

盐度和饵料对中国对虾碳收支的影响

张 硕 董双林 王 芳

(青岛海洋大学国家教委水产养殖开放实验室, 266003)

摘 要 通过室内生长实验的方法测定了中国对虾在不同盐度下摄食日本刺沙蚕及盐度 31 海水中摄食日本刺沙蚕和配合饲料的碳收支。结果显示, 盐度 5~35 范围内, 水温 25℃时, 中国对虾的碳摄食量在盐度 13 时达到最大为 61.64(mg·g⁻¹·d⁻¹); 而最适生长的盐度条件为 20, 此时的碳利用效率最高为 25.84%, 碳的特定生长率最大为 3.89%。盐度影响中国对虾碳生长的机制主要取决于摄食量和碳的转换效率。中国对虾摄食沙蚕的生长显著大于摄食配合饲料的, 摄食沙蚕和配合饲料的碳转换效率分别为摄食碳的 26.80%和 13.78%。饵料对碳生长的影响机制是由碳同化率和转换效率决定的。

关键词 中国对虾, 盐度, 日本刺沙蚕, 配合饲料, 碳收支

碳是生物体内含量最多的元素, 太阳能就是通过光合作用使无机碳转换成有机碳而固定在生物体内的。碳收支主要研究碳在对虾体内的分配情况, 包括碳的摄取、虾体碳积累、碳代谢、蜕壳和排粪的损失碳。养殖池塘中的碳以人工输入的饵料为主, 养殖生态系对碳的实际利用情况主要取决于养殖对虾对输入碳的转换效率, 即摄入碳在虾体内分配到生长中的比例。各种环境因子对虾类生长的影响, 也是碳收支变化的反映。碳收支的研究, 对于分析养殖生态系统的物质和能量流动, 提高饵料的利用效率, 改善养殖环境都具有理论和现实指导意义。

1 材料和方法

1.1 材料来源

实验于 1997 年 5 月进行, 实验虾来源于青岛市郊的养虾池塘, 为健康活泼的个体。

1.2 实验方法

盐度对中国对虾的影响: 实验虾运回实验室后分别饲养于水族箱内, 每天降低或升高盐度 3~4, 当达到实验设计的盐度后再驯养 7 天。驯养期间投喂日本刺沙蚕(*Neanthes japonica*)。实验设计盐度为 5、13、20、28 和 35 等 5 个梯度, 每一盐度下设置 5 个重复。每一盐度下随机选取 15 尾虾, 每 3 尾饲养于 1 个 14 升的水族箱内。实验虾平均体重为 0.344±0.028g。

饵料对中国对虾的影响: 实验为海水盐度 31.0, 设置投喂沙蚕和配合饲料, 每一设置 5 个重复。实验虾在设计条件下驯养 7 天, 驯养期间分别投喂日本刺沙蚕和配合饲料。随机选取 10 尾虾, 每尾虾单独饲养于 1 个 14 升的水族箱内。实验虾平均体重为 0.223±0.015g。

以上 2 组虾均在实验前停食 2 天, 排空胃肠中的粪便, 用 MP-120 型电子天平称重对虾的起始体重(精确至 0.001g, 湿重)。试验前在每一实验条件下取 5 尾虾、20g 沙蚕和 20g 配合饲料, 称重后在 70℃ 下烘干至恒重, 用以估算实验开始时虾体、沙蚕和配饵的干物质重量(g)、碳含量。

水族箱放在玻璃缸水浴中, 控温仪控制水浴温度, 实验水温为 25℃。每天各水族箱过量投喂沙蚕 2 次, 配合饲料 3 次, 并及时用吸管收集残饵和粪便, 每次搜集的残饵和粪便烘干后保存, 以确定摄食量和排粪量。实验期间水族箱内连续充气, 每隔 2 天换水 1/3, 光照采用室内自然光。盐度实验组记录每次出现蜕壳的时间。每组实验持续 13~14 天。

1.3 能量测定

沙蚕、配合饲料、虾体和粪便的碳含量均是将它们 70℃ 下烘干至恒重后用 E-240 型元素分析仪测定。代谢碳(R)根据碳收支式计算: $R = (I - G - F - E)$ 。式中 I 为摄入的碳, G 为虾体中积累的碳, F 和 E 分别为粪便和蜕壳损失的碳。

虾的体重乘上单位体重的碳含量即为虾体总碳含量。实验结束时的总碳含量减去实验开始时的总碳含量, 即为生长积累碳。碳转换效率为生长碳与摄食碳之比 $\times 100$

实验结果采用单因子方差分析和多重检验比较各盐度间及 2 种饵料之间的差异显著性, 同时采用回归方法分析有关结果。实验饵料的成分组成见表 1。

表 1 实验饵料的成分组成

| 成 分 | 干物质(10^{-2}) | 粗蛋白(10^{-2}) | 氮(10^{-2}) |
|------|------------------|------------------|----------------|
| 沙 蚕 | 17.1 | 68.38 | 45.33 |
| 配合饲料 | 92 | 49.25 | 43.44 |

注: 粗蛋白 = $N \times 6.25$

2 实验结果

2.1 盐度对中国对虾摄食碳的影响

表 2 为中国对虾在不同盐度下的碳摄食量、同化率和特定生长率, 在盐度 5~35 的范围内, 中国对虾对沙蚕的摄食量在盐度 13 时最大, 盐度 5 时最小。方差分析表明, 盐度对中国对虾碳摄食量的影响达到显著水平 ($F = 52.56, n = 25, P < 0.01$)。摄食碳与盐度的回归关系可用下式表示:

$$I = 35.437 + 3.571S - 0.156S^2 + 0.002S^3, r^2 = 0.443$$

这里的 I 为摄食碳 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$), S 为盐度。经 F 检验, 二者相关极显著 ($F = 8.79, P < 0.01$)。

2.2 盐度对中国对虾摄食碳分配的影响

2.2.1 中国对虾的生长

在盐度 5~35 的范围内, 摄食碳分配于生长碳的比例在盐度 20 时达到最大, 碳转换效率为 25.84%; 盐度 5 时最小, 碳转换效率为 13.72%。经方差检验, 盐度对中国对虾生长的影响达到极显著水平 ($F = 24.03, n = 25, P < 0.01$)。生长碳与盐度的回归关系符合下式, 式中 G 为生长碳占摄食碳的比例 (G/C)。经 F 检验, 二者相关达到极显著水平 ($F = 24.03, P < 0.01$)。

$$G = -0.823 + 3.596S - 0.024S^2, r^2 = 0.626$$

表 2 不同盐度下中国对虾的碳摄食量、同化率和特定生长率

Tab. 2 The carbon consumption assimilation rate and SGR of *P. chinensis* under different salinity

| 盐度 | 摄食量 (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹) | 同化率 (10 ⁻²) | SGR (10 ⁻²) |
|----|---|----------------------------|----------------------------|
| 5 | 49.86±2.26 ^a | 98.81±0.18 ^a | 2.25±0.11 ^a |
| 13 | 61.64±2.77 ^b | 95.73±0.15 ^b | 3.47±0.26 ^b |
| 20 | 58.72±6.75 ^b | 94.06±1.14 ^b | 3.89±0.40 ^a |
| 28 | 55.22±0.75 ^{bc} | 91.03±1.03 ^c | 2.84±0.33 ^c |
| 35 | 53.92±2.84 ^c | 87.61±2.53 ^d | 2.88±0.22 ^c |

注：同一列中的不同字母表示经多范围检验相互间的差异达到显著水平；P<0.05

表 3 不同盐度下中国对虾的碳收支

Tab. 3 The carbon budget of *P. chinensis* under different salinity

| 盐度 | 生长碳 (G) | 排粪碳 (F) | 蜕壳碳 (E) | 代谢碳 (R) |
|----|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 5 | 13.72±1.01 ^a | 1.19±0.18 ^a | 1.70±0.26 ^a | 83.39±1.06 ^a |
| 13 | 22.60±2.53 ^b | 4.27±0.15 ^b | 1.18±0.60 ^{ab} | 71.32±2.80 ^b |
| 20 | 25.84±0.64 ^c | 5.94±1.14 ^c | 2.30±0.23 ^b | 65.92±1.92 ^c |
| 28 | 19.60±3.16 ^{bd} | 6.97±1.03 ^c | 2.17±0.25 ^b | 67.26±2.27 ^c |
| 35 | 18.97±1.63 ^d | 12.39±2.53 ^d | 2.90±0.34 ^c | 65.74±1.39 ^c |

注：同一列中的不同字母表示经多范围检验相互间的差异达到显著水平；P<0.05

2.2.2 中国对虾的碳支出

从表 3 可以看出代谢碳在摄食碳的分配中占最大比例。在盐度 5~20 之间，随盐度的升高，代谢碳的比例减小，盐度 5 时的代谢比例最大为 83.39%，盐度 20~35 之间的差异不显著。方差检验表明，盐度对代谢碳支出比例的影响达到极显著水平 (F=25.35, n=25, P<0.01)。

排粪碳占摄食碳的支出比例随盐度的升高显著增大 (F=10.35, n=25, P<0.01)，盐度 5 时最小为 1.19%，盐度 35 时最大为 12.39%。

在盐度 5~35 范围内，蜕壳碳占摄食碳的支出比例随盐度的升高而显著增大，由 1.70% 增大到 2.90%。经方差检验，盐度对蜕壳能的影响达到极显著水平 (F=6.62, n=25, P<0.01)。

2.3 饵料对中国对虾摄食碳的影响

表 4 为中国对虾摄食沙蚕和配合饲料时的碳摄食量、同化率和特定生长率。由此表可以看出中国对虾对沙蚕的碳摄食量小于摄食配合饲料的，方差检验表明，沙蚕和配合饲料之间的碳摄食量差异不显著 (F=1.28, n=5, P>0.05)。

2.4 饵料对中国对虾摄食碳分配的影响

2.4.1 中国对虾的生长

方差检验表明，摄食沙蚕的碳特定生长率显著大于摄食配合饲料的 (F=12.35, n=5, P<0.01) (表 4)；摄食沙蚕的生长碳占摄食碳的分配比例显著大于摄食配合饲料的 (F=16.42, n=5, P<0.01)。

2.4.2 中国对虾的碳收支

由表 5 可以看出，代谢碳和蜕壳碳占摄食碳的分配比例，在摄食沙蚕和配合饲料之间的差异不显著 (P>0.05)，而摄食配合饲料的排粪碳却显著大于摄食沙蚕的 (F=18.68, n=5, P<0.01)。在中国对虾的碳支出中，摄食沙蚕的代谢碳>蜕壳碳>排粪碳；摄食配合饲料的代谢碳>排粪碳>蜕壳碳。

表 4 中国对虾摄食沙蚕和配合饲料的
碳摄食量、同化率和特定生长率

Tab. 4 The food consumption, assimilation rate and SGR of *P. chinensis* feeding polychaete worm and formulation

| 盐度 | 摄食量 ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$) | 同化率 (10^{-2}) | SGR (10^{-2}) |
|----|--|---------------------------|--------------------------|
| 沙蚕 | 35.17 ± 4.91 ^a | 95.53 ± 0.56 ^a | 8.36 ± 0.83 ^a |
| 配饵 | 39.91 ± 6.68 ^a | 86.95 ± 1.99 ^b | 5.65 ± 0.54 ^b |

注: 同一列中的不同字母表示经多范围检验相互间的差异达到显著水平; $P < 0.05$

表 5 中国对虾摄食沙蚕和配合饲料
的碳收支

Tab. 5 The carbon budget of *P. chinensis* feeding polychaete worm and formulated diet

| 盐度 | 生长碳(G) | 排粪碳(F) | 蜕壳碳(E) | 代谢碳(R) |
|----|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 沙蚕 | 26.80 ± 0.81 ^a | 4.42 ± 0.56 ^a | 5.25 ± 2.00 ^a | 63.53 ± 5.58 ^a |
| 配饵 | 13.78 ± 2.42 ^b | 13.05 ± 1.99 ^b | 5.00 ± 1.58 ^a | 68.08 ± 5.03 ^a |

注: 同一列中的不同字母表示经多范围检验相互间的差异达到显著水平; $P < 0.05$

3 讨论

3.1 盐度对中国对虾的影响

虽然对虾具有较大的盐度适应范围, 能够养殖的盐度条件限制也较小[陈楠生等 1992], 但其生长却受到盐度变化的影响[Sheenan 和 Karolus 1991, Staples 和 Heales 1991]。从本研究的实验结果可以看出, 中国对虾摄食碳和生长受盐度的影响非常显著。在盐度 5~35 范围内, 中国对虾的碳特定生长率和转换效率在盐度 20 时显著大于其它各盐度, 以盐度 5 时最小。中国对虾在盐度 13 时摄食量最大, 而最适生长盐度的摄食量仅略小于盐度 13 的, 以盐度 5 时的摄食量最小。这说明盐度大于 13 以上的环境条件有利于中国对虾的摄食, 低于盐度 5 时, 由于摄食量的减少而对中国对虾生长产生显著不利影响。

对虾的生长与摄食量的大小密切相关, 摄食量的变化反映了虾类对环境条件的适宜程度[李健等 1993], 但目前关于盐度影响方面的研究还没见报道。在盐度 5~35 范围内, 碳摄食量随盐度的变化情况表明, 低盐度时摄食量减少可能与环境中钙含量低有关。董双林[1994a、b]曾报道过投喂灰分量少的摇蚊幼虫时, 淡水生活日本沼虾的摄食能随水中钙含量增加而增加。

一般认为盐度影响中国对虾生长的机制, 主要是由于降低海水盐度可以加快对虾的蜕壳频率[武文魁 1983, 胡钦贤和陆健生 1990], 因而促使对虾的生长速度加快。从文献报道[Chakraborti 等 1986, Staples 和 Heales 1991, Chen 等 1996]和本研究的结果可以看出, 这一观点并不十分确切。由于呼吸代谢在多数十足目甲壳动物的能量分配中占最大的比例[董双林等 1994a、b, 施正峰等 1994, Paul 和 Fuji 1989], 因此代谢碳的变化决定着生长碳的积累。盐度是影响虾类呼吸代谢活动的主要因子之一, 许多种对虾在最适盐度时的体内外的渗透压处于平衡状态, 不需要消耗过多的能量保持体内的环境稳定[施正峰等 1994, Dalla 1986、1987, Chen 和 Lai 1993, Chen 和 Nan 1995], 因而此时碳的转换效率最大。因此盐度对中国对虾生长的影响主要由碳转换效率和摄食量决定的, 以盐度 20 时的代谢碳比例最小, 利用效率最大, 而此时的摄食量也比较大, 表现出生长率最大。

3.2 食物种类对中国对虾碳收支的影响

从本研究的结果可以看出, 饵料种类只对中国对虾碳收支各组分中的排粪碳和生长碳占

摄食碳的比例产生显著影响(表 5)。摄食沙蚕和配合饲料的生长碳分别为摄食碳的 26.80% 和 13.78%，排粪碳的比例分别为 4.42% 和 13.05%。这一结果表明不同性质饵料对中国对虾碳生长影响的机制是由碳的同化率和转换效率决定的。虾类属于杂食偏肉食性的种类，饵料性质对能量同化率有显著影响[董双林 1994a、b, Paul 和 Fuji 1989]。本研究比较了动物性饵料(沙蚕)和配合饲料对中国对虾碳收支的影响，可以看出碳同化率小是摄食配合饲料的生长小于摄食动物性饵料的主要原因(表 4)。关于其它种虾类摄食动物饵料与植物性饵料之间的碳生物差异目前还没见报道，但在鱼类生物能量学研究中已证明，草食性鱼类的能量同化率显著小于肉食性鱼类[崔奕波 1989]。

张 硕现在大连水产学院养殖系工作。

参 考 文 献

- 李 健, 孙修涛, 赵法箴. 1993. 水温和溶解氧含量对中国对虾摄食量影响的观察. 水产学报, 17(4): 333~336
- 武文魁. 1983. 渤海幼对虾的摄食习性蜕皮特性. 海洋学报, 5(6): 793~807
- 陈楠生, 李新正, 刘 恒等(译). 1992. 对虾生物学. 青岛: 青岛海洋大学出版社. 219~228
- 胡钦贤, 陆建生. 1990. 中国对虾生长与环境因子关系的初探. 东海海洋, 8(2): 33~42
- 施正峰, 梅志平, 罗其志等. 1994. 日本沼虾能量收支和利用效率的初步研究. 水产学报, 18(3): 191~193
- 崔奕波. 1989. 鱼类生物能量学的理论与方法. 水生生物学报, 13(4): 369~383
- 董双林, 堵南山, 赖 伟. 1994a. pH 值和 Ca 浓度对日本沼虾生长和能量收支的影响. 水产学报, 18(3): 118~123
- 董双林, 堵南山, 赖 伟. 1994b. 日本沼虾生理生态学研究 II. 温度和体重对能量收支的影响. 海洋与湖沼, 25(3): 238~242
- Chen J C, Lai S H. 1993. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia-N excretion of juvenile *Penaeus japonicus* Bate. J Exp Mar Biol Ecol, 165: 161~170
- Chen J C, Nan F H. 1995. Oxygen consumption and ammonia-N excretion of juvenile *Penaeus chinensis* (Osbeck, 1765) at different salinity levels (Decapoda Penaeidae). J Crusta Biol, 68(6): 712~719
- Chen J C, Lin J N, Chen C T. 1996. Survival, growth and intermolt period of juvenile *Penaeus chinensis* (Osbeck) reared at different combinations of salinity and temperature. J Exp Mar Biol Ecol, 204: 169~178
- Chakraborti R K, Holder D D, Das N K, et al. 1986. Growth of *Penaeus monodon* Fabricius under different environmental conditions. Aquaculture, 51: 189~194
- Dalla Via G J. 1986. Salinity responses of juvenile penaeid shrimp *Penaeus japonicus* I. Oxygen consumption and estimations of productivity. Aquaculture, 55: 297~306
- Dalla Via G J. 1987. Salinity responses in brackish water population of freshwater shrimp *Palaemonetes antennarius* I. Oxygen consumption. Comp Biochem Physiol, 87(A): 471~478
- Paul A J, Fuji A. 1989. Bioenergetics of the Alaskan crab *Chionoectes bairdi* (Decapoda: Majidae). J Crusta Biol, 9(1): 25~36
- Sheenan H, Karolus L. 1991. Effects of salinity on growth and survival of juvenile *Penaeus semisukatus* in the laboratory. The Israeli J of Aquaculture, 43(4): 156~163
- Staples D J, Heales D S. 1991. Temperature and salinity optima for growth and survival of juvenile banana prawn *Penaeus merguensis*. J Exp Mar Biol Ecol, 154: 251~274

THE EFFECTS OF SALINITY AND FOOD ON CARBON BUDGET OF *PENAEUS CHINENSIS*

ZHANG Shuo, DONG Shuan-Lin, WANG Fang

(Open Laboratory in Aquaculture Research, Ocean University of Qingdao, 266003)

ABSTRACT The carbon budget of Chinese Prawn (*Penaeus chinensis*) fed with polychaete worm (*Neanthes japonnica*) under different salinity and fed with different diets (polychaete worm and formulated diet) under salinity of 31 was studied. The experimental results showed that the salinity ranging from 5—35 and the temperature at 25 °C, the maximum carbon intake was 61.64 (mg °g⁻¹ · d⁻¹) at salinity of 13, but the suitable salinity for growth is 20, and carbon conversion efficiency was highest of 25.84%, the best specific growth rate from carbon is 3.89%. The mechanism of salinity effect on carbon growth of the prawn was decided by food intake and carbon conversion efficiency. The growth of Chinese prawn fed with polychaete worm was significantly larger than that fed with formulated diet. Their carbon conversion efficiency was 26.80% and 13.78% of carbon intake respectively. The mechanism of food effect on carbon growth was decided by assimilation ratio and conversion efficiency.

KEYWORDS *Penaeus chinensis*, Salinity, *Neanthes japonnica*, Formulated diet, Carbon budget