

# 加工方式对海带营养品质的影响

王雨馨<sup>1,2</sup>, 郭莹莹<sup>2</sup>, 李 娜<sup>2</sup>, 王联珠<sup>2\*</sup>, 许加超<sup>1\*</sup>

(1. 中国海洋大学食品科学与工程学院, 青岛 266003;

2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛 266071)

**摘 要: 目的** 研究不同加工方式对海带营养品质的影响。**方法** 将不同海域、不同时期收割的新鲜海带加工制成干海带、盐渍海带、盐渍半干海带, 对 4 类海带样品进行基本营养成分的测定, 同时模拟家庭食用方式对海带制品进行浸泡和熟制处理, 测定处理前后碘含量。**结果** 鲜海带中碘、蛋白质、膳食纤维含量高于其他 3 种类型海带; 干海带的矿物质含量较高; 深水海域海带产品的矿物质含量高于浅水海域; 成熟期海带产品的碘和蛋白质含量较高。浸泡和熟制处理前后海带中碘流失量达到 80% 以上。**结论** 不同加工方式会使海带中营养成分出现不同程度的损失, 食用状态下的海带碘含量较低, 适量食用海带不会存在补碘过量的风险。

**关键词:** 海带; 营养成分; 碘; 食用状态

## Effects of processing methods on the nutritional quality of kelp

WANG Yu-Xin<sup>1,2</sup>, GUO Ying-Ying<sup>2</sup>, LI Na<sup>2</sup>, WANG Lian-Zhu<sup>2\*</sup>, XU Jia-Chao<sup>1\*</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

**ABSTRACT: Objective** To evaluate the effects of different processing methods on the nutritional quality of kelp. **Methods** The fresh kelp obtained in different sea areas and periods was processed into dry kelp, salted kelp and salted semi-dry kelp. Then the basic nutrients including water, protein, iodine and dietary fiber of four kinds of kelps were measured. The kelp products were soaked and cooked in simulated family eating mode, and the iodine content before and after treatment was determined. **Results** The amounts of iodine, protein, dietary fiber in fresh kelp were higher than those in other kelp products. The content of mineral elements in dry kelp was higher. Moreover, the mineral elements content in kelp samples from abyssal sea was higher than that from shallow water. The iodine and protein content of kelp in maturation period were higher. More than 80% of iodine in raw kelp products was lost during soaking and cooking process. **Conclusion** Different processing methods may result nutrient components loss

**基金项目:** 现代农业产业技术体系专项资金资助(CARS-50)、中央级公益性科研院所基本科研业务费(20603022018017)、山东省重大科技创新工程项目(2019JZZY020613)

**Fund:** Supported by the China Agriculture Research System(CARS-50), the Basal Scientific Research Funds in Central Public Welfare Scientific Research Units (20603022018017), and the Major Scientific and Technological Innovation Project of Shandong Province(2019JZZY020613)

**\*通讯作者:** 王联珠, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全与标准化。E-mail: wanglz@ysfri.ac.cn

许加超, 硕士, 教授, 主要研究方向为海藻化学及应用。E-mail: xujia@ouc.edu.cn

**\*Corresponding author:** WANG Lian-Zhu, Professor, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China. E-mail: wanglz@ysfri.ac.cn

XU Jia-Chao, Master, Professor, College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China. E-mail: xujia@ouc.edu.cn

in different degree in kelp. As the low iodine content of kelp in the state of edible, there is no risk of excessive iodine supplementation to consume kelp moderately.

**KEY WORDS:** kelp; nutritional components; iodine; edible state

## 1 引言

海带(*Saccharina japonica*)是一种冷水性大型褐藻, 20 世纪 50 年代初开始在我国北部沿海地区人工养殖, 目前其规模、产量均居世界之首, 是我国水产养殖的支柱产业<sup>[1,2]</sup>。海带味道鲜美, 营养丰富, 食用和药用价值较高, 多年来深受消费者喜爱。海带中含有多种海带多糖, 包括褐藻胶、甘露醇、膳食纤维等, 具有降血压、降血脂、抑制肿瘤生长和改善肾功能衰竭等多种功能<sup>[3]</sup>。海带膳食纤维是一种国际公认的功能性食品原料, 能促进肠胃蠕动, 加速消化<sup>[4]</sup>。海带中含有人体必需的微量元素——碘, 碘缺乏会引起地方性甲状腺肿、克汀病等疾病, 影响身体机能。海带是一种碘含量十分丰富的食物, 因此适量食用海带能够在一定程度上起到预防甲状腺疾病的作用。

海带所含营养成分的高低是由多种因素共同作用的, 主要包括海带的采收时间、生长环境、海带品种、加工处理方式等因素。20 世纪 50~70 年代, Black 等<sup>[5-7]</sup>、Schiener 等<sup>[8]</sup>、Adams 等<sup>[9]</sup>已经开始对海带营养成分随季节的变化展开研究。纪明候<sup>[10]</sup>对我国不同生长环境的海带营养成分进行研究, 发现大连海带甘露醇含量普遍低于青岛海带, 灰分、碘、k 值含量也不同。刘红英等<sup>[11]</sup>对青岛海带与宁波海带营养成分含量进行研究, 发现宁波海带中粗蛋白、碘、褐藻胶的含量大于青岛海带, 而岩藻聚糖硫酸酯和甘露醇的含量则远小于青岛海带。姚海芹等<sup>[12]</sup>对 3 种品系的海带进行营养成分的分析, 发现 3 种品系的海带基本营养成分各不相同。本文选取威海 2 个海域(3 个海区), 以不同采收期收割的鲜海带及其制成的干海带、盐渍海带、盐渍半干海带为研究对象, 对其基本营养成分和矿物质元素进行分析, 旨在全面了解不同因素对海带营养成分含量高低的影响, 为海带产品的开发、利用和推广提供理论依据, 促进海带产业的高值化。

## 2 材料与方法

### 2.1 仪器与试剂

7800 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Agilent 公司); MARS-X 微波消解仪(美国 CEM 公司); GWBG-50 mL 压力消解罐(北京迈瑞达科技有限公司); GZX-9140 电热恒温干燥箱(北京赛欧华创科技有限公司); EH35A 控温电热板(浙江力辰仪器科技有限公司); KQ-500DE 超声水浴箱(重庆三克仪器有限公司)。

钾、钠等 9 种标准溶液(上海市计量科技研究院)。

无水乙醇、氢氧化钠、碳酸钠、氢氧化钾、无水硫酸钠、硫酸钾、硝酸、高氯酸(分析纯, 北京翰隆达科技有限公司); 抗坏血酸、 $\alpha$ -淀粉酶、木瓜蛋白酶(上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 甲醇、乙腈(色谱纯, 上海麦克林生化科技有限公司); 实验室用水为 Milli-Q 超纯水。

鲜海带共 3 种, 采样于山东威海 A、B 2 个海域, 其中 A 海域选取浅水区(水深在 20 m 左右)标记为 A<sub>1</sub>, 深水区(水深在 30~40 m)标记为 A<sub>2</sub>, B 海域水深 30~40 m。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 基本成分含量的测定

水分含量测定: 参照 GB 5009.3-2010《食品中水分的测定》<sup>[13]</sup>第一法; 粗蛋白含量的测定: 参照 GB/T 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》<sup>[14]</sup>第一法; 膳食纤维含量的测定: 参照 GB 5009.88-2014《食品中膳食纤维的测定》<sup>[15]</sup>。

#### 2.2.2 碘含量测定

参照 GB 5009.267-2016《食品安全国家标准食品中碘的测定》<sup>[16]</sup>第一法。

#### 2.2.3 矿物质元素含量的测定

参照 GB 5009.268-2016《食品安全国家标准食品中多种元素的测定》<sup>[17]</sup>第一法。

#### 2.2.4 海带产品加工

干海带加工工艺: 原料→清洗→90~100 °C 烘干 1 h→干海带; 盐渍海带加工工艺: 原料→清洗→烫煮→冷却控水→腌渍→脱水→盐渍海带; 盐渍半干海带加工工艺: 盐渍海带→90~100 °C 烘干 1 h→盐渍半干海带。

#### 2.2.5 模拟家庭食用方式处理海带

浸泡处理: 将一定量的海带样品浸入 10 倍体积的二次水浸泡 6 h 后取出沥水, 破碎均质; 熟制处理: 将浸泡处理后的海带样品加入适量水于电炉上进行煮制, 至海带用玻璃棒能轻松捣碎, 破碎均质。

### 2.3 数据处理

所有样品检测指标均平行测定 3 次, 用 Excel 2019 对于数据进行统计, 用 Origin2018 绘图。

## 3 结果与分析

### 3.1 基本营养成分含量

对 6 月份采收于 B 水域的鲜海带加工制成的海带产品基本营养成分进行测定, 结果如表 1 所示, 各种海带产品基本营养成分存在不同程度的差异。以干基计, 干海带、

盐渍海带、盐渍半干海带碘含量分别为 0.46 g/100 g、0.08 g/100 g、0.09 g/100 g, 均低于鲜海带(0.52 g/100 g), 其中盐渍海带和盐渍半干海带中碘的流失率达到 80%以上, 表明清洗、烫漂、盐渍脱水过程会造成海带中碘的大量流失。4 种

海带中蛋白质和膳食纤维含量与碘含量呈现相同的趋势, 干海带蛋白质和膳食纤维含量低于鲜海带, 其原因可能是鲜海带在烘干前经过清洗使海带表面的水溶性蛋白和水溶性纤维素溶解在水中, 造成蛋白质和膳食纤维含量低于鲜

表 1 4 种海带产品的基本营养成分含量(g/100 g, 干基计, n=3)  
Table 1 Basic nutrient content of 4 kelp products (g/100 g, dry base measure, n=3)

| 产品类型   | 碘          | 蛋白质        | 膳食纤维      | 灰分         | 氯化钠        |
|--------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| 鲜海带    | 0.52±0.26  | 10.86±3.12 | 8.52±1.99 | 27.14±0.13 | 22.75±0.18 |
| 干海带    | 0.46±0.14  | 8.16±1.06  | 6.81±0.65 | 26.98±.11  | 18.14±1.27 |
| 盐渍海带   | 0.08±0.008 | 3.75±0.66  | 5.27±0.70 | 26.76±0.35 | 47.28±0.61 |
| 盐渍半干海带 | 0.09±0.02  | 4.74±1.13  | 4.74±1.13 | 26.09±0.24 | 41.23±0.64 |

海带; 盐渍海带含量低的原因可能是鲜海带经过清洗、烫煮后使鲜海带表面的水溶性蛋白质和膳食纤维成分流失, 脱水过程采用的加压重物方式造成海带细胞破裂, 营养成分流失。

对不同海域、不同生长周期的鲜海带进行基本营养成分测定, 结果如图 1 所示。随着生长期延长, 海带中碘、蛋白质和膳食纤维含量显著升高, 碘和蛋白质最高值出现在 6 月份海带成熟期, 5 月份采集的海带中膳食纤维含量最高。其原因可能是成熟期海带细胞的分裂能力下降, 但是自身的消耗量变大, 因此海带通过自身细胞膜的选择透过性从海水中富集营养物质。相同月份采收的海带中 B 海域的碘含量较高, 其次是 A<sub>2</sub> 海域和 A<sub>1</sub> 海域; 3 个海域养殖的海带中蛋白质含量排序为 A<sub>2</sub>>A<sub>1</sub>>B。海带的营养成分因生长周期和海域不同而异, 可以根据不同的加工用途来选择不同海域海带的收割时间, 以使海带得到最大程度的利用。

体所需的常量矿物质元素如钾(K)、钠(Na)、钙(Ca)、镁(Mg)、磷(P)等<sup>[18]</sup>。对 3 个海域 6 月份海带进行矿物质元素的检测, 结果见表 2。对比 A<sub>1</sub> 和 A<sub>2</sub> 2 个水域矿物质元素测定数据可以发现, A<sub>2</sub> 水域的所有样品矿物质元素含量均高于 A<sub>1</sub> 水域样品, 原因可能是 A<sub>2</sub> 水域水深在 30~40 m 的离岸区域, 人类活动较少且深海资源矿物质元素含量丰富; B 水域样品矿物质元素含量高于 A<sub>1</sub> 水域, 低于 A<sub>2</sub> 水域, B 水域与 A<sub>2</sub> 水域水深相差较小, 但所养殖海带产品矿物质元素含量较低, 这与水域水质、养殖环境等因素相关。

同一鲜海带加工制成的海带制品中, 鲜海带和干海带中 K 元素含量远高于 Na 元素, 而盐渍海带和盐渍半干海带产品中 Na 元素含量远高于 K 元素含量, 这是因为鲜海带在腌渍过程中所用食盐的主要成分是 NaCl, 使海带中的钠元素含量骤增。人体中的 Na 控制细胞内液, K 控制细胞外液, Na 升高会导致血压升高, 造成高血压等一系列疾病, 居民在日常生活中应该保持钠钾摄入平衡, 因此高血压患者应适量食用鲜海带和干海带产品<sup>[19]</sup>。Mg 和 P 能够促进人体对 Ca 的吸收利用, 其保持一定比例能够维持肌肉和神经的正常反应。2 个水域鲜海带中 Ca、Mg、P 的含量均高于其他 3 种海带, 可能是因为鲜海带在加工过程中造成了元素的流失, 使其含量降低。4 种海带产品中微量元素含量最高的是 Fe, 其次是 Cu 和 Zn, 含量最低的是 Se, 均低于 1 mg/kg。Fe 可以防治人体缺铁性贫血, 提高人体免疫力; Cu 能够与 Fe 和血红蛋白结合合成胶原蛋白等物质, 预防癌症<sup>[20]</sup>; 人体缺乏 Zn 元素会导致多种疾病; Se 能平衡人体中氧化还原环境, 提高人体免疫力<sup>[21]</sup>。干海带 Fe 和 Zn 含量最高, 其次是盐渍半干海带、鲜海带和盐渍海带, 而鲜海带 Cu 和 Se 含量高于干海带、盐渍海带和盐渍半干海带, 这说明不同的加工方式会造成海带中矿物质元素含量不同程度的损失。海带及其制品中含有人体所需的各种矿物质元素, 不同人群可选择适量食用不同的海带产品, 以补充人体所需矿物质元素。

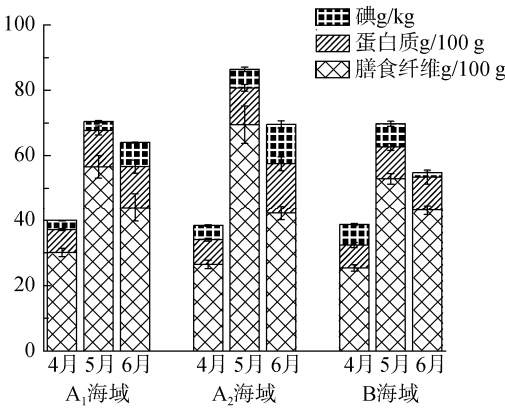


图 1 3 个水域海带不同月份基本营养成分含量  
Fig.1 Basic nutrient components content of kelp in three areas and various periods

3.2 主要矿物质元素含量

海带是一种矿物质元素种类及含量丰富的海洋食物, 不仅含有人体所需的 8 种微量元素, 而且还含有人

3.3 食用方式处理海带前后的碘含量

近年来由于补碘过量引起的高碘甲状腺肿等疾病的出现,导致含碘量较高的海带及其产品的食用安全性受到民众的密切关注,由于海带中碘含量较高,从补碘食品变

成了“问题食品”,对海带产业的发展以及海带进出口造成了困扰,因此通过模拟家庭食用方式对海带样品进行浸泡和熟制处理,以期研究食用状态下海带产品中碘含量的变化规律。

表 2 4 种海带产品中矿物质含量(mg/kg, 干基计, n=3)  
Table 2 Content of mineral substance in four kinds of kelp products (mg/kg, dry basis, n=3)

| 水域                | 产品类型   | K( $\times 10^3$ ) | Na( $\times 10^3$ ) | Ca( $\times 10^3$ ) | Mg( $\times 10^3$ ) | P( $\times 10^3$ ) | Zn         | Se          | Cu         | Fe          |
|-------------------|--------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|------------|-------------|------------|-------------|
| A <sub>1</sub> 海域 | 鲜海带    | 79.32±8.76         | 16.51±2.17          | 7.95±2.94           | 3.82±10.13          | 0.32±1.07          | 14.91±0.99 | 0.12±0.09   | 16.30±2.41 | 57.07±4.31  |
|                   | 干海带    | 125.58±12.34       | 58.44±4.66          | 8.54±1.75           | 5.83±5.46           | 0.10±0.76          | 16.47±1.24 | 0.07±0.04   | 5.55±1.21  | 124.28±2.01 |
|                   | 盐渍海带   | 28.24±4.52         | 181.10±8.97         | 3.65±7.45           | 2.29±7.19           | 0.11±1.22          | 4.31±0.73  | 0.07±0.01   | 1.77±0.92  | 30.57±0.34  |
|                   | 盐渍半干海带 | 48.37±2.49         | 268.43±5.71         | 6.48±3.69           | 3.42±1.64           | 0.06±0.61          | 13.72±1.75 | 0.07±0.01   | 2.62±0.46  | 42.74±1.69  |
| A <sub>2</sub> 海域 | 鲜海带    | 459.96±9.74        | 96.40±9.62          | 16.66±4.65          | 9.71±1.76           | 1.19±0.48          | 20.49±3.07 | 0.30±0.02   | 36.16±3.48 | 292.72±8.12 |
|                   | 干海带    | 210.66±10.46       | 93.22±6.44          | 9.47±3.94           | 6.45±4.47           | 0.25±0.99          | 29.75±2.43 | 0.09±0.03   | 12.06±0.15 | 517.97±4.65 |
|                   | 盐渍海带   | 21.74±2.45         | 208.83±15.42        | 4.07±2.87           | 1.97±3.69           | 0.10±2.71          | 8.46±1.32  | 0.07±0.01   | 3.201.46   | 40.36±3.49  |
|                   | 盐渍半干海带 | 72.29±9.46         | 290.57±13.46        | 8.27±1.73           | 4.68±5.40           | 0.13±1.38          | 21.44±0.79 | 0.07±0.03   | 5.76±0.15  | 87.17±6.44  |
| B 海域              | 鲜海带    | 129.71±10.75       | 22.05±5.79          | 9.60±2.47           | 5.40±2.84           | 0.32±0.79          | 4.44±0.09  | 0.16±0.08   | 26.19±1.09 | 166.67±4.07 |
|                   | 干海带    | 173.25±12.69       | 88.71±1.91          | 10.14±9.76          | 6.69±7.33           | 0.18±7.54          | 19.08±1.32 | 0.07±0.02   | 5.85±0.97  | 249.90±6.13 |
|                   | 盐渍海带   | 45.53±2.77         | 414.67±5.64         | 6.34±3.15           | 3.81±4.34           | 0.11±5.08          | 60.34±4.67 | 0.08±0.01   | 12.52±1.04 | 89.15±5.21  |
|                   | 盐渍半干海带 | 69.36±3.45         | 426.89±8.76         | 6.99±7.49           | 4.62±1.75           | 0.22±4.76          | 39.33±2.75 | 0.079±0.004 | 3.01±1.02  | 113.57±3.12 |

对 4 月份 A<sub>2</sub> 水域处理前后的海带样品进行碘含量检测,其结果如图 2 所示。鲜海带、干海带、盐渍海带 3 种海带未处理时碘含量较高,碘含量分别为 4296.95、3579.50、250.54 mg/kg,鲜海带样品经烫漂、盐渍、脱水等过程成为盐渍海带,碘含量已损失 94%。与未处理海带产品相比较,经浸泡处理的鲜海带中碘含量为 613.52 mg/kg,损失约 86%,干海带碘含量为 797.33 mg/kg,损失约 80%,盐渍海带碘含量为 29.63 mg/kg,损失约 88%;熟制处理与未处理海带相比,鲜海带中碘含量为 166.81 mg/kg,损失约为 96%,干海带碘含量为 93.74 mg/kg,损失约 97%,盐渍海带碘含量 15.72 mg/kg,损失约 94%。蒋鹏等<sup>[22]</sup>通过对海带中碘的研究发现,海带烫漂水中含有水溶性碘。因此对样品浸泡液进行碘含量测定,其结果如表 3 所示。海带浸泡液中碘含量占初始海带产品碘含量最高的为盐渍海带,其次为鲜海带,干海带,这与浸泡处理碘含量损失结果相一致。因此人们食用的海带中能够真正进入人体被人体所利用的碘含量,食用海带及其制品只会适量补碘,不会存在补碘过量等危害。

4 结论与讨论

据 2019 年渔业统计年鉴<sup>[23]</sup>,2018 年全国海带总产量 152.3 万 t,其中山东海带总产量 50.7 万 t,占全国海带产量的 33.3%,仅次于福建省,是我国第二大海带生产区。山东的海带产地主要包括威海、青岛、烟台和日照,威海荣成是我国北方最大的海带养殖基地<sup>[24]</sup>。因此选取威海荣成的

A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub> 和 B 海域 3 个海域养殖的海带进行实验探究。

鲜海带、干海带、盐渍海带、盐渍半干海带的基本营养成分含量存在不同程度的差异,可见不同的加工方式会对海带的营养成分含量存在一定的影响。鲜海带的粗蛋白和碘含量均高于其他 3 种海带产品,其次是干海带、盐渍半干海带、盐渍海带,这与姜雪等<sup>[25]</sup>对荣成 3 种类型海带的研究结论相似。不同水域同一时期采收的海带产品的基本营养成分含量也存在一定的差异,就本文研究的 3 个水域而言,基本营养成分含量最高的是 A<sub>2</sub>,其次是 A<sub>1</sub>、B 海域。

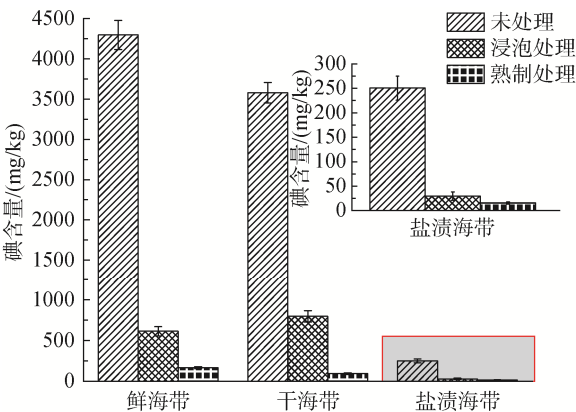


图 2 海带处理前后碘含量变化图(干基计,n=3)

Fig.2 Changes of iodine content during soaking and cooking processes (Dry basis, n=3)

| 表 3 海带浸泡液中碘含量(10 mL 浸泡液碘含量, mg/mL, n=3)                                                                              |               |              |               |              |              |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| Table 3 Iodine content in kelp soaking fluid (Determination of iodine content in 10 mL soaking solution, mg/mL, n=3) |               |              |               |              |              |             |
| 鲜海带                                                                                                                  |               | 干海带          |               | 盐渍海带         |              |             |
| 含量范围                                                                                                                 | 平均值           | 含量范围         | 平均值           | 含量范围         | 平均值          |             |
| 碘                                                                                                                    | 324.19~481.19 | 402.69±64.09 | 298.37~339.24 | 324.06±18.27 | 67.09~100.72 | 81.10±14.29 |

A<sub>1</sub>海域是离岸较近的海域,水深较浅;深水区是离岸 10 km 左右的海区,水深可达到 30 m,浅水区和深水区是一个相对的概念。本文所研究的 3 个水域采集的海带及其制品中常量元素和微量元素种类较多,含量丰富。深水区海带产品的常量元素和微量元素含量高于浅水区海带产品,这主要是因为浅水区离岸较近,生态环境遭到人类活动的污染,这与刘福利等<sup>[2]</sup>、戴明新等<sup>[26]</sup>、白红妍等<sup>[27]</sup>的研究结论相一致。据本文所测定成分,不同类型海带产品中鲜海带的各种元素含量均高于其他 3 种海带产品,因此消费者在食用海带产品之前应适当清洗浸泡,以避免海带产品营养成分的流失。

海带作为我国的一种重要经济海藻,在我国水产行业中占有重要的地位。其具有独特的风味和丰富的营养价值深受广大消费者的喜爱。我国自 1993 年开始实施食盐加碘的全民补碘计划,近年来出现高碘甲状腺肿等疾病,人们将矛头指向含碘量较高的海带。本研究通过模拟家庭食用方式对海带进行处理并测定处理前后海带碘含量,发现通过浸泡和熟制处理会使海带中碘含量损失 80%以上。因此真正能够进入人体被人体所吸收利用的碘含量很少,适量食用海带及其制品不会存在补碘过量的隐患,同时能够补充人体每天所需碘含量。

综上所述,不同加工方式会对海带营养品质及安全性产生影响,在食用海带制品前应根据不同产品类型进行清洗浸泡,以保证所食用海带制品的最佳营养状态。

参考文献

[1] 金振辉, 刘岩, 张静, 等. 中国海带养殖现状与发展趋势[J]. 海洋湖沼通报, 2009, (1): 141-150.  
Jin ZH, Liu Y, Zhang J, et al. Current situation and development trend of kelp culture in China [J]. Trans Oceanol Limnol, 2009, (1): 141-150.

[2] 刘福利, 梁洲瑞, 张朋艳, 等. 中国海带养殖向离岸深水区发展的初步探讨[J]. 渔业科学进展, 2019, 40(1): 161-166.  
Liu FL, Liang ZR, Zhang PY, et al. Preliminary study on the development of Chinese kelp culture to offshore deep water area [J]. Prog Fish Sci, 2019, 40(1): 161-166.

[3] 李德远, 徐现波, 熊亮, 等. 海带的保健功效及海带生理活性多糖研究现状[J]. 食品科学, 2002, (7): 151-154.  
Li DY, Xu XB, Xiong L, et al. Study on health effects of kelp and its physiological activity polysaccharide [J]. Food Sci, 2002, (7): 151-154.

[4] 谭姣姣, 王晶, 岳洋, 等. 海带膳食纤维的理化特性及通便作用研究[J]. 海洋科学, 2018, 42(6): 53-56.  
Tan JJ, Wang J, Yue Y, et al. Study on physicochemical properties and

dispelling function of kelp dietary fiber [J]. Mar Sci, 2018, 42(6): 53-56.

[5] Black WAP. The season variation in chemical constitution of some of the sublittoral seaweeds common to scotland PARTIII *Laminaria sachrina* and *Saccorhiza bulbosa* [J]. J Soc Chem Ind, 1948, 7(67): 172-176.

[6] Black WAP. The season variation in chemical constitution of some of the sublittoral seaweeds common to scotland PARTII *Laminaria digitata* [J]. J Soc Chem Ind, 1948, 7(67): 169-172.

[7] Black WAP. The season variation in chemical constitution of some of the sublittoral seaweeds common to scotland PART I [J]. J Soc Chem Ind, 1948, 7(67): 165-169.

[8] Schiener P, Black KD, Stanley MS, et al. The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea*, *Saccharina latissima* and *Alaria esculenta* [J]. J Appl Phycol, 2015, 27(1): 363-373.

[9] Adams JMM, Toop TA, Donnison IS, et al. Seasonal variation in *Laminaria digitata* and its impact on biochemical conversion routes to biofuels [J]. Bioresour Technol, 2011, 102(21): 9976-9984.

[10] 纪明侯. 我国经济褐藻的化学成分研究 II. 北方产海带、海蒿子和海黍子的主要化学成分季节变化[J]. 海洋与湖沼, 1963, 5(1): 1-8.  
Ji MH. Chemical constituents of economic brown algae in China II. Seasonal variation of main chemical constituents of kelp, artemisia annua and millet northern China [J]. Oceanol Limnol Sin, 1963, 5(1): 1-8.

[11] 刘红英, 薛长湖, 张辉, 等. 青岛海带和宁波海带成分差异比较[J]. 河北农业大学学报, 2005, (2): 61-63.  
Liu HY, Xue CH, Zhang H, et al. A comparison of differences between Qingdao *Laminaria japonica* and Ningbo *Laminaria japonica* [J]. J Agric Univ Hebei, 2005, (2): 61-63.

[12] 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.  
Yao HQ, Wang FJ, Liu FL, et al. Chemical analysis and nutritional assessment of new varieties of *Saccharina japonica* [J]. Food Sci, 2016, 37(12): 95-98.

[13] GB 5009. 3-2016 食品安全国家标准食品中水分的测定[S].  
GB 5009. 3-2016 National food safety standard-Determination of moisture in food [S].

[14] GB 5009. 5-2016 食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S].  
GB 5009. 5-2016 National food safety standard-Determination of protein in food [S].

[15] GB 5009. 88-2014 食品安全国家标准食品中膳食纤维的测定[S].  
GB 5009. 88-2014 National food safety standard-Determination of dietary fibre in food [S].

[16] GB 5009. 267-2016 食品安全国家标准食品中碘的测定[S].  
GB 5009. 267-2016 National food safety standard-Determination of iodine in food [S].

- [17] GB 5009.268-2016 食品安全国家标准食品中多元素的测定[S].  
GB 5009.268-2016 National food safety standard-Determination of multiple elements in food [S].
- [18] Rupérez P. Mineral content of edible marine seaweeds [J]. Food Chem, 2002, 79(1): 23-26.
- [19] 李保兴. 人体钠钾平衡刍议[J]. 生物学教学, 2007, (7): 73-74.  
Li BX. On the balance of sodium and potassium in human body [J]. Biol Teach, 2007, (7): 73-74.
- [20] 马占玲, 柳风, 崔岩, 等. 三种藻类食物中矿物元素含量测定与分析[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(21): 6216-6219.  
Ma ZL, Liu F, Cui Y, *et al.* Determination and analysis of mineral elements in food of three algae [J]. Sci Technol Eng, 2013, 13(21): 6216-6219.
- [21] 邵黎雄, 陆建梅, 姜雪峰. 硒, 人类不可或缺的元素[J]. 自然杂志, 2019, 41(6): 453-459.  
Shao LX, Lu JM, Jiang XF. Selenium, the indispensable element of man [J]. Chin J Nat, 2019, 41(6): 453-459.
- [22] 蒋鹏, 苗钧魁, 冷凯良, 等. 鲜海带漂烫过程中碘的溶出规律[J]. 食品科学, 2014, 35(17): 48-52.  
Jiang P, Miao JK, Leng KL, *et al.* Leaching patterns of iodine during blanching of fresh kelp [J]. Food Sci, 2014, 35(17): 48-52.
- [23] 农业农村部渔业渔政管理局. 2019 中国渔业统计年鉴[J]. 世界农业, 2020, (3): 2.  
Agriculture and Rural Fisheries Administration. 2019 China fisheries statistics yearbook [J]. World Agric, 2020, (3): 2.
- [24] 韩杨, 孙慧武, 赵明军, 等. 中国海藻产业发展形势与对策[J]. 农业展望, 2017, 13(1): 32-37.  
Han Y, Sun HW, Zhao MJ, *et al.* Development situation and countermeasures of Chinese seaweed industry [J]. Agric Outlook, 2017, 13(1): 32-37.
- [25] 姜雪, 刘楠, 孙永, 等. 荣成鲜海带及其干、盐制品的营养成分分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(8): 1874-1880.  
Jiang X, Liu N, Sun Y, *et al.* Analysis of nutritional components of Rongcheng fresh kelp and its dry and salt products [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(8): 1874-1880.
- [26] 戴明新, 彭士涛, 李广楼. 近10年渤海湾重金属(Cu, Zn, Pb, Cd, Hg)污染时空变化趋势分析[J]. 天津大学学报, 2009, 42(9): 817-825.  
Dai MX, Peng ST, Li GL. Temporal-spatial variation trend analysis of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Cd, Hg) in bohai bay in 10 years [J]. J Tianjin Univ, 2009, 42(9): 817-825.
- [27] 白红妍, 韩彬, 郑立, 等. 桑沟湾水体中有机磷农药残留组成与分布[J]. 岩矿测试, 2012, 31(4): 632-637.  
Bai HY, Han B, Zheng L, *et al.* Composition and distribution characteristics of organophosphorus pesticides in the sea water of sanggou bay [J]. Rock Min Anal, 2012, 31(4): 632-637.

(责任编辑: 王 欣)

## 作者简介



王雨馨, 硕士研究生, 主要研究方向为食品加工与安全。  
E-mail: wangyuxin0623@163.com



王联珠, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全与标准化。  
E-mail: wanglz@ysfri.ac.cn



许加超, 教授, 主要研究方向为海藻化学及应用。  
E-mail: xujia@ouc.edu.cn