

文章编号: 1000- 0615(2005)05- 0659- 07

变温对刺参幼参生长、呼吸代谢及生化组成的影响

董云伟, 董双林, 张美昭, 田相利, 王 芳
(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: 为研究刺参对温度周期性波动的响应, 本实验测定了在 12, 15, 18, 21, 24 °C 5 个恒温处理组和 15±2 °C, 18±2 °C, 21±2 °C 3 个变温处理下刺参幼参的生长、呼吸代谢和生化组成。结果表明, 在恒温条件下, 随着温度的升高, 刺参生长逐渐加快, 在 18 °C 生长最快, 然后随温度增加, 生长逐渐降低。在 15~ 21 °C 恒温条件下, 幼参呼吸代谢无显著差异。在不同恒温处理组中, 幼参脂肪含量随体重增加而增加。与恒温对照组相比, 变温对幼参生长有显著性影响($P < 0.05$)。与相应的恒温相比, 平均温度低于最适温度的变温(15±2 °C, 18±2 °C)可促进刺参的生长, 而平均温度高于最适温度时的变温(21±2 °C)会抑制刺参生长。变温使幼参耗氧率有增加的趋势, 但未达到显著水平。变温造成刺参脂肪含量降低, 可能与变温条件下呼吸代谢增加有关。

关键词: 刺参; 变温; 生长; 耗氧率; 生化组成

中图分类号: S917 文献标识码: A

Effects of cyclic fluctuating temperature treatments on growth, oxygen consumption rate and biochemical composition of young sea cucumber, *Apostichopus japonicus*

DONG Yun-wei, DONG Shuang-lin, ZHANG Mei-zhao, TIAN Xiang-li, WANG Fang
(Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: Growth performance, oxygen consumption rate and biochemical composition of young sea cucumbers were studied at constant and fluctuating temperatures. Groups of young sea cucumber, *Apostichopus japonicus*, were reared at fluctuating temperatures of 15 ± 2, 18 ± 2, 21 ± 2 °C, and others were reared at constant temperatures of 12, 15, 18, 21 and 24 °C as controls. Specific growth rates (SGR) were measured under different treatments. Results showed that temperature had significant effects on the growth of sea cucumber. At constant temperatures, growth of young sea cucumbers increased with the increasing of temperature from 12 to 18 °C. The subsequent increase of temperature led to the comparative deceleration of the growth rate. Therefore, the appropriate temperature for the growth of sea cucumber was from 12 °C to 21 °C, and the thermal optimum for growth was about 18 °C. Within the ecological tolerance range for the species, the growth rate in fluctuating temperature groups increased compared to the growth rate in the control groups with a constant temperature equal to the average oscillating one. SGR significantly decreased when the temperature fluctuating occurred around 21 °C. Analysis of covariance (ANCOVA) was used to test the relationship between temperature and body composition of young sea cucumber. The effects of different temperature treatments on body contents of crude protein, crude lipid and energy of sea cucumber were significant. The contents of crude lipid of young sea cucumber reared at fluctuating temperatures decreased compared to those reared at constant temperatures. Among three constant temperature groups, oxygen consumption rates of sea cucumbers increased along with the increasing of temperature treatments. However, there were no significant differences among oxygen consumption rates of sea cucumbers under three constant temperature treatments ($P > 0.05$). In three fluctuating temperature groups, oxygen consumption rates also increased along with the increasing of temperature treatments. The oxygen consumption rate of sea cucumber in 21 ± 2 °C was significantly higher than that in 15 ± 2 °C ($P < 0.05$). Temperature

收稿日期: 2004-09-21

资助项目: 国家自然科学基金项目资助(30400333)

作者简介: 董云伟(1975-), 男, 山东淄博人, 博士, 讲师, 主要从事养殖生态学, 及水产动物学研究。Tel: 0532- 82032435, E-mail: dongyw@ouc.edu.cn

fluctuation enhanced the oxygen consumption of sea cucumbers in the $18 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ and $21 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ when compared to rates of animals subjected to constant temperature. However, the differences of oxygen consumption rates between fluctuating temperature treatments and constant temperature treatments were not significant ($P > 0.05$). Temperature in the sea cucumber culture pond can be controlled in the range of $15\text{--}18 \text{ }^\circ\text{C}$, and with a fluctuating amplitude of $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. By this kind of temperature control mode, growth of young sea cucumber will be accelerated.

Key words: *Apostichopus japonicus*; temperature fluctuation; growth performance; oxygen consumption; body composition

刺参(*Apostichopus japonicus*)是一种具有重要营养和生理功能价值的棘皮动物,目前逐渐成为中国北方重要的养殖品种。与养殖活动相比,有关刺参生物学方面的基础研究相对滞后。目前,关于温度波动对水生生物的影响有不同的观点。变温可促进部分浮游动物^[1]、鱼类^[2-9]、对虾^[10,11]的生长。而对部分生物的生长却无明显促进作用,如北极红点鲑(*Salvelinus alpinus*)^[12-14]、螯虾^[15]、塔霍湖亚口鱼(*Catostomus tahoensis*)^[16]等。刺参生活在潮间带,运动能力相对较弱,缺乏昼夜垂直迁移的习性^[17],其对变温的响应规律和适应机制可能不同于其他动物。因此,研究这类动物对水温变化的响应规律和适应机制具有重要的生物学意义。研究中所获变温参数对刺参工厂化养殖中控温程序和养参池塘水深的确定会有重要的指导意义。本实验设计不同变温条件,测定变温对刺参生长的影响,同时测定在不同条件下刺参耗氧率及生化组成的变化,分析变温对刺参生长的影响及其生理学响应机制。

1 材料和方法

1.1 材料来源

本实验所需刺参均为来自山东省文登市前岛养殖公司人工培育的1龄幼参,2003年11月在 $18 \text{ }^\circ\text{C}$ 驯化15 d后,选择体态伸展、肉刺尖而高,身体健康的个体用于实验。

1.2 实验设计

生长实验 设计3个变温处理,它们分别为 $15 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (F15), $18 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (F18)和 $21 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (F21)。恒温设 $12 \text{ }^\circ\text{C}$ (C12), $15 \text{ }^\circ\text{C}$ (C15), $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (C18), $21 \text{ }^\circ\text{C}$ (C21)和 $24 \text{ }^\circ\text{C}$ (C24)等5个处理。每一处理设置5个重复。刺参养在规格为 $45 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$ 的水族箱中,每个水族箱放4只刺参。水族箱置于规格为 $170 \text{ cm} \times 75 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$ 的水浴中。 $15 \text{ }^\circ\text{C}$, $18 \text{ }^\circ\text{C}$, $21 \text{ }^\circ\text{C}$, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 恒温组水浴的水温用控温器控制。每个水浴槽中放置两个内循环泵,以加快热交换,使整个水浴槽水温更均匀,实

验过程中水温波动 $< \pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

$12 \text{ }^\circ\text{C}$ 恒温处理组和变温组采用自行设计的温度控制设施来控制水温。整套实验设施主要由控温仪、钛合金加热器、冷水机、冷水循环泵、冷水槽、水泵、水族箱、水浴槽等组成(图1)。控温仪通过控制钛加热管和冷水循环泵交替开关来控制水浴槽水温,温度控制精度在 $\pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

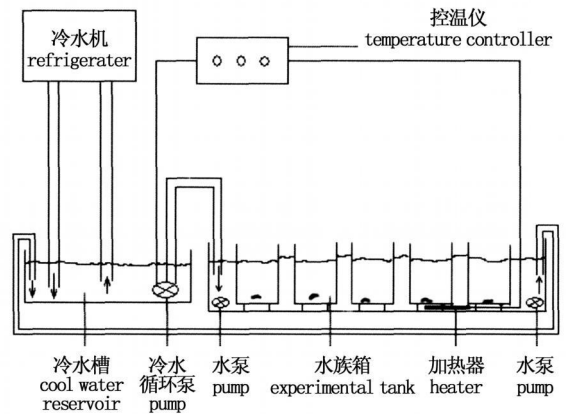


图1 变温控制系统的模式图

Fig. 1 Diagram of the fluctuating temperature control system

实验开始前,按每天 $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 控制水温从 $18 \text{ }^\circ\text{C}$ 开始升或降,使刺参逐渐适应水温变化,达到预定温度后,测定其初始体重开始实验,实验持续70 d。

耗氧率实验 设计3个变温处理($15 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $18 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $21 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$)。刺参在水族箱($45 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$)按每天 $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 升到预定温度,驯化7 d。恒温处理为 $15 \text{ }^\circ\text{C}$, $18 \text{ }^\circ\text{C}$, $21 \text{ }^\circ\text{C}$ 。每一个处理设置4个重复和一个空白。

温度控制模式 从6:00升温,到13:00逐渐上升到最高温度(T_{\max}),从13:00到18:00保持在 T_{\max} 。从18:00后开始降温,到第二天1:00逐渐降到最低温度(T_{\min}),从1:00到6:00保持最低温度 T_{\min} 。

养殖管理 水源为沙滤自然海水。每天换水1/2,海水盐度为30左右,换水前对海水进行预加热,防止换水造成水族箱温度变化过大。每天在8:00和16:00各投喂1次。饲料为市售海参配

合饲料,主要生化成分见表1。为保证水族箱中有充足的溶氧,除投喂饲料后2 h外,其余时间均进行充气。光照周期为14 L:10D。

表1 饲料生化组成及其含能量

Tab. 1 C mp sifi n and ene gy c ntent f the expe iment feed

| 组分 composition | 含能量 energy content |
|--------------------------------|--------------------|
| 粗蛋白(%) crude protein | 22.875±0.195 |
| 粗脂肪(%) crude lipid | 2.067±0.021 |
| 灰分(%) ash | 34.653±0.562 |
| 含水量(%) moisture | 9.012±0.264 |
| 能值(kJ·g ⁻¹) energy | 10.552±0.027 |

1.3 测定方法

在实验开始前,将刺参饥饿1 d,用MP-120型电子天平称取刺参初体重。在实验结束后,同样饥饿1 d,用电子天平称取刺参末体重。刺参在60℃烘干至恒重,称取其干重。粗脂肪的测定采用索氏抽提法。样品中粗蛋白的含量首先利用VarioEL II型元素分析仪(Elementar, German)测定氮含量,然后乘6.25获得。在马弗炉中550℃燃烧12 h,获得样品灰分含量。利用XYR-1型氧弹仪测定样品能值。本实验所得粗蛋白、粗脂肪、灰分和能值均以湿重计。

刺参耗氧率测定采用改进的静止法进行。驯化刺参禁食1 d后,放入1 L锥形瓶中,驯化12 h,

使其适应锥形瓶中环境。每隔8 h利用虹吸法将全部水样取出,更换新鲜海水。实验持续24 h,取3次测定的平均值。水样中溶解氧含量采用Winkler氏碘量法测定。每期实验设定一个空白,以估计微生物等耗氧的影响。

1.4 计算与数据统计

实验期间刺参特定生长率(SGR)采用以下公式进行计算: $SGR = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t W_0$, W_t 分别为初始干体重(g)和末干体重(g), t 为实验时间(d)。

单位湿体重耗氧率(Q_0)计算采用以下公式:

$$Q_0(\text{mg O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}) = (C_0 - C_t) V / W T$$

C_0 , C_t 分别为空白瓶与实验结束后溶氧含量($\text{mg O}_2 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), V 为样品瓶体积(L), W 为刺参湿体重(g), T 为实验持续时间(h)

利用SPSS 11.0进行统计分析。利用单因子方差分析(one-way ANOVA)和Duncan多重比较分析不同处理之间生长与耗氧率的差异。不同处理生化组成之间的差异以体重为协变量采用协方差分析(ANCOVA)进行分析^[18]。

2 结果和分析

2.1 变温对刺参生长的影响

各组初始体重无显著差异($P > 0.05$),经过70 d实验后,如表2所示,不同温度处理对刺参生长的影响差异显著($P < 0.05$)。

表2 不同温度处理对刺参生长的影响

Tab. 2 Effects f diffe ent c nstant and fluctuating tempe atu e egimes ng wth fy ung *A. japonicus*

| 组别 treatments | 温度(℃) temperature | 初体重(g) initial body weight | 末体湿重(g) final body wet weight | 末干体重(g) final body dry weight | SGR (%·d ⁻¹) | N |
|---------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|----|
| C12 | 12±0 | 9.441±0.628 ^a | 22.888±1.590 ^{ab} | 1.776±0.098 ^{acd} | 1.413±0.080 ^a | 20 |
| C15 | 15±0 | 9.900±0.471 ^a | 25.495±1.531 ^{ac} | 1.947±0.078 ^{ad} | 1.476±0.056 ^a | 20 |
| C18 | 18±0 | 9.458±1.347 ^a | 26.308±2.668 ^c | 1.859±0.212 ^{ad} | 1.480±0.134 ^a | 20 |
| C21 | 21±0 | 8.541±0.779 ^a | 22.723±2.560 ^{ac} | 1.615±0.190 ^{ae} | 1.416±0.121 ^a | 20 |
| C24 | 24±0 | 8.614±1.713 ^a | 15.533±2.789 ^f | 1.200±0.217 ^b | 0.985±0.169 ^f | 20 |
| F15 | 15±2 | 9.681±0.790 ^a | 31.816±2.474 ^d | 2.327±0.287 ^e | 1.758±0.223 ^b | 20 |
| F18 | 18±2 | 8.877±0.268 ^a | 29.916±2.562 ^d | 2.115±0.246 ^{de} | 1.743±0.124 ^b | 20 |
| F21 | 21±2 | 9.117±0.668 ^a | 17.199±3.331 ^{de} | 1.262±0.206 ^d | 0.956±0.260 ^f | 15 |

注:上角字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

Notes: Different subscripts within columns mean significant difference ($P < 0.05$)

恒温组刺参SGR随温度升高而增高,到18℃达最大值,然后随温度升高逐渐降低,C12, C15, C18, C21处理组间无显著性差异($P > 0.05$),而

C24处理组与其他组相比时,SGR显著降低($P < 0.05$)。变温对刺参SGR有显著影响。与恒温对照组相比,平均温度为15℃和18℃的变温处理

显著促进刺参幼参生长($P < 0.05$)。而平均温度为 21 °C 的变温则显著抑制生长($P < 0.05$),且在 21 °C 变温处理组,刺参出现死亡现象。

2.2 变温对刺参呼吸代谢的影响

ANOVA 分析结果表明,不同温度处理对刺参呼吸代谢的影响差异显著($P < 0.05$)(图 2)。在各恒温组中,随着温度的升高,耗氧率也随之升高,但各组之间差异未达到显著性水平($P > 0.05$)。不同平均温度下,变温组耗氧率变化规律与恒温组一致,也是随温度升高而升高。其中 F21 组耗氧率显著高于 F15 组($P < 0.05$)。与恒温对照组相比,变温使耗氧率有增高的趋势,但各组之间差异不显著($P > 0.05$)。

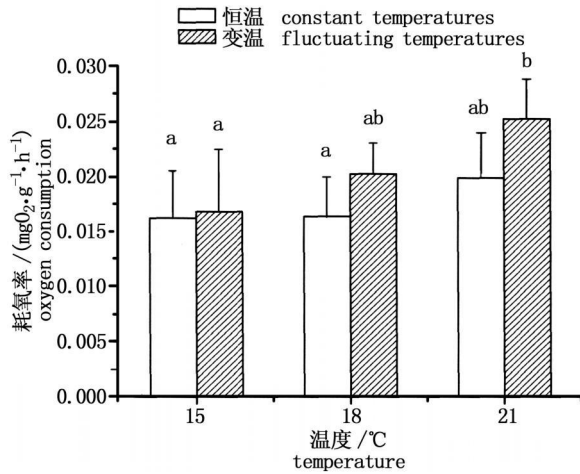


图 2 变温对刺参幼参呼吸代谢的影响

Fig. 2 Effects of different temperature treatments on the oxygen consumption rates of young sea cucumbers *A. japonicus*

字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

the different subscripts mean significant difference($P < 0.05$)

2.3 变温对刺参生化组成的影响

不同温度处理对刺参幼参生化组成各组分的影响见图 3。各实验组中,如图 3-a 所示,刺参含水量均大于 90%。在恒温组,随着水温升高,含水量逐渐增加。C18 组与 C21 组含水量显著高于 C12 组与 C15 组($P < 0.05$)。不同变温组之间无显著差异($P > 0.05$)。与恒温对照组相比,变温对刺参含水量无显著影响($P > 0.05$)。

如图 3-b 所示, C12 组粗蛋白含量显著高于其他各恒温组, C18 组粗蛋白含量显著低于其它

各恒温组($P < 0.05$)。变温组之间粗蛋白变化趋势与恒温组相似, F18 组显著低于 F15 和 F21 组($P < 0.05$)。与恒温对照组相比,平均温度 15 °C 的变温处理使粗蛋白含量显著降低($P < 0.05$),平均温度为 21 °C 的变温使粗蛋白含量显著增加($P < 0.05$)。

如图 3-c 所示,恒温组粗脂肪含量在 15 °C 最高,在 24 °C 最低。C15 组粗脂肪含量显著高于其它组($P < 0.05$)。在变温组, F15 组粗脂肪含量显著高于 F18 和 F21 组($P < 0.05$)。与恒温对照组相比,平均温度为 15 °C 的变温使刺参体内粗脂肪含量显著降低($P < 0.05$)。如图 3-d 所示,恒温组灰分随着温度升高而降低,在 18 °C 处理组最低,然后逐渐升高。温度对灰分含量影响显著($P < 0.05$)。变温组之间, F15 处理组灰分含量最低,随着温度升高逐渐增加。F21 处理组与 F15 和 F18 处理组之间有显著性差异($P < 0.05$)。与恒温对照组相比,平均温度为 15 °C 的变温使灰分显著减少,平均温度为 18 °C 的变温使灰分显著增加($P < 0.05$)。

各组之间能值的变化如图 3-e 所示。恒温组中,随着温度升高,单位湿体重能值逐渐降低,在 21 °C 处理组最低。C15 和 C24 处理组之间无显著性差异($P > 0.05$),其余各组之间均有显著性差异($P < 0.05$)。在各变温组间, F15 组单位湿体重能值最高,随着平均温度的升高,单位湿体重能值逐渐降低。各组间有显著性差异($P < 0.05$)。与恒温对照组相比,平均温度为 21 °C 的变温使单位湿体重能值显著增加($P < 0.05$),平均温度为 18 °C 的变温使单位湿体重能值显著降低($P < 0.05$)。

3 讨论

水温是影响水生生物生长的重要环境因子。随温度升高,生长率逐渐增加,当温度超过生物最适温度后,会对生物的生长起到抑制作用^[19,20]。刺参作为外温动物,对温度的变化较敏感。本实验结果表明,在 12~18 °C 各恒温处理组中,刺参生长率随温度升高而升高,在 18 °C 达到最大值,然后随温度继续升高其生长率降低。因此在恒温条件下,刺参幼参适宜生长温度在 15~21 °C,最适生长温度为 18 °C,水温过高或过低对刺参的生长均有抑制作用。

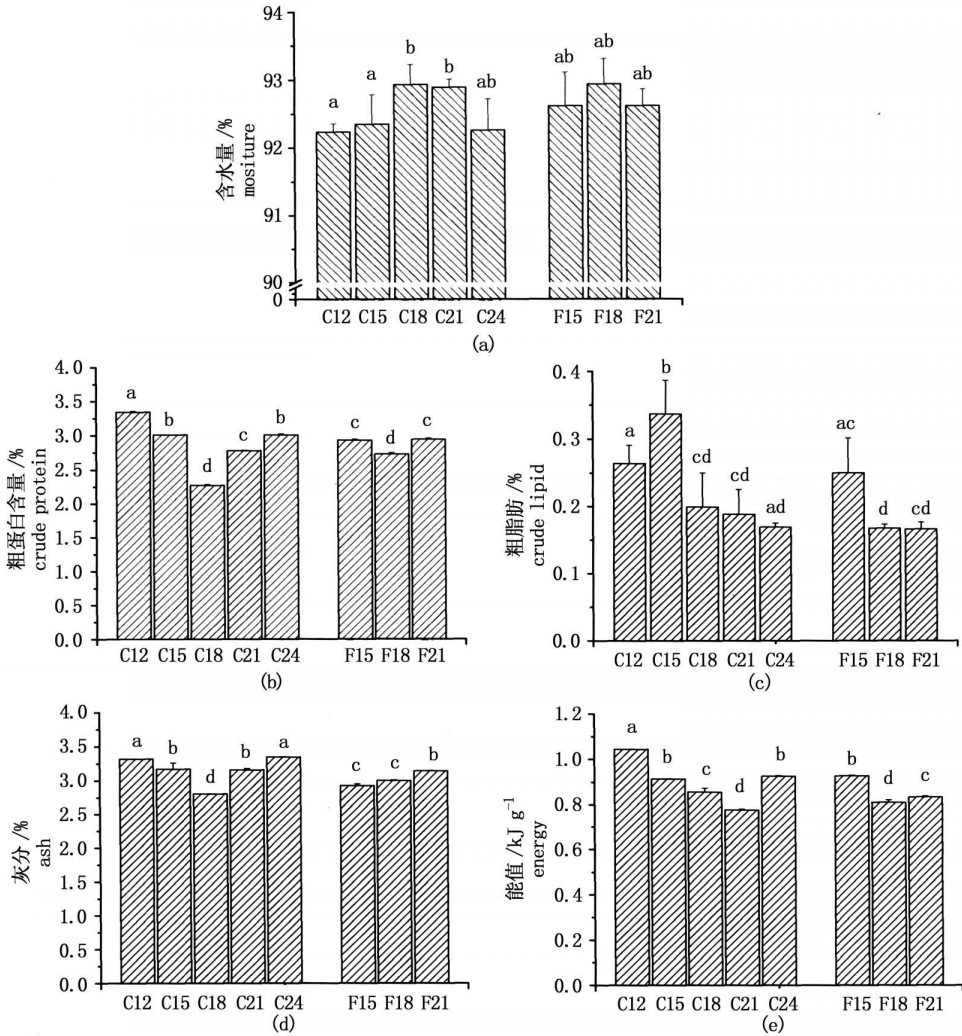


图3 变温对刺参生化组成的影响

Fig. 3 Effects of fluctuating temperatures on the proximate biochemical compositions of *A. japonicus*

a. 含水量; b. 粗蛋白含量; c. 粗脂肪含量; d. 灰分; e. 能值

a. moisture; b. crude protein content; c. crude lipid content; d. ash content; e. energy

字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

the different subtitles mean significant different ($P < 0.05$)

在物种生态适应范围内, 一定幅度和速率的变温可促进部分水生外温动物的生长^[5,9-11,21,22]。本实验结果表明, 与相应的恒温相比, 平均温度低的变温处理可显著促进刺参幼参生长; 而平均温度高的变温处理可抑制刺参幼参的生长, 显然在高温阶段, 刺参幼参对变温的适应能力低于在低温阶段的适应能力。这与刺参生长温度较低, 属于低温生物有关^[23]。我们以前的研究也表明, 刺参幼参在 20~25 °C 的温度系数 (Q₁₀) 高于 10~15 °C, 15~20 °C 的温度系数, 说明刺参对高温的变化更敏感。如前所述, 刺参幼参

最适生长温度为 18 °C, 通过本实验可得出以下结论: 平均温度低于最适温度的变温可促进刺参幼参的生长, 而当平均温度高于最适温度时, 变温会抑制其生长, 这与前人研究结果相同^[2,4,9,19]。

本实验中, 刺参脂肪含量随着末体重增加而增加, 这与鱼类的研究结果相同^[18]。在鱼类研究中还发现, 随脂肪含量上升, 水分含量呈下降趋势^[18,20], 利用体重和含水量可预测脂肪含量^[13,18,24]。但在本实验中, 这种关系并不明显。一方面可能与刺参含水量高有关。在鱼体中, 含水量一般在 60%~75%^[25,26], 而刺参体内含水量

高达90%以上(图3-a)。另一方面,刺参体腔内有发达的水管系统(water-vascular system)、围血系统(blood lacunar system)和呼吸树(respiratory tree)^[17],这些器官中贮藏大量水分,不同的个体贮藏含水量不同,这也是造成刺参含水量与脂肪关系不明显的重要原因。与恒温对照组相比,变温使刺参体内粗脂肪含量下降,这与变温造成鱼类含水量下降,脂肪含量上升^[4,27]的结果有明显不同。

变温促进生物生长的机理目前尚不清楚, McLaren^[28]在解释浮游动物的昼夜垂直迁移现象时,首次提出了能量收益假说(energy bonus)。Brett^[29]认为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。进一步研究表明,变温促进生长还与变温条件下,摄食量增加^[3]、代谢率降低^[7]、能量学特征发生变化^[2,30]。有研究表明,变温可改变鱼类代谢,加速生物合成,降低机体能量需求,使机体耗氧率明显降低^[6,7,31]。但在本实验中,与恒温对照组相比,变温不仅未降低刺参幼参的呼吸代谢率,反而使其上升,说明变温对刺参生长的促进作用并不是通过降低代谢率实现的。

适宜的变温处理可促进刺参生长,但变温对其耗氧率、体生化成分组成的影响与以往的研究结果有所不同,这可能与研究对象的生态习性有关。以往变温研究中,绝大多数实验对象为活动能力较强,具有昼夜迁移习性的鱼类^[3,6,7,8]、虾类^[10,11]。而刺参属于底栖生物,附着在岩礁上^[17],活动能力相对较弱,无昼夜垂直迁徙的习性。在自然水域中,刺参经历潮间带水温季节和昼夜变化,只是一个被动的过程,缺乏部分鱼类和虾类那种主动适应能力,因此,在变温条件下,对于那些在行为上缺乏热调节能力的动物其代谢会增强^[16],为满足代谢率的要求,脂肪消耗量随之增加,因此脂肪含量随着温度的增加而逐渐降低(图3-c)。

根据实验结果,在刺参养殖,尤其是在刺参苗中间培育过程中,可采用周期性波动的控温模式。将温度控制在15~18℃范围内,昼夜变化幅度为±2℃,这样可促进幼参的生长,获得规格较大的刺参苗,提高在养殖过程中的成活率。

参考文献:

- [1] 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]. J Linnol Soc Southern Africa, 1980, 6: 1- 4.
- [2] Cox D K, Coutant C C. Growth dynamics of juvenile striped bass as functions of temperature and ration [J]. Trans Am Fish Soc, 1981, 110, 226 - 238.
- [3] Diana J S. The growth of largemouth bass, *Micropterus salmoides* (Lacepede), under constant and fluctuating temperatures [J]. J Fish Biol, 1984, 24:165 - 172.
- [4] Konstantinov A S, Zdanovich V V. Some features of fish growth at fluctuating temperature [J]. Vopr Ikhtiol, 1986, 26: 971 - 977.
- [5] Konstantinov A S, Zdanovich V V, Kalashnikov Y N. Effects of temperature variation on the growth of eurythermous and stenothermous fishes [J]. J Ichthyol, 1989, 28: 61 - 67.
- [6] Konstantinov A S, Zdanovich V V, Tikhomirov D G. The effect of temperature fluctuations on metabolic rate and energetics of juvenile fish [J]. J Ichthyol, 1990, 30: 38 - 47.
- [7] Konstantinov A S. Effect of temperature variations on the growth, energetics and physiological states of young fish [J]. Izv Ran Biol, 1993, 1: 55 - 63.
- [8] Sierra E, Diaz F, Espina S. Energy budget of *Ictalurus punctatus* exposed to constant and fluctuating temperatures [J]. Riv Ita Acquacolt, 1999, 34: 71 - 81.
- [9] Zdanovich V V. Some features of growth of the young of Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus*, at constant and fluctuating temperatures [J]. J Ichthyol, 1999, 39: 100 - 104.
- [10] Miao S, Tu S. Modling effect of thermal amplitude and stocking density on the growth of redtail shrimp *Penaeus penicillatus* (Alock) [J]. Bull Zool Acad Sin, 1993, 32: 253 - 264.
- [11] Miao S, Tu S. Modeling effect of thermal amplitude on growing Chinese shrimp, *Penaeus chinensis* (Osbeck) [J]. Ecol Model, 1996, 88, 93- 100.
- [12] Lyytikäinen T, Jobling M. The effect of temperature fluctuations on oxygen consumption and ammonia excretion of underyearling Lake Inari Arctic char [J]. J Fish Biol, 1998, 52: 1186 - 1198.
- [13] Lyytikäinen T, Jobling M. The effects of temperature, temperature shift and temperature fluctuation on daily feed intake, growth and proximate composition of underyearling Lake Inari Arctic Charr (*Salvelinus alpinus* (L.)) [J]. Nordl J Freshw Res, 1998, 74: 87 - 94.
- [14] Lyytikäinen T, Jobling M. Effects of thermal regime on energy and nitrogen budgets of an early juvenile Arctic char, *Salvelinus alpinus*, from Lake Inari [J]. Env Biol Fish, 1999, 54: 219 - 227.
- [15] Thorp J H, Wineriter S A. Stress and growth response of juvenile crayfish to rhythmic and arrhythmic temperature fluctuations [J]. Arch Environ Contam Toxicol, 1981, 10: 69 - 77.
- [16] Vondracek B, Cech J J Jr, Buddington R K. Growth, growth efficiency and assimilation efficiency of the Tahoe sucker in cyclic and constant temperature [J]. Environ Biol Fish, 1989, 24: 151 - 156.
- [17] 廖玉麟. 中国动物志: 棘皮动物门海参纲 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [18] Shearer K D. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids [J]. Aquac, 1994,

- 119, 63- 88.
- [19] Hokanson K E F, Kleiner C F, Thorslund T W. Effects of constant temperatures and diel temperature fluctuations on specific growth and mortality rates and yield of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri* [J]. J Fish Res Board Can, 1977, 34: 639 - 648.
- [20] Jobling M. Fish Bioenergetics[M]. London: Chapman & Hall, 1994.
- [21] Berg O K, Finstad B, Grande G, *et al.* Growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a variable diel temperature regime [J]. Aquaculture, 1990, 90: 261 - 266.
- [22] Watanabe Y. Effect of diel temperature alternations on specific growth of red sea bream [J]. Oceanic Doc Oceanogr, 1991, 118: 133 - 140.
- [23] 于东祥, 宋本祥. 池塘养殖刺参幼参的成活率变化和生长特点 [J]. 中国水产科学, 1999, 6: 109 - 110.
- [24] Brett J R, Groves T D D. Growth rate and body composition of fingerling sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*, in relation to temperature and ration size [J]. J Fish Res Board Can, 1969, 26: 2363- 2393.
- [25] Koskela J, Pirhonen J, Jobling M. Feed intake, growth rate and body composition of juvenile Baltic salmon exposed to different constant temperature [J]. Aquaculture International, 1997, 5: 351- 360.
- [26] Van Ham E H, Berntssen M H G, Imsland A K, *et al.* The influence of temperature and ration on growth, feed conversion, body composition and nutrient retention of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Aquaculture, 2003, 217: 547 - 558.
- [27] Spigarelli S A, Thomas M M, Prepejchal W. Feeding, growth, and fat deposition by brown trout in constant and fluctuating temperatures [J]. Trans Amer Fish Soc, 1982, 111: 199 - 209.
- [28] McLaren I A. Effects of temperature on growth of zooplankton, and the adaptive of vertical migration [J]. J Fish Res Board Can, 1963, 20: 685 - 727.
- [29] 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*) [J]. Am Zool, 1971, 11: 99- 113.
- [30] Biette R M, Green G H. Growth of underyearling salmon (*Oncorhynchus nerka*) under constant and cyclic temperatures in relation to live zooplankton ration size [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1980, 37: 203 - 210.
- [31] Pilditch C A, Grant J. Effect of temperature fluctuations and food supply on the growth and metabolism of juvenile sea scallops (*Placopecten magdalanus*) [J]. Mar Biol, 1999, 134, 235 - 248.

欢迎订阅 2006 年《动物学报》

《动物学报》于 1935 年创刊, 由中国动物学会和中国科学院动物研究所共同主办, 是我国动物学领域中历史最悠久、最具权威性的学术刊物之一, 在国内外有广泛的影响。《动物学报》为动物学研究领域的综合性学术期刊, 主要刊登原创性的研究论文, 优先发表创新突出、理论性强和有关中国特有动物的研究论文, 并刊登特定研究领域中的综述(以特约稿为主)。主要领域包括: 生态学和行为学, 系统学和动物地理学, 生理学和生物化学, 生殖、发育和衰老生物学, 遗传、细胞和分子生物学; 主要栏目为综述、研究论文、观点与方法、研究简报。

《动物学报》可全文免费下载址(www.actazool.org), 双月刊, 大 16 开本, 双月下旬出版, 国内、外发行, 每期定价 49 元。邮发代号: 2- 497, 全国各地邮局均可订阅, 也可与编辑部联系补订或补刊等有关事项。

编辑部地址: 北京海淀北四环西路 25 号《动物学报》编辑部(邮编: 100080)

电话: 010- 62624530

E-mail: zool@ioz.ac.cn