

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240513003

椰子蛋白分级组分制备及理化性质研究

肖容雍¹, 李 铭², 刘 一³, 张海华^{3*}, 孟 金⁴

(1. 三亚航空旅游职业学院, 三亚 572000; 2. 三亚中瑞酒店管理职业学院, 三亚 572000;
3. 浙江农林大学食品与健康学院, 杭州 311300; 4. 浙江山友食品有限公司, 温州 323000)

摘要: **目的** 制备椰子蛋白分级组分并研究其理化性质。**方法** 对椰子蛋白进行分级并制备相应组分, 测定椰子蛋白分级组分的氨基酸组成、疏水性、游离巯基含量、溶解度、乳化性和起泡性, 以评估其功能特性。**结果** 椰子蛋白含有 18 种氨基酸, 富含精氨酸和谷氨酸, 必需氨基酸含量丰富、比例合理, 是营养良好的蛋白质来源。所有样品在蛋白质的等电点处溶解度最差、起泡性最差而泡沫稳定性却最好。随着 pH 增加, 溶解度整体趋势先降低后增加, 乳化能力总体呈现增加的趋势, 而较高的 pH 下表现出更好的乳化稳定性。**结论** 椰子蛋白具有良好的营养价值及优良的溶解度、乳化性及起泡性, 可为椰子蛋白在食品加工中的应用提供理论参考。

关键词: 椰子蛋白; 氨基酸; 溶解度; 乳化性; 起泡性

Study on the preparation and physicochemical properties of *Cocos nucifera* L. protein subcomponents

XIAO Rong-Yong¹, LI Ming², LIU Yi³, ZHANG Hai-Hua^{3*}, MENG Jin⁴

(1. Sanya Aviation and Tourism Vocational College, Sanya 572000, China; 2. Sanya Sino-swiss Vocational College of Hotel Management, Sanya 572000, China; 3. College of Food Science and Health, Zhejiang Agriculture & Forestry University, Hangzhou 311300, China; 4. Songyang Lvfeng Agricultural Development Co., Ltd., Wenzhou 323000, China)

ABSTRACT: Objective To prepare *Cocos nucifera* L. protein subcomponents and investigate their physicochemical properties. **Methods** *Cocos nucifera* L. protein was fractionated to prepare the corresponding components. The amino acid composition, hydrophobicity, free sulfhydryl content, solubility, emulsification, and foaming properties of the fractionated *Cocos nucifera* L. protein components were measured to evaluate their functional characteristics. **Results** *Cocos nucifera* L. protein contained 18 kinds of amino acids, was rich in arginine and glutamic acid, and had a high content and well-balanced ratio of essential amino acids, making it a nutritionally valuable protein source. All samples exhibited the lowest solubility and foaming capacity but the highest foam stability at the protein's isoelectric point. As pH increased, the solubility initially decreased and then increased, while the emulsification capacity generally showed an increasing trend, with better emulsification stability observed at higher pH levels. **Conclusion** *Cocos nucifera* L. protein possesses good nutritional value as well as excellent

基金项目: 海南省自然科学基金项目(321QN0907)

Fund: Supported by the Hainan Natural Science Foundation (321QN0907)

*通信作者: 张海华, 研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为食品加工及品质改良, 茶叶加工及精深加工与茶食品技术开发。E-mail: hhzhang@zafu.edu.cn

*Corresponding author: ZHANG Hai-Hua, Professor, College of Food Science and Health, Zhejiang Agriculture & Forestry University, Hangzhou 311300, China. E-mail: hhzhang@zafu.edu.cn

solubility, emulsification, and foaming properties, providing theoretical reference for its application in food processing.

KEY WORDS: *Cocos nucifera* L. protein; amino acids; solubility; emulsibility; foamability

0 引言

蛋白质作为人体必需的营养物质之一^[1-2], 因植物蛋白相对较低的成本和良好的功能特性, 备受关注。同时, 由于宗教或道德信仰等因素对动物蛋白饮食的限制, 植物蛋白作为替代品的需求也在增加^[3]。大豆由于其种植广泛、成本低以及功能特性优良而备受青睐^[4-6]。然而, 由于豆腥味、过敏反应以及反对使用转基因技术等原因, 许多人对含有大豆蛋白的食品持反感态度。因此, 开发不同来源的植物蛋白质是一种大趋势。

椰子(*Cocos nucifera* L.)作为热带地区的重要树木之一, 其所含丰富的宏量和微量营养素对人体健康和营养至关重要, 因而被誉为“神奇水果”^[7-11]。商业加工产品涵盖了椰丝、椰子油、椰奶和椰子水等。在椰奶和椰油的生产过程中, 常会产生椰子饼或粉, 这是一种富含蛋白质的副产品^[12-14]。通过对副产品中蛋白质的分级和制备, 可以最大限度地发挥其利用价值。常见的分离和浓缩蛋白质的方法包括热凝固、等电沉淀、盐沉淀、离心和超滤等技术^[15-17]。

椰子蛋白不仅含有丰富的营养成分, 还具有优异的功能特性, 例如良好的发泡和乳化能力^[18-22]。然而, 蛋白质的提取方法、原材料的加工方式以及原材料的类型等因素都会影响蛋白质的含量和功能特性。有学者研究了来自椰子副产品的浓缩蛋白的功能和物理化学特性, 结果显示, 在 pH 为 4 时, 椰子蛋白在高酸性和高碱性溶液中主要具有渗透性^[23]。因此, 碱性和酸性极强的溶液可以有效溶解椰子饼中的蛋白质粉。确定蛋白质的性质将有助于椰子蛋白在食品加工中的应用。

类似于大豆蛋白或奶酪乳清蛋白, 椰子蛋白也可能因其特殊的功能特性而增值。此外, 椰子蛋白含有丰富的精氨酸, 并具有有效的抗糖尿病活性, 在促进健康和预防疾病方面显示出潜力^[24-26]。因此, 生产椰子蛋白不仅对个体企业具有商业价值, 而且对社会可持续发展具有重要推动作用。

综上所述, 椰子蛋白不仅营养丰富, 而且功能优异。目前研究集中于椰子蛋白的分离纯化方法及总蛋白的功能性质的研究, 对椰子蛋白分级组分制备及理化性质研究相当有限, 而确定蛋白质的性质对于椰子蛋白在食品加工中的应用具有重要意义。因此, 本研究旨在通过将椰子蛋白分级制备, 测定分级组分的氨基酸组成、疏水作用力、游离巯基含量, 同时考察 pH 对椰子蛋白的溶解度、乳化性和起泡性的影响。本研究将有助于深入了解椰子蛋白的特性, 为其在食品工业中的应用提供科学依据, 同时为开发新型椰子蛋白产品和改进现有产品的加工工艺提供支持。本研

究对于丰富椰子资源的利用, 推动食品产业的可持续发展也具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜椰果(海南省三亚市商超)。

石油醚(沸点 30~60°C)、无水磷酸氢二钠(纯度 99%)、磷酸二氢钠(纯度 99%)、8-对甲氨基苯磺酰胺(sulfanilamide, ANS)、三羟甲基氨基甲烷-甘氨酸(Tris-Gly)、尿素、5,5'-二硫代二(2-硝基苯甲酸)[5,5'-dithio bis-(2-nitrobenzoic acid), DTNB]、盐酸、十二烷基硫酸钠(sodium dodecyl sulfate, SDS)(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

HZ2002A 型分析天平(精度 0.001 g, 慈溪红钻衡器设备有限公司); SYKAM433D 氨基酸自动分析仪(德国卡姆公司); F-7000 型荧光分光光度计(日本日立公司); Lab-1-50 型真空冷冻干燥机(北京博医康实验仪器有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 椰子蛋白分级组分的制备方法

参考肖容雍等^[27]方法研究制备椰子蛋白样品, 进一步改良对椰子蛋白进行分级并制备相应组分。具体如下: 准确称取 5.0 g 椰子蛋白, 按料液比 1:10 (*m*:*V*)加入蒸馏水, 于 50°C 水浴下搅拌浸提 2 h, 于 10°C、8000 r/min 下离心 15 min, 取上清液。重复提取 3 次, 合并上清液, 冷冻干燥即为清蛋白。将提取清蛋白后的沉淀, 加入到 50 mL 0.5 mol/L 的 NaCl 溶液中, 于 50°C 水浴下搅拌浸提 2 h, 于 10°C、8000 r/min 下离心 15 min, 取上清液。重复提取 3 次, 合并上清液, 经冷冻干燥即为球蛋白, 将沉淀冷冻干燥即为谷蛋白。

1.3.2 椰子蛋白分级组分的氨基酸组成分析

采用氨基酸自动分析仪测定椰子蛋白分级组分的氨基酸组成。具体如下: 准确称取椰子蛋白分级组分样品各 200 mg 于相应的密封管中, 加入 10 mL 6.0 mol/L 盐酸, 于 110°C 水浴反应 24 h, 冷却至室温, 过滤、稀释, 进样氨基酸自动分析仪进行测定。

1.3.3 椰子蛋白分级组分的表面疏水性测定

准确称取 10.0 mg 椰子蛋白分级各组分, 分别分散于 10 mL 蒸馏水中配制成 1 mg/mL 的椰子蛋白分级组分溶液原液, 以此稀释制备质量浓度梯度为 0.02、0.04、0.06、0.08、0.10 mg/mL 的系列溶液。分别取 4 mL 各浓度溶液, 加入 8 mmol/L 的 ANS 50 μ L, 均匀混合, 避光静置反应

20 min。采用荧光分光光度计于激发波长 370 nm、发射波长 490 nm、狭缝 5 nm 条件下测定荧光强度。建立荧光强度与溶液浓度的一元线性回归方程, 斜率即为表面疏水性。

1.3.4 椰子蛋白分级组分的游离巯基含量测定

参考 WANG 等^[28]的方法对椰子蛋白分级组分中游离巯基(-SH)含量进行测定: 准确称取 50 mg 椰子蛋白各分级组分, 分别分散于 10 mL pH 8.0 Tris-Gly-8M Urea 缓冲液中, 室温下振荡反应 1 h, 于 4°C、8000 r/min 下离心 8 min。取 4 mL 上清液, 加入 0.1 mL 的 4 mg/mL DTNB 溶液, 室温下避光反应 20 min, 采用紫外分光光度计于 412 nm 处测定吸光度。游离巯基含量计算见式(1):

$$\text{游离巯基含量}/(\mu\text{mol/g})=A_{412}\times D/C/\varepsilon\times 10^6 \quad (1)$$

式中: ε 为摩尔吸光系数, 为 1.36×10^4 ; A_{412} 为样品在 412 nm 处的吸光度; C 为样品的蛋白质质量浓度, mg/mL; D 为样品稀释系数; 10^6 为单位换算系数。

1.3.5 椰子蛋白分级组分的溶解度测定

准确称量 1.0 g 椰子蛋白分级组分, 溶于 pH 3.0~10.0 系列磷酸盐缓冲液溶液中, 磁力搅拌均匀后于 4°C 静置过夜使蛋白质充分水化, 然后在 8000 r/min 条件下离心 20 min, 保留上清液。采用凯氏定氮方法测定上清液和样品中可溶性氮含量。椰子蛋白分级组分的溶解度计算如式(2)。

$$\text{氮溶解指数}/\%=\text{可溶性氮含量}/\text{样品中总氮含量}\times 100\% \quad (2)$$

1.3.6 椰子蛋白分级组分的乳化活性及乳化稳定性测定

准确称量 100 mg 椰子蛋白分级组分, 分散于 30 mL pH 7.0 的磷酸盐缓冲液溶液中, 旋涡振荡器混匀, 用高速匀浆机在 8000 r/min 条件下匀浆 1 min, 立即吸取底部乳浊液 100 μ L, 加入到 15 mL 0.1% SDS 溶液中, 混匀, 采用紫外分光光度计于波长 500 nm 处测定吸光度, 记为 A_1 。将溶液静置 10 min, 再次测定吸光度, 记为 A_2 。乳化活性(emulsifying index, EAI)按式(3)计算:

$$\text{EAI}/\%=\frac{2.303\times 2\times A_1\times d}{c\times 0.25\times 10000}\times 100\% \quad (3)$$

式中: d 为稀释倍数, C 为蛋白质质量浓度(mg/mL)。

乳化稳定性(emulsifying stability, ESI)按式(4)计算:

$$\text{ESI}/\%=\frac{A_1\times t}{A_1-A_2}\times 100\% \quad (4)$$

式中, t 为 10 min。

1.3.7 椰子蛋白分级组分的起泡性及泡沫稳定性测定

将 1.0 g 椰子蛋白分级组分分散于 100 mL 蒸馏水中, 用高速搅拌器在 8000 r/min 下搅拌 1 min, 立即记录泡沫体积 V_1 , 放置 30 min 后, 记录剩余泡沫体积 V_2 , 起泡性(foaming capacity, FC)和泡沫稳定性(foam stability, FS)按公式(5)、(6)计算。

$$\text{FC}/\%=\frac{V_1}{100}\times 100\% \quad (5)$$

$$\text{FS}/\%=\frac{V_2}{V_1}\times 100\% \quad (6)$$

1.4 数据处理

每个实验重复 3 次, 结果以平均值 \pm 标准偏差表示。采用 SPSS 25 中的方差分析在 $P<0.05$ 水平上进行统计学分析, 采用 Origin 2022 进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 椰子蛋白分级组分的氨基酸组成

分级制备的清蛋白、球蛋白和谷蛋白所占比例如图 1 所示, 其中球蛋白含量最多为 61.28%, 其次为清蛋白(30.43%), 谷蛋白含量最少为 8.29%。椰子蛋白分级组分(清蛋白、球蛋白和谷蛋白)的氨基酸组成如表 1 所示。3 种蛋白质均含有表 1 列出的 18 种氨基酸。其中, 清蛋白中谷氨酸含量最高(15.70 g/100 g), 甲硫氨酸最低(0.74 g/100 g)。球蛋白中谷氨酸最高(12.02 g/100 g), 色氨酸和半胱氨酸最低(0.90 g/100 g)。谷蛋白中谷氨酸最高(11.50 g/100 g), 组氨酸最低(1.54 g/100 g)。根据人体所需的氨基酸分类, 3 种蛋白质中 CEAA 的含量最高, 分别为 45.26、41.89、44.06 g/100 g, 次之为 EAA, 最少的是 NEAA。这表明椰子蛋白具有丰富的人体所需营养。按氨基酸分子中氨基和羧基的数量分类, 3 种蛋白质中酸性氨基酸含量均高于碱性氨基酸。据报道, 蛋白质的疏水氨基酸残基对抗氧化活性有贡献^[29], 在这 3 种蛋白质中疏水氨基酸含量较高, 分别为 30.05、33.29、39.18 g/100 g。支链氨基酸可以促进合成代谢, 谷蛋白的支链氨基酸含量最高, 而清蛋白最少。综上所述, 椰子蛋白具有优良的营养价值和相对平衡的氨基酸分布, EAA 含量丰富。3 种蛋白质中谷氨酸和精氨酸含量相对丰富, 而甲硫氨酸和半胱氨酸含量极少, 这与先前的研究结果一致^[27]。

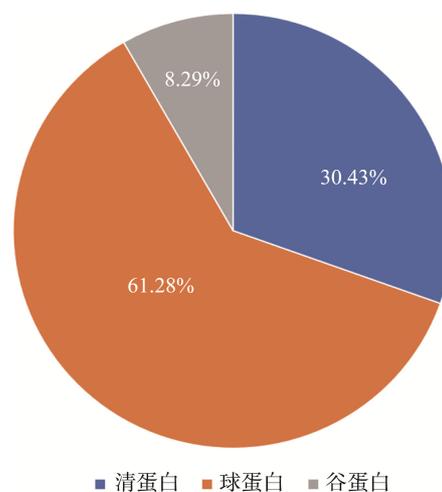


图 1 椰子蛋白分级组分的占比图
Fig.1 Proportion of fractions of *Cocos nucifera* L. protein subcomponents

表 1 椰子蛋白分级组分的氨基酸组成(g/100 g)
Table 1 Amino acid composition of *Cocos nucifera* L. protein subcomponents (g/100 g)

氨基酸种类	清蛋白	球蛋白	谷蛋白
苏氨酸 [*]	2.47	2.83	2.62
赖氨酸 [*]	3.27	2.13	2.36
色氨酸 [*]	2.43	0.90	1.68
亮氨酸 [*]	3.52	6.03	7.11
缬氨酸 [*]	2.49	5.41	5.96
苯丙氨酸 [*]	1.98	5.08	4.09
甲硫氨酸 [*]	0.74	1.92	1.57
异亮氨酸 [*]	2.45	3.44	3.94
组氨酸 [*]	1.15	1.74	1.54
酪氨酸 [#]	11.85	8.04	8.88
半胱氨酸 [#]	0.97	0.90	1.68
丙氨酸 ^{&}	2.97	3.06	3.05
脯氨酸 ^{&}	2.36	1.33	4.47
谷氨酸 ^{&}	15.70	12.02	11.50
精氨酸 ^{&}	12.78	9.75	10.01
天冬氨酸 ^{&}	5.58	7.17	8.27
丝氨酸 ^{&}	3.41	4.65	2.89
甘氨酸 ^{&}	2.46	3.91	3.87
EAA	20.50	29.48	30.87
NEAA	12.82	8.94	10.56
CEAA	45.26	41.89	44.06
酸性氨基酸	21.28	19.19	19.77
碱性氨基酸	17.20	13.62	13.91
疏水性氨基酸	30.05	33.29	39.18
支链氨基酸	8.46	14.88	17.01

注: *必需氨基酸(essential amino acid, EAA); #条件必需氨基酸(conditionally essential amino acid, CEAA); &非必需氨基酸(non-essential amino acid, NEAA)。

2.2 椰子蛋白分级组分的表面疏水性和游离巯基含量

在研究蛋白质的空间结构和功能性质时,表面疏水性和游离巯基含量是两个重要的参数。通过与 ANS 荧光探针结合产生荧光效应,可以测定蛋白质的表面疏水性,并据此推测其空间结构。本研究对椰子蛋白分级组分进行了表面疏水性和游离巯基含量的测定,结果如图 2 所示。根据实验结果,谷蛋白的表面疏水性大于球蛋白,球蛋白又大于清蛋白。同时,游离巯基含量的变化趋势与表面疏水性一致。巯基是蛋白质分子中一个重要的活性基团,能显著影响蛋白质的功能性质,这是因为巯基和二硫化物的互换反应可以促进蛋白质的聚合。这种形式的聚合不仅可以使蛋白质不可逆地吸附到界面上,而且它还提供了一种高

黏弹性膜来阻止蛋白质聚集。因此,可以得出结论:椰子蛋白分级组分的表面疏水性和游离巯基含量与蛋白质的功能性质密切相关。研究表面疏水性和游离巯基含量对于理解椰子蛋白质的结构和功能,并为其在食品工业中的应用提供了重要的参考价值。

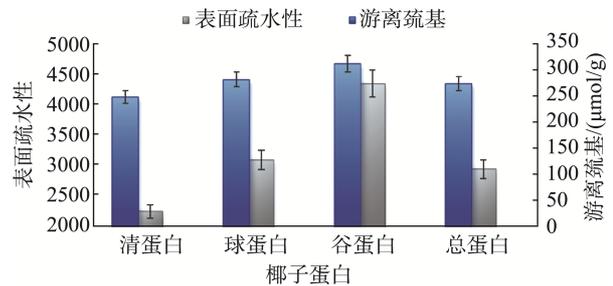


图2 椰子蛋白分级组分的表面疏水性和游离巯基含量

Fig.2 Surface hydrophobicity and free sulfhydryl content of *Cocos nucifera* L. protein subcomponents

2.3 椰子蛋白分级组分的溶解度

椰子蛋白的功能特性在很大程度上受其溶解性的影响。通常情况下,椰子蛋白的溶解度最低点出现在 pH 4~5 之间,这归因于蛋白质在等电点处的最低溶解度。据文献报道,不同地区的椰子胚乳蛋白质具有不同的溶解度,这可能与不同的氨基酸谱有关^[30]。图 3 展示了清蛋白、球蛋白、谷蛋白以及总蛋白在 pH=3.0~10.0 范围内溶解度的变化趋势。观察图 3 可知,所有样品的溶解度随着 pH 从 3.0 至 4.5 逐渐降低,并在 pH 为 4.5 时达到最低点,后随 pH 的增加溶解度逐渐增加,当 pH 为 10.0 时依旧呈现增加趋势。在相同的 pH 条件下,清蛋白的溶解度高于总蛋白,总蛋白高于球蛋白,而谷蛋白的溶解度则最低。蛋白质的聚集受到 pH 的影响,pH 会影响蛋白质分子上的净电荷,从而造成分子之间的静电排斥力。在蛋白质的等电点处,净电荷为零,静电斥力最小,有利于蛋白质聚集。pH 与等电点的偏差越大,斥力越大,蛋白质聚集的可能性越小。

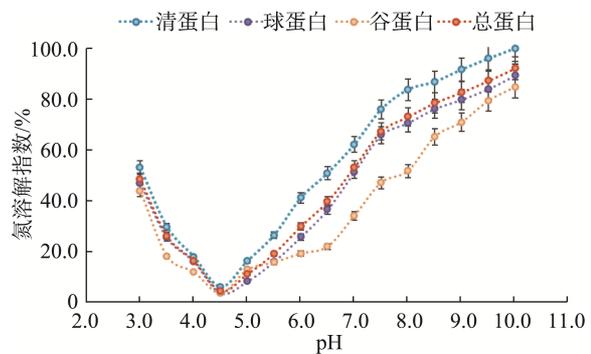


图3 椰子蛋白分级组分的溶解度

Fig.3 Solubilities of *Cocos nucifera* L. protein subcomponents

2.4 椰子蛋白的乳化活性及乳化稳定性

蛋白质的乳化特性是由其结构特性所决定的, 这种特性使其能够形成吸附在油水界面上的薄层, 从而稳定乳液。这种吸附薄层通过共价键结合, 为乳液提供稳定性, 防止其发生聚结絮凝。如图 4 所示, 椰子蛋白的乳化能力受 pH 影响, 总体呈现随 pH 升高而增加的趋势, 而乳化稳定性则呈现 Z 形缓慢上升的趋势, 与之前的研究结果一致^[31-33]。特别地, 在 pH 为 4.0 时, EAI 达到最低点。这可能是由于净电荷促进了蛋白质的乳化性^[34]。此外, 从表 1 中可以看出, 椰子蛋白富含疏水性氨基酸, 这也有助于提高蛋白质的乳化性稳定性。椰子蛋白在较高的 pH 下表现出更好的乳化稳定性, 这可能是由于蛋白质之间的静电排斥足够强, 足以防止蛋白质聚集^[35], 这与上述溶解度结果一致。尽管椰子蛋白的 EAI 受 pH 影响较大, 但其 ESI 表明乳液相对稳定, 因此可将其作为乳化食品的一种成分。

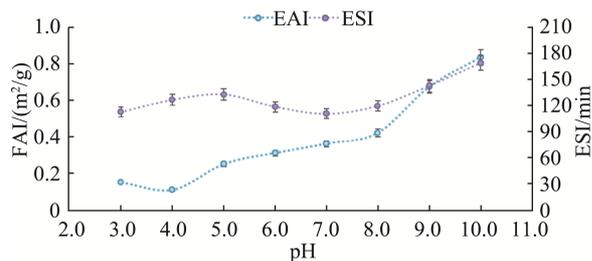


图4 椰子蛋白的乳化活性及乳化稳定性
Fig.4 Emulsification and emulsification stability of *Cocos nucifera* L. protein

2.5 椰子蛋白的起泡性及泡沫稳定性

起泡特性与在气泡周围形成的蛋白质膜吸附层的界面流变性有关。蛋白质结构展开时产生的界面薄层, 可以将空气气泡悬浮并防止其在蛋白质展开时塌陷, 这种能力被称为起泡特性。pH 会影响椰子蛋白的起泡能力。GONZALIZ 等^[21]的研究表明, 在 pH 2.0 和 11.0 时泡沫膨胀最大, 而泡沫稳定性较低。空气泡周围形成了厚厚的黏聚层, 影响了泡沫的稳定性。图 5 为椰子蛋白的 FC 及 FS 随 pH 的变化曲线图。FC 随 pH 的增加先降低再升

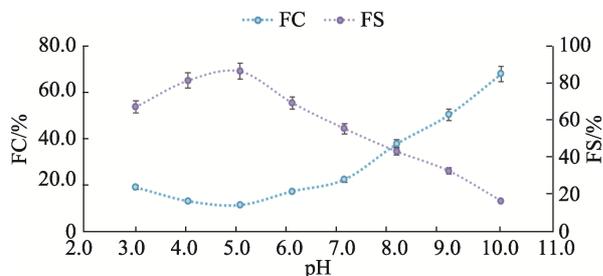


图5 椰子蛋白的起泡性及泡沫稳定性
Fig.5 Foaming property and foam stability of *Cocos nucifera* L. protein

高, FC 与 FS 呈相反的趋势, 当 pH 为 5.0 左右时 FC 最低而 FS 却最好, 当 pH 为 10.0 时 FC 最高而 FS 却最差, 与 GONZALIZ 等^[21]的研究结果一致。WU 等^[22]的研究报告显示, 花生和椰子蛋白具有类似的泡沫能力和性质。泡沫特性对将蛋白质应用于食品产品中至关重要, 例如奶油酱、慕斯和饮料。

3 结论

本研究对椰子蛋白分级组分(清蛋白、球蛋白和谷蛋白)的氨基酸组成进行了详细分析, 结果表明这 3 种蛋白质均含有 18 种氨基酸, CEAA 的含量最高。进一步分析显示, 谷蛋白的表面疏水性最高, 清蛋白的表面疏水性最低。此外, 游离巯基含量的变化趋势与表面疏水性一致。这 3 种蛋白质及总蛋白在 pH 为 4.5 时表现出最低的溶解度, 这与蛋白质的等电点有关。椰子蛋白的乳化能力及起泡能力显著受到 pH 的影响。pH 越高, 椰子蛋白的 EAI 及 ESI 越好, 可能是由于净电荷促进了蛋白质的乳化性。然而当 pH 远离等电点时, 椰子蛋白的 FC 越好而 FS 却越差。尽管本研究揭示了椰子蛋白在不同 pH 条件下的特性, 但仍存在一些客观问题需要进一步探讨。首先, 本研究的实验条件可能未能完全模拟椰子蛋白在实际应用中的复杂环境。例如, 温度和其他食品添加剂等因素也可能对椰子蛋白的功能性质产生影响, 这些因素在本研究中尚未充分考虑。其次, 本研究并未探索椰子蛋白在具体食品体系中的应用效果。然而, 本研究初步探究了椰子蛋白分级组分的制备方法及其理化性质, 为未来评估其实际性能提供了理论基础。目前关于椰子蛋白的研究主要集中在从椰子中提取和表征蛋白质^[15-17], 以期将这些蛋白质作为各种产品的功能性成分加以利用。已确定椰子中含有几种关键蛋白质, 包括球蛋白、清蛋白和谷蛋白。研究表明, 椰子蛋白具有显著的抗氧化、抗炎和抗菌活性^[24-26]。这些特性使其成为促进健康和预防疾病的营养保健品和功能食品的潜在候选者。在食品工业中, 椰子蛋白分离物和水解物正在被探索作为成分, 以提升食品的营养价值和功能特性。其优异的乳化、胶凝和发泡能力在植物性和低过敏性食品的配方中尤为重要^[18-22]。从可持续性和环境影响的角度来看, 椰子蛋白的利用符合可持续发展目标, 因为它促进了椰子油和椰子水工业副产品的高效利用, 从而减少浪费, 提高资源效率。

参考文献

- [1] SÁ AGA, MORENO YMF, CARCIOFIARCIOFI BAM. Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet [J]. *Trend Food Sci Technol*, 2020, 97: 170-184.
- [2] DAY L. Proteins from land plants—potential resources for human nutrition and food security [J]. *Trend Food Sci Technol*, 2013, 32(1): 25-42.
- [3] DREWNOWSKI AP. What lies behind the transition from plant-based to

- animal protein? [J]. *AMA J Ethics*, 2018, 20(10): 987–993.
- [4] AKHARUME FU, ALUKO RE, ADEDEJ AA. Modification of plant proteins for improved functionality: A review [J]. *Compr Rev Food SCI F* 2021, 20(1): 198–224.
- [5] 蒋涛, 杨文钰, 刘卫国, 等. 套作大豆贮藏蛋白、氨基酸组成分析及营养评价[J]. *食品科学*, 2012, 33(21): 275–279.
- JIANG T, YANG WY, LIU WG, *et al.* Analysis of storage protein and amino acid composition and nutritional evaluation of soybean [J]. *Food Sci*, 2012, 33(21): 275–279.
- [6] 赵满琦, 陈星, 陈志敏, 等. 豆粕抗营养因子及酶解豆粕制备肽的研究进展[J]. *中国畜牧兽医*, 2024, (5): 1931–1938.
- ZHAO MQ, CHEN X, CHEN ZM, *et al.* Research progress on anti-nutrition factors of soybean meal and preparation of peptides by enzymatic hydrolysis of soybean meal [J]. *Chin Anim Husband Vet Med*, 2024, (5): 1931–1938.
- [7] 郭帅, 李艳. 椰子活性蛋白与功能肽的研究进展[J]. *食品科技*, 2018, 43(5): 67–71.
- GUO S, LI Y. Research progress of active proteins and functional peptides in coconut [J]. *Food Sci Technol*, 2018, 43(5): 67–71.
- [8] ZENG YQ, HE JT, HU BY, *et al.* Virgin coconut oil: A comprehensive review of antioxidant activity and mechanisms contributed by phenolic compounds [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2024, 64(4): 1052–1075.
- [9] 郑奋, 李智斌, 刘屹, 等. 41份文昌高种椰子资源果实品质分析和综合评价[J]. *中国南方果树*, 2023, 52(5): 54–61.
- ZHENG F, LI ZX, LIU Y, *et al.* Fruit quality analysis and comprehensive evaluation of 41 high-seed coconuts from Wenchang [J]. *South China Fruits*, 2023, 52(5): 54–61.
- [10] 贾平凡, 龚文静. 解锁美味密码, 海南“椰风”正劲[N]. *人民日报海外版*, 2023-09-28(09).
- JIA PF, GONG WJ. Unlock the delicious password, Hainan “coconut wind” is strong [N]. *People’s Daily Overseas Edition*, 2023-09-28(09).
- [11] NAIK A, RAGHAVENDRA SN, RAGHAVARAO KSMS. Production of coconut protein powder from coconut wet processing waste and its characterization [J]. *Appl Biochem Biotechnol*, 2012, 167(5): 1290–1302.
- [12] 赵津好, 张玉锋, 董泽来. 初榨椰子油加工技术的研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2024, 39(1): 226–234.
- ZHAO JH, ZHANG YF, DONG ZL. Research progress on processing technology of virgin coconut oil [J]. *J China Cere Oils Assoc*, 2024, 39(1): 226–234.
- [13] 卞正欣. 牡蛎壳粉椰子粉小球藻复合代餐饮料的研究[J]. *食品安全导刊*, 2023, (18): 139–141, 160.
- BIAN ZX. Study on chlorella complex meal replacement drink with oyster shell powder and coconut powder [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2023, (18): 139–141, 160.
- [14] 陈国东. 椰子粕复合酶解制备抗氧化活性肽及其在化妆品中的应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
- CHEN GD. Preparation of antioxidant peptides by enzymatic hydrolysis of coconut meal and its application in cosmetics [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019.
- [15] 林焜, 吴毓炜, 王焱, 等. 椰浆中椰子蛋白的提取、分离和鉴定[J]. *热带作物学报*, 2021, 42(4): 1106–1112.
- LIN Y, WU YW, WANG Y, *et al.* Extraction, isolation and identification of coconut protein from coconut milk [J]. *Chin J Trop Crop*, 2021, 42(4): 1106–1112.
- [16] LIN Y, WU YW, WANG Y, *et al.* Extraction, isolation and identification of coconut protein from coconut milk [J]. *Chin J Trop Crops*, 2021, 42(4): 1106–1112.
- [17] LIN Y, WANG Y, JI Z, *et al.* Isolation, purification, and identification of coconut protein through SDS-PAGE, HPLC, and MALDI-TOF/TOF-MS [J]. *Food Anal Method*, 2020, 13(6): 1246–1254.
- [18] THAIIPHANIT S, ANPRUNG P. Physicochemical and emulsion properties of edible protein concentrate from coconut (*Cocos nucifera* L.) processing by-products and the influence of heat treatment [J]. *Food Hydrocolloid*, 2016, 52: 756–765.
- [19] WANG QS, WANG HQ, ZHANG YP, *et al.* Effect of compound emulsifier on emulsification stability of coconut oil-sunflower oil based margarine by compound emulsifiers [Z].
- [20] 孙义周. 超声联合 pH-shift、预加热对椰子蛋白物理化学特性及椰浆稳定性影响研究[D]. 海口: 海南大学, 2023.
- SUN YZ. Effect of ultrasound on pH-shift and preheating for physicochemical characteristic of coconut protein and stability of coconut milk [D]. Haikou: Hainan University, 2023.
- [21] GONZALIZ O, TANCHUCO R. Chemical composition and functional properties of coconut protein isolate (CPI) [J]. *Food Technol Aust*, 1977, 29: 403.
- [22] WU H, WANG Q, MA T, *et al.* Comparative studies on the functional properties of various protein concentrate preparations of peanut protein [J]. *Food Res Int*, 2009, 42: 343–348.
- [23] RODSAMRAN P, SOTHORNVIT R. Bioactive coconut protein concentrate films incorporated with antioxidant extract of mature coconut water [J]. *Food Hydrocolloid*, 2018, 79: 243–252.
- [24] 崔岩岩. 不同油脂制备方法对椰子主要营养成分、油脂与蛋白质性质影响研究[D]. 海口: 海南大学, 2022.
- CUI YY. Study on the effects of Different oil preparation methods on main nutrients, oil and protein properties of coconut [D]. Haikou: Hainan University, 2022.
- [25] RAJAMOCHAN T, ARCHANA U. The coconut palm (*Cocos nucifera* L.)—research and development perspectives [Z]. 2019.
- [26] FERNANDO WMADB, MARTINS IJ, GOOZEE KG, *et al.* The role of dietary coconut for the prevention and treatment of Alzheimer’s disease: Potential mechanisms of action [J]. *Brit J Nutr*, 2015, 114(1): 1–14.
- [27] 肖容雍, 李铭, 盛政, 等. 椰子蛋白化学结构和热稳定性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2024, 15(1): 296–302.
- XIAO RY, LI M, SHENG Z, *et al.* Study on chemical structure and thermal stability of coconut protein [J]. *J Food Saf Qual*, 2024, 15(1): 296–302.
- [28] WANG CC, SHENG Z, ZHANG YH, *et al.* Effects of epigallocatechin-3-gallate on the structural hierarchy of the gluten network

- in dough [J]. *Food Hydrocolloid*, 2023, 142: 108803.
- [29] SHAHIDI F, ZHONG Y. Novel antioxidants in food quality preservation and health promotion [J]. *Eur J Lipid Sci Technol*, 2010, 112(9): 930–940.
- [30] PELEGRINE DHG, GASPARETTO CA. Whey proteins solubility as function of temperature and pH [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2005, 38(1): 77–80.
- [31] CANO-MEDINA A, JIMENEZ-ISLAS H, DENDOOVEN L, *et al.* Emulsifying and foaming capacity and emulsion and foam stability of sesame protein concentrates [J]. *Food Res Int*, 2011, 44(3): 684–692.
- [32] HENSHAW FO, LAWAL SA. Effects of processing method on the functional properties of cowpea flour [J]. *Tropical Sci*, 1993, 33(4): 377–385.
- [33] ZORBA Ö. The effects of the amount of emulsified oil on the emulsion stability and viscosity of myofibrillar proteins [J]. *Food Hydrocolloid*, 2006, 20(5): 698–702.
- [34] ZHANG XY, QI BK, XIE FY, *et al.* Emulsion stability and dilatational rheological properties of soy/whey protein isolate complexes at the oil-water interface: Influence of pH [J]. *Food Hydrocolloid*, 2021, 113: 106391.
- [35] ONSAARD E, VITTAYANONT M, SRIGAM S, *et al.* Comparison of properties of oil-in-water emulsions stabilized by coconut cream proteins with those stabilized by whey protein isolate [J]. *Food Res Int*, 2006, 39(1): 78–86.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介



肖容雍, 讲师, 主要研究方向为食品加工技术。

E-mail: 309342451@qq.com



张海华, 研究员, 硕士生导师, 主要研究方向为食品加工及品质改良, 茶叶加工 & 精深加工与茶食品技术开发。

E-mail: hhzhang@zafu.edu.cn