

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2012.00237

盐度对三疣梭子蟹生长、蜕壳及能量利用的影响

路允良¹, 王芳¹, 赵卓英², 董双林¹, 马甦¹

1. 中国海洋大学 教育部海水养殖重点实验室, 山东 青岛 266003;

2. 国家海洋计量标准中心, 天津 300112

摘要: 在实验室条件下, 研究了盐度(15, 20, 25, 30, 35)对三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)幼蟹生长、蜕壳和能量利用的影响, 探讨了三疣梭子蟹生长的最适盐度、蜕壳与生长的关系以及不同盐度水平下蟹的蜕壳同步性。实验时间为 50 d, 结果显示: 1、盐度显著影响三疣梭子蟹的摄食、生长和能量利用。盐度 20、25 和 30 组, 三疣梭子蟹的日摄食率(FI_d)较小, 但其食物转化效率(FCE_d)较高, 其中盐度 30 组蟹的食物转化效率显著高于盐度 15 和 35 组($P<0.05$), 与盐度 20 和 25 组差异不显著($P>0.05$)。盐度 20、25 和 30 组的能量吸收效率(K_1)和净生长效率(K_2)显著高于盐度 15 和 35 组。实验结束时, 盐度 30 组三疣梭子蟹获得了较高的湿重、相对增重率和特定生长率, 且显著高于盐度 15 和 35 组($P<0.05$), 而与盐度 20 和 25 组间的差异不明显($P>0.05$)。回归分析表明, 当水体盐度为 26.3 时, 三疣梭子蟹特定生长率(SGR_d)最大。2、不同盐度下, 三疣梭子蟹幼蟹从 Ⅰ期生长到 Ⅱ期的蜕壳周期为 18.9~23.5 d, 各盐度组间的差异不明显($P>0.05$), 但盐度 30 组三疣梭子蟹蜕壳周期较其他盐度组缩短了 3.1~4.6 d。低盐(15)下, 三疣梭子蟹出现 MDS(蜕壳未遂)死亡, 蜕壳受到抑制; 而高盐(35)则抑制三疣梭子蟹新壳的硬化, 盐度 20 和 25 组三疣梭子蟹的蜕壳同步性较好。实验结果初步表明, 养殖生产中水体盐度控制在 25 左右有利于三疣梭子蟹的蜕壳同步及生长。

关键词: 三疣梭子蟹; 盐度; 生长; 蜕壳; 能量利用

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2012)02-0237-09

三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*), 隶属甲壳动物亚门(Crustacea)、软甲纲(Malacostraca)、十足目(Decapoda)、梭子蟹科(Portunidae), 梭子蟹属, 分布于印度以及西太平洋海域^[1], 是世界梭子蟹养殖的主要种类之一^[2], 也是中国沿海地区重要的海水捕捞和海水养殖种类之一^[3]。据统计, 2007 年世界三疣梭子蟹的捕捞产量超过 300 000 t, 其中 98%来源于中国^[4]。

盐度是影响水产养殖生物的重要非生物因子之一^[5-7], 关于盐度对三疣梭子蟹生理生态学特征影响的研究已有若干报道, 如曹建亭等^[8]探讨了临界盐度(低于 20, 高于 35)条件下三疣梭子蟹

的海水育苗技术; 张德波等^[9]研究了三疣梭子蟹蚤状幼体阶段的生存下限盐度及适宜盐度; 王冲等^[3]报道了盐度骤变和渐变对三疣梭子蟹幼蟹发育和摄食的影响。目前, 国内外未见从摄食、生长和能量利用角度探讨盐度对三疣梭子蟹幼蟹生长影响的详细报道。

本实验以 Ⅰ期的三疣梭子蟹幼蟹为实验材料, 测定其在 5 种盐度水平下的生长、蜕壳及能量利用, 探讨三疣梭子蟹生长的最适盐度、蟹蜕壳与生长的关系以及不同盐度水平下蟹的蜕壳同步性, 以期三疣梭子蟹养殖的水环境调控, 减少因残食而导致的死亡提供科学参考。

收稿日期: 2011-06-03; 修订日期: 2011-09-15.

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD13B03).

作者简介: 路允良(1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为甲壳动物生理生态学. E-mail: yun.2004@163.com

通信作者: 王芳, 教授. E-mail: wangfang249@ouc.edu.cn

1 材料与方法

1.1 实验材料及暂养

实验在中国海洋大学教育部海水养殖重点实验室进行。期三疣梭子蟹幼蟹来源于威海文登北海综合育苗试验基地, 运回之后挑选体格健壮、规格相同的 300 只蟹在室内正常海水($S=30$, pH 约为 8)中暂养并驯化到实验设定盐度, 暂养和驯化共持续两周, 期间蟹经历了 3 次蜕壳。暂养及驯化的水温为 $(25\pm0.5)^{\circ}\text{C}$, 光照周期为 14L 10D, 连续充气, 每隔 3~4 d 换水 1 次, 每天(6:00、17:00)投喂足量菲律宾蛤仔(*Ruditapes philippinarum*)斧足^[11]。

1.2 实验条件及实验设计

实验在室内玻璃水族箱中进行。水族箱规格为: 80 cm×52 cm×30 cm (图 1)。

实验设 15、20、25、30 和 35 共 5 个盐度水平。盐度 35 的海水由正常海水(30)与海水素配置而成, 低盐 (15, 20, 25) 海水由正常海水与经曝气的自来水配制而成。

实验水温为 $(25\pm0.5)^{\circ}\text{C}$, 光照周期为 14L 10D (6:00–20:00), 连续充气, 每 2 d 换 1/3 水, 所换海水均提前曝气 2 d。

1.3 实验方法

实验开始前对已在实验室条件下蜕壳 3 次的三疣梭子蟹饥饿处理两天, 然后从中挑选健康、活泼的 60 只蟹, 用 JA2003N 型电子天平称重(湿重)、电子数显卡尺(Guanglu®, 0.01mm)逐只测量实验蟹的甲长、全甲宽和体高后移入图 1 所示的水族箱中, 每个单元格放 1 只蟹。每个盐度组设 4

个重复, 实验采用 2 个图 1 所示的水族箱。

同时从剩余蟹中随机选取 20 只称重, 并于 70℃烘箱中烘至恒重以计算三疣梭子蟹初始时的干湿比, 并测定能量和氮含量。

实验期间, 每天 6:00 和 17:00 投喂足量菲律宾蛤仔斧足肌肉, 投喂 3 h 后收集残饵和粪便, 然后置于 70℃烘箱中烘干保存。每天观察蟹的蜕壳情况, 记录蜕壳时间及数量。实验蟹每次蜕壳后 3~4 d, 称量其湿重, 并测量壳性状^[7]。

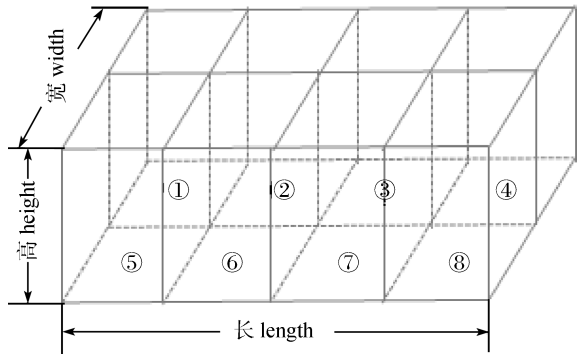


图 1 水族箱结构

长 80 cm; 宽 52 cm; 高 30 cm。每个水族箱被分成 8 个单元格(cell), 每个单元格规格为: 20 cm×15 cm×26 cm。每个水族箱包含 2 个重复, 单元格①②③为 1 个重复, 单元格⑤⑥⑦为 1 个重复。单元格④⑧用来测量水温和盐度, 并更换海水之用。挡板底部有细小缝隙以保持单元格之间水相通, 但又不会使饵料、粪便的通过。水族箱有效水深为 15 cm。

Fig.1 Aquarium structure

Length 80 cm; width=52 cm; height 30 cm. Each aquarium is divided into 8 cells, with each size of the cell being 20 cm×15 cm×26 cm. There are 2 replicates in one aquarium, in which cell①, ②and③ being as one replicate and cells ⑤, ⑥and⑦ being as the other. Cells ④ and ⑧ are designed to measure the water temperature and salinity and change seawater. There are leaks at the bottom of the baffle which can be used for water permeation and the bait and feces separation. The invalid depth of water in the aquarium is 15 cm.

表 1 实验前各处理组三疣梭子蟹的生物学特征

Tab. 1 Biological characteristics for *P. trituberculatus* of different treatments in the experiment

$n=4; \bar{x} \pm \text{SD}$

性状 character	盐度 salinity				
	15	20	25	30	35
初始湿重/g initial wet body weight	3.818±0.009	3.818±0.025	3.819±0.030	3.821±0.054	3.832±0.007
甲长/mm carapace length	20.22±0.147	20.10±0.205	20.14±0.103	20.04±0.097	20.01±0.159
全甲宽/mm full carapace width	42.17±0.455	42.41±0.276	42.85±0.225	42.64±0.210	42.45±0.185
体高/mm body height	10.68±0.134	10.60±0.173	10.79±0.158	10.76±0.047	10.62±0.150

实验结束后, 停食 24 h, 然后逐只称量实验蟹的湿重、甲宽、全甲宽和体高等相关数据, 并将称量后的蟹置于烧杯中, 于 70℃烘箱中烘干至恒重。

1.4 计算方法

1.4.1 摄食、生长和蜕壳 相对增重率(WG, %)、特定生长率(SGR, %)、日摄食率(FI, % body weight·d⁻¹)、食物转化效率(FCE, %)、蜕壳周期(MC, d)计算如下:

$$WG = (W_{t1} - W_{01}) / W_{01}$$
$$SGR_d = (\ln W_{t2} - \ln W_{02}) / T \times 100$$
$$FI_d = F / [T \times (W_{t2} + W_{02}) / 2] \times 100$$
$$FCE_d = (W_{t2} - W_{02}) / F \times 100$$
$$MC = T / (N_m / N_s)$$

其中, W_{01} (W_{02})和 W_{t1} (W_{t2})分别为实验起始和结束时蟹湿(干)体质量(g), T 为实验天数(d), N_m 为蟹蜕壳的数目, N_s 为蟹的数目, F 为实验过程中蟹所摄取的饵料重量(换算为干重, g)。

1.4.2 能量收支与转化效率 三疣梭子蟹的摄食能(C)、生长能(G)、呼吸能(R)、粪便能(F)、排泄能(U)、蜕壳能(E)符合下列关系:

$$C = G + F + U + E + R^{[11]}$$

C 为摄入的饵料能量, G 为生长能, F 为粪能, U 为排泄能, E 为蜕壳能, R 为呼吸能。 C 、 G 、 F 、 E 能值均为样品于 70℃下烘干至恒重后用 Parr1281 型氧弹热量计测定。排泄能计算如下:

$$U = U_N \times 24830 = (C_N - G_N - F_N - E_N) \times 24\ 830^{[12]}$$

U_N 为排泄掉的氮, C_N 为摄取食物中所含的氮, G_N 为蟹生长积累的氮, F_N 为粪便中损失的氮, E_N 为蟹蜕壳损失的氮。系数 24 830 表示每克氮氮能

值($J \cdot g^{-1}$), 由于甲壳类大多为排氮型代谢动物, NH_4^+-N 是其最主要的氮排泄形式^[13-14], 尿素排泄量很少, 因而本研究中忽略不计。含氮量用德国 VARIO EL III 元素分析仪测定, 呼吸能由下列公式推算:

$$R = C - G - F - U - E^{[15]}$$

以能量形式计算同化效率(assimilation efficiency, K_1)和净生长效率 (net growth efficiency, K_2)的公式如下:

$$K_1(\%) = 100 \times (G + R + E) / (G + R + U + E)^{[16]}$$
$$K_2(\%) = 100 \times G / (G + R + E)^{[16]}$$

1.4.3 数据处理及统计方法 数据以平均值±标准误($\bar{x} \pm SE$)表示, 利用 SPSS13.0 软件对数据进行单因子方差分析(ANOVA)和 Duncan 多重比较, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 不同盐度下三疣梭子蟹的湿重和存活率

不同盐度下三疣梭子蟹的湿重和存活率见表 2。从表 2 中可以看出, 在盐度 15~30 范围内, 三疣梭子蟹的末湿重和净增重随盐度的升高而增大, 盐度 30 组蟹的净增重分别为盐度 15 和 35 组的 2.2 倍和 1.6 倍, 差异显著($P < 0.05$), 而与盐度 20 和 25 组间的差异不显著。不同盐度下三疣梭子蟹的相对增重率呈相似的变化趋势。

不同盐度下, 三疣梭子蟹的存活率为 58.3%~100%, 其中盐度 30 组蟹的存活率为 100%, 盐度 15 和 20 组蟹的存活率较低。

不同盐度下三疣梭子蟹的特定生长率见图 2。从图 2 中可以看出, 在盐度 15~30 范围内, 实验蟹

表 2 三疣梭子蟹的湿重变化和存活率
Tab. 2 Body weight change and survival ratio of *P. trituberculatus*

n=4; $\bar{x} \pm SE$

盐度 salinity	末湿重/g final wet body weight	净增重/g net weight gain	相对增重率/% weight gain	存活率/% survival ratio
15	18.167±1.316 ^a	14.349±1.325 ^a	376.1±35.5 ^a	58.3±15.9
20	26.886±2.226 ^{abc}	23.068±2.217 ^{ab}	604.0±56.9 ^{abc}	58.3±15.9
25	30.384±3.938 ^{bc}	26.565±3.946 ^{bc}	696.4±105.2 ^{bc}	66.7±13.6
30	35.431±3.301 ^c	31.611±3.286 ^c	826.9±84.9 ^c	100.0±0.0
35	23.425±6.427 ^{ab}	19.594±6.426 ^a	511.2±167.7 ^{ab}	77.8±22.2

注: 同一列不同字母(a, b)表示经多重检验相互之间差异显著($P < 0.05$).
Note: Letters in the same column show the significant differences after multiple range test, $P < 0.05$.

SGR_d 随盐度升高而增大, 在盐度 30 时达到最大, 显著高于盐度 15 和 35 组 ($P<0.05$), 而与盐度 20 和 25 组间的差异不明显 ($P>0.05$)。

回归分析得出三疣梭子蟹的特定生长率 (SGR_d) 与盐度 (S) 的关系为: $SGR_d = -0.010 \ 2S^2 + 0.535 \ 8S - 3.1703$ ($R^2 = 0.420 \ 5$), 其最大特定生长率的盐度为 26.3。

2.2 不同盐度下三疣梭子蟹的摄食

不同盐度下三疣梭子蟹的摄食见图 3。从图 3 中可以看出, 各盐度组三疣梭子蟹的日摄食率 (FI_d) 存在一定差异。在 15~35 盐度范围内实验蟹日摄食率呈先下降后上升的趋势, 盐度 30 组达到最低, 显著低于其他盐度组 ($P<0.05$)。

不同盐度处理下三疣梭子蟹的食物转化效率见图 4。从图 4 中可以看出, 在 15~35 盐度范围内, 三疣梭子蟹的食物转化效率 (FCE_d) 呈现与日摄食率 (FI_d) 相反的趋势, 在 15~30 盐度内呈上升趋势, 盐度大于 30 后其食物转化效率下降。盐度 30 组蟹的 FCE_d 达到最大, 显著高于盐度 15 和 35 组 ($P<0.05$), 而与盐度 20 和 25 组间无显著性差异 ($P>0.05$)。

2.3 不同盐度下三疣梭子蟹的蜕壳

不同盐度下三疣梭子蟹的蜕壳见表 3。从表 3 中可以看出, 第一次蜕壳时, 盐度 25 组的三疣梭子蟹蜕壳增重最大, 盐度 15 组的蜕壳增重最小,

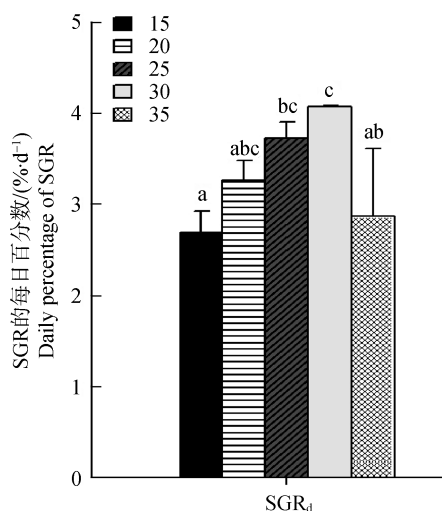


图 2 不同盐度下三疣梭子蟹特定生长率 SGR_d
柱上不同字母(a, b)表示经多重检验相互之间差异显著, ($P<0.05$)。

Fig. 2 SGR_d of *P. trituberculatus* in the different salinity treatments
Note: Different letters show the significant differences after multiple range test, $P<0.05$.

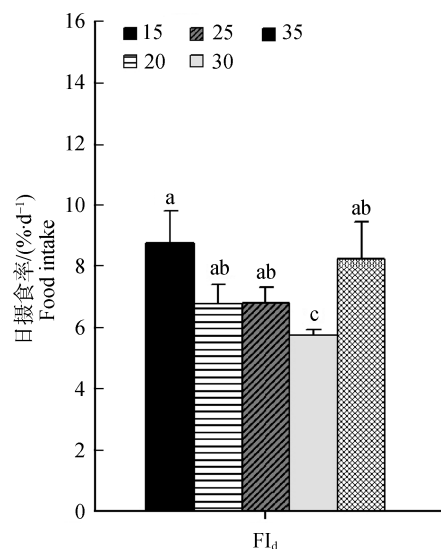


图 3 不同盐度下三疣梭子蟹的日摄食率
柱上不同字母(a, b)表示经多重检验相互之间差异显著, ($P<0.05$)。

Fig. 3 Food intake of *P. trituberculatus* in the different salinity treatments

Note: Different letters show the significant differences after multiple range test, $P<0.05$.

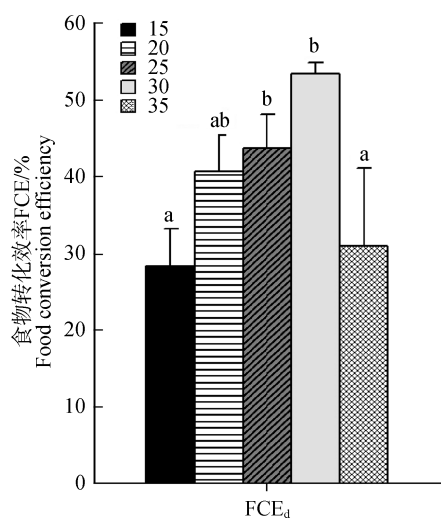


图 4 不同盐度下三疣梭子蟹的食物转化效率
柱上不同字母(a, b)表示经多重检验相互之间差异显著, ($P<0.05$)。

Fig. 4 Food conversion efficiency of *P. trituberculatus* in the different salinity treatments

Note: Different letters show the significant differences after multiple range test, $P<0.05$.

两者差异显著 ($P<0.05$), 其他盐度组间的差异不明显 ($P>0.05$); 第二次蜕壳时, 盐度 15 组的三疣梭子蟹蜕壳增重显著低于其他盐度组 ($P<0.05$), 而其他盐度组间没有显著性差异 ($P>0.05$); 第三

次蜕壳时, 不同盐度组蟹的蜕壳增重差异不显著 ($P>0.05$)。同一盐度下, 实验蟹的蜕壳增重随着蜕壳次数的增加而下降。

5 种盐度下三疣梭子蟹的蜕壳周期为 18.9~23.5 d, 各组间差异不明显 ($P>0.05$), 但盐度 30 组蟹的蜕壳周期比其他盐度组缩短 3.1~4.6 d。

不同盐度组三疣梭子蟹每日蜕壳频率见表 4。从表 4 中可以看出, 盐度 30 组蟹每日蜕壳频率小于 10%的天数最多, 达 13 d, 其次为盐度 15、20 和 25 组, 而盐度 35 组最少; 盐度 35 组蟹每日蜕

壳率大于 10%而小于等于 20%的天数最多, 而盐度 30 组最少; 盐度 30 组蟹每日蜕壳频率大于 20%的天数最多, 而盐度 15 组最少。盐度 15 和 30 组蟹每日低蜕壳频率所占比例较其他盐度组高, 而盐度 20、25 和 35 组蟹每日高蜕壳频率所占的比例较高, 达到 21.43%~31.25%。

2.4 不同盐度下三疣梭子蟹的能量分配及转化效率

不同盐度下三疣梭子蟹的能量分配见表 5。从表 5 中可以看出, 实验蟹用于呼吸的能量比例 (R/C)最高, 其次为用于生长的能量比例 (G/C),

表 3 不同盐度下三疣梭子蟹的蜕壳增重
Tab. 3 Molt of *P. trituberculatus* in the different salinity treatments

盐度 salinity	$n=4; \bar{x} \pm SE$			
	第一次蜕壳增重/% weight gain after 1st molt	第二次蜕壳增重/% weight gain after 2nd molt	第三次蜕壳增重/% weight gain after 3rd molt	蜕壳周期/d molt cycle
15	119.8±7.4 ^a	107.4±5.2 ^a	86.9±3.2	23.4±1.7
20	124.6±4.8 ^{ab}	126.1±12.4 ^b	91.8±2.4	23.5±1.5
25	144.8±7.5 ^b	130.4±0.9 ^b	104.4±11.8	22.0±2.0
30	130.7±3.5 ^{ab}	133.9±8.2 ^b	102.6±7.1	18.9±1.0
35	129.3±10.8 ^{ab}	124.4±9.6 ^b	100.3±3.5	22.5±3.7

注: 同一列不同字母(a, b)表示经多重检验相互之间差异显著($P<0.05$)。
Note: Letters in the same column show the significant differences after multiple range test, $P<0.05$.

表 4 不同盐度下三疣梭子蟹的每日蜕壳频率
Tab.4 Frequency of molting rate per day for *Portunus trituberculatus* in the different salinity treatments
 $n=4; \bar{x} \pm SE$; 次(times)

盐度 salinity	蜕壳次数 molting times	每日低蜕壳频率($\leq 10\%$) low frequency of molting rate per day ($\leq 10\%$)	每日中蜕壳频率(10%~20%) middle frequency of molting rate per day (10%~20%)	每日高蜕壳频率(>20%) high frequency of molting rate per day (>20%)
15	25	7 (41.18%)	8 (47.06%)	2 (11.76%)
20	24	4 (25.00%)	7 (43.75%)	5 (31.25%)
25	27	4 (28.57%)	7 (50.00%)	3 (21.43%)
30	32	13 (61.90%)	5 (23.81%)	8 (14.29%)
35	20	0 (0)	10 (71.43%)	4 (28.57%)

注: 每日蜕壳频率=该盐度某日蜕壳蟹数目/该盐度当天蟹总数^[35]。括号内的数据为该盐度下每日蜕壳频率的百分比(%)。
Note: Frequency of molting rate per day=Number of crabs molting in a salinity one day/ Total number of crabs of the same salinity in the same day. Data of the brackets displayed the percentage of frequency of molting rate per day.

表 5 不同盐度下三疣梭子蟹的能量分配
Tab. 5 Allocation of consumed energy in *P.trituberculatus* at different salinity

盐度 salinity	$n=4; \bar{x} \pm SE; \%$				
	G/C	R/C	U/C	E/C	F/C
15	24.06±3.75 ^a	63.17±3.01 ^a	9.10±0.57 ^a	3.29±0.22	0.39±0.03
20	34.18±3.83 ^b	51.67±3.06 ^b	7.04±0.57 ^b	3.58±0.24	0.54±0.05
25	39.12±3.34 ^b	50.14±2.74 ^b	6.69±0.51 ^b	3.36±0.65	0.71±0.12
30	42.28±1.17 ^b	46.20±1.94 ^b	6.49±0.17 ^b	4.69±0.41	0.35±0.02
35	19.59±4.38 ^a	67.05±3.71 ^a	9.48±0.73 ^a	3.37±0.36	0.51±0.27

注: 同一列不同字母(a, b)表示经多重检验相互之间差异显著($P<0.05$)。
Note: Letters in the same column show the significant differences after multiple range test, $P<0.05$.

这两部分合计占摄食能的 86.64%~89.16%。盐度 20、25 和 30 组蟹用于生长的能量显著高于盐度 15 和 35 组($P<0.05$), 而盐度 20、25 和 30 组间的差异不明显 ($P>0.05$); 盐度 20、25 和 30 组蟹用于呼吸(R/C)和排泄(U/C)的能量显著低于盐度 15 和 35 组($P<0.05$), 而盐度 20、25 和 30 组间的差异不明显($P>0.05$); 盐度 30 组蟹用于蜕壳的能量(E/C)较高; 不同盐度下蟹粪能占摄食能的比例(F/C)差异不明显 ($P>0.05$)。

不同盐度下三疣梭子蟹的能量转化效率见表 6。从表 6 中可以看出, 在盐度 15~35 范围内, 三疣梭子蟹能量同化效率(K_1)与净生长效率(K_2)呈先上升后下降的趋势, 盐度 20、25 和 30 组间没有显著差异($P>0.05$), 但显著高于盐度 15 和 35 组($P<0.05$)。

表 6 不同盐度下三疣梭子蟹能量转换效率
Tab. 6 Energy conversion efficiencies of *P. trituberculatus* in the different salinity treatments

盐度 salinity	$n=4; \bar{x} \pm SE; \%$	
	K_1 assimilation efficiency	K_2 net growth efficiency
15	90.87±0.57 ^a	26.51±4.03 ^a
20	92.92±0.57 ^b	40.16±3.87 ^b
25	93.27±0.52 ^b	42.19±3.36 ^b
30	93.49±0.17 ^b	45.37±1.18 ^b
35	90.47±0.76 ^a	21.66±4.67 ^a

注: 同一列不同字母(a, b)表示经多重检验相互之间的差异显著, $P<0.05$ 。

Note: Letters in the same column show the significant differences after multiple range test, $P<0.05$.

3 讨论

3.1 三疣梭子蟹的盐度适应性

盐度是影响蟹类分布的关键因素之一^[17-18]。Frusher 等^[19]发现 *Grapsid* 蟹随盐度梯度呈明显的带状分布; 中华虎头蟹(*Orithyia sinica*)对温度和盐度的适应性较差, 是一种分布狭窄的地方特有种^[20]; 锯缘青蟹(*Scylla serrata*)具有较广的盐度耐受范围^[5], 并且随着生长发育, 其幼体适宜盐度逐渐下降^[21]; 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)对盐度变化的适应性较广, 是广盐性高渗调节甲壳动物的典型代表^[22]。三疣梭子蟹分布于北起日本

南至澳大利亚的印度-西太平洋广大海域^[1], 是一种广盐性蟹类。本实验结果表明, 三疣梭子蟹在盐度 15~35 范围内能存活和生长, 这与曹建亭等^[8]认为三疣梭子蟹为广盐性种类的报道相一致。

3.2 盐度对三疣梭子蟹生长的影响

Romano 等^[7]研究发现高盐情况下, 远海梭子蟹(*Portunus pelagicus*)摄食减少, 生长变慢。本实验条件下, 三疣梭子蟹在高盐(S35)下的日摄食率较高, 两者的差异可能与盐度适应性不同有关。

甲壳动物的渗透调节过程是一种消耗能量的生理过程^[25], 不同盐度下的渗透调节耗能存在一定的差异^[26]。一般认为, 在等渗点附近水生生物代谢耗能最低、生长最快^[7,16]。本实验中, 盐度 25 和 30 组三疣梭子蟹的食物转化效率和能量转换效率均显著高于盐度 15 和 35 组 ($P<0.05$), 蟹获得了较高的生长速度。因此, 推测三疣梭子蟹的等渗点在盐度 25~30 范围内, 低于远海梭子蟹^[7]和锯缘青蟹^[24]的等渗点。朱春华曾报道, 当盐度低于 10 或高于 26 时, 凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)为维持自身渗透平衡, 需要耗费更多的能量^[25]。本实验中, 盐度 15 和 35 组, 蟹用于呼吸和代谢的能量比例显著高于盐度 20、25 和 30 组, 而用于生长的能量比例显著低于盐度 20、25 和 30 组, 导致盐度 15 和 35 组蟹生长低于盐度 20、25 和 30 组。

研究发现, 低盐条件下的凡纳滨对虾耗能增加, 能量利用率降低^[28]。本实验中, 三疣梭子蟹在高盐条件下也呈现了类似的变化。三疣梭子蟹的生长、能耗等随盐度的变化规律, 与远海梭子蟹^[7]、红星梭子蟹^[29]相似, 而与蓝蟹(*Callinectes sapidus*)^[30]不同, 这说明盐度对甲壳动物生长的影响因种而异。

3.3 盐度对三疣梭子蟹蜕壳的影响

黄国强等^[32]发现, 不同饵料种类和摄食水平下中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)每次蜕皮增重不同。本实验中, 盐度 30 组三疣梭子蟹蜕壳增重最大; 盐度低于或高于 30 时, 三疣梭子蟹蜕壳增重降低, 生长变慢; 同一盐度下, 三疣梭子蟹的早期蜕壳增重大于后期蜕壳增重, 推测早

期蜕壳增重对三疣梭子蟹体重增加的影响更大。

Hai 等^[33]和 Ruscoe 等^[5]研究发现盐度降低影响锯缘青蟹的蜕壳频率, 高盐下蟹的蜕壳频率比低盐下高; 荣长宽等^[34]研究发现: 当水体盐度趋于低限时, 中国明对虾蜕皮速度加快; Romano 等^[7]发现, 高盐和低盐环境延长了远海梭子蟹的蜕壳时间, 减少了蜕壳增重, 降低了蟹的特定生长率。本实验中, 不同盐度下三疣梭子蟹的蜕壳周期差异不明显, 但盐度 30 组蟹的蜕壳周期最短, 当高于或低于此盐度时, 蟹的蜕壳频率下降, 蜕壳增重逐渐降低, 并且其食物转化效率和能量利用率较低, 最终导致三疣梭子蟹在低盐(15)和高盐(35)下生长变慢。这与盐度对锯缘青蟹^[5,33]、中国明对虾^[34]蜕壳的影响有所不同, 而与远海梭子蟹^[7]相似。

MDS(molt death syndrome)即蟹蜕壳期间旧壳由于无法完全分离而导致的死亡^[16], Romano 等^[7]报道远海梭子蟹在盐度(10~40)下的死亡大多是 MDS 死亡。本实验中, 三疣梭子蟹在低盐(15)下出现 MDS 死亡, 高盐(35)下出现了新壳未硬化而死亡的现象, 表明低盐环境(15)抑制了三疣梭子蟹的蜕壳, 而高盐环境(35)则抑制了其新壳的硬化。

目前, 残食是导致三疣梭子蟹养殖成活率低的主要原因。当甲壳动物处于 E 期(蜕壳期)及 A 期(蜕壳后期)时, 其活力弱, 不摄食^[16]。由于蜕壳的不同步, 一方面此时的蟹易被残食, 另一方面会导致蟹的生长存在个体差异, 小规格蟹在生长过程中易被大规格蟹残食。因此, 提高蟹蜕壳的同步性可有效地减少残食。本实验结果初步表明, 盐度 20 和 25 组三疣梭子蟹蜕壳较集中, 结合其生长情况, 可以初步认为: 在养殖生产过程中水体盐度控制在 25 左右有利于三疣梭子蟹的蜕壳集中和生长。

致谢: 本实验获得了王庆龙同学、王金环同学和戴超同学的大力支持, 对此表示由衷感谢。

参考文献:

[1] Carpenter K E, Niem V H. The Living Marine Resources of

the Western Central Pacific[M]. Rome: FAO, 1998.

- [2] Hamasaki K, Fukunaga K, Kitada S. Batch fecundity of the swimming crab *Portunus trituberculatus* (Brachyura: Portunidae)[J]. Aquaculture, 2006, 253(1-4): 359-365.
- [3] 王冲, 姜令绪, 王仁杰, 等. 盐度骤变和渐变对三疣梭子蟹幼蟹发育和摄食的影响[J]. 水产科学, 2010, 29(9): 510-514.
- [4] FAO. Species Fact Sheets *Portunus trituberculatus* (Miers, 1876). [EB/OL]. (2009-09-26) [2010-12-20]. <http://www.fao.org/fishery/species/2630/en>.
- [5] 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* Forskål)[J]. Aquaculture, 2004, 238(1-4): 239-247.
- [6] Ponce-Palafox J, Martinez-Palacios C A, Ross L G. The effects of salinity and temperature on the growth and survival rates of juvenile white shrimp, *Penaeus vannamei*, Boone, 1931[J]. Aquaculture, 1997, 157(1-2): 107-115.
- [7] Romano N, Zeng C S. The effects of salinity on the survival, growth and haemolymph osmolality of early juvenile blue swimmer crabs, *Portunus pelagicus*[J]. Aquaculture, 2006, 260(1-4): 151-162.
- [8] 曹建亭, 王广成, 王希升, 等. 三疣梭子蟹 *Portunus trituberculatus* (Miers) 临界盐度海水育苗技术探讨[J]. 现代渔业信息, 2005, 20(7): 41-42.
- [9] 张德波, 李爱国. 三疣梭子蟹溞状幼体的生存下限盐度及适宜盐度的研究[J]. 海洋科学, 1992(1): 8-10.
- [10] 徐云. 三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*)摄食、生长和能量收支的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [11] 崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法[J]. 水生生物学报, 1989, 13(4): 369-383.
- [12] Levine D M, Sulkin S D. Partitioning and utilization of energy during the larval development of the xanthid crab, *Rithropanopeus harrisi* (Gould)[J]. J Exper Mar Biol Ecol, 1979(40): 247-257.
- [13] Greenaway P. Physiological diversity and the colonization of land[A]. Crustacean and the biodiversity crisis[C]. Amsterdam: International Crustacean Congress, 1998: 823-842.
- [14] Chen J C, Lin C Y. Responses of oxygen consumption, Ammonia-N excretion and Urea-N excretion of *Penaeus chinensis* exposed to ambient ammonia at different salinity and pH levels[J]. Aquaculture, 1995, 136(3-4): 243-255.
- [15] Zhu C B, Dong S L, Wang F, et al. Effects of Na/K ratio in seawater on growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 2004, 234(1-4): 485-

- 496.
- [16] Ye L, Jiang S G, Zhu X M, et al. Effects of salinity on growth and energy budget of juvenile *Penaeus monodon*[J]. *Aquaculture*, 2009(290): 140–144.
- [17] Giménez L. Potential effects of physiological plastic responses to salinity on population networks of the estuarine crab *Chasmagnathus granulata*[J]. *Helgoland Marine Research*, 2003, 56(4): 265–273.
- [18] Teal J M. Distribution of Fiddler Crabs in Georgia Salt Marshes[J]. *Ecology*, 1958, 39(2): 186–193.
- [19] Frusher S D, Giddins R L, Smith T J. Distribution and abundance of grapsid crabs (Grapsidae) in a mangrove estuary: Effects of Sediment Characteristics, Salinity Tolerances, and Osmoregulatory Ability[J]. *Est Coasts*, 1994, 17(3): 647–654.
- [20] 廖永岩, 吴蕾, 蔡凯, 等. 盐度和温度对中华虎头蟹 (*Orithya sinica*) 存活和摄饵的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(2): 627–639.
- [21] 王桂忠, 林淑君, 林琼武, 等. 盐度对锯缘青蟹幼体存活与生长发育的影响[J]. *水产学报*, 1998, 22(1): 89–92.
- [22] 魏薇, 吴嘉敏, 魏华. 盐度对中华绒螯蟹性早熟生理机制的影响[J]. *中国水产科学*, 2007, 14(2): 275–280.
- [23] 薛俊增, 堵南山, 赖伟. 中国三疣梭子蟹 *Portunus trituberculatus* Miers 的研究[J]. *东海海洋*, 1997, 15(4): 60–65.
- [24] Chen J C, Chia P G. Osmotic and Ionic Concentrations of *Scylla serrata* (Forskål) Subjected to Different Salinity Levels[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 1997, 117(2): 239–244.
- [25] 朱春华. 盐度对南美白对虾生长性能的影响[J]. *水产科技情报*, 2002, 29(4): 166–168.
- [26] 吕慧明, 徐善良. 虾蟹能量收支的特点及其影响因素[J]. *水产科学*, 2009, 28(10): 604–608.
- [27] 穆迎春, 王芳, 董双林, 等. 不同盐度波动幅度对中国明对虾稚虾蜕皮和生长的影响[J]. *海洋学报*, 2005, 27(2): 122–126.
- [28] 王兴强, 曹梅, 马甦, 等. 盐度对凡纳滨对虾存活、生长和能量收支的影响[J]. *海洋水产研究*, 2006, 27(1): 8–12.
- [29] Samuel N J, Soundarapandian P. Effect of Salinity on the Growth, Survival and Development of the Commercially Important Portunid Crab Larvae of *Portunus sanguinolentus* (Herbst)[J]. *Curr Res J Biol Sci*, 2010, 2(4): 286–293.
- [30] Guerin J L, Stickle W B. A comparative study of two sympatric species within the genus *Callinectes*: osmoregulation, long-term acclimation to salinity and the effects of salinity on growth and molting[J]. *J Exper Mar Biol Ecol*, 1997, 218(2): 165–186.
- [31] Bray W A, Lawrence A L, Leung-Trujillo J R. The effect of salinity on growth and survival of *Penaeus vannamei*, with observations on the interaction of IHNV virus and salinity[J]. *Aquaculture*, 1994, 122(2–3): 133–146.
- [32] 黄国强, 董双林, 王芳, 等. 饵料种类和摄食水平对中国对虾蜕皮的影响[J]. *中国海洋大学学报*, 2004, 34(6): 942–948.
- [33] Hai T N, Hassan A B, Law A T, et al. Effects of reduced water salinity on juveniles of the mud crab, *Scylla serrata*[A]. *International Forum on the Culture of Portunid Crabs*[C]. Boracay: Philippines, 1998: 57.
- [34] 荣长宽, 陶丙春, 郭立. 盐度变化对人工培育的中国对虾仔虾成活率及生长率的影响[J]. *中山大学学报: 自然科学版*, 2000, 39(增刊): 96–99.
- [35] 李英. 环境因子变化对凡纳滨对虾蜕皮同步性和生理特征影响的实验研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010: 1–86.

Effects of salinity on growth, molt and energy utilization of juvenile swimming crab *Portunus trituberculatus*

LU Yunliang¹, WANG Fang¹, ZHAO Zhuoying², DONG Shuanglin¹, MA Shen¹

1. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. National Center of Ocean Standard and Metrology, Tianjin 300112, China

Abstract: We evaluated the effects of salinity on the growth, molt, and energy utilization of juvenile *Portunus trituberculatus*. The crabs were held at five salinities (15, 20, 25, 30, and 35) and cultured in rectangular aquariums. Each treatment group was quadruplicated, with each replicate consisting of 3 stages (7 juveniles/stage). During the 50-day experiment, mortalities and incidence of “molt death syndrome” were recorded daily, while the intermolt period, carapace length, carapace width, and wet weight were measured at each molt. Salinity had a significant effect on growth and energy utilization. At salinities of 20, 25, and 30, food intake (FI_d) was lower and food conversion efficiency (FCE_d) was higher than in the control. At 30, FCE_d was significantly higher than in crabs held at 15 and 35, but not different from those held at 20 and 25. The assimilation efficiency (K_1) and net growth efficiency (K_2) of crabs held at 20, 25, and 30 were significantly higher than in the remaining groups. At the end of the experiment, crabs held at 25 and 30 had a higher wet body weight, relative body weight gain, and SGR. The difference was significant when compared to crabs held at 15 and 35 ppt, but not 20 and 25 ppt. Regression analysis suggested that maximum SGR_d would occur at salinity 26.3. The molt recycle (MC) between instars VII–X ranged from 18.9 to 23.5 d, and was not different among the groups. Nevertheless, MC was 3.1–4.6 d shorter in crabs held at 30 than the remaining groups. MDS was observed at 15, suggesting that the lower salinity plays a role in inhabiting the molt of *P. Trituberculatus*. Conversely, new shell hardening was inhibited by higher salinity. Our results indicate that the culture water should be maintained at about 25 salinity to improve growth and molt success.

Key words: *Portunus trituberculatus*; salinity; growth; molt; energy utilization

Corresponding author: WANG Fang. E-mail: wangfang249@ouc.edu.cn