

DOI: 10.12264/JFSC2021-0425

中国主要产地“六月黄”中华绒螯蟹的营养品质比较

丁昊翔^{1,2,3}, 唐美君^{1,2,3}, 姜晓东^{1,2,3}, 房伟平⁴, 成永旭^{1,2,3}, 吴旭干^{1,2,3}

1. 上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;
2. 上海海洋大学, 农业农村部淡水种质资源重点实验室, 上海 201306;
3. 上海海洋大学, 水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海 201306;
4. 浙江长兴县农业农村局, 浙江 长兴 313100

摘要:“六月黄中华绒螯蟹”(Eriocheir sinensis)(以下简称六月黄)是指农历 6 月上市未完成生殖蜕壳的亚成体雄蟹, 近年来我国中华绒螯蟹主产区六月黄的养殖规模和供应量迅速增加, 尚不清楚不同产地六月黄的可食率和营养组成。通过采集我国 6 个中华绒螯蟹主产区(浙江湖州、江苏阳澄湖、上海崇明、江苏长荡湖、江苏洪泽湖和山东微山湖)的六月黄样品, 分析比较 6 产地六月黄的可食率、色泽参数、常规生化和脂肪酸组成。结果显示: (1) 各产地六月黄的出肉率、肝胰腺指数和总可食率分别为 10.17%~11.87%、27.83%~29.23%和 39.44%~40.37%, 不同产地间均无显著性差异($P>0.05$); (2) 微山湖六月黄蟹壳的 L^* (亮度)值和 b^* (黄度)值显著高于其他地区($P<0.05$), 阳澄湖六月黄蟹壳的 a^* (红度)值最高; 湖州六月黄蟹肝胰腺的 L^* 值和 b^* 最低, 微山湖六月黄蟹肝胰腺的 L^* 、 a^* 和 b^* 值均最高; (3) 崇明六月黄肝胰腺中的水分和灰分含量最高, 洪泽湖六月黄的粗蛋白和粗脂肪含量显著高于湖州的($P<0.05$); 6 群体肌肉中的水分、粗脂肪及灰分均无显著性差异($P>0.05$), 仅洪泽湖和微山湖六月黄肌肉的粗蛋白含量显著高于湖州和长荡湖的($P<0.05$); (4) 洪泽湖六月黄肝胰腺中的总多不饱和脂肪酸(Σ PUFA)含量显著高于阳澄湖及微山湖的, 且其 DHA、EPA 和总长链多不饱和脂肪酸(Σ LC-PUFA)含量最高($P<0.05$); 湖州六月黄肌肉中的 Σ PUFA 含量最高, 洪泽湖六月黄肌肉中的 DHA 含量最高, 且 $n-3/n-6$ 比值显著高于湖州的($P<0.05$)。研究表明, 6 产地六月黄可食率和常规生化组成接近, 6 产地六月黄色泽和脂肪酸组成存在显著性差异, 阳澄湖和微山湖六月黄 a^* 值和 b^* 值相对较高, 阳澄湖、长荡湖和洪泽湖六月黄可食组织中的 DHA 含量较高, 这可能与养殖环境和投喂饵料有关。

关键词: 中华绒螯蟹; 六月黄; 产地; 可食率; 营养品质; 亚成体蟹

中图分类号: S966

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2022)07-1052-12

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*, 以下简称河蟹)是我国重要的养殖经济蟹类, 2020 年全国养殖产量约 77.59 万 t^[1], 其味道鲜美, 且具有较高的营养价值, 深受广大消费者的喜爱^[2]。通常上市销售的河蟹均为生殖蜕壳后的成蟹, 其性腺发育成熟或接近成熟, 故性腺、肝胰腺和肌肉是主要的可食组织^[3], 因此, 河蟹集中上市时间通常为

每年的 10—11 月^[4]。“六月黄河蟹”(以下简称六月黄)是指农历 6 月上市的未完成生殖蜕壳的亚成体雄蟹, 体重通常为 75~130 g, 这些蟹解剖后通常肉眼很难见性腺组织, 但肝胰腺清晰可见, 被称为“六月黄”^[5-6], 六月黄主要的可食组织为肝胰腺和肌肉。河蟹第 2 年成蟹养殖过程中, 雄蟹的生长速度快于雌蟹, 通常农历 6 月后(公历 7 月)池塘

收稿日期: 2021-09-15; 修订日期: 2021-12-21.

基金项目: 上海市科委部分地方院校能力建设项目(20050501600); 上海市人才发展资金项目(2018100); 浙江长兴县农业科技试验项目(2021NK01).

作者简介: 丁昊翔(1997-), 男, 硕士研究生, 研究方向为甲壳动物生态养殖和遗传育种. E-mail: 744409296@qq.com

通信作者: 吴旭干, 教授, 研究方向为甲壳动物营养饲料和品质育种. E-mail: xgwu@shou.edu.cn

养殖雄蟹的平均体重比雌蟹大 20%~40%^[7]; 由于此时雄蟹体重和可食率均高于雌蟹, 消费者更加青睐大规格的雄蟹, 因此, 市场上流通的六月黄主要为雄蟹。

近年来, 随着人民生活水平的提高、河蟹消费市场的多样化需求及六月黄独特的消费体验等, 我国六月黄的市场需求量和消费量日益增加, 目前江苏、上海、浙江和山东等河蟹主产区都有六月黄的养殖^[6], 尚不清楚不同产地六月黄的可食率和营养组成是否存在差异。研究表明, 不同产地河蟹由于生长环境、养殖模式和饵料组成等的差异, 其生化组成和营养品质可能存在一定的差异^[7-8]。可食率、色泽、常规生化和脂肪酸是评价河蟹营养价值的重要指标^[3,9]。河蟹可食组织中富含多不饱和脂肪酸^[4,10], n-3 多不饱和脂肪酸具有预防心血管疾病、降低心肌梗塞、促进幼儿智力发育等作用^[11], 美国心脏病协会建议心血管疾病患者每天摄入 1 g 的 n-3 多不饱和脂肪酸, 健康成人每周也需要摄入一定量的 n-3 多不饱和脂肪酸^[12], 因此, 六月黄的脂肪酸营养价值十分重要。鉴于此, 本研究采集了全国六月黄主产区(浙江湖州, 江苏阳澄湖, 上海崇明, 江苏长荡湖, 江苏洪泽湖, 山东微山湖)的河蟹样品, 测定和比较其可食率、色泽、常规生化和脂肪酸组成, 以期为六月黄的养殖技术提升、营养价值评价、品质调控等提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2020 年 7 月分别从上海、江苏、浙江和山东六月黄中华绒螯蟹主产地用地笼采样, 所采集样品均为池塘养殖六月黄。由于市场上销售六月黄主要为雄体, 因此本研究仅采集雄蟹, 每个群体随机选取附肢健全、活力良好的 10 只雄体用于后续实验, 样品体质量为 75~125 g, 具体采样信息见表 1 和图 1。各产地的河蟹放养和投喂情况见表 2。

1.2 指标测定

1.2.1 可食组织测定 各地样品采集后冷链运输至上海海洋大学甲壳动物营养繁殖实验室, 用吸

表 1 我国主要产区六月黄的样品信息
Tab. 1 Sample information of out-season *Eriocheir sinensis* marketing at lunar June from major Chinese production areas

n=10; $\bar{X} \pm SE$

产地 region	简写 abbreviation	样品数/只 quantity	采样日期 sampling date	体质量/g weight
浙江湖州 Huzhou	HZ	10	7.22	95.93±2.95
江苏阳澄湖 Yangcheng Lake	YCH	10	7.24	111.80±4.47
上海崇明 Chongming	CM	10	7.19	91.40±4.41
江苏长荡湖 Changdang Lake	CDH	10	7.19	105.45±6.10
江苏洪泽湖 Hongze Lake	HZH	10	7.29	96.05±1.38
山东微山湖 Weishan lake	WSH	10	7.16	102.89±2.59



图 1 我国主要产区六月黄的采样位点图
Fig. 1 Sampling sites of out-season *Eriocheir sinensis* marketing at lunar June from major Chinese production areas

水纸擦干蟹体表面水分后用电子天平称重(精确到 0.01 g)。称重后活体解剖所有个体, 取出全部肝胰腺组织(图 2-a)并精确称重(精确到 0.001 g), 计算每只蟹的肝胰腺指数(HSI); 剩余躯体在-40 ℃冰箱中冷冻 24 h 后, 用解剖工具刮出全部肌肉(包括躯体、大螯和附肢中的肌肉, 见图 2b, 2c, 2d), 准确称量质量, 计算出肉率(MY)和总可食率(TEY)。相关计算公式如下:

表 2 我国主要产区六月黄的放养和投喂情况

Tab. 2 Stocking model and feeding information of out-season *Eriocheir sinensis* marketing at lunar June from major Chinese production areas

产地 region	蟹种品系 crab strain	放养密度/(只/hm ²) stocking density	蟹种体质量/g body weight	饵料类型 feed type
浙江湖州 Huzhou	二龄晚熟	18000	8.8	配合饲料
江苏阳澄湖 Yangcheng Lake	长江 1 号	18000	11.2	配合饲料+冰冻海杂鱼
上海崇明 Chongming	二龄晚熟	15000	9.4	配合饲料
江苏长荡湖 Changdang Lake	长荡湖 1 号	15000	10.9	冰冻海杂鱼
江苏洪泽湖 Hongze Lake	未选育品系	20000	11.2	冰冻海杂鱼
山东微山湖 Weishan lake	二龄晚熟	18000	8.6	配合饲料+玉米+黄豆

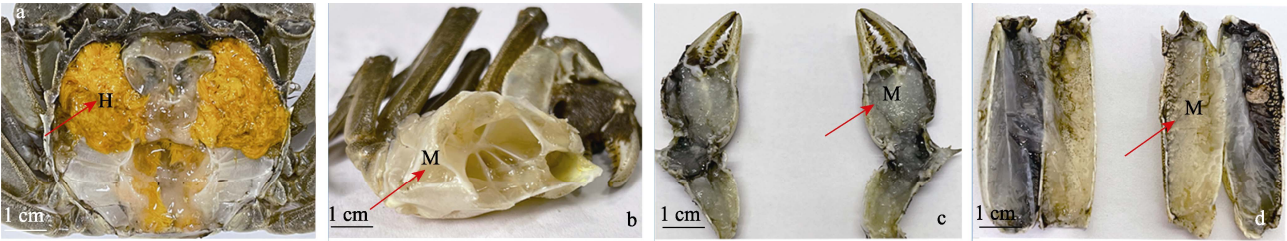


图 2 六月黄可食组织的解剖示意图

a. 示肝胰腺(去除甲壳); b. 示腹部肌肉; c. 示大螯内肌肉; d. 示第三步足长节内肌肉; H: 肝胰腺; M: 肌肉.

Fig. 2 Anatomical photos of edible tissues of out-season *Eriocheir sinensis* marketing at Lunar June

a. showing hepatopancreas (removing carapace); b. showing the meat in the abdomen; c. showing the meat in the chela; d. showing the meat in the merus of third pereiopod; H: hepatopancreas; M: meat.

$$\begin{aligned} \text{HSI} &= H/W \times 100\% \\ \text{MY} &= M/W \times 100\% \\ \text{TEY} &= \text{HSI} + \text{MY} \end{aligned}$$

式中, HSI、MY 和 TEY 分别为肝胰腺指数、出肉率和总可食率, *H*、*M* 和 *W* 分别代表肝胰腺、肌肉和体重。

1.2.2 色泽测定 参考 Long 等^[9]的方法, 取河蟹肝胰腺(取 2 g 左右, 电子秤精确度为 0.001g)和头胸甲冻干后用于色泽参数测定。将冻干后的肝胰腺装入透明自封袋中, 将装有样品的自封袋平放在解剖盘上, 保持样品袋表面平整, 然后用色彩色差计(型号 CR-400, 日本柯尼卡美能达)在 D65 光源下测定肝胰腺的 *L**、*a**、*b**值, 随机测定 3 个位点后取平均值^[9]; 由于头胸甲上不同位置的颜色有一定差别, 头胸甲的色泽参数测定选取 5 个相对平整的点, 测定后取平均值(图 3); 其中 *L**代表亮度值, 从 0 (黑)~100 (白); *a**代表红绿轴的颜色饱和度, 其中-*a**为绿, *a**为红; *b**代表蓝黄轴的颜色饱和度, 其中-*b**为蓝, *b**为黄。

1.2.3 常规生化成分测定 为了获得足够的样品

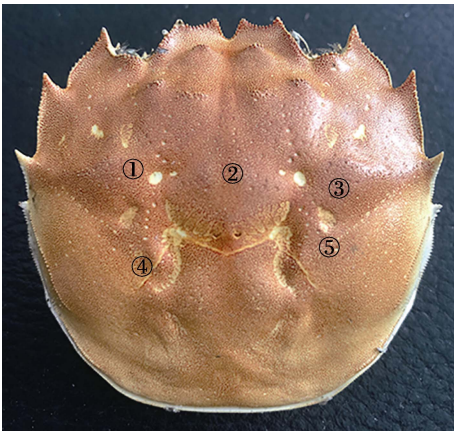


图 3 六月黄蟹壳 *L**、*a**、*b**值测量点示意图

Fig. 3 The measure positions of carapace for *L**, *a** and *b** value of out-season *Eriocheir sinensis* marketing at Lunar June

用于生化成分测定, 每个群体随机取 3~4 只蟹, 将同种组织合并后冻干用于后续生化成分测定, 每个群体生化测定均为 3 个重复样品(合并后样品)。采用冷冻干燥法测定肝胰腺和肌肉中的水分^[13]; 按照 Folch 法, 用氯仿: 甲醇混合液(2: 1)提取组织中总脂^[14]; 按照 AOAC (2000)的方法测定粗蛋白

和灰分^[15], 采用凯氏定氮法(Kjeldah)测定各组织中粗蛋白含量, 样品碳化后在 550 ℃条件下灼烧至恒重测定灰分含量。

1.2.4 脂肪酸测定和评价 使用 14%三氟化硼-甲醇溶液(V:V)对总脂样品进行甲酯化处理^[16]。用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS, Agilent 7890B-5977A)测定脂肪酸组成, 色谱柱为 Omegawax 320 毛细管柱(长度×内径×填料直径为 30 m×0.32 mm×0.25 μm, Supelco, Billefonte, PA, USA)。进样口温度为 240 ℃, 辅助加热器温度为 245 ℃。升温程序: 由 50 ℃以 10 ℃/min 速率升至 170 ℃, 再以 2 ℃/min

速率升至 220 ℃, 保留 1 min, 最后以 2 ℃/min 速率升至 230 ℃, 直到所有脂肪酸全部出峰。采用 Supelco37 混合脂肪酸甲酯(货号 47885-U, Sigma-Aldrich Co., St.Louis, MO, USA)作为脂肪酸标准品, 通过比较样品和标准品的保留时间和质谱图对样品中脂肪酸进行定性。脂肪酸组成采用面积百分比法表示。根据如下公式, 计算各产地六月黄肝胰腺和肌肉的致动脉硬化指数(atherogenic index, AI)和凝血指数(thrombogenic index, TI)^[17]。

$$AI = \frac{[(12:0+4)(14:0+16:0)]}{[\sum MUFA + \sum PUFA(n-6) + (n-3)]}$$

$$TI = \frac{(14:0+16:0+18:U)}{\left[(0.5 \times \sum MUFA) + [0.5 \times \sum PUFA(n-6)] + [3 \times \sum PUFA(n-3)] + \left(\frac{n-3}{n-6} \right) \right]}$$

1.3 数据处理

采用 SPSS 26.0 软件统计分析实验数据, 采用 Levene 法对所有数据进行方差齐性检验, 当不满足齐性方差时对百分比数据进行反正弦或平方根处理。采用 ANOVA 法对实验结果进行方差分析, 采用 Duncan 氏法进行多重比较, 取 $P < 0.05$ 为存在显著差异。除表 1 和表 2 中的部分数据外, 其余图表中的实验数据均以平均值±标准误($\bar{x} \pm SE$)表示。在 Origin 2018 软件上绘制相关图表。

2 结果与分析

2.1 可食率和色泽

肝胰腺和肌肉为六月黄的主要可食组织, 各产地六月黄的肝胰腺指数为 10.17%~11.87%, 无显著性差异($P > 0.05$); 各产地六月黄的出肉率无显著性差异, 为 27.83%~29.23%, 其中湖州地区相对较低; 各产地六月黄总可食率为 39.44%~40.37%, 也无显著性差异($P > 0.05$)(图 4)。

图 5 为 6 产地六月黄蟹壳和肝胰腺色泽参数。微山湖六月黄蟹壳的亮度(L*值)和黄度(b*值)均显著高于其余产地蟹($P < 0.05$), 阳澄湖六月黄蟹壳的红色(a*值)最高, 但与崇明、长荡湖及微山湖的六月黄无显著性差异($P > 0.05$)。湖州六月黄肝胰腺的 L*值最低, 微山湖六月黄的 L*最高, 其余 4 产地的群体间无显著性差异($P > 0.05$); 崇明和微山湖的六月黄肝胰腺的 a*值相对较高, b*值最高的

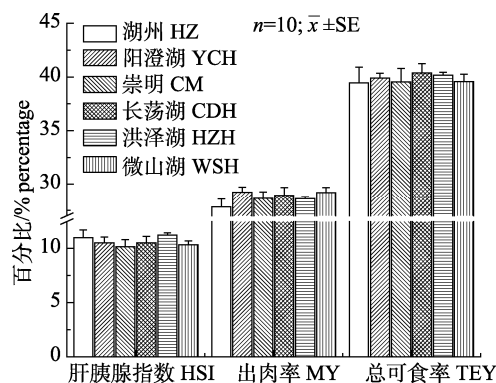


图 4 我国主要产区六月黄肝胰腺指数、出肉率和总可食率比较

Fig. 4 Comparison of hepatosomatic index (HSI), meat yield (MY) and total edible yield (TEY) of out-season *Eriocheir sinensis* marketing at Lunar June from major Chinese production areas

六月黄来自于微山湖, 其次为长荡湖蟹, 两地仅与湖州蟹有显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 常规生化组成

不同产地六月黄的肝胰腺、肌肉常规生化如表 3 所示。就肝胰腺而言, 崇明六月黄中的水分最高, 微山湖蟹的最低; 湖州六月黄的粗蛋白含量最低, 洪泽湖的最高, 两者间存在显著性差异($P < 0.05$); 洪泽湖六月黄的粗脂肪含量最高, 显著高于其余产地($P < 0.05$); 崇明六月黄的灰分含量最高, 显著高于阳澄湖地区($P < 0.05$), 但与其他各产地的蟹无显著性差异($P > 0.05$)。各产地六月黄的肌肉中水分、粗脂肪、灰分较为接近, 无显著

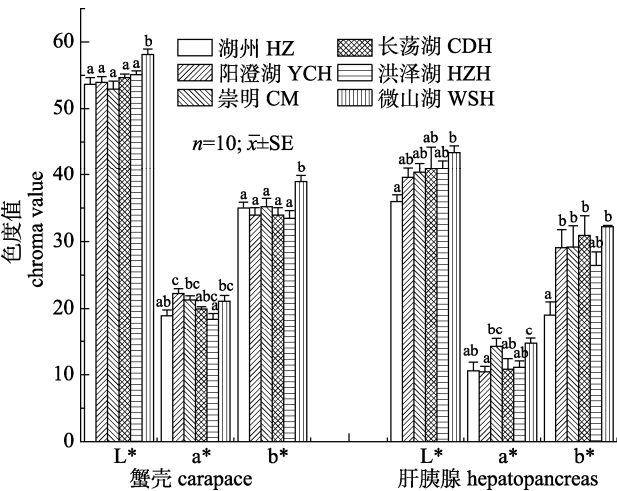


图 5 我国主要产区六月黄蟹壳和肝胰腺色泽比较
柱顶部不同字母表示不同产地间差异显著($P<0.05$)。

Fig. 5 Comparison of color parameters in carapace and hepatopancreas of out-season *Eriocheir sinensis* marketing at Lunar June from major Chinese production areas
Different letters on the top of each column indicate significant difference among different production areas ($P<0.05$).

性差异($P>0.05$); 洪泽湖及微山湖六月黄肌肉中的粗蛋白显著高于湖州、长荡湖等产地的, 与阳澄湖及崇明的六月黄无显著性差异($P>0.05$)。

2.3 脂肪酸组成

表 4 是各产地六月黄样本肝胰腺中各脂肪酸组成含量的百分比, 代表不同的脂肪酸含量占总脂肪酸含量的百分比。肝胰腺中总饱和脂肪酸(Σ SFA)百分含量占比最低的为崇明六月黄, 显著低

于阳澄湖、长荡湖及洪泽湖等产地, 主要成分为 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ 。总单不饱和脂肪酸(Σ MUFA)中主要脂肪酸为 $C_{18:1n9}$ 且各产地之间差异较明显, 阳澄湖的蟹最高, 显著高于崇明、长荡湖和洪泽湖地区的六月黄($P<0.05$); 各产地之间总多不饱和脂肪酸(Σ PUFA)含量差异较明显, 湖州六月黄显著高于阳澄湖及微山湖的($P<0.05$)。长荡湖及洪泽湖六月黄的 EPA ($C_{20:5n3}$)含量显著高于其他产地 ($P<0.05$)。各产地六月黄的 DHA ($C_{22:6n3}$)差异呈现两极分化趋势, 阳澄湖、长荡湖和洪泽湖的显著高于湖州、崇明及微山湖的六月黄($P<0.05$)(表 4, 图 6)。与之相关的是阳澄湖六月黄的 AI 指数最高, 与崇明六月黄有显著性差异($P<0.05$), 微山湖六月黄的 TI 指数最高, 与阳澄湖、长荡湖及洪泽湖六月黄有显著性差异($P<0.05$, 图 7)

各产地六月黄肌肉中脂肪酸组成见表 5。肌肉中 Σ SFA 主要成份为 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$, $C_{16:0}$ 且各产地无显著性差异($P>0.05$), $C_{18:0}$ 在阳澄湖和崇明六月黄中较高; Σ MUFA 中 $C_{18:1n9}$ 含量最高, 阳澄湖六月黄的 $C_{18:1n9}$ 含量显著高于其余产地的 ($P<0.05$); Σ PUFA 中主要含有亚油酸($C_{18:2n6}$)、EPA、DHA; 阳澄湖和洪泽湖六月黄的亚油酸显著低于其余产地($P<0.05$), 各产地六月黄的 EPA 无显著性差异($P>0.05$)。长荡湖和洪泽湖六月黄的 DHA 显著高于其余产地($P<0.05$, 表 5, 图 6), 洪

表 3 我国主要产区六月黄可食组织中常规生化组成的比较(湿重)
Tab. 3 Comparison of proximate composition in edible tissues of out-season *Eriocheir sinensis* marketing at lunar June from Chinese major production areas (wet weight)

		$n=3; \bar{x} \pm SE; \%$					
项目 item		湖州 HZ	阳澄湖 YCH	崇明 CM	长荡湖 CDH	洪泽湖 HZH	微山湖 WSH
肝胰腺 hepatopancreas							
水分 moisture		49.31±1.40 ^{ab}	48.24±2.93 ^{ab}	52.60±3.00 ^b	43.71±3.73 ^a	43.07±3.10 ^a	39.82±3.41 ^a
粗蛋白 crude protein		5.76±0.58 ^a	8.62±1.67 ^{ab}	7.45±0.36 ^{ab}	8.01±0.72 ^{ab}	10.55±1.52 ^b	9.99±0.73 ^b
粗脂肪 crude fat		13.76±0.04 ^a	15.66±0.43 ^{ab}	13.91±0.77 ^a	15.13±0.67 ^{ab}	18.98±0.75 ^c	16.42±0.48 ^b
灰分 ash		0.64±0.09 ^{ab}	0.43±0.00 ^a	0.82±0.08 ^b	0.51±0.04 ^{ab}	0.48±0.07 ^{ab}	0.71±0.05 ^{ab}
肌肉 muscle							
水分 moisture		81.23±0.63	80.77±1.05	80.06±0.89	78.75±1.96	75.96±2.72	77.25±0.42
粗蛋白 crude protein		14.02±0.91 ^a	16.02±1.17 ^{ab}	16.36±0.59 ^{ab}	14.49±1.12 ^a	18.51±0.18 ^b	18.38±0.79 ^b
粗脂肪 crude fat		0.82±0.04	0.76±0.02	0.81±0.02	0.88±0.04	0.86±0.09	0.81±0.11
灰分 ash		1.55±0.11	1.69±0.07	1.49±0.10	1.63±0.01	1.46±0.20	1.46±0.04

注: 同行数据含有不同字母表示不同产地间存在显著性差异($P<0.05$)。
Note: Different letters on each line indicate significant difference among different production areas ($P<0.05$).

表 4 我国主要产地六月黄肝胰腺脂肪酸组成的比较(%总脂肪酸)
Tab. 4 Comparison of fatty acid composition in hepatopancreas of out-season *Eriocheir sinensis* marketing at lunar June from major Chinese production areas (% total fatty acids)

n=3; $\bar{x} \pm SE$						
脂肪酸 fatty acid	湖州 HZ	阳澄湖 YCH	崇明 CM	长荡湖 CDH	洪泽湖 HZH	微山湖 WSH
C _{14:0}	1.42±0.15 ^a	2.82±0.08 ^b	1.21±0.01 ^a	3.36±0.13 ^b	3.20±0.06 ^b	1.40±0.13 ^a
C _{15:0}	0.47±0.02 ^a	0.56±0.01 ^{ab}	0.88±0.05 ^c	0.82±0.01 ^c	0.66±0.01 ^b	0.56±0.05 ^{ab}
C _{16:0}	17.61±0.31	18.79±0.04	17.1±0.55	17.51±0.35	18.16±0.16	18.73±0.13
C _{17:0}	1.21±0.22	0.76±0.07	1.15±0.05	1.05±0.05	1.01±0.04	1.02±0.05
C _{18:0}	3.34±0.03 ^b	4.38±0.16 ^c	3.21±0.14 ^b	2.72±0.04 ^a	2.70±0.08 ^a	2.57±0.06 ^a
Σ SFA	24.05±0.64 ^{ab}	27.31±0.18 ^b	23.55±0.52 ^a	25.46±0.39 ^b	25.73±0.20 ^b	24.28±0.26 ^{ab}
C _{14:1n5}	0.13±0.01 ^a	0.24±0.00 ^b	0.14±0.02 ^a	0.24±0.02 ^b	0.34±0.01 ^c	0.20±0.01 ^{ab}
C _{16:1n7}	5.42±0.39 ^a	7.25±0.09 ^{ab}	6.16±0.56 ^a	6.36±0.02 ^{ab}	8.38±0.46 ^{bc}	9.77±0.03 ^b
C _{17:1n7}	0.63±0.03	0.71±0.02	0.79±0.02	0.75±0.02	0.73±0.02	0.78±0.08
C _{18:1n9}	23.40±0.70 ^{bc}	25.90±0.32 ^c	21.98±0.71 ^b	18.44±0.61 ^a	18.59±0.13 ^a	24.59±0.44 ^{bc}
C _{18:1n7}	2.69±0.11	2.85±0.11	3.31±0.64	2.58±0.10	3.25±0.15	3.67±0.20
C _{20:1n9}	1.15±0.08 ^a	1.60±0.07 ^{ab}	1.93±0.17 ^b	3.69±0.07 ^d	2.87±0.14 ^c	1.22±0.02 ^a
C _{22:1n9}	0.58±0.04 ^a	0.61±0.02 ^a	0.65±0.06 ^a	2.63±0.22 ^c	1.87±0.12 ^b	0.39±0.03 ^a
Σ MUFA	34.00±0.67 ^a	39.17±0.32 ^b	34.96±0.19 ^a	34.69±0.35 ^a	36.04±0.41 ^a	40.62±0.22 ^b
C _{18:2n6}	23.28±1.10 ^c	7.29±0.33 ^a	20.21±1.14 ^b	11.11±0.84 ^a	7.73±0.59 ^a	17.48±0.89 ^b
C _{18:3n3}	5.18±0.55 ^c	1.93±0.10 ^a	4.97±0.35 ^c	3.62±0.19 ^{bc}	2.19±0.09 ^{ab}	3.96±0.07 ^c
C _{18:4n3}	0.41±0.03 ^{ab}	0.33±0.03 ^a	0.35±0.11 ^{ab}	0.93±0.06 ^c	0.81±0.04 ^c	0.67±0.01 ^{bc}
C _{20:2n6}	0.32±0.02 ^a	0.43±0.02 ^a	0.36±0.03 ^a	0.73±0.05 ^b	0.42±0.07 ^a	0.79±0.03 ^b
C _{20:4n6}	1.47±0.05 ^a	2.35±0.06 ^b	1.83±0.02 ^{ab}	1.41±0.07 ^a	1.40±0.05 ^a	1.41±0.21 ^a
C _{20:4n3}	0.14±0.01 ^a	0.55±0.02 ^c	0.16±0.00 ^a	0.35±0.01 ^b	0.37±0.02 ^b	0.32±0.06 ^b
C _{20:5n3}	1.83±0.03 ^a	3.38±0.11 ^b	2.16±0.07 ^a	4.50±0.23 ^c	5.25±0.16 ^c	2.35±0.31 ^{ab}
C _{22:5n3}	0.49±0.06 ^a	1.61±0.03 ^c	0.49±0.05 ^a	0.69±0.02 ^{ab}	0.81±0.00 ^b	0.47±0.10 ^a
C _{22:6n3}	1.67±0.20 ^a	9.73±0.17 ^b	2.19±0.20 ^a	11.05±0.78 ^{bc}	12.93±0.89 ^c	1.42±0.19 ^a
Σ PUFA	34.80±0.99 ^b	27.60±0.03 ^a	32.72±1.65 ^b	34.39±0.22 ^b	31.92±0.37 ^b	28.87±0.22 ^a
Σ LC-PUFA	5.92±0.21 ^a	18.05±0.25 ^b	7.19±0.23 ^a	18.73±0.83 ^b	21.20±0.98	6.75±0.72 ^a
Σ n-3PUFA	9.72±0.52 ^a	17.53±0.38 ^b	10.32±0.57 ^a	21.13±0.78 ^{bc}	22.36±0.98 ^c	9.18±0.65 ^a
Σ n-6PUFA	25.08±1.12 ^c	10.07±0.40 ^a	22.40±1.14 ^{bc}	13.25±0.94 ^a	9.56±0.66 ^a	19.69±0.73 ^b
n-3/n-6	0.39±0.03 ^a	1.75±0.11 ^b	0.46±0.01 ^a	1.63±0.19 ^b	2.39±0.25 ^b	0.47±0.05 ^a
DHA/EPA	0.91±0.11 ^a	2.89±0.06 ^b	1.01±0.07 ^a	2.46±0.14 ^b	2.45±0.10 ^b	0.62±0.08 ^a
DHA+EPA	3.50±0.21 ^a	13.1±0.27 ^b	4.35±0.27 ^a	15.55±0.95 ^c	18.18±1.04 ^d	3.77±0.45 ^a

注: 同行数据含有不同字母表示不同产地间差异显著($P<0.05$).
Note: Different letters on each line indicate significant difference among different production areas ($P<0.05$).

泽湖六月黄的 n-3/n-6 显著高于其他产地的 ($P<0.05$)。各产地六月黄肌肉 AI 指数差别较小, 洪泽湖六月黄最高, 但与阳澄湖、长荡湖及微山湖的六月黄无显著性差异($P>0.05$); TI 指数中微山湖六月黄最高, 显著高于长荡湖及洪泽湖的 ($P<0.05$)。肝胰腺中 AI 和 TI 指数普遍高于肌肉组

织(图 7)。

3 讨论

3.1 可食组织差异分析

本研究发现, 六月黄的肝胰腺指数范围为 10.17%~11.87%, 各地区之间差异不显著, 但六

表 5 我国主要产地六月黄肌肉中脂肪酸组成的比较(%总脂肪酸)

Tab. 5 Comparison of fatty acid composition in muscle of out-season *Eriocheir sinensis* marketing at lunar June from major Chinese production areas (%total fatty acids)

$n=3; \bar{x} \pm SE$						
脂肪酸 fatty acid	湖州 HZ	阳澄湖 YCH	崇明 CM	长荡湖 CDH	洪泽湖 HZH	微山湖 WSH
C _{14:0}	0.43±0.07 ^a	0.78±0.11 ^b	0.32±0.06 ^a	0.80±0.05 ^{bc}	1.04±0.03 ^c	0.43±0.04 ^a
C _{15:0}	0.22±0.01 ^a	0.25±0.01 ^a	0.37±0.02 ^b	0.35±0.01 ^b	0.32±0.01 ^b	0.24±0.02 ^a
C _{16:0}	11.68±0.11	12.17±0.34	11.64±0.13	12.71±0.27	12.34±0.09	11.76±0.22
C _{17:0}	0.78±0.10 ^b	0.56±0.02 ^a	0.98±0.02 ^c	0.86±0.02 ^{bc}	0.76±0.02 ^b	0.68±0.06 ^{ab}
C _{18:0}	6.93±0.15 ^{ab}	7.53±0.16 ^b	7.56±0.21 ^b	6.84±0.19 ^{ab}	6.31±0.19 ^a	7.04±0.11 ^{ab}
Σ SFA	20.04±0.21 ^a	21.29±0.43 ^{ab}	20.87±0.18 ^a	21.56±0.26 ^b	20.77±0.08 ^a	20.15±0.29 ^a
C _{16:1n7}	1.80±0.03 ^a	2.54±0.37 ^{ab}	2.24±0.14 ^{ab}	2.98±0.16 ^b	3.30±0.06 ^b	3.11±0.14 ^b
C _{18:1n9}	15.79±0.25 ^a	19.01±0.46 ^b	16.21±0.37 ^a	17.14±0.22 ^a	16.36±0.13 ^a	16.59±0.74 ^a
C _{18:1n7}	2.52±0.07 ^a	2.76±0.17 ^a	2.42±0.05 ^a	2.92±0.13 ^a	3.17±0.18 ^{ab}	3.78±0.16 ^b
C _{20:1n9}	1.05±0.14 ^a	1.49±0.14 ^{ab}	1.83±0.23 ^b	1.98±0.28 ^b	0.87±0.09 ^a	0.91±0.11 ^a
C _{22:1n9}	0.61±0.04 ^a	0.62±0.03 ^a	0.73±0.04 ^a	1.00±0.10 ^b	1.24±0.07 ^c	0.69±0.03 ^a
Σ MUFA	21.78±0.28 ^a	26.42±0.58 ^c	23.43±0.77 ^{ab}	26.02±0.29 ^c	24.95±0.10 ^{bc}	25.08±0.61 ^{bc}
C _{18:2n6}	13.95±0.54 ^c	4.60±0.25 ^a	10.70±0.43 ^b	8.34±0.25 ^b	4.09±0.04 ^a	9.84±0.70 ^b
C _{18:3n3}	2.07±0.18 ^b	0.74±0.12 ^a	2.38±0.09 ^b	1.92±0.09 ^b	1.13±0.03 ^a	1.87±0.25 ^b
C _{18:4n3}	1.14±0.02 ^{bc}	0.94±0.04 ^{ab}	1.03±0.03 ^{abc}	0.88±0.03 ^a	0.89±0.01 ^a	1.32±0.05 ^d
C _{20:2n6}	2.45±0.05 ^d	1.88±0.09 ^b	2.22±0.03 ^{cd}	1.44±0.14 ^a	1.52±0.09 ^a	1.95±0.07 ^{bc}
C _{20:4n6}	5.46±0.09 ^b	6.97±0.24 ^c	6.07±0.28 ^b	3.96±0.11 ^a	4.11±0.08 ^a	5.41±0.30 ^b
C _{20:4n3}	1.22±0.12 ^b	1.20±0.08 ^b	0.72±0.01 ^a	0.46±0.07 ^a	1.40±0.12 ^{bc}	1.71±0.19 ^c
C _{20:5n3}	10.63±0.38	10.72±0.52	11.09±0.45	12.10±0.35	11.80±0.37	10.84±0.17
C _{22:5n3}	0.48±0.04 ^a	0.73±0.05 ^b	0.62±0.06 ^{ab}	0.47±0.04 ^a	0.46±0.02 ^a	0.57±0.05 ^{ab}
C _{22:6n3}	8.01±0.34 ^a	11.96±0.11 ^c	9.40±0.23 ^b	14.03±0.44 ^d	14.77±0.23 ^d	7.22±0.48 ^a
Σ PUFA	45.41±0.38 ^b	39.75±0.57 ^a	44.23±0.53 ^b	43.59±0.62 ^b	40.18±0.34 ^a	40.75±0.20 ^a
Σ LC-PUFA	28.25±0.67 ^a	33.46±0.80 ^c	30.12±0.77 ^{ab}	32.46±0.75 ^{bc}	34.07±0.32 ^c	27.71±1.02 ^a
Σ n-3PUFA	23.55±0.81 ^a	26.3±0.63 ^a	25.23±0.54 ^a	29.85±0.62 ^b	30.45±0.48 ^b	23.54±0.43 ^a
Σ n-6PUFA	21.86±0.52 ^d	13.45±0.12 ^b	19.00±0.16 ^d	13.74±0.01 ^b	9.73±0.16 ^a	17.20±0.33 ^c
n-3/n-6	1.08±0.06 ^a	1.96±0.06 ^b	1.33±0.03 ^a	2.17±0.05 ^b	3.14±0.10 ^c	1.37±0.05 ^a
DHA/EPA	0.75±0.01 ^{ab}	1.12±0.05 ^c	0.85±0.02 ^b	1.16±0.01 ^c	1.25±0.02 ^c	0.67±0.04 ^a
DHA+EPA	26.13±0.72 ^a	20.49±0.58 ^b	22.68±0.67 ^{ab}	18.64±0.79 ^c	18.06±0.60 ^c	26.57±0.58 ^a

注：同行数据含有不同字母表示不同产地间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different letters on each line indicate significant difference among different production areas ($P<0.05$).

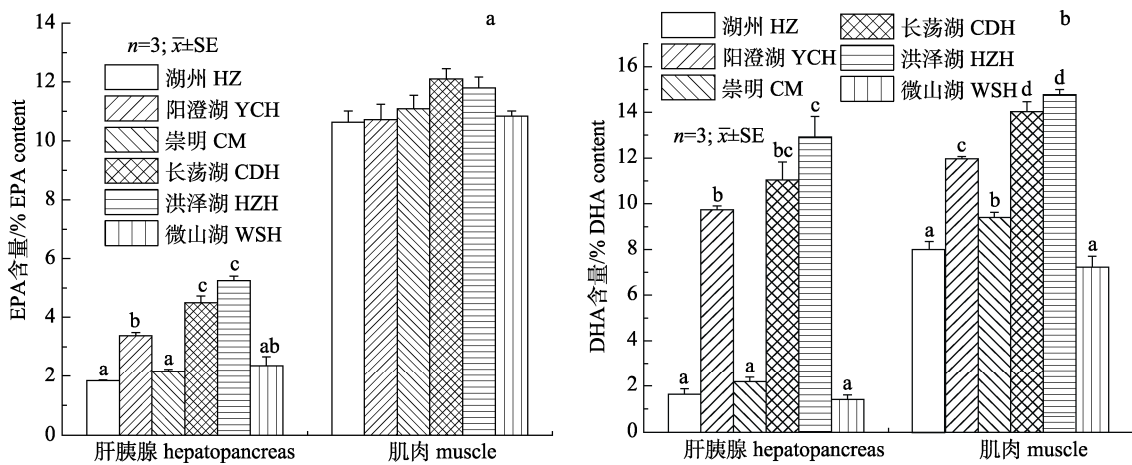


图 6 我国主要产地六月黄肝胰腺和肌肉中的 EPA(a)及 DHA(b)百分含量比较

柱顶部不同字母表示不同产地间差异显著($P<0.05$).

Fig. 6 Comparison of the percentage of EPA(a) and DHA(b) in hepatopancreas and muscle of out-season *Eriocheir sinensis* marketing at Lunar June from major Chinese production areas

Different letters on the top of each column indicate significant difference among different production areas ($P<0.05$).

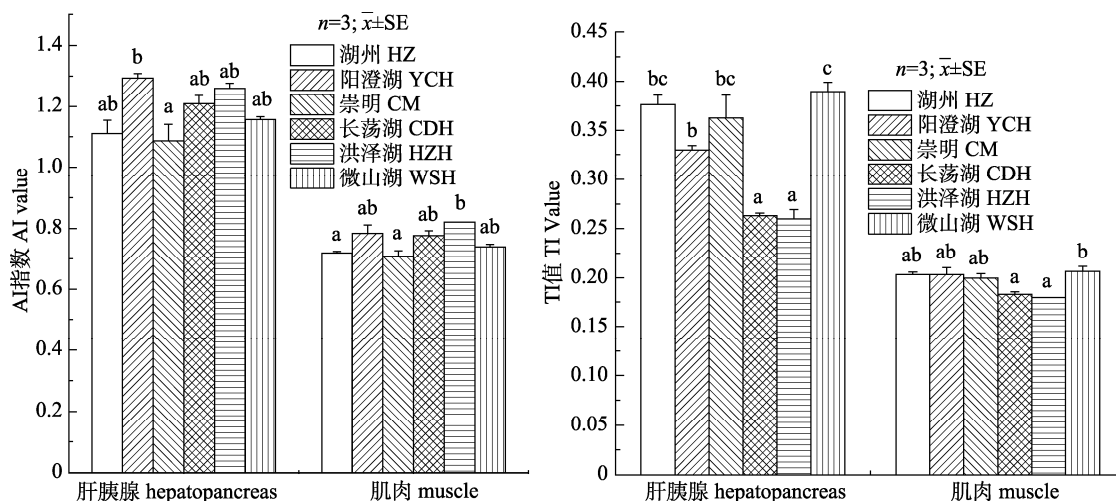


图 7 我国主要产地六月黄肝胰腺和肌肉中的动脉硬化指数(AI)及凝血指数(TI)比较

柱顶部不同字母表示不同产地间差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 7 Comparison of AI and TI in hepatopancreas and muscle of out-season *Eriocheir sinensis* marketing at Lunar June from major production areas

Different letters on the top of each column indicate significant difference among different production areas ($P < 0.05$).

月黄的肝胰腺指数高于生殖蜕壳后的成蟹^[18-19], 这是因为六月黄尚未进入性腺快速发育阶段, 肝胰腺中保留着大量营养物质, 故此时肝胰腺中的营养物质含量较高, 品质较好^[6]。各产地河蟹出肉率差异并不显著, 这是因为肌肉对于维持河蟹运动和基础代谢等生理功能十分重要, 故河蟹出肉率较为保守, 不易受到养殖环境和饵料投喂的影响^[20]。

3.2 色泽与常规生化分析

色泽是消费者们选购食用甲壳动物的重要依据之一^[21-22], 其色泽参数常用 L^* (亮度) a^* (红度) b^* (黄度) 值来评价, a^* 值和 b^* 值通常与组织中类胡萝卜素组成及含量密切相关^[23], 虾青素对 a^* 值贡献较大^[9,24]。甲壳动物自身不能从头合成虾青素, 但可以把 β -胡萝卜素转化为虾青素^[25-27]。研究表明, 饵料中类胡萝卜素组成和含量均可影响甲壳动物色泽^[28], 且生长环境颜色也会影响对虾的色泽^[29]。本研究表明, 微山湖六月黄蟹壳的 L^* 和 b^* 值显著高于其余产地, 湖州六月黄肝胰腺的 L^* 和 b^* 值相对偏低, 且各产地六月黄蟹壳和肝胰腺的 a^* 值差异较大, 这可能是由于各地区投喂饵料中类胡萝卜素含量差异较大, 使得肝胰腺和蟹壳中类胡萝卜素含量差异较大^[28], 也可能是由于各产地养殖环境背景色和水质存在一定差异^[29]。

可食组织中的常规生化组成是评价水产品营

养价值的重要指标, 对其定量分析能够科学评价其商品价值和营养价值^[30]。本研究表明, 各产地六月黄的生化组成存在一定的差异, 这可能与遗传、环境和饵料的不同有关^[20,31-32], 微山湖、洪泽湖六月黄肝胰腺中的粗蛋白及粗脂肪含量均优于其余地区, 同时水分含量也低于其余地区, 粗蛋白及粗脂肪是肝胰腺重要的营养组分, 而脂类是蟹黄肥美的关键因素, 表明这两地六月黄肝胰腺营养价值高。湖州六月黄的粗蛋白及粗脂肪含量显著低于洪泽湖及微山湖等地, 这可能与其养殖环境和饵料投喂有关^[32]。各地区六月黄肌肉的水分、粗脂肪及灰分间无显著性差异, 仅洪泽湖及微山湖六月黄肌肉的粗蛋白含量显著高于湖州及长荡湖的, 但与阳澄湖及崇明六月黄无显著性差异, 这可能与纬度导致的温度差异有关, 先前研究表明高纬度地区的河蟹生长蜕壳和性腺发育均提前^[33]。

3.3 脂肪酸组成分析

长链多不饱和脂肪酸(LC-PUFA)不仅对甲壳动物生长和生殖有着重要的生理功能^[20], 且是评价水产品营养品质的重要依据之一^[10]。在本研究中, 各产地六月黄肝胰腺中 EPA 和 DHA 百分含量差异较大, 其中六月黄肝胰腺的 EPA 和 DHA 含量最高的依次是洪泽湖、长荡湖和阳澄湖, 洪

泽湖、长荡湖两地六月黄更是与湖州、崇明及微山湖等六月黄的 EPA 及 DHA 有显著性差异 ($P<0.05$); 肌肉中 DHA 变化趋势也类似, 但各产地六月黄肌肉中 EPA 含量差异不显著(图 6)。造成这种结果的可能原因是: (1)阳澄湖、长荡湖和洪泽湖是河蟹传统养殖区, 大量投喂海洋产冰冻杂鱼, 这些冰鲜鱼中 EPA 和 DHA 相对含量高于玉米和配合饲料等^[34], 本实验中湖州和崇明六月黄主要投喂河蟹配合饲料, 微山湖六月黄则以投喂玉米、黄豆和配合饲料为主(表 2), 这些饵料中的 EPA 和 DHA 含量均较低, 河蟹肝胰腺中的脂肪酸组成较易受到饵料中脂肪酸的影响; (2)河蟹具有一定 LC-PUFA 转化能力, 可以把饵料中的 $C_{18:3n3}$ 转化为 EPA 和 DHA, 把 $18:2n6$ 转化为 $20:4n6$ ^[35], 因此, 河蟹肌肉中的 EPA 百分含量差异不大; (3)河蟹肌肉中会优先积累 EPA 和 DHA, 特别是优先积累 EPA, 以保证肌肉能够发挥正常的生理功能^[35]。

食品中 n-3/n-6 多不饱和脂肪酸的比值是评价其脂肪酸营养价值的重要指标, FAO/WHO 组织建议食物网中 n-3 和 n-6 多不饱和脂肪酸的比例至少为 0.1~0.2, 更高的比例更有利于人类健康^[36]。本研究表明, 各产地六月黄肝胰腺的 n-3/n-6 比值均接近或大于 0.4, 阳澄湖、长荡湖和洪泽湖六月黄的 n-3/n-6 比值甚至超过 1.6, 且各产地六月黄肌肉中比值均大于 1, 洪泽湖六月黄肌肉和肝胰腺中 n-3/n-6 PUFA 比值均为最高。研究表明, 食品中 n-3 LC-PUFA 比例越高, 降低心血管疾病的能力就越强^[11]。本研究表明, 六月黄的肝胰腺和肌肉 AI 和 TI 均较低, 这显著低于陆生动物脂肪酸的 AI 和 TI^[17], 表明人类摄食六月黄具有一定的降低心血管疾病的保健功能。整体上, 各产地六月黄可食组织中的 Σ MUFA 和 n-3PUFA 含量均较高, 且 n-3/n-6 比值均接近或大于 0.4, 表明各产地六月黄具有较高的脂肪酸营养价值。

4 总结

综上所述, 各产地六月黄河蟹的肝胰腺指数、出肉率和可食率均无显著性差异, 崇明和微

山湖六月黄的 a*值和 b*值相对较高, 洪泽湖六月黄肝胰腺中的粗蛋白和粗脂肪含量相对较高, 6 产地六月黄肌肉中的常规营养成分含量接近; 尽管长荡湖和洪泽湖六月黄可食组织中的 EPA、DHA 含量较高, 但 6 产地六月黄可食组织的 AI 和 TI 数均较低, 这说明各产地六月黄都具有较高的脂肪酸营养价值。我国主产区六月黄的营养品质存在一定的差异, 未来需要建立六月黄营养品质的调控技术体系, 提高池塘养殖六月黄的营养品质和养殖效益。

参考文献:

- [1] Fisheries Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 24. [农业农村部渔业渔政管理局, 2021 年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 24.]
- [2] Gu S Q, Wang X C, Tao N P, et al. Characterization of volatile compounds in different edible parts of steamed Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 81-92.
- [3] Long X W, Guo Q, Wang X C, et al. Effects of fattening period on ovarian development and nutritional quality of adult female Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. Aquaculture, 2020, 519: 734748.
- [4] Wu X G, Zhu S C, Zhang H C, et al. Fattening culture improves the gonadal development and nutritional quality of male Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. Aquaculture, 2020, 518: 734865.
- [5] Wang W, Wang C H, Ma X Z. Ecological culture of Chinese mitten crab[M]. 2nd Ed.. Beijing: China Agriculture Press, 2013:9-24. [王武, 王成辉, 马旭洲. 河蟹生态养殖[M]. 第 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2013: 9-24.]
- [6] Wang S, Wu X G, Tao N P, et al. Nutritional and flavor quality analysis of Liu Yuehuang (*Eriocheir sinensis*)[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(4): 219-227. [王帅, 吴旭干, 陶宁萍, 等. 中华绒螯蟹六月黄营养及风味品质研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(4): 219-227.]
- [7] He J, Wu X G, Li J Y, et al. Comparison of the culture performance and profitability of wild-caught and captive pond-reared Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) juveniles reared in grow-out ponds: implications for seed selection and genetic selection programs[J]. Aquaculture, 2014, 434: 48-56.
- [8] Zheng H B, Xia W S. The histology characteristics and meat

- tenderness comparison of muscle fiber of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2009, 33(1): 151-156. [郑海波, 夏文水. 中华绒螯蟹肌肉组织特性及其肉质嫩度的比较[J]. 水产学报, 2009, 33(1): 151-156.]
- [9] Long X W, Wu X G, Zhao L, et al. Effects of dietary supplementation with *Haematococcus pluvialis* cell powder on coloration, ovarian development and antioxidation capacity of adult female Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Aquaculture, 2017, 473: 545-553.
- [10] Wu X G, Cheng Y X, Sui L Y, et al. Effect of dietary supplementation of phospholipids and highly unsaturated fatty acids on reproductive performance and offspring quality of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards), female broodstock[J]. Aquaculture, 2007, 273(4): 602-613.
- [11] Sacks F M, Lichtenstein A H, Wu J H Y, et al. Dietary fats and cardiovascular disease: a presidential advisory from the American heart association[J]. Circulation, 2017, 136(3): e1-e23.
- [12] Krauss R M, Eckel R H, Howard B, et al. AHA Dietary Guidelines: Revision 2000: A statement for healthcare professionals from the Nutrition Committee of the American Heart Association[J]. Circulation, 2000, 102(18): 2284-2299.
- [13] Zhou J Y, Ye H. Determination of moisture in muscle by freeze-drying method and oven method and its effect on the determination of crude protein and crude fat[J]. China Poultry, 2017, 39(11): 51-53. [周加义, 叶慧. 冷冻干燥法和烘箱法测定肌肉中水分及对粗蛋白、粗脂肪测定的影响[J]. 中国家禽, 2017, 39(11): 51-53.]
- [14] Folch J, Lees M, Sloane Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues[J]. The Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [15] AOAC. Official methods of analysis of AOAC international, Volume II. Foods Composition Additives, Natural Contaminants[M]. 17th edition. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 2000.
- [16] Morrison W R, Smith L M. Preparation of fatty acid methyl esters and dimethylacetals from lipids with boron fluoride-methanol[J]. Journal of Lipid Research, 1964, 5(4): 600-608.
- [17] Ulbricht T L V, Southgate D A T. Coronary heart disease: seven dietary factors[J]. The Lancet, 1991, 338(8773): 985-992.
- [18] Zhou Y C, Jiang X D, Cheng Y X, et al. Comparative study on culture performance and gonad development of the third generation (G3) of wild-caught Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* from the Yangtze River, Huang River and the Liao River[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2021, 48(2): 61-68. [周永昌, 姜晓东, 成永旭, 等. 长江、黄河和辽河水系野生中华绒螯蟹子三代成蟹养殖性能和性腺发育的比较研究[J]. 水产科技情报, 2021, 48(2): 61-68.]
- [19] Zu L, Long X W, Xu J F, et al. Analysis of nutritional quality of wild adult mitten crab population, *Eriocheir sensu stricto*, from Minjiang River[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(5): 744-754. [祖露, 龙晓文, 徐建峰, 等. 闽江水系野生绒螯蟹的营养品质分析[J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(5): 744-754.]
- [20] Wu X G, Cheng Y X, Sui L Y, et al. Biochemical composition of pond-reared and lake-stocked Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards) broodstock[J]. Aquaculture Research, 2007, 38(14): 1459-1467.
- [21] Tume R K, Sikes A L, Tabrett S, et al. Effect of background colour on the distribution of astaxanthin in black tiger prawn (*Penaeus monodon*): Effective method for improvement of cooked colour[J]. Aquaculture, 2009, 296(1-2): 129-135.
- [22] Regunathan C, Wesley S G. Pigment deficiency correction in shrimp broodstock using Spirulina as a carotenoid source[J]. Aquaculture Nutrition, 2006, 12(6): 425-432.
- [23] Wade N M, Gabaudan J, Glencross B D. A review of carotenoid utilisation and function in crustacean aquaculture[J]. Reviews in Aquaculture, 2017, 9(2): 141-156.
- [24] Jiang X D, Zu L, Wang Z Y, et al. Micro-algal astaxanthin could improve the antioxidant capability, immunity and ammonia resistance of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2020, 102: 499-510.
- [25] Boonyaratpalin M, Thongrod S, Supamattaya K, et al. Effects of β -carotene source, *Dunaliella salina*, and astaxanthin on pigmentation, growth, survival and health of *Penaeus monodon*[J]. Aquaculture Research, 2001, 32: 182-190.
- [26] Yamada S, Tanaka Y, Sameshima M, et al. Pigmentation of prawn (*Penaeus japonicus*) with carotenoids: I. effect of dietary astaxanthin, β -carotene and canthaxanthin on pigmentation[J]. Aquaculture, 1990, 87(3-4): 323-330.
- [27] Dall W. Carotenoids versus retinoids (Vitamin A) as essential growth factors in penaeid prawns (*Penaeus semisulcatus*)[J]. Marine Biology, 1995, 124(2): 209-213.
- [28] Ma N, Long X W, Zhao L, et al. Effects of dietary supplementation of synthetic astaxanthin on ovarian development, coloration and antioxidant capacity of adult female Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(4): 755-765. [麻楠, 龙晓文, 赵磊, 等. 饲料中添加合成虾青素对中华绒螯蟹成体雌蟹性腺发育、色泽和抗氧化能力的影响[J]. 水生生物学报, 2017, 41(4): 755-765.]

- [29] Wade N M, Budd A, Irvin S, et al. The combined effects of diet, environment and genetics on pigmentation in the Giant Tiger Prawn, *Penaeus monodon*[J]. Aquaculture, 2015, 449: 78-86.
- [30] Zhu Q S, Bai R F. Comparison of biological characteristics between cultured and wild crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2007, 23(3): 218-223. [朱清顺, 柏如发. 池塘养殖的中华绒螯蟹与长江野生中华绒螯蟹生物学特性比较[J]. 江苏农业学报, 2007, 23(3): 218-223.]
- [31] Zhang T Q, Zhou G, Qin Q, et al. Comparison and analysis of mineral elements of Chinese mitten-handed crab from different proliferation and culturing waters[J]. Freshwater Fisheries, 2006, 36(2): 13-17. [张彤晴, 周刚, 秦钦, 等. 不同增殖养殖水体中华绒螯蟹肌体矿物元素比较分析[J]. 淡水渔业, 2006, 36(2): 13-17.]
- [32] Pan J, Wu R F, Wu X G, et al. Impacts of different feeding modes on the gonadal development, total edible yield, and nutritional composition of male Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Aquaculture and Fisheries, 2020, 5(6): 300-307.
- [33] Gu Z M, He L G. Histological and cytological observation on the ovary during the development cycle of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1997, 28(2): 138-145. [顾志敏, 何林岗. 中华绒螯蟹卵巢发育周期的组织学细胞学观察[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(2): 138-145.]
- [34] Monroig Ó, Tocher D R, Navarro J C. Biosynthesis of polyunsaturated fatty acids in marine invertebrates: recent advances in molecular mechanisms[J]. Marine Drugs, 2013, 11(10): 3998-4018.
- [35] Wu X G, Wang Z K, Cheng Y X, et al. Effects of dietary phospholipids and highly unsaturated fatty acids on the precocity, survival, growth and hepatic lipid composition of juvenile Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards)[J]. Aquaculture Research, 2011, 42(3): 457-468.
- [36] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fats and Oils in Human Nutrition: Report of a Joint Expert Consultation[M]. Rome: FAO, 1994: 73-81.

Comparative study of the nutritional quality of outseason crab at lunar June (*Eriocheir sinensis*) from major Chinese production areas

DING Haoxiang^{1,2,3}, TANG Meijun^{1,2,3}, JIANG Xiaodong^{1,2,3}, FANG Weiping⁴, CHENG Yongxu^{1,2,3}, WU Xugan^{1,2,3}

1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
3. Shanghai Collaborative Innovation Center for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
4. Bureau of Agriculture and Rural Affairs of Changxing County of Zhejiang Province, Changxing 313100, China

Abstract: Out-season crab at lunar June (*Eriocheir sinensis*) refers to a juvenile male crab that has not completed reproductive molting, which occurs in June as per the lunar calendar. In recent years, the breeding scale and supply of the outseason crab at lunar June from the main river crab production area in China have increased rapidly. However, the edible yield and nutritional composition of the outseason crab from different areas are unknown. In this study, the edible yield, color parameters, proximate composition, and fatty acid composition of the outseason crabs at lunar June from six major crab producing areas in China (Huzhou in Zhejiang Province, Yangcheng Lake in Jiangsu Province, Chongming in Shanghai, Changdang Lake in Jiangsu Province, Hongze Lake in Jiangsu Province, and Weishan Lake in Shandong Province) were compared. The meat yield, hepatopancreas index, and total edibility of the outseason crab at lunar June ranged from 10.17%–11.87%, 27.83%–29.23%, and 39.44%–40.37%, respectively, with no significant differences found among the groups ($P>0.05$). The L^* (brightness) and b^* (yellowness) values of the outseason crab at lunar June from Weishan Lake were significantly higher than those of crabs from other regions ($P<0.05$). Further, the outseason crab at lunar June from Yangcheng Lake had the highest a^* (redness) values; crab hepatopancreas from Huzhou had the lowest L^* and b^* values; and outseason crabs from Weishan Lake had the highest L^* , a^* , and b^* values. The hepatopancreas of the outseason crab at lunar June from Chongming had the highest moisture and ash. In addition, the crude protein and crude fat contents of the outseason crab at lunar June from Hongze Lake were significantly higher than those of the crabs from Huzhou ($P<0.05$). The moisture, crude fat, and ash contents of the muscles of the six groups were not found to differ ($P>0.05$) significantly. Moreover, only the crude protein contents of the outseason crab at lunar June from Hongze Lake and Weishan Lake were significantly higher than those of the crabs from Huzhou and Changdang Lake ($P<0.05$). The total polyunsaturated fatty acid ($\sum$ PUFA) content in the hepatopancreas of the outseason crab at lunar June from Hongze Lake was significantly higher than that of the crabs from Yangcheng Lake and Weishan Lake. Further, these crabs had the highest DHA, EPA, and total long-chain polyunsaturated fatty acid ($\sum$ LC-PUFA) content ($P<0.05$). The muscle of outseason crab at lunar June from Huzhou had the highest $\sum$ PUFA content, while the muscle of the outseason crab at lunar June from Hongze Lake had the highest DHA content. The n-3/n-6 ratio of the crab from Hongze Lake was also significantly higher than that of the crab from Huzhou ($P<0.05$). In summary, the edible yield and proximate composition of the outseason crab at lunar June from the six major production areas were similar; however, large differences in color and fatty acid composition were found among these crabs. The a^* and b^* values of the outseason crab at lunar June from Yangcheng Lake and Weishan Lake were relatively high. Further, the edible tissues of the outseason crab at lunar June from Yangcheng Lake, Changdang Lake, and Hongze Lake had high DHA content, which may be related to their breeding environment and feeding bait.

Key words: *Eriocheir sinensis*; out-season crab at lunar June; production areas; edible yield; nutritional quality; sub-adult crabs

Corresponding author: WU Xugan. E-mail: xgwu@shou.edu.cn