

盐度和温度对半滑舌鳎生长、渗透生理及能量收支的影响

田相利^{1,2}, 王国栋¹, 董双林¹, 房景辉¹

(1. 中国海洋大学教育部海水养殖重点实验室, 山东 青岛 266003; 2. 盘锦光合水产有限公司, 辽宁 盘锦 124200)

摘要: 研究了盐度和温度对半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)幼鱼的生长、生化组成、渗透生理及能量收支的影响。实验鱼体质量(18.06 ± 3.65) g, 全长(15.45 ± 2.77) cm。实验设置了3个盐度水平(22、26和30)和4个温度水平(18℃、21℃、24℃和27℃), 每个处理设置4个重复。8周的生长实验结果表明, 各处理半滑舌鳎特定生长率总体变动在1.00%~1.34%。在本研究条件下, 盐度对半滑舌鳎生长影响不显著($P > 0.05$), 而温度对其生长影响显著($P < 0.05$)。在盐度22、26和30下, 其最大生长率分别出现在21℃、24℃和18℃下, 而在27℃下生长率最低。饲料转化率和消化率变化趋势与生长率相似。随温度的升高鱼体蛋白质含量有升高趋势, 脂肪含量和能值降低, 但受盐度影响不显著。渗透生理研究结果表明, 盐度和温度对半滑舌鳎血浆渗透压和鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活性影响均显著($P < 0.05$)。随盐度的升高, 血浆渗透压和鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活性均有所升高。温度对不同盐度下半滑舌鳎血浆渗透压影响有所差异, 但随温度的升高半滑舌鳎鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活性显著降低。能量收支研究表明, 生长能和呼吸能的变化主导着半滑舌鳎的能量收支模式, 在本研究设置的温度和盐度范围内, 生长能占摄食能的比例以盐度18和温度21℃最高, 而呼吸能的比例则总体随温度升高而逐渐升高。[中国水产科学, 2010, 17(4): 771-782]

关键词: 半滑舌鳎; 盐度; 温度; 生长性能; 渗透生理; 能量收支

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2010)04-0771-12

半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis* Günther)属鲽形目(Pleuronectiformes)、舌鳎科(Cynoglossidae)、舌鳎属(*Cynoglossus*), 为近海常见的暖温性大型底层鱼类, 在中国沿海均有分布, 尤以渤海、黄海为多^[1-3]。半滑舌鳎性情温驯、适应性强、食性广、生长速度快, 且肉质细腻、味道鲜美, 经济价值较高。近年来, 其自然资源愈来愈匮乏, 捕捞量日益下降, 使半滑舌鳎成为国内外市场的争购对象。目前, 对半滑舌鳎的研究多集中于对其繁殖生物学及早期发育等方面^[4-7], 关于半滑舌鳎盐度和温度对其生长及生理生态学影响的研究尚未见报道。本研究对半滑舌鳎在不同盐度和温度下的生长和鱼体生化组成等情况进行分析, 通过测定血浆渗透压、鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶

活性和不同盐度与温度下半滑舌鳎的能量收支情况, 从渗透调节和能量代谢角度对盐度和温度影响半滑舌鳎生长的生理生态学机制进行了分析, 以期半滑舌鳎规模化人工养殖提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用半滑舌鳎购自江苏省海洋水产研究所, 体质量(18.06 ± 3.65) g, 全长(15.45 ± 2.77) cm, 均为健康活泼个体。

1.2 实验设计

本实验设置了4个温度水平, 为18℃、21℃、24℃和27℃, 分别用T18、T21、T24和T27表示; 3个盐度水

收稿日期: 2009-10-06; 修订日期: 2009-12-25.

基金项目: 国家863计划项目(2006AA10Z409); 国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAD09A01); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(2005BS07004); 新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-08-0503).

作者简介: 田相利(1971-), 男, 副教授, 研究方向为养殖生态学. E-mail: xianglitian@ouc.edu.cn

平,为22、26和30,分别用S22、S26和S30表示,计12个温度和盐度组合,每个组合分别设置4个重复。

1.3 实验管理

1.3.1 实验鱼的驯化 实验鱼运到后,随机抽取分养在多个水族箱中,使其适应实验室环境。水族箱用纱窗盖住,防止鱼跳出。稳定7 d后开始驯化,盐度以每天降低1~2的速率分别降至26和22,低盐度水由

经过充分曝气的砂滤海水(盐度30,pH值8.1)和井淡水调配而成;温度以每天变化1~2℃的速率分别调整至18℃、21℃、24℃和27℃,然后在各温度盐度下对半滑舌鳎驯养7d,以使其适应新的水环境条件。

驯养期间每天于7:00和17:00各投喂1次,残饵粪便及时吸出。所用饲料为日清红丸配合饲料,其主要成分见表1。日换水率50%。

表1 饲料的含能量及营养组成
Tab. 1 Energy content and composition of the experimental diet

能值/(kJ·g ⁻¹) Energy content	粗蛋白/% Protein	脂肪/% Lipid	灰分/% Ash	含水量/% Moisture	粗纤维/% Fibre	钙/% Calcium
21.29±0.12	51.22±5.35	8.16±0.35	13.47±2.91	3.85±0.05	3.00	2.30

1.3.2 实验鱼饲养与管理 驯化结束后,停食24 h,随机抽取健康、活泼的个体,称重后放入相应处理的水族箱(规格为55×30×35 cm)中,每个水族箱放养5尾。另外,每个处理随机抽取8尾鱼,其中4尾用于测定体成分组成,另外4尾用于测定血浆渗透压和鳃丝Na⁺/K⁺-ATP酶活性等生理指标。

实验期间,每天7:00和17:00各投喂1次。为减少饲料溶失造成的摄食量计算中的误差,实验前对投喂时间内和相应盐度下饲料的溶失率进行了测定。实验期间保持50%的日换水率,换水前一天调至适宜的盐度与温度。为保证水体中充足的溶氧,每个水族箱用气泵24 h充气。

实验温度通过空调和WEIPRO MX-300 IC型加热棒控制,温度波动在±0.1℃;光照周期为12L:12D。

整个实验于2006年9月2日开始,10月27日结束,共计56 d。

1.3.3 样品的收集 在投喂后1 h用虹吸法及时收集残饵,在投喂前和投喂后1.5 h用虹吸法吸取粪便,然后分别装入烧杯,在70℃下烘干后在-20℃下保存。实验用饲料随机取样3份,作为分析饲料成分的样品。实验结束时,停食24 h,然后对每个水族箱内的鱼分别称重。同时,每个处理随机抽取8尾鱼,其中4尾用于测定体成分组成,另外4尾用于测定血浆渗透压和鳃丝Na⁺/K⁺-ATP酶活性等生理指标。

1.4 血浆的取样和渗透压的测定

用1 mL注射器从半滑舌鳎腹部尾静脉插入抽取血液,血液抽出后置于冷的1.5 mL离心管中,立即取20 μL用Model 210型冰点渗透压计(Micro-Osmometer)测定渗透压。渗透压用渗透浓度来表示,单位为mOsm mol/kg。

1.5 鳃丝Na⁺/K⁺-ATP酶活性的测定

酶液的制备:取鱼两侧鳃丝,用预冷蒸馏水(0~4℃)洗净、滤纸吸干后置于10 mL冰冷酶提取液中,用高速匀浆器在冰水浴中以20 000 r/min转速匀浆5 min,匀浆液在高速冷冻离心机中离心30 min,取上清液再离心10 min,将所得上清液冷藏(0~2℃)保存,在8 h内测定Na⁺/K⁺-ATP酶活力。

酶蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定。Na⁺/K⁺-ATP酶活力测定参考Whealy等^[8]的方法,通过测定全酶反应体系和Na⁺/K⁺-ATP酶活力被抑制反应体系中底物ATP-Na₂释放出无机磷(Pi)量的差值来计算,酶活力单位采用mmol(Pi)/(g⁻¹pr·h⁻¹)表示。

1.6 鱼体成分的测定

将实验鱼样品冷冻干燥后放入烘箱内70℃下烘干至恒重,得到干物质含量;灰份含量为以马福炉550℃灼烧6 h至恒重后测得;以元素分析仪Vario EL III测得N含量后,再得到蛋白质含量(6.25×N);以BUCHI36680型脂肪抽提仪测定鱼体脂肪含量

(以乙醚为抽提剂); 鱼体能值则以 PARR1281 型氧弹热量仪测得。

1.7 能量测定及收支计算

鱼类的摄食 (C)、生长 (G)、呼吸 (R)、粪便 (F) 和排泄 (U) 的能量符合下列关系:

$$C = G + F + U + R^{[9]}$$

其中, C 为摄入的饲料能量, G 为生长能, F 为粪能, U 为排泄能, R 为代谢能。其中, C 、 G 和 F 所含的能值用 PARR 1281 型氧弹热量仪测定, 排泄能以以下式计算:

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

式中 C_N 为摄食食物中所含的氮, G_N 为鱼体中积累的氮, F_N 为粪便中损失的氮, 24 830 为每克氮氮的能值^[10]。以其他形式排泄的氮忽略不计。含氮量用 Vario EL III 型元素分析仪测定。呼吸耗能由能量收支式 $R = C - G - F - U$ 求出。

1.8 计算与数据分析

实验期间半滑舌鳎特定生长率 (SGR)、消化率 (ADR) 和饲料转化率 (K) 计算如下:

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

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

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

其中, SGR 表示半滑舌鳎体质量的特定生长率, ADR 表示半滑舌鳎的消化率, K 表示饲料转化率, C_w 表示半滑舌鳎的摄食量, F_w 为粪便重量, W_t 和 W_0 为

半滑舌鳎的初体质量和末体质量, t 为实验时间。

所得数据用方差分析及 Duncan 多重比较进行分析处理, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平。所有数据的统计分析以 SPSS10.0 软件进行, 数据以平均值 $\pm$ 标准误表示。

2 结果与分析

2.1 不同盐度和温度下半滑舌鳎的生长

不同盐度和温度下半滑舌鳎生长情况见图 1。可以看出, 盐度和温度对半滑舌鳎特定生长率影响显著 ($P < 0.05$)。不同盐度水平下, 温度对半滑舌鳎生长的影响有所不同。在盐度 30 下, 半滑舌鳎的特定生长率随温度的降低而明显升高, 18 °C 和 21 °C 下其特定生长率显著高于 27 °C ($P < 0.05$); 而盐度 22 和 26 下, 则分别在 21 °C 和 24 °C 时显示出最高的特定生长率, 显著高于 27 °C ($P < 0.05$)。综合不同盐度下各处理的生长情况可以看出, 半滑舌鳎在较高的 27 °C 下生长较差。从相同温度下不同盐度的影响看, 在 21 °C 和 27 °C 下, 22 ~ 30 的范围内的盐度变化不影响半滑舌鳎的生长 ($P > 0.05$); 而在 18 °C 下, 以盐度 30 下生长最快; 24 °C 下则以盐度 26 生长最快, 但盐度 26 和 30 下生长没有显著差异 ($P > 0.05$)。盐度和温度交互作用对生长影响显著 ($P < 0.05$), 在温度-盐度组合 21 °C-22、24 °C-26 和 18 °C-30 下半滑舌鳎幼鱼生长最佳。实验期间, 半滑舌鳎的成活率为 100%, 没有个体死亡。

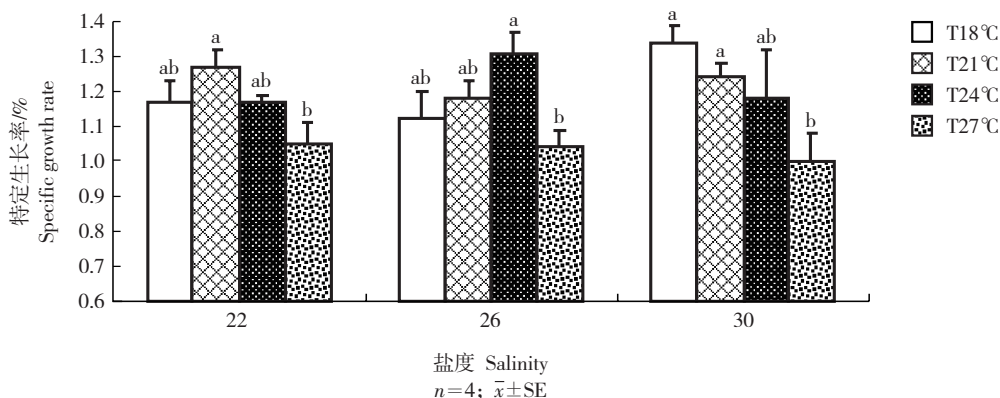


图 1 不同盐度和温度下半滑舌鳎的特定生长率

图中相同盐度下的不同字母表示不同温度处理间有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Fig. 1 Specific growth rate of *Cynoglossus semilaevis* at different salinities and temperatures

Data with different letters at different temperatures of the same salinity are significantly different from each other ($P < 0.05$).

2.2 不同盐度和温度下半滑舌鲷的饲料转化率和消化率

从图2可以看出,盐度和温度对半滑舌鲷饲料转化率影响显著($P<0.05$)。在盐度30和22下,半滑舌鲷的饲料转化率总体随温度的升高而显著降低。而在盐度26下,则以21℃下饲料转化率最高,显著高于27℃处理组($P<0.05$)。从相同温度下不

同盐度的影响看,在18℃下以盐度30下半滑舌鲷的饲料转化率最高;21℃和24℃下,各组半滑舌鲷的饲料转化率总体随盐度的升高而提高;而在27℃下,盐度22~30范围内的盐度变化对半滑舌鲷饲料转化率影响不显著($P>0.05$)。总体比较,除了水温27℃,其他温度处理下均以盐度30下半滑舌鲷的饲料转化率为最高。

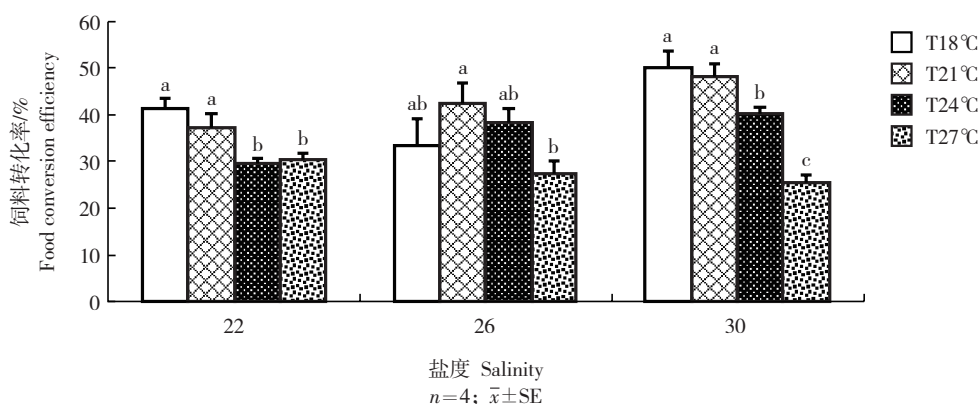


图2 不同盐度和温度下半滑舌鲷的饲料转化率

图中相同盐度下的不同字母表示不同温度处理间有显著性差异($P<0.05$)。

Fig. 2 Food conversion efficiency of *Cynoglossus semilaevis* at different salinities and temperatures

Data with different letters at different temperatures of the same salinity are significantly different from each other ($P<0.05$).

同盐度和温度下半滑舌鲷的消化率见图3。可以看出,盐度和温度对半滑舌鲷消化率影响显著($P<0.05$)。在盐度30下,各温度下消化率均随温度的升高而降低,其中,在18℃和21℃下,半滑舌鲷的消化率显著高于27℃($P<0.05$);而在盐度26和22下,均以21℃处理组的消化率最高,均显著高于18℃处理组($P<0.05$)。从不同盐度对半滑舌鲷消化率的影响看,在18℃下,半滑舌鲷消化率总体随盐度的升高而升高,以盐度30下为最高;在21℃和24℃下,半滑舌鲷的消化率则以盐度26为最高;而在27℃下,半滑舌鲷的消化率总体随盐度升高而降低,以盐度30下为最低($P<0.05$)。

2.3 不同盐度和温度下半滑舌鲷的摄食量

不同盐度和温度下半滑舌鲷的摄食量见图4。可以看出,盐度和温度对半滑舌鲷摄食量影响均显著($P<0.05$)。在盐度30下,各温度下摄食量均随温

度的升高而降低,其中,在18℃下显著高于24℃和27℃($P<0.05$);在盐度26和22下,以21℃处理组的摄食量最高,显著高于18℃和21℃处理组($P<0.05$)。在盐度22下,则以18℃处理组的摄食量最低。从不同盐度对半滑舌鲷摄食量的影响看,在18℃和21℃下,22~30的盐度对半滑舌鲷摄食量影响不显著($P>0.05$);而在24℃和27℃时,盐度22和26下半滑舌鲷的摄食量则显著高于盐度30($P<0.05$)。

2.4 不同盐度和温度下半滑舌鲷的含能量及体成分组成

实验结束时不同温度和盐度下半滑舌鲷的含能量及体成分组成如表2所示。可以看出,盐度和温度对半滑舌鲷含能量及体成分组成影响有所不同。

温度对半滑舌鲷鱼体水分含量影响显著($P<0.05$),但盐度影响不显著($P>0.05$)。实验结束时,盐度26下各温度处理半滑舌鲷鱼体的水分含量

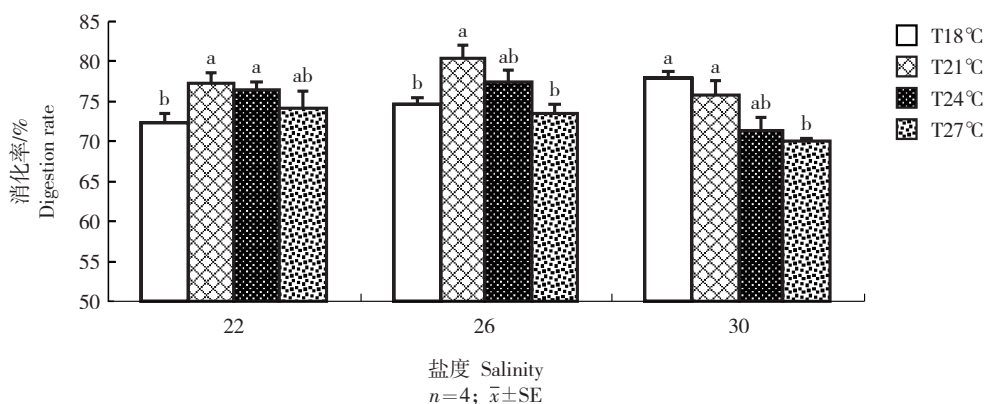


图3 不同盐度和温度下半滑舌鳎的消化率

图中相同盐度下的不同字母表示不同温度处理间有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Fig. 3 Digestion rate of *Cynoglossus semilaevis* at different salinities and temperatures

Data with different letters at different temperatures of the same salinity are significantly different from each other ($P < 0.05$).

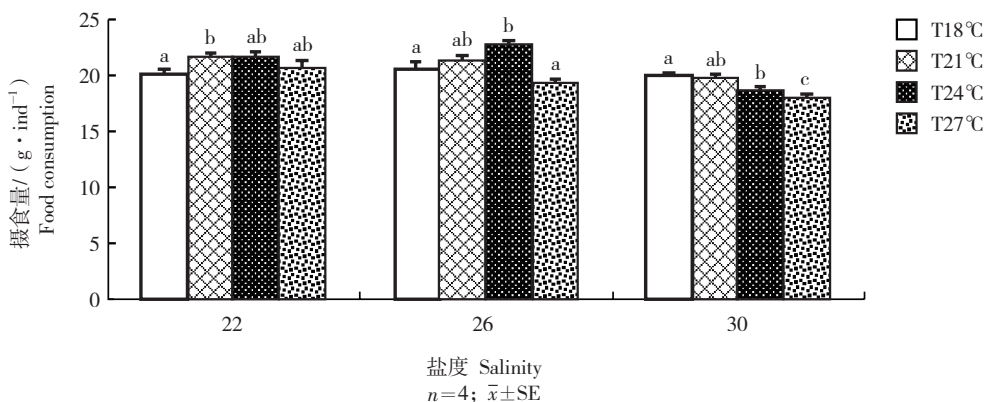


图4 不同盐度和温度下半滑舌鳎的摄食量

图中相同盐度下的不同字母表示不同温度处理间有显著性差异 ($P < 0.05$)。

Fig. 4 Food consumption of *Cynoglossus semilaevis* at different salinities and temperatures

Data with different letters at different temperatures of the same salinity are significantly different from each other ($P < 0.05$).

差异不大,22盐度下以18℃下为最高,而在30盐度下,24℃下鱼体水分含量显著高于18℃和27℃。

温度对半滑舌鳎鱼体蛋白质含量影响显著 ($P < 0.05$),但盐度影响不显著 ($P > 0.05$)。27℃水温下鱼体蛋白含量总体上高于其他温度,盐度22下,各处理蛋白质含量随温度的升高而升高,而盐度30下蛋白含量随温度升高呈先升高后降低的趋势。

盐度和温度对半滑舌鳎鱼体脂肪含量影响均显著 ($P < 0.05$)。总体上,在相同温度下,以21℃下各组脂肪含量最高。其中,在盐度26和30下,各处理脂肪含量随温度的升高而降低。而在盐度22下,鱼

体脂肪含量随温度变化有所波动。从盐度的影响看,在21℃下,盐度对鱼体脂肪影响不显著 ($P > 0.05$),而在较高的27℃下,鱼体脂肪含量随盐度的升高而显著降低 ($P < 0.05$)。

盐度和温度对半滑舌鳎鱼体灰分含量影响显著 ($P < 0.05$)。其中,盐度26下鱼体灰分含量高于盐度22和30,相同盐度下鱼体灰分含量则以21℃水温最低。

温度对半滑舌鳎鱼体能量含量影响显著 ($P < 0.05$),但盐度影响不显著 ($P > 0.05$)。总体上看,鱼体含能量随温度的升高而降低,其中,较高温下(27℃)鱼体含能量显著低于其他温度 ($P < 0.05$)。

表2 不同盐度和温度下半滑舌鲷鱼体的含能量及体成分组成

Tab. 2 Energy content and proximate composition of *Cynoglossus semilaevis* at different salinities and temperatures

$n=4; \bar{x} \pm SE$

处理 Treatment	水分/% Moisture	蛋白质/% Protein	脂肪/% Lipid	灰分/% Ash	能值/(kJ·g ⁻¹) Energy content
S22T18	79.78±0.47 ^a	15.48±0.12 ^a	3.78±0.86 ^b	0.97±0.13 ^a	22.78±0.03 ^a
S22T21	76.71±0.38 ^b	16.94±0.75 ^b	5.16±0.39 ^a	0.88±0.17 ^a	22.66±0.13 ^a
S22T24	76.78±0.68 ^b	17.54±0.37 ^{bc}	3.25±0.15 ^b	1.52±0.10 ^c	22.40±0.25 ^a
S22T27	76.11±0.29 ^b	18.01±0.20 ^c	4.25±0.95 ^{ab}	1.32±0.04 ^b	21.00±0.06 ^b
S26T18	76.87±0.59	16.10±0.52 ^a	4.82±0.87 ^a	1.90±0.15 ^b	23.11±0.05 ^a
S26T21	76.93±0.86	16.54±0.19 ^a	4.79±0.46 ^a	1.43±0.09 ^a	22.74±0.19 ^b
S26T24	77.80±0.54	16.27±0.62 ^a	4.15±0.23 ^a	1.47±0.06 ^a	22.58±0.18 ^b
S26T27	76.23±0.61	19.33±0.67 ^b	2.29±1.16 ^b	1.84±0.06 ^b	20.09±0.07 ^c
S30T18	76.68±0.81 ^b	17.05±0.63 ^{bc}	4.54±0.58 ^a	1.42±0.14 ^b	22.83±0.06 ^a
S30T21	77.66±1.21 ^{ab}	16.38±0.58 ^{ab}	4.82±0.39 ^a	0.95±0.06 ^a	22.85±0.10 ^a
S30T24	79.45±0.73 ^a	15.98±0.81 ^a	2.96±0.41 ^b	1.30±0.08 ^b	21.44±0.20 ^b
S30T27	76.12±0.50 ^b	18.93±0.40 ^c	1.89±0.16 ^b	1.75±0.02 ^c	19.44±0.16 ^c

注：表中相同盐度下的不同字母的数据表示不同温度处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Data with different letters at different temperatures of the same salinity are significantly different from each other ($P<0.05$) .

2.5 不同盐度和温度下半滑舌鲷的血浆渗透压及鳃丝Na⁺/K⁺-ATP酶活力

不同盐度和温度下半滑舌鲷的血浆渗透压见图5。可以看出,盐度对血浆渗透压影响显著($P<0.05$),各处理渗透压总体上随盐度升高而升高,但在温度27℃

下,各盐度处理下半滑舌鲷的血液渗透压无显著性差异($P>0.05$)。温度对半滑舌鲷血浆渗透压影响显著($P<0.05$)。同一盐度下,温度对血浆渗透压影响有所差异。在盐度30下,以27℃下为最低,其余温度差异不显著($P>0.05$)。而盐度26和22下,则均以21℃为最高。

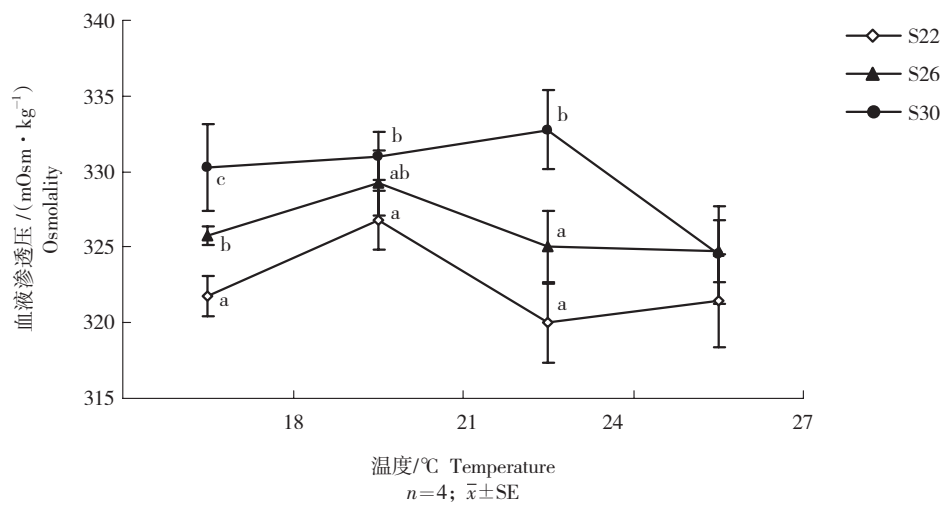


图5 不同盐度和温度下半滑舌鲷的血液渗透压

图中相同温度下的不同字母表示不同盐度处理间有显著性差异 ($P<0.05$)。

Fig. 5 Plasma osmotic (mOsm/kg) of *Cynoglossus semilaevis* at different salinities and temperatures

Data with different letters at different salinities of the same temperature are significantly different from each other ($P<0.05$) .

图6为不同盐度和温度下半滑舌鳎的鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活性。可以看出,温度和盐度对半滑舌鳎鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活性影响均显著($P<0.05$)。随着温度的上升,各处理鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活性显著

降低。盐度对酶活力的影响小于温度的影响,总体上,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活随盐度升高而升高,但盐度30和26下差异不显著($P>0.05$)。

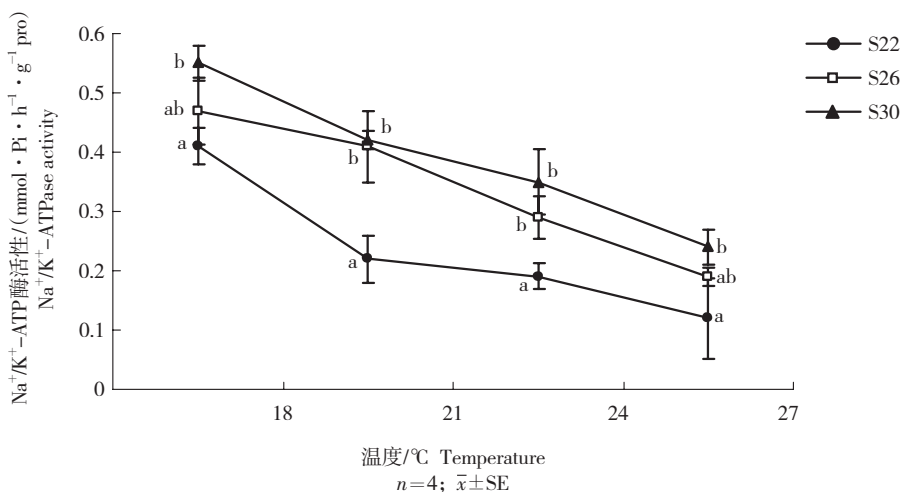


图6 不同盐度和温度下半滑舌鳎的鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活性
图中相同温度下的不同字母表示不同盐度处理间有显著性差异($P<0.05$)。

Fig. 6 Gill Na^+/K^+ -ATPase activity ($\text{mmol} \cdot \text{Pi} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{g}^{-1} \text{ protein}$) of *Cynoglossus semilaevis* at different salinities and temperatures
Data with different letters at different salinities of the same temperature are significantly different from each other ($P<0.05$).

2.6 不同盐度和温度下半滑舌鳎的能量收支

不同盐度和温度下半滑舌鳎的能量收支各组分能量值见表3。可以看出,盐度和温度对半滑舌鳎的能量收支各组分影响显著($P<0.05$)。随温度的升高,摄食能有先升高后降低的趋势,总体上以21和24 °C下各组摄食能最高,27 °C下最低。而相同温度下,盐度26处理组摄食能均高于盐度22和30($P<0.05$)。总体上,半滑舌鳎的生长能以21 °C下最高,在较高温度下(27 °C)则显著降低,其中以S22T21处理最高(123.54 J/d),S30T27处理最低(63.09 J/d)。温度对粪便能与排泄能影响显著($P<0.05$),均有随温度的升高而降低的趋势,但盐度影响不显著($P>0.05$)。温度对呼吸能影响显著($P<0.05$),各处理呼吸能总体随温度升高而升高。不同盐度比较,以盐度30下呼吸能为最低。

从不同盐度和温度下半滑舌鳎的能量收支情况(表4)来看,生长和呼吸能占摄食能的比例的变化主导着半滑舌鳎能量收支模式,分别变动于

16.99% ~ 28.2%和47.59% ~ 57.83%之间。其中,盐度和温度对生长能和呼吸能占摄食能的比例影响显著($P<0.05$),但对排泄能和粪便能比例影响不显著($P>0.05$)。总体上看,在盐度26和30下,生长能占摄食能的比例随温度升高而降低,呼吸能占摄食能的比例则随温度的升高而升高。但在盐度22下,其变化趋势则有所不同,即在21 °C下,半滑舌鳎生长能占摄食能比例显著高于其他温度处理,呼吸能占摄食能的比例则显著小于其他温度处理($P<0.05$)。而在相同温度下,不同盐度对半滑舌鳎生长能和呼吸能占摄食能的比例影响有所差异。其中,在较低的温度(18 °C)下,生长能的比例随盐度的升高而升高,呼吸能比例则随盐度的升高而降低;在21 °C下,生长能比例以盐度26下最高,而呼吸能比例则差异不大($P>0.05$);在24 °C下,生长能和呼吸能占摄食能的比例均不受盐度变化的影响($P>0.05$);在较高温度(27 °C)下,生长能比例随盐度的升高而降低,但呼吸能占摄食能的比例不受盐度变化的影响($P>0.05$)。

表3 不同盐度和温度下半滑舌鲷的能量收支各组分量值
Tab. 3 Energy allocation in *Cynoglossus semilaevis* at different salinities and temperatures
 $n=4; \bar{x} \pm SE; J \cdot d^{-1}$

处理 Treatment	摄食能 Food consumption	生长能 Growth	粪便能 Feces	排泄能 Excretion	呼吸能 Metabolism
S22T18	410.53±10.93 ^b	79.10±6.68 ^c	78.76±5.25	31.41±3.85	221.56±12.07 ^{ab}
S22T21	443.90±7.86 ^a	123.54±14.62 ^a	77.50±3.71	31.86±4.79	211.00±11.73 ^b
S22T24	445.60±7.17 ^a	96.05±10.77 ^b	79.36±3.05	33.37±4.16	230.82±7.12 ^a
S22T27	424.02±13.28 ^{ab}	86.22±4.91 ^{bc}	71.32±6.36	29.08±4.84	237.41±14.37 ^a
S26T18	422.13±11.65 ^{ab}	102.82±4.29 ^a	81.84±4.43	32.07±4.10 ^{ab}	205.40±7.16 ^c
S26T21	465.61±8.20 ^a	102.53±9.08 ^a	80.64±7.17	36.65±3.84 ^a	235.79±4.97 ^a
S26T24	460.77±5.98 ^a	103.89±5.98 ^a	77.34±7.06	35.60±3.61 ^{ab}	243.94±2.88 ^a
S26T27	396.79±6.79 ^b	74.09±3.89 ^b	69.11±6.03	27.86±3.94 ^b	225.74±8.92 ^b
S30T18	409.73±5.19 ^a	115.48±5.75 ^a	79.61±4.25 ^a	27.77±2.99	186.87±4.54 ^a
S30T21	404.62±5.88 ^a	100.78±11.17 ^{ab}	72.28±4.47 ^{ab}	30.25±4.78	201.31±12.41 ^b
S30T24	381.51±8.36 ^b	81.66±12.36 ^b	67.73±6.07 ^b	27.67±5.29	204.46±13.41 ^b
S30T27	369.76±6.98 ^b	63.09±6.35 ^c	66.59±5.79 ^b	26.43±3.36	213.65±2.08 ^b

注：表中相同盐度下的不同字母的数据表示不同温度处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Data with different letters at different temperatures of the same salinity are significantly different from each other ($P<0.05$).

表4 不同盐度和温度下半滑舌鲷的能量收支 (占摄食能的百分比)
Tab. 4 Allocation of the consumed energy in *Cynoglossus semilaevis* at different salinities and temperatures
 $n=4; \bar{x} \pm SE; \%$

处理 Treatment	生长能 Growth	粪便能 Feces	排泄能 Excretion	呼吸能 Metabolism
S22T18	19.44±2.21 ^a	19.08±0.98	7.63±0.27	53.85±2.35 ^a
S22T21	27.86±3.38 ^b	17.46±1.83	7.17±0.38	47.51±4.12 ^b
S22T24	21.53±2.36 ^{ab}	17.82±0.75	7.49±0.28	53.15±3.55 ^a
S22T27	21.92±1.31 ^{ab}	18.25±1.96	7.36±0.22	55.99±1.79 ^a
S26T18	24.36±0.79 ^a	19.41±1.04	7.59±0.04	48.63±0.86 ^b
S26T21	22.04±2.02 ^{ab}	17.30±1.47	7.87±0.15	52.78±2.67 ^{ab}
S26T24	22.58±1.44 ^{ab}	16.75±1.41	7.72±0.06	52.95±1.89 ^{ab}
S26T27	18.65±0.74 ^b	17.51±1.77	7.02±0.14	56.89±1.18 ^a
S30T18	28.2±1.45 ^a	19.43±1.01	6.77±0.11	45.59±1.53 ^c
S30T21	24.97±2.94 ^{ab}	17.90±1.26	7.46±0.35	49.67±3.04 ^{bc}
S30T24	22.22±3.85 ^b	18.17±1.35	7.42±0.47	52.19±4.25 ^b
S30T27	16.99±1.41 ^c	18.03±0.38	7.16±0.19	57.83±1.73 ^a

注：表中相同盐度下的不同字母的数据表示不同温度处理间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Data with different letters at different temperatures of the same salinity are significantly different from each other ($P<0.05$).

3 讨论

3.1 盐度和温度对半滑舌鲷生长的影响及其生物能量学机制

关于温度和盐度对鱼类的生长影响的研究已有较多报道。但由于在鱼的种类、温度和盐度设置等方面存在的差异,所得到的结果差异较大。例如,Jeremy等^[11]的研究表明,在温度28~32℃、盐度0~8的水环境中,尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)幼鱼都能保持较高的生长速度,没有明显差异($P>0.05$)。但盐度高于8时,鱼的生长速度明显降低。当盐度接近16、温度接近32℃时,对罗非鱼幼鱼具有严重的伤害性^[11]。Watanabe等^[12]则发现,佛罗里达红罗非鱼[*O. mossambicus*(♀)×*O. niloticus*(♂)]生长也受盐度和温度的影响,一般在盐度为0、温度为27℃时生长速度最快,而当盐度在18和36时,温度需要升高到32℃才能达到其最快生长速度。对于海水种类来说,温度和盐度对一些硬骨鱼类的交互影响已经有较多报道^[12-15]。例如,斑点三鳍鲷(*Trinectes maculatus*)的生长在较低的温度下随盐度升高而升高,但在高温下却呈现出相反的趋势^[13]。而大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)和大西洋牙鲆(*Paralichthys dentatus*)在适宜的较高温度下生长则随盐度降低而升高^[14,16]。同时,Imsland等发现对大菱鲆生长最佳的温度-盐度组合是21.8℃-18.5和18.3℃-19.0^[16]。在本研究设置范围内,温度和盐度对半滑舌鲷生长影响显著,但其随盐度和温度的变化规律与上述种类相比均有所差异。温度对半滑舌鲷的生长影响显著。在27℃下,各处理的生长率均显著降低,表明温度已对半滑舌鲷生理上产生胁迫作用,影响了其正常的生理机能,导致生长受到抑制。从盐度的影响看,在21和27℃下,22~30的范围内的盐度变化不影响半滑舌鲷的生长($P>0.05$);而在18℃下,以盐度30下生长最快;24℃下则以盐度26生长最快,但盐度26和30下生长没有显著差异($P>0.05$)。总体而言,本研究所得到的半滑舌鲷幼鱼生长最佳的温度和盐度组合(温度-盐度)分别为21℃-22、24℃-26和18℃-30。

关于不同温度和盐度组合对鱼类生长影响的机制,现有的研究一般认为与温度和盐度对鱼类生理影响所导致的饲料转化率差异有关。例如,研究表明,受温度和盐度影响的斑点三鳍鲷、大菱鲆和大西洋牙鲆生长的变化与饲料转化率表现出了一致的变化规律^[13-14,16]。而本研究则发现,温度和盐度对半滑舌鲷幼鱼生长影响的机制在不同条件下可能有所不同,综合对比不同处理下半滑舌鲷的摄食量、饲料转化率、消化率和能量收支情况,总体上可以将适宜温度和盐度组合下半滑舌鲷较高生长率归因于较高的摄食量、饲料转化率以及生长能比例的增加和代谢能支出降低等几方面。

3.2 盐度和温度对半滑舌鲷渗透生理的影响

已有研究表明,广盐性鱼类在环境盐度变化的过程中,伴随着形态和生理上的深层次的变化,主要通过渗透压调节机制来适应不同的盐度环境^[17-19]。不同温度和盐度影响鱼类的渗透压调节能力,导致其对环境的不同的适应能力。例如,Allanson等^[20]研究发现,11℃时莫桑比克罗非鱼在淡水中出现“冷昏迷”,且伴随发生血浆渗透压和离子浓度的显著降低,但在盐度5中却无异常发生。Sardella等^[21]报道,在35℃下,将一种杂交的罗非鱼(*O. mossambicus*×*O. urolepis hornorum*)从盐度35中转移至盐度43~60时,其血浆渗透压随盐度的升高呈直线上升,而25℃下进行相应操作其血浆渗透压却无显著变化。Al Amoudi等和Sardella等的研究也发现,低温明显降低了罗非鱼(*O. spilurus*)和杂交罗非鱼对盐度的忍受能力^[22-23]。而对鲑鱼(*Salmo salar*)和大菱鲆等海水鱼类的研究也发现,过高或过低的温度都会削弱其渗透调节能力^[23-25]。对最适温度的偏离均可能导致机体渗透调节的严重失衡,甚至可能致使细胞膜破裂^[26]。从本研究结果来看,不同温度下,盐度对半滑舌鲷血浆渗透压的影响有所不同。在18~24℃的温度下,盐度30下鱼体血浆渗透压均显著高于盐度22,但在温度27℃下,各盐度处理下半滑舌鲷的渗透压却差异不显著,这说明温度的差异会显著影响半滑舌鲷渗透调节能力。可以看出,

较高的温度(27℃)可能已经严重影响到半滑舌鲷的渗透压调节机能,使其已无法根据环境的渗透压变化情况而有效调节其血浆渗透压浓度,这也可能是导致半滑舌鲷幼鱼在此温度下生长不佳的原因之一。

鳃丝氯细胞中的 Na^+/K^+ -ATP酶在鱼类的水盐平衡调节过程中起着重要的作用^[27],其活性与离子的转运和对海水的忍受能力^[28]等密切相关。 Na^+/K^+ -ATP酶广泛存在于细胞膜中,主要功能是参与细胞内外 Na^+ 、 K^+ 跨膜转运,即将细胞内 Na^+ 移至细胞外、细胞外 K^+ 转移至细胞内,从而维持细胞外高钠、细胞内高钾的跨膜离子浓度梯度^[29]。盐度对不同种类的广盐性鱼类 Na^+/K^+ -ATP酶的活性影响有所差异。Uchida等发现,在25℃下,莫桑比克罗非鱼转入海水中时,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活力显著增加^[30]。而在23~25℃下,当杂交罗非鱼转入盐度51和60后2周时,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活力也显著增加^[21]。对海水鱼的有关研究表明,盐度对褐牙鲈(*P. olivaceus*)鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活力表现出显著影响,且高渗环境中鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活力与外界盐度大小成正比^[30]。但同样在高渗环境中,短吻鲟(*Acipenser brevirostrum*)鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶的活性没有变化^[31],西伯利亚鲟(*A. fulvescens*)却显著升高^[32]。从本研究结果看,温度和盐度对半滑舌鲷鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶的活性水平均有显著影响。在盐度30下,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶的活性显著高于盐度22。而随着温度的升高,各处理组鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活性显著降低。从现有的研究看,由盐度等变化引起的 Na^+/K^+ -ATP酶活性的变化对生长有较大影响。尽管 Na^+/K^+ -ATP酶活性与鱼类生长的关系尚无法直接定量,但由于渗透调节是一个耗能的过程,因此一般认为较低的 Na^+/K^+ -ATP酶活性往往与鱼体较高的生长率相对应^[24]。在与鱼类等渗点相近或稍高的水体环境中,鱼体的生长最佳,而 Na^+/K^+ -ATP酶活性也最低^[33-34]。不过本研究结果与此差异较大,在半滑舌鲷幼鱼鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶活性的变化与鱼体的生长速率之间并未发现直接的相关关系。

例如,在生长较好的18℃-30温度盐度组合,鳃丝 Na^+/K^+ -ATP酶的活性最高,而在 Na^+/K^+ -ATP酶活性最低的27℃,半滑舌鲷幼鱼的生长反而最低。这一与以往研究结果相反的现象在其他鱼类相关研究中少见报道,其成因和机制有待于进一步研究。

3.3 半滑舌鲷生长的最适盐度与最适温度

一般来讲,鱼类的生长率在一定温度范围内会随着水温的升高而增加,但当超过其最适水温后,生长率会下降。这是因为维持生长的能量需求会随着温度的升高而升高。温度越高,摄入能量中用于生长的能量的比例越低,其表现表现就是食物转化率的降低^[35]。而盐度对鱼类生长的影响机制比较复杂,一直没有完全查明,因种类的不同而有所不同^[36]。由于种类的差异,盐度和温度的影响差异较大。例如,大菱鲆稚鱼适宜的水温为16~18℃,适宜的盐度为25~32^[37-38];而李大鹏等则发现施氏鲟在水温17~26℃都可以摄食生长,但在20℃时最适宜^[39]。本研究表明,以特定生长率为标准,半滑舌鲷生长的最适温度为18~24℃,这与能量收支结果一致。不过,由于本研究中盐度水平设置过窄,还无法评价盐度对半滑舌鲷生长确切影响,故尚难得到其生长的最适盐度。作者同期进行的半滑舌鲷对盐度的适应性研究发现,半滑舌鲷对盐度具有很好的适应性,在较大范围的盐度突变(盐度30分别突变至40和0)后短时间(6~9 d)内便能将机体渗透水平调节至稳定状态,因此,关于半滑舌鲷最适盐度,尚需增大盐度范围后进一步研究确定。

参考文献:

- [1] 姜言伟,万瑞景. 渤海半滑舌鲷早期形态及发育特征的研究. 海洋水产研究,1988,9: 185-192.
- [2] 李思忠,王惠民. 中国动物志: 硬骨鱼纲·鲷形目[M]. 北京: 科学出版社,1995. 94-98.
- [3] 万瑞景,姜言伟,庄志猛. 半滑舌鲷早期形态及发育特征[J]. 动物学报,2004,50(1): 91-102.
- [4] 常青,陈四清,张秀梅,等. 半滑舌鲷消化系统器官发生的组织学[J]. 水产学报,2005,29(4): 447-453.
- [5] 柳学周,庄志猛,马爱军,等. 半滑舌鲷繁殖生物学及繁育技术

- 研究[J]. 海洋水产研究, 2005, 26(5): 7-14.
- [6] 柳学周, 庄志猛, 马爱军, 等. 半滑舌鳎苗种生产技术的开发研究[J]. 海洋水产研究, 2006, 27(2): 17-24.
- [7] 马爱军, 柳学周, 徐永江, 等. 半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)早期发育阶段的摄食特性及生长研究[J]. 海洋与湖沼, 2005, 36(2): 130-138.
- [8] Whealty M G, Hentry R P. Branchial and antennal Na^+/K^+ -dependent ATPase and carbonic anhydrase activity during salinity acclimation of the euryhaline crayfish *Pacifastacus leniusculus* [J]. Exp Biol, 1987, 133: 73-86.
- [9] Warren C E, Davis G E. Laboratory studies on the feeding bioenergetics and growth of fish. In: Gerking S D. The biological basis of freshwater fish production [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1967: 175-214.
- [10] Cui Y, Liu S, Wang S. Growth and energy budget of young grass carp. *Ctenopharyngodon idella* Val. , fed plant and animal diets [J]. Fish Biology, 1992, 41: 231-238.
- [11] Jeremy S L, Timothy D S, Jay R S J, et al. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) [J]. Aquaculture, 1996, 146: 37-46.
- [12] Watanabe T. Importance of docosahexaenoic acid in marine larval fish [J]. J World Aqua Soc, 1993, 24: 152-161.
- [13] Peters D S, Boyd M T. The effect of temperature, salinity, and availability of food on the feeding and growth of the hogchoker, *Trinectes maculatus* (Bloch and Schneider) [J]. J Exp Mar Biol Ecol, 1972, 7: 201-207.
- [14] Malloy K D, Targett T E. Feeding, growth and survival of juvenile summer flounder *Paralichthys dentatus*, experimental analysis of the effects of temperature and salinity [J]. Mar Ecol Prog Ser, 1991, 72: 213-223.
- [15] Likongwe J S, Stecko T D, Stauffer Jr J R, et al. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) [J]. Aquaculture, 1996, 146: 37-46.
- [16] Imsland A K, Foss A, Gunnarsson S, et al. The interaction of temperature and salinity on growth and food conversion in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. Aquaculture, 2001, 198: 353-367.
- [17] Laurent P, Perry S F. Environmental effects on fish gill morphology. Physiol Zool, 1991, 64: 4-25.
- [18] Evans D H. Osmotic and ionic regulation. In: Evans D H (ed). The Physiology of Fishes [M]. Boca Raton: CRC Press, 1993: 315-341.
- [19] McCormick S D. Endocrine control of osmoregulation in teleost fish [J]. Am. Zool, 2002, 41: 781-794.
- [20] Allanson B, Bok A, Van Wyk W. The influence of exposure to low temperatures on *Tilapia mossambica* Peters (Cichlidae). II. Changes in serum osmolality, sodium and chloride concentrations [J]. J Fish Biol, 1971, 3: 181-185.
- [21] Sardella B A, Cooper J, Richard J. The effect of temperature on juvenile Mozambique tilapia hybrids (*Oreochromis mossambicus* × *O. urolepis hornorum*) exposed to full-strength and hypersaline seawater [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, 2004, 137(4): 621-629.
- [22] Al Amoudi M, El-Sayed A, Ghobashy A. Effects of thermal and thermo-haline shocks on survival and osmotic concentration of the tilapia *Oreochromis mossambicus* and *Oreochromis aureus* × *Oreochromis niloticus* hybrids [J]. J World Aquac Soc, 1996, 27: 456-461.
- [23] Staurnes M, Sigholt T, Asgard T, et al. Effects of a temperature shift on seawater challenge test performance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolt [J]. Aquaculture, 2001, 201: 153-159.
- [24] Imsland A K, Gunnarsson S, Foss A, et al. Gill Na^+ , K^+ -ATPase activity, plasma chloride and osmolality in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) reared at different temperatures and salinities [J]. Aquaculture, 2003, 218: 671-683.
- [25] Metz J, van den Burg E, Wendelaar Bonga S, et al. Regulation of branchial Na^+/K^+ -ATPase in common carp *Cyprinus carpio* L. acclimated to different temperatures [J]. J Exp Biol, 2003, 206: 2273-2280.
- [26] Hochachka P W, Somero G N. Biochemical Adaptation: Mechanism and Process in Physiological Evolution [M]. Oxford University Press, New York. 2002.
- [27] McCormick S D. Hormonal control of gill Na^+/K^+ -ATPase and chloride cell function [J]. Fish Physiol, 1995, 14: 285-315.
- [28] McCormick S D, Saunders R L. Preparatory physiological adaptations for marine life of salmonids: osmoregulation, growth and metabolism [J]. Am Fish Soc Symp, 1987, 1: 211-229.
- [29] 孔祥会, 王桂忠, 李少菁. 锯缘青蟹不同器官组织中4种类型ATPase活性比较研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2004, 43(1): 98-101.
- [30] 潘鲁青, 唐贤明, 刘泓宇, 等. 盐度对褐牙鲈(*Paralichthys olivaceus*)幼鱼血浆渗透压和鳃丝 Na^+/K^+ -ATPase活力的影响[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(1): 1-6.
- [31] Jarvis P L, Ballantyne J S. Metabolic responses to salinity acclimation in juvenile shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum* [J].

- Aquaculture, 2003, 219: 891–909.
- [32] LeBreton G T O, Beamish F W H. The influence of salinity on ionic concentrations and osmolality of blood serum in lake sturgeon *Acipenser fulvescens* [J]. *Environ Biol Fishes*, 1998, 52: 477–482.
- [33] De Renzis G, Bornancin M. Ion transport and gill ATPases. In: Hoar, W.S., Randall, D.J. (Eds.), *Fish Physiology. Ion and Water Transport*, vol. 10B [M]. New York: Academic Press, 1984: 65–104.
- [34] Gaumet F, Boeuf G, Severe A, et al. Effects of salinity of the ionic balance and growth of juvenile turbot [J]. *J Fish Biol*, 1995, 47: 865–876.
- [35] Diana J S. *Biology and Ecology of Fishes* [M]. New York: Biological Sciences Press, 1995: 74–81.
- [36] Iwama G K. Growth of salmonids. In: *Principles of Salmonid Culture* [M]. 1996: 467–516.
- [37] 雷霖霖, 刘新富. 大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 引进和养殖的初步研究 [J]. *现代渔业信息*, 1995, 10 (11): 1–3.
- [38] 雷霖霖, 门强. 大菱鲆人工繁殖与养殖技术讲座 [J]. *齐鲁渔业*, 2002, 19 (10): 47–48.
- [39] 李大鹏, 庄平, 严安生, 等. 施氏鲟幼鱼摄食和生长的最适水温 [J]. *中国水产科学*, 2005, 12 (3): 294–299.

Effects of salinity and temperature on growth, osmophysiology and energy budget of tongue sole (*Cynoglossus semilaevis* Günther)

TIAN Xiangli^{1,2}, WANG Guodong¹, DONG Shuanglin¹, FANG Jinghui¹

(1. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Panjin Guanghe Fisheries Company Ltd., Panjin 124200, China)

Abstract: Effects of salinity and temperature on growth, body composition, osmophysiology and energy budget of tongue sole were studied. Three salinities (22, 26 and 30) and 4 temperatures (18 °C, 21 °C, 24 °C and 27 °C) were designed. Growth data were collected during the 8-weeks' experiment. Results showed that the specific growth rate of the sole ranged from 1% to 1.34%. No significant difference was found in the growth of the fish at different salinities ($P > 0.05$), while significant difference was found at different temperatures ($P < 0.05$). At salinities of 22, 26 and 30, the greatest growth rate was found at 21 °C, 24 °C and 18 °C, respectively, while the lowest growth rate was found at 27 °C. Similar trends were observed in food consumption and conversion efficiency, respectively. With the increase of temperature, the content of protein in fish body increased, while the lipid and the energy contents decreased. The effects of salinity and temperature on both plasma osmolality and activity of gill Na^+/K^+ -ATPase were significant ($P < 0.05$). Plasma osmolality and activity of gill Na^+/K^+ -ATPase increased as the salinity increased. Effects of temperature on plasma osmolality of sole were different at different salinity, but Na^+/K^+ -ATPase activity decreased with the increase of temperature. Energy alternation of growth and respiratory dominated the mode of energy budget in tongue sole. The highest ratio percentage of growth energy to feeding energy was at 18 °C and 21 °C, and that of respiratory energy to feeding energy increased gradually with the increase of temperature. [Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17 (4): 771–782]

Key words: *Cynoglossus semilaevis*; salinity; temperature; growth; osmophysiology; energy budget