

## 低钙浓度波动对凡纳滨对虾稚虾蜕皮、生长及能量收支的影响

侯纯强,王芳,董双林

(中国海洋大学 海水养殖教育部重点实验室,山东 青岛 266003)

**摘要:** 在实验室条件下,研究了不同 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度波动幅度对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)稚虾蜕皮、生长和能量收支的影响。实验在水族箱内进行,实验对虾的初始体质量为 $(1.459 \pm 0.006)$  g,实验用水为人工海水,盐度为30,水温 $(25.0 \pm 0.5)$  °C,实验设恒定 $\text{Ca}^{2+}$ 质量浓度360 mg/L为对照组(C360),4个实验组的 $\text{Ca}^{2+}$ 质量浓度波动幅度分别为60 mg/L(C300)、120 mg/L(C240)、180 mg/L(C180)和240 mg/L(C120),波动周期为4 d。实验持续40 d,主要实验结果如下:(1)不同 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度处理下,对虾的蜕皮率存在一定的差异。其中,C120组对虾的蜕皮率最高,达 $(11.0 \pm 0.5)$  %/d,显著高于其他处理组( $P < 0.05$ ),而其他处理组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。(2)不同 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度处理下,对虾的特定生长率(SGR)由大到小依次为C360、C300、C240、C180、C120。其中,C120组对虾的特定生长率显著低于其他处理组( $P < 0.05$ ),而其他处理组之间的差异未达到显著水平( $P > 0.05$ )。(3)不同 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度处理下,对虾的摄食率(FI)差异不显著,而对虾的食物转化效率(FCE)存在一定的差异。其中,C120组对虾的食物转化效率最低,显著低于其他处理组( $P < 0.05$ ),而其他处理组之间差异不显著( $P > 0.05$ )。(4)不同 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度波动对凡纳滨对虾稚虾的生长能、排粪能和蜕壳能占摄食能的比例影响显著( $P < 0.05$ )。实验结果表明,水中 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度波动幅度过大会刺激对虾蜕皮,一定程度上影响对虾的生长。[中国水产科学,2010,17(3):536-542]

**关键词:** 凡纳滨对虾;  $\text{Ca}^{2+}$ 浓度波动; 蜕皮; 生长; 能量收支

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2010)03-0536-07

钙在甲壳动物的各个生长发育阶段都有重要的生理功能,是保障甲壳动物生长必不可少的重要元素。除了构成虾壳外,钙还参与肌肉活动,神经传递和渗透压调节,所以钙对对虾的蜕皮和生长起着十分重要的作用<sup>[1]</sup>。关于不同钙水平对对虾存活和生长等影响的研究已有相关报道。如王慧等<sup>[2]</sup>研究了 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度对中国明对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)生存的影响,发现中国明对虾的生长与 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度密切相关;陈昌生等<sup>[3]</sup>和董少帅等<sup>[4]</sup>研究了 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)存活和生长的影响,结果发现凡纳滨对虾的生长与 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度有密切关系, $\text{Ca}^{2+}$ 浓度过高或过低均会影响凡纳滨对虾的生长;董双林等<sup>[5]</sup>和徐国成等<sup>[6]</sup>也分别就 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度

对日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)和长毛对虾(*Fenneropenaeus penicillatus*)仔虾生长和成活率的影响等做了一些研究。这些研究为了解 $\text{Ca}^{2+}$ 对对虾蜕皮和生长的影响奠定了基础。

在养殖生产过程中,经常出现大雨过后对虾的蜕皮较为集中,生长加快的现象。近几年实验室的研究也发现,在盐度20或30条件下,周期性地改变海水盐度能够提高对虾的蜕皮率,加快对虾的生长<sup>[7-9]</sup>。而水环境中 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度的变化对对虾蜕皮和生长的影响还未见报道。本研究以中国主要的海水养殖虾类——凡纳滨对虾为实验材料,以 $\text{Ca}^{2+}$ 质量浓度为360 mg/L的人工海水(盐度为30)为对照组,研究以此浓度为基础4种 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度波动幅度对对虾

收稿日期: 2009-11-18; 修订日期: 2009-12-14.

基金项目: 国家自然科学基金项目(30571441); 国家科技支撑计划项目(2006BAD09A07).

作者简介: 侯纯强(1984-),男,博士研究生,主要从事对虾生理生态学研究. E-mail: houchunqiang@yahoo.com.cn

通讯作者: 王芳,教授,主要从事水产养殖生理生态学研究. E-mail: wangfang249@ouc.edu.cn

蜕皮和生长的影响,以期为更多地了解Ca<sup>2+</sup>对对虾蜕皮和生长的影响提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验虾的来源及驯化

实验用凡纳滨对虾取自青岛胶州养虾场,为健康活泼的个体。对虾运回后,先在盐度30的自然海水中暂养10 d,连续充气,每天于6:00和16:00投喂人工配合饲料2次,饲料化学成份为水分(8.41±0.06)%、粗蛋白(43.39±0.22)%、脂肪(9.74±0.30)%、灰分(9.91±0.05)%。

### 1.2 实验设计

为了保持实验用水离子含量的稳定性,本实验用水由海水素和充分曝气的自来水配制而成。海水素为中国海洋大学海水素厂专门设计和生产的无钙海水素,保持其他离子浓度的基本恒定和离子平衡,通过添加分析纯CaCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O配制5种不同Ca<sup>2+</sup>浓度的人工海水,调配好的人工海水的盐度均为30。实验设恒定360 mg/L Ca<sup>2+</sup>为对照组(C360),4个实验组养殖水体Ca<sup>2+</sup>浓度波动幅度分别为60 mg/L(C300)、120 mg/L(C240)、180 mg/L(C180)和240 mg/L(C120)(分别相当于盐度波动5、10、15和20时Ca<sup>2+</sup>浓度的波动幅度)。初始实验用水中Ca<sup>2+</sup>的质量浓度均为360 mg/L,第1次换水即降低Ca<sup>2+</sup>的质量浓度分别至300 mg/L、240 mg/L、180 mg/L、120 mg/L,第2次换水Ca<sup>2+</sup>的质量浓度又升至360 mg/L,第3次换水与第1次换水相同,第4次换水与第2次相同,依次类推,对照组Ca<sup>2+</sup>浓度始终保持不变。所换水均提前曝气1 d以上,每4 d换水1次(在对虾蜕皮间期),水温控制在(25.0±0.5)℃,24 h连续充气,光照周期为14 L:10 D。

将驯化好的对虾停食24 h,称量后移入容积为35 L的水族箱(45 cm×25 cm×30 cm)内,每个水族箱放5尾虾,每个处理4个重复。同时,随机取20尾虾,用于测定对虾初始干湿比、能量和氮含量。实验过程中每天于6:00和16:00投喂人工配合饲料(驯化时的饵料)2次,每次投喂2.5 h后将残饵和粪便吸出,并在65℃下烘干保存。发现对虾蜕皮后,及时

将蜕皮捞出,烘干保存,每天记录蜕皮次数。实验持续40 d。实验结束后将各处理组的对虾称重后在65℃下烘干48 h,称其干重并用于能量和蛋白质的分析。

### 1.3 能量测定和收支计算

对虾摄食的饲料、虾体、蜕壳和粪便的能值均在65℃下烘干至恒重后用氧弹仪(Parr 1281型氧弹热量计)测定,根据测定值计算出各自的能值。

能量收支方程式: $C=G+F+U+E+R$ <sup>[10]</sup>

其中,C为摄食饵料的能量,G为生长能,F为排粪能,U为排泄能,R为呼吸能,E为蜕壳能。

排泄能: $U=(C_N-G_N-F_N-E_N) \times 24\ 830$ <sup>[11-12]</sup>

式中,C<sub>N</sub>为摄食食物中所含的氮,G<sub>N</sub>为对虾体中积累的氮,F<sub>N</sub>为粪便中损失的氮,E<sub>N</sub>为对虾蜕壳损失的氮,24 830为每克氮的能值(J/g)。饲料、虾体、粪便和蜕壳中的氮用凯式定氮法测定。

呼吸能: $R=C-G-F-U-E$

### 1.4 数据分析

相对增重率(WG)、蜕皮频率(MF)、特定生长率(SGR)、摄食率(FI)和食物转化效率(FCE)分别按下列公式计算:

$WG(\%)=100 \times (W_t - W_0) / W_0$

$MF(\% \cdot d^{-1})=100 \times N_m / (N_s \times T)$

$SGR(\% \cdot d^{-1})=100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / T$

$FI(\% B \cdot W \cdot d^{-1})=100 \times F / [T \times (W_2 + W_1) / 2]$

$FCE(\%)=100 \times (W_2 - W_1) / F$

式中:W<sub>t</sub>、W<sub>0</sub>是实验结束和初始时对虾的湿重,W<sub>2</sub>、W<sub>1</sub>是实验结束和初始时对虾的干重,T为实验持续的时间,F为摄食量(干重),N<sub>m</sub>为蜕皮次数,N<sub>s</sub>为每箱养虾数。

所得数据采用单因子方差分析及Duncan's多重比较进行分析处理,以0.05作为差异显著水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动处理下凡纳滨对虾稚虾的成活率和蜕皮情况

不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动下凡纳滨对虾的成活率和

蜕皮率见表1,不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动对凡纳滨对虾的蜕皮率产生了一定的影响,C120组对虾的蜕皮率为(11.0±0.5)%/d,显著高于其他各处理组( $P<0.05$ ),且其

他4组之间差异不显著( $P>0.05$ )。各处理组均有对虾出现死亡,C120组对虾的存活率最低,为(75.0±9.6)%,但各处理组之间无显著性差异( $P>0.05$ )。

表1 不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动处理下凡纳滨对虾稚虾的存活、蜕皮和湿重变化  
Tab. 1 Survival, molting frequency and weight gain of juvenile *Litopenaeus vannamei* exposed to different calcium concentration fluctuation treatments  $n=4; \bar{x} \pm SE$

处理组 Treatment group	初始体质量/g Initial body weight	结束体质量/g Final body weight	相对增重率/% Weight gain	存活率/% Survival rate	蜕皮率/(%·d <sup>-1</sup> ) Molting frequency
C120	1.464±0.005	3.320±0.135 <sup>a</sup>	126.8±9.8 <sup>a</sup>	75.0±9.6	11.0±0.5 <sup>a</sup>
C180	1.462±0.008	3.771±0.144 <sup>b</sup>	158.1±10.4 <sup>b</sup>	92.0±4.9	7.4±0.7 <sup>b</sup>
C240	1.452±0.006	3.791±0.064 <sup>b</sup>	161.2±5.5 <sup>b</sup>	95.0±5.0	6.8±0.8 <sup>b</sup>
C300	1.462±0.006	3.969±0.186 <sup>b</sup>	171.4±12.4 <sup>b</sup>	96.0±4.0	8.5±0.4 <sup>b</sup>
C360	1.457±0.005	3.998±0.088 <sup>b</sup>	174.4±6.5 <sup>b</sup>	96.0±4.0	6.8±0.4 <sup>b</sup>

注: C360为恒定Ca<sup>2+</sup>浓度(360 mg/L)对照组; C120、C180、C240、C300组的Ca<sup>2+</sup>质量浓度波动幅度分别为240 mg/L、180 mg/L、120 mg/L、60 mg/L。同一列不同字母表示经多重检验相互之间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: C360 is exposed in constant 360 mg/L Ca<sup>2+</sup> concentration as control group. Groups of C120, C180, C240 and C300 are exposed in waters with different Ca<sup>2+</sup> fluctuation of 240 mg/L, 180 mg/L, 120 mg/L, 60 mg/L on the base of 360 mg/L Ca<sup>2+</sup> concentration. Values with different letters within the same column are significantly different ( $P<0.05$ ).

## 2.2 不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动处理下凡纳滨对虾稚虾的生长

不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动处理下凡纳滨对虾湿体质量的变化如表1所示,实验结束时,C120组对虾的湿体质量最低,显著低于其他4个处理组( $P>0.05$ ),对虾的相对增重率呈现相似的变化规律。

不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动对凡纳滨对虾稚虾特定生长率SGR的影响见图1。从图1中可以看出,对虾生长速度由大到小依次为C360、C300、C240、C180、C120,C120组对虾的特定生长率显著低于其他各处理组( $P<0.05$ )。

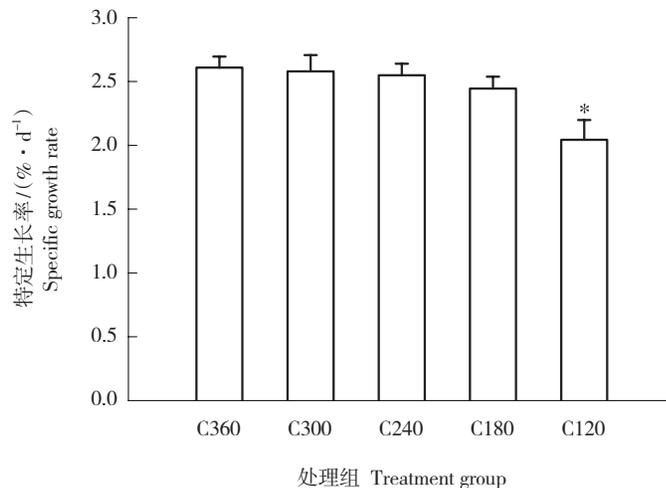


图1 Ca<sup>2+</sup>浓度波动处理组凡纳滨对虾稚虾的SGR

C360为恒定Ca<sup>2+</sup>浓度(360 mg/L)对照组; C120、C180、C240、C300组的Ca<sup>2+</sup>质量浓度波动幅度分别为240 mg/L、180 mg/L、120 mg/L、60 mg/L。“\*”表示该组与其他组之间存在显著性差异( $P<0.05$ )。

Fig. 1 SGR of juvenile *Litopenaeus vannamei* exposed to different calcium concentration fluctuation treatments C360 is exposed in constant 360 mg/L Ca<sup>2+</sup> concentration as control group. Groups of C120, C180, C240 and C300 are exposed in waters with different Ca<sup>2+</sup> fluctuation of 240 mg/L, 180 mg/L, 120 mg/L, 60 mg/L on the base of 360 mg/L Ca<sup>2+</sup> concentration. “\*” means significantly different compared with other treatment groups ( $P<0.05$ ).

### 2.3 不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动处理下凡纳滨对虾稚虾的摄食率和食物转化效率

不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动对凡纳滨对虾稚虾摄食率(FI)的影响见图2。从图2中可以看出,各处理组对虾的摄食率虽不同,但无显著性差异( $P>0.05$ )。

不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动对凡纳滨对虾稚虾食物转化效率(FCE)的影响见图3。各处理组对虾的食物转化效率存在一定的差异,其中C120组对虾的食物转化效率最低,为(14.43±1.11)%,显著低于其他处理组( $P<0.05$ ),而其他各处理组之间差异不显著( $P>0.05$ )。

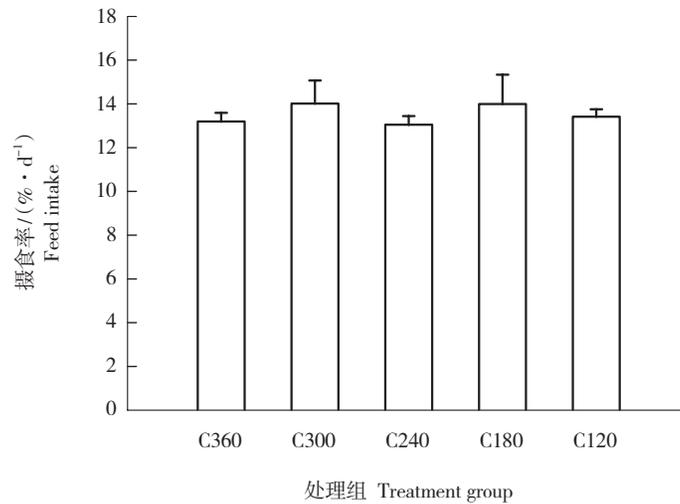


图2 Ca<sup>2+</sup>浓度波动处理组凡纳滨对虾稚虾的摄食率

C360为恒定Ca<sup>2+</sup>浓度(360 mg/L)对照组; C120、C180、C240、C300组的Ca<sup>2+</sup>质量浓度波动幅度分别为240 mg/L、180 mg/L、120 mg/L、60 mg/L。

Fig. 2 Feed intake (FI) of juvenile *Litopenaeus vannamei* exposed to different calcium concentration fluctuation treatments. C360 is exposed in constant 360 mg/L Ca<sup>2+</sup> concentration as control group. Groups of C120, C180, C240 and C300 are exposed in waters with different Ca<sup>2+</sup> fluctuation of 240 mg/L, 180 mg/L, 120 mg/L, 60 mg/L on the base of 360mg/L Ca<sup>2+</sup> concentration.

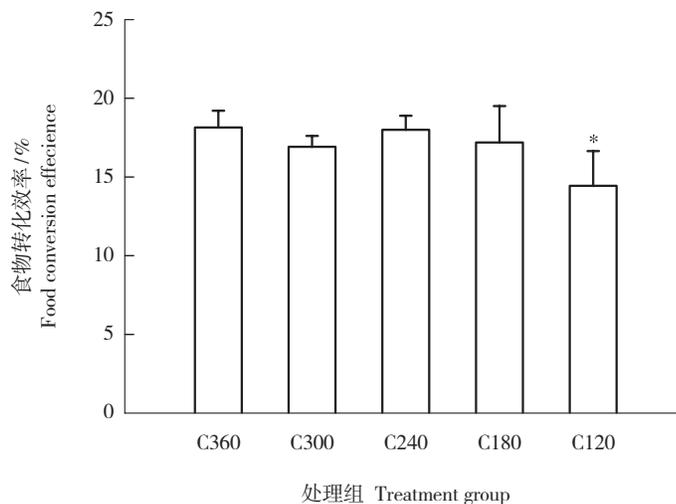


图3 Ca<sup>2+</sup>浓度波动处理组凡纳滨对虾稚虾的饲料转化效率

C360为恒定Ca<sup>2+</sup>浓度(360 mg/L)对照组; C120、C180、C240、C300组的Ca<sup>2+</sup>质量浓度波动幅度分别为240 mg/L、180 mg/L、120 mg/L、60 mg/L。“\*”表示该组与其他组之间存在显著性差异( $P<0.05$ )。

Fig. 3 FCE of juvenile *Litopenaeus vannamei* exposed to different calcium concentration fluctuation treatments. C360 is exposed in constant 360 mg/L Ca<sup>2+</sup> concentration as control group. Groups of C120, C180, C240 and C300 are exposed in waters with different Ca<sup>2+</sup> fluctuation of 240 mg/L, 180 mg/L, 120 mg/L, 60 mg/L on the base of 360mg/L Ca<sup>2+</sup> concentration. “\*” means significant difference compared with other treatment groups ( $P<0.05$ ).

## 2.4 不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动处理下凡纳滨对虾稚虾的能量收支

不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动对凡纳滨对虾稚虾能量收支的影响见表2。从表2中可以看出,不同处理组对虾用在生长上的能量比例存在一定差异,其中C120组对虾用在生长上的能量比例为(16.63±1.25)%,

显著低于其他处理组( $P<0.05$ ),而其他各处理组之间差异不显著( $P>0.05$ );各处理组对虾用在呼吸和排粪上的能量比例无显著性差异( $P>0.05$ );在排泄能和蜕壳能比例方面,C120组显著高于其他各处理组( $P<0.05$ ),而其他各处理组之间差异不显著( $P>0.05$ )。

表2 不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动处理下凡纳滨对虾稚虾的能量收支

Tab. 2 Energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei* exposed to different calcium concentration fluctuation treatments  
n=4;  $\bar{x} \pm SE$ ; %

处理组 Treatmentt group	G/C	R/C	U/C	F/C	E/C
C120	16.63±1.25 <sup>b</sup>	63.20±1.40	6.49±0.19 <sup>a</sup>	12.08±0.93	1.60±0.17 <sup>a</sup>
C180	19.54±1.17 <sup>a</sup>	61.62±1.57	6.03±0.21 <sup>b</sup>	12.18±0.70	0.63±0.08 <sup>b</sup>
C240	20.94±0.50 <sup>a</sup>	60.93±0.73	6.01±0.09 <sup>b</sup>	11.65±0.64	0.46±0.05 <sup>b</sup>
C300	19.70±0.40 <sup>a</sup>	62.83±0.15	6.18±0.04 <sup>b</sup>	10.62±0.22	0.66±0.11 <sup>b</sup>
C360	21.14±0.54 <sup>a</sup>	61.60±0.38	5.97±0.07 <sup>b</sup>	10.76±0.26	0.52±0.09 <sup>b</sup>

注: C360为恒定Ca<sup>2+</sup>浓度(360 mg/L)对照组; C120、C180、C240、C300组的Ca<sup>2+</sup>浓度波动幅度分别为240 mg/L、180 mg/L、120 mg/L、60 mg/L。G: 生长能Energy deposited for growth; R: 呼吸能Energy for respiration; U: 排泄能Energy in excretion; F: 粪便能Energy lost in feces; E: 蜕壳能Energy spent for exuvia; C: 摄食能。同列不同字母表示经多重检验,相互之间差异显著( $P<0.05$ )。

Note: C360 is exposed in constant 360 mg/L Ca<sup>2+</sup> concentration as control group. Groups of C120, C180, C240 and C300 are exposed in waters with different Ca<sup>2+</sup> fluctuation of 240 mg/L, 180 mg/L, 120 mg/L, 60 mg/L on the base of 360mg/L Ca<sup>2+</sup> concentration. G: Energy deposited for growth; R: Energy for respiration; U: Energy in excretion; F: Energy lost in feces; E: Energy spent for exuvia; C: Energy consumed in food. Values with different letters within the same column are significantly different ( $P<0.05$ ).

## 3 讨论

### 3.1 不同Ca<sup>2+</sup>浓度波动对凡纳滨对虾稚虾蜕皮率和存活率的影响

本实验中,钙离子浓度波动对凡纳滨对虾稚虾的蜕皮有显著的影响。Ca<sup>2+</sup>浓度波动幅度最大的C120组对虾的蜕皮率为(11.0±0.5)%/d,显著高于其余各处理组( $P<0.05$ ),其余各处理组之间差异不显著( $P>0.05$ ),这说明大幅度的Ca<sup>2+</sup>浓度波动能够提高凡纳滨对虾稚虾的蜕皮率。蜕皮是一个耗能的过程,高的蜕皮率必然会使对虾消耗更多的能量。从能量收支的结果上可以看出,高蜕皮率的C120处理组对虾用在蜕皮上的能量分配显著高于其他各组( $P<0.05$ )。

以往的研究发现,中国明对虾和凡纳滨对虾在Ca<sup>2+</sup>浓度低于正常海水的水体中养殖时,其耐受力较弱,存活率较低<sup>[2,4]</sup>。甲壳动物蜕皮后,身体柔软,防御能力降低,极易受到攻击<sup>[13-14]</sup>,且蜕皮完成后新形成

的表皮硬化需要大量的钙,所需要的钙质一部分可由旧壳再吸收获得,但大部分要从水中获取<sup>[15-16]</sup>。Perry等<sup>[17]</sup>对蓝蟹(*Callinectes sapidus*)的研究发现,水中低Ca<sup>2+</sup>浓度可使蓝蟹新壳硬化时间显著增长,蓝蟹更长的时间保持软壳状态。在本实验中,C120组对虾的存活率最低,分析发现,死亡对虾中的77.8%是由于蜕皮后被残食而死亡,并且其中88.9%的对虾是在水中Ca<sup>2+</sup>浓度处于120 mg/L时死亡的。Hammond等<sup>[18]</sup>在对淡水小龙虾(*Paranephrops zealandicus*)的研究中也发现低Ca<sup>2+</sup>浓度处理下的淡水小龙虾死亡率要更高,且大部分是蜕皮后死亡,并发生在实验开始的第1个星期内;随着Ca<sup>2+</sup>浓度的增加,因被残食而死亡的淡水小龙虾的数量减少。而本实验C120组55.6%的死亡对虾出现在第1次由正常Ca<sup>2+</sup>浓度降为120 mg/L浓度时,这说明突然的Ca<sup>2+</sup>浓度降低会刺激对虾的蜕皮,但由于蜕皮后处于低钙浓度的环境中部分对虾无

法正常地完成新壳的钙化,因被残食而死亡。

本实验的结果说明,适宜的盐度波动幅度促进对虾蜕皮这一现象与 $\text{Ca}^{2+}$ 波动有一定的关系。但如果蜕皮后的对虾处于较低钙浓度的水环境中,会因钙化困难而死亡。因此,向大雨后的水中添加一定量的生石灰,不仅能改善养殖水体的水质,而且可为蜕皮后对虾新壳的钙化提供充足的钙,减少残食,提高对虾的存活率和养殖产量。

### 3.2 不同 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度波动对凡纳滨对虾稚虾生长的影响

关于水中 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度对对虾生长的影响,以前的研究主要集中在恒定 $\text{Ca}^{2+}$ 水平上。陈昌生等<sup>[3]</sup>指出凡纳滨对虾的生长与 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度有密切关系,其值过高或过低均会影响凡纳滨对虾的生长。董少帅等<sup>[4]</sup>也发现养殖水体的钙浓度过低时,对虾蜕壳困难,代谢率增加,生长积累减少,甚至导致死亡。在本实验中,凡纳滨对虾一直处在 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度在正常浓度与较低浓度间波动的人工海水中,但当海水 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度过低时,影响了对虾的食物转化效率,进而影响其生长。实验结束时, $\text{Ca}^{2+}$ 浓度波动幅度最大的C120组对虾的食物转化效率显著低于其他处理组( $P<0.05$ ),对虾生长最慢。

从能量收支的结果上看,由于C120组对虾蜕皮率最高,蜕皮周期的缩短使对虾不能为其蜕皮和生长积累足够的营养和能量,同时过高的蜕皮率不仅导致更多的能量用在蜕皮上,而且还影响了对虾的能量分配策略,因此,C120组对虾用于呼吸和排泄的能量比例较高,而用在生长上的能量比例最低( $P<0.05$ ),导致C120组对虾生长最差。

穆迎春等<sup>[7]</sup>和丁森等<sup>[8]</sup>发现,在盐度20和30下,盐度周期性改变4能促进中国明对虾的生长,研究中不同盐度的海水是由自然海水和自来水配制而成,其钙离子的波动幅度小于本实验中所设置的钙离子波动幅度。在本实验中,小幅度的钙离子波动对对虾的生长未产生显著的影响( $P>0.05$ ),而钙离子浓度波动幅度过大虽能刺激对虾的蜕皮却不利于对虾的生长( $P<0.05$ )。可见,盐度波动对对虾蜕皮

和生长的影响除了与钙离子波动有关外,可能与其他大量离子如镁等也有关系,其作用效果及机理还有待于做进一步的研究。

### 3.3 蜕皮与生长的关系

虾蟹类通过蜕皮完成生长,因此生长速度有赖于蜕皮的次数和再次蜕皮时体长和体质量的增加程度<sup>[16]</sup>。从本实验的结果看,蜕皮频率最高的C120组对虾的生长最差。Vijayan等<sup>[19]</sup>在研究印度明对虾(*Penaeus indicus*)时发现,频繁蜕皮并不能导致生长的加快。Geoff等<sup>[20]</sup>也指出,各种环境胁迫如迅速降盐和增温可刺激对虾蜕皮,但蜕皮频率的增加并不能导致生长加快,所以蜕皮与生长虽然有一定的关系,但不一定呈正相关关系,本实验再次证实了这一观点。

#### 参考文献:

- [1] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M].北京: 中国农业出版社, 1994: 56-57.
- [2] 王慧, 房文红, 来琦芳. 水环境中 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 对中国对虾生存及生长的影响[J]. 中国水产科学, 2000, 7(1): 82-86.
- [3] 陈昌生, 纪德华, 王兴标, 等.  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 对凡纳滨对虾存活及生长的影响[J]. 水产学报, 2004, 28(4): 413-418.
- [4] 董少帅, 董双林, 王芳, 等.  $\text{Ca}^{2+}$ 浓度对凡纳滨对虾稚虾生长的影响[J]. 水产学报, 2005, 29(2): 211-215.
- [5] 董双林, 堵南山, 赖伟. PH值和 $\text{Ca}^{2+}$ 浓度对日本沼虾生长和能量收支的影响[J]. 水产学报, 1994, 18(2): 118-123.
- [6] 徐国成, 李庭吉, 李士虎, 等.  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 对长毛对虾仔虾生长和成活率的影响[J]. 现代渔业信息, 2002, 17(4): 18-19.
- [7] 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.
- [8] 丁森, 王芳, 郭彪, 等. 盐度波动对中国对虾蜕皮、生长和能量收支的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(2): 419-423.
- [9] Feng C, Tian X, Dong S, et al. Effects of frequency and amplitude of salinity fluctuation on the growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquac Res, 2008, 39: 1639-1646.
- [10] Petruszewicz K, Macfadyen A. Productivity of terrestrial animals: Principles and methods [M]// IBP Handbook no.13. Oxford: Blackwell, 1970, 199.
- [11] Lemos D, Phan V N. Energy partitioning into growth, respiration, excretion and exuvia during larval development of the shrimp

- Farfantepenaeus paulensis* [J]. *Aquaculture*, 2001, 199: 131–143.
- [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 Exp Mar Biol Ecol*, 1979, 40: 247–257.
- [13] Dall W, Hill B J, Rothlisberg P C, et al. Biology of the Penaeidae [M]// Blaxter J H S. *Advances in marine biology*. London: Academic Press, 1990.
- [14] 纪成林, 陈光辉. 中国对虾养殖新技术 [M]. 北京: 金盾出版社, 1997: 9–27.
- [15] Greenway P. Calcium balance and moulting in the crustacea [J]. *Biol Rev*, 1985, 60: 425–454.
- [16] 王克行. 虾蟹类增殖学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997: 28–30.
- [17] Perry H, Trigg C, Larsen K, et al. Calcium concentration in seawater and exoskeletal calcification in the blue crab, *Callinectes sapidus* [J]. *Aquaculture*. 2001, 198: 197–208.
- [18] Hammond K S, Hollows J W, Townsend C R, et al. Effects of temperature and water calcium concentration on growth, survival and moulting of freshwater crayfish, *Paranephrops zealandicus* [J]. *Aquaculture*, 2006, 251: 271–279.
- [19] Vijayan K K, Diwan A D. An influence of temperature, salinity, pH and light on molting and growth in the Indian white prawn *Penaeus indicus* (Crustean: Decapoda: Penaeidae) under laboratory conditions [J]. *Asian Fish Sci*, 1995, 8 (1): 63–72.
- [20] Geoff L A, Greg B M. Effect of pH and salinity on survival, growth and osmoregulation in *Penaeus monodon Fabricius* [J]. *Aquaculture*, 1992, 107: 33–47.

## Effects of low $\text{Ca}^{2+}$ concentration fluctuation on molting, growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei*

HOU Chunqiang, WANG Fang, DONG Shuanglin

(Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** Effects of  $\text{Ca}^{2+}$  concentration fluctuation on molting, growth and energy budget of juvenile *Litopenaeus vannamei* with an initial wet body weight of  $(1.459 \pm 0.006)$  g was investigated. Artificial seawater with salinity of 30 was used in the experiment, and the  $\text{Ca}^{2+}$  concentration of the control treatment C360 was 360 mg/L throughout the experiment, while the treatments C300, C240, C180 and C120 were subjected to different  $\text{Ca}^{2+}$  concentration fluctuations, with the amplitudes being 60 mg/L, 120 mg/L, 180 mg/L and 240 mg/L, respectively. After a 40-day feeding trial, the results were as follows: (1) The molt frequency (MF) of the shrimps in the treatment C120 was  $(11.0 \pm 0.5) \%$ /d and significantly higher than the other four treatments ( $P < 0.05$ ), and there were no significant differences among the other four treatments ( $P > 0.05$ ); (2) The specific growth rates (SGR) of the shrimps in the five treatments were ordered from high to low as C360, C300, C240, C180 and C120, and the minimal one occurred in the treatment C120 ( $P < 0.05$ ); (3) There were no significant differences in feed intakes (FI) of the shrimps among the five treatments ( $P > 0.05$ ), but food conversion efficiency (FCE) of the shrimps in the treatment C120 was significantly lower than those of the other four treatments ( $P < 0.05$ ); (4) The percentages of energy deposited for growth ( $G$ ), lost for respiration ( $R$ ), lost in exuvia ( $E$ ) to the energy obtained from food ( $C$ ) were affected by different  $\text{Ca}^{2+}$  concentration fluctuations significantly ( $P < 0.05$ ). These results showed that the largest amplitude of  $\text{Ca}^{2+}$  concentration fluctuation could increase the molting frequency of the juvenile *L. vannamei*, but it had adverse effects on the growth of shrimp. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17 (3): 536–542]

**key words:** *Litopenaeus vannamei*;  $\text{Ca}^{2+}$  concentration fluctuation; molting; growth; energy budget

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