

# 不同市售即食海参营养品质差异分析

傅志宇<sup>1</sup>, 李龙<sup>1</sup>, 于笛<sup>1</sup>, 方梓葳<sup>2</sup>, 刘煜珺<sup>1</sup>, 林姝含<sup>2</sup>, 李双双<sup>3</sup>, 郑杰<sup>1\*</sup>

(1. 辽宁省海洋水产科学研究院, 农业农村部水产种质资源保护与发掘利用重点实验室, 辽宁大连 116023)

(2. 大连海洋大学食品科学与工程学院, 辽宁大连 116023)

(3. 大连鑫玉龙海洋生物种业科技股份有限公司, 辽宁大连 116222)

**摘要:** 以市售六种即食海参为研究对象, 测定其水分、粗蛋白、灰分、总糖、胶原蛋白和皂苷含量以及脂肪酸和氨基酸组成, 分析其味觉特征、微观结构、热稳定性和全质构 (Texture Profile Analysis, TPA) 特性, 并对其感官评价。结果表明: 六种即食海参营养品质存在显著差异, 水分含量为 75.42%~94.68%, 粗蛋白含量为 55.77%~69.91%, 灰分含量为 4.80%~11.94%, 总糖含量为 10.52%~15.78%, 胶原蛋白含量为 22.00%~30.18%, 皂苷含量为 0.31%~1.21%。不饱和脂肪酸含量为 12.28~22.65 mg/g, 多不饱和脂肪酸含量为 7.94~14.05 mg/g。氨基酸总含量为 54.83~65.38 g/100 g, 甘氨酸、谷氨酸和天冬氨酸含量丰富。电子舌分析滋味特征, S2、S3、S4 和 S5 相近。六种即食海参微观结构差异较大, S1 热稳定性最好, 弹性、内聚性和回复性组间差异显著。感官评分 S1 最高为 82.4, S3 最低为 74.3, 整体上感官都可被接受。偏最小二乘法和 Pearson 相关性分析表明, 滋气味与酸味、涩味、苦味回味、涩味回味、丰富性、咸味呈现极显著正相关 ( $P<0.01$ ), 口感与弹性、内聚性、酸味、涩味、苦味回味、涩味回味、丰富性、咸味呈现极显著正相关 ( $P<0.01$ )。上述结果可为即食海参产品开发、品质分级和相关标准制定提供一定的理论依据。

**关键词:** 即食海参; 营养品质; 滋味; 热稳定性; 微观结构; 全质构; 感官评价

文章编号: 1673-9078(2024)11-38-47

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.11.1029

## Nutritional Quality Difference Analysis of Various Commercial Ready-to-eat Sea Cucumbers

FU Zhiyu<sup>1</sup>, LI Long<sup>1</sup>, YU Di<sup>1</sup>, FANG Ziyang<sup>2</sup>, LIU Yujun<sup>1</sup>, LIN Shuhan<sup>2</sup>, LI Shuangshuang<sup>3</sup>, ZHENG Jie<sup>1\*</sup>

(1. Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Key Laboratory of Protection and Utilization of Aquatic Germplasm Resource, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Dalian 116023, China)

(2. College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

(3. Dalian Xinyulong Marine Organisms Seed Industry Technology Co. Ltd., Dalian 116222, China)

**Abstract:** Six kinds of ready-to-eat sea cucumbers (S1-S6) were chosen as the study objects. The contents of water, crude protein, ash, total sugar, collagen and saponin as well as the compositions of fatty acids and amino acids were analyzed.

傅志宇, 李龙, 于笛, 等. 不同市售即食海参营养品质差异分析[J]. 现代食品科技, 2024, 40(11): 38-47.

FU Zhiyu, LI Long, YU Di, et al. Nutritional quality difference analysis of various commercial ready-to-eat sea cucumbers [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(11): 38-47.

收稿日期: 2023-08-30

基金项目: 辽宁省农业科学院农业绿色高质量发展专项 (2021HQ1917); 辽宁省科技重大专项子课题 (2020JH1/10200001); 大连市揭榜挂帅技术攻关项目 (2023JB11SN007); 辽宁省应用基础研究计划 (2022JH2/101300287)

作者简介: 傅志宇 (1987-), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 水产品精深加工, E-mail: hkyfzy@126.com

通讯作者: 郑杰 (1981-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 水产品精深加工, E-mail: zhengjiessd@163.com

determined. The taste characteristics, microstructure, thermal stability and TPA (Texture Profile Analysis) features were analyzed, and sensory evaluation was conducted. The results showed significant differences in nutritional quality among the six kinds of ready-to-eat sea cucumbers, with the water content being 75.42%~94.68%, crude protein content being 55.77%~69.91%, ash content being 4.80%~11.94%, total sugar content being 10.52%~15.78%, collagen content being 22.00%~30.18%, and saponin content being 0.31%~1.21%. The contents of unsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids were 12.28~22.65 mg/g and 7.94~14.05 mg/g, respectively. The total content of amino acids was 54.83~65.38 g/100 g with abundant glycine, glutamic acid and aspartic acid. The taste characteristics of S2, S3, S4 and S5 analyzed by e-tongue were similar. The six kinds of ready-to-eat sea cucumbers differed significantly in microstructure. The thermal stability of S1 was the best. There were significant differences in elasticity, cohesion and resilience among different groups. The highest sensory score was 82.40 (with S1), whilst the lowest was 74.30 (with S3), indicating the overall sensory acceptability with all the sea cucumbers. The least squares regression and Pearson correlation analysis showed that the flavor was positively correlated with sour taste, astringent sensation, bitter aftertaste, astringent aftertaste, richness and saltiness ( $P<0.01$ ), and mouthfeel was positively correlated with elasticity, cohesiveness, sour taste, astringent sensation, bitter aftertaste, astringent aftertaste, richness and saltiness ( $P<0.01$ ). The above results can provide certain theoretical basis for the product development, quality classification and standard establishment of ready-to-eat sea cucumber products.

**Key words:** ready-to-eat sea cucumber; nutritional quality; taste; thermal stability; microstructure; texture profile analysis; sensory evaluation

海参 (Sea Cucumber) 是一种海洋无脊椎动物, 种类约有 1 000 种<sup>[1]</sup>, 我国约有 140 种, 20 多种可供食用<sup>[2]</sup>。2021 年全国养殖产量达到 22.27 万 t, 山东、辽宁、河北、福建为主要养殖区域<sup>[3]</sup>。海参蛋白含量丰富、脂肪和胆固醇含量低<sup>[4]</sup>, 富含皂苷<sup>[5]</sup>、多糖<sup>[6]</sup>、多肽<sup>[7]</sup>等多种生物活性物质, 具有降血压、抗炎、抗肿瘤<sup>[8]</sup>、降血糖<sup>[9]</sup>、抗菌<sup>[10]</sup>和提高人体免疫力<sup>[11]</sup>等功效。

鲜活海参容易发生自溶现象<sup>[12]</sup>, 给其加工、储藏和运输带来不便。干制海参和盐渍海参烹饪前需要复水、脱盐, 不仅操作繁琐还易造成蛋白质和黏多糖等水溶性以及热敏性营养物质的损失<sup>[13]</sup>, 从而降低了海参的品质。即食海参产品加工方式能在一定程度上避免传统工艺加工时的营养损失, 且具有口感好、食用方便等优点<sup>[14]</sup>, 深受消费者喜爱。但是, 不同企业原料来源、加工工艺存在明显区别, 造成市场上即食海参产品品质良莠不齐。为深入了解和掌握市售即食海参营养成分和品质的相关信息, 本研究比较了六种市售即食海参的营养和功能成分含量以及感官品质, 以期对即食海参产品品质提升和建立相关产品标准提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

六种即食海参, 以 S1~S6 标记, 均为刺参加工

产品, 采购渠道不同。其中, S1 和 S2 购于个体商户, S3 购于电商平台, S4 购于大连财神岛集团有限公司, S5 和 S6 购于大连鑫玉龙海洋生物种业科技股份有限公司。每种即食海参的具体加工工艺见表 1。

脂肪酸甲酯标准品, Sigma 公司; H 型氨基酸混合标准溶液, 日本 WAKO 公司; 硫酸、氢氧化钠、甲醇等试剂 (分析纯), 天津市科密欧化学试剂有限公司。

LG-1.0 真空冷冻干燥机, 沈阳航天新阳速冻设备制造有限公司; HB43-S 水分测定仪, 瑞士 METTLER-TOLEDO 科技 (中国) 有限公司; SKD-100 凯氏定氮仪, 上海沛欧分析仪器有限公司; 456-GC 气相色谱仪, 赛里安制造有限公司; L-8900 氨基酸分析仪、MC1000 离子溅射仪、SU8100 扫描电子显微镜, 日本日立公司; TS-5000Z 味觉分析系统, 日本 INSENT 公司; Quorum K850 临界点干燥仪, 英国 Quorum 公司; Q20 差示扫描量热仪, 美国 TA 公司; TA.XTPlus 物性测试仪, 英国 SMS 公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 原料预处理

即食海参分别进行以下处理: 1、真空冷冻干燥、粉碎抽真空后置于冰箱中贮存, 用于后续基本营养和功能成分以及脂肪酸和氨基酸组成测定; 2、直接解冻后用于滋味特征、微观结构、质构特性和感官评价分析。

表 1 六种即食海参加工工艺

Table 1 Processing technology of six ready-to-eat sea cucumbers

海参	加工工艺
S1	鲜活海参清洗去内脏, 沸水漂烫 2 min, 高温蒸制 2~2.5 h, 清洗, 速冻包装。
S2	鲜活海参清洗去内脏, 沸水漂烫 5 min, 高温高压蒸煮约 20 min, 纯净水泡发 2~3 d, 清洗, 速冻包装。
S3	鲜活海参清洗去内脏, 沸水漂烫 5 min, 低温低压蒸制 2~2.5 h, 清洗, 速冻包装。
S4	鲜活海参清洗去内脏, 60~75 °C 漂烫 3 min, 低温低压蒸制约 2 h, 清洗, 速冻包装。
S5	鲜活海参清洗去内脏, 沸水漂烫 2 min, 低温低压蒸煮约 2 h, 冷却, 清洗, 速冻包装。
S6	鲜活海参清洗去内脏, 沸水漂烫 2 min, 高温高压蒸煮约 0.5 h, 冷却, 清洗, 速冻包装。

### 1.2.2 基本营养和功能成分测定

水分含量采用水分测定仪进行测定; 粗蛋白含量采用 GB 5009.5-2016 中凯氏定氮法进行测定<sup>[15]</sup>; 灰分含量采用 GB 5009.4-2016 中高温灼烧法进行测定<sup>[16]</sup>; 总糖含量采用 GB/T 9695.31-2008 中苯酚硫酸法进行测定<sup>[17]</sup>; 皂苷含量采用王义轩等<sup>[18]</sup>的方法进行测定; 胶原蛋白含量采用 Prockop 等<sup>[19]</sup>的方法进行测定。

### 1.2.3 脂肪酸组成和含量测定

脂肪酸组成和含量采用 Liu 等<sup>[20]</sup>的方法进行测定。样品加入 5 mL  $\varphi=2\%$  硫酸-甲醇溶液和 80  $\mu\text{L}$  十九烷酸甲酯标准品于 70 °C 进行甲酯化反应 1 h 后冷却至室温, 分别加入 0.75 mL 去离子水和 2 mL 正己烷, 混匀后待静置分层, 取上层溶液, 用 456-GC 气相色谱仪进行分析。

气相色谱条件: DB-23 色谱柱 (30 m $\times$ 0.32 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ ), 进样口温度 270 °C, FID 检测器温度 270 °C。升温程序: 130 °C 保持 1 min, 以 10 °C/min 速率升至 170 °C, 保持 2 min; 以 2.5 °C/min 速率升至 210 °C, 保持 2 min。载气为高纯 N<sub>2</sub>, 分流比 10:1, 进样量 1  $\mu\text{L}$ 。各组分含量利用下述公式进行计算:

$$X_i = \frac{F_i \times A_i \times \frac{M_{\text{std}}}{A_{\text{std}}}}{M} \quad (1)$$

式中:

$X_i$ —样品中组分 i 的含量, mg/g;

$A_i$ —组分 i 的峰面积;

$F_i$ —相对校正因子;

$M_{\text{std}}$ —内标物的质量, mg;

$A_{\text{std}}$ —内标物的峰面积;

$M$ —样品的质量, g。

### 1.2.4 氨基酸组成和含量测定

氨基酸组成和含量测定采用 GB 5009.124-2016 《食品安全国家标准食品中氨基酸的测定》中的酸水解法进行<sup>[21]</sup>。样品加入 6 mol/L 盐酸 110 °C 水解 22 h, 水解后过滤、定容和浓缩, 用 L-8900 型全自动氨基酸分析仪进行测定。

### 1.2.5 电子舌分析

即食海参解冻后切成碎块, 称取 10 g, 加入 120 mL 蒸馏水, 匀浆, 静置 1 min, 4 °C、10 000 r/min 离心 15 min, 取上清液用 TS-5000Z 味觉分析系统对即食海参五种基本味 (酸、涩、苦、咸、鲜) 和甜味及其回味进行分析。

### 1.2.6 体壁微观结构观察

参考 Zhu 等<sup>[22]</sup>的方法, 样品经 2.5 wt.% 戊二醛溶液 4 °C 固定 2 h、蒸馏水漂洗 2 h 和梯度乙醇洗脱后进行干燥。离子溅射喷金后扫描电镜观察微观结构。

### 1.2.7 热变性温度的测定

采用 Q20 差示扫描量热仪对样品的热变性温度进行分析。参考于笛等<sup>[23]</sup>的方法, 称取 15 mg 样品于坩埚中加盖密封, 空坩埚为参照, 30 °C 加热到 250 °C, 升温速度为 5 °C/min, 气流量为 40 mL/min。实验取  $T_d$  为热变性温度。

### 1.2.8 质构分析

采用 TA.XTPlus 物性测试仪对样品的硬度、胶黏性、弹性、内聚性、回复性和咀嚼性等质构特性进行测定。取即食海参背部中间部分, 切成 2 cm $\times$ 2 cm 块状, 用 P/0.5 柱形探头, 测试形变量 50%, 感应力为 5 g。实验前速度为 1.0 mm/s, 实验速度为 0.5 mm/s, 返回速度为 0.5 mm/s, 每组平行测定 3 次。

### 1.2.9 感官评价

感官评价人员由十名专业人员组成, 参照即食海参行业标准<sup>[24]</sup>, 对六种即食海参从色泽、外观、质地、滋气味、口感 5 个维度进行感官分析, 每个指标 20 分, 总分 100 分。评分标准详见表 2, 结果取平均值。

### 1.2.10 数据处理

所有试验均重复三次, 实验数据采用 Origin 2019 和 Excel 处理, 利用 SPSS 20 软件并使用 Tukey

多重检验进行显著性差异分析 ( $P < 0.05$ , 差异显著), 采用 Unscrambler (10.4 X) 软件进行偏最小二乘法分析 ( $P < 0.05$ , 相关性显著;  $P < 0.01$ , 相关性极显著)。

表 2 即食海参感官评分标准

Table 2 Sensory scoring criteria of ready-to-eat sea cucumber

项目指标	评分标准		
	14~20分	7~13分	0~6分
色泽 20分	海参固有颜色特征明显, 呈黑色或褐灰色	海参固有颜色特征较为明显, 略微呈现黑色或褐灰色	海参固有颜色特征不明显
外观 20分	完整, 刺挺直且结实	较为完整, 刺较软	不完整, 刺较少, 有掉刺现象
质地 20分	肉质厚实、紧致	肉质较为厚实、较为紧致	肉质松软
滋味 20分	海参固有腥涩滋味浓郁	无异味, 海参固有腥涩滋味明显	海参固有腥涩滋味不明显, 甚至有异味
口感 20分	弹性适中, 口感好	较软或较硬, 口感一般	极软或极硬, 口感差

## 2 结果与讨论

### 2.1 基本营养和功能成分分析

六种即食海参水分含量(文中所涉及的含量均为质量分数)为 75.42%~94.68%, 其他营养和功能成分含量详见表 3, 不同种类即食海参之间差异显著。粗蛋白含量范围为 55.77%~69.91%, 其中 S6 最高, S1 最低, 但均符合水发类即食海参的蛋白质含量要求<sup>[25]</sup>。总糖含量 S2 最高, 为 15.78%, S4 最低, 为 10.52%。胶原蛋白和皂苷含量范围分别为 22.00%~30.18% 和 0.31%~1.21%。胶原蛋白含量 S4 最高, S1 最低。皂苷含量 S3 最高, S6 最低。六种即食海参营养和功能成分含量的不同可能跟海参原

料的产地来源、采捕季节以及加工工艺等诸多因素有关。加工过程中, 高温和高压处理会造成海参总糖和胶原蛋白含量的损失, 尤其是对热处理极为敏感的皂苷损失率更大<sup>[26]</sup>。六种即食海参的皂苷含量(0.31%~1.21%)明显低于于双等<sup>[27]</sup>测得的大连不同产地刺参皂苷含量(1.16%~1.86%)。即食海参生产加工过程中, 应通过加工工艺的不断优化和改进, 尽量减少或者避免营养和功能成分的损失。

### 2.2 脂肪酸组成和含量分析

六种即食海参中均检测到 22 种脂肪酸(表 4), 不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量分别为 12.28~22.65 mg/g 和 7.94~14.05 mg/g, 不饱和脂肪酸占总脂肪酸的比例均达到 70% 以上, 与杨林彤等<sup>[28]</sup>综述的仿刺参不饱和脂肪酸占总脂肪酸的比例(76.36%)相近。二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)在预防心血管疾病<sup>[29]</sup>、抗肿瘤<sup>[30]</sup>、保护神经结构和功能<sup>[31]</sup>、促进骨骼生长<sup>[32]</sup>等方面发挥着重要作用。EPA+DHA 含量 S1 最高为 10.49 mg/g, S3 最低为 3.69 mg/g, 含量上差异较大, 可能与海参本身脂肪酸含量以及加工过程中脂类物质流失程度不同有关。

### 2.3 氨基酸组成和含量分析

六种即食海参氨基酸总含量为 54.83~65.38 g/100 g(表 5, 色氨酸除外), 必需氨基酸含量为 15.44~18.64 g/100g, EAA/TAA(必需氨基酸/总氨基酸)分别为 28.15%、28.46%、28.95%、26.85%、26.46% 和 26.61%, 总体上略低于国际粮农组织/世界卫生组织推荐的理想蛋白模式 40% 左右。六种即食海参中氨基酸含量较丰富的均为呈味氨基酸中的甘氨酸(8.09~10.58 g/100 g)、谷氨酸(8.04~10.45 g/100 g)和天冬氨酸(5.62~6.64 g/100 g), 高比例的鲜味氨基酸对水产品的鲜味起决定性作用<sup>[33]</sup>。

表 3 不同即食海参基本营养和功能成分含量(干质量, %)

Table 3 Content of essential nutrients and functional components in different ready-to-eat sea cucumbers (dry mass, %)

成分	S1	S2	S3	S4	S5	S6
粗蛋白	55.77 ± 2.05 <sup>c</sup>	63.66 ± 0.16 <sup>b</sup>	64.28 ± 0.17 <sup>b</sup>	65.26 ± 0.25 <sup>b</sup>	65.30 ± 0.10 <sup>b</sup>	69.91 ± 0.08 <sup>a</sup>
灰分	11.94 ± 0.28 <sup>a</sup>	4.80 ± 0.03 <sup>d</sup>	5.59 ± 0.07 <sup>c</sup>	4.99 ± 0.10 <sup>d</sup>	5.69 ± 0.18 <sup>c</sup>	9.56 ± 0.03 <sup>b</sup>
总糖	15.29 ± 0.08 <sup>a</sup>	15.78 ± 0.11 <sup>a</sup>	14.99 ± 0.10 <sup>a</sup>	10.52 ± 0.02 <sup>c</sup>	11.73 ± 0.05 <sup>b</sup>	12.09 ± 0.05 <sup>b</sup>
皂苷	0.58 ± 0.06 <sup>b</sup>	1.03 ± 0.09 <sup>a</sup>	1.21 ± 0.12 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.11 <sup>b</sup>	0.67 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.31 ± 0.04 <sup>c</sup>
胶原蛋白	22.00 ± 0.05 <sup>c</sup>	26.89 ± 0.06 <sup>b</sup>	25.93 ± 0.45 <sup>b</sup>	30.18 ± 0.69 <sup>a</sup>	28.94 ± 0.38 <sup>a</sup>	29.73 ± 0.38 <sup>a</sup>

注: 小写字母不同代表不同样品之间差异显著 ( $P < 0.05$ ), 下同。

表 4 不同即食海参脂肪酸组成和含量 (干质量, mg/g)

Table 4 Fatty acids composition and content in different ready-to-eat sea cucumbers (dry mass, mg/g)

脂肪酸种类	S1	S2	S3	S4	S5	S6
C14:0	0.54 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.39 ± 0.02 <sup>c</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.65 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.60 ± 0.02 <sup>ab</sup>
C14:1	0.46 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.18 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.14 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.26 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.13 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.31 ± 0.02 <sup>b</sup>
C15:0	0.04 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.04 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.05 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.05 ± 0.01 <sup>a</sup>
C16:0	1.88 ± 0.12 <sup>c</sup>	2.75 ± 0.24 <sup>ab</sup>	2.28 ± 0.12 <sup>bc</sup>	1.77 ± 0.02 <sup>cd</sup>	1.32 ± 0.03 <sup>d</sup>	2.83 ± 0.21 <sup>a</sup>
C16:1n7	4.34 ± 0.25 <sup>a</sup>	4.13 ± 0.27 <sup>ab</sup>	1.08 ± 0.01 <sup>d</sup>	3.42 ± 0.09 <sup>b</sup>	1.99 ± 0.18 <sup>c</sup>	4.64 ± 0.42 <sup>a</sup>
C17:0	0.29 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.22 ± 0.00 <sup>cd</sup>	0.24 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.16 ± 0.01 <sup>e</sup>	0.20 ± 0.02 <sup>de</sup>	0.27 ± 0.00 <sup>ab</sup>
C18:0	2.98 ± 0.10 <sup>a</sup>	2.60 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.74 ± 0.06 <sup>d</sup>	2.21 ± 0.05 <sup>c</sup>	1.53 ± 0.05 <sup>d</sup>	2.54 ± 0.18 <sup>b</sup>
C18:1n9	1.21 ± 0.12 <sup>d</sup>	2.13 ± 0.06 <sup>b</sup>	3.22 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.62 ± 0.02 <sup>e</sup>	0.79 ± 0.05 <sup>c</sup>	1.58 ± 0.06 <sup>c</sup>
C18:2n6	0.15 ± 0.00 <sup>e</sup>	1.18 ± 0.02 <sup>b</sup>	4.05 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.12 ± 0.00 <sup>e</sup>	0.23 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.69 ± 0.03 <sup>c</sup>
C18:3n3	0.14 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.18 ± 0.02 <sup>b</sup>	0.24 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.07 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.09 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.24 ± 0.02 <sup>a</sup>
C20:0	0.63 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.68 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.45 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.38 ± 0.00 <sup>cd</sup>	0.34 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.43 ± 0.00 <sup>bc</sup>
C20:1	1.22 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.27 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.47 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.68 ± 0.04 <sup>d</sup>	0.60 ± 0.01 <sup>d</sup>	1.07 ± 0.02 <sup>c</sup>
C20:2n6	0.21 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.46 ± 0.01 <sup>b</sup>	1.01 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.20 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.23 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.29 ± 0.02 <sup>c</sup>
C21:0	0.14 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.18 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.18 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.16 ± 0.00 <sup>ab</sup>	0.17 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.11 ± 0.00 <sup>c</sup>
C20:3n6	0.03 ± 0.00 <sup>cd</sup>	0.08 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.12 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.05 ± 0.00 <sup>c</sup>	0.08 ± 0.01 <sup>b</sup>
C20:4n6	2.97 ± 0.06 <sup>b</sup>	2.65 ± 0.03 <sup>b</sup>	4.35 ± 0.09 <sup>a</sup>	2.84 ± 0.05 <sup>b</sup>	2.73 ± 0.14 <sup>b</sup>	2.66 ± 0.16 <sup>b</sup>
C20:3n3	0.05 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.02 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.03 ± 0.00 <sup>b</sup>
C20:5n3	7.81 ± 0.13 <sup>a</sup>	3.38 ± 0.01 <sup>c</sup>	2.39 ± 0.04 <sup>d</sup>	4.97 ± 0.24 <sup>b</sup>	3.75 ± 0.21 <sup>c</sup>	3.76 ± 0.32 <sup>c</sup>
C22:0	0.15 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.25 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.26 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.13 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.16 ± 0.01 <sup>b</sup>
C22:1n9	0.34 ± 0.01 <sup>bc</sup>	0.48 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.39 ± 0.03 <sup>b</sup>	0.18 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.26 ± 0.00 <sup>cd</sup>	0.30 ± 0.03 <sup>bc</sup>
C22:6n3	2.68 ± 0.09 <sup>a</sup>	0.97 ± 0.04 <sup>d</sup>	1.30 ± 0.07 <sup>b</sup>	1.11 ± 0.07 <sup>bc</sup>	0.85 ± 0.01 <sup>d</sup>	1.15 ± 0.10 <sup>bc</sup>
C24:1n9	1.03 ± 0.04 <sup>a</sup>	0.80 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.70 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.40 ± 0.01 <sup>d</sup>	0.55 ± 0.04 <sup>c</sup>	0.45 ± 0.01 <sup>cd</sup>
ΣSFA	6.65	7.11	5.44	5.52	4.01	6.99
ΣUFA	22.65	17.91	20.49	14.92	12.28	17.24
ΣMUFA	8.60	8.99	7.00	5.57	4.34	8.35
ΣPUFA	14.05	8.92	13.49	9.35	7.94	8.89
EPA+DHA	10.49	4.35	3.69	6.08	4.60	4.90

注: SFA 饱和脂肪酸; UFA 不饱和脂肪酸; MUFA 单不饱和脂肪酸; PUFA 多不饱和脂肪酸。

表 5 不同即食海参氨基酸组成和含量 (干质量, g/100 g)

Table 5 Amino acids composition and content in different ready-to-eat sea cucumbers (dry mass, g/100 g)

氨基酸种类	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Asp (天冬氨酸)	5.62 ± 0.04 <sup>a</sup>	6.25 ± 0.08 <sup>a</sup>	6.54 ± 0.02 <sup>a</sup>	6.64 ± 0.06 <sup>a</sup>	6.21 ± 0.05 <sup>a</sup>	6.44 ± 0.06 <sup>a</sup>
Thr (苏氨酸)	2.93 ± 0.09 <sup>a</sup>	3.23 ± 0.10 <sup>a</sup>	3.43 ± 0.02 <sup>a</sup>	3.42 ± 0.00 <sup>a</sup>	3.36 ± 0.04 <sup>a</sup>	3.29 ± 0.04 <sup>a</sup>
Ser (丝氨酸)	2.80 ± 0.09 <sup>b</sup>	3.16 ± 0.03 <sup>ab</sup>	3.28 ± 0.02 <sup>ab</sup>	3.37 ± 0.01 <sup>a</sup>	3.47 ± 0.05 <sup>a</sup>	3.27 ± 0.02 <sup>ab</sup>
Glu (谷氨酸)	8.04 ± 0.13 <sup>d</sup>	8.74 ± 0.09 <sup>c</sup>	9.40 ± 0.05 <sup>b</sup>	9.72 ± 0.07 <sup>b</sup>	10.45 ± 0.11 <sup>a</sup>	9.59 ± 0.10 <sup>b</sup>
Pro (脯氨酸)	4.04 ± 0.04 <sup>a</sup>	4.23 ± 0.07 <sup>a</sup>	4.46 ± 0.06 <sup>a</sup>	4.64 ± 0.04 <sup>a</sup>	4.37 ± 0.10 <sup>a</sup>	4.37 ± 0.04 <sup>a</sup>
Gly (甘氨酸)	8.09 ± 0.02 <sup>b</sup>	9.13 ± 0.09 <sup>ab</sup>	9.39 ± 0.06 <sup>ab</sup>	10.43 ± 0.01 <sup>a</sup>	10.52 ± 0.00 <sup>a</sup>	10.58 ± 0.11 <sup>a</sup>
Ala (丙氨酸)	3.76 ± 0.08 <sup>b</sup>	4.21 ± 0.09 <sup>ab</sup>	4.38 ± 0.04 <sup>ab</sup>	4.73 ± 0.02 <sup>a</sup>	4.65 ± 0.05 <sup>a</sup>	4.67 ± 0.07 <sup>a</sup>
Cys (胱氨酸)	0.29 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.33 ± 0.03 <sup>a</sup>	0.36 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.32 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.31 ± 0.02 <sup>a</sup>

续表5

氨基酸种类	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Val (缬氨酸)	2.42 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.66 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.78 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.72 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.65 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.63 ± 0.03 <sup>a</sup>
Met (蛋氨酸)	1.09 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.26 ± 0.10 <sup>a</sup>	1.35 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.28 ± 0.05 <sup>a</sup>	1.22 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.24 ± 0.01 <sup>a</sup>
Ile (异亮氨酸)	2.02 ± 0.06 <sup>a</sup>	2.39 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.53 ± 0.01 <sup>a</sup>	2.45 ± 0.03 <sup>a</sup>	2.38 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.34 ± 0.03 <sup>a</sup>
Leu (亮氨酸)	2.88 ± 0.08 <sup>a</sup>	3.26 ± 0.06 <sup>a</sup>	3.46 ± 0.01 <sup>a</sup>	3.31 ± 0.05 <sup>a</sup>	3.25 ± 0.02 <sup>a</sup>	3.09 ± 0.02 <sup>a</sup>
Tyr (酪氨酸)	1.79 ± 0.08 <sup>a</sup>	2.02 ± 0.06 <sup>a</sup>	2.13 ± 0.00 <sup>a</sup>	2.09 ± 0.05 <sup>a</sup>	2.08 ± 0.00 <sup>a</sup>	1.97 ± 0.02 <sup>a</sup>
Phe (苯丙氨酸)	1.98 ± 0.03 <sup>d</sup>	2.30 ± 0.01 <sup>b</sup>	2.40 ± 0.02 <sup>a</sup>	2.19 ± 0.05 <sup>c</sup>	2.24 ± 0.02 <sup>bc</sup>	2.17 ± 0.00 <sup>c</sup>
Lys (赖氨酸)	2.13 ± 0.05 <sup>b</sup>	2.20 ± 0.06 <sup>b</sup>	2.69 ± 0.05 <sup>a</sup>	2.19 ± 0.04 <sup>b</sup>	2.13 ± 0.01 <sup>bc</sup>	2.30 ± 0.02 <sup>b</sup>
His (组氨酸)	0.67 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.72 ± 0.06 <sup>a</sup>	0.92 ± 0.13 <sup>a</sup>	0.69 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.70 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.77 ± 0.09 <sup>a</sup>
Arg (精氨酸)	4.32 ± 0.01 <sup>a</sup>	4.68 ± 0.03 <sup>a</sup>	4.88 ± 0.05 <sup>a</sup>	5.18 ± 0.01 <sup>a</sup>	5.09 ± 0.02 <sup>a</sup>	5.10 ± 0.07 <sup>a</sup>
EAA (必需氨基酸)	15.44	17.30	18.64	17.56	17.23	17.07
TAA (氨基酸总量)	54.83	60.79	64.37	65.38	65.11	64.13
EAA/TAA	28.15%	28.46%	28.95%	26.85%	26.46%	26.61%

表 6 不同即食海参滋味响应值

Table 6 Taste response value of different ready-to-eat sea cucumbers

	酸味	苦味	涩味	苦味回味	涩味回味	鲜味	丰富性	咸味	甜味
无味点	-13	0	0	0	0	0	0	-6	0
S1	-24.54	21.37	3.09	5.08	0.98	5.69	1.19	-2.84	4.65
S2	-31.04	14.45	-1.29	0.76	0.14	6.37	0.58	-16.01	22.84
S3	-34.18	17.92	0.21	1.24	0.16	7.61	0.51	-15.41	20.11
S4	-33.66	15.91	-0.67	1.33	0.20	8.03	0.60	-14.81	21.07
S5	-32.29	13.86	-0.89	0.80	0.20	6.76	0.63	-15.47	22.41
S6	-26.05	9.86	1.01	1.69	0.26	6.08	0.88	-3.56	4.88

注: 味觉值小于无味点数值说明此味道较弱或者无此味道。

## 2.4 电子舌分析

酸、甜、苦、咸、鲜五种基本味觉构成滋味, 通过游离氨基酸、多肽、核苷酸等物质共同呈现特有滋味<sup>[34]</sup>。电子舌可对滋味进行快速分析, 可作为感官评价的替代或补充<sup>[35]</sup>。由表 6 和图 1 可知, 所有样品的酸味和咸味响应较弱(除 S1 和 S6 咸味外均低于无味点数值); S1 的苦味、涩味、苦味回味、涩味回味以及丰富性均为最高, 鲜味和甜味响应值最低。除苦味、鲜味和甜味外, S6 的滋味特征响应值均略次于 S1。主成分分析可以通过样品综合味觉指标的数据分析对样品进行差异性判断, 主成分 PC1 和 PC2 的方差贡献率分别为 87.46% 和 10.78%, 累计方差贡献率达到 98.24%, 代表六种即食海参样品滋味的综合味觉信息。由图 2 可知, S2、S3、S4 和 S5 在滋味上较为接近, 可能与其均采用低温低压加工(S3、S4 和 S5)有关。S2 虽为高温高压加工处理, 但后续泡发过程对其滋味造成

一定影响。S1 和 S6 均为高温(高压)处理, 其滋味特征与其余四种存在明显差异。

## 2.5 微观结构分析

扫描电镜结果见图 3, 六种即食海参体壁胶原纤维具有不同的结构特点, 体壁组织结构均已被破坏, 胶原纤维较粗短, 分布杂乱。S3 相比其它即食海参肌肉纤维较完整、空隙较大, 说明其胶原蛋白变性程度低。S4 胶原纤维收缩密集, 并形成了相对致密均匀的孔隙, 说明 S4 的胶原蛋白变性程度较大。S1、S2、S5、S6 微观结构也略有差异。S3 和 S4 漂烫后均经过低温低压 2 h 的蒸制, 造成其微观结构差异的原因可能与其漂烫时间、温度以及原料特性有关, 不同来源海参其加工适应性也可能有所不同。S2 高温高压蒸煮的时间相对较短, 且经过了 2~3 d 的泡发, 但 S2 的微观结构与同样是高温高压处理的 S1 和 S6 之间并无明显差异。由于热加工<sup>[36]</sup>和高压处理<sup>[37]</sup>对海参体壁组织结构影响较为复杂, 温度和压力以及

处理工艺的不同均可能导致微观结构的差异。

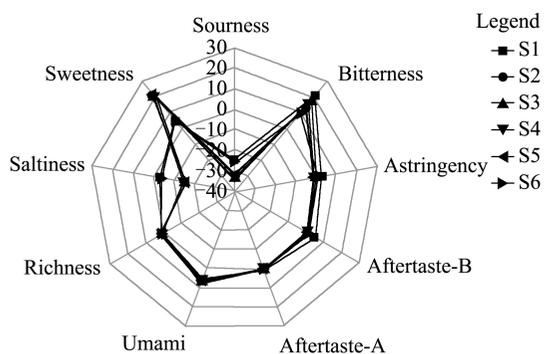


图 1 不同即食海参滋味雷达图

Fig.1 Radar map of the taste of different ready-to-eat sea cucumbers

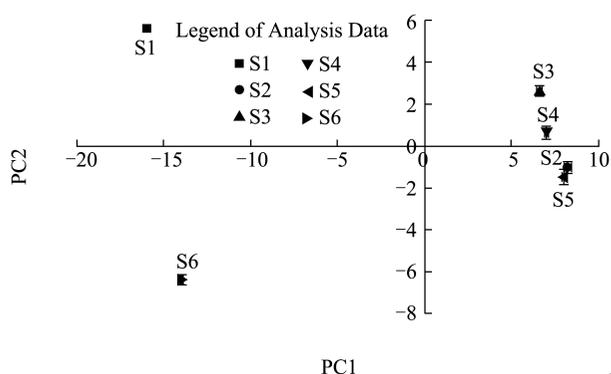


图 2 不同即食海参滋味 PCA 二维图

Fig.2 PCA two-dimensional diagram of the taste of different ready-to-eat sea cucumbers

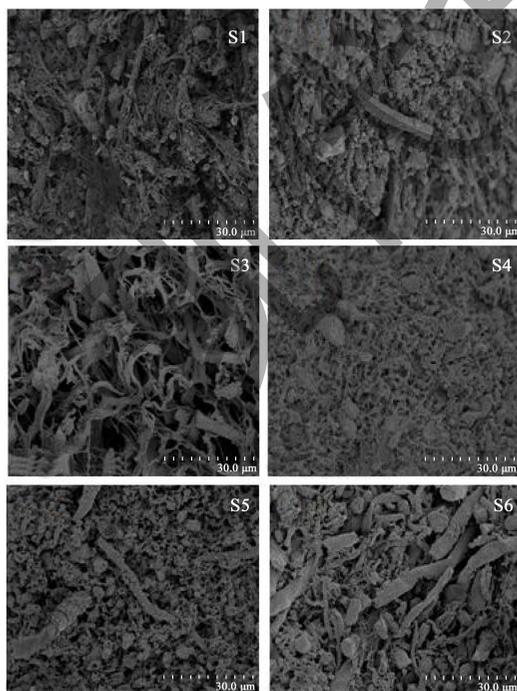


图 3 不同即食海参微观结构差异 (×1 500)

Fig.3 Microstructure differences of different ready-to-eat sea cucumbers (×1 500)

## 2.6 热变性温度分析

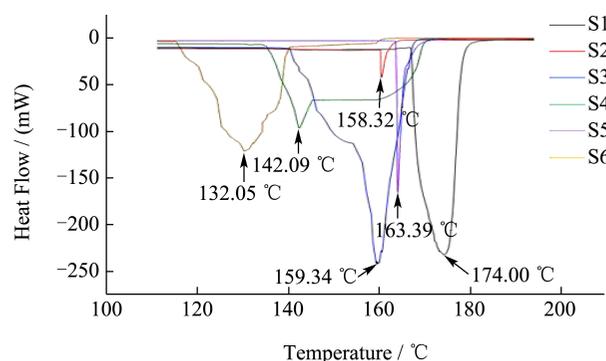


图 4 不同即食海参 DSC 曲线

Fig.4 DSC thermograph of different ready-to-eat sea cucumbers

海参体壁蛋白主要由胶原蛋白组成，加工过程中的物理化学变化使得蛋白质的天然结构发生变化，差示扫描量热法可以测定分子结构变化所带来的能量变化，进而评估不同处理条件对蛋白功能的影响<sup>[38]</sup>。DSC 曲线上吸热峰的峰值对应的温度即为即食海参体壁胶原蛋白的热变性温度，据此可判断出每种即食海参胶原蛋白的热稳定性<sup>[39]</sup>。六种即食海参胶原蛋白变性温度范围为 132.05~174.00 °C (图 4)，S1 最高为 174.00 °C，其热稳定性最好，因不同加工工艺对胶原蛋白原有结构作用程度不同，从而对体壁胶原蛋白稳定性产生了不同程度的影响。

## 2.7 全质构特性分析

六种即食海参体壁的全质构分析结果见表 7。即食海参的口感很大程度上是由硬度决定的，硬度过大不易咀嚼，过小则肉质松软，咀嚼性差。硬度可能与海参体壁胶原纤维的断裂和网状结构破坏有关<sup>[40]</sup>。胶黏性反映海参体壁可被其它物质粘附的能力。咀嚼性反映咀嚼海参所需要的能量。六种即食海参的硬度、胶黏性、咀嚼性均为 S3 与其余即食海参差异显著 ( $P < 0.05$ )，S1、S2、S4、S5、S6 之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。可能是 S3 的加工工艺使得胶原纤维断裂程度低，维持着更致密且稳定的胶原纤维结构，使其有着更有嚼劲的口感。弹性能够反映即食海参体壁发生形变后恢复原状的能力。回复性为首次下压测定时，样品原面积与形变后面积的比值。内聚性为二次压缩面积与首次压缩面积的比值。结果显示，不同即食海参弹性、内聚性、回复性组间差异较为明显。即食海参体壁质构特性的变化与其加工过程中内部胶原蛋白的变化息息相关，且海参捕捞季节、产地、规格、预处理及加工条件等因素都会对质构产生不同程度的影响。

表 7 不同即食海参TPA分析

Table 7 TPA analysis of different ready-to-eat sea cucumbers

样品	硬度/g	弹性/mm	内聚性/%	胶黏性/N	咀嚼性/mJ	回复性
S1	560.07 ± 34.88 <sup>b</sup>	0.90 ± 0.02 <sup>ab</sup>	0.93 ± 0.01 <sup>a</sup>	518.31 ± 31.02 <sup>b</sup>	465.55 ± 15.66 <sup>b</sup>	0.66 ± 0.01 <sup>c</sup>
S2	674.63 ± 101.16 <sup>b</sup>	0.83 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.77 ± 0.03 <sup>c</sup>	516.18 ± 82.04 <sup>b</sup>	428.27 ± 71.52 <sup>b</sup>	0.56 ± 0.03 <sup>d</sup>
S3	7 055.74 ± 1 803.96 <sup>a</sup>	0.87 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.82 ± 0.02 <sup>b</sup>	5 796.43 ± 1 436.56 <sup>a</sup>	5 052.88 ± 1 294.53 <sup>a</sup>	0.66 ± 0.01 <sup>c</sup>
S4	2 062.90 ± 634.11 <sup>b</sup>	0.94 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.91 ± 0.02 <sup>a</sup>	1 874.02 ± 561.99 <sup>b</sup>	1 766.07 ± 538.16 <sup>b</sup>	0.81 ± 0.02 <sup>a</sup>
S5	2 638.27 ± 703.78 <sup>b</sup>	0.90 ± 0.01 <sup>ab</sup>	0.85 ± 0.03 <sup>b</sup>	2 266.95 ± 674.80 <sup>b</sup>	2 043.29 ± 619.02 <sup>b</sup>	0.72 ± 0.03 <sup>b</sup>
S6	989.81 ± 156.17 <sup>b</sup>	0.92 ± 0.02 <sup>a</sup>	0.92 ± 0.02 <sup>a</sup>	914.61 ± 137.81 <sup>b</sup>	843.72 ± 117.91 <sup>b</sup>	0.74 ± 0.02 <sup>b</sup>

2.8 感官评价

表 8 不同即食海参感官评分结果

Table 8 Sensory scoring results of different ready-to-eat sea cucumbers

样品	色泽	外观	质地	滋气味	口感	总分
S1	16.80	17.80	12.90	17.60	17.30	82.40
S2	17.20	18.30	15.40	13.80	12.50	77.20
S3	14.40	15.40	16.50	16.00	12.00	74.30
S4	15.30	13.40	15.40	15.40	15.20	74.70
S5	17.60	13.80	17.20	15.30	14.50	78.40
S6	14.10	13.70	16.80	16.40	17.30	78.30

感官评定分析结果见表 8，六种即食海参感官指标中只有色泽均在评分标准最高分值 14~20 分范围内，说明六种即食海参在颜色上差别不大，均呈现出海参固有的颜色特征。其余四个指标中，除个别种类即食海参感官评分在 12.00~13.80 分外，其余均在最高评分标准范围 14 分以上，说明六种即食海参在感官上虽略有差别，但总体上都可被消费者所接受。其中，S1 的感官评分最高为 82.40，S3 最低为 74.30，相对来说 S1 感官接受度最高。

2.9 感官评价相关性分析

采用 Unscrambler (10.4 X) 软件进行偏最小二乘法分析，在分析前对所有数据进行中心化和标准化处理，质构仪和电子舌所测的指标以及四种呈味

氨基酸指标为自变量 X，感官评价中的质地、滋气味、口感为因变量 Y 进行偏最小二乘分析。如图 5 所示，X 方差为 72%，Y 方差为 80%，内椭圆和外椭圆分别表示 50% 和 100% 的解释方差，除苦味、咀嚼性、胶黏性、硬度之外，其余指标均在两个椭圆之间，因此该模型可以解释自变量 X 和因变量 Y 的相关性。为了更进一步解释感官评价与所测指标的相关性，采用 Pearson 相关系数进行分析，结果如图 6 所示。质地与所测质构特性指标间无明显相关性。滋气味与酸味、涩味、苦味回味、涩味回味、丰富性、咸味呈现极显著正相关 ( $P < 0.01$ )，与四种呈味氨基酸无明显相关性。口感与弹性、内聚性、酸味、涩味、苦味回味、涩味回味、丰富性、咸味呈现极显著正相关 ( $P < 0.01$ )。

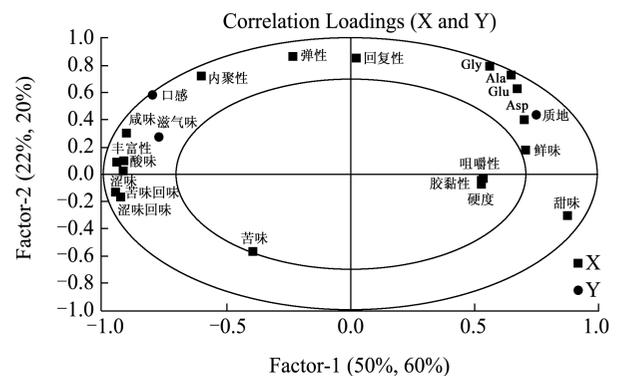


图 5 不同即食海参相关指标与感官评价指标 PLSR 图  
Fig.5 PLSR diagram of relevant indicators and sensory evaluation indicators of different ready-to-eat sea cucumbers

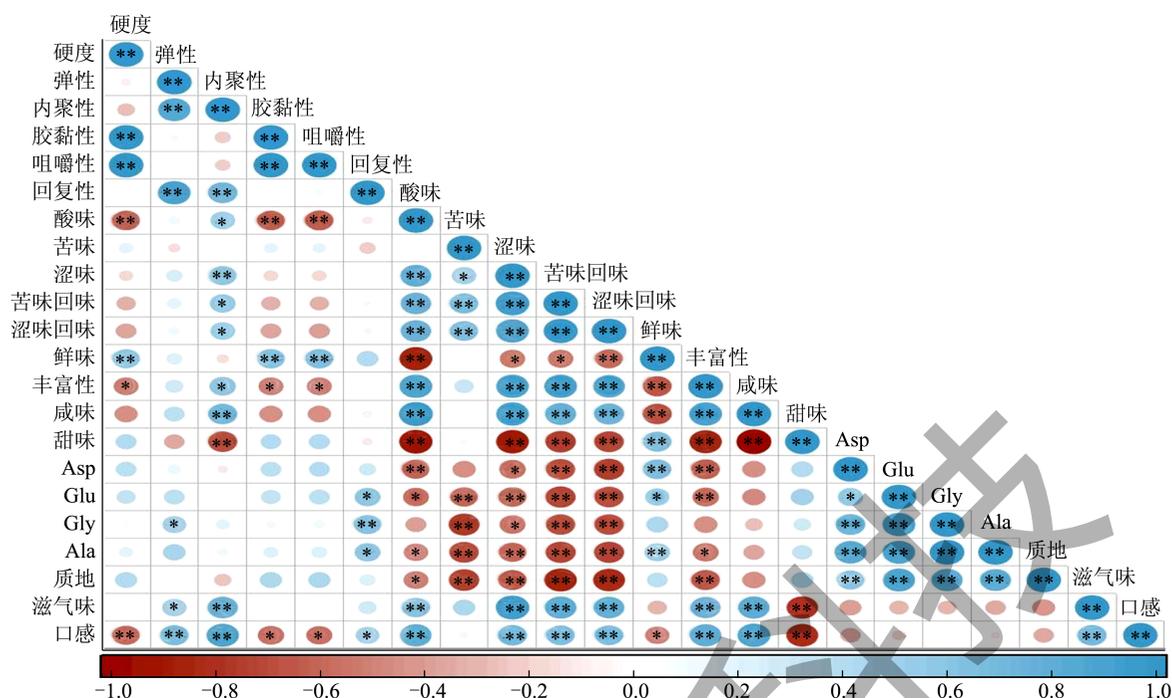


图 6 不同即食海参相关指标与感官评价指标 Pearson 图

Fig.6 Pearson correlation map of relevant indicators and sensory evaluation indicators of different ready-to-eat sea cucumbers

注：圆形表示 Pearson 相关数值 R，“\*”表示相关性显著 ( $P < 0.05$ )，“\*\*”表示相关性极显著 ( $P < 0.01$ )，蓝色表示正相关，红色表示负相关。

### 3 结论

不同即食海参的营养品质存在显著差异，均为粗蛋白含量最高，胶原蛋白含量次之，皂苷含量最低。EPA+DHA 含量 S1 最高。六种即食海参甘氨酸、谷氨酸和天冬氨酸含量较为丰富，其弹性、内聚性、回复性以及微观结构各组间差异较大，S1 热稳定性最好。滋味特征 S2、S3、S4 和 S5 较为接近，感官评价均可接受。受原料来源、加工工艺等多种因素影响，市场上即食海参产品质量参差不齐，营养价值和口感存在很大差别。未来，通过加工技术水平的不断提升，最大程度减少或避免营养损失、进一步丰富产品种类从而改善产品同质化严重的现象以及满足不同消费者的个性化需求等是海参精深加工产业发展的重要方向。

### 参考文献

[1] 邓志怡,梁志宏.海参肠道菌群可利用价值研究现状[J].食品研究与开发,2021,42(5):184-188.  
 [2] 王哲平,刘淇,曹荣,等.野生与养殖刺参营养成分的比较分析[J].南方水产科学,2012,8(2):64-70.  
 [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-2022[M].北京:中国农

业出版社,2022.

[4] 赵玲,马红伟,曹荣,等.10种海参营养成分分析[J].食品安全质量检测学报,2016,7(7):2867-2872.  
 [5] 刘桂英,刘煜珺,张瑜洋,等.海参皂苷分离纯化、结构分析及活性的研究进展[J].水产科学,2023,42(1):147-156.  
 [6] 王静杰,钟强,董春晖,等.海参多糖生物学活性及其作用机制研究进展[J].食品科学,2021,42(23):370-380.  
 [7] QI H, JI X, LIU S, et al. Antioxidant and anti-dyslipidemic effects of polysaccharidic extract from sea cucumber processing liquor [J]. Electronic Journal of Biotechnology, 2017, 28: 1-6.  
 [8] 潘芸芸,陈增鑫,于嘉慧,等.喷雾干燥制备海参肠卵肽粉的工艺条件优化[J].食品研究与开发,2021,42(16):144-151.  
 [9] ZHU Q, LIN L, ZHAO M. Sulfated fucan/fucosylated chondroitin sulfate-dominated polysaccharide fraction from low-edible-value sea cucumber ameliorates type 2 diabetes in rats: New prospects for sea cucumber polysaccharide based-hypoglycemic functional food [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 159: 34-45.  
 [10] YANG W S, QI X R, XU Q Z, et al. A new sulfated triterpene glycoside from the sea cucumber *Colochirus quadrangularis*, and evaluation of its antifungal, antitumor and immunomodulatory activities [J]. Bioorganic and Medicinal Chemistry, 2021, 41: 116188.  
 [11] YANG D D, LIN F D, HUANG Y Y, et al. Separation,

- purification, structural analysis and immune-enhancing activity of sulfated polysaccharide isolated from sea cucumber viscera [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, 155: 1003-1018.
- [12] 郑杰,宋志远,吴海涛,等.响应面法优化海参体壁自溶条件及其影响因素分析[J].*食品安全质量检测学报*,2018,9(22):5981-5986.
- [13] 曹荣,李志超,刘淇,等.干海参加工过程中腌渍处理对品质的影响[J].*中国渔业质量与标准*,2015,5(5):9-13.
- [14] 刘东竹,于笛,郑杰,等.海参加工产品开发现状及研究进展[J].*食品与发酵工业*,2022,48(23):344-351.
- [15] GB5009.5-2016,食品安全国家标准食品中蛋白质的测定[S].
- [16] GB5009.4-2016,食品安全国家标准食品中灰分的测定[S].
- [17] GB/T 9695.31-2008,肉制品总糖含量测定[S].
- [18] 王义轩,于笛,傅志宇,等.不同热处理方式对工厂化养殖海参营养成分变化影响研究[J].*中国食品添加剂*,2022,33(3):106-114.
- [19] PROCKOP D J, UDENFRIEBD S, LINDSTEDT S. A simple technique for measuring the specific activity of labeled hydroxyproline in biological materials [J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1961, 236: 1395-1398.
- [20] LIU J, LIU Y N, WANG H T, et al. Direct transesterification of fresh microalgal cells [J]. *Bioresource Technology*, 2015, 176: 284-287.
- [21] GB5009.124-2016,食品安全国家标准食品中氨基酸的测定[S].
- [22] ZHU B W, ZHENG J, ZHANG Z S, et al. Autophagy plays a potential role in the process of sea cucumber body wall "melting" induced by UV irradiation [J]. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 2008, 13(2): 232-238.
- [23] 于笛,方梓莹,傅志宇,等.金银花、三七和蛹虫草提取物对即食海参品质变化影响的研究[J].*食品安全质量检测学报*,2022,13(24):7899-7908.
- [24] SC/T3308-2014,即食海参[S].
- [25] DB21/2392-2014,即食海参[S].
- [26] 王义轩.海参加工、贮藏过程中品质变化及消化产物蛋白质组学研究[D].大连:大连海洋大学,2022.
- [27] 于双,姜淼,桑雪,等.大连不同产地刺参营养成分分析与评价[J].*中国食品添加剂*,2022,33(4):188-195.
- [28] 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.
- [29] LIU Q K. Triglyceride-lowering and anti-inflammatory mechanisms of omega-3 polyunsaturated fatty acids for atherosclerotic cardiovascular risk reduction [J]. *Journal of Clinical Lipidology*, 2021, 15(4): 556-568.
- [30] HUANG Q L, MO M M, ZHONG Y, et al. The anticancer role of omega-3 polyunsaturated fatty acids was closely associated with the increase in genomic DNA hydroxymethylation [J]. *Anti-cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 2019, 19(3): 330-336.
- [31] BALAKRISHNAN J, KANNAN S, GOVINDASAMY A. Structured form of DHA prevents neurodegenerative disorders: A better insight into the pathophysiology and the mechanism of DHA transport to the brain [J]. *Nutrition Research*, 2021, 85: 119-134.
- [32] CHAUGULE S, SURESHBABU S K, DAKAVE S, et al. Hexane fraction of turbo brunneus inhibits intermediates of RANK-RANKL signaling pathway and prevent ovariectomy induced bone loss [J]. *Frontiers in Endocrinology*, 2019, 10: 608.
- [33] DONG M, QIN L, XUE J, et al. Simultaneous quantification of free amino acids and 5'-Nucleotides in shiitake mushrooms by stable isotope-labeling-LC-MS/MS analysis [J]. *Food Chemistry*, 2018, 268(1): 57-65.
- [34] 韩昕苑,樊震宇,从娇娇,等.冻融循环过程中冷冻罗非鱼片呈味物质的变化[J].*食品科学*,2022,43(2):269-275.
- [35] 孙晓红,刘军军,蓝蔚青,等.气味指纹技术在水产品品质评价中的应用研究进展[J].*食品与发酵工业*,2020,46(5): 314-320.
- [36] 朱蓓薇,董秀萍.水产品加工学[M].北京:化学工业出版社,2019
- [37] 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.
- [38] 李琪,吕珍珍,张娴.差示扫描量热法在食品中的应用[J].*食品安全导刊*,2019,12:35.
- [39] 张强,黄鑫,符安卫,等.中华鳖裙边胶原蛋白的提取、鉴定及其理化性质[J].*食品与发酵工业*,2019,45(12):176-182.
- [40] 赵园园,薛勇,董军,等.两种植物提取物对即食海参体壁胶原蛋白稳定性的影响[J].*现代食品科技*,2015,31(11): 113-119.