

泡叶藻的营养成分分析及评价

李红艳^{1,2}, 李晓^{1,2}, 王颖^{1,2}, 刘天红¹, 纪蕾¹, 孙元芹¹, 姜晓东^{1,2}

(1. 山东省海洋生物研究院, 山东青岛 266104) (2. 青岛市大型藻类工程技术研究中心, 山东青岛 266104)

摘要: 为评估泡叶藻的营养价值, 对泡叶藻的主要营养成分、氨基酸组成、脂肪酸组成、无机元素、重金属、褐藻胶和甘露醇等含量进行检测和分析。结果表明, 泡叶藻的主要成分为总膳食纤维, 含量为 40.68%, 其中可溶性膳食纤维含量 8.54%; 粗蛋白含量 9.66%, 检测出 18 种氨基酸, 氨基酸总含量为 7.99 g/100 g, 其中必需氨基酸占氨基酸总量的为 37.90%, 呈味氨基酸占氨基酸总量的 40.25%, 第一限制性氨基酸为苏氨酸, 氨基酸评分 134.98, 氨基酸组成比例均衡; 粗脂肪含量 1.53%, 其中不饱和脂肪酸占总脂肪酸总量的 43.92%; 灰分含量 39.43%, 常量元素 K、Na、Ca 和微量元素 Fe、Zn、Sn 等含量丰富; 褐藻胶和甘露醇含量高。综上, 泡叶藻是一种高膳食纤维、高蛋白、低脂肪的藻类, 在食品、海藻化工和饲料领域具有较高开发利用价值。

关键词: 泡叶藻; 营养成分; 氨基酸; 营养学评价

文章编号: 1673-9078(2020)10-118-124

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.10.0332

Chemical Analysis and Nutritional Assessment of *Ascophyllum nodosum*

LI Hong-yan^{1,2}, LI Xiao^{1,2}, WANG Ying^{1,2}, LIU Tian-hong¹, JI Lei¹, SUN Yuan-qin¹, JIANG Xiao-dong^{1,2}

(1. Marine Biology Institute of Shandong Province, Qingdao 266104, China)

(2. Qingdao Macroalgae Engineering Technology Research Center, Qingdao 266104, China)

Abstract: In order to evaluate the nutritional value of *Ascophyllum nodosum*, the contents of main nutrients, such as amino acids, fatty acids, inorganic elements, heavy metals, alginate and mannitol were analyzed. The results showed that the main component of *Ascophyllum nodosum* was total dietary fiber, which accounted for 40.68% of its dry weight. The content of soluble dietary fiber was 8.54%. The content of crude protein was 9.66% and 18 kinds of amino acids were detected. The total content of amino acids was 7.99 g/100 g, among which the essential amino acids accounted for 37.90% and taste amino acids 40.25% of total amino acids, respectively. The first limiting amino acid was threonine and the amino acid score was 134.98, which indicated that the proportion of amino acids was balanced. The content of crude fat was 1.53%, in which the content of unsaturated fatty acids accounted for 43.92% of the total fatty acids. The ash content was 39.43% with rich macroelements K, Na, Ca and microelements Fe, Zn and Sn. The alginate and mannitol content were high. In conclusion, *Ascophyllum nodosum* is a kind of algae with high dietary fiber, high protein, and low fat, indicating that it has high development and utilization value in the fields of food, seaweed chemical industry and feed.

Key words: *Ascophyllum nodosum*; nutrient components; amino acid; nutritional assessment

引文格式:

李红艳, 李晓, 王颖, 等. 泡叶藻的营养成分分析及评价[J]. 现代食品科技, 2020, 36(10): 118-124

LI Hong-yan, LI Xiao, WANG Ying, et al. Chemical analysis and nutritional assessment of *Ascophyllum nodosum* [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(10): 118-124

泡叶藻 (*Ascophyllum nodosum*), 属褐藻门 (Phaeophyta)、圆子纲 (Cyclosporeae)、墨角藻目 (Fuciales)、墨角藻科 (Fucaceae), 又称岩衣藻, 是一种生长在潮间带的大型海藻, 主要分布在北大西

收稿日期: 2020-04-13

基金项目: “十三五”海洋经济创新发展示范城市项目; 国家海洋公益性行业科研专项 (201505022-4)

作者简介: 李红艳 (1987-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 水产品加工与贮藏

通讯作者: 王颖 (1971-), 女, 研究员; 研究方向: 水产资源综合利用

洋沿岸^[1]。泡叶藻含有丰富的褐藻胶、多酚、岩藻聚糖硫酸酯和泡叶藻聚糖等活性多糖, 其中褐藻胶含量占藻体多糖的 79%, 工业上常用于大规模生产碘、胶、醇^[2], 是海藻工业的重要原料; 泡叶藻多糖具有抗氧化^[3]、抗肿瘤^[4]、调节免疫^[5]等多种生物活性, 使其在食品和医药领域应用前景广阔; 此外, 泡叶藻在饲料和肥料生产中也得到广泛应用^[6], 国内市场上以泡叶藻为原料的海藻肥产品深受消费者青睐。

目前, 国内外对泡叶藻的研究集中在泡叶藻多糖提取^[7-10]、海藻肥/生物刺激素^[11-14]、饲料^[15]、生态学

[16,17]等方面,在营养成分方面, Jones 等^[18]对泡叶藻和墨角藻的脂肪酸成分进行了分析,认为二者的脂肪酸组成非常相近; Lorenzo 等^[19]分别对泡叶藻、墨角藻和双叉藻的基本营养成分和脂肪酸、氨基酸成分和矿物质元素进行了分析和评价; Tibbetts 等^[20]对包括泡叶藻在内的 9 种野生海藻和养殖海藻的营养成分、总酚含量和体外蛋白质消化率进行了检测分析; Peinado 等^[21]对英国沿海泡叶藻、墨角藻等 5 种可食性褐藻的化学成分、挥发性成分、游离氨基酸、抗氧化活性和感官特性等进行了分析,认为泡叶藻的抗氧化活性较高;但对其褐藻胶、甘露醇等成分的报道较为少见,国内也未见对其营养成分分析及评价的报道。因此,本文对泡叶藻的营养成分进行检测分析,并对其营养价值进行初步评价,为深入挖掘其在海藻化工、食品、饲料和肥料方面的加工利用潜力提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料

实验所用泡叶藻(干藻, *Ascophyllum nodosum*)由聚大洋藻业集团提供,样品于 2017 年 5 月采集自秘鲁,样品自然风干后带回国内。样品粉碎过 40 目筛,自封袋保存于干燥器中备用。

1.1.2 试剂

甲苯、石油醚、氯仿、无水乙醚、氢氧化铵、盐酸、硫酸、硫酸钠、硫酸铜、硫酸钾、硼酸、氢氧化钠,均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.3 主要仪器

日立 LA8080 氨基酸自动分析仪,日立高新技术公司; Kjeltac 8400 全自动蛋白测定仪,丹麦 FOSS 公司; Soxtec 8000 全自动脂肪测定仪,丹麦 FOSS 公司; GC6890 气相色谱仪,美国安捷伦有限公司; ICE3500 石墨炉原子吸收光谱,赛默飞世尔科技有限公司; AP-50-LC 液相色谱-AFS9230 原子荧光光谱仪,北京吉天仪器有限公司; ICE3000 火焰原子吸收光谱,赛默飞世尔科技有限公司等。

1.2 测定方法

1.2.1 营养成分

(1) 常规营养成分测定:水分采用 105 °C 恒温干燥法(GB 5009.3-2016),灰分采用高温灰化法(GB 5009.4-2016),粗蛋白质采用凯氏定氮法(GB 5009.5-2016),粗脂肪采用索式抽提法(GB 5009.6-2016)。(2) 不溶性膳食纤维,可溶性膳食纤维:按 GB 5009.88-

2014 测定。(3) 氨基酸测定:样品经 6 mol/L HCl 溶液水解,采用氨基酸分析仪测定 17 种氨基酸,另取样品用 5 mol/L NaOH 溶液水解后,测定其色氨酸含量。

(4) 脂肪酸成分测定:样品经酸水解后,加入甘油三酯和 C_{11:0} 作为内标,以乙醚萃取脂质,然后于甲醇中以 BF₃ 转化为脂肪酸甲酯,气相色谱(安捷伦 GC6890)分析。(5) 无机砷、甲基汞、铅、镉含量的测定:分别按 GB 5009.11-2014、GB 5009.17-2014、GB 5009.12-2017、GB 5009.15-2014 测定。(6) 无机元素铜、钙、钾和钠、硒、锌、铁、碘测定:分别按照 GB/T 5009.13-2017、GB/T 5009.92-2016、GB/T 5009.91-2017、GB 5009.93-2017、GB 5009.14-2017、GB 5009.90-2016 和 GB 5009.267-2016 进行测定。(7) 甘露醇:按照《保健食品功效成分检测方法(2011 年版)》第三章第九节进行测定;海藻酸钠:参考尚德荣等^[22]建立的质量法进行测定。

1.2.2 营养价值评价

蛋白质营养价值评价对食品品质鉴定、食品资源的研究和开发以及人群膳食指导等方面具有重要意义。将所测得必需氨基酸换算成 1 g 蛋白质中含氨基酸 mg 数,与 2007 年 FAO/WHO 建议的氨基酸计分模式^[23]进行比较,按下式计算泡叶藻的氨基酸分(amino acid score, AAS)^[23]和必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)^[24]:

$$AAS = \frac{M_1}{M_0} \times 100 \quad (1)$$

$$EAAI = 100 \times \sqrt[n]{\frac{a}{A} \times \frac{b}{B} \times \frac{c}{C} \times \dots \times \frac{h}{H}} \quad (2)$$

式中: M₁ 为待评蛋白质中必需氨基酸的含量, g/100 g 蛋白质; M₀ 为 FAO/WHO 模式中蛋白质相应必需氨基酸的含量, g/100 g 蛋白质; n 为比较的氨基酸种数; a、b、c...h 分别为待评蛋白质的氨基酸含量, g/100 g 蛋白质; A、B、C...H 分别为 FAO/WHO 模式中的氨基酸含量, g/100 g 蛋白质。

1.3 数据处理

文中数据均为三份平行样品的检测值,采用 EXCEL2010 进行统计分析,结果以平均值±标准差($\bar{x} \pm s$)表示。

2 结果与讨论

2.1 常规营养成分分析

样品常规营养成分测定结果如表 1 所示。泡叶藻的总膳食纤维含量最高,其次是灰分和粗蛋白,粗脂肪含量较低。这一结果与已有报道相比^[19-21],粗蛋白

和灰分含量偏高,粗脂肪含量偏低。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的不同导致的。与其它大型褐藻相比,泡叶藻的粗蛋白和粗脂肪含量远低于鼠尾藻和铜藻^[25],略低于海带^[26];灰分含量远高于鼠尾藻、铜藻,略高于海带。泡叶藻灰分高达 39.43%,是饲料和肥料行业补充矿质元素的潜在原料。膳食纤维中,不溶性膳食纤维主要作用为使肠道产生蠕动,促进排便;而可溶性膳食纤维则参与新陈代谢,具有降低餐后血糖和胰岛素反应^[27],降低

胆固醇^[28]等生理活性。世界卫生组织和各国营养学界对膳食纤维的摄入给出的建议为每人 25~35 g/d,而根据 2018 年中国居民膳食纤维摄入白皮书(修订版)中显示,我国居民的膳食纤维摄入量平均约为每人 14 g/d,加大日常饮食中膳食纤维的摄入刻不容缓。泡叶藻中可溶性膳食纤维含量较高(8.54%),赋予了其良好的生理活性和营养价值;不溶性膳食纤维含量高达 32.14%,远高于鼠尾藻和铜藻^[25],是提取膳食纤维和强化膳食纤维配方食品的良好原料。

表 1 泡叶藻与其它几种藻类基本营养成分比较(g/100 g, 干重)

Table 1 Nutritional composition of *Ascophyllum nodosum* and some other algae (g/100 g, dry weight)

样品	水分	灰分	粗蛋白	粗脂肪	可溶性膳食纤维	不溶性膳食纤维	总膳食纤维
泡叶藻	9.46±0.14	39.43±1.31	9.66±0.17	1.53±0.04	8.54±0.33	32.14±2.16	40.68±2.39
泡叶藻 ^[19]	11.08±0.53	30.89±0.06	8.70±0.07	3.62±0.17	-	-	-
泡叶藻 ^[20]	-	24.90	8.20	8.60	-	-	-
泡叶藻 ^[21]	-	22.00±0.20	4.25±0.04	1.82±0.31	-	-	-
鼠尾藻 ^[25]	-	27.00	19.10	2.30	-	19.60	-
铜藻 ^[25]	-	24.80	14.40	1.80	-	18.50	-
海带 ^[26]	-	37.40	10.70	0.70	-	-	-

注: -表示未检测。

表 2 泡叶藻氨基酸组成

Table 2 Amino acids composition of *Ascophyllum nodosum* g/100 g dry weight

氨基酸	泡叶藻	泡叶藻 ^[19]	氨基酸	泡叶藻	泡叶藻 ^[19]
天冬氨酸(Asp)*	1.04±0.09	0.85±0.04	酪氨酸(Tyr)	0.41±0.05	0.16±0.02
苏氨酸(Thr)#	0.50±0.05	0.36±0.02	苯丙氨酸(Phe)#	0.51±0.04	0.34±0.02
丝氨酸(Ser)	0.45±0.02	0.38±0.01	组氨酸(His)	0.11±0.01	0.13±0.01
谷氨酸(Glu)*	1.02±0.07	1.71±0.13	色氨酸(Trp)#	0.06±0.00	-
脯氨酸(Pro)	0.50±0.04	0.40±0.01	赖氨酸(Lys)#	0.34±0.02	0.43±0.04
甘氨酸(Gly)*	0.66±0.05	0.42±0.01	精氨酸(Arg)	0.36±0.02	0.32±0.01
丙氨酸(Ala)*	0.28±0.03	0.65±0.03	氨基酸总量(TAA)	7.99±0.39	7.49±0.40
缬氨酸(Val)#	0.52±0.03	0.35±0.03	必需氨基酸总量(EAA)	3.03±0.17	2.60±0.19
胱氨酸(Cys-Cys)	0.10±0.01	0.00±0.00	呈味氨基酸总量(DAA)	3.21±0.15	3.63±0.16
蛋氨酸(Met)#	0.34±0.03	0.15±0.02	EAA/TAA	37.90%	34.71%
异亮氨酸(Ile)#	0.60±0.03	0.30±0.03	EAA/NEAA	61.09%	53.17%
亮氨酸(Leu)#	0.20±0.02	0.54±0.04	DAA/TAA	40.25%	48.46%

注: #表示必需氨基酸; *表示呈味氨基酸; -表示未检测。

2.2 氨基酸组成与营养品质评价

2.2.1 氨基酸组成分析

食物中蛋白质的营养价值高低主要取决于三方面:所含必需氨基酸种类的齐全性;必需氨基酸含量的多少和各必需氨基酸的组成比例^[29]。泡叶藻的氨基酸组成如表 2 所示,共检出 18 种氨基酸,包括 8 种必需氨基酸、2 种半必需氨基酸和 8 种非必需氨基酸。从氨基酸组成上看,Asp 含量最高,其次为 Glu、Gly

和 Ile; Trp 含量最低。这点与 Lorenzo 等^[19]所测泡叶藻氨基酸中 Glu 与 Asp 含量最高较为相近。Asp 和 Glu 均为呈鲜味的氨基酸,据 Juturu 等报道^[30],海藻的特殊风味和滋味与其 Glu 和 Asp 含量相关。泡叶藻的 DAA/TAA 为 40.25%,呈味氨基酸含量较高。

根据 FAO/WHO 的理想模式,质量较好的蛋白质其必需氨基酸与非必需氨基酸比值(EAA/NEAA)为 60%以上,必需氨基酸与氨基酸总量比值(EAA/TAA)为 40%左右^[23]。泡叶藻 EAA/TAA 为 37.90%,高于

Lorenzo 等所测 34.71%，氨基酸平衡效果较好，接近 FAO/WHO 的理想模式，是优质的蛋白来源。

2.2.2 氨基酸营养品质评价

氨基酸评分(AAS)是反映蛋白质构成和利用率的评价指标。由于人体在食用不含 His 的饮食时，血红蛋白浓度会发生不良变化，FAO/WHO/UNU 将 His 也列入成人必需氨基酸需求表中^[23]。从表 3 可知，泡叶藻的 AAS 以 Thr 最高，His 最低。泡叶藻富含必需氨基酸 Thr 使其作为添加剂添加到配合饲料中时，可以

很好地调整饲料的氨基酸平衡，促进禽畜和水产动物生长。除 His 和 Trp 外，泡叶藻各必需氨基酸得分均高于 FAO/WHO 模式值，氨基酸平均得分 134.98，表明其氨基酸含量相对均衡合理。以 AAS 为标准，泡叶藻的第一限制性氨基酸为苏氨酸，第二限制性氨基酸为组氨酸。这与 Lorenzo^[19]等的研究结果一致。泡叶藻必需氨基酸指数(EAA)值为 128.36，高于 100，说明泡叶藻必需氨基酸与 FAO 模式蛋白的氨基酸组成较为接近，营养价值较高。

表 3 泡叶藻必需氨基酸组成的评价

Table 3 Evaluation of essential amino acids composition in *Ascophyllum nodosum*

氨基酸/(g/100 g protein)	FAO/WHO模式	氨基酸评分 AAS
组氨酸(His)	1.50	76.22
异亮氨酸(Ile)	3.00	118.15
亮氨酸(Leu)	5.90	104.65
赖氨酸(Lys)	4.50	116.88
甲硫氨酸+半胱氨酸(Met+Cys)	2.20	176.70
酪氨酸+苯丙氨酸(Tyr+Phe)	3.80	165.49
苏氨酸(Thr)	2.30	223.70
色氨酸(Trp)	0.60	95.28
缬氨酸(Val)	3.90	137.79
氨基酸平均分AAS		134.98
必需氨基酸指数EAAI		128.36

2.3 脂肪酸组成

表 4 泡叶藻脂肪酸组成及含量

Table 4 Fatty acids composition in *Ascophyllum nodosum*

(g/100 g)

脂肪酸种类	泡叶藻
饱和脂肪酸 SFA	0.46±0.02
单不饱和脂肪酸 MUFA	0.37±0.01
ω-9 脂肪酸 ω-9 MUFA	0.27±0.01
多不饱和脂肪酸 PUFA	0.65±0.04
ω-3 脂肪酸 ω-3 PUFA	0.25±0.01
ω-6 脂肪酸 ω-6 PUFA	0.40±0.02

由表 4 数据可知，泡叶藻脂肪酸含量不高，但种类丰富。脂肪酸的含量关系为 PUFA>SFA>MUFA，这与 Lorenzo 等^[19]和 Peinado 等^[21]的研究结果相似。PUFA 占脂肪酸总量的 43.92%，PUFA (ω-3 和 ω-6 脂肪酸) 是人体的必需脂肪酸，可以增加食物加热过程中的香味，具有改善血液循环、降低血液粘稠度，增强人体免疫力等多种生理活性^[29]。MUFA 占脂肪酸总量的 25.00%，其中 ω-9 脂肪酸有助于减少罹患心血管疾病和中风的风险^[31]。综上，泡叶藻的脂肪酸具有较好的营养价值。

2.4 无机元素含量

泡叶藻中矿物质种类丰富。由表 5 可知，泡叶藻中 K 元素含量最高，Na 和 Ca 含量次之，此外还含有较高的 Fe、Zn、Se、Cu 等微量元素。泡叶藻 K 含量略低于裙带菜孢子叶^[32]，远高于厚叶海带^[26]；Na 和 Ca 含量均高于裙带菜孢子叶和厚叶海带；与已有研究相比，本研究测得结果除 Zn 含量远小于 Tibbetts 等^[20]测定结果外，Na 含量略低于 Lorenzo 等^[19]测定结果，其它无机元素含量均高于报道结果。根据 Ruperez^[33]研究，褐藻中钠钾含量比低于 1.5 是较为理想的比值，有助于改善人体的 Na/K 平衡，不易引起高血压和心血管疾病，由此可见，泡叶藻具有非常理想的钠钾比，这与 Lorenzo 等研究结论一致，与 Tibbetts 等研究结果不同。由于藻类中的无机元素种类和含量受生长环境影响较大，推测这种差异是由采集样品的季节和海域不同所造成的。Fe 具有促进血红蛋白合成，缓解贫血等功能；Zn 具有增强创伤组织再生、提高食欲和免疫力的作用；Se 具有抗癌、抗毒性、治疗溃疡性疾病等作用。泡叶藻中矿质元素含量丰富，可以作为良好的食品或饲料矿物质补充剂。

表5 泡叶藻与其它几种藻类无机元素含量

Table 5 Inorganic elements contents in *Ascophyllum nodosum* and some other algae

无机元素	泡叶藻	泡叶藻 ^[19]	泡叶藻 ^[20]	裙带菜孢子叶 ^[31]	厚叶海带 ^[26]
Na/(mg/g)	39.41±0.32	45.76±0.50	38.0±0.20	26.52±0.33	36.60
K/(mg/g)	67.28±0.34	37.81±0.13	21.0±0.20	69.93±0.29	44.30
Ca/(mg/g)	16.62±0.27	9.85±0.47	11.0±0.10	7.30±0.02	10.8
Fe/(mg/g)	1.09±0.05	0.13±0.01	0.59±0.03	0.33±0.02	8.26
Zn/(mg/kg)	4.53±0.09	*	73.7±0.95	-	<5.00
Se/(mg/kg)	0.20±0.02	*	-	-	*
Cu/(mg/kg)	1.77±0.13	*	1.40±0.16	*	<5.00

注: *表示未检测。

鉴于近年来海洋环境污染日趋严重,对泡叶藻的重金属含量也进行了分析和安全性评价,结果如表6所示。根据GB 2762-2017《食品中污染物限量》和NY/T 1709-2011《绿色食品 藻类及其制品》的规定,藻类及其制品中Pb、无机As和甲基Hg的限量分别为1.0、1.5、0.5 mg/kg(干重)。泡叶藻中甲基Hg未检出,Pb和无机As含量符合标准要求。海藻具有通过主动运输和被动吸收等途径自然累积Cd的特性,导致干海藻中易含有较高量的Cd,不过国内标准均未对海藻及其制品中的Cd进行限量。

表6 泡叶藻重金属元素含量

Table 6 Heavy metal elements contents in *Ascophyllum nodosum* (mg/kg)

重金属	泡叶藻
无机砷	0.30±0.01
镉	3.98±0.11
铅	0.55±0.06
甲基汞	-

注: -表示未检出。

2.5 碘胶醇含量

表7 泡叶藻与其它几种藻类碘胶醇含量比较

Table 7 The iodine, alginate and mannitol contents in *Ascophyllum nodosum* and some other algae

样品	碘/(mg/g)	褐藻胶/%	甘露醇/(mg/g)
泡叶藻	1.44±0.12	32.47±1.67	84.20±4.23
鼠尾藻 ^[25]	-	26.20±2.50	4.40
铜藻 ^[25]	-	22.10±2.20	4.30
海带 ^[35]	4.20	21.90	150.00

由表7可知,泡叶藻中褐藻胶含量高于鼠尾藻、铜藻^[25]和海带^[34];甘露醇含量高于鼠尾藻和铜藻,低于海带;碘含量低于海带。泡叶藻中褐藻胶和甘露醇含量丰富,尤其是褐藻胶,在海藻化工方面有较大的应用价值。

3 结论

泡叶藻的主要成分为总膳食纤维,含量为40.68%,其中可溶性膳食纤维含量8.54%,生理活性和营养价值较高;粗蛋白含量9.66%,检测出18种氨基酸,其中EAA/TAA为37.90%,呈味氨基酸占氨基酸总量的40.25%,第一限制性氨基酸为苏氨酸,氨基酸评分134.98,氨基酸组成比例均衡,是较好的蛋白质;粗脂肪含量1.53%,其中不饱和脂肪酸占总脂肪酸总量的43.92%,人体必需脂肪酸含量较高;灰分含量39.43%,无机元素种类丰富;褐藻胶和甘露醇含量高。综上,泡叶藻是一种高膳食纤维、高蛋白、低脂肪,在食品、海藻化工和饲料领域具有较高开发利用价值的藻类。

参考文献

- [1] Kadam Shekhar U, Alvarez Carlos, Tiwari Brijesh K, et al. Extraction and characterization of protein from Irish brown seaweed *Ascophyllum nodosum* [J]. Food Research International, 2017, 99: 1021-1027
- [2] Nakayasu Seiichirou, Soegima Ryo, Yamaguchi Kenichi, et al. Biological activities of fucose-containing polysaccharide ascophyllan isolated from the brown alga *Ascophyllum nodosum* [J]. Bioscience Biotechnology & Biochemistry, 2009, 73(4): 961-964
- [3] 虞娟,林航,高炎,等.泡叶藻多糖的提取及其抗氧化活性研究[J].广东化工,2016,43(14):18-20
- [4] YU Juan, LIN Hang, GAO Yan, et al. Extraction and antioxidant activities of polysaccharides from *Ascophyllum nodosum* [J]. Guangdong Chemical Industry, 2016, 43(14): 18-20
- [4] Abu Ryogo, JIANG Ze-dong, Ueno Mikinori, et al. Anti-metastatic effects of the sulfated polysaccharide ascophyllan isolated from *Ascophyllum nodosum* on B16

- melanoma [J]. *Biochemical & Biophysical Research Communications*, 2015, 458(4): 727-732
- [5] Na Ye Seul, Kim Woo Jung, Kim Sung Min, et al. Purification, characterization and immunostimulating activity of water-soluble polysaccharide isolated from *Capsosiphon fulvescens* [J]. *International Immunopharmacology*, 2010, 10(3): 364-370
- [6] 曲桂燕. 五种褐藻岩藻聚糖硫酸酯提取纯化及其功能活性的比较研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013
- QU Gui-yan. Comparative study of fucoidan on extraction, purification and functional activities from five brown seaweeds [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013
- [7] Kadam Shekhar U, O'donnell Colm P, Rai Dilip K, et al. Laminarin from Irish brown seaweeds *Ascophyllum nodosum* and *Laminaria hyperborea*: ultrasound assisted extraction, characterization and bioactivity [J]. *Marine Drugs*, 2015, 13(7): 4270-4280
- [8] 鲍青云, 韦敬柳乙, 姜泽东, 等. 响应面法优化纤维素酶辅助从泡叶藻中提取泡叶藻聚糖的工艺[J]. *过程工程学报*, 2018, 18(3): 632-638
- BAO Qing-yun, WEI Jing-liu-yi, JIANG Ze-dong, et al. Optimization of cellulase assisted extraction conditions for sulfated polysaccharide (ascophyllan) from *Ascophyllum nodosum* by response surface methodology [J]. *The Chinese Journal of Process Engineering*, 2018, 18(3): 632-638
- [9] YUAN Yuan, Duncan Macquarrie. Microwave assisted extraction of sulfated polysaccharides (fucoidan) from *Ascophyllum nodosum* and its antioxidant activity [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 129: 101-107
- [10] 刘旭, 曲桂燕, 周裔彬. 泡叶藻及海带藻渣中岩藻聚糖硫酸酯的提取及其抗氧化活性[J]. *海洋科学*, 2013, 37(12): 34-39
- LIU Xu, QU Gui-yan, ZHOU Yi-bin, et al. Ultrasound assisted extraction and in vitro antioxidant activity analysis of fucoidans from *Ascophyllum mackaii* and *Laminaria japonica* residue [J]. *Marine Sciences*, 2013, 37(12): 34-39
- [11] Silva Luís Daniel, Bahcevandziev Kiril, Leonel Pereira. Production of bio-fertilizer from *Ascophyllum nodosum* and *Sargassum muticum* (Phaeophyceae) [J]. *Journal of Oceanology and Limnology*, 2019, 37(3): 918-927
- [12] Avijit Sen, Srivastava V K, Singh Ram K, et al. Soil and plant responses to the application of *Ascophyllum nodosum* extract to no-till wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2015, 46(1): 123-136
- [13] Oscar Goñi, Patrick Quille, Shane O'Connell. *Ascophyllum nodosum* extract biostimulants and their role in enhancing tolerance to drought stress in tomato plants [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2018, 126: 63-73
- [14] Tommaso Frioni, Paolo Sabbatini, Sergio Tombesi, et al. Effects of a biostimulant derived from the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* on ripening dynamics and fruit quality of grapevines [J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 232: 97-106
- [15] Belanche Alejandro, Jones Eleanor, Parveen Ifat, et al. A metagenomics approach to evaluate the impact of dietary supplementation with *Ascophyllum nodosum* or *Laminaria digitata* on rumen function in ruminant fermenters [J]. *Frontiers in Microbiology*, 2016, 7: 1-14
- [16] Gollety Claire, Thiebaut Eric, Davoult Dominique. Characteristics of the *Ascophyllum nodosum* stands and their associated diversity along the coast of Brittany, France [J]. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2011, 91(3): 569-577
- [17] Peckol Paulette, Harlin Marilyn M., Krumscheid Priska. Physiological and population ecology of intertidal and subtidal *Ascophyllum nodosum* (Phaeophyta) [J]. *Journal of Phycology*, 1988, 24(2): 192-198
- [18] Jones A Lesley, Harwood John L. Lipid composition of the brown algae *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum* [J]. *Phytochemistry*, 1992, 31(10): 3397-3403
- [19] Lorenzo José M, Agregan Rubén, Munekata Paulo E S, et al. Proximate composition and nutritional value of three macroalgae: *Ascophyllum nodosum*, *Fucus vesiculosus* and *Bifurcaria bifurcata* [J]. *Marine Drugs*, 2017, 15(11): 360-371
- [20] Tibbetts Sean M, Milley Joyce E, Lall Santosh P. Nutritional quality of some wild and cultivated seaweeds: nutrient composition, total phenolic content and *in vitro* digestibility [J]. *Journal of Applied Phycology*, 2016, 28(6): 3575-3585
- [21] Peinado I, Giron J, Koutsidis G, et al. Chemical composition, antioxidant activity and sensory evaluation of five different species of brown edible seaweeds [J]. *Food Research International*, 2014, 66: 36-44
- [22] 尚德荣, 宁劲松, 赵艳芳, 等. 海带中褐藻胶含量测定方法的建立[J]. *食品科技*, 2011, 36(8): 252-254
- SHANG De-rong, NING Jin-song, ZHAO Yan-fang, et al. Establishment of the determination on kelp alginate [J]. *Food Science and Technology*, 2011, 36(8): 252-254
- [23] FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Protein and Amino Acids Requirements in Human Nutrition [M]. Rome, Italy: FAO/WHO/UNU, 2007
- [24] 颜孙安, 姚清华, 林香信, 等. 不同养殖密度瓦氏黄颡鱼肌肉

- 营养成分分析与评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(19): 6637-6644
- YAN Sun-an, YAO Qing-hua, LIN Xiang-xin, et al. Analysis and evaluation of nutritional component of *Pelteobagrus vachelli* cultured with different stocking density [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2019, 10(19): 6637-6644
- [25] 詹冬梅, 王翔宇, 辛美丽, 等. 三种马尾藻的营养组成分析[J]. 广西科学院学报, 2016, 3: 221-225
- ZHAN Dong-mei, WANG Xiang-yu, XIN Mei-li, et al. Nutritional constituents of three kinds of *Sargassum* [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2016, 3: 221-225
- [26] 姚海芹, 王飞久, 刘福利, 等. 食用海带品系营养成分分析评价[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 95-98
- YAO Hai-qin, WANG Fei-jiu, LIU Fu-li, et al. Chemical analysis and nutritional assessment of new varieties of *Saccharina japonica* [J]. Food Sciences, 2016, 37(12): 95-98
- [27] 刘楠, 孙永, 李月欣, 等. 膳食纤维的理化性质、生理功能及其应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 10: 3959-3963
- LIU Nan, SUN Yong, LI Yue-xin, et al. Properties, physiological function and application of dietary fiber [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2015, 10: 3959-3963
- [28] Othman Rgia A, Moghadasian Mohammed H, Jones Peter Jh. Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan [J]. Nutrition Reviews, 2011, 69(6): 299-309
- [29] 吴水清, 罗辉玉, 郑乐云, 等. 赤点石斑鱼与鞍带石斑鱼杂交子一代肌肉营养成分分析与评价[J]. 水产科学, 2020, 39(2): 245-250
- [30] WU Shui-qing, LUO Hui-yu, ZHENG Le-yun, et al. Analysis and evaluation of nutritional composition in muscle of hybrid grouper *Epinephelus akaara*♀×*E. lanceolatus*♂[J]. Fisheries Science, 2020, 39(2): 245-250
- [31] Juturu Vijaya. Bioactive Dietary Factors and Plant Extracts in Dermatology [M]. Totowa, NJ, USA: Humana Press, 2013: 73-82
- [32] 王萍, 张银波, 江木兰. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 中国油脂, 2008, 33(12): 42-46
- WANG Ping, ZHANG Yin-bo, JIANG Mu-lan. Research advance in polyunsaturated fatty acid [J]. China Oils and Fats, 2008, 33(12): 42-46
- [33] 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): 145-150
- LI Hong-yan, WANG Ying, LIU Tian-hong, et al. Analysis and evaluation of nutrient composition in sporophyll of *Undaria pinnatifida* [J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(9): 145-150
- [34] Ruperez P. Mineral content of edible marine seaweeds [J]. Food Chemistry, 2002, 79(1): 23-26
- [35] 盛晓风, 赵艳芳, 尚德荣, 等. 海带不同生长时期营养成分和主要元素差异比较[J]. 食品科技, 2011, 36(12): 66-68
- SHENG Xiao-feng, ZHAO Yan-fang, SHANG De-rong, et al. Differences in the major nutrition constituents and major elements in the kelp of different growing stages [J]. Food Science and Technology, 2011, 36(12): 66-68

(上接第 26 页)

- [39] Akshita G, Srishti S, Sahil K. Therapies to modulate gut microbiota: past, present and future [J]. World J Gastroenterol, 2020, 26(8): 777-788
- [40] Walter J, Ley R. The human gut microbiome: ecology and recent evolutionary changes [J]. Annu Rev Microbiol, 2011, 65: 411-429
- [41] ZHANG Miao, FAN Jun-chen, ZHANG Hui-min, et al. Effect of acupoint application combined with microwave treatment on the intestine barrier functional disturbance of moderately severe acute pancreatitis [J]. TMR Integr Nurs, 2019, 3(3): 93-99
- [42] 何丛, 祝荫, 吕农华. 肠道菌群失衡对急性胰腺炎发生发展的影响及意义[J]. 中华胰腺病杂志, 2018, 18(1): 5-7
- HE Cong, ZHU Yin, LYU Nong-hua. Effects and significance of the intestinal flora imbalance on the occurrence and development of acute pancreatitis [J]. Chinese Journal of Pancreatolgy, 2018, 18(1): 5-7
- [43] Serban D E. Gastrointestinal cancers: influence of gut microbiota, probiotics and prebiotics [J]. Cancer Letters, 2014, 345(2): 258-270
- [44] CHEN Xiao, WANG Peng, ZHANG Jing, et al. Influence of enteral nutrition support on immune function and inflammatory markers of severe acute pancreatitis patients complicated with intestinal infections [J]. Chin J Nosocomiol, 2018, 5: 722-725