

## 中国不同海域养殖坛紫菜营养成分差异分析

杨少玲, 戚 勃, 杨贤庆, 林婉玲, 邓建朝, 吴燕燕, 马海霞, 荣 辉

(中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部水产品加工重点实验室,  
国家水产品加工技术研发中心, 广东广州 510300)

**摘要:** 文章分析比较了中国 6 个养殖海域坛紫菜 (*Pyropia haitanensis*) 的营养成分。结果显示, 坛紫菜水分质量分数为 9.68%~12.31%, 广东的晒干紫菜水分含量显著高于其他产地的烘干紫菜 ( $P<0.05$ ); 粗脂肪质量分数均低于 0.5% (干基, 下同); 灰分质量分数为 7.85%~9.55% (霞浦最高, 东山最低); 蛋白质质量分数为 33.40%~36.38% (霞浦最高, 莱芜最低); 氨基酸与必需氨基酸质量分数分别为 30.15%~32.41% 与 11.52%~12.27%, 水平较高, 但营养价值评分 (氨基酸评分、化学评分、必需氨基酸指数) 均很低, 其中东山坛紫菜的必需氨基酸指数最高; 蛋氨酸+胱氨酸是坛紫菜第一限制性氨基酸。坛紫菜富含人体必需的矿物质, 且产地间差异较大, 霞浦坛紫菜中钾 (K)、钙 (Ca)、铁 (Fe)、锌 (Zn)、铜 (Cu)、钴 (Co)、钒 (V) 含量最高, 南澳以钠 (Na) 和硒 (Se) 含量最高, 东山以镁 (Mg) 含量最高, 温州以锰 (Mn) 含量最高。

**关键词:** 坛紫菜; 营养成分; 差异分析

中图分类号: TS 254.2

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



## Comparison of nutritional composition of *Pyropia haitanensis* from different sea areas of China

YANG Shaoling, QI Bo, YANG Xianqing, LIN Wanling, DENG Jianchao, WU Yanyan, MA Haixia, RONG Hui

(Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; National R & D Center for Aquatic Product Processing; South China Sea Fisheries Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

**Abstract:** We compared the nutritional composition of *Pyropia haitanensis* from six breeding sea areas in China. The results show that the moisture content of *P. haitanensis* was 9.68%–12.31%, and the moisture contents of sun-dried samples in Guangdong were significantly higher than those of the machine-dried samples in the other areas ( $P<0.05$ ). The contents of crude fat were all lower than 0.5% (dry mass, same as below). The ash contents ranged from 7.85% to 9.55% (Xiapu highest, Dongshan lowest). The contents of protein were 33.40%–36.38% (Xiapu highest, Laiwu lowest). The contents of total amino acids and essential amino acids were 30.15%–32.41% and 11.52%–12.27%, respectively, both relatively high. However, the nutritional value score, chemical score and essential amino acid index of *P. haitanensis* from all the areas were all low. The essential amino acid index of Dongshan samples was the highest. Methionine+cysteine was the first limiting amino acid of *P. haitanensis*. The mineral elements contents were rich in *P. haitanensis* and varied greatly from area to area. The contents of K, Ca, Fe, Zn, Cu, Co and V in Xiapu samples, the contents of Na

收稿日期: 2019-03-21; 修回日期: 2019-05-29

资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-50); 国家水产品质量安全风险评估专项 (GJFP201800904); 农业部财政重大专项 (NFZX2013); 广东省海洋与渔业发展专项 (2017A0001); 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助 (2016TS05, 2016TS36)

作者简介: 杨少玲 (1979—), 女, 硕士, 助理研究员, 从事水产品加工与质量安全研究。E-mail: shaoling278@163.com

通信作者: 戚 勃 (1978—), 男, 硕士, 副研究员, 从事水产品加工与质量安全研究。E-mail: qibo780210@163.com

and Se in Nan'ao samples, the Mg content in Dongshan and Mn content in Wenzhou were the highest.

**Key words:** *Pyropia haitanensis*; nutritional composition; variance analysis

坛紫菜 (*Pyropia haitanensis*) 是红藻类海洋植物, 是中国特有的暖温带紫菜栽培品种, 也是目前国内主要的养殖紫菜品种, 年产量约占全国紫菜总产量的 75%<sup>[1]</sup>, 主要分布在福建、浙江和广东东部沿海一带<sup>[2]</sup>。据记载, 紫菜不仅有治疗“病癭瘤香港脚者”及清热利咽等功效<sup>[3]</sup>, 而且是一种富含蛋白质、糖类化合物及人体必需微量元素等味美可口的食材<sup>[4-5]</sup>, 现已成为国内海藻研究的热点之一。

近年来, 国内已有对坛紫菜多种营养成分的基础分析<sup>[6-10]</sup>, 及其多糖、藻红蛋白等生理活性物质抗氧化、抗肿瘤、抗衰老等功能的活性研究<sup>[11-16]</sup>, 但多集中在少数几种营养成分上, 尚未见有全国范围内全面、系统的营养分析报道。2017 年发生的“塑料紫菜风波”事件<sup>[17-18]</sup>, 更是反映出消费者对坛紫菜缺乏认知, 对国内紫菜行业和产业造成巨大冲击。因此, 本实验采集了来自广东、福建、浙江三省 6 个产地的头水坛紫菜, 较为全面、系统地分析比较了不同产地坛紫菜的营养差异状况, 以期了解国内各地坛紫菜的营养分布优势, 为坛紫菜产业发展、产品分级提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

头水坛紫菜干品购自汕头市佳盛副食品有限公司, 来源为广东的南澳和莱芜, 福建的东山、漳浦和霞浦以及浙江的温州 6 个养殖海域, 干样品常温遮光密封保存。

### 1.2 仪器与设备

Kjeltec<sup>TM</sup>2300 蛋白自动分析仪 (丹麦 FOSS 公司); Soxtec<sup>TM</sup> 脂肪自动分析仪 (丹麦 FOSS 公司); Agilent 7900 电感耦合等离子体质谱仪 (美国 Agilent 公司); Waters UPLC 超高效液相色谱仪 (美国 Waters 公司); S-433D 氨基酸自动分析仪 (德国 SYKAM 公司); Milli-Q 超纯水制备系统 (美国 Millipore 公司)。

### 1.3 基本营养成分的测定方法

坛紫菜中水分、灰分、粗脂肪、粗蛋白含量的测定参照刘欢等<sup>[19]</sup>, 游离氨基酸的测定参照杨贤庆等<sup>[20]</sup>, 色氨酸的测定参照叶蕾等<sup>[21]</sup>; 矿物元素的测定参照李梁等<sup>[22]</sup>。

## 1.4 氨基酸营养评价方法

根据 FAO/WHO 提供的理想蛋白质中必需氨基酸含量的模式及评分标准<sup>[23]</sup> 和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的鸡蛋蛋白质模式<sup>[24]</sup>, 分别计算坛紫菜的氨基酸评分 (amino acid score, AAS)<sup>[25]</sup>、化学评分 (chemical score, CS)<sup>[25]</sup> 和必需氨基酸指数 (essential amino acid index, EAAI)<sup>[26]</sup>。计算公式为:

$$AAS = \frac{P}{A}$$

$$CS = \frac{P}{S}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{P_{\text{Thr}} \times P_{\text{Val}} \times \dots \times P_{\text{Met}}}{S_{\text{Thr}} \times S_{\text{Val}} \times \dots \times S_{\text{Met}}}} \times 100$$

式中  $P$  为样品中某必需氨基酸 (N) 质量分数 ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ );  $A$  为 FAO/WHO 标准模式中对应的必需氨基酸 (N) 质量分数 ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ );  $S$  为鸡蛋蛋白质中对应的必需氨基酸 (N) 质量分数 ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ );  $n$  为参与比较的必需氨基酸个数。

## 1.5 数据处理方法

采用 IBM SPSS Statistics 24.0 软件进行差异显著性分析 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 水分

6 个产地的坛紫菜水分质量分数比较显示 (图 1-a), 坛紫菜水分质量分数为 9.68%~12.31%, 由低到高依次为东山<漳浦<温州<霞浦<南澳<莱芜; 产地间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ); 其中广东南澳和莱芜两地与其他四地之间的差异尤为显著, 究其原因, 与紫菜干制方法有关。南澳和莱芜惯用传统日晒方式干制坛紫菜, 而福建和浙江已普遍使用机械采收和机器干燥。

### 2.2 灰分

6 个产地的坛紫菜灰分质量分数 (干基, 下同) 为 7.85%~9.55% (图 1-b), 含量较高, 由低到高依次为东山<漳浦<莱芜<南澳<温州<霞浦, 表明坛紫菜中矿物质含量丰富。根据产地间差异显著性分析结果 ( $P < 0.05$ ), 将 6 个产地分为 3 组: 位于最北部的温州和霞浦为第一组, 灰分含量最高; 位于最南端的莱芜和南澳为第二组, 灰分含量次之; 东山和漳浦为第三组, 灰分含量最低。

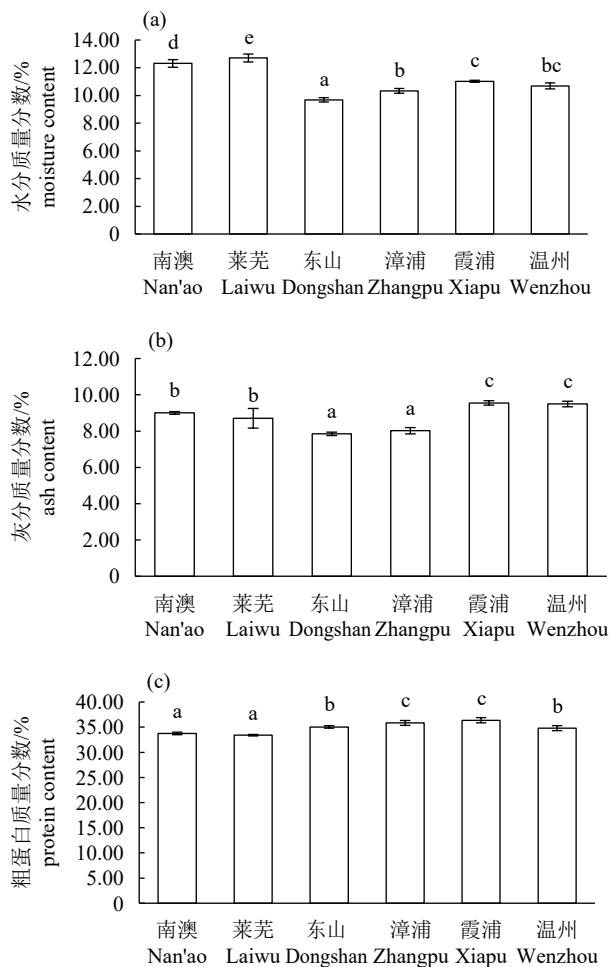


图1 不同产地坛紫菜水分、灰分、蛋白质质量分数  
柱上不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )

Figure 1 Moisture, ash and protein contents of *P. haitanensis* in different breeding areas

Different letters on the column indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

### 2.3 粗脂肪

6个产地的坛紫菜粗脂肪质量分数均不足0.5%，说明坛紫菜中脂肪含量非常低。

### 2.4 蛋白质

6个产地的坛紫菜中蛋白质质量分数为33.40%~36.38% (图1-c)，含量较高，由低到高依次为莱芜<南澳<温州<东山<漳浦<霞浦，产地间存在显著差异 ( $P < 0.05$ )，根据差异显著性可将6个产地分为3组：漳浦和霞浦为第一组，蛋白质含量最高；温州和东山为第二组，含量次之；南澳和莱芜为第三组，含量最低。

### 2.5 氨基酸

6个产地的坛紫菜中均含有至少17种氨基酸，其氨基酸总量 (total amino acid, TAA) 为30.15%~32.41%；17种氨基酸中，谷氨酸含量最

高，蛋氨酸最低。6个产地中莱芜坛紫菜的TAA最高，而南澳和温州相同且最低 (表1)。

6个产地的坛紫菜中均含8种必需氨基酸 (essential amino acid, EAA)，EAA质量分数为11.52%~12.27%，约占TAA的38%，与非必需氨基酸 (nonessential amino acid, NEAA) 含量比值均略高于60%。根据1973年FAO/WHO推荐的理想蛋白质模式 (蛋白质的氨基酸组成中EAA/TAA在40%以上、EAA/NEAA在60%以上时蛋白质质量较好<sup>[27]</sup>)，各地坛紫菜的EAA/TAA均接近且低于40%，只有EAA/NEAA满足要求，可见坛紫菜的蛋白质质量略有不足。EAA中，含量最高的是亮氨酸，其次是缬氨酸，最低的是蛋氨酸。6个产地中，单论EAA含量，南澳最低，莱芜最高；单论EAA/TAA或EAA/NEAA，均为莱芜最低，温州最高。

此外，坛紫菜中还含有幼儿生长必需的条件性必需氨基酸 (组氨酸和精氨酸)，且精氨酸质量分数较高 (1.98%~2.26%)。

各地坛紫菜中，鲜味氨基酸谷氨酸和天冬氨酸约占TAA的22%，甜味氨基酸甘氨酸、丙氨酸、脯氨酸、苏氨酸和丝氨酸等约占TAA的33%，再加上其他呈味氨基酸蛋氨酸<sup>[28]</sup>，呈味氨基酸总量约占TAA的60%，因此坛紫菜具有浓厚的海鲜味，尤其是甜味和鲜味较重，是非常优质的天然调味剂。

### 2.6 氨基酸营养分析

各产地坛紫菜氨基酸评分 (AAS、CS和EAAI) 结果见表2。总体上不同产地坛紫菜的各种EAA营养评分均偏低，其中AAS最高值为0.45，CS最高值为0.39，两者均远小于1；EAAI最高值仅为24.35，远低于100；说明各产地坛紫菜的氨基酸营养价值偏低，同海带 (*Laminaria japonica*) 氨基酸营养评分较低这一结论相似<sup>[29]</sup>。

根据AAS与CS结果，各地坛紫菜的EAA中均为苏氨酸最高，蛋氨酸+胱氨酸最低，因此，蛋氨酸+胱氨酸为各产地坛紫菜的第一限制性氨基酸，异亮氨酸为第二限制性氨基酸。

以综合评分EAAI进行产地间比较，发现各地间的坛紫菜氨基酸营养存在一定差异，但差异不大，由高到低依次排序为东山>漳浦>莱芜>南澳>温州>霞浦。可见，东山坛紫菜的AAS最高，其次是漳浦，而霞浦最低。

表1 不同产地坛紫菜的氨基酸质量分数及组分构成(干基)

Table 1 Amino acid composition and content of *P. haitanensis* in different breeding areas (dry mass)

%

氨基酸 amino acid	南澳 Nan'ao	莱芜 Laiwu	东山 Dongshan	漳浦 Zhangpu	霞浦 Xiapu	温州 Wenzhou
谷氨酸 Glu	3.54	3.84	3.70	3.56	3.80	3.54
天冬氨酸 Asp	3.35	3.45	3.18	3.17	3.33	3.08
丙氨酸 Ala	3.25	3.47	3.41	3.39	3.45	3.28
亮氨酸 <sup>*</sup> Leu	2.46	2.59	2.59	2.59	2.52	2.49
缬氨酸 <sup>*</sup> Val	2.05	2.21	2.10	2.10	2.09	2.07
甘氨酸 Gly	2.01	2.23	2.03	2.01	2.08	2.02
赖氨酸 <sup>*</sup> Lys	1.97	2.29	2.08	2.05	2.25	2.11
精氨酸 <sup>#</sup> Arg	1.98	2.26	2.14	2.14	2.08	2.05
苏氨酸 <sup>*</sup> Thr	1.76	1.81	1.73	1.70	1.81	1.75
丝氨酸 Ser	1.72	1.78	1.75	1.71	1.73	1.65
脯氨酸 Pro	1.31	1.43	1.37	1.37	1.38	1.30
苯丙氨酸 <sup>*</sup> Phe	1.29	1.37	1.36	1.36	1.36	1.34
异亮氨酸 <sup>*</sup> Ile	1.23	1.32	1.32	1.30	1.26	1.22
酪氨酸 Tyr	1.04	1.20	1.22	1.25	1.03	1.20
组氨酸 <sup>#</sup> His	0.43	0.48	0.47	0.47	0.46	0.46
色氨酸 <sup>*</sup> Trp	0.41	0.40	0.41	0.33	0.33	0.31
蛋氨酸 <sup>*</sup> Met	0.34	0.27	0.39	0.42	0.20	0.30
氨基酸总量 TAA	30.15	32.41	31.23	30.91	31.15	30.15
必需氨基酸总量 EAA	11.52	12.27	11.98	11.85	11.81	11.59
非必需氨基酸 NEAA	18.63	20.14	19.25	19.06	19.34	18.56
EAA/TAA	38.20	37.86	38.36	38.35	37.91	38.43
EAA/NEAA	61.81	60.92	62.22	62.20	61.07	62.42

注: \*. 必需氨基酸; #. 条件性必需氨基酸

Note: \*. essential amino acid; #. conditionally essential amino acid

## 2.7 矿物质

6个产地坛紫菜中均含有丰富的矿物质元素,其中常量元素含量最高的是钾(K),其次是镁(Mg)、钠(Na)和钙(Ca);人体必需的微量元素中铁(Fe)含量最高,其次是锰(Mn)、锌(Zn)、铜(Cu)、硒(Se)、钴(Co)和钒(V)。各产地间矿物元素的含量差异显著,其中霞浦坛紫菜中K、Ca、Fe、Zn、Cu、Co和V含量最高,南澳坛紫菜中Na和Se含量最高,东山坛紫菜中Mg含量最高,而温州坛紫菜中Mn含量最高(表3)。

矿物质元素在人体中发挥着重要的生理作用。K、Ca、P、Mg等常量元素是构成人体组织的重要成分,也对维持人体体液酸碱平衡具有至关重要的

作用。必需微量元素对人体生长、发育和健康具有重要作用,其能构成激素、酶和维生素等组分,能参与营养代谢等重要生理功能,如Fe可参与体内氧的转运,维持机体正常造血功能;Cu可参与体内造血过程,催化血红蛋白合成,也是多种酶的组成成分,缺Cu会导致贫血、运动障碍和神经失常等疾病;Zn可促进儿童生长和智力发育,参与组织再生,调节人体免疫功能,缺Zn会导致免疫力下降、生长停滞、皮肤干燥等<sup>[30]</sup>。

根据Ruperez<sup>[31]</sup>的报道,海藻中Na/K低于1.5不易引起高血压。6个产地的坛紫菜Na/K均远低于1,可见,从营养学角度上来看,摄入坛紫菜有助于改善人体的Na、K平衡,预防高血压和心血

表2 不同产地坛紫菜的氨基酸评分

Table 2 Amino acid nutrition evaluation of *P. haitanensis* in different breeding areas

评分方法 evaluation method	氨基酸 amino acid	南澳 Nan'ao	莱芜 Laiwu	东山 Dongshan	漳浦 Zhangpu	霞浦 Xiapu	温州 Wenzhou	参考蛋白 reference protein
氨基酸评分 AAS	苏氨酸	0.44	0.45	0.43	0.42	0.45	0.44	250
	缬氨酸	0.41	0.45	0.42	0.42	0.42	0.42	310
	蛋氨酸+胱氨酸	0.10	0.08	0.11	0.12	0.06	0.09	220
	异亮氨酸	0.31	0.33	0.33	0.33	0.32	0.31	250
	亮氨酸	0.35	0.37	0.37	0.37	0.36	0.35	440
	苯丙氨酸+酪氨酸	0.38	0.42	0.42	0.43	0.39	0.42	380
	赖氨酸	0.36	0.42	0.38	0.38	0.41	0.39	340
	色氨酸	0.43	0.42	0.43	0.35	0.34	0.33	60
化学评分 CS	苏氨酸	0.38	0.39	0.37	0.36	0.39	0.37	292
	缬氨酸	0.31	0.34	0.32	0.32	0.32	0.32	410
	蛋氨酸+胱氨酸	0.06	0.04	0.06	0.07	0.03	0.05	386
	异亮氨酸	0.23	0.25	0.25	0.25	0.24	0.23	331
	亮氨酸	0.29	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29	534
	苯丙氨酸+酪氨酸	0.26	0.29	0.29	0.29	0.27	0.28	565
	赖氨酸	0.28	0.33	0.30	0.29	0.32	0.30	441
	色氨酸	0.26	0.25	0.26	0.21	0.21	0.20	99
必需氨基酸指数 EAAI		23.15	23.83	24.35	23.90	21.73	22.48	100

表3 不同产地坛紫菜矿物质质量分数与构成 (干基)

Table 3 Mineral contents of *P. haitanensis* in different breeding areas (dry mass)mg·kg<sup>-1</sup>

元素 element	南澳 Nan'ao	莱芜 Laiwu	东山 Dongshan	漳浦 Zhangpu	霞浦 Xiapu	温州 Wenzhou
钾 K	22 836.06	23 371.44	17 768.95	15 648.44	25 056.75	24 347.34
镁 Mg	3 182.88	3 097.42	4 581.31	3 310.81	3 426.49	2 982.32
钠 Na	3 115.14	2 134.81	2 317.44	1 851.27	1 375.03	2 323.08
钙 Ca	125.23	273.33	384.53	313.99	986.30	642.37
铁 Fe	91.57	175.14	220.09	142.03	249.22	183.00
锰 Mn	27.21	35.82	39.21	27.67	61.05	61.60
锌 Zn	8.51	12.77	33.68	47.59	49.62	26.39
铜 Cu	4.88	5.67	6.67	3.26	11.99	9.32
硒 Se	1.64	1.33	0.21	0.22	0.65	0.89
钴 Co	0.17	0.17	0.25	0.18	0.27	0.12
钒 V	0.14	0.22	0.35	0.25	0.54	0.41

管疾病。

根据 Hill 和 Matron 提出的“理化性质相似的元素, 其生物学功能相互拮抗”的理论<sup>[32-33]</sup>, Fe、Mn、Cu、Zn 均为第四周期元素, 元素之间的拮抗作用通常发生在 Zn/Cu>10 及 Zn/Fe>1 时。6 个产地的坛紫菜中, 除漳浦的 Zn/Cu 大于 10 (14.58)

外, 其余 5 个产地均小于 10; 且 6 个产地坛紫菜的 Zn/Fe 均小于 1。可见, 除漳浦坛紫菜 Zn/Cu 不理想之外, 其余坛紫菜的 Zn/Cu 和 Zn/Fe 均为理想。

### 3 结论

综上所述, 6 个产地的坛紫菜营养成分差异显

著,产地不同,营养各有优势。坛紫菜水分含量的差异主要由干制方法不同造成,晒干紫菜的水分含量显著高于烘干紫菜。福建、浙江的紫菜采收机械化程度较高,因此其紫菜水分含量显著高于采用传统日晒方式的广东地区。霞浦坛紫菜的灰分、蛋白质以及K、Ca、Fe、Zn、Cu、Co、V矿物元素的含量均高于其他5个产地。莱芜坛紫菜的TAA和EAA含量高于其他5个产地;但温州坛紫菜的EAA/TAA高于其他5个产地;而东山坛紫菜的EAAI最高。

总体而言,坛紫菜是一种高蛋白、低脂肪、富含矿物质的海洋食材,经常食用可以补充人体需要的多种矿物质,还可改善人体的Na、K平衡。坛紫菜中EAA含量较高,且含有丰富的婴幼儿生长发育必需的精氨酸,但其氨基酸组分构成不理想,EAA营养评分较低,说明坛紫菜并非优质蛋白源。蛋氨酸+胱氨酸是坛紫菜的第一限制性氨基酸,异亮氨酸为第二限制性氨基酸,因此在饮食中应搭配含蛋氨酸、胱氨酸等含硫氨基酸高的其他食物进行营养均衡。

#### 参考文献:

- [1] 朱文嘉,王联珠,郭莹莹,等.我国紫菜产业现状及质量控制[J].食品安全质量检测学报,2018,9(13):3353-3358.
- [2] 邓银银,陆勤勤,陈伟洲,等.广东部分岛屿紫菜物种研究[J].南方水产科学,2014,10(2):11-17.
- [3] 李时珍.本草纲目[M].长春:吉林人民出版社,2009:443.
- [4] 冯强,魏玉西,齐君,等.坛紫菜(*Porphyra haitanensis*)化学成分的研究[J].海洋科学,2013,37(5):15-18.
- [5] 陈必链,林跃鑫,黄键.坛紫菜的营养评价[J].中国海洋药物,2001,20(2):51-53.
- [6] NIU J F, WANG G C, ZHOU B C, et al. Purification of R-phycoerythrin from *Porphyra haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) using expanded-bed absorption[J]. J Phycol, 2007, 43(6): 1339-1347.
- [7] 沈照鹏,孙书娟,崔欣,等.琼胶酶酶解2种紫菜及酶解成分分析[J].生物加工过程,2018,16(4):103-108.
- [8] 陈美珍,徐景燕,潘群文,等.末水残次坛紫菜的营养成分及多糖组成分析[J].食品科学,2011,32(20):230-234.
- [9] 倪晓琳,郑曼冰.火焰原子吸收光谱法测定坛紫菜中11种元素的含量[J].现代食品,2017(3):110-111.
- [10] 宋悦,卓馨,陈娟娟,等.不同胁迫温度条件下坛紫菜中脂肪酸和挥发性物质分析[J].食品科学,2017,38(10):191-198.
- [11] GONG G P, ZHAO J X, WANG C J, et al. Structural characterization and antioxidant activities of the degradation products from *Porphyra haitanensis* polysaccharides[J]. Process Biochem, 2018, 74: 1359-5113.
- [12] LIU Q M, XU S S, LI L, et al. *In vitro* and *in vivo* immunomodulatory activity of sulfated polysaccharide from *Porphyra haitanensis*[J]. Carbohydr Polym, 2017, 165: 189-196.
- [13] JIANG Y H, WANG L Z, YAO L, et al. Protective effect of edible marine algae, *Laminaria japonica* and *Porphyra haitanensis*, on subchronic toxicity in rats induced by inorganic arsenic[J]. Biol Trace Elem Res, 2013, 154(3): 379-86.
- [14] 李小平,闫志辉,别雨薇,等.坛紫菜中化学成分的提取及抗脑胶质瘤活性组分的筛选[J].中药药理与临床,2018,34(5):81-85.
- [15] 谢飞,曹纯洁,陈美珍,等.响应面优化末水坛紫菜多糖除蛋白工艺及其抗氧化活性[J].食品科学,2016,37(22):77-84.
- [16] 李锋,李清仙,程志远,等.坛紫菜多酚抗氧化及抑制UVB致HSF细胞氧化损伤作用[J].食品科学,2017,38(17):190-197.
- [17] 王稚祯.“塑料紫菜”与食品安全[J].产业与科技论坛,2017,16(11):235-236.
- [18] 福建省水产加工流通协会.辟谣:“塑料制”是对紫菜最大的误解[J].海洋与渔业,2017(3):68-69.
- [19] 刘欢,陈胜军,杨贤庆,等.舌状蜈蚣藻营养成分分析与品质评价[J].南方水产科学,2018,14(6):99-104.
- [20] 杨贤庆,杨丽芝,黄卉.南海鸚乌贼墨汁营养成分分析与评价[J].南方水产科学,2015,11(5):138-142.
- [21] 叶蕾,张文,阎洁,等.东海中华小公鱼的营养成分分析及营养评价[J].营养学报,2018,40(5):512-514.
- [22] 李梁,薛蓓,刘振东.墨脱香米和红米营养成分分析及评价[J].营养学报,2018,40(6):622-624.
- [23] FAO/WHO and Hoc Expert Committee. Energy and protein requirement[R]. Rome: World Health Organization, Geneva FAO, 1973, 52: 40-73.
- [24] 杨晶晶,姜志强,左然涛,等.绒杜父鱼卵营养成分分析及评价[J].动物营养学报,2014,26(4):1103-1110.
- [25] 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.
- [26] 董颖,胡红霞,马国庆,等.大小两种规格鲟鱼肉营养成分的比较分析[J].营养学报,2018,40(2):200-202.
- [27] FAO/WHO. Energy and protein requirement [R]. Report of Joint FAO/WHO. Geneva: WHO, 1973: 52-63.
- [28] 武彦文,欧阳杰.氨基酸和肽在食品中的呈味作用[J].中国调味品,2001,25(1):19-22.
- [29] 姚海芹,王飞久,刘福利,等.食用海带品系营养成分分析与评价[J].食品科学,2016,37(12):95-98.
- [30] 张忠,李凤林,余蕾.食品营养学[M].北京:中国纺织出版社,2017:77-110.
- [31] RUPEREZ P. Mineral content of edible marine seaweeds[J]. Food Chem, 2002, 79(1): 23-26.
- [32] 郇旭文,王进波.池养南美蓝对虾与南美白对虾肌肉营养品质的比较[J].水生生物学报,2006,30(4):453-458.
- [33] PELLETT P L, YONG V R. Nutritional evaluation of protein foods [M]. Tokyo: The United National University Publishing Company, 1980: 26-29.