

## 餐后温度对褐牙鲆幼鱼生长的影响

# Effects of Temperature on the Growth of Juvenile Brown Flounder *Paralichthys olivaceus*

彭银辉<sup>1</sup>, 黄国强<sup>1,2</sup>, 李 洁<sup>2</sup>, 唐 夏<sup>2</sup>

PENG Yin-hui<sup>1</sup>, HUANG Guo-qiang<sup>1,2</sup>, LI Jie<sup>2</sup>, TANG Xia<sup>2</sup>

(1. 广西海洋生物技术重点实验室, 广西海洋研究所, 广西北海 536000; 2. 中国海洋大学水产学院, 山东青岛 266003)

(1. Guangxi Key Laboratory of Marine Biotechnology, Guangxi Institute of Oceanology, Beihai, Guangxi, 536000, China; 2. Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao, Shandong, 266003, China)

**摘要:** 为了研究餐后温度对褐牙鲆 (*Paralichthys olivaceus*) 幼鱼生长的影响, 选择平均体重 33~34 g 的幼鱼为研究对象, 设置摄食时温度为 20℃, 餐后温度分别为 14℃ ( $T_{14}$ ), 17℃ ( $T_{17}$ ), 20℃ ( $T_{20}$ ), 23℃ ( $T_{23}$ ), 26℃ ( $T_{26}$ ), 养殖 30 d 后, 考察褐牙鲆的生长速度、摄食量、消化率、饲料转化效率及其能量分配情况。结果显示,  $T_{17}$ 、 $T_{20}$ 、 $T_{23}$  处理的幼鱼生长速度比  $T_{14}$  和  $T_{26}$  处理快;  $T_{14}$  处理的幼鱼摄食量明显比其它处理少,  $T_{20}$ 、 $T_{23}$  处理的幼鱼摄食量明显高于其它处理; 随餐后温度由 14℃ 提高到 26℃, 幼鱼能量消化率显著提高, 饲料转化效率下降, 摄食能分配于生长的能量比例逐渐下降, 排粪损失的能量比例逐渐下降, 代谢能的比例逐渐增加; 单位体重鱼体日摄食能随着餐后温度的提高先上升后下降, 生长能和排粪能也呈现类似趋势; 代谢能随餐后温度的提高明显上升, 排泄能略有上升。这表明温度主要通过改变摄食量来影响褐牙鲆幼鱼的生长, 与恒温相比, 餐后温度没有对褐牙鲆产生促生长作用, 较低的餐后温度能够降低幼鱼的能量代谢率, 使更多的能量分配于生长。

**关键词:** 褐牙鲆 餐后温度 生长 能量分配

中图法分类号: S917.4 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2013)03-0219-07

**Abstract:** In order to investigate the effects of postprandial temperature on the growth of juvenile brown flounder (*Paralichthys olivaceus*) (33~34g), the feeding temperature was 20℃ and the postprandial rearing temperatures were 14℃ ( $T_{14}$ ), 17℃ ( $T_{17}$ ), 20℃ ( $T_{20}$ ), 23℃ ( $T_{23}$ ), and 26℃ ( $T_{26}$ ), respectively. After the 30 days rearing experiment, The growth, feeding amount, digestive rate, feed conversion efficiency and allocation of ingested energy of brown flounder were investigated. The juveniles grew faster in  $T_{17}$ ,  $T_{20}$ , and  $T_{23}$  than in  $T_{14}$  and  $T_{26}$ . The feed ingestion of the results showed that the juveniles in  $T_{14}$  was significantly less than other treatments whereas the treatment of  $T_{20}$  and  $T_{23}$  ingested more feed than others. As the postprandial temperature increased from 14℃ to 26℃, the digestive rate of energy rose significantly and the feed conversion efficiency of energy decreased. The portion of energy allocated to growth and lost in feces decreased as postprandial temperature increased. On the contrary, the energy of metabolism increased. Daily energy ingestion of unit body weight ( $C_e, J/(g \cdot d^{-1})$ ) presented as ascending trend and then decreased as postprandial temperature increased from 14℃ to 26℃. Similar trend appeared in daily growth energy of unit body weight ( $G_e, J/(g \cdot d^{-1})$ ) and lost in feces ( $F_e, J/(g \cdot d^{-1})$ ). Daily energy metabolism of unit body weight ( $R_e, J/(g \cdot d^{-1})$ ) increased significantly and daily energy of unit body weight lost in excretion ( $U_e, J/(g \cdot d^{-1})$ ) increased slightly as postprandial temperature increased. All these indicated that the post-

收稿日期: 2012-12-08

修回日期: 2013-02-21

作者简介: 彭银辉(1981-), 男, 助理研究员, 主要从事海水养殖与遗传育种研究。

prandial temperature affected the growth of young fish mainly by influencing feeding. In compare to the constant temperature ( $T_{20}$ ), postprandial temperature could not accelerate the growth of brown flounder, but low postprandial temperature could reduce the metabolism rate of fish and consequently more energy was used to growth.

**Key words:** brown flounder, postprandial temperature, growth, energy allocation

水温是影响鱼类生命活动最重要的环境因子之一,而且这种影响在自然环境中具有一定的节律性,所以温度变动对鱼类的影响长期受到研究者的关注。适宜幅度的昼夜温度变动对某些鱼类具有积极影响,例如可以加速红大麻哈鱼(*Oncorhynchus nerka*)幼体发育速度<sup>[1]</sup>,提高三刺鱼(*Gasterosteus aculeatus*)雌体生殖力<sup>[2]</sup>和尖头唇鱼(*Cheilinus oxycephalus*)幼体的存活率<sup>[3]</sup>,增强内华达鲱鱼(*Cyprinodon nevadensis*)对极限温度的忍耐力<sup>[4]</sup>等。变温对鱼类生长的影响尤其引起关注。已有报道表明,适宜幅度的变温可以加快多种鱼类的生长。如大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)<sup>[5]</sup>、鲫鱼(*Cyprinus auratus*)<sup>[6]</sup>、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)<sup>[7]</sup>、斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)<sup>[8]</sup>和莫桑比克罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)<sup>[9]</sup>等。也有研究表明,温度变动会导致某些鱼类生长减缓,如美洲鲑(*Oncorhynchus clarki henshawi*)<sup>[10]</sup>和银大麻哈鱼(*Oncorhynchus kisutch*)<sup>[11]</sup>。这说明,变温是否促进鱼类生长可能与鱼种类及实验采用的变温幅度、方式有关。

在变温促进鱼类生长机制的研究中,主要是分析变温条件对鱼类的摄食和能量代谢的影响。变温条件下,大口黑鲈<sup>[5]</sup>和褐鲈(*Salmo trutta*)<sup>[12]</sup>摄食量显著增加,变温可能是促长的主要原因之一。研究还发现,某些变温条件下鱼类的摄食量并未显著增加,但是食物的转化率及同化率得到显著提高<sup>[13]</sup>,例如红大麻哈鱼<sup>[14]</sup>和条纹鲈(*Morone saxatilis*)<sup>[15]</sup>、尼罗罗非鱼(*Tilapia niloticus*)<sup>[16]</sup>的维持日粮普遍降低,因而变温对这些鱼的生长产生积极的促进作用。同时还有研究发现,鲫鱼<sup>[6]</sup>、鲤鱼<sup>[7]</sup>、尼罗罗非鱼<sup>[16]</sup>在促进生长的变温条件下的耗氧率要显著低于相应的恒温。不具有促进生长的变温条件下,塔霍湖亚口鱼(*Catostomus tahoensis*)<sup>[17]</sup>的代谢率与恒温条件下的无显著差异。可见,变温条件能改变鱼类的能量代谢水平,通过降低维持日粮需求,摄入的能量将更多分配于生长,这是一些鱼类在变温条件下生长更快的主要原因。

从上述文献可以看出,关于变温对鱼类生长的影响及促生长机制,已积累了较多基础资料,但是对于

其中能量收支的系统研究还较少。Brett<sup>[18]</sup>研究红大麻哈鱼时提出假设,鱼类的垂直迁移现象主要是由以下原因引起:较高的水温使鱼类具有较高的摄食率,较低的水温则使机体基础代谢降低,从而有利于机体同化及合理利用能量,将更多的能量用于机体生长和繁殖。因此,鱼类摄食时的温度和餐后温度与其能量代谢、分配有关,可能是影响其生长的重要原因。本文以褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)幼鱼为研究对象,设置相同的摄食温度和不同的餐后温度,通过能量学手段建立能量分配模式,研究餐后温度对其生长的影响和机制,为丰富变温对鱼类的影响提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验用鱼来源、驯化及挑选

实验用褐牙鲈幼鱼从山东省文登市小观镇育苗场购买,育苗场孵化和稚鱼培育温度分别为 $15^{\circ}\text{C}$ 和 $20^{\circ}\text{C}$ ,购买时幼鱼体重约 $30\text{ g}$ 。进行实验前,幼鱼转入实验室的水体约 $3\text{ m}^3$ 的控温循环水养殖系统中,进行为期 $15\text{ d}$ 的驯化。驯化期间水温维持在 $20^{\circ}\text{C}$ ,连续充气保证溶氧含量大于 $6\text{ mg/L}$ ,海水盐度为 $30\sim 33$ ,pH值约为 $7.8$ ,光照周期采用 $14\text{ h}$ 光照和 $10\text{ h}$ 黑暗。每天早晚各投饵一次至饱食,投饵后半小时内虹吸清理残饵和粪便。实验用鱼挑选规格均匀、体色正常、健康活泼的褐牙鲈幼鱼经称重后放入玻璃水族箱,幼鱼体重为 $33\sim 34\text{ g}$ ,期间养殖管理与驯化期间相同。

### 1.2 实验设计

实验设计 $5$ 个餐后温度处理,分别为 $14^{\circ}\text{C}$ ( $T_{14}$ )、 $17^{\circ}\text{C}$ ( $T_{17}$ )、 $20^{\circ}\text{C}$ ( $T_{20}$ )、 $23^{\circ}\text{C}$ ( $T_{23}$ )、 $26^{\circ}\text{C}$ ( $T_{26}$ )。同一处理设置 $3$ 个重复,使用 $5$ 套可控温的循环水养殖系统进行,每个水族箱( $80\text{ cm}\times 50\text{ cm}\times 35\text{ cm}$ , $140\text{ L}$ ) $15$ 条,共 $225$ 条。实验持续 $30\text{ d}$ ,投饵前 $1\text{ h}$ 开始调节温度,使温度均匀变动至 $20^{\circ}\text{C}$ 后投喂,投喂结束后调节温度,使温度在 $1\text{ h}$ 内均匀调节至设计温度。养殖管理同驯化期相同,由于每天虹吸排污等处理每套系统约需补充 $40\text{ L}$ 海水。

### 1.3 样品收集与分析

在挑选实验用鱼的同时,随机抽取 $3$ 个初始鱼样

品(每个样品 10 条)分析幼鱼初始身体成分。实验结束时,经 24 h 禁食后,每个水族箱的鱼经称重后均取样品分析鱼身体成分。所有取样鱼用浓度为 200 mg/L 的 MS-222 麻醉至死亡后保存于  $-20^{\circ}\text{C}$  冰箱中待用,然后在  $70^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干至恒重。

实验期间每天的投饵量进行记录,未摄食的饲料在投饵 1 h 后虹吸收集,用淡水小心冲洗后放入  $70^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干至恒重。将饲料放入养殖系统中浸泡 1 h 后收集、冲洗、烘干的溶失实验,以便将残饵量换算为投入饲料重量。

鱼粪便在投饵 1 h 后虹吸收集,收集形状完整的粪便进行,小心用淡水冲洗后转入烧杯内,然后在  $70^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干至恒重。

鱼、饲料、残饵及粪便样品烘干后,用小型粉碎机粉碎以备分析测试。样品氮含量用微量凯氏定氮法测定<sup>[19]</sup>,粗蛋白质含量用凯氏氮乘以 6.25 换算。粗脂肪含量采用索氏抽提法测定<sup>[19]</sup>,总能量含量用 PARR1281 氧氮仪测定(PARR 仪器公司,美国)。粪便和饲料的酸不溶灰分(AIA)含量参考 Atkinson 等<sup>[20]</sup>的方法测定。每个样品重复测定 3 次,取其平均值作为测定值。

#### 1.4 数据计算方法

日生长系数(DGC)的计算方法:

$$DGC = 100 \times [(F_{wt2})^{1/3} - (F_{wt1})^{1/3}] / T,$$

其中  $F_{wt2}$  和  $F_{wt1}$  分别为结束时鱼的平均体重和初始平均体重, $T$  为实验持续时间(30 d)。

摄食率(FR, % 体重/d)的计算方法:

$$FR = 100 \times I_w / [(F_{wt1} + F_{wt2}) / 2] / T,$$

其中  $I$  为实验期间每条鱼的平均摄食量(g)。

饲料转化效率(FCE, %)计算方法:

$$FCE = 100 \times (F_{wt2} - F_{wt1}) / I.$$

能量收支方程( $C_e = G_e + F_e + U_e + R_e$ )中各项数据计算方法如下:

$$\text{摄食能}(C_e) = I_d \times GE_d,$$

$$\text{生长能}(G_e) = FF_e - IF_e,$$

$$\text{排粪能}(F_e) = C_e \times (100 - DR_e) / 100,$$

$$\text{排泄能}(U_e) = U_N \times 24.83,$$

$$\text{代谢能}(R_e) = C_e - G_e - F_e - U_e,$$

其中, $GE_d$ 、 $DR_e$ 、 $U_N$  分别为饲料能量含量(kJ/g)、能量消化率(%),氮氮排泄量(g),24.83 为每排泄 1g 氮氮的能量消耗为 24.83 kJ(参考文献[21])。每天每 g 体重的能量分配数值为以上数值除以  $30 \times (F_{wt1} + F_{wt2}) / 2$ 。以上公式中的  $U_N$ (参考文献[22])和  $DR_e$  的计算方法分别如下:

$$DR_e = 100 \times (1 - (GE_{feces} / GE_{feed}) \times$$

( $AIA_{feed} / AIA_{feces}$ )),

$$U_N = I_N - G_N - F_N,$$

其中  $GE_{feed}$ 、 $GE_{feces}$ 、 $AIA_{feed}$ 、 $AIA_{feces}$  分别为饲料与粪便中能量和酸不溶灰分含量。 $I_N$ 、 $G_N$ 、 $F_N$  分别为摄食氮(g)、生长氮(g)、排粪氮(g), $I_N$  的计算方法为摄食量乘以饲料氮含量, $G_N$ 、 $F_N$  的计算方法分别如下:

$$G_N = N_{FF} \times F_{wt2} - N_{IF} \times F_{wt1},$$

$$F_N = I_N \times (100 - DR_N) / 100,$$

其中, $N_{FF}$ 和  $N_{IF}$  分别为结束鱼和初始鱼身体的氮含量, $DR_N$  为氮消化率(%),计算方法同  $DR_e$ 。

生长能、排粪能、排泄能和代谢能占摄食能的百分比分别以其能量值除以摄食能后再乘以 100 算得。

#### 1.5 统计分析方法

统计分析采用 SPSS 统计软件(SPSS 11.5 for windows)进行,对于不同处理的差异采用单因子方差分析进行分析,并利用 Duncan's 多重比较分析处理间差异,以 0.05 作为差异显著的标准。对于小于 30 和大于 70 的百分数,在经过反正弦转化后再进行方差分析和多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 生长情况

实验期间不同处理的鱼存活率均为 100%。经过 30 d 的不同餐后温度处理,褐牙鲈幼鱼生长出现显著差异,经  $T_{17}$ 、 $T_{20}$ 、 $T_{23}$  处理,在实验结束时幼鱼湿重、干重、蛋白质和能量都显著比  $T_{14}$  和  $T_{26}$  的幼鱼大,且这 3 个温度相互之间没有显著差异(表 1)。日生长系数的结果与体重的趋势一致,但当日生长系数以蛋白质表示时, $T_{17}$  处理仅略高于  $T_{14}$  和  $T_{26}$  处理。 $T_{17}$ 、 $T_{20}$ 、 $T_{23}$  处理在实验结束时,幼鱼湿重、干重、蛋白质和能量都显著高于  $T_{14}$  和  $T_{26}$ 。

### 2.2 摄食量、消化率和饲料转化效率

$T_{14}$  的幼鱼摄食量明显比其它处理少,摄食率显著低于其他处理, $T_{20}$ 、 $T_{23}$  的幼鱼摄食量明显高于其它处理(表 2), $T_{23}$  的幼鱼摄食率最高。当摄食率以干重、蛋白质和能量表示时, $T_{17}$ 、 $T_{20}$ 、 $T_{23}$ 、 $T_{26}$  处理相互之间没有显著差异。

由表 2 还可以看出,不同餐后温度对饲料的蛋白质消化率没有显著影响。由  $14^{\circ}\text{C}$  提高到  $26^{\circ}\text{C}$ ,幼鱼对能量的消化率显著提高, $T_{23}$  和  $T_{26}$  处理的幼鱼对饲料能量的消化率显著高于  $T_{14}$  和  $T_{17}$  处理。

干物质转化效率和蛋白质转化效率在不同餐后温度处理间没有显著差异。 $T_{17}$  处理湿重转化效率显著高于  $T_{26}$  处理(表 2)。能量转化效率呈现随餐后温度升高而下降的趋势, $T_{14}$  处理显著高于  $T_{26}$  处理。

表 1 不同餐后温度下褐牙鲈幼鱼的生长状况\*

Table 1 Growth of young fish of *Paralichthys olivaceus* in different treatments

处理 Treatment	鱼初始体重 Weight of initial fish				实验结束时鱼体重 Weight of final fish				日生长系数 Daily growth coefficient(%)			
	<i>I</i> <sub>w</sub> (g)	<i>I</i> <sub>d</sub> (g)	<i>I</i> <sub>p</sub> (g)	<i>I</i> <sub>e</sub> (kJ)	<i>FW</i> <sub>w</sub> (g)	<i>FW</i> <sub>d</sub> (g)	<i>FW</i> <sub>p</sub> (g)	<i>FW</i> <sub>e</sub> (kJ)	<i>DGC</i> <sub>w</sub>	<i>DGC</i> <sub>d</sub>	<i>DGC</i> <sub>p</sub>	<i>DGC</i> <sub>e</sub>
T <sub>14</sub>	33.63± 0.32 <sup>a</sup>	8.24± 0.08 <sup>a</sup>	5.57± 0.05 <sup>a</sup>	184.52± 1.76 <sup>a</sup>	47.63± 0.76 <sup>a</sup>	13.11± 0.23 <sup>a</sup>	7.99± 0.14 <sup>a</sup>	299.78± 5.32 <sup>a</sup>	1.32± 0.04 <sup>a</sup>	1.13± 0.04 <sup>a</sup>	0.76± 0.04 <sup>a</sup>	3.33± 0.12 <sup>a</sup>
T <sub>17</sub>	33.89± 0.38 <sup>a</sup>	8.30± 0.09 <sup>a</sup>	5.61± 0.06 <sup>a</sup>	185.95± 2.11 <sup>a</sup>	55.73± 0.23 <sup>c</sup>	15.22± 0.25 <sup>b</sup>	9.36± 0.16 <sup>bc</sup>	338.68± 5.67 <sup>b</sup>	1.95± 0.04 <sup>c</sup>	1.51± 0.05 <sup>b</sup>	1.10± 0.04 <sup>b</sup>	4.21± 0.13 <sup>b</sup>
T <sub>20</sub>	33.90± 0.11 <sup>a</sup>	8.30± 0.03 <sup>a</sup>	5.61± 0.02 <sup>a</sup>	185.98± 0.59 <sup>a</sup>	57.19± 1.63 <sup>c</sup>	16.17± 0.38 <sup>b</sup>	10.49± 0.25 <sup>c</sup>	359.69± 8.52 <sup>b</sup>	2.05± 0.11 <sup>c</sup>	1.68± 0.06 <sup>b</sup>	1.37± 0.05 <sup>c</sup>	4.68± 0.17 <sup>bc</sup>
T <sub>23</sub>	33.69± 0.21 <sup>a</sup>	8.25± 0.05 <sup>a</sup>	5.58± 0.04 <sup>a</sup>	184.85± 1.17 <sup>a</sup>	56.29± 0.50 <sup>c</sup>	15.84± 0.18 <sup>b</sup>	10.04± 0.12 <sup>c</sup>	359.58± 4.15 <sup>b</sup>	2.01± 0.05 <sup>c</sup>	1.64± 0.05 <sup>b</sup>	1.28± 0.04 <sup>c</sup>	4.72± 0.13 <sup>c</sup>
T <sub>26</sub>	33.75± 0.22 <sup>a</sup>	8.27± 0.05 <sup>a</sup>	5.59± 0.04 <sup>a</sup>	185.18± 1.22 <sup>a</sup>	51.06± 1.35 <sup>b</sup>	13.96± 0.38 <sup>a</sup>	9.00± 0.25 <sup>b</sup>	313.56± 8.57 <sup>a</sup>	1.59± 0.11 <sup>b</sup>	1.28± 0.07 <sup>a</sup>	1.02± 0.06 <sup>b</sup>	3.64± 0.19 <sup>a</sup>

\* 下标字母 w,d,p,e 分别表示数值以湿重、干重、蛋白质和能量表示;同一行中没有相同上标字母的数值相互之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

\* The subscripts w,d,p,e indicated wet weight,dry weight,protein,and energy, respectively; Values without same letter superscript in the same row were significantly different from each other ( $P < 0.05$ ).

表 2 不同处理的摄食量、消化率和饲料转化效率\*

Table 2 Feeding,digestive rate,and feed conversion efficiency of different treatments of *Paralichthys olivaceus*

处理 Treatment	摄食量 Feed ingestion				摄食率 Feeding rate(%)				消化率 Digestive rate(%)		饲料转化效率 Feed conversion efficiency(%)			
	<i>I</i> <sub>w</sub> (g)	<i>I</i> <sub>d</sub> (g)	<i>I</i> <sub>p</sub> (g)	<i>I</i> <sub>e</sub> (kJ)	<i>FR</i> <sub>w</sub>	<i>FR</i> <sub>d</sub>	<i>FR</i> <sub>p</sub>	<i>FR</i> <sub>e</sub>	<i>DR</i> <sub>p</sub>	<i>DR</i> <sub>e</sub>	<i>FCE</i> <sub>w</sub>	<i>FCE</i> <sub>d</sub>	<i>FCE</i> <sub>p</sub>	<i>FCE</i> <sub>e</sub>
T <sub>14</sub>	10.46± 0.50 <sup>a</sup>	9.71± 0.47 <sup>a</sup>	5.20± 0.25 <sup>a</sup>	189.16± 9.09 <sup>a</sup>	0.86± 0.05 <sup>a</sup>	3.04± 0.19 <sup>a</sup>	2.56± 0.16 <sup>a</sup>	2.61± 0.16 <sup>a</sup>	96.14± 2.09 <sup>a</sup>	87.99± 2.21 <sup>a</sup>	134.95± 11.63 <sup>ab</sup>	50.62± 4.33 <sup>a</sup>	47.00± 4.39 <sup>a</sup>	61.42± 5.18 <sup>b</sup>
T <sub>17</sub>	14.91± 0.11 <sup>b</sup>	13.84± 0.10 <sup>b</sup>	7.41± 0.06 <sup>b</sup>	269.60± 2.03 <sup>b</sup>	1.11± 0.01 <sup>b</sup>	3.92± 0.08 <sup>b</sup>	3.30± 0.06 <sup>b</sup>	3.43± 0.07 <sup>b</sup>	96.25± 1.24 <sup>a</sup>	88.35± 1.13 <sup>a</sup>	146.47± 2.21 <sup>b</sup>	50.02± 1.99 <sup>a</sup>	50.63± 2.25 <sup>a</sup>	56.67± 2.27 <sup>ab</sup>
T <sub>20</sub>	17.33± 1.10 <sup>c</sup>	16.08± 1.02 <sup>c</sup>	8.61± 0.54 <sup>c</sup>	313.23± 19.80 <sup>c</sup>	1.27± 0.06 <sup>bc</sup>	4.38± 0.22 <sup>b</sup>	3.56± 0.18 <sup>b</sup>	3.82± 0.20 <sup>b</sup>	96.93± 1.09 <sup>a</sup>	90.60± 1.04 <sup>ab</sup>	134.60± 4.88 <sup>ab</sup>	49.05± 1.51 <sup>a</sup>	56.78± 1.70 <sup>a</sup>	55.62± 1.71 <sup>ab</sup>
T <sub>23</sub>	17.51± 0.62 <sup>c</sup>	16.25± 0.58 <sup>c</sup>	8.71± 0.31 <sup>c</sup>	316.61± 11.23 <sup>c</sup>	1.30± 0.05 <sup>c</sup>	4.50± 0.14 <sup>b</sup>	3.71± 0.12 <sup>b</sup>	3.88± 0.12 <sup>b</sup>	97.54± 2.27 <sup>a</sup>	93.29± 1.19 <sup>b</sup>	129.17± 2.91 <sup>ab</sup>	46.73± 0.39 <sup>a</sup>	51.29± 0.36 <sup>a</sup>	55.21± 0.48 <sup>ab</sup>
T <sub>26</sub>	14.66± 0.80 <sup>b</sup>	13.60± 0.74 <sup>b</sup>	7.29± 0.40 <sup>b</sup>	265.02± 14.39 <sup>b</sup>	1.15± 0.07 <sup>bc</sup>	4.09± 0.25 <sup>b</sup>	3.33± 0.20 <sup>b</sup>	3.55± 0.22 <sup>b</sup>	97.87± 1.92 <sup>a</sup>	94.38± 1.59 <sup>b</sup>	118.50± 9.84 <sup>a</sup>	42.05± 3.44 <sup>a</sup>	47.12± 4.02 <sup>a</sup>	48.70± 3.97 <sup>a</sup>

\* 下标字母 w,d,p,e 分别表示数值以湿重、干重、蛋白质和能量表示;同一行中没有相同上标字母的数值相互之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

\* The subscripts w,d,p,e indicated wet weight,dry weight,protein,and energy, respectively; Values without same letter superscript in the same row were significantly different from each other ( $P < 0.05$ ).

### 2.3 身体成分含量

实验结束时不同处理间鱼体水分含量没有显著差异,但均显著比初始鱼低(表 3)。蛋白质含量随餐后温度的提高先上升后下降,T<sub>20</sub>、T<sub>23</sub> 处理后幼鱼的蛋白质含量显著高于其他处理。不同处理间鱼体脂肪含量没有显著差异,但均显著高于初始鱼。鱼体能量含量随餐后温度提高的变化趋势与蛋白质含量相似,T<sub>23</sub> 处理后幼鱼的能量含量显著高于其它处理。

### 2.4 能量分配

不同餐后温度处理中,分配于生长的能量均占最大的比例,并且随着餐后温度的提高,分配于生长的能量比例逐渐下降,其中 T<sub>14</sub> 处理生长能比例显著高于 T<sub>26</sub> 处理(表 4)。排粪损失的能量比例随着餐后温度的提高而逐渐下降,其中 T<sub>14</sub> 和 T<sub>17</sub> 处理排粪能比例显著高于 T<sub>23</sub> 和 T<sub>26</sub> 处理。排泄能比例随餐后温度提高呈现先下降后上升的趋势,T<sub>20</sub> 处理排泄能比例明显低于 T<sub>26</sub> 处理。代谢能的比例随餐后温度的提高而上升。

表 3 不同处理的身体成分\*

Table 3 Body composition of initial and final fish of different treatments of *Paralichthys olivaceus*

处理 Treatment	含量 Content			
	水分 Moisture (%)	蛋白质 Protein (%)	脂肪 Lipid (%)	能量 Energy (kJ/g)
初始鱼 Initial fish	75.50±0.62 <sup>b</sup>	16.55±0.30 <sup>a</sup>	3.80±0.71 <sup>a</sup>	5.49±0.15 <sup>a</sup>
T <sub>14</sub>	72.47±0.20 <sup>a</sup>	16.72±0.29 <sup>ab</sup>	5.60±0.77 <sup>b</sup>	6.27±0.17 <sup>b</sup>
T <sub>17</sub>	72.69±0.35 <sup>a</sup>	16.98±0.24 <sup>b</sup>	5.68±0.81 <sup>b</sup>	6.14±0.09 <sup>b</sup>
T <sub>20</sub>	71.72±0.15 <sup>a</sup>	18.41±0.25 <sup>d</sup>	5.46±0.42 <sup>b</sup>	6.31±0.13 <sup>bc</sup>
T <sub>23</sub>	71.85±0.22 <sup>a</sup>	18.11±0.19 <sup>d</sup>	5.78±0.54 <sup>b</sup>	6.49±0.19 <sup>c</sup>
T <sub>26</sub>	72.66±0.15 <sup>a</sup>	17.72±0.27 <sup>c</sup>	5.50±0.67 <sup>b</sup>	6.17±0.12 <sup>b</sup>

\* 同一行中没有相同上标字母的数值相互之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

\* Values without same letter superscript in the same row were significantly different from each other ( $P < 0.05$ ).

单位体重鱼体每天的摄食能随着餐后温度的提高先上升后下降,生长能和排粪能也呈现类似趋势。但摄食能、生长能、排粪能的最高值分别现在 T<sub>23</sub>、T<sub>23</sub>、T<sub>17</sub> 处理(表 5)。排泄能呈现随餐后温度升高而上升的趋势,但不同处理间没有显著差异。代谢能随

餐后温度的提高呈现明显的上升趋势。

表 4 不同处理的单尾鱼能量分配比例\*

Table 4 Allocation of ingested energy of individual in different treatments of *Paralichthys olivaceus*

处理 Treatment	能量分配 Allocation of energy(%)			
	生长 Growth	排粪 Feces	排泄 Excretion	代谢 Metabolism
T <sub>14</sub>	61.43±5.18 <sup>b</sup>	12.01±1.04 <sup>b</sup>	5.37±0.48 <sup>ab</sup>	21.20±4.70 <sup>a</sup>
T <sub>17</sub>	56.67±2.27 <sup>ab</sup>	11.65±1.31 <sup>b</sup>	4.98±0.25 <sup>ab</sup>	26.69±2.02 <sup>ab</sup>
T <sub>20</sub>	55.62±1.71 <sup>ab</sup>	9.40±1.15 <sup>ab</sup>	4.39±0.19 <sup>a</sup>	30.60±1.52 <sup>ab</sup>
T <sub>23</sub>	55.21±0.48 <sup>ab</sup>	6.71±1.21 <sup>a</sup>	5.05±0.04 <sup>ab</sup>	33.02±0.44 <sup>bc</sup>
T <sub>26</sub>	48.70±3.97 <sup>a</sup>	5.62±1.28 <sup>a</sup>	5.54±0.44 <sup>b</sup>	40.14±3.53 <sup>c</sup>

\* 同一行中没有相同上标字母的数值相互之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

\* Values without same letter superscript in the same row were significantly different from each other ( $P < 0.05$ ).

表 5 不同处理的单位体重日能量收支\*

Table 5 Daily energy budget of unit body weight of the fish in different treatment of *Paralichthys olivaceus*

处理 Treatment	日能量收支 Daily energy budget(J/(g · d <sup>-1</sup> ))				
	摄食能 Consumption	生长能 Growth	排粪能 Feces	排泄能 Excretion	代谢能 Metabolism
T <sub>14</sub>	155.40±9.22 <sup>a</sup>	94.53±3.37 <sup>a</sup>	18.67±1.11 <sup>c</sup>	8.42±1.24 <sup>a</sup>	33.78±9.36 <sup>a</sup>
T <sub>17</sub>	200.58±2.65 <sup>b</sup>	113.60±4.05 <sup>b</sup>	23.37±0.31 <sup>d</sup>	10.00±0.57 <sup>a</sup>	53.60±4.51 <sup>ab</sup>
T <sub>20</sub>	228.97±11.63 <sup>bc</sup>	127.01±3.59 <sup>c</sup>	21.51±1.09 <sup>d</sup>	10.08±0.91 <sup>a</sup>	70.38±6.91 <sup>bc</sup>
T <sub>23</sub>	234.59±8.37 <sup>c</sup>	129.46±3.73 <sup>c</sup>	15.75±0.56 <sup>b</sup>	11.86±0.48 <sup>a</sup>	77.52±3.71 <sup>bc</sup>
T <sub>26</sub>	208.45±11.99 <sup>bc</sup>	100.76±4.76 <sup>a</sup>	11.72±0.67 <sup>a</sup>	11.64±1.49 <sup>a</sup>	84.34±11.58 <sup>c</sup>

\* 同一行中没有相同上标字母的数值相互之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

\* Values without same letter superscript in the same row were significantly different from each other ( $P < 0.05$ ).

### 3 讨论

#### 3.1 餐后温度对褐牙鲈幼鱼生长的影响

T<sub>17</sub>、T<sub>20</sub>、T<sub>23</sub> 处理褐牙鲈幼鱼生长显著比其它处理快,但与摄食温度和餐后温度均为 20℃ 的 T<sub>20</sub> 处理相比,餐后温度的变化不仅未能促进褐牙鲈幼鱼的生长,反而在餐后温度降到 14℃ 和升到 26℃ 时对生长有抑制作用。这一结果与变温条件下很多鱼类生长加速<sup>[5~9]</sup> 不同,而与美洲鲑<sup>[10]</sup> 和银大麻哈鱼<sup>[11]</sup> 在变温条件下生长减缓的现象类似。这可能是由于不同鱼类对温度波动的响应不同,也可能是由于不同变温方式而导致的。本实验设置的变温方式为日变温 2 个循环且变温时间较短(1h),而其它文献<sup>[5,8,9,12,16]</sup> 中实验的变温设置是每天只变化一个循环,并且一般是连续逐渐变化,因而相对变化速度较慢。由于鱼类的适温范围不同,促长作用的变温幅度有很大差别<sup>[13]</sup>,广温性鱼类,如鲫鱼<sup>[6]</sup> 和鲤鱼<sup>[7]</sup> 变温幅度在 4~6℃ 范围内可能都有促生长作用,而狭温性鱼类如纹尾半线脂鲤(*Hemigrammus caudovittatus*) 的促

长变温幅度则仅为 1.5~2.0℃<sup>[6]</sup>。Thomas 等<sup>[11]</sup> 发现在温度波动范围较大的处理(6.5~20℃),银大麻哈鱼血浆的皮质醇和血糖含量明显较高,可能是鱼处于长期应激的表现。本实验中餐后温度较低和较高的处理也有可能使鱼处于应激状态,导致生长减缓。更小幅度的变温或变化速率更小的变温方式是否对褐牙鲈幼鱼具有促生长作用,仍有待进一步研究。

#### 3.2 餐后温度对褐牙鲈摄食量、消化和饲料转化效率的影响

在对褐鲮,大口黑鲈<sup>[5]</sup> 和褐鲮<sup>[12]</sup> 的研究中发现,变温能够增加鱼类摄食量。而在本实验的餐后温度设置下,相对于恒温的处理 T<sub>20</sub> 而言,餐后温度变化对单尾鱼的摄食量和摄食率都没有产生促进作用,在较低餐后温度处理下还出现了一定程度的降低。说明餐后温度对摄入饲料的蛋白质的消化率没有显著影响,但餐后温度的升高能明显提高能量消化率。从而表明褐牙鲈幼鱼随餐后温度的升高,对蛋白质的消化吸收率没有显著变化,而对淀粉和脂肪等能量物质消化吸收率可能显著提高。目前尚未见有对褐牙鲈消化酶随温度变化的系统报道。但是田相利等<sup>[23]</sup> 对半滑舌鳎的研究发现,在适温范围内,肠道淀粉酶和脂肪酶的活力均随温度上升有显著提高。所以推测褐牙鲈淀粉酶和脂肪酶活力可能对温度有类似的响应,较高的餐后温度提高了对淀粉和脂肪的消化吸收,导致能量消化率的提高。不同餐后温度下以湿重表示 T<sub>17</sub> 的饲料转化效率显著高于 T<sub>26</sub> 处理,而能量转化效率则随餐后温度上升逐渐下降。这表明,虽然较低的餐后温度没能产生促生长效果,但提高了饲料能量转化效率。田相利等<sup>[13]</sup> 还指出,某些对生长有积极促进作用的变温条件下,食物转化率及同化率显著提高,而本文的实验表明与恒温处理 T<sub>20</sub> 相比,变温条件下的食物转化率并未显著提高。可能是本实验中幼鱼保持在餐后温度的时间较长,由于褐牙鲈在较低温度条件下代谢率较低<sup>[24]</sup>,因此节约了较多的能量而导致能量转化效率较高。

#### 3.3 餐后温度对褐牙鲈幼鱼能量分配的影响

单尾褐牙鲈分配于生长的能量比例随餐后温度的升高而呈明显的下降趋势。从表 4 的数据中看出,粪便损失的能量随餐后温度的升高而下降,但是由于其和排泄能占整个个体摄食能的比例较小,因此占摄食能比例较大的代谢能比例随餐后温度的上升显著增加,主导了分配于生长的能量比例的变化,这与前述较低的餐后温度能够节约较多的能量用于生长从而提高饲料能量转化效率是一致的。褐牙鲈幼鱼单位体重的日能量收支数据(表 5)进一步阐明了本实

验中餐后温度对生长和能量分配比例的影响,  $T_{17}$ 、 $T_{20}$ 、 $T_{23}$  处理的幼鱼生长较快,是因为这 3 个处理的单位体重摄食能和生长能较大。张兆琪等<sup>[25]</sup>的研究结果也表明,当温度每升高  $10^{\circ}\text{C}$ ,褐牙鲈幼鱼的日常耗氧率增加 1.88 倍。而本实验中褐牙鲈幼鱼单位体重的代谢能随餐后温度由  $14^{\circ}\text{C}$  上升至  $26^{\circ}\text{C}$  时增加了约 150%,与其结果类似。褐牙鲈幼鱼单位体重的摄食能由  $14^{\circ}\text{C}$  上升至  $26^{\circ}\text{C}$  的所有处理中,最多只增加了约 50%,导致了个体分配于生长的能量比例随餐后温度的升高而减少。

#### 4 结论

实验结果表明,温度主要通过改变摄食量来影响褐牙鲈幼鱼的生长。与恒温( $20^{\circ}\text{C}$ )相比,餐后温度变化没有对褐牙鲈产生明显促生长作用,反而在餐后温度降到  $14^{\circ}\text{C}$  和升到  $26^{\circ}\text{C}$  对生长有抑制作用。而较低、较长的餐后温度( $20^{\circ}\text{C}$  和  $17^{\circ}\text{C}$ )能够降低幼鱼的能量代谢率,因而其能量转化效率较高,使更多的能量分配于生长。

#### 参考文献:

- [1] Clarke W C. Growth of underyearling sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) on diel temperature cycles[J]. Fishery and Marine Technology Report, 1978, 780: 1-22.
- [2] Boule V, Fitzgerald G J. Effects of constant and fluctuating temperature on egg production in three spine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) [J]. Journal of Canada Zoology, 1989, 67(6): 1599-1602.
- [3] Bestgen K R, Williams M A. Effects of fluctuating and constant temperatures on early development and survival of Colorado squawfish [J]. Transaction of American Fisheries Society, 1994, 123(4): 574-579.
- [4] Feldmeth C R, Stone E A, Brown J H. An increased scope for thermal tolerance upon acclimating pupfish (*Cyprinodon*) to cycling temperatures [J]. Journal of Comparative Physiology, 1974, 89(1): 39-44.
- [5] Diana J S. The growth of largemouth bass, *Micropterus salmoides* (Lacepede), under constant and fluctuating temperatures [J]. Journal of Fish Biology, 1984, 24(2): 165-172.
- [6] Konstantinov A S, Zdanovich V V, Kalashnikov Y N. Effects of temperature variation on the growth of eurythermous and stenothermous fishes [J]. Journal of Ichthyology, 1989, 28(3): 61-67.
- [7] Konstantinov A S. Effect of temperature variations on the growth, energetics and physiological states of young fish [J]. Izv Ran Biology, 1993, 1: 55-63.
- [8] Sierra E, Diaz F, Espina S. Energy budget of *Ictalurus punctatus* exposed to constant and fluctuating temperatures [J]. Rivista Italiana di Acquacoltura, 1999, 34(3): 71-81.
- [9] Zdanovich V V. Some features of growth of the young of Mozambique tilapia, *Oreochromis mossambicus*, at constant and fluctuating temperatures [J]. Journal of Ichthyology, 1999, 39(1): 100-104.
- [10] Dickerson B R, Vinyard G L. Effects of high chronic temperatures and diel temperature cycles on the survival and growth of lahontan cutthroat trout [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1999, 128(3): 516-521.
- [11] Thomas R E, Gharrett J A, Carls M G, et al. Effects of fluctuating temperature on mortality, stress, and energy reserves of juvenile coho salmon [J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1986, 115(1): 52-59.
- [12] Spigarelli S A, Thomas M M, Prepejchal W. Feeding, growth and fat deposition by Brown trout in constant and fluctuating temperatures [J]. Transaction of American Fisheries Society, 1982, 111(2): 199-209.
- [13] 田相利,董双林. 变温对水生动物生长影响的研究进展 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(9): 170-178.
- [14] Briette R M, Gteen G H. Growth of underyearling salmon (*Oncorhynchus nerka*) under constant and cyclic temperatures in relation to live zooplankton ration size [J]. Canadian Journal of Fish Science, 1980, 37(2): 203-210.
- [15] Cox D K, Coutant C C. Growth dynamics of juvenile Striped bass as functions of temperature and ration [J]. Transaction of American Fisheries Society, 1981, 110(2): 226-238.
- [16] 桂远明,王志余,陈育辉,等. 利用变温促进罗非鱼生长的研究 [J]. 水产学报, 1989, 13(4): 326-331.
- [17] Vondracek B, Cech JJ Jr, Longaneker D. Effect of constant temperatures on the respiratory metabolism of the Tahoe sucker *Catostomus tahoensis* (Pisces; Catostomidae) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 1982, 73A(1): 11-14.
- [18] 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]. American Zoology, 1971, 11(1): 99-113.
- [19] AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Official methods of analysis: 14<sup>th</sup> ed [M]. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, 1984: 1141.
- [20] Atkinson J L, Hilton J W, Slinger S J. Evaluation of

acid-insoluble ash as an indicator of feed digestibility in Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1984, 41(9): 1384-1386.

- [21] Elliott J M. Energy lost in the waste products of brown trout (*Salmo trutta*) [J]. Journal of Animal Ecology, 1976, 45(2): 561-580.
- [22] Cui Y B, Liu X F, Wang S M, et al. Growth and energy budget in young grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val., fed plant and animal diets [J]. Journal of Fish Biology, 1992, 41(2): 231-238.

- [23] 田相利,任晓伟,董双林,等. 温度和盐度对半滑舌鳎幼鱼消化酶活性的影响 [J]. 中国海洋大学学报, 2008, 38(6): 895-90.
- [24] 张美昭,张兆琪,郑春波,等. 牙鲆幼鱼能量代谢的初步研究 [J]. 中国水产科学, 1999, 6(1): 75-78.
- [25] 张兆琪,张美昭,李吉清,等. 牙鲆鱼耗氧率、氮排泄率与体重及温度的关系 [J]. 青岛海洋大学学报, 1997, 27(4): 483-489.

(责任编辑:尹 闯)

(上接第 214 页 Continue from page 214)

大翼豆 06-2 再生性能好,生长速度快,生育期长,牧草产量高,比对照品种增产 20.3%~33.3%;绿色期长,产量高,草质柔软,叶量丰富,营养价值高,是优良的豆科牧草<sup>[2]</sup>。

大翼豆 06-2 适合间作、人工草地建植,特别是在桉树人工林、果园、胶园间作可形成良好的覆盖层,达到综合利用的目的<sup>[3]</sup>。大翼豆 06-2 也适于天然草地的良种化改造,与禾本科混播,草地稳定性好,亲和力高,表现出良好的持久性,具有较好的放牧与刈割性能,混播建成的人工草地产草高,耐牧,营养丰富,是动物饲养中高蛋白维生素饲料的重要原料。同时大翼豆 06-2 覆盖地面,涵养水源,根系固氮可补充土壤中的养分,提高土壤肥力和持续生产力<sup>[4]</sup>,是热

带、亚热带地区用于草地改良和水土保持的优良豆科牧草品种,具有较好的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 赖志强. 广西饲用植物志:第一卷 [M]. 南宁:广西科学技术出版社, 2011: 273-276.
- [2] 易显凤,赖志强,蔡小艳,等. 四种藤蓼豆科牧草生产性能的比较 [J]. 上海畜牧兽医, 2012(2): 28-29.
- [3] 易显凤,赖志强,蔡小艳,等. 果园套种豆科牧草试验研究 [J]. 草业科学, 2010, 27(8): 161-165.
- [4] 彭连武. 热带亚热带优良牧草大翼豆的研究 [J]. 中国草地, 1992(1): 70, 52.

(责任编辑:陈小玲)