



主持人: 郭志强, 李秀保

Open Access



藓状鱼栖苔和繖房江蓠的营养成分分析与评价

蔡红艳^{2#}, 王 忱², 曾 俊², 李 航², 王润东³, 谭华强², 王锂韞^{1,3*}

(1. 粤西特色生物医药工程技术研究中心, 广东 湛江 524048 中国; 2. 南方海洋科学与工程广东省实验室(湛江), 广东 湛江 524002 中国; 3. 岭南师范学院, 广东 湛江 524048 中国)

摘 要: 为探究藓状鱼栖苔(*Acanthophora muscoides*)和繖房江蓠(*Gracilaria coronopifolia*)两种大型红藻的潜在开发价值, 测定其基本营养成分并进行分析与评价。结果表明, 藓状鱼栖苔与繖房江蓠鲜质量(FW)水分含量分别为 93.10% 和 88.60%, 粗蛋白含量分别为 9.4% 和 7.5%, 粗脂肪含量分别为 2.89% 和 1.78%, 灰分含量分别为 55.07% 和 27.38%, 粗纤维含量分别为 5.7% 和 3.57%; 藓状鱼栖苔与繖房江蓠均有 13 种氨基酸, 氨基酸的组成合理, 必需氨基酸与呈味氨基酸含量丰富, DAA/TAA 分别为 56.74% 与 48.14%, 符合 FAO/WHO 标准模式的要求, 第一限制氨基酸均为亮氨酸, 第二限制氨基酸分别为异亮氨酸与赖氨酸; 藓状鱼栖苔与繖房江蓠均具有高水分、低脂肪、粗蛋白含量适宜、脂肪酸种类少、富含钙、铁、钠、镁、锌和钾等人体所需的元素、重金属元素含量极低的特点, 且氨基酸种类多样、模式较为理想、营养丰富, 具有较高营养价值和广阔的开发应用前景。本研究可为藓状鱼栖苔与繖房江蓠进一步的资源化开发与利用提供技术依据。

关键词: 藓状鱼栖苔; 繖房江蓠; 营养成分; 氨基酸; 营养评价

中图分类号: TS255.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7054(2025)06-0873-10

蔡红艳, 王忱, 曾俊, 等. 藓状鱼栖苔和繖房江蓠的营养成分分析与评价 [J]. 热带生物学报, 2025, 16(6): 873-882. doi: 10.15886/j.cnki.rdswwb.20240160

流沙湾位于雷州半岛南端, 呈半封闭型港湾, 底质多为沙砾或泥沙^[1], 地理条件优越, 为大型海藻的生长繁殖提供了良好的场所。该海域大型海藻资源丰富, 主要包括红藻门(Rhodophyta)、绿藻门(Chlorophyta)与褐藻门(Phaeophyta), 以红藻门海藻种类最多^[1], 其中, 藓状鱼栖苔(*Acanthophora muscoides*)和繖房江蓠(*Gracilaria coronopifolia*)较为常见(图 1)。

藓状鱼栖苔属于红藻门(Rhodophyta)、仙菜目(Ceramiales)、松节藻科(Rhodomalaceae)、鱼栖苔属(*Acanthophora*), 藻体呈暗红色, 圆柱状, 直立, 无规则分枝, 在主干和部分的分枝上具有短刺^[2]。藻体生长在较浅的海滩、低潮带的沙地以及珊瑚礁上^[3], 主要分布在中国台湾、南海以及大西洋海域^[4-5]。目前, 已从该属种类中分离检测到

73 个天然产物, 包括甾体类化合物、黄酮类化合物、含氮化合物与脂质类化合物等产物, 这些产物具有解毒消炎、抗氧化、抗炎、抗菌等功效, 可用于治疗疮疽肿痛、外感发热等症^[6]。此外, 有研究发现藓状鱼栖苔对水体中的各种无机氮磷具有良好的净化吸收作用, 可作为对虾等动物养殖池塘尾水治理的备选藻种^[3]。繖房江蓠属于红藻门(Rhodophyta)、杉藻目(Gigartinales)、江蓠科(Gracilariaceae)、江蓠属(*Gracilaria*), 生长在潮间带石沼中或大风后被海浪冲上岸^[5], 江蓠质地脆嫩、味道鲜美, 富含藻红蛋白、藻蓝蛋白、水溶性多糖与膳食纤维等多种生物活性物质, 可有效预防肥胖与便秘, 具有免疫调节与降血糖等作用^[7], 不仅具有一定的食用与药用价值, 也是生成琼胶的重要红藻原料之一^[8-9]。

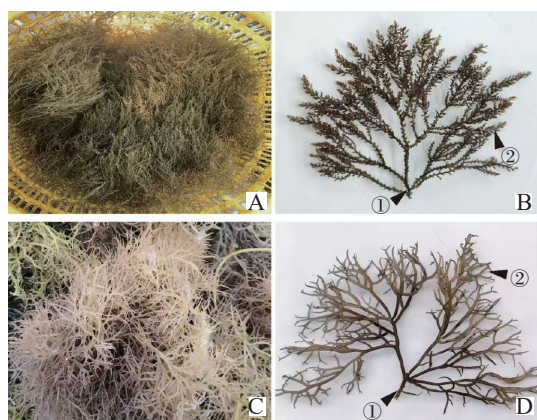
收稿日期: 2024-10-22

修回日期: 2025-02-17

基金项目: 粤西特色生物医药工程技术研究中心开放课题(2022-K02)

*第一作者: 蔡红艳(1997—)女, 硕士。研究方向: 大型海藻生物学、分子生物学。E-mail: 2580937198@qq.com

*通信作者: 王锂韞(1973—)女, 教授。研究方向: 海洋中药。E-mail: wangliyun714@gmail.com



①为基部; ②为分枝; B,D 为藻体单株。

① indicates the base; ② indicates the branch; B and D show the single thallus.

图 1 藓状鱼栖苔(A,B)和繖房江蓠(C,D)的藻体外观形态
Fig. 1 Appearance morphology of algae *A. muscoides*(A,B) and *G. coronopifolia*(C,D)

近年来,随着大型海藻的食用价值和药用价值不断被挖掘,养殖开发大型海藻的相关产业规模逐渐扩大^[3,6,10],与此同时,广东省正积极投身于海洋牧场的宏伟建设中,致力于打造“粤海粮仓”,湛江市凭借其得天独厚的地理位置与丰富的海洋资源,成为了这一进程中的关键角色,因此,对大型海藻的需求日益增大。本研究对广东省湛江市的藓状鱼栖苔和繖房江蓠营养成分进行测定,包括基本营养成分、脂肪酸、氨基酸组成和含量及矿物元素。通过对这些营养成分的分析和评价,旨在为藓状鱼栖苔和繖房江蓠的后续开发与利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料预处理 藓状鱼栖苔与繖房江蓠于 2022 年 4 月采于广东省湛江市雷州半岛流沙湾海域(20°26'19"N, 109°57'9"E),采集的新鲜藻体整株低温充氧带回实验室,用灭菌海水清除藻体表层污损物,暂养于藻类培养室。暂养条件:温度 25 ℃,盐度 3‰,光照强度 80 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,光周期 L:D=12 h:12 h(L 为光照时间, D 为黑暗时间),充气培养。

1.2 基本营养成分测定 藓状鱼栖苔与繖房江蓠鲜质量、干质量和水分含量测定参考 Lisete 等^[11]的方法。选取鲜活无腐烂的藻体,用吸收纸吸干藻体表面水分,称量得到藻体鲜质量(FW),再将藻样置于 70 ℃ 热风干燥箱中烘至恒质量,称量干质量(DW)。通过从湿质量减去样品的 DW 来计算藻体的水分含量。根据食品安全国家标准 GB 5009.4—2016 标准第一法^[12]测定灰分含量,具

体为称取海藻后,以小火加热使试样充分炭化至无烟,然后置于马弗炉中,在(550±25) ℃ 灼烧 4 h。冷却至 200 ℃ 左右,取出,放入干燥器中冷却 30 min,重复灼烧至恒质量,计算灰分含量(w/w,以下简称 %);采用食品安全国家标准 GB/T 5009.10—2003 标准^[13]测定粗纤维含量,具体操作为:称取 5 g 干试样捣碎,加 200 mL 煮沸质量分数为 1.25% 的硫酸,微沸 30 min,每隔 5 min 摇动。过滤后,用沸水洗至洗液不呈酸性。再用 200 mL 煮沸质量分数为 1.25% 的氢氧化钾溶液清洗残留物,微沸 30 min 后过滤并洗涤。移入干燥称量的坩埚中,抽滤并用热水、乙醇、乙醚洗涤。最后在 105 ℃ 烘至恒质量;根据食品安全国家标准 GB 5009.5—2016 标准第一法^[14]测定粗蛋白含量,采用凯氏定氮法。具体操作为称取样品,加入浓硫酸和催化剂,在加热条件下使其消化。消化后,加入氢氧化钠溶液进行蒸馏,蒸馏出氨气,并用标准盐酸溶液滴定,计算粗蛋白含量;根据食品安全国家标准 GB 5009.6—2016 标准第二法^[15]测定粗脂肪含量,为索氏提取法,操作步骤包括:称取样品并干燥,放入提取器中,加入无水石油醚进行提取。通过加热使石油醚蒸发,脂肪溶解于溶剂中,然后通过冷凝回流提取一定时间。提取完毕后,蒸去溶剂,称取残留物,即为粗脂肪含量。

1.3 氨基酸组成、含量测定及评价 根据食品安全国家标准 GB 5009.124—2016^[16]、GB/T 15400—2018^[17]测定藓状鱼栖苔与繖房江蓠氨基酸含量。具体步骤为将样品经酸水解后,通过离心分离得到氨基酸溶液,经过适当的衍生化处理,再使用 HPLC 进行分离和检测。通过与标准氨基酸溶液对比,计算样品中各氨基酸的含量。并参照 2007 年联合国粮食及农业组织和世界卫生组织(food and agriculture organization of the United Nations/world health organization, FAO/WHO)人体理想的蛋白质摄入的氨基酸标准评定方式^[18]与全鸡蛋蛋白质氨基酸评定方式^[19],计算藓状鱼栖苔与繖房江蓠的氨基酸评分(amino acids, AAS)、化学评分(chemical score, CS)与必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)^[20-22]。

$a = (\text{样品中某氨基酸含量} / \text{样品中蛋白质含量}) \times 100$,

$$\text{AAS} = \left(\frac{a}{A} \right) \times 100,$$

$$\text{CS} = \left(\frac{a}{S} \right) \times 100,$$

EAAI =

$$\sqrt[n]{\left(\frac{a_1}{S_1} \times 100\right) \times \left(\frac{a_2}{S_2} \times 100\right) \times \left(\frac{a_3}{S_3} \times 100\right) \times \cdots \times \left(\frac{a_n}{S_n} \times 100\right)}$$

式中, a 为待测样品蛋白质中必需氨基酸含量, 单位为 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$; A 为 FAO/WHO 标准评分模式中对应的必需氨基酸含量, 单位为 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$; S 为全鸡蛋蛋白质氨基酸评分模式中对应的氨基酸含量, 单位为 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

1.4 脂肪酸组成及含量的测定 根据食品安全国家标准 GB 5009.168—2016 标准^[23] 测定藓状鱼腥苔和繖房江蕨的脂肪酸含量, 测定脂肪酸含量的方法为气相色谱法(GC), 操作步骤为将样品中的脂肪酸通过转酯化反应转化为脂肪酸甲酯(FAMEs), 然后使用气相色谱仪分离并定量分析。通过与标准物质的对比, 计算出样品中脂肪酸的种类和含量。

1.5 主要元素含量的测定 根据食品安全国家标准 GB 5009.268—2016 第一法^[24] 测定藓状鱼腥苔和繖房江蕨的铁、镉、铜、锌、砷、钠、钙、镁和钾等元素的含量。采用火焰原子吸收光谱法(FAAS), 操作步骤包括: 将样品经湿法消化处理, 使用适当的酸(如硝酸)进行消解。消解后的溶液通过火

焰吸收光谱仪进行元素分析, 定量测定各元素的含量。

1.6 数据处理 使用 Excel 对测定的相关数据进行统计学分析, 结果展示以平行样品的平均值(保留两位小数); 使用 SPSS19.0 对实验数据进行单因素方差分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义, 检验平行样品间的显著水平。

2 结果与分析

2.1 藓状鱼腥苔与繖房江蕨的基本营养成分组成与分析 本研究对湛江市雷州半岛流沙湾海域的藓状鱼腥苔和繖房江蕨的基本营养成分进行了分析, 检测指标包括水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分和粗纤维。结果(表 1)表明, 2 种新鲜藻类样品的水分含量均较高, 其中, 藓状鱼腥苔和繖房江蕨的水分含量分别为 88% 和 93%, 表明其在自然状态下具有较高的保水能力。藓状鱼腥苔的粗蛋白含量为 9.4%, 略高于繖房江蕨的 7.5%。灰分含量的差异较为显著, 藓状鱼腥苔的灰分含量高达 55.07%, 而繖房江蕨的灰分含量为 27.38%。粗脂肪含量方面, 藓状鱼腥苔和繖房江蕨的粗脂肪含量分别为 2.89% 和 1.78%。此外, 藓状鱼腥苔和繖房江蕨的粗纤维含量分别为 5.7% 和 3.57%。

表 1 基本营养成分分析

Tab. 1 Analysis of basic nutrients of algae

种类 Species	水分/% Water/%	粗蛋白质/% Crude protein/%	灰分/% Ash/%	粗脂肪/% Crude fat/%	粗纤维/% Crude fiber/%
藓状鱼腥苔(<i>A. muscoides</i>)	93.10±0.13	9.40±0.02	55.07±0.27	2.89±0.01	5.70±0.05
繖房江蕨(<i>G. coronopifolia</i>)	88.60±0.29	7.50±0.01	27.38±0.21	1.78±0.03	3.57±0.03
石花菜(<i>G. amansii</i>) ^[11]	83.20	23.40	20.69	2.44	18.70
石莼(<i>U. lactuca</i>) ^[11]	90.00	15.66	18.03	1.67	15.50
芋根江蕨(<i>G. blodgettii</i>) ^[25]	12.26	9.75	34.88	0.30	6.18
龙须菜(<i>G. sjoestedtii</i>) ^[26]	5.02	19.24	11.16	0.14	8.23
异枝麒麟菜(<i>E. striatum</i>) ^[26]	22.61	4.08	15.37	0.25	12.69
鱼腥菜(<i>Acanthophora</i> sp.) ^[25]	14.59	13.44	7.16	0.39	12.29

注: 水分为鲜质量百分比, 其余物质为干质量百分比。

Note: Water is the percentage of fresh weight, and the rest is the percentage of dry weight.

2.2 藓状鱼腥苔和繖房江蕨氨基酸的组成与营养学分析 不同海藻中的氨基酸含量与种类存在差异, 采集广东省湛江市雷州半岛流沙湾海域的藓状鱼腥苔与繖房江蕨并测定氨基酸组成及含量

(表 2)。结果显示, 在藓状鱼腥苔和繖房江蕨中检测到的氨基酸种类一致, 均检测出了天门冬氨酸、苏氨酸和丙氨酸等 13 种氨基酸, 其中, 包括 7 种必需氨基酸和 6 种非必需氨基酸(图 2-A, B)。但

表 2 氨基酸组成

Tab. 2 Amino acid composition / g		
氨基酸 Amino acid	100 g 藓状鱼栖苔 (<i>Acanthophora muscoides</i>)	100 g 繖房江蓠 (<i>Gracilaria coronopifolia</i>)
天门冬氨酸 ^Δ Asp	6.09±0.037	2.14±0.022
苏氨酸 [*] Thr	2.46±0.011	1.49±0.000
丝氨酸 ^Δ Ser	2.32±0.001	1.61±0.023
谷氨酸 ^Δ Glu	4.64±0.033	2.62±0.011
甘氨酸 ^Δ Gly	2.17±0.031	1.96±0.002
丙氨酸 ^Δ Ala	2.90±0.020	2.44±0.021
缬氨酸 [*] Val	2.75±0.002	2.50±0.031
异亮氨酸 [*] Ile	1.59±0.001	1.79±0.005
亮氨酸 [*] Leu	2.46±0.020	2.02±0.014
酪氨酸 [*] Tyr	1.16±0.020	1.79±0.003
苯丙氨酸 [*] ^Δ Phe	1.74±0.011	2.20±0.024
赖氨酸 [*] Lys	3.04±0.032	1.67±0.012
精氨酸Arg	1.88±0.012	2.74±0.026
氨基酸总量		
TAA	35.2	26.97
必需氨基酸		
EAA	15.22	13.45
呈味氨基酸		
DAA	19.86	12.98
非必需氨基酸NEAA	20	13.51
DAA/TAA	56.74	48.14
EAA/TAA	43.45	49.88
EAA/NEAA	76.05	99.55

注: *表示必需氨基酸; ^Δ表示呈味氨基酸; EAA表示人体必需氨基酸总量; NEAA表示人体非必需氨基酸总量。
Note: * denotes essential amino acids; ^Δ means flavor amino acids; EAA represents the total amount of essential amino acids in human body; NEAA represents the total amount of non-essential amino acids in human body.

藓状鱼栖苔与繖房江蓠的氨基酸含量差异较大,在藓状鱼栖苔中氨基酸含量最高的是天门冬氨酸,含量为 6.09%,谷氨酸次之,然后依次是赖氨酸、丙氨酸和缬氨酸等,含量最低的是酪氨酸(1.16%)。藓状鱼栖苔的鲜味氨基酸谷氨酸、天门冬氨酸、甜味氨基酸丙氨酸和丝氨酸含量均较靠前且含量相对较高。在繖房江蓠中氨基酸含量最高的是精氨酸,含量为 2.74%,谷氨酸次之,然后依次为缬氨酸、丙氨酸和苯丙氨酸等,含量最低的为

苏氨酸(1.49%)。

如图 2-C 所示,藓状鱼栖苔的氨基酸总量(TAA)、必需氨基酸(EAA)、呈味氨基酸(DAA)与非必需氨基酸(NEAA)含量均高于繖房江蓠。其中,两者的呈味氨基酸种类多样,包括 Asp、Ser、Glu、Gly、Ala 和 Phe,含量丰富,DAA/TAA 分别为 56.74% 与 48.14%,二者差异显著($P<0.05$) (图 2-D),赋予了这 2 种大型海藻独特的浓郁鲜味,使其具备较好的食用口感和风味海藻食品开发潜力。藓状鱼栖苔与繖房江蓠的 EAA/NEAA 分别为 76.05% 与 99.55%,二者差异极显著($P<0.01$),均符合 FAO/WHO 规定的氨基酸模式标准(60% 以上);EAA/TAA 分别为 43.45% 与 49.88%,符合 FAO/WHO 规定的氨基酸模式标准,氨基酸的平衡效果好,是较为优质的蛋白质。

藓状鱼栖苔与繖房江蓠的氨基酸营养价值评分结果见表 3,在藓状鱼栖苔的必需氨基酸评分中亮氨酸的 AAS 与 CS 指数最低,分别为 37.39 与 30.43,其次低的是异亮氨酸,其 AAS 和 CS 指数为 42.29 和 31.32。AAS 与 CS 的结果均表明藓状鱼栖苔第一限制性氨基酸为亮氨酸,第二限制性氨基酸为异亮氨酸,其 AAS 评分范围在 37.39 ~ 65.43,CS 评分范围在 30.43 ~ 55.68,EAAI 指数为 39.15;在繖房江蓠的必需氨基酸评分中亮氨酸的 AAS 与 CS 指数最低,分别为 38.48 与 31.32,其次低的是赖氨酸,其 AAS 和 CS 指数为 40.48 和 31.81。繖房江蓠第一限制性氨基酸为亮氨酸,第二限制性氨基酸为赖氨酸,其 AAS 评分范围为 38.48 ~ 88.67,CS 评分范围为 31.32 ~ 57.20,EAAI 指数为 41.85。AAS 与 CS 的结果显示,除苏氨酸与赖氨酸外,藓状鱼栖苔的其他氨基酸的氨基酸评分与化学评分均低于繖房江蓠。

2.3 藓状鱼栖苔与繖房江蓠的脂肪酸组成分析

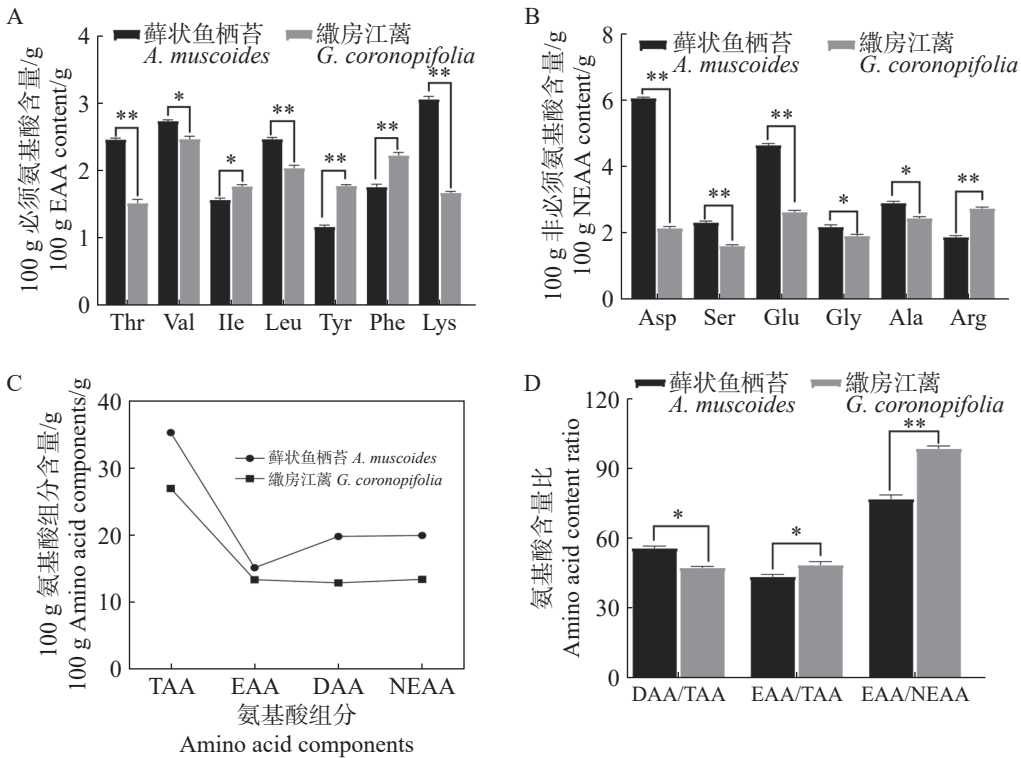
如图 3-A 所示,藓状鱼栖苔主要由棕榈酸、油酸 2 种脂肪酸组成,含量分别为 0.3 %、0.02 %,两种脂肪酸含量差异较大。繖房江蓠主要由棕榈酸、二十三碳酸(又名二十三烷基酸)2 种脂肪酸组成,含量分别为 0.43 %、0.03 %。两种海藻均含有棕榈酸,含量均较高且差异显著($P<0.05$) (图 3-A)。此外,在藓状鱼栖苔与繖房江蓠中均检测到了硬脂酸(<0.006 6)、花生酸(<0.006 6)、二十二碳酸(山嵛酸<0.006 6)、木蜡酸(<0.006 6)与二十二碳

表 3 必需氨基酸组成及氨基酸评分
Tab. 3 Essential amino acid composition and amino acid score

必需氨基酸 Essential amino acids	FAO/WHO 模式 FAO/WHO model	全鸡蛋模式 Whole egg mode	藓状鱼腥苔 (<i>Acanthophora muscoides</i>)			繖房江蕨 (<i>Gracilaria coronopifolia</i>)		
			质量分数	氨基酸评分	化学评分	质量分数	氨基酸评分	化学评分
			Quality Score	AAS	CS	Quality Score	AAS	CS
苏氨酸 Thr	40.00	47.00	26.17	65.43	55.68	19.87	49.67	42.27
缬氨酸 Val	50.00	66.00	29.26	58.51	44.33	33.33	66.67	50.51
异亮氨酸 Ile	40.00	54.00	16.91	42.29 ^b	31.32 ^b	23.87	59.67	44.20
亮氨酸 Leu	70.00	86.00	26.17	37.39 ^a	30.43 ^a	26.93	38.48 ^a	31.32 ^a
苯丙氨酸 Phe+酪氨酸 Tyr	60.00	93.00	30.85	51.42	33.17	53.20	88.67	57.20
赖氨酸 Lys	55.00	70.00	32.34	58.80	46.20	22.27	40.48 ^b	31.81 ^b
必需氨基酸指数 EAAI				39.15			41.85	

注: a为第一限制性氨基酸, b为第二限制性氨基酸。

Note: a is the first limiting amino acid, and b is the second limiting amino acid.



$P < 0.05$ 标记为*, $P < 0.01$ 标记为**, ns 为无差异。
*: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ns: No difference.

图 2 藓状鱼腥苔与繖房江蕨的氨基酸组成

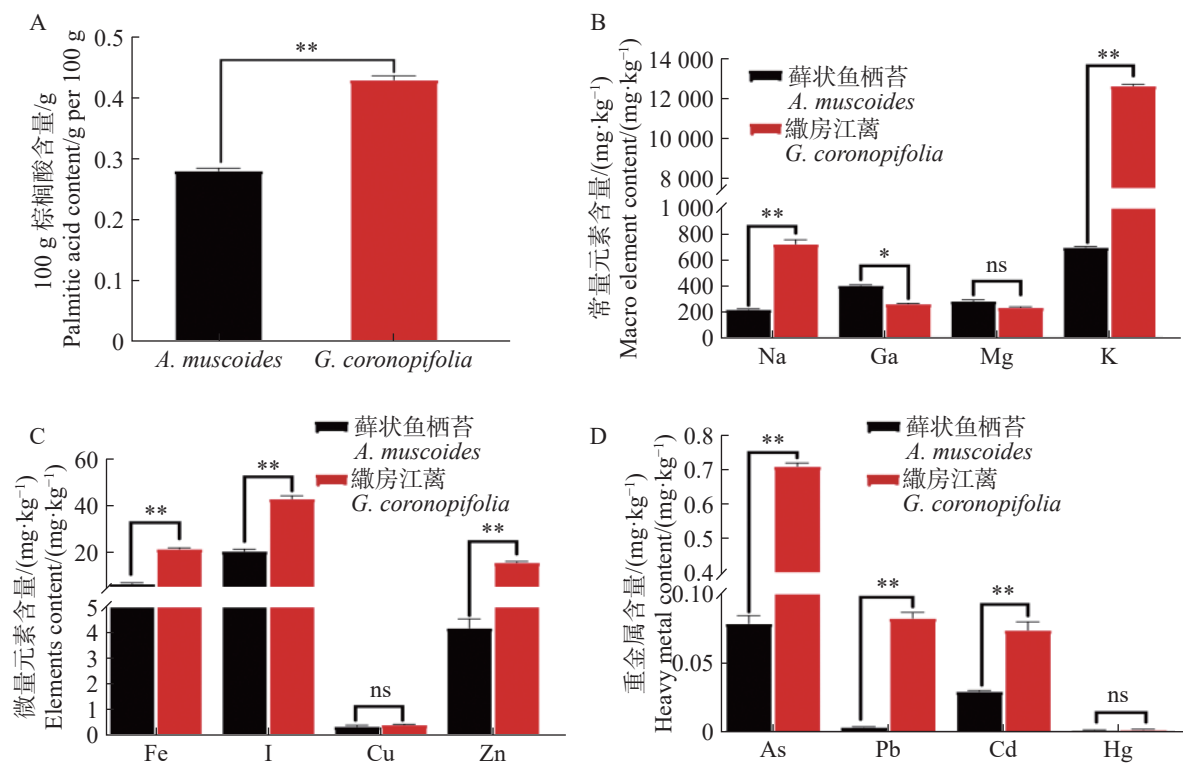
Fig. 2 Amino acid composition of *Acanthophora muscoides* and *Gracilaria coronopifolia*

六烯酸(DHA<0.003 3),但这些脂肪酸的含量低于检测限。

2.4 藓状鱼腥苔与繖房江蕨的无机元素含量分析

从图 3-B 可知,藓状鱼腥苔与繖房江蕨均富含钙、镁、钾和钠等常量元素,其中,繖房江蕨中的钠

元素和钾元素含量显著高于藓状鱼腥苔,且繖房江蕨中的钾元素高达 $1.26 \times 10^4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,钾、钠之比高达 16.7。藓状鱼腥苔与繖房江蕨均含微量元素铁、碘、锌和铜等(图 3-C),繖房江蕨的铁、碘、锌的含量都较高,分别为 21.28、42.94、14.46 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。



A: 藓状鱼栖苔与繖房江蕨的脂肪酸含量; B: 常量元素; C: 微量元素; D: 重金属元素, $P<0.05$ 标记为*, $P<0.01$ 标记为**, ns 为无差异。

A: Fatty acid contents in *A. muscoides* and *G. coronopifolia*; B: constant elements; C: Trace elements; D: Heavy metal elements. *: $P<0.05$; **: $P<0.01$; ns: no difference.

图3 藓状鱼栖苔与繖房江蕨的脂肪酸与主要元素的组成及含量

Fig. 3 Fatty acid composition and major element content of *Acanthophora muscoides* and *Gracilaria coronopifolia*

藓状鱼栖苔与繖房江蕨中的铜含量分别为 0.35 和 0.41 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 显著低于其他微量元素。

藓状鱼栖苔与繖房江蕨的毒性元素含量如图 3-D 所示, 毒性元素砷(As)、镉(Cd)、铅(Pb)、汞(Hg)的含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)分别为藓状鱼栖苔: 0.08、0.03、 <0.05 、 <0.003 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; 繖房江蕨: 0.71、0.08、0.08、 <0.003 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。食品安全国家标准 GB19643—2005《藻类制品卫生标准》规定, 藻类干制品中: As(无机 As) ≤ 1.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Cd ≤ 0.1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Pb ≤ 1.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、Hg ≤ 0.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。结果表明, 湛江市雷州半岛流沙湾海域的藓状鱼栖苔与繖房江蕨中的毒性元素含量均未超标。

3 讨论

藻类的基本营养成分主要包括蛋白质、脂肪、总碳水化合物、粗纤维、水分及灰分等^[27], 藻类的营养成分会因地理位置、物种和生长环境条件等因素的不同而发生变化。将本研究测定的藓状鱼栖苔与繖房江蕨的基本营养成分, 与湛江雷州半岛海域的芋根江蕨(*Gracilaria blodgettii*)^[25]、

龙须菜(*Gracilaria sjoestedtii*)^[26]、异枝麒麟菜(*Eucheuma striatum*)^[26]、鱼栖菜(*Acanthophora* sp.)^[25]及其他海域的石花菜(*Gelidium amansii*)^[11]与石莼(*Ulva lactuca*)^[11]进行营养成分的比较。结果表明, 新鲜藻类样品的水分含量非常高, 测定的藓状鱼栖苔、繖房江蕨、石花菜和石莼的水分含量高达 88%~93%, 和 Bocanegra 等^[28]的结论相符, 即新鲜海藻的水分含量通常在 80.0%~95.0%。藓状鱼栖苔和繖房江蕨的粗蛋白含量分别为 9.4% 和 7.5%, 低于龙须菜的 19.24% 与鱼栖菜的 13.44%, 但与芋根江蕨的 9.75% 和海带(*Laminaria japonica*)的 8.70% 含量^[29]相近, 且均高于异枝麒麟菜的 4.08%。植物性原料的灰分含量与自然环境和成熟度相关^[30], 藓状鱼栖苔的灰分含量高达 55.07%, 而繖房江蕨的灰分(27.38%)与北极礁膜^[31]的灰分含量(25%)相近, 不同海藻的灰分含量差异较大, 这种差异可能是由样品采集地理位置、采集季节及检测方法等不同导致^[32]。在大多数海藻中, 脂肪的含量通常非常低, 范围为 1%~5%^[33], 藓状鱼栖苔繖房江蕨的粗脂肪含量分别为 2.89% 和

1.78%, 这两种大型海藻的粗脂肪含量较低且差异较小, 且粗脂肪含量均高于龙须菜的 0.14% 与鱼栖菜的 0.39%。藓状鱼栖苔和繖房江蓠的粗纤维含量分别为 5.7%、3.57%, 均低于龙须菜(8.23%) 和鱼栖菜(12.29%), 且藓状鱼栖苔的粗纤维含量与芋根江蓠(6.18%)^[25] 相近。据报道, 江蓠属的海藻中 85% 左右为水溶性膳食纤维, 主要为琼脂和黏性多糖等成分, 有利于肠胃蠕动, 减少热能的摄入, 阻止脂肪和胆固醇的吸收^[34]。因此, 繖房江蓠是一种较好的膳食纤维源。

氨基酸是蛋白质的基本组成单位, 是人体组成必不可少的物质。不同海藻中的氨基酸含量与种类存在差异。在营养学领域, 为了准确评估食物中蛋白质的营养价值, 通常采用 FAO/WHO 理想蛋白质模式与全鸡蛋蛋白质氨基酸评分标准模式, 并根据其推荐的理想蛋白质模式, 质量较好的蛋白质氨基酸组成 EAA/TAA 应在 40% 左右, EAA/NEAA 应在 60% 以上^[21,35]。藓状鱼栖苔与繖房江蓠完全满足这一模式的要求(表 2), 且二者的 EAA/TAA 值均要高于菊花心江蓠(*Gracilaria lichevodes*)(35.5%)^[34]、脆江蓠(*Gracilaria chouae*)(40.46%)^[36]、刺枝紫菜(*Pyropia acanthophora*)(37.95%)^[19] 和琼枝麒麟菜(*Eucheuma gelatiniae*)(39.69%)^[21], 表明湛江市雷州半岛流沙湾海域的藓状鱼栖苔与繖房江蓠的氨基酸组成是较为理想的。藓状鱼栖苔和繖房江蓠均含有 13 种氨基酸, 分别包括 7 种必需氨基酸和 6 种非必需氨基酸, 但含量差异较大。藓状鱼栖苔中氨基酸含量最高的是天门冬氨酸, 而繖房江蓠中氨基酸含量最高的是精氨酸, 天门冬氨酸对于缓解肝脏硬化、降低血压以及保护心脏具有显著的疗效^[37]。精氨酸可调节炎症反应、促进脂肪代谢及调节血脂水平^[38]。同时, 藓状鱼栖苔与繖房江蓠的呈味氨基酸种类多样, 包括 Asp、Ser、Glu、Gly、Ala 和 Phe, 含量丰富, 且二者的 DAA/TAA 差异显著, 赋予了这 2 种大型海藻独特的浓郁鲜味, 使其具备较好的食用口感和风味海藻食品开发潜力。蛋白质的氨基酸评分评估了每种必需氨基酸的含量是否满足身体的需求, 分数越接近 100, 表明蛋白质越满足人类的营养需求^[39]。然而, 一部分海藻的氨基酸评分通常较低。如 Dawczynski 等^[40] 测定的海带(*Laminaria sp.*)的氨基酸评分为 31.4, 羊栖菜(*Hizikia fusiforme*)

的氨基酸评分为 40。而藓状鱼栖苔和繖房江蓠的 EAAI 值均低于海洋巨藻(*Macrocystis pyrifera* (L.) Ag.)(49.16)^[41] 和裙带菜(*Undaria pinnatifida* Suringar)孢子叶(60.27)^[42]。因此, 需要通过与其他食物来源搭配, 补充其氨基酸谱以实现平衡的氨基酸营养至关重要。

脂肪酸按饱和程度可分为饱和脂肪酸与不饱和脂肪酸, 其中, 棕榈酸和二十三碳酸为饱和脂肪酸。棕榈酸对维持细胞膜的完整性和功能至关重要, 有研究发现, 适量摄入棕榈酸对降低血清中的胆固醇含量有作用^[43], 但高摄入的饱和脂肪酸可能会导致血液中低密度脂蛋白(LDL)胆固醇水平上升, 增加动脉粥样硬化的可能, 从而导致心血管疾病的发生^[44]。二十三碳酸是一种不常见的饱和脂肪酸, 目前对其研究较少, 可能在特定的生物合成路径中扮演重要角色。油酸是一种常见的单不饱和脂肪酸, 可降低心血管疾病的风险、改善胰岛素敏感性, 有助于糖尿病患者控制血糖水平, 适量摄入油酸还可减少患乳腺癌和结肠癌的风险^[45]。本研究结果显示藓状鱼栖苔和繖房江蓠的饱和脂肪酸均以棕榈酸为主, 但二者含量差异显著, 张秀梅等^[34] 检测菊花心江蓠中的棕榈酸含量为 0.236%, 其含量均低于藓状鱼栖苔与繖房江蓠, 这可能是由于其地理位置、物种和生长环境条件等因素的不同而造成的。此外, 在藓状鱼栖苔与繖房江蓠中均检测到了硬脂酸(<0.006 6)、花生酸(<0.006 6)、二十二碳酸(山嵛酸<0.006 6)、木蜡酸(<0.006 6)与二十二碳六烯酸(DHA<0.003 3), 但这些脂肪酸的浓度低于检测限。这与 Takagi 等^[46] 测定的海带、裙带菜中的脂肪酸结果类似, 即二十二碳六烯酸(C22: 6n-3, DHA)和二十二碳五烯酸(C22: 5n-3)的含量低于检测限(小于总脂肪酸甲酯的 0.1%)。结果表明, 藓状鱼栖苔和繖房江蓠的脂肪酸种类较少, 但其脂肪酸的总含量相对适中, 具有一定的保健价值。

无机元素是生物体正常生理活动的重要组成部分, 如钾、钙、铁和锌等, 藓状鱼栖苔与繖房江蓠均富含钙、镁、钾和钠等常量元素, 尤其是繖房江蓠中的钾元素高达 $1.26 \times 10^4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 钾/钠高达 16.7, 这种高钾低钠的结构对患有高血压、高脂血症的人十分有益^[47]。钙是生物体不可缺少的常量元素之一, 参与机体的多种生理活动与能量代

谢。藓状鱼栖苔与繖房江蓠均含微量元素铁、碘、锌和铜,其中,铁具有促进血红蛋白合成、运输 O_2 和缓解贫血等功能^[48];锌具有促进神经系统发育、提高食欲和增强免疫等功能^[41];碘是甲状腺激素合成的重要元素,对大脑和人体生长发育以及新陈代谢有重要作用^[49];铜是生物体不可缺少的金属元素,对胚胎发育、血红蛋白水平及肝细胞和神经元具有重要的调控作用^[50]。同时,藓状鱼栖苔与繖房江蓠中的铜含量远低于食品安全国家标准 GB15199—94《食品中铜限量卫生标准》要求的限定值($\leq 10.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),也远低于湛江海域的其他藻类如礁膜(*Monostroma nitidum*)^[51]的铜含量 $6.06\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。藻类可以通过主动运输和被动吸收等途径,在藻体内富集海洋中的重金属离子^[52],因此,测定海洋藻类中的毒性元素含量并进行安全评价十分重要。藓状鱼栖苔和繖房江蓠中的毒性元素,包括砷、镉、铅、汞,其含量均符合国家食品安全标准 GB19643—2005《藻类制品卫生标准》对藻类干制品的相关规定。其中,繖房江蓠的总铜虽然高于藓状鱼栖苔,但其砷含量远低于坛紫菜($41.81\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)、蜈蚣藻($19.05\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)和皱紫菜($6.73\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[36,53]。

4 结 论

湛江市雷州半岛流沙湾的海藻种类丰富,藓状鱼栖苔与繖房江蓠为该地较为常见的大型红藻。经测定可知:藓状鱼栖苔与繖房江蓠的水分分别为 93.10%、88.60%,低脂肪分别为 2.89%、1.78%,粗蛋白含量分别为 9.40%、7.50%,脂肪酸种类均为 2 种;藓状鱼栖苔与繖房江蓠的氨基酸种类丰富,均有 13 种氨基酸、模式较为理想,且呈味氨基酸含量丰富,DAA/TAA 分别为 56.74%与 48.14%,第一限制氨基酸均为亮氨酸,第二限制氨基酸分别为异亮氨酸与赖氨酸;富含钙、铁、钠、镁、锌、钾等常量元素,且繖房江蓠所含的钾/钠之比高达 16.7,高钾低钠的结构对患有高血压、高脂血症的人十分有益;藓状鱼栖苔与繖房江蓠中的毒性元素(砷、铅、镉与汞)含量均未超过国家标准的限定值,具有食用安全性,符合食用安全标准。

综上所述,湛江市雷州岛流沙湾海域的藓状鱼栖苔与繖房江蓠均具有高水分、低脂肪、粗蛋白

含量适宜、脂肪酸种类少、富含钙、铁、钠、镁、锌和钾等人体所需的元素、毒性元素(砷、镉、铅、汞)含量极低的特点,且氨基酸种类多样,模式较为理想,营养丰富。

参考文献:

- [1] 谢恩义,申玉春,叶宁,等.流沙湾的底栖大型海藻调查[J].广东海洋大学学报,2009,29(4):30-35.
- [2] 夏邦美.中国海藻志:第二卷红藻门第七册仙菜目[M].北京:科学出版社,2011:4-5.
- [3] 操玉涛,周雷,杨金连,等.藓状鱼栖苔对凡纳滨对虾养殖尾水中氮磷的吸收作用研究[J].当代水产,2023,48(12):78-80.
- [4] DE JONG Y, Hitipeuw C, VAN REINE W P. A taxonomic, phylogenetic and biogeographic study of the genus *Acanthophora* (Rhodomelaceae, Rhodophyceae)[J]. Blumea: Biodiversity, Evolution and Biogeography of Plants, 1999, 44(1999): 217-249.
- [5] 夏邦美,张峻甫.中国海藻志[M].北京:科学出版社,1999:52-53.
- [6] 关灼斌.海藻刺枝鱼栖苔的次生代谢产物研究[D].广州:暨南大学,2020. doi:10.27167/d.cnki.gjinu.2020.001389
- [7] 徐敏凤.即食腌渍江蓠生产工艺及其贮藏特性研究[D].湛江:广东海洋大学,2023. doi:10.27788/d.cnki.ggdhy.2023.000480
- [8] 齐聪,薄志文,梁恩源,等.两种青岛沿岸常见江蓠科物种室内培养过程中附生菌群的组成及其变化分析[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2024,54(9):70-77.
- [9] CRAIGIE J S, WEN Z C. Effects of temperature and tissue age on gel strength and composition of agar from *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyceae)[J]. Canadian Journal of Botany, 1984, 62(8): 1665-1670.
- [10] 丁兰平,孙国栋,黄冰心,等.温度和盐度对刺枝鱼栖苔(*Acanthophora spicifera*)(红藻门,松节藻科)生长及其几种光合色素的影响[J].海洋与湖沼,2013,44(4):913-918.
- [11] LISETTE P, LIMA E, NETO A, et al. Nutritional and functional bioactivity value of selected azorean macroalgae: *Ulva compressa*, *Ulva rigida*, *Gelidium microdon*, and *Pterocladia capillacea*[J]. Journal of Food Science, 2017, 82(7): 1757-1764.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中灰分的测定:GB 5009.4—2016[S].北京:中国标准出版社,2016:8.
- [13] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.植物类食品中粗纤维的测定:GB/T 5009.10—2003[S].北京:中国标准出版社,2003:8.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S].北京:中国标准出版社,2016:12.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016[S].北京:中国标准出版社,2016:12.

- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016:12.
- [17] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 饲料中色氨酸的测定: GB/T 15400—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018:9.
- [18] FAO, WHO. Energy and protein requirements: report of a Joint FAO/WHO ad hoc expert committee, Rome, 22 March-2 April 1971[R]. Geneva: Food and Agriculture Organization, 1973.
- [19] 姚坤志, 黄雪颖, 李峰, 等. 野生刺枝紫菜 (*Pyropia acanthophora*) 的营养成分分析与评价[J]. *食品与发酵工业*, 2024, 50(6): 208—214.
- [20] 杨少玲, 戚勃, 杨贤庆, 等. 中国不同海域养殖坛紫菜营养成分差异分析[J]. *南方水产科学*, 2019, 15(6): 75—80.
- [21] 李继伟, 杨贤庆, 潘创, 等. 琼枝麒麟菜的营养成分分析与评价[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(15): 265—269.
- [22] 刘先进, 陈胜军, 李来好, 等. 四种鲍鱼肌肉营养成分分析与品质评价[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(5): 227—231.
- [23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定: GB 5009.168—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016:12.
- [24] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中多元素的测定: GB 5009.268—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016:12.
- [25] 赵素芬, 孙会强, 梁钧志, 等. 湛江海域 6 种常见经济海藻的营养成分分析[J]. *广东海洋大学学报*, 2009, 29(1): 49—53.
- [26] 江海燕, 吴思超, 岑颖洲. 湛江海域 6 种经济海藻的营养成分分析[J]. *广州化工*, 2011, 39(7): 105—108.
- [27] 赵素芬, 黄紫裕, 邓婷婷. 硇洲岛海区礁膜的营养成分分析与营养评价[J]. *热带生物学报*, 2021, 12(4): 473—480.
- [28] BOCANEGRA A, BASTIDA S, BENEDÍ J, et al. Characteristics and nutritional and cardiovascular-health properties of seaweeds[J]. *Journal of Medicinal Food*, 2009, 12(2): 236—258.
- [29] 金骏, 林美娇. 海藻利用与加工[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 100—107.
- [30] 范莉梅. 食品灰分测定中不可忽视的环节[J]. *中国标准导报*, 2006(6): 23.
- [31] 陶平, 许庆陵, 姚俊刚, 等. 大连沿海 13 种食用海藻的营养组成分析[J]. *辽宁师范大学学报(自然科学版)*, 2001, 24(4): 406—410.
- [32] 李水根. 福建省不同海域坛紫菜营养成分及重金属含量分析[J]. *渔业研究*, 2020, 42(5): 453—462.
- [33] SCHMID M, KRAFT L G K, VAN DER LOOS L M, et al. Southern Australian seaweeds: a promising resource for omega-3 fatty acids[J]. *Food Chemistry*, 2018, 265: 70—77.
- [34] 张秀梅, 孙灵毅, 贺加贝, 等. 菊花心江蕨 (*Gracilaria lichevodes*) 营养成分分析及评价[J]. *河北渔业*, 2020(3): 5—7.
- [35] 王腾, 叶建勇, 朱传坤, 等. 不同种群野生黄鳍肌肉营养成分分析及品质评价[J/OL]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 1—9 [2023-10-18]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/37.1459.N.20231018.1116.002.html>.
- [36] 陈伟洲, 蔡少佳, 刘婕, 等. 养殖海藻皱紫菜和脆江蕨的主要营养成分分析[J]. *营养学报*, 2013, 35(6): 613—615.
- [37] 蔡子豪, 杜晶, 孙彬, 等. 南黄海绿潮藻的分子鉴定及营养价值初探[J]. *浙江农业学报*, 2016, 28(7): 1206—1215.
- [38] 王浩, 崔家杰, 汤文杰, 等. 氨基酸调控猪免疫细胞命运的分子机制研究进展[J]. *中国科学: 生命科学*, 2025, 55(2): 250—266.
- [39] GAUDICHON C. Evolution and significance of amino acid scores for protein quality[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2024, 11: 1437853.
- [40] DAWCZYNSKI C, RAINER S, JAHREIS G. Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products[J]. *Food Chemistry*, 2007, 103(3): 891—899.
- [41] 李红艳, 李晓, 王颖, 等. 三种大型褐藻营养成分分析与评价[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(19): 222—227.
- [42] 李红艳, 王颖, 刘天红, 等. 裙带菜孢子叶营养成分分析及品质评价[J]. *南方农业学报*, 2018, 49(9): 1821—1826.
- [43] 陈银基, 鞠兴荣, 周光宏. 饱和脂肪酸分类与生理功能[J]. *中国油脂*, 2008, 33(3): 35—39.
- [44] 张茜, 王瑞, 于智超, 等. 棕榈酸诱导胰岛 β 细胞功能障碍的分子机制研究进展[J]. *重庆医科大学学报*, 2023, 48(7): 831—839.
- [45] 张伟敏, 钟耕, 王炜. 单不饱和脂肪酸营养及其生理功能研究概况[J]. *粮食与油脂*, 2005(3): 13—15.
- [46] FLEURENCE J, GUTBIER G, MABEAU S, et al. Fatty acids from 11 marine macroalgae of the French Brittany coast[J]. *Journal of Applied Phycology*, 1994, 6(5/6): 527—532.
- [47] 陈俊宇, 王苗苗, 韩飞. ICP-OES 测定乌苏柳花茶中无机元素含量[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(16): 113—114.
- [48] 王浩龙. 铁元素背后的故事[N]. *甘肃科技报*, 2024, 6(14) 8.
- [49] 丁家宁, 马宝良, 欧良杰, 等. 碘营养与相关疾病的研究进展[J]. *中国地方病防治*, 2024, 39(1): 22—25.
- [50] 张萌, 石萌, 刘宝琴. 铜稳态失衡相关疾病及铜死亡的研究进展[J]. *中国医科大学学报*, 2023, 52(12): 1125—1130.
- [51] 崔建军, 陈怡卉, 杨金连, 等. 湛江沿海礁膜属海藻分类学鉴定和典型样品的营养成分[J]. *水产学报*, 2025, 49(3): 039612.
- [52] LI M, YAN W, ZHONG L F, et al. Effect of heavy metals (Cu, Pb, and As) on the ultrastructure of *Sargassum pallidum* in Daya Bay, China[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2014, 186(1): 87—95.
- [53] 白研, 叶子明, 林泽庆, 等. 海藻中总砷及无机砷含量的测定[J]. *食品科学*, 2009, 30(24): 344—346.

Analysis and evaluation of nutritional components of *Acanthophora muscoides* and *Gracilaria coronopifolia*

CAI Hongyan^{2#}, WANG Chen², ZENG Jun², LI Hang², WANG Rundong³,

TAN Huaqiang², WANG Liyun^{1,3*}

(1. Western Guangdong Engineering and Research Center for Characteristic Biology and Medicine, Zhanjiang, Guangdong 52404; 2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhanjiang), Zhanjiang, Guangdong 524002, China; 3. Lingnan Normal University, Zhanjiang, Guangdong 524048, China)

Abstract: Macroalgae, such as *Acanthophora muscoides* and *Gracilaria coronopifolia*, widely distributed in the water of Liusha Bay in the Leizhou Peninsula in Zhanjiang, Guangdong Province. The basic nutritional components of *A. muscoides* and *G. coronopifolia* were analyzed and their nutritional value was assessed in a view to exploring their potential value for development. The results showed that the fresh weight moisture contents of *A. muscoides* and *G. coronopifolia* were 93.10% and 88.60%, respectively. Additionally, *A. muscoides* had crude protein content of 9.4%, crude fat content of 2.89%, ash content of 55.07%, and crude fiber content of 5.7%, while *G. coronopifolia* contained 7.5% of crude protein, 1.78% of crude fat, 27.38% of ash, and 3.57% of crude fiber. In term of amino acid profile, *A. muscoides* and *G. coronopifolia* contained 13 types of amino acids, with a rational composition and high levels of essential and flavor amino acids. The DAA/TAA ratios of the two macroalgae were 56.74% and 48.14%, respectively, meeting the requirements of the FAO/WHO standard pattern. The first limiting amino acid for both species was leucine, while the second limiting amino acids were isoleucine and lysine for *A. muscoides* and *G. coronopifolia*, respectively. Moreover, these macroalgae had valuable minerals, such as calcium, iron, sodium, magnesium, zinc, and potassium, and had low content of heavy metals. All these results showed that *A. muscoides* and *G. coronopifolia* had diverse and patterned amino acids, and vital minerals, making them highly valuable for nutrition and offering broad prospects for development and application. This study provides some reference for further resource development and utilization of *A. muscoides* and *G. coronopifolia*.

Keywords: *Acanthophora muscoides*; *Gracilaria coronopifolia*; nutrients; amino acid; nutritional evaluation

(责任编辑:钟云芳)