不同温度对方斑东风螺生理代谢的影响

孙云超, 马蜻霞, 王爱民, 杨　毅, 於　锋, 顾志峰, 刘春胜

(海南大学 海洋学院, 海南 海口 507228)

摘要: 为了研究温度对方斑东风螺(*Babylonia areolata*)能量收支的影响, 作者采用室内静水法, 分析了不同养殖水体温度条件下方斑东风螺幼螺的摄食率、排粪率、耗氧率、排氨率、黏液排泄率的变化规律。结果表明, 方斑东风螺摄食率、排粪率、耗氧率和排氨率均随温度升高呈现先上升后下降趋势。其中各温度处理组摄食率差异显著(P<0.05), 在 23 ℃时最低为 2.548±0.093 mg/(g/h), 29 ℃时最高为 4.958±0.150 mg/(g/h); 排粪率为 1.695±0.037~2.892±0.074 mg/(g/h), 在 29℃时达到最高; 耗氧率在 29 ℃时最高为 0.437±0.054 mg/(g/h), 23 ℃时最低为 0.202±0.027 mg/(g/h); 在本实验条件下, 方斑东风螺排氨率为 0.009±0.001~0.025±0.003 mg/(g/h), 各温度处理组间均有显著差异(P<0.05), 且在 29 ℃时最高为 0.025±0.003 mg/(g/h)。黏液排泄率在 23 ℃时最高为 0.030±0.001 mg/(g/h), 显著高于其他各温度组(P<0.05)。基于不同温度下能量收支方程, 得出 26 ℃下方斑东风螺生长余能最多, 占摄入总能量的 37.855%, 其次是 29 ℃、32 ℃和 23 ℃, 分别为 37.850%、32.098%和 30.438%。

关键词: 方斑东风螺(*Babylonia areolata*); 温度; 生理代谢; 黏液排泄率; 能量收支

中图分类号: S917.4　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-3096(2022)12-0183-08

DOI: 10.11759/hykx20220421001

方斑东风螺(*Babylonia areolata*)隶属于软体动物门(Mollusca)、腹足纲(Gastropoda)、蛾螺科(Buccinidae)、东风螺属(*Babylonia*), 俗称花螺、香螺, 分布于热带和亚热带浅海区域, 为肉食性底栖生活物种[1]。方斑东风螺味道鲜美、肉质脆爽, 是一种营养价值极高的海产贝类, 深受消费者喜爱。近年来, 东风螺已成为海南、广东和福建等南方各省重要的海水养殖品种, 年产值约 300 亿元[2-3]。方斑东风螺养殖周期大约 1 a, 期间极易遭受酷热、降温等极端天气, 导致水温出现较大波动, 因此了解不同温度下方斑东风螺的能量收支变化规律对东风螺产业健康发展具有重要的意义[4]。

生物生长与能量收支密切相关。水生动物通过摄取食物获取能量; 支出代谢主要包括排氨、排泄和呼吸等。此外, 腹足类具爬行特性, 因此黏液能也不可或缺。目前, 国内外学者已开展了凸壳肌蛤(*Arcuatula senhousei*)、翡翠贻贝(*Perna viridis*)、栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)、盖扇贝(*Aequipecten opercularis*)和九孔鲍(*Haliotis diversicolor aquatilis*)等贝类的生理能量学研究[5-8]。在温度胁迫相关研究中, STRAHL 等[9]报道盖扇贝(*Aequipecten opercularis*)生理代谢速率随温度升高显著增加, 其摄食、代谢和免疫均受到影响; 孙陆宇[10]对中华圆田螺(*Cipangopaludina cathayensis*)和铜锈环棱螺(*Bellamya aeruginosa*)亦获得相似结果; 樊甄姣等[11]对角蝾螺(*Turbo cornutus*) 研究发现, 其排氨率在<28 ℃时随温度升高而增加, 当超出该温度后其代谢速率显著下降。在方斑东风螺能量收支研究方面, 仅薛明等[12]研究了饥饿状态下方斑东风螺幼螺的耗氧率和排氨率代谢变化。迄今对温度影响下的方斑东风螺能量收支规律未见报道。为此, 本研究拟开展不同温度下方斑东风螺幼螺摄食率、排粪率、耗氧率、排氨率、黏液排泄率的变化规律分析, 建立不同温度下的能量收支方程。研究结果可为东风螺工厂化养殖提供数据支撑。

1　材料与方法

1.1　实验材料

实验所用方斑东风螺购买自海南省文昌市某东风螺养殖场, 在海南大学海洋学院养殖室暂养 7 d,

收稿日期: 2022-04-21; 修回日期: 2022-06-19

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2401305); 院士团队创新中心项目(HD-YSZX-202011)

[Foundation: Supported by the National Key Research and Development Program of China, No. 2022YFD2401305; Talent Development Program of Hainan Province, No. HD-YSZX-202011]

作者简介: 孙云超 (1997—), 男, 硕士研究生, 主要从事热带经济贝类养殖技术研究, E-mail: Yiyyiziwei1@outlook.com; 刘春胜(1984—), 通信作者, E-mail: lcs5113@163.com

之后选取健康无病的个体用于相关实验。暂养期间所用海水为天然海水，盐度 32±0.52、温度(27±0.55) ℃、pH 7.55±0.22。持续充气，每天投食 1 次，2 h 后全部换水。实验用方斑东风螺基础数据见表 1。

表 1　方斑东风螺生物学数据
Tab. 1　Biological characteristics of *Babylonia areolate*

螺长/mm	湿质量/g	软组织湿质量/g	软组织干质量/g
24.21±1.58	3.39±0.89	1.29±0.41	0.52±0.28

1.2　实验方法

实验在水体为 20 L 的养殖玻璃槽中进行。有报道方斑东风螺适宜生长温度为 23 ℃~30 ℃[13]，本研究基于前期报道，同时结合海南地区东风螺养殖期间，周边海水温度变化规律，温度设置为 23 ℃、26 ℃、29 ℃和 32 ℃共 4 个温度梯度，每个温度梯度设 3 个平行组。每组温度通过加冰袋或加热棒来维持温度恒定，平均每 2 h 升高或降低 1 ℃，达到实验温度后保持暂养 12 h。实验期间实时监测各组水体温度，持续充气，每天全换水 1 次，每隔 12 h 观察是否有死亡现象。

1.2.1　摄食率测定

将方斑东风螺饲养于体积为 3 L 的水箱中，实验前在相应温度条件下驯养一周。每组 10 只方斑东风螺，实验时每天每组投喂等量的新鲜巴浪鱼肉，摄食 3 h 后，捞出残饵，将残饵放入烘干箱进行烘干。根据饵料中水分含量计算出摄食质量。

通过烘干法测定饵料中巴浪鱼水分含量，其中水分含量为 64.88%。

摄食率(R_{FI})是以实验前后饵料质量的变化来计算，公式如下：

$$R_{FI}=(FI_2-FI_1)/(w\times t), \quad (1)$$

式中，FI_2 是饵料的投喂量(g)，FI_1 是饵料的剩余量(g)，w 是方斑东风软体部干质量(g)，t 是实验持续时间(h)。

1.2.2　排粪率(R_F)测定

喂食过后的方斑东风螺转移至盛有新鲜海水的养殖箱，开始排粪实验，24 h 后，采用 GF/C 膜过滤收集粪便，烘干，用马弗炉灼烧至恒质量，测定有机物含量，方法参照《海洋监测规范》(GB 17378.5—2007)[14]。公式如下：

$$R_F=(W_1-W_2)/(w\times t), \quad (2)$$

式中，W_1 是粪便样品经 GF/C 滤纸(预先在马弗炉中经 450 ℃灼烧 8 h 处理)过滤后在 65 ℃烘箱中烘至恒质量，W_2 是 W_1 样品滤纸在马弗炉中经 450 ℃灼烧处理并冷却后的质量，w 是方斑东风螺软体部干质量(g)，t 是实验持续时间(h)。

1.2.3　耗氧率测定

耗氧率采用密闭循环水测试法，使用丹麦 Loligo Systems 公司的水生生物呼吸测定仪进行。将方斑东风螺放入水生生物呼吸仪密闭的容器中(容器体积 1.6 L)，水流速度为 5 L/min，持续时间 40 min。根据预实验的结果，每个呼吸仪容器中放 10 只方斑东风螺。在进行耗氧率测定同时，另设 3 组未放方斑东风螺的密闭呼吸室作为对照组。

耗氧率(R_O)以实验前后水体中溶解氧浓度的差值来计算，公式如下：

$$R_O=[(O_{D0}-O_{Dt})\times V]/(w\times t), \quad (3)$$

式中，O_{D0} 和 O_{Dt} 分别是实验开始和实验结束后水中的溶氧含量(mg/L)，V 是呼吸器体积(L)，w 是方斑东风螺软体部干质量(g)，t 是实验持续时间(h)。

1.2.4　排氨率测定

排氨率的测定采用实验前后水体中氨氮变化情况来计算，实验开始时与结束后分别采集水生生物呼吸器中 50 mL 海水，用于氨氮浓度测定。水体中氨氮浓度按《水杨酸-次氯酸盐光度法》(HJ 536—2009)[15]进行测定，所用仪器为 DeChem-Tech(德国)全自动化学分析仪。

排氨率(R_N)是以实验前后水体中氨氮质量浓度变化来计算，公式如下：

$$R_N=[(N_t-N_0)\times V]/(w\times t), \quad (4)$$

式中，N_0 和 N_t 分别是实验开始和实验结束后水中总氨氮质量浓度(mg/L)，V 是呼吸器体积(L)，w 是方斑东风螺软体部干质量(g)，t 是实验持续时间(h)。

氧氮比计算公式如下：

$$O/N=R_O/R_N, \quad (5)$$

式中，R_O、R_N 分别为单位体质量耗氧率和排氨率(mg/(g/h))。

1.2.5　黏液排泄率测定

黏液分为两部分，一部分溶于水中，另一部分附着在烧杯内壁上。为避免粪便的影响，实验前将方斑东风螺在水中饥饿 3 d。实验时将方斑东风螺取出放入一个干净的 1 000 mL 烧杯中，水浴加热保持恒温，注入用 GF/C 滤纸过滤的海水，24 h 后小心的取出方斑东风螺，用 GF/C 滤纸过滤水中的黏液，用刀片将烧杯内壁上的黏液刮下[8]，两部分黏液放到一起，经 450 ℃灼烧 8 h 处理。

黏液排泄率(R_M)是以 GF/C 滤纸灼烧前后的质量差来计算，公式如下：

$$R_M=(W_3-W_0)/(w\times t), \quad (6)$$

式中, W_0 是 GF/C 滤膜(经马弗炉灼烧后)初始质量, W_3 是 GF/C 滤膜经马弗炉灼烧后的质量, w 是方斑东风螺软体部干质量(g), t 是实验持续时间(h)。

1.2.6 能量代谢计算

能量收支方程: $C=F+R+U+M+G$, (7)

式中, C 是摄食能, F 是排粪能, R 是呼吸能, U 是排泄能, M 是黏液能, G 是生长能。C、F、R、U 和 M 分别通过食物中有机物、粪便中有机物、呼吸率、排氨率和黏液排泄率计算。

本实验采用以下能量转换因子: 1 mg POM=20.78 J; 1 mg O_2=14.24 J; 1 mg NH_4^+-N= 24.87 J。

1.3 数据分析

实验数据以平均值±标准差(Mean±S.D.)表示, 采用 DPS 和 Excel 软件进行作图和数据处理。各实验组间显著性分析采用单因素方差分析(One–way ANOVA), $P<0.05$ 表示为显著性水平。

2 实验结果

2.1 不同温度下方斑东风螺的摄食率

根据图 1 可知, 在 4 种不同温度下方斑东风螺的摄食率显示出随温度上升呈现出先增大后下降的趋势, 在 23 ℃时最低为 2.548±0.093 mg/(g/h), 29 ℃时达到最大值为 4.958 mg/(g/h), 32 ℃时摄食率明显下降为 3.301±0.196 mg/(g/h)。温度对方斑东风螺的摄食率具有显著性的影响($P<0.05$)。

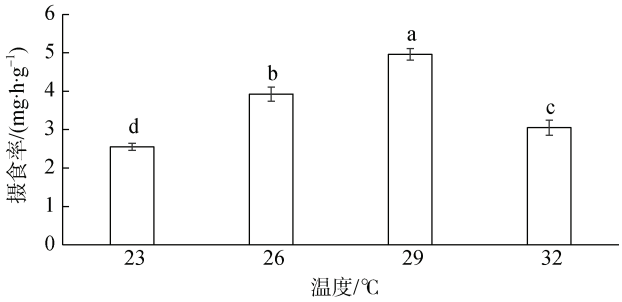

图 1 不同温度下方斑东风螺的摄食率

Fig. 1 Feeding rates of *Babylonia areolate* at different temperatures

不同字母表示具有显著性差异($P<0.05$), 下同

Different letters represent significant differences ($P<0.05$), the same as below

2.2 不同温度下方斑东风螺的能量支出代谢

根据图 2 可知, 不同温度下方斑东风螺的排粪率、耗氧率和排氨率随温度升高均呈现先上升后下降趋势。其中排粪率各温度处理组差异显著($P<0.05$), 排粪率范围为 1.695±0.037~2.892±0.074 mg/(g/h), 在 29 ℃时达到最高; 耗氧率在 29 ℃时最高为 0.437±0.054 mg/(g/h), 23 ℃时最低为 0.202±0.027 mg/(g/h); 在本实验条件下, 方斑东风螺排氨率为 0.009±0.001~0.025±0.003 mg/(g/h), 且各温度处理组间具有显著差异($P<0.05$), 在 29 ℃时最高为 0.025±0.003 mg/(g/h); 黏液排泄率在 23 ℃时最高为 0.030±0.001 mg/(g/h), 其他各温度组间无显著差异。

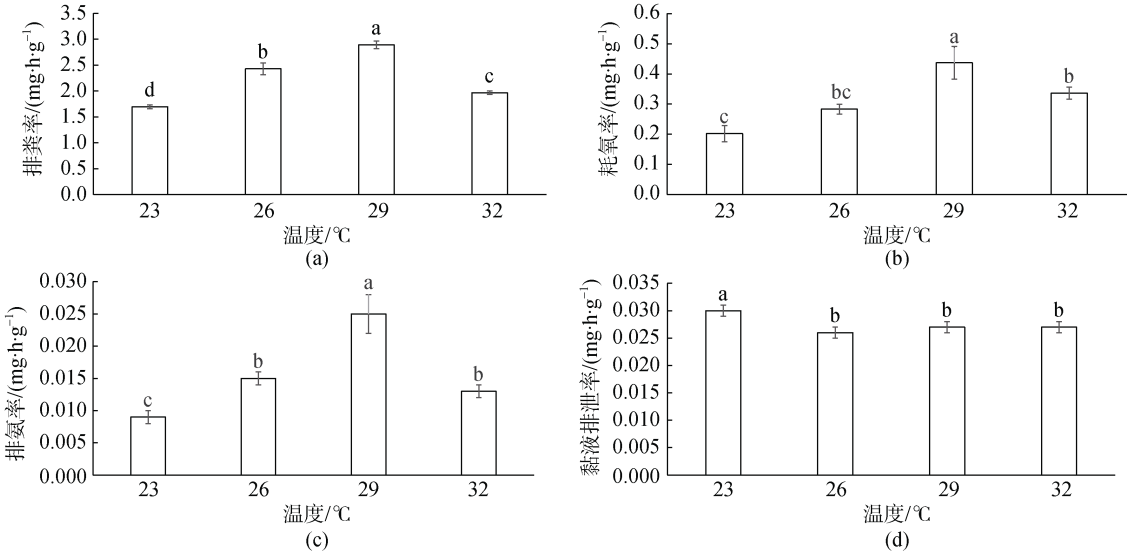

图 2 不同温度下方斑东风螺的生理代谢

Fig. 2 Physiological metabolism in *Babylonia areolate* at different temperatures

注: a. 排粪率; b. 耗氧率; c. 排氨率; d. 黏液排泄率

2.3 不同温度下方斑东风螺的氧氮比

根据图 3 可知, 26 ℃和 29 ℃的氧氮比无显著性差异, 分别为 18.310±0.513 和 17.277±0.238 mg/(g/h), 但与其他两个温度梯度之间差异显著(P<0.05)。32 ℃下氧氮比最高为 24.3672±0.3084 mg/(g/h)。

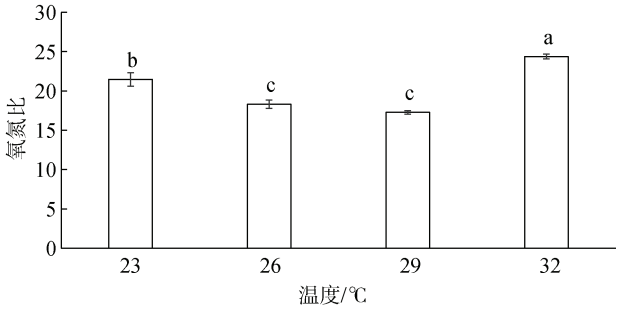

图 3 不同温度下方斑东风螺的氧氮比

Fig. 3 Oxygen to nitrogen ratio in *Babylonia areolate* at different temperatures

2.4 不同温度下方斑东风螺的能量收支方程

从表 2 可以看出, 方斑东风螺生长能所占的比重随着温度的升高呈先上升后下降趋势, 其在 26 ℃时达到最高为 37.855%, 其次是 29 ℃、32 ℃、23 ℃分别为 37.850%、32.098%、30.438%。而排粪能所占的比重随着温度的升高呈现出先下降后上升的趋势, 在 29 ℃下所占比重相对最低为 55.168%。呼吸能在 32 ℃时占比最高为 7.092%, 不同温度的占比范围为 4.721%~7.092%。排泄能和生长能变化一样, 随着温度的升高先上升再下降, 黏液能随着温度的升高先降低后上升, 除 29 ℃外, 其他组的黏液能要高于排泄能。

表 2 温度对方斑东风螺的能量收支方程

Tab. 2 Temperature effects on the energy balance equation of *Babylonia areolate*

温度/℃	能量收支方程
23	100C=62.779F+5.242R+0.406U+1.135M+30.438G
26	100C=56.354F+4.721R+0.437U+0.633M+37.855G
29	100C=55.168F+5.868R+0.586U+0.528M+37.850G
32	100C=59.501F+7.092R+0.479U+0.831M+32.098G

3 讨论

温度是影响生物生长速率的重要因素。在自然条件下, 水生动植物常常遭受台风、干旱等极端天气的影响, 进而会导致水体温度发生变化, 影响养殖品种生长速度, 严重可导致死亡, 造成大规模的经济损失[16]。水生动物的耐受温度与种类、发育阶段及生理状态等密切相关。如姜娓娓[17]研究表明虾夷扇贝(*Patinopecten yessoensis*)、栉孔扇贝和皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai Ino*)的生理代谢均随着海水温度的升高而升高, 在 20 ℃缓变处理组中耗氧率、排氨率和摄食率均高于 5 ℃处理组。刘艳斌等[18]研究的福寿螺(*Pomacea canaliculata*)幼螺及成螺生长发育在 15 ℃~20 ℃的存活率最高。本文研究表明方斑东风螺在 23 ℃~32 ℃范围内无死亡现象, 其中 26 ℃和 29 ℃两组中方斑东风螺的摄食率、排粪率、耗氧率、排氨率均高于 23 ℃和 32 ℃两组, 且在 29 ℃组相对最高, 说明方斑东风螺在 26 ℃和 29 ℃温度范围内活力较好, 生长状态最佳。这与刘建勇等[19]研究发现的方斑东风螺生长的适宜水体温度为 23 ℃~29 ℃有着同样的结果。

方斑东风螺具有昼伏夜出的习性, 其白天躲在泥沙里休息, 夜晚进行觅食活动, 因此夜晚水温的恒定对方斑东风螺的生长具有重要的影响[20-21]。本文研究表明随着温度的上升, 方斑东风螺的摄食率呈现先上升再下降的趋势, 不同温度下摄食率差异显著(P<0.05), 在 29 ℃时摄食率最高为 4.958±0.150 mg/(g/h)。生物的生长速率与摄食率成正比[22]。本文研究中显示方斑东风螺的摄食量高时在该温度下生长能最高, 这一结果与魁蚶(*Scapharca broughtonii*)、大竹蛏(*Solen grandis*)、橄榄蛏蚌(*Solenaia oleivira*)、毛蚶(*Scapharca subcrenata*)等结果一致[23-26]。

耗氧率和排氨率是生物评估能量消耗的主要指标[27-29]。研究表明, 在一定的温度范围内大多数贝类的耗氧率随温度的升高而增加。当超过其最高温度耐受范围后会引起贝类生理功能的紊乱, 耗氧率下降[30]。本研究中, 耗氧率和排氨率都随温度的上升呈现先上升再下降的趋势, 在 29 ℃时耗氧率达到最大值为 0.437±0.054 mg/(g/h), 排氨率达到最大值为 0.025±0.003 mg/(g/h)。而 32 ℃时耗氧率和排氨率明显的降低, 这可能是因为其消耗大量的能量来应对高温的胁迫, 使自身适应恶劣环境, 从而影响了方斑东风螺的新陈代谢的能力。

诸多研究表明, 氧氮比可作为判断生物是否能够适应一些环境的一项指标[31], 当氧氮比约为 7 时, 生物体内主要以蛋白质供能为主[32]; 当氧氮比约为 24 时, 生物体内以蛋白质和脂肪混合供能[33]; 当氧氮比接近无穷大时, 生物体内主要以脂肪或碳水化

合物供能[34]。本研究中，不同温度下方斑东风螺的氧氮比为 17.277~24.367，说明在该范围中，方斑东风螺主要以蛋白质和脂肪混合供能为主，通过自身的生理代谢调节来满足营养需求，进而适应环境。

黏液能在能量收支研究中的重要性常常被忽视[35]，方斑东风螺依靠匍匐爬行，能够借助腹足分泌的黏液滑行行动。分泌的黏液能够清除外套膜上的粪便和杂物颗粒，并且还起到自我保护的作用。KIDEYS等[36]研究表明波纹蛾螺(*Buccinum undatum*)的黏液能来自足部和外套膜的能量分别占总能的 10.6%和16.9%，但是由于他们没有计入静止个体的黏液排泄，静止个体在进入水中固定的过程中会产生大量的黏液，因此短时间实验会导致黏液能高估。本文研究的黏液能在不同温度下大约占到摄食能的 0.528%~1.135%，这与其他腹足类的研究中黏液能占摄食能小于 10%的结论是一致的。进一步比较发现方斑东风螺在 23 ℃时黏液排泄率要显著高于其他组，且32 ℃组的黏液排泄率也有所增加，但与 26 ℃和29 ℃组无明显的差异。除辅助运动外，黏液也是多数水生动物免疫的第一道防线，当环境不适时，其分泌量增加以提高对不适环境的抵抗力。本研究中方斑东风螺在 23 ℃条件下黏液分泌量显著增加，表明其对低温胁迫下更加敏感。夏玉秀等[37]亦发现单环刺螠(*Urechis unicinctus*)在低温环境下黏液量要高于高温组。从能量收支方程中我们可以看出，黏液能的占比要高于排泄能，这说明黏液排泄在腹足类动物的能量支配中占据着一定地位。本文在做黏液排泄实验时进行了饥饿处理，以减少了方斑东风螺粪便排泄引起的误差。

综上所述，温度变化影响着方斑东风螺各种能量支配的变化，当温度不适时，方斑东风螺将呈现摄食能降低、排粪能增加、生长缓慢的现象。在工厂化养殖中，应保持水体温度在适宜范围，以达到效益最大化。

参考文献:

[1] 狄桂兰，张朝霞，孔祥会，等. 方斑东风螺“脱壳病”病原及病理初步研究[J]. 水产科学, 2017, 36(4): 411-420.
DI Guilan, ZHANG Zhaoxia, KONG Xianghui, et al. Pathogen and pathology of shell and flesh separating disease in ivory shell, *Babylonia areolata*[J]. Fisheries Science, 2017, 36(4): 411-420.

[2] 姚高友，吴浩敏，谭杰，等. 不同人工饵料对方斑东风螺幼虫生长及存活的影响[J]. 水产科学, 2018, 37(1): 115-119.
YAO Gaoyou, WU Haomin, TAN Jie, et al. Study on feeding selectivity of *Crassostrea hongkongensis* feeding on three different phytoplankton[J]. Fisheries Science, 2018, 37(1): 115-119.

[3] LU Wengang, SHEN Minghui, FU Jingqiang, et al. Combined effects of temperature, salinity and rearing density on growth and survival of juvenile ivory shell, *Babylonia areolata* (Link 1807) population in Thailand[J]. Aquaculture Research, 2017, 48(4): 1648-1665.

[4] 杨章武，郑养福，李正良，等. 温度对方斑东风螺生长与摄食影响的初步试验[J]. 福建水产, 2008(1): 23-26.
YANG Zhangwu, ZHENG Yangfu, LI Zhengliang, et al. The prelim inary test in the effect of temperature on the growth and feeding *Babylonia areolata*[J]. Journal of Fujian Fisheries, 2008(1): 23-26.

[5] 吕旭宁，王晓芹，吴亚林，等. 温度对凸壳肌蛤能量收支的影响[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(4): 119-125.
LV Xuning, WANG Xiaoqin, WU Yalin, et al. Effect of temperature on the energy budget of *Arcuatula senhousei*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(4): 119-125.

[6] 林小涛，钟金香，颉晓勇，等. 温度对翡翠贻贝能量收支的影响[J]. 海洋科学, 2002, 26(4): 13-16.
LIN Xiaotao, ZHONG Jinxiang, XIE Xiaoyong, et al. The effect of temperature on the energy budget of *Perna virid*[J]. Marine Sciences, 2002, 26(4): 13-16.

[7] 柴雪良，张炯明，方军，等. 乐清湾、三门湾主要滤食性养殖贝类碳收支的研究[J]. 上海水产大学学报, 2006, 15(1): 52-58.
CHAI Xueliang, ZHANG Jiongming, FANG Jun, et al. Study on carbon budget of main bivalves in Yueqing Bay and Sanmeng Bay[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2006, 15(1): 52-58.

[8] 阎希柱，王桂忠，李少菁，等. 九孔鲍摄食江蓠与人工配合饵料的能量收支比较[J]. 应用与环境生物学报, 2004, 10(6): 757-761.
YAN Xizhu, WANG Guizhong, LI Shaojing, et al. Energy budgets of *Haliotis diverscicolor aquatilis* fed by Gracilariaceae licheniodes and for mula feed[J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2004, 10(6): 757-761.

[9] STRAHL J, ABELE D. Cell turnover in tissues of the long-lived ocean quahog *Arctica islandica* and the short-lived scallop *Aequipecten opercularis*[J]. Marine Biology, 2010, 157(6): 1283-1292.

[10] 孙陆宇，温晓蔓，禹娜，等. 温度和盐度对中华圆田螺和铜锈环棱螺标准代谢的影响[J]. 中国水产科学, 2012, 19(2): 275-282.

SUN Luyu, WEN Xiaoman, YU Na, et al, Influence of water temperature and salinity on standard metabolism of *Cipangopaludina cathayensis* and *Bellamya aeruginosa*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(2): 275-282.

[11] 樊甄姣, 吴常文, 皇甫淑燕. 温度、盐度、pH 对角蝾螺排氨率的影响[J]. 渔业现代化, 2007, 34(3): 10-12.
FAN Zhenjiao, WU Changwen, HUANGFU Shuyan. Influence of water temperature, salinity and pH on the rate of ammonia excretion in Turbo cornutus[J]. Fishery Modernization, 2007, 34(3): 10-12.

[12] 薛明, 柯才焕, 狄桂兰. 食物缺乏对方斑东风螺幼螺代谢的影响[J]. 海洋环境科学, 2011, 30(2): 203-206.
XUE Ming, KE Caihuan, DI Guilan. Effect of food deprivation on metabolism of hatchery-reared juvenile spotted babylon (*Babylonia areolata*)[J]. Marine Environmental Science, 2011, 30(2): 203-206.

[13] 尹绍武, 廖经球, 黄海, 等. 东风螺生物学及养殖生态学研究进展[J]. 水产科学, 2007, 26(11): 632-636.
YIN Shaowu, LIAO Jingqiu, HUANG Hai, et al. Research advancement on biology and cultural ecology in *Babylonia* sp.[J]. Fisheries Science, 2007, 26(11): 632-636.

[14] GB 17378.5—2007, 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-94.
GB 17378.5—2007, The specification for marine monitoring[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008: 1-94.

[15] HJ 536—2009, 水质 氨氮的测定 水杨酸分光光度法[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2010: 1-5.
HJ 536—2009, Water quality—Determination of ammonia nitrogen—Salicylic acid spectrophotometry[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2010: 1-5.

[16] 夏玉莹. 环境胁迫对扇贝存活、行为、代谢免疫的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021.
XIA Yuying. Effect of environmental stress on the survival, behavior, metabolism and immunity of Scallops[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021.

[17] 姜娓娓. 扇贝和皱纹盘鲍对温度变化的生理响应研究[D]. 青岛: 中国科学院大学 (中国科学院海洋研究所), 2017.
JIANG Weiwei. Effects of temperature variation on physiological activities of scallops and abalone[D]. Qingdao: University of Chinese Academy of Sciences (The Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences), 2017.

[18] 刘艳斌, 韩微, 贤振华. 温度对福寿螺生长发育及摄食的影响[J]. 南方农业学报, 2011, 42(8): 901-905.
LIU Yanbin, HAN Wei, XIAN Zhenhua. Effect of different temperatures on growth, development and feeding of *Pomacea canaliculata*[J]. Journal of Southern Agriculture, 2011, 42(8): 901-905.

[19] 刘建勇, 罗俊标. 几种环境因子对方斑东风螺稚螺生长与存活的影响[J]. 海洋科学, 2008, 32(7): 15-19.
LIU Jianyong, LUO Junbiao. Influences of some environmental factors on growth and survival of *Babylonia areolata* juveniles[J]. Marine Sciences, 2008, 32(7): 15-19.

[20] 陈建华, 阎斌伦, 高焕, 等. 方斑东风螺生物学特性及养殖技术[J]. 水利渔业, 2008, 28(3): 74-75.
CHEN Jianhua, YAN Binlun, GAO Huan, et al. Biological characteristics and breeding techniques of the square-spotted eastern snail[J]. Reservoir Fisheries, 2008, 28(3): 74-75.

[21] 沈铭辉. 东风螺早期发育的生物学研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2016.
SHEN Minghui. Studies on biology of early developmental stages of *Babylonia areolata*[D]. Xiamen: Xiamen University, 2016.

[22] 唐斌. 温度与饵料对绿盘鲍生长的影响研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2019.
TANG Bin. Influence of temperature and feed on the growth of 'Green-Pacific abalone hybrid'[D]. Xiamen: Xiamen University, 2019.

[23] 郝世鑫, 刘广斌, 王晓通, 等. 在实验条件下温度对 3 种不同规格魁蚶幼贝生长和存活的影响[J]. 海洋科学, 2017, 41(11): 60-66.
HAO Shixin, LIU Guangbin, WANG Xiaotong, et al. Effects of temperature on the growth and survival of three different specifications of *Scapharca broughtonii* under experimental conditions[J]. Marine Sciences, 2017, 41(11): 60-66.

[24] 聂鸿涛, 姜力文, 王海伦, 等. 不同温度和盐度对大竹蛏耗氧率和排氨率的影响[J]. 海洋科学, 2017, 41(4): 44-50.
NIE Hongtao, JIANG Liwen, WANG Hailun, et al. Studies on the effect of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion in the grand jackknife clam *Solen grandis*[J]. Marine Sciences, 2017, 41(4): 44-50.

[25] 吕国华, 梁建超, 徐东坡, 等. 温度对不同规格橄榄蛏蚌能量收支的影响[J]. 南京农业大学学报, 2021, 44(6): 1177-1186.
LV Guohua, LIANG Jianchao, XU Dongpo, et al. Effects of temperature on energy budget of *Solenaia oleivira* with different sizes[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2021, 44(6): 1177-1186.

[26] 王冲, 孙同秋, 王玉清, 等. 温度和盐度对毛蚶耗氧率和排氨率的影响[J]. 海洋湖沼通报, 2018(1): 110-115.
WANG Chong, SUN Tongqiu, WANG Yuqing, et al.

Influences of temperature and salinity on oxygen consumpion and ammonia excretion rates of *Scapharca subcrenata*[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2018(1): 110-115.

[27] 张赛赛, 董美艳, 田斌, 等. pH、氨氮和亚硝酸盐对单环刺螠稚螠耗氧率和排氨率的影响[J]. 水产学杂志, 2021, 34(4): 35-42.
ZHANG Saisai, DONG Meiyan, TIAN Bin, et al. Effects of pH, ammonia nitrogen and nitrite on oxygen consumption and ammonia excretion of echiuran worm *Urechis Unicinctus*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2021, 34(4): 35-42.

[28] 王崇懿, 胡宝华, 刘建勇, 等. 温度、体质量对九孔鲍耗氧率和排氨率的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(3): 387-391.
WANG Chongyi, HU Baohua, LIU Jianyong, et al. Effects of temperature and body weight on oxygen consumption and ammonia excretion rates of variously colored abalone *Haliotis diversicolor supertexta*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2020, 35(3): 387-391.

[29] 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.

[30] 李金碧, 龚世园, 喻达辉. 温度和盐度对栉江珧耗氧率和排氨率的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 2016-2018.
LI Jinbi, GONG Shiyuan, YU Dahui. Effects of temperature and salinity on rates of oxygen consumption and ammonia excretion in *Pinna pectinata*[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(5): 2016-2018.

[31] DALL W, SMITH D M. Oxygen consumption and ammonia-N excretion in fed and starved tiger prawns, *Penaeus esculentus* Haswel[J]. Aquaculture, 1986, 55(1): 1224-1235.

[32] MAYZAUD P. Respiration and nitrogen excretion of zooplankton. IV. The influence of starvation on the metabolism and the biochemical composition of some species[J]. Marine Biology, 1976, 37(1): 1325-1337.

[33] 崔前进, 尚胜男, 蔡忠璐, 等. 盐度、温度和体质量对钝吻黄盖鲽幼鱼排氨率和耗氧率的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(1): 64-72.
CUI Qianjin, SHANG Shengnan, CAI Zhonglu, et al. Influence of salinity, temperature and body weight on oxygen consumption and ammonia excretion of *Pleuronectes yokohama* juvenile[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(1): 64-72.

[34] CONOVER R J, CORNER E D S. Respiration and nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their life cycles[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1968, 48(1): 899-926.

[35] DAVIES M S, HAWKINS S J, JONES H D. Mucus production and physiological energetics in *Patella vulgate* L.[J]. Journal of Molluscan Studies, 1990, 56(4): 1126-1131.

[36] KIDEYS A E, HARTNOLL R G. Energetics of mucus production in the common whelk *Buccinum undatum* L.[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1991, 150(1): 1326-1341.

[37] 夏玉秀, 申旭红, 任爽宁, 等. 不同干露条件单环刺螠的耐受性及对体表黏液特性的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2019, 34(4): 538-544.
XIA Yuxiu, SHEN Xuhong, REN Shuangning, et al. Air exposure tolerance and characteristics of surface mucus in echiuran worm *Urechis unicinctu*s in wet sand with and without water[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2019, 34(4): 538-544.

Effects of different temperatures on the physiological metabolism of *Babylonia areolate*

SUN Yun-chao, MA Qing-xia, WANG Ai-min, YANG Yi, YU Feng, GU Zhi-feng, LIU Chun-sheng
(Ocean College, Hainan University, Haikou 507228, China)

Received: Apr. 21, 2022
Key words: *Babylonia areolata*; temperature; physiological metabolism; mucus excretion rate; energy balance

Abstract: The ivory shell *Babylonia areolata* belongs to the class Gastropoda, order Stenoglossa, and family Buccinidae and is widely cultured in the southeastern coastal provinces of China, including Hainan, Guangdong, and Fujian Provinces. During the daily rearing of *B. areolate*, temperature fluctuations occur, often caused by extreme weather, such as extreme heat and cold, and lead to a reduction in growth rate and even death. In this study, to explore the effects of temperature on the energy metabolism of *B. areolata*, we analyzed the changes in feeding rate, fecal excretion rate, oxygen consumption rate, ammonia excretion rate, and mucus excretion rate of *B. areolata* under different temperatures using the indoor hydrostatic method. The results showed that the feeding rate, fecal excretion rate, oxygen consumption rate, and ammonia excretion rate of *B. areolata* showed an increasing and then decreasing trend with the increase in temperature. There were significant differences in the feeding rates among the treatment groups ($P<0.05$), with the lowest rate of 2.548±0.093 mg/(g/h) at 23 ℃ and the highest rate of 4.958±0.150 mg/(g/h) at 29 ℃; the fecal discharge rates ranged from 1.695±0.037 to 2.892±0.074 mg/(g/h), and the highest rate was observed at 29 ℃. The highest and lowest oxygen consumption rates were 0.437±0.054 and 0.202±0.027 mg/(g/h) at 29 ℃ and 23 ℃, respectively; the ammonia excretion rate was 0.009±0.001–0.025±0.003 mg/(g/h) under experimental conditions, in which the highest rate was observed at 29 ℃ (0.025±0.003 mg/(g/h)). The temperature treatment group exhibited significant differences in ammonia excretion rates ($P<0.05$). The mucus excretion rate was 0.030±0.001 mg/(g/h) at 23 ℃, which was significantly higher than other groups ($P<0.05$). Based on the energy balance equation at different temperatures, it can be concluded that the residual energy for the growth of *B. areolata* was the highest at 26 ℃, accounting for 37.855% of the total energy intake, followed by 37.850%, 32.098%, and 30.438% at 29 ℃, 32 ℃, and 23 ℃, respectively. In conclusion, the suitable culture temperature levels for *B. areolata* were 26 ℃ and 29 ℃ according to the energy metabolism.

(本文编辑: 谭雪静)