

# 不同烹饪方式对牡蛎蛋白质营养品质的影响

林玉锋<sup>1</sup>, 黄后培<sup>1</sup>, 刘嘉怡<sup>1</sup>, 林琼妮<sup>1</sup>, 周春霞<sup>1,2\*</sup>

(1.广东海洋大学食品科技学院, 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东省海洋食品工程技术研究中心, 广东湛江 524088; 2.南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江), 广东湛江 524088)

**摘要:** 以新鲜牡蛎肉为原料, 分别对其进行清蒸、水煮、微波和焙烤4种烹饪处理, 检测烹饪前后牡蛎的基本营养成分、蛋白质体外消化率(In vitro protein digestibility, IVPD)、氨基酸组成及质构, 通过氨基酸评分(Amino acid score, AAS)、化学评分(Chemical score, CS)、必需氨基酸指数(Essential amino acid index, EAAI)、营养指数(Nutritional index, NI)、体外经蛋白质消化率修正的氨基酸评分(Protein digestibility-corrected amino acid score, PDCAAS)评价蛋白质的营养价值, 比较不同烹饪方式对牡蛎蛋白质营养品质的影响。结果表明: 4种烹饪处理均会造成牡蛎部分营养成分的流失, 且焙烤和微波处理导致的损失最明显; AAS、CS和体外PDCAAS分析显示牡蛎蛋白质的第一限制性氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸, 经烹饪处理后氨基酸总量呈上升趋势, 氨基酸组成符合FAO/WHO氨基酸标准模式, IVPD明显增大( $P < 0.05$ ), 牡蛎蛋白质的营养品质提高, 质构特性得到改善; 比较而言, 清蒸处理牡蛎的营养成分损失最少, 氨基酸含量最高(13.14 g/100 g), AAS、CS、EAAI、NI、体外PDCAAS等指标的评分均最高, 蛋白质营养品质最好。因此, 从营养学的角度分析, 清蒸是提高牡蛎蛋白质营养品质的最适烹饪方式。

**关键词:** 牡蛎; 烹饪方式; 氨基酸组成; 蛋白质营养品质; 质构

中图分类号: TS 254.1

文献标志码: A

文章编号: 1005-9989(2020)07-0143-09

DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2020.07.026

## Effect of Different Cooking Methods on the Nutritional Quality of Oyster Protein

LIN Yufeng<sup>1</sup>, HUANG Houpei<sup>1</sup>, LIU Jiayi<sup>1</sup>, LIN Qiongni<sup>1</sup>, ZHOU Chunxia<sup>1,2\*</sup>

(1.College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Marine Food, Zhanjiang 524088, China;  
2.Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhanjiang), Zhanjiang 524088, China)

收稿日期: 2020-04-03

\*通信作者

基金项目: 北海市科技计划项目(北科合201814503); 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江)项目(ZJW-2019-07)。

作者简介: 林玉锋(1999—), 男, 研究方向为水产品高值化加工与利用。

**Abstract:** Fresh oyster meat was cooked by four different methods (steaming, boiling, microwave and roasting), and the nutritional composition, in vitro protein digestibility (IVPD), amino acid composition and texture of oyster meat were assessed before and after cooking treatment. The nutritional value of protein was determined through the amino acid score (AAS), chemical score (CS), essential amino acid index (EAAI), nutritional index (NI) and in vitro protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS), and the effect of different cooking methods on the nutritional quality of oyster protein was compared. The results showed that all four cooking treatments resulted in the loss of some nutrients in oysters, and the most significant losses were caused by roasting and microwave cooking. The AAS, CS and PDCAAS analysis displayed that the first limiting amino acid of oyster protein was methionine+cystine. The total amount of amino acids increased after cooking treatment, the amino acid composition was in line with the FAO/WHO amino acid standard model, and in vitro IVPD was increased significantly ( $P < 0.05$ ), which indicated that the nutritional quality of oyster protein was improved. The texture properties of oysters were advanced after cooking treatment. Comparatively, steaming treatment resulted in minimal loss of nutrients in oysters and the highest content of amino acid (13.14 g/100 g) with the highest scores of AAS, CS, EAAI and in vitro PDCAAS, which indicated the best nutritional quality of oyster protein. In conclusion, from the nutritional stand point, the steaming treatment would be the best cooking method to improve the nutritional quality of oyster protein.

**Key words:** oyster; cooking method; amino acid composition; protein nutritional quality; texture

牡蛎俗称生蚝，其肉质鲜美营养价值极高，尤其富含蛋白锌而深受大众的喜爱，向来都有“海洋牛乳”的美称。牡蛎含健康饮食要求的牛磺酸、氨基酸、多糖等功能性成分，同时还特有贝类的鲜香味，是典型的海产贝壳、我国养殖最多贝类之一，也是重要的经济性贝类。2018年中国渔业年鉴统计，2017年中国牡蛎海水养殖产量达到4879422t，同比增长4.70%，养殖面积138462 hm<sup>2</sup>；牡蛎养殖在我国沿海均有分布，在广东海水贝类养殖中，牡蛎的养殖产量占了近1/4<sup>[1]</sup>。

牡蛎常见的烹饪方式包括焙烤、清蒸、水煮等，不同的烹饪热处理会使食物的营养价值和食用性受到不同程度的影响<sup>[2-5]</sup>。已有的研究表明，传统热处理对牡蛎营养成分的影响较大，而非热加工(超高压)能使牡蛎的肌肉组织更加致密，更好地保留牡蛎的营养成分和外观品质<sup>[3]</sup>。高温热加工会破坏扇贝的营养成分和功能性物质，而在65℃低温真空条件下烹饪20 min能最大程度地保留扇贝丁中的营养成分和功能活性成分<sup>[4]</sup>。同样，鲍鱼的熟制方式也会对鲍鱼的食用品质造成影响，蒸煮导致鲍鱼汁液流失严重，而微波加热容易造成鲍鱼软体部位的爆裂。为改善鲍鱼的营养特性、风味品质，采用焙烤进行加工，该条件下鲍鱼的营养品质和感官特性较好<sup>[5]</sup>。其实，热处理也能提高食物的营养价值<sup>[2,6-8]</sup>，改变蛋白质的营养品质，变化的程度与热处理方式和强度有关。

红外光谱分析表明，长时间的高温处理会使肉类蛋白质变性，蛋白质结构的变化导致蛋白质的生物利用率下降<sup>[6]</sup>。不同的烹饪方式和强度影响蛋白质的热聚集程度，也可能影响抗营养素与蛋白质的结合，进而导致蛋白质的体外消化率不同，油煎处理后昆虫蛋白质的消化率高于水煮的消化率，而适当降低水煮时间可以提高蛋白质的消化率<sup>[7]</sup>。植物蛋白也有类似性质，红扁豆的PDCAAS值高于绿扁豆，煮熟的绿扁豆蛋白的PDCAAS值比挤压或烘焙的低，而煮熟的黄豌豆生物利用率则最高<sup>[8]</sup>。因此，烹饪热处理对蛋白质营养品质的影响明显，其影响效果与蛋白来源、热处理方式和强度等密切相关，但目前关于烹饪方式对牡蛎蛋白质营养品质的影响研究较少。清蒸、水煮、烘烤和微波处理是食品工业及家庭烹饪最常用的方式。为此，研究以新鲜牡蛎肉为原料，分别对其进行清蒸、水煮、微波和焙烤等烹饪处理，比较4种不同的烹饪方式对牡蛎基本营养成分、氨基酸组成、质构等的影响，通过体外消化模型和氨基酸评分评价系数分析牡蛎蛋白营养品质的变化，为牡蛎的烹饪及加工处理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

牡蛎：市售，选取长度为7~10 cm的新鲜牡

蛎;胃蛋白酶(猪源,1:15000)、胰蛋白酶(猪源,1:250);生化试剂,上海阿拉丁生化技术股份有限公司;其余试剂均为分析纯。

## 1.2 仪器与设备

VAP-450自动凯氏定氮仪:德国Gerhardf公司;MF-1200C马弗炉:贝克设备科技有限公司;UV757CRT紫外可见分光光度计:上海精科仪器有限公司;X3-233A微波炉、ETC56MY-ERS烤箱:广东美的厨房电器制造有限公司;TECHNE TU-20HT水浴锅:英国Bibby Scientific有限公司;L-8900氨基酸分析仪:日本日立公司;Avanti J-26sxp高效离心机:美国Beckman公司;TMS-PRO型质构仪:美国FTC公司。

## 1.3 试验方法

1.3.1 牡蛎的前处理及烹饪 新鲜牡蛎去壳后取肉,清洗表面杂质并擦干多余水分。平均分成5份(每份约500 g),其中1份留作鲜样对照,其余4份分别进行4种烹饪处理。

水煮烹饪:按牡蛎与水的比例为1:2,待水沸腾后加入前处理好的牡蛎,盖上锅盖煮3 min后捞出,沥干冷却后备用;清蒸烹饪:水加热至沸腾后将牡蛎放在盘中置于蒸架上,盖上锅盖隔水蒸8 min,然后捞出备用;微波烹饪:调节功率为350 W,加热3 min后取出冷却备用;焙烤烹饪:调节烤箱上火档150 ℃,下火档180 ℃,在烤盘中烘烤11 min后取出冷却备用。

1.3.2 基本营养成分检测 新鲜及经不同烹饪处理后的牡蛎搅碎,取样进行基本成分测定。水分含量的测定:参考GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》中所用的直接干燥法;灰分含量的测定:参考GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》中所用的高温灼烧法;粗脂肪含量的测定:参考GB 5009.6—2016《食品中脂肪的测定》中所用的索氏抽提法;粗蛋白含量的测定:参考GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》中所用的凯氏定氮法;总糖含量的测定:参考GB/T 9695.31—2008《肉制品总糖含量的测定》中的分光光度法。

1.3.3 蛋白质体外消化试验 根据Kaspchak等<sup>[9]</sup>的方法,体外模拟消化过程主要分为2个阶段:胃消化阶段和小肠消化阶段。

胃消化阶段:将鲜样以及其他4种经不同烹饪方式处理后的牡蛎样品搅碎,加入0.1 mol/L盐酸,配成3.0 mg/mL的蛋白质溶液100 mL,调节

pH至2.0,加入0.33 g胃蛋白酶,在37 ℃下恒温水浴震荡1.5 h。

小肠消化阶段:将在胃消化阶段完成的消化液用1.0 mol/L的NaOH溶液中和至pH7.0,加入等体积10 mg/mL的胰酶溶液(称取胰酶1 g加入100 mL的磷酸盐缓冲溶液中,0.1 mol/L, pH7.0),在37 ℃恒温水浴震荡3 h,用5.0 mg/mL的Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液终止反应。

消化液在离心机4 ℃、转速10000 r/min条件下离心20 min,取上清液用考马斯亮蓝法测定蛋白含量,计算蛋白质体外消化率(IVPD)。

$$IVPD=(3-a) \times 100/3 \dots\dots\dots(1)$$

式中:IVPD为蛋白质体外消化率,%;

a为消化后上清液蛋白浓度,mg/mL。

1.3.4 氨基酸组成分析 采用氨基酸自动分析仪检测除色氨酸外的17种氨基酸。

1.3.5 氨基酸营养评价 参照FAO/WHO所推荐的氨基酸评分模式<sup>[10-11]</sup>和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质模式<sup>[12]</sup>,评价牡蛎蛋白质组成氨基酸的营养价值。AAS和CS的计算按照公式2和公式3,EAAI的计算按照公式4,根据EAAI与蛋白质含量百分率的乘积(如公式5)计算NI<sup>[13]</sup>。通过蛋白质的体外消化率,按公式6计算体外PDCAAS<sup>[8]</sup>。

$$AAS=\frac{\text{被测蛋白质中氨基酸的含量(g/100 g蛋白)}}{\text{理想模式中同种氨基酸的含量(g/100 g蛋白)}} \dots\dots\dots(2)$$

$$CS=\frac{\text{被测蛋白质中氨基酸的含量(g/100 g蛋白)}}{\text{鸡蛋蛋白质中同种氨基酸的含量(g/100 g蛋白)}} \dots\dots\dots(3)$$

$$EAAI=\sqrt[7]{\frac{a_1}{e_1} \times \frac{a_2}{e_2} \times \frac{a_3}{e_3} \times \frac{a_4}{e_4} \times \frac{a_5}{e_5} \times \frac{a_6}{e_6} \times \frac{a_7}{e_7}} \times 100 \dots\dots(4)$$

$$NI=EAAI \times \text{样品中蛋白质含量}(\%) / 100 \dots\dots(5)$$

$$\text{体外PDCAAS}=\text{氨基酸评分} \times \text{IVPD} \dots\dots\dots(6)$$

式中: a<sub>1</sub>、a<sub>2</sub>……a<sub>7</sub>为被测食物蛋白质中7种必需氨基酸的含量,g/100 g蛋白;

e<sub>1</sub>、e<sub>2</sub>……e<sub>7</sub>为鸡蛋蛋白模式中的7种必需氨基酸含量,g/100 g蛋白。

1.3.6 质构测定 参考黄海等<sup>[14]</sup>的方法并略作修改,采用质构仪的TPA模式测定牡蛎组织的质构,选用硬度(Hardness)、弹性(Springiness)、咀嚼性(Chewiness)、内聚性(Cohesion)、胶黏性(Gumminess)5个参数评价不同烹饪处理后牡蛎组

织的质构特性。测定条件为：距离18 mm，形变百分量为50%，探头检测速度为60 mm/min，起始力为0.5 N。

1.3.7 数据处理 方差分析(ANOVA)用SPSS软件进行显著性( $P<0.05$ )分析，作图采用Origin 8

软件。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同烹饪处理对牡蛎基本成分的影响

新鲜及经过不同烹饪处理的牡蛎基本成分见

表1 不同烹饪方式对牡蛎基本成分的影响

样品	水分	粗脂肪	灰分	粗蛋白	总糖	粗脂肪(干基)	粗蛋白(干基)
鲜样	80.82±0.17 <sup>a</sup>	2.22±0.03 <sup>b</sup>	2.79±0.03 <sup>a</sup>	10.35±0.78 <sup>b</sup>	4.92±0.07 <sup>a</sup>	11.52±0.13 <sup>a</sup>	64.89±4.65 <sup>a</sup>
清蒸	72.28±0.08 <sup>d</sup>	2.41±0.02 <sup>a</sup>	1.83±0.02 <sup>e</sup>	14.47±2.13 <sup>a</sup>	4.40±0.01 <sup>b</sup>	8.70±0.08 <sup>e</sup>	52.20±7.50 <sup>b</sup>
水煮	74.90±0.06 <sup>b</sup>	2.41±0.01 <sup>a</sup>	1.65±0.01 <sup>d</sup>	12.21±0.35 <sup>ab</sup>	3.81±0.26 <sup>c</sup>	9.61±0.06 <sup>b</sup>	48.66±1.50 <sup>bc</sup>
微波	73.52±0.59 <sup>c</sup>	2.22±0.08 <sup>b</sup>	1.06±0.03 <sup>e</sup>	10.61±0.29 <sup>b</sup>	3.87±0.06 <sup>c</sup>	8.41±0.51 <sup>e</sup>	38.16±0.23 <sup>c</sup>
焙烤	73.95±0.13 <sup>c</sup>	1.96±0.04 <sup>e</sup>	2.09±0.03 <sup>b</sup>	11.16±0.61 <sup>b</sup>	2.67±0.12 <sup>d</sup>	7.54±0.11 <sup>d</sup>	42.83±2.13 <sup>bc</sup>

注：表中标注不同小写字母表示存在显著性差异( $P<0.05$ )。

表1。由表1可知，新鲜牡蛎粗蛋白和灰分的含量较高，脂肪含量较低。经过烹饪处理后牡蛎基本成分呈现不同程度的变化，水分含量明显下降( $P<0.05$ )。不同的烹饪热处理过程中，蛋白质发生不同程度的热变性，持水性下降，可溶性物质溶出，肌肉失水明显<sup>[15]</sup>，灰分含量下降( $P<0.05$ )，蛋白质和脂肪含量相应增加。水煮会导致水溶性的蛋白质、糖类、磷、钙等无机盐溶于水中<sup>[4]</sup>，因此水煮后牡蛎的灰分和总糖含量明显低于清蒸样品的灰分和总糖含量( $P<0.05$ )。

与新鲜牡蛎肉比较，经过水煮和清蒸处理后牡蛎肉的粗蛋白和粗脂肪含量增大( $P<0.05$ )，这主要与水分流失有关。若以干基计，4种烹饪处理后牡蛎肉的粗蛋白和粗脂肪含量均明显下降( $P<0.05$ )，且焙烤处理后粗脂肪含量下降最明显，微波处理导致蛋白的损失最明显。现有的研究表明，微波加热能快速熟化食品，但也会造成部分营养成分的流失<sup>[6]</sup>。焙烤处理后牡蛎的总糖含量最低，仅为2.67 g/100 g，这可能与焙烤过程中糖类参与了美拉德反应有关<sup>[16]</sup>，使其含量下降( $P<0.05$ )。因此，清蒸烹饪对牡蛎肉营养成分的保留较好，其次是水煮，而焙烤和微波烹饪后牡蛎营养成分的损失明显。

### 2.2 不同烹饪处理对牡蛎蛋白质体外消化率的影响

蛋白质的消化率是一种食物蛋白质可被消化酶分解的程度，是评价食物营养价值的重要指标。食物蛋白质的消化率越高，蛋白质能被人体消化吸收的可能性越大，食物的营养价值也越

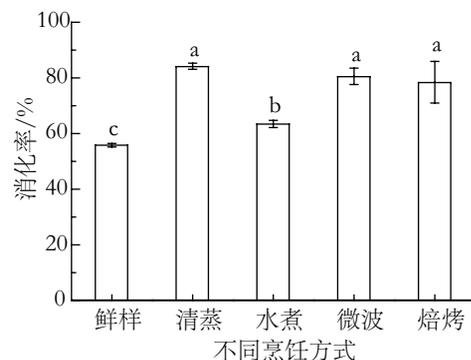


图1 不同烹饪方式对牡蛎蛋白质体外消化率的影响

高。相关研究证实，蛋白质的体内和体外消化率具有较高的相关性<sup>[8]</sup>。通常，烹饪处理会使肉类蛋白质更容易被人体消化<sup>[2]</sup>。通过模拟体外消化试验比较了清蒸、水煮、微波、焙烤4种烹饪方式对牡蛎蛋白质体外消化率的影响，结果见图1。由图1可知，新鲜牡蛎蛋白质的体外消化率低于60%，经过4种不同烹饪处理后体外消化率均明显上升( $P<0.05$ )。比较而言，清蒸、焙烤和微波烹饪处理后牡蛎蛋白质的体外消化率明显提高，达到80%以上，且三者之间差异不显著( $P>0.05$ )，而水煮后蛋白的体外消化率最低( $P<0.05$ )。对典型动植物蛋白(大豆分离蛋白、乳清浓缩蛋白)体外动态消化的研究表明，水溶性蛋白含量与消化率呈正相关<sup>[17]</sup>，因此水煮牡蛎蛋白质的体外消化率低可能与水煮过程中水溶性成分的损失有关，其结果与基本成分中蛋白质含量的下降一致。微波处理的传热传质效率高，可在短时间内完成食品的熟化，且微波处理能使蛋白质分子结构展开使酶更容易作用于目标位点，产生更小分子质量的多

肽, 进而提高牡蛎蛋白的消化率<sup>[18]</sup>; 焙烤和清蒸处理则通过表面受热时形成一层保护膜<sup>[6]</sup>, 使牡蛎内部的蛋白质不被过度破坏, 处理后牡蛎蛋白质的体外消化率较高。因此, 适当的烹饪处理会明显提高牡蛎蛋白质的体外消化率( $P < 0.05$ ), 提高蛋白质的营养价值, 但处理不当也可能会导致其营养价值下降。

### 2.3 不同烹饪处理对牡蛎蛋白质氨基酸组成的影响

表2 不同烹饪方式对牡蛎蛋白质氨基酸组成的影响

氨基酸	不同烹饪方式				
	鲜样	清蒸	水煮	微波	焙烤
*** Asp	0.84	1.80	1.27	1.11	1.22
* Thr	0.40	0.61	0.57	0.50	0.54
*** Ser	0.39	0.62	0.57	0.50	0.53
*** Glu	1.22	1.83	1.72	1.49	1.68
*** Pro	0.44	0.67	0.54	0.45	0.62
*** Gly	0.68	0.95	0.85	0.81	0.87
*** Ala	0.52	0.77	0.69	0.62	0.70
*** Cys	0.04	0.06	0.07	0.04	0.06
* Val	0.40	0.64	0.58	0.51	0.56
* Met	0.22	0.34	0.31	0.25	0.28
* Ile	0.36	0.58	0.53	0.45	0.52
* Leu	0.56	0.92	0.87	0.73	0.81
*** Tyr	0.28	0.47	0.44	0.37	0.41
* Phe	0.32	0.52	0.47	0.41	0.45
* Lys	0.66	1.10	1.02	0.91	0.95
** His	0.16	0.27	0.22	0.19	0.21
** Arg	0.60	0.99	0.94	0.82	0.85
TAA	8.09	13.14	11.66	10.16	11.26
EAA	3.96	6.44	5.95	5.14	5.58
NEAA	4.13	6.70	5.71	5.02	5.68
EAA/ NEAA/%	95.88	96.12	104.20	102.39	98.24
EAA/ TAA/%	48.95	49.01	51.03	50.59	49.56

注: \*表示必需氨基酸; \*\*表示半必需氨基酸; \*\*\*表示非必需氨基酸; EAA/NEAA表示必需氨基酸与非必需氨基酸含量的比值; EAA/TAA表示必需氨基酸与氨基酸总量含量的比值。

蛋白质氨基酸组成的种类和含量是衡量蛋白质品质的重要指标。新鲜及经过4种不同烹饪处理

后牡蛎蛋白的氨基酸组成见表2, 所有样品均含有17种常见的氨基酸(色氨酸未做分析), 其中包含7种必需氨基酸(Essential amino acid, EAA)、2种半必需氨基酸和8种非必需氨基酸(Nonessential amino acid, NEAA)。与新鲜牡蛎比较, 经过4种烹饪处理后蛋白质氨基酸总量呈现上升趋势, 这与烹饪处理导致猪肉蛋白质氨基酸含量升高的结果类似<sup>[19]</sup>。比较而言, 经过微波烹饪后牡蛎蛋白的必需氨基酸、半必需氨基酸、非必需氨基酸含量最低; 而清蒸烹饪处理后牡蛎蛋白质的必需氨基酸含量、半必需氨基酸含量、非必需氨基酸含量最高, 氨基酸总量达13.14 g/100 g, 与基本营养成分中粗蛋白含量的变化趋势一致。根据FAO/WHO的氨基酸标准模式评价, 样品的EAA/TAA值为48.95%~51.03%, 满足理想蛋白源EAA/TAA值必需高于40%, 且EAA/NEAA大于60%的要求<sup>[10]</sup>。EAA/NEAA的结果在新鲜与经过烹饪处理后的变化较小, 这与国外研究烹饪对马肉氨基酸组成的趋势一致<sup>[16]</sup>。

EAA是人体不能合成或合成速度不能满足机体需要必须从食物中直接获得的氨基酸, EAA含量也是衡量食物营养价值的重要参数之一<sup>[20]</sup>。其中, Val和Leu是人体重要的氨基酸, 具有护肝、抑制癌细胞生长、降低胆固醇等功能; Arg是一种条件性EAA, 对婴幼儿生长发育、促进伤口愈合、免疫调节等具有积极的生理作用; Lys是人体第一必需氨基酸, 有“生长性氨基酸”之称<sup>[13]</sup>。在本研究中, 经烹饪处理后牡蛎蛋白质的Arg、Val、Leu、Lys含量均上升, Arg的含量为0.82~0.99 g/100 g, Val为0.51~0.64 g/100 g, Leu为0.73~0.92 g/100 g, Lys为0.91~1.10 g/100 g, 表明烹饪处理能提高牡蛎的食用价值。经过清蒸烹饪处理后的EAA含量最高, 为6.44 g/100 g, 微波烹饪处理的含量最低, 为5.14 g/100 g。因此, 烹饪处理后牡蛎蛋白氨基酸标准模式评分均满足理想蛋白的要求, 进一步表明牡蛎蛋白是一种优质的蛋白源, 且经过烹饪处理后能提高其蛋白质的营养价值。

### 2.4 牡蛎蛋白质的氨基酸营养评价

为了进一步分析经过烹饪处理后牡蛎蛋白必需氨基酸营养价值, 对不同烹饪处理后的样品进行AAS计算, 结果见表3。新鲜牡蛎肉蛋白质的AAS值均小于1, 经过清蒸和水煮处理后的AAS

表3 不同烹饪方式对牡蛎蛋白质AAS和体外PDCAAS的影响

氨基酸	参比标准/ (g/100g 蛋白)	鲜样		清蒸		水煮		微波		焙烤	
		AAS	PDCAAS/%								
Thr	4.00	0.80	44.38	1.56	131.52	1.28	81.01	1.06	85.34	1.08	84.49
Val	5.00	0.64	35.50	1.31	110.39	1.04	65.95	0.86	69.63	0.89	70.10
Met+Cys	3.50	0.59	32.96	1.17	98.56	0.97	61.72	0.70	56.57	0.78	60.80
Ile	4.00	0.72	39.94	1.49	125.05	1.19	75.33	0.95	76.80	1.04	81.36
Leu	7.00	0.64	35.50	1.35	113.35	1.11	70.66	0.88	71.19	0.92	72.42
Phe+Tyr	6.00	0.80	44.38	1.69	142.30	1.36	86.22	1.10	88.75	1.14	89.71
Lys	5.50	0.95	53.25	2.05	172.49	1.66	105.43	1.40	112.95	1.38	108.10

注：AAS参比标准为FAO/WHO推荐模式<sup>[10]</sup>。

值明显增大，分别在1.2~2.0和1.0~1.7；而微波和焙烤处理的样品AAS值差别较大，分别为0.7~1.4和0.8~1.4，但结果均接近FAO/WHO的推荐标准。由此表明烹饪处理能不同程度地改善牡蛎蛋白质的品质。另外，不同处理后牡蛎蛋白质中Lys的AAS值最高，而Met+Cys的AAS值最低，Val次之。因此，从AAS结果分析，Met+Cys为牡蛎蛋白质的第一限制氨基酸，Val为牡蛎蛋白质的第二限制氨基酸。

通过AAS值结合体外消化率得到体外PDCAAS，进一步模拟牡蛎蛋白质在人体胃肠道的消化情况<sup>[8,11]</sup>。已有的研究显示，体内PDCAAS和体外PDCAAS有相似的结果，可以通过体外表征蛋白质品质的方法(如体外PDCAAS)部分替代体内蛋白质的评价<sup>[8,19]</sup>。由表3可知，鲜样的体外PDCAAS值均在50%以下，微波、焙烤、水煮处理后蛋白质的体外PDCAAS值在60%~100%，清蒸处理后蛋白质的体外PDCAAS值在99%~172%。氨基酸评分反映了食物蛋白质与人体蛋白质构成模式的接近程度，如果食物蛋白质的必需氨基酸组成越近人体必需蛋白质组成，越容易被人体消化吸收，则其营养价值越高，PDCAAS的最大数值为100，即100%。如果PDCAAS大于100则当作100，第一限制性氨基酸的PDCAAS值为100，表明机体消化该食物中的蛋白质能够提供人体所需的全部氨基酸<sup>[8,19]</sup>。因此，清蒸处理能有效改善牡蛎蛋白质的品质，更加适合人体的吸收利用。水煮的体外PDCAAS大部分低于其他烹饪方式；微波和焙烤这2种烹饪方式下的体外PDCAAS值整体上相近，这与蛋白质体外消化模型的结果基本吻合。根据结果，鲜样以及不同烹饪处理的牡蛎蛋白第一限制氨基酸均为

Met+Cys，第二限制氨基酸均为Val，这与氨基酸评分的结果相一致。

表4 不同烹饪处理对牡蛎蛋白质的CS、EAAI、NI的影响

氨基酸 评价	必需 氨基酸	参比标 准/(g/100 g蛋白)	鲜样	清蒸	水煮	微波	焙烤
			CS	EAAI	NI	CS	EAAI
CS	Thr	5.10	0.62	1.23	1.00	0.83	0.84
	Val	7.30	0.44	0.90	0.71	0.59	0.61
	Met+Cys	5.50	0.38	0.75	0.62	0.45	0.49
	Ile	6.60	0.43	0.90	0.72	0.58	0.63
	Leu	8.80	0.51	1.07	0.89	0.70	0.73
	Phe+Tyr	1.00	0.48	1.01	0.82	0.66	0.69
EAAI	Lys	6.40	0.82	1.76	1.43	1.20	1.18
	NI	100	50.85	105.06	85.26	68.54	71.51
			6.39	10.25	9.51	8.08	8.96

注：CS和EAAI参比标准为全鸡蛋蛋白质<sup>[12]</sup>。

CS的计算结果见表4，微波和焙烤热处理后的CS值只有Lys的大于1，其余均小于参比蛋白标准的营养价值，水煮烹饪方式后除了Lys和Thr大于1，其余在0.61~0.88；而清蒸处理后牡蛎蛋白的CS值在1左右。不同烹饪方式处理后蛋白质中某一必需氨基酸的含量与标准鸡蛋白中相应必需氨基酸的含量进行比较，两者越接近说明氨基酸营养价值越高<sup>[12]</sup>，而经过清蒸处理后牡蛎蛋白中CS的值均在1左右，说明清蒸能有效改善牡蛎蛋白质的营养品质。根据CS的结果，不同烹饪处理后牡蛎蛋白质的第一限制氨基酸均为Met+Cys，清蒸、水煮、焙烤处理后牡蛎蛋白质的第二限制氨基酸为Val，与AAS的计算结果基本一致。但微波烹饪处理后牡蛎蛋白质的第二限制氨基酸为Ile，说明可以根据人体的需要，按照不同的评定标

准, 选用适合人体的烹饪方式达到氨基酸平衡的目的<sup>[19]</sup>。

与上述指标相比, EAAI值的计算不是考虑单种必需氨基酸, 而是同时考虑到供试蛋白质中所有必需氨基酸相对于高价参比蛋白质(通常为标准鸡蛋蛋白)中所有必需氨基酸的比率, EAAI值越接近100, 蛋白质的营养价值越接近标准蛋白<sup>[13]</sup>。表5显示, 经过烹饪处理后的EAAI值和NI值均呈增大的趋势。NI的值越大, 表明该蛋白质整体的营养价值越高。烹饪处理能提高牡蛎蛋白质的营养价值, 且清蒸烹饪处理的牡蛎蛋白EAAI值和NI值最大, 分别为105.06和10.25, 而水煮处理的牡蛎蛋白NI值低于清蒸烹饪处理, 进一步表明水煮过程中水溶性蛋白质和氨基酸的损失导致了营养价值下降; 微波烹饪处理后的EAAI和NI值最小, 说明在微波烹饪对牡蛎蛋白氨基酸组成影响较大<sup>[15]</sup>。EAAI和NI的结果表明经过清蒸处

理后牡蛎蛋白的营养品质得到了有效的改善, 牡蛎蛋白的必需氨基酸组成更加容易被人体消化和利用。

综合上述氨基酸评价指标分析, 牡蛎蛋白质的第一限制氨基酸为Met+Cys, 而不同的评分标准得出的第二限制氨基酸有所不同, 这与烹饪后对猪肉蛋白品质评价的研究结果一致<sup>[19]</sup>。比较而言, 清蒸处理的牡蛎蛋白质的营养品质最好, 更适合人体消化和利用。

## 2.5 不同烹饪处理对牡蛎质构的影响

食物的质构参数是反映食品组织结构及状态的一个物理指标。通常, 烹饪热处理会导致牡蛎肉的质构特性发生改变。硬度、弹性、内聚性等基本参数反映了不同烹饪处理后牡蛎肉在食用时的感觉, 胶黏性和咀嚼性这2个二级参数反映不同烹饪处理后牡蛎肉的流变性质。硬度是指牙齿挤压的力量; 弹性是形变样品在去掉挤压力时候

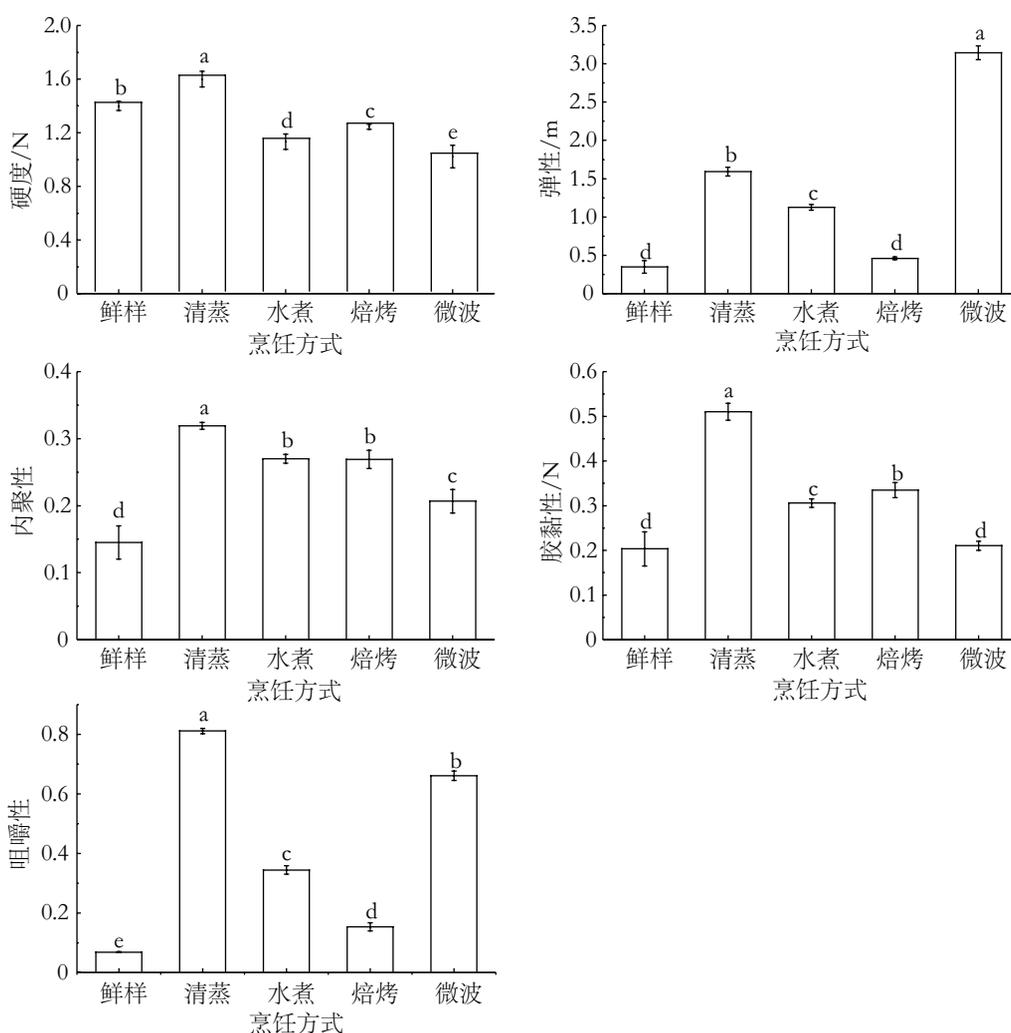


图2 不同烹饪方式对牡蛎质构特性的影响

恢复原来形状比率；内聚性是指样品内部的收缩力，数值越大，样品的内聚性就会表现得越强；胶黏性是半固体食品在吞咽前破碎它所需要的能量，胶黏性=硬度值×内聚性；咀嚼性是咀嚼固体样品所需要的能量，咀嚼性=胶黏性×弹性<sup>[3]</sup>。

图2结果表明，与新鲜样品比较，不同烹饪处理后牡蛎肉背部肌肉的弹性、胶黏性、内聚性、咀嚼性均增大( $P<0.05$ )，而硬度的变化不同，清蒸处理后牡蛎肉背部肌肉硬度上升( $P<0.05$ )，其他烹饪方式处理后硬度均下降( $P<0.05$ )。水煮和焙烤主要是通过热辐射，只能作用于样品的表面<sup>[6]</sup>，所以对于牡蛎的背部肌肉组织的影响较小；加热能使得肌原纤维蛋白发生收缩变性，影响肉品的质构特性<sup>[5]</sup>。相较于烹饪处理的样品，鲜样具有弹性、胶黏性、内聚性和咀嚼性小的特点。蒸汽的热传导效率高、热穿透力强，对食物中心温度影响较大，因而容易影响牡蛎内部的肌肉组织变化<sup>[2]</sup>。所以经过清蒸烹饪处理的牡蛎背部肌肉与鲜样和其他烹饪方式相比，胶黏性、内聚性、咀嚼性差异较大，由于蛋白质热变性后持水能力下降，空间结构破坏较大<sup>[3]</sup>，因而不如微波烹饪热处理后牡蛎肉的弹性。综上所述，硬度的变化较小不会引起感官上的变化，而内聚性、咀嚼性、胶黏性的增大导致清蒸的牡蛎具有更丰富的口感。

### 3 结论

热处理是食品加工和食用中必不可少的步骤。与新鲜牡蛎比较，4种常见的烹饪方式均会造成牡蛎营养成分的部分损失，但能提高蛋白质的体外消化率，改善牡蛎蛋白质的营养品质和质构。4种烹饪方式比较而言，水煮导致部分易消化的水溶性成分流失，蛋白质的体外消化率最低；清蒸烹饪的热传递效率较高，牡蛎营养成分的流失最少，氨基酸的含量最高，蛋白质的营养品质最好；焙烤处理的温度高，长时间的烹饪会影响蛋白质的结构，促进美拉德反应的进行，导致蛋白质、糖类和脂肪等营养素的含量下降；与传统方法相比，微波加热能快速熟化食品，但也会导致蛋白质、碳水化合物、脂质等营养成分流失严重，蛋白质的营养价值较低，但因微波加热能够引起蛋白质分子结构的展开，促进蛋白质的消化吸收，牡蛎蛋白质的体外消化率提高。因此，从

营养学的角度分析，清蒸烹饪处理能最大程度地保留牡蛎的营养成分，提高牡蛎蛋白质的营养品质，易于人体利用吸收。

#### 参考文献：

- [1] 农业部渔业渔政管理局.2017中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社,2017.
- [2] 王科瑜,杨宏旭,王超英,等.烘烤、蒸煮和微波加热技术在动物源性食品加工中的应用[J].食品工业科技,2018,39(13):325-330.
- [3] 王晓谦,秦小明,郑惠娜,等.超高压杀菌处理和热处理对香港牡蛎肉品质的影响[J].食品与发酵工业,2015,41(11):93-100.
- [4] 李运东.低温真空烹饪对扇贝丁营养物质及口感影响的研究[D].烟台:烟台大学,2013.
- [5] 郑瑞生.即食鲍鱼产品加工过程品质与安全控制技术研究[D].福州:福建农林大学,2013.
- [6] Menezes E A, Oliveira A F, França C J, et al. Bioaccessibility of Ca, Cu, Fe, Mg, Zn, and crude protein in beef, pork and chicken after thermal processing[J]. Food chemistry,2018,240:75-83.
- [7] Manditsera F A, Luning P A, Fogliano V, et al. Effect of domestic cooking methods on protein digestibility and mineral bioaccessibility of wild harvested adult edible insects[J]. Food Research International,2019,121:404-411.
- [8] Nosworthy M G, Franczyk A, Medina G, et al. Effect of processing on the in vitro and in vivo protein quality of yellow and green split peas (*Pisum sativum*)[J]. Journal of agricultural and food chemistry,2017,65(35):7790-7796.
- [9] Kaspchak E, Mafra L I, Mafra M R. Effect of heating and ionic strength on the interaction of bovine serum albumin and the antinutrients tannic and phytic acids, and its influence on in vitro protein digestibility[J]. Food chemistry,2018,252:1-8.
- [10] FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee. Energy and protein requirements[R]. Rome:World Health Organization, Geneva FAO,1973.
- [11] WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Protein and amino acid requirements in human nutrition[C]. WHO technical reports series no.935.Geneva:World Health Organization,2007.
- [12] 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.
- [13] 杨少玲,戚勃,李来好,等.鲨鱼肌肉与鱼翅营养价值的比较[J].食品科学,2019,40(15):184-191.
- [14] 黄海,吴贵业,江注君,等.蒸煮加工对香港牡蛎质构特性的影响[J].食品科技,2019,44(9):153-159.
- [15] Luo J Q, Taylor C, Nebl T, et al. Effects of macro-

- nutrient, micro-nutrient composition and cooking conditions on in vitro digestibility of meat and aquatic dietary proteins[J]. Food Chemistry,2018,254:292-310.
- [16] Domínguez R, Borrajo P, Lorenzo J M, et al. The effect of cooking methods on nutritional value of foal meat[J]. Journal of Food Composition and Analysis,2015,43:61-67.
- [17] 陈智仙,张海波,张双庆,等.3种不同来源蛋白质的氨基酸组成及体外动态消化研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2019,40(2):62-68
- [16] Ketnawa S, Wickramathilaka M, Liceaga A M. Changes on antioxidant activity of microwave-treated protein hydrolysates after simulated gastrointestinal digestion:purification and identification[J]. Food Chemistry,2018,254(36):36-46.
- [19] 章杰,何航,熊子标.烹饪方式对猪肉品质及营养成分的影响[J].食品与机械,2018,34(6):21-25.
- [20] Tavano O L, Neves V A, da Silva Junior S I. In vitro versus in vivo protein digestibility techniques for calculating PDCAAS (protein digestibility-corrected amino acid score) applied to chickpea fractions[J]. Food Research International,2016,89(1):756-763.

(上接第142页)

- 步研究[J].工艺技术,2018:192-196.
- [11] 褚益可.牛肉保鲜工艺的研究[D].上海:上海海洋大学,2011.
- [12] 任思婕,胡吕霖,沈清.不同气体比例气调包装对冷藏微波辣子鸡丁品质的影响[J].食品科学,2018,39(21):245-252.
- [13] 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定:GB 4789.2—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [14] 食品安全国家标准 食品pH的测定:GB 5009.237—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [15] 食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定:GB 5009.228—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [16] 食品安全国家标准 熟肉制品:GB 2726—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [17] 励建荣,刘永吉,朱军莉,等.真空、空气和气调包装对冷藏鱼糜制品品质的影响[J].水产学报,2011,35(3):446-454.
- [18] 陈松,冯月荣,曹淑萍.pH值对屠宰肉品质的影响[J].肉类工业,2009,(6):21-23.
- [19] 胡雯雯,曹方,栾静,等.顶空固相微萃取-气相色谱法测定啤酒挥发性风味成分[J].大连工业大学学报,2014,33(1):10-14.
- [20] 孟君,彭秀丽,张峻松,等.3种香辛料提取物抑菌及挥发性成分的研究[J].中国调味品,2019,44(1):40-44.

 微信搜索shipinkj或扫描二维码



 新浪微博@食品科技 或扫描二维码

