

不同水温对刺参幼参生长、呼吸及体组成的影响

董云伟,董双林,田相利,张美昭,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:设计不同温度梯度(10~25℃),对刺参(*Apostichopus japonicus*)幼参的生长、耗氧率和体组成进行分析。结果表明,温度对刺参幼参生长有显著性影响,生长曲线呈“钟形”,在水温10~15℃,特定生长率逐渐升高,在水温15~25℃,特定生长率逐渐降低。根据温度与特定生长率关系式计算得出,刺参最适生长温度为15.5℃。不同温度对刺参幼参耗氧率有显著性影响,在10~25℃,随着温度升高,刺参幼参耗氧率呈逐渐上升趋势。20~25℃的温度系数(Q_{10})高于10~15℃和15~20℃的 Q_{10} ,表明高温时温度变化对刺参幼参影响较大。协方差分析表明,不同温度对刺参幼参体组成和能值有显著影响($P<0.05$)。在10℃处理组,刺参体内粗蛋白、粗脂肪与能值均最高。随着温度的升高,粗脂肪含量和能值逐渐降低。

关键词:刺参;生长;耗氧率;体组成;水温

中图分类号:Q595.269 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-8737-(2005)01-0033-05

作为最重要的生态因子之一,水温对刺参(*Apostichopus japonicus*)生长有着直接影响^[1-3]。目前关于刺参幼参最适生长温度的报道较少,且不同文献对刺参最适水温报道有所不同,于东祥等^[4]认为其适宜水温范围为5~17℃,最适水温为10~15℃。孙毅等^[5]则认为刺参最适生长温度为12~18℃,超过20℃则进入夏眠状态。而陈远等^[6]认为14℃是刺参幼参生长的最适温度。故本实验设计不同温度梯度,以测定温度对刺参生长的影响,同时测定不同温度条件下刺参耗氧率及体内组成的变化,以分析温度对刺参生长的影响及其生理学机制。

1 材料与方法

1.1 材料

样品刺参均来自山东省文登市前岛养殖公司人工繁育的1龄幼参,体重(4.540 ± 0.378)g。2004年3月在实验室15℃驯化15d后,选择体态伸展、身体健康的个体用于实验。

1.2 方法

1.2.1 实验设计

(1)生长实验:设计4个温度梯度(10℃、15℃、20℃、25℃),按照温度不同,分别定义为C10、C15、

C20、C25组。每个温度处理设置5个重复。刺参在规格为45 cm×25 cm×35 cm的水族箱中,每个水族箱放5只刺参。水温采用水浴控制,水浴槽规格为170 cm×75 cm×35 cm。15℃、20℃、25℃温度组采用钛合金加热管加热,用控温仪控制温度,并在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。10℃温度处理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。控温仪可通过钛加热管和冷水循环泵的交替开关来控制水浴槽水温,温度控制精度在 ± 0.2 ℃。实验开始前,按每天2℃控制水温升降,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,实验从2004年3月26日开始,到2004年5月1日结束,实验周期为36d。

(2)耗氧率实验:设计10℃、15℃、20℃、25℃4个温度梯度,按照温度不同,定义为C10、C15、C20、C25组。刺参在水族箱(45 cm×25 cm×35 cm)按每天2℃升到预定温度,驯化7d。每一条条件设置5个重复和1个空白。

1.2.2 养殖管理 每2天换水1/2,所用海水为盐

收稿日期:2004-05-12;修订日期:2004-07-02.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30400333).

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

度 30 左右的沙滤水。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 am 和 4:00 pm 各投喂 1 次,饲料为青岛六合海洋科技饲料有限公司生产的海参 1 号配合饲料,组成为:粗蛋白 $22.875\% \pm 0.149\%$ 、粗脂肪 $2.067\% \pm 0.021\%$ 、灰分 $34.653\% \pm 0.562\%$ 、含水量 $9.012\% \pm 0.264\%$ 、能值 $(10.552 \pm 0.027) \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。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:10 D。

1.2.3 测定方法 在实验开始前,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^[7]。样品中的粗蛋白的含量首先利用 VarioEL III 型元素分析仪 (Elementar, German) 测定氮含量,然后乘以 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。

海参耗氧率测定采用改进的静止法进行。将海参放入 1 L 的锥形瓶中,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 法测定。

1.2.4 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:

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

式中, W_0 、 W_t 分别为初体重 (g) 和末体重 (g), t 为实验时间 (d)。

耗氧率 [$Q_0, \text{mL}(\text{O}_2) \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$] 计算采用以下公式:

$$Q_0 = (C_0 - C_t) V / WT$$

C_0 、 C_t 分别为空白瓶与实验结束后溶解氧含量 [$\text{mL}(\text{O}_2) \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$], 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。不同处理体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。

2 结果

2.1 温度对刺参生长的影响

各组初始体重无显著差异 ($P > 0.05$), 经过 36 d 实验, 不同温度处理对刺参生长的影响差异显著 ($P < 0.05$) (表 1)。刺参在 10 ℃ 时 SGR 最低, 随着温度的升高 SGR 也随之增高, 在 15 ℃ 时达到最高值, 然后随着温度升高而逐渐降低。温度与刺参特定生长率的关系可以用以下公式表示:

$$\text{SGR} = -30.272 + 5.334 T - 0.277 T^2 + 0.005 T^3$$

$$(F = 20.913\ 52, N = 18, R^2 = 0.818, P < 0.05)$$

根据公式推算, 刺参最适生长温度为 15.5 ℃。

表 1 不同温度处理对刺参生长的影响

处理 Treatments	温度/℃ Temperature	初体重/g Initial body weight	末体重/g Final body weight	特定生长率/(%·d ⁻¹) Specific growth rate	个体数 Number
C10	10	4.586 ± 0.318 ^a	4.516 ± 1.052 ^a	-0.096 ± 0.748 ^a	25
C15	15	4.327 ± 0.513 ^a	11.814 ± 3.149 ^b	2.722 ± 0.746 ^b	25
C20	20	4.706 ± 0.277 ^a	9.280 ± 0.758 ^b	1.900 ± 0.196 ^b	20
C25	25	4.406 ± 0.301 ^a	6.280 ± 1.128 ^a	0.843 ± 0.342 ^c	20

注: 上角字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different subscripts within columns mean significant different ($P < 0.05$).

2.2 温度对刺参呼吸代谢的影响

在 10 ℃、15 ℃、20 ℃ 和 25 ℃ 下, 刺参耗氧率分别为 $(0.010\ 55 \pm 0.001\ 99)$ 、 $(0.012\ 28 \pm 0.001\ 51)$ 、 $(0.013\ 57 \pm 0.000\ 93)$ 、 $(0.019\ 89 \pm 0.000\ 89) \text{ mL}(\text{O}_2)/(\text{g} \cdot \text{h})$ 。ANOVA 分析结果表明, 温度对刺参呼吸代谢的影响极显著 ($P < 0.001$)。如图 1 所示,

随着温度的升高, 刺参耗氧率也随之升高。

在 10~25 ℃ 范围内, 温度 ($T, \text{℃}$) 与耗氧率 [$Q_0, \text{mL}(\text{O}_2) \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$] 相关式为:

$$\ln Q_0 = -6.119 + 0.649 \ln T$$

$$(F = 40.625, N = 20, R^2 = 0.693, P < 0.01)$$

在 10~25 ℃, Q_{10} 在 1.234~2.121; 在 10~15 ℃,

15~20℃、20~25℃时,刺参 Q_{10} 分别为 1.356、1.234 和 2.121;20~25℃时的 Q_{10} 略高于 10~15℃和 15~20℃的 Q_{10} 。

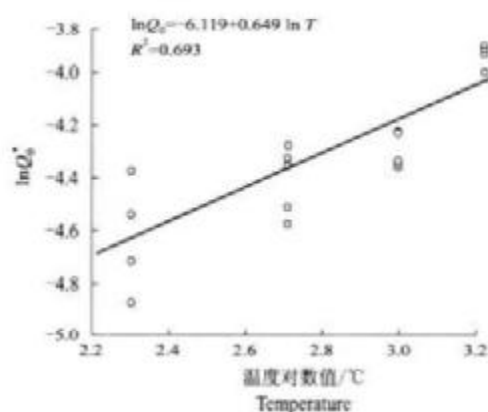


图1 不同温度对刺参幼参耗氧率的影响

* Q_{10} 为耗氧率, $\text{mL}(\text{O}_2) \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

Fig.1 Effect of temperatures on the oxygen consumption rates of young sea cucumber *A. japonicus*

* Q_{10} means oxygen consumption rate, $\text{mL}(\text{O}_2) \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$

2.3 温度对刺参体组成的影响

不同温度处理对刺参体组成的影响见表2。从表2可知,刺参含水量在90%以上,不同的温度处理对刺参含水量影响不显著($P>0.05$)。刺参体内粗蛋白、粗脂肪及能值随温度的变化趋势基本一致,在C10组显著高于其他各组($P<0.01$)。粗脂肪和能值含量随着温度升高逐渐降低。灰分变化趋势与其他组分不同,在C15组最低。

表2 不同温度处理对刺参体组成的影响

Tab.2 Effects of temperatures on body composition of sea cucumber *A. japonicus*

处理 Treatment	温度/℃ Temperature	水分/% Water	粗蛋白/% Crude protein	粗脂肪/% Crude lipid	灰分/% Ash	能值/($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) Energy
C10	10	91.455 ± 0.280^a	3.464 ± 0.008^a	0.449 ± 0.002^a	3.196 ± 0.011^{ab}	1.171 ± 0.004^a
C15	15	92.322 ± 0.272^a	3.004 ± 0.007^b	0.363 ± 0.007^a	2.938 ± 0.030^a	1.005 ± 0.011^b
C20	20	91.958 ± 0.334^a	3.101 ± 0.019^c	0.313 ± 0.003^c	3.232 ± 0.013^b	0.995 ± 0.009^c
C25	25	92.008 ± 0.063^a	3.004 ± 0.018^b	0.169 ± 0.006^c	3.345 ± 0.006^{ab}	0.926 ± 0.003^c

注:上角字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different subscripts within columns mean significant different ($P<0.05$).

本实验所得结果认为,刺参幼参最适生长温度为15.5℃,这与陈远等^[6]的结果相近。而于东祥等^[4]通过监测刺参养殖池塘水温,发现在春季3~5月和秋季9月以后刺参有两个快速生长期,生长的

3 讨论

3.1 刺参幼参生长的适宜温度

当食物不受限制时,鱼类的摄食率和生长率一般随水温上升而增加。但当水温超过某一最适温度时,摄食率及生长率则急剧下降^[8]。在本实验中,根据温度与特定生长率关系式推算,其最适生长温度为15.5℃,刺参生长曲线呈“钟形”(图2)。在10~15℃,生长率呈上升趋势。在15~25℃,生长率呈下降趋势。由于本实验中,刺参的饲料为粉状配合饲料,回收残饵相当困难,无法计算摄食率,但在投喂量相同的情况下,在10℃和25℃处理组的残饵量明显多余其他2组。

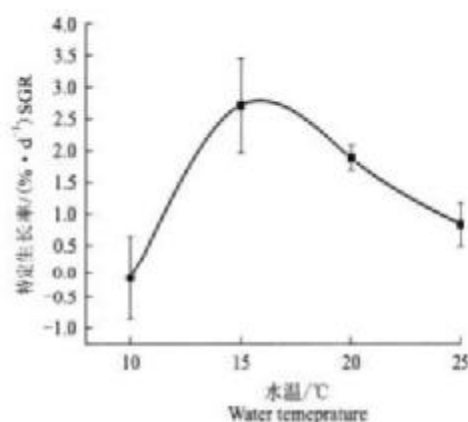


图2 不同水温对刺参幼参特定生长率(SGR)的影响

Fig.2 Effects of temperatures on the specific growth rate (SGR) of sea cucumber *A. japonicus*

适宜水温范围为5~17℃,最适水温为10~15℃,与本实验相比,整个生长曲线向低温方向偏移。这可能与池塘和实验室内温度变化模式不同有关。在实验室内采用的是恒温处理,而池塘的温度有昼夜

和季节的变化。已有研究表明,与恒温相比,周期性变温会使某些变温动物生长曲线向左漂移^[9-12]。关于周期性变温对刺参生长的影响尚需进一步研究。

在 20℃ 和 25℃ 两个处理组,均出现参体溃烂现象。在 25℃ 处理组情况尤为严重。因此在室内培养时,水温应控制在 20℃ 以下,以保证成活率。

因此,冬季在室内对刺参幼苗进行二级培育时,应将水温保持在 10~20℃,可提高刺参幼苗的生长率,获得大规格参苗,在进行放流和养殖时提高成活率。

3.2 温度对刺参幼参代谢的影响

在 10~25℃,幼参耗氧率与温度呈正相关,说明刺参呼吸代谢强度直接受温度的影响,与李宝泉等^[13]的研究结果相同。高温阶段温度系数 Q_{10} 高于低温阶段,说明高温时温度变化对幼参代谢影响较大。

在实验中,不同温度处理对刺参幼参粗蛋白、粗脂肪及能值均有显著影响。如前所述,随着温度的增加,刺参耗氧率随之增加,用于呼吸代谢的能量也随之增加,体内积累脂肪减少,这与鱼类的研究结果类似^[4,14-15]。但 Shearer^[16]认为温度对鲑鱼体内粗蛋白含量没有影响,不同温度处理之间粗蛋白含量的差异主要是由内因(如鱼体大小,不同发育阶段)造成的,外因(如温度、盐度、日粮等)对鱼体粗蛋白含量没有影响,这与本实验结果有所不同。按照 Shearer^[16]所述的统计方法,以体重作为协变量进行协方差分析,排除个体大小对参体粗蛋白含量造成的影响,结果仍表明不同的温度处理对刺参体内粗蛋白含量影响极显著,具体原因有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 崔相.ナマコの研究[M].海文堂,1963.
- [2] 刘永安,李振馨,宋本祥,等.刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)夏眠习性研究 I——夏眠生态特点的研究[J].中国水产科学,1996,3(2):41~48.
- [3] 李振馨,刘永安,宋本祥,等.刺参(*Apostichopus japonicus* Selenka)夏眠习性研究 II——夏眠成因的探讨[J].中国水产科学,1996,3(2):49~57.
- [4] 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(3):109~110.
- [5] 孙毅,唐日峰.野池养殖刺参实用技术[J].中国水产,2002(6):52~53.
- [6] 陈远,陈冲.刺参幼参冬季陆上养殖试验[J].水产科学,1992,11(4):1~3.
- [7] 杨胜.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:北京农业大学出版社,1993.84~90.
- [8] 崔亦波,陈少莲,王少梅.温度对草鱼能量收支的影响[J].海洋与湖沼,1995,26(2):168~174.
- [9] Holmson K E F, Kleiser C F, Thorndahl 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]. J Fish Res Board Can, 1977, 34: 639~648.
- [10] Lyytikäinen T, Jobling M. Effects of thermal regime on energy and nitrogen budgets of an early juvenile Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, from Lake Inari [J]. Environ Biol Fish, 1999, 54(2): 219~227.
- [11] Schuch B A. A bioenergetics study of spring and summer habitat selection by striped bass in Cherokee Reservoir [D]. Knoxville: University of Tennessee, 1979.
- [12] Coutant C C, Carroll D S. Temperature occupied by an ultrasonic-tagged striped bass in freshwater lakes [J]. Trans Amer Fish Soc, 1980, 109: 195~202.
- [13] 李宝泉,杨红生,张涛,等.温度和体重对刺参呼吸和排粪的影响[J].海洋与湖沼,2002,33(2):182~187.
- [14] 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.
- [15] Van Ham E H, Berntsen M H G, Inslund 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.
- [16] Shearer K D. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids [J]. Aquaculture, 1994, 119: 63~88.

Effects of water temperature on growth, respiration and body composition of young sea cucumber *Apostichopus japonicus*

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

Abstract: The young *A. japonicus* were reared under different constant temperatures in order to analyze the effects of temperatures on the growth and to understand its physiological mechanisms. The young *A. japonicus* were sampled from the Qiandao Aquaculture Corporation, Wendeng City and were acclimated to 15 °C for 15 d before the experiment. The initial body wet weight of the experimental sea cucumber were (4.540 ± 0.378) g. Organisms were fed with feed that contained 22.875% crude protein and 2.067% crude lipid. Growth experiment was conducted at an indoor laboratory in Ocean University of China from March 2004 to May 2004. Sea cucumbers were reared in 45 cm × 25 cm × 35 cm tanks under four different water temperatures (10 °C, 15 °C, 20 °C and 25 °C). Five repetitions were made for each temperature treatment with 5 individuals in each repetition. The oxygen consumption rate was determined under 10 °C, 15 °C, 20 °C and 25 °C. In each treatment, there was one blank control, which was used to minus the respiration of microorganisms in the water sample, and five replicates. Oxygen contents of water samples were determined by Winkle method. Crude protein contents were estimated by Nitrogen content, which were measured by Vario EL III Elementar. Crude lipid was estimated by Soxhlet method, and ash was determined by combustion at 550 °C for 12 h. Energy content was determined by bomb calorimetry (Parr adiabatic bomb calorimeter). Results showed that effects of temperatures on growth of *A. japonicus* were significant ($P < 0.05$). Specific growth rates (SGR) increased from $-0.096\% \cdot d^{-1}$ at 10 °C to $2.722\% \cdot d^{-1}$ at 15 °C and decreased to $0.843\% \cdot d^{-1}$ at 25 °C. The optimum temperature for growth of young sea cucumber was about 15.5 °C calculated from the equation, which was derived from the relationship between SGR and temperatures. In higher temperature treatments (20 °C and 25 °C), mortalities of sea cucumber were higher than those reared in lower temperatures (10 °C and 15 °C). Temperature also had significant influence on oxygen consumption rates of young sea cucumber ($P < 0.001$). Oxygen consumption rates were 0.01055 ± 0.00199 , 0.01228 ± 0.00151 , 0.01357 ± 0.00093 and 0.01989 ± 0.00089 mL (O_2)/(g·h) under 10 °C, 15 °C, 20 °C and 25 °C, respectively. Temperature coefficients (Q_{10}) over the range of 20–25 °C was higher than those at other two temperature ranges (10–15 °C and 15–20 °C). This indicated that young sea cucumbers were more sensitive to higher temperature than to lower temperature. Analysis of covariance (ANCOVA) was used to test the correlation of temperatures and body compositions of young sea cucumber. Effects of temperatures on body compositions and energy content were significant ($P < 0.05$). Water content was rather high in sea cucumber (>90%) in all groups. Body content of crude protein, crude lipid and energy were significantly higher in sea cucumbers reared at 10 °C than in those reared at other three temperature conditions. Ash content was the lowest in 15 °C group. Along with the increasing of temperature, contents of lipid and energy decreased. These decrease trends of lipid and energy content may result from the higher oxygen consumption rates under higher temperatures. In conclusion, water temperature should be kept over the range of 10–20 °C when young sea cucumber were cultivated indoor in winter. Under this temperature range, higher growth rates and lower mortalities of sea cucumbers can be achieved.

Key words: *Apostichopus japonicus*; growth performance; oxygen consumption; body compositions; water temperature