

文章编号:1000-0615(2007)05-0669-06

乳山湾滩涂贝类养殖容量的估算

尹 晖^{1,2}, 孙 耀¹, 徐林梅¹, 陈碧娟¹, 姜守轩³, 孟 伟³, 宋建中³

(1. 中国水产科学院黄海水产研究所, 山东 青岛 266071;

2. 中国海洋大学图书馆, 山东 青岛 266003;

3. 乳山市海洋与渔业局, 山东 威海 264500)

摘要:通过计算单位面积的浮游植物和底栖微藻生产的有机碳供应量、单位面积浮游动物和其它底栖生物的生物量及其对有机碳的需求量,首次对乳山湾滩涂贝类(以菲律宾蛤仔为代表,后文简称蛤仔)在不同养殖季节的养殖容量进行了估算。结果显示,不同体长范围内的蛤仔养殖容量均表现为10月份最大,6月份次之,8月份最小。壳长在1.5~2.5 cm范围内的蛤仔的平均养殖容量为2 692 ind·m⁻²,目前乳山湾蛤仔实际养殖密度为1 080 ind·m⁻²,该体长范围内的蛤仔养殖密度尚有较大发展余地;壳长在2.5~3.5 cm范围内的蛤仔的平均养殖容量为1 157 ind·m⁻²,该体长范围内的蛤仔养殖密度基本接近其实际养殖密度;壳长大于3.5 cm的蛤仔平均养殖容量为697 ind·m⁻²,该体长范围内的蛤仔养殖密度已超过其最佳养殖密度。

关键词:贝类;初级生产力;养殖容量;滩涂养殖;乳山湾

中图分类号:S 968.3

文献标识码:A

Estimation of carrying capacity for shellfish in Rushan Bay

YIN Hui^{1,2}, SUN Yao¹, XU Lin-mei¹, CHEN Bi-juan¹

JIANG Shou-xuan³, MENG Wei³, SONG Jian-zhong³

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China;

2. Library, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

3. Ocean and Fishery Bureau of Rushan, Weihai 264500, China)

Abstract: *Ruditapes philippinarum*, which is naturally distributed along the coast of the Pacific and India Oceans, is one of the most popular shellfish cultured in China and many parts of the world. China is the world's largest producer of *Ruditapes philippinarum*. Some inappropriate ways of aquaculture, however, have resulted in the worsening of environment, which would restrict and endanger the development of aquaculture. The study of carrying capacity may resolve the problem of ecosystem by overstocking, so the study on carrying capacity of cultured tidal shellfish is very necessary. The carrying capacity for shellfish *Ruditapes philippinarum* that cultured in the Rushan Bay was estimated by calculating the demand for and the supply of organic carbon produced by primary production. Ingestion rate of filter-feeding animals and other field data were used for model validation. The results showed that the highest carrying capacity of the bay for the *Ruditapes philippinarum* occurred in October and the lowest in August in tidal cultured areas among

收稿日期:2006-12-19

资助项目:国家自然科学基金(30271021);中国水产科学研究院科研重点基金项目(2003-1-3)

作者简介:尹 晖(1968-),女,山东青岛人,硕士研究生,从事海洋环境化学研究。E-mail:yinhui@gmail.com

通讯作者:孙 耀, Tel:13573228006, E-mail:sunyao@ysfri.ac.cn

different shell length. The average carrying capacity of the bay for the *Ruditapes philippinarum* with the shell length of 1.5–2.5 cm was 2 692 ind·m⁻² and still in suitable opportunity, the shell length of 2.5–3.5 cm was 1 157 ind·m⁻² and near the actual culture density, and the shell length above 3.5 cm was 697 ind·m⁻² and over the best culture density.

Key words: shellfish; primary production; carrying capacity; tidal culture; Rushan Bay

有关贝类养殖容量的研究始于 20 世纪 70 年代末及 80 年代初,70 年代日本北海道大学等受佐吕间湖养殖渔业协同组织的委托,对海水养殖贝类大量死亡的原因进行调查,分析认为是由于放养密度超过了养殖容量而引起的,并指出养殖量的大小与病害出现频率和死亡率直接有关。欧美各国学者相继从营养动力学和水动力学的角度研究养殖容量,根据水域的能量收支交换和个体营养需求等建立模型,估算特定水域某养殖种类的容量^[1-4],我国养殖容量研究起步较晚,迄今为止,大多数贝类养殖容量估算主要是针对浅海筏式贝类养殖^[5-11]。

滩涂作为海洋与陆地交接并处于不断演变的生态系,其开发为城市社会经济的发展带来了巨大的推动力,但随着养殖历史的延长及养殖规模的扩大,导致其养殖环境的恶化,出现了生长周期长,肥满度降低,死亡率高等一系列生态学问题,给滩涂贝类养殖业带来极大的损失,其中养殖密度过大引起的生态学问题有可能通过养殖容量研究解决,因此尽快开展滩涂贝类养殖容量的研究变得至关重要。

乳山湾位于 121°25′~121°37′E,36°44′~36°52′N 范围内,呈 V 字形,自然形成西流区和东流区。东流区湾口宽约 600 m,长约 13 km,面积 3 200 hm²,水深较浅,平均水深 3.5 m,是典型的半封闭式内湾,湾内为正规半日潮。乳山湾滩涂广阔,底质以粘土质粉砂为主,水质肥沃,底栖硅藻丰富,适宜滩涂贝类生长,滩涂贝类养殖在乳山已有百余年历史,养殖品种有菲律宾蛤仔、牡蛎、缢蛏等,为我国北方重要的滩涂贝类养殖水域之一。作者在 2004 年 6 月、8 月和 10 月 3 个航次调查的基础上,通过计算单位面积的浮游植物和底栖微藻生产的有机碳供应量、单位面积浮游动物和其它底栖生物的生物量及其对有机碳的需求量,首次对乳山湾滩涂贝类在不同养殖季节养殖容量进行了估算,以期水产增养殖业的合理布局与管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查区域

本次调查区域见图 1,共设 14 个调查站位;其中,1~14 号站位为水环境调查站位,6 号站位为浮游植物的同化系数现场测定站位;1、2、4、5、7、8 站位同时也为沉积环境调查站位,2、5 号站位为底栖微藻的同化系数现场测定站位和现场围隔实验站位。

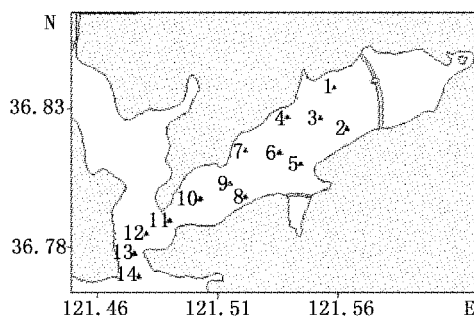


图 1 乳山湾调查站位图

Fig. 1 Investigation stations in Rushan Bay

1.2 乳山湾滩涂贝类养殖容量的估算模型

在对乳山湾滩涂贝类养殖容量进行研究时,采用方建光等^[8]的估算公式,通过计算单位面积的浮游植物和底栖微藻生产的有机碳供应量、单位面积浮游动物和其它底栖生物的生物量及其对有机碳的需求量,对乳山湾滩涂贝类在不同养殖季节养殖容量进行了估算,模型为:

$$CC = (PP - k \times \sum (FR_j \times B_j)) / k \times FR_s$$

式中,CC 为贝类养殖容量(ind·m⁻²);PP 为初级生产量(mg C·m⁻²·d⁻¹);k 为浮游植物体内有机碳与叶绿素 a 比值(40:1);B_j 为其它生物密度(ind·m⁻²);FR_j 为其它生物摄食率(mg·ind⁻¹·d⁻¹);FR_s 为养殖贝类摄食率(mg·ind⁻¹·d⁻¹)。

根据乳山湾贝类养殖容量模型,将湾内浮游植物的初级生产力加上相应月份的湾内外水平浮游植物输运量和底栖微藻的初级生产力作为总初级生产力,养殖贝类的摄食率以围隔实验中的实

测值为准,并根据室内模拟试验所得到的蛤仔摄食率及其温度、壳长和饵料浓度间的数学模型,估算不同规格蛤仔摄食率,其它生物只考虑浮游动物和其它底栖滤食性生物的影响。

1.3 模型参数调查和检测

水样采样与样品分析 每个站位采集表层海水 1 000 mL 进行叶绿素 a 测定,水样带回实验室后立即用 0.45 μm 滤膜减压抽滤,以供测定分析。叶绿素 a 的测定按《海洋调查规范》^[12] 中的方法进行。加 90% 丙酮萃取、离心、定容,在 7320 型分光光度计上测定。

初级生产力的测定 使用 ^{14}C 模拟现场培养法^[12]。在光强为表面光强的 100×10^{-2} , 50×10^{-2} , 30×10^{-2} , 10×10^{-2} 和 1×10^{-2} 的深度上采集水样,培养瓶的体积为 100 mL,培养时间为 2 h,加入 ^{14}C 的强度约为 370 kBq,用浓盐酸蒸熏法除去无机 ^{14}C ,使用 F7-2101 型双道液体闪烁计数仪测定同化的有机 ^{14}C 的放射性强度。

光合速率按下列公式计算: $P_v = (R_s - R_b) \times C_t / R \times N$, P_v 为初级生产力 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{h}^{-1}$) 有机碳; R_s 为白瓶样品中有机碳 ^{14}C 的量 (kBq); R_b 为 0 时间样品中有机碳 ^{14}C 的量 (kBq); R 为加入的有机碳 ^{14}C 的量 (kBq); C_t 为海水中 CO_2 的总浓度 ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$); N 为培养时间 (h)。

泥样采样与样品分析 测定叶绿素 a 的泥样用内径 6 cm 有机玻璃管垂直取 0~10 cm 深的柱样,立即以 0~1 cm, 1~2 cm, 2~5 cm, 5~10 cm 的间隔切割,将泥样装入塑料袋中,避光冷冻带回实验室测定。叶绿素 a 浓度测定采用分光光度法^[13];称取部分样品,加 90% 丙酮萃取、离心、定容,在 7320 型分光光度计上测定;依照戴荣继等^[14] 的计算公式,以体积与重量之比计算出泥样中的叶绿素 a 浓度。

在 2,5 两个站位同时进行了初级生产力的培养测定;用 3 个有机玻璃管(一黑二白)垂直插入滩涂 10 cm,向各管内加入一定量的经过滤现场海水,并分别加入 185 kBq $\text{NaH}^{14}\text{CO}_3$ 溶液,在自然光照下培养 2~3 h 后,以 0~1 cm, 1~2 cm, 2~5 cm 和 5~10 cm 的间隔分割,将泥样装入塑料袋中,避光冷冻带回实验室测定。称取部分样品于闪烁瓶中,加入闪烁液后进行 β 计数,按照《海洋调查规范》^[12] 方法计算初级生产力。

乳山湾内外水平浮游植物输运量 测定湾

口内外叶绿素 a 含量,根据海水交换率及交换周期^[15-16] 确定湾内外浮游植物输运量。

浮游动物摄食率的测定 通过现场培养的稀释法测定浮游动物的摄食率。实验操作参考 JGOFS WP^[17] 方法进行。于 2004 年 6 月、8 月和 10 月大潮汛期在乳山湾东流区 2,5 站围隔附近,用 2.5 L 充分清洗后聚乙烯塑料瓶,采集表层海水,用孔径为 0.45 μm 的滤膜过滤海水 10 L,200 μm 分样筛过滤海水 10 L 以除去大于 200 μm 的浮游动物,将 0.45 μm 滤膜过滤海水和 200 μm 过滤海水按 0:1, 1:3, 1:1, 3:1 的比例混合装于 2.5 L 聚乙烯塑料瓶中,每个比例设 2 个平行样,用绳索吊在采水深度培养 24 h,按《海洋调查规范》^[12] 分别测定培养前和培养后水样中的叶绿素 a。

浮游动物的摄食率计算公式为: $P_t = P_0 \times e^{(k-g)t}$, 其中 P_t 是时间为 t 时浮游植物的浓度, P_0 是开始时浮游植物的浓度, k 是浮游植物的增长率, g 是浮游动物的摄食率, c 是稀释度,为过滤海水与混合后总体积的比值。

蛤仔和其它底栖滤食性生物摄食率的测定

通过现场围隔实验测定不同养殖季节蛤仔和其它底栖滤食性生物的摄食率。实验开始时,两站位 4 个围隔同时采集海水 5 L,每间隔 1 h 取一次水样,共持续 4 h,水样带回实验室立即用 0.45 μm 滤膜减压抽滤,以供叶绿素 a 测定分析^[12]。试验结束后,记录放置蛤仔个数及重量。

蛤仔的摄食率 FR_{ind} ($\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ind}^{-1}$) 通过实验组与对照组叶绿素 a 的浓度变化求得,其计算方法为:

$$\text{FR}_{\text{ind}} = V \times [C_{\text{e0}} - (C_{\text{e0}} \times S_{\text{ed}}) - C_{\text{et}}] / (N \times t)$$

V 为培养器的体积 (L), N 为实验蛤仔的个数, C_{e0} 、 C_{et} 分别为实验组实验开始和 t 时间时的饵料浓度 ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), t 为实验时长 (h), S_{ed} 为对照组饵料变化系数, $S_{\text{ed}} = (C_{\text{e0}} - C_{\text{et}}) / C_{\text{e0}}$ 。

其它底栖滤食性生物摄食率 FR ($\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$) 通过对对照组叶绿素 a 的浓度变化与浮游动物摄食率的差值求得,其计算方法为:

$$\text{FR} = V \times [C_{\text{e0}} + C_{\text{e0}} \times k \times t - C_{\text{et}}] / t - V \times C_{\text{e0}} \times g$$

V 为培养器的体积 (L), t 为实验时长 (h), C_{e0} 、 C_{et} 分别为对照组实验开始和 t 时间时饵料浓度 ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$), k 是浮游植物的增长率 (h^{-1}), g 是浮游动物的摄食率 (h^{-1})。

蛤仔摄食与温度、壳长和饵料浓度的关系为估算不同规格蛤仔摄食率,通过室内流水法,测定并计算了蛤仔摄食率与温度、壳长和饵料浓度对其的影响,建立了相关的数学模型^[18]。

2 结果

2.1 模式参数的检测结果

水体和滩涂的初级生产力 乳山湾不同养殖季节水体和滩涂的初级生产力如表 1 所示。

表 1 乳山湾水体和滩涂初级生产力
Tab.1 Primary productivity of water and tidal field in Rushan Bay

日期 (year-month) date	初级生产力 (mgC·m ⁻² ·d ⁻¹) primary productivity	
	水体 water field	滩涂 tidal field
2004-06	119.24	674.14
2004-08	135.34	850.88
2004-10	159.18	911.65

乳山湾内外水平浮游植物输运量 乳山湾内外水平浮游植物输运量测算结果为 6 月份为 2.1 mgC·m⁻²·d⁻¹, 8 月份为 77.9 mgC·m⁻²·d⁻¹, 10 月份为 27.9 mgC·m⁻²·d⁻¹。

现场浮游动物、蛤仔和其它底栖滤食性生物摄食率 现场浮游动物、蛤仔和其它底栖滤食性生物摄食率如表 2 所示。

表 2 乳山湾浮游动物、蛤仔和其它底栖滤食性生物摄食率
Tab.2 Ingestion rate of zooplankton, *Ruditapes philippinarum* and other benthic filter-feeding biology in Rushan Bay

日期 (year-month) date	摄食率 (μg·h ⁻¹) ingestion rate		
	浮游动物 zooplankton	蛤仔 <i>Ruditapes philippinarum</i>	其它底栖滤食性生物 other benthic filter-feeding biology
2004-06	9.40	84.26	0.46
2004-08	15.05	174.69	1.88
2004-10	9.28	61.27	2.44

蛤仔摄食与温度、壳长和饵料浓度的关系 室内模拟试验结果表明在实验条件范围内,蛤仔摄食率 (FR_{ind}: μg·h⁻¹·ind⁻¹) 与温度、壳长和饵料浓度之间的关系符合模型: FR_{ind} = 21.2LnT + 20.06LnL + 7.10LnC - 97.95, 经方差分析结果表明,其相关系数均呈非常显著水平^[18]。

2.2 乳山湾滩涂贝类不同养殖季节单位面积养殖容量

乳山湾不同规格的蛤仔不同养殖季节单位面积养殖容量如表 3 所示。当蛤仔壳长为 1.5 ~ 2.5 cm 时,其 10 月份的单位面积养殖容量最大,为 5 948 ind·m⁻²; 8 月份的养殖容量最低,为 1 034 ind·m⁻²。当蛤仔壳长为 2.5 ~ 3.5 cm 时,其 10 月份的单位面积养殖容量为 1 822 ind·m⁻²; 8 月份的养殖容量为 610 ind·m⁻²。3 种不同规格的蛤仔单位面积养殖容量的季节变化基本一样,均表现为 10 月份最大,6 月份次之,8 月份最小。

表 3 乳山湾滩涂贝类单位面积养殖容量
Tab.3 Unit area carrying capacity of shellfish in Rushan Bay

日期 (year-month) date	单位面积养殖容量 (ind·m ⁻²)		
	1.5 ~ 2.5 cm	2.5 ~ 3.5 cm	3.5 ~ 4.5 cm
2004-06	1380	1039	747
2004-08	748	610	473
2004-10	5948	1823	870

3 讨论

乳山湾不同季节养殖贝类的单位面积养殖容量因贝类大小和季节不同、饵料供应量不同而变化较大。10 月份由于水温较低,贝类新陈代谢速率较慢,而叶绿素 a 浓度相对较高,其养殖容量最大; 6 月份,随着生物摄食量的增大,养殖容量迅速减少,8 月底进入低谷,8 月份虽叶绿素 a 浓度较高,但养殖贝类的摄食率相对更高,导致其养殖容量最小。

据对乳山湾滩涂贝类生产环境的调查结果显示,乳山湾目前滩涂贝类养殖面积为 866.7 hm²,其中蛤仔养殖面积 733.3 hm²,缢蛏和牡蛎养殖面积 66.7 hm²,青蛤 33.3 hm²,蛤仔为主要养殖品种,目前乳山湾菲律宾蛤仔实际养殖密度为 1 080 ind·m⁻²,图 2 显示了乳山湾不同季节、不同大小的蛤仔的实际养殖密度与理论养殖容量之间的关系。

从图 2-A 中可以看出,当蛤仔壳长为 1.5 ~ 2.5 cm 时,其平均养殖容量为 2 692 ind·m⁻²,高于其实际养殖密度,说明该体长范围内的蛤仔的养殖密度尚有较大发展余地。当蛤仔壳长为 2.5 ~ 3.5 cm 时,其平均养殖容量为 1 157 ind·m⁻²,

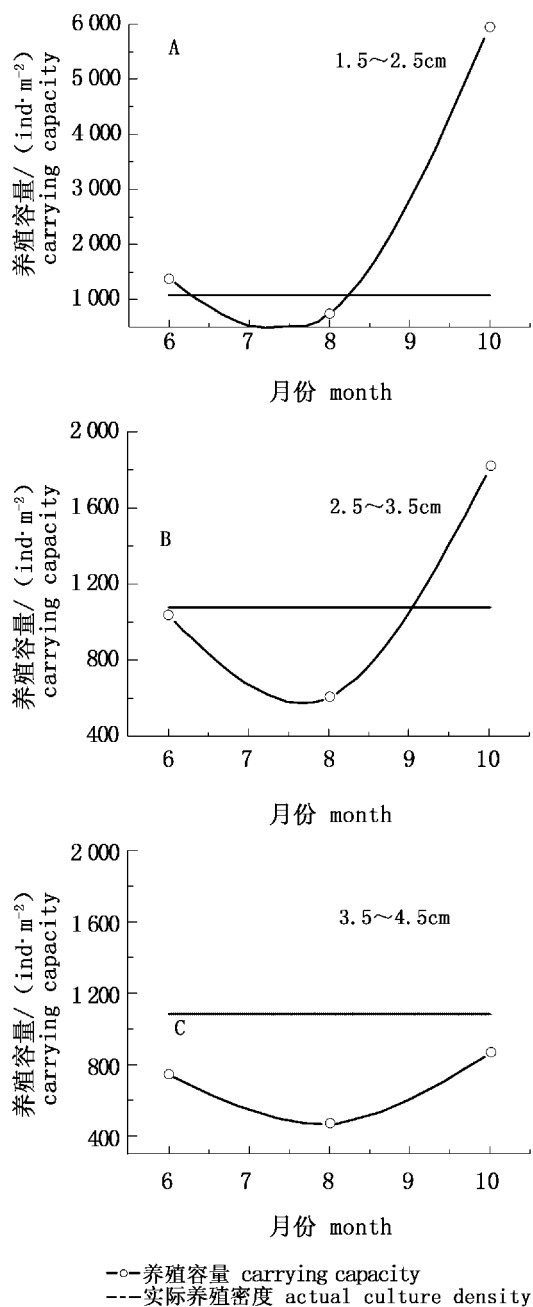


图2 乳山湾不同规格蛤仔不同月份的养殖容量
Fig. 2 Carrying capacity of Rushan Bay for *Ruditapes philippinarum* in different months

基本接近其实际养殖密度(图 2-B),说明目前该湾养殖的蛤仔在该壳长范围内的养殖密度已经达到了最佳养殖密度。但蛤仔壳长大于 3.5 cm 时,其平均单位面积养殖容量约为 $697 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 左右,低于其实际养殖密度(图 2-C),说明该壳高范围内的蛤仔养殖密度已经超过其最佳养殖密度,因而由此可以推断,该湾养殖蛤仔生长速度慢,肥满度低的主要原因是养殖密度超过养殖容量所致。

本养殖容量估算方法和模式是以有机碳为指标而建立的,迄今为止,贝类养殖容量模型主要是针对浅海筏式贝类养殖,还没有滩涂贝类养殖容量的估算方法,通常对于筏式贝类养殖容量模型研究中初级生产力的估算集中在上层水柱中浮游植物对贝类养殖的影响,无需没有考虑底栖藻类对贝类养殖的影响,但由于滩涂贝类和筏式养殖贝类的生存环境不同,底栖微藻对滩涂贝类养殖容量的影响是不容忽视的,因此,根据滩涂贝类的生存环境结合当地的滩涂生态养殖生态环境(包括温、盐结构,潮汐变化,水交换,水质和底质化学环境等),系统地进行滩涂贝类养殖容量研究就显得尤为重要^[19]。

在学术界,养殖容量的定义并不统一,特定水域的养殖容量大小不仅受养殖系统内外理化因子和生物因子等因素的制约,同时还受养殖水域所在国家或地区政治、经济、文化等诸因素的影响^[20]。养殖容量的估算精确性同样受诸多因子如海流、初级生产力、试验条件等的影响,任何一个因子的偏差都会使容量估算模式产生较大的误差。蛤仔的主要饵料为浮游生物和有机碎屑^[21],如何将浮游植物以外的食物种类进行定量定性,准确测定不同滤食性生物摄食率,完善滩涂贝类养殖容量估算模式,将有待进一步研究。此外,有关滩涂贝类养殖容量的研究在我国刚刚开始,研究方法和模式需要进一步的完善和探讨,在实践中反复检验,以便使养殖容量研究能对我国的海水养殖业起指导作用。

4 结语

不同体长范围内的蛤仔养殖容量均表现为 10 月份最大,6 月份次之,8 月份最小。

壳长在 1.5 ~ 2.5 cm 范围内的蛤仔的平均养殖容量为 $2692 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$,目前乳山湾实际养殖密度为 $1080 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$,该体长范围内的蛤仔养殖密度尚有较大发展余地;

壳长在 2.5 ~ 3.5 cm 范围内的蛤仔的平均养殖容量为 $1157 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$,该体长范围内的蛤仔养殖密度基本接近其实际养殖密度;

壳长大于 3.5 cm 的蛤仔平均养殖容量为 $697 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$,该体长范围内的蛤仔养殖密度已经超过其最佳养殖密度。

参考文献:

- [1] Carver C E, Mallet A L. Estimating the carrying capacity of a coastal inlet for mussel culture [J]. *Aquaculture*, 1990, 88: 39 - 53.
- [2] Grant J, Bacher C. Comparative models of mussel bioenergetics and their validation at field culture sites [J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1998, 219: 21 - 44.
- [3] Inglis G J, Hayden B J, Ross A H. An overview of factors affecting the carrying capacity of coastal embayments for mussel culture [R]. NIWA, Christchurch, Client Report, 2000.
- [4] Weimin J, Mark T G. Predicting the carrying capacity of bivalve shellfish culture using a steady, linear food web model [J]. *Aquaculture*, 2005, 244: 171 - 185.
- [5] 唐启升. 关于容纳量及其研究 [J]. *海洋水产研究*, 1996, 17(2): 1 - 6.
- [6] 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, 23(1): 84 - 90.
- [7] 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): 253 - 258.
- [8] 方建光, 匡世焕, 孙惠玲, 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.
- [9] 方建光, 孙惠玲, 匡世焕, 等. 桑沟湾海带养殖容量的研究 [J]. *海洋水产研究*, 1996, 17(2): 7 - 17.
- [10] 卢振彬, 杜琦, 阮金山. 大港湾贝类养殖容量的评价 [J]. *福建水产*, 2000, 1(1): 1 - 6.
- [11] 卢振彬, 杜琦, 许翠娅, 等. 福建泉州湾贝类养殖容量评估 [J]. *热带海洋学报*, 2005, 24(4): 22 - 29.
- [12] 国家技术监督局. 海洋调查规范 [S]. 北京: 海洋出版社, 1991.
- [13] Lorenzen C. Determination of chlorophyll and phaeopigments: spectrophotometric equations [J]. *Limnol Oceanog*, 1967, 12: 343 - 346.
- [14] 戴荣继, 黄春, 佟斌, 等. 藻类叶绿素及其降解产物的测定方法 [J]. *中央民族大学学报(自然科学版)*, 2004, 13(1): 75 - 80.
- [15] 匡国瑞, 杨殿荣, 喻祖祥, 等. 海湾水交换的研究 [J]. *海洋环境科学*, 1987, 6(1): 13 - 23.
- [16] 陈聚法, 马绍赛, 周诗贵, 等. 乳山湾东流区水文环境及其变化特征 [J]. *海洋水产研究*, 1997, 17(2): 61 - 67.
- [17] Burkill P H, Head E, Franz G, *et al.* Core measurement protocols reports of the core measurement working groups [R]. JGOFS Report No. 6, 1990: 31 - 37.
- [18] 尹晖. 乳山湾滩涂贝类养殖容量评估模型 [D]. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, 2006.
- [19] Inglis G J, Gust N. Potential indirect effects of shellfish culture on the reproductive success of benthic predators [J]. *J Appl Ecol*, 2003, 40: 1077 - 1089.
- [20] Christopher W M, Helmut T, Thomas L, *et al.* Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management [J]. *Aquaculture*, 2006, 24: 451 - 462.
- [21] 张继红, 方建光, 孙松, 等. 胶州湾养殖菲律宾蛤仔的清滤率、摄食率、吸收效率的研究 [J]. *海洋与湖沼*, 2005, 36(6): 548 - 555.