

恒温 and 变温下中国对虾生长和能量收支的比较

田相利, 董双林, 吴立新, 王 芳

(中国海洋大学水产学院教育部海水养殖重点实验室, 青岛 266003)

摘要: 对比研究了模拟自然昼夜温度变化节律的 4 个变温 (22 ± 2)、(25 ± 2)、(28 ± 2) 和 (31 ± 2) 与相应的恒温 22、25、28 和 31 下中国对虾 (*Fenneropenaeus chinensis* O sbeck) 生长和能量收支的差异。结果表明, 对虾在 (22 ± 2)、(25 ± 2) 和 (28 ± 2) 变温条件下的生长率显著高于相应的恒温, 但 (31 ± 2) 与恒温 31 相比没有显著差异。与相应的恒温相比, (25 ± 2)、(28 ± 2) 和 (31 ± 2) 变温下对虾的摄食量显著增大, (22 ± 2)、(25 ± 2) 和 (28 ± 2) 变温下对虾的饵料转化率则显著提高。但变温下对虾对食物的消化率与相应的恒温相比没有显著差异。能量收支研究结果则发现, (22 ± 2)、(25 ± 2) 和 (28 ± 2) 变温下对虾摄食能中, 用于生长的能量比例显著增加, 而 (31 ± 2) 与 31 相比则未见显著差异。从而表明, 变温促长的主要机制可归因于变温下摄食量的增大、饵料转化率的提高及其摄食能中用于生长能比例的增加。

关键词: 恒温; 变温; 生长; 能量收支; 中国对虾

文章编号: 1000-0933(2005)11-2811-07 **中图分类号:** Q 178.1 **文献标识码:** A

A comparative study on the growth and energy budget of Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis* O sbeck) at constant and diel fluctuating temperature

TIAN Xiang-Li, DONG Shuang-Lin, WU Li-Xin, WANG Fang (The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(11): 2811~ 2817.

Abstract Temperature fluctuates diurnally and seasonally in natural aquatic systems. However, most previous studies on the effects of temperature on the growth of Chinese shrimp (*Fenneropenaeus chinensis* O sbeck) usually were conducted at constant temperature with a assumption that growth at a constant temperature is close to that at fluctuating temperature with a mean similar to the constant one. Current literature on the effect of fluctuating temperature on the growth of Chinese shrimp is fragmental. The growth rate, food consumption, food conversion efficiency and energy budget of Chinese shrimp were compared between diel fluctuating temperatures ((22 ± 2) , (25 ± 2) , (28 ± 2) and (31 ± 2)) and constant temperatures (22, 25, 28, and 31). This study further explored the physiological and bioenergetic mechanisms involved to optimize shrimp growth in thermally fluctuated regimes. The range and pattern of temperature fluctuation mimicked those found in north China ($36^{\circ}1'N$, $120^{\circ}3'E$) during the growth season. The minimum temperature was set at 0600 hours, and then gradually increased to the maximum value at 1400 hours. Upon reaching the maximum, the temperature was decreased to the minimum at 0600 hours next day before repeating the diel cycle. Shrimp were cultured in glass aquaria ($45\text{cm} \times 25\text{cm} \times 30\text{cm}$) which were immersed in one water bath tank ($170\text{cm} \times 75\text{cm} \times 30\text{cm}$) for each temperature treatment and the temperature change in the aquaria was synchronized with each water bath. There were five shrimp in each aquarium with four replicates. The whole experiment lasted for 33 days. The results showed that the growth rates of shrimp at diel fluctuating temperatures of (22 ± 2) , (25 ± 2) and (28 ± 2) were significantly greater than those at constant temperatures of 22, 25, 28, and 31.

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目(39725023); 国家重点基础研究发展规划资助项目(G1999012011); 山东省科技攻关计划资助项目(012110112)

收稿日期: 2004-09-10; **修订日期:** 2005-03-01

作者简介: 田相利(1971~), 男, 内蒙古赤峰人, 副教授, 主要从事水产养殖生态学和水生动物生物能量学研究. E-mail: xianglitian@ouc.edu.cn

Foundation item: National Science Foundation for Talent Youths (No. 39725023), the Project under the Major State Basic Research of China (No. G1999012011) and the Key Science and Technology Program of Shandong (No. 012110112)

Received date: 2004-09-10; **Accepted date:** 2005-03-01

Biography: TIAN Xiang-Li, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in aquaculture ecology and bioenergetics of aquatic animals. E-mail: xianglitian@ouc.edu.cn

respectively. However, no significant difference was found between (31 ± 2) and 31 . The food consumption at (25 ± 2) , (28 ± 2) and (31 ± 2) were significantly higher and the food conversion efficiency at (22 ± 2) , (25 ± 2) and (28 ± 2) compared to those at the corresponding constant temperatures. No significant difference in apparent digestion rate was found between the constant and diel fluctuating temperatures. The energy budget analysis showed that the energy assimilated into growth as a percentage of energy intake at fluctuating temperatures of (22 ± 2) , (25 ± 2) and (28 ± 2) was significantly higher than that at the corresponding constant temperatures, while no significant difference was found between 31 and (31 ± 2) . Therefore, the enhancement of shrimp growth could mainly be ascribed to high energy intake, high food conversion efficiency and more energy partitioned into growth.

Key words: constant temperature; diel fluctuating temperature; growth; energy budget; *Fenneropenaeus chinensis* O sbeck

在自然界中,水温的变化具有一定的周期性,如昼夜变化、季节变动等。而从目前来看,大多数对水生动物生长的研究都是在实验室的恒温条件下进行的。因而,实验室恒温条件下所得实验结果,是否符合自然状况下的真实情况,一直受到人们的质疑^[1]。自 20 世纪 70 年代以来,关于温度的周期性变化对水生动物生长影响开始得到广泛的关注。从目前的研究现状看,其研究对象的范围很广,几乎包括了水生动物所有的类群,主要有浮游动物^[2, 3, 4]、鱼类^[5~16]、虾蟹类^[17~20]和贝类^[21]等。但由于种类及温度设置等存在的差异,各研究结果之间差异较大。

中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis* O sbeck)是我国最重要的海水养殖种类之一,其养殖产量曾占到我国虾类养殖总产量的 80%^[22]。关于温度对其生长的影响,目前已有许多实验报道^[23~26],但多数研究都是在恒温下进行的,而关于昼夜的温度周期性变动(以下简称“变温”)对中国对虾生长的影响还少见报道。鉴于此,本文对比研究了 4 个变温与相应恒温下对虾的生长与能量收支的差异,以揭示变温对甲壳动物生长的影响及其生物能量学机制。

1 材料与方法

1.1 实验材料来源

中国对虾购自青岛市郊养虾场,体长 5cm 左右,为健康活泼个体。

1.2 实验设计及温度控制

恒温组:实验水温设计为 4 个梯度(C22, C25, C28 和 C31),分别为 22, 25, 28 和 31。每个水族箱(规格为 45cm × 25cm × 30cm)放养 5 尾中国对虾幼虾,每个温度处理分别设置 4 个重复。

变温组:模拟自然水体水温的昼夜变温节律,共设置了 4 个变温(F22, F25, F28 和 F31),即 (22 ± 2) 、 (25 ± 2) 、 (28 ± 2) 和 (31 ± 2) ,具体设置见图 1。每个处理分别有 4 个水族箱作为重复。具体温度变化是从 6:00 开始均匀升温,14:00 到达最高温,然后开始均匀降温,次日 6:00 至最低温度,依此循环。

将水族箱浸于规格为(170cm × 75cm × 35cm)水浴槽中,其水温变化由水浴控制。其中,恒温组以钛管加热器加热,用 WM ZK-01 型控温仪控制温度,用二级精密温度计进行温度校正,控温精度为 ± 0.1 左右。变温设施主要由专用控温仪、钛管加热器、水浴槽、水族箱、冷水机、冷水槽、冷水循环泵及水浴循环泵等组成。钛管加热器浸没于水浴槽中,用来升高温度,而冷水机则将冷水槽中水冷却至 8 左右。通过循环泵,将冷水抽至水浴槽内,用以降低水浴的温度。控温仪为专门设计制作,内置预先设置好的程序。它通过控制钛管加热器以及冷水循环泵的交替开关,按设置好的温度变化方式,来升高、降低或维持所需的相应水温。为保证水浴槽中的水温能够快速混合均匀,在每个水浴槽中各设有 1 个内循环泵。实验期间,实验室室温由空调器控制在 20 左右。而通过水浴间接加热,使得各实验水族箱的水温波动一般不超过设计温度的 ± 0.2 。

1.3 实验管理

中国对虾运回后,先在室温 25 下驯养 10d 左右,使之适应实验室的条件。然后以每天 1.5 的速率,分别调至 22, 25, 28 和 31,至终水温后,稳定 3d。驯养期间,正常投喂。实验前,停食 24h,用 MP-120 型电子天平称其初始体重,每个水族箱分别放养 5 尾幼虾,开始实验。为防止实验中对虾意外跳出,每个水

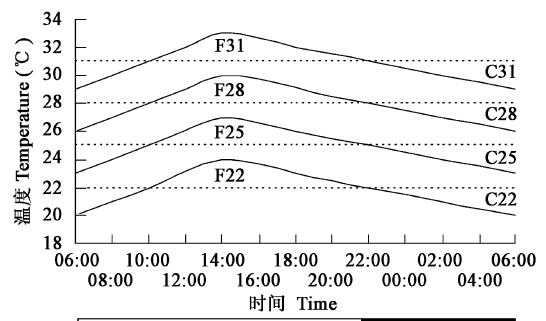


图 1 实验中温度设置示意图

Fig 1 A diagram of the thermal regimes in the experiment
图中的黑白条形图代表光照周期(L 14 D 10) The white-black box present the light and dark period (L = 14h D = 10h)

族箱上各覆以一纱罩。

每天在 6: 00 和 18: 00 两次投喂, 饵料为福建马尾生产的“海马”牌人工配合饲料。其成分组成见表 1。在每次投喂后 1. 5h 左右将残饵吸出, 65 ℃ 下烘干保存。每天在投喂前和投喂后 1. 5h 吸取粪便, 收集后保存于烘箱中。发现对虾蜕皮后, 及时将所蜕皮捞出, 烘干保存。每隔 2~ 3d 换水一次, 每次换水 1/3~ 2/3。所用海水为沙滤水, 盐度在 30 左右。实验期间, 光照周期设置为 14L: 10D。为保证水体中充足的溶氧, 每个水族箱都以气泵充气。

整个实验于 2000 年 5 月 30 日开始, 7 月 2 日结束。

表 1 饵料的能值及生化组成

Table 2 Proximate composition (% , mean ± S.E.) of the experimental diet					
项目 Item	能值 Energy content(KJ/g)	粗蛋白 Protein(%)	脂肪 Fat(%)	灰份 A sh(%)	含水量 Moisture(%)
沙蚕 <i>N. eanthes japonicus</i>	5. 33 ± 0. 02	17. 82 ± 0. 17	2. 37 ± 0. 06	1. 66 ± 0. 02	74. 90 ± 0. 24
配合饵料 Artificial pellet	16. 88 ± 0. 11	43. 39 ± 0. 22	9. 74 ± 0. 30	9. 91 ± 0. 05	8. 41 ± 0. 06

1. 4 能量测定及收支计算

对虾的摄食(C)、生长(G)、呼吸(R)、粪便(F)和排泄(U)的能量符合下列关系^[27]:

$$C = G + F + U + E + R$$

式中,C 为摄入的饵料能量, G 为生长能, F 为排粪能, U 为排泄能, R 为代谢能, E 为蜕壳能。C、G、E 和 F 所含的能量用氧弹仪测定。排泄能以下式计算^[28, 29]:

$$U = (C_N - G_N - F_N - E_N) \times 24\ 830$$

式中,C_N 为摄食物中所含的氮, G_N 为虾体中积累的氮, F_N 为粪便中损失的氮, E_N 为虾蜕壳损失的氮, 24 830为每克氮的能值(J/g)。预实验表明, 对虾的主要排泄物为氨氮, 尿素排泄量很小, 因而在本研究中忽略不计。氮含量用 P-E240 型元素分析仪测定。呼吸耗能由能量收支式 R = C- G- F- E- U 求出。

虾体、蜕壳和粪便的能值均是在 70 ℃ 下烘干至衡重后用 XRY-1 型弹式氧弹仪测定。根据测定值计算出摄食能(C)、排粪能(F)和蜕壳能(E)。

1. 5 计算与数据处理

实验期间对虾特定生长率(SGR)、消化率(ADR)、和食物转化率(K) 计算如下:

$$ADR = (C_w - F_w) / C_w$$

$$SGR = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

$$K = 100 \times (W_t - W_0) / C_w$$

式中,SGR 为以体重和能量表示的对虾的特定生长率, F_w 为粪便重量, F_e为粪便能, K 为以重量表示的饵料总转化率, C_w 为以重量表示的对虾的摄食量, W_t和 W₀为对虾的初体重和末体重, t 为实验时间。

所得数据用 t-检验、方差分析(ANOVA)及Duncan 多重比较进行分析处理, 以 p < 0. 05 作为差异显著水平。所有计算与分析均采用 SPSS 统计软件 (SPSS, Richmond, CA, U SA) 处理。

2 结果

2. 1 变温与恒温下中国对虾的生长情况比较

从表 2 和图 2 可以看出, 在本实验恒温 22~ 31 ℃ 范围内, 中国对虾在实验期间的日平均增重和特定生长率(SGR) 分别变化在 9. 10~ 21. 43mg/d 和 1. 80%~ 3. 28% 之间, 对虾的生长率随温度而升高, 31 ℃ 的生长率最高。在变温处理下, 对虾的日平均增重和特定生长率(SGR) 分别变化在 12. 64~ 29. 61mg/d 和 2. 40%~ 4. 02% 之间与恒温相比, 对虾的生长趋势有所不同, 4 个变温相比, 以变温(28 ± 2) ℃ 下对虾的生长率最高。对虾在(22 ± 2) ℃、(25 ± 2) ℃ 和(28 ± 2) ℃ 变温条件下的生长率显著高于相应的恒温, 但(31 ± 2) ℃ 与恒温 31 ℃ 相比没有显著差异(p < 0. 05)。

对虾的摄食情况见图 3。可以看出, 对虾的摄食量总体上随平均温度的升高而增大。在平均温度 25、28 和 31 ℃ 下, 变温条件

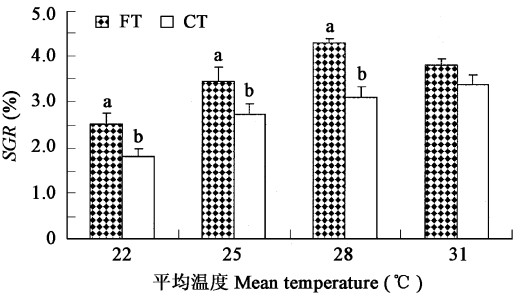


图 2 中国对虾在恒温(CT)和变温(FT)下特定生长率(SGR)

Fig 2 The specific growth rate (SGR) of Chinese shrimp at constant temperatures (CT) and fluctuating temperatures(FT)
图 2 同一平均温度下标有不同字母的数据表示相互之间差异显著 (p < 0. 05); 以下同 Means with different letters in the same average temperatures are significantly different (p < 0. 05); the same below

下对虾的摄食量显著高于相应的恒温 ($p < 0.05$), 但在平均温度 22 下, 其摄食量在变温与恒温之间无显著差异 ($p > 0.05$)。

表 2 不同变温模式下中国对虾的生长率

Table 2 Growth, assimilated rate in energy and conversion efficiency in energy of Chinese shrimp at different thermal regimes							
处理 Treatments	平均温度 Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	变温幅度 Fluctuation amplitude ($^{\circ}\text{C}$)	尾数 No. shrimp	初体重 Initial weight (g)	末体重 Final weight (g)	生长期 Duration (d)	日增重 Daily increments (mg/d)
C22	22	0	20	0.37 ± 0.01	0.67 ± 0.06	33	9.10 ± 0.16 a
F22	22	2	20	0.35 ± 0.03	0.81 ± 0.04	33	13.94 ± 1.12 b
C25	25	0	20	0.35 ± 0.03	0.86 ± 0.09 a	33	15.55 ± 1.85 a
F25	25	2	20	0.35 ± 0.06	1.09 ± 0.08 b	33	22.42 ± 1.62 b
C28	28	0	20	0.35 ± 0.03	0.96 ± 0.08 a	33	18.67 ± 3.23 a
F28	28	2	20	0.34 ± 0.02	1.32 ± 0.07 b	33	29.61 ± 1.65 b
C31	31	0	20	0.36 ± 0.03	1.07 ± 0.08	33	21.43 ± 0.70
F31	31	2	20	0.35 ± 0.01	1.23 ± 0.06	33	26.65 ± 0.54

* 表中平均温度相同的不同变温处理中带有不同字母的数据表示相互之间差异显著 ($p < 0.05$), 以下同 The data with different letter in the same column at the different thermal regimes with same average temperature means significant difference each other ($p < 0.05$); the same below

2.2 变温和相应恒温下中国对虾摄食量、饵料转化率及消化率比较

对虾对饵料的转化率总体随平均温度的升高而降低(见图 4)。在平均温度 22、25 和 28 下, 变温处理下对虾对饵料的转化率显著高于相应的恒温处理 ($p < 0.05$), 但在平均温度 31 下, 二者未见显著差异 ($p > 0.05$)。

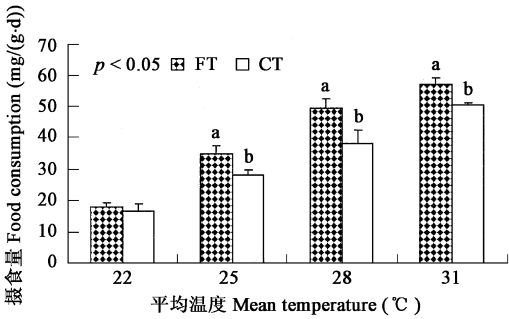


图 3 中国对虾在恒温(CT)和变温(FT)下的摄食量
Fig 3 The food consumption of Chinese shrimp at constant temperatures (CT) and fluctuating temperatures(FT)

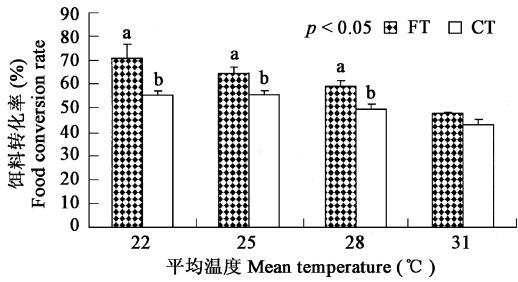


图 4 变温(FT)与恒温(CT)下中国对虾的饵料转化率
Fig 4 The food conversion efficiency (FCE) of Chinese shrimp at constant temperatures (CT) and fluctuating temperatures(FT)

对虾对饵料的消化率随温度的升高有所提高, 总体变化于 63.25%~85.17% 之间。不同平均温度下, 变温与恒温相比没有显著差异 ($p > 0.05$)。

2.3 变温与恒温下对虾的能量收支的比较

各能量收支组分的能量值见表 3。对虾的摄食能、生长能、排泄能和呼吸能总体上均随平均温度的升高而升高, 但变温与恒温相比, 其变动规律有所不同。

在平均温度 22 下, 变温下对虾的摄食能、生长能和呼吸能均显著高于恒温处理 ($p < 0.05$), 但排泄能未见显著差异 ($p > 0.05$); 在平均温度 25 和 31 下, 变温与恒温下对虾的摄食能、生长能、排泄能和呼吸能没有显著差异 ($p > 0.05$); 在平均温度 28 下, 变温下对虾的生长能显著高于恒温 ($p < 0.05$)。

恒温与变温相比, 各平均温度下对虾的蜕皮能和粪便能未见显著差异 ($p > 0.05$)。

不同平均温度下中国对虾的能量收支情况见表 4。从表中可以看出, 生长能、粪便能占摄食能的比例总体随平均温度的升高而升高, 排泄能和呼吸能的比例则逐渐降低。而蜕皮能的变动规律性不强。

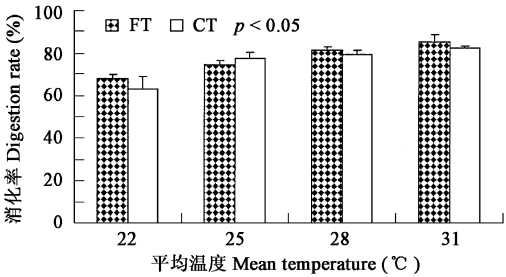


图 5 变温(FT)与恒温(CT)下中国对虾对饵料的消化率
Fig 5 The apparent digestion rate (ADR) of Chinese shrimp at constant temperatures (CT) and fluctuating temperatures (FT)

表 3 不同温度处理下中国对虾的能量收支各组分量值

Table 3 Energy allocation in Chinese shrimp at different thermal regimes						
处理 Treatments	摄食能 Food consumption (J/(g · d))	生长能 Grow th (J/(g · d))	蜕皮能 Exuviae (J/(g · d))	粪便能 Faeces (J/(g · d))	排泄能 Excretion (J/(g · d))	呼吸能 M etabolism (J/(g · d))
C22	671. 73 ± 15. 88 ^a	66. 79 ± 9. 19 ^a	5. 35 ± 0. 54	104. 71 ± 9. 94	45. 76 ± 5. 12	449. 12 ± 21. 12 ^a
F22	592. 51 ± 20. 63 ^b	107. 59 ± 8. 19 ^b	3. 76 ± 0. 23	87. 75 ± 6. 13	35. 86 ± 3. 13	357. 56 ± 19. 28 ^b
C25	849. 60 ± 19. 56	117. 12 ± 18. 85	3. 72 ± 1. 31	102. 39 ± 8. 17	60. 00 ± 3. 52	566. 37 ± 25. 98
F25	883. 98 ± 65. 40	138. 64 ± 21. 65	2. 51 ± 0. 32	119. 78 ± 11. 37	57. 12 ± 3. 81	565. 92 ± 38. 60
C28	1065. 93 ± 90. 81	131. 55 ± 19. 50 ^a	5. 33 ± 0. 69	124. 48 ± 4. 92	75. 08 ± 8. 58	729. 50 ± 73. 88
F28	1029. 46 ± 81. 02	184. 20 ± 2. 73 ^b	4. 67 ± 0. 80	107. 86 ± 17. 93	66. 14 ± 11. 16	666. 59 ± 57. 44
C31	1290. 39 ± 10. 03	156. 64 ± 7. 54	6. 70 ± 0. 13	108. 61 ± 6. 46	98. 19 ± 0. 73	920. 24 ± 4. 28
F31	1310. 99 ± 30. 31	165. 90 ± 13. 48	5. 37 ± 0. 09	88. 34 ± 19. 00	102. 29 ± 3. 65	949. 10 ± 34. 56

在平均温度 22 、25 和 28 下,变温处理下对虾生长能占摄食能的比例要显著高于相应的恒温($p < 0.05$),而在 31 下则未见显著差异($p > 0.05$)。

除在平均温度 28 下,变温下对虾呼吸能占摄食能的比例显著低于恒温($p < 0.05$),其余平均温度下未见显著差异($p > 0.05$)。

变温与恒温相比,各平均温度下粪便能、排泄能和蜕皮能占摄食能的比例没有显著差异($p > 0.05$)。

表 4 不同温度处理下中国对虾的能量收支(占摄食能的百分比)

Table 4 Allocation of the consumed energy in Chinese shrimp at different thermal regimes					
处理 T reatments	G (%)	F (%)	U (%)	E (%)	R (%)
C22	13. 94 ± 1. 34 ^a	15. 59 ± 1. 12	6. 81 ± 0. 15	0. 80 ± 0. 09	62. 86 ± 3. 12
F22. 2	18. 16 ± 1. 12 ^b	14. 81 ± 1. 23	6. 05 ± 1. 02	0. 63 ± 0. 04	60. 35 ± 2. 41
C25	13. 82 ± 0. 48 ^a	12. 04 ± 0. 77	7. 06 ± 0. 26	0. 44 ± 0. 15	66. 64 ± 1. 52
F25. 2	15. 62 ± 0. 26 ^b	13. 56 ± 1. 02	6. 47 ± 0. 28	0. 28 ± 0. 03	64. 06 ± 1. 91
C28	12. 35 ± 1. 56 ^a	11. 73 ± 1. 04	7. 03 ± 0. 27	0. 51 ± 0. 11	68. 38 ± 1. 44 ^a
F28. 2	17. 97 ± 1. 58 ^b	10. 43 ± 0. 96	6. 41 ± 0. 20	0. 46 ± 0. 11	64. 72 ± 0. 55 ^b
C31	12. 14 ± 0. 57	8. 41 ± 0. 45	7. 61 ± 0. 06	0. 52 ± 0. 01	71. 32 ± 0. 41
F31. 2	12. 66 ± 0. 21	6. 75 ± 1. 54	7. 80 ± 0. 12	0. 41 ± 0. 01	72. 38 ± 1. 31

C, the energy consumed in food; G: 生长能 the energy deposited for growth; F: 粪便能 the energy lost in feces; U 排泄能 the energy in excretion; E 蜕壳能 the energy spent for exuvia; R 呼吸能 the energy for respiration

3 讨论

3.1 关于恒温与变温下水生动物生长的差异

近三十几年来,关于变温对水生动物生长影响受到广泛的关注并得到深入研究。目前多数结果表明,适当的变温对水生动物具有明显的促进发育、加速生长的作用,如轮虫^[2]、枝角类^[3]、桡足类^[4]、贝类(*P lacopecten m agellanicus*)^[21]、蟹类^[17, 30]等。目前研究最多的是鱼类,已在大西洋鲑(*S a m o s a l a r*)^[8]、真鲷(*P a g r u s m a j o r*)^[9]、鲤(*C y p r i n u s c a r p i o*)、鲫(*C a r a s s i u s a u r a t u s*)、银大麻哈鱼(*O n c o r h y n c h u s k i s u t c h*)^[10- 12]、罗非鱼^[5, 16, 31]等中发现变温促长现象。而关于变温对对虾生长影响的报道还不多见^[20]。本研究发现,平均温度 22 、25 和 28 ,变温幅度 ± 2 的变温对中国对虾具有显著的促长作用,而变温(31 ± 2) 与 31 相比,其生长则未见显著差异。与恒温下研究结果不同,中国对虾在恒温下的最适生长温度为 31 左右^[20, 32],而在变温下,则以 28 (2 下对虾生长率最高。也就是说,在变温下,中国对虾的最大生长温度向低温方向移动。这一结果与 Hokanson 等^[33]和 Lyytikaeinen 和 Jobling^[13, 14]的研究结果相似。在变温幅度为 3.8 的变温下,与相应的恒温相比,虹鳟(*S a m o g a i r d n e r i*)的生长曲线向左平移了 1.5 ^[33],而北极红点鲑(*S a l v e l i n u s a l p i n u s*)的最适生长温度在变温下也降低了 0.4 ^[13, 14]。从本研究结果可以看出,在实验室恒温条件下得到中国对虾的最适生长温度数值,很可能要高于野外自然温度条件下的真实温度。另外,在低于恒温最适生长温度时,适宜幅度的变温对中国对虾的生长具有促进作用,反之则可能抑制其生长。在本研究中,由于(31 ± 2) 的变温的上限已经超过中国对虾适宜的温度,这样,变温不仅没有对生长产生有利作用,很可能成为了一种环境胁迫因子,抑制了中国对虾的正常生长。

3.2 关于变温下中国对虾生长加快的机制探讨

目前,尽管很多的研究都已发现适宜的变温对水生动物生长具有一定的促进作用,但其具体的机理尚不十分清楚。一般认为变温促长的主要机理在于较高的水温使动物个体具有较高的摄食率,而较低的水温则使机体基础代谢降低,从而有利于机体

同化和合理利用食物中的能量,使更多的能量用于机体生长和繁殖^[34, 35]。然而到目前为止,尚未得到实验的直接验证。从已有的研究结果来看,具有促长作用的变温下与相应的恒温相比,水生动物一般表现出以下几方面的不同: 动物个体的消化率提高、进食量增大^[7, 36]; 对食物的转化率及同化率提高^[5, 6]; 维持日粮水平降低^[6]; 变温下代谢率降低^[5, 11, 12, 30, 37]。因此,变温促长作用机理可基本上归因于两个因素,一是变温下动物个体摄食量的增大,二是变温下动物个体的生物能量学特性的改变,即在适宜的变温下,水生动物代谢会产生一定的改变,生物合成加速,机体能量需求降低,从而使机体耗氧率明显降低,生物能量利用得到优化,表现在食物转化率提高、维持日粮降低、基础代谢降低、摄食能中用于生长的比例增大等,进而使水生动物的发育与生长速度加快。

本研究发现,对虾在 (22 ± 2) 、 (25 ± 2) 和 (28 ± 2) 变温条件下的生长率显著高于相应的恒温,但 (31 ± 2) 与恒温31相比差异不显著。各方面综合比较可以看出,在平均温度22下,摄食量未见显著差异,变温下饵料转化效率则显著提高;25和28下变温的摄食量和饵料转化效率都较高;而在平均温度31,变温下摄食量提高,饵料转化效率与相应恒温相比却未见差异。能量收支的研究结果则表明,在平均温度22、25和28下,变温下对虾摄食能中用于生长的比例显著增加,但在31下,却没有发现显著差异。这样,在本研究中,尽管变温下饵料转化效率的提高、生长能在摄食能比例中的增大及摄食量的增大可能是中国对虾变温促长的主要机制,但在不同的平均温度下,其具体的机制也有所不同。在较低的平均温度下,变温下对虾的生长的加快是由增加饵料转化效率和提高生长能比例获得的;但随着温度的升高,代谢水平迅速增大,为了维持较高的代谢水平,必须增大摄食量,因而在25和28的平均温度下,变温下生长加快是饵料转化效率提高、生长能比例的增大及摄食量的增加共同作用的结果。

References

- [1] Precht H, Christophersen H and Larcher W. *Temperature and Life*. New York: Springer-Verlag, 1973. 156~ 279
- [2] Halbach U. Life tables data and population dynamics of the rotifer, *B. rancionous calyciflorus* Pallas as influenced by cyclically oscillating temperature. In: Wieser W, ed. *Effects of Temperature on Ectothermic organisms*. New York: Springer-Verlag, 1973. 216~ 227.
- [3] Van As J G, Combrinck C, Reinecke A J. An experimental evaluation of the influence of temperature on the natural rate of increase of *Daphnia pulex* De Geer. *J. Limnol. Soc. Southern Africa*, 1980, **6**(1): 1~ 4
- [4] Lock A R and McLaren I A. The effect of varying and constant temperatures on the size of a marine copepod. *Limnol. Oceanogr.*, 1970, **15**: 638~ 640
- [5] Gui Y M, Wang Z Y, Chen Y H. Use of fluctuating temperature to promote growth of *Tilapia niloticus*. *J. Fish. China*, 1989, **13**: 326~ 331
- [6] Biette R M and Geen G H. Growth of underyearling salmon (*Oncorhynchus nerka*) under constant and cyclic temperatures in relation to live zooplankton ration size. *Can. J. Fish. Sci.*, 1980, **37**: 203~ 210
- [7] Diana J S. The growth of largemouth bass, *Micropterus salmoides* (Lacepede), under constant and fluctuating temperatures. *J. Fish. Biol.*, 1984, **24**: 165~ 172
- [8] Berg O K, Finstad B, Grande G, et al. Growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a variable temperature regime. *Aquaculture*, 1990, **90**: 261~ 266
- [9] Watanabe Y. Effect of diel temperature alternations on specific growth of red sea bream. *Oceanic Doc. Oceanogr.*, 1991, **18**(1): 133~ 140
- [10] Konstantinov A S, Zdanovich V V and Kalashnikov Y N. Effects of temperature variation on the growth of eurythermous and stenothermous fishes. *J. Ichthyol.*, 1989, **28**(3): 61~ 67
- [11] Konstantinov A S, Zdanovich V V, Tikhomirov D G. The effect of temperature fluctuations on metabolic rate and energetics of juvenile fish. *J. Ichthyol.*, 1990, **30**: 38~ 47
- [12] Konstantinov A S. Effect of temperature variations on the growth, energetics and physiological states of young fish. *Izv. Ran. Biol.*, 1993, **1**: 55~ 63
- [13] Lyytikäinen T and Jobling M. The effect of temperature fluctuations on oxygen consumption and ammonia excretion of underyearling Lake Inari Arctic charr. *J. Fish Biol.*, 1998, **52**(6): 1186~ 1198
- [14] Lyytikäinen T and Jobling M. Effects of thermal regime on energy and nitrogen budgets of an early juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, from Lake Inari. *Environ. Biol. Fish.*, 1999, **54**(2): 219~ 227
- [15] Sierra E, Diaz F and Espina S. Energy budget of *Ictalurus punctatus* exposed to constant and fluctuating temperatures. *Riv. Ital. Acquacolt.*, 1999, **34**(3): 71~ 81
- [16] Baras E, Pringnon C, Gohoungou G, et al. Phenotypic sex differentiation of blue tilapia under constant and fluctuating thermal regimes and its adaptive and evolutionary implication. *J. Fish Biol.*, 2000, **57**: 210~ 223

- [17] Wang Y J. Effects of diel fluctuating temperature on the growth of juvenile Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*. *Chin. J. Aqua.*, 1999, **20**(4): 19~ 20
- [18] Thorp J H, Wineriter S A. Stress and growth response of juvenile crayfish to rhythmic and arrhythmic temperature fluctuations. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 1981, **10**(1): 69~ 77
- [19] Miao S and Tu S. Modeling effect of thermal amplitude and stocking density on the growth of redbell shrimp *Penaeus penicillatus* (A. Lock). *Bull. Zool. Acad. Sin.*, 1993, **32**: 253~ 264
- [20] Miao S and Tu S. Modeling effect of thermal amplitude on growing Chinese shrimp, *Penaeus chinensis* (Osbeck). *Ecol. Model.*, 1996, **88**: 93~ 100
- [21] Pilditch C A and Grant J. Effect of temperature fluctuations and food supply on the growth and metabolism of juvenile sea scallop (*Placopecten magellanicus*). *Mar. Biol.*, 1999, **134**: 235~ 248
- [22] Liu J Y. Present status and future prospects for shrimp mariculture in China. In: Main K L and Fulks W eds. *Proceedings of an Asian-U.S. Workshop on Shrimp Culture*. Hawaii: The Oceanic Institute, 1990. 16~ 28
- [23] Zhang N Y, Lin R J, Cao D G. The preliminary observation on relationship of body weight, length with the daily food requirement of Chinese shrimp *Penaeus orientalis* Kishinouye. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1983, **14**(3): 482~ 486
- [24] Wang K X, Jin H S, Yang L M. Effect of temperature on growth of *Penaeus orientalis* Kishinouye. *Trans. Oceanol. Limnol.*, 1984, (4): 42~ 46
- [25] Zhang S, Wang F, Dong S L. Effects of temperature on energy partitioning and elemental composition (CNH) in *Penaeus chinensis*. *J. Fish. Sci. China*, 1998, **5**(1): 38~ 42
- [26] Miao S and Tu S. Modeling thermal effect of on growth of Chinese shrimp, *Penaeus chinensis* (Osbeck). *Ecol. Model.*, 1993, **80**: 187~ 196
- [27] Petrusewicz K and Macfadyen A. *Productivity of Terrestrial Animals: Principles and Methods* (BP Handbook No. 13). Oxford: Blackwell, 1970. 190
- [28] Lemos D and Phan V N. Energy partitioning into growth, respiration, excretion and exuvia during larval development of the shrimp *Farfantepenaeus paulensis*. *Aquaculture*, 2001, **199**: 131~ 143
- [29] Levine D M and Sulkin S D. Partitioning and utilization of energy during the larval development of the xanthid crab, *Rithropanopeus harrisi* (Gould). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1979, **40**: 247~ 257
- [30] Costlow J D and Bookhout C G. The effects of cyclic temperature on larval development in the mud-crab *Rithropanopeus harrisi*. The 4th European Marine and Biology Symposium. Cambridge, 1971. 211~ 220
- [31] Zdanovich V V. Some features of growth of the young of Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus*, at constant and fluctuating temperatures. *J. Ichthyol.*, 1999, **39**(1): 100~ 104
- [32] Tian X L, Dong S L, Wang F. Effects of temperatures on the growth and energy budget of Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis*. *Chin. Appl. Ecol.*, 2004, **15**(4): 678~ 682
- [33] Hokanson K E F, Kleiner C F, and Thorslund T D. Effects of constant temperatures and diel temperature fluctuations on specific growth and mortality rates and yield of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 1977, **34**: 639~ 648
- [34] McLaren I A. Effects of temperature on growth of zooplankton, and the adaptive of vertical migration. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 1963, **20**: 685~ 727
- [35] Brett J R. Energetic responses of Salmon to temperature. A study of some thermal relations in the physiology and freshwater ecology of Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Am. Zool.*, 1971, **11**: 99~ 113
- [36] Spigarelli S A, Thomas M M and Prepejchal W. Feeding, growth, and fat deposition by Brown trout in constant and fluctuating temperatures. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 1982, **111**: 199~ 209
- [37] Tian X L, Dong S L, Wang F, et al. The effects of temperature changes on the oxygen consumption of Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis* Osbeck. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 2004, **310**(1): 59~ 72

参考文献:

- [5] 桂远明, 王志余, 陈育辉. 利用变温促进罗非鱼生长的研究. *水产学报*, 1989, **13**: 326~ 331
- [17] 王勇军. 周期性温度变化对幼蟹生长发育的影响. *水产养殖*, 1999, (4): 19~ 20
- [23] 张乃禹, 林如杰, 曹登宫. 中国对虾的摄饵量、生长率的初步观察. *海洋与湖沼*, 1983, **14**(3): 482~ 486
- [24] 王克行, 金洪生, 杨利民. 温度对对虾 *Penaeus orientalis* Kishinouye 生长的影响. *海洋湖沼通报*, 1984, (4): 42~ 46
- [25] 张硕, 王芳, 董双林. 温度对中国对虾能量分配和元素组成的影响. *中国水产科学*, 1998, **5**(1): 38~ 42
- [32] 田相利, 董双林, 王芳. 不同温度对中国对虾生长及能量收支的影响. *应用生态学报*, 2004, **15**(4): 678~ 682