

盐度和温度对红星梭子蟹存活和摄饵的影响

廖永岩*, 许振煜, 吴邦臣

(广东海洋大学水产学院, 湛江 524025)

摘要: 盐度和温度, 是影响蟹类分布、孵化、幼体发育、生长、性成熟、存活及摄饵的两个重要环境因子, 设置 0、5、10、15、20、25、30、35、40、45、50 共 11 个盐度梯度 (盐度差 ± 0.5 , 每个盐度梯度 8 只蟹), 0、5、10、15、20、25、30、35、40℃ 共 9 个温度梯度 (温度差 ± 0.5 ℃, 每个温度梯度 8 只蟹), 进行盐度和温度对红星梭子蟹 (体重 (125 ± 11) g 左右) 摄饵和存活影响的研究, 拟为进一步研究盐度和温度对红星梭子蟹分布、生长、幼体发育、低温保活等的影响提供基础资料。结果显示, 盐度从 30 骤变时, 15—40 盐度蟹能存活 5d 以上, 存活率达 100%; 15—45 盐度蟹能摄饵, 日平均摄饵量达 1.32g 以上。20—40 盐度蟹摄饵明显, 日平均摄饵量达 3.22g 以上。盐度从 25 以 5/d 渐变时, 盐度 10—45 蟹均能存活 5d 以上, 存活率达 100%; 盐度 10—45 蟹均有摄饵, 但盐度 15—40 蟹摄饵较理想。温度从 25℃ 骤变时, 15—30℃ 蟹能 100% 存活 5d 以上。10℃ 以下及 35℃ 以上, 蟹在 3d 内全部死亡。15℃ 以上, 蟹只要能存活, 都有摄饵。25—30℃ 为蟹最适温度范围, 蟹日平均摄饵量达 3.55g 以上。不超过 30℃ 时, 温度越高蟹摄饵量越大。从 25℃ 以 5℃/d 渐变时, 15—30℃ 蟹存活 100%, 10℃ 和 35℃ 蟹存活 75%; 5℃ 以下及 40℃ 以上蟹存活时间不超过 30min。15—35℃ 蟹能摄饵。不超过 30℃, 温度渐变时也是温度越高, 蟹日平均摄饵量越大。

关键词: 红星梭子蟹; 盐度; 温度; 存活; 摄饵

The effect of salinity and temperature on survival and food intake of *Portunus sanguinolentus*

LIAO Yongyan*, XU Zhenyu, WU Bangchen

College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524025, China

Abstract: Temperature and salinity are two important environmental factors which can affect distribution, hatch, larval development, growth, sexual maturity, survival and intake of crab. The three-spot crab, *Portunus sanguinolentus* is a commercially important, edible crab which is distributed in the Pacific and Indian Ocean. Experiments were conducted to evaluate the effect of salinity and temperature on survival and food intake of *Portunus sanguinolentus*. Eleven salinity gradients including 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 and 50 as well as 9 temperature gradients including 0℃, 5℃, 10℃, 15℃, 20℃, 25℃, 30℃, 35℃ and 40℃ were respectively designed. In each treatment, 8 crabs (wet weight averaged (125 ± 11) g) were enclosed and their survival and feeding rate were examined. The results showed that, five days after the salinity acute changed from 30, the survival rates of *Portunus sanguinolentus* were 100% in 15—40. The *Portunus sanguinolentus* could feed at salinity of 15—45, the daily mean food intake was over 1.32g. The proper food intake of survivor was at salinity of 20—40, the daily mean food intake was over 3.22g. With the gradual salinity changed of 5/d from 25, the survival rates of *Portunus sanguinolentus* were 100% for five days in 10—45. The *Portunus sanguinolentus* could feed at salinity of 10—45, but the food intake was higher when it was at salinity of 15—40. This results showed that the proper salinity of survival and food intake of *Portunus sanguinolentus* was in 25—35 ($P < 0.05$). Five days after the temperature acute changed from 25℃, the survival rates of *Portunus sanguinolentus* were 100% in 15—30℃. They all died within three days below the 10℃ and over the 35℃. Over 15℃, if the crab can survive, they all could feed. The proper food intake of survivor was in 25—30℃, the daily mean food intake was over 3.55g. With the gradual temperature

基金项目: 广东省教育厅自然科学基金资助项目 (0709162)

收稿日期: 2009-12-07; **修订日期:** 2010-03-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: rock6783@126.com

changed beginning from 25 at a rate of 5°C variation per day, the survival rates of *Portunus sanguinolentus* were 100% in 15—30°C, 75% at 10°C and 35°C. The survival time only lasted 30min when the temperature is below the 15°C or over the 40°C. This results showed that the proper temperature of survival and food intake of *Portunus sanguinolentus* was in 25—35°C ($P < 0.05$), the optimal temperature was at 30°C ($P < 0.05$). The results indicated that the crab's survival and feeding rate changed with the changing magnitude of salinity or temperature. In general, the crabs could survive in a wider salinity range when the crabs were subject to gradual changes of salinity as compared with those in acute changes (i.e., 10—45 in a gradually changing regime of 5 per day beginning from 25 vs. 15—40 in a acute changing regime beginning from 30). If the temperature changed acutely from 25°C to below 10°C or to above 35°C, the crabs all died within 3 days. If the temperature changed gradually from 25°C at a rate of 5°C variation per day, 25% of the crabs died within 5 days in temperatures below 10°C or above 35°C. In addition, in the conditions that salinity was acutely changed from 25 to 20—40, the crabs performed actively feeding and their daily feeding rate reached more than 3.22 g in average. In the case that temperature varied acutely, the crabs exhibited optimal intake of food at temperatures between 25°C and 30°C, and their daily feeding rate reached more than 3.55g in average.

Key Words: *Portunus sanguinolentus*; salinity; temperature; survival; intake

红星梭子蟹(*Portunus sanguinolentus*, Herbst),又名红星蟹、三点蟹,属梭子蟹科(Portuniade),梭子蟹属(*Portunus*)^[1]。其最大体宽可达 192mm,最大体重可达 455g^[2],为大型食用经济蟹类,是西太平洋-印度洋暖水海域最适合养殖和人工牧场建设的 4 种重要经济蟹之一^[3],也是我国东海^[4]、南海^[5-6]大量分布的重要大型食用经济蟹。

盐度和温度,是影响蟹类分布^[7]、孵化^[8-9]、幼体发育^[10-12]、蟹生长^[13-15]、性成熟^[16]、存活^[17-19]及摄饵^[18-19]的重要环境因子,三疣梭子蟹^[12]、锯缘青蟹^[9,11,14]、远海梭子蟹^[7,15,19]、中华虎头蟹^[18]、中华绒螯蟹^[10]、美味优游蟹^[16]、锈斑蟊^[8,17]、堪察加拟石蟹^[13]等很多经济蟹类,均有大量研究,但是目前为止,除少量如养殖空间对其生长和存活影响^[20]等少数研究外,尚没有红星梭子蟹盐度和温度对其影响的报道。红星梭子蟹虽是重要的大型经济蟹类,但因为其很难在人工状态下存活,也不耐活体运输,只能冰冻销售,使其经济价值远低于其它蟹类。红星梭子蟹在人工状态下很难存活、不耐活体运输,是否与盐度和温度耐受性有关?进行温度对红星梭子蟹摄饵和存活影响的研究,拟为红星梭子蟹的进一步研究提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 红星梭子蟹

试验用红星梭子蟹捕自湛江硇洲岛海域,体宽(120±8)mm、体重(125±11)g左右,雌雄蟹各半。

1.1.2 海水

海水为湛江海域经沙滤的天然海水,盐度为 25—29,pH6.8—7.8 再经 400 目筛绢网过滤,用“鱼虾宝”97-B 型海水晶和曝气自来水调盐度至 25、30 备用。

1.1.3 饵料

饵料为去壳新鲜翡翠贻贝肉,购自湛江东风市场。

1.2 方法

试验期间,室温 24.5—35.5°C,水温 23.5—30.0°C。所有试验组均用气泵不间断充气。

1.2.1 盐度对红星梭子蟹的影响

盐度对红星梭子蟹影响的实验,包括“盐度骤变试验”、“盐度骤变后恢复试验”、“盐度渐变试验”、“盐度渐变后恢复试验”4 个部分。盐度骤变起始盐度为 30,盐度渐变起始盐度为 25,蟹在起始盐度下至少驯化 3d 以上(溶解氧>5mg·L⁻¹,自然光周期)。

(1) 盐度骤变试验

天然海水加 24h 曝气自来水或海水晶, 配制 0、5、10、15、20、25、30、35、40、45、50 共 11 个盐度梯度(盐度差 ± 0.5)。每梯度用 22L 容器(盛水 20L), 4 个平行(共 8 只蟹)。将在盐度 30 里暂养 3d 以上的红星梭子蟹, 一次性投入各个盐度梯度容器中。10:30 和 22:30 取出残饵并投新饵料, 投饵量为每次每只蟹 10g ($20 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{只}^{-1}$)。10:30 取出残饵后, 换等盐度新鲜海水 1 次。第 1 天, 前 12h, 每 0.5h 观察 1 次; 后 12h, 每 2h 观察 1 次。从第 2 天起, 每 6h 观察 1 次, 试验持续 5d。

(2) 盐度骤变后恢复试验

5d 盐度骤变试验完成后, 将各组存活下来的蟹直接移入盐度为 30 的海水进行恢复试验, 按盐度骤变模式进行红星梭子蟹存活及摄饵试验。此试验进行 2d。

(3) 盐度渐变试验

盐度渐变与盐度骤变试验设置和方法基本一致。只是第 1 天所有容器的海水盐度为 25。第 2 天换水时, 盐度 25 的组不变, 高盐度均换为盐度 30 海水, 低盐度均换为盐度 20 海水。此后, 以盐度 $5 \cdot \text{d}^{-1}$ 为单位, 逐渐降或升至 0、10、15、20、25、30、35、40、45、50 的盐度梯度。至目标盐度后, 保持盐度不变, 直至试验结束。本试验进行 5d。

(4) 盐度渐变后恢复试验

盐度渐变试验完成后, 再恢复至盐度 25, 按盐度骤变恢复模式进行。此试验进行 2d。

1.2.2 温度对红星梭子蟹的影响

温度对红星梭子蟹的影响实验, 包括“温度骤变试验”、“温度骤变后恢复试验”、“温度渐变试验”、“温度渐变后恢复试验”4 个部分。起始温度为 25℃, 蟹在起始温度下至少驯化 3d 以上(盐度 30, 溶解氧 $> 5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 自然光周期)。

(1) 温度骤变试验

温度骤变试验设置 0、5、10、15、20、25、30、35、40℃ 共 9 个温度梯度。蟹暂养在 25℃, 然后一次性投入各个温度组。其它方法与盐度骤变试验相同。本试验进行 5d。

(2) 温度骤变后恢复试验

温度骤变后恢复的方法与盐度骤变后恢复类似, 只是从各个骤变温度直接恢复至 25℃。此试验共进行 2d。

(3) 温度渐变试验

用 2 个 140L 恒温母容器(一个为升温组, 一个为降温组), 将蟹暂养在 25℃。第 2 天, 取 8 只蟹放入 25℃ 温度组, 升温组母容器升至 30℃, 降温组母容器降至 20℃。第 3 天, 再从升温组母容器里取出 8 只蟹, 放入 30℃ 温度组, 母容器升至 35℃; 从降温母容器中取出 8 只蟹放入 20℃ 温度组, 母容器降至 15℃。按此方法只要蟹还没有死亡, 升温组母容器最终升至 40℃(若没死, 还剩 8 只蟹); 降温组母容器最终降至 0℃(若没死还剩 8 只蟹)。其它方法与温度骤变试验相同。本试验共进行 5d。

(4) 温度渐变后恢复试验

温度渐变后恢复的方法与温度骤变恢复相同, 从各渐变温度组直接恢复至 25℃。此试验共进行 2d。

1.2.3 饵料溶解试验

在盐度和温度对红星梭子蟹影响的试验中, 均设置相应的饵料溶解试验, 用以检测不同温度和盐度下的饵料溶解值, 以便修正摄饵结果。所有摄饵量为每只蟹的日摄饵量的平均值, 再经饵料溶解试验修正后的值。

1.2.4 统计分析

因本实验中 np 或 $nq < 5$, 由二项式 $(p+q)^n$ 展开式公式 $P(x) = C_n^x p^x q^{n-x}$ 直接对蟹存活率进行差异显著性检验。实验数据经方差同质性检验后, 以盐度(或温度)为一个影响因素(处理效应), 以实验时间为另一个影响因素(用以消除时间因素导致的试验误差, 使方差结果更精确), 用 SPSS. 12 软件对蟹摄饵量进行 Two-way

ANOVA 分析,检验其差异显著性;用 Duncan 法(SSR 检验)进行组间多重比较;设置 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 盐度对红星梭子蟹的影响

2.1.1 盐度骤变对红星梭子蟹的影响

(1) 盐度骤变对红星梭子蟹存活的影响

存活率为骤变试验结束时存活的蟹个数与投放个数的百分比。盐度骤变,对红星梭子蟹骤变后 5d 的存活影响明显,结果见图 1。

对图 1 的数据进行统计分析发现,盐度 15—40 组 的红星梭子蟹的存活率最高,与盐度 0—10、50 组有极显著差异($P_{(0.0\%, 100\%,)} = 1 \times 0.000^8 \times 1.000^0 = 0.000, n = 8, P < 0.01$);盐度 45 组蟹存活率较高,与盐度 0—10、50 组有极显著差异($P_{(0.00\%, 87.5\%,)} = 1 \times 0.875^0 \times 0.125^8 = 0.000, n = 8, P < 0.01$);但盐度 15—40 组 的红星梭子蟹存活率与盐度 45 组差异不显著($P_{(87.5\%, 100\%,)} = 1 \times 0.875^8 \times 0.125^0 = 0.344, n = 8, P > 0.05$)。这说明,15—45 为红星梭子蟹的可生存盐度,盐度太高或太低,或者盐度变化太剧烈,都对红星梭子蟹存活不利。

(2) 盐度骤变后恢复对红星梭子蟹存活的影响

5d 盐度骤变试验完成后,各盐度组未死亡的蟹,再直接恢复至盐度 30,对红星梭子蟹的存活有一定影响,结果见图 2。

对图 2 的数据,进行统计分析发现,从盐度 20—40 恢复至盐度 30,与从盐度 15、45 恢复至盐度 30,红星梭子蟹的存活率有极显著差异($P_{(50\%, 100\%,)} = 1 \times 0.5^8 \times 0.5^0 = 0.004, n = 8, P < 0.01$)。这说明,15 以下,或 45 以上的盐度骤变,已对蟹造成一定损伤;盐度恢复时,较大的盐度跨度,使部分蟹不适而死亡。

(3) 盐度骤变及骤变后恢复对红星梭子蟹摄饵的影响

盐度骤变及骤变后恢复对红星梭子蟹的摄饵影响明显,结果见表 1。

从表 1 的盐度骤变后蟹摄饵结果统计分析发现,盐度 25—40 组蟹摄饵量大,与盐度 15 以下组、盐度 50 组有显著差异(Two-way ANOVA, $F_{(10,40)} = 8.24, P < 0.05$);盐度 0—10、50 组蟹摄饵量最小(日平均摄饵量为 0),与 20—40 盐度组(日平均摄饵量达 3.22g 以上)有极显著差异(Two-way ANOVA, $F_{(10,40)} = 8.24, P < 0.01$),与 15—45 盐度组(日平均摄饵量达 1.32g 以上)有显著差异($P < 0.05$)。就红星梭子蟹盐度骤变摄饵量来看,25—40 盐度为蟹最适盐度,15—45 盐度为蟹能摄饵盐度。

从表 1 的盐度恢复后蟹摄饵结果的统计分析发现,从盐度 30 组恢复至 30 后的红星梭子蟹摄饵量大,与从盐度 15—25、35—45 组恢复至 30 的摄饵量,有显著差异(Two-way ANOVA, $F_{(6,6)} = 5.10, P < 0.05$)。这说明,盐度 30 是红星梭子蟹的最适盐度。

2.1.2 盐度渐变对红星梭子蟹的影响

(1) 盐度渐变对红星梭子蟹存活的影响

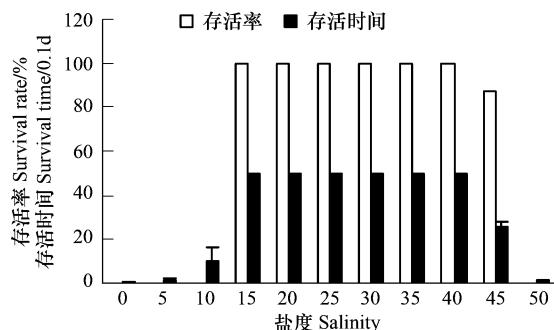


图 1 盐度骤变对红星梭子蟹存活的影响

Fig.1 Effect of acute salinity change on survival of *Protunus sanguinolentus*

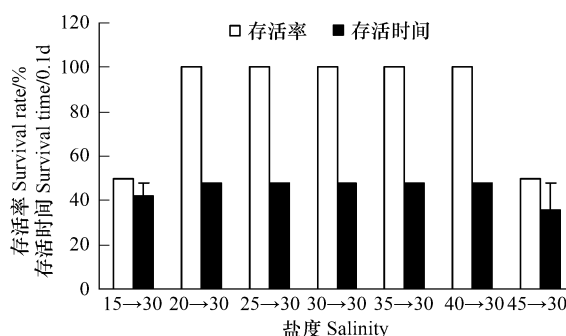


图 2 盐度骤变后恢复对红星梭子蟹存活的影响

Fig.2 Effect of salinity resumption after acute change on survival of *Protunus sanguinolentus*

从盐度 25 以 $5 \cdot d^{-1}$ 逐渐向高或低盐度变化,对红星梭子蟹的存活有明显的影响,结果见图 3。

对图 3 的数据进行统计分析发现,盐度 10—45 组红星梭子蟹存活率高,与盐度 0—5 组、50 组有极显著差异($P_{(0\%, 100\%,)} = 1 \times 0.000^8 \times 1.000^0 = 0.000, n = 8, P < 0.01$)。这说明,盐度渐变时,红星梭子蟹对盐度的适应能力明显强于盐度骤变,但红星梭子蟹还是不适于淡水或盐度 5 以下的低盐度,及盐度 50 以上的高盐度。它是典型的海洋蟹类。

(2) 盐度渐变及渐变后恢复对红星梭子蟹摄餌的影响

盐度渐变及渐变后恢复对红星梭子蟹的摄餌有明显的影响,结果见表 2。

从表 2 的盐度渐变蟹摄餌结果统计分析发现,盐度渐变时,盐度 30 组红星梭子蟹摄餌量最大,与 0 盐度组、45—50 盐度组有极显著差异(Two-way ANOVA, $F_{(10,40)} = 3.62, P < 0.01$);盐度 15—35 组蟹摄餌量较大,与盐度 0—5 组、45—50 组有显著差异($P < 0.05$);盐度 0 组、45—50 组蟹摄餌量最小,与 5—40 盐度组有显著差异($P < 0.05$)。这说明,在盐度渐变条件下,盐度 30 是红星梭子蟹最适盐度,盐度 15—35 是其适宜盐度,盐度 5 以下、45 以上为其不适宜盐度。

从表 2 的渐变后恢复蟹摄餌结果统计分析发现,从盐度 30 恢复时,蟹摄餌量最大,与从 10—20 盐度组、40—45 盐度组恢复的蟹有极显著差异(Two-way ANOVA, $F_{(7,7)} = 24.89, P < 0.01$);从盐度 15—35 组恢复时,蟹摄餌量较大,与从 10、40—45 盐度组恢复时有显著差异($P < 0.05$)。这说明,30 盐度为红星梭子蟹最适盐度,15—35 盐度为蟹适宜盐度。

2.2 温度对红星梭子蟹的影响

2.2.1 温度骤变对红星梭子蟹的影响

(1) 温度骤变对红星梭子蟹存活的影响

温度骤变对红星梭子蟹的存活影响明显,结果见图 4。

对图 4 的数据进行统计分析发现,温度骤变时,15—30℃组红星梭子蟹存活率最高,与 0—10℃、35—40℃组有极显著差异($P_{(0\%, 100\%,)} = 1 \times 0.000^8 \times 1.000^0 = 0.000, n = 8, P < 0.01$)。这说明,红星梭子蟹对温度较为敏感,温度的剧烈变化,往往容易导致红星梭子蟹死亡;15—30℃为温度骤变时其存活的适宜温度。

(2) 温度骤变及骤变后恢复对红星梭子蟹摄餌的影响

温度骤变及骤变后恢复对红星梭子蟹摄餌影响也很明显,详细结果见表 3。

从表 3 的温度骤变后蟹摄餌结果统计分析发现,30℃红星梭子蟹摄餌量最大(日平均摄餌量达 7.06 g 以上)与 25℃以下组、35℃以上组有极显著差异(Two-way ANOVA, $F_{(8,32)} = 18.91, P < 0.01$);0—10℃组、40℃组蟹不摄餌,与 15—30℃组有极显著差异($P < 0.01$)。温度骤变时,30℃是红星梭子蟹的最适温度,15—30℃为蟹适宜温度。

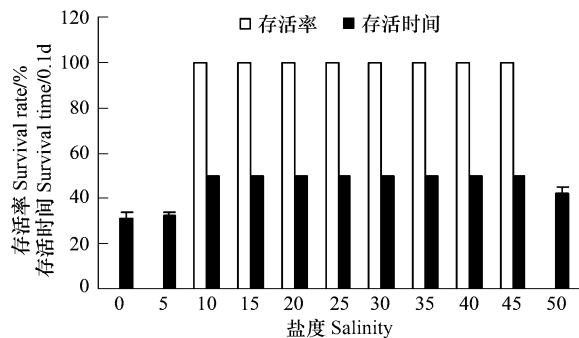


图 3 盐度渐变对红星梭子蟹存活的影响

Fig. 3 Effect of gradual salinity change on survival of *Protunus sanguinolentus*

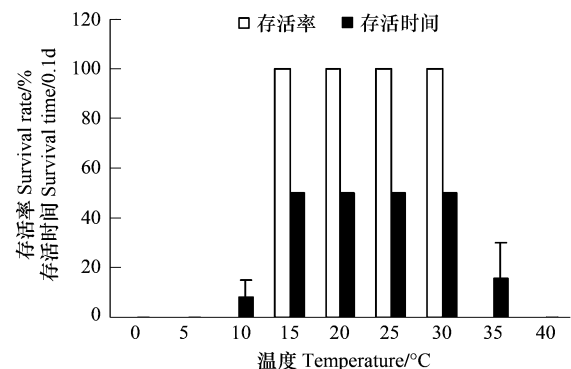


图 4 温度骤变对红星梭子蟹存活的影响

Fig. 4 Effect of acute temperature change on survival of *Protunus sanguinolentus*

表 1 盐度骤变及恢复对红星梭子蟹摄饵的影响
Table 1 The effect of acute salinity change and resumption on food intake of *Protunus sanguinolentus*

比较项目 Items	不同盐度下红星梭子蟹的摄饵量统计分析 Statistical analyses of food intake of <i>Protunus sanguinolentus</i> in different salinity										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
骤变平均 Mean after acute change/g	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	1.32 ± 1.85	3.22 ± 1.43	5.14 ± 4.10	4.02 ± 2.65	5.33 ± 1.86	4.57 ± 1.77	2.51 ± 2.04	0 ± 0
α = 0.05	d	d	d	cd	abc	a	ab	a	ab	bc	d
α = 0.01	C	C	C	BC	AB	A	AB	A	A	ABC	C
恢复平均 Mean after resumption/g	—	—	—	2.83 ± 1.52	2.78 ± 0.25	2.58 ± 0.74	4.79 ± 1.05	2.58 ± 0.35	2.13 ± 0.04	1.50 ± 0.35	—
α = 0.05	—	—	—	b	b	b	a	b	b	b	—

“—”表示蟹死亡或未测；不同字母表示组间差异显著,小写字母表示 $P < 0.05$,大写字母表示 $P < 0.01$

表 2 盐度渐变及恢复对红星梭子蟹摄饵的影响
Table 2 The effect of gradual salinity change and resumption on food intake of *Protunus sanguinolentus*

比较项目 Items	不同盐度下红星梭子蟹的摄饵量统计分析 Statistical analyses of food intake of <i>Protunus sanguinolentus</i> in different salinity										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
渐变平均 Mean after gradual change /g	1.78 ± 1.74	1.84 ± 1.79	2.33 ± 1.79	3.21 ± 1.79	3.58 ± 1.79	3.33 ± 1.79	3.70 ± 1.79	3.35 ± 1.79	3.11 ± 1.79	1.75 ± 1.79	1.60 ± 1.79
α = 0.05	c	b	abc	a	a	a	a	a	ab	c	c
α = 0.01	BC	ABC	ABC	ABC	AB	ABC	A	ABC	ABC	BC	C
恢复平均 Mean after resumption /g	—	—	1.95 ± 0.71	3.28 ± 0.95	3.05 ± 0.21	3.5 ± 0.57	4.66 ± 0.18	3.36 ± 0.81	1.15 ± 0.42	0.75 ± 0.21	—
α = 0.05	—	—	c	b	b	b	a	b	cd	d	—
α = 0.01	—	—	CD	BC	B	AB	A	AB	D	D	—

“—”表示蟹死亡或未测；不同字母表示组间差异显著,小写字母表示 $P < 0.05$,大写字母表示 $P < 0.01$

表 3 温度骤变及恢复对红星梭子蟹摄饵的影响

Table 3 The effect of acute temperature change and resumption on food intake of *Protunus sanguinolentus*

比较项目 Items	不同温度下的红星梭子蟹摄饵统计分析 Statistical analyses of food intake of <i>Protunus sanguinolentus</i> in different temperature								
	0℃	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃
骤变平均 Mean after gradual change /g	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	2.50 ± 0.83	2.88 ± 2.00	3.55 ± 2.85	7.06 ± 1.47	1.55 ± 1.66	0 ± 0
$\alpha = 0.05$	d	d	d	bc	bc	b	a	cd	d
$\alpha = 0.01$	C	C	C	B	B	B	A	BC	C
恢复平均 Mean after resumption /g	—	—	—	2.44 ± 0.06	3.80 ± 0.35	5.00 ± 0.07	6.88 ± 0.01	—	—
$\alpha = 0.05$	—	—	—	d	c	b	a	—	—
$\alpha = 0.01$	—	—	—	D	C	B	A	—	—

“—”表示蟹死亡或未测；不同字母表示组间差异显著，小写字母表示 $P < 0.05$ ，大写字母表示 $P < 0.01$

从表 3 的温度骤变后再恢复，蟹摄饵结果统计分析发现，温度骤变时，从 15℃、20℃、25℃、30℃ 分别恢复至 25℃ 时，温度越高，摄饵量越大，相互间蟹的摄饵有极显著差异 (Two-way ANOVA, $F_{(3,3)} = 215.03$, $P < 0.01$)。这说明红星梭子蟹摄饵明显与温度有关，不超过 30℃ 时，温度越高，越适宜其摄饵。

2.2.2 温度渐变对红星梭子蟹的影响

(1) 温度渐变对红星梭子蟹存活的影响

温度渐变对红星梭子蟹的存活率有一定影响，结果见图 5。

对图 5 的数据进行统计分析发现，温度渐变时，15—30℃ 组红星梭子蟹存活率最高，与 5℃ 组、40℃ 组有极显著差异 ($P_{(0\%, 100\%)} = 1 \times 0.000^8 \times 1.000^0 = 0.000$, $n = 8$, $P < 0.01$)；10—35℃ 组红星梭子蟹存活率较高，与 5℃ 组、40℃ 组有极显著差异 ($P_{(0\%, 75\%)} = 1 \times 0.75^0 \times 0.25^8 = 0.0000125$, $n = 8$, $P < 0.01$)；但 10—35℃ 组与 10℃ 组、35℃ 组的差异不显著 ($P_{(75\%, 100\%)} = 1 \times 0.75^8 \times 0.25^0 = 0.100$, $n = 8$, $P > 0.05$)。这说明，温度渐变时，15—30℃ 为红星梭子蟹最适宜存活温度，10—35℃ 为蟹适宜存活温度。

(2) 温度渐变后恢复至 25℃ 对红星梭子蟹存活的影响

5d 温度渐变试验后，各温度组未死亡的蟹，再直接恢复至 25℃，对红星梭子蟹的存活有一定影响，结果见图 6。

对图 6 的数据进行统计分析发现，从 15—35℃ 恢复至 25℃ 时红星梭子蟹存活率高，与从 10℃ 恢复至 25℃ 组有极显著差异 ($P_{(0\%, 100\%)} = 1 \times 0.000^8 \times 1.000^0 = 0.000$, $n = 8$, $P < 0.01$)。这说明，10℃ 的低温已造成红星梭子蟹的生理损伤，太过剧烈的温度变化，易造成其死亡。

(2) 温度渐变及渐变后恢复对红星梭子蟹摄饵的影响

温度渐变及渐变后恢复对红星梭子蟹的摄饵影响明显，详细结果见表 4。

从表 4 的温度渐变蟹摄饵结果统计分析可见，温度对红星梭子蟹 4—5d (10—40℃) 的摄饵量有极显著影响 (Two-way ANOVA, $F_{(6,6)} = 157.28$, $P < 0.01$)；30℃ 组蟹摄饵量最大，与 25℃ 以下组、35℃ 以上组有极显著差异 ($P < 0.01$)；25—30℃ 组蟹摄饵量大，与 20℃ 以下组、35℃ 以上组有极显著差异 ($P < 0.01$)；10、40℃ 蟹不摄饵，与 15—35℃ 组有极显著差异 ($P < 0.01$)。

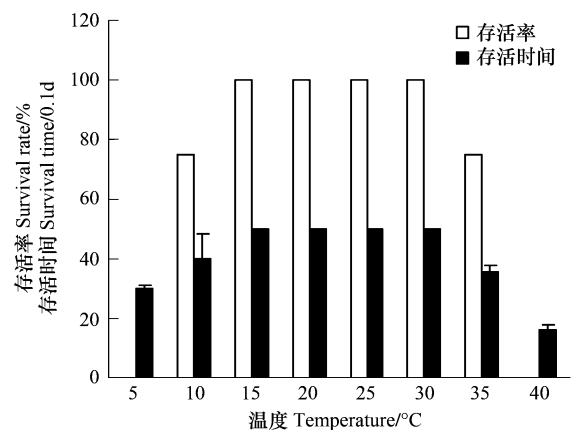


图 5 温度渐变对红星梭子蟹存活的影响

Fig. 5 Effect of gradual temperature change on survival of *Protunus sanguinolentus*

温度对红星梭子蟹 3—5d (15—35℃) 摄饵量有显著影响 (Two-way ANOVA, $F_{(4,8)} = 4.15$, $P < 0.05$): 30℃ 组蟹摄饵量大, 与 15—20℃ 组、35℃ 有显著差异 ($P < 0.05$)。

温度对红星梭子蟹 2—5d (20—30℃) 摄饵量有显著影响 (Two-way ANOVA, $F_{(2,6)} = 8.10$, $P < 0.05$): 25—30℃ 组红星梭子蟹摄饵量大, 与 20℃ 组有显著差异 ($P < 0.05$)。

这说明, 30℃ 为红星梭子蟹最适宜温度, 25—30℃ 为蟹适宜温度, 15—35℃ 为蟹能摄饵温度。

从表 4 的温度渐变后恢复, 蟹摄饵结果统计分析可见, 从 30℃ 恢复至 25℃ 时红星梭子蟹摄饵量最大, 与从 15℃、35℃ 组恢复至 25℃ 时有极显著差异 (Two-way ANOVA, $F_{(4,4)} = 21.21$, $P < 0.01$); 从 35℃ 组恢复至 25℃ 时红星梭子蟹摄饵量最小, 与从 20—30℃ 组恢复至 25℃ 时有极显著差异 ($P < 0.01$), 与从 15—30℃ 组恢复至 25℃ 时有显著差异 ($P < 0.05$)。这说明, 30℃ 是红星梭子蟹的最适温度, 20—30℃ 是蟹适宜温度。太过剧烈的温度变化 (超过 10℃/d), 特别是在高温状态下, 对红星梭子蟹损伤较大。

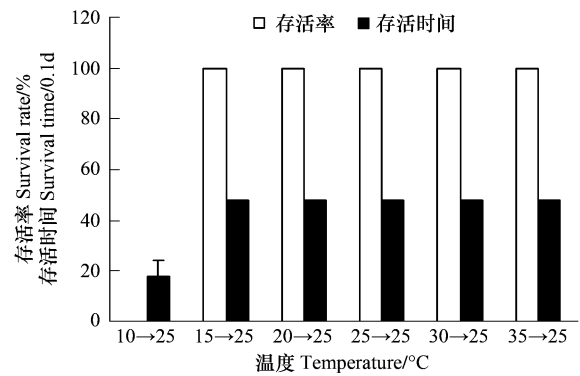


图 6 温度恢复对红星梭子蟹存活的影响
Fig. 6 Effect of temperature resumption after gradual change on survival of *Protunus sanguinolentus*

表 4 温度渐变及恢复对红星梭子蟹摄饵的影响

Table 4 The effect of gradual temperature change and resumption on food intake of *Protunus sanguinolentus*

比较项目 Items	温度 Temperature/℃						
	10	15	20	25	30	35	40
4—5d 平均 Mean/g	0 ± 0	2.25 ± 0.42	2.42 ± 0.45	5.24 ± 0.69	6.63 ± 0.60	3.09 ± 0.55	0 ± 0
$\alpha = 0.05$	e	d	cd	b	a	c	e
$\alpha = 0.01$	D	C	C	B	A	C	D
3—5d 平均 Mean/g	—	2.81 ± 1.02	2.74 ± 0.65	4.75 ± 0.98	5.75 ± 1.57	3.54 ± 0.88	—
$\alpha = 0.05$	—	b	b	ab	a	b	—
2—5d 平均 Mean/g	—	—	3.153 ± 0.98	5.073 ± 1.02	5.783 ± 1.29	—	—
$\alpha = 0.05$	—	—	b	a	a	—	—
恢复平均 Mean after resumption/g	—	2.73	4.25	5.05	5.75	0.60	—
$\alpha = 0.05$	—	b	b	b	a	c	—
$\alpha = 0.01$	—	BC	AB	AB	A	C	—

“—”表示蟹死亡或未测; 不同字母表示组间差异显著, 小写字母表示 $P < 0.05$, 大写字母表示 $P < 0.01$

3 讨论

3.1 盐度和温度对红星梭子蟹分布和运输的影响

从本试验结果可见, 红星梭子蟹在盐度骤变条件下, 15—45 盐度为蟹可生存盐度, 在不超过 5/d 的盐度渐变条件下, 10—45 盐度为蟹可存活盐度; 在盐度骤变条件下, 15—45 盐度为蟹能摄饵盐度, 25—40 盐度为蟹最适盐度, 在不超过 5/d 的盐度渐变条件下, 10—45 盐度为蟹能摄饵盐度, 15—35 盐度为其适宜盐度, 30 盐度为其最适盐度。

总的来看, 红星梭子蟹对盐度的适应性, 明显比远海梭子蟹^[15,19]、锯缘青蟹^[14]、三疣梭子蟹和中华虎头蟹^[18]窄, 是典型的海洋蟹类。因为盐度的剧烈变化对红星梭子蟹高盐度的耐受性影响较小, 但对其低盐度的耐受性影响较大, 所以, 盐度较低、且剧烈变化的河口附近捕获红星梭子蟹往往较少^[21], 而其只能大量分布于 10—30m 较深海域^[21]; 10—30m 的近海海域, 盐度较高且相对比较稳定; 而受上游淡水加入量变化影响盐度

变化较大的河口区域^[21],及受雨水影响较大的 10m 以内近岸海域,是盐度变化较大的浅海区域,盐度较低且相对不稳定^[21]。也由于红星梭子蟹特别不适于在低盐度时盐度的剧烈变化,当像三疣梭子蟹和远海梭子蟹等蟹类一样^[22],通过低盐度(有时用纯淡水)、低温(1—4℃)来快速麻醉,进行活蟹运输时,导致红星梭子蟹大量死亡。看来,红星梭子蟹和三疣梭子蟹及远海梭子蟹虽然都属梭子蟹科的梭子蟹属,但由于其生态位不一样,适用于远海梭子蟹和三疣梭子蟹的低温低盐度快速麻醉,并不适于红星梭子蟹。一定要进行低温麻醉保活的话,不降低盐度、逐渐降温,可能更能提高红星梭子蟹的成活率。

从本试验结果可见,温度骤变时,15—30℃为红星梭子蟹可存活温度,在不超过 5℃/d 温度渐变时,10—35℃为蟹可存活温度,15—30℃为蟹适宜存活温度。红星梭子蟹在温度骤变或渐变时,15—35℃为蟹可摄饵温度,15—30℃为蟹较适宜温度,25—30℃为蟹适宜温度,30℃为蟹最适温度。这说明,温度骤变时,其对高温和低温的耐受能力都明显地降低。像远海梭子蟹和三疣梭子蟹运输时进行的低温(1—4℃)急速麻醉,对红星梭子蟹伤害较大,不利于其存活。这可能是其运输存活率低的一个重要原因。只适于 10℃以上、35℃以下生存,且在不超 30℃时,随温度的升高,摄饵量逐渐增大。这可能是其为一种仅分布于我国东海以南的西太平洋-印度洋海域的暖水蟹类的原因,也是其在较冷的黄海和渤海,及其以北海域没有分布的主要原因。这也可能是其在闽南海域分布密度最高^[23],而在更南的较热海域,及较北的较冷海域均分布逐渐减少的重要原因。较低的温度,及较剧烈的温度变化,均对红星梭子蟹的存活和摄饵不利。这也可能是其在温度变化剧烈的 10m 以内的浅水近岸海域很少分布的主要原因。在相对温度较低的海底和相对温度较高的海表之间迅速运动,也需经历剧烈的温度变化,于其不利。这可能是红星梭子蟹属于典型的较深海域底栖蟹类^[5-6]的主要原因。

3.2 盐度和温度对红星梭子蟹养殖的影响

只要不超过 30℃,温度越高,其摄饵量越大,所以,若今后有可能进行红星梭子蟹的养殖,在保证不超过 30℃的前提下,高温应有利于其生存和生长发育。这也就是说,在保证养殖池水温不超过 30℃的前提下,台湾海峡以南海域养殖应比台湾海峡以北养殖有利。因为红星梭子蟹的温度适应范围相对较窄,对温度变化相当敏感,所以,若进行红星梭子蟹养殖,除有严格的纬度要求外,最好建控温效果较好的深池。但建深池成本较高,管理难度加大,使养殖成本增高。所以,就目前来说,进行红星梭子蟹的人工育苗,然后进行海洋放牧,可能是比较理想的红星梭子蟹增殖方法。

References:

- [1] Shen J R, Dai A Y. A Collection of Illustrative Plates of China Animal. Crustacean. Beijing: Science Press, 1964: 45-64.
- [2] Ye S Z. Fisheries biology of red spot swimming crab, *Portunus sanguinolentus*, on the Minnan-Taiwan bank fishing ground. Marine Fisheries, 1998, 20(2): 60-63.
- [3] Williams M J, Primavera J H. Choosing tropical portunid species for culture, domestication and stock enhancement in the Indo-Pacific. Asian Fisheries Science, 2001, 14(2): 121-142.
- [4] Yu C G, Song H T, Yao G Z, Lu H Q. Composition and distribution of economic crab species in the east china sea. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2006, 37(1): 53-60.
- [5] Huang M Z. Study on feeding habit and nutrient level of *Portunus argentatus*, *P. sanguinolentus* and *Charybdis feriatus* in Fujian sea area. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2004, 23(2): 159-166.
- [6] Lee H H, Hsu C C. Population biology of the swimming crab *Portunus sanguinolentus* in the waters off Northern Taiwan. Journal of Crustacean Biology, 2003, 23(3): 691-699.
- [7] Bryars S R, Havenhand J N. Effects of constant and varying temperatures on the development of blue swimmer crab (*Portunus pelagicus*) larvae: Laboratory observations and field predictions for temperate coastal waters. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2006, 329(2): 218-229.
- [8] Jiang X Q, Yu C G, Chen Q Z. Effect of temperature and salinity on the egg incubation period of the *Carybdis feriatus*. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(6): 915-921.
- [9] Hamasaki K. Effects of temperature on the egg incubation period, survival and developmental period of larvae of the mud crab *Scylla serrata* (Forsk

- l) (Brachyura: Portunidae) reared in the laboratory. *Aquaculture*, 2003, 219: 561-572.
- [10] Anger K. Effects of temperature and salinity on the larval development of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (Decapoda: Grapsidae). *Marine Ecology Progress Series*, 1991, 72 (1/2): 103-110.
- [11] Nurdiani R, Zeng C S. Effects of temperature and salinity on the survival and development of mud crab, *Scylla serrata* (Forssk 1), larvae. *Aquaculture Research*, 2007, 38(14): 1529-1538.
- [12] Liao Y Y, Xiao Z P, Yuan Y Y. Temperature tolerance of larva and juvenile of *Portunus trituberculatus*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2008, 32(4): 534-543.
- [13] Kittaka J, Onoda S. Effect of temperature on growth and maturity of the king crabs *Paralithodes brevipes* and *P. camtschaticus* in the laboratory. *Fisheries Science*, 2002, 68(1): 921-924.
- [14] Ruscoe I M, Shelley C C, Williams G R. The combined effects of temperature and salinity on growth and survival of juvenile mud crabs (*Scylla serrata* Forsk 1). *Aquaculture*, 2004, 238(1/4): 239-247.
- [15] Romano N, Zeng C S. The effects of salinity on the survival, growth and haemolymph osmolality of early juvenile blue swimmer crabs, *Portunus pelagicus*. *Aquaculture*, 2006, 260: 151-162.
- [16] Fisher M R. Effect of temperature and salinity on size at maturity of female blue crabs. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1999, 128(3): 499-506.
- [17] Baylon J, Suzuki H. Effects of changes in salinity and temperature on survival and development of larvae and juveniles of the crucifix crab *Charybdis feriatus* (Crustacea: Decapoda: Portunidae). *Aquaculture*, 2007, 269, 390-401.
- [18] Liao Y Y, Wu L, Cai K, Pan C H. The effect of salinity and temperature on survivorship and food intake of tiger crab, *Orithyia sinica*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 627-639.
- [19] Liao Y Y, Li X M. Demands of *Portunus pelagicus* for environmental conditions. *Acta Oceanologica Sinica*, 2002, 24(2): 140-145.
- [20] Nicholson S, Mann D, Fotedar R, Paterson B. The effects of holding space on growth and survival of individually reared three-spot crab (*Portunus sanguinolentus*). *Aquacultural Engineering*, 2008, 39(1): 30-36.
- [21] Sumpton W D, Smith G S, Potter M A. Notes on the biology of the portunid crab, *Portunus sanguinolentus* (Herbst), in subtropical Queensland waters. *Australia Journal of Marine and Freshwater Research*, 1989, 40(6): 711-717.
- [22] Lin G X, Li F X. Initial study on keep-alive technique of *Portunus trituberculatus* at low temperature. *Marine Fisheries*, 1984(2): 61-62.
- [23] Ye S Z. Species composition and distribution characteristics of crab on Minnan-Taiwan bank fishing grounds. *Marine Fisheries*, 2004, 26(4): 249-254.

参考文献:

- [1] 沈嘉瑞,戴爱云. 中国动物图谱. 甲壳动物, 第二册. 北京:科学出版社, 1964: 45-64.
- [2] 叶孙忠. 闽南、台湾浅滩渔场红星梭子蟹的渔业生物学. *海洋渔业*, 1998, 20(2): 60-63.
- [4] 俞存根, 宋海棠, 姚光展, 吕华庆. 东海大陆架海域经济蟹类种类组成和数量分布. *海洋与湖沼*, 2006, 37(1): 53-60.
- [5] 黄美珍. 福建海区拥剑梭子蟹、红星梭子蟹和锈斑蟊的食性与营养级研究. *台湾海峡*, 2004, 23(2): 159-166.
- [8] 江新琴, 俞村根, 陈全震. 温度和盐度对锈斑蟊卵孵化时间的影响. *水产学报*, 2008, 32(6): 915-920.
- [12] 廖永岩, 肖展鹏, 袁耀阳. 三疣梭子蟹幼体和幼蟹的温度适应性. *水生生物学报*, 2008, 32(4): 534-543.
- [18] 廖永岩, 吴蕾, 蔡凯, 潘传豪. 盐度和温度对中华虎头蟹(*Orithyia sinica*)存活和摄饵的影响. *生态学报*, 2007, 27(2): 627-639.
- [19] 廖永岩, 李晓梅. 远海梭子蟹对主要环境条件的要求. *海洋学报*, 2002, 24(2): 140-145.
- [22] 林国雄, 李复雪. 三疣梭子蟹低温保活的初步研究. *海洋渔业*, 1984(2): 61-62.
- [23] 叶孙忠. 闽南、台湾浅滩渔场蟹类种类组成及分布特征. *海洋渔业*, 2004, 26(4): 249-254.