



不同鲍及其杂交种的营养成分与质构特性

曾莉婷^{1,2,3}, 骆轩^{1,2,3}, 柯才焕^{1,2,3}, 游伟伟^{1,2,3*}

(1. 厦门大学海洋与地球学院, 福建 厦门 361102;

2. 福建省海洋经济生物遗传育种重点实验室, 福建 厦门 361102;

3. 福建省特色水产品种质资源保护利用与共享平台, 福建 厦门 361102)

摘要: 绿盘鲍和西盘鲍作为经全国水产原种和良种审定委员会审定通过的水产新品种, 在生长和耐高温性能上表现出显著优势, 已在产业上广泛推广养殖, 但其营养品质方面的研究尚不完善。本研究以这两个鲍新品种以及西氏鲍、皱纹盘鲍和绿鲍为对象, 对其营养成分与质构特性进行了比较分析。结果显示, 绿盘鲍的肥满度为 $(0.76 \pm 0.14) \text{ g/cm}^3$, 相较于其母本提高了 35.71%, 相较于其父本提高了 72.73%; 足肌的粗蛋白含量为 $62.26\% \pm 6.62\%$, 相较于其母本提高了 9.83%, 相较于其父本提高了 14.26%, 因此在肥满度和粗蛋白含量方面, 绿盘鲍具有明显的超亲杂种优势。5 种鲍的脂肪酸营养价值为皱纹盘鲍 > 绿盘鲍 > 西盘鲍 > 绿鲍 > 西氏鲍, 可见杂交种的脂肪酸营养具有中亲杂种优势。在质构指标上, 西氏鲍的弹性和脆度最高, 绿鲍脆度最低, 杂交种各项质构指标都未表现出杂种优势。熵权法综合分析结果显示, 皱纹盘鲍营养品质最优, 绿盘鲍和绿鲍在风味上优于西氏鲍与西盘鲍。本研究结果将为未来鲍的品质育种及产品精深加工与开发提供技术支撑。

关键词: 鲍; 杂交; 营养成分; 质构特性; 熵权法

中图分类号: S 963

文献标志码: A

鲍自古就是“海产八珍”之一, 是一类符合现代营养需求的高蛋白、低脂肪的优质海产品。过去二十多年, 我国的鲍养殖产业迅猛发展, 已成为我国重要的海水经济养殖贝类。遗传改良研究对于我国鲍养殖产业的可持续发展起到重要的支撑作用, 杂交育种作为一种极其有效的育种手段, 也被广泛运用于鲍新品种的培育。我国目前已获批的 5 个国审新品种有 4 个是杂交种就是一个有力的佐证。其中, 以西氏鲍 (*Haliotis gigantea*) 为母本, 皱纹盘鲍 (*H. discus hannai*) 为父本培育的西盘鲍 (品种登记号: GS-02-008-2014), 以及以皱纹盘鲍为母本, 绿鲍 (*H. fulgens*) 为父本培育的绿

盘鲍 (品种登记号: GS-02-003-2018), 因其在生长与耐高温性能上的优异表现, 已在产业上广泛推广养殖, 但关于杂交种营养品质方面的研究却极不完善。

张佳佳等^[1]以黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 为母本, 瓦氏黄颡鱼 (*P. vachelli*) 为父本进行杂交研究, 结果表明杂交子代的粗蛋白含量和必需氨基酸含量显著高于亲本。Yan 等^[2]对熊本牡蛎 (*Crassostrea sikamea*) 和葡萄牙牡蛎 (*C. angulata*) 的正、反交子代进行分析, 发现杂交子代相较于亲本有更高的脂质含量。王林娜等^[3]实验测得云纹石斑鱼 (*Epinehelus moara*, ♀) 和鞍带石斑鱼 (*E.*

收稿日期: 2022-04-06 修回日期: 2022-10-13

资助项目: 国家重点研发计划 (2018YFD0901400); 厦门市海洋与渔业发展专项 (21CZY018HJ01); 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-49)

第一作者: 曾莉婷 (照片), 从事贝类遗传育种研究, E-mail: zenglt94@163.com

通信作者: 游伟伟, 从事贝类遗传育种研究, E-mail: wwy@xmu.edu.cn



lanceolatus, ♂) 的杂交子代“云龙石斑鱼”相较于亲本有更高的必需氨基酸和呈味氨基酸含量, 但杂交并不能使所有的营养成分都具有超亲优势。罗青等^[4]实验测得乌斑鳢 (*Channa argus* ♀ × *C. maculata* ♂) 和斑乌鳢 (*C. maculata* ♀ × *C. argus* ♂) 的粗蛋白含量和含肉率介于父、母本之间, 没有表现出超亲优势。尤宏争等^[5]以黄板鳅 (*Paramisgurnus dabryanus*) 为母本, 台湾泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*) 为父本, 获得的杂交后代在粗蛋白和不饱和脂肪酸总量上显著低于父母本。这些研究表明, 虽然杂交后代往往具有明显的生长优势, 但杂交对水产动物机体的营养品质影响却十分复杂, 因此本研究拟以绿盘鲍与西盘鲍及其双亲为对象, 从营养成分与质构特性等方面进行分析, 本研究将为鲍新品种的养殖推广与鲍加工品的开发提供技术支撑, 同时也为未来鲍的品质育种提供基础依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

本研究共涉及 3 个鲍种与 2 个杂交种, 分别为皱纹盘鲍 (DD)、西氏鲍 (GG)、绿鲍 (FF)、绿盘鲍 (*H. discus hannai* ♀ × *H. fulgens* ♂, DF) 和西盘鲍 (*H. gigantea* ♀ × *H. discus hannai* ♂, GD)。实验材料均为 2 龄, 采自福建省泉州市晋江福大鲍鱼水产有限公司, 每组 15 只。采样前, 实验用鲍停食 2 日, 并用游标卡尺 (精确度 0.02 mm) 测量壳长和壳宽, 解剖后用电子天平 (精确度 0.01 g) 测量软体质量和足肌重, 总质量与壳长的比值为饱满度。每组选择 10 只, 进行营养成分分析。

1.2 实验方法

基础营养成分测定 采用冷冻干燥法测定水分 (GB 5009.3—2010); 高温灼烧法测灰分 (GB 5009.4—2016); 分光光度法测粗蛋白 (GB 5009.5—2016); 索氏抽提法测粗脂肪 (GB 5009.6—2016); 电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 测矿物质 (GB 5009.268—2016); 蒽酮比色法测糖原^[6]; 分光光度法测胆固醇 (索莱宝试剂盒 100T/96S)。

胶原蛋白含量测定 称取 0.02 g 干样品于离心管中, 加入 3 mL 6 mol/L 盐酸溶液, 封口后置于 130 °C 消解仪中水解 4 h, 定容至 50 mL。准确吸取羟脯氨酸使用液 1、2、5、10 和 15 mL, 分别用蒸馏水定容至 100 mL, 浓度分别为 1、2、

5、10 和 15 μg/mL, 用于制作羟脯氨酸标准曲线。取 1 mL 蒸馏水作为空白对照, 同时分别吸取以上标准溶液各 1 mL, 在空白对照与各梯度溶液中加入 1 mL 柠檬酸缓冲液和 1 mL 氯胺 T 溶液, 在室温 (25 °C) 下氧化 10 min。加入 3.5 mol/L 高氯酸 1 mL, 放置 10 min 后加入 1 mL 配置好的发色剂, 在 65 °C 下水浴显色 20 min, 待其冷却后在 560 nm 处测定其光密度值^[7]。

呈味氨基酸和牛磺酸含量测定 准确称取 0.5 g 样品, 加水 15 mL, 浸泡 1 h。超声提取 30 min 后, 在 4 °C 下, 4 000 r/min 离心 2 min, 取 1 mL 上清液, 用蒸馏水稀释至 10 mL。

取对照溶液和待测处理溶液各 1 mL, 加入 0.5 mL 的 0.1 mol/L PITC 乙腈溶液以及 0.5 mL 的 1 mol/L 三乙胺乙腈溶液, 完全混匀后在室温下避光放置 1 h。加入正己烷 2 mL, 混匀后以 7 800 r/min 的转速离心 10 min, 液体分层后仔细吸取下层溶液, 用 0.22 μm 滤膜过滤, 备用。阴性对照溶液采用蒸馏水, 并用相同方法进行衍生^[8]。

取 1 mL 样液装入液相小瓶。流动相 A : 0.1 mol/L 乙酸钠 (取无水醋酸钠 8.2 g, 加水 900 mL 溶解, 用乙酸调至 pH 6.6, 再加 100 mL 水); 流动相 B 为乙腈; 色谱柱填充剂采用十八烷基硅烷键合硅胶 (4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流速为 1.0 mL/min; 柱温为 35 °C; 检测波长为 254 nm。洗脱梯度如表 1 所示。

表 1 色谱柱洗脱梯度

时间/min time	流动相A/% mobile phase A	流动相B/% mobile phase B
0	100	0
7	93	7
13	91	9
18	79	21
25	55	45
35	0	100
40	100	0
45	100	0

脂肪酸含量测定 按照 GB 5009.168—2016 测定脂肪酸的组分及含量, 并计算其占比。

质构特性的测定 在鲍足肌不同部位取柱形样, 中心闭壳肌部位 (A) 样品直径为 2.0 cm, 高度为 1.0 cm; 边缘部位 (B) 样品直径为 1.5 cm, 高度为 0.5 cm (图 1)。测试探头 P-2N, 测前速率、

测后速率与测试速率均为 1 mm/s, 压缩程度 30%, 停留间隔 5 s, 数据采集速率 400 pps (秒脉冲, pulse per second, 简称 pps), 触发值 5 g。脆度的测定-破断实验, 测试探头为 TA-2, 测前速率、测后速率与测试速率均为 1 mm/s, 压缩程度 75%, 停留间隔 5 s, 数据采集速率 400 pps, 触发值 5 g。每项参数重复测定 3 次^[9]。

数据分析 利用 SPSS 24.0 软件对相关数据进行 Shapiro-Wilk 正态性检验以及 Levene 方差齐性检验。确定数据为正态分布且方差齐性假设成立后, 进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 对比不同鲍各项指标的差异, 并用 Duncan 氏检验进行两两对比, 以 $P < 0.05$ 作为显著差异水平, 柱形图均用 GraphPad Prism 6.0 软件绘制。采用熵权法^[10] 确定各个指标的权重, 各个指标的值与权重系数乘积的和为各鲍的综合得分。

2 结果

2.1 基本生长指标

5 种鲍 2 个壳型性状、4 个质量性状及肥满度等指标数据呈正态分布 ($P > 0.05$) 且方差齐性假设成立 ($\text{Sig} > 0.05$) (表 2), 方差分析结果显示, DF 在各指标上都显著优于其他鲍 ($P < 0.05$), DD、FF、GD 和 GG 在壳长、壳宽、足肌质量这 3 个主要形态学性状上无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.2 一般营养成分

在营养成分的测定中, 除了水分含量为湿重占比外, 其他指标均为干重占比。DF 足肌的水分

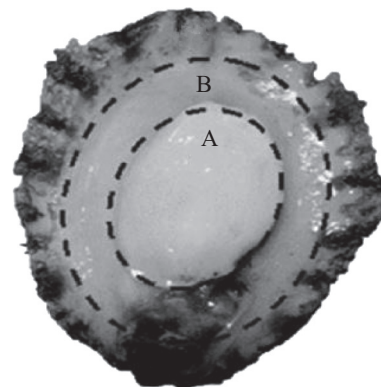


图 1 鲍足肌取样部位图

A. 鲍足肌中心的闭壳肌部分, B. 闭壳肌边缘部分

Fig. 1 Sampling position of abalone foot muscle

A. the abalone adductor muscle, B. the surrounding part of abalone adductor muscle

含量最高, 且显著高于 FF、GD 和 GG (表 3) ($P < 0.01$); DD 足肌的水分含量与 DF 和 GD 相近, 但显著高于 FF 和 GG ($P < 0.05$)。五组鲍足肌的灰分含量在 GD 中最高, FF 中最低, 但无显著差异 ($P > 0.05$)。FF 的粗蛋白含量显著低于 DF、GD 和 GG ($P < 0.05$)。DD 的粗脂肪含量显著高于 DF 和 FF, FF 足肌中粗脂肪含量显著低于 GG ($P < 0.05$)。DD 足肌中的糖原含量显著高于其余组, 同时 FF 足肌中糖原含量显著高于 DF、GD 和 GG ($P < 0.05$)。五组鲍足肌的胶原蛋白含量在 DD 中最高, GG 中最低, 但无显著差异 ($P > 0.05$)。FF 足肌中胆固醇含量显著高于 DF ($P < 0.05$)。

2.3 呈味氨基酸和牛磺酸

GG 足肌中天冬氨酸含量高于其他各组, 但

表 2 五种鲍的基础形态学参数比较

Tab. 2 Comparison in basic morphological parameters of the five abalone groups

基础指标 parameters	DD	DF	FF	GD	GG
壳长/mm length	65.86±4.98 ^b	76.88±7.54 ^a	58.73±6.54 ^b	62.32±6.56 ^b	57.86±5.49 ^b
壳宽/mm width	44.08±3.85 ^b	52.93±4.99 ^a	40.76±4.46 ^b	41.70±3.69 ^b	41.56±4.00 ^b
总体重/g total body weight	37.25±9.23 ^b	59.65±16.46 ^a	26.33±8.94 ^c	27.60±7.38 ^c	21.18±6.02 ^c
软体重/g soft body weight	29.22±7.93 ^b	44.85±12.49 ^a	20.06±7.11 ^c	19.82±5.31 ^c	14.37±4.14 ^c
足肌重量/g muscle weight	17.30±5.02 ^b	29.58±8.90 ^a	13.62±4.60 ^b	13.56±3.40 ^b	9.45±2.61 ^b
肥满度/(g/cm ³) condition factor	0.56±0.10 ^b	0.76±0.14 ^a	0.44±0.11 ^c	0.44±0.07 ^c	0.36±0.07 ^c

注: DD. 皱纹盘鲍, GG. 西氏鲍, FF. 绿鲍, DF. 绿盘鲍, GD 和西盘鲍, 同一行标注字母不同的数值表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同

Notes: DD. *H. discus hannai*, GG. *H. gigantea*, FF. *H. fulgens*, DF. *H. discus hannai* ♀ × *H. fulgens* ♂, GD. *H. gigantea* ♀ × *H. discus hannai* ♂, the different letters in the same row mean significant difference ($P < 0.05$), the same below

表 3 五组鲍一般营养成分比较

Tab. 3 Comparison of general nutritional components of the five abalone groups

成分 composition	DD	DF	FF	GD	GG
水分/% water	75.79±2.98 ^{ab}	77.28±2.68 ^a	73.08±2.43 ^c	74.07±1.54 ^{bc}	73.24±1.94 ^a
灰分/% ash	9.69±1.11 ^a	9.64±1.48 ^a	8.87±1.68 ^a	10.77±1.15 ^a	9.94±1.36 ^a
粗蛋白/% crude protein	56.69±4.73 ^{ab}	62.26±6.62 ^a	54.49±6.12 ^b	63.24±6.56 ^a	64.13±6.18 ^a
粗脂肪/% crude lipid	5.39±0.32 ^a	4.67±0.35 ^{bc}	4.46±0.23 ^c	4.80±0.37 ^{abc}	5.24±0.48 ^{ab}
糖原/% glycogen	9.84±2.40 ^a	3.64±1.02 ^c	7.29±2.25 ^b	3.26±0.95 ^c	4.15±2.00 ^c
胶原蛋白/% collagen	17.87±5.62 ^a	16.70±3.13 ^a	16.18±4.46 ^a	17.10±6.38 ^a	14.48±5.77 ^a
胆固醇/(mmol/g prot) cholesterol	2.93±0.26 ^{ab}	2.41±0.55 ^b	3.03±0.57 ^a	2.62±0.36 ^{ab}	2.58±0.27 ^{ab}

差异不显著 (图 2) ($P>0.05$)。DF 足肌中甲硫氨酸含量最高, GG 足肌最低, 但差异不显著 ($P>0.05$)。五组鲍足肌中的谷氨酸、丙氨酸和赖氨酸含量无显著差异 ($P>0.05$); FF 足肌中甘氨酸的含量显著高于 GG ($P<0.05$); DF 足肌中牛磺酸的含量显著高于 FF ($P<0.05$); GG 足肌中精氨酸的含量显著高于 DD 和 DF ($P<0.05$)。

FF 足肌中呈味氨基酸总量最高, GG 最低, 但无显著差异 (表 4) ($P>0.05$)。GG 足肌中苦味氨基酸占比最高, 但与其他各组差异并不显著 ($P>0.05$)。

2.4 脂肪酸

五组鲍的脂肪酸组成具有较大差异 (表 5)。在饱和脂肪酸方面, C14:0 含量在 DD 足肌中显著高于 FF、GD 和 GG ($P<0.05$); DF 和 FF 足肌中

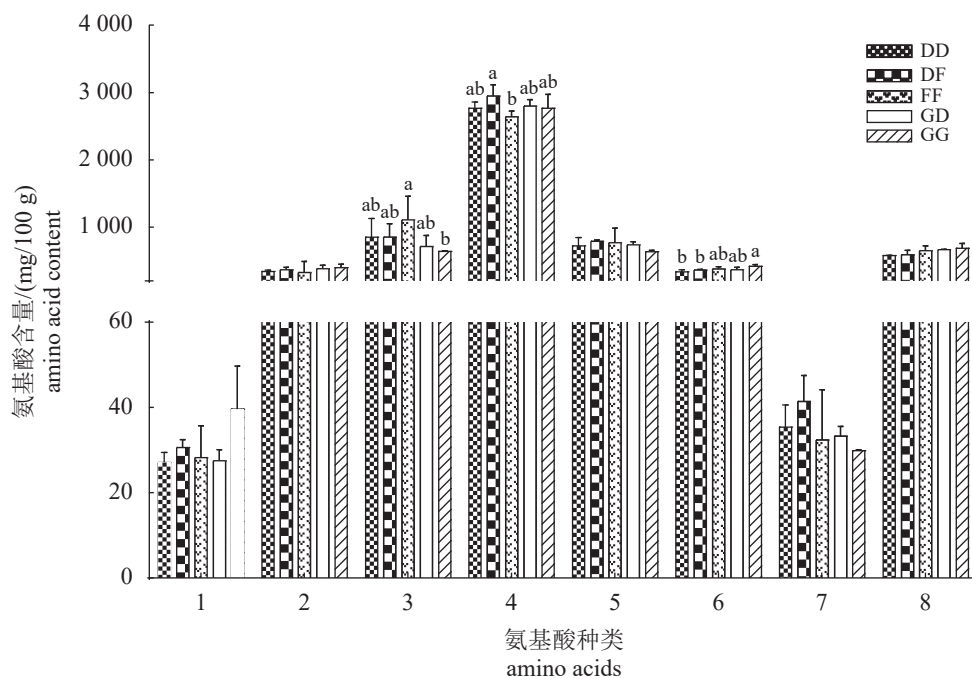


图 2 五组鲍呈味氨基酸和牛磺酸含量的比较

1.天冬氨酸, 2.谷氨酸, 3.甘氨酸, 4.牛磺酸, 5.丙氨酸, 6.精氨酸, 7.甲硫氨酸, 8.赖氨酸, 同一组标注字母不同表示差异显著 ($P<0.05$), 下同

Fig. 2 Comparison of delicious amino acid (DAA) components and taurine content of the five abalone groups

1. aspartic acid, 2. glutamic acid, 3. glycine, 4. taurine, 5. alanine, 6. arginine, 7. methionine, 8. lysine. The different letters in the same group mean significant difference ($P<0.05$), the same below

表 4 呈味氨基酸总量及苦味氨基酸占比

Tab. 4 Total amount of taste amino acid and the proportion of bitter amino acid

氨基酸 amino acids	DD	DF	FF	GD	GG
呈味氨基酸总量/(g/100 g) flavor amino acid	2.89±0.45 ^a	3.03±0.30 ^a	3.30±0.83 ^a	2.93±0.18 ^a	2.84±0.14 ^a
苦味氨基酸占比/% bitter amino acid	21.62±3.39 ^a	20.73±0.99 ^a	21.45±4.19 ^a	23.95±1.50 ^a	25.10±1.35 ^a

C16:0 含量显著高于 DD 和 GG, 且在 GG 足肌中含量显著低于 GD ($P<0.05$)。DF 足肌中 SFA 总量显著高于 DD、FF 和 GG, 且 GG 足肌中 SFA 含量显著低于 GD ($P<0.05$)。

单不饱和脂肪酸方面, 五组鲍中 C16:1、C17:1、C18:1n9t 和 C22:1n9 含量无显著差异 ($P>0.05$)。C18:1n9c 在 GG 和 DF 足肌中含量最高, 其次是 FF 和 GD, DD 则最低 ($P<0.05$); DD 足肌中 MUFA 总量显著高于 GD ($P<0.05$)。

多不饱和脂肪酸方面, C20:5n3 (EPA) 含量在五组鲍足肌中呈 DD>DF>GD>FF/GG 的规律 ($P<0.01$); C22:6n3 (DHA) 含量在五组鲍足肌中呈 FF/GG>GD>DD/DF 的规律 ($P<0.05$); DD 和 DF 足肌中 PUFA 总量显著低于其他各组 ($P<0.05$)。

在五组鲍足肌中, EPA 和 DHA 的总量呈 DD>DF>GD>FF/GG 的规律 ($P<0.01$)。N3 族脂肪酸总量呈 DD>DF/GD>FF/GG 的规律 ($P<0.05$); N6 族脂肪酸总量呈 GG、FF 与 GD 显著大于 DD 和 DF 的规律 ($P<0.05$); N6/N3 呈 FF/GG>GD>DF>DD 的规律 ($P<0.01$)。PUFA/SFA 呈 GG>FF>GD>DD>DF 的规律 ($P<0.05$)。

2.5 矿物质

GG 足肌中镁的含量显著高于 FF (图 3) ($P<0.05$); 五组鲍足肌中铝和钙的含量无显著差异 ($P>0.05$); DF 足肌中锰的含量显著高于 GG 和 GD ($P<0.05$)。五组鲍足肌中铁的含量呈 GG/GD>DD>DF>FF 的规律, 同时 GG 和 GD 足肌中铁含量显著高于 DF 和 FF ($P<0.05$)。GG 足肌中铜的含量显著高于 DF 和 FF ($P<0.05$); 五组鲍足肌中锌含量呈 DD/GD>GG>FF ($P<0.05$), DF 足肌中锌含量与 GD 和 GG 无显著差异 ($P>0.05$); GG 足肌中硒的含量显著高于 GD ($P<0.05$)。

2.6 质构特性

足肌中心闭壳肌部分的质构特性差异比边缘部分大 (图 4-a), DD 的硬度显著高于 DF 和 GG

($P<0.05$); GG 的弹性高于其余组, 且差异非常显著 ($P<0.01$); DD 的咀嚼度显著高于 DF 和 FF ($P<0.05$); DD 的胶粘性显著高于 DF、FF 和 GG ($P<0.05$); 五组鲍的内聚性呈 GG>DD/GD>DF/FF 的规律 ($P<0.01$); 五组鲍的恢复性无显著差异 ($P>0.05$); 五组鲍的脆度呈 GG>DD/DF/GD>FF 的规律 ($P<0.01$)。

在闭壳肌边缘部分, GD 和 GG 的硬度、咀嚼性和胶粘性高于 DD、DF 和 FF, 但五组鲍在硬度、咀嚼度、胶粘性、内聚性和恢复性上无显著差异 ($P>0.05$)。GG 的弹性显著高于其余组 ($P<0.05$), GD 和 GG 的脆度显著高于 FF ($P<0.05$) (图 4-b)。

2.7 综合评价

根据以上实验结果, 选择了 33 个指标 (粗蛋白、粗脂肪、糖原、胶原蛋白、胆固醇、肥满度、牛磺酸、非苦味氨基酸总量、镁、铝、钙、锰、铁、铜、锌、硒、MUFA、PUFA、EPA+DHA、及鲍足肌 A 和 B 部位的硬度、弹性、咀嚼性、胶粘性、内聚性、恢复性、脆度) 进行熵权法分析。糖原的权重系数最大, 为 0.210, 铁、铜、肥满度和咀嚼性-A 的权重系数均大于 0.07, 其余指标的权重系数较小 (表 6, 表内 AB 指鲍足肌不同取样部位)。质构得分指质构参数值与权重系数乘积的和, 风味得分指糖原、非苦味氨基酸总量和 PUFA 的值与权重系数乘积的和 (表 7)。质构得分从高到低依次为 DD>GD>GG>FF>DF, 风味得分从高到低依次为 FF>DD>DF>GD>GG, 综合得分从高到低依次为 DD>FF>DF>GG>GD。

3 讨论

本研究建立了以熵权法为基础的鲍营养品质综合评价模型, 得到的质构得分、风味得分和综合得分能基本反映不同鲍的品质特征差异。

3.1 一般营养成分

肥满度是衡量水产动物生长情况的重要指标,

表 5 五组鲍脂肪酸占比

Tab. 5 Comparison of fatty acid proportion of the five abalone groups

%

脂肪酸 fatty acids	DD	DF	FF	GD	GG
C13:0	0.12±0.02 ^a	0.12±0.02 ^a	0.08±0.00 ^b	0.10±0.02 ^{ab}	0.12±0.01 ^a
C14:0	3.93±0.19 ^a	3.67±0.05 ^{ab}	3.36±0.29 ^b	3.37±0.14 ^b	3.29±0.29 ^b
C15:0	3.19±0.11 ^a	2.82±0.06 ^b	2.32±0.19 ^c	3.11±0.10 ^a	2.73±0.06 ^b
C16:0	28.45±0.59 ^{bc}	30.30±0.50 ^a	29.89±0.24 ^a	29.43±0.44 ^{ab}	27.88±1.03 ^c
C17:0	2.32±0.08 ^{ab}	2.27±0.08 ^b	2.02±0.03 ^c	2.40±0.09 ^{ab}	2.47±0.15 ^a
C18:0	8.54±0.49 ^b	8.88±0.15 ^{ab}	9.14±0.40 ^{ab}	8.97±0.22 ^{ab}	9.47±0.40 ^a
C20:0	nd	nd	nd	0.08±0.01	0.09±0.02
C21:0	0.11±0.02	0.11±0.03	0.09±0.01	0.11±0.01	0.10±0.00
C22:0	0.15±0.03 ^{bc}	0.18±0.01 ^{ab}	0.20±0.01 ^a	0.13±0.02 ^c	0.13±0.01 ^c
C24:0	0.20±0.06 ^a	0.17±0.06 ^{ab}	0.09±0.00 ^b	nd	0.10±0.06 ^b
SFA	47.02±0.78 ^{bc}	48.51±0.62 ^a	47.19±0.29 ^{bc}	47.70±0.67 ^{ab}	46.38±0.88 ^c
C14:1	2.93±2.05 ^a	1.09±0.41 ^b	0.97±0.09 ^b	0.61±0.10 ^b	0.70±0.17 ^b
C15:1	nd	0.04±0.03 ^b	nd	0.05±0.04 ^b	0.10±0.03 ^a
C16:1	1.69±0.13	1.68±0.12	1.47±0.23	1.60±0.22	1.46±0.00
C17:1	0.51±0.21	0.62±0.06	0.51±0.07	0.35±0.30	0.49±0.03
C18:1n9t	0.20±0.04	0.19±0.05	0.20±0.03	0.18±0.04	0.23±0.03
C18:1n9c	6.50±0.20 ^c	7.48±0.12 ^a	7.19±0.10 ^b	7.08±0.12 ^b	7.66±0.10 ^a
C20:1n9	0.81±0.05 ^b	0.71±0.03 ^b	1.00±0.10 ^a	0.81±0.07 ^b	0.80±0.09 ^b
C22:1n9	0.60±0.19	0.66±0.32	0.31±0.02	0.55±0.18	0.62±0.19
MUFA	13.24±1.77 ^a	12.48±0.40 ^{ab}	11.66±0.23 ^{ab}	11.22±0.44 ^b	12.06±0.30 ^{ab}
C18:2n6c	1.05±0.37 ^d	1.29±0.07 ^d	5.70±0.76 ^a	3.02±0.20 ^c	4.08±0.41 ^b
C18:3n6	0.17±0.03 ^b	0.20±0.02 ^{ab}	0.20±0.04 ^{ab}	0.23±0.02 ^a	0.21±0.00 ^{ab}
C18:3n3	0.54±0.04 ^b	0.48±0.04 ^b	1.25±0.23 ^a	1.10±0.03 ^a	1.23±0.24 ^a
C20:2	0.27±0.01 ^c	0.25±0.05 ^c	0.70±0.18 ^a	0.50±0.06 ^b	0.63±0.11 ^{ab}
C20:3n6	0.55±0.06 ^b	0.56±0.01 ^b	0.69±0.11 ^a	0.45±0.01 ^{bc}	0.38±0.02 ^c
C20:3n3	0.11±0.01	0.10±0.01	0.11±0.01	0.12±0.01	0.12±0.02
C20:4n6	18.77±0.56 ^a	18.94±0.28 ^a	17.05±0.45 ^b	19.30±0.30 ^a	19.52±0.53 ^a
C22:2n6	0.15±0.02 ^a	0.14±0.05	0.07±0.00 ^b	0.12±0.03	0.08±0.04 ^b
C20:5n3	18.10±0.48 ^a	16.85±0.09 ^b	14.17±0.57 ^d	15.42±0.64 ^c	14.13±0.15 ^d
C22:6n3	0.04±0.07 ^c	0.21±0.01 ^c	1.20±0.29 ^a	0.83±0.12 ^b	1.13±0.15 ^a
PUFA	39.75±1.01 ^b	39.01±0.24 ^b	41.15±0.53 ^a	41.08±0.35 ^a	41.51±0.63 ^a
EPA+DHA	18.14±0.55 ^a	17.06±0.08 ^b	15.37±0.28 ^d	16.25±0.55 ^c	15.27±0.09 ^d
N3	18.79±0.54 ^a	17.64±0.06 ^b	16.73±0.04 ^c	17.46±0.56 ^b	16.61±0.30 ^c
N6	20.69±0.88 ^c	21.13±0.28 ^c	23.72±0.38 ^{ab}	23.12±0.29 ^b	24.27±0.38 ^a
N6/N3	1.10±0.06 ^d	1.20±0.02 ^c	1.42±0.03 ^a	1.33±0.06 ^b	1.46±0.02 ^a
PUFA/SFA	0.85±0.01 ^b	0.80±0.02 ^c	0.87±0.02 ^{ab}	0.86±0.02 ^{ab}	0.90±0.03 ^a

注: “nd”表示未检出
Notes: “nd” stands for no detected

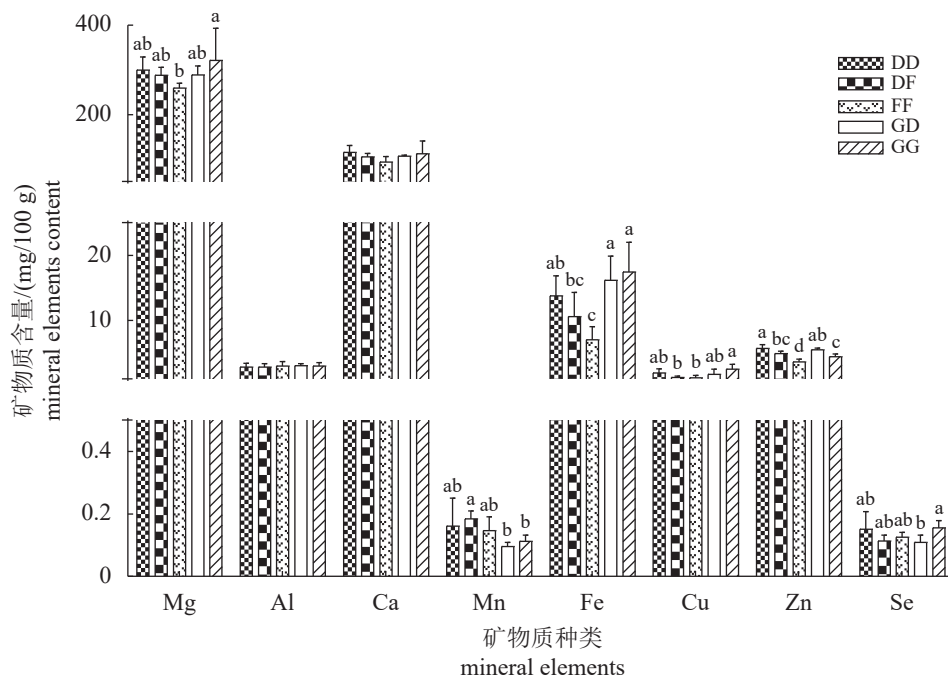


图3 五组鲍矿物质含量的比较

Fig. 3 Comparison of mineral elements content of the five abalone groups

也是影响消费者选择的重要因素之一。绿盘鲍的肥满度为 $(0.76 \pm 0.14) \text{ g/cm}^3$, 相较于其母本提高了 35.71%, 相较于其父本提高了 72.73%, 具有明显的超亲杂种优势。西盘鲍的肥满度为 $(0.44 \pm 0.07) \text{ g/cm}^3$, 略高于其母本, 但显著低于其父本 DD, 具有中亲杂种优势。因实验采用的鲍均处于相同的养殖环境, 规格也较为一致, 因此推测杂交子代肥满度的优势可能是由遗传因素造成的。绿盘鲍足肌的粗蛋白含量为 $62.26\% \pm 6.62\%$, 相较于其母本提高了 9.83%, 相较于其父本提高了 14.26%, 表现出超亲优势。西盘鲍足肌的粗蛋白含量与其母本相近, 但相较于其父本提高了 11.55%, 该实验结果与李宇亮等^[11]的一致。对贝类来说, 蛋白质的含量高低与其体质健康有明显的相关性, 蛋白质含量高的个体营养状况较好, 其机体的活力更强, 免疫力更高^[12]。绿盘鲍和西盘鲍的蛋白质含量明显高于父本, 说明杂交种机体营养状况优于其父本。

3.2 呈味氨基酸和牛磺酸

实验测得的呈味氨基酸及牛磺酸含量与李太武^[13]的研究结果有较大出入, 但与郝帅等^[14]的实验结果较为接近, 原因是本实验用水作为提取介质, 测定的是游离型氨基酸的含量, 而李太武^[13]

采用的是酸水解法, 得到的是水解型氨基酸的含量。呈味氨基酸总量在五种鲍足肌中呈 $\text{FF} > \text{DF} > \text{GD} > \text{DD} > \text{GG}$ 的规律, 对绿盘鲍来说, 其呈味氨基酸总量低于其父本, 但相较于其母本提高了 4.75%, 具有中亲杂种优势。对西盘鲍而言, 其呈味氨基酸总量相较于其母本提高了 2.91%, 相较于其父本提高了 1.01%, 具有一定的超亲杂种优势。苦味氨基酸占比在五种鲍足肌中呈 $\text{GG} > \text{GD} > \text{DD} > \text{FF} > \text{DF}$ 的规律, 综合呈味氨基酸总量可知, 绿鲍足肌最为鲜美, 西氏鲍足肌的鲜美程度最低, 该部分结果与五组鲍的风味得分情况相符。绿盘鲍足肌中牛磺酸的含量相较于其父本提高了 11.69%, 相较于其母本提高了 6.52%; 西盘鲍足肌中牛磺酸的含量略高于其父、母本, 说明杂交种在牛磺酸含量上具有一定的超亲杂种优势。

3.3 脂肪酸

DF 和 DD 足肌中 PUFA 含量相近, GD 和 GG 相近, 具有一定的偏母本特征。有研究表明, C14:0 和 C16:0 有提高胆固醇含量的作用, 而 C18:1 能够降低胆固醇含量^[15]。实验结果表明, DF 和 GG 足肌中胆固醇含量较其余组低, 这可能与 DF 和 GG 足肌中 C18:1 的含量较高, C14:0 和 C16:0 含量较低有关。五组鲍足肌均具有较高含量的 C20:5n3 (EPA), 而 C22:6n3 (DHA) 含量较低,

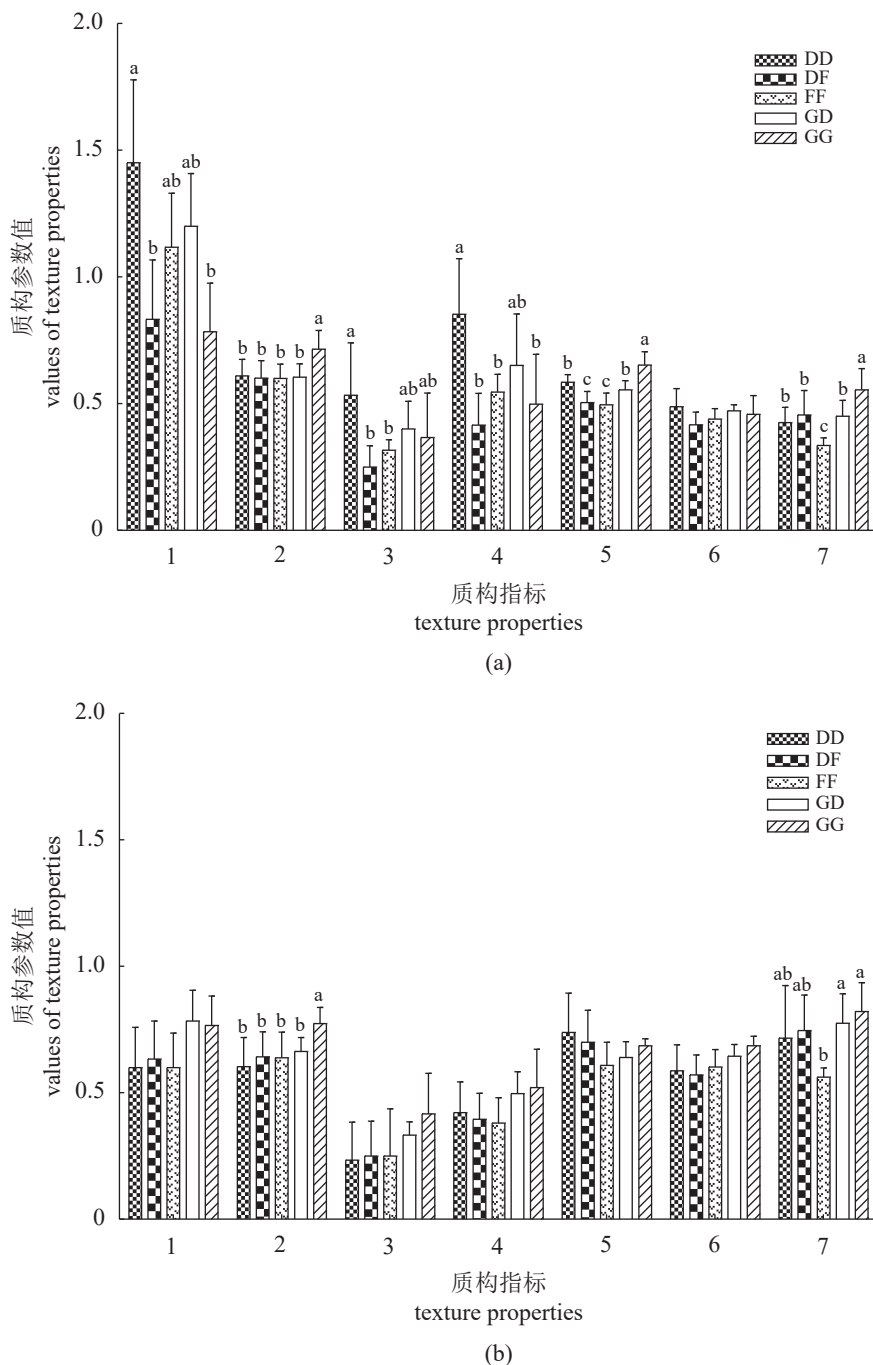


图 4 五组鲍的质构特性比较

(a) 鲍足肌中心闭壳肌部分的质构特性, (b) 闭壳肌边缘部分的质构特性。1.硬度, 2.弹性, 3.咀嚼性, 4.胶黏性, 5.内聚性, 6.恢复性, 7.脆度

Fig. 4 Comparison of texture profiles of the five abalone groups

(a) the texture profiles of abalone adductor muscle, (b) the texture profiles of the surrounding part of abalone adductor muscle. 1. hardness, 2. springiness, 3. chewiness, 4. gumminess, 5. cohesiveness, 6. resilience, 7. fracturability

这与杂色鲍 (*H. diversicolor*)^[12]、绿唇鲍 (*H. laevigata*) 和黑唇鲍 (*H. rubra*)^[16] 的测定结果一致。五组鲍中 EPA+DHA 含量呈 DD>DF>GD>FF/GG 的规律, DF 和 GD 足肌中 EPA+DHA 含量介于其亲本之间, 具有中亲杂种优势。含有均衡脂肪酸的

食物对人体健康和生长发育具有积极意义, 而用来衡量脂肪酸营养价值的重要指标就是 N3 族脂肪酸与 N6 族脂肪酸的比值 (N6/N3), 比值越低的食物通常被认为具有越高的营养价值^[17]。五组鲍足肌中 N6/N3 呈 FF/GG>GD>DF>DD 的规律, 说

表 6 33 个指标的权重系数

Tab. 6 Weight indexes for 33 parameters

序号 no.	指标 parameter	权重 weight	序号 no.	指标 parameter	权重 weight
1	粗蛋白 crude protein	0.004	18	PUFA	0.001
2	粗脂肪 crude lipid	0.006	19	EPA+DHA	0.005
3	糖原 glycogen	0.210	20	硬度A hardness A	0.056
4	胶原蛋白 collagen	0.012	21	弹性A springiness A	0.006
5	胆固醇 cholesterol	0.008	22	咀嚼性A chewiness A	0.071
6	肥满度 conditionfator	0.079	23	胶粘性A gumminess A	0.066
7	牛磺酸 taurine	0.001	24	内聚性A cohesiveness A	0.010
8	非苦味氨基酸总量 non bitter amino acid	0.005	25	恢复性A resilience A	0.001
9	镁 Mg	0.005	26	脆度A fracturability A	0.026
10	铝 Al	0.001	27	硬度B hardness B	0.024
11	钙 Ca	0.005	28	弹性B springiness B	0.007
12	锰 Mn	0.061	29	咀嚼性B chewiness B	0.054
13	铁 Fe	0.099	30	胶粘性B gumminess B	0.015
14	铜 Cu	0.089	31	内聚性B cohesiveness B	0.004
15	锌 Zn	0.027	32	恢复性B resilience B	0.005
16	硒 Se	0.015	33	脆度B fracturability B	0.017
17	MUFA	0.003			

表 7 五组鲍的综合得分

Tab. 7 Comprehensive scores of the five abalone groups

得分 scores	DD	DF	FF	GD	GG
质构得分 texture properties	0.25	0.17	0.19	0.23	0.20
风味得分 flavor	13.60	12.98	14.71	12.01	11.71
综合得分 total	22.20	21.24	21.88	20.74	20.76

明脂肪酸营养价值从高到低分别为 DD、DF、GD、FF 和 GG, 可见皱纹盘鲍的脂肪酸营养价值最高, 而杂交种则在此指标上呈中亲杂种优势。

3.4 质构特性

有研究表明, 新鲜鲍的肌肉韧性与胶原蛋白的含量成正比, 即胶原蛋白含量越高, 肉质越韧^[18]; 肌纤维含量越多, 则肌肉结构越紧密, 弹性越好^[19]。此外, 蛋白质含量也会影响鱼肉的脆度, 蛋白含量越高, 肌肉越脆^[20]。实验测得鲍闭壳肌边缘部位 B 的脆度高于部位 A, 这可能与 B 部位肌纤维较 A 少, 蛋白含量较 A 高有关。此外, 在五种鲍中, GG 的弹性和脆度最高, FF 脆度最低, 这可能与 GG 足肌中蛋白含量最高, FF 蛋白质含量最低有关。硬度可理解为抵抗施加外力的弹性

变形、塑性变形或破坏的能力, 描述了肉质的弹性、塑性、强度和咀嚼性等力学性能^[21]。人们在饮食过程中, 口腔和面颊的舒适度则由肌肉的硬度来体现^[22], DD 肌肉的硬度相对较高, 可能在食用口感上具有一定优势。此外, DD 足肌的硬度高, 这可能与 DD 足肌中胶原蛋白含量高于其余组有关。由五组鲍的质构得分可知, GD 和 GG 在质构方面优于 FF 和 DF, 杂交种 DF 各项质构指标并未显示出优势。

4 结论

本研究对不同鲍及其杂交种的营养成分及质构特性进行了测定, 并综合 33 个测定指标进行熵权法分析。研究表明, 相同养殖条件下的皱纹盘鲍营养品质最优, 绿鲍和绿盘鲍在质构方面劣于西氏鲍和西盘鲍, 但风味较优。本研究加深了杂交对水产动物营养品质和质构影响的认识, 也为后续鲍的品质育种研究提供了理论依据。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 张佳佳, 张国松, 张宏叶. 黄颡鱼(♀)×瓦氏黄颡鱼(♂)双

- 亲及其杂交子代核型和营养成分分析[J]. *海洋渔业*, 2017, 39(2): 149-161.
- Zhang J J, Zhang G S, Zhang H Y. Comparative analysis of the karyotype and nutritional ingredient for the hybrids of *Pelteobagrus fulvidraco*(♀)×*P. vachelli*(♂) and their parental fish[J]. *Marine Fisheries*, 2017, 39(2): 149-161 (in Chinese).
- [2] Yan L L, Su J Q, Wang Z P, *et al.* Growth performance and biochemical composition of the oysters *Crassostrea sikamea*, *Crassostrea angulata* and their hybrids in southern China[J]. *Aquaculture Research*, 2018, 49(2): 1020-1028.
- [3] 王林娜, 田永胜, 唐江, 等. 云纹石斑鱼、鞍带石斑鱼及杂交“云龙斑”肌肉营养成分分析及品质评价[J]. *水产学报*, 2018, 42(7): 1085-1093.
- Wang L N, Tian Y S, Tang J, *et al.* Analysis and quality evaluation of nutritional components in the muscle of *Epinephelus moara*, *E. lanceolatus* and hybrid “Yunlong grouper”[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2018, 42(7): 1085-1093 (in Chinese).
- [4] 罗青, 陈昆慈, 赵建, 等. 乌鳢、斑鳢及其杂交F₁代肌肉营养成分和含肉率的比较分析[J]. *大连海洋大学学报*, 2015, 30(2): 175-180.
- Luo Q, Chen K C, Zhao J, *et al.* Dressed rates and muscular nutrients in northern snakehead *Channa argus*, Taiwan snakehead *C. maculata* and their hybrids[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2015, 30(2): 175-180 (in Chinese).
- [5] 尤宏争, 邵蓬, 高建忠, 等. 出口级黄板鳅(♀)×台湾泥鳅(♂)杂交种及其亲本肌肉营养成分分析比较[J]. *大连海洋大学学报*, 2017, 32(2): 198-204.
- You H Z, Shao P, Gao J Z, *et al.* Comparative analysis of muscular nutrients in export-grade hybrid loach *Paramisgurnus dabryanus* ♀×Taiwan loach ♂ and their parent[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2017, 32(2): 198-204 (in Chinese).
- [6] Seifter S, Dayton S, Novic B, *et al.* The estimation of glycogen with the anthrone reagent[J]. *Archives of Biochemistry*, 1950, 25: 191-200.
- [7] Zhang Z H, Liu Q, Wang P, *et al.* The rheological properties and structural changes of abalone meat with different drying methods[J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2017, 26(2): 205-214.
- [8] 刘云, 宫向红, 徐英江, 等. 烟台近海3种贝类中呈味核苷酸和氨基酸的测定及比较分析[J]. *中国水产科学*, 2014, 21(2): 351-360.
- Liu Y, Gong X H, Xu Y J, *et al.* Determination and comparative analysis of flavor-enhancing nucleotides and amino acids in three common shellfish from offshore Yantai[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(2): 351-360 (in Chinese).
- [9] Xu C, Wang C, Cai Q F, *et al.* Matrix Metalloproteinase 2 (MMP-2) plays a critical role in the softening of common carp muscle during chilled storage by degradation of type I and V collagens[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(51): 10948-10956.
- [10] 王巧玲, 花立民, 杨思维. 不同干燥方式对不同生育期燕麦失水和营养成分的影响[J]. *中国草地学报*, 2014, 36(4): 92-98.
- Wang Q L, Hua L M, Yang S W. Effect of different drying methods on dehydration and nutrients of oats in different growth periods[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2014, 36(4): 92-98 (in Chinese).
- [11] 李宇亮, 骆轩, 吴建国, 等. 西氏鲍与皱纹盘鲍及其正反杂交F₁代样本的营养成分的组成和含量比较[J]. *台湾海峡*, 2011, 30(1): 49-55.
- Li Y L, Luo X, Wu J G, *et al.* Comparative studies of the nutritional compositions of *Haliotis discus hannai*, *H. sieboldii* and their reciprocal hybrids[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2011, 30(1): 49-55 (in Chinese).
- [12] 王波. 杂色鲍杂交后代壳色遗传与抗性特征研究 [D]. 厦门: 厦门大学, 2010.
- Wang B. Studies of shell colour genetics and resistance characteristics of hybrid progeny of *Haliotis diversicolor*[D]. Xiamen: Xiamen University, 2010 (in Chinese).
- [13] 李太武. 鲍的生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- Li T W. Biology of abalone[M]. Beijing: Science Press, 2004 (in Chinese).
- [14] 郝帅, 秦磊, 王妍, 等. 鲍鱼热处理对5-HMF的形成与褐变的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(10): 182-189.
- Hao S, Qin L, Wang Y, *et al.* Effect of thermal treatment on browning and 5-hydroxymethylfurfural formation in abalone[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(10): 182-189 (in Chinese).
- [15] Mensink R P, Zock P L, Kester A D, *et al.* Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of

- serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2003, 77(5): 1146-1155.
- [16] Dunstan G A, Baillie H J, Barrett S M, *et al.* Effect of diet on the lipid composition of wild and cultured abalone[J]. *Aquaculture*, 1996, 140(1-2): 115-127.
- [17] Cherif S, Frikha F, Gargouri Y, *et al.* Fatty acid composition of green crab (*Carcinus mediterraneus*) from the tunisian mediterranean coasts[J]. *Food Chemistry*, 2008, 111(4): 930-933.
- [18] Olaechea R P, Ushio H, Watabe S, *et al.* Toughness and collagen content of abalone muscles[J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 1993, 57(1): 6-11.
- [19] 肖桂华, 朱蓓薇, 董秀萍, 等. 鲍鱼腹足不同部位的质构特性及组织结构研究[J]. *食品科技*, 2010, 35(11): 155-159.
- Xiao G H, Zhu B W, Dong X P, *et al.* Study on texture and tissue structure of different muscle of abalone[J]. *Food Science and Technology*, 2010, 35(11): 155-159 (in Chinese).
- [20] 林婉玲, 杨贤庆, 李来好, 等. 脆肉鲩质构与感官评价的相关性研究[J]. *现代食品科技*, 2013, 29(1): 1-7,72.
- Lin W L, Yang X Q, Li L H, *et al.* Research of relationship between texture and sensory evaluation of crisp grass carp[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2013, 29(1): 1-7,72 (in Chinese).
- [21] 刘文宗, 周勤飞. 荣昌猪肉质硬度分析[J]. *肉类研究*, 2012, 26(8): 26-29.
- Liu W Z, Zhou Q F. Hardness analysis of Rongchang pig meat[J]. *Meat Research*, 2012, 26(8): 26-29 (in Chinese).
- [22] Hovenier R, Kanis E, Van Asseldonk T, *et al.* Breeding for pig meat quality in halothane negative populations - a review[J]. *Pig News and Information*, 1993, 14: 17-25.

Nutritional components and texture profiles of different abalone species and their hybrids

ZENG Liting^{1,2,3}, LUO Xuan^{1,2,3}, KE Caihuan^{1,2,3}, YOU Weiwei^{1,2,3*}

(1. Collage of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China;

2. Fujian Key Laboratory of Genetics and Breeding of Marine Organisms, Xiamen University, Xiamen 361102, China;

3. Fujian Provincial Platform for Germplasm Utilization & Sharing of Characteristic Aquaculture Species, Xiamen 361102, China)

Abstract: The abalone hybrids *Haliotis gigantea* ♀ × *H. discus hannai* ♂ (GD) and *H. discus hannai* ♀ × *H. fulgens* ♂ (DF) have been approved as national new aquacultural varieties by the Ministry of Agriculture based on their excellent high temperature resistance and growth rate. But the research on nutritional quality of these two hybrids was still limited. In this study, *H. discus hannai* (DD), *H. fulgens* (FF), *H. hannai* ♀ × *H. fulgens* ♂ (DF), *H. gigantean* (GG), and *H. gigantean* ♀ × *H. hannai* ♂ (GD) were chosen for a comparison of their nutritional components and textural profiles. The tested indexes include moisture, cholesterol, ash, protein, lipid, glycogen, collagen, mineral elements, delicious amino acids, taurine, fatty acid and texture profile. The results showed that DF and GD had certain advantages over their parents species in fullness, crude protein and taurine content. In delicious amino acids profile, DF and FF were rich in delicious amino acids, while GG had the highest proportion of bitter amino acids. In fatty acid profile, the order of the fatty acid nutritional values of the five varieties from high to low was DD, DF, GD, FF and GG. GG had the highest springiness and fracturability, while FF had the lowest fracturability. GD had no advantage over its parents in texture profile. According to an analysis based on entropy weight method, the texture score was highest in DD and lowest in DF. The flavor score was highest in FF and lowest in GG. The comprehensive scores from high to low were DD, FF, DF, GG and GD. Overall, DD had the best nutritional quality, FF and DF were inferior to GG and GD in texture, but better in flavor than GG and GD. Therefore, the nutritional quality analysis here will lay a technical foundation for the subsequent breeding focusing on meat quality traits and development of processed products.

Key words: abalone; hybrid; nutritional components; texture properties; entropy weight method

Corresponding author: YOU Weiwei. E-mail: wwyu@xmu.edu.cn

Funding projects: National Key Research and Development Program of China (2018YFD0901400); Xiamen Ocean and Fisheries Special Fund (21CZY018HJ01); China Agriculture Research System (CARS-49)