

两种形态变异类型日本囊对虾稚虾高温耐受性的比较

宋晓红¹, 毛勇¹, 董宏标², 张曼¹, 边力¹, 王军^{1*}

(1. 厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361005;

2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 广东 广州 510300)

摘要: 高温耐受值(CTMax)为评估日本囊对虾稚虾高温耐受性的重要指标,本实验探讨了不同暂养温度(24、28和32℃)和升温速率[(1±0.2)℃/h和(1±0.2)℃/min]对CTMax值的影响,同时利用CTMax和环境响应系数ARR比较了两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的高温耐受性差异,并从二者的地理分布、耗氧率、窒息点和温度系数Q₁₀生理代谢指标对其高温耐受机理进行了分析。实验结果如下:(1)不同的暂养温度和升温速率对两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的CTMax值均有显著影响(P<0.05);(2)在相同升温速率下,32℃组形态变异类型II稚虾的CTMax值高于形态变异类型I(P<0.05),各实验温度范围内形态变异类型II稚虾的ARR值都显著大于形态变异类型I(P<0.05);(3)各温度组中形态变异类型I稚虾的耗氧率和窒息点均高于形态变异类型II(P<0.05);(4)形态变异类型I稚虾在24~28℃的Q₁₀值小于28~32℃的Q₁₀值,而形态变异类型II稚虾则与此相反,二者的适温范围不同。结果表明,不同温度对日本囊对虾稚虾的CTMax值、耗氧率和窒息点均有影响,主要分布于南海水域的形态变异类型II稚虾的高温耐受性强于主要分布于东海和南海北部的形态变异类型I稚虾。

关键词: 日本囊对虾; 两种形态变异类型; 稚虾; 高温耐受性; 耗氧率; 窒息点

中图分类号: Q 958.1; S 968.22

文献标志码: A

日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)隶属于对虾科(Penaeidae),囊对虾属(*Marsupenaeus*),在整个印度—西太平洋,从非洲东部和南部到红海穿过马六甲海峡到地中海都有分布^[1],是我国重要的对虾养殖品种,具有重要的经济价值。

水温是影响水产动物养殖最重要的环境因素之一,不适宜的温度条件会给水产动物造成潜在的生存压力。中国南方夏季水温普遍较高且持续时间较长,日本囊对虾的高温耐受性不强,高温季节养殖的高死亡率严重制约了日本囊对虾的养殖生产。

Tsoi等^[2-3]研究发现日本囊对虾具有两种独特的形态相似而遗传分化程度很高的形态变异类型,即形态变异类型I(variety I)(简称类

型I)和形态变异类型II(variety II)(简称类型II),类型I头胸甲侧面斜纹延伸至头部腹面,主要分布在纬度较高的东亚海域,包括日本海、中国东海和南海北部;类型II的斜纹延伸至头胸甲侧面中部,主要分布于南海海域,也广泛分布于东南亚、地中海和澳大利亚。二者的交汇区在南海北部近海,曾凡荣等^[4]和何永琴等^[5]认为二者的分布区域在广东惠来海域附近存在重叠。

常用于评估耐高温性状的指标有高温耐受值CTMax(the critical thermal maximum)、环境响应系数ARR(acclimation response ratio)等。CTMax可以衡量水生动物对高温的耐受性、指示高温胁迫^[6-7]。环境响应系数ARR是评判水生动物对

收稿日期:2013-08-28 修回日期:2013-10-26

资助项目:国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA10A409-03);现代农业虾产业技术体系专项(CARS-47)

通信作者:王军, E-mail: junw@xmu.edu.cn

温度改变的生理反应的重要指标,也可指示动物对高温的耐受性。耗氧率和窒息点是研究动物生理代谢的两个重要指标,通过对不同温度下耗氧率和窒息点的研究可评估温度变化对虾类生理功能和能量流动的影响^[8],进一步解析其高温耐受机理。

本实验探讨了 CTMax 测试方法的影响因素,基于 CTMax 值和 ARR 值首次比较研究了两种形态变异类型日本囊对虾稚虾高温耐受性的差异,并通过比较其耗氧率、窒息点、温度系数 Q_{10} 生理指标和地理分布分析了其高温耐受机理,研究结果将为日本囊对虾健康养殖和抗高温新品种的培育提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

以福建省东山县赤山茂鑫水产育苗厂培育的两种形态变异类型日本囊对虾 F1 代稚虾为研究对象,选取健康、活泼、个体大小相近的两种稚虾各 375 尾为实验虾。类型 I 稚虾的体质量 (0.013 ± 0.002) g,体长 (1.043 ± 0.136) cm,类型 II 稚虾的体质量 (0.012 ± 0.005) g,体长 (1.152 ± 0.119) cm。两种实验虾各分为 3 组,每组 125 尾,分别置于温度为 24、28 和 32 °C 的 6 个 65 L 的实验桶中,以 2 °C/d 升温到实验温度后恒温暂养 7 d。暂养期间每天恒温换水 1/4,早晚各投喂 1 次福星牌免疫强化型虾苗配合饲料。

1.2 实验仪器与试剂

实验所需的仪器设备为美控 T2N99 型双温表、Atman At-304 型循环泵、KENIS K-366 型 300 W 恒温加热棒、HH-2 型数显恒温水浴锅、sartorius BSA124S 型电子天平、计时器和温度计。溶氧量用 TA-88 微量自动分析仪进行测定,TA-88 仪器分析试剂盒购于深圳市清时捷科技有限公司。

1.3 高温耐受性实验

CTMax 的测定参照 González 等^[9]方法,略作修改。选取不同暂养温度下两种形态变异类型个体大小相近的稚虾各 20 尾,实验前停喂 1 d,用于 CTMax 检测。实验设 5 组重复,每组实验虾各 2 尾,分别置于敞口测定瓶中,水浴升温。实验水体起始温度同暂养温度,待对虾稳定适应 0.5 h 后开始升温,升温速率分为 (1 ± 0.2) °C/h 和 $(1 \pm$

$0.2)$ °C/min 两组,观察现象。当实验虾痉挛弯曲、身体失去平衡时,测量并记录水温,立即将实验虾捞出放至相应的起始温度,若能恢复正常行为,则数据有效,若不能恢复正常行为则舍弃该数据,保证每组得到 5 个以上有效数据,水温的算术平均值即 CTMax 值。CTMax 值越大则高温耐受性越强。

环境响应系数 ARR 值的计算方法为^[10]

$$ARR = \Delta CTMax / \Delta T$$

式中,ARR 为环境响应系数, $\Delta CTMax$ 是不同暂养温度组间实验虾 CTMax 值之差, ΔT 是暂养温度之差。ARR 反映动物对温度改变的适应能力,可对高温耐受性进行定量分析。

1.4 耗氧率和窒息点的测定

从两种形态变异类型各暂养温度组分别取 48 尾个体大小相近、活力好的实验虾,停喂 1 d 后用于耗氧率和窒息点的测定,测定期间实验水体温度同各暂养温度(24、28 和 32 °C)。

耗氧率测定采用静水呼吸室法^[11],在呼吸瓶中进行。各温度组重复测定 3 次,每次 10 尾实验虾,同设空白对照,1.5 h 后取水样进行溶解氧的测定。实验结束后用滤纸吸干实验虾体表水分,精确称量湿重。溶氧量采用碘量分光光度法^[11]测定。

窒息点测定方法同耗氧率。各温度组取 6 尾实验虾于呼吸瓶中,每组重复测定 3 次,同设空白对照,观察现象。当瓶中有一半的实验虾痉挛弯曲、侧翻、失去平衡时,取水样进行溶解氧的测定^[12]。

耗氧率计算方法为^[13]

$$OR = \frac{[(DO_0 - DO_t) - (DO_0 - DO_{ot})] \times V}{W \times t}$$

式中,OR 为单位体质量耗氧率 $mg/(g \cdot h)$, DO_0 和 DO_t 为实验开始和结束时呼吸室水体的 DO 含量(mg/L), DO_{ot} 为实验结束时空白对照组水体的 DO 含量(mg/L),V 为呼吸室水体的体积(L),W 为瓶中所有实验虾的湿重(g),t 为实验时间(h)。

温度系数 Q_{10} (the temperature coefficient) 计算方法^[8]:

$$Q_{10} = (OR_2/OR_1)^{10/(T_2-T_1)}$$

式中, Q_{10} 为温度系数,表示温度对稚虾代谢的影响强度或稚虾对温度的敏感程度; OR_1 和 OR_2 分

别为实验温度 T_1 、 T_2 时稚虾的单位体质量耗氧率 OR。

1.5 数据处理与分析

数据采用平均值 \pm 标准误差 (mean \pm SD) 表示,运用 SPSS Statistics 17.0 软件进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA),并用 Duncan 氏检验法进行多重比较,差异显著水平为 $P < 0.05$,极显著水平为 $P < 0.01$ 。在网站 <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/> 下载 2012 年夏季中国沿海海域表层海水平均温度数据并使用 ENVI 5.0 和 Suffer 8.0 软件作图。

2 结果

2.1 高温耐受性实验

由图 1 可见,分别经过 24、28 和 32 $^{\circ}\text{C}$ 不同水温暂养 7 d 后,类型 I 和类型 II 实验虾的 CTMax 值都具有随着暂养温度的升高而上升的趋势,同一形态类型实验虾不同温度组间的 CTMax 值差异显著 ($P < 0.05$)。

不同的升温速率对不同温度暂养后实验虾 CTMax 值的影响表现为,经 32 $^{\circ}\text{C}$ 暂养后,不同的升温速率对两种形态变异类型实验虾各自的 CTMax 值无显著影响 ($P > 0.05$),但在相同升温速率下,两种形态变异类型实验虾之间的 CTMax 值差异显著 ($P < 0.05$),类型 II 实验虾的 CTMax 值高于类型 I,其中前者在 $(1 \pm 0.2) ^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 和 $(1 \pm 0.2) ^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温速率下的 CTMax 值分别为 $(44.20 \pm 0.781) ^{\circ}\text{C}$ 和 $(43.80 \pm 0.359) ^{\circ}\text{C}$,后者分别为 $(43.08 \pm 0.432) ^{\circ}\text{C}$ 和 $(42.83 \pm 0.404) ^{\circ}\text{C}$ 。经 24 和 28 $^{\circ}\text{C}$ 水温暂养后,不同的升温速率对两种形态

变异类型实验虾各自的 CTMax 值均有显著影响 ($P < 0.05$), $(1 \pm 0.2) ^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 升温速率下的 CTMax 值较高,但在相同升温速率下,两种形态变异类型实验虾之间的 CTMax 值无显著差异 ($P > 0.05$)。

类型 I 稚虾的 ARR 值范围为 0.155 ~ 0.370,类型 II 稚虾的 ARR 值范围为 0.428 ~ 0.538 (表 1),在相同的升温速率条件下,类型 II 稚虾的 ARR 值显著大于类型 I ($P < 0.05$),类型 II 稚虾对升温的适应能力比类型 I 强。

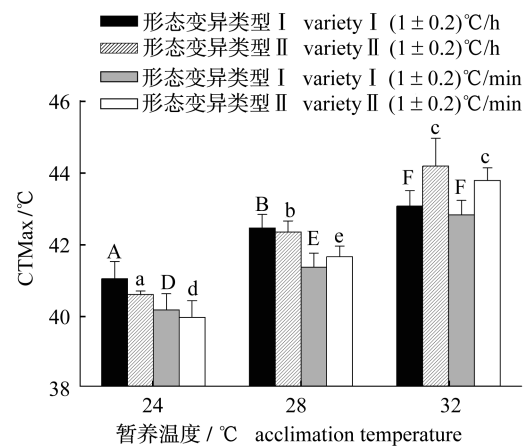


图 1 不同暂养温度和升温速率下两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的 CTMax 值

相同字母或相应的大小写字母表示差异不显著 ($P > 0.05$),不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$);下同

Fig. 1 CTMax values for the two morphologically similar varieties of juvenile kuruma shrimp exposed to different acclimation

temperatures and heating rates The same letters (A, B, C, D, E, F) or (a, b, c, d, e, f) indicate no significant difference ($P > 0.05$) and different letters indicate statistically significant differences ($P < 0.05$), the same as the following

表 1 不同暂养温度和升温速率下两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的 ARR 值

Tab. 1 The acclimation response ratio (ARR) of the two morphologically similar varieties of juvenile kuruma shrimp exposed to different acclimation temperatures and heating rates

温度区间/ temperature interval/ $^{\circ}\text{C}$	ARR			
	$(1 \pm 0.2) / (^{\circ}\text{C}/\text{min})$		$(1 \pm 0.2) / (^{\circ}\text{C}/\text{h})$	
	形态变异类型 I variety I	形态变异类型 II variety II	形态变异类型 I variety I	形态变异类型 II variety II
24 ~ 28	0.300	0.428	0.358	0.440
28 ~ 32	0.370	0.538	0.155	0.463
24 ~ 32	0.335	0.483	0.256	0.451

2.2 耗氧率和窒息点的测定

不同温度下两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的耗氧率和窒息点测定结果如图 2 和图 3 所

示,两种形态变异类型实验虾的耗氧率和窒息点均随着温度的升高而增大,且类型 I 实验虾的耗氧率和窒息点均显著高于类型 II ($P < 0.05$)。比

较其温度系数 Q_{10} (表 2) 可发现,在不同水温范围内,类型 I 实验虾在 24 ~ 28 °C 水温中的 Q_{10} 值小于 28 ~ 32 °C 水温中的 Q_{10} 值,而类型 II 实验虾则与此相反;在相同的水温范围内,水温为 24 ~ 28 °C 时,类型 II 实验虾的温度系数大于类型 I,而在 28 ~ 32 °C 温度范围内则结果相反。

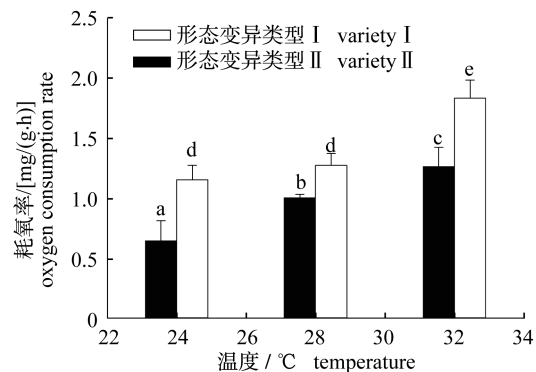


图 2 不同温度下两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的耗氧率

Fig. 2 The oxygen consumption rate of the two morphologically similar varieties of juvenile kuruma shrimp at different temperature

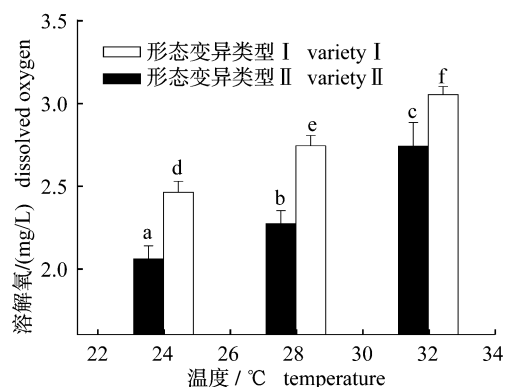


图 3 不同温度下两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的窒息点

Fig. 3 The suffocation point of the two morphologically similar varieties of juvenile kuruma shrimp at different temperature

表 2 不同温度之间两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的温度系数 Q_{10}

Tab. 2 The temperature coefficient (Q_{10}) of the two morphologically similar varieties of juvenile kuruma shrimp between different temperature intervals

温度范围/°C temperature interval	Q_{10}	
	形态变异类型 I variety I	形态变异类型 II variety II
24 ~ 28	1.274	3.037
28 ~ 32	2.495	1.788

3 讨论

3.1 CTMax 测试方法的影响因素

从所处的环境温度逐渐升温,动物受到高温胁迫而导致其神经肌肉痉挛,运动失去平衡,失去逃离高温致死环境的能力,此时温度的算术平均值就是 CTMax^[6,14]。CTMax 是评估水生动物高温抗逆性的重要生理生态指标。升温速率、环境温度、盐度、溶解氧和个体大小等多种因素都会影响 CTMax 值。

本实验中,经过 24、28 和 32 °C 暂养后,两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的 CTMax 值随着暂养温度的升高而增大,与甲壳类动物如凡纳滨对虾 (*Litopenaeus vannamei*)^[9]、褐美对虾 (*Farfantepenaeus aztecus*)^[15]、细角滨对虾 (*Litopenaeus stylirostris*)^[16] 等的报道结果一致,虾类的高温耐受性 CTMax 与暂养温度具有直接联系。

升温速率是影响 CTMax 的关键因素之一,许多研究表明水生动物的 CTMax 值受升温速率影响^[17-18]。本实验表明,两种形态变异类型日本囊对虾稚虾经过 24 和 28 °C 暂养后,(1 ± 0.2) °C/h 升温速率下实验虾的 CTMax 值较高。在 32 °C 暂养组,不同的升温速率对实验虾的 CTMax 值无显著影响,这可能是因为经过 32 °C 暂养后,稚虾在生理上已对高温形成了一定的适应性,此时暂养温度对 CTMax 值的影响大于升温速率的影响。

3.2 两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的高温耐受性差异

日本囊对虾属亚热带种类,最适宜生存温度为 25 ~ 29 °C,水温高于 32 °C 时无法正常存活^[19],实验观察发现,类型 II 实验虾在各暂养水温中都比较安静,而类型 I 实验虾处于 32 °C 水温时焦躁不安,四处游窜,表现出高温应激行为。在不同升温速率下,24 和 28 °C 组两种形态变异类型实验虾的 CTMax 值差异不显著,而 32 °C 组类型 II 实验虾的 CTMax 值比类型 I 实验虾高 0.97 ~ 1.12 °C,说明在高于适温的 32 °C 条件下,类型 II 稚虾的耐热性强于类型 I,即类型 II 稚虾对夏季高温环境的适应能力强于类型 I。

为进一步量化高温耐受性,Claussen^[10] 在 CTMax 的基础上提出了环境响应系数 ARR 的概念,ARR 可对 CTMax 进行定量分析并更准确地

比较分析不同物种的高温耐受性。实验发现ARR值与物种的纬度分布有关,相对于温带和寒带的种类,亚热带和热带种类的ARR值更高^[20-21]。各实验温度范围内类型II稚虾的ARR值均大于类型I,说明类型II稚虾对升温的承受能力比类型I强,即其高温耐受性更强,这可能与两种形态变异类型日本囊对虾的地理分布有关。Fangue等^[22]比较分析了美国北部和南部水域底鳉(*Fundulus heteroclitus*)两个亚种的耐热性,发现南部亚种耐热性强于北部亚种,二者的耐热性差异源于其地理分布和生活环境温度条件的不同。许多研究也表明同种鱼类不同群体的耐热性受其栖息环境温度条件影响^[23]。中国夏季低纬度海域的水温普遍高于高纬度海域(图4),类型II日本囊对虾主要分布在纬度较低的南海海域,该海域地处热带、亚热带,自然水温较高,它们在长期适应和进化过程中在生理生化 and 遗传方面形成了较强的高温耐受性,而类型I分布在纬度较高的海域,自然水温相对较低,其对高温的耐受性亦相对较弱。

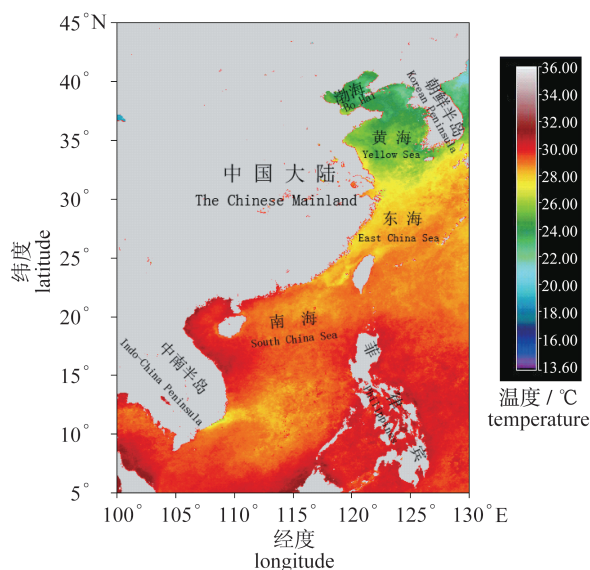


图4 2012年夏季中国沿海海域表层海水平均温度
Fig.4 The sea surface temperature of Chinese coastal waters in the summer of 2012

3.3 两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的耗氧率和窒息点

本实验中两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的耗氧率和窒息点均与温度正相关,与其他虾类相关研究的结果一致^[24-25]。动物机体对氧气的

需求与组织供氧能力不足间的矛盾是限制极端高温环境下生物存活的首要机制^[22]。不同温度下类型I稚虾的耗氧率、窒息点均高于类型II,可以推测,在高温养殖环境中类型I稚虾易产生缺氧反应,需要消耗更多的能量以维持正常的生理代谢,对高温的抗逆性较弱。

温度系数 Q_{10} 是反映生物体内反应速率与温度依存关系的一个指标,可表示生物体对温度的敏感程度^[26]。某一温度范围内, Q_{10} 值越大,说明由温度上升引起的耗氧率的变化率越大^[27]。水生动物存在“代谢补偿(metabolic compensation)”的现象^[28],为适应环境温度变化而调整代谢机制,在 Q_{10} 值较小的温度范围内,机体新陈代谢减缓,将更多的能量用于生长,因此可以用 Q_{10} 评估最适养殖温度。本实验中,类型I稚虾24~28℃的 Q_{10} 值小于28~32℃的 Q_{10} 值,意味着在24~28℃内,温度变化对其耗氧率的影响较小,能更好地维持体内稳态,24~28℃是其最适生长温度。与此相反,28~32℃是类型II稚虾的最适生长温度。实验结果表明中国沿海两种形态变异类型日本囊对虾稚虾的温度适应范围不同,主要分布于低纬度海域的形态变异类型II能适应较高的水温,高温耐受性较强,可望在日本囊对虾抗高温新品种选育中加以利用。

参考文献:

- [1] Liu R Y, Zhong Z R. Penaeid shrimps of the South China Sea [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1988:120. [刘瑞玉, 钟振如. 南海对虾类. 北京: 农业出版社, 1988:120.]
- [2] Tsoi K H, Wang Z Y, Chu K H. Genetic divergence between two morphologically similar varieties of the kuruma shrimp *Penaeus japonicus* [J]. Marine Biology, 2005, 147(2): 367-379.
- [3] Tsoi K H, Chan T Y, Chu K H. Molecular population structure of the kuruma shrimp *Penaeus japonicus* species complex in western Pacific [J]. Marine Biology, 2007, 150(6): 1345-1364.
- [4] Zeng F R, Wang J, Zhou K L, et al. Genetic structure and population differentiation in four wild populations of *Marsupenaeus japonicus* based on cytochrome b gene segment sequence of mitochondrial DNA [J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2010, 49(5): 701-706. [曾凡荣, 王军, 周孔霖, 等. 基于线粒体 Cyt b 基因

- 探讨我国日本囊对虾 4 个地理群体的遗传结构及种群分化. 厦门大学学报:自然科学版,2010,49(5):701-706.]
- [5] He Y Q, Su Y Q, Mao Y, *et al.* Genetic diversity analysis of microsatellite DNA different varieties of *Marsupenaeus japonicus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36 (10): 1520 - 1528. [何永琴, 苏永全, 毛勇, 等. 用微卫星标记分析不同形态变异类型日本囊对虾的遗传多样性. 水产学报, 2012, 36 (10): 1520 - 1528.]
- [6] Becker C D, Genoway R G. Evaluation of the critical thermal maximum for determining thermal tolerance of freshwater fish [J]. Environmental Biology of Fishes, 1979, 4 (3): 245 - 256.
- [7] Díaz F, Sierra E, Re A D, *et al.* Behavioural thermoregulation and critical thermal limits of *Macrobrachium acanthurus* (Wiegman) [J]. Journal of Thermal Biology, 2002, 27 (5): 423 - 428.
- [8] Díaz F, Re A D, González R A, *et al.* Temperature preference and oxygen consumption of the largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacepede) acclimated to different temperatures [J]. Aquaculture Research, 2007, 38 (13): 1387 - 1394.
- [9] González R A, Díaz F, Licea A, *et al.* Thermal preference, tolerance and oxygen consumption of adult white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) exposed to different acclimation temperatures [J]. Journal of Thermal Biology, 2010, 35 (5): 218 - 224.
- [10] Claussen D L. Thermal acclimation in ambystomatid salamanders [J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology, 1977, 58 (4): 333 - 340.
- [11] Li Z M, Liu Z G, Xie L, *et al.* Effect of body weight and temperature on oxygen consumption and ammonia-N excretion rates of *Chlamys nobilis* [J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2010, 41 (1): 99 - 105. [栗志民, 刘志刚, 谢丽, 等. 体重和温度对华贵栉孔扇贝 (*Chlamys nobilis*) 耗氧率和排氨率的影响. 海洋与湖沼, 2010, 41 (1): 99 - 105.]
- [12] Guan J, Liu X Z, Ma X K, *et al.* Study on the oxygen consumption rate and asphyxiation point of *Cynoglossus semilaevis* Günther larvae [J]. Marine Fisheries Research, 2006, 27 (2): 80 - 86. [关键, 柳学周, 马学坤, 等. 半滑舌鳎幼鱼耗氧率和窒息点的研究. 海洋水产研究, 2006, 27 (2): 80 - 86.]
- [13] Wang J, Jiang Z H, Tang Q S. Oxygen consumption and ammonia-N excretion rates of *Chlamys farreri* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13 (9): 1157 - 1160. [王俊, 姜祖辉, 唐启升. 栉孔扇贝耗氧率和排氨率的研究. 应用生态学报, 2002, 13 (9): 1157 - 1160.]
- [14] Beitinger T L, Bennett W A, McCauley R W. Temperature tolerance of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature [J]. Environmental Biology of Fishes, 2000, 58 (3): 237 - 275.
- [15] Re A D, Diaz F, Sierra E, *et al.* Effect of salinity and temperature on thermal tolerance of brown shrimp *Farfantepenaeus aztecus* (Ives) (Crustacea, Penaeidae) [J]. Journal of Thermal Biology, 2005, 30 (8): 618 - 622.
- [16] Denisse Re A, Díaz F, Valdez G. Effect of salinity on the thermoregulatory behavior of juvenile blue shrimp *Litopenaeus stylirostris* Stimpson [J]. Journal of Thermal Biology, 2006, 31 (6): 506 - 513.
- [17] Benfey T J, McCabe L E, Pepin P. Critical thermal maxima of diploid and triploid brook charr, *Salvelinus fontinalis* [J]. Environmental Biology of Fishes, 1997, 49 (2): 259 - 264.
- [18] Mora C, Maya M F. Effect of the rate of temperature increase of the dynamic method on the heat tolerance of fishes [J]. Journal of Thermal Biology, 2006, 31 (4): 337 - 341.
- [19] Fujian Provincial Department of Ocean and Fisheries. Mariculture in Fujian Province [M]. Fuzhou: Fujian Science & Technology Publishing House, 2005: 313 - 314. [福建省海洋与渔业. 福建海水养殖. 福州: 福建科学技术出版社, 2005: 313 - 314.]
- [20] Díaz F, Re A D, Sierra E, *et al.* Behavioural thermoregulation and critical limits applied to the culture of red claw *Cherax quadricarinatus* (von Martens) [J]. Freshwater Crayfish, 2004, 14: 90 - 98.
- [21] Kir M, Kumlu M. Critical thermal minima of *Penaeus semisulcatus* (Decapoda: Penaeidae) acclimated to four temperature levels [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2008b, 39 (4): 535 - 540.
- [22] Fangué N A, Hofmeister M, Schulte P M. Intraspecific variation in thermal tolerance and heat shock protein gene expression in common killifish, *Fundulus heteroclitus* [J]. The Journal of experimental biology, 2006, 209 (15): 2859 - 2872.
- [23] Strange K T, Vokoun J C, Noltie D B. Thermal tolerance and growth differences in orangethroat

- darter (*Etheostoma spectabile*) from thermally contrasting adjoining streams [J]. The American Midland Naturalist, 2002, 148(1): 120 - 128.
- [24] Song X F, Liu P, Ge C Z. Interactive effects of temperature and salinity on oxygen consumption, ammonia-nitrogen excretion and phosphate excretion in *Litopenaeus vannamei* [J]. Fishery Modernization, 2009, 36(2): 1 - 6. [宋协法, 刘鹏, 葛长宇. 温度、盐度交互作用对凡纳滨对虾耗氧和氨氮、磷排泄的影响. 渔业现代化, 2009, 36(2): 1 - 6.]
- [25] Wen X B, Ku Y M, Luo J B. Effects of temperature, body weight and feeding on metabolism of *Procambrus clarkii* [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2003, 22(2): 152 - 156. [温小波, 库天梅, 罗静波. 温度、体重及摄食状态对克氏原螯虾代谢的影响. 华中农业大学学报, 2003, 22(2): 152 - 156.]
- [26] Bett C, Vinatea L. Combined effect of body weight, temperature and salinity on shrimp *Litopenaeus vannamei* oxygen consumption rate [J]. Brazilian Journal of Oceanography, 2009, 57(4): 305 - 314.
- [27] Lin X T, Zhang Q M, Xu Z N, et al. Advancement of the study on respiratory metabolism of decapod crustaceans [J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(6): 575 - 580. [林小涛, 张秋明, 许忠能, 等. 虾蟹类呼吸代谢研究进展. 水产学报, 2000, 24(6): 575 - 580.]
- [28] Tian X, Dong S, Wang F, et al. The effects of temperature changes on the oxygen consumption of juvenile Chinese shrimp *Fenneropenaeus chinensis* Osbeck [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2004, 310(1): 59 - 72.

The thermotolerance of the two morphologically similar varieties of juvenile kuruma shrimp (*Marsupenaeus japonicus*)

SONG Xiaohong¹, MAO Yong¹, DONG Hongbiao², ZHANG Man¹, BIAN Li¹, WANG Jun^{1*}

(1. College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: For the reason that the critical thermal maximum (CTMax) is an excellent index for evaluating the thermal tolerance, we assessed the impact of different acclimation temperatures (24, 28, 32 °C) and heating rates [(1 ± 0.2) °C/h and (1 ± 0.2) °C/min] on the CTMax values firstly. And then we compared the difference of the thermotolerance between the two morphologically similar varieties of juvenile kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus* (Bate, 1888) by the CTMax values and the acclimation response ratio (ARR) values, and at the same time, the different distribution, the physiological traits of the oxygen consumption rate, suffocation point and temperature coefficient (Q_{10}) of the two varieties were analysed to explore their thermal tolerance mechanism. The results are as follows: (1) Significant effect was found on the CTMax values of the shrimps by different heating rates and acclimation temperatures ($P < 0.05$). (2) At the acclimation temperature of 32 °C, the CTMax value of variety II was greater than that of variety I ($P < 0.05$) and the ARR values of variety II were also greater than variety I at all temperature intervals. (3) When exposed to the same acclimation temperature, the oxygen consumption rate and suffocation point of the variety I were greater than those of variety II ($P < 0.05$). (4) The temperature coefficient (Q_{10}) value of variety I at the temperature interval of 28 – 32 °C was greater than that of 24 – 28 °C, while the result of variety II was quite the contrary, and there was a difference between the optimum temperature of the two varieties. The results obtained in this work showed that the CTMax values, oxygen consumption rate and suffocation point of the juvenile kuruma shrimp were influenced by different acclimation temperatures and the thermotolerance of variety II which is mainly distributed in the South China Sea was stronger than that of variety I which is distributed in the East China Sea and the northern part of the South China Sea.

Key words: *Marsupenaeus japonicus*; two morphologically similar varieties; juvenile shrimps; thermal tolerance; oxygen consumption rate; suffocation point

Corresponding author: WANG Jun. E-mail: junw@xmu.edu.cn