

盐度对褐牙鲈幼鱼生长的影响及其在盐度胁迫后的补偿生长

王丽华, 黄国强, 田思娟, 张国政, 韦柳枝, 张秀梅

(中国海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 褐牙鲈 (*Paralichthys olivaceus*) 幼鱼取自山东省胶南市养殖场, 盐度设置范围分别为 12~40 和 5~47。实验表明, 盐度 12~40 对平均初始体质量约 2.6 g 的褐牙鲈幼鱼的湿重生长、湿重摄食率和湿重饲料转化效率均没有显著影响 ($P>0.05$), 但对蛋白质和能量表示的特定生长率、摄食率、饲料转化效率都有显著影响 (实验周期为 30 d)。盐度 5 (IS_5) 和 47 (IS_{47}) 处理能够使初始体质量为 6.93 g 的褐牙鲈幼鱼在 10 d 内的生长显著比盐度 19 (IS_{19}) 处理慢 ($P<0.05$), 并且由于低盐度 (盐度为 5) 引起的生长阻滞能够在 30 d 内得到完全补偿, 而高盐度 (47) 引起的生长阻滞未能得到补偿。在整个恢复期间 (11~40 d), IS_5 处理的摄食率显著高于 IS_{47} 处理 ($P<0.05$), IS_{19} 处理处于中间水平。在盐度恢复至 19 后, 不同处理在所有阶段的饲料转化效率和整个实验期间的平均饲料转化效率相互之间不存在显著差异。以上结果表明, 低盐度 (盐度为 5) 导致的生长阻滞的补偿主要依靠提高摄食率获得。结论认为, 褐牙鲈幼鱼对盐度尤其对低盐度的适应能力较强。[中国水产科学, 2008, 15 (4): 615~621]

关键词: 褐牙鲈; 盐度; 摄食率; 饲料转化效率; 补偿生长

中图分类号: S96

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2008)04-0615-07

褐牙鲈 (*Paralichthys olivaceus*) 广泛分布于东北亚近海底层, 是重要的捕捞种类和养殖对象。褐牙鲈对盐度的变化有较强的适应能力, 能够在盐度较低的沿岸及河口地区生活^[1]。褐牙鲈的受精卵及初孵仔鱼对盐度的耐受范围较广, 盐度为 5~35 时孵化率均高于 95%, 盐度为 5~45 时初孵仔鱼的存活率高于 50%^[2]。王涵生^[3]研究表明, 在盐度 16~30.5 范围内褐牙鲈的仔稚鱼生长率没有显著差异, 较低盐度的海水中仔稚鱼存活率较高。在幼鱼阶段, 褐牙鲈直接移入盐度 8 的海水中 48 h 存活率为 100%, 经驯化后在盐度为 2 时才出现死亡, 在盐度 24 时生长率和饲料转化效率均最高^[4]。对褐牙鲈幼鱼代谢的研究表明, 在盐度 15~30 范围内, 褐牙鲈代谢率没有显著变化^[5]。潘鲁青等^[6]研究表明, 褐牙鲈幼鱼的等渗点盐度为 14.97, 此时血浆渗透压为 425.8 m Osm/kg。一般认为广盐性鱼类有一个最适生长盐度范围, 这个盐度范围与等渗点有密切关系。鱼类在接近于或稍高于等渗点的海水中, $Na^+-K^+-ATPase$ 活力较低^[7-8], 这意味着生活于等渗点附近盐度的鱼类消

耗较少的能量于渗透压调节, 因而用于生长的能量可能增加。有关褐牙鲈对盐度适应能力的研究主要集中在低盐度对其存活、生长、摄食和食物转化效率的影响方面, 而有关高盐度对褐牙鲈幼鱼生长影响方面的研究未见报道。已有研究表明, 一段时间的低盐度养殖会减慢褐牙鲈幼鱼生长^[4], 而有关褐牙鲈幼鱼在受到低盐度胁迫后的生长及存活情况则知之甚少, 而胁迫期间和胁迫后的生长和食物利用等指标反映了鱼类对环境变化的适应能力, 其中补偿生长被认为是鱼类适应多变环境的重要生理生态对策。鱼类补偿生长的研究主要集中在营养胁迫后的补偿生长^[9-14], 非营养环境胁迫只有少量有关低温^[15-16]、短光照周期^[15]和离子辐射^[17]胁迫后的补偿生长的报道, 对于广盐性鱼类受到盐度胁迫后是否具有补偿生长现象尚无报道。本研究主要根据生长、补偿生长、摄食和饲料转化效率等指标, 探讨褐牙鲈幼鱼对盐度的适应能力, 作为褐牙鲈的增殖放流和养殖水域选择的科学依据, 并为增殖技术的改进和环境调控提供参考。

收稿日期: 2007-04-26; 修订日期: 2008-03-07.

基金项目: 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 (S RTP).

作者简介: 王丽华 (1984-), 女, 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 (1973-), 男, 副教授, 主要从事水产动物生理生态学研究. E-mail: hgqhugh@yahoo.com.cn

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。褐牙鲈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 3 天换水 1/2, 所用海水用筛绢过滤。天然海水的盐度为 33, 海水 pH 值为 7.5±0.3, 盐度分别用曝气后的自来水和海水素调节至实验盐度, 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

实验所用鱼购自胶南市养殖场, 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 2 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, 在实验一(1.3)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。在实验二(1.3)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

1.3.1 实验一 不同盐度下褐牙鲈幼鱼的生长实验。根据文献[3]报道的褐牙鲈盐度适应范围, 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。褐牙鲈幼鱼驯化至实验盐度后, 挑选规格均匀、健壮活泼的幼鱼(每处理的平均初始体质量见表 1)放入水族箱开始实验, 每一水族箱中放养褐牙鲈幼鱼 15 尾。实验持续 30 d。

1.3.2 实验二 不同盐度胁迫后褐牙鲈幼鱼的补偿生长实验。根据实验一中褐牙鲈的生长结果, 实验设置盐度处理分别为 5(IS₅)、19(IS₁₉) 和 47(S₄₇), 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。褐牙鲈幼鱼驯化至实验盐度后, 挑选规格均匀、健壮活泼的幼鱼(每处理的鱼体质量见表 3)放入水族箱开始实验, 每一水族箱中放养褐牙鲈幼鱼 10 尾。实验期间每 10 d 称重 1 次, 待不同处理的体质量出现显著差异后, 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 40 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

在实验一中, 挑选实验用鱼的同时, 对每一处

理取 3 个重复, 每个重复 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作为一个样品, 分析实验结束时鱼体的成分。在实验二中, 生长出现显著差异后即在一处理中随机将其中 3 个水族箱中所有的鱼分别作为 3 个样品。实验用饲料也取 3 个样品用于分析成分。

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, %). 样品的能值(kJ/g)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

褐牙鲈的特定生长率(SGR_w, %)、摄食率(FR_w, %)、饲料转化效率(FCE_w, %)的计算公式分别如下:

$$SGR_w = 100 \times \ln(W_{t_2}/W_{t_1}) / (t_2 - t_1)$$

$$FR_w = 100 \times I / [(W_{t_2} + W_{t_1}) / 2] / (t_2 - t_1)$$

$$FCE_w = 100 \times (W_{t_2} - W_{t_1}) / I$$

其中 t_2 和 t_1 分别为某个实验阶段的结束时间(d)和开始时间(d), W_{t_2} 和 W_{t_1} 分别为某一实验阶段鱼的结束体质量和初始体质量, W 为这一实验阶段内鱼的摄食量。

以蛋白质和能量形式表示的特定生长率(SGR_p 和 SGR_e)、摄食率(FR_p 和 FR_e)和饲料转化效率(FCE_p 和 FCE_e)为将所有指标均转换为蛋白和能量后按以上公式计算。

对饲料蛋白质和能量的消化率(DR_p 和 DR_e)以酸不溶灰分为内源性指示剂进行了测定。

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 SPSS 11.0 软件包进行。

2 结果与分析

2.1 不同盐度处理下褐牙鲈幼鱼的存活与生长

实验期间未发现褐牙鲈幼鱼死亡, 不同盐度处理中褐牙鲈幼鱼的生长情况见表 1。实验结束时, 褐牙鲈的体质量没有显著差异, 只有盐度为 19 的处理体质量稍高($P > 0.05$)。湿重的特定生长率(SGR_w)也表现出相同的趋势, 但蛋白质特定生长率(SGR_p)和能量特定生长率(SGR_e)有不同的

趋势, 盐度 40 处理的 SGR_p 显著低于盐度 12、19、26 的处理, 盐度 19 处理的 SGR_e 显著高于盐度 12、33、40 的处理 ($P < 0.05$)。

2.2 不同处理的摄食率、消化率和饲料转化效率

以不同形式表示的摄食率、消化率和饲料转化效率见表 2。湿重表示的摄食率在不同处理间没有显著差异 ($P > 0.05$), 而以蛋白质表示的摄食率中盐度为 12 的处理显著高于盐度为 33 的处理 ($P <$

0.05), 盐度为 33 的处理以能量表示的摄食率显著低于其他处理 ($P < 0.05$)。盐度对饲料中蛋白质和能量的消化率均无显著影响 ($P > 0.05$)。以湿重表示的饲料转化效率在不同处理之间没有显著差异 ($P > 0.05$), 以蛋白质和能量表示的饲料转化效率除盐度 40 处理显著较低 ($P < 0.05$) 之外, 其他处理之间也不存在显著差异 ($P > 0.05$)。

表 1 不同盐度处理中牙鲈幼鱼的体质量及特定生长率

Tab.1 Body weight and specific growth rate of juvenile *P. olivaceus* cultured in seawater of different salinities

		$\bar{X} \pm SE$				
	项目	处理 Treatment				
	Item	S ₁₂	S ₁₉	S ₂₆	S ₃₃	S ₄₀
初始鱼 Initial fish	湿重 /g Wet mass	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
	蛋白质 /g Protein	0.37 ± 0.01 ^a	0.41 ± 0.03 ^a	0.39 ± 0.03 ^a	0.39 ± 0.02 ^a	0.42 ± 0.01 ^a
	能量 /kJ Energy	12.88 ± 0.15 ^a	12.01 ± 0.75 ^a	12.59 ± 0.69 ^a	13.17 ± 0.49 ^a	13.00 ± 0.23 ^a
结束鱼 Final fish	湿重 /g Wet mass	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
	蛋白质 /g Protein	0.95 ± 0.11 ^a	1.04 ± 0.07 ^a	0.98 ± 0.05 ^a	0.94 ± 0.08 ^a	0.87 ± 0.06 ^a
	能量 /kJ Energy	33.25 ± 0.93 ^a	36.56 ± 2.84 ^a	33.42 ± 1.91 ^a	32.10 ± 2.53 ^a	30.55 ± 2.15 ^a
特定生长率 /(%·d ⁻¹) Specific growth rate	湿重 Wet mass	3.11 ± 0.17 ^a	3.29 ± 0.07 ^a	3.00 ± 0.17 ^a	2.76 ± 0.18 ^a	2.77 ± 0.17 ^a
	蛋白质 Protein	3.04 ± 0.19 ^b	3.15 ± 0.05 ^b	3.12 ± 0.21 ^b	2.91 ± 0.20 ^{ab}	2.42 ± 0.22 ^a
	能量 Energy	3.16 ± 0.13 ^a	3.70 ± 0.06 ^b	3.25 ± 0.13 ^{ab}	2.96 ± 0.20 ^a	2.83 ± 0.17 ^a

注: 处理中下标数字为处理盐度; 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: Subscript in treatment means the salinity of the treatment; values without same superscript in the same row mean significantly different from each other ($P < 0.05$).

表 2 不同盐度处理牙鲈幼鱼的摄食率、消化率和饲料转化效率

Tab.2 Feeding rate, digested rate and feed conversion efficiency of juvenile *P. olivaceus* cultured in seawater of different salinities

		$\bar{X} \pm SE$				
	项目	处理 Treatment				
	Item	S ₁₂	S ₁₉	S ₂₆	S ₃₃	S ₄₀
摄食率 /(%·d ⁻¹) Feeding rate	湿重 Wet mass	2.16 ± 0.08 ^a	2.16 ± 0.07 ^a	2.14 ± 0.12 ^a	1.96 ± 0.02 ^a	2.03 ± 0.08 ^a
	蛋白质 Protein	6.71 ± 0.34 ^b	6.41 ± 0.23 ^{ab}	6.34 ± 0.34 ^{ab}	5.83 ± 0.06 ^a	6.34 ± 0.19 ^{ab}
	能量 Energy	8.26 ± 0.25 ^b	8.30 ± 0.19 ^b	8.16 ± 0.26 ^b	7.38 ± 0.10 ^a	8.12 ± 0.19 ^b
消化率 /% Digested rate	蛋白质 Protein	98.51 ± 1.11 ^a	98.61 ± 1.05 ^a	98.18 ± 1.01 ^a	98.09 ± 1.11 ^a	98.66 ± 1.06 ^a
	能量 Energy	97.56 ± 1.14 ^a	97.82 ± 1.05 ^a	97.32 ± 1.04 ^a	97.07 ± 1.14 ^a	97.80 ± 1.09 ^a
饲料转化效率 /% Feed conversion efficiency	湿重 Wet mass	134.74 ± 5.79 ^a	141.57 ± 5.94 ^a	131.83 ± 8.03 ^a	133.05 ± 7.21 ^a	129.80 ± 12.71 ^a
	蛋白质 Protein	42.88 ± 4.15 ^{ab}	45.94 ± 1.86 ^b	45.96 ± 2.74 ^b	46.96 ± 2.63 ^b	36.75 ± 2.44 ^a
	能量 Energy	35.63 ± 1.02 ^{ab}	40.59 ± 1.51 ^b	37.15 ± 2.56 ^{ab}	37.57 ± 2.18 ^{ab}	33.11 ± 1.55 ^a

注: 处理中下标数字为处理盐度; 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: Subscript in treatment means the salinity of the treatment; values without same superscript in the same row mean significantly different from each other ($P < 0.05$).

2.3 补偿生长实验中不同时间的鱼体质量

经 10 d 不同盐度处理后, 盐度为 5 和 47 处理的鱼体质量显著低于盐度 19 处理的鱼 ($P < 0.05$)。根据 2.1 结果可确定盐度 19 为褐牙鲈幼鱼最佳生

长盐度。恢复至生长最佳盐度后, 经盐度 5 处理的鱼经过 30 天的恢复各项指标赶上盐度为 19 的处理, 获得完全补偿生长, 而经盐度 47 处理的鱼体质量未能赶上盐度 19 的处理 (表 3)。

表 3 不同补偿生长时间褐牙鲈幼鱼的体质量
Tab.3 Body mass of juvenile *P. olivaceus* at different time

项目 Item	处理 Treatment	补偿生长时间 /d Recovery culture days					$\bar{X} \pm SE$
		0	10	20	30	40	
体质量/g (湿重) Body mass (Wet)	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 ± 0.22 ^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 ± 0.35 ^a	
蛋白质/g Protein	IS ₅	1.01 ± 0.03 ^a	1.16 ± 0.03 ^a	—	—	2.21 ± 0.05 ^b	
	IS ₁₉	1.01 ± 0.03 ^a	1.33 ± 0.04 ^b	—	—	2.22 ± 0.03 ^b	
	IS ₄₇	1.07 ± 0.06 ^a	1.19 ± 0.01 ^a	—	—	1.98 ± 0.07 ^a	
能量/kJ Energy	IS ₅	36.17 ± 0.96 ^a	37.09 ± 0.71 ^a	—	—	78.01 ± 1.92 ^b	
	IS ₁₉	37.20 ± 0.81 ^a	45.30 ± 0.82 ^c	—	—	81.38 ± 0.33 ^b	
	IS ₄₇	37.34 ± 1.10 ^a	39.90 ± 0.48 ^b	—	—	67.22 ± 1.96 ^a	

注: IS₅、IS₁₉ 和 IS₄₇ 分别表示初始盐度为 5、19 和 47 的 3 个处理; 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: IS₅, IS₁₉ and IS₄₇ were treatments with initial salinities of 5, 19 and 47 respectively; values without same superscripts in the same row mean significantly different from each other ($P < 0.05$).

2.4 不同时间段内鱼的特定生长率

由表 4 可以看出, 在不同盐度处理期间 (1~10 d), 不同处理两两之间的特定生长率均存在显著差异 ($P < 0.05$)。在盐度恢复至 19 后, IS₅ 处理的特定生长率迅速提高并显著高于其他两个处理 ($P < 0.05$)。在随后的两个 10 d 特定生长率在不

同处理间未出现显著差异 ($P > 0.05$)。在整个恢复生长期 (11~40 d), IS₄₇ 处理的特定生长率显著低于 IS₅ 处理 ($P < 0.05$), 对照处理 IS₁₉ 处于中间水平。对整个实验期间的特定生长率而言, IS₅ 处理和 IS₁₉ 处理相互之间没有显著差异 ($P > 0.05$) 并显著高于 IS₄₇ ($P < 0.05$)。

表 4 不同补偿生长时间段褐牙鲈幼鱼特定生长率
Tab.4 Specific growth rate of juvenile *P. olivaceus* during different period

项目 Item	处理 Treatment	补偿生长时间段 /d Period						$\bar{X} \pm SE$
		1-10	11-20	21-30	31-40	11-40	1-40	
湿重 / (%·d ⁻¹) Wet mass	IS ₅	0.79 ± 0.10 ^a	1.96 ± 0.13 ^b	1.82 ± 0.27 ^a	2.08 ± 0.25 ^a	1.95 ± 0.11 ^b	1.79 ± 0.08 ^b	
	IS ₁₉	2.20 ± 0.23 ^c	1.52 ± 0.13 ^a	2.21 ± 0.21 ^a	1.73 ± 0.31 ^a	1.82 ± 0.11 ^{ab}	1.91 ± 0.05 ^b	
	IS ₄₇	1.09 ± 0.18 ^b	1.50 ± 0.09 ^a	1.65 ± 0.21 ^a	1.74 ± 0.23 ^a	1.63 ± 0.04 ^a	1.50 ± 0.04 ^a	
蛋白质 / (%·d ⁻¹) Protein	IS ₅	1.32 ± 0.41 ^a	—	—	—	2.16 ± 0.08 ^b	1.95 ± 0.04 ^b	
	IS ₁₉	2.73 ± 0.06 ^b	—	—	—	1.70 ± 0.05 ^a	1.96 ± 0.05 ^b	
	IS ₄₇	1.08 ± 0.59 ^a	—	—	—	1.69 ± 0.10 ^a	1.54 ± 0.15 ^a	
能量 (%·d ⁻¹) Energy	IS ₅	0.26 ± 0.14 ^a	—	—	—	2.26 ± 0.11 ^b	1.76 ± 0.07 ^b	
	IS ₁₉	1.97 ± 0.09 ^b	—	—	—	1.95 ± 0.07 ^{ab}	1.96 ± 0.06 ^b	
	IS ₄₇	0.67 ± 0.17 ^a	—	—	—	1.73 ± 0.06 ^a	1.47 ± 0.04 ^a	

注: IS₅、IS₁₉ 和 IS₄₇ 分别表示初始盐度为 5、19 和 47 的 3 个处理; 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: IS₅, IS₁₉ and IS₄₇ were treatments with initial salinities of 5, 19 and 47 respectively; values without same superscript in the same row mean significantly different from each other ($P < 0.05$).

2.5 不同时间段内鱼的摄食率、消化率和饲料转化效率

在不同盐度处理期间, IS₁₉ 处理的摄食率显著高于 IS₄₇ 处理 ($P < 0.05$), IS₅ 处理处于中间水平。在盐度恢复至 19 后, IS₅ 处理的摄食率显著高于

IS₁₉ 处理 ($P < 0.05$), 而 IS₄₇ 处理的摄食率仍旧显著低于 IS₁₉ 处理 ($P < 0.05$), 并在所有实验阶段的摄食率均较低。在恢复阶段的最后 10 d (31~40 d), 所有处理的摄食率之间已经无显著差异 ($P > 0.05$)。对整个恢复期间 (11~40 d) 而言, IS₅ 处理的摄食率

显著高于 IS_{47} 处理 ($P < 0.05$), IS_{19} 处理处于中间水平。在整个实验期间, IS_5 处理和 IS_{19} 处理的摄食率相互之间没有显著差异 ($P > 0.05$) 并显著高于 IS_{47} ($P < 0.05$), 详见表 5。

表 5 不同盐度处理期间褐牙鲈幼鱼摄食率、消化率及饲料转化效率

Tab.5 Feeding rate, digested rate and feed conversion efficiency of juvenile *P. olivaceus* during different treatment period $\bar{X} \pm SE$

项目 Item	处理 Treatment	处理时间 /d Treatment time						
		1-10	11-20	21-30	31-40	11-40	1-40	
摄食率 /(%•d ⁻¹) Feeding rate	湿重 Wet body mass	IS ₅	1.03 ± 0.05 ^{ab}	1.29 ± 0.03 ^c	1.29 ± 0.05 ^b	1.21 ± 0.06 ^a	1.25 ± 0.04 ^b	1.11 ± 0.03 ^b
		IS ₁₉	1.27 ± 0.14 ^b	0.98 ± 0.07 ^b	1.28 ± 0.10 ^b	1.17 ± 0.08 ^a	1.12 ± 0.06 ^{ab}	1.10 ± 0.10 ^b
		IS ₄₇	0.76 ± 0.12 ^a	0.80 ± 0.05 ^a	0.91 ± 0.13 ^a	1.18 ± 0.05 ^a	0.96 ± 0.07 ^a	0.87 ± 0.02 ^a
	蛋白质 Protein	IS ₅	3.40 ± 0.18 ^b	——	——	——	3.88 ± 0.11 ^b	3.61 ± 0.04 ^b
		IS ₁₉	3.58 ± 0.47 ^b	——	——	——	3.65 ± 0.22 ^{ab}	3.66 ± 0.35 ^b
		IS ₄₇	2.15 ± 0.50 ^a	——	——	——	3.07 ± 0.20 ^a	2.79 ± 0.03 ^a
	能量 Energy	IS ₅	4.05 ± 0.24 ^{ab}	——	——	——	4.76 ± 0.14 ^b	4.28 ± 0.10 ^b
		IS ₁₉	4.73 ± 0.55 ^b	——	——	——	4.10 ± 0.28 ^{ab}	4.11 ± 0.32 ^b
		IS ₄₇	2.90 ± 0.48 ^a	——	——	——	3.64 ± 0.23 ^a	3.34 ± 0.07 ^a
消化率 /% Digested rate	蛋白质 Protein	IS ₅	97.58 ± 1.31 ^b	——	——	——	98.27 ± 0.62 ^a	97.69 ± 0.37 ^a
		IS ₁₉	87.83 ± 1.06 ^a	——	——	——	97.47 ± 0.71 ^a	97.75 ± 0.48 ^a
		IS ₄₇	96.24 ± 2.04 ^b	——	——	——	97.98 ± 0.07 ^a	96.52 ± 0.22 ^a
	能量 Energy	IS ₅	98.16 ± 2.21 ^a	——	——	——	97.58 ± 1.31 ^b	97.53 ± 0.58 ^a
		IS ₁₉	96.76 ± 2.01 ^a	——	——	——	87.83 ± 1.06 ^a	96.90 ± 0.67 ^a
		IS ₄₇	98.03 ± 3.01 ^a	——	——	——	96.24 ± 2.04 ^b	96.31 ± 0.73 ^a
饲料转化 效率 /% Feed conversion efficiency	湿重 Wet body mass	IS ₅	76.17 ± 6.22 ^a	151.47 ± 24.45 ^a	167.77 ± 22.40 ^a	181.53 ± 28.01 ^a	152.09 ± 8.50 ^a	154.60 ± 2.35 ^a
		IS ₁₉	158.30 ± 11.36 ^b	155.72 ± 34.40 ^a	171.52 ± 22.38 ^a	150.77 ± 33.80 ^a	159.70 ± 17.37 ^a	168.65 ± 18.04 ^a
		IS ₄₇	138.81 ± 15.86 ^b	186.75 ± 19.30 ^a	193.80 ± 28.85 ^a	145.94 ± 17.29 ^a	167.35 ± 3.23 ^a	166.44 ± 1.22 ^a
	蛋白质 Protein	IS ₅	39.51 ± 9.39 ^a	——	——	——	53.77 ± 1.04 ^a	51.43 ± 1.43 ^a
		IS ₁₉	66.17 ± 6.21 ^b	——	——	——	46.11 ± 3.59 ^a	52.04 ± 5.43 ^a
		IS ₄₇	46.08 ± 8.05 ^{ab}	——	——	——	54.04 ± 1.12 ^a	53.44 ± 5.36 ^a
	能量 Energy	IS ₅	6.07 ± 3.19 ^a	——	——	——	45.65 ± 0.84 ^a	39.43 ± 0.62 ^a
		IS ₁₉	42.92 ± 6.37 ^c	——	——	——	46.85 ± 4.29 ^a	46.01 ± 4.49 ^a
		IS ₄₇	22.33 ± 2.89 ^b	——	——	——	46.78 ± 1.59 ^a	42.86 ± 1.04 ^a

注: IS_5 , IS_{19} 和 IS_{47} 分别表示初始盐度为 5、19 和 47 的 3 个处理; 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: IS_5 , IS_{19} and IS_{47} were treatments with initial salinities of 5, 19 and 47 respectively; values without same superscript in the same row mean significantly different from each other ($P < 0.05$).

在不同盐度处理期间, IS_{19} 处理的牙鲈幼鱼对饲料中蛋白质的消化率显著低于 IS_{47} 处理和 IS_5 处理 ($P < 0.05$); 在整个恢复期间, IS_{19} 处理的牙鲈幼鱼对饲料中能量的消化率显著低于 IS_{47} 处理和 IS_5 处理 ($P < 0.05$)。在其他实验阶段内, 牙鲈幼鱼对饲料中蛋白质和能量的消化率在不同处理间均未见显著差异 ($P > 0.05$), 见表 5。

在不同盐度处理期间, IS_5 处理的湿重、蛋白质和能量表示的饲料转化效率均显著低于 IS_{19} 处理 ($P < 0.05$), 湿重和能量表示的饲料转化效率显著低

于 IS_{47} 处理 ($P < 0.05$)。在盐度恢复为 19 后, 不同处理所有阶段的饲料转化效率和整个实验期间的平均饲料转化效率相互之间不存在显著差异 ($P > 0.05$), 见表 5。

3 讨论

3.1 不同盐度对褐牙鲈幼鱼生长的影响

本研究发现, 在 12~40 盐度范围内, 褐牙鲈幼鱼的湿重生长未受到盐度的显著影响 ($P > 0.05$), 这一结果与姜志强等^[4]对褐牙鲈幼鱼在 8~32 盐度

范围内的存活与生长研究结果接近,也与王涵生^[5]对褐牙鲈仔稚鱼在盐度 16~32 范围内的存活与生长的研究结果一致。但当特定生长率以蛋白质和能量形式表示时,盐度对特定生长率表现出显著影响,以 19 盐度处理生长最快,40 盐度生长最慢(表 1)。这表明在此盐度范围内,30 d 的养殖尽管不能引起体质量上的显著差异,但幼鱼可能在不同盐度水体中已经在身体成分如水分、蛋白质、能值等含量上产生差异,导致蛋白质和能量特定生长率产生差异。由于同样的原因,导致原来没有显著差异的摄食率和饲料转化效率在以蛋白质和能量表示后出现显著差异。本实验的结果表明,褐牙鲈幼鱼的生长和饲料转化效率均以盐度 19 处理最佳,该值略高于潘鲁青等^[6]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^[7-8]的观点,褐牙鲈幼鱼生长最适盐度应该在 19 左右。同时,在盐度 19 附近,褐牙鲈幼鱼消耗于渗透压调节的能量比例减少,导致其分配于生长的能量比例增加,即以能量表示的饲料转化效率较高。进一步降低或升高养殖盐度发现,在盐度为 5 和 47 的海水中养殖 10 d 也不会死亡,但其生长率明显低于对照组(盐度 19),并且生长受阻主要是由于摄食减少和饲料转化效率降低引起的。以上结果表明,褐牙鲈幼鱼对盐度的适应范围较广,在 5~47 范围内未出现死亡,略小于漠斑牙鲈(*Paralichthys lethostigma*) 适应的 0~60 盐度范围^[18]。同时,褐牙鲈幼鱼对比正常海水(盐度 30 左右)盐度低的海水有较强的适应能力。

3.2 不同盐度胁迫对褐牙鲈幼鱼补偿生长的影响

以往对鱼类补偿生长的研究多集中在营养胁迫后的补偿生长,只有少数研究对温度、光照周期、离子辐射胁迫后的补偿生长进行了报道^[15-17],而对于盐度胁迫后的补偿生长现象尚未见报道。在本实验中,褐牙鲈幼鱼在受到 5 的低盐度胁迫 10 d 后,引起的生长阻滞可以在 30 d 内得到完全补偿,其补偿生长的机制与营养胁迫和其他环境因子胁迫后的补偿生长机制类似,主要依靠恢复最佳条件后摄食量的提高来获得。而高盐度(盐度为 47)胁迫后的褐牙鲈幼鱼在实验结束时未获得补偿生长,并且也未观察到恢复期间摄食量的提高。因此,褐牙鲈幼鱼在高盐度胁迫后可能不能产生补偿生长或需要更长的恢复生长期才能获得补偿生长。

3.3 褐牙鲈幼鱼对盐度变动的适应能力

本研究及以前的研究结果表明,褐牙鲈与其他重要养殖鲈类对盐度的适应范围都很广,这是这些鲈类能够适应盐度多变的沿岸和河口水域的重要原因之一。同时,褐牙鲈幼鱼在较大的盐度范围内生长均不受到显著影响,特别是其在受到低盐度胁迫后能够获得补偿生长,使其能够在生活史的早期阶段生活于饵料丰富的近岸和河口水域而生长不受到影响,增强了其适应环境的能力。在养殖和增殖放流中,可充分利用其适应能力,从而扩大养殖水域,并增加增殖放流区域从而促进褐牙鲈资源的恢复。

参考文献:

- [1] 雷霖霖. 海水鱼类养殖理论与技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 484-485.
- [2] 王宏田, 徐永立, 张培军. 牙鲈胚胎及其初孵仔鱼的盐度耐受性 [J]. 中国水产科学, 2000, 7(3): 21-23.
- [3] 王涵生. 海水盐度对牙鲈仔稚鱼的生长、存活率及白化率的影响 [J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(4): 399-405.
- [4] 姜志强, 赵祥东, 王国祖. 不同盐度下牙鲈幼鱼存活、生长和摄食的研究 [J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(2): 79-83.
- [5] 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.
- [6] 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 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 活力的影响 [J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(1): 1-6.
- [7] Gaumet F, Boeuf G, Sèvre A, et al. Effects of salinity on the ionic balance and growth of juvenile turbot [J]. J Fish Biol, 1995, 47: 865-867.
- [8] Renzis De G, Bornancin M. Ion transport and gill ATPases [J]. In: Hoar W S, Randall D J ed. Fish Physiology. Ion and Water Transport. Vol. 10B. New York: Academic Press, 1984: 65-104.
- [9] Weatherley A H, Gill H S. Recovery growth following periods of restricted rations and starvation in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson [J]. J Fish Biol, 1981, 18: 195-208.
- [10] Russell N R, Wootton R J. Appetite and growth compensation in European minnows (*Phoxinus phoxinus*) following short periods of food restriction [J]. Environ Biol Fish, 1992, 34: 277-285.

- [11] Jobling M, Meloey O H, Santos Jdos, et al. The compensatory growth response of the Atlantic cod: Effects of nutritional history [J]. *Aquacul Int*, 1994, 2 (2): 75-90.
- [12] Heide A, Foss A, Stefansson S O, et al. Compensatory growth and fillet crude composition in juvenile Atlantic halibut: Effects of short term starvation periods and subsequent feeding [J]. *Aquaculture*, 2006, 261 (1): 109-117.
- [13] Blake R W, Chan K H S. Cyclic feeding and subsequent compensatory growth do not significantly impact standard metabolic rate or critical swimming speed in rainbow trout [J]. *J Fish Biol*, 2006, 69 (3): 818-827.
- [14] Montserrat N, Gabillard J C, Capilla E, et al. Role of insulin, insulin-like growth factors, and muscle regulatory factors in the compensatory growth of the trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Gen Comp Endocrinol*, 2007, 150 (3): 462-472.
- [15] Mortensen A, Damsgård B. Compensatory growth and weight segregation following light and temperature manipulation of juvenile Atlantic salmon (*salmo salar* L.) and Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) [J]. *Aquaculture*, 1993, 114: 261-272.
- [16] Nicieza A, Metcalfe N B. Growth compensation in juvenile Atlantic salmon: responses to depressed temperature and food availability [J]. *Ecology*, 1997, 78: 2 385-2 400.
- [17] Le-Francois N R, Blier P U, Adamounou L T, et al. Expose to low-level ionizing radiation: effects on biochemical and whole-body indices of growth in juvenile brook charr (*Salvelinus fontinalis*) [J]. *J Experim Zool*, 1999, 283: 315-325.
- [18] 王兴强, 阎斌伦, 曹梅, 等. 漠斑牙鲆生物学及其养殖研究进展 [J]. *海洋湖沼通报*, 2006, 3: 128-134.

Effect of salinity on the growth of brown flounder, *Paralichthys olivaceus* and its compensatory growth following salinity manipulation

WANG Li-hua, HUANG Guo-qiang, TIAN Si-juan, ZHANG Guo-zheng, WEI Liu-zhi, ZHANG Xiu-mei

(Fisheries College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: Brown flounder, *Paralichthys olivaceus* is an important fishery and aquaculture species. The capacity of tolerating variable salinity is one of the important abilities to survival the different natural or cultural environments. Two experiments were conducted to investigate the effects of salinity manipulating on the growth of juvenile *P. olivaceus*. In the first experiment, juveniles 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 second experiment, juveniles with body weight of 6.9 g were stocked in seawater with salinities 5 (IS₅), 19 (IS₁₉), and 47 (IS₄₇) during the first 10 d. Then the salinities were 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 wet weight growth, wet weight feeding rate, and wet weight feed conversion efficiency of juvenile *P. olivaceus* would not changed significantly within the salinity range between 12 and 40 ($P>0.05$). But salinity put significant effects on these parameters when they were calculated in terms of protein and energy ($P<0.05$). 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 ($P<0.05$). Fish in IS₅ achieved completely compensatory growth in 30 d after the salinity was switched to 19. But fish in IS₄₇ failed to catch up the weight of fish in IS₁₉. For the whole recovery period (11-40 d), *P. olivaceus* in IS₅ showed significant better appetite than that in IS₄₇ and the appetite of fish in IS₁₉ was in between. After switching of salinity from 5 and 47 to 19 respectively, no significant difference on feed conversion efficiency between treatments appeared during the experimental period ($P>0.05$). Results mentioned above indicated that the compensation of the growth delay caused by low salinity (5) was dependent mostly on improved feeding rate. It could be concluded that the juvenile was especially tolerant to lower salinity stress. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15 (4): 615-621]

Key words: *Paralichthys olivaceus*; salinity; feeding rate; feed conversion efficiency; compensatory growth

Corresponding author: HUANG Guo-qiang. E-mail: hgqhugh@yahoo.com.cn