

DOI: 10.5846/stxb201604260788

左涛,王俊,时永强.莱州湾强壮滨箭虫种群数量及个体大小季节分布.生态学报,2017,37(15):5189-5197.

Zuo T, Wang J, Shi Y Q. Seasonal distribution of body length and abundance of *Aidanosagitta crassa* (Tokioka, 1938) in Laizhou Bay, Bohai Sea. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(15): 5189-5197.

莱州湾强壮滨箭虫种群数量及个体大小季节分布

左 涛^{1,2,3,*}, 王 俊^{1,2,4}, 时永强^{1,2,3}

1 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071

2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋生态与环境科学功能实验室, 青岛 266200

3 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室, 青岛 266071

4 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 青岛 266071

摘要:基于 2011 年 5 月至 2012 年 4 月(12 月和翌年 1—2 月冰期除外)在渤海莱州湾逐月采集的数据资料,分析莱州湾强壮滨箭虫丰度空间分布和体长的季节变化,估算其生产力和摄食率,以掌握其种群动态特征,为评价该种在莱州湾生态系统结构功能中地位提供参数和依据。结果显示:强壮滨箭虫丰度和生物量年变化曲线为双峰型,最高峰出现于 5 月,次高峰出现于 8—9 月;4 mm 和 15 mm 体长的个体分别是丰度和生物量的主要贡献者。生产力估值为 $0.25 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$,摄食率估值为 $0.88 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ 。种群月均体长以 3—4 月最高($>10 \text{ mm}$)、5 月和 11 月最低($<5 \text{ mm}$);月均体长与月表层水温、盐度呈负相关。春季 5 月、夏季 7—8 月和秋季 10—11 月中,小型个体丰度所占的比例较高,应为种群数量增长期。各月的体长频数分布可分辨出平均体长 $<5 \text{ mm}$ (Cohort I)、介于 5—10 mm(Cohort II)和 $>10 \text{ mm}$ (Cohort III)的 3 个同生群。Cohort III 和 Cohort I 高丰度区的表层水温和盐度分别介于 $15\text{—}17^\circ\text{C}$ 和 $29\text{—}32$ 。Cohort III 基本不出现在水温大于 24°C 的站位,其丰度与水温呈显著负相关。Cohort I 基本不出现在水温低于 11°C 的站位,其丰度与水温呈显著正相关。Cohort II 高丰度区的表层水温和盐度为 $26\text{—}27^\circ\text{C}$ 和 $30\text{—}32$ 。由上推测强壮滨箭虫发生明显体型更替的水温阈值应不超过 $15\text{—}17^\circ\text{C}$ 。

关键词:强壮滨箭虫;体长;丰度;生产力;季节分布;莱州湾

Seasonal distribution of body length and abundance of *Aidanosagitta crassa* (Tokioka, 1938) in Laizhou Bay, Bohai Sea

ZUO Tao^{1, 2, 3, *}, WANG Jun^{1, 2, 4}, SHI Yongqiang^{1, 2, 3}

1 Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China

2 Laboratory for Marine Ecology and Environmental Sciences, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266200, China

3 Key Laboratory for Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Qingdao 266071, China

4 Shandong Provincial Key Laboratory of Fishery Resources and Ecological Environment, Qingdao 266071, China

Abstract: *Aidanosagitta crassa* (Tokioka, 1938) is the only dominant chaetognatha species in Laizhou Bay, Bohai Sea. This gelatinous species plays an important role in the ecosystem of Laizhou Bay, acting as the major carnivorous predator of small invertebrate and fish larva. In addition, it has different morphs responding to variations in environmental factors. To determine the population structure in Laizhou Bay, the detailed body size and abundance of *A. crassa* were analyzed monthly from 147 vertical net samples collected from May 2011 to April 2012 (excluding December 2011 and January and February 2012, because of the presence of sea ice). Results showed that *A. crassa* occurred continuously and was distributed extensively throughout the survey seasons and area in the bay. Both the abundance and biomass of the species presented two

基金项目:国家基金委-山东省联合基金项目(U1406403);国家重点基础研究发展规划项目(2011CB403604);公益性行业(农业)科研专项(201303050-01);山东省自然科学基金(2009ZRB02317)

收稿日期:2016-04-26; **网络出版日期:**2017-03-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zuotao@ysfri.ac.cn

peaks, a considerable peak in May, and a second peak during August to September. Individuals with a body length of about 4 and 15 mm were the major contributors to the total abundance and biomass, respectively. The production of the *A. crassa* population was estimated to be $0.25 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$, whereas the feeding rate was $0.88 \text{ mg C m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ during the survey months. The body size of *A. crassa* fluctuated seasonally, with the largest sizes in March and April (mean body length $> 10 \text{ mm}$), and the smallest in May and November (mean body length $< 5 \text{ mm}$). The mean body length of the species showed an inverse correlation with both surface water temperature (SWT) and surface water salinity (SWS) of the corresponding period. Based on length-frequency distributions, different types of population pyramids occurred, namely, the expanding type in May to November except in June, stationary type in March to April, and constrictive type in June. The growing season for the *A. crassa* population in Laizhou Bay was presumed to be from May to August, because of the presence of abundant small individuals. Moreover, from the monthly length-frequency distributions, three common normalized cohorts (I, II, III) were detected with mean lengths of < 5 , $5-10$, and $> 10 \text{ mm}$, respectively. Regarding their spatial distributions, individuals of cohorts III and I were the most abundant at sites with an SWT of $15-17^\circ\text{C}$ and SWS of $29-32$ during spring. However, cohort III showed a considerable negative correlation between its abundance and water temperature, with a limited abundance at warm sites with an SWT $> 24^\circ\text{C}$. Additionally, cohort I showed a positive correlation between its abundance and water temperature, and showed a limited abundance at cold sites with an SWT $< 11^\circ\text{C}$. Cohort II was most abundant at sites with an SWT of $26-27^\circ\text{C}$ and SWS of $30-32$ during autumn. From above the results, it was assumed that the water temperature threshold was lower than $15-17^\circ\text{C}$ for the transformation between the two typical size morphs, i.e., the large winter and small summer forms of *A. crassa*.

Key Words: *Aidanosagitta crassa*; body length; abundance; production; seasonal distribution; Laizhou Bay

强壮滨箭虫(*Aidanosagitta crassa* (Tokio, 1938))是渤海的毛颚动物中唯一优势种。它在渤海周年出现^[1],是渤海季节性浮游动物生物量的主要贡献者^[2]。它既是上、中层鱼类和幼鱼的食物组分^[3],又是众多浮游动物^[4]以及幼鱼^[5-6]的捕食者,在渤海生态系统结构和功能中占据着重要的地位。莱州湾是渤海的三大海湾之一,是中国北部传统的渔业生物产卵、孵育和索饵场。近年来,莱州湾内生物群落结构和格局已发生重大改变^[7-8],原有的重要经济渔业生物如中国明对虾、三疣梭子蟹、海蜇等需通过增殖放流来实现资源部分修复。这些放流种类的幼苗多以小型浮游动物为食^[9],客观上与强壮滨箭虫形成了食物竞争关系。因此,深入了解莱州湾强壮滨箭虫数量分布及其季节变化,掌握其种群结构动态,对于了解湾内生物环境状况和次级生产水平、评价和指导增殖放流有重要意义。

强壮滨箭虫存在着明显的季节生态变型和更替^[10],各生态型在形态上、时空(出现季节和垂直分布)偏好差异大,生活周期不尽相同^[11]。如日本濑户内海^[12]、东京湾^[13]和胶州湾外^[14]不同季节出现的强壮滨箭虫生活世代周期从3个月至5个月不等。国内有关强壮滨箭虫的研究较多,包括数量分布^[1,15-17]、体型变化^[18]、年代际变化^[19]及其生态指示作用^[20-21],以及摄食^[22]及其生理^[23-24]、温盐耐受性^[25-26]等实验生态研究。但渤海强壮滨箭虫的相关研究资料更多来源20世纪50年代^[17,20]和90年代^[1],近期研究报道^[22]很少。本研究以莱州湾作为研究海域,利用近年采集的浮游生物周年调查资料,分析强壮滨箭虫种群丰度时空分布,着重开展了强壮滨箭虫个体大小及数量分布季节变动研究,估算莱州湾强壮滨箭虫的现存量和生产力水平。本研究可量化莱州湾生态系统功能群结构,优化增殖放流预测提供有效的基础数据和参数。

1 材料与方法

1.1 样品采集与分析

2011年5—11月、2012年3—4月用渔船“鲁昌渔4193号”(额定功率350kW)在莱州湾($37.25^\circ-38.75^\circ\text{N}$, $119^\circ-120.75^\circ\text{E}$)进行了9个航次逐月定点综合调查,站位布置可参见后文图5和图6。强壮滨箭虫

样使用浮游生物网(网孔径为 160 μm ,网口面积为 0.2 m^2)从底至表垂直拖网采集获得,甲醛固定保存。该网孔径对于强壮滨箭虫幼体和成体都具有较高的捕获效率^[27]。所有采样都是在白天操作完成。强壮滨箭虫样品在实验室 Nikon SMZ1500 体式显微镜下分样、镜检、计数和体长测量。体长(BL)为从头的前端至尾鳍末端,精确至 0.1mm。

1.2 数据处理

个体计数结果转化为丰度(单位滤水量个数),用个 m^3 表示。个体干重生物量 W (μg)则基于体长-生物量的经验公式 $W=0.197 BL^{3.01}$ ^[28]换算得到。生产力($\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$)和摄食率($\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$)的估算过程参考文献^[14,18],即先由干重生物量推得呼吸率^[29]、再将呼吸率转换成相应的生产力和摄食率^[13]。

体长组值取 1mm 间隔分组后的体长上限,各体长组的丰度相对频数为其丰度占有所有体长组的总丰度的比值。强壮滨箭虫体长-相对频数分布利用混合分布法^[30]拟合正态曲线,经方差分析(ANOVA)检验后优化和确定拟合曲线与原观测值的差异不显著($P>0.05$),方接受拟合后曲线和各拟合分布组或同生群的分布。甲醛固定保存强壮滨箭虫的体长损耗最大为 0.4mm^[12]或小于 10%^[31],小于分组间隔 1mm,因此本文不考虑固定保存所引起的强壮滨箭虫个体形态损耗。

平面图和线型图分别采用 Mapviewer 7.0 和 Grapher 8.0(Golden software, Inc.)绘制。

2 结果

2.1 丰度、生物量和生产力、摄食率估算

强壮滨箭虫月均丰度为 186 个/ m^3 ,生物量为 12.6 mg/m^3 (或 174 mg/m^2),生产力估值为 0.25 $\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$ (或 3.57 $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$),摄食率月均值为 0.88 $\text{mg C m}^{-3} \text{d}^{-1}$ (或 10.25 $\text{mg C m}^{-2} \text{d}^{-1}$)。它们的季节变化曲线都为双峰型,最高峰值位于 5 月,次峰值出现于 8—9 月(图 1)。

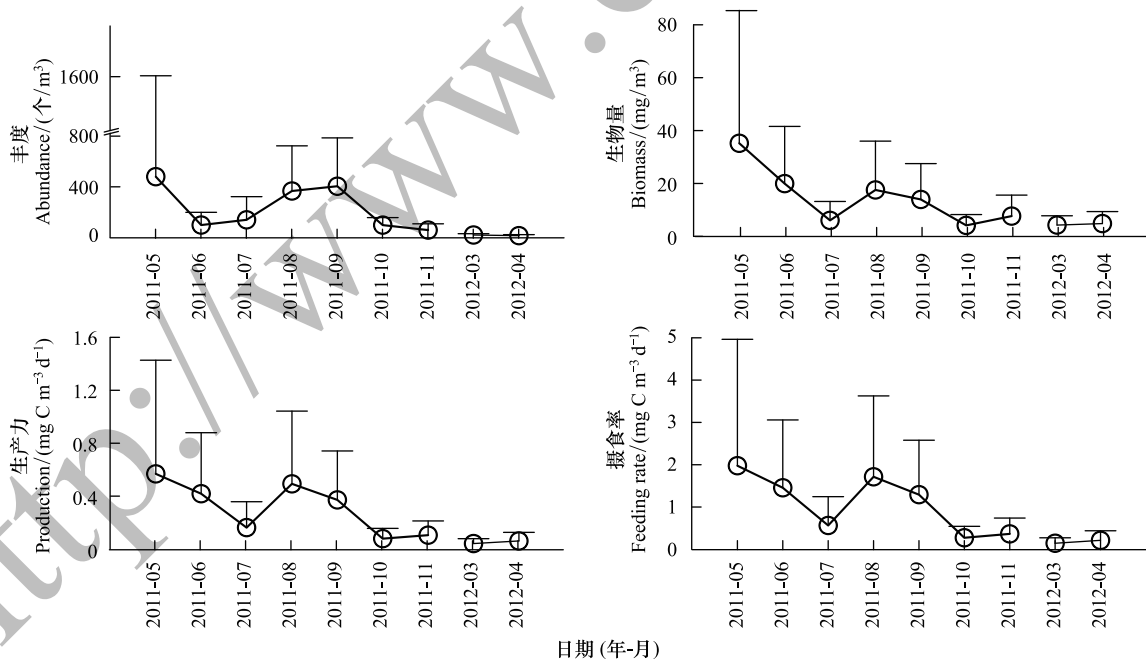


图 1 莱州湾强壮滨箭虫丰度、生物量和生产力、摄食率的月变化

Fig.1 Monthly mean values of abundance, biomass, and production, feeding rate of *Aidanosagitta crassa* in Laizhou Bay

图中只显示正向标准偏差

各体长组中,对丰度贡献最多的是 4mm 体长组,其次为 3mm 和 5mm 体长组,6—18mm 体长组的相对丰度介于 4%—8%;对生物量贡献最大的是 15mm 体长组,其次为 14mm 体长组个体。<2mm 以及 >19mm 体长

组个体的丰度及生物量相对比例都小于 2%(图 2)。

2.2 体长分布

强壮滨箭虫平均体长的月变化表现为,3—4 月最高、分别为 9.15 mm 和 10.80mm,其次为 6 月(8.34mm)和 11 月(7.19mm),5 月和 9 月最低、小于 5mm,其他月的平均体长介于 5—5.5mm。

>10mm 的个体多出现于 11 月至 6 月、极少或基本不出现于 7—10 月。7—10 月,个体的体长分布上限阈值多在 11mm 以内。各月的体长频数分布可以分辨出 3 个平均体长分别为 <5mm (I)、5—10mm (II) 和 >10mm (III) 的 3 个同生群 (Cohort)。6 月和 11 月存在上述 3 个同生群,7—10 月出现 Cohort I 和 II,3 月和 4 月出现 Cohort II 和 III,5 月出现 Cohort I 和 III(图 3)。

为方便分析 3 个同生群的平均体长和丰度的月变化,图 4 中将 2012 年 3 月和 4 月的位置调至 2011 年 5 月之前。3—6 月间,3 个同生群的体长呈增加趋势,之后开始下降,其中以 Cohort II 最为明显,9 月各同生群的体长不再明显下降(图 4)。Cohort I 和 Cohort III 都以 5 月丰度最高,Cohort I 在 8 月还有一个丰度次高峰;Cohort II 以 6 月和 9 月丰度最高(图 4)。

2.3 丰度和生物量的平面分布

5 月,强壮滨箭虫高丰度(>4000 个/m³)出现在莱州湾的湾顶、近黄河口侧,主要由<5mm 个体贡献所致;从湾顶向湾口,丰度逐渐降低,>10mm 个体是丰度贡献主体。此月,生物量贡献者主要是>10mm 个体,在湾顶和湾口东侧还有一定比例的<5mm 和 5—10mm 个体(图 5 和图 6)。6 月,湾内各站丰度和生物量明显降低于 5 月;丰度和生物量相对高值区在湾内沿岸分布;>10mm 个体是生物量构成主体;湾口外东侧和湾内沿岸>10mm、5—10mm 个体相对较多(图 5 和图 6)。7 月丰度和生物量分布中心位于湾西侧,<5mm 和 5—10mm 个体分别是丰度和生物量的构成主体(图 5 和图 6)。8 月和 9 月湾内丰度主要由<5mm 和 5—10mm 个体组成,5—10mm 个体是多数站生物量的主要贡献者(图 5 和图 6);<5mm 个体在 8 月和 9 月分别是在湾中部(图 5)和湾内站位(图 6)有较高丰度。10 月总丰度持续减少,湾内仍以<5mm 和 5—10mm 个体为丰度构成主体,>10mm 个体在湾西侧站位相对比例略高(图 5 和图 6)。11 月,分布退缩至湾内少数站,>10mm 个体是生物量构成主体(图 5 和图 6)。3—4 月,分布范围扩至湾口,但丰度较低(<50 个/m³),>10mm 个体仍为生物量的构成主体(图 5 和图 6)。

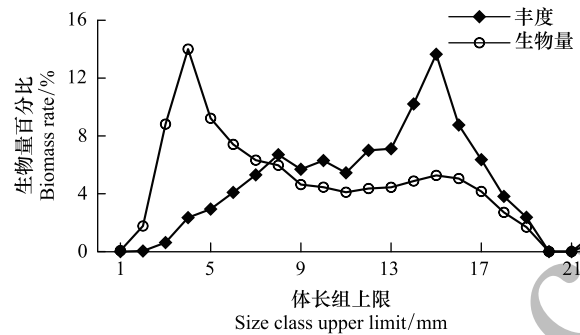


图 2 莱州湾强壮滨箭虫各体长组的丰度和生物量百分比分布

Fig.2 Percentage contributions of size-classified individuals to the total *Aidanosagitta crassa* abundance and biomass in Laizhou Bay

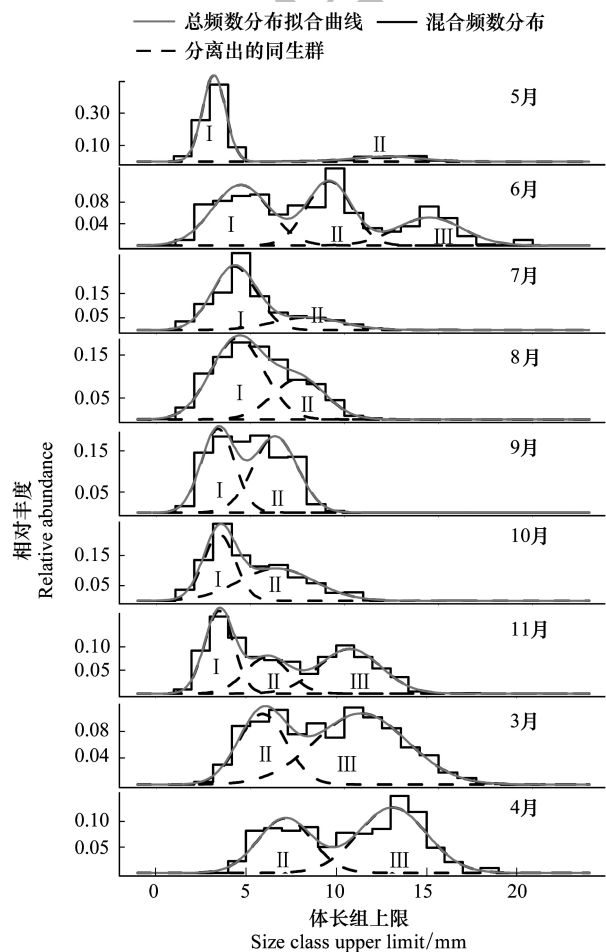


图 3 莱州湾强壮滨箭虫的体长-频数相对分布

Fig.3 Mixed body length-abundance normal distributions of *Aidanosagitta crassa* in Laizhou Bay

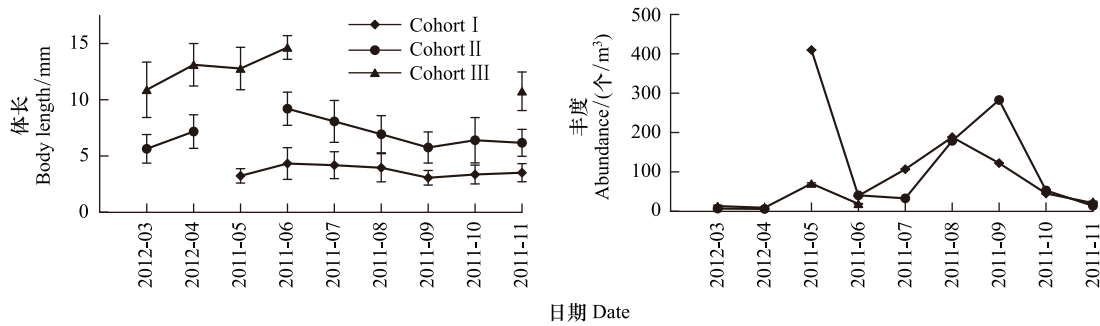


图 4 强壮滨箭虫体长-相对频数混合分布的同生群所对应的月平均体长和丰度

Fig.4 Monthly mean body length and abundance of size-classified *Aidanosagitta crassa* cohorts from mixture distributions results

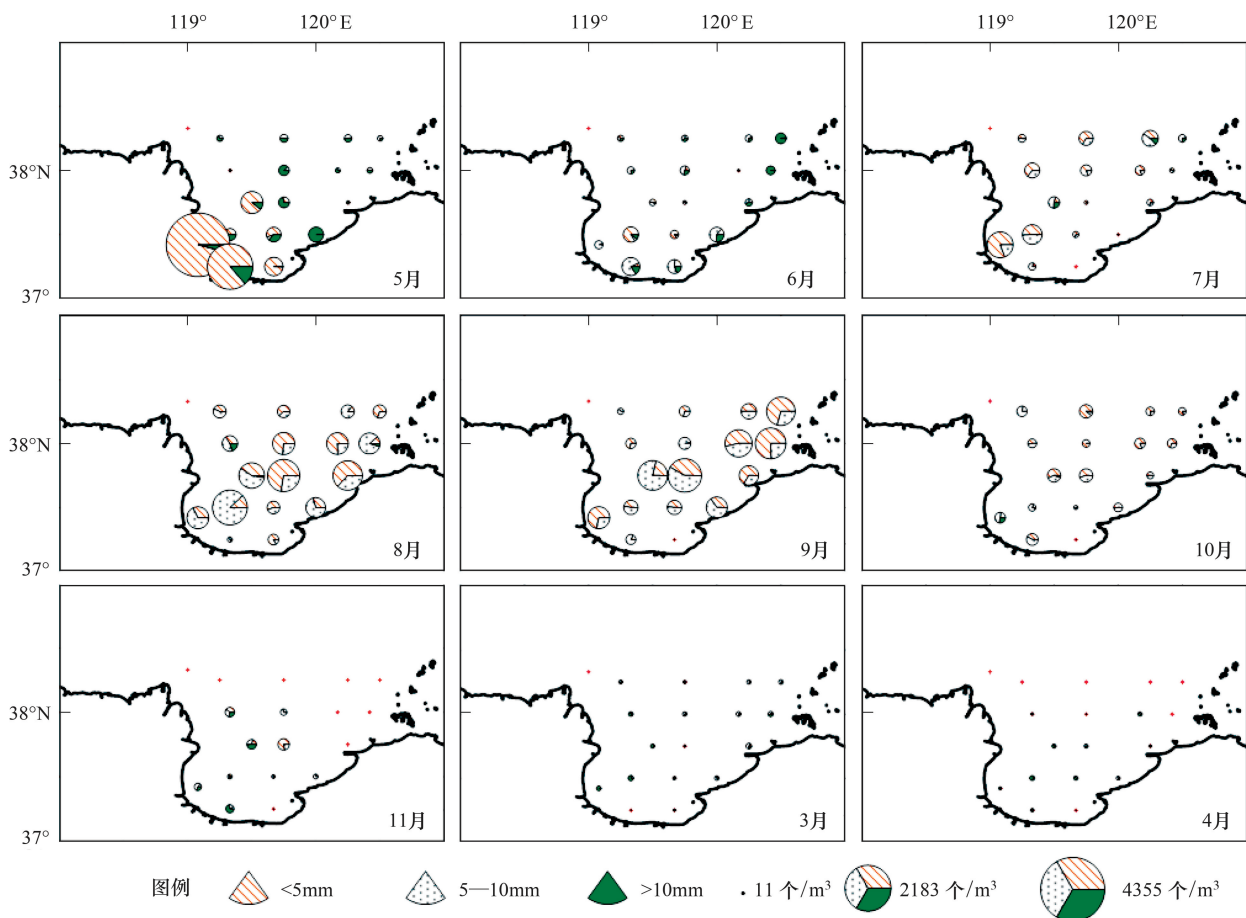


图 5 莱州湾强壮滨箭虫体长组丰度(个/ m^3)相对组成平面分布

Fig.5 Spatial distributions and size-specific compositions of *Aidanosagitta crassa* abundance (ind/ m^3) in Laizhou Bay

体长 $>10\text{mm}$ 和 $<5\text{mm}$ 的强壮滨箭虫高丰度区出现于5月水温介于 $15\text{--}17^\circ\text{C}$ 、盐度介于 $29\text{--}32$ 的站位(图7a,7c); $>10\text{mm}$ 的个体基本不出现($<1\text{个}/\text{m}^3$)7—9月间水温大于 24°C 的站位($<1\text{个}/\text{m}^3$)(图7c); $<5\text{mm}$ 的个体基本不出现于3—4月以及11月内水温低于 11°C 的站位(图7a); $5\text{--}10\text{mm}$ 个体在各调查月的绝大多数站位都有分布,其高丰度区是8月水温介于 $26\text{--}27^\circ\text{C}$ 、盐度 $30\text{--}32$ 的部分站位(图7b)。各调查站中,水温高于 17°C 时,强壮滨箭虫的平均体长介于 $4\text{--}6\text{mm}$;水温低于 17°C 时,平均体长介于 $8\text{--}12\text{mm}$;平均体长 $>10\text{mm}$ 的等值线仅出现于水温 $<20^\circ\text{C}$ 的区域(图7d)。

强壮滨箭虫的丰度和体长与水温表现明显相关关系。表层水温与强壮滨箭虫中 $>10\text{mm}$ 个体的丰度和

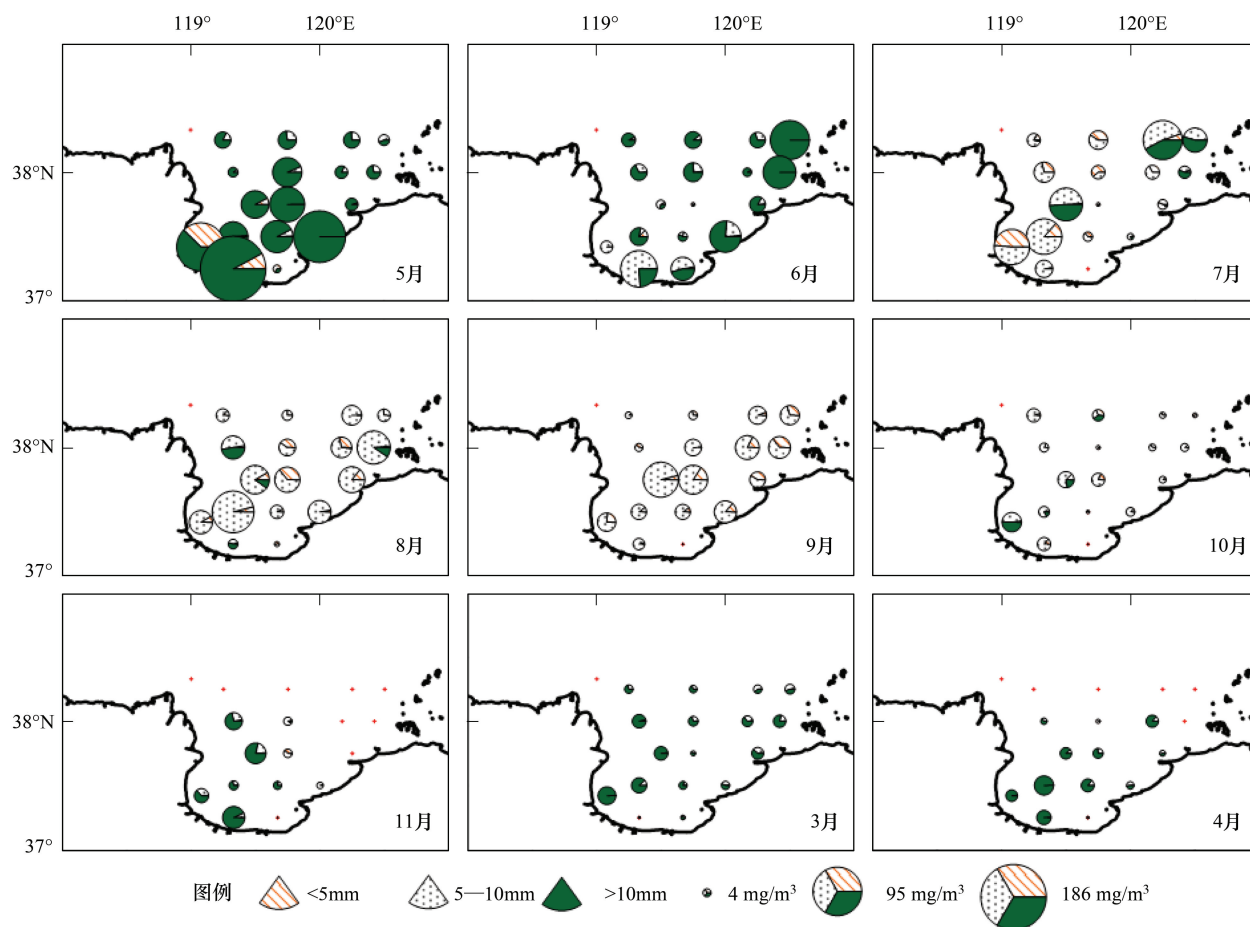


图6 莱州湾强壮滨箭虫体长组生物量(mg/m^3)相对组成平面分布

Fig.6 Spatial distributions and size-specific compositions of *Aidanosagitta crassa* biomass(mg/m^3) in Laizhou Bay

生物量呈显著负相关($P<0.05$),与5—10mm个体丰度、总丰度及总生物量呈显著正相关($P<0.05$);平均体长与表层水温、盐度都呈显著负相关($P<0.05$)(表1)。

表1 莱州湾强壮滨箭虫丰度、生物量和平均体长与表层水温、盐度相关性分析

Table 1 Correlation analysis between the abundance, biomass and mean body length of *Aidanosagitta crassa* and surface water temperature and salinity in Laizhou Bay

		表层水温 Surface water temperature		表层盐度 Surface water salinity	
		相关系数 r	P 值	相关系数 r	P 值
丰度 Abundance	体长<5mm	0.1353	0.105	-0.0175	0.835
	体长5—10mm	0.4175	0.000 **	0.0967	0.247
	体长>10mm	-0.1198	0.151	-0.0824	0.324
	所有个体	0.2373	0.004 **	0.0079	0.925
生物量 Biomass	体长<5mm	0.1838	0.027 *	-0.0088	0.917
	体长5—10mm	0.4141	0.000 **	0.0929	0.266
	体长>10mm	-0.1076	0.198	-0.0558	0.505
	所有个体	0.1123	0.179	-0.0099	0.906
平均体长 Mean body length		-0.5398	0.000 **	-0.1777	0.032 *

* $P<0.05$; ** $P<0.01$

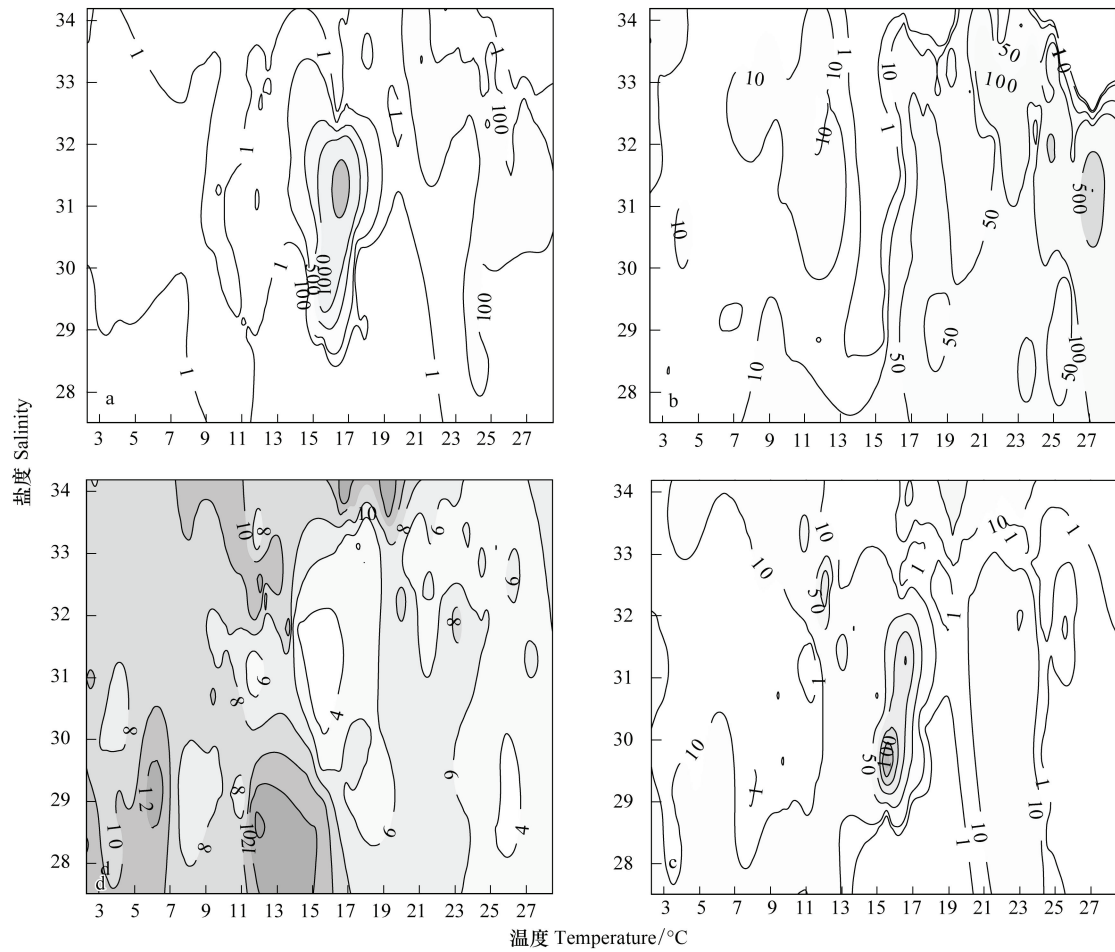


图 7 莱州湾强壮滨箭虫不同体长组的丰度(个/ m^3)、各调查站平均体长(mm)与表层水温($^{\circ}\text{C}$)和盐度的相对分布

Fig.7 Abundance and mean body length distributions of *Aidanosagitta crassa* in related to the surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) and salinity in Laizhou Bay

a. 体长<5mm 个体丰度; b. 体长介于 5—10 mm 个体丰度; c. 体长>10 mm 个体丰度; d. 各调查站所有个体的平均体长

3 讨论

3.1 体长频数分布

强壮滨箭虫的体型季节更替明显。根据泡状组织在身体的分布延展程度,强壮滨箭虫大致可分为个体较大的冬季型、个体较小的内海型(囊开型或夏季型)以及介于前两者之间的中间型。内海型在春末-夏季孳生旺盛、成体体长 7—10mm;冬季型适低温、多在冬春繁殖,成体体长 13—20mm^[10]。本研究虽未对强壮滨箭虫进行分型,但图 7d 和图 3 中显示,莱州湾强壮滨箭虫夏、秋季(7—10 月)个体小、平均体长小于 5mm;冬、春季(11—6 月)个体大,绝大多数大于 10 mm 的强壮滨箭虫个体出现于此期。这与烟台外海^[20]、胶州湾^[14,18]、日本濑户内海^[11-12]等的强壮滨箭虫体型季节变化模式基本相符。

种群体长—频数分布是进行种群世代分析的基础。Nagasawa^[13]和霍元子等^[14]等曾根据体长频数粗略估计了日本东京湾和胶州湾外强壮滨箭虫的世代数。强壮滨箭虫存在多种生态型,单个生态型都能发育成熟、实现完整的生命周期;而且强壮滨箭虫可以自体或异体受精,一次受精后产卵可持续数周^[28],卵孵化只需 1—4d^[12],也即是某个产卵群体可以在较长的时间内,支持其种群持续增长。因此,特定时期内强壮滨箭虫种群不同生态型、世代间的体长频数分布存在着高度重叠。要准确推算世代数,需要基于高频观察的体长参数、发育期(年龄)组成、性腺成熟度以及产卵等数据。Murakami 曾结合每周观察到的发育期组成和体长分布,分

离出日本濑户内海强壮滨箭虫 4 个世代^[12]。本研究中逐月体长频数分布(图 3),反映了强壮滨箭虫的种群结构季节变动基本特点,但由于采样时间间隔较大,单个同生群中可能包含多种生态型,因而并不能据之准确估测莱州湾强壮滨箭虫种群周年世代数。

无论是内海型或冬季型,强壮滨箭虫成体体长都大于 5 mm^[11-12]。本文中分离出的 Cohort I 的平均体长介于 3—5 mm(图 4),可视为未成熟个体或补充群体。该同生群亦是春季 5 月、夏季 7—8 月和秋季 10 月强壮滨箭虫体长频数混合分布的重心分布所在(图 3)。此三季强壮滨箭虫的体长频数分布接近金字塔型年龄锥体^[32],据之可认为上述 3 个季节为强壮滨箭虫种群增长和补充期。3—4 月,体长频数分布重心移至 Cohort II 和 III,偏向于壶形锥体^[32],处于种群丰度下降期。6 月,3 个同生群相对组成均衡,体长频数分布偏向于钟形锥体^[32],处于种群丰度相对稳定型。冬季冰期 12 月至 2 月未进行调查,期间湾内的水温低,不可能形成适宜强壮滨箭虫种群快速增长的外部条件。因而认为,莱州湾的强壮滨箭虫种群补充期应在 5—10 月间,晚于日本濑户内海(2—11 月)^[12]和黄海(3—10 月)^[14]。

3.2 水温和盐度对强壮滨箭虫体型和丰度分布的影响

强壮滨箭虫体长与水温呈明显的负相关^[12,14],生长和体型受水温变化控制,中间型个体遇低温时可继续生长发展成为冬季型较大个体,而不进入产卵期^[12]。在渤海冬季型强壮滨箭虫在 4 月占主导,中间型在 9—10 月以及 1 月占主导,内海型在 5—8 月以及 11—12 月占主导^[10]。图 3 中, Cohort III 平均体长大于 10 mm,应主要包含强壮滨箭虫冬季型和过渡中间型个体,但该组群并不周年存在。10 月至 11 月湾内平均水温由 17℃ 降至 10.6℃, Cohort III 开始出现,5 月至 6 月平均水温由 12℃ 升至 19℃,6 月之后 Cohort III 消失,11 月和 6 月是其开始出现和消失的转折期,此两季莱州湾月间水温差最大(与前月水温差 > 7℃)。在东京湾也曾发现 3—4 月水温 8.3—15℃、12 月水温 12—13℃ 时,强壮滨箭虫体型呈现明显的夏、冬季型更替^[13]。胶州湾外,强壮滨箭虫体长也是在水温由 13℃ 升至 17℃ 的 5—6 月间出现大幅变化^[14]。已报道的培养实验发现,冬季型的强壮滨箭虫能存活至 17℃^[12]。本研究中显示,15—17℃ 可将平均体长 > 10 mm 和 < 10 mm 个体分布区分开(图 7d)。综上推测,强壮滨箭虫体型变化或更替的水温阈值应不超过 15—17℃,主要更替季节为 6 月和 11 月。

强壮滨箭虫被认为是近岸广盐种和较喜低温的广温种^[23]。虽然本文结果中显示强壮滨箭虫盐度耐受范围广,但它表现一定的低盐偏好习性,其高丰度往往位于等盐线 33 以低一侧(图 7a—c)。强壮滨箭虫的相对密集区也基本与莱州湾低盐近岸水季节分布动态相适。受季风、黄河冲淡水 and 外海水共同作用,春季(3—5 月)莱州湾水温低,黄河冲淡水向南及东南方、湾底扩散,强壮滨箭虫数量激增,高密区位于湾南侧底部;夏季(6—8 月)水温升高,黄河入海径流受莱州湾顺时针环流和东南季风影响、向东或东北向流出,外海水以补偿形式流入湾内,导致湾底特别是东侧湾底盐度反而较高,此季强壮滨箭虫的数量和生物量分布中心明显向湾中西侧偏移;冬季(11—2 月)沿岸黄河冲淡水向莱州湾底输送积聚、形成冬季湾底清晰动力学低盐区,湾底水温较高、盐度较低,湾口处水温低、盐度高,强壮滨箭虫则退缩于湾内,基本不出现于湾口。

3.3 生物量和生产力估算

5 月和 10 月莱州湾强壮滨箭虫的生产力远高于渤海湾南部相应值(0.27 mgC m⁻² d⁻¹、0.14 mgC m⁻² d⁻¹)^[22]。3 月胶州湾外强壮滨箭虫生物量峰值(411.10 mg/m²)高于莱州湾的 5 月峰值。如果将未调查的 12—2 月取 11—4 月间低值,莱州湾强壮滨箭虫的年生产力和摄食量估算值分别为 1.058 g C m⁻² a⁻¹ 和 2.8 g C m⁻² a⁻¹,略高于胶州湾外强壮滨箭虫年生产力(0.67 g C m⁻² a⁻¹)和摄食率(2.33 g C m⁻² a⁻¹)^[14]。若以莱州湾水域面积为 7000 km²、海洋生物含 C 量约为干重的 40%^[33]、体内含水量 86—89%^[34]计,莱州湾内强壮滨箭虫全年需要摄食生物的湿重大约为 350—490 t。

致谢: 本文海上样品采集和处理、分析得到王秀霞、陈峻峰、吴强、孙坚强、陈瑞盛以及农业部黄渤海渔业资源环境重点野外科学观测试验站工作人员的帮助,特此致谢。

参考文献(References):

- [1] 白雪娥, 庄志猛. 渤海浮游动物生物量及其主要种类数量变动的研究. 海洋水产研究, 1991, (12): 71-92.
- [2] 彭荣, 左涛, 万瑞景, 林群, 李显森, 王俊, 金显仕. 春末夏初莱州湾浮游动物生物量谱及潜在鱼类生物量的估算. 渔业科学进展, 2012, 33(1): 10-16.
- [3] 林景祺, 杨纪明. 烟台、威海和青岛沿岸当年生鲈鱼幼鱼的摄食习性. 海洋水产研究, 1980, (1): 1-15.
- [4] 杨纪明, 李军. 渤海强壮箭虫摄食的初步研究. 海洋科学, 1995, (6): 38-42.
- [5] Nomura H, Aihara K, Ishimaru T. Feeding of the chaetognath *Sagitta crassa* Tokioka in heavily eutrophicated Tokyo Bay, Japan. Plankton and Benthos Research, 2007, 2(3): 120-127.
- [6] Fukuhara O, Fukunaga T. Predation by *Sagitta* on larval fish in earthen pond. Bulletin of the Nansei Regional Fisheries Research Laboratory, 1984, 17: 151-153.
- [7] Jin X S, Shan X J, Li X S, Wang J, Cui Y, Zuo T. Long-term changes in the fishery ecosystem structure of Laizhou Bay, China. Science China Earth Sciences, 2013, 56(3): 366-374.
- [8] 杨尧尧, 李忠义, 吴强, 王俊. 莱州湾渔业资源群落结构和多样性的年际变化. 渔业科学进展, 2016, 37(1): 22-29.
- [9] 张波, 金显仕, 吴强, 谢周全. 莱州湾中国明对虾增殖放流策略研究. 中国水产科学, 2015, 22(3): 361-370.
- [10] 萧贻昌. 中国动物志 无脊椎动物 第三十八卷 毛颚动物门 箭虫纲. 北京: 科学出版社, 2004: 54-56.
- [11] Hirota R. On the morphological variation of *Sagitta crassa*. Journal of the Oceanographical Society of Japan, 1959, 15(4): 191-202.
- [12] Murakami A. Marine biological study on the planktonic chaetognaths in the Seto Inland Sea. Bulletin of Naikai Regional Fisheries Research Laboratory, 1959, 12: 1-186.
- [13] Nagasawa S. Vertical distribution, life cycle and production of the chaetognath *Sagitta crassa* in Tokyo Bay, Japan. Journal of Plankton Research, 1991, 13(6): 1325-1338.
- [14] 霍元子, 孙松, 杨波. 南黄海强壮箭虫(*Sagitta crassa*)的生活史特征. 海洋与湖沼, 2010, 41(2): 180-185.
- [15] 戴燕玉. 南黄海和东海毛颚类生态特征的研究 I. 数量分布的特征. 海洋学报, 2006, 28(6): 106-111.
- [16] 盖建军, 倪金佛. 海州湾强壮箭虫的生态学特征研究. 生物学杂志, 2012, 29(6): 59-61.
- [17] 毕洪生, 孙松, 高尚武, 张光涛, 张芳. 渤海浮游动物群落生态特点 III. 部分浮游动物数量分布和季节变动. 生态学报, 2001, 21(4): 513-521.
- [18] 王倩, 孙松, 霍元子, 杨波. 胶州湾毛颚类生态学研究. 海洋与湖沼, 2010, 41(4): 639-644.
- [19] 陈峻峰, 左涛, 王秀霞. 南黄海浮游动物主要种类数量分布年间比较. 海洋学报, 2013, 35(6): 195-203.
- [20] 郑重, 郑执中, 王荣, 林雅蓉, 高尚武. 烟、威海渔场及邻近水域浮游动物生态的初步研究. 海洋与湖沼, 1965, 7(4): 329-354.
- [21] 李云, 徐兆礼, 高倩. 长江口强壮箭虫和肥胖箭虫的丰度变化对环境变暖的响应. 生态学报, 2009, 29(9): 4773-4780.
- [22] 张晓举, 温若冰, 于海洋. 渤海湾南部水域春秋季节强壮滨箭虫摄食压力变化的初步研究. 海洋通报, 2013, 32(4): 434-439.
- [23] 刘青, 曲晗, 张硕, 魏杰. 强壮箭虫摄食生态的实验研究. 水产学报, 2006, 30(6): 767-772.
- [24] 刘青, 刘芳, 朱海燕, 胡浩. 光照、体长对强壮箭虫摄食强度和日粮的影响. 海洋湖沼通报, 2009, (1): 155-161.
- [25] 刘青, 曲晗, 张硕. 强壮箭虫对温度、盐度的耐受性研究. 海洋湖沼通报, 2007, (1): 111-116.
- [26] 刘青, 朱海燕, 刘芳, 丁子元. 温度、盐度对强壮箭虫耗氧率和窒息点的影响. 应用生态学报, 2011, 22(11): 3081-3086.
- [27] 于浩, 刘光兴, 陈洪举. 3种浮游生物网对强壮箭虫捕获效率的比较研究. 海洋学报, 2015, 37(10): 141-145.
- [28] Nagasawa S. Laboratory feeding and egg production in the chaetognath *Sagitta crassa* Tokioka. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1984, 76(1): 51-65.
- [29] Ikeda T. Metabolic rates of epipelagic marine zooplankton as a function of body mass and temperature. Marine Biology, 1985, 85(1): 1-11.
- [30] Macdonald P D M, Pitcher T J. Age-groups from size-frequency data: a versatile and efficient method of analyzing distribution mixtures. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1979, 36(8): 987-1001.
- [31] 冯秋园, 孙晓霞, 任琳琳. 几种保存方法对中华哲水蚤和强壮箭虫体型的影响. 海洋科学, 2014, 38(4): 20-26.
- [32] 孙儒泳, 李庆芬, 牛翠娟, 姜安如. 基础生态学. 北京: 高等教育出版社, 2002: 64-69.
- [33] Uye S. Length-weight relationships of important zooplankton from the Inland Sea of Japan. Journal of the Oceanographical Society of Japan, 1982, 38(3): 149-158.
- [34] Omori M. Weight and chemical composition of some important oceanic zooplankton in the North Pacific Ocean. Marine Biology, 1969, 3(1): 4-10.