

王一帆, 赵影, 时佳凝, 等. 4 种市售即食海参质构特性及营养品质综合评价 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(8): 263–272. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050156

WANG Yifan, ZHAO Ying, SHI Jianing, et al. Analysis and Evaluation of Texture and Nutritional Value of Four Kinds of Ready-to-eat Sea Cucumber Products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(8): 263–272. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050156

· 分析检测 ·

4 种市售即食海参质构特性及营养品质 综合评价

王一帆¹, 赵影^{2,*}, 时佳凝¹, 范馨茹¹, 赵前程¹, 张宇^{2,*}, 李萌^{1,*}

(1.大连海洋大学食品科学与工程学院, 辽宁大连 116023;

2.广东官栈营养健康科技有限公司, 广东广州 510000)

摘要:为比较不同市售即食海参产品品质, 本文以 4 种来源于大连和福建的常见海参产品 (高水分大连即食海参 HW-DLS、调味低水分大连即食海参 FLW-DLS、低水分大连即食海参 LW-DLS、高水分福建即食海参 HW-FJS) 为研究对象, 测定分析其感官、质构、营养及功能性成分、体外可消化性, 并采用主成分分析法进行营养品质综合评价。结果表明, 海参产品色泽均较好, 但 FLW-DLS 感官评价的口感更佳; 4 组海参样品在硬度、弹性、内聚性及咀嚼性方面具有差异; FLW-DLS 组的灰分、总糖和盐分含量分别为 2.16%、1.7% 和 1.3%, 均显著高于其它海参 ($P<0.05$); FLW-DLS 和 LW-DLS 组的粗蛋白含量高于其他海参; 4 组海参产品均具有较优氨基酸、脂肪酸组成及良好的动脉粥样硬化 (AI) 和血栓形成 (TI) 指数; FLW-DLS 和 LW-DLS 皂苷含量 (8.64 mg/kg、8.49 mg/kg) 均显著性较高 ($P<0.05$), 且前者的牛磺酸含量为 2.28 mg/100 g 显著性高于其它 3 组 ($P<0.05$); FLW-DLS 组海参经体外消化后, 上清蛋白含量为 33.58 g/100 g, 高于其它 3 组, 具有较好的生物可利用性。基于营养指标进行主成分分析显示, 4 组海参产品的营养组成差异明显, 营养价值评分由高到低依次为 FLW-DLS>HW-FJS>LW-DLS>HW-DLS。4 种市售即食海参产品营养种类齐全, 水发程度低且调味的产品相较其他 3 种更能有效保持海参中的营养价值和口感。

关键词:海参, 质构, 营养成分, 主成分分析, 综合评价

中图分类号: TS254.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)08-0263-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050156



本文网刊:

Analysis and Evaluation of Texture and Nutritional Value of Four Kinds of Ready-to-eat Sea Cucumber Products

WANG Yifan¹, ZHAO Ying^{2,*}, SHI Jianing¹, FAN Xinru¹, ZHAO Qiancheng¹, ZHANG Yu^{2,*}, LI Meng^{1,*}

(1.College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

2.Guangdong Guanzhan Nutrition and Health Technology Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: This work aimed to explore the difference of quality among commercial ready-to-eat sea cucumber products. The sensory, texture, chemical composition, nutritional quality and digestibility of four common commercial sea cucumber from Dalian (sea cucumber with high moisture content (HW-DLS), seasoned sea cucumber with low moisture content (FLW-DLS), sea cucumber with low moisture content (LW-DLS)) or Fujian (sea cucumber with high moisture content (HW-FJS)) were determined. Furthermore, principal component analysis (PCA) was applied to evaluate comprehensive quality of

收稿日期: 2023-05-15 +并列第一作者

基金项目: 辽宁省旅顺区特色水产品高值化加工科技特派团项目 (2022JH5/10400016); 辽宁省自然科学基金项目 (2022-BS-270); 2023 中央财政对辽宁渔业补助项目。

作者简介: 王一帆 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品质量与安全, E-mail: 1274090965@qq.com。

赵影 (1993-), 女, 硕士, 研究方向: 功能性食品开发, E-mail: 1261974333@qq.com。

* 通信作者: 张宇 (1981-), 男, 本科, 研究方向: 功能食品开发与研究, E-mail: zy@shanweigroup.com。

李萌 (1987-), 女, 博士, 高级实验师, 研究方向: 食品质量与安全, E-mail: limeng@dlou.edu.cn。

products. The results from sensory analysis revealed that the colour appearance of all sample were good. FLW-DLS had the most acceptable taste characteristics. There was a difference of texture characteristics in samples. The ash, total carbohydrate, and salt contents of FLW-DLS were significantly higher than those of other sea cucumbers ($P<0.05$), with 2.16%, 1.7%, and 1.3%, respectively. Protein content of FLW-DLS and LW-DLS was higher than that of other sea cucumbers. In addition, all sea cucumber samples had the recommended essential amino acid/total amino acid, lysine/arginine, and n-6/n-3 ratio for good health status of humans and very low level of atherogenic and thrombogenic indices. FLW-DLS and LW-DLS showed a significantly higher content in saponins with 8.64 mg/kg and 8.49 mg/kg, respectively. The highest content of taurine and protein in *in vitro* digestion supernatant was also found in FLW-DLS with 2.28 mg/100 g and 33.58 g/100 g. Moreover, principal component analysis based on nutritional indicators showed significant differences in nutritional composition of samples, the nutritional value from high to low followed by FLW-DLS, HW-FJS, LW-DLS and HW-DLS. In conclusion, the commercial ready-to-eat sea cucumber products had a nutritional value perfectly compatible with nutritious and healthy diets. The seasoned sea cucumber with low moisture content possessed higher nutritional values and better taste characteristics than other sea cucumber products.

Key words: sea cucumber; texture; nutrient composition; principal component analysis; comprehensive evaluation

海参作为亚洲地区传统滋补品,是一种高蛋白、低脂肪,不含胆固醇的优质食品^[1]。海参体壁的真皮结缔组织含有如海参多糖、皂苷、牛磺酸等特殊的活性成分,对于提高记忆力、增强体质、预防疾病、防止动脉硬化、糖尿病、抑制肿瘤、延缓衰老等都有一定的作用^[2-3]。为了满足日益增长的市场需求,海参养殖产业在中国逐步发展并壮大,其中刺参(*Apostichopus japonicus*)成为辽宁和福建地区的优质养殖品种^[4]。Li 等^[5]的研究表明辽宁大连和福建地区养殖刺参同样含有丰富的蛋白质、矿物质和特殊活性成分。

海参的加工以干制为主,但干海参需经水发后才能食用,泡发时间长,过程繁琐^[6-7]。即食海参食用方便,保持海参原形,虽然销售环节离不开冷链,但消费者食用方便,成为国内近年来市场上常见的海参加工产品。即食海参加工工艺主要以热加工为主,包括蒸煮、调味、水发^[8]。有文献表明,即食海参采用真空蒸制技术能够减少营养成分的流失,但在水发过程中营养流失加剧^[9]。海参加工领域一直在探索经济快速且能有效保留产品营养价值的加工工艺。然而,即食海参随加工过程尤其是水发和调味工艺,原料产地如辽宁大连和福建产地的不同而产生的产品品质差异数据仍较少。目前,已有多家企业对即食海参制品进行开发与生产,但对市售即食海参营养综合评价研究的报道尚不多见。本实验选取了市场上不同水发程度、调味程度、原料来源地的 4 种即食海参产品作为研究对象,对其进行质构、感官评价、营养成分(水分、粗蛋白、灰分、氨基酸、脂肪酸)、功能性成分(皂苷、牛磺酸)、消化性的分析和比较,并对营养品质及功能成分进行综合评价,旨在了解其具体营养价值以及性质,为后续工厂改善海参加工工艺以及消费者的购买食用提供一定的理论数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

高水分大连即食海参(HW-DLS, 大连海参为原料,产品水分含量在 95% 左右)、调味低水分大连即

食海参(FLW-DLS, 以大连海参为原料,产品水分含量在 85% 左右)、低水分大连即食海参(LW-DLS, 以大连海参为原料,产品水分含量在 85% 左右)、高水分福建即食海参(HW-FJS, 以福建海参为原料,产品水分含量在 95% 左右) 购于各商家官方平台;胃蛋白酶(活力 ≥ 10000 U)、胰蛋白酶(来源于猪胰脏,活力 $5\times\text{USP}$) 购于生工生物工程(上海)股份有限公司;氢氧化钠(分析纯) 购于天津市科密欧化学试剂有限公司;酒石酸钾钠(分析纯) 购于国药集团化学试剂有限公司;硫酸铜、硫酸钾、浓硫酸、浓盐酸(分析纯) 购于天津市恒兴化学试剂制造有限公司;甲基红、亚甲基蓝 上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

1260 液相色谱仪 安捷伦科技有限公司; GC-2010 气相色谱仪 日本岛津公司; L-8900 氨基酸自动化分析仪 日立公司; TMS-PRO 质构仪 北京盈盛恒泰科技有限责任公司; H1750 台式高速离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司; SX2 马弗炉 济南欧莱博科学仪器有限公司; FD-A10N-50 冷冻干燥机 冠森生物科技有限公司; Synergy H₁/H₁M 酶标仪 美国博腾仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 感官评价 依据 DB 21/2392-2014《食品安全地方标准即食海参》,将样品置于白搪瓷盘内。在自然光线下,由 10 名以上专业人员组成评定小组(男女比例为 4:6),按照表 1 的评分标准,以海参产品的色泽、组织结构、风味、杂质等四个因素为主要评价指标,采用目测、口尝、鼻嗅等方法进行检验。评价标准采取 5 分制。

1.2.2 TPA 测定 使用工具刀在海参体壁中间背部位置切取 1.5 cm $\times$ 1.5 cm 大小方形,利用剪刀修整海参疣足。选用 P/50 柱形探头,测试形变量 50%,触发力 20 g。测试前速度:0.5 mm/s,测试中速度:0.5 mm/s,测试后速度:0.5 mm/s,每组测定 6 个平行数据^[10]。

表 1 即食海参感官评分标准

Table 1 Sensory analysis standard for evaluation of ready-to-eat sea cucumber

项目	5	4	3	2	1
色泽	呈淡褐色或深褐色, 有光泽	较有光泽	光泽一般	色泽较暗淡, 光泽差	色泽暗淡, 无光泽
组织结构	完整、韧性好, 肉质紧密, 弹性好	较完整、韧性较好, 肉质较紧密, 弹性较好	略有松散、韧性一般, 肉质弹性一般	肉质松散、弹性较差	软烂、口感粗糙、过硬或者无弹性
气味	无异味, 固有香味	无异味, 稍有清香味	无异味, 无清香味	略有异味、无清香味	有强烈异味
滋味	口感风味好, 有明显海参特有滋味	口感风味较好, 有海参特有滋味	口感风味一般, 海参特有滋味一般	口感风味差, 无海参特有滋味	有强烈异味
杂质	无肉眼可见外来杂质, 品尝时无异物感	无明显杂质, 无明显异物感	无明显杂质, 略有异物感	略有杂质, 异物感明显	杂质明显

1.2.3 基本成分测定 水分含量采用 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法进行测定; 灰分含量采用 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中的高温灼烧法进行测定; 粗蛋白含量采用 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法进行测定; 盐分含量采用 GB 5009.44-2016《食品安全国家标准 食品中氯化物的测定》进行测定; 总糖含量采用苯酚-硫酸法^[11]。

1.2.4 氨基酸组成测定及品质评价 氨基酸组成测定依据 GB/T 15400-2018《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》。

为了评价氨基酸的营养价值, 计算氨基酸总含量(TAA)值及 EAA/TAA(必需氨基酸/总氨基酸)和 Lys/Arg(赖氨酸/精氨酸)。

1.2.5 脂肪酸组成测定及品质评价 脂肪酸组成测定依据 GB 5009.168-2017《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》。

计算饱和脂肪酸(Saturated fatty acids, SFA)、单不饱和脂肪酸(Monounsaturated fatty acids, MUFA)、多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated fatty acid, PUFA)、n-3 和 n-6 脂肪酸的总含量及动脉粥样硬化(Atherosclerosis index, AI)和血栓形成(Thrombosis index, TI)指数^[12]。AI 和 TI 指数的计算公式分别为:

$$AI = \frac{12:0 + 4 \times 14:0 + 16:0}{n-6 \text{ PUFA} + n-3 \text{ PUFA} + \text{MUFA}}$$
$$TI = \frac{14:0 + 16:0 + 18:0}{0.5 \text{ MUFA} + 0.5 n-6 \text{ PUFA} + 3 n-3 \text{ PUFA} + n-3 \text{ PUFA} / n-6 \text{ PUFA}}$$

1.2.6 皂苷含量测定 皂苷含量采用 GB/T 33108-2016《海参及其制品中海参皂苷的测定》中的高效液相色谱法进行测定。

1.2.7 牛磺酸含量测定 牛磺酸含量采用 GB 5009.169-2016《食品安全国家标准 食品中牛磺酸的测定》中的丹磺酰氯柱前衍生法进行测定。

1.2.8 体外可消化性分析

1.2.8.1 模拟胃肠液的配制 模拟胃液^[13]: 称取 0.2 g NaCl 和一定量胃蛋白酶, 加入 70 mL 重蒸馏水, 加入 730 μL HCl, 再用 HCl 调 pH 至 1.2, 加水定容至 100 mL, 现用现配。100 mL 模拟胃液中胃蛋白酶的

添加量计算公式如下所示:

$$A = 5 \times 10^6 / (19 \times B)$$

式中: A 为胃蛋白酶添加量, mg; B 为胃蛋白酶活力, U/mg。

模拟肠液^[13]: 称取 0.7 g KH₂PO₄ 溶于 25 mL 重蒸水中, 振荡至完全溶解, 加入 19 mL 0.2 mol/L NaOH 溶液和 40 mL 重蒸水, 加入 1.0 g 胰酶, 用 0.2 mol/L NaOH 溶液调 pH 至 7.5, 加重蒸水定容至 100 mL, 现用现配。

1.2.8.2 模拟胃液消化实验 向 100 mL 三角瓶中加入 20 g 模拟胃液(pH1.2), 37 ℃ 水浴 5 min 后加入 0.2 g 冻干后粉碎的样品, 37 ℃ 恒温水浴以 100 r/min 振荡 2 h, 冰浴 5~10 min 灭酶后, 取出后 4000 r/min 离心 10 min, 上清液冷冻贮藏备用^[13]。

1.2.8.3 模拟肠液消化实验 基于胃消化样品的条件上, 用 1% NaOH 溶液调节消化液 pH 至 7.0~7.5, 添加 5 mL 人工肠液, 混匀, 37 ℃ 恒温水浴以 100 r/min 振荡 4 h, 置于冰浴中 10 min 灭酶, 4000 r/min 离心 10 min, 取上清液, 于-20 ℃ 储存。采用双缩脲法测定上清液中的蛋白质含量^[13]。以牛血清蛋白浓度为横坐标, 540 nm 处的吸光值为纵坐标制作标准曲线。回归方程为: y=0.0718x+0.0518(R²=0.9985)。

1.3 数据处理

TPA 测定实验重复 6 次平行, 其余各实验均重复 3 次平行, 利用 Excel 2010 和 Origin 2021 软件处理数据和绘图, 数据均采用平均值±标准偏差表示。使用 SPSS Statistics 21.0 进行单因素 ANOVA 分析, P<0.05 表示具有显著性差异, 采用 Origin 2021 软件进行 Pearson 相关性分析和主成分分析(PCA)。

2 结果与分析

2.1 4 种市售即食海参产品的感官评价

感官评价是一种直观、快速的产品评价方法, 4 种即食海参产品的感官评定结果如图 1 所示, 所有产品外观均呈深褐色, 有光泽。FLW-DLS 组织结构、滋味和风味评价最高, 肉质厚实, 有弹性, 口感糯且有嚼头, 适口性好, 其主要原因可能是调味海参在加工过程中采用高汤结合热加工技术, 使得胶原蛋白变性加剧, 网络结构疏松, 海参中吸附的风味物质增加, 使其区别于其它组特别是 HW-FJS 海参口感略

有松散、韧性和弹性一般、无海参特有滋味的特点,提高了其产品的感官特性^[14]。

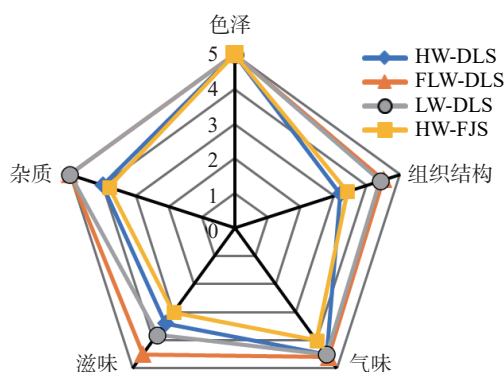


图1 四种即食海参产品的感官评价结果

Fig.1 Sensory evaluation of four ready-to-eat sea cucumber

LW-DLS 组在适口性和风味上显著高于其它 2 种未经调味即食海参 HW-DLS 及 HW-FJS ($P < 0.05$), 这可能是由于水发过程的延长导致一些风味物质或呈味成分的流失^[8]。同时, HW-DLS 及 HW-FJS 在解冻过程中海参体表有液体渗出, 导致其组织结构和杂质评分项较低, 这可能是由于两种海参产品在热加工过程中胶原蛋白变性严重, 复水率过高, 导致产品经冻融后持水力下降^[15]。

2.2 4 种市售即食海参产品的质构分析

质构特性是评价海参品质的重要指标之一, 即食海参的 TPA 分析结果如图 2 所示, 4 组海参在硬度、弹性、内聚性和咀嚼性上均具有差异。各组在弹性指标上具有显著性的差异 ($P < 0.05$), 调味后的海参 (FLW-DLS) 弹性最小。在硬度方面, FLW-DLS 的硬度也显著性低于其它 3 组海参 ($P < 0.05$)。有文献表明, 海参产品的硬度和弹性与肌肉组织破坏程度呈反比, 肌肉结合力越大, 硬度和弹性则越高^[16]。这一结果说明, 调味工艺加剧了加工过程中海参肌肉结构的破坏。FLW-DLS 和 HW-DLS 的咀嚼性均显著性低于其它 2 组样品, FLW-DLS 的内聚性与 LW-DLS 样品一致, 显著性高于其它 2 组样品, 内聚性是反映海参内部收缩力的一项指标^[17]。说明调味工艺的加入显著改善即食海参产品的口感, 这一结果与感官评价结果(图 1)一致。

HW-FJS 样品在硬度和弹性方面, 显著性高于其它 3 组 ($P < 0.05$), 在内聚性和咀嚼性方面, 显著性高于 HW-DLS 样品, 这可能是由于不同来源的海参体壁内胶原蛋白的网状结构不同, 而质构特性又与胶原蛋白的网状结构密切相关, 在热加工和水发过程中, 胶原蛋白网状结构的降解程度不同, 导致产品的质构具有显著性差异^[18]。

2.3 4 种市售即食海参产品的基本营养组成

由表 2 可知, 即食海参均为水分含量占基本营养成分的比例最高, 质量分数也因加工工艺和泡发时长的差异而具有显著性的差别。4 种即食海参产品,

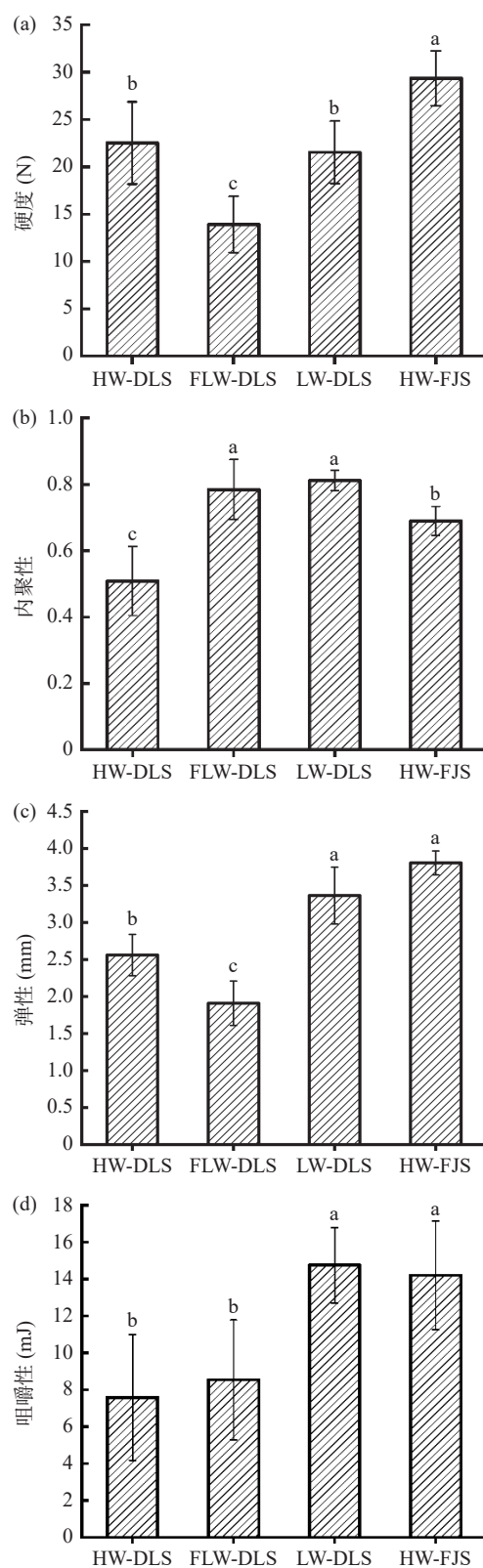


图2 四种即食海参产品的 TPA 分析结果

Fig.2 TPA determination results of four ready-to-eat sea cucumber

注: 不同小写字母表示不同样品之间具有显著性差异 ($P < 0.05$), 表 2~表 6 同。

FLW-DLS 和 LW-DLS 海参在蛋白质含量上显著性高于高水分海参。FLW-DLS 海参中的灰分含量为 2.16%, 显著高于其它 3 种海参 ($P < 0.05$), 也高于已报道的其他水发即食海参产品^[19]。但与刘小芳等^[20]

表 2 四种即食海参产品的基本成分含量

Table 2 Proximate composition, contents of four ready-to-eat sea cucumber				
指标	HW-DLS	FLW-DLS	LW-DLS	HW-FJS
水分	94.97±0.36 ^a	83.31±1.26 ^c	86.45±1.07 ^b	93.39±0.64 ^a
粗蛋白(%)	3.73±0.23 ^b	10.27±0.79 ^a	10.05±0.79 ^a	4.93±0.48 ^b
灰分(%)	0.20±0.01 ^d	2.16±0.21 ^a	0.90±0.06 ^b	0.39±0.10 ^c
总糖(%)	0.24±0.05 ^d	1.70±0.20 ^a	0.64±0.08 ^b	0.41±0.07 ^c
盐分(%,以氯化物计算)	0.03±0.00 ^c	1.30±0.11 ^a	0.67±0.06 ^b	0.03±0.00 ^c

测定的新鲜海参体壁中的灰分含量相比有显著下降。热处理和水发过程中海参体壁中的营养成分会有不同程度的流失,其中灰分流失最快,蛋白流失相对缓慢^[21]。

调味海参在加工过程中,需将海参浸泡于调味液中,此过程中风味成分进入海参,而海参中的多糖等发生溶出。FLW-DLS 海参的总糖和盐分含量分别为 1.70% 和 1.30%,显著性高于 LW-DLS 海参($P<0.05$),这可能是一方面浸泡调味过程中的高汤成分抑制了营养成分的流失,另一方面高汤本身具有营养成分,额外增加了产品中总糖和盐分物质的含量^[22]。

2.4 4 种市售即食海参产品的氨基酸组成分析

海参中含有丰富的氨基酸,4 种即食海参的氨基酸组成如表 3 所示。即食海参产品中含量最多的氨基酸均为谷氨酸(Glu)和甘氨酸(Gly),分别为 11.26%~16.13%、8.82%~12.03%,该结果与 Haider

表 3 四种即食海参产品的氨基酸组成

Table 3 Contents of amino acids of four ready-to-eat sea cucumber				
氨基酸含量(g/100 g)	HW-DLS	FLW-DLS	LW-DLS	HW-FJS
天冬氨酸(Asp)	7.72±0.12 ^a	5.72±0.01 ^b	7.50±0.10 ^a	7.71±0.23 ^a
苏氨酸(Thr)	3.94±0.06 ^a	2.86±0.01 ^c	3.74±0.05 ^b	3.93±0.10 ^a
丝氨酸(Ser)	3.65±0.09 ^a	2.74±0.04 ^b	3.56±0.08 ^a	3.64±0.07 ^a
谷氨酸(Glu)	11.35±0.22 ^{bc}	16.13±0.02 ^a	11.86±0.19 ^b	11.26±0.30 ^c
甘氨酸(Gly)	11.65±0.06 ^b	8.82±0.02 ^d	12.03±0.14 ^a	10.85±0.16 ^c
丙氨酸(Ala)	4.99±0.07 ^a	3.77±0.00 ^b	5.09±0.08 ^a	4.83±0.16 ^a
缬氨酸(Val)	3.03±0.04 ^a	2.23±0.01 ^c	2.86±0.04 ^b	3.10±0.09 ^a
异亮氨酸(Ile)	3.50±0.06 ^a	1.80±0.01 ^c	2.33±0.04 ^b	2.55±0.06 ^a
亮氨酸(Leu)	2.00±0.01 ^b	2.54±0.01 ^d	3.24±0.04 ^c	3.71±0.03 ^a
酪氨酸(Tyr)	2.19±0.03 ^a	1.41±0.01 ^b	1.84±0.01 ^a	1.91±0.11 ^a
苯丙氨酸(Phe)	2.48±0.03 ^a	1.58±0.00 ^c	1.99±0.03 ^b	2.16±0.04 ^a
组氨酸(His)	1.77±0.01 ^b	1.31±0.01 ^d	1.64±0.01 ^c	1.93±0.01 ^a
赖氨酸(Lys)	2.52±0.05 ^b	1.87±0.00 ^d	2.32±0.04 ^c	2.78±0.06 ^a
精氨酸(Arg)	5.65±0.06 ^a	4.14±0.01 ^b	5.62±0.08 ^a	5.50±0.16 ^a
脯氨酸(Pro)	5.83±0.06 ^a	4.36±0.03 ^b	5.95±0.06 ^a	5.62±0.22 ^a

表 4 四种即食海参体壁营养指标计算结果

Table 4 Quantity of amino acids and fatty acids for the body wall of four ready-to-eat sea cucumbers from different brands									
样品	TAA(g/100 g)	EAA/TAA	LYS/ARG	SFA	MUFA	PUFA	n-6/n-3	AI	TI
HW-DLS	72.23±0.98 ^a	0.24±0.00 ^b	0.45±0.00 ^b	1.17±0.03 ^a	1.35±0.04 ^b	1.75±0.12 ^b	0.42±0.05 ^a	0.20±0.01 ^a	0.11±0.03 ^a
FLW-DLS	61.23±0.17 ^b	0.21±0.00 ^d	0.45±0.00 ^b	0.98±0.01 ^b	1.68±0.01 ^a	2.27±0.03 ^a	0.22±0.02 ^b	0.16±0.00 ^c	0.06±0.00 ^c
LW-DLS	71.53±0.98 ^a	0.23±0.00 ^c	0.41±0.00 ^c	0.84±0.02 ^c	1.02±0.01 ^c	1.80±0.01 ^b	0.24±0.03 ^b	0.18±0.00 ^b	0.06±0.01 ^c
HW-FJS	71.46±1.79 ^a	0.26±0.00 ^a	0.51±0.00 ^a	0.97±0.06 ^b	1.80±0.10 ^a	1.64±0.11 ^b	0.50±0.02 ^a	0.13±0.00 ^d	0.10±0.00 ^b

等^[23]的结果基本一致。然而,不同海参产品的氨基酸组成也存在一定差异,其中 FLW-DLS 海参中的谷氨酸含量最高,约为 16.13%。有研究表明,甘氨酸可以降低血清中的胆固醇,低亮氨酸和缬氨酸浓度可能也有助于降低胆固醇^[24],谷氨酸除具有预防肝纤维化、酒精性肝和关节炎等作用外,还能够改善脑细胞营养和促进机体生长发育^[25]。

不同即食海参的 15 种氨基酸(TAA)总含量存在差异(表 4)。HW-DLS、LW-DLS、HW-FJS 的 TAA 含量差异较小,其中 HW-DLS 海参的 TAA 含量最高,为 72.23 g/100 g。FLW-DLS 海参的 TAA 含量显著性低于其它 3 组海参,为 61.23 g/100 g($P<0.05$)。4 组海参的 EAA/TAA 值在 0.20~0.60 内,并且各个即食海参之间存在明显差异($P<0.05$),其中福建海参的 EAA/TAA 值最高,为 0.255。

除了谷氨酸和甘氨酸的含量丰富外,即食海参产品氨基酸组成的另一个重要特征是赖氨酸/精氨酸比值低。低赖氨酸/精氨酸比值的蛋白质具有降胆固醇作用^[26]。HW-DLS、FLW-DLS、LW-DLS、HW-FJS 赖氨酸对精氨酸的比例分别为 0.45、0.45、0.41、0.51 左右。据报道海参的赖氨酸/精氨酸比其他海产品如鱼(1.05~1.64)、蟹(0.82~0.88)、虾(0.85~0.96)的赖氨酸/精氨酸比值要低^[9,27],这与本文结果一致。

2.5 4 种市售即食海参产品的脂肪酸组成分析

即食海参的脂肪酸分布如表 5 所示,共检出 27 种脂肪酸(含量≥0.01%),其中含有 13 种饱和脂肪酸(SFAs),8 种单不饱和脂肪酸(MUFAs),6 种多不饱和脂肪酸(PUFAs)。所有海参产品的脂肪酸分布均以 PUFA 为主,该结果与 Aydn 等^[28]所研究的干制海参的脂肪酸结果基本一致。但同时,各个海参之间的脂肪酸含量存在差异(表 4),其中 HW-DLS 海参的 SFA 含量和 FLW-DLS 海参的 PUFA 含量显著高于其它海参产品($P<0.05$)。在 MUFA 含量方面,FLW-DLS 和 HW-FJS 均高于其它两组海参($P<0.05$)。

4 种即食海参的 SFA 含量约为 0.97%~1.17%,同时其 SFA 组成存在差异。在 HW-FJS 中单独检出肉豆蔻酸(C14:0),FLW-DLS 中单独检出辛酸(C8:0)、癸酸(C10:0)和月桂酸(C12:0),其中月桂酸作为一种中链饱和脂肪酸,可直接在肝脏中代谢并直接给人体供能,避免脂肪的堆积^[29]。但综合情况表明,4 种海参中主要的 SFA 均为棕榈酸(C16:0)和硬脂酸(C18:0)。所有海参的 MUFA 含量在

表 5 四种即食海参脂肪酸分布

Table 5 Fatty acid profiles (%) of four ready-to-eat sea cucumber

绝对脂肪酸(%)	HW-DLS	FLW-DLS	LW-DLS	HW-FJS
C6:0	—	—	—	0.012±0.001 ^a
C8:0	—	0.019±0.001 ^a	—	—
C10:0	—	0.013±0.000 ^a	—	—
C12:0	—	0.010±0.000 ^a	—	—
C13:0	0.087±0.003 ^a	0.038±0.002 ^c	0.052±0.000 ^b	0.051±0.001 ^b
C14:0	0.053±0.001 ^c	0.101±0.002 ^a	0.070±0.001 ^b	0.056±0.003 ^c
C15:0	0.034±0.000 ^a	0.092±0.001 ^d	0.024±0.000 ^b	0.015±0.001 ^c
C16:0	0.042±0.001 ^a	0.016±0.001 ^b	0.026±0.000 ^b	0.023±0.001 ^b
C17:0	0.012±0.000 ^a	0.010±0.000 ^c	0.009±0.000 ^b	—
C18:0	0.416±0.011 ^b	0.237±0.004 ^a	0.236±0.004 ^c	0.232±0.014 ^b
C20:0	0.423±0.012 ^b	0.656±0.010 ^c	0.357±0.006 ^c	0.307±0.018 ^{ab}
C21:0	0.058±0.002 ^b	0.029±0.002 ^a	0.041±0.001 ^c	0.045±0.003 ^a
C22:0	0.162±0.007 ^a	0.103±0.001 ^b	0.105±0.000 ^b	0.088±0.003 ^b
C14:1	0.314±0.010 ^b	0.350±0.006 ^a	0.281±0.007 ^c	0.347±0.027 ^a
C15:1	0.114±0.003 ^a	0.225±0.008 ^a	0.070±0.002 ^a	0.613±0.038 ^d
C16:1	0.076±0.004 ^b	0.046±0.001 ^a	0.022±0.000 ^c	0.138±0.008 ^d
C17:1	0.092±0.003 ^a	0.075±0.000 ^b	0.065±0.00 ^b	0.107±0.009 ^c
C18:1n9c	0.270±0.007 ^c	0.208±0.007 ^b	0.168±0.006 ^c	0.232±0.019 ^a
C20:1	0.089±0.002 ^a	0.150±0.003 ^b	0.070±0.001 ^c	0.321±0.019 ^b
C22:1	0.044±0.002 ^b	0.070±0.001 ^{bc}	0.035±0.001 ^c	0.051±0.004 ^a
C24:1	0.067±0.000 ^c	0.038±0.001 ^b	0.036±0.00 ^c	0.098±0.009 ^a
C18:2n6c	0.060±0.002 ^b	0.031±0.001 ^c	0.034±0.001 ^d	0.062±0.005 ^a
C18:3n3	0.169±0.001 ^c	0.149±0.015 ^b	0.128±0.012 ^c	0.205±0.004 ^a
C20:2	0.376±0.074 ^b	0.323±0.021 ^c	0.287±0.035 ^c	0.307±0.007 ^a
C20:4n6	0.947±0.031 ^a	1.401±0.039 ^a	1.081±0.033 ^a	0.543±0.045 ^a
C20:5	0.164±0.007 ^c	0.241±0.001 ^a	0.164±0.005 ^b	0.339±0.027 ^d
C22:6	0.200±0.005 ^b	0.311±0.008 ^a	0.305±0.010 ^a	0.229±0.018 ^b

注：“—”：<0.01%。

1.02%~1.80% 之间,在 HW-FJS 中并未检测出银杏酸(C15:1),并且检测含量最多的是油酸(C18:1n9c)。除 HW-FJS 外,其余 3 组海参检出的 MUFA 含量最高的均为棕榈酸(C16:1),该结果与刘茜等^[30]的检测结果基本一致。该结果表明海参可以通过降低低密度脂蛋白,保留高密度脂蛋白来有效降低心血管病的发生率^[31]。

二十碳五烯酸(EPA, C20:5)是 4 种即食海参中最主要的 n-3 PUFA,约占所有 n-3 PUFA 含量的 50%~77%,花生四烯酸(C20:4n6)是最主要的 n-6 PUFA,约占所有 n-6 PUFA 的 57%~83%。二十碳五烯酸(EPA)和花生四烯酸对于机体脂质代谢具有重要作用^[32]。朱玉婕等^[33]的研究表明,海参磷脂型 EPA 可改变血清和肝脏的脂肪酸组成,使血清和肝脏脂质水平下降。

HW-DLS 海参和 HW-FJS 的 n-6/n-3 比值显著高于 LW-DLS 和 FLW-DLS 海参($P<0.05$) (表 4)。Christina 等^[34]的研究表明, n-6/n-3 比值小于 10 的海参更具有商业价值。杨立刚等^[35]也证实降低高脂膳食中 n-6/n-3 PUFA 比值可以有效改善机体内皮细胞功能。4 种即食海参产品的比值范围在 0.22~0.50,说明即食海参产品可被认为是一种优质脂肪酸

的补充来源。

4 种即食海参的致动脉粥样硬化(AI)和致血栓(TI)指数存在差异(表 4)。不同海参产品 AI 指数存在显著性差异($P<0.05$),其中 HW-DLS 海参的 AI 指数最高,为 0.20,HW-FJS 的 AI 指数最低,为 0.13。在 TI 指数方面,FLW-DLS 海参和 LW-DLS 海参的 TI 指数相近,是 4 种海参中的最低值,约为 0.06,最高的为 HW-DLS 海参,为 0.11。海参的 AI 值与 TI 值均明显低于其它水产,如中华绒螯蟹的肝胰腺中 AI 值约为 1.10~1.30, TI 值约为 0.25~0.40^[36],巨须裂腹鱼肌肉的 AI 指数为 0.45, TI 指数为 0.27^[37]。

2.6 4 种市售即食海参产品的功能性成分分析

海参在热加工过程中,水溶性功能性成分如皂苷、牛磺酸极易流失^[9]。海参皂苷是海参主要的次生代谢产物,具有提高机体免疫力,抗肿瘤,抗真菌等多种药理作用^[38]。FLW-DLS 与 LW-DLS 海参中的皂苷含量显著高于其它 2 组海参($P<0.05$),约为 8.49~8.64 mg/kg(表 6),说明水发过程中海参皂苷的流失比较严重,这也与王寿权等^[39]的结果类似。牛磺酸是一种具有显著神经保护特性的氨基酸^[40],对糖尿病病人的神经病变、胰岛素抵抗及心血管并发症具有显著预防和治疗作用^[41]。FLW-DLS 海参中的牛磺酸含量明显高于其它海参($P<0.05$),约为 2.28 mg/100 g。

表 6 四种即食海参产品的功能性成分含量

Table 6 Quantity of amino acids and fatty acids for the body wall of four ready-to-eat sea cucumbers from different brands

指标	HW-DLS	FLW-DLS	LW-DLS	HW-FJS
皂苷(mg/kg)	3.19±0.30 ^c	8.64±0.77 ^a	8.49±0.80 ^a	6.80±0.60 ^b
牛磺酸(mg/100 g)	0.18±0.01 ^c	2.28±0.14 ^a	0.62±0.15 ^b	0.61±0.07 ^b

2.7 4 种市售即食海参产品的可消化性分析

消化液中可溶性蛋白含量来评价膳食蛋白质的生物利用率^[42]。不同即食海参经模拟胃肠消化蛋白

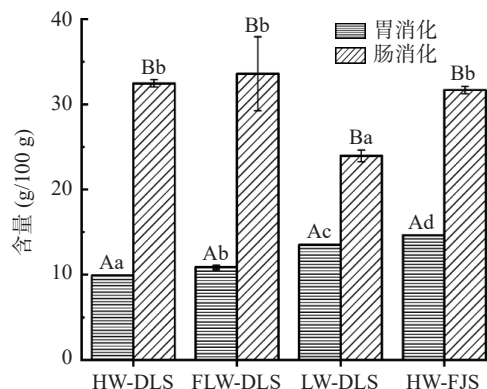


图 3 四种即食海参模拟胃肠消化后可溶性蛋白质含量

Fig.3 Four ready-to-eat sea cucumber simulated the protein content after gastrointestinal digestion

注:不同大写字母表示相同样品不同消化处理之间具有显著性差异;不同小写字母表示不同样品相同消化处理之间具有显著性差异($P<0.05$)。

质含量见图 3。海参经胃肠消化后可溶性蛋白含量增加,不同实验组之间经消化反应后的变化趋势一致,但每组之间的蛋白质含量呈现显著性差异($P<0.05$)。经胃消化后蛋白质含量最高的为 HW-FJS, 约为 14.64 g/100 g。经肠消化后 HW-DLS、FLW-DLS 和 HW-FJS 的可溶性蛋白含量相似, 约为 31.67~33.58 g/100 g, 其中 FLW-DLS 海参经消化后的可溶性蛋白含量最高, 为 33.58 g/100 g, 表明在可消化性方面 FLW-DLS 海参的生物利用率要优于其它 3 种即食海参。

2.8 4 种市售即食海参产品的营养指标相关性分析

利用 Pearson 分析法对 16 种营养指标进行相关性分析并形成相关性热图。如图 4 所示,水分与基本营养成分之间基本呈现负相关,其中,水分与粗蛋白、灰分、盐分之间呈现显著负相关;各基本营养成分间呈现显著正相关;同时,除水分外各基本营养成分与 TAA、EAA/TAA 值之间呈现显著负相关,与 PUFA 含量呈显著正相关。16 种营养指标之间存在较强相关性,可进一步通过 PCA 来研究和评价 4 种市售即食海参营养品质。

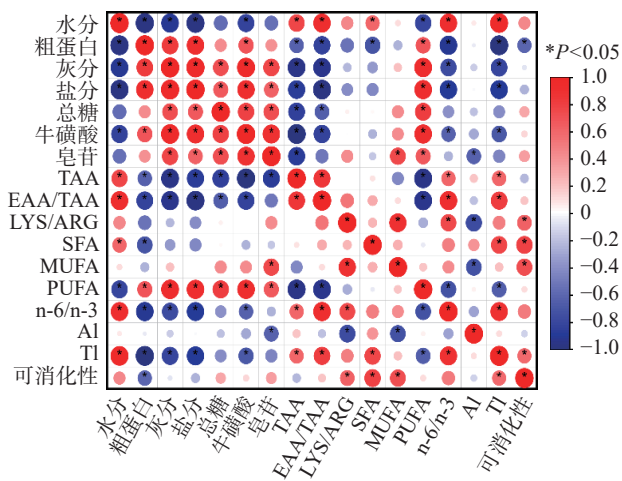


图 4 四种即食海参营养指标之间的相关性分析图
Fig.4 Correlation analysis of nutritional indexes of four ready-to-eat sea cucumbers
注:“*”表示具有显著相关性($P<0.05$),红色代表具有正相关性,蓝色代表具有负相关性。

2.9 4 种市售即食海参产品的主成分分析

2.9.1 主成分的选取 将 4 种海参样品的基本营养成分(水分、粗蛋白、灰分、总糖、牛磺酸、皂苷),氨基酸指标(TAA、EAA/TAA、LYS/ARG),脂肪酸指标(SFA、MUFA、PUFA、n-6/n-3 值)及可消化性结果进行主成分分析及标准化转换。营养指标经标准化转换后提取的 3 个主成分的特征值及累计贡献率如表 7 所示。一般认为,当主成分特征值大于 1 且累计方差贡献率大于 85% 时,可以使用提取的主成分表示原始变量大部分的主要信息^[43]。由表 7 可知,前 3 个主成分的特征值均大于 1 且累计贡献率达到 97.23%(PC1 方差贡献率 58.66%+PC2 方差贡

献率 29.29%+PC3 方差贡献率 9.28%),说明这 3 个主成分基本可以全面的反映变量的信息,可以利用其对海参的营养成分进行综合评价,且 PC1 的贡献率最高,表明其含有的变量信息最多。主成分分析图如图 5 所示。图中可表明不同海参在 3 种主成分上的分布情况,可显著判断不同海参样品营养含量的差异程度。

表 7 主成分特征值及贡献率

主成分	PC1	PC2	PC3
特征值	8.21	4.10	1.30
方差贡献率(%)	58.66	29.29	9.28
累计贡献率(%)	58.66	87.95	97.23

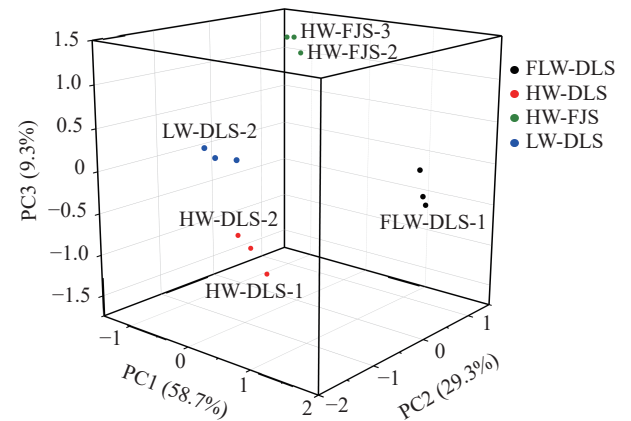


图 5 主成分的因子载荷图
Fig.5 Factor load diagram of principal component

2.9.2 函数的建立及综合评价 海参营养指标相关矩阵的特征向量如表 8 所示。PC1 中粗蛋白、灰分、总糖、牛磺酸、含量及 PUFA 的系数较大,表明其在 PC1 中的贡献率较高;PC2 中皂苷含量、LYS/ARG 值、MUFA 及可消化性结果的贡献率较大;PC3 中皂

表 8 不同主成分中营养指标的特征向量

指标	PC1	PC2	PC3
水分	-0.33	0.13	-0.12
粗蛋白	0.31	-0.21	0.18
灰分	0.34	0.05	0.02
总糖	0.26	0.22	-0.14
牛磺酸	0.33	0.16	0.06
皂苷	0.25	0.31	0.27
TAA	-0.32	-0.19	0.08
EAA/TAA	-0.33	0.07	0.22
LYS/ARG	-0.11	0.41	0.41
SFA	-0.14	0.27	-0.63
MUFA	0.04	0.47	0.26
PUFA	0.32	0.09	-0.25
n-6/n-3	-0.29	0.24	0.13
可消化性	-0.06	0.45	-0.30

甘、LYS/ARG、MUFA 及 EAA/TAA 值的贡献率较大。

以每个主成分所对应的特征值的方差贡献率为系数建立综合评价模型,即:

$$F=0.587F_1+0.293F_2+0.093F_3$$

其中 F 为综合得分, F_1 、 F_2 、 F_3 分别为主成分 1、2、3 得分;计算结果如表 9 所示。FLW-DLS 样品在第一主成分上的得分最高;HW-FJS 组在第二主成分上的得分最高,FLW-DLS 组得分略低于 HW-FJS 组;HW-DLS 在第三主成分上的得分最高。从综合评分来看,FLW-DLS 的得分为正值,远高于其它组均为负值,证明其海参综合质量及营养价值的含量高。

表 9 4 种市售即食海参营养成分得分及综合评价
Table 9 Nutrient composition scores and comprehensive evaluation of four sea cucumbers

样品	主成分得分			综合评分	排序
	F_1	F_2	F_3		
HW-DLS	-0.90	0.13	-1.37	-0.62	4
FLW-DLS	1.49	0.64	-0.24	1.04	1
LW-DLS	0.15	-1.59	0.38	-0.34	3
HW-FJS	-0.75	0.82	1.22	-0.06	2

3 结论

选取的 4 种水发程度、调味程度和原料来源地具有差异的常见即食海参产品口感差异明显,排序为 FLW-DLS>LW-DLS>HW-DLS≈HW-FJS,质构指标中弹性、硬度、内聚性和咀嚼性均具有显著性差异,4 种即食海参的营养及功能性成分在加工过程中有不同程度的流失,但仍均具有较高的营养价值,可以作为理想的营养补充来源。对 4 种市售海参的营养指标进行主成分分析,建立综合模型对整体进行综合评价,营养价值综合排序结果为 FLW-DLS>HW-FJS>LW-DLS>HW-DLS。这一结果反应出市售即食海参品质差异明显,然而当今市场,尚鲜有关键性指标作为评判即食海参产品优劣的依据。质构特性和营养指标是能够评判产品质量的重要产品特性,可作为即食海参产品标准的重要依据,亦为制定标准提供数据参考。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] LOO K P, MAT D M. Jewel of the seabed: Sea cucumbers as nutritional and drug candidates[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2012, 63(5): 616-636.
- [2] 杨林彤,黄栋,周建华,等. 海参营养价值与主要功效成分的研究进展[J]. *食品科技*, 2022, 47(2): 168-172. [YANG L T, HUANG D, ZHOU J H, et al. Research progress on nutritional value and main functional components of sea cucumber[J]. *Food Sci-*

ence and Technology, 2022, 47(2): 168-172.]

[3] YAACOB H, KIM K, SHAHIMI M, et al. Malaysian sea cucumber (*Gamat*): A prospect in health food and therapeutic[J]. *Proceedings of the Asian Food Technology Seminar*, 2024.

[4] 农业农村部编制. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 23. [Ministry of Agriculture and Rural Affairs. *China Fishery Statistical Yearbook*[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2021: 23.]

[5] LI M, GAO Y, QI Y X, et al. Assessment of the nutritional value of cultured sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) [J]. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2021(9): 1-12.

[6] FERDOUSE F. World markets and trade flows of sea cucumber/bechedemer[J]. Korea, 2004.

[7] JI H M, KIM M J, DONG H C, et al. Drying characteristics of sea cucumber (*Stichopus japonicas* Selenka) using far infrared radiation drying and hot air drying[J]. *Journal of Food Processing & Preservation*, 2014, 38.

[8] 常耀光,刘艳艳,石菲菲,等. 海参在加工过程中的组分与食品结构变化[J]. *水产学报*, 2022, 46(7): 1129-1142. [CHANG Y G, LIU Y Y, SHI F F, et al. Changes in composition and food structure of sea cucumber during processing[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(7): 1129-1142.]

[9] LI M, QI Y X, MI L, et al. Effects of processing method on chemical compositions and nutritional quality of ready-to-eat sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) [J]. *Food Science & Nutrition*, 2019.

[10] 白颖,冯丁丁,浦源,等. 海参低温贮藏过程中品质与理化性质的变化[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(1): 208-214. [BAI Y, FENG D D, PU Y, et al. Quality and physicochemical properties of sea cucumber during low temperature storage[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(1): 208-214.]

[11] 穆琳. 加工对海参营养和功能成分的研究[D]. 大连: 大连海洋大学, 2016. [MU L. *Studies of processing method on nutritional and functional compositions of instant sea cucumber products* [D]. Dalian: Dalian Ocean University, 2016.]

[12] ULBRICHT T L, SOUTHGATE D A. Coronary heart disease: seven dietary factors[J]. *The Lancet*, 1991, 338(8773): 985-992.

[13] 农业农村部. 转基因生物及其产品食用安全检测模拟胃液和模拟肠液中外源蛋白质消化稳定性试验方法[S]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 2. [Ministry of Agriculture and Rural Affairs. *Food safety testing of genetically modified organisms and their products-Test method for the digestion stability of exogenous proteins in simulated gastric and intestinal fluids*[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2021: 2.]

[14] 葛小通,王红丽,尹明雨,等. 冷冻即食海参质构特性指标的相关性研究[J]. *中国食品学报*, 2023, 23(1): 326-334. [GE X T, WANG H L, YIN M Y, et al. Studies on correlation of texture properties of frozen instant sea cucumber[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2023, 23(1): 326-334.]

[15] 郑明静,周美龄,陈妮,等. 超高压处理对海参组织结构及品质影响的研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(4): 187-191,210. [ZHENG M J, ZHOU M L, CHEN N, et al. Effect of ultra-high pressure treatment on tissue structure and quality of sea cucumber[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(4):

187-191,210.]

[16] 郝梦甄, 胡志和. 超高压和盐渍泡发处理海参的质构和功能成分比较研究[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 115-119. [HAO M Z, HU Z H. Comparative effects of UHP and salt soaking on the texture and functional composition of sea cucumber (*Stichopus japonicus*) [J]. Food Science, 2013, 34(5): 115-119.]

[17] ZDZISTAW E. S, DORIAN N. S, DAVID H. The role of collagen in the quality and processing of fish[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1984, 20(4): 301-343.

[18] 汪子涵, 安俊文, 郑杰, 等. 不同泡发方式对海参品质特性的影响[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(4): 135-141. [WANG Z H, AN J W, ZHENG J, et al. Effects of different soaking methods on the quality characteristics of dried seacucumber[J]. China Food Additives, 2023, 34(4): 135-141.]

[19] ZHONG Y, AHMAD K M, FEREIDOUN S. Compositional characteristics and antioxidant properties of fresh and processed sea cucumber (*Cucumaria frondosa*) [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2007, 55(4): 1188-1192.

[20] 刘小芳. 刺参营养成分的地域性差异分析及其磷脂的活性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014. [LIU X F. Study of regional differences in nutrient compositions and bioactivities of phospholipids in sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.]

[21] FUKUNAGA T, MATSUMOTO M, MURAKAMI T, et al. Effects of soaking conditions on the texture of dried sea cucumber [J]. *Fisheries Science*, 2004, 70(2): 319-325.

[22] 李银塔, 李钰金, 陈英乡, 等. 即食鲜海参生产工艺研究[J]. 肉类研究, 2010(6): 78-81. [LI Y T, LI Y J, CHEN Y X, et al. Production process of instant fresh sea cucumber[J]. Meat Research, 2010(6): 78-81.]

[23] HAIDE M S, SULTANA R, JAMIL K, et al. A study on proximate composition, amino acid profile, fatty acid profile and some mineral contents in two species of sea cucumber[J]. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 2015, 25(1): 168-175.

[24] IKEDA A, IMAIZUMI K, SUGANO M, et al. Interaction of dietary protein and fat on plasma cholesterol and amino acid levels, fatty acid desaturation, and prostacyclin production in exogenous hypercholesterolemic rats[J]. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 2014, 57(11): 1867-1872.

[25] 郝亚凡, 林海生, 曹文红, 等. 三种南海礁栖海参体壁营养成分分析[J]. 广东海洋大学学报, 2023, 43(2): 113-119. [XI Y F, LIN H S, CAO W H, et al. Analysis of nutritional components in the body wall of three reef-dwelling seacucumbers in the south China sea[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2023, 43(2): 113-119.]

[26] SUGANO M, ISHIWAKI N, NAKASHIMA K. Dietary protein-dependent modification of serum cholesterol level in rats. Significance of the arginine/lysine ratio[J]. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 1984, 28(3): 192-199.

[27] WEN J, HU C Q, FAN S G. Chemical composition and nutritional quality of sea cucumbers[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90(14): 2469-2474.

[28] AYDN M, SEVGILI H, TUFAN B, et al. Proximate composition and fatty acid profile of three different fresh and dried commercial sea cucumbers from Turkey[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2015, 46(3): 500-508.

[29] WANG J H, WANG X X, LI J T, et al. Effects of dietary coconut oil as a medium-chain fatty acid source on performance, carcass composition and serum lipids in male broilers[J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2015, 28(2): 223-230.

[30] 刘茜, 孙剑锋, 孟淑静, 等. 不同海参产品中化学物质、氨基酸、脂肪酸和重金属组成对比研究[J]. 食品科技, 2016, 41(11): 133-139. [LIU Q, SUN J F, MENG S J, et al. Analysis on chemical, amino acid, fatty acid and heavy metal composition of different sea cucumber (*Stichopus japonicus*) products[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(11): 133-139.]

[31] 袁义琼. 玉足海参多糖对大鼠高脂血症的缓解作用及机制研究[D]. 海口: 海南大学, 2020. [YUAN Y Q. The alleviating effect and themechanism of *Holothuria leucospilota* polysaccharide on hyperlipidemia in rats[D]. Haikou: Hainan University, 2020.]

[32] 白晓琳, 薄钰莹, 丁宁, 等. 南极磷虾油、鱼油与花生四烯酸油对骨质疏松症小鼠脂质代谢的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(17): 131-137. [BAI X L, BO Y Y, DING N, et al. Effects of antarctic krill oil, fish oil and arachidonic acid-enriched oil on lipid metabolism in osteoporotic mice[J]. Food Science, 2022, 43(17): 131-137.]

[33] 朱玉婕, 田迎樱, 戴宇峰, 等. 海参磷脂型 EPA 对血清及肝脏脂肪酸组成的改善作用[J]. 中国海洋药物, 2018, 37(2): 45-51. [ZHU Y J, TIAN Y Y, DAI Y F, et al. The effects of EPA-enriched phosphatidylcholine from sea cucumber on the fatty acid composition of serum and liver[J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2018, 37(2): 45-51.]

[34] CHRISTINA C R, MERCEDES G-W, HUGO P, et al. A first glance into the nutritional properties of the sea cucumber *Parastichopus regalis* from the Mediterranean Sea (SE Spain) [J]. *Natural product research*, 2018, 32(1): 116-120.

[35] 杨立刚, 宋志秀, 曹卫鑫, 等. 不同 n-6/n-3 脂肪酸构成对小鼠心血管疾病危险因素的影响[J]. 卫生研究, 2016, 45(3): 436-441. [YANG L G, SONG Z X, CAO W X, et al. Effects of diets with different n-6/n-3 fatty acids on cardiovascular risk factors in mice fed high-fat diets[J]. Journal of Hygiene Research, 2016, 45(3): 436-441.]

[36] 丁昊翔, 唐美君, 姜晓东, 等. 中国主要产地“六月黄”中华绒螯蟹的营养品质比较[J]. 中国水产科学, 2022, 29(7): 1052-1063. [DING H X, TANG M J, JIANG X D, et al. Comparative study of the nutritional quality of outseason crab at lunar June (*Eriocheir sinensis*) from major Chinese production areas[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(7): 1052-1063.]

[37] 金洪宇, 李雷, 覃东立, 等. 巨须裂腹鱼肌肉营养成分分析[J]. 中南农业科技, 2023, 44(1): 58-61,8. [JIN H Y, LI L, TAN D L, et al. Analysis of nutrient composition in the muscle of *Macrocephalus giganteus* [J]. South-central Agricultural Science and Technology, 2023, 44(1): 58-61,8.]

[38] 巨盛楠, 徐慧静, 王玉明, 等. 海参皂苷 *Holothurin A* 和 *Echinaside A* 对肥胖小鼠尿酸代谢的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 385-391. [JU S N, XU H J, WANG Y M, et al. Effects of *Holothurin A* and *Echinaside A* from sea cucumber on uric acid metabolism in obese mice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(21): 385-391.]

[39] 王寿权, 员冬玲, 尹凤交, 等. 海参及其加工废液基本化学成分分析及蛋白质营养评价[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(14): 150-154. [WANG S Q, YUAN D L, YIN F J, et al. Evaluation and

analysis of nutritional composition of sea cucumber and its waste liquid[J]. Food Research and Development, 2019, 40(14): 150–154.]

[40] MEHDI O M, REZA H, VAHID G, et al. Taurine treatment provides neuroprotection in a mouse model of manganism[J]. [Biological Trace Element Research](#), 2019, 190(2): 384–395.

[41] 杨兰革, 郑立勇, 饶煜, 等. 海参内脏的活性成分、保健功能与开发研究进展 [J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(10): 2426–2432. [YANG L P, ZHENG L Y, RAO Y, et al. Research progress of active components, health function and development of sea cucumber viscera[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2018, 9(10): 2426–2432.]

[42] 徐文思, 杨祺福, 杨明毅, 等. 中华草龟蛋营养成分及消化特性研究 [J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(4): 93–101. [XU W S, YANG Q F, YANG M Y, et al. Study on nutrition and digestion properties of *Mauremys reevesii* eggs[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(4): 93–101.]

[43] 秦力悦, 石萍萍, 李荣辉, 等. 基于主成分分析和聚类分析的烘烤类澳洲坚果果仁综合品质评价 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(18): 331–341. [QIN L Y, SHI P P, LI R H, et al. Comprehensive quality evaluation of roasted kernels in macadamia nuts based on principal component analysis and cluster analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(18): 331–341.]