

湛江流沙湾马氏珠母贝的养殖容量

朱春华, 申玉春, 谢恩义, 叶宁, 王彦, 杜晓东, 吴灶和

广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524025

摘要: 2008 年 3 月—2009 年 1 月调查分析流沙湾浮游动植物的生物量、叶绿素 a 含量、初级生产力、马氏珠母贝 *Pinctada martensii* 含壳重与鲜组织重的比值、养殖贝类和野生滤食性动物的滤水率、潮间带和潮下带底栖贝类及吊养区附着滤食性动物现存量等, 应用营养动态模型和贝类养殖容量估算模型估算滤食性动物的总容量, 扣除野生滤食性动物现存量, 最终确定马氏珠母贝的养殖容量。结果显示, 2 种模型估算马氏珠母贝的养殖容量分别为 19637.5t 和 20126.4t, 平均养殖容量 19881.95t。依据流沙湾马氏珠母贝的通常养殖密度(1.05×10^5 个·hm⁻²)和平均商品规格(41g·个⁻¹)计算, 流沙湾马氏珠母贝的适养面积为 461.83hm²。

关键词: 流沙湾; 马氏珠母贝; 养殖容量

中图分类号: P735.1 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2011)03-0076-06

Aquaculture carrying capacity of *Pinctada martensii* in Liusha Bay of Zhanjiang

ZHU Chun-hua, SHEN Yu-chun, XIE En-yi, YE Ning, WANG Yan, DU Xiao-dong, WU Zao-he

Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China

Abstract: Nutrient Dynamic Model and Fang Jianguang's Model were used to estimate aquaculture carrying capacity of *Pinctada martensii* in the Liusha Bay. Biomass of plankton, chlorophyll a, primary production, weight ratio of whole *P. martensii* to fresh tissue, biomass of benthic shellfish in tidal and subtidal area, biomass of fouling filtered animals in the Liusha Bay were measured during March 2008 to January 2009. The filtered rates of cultured shellfish and wild filter animals were measured by the Clearance Method. The aquaculture carrying capacity of *P. martensii* was estimated by excluding the biomass of wild filtering shellfish from the carrying capacity of filtered animals. The results show that aquaculture carrying capacity of *P. martensii* in the Liusha Bay should be 19637.5t and 20126.4t according to the results of the two models, with an average of 19881.95t. The suitable area for culturing *P. martensii* in the Liusha Bay should be 461.83hm² based on normal culture density (1.05×10^5 ind·hm⁻²) and average commercial size (41g·ind⁻¹).

Key words: Liusha Bay; *Pinctada martensii*; aquaculture carrying capacity

养殖容量是单位水体内在保护环境、节约资源和保证有效益等各个方面都符合可持续发展要求的最大养殖量^[1]。合理利用养殖容量就是要形成一个结构优化和功能高效的养殖生态系统, 使所投入的物质得到反复循环, 初级生产力得到多途径利用, 从而提高养殖效益, 避免物质浪费及自身和环境污染^[2-3]。贝类养殖容量的研究始于 20 世纪 70 年代末, 当时日本北海道大学对海水养殖贝类大量死亡的原因进行调查, 分析认为放养密度超过了养殖容量, 指出养殖量的大小与病害出现频率和死亡率有直接

关系^[4]。欧美各国学者也相继从营养动力学和水动力学的角度研究了长牡蛎 *Crassostrea gigas*^[5]、美洲牡蛎 *Crassostrea virginica*^[6]、贻贝 *Mytilus edulis*^[7]、海扇贝 *Placopecten magellanicus*^[8]、珠母贝 *Pinctada margaritifera*^[9]等贝类的养殖容量。根据水域的能量收支交换和个体营养需求等建立营养动态模型, 可以估算特定水域某养殖种类的容量^[10]。我国贝类养殖容量的研究起步较晚, 迄今为止大多数贝类养殖容量的估算工作主要是针对浅海筏式贝类养殖^[11-12]和滩涂养殖^[13]开展的。

收稿日期: 2010-09-11; 修订日期: 2011-01-14。蔡卓平编辑

基金项目: 广东省重大科技专项(2007A032600004); 农业部公益性项目(nyhyzx07-047)

作者简介: 朱春华(1967—), 男, 湖南省益阳市人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水域生态与增养殖研究。

通信作者: 吴灶和。E-mail: wuzh@gdou.edu.cn

流沙湾位于广东省湛江市雷州半岛西南部(20°22'—20°31'N, 109°55'—110°1'E), 是一个口小腹大呈西北向葫芦形的半封闭型海湾, 海域总面积 6900hm², 其中潮下带面积为 6180hm², 滩涂面积为 1060hm²。流沙湾年平均水温为 26.4℃, 自然地理条件十分优越, 是我国海水珍珠贝苗和海水珍珠的重要生产基地, 也是我国“南珠”的主要产区之一。20 世纪 90 年代中期, 珍珠产量达到 15t, 占全国海水珍珠总产量的 43%^[14]。近年来, 随着珍珠养殖技术的逐步推广, 流沙湾珍珠养殖面积急剧扩大, 最高峰期养殖总面积为 1360hm², 其中马氏珠母贝的桩式延绳吊养面积达 1250hm²^[15]。高密度超负荷养殖珍珠贝致使海区的饵料生物贫乏, 天然饵料成为珍珠贝生长的限制因子, 养殖环境的逐步恶化导致珍珠养殖产业难以为继。因此, 以估算流沙湾水域马氏珠母贝的养殖容量为基础, 科学地控制贝类养殖规模, 优化养殖品种和结构, 可有效改善珍珠贝养殖环境, 对提高珍珠贝成活率、生长速度和珍珠质量具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 养殖容量的估算模型

1.1.1 营养动态模型

营养动态模型可以估算生态系统中不同营养阶层生物的生产量, 表达式为 $P=k \cdot (B \cdot E^n)$ ^[10], 式中 P 为估算贝类含壳重的生产量, B 为浮游植物的生产量(鲜重), E 为生态效率, n 为贝类营养阶层, k 为贝类带壳鲜重与软组织鲜重比值。

1.1.2 贝类养殖容量估算模型

采用方建光对栉孔扇贝养殖容量的估算模型^[11]:

$$CC = \left[P - K \times C \times \sum_i^m (FR_i \times B_i) \right] / (K \times C \times FR)$$

式中 CC 为估算贝类的养殖容量(个·m⁻²), P 为初级生产力[mg·(m²·d)⁻¹], K 为浮游植物体内有机碳与叶绿素比值, FR_i 为不同种类的附着滤食性生物的滤水率[m³·(个·d)⁻¹], B_i 为不同种类的附着生物密度(个·m⁻²), m 为滤食性附着生物种类, C 为叶绿素 a 的平均浓度(mg·m⁻³), FR 为估算贝类的滤水率[m³·(个·d)⁻¹].

1.2 模型参数的确定方法

1.2.1 浮游生物、初级生产力和叶绿素 a 含量调查

2008 年 3 月—2009 年 1 月在流沙湾湾内设立 9 个站点, 每月中旬测定水域透明度并采集浮游生物样品, 每季度同步调查叶绿素含量和初级生产力, 调查

站位见图 1。初级生产力采用生氧量生物测定法测定。

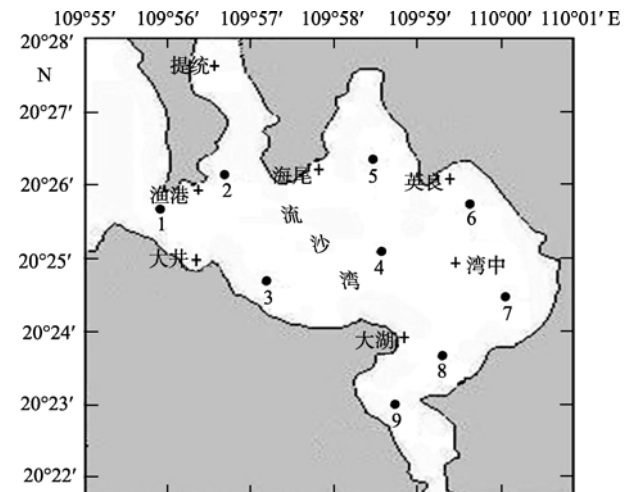


图 1 调查站位点

●为水域采样点; +为沿岸潮间带和中央浅滩采样切面

Fig. 1 Study sites in the Liusha Bay

1.2.2 生态效率的确定

依据流沙湾浮游动物生物量干重和平均密度, 采用 Ikeda-Motoda 生理学方法^[16]测算浮游动物日生产量, 确定生态效率。

1.2.3 马氏珠母贝含壳重与鲜组织重比值的确定

随机抽取流沙湾马氏珠母贝样本 50 个, 确定含壳重与鲜组织重的比值。

1.2.4 底栖滤食性动物调查

2008 年 3 月—2009 年 1 月在流沙湾设定渔港、提统、海尾、英良、大井、大湖和湾中浅滩 7 个站点(图 1)的潮间带和潮下带, 每个取样点设 2—3 条有代表性的断面, 每个断面设置 3 个 25cm×25cm 的样方, 所有样点用定位仪 GPS 定位, 各月按 GPS 定位参数在相同样点取样, 进行的底栖贝类的定性、定量调查。

1.2.5 吊养区非养殖滤食性附着动物的调查

2008 年 3 月—2009 年 1 月在流沙湾渔港、湾中、大湖的主要贝类吊养区和浮筏式网箱养殖区设立 3 个采样站点(图 1), 调查养殖器具(包括延绳、浮筏和桩基)上非养殖滤食性附着贝类生物量, 调查方法依据国家海洋调查规范^[17]进行。

1.2.6 非养殖滤食性附着动物滤水率测定

滤水率在实验室内采用清滤法^[18]测定, 实验水温(26±1)℃, 采用湛江等鞭金藻作为饵料, 密度(0.25—0.32)×10⁶ 个·mL⁻¹。根据公式计算滤水率(FR)。

$$FR = (V / nt) \times \ln(C_0 / C_t)$$

式中 V 为实验水箱体积, n 为实验贝类数目, t 为实验时

间, C_0 和 C_t 分别为时间 0 和 t 时的饵料浓度。

2 结果与分析

2.1 模型参数

2.1.1 流沙湾浮游植物的生物量及有机碳含量

流沙湾浮游植物生物量有明显的季节变化, 8

月最高, 平均值为 $10.18\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 3—7 月生物量较低, 平均值在 $0.39\text{—}0.68\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间。浮游植物的生物量变化在 $0.11\text{—}23.63\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间, 年平均浮游植物的生物量为 $3.72\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (表 1)。浮游植物鲜重有机碳含量为 $5.976\%\text{—}9.017\%$, 平均为 7.862% 。

表 1 流沙湾浮游植物生物量的季节变化(鲜重: $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

Tab. 1 Biomass of phytoplankton in the Liusha Bay in different seasons (wet weight: $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

站点	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	平均值
1	0.15	0.11	0.34	0.24	1.71	3.01	1.54	2.81	3.10	2.11	1.81	1.23	1.51
2	0.21	0.31	0.27	0.00	0.28	10.02	2.09	5.01	10.18	1.09	6.13	4.37	3.33
3	0.16	0.13	0.49	0.53	1.12	1.63	3.67	10.66	15.04	4.22	8.63	4.75	4.25
4	0.41	0.27	0.11	1.22	0.24	18.28	8.22	10.17	9.08	7.22	11.45	8.27	6.25
5	0.69	1.12	1.43	0.78	0.58	20.09	3.56	4.18	10.01	2.31	3.01	5.01	4.40
6	0.38	0.78	0.51	0.22	0.11	5.08	2.31	1.90	5.08	2.34	2.01	4.36	2.09
7	1.21	0.41	1.23	1.10	0.45	6.81	6.27	8.22	6.08	5.25	5.25	3.33	3.80
8	0.65	0.16	0.15	0.21	0.38	23.67	10.78	6.88	12.87	8.72	9.43	3.24	6.43
9	0.15	0.24	0.35	0.56	1.22	3.03	0.90	2.11	1.98	3.90	1.33	1.74	1.46
平均值	0.45 ± 0.35	0.39 ± 0.34	0.54 ± 0.47	0.54 ± 0.42	0.68 ± 0.54	10.18 ± 8.36	4.37 ± 3.36	5.99 ± 3.37	8.16 ± 4.41	4.13 ± 2.54	5.23 ± 3.71	4.03 ± 2.05	3.72 ± 1.85

注: 表中“ \pm ”后数值为标准偏差。

2.1.2 流沙湾叶绿素 a 含量和初级生产力

流沙湾不同季节叶绿素 a 含量和初级生产力调查分析表明, 流沙湾海域叶绿素 a 含量和初级生产力在夏季

保持较高的水平, 冬季较低。叶绿素 a 含量为 $0.47\text{—}6.35\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 平均 $2.65\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$; 初级生产力为 $20.19\text{—}295.4\text{mg}\cdot(\text{d}\cdot\text{m}^2)^{-1}$, 平均 $108.74\text{mg}\cdot(\text{d}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ (表 2)。

表 2 流沙湾叶绿素 a 含量和初级生产力

Tab. 2 Chlorophyll a and primary productivity in the Liusha Bay

季节	叶绿素 a 含量/ $(\text{mg}\cdot\text{m}^{-3})$		初级生产力/ $[\text{mg}\cdot(\text{d}\cdot\text{m}^2)^{-1}]$	
	范围	各季平均值	范围	各季平均值
春季	0.581—4.640	2.49	92.13—178.25	108.86
夏季	1.241—6.350	3.81	88.23—295.40	165.21
秋季	0.550—4.235	2.77	26.54—165.46	102.23
冬季	0.470—2.079	1.46	20.19—98.35	58.65
年平均值	2.65		108.74	

2.1.3 生态效率

流沙湾的浮游动物生物量在 $0.08\text{—}7.24\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间, 年平均值为 $2.04\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 平均密度为 $8186\text{个}\cdot\text{L}^{-1}$ [19], 计算出流沙湾的生态效率为 15.18% 。

2.1.4 流沙湾的底栖贝类生物量

调查显示, 流沙湾底栖贝类的平均栖息密度和平均鲜重在 7—9 月最大, 在 3—5 月最小。底栖贝类各月平均鲜重在 $44.46\text{—}124.53\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 年平均鲜重为 $77.8\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ (表 3)。其中潮间带底栖贝类的年平均鲜重为 $88.28\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 现存量为 935.8t ; 潮下带底栖贝类年平均鲜重为 $14.92\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$, 现存量为 924.7t 。流沙

湾的底栖贝类生物量合计为 1860.5t 。

2.1.5 吊养区非养殖滤食性附着动物生物量

通过对流沙湾的各站点贝类吊养区和浮筏式网箱养殖区延绳、浮筏和桩基上的非养殖滤食性附着动物调查, 发现主要有翡翠贻贝 *Perna viridis*-Linnaeus、近江牡蛎 *Ostrea rivularis*、皱瘤海鞘 *Styela plicata*、麦氏偏顶蛤 *Modiolus metcalfi*、白脊藤壶 *Balanus albicostatus*。非养殖滤食性附着动物平均生物量为 $0.78987\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 平均密度为 $2.062\times 10^5\text{个}\cdot\text{hm}^{-2}$; 非养殖滤食性附着动物总生物量为 1294.9t 。

表 3 不同季节流沙湾的底栖贝类生物量(鲜重: $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)Tab. 3 Biomass of benthic shellfish in the Liusha Bay in different seasons(wet weight: $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)

采样点	3 月	5 月	7 月	9 月	11 月	1 月	平均值
渔港	43.7 ± 3.2	63.70 ± 2.5	223.00 ± 23.1	85.33 ± 10.7	120.53 ± 5.9	27.20 ± 1.2	93.91
提统	44.0 ± 7.6	163.80 ± 11.5	261.80 ± 18.8	33.20 ± 2.0	64.13 ± 4.4	53.87 ± 4.0	103.46
海尾	0	16.93 ± 1.4	88.77 ± 1.8	71.82 ± 2.9	19.73 ± 1.4	35.02 ± 1.5	38.70
英良	152.0 ± 22.5	59.69 ± 6.1	105.45 ± 4.1	224.40 ± 29.3	83.91 ± 4.5	153.20 ± 17.6	127.77
大井	33.6 ± 4.0	36.00 ± 4.8	94.00 ± 4.9	113.80 ± 14.8	89.60 ± 6.47	68.00 ± 14.5	72.50
大湖	25.8 ± 5.4	21.53 ± 1.8	82.50 ± 2.2	52.27 ± 4.2	191.60 ± 23.3	174.50 ± 12.8	87.53
湾中	12.1 ± 16.0	19.33 ± 2.1	16.20 ± 16.2	18.70 ± 20.1	12.60 ± 16.4	10.60 ± 7.2	14.92
平均值	44.46	54.42	124.53	85.65	83.16	74.62	77.80

注: 表中 “±” 后数值为标准偏差。

2.1.6 流沙湾养殖贝类和非养殖滤食性贝类的滤水率

实验室测定不同规格马氏珠母贝的滤水率, 得出马氏珠母贝的滤水率与其含壳鲜重的模拟关系式为 $y=0.0169x^{0.3142}$, 其中 x 为马氏珠母贝含壳重, y 为马氏珠母贝的滤水率, 计算平均商品规格的马氏珠母贝滤水率为 $0.05428\text{m}^3\cdot(\text{个}\cdot\text{d})^{-1}$ 。其他非养殖滤食性贝类的滤水率见表 4。

表 4 流沙湾野生滤食性贝类的滤水率

Tab. 4 Filtration rates of wild filter feeder in the Liusha Bay

种类	规格/($\text{g}\cdot\text{个}^{-1}$)	密度/($\text{个}\cdot\text{m}^{-2}$)	滤水率 /[$\text{m}^3\cdot(\text{个}\cdot\text{d})^{-1}$]
翡翠贻贝	35	0.28	0.05615
近江牡蛎	15	2.01	0.04538
皱瘤海鞘	2.5	2.63	0.00863
麦氏偏顶蛤	0.22	7.96	0.03215
白脊藤壶	2.6	5.75	0.01022

2.2 流沙湾的马氏珠母贝养殖容量估算

2.2.1 应用营养动态模型估算流沙湾的马氏珠母贝生态容量

如流沙湾年初级生产力为 $108.74\text{mg}\cdot(\text{d}\cdot\text{m}^2)^{-1}$, 水域面积为 6900hm^2 , 则年初级产碳量为 3783.26t 。实验检测浮游植物鲜重含碳量为 7.862% , 年初级生产量 48528.25t , 水域生态效率为 15.18% , 营养级取 1.05 级, 马氏珠母贝的含壳重与鲜组织重的比值为 3.88, 流沙湾贝类含壳重年产量为 25792.9t 。

2.2.2 应用方建光贝类养殖容量估算模型估测流沙湾的马氏珠母贝生态容量

流沙湾年初级生产力为 $108.74\text{mg}\cdot(\text{d}\cdot\text{m}^2)^{-1}$, 叶绿素 a 含量为 $2.65\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 水域面积为 6900hm^2 。依据养殖贝类马氏珠母贝的滤水率和非养殖滤食性附着动物的平均密度和滤水率数据, 估算流沙湾的马

氏珠母贝的生态容量为 26281.8t 。

2.2.3 流沙湾的马氏珠母贝养殖容量

依据营养动态模型和方建光贝类养殖容量估算模型估测流沙湾的马氏珠母贝生态容量, 扣除野生滤食性动物生物现存量 6155.4t , 分别得出马氏珠母贝的养殖容量为 19637.5t 和 20126.4t , 平均为 19881.95t 。按平均商品规格($41\text{g}\cdot\text{个}^{-1}$)折算养殖容量分别为 4.789634×10^8 和 4.908878×10^8 个, 平均为 4.849256×10^8 个。依据流沙湾马氏珠母贝延绳式吊养模式的通常养殖密度(1.05×10^5 个 $\cdot\text{hm}^{-2}$)计算, 流沙湾马氏珠母贝的适养面积为 461.83hm^2 。

3 讨论

已有的资料显示, 柘林湾^[20]、福建沿海^[21]春季浮游植物生物量分别为 12.9 和 $90.3\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 柘林湾^[22]、青岛近海海区^[23]浮游动物生物量分别 11517 和 $118.1\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 柘林湾^[22]、大嶝岛^[12]叶绿素 a 含量分别为 4.1 和 $2.99\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。与上述海域研究结果比较, 流沙湾的浮游植物和浮游动物生物量以及叶绿素 a 含量均处于较低水平。众所周知, 海区的营养盐、海区大型海藻和海草床对营养盐的利用、潮汐、浮游动物和养殖贝类的摄食情况, 都是制约海区浮游植物生长的主要因素。一般来说, 营养盐的含量高, 浮游植物的生物量高, 叶绿素 a 含量也高。流沙湾海域水体交换频繁, 存在着较大面积的海草床, 营养盐含量偏低^[24], 导致了流沙湾浮游植物含量、叶绿素 a 的含量和初级生产力偏低。对莱州湾及潍河口浮游植物生物量和初级生产力分布的研究中也取得类似的结果^[25]。

应用 2 种模型估算流沙湾海域马氏珠母贝的养殖容量分别为 19637.5t 和 20126.4t 。按平均商品规格($41\text{g}\cdot\text{个}^{-1}$)折算养殖容量分别为 4.789634×10^8 和 4.908878×10^8 个。2 种模型估测的结果检验偏差不

大, 因此, 估算结果基本能反映流沙湾海域马氏珠母贝现实的养殖容量。依据流沙湾马氏珠母贝延绳式吊养模式的通常养殖密度(1.05×10^5 个 $\cdot\text{hm}^{-2}$)计算, 流沙湾马氏珠母贝的适养面积为 461.83hm^2 。据资料显示, 流沙湾马氏珠母贝的养殖最高峰期, 养殖面积高达 1250hm^2 , 超出现实估算养殖容量的 1.7 倍。由于贝类是滤食性动物, 其滤食系统非常发达, 大规模的马氏珠母贝养殖无疑对该海域的浮游植物群落结构和丰度构成了较大的压力。此外, 由于流沙湾养殖马氏珠母贝的效益连续下滑, 近几年来引进了海湾扇贝 *Argopecten irradians* 和栉孔扇贝 *Azumapecten farreri* 的养殖, 这可能也是导致流沙湾浮游植物的生物量下降的原因。已有研究证实, 栉孔扇贝的滤水率高^[26], 扇贝对浮游植物的摄食压力导致了叶绿素 a 含量和初级生产力降低^[27], 而初级生产力降低和浮游植物丰度下降又限制了马氏珠母贝的养殖容量。

董双林等^[28]认为, 以太阳辐射能为驱动能源, 利用水中的营养物(无机盐、浮游生物)生产产品(如海带、扇贝等)的自养型养殖系统与主要以人工饲料为主要能源来源(如网箱养鱼)的异养型养殖系统合理复合, 可以提高水体的养殖容量。针对流沙湾海域营养盐贫乏, 浮游植物生物量偏低的状态, 通过调整流沙湾的养殖结构和布局, 从根本上改善马氏珠母贝的养殖环境, 是流沙湾马氏珠母贝养殖容量扩大的重要途径。因此, 提出以下具体的措施。1) 适当扩大流沙湾投饵网箱商品鱼的养殖规模, 增加海域输入性营养盐的数量, 促进浮游植物的生长, 改善马氏珠母贝的饵料条件。2) 禁止在流沙湾海域

开展海湾扇贝和栉孔扇贝的养殖, 避免因扇贝与马氏珠母贝的生态位重叠形成的饵料竞争对该海域的浮游植物生长造成压力。3) 开展流沙湾海域生物修复技术研究, 对养殖海域重新进行规划、布局, 适当扩大养殖间距, 以充分利用水域的空间和饵料; 建立海湾“鱼-贝-藻”间养模式^[29], 使不同养殖系统之间起到互利互补的作用。流沙湾是一个口小腹大的海湾, 水域面积较大, 水体交换频繁。由于流沙湾水动力因素复杂, 本实验仅从营养动态和初级生产力现状估算养殖容量, 没有考虑水动力因素对养殖容量的影响, 因此对流沙湾马氏珠母贝养殖容量的估算值比实际养殖容量可能偏低。今后有待进一步开展建立在水动力学上的估算模型以准确估算流沙湾养殖容量的研究。

4 小结

1) 流沙湾海域的浮游植物生物量在 $0.11—23.63\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间, 年平均浮游植物的生物量为 $3.72\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 叶绿素 a 含量在 $0.47—6.35\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 之间, 平均为 $2.65\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$; 初级生产力在 $20.19—295.4\text{mg}\cdot(\text{d}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 之间, 平均为 $108.74\text{mg}\cdot(\text{d}\cdot\text{m}^2)^{-1}$ 。整体评价流沙湾海域浮游植物生物量、叶绿素 a 的含量和初级生产力均偏低。

2) 流沙湾的估算总容量为 26281.8t , 扣除野生滤食性动物生物量, 马氏珠母贝的养殖容量为 19881.95t 。按平均商品规格($41\text{g}\cdot\text{个}^{-1}$)折算养殖容量为 48492.56×10^4 个。依据流沙湾马氏珠母贝延绳式吊养模式的通常养殖密度(1.05×10^5 个 $\cdot\text{hm}^{-2}$), 流沙湾马氏珠母贝的适养面积为 461.83hm^2 。

参考文献

- [1] 董双林, 李德尚, 潘克厚. 论海水养殖的养殖容量[J]. 青岛海洋大学学报, 1998, 28(2): 252–258.
- [2] 唐启升. 关于容纳量及其研究[J]. 海洋水产研究, 1996, 17(2): 1–6.
- [3] 杨红生, 张福绥. 浅海筏式养殖系统贝类养殖容量研究进展[J]. 水产学报, 1999, 3(1): 84–90.
- [4] 小林信三. 喷火湾のウニとその养殖许容量调查报告书[R]. 北海道: 北海道水产资源技术开发协会, 1978: 53.
- [5] BACHER C, BIOTEAU H, CHAPPELLE A. Modelling the impact of a cultivated oyster population on the nitrogen dynamics: the Thau Lagoon case[J]. Ophelia, 1995, 42: 29–54.
- [6] HOLLIDAY J E, MACUIRE G B, NELL J A. Optimum stocking density for nursery culture of Sydney rock oysters(*Saccostrea commercialis*)[J]. Aquac, 1991, 96(1): 7–16.
- [7] CARVER C E A, MALLEF A L. Assessing the carrying capacity of a coastal inlet in terms of mussel culture[J]. Aquac, 1990, 88(1): 39–53.
- [8] GRANT J, CRANFORD P J. Carbon and nitrogen scope for growth and function of diet in sea scallop *Placopecten magellanicus*[J]. J Mar Bio Ass U K, 1991, 71: 437–450.
- [9] NIQUIL N, POUVREAN S. Trophic web and carrying in a pearl oyster farming lagoon (Takapoto French Polynesia)[J]. Aquat Living Resour, 2001, 14: 165–174.
- [10] PARSONS T R, TAKAHASHII M. Biological Oceanography Processes[M]. New York: Pergamon Press, 1973: 186.
- [11] 方建光, 匡世煥, 孙慧玲, 等. 桑沟湾栉孔扇贝养殖容量的研究[J]. 海洋水产研究, 1996, 17(2): 18–31.
- [12] 卢振彬, 杜琦, 方民杰, 等. 厦门大嶝岛海域贝类的养殖

- 容量[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 961-966.
- [13] 尹晖, 孙耀, 徐林梅, 等. 乳山湾滩涂贝类养殖容量的估算[J]. 水产学报, 2007, 31(5): 669-674.
- [14] 叶富良. 我国南珠养殖业现状及发展对策[M]. 北京: 海洋出版社, 2001: 246-255.
- [15] 申玉春, 李再亮, 黄石成, 等. 流沙湾海域水产养殖结构与布局调查分析[J]. 中国渔业经济, 2010, 28(1): 105-109.
- [16] IKEDA T, MOTODA S. Estimated zooplankton production and their ammonia in the Kuroshio and adjacent seas[J]. Fish Bull, 1978, 76: 357-367.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范: 海洋生物调查[S]. 北京: 中国标准出版社, 1991: 17-20.
- [18] WILDISH D J, KRISTMANSON D D, SAULNIER A M. Interactive effect of velocity and seston concentration on giant scallop feeding inhibition[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1992, 155: 161-168.
- [19] 王彦, 申玉春, 齐明, 等. 流沙湾浮游动物的群落结构与生物多样性[J]. 现代农业科学, 2009, 16(10): 74-76.
- [20] 周凯, 黄长江, 姜胜, 等. 2000—2002 年柘林湾浮游植物群落结构及数量变动的周年调查[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 688-698.
- [21] 张壮丽, 叶孙忠. 福建海区浮游植物种类组成及数量分布特点[J]. 南方水产, 2006, 2(5): 44-49.
- [22] 黄长江, 陈善文, 朱琳, 等. 2001—2002 年粤东柘林湾浮游动物的生态学研究[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(2): 117-130.
- [23] 王晓, 王宗灵, 刘萍, 等. 夏季青岛近海浮游动物种类组成、群落结构及多样性[J]. 科学海洋进展, 2009, 29(3): 376-382.
- [24] 黄小平, 黄良民, 李颖虹, 等. 华南沿海主要海草床及其生境威胁[J]. 科学通报, 2006, 51(增刊): 114-119.
- [25] 孙军, 刘东艳, 柴心玉, 等. 莱州湾及潍河口夏季浮游植物生物量和初级生产力的分布[J]. 海洋学报, 2002, 24(5): 81-90.
- [26] 周毅, 毛玉泽, 杨红生, 等. 四十里湾栉孔扇贝清滤率、摄食率和吸收效率的现场研究[J]. 生态学报, 2002, 22(9): 1455-1462.
- [27] 孙桂清, 王六顺, 郑向荣, 等. 河北扇贝养殖海域叶绿素 a 含量分布特征及初级生产力估算[J]. 河北渔业, 2008(9): 59-63.
- [28] 董双林, 潘克厚, BROCKMANN U. 海水养殖对沿岸生态环境影响的研究进展[J]. 青岛海洋大学学报, 2000, 30(4): 575-580.
- [29] 申玉春, 陈文霞, 朱春华, 等. 流沙湾养殖结构优化与生态环境生物修复技术[J]. 水产学报, 2010, 34(7): 1051-1061.