

盐度对瘤背石磺幼贝存活、生长性能和肌肉生化成分的影响

陈 威^{1,2}, 沈永龙³, 黄金田¹, 李 强¹, 张明明¹

(1. 盐城工学院 江苏省滩涂底栖生物重点实验室, 江苏 盐城 224051; 2. 盐城天邦饲料科技有限公司, 江苏 盐城 214000; 3. 盐城市海洋与渔业局, 江苏 盐城 224000)

摘要: 为探讨盐度对瘤背石磺(*Onchidium struma*) 幼贝生长和肌肉生化成分的影响, 用不同盐度水平(5、15、25、35 和 45)的人工海水饲养瘤背石磺幼贝 [干质量(2.96 ± 1.02) g] 60 d 后测定瘤背石磺生长性能和肌肉营养成分。结果显示: (1)瘤背石磺在盐度 25~45 时生长良好, 成活率在 90%以上。同时, 在盐度 25 时增重率、特定生长率和蛋白质效率均显著高于其余各盐度组($P < 0.05$), 而饲料系数也显著降低($P < 0.05$)。 (2)随着盐度的升高, 瘤背石磺肌肉水分显著降低($P < 0.05$), 粗灰分呈先下降后上升趋势, 但对肌肉钙和磷含量影响差异不显著($P > 0.05$); 粗蛋白含量在盐度 25 时最高, 为 76.66%, 而粗脂肪在高盐度时呈显著上升趋势($P < 0.05$), 分别在盐度 25 和 45 时含量最低和最高。 (3)除了谷氨酸、天门冬氨酸和脯氨酸等呈味氨基酸受盐度影响差异显著外, 大多数氨基酸均随着盐度升高呈现先上升后下降的趋势, 且在盐度 25 最高, 但差异不显著。 (4)盐度对于每一种脂肪酸的影响均差异显著, 在盐度 5 至 35 范围内, n-3 PUFA 和 n-6 PUFA 均呈现上升趋势, 但 n-3 PUFA/ n-6 PUFA 值也逐渐升高。与大多数海水贝类不同的是, 瘤背石磺 DHA 含量远低于 EPA。试验结果表明, 盐度对瘤背石磺生长性能以及肌肉生化成分有显著影响, 适宜的盐度可改善瘤背石磺的肌肉品质和风味。

关键词: 瘤背石磺(*Onchidium struma*); 盐度; 生长性能; 肌肉成分

中图分类号: S 966.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2017)08-0016-08

DOI: 10.11759/hyxx20140110001

盐度对贝类来说是一个非常重要的影响因子, 贝类能量的 10%甚至 20%~50%都用于维持自身渗透压调节上, 盐度还通过直接影响摄食及消化率而影响贝类的生长。刘英杰等^[1]对青蛤(*Cylinia sinensis* Gmelin)、文海翔^[2]对硬壳蛤(*Mercenaria mercenaria*)、潘鲁青等^[3]对缢蛏(*Sinonovacula constricta*)、施祥元等^[4]对毛蚶(*Scapharca subcrenata*)的研究均表明盐度过低或过高时, 摄食率和存活率明显下降, 生长受阻。另外, 肌肉组织是机体蛋白质最终的沉淀场所和动物体内最大的氨基酸库, 同时有研究表明氨基酸在甲壳类和贝类渗透调节中具有重要作用, 因此探索盐度对瘤背石磺肌肉生化成分的影响也是探究瘤背石磺渗透压调节机制的重要环节。

瘤背石磺(*Onchidium struma*)隶属软体动物门、腹足纲、肺螺亚纲, 是我国特有的经济动物, 主要分布在江、浙、沪一带海边的高潮带, 其味道鲜美, 营养丰富, 粗蛋白含量高达 56%以上, 并且富含多种人体必需氨基酸、多不饱和脂肪酸、矿物元素和维生素。国内外关于瘤背石磺的报道较少且主要集中在繁殖生物学^[5]、发育生物学^[6]、神经生物学^[7]及增

养殖技术^[8-9]等内容, 但关于瘤背石磺生长性能和营养价值调控等内容并未见报道。鉴于此, 本研究探讨了盐度对瘤背石磺生长和肌肉营养成分等指标的影响, 以便为其在规模化养殖上提供参考, 同时在反映瘤背石磺营养价值及健康状况方面具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 试验动物

试验瘤背石磺为采自盐城射阳河口区滩涂的同一批体质健康个体, 经过 150 mg/L KMnO₄ 水溶液消毒 5 min 后采用铺设底泥、搭置瓦片等模拟自然环境的方式进行温箱养殖, 暂养驯化 2 d 备用。

收稿日期: 2016-11-23; 修回日期: 2017-01-30

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31470130)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, Respiratory Mechanism & Structure and Expression of Hemocyanin Gene of *Onchidium struma*, No.31470130]

作者简介: 陈威(1988-), 女, 助理工程师, 研究方向为水产动物饲料营养及繁育, E-mail: 929173804@qq.com; 黄金田, 通信作者, 男, 教授, 研究方向为水产养殖及繁育, E-mail: hjt@ycit.cn

1.2 试验饲料

以螺旋藻作为瘤背石磺的饵料,使用前粉碎均过 100 目筛,充分混合后作为饲料,晾干保存于冰箱中备用。饲喂时以海泥作为填充物质,海泥与螺旋藻粉按照 5:1 比例拌饲投喂。

表 1 试验饲料配方和营养水平(% ,干物质基础)
Tab. 1 Feed formulation and nutrient levels of trial diets (% , DM basis)

项目	主要营养成分(%)
干物质	91.72
粗蛋白	57.64
粗脂肪	2.73
粗纤维	0.48
粗灰分	7.53
钙	0.20
总磷	0.79

1.3 试验设计与饲养管理

驯化结束后,选择个体均一的健康瘤背石磺个体 1 200 只,干质量为(2.96±1.02) g,随机分成 5 组,分别用不同盐度梯度(5、15、25、35 和 45)的人工海水饲养于特制的防逃养殖箱(长×宽×高为 70 cm×50 cm×40 cm)中,每组设置 6 个重复,每个重复 40 只。饲养期间所用海泥均为过 200 目筛绢网的海边高潮带表层泥土,将细海泥分别在不同盐度梯度的海水中完全浸湿 5 min 后铺设于养殖箱底部,厚约 3 cm,然后将铺有底泥的养殖箱倾斜 30°放置,形成斜坡。在每个箱中喷洒 2 L 相应盐度梯度的海水,使其在坡底具有一定的积水,每日添加曝气海水维持积水量和箱内湿度,同时调节水体盐度,从而维持瘤背石磺生存环境中盐度的稳定。

试验期间箱内气温控制为 24~25℃、箱内湿度控制在 88%~90%,每天两次(07:00 和 17:00)用海泥与螺旋藻粉(质量比为 5:1)拌饲投喂于固定位置的玻璃食台,投饲率为 2%。每次投喂前清洁养殖箱、食台及瓦片,投喂后 1 h 清除残饵并向养殖箱中分别喷洒不同盐度梯度的海水,维持瘤背石磺体表湿润和养殖箱内的湿度。观察记录摄食情况并检查防逃设施是否完好。饲养 60 d 后,从各处理组中随机抽取瘤背石磺 30 只,采集组织样本测定相关指标,取样前禁食 24 h。

1.4 指标测定及计算方法

1.4.1 生长指标

在试验开始及结束时,分别称量体质量,按下

式计算增重率(weight gain rate, WGR)、饲料系数(feed conversion ratio, FCR)、蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER)和特定生长率(specific growth rate, SGR)^[10]:

$$\text{增重率(WGR, \%)} = 100 \times (W_t - W_0) / W_0 \quad (1)$$

$$\text{饲料系数(FCR)} = I / (W_t - W_0) \quad (2)$$

$$\text{蛋白质效率(PER)} = (W_t - W_0) / (I \times P) \quad (3)$$

$$\text{特定生长率(SGR, \%)} = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t \quad (4)$$

式中, W_t (g)为试验末瘤背石磺体质量; W_0 (g)为试验初瘤背石磺体质量; I (g)为摄入饲料量(干质量); t 为养殖天数; P (%)为饲料中粗蛋白质含量。

1.4.2 肌肉成分测定

肌肉中粗蛋白、粗脂肪的测定分别采用凯氏定氮法和索氏提取法;水分和粗灰分的测定参照 AOAC^[11]的方法;磷和钙的测定分别采用钼黄分光光度比色法和 EDTA 滴定法;氨基酸的含量采用日立 L-8900 氨基酸分析仪测定;脂肪酸的含量采用气象色谱仪分析,其方法参照吴旭干等^[12]脂类和脂肪酸的分析。

1.5 数据统计与分析

原始数据经 Excel 2007 初步整理后,采用 SPSS 17.0 中的单因素方差分析(one-way ANOVA)对数据进行统计分析,并进行 Duncan 氏多重比较。统计结果表示为平均值±标准误(Mean±SE), $P < 0.05$ 认为差异显著。

2 结果

2.1 盐度对瘤背石磺成活率及生长性能的影响

从表 2 可以看出,虽然瘤背石磺属于广盐性贝类,但盐度对其成活率仍有显著影响。试验结果显示盐度 35 和 45 组的成活率最高,盐度 15 组的成活率最低,显著低于其余各组($P < 0.05$)。另外,盐度对瘤背石磺的生长性能影响显著($P < 0.05$)。瘤背石磺肥满度随着盐度的升高呈现先上升后下降趋势,盐度水平 15 时肥满度值较高,显著高于其他各组($P < 0.05$),盐度 35 组的肥满度值最低。盐度对瘤背石磺增重率和特定生长率的影响具有相似性,均在盐度 35 时值最低,且盐度 5 和 25 组以及盐度 15 和 45 组之间均无显著差异($P > 0.05$)。盐度 5 组的饲料系数最高,盐度 25 组的最低,其余各组饲料系数从大到小分别为盐度 35>盐度 15>盐度 45。另外,盐度对瘤背石磺的蛋白质效率也有显著影响,盐度 25 组的蛋白质效率

表 2 盐度对瘤背石磺成活率和生长性能的影响

Tab. 2 Effect of salinities on survival rate and growth performance of *O. struma*

组别	项目					
	成活率	肥满度	增重率	特定生长率	饲料系数	蛋白质效率
盐度 5	87.50±2.32 ^b	12.26±0.11 ^b	149.26±2.06 ^a	2.89±2.22 ^a	2.97±0.03 ^a	0.98±0.01 ^d
盐度 15	81.79±2.55 ^c	13.42±0.30 ^a	138.50±2.99 ^b	2.76±1.72 ^b	2.85±0.05 ^{ab}	1.05±0.01 ^c
盐度 25	91.33±1.63 ^b	12.17±0.10 ^b	152.45±3.06 ^a	2.88±3.81 ^a	2.39±0.06 ^c	1.20±0.02 ^a
盐度 35	97.08±1.21 ^a	11.23±0.36 ^c	105.64±0.42 ^c	2.34±2.31 ^c	2.88±0.03 ^a	1.17±0.01 ^a
盐度 45	96.40±1.33 ^a	12.02±0.21 ^b	136.72±1.20 ^b	2.75±3.04 ^b	2.74±0.02 ^b	1.10±0.00 ^b

注: 数值用平均值±标准误表示, 同行肩标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同

最高, 其次是盐度 35 组, 两组之间无显著差异 ($P>0.05$), 但其余各组之间的蛋白质效率均差异显著 ($P<0.05$), 且盐度 5 组的蛋白质效率最低。

2.2 盐度对瘤背石磺肌肉常规营养成分的影响

从表 3 和图 1 可以看出, 盐度对瘤背石磺肌肉中水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量有显著影响 ($P<0.05$)。随着盐度的升高, 瘤背石磺肌肉中水分逐渐减少, 除了盐度 15、25 和 35 组的瘤背石磺肌肉中水分含量差异不显著外, 其余各组均差异显著

($P<0.05$)。通过对瘤背石磺肌肉中水分与盐度的相关性分析得到 $Y = 81.295 - 0.0694X$, $r^2 = 0.9808$, $P = -0.820$, 说明瘤背石磺肌肉中水分含量与盐度有显著线性关系。盐度 15 和 25 组的瘤背石磺肌肉粗蛋白含量最高, 显著高于其他各组, 且其余各组之间粗蛋白含量无显著差异 ($P>0.05$)。粗脂肪和粗灰分含量均分别在盐度 45 和盐度 25 时最高和最低, 且盐度 35 组的粗脂肪和粗灰分含量与盐度 45 组无显著差异 ($P>0.05$)。另外, 盐度对瘤背石磺肌肉中钙和磷的含量也均无显著影响 ($P>0.05$)。

表 3 盐度对瘤背石磺肌肉常规营养成分的影响

Tab. 3 Effect of salinities on growth performance of *O. struma* ($n = 3$)

营养成分(%)	盐度水平				
	5	15	25	35	45
水分	81.10±1.10 ^a	80.14±0.15 ^{ab}	79.36±0.9 ^{ab}	78.99±0.4 ^{ab}	78.21±0.19 ^b
粗蛋白	73.44±0.83 ^b	76.51±0.25 ^a	76.66±0.04 ^a	74.69±0.37 ^b	73.76±0.04 ^b
粗脂肪	2.70±0.21 ^{bc}	3.31±0.19 ^{ab}	2.49±0.14 ^c	3.39±0.32 ^{ab}	3.73±0.18 ^a
粗灰分	11.16 ±0.26 ^a	10.88±0.06 ^a	9.75±0.22 ^b	10.59±0.54 ^{ab}	11.20±0.21 ^a
钙	0.73±0.06 ^a	0.71±0.03 ^a	0.78±0.02 ^a	0.81±0.10 ^a	0.64±0.02 ^a
磷	0.73±0.07 ^a	0.72±0.05 ^a	0.72±0.04 ^a	0.68±0.01 ^a	0.69±0.02 ^a

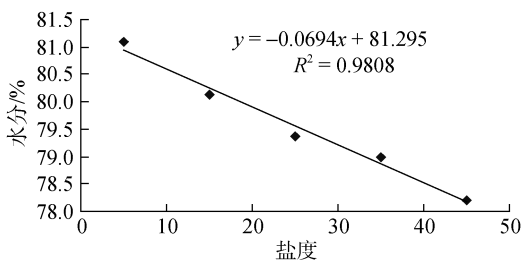


图 1 盐度与瘤背石磺肌肉中水分含量的关系

Fig. 1 Relationship of salinity and moisture of *O. struma*

2.3 盐度对瘤背石磺肌肉氨基酸组成的影响

表 4 显示了不同盐度水平下瘤背石磺氨基酸组

成, 除色氨酸未检出外, 共检出 17 种氨基酸, 包括 8 种必需氨基酸、2 种半必需氨基酸和 7 种非必需氨基酸。在所测定的氨基酸中, 谷氨酸含量最高, 半胱氨酸最低。另外, 在必需氨基酸中, 除了苏氨酸受盐度影响差异显著 ($P<0.05$) 外, 其余必需氨基酸虽然随着盐度的升高呈现上升趋势, 但差异不显著 ($P>0.05$)。在非必需氨基酸中, 受盐度影响差异显著的均属于呈味氨基酸, 包括天冬氨酸、谷氨酸和脯氨酸, 天冬氨酸和谷氨酸含量随着盐度提高均呈现先升高后下降趋势, 且均在盐度 25 时含量最大, 而脯氨酸除了在盐度 5 时显著低于其他盐度组外, 其余各组均无显著差异 ($P>0.05$)。从整体来看, 盐度对瘤背石磺氨

氨酸总量、呈味氨基酸总量以及 EAA/TAA 比值影响均有显著的差异($P<0.05$), 因此可以初步推断瘤背石

磺渗透压调节相关的氨基酸主要是谷氨酸等呈味氨基酸。

表 4 盐度对瘤背石磺肌肉氨基酸含量的影响(%干质量, $n=3$)

Tab. 4 Amino acid contents in muscle of *O. struma* for different salinity levels (% DW, $n=3$)

氨基酸	盐度				
	5	15	25	35	45
苏氨酸 Thr	3.34±0.63 ^{ab}	2.86±0.05 ^b	4.32±0.05 ^a	3.37±0.55 ^{ab}	3.04±0.67 ^{ab}
缬氨酸 Val	2.92±0.16 ^a	2.92±0.02 ^a	3.10±0.24 ^a	3.04±0.16 ^a	3.18±0.24 ^a
甲硫氨酸 Met	1.15±0.03 ^a	1.10±0.10 ^a	1.40±0.10 ^a	1.22±0.07 ^a	1.22±0.09 ^a
异亮氨酸 Ile	2.50±0.01 ^a	2.66±0.01 ^a	2.37±0.26 ^a	2.59±0.09 ^a	2.75±0.07 ^a
亮氨酸 Leu	4.63±0.14 ^a	4.77±0.13 ^a	4.75±0.05 ^a	4.76±0.04 ^a	5.03±0.23 ^a
酪氨酸 Tyr	2.06±0.06 ^a	2.27±0.00 ^a	2.26±0.07 ^a	2.15±0.14 ^a	2.28±0.00 ^a
苯丙氨酸 Phe	2.38±0.02 ^a	2.49±0.00 ^a	2.36±0.11 ^a	2.44±0.06 ^a	2.53±0.06 ^a
赖氨酸 Lys	3.01±0.24 ^a	2.90±0.12 ^a	2.99±0.07 ^a	3.09±0.09 ^a	3.34±0.15 ^a
必需氨基酸 EAA	21.99±1.14 ^a	21.97±0.19 ^a	23.56±0.13 ^a	22.67±0.40 ^a	23.36±0.71 ^a
半胱氨酸 Cys	0.56±0.04 ^a	0.65±0.02 ^a	0.64±0.02 ^a	0.56±0.03 ^a	0.56±0.07 ^a
天冬氨酸 Asp	3.64±0.19 ^c	7.29±0.01 ^a	7.27±0.16 ^a	5.12±0.72 ^b	5.01±0.32 ^b
丝氨酸 Ser	3.43±0.08 ^a	3.64±0.03 ^a	3.74±0.14 ^a	3.45±0.09 ^a	3.58±0.08 ^a
谷氨酸 Glu	11.68±0.11 ^c	12.18±0.08 ^b	12.72±0.11 ^a	11.71±0.12 ^c	12.26±0.13 ^b
甘氨酸 Gly	7.57±0.44 ^a	7.49±0.37 ^a	7.74±0.63 ^a	7.86±0.91 ^a	7.76±0.01 ^a
丙氨酸 Ala	5.64±0.29 ^a	5.88±0.03 ^a	6.30±0.26 ^a	5.75±0.16 ^a	6.05±0.36 ^a
组氨酸 His	1.15±0.02 ^a	1.13±0.01 ^a	1.08±0.03 ^a	1.14±0.02 ^a	1.18±0.04 ^a
精氨酸 Arg	6.01±0.10 ^a	6.25±0.30 ^a	5.96±0.10 ^a	5.87±0.35 ^a	6.01±0.14 ^a
脯氨酸 Pro	4.16±0.17 ^b	5.45±0.03 ^a	5.70±0.54 ^a	5.48±0.44 ^a	6.00±0.23 ^a
氨基酸总量 TAA	65.84±0.86 ^c	71.93±0.30 ^b	74.70±0.50 ^a	69.61±0.82 ^b	71.07±0.82 ^b
EAA/TAA	0.33±0.01 ^a	0.31±0.00 ^b	0.32±0.00 ^{ab}	0.33±0.00 ^{ab}	0.33±0.01 ^{ab}
呈味氨基酸总量	36.12±0.33 ^d	41.93±0.42 ^b	43.45±0.26 ^a	39.37±0.12 ^c	39.96±0.01 ^c

注: 色氨酸由于在水解过程中被破坏, 因此未被检出

2.4 盐度对瘤背石磺肌肉脂肪酸组成的影响

由表 5 可知, 不同盐度组中均检测到 23 种脂肪酸, 其中含有 6 种饱和脂肪酸、7 种单不饱和脂肪酸和 10 种多不饱和脂肪酸。盐度对饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸的含量均差异显著。在 6 种饱和脂肪酸中, C16:0 和 C18:0 含量最高, 且基本均在盐度 15 时含量最大。对于单不饱和脂肪酸来说, 除了 C14:n-7 含量差异不显著($P>0.05$)外, 其余 MUFA 均差呈现先上升后下降的趋势, 且在盐度 15~25 时含量最大, 虽受盐度的影响差异显著($P<0.05$), 但变化幅度较小。相对于 SFA 和 MUFA, n-3 PUFA 和 n-6 PUFA 总含量均在高盐度时较高, 变化幅度较大的是 EPA 和 ARA。与 EPA 不同, DHA 在低盐度时含量较高, 从而造成了 DHA/EPA 值随盐度的升高逐渐降低。

3 讨论

3.1 盐度对瘤背石磺成活率及生长性能的影响

盐度是海洋贝类养殖中重要的环境因子, 不同贝类有不同的盐度适应范围, 燕敬平^[13]等报道显示杂色鲍的适宜盐度为 28~35, 陈昌生等^[14]认为九孔鲍的最适盐度 25~35。盐度胁迫对贝类的正常代谢有显著影响, 主要表现为贝类存活率、摄食率以及运动能力下降等。本试验研究结果显示, 在环境盐度低于 35 时, 随着盐度的升高, 瘤背石磺存活率显著提高, 说明瘤背石磺对低盐的耐受能力显著低于高盐度。同时, 在盐度 25 时, 瘤背石磺的增重率、特定生长率和蛋白质效率均是最高, 且饲料系数最低, 因此我们推断瘤背石磺最适盐度在 15~25。

表 5 盐度对瘤背石磺肌肉脂肪酸组成的影响

Tab. 5 Effects of salinities on muscle fatty acid profiles of *O. struma* ($n = 3$)

脂肪酸	盐度水平				
	5	15	25	35	45
C14 : 0	1.68±0.01 ^a	1.75±0.07 ^a	1.44±0.07 ^b	0.52±0.02 ^a	0.65±0.07 ^a
C15 : 0	0.55±0.03 ^c	0.71±0.04 ^{ab}	0.75±0.02 ^a	0.66±0.03 ^b	0.62±0.02 ^{bc}
C16 : 0	9.80±0.36 ^b	15.26±0.67 ^a	10.27±0.39 ^b	10.37±0.24 ^b	8.44±0.02 ^c
C17 : 0	1.23±0.16 ^b	1.81±0.51 ^a	1.06±0.42 ^{bc}	0.79±0.25 ^{cd}	0.71±0.36 ^d
C18 : 0	4.5±0.41 ^d	7.59±0.23 ^a	7.04±0.27 ^{ab}	6.68±0.22 ^b	4.88±0.13 ^d
C23 : 0	1.02±0.03 ^b	1.30±0.06 ^a	1.46±0.12 ^a	1.00±0.03 ^b	0.72±0.02 ^c
ΣSFA	18.78±0.50 ^c	28.42±1.02 ^a	22.02±0.48 ^b	20.02±0.13 ^c	16.02±0.15 ^d
C14 : n-7	5.66±0.07 ^a	5.32±0.11 ^a	5.56±0.11 ^a	5.38±0.13 ^a	5.65±0.08 ^a
C16 : n-5	0.95±0.05 ^a	0.52±0.02 ^b	0.89±0.02 ^a	0.84±0.06 ^a	0.63±0.05 ^b
C16 : n-7	3.17±0.04 ^a	3.38±0.10 ^a	3.22±0.03 ^a	2.92±0.03 ^b	2.62±0.12 ^c
C18 : n-9	0.81±0.04 ^c	1.41±0.04 ^a	1.03±0.09 ^b	0.73±0.05 ^c	0.54±0.02 ^d
C18 : n-7	0.21±0.03 ^d	0.70±0.01 ^a	0.46±0.03 ^b	0.36±0.02 ^c	0.32±0.02 ^c
C20 : n-7	0.77±0.06 ^a	0.62±0.03 ^b	0.80±0.02 ^a	0.54±0.01 ^b	0.59±0.00 ^b
C20 : n-9	4.77±0.06 ^b	4.70±0.04 ^b	4.96±0.04 ^a	4.74±0.08 ^b	4.69±0.04 ^b
ΣMUFA	16.34±0.15 ^b	16.64±0.35 ^{ab}	16.91±0.18 ^a	15.52±0.17 ^c	15.04±0.23 ^c
C18 : 3n-3	1.61±0.02 ^a	1.44±0.01 ^c	1.53±0.02 ^b	1.24±0.01 ^d	1.21±0.01 ^d
C20 : 4n-3	0.70±0.02 ^b	0.87±0.06 ^a	0.7±0.03 ^b	0.63±0.01 ^b	0.64±0.01 ^b
C20 : 5n-3(EPA)	6.97±0.26 ^c	6.50±0.21 ^c	13.20±0.29 ^b	14.80±0.17 ^a	13.33±0.19 ^b
C22 : 5n-3	3.62±0.03 ^c	3.40±0.04 ^d	3.79±0.02 ^b	4.06±0.03 ^a	3.82±0.02 ^b
C22 : 6n-3(DHA)	2.46±0.05 ^a	2.19±0.09 ^b	1.95±0.04 ^c	1.47±0.05 ^d	1.21±0.10 ^e
n-3 PUFA	15.36±0.25 ^d	14.39±0.29 ^c	21.17±0.27 ^b	22.19±0.22 ^a	20.22±0.24 ^c
C18 : 2n-6	1.56±0.23 ^d	2.32±0.23 ^b	2.14±0.10 ^{bc}	2.80±0.09 ^a	1.82±0.10 ^{cd}
C20 : 2n-6	2.10±0.05 ^d	2.58±0.11 ^b	3.51±0.10 ^a	2.31±0.10 ^{bc}	2.18±0.08 ^d
C20 : 3n-6	1.03±0.01 ^a	0.86±0.00 ^c	0.93±0.03 ^b	0.74±0.05 ^d	0.63±0.04 ^e
C20 : 4n-6(ARA)	3.34±0.06 ^c	5.57±0.24 ^a	4.52±0.24 ^b	5.97±0.23 ^a	2.67±0.07 ^d
C22 : 2n-6	2.40±0.11 ^c	2.79±0.01 ^a	2.59±0.05 ^b	2.35±0.02 ^c	2.41±0.01 ^c
n-6 PUFA	10.44±0.14 ^b	14.12±0.22 ^a	13.70±0.37 ^a	14.17±0.28 ^a	9.72±0.04 ^b
Σn-3/Σn-6	1.47±0.02 ^c	1.02±0.01 ^d	1.55±0.02 ^b	1.57±0.03 ^b	2.08±0.02 ^a
DHA/EPA	0.35±0.01 ^a	0.34±0.01 ^a	0.15±0.01 ^b	0.10±0.01 ^c	0.09±0.00 ^c
ARA/EPA	0.48±0.03 ^b	0.86±0.01 ^a	0.34±0.01 ^d	0.40±0.02 ^c	0.20±0.01 ^e
PUFA	25.79±0.34 ^e	28.51±0.50 ^d	34.86±0.64 ^b	36.36±0.37 ^a	29.93±0.27 ^c
Unknown fatty acid	39.09±0.63 ^a	26.41±1.03 ^b	26.21±0.55 ^b	28.1±0.34 ^b	39.00±0.41 ^a

3.2 盐度对瘤背石磺肌肉常规营养成分的影响

不同盐度条件下, 水产动物对生境进行渗透调节和离子调控的适应性反应从而引起了水产动物各组织成分的差异^[11, 15]。本试验瘤背石磺肌肉常规营养指标与黄金田等^[16]报道的有一定差异, 主要表现为瘤背石磺肌肉粗蛋白含量均较高, 这可能与饲喂瘤背石磺的饵料——螺旋藻有关。同时, 也有报道显示饵料营养成分的比例若更适合水产动物的营养需

要, 则可使水产动物的生长速度提高或者显著影响肌肉蛋白质含量等^[17-19]。盐度对瘤背石磺肌肉常规营养指标的影响主要表现在肌肉水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量的变化。与其他研究结果一致, 肌肉水分与环境盐度呈负相关。同时, 可能是因为在盐度胁迫条件下, 瘤背石磺的渗透调节和代谢耗能影响了蛋白质和脂肪的沉积, 因此本试验瘤背石磺肌肉粗蛋白和粗脂肪含量并不与环境盐度呈现一定的相关性, 粗蛋白随着环境盐度的升高呈现先升高后下降的趋势, 而粗脂肪在高盐度时也随着盐度升高

而升高,且两者均在盐度 25 时取得最大和最小值。由此我们可以推断,在低盐度胁迫时,瘤背石磺通过消耗蛋白质和脂肪作为能量的来源,而在高盐度时,主要通过调控蛋白质的代谢来适应盐度的胁迫。

3.3 盐度对瘤背石磺肌肉氨基酸组成的影响

机体氨基酸组成与水产动物的个体大小、季节差异、饵料种类和生长环境等密切相关^[20-23]。本试验不同盐度下瘤背石磺氨基酸含量与肌肉蛋白质含量一致,均随着盐度的升高呈现先上升后下降的趋势。但随着盐度升高,瘤背石磺氨基酸含量差异显著,主要包括天门冬氨酸、谷氨酸和脯氨酸等呈味氨基酸。另外,许多学者认为贝类和甲壳类的渗透压调节机制具有相似性,他们均认为广盐性的甲壳类和贝类体内有一个游离氨基酸库,环境盐度处于胁迫状态时,生物机体通过氨基酸的代谢来提供能量或调节体内的渗透压。沈永龙等^[24]对瘤背石磺的血淋巴液和腹腔液中的 Na^+ 、 K^+ 和 Cl^- 进行了研究发现,随着盐度的升高,血淋巴液以及腹腔液中 Na^+ 、 K^+ 和 Cl^- 浓度均没有随着盐度的升高呈现上升趋势,说明瘤背石磺可能也存在一个这样的氨基酸库用于渗透压的调节。结合本试验可以推断,瘤背石磺用于形成胶体渗透压的氨基酸可能就是天门冬氨酸、谷氨酸和脯氨酸等,这些呈味氨基酸不仅在渗透调节中起到重要作用,同时也改善了瘤背石磺肌肉的风味,这与凡纳滨对虾^[25]、日本囊对虾^[26]等研究结论相似。

3.4 盐度对瘤背石磺肌肉脂肪酸组成的影响

贝类脂肪酸组成的影响因素很多,除了物种差异以外,还包括环境因素、季节差异和饵料种类等^[27-29]。对于瘤背石磺来说,不同组织中的脂肪酸组成也有很大的差异^[11],这是因为贝类摄食的脂肪主要通过肝胰腺进行消化吸收,而 EPA 和 DHA 等重要 PUFA 则被转运至性腺和肌肉中供性腺发育和生长使用,这与本试验的研究结果一致,即肌肉中 PUFA 的含量高于 SFA 含量。另外,盐度对瘤背石磺脂肪酸含量影响差异显著,有报道显示盐度可以通过调控脂肪酸去饱和酶及延长酶基因的表达和蛋白酶的活性来影响 HUFA 的合成代谢,改变细胞膜中脂肪酸的种类及含量以调整膜的通透性,从而调节水产动物机体渗透压^[30]。随着盐度的升高,瘤背石磺为适应环境盐度的变化,可以通过调整体内脂代谢,增加体内 HUFA 生物合成,改变细胞膜的通透性,盐度除了直接影响 HUFA 合成,还可以通过影响一些激素,

如皮质醇和生长素等间接调控 HUFA 合成^[31]。但盐度过低或过高都会抑制脂肪酸的合成,这可能是因瘤背石磺处于盐度胁迫状态时,需要消耗大量的脂肪提供能量用以维持渗透压稳定。

另外,有研究表明水产动物机体内高含量的 ARA 有利于增强其抗逆境能力、促进生长和提高免疫功能^[32]。本研究发现在一定盐度范围内,瘤背石磺肌肉中的 ARA 含量在盐度 25 时较低,高于或低于这个盐度时,其 ARA 含量也将增多,这也进一步说明盐度 15~25 是瘤背石磺最适盐度。另外,值得注意的是,瘤背石磺与绝大多数海洋贝类不同,其肌肉中 DHA 的含量远低于 EPA,与大部分淡水和陆生贝类的脂肪酸组成比较接近^[33],这一研究结果与吴旭干等^[11]研究结论一致,可能与生活环境的影响相关。

参考文献:

- [1] 刘英杰. 青蛤摄食生理和代谢生理以及能量收支的基础研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2005, 21-30.
Liu Yingjie. Studies on the ingestive physiology and metabolic physiology of *Cyclina sinensis* and its energy budget[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2005, 21-30.
- [2] 文海翔. 环境因子对硬壳蛤代谢和生长的影响[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2004, 18-48.
Wen Haixiang. Effects of environmental factors on Metabolism and Growth of *Mercenaria mercenaria* Linnaeus[D]. Qingdao: Institute of Oceanology of Chinese Academy of Sciences, 2004, 18-48.
- [3] 潘鲁青, 范德朋, 马牲, 等. 环境因子对缢蛭滤水率的影响[J]. 水产学报, 2002, 26(3): 226-230.
Pan Luqing, Fan Depeng, Ma Shen, et al. Influence of environmental factors on the filtration rate of *Sinonovacula constricta*[J]. Journal of Fisheries of China, 2002, 26(3): 226-230.
- [4] 施祥元, 尤仲杰, 沈伟良, 等. 盐度对毛蚶稚贝生长和存活的影响[J]. 水产科学, 2007, 26(10): 554-556.
Shi Xiangyuan, You Zhongjie, Shen Weiliang, et al. Effects of Salinity on Growth and Survival in Juvenile Clam *Scapharca subcrenata*[J]. Fisheries Science, 2007, 26(10): 554-556.
- [5] 沈和定, 陈汉春, 陈贤龙, 等. 石磺繁殖生物学的实验研究[J]. 水产学报, 2006, 30(6): 753-769.
Shen Heding, Chen Hanchun, Chen Xianlong, et al. Experimental study on the reproductive biology of *Onchidium* sp.[J]. Journal of Fisheries of China, 2006, 30(6): 753-769.
- [6] 王金庆, 成永旭, 吴旭干. 瘤背石磺的胚胎和幼虫发育[J]. 上海水产大学学报, 2005, 14(2): 108-115.
Wang Jinqing, Cheng Yongxu, Wu Xugan. Embryonic and larval development of *Onchidium struma*[J]. Journal

- of Shanghai Fisheries University, 2005, 14(2): 108-115.
- [7] Hatsuo H, Satoru I. Chaotic nature of bursting discharges in the *Onchidium* pacemaker neuron[J]. Journal of Theoretical Biology, 1992, 156(3): 269-291.
- [8] 沈永龙, 黄金田, 戈贤平, 等. 几种重要环境因子对瘤背石磺人工养殖成活率的影响[J]. 南方水产科学, 2012, 8(6): 57-64.
Shen Yonglong, Huang Jintian, Ge Xianping, et al. Effects of several key environmental factors on survival of artificial breeding of *Onchidium struma*[J]. Southern Fisheries Science, 2012, 8(6): 57-64.
- [9] Ruthensteiner B, Schaefer K. The cephalic sensory organ in veliger larvae of *pulmonates* (Gastropoda: Mollusca)[J]. Journal of Morphology, 2002, 251(1): 93-102.
- [10] 李小勤, 李星星, 冷向军, 等. 盐度对草鱼生长和肌肉品质的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(3): 341-348.
Li Xiaoqin, Li Xingxing, Leng Xiangjun, et al. Effect of different salinities on growth and flesh quality of *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(3): 341-348.
- [11] Aoac. Official methods of analysis of official analytical chemists[C]. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, 1996.
- [12] 吴旭干, 滕炜鸣, 唐伯平, 等. 成体瘤背石磺脂类和脂肪酸组成[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 431-438.
Wu Xugan, Teng Weiming, Tang Boping, et al. Lipid class and fatty acid composition of adult *Onchidium struma*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15(3): 431-438.
- [13] 燕敬平. 鲍的养殖[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学出版社, 1997: 171-210.
Yan Jingping. Abalone Breeding[M]. Harbin: Heilongjiang Science Press, 1997: 171-210.
- [14] 陈昌生, 钟幼平, 吴永沛, 等. 盐度对九孔鲍摄食、生长及存活的影响[J]. 水产学报, 2000, 24(1): 41-45.
Chen Changsheng, Zhong Youping, Wu Yongpei, et al. The effect of salinity on food intake, growth and survival of *Haliotis diversicolor supertexta*[J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(1): 41-45.
- [15] 戴习林, 张立田, 藏维玲, 等. Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、盐度对凡纳滨对虾存活、生长及风味的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(6): 914-921.
Dai Xilin, Zhang Litian, Zang Weiling, et al. Effect of Ca^{2+} , Mg^{2+} and salinity on survival, growth and shrimp taste of *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of Fisheries of China, 2012, 36(6): 914-921.
- [16] 黄金田, 王爱民. 瘤背石磺营养成分分析及品质评价[J]. 海洋科学, 2008, 32(11): 29-35.
Huang Jintian, Wang Ai-min. Determination of the nutrients of *Onchidium struma* and evaluation of its quality[J]. Marine Sciences, 2008, 32(11): 29-35.
- [17] Craig S R, McLean E. The organic movement a role for NuPro as an alternative protein source [M] // Jacques K, Lyons P. Nutritional biotechnology in the food and feed industry. Nottingham: Nottingham University Press, 2005.
- [18] Amaya E A, Davis D A, Rouse D B. Replacement of fish meal in practical diets for the pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions[J]. Aquaculture, 2007, 262: 393-401.
- [19] 李二超. 盐度对凡那滨对虾的生理影响及其营养调节[D]. 上海: 华东师范大学, 2008, 4-93.
Li Erchao. Physiological Effects of Salinity on *Penaeus monodon* and Its Nutritional Regulation[D]. Shanghai: East China Normal University, 2008, 4-93.
- [20] Beltrán-Lugo A I, Maeda-Martínez A N, Pacheco-Aguilar R P, et al. Seasonal variations in chemical, physical, textural and microstructure properties of adductor muscles of Pacific lions-paw scallop (*Nodipecten subnodulosus*)[J]. Aquaculture, 2006, 258: 619-632.
- [21] Sokolowski A, Wolowicz M, Hummel H. Free amino acids in the clam *Macoma balthica* L. (Bivalvia, Mollusca) from brackish waters of the southern Baltic Sea[J]. Comparative Biochemistry and Physiology A: Physiology, 2003, 134: 579-592.
- [22] Mai K, Mercer J P, Donlon J. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. V. The role of polyunsaturated fatty acids of macroalgae in abalone nutrition[J]. Aquaculture, 1996, 139: 77-89.
- [23] 杨红生. 贝类营养与养殖模式的研究现状与展望: 贝类、海藻养殖篇[C]//世界水产养殖大会论文集, 北京: 海洋出版社, 2002: 193-202.
Yang Hongsheng. Research Status and Prospect of Shellfish Nutrition and Breeding: Shellfish, seaweed farming articles[C]. Proceedings of the World aquaculture conference, Beijing: Science Press, 2002, 193-202.
- [24] 沈永龙, 戈贤平, 黄金田, 等. 盐度对瘤背石磺不同部位 Na^+/K^+ -ATP 酶活性、围心腔液和腹腔液渗透压及离子含量的影响[J]. 水产学报, 2013, 37(6): 851-857.
Shen Yonglong, Ge Xianping, Huang Jintian, et al. Effects of salinity on Na^+/K^+ -ATPase activity, the osmolality of pericardial cavity fluid and peritoneal fluid and ion content in *Onchidium struma*[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(6): 851-857.
- [25] Gomez-Jimenez S, Urias-Reyes A A, Vazquez-Ortiz F, et al. Ammonia efflux rates and free amino acid levels in *Litopenaeus vannamei* postlarvae during sudden salinity changes. Aquaculture, 2004, 233: 58-73.
- [26] Dalla V G L. Salinity responses of the juvenile penned shrimp *Penaeus japonicus*[J]. Aquaculture, 1986, 55 (4): 307-316.
- [27] 元冬娟, 吴湃, 王璠, 等. 19 种湛江地区海产贝类中脂肪酸组成 GC-MS 分析[J]. 中国海洋药物杂志, 2009, 28(3): 29-33.
Yuan Dongjuan, Wu Pai, Wang Fan, et al. Analysis of fatty acids compositions in 19 kinds of marine shellfish

- from Zhanjiang coast by GC-MS[J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2009, 28(3): 29-33.
- [28] Su X Q, Antonas K, Li D, et al. Seasonal variations of total lipid and fatty acid contents in the muscle of two Australian farmed abalone species[J]. Journal of Food Lipids, 2006, 13(4): 411-423.
- [29] 朱路英, 张学成, 宋晓金, 等. n-3 多不饱和脂肪酸 DHA、EPA 研究进展[J]. 海洋科学, 2007, 31(11): 78-85.
Zhu Luying, Zhang Xuecheng, Song Xiaojin, et al. Advances in n-3 polyunsaturated fatty acids DHA and EPA[J]. Marine Science, 2007, 31(11): 78-85.
- [30] Izquierdo M S, Robaina L, Juárez-Carrillo E, et al. Regulation of growth, fatty acid composition and delta-6 desaturase expression by dietary lipids in gilt-head seabream larvae (*Sparus aurata*)[J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2008, 34: 117-127.
- [31] Vagner M, Robin J H, Tocher D R, et al. Ontogenic effects of early feeding of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae with a range of dietary n-3 HUFA levels on the function of polyunsaturated fatty acid desaturation pathways[J]. British Journal of Nutrition, 2009, 101: 1452-1462.
- [32] Bell J G, Sargent J R. Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities[J]. Aquaculture, 2003, 218: 491-499.
- [33] 刘玉芳. 缢蛏等贝类食品脂质脂肪酸组成分析研究[J]. 水产科技情报, 1991, 18(6): 179-180.
Liu Yufang. Study on Lipid Fatty Acid Composition of Shellfish and Other Shellfish[J]. Fisheries Science & Technology Information, 1991, 18(6): 179-180.

Effects of salinity on survival, growth performance, and biochemical composition of muscle in juvenile *Onchidium struma*

CHEN Wei^{1, 2}, SHEN Yong-long³, HUANG Jin-tian¹, LI Qiang¹, ZHANG Ming-ming¹

(1. Key Laboratory of Benthic Biology of Shoals of Jiangsu Province, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224051, China; 2. Yancheng Tianbang Feed Technology Co., Ltd, Yancheng 214000, China; 3. Ocean and Fisheries Bureau of Yancheng, Yancheng 224000, China)

Received: Nov. 23, 2016

Key words: *Onchidium struma*; salinity; growth performance; muscle composition

Abstract: To investigate the effects of salinity on growth and the biochemical components of muscle in juvenile *Onchidium struma*, in this study, we cultured individuals [wet weight (2.96 ± 1.02) g] with artificial seawater at different salinity levels (5, 15, 25, 35 and 45) for 60 days, and then determined the growth performance and nutritional composition of the muscle. The results indicate that: (1) *Onchidium struma* grows well in a salinity range of 25–45, with a survival rate over 90%. The rate of weight gain, specific growth rate, and protein efficiency ratio at a salinity of 25 was significantly higher than those at other salinity levels ($P < 0.05$) and the feed conversion ratio was also decreased significantly ($P < 0.05$). (2) With an increase in salinity, the muscle moisture of *Onchidium struma* decreased significantly ($P < 0.05$), crude ash showed an increasing trend after an initial decrease, and the effect on muscle of the calcium and phosphorus content was not significantly different ($P > 0.05$). The crude protein content was highest at a salinity of 25, or 76.66%, and the crude fat content increased significantly in high salinity ($P < 0.05$) and had the lowest and highest at salinity levels of 25 and 45, respectively. (3) Most amino acids showed a decreasing trend after an initial increase with an increase in salinity. We observed the highest level at a salinity of 25, although the difference was not significant. The amino acid flavor of glutamic acid, aspartic acid, and proline were significantly affected by salinity. (4) The effect of salinity on every type of fatty acid was significantly different, and the n-3 PUFA and n-6 PUFA increased over a salinity range of 5 to 35, whereas the n-3 PUFA/ n-6 PUFA values gradually increased. Unlike most seawater shellfish, the DHA content of *Onchidium struma* is far lower than the EPA content. These test results indicate that salinity has a significant effect on *Onchidium struma* growth performance and the biochemical composition of muscle, and that the appropriate salinity level can improve *Onchidium struma* muscle quality and flavor.

(本文编辑: 梁德海)