



## 中华绒螯蟹白壳和绿壳品系成蟹可食率、类胡萝卜素含量和营养组成的比较

张冬冬<sup>1</sup>, 范陈伟<sup>1</sup>, 姜晓东<sup>1</sup>, 成永旭<sup>1,2,3</sup>, 吴旭干<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 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;

2. 上海海洋大学, 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306;

3. 上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306)

**摘要:** 为了评估白壳中华绒螯蟹与广泛养殖的绿壳品系成蟹营养品质是否存在差异, 本实验通过采集白壳新品系与正常绿壳品系扣蟹在相同池塘中养至性腺发育成熟的商品蟹, 测定其可食率、类胡萝卜素含量和营养组成。结果显示, 两种色泽中华绒螯蟹组织系数、可食率和肥满度均无显著差异; 白壳品系蟹壳湿样和干样亮度值 ( $L^*$ ) 显著高于绿壳品系, 但红度值 ( $a^*$ ) 显著低于绿壳品系, 肝胰腺和卵巢色泽参数无显著差异。白壳品系蟹壳总类胡萝卜素和虾青素含量显著低于绿壳品系, 但两品系肝胰腺和卵巢中类胡萝卜素含量和组成均无显著差异。两种品系可食组织部分常规生化组成含量无显著差异, 但白壳雌蟹肌肉中 C20:4n6 比例显著高于绿壳, 绿壳雌蟹肝胰腺中 18:0、18:2n6 和 DHA/EPA 比例均显著高于白壳品系。两品系肌肉中大部分氨基酸组成和必需氨基酸评分均无显著差异, 白壳雌蟹肌肉中异亮氨酸和酪氨酸含量显著低于绿壳雌体。研究表明, 白壳和绿壳品系仅蟹壳的色泽和类胡萝卜素含量方面具有显著差异, 其可食率、可食组织的常规生化成分、主要类胡萝卜素含量、脂肪酸组成和氨基酸含量接近, 说明白壳品系中华绒螯蟹具有较大的推广潜力。研究结果为中华绒螯蟹白壳品系种质资源评价和进一步选育提供理论依据。

**关键词:** 中华绒螯蟹; 白壳色品系; 类胡萝卜素; 脂肪酸; 氨基酸

**中图分类号:** S 966.16

**文献标志码:** A

中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 属于软甲纲 (Malacostraca) 十足目 (Decapoda) 弓蟹科 (Varunidae) 绒螯蟹属<sup>[1]</sup>。是东亚地区最重要的淡水经济蟹类, 富含类胡萝卜素、多不饱和脂肪酸、风味物质和必需氨基酸, 营养价值高<sup>[2]</sup>。中国每年总产量近 80 万 t<sup>[3]</sup>, 产值超过 500 亿<sup>[4-5]</sup>。由于不同品质成蟹价格差别较大, 因此提高中华绒螯蟹营养品质是增加其养殖效益的主要手段之一<sup>[4, 6]</sup>。

色泽是中华绒螯蟹感官评价和营养品质评价重要指标之一<sup>[2]</sup>, 通常色泽较红且亮度较高有助于提高消费者对虾蟹类的喜好和消费欲望<sup>[7-9]</sup>。同时, 色泽对甲壳动物交配繁殖<sup>[10]</sup>、生存、信息交流等方面<sup>[11]</sup> 也具有重要作用。自然界中, 中华绒螯蟹成蟹壳色主要为绿色 (大于 90%), 但也存在紫壳、白壳、黄壳和红壳等少量个体<sup>[12-13]</sup>, 这些特殊壳色中部分壳色不可遗传给后代, 其形成原

收稿日期: 2021-06-04 修回日期: 2021-10-07

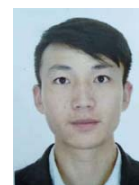
资助项目: 国家重点研发项目 (2018YFD0900103, 2018YFD0900603); 现代农业产业技术体系专项 (CARS-48);

上海市教育发展基金会曙光计划 (17SG46); 上海市崇明区“可持续发展科技创新行动计划”项目

(CK2022-39); 上海市科委“科技创新行动计划”农业科技领域项目 (23N71900100)

第一作者: 张冬冬 (照片), 从事甲壳动物育种与生态养殖研究, E-mail: zhangdongdong8@163.com

通信作者: 吴旭干, 从事甲壳动物营养饲料和品质育种研究, E-mail: xgwu@shou.edu.cn



因可能与养殖环境及饵料营养有关, 如紫壳色中华绒螯蟹<sup>[14]</sup>。本课题组于2016年在成蟹养殖池塘中发现极少量白壳色中华绒螯蟹, 其蟹壳、腹肢以及眼柄均为白色, 经过数代自交和纯化, 培育出了体色纯白、稳定遗传和生长速率较快的白壳新品系(暂定名“申江3号-海大玉蟹”), 迄今已经繁育至G<sub>3</sub>。尽管白壳品系中华绒螯蟹由于颜色独特和生长速率快, 可能会引起养殖者和消费者关注, 但是迄今为止, 尚不清楚白壳品系成蟹可食率及其营养组成, 这不利于白壳品系的种质评价、遗传选育和推广应用。

经济虾蟹类通常富含虾青素、 $\beta$ -胡萝卜素和玉米黄素等类胡萝卜素, 是人类获得天然类胡萝卜素的重要来源之一<sup>[15-16]</sup>。对人体而言, 类胡萝卜素是天然的抗氧化剂, 可以保护人体细胞和组织免受氧自由基侵害<sup>[17]</sup>, 具有增强免疫力<sup>[18]</sup>、抗肿瘤、抗衰老<sup>[19]</sup>、防止心血管疾病和保护视力<sup>[20]</sup>等功效。养殖虾蟹各组织中类胡萝卜素组成和含量往往影响其色泽指标和消费者接受度<sup>[7-9]</sup>, 尤其可食组织中(如卵巢和肝胰腺)类胡萝卜素含量直接影响其营养价值<sup>[13]</sup>。因此, 养殖虾蟹的色泽参数和类胡萝卜素组成是其商品价值和营养品质评价的两类重要评价指标。迄今为止, 尚不清楚白壳品系中华绒螯蟹的色泽参数、类胡萝卜素组成与常规绿壳品系是否存在差异。

鉴于此, 本实验首先将白壳新品系和正常绿壳品系扣蟹等量混合放在相同池塘中养至成蟹(同池混养), 然后测定和比较了两品系中华绒螯蟹可食率、色泽参数、类胡萝卜素组成、可食组织中常规生化组成、脂肪酸和氨基酸含量, 结果不仅为中华绒螯蟹白壳品系种质资源评价和进一步选育提供基础资料, 也为新品系推广提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

2016年底课题组收集甲壳和附肢均为白色的成熟亲本, 2017年初通过构建家系进行繁殖获得奇数年子1代(F<sub>1</sub>)大眼幼体, 2017和2018年分别进行扣蟹和成蟹养殖, 2018年底挑选生长速率快、成活率高且体色纯白(红度值 $a^* \leq -1.0$ )的白壳家系F<sub>1</sub>亲本进行自交, 2019年春获得F<sub>2</sub>子代大眼幼体。2020年3月, 挑选体重接近的F<sub>2</sub>白壳品系和正常绿壳品系(2龄早熟品系)扣蟹各150只, 在上海海洋大学崇明中华绒螯蟹研究基

地进行成蟹同池塘混养实验, 每个池塘(长×宽×深=12 m×8 m×1 m)各放入白壳和绿壳品系扣蟹50只, 雌雄比例为1:1。两品系扣蟹平均初始体重分别为(7.71±0.23)和(7.67±0.15)g, 养殖至11月中旬进行采样。从每个混养池塘中挑选规格大、活力好、四肢健全且完成生殖蜕壳的雌雄蟹各3只(白壳和绿壳品系雌雄合计采样各9只), 雌蟹平均体重: 白壳(144.10±9.09)g, 绿壳(143.40±6.33)g; 雄蟹平均体重: 白壳(168.18±21.95)g, 绿壳(164.59±5.42)g。

### 1.2 生物学指标测定

将挑选的蟹用电子天平准确称量体重(精确到0.01g)。采用解剖刀与镊子等工具取出全部肌肉、肝胰腺以及性腺并称量(精确到0.001g), 随后将样品保存于-40℃冰箱中待测定生化成分。依据称量的肝胰腺、性腺和肌肉重量与体重, 采用以下公式分别计算肝胰腺指数(hepatosomatic index, HSI)、性腺指数(gonadosomatic index, GSI)、出肉率(meat yield, MY)、总可食率(total edible yield, TEY)和肥满度(condition factor, CF)。HSI(%)=肝胰腺重/体重×100%; GSI(%)=性腺重/体重×100%; MY(%)=肌肉重/体重×100%; TEY(%)=HSI+GSI+MY; CF(g/cm<sup>3</sup>)=体重/头胸甲长<sup>3</sup>。本研究获得了上海海洋大学水产与生命学院实验动物管理和使用伦理委员会批准, 实验过程中操作人员严格遵守上海海洋大学水产与生命学院的伦理规范, 并按照其制订的规章制度执行。

### 1.3 色泽测定

采用手持式色度仪 Lovibond RT200 (Salisbury, 英国)(CIE 1976 L\*a\*b\*成像系统)测定蟹壳(鲜样和干样)、肝胰腺(鲜样)和卵巢(干样)的色泽参数: 亮度(L\*)、红度(a\*)和黄度(b\*)值。在甲壳表面选取6个相对光滑的点进行颜色测量, 最后取6个点的平均值为该蟹壳的色泽参数<sup>[2]</sup>。肝胰腺湿样和卵巢干样装入透明自封袋中随机测量6个点, 同样取6个点求得平均值作为该蟹色泽参数。

### 1.4 类胡萝卜素测定

雌蟹样品测定湿样肝胰腺和煮熟后的干样蟹壳、卵巢, 雄蟹只测定湿样肝胰腺和煮熟后的干样蟹壳。类胡萝卜素的提取方法参考 Long 等<sup>[2]</sup>并稍作调整, 主要步骤: 取0.2~0.4g冻干样品, 加入丙酮反复提取3~4次, 直至提取液无色(几乎不

含有类胡萝卜素)。随后将提取液进行定容, 并用分光光度计测量 478 nm 处吸光值。根据标准曲线计算各样品中总类胡萝卜素含量。

蟹壳、卵巢和肝胰腺提取液中主要类胡萝卜素的组成采用安捷伦 1260 HPLC 系统 (Agilent Technologies Inc., 美国) 进行分析。其中, 卵巢需经过皂化处理再进行高效液相色谱 (HPLC) 分析, 皂化条件和仪器参数设置与 Li 等<sup>[21]</sup>一致。样品中类胡萝卜素种类的鉴定依据虾青素、叶黄素、玉米黄素、角黄素和  $\beta$ -胡萝卜素 5 种商业化标准品出峰时间, 样品中类胡萝卜素含量根据 5 种标准品制备的标准曲线和样品出峰面积计算。

### 1.5 生化分析、脂肪酸和氨基酸测定

**常规生化组成分析** 肌肉、性腺和肝胰腺采用冷冻干燥直至恒重的方法测定水分含量; 采用氯仿和甲醇体积比为 2:1 提取各组织中的总脂并测定其含量<sup>[22]</sup>。总蛋白 (凯氏定氮法, 以 6.25 换算系数计算) 和灰分含量 (在马弗炉中 550 °C 保持直至恒重) 的测定参照 AOAC 法<sup>[23]</sup>。

**脂肪酸组成分析** 取约 0.08 g 脂肪溶入正己烷后进行真空干燥, 采用浓度为 14% 的三氟化硼-甲醇溶液对称量的总脂进行甲酯化处理<sup>[24]</sup>。脂肪酸分析采用美国 Agilent 7890B-5977A 气相色谱-质谱联用仪 (GC-MS), 色谱柱为 Omegawax-320 毛细管柱 (30 m $\times$ 0.32 mm, 0.25  $\mu$ m; 美国 Supelco), 整个程序和参数设置参考 Jiang 等<sup>[25]</sup>。脂肪酸组成以每种脂肪酸占总脂肪酸的百分比表示 (%)。

**氨基酸分析** 按照 Chen 等<sup>[26]</sup>的方法进行总氨基酸分析, 所用仪器为德国赛卡姆公司氨基

酸自动分析仪 (S-433D)。具体操作方法和参数设置与 Jiang 等<sup>[25]</sup>的一致。色氨酸测定采用碱性水解法, 甲硫氨酸和半胱氨酸测定采用酸性水解法<sup>[27]</sup>。另外, 根据 FAO/WHO/UNU<sup>[28]</sup>方法计算必需氨基酸的分值 (essential amino acid score, EAAS): EAAS=样品中必需氨基酸含量/FAO 参考蛋白中必需氨基酸含量 $\times$ 100。氨基酸含量以每克湿样中各氨基酸的毫克数表示 (mg/g)。

### 1.6 数据分析

应用 Excel 2019 和 SPSS 17.0 软件对数据进行分析, 通过 GraphPad Prism 8.0 软件制图。所有数据以平均值 $\pm$ 标准误 (mean $\pm$ SE) 表示。采用 Levene 法对数据进行方差齐性检验, 采用独立样本  $t$  检验检查两组间的差异性。此外, 对中华绒螯蟹可食部分组织系数和肥满度进行颜色和性别的双因素分析。以  $P < 0.001$  表示差异极显著,  $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果

### 2.1 组织系数和可食率分析

白壳和绿壳品系可食部分组织系数和肥满度结果显示, 当白壳和绿壳两组蟹体重接近时, 无论雌雄, 白壳组 GSI、HSI、MY、TEY 和 CF 均略微低于绿壳, 但差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 1)。双因素分析结果显示, 性别极显著影响 GSI、MY、TEY 和 CF 比例 ( $P < 0.001$ ), 壳色显著影响 GSI 和 HSI ( $P < 0.05$ ), 性别和壳色的交互作用对 HSI 影响最高, 对 CF 的影响最小 (表 1)。

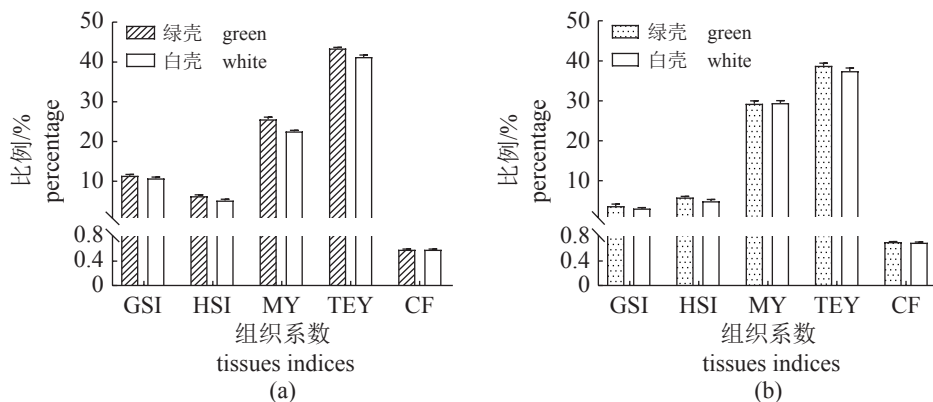


图 1 中华绒螯蟹白壳和绿壳品系可食部分组织系数和肥满度比较

GSI. 性腺指数, HSI. 肝胰腺指数, MY. 出肉率, TEY. 总可食率, CF. 肥满度, 下同。(a) 雌, (b) 雄。

Fig. 1 Comparison of tissue coefficient and condition factor of white and green *E. sinensis*

GSI. gonadosomatic index, HSI. hepatosomatic index, MY. meat yield, TEY. total edible yield, CF. condition factor, the same below. (a) female, (b) male.

表 1 中华绒螯蟹可食部分组织系数和肥满度的颜色和性别双因素分析

Tab. 1 Results of Two-Way ANOVA sex-color interactions for the percentage of edible tissues and condition factor of *E. sinensis*

类别 item	双因素分析 P-value		
	性别 sex	颜色 color	交互 interaction
性腺指数 GSI	<0.001	0.040	0.905
肝胰腺指数 HSI	0.198	0.016	0.926
出肉率 MY	<0.001	0.930	0.903
总可食率 TEY	<0.001	0.064	0.783
肥满度 CF	<0.001	0.107	0.674

## 2.2 色泽和类胡萝卜素分析

中华绒螯蟹白壳和绿壳品系蟹壳、肝胰腺和卵巢的色泽参数 ( $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ ) 比较结果显示, 无论雌雄, 白壳组湿样和干样蟹壳  $L^*$ 值和 $b^*$ 值都显著高于绿壳组 ( $P<0.05$ ), 而 $a^*$ 值显著低于绿壳组 ( $P<0.05$ )。白壳和绿壳组雌蟹之间和雄蟹之间肝胰腺的 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值均无显著差异 ( $P>0.05$ )。白壳和绿壳组雌蟹卵巢之间色泽参数也无显著差异 ( $P>$

0.05) (表 2)。无论雌雄, 白壳和绿壳组的蟹壳不仅鲜样差异明显, 冻干后白壳组蟹壳依然为白色, 而绿壳组蟹壳为红色 (图 2)。

中华绒螯蟹白壳和绿壳品系蟹壳、肝胰腺和卵巢中类胡萝卜素含量 (mg/kg 湿重) 比较结果显示, 白壳组雌蟹蟹壳中总类胡萝卜素、虾青素、叶黄素、玉米黄素、角黄素和 $\beta$ -胡萝卜素均显著低于绿壳组 ( $P<0.05$ ) (图 3-a), 白壳组雄蟹蟹壳中总类胡萝卜素、虾青素、叶黄素、玉米黄素显著低于绿壳组 ( $P<0.05$ ), 角黄素和 $\beta$ -胡萝卜素也低于绿壳组, 但差异不显著 ( $P>0.05$ ) (图 3-b)。就肝胰腺和卵巢而言, 白壳和绿壳组同性别间无显著差异 ( $P>0.05$ ) (图 3-c~e)。

## 2.3 常规生化、脂肪酸和氨基酸分析

中华绒螯蟹白壳和绿壳品系 3 种可食组织常规生化分析见表 3。雌蟹白壳肝胰腺中蛋白、总脂和灰分略高于绿壳, 性腺中水分和总脂也略高于绿壳, 肌肉中水分、蛋白和灰分含量同样略高于绿壳, 但均差异不显著 ( $P>0.05$ )。雄蟹白壳肝胰腺中总脂、性腺中水分以及肌肉中灰分也均略

表 2 中华绒螯蟹白壳和绿壳品系蟹壳、肝胰腺和卵巢的色泽参数 ( $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ ) 比较

Tab. 2 Lightness ( $L^*$ ), redness ( $a^*$ ), and yellowness ( $b^*$ ) of carapace, hepatopancreas and ovaries from white and green *E. sinensis*

组织 tissue	雌体 female		雄体 male	
	白壳 white	绿壳 green	白壳 white	绿壳 green
<b>蟹壳(湿样) carapace (fresh)</b>				
$L^*$	48.46±2.70 <sup>a</sup>	29.52±0.51 <sup>b</sup>	58.28±1.69 <sup>a</sup>	31.16±0.95 <sup>b</sup>
$a^*$	-1.78±0.14 <sup>b</sup>	0.26±0.08 <sup>a</sup>	-1.83±0.36 <sup>b</sup>	0.28±0.13 <sup>a</sup>
$b^*$	6.92±0.84 <sup>a</sup>	2.70±0.22 <sup>b</sup>	11.27±0.70 <sup>a</sup>	3.13±0.61 <sup>b</sup>
<b>蟹壳(干样) carapace (dried)</b>				
$L^*$	82.06±1.36 <sup>a</sup>	59.36±0.42 <sup>b</sup>	76.15±0.68 <sup>a</sup>	59.34±1.03 <sup>b</sup>
$a^*$	-2.58±0.35 <sup>b</sup>	19.25±0.76 <sup>a</sup>	-2.21±0.08 <sup>b</sup>	19.20±0.90 <sup>a</sup>
$b^*$	24.95±1.97 <sup>b</sup>	33.28±0.49 <sup>a</sup>	25.44±0.14 <sup>b</sup>	34.41±1.48 <sup>a</sup>
<b>肝胰腺(湿样) hepatopancreas (fresh)</b>				
$L^*$	63.83±1.13	60.65±1.18	58.92±0.78	59.86±1.39
$a^*$	7.59±0.75	6.93±1.12	11.14±1.36	11.88±1.74
$b^*$	51.75±2.15	48.28±1.73	51.60±1.33	51.01±0.38
<b>卵巢(干样) ovaries (dried)</b>				
$L^*$	62.49±1.61	58.65±0.45	ND	ND
$a^*$	25.28±1.32	27.64±0.45	ND	ND
$b^*$	27.29±0.58	24.29±0.21	ND	ND

注: 雌蟹或者雄蟹的同行数据中含有不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ); ND. 无数据。

Notes: Values in the same row with different letter mean significant difference in the female or male crabs ( $P<0.05$ ); ND. value not detected.

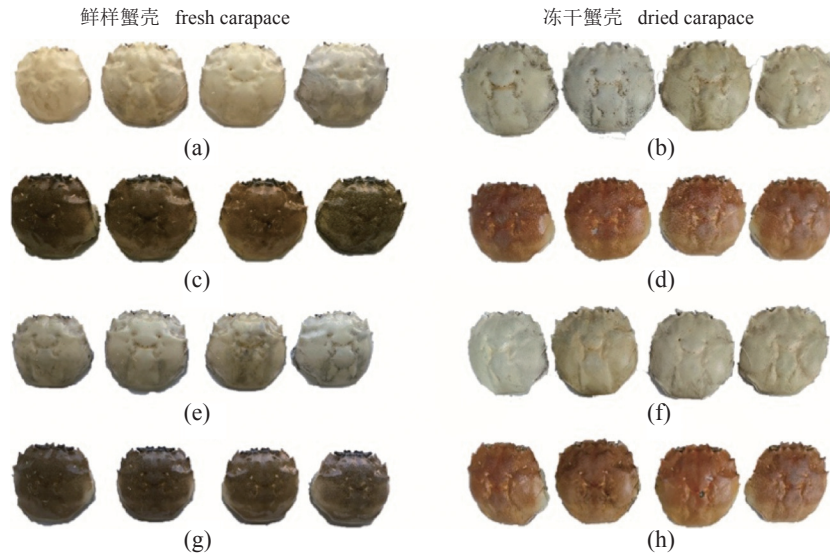


图2 中华绒螯蟹白壳和绿壳品系鲜样和冻干样照片

(a) (b) 白壳品系雄蟹壳, (c) (d) 绿壳品系雄蟹壳, (e) (f) 白壳品系雌蟹壳, (g) (h) 绿壳品系雌蟹壳。

Fig. 2 Comparison of fresh and dried carapace from white and green *E. sinensis*

(a) (b) carapace from white male, (c) (d) carapace from green male, (e) (f) carapace from white female, (g) (h) carapace from green female.

高于绿壳, 但差异不显著 ( $P>0.05$ )。

白壳和绿壳品系雌蟹 3 种可食组织主要脂肪酸组成见表 4。肌肉中, 白壳组 C18:2n6、 $\Sigma$ n-6PUFA 和 DHA/EPA 显著低于绿壳组, 但 C20:4n6 (ARA) 显著高于绿壳组 ( $P<0.05$ )。白壳组卵巢中 ARA、C20:5n3 (EPA) 和 C22:6n3 (DHA) 均略高于绿壳组, 但无显著差异 ( $P>0.05$ )。白壳组肝胰腺中 C18:0 显著低于绿壳组 ( $P<0.05$ ), EPA 和 DHA 略高于绿壳组, 但差异不显著 ( $P>0.05$ )。

白壳和绿壳雄蟹 3 种可食组织主要脂肪酸组成见表 5。肌肉中, 白壳组 C18:0 和  $\Sigma$ n-3PUFA 显著低于绿壳组 ( $P<0.05$ )。性腺中, 白壳组 C18:0 也显著低于绿壳组 ( $P<0.05$ )。肝胰腺中, 白壳组  $\Sigma$ PUFA 含量显著低于绿壳组 ( $P<0.05$ )。值得一提的是, 白壳组 3 种组织中的 ARA 均略高于绿壳组, 但差异不显著 ( $P>0.05$ )。

白壳雌蟹肌肉中异亮氨酸和酪氨酸含量显著低于绿壳雌蟹组 ( $P<0.05$ )。无论雌雄, 白壳和绿壳组其余氨基酸、必需氨基酸、非必需氨基酸以及必需氨基酸与总氨基酸比值均无显著差异 ( $P>0.05$ ) (表 6)。白壳和绿壳组肌肉中必需氨基酸分值见表 7。无论雌雄, 白壳和绿壳组中必需氨基酸分值基本接近。雌蟹白壳组肌肉中色氨酸为限制性氨基酸; 雄蟹白壳组亮氨酸、色氨酸和绿壳色氨酸分值均低于 100, 为限制性氨基酸。

### 3 讨论

#### 3.1 组织系数和可食率

肝胰腺、性腺和肌肉是中华绒螯蟹最重要的 3 个可食用部分, 其占蟹个体体重的百分比是衡量其经济价值的重要指标<sup>[29]</sup>。本研究中, 无论雌雄, 白壳组组织系数和总可食率均略低于绿壳组, 这主要因为白壳组 GSI 和 HSI 略低于绿壳组。通过性别和体色双因素分析表明, 壳色对 GSI 和 HSI 具有显著影响, 尤其壳色和性别的交互作用对组织系数影响较大。这一方面可能因为白壳蟹和绿壳蟹同池混养情况下生长性能不同, 白壳蟹规格整体较大, 而大规格蟹通常性腺和肝胰腺发育较晚<sup>[30]</sup>。另一方面, 不同性别中华绒螯蟹的发育速率也存在差异, 中华绒螯蟹雌蟹性腺和肝胰腺发育通常要快于雄蟹<sup>[25]</sup>。整体上, 在同一养殖环境下, 组织系数的差异很可能是遗传因素造成的<sup>[31]</sup>, 具体遗传因素对其影响程度有待深入研究。就肥满度和性腺指数而言, 参照 NY 5064—2001 中华绒螯蟹理化指标标准<sup>[32]</sup>, 本研究中白壳和绿壳组成蟹均达到了一等蟹的标准。

#### 3.2 色泽和类胡萝卜素

色泽参数 ( $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$ ) 测定模型是目前水产动物中色泽指标常用的数字化测定方法<sup>[33]</sup>。本研

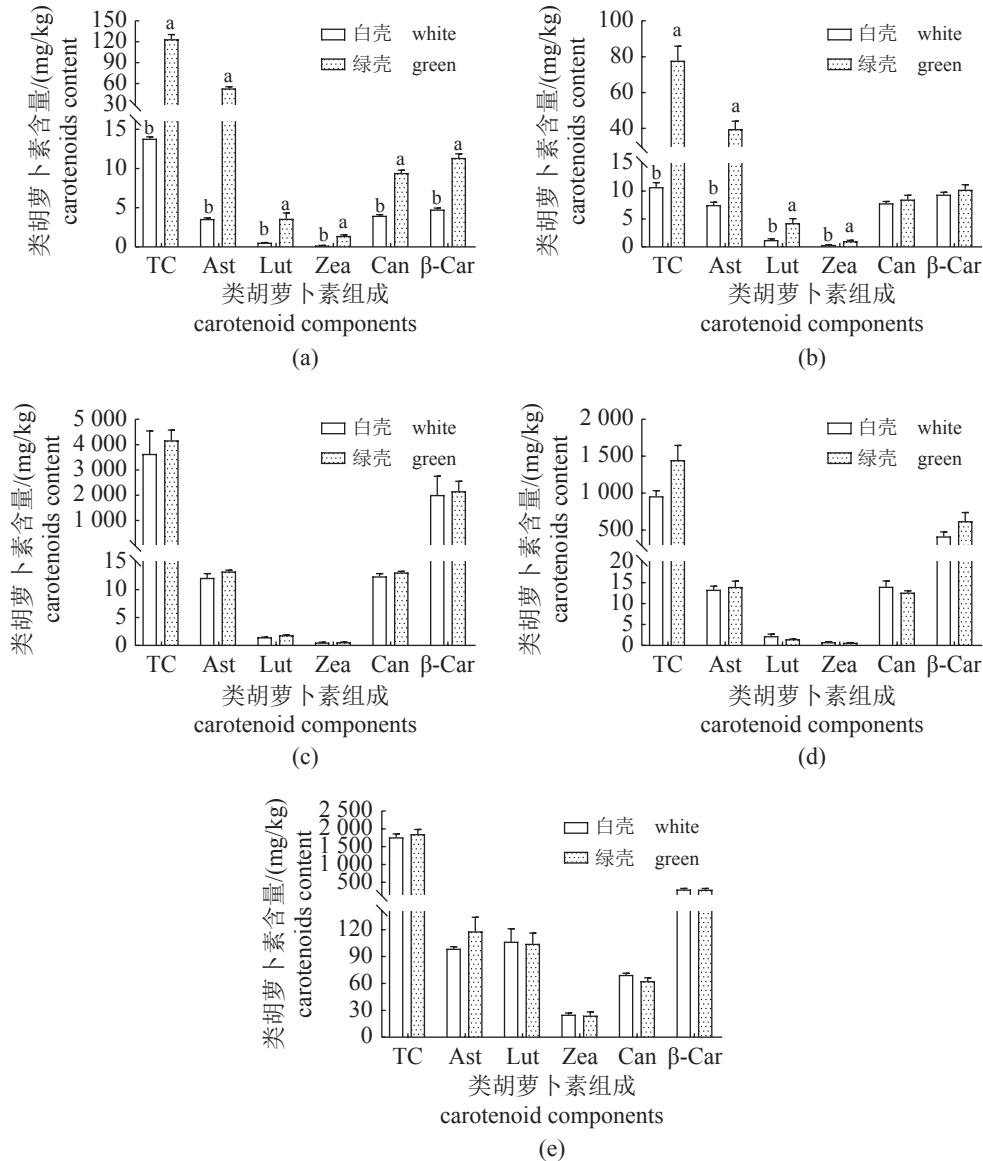


图3 中华绒螯蟹白壳和绿壳品系蟹壳、肝胰腺和卵巢中主要类胡萝卜素含量 (mg/kg 湿重) 比较

图中上标不同小写字母表示同一指标在不同色泽之间差异显著 ( $P < 0.05$ ); TC. 总类胡萝卜素, Ast. 虾青素, Lut. 叶黄素, Zea. 玉米黄素, Can. 角黄素, β-Car. β类胡萝卜素. (a) 雌蟹蟹壳, (b) 雄蟹蟹壳, (c) 雌蟹肝胰腺, (d) 雄蟹肝胰腺, (e) 雌蟹卵巢.

Fig. 3 Main carotenoid composition (mg/kg wet weight) in carapace, hepatopancreas and ovaries from white and green *E. sinensis*

Data with different lowercase letters for the same indicator indicate significant differences between different colors ( $P < 0.05$ ); TC. total carotenoids, Ast. astaxanthin, Lut. lutein, Zea. zeaxanthin, Can. canthaxanthin, β-Car. β-carotenoid. (a) female carapace, (b) male carapace, (c) female hepatopancreas, (d) male hepatopancreas, (e) female ovaries.

究中, 白壳组蟹壳  $a^*$  值显著低于绿壳组, 而亮度值 ( $L^*$ ) 和黄度值 ( $b^*$ ) 显著高于绿壳组, 但是白壳蟹肝胰腺和卵巢中色泽参数与绿壳组无显著差异。这说明白壳蟹的蟹壳颜色不影响肝胰腺和卵巢色泽。以往研究表明, 紫壳蟹的壳色影响肝胰腺和卵巢的  $a^*$  值 [13]。白壳和紫壳壳色对可食组织色泽的影响不同, 可能主要由白壳蟹和紫壳蟹壳色形成机理差异导致, 而水产动物组织中色泽的差异

往往与组织中类胡萝卜素尤其是虾青素的含量有关 [14, 34-35]。如黑色斑节对虾 (*Penaeus monodon*) 比白色斑节对虾肌肉中含有更多的类胡萝卜素, 导致其肌肉中的  $a^*$  值也显著高于白色斑节对虾 [36]。

虾青素在甲壳动物中通常以非共价键的形式与虾青蛋白结合, 形成虾青素核心发色团对色泽进行调控, 致使甲壳动物外骨骼中呈现各种可见的颜色。甲壳动物经过烹饪会导致这种相互作用

表3 中华绒螯蟹白壳和绿壳品系肝胰腺、性腺和肌肉中常规生化含量比较(湿重)

Tab. 3 Proximate composition in hepatopancreas, gonads and muscle of white and green *E. sinensis* (wet weight) %

组织 tissue	类别 item	雌体 female		雄体 male	
		白壳 white	绿壳 green	白壳 white	绿壳 green
肝胰腺 hepatopancreas	水分 moisture	50.58±0.41	50.92±1.28	53.82±3.04	54.48±4.27
	蛋白 protein	7.07±0.54	6.83±0.16	9.99±0.42	11.55±1.12
	总脂 total lipid	45.06±0.32	44.01±1.87	33.22±1.22	31.32±2.46
	灰分 ash	1.05±0.07	0.81±0.04	1.68±0.26	1.72±0.16
性腺 gonads	水分 moisture	50.09±3.95	48.08±2.26	72.06±0.80	70.41±0.73
	蛋白 protein	31.14±1.73	31.15±0.24	17.22±1.04	17.97±0.51
	总脂 total lipid	15.43±0.49	15.29±0.49	0.83±0.17	0.81±0.06
	灰分 ash	2.38±0.37	2.57±0.16	1.59±0.19	1.75±0.13
肌肉 muscle	水分 moisture	79.11±0.45	78.93±0.67	78.41±0.46	79.66±0.62
	蛋白 protein	18.81±0.55	18.75±0.24	17.4±0.34	18.02±0.63
	总脂 total lipid	1.18±0.05	1.19±0.02	1.10±0.03	1.16±0.09
	灰分 ash	1.84±0.15	1.79±0.04	2.02±0.09	1.84±0.09

表4 中华绒螯蟹白壳和绿壳品系雌蟹肝胰腺、卵巢和肌肉中主要脂肪酸的百分含量

Tab. 4 Fatty acids composition in hepatopancreas, ovaries and muscle from white and green female *E. sinensis* %

脂肪酸 fatty acids	肌肉 muscle		卵巢 ovaries		肝胰腺 hepatopancreas	
	白壳 white	绿壳 green	白壳 white	绿壳 green	白壳 white	绿壳 green
C16:0	9.13±0.36	10.08±0.02	11.93±0.46	11.52±0.31	16.16±0.82	15.43±0.08
C18:0	4.81±0.26	5.16±0.01	2.57±0.11	2.99±0.11	1.85±0.08 <sup>b</sup>	2.32±0.08 <sup>a</sup>
<b>ΣSFA</b>	<b>15.82±0.74</b>	<b>17.00±0.07</b>	<b>16.89±0.52</b>	<b>16.05±0.25</b>	<b>21.11±0.54</b>	<b>20.27±0.13</b>
C16:1n7	1.82±0.08	1.77±0.04	7.41±0.68	5.62±0.43	6.61±0.18	5.87±0.04
C18:1n	18.80±0.63	19.89±0.15	27.54±0.91	25.38±0.15	31.20±1.68	30.12±0.64
C20:1n9	1.38±0.29	1.60±0.08	1.83±0.21	1.62±0.11	2.32±0.41	3.26±0.22
<b>ΣMUFA</b>	<b>22.42±0.42</b>	<b>23.68±0.09</b>	<b>37.64±1.46</b>	<b>33.83±0.68</b>	<b>40.98±1.27</b>	<b>40.22±0.47</b>
C18:2n6	13.04±0.16 <sup>b</sup>	16.00±0.24 <sup>a</sup>	16.22±1.71	19.66±0.75	18.57±2.29	21.13±0.34
C18:3n3	1.74±0.18	1.97±0.11	3.33±0.42	4.07±0.35	2.53±0.62	3.01±0.16
C20:2n6	2.39±0.34	2.94±0.03	1.88±0.19	2.14±0.12	2.04±0.11	2.48±0.11
C20:4n6	7.16±0.11 <sup>a</sup>	6.18±0.14 <sup>b</sup>	3.69±0.28	3.54±0.15	1.70±0.05	1.79±0.13
C20:5n3	13.86±1.13	13.64±0.36	6.30±0.50	5.69±0.32	1.74±0.23	1.46±0.08
C22:6n3	9.54±0.61	11.23±0.22	5.19±0.39	4.88±0.09	2.80±0.37	2.39±0.21
<b>ΣPUFA</b>	<b>49.13±2.27</b>	<b>53.39±0.22</b>	<b>38.19±1.84</b>	<b>41.57±0.64</b>	<b>30.68±2.29</b>	<b>33.32±0.29</b>
ΣLC-PUFA	34.35±2.19	35.42±0.36	18.64±0.49	17.85±0.51	9.59±0.77	9.18±0.04
Σn-3PUFA	27.26±2.07	29.10±0.16	17.37±0.76	17.31±0.13	9.25±0.48	8.70±0.22
Σn-6PUFA	22.59±0.45 <sup>b</sup>	25.12±0.11 <sup>a</sup>	21.80±2.12	25.34±0.52	22.31±2.34	25.39±0.44
n-3/n-6	1.21±0.08	1.16±0.01	0.83±0.12	0.68±0.01	0.43±0.07	0.34±0.01
DHA/EPA	0.69±0.01 <sup>b</sup>	0.82±0.03 <sup>a</sup>	0.82±0.01	0.87±0.07	1.61±0.06	1.65±0.16

注: 少于1%的脂肪酸没有列在表中, 表中数据加粗表示汇总数据; ΣSFA.总饱和脂肪酸; ΣMUFA.总单不饱和脂肪酸; ΣPUFA.总多不饱和脂肪酸; ΣLC-PUFA.总高度不饱和脂肪酸; Σn-3PUFA.总n-3多不饱和脂肪酸; Σn-6PUFA.总n-6多不饱和脂肪酸; n-3/n-6.总n-3多不饱和脂肪酸与总n-6多不饱和脂肪酸比值; 同行数据上标中含有不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 表5同。

Notes: The fatty acids with percentage of less than 1% were not shown in the table, summary data were shown in bold. ΣSFA. total amount of saturated fatty acids; ΣMUFA. total amount of monounsaturated fatty acids; ΣPUFA. total amount of polyunsaturated fatty acids; ΣLC-PUFA. total PUFA with 20 or more atoms of carbon; Σn-3PUFA. total omega-3 polyunsaturated fatty acids. Σn-6PUFA. total omega-6 polyunsaturated fatty acids. n-3/n-6. the ratio of Σn-3PUFA/Σn-6PUFA. Values in the same column with different superscripts are significantly different ( $P<0.05$ ); the same as Tab.5.

表 5 中华绒螯蟹白壳和绿壳品系雄蟹肝胰腺、性腺和肌肉中主要脂肪酸的百分含量  
Tab. 5 Fatty acids composition in hepatopancreas, gonads and muscle from white and green male *E. sinensis* %

脂肪酸 fatty acids	肌肉 muscle		性腺 gonads		肝胰腺 hepatopancreas	
	白壳 white	绿壳 green	白壳 white	绿壳 green	白壳 white	绿壳 green
C16:0	9.19±0.57	9.23±0.20	6.92±0.52	7.58±0.31	14.35±0.15	13.72±0.65
C18:0	5.05±0.02 <sup>b</sup>	5.83±0.21 <sup>a</sup>	5.15±0.20 <sup>b</sup>	6.37±0.15 <sup>a</sup>	1.97±0.01	2.37±0.14
<b>ΣSFA</b>	<b>16.07±0.48</b>	<b>16.73±0.28</b>	<b>13.93±0.69</b>	<b>15.36±0.46</b>	<b>20.18±0.35</b>	<b>19.12±0.68</b>
C16:1n7	1.76±0.32	1.16±0.08	1.14±0.09	1.02±0.05	4.58±0.37	4.69±0.10
C18:1n	20.59±1.31	18.57±0.72	17.70±0.67	16.85±0.75	28.69±0.51	30.31±0.64
C20:1n9	1.94±0.05	1.88±0.06	3.42±0.04	2.26±0.37	3.65±0.30	1.51±0.65
<b>ΣMUFA</b>	<b>24.77±1.64</b>	<b>22.01±0.69</b>	<b>24.44±0.50</b>	<b>22.07±0.86</b>	<b>37.56±0.46</b>	<b>37.25±1.46</b>
C18:2n6	11.22±0.51	13.24±0.47	6.86±0.49	7.83±0.36	17.42±1.97	20.22±1.43
C18:3n3	1.57±0.14	1.72±0.14	0.94±0.10	0.83±0.09	2.44±0.15	2.66±0.32
C20:2n6	3.55±0.36	3.35±0.23	5.57±0.37	5.18±0.27	3.36±0.67	2.59±0.46
C20:4n6	7.95±1.07	6.19±0.13	18.06±1.12	15.06±0.42	3.35±0.75	2.61±0.65
C20:5n3	14.98±0.06	16.64±0.51	11.16±0.72	11.31±0.63	2.54±0.05	3.25±0.59
C22:6n3	11.05±0.46	11.64±0.23	5.51±0.46	4.97±0.34	4.10±0.21	4.48±0.42
<b>ΣPUFA</b>	<b>51.81±1.71</b>	<b>54.4±0.64</b>	<b>49.79±0.53</b>	<b>47.03±1.07</b>	<b>34.52±0.45<sup>b</sup></b>	<b>36.74±0.42<sup>a</sup></b>
ΣLC-PUFA	39.02±1.28	39.44±0.82	41.99±0.74	38.36±0.82	14.65±1.67	13.86±2.03
Σn-3PUFA	30.00±0.19 <sup>b</sup>	32.80±0.79 <sup>a</sup>	20.48±0.83	20.36±1.19	11.09±0.18	11.75±0.76
Σn-6PUFA	22.72±1.82	22.78±0.48	30.49±1.06	28.07±0.33	24.14±0.60	25.41±0.47
n-3/n-6	1.35±0.12	1.44±0.05	0.68±0.05	0.73±0.04	0.46±0.02	0.46±0.04
DHA/EPA	0.74±0.03	0.70±0.02	0.50±0.05	0.44±0.01	1.62±0.12	1.44±0.11

被破坏, 高温下蛋白质失活释放虾青素原来的颜色, 致使水产动物呈现明显红色<sup>[37-39]</sup>。以往研究表明, 紫壳蟹和绿壳蟹煮熟蟹壳均为红色<sup>[13]</sup>。而本研究中, 白壳蟹煮熟依然为白壳, 这表明白壳组蟹壳中可能无虾青素, 而本研究在煮熟蟹壳中仍检测出极少量的虾青素, 推测可能是测定蟹壳类胡萝卜素组成时, 由于蟹壳内膜紧贴住蟹壳内壁, 难以全部剔除干净, 导致蟹壳上残留少量的内膜。以往研究也表明, 正常绿壳品系蟹壳内膜中含有虾青素<sup>[40]</sup>。因此, 通过蟹壳煮熟壳色的显著差异可以推测白壳与紫壳和绿壳蟹的壳色形成机理可能存在较大差异。

### 3.3 常规生化、脂肪酸和氨基酸

可食组织中常规生化和脂肪酸组成是评价水产动物营养价值的重要指标, 其组成受遗传、养殖环境、发育阶段和饵料等多种因素影响<sup>[29-31, 41-43]</sup>。本研究中, 白壳组和绿壳组中常规生化和大部分脂肪酸百分含量无显著差异, 这是因为中华绒螯蟹的常规生化成分主要受环境调控(饲料、水环境等)。本研究采用同池混养模式, 有利于排除环境

和饲料差异, 所以两种壳色中华绒螯蟹常规生化成分和脂肪酸营养组成较为接近, 其主要成分的含量与以往的有关绿壳品系中华绒螯蟹的研究结果基本一致<sup>[25, 31]</sup>。本研究发现, 白壳雌蟹肌肉中ARA显著高于绿壳雌蟹, 白壳雄蟹3种可食组织中ARA含量也较高, 但与绿壳组差异不显著。在相同养殖条件下出现的脂肪酸含量差异很可能是白壳蟹自身遗传因素导致。以往也有研究报道, 相同养殖条件下, 红色的脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)新品系肌肉中EPA和DHA含量高于正常体色脊尾白虾<sup>[42]</sup>。雌蟹紫壳较绿壳含有更高含量的EPA, 雄蟹紫壳较绿壳有更高含量的ARA<sup>[13]</sup>。可见, 不同色泽的虾蟹品系其脂肪酸含量存在一定差异, 这种差异大小因色泽和物种差异而不同。

氨基酸是蛋白质的基本成分, 其组成和含量决定着蛋白质的营养价值<sup>[43]</sup>。EAA/TAA比值是广泛应用于水产品氨基酸营养评价的指标<sup>[25, 44]</sup>。本研究中, 白壳和绿壳蟹肌肉的EAA/TAA比值为0.4, 均达到了FAO/WHO/UNU推荐的标准值<sup>[45]</sup>。白壳和绿壳蟹绝大部分氨基酸含量无显著差异,



表 6 中华绒螯蟹白壳和绿壳品系肌肉中主要氨基酸组成

Tab. 6 Amino acids contents in muscle from white and green *E. sinensis*

mg/g 湿重

氨基酸 amino acids	雌体 female		雄体 male	
	白壳 white	绿壳 green	白壳 white	绿壳 green
异亮氨酸 Ile	7.10±0.03 <sup>a</sup>	7.47±0.08 <sup>b</sup>	6.89±0.22	7.07±0.22
亮氨酸 Leu	12.91±0.29	13.33±0.15	12.24±0.45	12.64±0.52
赖氨酸 Lys	13.29±0.37	13.22±0.25	12.73±0.17	12.66±0.22
蛋氨酸 Met	4.69±0.16	4.64±0.02	4.39±0.17	4.42±0.18
半胱氨酸 Cys	2.38±0.10	2.36±0.04	2.43±0.13	2.32±0.07
苯丙氨酸 Phe	7.53±0.03	7.90±0.11	7.02±0.24	7.59±0.32
酪氨酸 Tyr	7.02±0.01 <sup>a</sup>	7.43±0.09 <sup>b</sup>	6.74±0.27	6.97±0.25
苏氨酸 Thr	7.71±0.09	7.83±0.08	7.23±0.21	7.34±0.34
缬氨酸 Val	7.99±0.06	8.31±0.11	7.55±0.28	7.90±0.34
色氨酸 Trp	2.08±0.10	2.09±0.07	1.85±0.16	1.91±0.09
<b>必需氨基酸 EAA</b>	<b>72.7±1.17</b>	<b>74.58±0.20</b>	<b>69.06±2.30</b>	<b>70.81±2.56</b>
天冬氨酸 Asp	17.14±0.16	17.85±0.32	16.10±0.52	17.09±0.71
丝氨酸 Ser	7.04±0.21	6.91±0.18	6.72±0.05	6.34±0.42
谷氨酸 Glu	26.77±1.17	27.18±0.52	26.60±1.02	26.23±1.26
甘氨酸 Gly	13.01±1.62	12.83±0.47	13.45±0.17	12.63±0.34
丙氨酸 Ala	13.36±0.46	13.47±0.45	12.74±0.44	12.52±0.01
组氨酸 His	4.78±0.23	5.14±0.17	4.26±0.15	4.82±0.15
精氨酸 Arg	16.42±0.83	16.33±0.30	15.98±0.17	15.71±0.28
脯氨酸 Pro	10.78±0.10	10.87±0.33	9.03±0.05	9.86±0.68
<b>非必需氨基酸 NEAA</b>	<b>109.3±4.12</b>	<b>110.58±1.02</b>	<b>104.89±2.37</b>	<b>105.19±3.83</b>
<b>总氨基酸 TAA</b>	<b>182.00±5.29</b>	<b>185.16±1.21</b>	<b>173.94±4.67</b>	<b>176.00±6.39</b>
<b>EAA/TAA</b>	<b>0.40±0.01</b>	<b>0.40±0.00</b>	<b>0.40±0.00</b>	<b>0.40±0.01</b>

注: EAA. 必需氨基酸, NEAA. 非必需氨基酸, TAA. 总氨基酸。雌蟹或雄蟹的同行数据中含有不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。  
Notes: EAA. total essential amino acids, NEAA. total no-essential amino acids, TAA. total amino acids. Values in the same row with different letter mean significant difference in the female or male crabs ( $P<0.05$ ).

表 7 中华绒螯蟹白壳和绿壳品系肌肉中必需氨基酸分值

Tab. 7 Essential amino acids score (EAAS) in muscle from white and green *E. sinensis*

必需氨基酸 essential amino acids	雌体 female		雄体 male	
	白壳 white	绿壳 green	白壳 white	绿壳 green
异亮氨酸 Ile	133.37	140.38	126.80	136.44
亮氨酸 Leu	102.99	106.28	95.65	103.45
赖氨酸 Lys	120.64	119.95	113.10	117.98
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	148.89	147.45	145.70	145.70
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	121.53	128.04	124.88	124.88
苏氨酸 Thr	119.27	121.18	109.59	116.59
缬氨酸 Val	120.19	124.99	111.17	121.91
色氨酸 Trp	99.59	100.14	86.70	94.01
平均值 mean	120.81	123.55	114.20	120.12

注: 氨基酸评分=100×样品中一种必需氨基酸含量/粮农组织参考蛋白中一种必需氨基酸含量。  
Notes: EAAS=100 × one essential amino acid content in sample/one essential amino acid content in FAO reference protein (WHO/FAO/UNU, 2007).

以往大量研究也表明, 中华绒螯蟹肌肉中氨基酸含量具有相对稳定性<sup>[13, 25, 43]</sup>。但白壳组中异亮氨酸

和酪氨酸低于绿壳组, 尤其雌体差异较为显著, 推测一方面可能是饵料因素导致, 另一方面可能

是遗传因素, 至于这两种氨基酸与中华绒螯蟹体色形成机理是否有关还有待深入研究。此外, 有研究表明, 中华绒螯蟹肌肉中的甘氨酸呈现甜味, 精氨酸有利于提升鲜味和口感持续性<sup>[46-47]</sup>。本研究中, 白壳蟹肌肉的甘氨酸和精氨酸略高于绿壳蟹, 这也暗示其甜味和鲜味可能也会更明显。

综上所述, 白壳和绿壳品系中华绒螯蟹可食率接近, 且可食组织中常规生化成分、脂肪酸、氨基酸含量和类胡萝卜素含量接近, 但白壳雌蟹含有更高比例的花生四烯酸。因此, 白壳品系中华绒螯蟹与正常的绿壳品系含有相似的食用价值和营养价值, 未来具有一定的应用前景。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

#### 参考文献 (References):

- [1] 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.  
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 (in Chinese).
- [2] Long X W, Wu X G, Zhao L, *et al.* Effects of dietary supplementation with *Haematococcus pluvialis* cell powder on coloration, ovarian development and antioxidant capacity of adult female Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. *Aquaculture*, 2017, 473: 545-553.
- [3] 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. 中国渔业统计年鉴-2021[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 3.  
Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. 2021 China fishery statistical year book[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 3 (in Chinese).
- [4] 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.
- [5] Wang S, He Y, Wang Y Y, *et al.* Comparison of flavour qualities of three sourced *Eriocheir sinensis*[J]. *Food Chemistry*, 2016, 200(1): 24-31.
- [6] Wu H R, Ge M T, Chen H F, *et al.* Comparison between the nutritional qualities of wild-caught and rice-field male Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*)[J]. *LWT*, 2020, 117: 108663.
- [7] Chandrapavan A, Gardner C, Linnane A, *et al.* Colour variation in the southern rock lobster *Jasus edwardsii* and its economic impact on the commercial industry[J]. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 2009, 43(1): 537-545.
- [8] Shahidi F, Brown J A. Carotenoid pigments in seafoods and aquaculture[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1998, 38(1): 1-67.
- [9] Parisenti J, Beirão L H, Tramonte V L C G, *et al.* Preference ranking of colour in raw and cooked shrimps[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2011, 46(12): 2558-2561.
- [10] Baldwin J, Johnsen S. The male blue crab, *Callinectes sapidus*, uses both chromatic and achromatic cues during mate choice[J]. *Journal of Experimental Biology*, 2012, 215(7): 1184-1191.
- [11] Wade N M, Tollenaere A, Hall M R, *et al.* Evolution of a novel carotenoid-binding protein responsible for crustacean shell color[J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2009, 26(8): 1851-1864.
- [12] Zhao Y Y, Zhu X C, Han Z B, *et al.* Comparative analysis of transcriptomes from different coloration of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis*[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2020, 98: 515-521.
- [13] Li Q Q, Zu L, Cheng Y X, *et al.* Carapace color affects carotenoid composition and nutritional quality of the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. *LWT*, 2020, 126: 109286.
- [14] 李清清. 中华绒螯蟹色泽遗传参数评估及色泽形成机制研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.  
Li Q Q. Estimates of genetic parameters for colour traits and colour formation mechanism in *Eriocheir sinensis*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019 (in Chinese).
- [15] 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.
- [16] Sachindra N M, Bhaskar N, Mahendrakar N S. Carotenoids in crabs from marine and fresh waters of India[J]. *LWT*, 2005, 38(3): 221-225.
- [17] Fiedor J, Burda K. Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease[J]. *Nutrients*, 2014, 6(2): 466-488.

- [18] Hughes D A. Dietary carotenoids and human immune function[J]. *Nutrition*, 2001, 17(10): 823-827.
- [19] Cenariu D, Fischer-Fodor E, Virag P, *et al.* *In vitro* anti-tumour activity of tomato-extracted carotenoids on human colorectal carcinoma[J]. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2015, 43(2): 293-301.
- [20] Yamashita E. Astaxanthin as a medical food[J]. *Functional Foods in Health and Disease*, 2013, 3(7): 254-258.
- [21] Li Q Q, Sun Q F, Liu Q, *et al.* Estimation of genetic parameters for carotenoid traits in Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*, females[J]. *Aquaculture*, 2021, 532: 735990.
- [22] Folch J, Lees M, Stanley G H S. 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.
- [23] Sidney W. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists[M]. 16th ed. Washington: AOAC, 1998.
- [24] 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.
- [25] Jiang X D, Wang H N, Cheng Y X, *et al.* Growth performance, gonad development and nutritional composition of Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* selected for growth and different maturity time[J]. *Aquaculture*, 2020, 523: 735194.
- [26] 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.
- [27] Spindler M, Stadler R, Tanner H. Amino acid analysis of feedstuffs: determination of methionine and cystine after oxidation with performic acid and hydrolysis[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1984, 32(6): 1366-1371.
- [28] FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation[R]. Geneva: World Health Organization Technical Report Series724, 1985.
- [29] 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.
- [30] 常国亮, 成永旭, 丁怀宇, 等. 早熟中华绒螯蟹雄蟹性腺指数、性腺生化成分及脂肪酸组成变化[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2014, 42(1): 120-123.
- [31] Chang G L, Cheng Y X, Ding H Y, *et al.* Comparison of GSI, gross biochemical and fatty acid composition in male gonads between normal and precocious Chinese crab, *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition)*, 2014, 42(1): 120-123 (in Chinese).
- [32] 赵恒亮, 吴旭干, 姜晓东, 等. 池塘养殖条件下长江、黄河和辽河种群中华绒螯蟹雌体卵巢发育和营养组成的比较研究[J]. *水产学报*, 2017, 41(1): 109-122.
- [33] Zhao H L, Wu X G, Jiang X D, *et al.* Comparative study on gonadal development and nutritional composition among Yangtze, Huang, and Liao River populations of adult female *Eriocheir sinensis* cultured in earth ponds[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(1): 109-122 (in Chinese).
- [34] 中华人民共和国农业部. NY 5064-2001 无公害食品中华绒螯蟹 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [35] Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. NY 5064-2001 Pollution-free food Chinese mitten crab[S]. Beijing: China Standard Press, 2001 (in Chinese).
- [36] Wade N M, Paulo C, Goodall J, *et al.* Quantitative methods to measure pigmentation variation in farmed Giant Tiger Prawns, *Penaeus monodon*, and the effects of different harvest methods on cooked colour[J]. *Aquaculture*, 2014, 433: 513-519.
- [37] Yagiz Y, Kristinsson H G, Balaban M O, *et al.* Correlation between astaxanthin amount and  $a^*$  value in fresh Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle during different irradiation doses[J]. *Food Chemistry*, 2010, 120(1): 121-127.
- [38] Christiansen R, Struksnaes G, Estermann R, *et al.* Assessment of flesh colour in Atlantic salmon, *Salmo salar* L.[J]. *Aquaculture Research*, 1995, 26(5): 311-321.
- [39] Benjakul S, Visessanguan W, Kijroongrojana K, *et al.* Effect of heating on physical properties and microstructure of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) meats[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2008, 43(6): 1066-1072.

- [37] Cheesman D F, Lee W L, Zagalsky P F. Carotenoproteins in invertebrates[J]. *Biological Reviews*, 1967, 42(1): 131-160.
- [38] Ertl N G, Elizur A, Brooks P, *et al.* Molecular characterisation of colour formation in the prawn *Fenneropenaeus merguensis*[J]. *PLoS One*, 2013, 8(2): e56920.
- [39] Cianci M, Rizkallah P J, Olczak A, *et al.* The molecular basis of the coloration mechanism in lobster shell:  $\beta$ -crustacyanin at 3.2-Å resolution[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2002, 99(15): 9795-9800.
- [40] Su F, Yu W J, Liu J G. Comparison of effect of dietary supplementation with *Haematococcus pluvialis* powder and synthetic astaxanthin on carotenoid composition, concentration, esterification degree and astaxanthin isomers in ovaries, hepatopancreas, carapace, epithelium of adult female Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. *Aquaculture*, 2020, 523: 735146.
- [41] Wu X, Chang G, Cheng Y, *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.
- [42] Zhang C S, Li S H, Yu Y, *et al.* Comparative study on nutrient composition and quality evaluation in a new variety and wild-typed ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*)[J]. *Aquaculture Research*, 2019, 50(11): 3223-3230.
- [43] 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.
- [44] 吴旭干, 汪倩, 楼宝, 等. 育肥时间对三疣梭子蟹卵巢发育和营养品质的影响[J]. *水产学报*, 2014, 38(2): 170-182.
- Wu X G, Wang Q, Lou B, *et al.* Effects of fattening period on ovarian development and nutritional quality of female swimming crab (*Portunus trituberculatus*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(2): 170-182 (in Chinese).
- [45] FAO/WHO. Fats and oils in human nutrition report of a joint expert consultation[R]. Geneva: WHO, 1994: 19-26.
- [46] 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.
- 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 (in Chinese).
- [47] 赵恒亮, 吴旭干, 龙晓文, 等. 长江、黄河和辽河种群中华绒螯蟹雄体成蟹可食组织营养组成的比较[J]. *中国水产科学*, 2016, 23(5): 1117-1129.
- Zhao H L, Wu X G, Long X W, *et al.* Nutritional composition of cultured adult male *Eriocheir sinensis* from Yangtze River, Yellow River and Liaohe River[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(5): 1117-1129 (in Chinese).

## Comparison of edible yield, carotenoid content and nutritional composition between the white carapace strain and green carapace strain of adult *Eriocheir sinensis*

ZHANG Dongdong<sup>1</sup>, FAN Chenwei<sup>1</sup>, JIANG Xiaodong<sup>1</sup>, CHENG Yongxu<sup>1,2,3</sup>, WU Xugan<sup>1,2,3\*</sup>

(1. Key Laboratory of Freshwater Aquatic Genetic Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

3. National Demonstration Centre for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) is an important aquaculture species in China, with annual culture production of around 800, 000 tons. Although more than 90% of adult *E. sinensis* have green carapace and limbs, there are a very small percentage of crabs with uncommon carapace color in wild or domesticated populations, including purple, yellow, red and white ones. Color is an important economic trait for customer acceptance and economic value of Chinese mitten crab, making it a potential target trait for the genetic breeding of this species. *E. sinensis* with white carapace is a new strain introduced by genetic breeding programs, which has several characteristics including heritable white color and fast growth rate. However, it remains unclear how the white strain compares to the normal green strain of adult *E. sinensis* in total edible yield and nutritional quality. Therefore, juvenile crabs of the two strains were reared in the same pond until the commercial size, and their edible yield, carotenoid content and nutritional composition were compared. The study showed the following. ① There were no significant differences in tissue coefficient, edible yield, and conditional factor between white and green *E. sinensis*. ( $P>0.05$ ). ② The lightness ( $L^*$ ) value in wet and dry samples of the white strain was significantly higher than that of the green strain, but the redness ( $a^*$ ) value was significantly lower in the white strain ( $P>0.05$ ). No significant differences were found in color parameters in hepatopancreas and ovaries ( $P>0.05$ ). ③ The contents of total carotenoid and astaxanthin in the carapace of the white strain were significantly lower than those of the green strain ( $P<0.05$ ), but there were no significant differences in hepatopancreas and ovaries between the two strains ( $P>0.05$ ). ④ There was no significant difference in the content of proximate composition in edible tissue while some differences existed in fatty acid composition between the two strains. The C20:4n6 in the muscle of white females was significantly higher than that of green strain ( $P<0.05$ ). However, 18:0, 18:2n6 and docosahexaenoic acid (DHA) / eicosapentaenoic acid (EPA) ratios in hepatopancreas of green females were significantly higher than those of white females ( $P<0.05$ ). ⑤ Irrespective of sex, there were no significant differences in the composition of most amino acids and essential amino acid scores between the two strains ( $P>0.05$ ), and white females had significantly lower levels of isoleucine and tyrosine in muscle than green females ( $P<0.05$ ). In conclusion, although the white carapace strain of *E. sinensis* had the lower color parameter and carotenoids content in the carapace than the green strain, the two strains had similar level of edible yields, proximate composition, the contents of major carotenoids, fatty acid composition and amino acid contents in their edible tissues, which suggested the white carapace strain of adult *E. sinensis* has similar nutritional quality with green strain and potential value for the farming industry of this species.

**Key words:** *Eriocheir sinensis*; white carapace strain; carotenoid; fatty acids; amino acids

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

**Funding projects:** Key R & D Program from Ministry of Science and Technology of China (2018YFD0900103, 2018YFD0900603); Chinese Agriculture Research System (CARS-48); Shanghai Municipal Education Commission "Shu Guang" Project (17SG46); Shanghai Chongming District "Sustainable Development Science and Technology Innovation Action Plan" Project (CK2022-39); Shanghai Science and Technology Commission "Science and Technology Innovation Action Plan" Agricultural Science and Technology Field Project (23N71900100)