

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20201210003

http://www.yykxjz.cn/

汤奎, 刘小林, 张帅, 刘石林, 刘佳亮, 范晓腾, 王在照. 3 种不同体色刺参体壁营养成分的比较研究. 渔业科学进展, 2021, 42(3): 155-162

Tang K, Liu XL, Zhang S, Liu SL, Liu JL, Fan XT, Wang ZZ. Comparative study on the nutrient composition in body walls of three body color variants of the sea cucumbers, *Apostichopus japonicus* (Selenka). Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(3): 155-162

3 种不同体色刺参体壁营养成分的比较研究*

汤 奎¹ 刘小林¹ 张 帅¹ 刘石林² 刘佳亮³ 范晓腾¹ 王在照^{1①}

(1. 西北农林科技大学动物科技学院 杨凌 712100; 2. 中国科学院海洋研究所 青岛 266071;

3. 山东东方海洋科技股份有限公司 烟台 264003)

摘要 本研究分别对青色、紫色和白色刺参(*Apostichopus japonicus*)体壁的营养成分, 包括蛋白、脂肪、粗多糖、氨基酸组成、脂肪酸组成及微量元素进行了比较分析。结果显示, 青色刺参蛋白含量显著低于紫色和白色刺参($P<0.05$), 脂肪含量三者无显著差异($P>0.05$), 青色刺参和紫色刺参的粗多糖含量高于白色刺参($P<0.05$)。3 种体色刺参检测出 17 种氨基酸, 白色和紫色刺参氨基酸含量相对较高, 为 48%左右, 而青色刺参体壁氨基酸含量为 44%左右。紫色和白色刺参的赖氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、缬氨酸等氨基酸的含量均显著高于青色刺参($P<0.05$)。亚油酸(LA)、花生四烯酸(AA)、二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)在 3 种刺参占较高比重, 其中, LA 作为重要必需脂肪酸在紫色和白色刺参中均显著高于青色刺参($P<0.05$), 为青色刺参的 4.6 倍左右; 紫色和白色刺参的 AA 含量也显著高于青色刺参($P<0.05$); 而青色刺参中的 EPA 和 DHA 均显著高于紫色和白色刺参($P<0.05$)。在检测的矿物质中, Fe 在 3 种刺参中含量最高, 紫色刺参 Fe 的含量显著低于青色和白色刺参($P<0.05$); 青色刺参 Mn 的含量显著高于紫色和白色刺参($P<0.05$); 白色刺参 Cr 的含量显著高于青色和紫色刺参($P<0.05$)。研究表明, 3 种体色刺参的营养成分存在较大差异, 均具有进一步开发利用价值。

关键词 刺参; 体壁; 营养成分; 氨基酸; 脂肪酸

中图分类号 S963 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2021)03-0155-08

刺参 (*Apostichopus japonicus*) 属棘皮动物门 (Echinodermata)、海参纲 (Holothroidea), 主要分布于西太平洋北部, 包括我国黄渤海域、俄罗斯东部海岸、日本和韩国沿岸等, 在我国 20 种的可食用海参中, 以黄渤海沿海生产刺参的食用及药用品质最高 (Chen, 2003; McElroy, 1990; 姜健等, 2004; 廖玉麟, 1997)。日本根据刺参的体色将刺参分为青刺参、红刺参和黑刺参 (Choe *et al*, 1961)。中国刺参一般为青色, 而紫色刺参和白色刺参较为罕见。3 种刺参的形态差异在

稚参体色发生阶段即可区分, 相关研究显示, 不同体色的刺参色素含量存在差异, 并发现在色素早期沉积中, 小眼转录因子 (MITF) 对体色调控可能发挥着重要作用 (邢丽丽, 2019)。3 种刺参在环境适应性方面有所不同, 青色刺参有较好的生长性状及温度、盐度耐受性, 可在低温、低盐环境中生长; 紫色刺参的生长性状与青色刺参无显著差异, 并且对于高盐和高盐的耐受性较好; 白色刺参对温度和盐度的耐受范围则较窄 (柏雨岑, 2016)。

* 国家重点研发计划 (2018YFD0901601) 资助 [This work was supported by the National Key Research and Development Program of China (2018YFD0901601)]. 汤 奎, E-mail: tangkuikui1995@163.com

① 通讯作者: 王在照, 教授, E-mail: zzwang@nwsuf.edu.cn

收稿日期: 2020-12-10, 收修改稿日期: 2021-01-25

刺参有较高的营养和滋补价值,其体壁富含丰富的氨基酸、脂肪酸及微量元素等营养物质,并含有酸多糖、皂苷和胶原蛋白等生物活性物质(孙伟红等, 2010; 李丹彤等, 2006),具有抗凝血、抗肿瘤、抗病毒、促进细胞生长和血管再生的功能(Borsig *et al.*, 2007; Lian *et al.*, 2013; Pacheco *et al.*, 2000; Tapon *et al.*, 2000; 李甜甜等, 2014)。此外,刺参营养全面,富含丰富的脂质、维生素以及 Fe、Zn 等微量元素,是一种名贵的滋补品(Sara *et al.*, 2011; 刘小芳等, 2011; 苏秀榕等, 2003; 赵玲等, 2016)。

目前,刺参已成为我国北方重要海洋养殖经济物种,市场需求的增加以及全球范围内刺参资源的过度捕捞,影响了刺参产业的持续发展(常亚青等, 2006)。因此,开发优良品种,增加养殖和加工产品的多样性,是推动刺参产业健康发展的动力,也是恢复资源、维持产业持续发展的重要途径。

在刺参新品系的选育中,除了抗病性、抗逆性和快速生长等常规目标性状外,体色也成为选育的重要经济性状(Kang *et al.*, 2011)。本研究对青色、紫色和白色刺参的蛋白质、氨基酸以及脂肪酸含量进行了测定,旨在探究不同体色刺参的营养成分差异,为刺参新品系的开发利用提供理论依据,进而引导海参市场的科学消费。

1 材料与方法

1.1 刺参样品采集与处理

2019年6月15日,从山东东方海洋科技股份有限公司海阳分公司养殖基地采集2龄青色刺参、紫色刺参和白色刺参样本。其中,青色刺参平均体重为(66.37±2.67)g,紫色刺参为(71.18±3.58)g,白色刺参为(59.99±12.94)g。在冰上解剖刺参样品分离获得体壁组织,将刺参体壁切成小块后,使用冷冻干燥机(Labconco P1J, 美国)进行冷冻干燥,磨成粉后备用。

1.2 粗脂肪、粗蛋白和粗多糖测定

准确称取0.2g的体壁冻干粉样品加入石油醚进行抽提,抽提6h后,放入105℃干燥2h至恒重,用索氏提取法进行粗脂肪的测定。称取0.5g的体壁冻干粉,在消化炉上消解后,使用凯氏定氮仪(FOSS 8400, 丹麦)进行粗蛋白的测定。称取1g体壁冻干粉,加入6ml丙酮溶液,4℃浸泡24h,通风橱挥干后,加入0.1g木瓜蛋白酶和30ml 0.1mol/L的乙酸钠缓

冲液,60℃水浴24h。冷却后,5000r/min离心15min,收集上清液,采用硫酸-苯酚法测定粗多糖。

1.3 氨基酸含量测定

每个刺参样品称量0.3g体壁冻干粉加入10ml 6mol/L的HCl中,充氮气密封好后,在105℃下水解24h。得到的产物在60℃水浴条件下旋转蒸干后,用0.02mol/L的HCl定容,再稀释一定倍数后,用0.22μm的滤膜过滤,取1ml样品用氨基酸分析仪(HITACHI L-8900, 日本)分析。

1.4 脂肪酸测定

称量0.3~0.5g体壁冻干粉样品,在氯仿/甲醇溶液(V:V=2:1)中匀浆,静置1h后,使用滤纸过滤混合物,加入4ml蒸馏水,3000r/min离心5min,弃上清液,下层使用氮吹仪(上海极恒实业有限公司, JHD-003)吹干。甲酯化:在含有样品的离心管中加入1ml正己烷,加入1ml氢氧化钾-甲醇溶液(0.4mol/L),静置30min,加入2ml去离子水,静置分层,上清液经0.22μm滤膜过滤后,使用气相色谱质谱联用仪(Thermo 1310-ISQLT, 美国)分析。气质分析条件:毛细色谱柱为WM-FFAP(30m×0.25mm×0.25μm),进样口温度为250℃,进样量为10μl,载气流速为1ml/min溶剂延迟5min,离子源温度为280℃,分析时间为43.51min。

1.5 微量元素的测定

称取0.5g干体壁冻干粉样品溶于8ml硝酸中过夜,样品经微波消解仪(Milestone Ethos A, 意大利)消解后蒸干,用去离子水稀释后,采用原子吸收光谱(HITACHI Z-2000, 日本)进行分析。

1.6 数据分析

本实验数据采用平均值±标准差(Mean±SD)进行表述,采用SPSS 20软件进行数据分析。显著性分析中,采用单因素方差分析(One-way ANOVA)及LSD多重比较的方法,确定组间差异显著性(P<0.05)。

2 结果

2.1 刺参体壁营养成分的基本组成

如表1所示,紫色和白色刺参的粗蛋白含量显著高于青色刺参(P<0.05),脂肪含量三者无显著差异(P>0.05),青色和紫色刺参的粗多糖含量显著高于白色刺参(P<0.05)。

表1 3种体色刺参体壁营养成分的基本组成
Tab.1 Nutrients composition in the body walls of three body color sea cucumbers (%)

项目 Items	青色刺参 Green sea cucumber	紫色刺参 Purple sea cucumber	白色刺参 White sea cucumber
粗蛋白 Crude protein	46.83±3.01 ^b	54.20±3.20 ^a	54.54±2.90 ^a
粗脂肪 Crude lipid	5.12±1.24	6.54±1.39	5.80±1.04
粗多糖 Crude polysaccharide	10.84±1.15 ^a	10.27±1.55 ^a	8.27±0.93 ^b

注: 组间的不同字母代表存在显著差异($P<0.05$), 下同

Note: The different letters between groups indicate significant differences ($P<0.05$), the same as below

2.2 刺参体壁氨基酸组成

3种刺参的体壁组织均含有17种氨基酸(表2)。不同体色刺参体壁的氨基酸比例在43.98~48.30%之间, 与粗蛋白测定的结果基本保持一致。其中, 青色、紫色和白色刺参的必需氨基酸含量分别为12.44%、13.70%和13.72%; 半必需氨基酸分别为4.09%、4.46%和4.43%; 非必需氨基酸分别为27.45%、29.85%和30.15%, 紫色和白色刺参的必需氨基酸、半必需氨基

表2 3种体色刺参体壁氨基酸组成
Tab.2 Amino acids composition in the body walls of three body color sea cucumbers (%)

氨基酸 Amino acids	青色刺参 Green sea cucumber	紫色刺参 Purple sea cucumber	白色刺参 White sea cucumber
赖氨酸 Lys	2.13±0.18 ^b	2.36±0.11 ^a	2.25±0.15 ^{ab}
苯丙氨酸 Phe	1.79±0.08 ^b	1.96±0.17 ^a	2.08±0.14 ^a
蛋氨酸 Met	0.80±0.04	0.88±0.12	0.89±0.12
苏氨酸 Thr	2.49±0.13 ^b	2.73±0.13 ^a	2.71±0.08 ^a
异亮氨酸 Ile	1.43±0.08 ^b	1.56±0.05 ^a	1.56±0.09 ^a
亮氨酸 Leu	2.09±0.10 ^b	2.31±0.24 ^a	2.34±0.09 ^a
缬氨酸 Val	1.71±0.08 ^b	1.90±0.18 ^a	1.89±0.10 ^a
必需氨基酸 EAA	12.44	13.70	13.72
组氨酸 His	0.85±0.07	0.91±0.09	0.84±0.19
精氨酸 Arg	3.24±0.25 ^b	3.55±0.22 ^a	3.59±0.31 ^a
半必需氨基酸 SEAA	4.09	4.46	4.43
谷氨酸 Glu	6.34±0.50	6.80±0.55	6.86±0.59
丙氨酸 Ala	2.43±0.17 ^b	2.69±0.19 ^a	2.73±0.29 ^a
天冬氨酸 Asp	4.31±0.29 ^b	4.68±0.25 ^a	4.65±0.42 ^{ab}
胱氨酸 Cys	0.18±0.01 ^b	0.26±0.04 ^a	0.25±0.02 ^a
脯氨酸 Pro	5.96±0.52	6.49±0.47	6.56±0.60
丝氨酸 Ser	2.13±0.18	2.33±0.28	2.30±0.25
酪氨酸 Try	1.20±0.13 ^b	1.32±0.16 ^{ab}	1.41±0.21 ^a
甘氨酸 Gly	4.90±0.36 ^b	5.28±0.38 ^{ab}	5.39±0.42 ^a
非必需氨基酸 NEAA	27.45	29.85	30.15

酸和非必需氨基酸含量均高于青色刺参。在紫色刺参的7种必需氨基酸(赖氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸)中, 除蛋氨酸外, 其余6种必需氨基酸含量都显著高于青色刺参($P<0.05$), 而白色刺参有5种必需氨基酸含量显著高于青色刺参(苯丙氨酸、苏氨酸、亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸)($P<0.05$)。在包括丙氨酸、谷氨酸、甘氨酸、苏氨酸和天冬氨酸在内的鲜味氨基酸总量方面, 紫色和白色刺参(22.18%和22.34%)高于青色刺参(20.47%)。

2.3 刺参体壁脂肪酸组成

如表3所示, 在这3种体色刺参的体壁组织中, 青色刺参和白色、紫色刺参的脂肪酸含量差异较大。在多元不饱和脂肪酸中, 亚油酸(C18:2)属于人体必需脂肪酸, 在紫色和白色刺参中含量均显著高于青色刺参($P<0.05$), 在紫色和白色刺参中其占总脂肪酸的比例分别为7.06%和7.26%, 而青色刺参仅为1.54%。花生四烯酸(C20:4)在紫色和白色刺参中的含量(10.06%和10.67%)也显著高于青色刺参(6.05%)($P<0.05$)。而在青色刺参中EPA(C22:5)含量很高, 达到了10.38%, 为紫色和白色刺参含量的3倍左右; 青色刺参的DHA(C22:6)的含量也显著高于紫色和白色刺参($P<0.05$), 是后2种刺参含量的2.8倍左右。亚麻酸(C18:3)在3种刺参中含量均很低(1.0%左右), 花生三烯酸(C20:3)的含量最低, 为0.1%~0.4%。在单不饱和脂肪酸中, 紫色和白色刺参的十八碳烯酸(C18:1)显著高于青色刺参($P<0.05$), 分别为14.01%、14.64%和8.06%; 二十碳烯酸(C20:1)含量在3种刺参中也较高, 其中, 紫色和白色刺参(8.45%和7.97%)中显著高于青色刺参(4.94%)($P<0.05$); 芥酸(C22:1)含量在3种刺参中相对较低, 但紫色和白色刺参(3.45%和3.03%)中的含量是青色刺参的3倍左右(1.03%); 而棕榈油酸(C16:1)在青色刺参(9.67%)中含量显著高于紫色和白色刺参(4.65%和5.07%)($P<0.05$)。在饱和脂肪酸中, 棕榈酸(C16:0)含量最高, 在3种刺参的含量为7.53%~8.47%, 其次是硬脂酸(C18:0), 在3种刺参的含量为4.93%~6.81%。

2.4 矿物质元素分析

在刺参所检测的5种矿物质中, Fe含量最高, 其中, 青色和白色刺参分别达到58.46和60.24 mg/kg, 紫色刺参相对较低, 为23.59 mg/kg。Cr含量也较高, 3种刺参均超过10.00 mg/kg, 白色刺参显著高于青色和紫色刺参($P<0.05$)。青色刺参体壁的Mn含量显著高于紫色刺参和白色刺参($P<0.05$); 3种刺参的Cu含量均较低, 为0.14~0.16 mg/kg。

表3 3种体色刺参体壁脂肪酸组成

Tab.3 Fatty acid composition in the body walls of three body color sea cucumbers (%)

脂肪酸 Fatty acids	青色刺参 Green sea cucumber	紫色刺参 Purple sea cucumber	白色刺参 White sea cucumber
C14 : 0	1.65±0.05 ^a	1.14±0.28 ^b	1.30±0.01 ^b
C15 : 0	0.28±0.03 ^a	0.12±0.03 ^b	0.09±0.02 ^b
C16 : 0	7.53±0.55 ^b	8.12±0.36 ^{ab}	8.47±0.81 ^a
C17 : 0	1.36±0.03 ^a	1.34±0.10 ^a	1.24±0.07 ^b
C18 : 0	6.81±0.37 ^a	4.93±0.09 ^b	4.96±0.41 ^b
C20 : 0	1.31±0.07	1.36±0.08	1.30±0.05
C21 : 0	0.57±0.07 ^b	0.75±0.07 ^a	0.64±0.04 ^b
C22 : 0	0.93±0.09 ^b	1.12±0.09 ^a	0.80±0.04 ^c
C23 : 0	0.19±0.02 ^a	0.14±0.02 ^b	0.08±0.02 ^c
C24 : 0	0.13±0.03 ^a	0.05±0.01 ^b	0.02±0.01 ^b
饱和脂肪酸总量 Total saturated fatty acids	20.76	19.07	18.90
C14 : 1	0.75±0.03 ^{ab}	0.72±0.12 ^b	0.84±0.03 ^a
C15 : 1	0.25±0.02 ^a	0.17±0.05 ^b	0.21±0.03 ^b
C16 : 1	9.67±0.87 ^a	4.65±0.17 ^b	5.07±0.14 ^b
C17 : 1	0.88±0.10 ^a	0.45±0.12 ^b	0.42±0.03 ^b
C18 : 1	8.06±0.21 ^b	14.01±0.62 ^a	14.64±1.19 ^a
C20 : 1n9	4.94±0.22 ^c	8.45±0.29 ^a	7.97±0.40 ^b
C22 : 1n9	1.03±0.11 ^c	3.45±0.27 ^a	3.03±0.18 ^b
单不饱和脂肪酸总量 Total monounsaturated fatty acids	25.58	31.90	32.18
C18 : 2	1.54±0.07 ^b	7.06±0.30 ^a	7.26±0.58 ^a
C18 : 3n6	1.40±0.07 ^a	0.90±0.08 ^b	0.85±0.06 ^b
C18 : 3n3	0.85±0.07 ^c	1.42±0.10 ^a	1.15±0.05 ^b
C20 : 2	0.94±0.09 ^c	1.68±0.08 ^a	1.56±0.07 ^b
C20 : 3n6	0.37±0.05	0.41±0.04	0.37±0.04
C20 : 3n3	0.15±0.04 ^a	0.10±0.03 ^b	0.07±0.01 ^b
C20 : 4n6	6.05±0.08 ^b	10.06±1.04 ^a	10.67±1.43 ^a
C20 : 5n3	10.38±0.41 ^a	3.49±0.23 ^b	3.35±0.27 ^b
C22 : 6n3	8.17±0.33 ^a	2.95±0.18 ^b	2.92±0.14 ^b
多不饱和脂肪酸总量 Total polyunsaturated fatty acids	29.85	28.07	28.20

表4 3种体色刺参体壁的矿物质元素分析

Tab.4 Mineral composition in the body walls of three body color sea cucumbers (mg/kg)

元素 Elements	青色刺参 Green sea cucumber	紫色刺参 Purple sea cucumber	白色刺参 White sea cucumber
铬 Cr	10.44±0.64 ^b	10.20±0.55 ^b	12.46±0.25 ^a
铁 Fe	58.46±2.70 ^a	23.59±3.03 ^b	60.24±5.01 ^a
铅 Pb	0.58±0.15	0.32±0.17	0.28±0.04
铜 Cu	0.14±0.01	0.15±0.00	0.16±0.02
锰 Mn	8.30±0.15 ^a	2.61±0.20 ^b	2.30±0.10 ^b

3 讨论

海参是我国最有价值的水产养殖物种之一,不仅

具有较高的营养价值,还具有广泛的药用价值。近年来,海参的营养成分被广泛研究,为海参的开发利用提供参考。海参具有高蛋白、低脂肪的特点(Wen *et al*, 2010),蛋白质和脂肪的含量决定了其营养价值。在这3种体色的刺参中,青色刺参的蛋白含量显著低于紫色和白色刺参($P<0.05$),脂肪含量三者无显著差异,青色和紫色刺参的粗多糖含量显著高于白色刺参($P<0.05$)。与之前的研究相比,脂肪含量偏高(李丹彤等, 2006; 李忠清等, 2016),可能是取样时正处于刺参夏眠的前期,刺参积累脂肪,储存能量。3种刺参在基本组成上存在很大差异,说明可能存在不同的食疗功效。

氨基酸具有重要的生理功能,除作为合成蛋白质

的主要原料外,还与调控基因表达、抗氧化、调节一氧化氮的合成有关(Hou *et al.*, 2013; Wu, 2009)。氨基酸含量充足且种类全面才能满足机体生长发育和健康的需要,而氨基酸缺乏会导致发育受到抑制或产生疾病。在这3种体色刺参中,均有17种氨基酸被检测出。氨基酸含量以白色刺参最高,紫色次之,青色刺参最低。紫色刺参与白色刺参之间相比无显著差异,而青色刺参的氨基酸含量显著低于紫色和白色刺参,包括苯丙氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸、精氨酸、丙氨酸、胱氨酸、丝氨酸、酪氨酸和甘氨酸($P<0.05$)。必需氨基酸指动物自身不能合成,需从食物中补充的氨基酸。必需氨基酸中,紫色刺参和白色刺参的含量达到了13.70%和13.72%,均高于青色刺参的12.44%。因此,这2种体色的刺参可以提供更多的必需氨基酸。赖氨酸是一般谷类和人乳蛋白质的第一限制氨基酸(徐善良等, 2012),紫色刺参和白色刺参的赖氨酸含量显著高于青色刺参,因此,对赖氨酸的补充有更好的效果。丙氨酸、精氨酸是大部分哺乳动物生长发育所必需的氨基酸,同时,精氨酸在大脑、肌肉和肝脏等人体组织中发挥着至关重要的解毒作用(Tong *et al.*, 2004)。徐伟风(2016)研究发现,在日粮中添加精氨酸可以减轻4-硝基酚引起的大鼠肝脏损伤。本研究结果显示,紫色和白色刺参的丙氨酸和精氨酸含量显著高于青色刺参($P<0.05$)。因此,紫色和白色刺参比普通青色刺参对肝脏可能具有更好的保护作用 and 食疗作用。氨基酸除了具有各种生理功能外,还在食品呈味中扮演着重要角色(赵亭亭等, 2018)。苯丙氨酸、丙氨酸、甘氨酸和酪氨酸作为常见的呈味氨基酸(Fuentes *et al.*, 2010),青色刺参中的含量显著低于紫色刺参和白色刺参($P<0.05$),研究表明,紫色刺参和白色刺参在食用风味和功效方面可能更具有优势。青色刺参在氨基酸含量上和紫色、白色刺参相比差异显著,说明就氨基酸成分而言,紫色和白色刺参优于青色刺参。

脂肪酸在动物体内具有十分重要的功能,是维持机体稳态不可缺少的。刺参脂肪酸种类比较丰富,共检测出26种脂肪酸,其中,饱和脂肪酸10种,单不饱和脂肪酸7种,多不饱和脂肪酸9种,三者组成上有显著差异。在多不饱和脂肪酸(PUFA)中,AA(C20:4)、EPA(C20:5)和DHA(C22:6)含量较高。AA是类花生酸类物质的前体,具有改善视力和记忆力、调节血脂和血糖的生理功能(Attwell *et al.*, 1993), Wu等(2007)研究发现,日粮中添加AA可预防高脂饮食引起的早期胰岛素抵抗。紫色和白色刺参的花生四烯酸含量显著高于青色刺参($P<0.05$),因此,食用紫色和白

色刺参可能会增强血管弹性、降低血液粘稠度、减少心脑血管患病的几率。EPA和DHA属于n-3系列PUFA,二者可促进脑发育,还能通过降低三酰甘油,减轻炎症来预防冠状动脉疾病(Sissener *et al.*, 2017), Xiao等(2020)研究还发现, EPA和DHA可促进细胞生长,减轻脱氧雪腐镰刀菌烯醇(DON)带来的损伤。含量较高的EPA和DHA表明青色刺参在预防冠状动脉疾病方面有更大的潜力。亚油酸(C18:2)和亚麻酸(C18:3)在大多数动物体内不能合成,必须由食物供给,因此,被称为必需脂肪酸(袁鹏, 2012)。必需脂肪酸对维持机体的功能至关重要,亚油酸在人体中可被合成 γ -亚麻酸及花生四烯酸,并具有抗高血压、抗肿瘤、改善骨密度、抗糖尿病等作用, Zhao等(2019)研究发现,亚油酸可通过调控白细胞来治疗哮喘。紫色和白色刺参中亚油酸含量显著高于青色刺参($P<0.05$),表明紫色和白色刺参对人类可能具有更高的营养价值。

刺参富含人体内所需的微量元素,矿物元素通过与蛋白质和其他基团结合,发挥着重要的生理生化功能(刘胜男等, 2019)。Fe一般在氧气运输、细胞周期生长、神经递质和髓磷脂合成方面发挥作用, Cr在血糖调节中发挥着重要功能, Mn在促进骨骼发育,预防贫血方面有重要作用(Peereboom, 1985)。3种刺参体壁均含有所检测的5种微量元素,其中, Fe含量最高。青色刺参和白色刺参Fe的含量显著高于紫色刺参($P<0.05$),白色刺参Cr的含量显著高于青色和紫色刺参($P<0.05$),青色刺参Mn的含量显著高于紫色和白色刺参($P<0.05$)。Fe、Cr和Mn的含量差异可能是3种刺参由Fe、Cr和Mn参与的代谢水平的差异所造成,也可能是3种金属离子在不同刺参的富集能力差异导致。

4 结论

通过对蛋白、脂肪、粗多糖、氨基酸、脂肪酸和微量元素进行分析,比较了3种体色刺参的营养成分及含量。研究表明,紫色刺参和白色刺参的粗蛋白、亚油酸、花生四烯酸以及多种氨基酸含量显著高于青色刺参,而青色刺参的EPA、DHA和Mn含量显著高于紫色和白色刺参。表明3种体色刺参营养成分存在较大差异,为进一步开发和利用海参资源提供了依据。

参 考 文 献

Attwell D, Miller B, Sarantis M. Arachidonic acid as a messenger in the central nervous system. *Seminars in Neuroscience*, 1993,

- 5(3): 159–169
- Bai YC. Research of differences in environmental adaptability, and nutritional requirements of three color morphos of sea cucumber, *Apostichopus japonicus* (Selenka). Doctoral Dissertation of Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2016 [柏雨岑. 不同色型仿刺参 *Apostichopus japonicus* (Selenka) 环境适应性与营养需求的比较研究. 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所)博士研究生学位论文, 2016]
- Borsig L, Wang LC, Cavalcante MCM, *et al.* Selectin blocking activity of a fucosylated chondroitin sulfate glycosaminoglycan from sea cucumber. Effect on tumor metastasis and neutrophil recruitment. *Journal of Biological Chemistry*, 2007, 282(20): 14984–14991
- Chang YQ, Sui XL, Li J. The current situation, problem and prospect on the *Apostichopus japonicus* aquaculture. *Fisheries Science*, 2006, 25(4): 198–201 [常亚青, 隋锡林, 李俊. 刺参增殖养殖业现状、存在问题与展望. *水产科学*, 2006, 25(4): 198–201]
- Chen JX. Overview of sea cucumber farming and sea ranching practices in China. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 2003, 18: 18–23
- Choe S, Ohshima Y. On the morphological and ecological differences between two commercial forms, “Green” and “Red”, of the Japanese common sea cucumber, *Stichopus japonicus* Selenka. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1961, 27(2): 97–106
- Fuentes A, Fernández-Segovia I, Serra JA, *et al.* Comparison of wild and cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) quality. *Food Chemistry*, 2010, 119(4): 1514–1518
- Hou YQ, Wang L, Yi D, *et al.* N-acetylcysteine reduces inflammation in the small intestine by regulating redox, EGF and TLR₄ signaling. *Amino Acids*, 2013, 45(3): 513–522
- Jiang J, Yang BL, Tai Y. Studies on resources and bioactive substances of sea cucumber. *Letters in Biotechnology*, 2004, 15(5): 537–540 [姜健, 杨宝灵, 邵阳. 海参资源及其生物活性物质的研究. *生物技术通讯*, 2004, 15(5): 537–540]
- Kang JH, Yu KH, Park JY, *et al.* Allele-specific PCR genotyping of the HSP70 gene polymorphism discriminating the green and red color variants sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). *Journal of Genetics and Genomics*, 2011, 38(8): 351–355
- Li DT, Chang YQ, Chen W, *et al.* Analysis of nutritive composition of bodywall in wild *Apostichopus japonicus* Selenka at Zhangzi Island. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2006, 21(3): 278–282 [李丹彤, 常亚青, 陈炜, 等. 獐子岛野生刺参体壁营养成分的分析. *大连海洋大学学报*, 2006, 21(3): 278–282]
- Li TT, Wang XH, Lin ZC, *et al.* Research and progression on anti-lung neoplasm activity and the regulation of T cellular immune function by polysaccharide from sea cucumber. *Chinese Journal of Clinicians (Electronic Edition)*, 2014, 8(10): 123–125 [李甜甜, 王相海, 林存智, 等. 海参多糖抗肺癌活性及对 T 细胞免疫功能调节研究进展. *中华临床医师杂志(电子版)*, 2014, 8(10): 123–125]
- Li ZQ, Xia B, Wang JY, *et al.* Comparative study on nutrient composition of body walls of green and white sea cucumber (*Apostichopus japonicus*). *Progress in Fishery Sciences*, 2016, 37(3): 101–107 [李忠清, 夏斌, 王际英, 等. 青、白刺参(*Apostichopus japonicus*)体壁营养成分的比较分析. *渔业科学进展*, 2016, 37(3): 101–107]
- Lian W, Wu MY, Huang N, *et al.* Anti-HIV-1 activity and structure-activity-relationship study of a fucosylated glycosaminoglycan from an echinoderm by targeting the conserved CD4 induced epitope. *Biochimica et Biophysica Acta*, 2013, 1830(10): 4681–4691
- Liao YL. *Fauna sinica Echinodermata Holothuroidea*. Beijing: Science Press, 1997, 148–150 [廖玉麟. 中国动物志 棘皮动物门海参纲. 北京: 科学出版社, 1997, 148–150]
- Liu SN, Cao R, Zhao L, *et al.* Analysis on nutrients of *Isostichopus fuscus*. *Journal of Food Safety and Quality*, 2019, 10(8): 187–191 [刘胜男, 曹荣, 赵玲, 等. 暗色等刺参(*Isostichopus fuscus*)营养成分分析. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(8): 187–191]
- Liu XF, Xue CH, Wang YM, *et al.* Principal component analysis of inorganic elements in sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2011, 31(11): 3119–3122 [刘小芳, 薛长湖, 王玉明, 等. 刺参中无机元素的聚类分析和主成分分析. *光谱学与光谱分析*, 2011, 31(11): 3119–3122]
- McElroy S. Beche-de-mer species of commercial value—an update. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 1990, 2: 2–7
- Pacheco RG, Vicente CP, Zancan P, *et al.* Different antithrombotic mechanisms among glycosaminoglycans revealed with a new fucosylated chondroitin sulfate from an echinoderm. *Blood Coagulation and Fibrinolysis*, 2000, 11(6): 563–573
- Peereboom JWC. General aspects of trace elements and health. *Science of the Total Environment*, 1985, 42(1–2): 1–27
- Sara B, Farooq A, Nazamid S, *et al.* High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods—A review. *Marine Drugs*, 2011, 9(10): 1761–1805
- Sissener NH, Sanden M, Torstensen BE, *et al.* High dietary 18:2n-6/18:3n-3 ratio does not inhibit elongation and desaturation of 18:3n-3 to EPA and DHA in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Nutrition*, 2017, 23(5): 899–909
- Su XR, Lou YJ, Chang YQ, *et al.* Study on the nutritional components and the antineoplastic activity of polysaccharide of sea cucumber. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2003, 25(2): 181–182 [苏秀榕, 娄永江, 常亚青, 等. 海参的营养成分及海参多糖的抗肿瘤活性的研究. *营养学报*, 2003, 25(2): 181–182]
- Sun WH, Li XC, Han XQ, *et al.* Analysis and evaluation of chief nutrient composition in different parts of *Stichopus japonicus*. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2010, 22(1): 212–220 [孙伟红, 李晓川, 韩现琴, 等. 刺参不同部位中主要营养

- 成分分析与评价. 动物营养学报, 2010, 22(1): 212–220]
- Tapon-Bretonnière J, Drouet B, Matou S, *et al.* Modulation of vascular human endothelial and rat smooth muscle cell growth by a fucosylated chondroitin sulfate from echinoderm. *Thrombosis and Haemostasis*, 2000, 83(8): 332–337
- Tong BC, Barbul A. Cellular and physiological effects of arginine. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 2004, 4(8): 823–832
- Wen J, Hu CQ, Fan DG. Chemical composition and nutritional quality of sea cucumbers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90(14): 2469–2474
- Wu GY. Amino acids: Metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*, 2009, 37(1): 1–17
- Wu MY, Wang XM, Duan QH, *et al.* Arachidonic acid can significantly prevent early insulin resistance induced by a high-fat diet. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 2007, 51(3): 270–276
- Xiao K, Liu CC, Qin Q, *et al.* EPA and DHA attenuate deoxynivalenol-induced intestinal porcine epithelial cell injury and protect barrier function integrity by inhibiting necroptosis signaling pathway. *FASEB Journal*, 2020, 34(2): 2483–2496
- Xing LL. Basic research on physiological characteristics and regulation mechanism of body color formation in sea cucumber, *Apostichopus japonicus*. Doctoral Dissertation of Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2019 [邢丽丽. 刺参体色发生生理特征与调控机制的基础研究. 中国科学院大学(中国科学院海洋研究所)博士研究生学位论文, 2019]
- Xu SL, Wang DL, Xu JL, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional components in muscle of *Pampus argenteus*, *P. cinereus* and *P. sinensis* from the East China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2012, 43(4): 775–782 [徐善良, 王丹丽, 徐继林, 等. 东海银鲳(*Pampus argenteus*)、灰鲳(*P. cinereus*)和中国鲳(*P. sinensis*)肌肉主要营养成分分析与评价. 海洋与湖沼, 2012, 43(4): 775–782]
- Xu WF. Protective effects of L-arginine on hepatic and ovarian damage in 4-nitrophenol-exposed rats. Master's Thesis of Nanjing Agricultural University, 2016 [徐伟风. 精氨酸对4-硝基酚暴露大鼠肝脏和卵巢损伤的缓解作用. 南京农业大学硕士研究生学位论文, 2016]
- Yuan P. The anti-aging function of curcumin and essential fatty acids. Master's Thesis of Zhejiang University, 2012, 7–26 [袁鹏. 姜黄素与必需脂肪酸的抗衰老功能研究. 浙江大学硕士研究生学位论文, 2012, 7–26]
- Zhao JV, Schooling CM. The role of linoleic acid in asthma and inflammatory markers: A Mendelian randomization study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2019, 110(3): 685–690
- Zhao L, Ma HW, Cao R, *et al.* Analysis of nutritional component in 10 kinds of sea cucumbers. *Journal of Food Safety and Quality*, 2016, 7(7): 2867–2872 [赵玲, 马红伟, 曹荣, 等. 10种海参营养成分分析. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(7): 2867–2872]
- Zhao TT, Zhang Y, Chen C, *et al.* Analysis of nutrient components and evaluation of nutritive quality in flesh of three species of cultured groupers. *Progress in Fishery Sciences*, 2018, 39(6): 89–96 [赵亭亭, 张岩, 陈超, 等. 3种养殖石斑鱼的肌肉营养成分分析与品质评价. 渔业科学进展, 2018, 39(6): 89–96]

(编辑 陈辉)

Comparative Study on the Nutrient Composition in Body Walls of Three Body Color Variants of the Sea Cucumbers, *Apostichopus japonicus* (Selenka)

TANG Kui¹, LIU Xiaolin¹, ZHANG Shuai¹, LIU Shilin², LIU Jialiang³, FAN Xiaoteng¹, WANG Zaizhao¹①

(1. College of Animal Science and Technology, Northwest A & F University, Yangling 712100;

2. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Science, Qingdao 266071;

3. Shandong Oriental Ocean Science and Technology Company, Yantai 264003)

Abstract In the present study, the concentrations of protein, fat, and crude polysaccharide were determined in the body wall of three body color variants of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka), along with the composition of fatty acids and amino acid microelements. The results showed that the protein content in green sea cucumbers was significantly lower than in purple and white sea cucumbers ($P < 0.05$), the fat content showed no significant differences ($P > 0.05$), and the crude polysaccharide contents in green and purple sea cucumbers were higher than in white sea cucumbers ($P < 0.05$). A total of 17 amino acids were determined in the sea cucumbers, with the purple and white sea cucumbers containing higher amino acid contents (about 48%), while the contents in the green sea cucumber was about 44%. The contents of amino acids such as lysine, phenylalanine, threonine, and valine in purple and white sea cucumbers were significantly higher than in green sea cucumbers. The linoleic acid (LA), arachidonate (ARA), timnodonic acid (EPA), and docosahexaenoic acid (DHA) had higher proportions than other polyunsaturated fatty acids in the three sea cucumbers. As an important polyunsaturated fatty acid, LA in both the purple and white sea cucumbers was significantly higher than in green sea cucumbers (by 4.6 times, $P < 0.05$). The ARA contents in purple and white sea cucumbers were also significantly higher than in green sea cucumbers, while the EPA and DHA contents were significantly lower ($P < 0.05$). Additionally, we found that iron was the highest among the inorganic elements in all sea cucumbers, but was significantly lower in purple sea cucumbers than in green and white sea cucumbers. The manganese content in green sea cucumbers was significantly higher than in purple and white sea cucumbers, and chromium was significantly higher in white sea cucumbers than in green and purple sea cucumbers. Therefore, the nutritional composition of the three body color variants of sea cucumbers were quite different, and all of them have values for further development and utilization.

Key words *Apostichopus japonicus*; Body wall; Nutrient Compositions; Amino acid; Fatty acid

① Corresponding author: WANG Zaizhao, E-mail: zzwang@nwsuf.edu.cn