和体重数据进行分组, 统计安氏白虾的优势体长组和优势体重组。利用独立样本 T 检验分析不同性别安氏白虾的平均体长及平均体重的差异显著性。

1.3.2 性比及抱卵率 性比(S)为雌、雄个体数之比。利用卡方检验确定雌雄性比是否符合 1:1 (Niamaimandi et al. 2008)。在安氏白虾繁殖期内, 对抱卵雌虾的个体数进行计数, 抱卵率(B)为抱卵雌虾个体数占雌虾总个体数的百分比。利用列联表卡方检验分析各月间安氏白虾抱卵率的差异显著性(王淼等 2018), 利用曲线估计(curve estimation)分析安氏白虾抱卵率与性比之间的相关关系(张洪亮等 2015), 并拟合相关方程。

1.3.3 个体繁殖力及卵径 绝对繁殖力(F_A)为抱卵雌虾的抱卵总数(N)。相对繁殖力(F_R)为抱卵雌虾单位体重的抱卵数($F_R = N/W$)。利

用曲线估计分析绝对繁殖力 (F_A) 与体长 (L , 单位 mm)、体重 (W , 单位 g) 的相关关系, 并拟合相关方程。为了避免拟合时中等个体数据量大, 大、小个体数据量小造成的拟合参数失真 (Ricker 1975), 取体长对应的平均体重和平均绝对繁殖力用于拟合。使用 m205fa 型莱卡体视显微镜测量安氏白虾的卵径。以 0.1 mm 为组距, 分别对卵长径和短径数据进行分组, 统计安氏白虾卵的优势长径组和优势短径组。利用配对样本 T 检验分析卵长径和短径的差异显著性。

统计检验及数据分析采用 SPSS 22.0 和 Excel 2010, 显著性水平设置为 0.05。

2 结果

2.1 体长分布

杭州湾北部安氏白虾体长分布范围为 14 ~ 51 mm, $n = 3\ 210$, 平均体长 (32.0 ± 5.4) mm, 优势体长组为 27 ~ 36 mm (57.6%), $n = 1\ 842$ 。雌性体长分布范围为 14 ~ 51 mm, $n = 1\ 793$, 平均体长 (33.1 ± 5.7) mm, 优势体长组为 30 ~ 39 mm (58.0%), $n = 1\ 040$, 其中, 抱卵群体体长分布范围为 27 ~ 51 mm, $n = 375$, 平均体长 (36.3 ± 3.4) mm, 优势体长组为 33 ~ 39 mm (62.1%), $n = 233$ 。雄性体长分布范围为 15 ~ 45 mm, $n = 1\ 417$, 平均体长 (30.6 ± 4.5) mm, 优势体长组为 27 ~ 36 mm (65.3%), $n = 925$ (图

2)。独立样本 T 检验表明, 雌、雄平均体长具有显著性差异 ($P < 0.01$)。

2.2 体重分布

杭州湾北部安氏白虾体重分布范围为 0.016 ~ 1.700 g, $n = 3\ 210$, 平均体重 (0.565 ± 0.282) g, 优势体重组 0.200 ~ 0.600 g (50.8%), $n = 1\ 632$ 。雌性体重分布范围为 0.016 ~ 1.700 g, $n = 1\ 793$, 平均体重 (0.643 ± 0.310) g, 优势体重组 0.400 ~ 0.800 g (46.0%), $n = 825$, 其中, 抱卵群体体重分布范围为 0.400 ~ 1.700 g, $n = 375$, 平均体重 (0.868 ± 0.225) mm, 优势体重组为 0.600 ~ 1.000 g (65.3%), $n = 245$ 。雄性体重分布范围为 0.041 ~ 1.353 g, $n = 1\ 417$, 平均体重 (0.466 ± 0.204) g, 优势体重组 0.200 ~ 0.600 g (67.1%), $n = 951$ (图 3)。独立样本 T 检验表明, 雌、雄平均体重具有显著性差异 ($P < 0.01$)。

2.3 性别组成

共鉴定出雌虾 1 793 尾, 雄虾 1 417 尾, 雌雄性比为 1.27 : 1。卡方检验表明, 雌雄性比不符合 1 : 1, 雌性个体数显著多于雄性 ($P < 0.01$)。当体长为 15 mm 及以下时, 雌虾显著多于雄虾 ($P < 0.01$); 当体长超过 15 但不大于 24 mm 时, 雌雄个体数无显著性差异 ($P > 0.05$); 当体长超过 24 但不大于 30 mm 时, 雄虾显著多于雌虾 ($P < 0.01$); 当体长超过 30 但不大于 33 mm 时, 雌雄个体数无显著性差

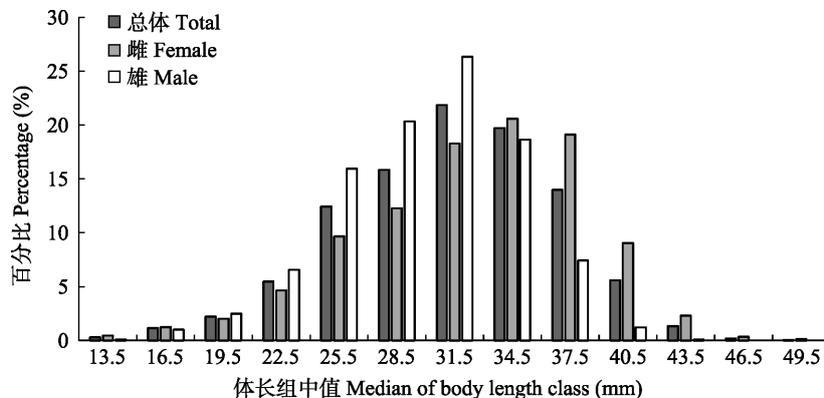


图 2 杭州湾北部安氏白虾体长分布

Fig. 2 Distribution of body length of *Palaemon annandalei* in Northern Hangzhou Bay

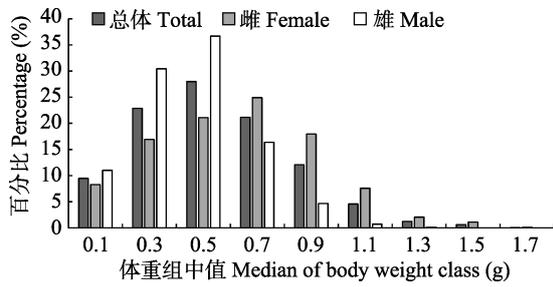


图3 杭州湾北部安氏白虾体重分布

Fig. 3 Distribution of body weight of *Palaemon annandalei* in Northern Hangzhou Bay

异($P > 0.05$); 当体长大于 33 mm 不大于 45 mm 时, 雌虾显著多于雄虾 ($P < 0.01$); 当体长大于 45 mm 时, 只有雌虾出现 (图 4)。只有 4 月雄虾显著多于雌虾 ($P < 0.01$), 2 月、3 月、5 月、6 月、8 月和 9 月雌虾均显著多于雄虾 ($P < 0.05$), 其余月份雌雄个体数差异不显著 ($P > 0.05$) (图 5)。

2.4 抱卵率

4 月抱卵率为 6.9%, 5 月抱卵率上升为 36%, 6 月抱卵率达到最高, 为 67.1%, 7 月抱卵率下降为 32.9%, 8 月抱卵率又上升到 60.6%, 9 月抱卵率为 52.9%, 10 月抱卵率降至 2.5%, 其他月份未见抱卵个体。列联表卡方检验表明, 不同月份安氏白虾抱卵率差异显著 ($P < 0.01$)。安氏白虾抱卵率 (B) 和性比 (S)

具有显著线性相关关系 ($P < 0.05$) (图 6), 其关系式为 $B = 41.80S - 21.06$ ($R^2 = 73.9$)。

2.5 个体繁殖力

杭州湾北部安氏白虾绝对繁殖力 (F_A) 为 17 ~ 179 粒, 平均绝对繁殖力 (60 ± 26) 粒, 相对繁殖力 (F_R) 为 17 ~ 145 粒/g, 平均相对繁殖力 (70 ± 24) 粒/g, $n = 375$ 。绝对繁殖力随体长和体重增加而变化, 与体长 (L) 和体重 (W) 均呈二次函数显著相关 ($P < 0.01$) (图 7, 8), 关系式分别为 $F_A = 0.29L^2 - 18.52L + 342.67$ ($R^2 = 76.8$) 和 $F_A = 97.32W^2 - 100.75W + 71.66$ ($R^2 = 94.5$)。

2.6 卵径分布

安氏白虾卵长径分布范围为 1.090 ~ 2.688 mm, $n = 2787$, 平均长径 (1.599 ± 0.158) mm, 优势长径组 1.400 ~ 1.700 mm (67.3%), $n = 1876$, 短径分布范围 0.807 ~ 1.992 mm, $n = 2787$, 平均短径 (1.141 ± 0.118) mm, 优势短径组 1.000 ~ 1.300 mm (80.9%), $n = 2255$ (图 9)。配对样本 T 检验表明, 平均长径与平均短径差异极显著 ($P < 0.01$)。

3 讨论

3.1 体长与性比

20 世纪 80 年代, 吴常文等 (1993) 对杭

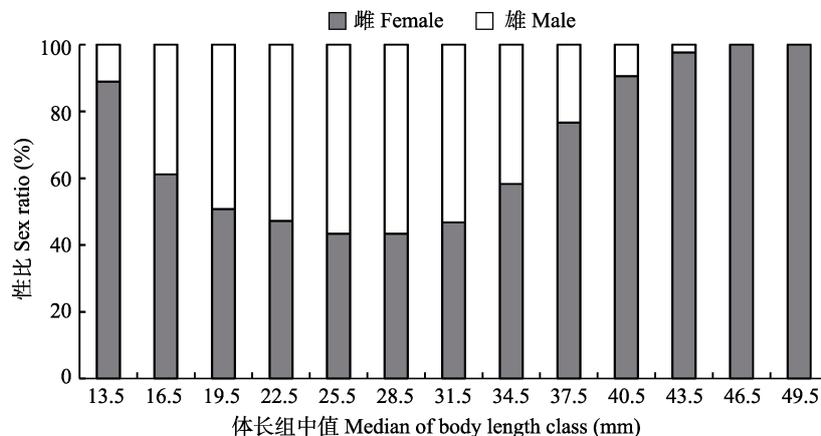


图4 不同体长组安氏白虾性比变化

Fig. 4 The variation in sex ratio of *Palaemon annandalei* in different body length class

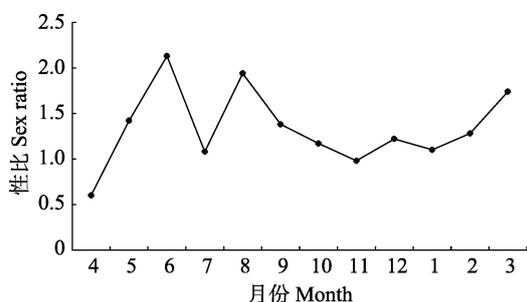


图 5 安氏白虾性比随月份变化

Fig. 5 The monthly variation in sex ratio of *Palaemon annandalei*

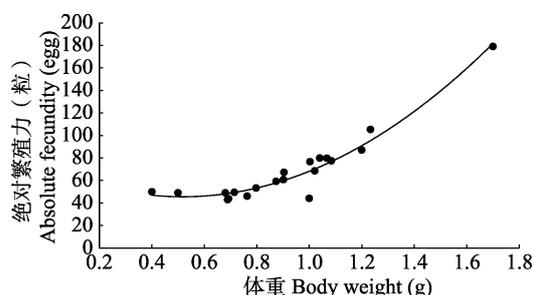


图 8 杭州湾北部安氏白虾绝对繁殖力与体重关系

Fig. 8 The relationship between absolute fecundity and body weight of *Palaemon annandalei*

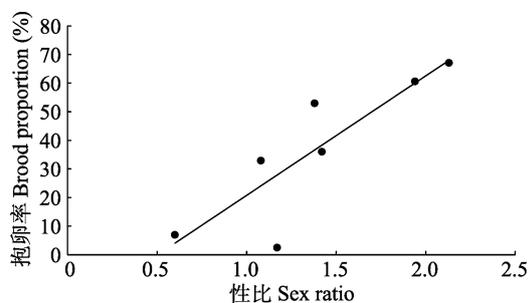


图 6 安氏白虾抱卵率与性比的关系

Fig. 6 The relationship between brood proportion and sex ratio of *Palaemon annandalei*

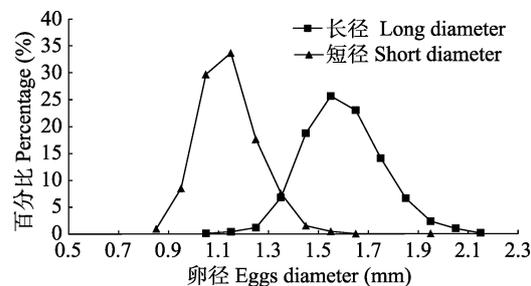


图 9 杭州湾北部安氏白虾卵径分布

Fig. 9 Distribution of egg diameter of *Palaemon annandalei* in Northern Hangzhou Bay

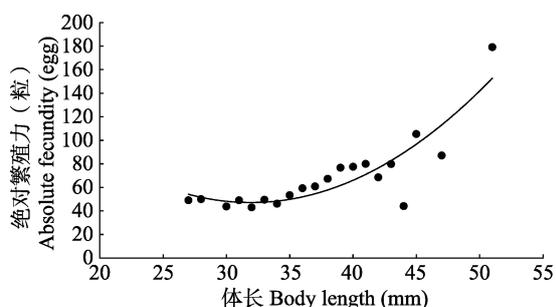


图 7 杭州湾北部安氏白虾绝对繁殖力与体长关系

Fig. 7 The relationship between absolute fecundity and body length of *Palaemon annandalei*

州湾海域安氏白虾生物学特征进行研究, 发现其体长范围为 15 ~ 58 mm, 平均体长 30.0 mm, 优势体长组为 27 ~ 30 mm。本次调查安氏白虾体长范围为 14 ~ 51 mm, 平均体长 32.0 mm, 优势体长组为 30 ~ 33 mm (21.8%)。与 20 世纪 80 年代相比, 安氏白虾的最大体长有所减

小, 平均体长和优势体长组的体长均有所增大。主要原因可能是调查水域及水深不同, 吴常文等 (1993) 的调查站位主要设置在舟山群岛附近水域, 且水深范围在 0 ~ 25 m, 而本次调查水域位于杭州湾北部, 水深范围 0 ~ 10 m。另据吴常文 (1993) 报道, 水深 0 ~ 10 m 范围内, 安氏白虾平均体长可达 34.0 mm。因此, 杭州湾北部安氏白虾的平均体长实际比 20 世纪 80 年代有所减小, 个体朝小型化方向发展。这可能与近些年来杭州湾海域生态环境恶化有关 (张龙 2011)。

杭州湾北部安氏白虾周年雌雄性比为 1.27, 雌性数量显著多于雄性。从 4 月开始直至 6 月, 性比逐月升高, 6 月性比达 2.13, 4 和 5 月平均性比为 1.01, 这与吴常文等 (1993) 对杭州湾海域安氏白虾 4 ~ 5 月性比的研究结果一致。三峡水库秀丽白虾 (*P. modestus*) 周

年平均性比为 1.46 (陈思宝等 2015), 长江口脊尾白虾周年平均性比为 1.12 ± 0.22 (裴倩倩等 2017), 与本次调查结果接近, 周年性比均表现为雌性多于雄性。安氏白虾与脊尾白虾、秀丽白虾同为长臂虾属虾类, 由此可见, 自然水域生长的长臂虾属虾类可能具有相似的性比特征, 这有待于今后进一步研究验证。

3.2 繁殖特征

杭州湾北部安氏白虾繁殖期从 4 月下旬一直持续至 10 月下旬, 6 月和 8 月抱卵率分别达到 67.1% 和 60.6%, 为安氏白虾 2 个繁殖旺期。与 20 世纪 80 年代相比 (吴常文等 1993), 安氏白虾繁殖期有所延长, 繁殖旺期由单峰型变为双峰型, 特别是 8 月以后, 安氏白虾又进入了另一个繁殖旺期。这可能与持续高强度的捕捞压力有关, 是安氏白虾为了维持一定种群数量而采取的适应机制, 即随着捕捞压力的不断增加, 安氏白虾通过延长自身繁殖周期来表现对高死亡率的适应 (沈国英等 2002)。在温带或亚热带地区, 温度或食物是限制虾类繁殖期的因素之一 (Kevrekidis et al. 2013), 由此推测, 杭州湾北部安氏白虾的繁殖周期也可能受水温或食物的影响而变化。

杭州湾北部安氏白虾绝对繁殖力为 17 ~ 179 粒, 20 世纪 80 年代安氏白虾个体繁殖力为 50 ~ 150 粒 (吴常文等 1993), 说明近年来安氏白虾个体繁殖力出现极端化发展, 最大繁殖力变得更大, 最小繁殖力变得更小。个体繁殖力大小主要与雌性身体规格有关, 还与纬度分布和对栖息地的适应性有关 (Mantelatto et al. 1997)。此外, 个体繁殖力大小还与产卵次数、卵死亡率和摄食状况有关 (Oh et al. 2002)。因此, 本研究认为杭州湾海域生态环境的逐步恶化可能是导致安氏白虾个体繁殖力极端化发展的主要原因。

3.3 生命周期

长臂虾属虾类的生长和寿命主要取决于纬度和水温, 纬度越低, 性成熟时间越早, 寿命越短 (Guerao et al. 1994)。生长在韩国中部湖

泊里的条纹长臂虾 (*P. paucidens*) 寿命为 12 ~ 13 个月 (Kim et al. 2008), 吴常文等 (1993) 的研究得出杭州湾海域安氏白虾为一年生越冬型虾类, 早期出生的幼虾至第二年春季可长至 40 mm 左右。从本研究结果看, 4 月份抱卵雌虾平均体长达 (41.2 ± 3.2) mm, 可推测其为上一年早期 (4 月或 5 月) 出生的幼虾。从性比及抱卵率看, 4 ~ 6 月性比和抱卵率逐渐升高, 6 月份性比和抱卵率达最高, 说明越冬雄虾交配后陆续死亡, 而 7 月份性比和抱卵率均出现大幅下降, 说明越冬雌虾产卵后集中死亡, 由此推测, 杭州湾北部安氏白虾雌虾生命周期约为 12 ~ 15 个月, 雄虾生命周期约为 11 ~ 14 个月。

参 考 文 献

- Guerao G, Pérez B J, Ribera C. 1994. Growth and reproductive biology of *Palaemon xiphias* (Risso, 1816) (Decapoda: Caridea: Palaemonidae). *Journal of Crustacean Biology*, 14(2): 280–288.
- Kevrekidis K, Thessalou L M. 2013. Reproductive biology of the prawn *Melicertus kerathurus* (Decapoda: Penaeidae) in Thermaikos Gulf (N. Aegean Sea). *Helgoland Marine Research*, 67(1): 17–31.
- Kim J C, Ma C W, Oh C W, et al. 2008. Reproduction and growth of the freshwater prawn, *Palaemon paucidens* (Decapoda: Palaemonidae) in a lake of Korea. *Journal of Environmental Biology*, 29(2): 163–168.
- Mantelatto F L, Fransozo A. 1997. Fecundity of the crab *Callinectes ornatus* (Ordway, 1863) (Decapoda, Brachyura, Portunidae) from the Ubatuba region, São Paulo, Brazil. *Crustaceana*, 70(2): 214–226.
- Niamaimandi N, Aziz A, Siti K D, et al. 2008. Reproductive biology of the green tiger prawn (*Penaeus semisulcatus*) in coastal waters of Bushehr, Persian Gulf. *ICES Journal of Marine Science*, 65(9): 1593–1599.
- Oh C W, Suh H L, Park K Y et al. 2002. Growth and reproductive biology of the freshwater shrimp *Exopalaemon modestus* (Decapoda: Palaemonidae) in a lake of Korea. *Journal of Crustacean Biology*, 22(2): 357–366.

- Ricker W E. 1975. *Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations*. Ottawa, Canada: Department of Environmental Fisheries & Marine Service, 382.
- 陈思宝, 廖传松, 赵修江, 等. 2015. 三峡水库秀丽白虾生长与繁殖生物学特征研究. *水生生物学报*, 39(5): 989–996.
- 陈卫平. 2005. 不同温度、盐度下脊尾白虾 *Exopalaemon carinicauda* (Holthuis) 早期胚胎和幼体发育的观察研究. *现代渔业信息*, 20(5): 23–26.
- 李志敏. 2015. 脊尾白虾繁殖生物学研究. 大连: 大连海洋大学硕士学位论文, 1–48.
- 栗治国. 2013. 脊尾白虾繁殖生物学及人工苗种繁育技术的研究. 北京: 中国科学院大学硕士学位论文, 1–62.
- 罗刚, 庄平, 章龙珍, 等. 2008. 长江口中华鲟幼鱼的食物组成及摄食习性. *应用生态学报*, 19(1): 144–150.
- 裴倩倩, 张涛, 杨刚, 等. 2017. 长江口脊尾白虾繁殖生物学. *生态学杂志*, 36(3): 702–706.
- 沈国英, 施并章. 2002. *海洋生态学*. 北京: 科学出版社, 101–102.
- 施永海, 张根玉, 刘建忠, 等. 2009. 不同月份出生的脊尾白虾之生长及生殖特性. *水产科技情报*, 36(3): 131–136.
- 宋海棠, 俞存根, 薛利建, 等. 2006. *东海经济虾蟹类*. 北京: 海洋出版社, 68.
- 王建锋, 赵峰, 宋超, 等. 2016. 长江口棘头梅童鱼食物组成和摄食习性的季节变化. *应用生态学报*, 27(1): 291–298.
- 王淼, 徐开达, 梁君. 2018. 杭州湾北部棘头梅童鱼繁殖群体生物学特征初步分析. *上海海洋大学学报*, 27(5): 617–624.
- 王绪峨. 1987. 脊尾白虾繁殖生物学的初步观察. *动物学杂志*, 22(1): 7–10.
- 王幼槐, 倪勇. 1984. 上海市长江口区渔业资源及其利用. *水产学报*, 8(2): 147–159.
- 吴常文, 王伟洪. 1993. 杭州湾海域安氏白虾生物学与生态分布的研究. *浙江水产学院学报*, 12(1): 21–31.
- 吴耀泉, 相建海, 张宝琳. 1991. 长江口及其邻近海区主要经济虾类的生态研究. *海洋湖沼通报*, 13(2): 49–56.
- 姚根娣. 1989. 长江口的虾类资源和渔业现状. *水产科技情报*, 16(6): 171–172.
- 于天基. 2014. 池塘养殖脊尾白虾的生长与繁殖研究. 大连: 大连海洋大学硕士学位论文, 1–50.
- 张洪亮, 王洋, 梁君, 等. 2015. 中街山列岛海洋保护区棘头梅童鱼生物学特征与资源密度的季节变化. *浙江海洋学院学报: 自然科学版*, 34(5): 407–410.
- 张龙. 2011. 浙江北部沿岸张网作业区鱼类群落结构与多样性的研究. 舟山: 浙江海洋大学硕士学位论文, 42–43.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 2007. *海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查*. 北京: 中国标准出版社, 1–157.