



## 青蛤不同壳色个体间的生长及营养差异

魏敏<sup>1,2</sup>, 吴雨晨<sup>1</sup>, 陈东<sup>1</sup>, 张明月<sup>1</sup>, 王亦我<sup>1</sup>,  
仇佳文<sup>1</sup>, 仇攀<sup>1</sup>, 宋杰<sup>1</sup>, 董志国<sup>1,2\*</sup>

(1. 江苏海洋大学, 江苏省海洋生物资源与生态环境重点实验室,

江苏省海洋生物技术重点实验室, 江苏 连云港 222005;

2. 江苏海洋大学, 江苏省海洋生物产业技术协同创新中心, 江苏 连云港 222005)

**摘要:** 为了探究青蛤壳色性状与其生长和营养成分之间的关系, 实验对青蛤不同壳色个体的生长指标及营养组分进行了测定分析。结果显示, 青蛤紫壳个体(整体)的湿重、壳长、水管和鳃组织湿重占比显著高于白壳个体, 青蛤紫壳个体(整体)的壳宽和外套膜组织湿重占比极显著高于白壳个体。青蛤紫壳个体可食部分的粗脂肪和粗蛋白含量极显著高于白壳个体。紫/白壳个体的必需氨基酸与总氨基酸比值分别为 37.46% 和 37.02%, 且紫壳个体显著高于白壳个体; 必需氨基酸与非必需氨基酸比值分别为 67.72% 和 66.60%, 且紫壳个体显著高于白壳个体, 表明紫壳个体氨基酸平衡效果优于白壳个体, 且均属于优质蛋白。紫壳个体和白壳个体中的单不饱和脂肪酸主要以棕榈酸为主, 分别占可食部分脂肪酸总量的 9.97% 和 9.85%, 多不饱和脂肪酸主要以 EPA 和 DHA 为主, 其中 EPA 分别占脂肪酸总量的 6.64% 和 6.54%, DHA 分别占脂肪酸总量的 8.00% 和 8.51%。研究表明, 紫/白壳个体间在生长和营养上均存在一定差异, 且紫壳性状与其生长和营养存在一定正向关联关系, 为利用紫壳性状作为遗传标记进行青蛤良种选育提供了理论依据。

**关键词:** 青蛤; 壳色; 生长; 营养

**中图分类号:** S 917.4

**文献标志码:** A

青蛤 (*Cyclina sinensis*) 属鳃瓣纲 (Lamellibranchia) 帘蛤目 (Veneroida) 帘蛤科 (Veneridae), 俗称黑蛤、铁蛤、牛眼蛤、蛤蜊、圆蛤、石头螺等, 为暖水性种类, 在我国南北沿海均有分布。其肉质鲜美, 营养丰富, 属高蛋白食品<sup>[1]</sup>, 含有多种人体所需氨基酸和微量元素, 并且具有生长快、品质优、适应性强等特点, 在我国沿海具有广阔的养殖前景<sup>[2-3]</sup>。近年来, 由于人工蛤苗繁育的难度增大, 养殖病害多发, 再加上种质资源的退化, 导致青蛤品质和养殖产量下降。因此, 开展青蛤

良种选育具有重要意义。贝类壳色常呈现出多态性, 其既受遗传基因的控制, 又受环境、饵料等因素的影响, 同时贝类壳色还与存活、生长、发育及抗病力等性状存在关联<sup>[4]</sup>。贝类壳色与其他优良性状存在关联时, 可利用易于观测的壳色作为遗传标记对其他目标性状进行选择, 运用壳色作为遗传标记进行选育已成功获得一系列品质优良的新品种。例如, “海大金贝” 虾夷扇贝 (*Patinopecten yessoensis*)、 “中科红” 海湾扇贝 (*Argopecten irradians*)、 “南澳金贝” 华贵栉孔扇贝 (*Mimachla-*

收稿日期: 2020-11-13 修回日期: 2020-12-28

资助项目: 江苏省自然科学基金 (BK20191008); 江苏省六大人才高峰项目 (NY-113); 江苏省海洋生物技术重点实验室开放研究基金 (HS2018002); 江苏省优势学科建设工程资助项目; 江苏省研究生科研与实践创新计划 (SJCX20\_1283, SJCX20\_1291, SJCX20\_1292, SJCX20\_1294, SJCX20\_1296); 江苏海洋大学大学生实践创新培训计划 (Z201911641105001)

第一作者: 魏敏 (照片), 从事水产养殖学研究, E-mail: weimin@jou.edu.cn

通信作者: 董志国, 从事贝类遗传育种研究, E-mail: dzg7712@163.com



*mys nobilis*)、 “万里红”文蛤 (*Meretrix meretrix*)、 “红白斑马”菲律宾蛤仔 (*Ruditapes philippinarum*) 等。

自然条件下, 贝类壳色多种多样, 主要体现在壳表颜色的不同、壳面花纹或条带的不同、壳表着色程度(着色面积、着色深浅)的不同等方面, 形成复杂多变的壳色多态性。例如, 海湾扇贝的贝壳颜色主要分为橙色、白色、紫色、灰色、黄色等 5 种基础色<sup>[5]</sup>。长牡蛎 (*Crassostrea gigas*) 中, 贝壳颜色主要为白色、黑色、紫色和金色 4 种基础色<sup>[6-7]</sup>。白樱蛤 (*Macoma balthica*) 的壳色多样性主要表现为壳色和着色强度的不同, 共发现白色、黄色、橙色和红色 4 种壳色, 并且每种壳色又在着色强度上存在一定差异<sup>[8]</sup>。青蛤从滩涂中挖出时呈现比较光亮的青黑色, 只有边缘呈现白色或紫色, 当壳面表层物质被氧化后显现其本色, 通常为白色、紫色或白紫混合色, 只有极少数为棕黄色<sup>[9]</sup>。人为将自然群体中青蛤白壳和紫壳个体分离并进行人工繁殖, F<sub>1</sub> 个体的壳色出现相同于亲本的纯化, 表明青蛤白壳和紫壳性状能够真实遗传<sup>[9]</sup>。

目前对于青蛤的研究主要集中于其生物学特性、形态结构、生殖生理以及苗种培育等方面, 而青蛤紫/白壳个体间生长及营养差异方面的研究尚未见报道, 本研究通过对青蛤紫/白壳个体之间生长指标和营养成分的测定, 探究壳色性状与其生长和营养之间的关系, 以期利用壳色性状进行青蛤良种定向选育提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物

青蛤约 2 龄, 采购于山东潍坊养殖场的同一室外滩涂养殖池塘内, 为同一批次人工繁殖的青蛤群体, 在实验室室内循环水中暂养 2 周后用于实验。随机选取各 15 只健康的紫/白壳青蛤(不区分雌雄)用于生长形态观察及指标测量, 然后取出其可食部分(包括闭壳肌、水管、外套膜、鳃、腹足和内脏团)于-20 °C 冰箱中冷冻保存, 用于后续常规营养成分、氨基酸组成、脂肪酸组成的检测。

### 1.2 生长指标测定

随机挑选青蛤紫/白壳个体各 15 只(不区分雌雄), 对其生长指标进行测量, 包括湿重、壳长、壳宽和壳高。解剖后取出内部各组织(闭壳肌、水管、外套膜、鳃、腹足和内脏团), 进行测量、称重。

### 1.3 常规营养成分测定

水分采用直接干燥法(GB 5009.3—2016)测定, 定量样品在 105 °C 烘干至恒重, 称重后减少的重量为水分。粗灰分采用 550 °C 灼烧称量法(GB 5009.4—2016)测定。粗蛋白采用全自动凯氏定氮仪(Kjeltec™-8400, FOSS, 丹麦)测定。粗脂肪采用索式抽提仪(Soxtec™-8000 Extraction Unit, FOSS, 丹麦)测定。

### 1.4 氨基酸组成分析

6 mol/L 盐酸的配置: 浓盐酸: 超纯水=1:1 (体积比), 每升盐酸中加入 5 g 苯酚。0.02 mol/L 盐酸的配置: 1.8 mL 浓盐酸用超纯水定容至 1000 mL。过甲酸的配置(现配现用): 30% 双氧水与 88% 甲酸以体积比 1:9 (体积比) 混合, 室温下加盖间断摇晃 1 h, 冰浴 30 min。

将样品进行脱脂处理(石油醚抽提), 再放入通风干燥箱中 105 °C 干燥, 充分干燥后精准称量 40~50 mg 样品加入水解管, 加入 2 mL 过甲酸(预冷), 将样品全部湿润即可(不能摇动), 0 °C 下放置 18 h, 再加入 0.3 mL 48% 氢溴酸(取出多余过甲酸), 冰浴 30 min, 取出置于室温, 浓缩至干, 继续加 6 mol/L 盐酸 12 mL, 充氮气, 完成后迅速封口(气体强度为水面略有波纹即可), 置于 110 °C 恒温干燥箱中, 待 22~24 h 蒸干溶剂(赶酸), 取出置于室温, 再将水解液全部用滤纸过滤并转移至 50 mL 容量瓶中, 并用超纯水润洗后定容。取 1 mL 定容后的液体置于离心管中, 进行二次真空浓缩至干。浓缩完后, 将离心管取出, 加入 1 mL 0.02 mol/L 的盐酸溶解, 经 0.22 μm 滤膜过滤于安瓿瓶内, 采用日立氨基酸分析仪(L-8900)测定其氨基酸组成。氨基酸组分分析参数见表 1。

### 1.5 脂肪酸组成分析

样品中总脂的提取参照张凤枰等<sup>[10]</sup>的方法(氯仿-甲醇法)。脂肪酸的甲酯化参照国标 GB 5009.168—2016, 采用岛津气相色谱质谱联用仪(GC-MS 2010 SE)测定, 采用面积归一化法进行百分比定量。

取约 2 g 样品置于三角烧瓶中, 每个三角烧瓶中加入 20 mL 氯仿-甲醇溶剂后, 连接上冷凝器置于 60 °C 恒温水浴锅中提取 0.5 h, 期间需每隔几分钟振荡 1 次。将提取后的溶液过滤到 50 mL 离心管中, 加入等体积的 0.9% 氯化钠溶液, 充分

表1 氨基酸组分分析参数

项目 items	参数 parameters
分析柱 analytical column	#2622SC-PH 4.6 mm I.D. 60 mm
流动相 flow phase	MCL缓冲液 L-8500 PH-Kit (PH-1添加3.0 g一水和柠檬酸)
流速/(mL/min) velocity of flow	0.40
柱温/°C column temperature	57
反应液 the reaction solution	日立氨基酸分析仪用茚三酮 显色溶液试剂盒
反应液流速/(mL/min) the reaction liquid flow rate	0.35
反应温度/°C reaction temperature	135
检测波长/nm detection wavelength	440、570
进样量/ $\mu$ L injection volume	20

混匀后,置于离心机(5000 r/min)离心 10 min。用移液枪吸取 3~4 mL 的氯仿层于新的三角烧瓶中,置于 65 °C 真空干燥箱中 1 h。取出三角烧瓶加入 10 mL 的 2% 氢氧化钠-甲醇溶液,连接冷凝装置,置于 80 °C 恒温水浴锅中水浴 10 min,期间需每隔几分钟振荡 1 次。再加入 7 mL 三氟化硼甲醇溶液,继续反应 10 min,冷却后再加入 20 mL 异辛烷和 20 mL 饱和氯化钠溶液,振荡后静置。在 10 mL 离心管中加入 3~5 g 无水硫酸钠,再加入 5 mL 三角烧瓶中的上清液,混匀后静置 10 min。用注射器吸取 1 mL 上清液,过滤后(0.22  $\mu$ m 滤膜)注入进样瓶中并上机测试。

## 1.6 数据分析

使用 Excel 软件进行数据统计和分析。用 SPSS 23.0 软件进行独立样本 *t* 检验,  $P < 0.05$  表示差异显著。所有的结果均以平均值 $\pm$ 标准误(mean $\pm$ SE)表示。

## 2 结果

### 2.1 紫/白壳个体生长指标

通过对青蛤紫/白壳个体进行生长指标测定及分析,发现紫壳个体的湿重显著高于白壳个体( $P < 0.05$ )。紫壳个体的壳长、壳宽和壳高均高于白壳个体,其中壳长存在显著差异( $P < 0.05$ ),壳宽存在极显著差异( $P < 0.01$ )。内部组织湿重指标的

测定结果显示,紫壳个体水管、外套膜、鳃、腹足和内脏团湿重的占比均高于白壳个体,且水管和鳃存在显著差异( $P < 0.05$ ),外套膜存在极显著差异( $P < 0.01$ )(表 2)。

### 2.2 常规营养成分分析

青蛤紫/白壳个体可食部位的常规营养成分分析结果表明,紫/白壳个体在粗脂肪和粗蛋白上出现了极显著差异,紫壳个体极显著高于白壳个体( $P < 0.01$ ),而水分和粗灰分无显著差异( $P > 0.05$ )(表 3)。

### 2.3 氨基酸成分分析

青蛤紫/白壳个体中均含有人体 7 种必需氨基酸(EAA: Thr、Val、Met、Phe、Ile、Leu、Lys,其中 Trp 由于酸水解破坏未被检出)、2 种半必需氨基酸(SEAA: His、Arg)和 8 种非必需氨基酸(NEAA: Asp、Ser、Glu、Gly、Ala、Cys、Tyr、Pro)。青蛤紫/白壳个体中谷氨酸的含量均最高,其次为天门冬氨酸,含量最低的为赖氨酸。此外,紫壳个体的必需氨基酸与非必需氨基酸的比值显著高于白壳个体( $P < 0.05$ ),必需氨基酸与氨基酸总量的比值显著高于白壳个体( $P < 0.05$ )。紫壳个体的鲜味氨基酸总量高于白壳个体,但紫壳个体的鲜味氨基酸与总氨基酸的比值极显著低于白壳个体( $P < 0.01$ )(表 4)。

### 2.4 脂肪酸成分分析

对青蛤紫/白壳个体可食部位的脂肪酸成分进行了分析,结果显示,紫/白壳个体的总饱和脂肪酸无显著差异,但紫壳个体的 C14:0 显著高于白壳个体( $P < 0.05$ ),白壳个体的 C17:0 极显著高于紫壳个体( $P < 0.01$ )。饱和脂肪酸以 C16:0 为主,其中 C16:0 分别占青蛤(白壳和紫壳个体)可食部分脂肪酸总量的 37.39% 和 37.49%,且紫壳个体 C16:0 的含量高于白壳个体,但二者差异并不显著( $P > 0.05$ )(表 5)。

紫/白壳个体的总单不饱和脂肪酸有显著差异,白壳个体显著高于紫壳个体( $P < 0.05$ ),其中白壳个体的 C18:1n-9t 极显著高于紫壳个体( $P < 0.01$ )。单不饱和脂肪酸以 C16:1 为主,其中 C16:1 分别占青蛤(白壳和紫壳个体)可食部分脂肪酸总量的 9.85% 和 9.97%,且紫壳个体 C16:1 的含量高于白壳个体,但二者差异并不显著( $P > 0.05$ )。

表 2 青蛤紫/白壳个体生长指标及内部组织湿重

Tab. 2 Growth indexes and internal tissue wet weight of purpl- and white-shell clams

		项目 items		紫壳个体 purple-shell clams	白壳个体 white-shell clams	
外部形态 external morphology	湿重/g	wet weight		18.07±3.65 <sup>a</sup>	14.84±2.66 <sup>b</sup>	
	壳长/cm	shell length		3.64±0.23 <sup>a</sup>	3.46±0.18 <sup>b</sup>	
	壳宽/cm	shell width		2.35±0.16 <sup>A</sup>	2.19±0.14 <sup>B</sup>	
	壳高/cm	shell height		3.70±0.24	3.56±0.19	
内部组织 internal tissue	闭壳肌	adductor muscle	湿重/g	wet weight	0.55±0.12	0.48±0.06
			占比/%	ratio	3.04±0.36	3.25±0.41
	水管	pipe	湿重/g	wet weight	0.11±0.03	0.06±0.02
			占比/%	ratio	0.59±0.18 <sup>a</sup>	0.44±0.19 <sup>b</sup>
	外套膜	mantle	湿重/g	wet weight	1.03±0.30	0.65±0.14
			占比/%	ratio	5.64±0.90 <sup>A</sup>	4.47±1.02 <sup>B</sup>
	鳃	gill	湿重/g	wet weight	0.34±0.10	0.21±0.06
			占比/g	ratio	1.94±0.57 <sup>a</sup>	1.44±0.46 <sup>b</sup>
	腹足	foot	湿重/g	wet weight	0.12±0.03	0.10±0.01
			占比/%	ratio	0.68±0.09	0.66±0.12
	内脏团	visceral mass	湿重/g	wet weight	1.24±0.43	0.81±0.41
			占比/%	ratio	6.88±2.24	5.40±2.25

注: 同行数值中上标的不同大写字母表示差异极显著 ( $P<0.01$ ), 不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 下同  
Notes: values in the same row with different capital letters represent extremely significant difference ( $P<0.01$ ), and with different lowercase letters represent significant difference ( $P<0.05$ ), the same below

表 3 青蛤不同壳色个体常规营养成分分析 (干物质)

Tab. 3 Analysis of conventional nutrient components of different shell-color clams (dry matter) g/100 g

		紫壳个体 purple-shell clams	白壳个体 white-shell clams
水分	moisture	82.07±0.42	82.47±0.59
粗蛋白	crude protein	54.17±0.31 <sup>A</sup>	52.29±0.22 <sup>B</sup>
粗脂肪	crude lipid	8.39±0.08 <sup>A</sup>	4.55±0.18 <sup>B</sup>
粗灰分	crude ash	13.61±0.20	13.98±0.15

紫/白壳个体的总多不饱和脂肪酸只有 C18:3n-3 出现了显著差异, 紫壳个体显著高于白壳个体 ( $P<0.05$ )。多不饱和脂肪酸主要以 EPA 和 DHA 为主, 其中 EPA 分别占青蛤 (白壳和紫壳个体) 可食部分脂肪酸总量的 6.64% 和 6.54%, DHA 分别占青蛤 (白壳和紫壳个体) 可食部分脂肪酸总量的 8.00% 和 8.51%, 且紫壳个体的 EPA 和 DHA 含量均高于白壳个体, 差异不显著 ( $P>0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 紫/白壳的形态差异分析

双壳贝类的壳色不仅与其生态和行为有关,

还与生长、存活等性状有关<sup>[4]</sup>。张国范等<sup>[11]</sup>培育的“中科红”海湾扇贝, 养殖群体 95% 的子代个体为桔红壳色, 成活率提高 15%~20%, 生长速率提高 10%~15%, 出肉率增加超过 10%。这与本研究结果较为相似, 从外部形态可以看出, 紫壳个体的壳长、壳宽显著高于白壳个体 ( $P<0.05$ )。从内部组织质量指标可以看出, 紫壳个体水管、外套膜、鳃湿重占总湿重的比例均显著高于白壳个体 ( $P<0.05$ )。郑怀平等<sup>[5]</sup>建立了白色、橙色、紫色海湾扇贝家系并对生长发育进行了比较, 结果表明, 壳色作为可遗传的质量性状, 与其生长发育存在一定联系。在养成阶段, 不同的自交家系海湾扇贝的生长、存活等表型性状与壳色有着密切的联系。动物生长与其生活环境密切相关, 本研究中的紫/白壳青蛤个体全部来自同一室外滩涂养殖池塘的同一批次人工繁殖的青蛤群体, 养殖环境条件完全一致, 紫/白壳个体出现生长差异, 推测可能是由于不同壳色个体自身遗传因素决定的。总之, 由于青蛤个体的生长与壳色存在一定正向关联, 紫色壳色可以作为优良性状的标记色, 用于后期的青蛤良种选育研究。

表4 青蛤不同壳色个体氨基酸成分分析(干物质)

氨基酸 amino acids		紫壳个体 purple-shell clams	白壳个体 white-shell clams
苏氨酸	Thr*	1.38±0.01	1.34±0.12
缬氨酸	Val*	1.49±0.02	1.42±0.11
蛋氨酸	Met*	1.27±0.00	1.23±0.13
异亮氨酸	Ile*	1.25±0.02	1.21±0.08
亮氨酸	Leu*	2.19±0.03	2.11±0.17
赖氨酸	Lys*	2.33±0.03	2.29±0.17
苯丙氨酸	Phe** <sup>△</sup>	0.69±0.01	0.60±0.07
组氨酸	His <sup>△</sup>	0.04±0.00	0.05±0.01
精氨酸	Arg <sup>△</sup>	2.00±0.03	1.99±0.16
天冬氨酸	Asp <sup>#</sup> <sup>△</sup>	3.13±0.03	3.00±0.25
丝氨酸	Ser <sup>#</sup>	1.26±0.01	1.23±0.11
谷氨酸	Glu <sup>#</sup> <sup>△</sup>	4.03±0.06	3.88±0.32
甘氨酸	Gly <sup>#</sup> <sup>△</sup>	1.92±0.01	1.86±0.16
丙氨酸	Ala <sup>#</sup> <sup>△</sup>	1.94±0.02	2.11±0.17
半胱氨酸	Cys <sup>#</sup>	2.13±0.02	2.01±0.22
酪氨酸	Tyr <sup>#</sup> <sup>△</sup>	0.04±0.00	0.03±0.01
脯氨酸	Pro <sup>#</sup>	1.20±0.06	1.16±0.08
必需氨基酸总量	ΣEAA	10.59±0.12	10.17±0.82
非必需氨基酸总量	ΣNEAA	15.64±0.19	15.28±1.31
氨基酸总量	ΣTAA	28.27±0.34	27.49±2.29
鲜味氨基酸总量	ΣDAA	11.75±0.12	11.48±0.96
ΣEAA/ΣNEAA		67.72±0.05 <sup>a</sup>	66.60±0.58 <sup>b</sup>
ΣEAA/ΣTAA		37.46±0.02 <sup>a</sup>	37.02±0.15 <sup>b</sup>
ΣDAA/ΣTAA		41.54±0.08 <sup>A</sup>	41.77±0.02 <sup>B</sup>

注: \*表示人体必需氨基酸, <sup>△</sup>表示人体半必需氨基酸, <sup>#</sup>表示人体非必需氨基酸, <sup>△</sup>表示鲜味氨基酸; ΣTAA为氨基酸总量, ΣEAA为必需氨基酸总量, ΣNEAA为非必需氨基酸总量, ΣDAA为鲜味氨基酸总量

Notes: \* represents essential amino acids; <sup>△</sup> represents semi-essential amino acids; <sup>#</sup> represents non-essential amino acids; <sup>△</sup> represents umami amino acids; ΣTAA shows total content of amino acids (TAA); ΣEAA shows total content of essential amino acids (EAA); ΣNEAA shows total content of non-essential amino acids (NEAA); ΣDAA shows total content of umami amino acids (DAA)

### 3.2 常规营养成分差异分析

本研究对青蛤紫/白壳个体可食部位的常规营养成分进行了分析,紫壳个体的粗脂肪和粗蛋白极显著高于白壳个体( $P<0.01$ )。陈炜等<sup>[12]</sup>对红/绿壳皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)个体的常规营养成分和脂肪酸组成进行了比较研究,结果发现不同壳色皱纹盘鲍的组织(足肌、内脏、生殖腺)中水分、蛋白质、粗脂肪和灰分的含量基本无差

表5 青蛤不同壳色个体脂肪酸成分分析(干物质)

脂肪酸 fatty acids		白壳个体 white-shell clams	紫壳个体 purple-shell clams
肉豆蔻酸	C14:0	7.50±0.32 <sup>a</sup>	8.17±0.27 <sup>b</sup>
棕榈油酸	C16:0	37.40±0.43	37.49±0.23
十七碳酸	C17:0	2.97±0.06 <sup>A</sup>	2.69±0.06 <sup>B</sup>
硬脂酸	C18:0	8.49±0.68	7.33±0.33
总饱和脂肪酸	ΣSFAs	56.34±0.88	55.68±0.51
棕榈酸	C16:1	9.85±0.10	9.97±0.25
反式油酸	C18:1n-9t	4.17±0.07 <sup>A</sup>	3.71±0.04 <sup>B</sup>
油酸	C18:1n-9c	4.59±0.23	4.36±0.14
二十碳一烯酸	C20:1n-9	1.37±0.10	1.35±0.13
总单不饱和脂肪酸	ΣMUFAs	19.97±0.37 <sup>a</sup>	19.37±0.02 <sup>b</sup>
α-亚麻酸	C18:3n-3	3.04±0.09 <sup>a</sup>	3.19±0.01 <sup>b</sup>
十八碳四烯酸	C18:4n-3	2.99±0.17	3.29±0.08
EPA	C20:5n-3	6.46±0.32	6.54±0.14
DHA	C22:6n-3	8.00±0.58	8.51±0.28
亚油酸	C18:2n-6c	0.87±0.02	0.82±0.03
顺-13,16-二十二碳二烯酸	C22:2	2.31±0.15	2.60±0.22
总多不饱和脂肪酸	ΣPUFAs	23.68±1.06	24.94±0.53
总不饱和脂肪酸	ΣMUFAs+ΣPUFAs	43.66±0.88	44.32±0.51
DHA/EPAs		1.24±0.06	1.30±0.53

注: 含量较小的脂肪酸(峰面积低于10 000)未列入表中; ΣSFAs(总饱和脂肪酸)包含C14:0、C16:0、C17:0、C18:0; ΣMUFAs(总单不饱和脂肪酸)包含C16:1、C18:1n-9t、C18:1n-9c、C20:1n-9; ΣPUFAs(总多不饱和脂肪酸)包含C18:3n-3、C18:4n-3、C20:5n-3、C22:6n-3、C18:2n-6c、C22:2

Notes: fatty acids with small content (peak area less than 10 000) are not listed in the table; ΣSFAs (the total content of saturated fatty acids) contains C14:0, C16:0, C17:0, C18:0; ΣMUFAs (the total content of monounsaturated fatty acids) contains C16:0, C17:0, C18:0; ΣPUFAs (the total content of polyunsaturated fatty acids) contains C18:3n-3, C18:4n-3, C20:5n-3, C22:6n-3, C18:2n-6c, C22:2

异,这与本研究的青蛤紫/白壳个体的粗脂肪和粗蛋白组分检测结果有所不同。通常动物机体营养成分与食物来源、组成及自身生长阶段密切相关<sup>[13]</sup>。本研究中不同壳色青蛤个体全部来自同一养殖池塘,其饵料和生长阶段完全一致,推测青蛤紫/白壳个体粗脂肪和粗蛋白组分的差异是由不同壳色个体自身遗传基础(包括饵料消化、吸收、转运、营养物质转化及合成等)不同造成的。进一步说明紫壳是青蛤的一种优良性状,为利用紫壳性状作为遗传标记进行青蛤良种选育提供理论依据。

### 3.3 氨基酸成分差异分析

食物蛋白质中必需氨基酸与总氨基酸比值约

0.40,且必需氨基酸与非必需氨基酸比值大于0.60,为优质蛋白质<sup>[14]</sup>。本研究中,2种壳色青蛤个体可食部分氨基酸含量和比例基本一致,紫/白壳个体的必需氨基酸与总氨基酸比值分别为37.46%和37.02%,且紫壳个体显著高于白壳个体( $P<0.05$ ),必需氨基酸与非必需氨基酸比值分别为67.72%和66.60%,且紫壳个体显著高于白壳个体( $P<0.05$ ),表明紫壳个体的氨基酸平衡效果优于白壳个体,且均属于优质蛋白。

动物蛋白的鲜美程度主要取决于蛋白质中鲜味氨基酸(DAA: Asp、Glu、Gly、Ala、Tyr、Phe)的总量<sup>[15]</sup>,其中Asp和Glu是鲜味的特征氨基酸,Gly和Ala是甘味的特征氨基酸<sup>[16]</sup>。张苏平等<sup>[17]</sup>研究发现,对青蛤呈味有贡献的氨基酸为Glu、Ala和Arg,其味道强度值(TAV)分别为3.73、2.56和1.93。本研究中青蛤紫壳个体的鲜味氨基酸总量高于白壳个体,且紫壳个体的Glu和Arg含量均高于白壳个体,2种氨基酸含量均较高,表明紫壳个体具有较好的风味。谷氨酸(盐)可以降低血液中氨的浓度,具有解毒作用,是肝昏迷疾病的有效治疗药物,具有较大的医用价值<sup>[18]</sup>,本研究中青蛤紫/白壳个体中谷氨酸的含量均最高,且紫壳个体高于白壳个体,表明紫壳个体具有更好的风味,且可能对患肝昏迷疾病的患者具有一定食疗效果。

### 3.4 脂肪酸成分差异分析

青蛤紫/白壳个体间的总多不饱和脂肪酸无显著差异,其多不饱和脂肪酸以EPA和DHA为主,其中EPA分别占青蛤紫/白壳个体可食部分脂肪酸总量的6.64%和6.54%,DHA分别占青蛤紫/白壳个体可食部分脂肪酸总量的8.00%和8.51%。EPA和DHA对人体心律失常、心肌梗死、减少心栓形成等有一定的预防作用,同时还能够通过促进人体内磷脂酰丝氨酸积累而防止细胞的程序性死亡<sup>[19-21]</sup>,通常这2种脂肪酸也作为衡量脂肪价值的重要指标<sup>[22]</sup>。因此,青蛤紫/白壳个体脂肪酸均具有较高的食用价值和保健作用。

综上所述,青蛤个体的生长与壳色存在密切关系,其紫壳个体优于白壳个体。此外,青蛤紫壳个体的粗蛋白、粗脂肪含量极显著高于白壳个体,但可食部分粗脂肪含量总体上水平较低。紫壳个体的鲜味氨基酸总量高于白壳个体,且紫壳个体氨基酸平衡效果优于白壳个体,均属于优质

蛋白。多不饱和脂肪酸含量较高,EPA和DHA含量丰富,紫壳个体的EPA和DHA总含量高于白壳个体。总体上,青蛤具有高蛋白低脂肪的营养特点,营养成分均衡丰富。此外,紫壳个体在生长指标和营养价值上均优于白壳个体,表明紫壳性状与其生长和营养均存在一定正向关系。因此,紫壳性状可以作为遗传标记用于青蛤的良种选育研究。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

### 参考文献 (References):

- [1] 董志国,段海宝,郑汉丰,等. 青蛤的种质、养殖及其开发利用研究进展[J]. 水产学报, 2021, 45(12): 2083-2098.  
Dong Z G, Duan H B, Zheng H F, et al. Research progress in genetic resources assessment, culture technique and exploration utilization of *Cyclina sinensis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(12): 2083-2098 (in Chinese).
- [2] 李晓英,董志国,阎斌伦,等. 青蛤与文蛤的营养成分分析与评价[J]. 食品科学, 2010, 31(23): 366-370.  
Li X Y, Dong Z G, Yan B L, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in *Cyclina sinensis* and *Meretrix meretrix*[J]. Food Science, 2010, 31(23): 366-370 (in Chinese).
- [3] 王兴强,曹梅,阎斌伦,等. 青蛤的生物学及其繁殖[J]. 水产科学, 2006, 25(6): 312-316.  
Wang X Q, Cao M, Yan B L, et al. Biology and reproduction of clam *Cyclina sinensis*[J]. Fisheries Science, 2006, 25(6): 312-316 (in Chinese).
- [4] 张跃环,闫喜武,张澎,等. 贝类壳色多态的研究概况及展望[J]. 水产科学, 2008, 27(12): 680-683.  
Zhang Y H, Yan X W, Zhang P, et al. Research advances and prospects on shell color polymorphism of mollusks[J]. Fisheries Science, 2008, 27(12): 680-683 (in Chinese).
- [5] 郑怀平,张国范,刘晓,等. 不同贝壳颜色海湾扇贝(*Argopecten irradians*)家系的建立及生长发育研究[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(6): 632-639.  
Zheng H P, Zhang G F, Liu X, et al. Establishment of different shell color lines of bay scallop *Argopecten irradians* Lamarck (1819) and their development[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2003, 34(6): 632-639 (in Chinese).
- [6] Brake J, Evans F, Langdon C. Evidence for genetic control of pigmentation of shell and mantle edge in selected families of Pacific oysters, *Crassostrea gigas*[J]. Aquaculture, 2004, 229(1-4): 89-98.

- [7] 从日浩, 李琪, 葛建龙, 等. 长牡蛎4种壳色家系子代的表型性状比较[J]. 中国水产科学, 2014, 21(3): 494-502. Cong R H, Li Q, Ge J L, *et al.* Comparison of phenotypic traits of four shell color families of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2014, 21(3): 494-502 (in Chinese).
- [8] Luttikhuisen P C, Drent J. Inheritance of predominantly hidden shell colours in *Macoma balthica* (L.) (Bivalvia: Tellinidae)[J]. *Journal of Molluscan Studies*, 2008, 74(4): 363-371.
- [9] 孙祥山, 赵炳然, 黄经献, 等. 青蛤壳色遗传初步研究[J]. 上海海洋大学学报, 2015, 24(1): 44-52. Sun X S, Zhao B R, Huang J X, *et al.* Preliminary study on shell color inheritance of *Cyclina sinensis*[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2015, 24(1): 44-52 (in Chinese).
- [10] 张凤枰, 罗彬月, 杜雪莉, 等. 气相色谱内标法测定水产饲料中的脂肪酸[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(1): 136-139, 146. Zhang F P, Luo B Y, Du X L, *et al.* Determination of fatty acids in aquatic feed with gas chromatography by using internal standard method[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(1): 136-139, 146 (in Chinese).
- [11] 张国范, 刘述锡, 刘晓, 等. 海湾扇贝自交家系的建立和自交效应[J]. 中国水产科学, 2003, 10(6): 441-445. Zhang G F, Liu S X, Liu X, *et al.* Self-fertilization family establishment and its depression in bay scallop *Argopecten irradians*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2003, 10(6): 441-445 (in Chinese).
- [12] 陈炜, 孟宪治, 陶平. 2种壳色皱纹盘鲍营养成分的比较[J]. 中国水产科学, 2004, 11(4): 367-370. Chen W, Meng X Z, Tao P. Comparative studies on nutritional composition of abalone *Haliotis discus hananai* between two shell-color stocks[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2004, 11(4): 367-370 (in Chinese).
- [13] 宋超, 庄平, 章龙珍, 等. 野生及人工养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分的比较[J]. 动物学报, 2007, 53(3): 502-510. Song C, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Comparison of nutritive components in muscles between wild and farmed juveniles of Chinese sturgeon *Acipenser sinensis*[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2007, 53(3): 502-510 (in Chinese).
- [14] 庄平, 宋超, 章龙珍. 舌虾虎鱼肌肉营养成分与品质的评价[J]. 水产学报, 2010, 34(4): 559-564. Zhuang P, Song C, Zhang L Z. Evaluation of nutritive quality and nutrient components in the muscle of *Glossogobius giuris*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(4): 559-564 (in Chinese).
- [15] 施永海, 徐嘉波, 谢永德, 等. 美洲鲟鱼卵营养成分分析及评价[J]. 水产科学, 2020, 39(3): 407-413. Shi Y H, Xu J B, Xie Y D, *et al.* Nutritional composition analysis and evaluation of eggs in American shad *Alosa sapidissima*[J]. *Fisheries Science*, 2020, 39(3): 407-413 (in Chinese).
- [16] 刘志东, 陈雪忠, 曲映红, 等. 南极冰鱼与南极磷虾营养成分分析及比较[J]. 现代食品科技, 2014, 30(2): 228-233. Liu Z D, Chen X Z, Qu Y H, *et al.* Comparison and evaluation of the nutritional components of Antarctic icefish and krill[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(2): 228-233 (in Chinese).
- [17] 张苏平, 邱伟强, 卢祺, 等. 全自动氨基酸分析仪法测定4种贝类肌肉中谷胱甘肽和游离氨基酸含量[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 170-176. Zhang S P, Qiu W Q, Lu Q, *et al.* Determination of glutathione and free amino acids in muscles of four shellfish species by automatic amino acid analyzer[J]. *Food Science*, 2017, 38(4): 170-176 (in Chinese).
- [18] 陈元晓, 田明, 张闻, 等. 云南省4种陆生贝类的营养成分分析[J]. 动物学杂志, 2008, 43(2): 106-110. Chen Y X, Tian M, Zhang W, *et al.* Nutrient ingredient analysis on four species of land snails in Yunnan province[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2008, 43(2): 106-110 (in Chinese).
- [19] Kim H Y. Biochemical and biological functions of docosahexaenoic acid in the nervous system: modulation by ethanol[J]. *Chemistry and Physics of Lipids*, 2008, 153(1): 34-46.
- [20] 李阅兵, 刘承初, 谢晶, 等.  $\omega$ -3脂肪酸及磷脂酰丝氨酸的益智作用研究进展[J]. 中国油脂, 2011, 36(9): 51-55. Li Y B, Liu C C, Xie J, *et al.* Research advance in the function on intelligence of  $\omega$ -3 fatty acid and phosphatidylserine[J]. *China Oils and Fats*, 2011, 36(9): 51-55 (in Chinese).
- [21] Freund-Levi Y, Eriksdotter-Jönhagen M, Cederholm T, *et al.*  $\omega$ -3 fatty acid treatment in 174 patients with mild to moderate Alzheimer disease: OmegaAD study[J]. *Archives of Neurology*, 2006, 63: 1402-1408.
- [22] 李杰. 日本镜蛤 (*Dosinorbis japonica*) 数量性状、营养成分及幼体生态学研究 [D]. 大连: 大连海洋大学, 2018. Li J. Studies on quantitative characters, nutrient components and larval ecology of Japanese dosinia (*Dosinorbis japonica*)[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2018 (in Chinese).

## Growth and nutritional differences between two shell-color clams (*Cyclina sinensis*)

WEI Min<sup>1,2</sup>, WU Yuchen<sup>1</sup>, CHEN Dong<sup>1</sup>, ZHANG Mingyue<sup>1</sup>, WANG Yiwo<sup>1</sup>,  
ZHANG Jiawen<sup>1</sup>, QIU Pan<sup>1</sup>, SONG Jie<sup>1</sup>, DONG Zhiguo<sup>1,2\*</sup>

(1. Jiangsu Key Laboratory of Marine Bioresources and Eco-environment,

Jiangsu Key Laboratory of Marine Biotechnology, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China;

2. Co-innovation Center of Jiangsu Marine Bio-industry Technology, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China)

**Abstract:** Shellfish shell color often exhibits polymorphism, and shell color can be used as a marker color for excellent trait and used in the breeding of improved shellfish species. In order to explore the relationship between shell-color trait of clam *Cyclina sinensis* and its growth and nutritional components, we measured and analyzed the growth indicators and nutritional components of individuals with different shell colors. The results showed that the wet weight, shell length, wet weight of pipes and gills of the purple-shell individuals were significantly higher than those of the white-shell individuals ( $P<0.05$ ), and shell width and wet weight of mantle tissue were extremely significantly higher than those of white-shell individuals ( $P<0.01$ ). The content of crude fat and crude protein of the edible parts from purple-shell individuals were extremely significantly higher than those of the white-shell individuals ( $P<0.01$ ). The ratios of essential amino acids to total amino acids in purple- and white-shell individuals were 37.46% and 37.02%, respectively, and this ratio of purple-shell individuals was significantly higher than that of white-shell individuals ( $P<0.05$ ); the ratios of essential amino acids to non-essential amino acids were 67.72% and 66.60%, and this ratio of purple-shell individuals was significantly higher than that of white-shell individuals ( $P<0.05$ ), indicating that the amino acid balance effect in the purple-shell individuals was better than that of white-shell individuals, and they were all high-quality proteins. The monounsaturated fatty acids of purple- and white-shell individuals are mainly palmitic acid, accounting for 9.97% and 9.85% of the total fatty acids, respectively; Polyunsaturated fatty acids mainly consist of EPA and DHA, of which EPA accounts for 6.64% and 6.54% of the total fatty acids in purple- and white-shell individuals respectively, and DHA accounts for 8.00% and 8.51% of the total fatty acids respectively. Taken together, it suggests that there are certain differences in growth and nutrition between purple- and white-shell individuals and a certain positive relationship between purple shell traits and their growth and nutrition, which provides a theoretical basis for using purple-shell trait as genetic marker in clam breeding.

**Key words:** *Cyclina sinensis*; shell color; growth; nutrition

**Corresponding author:** DONG Zhiguo. E-mail: dzg7712@163.com

**Funding projects:** Natural Science Foundation of Jiangsu Province (BK20191008); the Six Talent Summit Program of Jiangsu Province (NY-113); Open Research Fund of Jiangsu Key Laboratory of Marine Biotechnology (HS2018002); Priority Academic Program Development of Jiangsu Higher Education Institutions; the Postgraduate Research & Practice Innovation Program of Jiangsu Province (SJCX20\_1283, SJCX20\_1291, SJCX20\_1292, SJCX20\_1294, SJCX20\_1296); College Students Practice Innovation Training Program of Jiangsu Ocean University (Z201911641105001)