

DOI: 10.5846/stxb201404290854

徐炳庆, 吕振波, 李战军, 李凡, 于宁, 魏振华. 莱州湾中国对虾生长特性及其空间分布. 生态学报, 2016, 36(3): - .

Xu B Q, Lü Z B, Li Z J, Li F, Yu N, Wei Z H. Study on the growth characteristics and spatial distribution of *Fenneropenaeus chinensis* in Laizhou Bay. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(3): - .

莱州湾中国对虾生长特性及其空间分布

徐炳庆¹, 吕振波^{1,*}, 李战军², 李凡¹, 于宁¹, 魏振华¹

1 山东省海洋资源与环境研究院, 山东省海洋生态修复重点实验室, 烟台 264006

2 山东省水生生物资源养护管理中心, 烟台 264005

摘要: 根据 2010 年 5 月—10 月调查资料, 对山东莱州湾中国对虾 (*Fenneropenaeus chinensis*) 的资源状况、生长特性及其空间分布进行了研究。莱州湾放流前本底调查资料表明, 目前山东莱州湾中国对虾捕捞产量主要来源于增殖放流, 且在一定条件下捕捞产量与放流数量成正相关关系。依据 2010 年中国对虾生物学数据, 应用 R 语言命令对中国对虾体长体重关系和体长生长方程进行了拟合, 并对拟合系数进行了显著性检验, 结果表明中国对虾体长与体重系数 a 、 b 处于显著水平 ($P < 0.05$), 中国对虾体长生长方程拟合系数 K 、 t_0 、 L_∞ 处于极显著水平 ($P < 0.001$), 故拟合效果明显, 获得为中国对虾生长参数雌虾为 $K = 0.0226$ 、 $t_0 = 37.45$ 天、 $L_\infty = 200.77$ mm、 $W_\infty = 80.50$ g、 $t_r = 85.18$ 天 (8 月 4 日), 雄虾为: $K = 0.0419$ 、 $t_0 = 40.25$ 天、 $L_\infty = 145.81$ mm、 $W_\infty = 23.37$ g、 $t_r = 67.24$ 天 (7 月 18 日), 与 20 世纪 80 年代相比, 中国对虾个体明显减小, 生长速度加快, 生长拐点提前了一个月。另外, 根据大面调查体长数据, 对各个站位体长组出现频率进行 Ward 聚类分析, 利用 R 语言聚类树的融合水平值定义划分水平, 选择具有最大跳跃的分组水平, 将中国对虾种群大致可分为两个组群, 河口组和深水组, 同时按照各体长组的多度值大小, 探讨了各组内具有代表性的分类体长组, 结果表明, 河口组的中国对虾以体长 125—135 mm 为主, 深水组以体长 115—125 mm 和 105—115 mm 为主, 河口组个体明显大于深水组; 河口组分布区入海河流较多, 饵料生物丰富, 以软泥底质为主, 有利于中国对虾的摄食和前期保护, 深水组分布于莱州湾中东部, 蟹类资源相对较高, 且以沙质底质为主, 对中国对虾的生长与保护产生一定的影响。

关键词: 中国对虾; 生长特性; R 语言; 群落分析

Study on the growth characteristics and spatial distribution of *Fenneropenaeus chinensis* in Laizhou Bay

XU Bingqing¹, LÜ Zhenbo^{1,*}, LI Zhanjun², LI Fan¹, YU Ning¹, WEI Zhenhua¹

1 Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006, China

2 Shandong Hydrobios Resources Conservation and Management Center, Yantai 264005, China

Abstract: We conducted bottom surveys in Laizhou Bay between May and October 2010 and determined the catch rates, growth characteristics, and spatial patterns of *Fenneropenaeus chinensis*. We found that the catch rates of *F. chinensis* had mainly improved because of stock enhancement, and these rates were occasionally positively correlated with the number of individuals released. The data obtained were used to generate length-weight relationship curves and body-length growth curves; these curves were fitted using R (version 3.0.2), and the significance of the fitted factors was tested. The factors a and b of the equation used to calculate the length-weight relationships were significant at $P < 0.05$, and the factors K , t_0 ,

基金项目: 山东省渔业资源增殖效果评价 (SD2012-2014); 莱州湾中国对虾资源增殖管理优化控制模拟研究 (ZR2013DQ016); “水生动物营养与饲料‘泰山学者’岗位” (TS200651036) 经费

收稿日期: 2014-04-29; **网络出版日期:** 2015 P- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ytlvzhenbo@163.com

and L_{∞} of the von Bertalanffy growth equation were significant at $P < 0.001$). The growth parameters of *F. chinensis* caught on August 4 and July 18, 2010, were as follows: ♀: $K = 0.0226$, $t_0 = 37.45$ d, $L_{\infty} = 200.77$ mm, $W_{\infty} = 80.50$ g, and $t_r = 85.18$ d; ♂: $K = 0.0419$, $t_0 = 40.25$ d, $L_{\infty} = 145.81$ mm, $W_{\infty} = 23.37$ g, and $t_r = 67.24$ d, respectively. These findings suggest that, compared with the individuals caught in the 1980s, those in the present study were remarkably smaller, showed accelerated growth, and the turning point for the growth curve had advanced by about a month. In addition, the data for body length collected during a large-scale survey at 32 stations were analyzed using hierarchical clustering. Analysis of the results of clustering using R language with the highest likelihood suggest the existence of two assemblages of *F. chinensis* in the surveyed waters: the estuarine group and the deep-water group. The *F. chinensis* communities were analyzed according to their body length. The abundance value of representative method showed that the estuarine group mainly consisted of individuals having a length of 125—135 mm, whereas the deep-water group included individuals having lengths of 115—125 mm and 105—115 mm. This suggests that individuals of the estuarine group were bigger than those of the deep-water group. The estuarine group was mainly found in rivers that have abundant food sources, and the bottom material was mainly composed of organic ooze, which provided protection to *F. chinensis*. In contrast, the deep-water group was located in the middle-east region of Laizhou Bay, which has rich crab resources, and the bottom material was mainly composed of sand. These factors influenced the growth and protection of *F. Chinensis* in deep waters.

Key Words: *Fenneropenaeus chinensis*; Growth characteristics; R language; Community analysis

增殖放流是在对野生的鱼、虾、蟹、贝类等进行人工繁育种苗或捕捞天然苗种后,将其释放到自然水体中进行增殖,同时采取适当的保护措施,使其自然种群得以恢复,再进行合理捕捞的渔业方式,是渔业生态修复和环境保护的重要手段^[1]。

中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)主要分布在黄海和渤海,少量生活在东海北部和南海珠江口附近,是一种1年生、暖水底栖性、具长距离洄游习性、经济价值高的大型虾类。曾经是黄海和渤海虾流网和底拖网的主要捕捞对象和支柱产业^[2]。为恢复业已衰退的中国对虾资源,20世纪80年代初我国先后在渤海、黄海、东海和南海有关海域进行了中国对虾生产性增殖放流研究和实践。在山东省莱州湾实施的中国对虾生产性放流已有多年的历史,取得了一定的恢复和增加中国对虾资源的效果。目前在山东近海捕获的中国对虾主要为增殖放流资源^[3-4]。

本文根据2010年中国对虾的调查资料,对莱州湾中国对虾生长特性和移动分布规律进行了研究,以期今后进一步增殖保护和合理开发利用莱州湾中国对虾资源提供科学依据。

1 材料与方法

中国对虾放流前,于5月15至5月31日租用375马力渔船利用单拖网进行本底调查,共37个站位(图1),中国对虾放流后,于7月1日至7月6日租用小型渔船利用扒拉网进行近岸跟踪调查,根据放流地点,在莱州湾海域共设置6个断面,共28个站位(图1);7月25日至8月8日租用375马力渔船利用单拖网进行开捕前大面调查,共设置站位37个(图1);9月9日至9月13日和10月9日至10月29日,进行中国对虾回捕调查,采用社会走访和海上调查相结合的方法进行回捕统计。各次调查,均依据海洋调查规范(GB/T 12763-2007),用直尺和天平对所取得的中国对虾样品进行了体长、体重等生物学测定,并记录相关数据。

2 结果

2.1 本底调查

本底调查中未出现中国对虾。

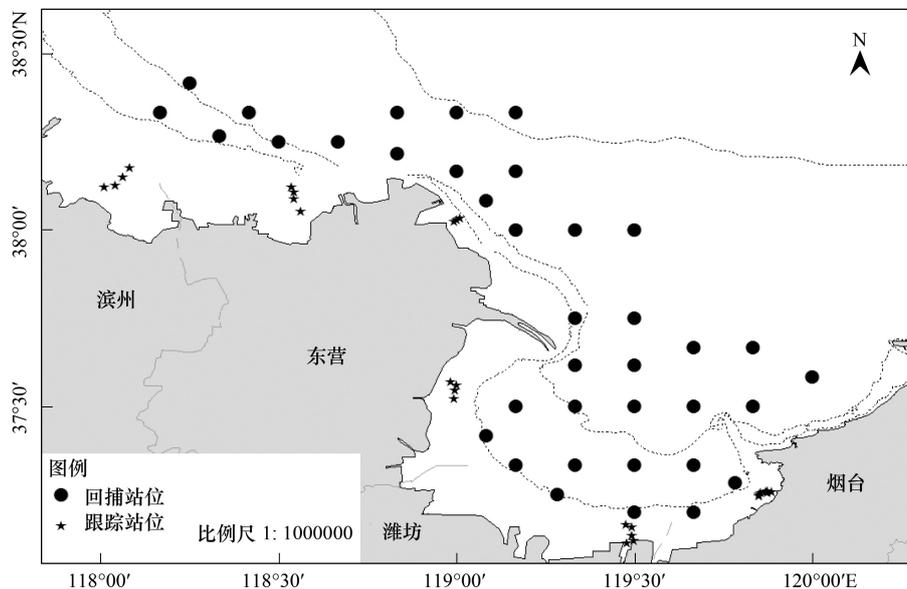


图 1 中国对虾跟踪与回捕调查站位

Fig. 1 The investigation stations of follow-up and recapture

2.2 跟踪调查

跟踪调查中有 21 个站位出现中国对虾幼虾,测定中国对虾幼虾 240 尾,总重 710.45 g,体长范围为 43—86 mm,平均体长为 63.33 ± 7.91 mm,雌雄比例为 57.08:42.92。主要以体长分布在 60—70 mm 之间的中国对虾为主,占总虾数的 43.33%,其次分布在 50—60 mm 的中国对虾,占 30.42%,体长分布在 80—90 mm 的中国对虾最少,占 2.08%(图 2)。

2.3 大面调查

大面调查中中国对虾出现站位 32 个,测定中国对虾 999 尾,总重 23061.23 g,体长范围达 90—150 mm,平均体长为 123.47 ± 9.45 mm,雌雄比例为 53.65:46.35。主要以体长分布在 120—130 mm 之间的中国对虾为主,占总虾数的 40.94%,其次分布在 110—120 mm 的中国对虾,占 28.13%,体长分布在 150—160 mm 的中国对虾最少,占 0.20%(图 3)。

2.4 回捕调查

回捕调查共捕获中国对虾 58 尾,总重 2961.90 g,平均体长为 165.00 ± 18.91 mm,体长范围达 141—189 mm,雌雄比例为 62.07:37.93。主要以体长分布在 140—150 mm 之间的中国对虾为主,占总虾数的 34.48%,其次分布在 170—180 mm 的中国对虾,占 20.69%,体长分布在 150—160 mm 和 180—190 mm 的中国对虾最少,占 6.90%(图 4)。

2.5 体长体重关系

将中国对虾体长体重数据代入 $W = a \times L^b$ 函数方程,应用 R 语言进行幂函数关系拟合,并对系数 a、b 进行显著性检验,P 值均小于 0.05(表 1),处于显著水平,故可以确定拟合函数,则中国对虾体长与体重关系为:

$$\text{中国对虾雌虾 } \text{♀} : W = 1.36 \times 10^{-5} L^{2.941}$$

$$\text{中国对虾雄虾 } \text{♂} : W = 0.71 \times 10^{-5} L^{3.096}$$

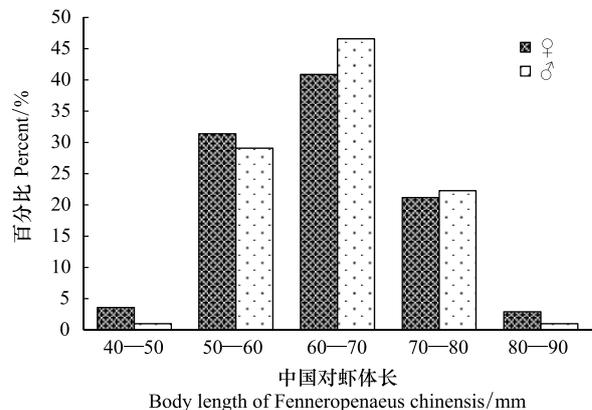


图 2 7月1日—6日中国对虾样品体长分布图

Fig. 2 The distribution of body length of *Fenneropenaeus chinensis* on July 1th—6th

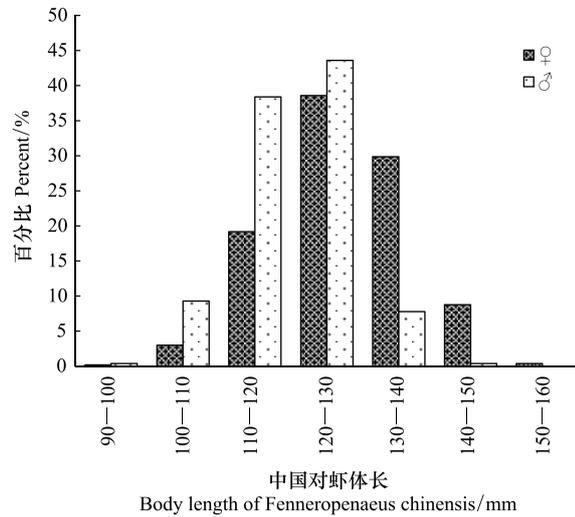


图3 7月25日—8月8日中国对虾样品体长分布图

Fig. 3 The distribution of body length of *Fenneropenaeus chinensis* on July 25th—Aug 8th

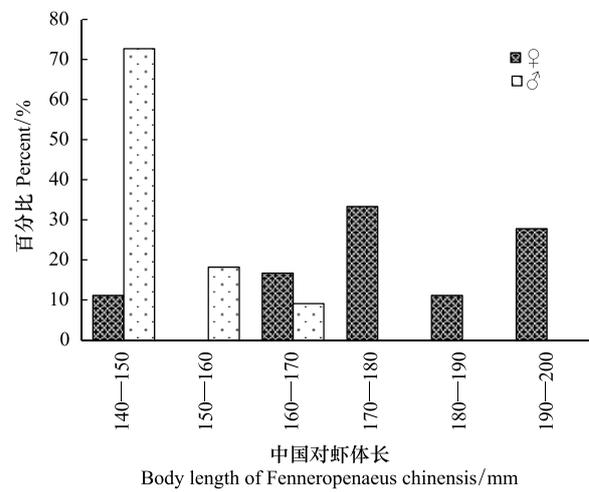


图4 9月9日—9月13日,10月9日—10月25日中国对虾样品体长分布图

Fig. 4 The distribution of body length of *Fenneropenaeus chinensis* on Sep 9th—13th and Oct 9th—25th

由图5和图6可看出,同等体长的雌虾与雄虾个体重量相近,雄虾略大于雌虾。

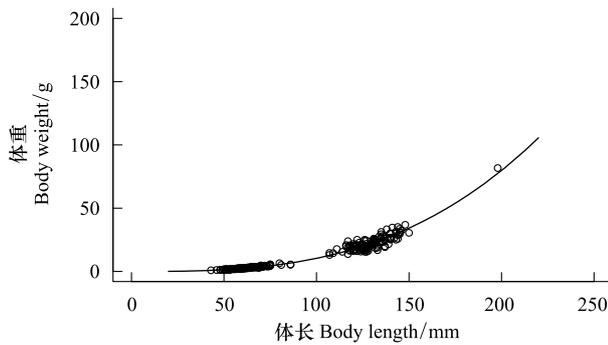


图5 中国对虾雌虾♀体长与体重关系曲线

Fig. 5 Relation curves between body length and weight of the female *Fenneropenaeus chinensis*

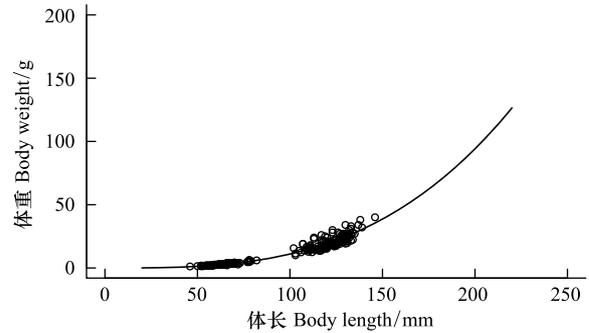


图6 中国对虾雄虾♂体长与体重关系曲线

Fig. 6 Relation curves between body length and weight of the male *Fenneropenaeus chinensis*

表1 中国对虾体长体重方程显著性检验的P值

Table 1 P values of significance test in the relation of body length of *Fenneropenaeus chinensis*

系数 Factor	中国对虾雌虾♀ Female <i>Fenneropenaeus chinensis</i>	中国对虾雄虾♂ Male <i>Fenneropenaeus chinensis</i>
a	4.98×10^{-5}	4.33×10^{-2}
b	2.00×10^{-16}	2.00×10^{-16}

表2 中国对虾体长生长方程显著性检验的P值

Table 2 P values of significance test in the growth curves of body length of *Fenneropenaeus chinensis*

系数 Factor	中国对虾雌虾♀ Female <i>Fenneropenaeus chinensis</i>	中国对虾雄虾♂ Male <i>Fenneropenaeus chinensis</i>
K	3.65×10^{-12}	8.95×10^{-6}
L_{∞}	2.00×10^{-16}	2.00×10^{-16}
t_0	2.00×10^{-16}	2.00×10^{-16}

2.6 体长生长方程

将中国对虾跟踪调查、大面调查和回捕调查的数据代入 von Bertalanffy 生长方程,应用 R 语言进行拟合后,对系数 K、 t_0 、 L_{∞} 进行显著性检验,P 值均小于 0.001(表2),处于极显著水平,故拟合效果明显,获得中国对虾生长曲线方程为:

$$\text{中国对虾雌虾♀: } L_t = 200.77[1 - e^{-0.0226(t-37.45)}], W_t = 80.50[1 - e^{-0.0226(t-37.45)}]^{2.941}$$

中国对虾雄虾 δ : $L_t = 145.81[1 - e^{-0.0419(t-40.25)}]$, $W_t = 23.37[1 - e^{-0.0419(t-40.25)}]^{3.012}$

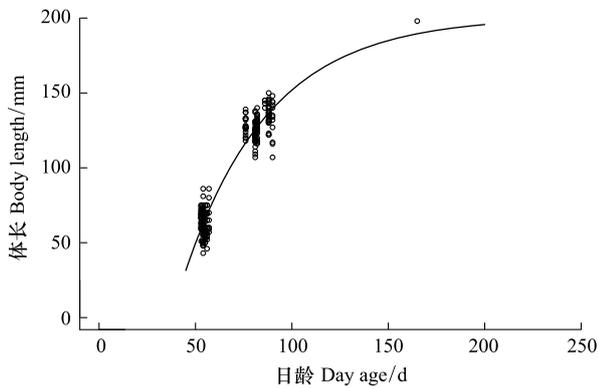


图7 中国对虾雌虾♀体长生长曲线

Fig. 7 Growth curves of body length of the female *Fenneropenaeus chinensis*

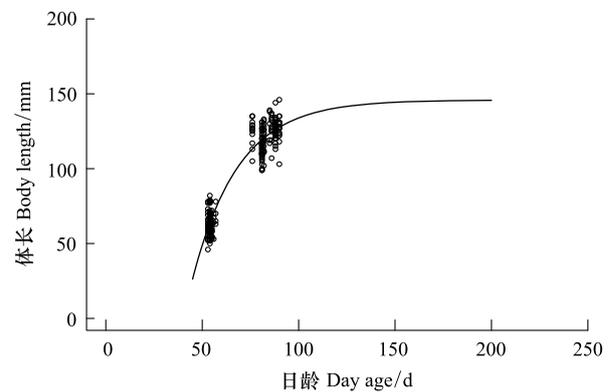


图8 中国对虾雄虾♂体长生长曲线

Fig. 8 Growth curves of body length of the male *Fenneropenaeus chinensis*

由图7和图8可以看出,中国对虾雌雄个体生长存在较为显著的差异。雄性虾体以较短的时间接近渐近值。而雌虾持续生长的时间较长,能达到更大的个体。

对体长、体重生长方程求一次导数,可得体长、体重生长速度方程为:

中国对虾雌虾♀:

$$dL_t/d_t = 4.54[1 - e^{-0.0226(t-37.45)}],$$

$$dW_t/d_t = 5.35e^{-0.0226(t-37.45)}[1 - e^{-0.0226(t-37.45)}]^{1.941}$$

中国对虾雄虾♂:

$$dL_t/d_t = 6.11[1 - e^{-0.0419(t-40.25)}],$$

$$dW_t/d_t = 2.95e^{-0.0419(t-40.25)}[1 - e^{-0.0419(t-40.25)}]^{2.012}$$

对体重生长方程求二次导数,令 $d^2W_t/d^2t = 0$,得拐点年龄式为 $t_r = \ln b/K + t_0$,代入相应的生长参数,得雌性出现在8月4日($t_r = 85.18$ 天),而雄虾较早,出现在7月18日($t_r = 67.24$ 天)。

2.7 中国对虾分布及空间划分

根据大面调查体长数据,对各个站位体长组出现频率进行 Ward 聚类分析。利用聚类树的融合水平值定义划分的水平,如图9所示。

根据 Pierre Legendre 的说法^[5],即选择组间差异性最大的分组水平,故我们选择具有最大跳跃的分组水平,如图10和图11所示。

从上图10和图11可以看出,大面调查中国对虾群落大体可分为河口组和深水组两组。根据以上分组,按照各体长组的多度值大小,探讨各组内具有代表性的分类体长组(表3),其中河口组(组1)包括体长组125—135 mm、体长组115—125 mm和体长组135—145 mm;深水组(组2)包括体长组115—125 mm、体长组105—115 mm和体长组125—135 mm。

3 讨论

3.1 莱州湾中国对虾资源的主要来源

山东省在渤海的莱州湾和渤海湾南部开展中国明对虾增殖始于1985年,1987年由于虾苗供应紧张,没

表3 中国对虾群代表性体长组的多度值

Table 3 The abundance value of representative body length group between the *Fenneropenaeus chinensis* communities

体长组 Body length groups	河口组组1 Estuary group 1	深水组组2 Deep-water group 2
105—115 mm		11.27
115—125 mm	8.76	17.64
125—135 mm	12.14	5.36
135—145 mm	4.71	

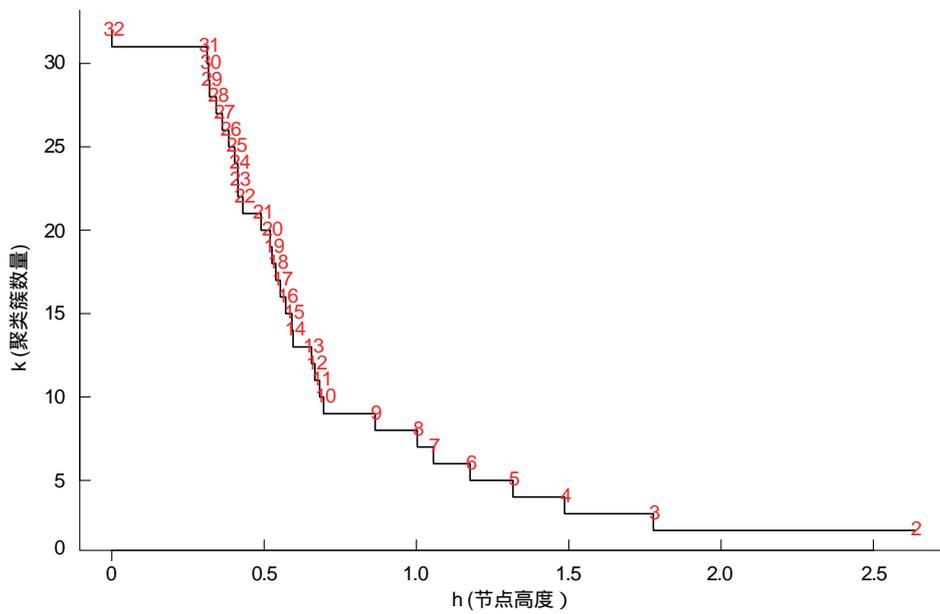


图 9 聚类树的融合水平值图
 Fig. 9 Fusion level values of clustering

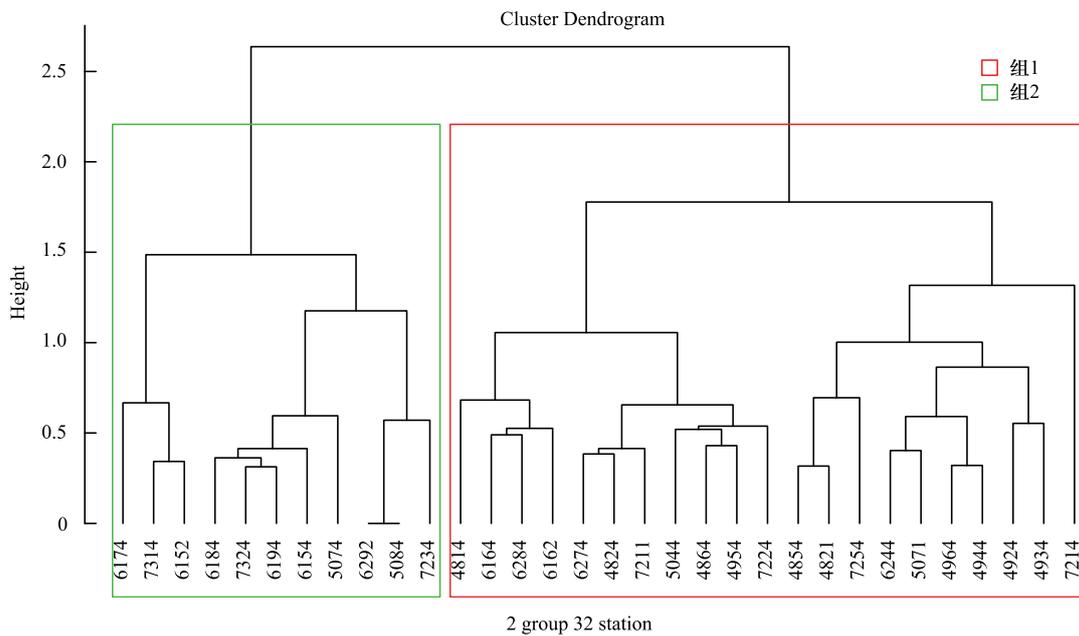


图 10 聚类分析图
 Fig. 10 Group average clustering

有放流。但是 1991 年以后,随着环境污染的加剧,放流水域渔业生态环境日益恶化,赤潮频发,加之放流苗种的数量与质量下降,回捕产量急剧下降。至 20 世纪 90 年代中期,因对虾白斑综合病毒的(WSSV)暴发而中断。时至 2005 年,山东省渔业资源修复行动计划实施后,2007 年山东从新加大了放流力度,2007—2010 年莱州湾及渤海湾南部共放流中国对虾苗种 137397 万尾,总捕捞产量为 3936 t,由图 12 可以看出,捕捞产量与放流数量成正相关,放流数量越高,捕捞产量越高。

依据 2006—2010 年莱州湾放流前调查资料^[2,6],各年份莱州湾均为捕获中国对虾,在未考虑渤海其它海湾资源交流的情况下,可推断目前,莱州湾中国对虾主要来源于当年的增殖放流。

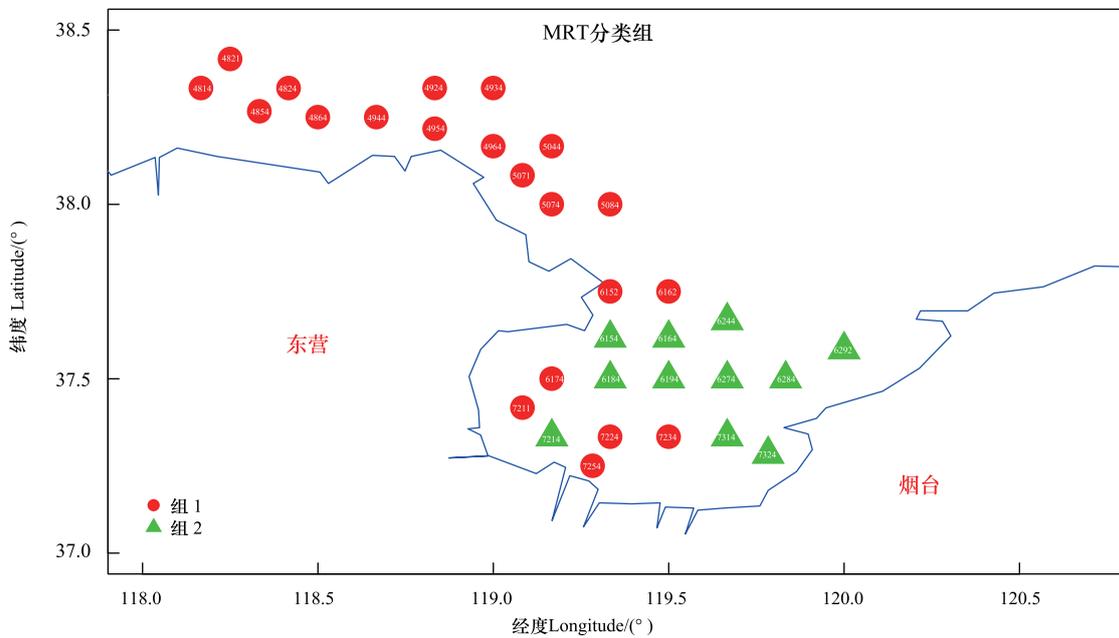


图 11 空间分布图

Fig. 11 Maps showing spatial patterns

3.2 中国对虾生长参数的变化

研究鱼虾类的生长速度,对于合理利用鱼虾类资源有着重要的意义。当知道某种鱼虾各个阶段的生长速度以后,可以选择其快速生长以后转入缓慢生长的时期加以利用,以达到合理利用资源的目的^[7-8]。据 1981 年邓景耀报导^[9],渤海中国对虾以往生长参数雌虾为: $K=0.018$ 、 $t_0=25$ d、 $L_\infty=201.3$ mm、 $W_\infty=91.8$ g; 雄虾为: $K=0.0168$ 、 $t_0=9$ d、 $L_\infty=163.5$ mm、 $W_\infty=49.1$ g。与 2010 年调查结果相比,渤海中国对虾的体长、体重渐近值 L_∞ 和 W_∞ 均小于 1981 年,而生长系数 K 值却明显大于 1981 年(表 4),因此,目前中国对虾生长速度加快,更早的达到捕捞规格。

从体重生长和生长速度可知,中国对虾体重增长速度呈不对称倒二次曲线型,雌性雄性拐点不同,中国对虾雌虾在 8 月 4 日(拐点 $t=85.18$ d),中国对虾雄虾在 7 月 18 日(拐点 $t=67.24$ d),雄虾比雌虾提前半个月到达生长拐点。与以往 1981 年邓景耀研究的渤海中国对虾生长拐点相比,2010 年中国对虾比 1981 年提前近一个月。

3.3 中国对虾虾群空间分布特征的探讨

放流虾群的移动分布是多种因子(生长、密度、水温、饵料、地形等)综合作用的结果^[10],周军、林源、张澄茂和徐君卓等人已对中国对虾的移动分布进行了研究^[11-14]。由于中国对虾的洄游导致虾群组成不断变化,群聚格局没有明显的群聚边界^[15-16],本文划分中国对虾虾群的空间分布是相对的,研究表明 8 月开捕前中国对虾根据体长可划分为 2 组,如图 11 和表 3 所示,组 1 虾群的中国对虾个体相对较大,主要集中在河口外,入海河流较多,饵料生物丰富,以软泥底质为主^[17],有利于中国对虾的摄食和前期幼虾的保护^[18],组 2 主要集中在莱州湾中东部,开放性较大,蟹类资源相对较高(表 5),蟹既是中国对虾的敌害又是重要的竞食者,且以

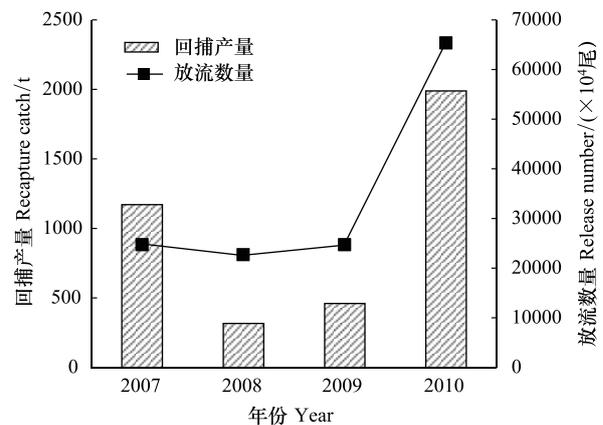


图 12 2007—2010 年莱州湾中国对虾放流与回捕

Fig. 12 Release and recapture of *Fenneropenaeus chinensis* in Laizhou Bay from 2007 to 2010

沙质底质为主^[17],对中国对虾的生长与保护产生一定的影响。

表 4 中国对虾生长参数变化

Table 4 Comparison of growth factor of *Fenneropenaeus chinensis*

系数 Factor	雌 Female		雄 Male	
	1981 年	2010 年	1981 年	2010 年
K	0.018	0.0226	0.0168	0.0419
t_0	25	37	9	40
L_{∞}	201.3	200.8	163.5	145.8
W_{∞}	91.8	80.5	49.1	23.4
t_r	9 月 2 日	8 月 4 日	8 月 19 日	7 月 18 日

注: K 为生长系数 Growth coefficient; t_0 为孵化时间 Incubation time; L_{∞} 为渐近体长 Incremental length; W_{∞} 为渐近体重 Incremental weight; t_r 为生长拐点时间 Turning point time。

表 5 开捕前 8 月平均渔获量

Table 5 The The average catches in August

渔获量 (kg/h) Catches	河口组组 1 Estuary group 1	深水组组 2 Deep-water group 2
鱼类 Fish	44.03	32.23
虾类 Shrimps	6.73	8.22
蟹类 Crab	4.99	13.86
头足类 Cephalopoda	4.53	7.71

致谢: 张培超等同志在中国对虾调查及生物学测定上的艰辛工作, 审稿专家对本文的极大帮助, 在此一并表示感谢。

参考文献 (References):

- [1] 邓景耀, 叶昌臣. 渔业资源学. 重庆: 重庆出版社, 2001.
- [2] 山东省海洋与渔业厅. 山东近海经济生物资源调查与评价. 北京: 海洋出版社, 2010: 391-395.
- [3] 刘莉莉, 万荣, 段媛媛, 王熙杰, 王四杰, 王云中. 山东省海洋渔业资源增殖放流及其渔业效益. 海洋湖沼通报, 2008, (4): 91-98.
- [4] 张秀梅, 王熙杰, 涂忠, 张沛东, 王云中, 高天翔, 王四杰. 山东省海洋渔业资源增殖放流现状与展望. 中国渔业经济, 2009, 27(2): 51-58.
- [5] Borcard D, Gillet F, Legendre P. Numerical Ecology with R. New York: Springer, 2011.
- [6] 李凡, 吕振波, 魏振华, 王田田, 徐炳庆, 王忠全. 2010 年莱州湾底层渔业生物群落结构及季节变化. 中国水产科学, 2013, 20(1): 137-147.
- [7] 叶泉土. 东吾洋中国对虾移植放流效果的研究. 海洋渔业, 1999, (2): 61-65.
- [8] Dall W, Hill B J, Rothlisberg P C. 对虾生物学 (陈楠生等译). 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992: 384-395.
- [9] 邓景耀. 渤海对虾 (*Penaeus orientalis* Kishinouye) 的生长. 海洋水产研究, 1981, (2): 85-93.
- [10] 刘永昌, 高永福. 黄海中部沿海放流增殖对虾秋汛洄游和分布的初步研究. 水产学报, 1990, 14(2): 120-128.
- [11] 周军, 李怡群, 张海鹏, 付仲, 邓鹏春, 李全振. 中国对虾增殖放流跟踪调查与效果评估. 河北渔业, 2006, (7): 27-30.
- [12] 林源, 梁毅峰, 胡守义, 安树升. 海洋岛渔场中国对虾增殖状况及发展. 水产科学, 1999, 18(5): 46-47.
- [13] 倪正泉, 张澄茂. 东吾洋中国对虾的移植放流. 渔业科学进展, 1994, (15): 47-53.
- [14] 徐君卓, 淮彦, 沈云章, 吴祖杰, 孙瑞林, 汪忠强, 楼丹. 中国对虾放流群体在象山港中的移动和分布. 水产学报, 1992, 16(2): 137-146.
- [15] Colvocoresses J A, Musick J A. Species associations and community composition of middle Atlantic Bight continental shelf demersal fishes. Fishery Bulletin, 1984, 82(2): 295-313.
- [16] 李圣法, 严利平, 李长松, 胡芬. 东海北部鱼类组成特征分析. 水产学报, 2004, 28(4): 384-392.
- [17] 邓景耀. 放流增殖对虾资源. 海洋科学, 1983, (6): 55-58.
- [18] 曾一本. 我国对虾移植、增殖放流技术研究进展. 中国水产科学, 1998, 5(1): 74-78.