

文章编号: 1000- 0615(2004)02- 0161- 06

水温和盐度对南美白对虾幼虾能量收支的影响

王吉桥, 罗 鸣, 张德治, 庞 超

(大连水产学院农业部海洋水产增养殖生态学与生物技术重点开放实验室, 辽宁 大连 116023)

摘要:用室内生态实验法测定了南美白对虾幼虾在不同盐度(5, 15 或 25)和水温(20~ 23℃, 25℃, 30℃或 33℃)下摄食水丝蚓的能量收支方程。在盐度 5~ 25 时, 随盐度降低, 对虾的能量转换效率升高, 同化率降低。在盐度为 5 时, K_1 最高(29.02%), 同化率最低(77.89%)。对虾具补偿机制来补偿调节渗透压的能耗。盐度对同化率的影响, 主要是通过影响呼吸代谢实现的。对虾的特定生长率(y)(%·d⁻¹)随水温(X)(℃)上升而增加, 其关系式为: $y = 0.0168\ln X + 0.0831$ ($R^2 = 0.9324$)。对虾在较高温度下生长快, 主要是增加绝对摄食量, 提高吸收效率, 减少粪便排放量。在相同温度下, 变温时对虾的摄食量高于恒温时。

关键词:南美白对虾; 盐度; 能量收支; 幼虾

中图分类号: S917 文献标识码: A

Effects of water temperature and salinity on energy budget of *Penaeus vannamei* juveniles

WANG Ji-Qiao, LUO Ming, ZHANG De-zhi, PANG Chao

(Key Laboratory of Marine Aquaculture Ecology and Biotechnology Certificated by Ministry of Agriculture, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China)

Abstract: Components of energy budgets of Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) juveniles with body length of 4.5– 5.0 cm fed on *Limnodrilus* sp. were measured at different water temperatures (20– 23℃, 25℃, 30℃ or 33℃) and salinities (5, 15 or 25) by an experimental ecological method to improve husbandry for shrimp culture. The results indicated that there were decrease in assimilation efficiency and increase in energy conversion efficiency with salinity increment within the range of 5– 25. At 5, there were the highest K_1 (29.02%) and the lowest assimilation efficiency (77.89%) by the juveniles. The effect of salinity on assimilation efficiency was dependent on respiration energy and compensative mechanism. There was an increase in specific growth rate (y) of the shrimp with water temperature (X , °C) increment as the following equation: $y = 0.0168\ln X + 0.0831$ ($R^2 = 0.9324$). Better growth at high temperature is attributed to the high food consumption, high absorption and less feces. At the same water temperature, the shrimp has higher food consumption at fluctuated water temperature than at constant water temperature.

Key words: *Penaeus vannamei*; salinity; energy budget; juvenile shrimp

收稿日期: 2002-10-08

资助项目: 辽宁省科学技术厅农业科技攻关项目(2001203001)

作者简介: 王吉桥(1950-), 男, 辽宁大连人, 教授, 博士, 主要从事水产养殖生态学研究。Tel: 0411- 4762691

为提高输入养虾池塘中能量的利用率,人们广泛研究了不同规格中国对虾(*Penaeus chinensis*)^[1-5]、斑节对虾(*Penaeus monodon* Fabricius)^[6]、日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)^[7-9]、日本对虾(*Penaeus japonicus*)^[10]和细螯光壳螯虾(*Cherax tenuimanus*)^[11]等甲壳动物在不同养殖方式和环境下摄食不同食物时的能量平衡。南美白对虾(*Penaeus vannamei*)自1988年引入我国,1994年育苗成功后,因适应盐度范围广,抗逆性强,存活力高而成为重要的养殖对虾。国内外对这种对虾的生物学、养殖技术及盐度和饲料中糖含量对能量收支的影响^[12]等进行了深入研究。但有关南美白对虾在不同环境条件下的能量平衡尚未见深入研究。本实验研究了水温和盐度对南美白对虾能量收支各组分的影响,旨在为提高其养殖效益提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

实验虾取自海南水产研究所的健康个体,体长4.5~5.0 mm,体重0.59~0.81 mg。虾苗饲养于体积为45 L的圆形塑料桶内,每桶放入50尾。实验用水为砂滤海水。驯化期投喂卤虫幼体,正式实验起投喂购自大连市黑石礁市场的水丝蚓(*Limnodrilus* sp.)。

1.2 方法

水温对能量收支的影响 实验设室温(20~23℃)、25℃、30℃、33℃四个水平。实验前将虾在20℃水温下驯养20 d,然后逐渐调到设计温度。每个温度设3个平行组,用自动控制电热器加热,每天测温3次。用分析天平(ESJ-205-4型)随机称量10尾虾的湿重(精确到0.0001 g),以计算开始时的体重。养殖水桶内连续充气,每天换水二分之一。实验海水盐度为33,室内自然光照。实验进行了32 d。

盐度对能量收支的影响 实验水温为22.0±0.5℃,采用5、15和25三个盐度水平,各设3个重复。实验前将虾逐渐驯化至所需盐度,驯养1周。实验前停喂两天,确定已排空胃肠中食物和粪便后,每一盐度随机取虾25尾,用电子分析天平称湿重,同时取少量水丝蚓和虾,称重后在70℃下烘干至恒重,用以估算实验开始时水丝蚓和对虾的干重和水分含量。实验期间,每隔2 d换水三分之一,室内自然光照,实验持续27 d。

能量收支方程中各组分的测定 物能和粪便能:每天各实验组的对虾投喂过量水丝蚓1~2次。饱食后用吸管及时收集残饵和粪便,每次收集的粪便和残饵烘干后保存,以确定摄食量和排粪量。再分别测定水丝蚓、粪和虾的粗蛋白、粗脂肪、灰分和糖以确定其能值。粗蛋白采用微量凯氏定氮法测定;粗脂肪用SZF-06型脂肪测定仪测定;灰分采用马福炉灼烧法测定;糖采用差减法求得,即干重减去粗蛋白、粗脂肪和灰分。粗蛋白、粗脂肪、糖含量分别乘以所含能值即水丝蚓、粪和虾所含能值。蛋白质、脂肪和糖的能值换算系数分别为23.62 J·mg⁻¹、39.50 J·mg⁻¹^[13]和16.8 J·mg⁻¹。

排泄能 甲壳动物分解代谢含氮化合物的主要排泄物为氨,所以,用排氮率代表排泄能。用10 L流水呼吸瓶,每2天测定一次各组排氮率,并用下式计算。

$$NE(NH_3-N) = (Q - Q_0) \times V \times 1000 / (T \cdot m)$$

式中,NE=排氮率(μg·g⁻¹·h⁻¹);Q₀=空白对照代谢瓶内水样NH₃-N含量;Q=有虾代谢瓶内水样中NH₃-N含量;V=代谢瓶体积(mL);T=实验时间(h);m=实验虾湿重(mg);用奈氏法测定水中氨氮含量。能值按24.83 J·mg⁻¹N将排氮量换算成能量^[13]。

呼吸能 测定方法同排谢能。虾的耗氧率按下式计算。OE=(D-D₀)×V×1000/(T·m),式中,OE=耗氧率[mg·g⁻¹·h⁻¹];D₀=空白对照代谢瓶内水样的溶解氧含量;D=有虾代谢瓶内水样的溶解氧含量;V=代谢瓶体积(mL);T=实验时间(h);m=实验虾湿重(mg);耗氧量用碘量法测定,其热量转换值为13.54 J·mg⁻¹O₂。

SDA测定 把摄食后耗氧量增加值,即峰值与正常值之差定为SDA。每昼夜隔2 h测定一次,以确定SDA占日常代谢的百分比。

生长能 定期测定实验虾增重量,换算成日增重量,再乘以虾的能值。日特定生长率(SGR)按下式计算。SGR=(lnW₁-lnW₀)×100/t,式中,W₁和W₀分别为测定时的末体重和初体重,t为饲养天数。

蜕皮能 南美白对虾摄食水丝蚓后的能量收支方程为:I=P+R+U+F+E,式中I为摄食能,P为生长能,R为代谢能,U为排泄能,F为粪便能,E为蜕皮能。E用差减法即I-P-R-U-F求出。

1.3 数据处理

样品平均数间的差异显著性采用单因素方差分析和 Duncan 多重比较, 以 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极其显著。

2 结果

2.1 温度和盐度对南美白对虾摄食的影响

表1列出了本实验中对虾、水丝蚓和对虾粪便的生化成分。方差分析表明, 盐度对南美白对虾的最大摄食能无显著影响($P > 0.05$)。盐度为15时摄食能高于其它两组(表2)。但温度对南美白对虾的摄食率的影响却非常明显(图1)。在本实验温度范围内, 南美白对虾的摄食量随温度升高而增加, 在33℃下最高; 在相同温度下, 常温组即变温条件下对虾的摄食量高于恒温条件下。

表1 水丝蚓、南美白对虾及其粪便的生化组成

Tab.1 Composition of *Limnodrilus* sp.,

Penaeus vannamei and its feces %

	粗蛋白 crude protein					粗脂肪 crude fat					糖类 carbohydrate					灰分 ash					水分 moisture				
虾 shrimp	50.06					9.00					22.78					18.16					8.80				
水丝蚓 blood worm	64.42					18.63					5.14					11.81					10.50				
粪 feces	18.48					5.78					23.09					52.65					5.50				

表2 盐度对南美白对虾摄食能、排氮率和耗氧率的影响

Tab.2 Effect of salinity on feeding energy, nitrogen excretion and oxygen consumption of *P. vannamei* juveniles

	盐度 salinity		
	5	15	25
摄食能(J) feeding energy	306.7 ± 30.1	389.1 ± 32.0	328.7 ± 28.5
排氮率 ($\text{Hg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) nitrogen excretion	223.76 ± 20.50	106.08 ± 11.71	81.49 ± 13.23
耗氧率 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) oxygen consumption	1.493 ± 0.098 ^a 0.460 ± 0.023 ^b	2.543 ± 0.296 ^a 1.635 ± 0.114 ^b	2.937 ± 0.304 ^a 1.586 ± 0.121 ^b

注: * 上行为体长2.0~2.5cm仔虾的耗氧率; 下行为体长4.5~5.0cm仔虾的耗氧率; 每组测10次, 同一列和同一实验中标有不同字母的平均数间差异显著

Noets * The data at the upper line represent the oxygen consumption in 2.0~2.5cm in body length; the data at the lower line represent the oxygen consumption in 4.5~5.0cm in body length (n = 10), different letters indicate significantly different in the same column and experiments

2.2 温度和盐度对呼吸代谢的影响

表2表明, 水温和盐度极其显著地影响对虾的耗氧率($P < 0.01$), 即南美白对虾的耗氧率随盐度的降低而下降, 盐度5时耗氧率最低; 在相同盐度和温度条件下, 耗氧率随个体增长而降低; 一昼夜中, 南美白对虾有两个耗氧高峰, 即摄食后2h(9:00)和凌晨(3:30)(图2)。经过昼夜24h测定, 盐度对SDA的影响不显著, SDA的持续时间为6h左右, 其耗能占日常代谢能的18%左右。

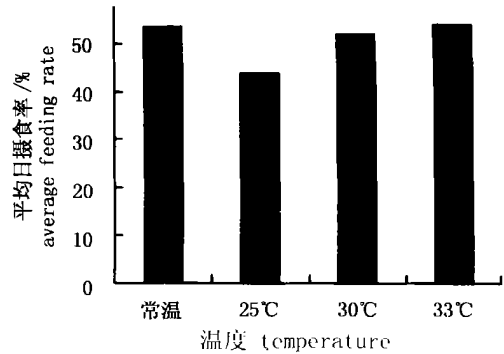


图1 水温对南美白对虾摄食的影响

Fig.1 Effect of water temperature on feeding energy of *P. vannamei*

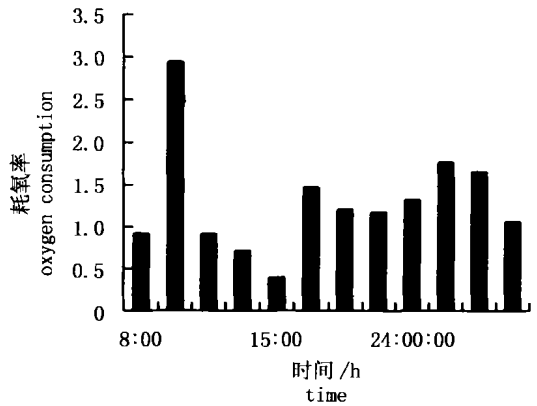


图2 南美白对虾在盐度25时的24h耗氧率变化

Fig.2 Diurnal change of oxygen consumption of *P. vannamei* juveniles at a salinity of 25

2.3 盐度对排泄能的影响

方差分析表明, 盐度对南美白对虾的排泄影响极其显著($P < 0.01$), 即随盐度的降低, 排氮率升高, 在盐度5时最高(表2)。

2.4 温度和盐度对生长的影响

实验对虾SGR随盐度升高而增加, 但组间差异不显著(表3), 水温对特定生长率(干重)有显

著影响($P < 0.01$)。对虾生长率随水温上升而增加(图3)。回归分析表明,特定生长率(y)($\% \cdot d^{-1}$)与水温(X)($^{\circ}C$)的关系式为:
 $y = 0.0168 \ln X + 0.0831$ ($R^2 = 0.9324$)。

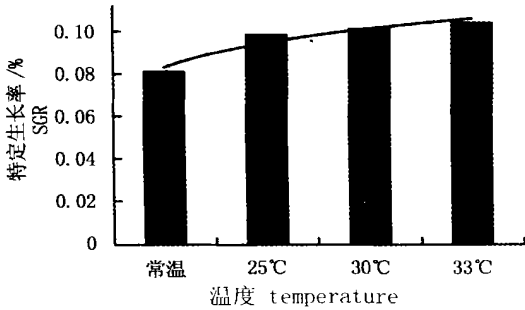


图3 水温对南美白对虾 SGR 的影响

Fig.3 Effect of water temperature on SGR of *P. vannamei*

2.5 温度、盐度对同化率和转换效率的影响

方差分析表明,对虾的能量同化效率随温度的升高而逐渐增加,但能量转化效率却随温度的升高而逐渐下降($P < 0.05$)(表3)。对虾的能量同化效率随盐度的增加而降低,其中盐度5和15时差异显著($P < 0.05$),但是, K_1 和 K_2 却随盐度的降低而升高,其中盐度5和15时差异显著($P < 0.05$)。

2.6 温度和盐度对能量收支方程的影响

对虾的生长能和粪便能占总摄食能量的比例随水温的升高而降低,而代谢能、尿能和蜕皮能所占的比例却随温度的上升而增加(表4)。这表明对虾在较高的温度下生长较快主要是增加绝对摄食量,提高吸收效率,减少粪便排泄量。在本实验温度范围内,变温环境对虾的生长速度快于恒温环境。方差分析表明,不同温度下尿能、代谢能和生长能占食物能的比例(0.5%~3.47%)差异显著($P < 0.05$)。

表3 温度和盐度对南美白对虾的饲料同化率、转换效率和生长的影响

Tab. 3 Effect of water temperature and salinity on assimilation rate, energy conversion efficiency and growth rate of *P. vannamei* (mean \pm S. E) %

项 目 items		A/C	K_1	K_2	SGR
盐 度 salinity	25	89.95 \pm 5.60 ^a	23.03 \pm 2.70 ^a	25.60 \pm 3.01 ^a	0.107 \pm 0.017
	15	87.20 \pm 3.12 ^a	25.59 \pm 1.56 ^a	29.34 \pm 2.43 ^a	0.101 \pm 0.006
	5	77.89 \pm 2.34 ^b	29.02 \pm 1.40 ^b	37.34 \pm 1.87 ^b	0.096 \pm 0.011
温 度($^{\circ}C$) temperature	常 温 room	92.17 \pm 0.25 ^a	23.5 \pm 0.75 ^a		0.081 \pm 0.013
	25	93.54 \pm 0.37 ^a	19.5 \pm 0.39 ^b		0.986 \pm 0.003
	30	94.18 \pm 0.16 ^b	17.6 \pm 0.54 ^c		0.101 \pm 0.004
	33	96.87 \pm 0.42 ^c	15.5 \pm 0.76 ^d		0.105 \pm 0.006

注:同一列和同一实验中标有不同字母的平均数间差异显著

Notes: different letters indicate significantly different in the same column and experiments

表4 南美白对虾在不同盐度和温度下的能量收支方程

Tab. 4 Energy budgets of *P. vannamei* at various water temperatures and salinities %

项 目 items		摄食能 feed	生长能 growth	代谢能 metabolic	尿能 urine	粪能 fecal	蜕皮能 ecdysis
盐 度 salinity	25	100	23.03	66.93	4.62	2.89	2.53
	15	100	25.59	61.61	6.33	3.11	3.37
	5	100	29.02	48.80	16.09	3.26	2.77
温 度($^{\circ}C$) temperature	20~23	100	23.50	66.01	0.50	7.83	2.16
	25	100	19.50	69.54	1.63	6.46	2.87
	30	100	17.60	72.48	2.73	5.85	3.26
	33	100	15.50	73.88	3.47	3.13	4.02

3 讨论

3.1 盐度和温度对呼吸代谢的影响

Kutty 等^[14]发现淡水鲮(*Rhinomugil corsula*)在等渗点时,半数存活时间最长,当盐度低于或高于等渗点时,半数存活时间都缩短。长臂虾科的(*Palaemonetes antennarius*)和印度对虾(*Penaeus indicus*)等处于等渗点时,耗氧率最低。这可能是由于动物处于等渗点时,可减少用于渗透调节的能量的缘故^[8, 11, 15-20]。对虾属动物的等渗点约为23.3~26.3,高于罗氏沼虾等淡水虾^[19]。中国对虾的耗氧率在盐度10~30时随盐度上升而下降^[8]。本实验中,南美白对虾在盐度5~25下的耗氧率却随盐度的降低而下降。这表明南美白对虾不仅是一种广盐性种类,对低盐的耐受性强于中国对虾,而且在淡水中对能量的利用也更经济。

一般认为,动物耗氧率的昼夜变化规律反映了其在自然界的活动周期,耗氧率高时多为摄食或活动较强的时期。在本实验温度和盐度范围内,南美白对虾有两个耗氧高峰,即摄食后2h(9:00)和凌晨(3:30)。这表明南美白对虾虽为夜间觅食动物,但白天投喂仍能摄食,在人工养殖条件下,耗氧率高低主要与摄食有关。

在适温范围内,大多数甲壳动物的耗氧率随温度升高而增加。本实验中南美白对虾的耗氧率也证明了这一点,但 Q_{10} 值却仅为1.46,低于2~3^[19],这很可能与本实验温度较高(接近温度上限)有关,即随着温度升高, Q_{10} 值下降。

动物在摄食后都有耗氧率增大的现象,即特殊动力作用(SDA)。几种对虾的SDA效应与饲料的蛋白质含量成正比^[20],且盐度与饲料糖量有显著交互作用。在盐度15、饲料含糖量为0时,SDA占呼吸代谢比重较大。在低盐度(5~15)水中投喂低糖饲料时,南美白对虾的生长比在高盐度(40)下摄食含糖38%、不含糖饲料和在盐度15下摄食含糖量38%的饲料时分别快1.8、2.4和4.6倍,这表明在低盐度下应投喂蛋白质含量较高的饲料。

南美白对虾在低渗环境中调节体内的渗透压,常用饲料蛋白作氨基酸源来充当渗透调节效应因子,代谢物中蛋白质的比例增加,直至完全以蛋白质为能源^[1, 2]。O/N比测定表明,南美白对虾和中国对虾在不同盐度下呼吸代谢的氧氮比随

盐度升高而逐渐增大,即高盐度下代谢糖的比例增加。Chen和Lai^[10]报道了日本对虾在盐度为5~35时排氮率随盐度下降而升高,并认为由于外界环境渗透压的减少,导致虾体内自由氨基酸的浓度升高。据本实验,我们推测,低盐度、高蛋白饲料使南美白对虾体内谷氨酸脱氢酶活性增高,改变了物质代谢途径,使SDA增加和氨排泄增加。但本实验经24h昼夜测定发现,盐度对SDA无显著影响,高峰时间出现也未有变化。这可能与各组动物摄食饵料蛋白质含量高(64.42%),远超过盐度对其的影响有关。这从反面证明了低盐度下需高蛋白饲料。

3.2 盐度和水温对能量收支方程的影响

动物的能量收支主要受生物因素(种类、规格、生理状况和发育阶段等)和非生物因素(温度、盐度、pH和营养等)的影响。表5表明,在水温20~25℃、盐度30左右时,中国对虾的生长能占摄食能的比例大于南美白对虾,但在相应水温而盐度为5时,南美白对虾的生长能占总摄食能的比例与中国对虾相似。这表明中国对虾更适宜在中等盐度的海水中生长,而南美白对虾更适宜于在半咸水中生长。在相同条件下,同种对虾的生长能占总摄食能的比例随个体生长而下降,而呼吸能则随个体的增长而增加。这是因为耗氧率(R)与体重(W)的关系式 $R = aW^b$ 中, b 值与个体大小呈正相关。如日本沼虾幼体的 b 值为0.83~0.90,成熟雌体为0.57,即性成熟时,个体生长放慢。这与张硕等^[4]认为体重对中国对虾生长能在摄食总能分配比例中无显著影响的观点相悖。

在盐度3~35范围内,中国对虾的生长能占摄食能的比例在盐度为20时最大,盐度为5时最小,呼吸能占总摄食能的比例则相反。这与臧维玲等^[21]测得重7.30g的中国对虾在海水比重为1.0030~1.0185范围内,瞬时耗氧率随海水比重增加而增大的结果相一致。这表明中国对虾为典型的海水虾,而南美白对虾的摄食能分配于生长的比例却是盐度为5时最高,呼吸耗能最低。这是南美白对虾适宜在低盐半咸水中饲养的重要原因之一。但这与朱春华^[22]认为南美白对虾的最适生长盐度为14~22的观点不一致。这很可能与我们用的活饵料蛋白含量(64.2%)远高于朱春华用的配合饲料(含粗蛋白40%)有关。

参考文献:

- [1] Zhou H Q. Energy metabolism of parent prawn, *Penaeus orientalis* [J]. J Fish China, 1990, 14(2): 114–119. [周洪琪. 中国对虾亲虾的能量代谢研究[J]. 水产学报, 1990, 14(2): 114–119.]
- [2] Zhou H Q, Gu G C. Energy metabolism of *Penaeus orientalis* larvae[J]. J Fish China, 1992, 16(2): 167–170. [周洪琪, 顾功超. 中国对虾幼体的能量代谢[J]. 水产学报, 1992, 16(2): 167–170.]
- [3] Zhang S, Dong S L, Wang F. Effects of salinity and food on carbon budget of *Penaeus chinensis* [J]. J Fish China, 1999, 23(2): 144–149. [张 硕, 董双林, 王 芳. 盐度和饵料对中国对虾碳收支的影响[J]. 水产学报, 1999, 23(2): 144–149.]
- [4] Zhang S, Dong S L, Wang F. A primary study on assimilation and conversion efficiency of *Penaeus chinensis* [J]. J Fish China, 1999, 23(1): 99–103. [张 硕, 董双林, 王 芳. 中国对虾同化率和转换效率的初步研究[J]. 水产学报, 1999, 23(1): 99–102.]
- [5] Chen J C, Lin C Y. Response of oxygen consumption, ammonia – N excretion and urea – N excretion of *Penaeus chinensis* exposed to ambient ammonia at different salinity and pH levels [J]. Aquac, 1995, 136: 243–255.
- [6] Kurmaly K, Yule A B, Jones D A. An energy budget for larvae of *Penaeus monodon* (Fabricius) [J]. Aquac, 1989, 81: 13–25
- [7] Shi Z F, Mei Z P, Luo Q Z, *et al.* Preliminary studies on energy budget and utilization efficiency of *Macrobrachium nipponensis* [J]. J Fish China, 1994, 18(3): 191–197. [施正峰, 梅志平, 罗其智, 等. 日本沼虾能量收支和利用效率的初步研究[J]. 水产学报, 1994, 18(3): 191–197.]
- [8] Shi Z F, Mei Z P, Sun J. *et al.* Effects of water temperature on the feeding of *Macrobrachium nipponensis* [J]. J Fish China, 1991, 15(4): 338–343. [施正峰, 梅志平, 孙 敬, 等. 水温对日本沼虾摄食的影响[J]. 水产学报, 1991, 15(4): 338–343.]
- [9] Dong S L, Du N S, Lai W. Effects of pH and Ca^{2+} concentration on growth and energy budget of *Macrobrachium nipponensis* [J]. J Fish China, 1994, 18(2): 118–123. [董双林, 堵南山, 赖 伟. pH 和 Ca 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.]
- [10] Chen J C, Lai S H. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption and ammonia-N excretion of juvenile *Penaeus japonicus* Bate [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1993, 165: 161–170.
- [11] Villareal H A. A partial energy budget for the Australian crayfish *Cherax tebbianus* [J]. J World Aquac Soc, 1991, 22(4): 252–259.
- [12] Rosas C, Cuzon G, Gaxiola G, *et al.* An energetic and conceptual model of the physiological role of dietary carbohydrates and salinity on *Litopenaeus vannamei* juveniles [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 2002, 268: 47–67.
- [13] Cui Y B. Bioenergetics of fishes: theory and methods [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1989, 13(4): 369–383. [崔奔波. 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.]
- [14] Kutty M N, Munugapoopathy G, Krishan T S, *et al.* Influence of temperature and salinity on survival of the freshwater mullet *Rhinomugil corsula* (Hamilton) [J]. Aquac, 1980, 20: 201–274.
- [15] Dalla Via G J. Salinity responses of juvenile penaeid shrimp *Penaeus japonicus* I. Oxygen consumption and estimation of productivity [J]. Aquac, 1986, 55: 297–306.
- [16] Dalla Via G J. Salinity responses in brackish water population of freshwater shrimp *Palaeomonetes antennarius* I. Oxygen consumption [J]. Comp Biochem Physiol, 1987, 87 (A): 471–478.
- [17] Staples D J, Heales D S. Temperature and salinity optima for growth and survival of juvenile banana prawn *Oenaeus merguensis* L. [J] Exp Mar Biol Ecol, 1991, 154: 251–274.
- [18] Chen J C, Lin J N, Chen C T. Survival, growth and intermolt period of juvenile *Penaeus chinensis* (Osbeck) reared at different combinations of salinity and temperature [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1996, 204: 169–178.
- [19] Lin X T, Zhang Q M, Xu Z N, *et al.* Advancement of the study on respiratory metabolism of decapod crustaceans [J]. J Fish 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 [J]. 水产学报, 2000, 24(6): 575–580.]
- [20] Rosas C, Sanchez A. Effect of dietary protein level on apparent heat increment and post-prandial nitrogen excretion of *Penaeus setiferus*, *P. schmitti*, *P. duorarum* and *P. notialis* postlarvae [J]. J World Aquac Soc, 1996, 27(1): 92–102.
- [21] Zhang W L, Zhu Z G, Dai X L, *et al.* Studies on the correlation between the instantaneous velocity of consumed oxygen of Chinese prawn and the aquatic environment [J]. Fisheries Science & Technology Information, 1992, 19(4): 100–103. [臧维玲, 朱振国, 戴习林, 等. 中国对虾瞬时耗氧速率与海水比重及溶氧水平的相关 [J]. 水产科技情报, 1992, 19(4): 100–103.]
- [22] Zhu C H. Effects of salinity on the growth characteristics of whiteleg shrimp *Penaeus vannamei* [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2002, 29(4): 166–168. [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.]