

不同加热温度下刺参肌肉组织与胶原纤维结构的变化

高昕*, 刘莲凤, 刘倩, 黄金发, 付晓婷, 许加超

(中国海洋大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 为研究鲜活和不同加热温度下刺参体壁组织构造及其胶原纤维结构的变化, 采用 Van Gieson 染色法观察组织构造、采用细胞分裂扫描电镜法 (cell-maceration/SEM) 观察胶原纤维结构, 同时利用示差扫描量热仪 (DSC) 测定刺参肌肉蛋白质的热收缩温度。结果发现, 在不同加热温度条件下, 刺参体壁组织构造及其胶原纤维结构均发生显著变化。随着加热温度的升高, 刺参肌肉组织中纤维逐渐聚集交联, 形成多孔网状结构; 蛋白质发生热变性、胶原纤维结构收缩, 导致纤维排列紧密, 纤维间孔隙度呈减小趋势。与刺参整体组织构造的变化相比, 胶原纤维结构的变化尤其明显。鲜活刺参体壁肌肉蛋白质的热收缩温度为 68.92 °C, 加热过程中蛋白质的热变性是引起其构造变化的主要原因。

关键词: 刺参; 组织构造; 胶原纤维; 细胞分裂扫描电镜法

中图分类号: Q 174; S 917.4

文献标志码: A

海参属于棘皮动物门 (Echinodermata), 海参纲 (Holothuroidea), 遁手目 (Aspidochirota), 全世界有 1 000 多种, 我国海域约有 100 多种, 可供食用的有 20 余种^[1], 刺参 (*Stichopus japonicus*) 是海参中最重要的品种, 其体内含有丰富的生理活性物质, 具有较高的食疗和药用价值, 尤其在提高机体免疫力方面的功效已得到广泛认可。目前刺参已成为我国重要的人工养殖经济品种之一, 也是经济效益非常显著的水产品之一^[2]。

鲜活刺参具有水产品易腐败, 易变质共性, 自身又具有自溶现象, 长期保存极其不易。除少量生食外, 大部分鲜活刺参被制成干制品进行长期贮存。干制品虽然解决了流通、保藏和销售的问题, 但消费者在购买后需重新对其进行复水涨发才能食用。在涨发过程中, 发制方法和条件的不同, 会直接影响刺参的营养成分、品质和口感^[3-5]。虽然近几年即食、高压等多种刺参加工新品种陆续上市^[6], 但因加工企业生产规模、加工工艺及管理条件不同, 所生产的产品质量也参差不齐。所以探明加热过程中刺参体壁及其主要组成成分胶原纤维结构的变化,

确定其影响因子成为当前加工生产、消费急需解决的问题。

本研究拟从结构变化角度入手, 以刺参为研究对象, 通过 Van Gieson 组织染色法、细胞分裂扫描电镜法 (Cell-maceration/SEM) 观察鲜活和不同加热温度下刺参体壁组织构造及其胶原纤维结构的变化, 同时利用示差扫描量热仪 (DSC) 测定刺参肌肉蛋白质的热变性温度, 并对其变化机理进行比较分析, 为该类产品的工业化生产提供理论基础和科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与处理方法

刺参购于山东省青岛市水产品批发市场, 平均体质量为 (101.91 ± 18.42) g, 体长平均为 (11.40 ± 3.61) cm。去除内脏, 蒸馏水清洗 2 遍后吸干体表水分, 分别于 50、70、100 °C 温度下加热 15 min, 室温自然冷却, 作为样品备用。

1.2 基本成分的测定

采用 GB/T 5009-2003 中常压干燥法测定水分含量, 凯氏定氮法测定粗蛋白含量, 干法灰化

收稿日期: 2012-01-10 修回日期: 2012-06-09

资助项目: 国家自然科学基金项目 (31071631); 青岛市南科技发展计划 (2011-5-028-QT)

通讯作者: 高昕, E-mail: xingao@ouc.edu.cn

法测定灰分。脂肪含量采用氯仿—甲醇法^[7]测定。

1.3 胶原蛋白的测定及提取

胶原蛋白的含量测定 羟脯氨酸标准曲线的绘制:吸取羟脯氨酸储存液 10 mL 到 100 mL 容量瓶中,用蒸馏水定容到 100 mL(临用前配置),浓度为 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。吸取羟脯氨酸标准工作液 1.0、3.0、6.0、9.0、12.0、15.0 mL,分别用蒸馏水定容至 100 mL,其浓度分别为 1.0、3.0、6.0、9.0、12.0、15.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。以蒸馏水为空白,分别吸取上述标准液 1 mL,加入 1 mL 柠檬酸缓冲液和 1 mL 氯胺 T 溶液在室温(25 $^{\circ}\text{C}$)氧化 10 min,加入高氯酸 1 mL 放置 10 min,加入对二甲氨基苯甲醛 1 mL,65 $^{\circ}\text{C}$ 水浴显色 20 min,冷却后在 560 nm 测吸光度 A。

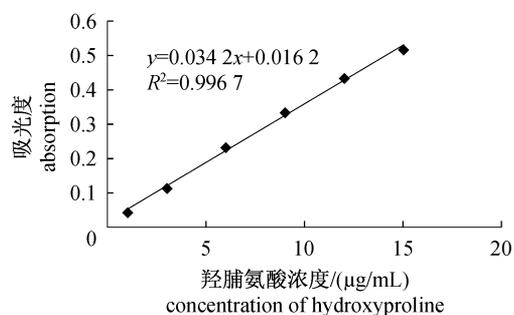


图1 羟脯氨酸含量标准曲线

Fig.1 Standard curve of hydroxyproline content

胶原蛋白含量的测定:取刺参样品约 2 g 于安瓿瓶中,加入 2 mL 6 mol/L 盐酸溶液,酒精喷灯封口后于 130 $^{\circ}\text{C}$ 下水解 4 h,移至 10 mL 试管中,加 2 mol/L NaOH 溶液中和至 pH = 6 ~ 8,定容至 100 mL,取 1 mL 按照上述方法操作^[8]。

胶原蛋白的提取 参照 Saito 等^[9]方法,从鲜活刺参体壁中提取胃蛋白酶促溶性胶原蛋白(PSC),冷冻干燥。

1.4 示差扫描量热仪(DSC)测定

称取样品 15 mg,铝坩埚直径 5 mm, DSC (200PC, Netzsch Gerätebau GmbH, Germany)测定样品的热收缩温度 T_s ^[10]。扫描温度为 0 ~ 100 $^{\circ}\text{C}$,升温速率 1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$,氛围气体为高纯氮。

1.5 组织结构的观察

光学显微镜样品的制备与观察 将样品切成 0.3 cm \times 0.3 cm \times 0.5 cm 的小块,包埋于 O. C. T. 液中, -20 $^{\circ}\text{C}$ 冻结 20 min 后采用冷冻切

片机(CM1900, Leica Co. Ltd, U. S. A.)切片, Van Gieson 染色法^[11]染色,光学显微镜(Olympus BX51)放大 200 倍观察。

染色操作流程:样品 \rightarrow 包埋(O. C. T 包埋液, -20 $^{\circ}\text{C}$) \rightarrow 复水(90、70、50、30% 梯度乙醇) \rightarrow 铁苏木精液(10 min) \rightarrow 水洗(30 s) \rightarrow Van Gieson 染色液(8 min) \rightarrow 脱水(70、95、100% 乙醇) \rightarrow 封入 \rightarrow 观察。

扫描电镜(SEM)样品的制备与观察 将样品切成 0.3 cm \times 0.3 cm \times 0.3 cm 小块样品, 3% 戊二醛溶液固定,磷酸缓冲液漂洗。脱水(30、50、70、80、100% 梯度酒精),乙酸异戊酯置换,二氧化碳临界点干燥,离子喷金镀膜,扫描电镜(JSM-840, JEOL 公司, Japan)观察^[12]。

细胞分裂扫描电镜(cell-maceration/SEM)样品的制备与观察 将样品切成 0.3 cm \times 0.3 cm \times 0.3 cm 小块样品, NaOH 溶液浸泡,单宁酸染色,戊二醛溶液固定,磷酸缓冲液漂洗。梯度酒精脱水,乙酸异戊酯置换,二氧化碳临界点干燥,离子喷金镀膜,扫描电镜观察^[13-14]。

1.6 数据处理

实验测定数据使用 SPSS 17.0 统计软件进行标准偏差分析,分析结果以平均值 \pm 标准差(mean \pm SD)表示,在单因素方差分析的基础上,分析组间差异性($P < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 鲜活刺参中的胶原蛋白

鲜活刺参中胶原蛋白含量为 3.16%,而粗蛋白只有 4.22%,胶原蛋白约占整个粗蛋白的 74.88%,表明胶原蛋白是刺参体壁中的主要蛋白质(表 1)。研究发现刺参胶原蛋白类似于脊椎动物的 I 型胶原,其分子组成为 $(\alpha_1)_3$ 结构,螺旋区无二硫键^[15]。胶原蛋白在刺参体壁组织中的存在状态会对其组织结构产生较大的影响。

2.2 重量和基本成分的变化

鲜活和不同加热温度下刺参重量和基本成分测定结果如表 1 所示。相对于鲜活刺参,加热样品的重量减少,这主要是因为刺参遇热后体积收缩,水分流失增加,刺参重量显著减少。随着加热温度的升高,刺参基本成分含量发生显著变化:除水分含量下降外,其他成分含量均呈现上升趋势,蛋白质和胶原蛋白含量的增加尤为显著。加热过

程中刺参水分损失较大,同时会造成其他成分和基本成分含量的百分比计算其实际质量变化百分含量上升。针对这一现象,根据表 1 中重量和量,计算结果如表 2 所示。

表 1 加热刺参重量和基本成分的变化

Tab.1 The weight and elementary composition content of heated *S. japonicus*

	重量 weight	水分 moisture	灰分 ash	脂肪 fat	蛋白质 crude protein	胶原蛋白 collagen
鲜活刺参 raw sample	100 ^a	92.87 ± 0.23 ^a	2.77 ± 0.27 ^a	0.63 ± 0.04 ^a	4.22 ± 0.29 ^c	3.16 ± 0.11 ^b
加热样品 heated samples						
50 °C	95.12 ± 1.88 ^a	90.01 ± 1.31 ^b	2.84 ± 0.65 ^a	0.42 ± 0.04 ^a	3.93 ± 0.12 ^c	3.17 ± 0.61 ^b
70 °C	60.76 ± 3.50 ^b	84.59 ± 1.06 ^c	3.77 ± 0.65 ^a	0.35 ± 0.11 ^a	5.99 ± 0.17 ^b	4.82 ± 1.12 ^b
100 °C	35.28 ± 7.72 ^c	79.83 ± 1.40 ^d	4.77 ± 1.27 ^a	0.36 ± 0.11 ^a	9.46 ± 0.56 ^a	7.76 ± 0.04 ^a

注:1. 鲜活刺参重量以 100 计,加热样品的重量为占鲜活样品重量的百分比;2. 表中同一列数据上不同上标字母代表有显著差异($P < 0.05$)。

Notes:1. The weight of fresh raw sample counts as 100, while heated samples counts as its percentage;2. The different superscripts of the same column values are significantly different ($P < 0.05$).

表 2 加热刺参基本成分实际含量粗略计算结果

Tab.2 Actual elementary composition content of heated *S. japonicus*

	水分 moisture	灰分 ash	脂肪 fat	蛋白质 crude protein	胶原蛋白 collagen
鲜活刺参 raw sample	92.87	2.77	0.63	4.22	3.16
加热样品 heated samples					
50 °C	85.61	2.70	0.40	3.74	3.02
70 °C	51.40	2.29	0.21	3.64	2.93
100 °C	28.16	1.68	0.13	3.34	2.74

注:鲜活刺参重量以 100 g 计,由表 1 中的重量和基本成分含量的百分比计算得加热样品基本成分实际含量。

Notes:The weight of fresh raw sample counts as 100, the actual weight of heated samples based on its weight and percentage.

从表 2 中可以看出,相对鲜活样品,加热样品基本成分的实际含量均呈明显下降趋势。随着温度的升高,刺参水分的实际含量呈现快速减少的趋势,这是因为体壁蛋白质遇热变性,持水性迅速下降造成的,这和表 1 中加热样品重量下降速率相一致。随着加热温度的升高,灰分、脂肪、蛋白质和胶原蛋白实际质量也呈减少趋势,这表明在加热过程中刺参营养成分会有一定程度的损失。

2.3 DSC 测试结果

蛋白质的变性一般表现为分子结构从有序态变为无序态、从折叠态变成展开态,从天然状态变成变性状态,在这些变化过程中伴随着能量的变化^[17]。

鲜活刺参体壁肌肉的 DSC 扫描曲线在 68.92 °C 处有热吸收峰,峰形较缓和,峰较宽,这是因为除胶原蛋白外,刺参中约含有 25% 的其他蛋白质成分,变性转变的协同性较低^[18],其热收缩温度(T_s)是肌肉中所有蛋白质的 T_s 相互叠加的结果(图

2)。而胶原蛋白(PSC)DSC 扫描曲线的峰形虽变化急剧,峰较窄,但吸收峰温度却比鲜活刺参样品低(60.52 °C),这可能是因为提取过程中胃蛋白酶将胶原蛋白的端肽水解,使胶原蛋白高级结构发生细微的改变,影响了整体胶原蛋白的稳定性,导致其热收缩温度与鲜活刺参样品有了较大的偏移。

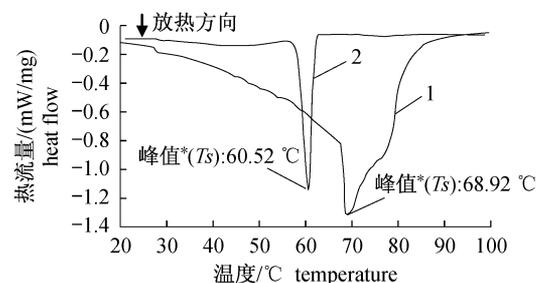


图 2 鲜活刺参及其胶原蛋白 DSC 扫描曲线

1. 鲜活刺参,2. 胃蛋白酶促溶性胶原蛋白(PSC)。

Fig.2 DSC scanning curves of raw *S. japonicus* and collagen from raw sample

1. raw sample,2. pepsin-solubilized collagen(PSC)。

2.4 组织构造的变化

为了区别胶原纤维和肌肉纤维,本实验采用 Van Gieson 染色法,即胶原纤维染成红色,肌肉纤维染成黄色,细胞核染成黑褐色。图3为鲜活和不同加热温度条件下刺参肌肉组织的显微镜观察结果。鲜活刺参的肌肉组织基本被染成红色,说明刺参体壁肌肉中含有丰富的胶原纤维,

胶原纤维束较粗,呈平行方式排列,束间空隙较大,整体结构较紧密。与鲜活刺参相比,加热刺参的肌肉组织被染成的红色逐渐变淡。随着加热温度的升高,肌肉纤维先变细后变粗,纤维间空隙先变小后变大,纤维逐渐聚集交联,形成多孔网状结构。

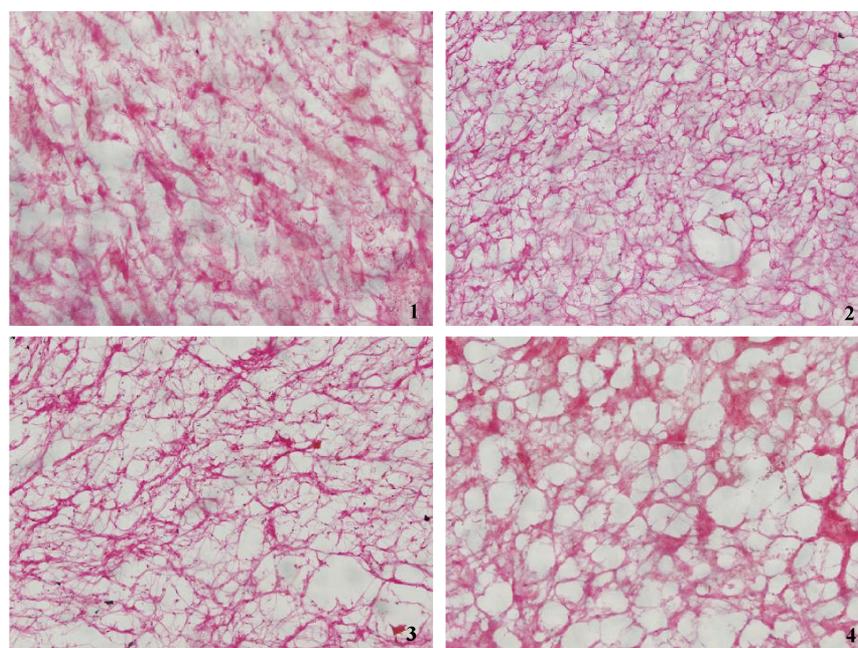


图3 刺参组织构造的光学显微镜照片

1. 鲜活样品;2. 50 °C加热样品;3. 70 °C加热样品;4. 100 °C加热样品。

Fig.3 Light microscopy of *S. japonicus* stained with Van Gieson staining

1. raw samples;2. 50 °C-heated sample;3. 70 °C-heated sample;4. 100 °C-heated sample.

鲜活刺参体壁肌肉中含有丰富的胶原蛋白,加热时其天然构象逐渐被破坏,纤维会发生收缩、聚集等现象。在这一过程中,胶原蛋白有热收缩(T_s)和热变性(T_d)两个温度点(T_d 表示胶原螺旋被破坏的温度)。对于鱼贝类,一般来说,这两个温度之间有20~25 °C的温度差。DSC测试结果(图2)表明刺参中PSC的 T_s 为60.52 °C,所以对于50 °C加热样品,其组织中部分胶原蛋白的螺旋结构被破坏,肌肉纤维变疏松,纤维间空隙减小。加热温度升至70 °C时,此温度下,肌肉中的蛋白质发生热收缩致使纤维变细,同时蛋白质持水性下降,刺参体内水分大幅度流失,纤维间空隙增大。继续升高加热温度使得蛋白质的热变性进一步完全,纤维聚集、交联形成多孔网状结构。部分胶原蛋白变性为水溶性明胶,在蒸煮过程中随水分一起流

失,导致纤维间空隙增大。

2.5 SEM 观察结果

图4为鲜活和加热刺参体壁肌肉组织的SEM观察结果。从图4-a可以观察到粗细不等的纤维,纤维呈束状、有分支,纤维束间空隙较大。粗纤维束(3.5~7.0 μm)和细纤维束(1 μm)都是由若干条细的纤维丝聚集而成,整个束状纤维较疏松。粗纤维束呈现纵向的方向性。在纤维束之间,可见少量的弹性纤维和网状纤维,使刺参体壁肌肉具有韧性的同时又具有一定的弹性。

与鲜活刺参相比,加热刺参的SEM有显著差异,束状纤维发生热收缩、卷曲、凝聚,纤维间孔隙度减小,纤维排列紧密。随着加热温度的升高,蛋白质变性程度逐渐增强,纤维间孔隙度呈现减小的趋势。70 °C加热样品中可清晰的观察到蛋白质变性形成的纤维凝聚物,这和DSC测试结果

(图 2)相一致;继续升高加热温度,肌肉组织中的纤维变性成明胶状物质,部分纤维聚集形成片状结构,整体结构致密。

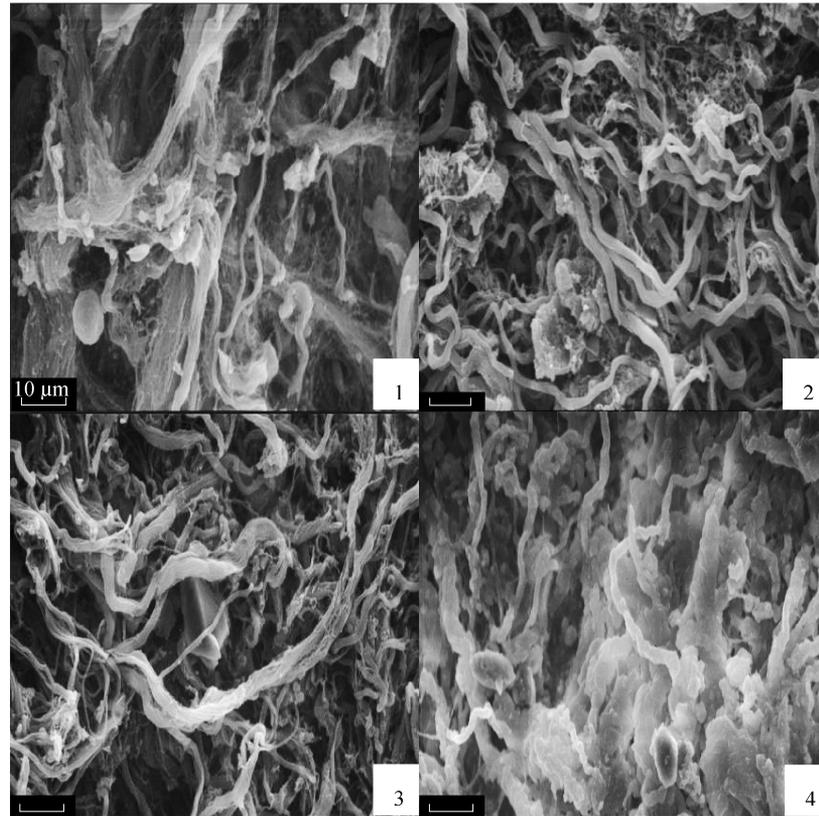


图 4 鲜活和加热刺参的扫描电镜观察结果

1. 鲜活样品;2. 50 °C 加热样品;3. 70 °C 加热样品;4. 100 °C 加热样品。

Fig. 4 SEM views of raw and heated *S. japonicus*

1. raw sample;2. 50 °C-heated sample;3. 70 °C-heated sample;4. 100 °C-heated sample.

2.6 细胞分裂法扫描电镜观察结果

刺参样品经过碱液浸泡后,脱除了肌肉组织中的蛋白质、多糖等细胞基质成分,只保留了结缔组织中的纤维成分,并维持其原有的位置、形态和结构特性。图 5 为两种扫描电镜观察结果比较。鲜活刺参体壁中的结缔组织为胶原纤维,纤维无横纹、无分支。胶原纤维大致分为粗丝和细丝两种,纵、横及斜向的粗丝相互缠绕,形成立体网状结构,纤维间空隙大小不等,形状不规则,少量的细丝填充其间。所以胶原纤维在刺参体壁的存在状态是影响其组织构造变化的最主要因素。

相比鲜活刺参,加热刺参 cell-maceration/SEM 有显著的差异(图 6)。随着加热温度的升

高,刺参的胶原纤维变性程度逐渐增强、纤维收缩聚集,导致纤维间孔隙度逐渐变小,鲜活刺参的网状结构被破坏。与鲜活刺参相比,在 50 °C 时加热样品的胶原纤维间孔隙度有轻微减小,这是由于 50 °C 破坏了胶原蛋白的螺旋结构,三螺旋结构部分打开造成的。鲜活刺参在 70 °C 加热时,胶原纤维蛋白的共价键被破坏,胶原纤维变性收缩,纤维间孔隙度急剧减小。100 °C 加热样品蛋白质变性进一步完全,胶原纤维变性形成明胶状物质,整体结构紧密。胶原蛋白剧烈变性过程中,多肽链的部分片段脱落,导致部分纤维断裂成较小的片段。与普通扫描电镜结果(图 4)相比,图 6 中刺参的胶原纤维结构的形态及结构的变化更加清晰。

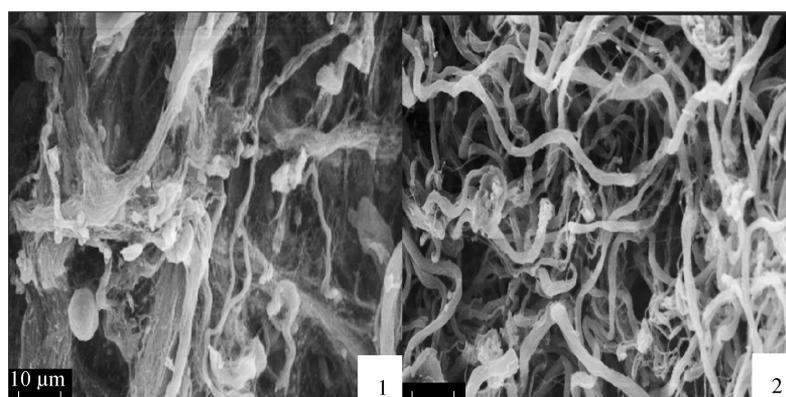


图5 鲜活刺参体壁组织的不同扫描电镜观察结果

1. 普通扫描电镜;2. 细胞分裂扫描电镜。

Fig. 5 Different SEM views of raw *S. Japonicus*

1. SEM;2. Cell-maceration/SEM.

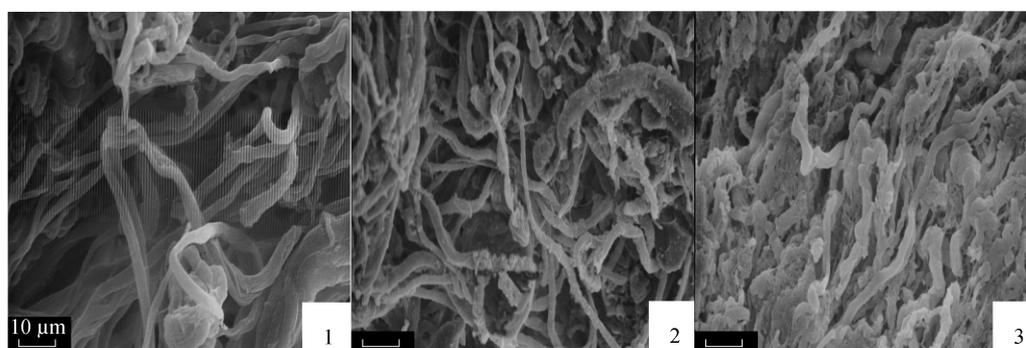


图6 加热刺参的细胞分裂扫描电镜观察结果

1. 50 °C加热样品;2. 70 °C加热样品;3. 100 °C加热样品。

Fig. 6 Cell-maceration/SEM views of heated *S. japonicus*

1. 50 °C-heated sample;2. 70 °C-heated sample;3. 100 °C-heated sample.

3 结论

综上所述,在不同加热温度条件下,刺参体壁组织构造及其胶原纤维结构均发生明显变化。随着加热温度的升高,刺参肌肉组织中的纤维逐渐聚集交联,形成多孔网状结构;蛋白质发生热变性、胶原纤维结构收缩,导致纤维排列紧密,纤维间孔隙度呈减小趋势。与刺参整体组织构造的变化相比,胶原纤维结构的变化尤为显著。鲜活刺参体壁肌肉的热收缩温度为 68.92 °C,加热过程中蛋白质的热变性是引起其结构变化的主要原因。

与普通扫描电镜相比,细胞分裂法扫描电镜(cell-maceration/SEM)采用碱液浸泡和传导性染色处理,有效的去除了刺参肌肉组织中除胶原纤维以外的细胞基质,胶原纤维的形态及结构特征

更加清晰。鲜活刺参中胶原纤维相互缠绕形成网状结构,加热后刺参胶原蛋白变性,胶原纤维收缩、聚集,纤维间孔隙度减小。所以相比普通扫描电镜,cell-maceration/SEM可以更清晰准确的观察到刺参肌肉中胶原纤维的形态及结构。

参考文献:

- [1] 王本祥. 现代中药药理学[M]. 天津:天津科学技术出版社,1997:1274-1280.
- [2] 苏秀榕,徐静,向怡卉,等. 水发刺参的冷冻干燥技术研究[J]. 食品科学,2008,29(10):277-280.
- [3] 朱蓓薇,韩冰. 海参自溶酶的分离纯化和部分性质研究[J]. 食品与发酵工业,2004,30(4):132-134,137.
- [4] 刘焯,曹丽芬,李共国. 水的硬度对海参涨发率的影响[J]. 食品工业科技,2009,30(2):232-233.

- [5] 梁锡雄. 海参涨发方法的探求 [J]. 中国食品, 2004 (16): 28 - 29.
- [6] 刘昌衡, 袁文鹏, 刘健敏, 等. 即食鲜海参加工技术的研究 [J]. 中国食品工业, 2008, 2 (2): 56 - 58.
- [7] 徐玮, 汪东风. 食品化学实验与习题 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 22 - 23.
- [8] Woessner J F. The determination of hydroxyproline in tissue and protein samples containing small proportions of amino acid [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1961, 93 (2): 440 - 447.
- [9] Saito M, Kunisaki N. Collagen as the major edible component of sea cucumber (*Stichopus japonicus*) [J]. Food Chemistry and Toxicology, 2002, 67 (4): 1319 - 1322.
- [10] 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.
- [11] Kageyama K, Watanabe Y. Manual of histologic techniques [M]. Tokyo: Igaku Syoin Ltd. , 1988.
- [12] 孟飞, 张朝辉. 加热条件下沙蚕组织构造和流变学特性的变化 [J]. 水产学报, 2010, 34 (10): 1605 - 1609.
- [13] Ohtani O. Three-dimensional organization of the connective tissue fibers of human pancreas; a scanning electron microscopic study of NaOH treated-tissues [J]. Archivum Histologicum Japonicum, 1987, 50 (5): 557 - 566.
- [14] 高昕, 张朝辉, 李绍勇, 等. 一种鲜活状态下海参胶原纤维的电镜观察方法 [P]. 中国专利: 101545876, 2009 - 09 - 30.
- [15] Cui F X, Xue C H. Characterization and subunit composition of collagen from the body wall of sea cucumber *Stichopus japonicus* [J]. Food Chemistry, 2007, 100 (3): 1120 - 1125.
- [16] 陈燕, 高昕, 李昭勇. 不同加热条件下盐渍刺参组织构造和流变学特性的变化 [J]. 食品工业科技, 2009, 30 (2): 132 - 135.
- [17] 钟朝辉, 李春美, 顾海峰. 草鱼鱼鳞酶溶性胶原蛋白的提取及基本特性 [J]. 水产科学, 2007, 26 (2): 91 - 94.
- [18] 侯付景, 李妍妍, 金春华. 白肛海地瓜和刺参体壁的比较分析 [J]. 食品科学, 2010, 31 (11): 38 - 41.
- [19] 董秀萍, 姜丹, 江慧敏. 海参体壁组织电镜样品的制备方法 [J]. 食品与发酵工业, 2009, 35 (8): 45 - 48.
- [20] 陈小迅, 张书永, 田珑, 等. 大鼠心肌间质胶原的扫描电镜观察 [J]. 解剖学报, 2002, 33 (2): 195 - 198.
- [21] Gao X, Ogawa H. Rheological properties and structural changes in raw and cooked abalone meat [J]. Fisheries Science, 2001, 67 (2): 314 - 320.

Changes of muscle tissue and collagen fibers structure of sea cucumber (*Stichopus japonicus*) during heated treatment

GAO Xin*, LIU Lian-feng, LIU Qian, HUANG Jin-fa, FU Xiao-ting, XU Jia-chao
(College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: Sea cucumber *Stichopus japonicus* has become an important cultivated aquatic species in China in recent years. Previous studies mainly focused on the food sources, nutrition values, biological activity and structure of acid polysaccharide. However, these studies do not have a tissue structural consideration on sea cucumber meat. In this paper, the changes of muscle tissue and collagen fibers structure from *S. japonicus* during heated treatment were studied, and the variation mechanism was analyzed. The structures of muscle tissue and collagen fibers were observed by a light microscope and a scanning microscope, meanwhile DSC tested the denaturation temperature of sea cucumber. Following were the results. The changes of tissue structure and collagen fibers after heating treatment were evident. Along with the increasing of heating

temperature, the muscle fibers gradually aggregated and cross-linked, forming porous mesh structure. The collagen fiber structure shrunk, accompanied with collagen protein denaturation leading to fibers closely spaced. The changes of collagen fibers structure were more prominent compared with the overall tissue structure. DSC scanning curve of raw *S. japonicus* meat showed the denaturation temperature was 68.92 °C. Thermal denaturation of muscle protein during heating treatment resulted in the changes of tissue structure and collagen fibers.

Key words: *Stichopus japonicus*; tissue structure; collagen fiber; cell-maceration/SEM

Corresponding author: GAO Xin. E-mail: xingao@ouc.edu.cn

欢迎订阅 2013 年《水产学报》

《水产学报》是由中国科协主管、中国水产学会主办、科学出版社出版的以反映我国水产科学技术成果为主的学术类核心期刊(中国科学引文数据库 CSCD 核心库和中国科学技术信息研究所核心库),中国科协“精品科技期刊示范项目”资助期刊,中信所“中国百种杰出学术期刊”。创刊于 1964 年,是中国水产科学研究领域历史最为悠久的刊物之一,是促进中国水产科学研究发展、加强国际间学术交流、展示中国水产科学领域最新科研成果与研究进展的重要平台。本刊主要刊载水产基础研究、水产养殖和增殖、渔业水域环境保护、渔业资源与管理、水产品保鲜加工与综合利用、渔业机械仪器等方面的论文和综述。

本刊为月刊,每期 160 页,每期订价 49.00 元,全年订价 588.00 元。国内统一刊号: CN 31-1283/S,国际标准刊号: ISSN 1000-0615,国内邮发代号: 4-297,国外发行代号: M-387。读者可在当地邮局办理订阅,破季、漏订或补订均可直接与编辑部联系。个人订户可享受 6 折优惠。

编辑部地址:上海市临港新城沪城环路 999 号 201 信箱(邮编: 201306)

联系人: 张美琼

电话: 021-61900228, 传真: 021-61900227

E-mail: mqzhang@shou.edu.cn; jfc@shou.edu.cn

Website: www.scxuebao.cn