

doi: 10.7541/2022.2021.0363

中华绒螯蟹幼蟹温度选择与偏好研究

陈永进 周彦锋 徐东坡

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业农村部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 无锡 214081)

摘要: 研究通过利用自动化的电子穿梭系统研究长江野生中华绒螯蟹幼蟹的行为参数对温度变化的响应, 进行了 I 组8℃和14℃实验组、II 组14℃和21℃实验组、III 组21℃和28℃实验组、IV 组28℃和35℃实验组共4个实验组。实验表明中华绒螯蟹幼蟹的最佳偏好温度在28℃。幼蟹会加速逃离不适温度区域, 且偏离温度越高游泳速率越高, 温度和游泳速率拟合方程: $y=0.0027x^2-0.1045x+1.5875$, $R^2=0.8615$, 昼夜($P>0.05$)和雌雄性别($P>0.05$)差异对温度的偏好选择未见明显影响。研究为中华绒螯蟹养殖、利用及野外环境下种群保护与调控管理提供科学依据。

关键词: 行为; 温度; 雌雄; 昼夜; 游泳速率; 时间占比; 中华绒螯蟹幼蟹

中图分类号: S968.25 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2022)06-0832-06



温度对于甲壳动物来说是最重要的外界环境因素, 它直接影响甲壳动物获取食物、代谢率和食物转化率等^[1, 2], 涵盖个体到种群的各个阶段, 是限制性因子。最适生长温度对于甲壳类行为、生理^[3]和生长发育^[4]等方面有重要意义。因为即使是水温的一个很小的变化也会对甲壳动物的呼吸代谢、酸碱平衡和电解质调节干扰产生显著影响^[5]。甲壳动物是变温动物, 体温的变化是由所栖息水域的水温决定的, 只能积极改变所处水域位置达到控制体温的目的, 这就是行为温度调节。甲壳动物存在“热偏好”, 可以定义为最优条件的生长温度, 甲壳动物可以移动到对自己更为有利的温度条件下^[6]。相对低温而言更温暖的28—30℃环境是中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)的偏好的最佳水温^[6, 7], 全球大约已有250种水生动物开展了热偏好研究^[8]。

水温是随着时间和空间变化而变化的。尤其近年来伴随着气候温室变化和大坝下泄水、水电站^[9, 10]等涉水工程设施的修建, 会降低或升高原本水体水温, 给原本复杂的水温变化增添了更多不确定因素。使得水生动物会改变栖息地, 向更深或更浅的水域迁徙^[11], 满足自身温度偏好的要求。

穿梭箱系统最初是由Neill等^[12]开发的, 多年来一直被用于有效地衡量水生动物对不同环境因素的偏好。相当多的学者发现用shuttlebox穿梭池系统对测试物种的环境因子偏好性有效性高, 也进行了系统的试验性改进。如早在1977年Reynolds系统性描述了偏好实验基础理论, 论证了其可行性^[13]; Schurmann 和 Mortensen^[14-16]分别在1991、1992年和2007年进行了虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)和红点鲑(*Salvelinus alpinus*)的温度和溶氧偏好实验; 另外浊度^[17]、pH、盐度^[18, 19]和溶氧^[20-23]也有相关研究, 但基于穿梭系统对中华绒螯蟹温度的偏好开展研究还未见报道。

中华绒螯蟹分布广泛, 从中国南方的岷江到东北的辽河, 适宜温度变化范围广。中华绒螯蟹是我国重要的养殖品种, 2019年总产量突破85万吨, 产值破千亿元^[24]。然而与之相对应的是我国野生中华绒螯蟹资源日益严峻, 2019年2月1日农业农村部发布通告停止中华绒螯蟹(河蟹)专项捕捞许可证, 禁止天然资源生产性捕捞。从20世纪初传入欧洲, 不足百年时间, 中华绒螯蟹已入侵欧美大部分国家, 面广量大, 对当地生态系统、水工建筑产生严重影

收稿日期: 2021-11-30; 修订日期: 2022-02-15

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFD0900500); 中国水产科学研究院基本科研业务费(2020TD61)资助 [Supported by the National Key R & D Program of China (2020YFD0900500); Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2020TD61)]

作者简介: 陈永进(1988—), 男, 硕士; 主要从事渔业生态学研究。E-mail: chenyj@ffrc.cn

通信作者: 徐东坡(1982—), 男, 博士; 主要从事渔业生态学研究。E-mail: xudp@ffrc.cn

响^[25]。幼年中华绒螯蟹向上游迁移直到成年, 性成熟的个体向下游迁移繁殖。幼蟹阶段是该物种生命周期的一个重要阶段, 通常抗病能力低, 死亡率高。为此, 我们利用穿梭系统研究了幼蟹的温度偏好以及温度对各种行为参数的影响, 探究了中华绒螯蟹对水温的适应性偏好。而本研究的结果将有助于提高该物种在水产养殖环境中的存活率和生长率, 以及对其天然种群的保护与调控。

1 材料与方法

1.1 材料

本实验所采用的所有中华绒螯蟹幼蟹样品均在长江常熟江段铁黄沙水域, 由定制串联笼壶网采集。实验幼蟹暂养于100 L水族缸中内, 维持水位高20 cm。每个水族缸内配一个气石, 适量的网状遮蔽物, 每天换水1/3并投喂适量正昌集团久和配合饲料。实验用水为曝气7d以上的自来水, 水族缸内水维持溶氧6.5 mg/L以上, pH (mean±SD) 7.7±0.2, TN保证在0.4 mg/L以下。人工控制光周期, 光周期为12L(08:00—20:00h):12D(20:00—8:00h)。实验用蟹采用无病无伤、肢体健全和活力较强的个体。pH、温度溶氧用测量溶氧仪(YSI 550A, USA)和pH计(WTW PH3310, GERMANY)。本次实验采用中华绒螯蟹幼蟹规格为见表1。所有的幼蟹均在实验后称重和测量。四组幼蟹之间和每组雌雄幼蟹规格均没有显著差异($P>0.05$)。

1.2 温度选择系统

我们首次使用自动化电子选择系统 shuttleboxes (loligos, Denmark)来进行温度偏好实验。该系统由Neill于1972年首次提出^[12], Schurmann^[14]改造了该装置用来确定虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)温度的偏好。该系统包括控制部分和循环部分, 其中控制部分包括4个控制温度泵、红外的视频摄像机、两个水温探头、控制仪和具有相关程序的计算机。循环部分两个再循环泵、两个缓冲罐和选择池, 选择池由一个10 cm长, 7 cm直径管连接两个50 cm直径的池子(图1)。此外, 灯光系统未在图2中显示, 包括日间日光灯和夜间红外灯^[26]提供背景照明。一

个高速摄像头安装在穿梭池上连续记录, 输出的中华绒螯蟹幼蟹位置坐标到计算机。shuttlesoft 软件(v2.6.1, Loligos)控制的4个剂量水泵和再循环系统, 精确和稳定控制温度梯度。全套装置单独放置在安静的实验室内, 减少不必要的误差。该系统还能研究水生动物其他类型(盐度、溶氧、浊度)的偏好实验。

1.3 实验方法

实验采用固定温度梯度的静态方式, 即在选择池的两侧设定一个固定梯度值。系统确保两侧梯度的稳定, 使实验动物进行两梯度值的选择偏好实验。可以获得实验动物的活动速度、活动轨迹及不同实验因子的选择时间。可以进行实验因子不同水平的比较实验, 直接反映出实验动物对两水平下偏好程度。

实验采用了8、14、21、28和35℃共5个梯度温度组, 进行 I 组8℃和14℃实验组、II 组14℃和21℃实验组、III 组21℃和28℃实验组、IV 组28℃和35℃实验组共4个实验组。实验蟹禁食24h后转入试验系统适应12h后开始实验, 在2个选择池中交替放置, 12h的适应时间被证明是足够将应激降到

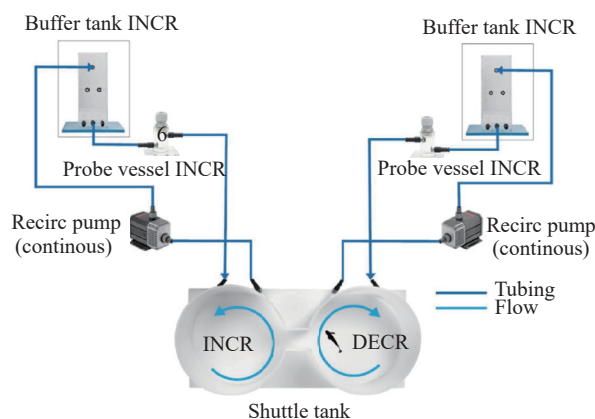


图1 Shuttleboxes 温度选择系统(来源: loligos 丹麦)

Fig. 1 Shuttleboxes temperature choice system (source: loligos Denmark)

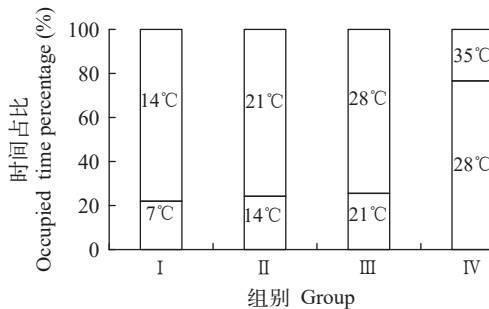


图2 各实验组温度偏好时间百分比

Fig. 2 The experimental temperature preferences

表1 中华绒螯蟹幼蟹生物学数据

Tab. 1 Biological data of Chinese mitten crab (mean±SD)

组别 Group	数量 Number	重量 Mass (g)	壳宽 Shell width (mm)	壳高 Shell height (mm)
I	6	15.18±0.24	34.2±0.22	31.79±0.57
II	6	15.06±0.79	33.95±1.09	31.39±1.27
III	6	15.65±0.4	34.18±0.17	31.58±0.39
IV	6	15.18±0.24	34.2±0.22	31.79±0.57

正常的水平范围^[21, 27], 每次进行一只幼蟹的实验。雌雄比设置为1:1, 光周期12 L(08:00—20:00):12D(20:00—8:00)。实验过程中实验缓冲池中水连续充气, 保证实验用水溶氧6.5 mg/L以上。交替设置高低温区域进行雌雄幼蟹的实验。

预实验结果显示在选择池两侧相同温度下雌雄均无选择差异($P>0.05$)。

1.4 数据分析方法

在整个实验过程中记录中华绒螯蟹的行为图像并储存在计算机中, 由图像每秒记录一次横、纵坐标值。常规的游泳速率(SRS)计算是由测量中华绒螯蟹在穿梭池中每秒游动的距离(cm)而得到。

$$SRS = \sqrt{[(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2]} / t \quad (1)$$

式中, (X_1, Y_1) , (X_2, Y_2) 分别为中华绒螯蟹体在时刻1和时刻2的横坐标和纵坐标。

在所有的分析中, 统计意义显著差异在 $\alpha<0.05$, 采用SPSS 22.0数据分析软件进行统计分析。

2 结果

2.1 温度选择偏好

I 实验组、II 实验组和III实验组这3组都是对高温区域占领时间相对较大, 都显著倾向于高温区域(图2)。即8℃和14℃实验组倾向于14℃($P<0.01$)、14℃和21℃实验组倾向于21℃($P<0.01$)、21℃和28℃实验组倾向于28℃($P<0.01$)。而IV实验组对低温区域占领时间相对比较大, 显著倾向于低温28℃区域。即28℃和35℃实验组倾向于35℃($P<0.01$)。

2.2 游泳速率

实验设置对幼蟹游泳速率的影响 II 实验组选择池14℃侧的游泳速率(0.7 cm/s)较 I 实验组选择池14℃侧的游泳速率(0.57 cm/s)提高了29.9%, III实验组选择池21℃侧的游泳速率(0.92 cm/s)较 II 实验组选择池14℃侧的游泳速率(0.3878 cm/s)提高了137.33%($P<0.01$), IV实验组选择池28℃侧的游泳速率(0.69 cm/s)较III实验组选择池14℃侧的游泳速率(0.49 cm/s)提高了41.92%($P<0.01$)。不同的组中同样的温度幼蟹会有不同游泳速率, II 实验组幼蟹会逃离14℃侧进入偏好的21℃侧, II 实验组幼蟹会逃离7℃侧进入偏好的14℃侧, 逃离的速率显著高于偏好的速率(图3)。

选择池两侧的温度梯度, 中华绒螯蟹幼蟹在不适应温度里的游泳速率显著高于相对偏好那侧。中华绒螯蟹幼蟹在进入不适应温度时, 会加速逃离这个

水温。幼蟹逃离速率的增高有离最适温度越远越快的趋势(图4)。

温度对幼蟹游泳速率的影响 中华绒螯蟹幼蟹在28℃梯度时游泳速率最低为0.58 cm/s, 在34℃时幼蟹的游泳速率急剧上升到1.22 cm/s, 增加1.09倍。而在低温区域幼蟹的游泳速率增加得较为缓慢, 在低于28℃的实验组中, 8℃组的游泳速率为0.89 cm/s, 仅增加了0.52倍。中华绒螯蟹的游泳速率随着温度的逐渐升高, 有先升高后降低的趋势, 并呈现出温度(x)对游泳速率(y)的拟合方程: $y=0.0027x^2-0.1045x+1.5875$, $R^2=0.8615$ 。

2.3 昼夜、雌雄的影响

本次实验设计了12h的昼间和12h的夜间对比, 通过24h的实验我们发现: 昼夜因子对幼蟹的温度选择偏好及游泳速率没有显著性影响(paired t -test $P>0.05$)。对比结果显示, 幼蟹的雌雄性别差异对温度偏好选择和游泳速率的影响均为未见显著性差异(anova $P>0.05$), 这可能和幼蟹雌雄性腺未发育, 雌雄幼蟹差异不明显所致。

3 讨论

在适应12h后, 24h的实验时间中幼蟹会不断地

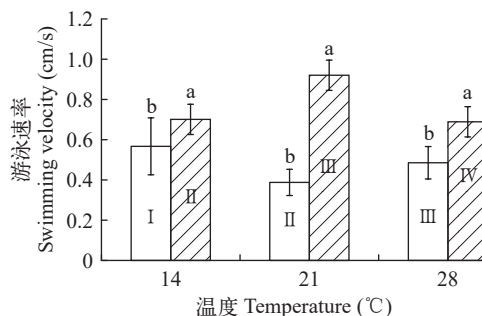


图3 实验设置组对速率的影响

Fig. 3 The influence of experimental group on velocity

字母不同表示不同年龄组之间存在显著性差异 ($P<0.05$)

Values with the different letters indicate significantly different between different age groups ($P<0.05$)

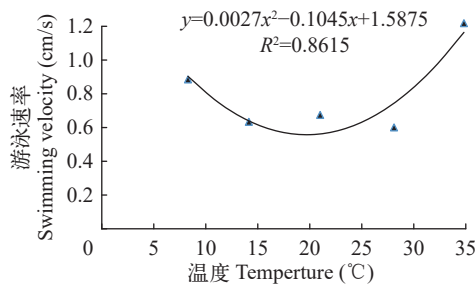


图4 温度对游泳速率的影响

Fig. 4 The influence of temperature on swimming speed

探索选择池两侧的水域,并最终在水温相对适合的一侧停留更长的时间。实验发现幼蟹偏好在28℃温度组,这远高于本次实验用幼蟹野外采样水域水温10—12℃,长江流域水温变化在8—28℃^[10, 28]。采样水域的幼蟹已经从河口洄游到长江下游常熟段,远离河口孵化水域^[29, 30]。在索饵洄游期间,景丽等^[31]研究发现这一阶段中华绒螯蟹幼蟹蜕壳次数较多,生长迅速代谢旺盛。Jost等^[32]的研究发现几种幼年甲壳动物在较高的水温中能给机体带来较高的生理代谢率,较高的水温比低温水域更具优势。这也同本文的结果是相一致的。

实验中我们发现幼蟹在进入不适水温侧时,会加速30%以上左右逃离这个水温。逃离时幼蟹的游泳速率增高及越远速率越高的趋势。这与Herbert等^[23]还发现虹鳟会增加11%—39%的速度逃离缺氧水域的发现是一致的。水生动物加速离开不适栖息地在罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[22]、黄尾鲷(*Seriola lalandi*)^[20]的实验研究中均有所体现。同时幼蟹的逃离速率有离最适温度越远越快的趋势,体现为开口向上的抛物线性。Serrano等^[19]在灰笛鲷(*Lutjanus griseus*)的盐度偏好实验中发现,游泳速率同盐度也呈抛物线关系。动物在不适的环境中会消耗能量用于抵抗不适因子带来的影响,这必然会导致分配在其他方面的能量降低,出现一个U型的生理曲线。

在长期的生物进化过程中,生物对外界环境形成了周期性的适应过程,生物具有昼夜节律性,如血液淋巴等生理生化水平^[33]、繁殖^[34]和规律活动^[35]等行为模式都会受到昼夜节律会影响。相当多的学者研究^[36, 37]发现中华绒螯蟹的昼夜节律性是昼伏夜出的。然而本次实验发现幼蟹的游泳速率昼夜差异不显著,为减少干扰,本次实验采样的两个圆形选择池中未设置遮蔽物,幼蟹在白天寻找遮蔽物可能导致昼夜游泳速率差异不显著。

幼蟹的雌雄性别对温度偏好和游泳速率均未见显著差异,这可能由于幼蟹阶段雌雄性腺没有发育的原因^[38]。雌雄幼蟹身体各组织能量分布并没有明显不同^[39],在性腺发育之后,雌雄蟹在繁殖过程中繁殖努力不同,占有不同的繁殖地位不同,雌蟹以育幼投资为主,雄蟹以交配投资为主,雌雄蟹的能量分配才会出现愈来愈大的差别^[40],在生长^[40]、生理生化^[40]和行为模式^[41]上均有所体现。

中华绒螯蟹幼蟹在实验室环境下温度偏好实验,排除了其他因素的干扰,但这在自然环境下是不可能的,水生动物要综合考虑生物的和非生物的因素^[42]。这就要求研究者们设计考虑因素更多的

实验来进一步研究。实验室实验微环境同自然栖息地环境差距还是较大的^[43]。中华绒螯蟹在野外环境育肥场、繁殖场及洄游通道的研究将补充以实验室为基础的研究。

参考文献:

- [1] Russell N R, Fish J D, Wootton R J. Feeding and growth of juvenile sea bass: the effect of ration and temperature on growth rate and efficiency [J]. *Journal of Fish Biology*, 1996, **49**(2): 206-220.
- [2] Sun L, Chen H, Huang L. Effect of temperature on growth and energy budget of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2006, **261**(3): 872-878.
- [3] Claireaux G, Lagardère J P. Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European Sea bass [J]. *Journal of Sea Research*, 1999, **42**(2): 157-168.
- [4] Kling L J, Muscato H J, Jordaan A. Growth, survival and feed efficiency for post-metamorphosed Atlantic cod (*Gadus morhua*) reared at different temperatures [J]. *Aquaculture*, 2007, **262**(2/3/4): 281-288.
- [5] Crawshaw L I. Physiological and behavioral reactions of fishes to temperature change [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1977, **34**(5): 730-734.
- [6] Lagerspetz K Y H, Vainio L A. Thermal behaviour of crustaceans [J]. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 2006, **81**(2): 237-258.
- [7] Yuan Q, Wang Q, Zhang T, et al. Effects of water temperature on growth, feeding and molting of juvenile Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. *Aquaculture*, 2017(468): 169-174.
- [8] Golovanov V K. The ecological and evolutionary aspects of thermoregulation behavior on fish [J]. *Journal of Ichthyology*, 2006, **46**(2): 180-187.
- [9] Liu Z W, Lü P Y, Yu Y, et al. Variation in water temperature of the mainstream of the Jinsha River over last 50 years [J]. *Freshwater Fisheries*, 2014, **44**(6): 49-54. [刘昭伟, 吕平毓, 于阳, 等. 50年来金沙江干流水温变化特征分析 [J]. *淡水渔业*, 2014, **44**(6): 49-54.]
- [10] Zou Z H, Lu G B, Li Q F, et al. Water temperature change caused by large-scale water projects on the Yangtze River mainstream [J]. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2011, **30**(5): 139-144. [邹振华, 陆国宾, 李琼芳, 等. 长江干流大型水利工程对下游水温变化影响研究 [J]. *水力发电学报*, 2011, **30**(5): 139-144.]
- [11] Ward A J W, Hensor E M A, Webster M M, et al. Behavioural thermoregulation in two freshwater fish species [J]. *Journal of Fish Biology*, 2010, **76**(10): 2287-2298.
- [12] Neill W H, Magnuson J J, Chipman G G. Behavioral thermoregulation by fishes: a new experimental approach [J]. *Science*, 1972, **176**(4042): 1443-1445.

- [13] Reynolds W W, Casterlin M E. Behavioral thermoregulation and the "final preferendum" paradigm [J]. *American Zoologist*, 1979, **19**(1): 211-224.
- [14] Schurmann H, Steffensen J F, Lomholt J P. The influence of hypoxia on the preferred temperature of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Journal of Experimental Biology*, 1991, **157**(1): 75-86.
- [15] Schurmann H, Steffensen J F. Lethal oxygen levels at different temperatures and the preferred temperature during hypoxia of the Atlantic cod, *Gadus morhua* L. [J]. *Journal of Fish Biology*, 1992, **41**(6): 927-934.
- [16] Mortensen A, Ugedal O, Lund F. Seasonal variation in the temperature preference of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) [J]. *Journal of Thermal Biology*, 2007, **32**(6): 314-320.
- [17] Meager J J, Utne-Palm A C. Effect of turbidity on habitat preference of juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua* [J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2008, **81**(2): 149-155.
- [18] Bucking C, Wood C M, Grosell M. Diet influences salinity preference of an estuarine fish, the killifish *Fundulus heteroclitus* [J]. *The Journal of Experimental Biology*, 2012, **215**(11): 1965-1974.
- [19] Serrano X, Grosell M, Serafy J E. Salinity selection and preference of the grey snapper *Lutjanus griseus*: field and laboratory observations [J]. *Journal of Fish Biology*, 2010, **76**(7): 1592-1608.
- [20] Cook D G, Herbert N A. The physiological and behavioural response of juvenile kingfish (*Seriola lalandi*) differs between escapable and inescapable progressive hypoxia [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2012, **413**: 138-144.
- [21] Poulsen S B, Jensen L F, Nielsen K S, *et al.* Behaviour of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* presented with a choice of normoxia and stepwise progressive hypoxia [J]. *Journal of Fish Biology*, 2011, **79**(4): 969-979.
- [22] Xu J, Liu Y, Cui S, *et al.* Behavioral responses of tilapia (*Oreochromis niloticus*) to acute fluctuations in dissolved oxygen levels as monitored by computer vision [J]. *Aquacultural Engineering*, 2006, **35**(3): 207-217.
- [23] Herbert N A, Steffensen J F. Hypoxia increases the behavioural activity of schooling herring: a response to physiological stress or respiratory distress [J]? *Marine Biology*, 2006, **149**(5): 1217-1225.
- [24] Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. 2020 China Fishery Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020: 20-24. [农业农村部渔业渔政管理局. 2020年中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2020: 20-24.]
- [25] Anger K. Effects of temperature and salinity on the larval development of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (Decapoda: Grapsidae) [J]. *Marine Ecology Progress*, 1991(72): 103-110.
- [26] Liu P, Song X F, Ge C Z. Effects of temperature, body weight and diurnal rhythm on metabolism of *Scopthalmus maximus* [J]. *Hebei Fisheries*, 2009(5): 1-4. [刘鹏, 宋协法, 葛长宇. 温度、体重和昼夜节律对大菱鲆幼鱼代谢的影响 [J]. *河北渔业*, 2009(5): 1-4.]
- [27] Steffensen J F, Johansen K, Bushnell P G. An automated swimming respirometer [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1984, **79**(3): 437-440.
- [28] Hu Y Y, Zhao L, Guo X Y, *et al.* Variations of the water temperature offshore the Changjiang River estuary in winters and springs [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, **43**(3): 655-661. [胡莹莹, 赵亮, 郭新宇, 等. 长江口外海域冬、春季水温变化规律研究 [J]. *海洋与湖沼*, 2012, **43**(3): 655-661.]
- [29] Cui Y, Wu X G, Zhao F, *et al.* Diet sources of juvenile chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) during upstream migration indicated by the carbon and nitrogen stable isotopes [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2019, **50**(4): 822-829. [崔莹, 吴旭干, 赵峰, 等. 基于碳、氮稳定同位素分析中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)幼蟹溯河洄游期食物来源变化 [J]. *海洋与湖沼*, 2019, **50**(4): 822-829.]
- [30] Cao Z. Stocking and physiological adaption to the environment of the cultured *eriocheir sinensis* in the Yangtze Estuary, and the morphological difference between stocking and migratory populations [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012: 20-39. [曹侦. 长江口中华绒螯蟹养殖亲蟹的放流、生理适应及与洄游亲蟹形态判别 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2012: 20-39.]
- [31] Jing L. Studies on population characteristics of eriocheir sinensis resource in the lower reaches of the Changjiang River [D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2012: 19-40. [景丽. 长江下游干流中华绒螯蟹种群特征的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2012: 19-40.]
- [32] Jost J A, Podolski S M, Frederick M. Enhancing thermal tolerance by eliminating the pejus range: A comparative study with three decapod crustaceans [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 2012(444): 263-274.
- [33] Guibolini M, Borelli G, Mayer-Gostan N, *et al.* Characterization and variations of organic parameters in teleost fish endolymph during day-night cycle, starvation and stress conditions [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2006, **145**(1): 99-107.
- [34] Schmidt A J, Bemvenuti C E, Diele K. Effects of geophysical cycles on the rhythm of mass mate searching of a harvested mangrove crab [J]. *Animal Behaviour*, 2012, **84**(2): 333-340.
- [35] Nordhaus I, Diele K, Wolff M. Activity patterns, feeding and burrowing behaviour of the crab *Ucides cordatus* (Ucididae) in a high intertidal mangrove forest in North Brazil [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2009, **374**(2): 104-112.
- [36] Li S J, Tang H, Wang G Z. Experiment studies on the diel variations of digestive enzyme activities in the larvae of

- mud crab, *Scylla serrata* (forsk.) [J]. *Journal of Xiamen University* (Natural Science), 2000, **39**(6): 831-836. [李少菁, 汤鸿. 锯缘青蟹幼体消化酶活力昼夜节律的实验研究 [J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2000, **39**(6): 831-836.]
- [37] Sun Y P, Zhao D A, Hong J Q, *et al.* Design of automatic and uniform feeding system carried by workboat and effect test for raising river crab [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, **31**(11): 31-39. [孙月平, 赵德安, 洪剑青, 等. 河蟹养殖船载自动均匀投饵系统设计及效果试验 [J]. 农业工程学报, 2015, **31**(11): 31-39.]
- [38] Wang Q, Zhao Y L, Ma Q, *et al.* Seasonal changes of biochemical components in reproductive system of male Chinese mitten-handed crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2004, **35**(4): 351-357. [王群, 赵云龙, 马强, 等. 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)雄性生殖系统发育过程中生化成分的季节变化 [J]. 海洋与湖沼, 2004, **35**(4): 351-357.]
- [39] Liu D. Research on energy allocation of chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012: 15-36. [刘丹. 中华绒螯蟹的能量分配研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2015: 15-36.]
- [40] Alunno-Bruscia M, van der Veer H W, Kooijman S A L M. The AquaDEB project (phase I): Analysing the physiological flexibility of aquatic species and connecting physiological diversity to ecological and evolutionary processes by using dynamic energy budgets [J]. *Journal of Sea Research*, 2009, **62**(2): 43-48.
- [41] Milner R N C, Booksmythe I, Jennions M D, *et al.* The battle of the sexes? Territory acquisition and defence in male and female fiddler crabs [J]. *Animal Behaviour*, 2010, **79**(2/3): 735-738.
- [42] Nielsen T V, McGaw I J. Behavioral thermoregulation and trade-offs in juvenile lobster *Homarus americanus* [J]. *Biology Bulletin*, 2016, **230**(1): 35-50.
- [43] Stol J A, Svendsen J C, Enders E C. Determining the thermal preferences of carmine shiner (*Notropis percobromus*) and lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) using an automated shuttlebox [R]. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, Winnipeg: Oceans and Science, 2013: 1-23.

TEMPERATURE SELECTION AND PREFERENCE OF JUVENILE *ERIOCHEIR SINENSIS*

CHEN Yong-Jin, ZHOU Yan-Feng and XU Dong-Po

(Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China)

Abstract: Chinese mitten crabs are widely distributed from Fujian in southern China to Liaoning in northern China, and they are able to adapt to a range of temperatures. The study focused on the behavioral responses of juvenile mitten crabs sampled from the Yangtze River to changes in water temperature. This is an important stage of the life cycle of this species that often has low disease resistance and high mortality rates. A temperature gradient was established across the shuttlebox to enable the preference of juvenile crabs for either temperature to be established. The shuttlebox system ensures the stability of the temperature on either side of the box. Established experimental groups were set as follows: Group I (8°C and 14°C), Group II (14°C and 21°C), Group III (21°C and 28°C), and Group IV (28°C and 35°C). Results showed that the juvenile Chinese mitten crab had a preferred temperature (T_{pref}) of 28°C. Neither time of day nor gender had any significant effects on the temperature preference. Further more, there were significant differences in the swimming velocity of the juvenile crabs in different groups under the same experimental temperatures. The juvenile crabs increased their swimming velocity to escape suboptimal water temperature, and there was a positive relationship between swimming velocity and the degree of temperature deviation from T_{pref} . Water temperature with an inverted U-shaped swimming parabolic rate. The fitting equation for temperature (x) and swimming velocity (y), $y=0.0027x^2-0.1045x+1.5875$, $R^2=0.8615$. The impact of gender differences in swimming speed was not significant ($P>0.05$), and there was no significant difference between day and night swimming rate ($P>0.05$). Thus, the results of this study will be useful for enhancing the survival and growth rates of this species in aquaculture settings as well as for controlling and protecting them in the wild.

Key words: Behaviour; Temperature; Male and female; Day and night; Swimming velocity; Time occupied; Juvenile crab