

盐度调控对中华绒螯蟹肝胰腺主要营养品质的影响

王帅^{1,2}, 吴旭干³, 陶宁萍^{1,2}, 王锡昌^{1,2}, 龙晓文³, 莫健华¹

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306) (2. 上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心, 上海 201306)

(3. 上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306)

摘要: 分析探讨了水体盐度 (0‰、6‰、12‰和 18‰) 对河蟹肝胰腺的生物学指数和主要营养品质的影响。结果表明: 中、低盐度组 (12‰和 6‰) 具有较高的肝胰腺指数, 6‰盐度下最高; 低盐度组的水分和灰分含量最低, 中盐度组具有高蛋白低脂肪的特点; 大部分矿物质在中、高 (18‰) 盐度下处于较高水平, 雄蟹所有元素 (Mn 除外) 在 12‰时含量最高; 高盐度会降低河蟹肝胰腺中 DHA 和 EPA 等不饱和脂肪酸, 剩余盐度下油酸等个别脂肪酸有显著变化, 但脂肪酸总量无明显变化; 盐度对雄蟹肝胰腺的氨基酸影响较小, 而雌蟹的总氨基酸含量 6‰时最低, 18‰最高; 高盐度下的必需氨基酸指数显著高于其他组, 0‰-12‰的盐度均出现了限制性氨基酸, 主要为亮氨酸和含硫氨基酸。总之, 河蟹肝胰腺的营养品质在高盐度下波动较大, 而中、低盐度组则兼顾了高得率和丰富的营养价值。

关键词: 盐度调控; 中华绒螯蟹; 肝胰腺; 营养品质

文章编号: 1673-9078(2015)12-318-324

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.12.048

Effects of Water Salinity on the Nutritional Quality of *Eriocheir sinensis* Hepatopancreas

WANG Shuai^{1,2}, WU Xu-gan³, TAO Ning-ping^{1,2}, WANG Xi-chang^{1,2}, LONG Xiao-wen³, MO Jian-hua¹

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China) (2. Shanghai Engineering Research Center of Aquatic-Product Processing & Preservation, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China) (3. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The effects of water salinity (0‰, 6‰, 12‰, and 18‰) on the hepatosomatic index and nutritional quality of Chinese mitten crab hepatopancreas were explored in this paper. The results showed that the hepatosomatic index was relatively high in medium and low salinity groups (12‰ and 6‰) and that the highest value was found at a salinity of 6‰. The low salinity group had the lowest moisture and ash content, and the medium salinity group was characterized by high protein and low fat. Most minerals at high levels were found at medium and high salinities (18‰), and for male crabs, all elements (except for Mn) were at the highest levels when salinity was 12‰. High salinity could reduce the proportions of unsaturated fatty acids such as docosahexaenoic acid (DHA) and eicosapentaenoic acid (EPA) in crab hepatopancreas; at other salinities, the total amount of fatty acids showed no significant changes, except for several fatty acids such as oleic acid. Salinity had a small impact on the amino acids in male crab hepatopancreas, and for female crabs, the lowest and highest total amino acid content were found at the salinities of 6‰ and 18‰, respectively. The essential amino acid index was significantly higher for the high salinity group compared with other groups. Under conditions of 0-12‰ salinity, limiting amino acids were present, mainly leucine and sulfur-containing amino acids. In summary, the nutritional quality of crab hepatopancreas fluctuated widely at high salinity, while medium and low salinity groups balanced both high yield and high nutritional value.

Key words: salinity adjustment; Chinese mitten crab; hepatopancreas; nutritional quality

收稿日期: 2015-03-11

基金项目: 上海市科委部分地方院校能力建设项目 (13320502100); 上海市中华绒螯蟹产业技术体系建设 (D8003100208); 上海高校一流学科建设项目资助; 科技部港澳台科技合作专项项目 (L2015TGA1006)

作者简介: 王帅 (1987-), 男, 博士研究生, 研究方向为水产品风味及品质评价; 通讯作者: 王锡昌 (1964-), 男, 博士, 教授

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*, 简称河蟹) 是全球最主要的经济蟹类之一, 其产量在 2005 年后稳居世界经济蟹类第一。我国 2013 年的河蟹产量占全球总产量的 95% 以上, 高达 78 万 t, 年产值近 400 亿元, 其中 93% 为淡水养殖。养殖技术难题的逐一攻克, 使得金秋时节的赏月品蟹逐步走进了寻常百姓家, 然而如

何在稳定、高产的背景下推动河蟹品质的提升,完成养殖中华绒螯蟹“数量型”到“质量型”的生产方式转变,进一步挖掘其更高的经济价值是当下亟待解决的问题之一,也是学者们探讨和研究的热点。目前在养殖实践中对生殖脱壳后的河蟹进行育肥培养,在其成为商品蟹上市前进行一段时间的强化培养,即可从一定程度上解决上述问题^[1]。

当水体环境发生改变时,生物体出于个体生存的本性,会根据周围环境的变化做出适当的调整和改变,如改变鱼、虾和蟹等水生生物养殖水体的盐度会影响他们的渗透压调节^[2],进而影响到他们自身的生长、新陈代谢等能力,其营养和风味等食用品质也随之受影响^[3]。鲈鱼^[3]、凡纳滨虾^[4]和三疣梭子蟹^[5]等水产品的蛋白质、氨基酸和脂肪酸等营养品质在水体盐度改变时会发生明显变化,包括蛋白质含量的增加、总氨基酸含量的增加和高不饱和脂肪酸比例的提升等,但不同物种间的规律并不一致,且盐度调控对河蟹食用品质的影响尚无研究报道。

河蟹作为广盐性甲壳动物,其在生殖脱壳后需要生殖洄游,在咸水中完成亲蟹的交配、产卵、孵化等。基于河蟹在性腺发育时对水体盐度的趋向性,我们先前的实验亦表明低盐度的水体环境(6‰~18‰,数据待发表)在育肥阶段能够在不同程度上促进性腺的发育,达到提升性腺可食比例的效果。但肝胰腺作为河蟹的主要可食部位之一,其在水体盐度的刺激下可食比例能否得到提升,营养品质又有怎样的变化,雌蟹和雄蟹的响应趋势是否一致,这些问题正是本文关注的焦点。因此,本研究对育肥阶段下,盐度调控河蟹品质的影响进行了初步研究和评判,以期进一步丰富河蟹的育肥技术,为中华绒螯蟹品质的提升提供数据支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验原料

对不同水体盐度下(0‰、6‰、12‰、8‰)河蟹的育肥开始于10月上旬,雌、雄分开,共计8个池塘进行喂养,为期45 d。喂养结束后采集四个盐度下的河蟹各15只作为实验样品(雌、雄合计120只),抓捕后的河蟹用干净的对应盐度的水冲洗2~3次,避免自来水冲洗发生应激反应和对品质的影响。1 h内运回实验室并取出肝胰腺,放入带双层盖子的瓷制蒸煲中(防止水分的大量挥发),用蒸馏水蒸制15 min,随后置于冰浴中冷却,用搅拌机二次混匀并分装,冻藏于-80℃冰箱。

1.2 主要仪器设备

全自动凯氏定氮仪(丹麦 FOSS, Kjelttec 8400);微波消解仪(美国 CEM, MARS-6);原子吸收光谱仪(德国 JENA, ZEE nit 700);气相色谱仪(美国 Thermo, TRACE GC ULTRA);氨基酸自动分析仪(日本 HITACHI, L8800);荧光分光光度计(日本 HITACHI, F-2700)。

1.3 试验方法

1.3.1 肝胰腺指数

肝胰腺指数(%) = 肝胰腺重/体重 × 100

1.3.2 基本组成测定

水分参照 GB 5009.3-2010 测定;蛋白质参照 GB 5009.5-2010 测定;灰分参照 GB 5009.4-2010 测定;粗脂肪按氯仿甲醇法测定。

1.3.3 矿物质含量测定

所有待测元素的前处理采用微波消解法,取适量样品放入消解管中,用微波消解仪 30 min 内爬升至 180℃, 800 W 功率下保持 20 min,消解结束后在 130℃的金属浴中赶酸,待消溶液浓缩至 1~2 mL 时进行定容,采用火焰原子吸收光谱仪测定。

1.3.4 脂肪酸组成测定

将氯仿甲醇法提取的粗脂肪溶解于氯仿中,参照 GB/T 22223-2008 的方法,采用 14% 的三氟化硼-甲醇进行甲酯化,使用气相色谱仪进行测定。色谱柱为 Agilent SP-2560 毛细管柱(100 m × 0.25 mm; 0.2 μm), 50℃/min 由 70℃ 升至 140℃,保持 1 min, 4℃/min 升到 180℃,保持 1 min,最后 3℃/min 升至 225℃,保持 30 min。

1.3.5 氨基酸分析测定

样品的酸水解参考 GB/T 5009.124-2003,随后使用氨基酸自动分析仪(Na 柱系统)进行测定。色氨酸采用碱水解,使用荧光分光光度计于激发波长 289 nm,发射波长 360 nm 下测定。

1.3.6 氨基酸评价

氨基酸评分(AAS)和必需氨基酸指数(EAAI)的计算如下(参考 FAO/WHO, 1991):

AAS (%) = 试验蛋白质氨基酸含量(g/100g 蛋白质) / FAO 评分模式氨基酸含量(g/100g 蛋白质) × 100

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100a}{a_e} \times \frac{100b}{b_e} \times \dots \times \frac{100h}{h_e}}$$

式中: n: 比较的必需氨基酸个数; a, b, c, ..., h: 试验蛋白质的必需氨基酸含量(g/100g 蛋白质); a_e, b_e, c_e, ...,

h_c: 鸡蛋蛋白质的必需氨基酸含量 (g/100g 蛋白质)。

1.3.7 数据统计分析

结果均采用平均值±标准偏差 (mean±SD, n=3) 表示。采用 SPSS 22.0 对数据进行统计分析, 进行 ANOVA 方差分析, Duncan 法进行多重比较, 所有显著性均在 P=0.05 的水平下检验。

2 结果与讨论

2.1 不同水体盐度下河蟹的肝胰腺指数和基本营养成分

河蟹的肝胰腺香郁肥美, 是其主要的可食部位之一, 同时也是河蟹自身的能源基地和代谢中心, 为其各种生理活动提供能量和营养等。成蟹生长在淡水中, 当水体环境中存在盐度时会进行渗透压调节以适应环境, 如糖原和蛋白质的降解等^[8], 而肝胰腺作为重要的调节器官, 其内部的营养物质理应发生一定的变化。

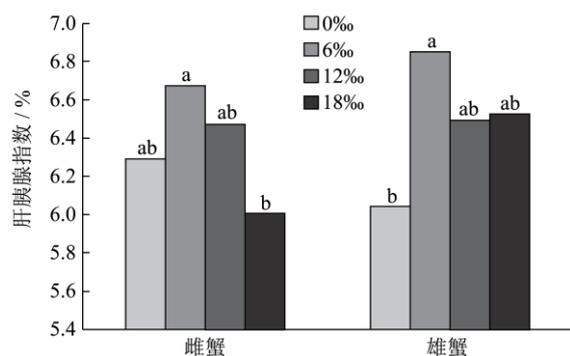


图 1 不同水体盐度下河蟹的肝胰腺指数

Fig.1 Hepatosomatic index of Chinese mitten crab under different salinities

不同水体盐度下育肥的河蟹肝胰腺指数如图 1 所示, 雌蟹和雄蟹肝胰腺的可食比例均在 6‰ 的盐度 (低盐度) 下达到最高, 分别为 6.67% 和 6.85%, 且雄蟹与无盐度 (0‰) 组相比具有显著性差异。雌蟹和雄

表 1 水体盐度对河蟹肝胰腺基本营养成分的影响 (%)

Table 1 Effect of salinity on the proximate composition of Chinese mitten crab hepatopancreas (%)

组分	雌蟹				雄蟹			
	0‰	6‰	12‰	18‰	0‰	6‰	12‰	18‰
水分	55.43±1.14 ^a	49.33±0.21 ^b	55.25±0.29 ^a	50.84±0.44 ^b	54.63±0.53 ^a	50.84±0.04 ^c	55.04±0.32 ^a	52.45±0.64 ^b
蛋白质	21.56±0.43 ^b	17.09±0.28 ^d	23.17±0.42 ^a	20.00±0.28 ^c	19.57±0.09 ^b	18.59±0.12 ^c	21.49±0.22 ^a	18.46±0.27 ^c
脂肪	69.19±1.26 ^b	74.64±1.18 ^b	70.62±1.23 ^b	76.28±1.85 ^a	69.90±0.46 ^a	67.49±0.63 ^b	66.24±0.65 ^c	70.62±0.69 ^a
灰分	2.51±0.07	2.01±0.04	2.17±0.21	2.48±0.20	2.78±0.04 ^a	2.28±0.06 ^c	2.56±0.07 ^b	2.52±0.08 ^b

注: 脂肪、蛋白质和灰分为干基; 同一行中不同字母代表显著性差异水平 (雌雄分开); 未标注字母代表差异均不显著 (下同)。

2.2 不同水体盐度下河蟹的矿物质含量

蟹的肝胰腺指数在中、高盐度 (12‰和 18‰) 下与无盐度组相比均无显著性差异, 这与吴旭干^[6]等在 15‰ 水体盐度下育肥河蟹的结论一致, 即这些盐度范围内育肥的河蟹, 其肝胰腺指数与淡水无显著性差异。但在高盐度下, 雌蟹的肝胰腺指数与低盐度相比有显著下降, 这可能是由于该盐度下性腺所占的比例急剧增加 (数据待发表), 需要消耗更多的肝胰腺为之提供营养物质。

雌蟹和雄蟹肝胰腺的基本营养组受水体盐度的影响见表 1。就水分和灰分而言, 盐度对雌、雄河蟹肝胰腺的影响一致, 低盐度组二者的含量均为最低, 其中雄蟹更为明显, 均显著低于其他盐度组。高盐度组具有较高的脂肪含量和较低的蛋白质含量, 中盐度组则相反。盐度对雌蟹的蛋白质含量影响较大, 蛋白质水平由高到低依次为 12‰、0‰、18‰和 6‰, 均具有显著性差异。雄蟹肝胰腺的脂肪含量在中、低盐度下会有显著下降, 而雌蟹则在无盐度和中等盐度下最低。随着水体盐度的升高, 河蟹蛋白质的含量呈现先降低后升高再降低的趋势, 且雌蟹和雄蟹只有在中盐度下的蛋白质水平显著高于无盐度组, 低、高盐度下则均低于。有研究表明, 当河蟹所在水体的盐度突然升高时, 为了加速渗透压调节, 其肝胰腺中的糖原和可溶性蛋白会显著下降^[7], 这可能是低、高盐度下蛋白质含量降低的原因之一, 但中盐度下其蛋白质含量显著增加的原因有待进一步探索。吕富^[5]等亦表明不同盐度下 (11‰、17‰、23‰、29‰和 35‰) 三疣梭子蟹肌肉的基本营养成分会有显著变化, 而黄凯^[4]等则发现凡纳滨虾肌肉中的蛋白质含量与盐度 (1‰~30‰ 范围内) 有较高的相关性, 盐度越高则蛋白质含量越高, 其相关系数 r 可以达到 0.95 左右。河蟹肝胰腺的基本营养成分受水体盐度的影响与甲壳类生物的肌肉有所不同, 一方面是由于不同物种间渗透压调节模式的不一致, 另一方面则是在育肥阶段河蟹的肝胰腺为性腺发提供大量能量和营养物质的关系所致。

本研究中, 大部分河蟹肝胰腺中的矿物质随盐度的增加而逐步积累, 在中、高盐度下具有较高的含量。

在 12‰的盐度下, 雄蟹肝胰腺的矿物质含量均在最高水平(锰除外)。铁元素在肝胰腺中的含量明显高于其他组织, 且均在 12‰的盐度下达到最高, 表明其可能在此盐度下参与了更多的调节或代谢。锰是所有矿物质中唯一随盐度的升高呈线性增加的元素, 其相关系数高达 0.95 以上, 说明二者之间的关系较为紧密。雌蟹和雄蟹总矿物质的含量随盐度增加依次为 609、525、603、612 mg/100 g 和 572、573、637、602 mg/100 g, 雌蟹在低盐度时及雄蟹在中盐度时的总矿物质含量

变化最大, 分别降低和升高了 14%和 11%, 而造成这一现象最主要的原因则可能是渗透压的改变。甲壳类水生生物在调节渗透压时最为重要的离子为 Na^+ 和 K^+ , 这两者在 Na^+ , K^+ -ATP 酶的作用下, 通过主动运输由鳃进入生物体内^[8], 即这两者的含量直接由生物体根据渗透压的需求进行调节。根据表 2 的结果可以发现, Na 和 K 含量的规律与总含量的趋势一致, 表明雌蟹在低盐度下及雄蟹在中盐度下的渗透压有可能发生了较大变化, 从而导致总含量的变化。

表 2 水体盐度对河蟹肝胰腺矿物质含量的影响 (mg/100 g)

Table 2 Effect of salinity on mineral content of Chinese mitten crab hepatopancreas (mg/100 g)

样本	盐度/‰	Na	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu
雌蟹	0	247.64±5.35 ^a	186.68±3.88 ^b	108.22±3.81	18.11±0.58 ^b	39.34±0.50 ^c	4.08±0.23 ^b	0.43±0.06 ^c	4.70±0.14
	6	210.58±2.55 ^b	147.74±4.41 ^c	98.57±7.32	18.39±0.19 ^b	39.52±1.53 ^c	4.07±0.35 ^b	0.88±0.29 ^b	5.08±0.02
	12	219.84±6.59 ^b	195.87±12.70 ^{ab}	109.34±6.20	18.27±0.66 ^b	48.31±0.97 ^a	4.51±0.24 ^{ab}	1.52±0.24 ^a	5.10±0.59
	18	216.92±3.21 ^b	207.76±2.67 ^a	111.68±3.75	19.97±1.03 ^a	44.31±0.66 ^b	4.87±0.31 ^a	1.81±0.25 ^a	4.51±0.34
雄蟹	0	228.46±7.08 ^a	190.39±3.55 ^b	97.57±1.00	16.25±0.10 ^b	34.12±1.46 ^b	3.01±0.18 ^b	0.29±0.08 ^d	2.25±0.03 ^c
	6	208.43±4.97 ^b	208.43±5.02 ^a	104.22±0.73	14.67±0.34 ^c	31.43±0.19 ^b	2.55±0.06 ^b	0.55±0.03 ^c	2.39±0.19 ^{bc}
	12	239.26±2.14 ^a	217.51±1.17 ^a	111.47±0.72	17.99±1.21 ^a	38.53±1.76 ^a	8.44±1.85 ^a	0.93±0.14 ^b	2.79±0.13 ^a
	18	228.48±5.40 ^a	212.16±7.01 ^a	104.04±9.12	18.72±0.91 ^a	31.05±2.62 ^b	3.73±0.21 ^b	1.47±0.18 ^a	2.61±0.15 ^{ab}

注: 均为湿基含量(下同); 同一列中不同字母代表显著性差异水平(雌、雄分开)。

2.3 不同水体盐度下河蟹的脂肪酸构成

水体盐度对河蟹肝胰腺脂肪酸组成的影响较小, 但在高盐度下其部分脂肪酸的含量变化显著。河蟹肝胰腺中的脂肪酸主要为单不饱和脂肪酸(MUFA), 基本达到了总脂肪酸含量的一半, 饱和脂肪酸(SFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)比例相当, 这与高先楚等^[9]和 Shao^[10]等的研究保持一致。除高盐度下的雄蟹外, 肝胰腺在不同盐度下三种脂肪酸的总量均无明显变化。

中盐度下, 雌蟹肝胰腺中的高度不饱和脂肪酸(HUFA)比例有所上升, 主要体现在花生四烯酸(ARA)含量的增加, 但由于亚油酸(LA)的含量有所降低, PUFA 总量仍无明显变化。高盐度下雌蟹肝胰腺的二十二碳六烯酸(DHA)和二十碳五烯酸(EPA)均有显著下降, n-3 不饱和脂肪酸总量以及 n-3/n-6 和 DHA/EPA 的值也随之降低, 但 LA 的显著增加提高了 n-6 不饱和脂肪酸的总量, 从而使 PUFA 的总量与其他盐度相当。雄蟹肝胰腺的 SFA 总量在高盐度存在时没有明显变化, 但棕榈酸和硬脂酸含量分别显著增加和减少; 以油酸为代表的各单不饱和脂肪酸与其他盐度相比有显著增加, 进而 MUFA 所占比例也上升; LA、DHA 和 EPA 等主要的 n-3 和 n-6 多不饱和脂肪酸也都有一定程度的下降, 最终导致 PUFA 总量的急剧下降,

但 n-3/n-6 的值变动不大且 DHA/EPA 值明显增加。

大量研究表明水生动物的 PUFA 受水体盐度的影响较大, 当淡水鱼类所处的水体盐度不断升高时, 其肌肉中的 HUFA 也会不断增加, DHA 和 EPA 等 HUFA 则是典型代表。鲑鱼与河蟹一样, 均属于广盐性的水生生物, 能够在较宽范围的盐度下生存, 大量研究表明海水中养成鲑鱼的 PUFA 要显著高于淡水中的, 而且有可能是由于盐度影响了脂肪酸去饱和酶的表达量而引起^[3]。郭振^[10]等研究亦表明吉富罗非鱼在 18‰和 36‰的盐度下, 较短时间内其肌肉中的 PUFA 就会有所增加。然而在本研究中, 除高盐度下的雄蟹外, PUFA 的含量并未随盐度的变化有较大的改变, 但有盐度的情况下, 河蟹肝胰腺中的 HUFA 含量均有所下降(中盐度下雌蟹除外)。DHA、EPA 和 ARA 等 HUFA 是海水类水生生物维持细胞结构和机能完整性的重要生理功能物质, sui^[11]等也表明他们在河蟹的性腺发育阶段尤为重要, 是性腺发育和成熟中激素类物质的前体, 是必不可缺的营养物质之一, 因此, 笔者推测肝胰腺中的 HUFA 也能够随盐度的增加而得到提升(中盐度下雌蟹的 HUFA 有增加), 其余盐度下的减少则可能是被用于性腺的发育。虽然不同盐度下河蟹肝胰腺中的脂肪酸有一定程度的变化, 但所有盐度下的肝胰腺依旧可以作为较为理想的脂肪酸补充源(n-3/n-6>0.2, FAO/WHO 推荐值)。

表3 水体盐度对河蟹肝胰腺脂肪酸组成的影响 (%)

Table 3 Effect of salinity on fatty acid profiles of Chinese mitten crab hepatopancreas (%)

脂肪酸	雌蟹				雄蟹			
	0‰	6‰	12‰	18‰	0‰	6‰	12‰	18‰
C14:0	1.48±0.23	1.68±0.15	1.66±0.04	1.74±0.26	1.82±0.05	1.71±0.07	1.86±0.00	1.92±0.15
C16:0	21.74±1.38	22.59±0.07	22.41±0.02	22.72±0.28	21.81±0.04 ^b	21.1±0.57 ^b	21.12±0.01 ^b	22.86±0.68 ^a
C18:0	3.12±0.17 ^a	2.97±0.04 ^{ab}	2.94±0.11 ^{ab}	2.75±0.04 ^b	3.23±0.01 ^a	3.19±0.05 ^a	3.07±0.04 ^b	0.06±0.03 ^c
∑SFA	28.62	29.53	29.31	29.24	27.25	26.43	26.65	26.86
C16:1	11.52±0.95	12.75±0.25	12.45±0.32	12.79±0.07	11.96±0.01 ^a	12.12±0.64 ^a	10.98±0.16 ^b	12.38±0.33 ^a
C18:1n9	33.80±0.74	32.70±0.63	32.79±0.32	33.18±0.28	32.32±0.23 ^b	33.05±0.79 ^a	33.58±0.30 ^a	34.41±0.34 ^a
C20:1	1.20±0.16 ^a	1.15±0.09 ^a	1.02±0.09 ^{ab}	0.86±0.09 ^b	0.64±0.01 ^c	0.79±0.00 ^b	0.67±0.02 ^c	1.09±0.06 ^a
∑MUFA	48.23	48.30	47.79	48.20	46.23	47.29	46.70	50.20
C18:2n6	11.98±0.03 ^a	11.98±0.13 ^a	10.88±0.38 ^b	12.74±0.57 ^a	11.07±0.16 ^c	12.35±0.23 ^a	13.00±0.22 ^a	11.67±0.09 ^b
C18:3n6	0.88±0.12	0.86±0.02	0.84±0.05	0.8±0.06	1.65±0.07 ^b	1.97±0.14 ^a	1.93±0.10 ^a	0.72±0.01 ^c
C18:3n3	1.76±0.26	1.69±0.17	1.66±0.02	1.90±0.49	1.53±0.01 ^a	0.34±0.38 ^b	0.10±0.01 ^b	0.09±0.02 ^b
C20:2n6	0.24±0.01 ^a	0.20±0.01 ^b	0.25±0.01 ^a	0.17±0.03 ^b	0.22±0.08	0.23±0.02	0.21±0.04	0.20±0.05
C20:3n3	0.07±0.01	0.08±0.01	0.11±0.01	0.06±0.01	0.09±0.00	0.10±0.02	0.09±0.01	0.08±0.01
C20:4n6	0.31±0.07	0.33±0.03 ^b	1.66±0.21 ^a	1.66±0.08 ^a	2.09±0.00 ^b	2.23±0.02 ^a	2.11±0.01 ^b	2.18±0.07 ^a
C20:5n3	2.57±0.27 ^a	2.28±0.17 ^a	2.58±0.13 ^a	1.85±0.15 ^b	3.14±0.10	3.09±0.14	3.08±0.09	2.74±0.24
C22:6n3	3.81±0.15 ^a	3.40±0.25 ^a	3.84±0.25 ^a	2.65±0.37 ^b	5.24±0.06 ^a	4.82±0.18 ^b	4.78±0.17 ^b	4.81±0.25 ^b
∑PUFA	22.68	21.78	22.33	22.02	26.10	26.00	26.26	22.55
∑HUFA	8.76 ^b	7.98	10.10	8.29	12.31	10.61	10.37	10.1
n-3 PUFA	7.33	6.62	7.37	5.36	10.12	9.78	9.88	8.35
n-6 PUFA	15.35	15.16	14.96	16.66	15.76	15.99	16.17	14.00
n-3/n-6	0.48	0.44	0.49	0.32	0.64	0.61	0.61	0.60
DHA/EPA	1.48	1.49	1.49	1.43	1.67	1.56	1.55	1.76

注：同一行中不同字母代表显著性差异水平（雌、雄分开），下同。

2.4 不同水体盐度下河蟹的氨基酸组成和评价

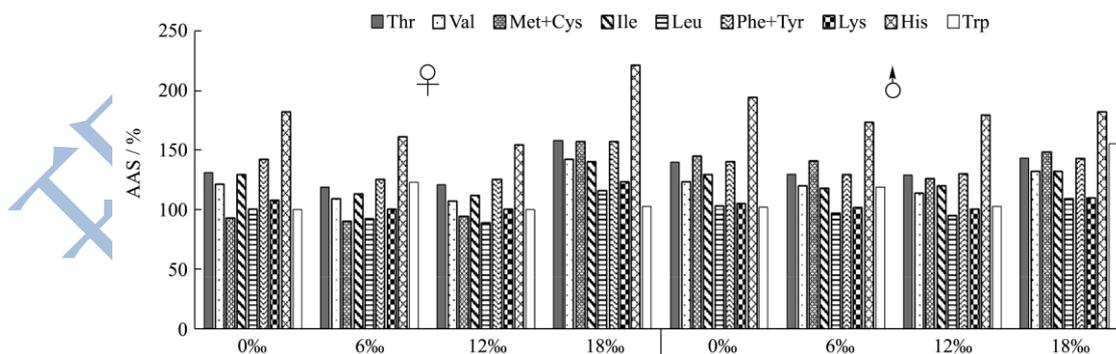


图2 不同水体盐度下河蟹肝胰腺的氨基酸评分

Fig.2 Amino acid score of Chinese mitten crab hepatopancreas under different salinities

雄蟹的肝胰腺在中、高盐度下的必需氨基酸和总氨基酸的含量 (TEAA 和 TAA) 有小幅提升, 但无显著性差异。除色氨酸 (Trp) 外的 17 种氨基酸, 在四种盐度下均无任何显著性差异, 表明盐度对雄蟹肝胰腺的氨基酸组成影响较小。雌蟹肝胰腺中的 TEAA 和

TAA 在 18‰ 的水体盐度中含量最高, 6‰ 中含量最低, 且具有显著性差异。就单个氨基酸而言, 除含量上无显著性差异的氨基酸及蛋氨酸和半胱氨酸, 剩下的所有氨基酸在含量的变化上均与 TEAA 和 TAA 一致, 即盐度 0‰ 和 12‰ 育肥的肝胰腺在同一水平上, 显著

高于盐度 6‰，显著低于 18‰。

盐度的改变会使凡纳滨对虾肝胰腺中的蛋白质发生一定程度的降解，增加个别氨基酸的含量（如脯氨酸、半胱氨酸等），并进一步转换为游离氨基酸，用于渗透压的调节^[12]，而本研究则表明河蟹肝胰腺中氨基酸的组成较为稳定和保守，单一氨基酸占总氨基酸

的比例无较大变化，且单一氨基酸的变化趋势均与总氨基酸含量一致。所有盐度下肝胰腺的 EAA/TAA 的值与 Guo 等^[13]的研究结果一致，符合 FAO/WHO 的理想氨基酸模式（比值>0.40），均可作为质量较优的蛋白质补充源。

表 4 水体盐度对河蟹肝胰腺氨基酸组成的影响 (g/100g)

Table 4 Effect of salinity on amino acid composition of Chinese mitten crab hepatopancreas (g/100g)

氨基酸	雌蟹				雄蟹			
	0‰	6‰	12‰	18‰	0‰	6‰	12‰	18‰
Thr	0.42±0.03 ^b	0.36±0.01 ^c	0.42±0.02 ^b	0.52±0.00 ^a	0.42±0.02	0.40±0.02	0.42±0.02	0.42±0.01
Val	0.40±0.03	0.34±0.01	0.38±0.02	0.48±0.02	0.38±0.02	0.38±0.02	0.38±0.02	0.40±0.00
Met	0.14±0.05 ^b	0.12±0.05 ^b	0.14±0.05 ^b	0.26±0.00 ^a	0.20±0.01	0.20±0.01	0.20±0.01	0.22±0.00
Ile	0.34±0.02 ^b	0.28±0.01 ^c	0.32±0.02 ^b	0.38±0.00 ^a	0.32±0.02	0.30±0.02	0.32±0.02	0.32±0.00
Leu	0.62±0.04 ^b	0.54±0.01 ^c	0.60±0.03 ^b	0.74±0.10 ^a	0.60±0.04	0.58±0.03	0.60±0.03	0.62±0.01
Phe	0.42±0.03 ^b	0.36±0.01 ^c	0.40±0.02 ^b	0.48±0.01 ^a	0.40±0.02	0.38±0.02	0.40±0.02	0.40±0.01
Lys	0.60±0.03 ^b	0.52±0.01 ^c	0.60±0.03 ^b	0.70±0.00 ^a	0.54±0.03	0.54±0.02	0.56±0.03	0.56±0.01
His	0.24±0.02	0.20±0.01	0.22±0.01	0.30±0.08	0.24±0.01	0.22±0.01	0.24±0.01	0.22±0.00
Trp	0.10±0.02	0.12±0.01	0.11±0.01	0.11±0.01	0.10±0.01 ^c	0.12±0.01 ^b	0.11±0.01 ^{bc}	0.16±0.01 ^a
TEAA	3.24	2.80	3.13	3.93	3.16	3.09	3.18	3.28
Asp	0.76±0.05 ^b	0.64±0.02 ^c	0.72±0.03 ^b	0.92±0.02 ^a	0.74±0.04	0.70±0.03	0.74±0.04	0.74±0.01
Ser	0.36±0.03 ^b	0.30±0.01 ^c	0.34±0.02 ^b	0.42±0.00 ^a	0.34±0.02	0.32±0.02	0.34±0.02	0.34±0.00
Glu	0.86±0.06	0.74±0.02	0.86±0.04	1.08±0.06	0.86±0.05	0.82±0.04	0.86±0.05	0.88±0.01
Gly	0.42±0.03 ^b	0.36±0.01 ^c	0.44±0.02 ^b	0.52±0.00 ^a	0.42±0.02	0.42±0.02	0.44±0.02	0.44±0.01
Ala	0.48±0.03 ^b	0.42±0.01 ^c	0.48±0.02 ^b	0.56±0.00 ^a	0.46±0.03	0.48±0.02	0.48±0.03	0.50±0.01
Cys	0.08±0.01 ^b	0.08±0.01 ^b	0.10±0.01 ^b	0.12±0.00 ^a	0.12±0.01	0.12±0.01	0.10±0.01	0.10±0.00
Tyr	0.42±0.03 ^b	0.34±0.01 ^c	0.40±0.02 ^b	0.48±0.00 ^a	0.38±0.02	0.36±0.02	0.38±0.02	0.38±0.01
Arg	0.58±0.04 ^b	0.50±0.01 ^c	0.60±0.03 ^b	0.68±0.00 ^a	0.52±0.03	0.52±0.02	0.54±0.03	0.56±0.01
Pro	0.42±0.03 ^b	0.36±0.01 ^c	0.46±0.02 ^b	0.52±0.00 ^a	0.52±0.03	0.54±0.03	0.56±0.03	0.58±0.01
TAA	7.62	6.54	7.53	9.23	7.52	7.37	7.62	7.8
TEAA/TAA	0.43	0.43	0.42	0.43	0.42	0.42	0.42	0.42

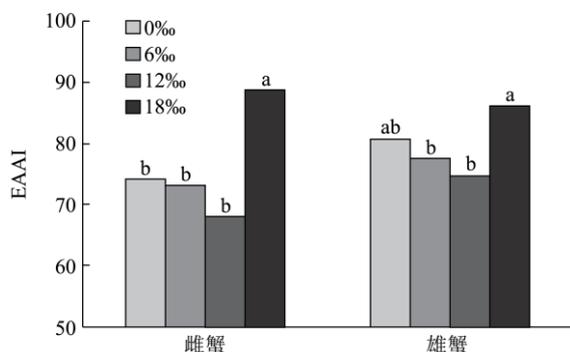


图 3 不同水体盐度下河蟹肝胰腺的必需氨基酸指数

Fig.3 Essential amino acid index of Chinese mitten crab hepatopancreas under different salinities

虽然河蟹肝胰腺中的蛋白质含量较其他可食部位低，但其大部分的氨基酸评分均大于 100，表明河

蟹肝胰腺的蛋白质也具有较高的营养价值。除 Trp 外，高盐度下雌蟹的氨基酸评分均高于其他盐度组，而 0‰~12‰盐度下的肝胰腺都出现了限制性氨基酸（无盐度组为 Met+Cys；低盐度组第一限制性氨基酸为 Met+Cys，第二限制性氨基酸为 Leu；中盐度组第一限制性氨基酸为 Leu，第二限制性氨基酸为 Met+Cys）。此外，所有氨基酸评分中，His 的评分明显高于其他氨基酸。与雌蟹相比，雄蟹肝胰腺的氨基酸评分受盐度的影响较小，只在中、低盐度下出现了限制性氨基酸（均为 Leu），表明其各盐度下蛋白质的营养价值也更为均衡。图 3 更为清晰的反映了不同水体盐度下河蟹肝胰腺中蛋白质的营养价值，其与海蟹相比并无明显差异甚至高于海蟹^[14]。18‰盐度下的 EAAI 值最高，其次为 0‰、6‰和 12‰，表明高盐度

能够显著提升河蟹肝胰腺中蛋白质的营养价值。

3 结论

提高中华绒螯蟹在育肥阶段的水体盐度,能够促进肝胰腺的发育并对其肝胰腺的主要营养品质造成影响,而且雌蟹和雄蟹肝胰腺的品质对不同盐度的响应也有所不同。高盐度能够明显提升河蟹氨基酸的必需氨基酸指数,但也会显著降低其DHA、EPA等高度不饱和脂肪酸的含量。中、低盐度下肝胰腺的多数营养指标与无盐度组并无显著差异,但其部分矿物质元素和高不饱和脂肪酸的含量亦有所提升。综合而言,6‰~12‰盐度下河蟹的肝胰腺既有较高的可食比例,又具有丰富的营养价值。

参考文献

- [1] Shao L, Wang C, He J, et al. Hepatopancreas and gonad quality of chinese mitten crabs fattened with natural and formulated diets [J]. *Journal of Food Quality*, 2013, 36(3): 217-227
- [2] Pequeux A. Osmotic regulation in crustaceans[J]. *Journal of Crustacean Biology*, 1995: 1-60
- [3] Xu J, Yan B, Teng Y, et al. Analysis of nutrient composition and fatty acid profiles of Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus* (Cuvier) reared in seawater and freshwater [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2010, 23(5): 401-405
- [4] 黄凯,王武,卢洁,等.盐度对南美白对虾的生长及生化成分的影响[J].*海洋科学*,2004,28(9): 20-25
HUANG Kai, WANG Wu, LU Jie, et al. Salinity effects on growth and biochemical composition of *penaeus vannamei*[J]. *Marine Sciences*, 2004, 28(9): 20-25
- [5] 吕富,黄金田,於叶兵,等.盐度对三疣梭子蟹生长,肌肉组成及蛋白酶活性的影响[J].*海洋湖沼通报*,2010(4):137-142
LV Fu, HUANG Jin-tian, YU Ye-bing et al. Effects of salinity on growth, muscle composition, and protease activity of *portunus trituberculatus*[J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2010 (4): 137-142
- [6] 吴旭干,赵亚婷,何杰,等.低盐度海水和淡水对中华绒螯蟹性腺发育及交配行为的影响[J].*动物学杂志*,2013,48(4): 555-561
WU Xu-gan, ZHAO Ya-Ting, HE Jie, et al. Effects of brackish water and fresh water on gonadal development and mating behavior in adult chinese mitten crab [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2013, 48(4): 555-561
- [7] Wang Y, Li E, Yu N, et al. Characterization and expression of glutamate dehydrogenase in response to acute salinity stress in the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. *PloS one*, 2012, 7(5): e37316
- [8] Wang R, Zhuang P, Feng G, et al. Osmotic and ionic regulation and Na⁺/K⁺-ATPase, carbonic anhydrase activities in mature Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* H. Milne Edwards, 1853 (Decapoda, Brachyura) exposed to different salinities [J]. *Crustaceana*, 2012, 85(12-13): 1431-1447
- [9] 高先楚,王锡昌,顾赛麒,等.中华绒螯蟹性腺加热熟制前后挥发性成分和脂肪酸组成分析[J].*现代食品科技*,2014, 30(9):265-274
GAO Xian-chu, WANG Xi-chang, GU Sai-qi, et al. Analysis of volatile components and fatty acids derived from *Eriocheir sinensis* gonad before and after cooking [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(9):265-274
- [10] 郭振,梁拥军,杨广.改变水体盐度对吉富罗非鱼肌肉营养和呈味的影响[J].*淡水渔业*,2014, 44(4): 77-82
GUO Zhen, LIANG Yong-jun, YANG Guang. The effects of salinity changes on the nutritional value and flavor of GIFT's muscle [J]. *Freshwater Fisheries*, 2014, 44(4): 77-82
- [11] Sui L Y, Sun H X, Wu X G, et al. Effect of dietary HUFA on tissue fatty acid composition and reproductive performance of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) broodstock [J]. *Aquaculture International*, 2011, 19(2): 269-282.
- [12] 李二超,陈立侨,曾贻,等.盐度对凡纳滨对虾体组织蛋白质积累、氨基酸组成和转氨酶活性的影响[J].*水生生物学报*, 2009,33(3):532-538
LI Er-Chao, CHEN Li-qiao, ZENG Ceng, et al. Protein accumulation, amino acid profile and amino transferase activities of the white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different salinities [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(3): 532-5382
- [13] Guo Y R, Gu S Q, Wang X C, et al. Comparison of fatty acid and amino acid profiles of steamed Chinese mitten crab [J]. *Fisheries Science*, 2014, 80(3): 621-633
- [14] Barrento S, Marques A, Teixeira B, et al. Effect of season on the chemical composition and nutritional quality of the edible crab *Cancer pagurus* [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009,57(22):10814-10824