

文章编号:1000-8551(2020)03-0539-08

汕头地区不同采收期坛紫菜营养成分分析与评价

陈胜军^{1,3,*} 于 娇^{1,2} 胡 晓¹ 杨贤庆^{1,3} 李来好^{1,3} 戚 勃¹⁽¹⁾ 中国水产科学研究院南海水产研究所/国家水产品加工技术研发中心/农业农村部水产品加工重点实验室,广东 广州 510300;⁽²⁾ 上海海洋大学食品学院,上海 201306;⁽³⁾ 江苏省海洋生物产业技术协同创新中心,江苏 连云港 222005)

摘 要:为探讨不同采收期坛紫菜的营养和开发利用价值,本研究对不同采收期坛紫菜中的基本营养成分、氨基酸、脂肪酸和无机元素进行测定分析,并对其营养价值进行了评价。结果表明,坛紫菜蛋白质、总糖、粗纤维、灰分和脂肪含量随采收期的变化均存在显著差异($P < 0.05$)。坛紫菜中共检出 17 种氨基酸,其中末水紫菜氨基酸含量最高,为 $34.62 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$,二水紫菜含量最低,为 $30.87 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ 。以氨基酸评分和化学评分为标准,蛋氨酸(Met)为各采收期坛紫菜的第一限制性氨基酸。不同采收期的坛紫菜共检出 13~16 种脂肪酸,均含有高比例的不饱和脂肪酸。不同采收期的坛紫菜均检出 12 种无机元素,包括 Na、Mg、K、Ca 4 种常量元素和 Mn、Fe、Cu、Zn、As、Se、Cd、Pb 8 种微量元素。本研究结果为我国坛紫菜加工产业的持续、健康发展提供了一定的科学依据。

关键词:坛紫菜;营养成分;氨基酸;脂肪酸;无机元素

DOI:10.11869/j.issn.100-8551.2020.03.0539

坛紫菜(*Porphyra haitanensis*),隶属红藻门(Rhodophyta)、原红藻纲(Rhodophyceae)、红毛菜目(Porphyridiales)、红毛菜科(Porphyridiaceae)、紫菜属(*Porphyra*)^[1],系暖温带性种类,主要分布在福建、浙江、和广东沿岸,生长于沿海潮间带中高潮区的岩礁或筏架上,是我国特有的大型经济海藻之一^[2-3]。中国是世界紫菜的主要生产国和出口国,2018 年养殖面积达 $76.24 \times 10^3 \text{ hm}^2$,年产量高达 20.18 万 t^[4],具有巨大的碳汇潜力^[5]和经济开发价值。我国紫菜品种包括坛紫菜、条斑紫菜、甘紫菜等,其中坛紫菜是主要养殖种类,占我国紫菜总产量的 50%以上^[2]。坛紫菜作为一种美味食材,营养价值高,富含蛋白、多糖、黄酮类、多酚类、甾类、凝集素、二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)、二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)等多种生理活性成分。紫菜一般分 4~5 次采收,即头水、二水、三水、四水和末水紫菜,营养品质和市场价格随着采收期的延长逐渐降低^[6],末水紫菜价格低廉,大多养殖户不予采收。

近年来,国内外对紫菜的研究主要集中在两个方面,一是藻胆蛋白^[7]、多糖^[8-9]、多肽^[10]、多酚^[11]、黄酮类物质^[12]等海洋生物活性成分的提取制备;二是紫菜酒^[13]、紫菜酸奶^[14]、紫菜酱^[15]等新型产品的开发利用。一般来说,紫菜的精深加工对其基本营养成分组成与含量有着较大的要求,且其组成和含量上的差异使其开发利用具有高难度和不确定性。因此,研究不同采收期坛紫菜的营养成分对我国坛紫菜养殖及加工产业的健康发展具有重要意义。本研究对不同采收期坛紫菜的基本营养成分、氨基酸、脂肪酸和无机元素进行系统分析,并对其品质进行评价,旨在为坛紫菜资源高值化加工和产品开发提供一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

坛紫菜样品由汕头市澄海区培隆紫菜养殖区提供,每隔半个月采收一次,共采收 5 批:2017 年 11 月

收稿日期:2018-08-27 接受日期:2019-01-27

基金项目:广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金(2019KJ151),现代农业产业技术体系专项资金资助(CARS-50),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项目(2017ZD03),农业部水产品加工重点实验室开放基金项目(NYJG201706)

作者简介:陈胜军,男,研究员,主要从事水产品加工与质量安全控制研究。E-mail: chenshengjun@scsfri.ac.cn

* 通讯作者:同第一作者。

20号采收第1批次紫菜,即头水紫菜;2017年12月5号采收第2批次紫菜,即二水紫菜;2017年12月20号采收第3批次紫菜,即三水紫菜;2018年1月4号采收第4批次紫菜,即四水紫菜;2018年1月19号采收第5批次紫菜,即末水紫菜。采收后将样品于60℃烘干至恒重,用高速粉碎机粉碎,过40目筛,保存于干燥皿中。

石油醚、0.1 mol·L⁻¹ HCL 标准溶液、氢氧化钠、乙酸、氯仿-甲醇(2:1)、乙醇、乙醚、14%三氟化硼-甲醇、0.85%生理盐水、正己烷、硼酸、浓硫酸、硫酸钾、硝酸银、苯酚、硝酸,购自上海碧云天生物技术有限公司。

1.2 主要仪器与设备

Kjeltec TM 2300 型蛋白自动分析仪,丹麦 Foss 公司;QP2010 Plus 气相色谱-质谱联用仪,日本岛津公司;3-550A 高温马弗炉,美国 Ney VULCAN 公司;SoxtecTM2050 脂肪自动分析仪,丹麦 FOSS 公司;835-50 型高速氨基酸自动分析仪,日本日立公司;Agilent 7900 电感耦合等离子体质谱仪,美国安捷伦公司。

1.3 试验方法

1.3.1 基本营养成分测定 参照 GB 5009.5-2016 中凯氏定氮法测定粗蛋白含量^[16];参照 GB/T 15672-2009 中酸水解法测定总糖含量^[17];参照 GB/T 5009.10-2003 中酸碱消煮法测定粗纤维含量^[18];参照 GB 5009.4-2016 中灼烧法测定灰分含量^[19];参照 GB 5009.6-2016 中索氏抽提法测定脂肪含量^[20]。

1.3.2 氨基酸含量测定 参照 GB 5009.124-2016 中酸水解法测定 16 种基本氨基酸含量^[21];参照 GB/T 18246-2000 中碱水解法测定色氨酸含量^[22]。

1.3.3 脂肪酸含量测定 参照 GB 5009.168-2016 中内标法测定脂肪酸含量^[23]。

1.3.4 无机元素含量测定 参照 GB 5009.268-2016 中电感耦合等离子质谱法测定 Na、Mg、K、Ca、Mn、Fe、Cu、Zn、As、Se、Cd、Pb 等 12 种无机元素含量^[24]。

1.4 营养价值评价

根据 1973 年 FAO/WHO 提出的氨基酸评分(amino acid score, AAS)和 1991 年中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的化学评分(chemical score, CS)^[25-26]对不同采收期坛紫菜营养价值进行评价。氨基酸评分和化学评分按照公式计算^[27]:

$$AAS = \frac{\text{被测样品蛋白质中氨基酸含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})}{\text{FAO/WHO 评分标准模式中相应氨基酸含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})} \quad (1)$$

$$CS = \frac{\text{被测样品蛋白质中氨基酸含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})}{\text{鸡蛋蛋白质中相应氨基酸含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1})} \quad (2)$$

$$\text{被测样品蛋白质中氨基酸含量}(\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{\text{样品中某氨基酸含量}}{\text{样品中粗蛋白含量}} \times 6.25 \times 1000 \quad (3)$$

1.5 数据处理

采用 SPSS 20.0 软件分析数据,试验数据均重复 3 次,描述性统计值以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用单因素方差分析(ANOVA, Tukey 检验)进行显著性分析, $P < 0.05$ 为差异显著,并通过 Duncan's 法进行单因素多重比较分析。采用 Excel 2016 软件分析数据并作图。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分分析

由表 1 可知,随着采收期的延长,坛紫菜蛋白质含量总体呈先减少后增加的趋势,且不同采收期差异显著($P < 0.05$),其中头水紫菜蛋白含量最高(40.96%),其次为末水紫菜含量(39.82%),二水紫菜含量最低(35.59%)。不同采收期坛紫菜总糖含量与蛋白质含量变化趋势相反,总体呈先增加后减少的趋势,部分采收期的总糖含量差异显著($P < 0.05$),其中头水紫菜总糖含量最低(29.29%),三水紫菜含量最高(32.95%)。坛紫菜粗纤维含量基本呈上升趋势,且各采收期粗纤维含量差异显著($P < 0.05$),其中头水紫菜纤维含量最低(5.49%),末水紫菜含量最高(7.14%)。坛紫菜灰分含量较接近,部分采收期的灰分含量差异显著($P < 0.05$)。不同采收期的坛紫菜脂肪含量基本接近且较低。坛紫菜蛋白质含量随着采收期的推移,其含量先降低后逐渐升高,这可能与紫菜生长水域环境的变化和内部生理结构的变化有关,如水温的降低、光照强度的增强等有利于紫菜营养成分的积累^[28]。不同采收期坛紫菜的基本营养成分含量差异较大,三水以下的低值紫菜具有高蛋白低脂肪的特点,可根据生产需求适时采收。

2.2 氨基酸组成分析

由表 2 可知,不同采收期坛紫菜均检出 17 种氨基酸,氨基酸含量的变化趋势大致与蛋白质相同。其中必需氨基酸质量分数介于 36.14%~37.71%,非必需氨基酸质量分数为 62.29%~63.86%,必需氨基酸和非必需氨基酸的比例介于 0.57~0.61 之间,接近世界卫生组织规定值 0.60^[29],表明坛紫菜蛋白质氨基酸组成合理,可与人体氨基酸需求基本持衡^[30]。不同采收期坛紫菜氨基酸总量介于 30.87~34.62 g·100g⁻¹ 之间,其中头水紫菜和末水紫菜氨基酸含量相对较高,分别为 34.11、34.62 g·100g⁻¹。不同采收期紫菜均含有

表 1 不同采收期的坛紫菜基本营养成分分析(以干重计)

Table 1 Analysis of nutritional composition of *Porphyra haitanensis* at different harvest time(dry based) /%

| 采收期 Different harvest time | 蛋白质 Protein | 总糖 Total sugar | 粗纤维 Crude fiber | 灰分 Ash | 脂肪 Fat |
|-------------------------------|----------------|-------------------|--------------------|------------|------------|
| 头水紫菜 First harvest time | 40.96±0.25a | 29.29±1.07c | 5.49±0.10e | 8.90±0.10b | 0.48±0.02b |
| 二水紫菜 Second harvest time | 35.59±0.12e | 32.43±0.45ab | 6.47±0.00c | 8.69±0.11c | 0.34±0.03c |
| 三水紫菜 Third harvest time | 36.32±0.14d | 32.95±0.49a | 6.83±0.09b | 9.37±0.00a | 0.37±0.01c |
| 四水紫菜 Fourth harvest time | 37.94±0.20c | 31.32±0.25b | 6.19±0.05d | 9.01±0.07b | 0.50±0.04b |
| 末水紫菜 Fifth harvest time | 39.82±0.43b | 30.03±0.34c | 7.14±0.13a | 8.87±0.02b | 0.68±0.03a |

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

表 2 不同采收期的坛紫菜氨基酸组成及含量(以干重计)

Table 2 Amino acid composition of *Porphyra haitanensis* at different harvest time(dry based) /($\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$)

| 氨基酸 Amino acid | 头水紫菜 First harvest time | 二水紫菜 Second harvest time | 三水紫菜 Third harvest time | 四水紫菜 Fourth harvest time | 末水紫菜 Fifth harvest time |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 缬氨酸 Val | 2.35 | 2.17 | 2.19 | 2.24 | 2.48 |
| 蛋氨酸 Met | 0.17 | 0.13 | 0.12 | 0.12 | 0.14 |
| 赖氨酸 Lys | 2.29 | 2.15 | 2.18 | 2.23 | 2.38 |
| 亮氨酸 Leu | 2.72 | 2.50 | 2.46 | 2.48 | 2.67 |
| 苯丙氨酸 Phe | 1.47 | 1.37 | 1.39 | 1.43 | 1.61 |
| 异亮氨酸 Ile | 1.38 | 1.27 | 1.23 | 1.24 | 1.35 |
| 苏氨酸 Thr | 1.93 | 1.72 | 1.73 | 1.79 | 1.96 |
| 色氨酸 Trp | 0.45 | 0.33 | 0.34 | 0.34 | 0.41 |
| 必需氨基酸 EAA | 12.76 | 11.64 | 11.64 | 11.87 | 13.00 |
| 天冬氨酸 Asp* | 3.78 | 3.41 | 3.35 | 3.53 | 3.83 |
| 丝氨酸 Ser* | 1.95 | 1.76 | 1.76 | 1.79 | 1.93 |
| 谷氨酸 Glu* | 4.23 | 3.81 | 3.80 | 4.35 | 4.17 |
| 甘氨酸 Gly* | 2.21 | 2.10 | 2.20 | 2.30 | 2.43 |
| 精氨酸 Arg | 2.15 | 1.97 | 2.02 | 2.13 | 2.44 |
| 丙氨酸 Ala* | 4.11 | 3.49 | 3.71 | 4.12 | 3.71 |
| 脯氨酸 Pro | 1.43 | 1.32 | 1.36 | 1.36 | 1.53 |
| 酪氨酸 Tyr | 1.02 | 0.93 | 0.94 | 0.94 | 1.10 |
| 组氨酸 His | 0.47 | 0.44 | 0.44 | 0.45 | 0.48 |
| 氨基酸总量 TAA | 34.11 | 30.87 | 31.22 | 32.84 | 34.62 |
| 非必需氨基酸 NEAA | 21.35 | 19.23 | 19.58 | 20.97 | 21.62 |
| 鲜味氨基酸 UAA | 16.28 | 14.57 | 14.82 | 16.09 | 16.07 |
| EAA/TAA/% | 37.41 | 37.71 | 37.28 | 36.14 | 37.55 |
| UAA/TAA/% | 47.73 | 47.20 | 47.47 | 49.00 | 46.42 |

注: * 表示鲜味氨基酸。EAA: 必需氨基酸; TAA: 总氨基酸; NEAA: 非必需氨基酸; UAA: 鲜味氨基酸。

Note: * indicates umami amino acids. EAA: Essential amino acid. TAA: Total amino acids. NEAA: Nonessential amino acid. UAA: Umami amino acids.

5种鲜味氨基酸,随着采收期的延长,其总含量呈先减少后增加的趋势,总含量介于 $14.57 \sim 16.28 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ 之间,其中头水紫菜鲜味氨基酸总量最高($16.28 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$),占氨基酸总量的47.73%,因此,头水紫菜鲜味较佳。各采收期坛紫菜鲜味氨基酸中谷氨酸含量最高,介于 $3.80 \sim 4.35 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ 之间。谷氨酸可转化为谷氨酰胺,其具有促进体内蛋白合成、提高系统自身免疫力、维持体内酸碱平衡、保护肠道黏膜等功能^[31]。

2.3 氨基酸营养价值评价

仅根据必需氨基酸与非必需氨基酸的比值无法全面评估坛紫菜蛋白质的营养价值^[32],因此采用氨基酸评分和化学评分相结合的方式评估坛紫菜营养价值。由表3可知,以AAS模式为标准,不同采收期坛紫菜中Ile均高于0.80,Leu均高于0.90,Val、Lys、Thr和Phe+Tyr均高于FAO/WHO氨基酸标准模式,而Met

均低于0.2,表明Val、Lys、Thr和Phe+Tyr均达到了FAO/WHO评分标准模式氨基酸质量分数的要求,Ile和Leu略低于FAO/WHO评分标准模式氨基酸质量分数的要求,Met含量最低,因此Met为坛紫菜的第一限制性氨基酸,由AAS评分可知,坛紫菜氨基酸组成较合理,营养价值较高。以CS模式为标准,不同采收期坛紫菜中Phe+Tyr和Ile均高于0.6,Lys和Leu均高于0.7,Val高于0.8,Thr高于CS模式中鸡蛋蛋白中相应的氨基酸质量分数,Met低于0.2,表明坛紫菜蛋白质具有一定的营养价值,但低于鸡蛋蛋白质营养价值。两种模式均表明Met为坛紫菜的第一限制性氨基酸,不同采收期的坛紫菜AAS和CS差异均较小,坛紫菜蛋白质具有较高的营养价值,可作为一种较为优质的蛋白源。

表3 坛紫菜中必需氨基酸组成评价

Table 3 Composition evaluation of essential amino acid in *Porphyra haitanensis*

| 必需氨基酸 Essential amino acids | FAO/WHO 评分标准模式氨基酸质量分数 FAO/WHO recommended model /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 鸡蛋蛋白氨基酸质量分数 Egg protein recommended model /($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) | 头水紫菜 First harvest time | | 二水紫菜 Second harvest time | | 三水紫菜 Third harvest time | | 四水紫菜 Fourth harvest time | | 末水紫菜 Fifth harvest time | |
|--------------------------------|--|--|----------------------------|------|-----------------------------|------|----------------------------|------|-----------------------------|------|----------------------------|------|
| | | | AAS | CS | AAS | CS | AAS | CS | AAS | CS | AAS | CS |
| | | | 缬氨酸 Val | 310 | 410 | 1.16 | 0.88 | 1.23 | 0.93 | 1.22 | 0.92 | 1.19 |
| 蛋氨酸 Met | 220 | 386 | 0.12 | 0.07 | 0.10 | 0.06 | 0.09 | 0.05 | 0.09 | 0.05 | 0.10 | 0.06 |
| 赖氨酸 Lys | 340 | 441 | 1.03 | 0.79 | 1.11 | 0.86 | 1.10 | 0.85 | 1.08 | 0.83 | 1.10 | 0.85 |
| 亮氨酸 Leu | 440 | 534 | 0.94 | 0.78 | 1.00 | 0.82 | 0.96 | 0.79 | 0.93 | 0.76 | 0.95 | 0.78 |
| 苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr | 380 | 565 | 1.00 | 0.67 | 1.06 | 0.71 | 1.06 | 0.71 | 1.02 | 0.69 | 1.12 | 0.75 |
| 异亮氨酸 Ile | 250 | 331 | 0.84 | 0.64 | 0.89 | 0.67 | 0.85 | 0.64 | 0.82 | 0.62 | 0.85 | 0.64 |
| 苏氨酸 Thr | 250 | 292 | 1.18 | 1.01 | 1.21 | 1.04 | 1.19 | 1.02 | 1.18 | 1.01 | 1.23 | 1.05 |

2.4 脂肪酸组成分析

由表4可知,坛紫菜中共检出16种脂肪酸,其中头水紫菜检出16种,四水和末水紫菜均检出14种,二水和三水紫菜均检出13种。不同采收期坛紫菜总饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA)介于31.93%~34.93%之间,其中头水、二水和末水紫菜SFA含量较高且接近,分别为34.93%、34.68%和34.82%。不同采收期坛紫菜的单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)介于5.61%~8.11%之间,其中四水紫菜总MUFA含量最高(8.11%)。坛紫菜富含多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA),不同采收期坛紫菜的PUFA与总脂肪酸比值介于57.71%~61.38%之间,其中三水紫菜总PUFA最高

(61.38%)。在PUFA中,EPA、DHA之和占比达到60%以上,其中四水紫菜EPA、DHA之和占比最高,为77.36%。在PUFA中,二十碳四烯酸(arachidonic acid, ARA)占比为12.74%~24.37%,其中头水紫菜占比最高(24.37%)。EPA和DHA具有降血脂、降血压、防止动脉硬化、补脑健脑和抗肿瘤等生物功能^[33],低值坛紫菜富含PUFA,具有较高的营养价值。

2.5 矿物质元素结果分析

由于人体只能从食物中摄取无机元素以维持人体正常代谢,因此无机元素是人体不可缺少的成分^[34]。由表5可知,坛紫菜共测得12种无机元素,包括Na、Mg、K、Ca 4种常量元素和Mn、Fe、Cu、Zn、As、Se、Cd、Pb 8种微量元素。头水紫菜K含量为 $24.65 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,

表 4 不同采收期的坛紫菜脂肪酸组成及比例

Table 4 Fatty acid compositions and relative contents of *Porphyra haitanensis* at different harvest time / %

| 脂肪酸 Fatty acid | 头水紫菜 First harvest time | 二水紫菜 Second harvest time | 三水紫菜 Third harvest time | 四水紫菜 Fourth harvest time | 末水紫菜 Fifth harvest time |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| C13:0 | 0.09±0.02a | 0.07±0.00b | ND | 0.06±0.00b | ND |
| C14:0 | 0.12±0.00a | 0.10±0.00a | 0.14±0.00a | 0.07±0.02a | 0.15±0.00a |
| C15:0 | 0.06±0.00b | ND | 0.03±0.00b | ND | 0.12±0.05a |
| C16:0 | 32.13±1.87a | 31.90±0.27a | 29.97±0.24a | 29.89±3.49a | 32.00±2.84a |
| C17:0 | 0.02±0.00b | 0.05±0.00a | ND | ND | ND |
| C18:0 | 2.51±0.29a | 2.55±0.04a | 2.03±0.02ab | 1.91±0.60b | 2.54±0.07a |
| ΣSFA | 34.93 | 34.68 | 32.18 | 31.93 | 34.82 |
| C16:1 | 0.03±0.01c | 0.68±0.00b | 0.07±0.00c | 1.55±0.35a | 1.02±0.32ab |
| C17:1 | 1.73±0.19a | 2.14±0.02a | 2.57±0.02a | 2.56±1.05a | 1.96±0.24a |
| C18:1 | 3.18±0.94a | 3.72±0.06a | 3.39±0.04a | 3.53±1.04a | 4.09±0.11a |
| C22:1 | 0.66±0.05a | 0.73±0.01a | 0.39±0.00a | 0.48±0.24a | 0.41±0.18a |
| ΣMUFA | 5.61 | 7.28 | 6.43 | 8.11 | 7.48 |
| C18:2 | 2.42±0.76a | 2.75±0.01a | 1.94±0.01a | 2.11±0.71a | 2.30±0.07a |
| C18:3 | 2.27±0.08ab | 3.20±0.10a | 2.81±0.03a | 2.98±1.13a | 1.70±0.13b |
| C20:2 | 0.33±0.16b | ND | 0.93±0.02a | 0.84±0.34a | 0.75±0.15a |
| C20:4(ARA) | 14.49±1.70a | 12.41±0.02b | 10.00±0.10c | 7.64±0.92d | 10.11±0.49c |
| C20:5(EPA) | 24.29±4.09c | 39.68±0.05b | 45.71±0.40a | 21.04±4.22c | 12.29±2.17d |
| C22:6(DHA) | 15.67±2.05c | ND | ND | 25.34±1.31b | 30.56±3.58a |
| ΣPUFA | 59.46 | 58.05 | 61.38 | 59.95 | 57.71 |

注:SFA;饱和脂肪酸;MUFA;单不饱和脂肪酸;PUFA;多不饱和脂肪酸;ND;未检出。同行不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note:SFA;Saturated fatty acids. MUFA;Monounsaturated fatty acids. PUFA;Polyunsaturated fatty acids. ND; Not detected. Different lowercase letters in the same line indicate significant difference at 0.05 level. The same as following.

显著高于其他采收期坛紫菜 K 含量($P<0.05$),K 元素具有参与能量代谢、维持酸碱平衡的作用^[35]。二水紫菜中 Mg 含量最高($10.98 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),Mg 元素作为人体内多种酶的激活剂,对心脏有重要调节功能^[36]。三水紫菜中 Fe 含量最高($1.45 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),显著高于其他采收期坛紫菜 Fe 含量,Fe 元素是血红蛋白的组成部分^[33]。三水紫菜中 Ca 含量最高($0.81 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),其具有预防高血压和骨质疏松的作用^[36]。头水紫菜 Zn 含量最高($0.13 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$),Zn 元素具有调节人体免疫功能、抗衰老的作用^[36]。不同采收期坛紫菜的无机元素含量差异较大,可能与采收期次有关。

3 讨论

本研究通过分析比较不同采收期的坛紫菜营养成分发现,坛紫菜蛋白质含量、总糖含量、粗纤维含量、灰分含量和脂肪含量随着采收期的变化均有显著的变化。本研究中坛紫菜营养成分的变化趋势与仲明

等^[37]研究的条斑紫菜部分营养成分变化趋势不同。头水坛紫菜蛋白含量最高(40.96%),二水含量最低(35.59%),呈先降低后升高的趋势;而条斑紫菜的五茬含量最高(39.6%),头茬含量最低(33.4%),呈先升高后降低的趋势,这可能与紫菜种类、生长环境和采收次数有关^[37]。本研究发现随着采收期次的增加,粗纤维含量呈现逐渐增加的趋势,即不溶于酸碱的纤维成分增多,这与仲明等^[37]研究的粗纤维变化趋势相同,且其粗纤维含量均维持在4%~8%之间。紫菜营养成分含量的波动受诸多因素影响,如紫菜品种、生长周期、养殖水域环境、采收期次、采收间隔时间、初采时间等。

本研究结果表明,不同采收期的坛紫菜氨基酸总量介于 $30.87\sim 34.62 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ 之间,其蛋白质氨基酸组成合理,氨基酸模式接近人体氨基酸模式,坛紫菜蛋白质具有一定的营养价值。黄永连等^[38]研究发现紫菜氨基酸含量高于浒苔、石莼、裙带菜、龙须菜、海带、马尾藻和麒麟藻,含有8种必需氨基酸,富含天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、亮氨酸、缬氨酸、精氨酸和赖氨酸。

表5 不同采收期的坛紫菜无机元素含量

Table 5 Inorganic elements contents of *Porphyra haitanensis* at different harvest time / (mg·g⁻¹)

| 无机元素 Inorganic elements | 头水紫菜 First harvest time | 二水紫菜 Second harvest time | 三水紫菜 Third harvest time | 四水紫菜 Fourth harvest time | 末水紫菜 Fifth harvest time |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 钠 Na | 11.87±0.71b | 13.69±0.82a | 11.20±0.67b | 9.55±0.57c | 8.67±0.52c |
| 镁 Mg | 10.46±0.63a | 10.98±0.66a | 10.60±0.64a | 8.93±0.54b | 8.18±0.49b |
| 钾 K | 24.65±1.48a | 19.32±1.16bc | 20.63±1.25b | 18.01±1.08c | 17.41±1.68c |
| 钙 Ca | 0.51±0.03c | 0.73±0.04b | 0.81±0.05a | 0.73±0.04b | 0.41±0.02d |
| 锰 Mn | 0.10±0.01a | 0.09±0.01a | 0.09±0.01a | 0.07±0.00b | 0.06±0.00b |
| 铁 Fe | 0.64±0.04d | 0.89±0.05c | 1.45±0.09a | 1.10±0.07b | 0.59±0.04d |
| 铜 Cu | 0.03±0.00a | 0.02±0.00b | 0.02±0.00b | 0.02±0.00b | 0.02±0.00b |
| 锌 Zn | 0.13±0.01a | 0.11±0.01b | 0.07±0.00c | 0.07±0.00c | 0.06±0.00c |
| 砷 As | 0.07±0.00a | 0.06±0.00b | 0.05±0.00c | 0.05±0.00c | 0.05±0.00c |
| 硒 Se | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| 镉 Cd | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| 铅 Pb | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |

坛紫菜富含无机元素,具有高钾低钠的特点,其无机元素含量大小顺序为:K > Na > Mg > Fe > Ca > Zn > Mn > Cu,这与倪晓琳等^[36]的研究结果相似,这可能是坛紫菜所含无机元素的共性。此外,不同采收期的坛紫菜 As、Pb、Hg、Cr 含量均低于 GB 2762-2017 食品中污染物限量^[39]中的最大限量标准,可作为良好的矿质元素食材。本研究中坛紫菜的 PUFA 与总脂肪酸比值介于 57.71%~61.38%之间,与李微等^[40]研究的坛紫菜脂肪酸所占比例相近,其研究中 15 种不同品系坛紫菜脂肪酸的相对百分含量介于 50.86%~62.05%之间。

三水以下等低值紫菜是紫菜资源的主要构成部分^[6],头水紫菜具有较好的口感和可加工性,每千克市场销售价高达 400~600 元,而低值紫菜质感和可加工性较差,售价低,末水紫菜每千克售价仅为 20~40 元,经济效益有待提升。本研究结果表明,低值坛紫菜富含蛋白质、总糖、粗纤维、无机元素、DHA、EPA,具有良好的营养保健和开发利用价值,可用于新型食品开发和蛋白质、多肽、多糖、DHA、EPA 等功能性成分的活性研究,这不仅能提高低值紫菜的产品附加值,而且可解决因末水紫菜丢弃引起的环境污染等问题,对我国坛紫菜加工产业的持续、健康发展具有重要意义。

4 结论

本研究对不同采收期坛紫菜的营养成分进行了系统地分析比较,发现不同采收期坛紫菜均富含蛋白质、总糖、无机元素、DHA、EPA,具有良好的营养保健和开

发利用价值。本研究对不同采收期坛紫菜的基本营养成分、氨基酸、脂肪酸和无机元素进行系统分析,证实低值紫菜也有较高的营养价值,具有较大的产品附加值升值空间。本研究为坛紫菜深度开发利用和分类加工提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 张忠山. 坛紫菜多糖的化学结构修饰及其功效关系研究[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2010
- [2] 白露. 坛紫菜多肽的分离纯化及其抗肿瘤活性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016
- [3] 张哈哈, 徐燕, 纪德华, 陈昌生, 许凯, 谢潮添. 坛紫菜谷胱甘肽过氧化物酶基因的克隆及表达特征[J]. 中国水产科学, 2016, 23(4): 791-799
- [4] 农业部渔业渔政管理局. 2017 年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017: 28-50
- [5] 齐占会, 王珺, 黄洪辉, 刘永, 李纯厚, 陈胜军, 孙鹏. 广东省海水养殖贝藻类碳汇潜力评估[J]. 南方水产科学, 2012, 8(1): 30-35
- [6] 陈美珍, 徐景燕, 潘群文, 高小燕. 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
- [7] Xu C, Wu M H, Yang Q, Wang S Y. Preparation, characterization of food grade phycobiliproteins from *Porphyra haitanensis* and the application in liposome-meat system [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 77: 468-474
- [8] Yu P, Zhang Y S. Separation and purification of *Porphyra haitanensis* polysaccharide and its preliminary structural characterization[J]. Separation Science and Technology, 2017, 52(11): 1835-1842
- [9] 刘亮, 钟云凯, 曹少谦, 戚向阳, 罗彤. 紫菜多糖抗氧化活性及体外免疫调节作用研究[J]. 核农学报, 2016, 30(12): 2355-

2362

- [10] 雷桂洁, 苏国成, 江晓颖, 周常义, 刘静雯, 李健. 复合酶二次酶解法制备紫菜多肽原液及其 ACE 抑制活性的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(11): 141-146
- [11] 李锋, 李清仙, 程志远, 郭养浩, 石贤爱. 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
- [12] 陈利梅. 超声波辅助双水相提取条斑紫菜黄酮类物质及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学, 2012, 33(4): 41-46
- [13] 刘秀敏, 崔志军, 赵丽, 陈利梅. 紫菜酒加工工艺研究[J]. 酿酒科技, 2016(4): 85-88
- [14] 宋亚茹, 刘舒, 林璐. 凝固型紫菜酸奶的研制[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(13): 83-87
- [15] 范露, 施星杰. 发酵紫菜酱的工艺研究[J]. 食品科技, 2015(3): 269-272
- [16] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [17] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 15672-2009 食用菌中总糖含量的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009
- [18] 中华人民共和国国家卫生部. GB/T 5009.10-2003 植物类食品中粗纤维的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003
- [19] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.4-2016 食品安全国家标准食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [20] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.6-2016 食品安全国家标准食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [21] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.124-2016 食品安全国家标准食品中氨基酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [22] 国家质量技术监督局. GB/T 18246-2000 饲料中氨基酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000
- [23] 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.168-2016 食品安全国家标准食品中脂肪酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [24] 国家质量监督检验检疫总局. GB 5009.268-2016 食品安全国家标准食品中多元素的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [25] Vinay B J, Kanya T C S. Effect of detoxification on the functional and nutritional quality of proteins of karanja seed meal [J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 77-84
- [26] 于刚, 张洪杰, 杨少玲, 杨贤庆, 郝淑贤, 张鹏, 林婉玲. 南海鸚乌贼营养成分分析与评价[J]. 食品工业科技, 2014, 35(18): 358-361
- [27] 刘先进, 陈胜军, 李来好, 杨贤庆, 黄卉. 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
- [28] 陈伟洲, 吴文婷, 许俊宾, 金玉林, 宋志民. 不同生态因子对皱紫菜生长及生理组分的影响[J]. 南方水产科学, 2013, 9(2): 14-19
- [29] 何志刚, 王冬武, 徐永福, 刘丽, 洪波, 陈建国. 黑斑蛙肌肉营养成分分析及评价[J]. 中国饲料, 2018(1): 74-77
- [30] 刘婷婷, 刘阳, 张晶, 宋云禹, 李桂杰, 张艳荣. 分蘖葱头蛋白提取工艺优化及其基础特性[J]. 食品科学, 2018, 39(2): 267-272
- [31] de Arruda I S F, de Aguiar-Nascimento J E. Benefits of early enteral nutrition with glutamine and probiotics in brain injury patients [J]. Clinical Science, 2004, 106(3): 287
- [32] Luo T, Xie Y F, Dong Y, Liu A H. Quality assessment of soy sauce using underivatized amino acids by capillary electrophoresis [J]. International Journal of Food Properties, 2018, 3(20): 3052-3061
- [33] Mohanty B P, Ganguly S, Mahanty A, Sankar T V, Anandan R, Chakraborty K, Paul B N, Sarma D, Syama Dayal J, Venkateshwarlu G, Mathew S, Asha K K, Karunakaran D, Mitra T, Chanda S, Shahi N, Das P, Das P, Akhtar M S, Vijayagopal P, Sridhar N. DHA and EPA Content and Fatty Acid Profile of 39 Food Fishes from India [J]. Biomed Research International, 2016, 2016: 1-14
- [34] 戴宏杰, 孙玉林, 冯梓欣, 文菁, 陈道海. 雌性虎斑乌贼缠卵腺营养成分分析与评价[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 97-103
- [35] 李富兰, 斯维, 周雪松, 梁晓锋. 生姜中钾的提取工艺研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(3): 91-93
- [36] 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, 2(3): 110-111
- [37] 仲明, 张锐. 条斑紫菜不同采收期主要营养成分变化情况[J]. 中国饲料, 2003(23): 30-31
- [38] 黄永连, 黄柳霞, 陈晓嘉. 氨基酸自动分析仪测定不同藻类的氨基酸组成[J]. 粮食流通技术, 2016(11): 100-104
- [39] 国家食品药品监督管理总局. GB 2762-2017 食品安全国家标准食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017
- [40] 李微, 阿曼尼萨·买买提, 徐继林, 骆其君, 李艳, 严小军. 不同收获期不同品系坛紫菜脂肪酸组成比较[J]. 生物学杂志, 2016, 33(1): 27-31

Nutritional Analysis and Evaluation of *Porphyra haitanensis* in Shantou Area at Different Harvesting Stages

CHEN Shengjun^{1,3,*} YU Jiao^{1,2} HU Xiao¹ YANG Xianqing^{1,3} LI Laihao^{1,3} QI Bo¹

(¹ South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/National Research and Development Center for Aquatic Product Processing/Key Lab of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou, Guangdong 510300;² College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306;³ Co-Innovation Center of Jiangsu Marine Bio-industry Technology, Lianyungang, Jiangsu 222005)

Abstract: In order to evaluate the nutrition and quality of *Porphyra haitanensis* at different harvesting stages in Shantou area, the basic nutritional components, amino acids, fatty acids, inorganic elements were analyzed, and its nutritional value was investigated. The results showed that there were significant differences in the contents of protein, total sugar, crude fiber, ash and fat with the harvest periods ($P < 0.05$). A total of 17 amino acids were detected in *Porphyra haitanensis*, among which the highest content reached $34.62 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ in the last harvest of *Porphyra haitanensis* and the lowest was $30.87 \text{ g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ in the second harvest of *Porphyra haitanensis*. According to the nutritional evaluation by amino acids score (AAS) and chemical score (CS), the first restricted amino acid was Met. A total of 13 to 16 fatty acids were detected in the *Porphyra haitanensis* at different harvesting stages, all of which contained a high proportion of unsaturated fatty acids. 12 kinds of inorganic elements were detected in *Porphyra haitanensis* at different harvesting stages, including four major elements such as Na, Mg, K, and Ca, and eight trace elements such as Mn, Fe, Cu, Zn, As, Se, Cd, and Pb. This research provided a scientific basis for the sustainable and healthy development of *Porphyra haitanensis* processing in China.

Keywords: *Porphyra haitanensis*, nutritional composition, amino acids, fatty acids, inorganic elements