

温度、盐度和 pH 对钝缀锦蛤耗氧率和排氨率的影响

陆莉莉, 喻达辉, 李雷旭, 胡朝, 翟子钦, 陈健, 吴颖瑞, 白丽蓉

(北部湾大学 广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室, 广西 钦州 535011)

摘要: 为探究温度、盐度和 pH 对钝缀锦蛤(*Tapes dorsatus*)耗氧率和排氨率的影响, 作者采用室内实验生态学方法研究了不同温度、盐度和 pH 对钝缀锦蛤呼吸代谢的影响。实验设定了 5 个温度梯度(18 °C、21 °C、24 °C、27 °C、30 °C)、5 个盐度梯度(18、21、24、27、30)和 5 个 pH 梯度(5、6、7、8、9)。结果表明, 温度对钝缀锦蛤的耗氧率影响显著($P<0.05$), 但对排氨率影响不显著($P>0.05$), 在温度 18~30 °C 范围内, 耗氧率随温度的升高而升高, 而排氨率随温度的升高先降后升; 盐度对该贝的耗氧率和排氨率影响极显著($P<0.01$), 耗氧率和排氨率随盐度升高先上升后下降, 耗氧率和排氨率峰值分别出现在盐度为 27 和 24; pH 对钝缀锦蛤的耗氧率和排氨率影响不显著($P>0.05$), pH 为 6~9 时, 钝缀锦蛤的耗氧率和排氨率变化幅度较小。在温度 18~30 °C, 耗氧率与排氨率之比(O:N)为 5.56~45.4; 在盐度 18~30, O:N 为 17.14~40.09; 在 pH5~9 范围内, O:N 为 27.59~40.41。研究结果为进一步研究钝缀锦蛤的生理生态奠定了一定基础。

关键词: 钝缀锦蛤(*Tapes dorsatus*); 温度; 盐度; pH; 耗氧率; 排氨率

中图分类号: S917.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2022)10-0113-09

DOI: 10.11759/hyxx20211007002

钝缀锦蛤(*Tapes dorsatus*)俗称沙包螺, 属软体动物门(Mollusca)、瓣鳃纲(Lamellibranchia)、帘蛤目(Veneroida)、帘蛤科(Veneridae)、缀锦蛤属(*Tapes*), 是一种具有较高经济价值的海水贝类, 主要分布于西南太平洋, 如中国、日本、印度、越南、菲律宾、澳大利亚等国家的沿海地区, 在中国其常见于东海、南海和台湾海峡^[1]。钝缀锦蛤生活在浅海泥沙质或碎珊瑚砂海底, 潮间带也可见到, 其肉质鲜美、生长速度快、对外界适应能力强, 其适温范围为 20~30 °C, 适盐范围为 20~40^[2]。近年来, 钝缀锦蛤市场价格越来越高, 成为新兴养殖品种。目前, 北部湾越南海区钝缀锦蛤主要以筐式养殖为主, 养殖面积超过 20 000 hm², 国内以底播养殖为主, 养殖面积超过 66 700 hm²^[3]。

外部环境因子如温度、盐度、pH 等对海洋贝类的生理活动等具有重要影响。呼吸和排泄是动物的基本生理活动, 不但反映了动物的生理状态, 还反映了环境条件的变化对动物生理活动的影响。动物有氧代谢和分解代谢的两个重要生理指标是耗氧率和排氨率, 耗氧率和排氨率可以直接或间接地反映水产动物的代谢规律、生理以及生存情况^[4]。国内外对不同水产动物的耗氧率和排氨率研究均有不少报道, 包括单环刺螠稚螠(*Urechis unicinctus*)^[5]、大泷六

线鱼幼鱼(*Hexagrammos otakii*)^[6]、长肋日月贝(*Amusium pleuronectes*)^[7]、红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)^[8]、珠母贝(*Pinctada mazatlanica*)^[9]等。目前对钝缀锦蛤的研究主要集中于生态习性^[10]、分子分类^[11-12]、繁殖^[13]以及滤食率和同化率^[14]等方面, 对其呼吸代谢还未见有相关报道。近年来, 随着人们对钝缀锦蛤食用需求量的增加, 导致过度捕捞, 海区资源急剧下降^[2], 因此开展钝缀锦蛤的人工繁

收稿日期: 2021-10-07; 修回日期: 2021-12-21

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31873042); 国家重点研发计划项目(2018YFD0901406); 广西重点研发计划项目(2018AB52002); 广西自然科学基金项目(2021GXNSFAA075008, 2018JJA130308); 国家海洋局北海市“十三五”海洋经济创新发展示范项目(Bhsfs002); 广西高校中青年教师基础能力提升项目(2018KY0612); 2021 年度广西北部湾海洋生物多样性养护重点实验室重点培育项目(2021ZB02)

[Foundation: the National Natural Science Foundation of China, No. 31873042; the National Key R&D Program of China, No. 2018YFD0901406; the Guangxi Key R&D Program, No. 2018AB52002; the Guangxi Natural Science Foundation Program, Nos. 2021GXNSFAA075008, 2018JJA130308; the State Oceanic Administration Project: Beihai City's "Thirteenth Five-Year" Marine Economic Innovation and Development Demonstration Project, No. Bhsfs002; the Young and middle-Aged Teachers' Basic Ability Improvement Project in Colleges and Universities of Guangxi, No. 2018KY0612; the Guangxi Key Laboratory of Marine Biodiversity Conservation Program, No. 2021ZB02]

作者简介: 陆莉莉(1997—), 女, 广西浦北人, 硕士生, 主要从事海水贝类遗传育种研究, E-mail: lulili6526@163.com; 白丽蓉(1980—), 通信作者, E-mail: bailirong1152@163.com

殖和养殖方面的研究具有重要意义。本研究通过探讨不同温度、盐度和 pH 对钝缀锦蛤呼吸和排泄的影响,有助于丰富钝缀锦蛤生理生态学资料,为钝缀锦蛤的养殖技术优化和生产管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

钝缀锦蛤采自广西北海铁山港海域,1.5 龄贝,挑选活性强、无损伤且大小相近的个体,用毛刷去除表面污物,于 40 cm×26 cm×25 cm 的聚乙烯塑料水槽中暂养 3 d,每一水槽放 30 个个体,共 5 个水槽。本实验暂养用水为过滤海水,实验期间水温为 24±1 °C、盐度为 29±2、pH 为 7.8±0.2,24 h 充气,用虹吸法换水,换水量为原来的 2/3,定时投喂金藻(*Chrysophyta*)和小球藻(*Chlorella vulgaris*),实验用钝缀锦蛤表型数据见表 1。

表 1 钝缀锦蛤表型数据

Tab. 1 Phenotypic data of *T. dorsatus* $\bar{X} \pm SD$; $n = 90$

壳长/mm	壳高/mm	湿体质量/g	软组织干质量/g
59.33±5.00	39.03±3.70	37.24±5.68	1.48±0.44

1.2 实验方法

温度实验设置 18 °C、21 °C、24 °C、27 °C 和 30 °C 共 5 个梯度,用冰袋和恒温加热棒及空调控制水温,调至所需温度并稳定 24 h 后进行实验。实验期间,各梯度水体盐度为 29, pH 为 7.8±0.2。

盐度实验设置 18、21、24、27 和 30 共 5 个梯度,不同盐度海水用自然海水($S=29$)和充分曝气后的自来水或海盐配制,脱脂棉过滤,调至所需盐度并稳定 24 h 后进行实验。实验期间,各梯度水体温度为 24 °C, pH 为 7.8±0.2。

pH 实验设置 5、6、7、8、9 共 5 个梯度,海水 pH 采用 1 mol/L 的 NaOH 和 1 mol/L 的 HCl 来调节,调至所需 pH 并稳定 24 h 后进行实验。实验期间,各梯度水体温度为 24 °C,盐度为 29。

温度、盐度和 pH 实验组各设 3 个平行和一个空白对照组(无钝缀锦蛤)。实验用 20 cm×12 cm×15 cm 玻璃缸为呼吸瓶,每个呼吸瓶放 2 个钝缀锦蛤,加 2 L 海水后立即用保鲜膜封口,为保证控温实验的精准,温度实验持续时间为 2 h,盐度和 pH 实验持续时间为 4 h。测定实验前后呼吸瓶中水样的溶解氧和氨氮浓度。实验结束后将钝缀锦蛤取出后擦干体表水

分,然后用游标卡尺测量钝缀锦蛤的壳宽、壳高、壳长(精确到 0.01 mm),解剖取软体部于干燥箱 65 °C 下烘干至恒质量,用电子天平称其干质量(精确到 0.01 g)。

1.3 计算方法

溶解氧采用 HQ30 d 溶氧仪测定溶解氧浓度。耗氧率计算公式为 $R_O = [(D_0 - D_t) \times V] / (W \times t)$, 式中: R_O 为单位体质量耗氧率(mg/(g·h)); D_0 和 D_t 分别为实验开始和实验结束时水中的溶解氧浓度(mg/L); V 为呼吸瓶中水的体积(L); W 为实验贝的软体部干质量(g); t 为实验时间(h)。

氨氮浓度用次溴酸钠氧化法测定。排氨率计算公式为 $R_N = [(N_t - N_0) \times V] / (W \times t)$, 式中: R_N 为单位体质量排氨率(mg/(g·h)); N_0 和 N_t 分别为实验开始和结束时水中的氨氮浓度(mg/L); V 为呼吸瓶中水的体积(L); W 为实验贝的软体部干质量(g); t 为实验时间(h)。

氧氮比 $O : N = (R_O / 16) / (R_N / 14)$, 式中 $O : N$ 为钝缀锦蛤耗氧率和排氨率之间的比值。

1.4 数据分析

实验数据以平均值±标准差(Mean±SD)表示,使用 Excel 2016 对所得数据进行整理,用 SPSS 24 软件进行单因素方差分析(ANOVA),组间差异采用 LSD 多重比较,Origin V 8.0 绘图,以 $P < 0.05$ 作为显著水平标准,以 $P < 0.01$ 为极显著水平标准。

2 结果

2.1 温度对钝缀锦蛤耗氧率和排氨率的影响

不同温度对钝缀锦蛤的耗氧率和排氨率的影响如图 1 所示。温度 18~30 °C 范围内,钝缀锦蛤耗氧率随温度的升高而增加,其变化范围为 0.25~0.78 mg/(g·h)。温度对钝缀锦蛤的耗氧率有显著影响($F=8.998$, $P < 0.05$),30 °C 组与 18 °C、21 °C、24 °C 组间差异显著($P < 0.05$),27 °C 组与 18 °C、21 °C、24 °C 组间差异显著($P < 0.05$),其余各组间差异不显著($P > 0.05$)。

18~30 °C 范围内,钝缀锦蛤的排氨率随温度升高先下降后上升再下降,18 °C 时排氨率最高,30 °C 时排氨率最低,其变化范围为 0.015~0.039 mg/(g·h)。温度对钝缀锦蛤排氨率无显著影响($F=3.797$, $P > 0.05$),18 °C 组与 24 °C、30 °C 组间差异显著($P < 0.05$),其余各组间差异不显著($P > 0.05$)。

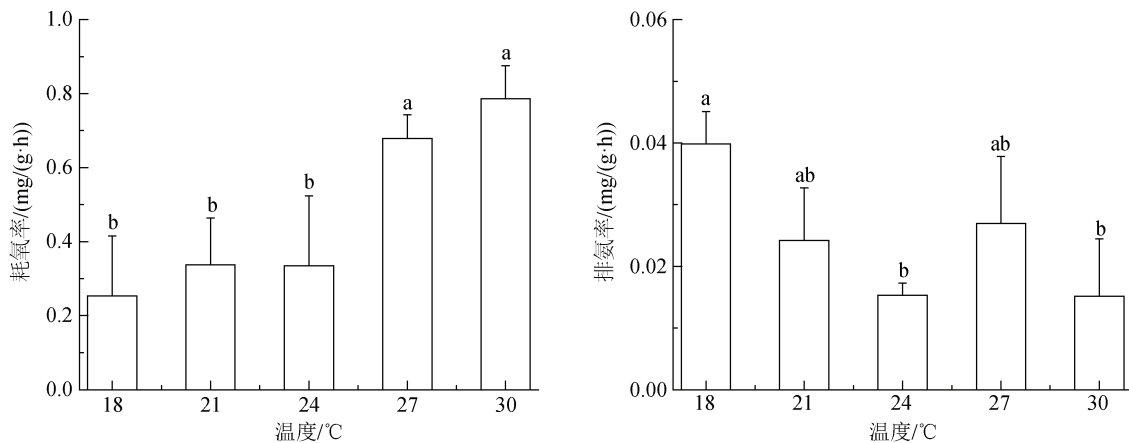


图 1 温度对钝缀锦蛤耗氧率和排氨率的影响

Fig. 1 Influence of temperature on the oxygen consumption rate and the ammonia excretion rate of *T. dorsatus*

注: 列上的不同字母表明不同组间之间存在显著差异, 图 2、图 3 同

The different letters on the column indicated that there are significant differences between the different groups, the same as Fig.2 and Fig.3

2.2 盐度对钝缀锦蛤耗氧率和排氨率的影响

钝缀锦蛤的耗氧率在盐度 18 和 27 时分别取得最小值和最大值, 其变化范围为 0.26~0.79 mg/(g·h) (图 2)。盐度对钝缀锦蛤的耗氧率有极显著影响 ($F=7.820$, $P<0.01$)。在设定盐度范围内, 盐度 18 与盐度 21 组、24 组、27 组、30 组间有差异显著 ($P<0.05$),

其余各组间差异不显著 ($P>0.05$)。

钝缀锦蛤的排氨率在盐度 18 和 24 时分别取得最小值和最大值, 其变化范围为 0.007~0.032 mg/(g·h) (图 2), 盐度对钝缀锦蛤排氨率有极显著差异 ($F=12.693$, $P<0.01$), 盐度 18 与盐度 21、24 和 27 组、盐度 24 与盐度 27、盐度 30 与盐度 21 和 24 间有显著差异 ($P<0.05$), 其余各组间差异不显著 ($P>0.05$)。

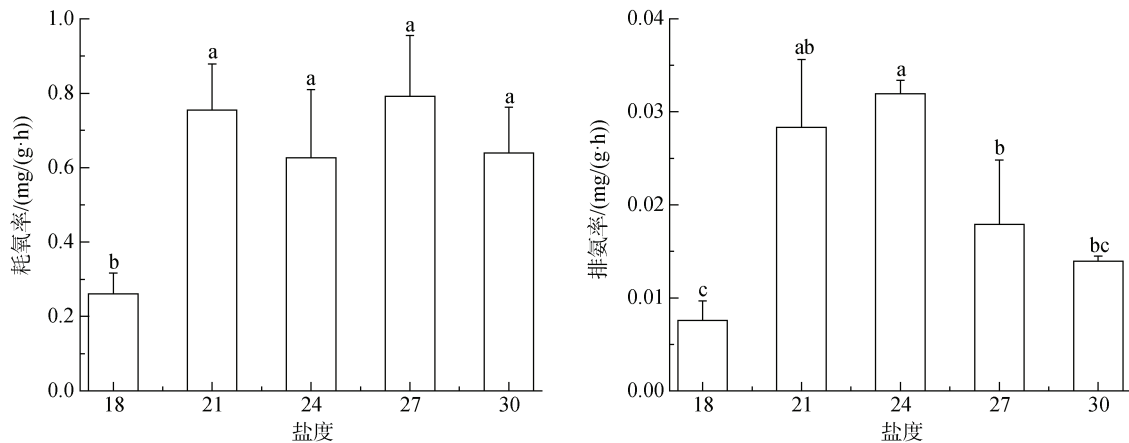


图 2 盐度对钝缀锦蛤耗氧率和排氨率的影响

Fig. 2 Influence of salinity on the oxygen consumption rate and the ammonia excretion rate of *T. dorsatus*

2.3 pH对钝缀锦蛤耗氧率和排氨率的影响

在 pH5~9 范围内, 随 pH 的升高钝缀锦蛤的耗氧率呈先升高后下降趋势, 在 pH5 和 pH8 分别取得最小值和最大值, 其变化范围为 0.55~0.92 mg/(g·h) (图 3)。在设定的 pH 范围内, pH 对钝缀锦蛤的耗氧率无显著差异 ($F=2.509$, $P>0.05$), pH8 组与 pH5、pH6

组间有显著差异 ($P<0.05$), 其余各组间差异不显著 ($P>0.05$)。

在设定的 pH 范围内钝缀锦蛤的排氨率与耗氧率呈现相似的变化规律(图 3), pH 对钝缀锦蛤的排氨率无显著影响 ($F=1.073$, $P>0.05$), 各组间差异不显著 ($P>0.05$)。

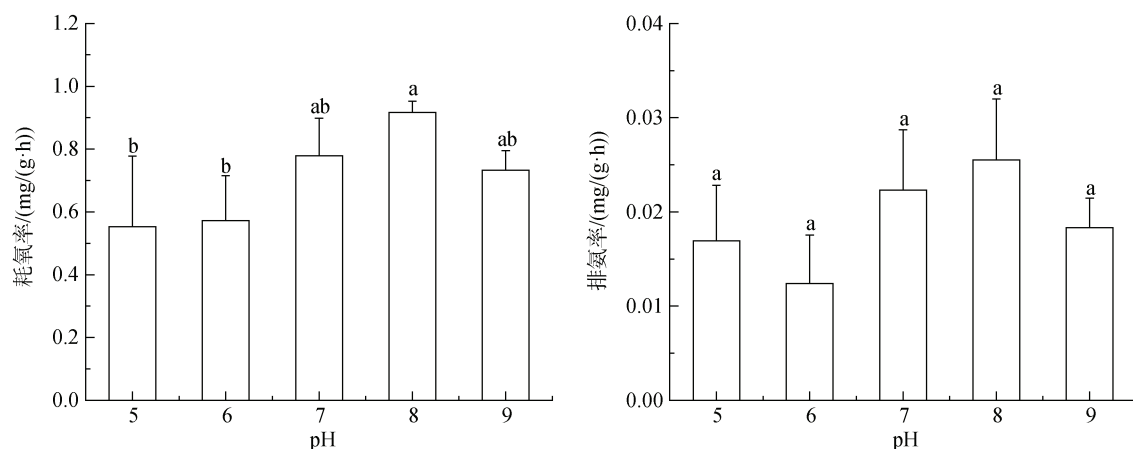


图3 pH对钝缀锦蛤耗氧率和排氨率的影响

Fig. 3 Influence of pH on the oxygen consumption rate and the ammonia excretion rate of *T. dorsatus*

2.4 不同温度、盐度和 pH 对钝缀锦蛤 O : N 的影响

钝缀锦蛤的 O : N 值如表 2 所示。在设定的 5 个温度水平下, O : N 值随着温度的升高总体呈升高趋势, O : N 值的变化范围为 5.56~45.41, 平均值为 22.51; 在盐度为 18~24 内, 随盐度的上升, O : N 值下降, 并在 24 时达到最小值 17.14, 之后到 27 时又突然升高, O : N 值的变化范围为 17.14~40.09, 平均值为 29.88; pH 从 5~6, O : N 值逐渐升高, pH 在 6 时达到最大值 40.41, 之后 pH 在 7 时出现下降, 而 pH 到 8 时又突然升高, O : N 值的变化范围为 27.59~40.41, 平均值为 32.60。

表 2 不同温度、盐度、pH 下钝缀锦蛤氧氮比

Tab. 2 ratios of O and N (atomicity O : N) of *T. dorsatus* at different temperatures, salinities, and pH

温度/℃	O : N	盐度	O : N	pH	O : N
18	5.56	18	30.10	5	28.61
21	20.45	21	23.33	6	40.41
24	19.12	24	17.14	7	27.59
27	22.01	27	38.73	8	31.41
30	45.41	30	40.09	9	34.97

3 讨论

3.1 温度对钝缀锦蛤耗氧率和排氨率的影响

贝类是变温动物, 水温的不稳定会影响海水贝类生理活动的变化^[15]。研究发现, 贝类对温度变化有一定的耐受力, 其代谢率在耐受温度范围内随温度的

升高而增加, 超出耐受范围, 则代谢率会下降^[16-18]。本实验中, 钝缀锦蛤的排氨率随温度升高先降低后逐渐升高, 耗氧率随温度上升而增加, 并未出现拐点, 这与栉江珧(*Atrina pectinata*)^[19]、魁蚶(*Scapharca broughtonii*)^[20]和太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)^[21]的研究结果一致, 而与近江牡蛎(*Ostrea rivularis*)^[22]、文蛤(*Meretrix petechialis*)^[23]、香螺(*Napitunea cumingi*)^[24]、大竹蛏(*Solen grandis*)^[25]的结果不同。表明钝缀锦蛤对高温的适应能力可能较强, 试验温度范围的上限(30℃)尚未达到其无法耐受的程度。造成这种差异的原因可能包括两个方面: 一是实验前对实验贝进行了不同时间的驯化或是在自然条件下进行了驯化; 二是所设置的实验温度范围未在贝类的最适温度范围之内^[21]。WIDDOWS^[26]的研究也表明, 不同驯化条件随着温度变化有可能对贝类耗氧率产生影响。

3.2 盐度对钝缀锦蛤耗氧率和排氨率的影响

海水盐度是影响海洋生物耗氧率和排氨率的重要环境因子之一^[7]。已有研究表明, 贝类的代谢率在适宜的盐度范围内随盐度升高而增加, 超出这个适宜范围, 则呈现下降趋势^[27]。本实验结果表明, 钝缀锦蛤的耗氧率在盐度 18 时较低, 而盐度在 21~30 范围内耗氧率较高但各盐度组之间差异不显著, 表明在低盐度下其生理活动水平较低, 而对较高盐度的适应能力较强, 但可适应的最高盐度尚需进一步研究。排氨率在盐度为 18 和 30 时较低, 而 21~27 盐度范围较高, 表明其代谢活动在该盐度范围内较活跃。因此, 结合耗氧率和排氨率, 盐度为 24~27 可能是钝缀锦蛤生长的最佳盐度范围, 这种变化规律与上述学

者的研究结果相似。此外,最大耗氧率和排氨率的盐度条件在不同的贝类中有差异,例如,青蛤(*Cyclin asinensis*)^[17]、缢蛏(*Sinonovacula constricta*)^[28]、中国蛤蜊(*Macratria chinensis*)^[29]和橄榄蚶(*Estellarca olivacea*)^[30]呈现最大耗氧率和排氨率的盐度条件为 20、22、18 和 16;细角螺(*Hemifusus ternatanus*)的最大耗氧率和排氨率分别出现在盐度为 28 和 24^[31]。本实验中,盐度在 24 和 27 时,钝缢锦蛤的耗氧率和排氨率达到最大值,出现这种差异的原因可能与不同种类对适应盐度范围有关,然而导致耗氧率和排氨率出现转折的盐度条件有差异。

3.3 pH对钝缢锦蛤耗氧率和排氨率的影响

pH 作为水环境一个重要的指标,它的变动能直接影响水产动物的生长发育和生理活动水平^[32]。如 pH 对双齿围沙蚕(*Perinereis aibuhitensis*)受精和胚胎发育有显著影响, pH 为 7.5 时受精率和孵化率均最高^[33]; *Gammarus fossarum* 在 pH 为 4.5~5.0 下其代谢系统崩溃,并导致动物死亡^[34]。JAMES 等^[35]发现,黑唇鲍(*Haliotis rubra*)的耗氧率和排氨率在 pH 低于 7 的水体中明显降低; BAMBER^[36-37]对太平洋牡蛎(*C. gigas*)、欧洲食用牡蛎(*Ostrea edulis*)、紫贻贝(*Mytilus edulis*)和 *Venerupis decussata* 的研究发现,在 pH 低于 7 时,贝类死亡率升高,代谢水平下降,摄食能力明显下降,低 pH 值不利于其生理代谢;孙涛等^[38]发现,单环刺螠(*Urechis unicinctus*)的耗氧率在 pH 值为 8 时出现最大值,此时单环刺螠呼吸最旺盛,最活跃,在 pH 为 5~7 时,耗氧率明显降低,出现体壁收缩变慢,活力减弱现象。本实验中 pH 为 5~6 时,钝缢锦蛤的耗氧率和排氨率都较低,表明低 pH 对钝缢锦蛤的生理活动影响较大,而 pH 为 7~9 时,其耗氧率和排氨率都比较高,表明其代谢活动水平较高。因此,酸化对贝类的生理代谢有较大影响^[39-41],而较高的 pH 较适宜。一般情况下,贝类在 pH 为 8~9 时其耗氧率和排氨率达最大值,如合浦珠母贝(*Pinctada fucata*)^[42]的峰值出现在 pH 为 8 时,长肋日月贝(*A. pleuronectes*)^[7]的峰值出现在 pH 为 9 时,钝缢锦蛤的峰值出现在 pH 为 8 时,与上述研究结果相似。pH 过高也会对贝类的正常生理活动不利, HARRIS 等^[35]在研究中发现,澳大利亚绿边鲍鱼(*Haliotis laevis*)在 pH 为 9.02 时,生长率下降 50%,因此, pH 过低或过高都会对贝类的生理代谢和生长造成不利影响,而自然海水的 pH 是贝类最适的 pH。

3.4 能源物质分析

氧氮比(O : N)是动物生理代谢的一个重要参数,其比率表示生物体内蛋白质与脂肪和碳水化合物分解代谢的比率^[16],通过 O : N 值能够估计动物能量代谢中能源物质的利用情况。MAYZAUD^[43]指出,如果 O : N 值约为 7 时,则说明机体所需能量仅由蛋白质提供能量。IKEDA^[44]认为,如果 O : N 值约为 24 时,则机体是由蛋白质和脂肪氧化供能。CONOVER 等^[45]指出,如果 O : N 值无穷大则机体主要由脂肪或碳水化合物供能。本实验中,在温度 18~27 °C 时,钝缢锦蛤的 O : N 比值为 5.56~22.01,说明对蛋白质和脂肪的利用率高, 30 °C 时, O : N 比值最高,为 45.41,说明此时主要利用脂肪和碳水化合物供能;在盐度为 18~24 时,钝缢锦蛤的 O : N 比值为 17.14~30.10,随盐度升高而下降,在盐度为 27~30 时为 38.73~40.09,说明代谢的能量以脂肪和碳水化合物为主,蛋白质次之;在 pH 为 5~9 时,钝缢锦蛤的 O : N 比值变化范围为 27.59~40.41,均大于 24,说明钝缢锦蛤主要消耗脂肪和碳水化合物来维持机体生理代谢需要,从 O : N 值分析, pH 在 8 时其耗氧率和排氨率最大,是适合钝缢锦蛤生活的 pH 范围。综上所述,本实验条件下,钝缢锦蛤的适宜生长温度为 18~30 °C,最适盐度为 24 左右,最适生长 pH 为 8。上述结果为钝缢锦蛤的人工养殖提供了技术参考依据。

参考文献:

- [1] 杨文,蔡英亚,邝雪梅,等.中国南海经济贝类原色图谱[M].北京:中国农业出版社,2013: 228.
YANG Wen, CAI Yingya, QI Xuemei, et al. Color atlas of molluscs of the South China Sea[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 228.
- [2] 文字.钝缢锦蛤繁殖生物学及稚贝生长的研究[D].长沙:湖南农业大学,2015.
WEN Yu. Research on reproductive biology and the growth of shellfish larvae of *Tapes dorsalis*[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2015.
- [3] 聂振平,彭慧婧,邹杰,等.钝缢锦蛤选育群体 F₂ 生长性状相关性分析及遗传力分析[J].广西科学,2020, 27(3): 241-247.
NIE Zhenping, PENG Huijing, ZOU Jie, et al. Correlation and heritability analysis on growth traits for F₂ population of *Tapes dorsalis*[J]. Guangxi Sciences, 2020, 27(3): 241-247.
- [4] 宋协法,程亚伟,邢道超,等.温度、体重对斑石鲷耗氧率、排氨率的影响及昼夜节律变化[J].中国海洋

- 大学学报(自然科学版), 2017, 47(9): 21-29.
- SONG Xiefa, CHENG Yawei, XING Daochao, et al. Influences of temperature and weight on oxygen consumption rate and ammonium excretion of *Oplegnathus punctatus* and their circadian rhythms[J]. Periodical of Ocean University of China, 2017, 47(9): 21-29.
- [5] 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 Meiyang, TIAN Bin, et al. Effects of pH, ammonia nitrogen and nitrite on oxygen consumption and ammonia excretion of *Echiurus uncinatus*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2021, 34(4): 35-42.
- [6] 胡发文, 王晓龙, 高凤祥, 等. 温度、盐度和两种麻醉剂对大泷六线鱼幼鱼耗氧率、排氨率的影响[J]. 海洋科学, 2021, 45(1): 54-61.
- HU Fawen, WANG Xiaolong, GAO Fengxiang, et al. Influence of temperature, salinity, and anesthetics on the oxygen consumption and ammonia excretion rates in fat greenling (*Hexagrammos otakii*) juveniles[J]. Marine Sciences, 2021, 45(1): 54-61.
- [7] 严俊贤, 陈明强, 吴开畅, 等. 盐度和 pH 对长肋日月贝耗氧率和排氨率的影响[J]. 水产科学, 2018, 37(2): 181-186.
- YAN Junxian, CHEN Mingqiang, WU Kaichang, et al. Effect of salinity and pH on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate in Asian moon scallop *Amusium pleuronectes*[J]. Fisheries Science, 2018, 37(2): 181-186.
- [8] 周建聪, 蔡利, 杨静茹, 等. 温度和氨氮对不同规格红螯螯虾耗氧率与排氨率的影响[J]. 渔业科学进展, 2021, 42: 1-9.
- ZHOU Jiancong, CAI Li, YANG Jingru, et al. Effects of temperature and ammonia on oxygen consumption and ammonia excretion rates of *Cherax quadricarinatus* with different sizes[J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42: 1-9.
- [9] PEDRO E S, LUCIA O, MARIO M, et al. Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in the Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856)[J]. Aquaculture, 2004, 229(1/4): 377-387.
- [10] 黄洋, 杜涛, 杨世平. 钝缙锦蛤生态习性的初步研究[J]. 水产科学, 2008, 4: 175-178.
- HUANG Yang, DU Tao, YANG Shiping. Preliminary studies on ecological habit of *Tapes dorsatus*[J]. Fisheries Science, 2008, 4: 175-178.
- [11] 陈军, 李琪, 孔令锋, 等. 基于 COI 序列的 DNA 条形码在中国沿海缙锦蛤亚科贝类中的应用分析[J]. 动物学研究, 2010, 31(4): 345-352.
- CHEN Jun, LI Qi, KONG Lingfeng, et al. COI- based DNA barcoding in tapetinae species (Mollusca, Bivalvia, Veneridae) along the coast of China[J]. Zoological Research, 2010, 31(4): 345- 352.
- [12] 程汉良, 周旻纯, 陈冬勤, 等. 基于 16S rDNA 序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究[J]. 水产科学, 2012, 31(11): 657-662.
- CHENG Hanliang, ZHOU Minchun, CHEN Dongqin, et al. Phylogenetic analysis of veneridae (Mollusca: Bivalvia) based on mitochondrial 16S rDNA[J]. Fisheries Science, 2012, 31(11): 657-662.
- [13] 巫旗生, 文字, 曾志南, 等. 钝缙锦蛤繁殖周期和胚胎发育[J]. 中国水产科学, 2017, 24(3): 488-496.
- WU Qisheng, WEN Yu, ZENG Zhihan, et al. The reproductive cycle and embryonic development of the bivalve mollusk *Tapes conspersus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(3): 488- 496.
- [14] 杨家林, 邹杰, 彭慧婧. 温度、盐度和体质量对钝缙锦蛤滤食率和同化率的影响[J]. 水产科学, 2019, 38(1): 104-108.
- YANG Jialin, ZOU Jie, PENG Huijing. Effects of temperature, salinity and body weight on filtration and assimilation rates of clam *Tapes dorsatus*[J]. Fisheries Science, 2019, 38(1): 104-108.
- [15] 王雅倩, 赵文, 程芳晋, 等. 体重和温度对中国蛤蜊耗氧率和排氨率的影响[J]. 大连水产学院学报, 2009, 24(6): 544-548.
- WANG Yaqian, ZHAO Wen, CHENG Fangjin, et al. Effects of body weight and temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in clam *Macrarchinensis*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2009, 24(6): 544-548.
- [16] 王俊, 姜祖辉, 唐启升. 栉孔扇贝耗氧率和排氨率的研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1157-1160.
- WANG Jun, JIANG Zuhui, TANG Qisheng. Oxygen consumption and ammonia-N excretion rates of *Chlamys farreri*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(9): 1157-1160.
- [17] 金春华. 温度和盐度对青蛤耗氧率和排氨率的影响[J]. 丽水学院学报, 2005, 27(2): 46-51.
- JIN Chunhua. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Cyclina sinensis*[J]. Journal of Lishui University, 2005, 27(2): 46-51.
- [18] 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(中文版), 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]. Acta Oceanologica

- Sinica, 1998, 20(4): 91-96.
- [19] 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.
- [20] 常亚青, 王子臣. 魁蚶耗氧率的初步研究[J]. 水产科学, 1992, 11(12): 1-6.
CHANG Yaqing, WANG Zichen. A preliminary study on the oxygen consumption rate of ark-shell *Scapharca brouhptonii*[J]. Fisheries Science, 1992, 11(12): 1-6.
- [21] BOUGRIES S, GEAIRO P, DEALOUS-PAOLI J M, et al. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas*(Thunberg)[J]. Aquaculture, 1995, 134(2): 143-154.
- [22] 卢王梯, 司圆圆, 陈兴汉, 等. 温度对近江牡蛎稚贝耗氧和排氨的影响[J]. 江西水产科技, 2020, 6: 9-12.
LU Wangti, SI Yuanyuan, CHEN Xinghan, et al. Effects of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion of oyster larvae[J]. Jiangxi Fishery Sciences and Technology, 2020, 6: 9-12.
- [23] 胡高宇, 张翔, 林兴管, 等. 温度对文蛤生理代谢的影响[J]. 浙江农业学报, 2020, 32(9): 1581-1590.
HU Gaoyu, ZHANG Xiang, LIN Xingguan, et al. Effect of temperature on physiology metabolism of *Meretrix petechialis*[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2020, 32(9): 1581-1590.
- [24] 张旭峰, 杨大佐, 周一兵, 等. 温度、盐度对香螺幼螺耗氧率和排氨率的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2014, 29(3): 251-255.
ZHANG Xufeng, YANG Dazuo, ZHOU Yibing, et al. Impacts of temperature and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate in juvenile whelk *Neptunea cumingii*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2014, 29(3): 251-255.
- [25] 聂鸿涛, 姜力文, 王海伦, 等. 不同温度和盐度对大竹蛭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.
- [26] WIDDOWS J. Combined effect of body size, food concentration and season on the physiology of *Mytilus edulis*[J]. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1978, 58(4): 109-124.
- [27] BOUXIN H. Influence des variations rapides de la salinité sur la consommation d'oxygène chez *Mytilus galloprovincialis*(Lmk)[J]. Bull Inst Oceanog, 1931, 569(1): 1-11.
- [28] 范德朋, 潘鲁青, 马牲, 等. 盐度和 pH 对缢蛭耗氧率及排氨率的影响[J]. 中国水产科学, 2002, 9(3): 234-238.
FAN Depeng, PAN Luqing, MA Shen, et al. Effects of salinity and pH on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate in *Sinonovacula constricta*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2002, 9(3): 234-238.
- [29] 赵文, 王雅倩, 魏杰, 等. 体重和盐度对中国蛤蚧耗氧率和排氨率的影响[J]. 生态学报, 2011, 37(7): 2040-2045.
ZHAO Wen, WANG Yaqian, WEI Jie, et al. Effects of body size and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Macra chinensis* Philippi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 37(7): 2040-2045.
- [30] 张媛, 方建光, 毛玉泽, 等. 温度和盐度对橄榄蚶耗氧率和排氨率的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(4): 690-694.
ZHANG Yuan, FANG Jianguang, MAO Yuze, et al. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of clam *Estellarca olivacea*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(4): 690-694.
- [31] 唐保军, 魏伟, 邹雄. 盐度和 pH 对细角螺耗氧率和排氨率的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2015, 35(3): 122-126.
TANG Baojun, WEI Wei, ZOU Xiong. Effects of salinity and pH on oxygen consumption and ammonia excretion of whelk *Hemifusus ternatanus*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2015, 35(3): 122-126.
- [32] 强俊, 王辉, 李瑞伟, 等. 酸碱胁迫对不同体质量尼罗罗非鱼幼鱼能量代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(9): 2438-2446.
QIANG Jun, WANG Hui, LI Ruiwei, et al. Effects of acid and alkaline stress on energy metabolism of *Oreochromis niloticus* juveniles with different body mass[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(9): 2438-2446.
- [33] 李达. 不同环境条件对双齿围沙蚕(*Perinereis aibuhitensis*)幼体发育的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
LI Da. The effects of different environmental conditions on the larval development of *Perinereis aibuhitensis*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [34] TATJANA S, ANTON B. Effects of pH on electron transport system (ETS) activity and oxygen consumption in *Gammarus fossarum*, *Asellus aquaticus* and *Niphargus sphagnicolus*[J]. Freshwater Biology, 2010, 51:

- 686-694.
- [35] JAMES O H, GREG B M, STEVEN J E, et al. Effect of nitrite on growth and oxygen consumption for juvenile greenlip abalone, *Haliotis laevis* Donovan[J]. Journal of Shellfish Research, 1997, 16(2): 395-401.
- [36] BAMBER R N. The effects of acidic seawater on three species of lamellibranch mollusc[J]. Journal of Experimental Marine Biology & Ecology, 1990, 143(3): 181-191.
- [37] BAMBER R N. The effects of acidic sea water on young carpet-shell clams *Venerupis decussata* (L.) (Mollusca: Veneracea)[J]. Journal of Experimental Marine Biology & Ecology, 1987, 108(3): 241-260.
- [38] 孙涛, 纪元, 于海瑞, 等. pH 值对单环刺螠呼吸排泄的影响[J]. 应用海洋学学报, 2017, 36(4): 533-537.
SUN Tao, JI Yuan, YU Hairui, et al. Effects of pH on respiration and excretion of *Urechis unicinctus*[J]. Journal of Applied Oceanography, 2017, 36(4): 533-537.
- [39] 张令帅. 海洋酸化对长牡蛎(*Crassostrea gigas*)肝胰腺生理功能和能量供给策略的影响[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2020.
ZHANG Lingshuai. Impact of ocean acidification on hepatopancreas physiological function and energy supply of Pacific oyster(*Crassostrea gigas*)[D]. Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2020.
- [40] 王有基, 李丽莎, 李琼珍, 等. 海洋酸化和全球变暖对贝类生理生态的影响研究进展[J]. 生态学报, 2014, 34(13): 3499-3508.
- WANG Youji, LI Lisha, LI Qiongzhen, et al. Research progress on eco-physiological responses of shellfish under ocean acidification and global warming[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(13): 3499-3508.
- [41] 王晓芹. 海洋酸化胁迫对紫贻贝和长牡蛎生理活动的影响及其缓解途径[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018.
WANG Xiaoqin. Effect of ocean acidification stress on physiological activity of *Mytilus galloprovincialis* and *Crassostrea gigas* and mitigation measures[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018.
- [42] 刘建业, 喻达辉, 李金碧. 盐度和 pH 对合浦珠母贝(*Pinctada fucata*)耗氧率和排氨率的影响[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(4): 603-607.
LIU Jianye, YU Dahui, LI Jinbi. Effects of salinity and pH on oxygen consumption and ammonia excretion rates in *Pinctada fucata*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(4): 603-607.
- [43] 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): 47-58.
- [44] IKEDA T. Nutrition ecology of marine zooplankton[J]. Memoirs of the Faculty of Fisheries Hokkaido University, 1974, 22(1): 1-77.
- [45] CONOVER R J, CORNER E. 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): 49-75.

Effect of temperature, salinity, and pH on the oxygen consumption rate and the ammonia excretion rate of *Tapes dorsatus*

LU Li-li, YU Da-hui, LI Lei-xu, HU Zhao, ZHAI Zi-qin, CHEN Jian, WU Ying-rui, BAI Li-rong

(Guangxi Key Laboratory of Beibu Gulf Marine Biodiversity Conservation, Beibu Gulf University, Qinzhou 535011, China)

Received: Oct. 7, 2021

Key words: *Tapes dorsatus*; temperature; salinity; pH; oxygen consumption rate; ammonia excretion rate

Abstract: To explore the effects of temperature, salinity and pH on oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of *Tapes dorsatus*. The effects of distinct temperature, salinity, and pH on the respiratory metabolism of *T. dorsatus* were studied by conducting an indoor experiment with ecological methods. Individually five temperature gradients (18 °C, 21 °C, 24 °C, 27 °C, 30 °C), five salinity gradients (18, 21, 24, 27, 30), and five pH gradients (5, 6, 7, 8, 9) were set for the observations. The results demonstrated that the temperature had a significant effect on the oxygen consumption rate ($P < 0.05$), but no such significant effect was found on the ammonia excretion rate ($P > 0.05$). In the temperature range of 18~30 °C, the oxygen consumption rate proliferated with the increase in temperature, while the ammonia excretion rate diminished initially and then elevated with the temperature surge. Salinity also demonstrated a significant effect on the oxygen consumption rate and the ammonia excretion rate ($P < 0.01$). The oxygen consumption rate and the ammonia excretion rate initially increased and then gradually diminished with increased salinity. The peak values of oxygen consumption rate and ammonia excretion rate appeared at the salinity gradient of 27 and 24, respectively. Conversely, the oxygen consumption rate and the ammonia excretion rate ($P > 0.05$) remained stable overall with the pH elevation, except when the pH was 6~9, where it slightly changed. The ratio of oxygen consumption rate to ammonia removal rate (O : N) was found between 5.56 and 45.41 at 18~30 °C. At a salinity gradient of 18~30, the O : N ratio was observed between 17.14 and 40.09. In the range of pH 5~9, O : N was measured between 27.59 and 40.41. The results provide a base for further study on the ecological physiology of *T. dorsatus*.

(本文编辑: 谭雪静)