

海蜇不同组织营养成分分析及评价

张玉莹¹, 柴彦萍^{1,2}, 秦磊^{1,*}, 薛佳¹, 徐献兵¹, 杜明¹, 董秀萍¹

(1.大连工业大学食品学院, 国家海洋食品工程技术研究中心, 辽宁 大连 116034;

2.喜家德水饺餐饮管理有限公司, 辽宁 大连 116034)

摘要: 为了实现海蜇资源的高值化综合加工利用, 对新鲜海蜇不同组织(伞体、胃柱、肩板、口腕、棒状附属器、生殖腺和环肌)的基本营养成分、氨基酸组成、脂质组成及脂肪酸组成进行分析与评价。结果表明, 海蜇不同组织水分均在93%以上, 其中胃柱水分含量最高(97.93%); 灰分含量也较高, 其中伞体、棒状附属器、胃柱和口腕的灰分含量均高于50%(干质量)。以除去灰分后的干质量计, 棒状附属器和环肌的粗脂肪含量较高, 分别为18.80%和18.76%, 其他组织的粗脂肪含量均较低; 所有组织的粗蛋白含量均较高, 特别是伞体、肩板和口腕, 粗蛋白含量达62.81%~80.94%; 总糖含量均较低, 为6.28%~13.36%。海蜇的生殖腺和环肌组织检出20种氨基酸, 必需氨基酸含量高于其他组织, 且不同组织的必需氨基酸均在25%以上。海蜇各组织的磷脂含量较多, 胆固醇含量相对较少; 伞体和棒状附属器的饱和脂肪酸含量多于不饱和脂肪酸, 其他组织相反。以上结果说明, 海蜇各组织均含有较为丰富的营养价值, 且各个组织的营养价值具有一定的特点, 可针对不同组织的营养特点进一步开发与利用。

关键词: 海蜇; 营养成分; 氨基酸; 脂质组成; 脂肪酸

Analysis and Evaluation of the Nutrient Compositions in Different Tissues of Jellyfish (*Rhopilema esculentum* Kishinouye)

ZHANG Yuying¹, CHAI Yanping^{1,2}, QIN Lei^{1,*}, XUE Jia¹, XU Xianbing¹, DU Ming¹, DONG Xiuping¹

(1. National Engineering Research Center of Seafood, School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China; 2. SEE JOYED Dumplings Catering Management Co. Ltd., Dalian 116034, China)

Abstract: In order to achieve high value-added and comprehensive utilization of jellyfish, the proximate nutritional compositions, amino acid compositions and lipids and fatty acid compositions of different tissues of fresh jellyfish (umbrella, gastric column, scapulet, oral arm, tentacle, gonad and circular muscle) were analyzed and evaluated. The results showed that moisture contents in different tissues were over 93%, and gastric column was the highest in moisture (97.93%). Ash contents were high in all tissues investigated and the values in umbrella, tentacle, gastric column and oral arm were higher than 50% (on a dry weight basis). After deducting ash content, fat contents on a dry weight basis were higher in tentacle and circular muscle, which were 18.80% and 18.76%, respectively. Fat contents in other tissues were relatively lower. Crude proteins were high in all these tissues, especially in umbrella, scapulet and oral arm, which could reach 62.81%~80.94%. The total sugar contents in all the tissues were between 6.28% and 13.36%. Twenty amino acids were detected in gonad and circular muscle, in which essential amino acids were above 25%, which is higher than that of other tissues. Polar lipid contents were higher than cholesterol in different tissues. In umbrella and tentacle, saturated fatty acids (SFA) were more abundant than unsaturated fatty acids (UFA), while in other tissues SFA were lower than UFA. The present research showed that all the tissues in jellyfish were rich in nutrients, and different tissues in jellyfish had different features, which explicate great potential of jellyfish for development and utilization.

Key words: jellyfish (*Rhopilema esculentum* Kishinouye); nutrient composition; amino acids; lipid composition; fatty acids

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201702022

中图分类号: TS254

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 02-0133-06

收稿日期: 2016-06-28

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2014BAD04B09); 国家自然科学基金青年科学基金项目(31401519; 31401520); 辽宁省高等学校优秀科技人才支持计划项目(LJQ2013061)

作者简介: 张玉莹(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学与工程。E-mail: 1072937139@qq.com

*通信作者: 秦磊(1984—), 男, 讲师, 硕士, 研究方向为水产品加工理论与技术。E-mail: qinlei@dlpu.edu.cn

引文格式:

张玉莹, 柴彦萍, 秦磊, 等. 海蜇不同组织营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2017, 38(2): 133-138. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201702022. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Yuying, CHAI Yanping, QIN Lei, et al. Analysis and evaluation of the nutrient compositions in different tissues of jellyfish (*Rhopilema esculentum* Kishinouye)[J]. Food Science, 2017, 38(2): 133-138. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201702022. <http://www.spkx.net.cn>

海蜇 (*Rhopilema esculentum* Kishinouye), 隶属于腔肠动物门 (Coelenterate), 钵水母纲 (Scyphomedusae), 根口水母目 (Rhizostomeae), 根口水母科 (Rhizostomadae), 海蜇属 (*Rhopilema*)。目前已记录的水母中我国海域达400多种, 约占全球记录的40%^[1]。我国海域迄今钵水母已记录种类达45种, 为世界上已记录种类的20%左右^[2]。海蜇在我国沿海海域分布范围广泛, 从广东、海南岛沿海一直到辽宁等沿海地区^[3]。可食用水母是我国收益很高的经济海洋动物, 由于其较高的营养价值和药理价值受到许多国家的欢迎^[4]。但是海蜇深加工食品受到诸多因素限制, 其中一个原因就是含有很高的水分^[5]。中国是最早食用和利用海蜇的国家, 主要食用和加工的产品是海蜇头 (口腕部) 和海蜇皮 (伞体部), 剩余组织大都直接抛弃, 造成了很大的资源浪费。我国现有相关研究主要集中在海蜇的形态、分类、初级加工和捕捞养殖等方面, 国外则主要集中在海蜇的毒素和相关生理活性物质等方面, 鲜见关于海蜇不同组织的营养组成的系统研究。因此, 本实验对海蜇不同组织的基本营养成分、氨基酸组成、脂质组成及脂肪酸组成进行系统分析和评价, 为海蜇资源的进一步开发和综合利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

活体海蜇采自辽宁省营口市荣发参蛰有限公司, 加冰当天运回实验室。

硫酸铜 (分析纯) 北京化学试剂三厂; 硫酸钾 (分析纯)、N,N-二甲基甲酰胺 (色谱纯) 天津市光复科技发展有限公司; 三氯甲烷 (分析纯) 天津市科密欧化学试剂有限公司; 无水硫酸钠 (分析纯) 天津市大茂化学试剂厂; 乙腈、甲醇、正己烷 (均为色谱纯) 美国Sigma公司。

1.2 仪器与设备

TTL-DC型多功能氮吹仪 北京同泰联科技发展有限公司; 7890/5975气相色谱-质谱联用仪 安捷伦科技 (中国) 有限公司; KDN-103F自动定氮仪、二十孔消煮炉 上海纤检仪器有限公司; SZF-106A粗脂肪测定仪 上海新嘉电子有限公司; S-101马弗炉 龙口市先科仪

器有限公司; UV-5200紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司; MK-6s棒状薄层层析色谱 日本雅特隆公司; P1201高效液相色谱仪 大连依利特仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

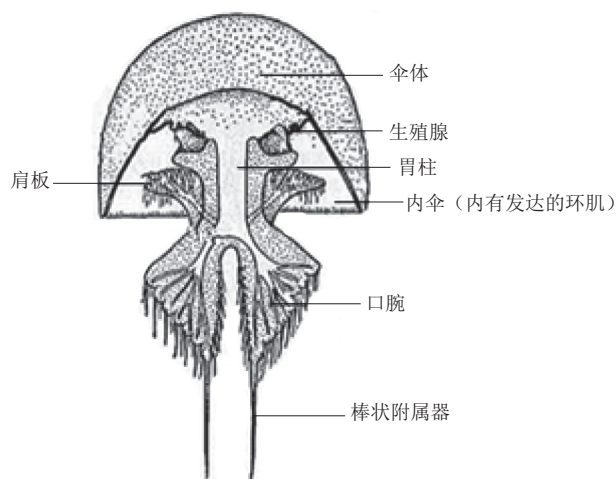


图1 海蜇纵剖面图

Fig. 1 Longitudinal profile of jellyfish

如图1所示, 将新鲜海蜇的伞体、胃柱、肩板、口腕、棒状附属器、生殖腺和环肌分开, 沥干水分, 冷冻干燥后粉碎, 置于-30℃备用, 用于测定海蜇不同组织的营养成分。

1.3.2 基本营养成分分析

水分含量测定: 参考GB 5009.3—2010《食物中水分的测定》^[6]; 灰分含量测定: 参考GB 5009.4—2010《食物中灰分的测定》^[7]; 粗蛋白含量测定: 参考GB 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》^[8]; 总糖含量测定: 参考GB/T 9695.31—2008《食品中肉制品总糖的测定》^[9]; 粗脂肪含量测定: 采用氯仿甲醇提取法^[10]。灰分含量以干质量计; 粗脂肪、粗蛋白、总糖含量以除去灰分后的干质量计。

1.3.3 氨基酸组成分析

采用2,4-二硝基氟苯柱前衍生-高效液相色谱法分析海蜇不同组织的氨基酸组成。准确称取25 mg海蜇不同组织的干粉于5 mL安瓿瓶中, 分别进行酸水解 (加入

3 mL 3 mol/L 盐酸溶液) 和碱水解 (加入 3 mL 4 mol/L NaOH 溶液), 封口后放入 130 °C 恒温干燥箱中水解 24 h, 其中碱水解法用来检测色氨酸。水解后样品液经衍生化反应, 采用高效液相色谱仪的 Elite-AAA 分析系统对 20 种氨基酸进行分析。

1.3.4 脂质组成分析

样品采用 1.3.2 节中氯仿-甲醇法提取的油脂, 使用棒状薄层色谱对脂质组成进行测定, 对色谱棒做空白扫描, 活化硅胶棒, 去除杂质。点样量为 1 μ L, 分 6~8 次点样。所用展开液为正庚烷-无水乙醚-甲酸 (42:28:0.3, V/V), 硅胶棒的展开时间为 18 min。展开后在通风条件下挥发溶剂 8 min 后检测, 空气流量 2 L/min, 氢气流量 160 mL/min, 扫描时间 30 s, 使用仪器自带分析软件对所得图谱进行积分即可得脂质组成^[11]。

1.3.5 脂肪酸分析

取 1.3.2 节中氯仿-甲醇法提取的油脂 20 mg, 加入 2 mL 0.5 mol/L KOH-CH₃OH 溶液, 混匀溶解后置于四氟乙烯垫片旋盖小瓶中, 充氮密封后于 60 °C 加热 2 h (每 30 min 轻轻摇动一次) 待皂化至澄清透明油滴消失为止; 冷却后向皂化混合液中滴加 6 mol/L 盐酸使 pH 值调至 1.0 以下, 用 10 mL 正己烷萃取可皂化物, 萃取 5 次, 每次 2 mL, 35 °C 条件下氮吹至恒质量。再加入 0.5 mL 正己烷溶解后, 向小瓶中加入 2 mL 甲基化试剂 (含 1% 硫酸的色谱级甲醇), 70 °C 水浴加热 1 h。反应完成后冷却至室温, 加入 1 mL 去离子水, 取出含有脂肪酸甲酯的正己烷层, 水洗至中性, 加入无水硫酸钠过夜 (4 °C) 后备用。

脂肪酸气相色谱分析条件: HP-5 毛细管柱 (30 m \times 0.25 mm, 0.25 μ m); 升温程序: 初始温度 50 °C, 保持 1 min, 以 50 °C/min 速率升至 170 °C, 以 4 °C/min 速率升至 300 °C, 以 40 °C/min 速率升到 320 °C, 保持 3.6 min; 氦气为载气。

质谱分析条件: 电子电离源; 电子能量 70 eV; 全扫描模式; 质量扫描范围 m/z 50~550; 溶剂延迟 4 min。

在脂肪酸分析中, 根据气相色谱-质谱中各组分保留时间以及质谱图, 通过 NIST 11 库检索进行鉴定, 用峰面积归一化法计算各脂肪酸的含量。

1.4 数据处理

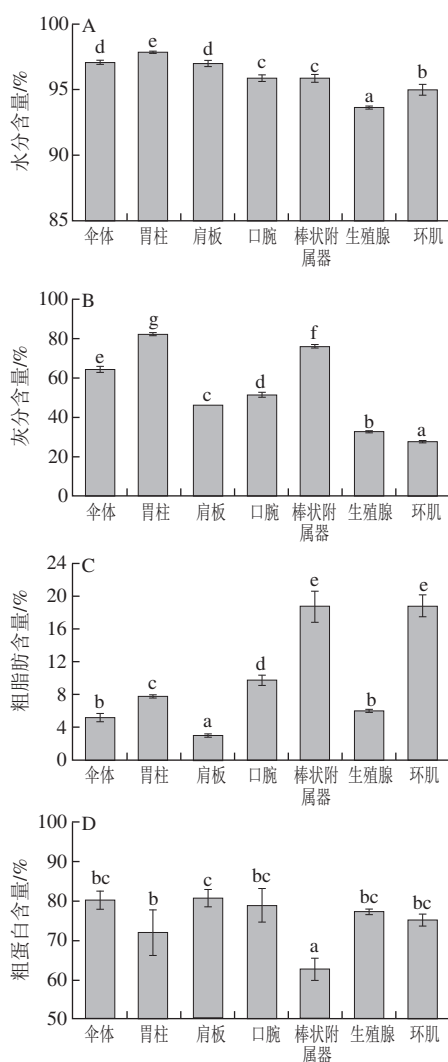
实验数据均重复测定 3 次, 采用 SPSS 16.0 软件进行处理, 统计值以 $\bar{x} \pm s$ 表示。

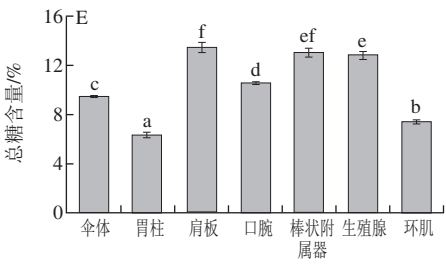
2 结果与分析

2.1 海蜇不同组织的基本营养成分分析

如图 2 所示, 海蜇各组织水分含量均在 93% 以上, 其中生殖腺的水分含量相对较低, 为 93.66%, 胃柱水分含量相对较高, 为 97.93%, 与郝更新等^[12]所测定的海蜇皮的含水量相似, 说明海蜇的各组织中生殖腺的可利用率相对较高, 胃柱的可利用率相对较低。海蜇各组织的

灰分含量有较大差异, 胃柱和棒状附属器的灰分含量相对较高, 分别为 82.44% 和 76.26%, 环肌和生殖腺的灰分含量相对较低, 分别为 27.63% 和 32.49%, 灰分含量越高说明其有机物含量越低。灰分含量与庄永亮^[13]所测相比偏高, 但与王彩云^[14]的报道相似, 主要原因可能是海蜇的品种有差异, 海水中盐度也会有一定影响。海蜇的粗脂肪含量较低, 在 3.07%~18.80% 之间, 且各组织脂肪含量数据的偏差较大。实际海蜇脂肪与庄永亮^[13]所测得的一致。而在海蜇各组织中, 棒状附属器的粗脂肪含量最高, 达 18.80%, 其次为环肌, 为 18.76%, 因此, 海蜇的环肌和生殖腺 2 个组织具有进一步开发富含脂肪酸的功能食品的潜质。海蜇各组织的粗蛋白含量相差较大, 均超过 60%, 其中伞体和肩板部分粗蛋白含量较高, 均超过了 80%, 较高的粗蛋白含量为进一步开发海蜇生物活性肽等功能食品提供理论依据。而棒状附属器部分则较低, 为 62.81%, 与王彩云^[14]所测得的蛋白含量基本一致。海蜇各组织中, 肩板的总糖含量最高, 达到 13.36%, 说明海蜇肩板组织贮存着较多的糖原, 胃柱部分的总糖含量最低, 为 6.28%。





A.水分; B.灰分; C.粗脂肪; D.粗蛋白; E.总糖; 柱形图不同小写字母代表不同组织差异显著 ($P<0.05$)。

图2 海蜇不同组织的基本营养组成

Fig. 2 Proximate nutritional compositions in different tissues of jellyfish

2.2 海蜇不同组织的氨基酸组成分析

表1 海蜇不同组织氨基酸组成分析

Table 1 Amino acid compositions of different tissues of jellyfish

氨基酸	伞体	胃柱	肩板	口腕	棒状附属器	环肌	生殖腺
Asp	9.57±0.08 ^a	10.59±0.06 ^b	9.76±0.13 ^b	9.21±0.01 ^a	9.80±0.11 ^a	9.58±0.05 ^a	9.51±0.07 ^a
Glu	14.12±0.14 ^a	15.50±0.22 ^a	17.30±0.64 ^d	14.50±0.49 ^c	20.39±0.58 ^e	13.93±0.05 ^b	13.02±0.19 ^a
Hyp	3.92±0.09 ^d	2.37±0.02 ^b	2.26±0.20 ^b	3.10±0.27 ^c	2.51±0.31 ^{bc}	0.75±0.06 ^c	0.35±0.31 ^a
Ser	4.30±0.04 ^a	4.47±0.32 ^{ab}	4.77±0.05 ^{bc}	4.23±0.04 ^a	4.72±0.10 ^{bc}	4.50±0.02 ^{ab}	4.97±0.08 ^c
Arg	8.11±0.06 ^b	8.09±0.16 ^b	0.40±0.12 ^a	7.69±0.17 ^b	7.64±0.34 ^b	6.50±0.04 ^b	0.46±0.16 ^a
Gly	18.12±0.22 ^c	16.76±0.02 ^{bc}	16.03±0.74 ^d	16.89±0.66 ^d	11.17±1.13 ^b	8.68±0.08 ^a	13.24±0.19 ^c
Thr	4.65±0.06 ^c	2.72±0.36 ^a	5.62±0.80 ^d	4.04±0.08 ^c	3.45±0.32 ^b	4.62±0.02 ^c	4.78±0.18 ^c
Tau	1.08±0.16 ^a	—	1.47±0.18 ^{ab}	1.44±0.14 ^{ab}	2.06±0.86 ^b	3.35±0.08 ^c	1.46±0.06 ^{ab}
Pro	7.38±0.02 ^c	7.54±0.05 ^c	6.48±0.17 ^c	7.19±0.32 ^d	6.55±0.28 ^c	3.92±0.01 ^a	4.59±0.03 ^b
Ala	4.37±0.02 ^c	4.09±0.02 ^d	3.87±0.11 ^c	6.23±0.10 ^f	6.12±0.15 ^f	2.32±0.01 ^a	2.72±0.02 ^b
Val	4.49±0.04 ^b	4.27±0.47 ^b	5.35±0.19 ^c	4.07±0.17 ^b	3.71±0.28 ^a	5.25±0.04 ^c	6.01±0.05 ^d
Met	—	—	—	—	—	1.06±0.05 ^a	0.75±0.48 ^a
Cys	—	—	—	—	—	0.12±0.01 ^a	0.27±0.24 ^a
Ile	2.81±0.21 ^a	3.31±0.32 ^a	4.20±0.31 ^b	2.84±0.13 ^a	2.80±0.45 ^a	3.81±0.20 ^b	4.62±0.04 ^b
Leu	5.15±0.15 ^b	5.66±0.41 ^b	6.30±0.24 ^c	5.24±0.23 ^b	4.61±0.66 ^a	7.12±0.19 ^d	7.55±0.05 ^d
Phe	2.32±0.12 ^b	—	1.31±0.59 ^a	2.59±0.23 ^b	3.90±0.32 ^c	4.55±0.11 ^d	3.76±0.02 ^c
His	0.76±0.12 ^b	—	0.20±0.09 ^a	—	—	2.24±0.12 ^c	3.25±0.04 ^d
Lys	8.86±0.14 ^b	11.16±0.17 ^c	10.65±0.61 ^c	8.91±0.42 ^b	7.94±0.11 ^a	13.30±0.37 ^d	13.62±0.09 ^d
Tyr	—	—	3.38±0.20 ^c	1.12±0.15 ^a	—	2.93±0.16 ^b	3.55±0.33 ^c
Trp	—	3.44±0.28 ^b	0.69±0.01 ^a	0.66±0.11 ^a	4.58±0.08 ^b	1.03±0.05 ^a	0.95±0.20 ^a
EAA	28.28±0.32 ^{ab}	30.61±0.09 ^b	34.57±0.48 ^c	29.64±1.29 ^b	26.47±2.00 ^a	41.17±0.33 ^d	43.52±1.56 ^c
FAA	46.18±0.38 ^c	47.10±0.18 ^c	46.60±0.20 ^c	46.04±0.75 ^c	49.36±1.21 ^d	34.52±0.07 ^a	37.84±1.27 ^b

注：同行不同肩标小写字母代表不同组织差异显著 ($P<0.05$)；—,未检出。下同。

由表1可知,海蜇各组织的氨基酸存在较明显差异,其中环肌和生殖腺2个组织的氨基酸构成比较完整,含有所测定的20种氨基酸。海蜇各组织中含量超过10%的氨基酸是谷氨酸、甘氨酸和赖氨酸,除环肌和生殖腺外,其余组织无蛋氨酸和半胱氨酸。谷氨酸不仅是鲜味最强的氨基酸,也参与多种生理活性物质的合成,如在血液中谷氨酸能够转化为谷氨酰胺,具有促进体内蛋白的合成、提高自身的免疫、调节机体的酸碱平衡以及保护肠黏膜屏障等多种功能^[15]。色氨酸在棒状附属器中含量较多,为4.58%,其他组织含量较少。环肌和生殖腺组氨酸含量较多,为2.24%和3.25%,胃柱、口腕和棒状附属器

均未检出组氨酸。氨基酸测定结果与刘希光^[16]所研究的海蜇氨基酸组成和含量分析基本一致。环肌和生殖腺所含人体8种必需氨基酸(essential amino acid, EAA)较多,可达41.17%和43.52%,最少的组织是棒状附属器,含量也可达到26.47%,但是棒状附属器在打捞过程中易脱落且含有毒液^[17],一般不作为直接食用的部分。海蜇中风味氨基酸(flavour amino acid, FAA)含量丰富,环肌和生殖腺所含FAA较低,为34.52%和37.84%,其他组织的FAA均在46%以上。可以看出海蜇各组织的风味十足,是值得食用的佳品。

表2 海蜇不同组织氨基酸评分

Table 2 Amino acid scores of different tissues of jellyfish

氨基酸	伞体	胃柱	肩板	口腕	棒状附属器	环肌	生殖腺
Lys	161.1±2.5 ^a	202.8±3.1 ^d	187.3±2.7 ^d	170.8±7.7 ^{cd}	144.3±1.9 ^b	241.7±6.7 ^e	247.7±1.6 ^e
Thr	116.2±1.4 ^{cd}	73.0±4.0 ^a	151.9±1.7 ^c	103.1±1.9 ^b	90.7±2.0 ^b	115.6±0.5 ^c	119.4±4.5 ^d
Trp	—	359.0±6.3 ^b	68.1±1.4 ^{ac}	64.6±2.1 ^{ac}	457.5±7.6 ^b	103.0±5.3 ^{bc}	83.6±9.9 ^{ac}
Met+Cys	—	—	—	—	—	33.7±1.4 ^a	38.7±16.8 ^a
Val	89.8±0.7 ^a	85.5±9.3 ^a	106.9±3.8 ^b	85.1±3.5 ^a	74.1±5.6 ^a	105.0±0.8 ^b	120.3±1.0 ^{bc}
Ile	73.2±0.6 ^{ab}	82.7±8.0 ^{cd}	104.9±7.7 ^{bc}	73.5±3.1 ^{ab}	70.1±11.2 ^a	95.2±4.9 ^{bc}	115.6±1.0 ^c
Leu	73.6±2.2 ^b	80.8±5.9 ^b	90.0±3.4 ^{bc}	77.3±3.3 ^b	65.9±9.4 ^a	101.6±2.8 ^c	107.8±0.7 ^c
Phe+Tyr	38.7±1.9 ^a	—	73.5±1.2 ^c	67.7±5.4 ^{bc}	65.0±5.3 ^{bc}	124.7±4.6 ^d	121.7±5.5 ^d

根据联合国粮农组织/世界卫生组织1973年建议的氨基酸评分标准模式对氨基酸含量进行计算。由表2可知,海蜇各组织所提供的氨基酸中,赖氨酸、苏氨酸和缬氨酸可以基本满足人体所需。海蜇的环肌、生殖腺组织的赖氨酸、缬氨酸、亮氨酸和异亮氨酸氨基酸评分较高,且第1限制氨基酸为蛋氨酸+半胱氨酸。海蜇的环肌和生殖腺的蛋氨酸+半胱氨酸评分分别为33.7和38.7,可见这2个部分有较高的营养价值。

2.3 海蜇各组织的脂质组成分析

表3 海蜇不同组织脂质组成

Table 3 Lipid compositions of different tissues of jellyfish

脂质	伞体	胃柱	肩板	口腕	棒状附属器	环肌	生殖腺
甘三酯	46.67±1.38 ^c	35.13±0.10 ^d	12.21±1.84 ^b	6.73±0.17 ^a	10.62±0.62 ^b	11.80±0.70 ^b	19.20±0.20 ^c
甘二酯	—	—	—	—	—	—	—
甘一酯	1.95±0.21 ^b	—	1.20±0.29 ^a	—	2.78±0.47 ^c	—	—
游离脂肪酸	2.53±0.14 ^a	7.23±1.29 ^b	9.17±1.03 ^d	11.83±0.57 ^c	8.65±0.69 ^{bc}	17.45±0.53 ^f	8.09±0.85 ^{bc}
胆固醇	2.10±0.23 ^a	5.12±1.52 ^b	10.28±1.13 ^d	10.08±0.84 ^d	16.01±1.84 ^e	7.83±0.31 ^c	11.30±0.77 ^d
磷脂	46.76±1.09 ^a	52.52±2.72 ^b	67.15±3.78 ^d	71.36±1.49 ^e	61.95±0.36 ^c	62.92±0.30 ^c	61.41±1.67 ^c

如表3所示,伞体的甘三酯最高,为46.67%,口腕最低,为6.73%;仅伞体、肩板、棒状附属器3个组织含有甘一酯,且低于3%;各组织游离脂肪酸含量较少,为2.53%~17.45%;胆固醇含量也相对较低,为2.10%~16.01%。胆固醇是环戊烷多氢菲的衍生物,亦称胆甾醇,分为高密度胆固醇和低密度胆固醇。高密度胆固醇具有清洁动脉的功能,而过量的低密度胆固醇则会

引发动脉粥样硬化、高血压、冠心病等一系列心血管疾病^[18]。海蜇各组织磷脂含量较高，其中伞体含量最低，为46.76%，口腕含量最高，为71.36%。海蜇各组织中不含有甘二酯，但甘三酯和极性脂质含量较高。总体来看，胆固醇含量较少，人体所需的甘三酯和磷脂含量较高。

2.4 海蜇不同组织的脂肪酸组成分析

表4 海蜇不同组织脂肪酸组成
Table 4 Fatty acid compositions of different tissues of jellyfish

脂肪酸	伞体	胃柱	肩板	口腕	棒状附属器	环肌	生殖腺
C _{12:0}	—	—	—	—	—	0.18±0.06	—
C _{13:0}	—	—	—	—	—	—	0.09±0.01
C _{14:0}	2.80±0.65 ^b	4.70±0.13 ^c	1.20±0.10 ^d	1.16±0.04 ^d	3.06±0.26 ^b	3.51±0.40 ^b	3.42±0.21 ^b
C _{15:0}	—	0.88±0.03 ^c	0.35±0.02 ^a	0.46±0.01 ^{ab}	1.31±0.15 ^d	1.54±0.08 ^c	0.63±0.03 ^b
C _{16:1 n-7}	3.86±0.75 ^c	3.63±0.23 ^c	1.60±0.06 ^b	1.39±0.03 ^b	3.75±0.08 ^d	6.15±0.24 ^d	0.19±0.00 ^c
C _{16:0}	43.02±2.29 ^f	26.24±0.83 ^c	16.11±0.93 ^a	18.00±0.55 ^{ab}	28.85±0.89 ^d	19.58±0.72 ^b	19.71±0.52 ^b
C _{17:0}	1.11±0.15 ^d	1.86±0.11 ^b	0.94±0.05 ^a	1.72±0.07 ^b	3.43±0.30 ^d	2.54±0.37 ^c	1.92±0.12 ^b
C _{18:4 n-3}	—	2.90±0.33 ^b	—	—	—	1.83±0.14 ^c	—
C _{18:2 n-6}	2.05±0.26 ^{ab}	3.43±0.63 ^c	1.99±0.28 ^{ab}	1.66±0.05 ^a	—	2.25±0.23 ^{ab}	2.69±0.17 ^b
C _{18:1 n-5}	5.22±0.42 ^b	6.63±0.87 ^c	3.29±0.36 ^c	2.25±0.88 ^a	2.73±0.17 ^c	—	2.32±0.19 ^b
C _{18:1 n-9}	4.22±1.38 ^{ab}	4.31±0.58 ^{ab}	4.25±0.28 ^{ab}	3.59±0.15 ^d	6.30±0.14 ^c	8.01±0.97 ^d	5.71±0.19 ^{bc}
C _{18:0}	17.86±1.91 ^b	13.32±1.47 ^a	17.15±0.74 ^b	23.28±0.61 ^f	32.50±0.46 ^d	14.63±1.50 ^c	17.35±0.22 ^b
C _{19:0}	—	—	0.63±0.02 ^a	1.02±0.03 ^a	1.51±0.50 ^b	0.62±0.11 ^a	0.71±0.09 ^a
C _{20:4 n-6}	4.15±0.37 ^a	5.94±0.56 ^b	14.42±0.26 ^d	13.41±0.28 ^d	6.58±0.67 ^b	10.62±0.45 ^c	15.37±0.11 ^d
C _{20:5 n-3}	9.84±0.46 ^b	13.53±0.90 ^c	24.72±0.62 ^e	23.60±0.32 ^e	7.03±0.54 ^c	18.01±1.36 ^d	13.61±0.03 ^c
C _{20:4 n-3}	—	—	—	1.45±0.38	—	—	—
C _{20:2 n-6}	—	—	—	0.77±0.17 ^a	—	—	0.75±0.06 ^c
C _{20:1 n-9}	—	—	0.55±0.14 ^a	—	0.73±0.08 ^{ab}	1.11±0.34 ^b	0.89±0.05 ^{ab}
C _{20:0}	—	—	—	0.55±0.01 ^a	—	0.46±0.17 ^a	1.23±0.05 ^{ab}
C _{22:6 n-3}	5.87±1.10 ^b	16.72±3.52 ^e	9.10±0.37 ^b	0.54±0.07 ^a	2.22±0.25 ^c	8.97±0.45 ^b	6.91±0.10 ^b
C _{22:4 n-6}	—	—	—	5.38±0.11 ^a	—	—	5.66±0.16 ^c
C _{22:5 n-3}	—	—	3.70±0.16	—	—	—	—
C _{22:0}	—	—	—	—	—	—	0.52±0.24
C _{24:1 n-9}	—	—	—	—	—	—	0.06±0.10
C _{24:0}	—	—	—	—	—	—	0.44±0.18
SFA	64.78±3.03 ^c	47.00±1.10 ^b	36.38±1.53 ^a	46.19±1.21 ^b	70.67±1.10 ^d	43.05±2.47 ^c	45.85±0.83 ^b
MUFA	13.30±2.07 ^c	14.57±1.61 ^c	9.69±0.46 ^b	7.23±0.80 ^a	13.52±0.22 ^c	15.27±0.88 ^c	9.16±0.52 ^{ab}
PUFA	21.92±1.57 ^b	38.43±2.52 ^e	53.93±1.31 ^f	46.58±0.42 ^e	15.82±1.32 ^c	41.68±2.24 ^d	44.99±0.31 ^d
Σ n-3	15.71±1.47 ^b	29.06±3.30 ^e	37.52±1.15 ^f	25.05±0.39 ^d	9.24±0.65 ^c	19.84±1.50 ^c	20.55±0.10 ^c
Σ n-6	6.21±0.11 ^a	9.37±0.79 ^b	16.41±0.44 ^d	20.99±0.05 ^e	6.58±0.67 ^b	12.87±0.50 ^c	24.47±0.23 ^f

注：单不饱和脂肪酸（monounsaturated fatty acid, MUFA）；多不饱和脂肪酸（polyunsaturated fatty acid, PUFA）。

由表4所知，海蜇中共检出25种脂肪酸，其中生殖腺所含种类最多，可达21种。饱和脂肪酸（saturated fatty acid, SFA）为10种，不饱和脂肪酸为11种，伞体种类最少，达11种。海蜇各组织中除伞体和棒状附属器外，其他5个组织中不饱和脂肪酸的含量均高于SFA。脂质中所含脂肪酸含量较高的有C_{16:0}、C_{18:0}、C_{20:4 n-6}和C_{20:5 n-3}，此结果与刘希光等^[19]测定海蜇脂肪酸组成结果相似。Ibeas等^[20]研究表明C_{16:0}、C_{18:0}等SFA不仅为机体提供能量，还是细胞膜中磷脂的重要组成成分，且SFA中的棕榈酸能降低血清中的胆固醇含量，而肉豆蔻酸（C_{14:0}）和月桂酸

（C_{12:0}）能增添血清中胆固醇含量^[21]。由本实验结果可知，海蜇各组织SFA中仅环肌含有微量的月桂酸，且肉豆蔻酸的含量也较少，因此海蜇的SFA对人体是有益的。在海蜇的SFA中，油酸的平均含量较高，而油酸是营养界的“安全脂肪酸”，通常油酸的含量是评定一种食品品质很重要的标志。Rey等^[22]研究表明，油酸能降低机体血液中总胆固醇含量和低密度脂蛋白胆固醇含量，但不能降低高密度脂蛋白胆固醇含量。而二十碳五烯酸（eicosapentaenoic acid, EPA）和二十二碳六烯酸（docosahexaenoic acid, DHA）则具有抑制血小板凝集、抗血栓、舒张血管、增高高密度脂蛋白胆固醇和降低低密度脂蛋白胆固醇等功效，在防治心脑血管病、糖尿病和抑制肿瘤等方面也都有良好的疗效，通常n-3系列的PUFA有抗氧化、提高记忆力及思维能力等作用^[23]。由表4可见，海蜇的PUFA含量较高，尤其是海蜇环肌、肩板、口腕和生殖腺。

海蜇各组织的SFA中含有一定量的奇数碳脂肪酸。当代药理研究表明，奇数碳脂肪酸具备较强生理活性功能，有一定的抗癌功效。蜆螂^[24]、槐花和槐米^[25]中都含有一定量奇数碳脂肪酸，而这些食品特殊的保健作用很有可能与奇数碳的脂肪酸有关，因此海蜇等大型食用水母的一些特殊活性是否与奇数碳脂肪酸有关系，有待进一步验证。

3 结论

海蜇各组织具有高水分的特点，含量均在93%以上，其中胃柱的含量最高，生殖腺的含量最低；伞体、棒状附属器、胃柱和口腕4个组织灰分含量高于50%，其他组织灰分含量相对较少；粗脂肪含量较少，棒状附属器和环肌粗脂肪含量较多，为18.80%和18.76%，肩板和伞体的脂肪含量较少，在6%以下；粗蛋白的含量较高，所有组织含量均高于60%，特别是伞体、肩板和口腕；总糖含量较低，各组织含量在6.28%~13.36%之间，胃柱含量最低，肩板含量最高。海蜇生殖腺和环肌2个组织含有所测的全部氨基酸，且EAA含量均高于其他组织，分别为43.52%和41.17%。各组织的FAA均可达30%以上，其中棒状附属器含量最高为49.36%，环肌含量最低为34.52%，是值得食用的佳品。海蜇各组织的磷脂含量较多，在46.76%~71.36%之间，胆固醇含量相对较少，其中伞体含量仅为2.10%，棒状附属器含量最高为16.01%。伞体和棒状附属器的SFA含量多于不饱和脂肪酸，其他组织相反，生殖腺的脂肪酸种类最多，含有21种脂肪酸，伞体的脂肪酸种类最少，仅为11种，且各组织的DHA和EPA的含量较高，具有较高的食用和营养价值。基于本实验的研究结果，可针对不同组织的营养特点，对海蜇进行进一步分割，以期达到海蜇资源的全效开发与利用。

参考文献:

- [1] 洪惠馨. 水母和海蜇[J]. 生物学通报, 2002, 37(2): 13-16. DOI:10.3969/j.issn.0006-3193.2002.02.006.
- [2] 洪惠馨, 林利民. 中国海域钵水母类(Scyphomedusae)区系的研究[J]. 集美大学学报, 2010, 15(1): 18-24. DOI:10.3969/j.issn.1007-7405.2010.01.004.
- [3] 邢湘臣. 海蜇趣谈[J]. 生物学通报, 1996, 31(8): 21.
- [4] ZHUANG Y L, SUN L P, ZHAO X. Antioxidant and melanogenesis-inhibitory activities of collagen peptide from jellyfish (*Rhopilema esculentum*)[J]. Society of Chemical Industry, 2009, 89(10): 1722-1727. DOI:10.1002/jsfa.3645.
- [5] MORINAGA Y, IWAI K, TOMITA H, et al. Chemical nature of a new antihypertensive peptide derived from jellyfish[J]. Food Science and Technology, 2010, 16(4): 333-340. DOI:10.3136/fstr.16.333.
- [6] 卫生部. 食品中水分的测定: GB 5009.3—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [7] 卫生部. 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [8] 卫生部. 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [9] 质量监督检验检疫总局, 中国国家标准委员会. 肉制品总糖含量测定: GB/T 9695.31—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [10] HEEMKEN O P, THEOBALD N, WENCLAWIAK B W. Comparison of ASE and SFE with soxhlet, sonication, and methanolic saponification extractions for the determination of organic micropollutants in marine particulate matter[J]. Analytical Chemistry, 1997, 69(11): 2171-2180. DOI:10.1021/ac960695f.
- [11] LI D M, ZHOU D Y, ZHU B W, et al. Effects of krill oil intake on plasma cholesterol and glucose levels in rats fed a high-cholesterol diet[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(11): 2669-2675. DOI:10.1002/jsfa.6072.
- [12] 郝更新, 杨荣, 戴燕彬. 海蜇皮营养成分分析及胶原蛋白的提取[J]. 农产品加工, 2011(4): 64-69. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2011.04.018.
- [13] 庄永亮. 海蜇胶原蛋白理化性质及其胶原肽的护肤活性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009: 35-43.
- [14] 王彩云. 对海蜇加工的研究[J]. 食品工业, 1993(1): 13-14.
- [15] FIELD C J, JOHNSON I, PRATT V C. Glutamine and arginine: immunonutrients for improved health[J]. American College of Sports Medicine, 2000, 32(7): 377-388. DOI:10.1097/00005768-200007001-00002.
- [16] 刘希光. 海蜇的化学组成及生物活性的研究[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2004.
- [17] 陈琴, 罗素兰, 长孙东亭. 水母毒素研究进展[J]. 生物技术, 2007, 17(6): 95-98. DOI:10.3969/j.issn.1004-311X.2007.06.035.
- [18] 丁卓平, 王明华, 刘振华, 等. 食品中胆固醇含量测定方法的研究与比较[J]. 食品科学, 2004, 25(1): 130-135. DOI:10.3321/j.issn:1002-6630.2004.01.032.
- [19] 刘希光, 于华华, 赵增芹, 等. 海蜇不同部位组织脂肪酸的组成研究[J]. 分析化学, 2004, 32(12): 1635-1638. DOI:10.3321/j.issn:0253-3820.2004.12.017.
- [20] IBEAS C, CEJAS J, GOMEZ T, et al. Influence of dietary *n*-3 highly unsaturated fatty acids levels on juveniles gilthead seabream (*Sparus aurata*) growth and tissue fatty acid composition[J]. Aquaculture, 1996, 142(3): 221-225. DOI:10.1016/0044-8486(96)01251-3.
- [21] SUNDRAM K, HAYES K C, SIRU O H. Dietary palmitic acid results in lower serum cholesterol than does a lauric-myristic acid combination in normolipemic humans[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1994, 59(4): 841-846.
- [22] REY A I, LOPEZ-BOTE C J, KERRY J P, et al. Modification of lipid composition and oxidation in porcine muscle and muscle microsomes as affected by dietary supplementation of *n*-3 with either *n*-9 or *n*-6 fatty acids and α -tocopheryl acetate[J]. Animal Feed Science and Technology, 2004, 113(1): 223-225. DOI:10.1016/j.anifeeds.2003.08.007.
- [23] SCHRAM L B, NIELSEN C J, PORSGAARD T, et al. Food matrices affect the bioavailability of (*n*-3) polyunsaturated fatty acids in a single meal study in humans[J]. Food Research International, 2007, 40(8): 1062-1064. DOI:10.1016/j.foodres.2007.06.005.
- [24] 张旭, 董晓萍, 邓赞, 等. GC-MS分析蛭螂油脂的化学成分[J]. 华西药理学杂志, 2006, 21(3): 247-249. DOI:10.3969/j.issn.1006-0103.2006.03.013.
- [25] 康文艺. 槐花、槐米和槐叶脂肪酸成分的GC-MS分析[J]. 河南大学学报(医学版), 2009, 28(1): 17-21. DOI:10.3969/j.issn.1672-7606.2009.01.005.