

文章编号: 1000-0615(2008)03-0402-09

盐度胁迫及恢复对褐牙鲆幼鱼生长、能量分配和身体成分的影响

张国政, 黄国强, 田思娟, 王丽华, 韦柳枝, 张秀梅

(中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003)

摘要:采用生物能量学方法对不同盐度对褐牙鲆幼鱼生长和补偿生长的影响进行了研究。研究表明,盐度 12~40 的范围对平均体重为 2.6 g 的褐牙鲆幼鱼的湿重生长没有显著影响,而盐度 5(IS₅)和 47(IS₄₇)会明显阻碍平均体重为 6.9 g 幼鱼的生长,但 IS₅ 的生长延缓在 30 d 的恢复生长(盐度 19, IS₁₉)后获得完全补偿,而 IS₄₇ 处理最终未能赶上 IS₁₉ 处理。盐度操作对幼鱼摄食能、摄入的能量分配于呼吸消耗、排粪的比例均有显著影响,而对排泄损失的能量比例没有明显影响。对于单位体重日能量分配而言,盐度操作对摄食能、呼吸消耗、生长、排粪损失的能量有明显的影 响,但对排泄能量损失没有显著影响。研究还发现,盐度操作对褐牙鲆幼鱼身体水分和蛋白质含量没有显著影响,但对脂肪和能量含量有一定影响。结果表明,盐度 19 左右为褐牙鲆幼鱼生长最适合的盐度,其对盐度的适应范围较广,特别是对低盐度表现出极强的耐受和适应能力。

关键词:褐牙鲆;生长;能量分配;单位体重日能量分配;身体成分;补偿生长

中图分类号: S 963

文献标识码: A

广盐性鱼类在较大的盐度变动范围内都能存活和生长,但其摄食、生长速率和食物转化效率均受到盐度的影响^[1-5]。在大部分研究中发现,广盐性鱼类在中等盐度(半咸水,盐度为 8~20)条件下生长较好,并发现鱼类在生长较好的盐度下有较低的标准代谢率^[6]。在非等渗条件下,鱼类消耗能量用于渗透调节,但对渗透调节的能量代价仍有争论^[6],消耗于渗透调节的能量在一些研究中占整个能量收支的 20%~50%^[7],而一些研究中只占 10%^[8]。尽管对消耗于渗透压调节的能量多少存在争论,但研究结果表明盐度变化能改变广盐性鱼类的鳃 Na-K-ATP 酶活力^[9-14],由于 Na-K-ATP 酶活力是鳃进行钠、钾离子主动运输和渗透压调节耗能的指标,因此鳃 Na-K-ATP 酶活力的变化可能引起渗透压调节能量消耗的改变,并最终导致鱼类能量代谢和分配的变化。在一定盐度范围内,鱼类对食物的转化效率显著低

于其最适盐度范围的转化效率^[1,15-20],即摄入的食物能分配于生长的能量比例降低,因此生长速率也显著变慢^[2-5,20]。过高和过低的盐度胁迫能够导致鱼类生长减缓,但在胁迫解除后鱼类能否对此生长阻滞进行补偿尚未查明。由于盐度变动所导致的鱼类能量分配和生长的变化对于鱼类能否在繁殖季节生长到适宜的规格具有重要意义,盐度变动会影响到鱼类的繁殖力并最终影响鱼类在不同盐度环境中的适合度,因此,研究盐度变动对鱼类生长和摄食能量的分配是探讨鱼类适应盐度变动环境能力和方式的重要基础资料。在增养殖环境选择或调控中,充分利用鱼类对盐度变动的适应能力以扩大增养殖水域也需要在对鱼类生长和能量分配对盐度变动响应的基础上进行。本研究以重要养殖和捕捞对象褐牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)幼鱼为研究对象,研究其在不同盐度水体中以及低盐和高盐胁迫后的生长和能量分配,

收稿日期:2007-05-17

资助项目:国家自然科学基金项目(30600462);国家支撑计划课题(2006037029019);中国海洋大学本科生科学研究训练计划(SRTP)

作者简介:张国政(1985-),男,山东泰安人,中国海洋大学 2003 级海洋生物资源与环境专业本科生

通讯作者:黄国强, E-mail: hgqhugh@yahoo.com.cn

以期探讨褐牙鲆适应盐度变动的能力和扩大增养殖水域及改进增养殖技术提供参考。

1 材料与方 法

1.1 实验养殖设施及条件

实验在中国海洋大学水产学院鱼类行为实验室进行。褐牙鲆幼鱼按实验设计密度放入水族箱(40 cm × 30 cm × 30 cm, 水体 30 L)养殖,海水温度为 18 ℃,水族箱内连续充气保持溶解氧在 5.5 mg·L⁻¹以上,每三天换水 1/2,所用海水用筛绢过滤。天然海水的盐度为 33, pH 值为 7.5 ± 0.3,盐度分别用曝气后的自来水和海水素(市售观赏鱼养殖用)调节至实验盐度,再曝气 24 h 后使用。实验室内光照周期为 14 L:10 D。

1.2 实验用鱼来源及驯化

实验用鱼购于胶南市养殖场,运回实验室后暂养 10 d 使其适应环境。适应期间每天过量投饵(升索牌鲆蝶类配合饲料)两次(约在 7:00 和 19:00),投饵后 15 min 开始清除残饵和粪便。适应期结束后,在实验 I 中,盐度分别以每天降 1、2、3 和升 1 的速度调节至 26、19、12 和 40。在实验 II 中,盐度分别以每天升 2 和降 2、4 的速度调节至 47、19 和 5。

1.3 实验设计

实验 I:不同盐度下褐牙鲆幼鱼的生长
实验设置盐度处理分别为 12(S₁₂)、19(S₁₉)、26(S₂₆)、33(S₃₃)和 40(S₄₀),每一处理 4 个重复,实验用的 20 个水族箱按完全随机化区组设计进行排列。褐牙鲆幼鱼驯化至实验盐度后,挑选规格均匀、健壮活泼的幼鱼,每处理的平均体重分别为 S₁₂组(2.53 ± 0.04) g、S₁₉组(2.57 ± 0.17) g、S₂₆组(2.58 ± 0.16) g、S₃₃组(2.63 ± 0.09) g、S₄₀组(2.69 ± 0.06) g。放入水族箱开始实验,每一水族箱中放养幼鱼 15 尾。实验持续 30 d。

实验 II:不同盐度胁迫后褐牙鲆幼鱼的补偿生长
实验设置盐度处理分别为 5(IS₅)、19(IS₁₉)和 47(IS₄₇),每一处理 6 个重复,实验用的 18 个水族箱按完全随机化区组设计进行排列。褐牙鲆幼鱼驯化至实验盐度后,挑选规格均匀、健壮活泼的幼鱼,每处理的平均体重分别为 IS₅组:(6.97 ± 0.13) g、IS₁₉组:(6.85 ± 0.18) g、IS₄₇组:(6.98 ± 0.19) g,放入水族箱开始实验,每一水族箱中放养幼鱼 10 尾。实验期间每隔 10 天称重一

次,待不同处理的体重出现显著差异后,于 3 d 内每半天调节 1 次的速度均匀将盐度调节至生长最快的盐度,再进行 30 d 的恢复期养殖以观察补偿生长能力。

1.4 样品的收集与测定

挑选实验用鱼的同时对每一处理同时取样品 3 个,每个样品 6 尾,以分析实验用鱼的初始成分。实验结束时每一水族箱内所有鱼取作一个样品,分析实验结束时鱼体成分。在实验 II 中,生长出现显著差异后即每一处理中随机将 3 个水族箱中的鱼分别取为 3 个样品。实验用饲料也取 3 个样品用于分析成分。每次投喂后 15 min 开始收集部分粪便作为测定消化率的样品。实验期间投喂的饲料随机取 3 个样品备分析成分用。

所有样品分别称重后,用烘箱在 70 ℃烘干至恒重,计算鱼和饲料的含水量(%). 所有样品用元素分析仪测定氮含量并换算为粗蛋白含量(氮含量(6.25,%),用索氏抽提法测定粗脂肪含量。样品的能值(kJ·g⁻¹)用 PARR1281 型氧弹仪测定。每个样品测定 3 次,取平均值作为样品各指标的值。

1.5 数据计算

能量收支公式 $C_e = G_e + F_e + U_e + R_e$ 中各项的计算公式如下:

$$C_e = I \times GE_{feed}$$

$$G_e = E_{Ft2} - E_{Ft1}$$

$$F_e = C_e \times (100 - DR_E) / 100$$

$$U_e = U_N \times 24.83$$

$$R_e = C_e - G_e - F_e - U_e$$

其中, C_e 为摄食能(kJ), G_e 为生长能(kJ), F_e 为排粪能(kJ), U_e 为排泄能(kJ), R_e 为呼吸能(kJ); I 和 GE_{feed} 分别为摄食量和饲料的能值(kJ·g⁻¹); E_{Ft2} 和 E_{Ft1} 分别为时间 t_2 和 t_1 时平均每尾鱼能量含量,其计算方法如下:

$$E_{Ft2} = W_{Ft2} \times GE_{Ft2}$$

$$E_{Ft1} = W_{Ft1} \times GE_{Ft1}$$

其中, W_{Ft2} 和 GE_{Ft2} 分别为时间 t_2 鱼的体重和能值, W_{Ft1} 和 GE_{Ft1} 分别为时间 t_1 鱼的体重和能值; U_N 为排泄损失的氮量(g), 24.83 指排泄 1 g 氮(以氨的形式)所损失的能量(kJ)。DRE 为鱼对饲料能量的消化率,采用酸不溶灰分为内源性指示剂测定,其计算方法如下:

$$DRE = 100 \times [1 - (GE_{feces} / GE_{feed}) \times (AIS_{feed} /$$

$AIS_{feces}]$

其中, GE_{feces} 和 GE_{feed} 分别为粪便和饲料的能值 ($kJ \cdot g^{-1}$), AIS_{feed} 和 AIS_{feces} 分别为饲料和粪便中酸不溶灰分含量 (%)。

U_N 为排泄损失的氮量 (g), 计算方法如下:

$$U_N = C_N - G_N - F_N$$

其中, C_N 、 G_N 和 F_N 分别为摄入饲料的氮量 (g)、鱼体生长氮量 (g) 和粪便损失氮量 (g), 其计算方法分别如下:

$$C_N = I \times N_{feed}$$

$$G_N = W_{Ft2} \times N_{Ft2} - W_{Ft1} \times N_{Ft1}$$

$$F_N = C_N \times (100 - DR_N) / 100$$

其中, N_{feed} 、 N_{Ft1} 和 N_{Ft2} 分别为饲料氮含量 (%)、时间 t_1 和时间 t_2 鱼的能值。 DR_N 为鱼对饲料氮的消化率, 其计算方法如下:

$$DR_N = 100 \times [1 - (N_{feces} / N_{feed}) \times (AIS_{feed} / AIS_{feces})] N_{feces}$$

为粪便氮含量 (%)。

生长能占摄食能的百分比 (G_p) 计算方法为 $100 \times G_e / C_e$, 排粪能 (F_p)、排泄能 (U_p)、呼吸能 (R_p) 占摄食能的百分比按相同的方法进行计算。

单位体重鱼体每天摄食能 ($FR_e, J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$) 的计算方法如下:

$$FR_e = 1000 \times C_e / [(W_{Ft2} + W_{Ft1}) / 2] / (t_2 - t_1)$$

类似地, 单位体重鱼体每天生长能 ($G_e, J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)、排粪能 ($F_e, J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)、排泄能 ($U_e, J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$) 和呼吸能 ($R_e, J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$) 分别进行了计算。

所有指标按需要分不同时间段进行了计算。

1.6 数据的统计分析

对所有实验数据进行了单因子方差分析, 并对不同处理间的数据进行了 DUNCAN 多重比较, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著的标准。数据的统计分析采用 SPSS11.0 进行。

2 结果

2.1 实验 I

不同盐度处理下褐牙鲈幼鱼的体重 不同盐度处理中幼鱼的生长情况见表 1。实验结束时褐牙鲈幼鱼的体重没有显著差异, 只有盐度为 19 的处理体重稍高。

表 1 实验 I 初始和结束时褐牙鲈幼鱼平均体重

Tab.1 Weight of initial and final fish in experiment I

处理组 treatment groups	S ₁₂	S ₁₉	S ₂₆	S ₃₃	S ₄₀
初始鱼重(g) weight of initial fish	2.53 ± 0.04 ^a	2.57 ± 0.17 ^a	2.58 ± 0.16 ^a	2.63 ± 0.09 ^a	2.69 ± 0.06 ^a
结束鱼重(g) weight of final fish	6.45 ± 0.24 ^a	6.92 ± 0.58 ^a	6.34 ± 0.36 ^a	6.03 ± 0.47 ^a	6.19 ± 0.46 ^a

注: 同一行中没有相同字母上标的数值相互之间差异显著 ($P < 0.05$)

Notes: Values without same superscript in the same row were significantly different from each other ($P < 0.05$)

表 2 实验 I 中褐牙鲈幼鱼的摄食能及日摄食能的分配

Tab.2 The allocations of energy ingestion and daily energy ingestion in experiment I

处理组 treatment groups	S ₁₂	S ₁₉	S ₂₆	S ₃₃	S ₄₀
实验期间摄食能及分配 energy ingestion and allocation					
C_e (kJ)	57.22 ± 3.14 ^{ab}	60.40 ± 2.30 ^b	56.03 ± 1.50 ^{ab}	50.16 ± 1.92 ^a	52.86 ± 0.89 ^{ab}
R_p (%)	56.82 ± 0.85 ^{ab}	52.39 ± 1.43 ^a	55.37 ± 2.09 ^{ab}	54.82 ± 2.08 ^{ab}	58.99 ± 2.70 ^b
G_p (%)	35.63 ± 1.02 ^{ab}	40.59 ± 1.01 ^b	37.15 ± 2.06 ^{ab}	37.57 ± 2.18 ^{ab}	33.11 ± 2.05 ^a
F_p (%)	2.44 ± 0.14 ^{ab}	2.18 ± 0.15 ^{ab}	2.68 ± 0.14 ^b	2.93 ± 0.14 ^b	2.20 ± 0.11 ^a
U_p (%)	5.11 ± 0.68 ^a	4.83 ± 0.18 ^a	4.80 ± 0.26 ^a	4.69 ± 0.27 ^a	5.70 ± 0.45 ^a
日摄食能及分配 daily energy ingestion and allocation					
FR_e ($J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	424.50 ± 11.11 ^b	425.33 ± 10.07 ^b	420.96 ± 13.08 ^b	385.52 ± 3.16 ^a	398.83 ± 9.49 ^{ab}
R_e ($J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	241.46 ± 13.32 ^a	223.23 ± 13.13 ^a	223.99 ± 21.12 ^a	211.28 ± 7.87 ^a	236.09 ± 19.47 ^a
G_e ($J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	151.05 ± 4.68 ^{ab}	172.24 ± 1.21 ^c	155.45 ± 4.91 ^b	144.87 ± 9.09 ^{ab}	131.13 ± 6.59 ^a
F_e ($J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	10.40 ± 0.97 ^{ab}	9.26 ± 0.46 ^{ab}	11.25 ± 0.60 ^b	11.30 ± 0.37 ^b	8.75 ± 0.21 ^a
U_e ($J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	21.59 ± 2.57 ^a	20.59 ± 1.38 ^a	20.26 ± 1.89 ^a	18.06 ± 0.85 ^a	22.86 ± 2.59 ^a

注: 同一行中没有相同字母上标的数值相互之间差异显著 ($P < 0.05$)

Notes: Values without same superscript in the same row were significantly different from each other ($P < 0.05$)

不同盐度处理下褐牙鲈幼鱼的能量分配

在不同盐度养殖的 30 d 内, S_{33} 的摄食能最少, 并显著低于 S_{19} , 而其他处理间没有显著差异。摄入的能量分配于呼吸消耗的比例则 S_{19} 中显著小于 S_{40} , 其他处理间没有显著差异。分配于生长的能量比例以 S_{19} 最高, 并且显著比 S_{40} 处理高。排粪损失的能量比例以 S_{26} 和 S_{33} 最高, S_{40} 最低。排泄损失的能量比例在不同处理间均没有显著差异(表 2)。

不同盐度处理下褐牙鲈幼鱼单位体重日能量分配 S_{33} 处理的单位体重日摄食能显著低于 S_{12} 、 S_{19} 、 S_{26} 处理, 而单位体重日呼吸能量消耗则没有显著差异。分配于生长的能量则以 S_{19} 处理最多, 其次为 S_{26} 处理, S_{40} 处理最少。损失于排粪的能量 S_{26} 和 S_{33} 处理多, S_{40} 处理最少。不同处理单位体重日排泄能量消耗没有显著差异(表 2)。

不同盐度处理下褐牙鲈幼鱼身体水分、蛋白质、脂肪和能量含量

实验 I 中褐牙鲈幼鱼在驯化至设定的盐度后, 在身体水分、蛋白质和能量含量上没有显著差异, 只有脂肪含量在 40 盐度处理显著高于 33 盐度处理(表 3)。经 30 d 不同盐度养殖后, 褐牙鲈幼鱼身体在水分和蛋白质含量上没有显著差异, 只有 S_{40} 处理在脂肪含量上显著低于 S_{12} 处理和 S_{19} 处理, 在能量含量上显著低于 S_{33} 处理(表 3)。

2.2 实验 II

不同盐度胁迫及恢复不同时间褐牙鲈幼鱼的体重 在 10 d 不同盐度处理后, IS_5 和 IS_{47} 处理的幼鱼体重显著低于 IS_{19} 处理。经 30 d 的恢复生长后, IS_5 处理的体重赶上 IS_{19} 处理, 而 IS_{47} 处理仍显著低于 IS_{19} 处理(表 4)。

表 3 实验 I 中初始鱼和结束鱼的成分

Tab.3 Composition of initial and final fish in experiment I

处理组 treatment groups	S_{12}	S_{19}	S_{26}	S_{33}	S_{40}
初始鱼主要成分 composition of initial fish					
水分(%) moisture	77.58 ± 2.26^a	76.16 ± 2.32^a	77.38 ± 3.30^a	77.79 ± 2.23^a	75.72 ± 3.87^a
蛋白质(%) protein	14.81 ± 1.16^a	15.78 ± 1.26^a	14.96 ± 1.22^a	14.77 ± 1.15^a	15.66 ± 1.52^a
脂肪(%) lipid	3.69 ± 0.43^{ab}	3.58 ± 0.49^{ab}	3.72 ± 0.51^{ab}	3.26 ± 0.34^a	4.47 ± 0.36^b
能量($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) energy	5.09 ± 0.41^a	4.68 ± 0.43^a	4.89 ± 0.44^a	5.01 ± 0.32^a	4.84 ± 0.52^a
结束鱼主要成分 composition of final fish					
水分(%) moisture	77.47 ± 2.80^a	76.16 ± 1.47^a	76.27 ± 1.15^a	76.41 ± 1.45^a	77.59 ± 1.13^a
蛋白质(%) protein	14.61 ± 1.19^a	15.14 ± 0.30^a	15.52 ± 0.93^a	15.50 ± 0.32^a	14.09 ± 0.97^a
脂肪(%) lipid	5.38 ± 0.43^b	5.16 ± 0.10^b	4.38 ± 0.27^{ab}	4.03 ± 0.77^{ab}	3.99 ± 0.22^a
能量($\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) energy	5.16 ± 0.52^{ab}	5.29 ± 0.46^{ab}	5.27 ± 0.40^{ab}	5.32 ± 0.29^b	4.94 ± 0.17^a

注: 同一行中没有相同字母上标的数值相互之间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Values without same superscript in the same row were significantly different from each other ($P < 0.05$)

表 4 实验 II 中不同时间褐牙鲈幼鱼的体重

Tab.4 Weight of fish at different time in experiment II

时间(d) time	0	10	20	30	40
IS_5	6.97 ± 0.13^a	7.54 ± 0.07^a	9.18 ± 0.29^a	11.42 ± 0.63^{ab}	14.23 ± 0.33^b
IS_{19}	6.85 ± 0.18^a	8.55 ± 0.21^b	9.97 ± 0.29^b	12.43 ± 0.77^b	14.72 ± 0.09^b
IS_{47}	6.98 ± 0.19^a	7.78 ± 0.01^a	9.05 ± 0.19^a	10.67 ± 0.05^a	12.71 ± 0.34^a

注: 同一列中没有相同字母上标的数值相互之间差异显著 ($P < 0.05$)

Notes: Values without same superscript in the column row were significantly different from each other ($P < 0.05$)

不同盐度胁迫及恢复不同时间段内褐牙鲆幼鱼的能量分配 胁迫期间 IS₁₉处理的摄食能显著高于 IS₄₇处理, IS₅处理处于中间水平, 摄食能分配于生长的比例则以 IS₅处理最低, IS₁₉处理最高, 并且不同处理间均存在显著差异。损失在排粪和排泄的能量比例在不同处理间没有显著差

异。代谢消耗的能量比例则以 IS₅处理最高, IS₁₉处理最低, 并且不同处理间均存在显著差异(表5)。在恢复生长期(11~40 d), IS₄₇处理的摄食能显著少于其他处理。不同处理的摄食能分配于生长、代谢和损失于排泄的比例则没有显著差异。IS₄₇处理排粪损失的能量比例显著比其他处理高。

表5 实验 II 中不同阶段内的摄食能及分配

Tab.5 Energy ingestion and allocation over different experimental period in experiment II

实验阶段(d) experimental period	处理 treatments	C _e (kJ)	G _p (%)	R _p (%)	F _p (%)	U _p (%)
1~10	IS ₅	14.78 ± 0.58 ^{ab}	6.93 ± 2.61 ^a	85.48 ± 2.90 ^c	1.84 ± 0.01 ^a	5.75 ± 1.33 ^a
	IS ₁₉	19.59 ± 2.64 ^b	41.98 ± 5.97 ^c	53.17 ± 4.85 ^a	2.71 ± 0.53 ^a	2.14 ± 0.61 ^a
	IS ₄₇	11.11 ± 1.65 ^a	22.33 ± 2.89 ^b	70.46 ± 4.92 ^b	1.64 ± 0.33 ^a	5.57 ± 2.17 ^a
11~40	IS ₅	78.60 ± 3.42 ^b	45.97 ± 2.23 ^a	46.55 ± 2.07 ^a	2.59 ± 1.62 ^a	4.86 ± 0.17 ^a
	IS ₁₉	78.03 ± 5.62 ^b	46.85 ± 5.39 ^a	45.98 ± 4.83 ^a	3.06 ± 1.88 ^b	4.11 ± 0.48 ^a
	IS ₄₇	58.73 ± 4.99 ^a	46.78 ± 1.59 ^a	44.99 ± 1.57 ^a	4.03 ± 1.25 ^c	4.18 ± 0.11 ^a

注:同一时间段中,同一列中没有相同字母上标的数值相互之间差异显著($P < 0.05$)

Notes: For the same period, values without same superscript in the column row were significantly different from each other ($P < 0.05$)

不同盐度胁迫及恢复不同时间段内褐牙鲆幼鱼的单位体重日能量分配 IS₁₉处理单位体重日摄食能不同盐度处理期间显著高于 IS₄₇处理, IS₅处理处于中间水平。单位体重日分配于生长的能量在不同处理间均存在显著差异,以 IS₁₉处理最多, IS₅处理最少。单位体重日呼吸消耗则以

IS₄₇处理最少, IS₄₇处理最多(表6)。在恢复生长期(11~40 d)单位体重日摄食能以 IS₅处理最多, IS₄₇处理最少。IS₄₇处理分配于生长的能量显著比其他处理少。排粪和排泄损失的能量在不同处理间没有显著差异。IS₅单位体重日呼吸消耗能量显著比其他处理多(表6)。

表6 实验 II 中不同阶段内的日摄食能及分配

Tab.6 Daily energy ingestion and allocation over different experimental period in experiment II

实验阶段(d) experimental period	处理 treatments	FR _e (J·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	G _e (J·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	R _e (J·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	F _e (J·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	U _e (J·g ⁻¹ ·d ⁻¹)
1~10	IS ₅	204.13 ± 10.42 ^{ab}	14.39 ± 2.78 ^a	174.01 ± 5.72 ^b	3.75 ± 0.20 ^{ab}	11.98 ± 1.93 ^b
	IS ₁₉	253.27 ± 28.27 ^b	104.39 ± 5.68 ^c	136.11 ± 23.07 ^{ab}	7.07 ± 1.92 ^b	5.69 ± 1.98 ^a
	IS ₄₇	151.15 ± 24.18 ^a	34.95 ± 4.27 ^b	104.95 ± 14.14 ^a	2.62 ± 0.82 ^a	8.63 ± 1.92 ^{ab}
11~40	IS ₅	240.53 ± 7.38 ^b	110.75 ± 3.80 ^b	111.77 ± 3.75 ^b	6.23 ± 1.72 ^a	11.70 ± 0.42 ^a
	IS ₁₉	223.25 ± 13.33 ^{ab}	103.26 ± 3.62 ^{ab}	103.82 ± 7.85 ^{ab}	6.86 ± 1.91 ^a	9.31 ± 1.67 ^a
	IS ₄₇	190.66 ± 13.26 ^a	88.93 ± 2.13 ^a	86.16 ± 8.81 ^a	7.68 ± 1.58 ^a	7.97 ± 0.65 ^a

注:同一时间段中,同一列中没有相同字母上标的数值相互之间差异显著($P < 0.05$)

Notes: For the same period, values without same superscript in the column row were significantly different from each other ($P < 0.05$)

不同盐度胁迫及恢复后褐牙鲆幼鱼身体水分、蛋白质、脂肪和能量含量 实验 II 中幼鱼驯化至更高(47)或更低(5)盐度后,身体的水分、蛋白质、脂肪和能量含量均无显著差异(表7)。在10 d胁迫期结束时,褐牙鲆幼鱼在身体水分、

蛋白质、脂肪、能量含量上均无显著差异(表7)。经30 d的恢复后,水分和蛋白质含量仍无显著差异,只有 IS₅处理的脂肪含量和能量含量显著低于 IS₁₉处理(表7)。

表 7 实验 II 中不同时间褐牙鲈幼鱼的身体成分
Tab.7 Composition of the fish at different time in experiment II

时间(d) time	处理 treatments	水分(%) moisture	蛋白质(%) protein	脂肪(%) lipid	能量(kJ·g ⁻¹) energy
0	IS ₅	76.85 ± 1.02 ^a	14.57 ± 0.64 ^a	4.44 ± 0.50 ^a	5.19 ± 0.58 ^a
	IS ₁₉	76.11 ± 0.46 ^a	14.79 ± 0.27 ^a	4.76 ± 0.59 ^a	5.43 ± 0.39 ^a
	IS ₄₇	75.43 ± 1.33 ^a	15.37 ± 0.90 ^a	3.84 ± 0.41 ^a	5.35 ± 0.31 ^a
10	IS ₅	76.87 ± 2.44 ^a	15.34 ± 1.31 ^a	3.13 ± 0.76 ^a	4.92 ± 0.49 ^a
	IS ₁₉	75.95 ± 3.14 ^a	15.57 ± 1.08 ^a	3.87 ± 0.82 ^a	5.30 ± 0.40 ^a
	IS ₄₇	76.50 ± 2.17 ^a	15.30 ± 1.12 ^a	4.24 ± 0.63 ^a	5.13 ± 0.64 ^a
40	IS ₅	76.21 ± 2.05 ^a	15.52 ± 1.05 ^a	3.53 ± 0.36 ^a	5.13 ± 0.30 ^a
	IS ₁₉	75.37 ± 2.24 ^a	15.07 ± 1.13 ^a	4.50 ± 0.37 ^b	5.53 ± 0.41 ^b
	IS ₄₇	75.61 ± 2.46 ^a	15.58 ± 1.27 ^a	3.94 ± 0.25 ^{ab}	5.29 ± 0.30 ^{ab}

注:同一时间同一列中没有相同字母上标的数值相互之间差异显著($P < 0.05$)

Notes: For the same time, values without same superscript in the column row were significantly different from each other ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 盐度对褐牙鲈幼鱼生长和补偿生长的影响

在盐度 12 ~ 40 范围内,褐牙鲈幼鱼的生长没有显著差异,盐度 19 处理的幼鱼生长略快于其它处理,而盐度 19 略高于潘鲁青等^[9]测定的褐牙鲈等渗点盐度 14.97。根据广盐性鱼类的最适生长盐度范围接近于或稍高于等渗点^[21-22]的观点,结合本实验中褐牙鲈幼鱼在盐度 19 时生长最快且分配到生长的能量比例最高,推测其生长最适盐度应该在 19 左右。进一步降低盐度至 5 和升高至 47 后,10 d 内即可导致生长显著慢于对照组(盐度 19),但由低盐度(5)导致的生长阻滞在盐度恢复至 19 后的 30 d 内即获得完全补偿,而高盐度(47)导致的生长阻滞则在实验期间未能获得完全补偿。以上结果表明相对于正常海水(盐度 30 ~ 35)而言,褐牙鲈幼鱼对低盐度的适应能力较强,大多数广盐性海水鱼类也表现出类似的盐度适应趋势^[6]。对低盐度具有较强的适应能力使褐牙鲈等广盐性鱼类能够更好地利用沿岸和河口的低盐水体进行繁殖和育幼,沿岸和河口水域丰富的饵料资源为各种鱼类的仔稚鱼和幼鱼提供了充足的食物,能够保证它们快速地生长和发育。褐牙鲈幼鱼低盐度胁迫后的补偿生长能力使其能够较长时间生活于低盐水体而不至于影响整个生活史的生长速度,因而大大增强了其对盐度变动环境的适应能力,同时,也使养殖水域的扩展和增殖放流水域的多样化选择提供了基础。

3.2 盐度对褐牙鲈幼鱼能量分配与能量代谢的影响

鱼类对摄食行为的调控主要由中枢神经系统(CNS)和几种激素包括胰岛素、胰高血糖素、肾上腺素、CCK、PYY、GH、TH 共同完成^[23]。Bœuf 和 Payan^[6]认为由于多种鱼类能够根据外界盐度调节摄食量,因此在中等盐度水体中较高的生长率主要通过提高摄食量获得。实验 I 和实验 II 不同盐度处理期间均以盐度 19 处理摄食能最大并且生长最快,与 Bœuf 和 Payan^[6]的结论一致。在实验 I 和实验 II 不同盐度处理期间,摄入的饲料能损失在排粪和氮排泄的比例均在 10% 以下,排泄能比例在不同处理间没有显著差异,排粪损失的能量比例也仅有盐度 40 处理比 26 和 33 处理显著低,因此不同盐度对排粪和氮排泄导致的能量损失的比例影响在整个能量分配模式中的作用不是主要的。本研究中摄入的食物能分配于生长的比例以盐度 19 处理最高,即对饲料的能量转化效率最高,而排粪损失的能量比例并不显著比其他盐度处理少,这表明盐度 19 处理的高饲料转化效率并非主要依靠在此盐度下的高消化率获得的。在盐度 19 处理中,呼吸消耗的能量比例较低,由于呼吸能占整个摄食能的比例较大,可能是由于呼吸消耗的降低导致更多的能量分配于生长而提高了饲料转化效率。

在实验 II 中,不同盐度处理后的恢复期间盐度 19 处理的呼吸耗能比例与胁迫期间一样保持在最低水平,但其排粪损失的能量比例远高于其他两个处理,可能是导致恢复期间其能量分配于

生长的比例略低于另两个处理的主要原因。

对广盐性鱼类而言,在较大的盐度范围内其代谢率不会发生显著变化。在实验 I 中,盐度 12~40 范围内单位体重的日呼吸能量消耗没有显著差异,这一结果与张美昭等^[24]对褐牙鲂代谢率测定所得的结论一致。但进一步降低(5)和提高盐度(47),则褐牙鲂幼鱼的呼吸能量消耗出现显著差异,表现出代谢率随盐度升高代谢率下降的趋势。在其它有关代谢率的测定中均发现等渗点盐度的水体中鱼类的代谢率显著低于高渗或低渗水体^[25-28],并假定等渗点附近渗透调节耗能最少,节省的能量足以提高生长率^[6]。以往的研究认为,高盐水体中渗透压调节的能量代价比低盐度水体中高^[6],但在本实验中低盐度处理组的代谢率反而显著比高盐度处理组高,主要是因为低盐度处理组摄食量较大,可能由摄食引起的特殊动力作用增加,导致代谢率较高。在恢复生长期间,低盐胁迫后的幼鱼代谢率仍显著高于另两个处理,其主要原因也是恢复生长期间摄食量较高导致特殊动力作用较大。

由恢复期间总摄食能的大小及单位体重日摄食能多少的比较可以看出,低盐度胁迫后褐牙鲂的补偿生长主要通过提高单位体重日能量摄入来获得的,而高盐度胁迫后的褐牙鲂幼鱼在恢复期间未表现出高能量摄入,未能获得完全补偿生长。

3.3 盐度对褐牙鲂幼鱼身体成分的影响

在条纹■ (*Mystus vittatus*) 驯化至半咸水(盐度最高为 10)养殖的实验中,鱼类身体水分含量往往随养殖盐度的提高而降低^[29]。在褐牙鲂幼鱼驯化至实验设定的各盐度梯度时,其身体水分、蛋白质、脂肪和能量的含量均未出现显著差异,在实验 I 结束和实验 II 胁迫结束及实验结束时不同处理间幼鱼的水分和蛋白质含量也不存在显著差异。由于褐牙鲂为广盐性海水鱼类,其对高盐度的渗透调节能力显然会比淡水鱼类强,因此身体水分在所有实验中未出现差异,这与对其他海水鱼类实验的结果一致^[30]。实验 I 结束时幼鱼身体脂肪含量呈现随盐度升高而降低的趋势,能量含量也以 40 盐度处理最低,而实验 II 胁迫结束时脂肪与能量含量未出现显著差异,但在恢复阶段结束后经低盐胁迫的幼鱼脂肪和能量含量显著比对照组低。在对短吻鲟 (*Acipenser brevirostrum*) 幼鱼盐度驯化过程中发现驯化至高盐度水体的鱼

白肌脂肪含量显著比淡水中低的现象^[31]。这表明脂肪在褐牙鲂幼鱼可能与其他鱼类相似,在适应高盐度或从低盐度转入高盐度环境后脂肪在能量代谢底物中的比例可能增大,因而导致身体脂肪和能量含量的降低。

参考文献:

- [1] de Silva S S, Perera P A B. Studies on the young grey mullet, *Mugil cephalus* L. I. Effects of salinity on food intake, growth and food conversion [J]. *Aquaculture*, 1976, 7(4): 327-338.
- [2] Dendrinis P, Thorpe J P. Effects of reduced salinity on growth and body composition in the European bass *Dicentrarchus labrax* (L.) [J]. *Aquaculture*, 1985, 49(3-4): 333-358.
- [3] Martinez-Palacios C A, Ross L G, Rosado-Vallado M. The effects of salinity on the survival and growth of juvenile *Cichlasoma urophthalmus* [J]. *Aquaculture*, 1990, 91(1/2): 65-75.
- [4] Arnesen A M, Jørgensen E H, Jobling M. Feed intake, growth and osmoregulation in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), following abrupt transfer from freshwater to more saline water [J]. *Aquaculture*, 1993, 114(3-4): 327-338.
- [5] Sparks R T, Shepherd B S, Ron B, et al. Effects of environmental salinity and 17 α -methyltestosterone on growth and oxygen consumption in the tilapia, *Oreochromis mossambicus* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B*, 2003, 136: 657-665.
- [6] Bœuf G, Payan P. How should salinity influence fish growth? [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 2001, 130: 411-423.
- [7] Kirschner L B. The energetics aspects of osmotic regulation in ureotelic and hypoosmotic fishes [J]. *Journal of Experimental Zoology*, 1993, 267: 19-26.
- [8] Morgan J D, Iwama G K. Energy cost of NaCl transport in isolated gills of cutthroat trout [J]. *The American Journal of Physiology*, 1999, 277(3): 631-639.
- [9] 潘鲁青, 唐贤明, 刘泓宇, 等. 盐度对褐牙鲂 (*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.
- [10] Leadem T P, Campbell R D, Johnson D W. Osmoregulatory responses to ddt and varying salinities in *Salmo gairdneri*- I. Gill Na-K-ATPase [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*:

- Physiology, 1974, 49(1):197-205.
- [11] Stuenkel E L, Hillyard S D. Effects of temperature and salinity on gill Na^+ - K^+ -ATPase activity in the pupfish, *Cyprinodon salinus* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, 1980, 67(1):179-182.
- [12] Sun L T, Chen G R, Chang C F. Characteristics of blood parameters and gill Na^+ - K^+ -ATPase in chilled comatose tilapia cultured in various salinities [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, 1994, 107:641-646.
- [13] Kelly S P, Chow I N K, Woo N Y S. Alterations in Na^+ - K^+ -ATPase activity and gill chloride cell morphometrics of juvenile black sea bream *Mylio macrocephalus* in response to salinity and ration size [J]. Aquaculture, 1999, 172(3-4):351-367.
- [14] 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(1-4):671-683.
- [15] Likongwe J S, Stecko T D, Stauffer Jr J R. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) [J]. Aquaculture, 1996, 146(1-2):37-46.
- [16] Lambert Y, Dutil J D, Munro J. Effect of intermediate and low salinity conditions on growth rate and food conversion of Atlantic cod *Gadus morhua* [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1994, 51(7):1569-1576.
- [17] 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(3-4):353-367.
- [18] Rubio V C, Sanchez-Vazquez F J, Madrid J A. Effects of salinity on food intake and macronutrient selection in European sea bass [J]. Physiology & Behavior, 2005, 85(3):333-339.
- [19] Conides A J, Glamuzina B. Laboratory simulation of the effects of environmental salinity on acclimation, feeding and growth of wild-caught juveniles of European sea bass *Dicentrarchus labrax* and gilthead sea bream, *Sparus aurata* [J]. Aquaculture, 2006, 256(1-4):235-245.
- [20] Alava V R. Effect of salinity, dietary lipid source and level on growth of milkfish *Chanos chanos* fry [J]. Aquaculture, 1998, 167(3-4):229-236.
- [21] Gaumet F, Boeuf G, Sévère A, et al. Effects of salinity on the ionic balance and growth of juvenile turbot [J]. Journal of Fish Biology, 1995, 47(5):865-867.
- [22] de Renzis G, Hoar W S, Randall D J. Fish Physiology [M]. Academic Press, New York, 1984, 65-104.
- [23] le Bail P Y, Boeuf G. What hormones may regulate appetite in fish? [J]. Aquatic Living Resources, 1997, 10:371-379.
- [24] 张美昭, 张兆琪, 郑春波, 等. 牙鲈幼鱼能量代谢的初步研究 [J]. 中国水产科学, 1999, 6(1):75-78.
- [25] Rao G. Oxygen consumption of rainbow trout *Salmo gairdneri* in relation to activity and salinity [J]. Canadian Journal of Zoology, 1968, 46:781-786.
- [26] Toepfer C, Barton M. Influence of salinity on the rates of oxygen consumption in two species of freshwater fishes, *Phoxinus erythrogaster* (family Cyprinidae) and *Fundulus catenatus* (family Fundulidae) [J]. Hydrobiologia, 1992, 242(3):149-154.
- [27] Kirschner L B. The energetics aspects of osmotic regulation in ureotelic and hypoosmotic fishes [J]. Journal of Experimental Zoology, 1993, 267:19-26.
- [28] Kirschner L B. Energetics aspects of osmoregulation in fresh water vertebrates [J]. Journal of Experimental Zoology, 1995, 271(4):243-252.
- [29] Arunachalam S, Reddy S R. Food intake, growth, food conversion, and body composition of catfish exposed to different salinities [J]. Aquaculture, 1979, 16(2):163-171.
- [30] Chatelier A, McKenzie D J, Claireaux G. Effects of changes in water salinity upon exercise and cardiac performance in the European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Marine Biology, 2005, 147(4):855-862.
- [31] Jarvis P L, Ballantyne J S. Metabolic responses to salinity acclimation in juvenile shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum* [J]. Aquaculture, 2003, 219(1-4):891-909.

Effect of salinity stress and following recovery on the growth, energy allocation and composition of juvenile *Paralichthys olivaceus*

ZHANG Guo-zheng, HUANG Guo-qiang, TIAN Si-juan, WANG Li-hua, WEI Liu-zhi, ZHANG Xiu-mei
(Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: Salinity is an environment factor with important effects on the growth and energy allocation of brown flounder, *Paralichthys olivaceus*. An energetic method was used to investigate the effects of salinity manipulating on the growth and compensatory growth of juvenile *P. olivaceus* following salinity manipulating in the present experiment. In the experiment I, juvenile *P. olivaceus* with an average body weight of 2.6 g were kept in seawater with different salinities (12 – S₁₂, 19 – S₁₉, 26 – S₂₆, 33 – S₃₃, 40 – S₄₀) for 30 d. In the experiment II, juvenile *P. olivaceus* with body weight of 6.9 g stocked in seawater with salinity 5 (IS₅), 19 (IS₁₉), and as high as 47 (IS₄₇) during the first 10 d. Then the salinity was adjusted to 19 in 3 d at a steady rate and the fish experienced a recovery period of 30 d. It was found that the growth of juvenile *P. olivaceus* would not change significantly within the salinity range between 12 and 40. Juvenile *P. olivaceus* stocked in seawater with salinity 5 (IS₅) and 47 (IS₄₇) would grow significantly slower than that fish stocked in salinity of 19. Fish in IS₅ achieved completely compensatory growth in 30 d after the salinity was switched to 19. But Fish in IS₅ failed to catch up the weight of fish in IS₁₉. Salinity manipulating changed the energy ingestion and its allocation among respiration and feces lost, but not significantly affected the energy lost in excretion. Compared to fish in S₄₀, fish in S₁₉ allocated more energy to growth. Fish in IS₄₇ fed less than that in IS₁₉ over the different salinity-treating period. Fish in IS₅ and IS₄₇ allocated significant lower percentages of energy to growth than IS₁₉. But the portions of respiration energy of them were significantly higher than IS₁₉. In the recovery period, IS₄₇ fed less than the other two. But the portions of growth energy were not significantly different from each other. IS₅ consumed more energy in respiration than IS₁₉ in this period. The energy lost in feces of IS₁₉ was significantly higher than others. For unit body weight daily energy budget ($J \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$), fish in S₃₃ fed less than that in S₁₂, S₁₉, and S₂₆. The highest value of unit body daily energy allocated to growth appeared in S₁₉. Daily unit body weight energy ingestion and energy used to growth were both the highest in IS₁₉ over the stressing period. The energy lost in respiration in IS₅ was higher than IS₄₇. During the recovery period, fish in IS₅ ate more than S₄₇ and allocated more energy to growth compared to IS₁₉ and IS₄₇. Unit body weight daily energy lost in feces of IS₄₇ was significantly more than other treatments over the recovery period. Studies on the composition of fish showed that salinity manipulation put no significant effects on the moisture and protein content. But the lipid content and gross energy were affected by salinity manipulation. Energetic analysis indicated that the compensatory growth of juvenile *P. olivaceus* following low salinity stress was achieved by improved energy ingestion of feed. These results indicated that the optimal salinity for the growth of juvenile *P. olivaceus* would be about 19, and *P. olivaceus* is extremely tolerant to salinity, especially to low salinity.

Key words: *Paralichthys olivaceus*; growth; energy allocation; unit body weight energy budget; body composition; compensatory growth