

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2015.14257

日本囊对虾耐热性状及其与凡纳滨对虾、脊尾白虾的比较

李丽君, 宋晓红, 林瑶琼, 钟声平, 乔莹, 毛勇, 苏永全, 王军

厦门大学 海洋与地球学院, 福建 厦门 361005

摘要: 为构建日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*)耐高温性状的评价体系, 全面了解日本囊对虾的耐热性状, 本研究首先采用耐热性(upper thermal tolerance, UTT)作为评定指标, 开展不同规格日本囊对虾耐热性状的分析; 进一步结合临界温度法(critical thermal methodology, CTM)将日本囊对虾与脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)进行了耐热性状的种间比较。结果显示: (1) 不同大小的日本囊对虾个体之间耐热性(UTT)存在差异, 其体重与耐热性之间呈负相关, 相关系数为 $-0.142(P<0.05)$, 特别是日本囊对虾仔虾(0.01 g)耐热性显著高于较大规格(1~5 g)的日本囊对虾($P<0.05$); (2) 受高温刺激, 3 种虾表现出不同的应激行为, 凡纳滨对虾的开始死亡温度与死亡高峰温度最高, 日本囊对虾次之, 脊尾白虾最低; (3) 3 种虾的耐热性状存在明显差异, 凡纳滨对虾的平均 UTT 值最高, 日本囊对虾次之, 脊尾白虾的最低($P<0.01$); (4) 凡纳滨对虾的临界高温(critical thermal maximum, CTMax)最高, 日本囊对虾次之, 脊尾白虾最低 ($P<0.05$), 即与 UTT 的比较结果一致。本研究为日本囊对虾耐高温品系选育提供了基础科学依据。

关键词: 日本囊对虾; 相关分析; 凡纳滨对虾; 脊尾白虾; 耐热性; 种间比较; 育种

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2015)03-0418-08

日本囊对虾(*Marsupenaeus japonicus*), 又称日本对虾, 广泛分布于日本北海道以南、中国近海、东南亚、澳大利亚北部、非洲东部及红海等海区。该对虾食性杂、生长快、离水不易死亡, 适于活虾上市, 是中国海水虾类养殖的重要种类。日本囊对虾属亚热带种类, 最适温范围为 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$, 在 $8\sim 10^{\circ}\text{C}$ 停止摄食, 5°C 以下死亡, 高于 32°C 生活不正常。日本囊对虾的养殖受温度影响明显, 虽然生长速度随着水温的升高而加快, 但成活率却与水温在一定温度范围内呈负相关, 超过一定的水温临界值, 会造成较大面积死亡^[1], 在南方地区夏季高温养殖受限。近年来, 为了提高日本囊对虾的生长速度和养殖效率, 已有养殖户尝试在高温后期适当提前放苗, 但目前缺少耐高温性状的评价方法以及高温养殖的技术

标准, 提前放苗的养殖结果很不稳定。因此亟需深入了解日本囊对虾的耐高温性状, 为南方地区的高温季节养殖和耐高温品系的选育积累生物学资料。

国内外关于虾类的耐温研究见于南极磷虾(*Euphausia superba*)^[2]、罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)^[3]、中国对虾(*Penaeus chinensis*)^[4]等, 开展了温度对虾类代谢率^[5]、临界温度^[6-7]、耗氧率^[7]等影响的研究, 也有学者比较研究了相同实验条件下不同虾类耐高温能力的差异^[8]; 在日本囊对虾方面, 有学者报道了温度对消化酶活性^[4]、生长和成活率^[9]的影响以及成虾^[10]和仔虾^[11]对温度适应性的差异。但是, 目前日本囊对虾耐高温性状的评价体系尚未形成, 影响了日本囊对虾的高温养殖技术创新和耐温新品种选育研究进展。

收稿日期: 2014-06-12; 修订日期: 2014-07-30.

基金项目: 国家虾产业技术体系岗位专家项目(CARS-47); 厦门市南方海洋中心项目(14CZY033HJ07); 福建省海洋高新产业发展专项项目(闽海洋高新[2014]12 号).

作者简介: 李丽君(1990-), 女, 硕士研究生, 从事海洋生物学研究. E-mail: 603781148@qq.com

通信作者: 毛勇, 教授级高级工程师. E-mail: maoyong@xmu.edu.cn

凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)能在水温为 6~40℃的水域中生存,对高温的适应性强,冬季养殖水温不能低于 12℃^[11];脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)能在 2~38℃的水温范围内生活,以黄渤海产量最高,因其耐低温的习性,是虾池秋冬季养殖的重要品种^[12];日本囊对虾在南北方均可养殖,但在南方面临高温度夏难题,在北方存在低温越冬难题。因此,本研究将日本囊对虾与凡纳滨对虾、脊尾白虾耐温能力进行比较,以期科学、全面地了解日本囊对虾在高温条件下的养殖局限性,为其耐高温性状改良及养殖模式优化提供参考。

本研究以 UTT (upper thermal tolerance)值作为耐热性状评定指标,运用到不同规格日本囊对虾耐温性状的评价之中,并结合临界温度法 CTM 开展了日本囊对虾与凡纳滨对虾、脊尾白虾耐高温性状的比较研究,以期科学、全面地了解日本囊对虾在高温条件下的养殖局限性,为其耐高温性状改良及养殖模式优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

为研究不同规格日本囊对虾耐热性的差异,以福建省东山县赤山茂鑫水产育苗厂培育的 F₂ 家系为研究对象,随机选取不同大小(1.1~54.7 g)共计 265 尾活力正常、色泽正常、体形完整的日本囊对虾进行耐热性实验。

为分析耐热性的种间差异,选取活力正常的日本囊对虾、脊尾白虾、凡纳滨对虾 3 种仔虾(体长 10~11 mm)各 60 尾,进行耐热性比较实验,实验所用的日本囊对虾来自福建省东山县赤山茂鑫水产育苗厂培育的 G₂ 家系,凡纳滨对虾从育苗池采集,脊尾白虾通过对经鉴定的抱卵亲虾进行育苗得到。

1.2 实验方法

1.2.1 不同规格日本囊对虾耐热实验 升温实验设在 5 m² 的水泥池中,升温方法借鉴刘宝锁等^[13]并加以改进。在正式实验之前首先进行了预实验,日本囊对虾在 33℃水体中暂养 1 d 后,以 1℃/2 h 的速率升温直至所有对虾死亡,找出 38℃为死亡

率较高拐点。正式实验以 33℃为初始温度,选取经 1 d 暂养正常的个体放入实验池,以 1℃/2 h 的速率升温至 38℃;38℃之后以 0.5℃/4 h 的速率升温直至所有对虾死亡。水温采用精确度为 0.1℃的温控加热器进行控制,实验中保持充气,以确保水池中各个部位温度同步。死亡标准为机体运动失去平衡、失去逃离高温致死环境的能力^[14],本研究具体标准为实验虾背部朝下倒于水体无法恢复正常的姿势或躯体始终保持 90°弯曲^[15]。记录死亡时间、死亡温度、体重,保证每 10 min 捞取 1 次死虾并做好记录,当池中所有对虾死亡总数达到 100%时结束耐热实验。

1.2.2 日本囊对虾与脊尾白虾、凡纳滨对虾耐热性状对比实验

实验容器为 1 000 mL 的烧杯,利用水浴锅进行温度控制,升温方法同 1.2.1。每 10 min 用镊子捞取 1 次死虾,并记录死亡时间、死亡温度、体重、体长,当烧杯中所有虾死亡时结束耐热实验。

1.3 数据处理与分析

耐热性状评定指标:实验采用耐热性 UTT 作为耐高温性状指标^[13],计算公式为:

$$UTT = \sum_{i=1}^k (T_i - T_0)$$

式中, i 为分钟数, T_i 为第 i 分钟的温度, T_0 为实验初始温度 33℃, k 为个体存活的分钟数。

CTMax 即为实验虾身体弯曲、运动失去平衡时记录的水温的算术平均值^[16-17]。

数据处理分析:实验数据用 Excel 进行处理,采用平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$)表示,利用 SPSS 19.0 软件对日本囊对虾耐热性与体重进行相关性分析,进行耐热性的单因素方差分析,并采用 LSD 方法进行多重比较,差异显著水平为 $P < 0.05$,极显著水平为 $P < 0.01$ 。

2 结果与分析

比较不同规格日本囊对虾耐热性发现:(1)日本囊对虾耐热性与体重呈负相关($P < 0.05$);(2)日本囊对虾仔虾(<0.01 g)耐热性显著高于 1~5 g 日

本囊对虾($P<0.05$)。

对日本囊对虾与脊尾白虾、凡纳滨对虾 3 种仔虾各项耐热指标进行对比研究发现: (1)凡纳滨对虾的开始死亡温度和死亡高峰温度最低, 日本囊对虾次之, 脊尾白虾最低; (2)日本囊对虾与脊尾白虾、凡纳滨对虾 UTT 值存在极显著差异($P<0.01$), 耐热性最高的为凡纳滨对虾, 最低的为脊

尾白虾, 日本囊对虾处于两者之间; (3) 凡纳滨对虾的 CTMax 值最高, 日本囊对虾次之, 脊尾白虾最低($P<0.05$)。

2.1 不同规格日本囊对虾耐热性比较

实验中日本囊对虾体重分布见图 1。从中可以看出, 实验所采用的日本囊对虾体重跨度较大, 适于研究不同规格日本囊对虾的耐热性差异。

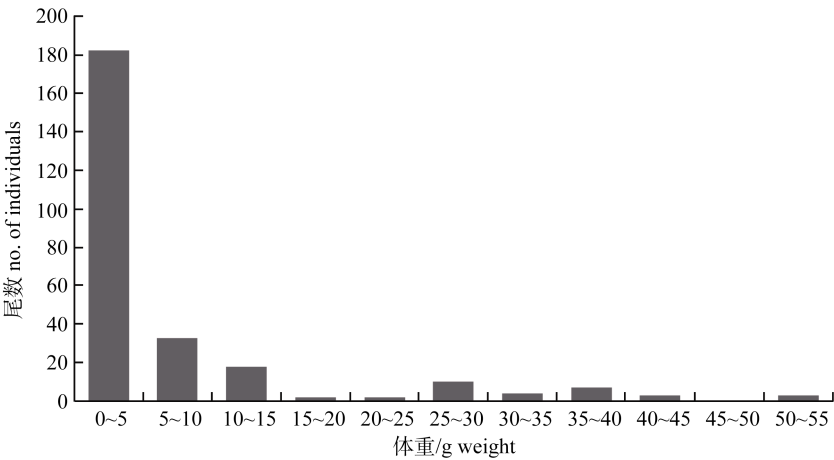


图 1 日本囊对虾体重分布图
Fig. 1 Body weight distribution of *Marsupenaeus japonicus*

对日本囊对虾体重与耐热性状进行相关分析。日本囊对虾耐热性状 UTT 与体重呈负相关, 相关系数为 $-0.142(P<0.05)$ 。为了进一步为夏季养殖模式优化奠定基础, 对 1~5 g 日本囊对虾与日本囊对虾仔虾(<0.01 g)进行耐热性对比(表 1), 可以看出仔虾的耐热性高于 1~5 g 个体, 日本囊对虾仔虾的 UTT 值为 3 490.88, 而 1~5 g 日本囊对虾为 2 928.16, 二者差异显著($P<0.05$)。

表 1 不同体重日本囊对虾的 UTT 值
Tab. 1 Upper thermal tolerance (UTT) of *Marsupenaeus japonicus* with different body weight

体重/g body weight	耐热性 upper thermal tolerance
1~5	2 928.16±1 417.833 ^a
<0.01	3 490.88±2 548.357 ^b

注: 具有不同字母的各项间差异显著($P<0.05$).
Note: Numbers with different letters are significantly different ($P<0.05$).

2.2 3 种仔虾在高温下的死亡情况观察

图 2 比较了日本囊对虾、脊尾白虾、凡纳滨

对虾 3 种仔虾受热激后的死亡情况, 从中可以明显看出, 脊尾白虾开始出现死亡的温度最低, 为 33℃; 凡纳滨对虾最高, 为 38.5℃; 日本囊对虾居中, 为 34℃。

实验过程中, 对仔虾在高温下的行为进行了观察研究。随着温度的升高, 日本囊对虾多卧于底部, 不动或少动。高温应激时首先出现部分肌肉变白, 然后侧游打转, 接着失去平衡侧倒于水底。然而实验中观察到, 随着温度的升高, 凡纳滨对虾和脊尾白虾始终表现为躁动不安, 在水体上方不断游动。受高温应激时, 两种虾均经过几次沉底与螺旋状上浮后侧倒于水底。

表 2 比较了温度渐变时 3 种仔虾的各种死亡温度。死亡高峰温度即为出现死亡率最高的温度, 其高低顺序与“开始死亡温度”呈相似规律, 即凡纳滨对虾最高, 日本囊对虾次之, 脊尾白虾最低。全部死亡温度仍是脊尾白虾最低, 而日本囊对虾与凡纳滨对虾相同, 都为 41.5℃。

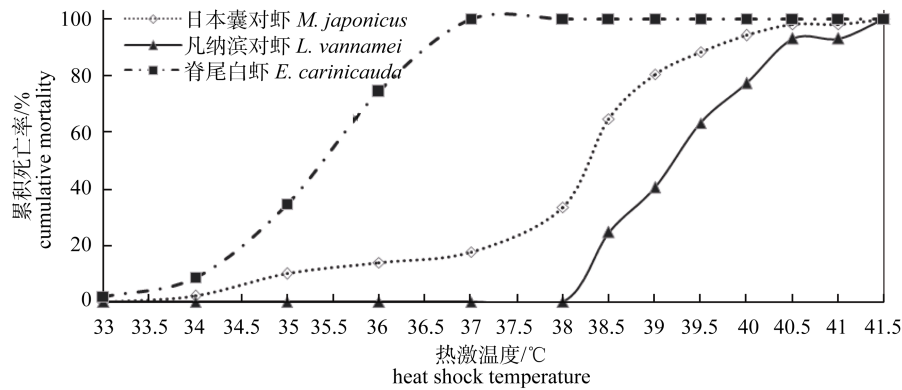


图 2 不同热激温度下 3 种仔虾死亡情况
Fig. 2 Mortality of juvenile shrimps at different temperatures

表 2 温度渐变时 3 种仔虾各项死亡温度
Tab. 2 The lethal index of test shrimp with temperature gradual change

实验虾 test shrimp	开始死亡温度/℃ temperature for initial mortality	死亡高峰温度/℃ temperature for climax mortality	全部死亡温度/℃ temperature for whole mortality
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	33	36	37
日本囊对虾 <i>Marsupenaeus japonicus</i>	34	38.5	41.5
凡纳滨对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>	38.5	39.5	41.5

2.3 3 种仔虾耐热性(UTT)的比较

日本囊对虾、脊尾白虾、凡纳滨对虾 3 种仔虾 UTT 值见表 3。由表 3 可以看出三者之间的均值存在较大差异, 凡纳滨对虾平均耐热性最高, UTT 为 6 018.53; 日本囊对虾次之, 为 3 490.88; 脊尾白虾最低, 为 504.14。利用 SSPS 19.0 软件采用 LSD 方法进行多重比较, 发现日本囊对虾仔虾与脊尾白虾仔虾、凡纳滨对虾仔虾两两之间耐热性存在极显著差异($P<0.01$)。

2.4 3 种仔虾临界高温(CTMax)的比较

日本囊对虾、脊尾白虾、凡纳滨对虾 3 种仔虾的临界高温(CTMax)见表 4。从中可以看出, 三

表 4 3 种对虾仔虾的临界高温值(CTMax)
Tab. 4 Critical thermal maxima (CTMax) of juveniles of three test shrimps

实验虾 test shrimp	CTMax ℃
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	35.8±1.0 ^a
日本囊对虾 <i>Marsupenaeus japonicus</i>	38.3±1.5 ^b
凡纳滨对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>	39.4±0.9 ^c

注: 具有不同字母的各项间差异显著($P<0.05$)。
Note: Numbers with different letters are significantly different ($P<0.05$).

者之间 CTMax 值存在显著差异($P<0.05$)。凡纳滨对虾最高, 为 39.4℃; 日本囊对虾次之, 为 38.3℃; 脊尾白虾最低, 为 35.8℃。该结果与 UTT 法得出的结果相一致, 即凡纳滨对虾耐热性最高, 脊尾白虾最低, 而日本囊对虾耐热性处于两者之间。

3 讨论

温度是影响海洋生物生长繁殖和分布的一个重要因子, 超过适温范围时, 生物的行为活动以及生长繁殖都将受抑制, 甚至导致死亡^[8]。水温对对虾的潜底和浮现行为、运动速度和形式、蜕皮行为、摄食行为、产卵行为都有重要影响^[18]。国

表 3 3 种对虾仔虾的耐热性(UTT 值)
Tab. 3 Upper thermal tolerance (UTT) of juveniles of three test shrimps

实验虾 test shrimp	UTT
脊尾白虾 <i>Exopalaemon carinicauda</i>	504.14±254.531 ^a
日本囊对虾 <i>Marsupenaeus japonicus</i>	3 490.88±2 548.357 ^b
凡纳滨对虾 <i>Litopenaeus vannamei</i>	6 018.53±2 686.048 ^c

注: 具有不同字母的各项间差异极显著($P<0.01$)。
Note: Numbers with different letters are extremely significantly different ($P<0.01$).

外对于虾类的耐高温研究已进行多年,通过对铠甲虾(*Munida rugosa*)、挪威海螯虾(*Nephrops norvegicus*)等 8 种海洋甲壳动物不同季节对温度的耐受能力的研究,发现大部分生物夏季捕获时的耐热性,优于其冬季捕获时的耐热性^[19]。已有报道指出,在盐度大于 35 条件下,长臂虾(*Palaemon peringueyi*)的代谢率随着温度的上升而升高^[5]。另有研究表明凡纳滨对虾临界高温(CTMax)、耗氧率均随着适应温度(acclimation temperature)的上升而升高^[7]。国内已有报道指出,在栖息水温条件下(10~30℃),日本囊对虾各种消化酶的活力均随温度上升而提高^[4],而且日本囊对虾幼体的生长速度随着温度的升高而加快^[9],这些研究结果表明,日本囊对虾生长与水温呈正相关;而李润寅等^[1]对日本囊对虾仔虾进行的温度适宜性研究结果显示,在实验温度 13~24℃ 范围内,日本囊对虾成活率与水温呈负相关。

海洋生物的耐受温度可用如下 3 种方法进行计算^[20]:起始致死温度法(incipient lethal temperature, ILT)、临界温度法(critical thermal methodology, CTM)、慢性致死方法(chroniclethal methodology, CLM)。但耐受温度尚不足以全面评价对虾的耐热性状。实践表明耐热性状应该是耐受温度和耐受时间的综合反映,而 UTT 值(upper thermal tolerance)评价方法代表的是生物存活时间与死亡温度和初始温度差值的乘积^[21],目前,UTT 评价法已广泛应用到大菱鲂(*Scophthal maximus*)^[13]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[22]、罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*, *O. aureus*)^[23]、北极嘉鱼(*Salvelinus alpinus*)^[24]等多个物种的耐温研究之中。因此本研究选用 UTT 值作为耐热性状评定指标,运用到不同规格日本囊对虾耐热性的评价之中,并与凡纳滨对虾和脊尾白虾进行比较。另外,由于脊尾白虾属于中型虾,成虾体长 4~9 cm^[25],而日本囊对虾与凡纳滨对虾属于大型虾,成虾体长分别为 10~20 cm、12~23 cm^[26-27],为使实验虾属于同一发育阶段,统一选取 10~11 mm 仔虾进行实验。

本研究发现,日本囊对虾耐热性与体重呈负

相关($P < 0.05$),且 1~5 g 的日本囊对虾耐热性显著低于日本囊对虾仔虾($P < 0.05$),这一结果与大菱鲂^[13]、虹鳟^[21]个体耐高温性状与体重相关关系的结果相一致。因此,对日本囊对虾在高温期间的养殖管理,如放苗时机选择,应考虑体重因素。考虑到小规格虾苗比较能够耐受较高的水温,如果选择在夏季高温后期放苗,伴随着水温的逐渐降低,即使虾苗生长到较大规格,也不会受到过高水温的刺激,从而在一定程度上规避了高温养殖死亡率高的难题。另外,高水温条件下日本囊对虾的残食习性是影响其养殖成活率的重要因素之一^[1]。所以,为了在高水温期间获得较高的成活率和生长速率,一方面要考虑放苗规格以及放苗期间水温的因素,一方面要选择合适的放养密度以减少对虾的残食率。

本研究对高温下日本囊对虾、脊尾白虾、凡纳滨对虾 3 种虾的行为进行观察发现,日本囊对虾受高温刺激时,大部分卧于底部,很少游动,体力消耗少,可能与其潜沙、好静的生活习性有关;而受高温影响,脊尾白虾和凡纳滨对虾则在水体上部不断游动,体力消耗多,这可能是导致日本囊对虾在高温后期死亡率较低的原因之一。

研究还发现,3 种仔虾的耐热性存在显著差异,凡纳滨对虾平均耐热性最高,日本囊对虾次之,脊尾白虾最低。生物体的耐热性状首先与栖息地的水温有关,通过人工驯化或气候驯化还可在一定程度上改变生物体的耐受性,即气候适应^[28]。Bilyk 等^[29]研究发现,某些南极狭温性鱼类经过 4℃ 的温度驯化后,对环境温度的适应能力可接近某些广温性鱼类;其次,生物个体的耐热性状还与该物种或个体基因型有关^[30]。一方面表现在如果不同物种的耐热性状有所差异,对温度适应性有所不同,那么适宜养殖的海区就存在纬度上的差异。例如,凡纳滨对虾对高温的适应性强,适合在南方养殖,但是对低温的耐受性比其他种类的对虾低,冬季养殖水温不能低于 12℃^[11];脊尾白虾能在 2~38℃ 的水温范围内生活,以黄渤海产量最高,是虾池秋冬季养殖的重要品种^[12],耐热性相对较弱;日本囊对虾耐温性状介于两者之间,

适温范围较广, 虽然南北方均可养殖, 但南方存在度夏的问题, 北方存在越冬的问题。另一方面, 不同个体之间耐温性状有所差异, 通过耐高温品系选育可提高群体耐高温能力^[31]。综上所述, 高温驯化及耐高温品系选育是提高日本囊对虾耐高温性状的重要途径, 对于解决夏季高温养殖难题, 提高生长率及成活率, 从而提升养殖效益具有非常重要的意义。

本研究对不同规格日本囊对虾进行温度耐受性实验, 评估了体重与耐热性的关系, 并比较了1~5 g 日本囊对虾与日本囊对虾仔虾(<0.01 g)的耐热性差异, 为养殖模式及虾苗放养模式的优化奠定了重要基础; 对日本囊对虾、脊尾白虾、凡纳滨对虾3种仔虾耐温性状的差异进行比较分析, 不仅诠释了日本囊对虾在高温条件下的养殖局限性, 指明了耐高温品系培育的重要性, 而且还为耐高温性状测试提供了重要方法。

参考文献:

- [1] Li R Y, Chen J K, Jiang H L, et al. Experiments on temperature suitable for postlarva of *Penaeus japonicus*[J]. Fisheries Science, 2001, 20(3): 17-18.[李润寅, 陈介康, 姜洪亮, 等. 日本对虾仔虾的温度适宜性实验研究[J]. 水产科学, 2001, 20(3): 17-18.]
- [2] Li Y C, Zhu G P, Meng T, et al. Experiments on thermal tolerance for *Euphausia superba* under artificial conditions[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2012, 40(9): 204-206.[李莹春, 朱国平, 孟涛, 等. 人工条件下南极磷虾的温度耐受性试验观察[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(9): 204-206.]
- [3] Chen W J, Pei J M, Deng Y H, et al. Experiments on adaptive range of temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, nitrite and ammonia for zoea of *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Jiangxi Fishery Sciences and Technology, 2001(3): 20-25.[陈文静, 裴建明, 邓勇辉, 等. 罗氏沼虾蚤状幼体对温度、盐度、pH值、溶解氧、亚硝酸盐和氨的适应范围试验[J]. 江西水产科技, 2001(3): 20-25.]
- [4] Wu Y, Sun J M, Zhou Z C. The effect of temperature on the main digestive enzyme activity of *Penaeus chinensis* and *Penaeus japonicus*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 1997, 12(2): 15-22.[吴垠, 孙建明, 周遵春. 温度对中国对虾、日本对虾主要消化酶活性的影响[J]. 大连水产学院学报, 1997, 12(2): 15-22.]
- [5] Allan E L, Froneman P W, Hodgson A N. Effects of temperature and salinity on the standard metabolic rate (SMR) of the caridean shrimp *Palaemon peringueyi*[J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2006, 337(1): 103-108.
- [6] Kumlu M, Kumlu M, Turkmen S. Combined effects of temperature and salinity on critical thermal minima of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Crustacea: Penaeidae)[J]. J Therm Biol, 2010, 35(6): 302-304.
- [7] 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 temperature[J]. J Therm Biol, 2010, 35(5): 218-224.
- [8] Huang L M, Lin Q Y, Yuan W B, et al. Effect of sudden raise of temperature on the survival rate for ten species of crustacean[J]. Journal of Fisheries of China, 1991, 15(2): 155-160.[黄良民, 林秋艳, 袁文彬, 等. 急升温对十种甲壳动物存活率的影响[J]. 水产学报, 1991, 15(2): 155-160.]
- [9] Jiang M, Zang W L. Effects of temperature on the growth and oxygen consumption of *Penaeus japonicus* juvenile[J]. Fishery Modernization, 2002, (3): 14-16.[江敏, 臧维玲. 温度对日本对虾幼虾生长与耗氧的影响[J]. 渔业现代化, 2002, (3): 14-16.]
- [10] Wang W D. Experiments on temperature suitable for *Penaeus japonicus* [J]. Fishery Modernization, 2001, (1): 20-21.[王伟定. 日本对虾的温度适应性试验[J]. 渔业现代化, 2001, (1): 20-21.]
- [11] Kumlu M, Turkmen S, Kumlu M. Thermal tolerance of *Litopenaeus vannamei* (Crustacea: Penaeidae) acclimated to four temperatures[J]. J Therm Biol, 2010, 35(6): 305-308.
- [12] Wang X Q, Yan B L, Ma S, et al. Study on the biology and cultural ecology of *Exopalaemon carinicauda*[J]. Shandong Fisheries, 2005, 22(8): 21-23.[王兴强, 阎斌伦, 马牲, 等. 脊尾白虾生物学及养殖生态学研究进展[J]. 齐鲁渔业, 2005, 22(8): 21-23.]
- [13] Liu B S, Zhang T S, Kong J, et al. Estimation of genetic parameters for growth and upper thermal tolerance traits in turbot *Scophthalmus maximus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(11): 1601-1606.[刘宝锁, 张天时, 孔杰, 等. 大菱鲆生长和耐高温性状的遗传参数估计[J]. 水产学报, 2011, 35(11): 1601-1606.]
- [14] Fry F E J. The effect of environmental factors on the physiology of fish[M]//Fish Physiology. New York & London: Academic Press, 1971: 1-98.
- [15] Nelson D H, Hooper D K. Thermal tolerance and preference of the freshwater shrimp *Palaemonetes kadiakensis*[J]. J Therm Biol, 1982, 7(3): 183-187.
- [16] Cai Z P, Chen H R, Jin Q Z, et al. Influence of thermal

- power effluent on three species of fishes in Daya Bay[J]. *Tropic Oceanol*, 1999, 18(2): 11–19.[蔡泽平, 陈浩如, 金启增, 等. 热废水对大亚湾三种经济鱼类热效应的研究[J]. *热带海洋*, 1999, 18(2): 11–19.]
- [17] Becker C D, Genoway R G. Evaluation of the critical thermal maximum for determining thermal tolerance of freshwater fish[J]. *Environ Biol Fish*, 1979, 4(3): 245–256.
- [18] Zhang P D, Zhang X M, Li J. Research advances in behavioral ecology of penaeid shrimp II. Effects of environmental factors on behavior of penaeid shrimps[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(2): 340–344.[张沛东, 张秀梅, 李健. 对虾行为生态学研究进展 II. 环境因子对对虾行为习性的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(2): 340–344.]
- [19] Hopkin R S, Qari S, Bowler K, et al. Seasonal thermal tolerance in marine Crustacea[J]. *J Exp Mar Biol Ecol*, 2006, 331(1): 74–81.
- [20] Beitinger T L, Bennett W A, McCauley R W. Temperature tolerances of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature[J]. *Environ Biol Fish*, 2000, 58(3): 237–275.
- [21] Perry G M L, Martynuk C M, Ferguon M M, et al. Genetic parameters for upper thermal tolerance and growth-related traits in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 2005, 250(1–2): 120–128.
- [22] Perry G M L, Ferguon M M, Sakamoto T, et al. Sex-linked quantitative trait loci for thermotolerance and length in the rainbow trout[J]. *J Hered*, 2005, 96(2): 97–107.
- [23] Cnaani A, Gall G A E, Hulata G. Cold tolerance of tilapia species and hybrids[J]. *Aquacult Int*, 2000, 8(4): 289–298.
- [24] Quinn N L, McGowan C R, Cooper G A, et al. Identification of genes associated with heat tolerance in *Arctic charr* exposed to acute thermal stress[J]. *Physiol Genom*, 2011, 43(11): 685–696.
- [25] Liang J P, Li J, Liu P, et al. Research progress of biological characteristics and artificial breeding of ridgetail white prawn, *Exopalaemon carinicauda*[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(17): 109–116.[梁俊平, 李健, 刘萍, 等. 脊尾白虾生物学特性与人工繁育的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(17): 109–116.]
- [26] Xu Y T, Wang R Z, Jiang W L, et al. Culture technology of *Penaeus japonicus*[M]. Beijing: Ocean Press, 1993: 1–340.[徐源通, 王荣之, 姜伟利, 等. 日本对虾养殖技术[M]. 北京: 海洋出版社, 1993: 1–340.]
- [27] Zhou X. Larval rearing and freshwater aquaculture technique of *Litopenaeus vannamei*[J]. *Scientific Fish Farming*, 2003, (5): 1–11.[周鑫. 凡纳滨对虾的苗种繁育与淡水养殖技术[J]. *科学养鱼*, 2003, (5): 1–11.]
- [28] Guan J, Liu M X, Liu H J, et al. Comparison of high temperature tolerance of turbot *Scophthalmus maximus* F₂ families and broodstock[J]. *Progress In Fishes Sciences*, 2013, 34(1): 103–110.[关健, 刘梦侠, 刘洪军, 等. 大菱鲆子二代家系及亲本耐高温能力比较[J]. *渔业科学进展*, 2013, 34(1): 103–110.]
- [29] Bilyk K T, DeVries A L. Heat tolerance and its plasticity in Antarctic fishes[J]. *Comp Biochem Physiol A*, 2011, 158(4): 382–390.
- [30] Stillman J H, Somero G N. A Comparative analysis of the upper thermal tolerance limits of eastern Pacific porcelain crabs, genus *Petrolisthes*: Influences of latitude, vertical zonation, acclimation, and phylogeny[J]. *Physiol Biochem Zool*, 2000, 73(2): 200–208.
- [31] Brett W M, Anthony R C, Greg B M. A comparison of the heat tolerance and growth of a selected and non-selected line of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, in Western Australia[J]. *Aquaculture*, 2004, 241: 655–665.

Thermal tolerance of *Marsupenaeus japonicus* compared with that of *Litopenaeus vannamei* and *Exopalaemon carinicauda*

LI Lijun, SONG Xiaohong, LIN Yaoqiong, ZHONG Shengping, QIAO Ying, MAO Yong, SU Yongquan, WANG Jun

College of Ocean and Earth Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China

Abstract: Relatively high mortality has become a problem during *Marsupenaeus japonicus* culture in the summer in southern China. Thus, it is necessary to evaluate the thermal tolerance of *M. japonicus*. The upper thermal tolerance trait (UTT) was determined to evaluate thermal tolerance of different sizes of *M. japonicus*. We combined the UTT with critical thermal methodology to compare thermal tolerance among three species, such as *M. japonicus*, *Exopalaemon carinicauda*, and *Litopenaeus vannamei*. We observed their behavior under gradually changing temperature and compared the lethal index. A correlation analysis revealed a correlation coefficient of -0.142 between body weight and the UTT of *M. japonicus*. The UTT of juveniles (<0.01 g) was significantly higher than that of the group weighing 1–5 g ($P<0.05$). The three species responded differently to high temperature: temperatures for initial mortality and climax mortality of *L. vannamei* were highest, whereas those for *E. carinicauda* were the lowest. The mean UTT and critical thermal maximum of *L. vannamei* were highest, followed by those of *M. japonicus* and *E. carinicauda* ($P<0.05$). In conclusion, the thermal tolerance of *M. japonicus* was lower than that of *L. vannamei* but higher than that of *E. carinicauda*. These results are important data for a comprehensive understanding of *M. japonicus* thermal tolerance and have practical applications for selecting high-temperature resistant strains.

Key words: *Marsupenaeus japonicus*; correlation analysis; *Litopenaeus vannamei*; *Exopalaemon carinicauda*; thermal tolerance; interspecific comparison; breeding

Corresponding author: MAO Yong. E-mail: maoyong@xmu.edu.cn