

福建诏安湾贝类养殖容量的研究

卢振彬, 杜琦, 钱小明, 许翠娅, 蔡清海, 方明杰

(福建省水产研究所, 福建 厦门 361012)

摘要: 通过现场对诏安湾叶绿素 a 含量、初级生产力、生态效率、浮游植物有机碳含量、养殖贝类有机碳含量及其含壳重与鲜组织重比值、养殖贝类和野生滤食性动物滤水率、潮间带和潮下带及吊养区附着滤食性动物现存量等的调查获得模型参数, 应用营养动态模型、沿岸能流模型估算贝类生态容量, 进而扣除野生滤食性动物现存量形成贝类的养殖容量, 同时采用贝类能量收支模型估算贝类养殖容量。3 种模式估算的贝类养殖容量分别为 58 469 t, $288\ 260 \times 10^4$ ind; 60 275 t, $297\ 167 \times 10^4$ ind; 61 532 t, $30\ 336 \times 10^4$ ind; 平均 60 092 t, $296\ 263 \times 10^4$ ind。并且采用统计分析法估算贝类及其各品种的适养面积。贝类适养总面积为 2 755 hm^2 , 其中缢蛭 25 hm^2 , 牡蛎 1 560 hm^2 , 翡翠贻贝 215 hm^2 , 菲律宾蛤仔 120 hm^2 , 泥蚶 30 hm^2 , 凸壳肌蛤 95 hm^2 , 波纹巴非蛤 710 hm^2 。

关键词: 诏安湾; 贝类; 养殖容量; 生产量; 适养面积

中图分类号: Q178.53

文献标识码: A

文章编号: 1673-2227-(2005)05-0001-09

Study on the culture capacity of shellfish in Zhaoan Bay

LU Zhen-bin, DU Qi, QIAN Xiao-ming, XU Cui-ya, CAI Qing-hai, FANG Ming-jie

(Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361012, China)

Abstract: Investigation and determination was carried out on chlorophyll a, primary productivity, ecologic efficiency, organic carbon content in plankton and cultured shellfish, and the weight ratio of whole shellfish and fresh tissue, filtering ratio of cultured shellfish and wild filtering animal, existence of filtering animal in tidal area, under tidal area and hanging culture area. Nutrition dynamic model and coastal energy transfer model were used to estimate the shellfish ecological capacity. The shellfish culture capacity was estimated by excluding the biomass of wild filtering animal. Fang Jian-guang's model was also used to estimate shellfish culture capacity. Statistic analysis was made to estimate optimal culture area for each shellfish species. The shellfish culture capacity of Zhaoan Bay estimated through the three models were 58 469 t, $288\ 260 \times 10^4$ ind, 60 275 t, $297\ 167 \times 10^4$ ind and 61 532 t, $30\ 336 \times 10^4$ ind, respectively, averaged 60 092 t, $296\ 263 \times 10^4$ ind. The shellfish optimal culture area in total was 2 755 hm^2 , among which *Sinonovacula constricta* 25 hm^2 , oyster 1 560 hm^2 , *Perna viridis* 215 hm^2 , *Ruditapes philippinarum* 120 hm^2 , *Tegillarca granosa* 30 hm^2 , *Musculista senhousia* 95 hm^2 , *Paratapes undulata* 710 hm^2 .

Key words: Zhaoan Bay; shellfish; culture capacity; production; optimal culture area

诏安湾系福建南端一个半封闭的港湾, 位于 $117^{\circ}15'50'' \sim 117^{\circ}22'34''\text{E}$, $23^{\circ}34'24'' \sim 23^{\circ}45'8''\text{N}$, 东临东山岛, 西接诏安官口半岛, 东北面原经八尺

门水道与东山湾相连, 现已被八尺门海堤切断成独立一个港湾。湾口朝南, 口小腹大, 湾口宽仅 7 km。总面积 17 340 hm^2 , 平均水面面积 15 300

收稿日期: 2005-07-18; 修回日期: 2005-08-19

资助项目: 福建省海洋与渔业局重点资助项目 (2000-03)

作者简介: 卢振彬 (1943-), 男, 研究员, 从事海洋渔业资源和生态学研究。E-mail: lzb1942@yahoo.com.cn

hm², 滩涂面积 3 340 hm²。该港湾养殖贝类有牡蛎, 缢蛏 *Sinoncaucula constricta*, 菲律宾蛤仔 *Ruditapes pholippinarum*, 翡翠贻贝 *Perna viridis*, 泥蚶 *Tegillarca granosa*, 波纹巴非蛤 *Paphia undulata*, 凸壳肌蛤 *Musculista senhousei* 等 7 种, 近 10 多年来养殖发展较快, 养殖面积和产量由 1990 年的 374.6 hm², 2 690 t 发展到 1999 年的 4 317 hm², 100 908 t, 分别增长 10.52 和 36.5 倍。目前养殖面积还有再扩大趋势, 为了科学、合理和充分开发该海湾贝类的养殖潜在量, 于 2000~2003 年开展了福建主要海湾水产养殖容量调查和研究, 本文专题报道诏安湾的贝类养殖容量。

国内、外有关贝类养殖容量研究仅见对栉孔扇贝 *Chlamys farreri*^[1], 太平洋牡蛎 *Crassostrea gigas*^[2-4], 美洲牡蛎 *Crassostrea virginica*, 岩牡蛎 *Saccostrea commercialis*^[5], 贻贝 *Mytilus edulis*^[6-9], 硬壳蛤 *Mercebaria mercenaria*^[10,11], 扇贝 *Placopecten magellanicus*^[12], 珠母贝 *Pinctada margaritifera*^[13] 等单种贝类养殖容量的研究报道。然而, 对同一海域多种贝类的养殖容量研究尚未见报道。

本文通过现场对诏安湾叶绿素 a 含量、初级生产力、生态效率、浮游植物有机碳含量、养殖贝类有机碳含量及其含壳重与鲜组织重比值、养殖贝类和野生滤食性动物滤水率、潮间带和潮下带及吊养区附着滤食性动物现存量等的调查和检测。应用 Parsons 和 Takahashii 营养动态模型和 Tait 沿岸能流分析模型估算贝类生态容量, 进而扣除野生滤食性动物现存量估算贝类养殖容量, 同时采用贝类能量收支模型估算贝类养殖容量, 并且采用统计分析法估算贝类及其各品种的适养面积, 目的在于为海洋与水产主管部门对该湾贝类养殖的宏观调控和生态保护提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 贝类生态容量估算模型

1.1.1 营养动态模型 营养动态模式系估算生态系统中不同营养阶层生物的生产量。模型表达式为^[14]: $P = BE^n$ 。用于估算贝类含壳重生产量时模式为 $P = (BE^n) \times k$ 。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), 采用年初级产碳量除以浮游植物鲜重含碳率求得; 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 Tait 沿岸海域能流分析模型 Tait 对沿岸海域生态系能流分析结果, 认为有 10% 的能量转化为底栖软体动物^[15]。因此, 贝类年产碳量为 10% 的年初级产碳量, 其产量单位以有机碳计算。若以贝类鲜组织重计算生产量时, 则由贝类年产碳量除以贝类鲜组织含碳率求得。以含壳重计算产量时, 还须将鲜组织重乘上含壳重与鲜组织重的比值。

1.2 贝类能量收支模型

采用方建光等^[1]的栉孔扇贝养殖容量估算模型:

$$CC = [P - K \times Chla \sum_j (FR_{fj} \times B_j)] / (k \times Chla \times FR_c)$$

式中 CC 为估算贝类的养殖容量 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$); P 为初级生产力 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$); k 为浮游植物体内有机碳与叶绿素 a 比值 (40:1); FR_{fj} 为不同种类的附着滤食性生物的滤水率 [$\text{m}^3 \cdot (\text{ind} \cdot \text{d})^{-1}$]; B_j 为不同种类的附着生物密度 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$); m 为滤食性附着生物种类; $Chla$ 为叶绿素 a 的平均浓度 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$); FR_c 为估算贝类的滤水率 [$\text{m}^3 \cdot (\text{ind} \cdot \text{d})^{-1}$]

1.3 模型参数调查和检测

针对上述估算模型所必须的各项参数, 于 2001~2002 年开展了以下诸项调查和检测。调查和检测均按海洋调查规范进行。

1.3.1 叶绿素 a 含量、初级生产力和潮下带底栖滤食性动物调查 2001 年 5、8、11 月在诏安湾设立 11 个站点 (Z2~Z12) 进行了 3 个季度叶绿素 a 含量、初级生产力和潮下带底栖滤食性动物调查 (调查站位见图 1)。初级生产力采用 C¹⁴ 示踪法。

1.3.2 潮间带底栖滤食性动物调查 2001 年 11 月在诏安湾的田厝 (A 断面) 和顶头 (B 断面) 潮间带设立 2 个段面, 每个断面布设 5 个采样站点进行潮间带底栖滤食性动物调查。

1.3.3 吊养区非养殖滤食性附着动物调查 2001 年 7、11 月在诏安湾湾顶 (I 站)、湾中 (II 站) 和湾口 (III) 的贝类吊养区设立 3 个采样站位, 调查吊养器具-延绳、浮筏和附着基上的非养殖滤食性附着动物种类、生物量和密度。

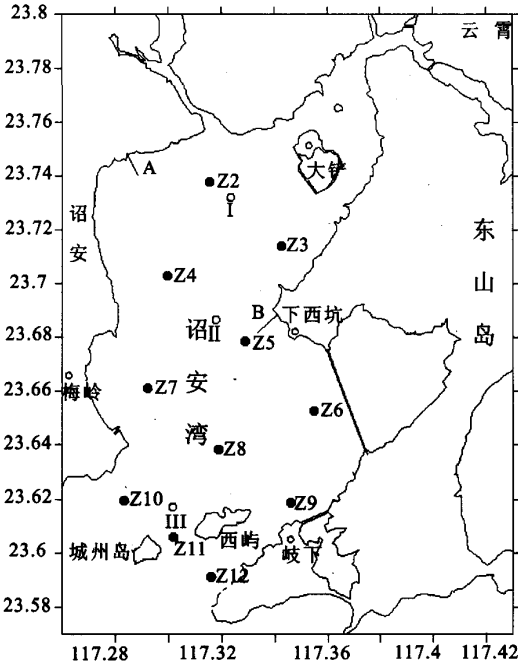


图1 诏安湾养殖容量调查站位图

Fig. 1 Location of stations for studies of carrying capacity in Zhao'an bay

1.3.4 养殖贝类滤水率现场实验检测 2001年6、8、10月在诏安湾长山尾村亿隆养殖场,以现场叶绿素a浓度为指标对牡蛎、菲律宾蛤仔、泥蚶、波纹巴非蛤、翡翠贻贝、凸壳肌蛤的滤水率进行测定。测定方法同孙慧玲等^[16]对栉孔扇贝滤水率的检测。

1.3.5 浮游植物有机碳含量调查检测 2001年5、11月在Z3、Z5、Z11站,采用浮游植物网采集浮游生物,先使用80目筛网过滤浮游动物,然后使用220目筛网过滤浮游植物。样品经抽滤,称重,在60℃恒温连续24h烘干,再称重。干样检测有机碳含量,采用化学分析法检测。

1.3.6 养殖贝类含壳重与鲜组织重比值的测定

2001年7、11月在养殖现场取牡蛎、缢蛏、菲律宾蛤仔、泥蚶、波纹巴非蛤、翡翠贻贝、凸壳肌蛤各30~50个测定养殖贝类含壳重与鲜组织重比值。

1.3.7 养殖贝类鲜组织有机碳含量检测 在测

定了牡蛎、缢蛏、泥蚶、菲律宾蛤仔、波纹巴非蛤、翡翠贻贝、凸壳肌蛤的含壳重与鲜组织重比值后,每种鲜组织各取大、中、小个体1个,称重,在60℃恒温连续24h烘干,再称重。干样检测有机碳含量,采用化学分析法检测。

1.3.8 生态效率测算 以先前有关诏安湾浮游动物生物量和丰度资料^[17],采用Ikeda-Motoda生理学方法^[18]测算。

浮游动物生物量(B,以C计)的计算,取浮游动物的干重约为湿重的20%和C含量约为干重的40%换算^[19]。以样品因甲醛溶液固定的失重约为33%校正湿重^[20]。

将非胶质浮游动物湿重的生物量换算成以C计的生物量($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)。计算方法采用Ikeda-Motoda生理学方法^[18]。计算步骤:

(1) 将各站浮游动物湿重的生物量($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)除以丰度($\text{ind}\cdot\text{m}^{-3}$),求得平均个体湿重($\text{mg}\cdot\text{ind}^{-1}$),并取上述生物量的湿、干重换算值和校正值,换算平均个体干重($\text{mg}\cdot\text{ind}^{-1}$)。

(2) 应用Ikeda关于浮游动物呼吸率与个体干重和湿重的复回归方程^[21]:

$$\ln R = 0.7886 \ln DW + 0.0490T - 0.2512$$

计算各站浮游动物的呼吸率(R)。式中 R 为呼吸率($\mu\text{L O}_2$)($\text{ind}\cdot\text{h}^{-1}$), DW 为浮游动物平均个体干重(mg), T 为水温。

(3) 取呼吸商0.8,呼吸率 R 换算为以C计的呼吸率 R_c [$\mu\text{g}\cdot(\text{ind}\cdot\text{d})^{-1}$]。换算式为: $R_c = 0.8 \cdot (12/22.4) \cdot 24 \cdot R = 10.286 R$ 。

(4) 取浮游动物同化率70%和总生长效率30%,计算各测站浮游动物的日生产量 P [$\mu\text{g}\cdot(\text{ind}\cdot\text{d})^{-1}$],计算式为: $P = 30R_c / (70 - 30) = 0.75 R_c$ 。

2 结果

2.1 模型参数调查、检测结果

2.1.1 叶绿素a含量和初级生产力 春、夏、秋3季叶绿素a含量和初级生产力的调查检测结果如表1。可见表层叶绿素a含量平均为 $3.88 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$,初级生产力平均为 $158.47 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

表1 诏安湾叶绿素 a 含量和初级生产力

Tab. 1 Chlorophyll a and primary productivity of the sea area of Zhaoan Bay

季节 season	叶绿素 a/mg·dm ⁻³ chlorophyll a				初级生产力/mg·m ⁻² ·d ⁻¹ primary productivity	
	表层 surface layer		底层 bottom		范围 range	平均 average
	范围 range	平均 average	范围 range	平均 average		
春季 spring	2.65 ~ 7.45	5.23	2.80 ~ 7.30	5.16	115 ~ 329	240.64
夏季 summer	1.90 ~ 3.80	2.96	2.80 ~ 5.80	3.03	57 ~ 143	97.11
秋季 autumn	1.75 ~ 8.50	3.45	1.00 ~ 8.50	2.10	62.64 ~ 304.27	137.65
平均 average	1.75 ~ 8.50	3.88	1.00 ~ 8.50	4.10	57 ~ 329	158.47

表1缺少冬季测值,这里加入海岛资源调查在诏安湾4个站点冬季叶绿素 a 含量平均值 2.06 mg·dm⁻³,初级生产力平均值 23.3 mg·m⁻²·d⁻¹[17],故年均叶绿素 a 含量为 3.43 mg·dm⁻³,年均初级生产力为 124.68 mg·m⁻²·d⁻¹。

2.1.2 生态效率 生态效率测算结果,春季平均为 11.4%,夏季 22.1%,秋季 16.8%,冬季 10.6%,年平均为 16.1%。

2.1.3 潮下带底栖滤食性动物生物量 调查结果显示,潮下带底栖滤食性动物生物量为 21.86 g·m⁻²,栖息密度为 22 ind·m⁻²。

2.1.4 潮间带底栖滤食性动物生物量 调查结果显示,潮间带底栖滤食性动物生物量为 24.38 g·m⁻²,栖息密度为 75 ind·m⁻²。

2.1.5 吊养区非养殖滤食性附着动物生物量和密度 吊养区延绳、浮筏和附着基上的非养殖滤食

性附着动物有白脊藤壶 (*Balanus albicostatus pilsbry*)、翡翠贻贝 (*Perna viridis*)、黑乔麦蛤 (*Xenostrobus atrata*)、角偏顶蛤 (*Modiolus metcalfei*)、皱瘤海鞘 (*Styela plicata*) 等。生物量以角偏顶蛤为最大,其次是皱瘤海鞘,白脊藤壶居三。密度以角偏顶蛤最高,其次为白脊藤壶,皱瘤海鞘居三。总生物量和总密度分别为 6.05 t·hm⁻²和 43 049 × 10⁴ ind·hm⁻²。

2.1.6 贝类含壳重与软组织重的比值 诏安湾养殖牡蛎、菲律宾蛤仔、缢蛏、泥蚶、翡翠贻贝、凸壳肌蛤、波纹巴非蛤的含壳重与鲜组织重比值的测定结果如表2。按最高单产 1998 年各品种的养殖产量比例,进行加权计算平均比值为 5.92。

2.1.7 浮游植物有机碳含量 浮游植物干样和鲜样有机碳含量检测结果如表3。鲜样有机碳含量百分率为 8.0170%。

表2 诏安湾养殖贝类含壳重与鲜组织重比值

Tab. 2 The ratio of whole body weight to fresh tissue weight of 7 kinds of shellfish of Zhaoan Bay

项目 item	牡蛎 oyster	缢蛏 <i>Sinonvacula constricta</i>	菲律宾蛤仔 <i>R. philippinarum</i>	翡翠贻贝 <i>P. viridis</i>	泥蚶 <i>T. granosa</i>	波纹巴非蛤 <i>Paphia undulata</i>	凸壳肌蛤 <i>Musculista senhousei</i>	加权平均 average
比值范围 ratio range	5.23 ~ 7.41	2.77 ~ 5.18	3.66 ~ 5.71	3.99 ~ 5.61	4.33 ~ 5.61	3.89 ~ 5.86	3.43 ~ 4.76	
平均比值 average ratio	6.54	4.21	4.75	4.48	5.03	4.77	3.94	5.9200
1998 总产量/t total catch in 1998	66 998	560	6 430	12 370	195	10 603	1 700	
占总产量比例 percentage	71.49	0.39	5.32	9.89	0.20	10.95	1.76	

表3 诏安湾浮游植物有机碳含量

Tab. 3 Organic carbon content of phytoplankton of Zhaoan Bay

%

站号 station	干重含碳率 carbon content in dry weight		鲜重含碳率 carbon content in wet weight	
	范围 range	平均 average	范围 range	平均 average
Z3, Z5, Z11	27.618 ~ 35.472	32.406	6.8326 ~ 8.7758	8.0170

2.1.8 贝类鲜组织有机碳含量 养殖牡蛎、菲律宾蛤仔、缢蛭、泥蚶、翡翠贻贝、凸壳肌蛤、波纹巴非蛤的鲜组织有机碳含量检测结果如表4。按最高单产1998年各品种的养殖产量比例,进行加权计算平均有机碳含量百分率为5.3283。

现场试验测定6种养殖贝类的滤水率,并计算达到商品规格的滤水量如表5。缢蛭的滤水率参照波纹巴非蛤。表中野生的滤食性附着动物滤水率参照方建光等的检测值^[1]。

表4 诏安湾养殖贝类有机碳含量

Tab. 4 Carbon content of several kinds of cultured shellfish in the sea area of Zhaoan Bay

%

项目 item	牡蛎 oyster	缢蛭 <i>Sinoncvacula constricta</i>	菲律宾蛤仔 <i>R. philippinarum</i>	翡翠贻贝 <i>Perna viridis</i>	泥蚶 <i>T. granosa</i>	波纹巴非蛤 <i>Paphia undulata</i>	凸壳肌蛤 <i>Musculista senhousei</i>	加权平均 average
含量范围 carbon content in wet weight	5.03 ~ 6.77	4.57 ~ 5.83	3.04 ~ 5.33	4.11 ~ 5.41	4.46 ~ 6.34	3.87 ~ 6.08	3.03 ~ 4.56	
平均含量 average	5.75	5.25	3.76	4.37	4.86	5.07	3.55	5.3283
1998年总产量/t total catch in 1998	69208	380	5150	9575	195	10603		
占总产量比例 percentage	71.49	0.39	5.32	9.89	0.20	10.95	1.76	

表5 诏安湾几种养殖贝类和野生滤食性动物滤水量

Tab. 5 Filtration rates of several kinds of cultured shellfish and wild filter feeders in the sea area of Zhaoan Bay

	种类 species	成体规格/g·ind ⁻¹ adult weight	密度/ind·m ⁻² density	滤水率/m ³ ·(ind·d) ⁻¹ filtration rate
养殖 cultured	牡蛎 oyster	30.0		0.06615
	缢蛭 <i>Sinoncvacula constricta</i>	12.0		0.04462
	泥蚶 <i>T. granosa</i>	10.0		0.02215
	凸壳肌蛤 <i>Musculista senhousei</i>	2.5		0.01070
	菲律宾蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	8.0		0.02215
	翡翠贻贝 <i>Perna viridis</i>	25.0		0.05615
	波纹巴非蛤 <i>Paphia undulata</i>	15.0		0.04463
野生 wild	角偏顶蛤 <i>Modiolus metcalfei</i>	0.2	1.7293	0.03352
	白脊藤壶 <i>Balanus albicostatus pilsbry</i>	2.6	1.1824	0.00968
	皱瘤海蛸 <i>Styela plicata</i>	2.5	0.9083	0.00648

2.2 贝类生态容量

2.2.1 营养动态模型估算 诏安湾年平均初级生产力 (C) 为 $124.68 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 平均水域面积为 $15\,300 \text{ hm}^2$, 则年初级产碳量为 $6\,962.8 \text{ t}$ 。浮游植物鲜重有机碳含量百分率为 8.017% , 换算浮游植物年生产量为 $86\,850 \text{ t}$ 。海域生态效率为 0.161 , 营养阶层 (营养级) 取 1.05 级。估算结果贝类鲜组织年生产量为 $12\,763 \text{ t}$ 。该湾 7 种养殖贝类含壳重与鲜组织重加权平均比值为 5.92 。则诏安湾滤食性动物年生产量为 $75\,557 \text{ t}$ 。

2.2.2 Tait 的沿岸海域能流模型估算 Tait (1981) 模式计算诏安湾滤食性动物年产碳量为 696.28 t 。该湾 7 种养殖贝类加权平均含碳率为 5.3283% 。年生产贝类鲜组织重 $13\,068 \text{ t}$, 换算含壳重年生产量为 $77\,363 \text{ t}$ 。与营养动态模式估算的结果基本相近。

2.3 野生滤食性动物生产量

2.3.1 潮间带非养殖区野生滤食性动物生产量

据上述潮间带野生滤食性动物生物量为 $24.38 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 潮间带面积 $3\,340 \text{ hm}^2$, 则野生滤食性动物现存量为 814 t 。

2.3.2 潮下带野生滤食性动物生产量 据上述潮下带野生滤食性动物生物量为 $21.86 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 潮下带面积 $15\,300 \text{ hm}^2$, 则野生滤食性动物现存量为 $3\,345 \text{ t}$ 。

2.3.3 吊养区非养殖滤食性附着动物生产量

吊养牡蛎的浮筏及附着基的非养殖滤食性动物生物量为 $6.05 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。以 1999 年的吊养面积 $2\,137 \text{ hm}^2$ 计, 吊养区非养殖滤食性附着动物现存量为 $12\,929 \text{ t}$ 。

以上 3 项野生滤食性动物现存量合计为 $17\,088 \text{ t}$ 。

2.4 贝类养殖容量

2.4.1 贝类生态容量估算养殖容量 以上 2 种营养动力学模型估算诏安湾贝类年生产量分别为 $75\,557$ 和 $77\,363 \text{ t}$, 扣除海区野生滤食性动物现存 $17\,088 \text{ t}$ 后, 则贝类养殖容量分别为 $58\,469$ 和 $60\,275 \text{ t}$ (含壳重)。按单产最高 1998 年的各种养

殖贝类产量比例, 计算各养殖品种的可养重量 (t) 和换算为各养殖品种成品规格 (牡蛎 $30 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$, 缢蛭 $12 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$, 翡翠贻贝 $25 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$, 泥蚶 $10 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$, 菲律宾蛤仔 $8 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$, 凸壳肌蛤 $2.5 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$, 波纹巴非蛤 $15 \text{ g} \cdot \text{ind}^{-1}$) 的可养数量 (ind) 如表 6。可见营养动态模型和沿岸能流模型估算的贝类总可养数量分别为 $288\,260 \times 10^4$ 和 $297\,167 \times 10^4 \text{ ind}$ 。

2.4.2 能量收支模式估算贝类养殖容量 诏安湾养殖贝类种类有 7 种, 采用能量收支模型估算时, 先逐一估算全部养殖某一品种时的养殖容量, 然后以贝类平均单产最高年份的品种产量比例来配置品种的养殖量, 形成贝类的总养殖容量。其单品种可养密度 ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$) 的估算结果并按最高单产 1998 年各养殖品种产量比例, 配置贝类总养殖容量如表 6。可见, 能量收支模型估算的贝类养殖容量为 $61\,532 \text{ t}$, $30\,336 \times 10^4 \text{ ind}$ 。

以上 3 种模型估算诏安湾贝类养殖容量分别为 $58\,469 \text{ t}$ 、 $288\,260 \times 10^4 \text{ ind}$ 、 $60\,275 \text{ t}$ 、 $297\,167 \times 10^4 \text{ ind}$ 和 $61\,532 \text{ t}$ 、 $303\,361 \times 10^4 \text{ ind}$, 估算结果较接近。取平均值 $60\,092 \text{ t}$, $296\,263 \times 10^4 \text{ ind}$ 。如果以平均单产最高 1998 年的 $22.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (含壳重) 去除养殖容量, 则诏安湾贝类可养面积为 $2\,683 \text{ hm}^2$ 。

2.5 贝类适养面积的统计分析

依据多年的统计资料对诏安湾养殖贝类的单位面积产量变化曲线进行数学模拟, 该曲线呈抛物线, 抛物线顶点所对应的面积就是适宜养殖面积。以此统计分析法估计诏安湾贝类及其各养殖品种的适养面积列入表 7。可见, 统计分析法估计的诏安湾贝类适养面积为 $2\,755 \text{ hm}^2$, 与上述估算养殖容量除以最高单产所得的可养面积 $2\,683 \text{ hm}^2$ 基本接近。

1999 年贝类实际养殖面积已超过估算的适养面积, 各品种的养殖面积也都超过适宜养殖面积。必须进行调整, 实现品种间的优化配置, 达到生态养殖, 提高单产之目的。

表 6 诏安湾贝类养殖容量及其种类配置

Tab. 6 The carrying capacities of shellfish and its main species cultured in the sea area of Zhaoan Bay

模型 model	贝类养殖容量 carrying capacity of shellfish		其中 thereinto						
			牡蛎 oyster	缢蛭 <i>Sinonvacula constricta</i>	翡翠贻贝 <i>Perna viridis</i>	菲律宾蛤仔 <i>R. philippinarum</i>	泥蚶 <i>T. granosa</i>	凸壳肌蛤 <i>Musculista senhousei</i>	波纹巴菲蛤 <i>Paphia undulata</i>
营养动态 nutrition dynamic model	重量 /t weight	58 469	41 799	228	5 783	3 111	117	1 029	6 402
	数量/10 ⁴ ind amount	288 260	139 330	1 900	23 132	38 888	1 170	41 160	42 680
沿岸能流 coastwise energy flow model	重量 /t weight	60 275	43 091	235	5 961	3 207	120	1 061	6 600
	数量/10 ⁴ ind amount	297 167	143 637	1 958	23 844	40 088	1 200	42 440	44 000
能量收支 Fang jian guang model	重量/t weight	61 532	43 989	239	6 086	3 274	123	1 083	44 920
	数量/10 ⁴ ind amount	303 361	146 630	1 992	24 344	40 925	1 230	43 320	44 920
平均 average	重量/t weight	60 092	42 953	234	5 943	3 197	120	1 058	6 580
	数量/10 ⁴ ind amount	296 263	143 199	1 950	23 773	39 967	1 200	42 307	43 867

表 7 诏安湾贝类适养面积

Tab. 7 The optimal farming area for shellfish of the sea area of Zhaoan Bay

项目 item	贝类 shellfish	其中 thereinto						
		缢蛭 <i>Sinonvacula constricta</i>	牡蛎 oyster	菲律宾蛤仔 <i>R. philippinarum</i>	翡翠贻贝 <i>Perna viridis</i>	泥蚶 <i>T. granosa</i>	波纹巴菲蛤 <i>Paphia undulata</i>	凸壳肌蛤 <i>Musculista senhousei</i>
适养面积 optimal farming area	2 755	25	1 560	120	215	30	710	95
1999 年实际养殖面积 actual culture area in 1999	4 317	47	2 337	390	277	128	1 015	123

3 讨论

3.1 模型的实用性

本文除采用方建光等在桑沟湾实验区对栉孔扇贝养殖容量研究所建立的能量收支模型外，还首次应用营养动态模型和沿岸能流分析模型在贝类养殖容量估算上，后 2 模型应用在海洋鱼类资源潜在生产量的研究，国内、外已有不少报道^[22-25]①，但尚

未见应用在贝类养殖容量研究上。该 2 模型是否适用于贝类养殖容量的估算，在此以方建光能量收支模型的估算结果进行检验。营养动态模型估算值与方建光能量收支模型估算值误差 ± 1 531.5 t，相对误差 ± 2.55%。沿岸能流分析模型估算值误差 ± 628.5 t，相对误差 ± 1.03%。表明该 2 种模型也适用于贝类养殖容量的估算。3 种模型估算结果极为接近，平均值为 60 092 t，误差 ± 1 257.1 t，相对

①吴家骥：东海区渔业资源利用情况及发展趋势 [C]。东海区资源动态检测网、东海区渔业资源管理咨询委员会十周年专集，1997。

误差 $\pm 2.09\%$ ，表明3种模型都有实用价值。

至于3种模型估算值存在着一定的差距，是因为模型不同，参数也不同。营养动态模型取决于生态效率、浮游植物有机碳含量和贝类营养级；沿岸能流模型取决于贝类有机碳含量；方建光模型取决于养殖贝类滤水率和非养殖滤食性附着动物栖息密度及其滤水率。模型不同、参数不同，估算结果存在小的差异是正常的。

另外，本文的估算模型存在明显不足，即忽略了环境对贝类养殖容量的影响。随着沿海工业发展和垦区池塘与网箱鱼类养殖量的增加，对海域的污染加重，势必影响贝类的养殖容量^[26,27]。同时，还要研究贝类养殖量对浮游植物的影响^[28]。今后在贝类养殖容量研究，必须同步开展环境容量和藻、鱼养殖容量及贝、藻、鱼养殖结构优化研究，实现生态养殖，提高养殖容量，维护养殖区的生态环境，为社会提供无公害、健康的养殖动植物产品，这是今后水产养殖容量研究的方向。

3.2 适宜养殖面积的可操作性

养殖容量指的是一个特定海区某种生物的可养殖数量和可养殖重量。本研究在采用3种模型估算贝类的可养殖数量和可养殖重量的同时，还辅助以统计分析法估算贝类及其养殖品种的适宜养殖面积。贝类养殖系统属于天然营养型养殖系统，其生长过程主要取决于天然饵料的丰度，遵循逻辑斯谛增长模式，可靠性和置信度较强。以统计分析法估算贝类适养面积为 $2\,755\text{ hm}^2$ ，与营养动态模型、沿岸能流分析模型和方建光模型估算的养殖容量平均值，换算为可养面积 $2\,683\text{ hm}^2$ 基本接近，误差 $\pm 36\text{ hm}^2$ ，相对误差 $\pm 1.32\%$ 。表明适养面积的统计分析法也具有较好实用性，同时也具有较强的可操作性，因为养殖容量（可养重量和可养数量）在实施养殖规划和品种优化配置上，或在“养殖证”和“海域使用证”的发放上比较难以操作，而以面积为单位比较直观，便于操作，具有更强的实用意义。

3.3 优化养殖结构，实现可持续发展

为使贝类养殖能走上健康、高质、高产、高效可持续发展道路，必须按照估算的贝类及其各品种的适养面积，对现有养殖面积和养殖结构进行调整。调整养殖面积之后，剩余空间有所增大，这时可以

控制在养殖容量的前提下，尽量均匀分布，适当扩大养殖间距（扩大30%左右），以充分利用空间和饵料。同时，采取生态养殖措施，多种类、多类型养殖合理搭配。在贝类养殖区内适当设置一些网箱养殖，以增加营养盐，供浮游植物生长繁殖需要。网箱养殖区周围套养部分大型藻类和贝类，以防富营养化导致赤潮发生，使不同养殖系统之间互利互补，实现生态养殖，达到养殖业的可持续发展之目的。

参考文献：

- [1] 方建光, 匡世焕, 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.
- [2] Bacher C. Etude de l' impact du stock d' huîtres et des mollusques compétiteurs sur les performances de croissance de *Crassostrea gigas*, a l' aide d' un modele de croissance [J]. ICES Mar Sci Symp, 1991, 192: 41-47.
- [3] Bacher C, Bioteau H, Chapelle A. Modelling the impact of a cultivated oyster population on the nitrogen dynamics; the Thau Lagoon case (France) [J]. Ophelia, 1995, 42: 29-54.
- [4] Herral M, Deslous-Paoli J M, Prou J, et al. Dynamique des productions et des biomasses des huîtres creuses cultivées (*Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas*) dans le bassin de Marennes - Oleron depuis un siècle [J]. ICES CM, 1986, F: 41.
- [5] Holliday J E, Maguire G B, Nell J A. Optimum stocking density for nursery culture of Sydney rock oysters (*Saccostrea commercialis*) [J]. Aquac, 1991, 96 (1): 7-16.
- [6] Carver C E A, Mallet A L. Assessing the carrying capacity of a coastal inlet in terms of mussel culture [J]. Aquac, 1990, 88 (1): 39-53.
- [7] Frechette M M. Carrying capacity and density dependence (Workshop Report) [J]. ICES Mar Sci Symp, 1991, 192: 78.
- [8] Mallet A L, Carver C E. An Assessment of strategies for growing mussels in suspended culture [J]. J Shellf Res, 1991, 10 (2): 471-477.
- [9] Navarro E, Iglesias I P, Camacho A P, et al. The physiological energetics of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk) from different cultivation rafts in Ria de Arosa (Galicia, N. W. Spain) [J]. Aquac, 1991, 94 (2-3): 197-212.
- [10] Grizzle R E, Lutz R A. A statistical model relation horizontal seston fluxes and bottom sediment characteristics to growth of *Mercenaria mercenaria* [J]. Mar Biol, 1989, 102: 95-105.
- [11] Judge M L, Coen L D, Heck K L. The effect of long-term alteration of in situ currents on the growth of *Mercenaria mercenaria* in the northern gulf of Mexico [J]. Limnol Oceanogr, 1992, 37 (7): 1550-1559.

- [12] Grant J, Cranford P J. Carbon and nitrogen scope for growth and a function of diet in the sea scallop *Placochlamys magellanicus* [J]. J Mar Bio Ass U K, 1991, 71: 437-450.
- [13] Niquil N, Pouvreau S. Trophic web and carrying capacity in a pearl oyster farming lagoon (Takapoto, French Polynesia) [J]. Mar Freshw Res, 2001, 48 (8): 923-930.
- [14] Parsons T R, Takahashi M. Biological oceanographic processes [M]. New York: Pergamon Press, 1973. 186.
- [15] 沈国英, 施并章. 海洋生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2002. 230-268.
- [16] 孙慧玲, 方建光, 匡世煊, 等. 栉孔扇贝在模拟自然水环境中率水率的测定 [J]. 中国水产科学, 1995, 2 (4): 16-21.
- [17] 福建省海岛资源综合调查编委会. 福建省海岛资源综合调查报告 [R]. 北京: 海洋出版社. 1996. 168-177.
- [18] Ikeda, T. and S. Motoda. Estimated zooplankton production and their ammonia in the Kuroshio and adjacent seas [J]. Fish Bull, 1978, 76: 357-367.
- [19] Omori M. Weight and chemical composition of some important oceanic zooplankton in the North Pacific Ocean [J]. Mar Biol, 1969, 3: 3-10.
- [20] Giguere L A. Can we estimate the true weight of zooplankton samples after chemical preservation? [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1989, 46: 522-527.
- [21] Ikeda T. Metabolic rates of epipelagic marine zooplankton as a function of body mass and temperature [J]. Mar Biol, 1985, 85: 1-11.
- [22] 杨纪明. 海洋渔业资源开发潜力估计. 我国海洋开发战略研究论文集 [C]. 北京: 海洋出版社, 1985.
- [23] 宁修仁, 刘子琳, 史君贤, 渤、黄、东海初级生产力及其潜在渔业生产量的评估 [J]. 海洋学报, 1995, 17 (3): 72-84.
- [24] 丘书院. 论东海区鱼类资源的评估 [J]. 海洋渔业, 1997, (2): 49-51.
- [25] 卢振彬, 戴泉水, 肖方森. 闽南-台湾浅滩海域生态系统鱼类资源生产量 [J]. 热带海洋学报, 2005, 24 (1): 60-66.
- [26] 崔毅, 陈碧娟, 陈聚法. 黄渤海海水养殖自身污染的评估 [J]. 应用生态学报, 2005, 16 (1): 180-185.
- [27] 徐水健, 浅鲁闽. 海水网箱养殖对环境的影响 [J]. 应用生态学报, 2004, 15 (3): 532-536.
- [28] 王俊, 姜祖辉, 董双林. 滤食性贝类对浮游植物群落增殖的作用的研究 [J]. 应用生态学报, 2001, 12 (5): 765-768.

欢迎订阅 2006 年度《南方水产》

《南方水产》是由中国水产科学研究院南海水产研究所主办, 国内外公开发行的综合类水产科技期刊。主要报道渔业资源、捕捞技术、渔业设施、渔业环境保护、水产养殖与增殖、渔业生物病害、水产品加工与综合利用以及水产基础研究等方面的论文、研究简报、综述等。

《南方水产》立足南方, 面向全国, 突出学术性、地域性、实用性、可读性, 重点报道国内外渔业科研、生产的新技术、新成果及新动向。

《南方水产》为双月刊, 80 页, 大 16K, 双月出版。邮发代号 46-65, 每期定价 8 元, 全年 6 期 48 元 (含邮费)。读者可到当地邮局订阅, 也可将款汇至《南方水产》编辑部订阅或补订。

编辑部地址: 广州市新港西路 231 号 邮编: 510300 电话: 020-84458694

传真: 020-84451442 E-mail: nfsc@vip.163.com