

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20200109001

http://www.yykxjz.cn/

房景辉, 何为, 毛玉泽, 方建光, 蒋增杰, 高亚平, 蔺凡, 杜美荣, 梁博. 桑沟湾标准化与传统养殖模式海带的营养成分比较. 渔业科学进展, 2021, 42(2): 170-175

Fang JG, He W, Mao YZ, Fang JG, Jiang ZJ, Gao YP, Lin F, Du MR, Liang B. A comparison of nutrients in kelp cultured in standardized and traditional long-line modes in Sanggou Bay. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(2): 170-175

桑沟湾标准化与传统养殖模式 海带的营养成分比较*

房景辉¹ 何 为^{1,2} 毛玉泽¹ 方建光¹ 蒋增杰^{1①}
高亚平¹ 蔺 凡¹ 杜美荣¹ 梁 博^{1,2}

(1. 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室 青岛 266071; 2. 上海海洋大学水产与生命学院 上海 201306)

摘要 采用常规分析方法,对桑沟湾同一海域标准化养殖模式和传统养殖模式下海带(*Saccharina japonica*)产品的主要营养成分进行了分析比较。结果显示,2种养殖模式下海带的水分含量均高于88%,差异不显著;蛋白质含量差异不显著,而可溶性蛋白含量差异显著;脂肪含量均较低且二者差异不显著。标准化养殖模式下海带的必需氨基酸含量(除赖氨酸外)和呈味氨基酸含量均高于传统养殖模式,其中,谷氨酸含量最高,分别为1.75%和1.27%。2种养殖模式下的海带各种脂肪酸含量较低,均低于1%。标准化养殖模式下海带的Zn、Mg、Na和K4种矿物质元素的平均含量都略高于传统养殖模式。标准化养殖模式下海带的可溶性糖含量显著高于传统养殖模式,褐藻胶含量分别为22.66%和21.27%,标准化养殖模式略高。研究表明,与传统养殖模式相比,标准化养殖模式海带产品的蛋白质、氨基酸、脂肪酸、矿物质元素、可溶性糖及褐藻胶等含量较高,显著提高了海带产品的营养和品质,同时,也提高了其作为食品和工业原料的价值,桑沟湾标准化海带养殖模式表现出显著优势。

关键词 标准化养殖;传统养殖;海带;营养成分

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2021)02-0170-06

海带(*Saccharina japonica*)是我国水产养殖的主要种类之一,在我国水产养殖产业中占有重要地位。2018年,我国海带产量为152.25万t,占藻类总产量的64.96%(农业农村部渔业渔政管理局,2019)。海带

* 十三五“蓝色粮仓科技创新”国家重点研发计划项目(2019YFD0900803)、青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋渔业科学与食物产出过程功能实验室渔业科技青年人才计划项目(2018-MFS-T13)、国家自然科学基金面上项目(41876185)、山东省“泰山学者青年专家计划”项目(tsqn201909166)和国家贝类产业技术体系养殖容量评估与管理岗位(CARS-49)共同资助 [This work was supported by National Key Research and Development Program of China (2019YFD0900803), Youth Talent Program Supported by Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao) (2018-MFS-T13), the National Natural Science Foundation of China (41876185), the Young Taishan Scholars Program of Shandong Province (tsqn201909166), and Modern Agro-Industry Technology Research System (CARS-49)]. 房景辉, E-mail: hui861@163.com

① 通讯作者: 蒋增杰, 研究员, E-mail: jiangzj@ysfri.ac.cn

收稿日期: 2020-01-09, 收修改稿日期: 2020-02-13

营养丰富,是百姓家中常见食品,具有增加食物鲜味、高效补碘、预防和治疗甲状腺疾病的作用,其中的某些成分还具有抵抗辐射、抑制脂肪消化吸收、保养皮肤及头发和降低血压、血脂和血糖等保健功效。同时,海带也是碘和褐藻胶提取的常用原料,工业价值颇高,具有广阔的开发前景(苏丽,2018;王文亮等,2008)。

目前,筏式养殖是我国海带的主要养殖方式,由于不同海域环境条件不同,海带筏式养殖密度和筏架间距等具体养殖方法有所差异(段德麟等,2015),常常依据养殖从业者经验确定。桑沟湾是我国海带的重要养殖海域,海带传统养殖方法已沿用多年,随着养殖规模不断扩大,已经超出了海带养殖容量(方建光等,1996;史洁,2009)。在超容量养殖条件下,海带收获规格减小,干海带成色不佳。已有研究表明,海带的营养成分受到温度、品种、生长阶段、养殖海域和加工方式等因素的影响(Hwang *et al*, 2014; Boakye *et al*, 2018),而在同一海域采取不同养殖方式能否对海带的营养成分产生影响尚不清楚。作者在科学评估桑沟湾海带养殖容量的基础上,建立了海带筏式养殖的标准化模式与技术,取得了显著的效果(房景辉等,2019)。本研究在海带传统养殖模式和标准化养殖模式下,分析不同养殖模式海带营养物质含量差异,旨在进一步探究桑沟湾标准化海带养殖模式的优势,为海带养殖方法改进提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 实验海带来源

实验海带采自标准化养殖海区 and 传统养殖海区,2 个海区均位于桑沟湾南侧的东楮岛养殖海域,相距约 50 m。标准化养殖模式与传统养殖模式相比,增大了筏架间距、浮漂大小和海带绳间距,减少了每条筏架上海带绳数量及每根海带绳上的海带棵数,这些参数的改变将标准化养殖模式海带的密度降低为传统养殖方式的 62.9%(房景辉等,2019)。2 个海区海带夹苗时间均为 2017 年 12 月,于 2018 年 5 月收获,养殖过程的管理方式相同。本研究随机在收获的海带中各取 10 棵,每棵海带从假根部往上,分下、中、上 3 段等重取样合计 500~600 g 作为样品进行分析。其中,标准化养殖模式海带的规格为(1791±481) g,传统养殖模式海带的规格为(1511±405) g。

1.2 样品处理与营养成分测定

在 70℃ 条件下,使用电热鼓风干燥箱(DHG-9240A,上海)将海带样品烘干至恒重,使用电子天平

称量干重,计算含水率,再研磨用于其他成分测定。其中,可溶性蛋白采用考马斯亮蓝法测定,粗脂肪按 GB/T5009.6-2003 中的方法测定;氨基酸按 GB/T5009.124-2016 中的方法使用氨基酸自动分析仪(L8900, HITACHI, 日本)测定;脂肪酸使用脂肪酸分析仪(QP2010plus, SHIMADZU, 日本)按 GB/5009.168-2016 中的方法测定;矿物质元素使用原子吸收光谱仪(AA80, Perkin-Elmer, 美国)测定;褐藻胶含量采用醋酸钙法测定;可溶性糖采用市售植物可溶性糖含量测试盒(蒽酮比色法)测定。

1.3 数据处理

所得数据采用 SPSS 22.0 统计分析软件分析处理,采用独立样本 *t* 检验比较 2 种养殖模式下海带的一般营养成分、氨基酸组成、脂肪酸组成、矿物质元素含量、可溶性糖含量和褐藻胶含量,以 $P<0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果

2.1 一般营养成分

2 种养殖模式下海带的一般营养成分见表 1。标准化养殖模式海带的水分、蛋白质和灰分含量略高于传统养殖模式海带,但无显著性差异;脂肪含量略低于传统养殖模式海带,但无显著性差异($P>0.05$)。标准化养殖模式海带的可溶性蛋白含量显著高于传统养殖模式($P<0.05$)。

表 1 2 种养殖模式下海带的一般营养成分

Tab.1 Nutrient compositions of kelp under standardized and traditional long-line aquaculture mode

| 营养成分 Nutrient | 标准化养殖 Standardized | 传统养殖 Traditional |
|--------------------------------|------------------------|------------------------|
| 水分 Moisture (%) | 88.32±2.10 | 88.06±1.58 |
| 蛋白质 Protein (%) | 6.88±0.33 | 6.88±0.33 |
| 可溶性蛋白 Soluble protein (g/L) | 0.74±0.20 ^a | 0.41±0.14 ^b |
| 脂肪 Lipid (%) | 0.88±0.25 | 1.00±0.12 |
| 灰分 Ash (%) | 48.15±1.19 | 45.30±1.56 |

注:表中同一行带有不同字母的数据表示相互之间差异显著($P<0.05$),下表同

Note: Data in the same row with different superscript letters are significantly different from each other ($P<0.05$), the same as below

2.2 氨基酸组成

从表 2 可以看出,除赖氨酸以外,标准化养殖模

式海带的必需氨基酸的平均含量均高于传统养殖模式的海带,其中,丙氨酸、丝氨酸和天冬酰胺等8种氨基酸含量显著高于传统养殖模式($P<0.05$)。所测的氨基酸中,谷氨酸含量最高,标准化养殖模式与传统养殖模式海带的谷氨酸含量分别为1.75%和1.27%。标准化养殖模式下,海带的各呈味氨基酸平均含量均高于传统模式。

表2 2种养殖模式下海带的氨基酸组成

Tab.2 Composition of amino acids in kelp under standardized and traditional long-line aquaculture modes (%)

| 氨基酸 Amino acids | 标准化养殖 Standardized | 传统养殖 Traditional |
|--------------------|------------------------|------------------------|
| 丙氨酸 Ala* | 0.63±0.10 ^a | 0.51±0.06 ^b |
| 丝氨酸 Ser | 0.28±0.05 ^a | 0.24±0.04 ^b |
| 亮氨酸 Leu | 0.39±0.06 | 0.34±0.06 |
| 天冬酰胺 Asn* | 0.97±0.24 ^a | 0.75±0.16 ^b |
| 异亮氨酸 Ile | 0.22±0.04 ^a | 0.18±0.04 ^b |
| 甘氨酸 Gly* | 0.34±0.05 ^a | 0.28±0.05 ^b |
| 精氨酸 Arg | 0.22±0.04 ^a | 0.18±0.04 ^b |
| 组氨酸 His | 0.11±0.02 | 0.09±0.02 |
| 缬氨酸 Val | 0.36±0.04 | 0.34±0.04 |
| 苏氨酸 Thr | 0.37±0.05 ^a | 0.30±0.04 ^b |
| 苯丙氨酸 Phe* | 0.27±0.03 | 0.24±0.03 |
| 甲硫氨酸 Met | 0.15±0.02 | 0.14±0.02 |
| 谷氨酸 Glu* | 1.75±0.61 | 1.27±0.43 |
| 赖氨酸 Lys | 0.27±0.04 | 0.34±0.35 |
| 脯氨酸 Pro | 0.26±0.08 ^a | 0.13±0.05 ^b |
| 酪氨酸 Tyr* | 0.22±0.02 | 0.20±0.02 |

注: *表示呈味氨基酸

Note: *: Flavor amino acid

2.3 脂肪酸组成

2种养殖模式下海带的各种脂肪酸含量均较小,除C18:3外,海带的其他脂肪酸指标均无显著差异($P>0.05$)。标准化养殖模式下海带的饱和脂肪酸平均含量略高于传统养殖模式,不饱和脂肪酸平均含量略低于传统养殖模式,但无显著性差异($P>0.05$)(表3)。

2.4 矿物质元素

2种养殖模式下海带的矿物质含量均无显著差异($P>0.05$)。除Fe、Ca和P之外,标准化养殖模式海带的Zn、Mg、Na和K4种矿物质元素的平均含量都略高于传统养殖模式,但无显著性差异($P>0.05$)(表4)。

表3 2种养殖模式下海带的脂肪酸组成
Tab.3 Contents of fatty acids in kelp under standardized and traditional long-line aquaculture modes (%)

| 脂肪酸 Fatty acids | 标准化养殖 Standardized | 传统养殖 Traditional |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| C14:0 | 0.100±0.010 | 0.090±0.010 |
| C15:0 | 0.002±0.000 | 0.002±0.000 |
| C16:0 | 0.170±0.020 | 0.170±0.020 |
| C18:0 | 0.020±0.010 | 0.030±0.010 |
| C20:0 | 0.003±0.000 | 0.003±0.000 |
| 饱和脂肪酸 Saturated fatty acids | 0.370±0.036 | 0.330±0.120 |
| C16:1 | 0.020±0.010 | 0.020±0.000 |
| C18:1 | 0.160±0.020 | 0.160±0.020 |
| C18:2 | 0.060±0.020 | 0.06±0.010 |
| C18:3 | 0.030±0.040 ^a | 0.020±0.010 ^b |
| C18:1n9 | 0.150±0.020 | 0.160±0.020 |
| C20:3 | 0.003±0.002 | 0.005±0.003 |
| EPA | 0.030±0.010 | 0.030±0.010 |
| C22:1 | 0.020±0.000 | 0.020±0.000 |
| C23:0 | 0.070±0.010 | 0.080±0.010 |
| 不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acids | 0.310±0.038 | 0.330±0.048 |

表4 2种养殖模式下海带的矿物质元素含量

Tab.4 Contents of mineral element in kelp under standardized and traditional long-line aquaculture modes (%)

| 元素 Elements | 标准化养殖 Standardized | 传统养殖 Traditional |
|----------------|-----------------------|---------------------|
| 锌 Zn | 0.0008±0.0003 | 0.0007±0.0001 |
| 镁 Mg | 0.56±0.13 | 0.54±0.04 |
| 铁 Fe | 0.03±0.02 | 0.03±0.01 |
| 钠 Na | 2.62±0.33 | 2.47±0.24 |
| 钾 K | 13.73±2.87 | 11.96±2.13 |
| 钙 Ca | 0.66±0.08 | 0.66±0.05 |
| 磷 P | 0.13±0.01 | 0.15±0.05 |

注:表中2种模式相同指标的数据没有显著性差异($P>0.05$)

Note: There is no significant difference in the same parameter of the two long-line aquaculture modes ($P>0.05$)

2.5 可溶性糖及褐藻胶的含量

标准化养殖模式下海带的可溶性糖含量为0.89%,比传统养殖模式的0.59%高50.85%,且差异显著($P<0.05$)。褐藻胶含量比传统养殖模式高6.54%,但2种模式无显著差异($P>0.05$)(表5)。

表 5 2 种养殖模式下海带可溶性糖和褐藻胶的含量
Tab.5 Contents of soluble sugar and sodium alginate
in kelp under standardized and traditional long-line
aquaculture modes (%)

| 指标 Parameters | 标准化养殖 Standardized | 传统养殖 Traditional |
|---------------------|------------------------|------------------------|
| 可溶性糖 Soluble sugar | 0.89±0.33 ^a | 0.59±0.16 ^b |
| 褐藻胶 Sodium alginate | 22.66±3.89 | 21.27±4.15 |

3 讨论

我国的海带产量居世界首位, 海带对我国社会和经济具有重要意义, 它不仅是重要的食品, 也是海带多糖、褐藻胶和甘露醇等的主要生产原料。目前, 关于海带的营养成分研究报道较多, 盛晓风等(2011)对海带不同生长时期的营养成分进行了研究, 发现不同月份海带的甘露醇、褐藻胶和碘等含量有所差异; 李涛等(2012)以“黄官 1 号”海带为研究对象, 对其在不同海域的营养成分进行了研究, 发现同一品种在不同海域的营养成分会产生较大差异; 刘红英等(2005)对山东青岛和浙江宁波两地的海带营养成分进行了研究, 发现宁波海带中粗蛋白、碘和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远小于青岛海带。除此之外, 还有学者研究发现, 季节(Black, 1948; Adams *et al.*, 2011)、品种(王培功等, 1998)、品系(刘建新等, 2001), 甚至个体(崔铁军等, 1993)差异都是影响海带营养成分的重要因素, 特别是在不同海域, 由于生长环境(温度、光照和营养盐等)不同会导致海带成分产生差异。因此, 生长海域差异对海带主要成分的含量有重要影响已成为共识。

但在环境条件一致的同一海域, 采用不同的养殖模式也会对海带产品的营养成分产生影响, 这在以前的研究中鲜见报道。本研究发现, 标准化养殖模式可以提高海带蛋白质、可溶性蛋白、氨基酸、饱和脂肪酸、微量元素和可溶性糖等营养成分含量, 尤其是可以提高氨基酸和脂肪酸的含量。这表明标准化养殖模式的海带产品营养价值和品质均优于传统养殖模式。对比 2 种养殖模式重要环境指标发现, 标准化养殖模式下的海带比传统养殖模式有更充足的光照和更高的海水交换速度。光照强度不足是传统养殖模式尤其显著的问题, 其海带所处水层的光照强度很少超过 8000 lx; 传统养殖模式海流流速较慢, 限制了营养盐的更新速度, 这 2 个重要因素限制了传统养殖模式海带的生长(房景辉等, 2019), 从而导致营养积累不佳。因此, 除养殖海区的大环境差异可以影响海带生长

和营养成分外, 海区局部环境甚至微环境也是影响海带生长和营养成分的重要因素。

本研究表明, 标准化养殖的海带营养成分含量总体上高于传统养殖模式的海带产品。我国是多糖、褐藻胶和甘露醇等的主要生产国(宋武林, 2016; 刘树立等, 2007), 作为褐藻胶的主要原料, 海带中褐藻胶含量对工业生产的意义重大。本研究结果显示, 标准化养殖模式下, 成品海带的平均褐藻胶含量比传统养殖模式高 6.54%, 如果以我国万吨级的褐藻胶产业规模进行计算(尚德荣等, 2011), 褐藻胶含量的提升可以产生可观的经济价值。此外, 标准化养殖模式下海带的可溶性糖(包括单糖、寡糖和多糖)含量比传统养殖模式高 50.85%, 其藻体碳含量也得以提高(房景辉等, 2019), 提升了海带作为多糖提取原料的利用价值。对养殖企业来说, 标准化养殖模式可以提高海带产品品质, 从而提高经济效益(房景辉等, 2019); 对加工企业来说, 获得质量较高的加工原料, 在同样的加工工艺条件下, 可以获得品质较高的加工产品, 同时保证产量和效益(何敏元, 1986; 尚德荣等, 2011); 对消费者来说, 可以从优质的海带产品中获得较好的外观、口感和营养等各方面体验, 消费意愿得以提高。因此, 标准化养殖模式的优势显著, 不仅可以提高产品品质, 同时, 可以增加经济效益和生态效益(王丽, 2010; 唐启升等, 2013)。优化养殖结构, 改进养殖方式是推动海带养殖技术升级的重要发展方向。

4 结论

本研究表明, 在同一海域, 不同养殖模式下的海带营养成分会有所差异。标准化养殖模式下海带的营养丰富, 褐藻胶含量更高。在桑沟湾海域采用标准化养殖模式养殖海带, 能提高海带的食用价值和工业价值, 对生产有积极意义。

参 考 文 献

- Adams JMM, Toop TA, Donnison IS, *et al.* Seasonal variation in *Laminaria digitata* and its impact on biochemical conversion routes to biofuels. *Bioresource Technology*, 2011, 102(21): 9976–9984
- Black WAP. The seasonal variation in chemical constitution of some of the sub-littoral seaweeds common to Scotland. Part III: *Laminaria saccharina* and *Saccorhiza bulbosa*. *Journal of the Society of Chemical Industry*, 1948, 67(7): 172–176
- Boakye P, Sewu DD, Woo SH. Effect of thermal pretreatment on the extraction of potassium salt from alga *Saccharina*

- japonica*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 2018, 133: 68–75
- Cui TJ, Deng HS, Zhang ZY, *et al.* The common chemical components and catalase activity in five species of *Laminaria* descended from Japanese ones. Journal of Dalian Fisheries College, 1993, 8(4): 62–66 [崔铁军, 邓会山, 张泽宇, 等. 长海带等 5 种日本产海带基本化学成分的研究. 大连水产学院学报, 1993, 8(4): 62–66]
- Duan DL, Liao GR, Wang XL. Aquacultural biology of *Saccharina japonica*. Beijing: Science Press, 2015 [段德麟, 缪国荣, 王秀良. 海带养殖生物学. 北京: 科学出版社, 2015]
- Fang JG, Sun HL, Kuang SH, *et al.* Assessing the carrying capacity of Sanggou Bay for culture of kelp *Laminaria japonica*. Marine Fisheries Research, 1996, 17(2): 7–17 [方建光, 孙慧玲, 匡世焕, 等. 桑沟湾海带养殖容量的研究. 海洋水产研究, 1996, 17(2): 7–17]
- Fang JH, Jiang ZJ, Lin F, *et al.* Analysis on the advantages of standard kelp long line culture in Sanggou Bay. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(5): 134–140 [房景辉, 蒋增杰, 蔺凡, 等. 桑沟湾海带标准化养殖模式的优势探析. 渔业科学进展, 2020, 41(5): 134–140]
- Fishery and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Areas, National Aquatic Technology Promotion Terminal, Chinese Society of Fisheries. 2019 China fishery statistical yearbook. Beijing: China Agricultural Publishing, 2019 [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. 2019 中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2019]
- He MY. Study on the relationship between the change of nutritive composition and processing method of *Laminaria japonica*. Fishery Modernization, 1986(3): 26–30, 37 [何敏元. 关于海带营养成分的变化与加工方法关系的研究. 渔业现代化, 1986(3): 26–30, 37]
- Hwang JH, Kim NG, Woo HC, *et al.* Variation in the chemical composition of *Saccharina japonica* with harvest area and culture period. Journal of Aquaculture Research and Development, 2014, 5(7): 286
- Li T, Wang FJ, Sun XT, *et al.* Nutrition assessment on *Saccharina Huangguan* No.1 cultivated in different sea area. Food Science and Technology, 2012, 37(11): 70–75 [李涛, 王飞久, 孙修涛, 等. 黄官 1 号海带在不同海域的营养成分分析与评价. 食品科技, 2012, 37(11): 70–75]
- Liu HY, Xue CH, Zhang H, *et al.* A comparison of differences between Qingdao *Laminaria japonica* and Ningbo *Laminaria japonica*. Journal of Agricultural University of Hebei, 2005, 28(2): 61–63 [刘红英, 薛长湖, 张辉, 等. 青岛海带和宁波海带成分差异比较. 河北农业大学学报, 2005, 28(2): 61–63]
- Liu JX, Cao WD, Wu CY, *et al.* Iodine content analysis of three new varieties of *Laminaria japonica*. Marine Sciences, 2001, 25(6): 8–10 [刘建新, 曹文达, 吴超元, 等. 3 种海带新品系含碘量的分析. 海洋科学, 2001, 25(6): 8–10]
- Liu SL, Wang CY, Wang H. Utilization and development of *Laminaria japonica* in China. Food and Drug, 2007, 9(5): 34–36 [刘树立, 王春艳, 王华. 我国海带的加工利用和开发. 食品与药品, 2007, 9(5): 34–36]
- Shang DR, Ning JS, Zhao YF, *et al.* Establishment of the determination on kelp alginate. Food Science and Technology, 2011, 36(8): 252–254 [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. 食品科技, 2011, 36(8): 252–254]
- Sheng XF, Zhao YF, Shang DR, *et al.* Differences in the major nutrition constituents and major elements in the kelp of different growing stages. Food Science and Technology, 2011, 36(12): 66–68 [盛晓风, 赵艳芳, 尚德荣, 等. 海带不同生长期营养成分和主要元素差异比较. 食品科技, 2011, 36(12): 66–68]
- Shi J. Numerical study on the influences of physical processes on the aquaculture carrying capacity in a semi-enclosed bay. Doctoral Dissertation of Ocean University of China, 2009 [史洁. 物理过程对半封闭海湾养殖容量影响的数值研究. 中国海洋大学博士研究生学位论文, 2009]
- Song WL. Research on the primary functions and utilization of *Laminaria japonica*. Journal of Fisheries Research, 2016, 38(1): 81–86 [宋武林. 海带的主要功能及加工利用研究现状. 渔业研究, 2016, 38(1): 81–86]
- Su L. The study on reproduction and cultivation problems related to variety breeding of the economic seaweed *Saccharina japonica*. Doctoral Dissertation of University of Chinese Academy of Sciences (Institute of Oceanography, Chinese Academy of Sciences), 2018 [苏丽. 与海带品种培育相关的繁殖与栽培问题的研究. 中国科学院大学博士研究生学位论文, 2018]
- Tang QS, Fang JG, Zhang JH, *et al.* Impacts of multiple stressors on coastal ocean ecosystems and integrated multi-trophic aquaculture. Progress in Fishery Sciences, 2013, 34(1): 1–11 [唐启升, 方建光, 张继红, 等. 多重压力胁迫下近海生态系统与多营养层次综合养殖. 渔业科学进展, 2013, 34(1): 1–11]
- Wang L. Effects of the different maricultural models on Sanggou Bay ecosystem services. Master's Thesis of the First Institute of Oceanography, MNR, 2010 [王丽. 不同海水养殖模式对桑沟湾生态系统服务的影响. 国家海洋局第一海洋研究所硕士研究生学位论文, 2010]
- Wang PG, Xu JM, Yang LJ, *et al.* A comparative study on economic properties and basic composition between distantly hybridized kelp 2 and common kelp. Journal of Fishery Sciences of China, 1998, 5(2): 31–34 [王培功, 徐家敏, 杨林江, 等. 远杂 2 号海带与普通海带经济性状及基本成分比较. 中国水产科学, 1998, 5(2): 31–34]
- Wang WL, Wang SJ, Song K, *et al.* Study on the function and exploitation of kelp. Food and Nutrition in China, 2008(8): 26–27 [王文亮, 王守经, 宋康, 等. 海带的功能及其开发利用研究. 中国食物与营养, 2008(8): 26–27]

A Comparison of Nutrients in Kelp Cultured in Standardized and Traditional Long-Line Modes in Sanggou Bay

FANG Jinghui¹, HE Wei^{1,2}, MAO Yuze¹, FANG Jianguang¹, JIANG Zengjie^{1①},
GAO Yaping¹, LIN Fan¹, DU Meirong¹, LIANG Bo^{1,2}

(1. Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Laboratory for Marine Fisheries Science and Food Production Processes, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao); Qingdao 266071; 2. College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306)

Abstract The primary nutrients in kelp (*Saccharina japonica*) products cultivated under standardized and traditional long-line modes in the waters of Sanggou Bay, Shandong Province, were analyzed and compared. The results showed there was no significant difference in the moisture content of the kelp produced by the two methods, and in both cases, the moisture content was higher than 88%. The cultivation method did not significantly affect the total protein content of the kelp, but the soluble protein level was significantly different between the two methods. The fat content was low in all the kelp samples, and the difference between the products of the two cultivation methods was not significant. The essential amino acid content (except lysine) of kelp from the standardized cultivation method was higher than that from the traditional method. The amino acids responsible for flavor were higher in kelp produced by the standardized method than in kelp produced by traditional cultivation. Glutamic acid content in kelp from standardized production was high (1.75%) in comparison to other amino acids (1.27%). The fatty acid content of kelp from both cultivation modes was lower than 1%. The average levels of zinc, magnesium, sodium, and potassium in kelp from standardized cultivation were higher than traditionally produced kelp. Additionally, the soluble sugar content of kelp from standardized cultivation was significantly higher than that from traditional cultivation. The alginate content was 22.66% and 21.27% in the standardized cultivation and traditional cultivation modes, respectively. The results showed that the protein, amino acid, fatty acid, mineral elements, soluble sugar, and alginate contents in kelp produced by standardized cultivation were all higher than in kelp grown the traditional way. Therefore, the nutrient value and quality of kelp products were significantly better, when produced by standardized cultivation. The value of kelp products for food and industrial raw materials was also higher. Therefore, the standardized kelp cultivation method in Sanggou Bay has significant advantages.

Key words Standardized cultivation; Traditional cultivation; *Saccharina japonica*; Nutrients

① Corresponding author: JIANG Zengjie, E-mail: jiangzj@ysfri.ac.cn