

何苗,周凯,么宗利,等. 饵料浓度、温度对缢蛏能量代谢的影响[J]. 海洋学报,2017,39(8):129—135, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2017.08.012

He Miao, Zhou Kai, Yao Zongli, et al. Effects of algae concentration and temperature on energy metabolism of *sinonovacula constricta* [J]. *Haiyang Xuebao*, 2017, 39(8):129—135, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2017.08.012

饵料浓度、温度对缢蛏能量代谢的影响

何苗^{1,2}, 周凯¹, 么宗利¹, 来琦芳^{1*}, 高鹏程¹, 隋延鸣¹

(1.中国水产科学研究院 东海水产研究所 中国水产科学研究院盐碱水域渔业工程技术研究中心(上海), 上海 200090; 2.上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要: 本文以缢蛏(*Sinonovacula constricta*)为实验对象, 使用实验室静水法, 研究其在不同饵料浓度、温度梯度下的代谢情况, 测定其摄食、呼吸、排粪、排泄等生理参数, 并根据能量平衡原理估算了缢蛏的能量收支情况。结果表明:(1)缢蛏的摄食能、呼吸能、排泄能随饵料浓度的上升而增加; 随着温度的变化, 其摄食能呈峰值性改变, 呼吸能和排泄能有缓慢增长趋势;(2)缢蛏从球等鞭金藻(*Isochrysis sphaeric*)中摄取的有机碳源主要通过呼吸代谢消耗, 以粪便的形式排出, 少部分随排泄代谢产物流出, 余下的碳主要用作贝类自身的生长;(3)单因素方差分析表明, 饵料浓度和温度均显著影响缢蛏的摄食率和耗氧率($P<0.05$), 温度为23℃时, 缢蛏的摄食率和耗氧率在饵料浓度为 3.0×10^5 cells/mL时达到最高; 饵料浓度为 3.0×10^5 cells/mL时, 缢蛏的摄食率在23℃时达到最大值, 而耗氧率和排氨率在31℃时达到最高。

关键词: 滤食性贝类; 摄食率; 耗氧率; 排氨率

中图分类号:S917.4

文献标志码:A

文章编号:0253-4193(2017)08-0129-07

1 引言

贝类生理能量学作为贝类能量学的一部分, 是指以贝类的个体为对象, 在实验室条件下研究贝类的摄食能、呼吸能、排泄能、排粪能和生长能等能量参数间的定量关系, 以及各种生态因子对这种定量关系的影响^[1-2]。贝类的生长代谢与周围的环境因子如海水温度、盐度、pH、底质、溶氧、饵料种类及丰度等密切相关, 在适宜的环境下, 贝类生长迅速, 代谢旺盛, 反之, 贝类生长受滞, 甚至死亡。一方面, 贝类属于变温动物, 因而温度是影响贝类生理的主要因素之一^[3]。水温升高, 体内各种生化反应速度加快, 耗氧、排泄活

动相应的加强, 而当温度超过一定的生理限度时, 又会相应的减弱, 聂鸿涛等研究了菲律宾蛤仔斑马蛤在一定温度范围内的耗氧率和排氨率变化^[4]。王盛青等研究了温度和盐度对文蛤耗氧率、排氨率、滤食率的影响^[5]。另一方面, 海水贝类主要摄食水体中浮游生物、有机碎屑、细菌等, 因此养殖水域的饵料丰度以及悬浮颗粒物量在很大程度上影响着贝类的生理活动, 董波等研究了不同温度与饵料浓度下菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)的能量收支情况^[6]。但是有关温度和饵料浓度对缢蛏能量收支的研究在国内鲜有报道。因此, 本文以缢蛏为研究对象, 探讨了饵料浓度、温度等因子对缢蛏能量代谢的影响, 旨在

收稿日期:2017-01-06; 修訂日期:2017-04-09。

基金项目:中国水产科学研究院基本科研业务费专项课题——东海区滩涂贝类固碳潜力及pH对其发育的影响研究(2014A01YY02)。

作者简介:何苗(1991—),女,四川省德阳市人,主要从事贝类生理学及水产养殖研究。E-mail:hewei200201@163.com

*通信作者:来琦芳,女,研究员,主要从事养殖生物学研究。E-mail:laiqf@escf.ac.cn

丰富有关缢蛏能量学研究的理论知识,对缢蛏的精品养殖具有重要的指导意义。

2 材料与方法

2.1 实验材料

缢蛏取自 2016 年 4 月浙江宁海德水育苗场,取回后,清洁壳表污物和附着生物,选择体长为(6.0±0.5)cm,干质量为(2.64±0.32)g 的个体,置于水泥池中暂养,使用沙滤海水并连续充气,每日换水率 100%,每日分两次投喂足量的球等鞭金藻。

2.2 实验设计

2.2.1 饵料浓度的设定

所投喂的单细胞藻类饵料为球等鞭金藻,选取不同培养时间下的球等鞭金藻,采用血球计数板计数获得藻细胞数,使用紫外可见光分光光度计(UVmini-1240)在 600 nm 处测得相应吸光值^[7],对应关系如图 1 所示,结果显示二者具有良好的线性关系,线性回归方程如下:

$$\text{球等鞭金藻细胞数} (10^4 \text{ cells/mL}) = 1074.1 \times \text{OD}_{600} - 17.119 \quad (r^2 = 0.9962).$$

依据以上结果,每次实验前利用分光光度计测定实验水体在 OD₆₀₀ 处的光密度,并通过以上公式换算为藻细胞数。

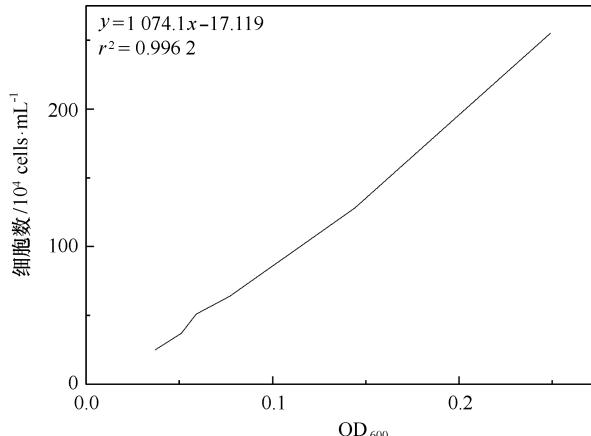


图 1 细胞数与 OD₆₀₀ 标准曲线

Fig.1 The standard curve of cell population to OD₆₀₀

依据缢蛏在以球等鞭金藻为饵料时产生假粪的饵料浓度阈值为 3.0×10⁵ cells/mL^[1, 8],且预实验中缢蛏在饵料浓度为 1.0×10⁵ cells/mL 时生长余力略微大于 0,本实验共设置 3 个饵料浓度梯度,分别为 3.0×10⁵ cells/mL、2.0×10⁵ cells/mL、1.0×10⁵ cells/mL,饵料浓度实验选用海水 pH 值为 8.2,盐度

为 25,温度为 23℃。

2.2.2 温度的设定

依据适宜缢蛏生长温度范围,使用水槽设置 3 个不同温度值的实验环境:15℃、23℃、31℃,实验温度是通过降低或使用加热棒加热水槽水体达到。温度实验选用海水 pH 值为 8.2,盐度为 25,投喂饵料浓度为 3.0×10⁵ cells/mL。

2.2.3 实验方法

实验前,停食 48 h,转移 5 个生存状态良好的缢蛏到 5 L 实验设定的球等鞭金藻浓度下的呼吸瓶中滤食,每组实验呼吸瓶中的水环境与暂养水槽中水环境相同,实验设置 3 个重复组,1 个空白对照组。放入缢蛏待其适应 20 min 后作为实验起始时间,实验持续时间设置为 2 h。实验前后分别取水样 30 mL 并收集缢蛏在 2 h 内产生的粪便,经 GF/F 玻璃纤维滤纸(Whatman, 孔径 0.7 μm, 经 450℃ 灼烧 4 h 后使用)抽滤后,经雾化的盐酸去除无机碳,65℃ 烘至恒质量,用 METTLER TOLEDO AL104 精密电子天平(精确至 0.1 mg)称量,用 Elementar vario EL III 型元素分析仪测定颗粒有机碳(POC)含量。实验结束后,取出缢蛏,将瓶内海水上下颠倒混匀,虹吸法取 50 mL 水样盛于聚乙烯塑料瓶中,加冰保存,3~5 h 内采用纳氏试剂比色法测定氨氮。在密封条件下测定实验后对照组的溶解氧浓度(DO),取出缢蛏,将瓶内海水上下颠倒混匀,测定实验后实验组 DO,采用 YSI 测氧仪直接测定。

2.3 测定方法

2.3.1 摄食率与粪便率的测定

根据实验前后藻液中 POC 质量浓度的变化以及粪便中的 POC 浓度来计算摄食率和粪便率。其中以对照组呼吸瓶中实验后藻类 POC 质量浓度替代实验组实验前 POC 质量浓度,以消除饵料颗粒沉降或繁殖带来的误差。单位为 mg/(g·h)。

2.3.2 呼吸率的测定

贝类呼吸每生成 1 分子 CO₂,需消耗超过 1 分子 O₂,故设呼吸熵的比值为 0.85,即 1 mol O₂=0.85 mol CO₂^[9]。换算成呼吸率(OR),单位为 mg/(g·h)。

$$OR = \frac{V \times (C_{DO_0} - C_{DO_t})}{m \times T}, \quad (1)$$

式中,V 为呼吸瓶中水体积,单位:L; C_{DO₀} 为对照组溶氧浓度,单位:mg/L; C_{DO_t} 为实验组溶氧浓度,单位:mg/L;m 为贝软体平均干质量,单位:g;T 为实验持续时间,单位:h。

2.3.3 排泄率的测定

贝类的排泄代谢产物主要为尿素、尿酸等, 尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ^[10-11]。被分解后, 大部分的氨转换为氨氮, 通过测氨氮可推算出尿素含量, 每排出 2 分子的氮相当于 1 分子的碳, 排氨率根据实验前后呼吸瓶中的氨氮浓度变化来计算, 换算为排氨率(NR), 单位为 $\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{h})$ 。

$$NR = \frac{V \times (N_t - N_0)}{m \times T}, \quad (2)$$

式中, N_t 为实验结束时实验组中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度; N_0 为实验结束时对照组中的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度; m 为贝软体的平均干质量, 单位: g ; T 为实验持续时间, 单位: h 。

2.3.4 生长能

根据贝类能量收支方程: $C = F + R + U + P$ ^[10, 12], 式中, C 为贝类摄取的总能量; F 为贝类通过粪便排出的能量; R 为贝呼吸代谢消耗的能量; U 为排泄消耗的能量; P 为贝类用于生长的能量。通过公式可得生长能 $P = C - F - U - R$ 。

2.3.5 生长余力的测定

生长余力(scope for growth, SFG), 首先为 Warren 所提出, 它代表的是在维持动物的基本生活需要后所能提供的供其生长和繁殖的能量^[13]。在所有相关的生理过程如摄食, 食物吸收以及呼吸排泄等已经确定, 而且被换算为通常的能量后, 生长余力可以被估算出来。目前, 关于滤食性贝类生长余力的研究很多, 如饵料和温度对扇贝(*Argopecten purpuratus*)在繁殖期间生长余力的影响^[14], 环境污染对冰岛贻贝(*Mytilus edulis* L.)生长的影响^[2], 利用贝类生长余

力来评测地中海区环境质量^[15]。

生长余力的计算公式为:

$$SFG = A - (R + U) = C - F - R - U, \quad (3)$$

式中, A 是吸收能, R 为呼吸能, U 为氨排泄能。本研究中在进行能量预算时使用如下能量转换因子: 1 mg POM=20.78 J; 1 mL O_2 =20.36 J; 1 mg $\text{NH}_4^+\text{-N}$ =24.87 J; 1 mg Urea-N=10.57 J。

2.3.6 生长效率的测定

贝类的生长主要表现为质量和长度的增加, 因此测定贝类生长常用到以下概念: 总生长效率(K_1)和净生长效率(K_2), 其中, K_1 是指生长量占摄食量的百分比; K_2 是指生长量与吸收量的比。

2.3.7 生物学测定

用数显游标卡尺测定实验缢蛏壳长, 用 METTLER TOLEDO AL104 精密电子天平(精确到 0.1 mg)称其含壳湿质量、鲜组织质量、干组织质量(取软组织在 65℃下烘干至恒质量后称量)。

2.4 数据分析

用 Origin8.6 统计数据和作图, 使用 SPSS17.0 进行数据统计分析, 采用单因素方差(one-way ANOVA)比较不同数据间的差异性。表中数据为 3 次重复的平均值土标准误。

3 结果与分析

3.1 缢蛏摄食主要生理参数

测定各组实验中缢蛏在单位时间内其单位干质量的摄食率、耗氧率、排粪率和排泄率, 详见表 1、表 2。

表 1 不同饵料浓度下缢蛏生理参数的测定

Tab.1 The physiological parameters of *Sinonovacula constricta* in different bait concentrations

饵料浓度 /cells · mL ⁻¹	C /mg · g ⁻¹ · h ⁻¹	F /mg · g ⁻¹ · h ⁻¹	R /mg · g ⁻¹ · h ⁻¹	U /mg · g ⁻¹ · h ⁻¹	SFG /J · h ⁻¹ · g ⁻¹	K ₁ /%	K ₂ /%
1.0 × 10 ⁵	0.854 ± 0.552	0.227 ± 0.096	2.411 ± 0.195	0.098 ± 0.019	1.414	7.97	9.22
2.0 × 10 ⁵	1.244 ± 0.013	0.395 ± 0.036	2.638 ± 0.081	0.117 ± 0.015	7.252	28.06	33.46
3.0 × 10 ⁵	2.066 ± 0.231	0.486 ± 0.038	2.828 ± 0.153	0.144 ± 0.153	14.599	34.01	38.63

表 2 不同温度下缢蛏生理参数的测定

Tab.2 The physiological parameters of *Sinonovacula constricta* in different temperatures

T /℃	C /mg · g ⁻¹ · h ⁻¹	F /mg · g ⁻¹ · h ⁻¹	R /mg · g ⁻¹ · h ⁻¹	U /mg · g ⁻¹ · h ⁻¹	SFG /J · h ⁻¹ · g ⁻¹	K ₁ /%	K ₂ /%
15	0.774 ± 0.078	0.238 ± 0.019	1.727 ± 0.073	0.112 ± 0.020	1.167	7.25	8.60
23	2.228 ± 0.102	0.449 ± 0.087	3.549 ± 0.126	0.164 ± 0.079	16.772	36.23	40.36
31	1.876 ± 0.071	0.302 ± 0.028	3.668 ± 0.859	0.192 ± 0.005	9.940	25.50	27.77

3.2 缘蛤的碳收支

由摄食生理参数转换为碳的吸收和消耗, 分别为

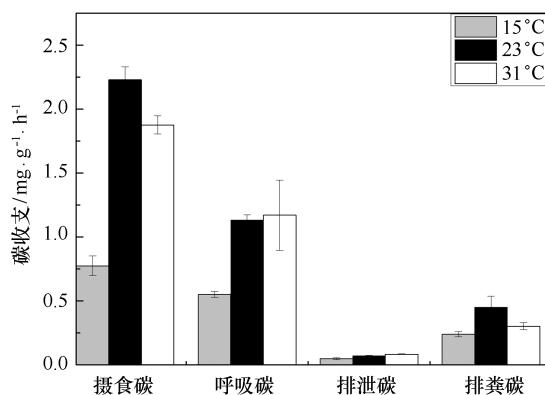


图 2 不同温度下缘蛤的碳收支

Fig.2 Carbon budget of *Sinonovacula constricta* in various temperature levels

3.3 缘蛤的能量收支

由各生理参数换算成能量的吸收和消耗, 分别为

摄食碳、粪便碳、呼吸碳、排泄碳, 其平均值见图 2, 图 3。

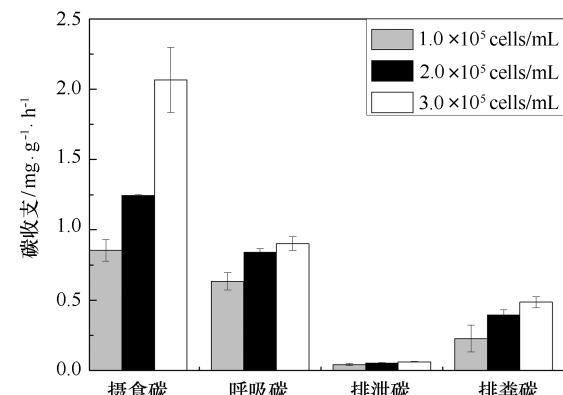


图 3 不同饵料浓度下缘蛤的碳收支

Fig.3 Carbon budget of *Sinonovacula constricta* in various algae concentration

摄食能、粪便能、呼吸能、排泄能, 其平均值见表 3, 表 4。

表 3 不同饵料浓度下缘蛤的能量收支方程

Tab.3 Energy allocation of *Sinonovacula constricta* at different algae concentrations

饵料浓度 /cells · mL⁻¹	能量收支方程
1.0×10^5	$100C = 5.886U + 72.624R + 13.521F + 7.970P$
2.0×10^5	$100C = 4.825U + 50.964R + 16.154F + 28.057P$
3.0×10^5	$100C = 3.575U + 50.453R + 11.966F + 34.007P$

表 4 不同温度下缘蛤的能量收支方程

Tab.4 Energy allocation of *Sinonovacula constricta* at different temperatures

温度	能量收支方程
15°C	$100C = 7.422U + 69.684R + 15.641F + 7.253P$
23°C	$100C = 3.776U + 49.748R + 10.251F + 36.226P$
31°C	$100C = 5.250U + 61.063R + 8.189F + 25.499P$

4 讨论

4.1 饵料浓度对缘蛤生长代谢的影响

4.1.1 饵料浓度对缘蛤摄食能和呼吸能的影响

藻类浓度是影响滤食性贝类摄食生理的关键因子之一, 本实验结果表明饵料浓度对缘蛤的摄食能具有显著性影响, 在饵料浓度为 3.0×10^5 cells/mL 时摄

入的能量是饵料浓度为 1.0×10^5 cells/mL 时的 2.42 倍, 大量研究表明, 在适宜的藻类密度范围内, 滤食性贝类随着密度的增加, 摄食率增大, 当藻类密度超过一定范围时, 随着密度的增加, 摄食率下降^[16-19]。Yukihira 等研究了两种珍珠贝 (*Pinctada margaritifera* 和 *Pinctada maxima*) 后发现两种贝的耗氧率和排氨率都随饵料浓度的增加而上升^[20]。焦海峰等对

2005年5月至2006年3月间浙江沿岸重要的3种经济贝类泥蚶、缢蛏和僧帽牡蛎的呼吸率和排泄率进行了周年研究,结果发现3种贝类的耗氧率与排氨率均随温度的升高而升高,经回归分析发现,耗氧率和排氨率与温度的变化均呈较显著的幂指数性相关^[21]。在本实验范围内饵料浓度较低时,贝类处于基础代谢水平,在高浓度时加强了消化、吸收以及生长等生理活动而加大了能量的消耗^[22-23]。缢蛏的排泄能、呼吸能均随饵料浓度的上升而缓慢增加,这有可能是因为随着饵料浓度的增加,缢蛏的滤食活动增强,相应的体内消化吸收活动也增强,从而代谢能力提高,消耗的能量增加。

4.1.2 饵料浓度对缢蛏生长余力的影响

生长余力反映贝类整个生理过程的结果,不仅可以用来评估贝类生长速度,而且可以检测贝类受到环境胁迫的程度^[24]。本实验结果表明,在饵料浓度为 1.0×10^5 cells/mL时,缢蛏的生长余力略微大于0,缢蛏在低饵料浓度时,摄食能较少,而基础的代谢所消耗的能量却维持在稳定状态。这与 Velasco 和 Navarro 研究结果相似,当饵料浓度低于5 mg/L,且有机物含量低于25%时,紫贻贝出现负增长^[25]。饵料浓度对缢蛏生长余力的影响是通过其摄食量间接产生的^[26],当饵料浓度较低时,贝类为了获取大量的能量加强了对外界食物的吸收利用,这是贝类的一种生理补偿显现象^[27]。饵料浓度的提高导致贝类的摄食率提高,而代谢率保持稳定,氧消耗、氨排泄变化很小,结果引起SFG升高^[28]。从不同饵料浓度梯度下缢蛏的能量收支方程也可以看出,在饵料浓度为 1.0×10^5 cells/mL时缢蛏呼吸和排泄所消耗的能量的比

例显著高于在高浓度时呼吸能和排泄能所占比例。

4.2 温度对缢蛏摄食能和呼吸能的影响

贝类属于变温动物,温度是影响贝类生理活动的重要环境因子。滤食性贝类主要依靠鳃丝上前纤毛、前侧纤毛和侧纤毛的运动组合来完成摄食活动,其中侧纤毛是产生水流的主要动力,Bernard 研究表明其摆动的频率和温度成正比例关系,这是导致滤水率变化的主要原因^[29]。温度升高,贝类机体各器官的活动性能提高,体内各种化学反应速度加快,呼吸和代谢速率加快,因而耗氧率和排氨率随温度的变化而变化^[30]。聂鸿涛等研究了在15~35℃范围内菲律宾蛤仔斑马蛤的耗氧率和排氨率变化,结果表明,在15~35℃内,随着温度的增加,耗氧率和排氨率整体上呈增加的趋势;王盛青等研究了温度和盐度对文蛤耗氧率、排氨率、滤食率的影响,结果表明,在23℃时文蛤的耗氧率和排氨率达到最大值,之后随着温度升高而随之减小;潘鲁青等认为当温度超过适宜范围时,贝类则改变代谢状况,消耗更多的能量来适应外界环境的变化,就会降低摄食器官的活力,从而导致滤水率的下降^[31]。许多研究证实,贝类的代谢率随温度的升高而增加,超出这个范围,贝类代谢则会出现异常^[32]。

本实验结果表明,缢蛏的摄食能随温度的变化而呈峰值变化,在15~23℃范围内,缢蛏的摄食随温度的升高而显著性增加,在23℃时达到最大值46.30 J/(h·g),当温度超过23℃时,其摄食能下降,呼吸能和排泄能继续缓慢上升,在温度为15℃时,缢蛏的摄食能、呼吸能、排泄能均达到最低,在温度为23℃时,缢蛏摄食率最大,因而摄取食物的总能量最高。

参考文献:

- [1] Jespersen H, Olsen K. Bioenergetics in veliger larvae of *Mytilus edulis* L.[J]. Ophelia, 1982, 21(1): 101—113.
- [2] Sprung M. Physiological energetics of mussel larvae (*Mytilus edulis*). I. Shell growth and biomass[J]. Marine Ecology Progress Series, 1984, 17: 283—293.
- [3] 杨红生, 张涛, 王萍, 等. 温度对墨西哥湾扇贝耗氧率及排泄率的影响[J]. 海洋学报, 1998, 20(4): 91—96.
Yang Hongsheng, Zhang Tao, Wang Ping, et al. Effects of temperature on oxygen consumption and ammonia-N excretion of the Southern Bay scallop *Argopecten irradians concentricus*[J]. Haiyang Xuebao, 1998, 20(4): 91—96.
- [4] 聂鸿涛, 霍忠明, 侯晓琳, 等. 温度和盐度突变对菲律宾蛤仔斑马蛤耗氧率和排氨率的影响[J]. 水生生物学报, 2017, 41(1): 121—126.
Nie Hongtao, Huo Zhongming, Hou Xiaolin, et al. Comparison study on the effect of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion in zebra strain and wild *Ruditapes philippinarum*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(1): 121—126.
- [5] 王盛青, 尤宏争, 邵蓬, 等. 温度和盐度对文蛤耗氧率、排氨率、滤食率的影响[J]. 经济动物学报, 2016, 20(2): 69—73, 77.
Wang Shengqing, You Hongzheng, Shao Peng, et al. Effect of temperature and salinity on oxygen consumption rate, ammonia excretion rates and ingestion rate of *Meretrix meretrix*[J]. Journal of Economic Animal, 2016, 20(2): 69—73, 77.
- [6] 董波, 李军, 王海燕, 等. 不同温度与饵料浓度下菲律宾蛤仔的能量收支[J]. 中国水产科学, 2003, 10(5): 398—403.
Dong Bo, Li Jun, Wang Haiyan, et al. Energy budget at different temperature and food concentration in Manila clam *Ruditapes philippinarum*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 10(5): 398—403.

- [7] 郭兵, 龚阳敏, 万霞, 等. 光强和温度对球等鞭金藻(*Isochrysis sphaerica*)生长及其脂肪酸的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(3): 295—301.
Guo Bing, Gong Yangmin, Wan Xia, et al. Effect of light intensity and temperature on growth and fatty acid composition of *Isochrysis sphaerica* [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2011, 33(3): 295—301.
- [8] 刘广丰, 沈和定, 陈慧, 等. 不同微藻对缢蛏稚贝摄食和生长的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(6): 708—714.
Liu Guangfeng, Shen Heding, Chen Hui, et al. Effects of different microalgae on ingestion and growth of juvenile razor clam *Sinonovacula constricta* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(6): 708—714.
- [9] Smaal A C, Vonck A P M A. Seasonal variation in C, N and P budgets and tissue composition of the mussel *Mytilus edulis* [J]. Marine Ecology Progress Series, 1997, 153: 167—179.
- [10] Valiela I. Processing of consumed energy[M]//Valiela I. Marine Ecological Processes. 2nd ed. New York: Springer, 1995: 203—243.
- [11] Valiela I. Marine Ecological Processes[M]. New York: Springer, 2013.
- [12] Besson M, Vandeputte M, van Arendonk J A M, et al. Influence of water temperature on the economic value of growth rate in fish farming: the case of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) cage farming in the Mediterranean[J]. Aquaculture, 2016, 462: 47—55.
- [13] Warren C E, Davis G E. Laboratory studies on the feeding, bioenergetics, and growth of fish[R]. Oregon: Pacific Cooperative Water Pollution and Fisheries Research Laboratories, Agricultural Experiment Station, Oregon State University, 1967.
- [14] Navarro J M, Leiva G E, Martinez G, et al. Interactive effects of diet and temperature on the scope for growth of the scallop *Argopecten purpuratus* during reproductive conditioning[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2000, 247(1): 67—83.
- [15] Cotou E, Papathanassiou E, Tsangaris C. Assessing the quality of marine coastal environments: comparison of scope for growth and Microtox® bioassay results of pollution gradient areas in eastern Mediterranean (Greece)[J]. Environmental Pollution, 2002, 119(2): 141—149.
- [16] Schumaker T T S, Cristofolletti P T, Terra W R. Properties and compartmentalization of digestive carbohydrases and proteases in *Scaptotrigona bipunctata* (Apidae; Meliponinae) larvae[J]. Apidologie, 1993, 24(1): 3—17.
- [17] Gerdes D. The pacific oyster *Crassostrea gigas*: Part I. Feeding behaviour of larvae and adults[J]. Aquaculture, 1983, 31(2/4): 195—219.
- [18] Aldridge D W, Payne B S, Miller A C. Oxygen consumption, nitrogenous excretion, and filtration rates of *Dreissena polymorpha* at acclimation temperatures between 20 and 32°C[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1995, 52(8): 1761—1767.
- [19] 高如承, 庄惠如, 汪彦愔, 等. 西施舌稚贝对3种微藻选择性及摄食率研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2007, 23(1): 70—73.
Gao Rucheng, Zhuang Huiru, Wang Yanyin, et al. Study on three species of microalgae selection and ingestion rate in juvenile of *Coelomactra antiquata* [J]. Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition), 2007, 23(1): 70—73.
- [20] Yukihira H, Klumpp D W, Lucas J S. Comparative effects of microalgal species and food concentration on suspension feeding and energy budgets of the pearl oysters *Pinctada margaritifera* and *P. maxima* (Bivalvia; Pteriidae)[J]. Marine Ecology Progress Series, 1998, 171: 71—84.
- [21] 焦海峰, 项翔, 尤仲杰, 等. 泥蚶、缢蛏和僧帽牡蛎呼吸与排泄的周年变化[J]. 海洋学报, 2013, 35(6): 147—153.
Jiao Haifeng, Xiang Xiang, You Zhongjie, et al. Annual change of respiration and excretion of *Tegillarca granosa*, *Sinonovacula constricta* and *Saccostrea cucullata* [J]. Haiyang Xuebao, 2013, 35(6): 147—153.
- [22] Widdows J, Hawkins A J S. Partitioning of rate of heat dissipation by *Mytilus edulis* into maintenance, feeding, and growth components[J]. Physiological Zoology, 1989, 62(3): 764—784.
- [23] Hawkins A J S, Widdows J, Bayne B L. The relevance of whole-body protein metabolism to measured costs of maintenance and growth in *Mytilus edulis*[J]. Physiological Zoology, 1989, 62(3): 745—763.
- [24] Navarro J M, Gonzalez C M. Physiological responses of the Chilean scallop *Argopecten purpuratus* to decreasing salinities[J]. Aquaculture, 1998, 167(3/4): 315—327.
- [25] Velasco L A, Navarro J M. Energetic balance of infaunal (*Mulinia edulis* King, 1831) and epifaunal (*Mytilus chilensis* Hupé, 1854) bivalves in response to wide variations in concentration and quality of seston[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2003, 296(1): 79—92.
- [26] 张涛. 双壳贝类同化率研究进展[J]. 海洋科学, 1998, 22(4): 46—50.
Zhang Tao. Advancements in the studies on Bivalvia assimilation efficiency[J]. Marine Sciences, 1998, 22(4): 46—50.
- [27] Navarro J M, Clasing E, Urrutia G, et al. Biochemical composition and nutritive value of suspended particulate matter over a tidal flat of southern Chile[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 1993, 37(1): 59—73.
- [28] Bacon G S, MacDonald B A, Ward J E. Physiological responses of infaunal (*Mya arenaria*) and epifaunal (*Placopecten magellanicus*) bivalves to variations in the concentration and quality of suspended particles: I. Feeding activity and selection[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1998, 219(1/2): 105—125.
- [29] Bernard F R. Nutrition of *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1975): an aspect of estuarine energetics[D]. London: University of London, 1972: 448.
- [30] 董波, 薛钦昭, 李军. 温度对菲律宾蛤仔滤食率、清滤率和吸收率的影响[J]. 海洋水产研究, 2000, 21(1): 37—41.
Dong Bo, Xue Qinzhaoy, Li Jun. The effect of temperature on the filtration rate, clearance rate and absorption efficiency of manila clam, *Ruditapes philippinarum* [J]. Marine Fisheries Research, 2000, 21(1): 37—41.
- [31] 潘鲁青, 范德朋, 马甡, 等. 环境因子对缢蛏滤水率的影响[J]. 水产学报, 2002, 26(3): 226—230.
Pan Luqing, Fan Depeng, Ma Shen, et al. Influence of environmental factors on the filtration rate of *Sinonovacula constricta* [J]. Journal of Fish-

- eries of China, 2002, 26(3): 226—230.
- [32] 姜祖辉, 王俊, 唐启升. 菲律宾蛤仔生理生态学研究I. 温度、体重及摄食状态对耗氧率及排氨率的影响[J]. 海洋水产研究, 1999, 20(1): 40—44.
Jiang Zuhui, Wang Jun, Tang Qisheng. Studies on physiological ecology of short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*) I. Effects of temperature, body weight and feeding state on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate[J]. Marine Fisheries Research, 1999, 20(1): 40—44.

Effects of algae concentration and temperature on energy metabolism of sinonovacula constricta

He Miao^{1,2}, Zhou Kai¹, Yao Zongli¹, Lai Qifang¹, Gao Pengcheng¹, Sui Yanming¹

(1. Engineering Technology Research Center of Saline-alkaline Water Fisheries (Shanghai), East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200090, China; 2. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to estimate the effects of temperature and algae concentration on the energy budget of clam *Sinonovacula constricta*. Adult clams were exposed to various treatments under three temperatures and three algae concentration conditions. The ingestion, respiration, defecation, excretion of energy budget of *S.constricta* were detected. Results showed that (1) with the increase of bait-algae concentration, the feeding, respiration and excretion of *S.constricta* were increased. The feeding energy had a peak change, while the respiration and excretion energy increased slowly. (2) The carbon source obtained from *Isochrysis sphaeric* by *S.constricta* was mainly consumed through breathing, and excretion of dejection, with a small part being discharged by metabolic waste. And the remaining carbon was mainly used for growth and development. (3) One-way ANOVA analysis showed that the ingestion rate and the oxygen consumption were significantly influenced by bait-algae concentration and temperature ($P < 0.05$). In 23°C seawater, the ingestion rate and the oxygen consumption rate of *S.constricta* reached the maximum in 3.0×10^5 cells/mL bait-algae concentration, and the oxygen rate and ammonia excretion rate reached the maximum when the temperature was at 23°C.

Key words: filter-feeding bivalves; feeding rate; oxygen consumption rate; ammonia excretion rate