

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241021004

# 坛紫菜新品系和传统养殖品系花水菜营养成分差异分析

吴晓雯<sup>1,2,3</sup>, 王铁杆<sup>1,2,3</sup>, 陶伟丽<sup>1,2,3</sup>, 张 鹏<sup>1,2,3\*</sup>, 陈星星<sup>1,2,3</sup>,  
薛 峰<sup>1,2,3</sup>, 刘 颖<sup>1,2,3</sup>, 陈继浓<sup>1,2,3</sup>

(1. 浙江省海洋水产养殖研究所, 温州 325005; 2. 全省近岸生物种质资源保护与利用重点实验室, 温州 325005; 3. 温州市海洋生物遗传育种重点实验室, 温州 325005)

**摘 要:** **目的** 分析坛紫菜新品系和传统养殖品系花水菜营养成分。**方法** 本研究通过国标法对比分析了“浙坛 1 号”和传统养殖品系花水紫菜的基本营养成分、氨基酸、游离氨基酸、呈味氨基酸、呈味核苷酸、微量元素和重金属的组成及含量。**结果** “浙坛 1 号”花水菜的粗蛋白质、灰分、粗纤维、总碳水化合物的高于传统养殖品系( $P<0.05$ ), 脂肪含量为( $2.77\pm0.40$ ) g/100 g。影响坛紫菜风味物质, 如甜味氨基酸、鲜味氨基酸、鲜味核苷酸, “浙坛 1 号”要高于传统养殖品系( $P<0.05$ ); 2 个品系均检出 3 种单核苷酸, 5'-尿苷酸、5'-鸟苷酸和 5'-肌苷酸, “浙坛 1 号”含量均高于传统养殖品系( $P<0.05$ )。在矿物质检测中, 共测得 11 种矿物质元素, 包括 4 种常见元素和 7 种微量元素, 其中新品系“浙坛 1 号”有 3 种常见元素和 5 种微量元素要高于传统养殖品系( $P<0.05$ )。对 6 种重金属进行测定, 无论是“浙坛 1 号”还是传统养殖品系重金属含量都在国家限量标准内。**结论** 坛紫菜新品系“浙坛 1 号”是具有高营养价值、食用安全性高且具有较高开发前景的养殖品系。**关键词:** 坛紫菜; 新品系“浙坛 1 号”; 营养成分; 重金属

## Analysis of the difference of nutrient composition between a new strain and traditional cultured strain of *Neoporphyra haitanensis*

WU Xiao-Wen<sup>1,2,3</sup>, WANG Tie-Gan<sup>1,2,3</sup>, TAO Wei-Li<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Peng<sup>1,2,3\*</sup>,  
CHEN Xing-Xing<sup>1,2,3</sup>, XUE Feng<sup>1,2,3</sup>, LIU Ying<sup>1,2,3</sup>, CHEN Ji-Nong<sup>1,2,3</sup>

(1. Zhejiang Mariculture Research Institute, Wenzhou 325005, China; 2. Zhejiang Key Laboratory of Coastal Biological Germplasm Resources Conservation and Utilization, Wenzhou 325005, China; 3. Wenzhou key Laboratory of Marine Biological Genetics and Breeding, Wenzhou 325005, China)

**ABSTRACT: Objective** To analyze the nutritional components of new and traditional strains of *Porphyra alba*. **Methods** The composition and content of essential nutrients, amino acids, free amino acids, flavorable amino acids,

**基金项目:** 农业农村部藻类产业技术体系项目(CARS-50)、浙江省农业(水产新品种选育)新品种选育重大科技专项(2021C02069-9)、浙江省农业重大技术协同推广计划项目(2024ZDXT19)、浙江省科技计划项目(2024C03245-4)、温州市科技特派员项目(X2023014)

**Fund:** Supported by the China Agriculture Research System of Ministry of Finance and Ministry of Agriculture and Rural Affairs (CARS-50), the Major Scientific and Technological Project of Zhejiang Province (2021C02069-9), the Agricultural Major Technology Cooperative Extension Program of Zhejiang Province (2024ZDXT19), the Scientific and Technological Project of Zhejiang Province (2024C03245-4), and the Science and Technology Specialist Program of Wenzhou (X2023014)

\*通信作者: 张鹏, 高级工程师, 主要研究方向为大型海藻生理生态研究。E-mail: zhangpeng20011918@163.com

\*Corresponding author: ZHANG Peng, Senior Engineer, Zhejiang Mariculture Research Institute, N0.6-1, HetongQiao, Lucheng District, Wenzhou 325005, China. E-mail: zhangpeng20011918@163.com

flavorable nucleotides, trace elements and heavy metals of “Zhetan No.1” and traditional cultured laver were compared by national standard method. **Results** The results showed that the content of crude protein, ash, crude fiber and total carbohydrate of the new strain of *Neoporphyra haitanensis*, which were higher than those of the traditional cultured ( $P<0.05$ ), the fat content was  $(2.77\pm0.40)$  g/100 g. The effect of flavor substances such as sweet amino acids, umami amino acids and umami nucleotides in “Zhetan No.1” was higher than that of traditional strains ( $P<0.05$ ). The 3 kinds of single nucleotides, 5'-uridine monophosphate, 5'-guanosine monophosphate and 5'-inosine monophosphate, were detected in both strains, and the content of the new strains was higher than that of the traditional cultured ( $P<0.05$ ). A total of 11 kinds of mineral elements were measured, including 4 kinds of common elements and 7 kinds of trace elements, the new strain “Zhetan No.1” had 3 kinds of common elements and 5 kinds of trace elements, which was higher than that of the traditional strain ( $P<0.05$ ). The 6 kinds of heavy metals were determined. The heavy metal content of both new and traditional aquaculture strain were less than within the national limit standard. **Conclusion** Experiments have proved that the new strain of *Neoporphyra haitanensis* has high nutritional value, high food safety and high development prospects.

**KEY WORDS:** *Neoporphyra haitanensis*; new strain Zhetan No.1; nutrients; heavy metals

## 0 引 言

坛紫菜 (*Neoporphyra haitanensis*), 属红藻门 (Rhodophyta)、原红藻纲 (Rhodophyceae)、红毛菜目 (Porphyridiales)、红毛菜科 (Porphyridiaceae)、紫菜属 (*Neoporphyra*)<sup>[1]</sup>, 主要自然分布在中国的福建、浙江及广东等地的沿海地带, 特别是在潮间带的中高潮区域, 常常能在岩礁或人工设置的筏架上找到它的踪迹。坛紫菜是中国特有的一种大型经济海藻。在全球紫菜产业中, 中国占据了举足轻重的地位, 既是主要的生产国也是出口国。据统计, 到 2022 年, 中国的紫菜养殖面积为 66312 公顷, 年产量为 21.77 万 t。中国的坛紫菜年产量(以干重计)约占全国紫菜总产量的 75%, 在全球紫菜产量中占据了超过 50%<sup>[2-3]</sup>。温州市是坛紫菜养殖大市, 2021 年全市紫菜养殖面积高达 7102 公顷, 产量为 37358 t, 在全省乃至全国均具有重要影响力, 洞头区、苍南县均被誉为“中国紫菜之乡”。

坛紫菜营养价值高, 是一种高蛋白且低脂肪的优质海藻, 被誉为“营养宝库”。它富含多种对人体有益的成分, 包括蛋白质、氨基酸、多糖以及丰富的矿物质等。此外, 坛紫菜含有多种活性物质, 如多糖、多酚、多肽及牛磺酸等, 这些成分在促进健康方面展现出多方面的潜力。它们不仅有助于体重管理、降低血脂和血糖水平, 还具备强大的抗氧化和抗衰老功效, 能够有效提升机体的免疫力<sup>[4-5]</sup>。因此, 坛紫菜被视为一种对维护人体健康具有显著益处的天然食材。另外, 藻类因其独特的风味特征, 紫菜制品在市场上深受广大消费者欢迎, 特别是沿海地区, 主要用于制作传统美食海苔和寿司<sup>[6]</sup>。

近年来, 随着气候变化的显著加剧, 本地坛紫菜养殖

品种频繁遭遇严重的病害和腐烂问题, 导致养殖产量大幅下降。因此, 推广具备优异特性的新品种, 对于坛紫菜产业的持续健康发展具有至关重要的意义。针对坛紫菜高温烂菜等问题, 选育出了生长速度快、晚熟、耐高温、壳孢子放散量大等特点的坛紫菜新品系“浙坛 1 号”, 亩产量较传统养殖品系提高超过 15%。本研究对坛紫菜“浙坛 1 号”和本地传统养殖品系的一般营养物质、总氨基酸、游离氨基酸、矿物质元素、重金属元素含量进行测定, 旨在了解“浙坛 1 号”与本地传统养殖品系的营养差异, 为新品系“浙坛 1 号”的培养和推广养殖提供理论基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

2022 年 10 月从温州洞头采集坛紫菜的新品系“浙坛 1 号”和传统养殖品系花水紫菜。将采收的坛紫菜带回实验室, 经洗净、阴干后, 于  $-20^{\circ}\text{C}$  保存备用。每份 200 g 干样, 一式 3 份。

### 1.2 实验仪器

ATX224 电子天平(精度 0.1 mg)、SPD-M40 液相色谱仪、GC-2010 pro 气相色谱仪(岛津仪器苏州有限公司); HSC-12A 氮吹仪(天津市恒奥科技发展有限公司); TGL-20bR 冷冻高速离心机(上海安亭科学仪器厂); AFS-8220 原子荧光光谱仪(北京吉天仪器有限公司); SKD-1000 凯氏定氮仪(上海沛欧分析仪器有限公司); RE-201D 旋转蒸发仪(上海秋佐仪器有限公司); DHG-9245A 电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司); SZF-06A 脂肪测定仪(上海赣闽分析仪器有限公司); FE28pH 计(梅特勒-托利多仪器上海有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 营养成分测定

根据 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》测定水分含量；根据 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》测定灰分含量；根据 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》测定蛋白质含量，根据 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》测定氨基酸和游离氨基酸含量；根据 GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》测定粗纤维含量；根据 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》测定脂肪含量。

1.3.2 微量元素测定

根据 GB 5009.91—2017《食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定》测定钠和钾的含量；根据 GB 5009.92—2016《食品安全国家标准 食品中钙的测定》测定钙的含量；根据 GB 5009.241—2017《食品安全国家标准 食品中镁的测定》测定镁的含量；根据 GB 5009.90—2016《食品安全国家标准 食品中铁的测定》测定铁的含量；根据 GB 5009.242—2017《食品安全国家标准 食品中锰的测定》测定锰的含量；根据 GB 5009.13—2017《食品安全国家标准 食品中铜的测定》测定铜的含量；根据 GB 5009.14—2017《食品安全国家标准 食品中锌的测定》测定锌的含量；根据 GB 5009.87—2016《食品安全国家标准 食品中磷的测定》测定磷的含量；根据 GB 5009.93—2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》测定硒的含量。

1.3.3 重金属测定

根据 GB 5009.12—2017《食品安全国家标准 食品中铅的测定》测定铅含量；根据 GB 5009.15—2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》测定镉含量；根据 GB 5009.123—2014《食品安全国家标准 食品中铬的测定》测定铬含量；根据 GB 5009.138—2017《食品安全国家标准 食品中镍的测定》测定镍的含量；根据 GB 5009.17—2021《食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定》测定总汞含量；根据 GB 5009.11—2014《食品安全国家标准 食

品中总砷及无机砷的测定》测定总砷含量。

1.4 呈味氨基酸评价

味道强度值(taste activity value, TAV)是衡量某一呈味物质在食品中贡献度的指标之一，它通过将该物质的浓度除以其特定的呈味阈值来计算得出。TAV 值与物质对整体风味的贡献程度呈直接的正相关关系：若 TAV 值大于 1，意味着该物质对食品的整体风味有显著影响<sup>[7]</sup>。

1.5 数据处理

采用 SPSS20.0 软件分析数据，实验数据均重复 3 次，描述性统计以  $\bar{x}\pm s$  表示，采用单因素方差分析(analysis of variance, ANOVA, Tukey 检验)进行显著性分析， $P<0.05$  为差异显著。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分分析

“浙坛 1 号”的含水量(19.03 g/100 g)高于传统养殖品系的含水量(17.17 g/100 g,  $P<0.05$ )。除了脂肪含量以外，坛紫菜“浙坛 1 号”的基本营养成分均含量高于传统养殖品系( $P<0.05$ )。坛紫菜作为一种富含高蛋白的海藻，其蛋白质含量在藻体干重中通常占据 25%至 50%，这一指标是衡量紫菜品质好坏的关键因素之一<sup>[8-9]</sup>。紫菜的蛋白质含量会受到多种因素的影响，包括栽培的地理位置、品种(或品系)以及采摘的时间等<sup>[10]</sup>，紫菜在采收过程中的蛋白含量会逐渐减少，其中花水紫菜阶段的蛋白含量是最高的<sup>[11-12]</sup>。“浙坛 1 号”的粗蛋白(31.47 g/100 g,  $P<0.05$ )含量高于传统品系(29.33 g/100 g,  $P<0.05$ )，高于福建霞浦产的花水紫菜粗蛋白含量，“浙坛 1 号”具有较高的品质(表 1)。

2.2 氨基酸组成分析

对两种品系的坛紫菜的氨基酸和游离氨基酸含量测定见表 2，两个品系的坛紫菜均检测出 17 种氨基酸，7 种属于人体必需的氨基酸，10 种为非必需氨基酸。“浙坛 1 号”必需氨基酸含量约为 10.32 mg/g，占总氨基酸含量的 36.03%，

表 1 不同品系坛紫菜基本营养成分(以干基计, g/100 g)  
Table 1 Basic nutrients of different strains of *Neoporphyra haitanensis* (dry based, g/100 g)

| 成分     | 新品系“浙坛 1 号”花水           | 坛紫菜传统品系花水               | 条斑紫菜 <sup>[13]</sup> | 刺枝紫菜 <sup>[13]</sup> | 琼枝麒麟菜 <sup>[14]</sup> | 海带 <sup>[15]</sup> |
|--------|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|
| 水分     | 19.03±0.75 <sup>a</sup> | 17.17±0.21 <sup>b</sup> | 5.34±0.03            | 10.04±0.05           | 12.03                 | 2.38               |
| 粗蛋白    | 31.47±0.49 <sup>a</sup> | 29.33±0.21 <sup>b</sup> | 46.20±0.24           | 21.70±0.29           | 3.73                  | 10.00              |
| 脂肪     | 2.77±0.40 <sup>a</sup>  | 2.93±0.40 <sup>a</sup>  | 0.60±0.02            | 0.20±0.00            | 0.25                  | 1.70               |
| 灰分     | 12.60±0.30 <sup>a</sup> | 10.40±0.40 <sup>b</sup> | 8.60±0.02            | 12.20±0.00           | 10.63                 | 35.00              |
| 总碳水化合物 | 38.03±0.67 <sup>a</sup> | 36.27±0.67 <sup>b</sup> | 39.30±0.18           | 55.90±0.27           | 73.36                 | 43.92              |
| 粗纤维    | 0.70±0.00 <sup>a</sup>  | 0.33±0.06 <sup>b</sup>  | 3.50±0.08            | 2.70±0.03            | 5.02                  | 7.00               |

注：同行标注不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )，下同。

表 2 坛紫菜不同品系氨基酸含量(以干基计)  
Table 2 Amino acid content of different strains of *Neoporphyra haitanensis* (dry based)

| 氨基酸种类 | TAA/(mg/g)             |                        | 游离氨基酸/(mg/100 g)          |                           |
|-------|------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|
|       | “浙坛 1 号”               | 传统品系                   | “浙坛 1 号”                  | 传统品系                      |
| *苏氨酸  | 1.83±0.09 <sup>a</sup> | 1.80±0.01 <sup>a</sup> | 60.67±2.89 <sup>a</sup>   | 50.00±3.46 <sup>b</sup>   |
| *缬氨酸  | 1.72±0.01 <sup>a</sup> | 1.67±0.06 <sup>a</sup> | 9.63±0.32 <sup>a</sup>    | 9.67±0.49 <sup>a</sup>    |
| *蛋氨酸  | 0.39±0.01 <sup>a</sup> | 0.39±0.02 <sup>a</sup> | 6.87±0.99 <sup>a</sup>    | 7.10±0.70 <sup>a</sup>    |
| *异亮氨酸 | 1.06±0.02 <sup>a</sup> | 1.03±0.03 <sup>a</sup> | 1.40±0.10 <sup>a</sup>    | 1.36±0.36 <sup>a</sup>    |
| *苯丙氨酸 | 1.15±0.01 <sup>a</sup> | 1.13±0.03 <sup>a</sup> | 4.73±0.23 <sup>a</sup>    | 5.57±0.15 <sup>b</sup>    |
| *赖氨酸  | 1.94±0.02 <sup>a</sup> | 1.88±0.09 <sup>a</sup> | 9.53±0.64 <sup>a</sup>    | 7.83±0.84 <sup>b</sup>    |
| *亮氨酸  | 2.23±0.03 <sup>a</sup> | 2.16±0.07 <sup>a</sup> | 5.43±0.85 <sup>a</sup>    | 6.93±0.93 <sup>a</sup>    |
| ΣEAA  | 10.32                  | 10.06                  | 98.26                     | 88.46                     |
| 天冬氨酸  | 3.40±0.20 <sup>a</sup> | 2.41±0.03 <sup>a</sup> | 220±0.00 <sup>a</sup>     | 190±10.0 <sup>b</sup>     |
| 谷氨酸   | 3.46±0.17 <sup>a</sup> | 3.40±0.03 <sup>a</sup> | 680.00±10.00 <sup>a</sup> | 630.00±20.00 <sup>b</sup> |
| 丝氨酸   | 1.45±0.01 <sup>a</sup> | 1.42±0.09 <sup>a</sup> | 36.00±1.53 <sup>a</sup>   | 28.67±2.00 <sup>b</sup>   |
| 组氨酸   | 0.27±0.04 <sup>a</sup> | 0.23±0.03 <sup>a</sup> | 84.00±3.46 <sup>a</sup>   | 78.00±4.36 <sup>a</sup>   |
| 甘氨酸   | 2.18±0.11 <sup>a</sup> | 2.15±0.01 <sup>a</sup> | 10.53±2.25 <sup>a</sup>   | 9.33±0.81 <sup>a</sup>    |
| 精氨酸   | 1.50±0.09 <sup>a</sup> | 1.44±0.03 <sup>a</sup> | 85.00±24.46 <sup>a</sup>  | 81.67±5.77 <sup>a</sup>   |
| 丙氨酸   | 2.83±0.02 <sup>a</sup> | 2.81±0.09 <sup>a</sup> | 450.00±10.00 <sup>a</sup> | 413.33±11.55 <sup>a</sup> |
| 酪氨酸   | 1.09±0.01 <sup>a</sup> | 1.04±0.04 <sup>a</sup> | 13.33±1.15 <sup>a</sup>   | 10.67±0.23 <sup>b</sup>   |
| 半光氨酸  | 1.00±0.04 <sup>a</sup> | 0.93±0.02 <sup>a</sup> | 46.67±2.31 <sup>a</sup>   | 38.00±2.00 <sup>b</sup>   |
| 脯氨酸   | 1.14±0.02 <sup>a</sup> | 1.12±0.04 <sup>a</sup> | 8.47±0.99 <sup>a</sup>    | 7.13±0.23 <sup>a</sup>    |
| ΣNEAA | 18.32                  | 16.95                  | 1634.00                   | 1486.80                   |
| ΣTAA  | 28.64                  | 27.01                  | 1732.26                   | 1575.26                   |

注: \*表示必需氨基酸; Σ 表示总和; 必需氨基酸(essential amino acid, EAA); 非必需氨基酸(nonessential amino acid, NEAA); 总氨基酸(total amino acids, TAA); 同行不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 下表同。

非必需氨基酸含量约为 63.97%, 必需氨基酸和非必需氨基酸的比例约为 0.56; 坛紫菜传统品系的必需氨基酸含量为 10.06 mg/g, 占总氨基酸含量的 37.25%, 非必需氨基酸含量约为 62.75%, 必需氨基酸和非必需氨基酸的比例约为 0.59。两者的氨基酸含量没有差异。但是, “浙坛 1 号”的游离总氨基酸含量高传统养殖品系约 10%, 且多种游离氨基酸呈现出差异( $P<0.05$ ), 其中天冬氨酸、谷氨酸被认为是主要呈味氨基酸, 被认为对紫菜的风味具有重要的贡献<sup>[16]</sup>。说明相对于传统品系, “浙坛 1 号”中游离氨基酸含量高, 呈味氨基酸越多, 味道就越浓厚<sup>[12]</sup>。

2.3 呈味氨基酸分析

氨基酸在食品中主要呈现为非游离与游离两种形态。非游离氨基酸需经水解过程方能转化为可利用的氨基酸, 而游离氨基酸则能在食品摄取时直接为人体所吸收, 且它们能直接刺激味蕾产生味觉体验。游离氨基酸是影响水产品滋味的重要成分之一<sup>[17]</sup>, 是影响两种品系风味差异的原因。风味是评价坛紫菜品质重要指标, 游离氨基酸是影响水产品口感风味的关键因素之一, 它们既是蛋白质构建的

基础单元, 也是香气物质生成的起点<sup>[18]</sup>。基于味道的差异, 游离氨基酸被细分为几类: 鲜味氨基酸, 主要由谷氨酸和天冬氨酸构成; 甜味氨基酸, 包括苏氨酸、甘氨酸、丙氨酸和丝氨酸; 苦味氨基酸, 涵盖缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸、精氨酸、蛋氨酸、组氨酸以及色氨酸(虽在本研究未提及但通常也属苦味氨基酸); 还有一类是无味氨基酸, 主要由半胱氨酸、赖氨酸和脯氨酸组成<sup>[19]</sup>。天冬氨酸与谷氨酸在海藻的风味构成中扮演着举足轻重的角色, 它们是赋予海藻或海产品鲜美味道的主要游离氨基酸成分<sup>[20-21]</sup>。“浙坛 1 号”的天冬氨酸和谷氨酸含量高于传统养殖品系( $P<0.05$ ), 可见风味优于传统养殖品系。

为了评估呈味氨基酸对食品风味的实际影响, 本研究采用 TAV 作为衡量标准。两种品系的坛紫菜呈味氨基酸含量和 TAV 值见表 3。在甜味氨基酸方面, 丙氨酸的 TAV 值最高, 是甜味的主要贡献者。谷氨酸的 TAV 值高于天冬氨酸, 且两者 TAV 值均大于 1, 对坛紫菜的鲜味有所贡献, 但谷氨酸的贡献度更高。在苦味氨基酸方面, 所有 TAV 值均小于 1, 说明坛紫菜的苦味相对较弱, 但并非没有贡献。根据呈味氨基酸的 TAV 值, “浙坛 1 号”的丙氨酸 TAV 值高

表 3 坛紫菜不同品系呈味氨基酸含量和 TAV 值(以干基计)  
Table 3 Amino acid content and TAV value of different strains of *Neoporphyra haitanensis* (dry based)

| 氨基酸类型 | 氨基酸种类   | “浙坛 1 号”/(mg/100 g)       | TAV 值 | 传统品系/(mg/100 g)           | TAV 值 |
|-------|---------|---------------------------|-------|---------------------------|-------|
| 甜味    | 苏氨酸     | 60.67±2.89 <sup>a</sup>   | 0.23  | 50.00±3.46 <sup>b</sup>   | 0.19  |
|       | 甘氨酸     | 10.53±2.25 <sup>a</sup>   | 0.10  | 9.33±0.81 <sup>a</sup>    | 0.08  |
|       | 丙氨酸     | 450.00±10.00 <sup>a</sup> | 7.5   | 413.33±11.55 <sup>a</sup> | 6.88  |
|       | 丝氨酸     | 36.00±1.53 <sup>a</sup>   | 0.24  | 28.67±2.00 <sup>b</sup>   | 0.19  |
|       | Σ       | 557.20                    |       | 501.33                    |       |
| 鲜味    | 天冬氨酸    | 220.00±0.00 <sup>a</sup>  | 2.20  | 190.00±10.00 <sup>a</sup> | 1.90  |
|       | 谷氨酸     | 680.00±10.00 <sup>a</sup> | 22.67 | 630.00±20.00 <sup>b</sup> | 21.00 |
|       | Σ       | 900.00                    |       | 820.00                    |       |
|       | 亮氨酸     | 5.43±0.85 <sup>a</sup>    | 0.01  | 6.93±0.93 <sup>a</sup>    | 0.02  |
|       | 酪氨酸 Tyr | 13.33±1.15 <sup>a</sup>   |       | 10.67±0.33 <sup>a</sup>   |       |
| 苦味    | 苯丙氨酸    | 4.73±0.23 <sup>a</sup>    | 0.03  | 5.57±0.15 <sup>b</sup>    | 0.04  |
|       | 精氨酸     | 85.00±24.46 <sup>a</sup>  | 0.85  | 81.67±5.77 <sup>b</sup>   | 0.81  |
|       | 异亮氨酸    | 1.40±0.10 <sup>a</sup>    | 0.02  | 1.36±0.36 <sup>a</sup>    | 0.01  |
|       | *蛋氨酸    | 6.87±0.99 <sup>a</sup>    | 0.24  | 7.10±0.70 <sup>a</sup>    | 0.23  |
|       | 缬氨酸     | 9.63±0.32 <sup>a</sup>    | 0.06  | 9.67±0.49 <sup>a</sup>    | 0.06  |
|       | 组氨酸     | 84.00±3.46 <sup>a</sup>   | 0.42  | 78.00±4.36 <sup>a</sup>   | 0.39  |
|       | Σ       | 210.39                    |       | 200.97                    |       |

于传统品系,意味着“浙坛 1 号”的甜味更为突出。“浙坛 1 号”的谷氨酸 TAV 值也高于传统品系,总体鲜味氨基酸含量上,“浙坛 1 号”同样优于传统养殖品系,进一步证明了“浙坛 1 号”的鲜味更佳。研究表明,多种呈味物质之间存在相互作用,包括协同、加和与抑制等效应。因此,这些 TAV 值小于 1 的苦味氨基酸可能在某种程度上增强了其他氨基酸的鲜味和甜味<sup>[22]</sup>。温州这两个品系与福建,广东等地研究的紫菜风味一致<sup>[23]</sup>。本研究证明,“浙坛 1 号”鲜甜味优于传统养殖品系。因此,坛紫菜新品系“浙坛 1 号”风味要优于传统品系。

2.4 核苷酸差异分析

核苷酸若在其核糖部分的 5 位碳原子上形成了磷酸酯键,便会展现出鲜味特性。在这一类别中,5'-肌苷酸(5'-inosine monophosphate, 5'-IMP)与 5'-腺苷酸(5'-adenosine monophosphate, 5'-AMP)对风味的贡献尤为显著。另外,5'-鸟苷酸(5'-guanosine monophosphate, 5'-GMP)也是一种具有强烈鲜味的鲜味核苷酸<sup>[24]</sup>。对坛紫菜两个品系的 5'-核苷酸差异进行分析,结果见表 4。2 个品系均检出 3 种单核苷酸,5'-尿苷酸(5'-uridine monophosphate, 5'-UMP)、5'-GMP 和 5'-IMP。“浙坛 1 号”总含量(42.41 mg/100 g)比传统品系(24.29 mg/100 g)高了约 74.59%,“浙坛 1 号”3 种 5'-核苷酸均高于传统品系( $P<0.05$ )。其中 5'-IMP 含量最高,分别占总核苷酸的 62.38%和 57.27%。5'-IMP 是一种鲜味化合物,是衡量鲜味的重要指标,5'-IMP 可以与谷氨酸单钠结合产生协同效应<sup>[24]</sup>。5'-IMP 含量较高,可以增加紫菜的鲜味。因此,

“浙坛 1 号”的 5'-IMP 含量较传统养殖品系的高,对提高坛紫菜鲜味有积极作用。

表 4 坛紫菜不同品系核苷酸含量(以干基计, mg/100 g)  
Table 4 Nucleotide content of different strains of *Neoporphyra haitanensis* (dry based, mg/100 g)

| 检验项目   | “浙坛 1 号”                | 传统品系                    |
|--------|-------------------------|-------------------------|
| 5'-UMP | 9.42±1.24 <sup>a</sup>  | 5.81±0.54 <sup>b</sup>  |
| 5'-GMP | 6.46±0.56 <sup>a</sup>  | 4.57±0.59 <sup>b</sup>  |
| 5'-IMP | 26.53±2.31 <sup>a</sup> | 13.91±0.54 <sup>b</sup> |
| Σ      | 42.41                   | 24.29                   |

2.5 矿物质元素和重金属含量分析

对两个不同品系的坛紫菜进行了矿物质元素和重金属含量检测,结果见表 5。坛紫菜富含矿物质元素,具有高钾低钠的特点,与其他研究相一致<sup>[25]</sup>。本研究共测得 11 种矿物质元素,包括钠、镁、钾、钙 4 种常见元素和 7 种微量元素,其中“浙坛 1 号”镁、锰、铜元素含量与传统品系没有差异,其他矿物质元素均高于传统品系。钾元素具有参与能量代谢、维持酸碱平衡的作用。坛紫菜新品系“浙坛 1 号”钾元素含量高于传统品系约 23.47% ( $P<0.05$ )。据报道,海带中钾含量约为  $3.50\times10^4\sim4.86\times10^4$  mg/kg<sup>[15]</sup>,靖海湾条斑紫菜钾含量约为  $2.59\times10^4\sim5.52\times10^4$  mg/kg<sup>[26]</sup>,都含有丰富的钾元素,因此可以适量食用海带、紫菜补充人体所需钾元素。RUPEREZ<sup>[27]</sup>指出,当海藻中的钠钾比低于 1.5 时,其引发高血压的风险较低。值得注意的是,两个品系的坛

紫菜均展现出远低于 1 的钠钾比, 引发高血压的风险相对较低, 是比较安全的。基于 Hill 和 Matron 提出的理论, 即“具有相似理化性质的元素在生物学功能上可能相互拮抗”<sup>[28]</sup>, 铁、锰、铜、锌这些第 4 周期的元素之间, 当锌铜比(锌/铜)超过 10 或锌铁比(锌/铁)超过 1 时, 通常会发生元素间的拮抗作用。本研究中, 坛紫菜两个品系的锌/铜<10, 锌/铁<1。4 种常见元素含量钾>镁>钠>钙, 与杨少玲等<sup>[26]</sup>对中国不同海域坛紫菜 4 种常见元素排名一致, 两个品系的铁>钙>锰>锌>铜, 与汕头地区的坛紫菜<sup>[29]</sup>研究结果一致。其中“浙坛 1 号”3 中常见元素钠、钾、钙含量都高于传统品系( $P<0.05$ ), “浙坛 1 号”的铁、磷、锌、镍和硒这 5 种微量元素含量也高于传统品系( $P<0.05$ )。坛紫菜是一种总的来说, “浙坛 1 号”的矿物质元素含量均高于传统养殖品系, 更适合作为理想的补充矿物质的食物。

洞头海域处于瓯江口, 易受上游污染影响。随着工业化进程的加速, 海洋环境受到的污染愈发严重, 重金属含量超标的问题屡见不鲜。通过前期对洞头海域的海水重金属含量进行检测, 发现该区域海水砷含量为 1.448  $\mu\text{g/kg}$ , 镉含量为 0.036  $\mu\text{g/kg}$ , 铅含量为 0.027  $\mu\text{g/kg}$ , 铬含量为 1.373  $\mu\text{g/kg}$ , 镍含量为 0.589  $\mu\text{g/kg}$ , 重金属含量符合国家标准 GB 3097—1997《中华人民共和国国家标准 海水水质标准》的二类水产养殖海水要求。但紫菜的细胞壁构造包括琼胶和蛋白质等成分, 其表面带有黏性且因带有负电荷而富含多种官能团, 这些官能团能与金属离子紧密结合, 容易累积如铅、镉、铬等重金属。本研究共检测出 5 种重金属含量,

铅元素含量为 0.17~0.18  $\text{mg/kg}$ , 两种品系差异不显著( $P>0.05$ ), 均未超过 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》的规定值限量( $C_{\text{Pb}}\leq 1.00\text{ mg/kg}$ ) ( $P<0.05$ )。坛紫菜传统养殖品系镉元素含量(0.09±0.10)  $\text{mg/kg}$  高于“浙坛 1 号”(0.07±0.10)  $\text{mg/kg}$  ( $P<0.05$ ), 其含量满足 NY 5056—2005《无公害食品海藻》的安全指标( $C_{\text{Cd}}\leq 1.00\text{ mg/kg}$ )。为传统养殖品系铬元素含量(1.65±0.09)  $\text{mg/kg}$  大于“浙坛 1 号”( $P<0.05$ )。总汞元素含量较低, 传统品系(0.07  $\text{mg/kg}$ )高于“浙坛 1 号”(0.04  $\text{mg/kg}$ )且差异性显著( $P<0.05$ ), 但均符合 NY/T 1709—2011《绿色食品藻类及其制品》的安全指标( $C_{\text{Hg}}\leq 0.50\text{ mg/kg}$ )。砷元素在自然界中存在两种主要形态: 无机砷和有机砷。在多数海藻中, 砷元素主要以有机形态存在, 特别是有机砷糖, 其占比超过总砷含量的 90%, 相比之下, 无机砷的含量则极低。其中, 有机砷(在其氧化状态下)的毒性微乎其微, 而无机砷则毒性显著, 与人体健康相关的各类砷含量的限值通常是指无机砷含量。无机砷含量新品系“浙坛 1 号”(0.48±0.05)  $\text{mg/kg}$  略高于传统品系(0.52±0.01)  $\text{mg/kg}$ , 差异性不显著( $P>0.05$ ), 比福建霞浦坛紫菜花水紫菜检测的低约 60.23%<sup>[23]</sup>, 但都未超过 NY 5056—2005 的安全指标( $C_{\text{As}}\leq 1.50\text{ mg/kg}$ )。新品系“浙坛 1 号”的重金属铬、镉、汞含量都低于传统品系( $P<0.05$ ), 总体低于福建霞浦坛紫菜花水紫菜<sup>[23]</sup>。无论是“浙坛 1 号”还是传统养殖品系重金属含量都小于国家食品中污染物限量的最大安全标准(2017), 因此可以作为良好日常生活中良好的矿物质元素补充食材。

表 5 坛紫菜不同品系矿物质和重金属元素含量(以干基计,  $\text{mg/kg}$ )  
Table 5 Mineral element and heavy metals content of different strains of *Neoporphyra haitanensis* (dry based,  $\text{mg/kg}$ )

| 元素名称    |     | “浙坛 1 号”                      | 传统品系                         |
|---------|-----|-------------------------------|------------------------------|
| 矿物质元素含量 | 钾   | 47700.00±2227.10 <sup>a</sup> | 38633.30±981.50 <sup>b</sup> |
|         | 镁   | 30366.70±1222.00 <sup>a</sup> | 30100.00±984.90 <sup>a</sup> |
|         | 钠   | 11333.30±115.50 <sup>a</sup>  | 5460.00±50.000 <sup>b</sup>  |
|         | 铁   | 9786.70±195.50 <sup>a</sup>   | 7623.30±366.70 <sup>b</sup>  |
|         | 钙   | 4663.30±150.4 <sup>a</sup>    | 4263.30±150.10 <sup>b</sup>  |
|         | 磷   | 508.00±2.00 <sup>a</sup>      | 479.30±7.40 <sup>b</sup>     |
|         | 锰   | 366.70±12.20 <sup>a</sup>     | 359.30±11.70 <sup>a</sup>    |
|         | 锌   | 326.70±2.00 <sup>a</sup>      | 297.70±11.00 <sup>b</sup>    |
|         | 铜   | 190.70±9.30 <sup>a</sup>      | 173.30±8.10 <sup>a</sup>     |
|         | 镍   | 21.60±01.60 <sup>a</sup>      | 17.90±0.80 <sup>b</sup>      |
|         | 硒   | 2.20±0.10 <sup>a</sup>        | 2.10±0.00 <sup>b</sup>       |
| 重金属含量   | 总砷  | 18.00±1.00 <sup>a</sup>       | 18.33±0.58 <sup>a</sup>      |
|         | 无机砷 | 0.48±0.05 <sup>a</sup>        | 0.52±0.01 <sup>a</sup>       |
|         | 铅   | 0.17±0.01 <sup>a</sup>        | 0.18±0.01 <sup>a</sup>       |
|         | 铬   | 0.86±0.09 <sup>a</sup>        | 1.65±0.02 <sup>b</sup>       |
|         | 镉   | 0.07±0.10 <sup>a</sup>        | 0.09±0.10 <sup>b</sup>       |
|         | 总汞  | 0.04±0.00 <sup>a</sup>        | 0.07±0.00 <sup>b</sup>       |

### 3 结 论

洞头霓屿紫菜养殖规模、产量、产值均位于浙江全省前列,是洞头紫菜养殖基地。霓屿位于温州瓯江口外,洞头县西侧,东至深门大桥与元觉乡接壤,南濒大海,西至灵霓海堤与灵昆相连,北隔瓯江口水道,该地区海域受江浙沿岸流、台湾暖流、地表径流等 3 大洋流的影响<sup>[30]</sup>,光照充足,昼夜温差大,是天然的紫菜养殖基地,出产的紫菜比其他地区色泽更好,口感更细腻、鲜嫩。本研究中的两个品系都产自该地区,其生长状况良好,利于充分呈现其营养价值。本研究从不同角度对坛紫菜新品系“浙坛 1 号”和传统养殖品系的一般营养成分、氨基酸组成、矿物元素组成和重金属含量进行比较分析,两个品系存在一定的差异性。“浙坛 1 号”基本营养成分要优于传统品系( $P<0.05$ );影响坛紫菜风味物质,如甜味氨基酸、鲜味氨基酸、鲜味核苷酸,“浙坛 1 号”要高于传统品系( $P<0.05$ );在矿物质检测中,两种品系都检测到了 11 种常见和微量元素,其中新品系“浙坛 1 号”有 3 种常见元素和 5 种微量元素要高于传统品系( $P<0.05$ );在重金属含量方面,两种坛紫菜品系都符合国家食品安全要求。本研究显示,相对于传统品系,新品系“浙坛 1 号”营养品质和风味都一定的优势。该研究为“浙坛 1 号”的培育和推广养殖提供了理论依据。但是本研究也存在一定的局限性,除了营养成分之外,感官风味和加工方式、烹饪方式<sup>[31]</sup>对紫菜的品质影响也是很大的,有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] 张忠山. 坛紫菜多糖的化学结构修饰及其构效关系研究[D]. 青岛: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2010.  
ZHANG ZS. Chemical modification of porphyrin from *Porphyra haitanensis* and study of structure-activity relationship [D]. Qingdao: Chinese Academy of Science, 2010.
- [2] CAO M, XU KP, YU XZ, et al. A chromosome-level genome assembly of *Pyropia haitanensis* (Bangiales, Rhodophyta) [J]. Mol Ecol Res, 2019, 20: 216–227.
- [3] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.  
Ministry of Agriculture and Rural Fisheries Administration, National Fisheries Technology Extension Station, Chinese Fisheries Society. China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023.
- [4] ZENG AQ, YANG RJ, YU SH, et al. A novel hypoglycemic agent: Polysaccharides from laver (*Porphyra* spp.) [J]. Food Funct, 2020, 11(10): 9048–9056.
- [5] PHAM TNA, LE B, YANG SH. Anticancer activity of the potential *Pyropia yezoensis* galactan fractionated in human prostate cancer cells [J]. Biotechnol Bioeng, 2021, 26(1): 63–70.
- [6] MOURITSEN OG, CORNISH ML, CRITCHLEY AT, et al. History of seaweeds as a food [J]. App Seaweeds Food Nutr, 2024, 1: 1–17.
- [7] 王馨雨, 王蓉蓉, 杨绿竹, 等. 不同品种及内外百合鳞片游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. 食品科学, 2020, 41(12): 211–220.  
WANG XY, WANG RR, YANG LZ, et al. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating the free amino acid composition of inner and outer lily bulb scales from different cultivars [J]. Food Sci, 2020, 41(12): 211–220.
- [8] NODA H. Health benefits and nutritional properties of nori [J]. J Appl Phycol, 1993, 5(2): 255–258.
- [9] 纪德华, 谢潮添, 史修周, 等. 福建沿海野生坛紫菜主要品质性状分析[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2011, 16(6): 401–406.  
JI DH, XIE CT, SHI XZ, et al. Analysis of the major quality traits in wild *Porphyra haitanensis* of Fujian coast [J]. J Jimei Univ (Nat Sci), 2011, 16(6): 401–406.
- [10] FLEURENCE J. Seaweed proteins: Biochemical, nutritional aspects and potential uses [J]. Trends Food Sci Technol, 1999, 10(1): 25–28.
- [11] 卢玉典, 丁洪昌, 严兴洪. 坛紫菜优良品系的品质分析[J]. 水产学报, 2022, 46(8): 1466–1472.  
LU YD, DING HC, YAN XH. Quality analysis of an improved strain of *Pyropia haitanensis* [J]. J Fish China, 2022, 46(8): 1466–1472.
- [12] 宣仕芬, 朱煜康, 孙楠, 等. 不同采收期坛紫菜感官品质及蛋白组成分析[J]. 食品工业科技, 2020, 41(14): 291–296.  
XUAN SF, ZHU YK, SUN N, et al. Sensory quality and protein composition analysis of *Porphyra haitanensis* in different harvest periods [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(14): 291–296.
- [13] 姚坤志, 黄雪颖, 李峰, 等. 野生刺枝紫菜(*Pyropia acanthophora*)的营养成分分析与评价[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(6): 208–214.  
YAO KZ, HUANG XY, LI F, et al. Nutrition analysis and evaluation of *Pyropia acanthophora* [J]. Food Ferment Ind, 2024, 50(6): 208–214.
- [14] 李继伟, 杨贤庆, 潘创, 等. 琼枝麒麟菜的营养成分分析与评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(15): 265–269.  
LI JW, YANG XQ, PAN C, et al. Nutritional analysis and evaluation of *Eucheuma gelatiniae* [J]. Food Ferment Ind, 2020, 46(15): 265–269.
- [15] 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.
- [16] NIWA K, FURUITA H, YAMAMOTO T. Changes of growth characteristics and free amino acid content of cultivated *Porphyra yezoensis* Ueda (*Bangiales Rhodophyta*) blades with the progression of the number of harvests in a nori farm [J]. J Appl Phycol, 2008, 20(5): 687–693.
- [17] 赵玲, 曹荣, 王联珠, 等. 靖海湾条斑紫菜的营养及鲜味评价[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(6): 134–140.  
ZHAO L, CAO R, WANG LZ, et al. Nutritional analysis and umami assessment of *Pyropia yezoensis* from Jing Bay [J]. Prog Fish Sci, 2018, 39(6): 134–140.
- [18] QU FF, ZHU XJ, AI ZY, et al. Effect of different drying methods on the sensory quality and chemical components of black tea [J]. Lebensm-Wiss Technol, 2019, 99: 112–118.
- [19] YANG YJ, XIA YJ, WANG GQ, et al. Effects of boiling, ultra-high temperature and high hydrostatic pressure on free amino acids, flavor characteristics and sensory profiles in Chinese rice wine [J]. Food Chem, 2019, 275: 407–416.

- [20] PAIVA L, LIMA E, PATARRA RF, *et al.* Edible Azorean macroalgae as source of rich nutrients with impact on human health [J]. Food Chem, 2014, 164: 128–135.
- [21] MIŠURCOVÁ L, BUŇKA F, AMBROŽOVÁ JV, *et al.* Amino acid composition of algal products and its contribution to RDI [J]. Food Chem, 2014, 151: 120–125.
- [22] 毛世红. 基于风味组学的工夫红茶品质分析与控制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2018.  
MAO SH. Quality analysis and control of congou Black tea based on SensOmics [D]. Chongqing: Southwest University, 2018.
- [23] 李水根. 福建省不同海域坛紫菜营养成分及重金属含量分析[J]. 渔业研究, 2020, 42(5): 453–462.  
LI SG. Analysis of nutrient composition and heavy metal content of *Porphyra haitanensis* in different sea areas of Fujian Province [J]. J Fish Res, 2020, 42(5): 453–462.
- [24] FUKU S, UEDA Y. Interactions between umami and other flavor characteristics [J]. Trends Food Sci Technol, 1996, 7(12): 407–411.
- [25] 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.  
NI XL, ZHENG MB. Determination of 11 elements in Laver by flame atomic absorption spectrometry [J]. Mod Food, 2017, 2(3): 110–111.
- [26] 杨少玲, 戚勃, 杨贤庆, 等. 中国不同海域养殖坛紫菜营养成分差异分析[J]. 南方水产科学, 2019, 15(6): 75–80.  
YANG SL, QI B, YANG XQ, *et al.* Comparison of nutritional composition of *Pyropia haitanensis* from different sea areas of China [J]. South China Fish Sci, 2019, 15(6): 75–80.
- [27] RUPEREZ P. Mineral content of edible marine seaweeds [J]. Food Chem, 2002, 79(1): 23–26.
- [28] PELLETT PL, YONG VR. Nutritional evaluation of protein foods [M]. Tokyo: The United National University Publishing Company, 1980.
- [29] 陈胜军, 于娇, 胡晓, 等. 汕头地区不同采收期坛紫菜营养成分分析与评价[J]. 核农学报, 2020, 34(3): 539–546.  
CHEN SJ, YU J, HU X, *et al.* Nutritional analysis and evaluation of *Porphyra haitanensis* in Shantou Area at different harvesting stages [J]. J Nucl Agric Sci, 2020, 34(3): 539–546.
- [30] 吴晓雯, 王铁杆, 刘颖, 等. 坛紫菜洞头传统养殖品系和新品系遗传多样性分析[J]. 水产科技情报, 2023, 50(4): 211–217.  
WU XW, WANG TG, LIU Y, *et al.* Genetic diversity analysis of traditional and new strains of *Neoporphyra haitanensis* in Dongtou district [J]. Fish Sci Technol Inf, 2023, 50(4): 211–217.
- [31] 田雨, 江艳华, 郭莹莹, 等. 紫菜营养品质及食用价值研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(12): 4929–4936.  
TIAN Y, JIANG YH, GUO YY, *et al.* Research progress on nutritional quality and edible value of *Porphyra* [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(12): 4929–4936.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)

## 作者简介



吴晓雯, 助理研究员, 主要研究方向  
为大型海藻生理生态营养研究。  
E-mail: xwen0106@126.com



张 鹏, 高级工程师, 主要研究方向  
为大型海藻生理生态研究。  
E-mail: zhangpeng20011918@163.com