

DOI: 10.11964/jfc.20221013778

湛江沿海礁膜属海藻分类学鉴定和典型样品的营养成分

崔建军*, 陈怡卉, 杨金连, 谭广升, 陈春丽, 谢恩义
广东海洋大学水产学院, 广东 湛江 524088

摘要:

【目的】 确定湛江沿海礁膜属海藻的种类及其典型采样点样品营养成分。

【方法】 首先运用形态学与分子学相结合的方法对采集于湛江沿海的礁膜属海藻进行分类学鉴定, 然后参照国标法对典型采样点样品的主要营养成分、氨基酸组成及矿物质含量进行测定, 并进行营养学评价。

【结果】 湛江沿海礁膜属海藻具有相似的形态学特征; 藻体颜色呈绿色、浅绿色, 单层膜状; 藻体平均长度为 9.19~11.12 cm、宽度为 6.85~8.16 cm、厚度为 35.20~38.80 μm , 藻体表面细胞为圆角多边形, 平均长度为 11.14~11.42 μm , 宽度为 7.25~8.48 μm , 主要含有 1 个蛋白核 ($\geq 88\%$)。湛江沿海礁膜属海藻样品的 ITS 序列与来自广西防城港礁膜 (AF415170) 的处于同一分支, 且贝叶斯后验概率、最大似然法自展值和邻接法自展值分别高达 0.99、88% 和 99%。此外, 湛江礁膜属海藻的水分 (16.26%) 含量较高, 灰分 (16.17%)、粗蛋白 (10.50%) 和粗脂肪 (1.37%) 含量适中; 脂肪酸种类多, 包括饱和脂肪酸 (78.57%) 与不饱和脂肪酸 (21.43%); 氨基酸种类齐全, 必需氨基酸 (39.02%) 与呈味氨基酸 (47.93%) 含量丰富, 符合 FAO/WHO 标准模式的要求。

【结论】 湛江沿海礁膜属海藻种类单一, 均为礁膜, 且湛江沿海礁膜营养成分丰富、营养价值高, 具有广阔的食用和药用前景。本研究可为湛江沿岸礁膜属海藻的进一步探究及资源化利用提供基础数据支撑。

关键词: 礁膜; 形态学观察; 分子鉴定; 营养成分分析; 湛江沿海

礁膜属 (*Monostroma*) 隶属于绿藻门 (Chlorophyta) 石莼目 (Ulvales) 礁膜科 (Monostromaceae)^[1]。Algaebase 中记载^[2], 世界上礁膜属海藻有 55 种, 多生长在平静内湾的中、高潮带岩石上或有少量泥沙覆盖的岩礁上。据中国海藻志绿藻门中记载, 我国礁膜属海藻有 5 种, 即长管礁膜 (*M. tubulosa*)、格式礁膜 (*M. grevillei*)、袋礁膜 (*M. angicava*)、北极礁膜 (*M. arcticum*)、礁膜 (*M. nitidum*), 广泛分布于我国大连、浙江、福建、台湾、广东、广西、海南等沿岸^[3-6]。礁膜又称绿紫菜、石菜、蛇被、大本青苔菜、由菜, 个体较大, 体软、质薄、味美、营养丰富; 另外该属种类富含膳食纤维、硫酸多聚糖、不饱和脂肪酸等多种药用活性物质, 有抗凝血、降高血脂、清热、化痰、利水解毒、



通信作者: 崔建军, 从事大型海藻分类鉴定及生态环境修复研究, E-mail: cuijianjun29@163.com



资助项目: 广东海洋大学博士启动费及研究生培养经费 (R19049)

收稿日期: 2022-10-31
修回日期: 2023-03-02

文章编号: 1000-0615(2025)03-039612-13
中图分类号: S 968.4
文献标志码: A

作者声明本文无利益冲突

©《水产学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)
Copyright © Editorial Office of Journal of Fisheries of China (CC BY-NC-ND 4.0)



软坚散疔的功能, 可治疗高黏血症、咽喉炎、咳嗽、水肿等多种疾病^[7-11], 是一种具有较大开发潜力的海洋经济藻类。

礁膜与浒苔、石莼并称为世界三大经济绿藻^[4]。早在 20 世纪 70 年代, 日本、韩国就已经开始了对礁膜栽培的研究^[4]。经过多年发展, 日本和韩国礁膜栽培产业已较完善, 栽培技术处于领先水平。日本礁膜属海藻的产业规模占国内海藻产业中第 4 位, 年产量已超过 3 000 t 干品, 一次加工品年产值折合人民币 6 亿元左右^[4]。在韩国, 礁膜属藻类最高年产量已超过 11 500 t 鲜藻, 产值超过 1 000 万美元^[4]。然而, 我国礁膜属海藻的研究与开发利用刚刚起步, 目前主要栽培种类为宽礁膜 (*M. latissimum*) 和礁膜 2 种, 栽培地区仅限于浙江省和台湾省沿海, 最大栽培面积曾达 33.3 hm², 年产 10 600 t 鲜藻^[4, 6]。湛江位于中国大陆南端, 东濒南海、西临北部湾、南邻琼州海峡, 海岸线总长 2 325.9 km, 大型海藻野生资源丰富。在前期对湛江沿岸礁膜属海藻资源调查中发现, 湛江的硇洲岛和特呈岛海域具有大量野生礁膜属海藻资源, 且藻体生物量呈周年性变化。丰富的野生礁膜属海藻资源为其生物学研究和资源化利用提供了充

足的原材料, 而野生礁膜属海藻的分类学定位是进一步开展其他相关研究的基础。由于海藻形态易受海区环境的影响, 对于仅依据传统的形态学方法鉴定的中国礁膜属海藻, 存在很多争议^[4]。随着分子学手段在海藻分类鉴定中的应用, 有效解决了传统形态学分类法的弊端; 且形态学与分子学相结合的方法在海藻分类中的应用越来越多^[3, 12-14]。因此, 针对湛江沿岸丰富的野生礁膜资源, 本实验首先运用形态学与分子学相结合的方法确定湛江沿岸礁膜属海藻的种类, 然后运用国标法分析湛江沿岸礁膜属海藻的营养成分组成, 为湛江沿岸礁膜属海藻的进一步科学研究及资源化利用提供基础数据支撑。

1 材料与方

1.1 实验材料

研究所用湛江沿海的礁膜属海藻样品分别于 2021 年 3—4 月采自广东湛江特呈岛的红树林 (110°26'20"E, 21°09'13"N)、东村 (110°25'46"E, 21°09'53"N)、硇洲岛的谭北湾 (110°34'36"E, 20°55'47"N)、大浪 (110°36'07"E, 20°56'49"N) (图 1)。采集的新鲜礁膜属海藻样品低温运回实

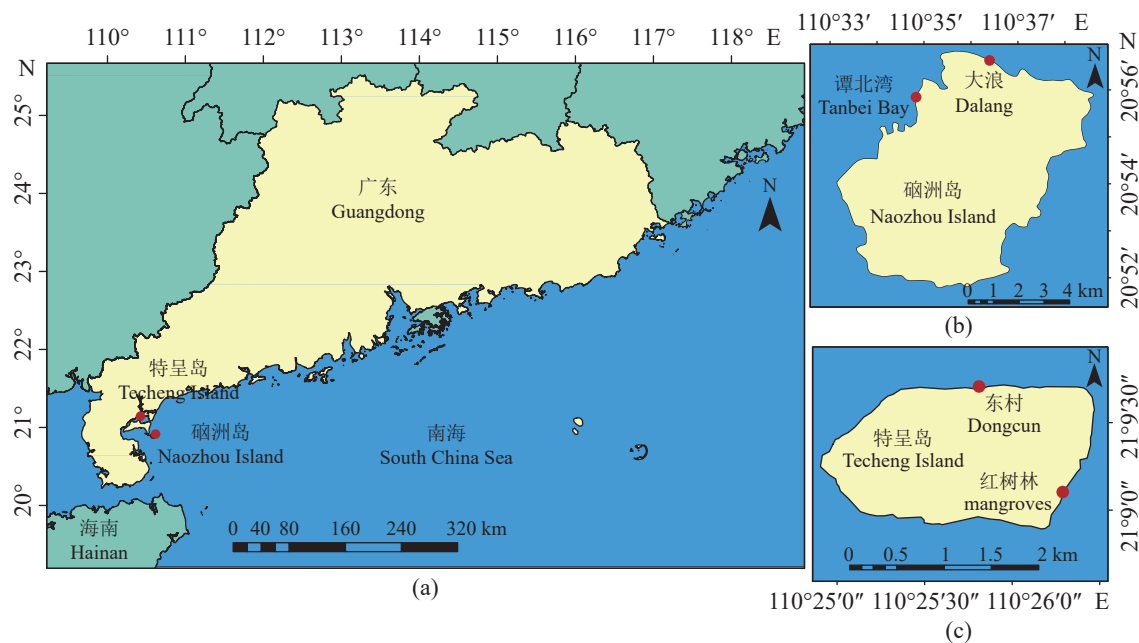


图 1 湛江沿海礁膜属海藻采集地点

(a) 中红点代表特呈岛和硇洲岛, (b) 中红点代表硇洲岛的谭北湾和大浪, (c) 中红点代表特呈岛的东村和红树林。

Fig. 1 *Monostroma* collection station in the Zhanjiang coastal area

(a) the red dots are the geographic locations of Techeng Island and Naozhou Island; (b) the red dots are the geographic locations of Tanbei Bay and Dalang in Naozhou island; (c) the red dots are the geographic locations of Dongcun and the mangrove forest in Techeng island.

实验室, 用灭菌海水去除藻体表面污物后, 暂养于藻类培养室。暂养条件为温度: 20 °C, 海水盐度: 25, 光照强度: 8000 lx, 光周期: 12L : 12D。

1.2 形态学特征观察和 ITS 序列分析

从藻类培养室中随机选取采集自 4 个地点的健康完整样品进行形态学特征观察, 新鲜藻体平铺于白色托盘中, 用刻度尺测量藻体的大小后拍摄藻体宏观照片, 记录藻体的颜色、大小、质感等数据。在显微镜 (Olympus CX33, 日本) 下对藻体表面细胞和横切面 (徒手切片) 进行观察并拍照, 记录细胞的形状、排列及蛋白核的数量。

取上述不同地点的形态学样品约 30 mg 进行 ITS 序列分析 (编号为 HS01、DC01、TB01、DL01)。ITS 序列分析方法参照 Cui 等^[12-13], 样品经超纯水处理后阴干, 置于 1.5 mL 离心管中, 加入少量液氮和小钢珠后经组织研磨机 (JFstgrp-24, 上海) 120 s, 60 Hz 充分研磨; 按照 Ezup 柱式超级植物基因组 DNA 提取试剂盒 (生工生物工程上海股份有限公司) 说明书步骤提取 DNA, 最终洗脱后定容于 TE 溶液 (75 mg/μL), -4 °C 保存备用。将提取到的 DNA 使用引物 ITS1 和 ITS4^[15] 在 94 °C 预变性 5 min, 94 °C 变性 30 s, 55 °C 退火 30 s, 72 °C 延伸 60 s, 35 个循环后, 72 °C 延伸 10 min 程序中进行 PCR 扩增, PCR 扩增产物均由广州金唯智生物公司进行测序。将得到的 4 条序列在 NCBI 中进行 BLAST 功能检索并下载相关物种的序列, 最终共 24 个 ITS 序列用于构建系统发育树。采用最大似然法 (maximum likelihood method, ML)、邻接法 (Neighbor-joining method, NJ) 和贝叶斯法 (Bayesian inference, BI) 构建系统发育树。其中最大似然法和邻接法通过 MEGA v.7.0.21 软件进行计算^[16], 基于 Modeltest 筛选出最佳进化模型, 重复运算 1 000 代; 贝叶斯法通过 MrBayes v.3.1.2 软件进行计算^[17], 基于马尔科夫链蒙特卡罗方法, 运行 1 000 000 代计算, 每 100 代取样 1 次, 舍弃初始 25% 的老化树后统计各分支的后验概率, 样品采集信息见表 1。

1.3 营养成分测定

从藻类暂养室中选取适量的采集于特呈岛东村的藻体用于礁膜属海藻营养成分的测定,

具体包括样品的水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪含量、氨基酸种类及含量、脂肪酸组成及含量、重金属元素含量。每种营养成分的测定均设 3 组平行。其中水分的测定采用恒温干燥法, 参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》; 灰分的测定采用马弗炉灼烧法, 参照 GB 5009.4—2010《食品安全国家标准食品中灰分的测定》; 粗蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝法^[23]; 粗脂肪含量采用索氏提取法^[24]; 氨基酸含量的测定送至中科检测技术服务股份有限公司进行, 参照 GB/T 5009.124—2016《食品安全国家标准食品中氨基酸的测定》, 先盐酸水解, 后用氨基酸自动分析仪测定, 其中色氨酸和胱氨酸按国标 GB/T 18246—2019《饲料中氨基酸的测定》测定; 脂肪酸送至中科检测技术服务股份有限公司检测 (GB 5009.168—2016); 重金属元素送至广东海洋大学分析测试中心测定, 其中 Cu、Pb、As 采用电感耦合等离子体质谱仪测定 (HY/T 147.3—2013/6), Hg 采用原子荧光光谱仪测定 (GB 17378.6—2007/5.1)。

1.4 氨基酸评分 (AAS) 分析

参照 2007 年世界卫生组织^[25] 建议的成人必需氨基酸模式, 按下方公式计算氨基酸评分 (amino acids score, AAS)。

$$\text{AAS} = \frac{\text{待测样品蛋白质中必需氨基酸含量}}{\text{FAO 评分模式中该种必需氨基酸含量}}$$

1.5 数据分析

藻体的形态学数据 (藻体大小、厚度、细胞大小、蛋白核数量) 和所有营养成分数据均采用 Excel Plus 2 010 v. 14.0 和 SPSS v. 21.0 软件处理。藻体形态特征设定 10~25 个平行样品, 营养成分设定 3 个平行样品, 运用生物学统计法对数据进行分析, 分析结果用平均值±标准差表示。

2 结果

2.1 形态学观察

不同采样地点的礁膜属海藻的形态特征极为相似, 具体表现在: 藻体均为单层膜状, 柔软有光泽, 颜色呈绿色、浅绿色, 叶片边缘不规则 (图版-1,4,7,10); 藻体平均长度为 9.19~11.12

表 1 样品采集信息

Tab. 1 Sample information used in this study

分类 kinds	编号 strain code	采集地点 collection locality	采集日期 collection data	NCBI登录号 accession no. of NCBI	采集人/参考资料 reference
礁膜属海藻 <i>Monostroma</i> strains	HS01	湛江市特呈岛红树林	2021-03-02	HS01	本研究
	DC01	湛江市特呈岛东村	2021-03-02	DC01	本研究
	TB01	湛江市硃洲岛谭北湾	2021-04-21	TB01	本研究
	DL01	湛江市硃洲岛大浪	2021-04-21	DL01	本研究
格氏礁膜 <i>M. grevillei</i>	/	爱尔兰多尼戈尔	2009-04	GU062560	[18]
格氏礁膜 <i>M. grevillei</i>	/	辽宁大连营城子	/	AF428050	[19]
格氏礁膜 <i>M. grevillei</i>	/	辽宁大连	/	AF428051	[19]
礁膜 <i>M. nitidum</i>	/	广西防城港白龙尾	/	AF415170	[19]
北极礁膜 <i>M. arcticum</i>	/	辽宁大连石庙	/	AF415171	[19]
袋礁膜 <i>M. angicava</i>	/	/	/	AF415173	[19]
<i>Gayralia oxysperma</i>	/	巴西南部海岸	/	KC143758	[20]
<i>Gayralia oxysperma</i>	/	巴西南部海岸	/	KC143759	[20]
<i>Gayralia oxysperma</i>	/	巴西南部海岸	/	KC143760	[20]
<i>Gayralia brasiliensis</i>	/	巴西南部海岸	/	KC143761	[20]
<i>Gayralia brasiliensis</i>	/	巴西南部海岸	/	KC143762	[20]
<i>Gayralia brasiliensis</i>	/	巴西南部海岸	/	KC143766	[20]
<i>Gayralia brasiliensis</i>	/	巴西南部海岸	/	KC143768	[20]
<i>Gayralia brasiliensis</i>	/	巴西南部海岸	/	KC143770	[20]
<i>Gayralia oxysperma</i>	/	/	/	AY016306	[20]
礁膜 <i>M. nitidum</i>	/	/	/	AY026917	[20]
格氏礁膜 <i>M. grevillei</i>	/	/	/	AF499456	[21]
格氏礁膜 <i>M. grevillei</i>	/	/	/	AF499457	[21]
格氏礁膜 <i>M. grevillei</i>	/	爱尔兰多尼戈尔	2009-04	GU062560	[18]
浒苔 <i>U. prolifera</i>	/	日本	/	AB298316	[22]
<i>U. meridionalis</i>	/	日本	/	AB298457	[22]

注：“/”表示未记录。

Notes: “/” indicates no data in the literature.

cm、宽度为 6.85~8.16 cm、厚度为 35.20~38.80 μm ，藻体细胞平均长度为 11.14~11.42 μm ，宽度为 7.25~8.48 μm (图版, 图 2, 表 2); 藻体表面细胞多为多边形、圆角、不规则排列, 主要含有 1 个 ($\geq 88\%$) 蛋白核, 少量 2 个 ($\leq 8\%$) 或 3 个 ($\leq 4\%$) 蛋白核 (图版-2,5,8,11, 表 2)。

2.2 ITS 序列分析

将 4 个采样位点礁膜属海藻的 ITS 序列与 18 个 NCBI 上已发表的礁膜属海藻的 ITS 序列以及 2 个外类群的 ITS 序列进行比对分析, 基于最大似然法、邻接法和贝叶斯法构建 ITS 序列系统发育树 (图 3)。结果显示, 湛江特呈岛礁膜属海藻样品 (HS01 和 DC01)、硃洲岛礁膜属海藻样品 (DL01 和 TB01) 与来自中国广西防城

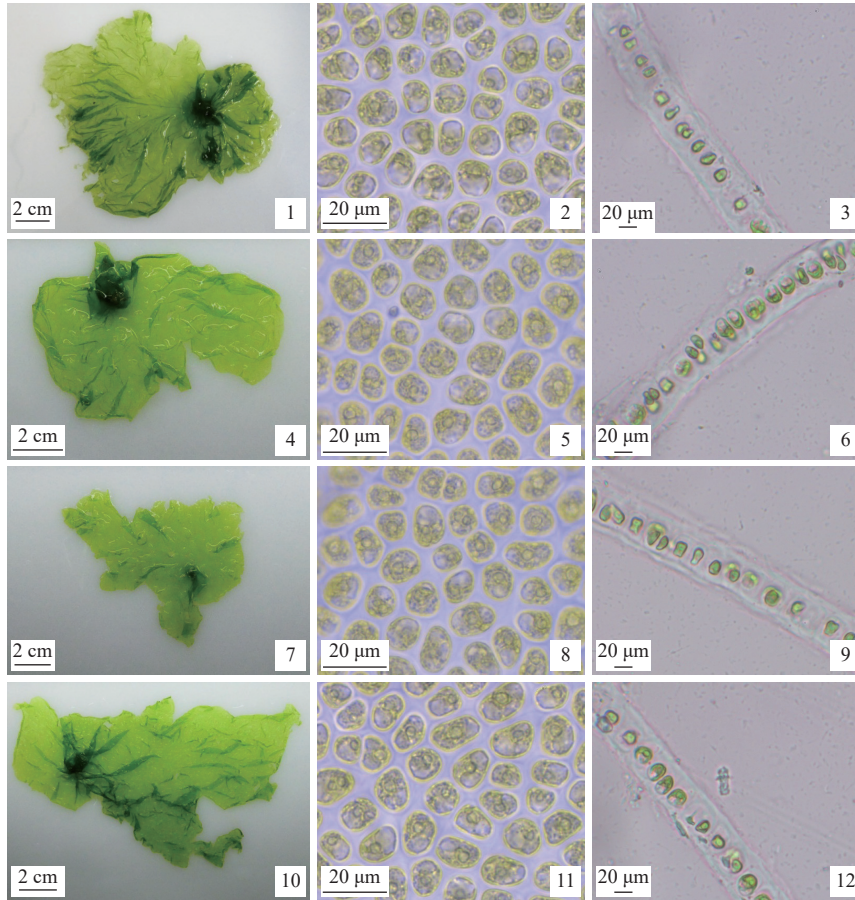
港的礁膜 (AF415170) 在同一个分支上, 且贝叶斯后验概率、最大似然法自展值和邻接法自展值分别高达 0.99、88% 和 99%。

2.3 湛江沿海礁膜的基本营养成分

对采集于湛江特呈岛东村样品 (DC01) 的粗蛋白质、灰分、水分和粗脂肪进行分析, 与石莼、浒苔等大型海藻相比, 湛江礁膜的水分 (16.26%) 含量较高, 灰分 (16.17%)、粗蛋白质 (10.50%) 和粗脂肪 (1.37%) 含量适中 (表 3)。

2.4 湛江沿海礁膜氨基酸组成、含量及营养学

用采集于湛江特呈岛东村的礁膜进行氨基酸组成及含量的测定 (表 4)。结果显示, 湛江沿海礁膜主要由 18 种氨基酸组成, 包括 8 种必需氨基酸和 10 种非必需氨基酸, 必需氨基酸与非



图版 湛江沿海礁膜属海藻形态学观察

1~3. 硃洲岛大浪样品, 4~6. 硃洲岛谭北湾样品, 7~9. 特呈岛红树林样品, 10~12. 特呈岛东村样品。1, 4, 7, 10 为野外藻体样品; 2, 5, 8, 11 为藻体细胞表面观; 3, 6, 9, 12 为藻体横切面。

Plate Morphological observation of the Zhanjiang coastal *Monostroma* strains

1~3. Dalang of Naozhou island sample; 4~6. Tanbei Bay of Naozhou island sample; 7~9. mangrove forest of Techeng island sample; 10~12. Dongchun of Techeng island sample. 1, 4, 7, 10. thallus of *Monostroma* strains; 2, 5, 8, 11. surface view of the thallus; 3, 6, 9, 12. transection of the thallus.

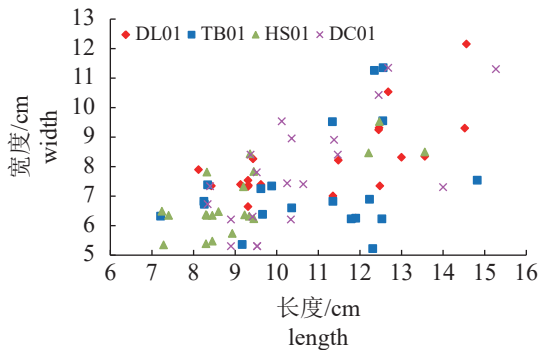


图 2 湛江沿海礁膜属海藻藻体大小

DC01、HS01、TB01、DL01 分别代表采集于东村、红树林、谭北湾和大浪的礁膜属海藻样品, 下同。

Fig. 2 Thallus size of the Zhanjiang coastal *Monostroma* strains

DC01, HS01, TB01, DL01 represent the *Monostroma* strains samples from Dongcun, the mangrove forest, Tanbei Bay, Dalang respectively, the same below.

必需氨基酸 (NEAA) 之比为 64.00%, 符合 FAO/WHO 要求的 60% 以上。非必需氨基酸中谷氨酸 (Glu)、天冬氨酸 (Asp)、亮氨酸 (Leu)、丙氨酸 (Ala) 等含量较高, 其中谷氨酸和天冬氨酸的含量占总氨基酸的 23.45%, 是非必需氨基酸中重要组成成分。呈味氨基酸种类多样, 包含谷氨酸、天冬氨酸、苯丙氨酸、丙氨酸、甘氨酸和酪氨酸; 含量丰富, 呈味氨基酸占总氨基酸 (TAA) 的 47.93%。主要限制氨基酸为色氨酸和蛋氨酸+胱氨酸 (表 5)。礁膜样品的第一限制氨基酸为色氨酸, 第二限制氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸, 氨基酸评分为 68.86。

2.5 湛江沿海礁膜脂肪酸组成成分分析

湛江沿海礁膜主要有 6 种脂肪酸组成, 包括 3 种饱和脂肪酸和 3 种不饱和脂肪酸。饱和

表 2 湛江沿海礁膜属海藻的形态学特征

Tab. 2 Thallus morphology of the Zhanjiang coastal *Monostroma* strains

样品名称 sample name	藻体形态 thallus morphology					
	蛋白核数量百分比/% percentage of cells with 1 to 3 pyrenoids ¹⁾			藻体厚度/ μm thallus thickness ²⁾	藻体大小(长 \times 宽)/cm thallus size (length \times width) ³⁾	细胞大小(长 \times 宽)/ μm cell size (length \times width) ⁴⁾
	1	2	3			
DL01	96	4		35.20 \pm 2.80	11.12 \pm 2.05, 8.16 \pm 1.40	11.14 \pm 1.24, 7.25 \pm 1.02
TB01	92	8		38.80 \pm 1.70	10.82 \pm 1.96, 7.35 \pm 1.73	11.38 \pm 2.41, 8.48 \pm 1.53
HS01	92	8		37.60 \pm 2.50	9.19 \pm 1.69, 6.85 \pm 1.19	11.42 \pm 2.12, 8.34 \pm 1.29
DC01	88	8	4	38.30 \pm 2.10	10.54 \pm 1.85, 7.79 \pm 1.86	11.16 \pm 1.39, 7.72 \pm 0.84

注: 1)观察细胞数量为25个; 2)测量细胞数量为10个, 平均值 \pm 标准差表示; 3)测量藻体数量为20株, 平均值 \pm 标准差表示; 4)测量细胞数量为20个, 平均值 \pm 标准差表示。

Notes: 1) number of observed cells = 25; 2) number of measured cells = 10, $\bar{X} \pm \text{SD}$; 3) number of measured thalli = 20, $\bar{X} \pm \text{SD}$; 4) number of measured cells = 20, $\bar{X} \pm \text{SD}$.

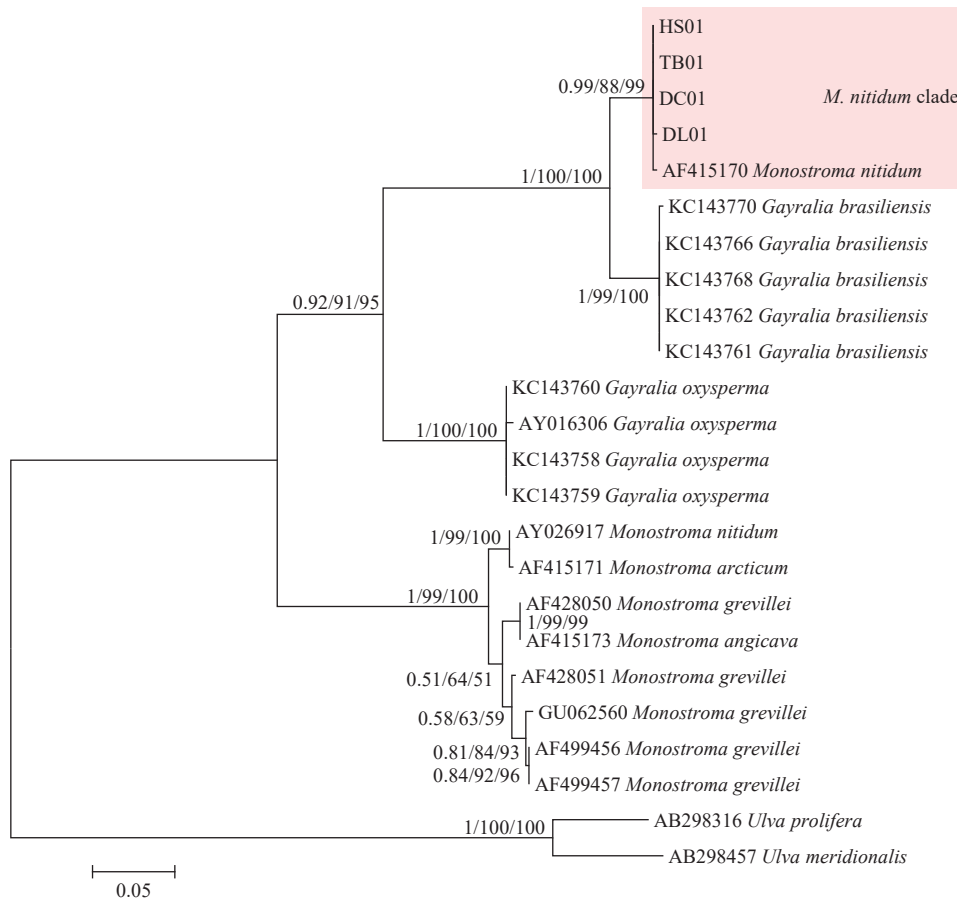


图 3 基于湛江沿海礁膜属样品和基因库中的 ITS 序列构建的 ML 系统发育树

分支上的数字分别代表贝叶斯后验概率(左侧)、最大似然法自展值(中间)和邻接法自展值(右侧)。仅标注大于 0.5 的贝叶斯后验概率和大于 50% 的自展值。

Fig. 3 Maximum likelihood (ML) tree constructed from the analysis based on the ITS sequences of *Monostroma* strains collected from Zhanjiang coast and those downloaded from GenBank

The numbers on the branches indicate Bayesian inference posterior probabilities (left), bootstrap values from ML (middle) and NJ (right). Bayesian inference posterior probabilities (>0.50) and Bootstrap values (>50%) are indicated.

表 3 湛江沿海礁膜及其他海藻的主要营养成分含量 (g/100 g)

种类 Species	粗蛋白 crude protein	灰分 ash	水分 moisture	粗脂肪 crude lipid
DC01	10.50±0.75	16.17±0.03	16.26±0.62	1.37±0.62
宽礁膜 <i>M. latissimum</i> ^[7]	23.13	14.62	11.86	2.64
北极礁膜 <i>M. arcticum</i> ^[26]	12.60	25.00	/	0.77
孔石莼 <i>U. pertusa</i> ^[26]	19.30	33.00	/	1.40
石莼 <i>U. lactuca</i> ^[27]	15.15	35.10	/	1.18
缘管浒苔 <i>U. linza</i> ^[28]	12.79	31.52	7.85	3.20
条浒苔 <i>U. clathrata</i> ^[29]	26.13±0.91	13.51±0.31	9.17±0.10	2.61±0.91
硃洲马尾藻 <i>Sargassum naozhouense</i> ^[30]	13.95	41.79	/	2.40
硃洲礁膜 <i>M. nitidum</i> ^[31]	9.29±0.09	35.09±0.04	9.98±0.15	1.82±0.20
芋根江蓠 <i>Gracilaria blodgettii</i> ^[32]	9.75	34.88	12.26	0.30
盾叶蕨藻 <i>Caulerpa peltata</i> ^[33]	11.88	9.32	14.84	0.34
杉叶蕨藻 <i>C. taxifolia</i> ^[33]	11.63	5.36	12.87	0.98
海带 <i>Laminaria japonica</i> ^[34]	8.70	20.00	/	0.20
紫菜 <i>Pyropia</i> ^[34]	43.60	7.80	/	2.10

注：“/”表示未测定。

Notes: “/” indicates no data in the literature.

表 4 湛江沿海礁膜的氨基酸组成

氨基酸 amino acid	含量(g/100 g) content	百分数/% percentage
色氨酸 Trp ¹⁾	0.05±0.00	0.53
天冬氨酸 Asp ²⁾	1.04±0.08	11.05
苏氨酸 Thr ¹⁾	0.51±0.04	5.40
丝氨酸 Ser	0.53±0.04	5.59
谷氨酸 Glu ²⁾	1.17±0.08	12.40
甘氨酸 Gly ²⁾	0.60±0.04	6.35
丙氨酸 Ala ²⁾	0.71±0.06	7.53
缬氨酸 Val ¹⁾	0.56±0.04	5.90
蛋氨酸 Met ¹⁾	0.22±0.01	2.32
异亮氨酸 Ile ¹⁾	0.40±0.03	4.29
亮氨酸 Leu ¹⁾	0.84±0.05	8.95
酪氨酸 Tyr ²⁾	0.42±0.02	4.48
苯丙氨酸 Phe ^{1, 2)}	0.58±0.04	6.13
赖氨酸 Lys ¹⁾	0.52±0.04	5.55
组氨酸 His	0.17±0.01	1.85
精氨酸 Arg	0.56±0.05	5.97
脯氨酸 Pro	0.51±0.02	5.38
胱氨酸 Cys	0.03±0.00	0.35
总氨基酸 TAA	9.43	
必需氨基酸 EAA	3.68	
必需氨基酸/总氨基酸 EAA/TAA		39.02
必需氨基酸/非必需氨基酸 EAA/NEAA		64.00
呈味氨基酸/总氨基酸 DAA/TAA		47.93

注: 1)为必需氨基酸; 2)为呈味氨基酸。

Notes: 1) essential amino acids; 2) flavor amino acids.

表 5 湛江沿海礁膜的必需氨基酸组成及氨基酸评分

氨基酸 amino acid	DC01	FAO
异亮氨酸 Ile	38.10	40
亮氨酸 Leu	80.00	70
赖氨酸 Lys	49.52	55
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	24.10	35
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	95.24	60
酪氨酸 Tyr	48.57	40
缬氨酸 Val	53.33	50
色氨酸 Trp	4.76	60
评分 Score	7.93/68.86 ¹⁾	100
限制氨基酸 limited amino acid	TRP/MET+CYC ²⁾	

注: 1)第一限制氨基酸评分/第二限制氨基酸评分; 2)第一限制氨基酸/第二限制氨基酸。

Notes: 1) the first limited amino acid score/the second limited amino acid score; 2) the first limited amino acid/the second limited amino acid.

脂肪酸含量较高(78.57%), 其中棕榈酸(47.62%)为主要的饱和脂肪酸, 其次是硬脂酸(21.43%)。不饱和脂肪酸含量低(21.43%), 由亚油酸(4.76%)、亚麻酸(7.14%)和芥酸(9.52%)组成(表 6)。

2.6 湛江沿海礁膜重金属含量分析

对采集自湛江沿海礁膜进行了 4 种重金属元素(Hg、Cu、Pb、As)含量的检测, 与石莼、浒苔等大型海藻相比, 湛江礁膜的汞(0.06

表 6 湛江沿海礁膜的脂肪酸组成

Tab. 6 Content of fatty acids in Zhanjiang coastal *M. nitidum*

脂肪酸 fatty acid	含量/(g/100 g) content	百分数/% percentage
酪酸 butyric acid	0.04±0.001	9.52
棕榈酸 palmitic acid	0.20±0.013	47.62
硬脂酸 stearic acid	0.09±0.003	21.43
亚油酸 linoleic acid	0.02±0.001	4.76
亚麻酸 linolenic acid	0.03±0.001	7.14
芥酸 erucic acid	0.04±0.000	9.52
饱和脂肪酸 saturated fatty acid	0.33	78.57
不饱和脂肪酸 unsaturated fatty acid	0.09	21.43

mg/kg)、铜 (6.06 mg/kg) 含量较低, 铅 (1.57 mg/kg)、砷 (2.21 mg/kg) 含量居中 (表 7)。

表 7 湛江沿海礁膜和其他海藻的重金属含量

Tab. 7 The heavy metals contents in Zhanjiang coastal *M. nitidum* and some other seaweeds mg/kg

种类 species	汞 Hg	铜 Cu	铅 Pb	砷 As
DC01	0.06±0.01	6.06±0.35	1.57±0.08	2.21±0.12
礁膜 <i>Monostroma nitidum</i> ^[11]	1.07	9.04	2.49	1.61
宽礁膜 <i>Monostroma latissimum</i> ^[7]	/	66.00	12.00	7.80
北极礁膜 <i>Monostroma arcticum</i> ^[26]	/	13.10	/	/
长石莼 <i>Ulva linza</i> ^[34]	1.01	10.23	2.01	6.28
孔石莼 <i>Ulva pertusa</i> ^[26]	/	18.37	/	/
石莼 <i>Ulva lactuca</i> ^[27]	/	10.10	/	/
缘管浒苔 <i>Ulva linza</i> ^[28]	/	19.96	0.62	0.40
硃礁膜 <i>Monostroma nitidum</i> ^[31]	/	5.07	1.19	4.61
紫菜 <i>Pyropia</i> ^[34]	/	38.72	1.14	23.54
海带 <i>Laminaria japonica</i> ^[34]	/	37.23	1.36	11.68
肠浒苔 <i>Ulva intestinalis</i> ^[35]	0.74	7.51	3.61	5.11
条浒苔 <i>Ulva clathrata</i> ^[35]	1.80	18.77	5.57	4.82
海水 seawater	未检出 not detection	2.08	0.09	2.90

注: “/”表示文献未测定。

Notes: “/” indicates no data in the literature.

3 讨论

3.1 礁膜属海藻的分类鉴定

礁膜属海藻个体较大, 体软、质薄、味美, 营养丰富, 被广泛应用于食品、药品、化妆品和饲料等领域^[4,7]。准确的分类鉴定是藻类进一步研究的基础。然而仅依据传统的形态学方法进行礁膜属海藻的分类鉴定存在很多争议。例如苏乔^[19]把形态相似的格氏礁膜与袋礁膜归为一个物种, 统一命名为格氏礁膜。这一观点也被沈颂东等^[36]支持。曾呈奎等^[37]在报道中指出袋礁膜和北极礁膜为同物异名, Bliding^[38]也发现为袋礁膜和北极礁膜在形态和生境上很难区分。与传统的形态学方法相比, 利用形态学观察与分子生物学方法相结合进行分类鉴定使结果更准确。通过对上述物种袋礁膜和北极礁膜的 5.8s rRNA 基因序列及系统发育分析, 沈颂东等^[36]认为袋礁膜和北极礁膜是 2 个不同物种。相同的分类鉴定方法也被广泛应用绿藻种类的鉴定^[3,12-15]。本研究形态学数据与何培明等^[4]和 Cui 等^[12]描述一致, 初步判断为礁膜。ITS 序列系统发育树进一步揭示, 湛江沿岸礁膜属海藻与来自中国广西防城港礁膜 (AF415170) 处于同一个分支上, 且贝叶斯后验概率、最大似然法自展值和邻接法自展值分别高达 0.99、88% 和 99%(图 3)。因此, 综合形态学和分子学数据, 本研究将湛江沿岸的礁膜属海藻样品 (DL01、TB01、HS01、DC01) 鉴定为礁膜。

3.2 基本营养成分含量评价

粗蛋白、脂肪、总糖、粗纤维、水分和灰分是藻类的基本营养成分^[7,31]。本研究检测了湛江沿岸礁膜的粗蛋白、水分、灰分和粗脂肪 4 种基本营养成分, 结果发现礁膜藻体的基本营养成分含量与采样区域有显著关联。不同海区藻类的基本营养成分含量差异较大, 例如南海湛江近岸的礁膜粗蛋白质和粗脂肪含量整体较东海浙江玉环的宽礁膜^[7]低; 黄海青岛近岸的石莼粗蛋白质含量比南海湛江的高、但灰分比南海湛江的低^[27], 青岛近岸的缘管浒苔粗蛋白质含量低于东海宁波和福建海域其他品种的浒苔, 但多糖含量远高于东海福建海域浒苔^[28]。同海区藻类的基本营养成分含量差异较小, 例如赵素芬等^[31]研究指出南海湛江近岸礁膜各基本营养成分含量: 粗蛋白为 5.10%~9.29%、灰

分为 28.68%~40.69%、水分为 89.90%~11.11%、粗脂肪为 1.28%~1.43%，与本研究检测的数据相近。并且湛江礁膜的粗蛋白质含量不仅比可食用海带的粗蛋白质含量高(表 3)，同时也高于多数陆地蔬菜^[39]。因此，礁膜可作为一种较好的食物蛋白源供人类食用。

3.3 氨基酸组成、含量及营养学评价

根据 FAO/WHO 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 0.6 以上^[25]。而湛江沿海礁膜完全满足这一模式的要求(表 4)，说明湛江礁膜的氨基酸组成是比较理想的。湛江沿海礁膜中含有 18 种氨基酸，包括人体必需的 8 种必需氨基酸和 6 种呈味氨基酸。必需氨基酸中含量最高的是谷氨酸，其次是天冬氨酸。谷氨酸对保护肝脏、治疗胃病、调节神经衰弱具有良好功效^[40]，同时可作为良好的海鲜调味品和绿藻海鲜食品添加剂^[41]；天冬氨酸对肝炎、肝硬化、肝性昏迷、降低血压、保护心脏具有良好疗效^[41-42]。呈味氨基酸(DAA)含量是分析海藻价值的一个重要参考指标。湛江沿海礁膜中含有谷氨酸、天冬氨酸、苯丙氨酸、丙氨酸、甘氨酸和酪氨酸这 6 种呈味氨基酸，占氨基酸总量(DAA/TAA)的 47.93%。因此，湛江沿海礁膜是用于制作风味调味料、风味食品的最佳原料之一。

3.4 脂肪酸组成分析及评价

饱和脂肪酸一般被认为是“坏”的脂肪酸，人体摄入过多的饱和脂肪酸易导致心血管疾病的发生。但是并不是所有的饱和脂肪酸对人体都是有害的，例如棕榈酸、硬脂酸及酪酸。研究表明，棕榈酸能降低血清中胆固醇的含量，并且是东京枫杨(*Pterocarya tonkinesis*)的抗肿瘤活性成分之一^[43-46]。膳食中硬脂酸通过降低肠道胆固醇吸收从而降低血清和肝脏中胆固醇含量。有研究表明，健康的男性每天摄取 19 g 硬脂酸，4 周后和摄食棕榈酸相比血栓和动脉硬化发病概率明显降低^[47]。酪酸又叫丁酸，具有提供能量的作用，同时能够调节免疫应答和炎症反应，具有抑制肿瘤生长，促进细胞分化和凋亡的作用^[48]。本研究揭示了湛江沿海礁膜饱和脂肪酸以棕榈酸为主，高达 47.62%，其次

是硬脂酸(21.43%)，酪酸的含量最少，占干重质量的 9.52%(表 6)。因此，虽然湛江沿海礁膜饱和脂肪酸含量较高，但是合理食用不仅不会导致心血管疾病的发生还能降低血清中胆固醇含量、降低血栓发生概率和抑制肿瘤生长。

不饱和脂肪酸(PUFA)是人体所必需的脂肪酸，具有提高脑细胞活性、使胆固醇酯化、降低血中胆固醇和甘油三酯、降低血液黏稠度以及改善血液微循环等生理保健功能；而多不饱和脂肪酸更是能保持细胞膜的相对流动性、促进生长发育、治疗和预防心脑血管疾病以及调节人体的脂质代谢^[41]。湛江沿海礁膜中不饱和脂肪酸占总脂肪酸的 21.43%，其中亚麻酸、亚油酸和芥酸含量分别为 7.14%、4.76% 和 9.52%(表 6)。研究表明，亚麻酸是必需脂肪酸(EFA)中的一种，对维护人体健康有重要作用，例如预防心脑血管疾病、抗癌、抗衰老、调节人体的免疫系统功能、抗抑郁等功能^[49]，可以起到降血压、降血脂的作用；同时还是合成 EPA、DHA 及前列腺素的前体物质^[50]；另外，亚油酸在降低胆固醇方面有重要的作用^[51]，虽然芥酸对人体有害，但少量时身体可溶解消化。因此，湛江沿海礁膜具有较高的营养保健价值和药用价值，具备广阔的开发利用潜力。

3.5 重金属含量评价

重金属(如 As、Pb、Cd、Hg 等)对人体存在致癌、扰乱正常代谢活动等危害，通常被归类为人体非必需元素^[48]。本研究检测了湛江沿海礁膜中以上 4 种有害重金属的含量，与礁膜栖息地的海水重金属相比，礁膜藻体中重金属含量相对较高(表 7)。这与海藻细胞的构成有关，有研究表明由于海藻细胞壁主要由肽聚糖、磷脂和蛋白质组成，具有黏性，带负电荷，易从周围环境中富集各种离子，致使海水中的重金属在海藻体内富集^[52]。根据 GB 2762—2017《食品中污染物限量》、GB 15199—94《食品中铜限量卫生标准》、NY/T 1709—2011《绿色食品藻类及其制品》的规定，藻类及其制品中对毒性元素铅(Pb)、砷(As)、甲基汞(Hg)、铜(Cu)的限量分别为 $Pb \leq 1.00 \text{ mg/kg}$ 、 $As \leq 0.50 \text{ mg/kg}$ 、 $Hg \leq 0.50 \text{ mg/kg}$ 、 $Cu \leq 10.00 \text{ mg/kg}$ 。本研究的湛江沿海礁膜中 Hg、Cu 含量均未超标，Pb 含量与日常食用海藻中的海带(1.36 mg/kg)

和紫菜 (1.14 mg/kg) Pb 含量相近 (表 7), As 含量与中国大多数经济海藻一样, 存在不同程度的超标。砷的毒性与其存在形态相关, 其中无机砷 (As^{III} 和 As^V) 的毒性最强, 有机形态的一甲基砷酸 (MMA) 和二甲基砷酸 (DMA) 等毒性较低。海洋生物体内存在的砷甜菜碱 (AsB)、砷胆碱 (AsC) 和砷糖被认为是无毒的^[53-57]。根据黄东仁^[58] 研究表明福建省紫菜总砷含量为 12.20~50.40 mg/kg, 远高于本研究中湛江沿海礁膜的含量, 而紫菜中未检出有毒性的无机三价砷, 检出的有微毒的五价砷含量仅为 0.06~0.79 $\mu\text{g/g}$, 具有食用安全性。因此, 湛江沿海礁膜的砷含量也符合国家食用安全的要求。综上所述湛江沿海礁膜是符合食用安全要求的海藻。

4 结论

湛江沿海礁膜属海藻种类单一, 均为礁膜。礁膜是一种高水分、低脂肪、粗蛋白质含量适中、脂肪酸含量丰富和重金属含量较低的大型经济绿藻, 氨基酸种类齐全、模式理想, 海藻鲜味浓郁, 营养丰富, 具备巨大的食品及药用开发价值和广阔的应用前景。

参考文献 (References):

[1] 谢恩义, 马家海. 宽礁膜的人工育苗及栽培 [J]. 湛江海洋大学学报, 2006, 26(6): 17-20.
Xie E Y, Ma J H. Artificial seeding and cultivation of *Monostroma latissimum*[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University, 2006, 26(6): 17-20 (in Chinese).

[2] Guiry M D, Guiry G M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway[EB/OL]. (2020-10-05) [2021-09-22]. <http://www.algaebase.org>.

[3] 王丁晶, 马家海, 杜晶, 等. 礁膜 *Monostroma nitidum* 的形态学观察和分子鉴定 [J]. 浙江农业学报, 2015, 27(9): 1593-1600.
Wang D J, Ma J H, Du J, et al. Morphological and molecular study of *Monostroma nitidum*[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2015, 27(9): 1593-1600 (in Chinese).

[4] 何培民, 张泽宇, 张学成, 等. 海藻栽培学 [M]. 北京: 科学出版社, 2018.
He P M, Zhang Z Y, Zhang X C, et al. Seaweed cultivation[M]. Beijing: Science Press, 2018 (in Chinese).

[5] 丁兰平. 中国海藻志 (第四卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
Ding L P. Flora algarum marinarum (Tomus IV)[M]. Beijing: Science Press, 2013 (in Chinese).

[6] 赵素芬. 海藻与海藻栽培学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
Zhao S F. Marine algae and algal culture science[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2012 (in Chinese).

[7] 谢恩义, 马家海, 陈扬建. 宽礁膜营养成分分析及营养学评价 [J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(2): 129-133.
Xie E Y, Ma J H, Chen Y J. Analysis and evaluation of nutrient components of *Monostroma latissimum*[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2002, 11(2): 129-133 (in Chinese).

[8] Chang H C, Wu L C. Texture and quality properties of Chinese fresh egg noodles formulated with green seaweed (*Monostroma nitidum*) powder[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(8): S398-S404.

[9] 陈蕙芳. 礁膜属植物抗氧化组分的提取和精制 [J]. 国外医药·植物药分册, 2008, 23(2): 86.
Chen H F. Extraction and refining of antioxidant components from *Monostroma*[J]. World Phytomedicines, 2008, 23(2): 86 (in Chinese).

[10] 张淑梅. 海藻奇妙方妙用 [M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2005.
Zhang S M. Seaweed utilization[M]. Changchun: Jilin Science and Technology Press, 2005 (in Chinese).

[11] 李晓丽, 张泽宇, 柴宇, 等. 北极礁膜室内人工育苗的研究 [J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(3): 242-246.
Li X L, Zhang Z Y, Chai Y, et al. Indoor artificial seeding of seaweed *Monostroma arcticum* Wittrock[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2006, 21(3): 242-246 (in Chinese).

[12] Cui J J, Wang H, Chen C L, et al. Formation and early development of the *Monostroma nitidum* Wittrock[J]. *Aquaculture Reports*, 2021, 20: 100759.

[13] Cui J J, Chen C L, Tan H Q, et al. Taxonomic delimitation of the monostromatic green algal Genera *Monostroma* Thuret 1854 and *Gayralia* Vinogradova 1969 (Ulotrichales, Chlorophyta)[J]. *Diversity*, 2022, 14(9): 773.

[14] Cui J J, Monotilla A P, Zhu W R, et al. Taxonomic reassessment of *Ulva prolifera* (Ulvophyceae, Chlorophyta) based on specimens from the type locality and Yellow Sea green tides[J]. *Phycologia*, 2018, 57(6): 692-704.

[15] Woolcott G W, King R J. *Ulvaria* (Ulvales, Chlorophyta) in eastern Australia: morphology, anatomy and ontogeny compared with molecular data[J]. *Botanica Marina*, 1998, 41(1-6): 63-76.

[16] Kumar S, Stecher G, Tamura K. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets[J]. *Molecular Biology Evolution*, 2016, 33: 1870-1874.

[17] Ronquist F, Huelsenbeck J P. MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models[J]. *Bioinformatics*, 2003, 19(12): 1572-1574.

- [18] Bast F. Monostroma: the jeweled seaweed for future[M]. Chisinau: Lap Lambert Academic Publishing, 2011: 1-192.
- [19] 苏乔. 我国几类大型海藻的分子系统学研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2002.
Su Q. Molecular systematic studies of several seaweeds in China[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2002 (in Chinese).
- [20] Pellizzari F, Oliveira M C, Da Silva medeiros A, et al. Morphology, ontogeny, and phylogenetic position of *Gayralia brasiliensis* sp. nov. (Ultrichales, Chlorophyta) from the southern coast of Brazil[J]. *Botanica Marina*, 2013, 56(2): 197-205.
- [21] Blomster J, Back S, Fewer D P, et al. Novel morphology in *Enteromorpha* (Ulvophyceae) forming green tides[J]. *American Journal of Botany*, 2002, 89(11): 1756-1763.
- [22] Shimada S, Yokoyama N, Arai S, et al. Phylogeography of the genus *Ulva* (Ulvophyceae, Chlorophyta), with special reference to the Japanese freshwater and brackish taxa[J]. *Journal of Applied Phycology*, 2008, 20(5): 979-989.
- [23] 蒋大程, 高珊, 高海伦, 等. 考马斯亮蓝法测定蛋白质含量中的细节问题 [J]. *实验科学与技术*, 2018, 16(4): 143-147.
Jiang D C, Gao S, Gao H L, et al. The details of protein content determination by Coomassie brilliant blue staining[J]. *Experiment Science and Technology*, 2018, 16(4): 143-147 (in Chinese).
- [24] 孙汉巨. 食品分析与检测 [M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2016.
Sun H C. Food analysis and testing[M]. Hefei: Hefei University of Technology Press, 2016 (in Chinese).
- [25] WHO. Protein and amino acid requirements in human nutrition[R]. Geneva: WHO, 2007.
- [26] 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.
Tao P, Xu Q L, Yao J G, et al. An analysis of nutrient components of thirteen kinds of seaweeds for food in Dalian coastline[J]. *Journal of Liaoning Normal University (Natural Science Edition)*, 2001, 24(4): 406-410 (in Chinese).
- [27] 林月, 沈照鹏, 宗雯雯, 等. 石莼 (*Ulva lactuca* L.) 营养成分及多糖组成分析 [J]. *食品工业科技*, 2019, 40(17): 304-308,313.
Lin Y, Shen Z P, Zong W W, et al. Analysis on nutritional component and polysaccharide composition of *Ulva lactuca* L.[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(17): 304-308,313 (in Chinese).
- [28] 段元慧. 缘管浒苔 (*Enteromorpha*) 的营养成分及安全性分析 [D]. 大连: 大连海洋大学, 2014.
Duan Y H. The nutritional components and security analysis of the *Enteromorpha*[D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2014 (in Chinese).
- [29] 杨欢, 黎中宝, 李元跃, 等. 厦门海域浒苔种类鉴定及其营养成分分析 [J]. *中国渔业质量与标准*, 2013, 3(4): 70-75.
Yang H, Li Z B, Li Y Y, et al. Species identification and nutritional composition analysis of *Enteromorpha* in Xiamen coastal waters[J]. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2013, 3(4): 70-75 (in Chinese).
- [30] 王博, 黄和, 熊皓平, 等. 碓洲马尾藻的营养成分分析与评价 [J]. *食品研究与开发*, 2010, 31(10): 195-197.
Wang B, Huang H, Xiong H P, et al. Analysis on nutrition constituents of *S. naozhouense* sp. nov.[J]. *Food Research and Development*, 2010, 31(10): 195-197 (in Chinese).
- [31] 赵素芬, 黄紫裕, 邓婷婷. 碓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.
Zhao S F, Huang Z Y, Deng T T. Analysis and evaluation of nutrient contents in *Monostroma nitidum* in Naozhou Sea area, Zhanjiang[J]. *Journal of Tropical Biology*, 2021, 12(4): 473-480 (in Chinese).
- [32] 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.
Zhao S F, Sun H Q, Liang J Z, et al. Nutrient component analysis of six kinds of economic algae in Zhanjiang Sea area[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2009, 29(1): 49-53 (in Chinese).
- [33] 赵素芬, 孙会强, 王丹, 等. 湛江海区 8 种常见海藻营养成分分析 [J]. *广东海洋大学学报*, 2008, 28(6): 30-34.
Zhao S F, Sun H Q, Wang D, et al. Nutrient components analysis of eight kinds of seaweeds in Zhanjiang Sea area[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2008, 28(6): 30-34 (in Chinese).
- [34] 金骏, 林美娇. 海藻利用与加工 [M]. 北京: 科学出版社, 1993.
Jin J, Lin M J. Seaweed utilization and processing[M]. Beijing: Science Press, 1993 (in Chinese).
- [35] 张才学, 白富进, 孙省利, 等. 流沙湾冬、春季大型海藻的微量元素分析 [J]. *海洋与湖沼*, 2010, 41(1): 154-160.
Zhang C X, Bai F J, Sun X L, et al. Trace elements of spring and winter macroalgae in Liusha Bay[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2010, 41(1): 154-160 (in Chinese).
- [36] 沈颂东, 张劲. 大型海洋绿藻 5.8S rRNA 基因序列及系统发育分析 [J]. *海洋与湖沼*, 2008, 39(4): 427-432.
Shen S D, Zhang J. Sequences and phylogeny of 5.8S rRNA gene of marine chlorophyta[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2008, 39(4): 427-432 (in Chinese).
- [37] Tseng C K. Common seaweeds of China[M]. Beijing: Science Press, 1983: 316.
- [38] Bliding C. A critical survey of European taxa in ulvales. Part II: *Ulva*, *Ulvaria*, *Monostroma*, *Kormannia*[J]. *Botaniska Notiser*, 1968, 121: 535-629.
- [39] 宋曙辉, 王文琪, 唐晓伟, 等. 有机蔬菜的营养成分分析 [J].

- 安徽农业科学, 2009, 37(7): 2917-2919.
- Song S H, Wang W Q, Tang X W, *et al.* Nutritional components analysis of organic vegetables[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(7): 2917-2919 (in Chinese).
- [40] 姚翀, 陶宁萍, 王锡昌. 宝石鱼肉氨基酸组成及营养评价 [J]. *现代食品科技*, 2009, 25(4): 447-450.
- Yao X, Tao N P, Wang X C. Composition analysis and nutritional evaluation of amino acids of *Jade perch* muscle[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2009, 25(4): 447-450 (in Chinese).
- [41] 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.
- Cai Z H, Du J, Sun B, *et al.* Molecular identification of green tide algae in the South Yellow Sea and preliminary study on its nutritive value[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2016, 28(7): 1206-1215 (in Chinese).
- [42] 蔡春尔, 姚彬, 沈伟荣, 等. 条浒苔营养成分测定与分析 [J]. *上海海洋大学学报*, 2009, 18(2): 155-159.
- Cai C E, Yao B, Shen W R, *et al.* Determination and analysis of nutrition compositions in *Enteromorpha clathrata*[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, 18(2): 155-159 (in Chinese).
- [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.
- Chen Y J, Ju X R, Zhou G H. Classification and physiological function of saturated fatty acids[J]. *China Oils and Fats*, 2008, 33(3): 35-39 (in Chinese).
- [44] Sundram K, Hayes K C, Siru O H. Dietary palmitic acid results in lower serum cholesterol than does a lauric-myristic acid combination in normolipemic humans[J]. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1994, 59(4): 841-846.
- [45] Ng T K, Hayes K C, Dewitt G F, *et al.* Dietary palmitic and oleic acids exert similar effects on serum cholesterol and lipoprotein profiles in normocholesterolemic men and women[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 1992, 11(4): 383-390.
- [46] 刘红兵, 崔承彬, 顾谦群, 等. 东京枫杨的甾体等化学成分及其体外抗肿瘤活性 [J]. *中国药理学杂志*, 2005, 40(6): 414-416.
- Liu H B, Cui C B, Gu Q Q, *et al.* Chemical constituents of *Pterocarya tonkinesis* and their antitumor activity *in vitro*[J]. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 2005, 40(6): 414-416 (in Chinese).
- [47] Kelly F D, Sinclair A J, Mann N J, *et al.* A stearic acid-rich diet improves thrombogenic and atherogenic risk factor profiles in healthy males[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2001, 55(2): 88-96.
- [48] Hassig C A, Tong J K, Schreiber S L. Fiber-derived butyrate and the prevention of colon cancer[J]. *Chemistry & Biology*, 1997, 4(11): 783-789.
- [49] 柏薇薇. α -亚麻酸的功效 [J]. *食品界*, 2017(10): 99.
- Bai W W. The efficacy of α -linolenic acid[J]. *Food Industry*, 2017(10): 99 (in Chinese).
- [50] 范文洵. α -亚麻酸及其代谢产物 EPA 和 DHA[J]. *生理科学进展*, 1988, 19(2): 110-113.
- Fan W X. α -linolenic acid and its metabolites EPA and DHA[J]. *Progress in Physiological Sciences*, 1988, 19(2): 110-113 (in Chinese).
- [51] 周鸿, 山杉公男. 亚油酸对大白鼠血胆固醇浓度及磷脂分子组成的影响 [J]. *江西科学*, 2002, 20(4): 207-212.
- Zhou H, Sugiyama K. Effect of dietary linoleic acid on plasma cholesterol concentrations and lipid molecular species in rats[J]. *Jiangxi Science*, 2002, 20(4): 207-212 (in Chinese).
- [52] 王碧荷, 王蕾, 贾元铭, 等. 微藻生物富集重金属的研究进展 [J]. *环境工程*, 2017, 35(8): 67-71, 120.
- Wang B H, Wang L, Jia Y M, *et al.* Research progress in heavy metal biosorption by microalgae[J]. *Environmental Engineering*, 2017, 35(8): 67-71, 120 (in Chinese).
- [53] Ajayan K V, Selvaraju M, Thirugnanamoorthy K. Growth and heavy metals accumulation potential of microalgae grown in sewage wastewater and petrochemical effluents[J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2011, 14(16): 805-811.
- [54] PSzpunar J, Mesheehy S, Poleć K, *et al.* Gas and liquid chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometry detection for environmental speciation analysis — advances and limitations[J]. *Spectrochimica Acta-Part B: Atomic Spectroscopy*, 2000, 55(7): 779-793.
- [55] Súñer M A, Devesa V, Clemente M J, *et al.* Organoarsenical species contents in fresh and processed seafood products[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(4): 924-932.
- [56] Almela C, Laparra J M, Vélez D, *et al.* Arsenosugars in raw and cooked edible seaweed: characterization and bioaccessibility [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(18): 7344-7351.
- [57] 张文德. 海产品中砷的形态分析现状 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2007, 19(4): 345-350.
- Zhang W D. Arsenic speciation and food safety in seafoods[J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2007, 19(4): 345-350 (in Chinese).
- [58] 黄东仁. 福建省紫菜中砷的形态及含量 [J]. *中国渔业质量与标准*, 2015, 5(1): 52-60.
- Huang D R. Arsenic speciations and their contents in *Porphyra* in Fujian Province[J]. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2015, 5(1): 52-60 (in Chinese).

Taxonomic identification of *Monostroma* from the Zhanjiang coastal area and nutritional ingredient analysis of typical sample

CUI Jianjun*, CHEN Yihui, YANG Jinlian, TAN Guangsheng, CHEN Chunli, XIE Enyi
College of Fisheries, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

Abstract: Monostromatic green algae, characterized by fronds composed solely of horizontally arranged single cell layers, are widely distributed in temperate to tropical seas worldwide. *Monostroma* (Thuret 1854), *Gayralia* (Vinogradova 1969), and *Protomonostroma* (Vinogradova 1969) are among the primary genera of monostromatic green algal. *Monostroma* (Chlorophyta, Ulvophyceae) is cosmopolitan and includes 55 species, of which only 32 are currently taxonomically confirmed. Several species of *Monostroma* are attracting global attention due to their economic importance, particularly in the food and cosmetic industries. Additionally, chemicals with antiviral and anticoagulant properties have recently been isolated from some species of the *Monostroma* genus. Zhanjiang city, surrounded by the sea on three sides and possessing a long coastline (2 325.9 km), is rich in wild *Monostroma* species. To determine the identity of *Monostroma* species from the Zhanjiang coastal area and analyze their nutritional composition, this study examined the morphological characteristics (thallus type, size, color; cell size, shape, and arrangement; chloroplast shape, position, and pyrenoid number) and nuclear-encoded Internal Transcribed Spacer (ITS) phylogenetics of collected *Monostroma* species. Subsequently, the main nutrient composition (crude protein, ash, moisture, and crude fat), amino acid content, and mineral composition were determined using national standard methods to evaluate their nutritional value. Morphological observations revealed that *Monostroma* thalli with similar morphology exhibited green or light green colors, had a single-cell layer, and measured approximately 9.19–11.12 cm in length, 6.85–8.16 cm in width, and 35.20–38.80 μm thickness. Surface cells were irregular, polygonal, or rounded polygons, with dimensions of 11.14–11.42 μm in length and 7.25–8.48 μm in width. These cells predominantly contained one pyrenoid ($\geq 88\%$), occasionally two ($\leq 8\%$), or three ($\leq 4\%$). ITS sequence analysis showed that the *Monostroma* species had an identical nrITS sequence to *M. nitidum* (AF415170) from Fangchenggang of Guangxi, China, with support values of 0.99 for Bayesian posterior probabilities, 88% for ML bootstrap, and 99% for NJ distance bootstrap. Therefore, all the *Monostroma* species in Zhanjiang coastal area should be identified as *Monostroma nitidum*. Nutrient composition analysis revealed that *M. nitidum* had high water content (16.26%), moderate ash (16.17%), crude protein (10.50%), and crude fat (1.37%) contents. *M. nitidum* contained a variety of fatty acids, including saturated fatty acids (78.57%) and unsaturated fatty acids (21.43%). The amino acid profile was diverse, with essential amino acids (39.02%) and flavor amino acids (47.93%) meeting the FAO/WHO standard model. Thus, *M. nitidum* along the Zhanjiang coastal area held significant economic value in the food and pharmaceutical industries due to its rich nutrients and high nutritional value. These findings enhanced our understanding of the nutrient value of *M. nitidum* and were expected to promote the healthy and rapid growth of the *M. nitidum* industry.

Key words: *Monostroma*; morphological observation; molecular identification; nutritional composition analyze; Zhanjiang coastal area

Corresponding author: CUI Jianjun. E-mail: cuijianjun29@163.com

Funding projects: Program for Scientific Research Start-up Funds of Guangdong Ocean University (R19049)