

文章编号: 1004-7271(2006)01-0052-07

乐清湾、三门湾主要滤食性养殖贝类 碳收支的研究

柴雪良^{1,2}, 张炯明¹, 方军¹, 陆荣茂¹, 谢起浪¹, 林志华¹, 宁修仁³

1. 浙江省海洋水产养殖研究所, 浙江温州 325005;
2. 中国海洋大学, 山东青岛 266003;
3. 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江杭州 310012)

摘要 利用自然海水流水培育方法, 对乐清湾、三门湾主要滤食性养殖贝类—太平洋牡蛎 (*Crassostrea gigas*)、僧帽牡蛎 (*Ostrea cucullata*)、泥蚶 (*Tegillarca granosa*)、缢蛏 (*Sinonovacula constricta*) 的摄食生理参数进行了测定, 根据能量平衡原理估算这些贝类的碳收支情况。结果表明: 贝类通过滤食颗粒有机物摄取有机碳源后, 一部分通过粪便直接排出体外, 部分通过贝类自身的呼吸作用被消耗掉, 极少部分碳通过排泄代谢排出体外, 结余部分的碳即生长碳作为贝类自身的生长或性腺发育的生长碳而成为贝类的身体组成成分。春季太平洋牡蛎、僧帽牡蛎、泥蚶、缢蛏的净生长率分别为 53.95%、65.78%、55.13%、28.12%, 其生态效率分别为 16.33%、22.10%、6.09%、6.81%。根据测算, 2002年春季, 乐清湾和三门湾养殖贝类每日从海水中摄取 POC 分别达到 44.43 t 和 76.88 t 之多, 消耗海水中的氧气达到了 50.68 t 和 96.93 t, 排氮氨达 4.35 t 和 7.97 t, 两湾养殖贝类每天排出的粪便物干重更是达到 370 t 和 580 t 以上。

关键词 滤食性贝类; 碳收支; 生长率; 代谢生理

中图分类号 S 968.3 文献标识码: A

Study on carbon budget of main bivalves in Yueqing Bay and Sanmeng Bay

CHAI Xue-liang^{1,3}, ZHANG Jiong-ming¹, FANG Jun¹, LU Rong-mao¹

XIE Qi-liang¹, LIN Zhi-hua¹, NING Xiu-ren²

1. Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325005, China;
2. Ocean University of China, Qingdao 266003, China;
3. Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China)

Abstract: The feeding physiological parameters of main cultured bivalves *Crassostrea gigas*, *Ostrea cucullata*, *Tegillarca granosa* and *Sinonovacula constricta* were measured in Yueqing bay and Sanmeng bay by means of flowing natural sea water. The carbon budgets of four main bivalves were estimated according to energy balance principle. The result indicated that bivalves obtain carbon source by filtering organic grain, and then some parts were directly discharged as dejection, some parts were consumed by breathing, and a little was discharged by excretion, the remaining carbon namely the growth carbon which becomes the organism composition of the bivalves for its growth

收稿日期 2005-05-10

基金项目 浙江省海洋与渔业局重大科技攻关项目(02-01), 浙江省科技厅重点项目(2003C23025)

作者简介 柴雪良(1969-), 男, 浙江海宁人, 高级工程师, 主要从事海水养殖技术方面的研究。Tel 0577-89990218

and development. In spring, the net growth rate of *C. gigas*, *O. cucullata*, *T. granosa* and *S. constricta* was 53.95%, 65.78%, 55.13%, 28.12%, and the ecological efficiency was 16.33%, 22.10%, 6.09%, 6.81% respectively. The assessment indicated that in spring of 2002, cultured bivalves in Yueqing Bay and Sanmen Bay taked POC from sea water reached as much as 44.43 t and 76.88 t per day; and consumed oxygen in sea water reached which 50.68 t and 96.93 t; excrete ammonia and nitrogen reached 4.35 t and 7.97 t. Dry weights of discharged dejection of the cultured bivalves in these two bays were even more than 370 t and 580 t.

Key words :bivalve ;carbon budget ;growth rate ;metabolism physiology

三门湾、乐清湾地处浙江中南部沿海,因地理位置和渔业生态环境优越,历来是海水养殖贝类的主要产区。主要以养殖泥蚶(*Tegillarca granosa*)、缢蛏(*Sinonovacula constricta*)、牡蛎(*Crassostrea*)等滤食性双壳贝类为主,其养殖面积和产量均占海水养殖总面积和产量的80%以上。近年来,由于养殖的无序发展,养殖环境日益恶化,养殖种类出现生长缓慢、单位面积产量下降、病害时有发生等现象,导致养殖效益下滑。同时,养殖的过度发展也加剧了环境的进一步恶化,影响了养殖业的可持续发展。测定主要养殖贝类的物质代谢和能量收支对研究它们在养殖海区生态系统物质循环和能量流动中的作用具有十分重要的意义。本试验主要通过对两湾主要滤食性养殖贝类碳收支的研究测定,预测生长效率,为滤食性贝类养殖容量的测算提供依据,为养殖水域的合理规划和布局提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

从乐清湾牡蛎养殖园区的养殖筏架上采集太平洋牡蛎、僧帽牡蛎成贝,从两湾滩涂贝类养殖密集区采集缢蛏、泥蚶成贝,剥取或挑选外形完整、两壳开闭有力、大小匀称的个体,剔除附着生物,在试验容器中暂养2 d~3 d后进行相关试验。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

试验采用半现场模拟自然海水流水方法测定摄食率、排粪率、排泄率^[1]和呼吸率^[2],见图1。海水未经任何处理直接从进水陡门纳入蓄水塘中,沉淀1 d~2 d后使用。用直径3 cm的皮管将海水由蓄水塘泵入1 m³的高位平衡槽中,再用直径3 cm的皮管和分流装置将海水虹吸入各实验水槽(规格10 cm×12.5 cm×7.2 cm),保持平衡槽为满水位,使实验水槽水流恒速。测摄食率、排粪率、排泄率及耗氧率水槽各6组,其中3组为试验平行组,3组为对照平行组。各实验水槽放入样品数分别为太平洋牡蛎2颗/槽、僧帽牡蛎5颗/槽、泥蚶7颗/槽、缢蛏8颗/槽,将试验贝类放入水槽中后,让其摄食自然海水中的天然饵料,调节水流速度在9 dm³/h~12 dm³/h,分别取对照组和试验组的进出水水样和粪便进行相关参数的测定。试验期水温16℃,pH 7.95,盐度25.5。

1.2.2 摄食碳的测定

通过测定试验水槽进出水颗粒有机碳(POC)浓度的变化测定摄食碳,其中以对照组水槽出水POC

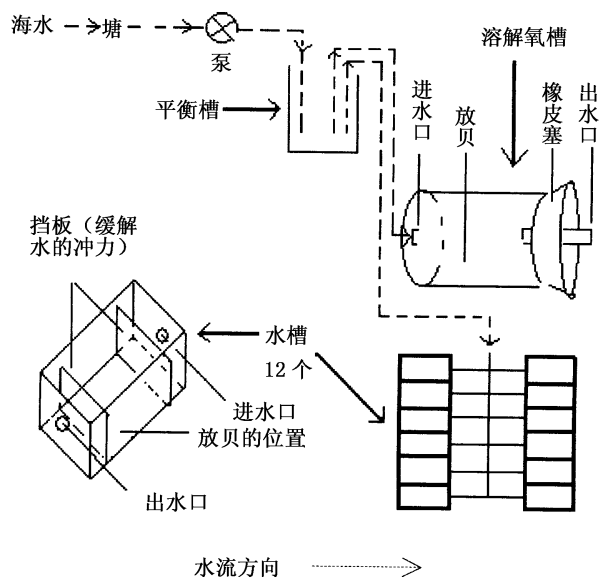


图1 实验设计图

Fig.1 Diagram of experimental design

浓度替代实验组进水 POC 浓度,以消除由于饵料颗粒沉降带来的误差^[3]。用实验水槽中贝类总干肉重代替实验贝数。单位为 $\text{mgC}/\text{g}\cdot\text{h}$

$$\text{摄食碳 (FR)} = V \times (C_0 - C_1) \times (N \times G)$$

C_0 为进水颗粒有机碳 (POC) 浓度, C_1 为出水颗粒有机碳 (POC) 浓度, 单位为 mg/dm^3 ; V 为流速, 单位为 dm^3/h ; N 为实验贝个数; G 为实验贝的平均干肉重 (g)。进出水样经 GF/F 玻璃纤维滤纸 (经 $450\text{ }^\circ\text{C}$ 灼烧后使用) 抽滤后, 经雾化的盐酸去除无机碳, $65\text{ }^\circ\text{C}$ 烘至恒重, 用 METTLER AE240 精密电子天平 (精确到 0.1 mg) 称量, 用 Perkin-Elmer 240C 型元素分析仪测定 POC 含量。

1.2.3 代谢碳的测定

贝类的代谢碳主要包括排泄代谢和呼吸代谢, 排泄代谢碳产物主要为尿素^[4], 尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 被分解后, 大部分的氮转换成氨氮, 通过测定氨氮可推算出尿素中碳的量, 每排出 2 分子的氮即相当于 1 分子的碳, 氨氮的测定采用靛酚蓝分光光度法^[5]。设排氮率为 $\text{NR}(\text{ugN}/\text{g}\cdot\text{h})$, 则换算成碳的排氮率为:

$$\text{NR}_c = (12/28) \times \text{NR}$$

贝类呼吸每产生 1 分子的 CO_2 , 需消耗超过 1 分子的氧气, 设呼吸熵为 0.85 ^[6]。通过测定贝类的耗氧率可测定贝类的呼吸碳^[7]。耗氧率 ($\text{mgO}_2/\text{g}\cdot\text{h}$) 的测定以密封水槽中溶解氧浓度的变化来计算, 溶解氧的测定采用 Winkle 碘量法。

$$\text{OR (耗氧率)} = V \times (C_{D_0} - C_{D_t}) \times (G \times N)$$

C_{D_0} 为进水溶解氧浓度, C_{D_t} 为实验水槽出水的溶解氧浓度, V 为海水流速 (dm^3/h), G 为实验贝的平均干肉重 (g), N 为实验贝的个体数。换算成碳的呼吸率为:

$$\text{OR}_c = 0.85 \times (12/32) \times \text{OR}$$

1.2.4 粪便碳的测定

将试验贝类在 2h 内产生的粪便虹吸过滤至 GF/F 玻璃纤维滤纸 (经 $450\text{ }^\circ\text{C}$ 灼烧后使用) 上, 经雾化的盐酸去除无机碳后, 在 $65\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒重 (W_{65}), 用精密电子天平 (精确到 0.1 mg) 称重, 用 240C 元素分析仪测定有机碳的含量。换算成单位贝干肉重在每小时内产生的粪便碳 ($\text{mgC}/\text{g}\cdot\text{h}$)。

1.2.5 碳收支模型

根据贝类能量学收支模型^[4, 8-10] 转换成碳收支模型:

$$C = F + R + U + P$$

C 为贝类摄取的总碳量; F 为贝类通过粪便排出的碳量; R 为贝类呼吸代谢消耗的碳量; U 为排泄消耗的碳量; P 为贝类用于生长的碳量, 包括个体生长能 (P_g) 和生殖能 (P_r)。

1.2.6 生长率和生态效率

生长率包括总生长率 K_1 和净生长率 K_2 , 总生长率 K_1 为用于生长的碳量占摄食碳量的百分比, 净生长率 K_2 为用于生长的碳量占同化碳量的百分比。

$$\text{总生长率 } K_1 = [C - (F + R + U)]/C \times 100\%$$

$$\text{净生长率 } K_2 = [C - (F + R + U)]/(C - F) \times 100\%$$

生态效率 (E) 是指生态系统中各营养级生物对太阳能或前一营养级生物所含能量的利用、转化效率, $E = EC \times K_1$ ^[11]

其中 EC 为饵料利用率, $EC = (C_0 - C_1)/C_0$; C_0 、 C_1 分别为试验水槽的进、出水饵料浓度; K_1 为总生长率。

1.2.7 贝类生物学及干组织中碳的测定

实验结束后, 用数显游标卡尺测定实验贝类壳长、壳高, 用精密电子天平称量贝类含壳湿重、鲜组织重、干壳重、干组织重 ($65\text{ }^\circ\text{C}$ 、恒重后称量) 利用 240C 元素分析仪测定干组织中有机碳和氮含量。

1.2.8 贝类养殖面积和产量统计及养殖贝类对环境的影响

调查统计近年来乐清湾、三门湾主要滩涂和浅海贝类养殖产量, 根据摄食生理主要参数和碳收支情

况, 测算出养殖贝类对环境的影响。

2 结果

2.1 实验贝类的生物学及相关参数测定

测定实验贝类壳长、湿重、鲜组织重、干组织重及干组织含碳量等数据, 具体如表 1。

表 1 样品贝生物学测定及组织碳含量

Tab.1 The biological data and content of carbon in mass or tissue of bivalvia samples

品种	壳长 (cm)	湿重 (g)	鲜组织重 (g)	干组织重 (g)	湿重与干组织重比值	干组织含碳量 %
泥蚶	2.755 ± 0.158	7.069 ± 1.320	1.217 ± 0.344	0.244 ± 0.069	28.97	43.18 ± 0.23
缢蛏	5.128 ± 0.218	6.927 ± 0.865	2.261 ± 0.358	0.408 ± 0.068	16.98	42.24 ± 0.18
太平洋牡蛎	7.884 ± 0.963	46.471 ± 12.947	4.567 ± 1.095	0.810 ± 0.252	57.37	41.78 ± 0.77
僧帽牡蛎	3.661 ± 0.522	6.652 ± 2.419	0.837 ± 0.347	0.149 ± 0.068	44.64	42.97 ± 0.09

2.2 贝类摄食生理主要参数

测定和计算各实验水槽中贝的摄食率、排粪率、耗氧率、排泄率, 列于表 2 中, 以单位干重和单位时间计。表中可见, 浅海养殖品种牡蛎的摄食生理参数均明显大于滩涂养殖品种泥蚶、缢蛏。

表 2 试验贝类摄食生理参数

Tab.2 The feeding physiological parameters of cultured bivalves

品种	摄食率 (mgC/g·h)	排粪率 (mgC/g·h)	耗氧率 (mgO ₂ /g·h)	排泄率 (mgNH ₃ -N/g·h)
泥蚶	0.5246 ± 0.2156	0.1865 ± 0.1042	0.394	0.0618
缢蛏	0.4556 ± 0.0605	0.1230 ± 0.0333	0.664	0.064
太平洋牡蛎	1.3398 ± 0.1368	0.2722 ± 0.0419	1.440	0.076
僧帽牡蛎	2.5659 ± 0.1312	0.3196 ± 0.0648	2.312	0.074

2.3 贝类的碳收支

由摄食生理参数换算成碳的吸收和消耗, 分别为摄食碳、粪便碳、呼吸碳、排泄碳, 其平均值列于表 3。通过能量模型方程式, 计算出生长碳。结果可见, 贝类的呼吸作用和粪便的排放是碳消耗和损失的主要两个部分, 排泄作用消耗的碳较少。

表 3 贝类碳收支

Tab.3 Carbon budget of cultured bivalves

品种	摄食碳 (mgC/g·h)	粪便碳 (mgC/g·h)	呼吸碳 (mgC/g·h)	排泄碳 (mgC/g·h)	生长碳 (mgC/g·h)
泥蚶	0.5246 ± 0.2156	0.1865 ± 0.1042	0.1256	0.0261	0.1864
缢蛏	0.4556 ± 0.0605	0.1230 ± 0.0333	0.2117	0.0274	0.0935
太平洋牡蛎	1.3398 ± 0.1368	0.2722 ± 0.0419	0.4590	0.0326	0.576
僧帽牡蛎	2.5659 ± 0.1312	0.3196 ± 0.0648	0.7370	0.0317	1.4776

2.4 贝类碳收支分配方程

碳收支方程:

$$\text{泥蚶: } 100.00C = 35.54F + 23.94R + 4.98U + 35.54P$$

$$\text{缢蛏: } 100.00C = 26.99F + 46.47R + 6.01U + 20.53P$$

$$\text{太平洋牡蛎: } 100.00C = 20.32F + 34.26R + 2.43U + 42.99P$$

$$\text{僧帽牡蛎} : 100.00C = 12.46F + 28.72R + 1.24U + 57.58P$$

2.5 生长率和生态效率

乐清湾、三门湾主要养殖贝类的生长率和生态效率结果见表 4。表中可见,浅海养殖品种太平洋牡蛎和僧帽牡蛎比滩涂养殖品种泥蚶、缢蛏的生态效率高。

表 4 贝类的生长率和生态效率

Tab.4 Growth rate and ecological efficiency of cultured bivalves

品种	总生长率(%)	净生长率(%)	生态效率(%)
泥蚶	35.54	55.13	6.09 ± 2.03
缢蛏	20.53	28.12	6.81 ± 1.95
太平洋牡蛎	42.99	53.95	16.33 ± 0.86
僧帽牡蛎	57.58	65.78	22.10 ± 2.64

2.6 乐清湾、三门湾养殖贝类对环境影响

表 5、表 6 为近年来两湾主要养殖贝类产量统计结果。根据贝类湿重和干肉重之比,得出主要养殖贝类干组织重量,然后求出对环境的影响程度。

表 5 乐清湾主要养殖贝类产量统计

Tab.5 Output of main cultured bivalves Yueqing Bay

年份	缢蛏		泥蚶		牡蛎			
	产量(t)	干组织(t)	产量(t)	干组织(t)	滩涂(僧帽牡蛎为主)		浅海(太平洋牡蛎为主)	
					产量(t)	干组织(t)	产量(t)	干组织(t)
2000	25 855	1 522.7	21 396	738.6	2 650	59.4	51 300	894.2
2001	3 3147	1 952.1	19 530	674.1	2 120	47.5	18 983	330.9
2002	25 343	1 492.5	20 656	713.0	1 680	37.6	29 988	522.7

表 6 三门湾主要养殖贝类产量统计

Tab.6 Output of main cultured bivalves in Sanmengg Bay

年份	缢蛏		泥蚶		牡蛎			
	产量(t)	干组织(t)	产量(t)	干组织(t)	滩涂(僧帽牡蛎为主)		浅海(太平洋牡蛎为主)	
					产量(t)	干组织(t)	产量(t)	干组织(t)
2000	68 657	4 043.4	3 910	135.0	7 546	169.0	6 785	118.3
2001	73 306	4 317.2	3 400	117.4	15 080	337.8	7 080	123.4
2002	76 691	4 516.5	3 600	124.3	16 170	362.2	6 450	112.4

利用摄食生理参数测算出乐清湾、三门湾主要养殖贝类对环境的影响。表 7 为测算出的 2002 年度养殖贝类对两湾环境影响的情况。从中可以发现,乐清湾和三门湾养殖贝类每日从海水中摄取 POC 分别达到 44.43 t 和 76.88 t 之多,耗氧达到 50.67 t 和 96.93 t,排氮为 4.35 t 和 7.97 t。根据排粪率的测定结果和粪便中有机碳的含量,两湾养殖贝类每天排出的粪便物干重更是达到 370 多吨和 580 多吨。

表 7 两湾主要养殖贝类对环境的影响

Tab.7 The effects of main cultured bivalves on circumstance in two bays

种类	乐清湾				三门湾			
	摄取有机碳量(t/d)	排出有机碳量(t/d)	耗氧(t/d)	排出氮(t/d)	摄取有机碳量(t/d)	排出有机碳量(t/d)	耗氧(t/d)	排出氮(t/d)
泥蚶	8.98	3.19	6.74	1.04	1.56	0.56	1.18	0.18
缢蛏	16.32	4.41	23.78	2.29	49.39	13.33	71.76	6.94
太平洋牡蛎	16.81	3.41	18.06	0.95	3.62	0.73	3.89	0.21
僧帽牡蛎	2.32	0.29	2.09	0.07	22.31	2.78	20.1	0.64
共计	44.43	11.3	50.67	4.35	76.88	17.4	96.93	7.97

3 分析与讨论

3.1 影响测定结果的几个因素

乐清湾、三门湾为河口性内湾,海水混浊度大,有机颗粒物浓度不稳定,直接测定水体中饵料浓度的微小变化难度较大。将海水纳入蓄水塘中,经初步沉淀可保持海水中 POC 相对稳定。实验中采用通过测定 POC 浓度变化来计算摄食率,已经涵盖了有机碎屑、浮游生物等贝类能够摄食的所有有机颗粒物,更符合象乐清湾、三门湾等混浊度大、颗粒物多的养殖海区。实验对匡世煊、王俊等设计的水槽规格和流速等实验参数进行了改变,主要是考虑实验水槽中贝的密度接近两湾贝类滩涂养殖区贝类平面分布的密度,同时流动的海水能基本符合养殖海区水质条件,通过降低流速,使进出水 POC 的浓度变化范围在 10%~30%,溶解氧和氨氮变化范围为 5%~10%,一方面使水质环境相对稳定,另一方面又使测定指标变化明显,降低了相对误差。据 Hildreth^[3]对贻贝的研究认为,流量在 2 dm³/h~42 dm³/h 范围内对贻贝的滤水率没有影响。

实验贝类中,牡蛎主要采用伐架等方式养殖,而泥蚶、缢蛏属埋栖性贝类,养殖底质为砂质泥。为了实验的可操作性而不使用底质难免会导致摄食生理参数的误差。底质对贝类摄食生理参数的影响有较多的研究报道^[12-15],一般认为,底质环境可以提高底栖贝类各项摄食生理参数的值。从实验的摄食生理参数结果可以看出,太平洋牡蛎和僧帽牡蛎的摄食率、呼吸率、生长率等参数均明显高于缢蛏和泥蚶,实验时期,牡蛎正处于性腺发育期,这也可能与测定的牡蛎生长率偏高有关。

影响实验中摄食生理参数测定结果可能还包括贝类的活力、行为、采样的时间选择等因素,贝类的爬动、壳的开闭行为均会搅动水体,影响测定结果。处于潮下带的贝类一直是开口摄食的,摄食率随时间的波动与潮汛和环境因子没有直接关系^[16],而对于潮间带的贝类,随潮汛变化表现出一定的摄食节律。因此,泥蚶、缢蛏等潮间带养殖贝类在实验的不同时间其摄食率可能会发生变化而影响实验结果。

3.2 国内外研究比较

目前,贝类能量学研究绝大多数集中在生理能量学的水平,即以贝类的个体为对象,在实验条件下研究贝类的摄食、代谢、生长等能量收支各组份间的定量关系,以及各种生态因子对这种定量关系的影响^[17]。目前国内外对双壳贝类摄食生理参数的报道较多^[16,18],通过比较,呼吸率、排氮率等参数与本研究结果比较接近。由于贝类的排泄能在能量收支中占的比例很少,一般不超过 10%,故在较多的贝类能量学研究中常被忽略^[9-10]。许多研究表明,双壳贝类总生长率多介于 2%~54%之间,净生长率多介于 3%~86%之间^[9,19-22],本实验结果也处在这一范围。

3.3 两湾贝类养殖对环境的影响

浙江省海水养殖无论从面积上和产量上,都是以贝类为主。贝类通过滤食作用摄取海洋中的颗粒有机物,同时通过排泄和排粪作用将代谢产物和废物排入海中,据初步估计,每生产 1 t 贝类,其排泄的废物将达到 68 t,这是主要的自污染源^[23]。这种来自养殖贝类的营养负荷随着养殖密度的增大而增加,同时贝类对浮游植物的滤食压力也同样随着养殖密度的增大而上升。当养殖密度超过一定值时,无机营养盐浓度将会因藻类对其吸收的减少和贝类排泄的增加而增大,最终可能导致海区生态失衡^[24]。计算发现,在 2002 年春季,乐清湾和三门湾养殖贝类每日从海水中摄取 POC 分别达到 44.43 t 和 76.88 t 之多,消耗海水中的氧气达到了 50.68 t 和 96.93 t,排氮氮达 4.35 t 和 7.97 t,两湾养殖贝类每天排出的粪便物干重更是达到 370 t 和 580 t 以上。从两湾养殖容量研究的浮游植物和水域水质调查结果显示,在贝类养殖密集区,浮游植物丰度下降,而水域富营养化较高,与已有的报道相符。

参考文献：

- [1] 匡世焕,方建光,孙慧玲,等. 桑沟湾栉孔扇贝不同季节滤水率和同化率的比较[J].海洋与湖沼,1996,27(2):194-199.
- [2] 王 俊,姜祖辉,张 波,等. 栉孔扇贝能量收支的研究[J].海洋水产研究,1999,20(2):71-75.
- [3] Hildreth D J, Crisp D J. A corrected formula for calculation of filtration rate of bivalve molluscs in an experimental flowing system[J]. Mar Biol Assoc U K, 1976, 56 :111-120.
- [4] Valiela I. Processing of consumed energy, chapter 7, Marine Ecological Processes 2nd ed[M]. Berlin : Springer, 1995. 203-243.
- [5] GB17378.4-1998, 海洋监测规范 第 4 部分 海水分析[S].
- [6] 毛兴华,郝亚威,杨小龙. 海湾扇贝和栉孔扇贝的碳代谢和能量代谢[J].海洋学报,1997,19(4):132-137.
- [7] Smaal A C, Vonck APMA. Seasonal variation in C, N and P budgets and tissue composition of the mussel *Mytilus edulis*[J]. Mar Ecol Prog Ser, 1997, 153 :167-179.
- [8] Bayne B L, Newell R C. Physiological energetics of marine mollusk[A]. The Mollusca, Vol. 4. Physiology, Part I[C]. New York : Academic Press. 1983. 407-515.
- [9] Carfoot T H. Animal Energetics[M]. New York :Academic Press, 1987. 89-72.
- [10] Griffiths C L, Griffiths J S. Animal energetics[M]. New York :Academic Press, 1987. 22-88.
- [11] 沈国英,施并章. 海洋生态学[M]. 北京 :科学出版社, 2002. 235.
- [12] Loosanoff V L. Effects of turbidity on some larval and adult bivalves. Proc. Gulf Caribb[J]. Fish Inst, 1962, 14 :80-94.
- [13] Widdows J, Fieth P, Worrall C M. Relationship between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*[J]. Mar Biol, 1979, 50 :195-207.
- [14] Winter J E, Langton R W. Feeding experiments with *Mytilus edulis* L. at small laboratory scale : 2. The Influence of the silt in addition to algal suspensions on growth[A]. Proceedings of the 10th European Symposium on Marine Biology[C]. Wetteren : University Press, 1976. 583-600.
- [15] 王 芳,张 硕,董双林. 藻类浓度对海湾扇贝和太平洋牡蛎滤除率的影响[J].海洋科学,1998, 4 :1-3.
- [16] Wilson J H, Seed R. Laboratory experiments in pumping and filtration in *Mytilus edulis* L. using suspension of colloidal graphite[J]. Ir Fish Invest Series B, 1974, 14 :1-20.
- [17] 王 俊,唐启升. 双壳贝类能量学及其研究进展[J].海洋水产研究,2001,22(3):49-52.
- [18] 董 波. 菲律宾蛤仔生理能量学的研究[D]. 青岛, 2000.
- [19] Jespersen H, Olsen K. Bioenergetic in veliger larvae of *Mytilus edulis* II[J]. Ophelia, 1982, 21(1):101-113.
- [20] Navarro J M, Winter J E. Ingestion rate, assimilation efficiency and energy balance in *Mytilus chilensis* in relation with body size and different algal concentrations[J]. Mar Biol, 1982, 67 :255-266.
- [21] MacDonald B A. Physiological energetics of Japanese scallop *Patinopecten yessoensis* Larva[J]. Mar Exp Biol Ecol, 1988, 120 :155-170.
- [22] Riisgard H U, Randlov A. Energy budget, growth and filtration rates in *Mytilus edulis* at different algal concentrations[J]. Mar Biol, 1981, 61 :227-234.
- [23] 张国范,李 霞,薛真福. 我国养殖贝类大规模死亡的原因分析及防治对策[J].海水养殖,1999, 9 :34-39.
- [24] 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.