

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.15036

莱州湾中国明对虾增殖放流策略研究

张波, 金显仕, 吴强, 谢周全

农业部海洋渔业资源可持续利用重点开放实验室, 山东省渔业资源与生态环境重点实验室, 中国水产科学研究院
黄海水产研究所, 山东 青岛 266071

摘要: 为了解增殖放流中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)生长、分布、摄食和食物竞争等状况, 2011 年 5 月至 2012 年 4 月在莱州湾进行了 9 次底拖网调查, 其中仅 4 个航次的调查捕获了中国明对虾。体重瞬时增长系数的计算结果表明, 7 月份是莱州湾放流中国明对虾的快速生长期, 7 月底至 8 月初达到生长拐点, 以后生长减慢。其活动和分布规律表明, 中国明对虾放流后经过一段时间的生长和适应后才开始溯河, 8 月初移出河道向深水扩展, 集中分布在莱州湾西部, 8 月中旬主要集中在莱州湾的西部和湾口, 9 月初至 10 月中旬主要分布在莱州湾湾口和湾外。中国明对虾成虾的摄食范围较广, 是偏重摄食底栖动物饵料的杂食性种类, 摄食生态位宽度与三疣梭子蟹接近; 与三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)及莱州湾渔业资源群落中的 8 种重要种类都存在中等程度或严重的食物竞争, 食物竞争主要源自对双壳类饵料的竞食。本研究为探讨中国明对虾增殖放流的适应性管理策略提供了科学依据。

关键词: 莱州湾; 增殖放流; 中国明对虾; 生长; 食物竞争

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)03-0361-10

保障我国近海生态系统的可持续产出是重大的国家需求。但在过去的几十年中, 在人类活动与气候变化相互叠加产生的多重压力下, 我国近海渔业资源严重衰退, 渔业资源持续下降^[1-2], 许多传统的重要经济种类的补充基本上依赖于增殖放流。山东半岛南部沿海的统计表明, 中国明对虾、三疣梭子蟹的放流群体所占比例均超过了95%^[3]。开展增殖放流, 发展增殖渔业, 是优化种群结构、改善水域环境、促进衰退渔业种群恢复的一个重要途径, 对促进近海渔业资源的可持续利用具有重要的意义。

莱州湾作为黄渤海 8 个增殖放流区之一, 开展中国明对虾增殖放流始于 1985 年, 20 世纪 90 年代中期因虾病暴发而中断, 至 2005 年得以恢复, 近年来放流数量逐年增加, 2011 年的放流量已超过了 5 亿尾^[3]。尽管林群等^[4]对莱州湾中国明对虾增殖生态容量评估结果表明莱州湾中国明对虾仍有较大的增殖潜力, 但当前放流的现状是: (1)产

量并未随放流数量的增加而成正比地上升^[3]; (2)放流的中国明对虾对来年产卵群体的补充贡献较小^[5], 仍属于生产性放流^[6], 对种群的恢复和重建作用不大; (3)与快速发展的增殖放流相对应的却是整个莱州湾的食物网结构仍处于持续衰退中^[7]。由此可见, 科学制定增殖放流策略, 选择合适的种类和数量、地点和时间、规格和结构进行放流, 是维持生态系统的稳定、取得最佳增殖效果以及保障渔业资源可持续利用的必要前提。本研究根据莱州湾逐月底拖网调查, 了解增殖放流中国明对虾的生长、分布、摄食和食物竞争等状况, 为提出中国明对虾增殖放流适应性管理策略提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集和分析

2011 年 5 月至 2012 年 4 月, 利用 350 马力的

收稿日期: 2015-01-21; 修订日期: 2015-02-11.

基金项目: 科技部国家重点基础研究发展计划项目(2011CB409805, 2015CB453303); 山东省泰山学者工程专项.

作者简介: 张波(1971-), 女, 博士, 主要从事鱼类摄食生态及食物网结构的研究. E-mail: zhangbo@ysfri.ac.cn

“鲁昌渔 4193 号”单拖渔船在莱州湾进行了 9 个航次(时间分别为 3 月 21—27 日、4 月 19—23 日、5 月 6—11 日、6 月 9—12 日、7 月 8—12 日、8 月 1—5 日、9 月 6—11 日、10 月 19—23 日、11 月 25—27 日)的底拖网调查, 取样站位和调查网具参数设置等见张波等^[7]。对每站的渔获物进行种类鉴定、计数和称重, 计算单位时间的渔获量(CPUE, g/h)。所有中国明对虾带回实验室进行生物学测定, 对 8 月份调查采集的 90 尾中国明对虾进行胃含物分析。在双筒解剖镜下对胃内的饵料生物进行种类鉴定和计数, 尽量鉴定到最低分类阶元。

1.2 数据分析

用相对重要性指数(IRI)来确定莱州湾 8 月渔业资源群落中各种类的重要性:

$$IRI=(N+W) \times F$$

式中, N 为某一种类的尾数占总尾数的百分比; W 为某一种类的重量占总重量的百分比; F 为某一种类出现的站数占调查站位数的百分比。根据程济生等^[8]的划分标准, $IRI > 1\ 000$ 的为群落的优势种, IRI 值在 $1\ 000 \sim 100$ 的为群落的主要种, 把优势种和主要种作为渔业资源群落的重要种类。

采用个数百分比和出现频率百分比组成来研究中国明对虾的摄食习性和划分食性类型。采用 Levins 多样性指数(B)来研究中国明对虾摄食食物的生态位宽度^[9]:

$$B = \frac{1}{\sum p_i^2}$$

式中, p_i 为饵料生物 i 在中国明对虾食物组成中的个数百分比。

结合张波等^[10]对莱州湾主要鱼种的胃含物分析结果, 以及邓景耀等^[11]、程济生等^[12]和姜卫民等^[13]对无脊椎动物食物组成的研究结果, 分析莱州湾放流中国明对虾的食物竞争状况。用 Pianka^[14]提出的公式计算中国明对虾与其他种类的食物重叠系数:

$$Q_{ij} = \frac{\sum_i^n P_{ik} \cdot P_{jk}}{(\sum_i^n P_{ik}^2 \cdot \sum_j^n P_{jk}^2)^{1/2}}$$

式中, Q_{ij} 为捕食者 i 和 j 的食物重叠系数; P_{ik} 为饵

料生物 k 在捕食者 i 食物组成中的个数百分比; P_{jk} 为饵料生物 k 在捕食者 j 食物组成中的个数百分比。 Q_{ij} 值的范围为 $0 \sim 1$, 值越大说明两捕食者之间的食物越相似, 竞争越激烈。 Q_{ij} 值为 0 表示捕食者之间的摄食相互独立, 没有食物竞争; Q_{ij} 值为 1 表示捕食者之间的食物组成完全相同; 将食物重叠水平分为 3 级: $Q_{ij} < 0.30$ 、 $0.30 < Q_{ij} < 0.60$ 和 $Q_{ij} > 0.60$, Q_{ij} 值大于 0.6 被认为饵料重叠严重^[13, 15]。

2 结果与分析

2.1 莱州湾放流中国明对虾的生长

在莱州湾 9 个航次的调查中, 仅有 4 个航次捕获了中国明对虾。从各航次中国明对虾的 CPUE 分布分析(图 1), 在 7 月初的调查中, 靠近小清河口的 7214 站捕获中国明对虾, 渔获量仅为 7.22 g/h; 在 8 月初的调查中, 18 个站有 11 个站捕获到中国明对虾, 渔获量为 663 g/h, 集中分布在莱州湾西部; 9 月初调查的 18 个站中有 11 个站捕获到中国明对虾, 渔获量为 131 g/h, 主要分布在莱州湾湾口和湾外; 10 月调查的 18 个站有 7 个站捕获到中国明对虾, 渔获量为 39.56 g/h, 主要分布在莱州湾湾口外。

从中国明对虾的生长分析来看(图 2), 在 7 月 8—12 日的调查中捕获中国明对虾 16 尾, 平均体重为 8.13 g。8 月 1—5 日共捕获中国明对虾 479 尾, 体长范围为 89~152 mm, 平均体长 127.64 mm, 64.55% 个体体长集中在 120~140 mm; 体重范围为 7.50~38.58 g, 平均体重 21.59 g, 89.56% 的个体体重集中在 10~30 g。9 月 6—11 日共捕获中国明对虾 53 尾, 体长范围为 117~202 mm, 平均体长 169.92 mm, 72.73% 个体体长集中在 150~190 mm; 体重范围为 11~80 g, 平均体重 44.88 g, 70.59% 的个体体重集中在 30~70 g。10 月 19—23 日共捕获中国明对虾 14 尾, 体长范围为 126~217 mm, 平均体长 173.67 mm; 体重范围为 15~95 g, 平均体重 50.71 g。

2.2 中国明对虾的摄食

在分析的 90 尾中国明对虾[体长范围为 111~152 mm, 平均体长为(133.22±9.29) mm]胃

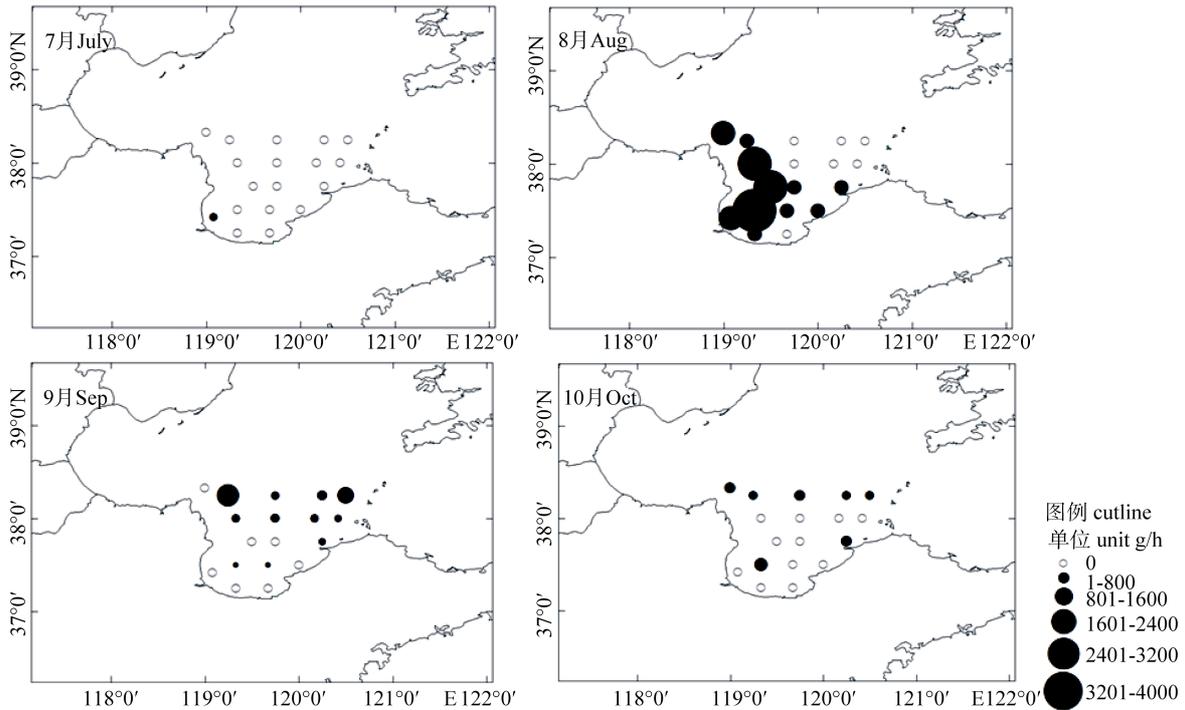


图 1 莱州湾中国明对虾单位时间渔获量(CPUE)分布

Fig.1 CPUE distribution of *Fenneropenaeus chinensis* in Laizhou Bay

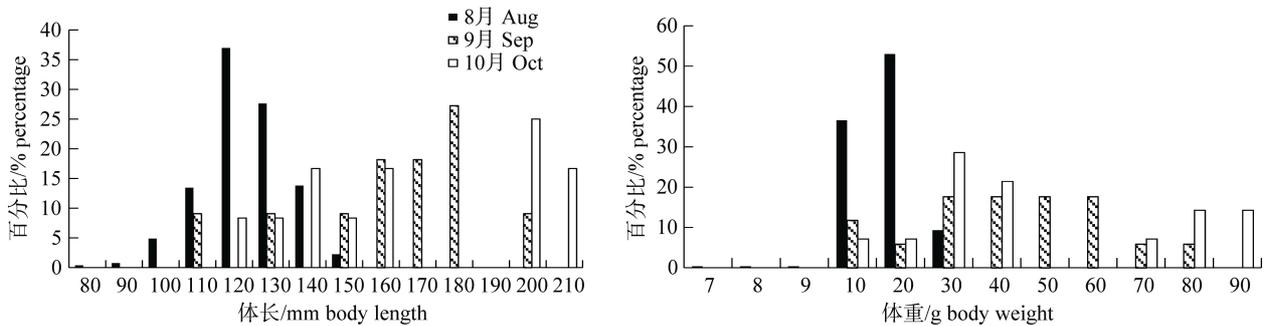


图 2 莱州湾中国明对虾的体长和体重分布

Fig.2 Body length and weight distribution of *Fenneropenaeus chinensis* in Laizhou Bay

含物样品中, 有 19 个空胃, 摄食率为 78.89%。食物组成包括了浮游植物、原生动物、桡足类、介形类、糠虾类、钩虾类、多毛类、涟虫类、双壳类、腹足类、端足类、等足类、长尾类、短尾类和海胆类, 共 15 类(表 1)。摄食浮游植物饵料的个数百分比和出现频率百分比组成分别为 11.55%和 14.38%, 浮游动物饵料分别占 20.12%和 21.25%, 底栖动物饵料分别占 68.33%和 64.37%, 可见, 中国明对虾是摄食范围较广, 偏重摄食底栖动物饵料的杂食性种类。中国明对虾

摄食的底栖动物饵料主要是双壳类和钩虾类, 其个数百分比分别为 45.42%和 11.16%; 出现频率百分比分别为 40.00%和 10.62%。中国明对虾摄食食物的 Levins 多样性指数为 3.52。

2.3 莱州湾中国明对虾的食物竞争

莱州湾 8 月渔业资源群落中, 14 种重要种类的渔获量占总渔获量的 92.64%(表 2), 其中优势种有 4 种: 矛尾虾虎鱼、口虾蛄、日本枪乌贼和斑鲈, 其中矛尾虾虎鱼的渔获尾数最多, 占总渔获尾数的 35.54%; 口虾蛄的渔获量最高, 占总渔

表 1 中国明对虾的食物组成
Tab. 1 Diet composition of *Fenneropenaeus chinensis*

饵料种类 prey item	个数百分比 /% N	出现频率百分 比组成/% F	饵料种类 prey item	个数百分比 /% N	出现频率百分 比组成/% F
园筛藻 <i>Coscinodiscus</i> sp.	8.17	10.00	多毛类 Polychaeta	1.00	2.50
虹彩园筛藻 <i>Coscinodiscus oculusiridis</i>	1.00	1.25	勒特蛤 <i>Raeta pulchella</i>	0.80	0.62
星脐园筛藻 <i>Coscinodiscus asteromphalus</i>	1.59	2.50	凸壳肌蛤 <i>Musculus senhousiei</i>	1.39	0.62
根管藻 <i>Rhizosolenia</i> sp.	0.80	0.62	偏顶蛤 <i>Modiolus modiolus</i>	0.20	0.62
拟铃虫 <i>Tintinnopsis</i>	0.80	1.25	薄片镜蛤 <i>Dosinia corrugata</i>	0.40	0.62
猛水蚤 Harpacticoida	0.40	0.62	脆壳理蛤 <i>Theora frugilis</i>	0.40	0.62
小毛猛水蚤 <i>Microsetella norvegica</i>	0.40	0.62	理蛤 <i>Theora</i> sp.	0.80	0.62
介形类 Ostracoda	3.59	4.37	樱蛤 <i>Tellinidae</i> sp.	2.59	2.50
长尾类蚤状幼体 <i>Macrura zoea</i>	5.18	4.37	镜蛤 <i>Dosinia</i> sp.	7.57	8.12
短尾类大眼幼体 <i>Brachyura megalopa</i>	1.00	1.25	云母蛤 <i>Yoldia</i> sp.	0.80	0.62
糠虾 Mysidacea	8.37	8.75	蓝蛤 <i>Potamocorbula</i> sp.	0.80	1.25
长额刺糠虾 <i>Acanthomysis longirostris</i>	1.20	1.25	其他双壳类 other Bivalvia	29.68	23.74
钩虾 <i>Gammarid amphipods</i>	5.58	6.25	腹足类 Gastropoda	0.40	0.62
拟钩虾 <i>Gammaropsis</i> sp.	4.78	3.12	端足类 Amphipoda	6.37	3.12
玻璃钩虾 <i>Hyale</i> sp.	0.40	0.62	等足类 Isopoda	0.80	1.87
螺赢蜚 <i>Corophium</i> sp.	0.40	0.62	短尾类 <i>Brachyura</i>	0.60	1.25
涟虫类 Cumacea	0.60	1.25	长尾类 <i>Macrura</i>	0.40	0.62
中国涟虫 <i>Bodoeria chinensis</i>	0.20	0.62	海胆类 Echinoidea	0.60	0.62

表 2 莱州湾 8 月渔业资源群落的重要种类及与中国明对虾的食物重叠指数

Tab. 2 Important species of fishery resources community and the dietary overlap coefficient with *Fenneropenaeus chinensis* in Laizhou Bay in August

种类 species	重量百分比 /% W	个数百分 比/% N	出现频率 /% F	相对重要 性指数 IRI	摄食习性 feeding habits	食物重叠指数 Q_{ij} with <i>F. chinensis</i>
矛尾虾虎鱼 <i>Chaeturichthys stigmatias</i>	21.85	35.54	94.44	5420	底栖动物食性 ^[10] benthivores ^[10]	0.84
口虾蛄 <i>Oratosquilla oratoria</i>	26.23	11.33	88.89	3339	底栖动物食性 ^[11] benthivores ^[11]	0.52
日本枪乌贼 <i>Loligo japonica</i>	11.09	13.47	94.44	2319	广食性 ^[12] generalist predators ^[12]	0.20
斑鲦 <i>Clupanodon punctatus</i>	10.25	7.96	83.33	1518	杂食性 ^[10] omnivores ^[10]	0.58
日本蟳 <i>Charybdis japonica</i>	6.20	1.39	94.44	717	底栖动物食性 ^[13] benthivores ^[13]	0.64
葛氏长臂虾 <i>Palaemon gravieri</i>	0.94	9.15	50.00	505	底栖动物食性 ^[12] benthivores ^[12]	0.97
短吻红舌鲷 <i>Cynoglossus joyneri</i>	3.57	2.04	77.78	437	底栖动物食性 ^[10] benthivores ^[10]	0.75
绯鲻 <i>Callionymus beniteguri</i>	1.02	3.14	94.44	393	底栖动物食性 ^[10] benthivores ^[10]	0.85
隆线强蟹 <i>Eucrate crenata</i>	2.28	1.58	44.44	172	—	—
蓝点马鲛 <i>Scomberomorus niphonius</i>	2.90	0.36	50.00	163	鱼食性 piscivores ^[10]	0.01
矛尾复虾虎鱼 <i>Synechogobius hasta</i>	2.17	2.07	50.00	154	底栖动物食性 ^[10] benthivores ^[10]	0.32
日本关公蟹 <i>Dorippe japonica</i>	1.22	1.06	61.11	139	—	—
白姑鱼 <i>Argyrosomus argentatus</i>	1.56	1.35	38.89	113	底栖动物食性 ^[10] benthivores ^[10]	0.15
中国明对虾 <i>Fenneropenaeus chinensis</i>	1.36	0.38	61.11	106	杂食性 omnivores	—
三疣梭子蟹 <i>Portunus trituberculatus</i>	0.95	0.05	38.89	39	底栖动物食性 ^[13] benthivores ^[13]	0.80

Note: *W* represents percent of weight; *N* represents percent of number; *F* represents percent of occurrence; IRI represents index of relative importance; Q_{ij} represents dietary overlap index.

获量的 26.23%; 均为底栖动物食性种类。主要种有 10 种, 包括 5 种鱼类(短吻红舌鲷、绯鲮、蓝点马鲛、矛尾复虾虎鱼和白姑鱼)和 5 种虾蟹类(日本蟳、葛氏长臂虾、隆线强蟹、日本关公蟹和中国明对虾)。作为莱州湾主要的增殖放流种类, 中国明对虾是莱州湾 8 月渔业资源群落的重要种类, 渔获量占总渔获量的 1.36%; 而三疣梭子蟹不是重要种类, 渔获量仅占总渔获量的 0.95%。胃含物研究(表 2)表明莱州湾渔业资源群落的重要种类以底栖动物食性为主, 占总渔获量的 63.54%; 其次是杂食性种类和广食性种类, 鱼食性种类所占的比例较少。

将饵料种类归为 13 个大类(浮游植物、糠虾类、多毛类、原生动物、双壳类、腹足类、端足类、等足类、短尾类、长尾类、棘皮动物、其他甲壳类和鱼类)计算中国明对虾与三疣梭子蟹、口虾蛄、日本蟳、矛尾复虾虎鱼、斑鲮、短吻红舌鲷、绯鲮、蓝点马鲛、矛尾复虾虎鱼和白姑鱼的食物重叠系数; 将饵料种类归为浮游植物、浮游动物、底栖动物和游泳动物 4 大类计算中国明对虾与葛氏长臂虾和日本枪乌贼的食物重叠系数。结果表明(表 2), 中国明对虾除与鱼食性的蓝点马鲛、广食性的日本枪乌贼、底栖动物食性的白姑鱼的食物竞争较弱以外; 与杂食性的斑鲮和底栖动物食

性的口虾蛄和矛尾复虾虎鱼存在中等强度的食物竞争, 与三疣梭子蟹和其余 5 种底栖动物食性的重要种类都存在严重的食物竞争。

3 讨论

3.1 莱州湾增殖放流中国明对虾的生长及其适应性管理策略

20 世纪 70 年代, 莱州湾中国明对虾每年提供的幼虾资源量占渤海对虾总资源量的 40%左右^[16], 由于过度捕捞、生境污染、产卵场被挤占等原因, 中国明对虾资源逐渐衰退, 渤海自 1985 年开展中国明对虾放流。山东半岛南部沿海 2010—2012 年连续 3 年中国明对虾增殖放流效果的评估结果表明放流群体所占平均比例已高达 97.68%^[3]。因此, 研究放流中国明对虾的生长规律以提出其增殖放流适应性管理策略是非常必要的。莱州湾中国明对虾的产卵群体在 4 月下旬就到达各河口产卵场^[17], 而放流中国明对虾一般是在 5 月下旬放流小规格苗种, 6 月中旬放流大规格苗种(表 3)^[3]。在本研究 9 个航次的调查中, 放流前的 4 个航次均未捕获中国明对虾, 仅在放流后的 4 个航次捕获了中国明对虾, 因此, 本研究采集的中国明对虾应该主要源自增殖放流, 这同时也表明莱州湾的中国明对虾群体以增殖放流群体为主。

表 3 2011 年莱州湾中国明对虾放流情况统计(修改自金显仕^[3])

Tab. 3 Statistics of *Fenneropenaeus chinensis* released in Laizhou Bay in 2011(revised from Jin^[3])

放流海域 releasing area	放流地点 releasing place	放流时间 date	平均体长/mm mean length	放流数量/ $\times 10^4$ number	合计/ $\times 10^4$ total
莱州湾东部 east of Laizhou Bay	莱州 Laizhou	5.26	11.0	9137	9137
莱州湾南部 south of Laizhou Bay	寒亭 Hanting	6.11	30.6	9524	18651
	昌邑 Changyi	6.21	38.3	9127	
	潍坊 Weifang	6.12	41.1	4549	
莱州湾西部 west of Laizhou Bay	垦利 Kenli	6.10	32.4	7536	23392
	东营 Dongying	6.15	37.0-37.1	11307	

莱州湾放流中国明对虾在 8 月初的平均体长为(127.64 \pm 11.44) mm, 平均体重为(21.59 \pm 5.54) g(图 2); 8 月 14—19 日放流中国明对虾的体长达 149.5 mm(范围为 120~175 mm), 体重达 38.5 g(范围为 22~60 g)(图 3)^[5], 远大于 1965—1979 年同时

期莱州湾野生中国明对虾群体(74.04 \pm 7.74) mm 的平均体长^[17]。与邓景耀等^[17]统计的 1970—1979 年渤海秋汛对虾的平均体重相比(表 4), 9 月上旬放流中国明对虾的体重高于同时期野生群体 31.49 g 的平均体重, 但 10 月中、下旬放流中国明

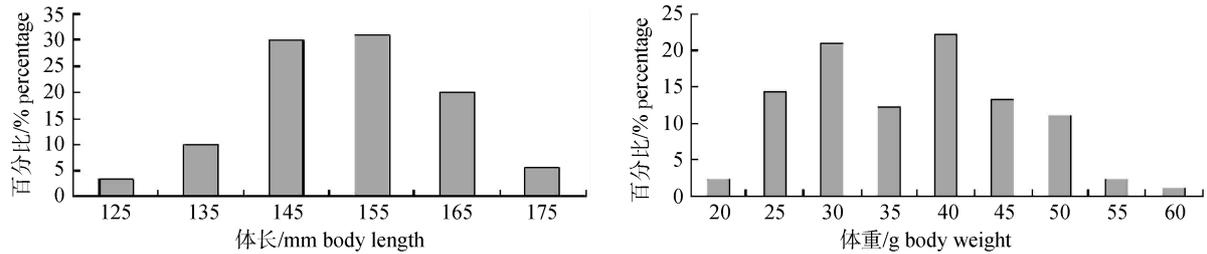


图 3 8 月中旬莱州湾中国明对虾的体长和体重分布(引自李忠义等^[5])

Fig.3 Body length and weight distribution of *Fenneropenaeus chinensis* in Laizhou Bay in the middle of August (cite from Li et al^[5])

表 4 放流中国明对虾的体重瞬时增长系数(G)

Tab. 4 Instantaneous growth coefficient (G) of *Fenneropenaeus chinensis* released

调查时间 date	平均体重/g mean weight	G
6 月 29—30 日 June 29—30	1.59	—
7 月 8—12 日 July 8—12	8.13	11.66
8 月 1—5 日 Aug 1—5	21.59	3.37
8 月 14—19 日 Aug 14—19	38.50	3.04
9 月 6—11 日 Sep 6—11	44.88	0.55
10 月 19—23 日 Oct 19—23	50.71	0.26

对虾的体重就与同时期野生群体 49.83~51.95 g 的平均体重接近了。

莱州湾沿岸约有 10 个中国明对虾放流点^[3], 放流的时间、批次较多(表 3), 难以估算莱州湾放流中国明对虾的生长方程, 因此采用体重瞬时增长系数 $[G=100 \times (\ln W_2 - \ln W_1)/t]$ 来评估其生长规律^[17]。根据本研究的调查结果, 结合李忠义等^[5]在莱州湾开展的中国明对虾跟踪调查(7 月 23—30 日的调查仅捕获 1 尾中国明对虾, 不计入统计)可以厘清莱州湾增殖放流中国明对虾的生长规律(表 4)。7 月份是莱州湾放流中国明对虾的快速生长期, 7 月底至 8 月初达到生长拐点, 以后生长减慢; 这与鳌山湾放流中国明对虾 7 月 18 日至 8 月 3 日达到生长拐点, 8 月初已越过生长迅速阶段, 8 月底以后生长缓慢的生长规律相似^[18]。放流虾群的生长拐点早于野生虾群 8 月 8—19 日到达生长拐点的时间, 但放流中国明对虾 9—10 月的体重瞬时增长系数仅为 0.26, 低于 1970—1979 年渤海野生虾群 0.92 的体重瞬时增长系数^[17]。可见, 放流中国明对虾快速生长期早于野生虾群, 但持续时间短于野生虾群, 这就是上述放流虾群与野生虾群同时期个体差异的原因。莱州湾中国明对虾

的开捕时间为 8 月 20 日, 此时中国明对虾的个体较鳌山湾放流中国明对虾小, 如延迟开捕时间至 9 月 1 日, 此期间的体重瞬时增长系数可维持在 1.7 左右, 还具有一定的生长潜力。因此, 适当地延迟开捕时间可获得更高的产量。

3.2 莱州湾增殖放流中国明对虾的分布及其适应性管理策略

邓景耀等^[17]的研究表明, 中国明对虾的幼体在发育变态为仔虾(3.9~30 mm)后离开产卵场, 开始溯河游向低盐的河口和河道水域内生活。随着个体的不断增长, 耐低盐的能力也逐渐减弱, 加之浅水水温迅速升高, 幼虾逐渐移至河口附近海区或渐向深水移动; 莱州湾虾群每年 8 月初即由近岸浅水向深水移动; 8 月上旬可扩展至 8~14 m 水深处。当前, 对放流中国明对虾的追踪调查可以厘清莱州湾增殖放流中国明对虾的生长活动和分布规律, 有助于提出相应的增殖放流适应性管理策略。莱州湾在 5 月下旬至 6 月中旬放流中国明对虾, 放流苗种体长在 10~40 mm(表 3), 随后开展追踪调查。6 月底 14 个站中有 6 站捕获中国明对虾 76 尾, 体长范围为 46~61 mm; 7 月初仅在靠近小清河口的站位捕获中国明对虾 16 尾; 7 月中旬 15 个站只有 1 站捕获中国明对虾 1 尾; 8 月初 18 个站有 11 个站捕获中国明对虾 479 尾。其分布规律是: 8 月初放流中国明对虾集中分布在莱州湾西部; 8 月中旬主要集中在莱州湾的西部和湾口; 9 月初至 10 月中旬主要分布在莱州湾湾口和湾外(图 1 和图 4)。可见, 放流中国明对虾基本保持了与野生中国明对虾相似的生长活动规律, 但放流后需经过一段时间的生长和适应后才开始溯河, 7 月份主要在河道内生活, 8 月初移出河道

向深水扩展。尽管在莱州湾沿岸都有中国明对虾的增殖放流(表 3), 但放流后中国明对虾在莱州湾的分布特点为当前增殖放流地点的选择提供了参考。

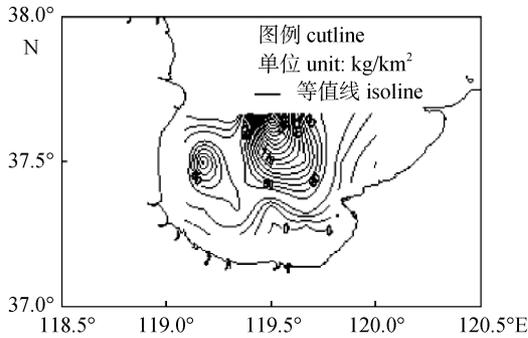


图 4 8 月中旬莱州湾中国明对虾的分布(引自李忠义等^[5])

Fig.4 Distribution of *Fenneropenaeus chinensis* in the Laizhou Bay in the middle of August (cite from Li et al^[5])

从虾卵和幼虾数量分布方面分析, 莱州湾的主要河流大都分布在西部, 因此湾西部是对虾繁殖、生长的主要场所; 湾南部的潍河口、胶莱河口和芙蓉岛(湾东部)一带也有亲虾产卵, 但虾卵和幼虾数量比西部少很多^[19]。从环境条件和敌害生物的分布方面分析, 邓景耀等^[17]认为莱州湾的西岸黄河口附近海区是比较适宜的放流海区, 但其东岸的环境条件则与西岸截然不同, 这里是沙质底质, 透明度较大, 又是三疣梭子蟹的集中索饵分布区, 该海区显然不适于放流对虾种苗。1985—1986 年莱州湾标志放流的试验结果也表明湾西部的回捕率高, 湾南部的回捕率低^[17]。中国明对虾放流时处于仔虾阶段(表 3), 以摄食浮游植物饵料为主^[17], 放流期间浮游植物的丰度是决定虾苗存活率的重要因素之一。莱州湾近岸海域浮游植物群落的研究表明湾东部在放流期间浮游植物细胞丰度较低(图 5)^[20], 可见, 从饵料基础分析, 莱州湾东部也不适宜中国明对虾的放流。综上所述, 结合本研究放流中国明对虾的生长分布规律, 表明莱州湾西部仍然是优于湾南部和东部的中国明对虾增殖放流最佳地点。随着莱州湾食物网结构的变化^[7], 中国明对虾主要敌害生物——鲈、三疣梭子蟹等资源量下降^[1], 进一步研究需采集水深小于 5 m 的内湾、河口附近的浅水区和定置网

密布的海区的渔获物, 才能研究敌害生物对中国明对虾增殖放流的危害^[21]。

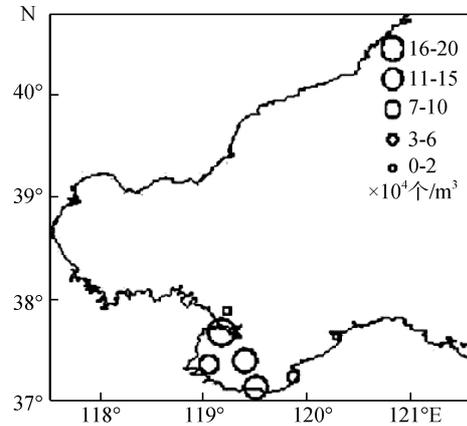


图 5 5 月份莱州湾近岸海域浮游植物的数量分布(引自宁璇璇等^[20])

Fig.5 Distribution of phytoplankton in the nearshore waters of Laizhou Bay in May (cite from Ning et al^[20])

3.3 莱州湾增殖放流中国明对虾的摄食和食物竞争及其适应性管理策略

本研究中莱州湾增殖放流中国明对虾在 8 月初的摄食率为 78.89%, 高于 1959—1963 年同时期野生虾群 52.7%的摄食强度^[17], 这可能与此阶段放流中国明对虾生长更快、个体更大有关。从摄食食物种类分析, 放流中国明对虾成虾的摄食范围较广, 是偏重摄食底栖动物饵料的杂食性种类; 摄食的底栖动物饵料主要是双壳类和钩虾类, 这与邓景耀等^[17]和程济生等^[12]的研究结果相似。将饵料种类归为相同的大类后计算得出中国明对虾的摄食生态位宽度低于日本蟳($B=6.03$), 与三疣梭子蟹($B=3.97$)接近^[13], 因此, 中国明对虾与三疣梭子蟹间的食物竞争程度强于其与日本蟳间的食物竞争。

由于是将饵料种类归为浮游植物、浮游动物、底栖动物和游泳动物 4 大类计算中国明对虾与葛氏长臂虾和日本枪乌贼的食物重叠系数, 可能高估了它们之间的食物竞争。尽管白姑鱼是底栖动物食性种类, 但由于主要摄食底层虾蟹类^[8], 因此与中国明对虾食物竞争较弱。除此之外, 中国明对虾与莱州湾渔业资源群落的其余 8 种重要种

类都存在中等强度或严重的食物竞争,而它们之间的食物竞争主要是由于均摄食较多的双壳类饵料。邓景耀等^[17]的研究表明渤海中国明对虾放流量可达 40 亿~100 亿尾,按莱州湾中国明对虾每年提供的幼虾资源量占渤海对虾总资源量的 40%左右^[16]计算,莱州湾的放流量应为 16 亿~40 亿尾,同时他认为饵料生物数量和水平是中国明对虾增殖容量的一个重要限制因素。随着莱州湾渔业资源食物网结构的演变,当前莱州湾生态系统以底栖生物食性种类为主,对底栖动物的饵料竞争增强^[7];然而当前莱州湾底栖动物种类组成和群落结构发生了改变,总的来说是朝向更小型的多毛类和甲壳类比例增加,而体型较大的棘皮动物和双壳类软体动物种类减少的方向发展^[22];而且生物量也呈下降趋势,由 1958—1960 年的 9.16 g/m² 下降到 2006 年的 4.94 g/m², 2011 年的 3.83 g/m² (均按生物量鲜质量:干质量=5:1 的比例将底栖动物生物量换算为干质量)^[17, 22-23]。可见,仅从饵料基础和食物竞争状况分析,莱州湾中国明对虾的放流量就应减少为 5 亿~10 亿尾,当前的放流量应该是较合理的(表 3)。采用 Ecopath 模型对莱州湾当前中国明对虾和三疣梭子蟹增殖生态容量的估算结果表明,放流量均可在现有基础上提高 2~3 倍,但同时研究者也认为这只是一个理论的上限,实际放流量应减半才能获得最大可持续产量^[4, 24]。因此,综合考虑当前莱州湾食物网结构和饵料基础、多个放流种类间的食物竞争以及生态系统的可持续利用,当前中国明对虾的放流量应该还是比较合理的(表 3)。

4 结论

在海洋渔业资源衰退的大背景下,增殖放流越来越凸显出其在保障我国近海生态系统可持续产出这一重大国家需求中的重要性,因此,增殖放流适应性管理策略的研究也是非常重要和必要的。本研究通过对莱州湾主要的增殖放流品种——中国明对虾的生长、分布、摄食和食物竞争等的研究,初步探讨其增殖放流的适应性管理策略:(1)放流中国明对虾快速生长期早于野生虾群,但

持续时间短于野生虾群,在 8 月 20 日开捕时,体重瞬时增长系数仍可维持在 1.7 左右,还具有一定的生长潜力,适当地延迟开捕时间可获得更高的产量。(2)放流中国明对虾的生长分布规律进一步证明了莱州湾西部仍然优于湾南部和东部,是增殖放流中国明对虾的最佳地点。进一步研究需采集水深小于 5 m 的内湾、河口附近的浅水区和定置网密布的海区的渔获物,研究敌害生物对中国明对虾增殖放流的危害,以制订更合理的增殖放流适应性管理策略。(3)中国明对虾与三疣梭子蟹及莱州湾渔业资源群落中的 8 种重要种类都存在中等强度或严重的食物竞争,从饵料基础和食物竞争状况分析,当前的放流量应该是较合理的。(4)目前莱州湾已经开展放流的物种主要有中国明对虾、三疣梭子蟹、海蜇、鲛、半滑舌鲷、黑鲷、褐牙鲆及贝类等^[3],从生态系统的可持续利用出发,系统研究多种增殖放流种类的适应性管理策略势在必行。

参考文献:

- [1] Shan X J, Jin X S, Li Z Y, et al. Fish community structure and stock dynamics of main releasing fish species in the Bohai Sea[J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(6): 1-9.[单秀娟, 金显仕, 李忠义, 等. 渤海鱼类群落结构及其主要增殖放流鱼类的资源量变化[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(6): 1-9.]
- [2] Jin X, Shan X, Li X, et al. Long-term changes in the fishery ecosystem structure of Laizhou Bay, China[J]. Sci Chin Earth Sci, 2013, 56(3): 366-374.
- [3] Jin X S. The foundation and prospect of stock enhancement of fishery resources in the Bohai Sea and Yellow Sea[M]. Beijing: Science Press, 2014: 395.[金显仕. 黄渤海渔业资源增殖基础与前景[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 395.]
- [4] Lin Q, Li X S, Li Z Y, et al. Ecological carrying capacity of Chinese shrimp stock enhancement in Laizhou Bay of East China based on Ecopath model[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(4): 1131-1140.[林群, 李显森, 李忠义, 等. 基于 Ecopath 模型的莱州湾中国对虾增殖生态容量[J]. 应用生态学报, 2013, 24(4): 1131-1140.]
- [5] Li Z Y, Wang J, Zhao Z L, et al. Resources enhancement of *Fenneropenaeus orientalis* in the Bohai Sea[J]. Progress in Fishery Sciences, 2012, 33(3): 1-7.[李忠义, 王俊, 赵振良, 等. 渤海中国对虾资源增殖调查[J]. 海洋

- 科学进展, 2012, 33(3): 1-7.]
- [6] Bell J, Leber K, Blankenship H., et al. A new era for restocking, stock enhancement and sea ranching of coastal fisheries resources[J]. *Rev Fish Sci*, 2008, 16: 1-9.
- [7] Zhang B, Wu Q, Jin X S. Interannual variation in the food web of commercially harvested species in Laizhou Bay from 1959 to 2011[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2015, 22(2): 1-10.[张波, 吴强, 金显仕. 1959-2011年间莱州湾渔业资源群落食物网结构的变化[J]. *中国水产科学*, 2015, 22(2): 1-10.]
- [8] Cheng J S, Yu L F. The change of structure and diversity of demersal fish communities in the Yellow Sea and East China Sea in winter[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2004, 28(1): 29-34.[程济生, 俞连福. 黄、东海冬季底层鱼类群落结构及多样性变化[J]. *水产学报*, 2004, 28(1): 29-34.]
- [9] Levins R. *Evolution in Changing Environments*[M]. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1968.
- [10] Zhang B, Wu Q, Jin X S. Feeding ecology of fish assemblages and its variations in the Laizhou Bay[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2013, 34(2): 1-9.[张波, 吴强, 金显仕. 莱州湾鱼类群落的营养结构及其变化[J]. *渔业科学进展*, 2013, 34(2): 1-9.]
- [11] Deng J Y, Cheng J S. Studies on the fishery biology of the mantis shrimp *Oratosquilla oratoria* in the Bohai Sea[M]// *Transactions of the Chinese Crustacean Society*. Qingdao: Qingdao Ocean University Press, 1992, 3: 36-44.[邓景耀, 程济生. 渤海口虾蛄渔业生物学研究[M]//甲壳动物论文集. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992, 3: 36-44.]
- [12] Cheng J S, Zhu J S. Study on the feeding habit and trophic level of main economic invertebrates in the Huanghai Sea[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1997, 19(6): 102-108.[程济生, 朱金声. 黄海主要经济无脊椎动物摄食特征及其营养层次的研究[J]. *海洋学报*, 1997, 19(6): 102-108.]
- [13] Jiang W M, Meng T X, Chen R S, et al. Diet of *Charybdis japonica* and *Portunus trituberculatus* in the Bohai Sea[J]. *Marine Fisheries Research*, 1998, 19(1): 54-59.[姜卫民, 孟田湘, 陈瑞盛, 等. 渤海日本螯和三疣梭子蟹食性的研究[J]. *海洋水产研究*, 1998, 19(1): 54-59.]
- [14] Pianka E. The structure of lizard communities[J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 1973, (4): 53-74.
- [15] Keast A. Trophic and spatial interrelationships in the fish species of an Ontario temperate lake[J]. *Env Biol Fish*, 1978, (3): 7-31.
- [16] Liu C Z, Yan J J, Cui W X. Study on method of quantity forecast on Chinese shrimp in the Bohai Sea in autumn[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1981, 5(1): 65-73.[刘传楨, 严隽箕, 崔维喜. 渤海秋汛对虾数量预报方法的研究[J]. *水产学报*, 1981, 5(1): 65-73.]
- [17] Deng J Y, Ye C C, Liu Y C. Resources management of Chinese shrimp in the Bohai Sea and Yellow Sea[M]. Beijing: China Ocean Press, 1990: 283.[邓景耀, 叶昌臣, 刘永昌. 渤海黄海的对虾及其资源管理[M]. 北京: 海洋出版社, 1990: 283.]
- [18] Li Z Y, Jin X S, Wu Q, et al. Studies on the *Fenneropenaeus orientalis* released in the Aoshan Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(3): 410-416.[李忠义, 金显仕, 吴强, 等. 鳌山湾增殖放流中国明对虾的研究[J]. *水产学报*, 2014, 38(3): 410-416.]
- [19] Liu Y C. The preliminary research on migratory and distribution of Chinese shrimp in Laizhou Bay in autumn[J]. *Marine Fisheries*, 1982, (5): 195-199.[刘永昌. 秋汛莱州湾对虾洄游分布规律的初步研究[J]. *海洋渔业*, 1982, (5): 195-199.]
- [20] Ning X X, Ji L, Wang G, et al. Phytoplankton community in the nearshore waters of Laizhou Bay in 2009[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2011, (3): 97-104.[宁璇璇, 纪灵, 王刚, 等. 2009年莱州湾近岸海域浮游植物群落的结构特征[J]. *海洋湖沼通报*, 2011, (3): 97-104.]
- [21] Tang Q S, Wei C, Jiang W M. Predator species of fishery resources enhancement and their predation on enhancement species in Laizhou Bay of Bohai Sea[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(2): 199-206.[唐启升, 韦晟, 姜卫民. 渤海莱州湾渔业资源增殖的敌害生物及其对增殖种类的危害[J]. *应用生态学报*, 1997, 8(2): 199-206.]
- [22] Zhou H, Hua E, Zhang Z N. Community structure of macrobenthos in Laizhou Bay and adjacent waters[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2010, 40(8): 80-87.[周红, 华尔, 张志南. 秋季莱州湾及邻近海域大型底栖动物群落结构的研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2010, 40(8): 80-87.]
- [23] Li S W, Li F, Zhang Y, et al. Secondary productivity of macrobenthos in Laizhou Bay, East China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(1): 190-197.[李少文, 李凡, 张莹, 等. 莱州湾大型底栖动物的次级生产力[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(1): 190-197.]
- [24] Zhang M L, Leng Y S, Lv Z B, et al. Estimating the ecological carrying capacity of *Portunus trituberculatus* in Laizhou Bay[J]. *Marine Fisheries*, 2013, 35(3): 303-308.[张明亮, 冷悦山, 吕振波, 等. 莱州湾三疣梭子蟹生态容量估算[J]. *海洋渔业*, 2013, 35(3): 303-308.]

Enhancement and release of Chinese shrimp in Laizhou Bay

ZHANG Bo, JIN Xianshi, WU Qiang, XIE Zhouquan

Key Laboratory for Sustainable Utilization of Marine Fishery Resources, Ministry of Agriculture; Key Laboratory for Fishery Resources and the Eco-environment, Shandong Province; Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China

Abstract: Ensuring a sustainable output from the Chinese coastal sea ecosystem is important to keep up with national demand. Enhancement and release of marine resources has become more and more important because of the continual decline in marine fishery resources. Studying the growth, distribution, feeding habits, and feeding competition of released Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*, provides a scientific basis for discussing the adaptability of an enhance and release management strategy for Laizhou Bay. Nine bottom-trawl surveys were conducted in Laizhou Bay from May 2011 to April 2012, including March 21–27, April 19–23, May 6–11, June 9–12, July 8–12, August 1–5, September 6–11, October 19–23, and November 25–27. Chinese shrimp were caught only in four surveys conducted on July 8–12, August 1–5, September 6–11, and October 19–23. This result suggests that Chinese shrimp in Laizhou Bay mainly came from the enhance and release program. The instantaneous growth coefficient [$G = 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1)/t$] of the released Chinese shrimp showed that the shrimp grew fastest in July, and then the growth rate came to an inflection point at the end of July or early August. Growth slowed thereafter. The distribution pattern indicated that the released Chinese shrimp underwent an anadromous migration after a period of growth and adaptation, migrated from the river, and moved to deep water in early August. The released Chinese shrimp were concentrated in west Laizhou Bay in early August and in the bay mouth and west Laizhou Bay in mid-August, and mainly distributed in the bay mouth and outside of the bay in early September and mid-October. Ninety stomach samples were collected during the August 1–5 survey and were analyzed. The adult Chinese shrimp were omnivorous with a wide feeding range but were biased toward feeding on benthic prey. The feeding rate was 78.89%, and the feeding niche breadth was close to that of blue crab, *Portunus trituberculatus*. The dietary overlap index showed moderate or severe feeding competition between Chinese shrimp, blue crab, and eight other important fishery resource species in the Laizhou Bay community, including *Clupanodon punctatus*, *Oratosquilla oratoria*, *Synechogobius hasta*, *Chaeturichthys stigmatias*, *Charybdis japonica*, *Palaeomon gravieri*, *Cynoglossus joyneri*, and *Callionymus beniteguri*. Feeding competition was mainly associated with bivalve prey. According to growth, distribution, feeding habits, and feeding competition of the released Chinese shrimp, a preliminary discussion about adapting an enhance and release management strategy was conducted. Fishing for released Chinese shrimp in Laizhou Bay began on August 20. However, the instantaneous growth coefficient of the shrimp at that time was about 1.7, and they showed a particular growth potential. Thus, fishing was appropriately postponed to obtain higher yields later. The western part of Laizhou Bay remains the best location to release Chinese shrimp compared with the southern and eastern parts of the bay, but further study is required to understand the predators of released shrimp larva. The current number of Chinese shrimp released into the bay appears reasonable based on the results of prey resources and feeding competition analyses.

Key words: Laizhou Bay; *Fenneropenaeus chinensis*; enhancement and release; growth; feeding competition

Corresponding author: ZHANG Bo. E-mail: zhangbo@ysfri.ac.cn