

海州湾前三岛海域栉孔扇贝(*Chlamys farreri*) 生长特征与养殖容量的评估*

于宗赫^{1,2} 陈 康¹ 杨红生¹ 刘保忠¹ 邢 坤^{1,2}
许 强¹ 张立斌^{1,2}

(1. 中国科学院海洋研究所 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘要 2007 年 7 月—2008 年 6 月,在海州湾前三岛附近海域进行了栉孔扇贝深水筏式养殖实验。周年监测了海区的环境因子和栉孔扇贝的生长情况,并利用生物沉积法,现场研究了各生长时期扇贝的滤食作用。结果表明,该海区养殖栉孔扇贝在当年秋、冬季和次年春季生长迅速,夏季生长相对缓慢,周年平均软组织生长速度为 11.29mg/d,平均干贝壳生长速度为 48.84mg/d,扇贝能够于次年年初达到商品规格(6cm)。不同时期栉孔扇贝滤水率之间差异显著,在扇贝规格相似的情况下,滤水率随水温升高而升高;而水温相近的情况下,滤水率随扇贝规格增大而增加。利用改进的 Incze 等(1981)的养殖容量模型,评估了该海区养殖容量,结果表明在现有养殖模式下,2007 年 7、9、11、12 月以及 2008 年 3、6 月,沿着海流方向适养区域长度分别为 4.0、4.6、4.7、5.1、4.5 和 3.2km,平均为 4.35km;垂直于海流方向单位宽度(100m)的海区可以支持的扇贝湿重随着扇贝的生长逐渐增加,到 2008 年 3 月份达到最高(16.73t),随后开始下降。

关键词 栉孔扇贝, 离岸养殖, 生长, 生物沉积法, 滤水率, 养殖容量

中图分类号 S968.31

栉孔扇贝(*Chlamys farreri* Jones & Presten)是我国北方沿海一种重要的养殖贝类,长期以来,栉孔扇贝的养殖基本上集中在水深 15m 以内的浅海水域,1996 年以来出现的夏季高温期大规模死亡现象,严重影响了该产业的可持续发展。为了减轻贝类养殖对近岸海区的影响,实现贝类养殖业的可持续发展,张福绥等(1999a)提出了“外延稀养”的思路,即将养殖区域扩展到 20m 以深的海域。然而由于外海环境恶劣,交通不便,该战略实施时必须以一定形式的基地作为依托,以便于养殖管理。我国海岸线绵长,岛屿众多,广大的外海岛屿可作为离岸养殖的天然基地。依托岛屿进行离岸养殖,拓展现有养殖空间,对调整我国浅海养殖的产业结构具有重要意义。为了避免重蹈近岸过度养殖的覆辙,充分、合理地开发岛屿资源,

必须对海区的养殖容量进行科学评估。

在水产养殖领域,养殖容量(Carrying capacity for aquaculture)可以定义为对养殖物种生长不产生副作用时最大的养殖量(Duarte *et al*, 2003)。现有大多数贝类养殖容量模型都是针对内湾等水交换能力弱的近岸海域(Carver *et al*, 1990; Bacher *et al*, 2003; Nunes *et al*, 2003; 卢振彬等, 2004),而针对广大的外海区域的养殖容量模型则非常少,这主要是由于外海环境条件恶劣,养殖活动以及相关研究较少涉及缘故。

养殖区悬浮颗粒物的供给能力是限制贝类生长的主要因素(Carver *et al*, 1990; Bacher *et al*, 2003),对海区贝类养殖容量起决定性的作用。悬浮颗粒物主要来自于初级生产(内源)和海流携带(外源)两条途径。对于近海,由于水交换能力弱,养殖区内浮游植物通

* 国家科技支撑计划课题, 2006BAD09A02 号; 国家 863 计划课题, 2006AA100304 号。于宗赫, E-mail: ouqdyuzh@yahoo.com.cn

通讯作者: 杨红生, E-mail: hshyang@ms.qdio.ac.cn

收稿日期: 2009-04-07, 收修改稿日期: 2009-06-15

过光合作用产生的颗粒物在贝类饵料供应当中往往占主导地位,因此,海区初级生产力对养殖容量模型的评估至关重要;外海水交换能力强,由海流从外部海区携带来的颗粒物在贝类饵料供应中起着更为重要的作用,因此,在估算外海贝类养殖容量时必须对水动力因素进行充分考虑。

海州湾前三岛海域具有水深、流急、水质优良的特点,是开展栉孔扇贝离岸养殖的理想海区,但该海域养殖容量亟待评估。本研究利用生物沉积法对栉孔扇贝滤水率进行了现场研究,结合海区环境因子,利用改进的 Incze 等(1981)的养殖容量评估模型初步评估了栉孔扇贝的养殖容量,为“外延稀养”战略的实施提供科学基础。

1 材料与方法

1.1 实验地点

实验于海州湾前三岛的平岛附近海区进行,具体位置为 35°08'24"N, 119°54'30"E, 见图 1。该区域距离山东省日照港约 48km,处于栉孔扇贝自然分布的最南界(Guo *et al.*, 1999)。

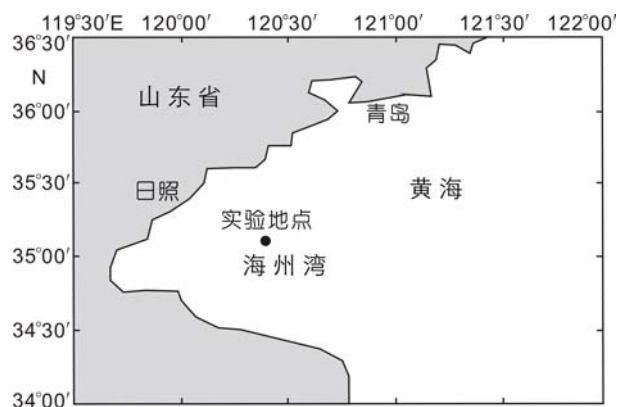


图 1 实验地点

Fig.1 Study site in the Haizhou Bay

1.2 材料

1.2.1 栉孔扇贝 栉孔扇贝苗种于 2007 年 7 月初购自山东烟台,在实验海区暂养一周,然后利用普通栉孔扇贝养成笼进行分苗,挂于平岛南部海域筏架上进行养成,扇贝笼最底层放置一定量的石块以增加其在水体中的稳定性。

1.2.2 沉积物捕集器 由内径 15cm 的 PVC 管加工而成,分为上下两部分,上部利用配套的管箍制作,距一端 4cm 处钻孔并固定孔径为 1cm 的网片,下部分为封底的 PVC 管。根据 Hargrave 等(1979)的研究,

沉积物捕集器高度为直径的 5 倍或以上才能最大限度地减少沉积物的损失,为了保证捕集效率和便于操作,本研究设计的沉积物捕集器上、下两部分组合后总高度为 75cm。

沉积物捕集器每 3 个作为一组固定在同一铁架上,每组选择 2 个捕集器放置扇贝(实验前已除去贝壳上肉眼可见附着生物)作为实验组,扇贝数目根据不同季节扇贝的规格进行调整,使扇贝约占沉积物捕集器表面积的 1/2,以减少密度效应;同组剩余 1 个捕集器放置相应数量的扇贝壳作为对照。实验开始后沉积物捕集器开口处用孔径为 1cm 的网片扎好,并悬挂 5kg 左右重物于铁架上,然后将捕集器挂于实验区域附近无养殖的筏架上,调节绳长使捕集器处于 15m 水层。每次实验重复 3 组,为尽可能减少误差,放置扇贝的捕集器只与同组对照捕集器进行比较计算生物沉积量。

1.3 方法

1.3.1 海区环境因子监测 实验于 2007 年 7 月初开始,每隔 2—3 个月调查一次,到 2008 年 6 月结束。扇贝取样的同时利用多参数水质测定仪(YSI 6920)测定 5、10、15、20m 水层的水温()、pH、盐度、溶解氧(DO, mg/L)以及叶绿素 *a* (Chl *a*, μg/L),其中非实验时期部分水温参考同期实验区相邻海域的水温资料;利用 SLC9-2 直读式海流计测定上述水层的海流速度。

实验开始和结束时利用 Niskin 采水器采集上述各水层水样并用 200μm 筛绢进行预过滤,取 1L 过滤后的水样用预先灼烧过(450 灼烧 4h)并称重(W_0)的 GF/C(孔径 1.2μm)玻璃纤维滤膜进行抽滤,然后用蒸馏水对滤膜脱盐,冷冻带回实验室后,在 60 干燥 48h 称重(W_{60}),再在 450 灼烧 4h 后称重(W_{450})。总悬浮颗粒物(TPM)、颗粒有机物(POM)和颗粒无机物(PIM)的计算方法为:

$$\text{TPM} = W_{60} - W_0$$

$$\text{POM} = W_{60} - W_{450}$$

$$\text{PIM} = W_{450} - W_0$$

其中,各时期 15m 水层 PIM 用于计算扇贝滤水率,各水层 POM 平均值作为海区饵料浓度指标用于估算养殖容量。

1.3.2 扇贝取样 每次实验从养殖笼中随机选取一定数目的活扇贝用于生物沉积实验,实验结束后将实验扇贝蒸熟,分离贝壳和软组织于 60 下烘干至恒重,用精密电子天平称量扇贝湿重、干壳重以及

软组织干重,用游标卡尺测定壳高。

1.3.3 滤水率计算 沉积物捕集器在海水中放置一定时间后,回收并带回实验室,取出扇贝,静置并虹吸掉捕集器中多余的海水,收集沉积物并用蒸馏水脱盐后 60℃ 烘干并称重,称取少量样品 450℃ 灼烧后测定无机成分含量。单位个体扇贝对无机物的生物沉积速率计算方法为:

$$IBD = (W_b - W_c) / [T \times N \times (1 - R_m/2)]$$

其中, IBD 为生物沉积速率; W_b 、 W_c 分别表示实验组和对照组捕集器所收集的沉积物中无机物总重; T 为沉积物捕集器放置于海区的时间; N 为捕集器中扇贝个数; R 为扇贝的最终死亡率。

扇贝滤水率按照 Iglesias 等(1998)的方法进行计算:

$$IFR = IBD$$

$$CR = IFR/PIM = IBD/PIM$$

其中, IFR 为扇贝对无机物的过滤速率; CR 为滤水率; PIM 为实验期间 15m 水层海水中颗粒无机物平均浓度。

1.3.4 养殖容量评估模型 将 Incze 等(1981)提出的贝类养殖容量评估模型进行改进,考虑养殖设施的阻流作用,如图 2 所示,其基本原理:将养殖区沿着海流方向划分为连续的形状规则的板块,分别为板块 1、2、3、……、 k ,每个板块内养殖模式一致;海流携带饵料(POM)垂直于板块的方向流入养殖区,由于养殖设施的阻碍作用流速不断衰减,单位板块海流的衰减系数为 α ;假设水体混合均匀,并且贝类可以利用整个水体中的颗粒物,POM 作为限制因子,会随着贝类的摄食沿着海流方向不断衰减,最终达到能够维持现有生长速率的最低 POM 浓度,则该板块 k 为养殖区的边界;海区养殖容量定义为沿着海流方向可以支持的板块总长度(L)以及这些板块内扇贝总湿重(W)。

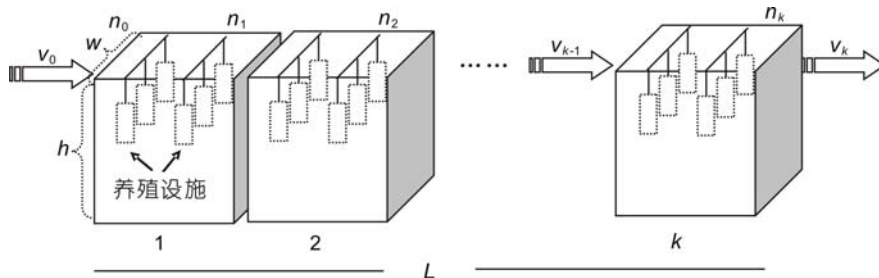


图 2 模型概念图

Fig.2 The sketch map of the model

模型的方程式为:

$$n_k = n_0 \times$$

$$\left[\frac{N_1 - CR \times M}{N_1} \right] \times \left[\frac{N_2 - CR \times M}{N_2} \right] \times \dots \times \left[\frac{N_k - CR \times M}{N_k} \right] \quad (1)$$

其中, n_k 为第 k 板块出流的 POM 浓度(mg/L, 能够保证现有生长率的最低 POM 浓度, 限制因素); n_0 为进入养殖板块之前 POM 浓度(mg/L; 各水层 POM 平均值); N_k 为单位时间流入板块断面的海水体积 [$N_k = w \times h \times v_k$; w 为养殖区宽度(m); h 为养殖区平均水深(m); v_k 为第 k 板块出流海流速度, 考虑养殖设施的阻流作用, 则有 $v_k = v_0 \times \alpha^k$ (m/h)]; CR 为贝类平均个体滤水率 [$L/(h \cdot \text{ind})$]; M 为单位板块内所养殖的贝类数目(粒)。本研究假设附着生物在养殖过程中能够得到及时清理, 因此对附着生物的竞争摄食作用暂不予考虑。

1.3.5 养殖容量模型参数的确定 模型中用于计算 n_k 的贝类能量学指标参考相关文献(Crisp, 1971; Bacher *et al*, 2003; 王俊等, 1999, 2001b; 张继红等, 2002), 其余各参数都是由现场调查获得。养殖设施对海流的阻滞系数 α 由 $\alpha = v_2/v_1$ 求得, 其中 v_2 为流出板块的平均海流速度, v_1 为流入板块的平均海流速度。

2 结果

2.1 前三岛海域海水理化特征

实验海区远离大陆, 各项水质指标受陆源影响较小。盐度在实验期间稳定为 30; 海水 pH 在 8.0—8.2 之间波动; DO 随着水温的变化而变化, 基本上都接近于饱和或过饱和状态。各时期实验海区叶绿素 a 浓度范围为 0.68—2.16 $\mu\text{g/L}$, 平均为 1.42 $\mu\text{g/L}$, 其中 2007 年夏季浓度偏低, 而秋季相对较高。

水温与 POM 随时间的变化如图 3 所示, 2007 年 7 月初水温约为 20℃, 其后该海域水温持续升高, 在 2007 年 8 月底达到实验期间的最高值(26℃), 2007 年 9 月份后水温开始缓慢下降, 到 2008 年 2 月初达到实验期间的最低值, 随后水温开始回升, 实验结束时水温接近 16℃。POM 浓度变化范围为 1.71—2.09 mg/L, 2007 年 9 月、11 月以及 12 月要比其它月份略高, 这与该海区叶绿素 a 浓度变化趋势基本一致。

2.2 栉孔扇贝生长特征

各时期栉孔扇贝的生长情况如图 4 所示。由生长曲线可知栉

孔扇贝软组织在 2007 年 7—9 月份的夏季生长较慢, 2007 年 9 月—2008 年 3 月扇贝软组织生长比较迅速, 而 2008 年 3—6 月份生长速度又开始变慢; 贝壳的生长与软组织重生长情况类似, 不同的是实验的最后阶段贝壳一直保持较快的增长速度。在现有养殖条件下, 栉孔扇贝软组织平均周年生长速度为 11.29mg/d (0.47mg/h), 干贝壳平均生长速度为 48.84mg/d (2.04 mg/h)。由壳高的生长曲线可知, 栉孔扇贝在 2008 年 1 月中旬达到商品规格(6cm)。

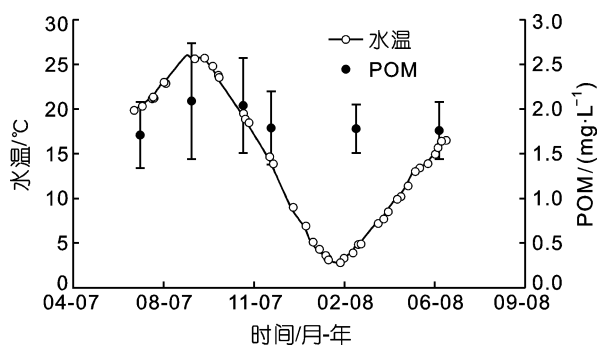


图 3 各时期水温与 POM 平均浓度的变化

Fig.3 Variation in water temperature and POM of the study area on different sampling dates

注: 时间中的“年”, 07 表示 2007 年, 08 表示 2008 年。下同

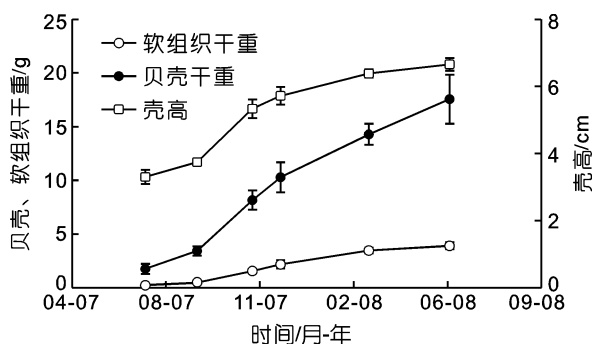


图 4 各时期栉孔扇贝的生长情况

Fig.4 Growth of scallop *C. farreri* cultured in the study area on different sampling dates

2.3 栉孔扇贝的滤食作用

各时期扇贝滤食作用变化如图 5 所示, 用个体扇贝对应的滤水率表示。由图 5 可见, 栉孔扇贝滤水率在 2007 年 12 月最低, 2008 年 6 月最高, 2007 年 9 月、11 月的夏季高温季节滤水率也要明显高于其它月份。另外, 从实验结果中还可以发现: 在实验时间比较接近(如临近两次实验), 扇贝规格相似的情况下, 滤水率随着水温的升高而增加; 在水温条件相似的情况下(如 2007 年 7 月与 9 月, 2007 年 11 月与 2008 年 6

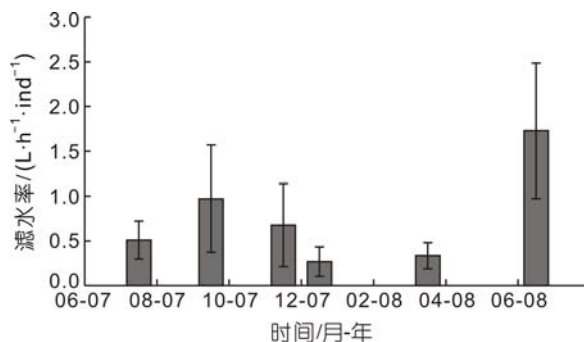


图 5 栉孔扇贝滤水率随季节的变化

Fig.5 Comparison in clearance rate of the scallops in different experimental times

月, 2007 年 12 月与 2008 年 3 月), 滤水率随着扇贝规格的增大而增加。各时期扇贝平均滤水率为 0.75L/(h·ind)。

2.4 养殖容量评估

2.4.1 n_k 值的确定 模型中 n_k 是能够保证现有生长率的最低 POM 值, 使用贝类能量学参数计算。根据王俊等(1999)的报道, 栉孔扇贝用于生长的能量占总摄食能的 12.7%—21.7%, 而张继红等(2002)研究结果表明, 栉孔扇贝的能量收支方程中, 生长能约占总摄食能的 17.61%—53.27%。在其它贝类的能量学研究中, 贝类能量收支各组分所占的比例变化很大, 生长能介于 2%—54%之间(王俊等, 2001b)。本研究假设在养殖区最末端板块中扇贝能够以较高的效率利用饵料, 其生长能占总摄食能的 30%, 则 n_k 可由下列公式求得:

$$P = n_k \times CR \times K_n \times 30\% = V_m \times K_m + V_s \times K_s \quad (2)$$

其中, P 为生长能(J/h); CR 为各时期扇贝平均滤水率 [L/(h·ind)]; K_n 为 POM 能值, 20.78J/mg (Crisp, 1971); V_m 为软组织干重增长速度(mg/h); K_m 为干软组织能值, 20.0J/mg (Bacher *et al.*, 2003); V_s 为干贝壳重增长速度(mg/h); K_s 为干贝壳能值, 0.294J/mg (Bacher *et al.*, 2003)。将上述参数代入公式(2), 则得 n_k 为 1.6mg/L, 即养殖区沿着海流方向最末端板块 POM 浓度。

2.4.2 N_k 以及 M 值的确定 为了降低局部的密度效应和便于管理, 该海域采取的栉孔扇贝养殖模式为: 筏架(长为 100m)垂直于海流方向设置, 每排筏架挂 50 个扇贝笼(10 层/笼, 30 粒/层), 筏架间距为 10m, 养殖区平均水深为 20m。本养殖容量模型将 10 排筏架作为一个板块进行研究, 则单位板块内扇贝数目 M 为 150000 粒; 以筏架的长作为板块的宽 w , 养殖区平均水深作为板块的高度 h , 经海流计现场测定, 无

养殖海域平均海流速度 v_0 为 1043m/h, 现有养殖区中每个板块对海流阻滞系数 α 约为 0.87, 则由 $N_k = w \times h \times v_k$ 得到单位时间内流入养殖板块 k 的海水体积 $N_k = 2.086E+5 \times 0.87^k \text{ m}^3$ 。

2.4.3 前三岛海域不同季节栉孔扇贝的养殖容量将上述各参数以及扇贝滤水率、海区 POM 浓度代入公式(1), 得到不同时期的 k 值, 从而得到现有养殖模式下(见 2.4.2), 各时期的养殖容量(表 1)。由表可见, 该海区秋、冬季适养区域较大, 而夏季较小, 变化范围为 3.2—5.1km, 平均为 4.35km; 随着扇贝的生长, 沿着海流方向单位宽度(100m)海区可以支持的扇贝湿重逐渐增大, 在 2008 年冬季达到最高值(16.73t), 随后开始下降。

3 讨论

3.1 前三岛海域栉孔扇贝生长特征

本研究结果表明, 前三岛周围海域栉孔扇贝生长速度较快的季节主要集中在 2007 年秋、冬季和 2008 年的春季。相关研究表明, 影响贝类生长的因素除了与饵料浓度和质量、水温、盐度等各项理化指标相关外(Emerson *et al*, 1994; Lodeiros *et al*, 2000; Martínez *et al*, 2000), 还与贝类的密度(Maguire *et al*, 2001; Honkoop *et al*, 2002)、附着生物的竞争摄食作用关系密切(Claereboudt *et al*, 1994; Taylor *et al*, 1997; Lodeiros *et al*, 2000)。前三岛海域盐度等理化指标比较稳定, 而水温、附着生物的种类和密度却随着季节变化波动很大(未发表数据)。栉孔扇贝最适宜生长的水温为 14—22℃, 水温小于 4℃时, 扇贝几乎停止生长(Lou, 1991), 而当水温超过 23℃时, 栉孔扇贝的代谢和生长都要受到影响(张福绥等, 1999b)。前三岛海域夏季水温较高, 特别是 2007 年 8—10 月这个阶段, 实验水层的水温都要高于 23℃, 并且该时期海区饵料

料浓度较低, 因此扇贝生长较慢; 2007 年秋季叶绿素 a 和 POM 等浓度较高, 表明该时期饵料相对比较丰富, 而与此同时, 海区的水温在开始下降, 到了 11 月初降为 19℃, 12 月份达到 14℃左右, 该阶段水温非常适合栉孔扇贝的生长, 因此 2007 年秋季扇贝生长迅速; 该海区冬季食物相对匮乏, 平均水温为全年最低, 扇贝代谢率也很低, 而到了后期, 随着水温回升, 扇贝生长速度加快, 使得该阶段扇贝平均生长速度也比较快。2008 年 3—6 月份这个阶段, 水温继续升高, 到 6 月初已接近 16℃, 但该阶段扇贝将大量的能量用于生殖腺发育, 实验结束时部分扇贝达到性成熟开始排放配子, 因此总体上该阶段栉孔扇贝生长速度反而不如冬季。总体来说, 该海域养殖的栉孔扇贝具有生长速度快, 成活率高(未发表数据)的特点。

3.2 前三岛海域栉孔扇贝滤食作用

滤水率是指滤食性动物单位时间内滤食悬浮颗粒物时滤过水的体积, 该指标能够反映出滤食性动物生理生态学状态。贝类滤水率的测定对于估测海区养殖容量, 指导养殖生产有重要意义。滤水率是一个动态指标, 与贝类的规格以及水温、盐度、流速等环境因子密切相关, 并且还随着昼夜变化而发生变化(匡世焕等, 1996; 彭建华等, 2004)。研究发现, 栉孔扇贝的滤水率与季节、规格密切相关(孙慧玲等, 1995), 而与扇贝的放养密度和饵料浓度无显著关系(周毅等, 2003)。本实验海域盐度、pH 等环境因子长期保持稳定, 饵料条件差异不大, 因此, 能够影响扇贝滤水率主要有水温以及扇贝规格这两个因子。

本研究中栉孔扇贝的滤水率受水温影响十分明显, 在扇贝规格相似情况下, 滤水率随着水温的升高而迅速提高, 即使扇贝规格差异较大, 水温对滤水率的影响仍然起主导作用, 如 2007 年夏季栉孔扇贝规格要远小于冬季, 而实验结果表明, 夏季扇贝滤水率

表 1 不同时期栉孔扇贝养殖容量估算
Tab.1 Seasonal variation in carrying capacity of the scallops in Haizhou Bay

项目	时间(年.月)					
	2007.07	2007.09	2007.11	2007.12	2008.03	2008.06
k	40	46	47	51	45	32
$L(\text{km})$	4	4.6	4.7	5.1	4.5	3.2
$N(10^4 \text{ 粒})$	60	69	70.5	76.5	67.5	48
$wt(\text{g/粒})$	3.07	6.16	17.38	20.10	24.78	26.69
$W(\text{t})$	1.84	4.25	12.25	15.38	16.73	12.81

注: N 为养殖区内扇贝的总数, wt 为单位个体扇贝的湿重

却要远远超过冬季。研究表明,在一定温度范围内栉孔扇贝的滤水率随着温度的升高而增加,当水温超过其适温上限 26℃ 时,滤水率开始下降(王俊等, 2001)。实验期间前三岛周围海域水温为 4—26℃,未超过扇贝的适温范围,在该水温条件下,栉孔扇贝的滤水率与水温正相关。另外,在水温相似条件下,栉孔扇贝个体滤水率随着规格的增大而增大,这与相关研究的结果一致(孙慧玲等, 1995)。

滤水率是滤食性贝类生物能量研究中的基础指标,是评估养殖容量、科学构建海区养殖模式的一项非常重要的参数。本研究利用生物沉积法在现场条件下对栉孔扇贝的滤水率进行研究,相对于流水法或者静水法来说具有完整的长时间尺度性,受贝类偶然摄食行为的影响很小,可以提供连续记录,能够更精确的反映出贝类在现场条件下的生理活动状况。另外,本研究周期较长,涵盖了该养殖海域栉孔扇贝生长的各个阶段,能更真实地反映出各时期栉孔扇贝的真实生活状态,可以为前三岛海域养殖容量的评估、养殖区结构的优化提供科学依据。

3.3 前三岛海域栉孔扇贝养殖容量评估

掌握合理的种群放养密度一直是水产养殖业所强调的一项重要原则,如何控制养殖容量,保证其生产的持续性,是养殖生态学亟待解决的课题之一。科学的估算水域养殖总容量,对摸清养殖潜力、合理利用海水养殖资源,控制海水养殖发展节奏具有战略意义。养殖容量是衡量水域养殖潜力的动态指标,决定贝类养殖容量的因素由贝类自身的生理状态以及环境因子共同决定,由于大多数贝类养殖容量评估模型涉及多学科交叉研究,并且其运算和使用过于复杂和专业化,使得其使用难以被管理者和生产者接受。

在已有的各种养殖容量模型中, Incze 等(1981)的养殖容量模型由于侧重于海流在饵料的供给当中的作用,并且具有简单、直观的特点,可以作为外海开阔水域贝类养殖容量评估的基础模型。但是该模型过于理想化,未考虑养殖设施对海流的阻挡作用,研究发现,海流速度会由于养殖设施的阻挡作用大幅度降低(Gibbs *et al*, 1991; Grant *et al*, 2001; Pilditch *et al*, 2001),对桑沟湾栉孔扇贝筏式养殖区的研究表明,海流经过 20 排筏架后,速度能够减弱 29.6%(蒋增杰等, 2006),因此,如不考虑养殖设施的阻流作用,将会过高的估算海区的养殖容量;另外,该模型简单地以海区悬浮颗粒物浓度的 1/2 作为维持贝类生长的饵

料浓度下限,这也值得商榷,因为不同海区维持贝类正常生长的饵料浓度可能存在很大差异,必须因地制宜,结合海区供饵能力以及贝类的实际生长情况进行确定。

本研究以 Incze 等(1981)的养殖容量模型为基础,并加以改进,建立了一种简单、可靠的适应于外海筏式养殖的模型,该模型将养殖设置对海流的阻滞作用进行了充分的考虑,并根据现场调查获得的扇贝实际生长情况利用生物能量学原理确定了饵料浓度的下限,结合实验海域海流速度、实际可获得的饵料浓度以及扇贝的滤水率对该海区的养殖容量进行了估算。

研究结果表明,该海区栉孔扇贝养殖容量随季节不同而发生变化,这主要是由于扇贝的滤水率以及海区饵料供应能力差异造成的:夏季由于饵料浓度低、扇贝摄食能力较强,因此该海区可支持的扇贝养殖量较小,而秋、冬季由于水温较低,扇贝滤水率小,加上饵料浓度相对较高,因此其养殖容量相对较高。

本模型侧重于海流在扇贝饵料供应当中所起的作用,对养殖海区本身初级生产力、其它生物竞争摄食等作用都未予以考虑,而这些因素也会在一定程度上影响海区养殖容量;另外,利用栉孔扇贝周年平均生长速度和平均滤水率估算饵料浓度下限存在一定的不合理性,各个季节维持栉孔扇贝正常生长的饵料浓度可能存在较大差异,这些在以后的研究中必须加以关注。本研究仅对局部区域的养殖容量进行了估算,而前三岛海域可开发用于养殖的空间非常广阔,如能对该海区进行合理规划,充分利用外海水体资源,必将为我国蓝色农业的发展,提高人民的生活水平作出巨大贡献。

4 结语

我国有着丰富的海洋生物资源和渔业水域,目前, 20m 等深线以外的海域利用率微乎其微,开展深水区增养殖的潜力巨大。研究以典型岛屿为中心的增养殖新技术,将有效拓展海水增养殖的空间,为了减轻海水养殖对近岸海区的影响,实现我国水产养殖业的可持续发展作出巨大贡献。本研究选择海州湾前三岛周围海域作为实验海区进行栉孔扇贝筏式养殖实验,考察了不同时期该区域扇贝的生长和滤食情况,结合环境因子对海区的养殖容量进行评估,这些工作可为下一步实施离岸养殖战略、合理规划产业结构提供借鉴作用。

致谢 本文生物沉积实验部分承蒙中国科学院海洋研究所周毅研究员悉心指导, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王 俊, 姜祖辉, 1999. 扇贝能量收支的研究. 海洋水产研究, 20(2): 71—75
- 王 俊, 姜祖辉, 唐启升, 2001a. 栉孔扇贝的滤食率与同化率. 中国水产科学, 8(4): 27—31
- 王 俊, 唐启升, 2001b. 双壳贝类能量学及其研究进展. 海洋水产研究, 22(3): 80—83
- 卢振彬, 杜 琦, 蔡清海等, 2004. 福建罗源湾贝类的养殖容量. 中国水产科学, 11(2): 104—110
- 匡世焕, 孙慧玲, 李 锋等, 1996. 桑沟湾栉孔扇贝不同季节滤水率和同化率的比较. 海洋与湖沼, 27(2): 194—199
- 孙慧玲, 方建光, 匡世焕等, 1995. 栉孔扇贝 *Chlamys farreri* 在模拟自然水环境中滤水率的测定. 中国水产科学, 2(4): 16—21
- 张继红, 方建光, 梁翻鹏, 2002. 低温对栉孔扇贝能量收支的影响. 中国水产科学, 9(1): 48—51
- 张福绥, 杨红生, 1999a. 山东沿岸夏季栉孔扇贝大规模死亡原因分析. 海洋科学, 1: 44—47
- 张福绥, 杨红生, 1999b. 栉孔扇贝大规模死亡问题的对策与应急措施. 海洋科学, 2: 38—42
- 周 毅, 杨红生, 张福绥, 2003. 栉孔扇贝生理生态学特征的研究. 应用生态学报, 14(2): 227—233
- 彭建华, 陈文祥, 栾建国等, 2004. 温度、pH 对二种淡水贝类滤水率的影响. 动物学杂志, 39(6): 2—6
- 蒋增杰, 方建光, 门 强等, 2006. 桑沟湾贝类筏式养殖与环境相互作用研究. 南方水产, 2(1): 23—29
- Bacher C, Grant J, Hawkins A J S *et al*, 2003. Modeling the effect of food depletion on scallop growth in Sungo Bay (China). Aquat Living Resour, 16: 10—24
- Carver C E A, Mallet A L, 1990. Estimating the carrying capacity of a coastal inlet for mussel culture. Aquaculture, 88(1): 39—53
- Claereboudt M R, Burreau D, Cot é J *et al*, 1994. Fouling development and its effect on the growth of juveniles giant scallop (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture. Aquaculture, 121: 324—342
- Crisp D J, 1971. Energy flow measurements. In: Holm N A, McNytte A D ed. Methods for the study of marine benthos. IBP Handbook No.16. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 197—279
- Duarte P, Meneses R, Hawkins A J S *et al*, 2003. Mathematical modeling to assess the carrying capacity for multi-species culture within coastal Waters. Ecol Model, 168: 109—143
- Emerson C W, Grant J, Mallet A *et al*, 1994. Growth and survival of sea scallops *Placopecten magellanicus*: effects of culture depth. Mar Ecol Prog Ser, 108: 119—132
- Gibbs M M, James M R, Pickmere S E *et al*, 1991. Hydrodynamics and water column properties at six stations associated with mussel farming in Perlorus Sound, 1984—1985. New Zealand J Marine Freshwater Res, 25: 239—254
- Grant J, Bacher C A, 2001. Numerical model of flow modification induced by suspended aquaculture in a Chinese bay. Can J Fish Aquat Sci, 58(5): 1003—1011
- Guo X M, Ford S, Zhang F S, 1999. Molluscan aquaculture in China. J Shellfish Res, 18: 19—31
- Hargrave B T, Burns N M, 1979. Assessment of sediment trap collection efficiency. Limnol Oceanogr, 24(6): 1124—1136
- Honkoop P J C, Bayne B L, 2002. Stocking density and growth of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) and the Sydney rock oyster (*Saccostrea glomerata*) in Port Stephens, Australia. Aquaculture, 213: 171—186
- Iglesias J I P, Urrutia M B, Navarro E *et al*, 1998. Measuring feeding and absorption in suspension-feeding bivalves: an appraisal of the biodeposition method. J Exp Mar Biol Ecol, 219: 71—86
- Lodeiros C J M, Himmelman J H, 2000. Identification of factors affecting growth and survival of the tropical scallop *Euvola (Pecten) ziczac* in the Golfo de Cariaco, Venezuela. Aquaculture, 182: 91—114
- Lou Y S, 1991. Physiology: energy acquisition and utilization. In: Shumway S E ed. Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture. Elsevier, Amsterdam, 809—824
- Maguire J A, Burnell G M, 2001. The effect of stocking density in suspended culture on growth and carbohydrate content of the adductor muscle in two populations of the scallop (*Pecten maximus* L.) in Bantry Bay, Ireland. Aquaculture, 198: 95—108
- Martínez G, Brokordt K, Aguilera C *et al*, 2000. Effect of diet and temperature upon muscle metabolic capacities and biochemical composition of gonad and muscle in *Argopecten purpuratus* Lamarck 1819. J Exp Mar Biol Ecol, 247(1): 29—49
- Nunes J P, Ferreira J G, Gazeau F *et al*, 2003. A model for sustainable management of shellfish polyculture in coastal bays. Aquaculture, 219: 257—277
- Pilditch C A, Grant J, Bryan K R, 2001. Seston supply to sea scallops (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture; Shellfish mariculture in the Benguela system: Water flow patterns within a mussel farm in Saldanha. Can J Fish Aquat Sci, 58(2): 241—253
- Taylor J J, Southgate P C, Rose R A, 1997. Fouling animals and their effect on the growth of silver-lip pearl oysters, *Pinctada maxima* (Jameson) in suspended culture. Aquaculture, 153: 31—40

THE CARRYING CAPACITY OF SCALLOP *CHLAMYS FARRERI* IN SUSPENDED CULTURE IN QIANSAN ISLETS, HAIZHOU BAY

YU Zong-He^{1,2}, CHEN Kang¹, YANG Hong-Sheng¹, LIU Bao-Zhong¹,
XING Kun^{1,2}, XU Qiang¹, ZHANG Li-Bin^{1,2}

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049)

Abstract The growth of scallop *Chlamys farreri* suspended-cultured in deep water of Haizhou Bay was studied from July 2007 to June 2008; and a biodeposition method was used to estimate the clearance rate of *C. farreri* in field conditions. Results show that the scallop grew fast in the culture time, except for summer; the average growth rate of dry tissue weight was 11.29mg/d; the average growth rate of dry shell weight was 48.84mg/d; and the scallop could reach the commercial size (6cm in shell height) at the beginning of the second year. The clearance rate was influenced significantly by water temperature and scallop size, and increased with water temperature rising and scallop growing. A modified model after Incze *et al.* was used to evaluate the carrying capacity of scallop cultured in this area. Results of test in different seasons show that the suitable length of culture area along current direction was 4.35km in width of 100m, in which the wet weight of scallop increased steadily with growth, reaching the maximum in March 2008 for 16.73t.

Key words *Chlamys farreri*, Offshore aquaculture, Growth, Biodepositon method, Clearance rate, Carrying capacity