

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2020.20088

秋季不同时期上市中华绒螯蟹可食率和品质比较

王世会^{1,2}, 成永旭^{2,3}, 石连玉¹, 赵金山⁴, 叶露青⁴

1. 中国水产科学研究院黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070;
2. 上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306;
3. 上海海洋大学, 农业农村部淡水水产种质资源重点实验室, 上海 201306;
4. 东营市惠泽农业科技有限公司, 山东 东营 257503

摘要: 为全面了解中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)可食率和品质差异, 对秋季不同时期上市的中华绒螯蟹可食率和品质进行了比较。在种植了伊乐藻(*Elodea nuttallii*)的池塘中, 按照生态健康养殖的方法, 养殖中华绒螯蟹扣蟹至成蟹。采用解剖和生化组成分析等方法探究秋季不同时期中华绒螯蟹的可食率、常规营养成分、脂肪酸和游离氨基酸组成及其含量。结果表明: (1) 不论是雌体还是雄体, 9月和10月肝胰腺指数(HSI)和性腺指数(GSI)均存在显著性差异($P<0.05$), 出肉率(MY)、总可食率(TEY)和肥满度(CF)则无显著性差异($P>0.05$)。仅 HSI 指标 9 月高于 10 月, 其余指标均是 10 月较高。(2) 9 月和 10 月常规营养成分无显著差异项($P>0.05$)较多, 但雌体肝胰腺中水分、总脂, 性腺中总脂, 肌肉中水分和粗蛋白含量存在显著性差异($P<0.05$); 雄体性腺中粗蛋白、总脂、灰分, 肌肉中总脂含量存在显著性差异($P<0.05$)。(3) 9 月和 10 月成蟹肝胰腺中仅 1 种脂肪酸含量差异显著($P<0.05$), 占比为 1/52, 其余脂肪酸含量均无显著差异($P>0.05$); 性腺中仅 2 种脂肪酸显著差异($P<0.05$), 占比为 2/52, 其余均无显著性差异($P>0.05$); 肌肉中 11 种脂肪酸显著差异($P<0.05$), 占比为 11/52, 其余均无显著性差异($P>0.05$)。(4) 9 月和 10 月成蟹性腺中 1 种游离氨基酸显著差异($P<0.05$), 占比为 1/52, 其余均无显著性差异($P>0.05$); 肌肉中仅雄体牛磺酸(Tau)、丙氨酸(Ala)和亮氨酸(Leu)差异显著($P<0.05$), 占比为 3/52, 其余均无显著性差异($P>0.05$)。综上所述, 中华绒螯蟹 10 月 GSI、MY、TEY 和 CF 高于 9 月, 常规营养成分存在一定差异, 性腺中脂肪酸和游离氨基酸含量差异较小, 而肌肉中脂肪酸含量差异较大。整体上 10 月中华绒螯蟹可食率和品质要优于 9 月。

关键词: 中华绒螯蟹; 可食率; 品质; 脂肪酸; 游离氨基酸; 营养成分; 秋季

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2020)10-1196-14

中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)是东亚地区具有重要经济价值的特有蟹类^[1], 俗称河蟹或大闸蟹。广泛分布于中国沿海及通海的河流湖泊中, 主要有辽河、黄河、长江、瓯江和闽江种群^[2-3]。河蟹现已成为中国重要的水产养殖种类之一, 2015 年河蟹产量达到近期峰值, 为 82.33 万 t^[4]。随着长江流域还湖恢复生态等政策的实施, 河蟹产量有所下降, 近些年稳定在 75 万 t 左右, 产值超 500

亿元(人民币)^[5]。随着人民生活水平提高及蟹文化的普及^[6], 吃蟹现已不再是江浙一带民众的特有偏好, 而是逐渐成为全国人民普遍的一种生活方式^[7]。在中国民间, 有“九月团脐十月尖”、“秋风起, 蟹脚痒”等说法, 都是在说吃蟹的最佳时间^[8]。河蟹消费主要集中在秋季, 尤其是中秋节和国庆节期间, 价格较高。国庆节过后, 价格随即下降较多。

收稿日期: 2020-03-30; 修订日期: 2020-04-11.

基金项目: 农业农村部现代农业产业技术体系专项(CARS-48); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(HSY202008Q); 黄河三角洲产业领军人才项目; 农业农村部渔业渔政管理局项目(171921301092371010).

作者简介: 王世会(1986-), 男, 博士, 助理研究员, 从事河蟹育种与生态健康养殖. E-mail: firstwsh@163.com

通信作者: 成永旭, 教授, 从事水产动物营养饲料及生态健康养殖. E-mail: yxcheng@shou.edu.cn

目前有关河蟹可食率和品质的研究文献较多。对河蟹可食率的研究主要包括不同地理纬度^[7, 9]、不同水系^[10-11]、野生种与养殖种^[12-13]、早熟与晚熟品系^[14]的影响等几个方面。随着人们对品质需求逐步提高, 进入 21 世纪后, 河蟹品质研究报道增多。河蟹品质包括营养品质和风味品质等方面^[15]。营养品质主要包括水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪、碳水化合物和矿物质元素等。可食组织中必需氨基酸和不饱和脂肪酸的含量、比例是评价河蟹营养品质的重要指标^[10, 16-21]。风味品质包括挥发性风味(气味)和非挥发性风味(滋味)^[22]。气味主要来自于醛、酮等化合物, 滋味主要受游离氨基酸^[23-26]、5'-核苷酸^[27]、脂肪酸^[26, 28-29]等化合物影响。

山东省东营市地处黄河入海口形成的三角洲区域, 土壤为沙质土, 河水盐度约为 2, 这些自然条件为产出高品质河蟹奠定了坚实的基础。近几年东营市河蟹产业发展迅速, 养殖面积和产量逐步提高, 为当地产业转型升级提供了很好的借鉴作用。前期已经研究了东营池塘养殖中华绒螯蟹生长性能、性腺发育和常规营养成分^[7], 但秋季不同时期上市河蟹可食率和品质却并未涉及。因此本研究探究了东营秋季河蟹大量上市的时期, 即中秋节和国庆节前后(9 月和 10 月)的河蟹可食率、常规营养成分、脂肪酸和游离氨基酸含量, 以期为全面评价东营河蟹品质奠定基础, 同时也为引导河蟹理性消费提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验用蟹及样品采集

实验用蟹来自于山东省东营市惠泽农业科技有限公司养殖池塘, 扣蟹蟹种购自上海市崇明岛, 为长江水系中华绒螯蟹。雌体平均体重为(8.02±0.53) g, 雄体平均体重为(7.78±0.38) g。选择养殖条件相似的 3 个成蟹养殖实验塘进行实验, 每个实验塘面积约 5.33 hm²。池塘四周设置高为 30 cm 的防逃网, 防逃网底端埋入土下 30 cm。2019 年 3 月初使用含氯石灰对实验池塘进行整体消毒, 两周后种植伊乐藻(*Elodea nuttallii*), 搭配狐尾藻(*Myriophyllum verticillatum* L.)和罗氏轮叶黑藻(*Hydrilla verticillata*)。3 月末, 扣蟹经 2%高锰酸钾溶液浸泡消毒 30 min 后放养, 扣蟹放养密度为 1.8 万只/hm²。养殖期间, 根据伊乐藻的长势合理控制水位, 高温期间应保持在 1.2~1.5 m, 同时除去池塘中多余的伊乐藻, 防止夜间或阴雨天养殖池塘缺氧。当温度升高到 12 °C 以上时, 每天下午 5:00 投喂商业性河蟹配合饲料, 全池投喂。养殖期间定期检测池塘水质, 保证 pH 在 7.0~8.5, 氨氮<0.4 mg/L, 亚硝酸盐<0.05 mg/L。根据池塘水质适当换水或增施微生物制剂, 维持良好水质, 使河蟹正常生长和发育。

2019 年 9 月 25 日和 10 月 25 日分别对 3 个养殖池塘中河蟹随机采样, 每个池塘采集体重较为接近的雌、雄个体各 3 只, 共采集雌蟹和雄蟹各 9 只。用干毛巾擦干蟹体表水分后, 用电子天平(精确度=0.01 g)精确称量雌、雄蟹的体重。用游标卡尺(精确度=0.01 mm)测量成蟹的头胸甲长和头胸甲宽(表 1)。

表 1 秋季不同时期上市的成年东营中华绒螯蟹体重和形态学参数

Tab. 1 The body weight and morphological parameters of adult *Eriocheir sinensis* from Dongying in different periods of autumn $n=9; \bar{x} \pm SE$

项目 item	雌体 female		雄体 male	
	9 月 25 日 Sep. 25	10 月 25 日 Oct. 25	9 月 25 日 Sep. 25	10 月 25 日 Oct. 25
体重/g body weight	101.66±2.48	106.95±1.12	149.18±5.01	156.88±2.07
头胸甲长/mm carapace length	56.54±0.79	56.71±0.51	60.77±0.77	61.29±0.39
头胸甲宽/mm carapace width	61.27±0.78	62.58±0.31	67.36±0.76	68.49±0.51

1.2 总可食率测定和肥满度

活体解剖, 取出全部肝胰腺和性腺并精确称重, 用于计算肝胰腺指数(hepatosomatic index,

HSI, %)和性腺指数(gonadosomatic index, GSI, %)。用剪刀和镊子精确刮取 9 月和 10 月成蟹肌肉, 用于计算出肉率(meat yield, MY, %)。总可食

率(total edible yield, TEY, %)为 HSI、GSI 和 MY 三者之和^[9]。根据体重与头胸甲长数据, 计算肥满度(condition factor, CF, g/cm³)。

$$\text{HSI} (\%) = 100 \times W_H / W$$

$$\text{GSI} (\%) = 100 \times W_G / W$$

$$\text{MY} (\%) = 100 \times W_M / W$$

$$\text{TEY} (\%) = \text{GSI} + \text{HSI} + \text{MY}$$

$$\text{CF} (\text{g}/\text{cm}^3) = W/L^3$$

式中, W_H 为肝胰腺重(g), W_G 为性腺重(g), W_M 为肌肉重(g), W 为体重(g), L 为头胸甲长(cm)。

1.3 常规营养成分测定

采用真空冷冻干燥法^[10]测定成蟹可食组织(肝胰腺、性腺和肌肉)的水分含量(-50 °C 真空冷冻至恒重); 采用 AOAC^[30]方法测定成蟹样品中的粗蛋白(凯氏定氮法)和灰分(550 °C 灼烧至恒重); 参考 Folch 等^[31]的方法($V_{\text{氯仿}} : V_{\text{甲醇}} = 2 : 1$)提取成蟹样品中总脂并测定其含量。

1.4 脂肪酸组成测定

根据 Wu 等^[32]的方法分析成蟹可食组织的脂肪酸组成和百分比含量。取约 0.07 g 脂肪溶液真空干燥, 随后添加 14% 三氟化硼-甲醇($\text{BF}_3\text{-CH}_3\text{OH}$)溶液 2 mL, 充满氮气保护后, 95 °C 水浴 30 min。取出样品后加入 2 mL 苯(C_6H_6)和 2 mL 甲醇(CH_3OH), 充满氮气保护后, 再次 95 °C 水浴 30 min。向甲酯化产物中加入 1 mL 正己烷, 加 ddH_2O 定容至 9 mL, 充分震荡后, 4000 r/min 离心 5 min。取上清, 加入 0.5 mL 正己烷, 加 ddH_2O 定容至 8 mL, 充分震荡后, 4000 r/min 离心 5 min。取上清真空干燥。干燥后样品中加入 1 mL 正己烷溶解脂肪酸甲酯, 溶

解后过 0.22 μm 滤膜后待测。所用仪器为 Agilent 7890B-5977A 气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)。

1.5 游离氨基酸组成测定

根据 Tsai 等^[33]的方法分析成蟹可食组织的游离氨基酸组成。称量冷冻干燥后可食组织粉末样品约 0.1 g, 加入 15 mL 质量分数为 5% 的三氯乙酸(TCA)溶液, 匀浆后超声 5 min, 静置 2 h。4 °C、15000 r/min 冷冻离心 10 min。取上清液 5 mL, 用 3 mol/L 的氢氧化钠(NaOH)溶液调节 pH 至 2.0, ddH_2O 定容至 10 mL, 混匀后过 0.22 μm 滤膜后待测。所用仪器为 Hitachi L-8800 氨基酸自动分析仪。

1.6 数据分析

应用 SPSS 22.0 软件处理实验数据并统计分析, 所有数据均采用平均值 \pm 标准误($\bar{x} \pm \text{SE}$)表示。采用 Levene 法进行方差齐性检验, 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。采用独立 T 检验(independent samples T -test)检查各项指标间的差异性, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 总可食率和肥满度比较

秋季不同时期上市成蟹 HSI、GSI、MY、TEY 和 CF 如表 2 所示。9 月 HSI 显著高于 10 月($P < 0.05$), 雌体 HSI 降幅为 25.68%, 雄体 HSI 降幅为 16.78%。10 月 GSI 显著高于 9 月($P < 0.05$), 雌体 GSI 增幅较大, 达到了 97.60%; 雄体增幅较小, 为 48.19%。9 月成蟹的 MY、TEY 和 CF 均略低于 10 月, 但无显著性差异($P > 0.05$)。

表 2 秋季不同时期上市成年东营中华绒螯蟹可食组织比例和肥满度比较

Tab. 2 Edible tissue ratio and relative fatness of adult *Eriocheir sinensis* from Dongying in different periods of autumn

$n=9; \bar{x} \pm \text{SE}$

项目 item	雌体 female		雄体 male	
	9月25日 Sep. 25	10月25日 Oct. 25	9月25日 Sep. 25	10月25日 Oct. 25
肝胰腺指数/% HSI	12.42 \pm 0.36*	9.23 \pm 0.17	10.37 \pm 0.45*	8.63 \pm 0.32
性腺指数/% GSI	4.59 \pm 0.41	9.07 \pm 0.28*	1.66 \pm 0.07	2.46 \pm 0.13*
出肉率/% MY	29.87 \pm 0.18	30.06 \pm 0.36	32.36 \pm 0.93	33.32 \pm 0.25
总可食率/% TEY	46.88 \pm 0.44	48.36 \pm 0.43	44.39 \pm 0.71	44.41 \pm 0.12
肥满度/ g/cm^3 CF	0.56 \pm 0.01	0.59 \pm 0.01	0.66 \pm 0.01	0.68 \pm 0.01

注: *表示同一性别不同时期差异显著($P < 0.05$)。

Note: * denotes significant difference between different periods for the same sex ($P < 0.05$). HSI denotes hepatosomatic index; GSI denotes gonadosomatic index; MY denotes meat yield; TEY denotes total edible yield; CF denotes condition factor.

2.2 常规营养成分比较

秋季不同时期上市成蟹可食组织常规营养成分如表 3 所示。就肝胰腺而言, 雌体 9 月水分含量显著低于 10 月($P<0.05$), 总脂含量显著高于 10 月($P<0.05$), 其余常规营养成分无显著性差异($P>0.05$); 雄体各营养成分在 9 月和 10 月无显著差异($P>0.05$)。就性腺而言, 雌体 9 月总脂含量显著低于 10 月

($P<0.05$), 雄体 9 月与 10 月粗蛋白、总脂和灰分含量存在显著性差异($P<0.05$), 其余常规营养成分无显著性差异($P>0.05$)。就肌肉而言, 雌体 9 月水分含量显著低于 10 月($P<0.05$), 粗蛋白含量 9 月显著高于 10 月($P<0.05$), 雄体总脂含量 9 月显著低于 10 月($P<0.05$), 其余常规营养成分 9 月和 10 月无显著性差异($P>0.05$)。

表 3 秋季不同时期上市成年东营中华绒螯蟹可食组织常规营养成分比较

Tab. 3 The proximate composition of adult *Eriocheir sinensis* from Dongying in different periods of autumn

$n=9; \bar{x} \pm SE; \% (\text{湿重 wet weight})$

项目 item	雌体 female		雄体 male	
	9 月 25 日 Sep. 25	10 月 25 日 Oct. 25	9 月 25 日 Sep. 25	10 月 25 日 Oct. 25
肝胰腺 hepatopancreas				
水分 moisture	36.44±0.99	39.71±0.84*	40.85±1.51	42.49±1.65
粗蛋白 protein	6.88±0.73	6.36±0.21	5.50±0.01	6.48±0.76
总脂 lipid	51.69±0.37*	48.93±0.26	49.01±0.29	45.99±0.87
灰分 ash	0.68±0.03	0.82±0.06	0.73±0.03	0.86±0.08
性腺 gonad				
水分 moisture	51.61±0.66	50.11±0.61	73.90±0.15	72.62±0.59
粗蛋白 protein	30.90±0.10	31.02±0.18	17.00±0.15	17.83±0.13*
总脂 lipid	15.69±0.25	17.23±0.03*	1.30±0.04*	0.96±0.07
灰分 ash	2.00±0.26	1.95±0.15	1.70±0.03	1.94±0.03*
肌肉 muscle				
水分 moisture	76.22±0.22	78.41±0.44*	77.42±0.67	78.16±0.32
粗蛋白 protein	19.14±0.16*	17.57±0.23	17.60±0.54	17.90±0.40
总脂 lipid	1.18±0.03	1.23±0.05	1.03±0.01	1.12±0.02*
灰分 ash	1.40±0.06	1.44±0.08	1.34±0.01	1.41±0.05

注: *表示同一性别不同时期差异显著($P<0.05$)。

Note: * denotes significant difference between different periods for the same sex ($P<0.05$).

2.3 脂肪酸组成比较

秋季不同时期成蟹肝胰腺中主要脂肪酸组成如表 4 所示。仅雄体 9 月 $C_{18:0}$ 显著高于 10 月($P<0.05$), 但数值差异较小, 其余脂肪酸百分比含量和比值均无显著差异($P>0.05$)。整体来看, 不论是雌体还是雄体, 总饱和脂肪酸(ΣSFA)含量占比约为 20%, 主要成分由高到低依次为 $C_{16:0}$ 、 $C_{14:0}$ 、 $C_{18:0}$, 三者之和约占总 ΣSFA 的 95%。总单不饱和脂肪酸($\Sigma MUFA$)含量占比约为 35%, 主要成分由高到低依次为 $C_{18:1n9}$ 、 $C_{16:1n7}$ 、 $C_{20:1n9}$ 、 $C_{18:1n7}$ 。总多不饱和脂肪酸($\Sigma PUFA$)含量占比超 25%, 主要成分由高到低依次为 $C_{22:6n3}$ (DHA)、 $C_{20:5n3}$ (EPA)、 $C_{18:2n6}$ (LA)、 $C_{18:3n3}$ (LNA)、 $C_{20:4n6}$ (ARA)。就雌体而言, 9 月总 n-3 多不饱和脂肪酸

($\Sigma n-3$ PUFA)、总高度不饱和脂肪酸($\Sigma HUFA$)含量和 n-3/n-6 PUFA 比值略高于 10 月, 总 n-6 多不饱和脂肪酸($\Sigma n-6$ PUFA)含量和 DHA/EPA 比值略低于 10 月。就雄体而言, 9 月 $\Sigma n-3$ PUFA、 $\Sigma n-6$ PUFA 和 $\Sigma HUFA$ 含量略高于 10 月, 而 n-3/n-6 PUFA 和 DHA/EPA 比值略低于 10 月。

秋季不同时期成蟹性腺中主要脂肪酸组成如表 5 所示。仅雌体 9 月 $C_{18:1n9}$ 显著低于 10 月($P<0.05$), 雄体 9 月 ΣSFA 含量显著高于 10 月($P<0.05$), 其余脂肪酸百分比含量和比值均无显著性差异($P>0.05$)。整体来看, 不论是雌体还是雄体, ΣSFA 含量占比约为 19%, 主要成分为 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ 。雌体 $\Sigma MUFA$ 含量占比约为 35%, MUFA 含量由高到低依次为 $C_{18:1n9}$ 、 $C_{16:1n7}$ 、 $C_{18:1n7}$ 、 $C_{20:1n9}$;

雄体 Σ MUFA 含量占比约为 25%, MUFA 含量由高到低依次为 $C_{18:1n9}$ 、 $C_{18:1n7}$ 、 $C_{16:1n7}$ 、 $C_{20:1n9}$ 。雌体 Σ PUFA 含量占比约为 35%, 主要成分由高到低依次为 DHA、EPA、LA、ARA、LNA; 雄体 Σ PUFA 含量占比超 40%, 主要成分由高到低依次为 EPA、DHA、ARA、LA、 $C_{20:2n6}$ 。雌体 9 月 Σ n-3 PUFA、 Σ HUFA、n-3/n-6 PUFA 和 DHA/EPA 略高于 10 月, Σ n-6 PUFA 略低于 10 月。雄体 9 月 n-3/n-6 PUFA 和 DHA/EPA 略高于 10 月, Σ n-3 PUFA、 Σ n-6 PUFA 和 Σ HUFA 略低于 10 月。

秋季不同时期成蟹肌肉中主要脂肪酸组成如表 6 所示。雌体 $C_{16:1n7}$ 、EPA、 $C_{22:5n3}$ 、 Σ n-3 PUFA 和 Σ HUFA, 雄体 $C_{16:0}$ 、 $C_{18:0}$ 、 Σ SFA、 $C_{20:2n6}$ 、

EPA 和 DHA/EPA 存在显著性差异($P<0.05$), 其余脂肪酸百分比含量和比值均无显著性差异($P>0.05$)。整体来看, 不论是雌体还是雄体, Σ SFA 含量占比约为 20%, 主要成分为 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ 。 Σ MUFA 含量占比约为 25%, MUFA 含量最高的是 $C_{18:1n9}$, 含量最低的为 $C_{20:1n9}$, 而 $C_{16:1n7}$ 和 $C_{18:1n7}$ 含量较接近。 Σ PUFA 含量占比超 40%, 主要成分由高到低依次为 DHA、EPA、LA、ARA。就雌体而言, 9 月 Σ n-3 PUFA 和 Σ HUFA 显著低于 10 月($P<0.05$), Σ n-6 PUFA 和 n-3/n-6 PUFA 略低于 10 月, DHA/EPA 略高于 10 月。就雄体而言, 9 月 DHA/EPA 显著高于 10 月($P<0.05$), n-3/n-6 PUFA 略高于 10 月, Σ n-3 PUFA、 Σ n-6 PUFA 和 Σ HUFA 略低于 10 月。

表 4 秋季不同时期上市成年东营中华绒螯蟹肝胰腺中主要脂肪酸组成比较

Tab. 4 The hepatopancreas fatty acid composition of adult *Eriocheir sinensis* from Dongying in different periods of autumn $n=9$; $\bar{x} \pm SE$; %

脂肪酸 fatty acid	雌体 female		雄体 male	
	9月25日 Sep. 25	10月25日 Oct. 25	9月25日 Sep. 25	10月25日 Oct. 25
$C_{14:0}$	2.98±0.20	2.74±0.05	2.93±0.23	2.90±0.11
$C_{15:0}$	0.60±0.00	0.60±0.01	0.57±0.01	0.64±0.06
$C_{16:0}$	16.45±0.61	16.55±0.05	16.97±0.34	16.03±0.08
$C_{18:0}$	2.30±0.08	2.34±0.09	2.35±0.02*	2.01±0.01
$C_{20:0}$	0.21±0.00	0.25±0.01	0.27±0.02	0.23±0.00
$C_{22:0}$	0.12±0.00	0.13±0.00	0.12±0.02	0.12±0.01
Σ SFA	22.66±0.50	22.62±0.01	23.22±0.04	21.94±0.23
$C_{16:1n7}$	10.09±0.76	9.39±0.44	10.54±0.76	9.70±0.55
$C_{18:1n9}$	18.49±0.77	19.79±0.16	18.63±1.39	18.86±0.10
$C_{18:1n7}$	3.19±0.24	3.46±0.01	3.04±0.11	2.90±0.10
$C_{20:1n9}$	3.46±0.41	3.93±0.26	3.40±0.01	4.58±0.31
Σ MUFA	35.23±1.37	36.57±0.86	35.61±2.26	36.04±0.04
$C_{18:2n6}$ (LA)	6.95±0.44	8.01±0.16	9.70±0.03	9.22±0.86
$C_{18:3n3}$ (LNA)	1.15±0.10	1.11±0.14	1.54±0.24	1.25±0.08
$C_{20:2n6}$	0.49±0.04	0.59±0.03	0.41±0.02	0.52±0.06
$C_{20:4n6}$ (ARA)	0.99±0.09	1.04±0.11	0.98±0.08	1.11±0.07
$C_{20:3n3}$	0.17±0.00	0.24±0.01	0.20±0.00	0.21±0.02
$C_{20:5n3}$ (EPA)	4.82±0.63	3.56±0.09	4.52±0.32	3.87±0.07
$C_{22:5n3}$	0.58±0.03	0.62±0.02	0.57±0.05	0.68±0.05
$C_{22:6n3}$ (DHA)	12.41±0.75	10.80±0.92	11.36±0.88	12.02±0.60
Σ PUFA	27.56±1.13	25.96±0.59	29.28±1.51	28.88±0.20
Σ n-3 PUFA	19.13±1.52	16.32±0.89	18.18±1.48	18.03±0.52
Σ n-6 PUFA	8.43±0.39	9.63±0.30	11.09±0.03	10.85±0.73
n-3/n-6 PUFA	2.28±0.28	1.70±0.15	1.64±0.13	1.67±0.16
Σ HUFA	20.12±1.61	17.36±0.78	19.17±1.56	19.14±0.60
DHA/EPA	2.60±0.18	3.03±0.19	2.51±0.01	3.11±0.21

注: *表示同一性别不同时期差异显著($P<0.05$)。

Note: * denotes significant difference between different periods for the same sex($P<0.05$).

表 5 秋季不同时期上市成年东营中华绒螯蟹性腺中主要脂肪酸组成比较

Tab. 5 The gonad fatty acid composition of adult *Eriocheir sinensis* from Dongying in different periods of autumnn=9; $\bar{x} \pm SE$; %

脂肪酸 fatty acid	雌体 female		雄体 male	
	9月25日 Sep. 25	10月25日 Oct. 25	9月25日 Sep. 25	10月25日 Oct. 25
C _{14:0}	1.43±0.24	1.48±0.08	0.81±0.01	0.63±0.07
C _{15:0}	0.43±0.04	0.41±0.03	0.20±0.00	0.18±0.02
C _{16:0}	12.59±0.23	13.03±0.07	9.52±0.17	8.65±0.23
C _{18:0}	3.69±0.11	3.51±0.22	6.91±0.00	6.35±0.11
C _{20:0}	0.20±0.00	0.20±0.05	0.61±0.00	0.64±0.06
C _{22:0}	1.23±0.06	0.95±0.08	0.94±0.07	1.15±0.05
Σ SFA	19.56±0.46	19.58±0.00	18.99±0.23*	17.61±0.11
C _{16:1n7}	9.51±0.44	9.50±0.23	3.39±0.28	2.81±0.33
C _{18:1n9}	18.84±0.09	19.59±0.10*	15.59±0.27	14.54±0.71
C _{18:1n7}	4.59±0.19	4.67±0.20	4.52±0.33	4.85±0.32
C _{20:1n9}	2.43±0.02	2.19±0.10	2.54±0.21	2.74±0.22
Σ MUFA	35.38±0.56	35.95±0.63	26.05±0.66	24.94±1.28
C _{18:2n6} (LA)	6.48±0.44	6.76±0.49	5.45±0.02	5.01±0.39
C _{18:3n3} (LNA)	1.13±0.06	1.29±0.13	0.83±0.08	0.68±0.02
C _{20:2n6}	0.42±0.02	0.46±0.03	1.36±0.04	1.57±0.09
C _{20:4n6} (ARA)	1.70±0.06	1.96±0.16	7.59±0.42	8.97±0.08
C _{20:3n3}	0.18±0.01	0.19±0.02	0.30±0.01	0.26±0.04
C _{20:5n3} (EPA)	8.67±0.28	8.39±0.20	15.20±0.34	16.12±0.09
C _{22:5n3}	0.50±0.03	0.52±0.01	0.32±0.00	0.36±0.02
C _{22:6n3} (DHA)	15.17±0.77	13.55±0.64	11.18±0.39	11.14±0.49
Σ PUFA	34.27±0.92	33.12±0.02	42.22±1.14	44.10±0.25
Σ n-3 PUFA	25.66±0.41	23.95±0.70	27.82±0.65	28.56±0.66
Σ n-6 PUFA	8.61±0.52	9.18±0.68	14.40±0.49	15.54±0.40
n-3/n-6 PUFA	2.99±0.13	2.63±0.27	1.93±0.02	1.84±0.09
Σ HUFA	27.36±0.47	25.91±0.54	35.41±1.08	37.52±0.74
DHA/EPA	1.75±0.15	1.61±0.04	0.74±0.01	0.69±0.03

注: *表示同一性别不同时期差异显著(P<0.05).

Note: * denotes significant difference between different periods for the same sex(P<0.05).

表 6 秋季不同时期上市成年东营中华绒螯蟹肌肉中主要脂肪酸组成比较

Tab. 6 The muscle fatty acid composition of adult *Eriocheir sinensis* from Dongying in different periods of autumnn=9; $\bar{x} \pm SE$; %

脂肪酸 fatty acid	雌体 female		雄体 male	
	9月25日 Sep.t. 25	10月25日 Oct. 25	9月25日 Sep.t. 25	10月25日 Oct. 25
C _{14:0}	0.71±0.03	0.61±0.04	0.69±0.04	0.64±0.02
C _{15:0}	0.25±0.01	0.24±0.01	0.24±0.02	0.21±0.00
C _{16:0}	11.60±0.13	11.97±0.14	12.45±0.24*	11.43±0.07
C _{18:0}	6.81±0.05	6.47±0.29	6.75±0.00*	6.10±0.01
C _{20:0}	0.52±0.03	0.51±0.08	0.57±0.03	0.47±0.02
C _{22:0}	0.43±0.02	0.49±0.06	0.42±0.01	0.40±0.04
Σ SFA	20.33±0.21	20.28±0.61	21.12±0.24*	19.26±0.15
C _{16:1n7}	4.20±0.03*	3.60±0.08	3.64±0.30	3.41±0.06
C _{18:1n9}	16.58±0.33	17.15±0.05	15.64±0.40	15.39±0.07
C _{18:1n7}	3.84±0.07	3.76±0.09	3.57±0.06	3.75±0.05
C _{20:1n9}	2.02±0.24	2.22±0.08	1.85±0.17	2.10±0.07
Σ MUFA	26.65±0.57	26.74±0.12	24.70±0.57	24.65±0.01

(待续 to be continued)

(续表 6 Tab. 6 continued)

C _{18:2n6} (LA)	6.11±0.36	5.74±0.14	6.09±0.11	6.45±0.20
C _{18:3n3} (LNA)	0.78±0.02	0.82±0.11	0.84±0.03	0.76±0.01
C _{20:2n6}	0.74±0.03	0.78±0.07	0.63±0.01	0.71±0.01*
C _{20:4n6} (ARA)	2.61±0.04	3.10±0.38	2.74±0.13	3.02±0.12
C _{20:3n3}	0.20±0.01	0.23±0.04	0.20±0.01	0.22±0.00
C _{20:5n3} (EPA)	14.00±0.17	15.20±0.40*	14.25±0.14*	15.38±0.18
C _{22:5n3}	0.35±0.01	0.40±0.01*	0.30±0.00	0.34±0.03
C _{22:6n3} (DHA)	17.36±0.46	18.42±0.45	16.96±0.34	16.40±0.15
Σ PUFA	42.13±0.92	44.67±0.71	42.01±0.33	43.27±0.68
Σ n-3 PUFA	32.68±0.53	35.05±0.12*	32.55±0.46	33.09±0.35
Σ n-6 PUFA	9.45±0.42	9.62±0.59	9.46±0.16	10.18±0.33
n-3/n-6 PUFA	3.47±0.11	3.66±0.21	3.44±0.10	3.25±0.07
Σ HUFA	35.29±0.57	38.15±0.51*	35.29±0.43	36.11±0.47
DHA/EPA	1.24±0.03	1.21±0.06	1.19±0.02*	1.07±0.00

注: *表示同一性别不同时期差异显著($P<0.05$).Note: * denotes significant difference between different periods for the same sex($P<0.05$).

2.4 游离氨基酸组成比较

秋季不同时期成蟹性腺中游离氨基酸组成及其含量如表 7 所示。就雌体而言, 除半胱氨酸未

检测到外, 10 月游离氨基酸含量均略高于 9 月, 但无显著性差异($P>0.05$)。9 月和 10 月总游离氨基酸含量分别为 850.34 mg/100 g 和 936.59 mg/100 g,

表 7 秋季不同时期东营成年中华绒螯蟹性腺中游离氨基酸组成及其含量比较

Tab. 7 The free amino acid composition of adult *Eriocheir sinensis* gonad from Dongying in different periods of autumn $n=9$; $\bar{x} \pm SE$; mg/100 g (湿重 wet weight)

游离氨基酸 free amino acid	雌体 female		雄体 male	
	9月25日 Sep. 25	10月25日 Oct. 25	9月25日 Sep. 25	10月25日 Oct. 25
牛磺酸 Tau	195.07±1.60	219.27±9.00	90.22±9.73	105.35±4.18
天冬氨酸 Asp	5.97±0.14	7.42±0.86	4.07±0.42	4.24±0.43
天冬酰胺 Asn	2.85±0.33	3.21±0.17	2.48±0.53	2.13±0.11
苏氨酸 Thr [▲]	6.13±0.30	7.21±0.69	2.49±0.33	2.91±0.23
丝氨酸 Ser	6.08±0.74	7.03±0.48	3.07±0.30	3.68±0.26
谷氨酸 Glu	64.03±3.59	65.42±1.61	21.60±1.19	26.35±2.91
谷氨酰胺 Gln	34.45±0.85	36.80±1.48	14.71±0.96	17.91±1.24
色氨酸 Trp [▲]	13.44±0.73	15.84±0.48	0.00±0.00	0.26±0.03*
甘氨酸 Gly	39.55±0.71	41.30±3.67	27.03±1.33	32.79±2.35
丙氨酸 Ala	70.12±4.89	78.93±4.82	57.70±5.83	73.25±3.30
半胱氨酸 Cys	0.00±0.00	0.00±0.00	0.12±0.01	0.30±0.01*
缬氨酸 Val [▲]	6.29±0.37	8.03±0.53	4.16±0.60	5.60±0.19
甲硫氨酸 Met [▲]	5.76±0.78	6.59±0.74	4.27±0.47	5.95±0.92
异亮氨酸 Ile [▲]	4.03±0.45	4.39±0.35	3.24±0.30	4.17±0.17
亮氨酸 Leu [▲]	5.58±0.58	5.74±0.43	4.59±0.65	4.56±0.27
酪氨酸 Tyr	7.70±0.43	9.35±0.14	5.77±0.91	7.94±0.03
苯丙氨酸 Phe [▲]	7.28±0.55	7.87±1.09	4.14±0.56	4.95±0.66
赖氨酸 Lys [▲]	36.00±0.64	37.93±3.27	6.60±0.49	8.01±0.12
组氨酸 His	14.70±3.90	17.88±4.05	3.35±0.47	3.76±0.31
精氨酸 Arg	179.99±9.06	201.62±2.00	33.82±3.09	40.18±1.30
脯氨酸 Pro	145.31±17.60	154.77±12.53	75.88±5.59	90.85±5.49
总氨基酸 TAA	850.34	936.59	369.30	445.14
必需氨基酸百分比 PNTAA	9.94	9.99	7.98	8.18

注: ▲为必需氨基酸; *表示同一性别不同时期差异显著($P<0.05$).Note: ▲ denotes essential amino acid; * denotes significant difference between different periods for the same sex ($P<0.05$).

必需氨基酸所占百分比分别为 9.94%和 9.99%。就雄体而言, 仅色氨酸含量存在显著差异($P<0.05$), 其余各游离氨基酸含量无显著差异($P>0.05$)。不论是总游离氨基酸含量还是必需氨基酸比例, 10 月成蟹均高于 9 月。就雌雄性别差异而言, 雌体牛磺酸、谷氨酸、谷氨酰胺、色氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸、脯氨酸、总游离氨基酸含量和必需氨基酸比例均高于雄体。

表 8 为秋季不同时期东营成蟹肌肉中游离氨基酸组成及其含量。就雌体而言, 10 月成蟹肌肉

中游离氨基酸含量均略高于 9 月, 但无显著性差异($P>0.05$)。9 月和 10 月总游离氨基酸含量分别为 1949.58 mg/100 g 和 2171.40 mg/100 g, 必需氨基酸占比分别为 6.85%和 6.93%。就雄体而言, 仅牛磺酸、丙氨酸和亮氨酸存在显著性差异($P<0.05$), 其余各游离氨基酸含量无显著性差异($P>0.05$)。10 月成蟹总游离氨基酸含量高于 9 月, 必需氨基酸比例略低于 9 月。就雌雄性别差异而言, 秋季不同时期成蟹肌肉中游离氨基酸含量和必需氨基酸百分比差异不大。

表 8 秋季不同时期上市成年东营中华绒螯蟹肌肉中游离氨基酸组成及其含量比较

Tab. 8 The free amino acid composition of adult *Eriocheir sinensis* muscle from Dongying in different periods of autumn $n=9$; $\bar{x} \pm SE$; mg/100 g (湿重 wet weight)

游离氨基酸 free amino acid	雌体 female		雄体 male	
	9 月 25 日 Sep. 25	10 月 25 日 Oct. 25	9 月 25 日 Sep. 25	10 月 25 日 Oct. 25
牛磺酸 Tau	87.92±15.93	104.26±6.84	98.38±2.40	115.14±1.62*
天冬氨酸 Asp	2.39±0.12	2.42±0.30	2.82±0.11	2.76±0.62
天冬酰胺 Asn	13.24±0.29	13.10±0.76	10.52±0.32	12.02±1.06
苏氨酸 Thr [▲]	16.23±4.46	21.10±2.70	12.07±1.16	15.27±0.12
丝氨酸 Ser	21.96±2.43	26.69±1.02	16.32±4.04	19.71±2.16
谷氨酸 Glu	23.67±0.98	25.07±0.84	25.91±0.91	27.90±0.74
谷氨酰胺 Gln	111.24±9.57	117.34±11.72	128.55±1.53	135.99±4.80
色氨酸 Trp [▲]	1.78±0.28	1.95±0.22	2.58±1.00	4.01±0.30
甘氨酸 Gly	432.18±22.85	489.94±21.39	363.95±31.02	401.68±5.39
丙氨酸 Ala	412.65±7.67	423.46±15.98	400.01±3.05	456.57±8.09*
半胱氨酸 Cys	0.23±0.03	0.45±0.05	0.16±0.01	0.29±0.11
缬氨酸 Val [▲]	15.80±2.76	16.95±0.73	12.12±0.03	14.29±0.76
甲硫氨酸 Met [▲]	21.43±5.46	26.29±4.40	11.94±3.28	20.31±3.21
异亮氨酸 Ile [▲]	21.43±2.45	27.10±2.71	24.61±2.29	26.21±2.70
亮氨酸 Leu [▲]	14.11±1.23	15.93±0.95	10.98±0.03	14.02±0.57*
酪氨酸 Tyr	15.62±1.37	16.67±0.09	16.49±0.10	20.17±1.00
苯丙氨酸 Phe [▲]	9.94±0.70	9.68±0.76	9.02±0.86	9.33±0.48
赖氨酸 Lys [▲]	32.93±4.23	31.58±2.64	30.21±2.56	30.94±0.60
组氨酸 His	25.22±2.43	25.56±3.32	17.49±0.64	20.13±0.19
精氨酸 Arg	410.17±8.68	484.53±17.82	335.79±38.40	464.11±22.06
脯氨酸 Pro	259.44±25.66	291.34±0.11	304.14±15.46	372.17±22.37
总氨基酸 TAA	1949.58	2171.40	1834.04	2183.01
必需氨基酸百分比/% PNTAA	6.85	6.93	6.19	6.16

注: ▲为必需氨基酸; *表示同一性别不同时期差异显著($P<0.05$)。

Note: ▲ denotes essential amino acid. * denotes significant difference between different periods for the same sex ($P<0.05$).

表 9 为秋季不同时期东营成蟹性腺中游离氨基酸的阈值和呈味强度值比较结果。由表 9 可知, 雌体卵巢 10 月 TAV 数值略高于 9 月, 且 TAV>1 的游离

氨基酸有谷氨酸、丙氨酸和精氨酸, 分别呈现鲜味和甜味。雄体精巢仅 10 月丙氨酸的 TAV>1, 呈现甜味。总体而言, 秋季不同时期成蟹 TAV 值差异较小。

表 9 秋季不同时期上市成年东营中华绒螯蟹性腺中游离氨基酸的呈味强度值(TAV)和阈值比较
 Tab. 9 The threshold and taste activity of free amino acids in gonad of adult *Eriocheir sinensis* from Dongying in different periods of autumn

$n=9; \bar{x} \pm SE$

游离氨基酸 free amino acid	呈味情况 flavor characteristic	雌体 female		雄体 male		阈值 (mg/100 mL) threshold
		9月25日 Sep. 25	10月25日 Oct. 25	9月25日 Sep. 25	10月25日 Oct. 25	
天冬氨酸 Asp	鲜(+) umami	0.06	0.07	0.04	0.04	100
苏氨酸 Thr	甜(+) sweetness	0.02	0.03	0.01	0.01	260
丝氨酸 Ser	甜(+) sweetness	0.04	0.05	0.02	0.02	150
谷氨酸 Glu	鲜(+) umami	2.13	2.18	0.72	0.88	30
甘氨酸 Gly	甜(+) sweetness	0.30	0.32	0.21	0.25	130
丙氨酸 Ala	甜(+) sweetness	1.17	1.32	0.96	1.22	60
半胱氨酸 Cys	苦/甜/硫(-) bitterness/ sweetness/sulphur					ND
缬氨酸 Val	甜/苦(-) bitterness/sweetness	0.16	0.20	0.10	0.14	40
甲硫氨酸 Met	苦/甜/硫(-) bitterness/ sweetness/sulphur	0.19	0.22	0.14	0.20	30
异亮氨酸 Ile	苦(-) bitterness	0.04	0.05	0.04	0.05	90
亮氨酸 Leu	苦(-) bitterness	0.03	0.03	0.02	0.02	190
酪氨酸 Tyr	苦(-) bitterness					ND
苯丙氨酸 Phe	苦(-) bitterness	0.08	0.09	0.05	0.06	90
赖氨酸 Lys	甜/苦(-) sweetness/bitterness	0.72	0.76	0.13	0.16	50
组氨酸 His	苦(-) bitterness	0.73	0.89	0.17	0.19	20
精氨酸 Arg	甜/苦(-) sweetness/bitterness	3.60	4.03	0.68	0.80	50
脯氨酸 Pro	甜/苦(+) sweetness/bitterness	0.48	0.52	0.25	0.30	300

注: +表示味道愉悦, -表示味道不好, ND 表示阈值未查到。

Note: + means pleasant taste; - means unpleasant taste; ND means taste threshold was not detected.

秋季不同时期东营成蟹肌肉中游离氨基酸的阈值和呈味强度值见表 10 所示。就雌体而言, 9 月和 10 月 TAV 值差异不大, 且 TAV>1 的游离氨基酸有甘氨酸、丙氨酸、组氨酸和精氨酸, 分别呈现甜味、甜味、苦味和甜味。就雄体而言, 秋季不同时期 TAV>1 的游离氨基酸种类存在一定差异, 10 月组氨酸 His 的 TAV 值为 1.01, 而 9 月组氨酸 His 的 TAV 值为 0.87, 其余 TAV 值差异不大。

3 讨论

3.1 秋季不同时期上市成蟹总可食率和肥满度比较

肝胰腺、性腺和肌肉是河蟹重要的可食组织, 其中性腺发育优劣直接影响着可食组织的营养价值和食用价值^[32]。本研究表明, 成蟹性腺发育期

间肝胰腺指数(HSI)逐渐下降, 性腺指数(GSI)显著上升, 这与以往研究结果一致^[7, 9-11]。就出肉率(MY)和总可食率(TEY)而言, 何杰等^[12]研究表明, 在上海崇明岛人工养殖河蟹雌体 MY、TEY 分别为 19.17%和 36.23%, 雄体为 21.90%和 31.41%。Wu 等^[17]报道在上海崇明岛人工养殖河蟹雌体 MY、TEY 分别为 22.45%和 37.76%, 雄体为 25.40%和 32.89%。王世会等^[9]研究表明在西双版纳人工养殖河蟹雌体 MY、TEY 分别为 27.56%和 42.91%, 雄体为 30.34%和 40.26%。以上结果与东营成蟹的 MY 和 TEY 既存在相同点又存在不同点。相同之处在于雌体 MY 小于雄体, 雌体 TEY 大于雄体。但同一性别间 MY 和 TEY 与本研究结果相差较大, 推测可能与实验人员刮肉操作、采样时间、地理纬度等均有一定关系。就肥满度(CF)

表 10 秋季不同时期上市成年东营中华绒螯蟹肌肉中游离氨基酸的呈味强度值(TAV)和阈值比较
 Tab. 10 The threshold and taste activity of free amino acids in muscle of adult *Eriocheir sinensis* from Dongying in different periods of autumn

$n=9; \bar{x} \pm SE$

游离氨基酸 free amino acid	呈味情况 flavor characteristic	雌体 female		雄体 male		阈值/ (mg/100 mL) threshold
		9 月 25 日 Sep. 25	10 月 25 日 Oct. 25	9 月 25 日 Sep. 25	10 月 25 日 Oct. 25	
天冬氨酸 Asp	鲜(+) umami	0.02	0.02	0.03	0.03	100
苏氨酸 Thr	甜(+) sweetness	0.06	0.08	0.05	0.06	260
丝氨酸 Ser	甜(+) sweetness	0.15	0.18	0.11	0.13	150
谷氨酸 Glu	鲜(+) umami	0.79	0.84	0.86	0.93	30
甘氨酸 Gly	甜(+) sweetness	3.32	3.77	2.80	3.09	130
丙氨酸 Ala	甜(+) sweetness	6.88	7.06	6.67	7.61	60
半胱氨酸 Cys	苦/甜/硫(-) bitterness/ sweetness/sulphur					ND
缬氨酸 Val	甜/苦(-) bitterness/sweetness	0.39	0.42	0.30	0.36	40
甲硫氨酸 Met	苦/甜/硫(-) bitterness/ sweetness/sulphur	0.71	0.88	0.40	0.68	30
异亮氨酸 Ile	苦(-) bitterness	0.24	0.30	0.27	0.29	90
亮氨酸 Leu	苦(-) bitterness	0.07	0.08	0.06	0.07	190
酪氨酸 Tyr	苦(-) bitterness					ND
苯丙氨酸 Phe	苦(-) bitterness	0.11	0.11	0.10	0.10	90
赖氨酸 Lys	甜/苦(-) sweetness/bitterness	0.66	0.63	0.60	0.62	50
组氨酸 His	苦(-) bitterness	1.26	1.28	0.87	1.01	20
精氨酸 Arg	甜/苦(-) sweetness/bitterness	8.20	9.69	6.72	9.28	50
脯氨酸 Pro	甜/苦(+) sweetness/bitterness	0.86	0.97	1.01	1.24	300

注: +表示味道愉悦, -表示味道不好, ND 表示阈值未查到。

Note: + means pleasant taste; - means unpleasant taste, ND means taste threshold was not detected.

而言, 本研究略低于已往报道文献^[8, 12], 推测可能与采样时间有关。

3.2 秋季不同时期上市成蟹常规营养成分比较

可食组织的常规营养成分是评价水产动物营养价值的重要指标^[34], 其组成受遗传、养殖环境、发育阶段和饵料等多方面因素影响^[35-37]。本研究表明, 卵巢中粗蛋白和总脂含量均较高, 可能与卵巢中卵黄物质为胚胎及其胚后发育提供营养及能量^[38]有关。肝胰腺中总脂含量较高, 可能与肝胰腺是甲壳动物脂质存储和代谢的重要器官有关^[35, 39]。有文献表明, 卵巢发育期间, 肝胰腺总脂含量显著下降, 卵巢总脂含量显著升高^[35, 40], 暗示卵巢发育期间肝胰腺脂质向卵巢中转移^[35, 41]。本研究表明 10 月雌体肝胰腺中总脂含量由 51.69%降为 48.93%, 卵巢总脂含量由 15.69%升高为 17.23%, 结果与该文献报道一致。10 月精巢中粗蛋白含量

显著高于 9 月, 可能与精巢发育过程中蛋白质的积累有关^[10], 因为 9 月雄蟹精巢 GSI 仅为 1.66%, 而 10 月精巢 GSI 则为 2.46%, 表明蛋白质的持续积累。值得关注的是, 与文献^[10, 12]比较, 不论是雌体还是雄体, 本研究成蟹肝胰腺中总脂含量较高, 推测可能与当地独特的自然生态养殖环境有关。

3.3 秋季不同时期上市成蟹脂肪酸组成比较

可食组织中必需脂肪酸含量是评价水产品营养价值的重要指标^[17, 36]。其种类与百分比含量受遗传^[36]、环境^[42]和饵料^[43]等多种因素共同影响。本研究表明东营秋季不同时期成蟹肝胰腺脂肪酸组成和百分比含量差异不大, 雌雄共 52 个指标中仅雄体 $C_{18:0}$ 这 1 项指标存在显著性差异($P<0.05$), 占比为 1/52; 性腺中仅雌体 $C_{18:1n9}$ 和雄体 ΣSFA 这 2 个指标存在显著性差异($P<0.05$), 占比为 2/52;

肌肉中雌雄共 11 个指标存在显著性差异($P < 0.05$), 占比为 11/52。肝胰腺中 Σ SFA 含量略高于性腺和肌肉组织, 可能与肝胰腺在甲壳动物营养代谢和能量代谢中的重要作用有关^[21], 因为 SFA 是重要的能量型脂肪酸, 如 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ 。平衡的必需脂肪酸组成, 如 $C_{18:2n6}$ 、 $C_{18:3n3}$ 和其他的 n-3 PUFA 等, 对人体健康具有重要的作用^[44]。同时 DHA、EPA 和 ARA 对特殊人群(胎儿、婴儿、青少年和孕妇)具有更为重要的作用^[45]。食物中包含 DHA 和 EPA 能够减少人类罹患心血管疾病的风险^[46], 可以抑制炎症^[47], 对糖尿病也有很好的治疗作用^[48]。与文献报道^[10, 17, 19, 21]比较而言, 不论是何种可食组织, 东营成蟹 DHA 和 EPA 含量明显高于长江流域养殖成蟹, 几乎是其含量的 2~3 倍, 推测可能与东营当地独特的养殖环境有很大关系, 但具体原因还待进一步深入研究。

n-3 PUFA、n-6 PUFA 水平以及 n-3/n-6 PUFA 比值是评价食品营养品质的重要指标^[18, 49]。联合国粮食及农业组织推荐 n-3/n-6 PUFA 比值至少要超过 0.1~0.2 以上^[44], 所以食品中 n-3 PUFA 含量越高, 对人体健康越有利。本研究中, 与肝胰腺和性腺比较而言, 肌肉中含有更高的 n-3/n-6 PUFA 比例, 这与以往研究结果一致^[10, 21]。脂肪酸含量的多少不仅与营养品质有较大关系, 同时也影响着河蟹的风味品质。有文献报道 $C_{16:1n7}$ 含量与风味之间存在显著正相关, 而 $C_{18:0}$ 含量与风味之间则为负相关关系^[50]。本研究表明随着时间延长, 可食组织中 $C_{18:0}$ 和 $C_{16:1n7}$ 含量变化差异较小, 除雌体肝胰腺中 $C_{18:0}$ 略增加外, 其余组织中两种脂肪酸含量均略微减少。

3.4 秋季不同时期上市成蟹游离氨基酸组成比较

不论是海洋种类还是淡水种类甲壳动物, 游离氨基酸含量均是影响其风味品质的重要因素, 如雪蟹(*Chionoecetes opilio*)^[51]、阿拉斯加帝王蟹(*Paralithodes camtschatica*)和锯缘青蟹(*Scylla serrata*)^[52]、中华绒螯蟹^[18]等, 通常海洋种类甲壳动物中的游离氨基酸含量要高于淡水种^[53-54]。本研究检测了成蟹可食组织的 21 种游离氨基酸含量, 这比以往文献检测的游离氨基酸种类多。Shao 等^[19-20]检测了 19 种游离氨基酸种类, 而

Wang 等^[26]检测了 17 种游离氨基酸种类。从各游离氨基酸含量来看, 卵巢中含量较高的为牛磺酸、精氨酸和脯氨酸, 精巢中含量较高的为牛磺酸、丙氨酸和精氨酸, 肌肉中含量较高的为甘氨酸、丙氨酸、精氨酸和脯氨酸, 这与先前文献报道一致^[19-20, 26]。由于甘氨酸和丙氨酸呈现甜味, 大量的精氨酸可以起到提升鲜味和口感持续性的作用^[8], 故中华绒螯蟹具有独特的风味品质。

综上所述, 本研究分析了 9 月和 10 月东营地区池塘养殖成蟹的可食率、常规营养成分、脂肪酸和游离氨基酸含量。证实 10 月成蟹的可食率和品质要优于 9 月。这为全面评价中华绒螯蟹成蟹品质奠定了基础资料, 并为引导中华绒螯蟹的理性消费提供了积极的科学参考依据。

参考文献:

- [1] Du N S. Chinese mitten crab species in some genus and their English names[J]. Fisheries Science & Technology Information, 1998, 25(3): 108-109, 113. [堵南山. 中华绒螯蟹的同属种类及其英文名称[J]. 水产科技情报, 1998, 25(3): 108-109, 113.]
- [2] Wang C H, Li S F. Advances in studies on germplasm in Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2002, 9(1): 82-86. [王成辉, 李思发. 中华绒螯蟹种质研究进展[J]. 中国水产科学, 2002, 9(1): 82-86.]
- [3] Sui L Y, Zhang F M, Wang X M, et al. Genetic diversity and population structure of the Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* in its native range[J]. Marine Biology, 2009, 156(8): 1573-1583.
- [4] Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture. 2016 China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2016: 40. [农业部渔业渔政管理局. 2016 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016: 40.]
- [5] Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2018 China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019: 34. [农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2019 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019: 34.]
- [6] Cui W N, Ning B. Development and application of crab culture in the development of Chinese mitten crab industry of Shanghai[J]. Aquaculture Research, 2019, 50(2): 367-375.
- [7] Wang S H, Zhao J S, Wu X G, et al. Growth performance, gonadal development and nutritional composition of adult

- Eriocheir sinensis* from Dongying[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2020, 29(1): 17-26. [王世会, 赵金山, 吴旭干, 等. 东营池塘养殖中华绒螯蟹生长性能、性腺发育及营养品质[J]. 上海海洋大学学报, 2020, 29(1): 17-26.]
- [8] Zhao L, Wu N, Wang X C, et al. Comparison of the flavor components of Chinese mitten crab at different growth stages[J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(7): 261-269. [赵樑, 吴娜, 王锡昌, 等. 不同生长阶段下中华绒螯蟹滋味成分差异研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(7): 261-269.]
- [9] Wang S H, Long X W, Zu L, et al. Preliminary study on gonadal development and nutritional composition of adult *Eriocheir sinensis* from Xishuangbanna[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2019, 28(4): 483-490. [王世会, 龙晓文, 祖露, 等. 西双版纳河蟹性腺发育规律和营养品质 [J]. 上海海洋大学学报, 2019, 28(4): 483-490.]
- [10] Zhao H L. Comparative studies on morphology, culture performance and biochemical composition among Yangtze, Huang, and Liao River populations of adult *Eriocheir sinensis* reared in ponds[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016: 1-2. [赵恒亮. 池塘养殖条件下中华绒螯蟹长江、黄河和辽河 3 个地理种群成蟹形态学、养殖性能和营养品质的比较研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016: 1-2.]
- [11] Wang S H, Zhou Y C, Wu X G, et al. Comparison of culture performance of juveniles mitten handed crab (*Eriocheir sinensis*) derived from Liaohe and Minjiang River in food crab culture[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2019, 32(2): 25-31. [王世会, 周永昌, 吴旭干, 等. 辽河和闽江水系中华绒螯蟹扣蟹在成蟹阶段的养殖性能比较[J]. 水产学杂志, 2019, 32(2): 25-31.]
- [12] He J, Wu X G, Long X W, et al. Comparison in edible yield and nutritional quality of pond-cultured adult *Eriocheir sinensis* from wild-caught and pond-reared crabseeds[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2016, 47(1): 140-150. [何杰, 吴旭干, 龙晓文, 等. 中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)野生和养殖蟹种对池塘养殖成蟹可食率和营养品质的影响研究[J]. 海洋与湖沼, 2016, 47(1): 140-150.]
- [13] 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.]
- [14] Wang H N, Jiang X D, Wu X G, et al. The comparison of edible rate and biochemical composition of the second year early-maturing and late-maturing strains of the third selective generation during the adult culture of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2018, 27(4): 487-493. [王海宁, 姜晓东, 吴旭干, 等. 中华绒螯蟹二龄早熟和晚熟品系第三代成蟹可食率和生化组成的比较研究[J]. 上海海洋大学学报, 2018, 27(4): 487-493.]
- [15] Qu L L, Wang X C, Wu X G, et al. Progress on major influences on nutritional quality of crabs[J]. The Food Industry, 2017, 38(3): 217-221. [瞿俐俐, 王锡昌, 吴旭干, 等. 影响蟹类营养品质主要因素的研究进展[J]. 食品工业, 2017, 38(3): 217-221.]
- [16] Li S F, Cai W Q, Zou S M, et al. Quality analysis of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* in Yangchenghu Lake[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2000, 7(3): 71-74. [李思发, 蔡完其, 邹曙明, 等. 阳澄湖中华绒螯蟹品质分析 [J]. 中国水产科学, 2000, 7(3): 71-74.]
- [17] 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.
- [18] Chen D W, Zhang M, Shrestha S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1343-1349.
- [19] Shao L C, 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.
- [20] Shao L C, Wang C, He J, et al. Meat quality of Chinese mitten crabs fattened with natural and formulated diets[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2014, 23(1): 59-72.
- [21] Wang Q J, Wu X G, Long X W, et al. Nutritional quality of different grades of adult male Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(3): 944-955.
- [22] Wu N. Formation mechanism of key odorants derived from lipid oxidation and degradation in Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017: 16-17. [吴娜. 基于脂质热氧化降解解析中华绒螯蟹关键香气物质的形成机制[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 16-17.]
- [23] He H L, Chen X L, Li J W, et al. Taste improvement of refrigerated meat treated with cold-adapted protease[J]. Food Chemistry, 2004, 84(2): 307-311.
- [24] Liu Y, Xu X L, Zhou G H. Changes in taste compounds of duck during processing[J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 22-26.
- [25] Cho I H, Choi H K, Kim Y S. Comparison of umami-taste active components in the pileus and stipe of pine-mushrooms (*Tricholoma matsutake* Sing.) of different grades[J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 804-807.
- [26] Wang S, He Y, Wang Y Y, et al. Comparison of flavour qualities of three sourced *Eriocheir sinensis*[J]. Food Chemistry, 2016, 200: 24-31.

- [27] Lee Y L, Jian S Y, Mau J L. Composition and non-volatile taste components of *Hypisizigus marmoreus*[J]. LWT - Food Science and Technology, 2009, 42(2): 594-598.
- [28] Martin C, Passilly-Degrace P, Sparks S M, et al. Impact of long chain fatty acids on sweet taste sensitivity in mice. Role of the GPR120/GLP-1 signaling[J]. Appetite, 2011, 57: S29.
- [29] Patnaik S, Samocha T M, Davis D A, et al. The use of HUFA-rich algal meals in diets for *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture Nutrition, 2006, 12(5): 395-401.
- [30] AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists[M]. 16th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1995.
- [31] Folch J, Lees M, Sloane-Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. The Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [32] Wu X G, Zhou B, Cheng Y X, et al. Comparison of gender differences in biochemical composition and nutritional value of various edible parts of the blue swimmer crab[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2010, 23(2): 154-159.
- [33] Tsai S Y, Wu T P, Huang S J, et al. Nonvolatile taste components of *Agaricus bisporus* harvested at different stages of maturity[J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1457-1464.
- [34] Kause A, Ritola O, Paananen T, et al. Coupling body weight and its composition: A quantitative genetic analysis in rainbow trout[J]. Aquaculture, 2002, 211(1-4): 65-79.
- [35] Cheng Y X, Du N S, Lai W. Lipid composition in hepatopancreas of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* at different stages[J]. Acta Zoologica Sinica, 1998, 44(4): 420-429. [成永旭, 堵南山, 赖伟. 不同阶段中华绒螯蟹肝胰腺的脂类及脂肪酸组成[J]. 动物学报, 1998, 44(4): 420-429.]
- [36] Grahl-Nielsen O, Jacobsen A, Christophersen G, et al. Fatty acid composition in adductor muscle of juvenile scallops (*Pecten maximus*) from five Norwegian populations reared in the same environment[J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2010, 38(4): 478-488.
- [37] 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.
- [38] Liu Z J, Wu X G, Cheng Y X, et al. Ovarian re-maturation following the first spawning in the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* (H. Milne-Edwards)[J]. Aquaculture Research, 2011, 42(3): 417-426.
- [39] Vogt G. Life-cycle and functional cytology of the hepatopancreatic cells of *Astacus astacus* (Crustacea, Decapoda)[J]. Zoomorphology, 1994, 114(2): 83-101.
- [40] Wen X B, Chen L Q, Ai C X, et al. Variation in lipid composition of Chinese mitten-handed crab, *Eriocheir sinensis* during ovarian maturation[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2001, 130(1): 95-104.
- [41] Castille F L, Lawrence A L. Relationship between maturation and biochemical composition of the gonads and digestive glands of the shrimps *Penaeus aztecus* Ives and *Penaeus setiferus* (L.) [J]. Journal of Crustacean Biology, 1989, 9(2): 202-211.
- [42] Romano N, Wu X G, Zeng C S, et al. Growth, osmoregulatory responses and changes to the lipid and fatty acid composition of organs from the mud crab, *Scylla serrata*, over a broad salinity range[J]. Marine Biology Research, 2014, 10(5): 460-471.
- [43] Wu X G, Chang G L, Cheng Y X, et al. Effects of dietary phospholipid and highly unsaturated fatty acid on the gonadal development, tissue proximate composition, lipid class and fatty acid composition of precocious Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Aquaculture Nutrition, 2010, 16(1): 25-36.
- [44] FAO/WHO. Fats and oils in human nutrition[R]//Report of a joint FAO/WHO expert consultation. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1994.
- [45] Muskiet F A J, Kemperman R F J. Folate and long-chain polyunsaturated fatty acids in psychiatric disease[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2006, 17(11): 717-727.
- [46] Hall W L. Dietary saturated and unsaturated fats as determinants of blood pressure and vascular function[J]. Nutrition Research Reviews, 2009, 22(1): 18-38.
- [47] Capel F, Acquaviva C, Pitois E, et al. DHA at nutritional doses restores insulin sensitivity in skeletal muscle by preventing lipotoxicity and inflammation[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2015, 26(9): 949-959.
- [48] Bhaswant M, Poudyal H, Brown L. Mechanisms of enhanced insulin secretion and sensitivity with n-3 unsaturated fatty acids[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2015, 26(6): 571-584.
- [49] Coetzee G J M, Hoffman L C. Effects of various dietary n-3/n-6 fatty acid ratios on the performance and body composition of broilers[J]. South African Journal of Animal Science, 2002, 32(3): 175-184.
- [50] Kimata M, Ishibashi T, Kamada T. Studies on relationship between sensory evaluation and chemical composition in various breeds of pork[J]. Japanese Journal of Swine Science, 2001, 38(2): 45-51.
- [51] Hayashi T, Yamaguchi K, Konosu S. Sensory analysis of taste-active components in the extract of boiled snow crab meat[J]. Journal of Food Science, 1981, 46(2): 479-483, 493.

- [52] Chiou T K, Huang J P. Chemical constituents in the abdominal muscle of cultured mud crab *Scylla serrata* in relation to seasonal variation and maturation[J]. Fisheries Science, 2003, 69(3): 597-604.
- [53] Konosu S, Yamaguchi K, Hayashi T. Studies on flavor components in boiled crabs. I. Amino acids and related compounds in the extracts[J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1978, 44(5): 505-510.
- [54] D'Aniello A. Free amino acids in some tissues of marine Crustacea[J]. Experientia, 1980, 36(4): 392-393.

A comparative study of edible yield and quality in adult Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) in different periods of autumn

WANG Shihui^{1,2}, CHENG Yongxu^{2,3}, SHI Lianyu¹, ZHAO Jinshan⁴, YE Luqing⁴

1. Heilongjiang Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China;
2. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
3. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
4. Dongying Huize Agricultural Technology Co., Ltd., Dongying 257503, China

Abstract: Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*, is an important aquaculture species in China. Large amounts of adult *E. sinensis* appear in the market in autumn, but the prices are much higher before the National Day (Oct. 1st). To promote rational consumption and comprehensively evaluate the edible yield and quality of *E. sinensis*, this study used a pond-rearing experiment (planted with *Elodea nuttallii*) to obtain adult *E. sinensis* according to the ecological and healthy culture methods. Dissection and biochemical composition analyses were conducted to systematically explore the edible yield, proximate composition, and fatty acid and free amino acid contents of adult *E. sinensis* tissues. Regardless of gender, the hepatosomatic index (HSI) and gonadosomatic index (GSI) differed significantly between September and October ($P < 0.05$), but there were no differences in meat yield (MY), total edible yield (TEY), or condition factor (CF) ($P > 0.05$). The HSI value was higher in September than in October, and the values of the other indicators were higher in October. No significant different parameters ($P > 0.05$) were obviously observed in proximate composition between September and October, but the moisture and lipids in the hepatopancreas, lipids in the gonads, and moisture and proteins in the muscles of females differed significantly ($P < 0.05$). Proteins, lipids, and ash in the gonads and lipids in the muscles of males were also significantly different ($P < 0.05$). As for fatty acid, one fatty acid in the hepatopancreas of adult *E. sinensis* differed between September and October ($P < 0.05$), two fatty acids in the gonads differed between September and October ($P < 0.05$), and eleven fatty acids in the muscles differed between September and October ($P < 0.05$). As for free amino acid, only one amino acid in the gonads of adult *E. sinensis* differed between September and October ($P < 0.05$), and three amino acids (Tau, Ala, Leu) differed in the male muscles ($P < 0.05$). In summary, the GSI, MY, TEY, and CF values of adult *E. sinensis* were higher in October than in September, and there were some differences in proximate composition. There were small differences in the fatty acid and free amino acid contents of the gonads, but larger differences in the fatty acid contents of the muscles. Overall, the edible yield and quality of adult *E. sinensis* were better in October than in September, which is important for the comprehensive evaluation and rational consumption of Chinese mitten crab.

Key words: *Eriocheir sinensis*; edible yield; quality; fatty acid; free amino acid; nutrition composition; autumn

Corresponding author: CHENG Yongxu. E-mail: yxcheng@shou.edu.cn