

王允茹, 蔡秋杏, 张晨晓, 等. 北部湾海区三种常见牡蛎的蛋白质及氨基酸营养分析与评价 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(7): 310–316. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070302

WANG Yunru, CAI Qiuxing, ZHANG Chenxiao, et al. Analysis and Evaluation of Protein and Amino Acid Nutrition of Three Common Oysters in Beibu Gulf[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(7): 310–316. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070302

· 分析检测 ·

北部湾海区三种常见牡蛎的蛋白质及氨基酸 营养分析与评价

王允茹^{1,2}, 蔡秋杏^{1,*}, 张晨晓¹, 董庆亮¹, 石宇¹, 陈静¹

(1. 广西高校北部湾特色海产品资源开发与高值化利用重点实验室, 钦州市海洋食品营养与安全重点实验室, 北部湾大学食品工程学院, 广西钦州 535000;
2. 广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530000)

摘要: 为探究北部湾海区常见的熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎三种牡蛎的蛋白质和氨基酸含量、蛋白质营养价值及基于氨基酸含量的综合品质评价差异。采用国家标准测定牡蛎中蛋白质含量, 利用高效液相色谱法测定牡蛎中氨基酸组成及含量, 分别进行蛋白质营养价值评价, 并以牡蛎中的氨基酸组成和含量为指标进行主成分分析 (Principal component analysis, PCA)。结果表明, 北部湾海区熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的粗蛋白含量 (以干基计) 在 43.47~49.27 g/100 g 之间, 各品种间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。三种牡蛎均检测出 17 种氨基酸, 必需氨基酸占总氨基酸 30.95%~37.39%, 其中熊本牡蛎的必需氨基酸构成比例符合 FAO/WHO 推荐的理想模式。利用氨基酸评分 (Amino acid score, AAS) 和化学评分 (Chemical score, CS) 评价牡蛎蛋白质营养价值, AAS 中熊本牡蛎和香港牡蛎均大于 1, 近江牡蛎的第一限制性氨基酸为亮氨酸; CS 中熊本牡蛎和香港牡蛎的第一限制性氨基酸为蛋氨酸+半胱氨酸, 近江牡蛎为亮氨酸。利用氨基酸比值系数评价牡蛎蛋白质营养价值, 可知三种牡蛎中熊本牡蛎蛋白质营养价值最高, 其次为香港牡蛎和近江牡蛎。PCA 分析中, 所抽取的 2 个主成分的累积贡献率为 90.463%, 可较好的概括 17 个氨基酸评价指标的综合信息, 三种牡蛎综合得分排序为熊本牡蛎 > 香港牡蛎 > 近江牡蛎。该研究为北部湾海区三种常见牡蛎的开发和养殖品种筛选提供了一定的科学参考依据。

关键词: 牡蛎, 氨基酸, 蛋白质营养价值, 主成分分析

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)07-0310-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021070302

本文网刊:



Analysis and Evaluation of Protein and Amino Acid Nutrition of Three Common Oysters in Beibu Gulf

WANG Yunru^{1,2}, CAI Qiuxing^{1,*}, ZHANG Chenxiao¹, DONG Qingliang¹, SHI Yu¹, CHEN Jing¹

(1. Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory of Development and High-value Utilization of Beibu Gulf Seafood Resources, Qinzhou Key Laboratory of Marine Food Nutrition and Safety, College of Food Engineering, Beibu Gulf University, Qinzhou 535000, China;
2. College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530000, China)

Abstract: The purpose of this study was to explore the differences of protein and amino acid content, protein nutritional value and comprehensive quality evaluation based on amino acid content of three common oysters, *Crassostrea sikamea*, *Crassostrea hongkongensis* and *Crassostrea ariakensis* in Beibu Gulf. The content of protein in oyster was determined by

收稿日期: 2021-07-26

基金项目: 广西自然科学基金 (2018GXNSFBA294015); 2017 年钦州学院引进高层次人才科研启动项目 (2017KYQD56); 农业农村部水产品加工重点实验室 2020 年度开放基金课题 (NYJG202004)。

作者简介: 王允茹 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工及高值化利用, E-mail: yunruruby@163.com。

* 通信作者: 蔡秋杏 (1971-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工及高值化利用, E-mail: cindyqqcai@163.com。

national standard, and the composition and content of amino acids in oyster were determined by high performance liquid chromatography. The nutritional value of protein was evaluated, and the composition and content of amino acids in oyster were used as indexes for principal component analysis (PCA). The results showed the crude protein content (in dry basis) of *Crassostrea sikamea*, *Crassostrea hongkongensis* and *Crassostrea ariakensis* in Beibu Gulf was 43.47~49.27 g/100 g, and there were significantly differences among the three species. 17 kinds of amino acids were detected in three kinds of oysters, and the essential amino acids accounted for 30.95%~37.39% of the total amino acids, among which the essential amino acid composition of *Crassostrea sikamea* conformed to the ideal model recommended by FAO/WHO. The nutritional value of oyster protein was evaluated by amino acid score and chemical score. The results showed that *Crassostrea sikamea* and *Crassostrea hongkongensis* were more than 1 in AAS, the first limiting amino acid of *Crassostrea ariakensis* was leucine, the first limiting amino acid of *Crassostrea sikamea* and *Crassostrea hongkongensis* in CS was methionine+cysteine, and *Crassostrea ariakensis* was leucine. The protein nutritional value of oyster was evaluated by amino acid ratio coefficient, it was found that the protein nutritional value of *Crassostrea sikamea* was the highest among the three kinds of oysters, followed by *Crassostrea hongkongensis* and *Crassostrea ariakensis*. In PCA analysis, the cumulative contribution rate of the two principal components extracted was 90.463%, which could better summarize the comprehensive information of 17 amino acid evaluation indexes. The comprehensive score of the three oysters was *Crassostrea sikamea*>*Crassostrea hongkongensis*>*Crassostrea ariakensis*. This study provides a scientific reference for the development and breeding of three common oysters in the Beibu Gulf.

Key words: oyster; amino acid; protein nutritional value; principal component analysis

牡蛎是兼具生态价值和经济价值于一体的世界性海洋重要养殖贝类,同时也属于我国重要海洋生物资源和重要经济贝类^[1-3]。据统计^[4],2019 年牡蛎海水养殖年产量约 522.56 万吨,约占海水养殖贝类的 36.31%,是海水养殖贝类中最具代表性的品种,其中北部湾海区多淡水河口,适宜多品种牡蛎养殖^[5]。现有报道表明^[6],广西北部湾海区的茅尾海海域常见牡蛎为三种,包括熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎。熊本牡蛎(*Crassostrea sikamea*),俗称“蚝蛎”,亚热带性种,在我国牡蛎经济物种中居第四位^[7]。香港牡蛎(*Crassostrea hongkongensis*),俗称“白眼蚝”,热带亚热带性暖水种,属于我国华南地区最主要的养殖品种^[8]。近江牡蛎(*Crassostrea ariakensis*),俗称“红眼蚝”,河口性广布种,现有野生资源骤降,但近年来有一定的养殖规模,具有重要的经济价值^[1,8]。

当前国内外对牡蛎营养成分分析的报道多关于不同品种牡蛎间差异、同品种牡蛎在不同地域的差异和同品种牡蛎季节变化间的差异等。Liu 等^[9]报道表明象山湾地区的熊本牡蛎和葡萄牙牡蛎的营养成分存在差异,葡萄牙牡蛎的蛋白质含量更高,而熊本牡蛎中含量丰富的糖原及挥发性有机化合物等为其提供特殊风味。方玲等^[10]对华南沿海 10 个地区的近江牡蛎的分析表明,不同地区的近江牡蛎间营养成分存在差异,其中矿物质元素含量在地区分布中差异显著。刘雁飞^[11]的研究表明,牡蛎的营养成分随季节采收发生变化,总糖和脂肪含量在牡蛎的冬季采收时达到最高。然而来自同一海区不同品种间牡蛎的蛋白质及其氨基酸组成以及相应营养价值评价的对比却鲜有报道。

随着人们生活水平的提高,对食物营养尤其是优质蛋白的需求越来越高,水产蛋白越来越受欢迎,同时人们对日常膳食中摄入蛋白质及氨基酸的合理

均衡性,并有针对性对膳食营养进行干预的探求提高^[12-13]。所以,对资源丰富的各品种牡蛎进行营养成分及蛋白质与氨基酸的测评分析,可进一步探明不同品种牡蛎的开发利用方向。本文对北部湾海区的熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎三种牡蛎的氨基酸组成及含量进行差异性分析,评价相应氨基酸和蛋白质的营养价值。对后续熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的精深利用加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

去壳熊本牡蛎(38 头/100 g)、香港牡蛎(8 头/100 g)和近江牡蛎(5 头/100 g) 2019 年 12 月购买于广西壮族自治区钦州市东风市场,均产自于广西北部湾钦州养殖区内;氨基酸混合标准品、邻苯二甲醛(OPA)、茚甲氧羰酰氯(FMOC)、3-巯基丙酸 分析纯,美国 Sigma 公司;乙腈、甲醇 色谱纯,德国 CNW 公司;盐酸、苯酚、磷酸二氢钠、硫酸、氢氧化钠、硫酸铜、95% 乙醇、硼酸、甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂 分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

K1160 自动凯氏定氮仪 天津恩创科技有限公司;DHG-9030 电热鼓风干燥箱 上海圣科仪器设备有限公司;HGC-12A 氮吹仪 天津恒奥科技发展有限公司;Agilent 1100 液相色谱仪(配有荧光检测器(FLD)和图像二极管阵列检测器(DAD)) 美国安捷伦科技公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理 熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的软组织分别取样 400 g,进行匀浆捣碎制样,−18 ℃ 冷冻保存以进行后续的实验分析。

1.2.2 水分含量测定 按照 GB 5009.3-2016 中直接干燥法进行测定。

1.2.3 蛋白质含量测定 按照 GB 5009.5-2016 中凯氏定氮法进行测定。

1.2.4 氨基酸测定

1.2.4.1 试剂配制 硼酸缓冲液: 配制 0.4 mol/L 硼酸水溶液, 使用氢氧化钠溶液调节 pH 至 10.2; OPA 溶液: 取 100 mg OPA, 加 2 mL 甲醇溶解, 硼酸缓冲液定容至 10 mL, 再加 100 μ L 3-巯基丙酸混匀, 置于 4 $^{\circ}$ C 冰箱保存; FMOC 溶液: 取 25 mg FMOC, 加乙腈溶解, 并定容至 10 mL。

1.2.4.2 样品处理 参照 GB 5009.124-2016 进行样品水解。称取 100.00 mg 均匀样品后加入 5 mL 的 6 mol/L 盐酸(含 1% 苯酚), 110 $^{\circ}$ C 下水解 24 h, 取出冷却后定容至 5 mL。从中取 1 mL, 水浴 95 $^{\circ}$ C 下氮气吹干, 加入 1 mL 0.01 mol/L 盐酸溶解, 过 0.22 μ m 针筒滤膜, 为待测样品液。

1.2.4.3 在线柱前衍生 自动衍生进样过程: 吸取 1 μ L 样品液, 然后抽取 2 μ L 硼酸缓冲液, 在空气中反复抽取 3 次混匀。抽取 1 μ L OPA 溶液, 在空气中反复抽吸 3 次混匀, 静置 0.5 min。抽取 1 μ L FMOC 溶液, 在空气中反复抽吸 3 次混匀, 静置 0.5 min。抽取 13 μ L 超纯水, 在空气中反复抽吸 3 次混匀, 进样。

1.2.4.4 色谱条件 色谱柱: ZORBAX Eclipse AAA (4.6 mm $\times$ 75 mm, 3.5 μ m); 流动相 A: 40 mmol/L 磷酸二氢钠(pH7.8); 流动相 B: 乙腈/甲醇/水(体积比为 45:45:10)^[14]; 流速: 1.0 mL/min; 梯度洗脱程序设置: 0~1 min, 流动相 A 保持 100%, 流动相 B 保持 0; 1~23 min, 流动相 A 由 100% 变化至 46%, 流动相 B 由 0 变化至 57%; 23~27 min, 流动相 A 由 46% 变化至 0, 流动相 B 由 57% 变化至 100%; 27~34 min, 流动相 A 保持 0, 流动相 B 保持 100%; 34~40 min, 流动相 A 由 0 变化至 100%, 流动相 B 由 100% 变化至 0; 40~41 min, 流动相 A 保持 100%, 流动相 B 保持 0。

1.2.4.5 检测信号 紫外波长 338 nm, FLD 条件: 激发波长 266 nm, 发射波长 305 nm。

1.2.5 蛋白质营养价值评价

1.2.5.1 氨基酸评分(Amino acid score, AAS)和化学评分(Chemical score, CS) 通过 1973 年 FAO/WHO 发表的理想蛋白质必需氨基酸评分标准模式^[15] 计算 AAS; 通过中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的鸡蛋蛋白模式^[16] 计算 CS。

$$AAS = \frac{\text{样品蛋白质中氨基酸含量}}{\text{FAO/WHO理想蛋白质评分标准模式中相应必需氨基酸含量}}$$

$$CS = \frac{\text{样品蛋白质中氨基酸含量}}{\text{鸡蛋蛋白质量相应氨基酸含量}}$$

1.2.5.2 氨基酸比值系数 参照朱圣陶等^[17] 的方法, 根据 FAO/WHO 提出的理想蛋白质人体必需氨基酸模式谱(1973 年版本)计算, 指标包括: 氨基酸比值系数(Ratio coefficient of amino acid, RC)和比值系数

分(Score of RC, SRC)。

$$RC = \frac{\text{氨基酸比值}}{\text{氨基酸比值均数}}$$

$$SRC = 100 - CV \times 100$$

式中: CV, RC 的变异系数; CV=RC 标准差/RC 平均数。

1.3 数据处理

试验重复 3 次, 所用数据均采用平均值 $\pm$ 标准差表示。采用 Excel 2010 整理数据, SPSS 26.0 进行单因素方差分析(one-way ANOVA)和 PCA 统计分析, $P < 0.05$ 表示具有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的蛋白质含量

北部湾海区的熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的蛋白质含量如表 1 所示, 三种牡蛎的蛋白质含量(干基)在 43.47~49.27 g/100 g 之间, 熊本牡蛎最高, 且显著高于香港牡蛎和近江牡蛎($P < 0.05$)。可见在同一海区, 蛋白质含量在牡蛎的不同品种间有显著差异。

表 1 熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的蛋白质含量(g/100 g)

Table 1 Protein content of *Crassostrea sikamea*, *Crassostrea hongkongensis* and *Crassostrea ariakensis*(g/100 g)

品种	水分	蛋白质(湿基)	蛋白质(干基)
熊本牡蛎	82.71 $\pm$ 0.37 ^a	8.52 $\pm$ 0.24 ^b	49.27 $\pm$ 0.44 ^c
香港牡蛎	89.44 $\pm$ 0.63 ^b	4.59 $\pm$ 0.24 ^a	43.47 $\pm$ 0.45 ^a
近江牡蛎	82.03 $\pm$ 0.20 ^a	8.60 $\pm$ 0.16 ^b	47.84 $\pm$ 0.41 ^b

注: 同列数据标注不同小写字母表示数据间存在统计学差异($P < 0.05$)。

2.2 熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的氨基酸组成及含量

如表 2 可知, 熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎中均检测出 17 种氨基酸, 包括 7 种必需氨基酸、10 种非必需氨基酸和 6 种呈味氨基酸。三种牡蛎的氨基酸总量为 87.28~106.68 mg/g, 非必需氨基酸含量为 52.90~57.52 mg/g, 呈味氨基酸含量为 39.56~50.81 mg/g, 必需氨基酸为 27.45~39.91 mg/g, 其占总氨基酸的 30.95%~37.39%。熊本牡蛎的氨基酸总量、必需氨基酸、非必需氨基酸含量、呈味氨基酸和必需氨基酸占总氨基酸的比例均在三种牡蛎中最高, 其中氨基酸总量(106.68 mg/g)、必需氨基酸(39.91 mg/g)和呈味氨基酸含量(50.81 mg/g)及必需氨基酸占总氨基酸的比例(37.39%)均显著高于香港牡蛎和近江牡蛎($P < 0.05$), 在三种牡蛎中肉质口感最为鲜美。

17 种氨基酸中, 谷氨酸含量在三种牡蛎中均为最高, 平均含量为 13.87 mg/g, 其中熊本牡蛎(15.05 mg/g)显著高于另外两种牡蛎($P < 0.05$)。与现有报道中所测牡蛎氨基酸含量中谷氨酸含量总是最高的结果相一致^[18-19]。在组成蛋白质的氨基酸中, 除谷氨酸外, 熊本牡蛎中天冬氨酸、丙氨酸和赖氨酸

表 2 熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎氨基酸组成及含量

Table 2 Amino acid composition and content of *Crassostrea sikamea*, *Crassostrea hongkongensis* and *Crassostrea ariakensis*

氨基酸种类	氨基酸含量(mg/g)		
	熊本牡蛎	香港牡蛎	近江牡蛎
天冬氨酸Asp ⁺⁺	10.21±0.28 ^c	9.38±0.22 ^b	8.07±0.15 ^a
谷氨酸Glu ⁺⁺	15.05±0.00 ^c	14.37±0.06 ^b	12.20±0.28 ^a
丝氨酸Ser	5.07±0.15 ^c	4.49±0.24 ^b	3.85±0.03 ^a
组氨酸His	1.53±0.50 ^a	1.18±0.39 ^a	1.77±0.30 ^a
甘氨酸Gly ⁺⁺	6.58±0.58 ^a	6.28±0.49 ^a	7.23±0.51 ^a
苏氨酸Thr [*]	5.32±0.33 ^b	4.74±0.08 ^b	3.89±0.11 ^a
精氨酸Arg	7.72±0.48 ^b	6.97±0.02 ^b	5.16±0.10 ^a
丙氨酸Ala ⁺⁺	10.59±0.80 ^b	9.49±0.34 ^b	5.38±0.08 ^a
酪氨酸Tyr ⁺⁺	3.90±0.06 ^a	3.25±0.26 ^a	3.19±0.32 ^a
半胱氨酸Cys	1.56±0.28 ^a	1.48±0.38 ^a	9.68±0.23 ^b
缬氨酸Val [*]	5.51±0.36 ^a	4.44±0.54 ^a	4.47±0.20 ^a
蛋氨酸Met [*]	2.27±0.16 ^c	1.28±0.03 ^a	1.76±0.01 ^b
异亮氨酸Ile [*]	4.54±0.33 ^b	3.79±0.03 ^a	3.86±0.04 ^a
亮氨酸Leu [*]	7.52±0.10 ^c	3.88±0.24 ^a	5.31±0.31 ^b
赖氨酸Lys [*]	10.27±1.64 ^b	6.17±0.26 ^a	4.68±1.15 ^a
脯氨酸Pro	4.57±0.11 ^a	8.41±1.84 ^b	3.29±0.09 ^a
苯丙氨酸Phe ⁺⁺⁺	4.49±0.20 ^b	4.97±0.26 ^b	3.48±0.08 ^a
总氨基酸TAA	106.68±4.53 ^b	94.58±3.51 ^a	87.28±0.29 ^a
必需氨基酸EAA	39.91±2.46 ^b	29.27±1.16 ^a	27.45±1.20 ^a
非必需氨基酸NEAA	57.52±1.10 ^a	57.16±1.94 ^a	52.90±1.68 ^a
呈味氨基酸DAA	50.81±0.75 ^c	47.75±0.21 ^b	39.56±1.26 ^a
必需氨基酸/总氨基酸(EAA/TAA, %)	37.39±0.71 ^b	30.95±0.08 ^a	31.46±1.47 ^a
必需氨基酸/非必需氨基酸(EAA/NEAA, %)	69.35±2.94 ^b	51.20±0.30 ^a	51.96±3.91 ^a

注: “*”表示必需氨基酸, “++”表示呈味氨基酸; 同行数据标注不同小写字母a-c表示数据间存在统计学差异(P<0.05)。

含量较高; 香港牡蛎中天冬氨酸和丙氨酸含量较高; 近江牡蛎中半胱氨酸含量较高。天冬氨酸、谷氨酸和丙氨酸属于呈味氨基酸, 其中天冬氨酸和谷氨酸是呈鲜味的特征氨基酸, 丙氨酸是呈甜味的氨基酸, 为熊本牡蛎和香港牡蛎提供更鲜甜的食用口感^[20]。赖氨酸作为必需氨基酸之一, 是禾谷作物类第一限制性氨基酸, 通常日常饮食摄入较少, 赖氨酸缺乏可能会造成发育迟缓、疲劳、贫血等严重后果^[21-23], 而熊本牡蛎中较高含量的赖氨酸, 可补充谷物膳食中赖氨酸摄入的不足。半胱氨酸为谷胱甘肽的重要组成, 存在其它氨基酸未含有的还原性基团(巯基), 近江牡蛎中较高含量的半胱氨酸使其具有相应较强的刺激免疫活性的作用^[24-25]。

熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的必需氨基酸

与非必需氨基酸比值为 51.20%~69.35%。熊本牡蛎(69.35%)的比值高于 60%, 同时必需氨基酸占总氨基酸比例(37.39%)高于 35.38%, 符合 FAO/WHO 推荐的理想模式(EAA/TAA×100 大于 35.38%, EAA/NEAA×100 大于 60%^[26]), 可作为日常膳食中的理想蛋白质补充来源。而香港牡蛎与近江牡蛎不符合上述理想蛋白质的要求, 不可作为长期的蛋白质类食物主要来源。

2.3 熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的蛋白质营养价值评价

2.3.1 氨基酸评分和化学评分评价 由表 3 可知, 根据 AAS 分析, 熊本牡蛎和香港牡蛎的氨基酸评分均大于 1, 高于 FAO/WHO 相应必需氨基酸评分标准模式推荐, 符合人体必需氨基酸的需要, 蛋白质营养

表 3 熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的氨基酸评分和化学评分

Table 3 AAS and CS of *Crassostrea sikamea*, *Crassostrea hongkongensis* and *Crassostrea ariakensis*

必需氨基酸	含量(mg/g N)			FAO/WHO 模式 (mg/g N)	鸡蛋蛋白模式 (mg/g N)	AAS			CS		
	熊本牡蛎	香港牡蛎	近江牡蛎			熊本牡蛎	香港牡蛎	近江牡蛎	熊本牡蛎	香港牡蛎	近江牡蛎
Thr	390.15	644.88	282.59	250	292	1.56	2.58	1.13	1.34	2.21	0.97
Val	404.49	603.96	324.75	310	410	1.30	1.95	1.05	0.99	1.47	0.79
Ile	332.75	516.00	280.52	250	331	1.33	2.06	1.12	1.01	1.56	0.85
Leu	551.57	528.94	385.97	440	534	1.25	1.20	0.88	1.03	0.99	0.72
Lys	753.04	840.21	340.01	340	441	2.21	2.47	1.00	1.71	1.91	0.77
Met+Cys	281.10	375.61	831.50	220	386	1.28	1.71	3.78	0.73	0.97	2.15
Phe+Tyr	615.02	1120.17	485.28	380	565	1.62	2.95	1.28	1.09	1.98	0.86

价值高。其中 Lys 是 FAO/WHO 标准模式中推荐含量的两倍多,与 Jiang 等^[27]报道的太平洋牡蛎蛋白中赖氨酸含量几乎是 FAO/WHO 模式的两倍的结果相似。近江牡蛎中评分为 0.88 的 Leu 是第一限制性氨基酸,与李阅兵等^[28]所报道的结论一致。根据 CS 分析,与标准鸡蛋蛋白模式相比较,熊本牡蛎和香港牡蛎中第一限制性氨基酸均为 Met+Cys,评分为 0.73、0.97;近江牡蛎的第一限制性氨基酸与氨基酸评分相同,同为 Leu(0.72)。在膳食中食用熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎时,分别补充 Met+Cys 与 Leu 含量较高的食物,可做到氨基酸互补。采用氨基酸评分和化学评分评价熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的蛋白质营养价值时,可通过 FAO/WHO 标准模式与鸡蛋蛋白模式计算而明确三种牡蛎分别缺乏的氨基酸。但在现代食物蛋白质营养价值观念中,仅以第一限制性氨基酸作为蛋白质质量的判断标准,存在不足。同时单一氨基酸过多同样会影响其蛋白质质量,为了更好的评价蛋白质营养,也需要从蛋白质的氨基酸平衡性角度去评价牡蛎蛋白质质量^[17]。

2.3.2 氨基酸比值系数 进一步从必需氨基酸相对平衡性分析熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的营养价值,由表 4 可知。RC 分析中,熊本牡蛎中除 Lys (1.47)含量相对过剩外,其它必需氨基酸评分均在 0.80~1.10 这一范围内,接近 FAO/WHO 理想模式推荐值;香港牡蛎中 Leu(0.43)、Met+Cys(0.61)和 Val(0.69)含量相对不足,Leu 远低于 FAO/WHO 理想模式推荐值;近江牡蛎中 Leu(0.59)和 Lys(0.67)含量相对不足,低于 FAO/WHO 理想模式推荐值, Met+Cys(2.52)含量过剩,与 FAO/WHO 理想模式推荐值偏离较大。由 RC 计算 CV 后可得 SRC,三种牡蛎的 SRC 按顺序排列为熊本牡蛎(88.99%)>香港牡蛎(82.30%)>近江牡蛎(64.94%)。说明熊本牡蛎的必需氨基酸相对平衡,在三种牡蛎中的蛋白质营养价值最高。而近江牡蛎蛋白质的 RC 分散程度大,必需氨基酸所做负贡献较大,平衡性最差,蛋白质营养价值相较于其它两种牡蛎较低^[29]。

表 4 熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎必需氨基酸的 RC 和 SRC

Table 4 RC and SRC of *Crassostrea sikamea*, *Crassostrea hongkongensis* and *Crassostrea ariakensis*

必需氨基酸	熊本牡蛎	香港牡蛎	近江牡蛎
	RC	RC	RC
Thr	1.03	0.92	0.76
Val	0.86	0.69	0.70
Ile	0.88	0.74	0.75
Leu	0.83	0.43	0.59
Lys	1.47	0.88	0.67
Met+Cys	0.85	0.61	2.52
Phe+Tyr	1.07	1.05	0.85
SRC(%)	88.99	82.30	64.94

2.3.3 主成分分析 选定熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的氨基酸组分含量为变量指标,对三种牡蛎进

行综合评价。对其中 17 个氨基酸组分含量指标进行 PCA,由于相关性矩阵为非正定矩阵,剔除显著强相关性的变量后得到以表 5 所示的氨基酸为变量指标,简化后共提取出特征值大于 1 的 2 个主成分,且累计贡献率达到 90.463%(表 6),可综合反映原变量指标的大部分信息。第一主成分贡献率为 66.632%,解释指标以丝氨酸、苏氨酸和赖氨酸为主。第二主成分贡献率为 23.831%,解释指标以组氨酸为主。

表 5 主成分载荷矩阵及系数

Table 5 Principal component load matrix and coefficient

氨基酸	主成分1		主成分2	
	载荷	系数	载荷	系数
Ser	0.967	0.530	0.168	0.154
His	-0.422	-0.231	0.877	0.803
Phe	0.777	0.426	-0.277	-0.254
Lys	0.825	0.452	0.562	0.515
Thr	0.967	0.530	-0.042	-0.038

表 6 主成分分析分析结果

Table 6 Principal component analysis results

主成分	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)
1	3.332	66.632	66.632
2	1.192	23.831	90.463

以 5 个氨基酸组分含量指标为变量指标,与主成分载荷矩阵中各指标所对应的系数(表 5)计算得到 F_1 和 F_2 的主成分因子方程表达式,如下:

$$F_1 = 0.530X_1 - 0.231X_2 + 0.426X_3 + 0.452X_4 + 0.530X_5$$

$$F_2 = 0.154X_1 + 0.803X_2 - 0.254X_3 + 0.515X_4 - 0.038X_5$$

在 PCA 基础上,主成分 1、2 的贡献率作为权重,根据主成分得分 F_1 、 F_2 进行加权求和计算,构建综合评价模型: $F = 0.666F_1 + 0.238F_2$,得到主成分综合得分,可客观反映三种牡蛎品种间的综合品质。如表 7 可知,从氨基酸组分含量角度评价,三种牡蛎中综合品质最高的为熊本牡蛎(1.323),其次为香港牡蛎(0.105)和近江牡蛎(-1.433)。其中近江牡蛎的综合得分为负数,说明其氨基酸综合品质较差。

表 7 主成分分析综合得分

Table 7 Principal component analysis comprehensive score

品种	F1	F2	综合得分	排名
熊本牡蛎	1.720	0.742	1.323	1
香港牡蛎	0.520	-1.014	0.105	2
近江牡蛎	-2.248	0.272	-1.433	3

由 PCA 与评价其蛋白质营养价值的 SRC 可知,其结果相一致。对于北部湾海区的熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎来说,不论从必需氨基酸平衡性还是氨基酸综合性对比,熊本牡蛎蛋白质品质更优。

3 结论

北部湾海区熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的蛋白质含量之间差异显著。三种牡蛎均含 17 种氨基酸,组成完善,必需氨基酸含量丰富。其中熊本牡

符合 FAO/WHO 推荐的理想蛋白质模式(EAA/TAA $\times$ 100 为 37.39%, EAA/NEAA $\times$ 100 为 69.35%), 而其优异的赖氨酸含量, 可弥补膳食中赖氨酸缺乏和食物加工损耗而导致的赖氨酸摄入亏损。通过从限制性氨基酸(AAS、CS)和氨基酸平衡性角度(SRC)对比三种牡蛎的蛋白质营养价值。AAS 中熊本牡蛎与香港牡蛎评分均高于 1, 亮氨酸为近江牡蛎的第一限制性氨基酸; CS 中蛋氨酸+半胱氨酸为熊本牡蛎与香港牡蛎的第一限制性氨基酸, 亮氨酸为近江牡蛎的第一限制性氨基酸。SRC 结果表明熊本牡蛎(88.99%)>香港牡蛎(82.30%)>近江牡蛎(64.94%), 熊本牡蛎蛋白质营养更高。进一步从氨基酸组分含量的角度, 根据 PCA 对三种牡蛎综合评价, 结果表明三种牡蛎的综合品质从高到低排序为熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎。本项研究可作为北部湾海区季节性熊本牡蛎、香港牡蛎和近江牡蛎的蛋白质及氨基酸监测数据, 为后续相关研究提供基础, 同时可为消费者膳食摄入蛋白质的搭配提供参考。

参考文献

- [1] 张国范, 李莉, 阙华勇. 中国牡蛎产业的嬗变——新认知、新品种和新产品[J]. 海洋与湖泊, 2020, 51(4): 740-749. [ZHANG G F, LI L, QUE H Y. An evolution of oyster mariculture industry in china: New knowledge, variety and product[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2020, 51(4): 740-749.]
- [2] DAVID L J V, ABHIJEET S, LUCA T, et al. Mining the transcriptomes of four commercially important shellfish species for single nucleotide polymorphisms within biomineralization genes[J]. Marine Genomics, 2016, 27(7): 17-23.
- [3] GUO X. Use and exchange of genetic resources in molluscan aquaculture[J]. Reviews in Aquaculture, 2009, 1(3-4): 251-259.
- [4] 农业农村部渔业渔政管理局. 2020 中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020: 23-27. [Fishery Administration Bureau of Ministry of Agriculture and Rural Areas. China fisheries yearbook 2020[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020: 23-27.]
- [5] 李坚明, 刘坚红. 广西近江牡蛎产业发展现状与对策[J]. 中国水产, 2008, 389(4): 82-83. [LI J M, LIU J H. Present situation and countermeasures of *Crassostrea ariakensis* industry development in Guangxi[J]. China Fisheries, 2008, 389(4): 82-83.]
- [6] 宋忠魁, 蔡小辉, 童潼, 等. 广西茅尾海常见牡蛎的分子鉴定[J]. 海洋科学, 2010, 34(8): 11-16. [SONG Z K, CAI X H, TONG T, et al. Molecular identification of the common oysters from the Mao-wei sea in Guangxi, China[J]. Marine Sciences, 2010, 34(8): 11-16.]
- [7] WANG H, QIAN L, WANG A, et al. Occurrence and distribution of *Crassostrea sikamea* (Amemiya 1928) in China[J]. Journal of Shellfish Research, 2013, 32(2): 439-446.
- [8] 国家贝类产业技术体系. 中国牡蛎产业发展报告[J]. 中国水产, 2021(6): 20-31. [National Shellfish Industry Technology System. China's oyster industry development report[J]. China Fisheries, 2021(6): 20-31.]
- [9] LIU S, XU H Q, JIAN S S, et al. Molecular basis of taste and micronutrient content in Kumamoto oysters (*Crassostrea sikamea*) and Portuguese oysters (*Crassostrea angulata*) from Xiangshan bay[J]. Frontiers in Physiology, 2021, 12: 713736.
- [10] 方玲, 马海霞, 李来好, 等. 华南地区近江牡蛎营养成分分析及评价[J]. 食品工业科技, 2018, 39(2): 301-307, 313. [FANG L, MA H X, LI L H, et al. Analysis and evaluation of nutrient composition in *Ostrea rivularis* from south China sea coast[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(2): 301-307, 313.]
- [11] 刘雁飞. 大连湾牡蛎热风干制过程中蛋白质的变化与控制[D]. 大连: 大连工业大学, 2019. [LIU Y F. Change and its control of lipids in oyster (*Crassostrea talienwhanensis*) during hot air drying process[D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2019.]
- [12] 任爱景, 杨正勇, 戴亚娟, 等. 我国水产品需求预测研究[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(1): 145-150. [REN A J, YANG Z Y, DAI Y J, et al. Research on aquatic product demand forecasting in China[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(1): 145-150.]
- [13] JORDAN M G, ERICA N M, NICK T B. Dietary protein and amino acid intake: Links to the maintenance of cognitive health[J]. Nutrients, 2019, 11(6): 1315.
- [14] 刘纪成, 张敏, 陈培荣, 等. 茶园放养固始鸡与贵妃鸡肌肉氨基酸和脂肪酸含量比较[J]. 畜牧与兽医, 2020, 52(10): 39-44. [LIU J C, ZHANG M, CHEN P R, et al. Comparison of amino acid and fatty acid composition in muscle between Gushi chickens and Royal chickens under scattered feeding in tea plantation[J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2020, 52(10): 39-44.]
- [15] FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Energy and protein requirements[M]. Geneva: FAO Nutrition Meeting Report Series, 1973, 52: 40-73.
- [16] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所. 食物成分表(全国代表值)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1991: 30-82. [Institute for Nutrition and Food Safety of the Chinese Center for Disease Control and Prevention. Food composition table (national representative value)[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 1991: 30-82.]
- [17] 朱圣陶, 吴坤. 蛋白质营养价值评价——氨基酸比值系数法[J]. 营养学报, 1998, 10(2): 187-190. [ZHU S T, WU K. Nutritional evaluation of protein-amino acid ratio coefficient[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1998, 10(2): 187-190.]
- [18] 黄艳球, 杨发明, 秦小明, 等. 不同养殖区香港牡蛎的化学组成及特征气味成分分析[J]. 食品科学, 2019, 40(14): 236-242. [HUANG Y Q, YANG F M, QIN X M, et al. Chemical composition and characteristic odorans of oyster (*Crassostrea hongkongensis*) from different culture areas[J]. Food Science, 2019, 40(14): 236-242.]
- [19] QIN Y P, ZHANG Y H, MA H T, et al. Comparison of the biochemical composition and nutritional quality between diploid and triploid Hongkong oysters, *Crassostrea hongkongensis*[J]. Frontiers in Physiology, 2018, 26(9): 1674.
- [20] 黄高凌, 王衍庆. 花蛤净化前后主要营养成分及鲜味氨基酸的比较[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 477-480. [HUANG G L, WANG Y Q. Comparison of nutritious constituents and tasty amino acids of bivalve hemolymph both before and after purification[J]. Food Science, 2006, 27(10): 477-480.]

- [21] 刘婷婷, 邢青斌, 程家丽, 等. 青稞中氨基酸含量的测定分析及评价[J]. 卫生研究, 2019, 48(2): 284-288. [LIU T T, XING Q B, CHENG J L, et al. Determination of amino acids in hulless barley[J]. Journal of Hygiene Research, 2019, 48(2): 284-288.]
- [22] 杨晴晴, 吴宏玉, 陈思予, 等. 高等植物中赖氨酸代谢调控及其关联效应研究进展[J]. 植物生理学报, 2019, 55(12): 1737-1746. [YANG Q Q, WU H Y, CHEN S Y, et al. Research progress on lysine metabolism regulation and its related effects in higher plants[J]. Plant Physiology Journal, 2019, 55(12): 1737-1746.]
- [23] 龚君俊. 中国健康青年男性赖氨酸需要量的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2012. [GONG J J. Study on lysine requirement of healthy young men in China[J]. Yangzhou: Yangzhou University, 2012.]
- [24] FLAIMA C, KOBAYASHI M, PIERROB A M D, et al. Effects of a whey protein supplementation on oxidative stress, body composition and glucose metabolism among overweight people affected by diabetes mellitus or impaired fasting glucose: A pilot study[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2017, 50: 95-102.
- [25] 贾存江, 王英燕, 赵丽丽, 等. L-半胱氨酸的生产方法及应用进展[J]. 齐鲁药事, 2007, 26(9): 553-555. [JIA C J, WANG Y Y, ZHAO L L, et al. Progress in production method and application of L-cysteine[J]. Journal of Pharmaceutical Research, 2007, 26(9): 553-555.]
- [26] 陈跃文, 蔡文强, 祁立波, 等. 俄罗斯鲟鱼不同部位肌肉营养成分分析与评价[J]. 中国食品学报, 2019, 19(8): 286-293. [CHEN Y W, CAI W Q, QI L B, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in the muscle of different parts of Russian sturgeon[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(8): 286-293.]
- [27] JIANG S S, LIU L, XU J J, et al. Amino acid composition and digestibility of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) proteins isolated from different parts[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 116: 108591.
- [28] 李阅兵, 孙立春, 刘承初, 等. 几种海水和淡水贝类的大宗营养成分比较研究[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(2): 297-303. [LI Y B, SUN L C, LIU C C, et al. Comparison of macronutrient components of several marine and freshwater shellfish[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(2): 297-303.]
- [29] 张欢欢, 梁叶星, 张玲, 等. 双低油菜籽蛋白氨基酸组成分析及营养价值评价[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(12): 235-241. [ZHANG H H, LIANG Y X, ZHANG L, et al. Amino acid composition and nutritional evaluation of double low rapeseed proteins[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(12): 235-241.]