

doi: 10.3969/j. issn. 2095 - 0780. 2012. 02. 010

野生与养殖刺参营养成分的比较分析

王哲平, 刘 淇, 曹 荣, 殷邦忠

(中国水产科学研究院黄海水产研究所, 国家海参加工技术研发分中心, 山东 青岛 266071)

摘要: 分别对野生和养殖的刺参(*Apostichopus japonicus*)体壁中营养成分, 包括灰分、盐分、蛋白质、粘多糖、胶原蛋白、皂苷、氨基酸组成及11种无机元素进行了比较分析。结果显示, 野生和养殖刺参的胶原蛋白质量分数(以干基计)为39.43%和40.37%, 差异不显著($P > 0.05$); 盐分、粘多糖及皂苷质量分数分别为18.47%、15.40%、10.19%、9.27%和0.81%、0.62%, 差异显著($P < 0.05$); 灰分、粗蛋白质质量分数分别为25.73%、20.74%和58.80%、62.21%, 差异极显著($P < 0.01$)。氨基酸组成中必需氨基酸总量分别为21.16%和20.28%, 差异显著($P < 0.05$); 鲜味氨基酸、药效氨基酸总量分别为30.86%、28.00%和33.66%、30.39%, 差异均极显著($P < 0.01$)。矿物元素含量丰富, 野生刺参的微量元素比例要略优于养殖刺参, 铅(Pb)、汞(Hg)和镉(Cd)等重金属含量均符合相关食品卫生标准限量。综合分析认为, 野生和养殖刺参均有较高的营养价值, 富含胶原蛋白、粘多糖等生物活性物质及人体所需的矿物元素, 鲜味氨基酸和药效氨基酸含量丰富。

关键词: 刺参; 野生; 养殖; 营养成分

中图分类号: TS 254.1

文献标志码: A

文章编号: 2095 - 0780 - (2012) 02 - 0064 - 07

Comparative analysis of nutritive composition between wild and cultured sea cucumber *Apostichopus japonicas*

WANG Zheping, LIU Qi, CAO Rong, YIN Bangzhong

(National R&D Branch Center for Sea Cucumber Processing, Yellow Sea Fisheries Research Institute,
Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract: We determined the contents of ash, salt, crude protein, glycosaminoglycan, collagen, saponin and composition of amino acids as well as 11 kinds of elements in the body wall between wild and cultured sea cucumber (*Apostichopus japonicas*). The results show that in wild and cultured sea cucumber, the content of collagen protein (w/w, dry weight) is 39.43% and 40.37%, respectively, without significant difference ($P > 0.05$). There is significant difference in the contents of salt, glycosaminoglycan and saponin (18.47% and 15.40%, 10.19% and 9.27%, 0.81% and 0.62%, respectively) ($P < 0.05$). Very significant difference is found in the contents of ash and crude protein (25.73% and 20.74%, 58.80% and 62.21%, respectively) ($P < 0.01$). The content of essential acids is 21.16% and 20.28%, respectively, with significant difference ($P < 0.05$). There is very significant difference in the contents of flavor amino acids and drug-effective amino acids (30.86% and 28.00%, 33.66% and 30.39%, respectively) ($P < 0.01$). Sea cucumber is rich in mineral elements; there are more trace elements in wild ones than cultured ones. The contents of heavy metals (Pb, Hg and Cd) in wild and cultured sea cucumber are lower than the limits of relevant food hygiene standards. In conclusion, cultured and wild sea cucumber is highly nutritive containing rich collagen protein, glycosaminoglycan, mineral elements as well as flavor and drug-effective amino acids.

收稿日期: 2011-09-29; 修回日期: 2011-10-27

资助项目: 中央级公益性科研院所专项资金项目(20603022011005); 国家科技支撑计划项目(2012BAD28B05)

作者简介: 王哲平(1983-), 女, 硕士, 从事水产品加工与保藏研究。E-mail: wangzheping1@126.com

通讯作者: 刘 淇, E-mail: liuqi@ysfri.ac.cn

Key words: *Apostichopus japonicas*; wild; cultured; nutritive composition

刺参(*Apostichopus japonicus*)属棘皮动物门、海参纲、楯手目、刺参科、仿刺参属。中国约有140种海参,而可供食用的仅约20种,其中以黄、渤海海域产的刺参品质最好,营养价值最高^[1]。海参体壁是海参主要的食用和药用部位,含有海参多糖、胶原蛋白和海参皂苷等多种生理活性物质,其药理活性主要包括抗真菌、抗肿瘤、抗凝血、抗疲劳以及调节血脂浓度和免疫力等作用^[2-5];同时还含有钙(Ca)、镁(Mg)、铁(Fe)、锰(Mn)、锌(Zn)和铜(Cu)等对人体有益的矿物元素,是营养价值极高的海产品^[6-7]。

自古以来,中国人民就把海参作为一种滋补食品和中医药膳。自20世纪80年代,随着国内对刺参产品需求的增多,刺参已成为中国北方主要的海水养殖品种^[1]。大棚养殖由于具有生长时间长和成活率高的优点,近年来吸引了越来越多的投资者和研究人员进行研究和开发^[8]。由于养殖与野生刺参的生长环境和饵料不同,养殖刺参的品质和营养价值是否会受到影响成为目前消费者关注的主要问题。有关刺参营养成分的研究国内外已有一些报道^[9-10],但由于检测条件不同以及产地的差异,故两者没有可比性。因此,该研究对同一产地的野生和养殖刺参的营养成分进行比较分析,旨在全面地了解野生和养殖刺参的营养品质差异,为刺参的人工养殖技术提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料

野生刺参采自青岛市胶南琅琊镇附近自然海域,平均体质量为97 g;大棚养殖刺参采自青岛市胶南琅琊镇海参养殖基地,其养殖海水取自野

生刺生长海域,平均体质量为80 g,采集时间均为2011年5月。采集后立即装入塑料袋,密封保温运至实验室,用水洗净,解剖,去内脏和石灰环,60烘至恒质量,磨粉,置于干燥器内备用。

1.2 方法

1.2.1 营养成分测定 采用高温灼烧法(GB/T 5009.4-2003)测定灰分;直接滴定法(SCT 3011-2001)测定盐分;凯氏定氮法-半自动凯氏定氮仪(GB/T 5009.5-2003)测定蛋白质;次甲基蓝比色法^[11-12]测定刺参酸性粘多糖;按照文献[13]的方法测定刺参皂苷。采用火焰原子吸收光谱法(GB/T 5009.92-2003、GB/T 5009.13-2003、GB/T 5009.14-2003、GB/T 5009.90-2003、GB/T 5009.12-2003和GB/T 5009.15-2003)分别测定Ca、Cu、Zn、Fe、Mg、Mn、铅(Pb)、镉(Cd)等元素;采用原子荧光光谱分析法(GB/T 5009.17-2003)测定汞(Hg)元素。

1.2.2 胶原蛋白含量测定 胶原蛋白在浓酸条件下经高温长时间分解后生成氨基酸,通过分光光度法测定其中羟脯氨酸的含量^[14-15],刺参体壁羟脯氨酸约占胶原蛋白的7.7%^[16],因此,由羟脯氨酸的含量可直接换算成胶原蛋白的含量。

1.2.3 氨基酸含量测定 样品用6 mol·L⁻¹盐酸110封管水解24 h之后,利用日立L-8800氨基酸自动分析仪进行测试。

1.2.4 氨基酸营养价值评定 根据FAO/WHO 1973年建议的每克氮(N)中氨基酸评分(AAS)标准模式和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的全鸡蛋蛋白模式进行比较^[17-18],AAS和化学评分(CS)按以下公式计算:

$$AAS = \frac{\text{试验蛋白质氨基酸质量分数}(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{N})}{\text{FAO/WHO 评分标准模式氨基酸质量分数}(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{N})}$$

$$CS = \frac{\text{试验蛋白质氨基酸质量分数}(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{N})}{\text{鸡蛋蛋白质中同种氨基酸质量分数}(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{N})}$$

1.2.5 数据处理 试验数据采用SPSS 13.0统计软件进行t检验分析,确定组间差异的显著性。试验结果均用平均值±标准差($\bar{X} \pm SD$)表示。

2 结果与分析

2.1 一般营养成分

野生与养殖刺参(以干基计)的灰分和粗蛋白

质量分数分别为 25.73%、20.74% 和 58.80%、62.21%，差异极显著($P < 0.01$)；盐分、粘多糖和皂苷质量分数分别为 18.47%、15.40%，10.19%、9.27% 和 0.81%、0.62%，差异显著($P < 0.05$)；胶原蛋白质量分数为 39.79%、40.37%，无显著差异($P > 0.05$) (表 1)。其中，野生刺参灰分质量分数比李丹彤等^[19] 测定的结果偏低，这可能由刺参的采集地点不同引起，而养殖刺参灰分质量分数与刘小芳^[10] 测定的结果基本一致；粗蛋白和粘多糖质量分数较上述文献的均略高；胶原蛋白质量分数与崔凤霞^[15] 测定的结果基本一致；皂苷质量分数与董平等^[13] 测定的结果基本一致，而与刘小芳等^[10] 的测定结果差异较大，这主要是由检测方法不同引起。

**表 1 野生和养殖的刺参一般营养成分
(干质量, $\bar{X} \pm SD$, $n=9$)**

Tab. 1 Common nutritive composition of wild and cultured sea cucumber (dry weight)

营养成分 nutritive composition	野生 wild	养殖 cultured	%
w(灰分) ash	25.73 ±0.20	20.74 ±0.17 ^{**}	
w(盐分) salt	18.47 ±0.41	15.40 ±0.69 [*]	
w(粗蛋白) crude protein	58.80 ±0.39	62.21 ±0.71 ^{**}	
w(粘多糖) glycosaminoglycan	10.19 ±0.17	9.27 ±0.29 [*]	
w(胶原蛋白) collagen protein	39.43 ±0.38	40.37 ±1.41	
w(皂苷) saponin	0.81 ±0.11	0.62 ±0.10 [*]	

注：* . 差异显著($P < 0.05$)；** . 差异极显著($P < 0.01$)；后表同此

Note: * . significant difference ($P < 0.05$)；** . very significant difference ($P < 0.01$)；The same case in the following tables.

从试验结果来看，野生与养殖刺参在营养成分上也存在一定的差异。养殖刺参的粗蛋白和胶原蛋白质量分数均高于野生刺参，其中粗蛋白质量分数的差异显著，而灰分、盐分、粘多糖和皂苷质量分数要低于野生刺参。一般而言，造成这种差异的原因可能在于刺参生长环境和饵料的不同。由于养殖大棚里的海水取自野生刺参生长的海域，且与野生刺参一样也需要经历夏眠的生活习性，因此引起两者营养成分差异可能是饵料的不同，这说明养殖刺参的饵料里含高蛋白，而其

他营养成分的含量相对较低；也可能是由于养殖刺参对目前食用饵料的消化吸收率较低引起。研究表明，在刺参不同的生长阶段、不同的饲料或同一种饲料新鲜程度不同，刺参的消化吸收率也不同^[20]，因此可以根据刺参的不同生长阶段进行科学配料，以提高对饵料的消化率和利用率，增加养殖刺参的各种营养成分。

2.2 氨基酸组成及质量分数

2.2.1 氨基酸组成及质量分数比较 野生与养殖刺参均检测出 16 种氨基酸，氨基酸总质量分数分别为 55.17% 和 49.99%，差异极显著($P < 0.01$) (表 2)。此结果比李丹彤等^[19] 检测的獐子岛野生刺参氨基酸质量分数高，比李晓林等^[21] 测定的日本刺参氨基酸质量分数低，这是因为无脊椎动物氨基酸的组成及含量受饵料影响显著^[22]，而不同海域中刺参的饵料各不相同。其中必需氨基酸总量分别为 21.16% 和 20.28%，差异显著($P < 0.05$)；鲜味氨基酸总量分别为 30.86% 和 28.00%，差异极显著($P < 0.01$)，药效氨基酸总量分别为 33.66% 和 30.39%，差异极显著($P < 0.05$)；野生与养殖刺参的 W_{EAA}/W_{TAA} 均在 40% 左右， W_{EAA}/W_{NEAA} 均在 60% 以上，符合 FAO/WHO 推荐的蛋白质营养评价的理想模式(表 2)。因此，野生和养殖刺参的必需氨基酸的营养价值均较高，易于人体吸收，但野生刺参的各种氨基酸总量要大于养殖刺参，其中鲜味氨基酸和药效氨基酸质量分数差异较大。

各氨基酸成分中，脯氨酸、天门冬氨酸和谷氨酸的质量分数差异较大，其中天门冬氨酸和谷氨酸均属于药效氨基酸和鲜味氨基酸。在药效方面，天门冬氨酸能够改善心肌收缩，具有保护心肌的作用；而谷氨酸能够改善脑细胞营养、改进脑功能和促进红细胞生成，因此野生刺参要比养殖刺参保健作用更强。脯氨酸是胶原蛋白重要组成氨基酸之一，其中胶原蛋白的变性温度与脯氨酸和羟脯氨酸的含量有关，含量越高，胶原蛋白的三螺旋结构越稳定，胶原蛋白的变性温度也就越高^[23]。此研究中野生与养殖刺参的胶原蛋白质量分数经 *t*-检验差异不显著，即羟脯氨酸质量分数的差异不显著，而野生刺参的脯氨酸质量分数明显高于养殖刺参，因此野生刺参胶原蛋白的变性温度可能高于养殖刺参。

表 2 野生与养殖刺参的氨基酸质量分数(干质量, $\bar{X} \pm SD$, n=9)

Tab. 2 Content of amino acids in wild and cultured sea cucumber (dry weight)

氨基酸种类 amino acid	野生 wild	养殖 cultured	%
天门冬氨酸 ^{bc} Asp	5.54 ±0.06	3.72 ±0.02	
谷氨酸 ^{bc} Glu	4.95 ±0.02	4.09 ±0.02	
甘氨酸 ^{bc} Gly	8.72 ±0.04	8.68 ±0.03	
丙氨酸 ^b Ala	6.86 ±0.05	6.70 ±0.05	
缬氨酸 ^a Val	2.03 ±0.02	1.95 ±0.02	
蛋氨酸 ^{ac} Met	1.06 ±0.01	1.04 ±0.01	
异亮氨酸 ^a Ileu	2.18 ±0.03	2.07 ±0.02	
亮氨酸 ^{ac} Leu	3.31 ±0.02	3.11 ±0.02	
苯丙氨酸 ^{ac} Phe	1.65 ±0.01	1.57 ±0.01	
赖氨酸 ^{ac} Lys	2.46 ±0.02	2.29 ±0.03	
苏氨酸 ^a Thr	2.63 ±0.03	2.50 ±0.02	
组氨酸 ^a His	1.04 ±0.01	0.94 ±0.01	
精氨酸 ^{abc} Arg	4.79 ±0.03	4.81 ±0.02	
丝氨酸 Ser	3.62 ±0.02	3.76 ±0.02	
酪氨酸 ^c Tyr	1.17 ±0.01	1.08 ±0.01	
脯氨酸 Pro	3.14 ±0.03	1.68 ±0.01	
必需氨基酸总量 essential amino acids	21.16 ±0.26	20.28 ±0.22*	
非必需氨基酸总量 nonessential amino acids	34.01 ±0.33	29.71 ±0.31**	
鲜味氨基酸总量 flavor amino acids	30.86 ±0.31	28.00 ±0.28**	
药效氨基酸总量 drug-effective amino acids	33.66 ±0.39	30.39 ±0.35**	
氨基酸总量 total amino acids	55.17 ±0.35	49.99 ±0.26**	
必需氨基酸/氨基酸总量 W_{EAA}/W_{TAA}	38.36	40.57	
必需氨基酸/非必需氨基酸 W_{EAA}/W_{NEAA}	62.23	68.27	

注: a 必需氨基酸; b. 鲜味氨基酸; c. 药效氨基酸

Note: a essential amino acids; b. flavor amino acids; c. drug-effective amino acids

2.2.2 氨基酸营养价值评价 AAS 主要反映的是蛋白质构成和利用率的关系, 因为蛋白质的营养价值主要表现在其组成中的必需氨基酸为体内合成含氮化合物所能提供的量和比例。将表 2 中的数据换算成每克 N 中含氨基酸毫克数后与 FAO/WHO 建议的氨基酸标准模式和全鸡蛋蛋白的氨基酸模式进行比较, 分别计算野生和养殖刺参的必需氨基酸 AAS 和 CS, 结果见表 3。野生和养殖刺参中异亮氨酸和苏氨酸的 AAS 和 CS 较高, 其中苏氨酸的 AAS 均超过 1, CS 也接近于 1。养殖刺参各氨基酸的 AAS 和 CS 相对野生刺参偏低, 因此养殖刺参蛋白营养价值略低于野生刺参。根

据 AAS, 野生和养殖的刺参第一限制氨基酸和第二限制氨基酸均分别是蛋氨酸和缬氨酸; 根据 CS, 野生刺参第一限制氨基酸是蛋氨酸, 第二限制氨基酸是缬氨酸和苯丙 + 酪氨酸, 养殖刺参第一限制氨基酸是蛋氨酸, 第二限制氨基酸是苯丙 + 酪氨酸。

2.3 无机元素分析

该试验对野生与养殖刺参的 11 种无机元素 [钾(K)、钠(Na)、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn、Pb、Cd 和 Hg] 的质量分数进行了测定(表 4)。刺参的 K、Na、Ca 和 Mg 等常量元素质量分数较高, 野生刺参均显著高于养殖刺参, 其中 w(Na)、

表3 野生与养殖刺参的氨基酸组成评价

Tab. 3 Evaluation of composition of amino acids in wild and culture sea cucumber

 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$

氨基酸 amino acid	刺参 sea cucumber		化学评分 CS		氨基酸评分 AAS		鸡蛋蛋白 egg white	FAO/WHO 标准 FAO/WHO standardl
	野生 wild	养殖 culture	野生 wild	养殖 culture	野生 wild	养殖 culture		
异亮氨酸 Ileu	248.54	218.80	0.75	0.66	0.99	0.88	331	250
亮氨酸 Leu	377.37	328.72	0.71	0.62	0.86	0.75	534	440
苏氨酸 Thr	281.37	264.25	0.96	0.90	1.13	1.06	292	250
缬氨酸 Val	217.18	206.11	0.53 ^{**}	0.50	0.70 ^{**}	0.66 ^{**}	411	310
蛋氨酸 Met	113.40	109.93	0.30 [*]	0.28 [*]	0.52 [*]	0.50 [*]	386	220
苯丙 + 酪氨酸 Phe + Try	301.69	280.10	0.53 ^{**}	0.50 ^{**}	0.79	0.74	565	380
赖氨酸 Lys	263.18	242.05	0.60	0.55	0.77	0.71	441	340

注: * . 第一限制氨基酸; ** . 第二限制氨基酸

Note: * . first limited amino acid; ** . second limited amino acid

表4 野生与养殖刺参的无机元素质量分数

(干质量, $\bar{X} \pm SD$, n=9)

Tab. 4 Content of minerals in wild and cultured sea cucumber (dry weight)

元素 mineral	野生 wild	养殖 cultured
w(钠) / g·kg ⁻¹ Na	63.12 ±1.11	55.49 ±0.75 ^{**}
w(钾) / g·kg ⁻¹ K	5.45 ±0.15	5.06 ±0.13 [*]
w(镁) / g·kg ⁻¹ Mg	8.56 ±0.21	7.44 ±0.15 ^{**}
w(钙) / g·kg ⁻¹ Ca	15.12 ±0.19	8.82 ±0.15 ^{**}
w(铁) / mg·kg ⁻¹ Fe	85.48 ±1.60	33.42 ±0.91 ^{**}
w(锰) / mg·kg ⁻¹ Mn	6.29 ±0.18	6.92 ±0.12 [*]
w(铜) / mg·kg ⁻¹ Cu	3.16 ±0.10	1.88 ±0.05 ^{**}
w(锌) / mg·kg ⁻¹ Zn	39.10 ±1.56	41.02 ±1.15
w(铅) / mg·kg ⁻¹ Pb	< 0.01	< 0.01
w(镉) / mg·kg ⁻¹ Cd	0.99 ±0.02	0.18 ±0.004 ^{**}
w(汞) / mg·kg ⁻¹ Hg	-	-

注: - . 未检出

Note: - . not detected

w(Ca) 和 w(Mg) 差异极显著($P < 0.01$)；必需营养微量元素中野生刺参的 w(Fe) 和 w(Cu) 高于养殖刺参，差异极显著($P < 0.01$)，而 w(Mn) 低于养殖刺参，差异显著($P < 0.05$)，w(Zn) 略低于养殖刺参，差异不显著。矿物元素的含量并非越多越好，各种元素之间应比例合理，例如，HILL 和 MATRON 提出理化性质相似的元素，其生物学功能是相互拮抗的，且当 Zn Cu > 10 及 Zn Fe > 1 ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) 时通常会发生这种拮抗作用^[24]，而该试验中野生刺参的 Zn Cu 为 12、Zn Fe 为 0.45，Zn 元素质量分数略低，Zn Fe 比值较为合理；而养

殖刺参的 Zn Cu 为 21、Zn Fe 为 1.22。因此，刺参在养殖过程中可以适当调整饵料中 Fe、Mn、Cu 和 Zn 的含量，以提高矿物元素的利用率。

Pb、Cd 和 Hg 等属于有害重金属元素，因此《食品中污染物限量标准》(GB 2762-2005) 规定了其限量指标，水产品(鲜品)中 w(Pb)、w(Cd) 和 w(Hg) 的限量指标分别为 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和未检出。由于表 4 中的各元素质量分数是以刺参干品计算，因此需将 w(Pb)、w(Cd) 和 w(Hg) 换算成以刺参鲜品计算后进行比较。当以刺参鲜品计算时，野生和养殖刺参的 w(Pb)、w(Cd) 和 w(Hg) 分别为 $< 0.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、未检出和 $< 0.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.01 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、未检出。因此，野生和养殖的刺参 w(Pb)、w(Cd) 和 w(Hg) 均明显低于食品卫生标准，其中野生刺参的 w(Cd) 要高于养殖刺参，这可能与海域底质环境有关。

3 结论

根据试验数据可以看出，总体上养殖刺参的营养价值要略低于野生刺参，其中胶原蛋白质量分数的差异不显著，粗蛋白质量分数较高而粘多糖和皂苷质量分数略低；必需氨基酸总量的差异较小，但鲜味氨基酸和药效氨基酸总量较低；常量元素 w(K)、w(Na)、w(Ca) 和 w(Mg) 等均低于野生刺参，且野生刺参的微量元素比例要略优于养殖刺参。因此，刺参的养殖技术还有待于进一步的发展，其饵料配制及其生长环境也有待进一步优化，以提高其营养成分的水平。

参考文献:

- [1] 李成林, 宋爱环, 胡炜, 等. 山东省刺参养殖产业现状分析与可持续发展对策 [J]. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 126 - 133.
LI Chenglin, SONG Aihuan, HU Wei, et al. Status analysis and sustainable development strategy of sea cucumber *Apostichopus japonicus* Selenka aquaculture industry in Shandong province [J]. Prog Fish Sci, 2010, 31(4): 126 - 133. (in Chinese)
- [2] 胡晓倩, 王玉明, 任兵兴, 等. 海参主要活性成分对大鼠脂质代谢影响的比较研究 [J]. 食品科学, 2009, 30(23): 393 - 396.
HU Xiaoqian, WANG Yuming, REN Bingxing, et al. Hypolipidemic effect of bioactive components from sea cucumber in rats [J]. Food Sci, 2009, 30(23): 393 - 396. (in Chinese)
- [3] CHEN Shiguo, XUE Changhu, YIN Li ang, et al. Comparison of structures and anticoagulant activities of fucosylated chondroitin sulfates from different sea cucumbers [J]. Carbohydr Polym, 2011, 83(2): 688 - 696.
- [4] KUMAR R, CHATURVEDI A K, SHUKLA P K, et al. Antifungal activity in triterpene glycosides from the sea cucumber *Actinopyga lecanora* [J]. Carbohydr Polym, 2007, 17(15): 4387 - 4391.
- [5] 李冰, 王静凤, 傅佳, 等. 刺参对运动小鼠抗疲劳作用的研究 [J]. 食品科学, 2010, 31(15): 244 - 247.
LI Bing, WANG Jingfeng, FU Jia, et al. Anti-fatigue effect of sea cucumber *Stichopus japonicus* in mice [J]. Food Sci, 2010, 31(15): 244 - 247. (in Chinese)
- [6] 樊绘曾. 海参: 海中人参——关于海参及其成分保健医疗功能的研究与开发 [J]. 中国海洋药物杂志, 2001(4): 37 - 44.
FAN Huizeng. Sea cucumber: sea ginseng; the research and development on medical and health function of sea cucumber and its components [J]. Chin J Mar Drugs, 2001(4): 37 - 44. (in Chinese)
- [7] 王莹, 康万利, 辛士刚, 等. 鲍鱼、海参中微量元素的分析研究 [J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(2): 511 - 514.
WANG Ying, KANG Wanli, XIN Shigang, et al. Analysis study of trace elements in abalone and sea cucumber [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2009, 29(2): 511 - 514. (in Chinese)
- [8] 高锡伦, 陈兆芳, 彭言强, 等. 刺参工厂化养殖生产性试验 [J]. 水产养殖, 2010(12): 7 - 9.
GAO Xilun, CHEN Zhaofang, PENG Yanqiang, et al. The factory farming production test of sea cucumber [J]. J Aquac, 2010(12): 7 - 9. (in Chinese)
- [9] 李丹彤, 常亚青, 吴振海, 等. 獐子岛夏秋季野生仿刺参体壁营养成分的分析 [J]. 水产科学, 2009, 28(7): 365 - 369.
LI Dantong, CHANG Yaqing, WU Zhenhai, et al. Analysis of nutritive composition of body wall in wild sea cucumber *Apostichopus japonicas* Selenka at Zhangzi Island in spring and autumn [J]. Fish Sci, 2009, 28(7): 365 - 369. (in Chinese)
- [10] 刘小芳, 薛长湖, 王玉明, 等. 乳山刺参体壁和内脏营养成分比较分析 [J]. 水产学报, 2011, 35(4): 587 - 593.
LIU Xiaofang, XUE Changhu, WANG Yuming, et al. Comparative analysis of nutritive composition in body wall and internal organs of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) at Rushan [J]. J Fish China, 2011, 35(4): 587 - 593. (in Chinese)
- [11] 刘红英, 薛长湖, 李兆杰, 等. 海带岩藻聚糖硫酸酯测定方法的研究 [J]. 青岛海洋大学学报, 2002, 32(2): 236 - 240.
LIU Hongying, XUE Changhu, LI Zhaojie, et al. Spectrophotometric determination of fucoidan in *Laminaria japonica* with methylene blue [J]. J Ocean Univ Qingdao, 2002, 32(2): 236 - 240. (in Chinese)
- [12] 王泽文, 冷凯良, 翟毓秀, 等. 亚甲基蓝比色法测定海参不同组织酸性黏多糖含量 [J]. 海洋科学, 2011, 35(3): 77 - 82.
WANG Zewen, LENG Kailiang, ZHAI Yuxiu, et al. Spectrophotometric determination of mucopolysaccharide from different parts of sea cucumber with methylene blue [J]. Mar Sci, 2011, 35(3): 77 - 82. (in Chinese)
- [13] 董平, 薛长湖, 盛文静, 等. 海参中总皂苷含量测定方法的研究 [J]. 中国海洋药物, 2008, 27(1): 28 - 32.
DONG Ping, XUE Changhu, SHENG Wenjing, et al. Study on determination of total triterpene glycosides in sea cucumbers [J]. Chin J Mar Drugs, 2008, 27(1): 28 - 32. (in Chinese)
- [14] 关静, 叶萍, 武继民. 胶原海绵的羟脯氨酸含量测定 [J]. 氨基酸和生物资源, 2002, 22(1): 52 - 54.
GUAN Jing, YE Ping, WU Jimin. The determination of hydroxyproline in collagen sponge [J]. Amino Acids Biotic Resour, 2002, 22(1): 52 - 54. (in Chinese)
- [15] 崔凤霞. 海参胶原蛋白生化性质及胶原肽活性研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007: 35 - 36.
CUI Fengxia. Study on the biochemical characterization of collagen and activity of collagen peptide extracted from the body wall of sea cucumber *Stichopus japonicus* [D]. Qingdao: Ocean Univ China, 2007: 35 - 36. (in Chinese)
- [16] TROTTER JA, LYONS-LEVY G, THURMOND F A, et al. Covalent composition of collagen fibrils from the dermis of the sea cucumber, *Cucumaria frondosa*, a tissue with mutable mechanical properties [J]. Comp Biochem Physiol, 1995, 112A(3/4): 463 - 478.
- [17] 唐雪, 徐钢春, 徐跑. 野生与养殖刀鲚肌肉营养成分的比较分析 [J]. 动物营养学报, 2011, 23(3): 514 - 520.
TANG Xue, XU Gangchun, XU Pao. A comparison of muscle nutrient composition between wild and cultured *Coilia nasus* [J]. Chin J Animal Nutrition, 2011, 23(3): 514 - 520. (in Chinese)
- [18] 孙雷, 周德庆, 盛晓风. 南极磷虾营养评价与安全性研究 [J]. 海洋水产研究, 2008, 29(2): 57 - 64.
SUN Lei, ZHOU Deqing, SHENG Xiaofeng. Nutrition and safety evaluation of Antarctic krill [J]. Mar Fish Res, 2008, 29(2): 57 - 64. (in Chinese)
- [19] 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 [J]. 大连水产学院学报, 2006, 21(3): 278 - 282.
LI Dantong, CHANG Yaqing, CHEN Wei, et al. Analysis of nu-

- tritive composition of body wall in wild *Apostichopus japonicas* Selenka at Zhangzi Island [J]. J Dalian Fish Univ, 2006, 21 (3) : 278 - 282. (in Chinese)
- [20] 于东祥, 孙慧玲, 陈四清, 等. 海参健康养殖技术 [M]. 北京: 海洋出版社, 2010: 156.
YU Dongxiang, SUN Huiling, CHEN Siqing, et al. The health breeding technology of sea cucumber [M]. Beijing: Marine Press, 2010: 156. (in Chinese)
- [21] 李晓林, 王静凤, 田守生, 等. 海参和鱼翅的营养成分以及对免疫功能调节作用的比较 [J]. 中国海洋大学学报, 2011, 41(1 / 2) : 65 - 70.
LI Xiaolin, WANG Jingfeng, TIAN Shousheng, et al. Comparative study on the components and immune function of sea cucumber and shark fin [J]. Periodic Ocean Univ China, 2011, 41(1 / 2) : 65 - 70. (in Chinese)
- [22] MAI K, MERCER J P, DONLON J. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino: II. Amino acid composition of abalone and six species of macroalgae with an assessment of their nutritional value [J]. Aquaculture, 1994, 128 (1 / 2) : 115 - 130.
- [23] 朱国萍, 滕脉坤, 王玉珍. 脯氨酸对蛋白质热稳定性的贡献 [J]. 生物工程进展, 2000, 20 (4) : 48 - 51.
ZHU Guoping, TENG Maikun, WANG Yuzhen. Contribution of prolines to protein thermostability [J]. Prog Biotechnol, 2000, 20 (4) : 48 - 51. (in Chinese)
- [24] 柳琪, 藤箴, 张炳春. 中华鳖氨基酸和微量元素的分析与研究 [J]. 氨基酸和生物资源, 1995, 17 (1) : 18 - 21.
LIU Qi, TENG Zhen, ZHANG Bingchun. Analysis of amino acids and microelements of *T. sinensis* [J]. Amino Acids Biotic Resour, 1995, 17 (1) : 18 - 21. (in Chinese)