

加热条件下沙蜆组织构造和流变学特性的变化

孟飞, 张朝辉*, 赵雪, 陈伯虎, 高昕, 李八方

(中国海洋大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 研究鲜活和不同加热时间条件下沙蜆组织构造及流变学特性的变化。组织构造变化采用 Van Gieson 染色法观察和扫描电镜观察,流变学特性参数通过应力松弛和破断实验进行测定。结果表明,沙蜆样品在加热过程中其重量和体积均呈现显著减小趋势;流变学特征参数弹性模量 E_0 和破断强度逐渐减少,而松弛时间 τ_1 、粘性模量 η 却呈现明显增加趋势,而且流变学特征参数与组织结构变化之间具有较好的相关性。这些变化主要是由于加热过程中沙蜆样品的蛋白质发生热变性所引起。与鲜活样品相比,加热样品具有弹性较大、粘性较大和硬度小的特点。

关键词: 沙蜆; 加热; 组织构造; 流变学特性

中图分类号: TS 201.7; S 985.9

文献标识码: A

沙海蜆 (*Stomolophus meleagris*) 属刺胞动物门,钵水母纲,根口水母目,口冠水母科,口冠水母属。沙海蜆外伞表面密布粒状突起,中央比较靠近伞缘的突起大而密,俗称沙蜆^[1-2]。沙蜆广泛分布于西北太平洋沿岸海域,包括我国的黄渤海、东海以及朝鲜和日本的沿海^[3-4]。沙蜆可供鲜食,或加工为半盐干制品,伞部为蜆皮,口腕部为蜆头,是深受欢迎的佳肴,其营养成分丰富,含有丰富的蛋白质、脂肪、碳水化合物、维生素、烟酸、磷、碘、铁等化学物质,具有很好的营养价值和药用价值^[5]。近年来海洋富营养化严重,沙蜆产量巨大,甚至影响到了船舶海洋作业。由于沙蜆具有水产原料的易腐败变质等共性,常温下放置常发生自溶现象,长期保存极其不易。目前沙蜆除极其少量的鲜食外,主要被加工成蜆皮及蜆头等腌渍产品,其加工方式不仅单一,而且在加工过程中普遍采用“三矾二盐”腌制工艺,成品中含有大量对人体危害极大的铝等金属元素,安全性成为制约其产品质量和行业发展的瓶颈。因此针对沙蜆自身质构特点,物理特性及其在各种加工条件下的变化等进行深入研究,探讨新型安全的沙蜆

制品加工模式成为当前急需解决的问题。

以沙蜆为研究对象,从食品流变学角度出发,研究不同加热时间条件下沙蜆组织构造及其流变学特征参数(弹性模量 E_1 、粘性模量 η_1 、应力松弛时间 τ_1 和破断强度)的变化,为其深加工技术的研究提供理论基础和实验依据。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

鲜活沙蜆购于青岛沙子口水产品市场,鲜活沙蜆捕获后,加入冰块运送到实验室,取其伞部肌肉将其分割为 14 cm × 7 cm 的块状,作为实验样品备用。

1.2 实验方法

水分含量的测定 采用恒温干燥法测定水分含量^[6]。

加热处理 切取一定量的沙蜆样品,蒸馏水中 70 °C 加热至不同的时间。

体积的测定 取不同加热处理条件下的样品,放入量筒中,向量筒中加一定量的水,通过测定所加的水与样品的体积,算出样品的体积。

收稿日期:2010-06-08 修回日期:2010-08-11

资助项目:国家自然科学基金项目(30771674,31071631);新世纪人才计划(MCET-07-0779)

通讯作者:张朝辉,E-mail:zhangzh@ouc.edu.cn

光学显微镜观察 将待测样品切成 $5\text{ mm} \times 5\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 的小块, Tissue-Tek 液包埋, $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 冻藏 20 min 以上, 用冷冻切片机 (Model CM 1900; Leica Co. Ltd; USA) 切成 $10\text{ }\mu\text{m}$ 厚的薄片, 贴于载玻片上, Van Gieson 染色法染色, 用光学显微镜 (Olympus BX51) 200 倍进行观察^[7-8]。

扫描电子显微镜 (SEM) 观察 将待测样品放入 2.5% 的戊二醛溶液 (0.1 mol/L 磷酸缓冲剂) 中固定 2 h 后, 用 (50% \rightarrow 70% \rightarrow 90% \rightarrow 100%) 的乙醇梯度脱水, 二氧化碳临界点干燥, 离子溅射喷金, 扫描电镜 (JSM-84, JEOL 公司, 日本) 观察^[9-10]。

应力松弛实验 使用单轴向压缩和拉伸型流变仪 (型号 TMS—PRO, 美国 Food Technology Corporation), 将待测样品切成 $4\text{ cm} \times 3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ 的小块, 采用直径为 4 mm 的圆柱型探头, 压缩速度 1 mm/s, 样品变形量为 20% 进行测定。每个样品重复测定 6 次。应力松弛曲线采用逐次渐近法解析^[11-12]。

近似方程表示如下:

$$P(t) = e_0(\sum E_i e^{-t/\tau_i}) \quad (1)$$

$$\tau_i = \eta_i / E_i \quad (2)$$

式中, $P(t)$ 表示应力; e 表示变性质量; t 表示时间; E_i 表示粘弹性体松弛机构中的第 i 个弹性模量 ($E_0 = E_1 + E_2 + \dots + E_n$, 瞬间弹性模量), τ_i 表示粘弹性体松弛机构中的第 i 个应力松弛时间, η_i 表示粘弹性体松弛机构中第 i 个样品的粘性模

量。用 $\ln P(t)$ 对 t 作曲线, 对这条曲线作切线, 可以得出最大的应力松弛时间 τ_1 和弹性模量 E_1 。 η_1 是通过 τ_1 和 E_1 计算出来的, 依次类推。计算出 E_1 和 τ_1 后, 用 $\ln[p(t) - e_0 E_1 e^{-t/\tau_1}]$ 对 t 作第 2 条曲线, 然后用同样的方法求出相应 E_2 、 τ_2 和 η_2 。本文中应力松弛曲线进行到二次解析为止^[13-15]。

破断实验 破断实验所用的仪器与应力松弛实验的相同, 采用直径为 3 mm 的圆柱形探头, 压缩速度为 1 mm/s, 每个样品重复测定 6 次。

2 结果与讨论

2.1 样品在加热过程中水分含量、重量和体积的变化

鲜活和不同加热时间下样品水分含量、重量和体积变化情况如表 1 所示。随着加热时间的增长, 样品的重量和体积呈现显著减小的趋势, 加热至 45 min 时沙蜚样品的重量体积达到最小, 约为鲜活样品的 40%, 这说明沙蜚样品在加热过程中蛋白质发生热变性的同时, 组织构造受到破坏, 对水分的持有能力下降, 从而导致重量和体积的严重下降。加热至 60 min 时, 样品的重量体积有增加的趋势, 这可能与加热的方式有关。在煮制的过程中, 样品与周围环境进行了物质交换, 样品中的可溶性物质随着水分的流失而进入到周围介质 (水分) 中, 随着加热时间的延长, 胶原纤维亲水基暴露增多, 吸水性增强, 沙蜚样品又从周围介质中吸收部分水分, 从而导致其重量和体积的增大^[16]。

表 1 不同加热时间条件下样品水分含量、重量和体积的变化

Tab. 1 Changes of water content, weight and volume of samples under different heating duration

项目 item	鲜活 raw	15 min	30 min	45 min	60 min
水分含量 (%) water content	96.95 \pm 0.11	96.20 \pm 0.17	96.65 \pm 0.04	96.69 \pm 0.14	96.94 \pm 0.38
重量 (g) weight	100	74.85 \pm 7.51	68.02 \pm 13.92	39.09 \pm 2.11	48.82 \pm 0.99
体积 (cm ³) volume	100	79.55 \pm 18.92	67.38 \pm 11.14	39.5 \pm 2.19	50.67 \pm 3.05

2.2 组织构造的变化

组织构造观察采用 Van Gieson 染色法进行染色, 胶原纤维被染成红色, 而肌肉纤维被染成黄色。由图 1 可以看出, 鲜活和加热样品其组织均被染成红色, 这说明沙蜚伞部肌肉组织成分中胶原蛋白占有较大比例。鲜活样品其肌肉纤维束较细, 肌肉纤维间的空隙较小, 组织基本被染成红色且颜色较深。与鲜活样品相比, 在 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下加热不同时间样品的组织结构差别显著, 当加热至 15 min 时, 样品肌肉纤维结构较松散, 细丝状的肌原纤维几乎

消失, 肌肉纤维之间的空隙较小。当加热至 45 min 时, 聚集的肌肉纤维束重新分散, 肌肉纤维间的空隙变大; 加热至 60 min, 肌肉纤维逐渐重新聚集, 肌肉组织间的空隙增加至最大, 并且颜色最浅, 但其网状结构仍然存在。这可能与加热过程中样品内部与周围介质 (水分) 进行物质交换相关联, 蛋白质在加热过程中逐渐凝胶化造成组织结构的转变。众所周知, 蛋白质具有吸水性, 暴露的亲水基团越多, 与水分子结合的能力就越强。 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 达到沙蜚中胶原纤维的热变性温度, 使沙蜚伞部胶原纤维的

三螺旋结构打开,随着加热时间的延长,被打开三螺旋结构的胶原纤维的数量逐渐增多,更多的亲水基团暴露,胶原纤维的吸水性进一步增强,使胶原

纤维吸收的水分大于加热而损失的水分,表现为样品的重量和体积逐渐增大,这也与水分、重量和体积的测定结果相一致。

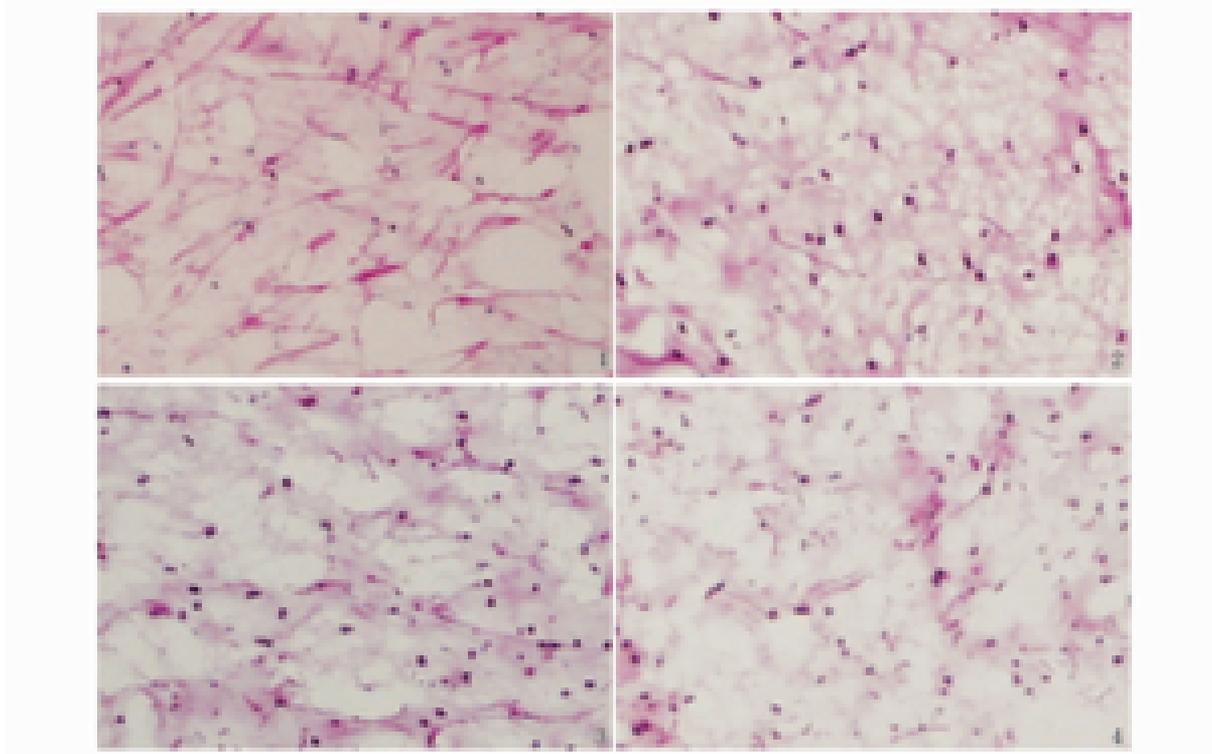


图1 不同加热时间下样品组织结构变化

1. 鲜活; 2. 加热 15min; 3. 加热 45 min; 4. 加热 60 min。

Fig.1 Changes in tissue structure of sample under different heating duration

1. raw; 2. heat 15 min; 3. heat 45 min; 4. heat 60 min.

为了进一步观察沙蜚伞部肌肉微观组织的变化,对鲜活和 70 °C 条件下加热 15 min 的沙蜚的样品进行扫描电镜观察。通过图 2 可以发现,鲜活与加热蜚样品的微观构造差距明显。鲜活沙蜚

中肌肉纤维的分布杂乱无方向性,加热样品的肌肉纤维较粗且较均匀,肌肉纤维的分布具有一定的方向性,肌肉纤维结构比较紧密,肌肉纤维间的空隙较小,能明显看出肌肉纤维热变性所生成的

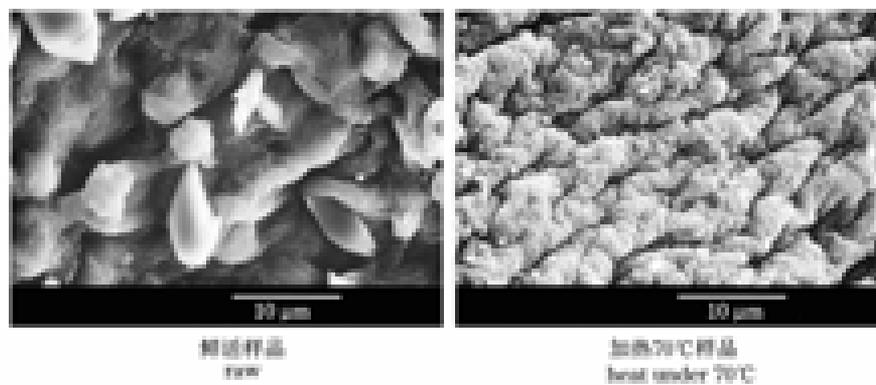


图2 扫描电镜照片

Fig.2 Scanning electron micrographic views

致密结构。这进一步说明,鲜活沙蛰在 70 °C 加热条件下,由于加热温度达到了沙蛰中蛋白质的热变性温度,使蛋白质产生收缩、凝聚,使肌肉纤维变粗,肌肉纤维间的空隙变小,从而导致加热和鲜活样品构造的本质区别。

2.3 流变学性质

鲜活及不同加热时间下沙蛰样品的流变学参数如表 2 所示。从表中可以看出,沙蛰样品的流变学特征参数(弹性模量 E_0 , 应力松弛时间 τ_1 , 粘性模量 η_1 , 破断强度)随着加热时间的延长均发

生显著变化,鲜活样品的弹性模量 E_0 , 应力松弛时间 τ_1 , 粘性模量 η_1 均小于加热样品。伴随着加热进行,松弛时间 τ_1 呈逐渐增大的趋势;而弹性模量 E_0 , 破断强度却呈现减小的趋势且各个加热时间段的破断力强度均远小于鲜活沙蛰样品。在加热 15 min 时样品出现弹性模量突然变大而破断强度却急剧减小的现象,这可能是与加热初期样品中胶原蛋白热变性和组织构造变化程度相关。

表 2 不同加热时间条件下样品的流变学特性变化
Tab. 2 Rheological properties of samples under different heating duration

项目 item	$E_0/\times 10^5$ (dyn/cm ²)	$E_1/\times 10^5$ (dyn/cm ²)	$E_2/\times 10^4$ (dyn/cm ²)	τ_1/s	τ_2/s	$\eta_1/\times 10^7$ (dyn·s/cm ²)	$\eta_2/\times 10^4$ (dyn·s/cm ²)	破断力(N) breaking force
鲜活 raw	16.25 ± 0.34	15.31 ± 1.17	1.6 ± 0.58	13.5 ± 3.72	2.12 ± 0.22	2.77 ± 0.65	13.48 ± 1.09	653 ± 28.35
15 min	32.26 ± 1.95	30.04 ± 3.18	2.39 ± 0.22	26.77 ± 2.15	1.88 ± 0.11	4.09 ± 0.45	4.65 ± 0.25	100 ± 19.09
30 min	8.28 ± 0.26	6.69 ± 3.59	2.73 ± 0.081	27.86 ± 1.67	1.92 ± 0.02	2.57 ± 0.76	5.09 ± 0.45	233 ± 16.97
45 min	8.99 ± 0.21	7.44 ± 0.006	3.51 ± 0.35	29.76 ± 1.17	1.84 ± 0.03	2.95 ± 1.76	7.00 ± 1.32	228 ± 11.31
60 min	15.01 ± 0.16	14.66 ± 3.91	7.11 ± 1.23	31.52 ± 0.97	1.85 ± 0.03	3.63 ± 0.041	1.51 ± 0.34	193.5 ± 3.53

一般而言破断强度与硬度存在对应关系,弹性模量与肌肉中的弹性成分有关,弹性模量大,弹力小;弹性模量小,弹力大;而应力松弛时间表示内部结构恢复变形的快慢,应力松弛时间和肌原纤维蛋白分子间的粘结力密切相关,应力松弛时间越长,肌原纤维蛋白分子间粘结力越大,互相滑动所需的时间越长^[17-18]。应力松弛时间与肌肉中的粘性成分、粘结性具有正比关系,和粘着性相对应^[19]。从流变学各特征参数的变化来看,与鲜活样品相比加热沙蛰样品相对具有弹性较大、粘结性较大和硬度较小的特点。

3 结论

沙蛰样品在加热过程中其重量和体积均呈现显著减小趋势;随着加热时间的延长,样品组织结构变化明显,色泽逐渐变浅,胶原纤维发生热变性;流变学特征参数弹性模量 E_0 和破断强度逐渐减少,而松弛时间、 τ_1 、粘性模量 η_1 却呈现明显增加趋势,而且流变学特征参数与组织结构变化之间表现出一定的关联性。这些变化主要是由于加热过程中沙蛰样品的蛋白质发生热变性所引起的。与鲜活样品相比,加热样品具有弹性较大、粘结性较大和硬度小的特点,对沙蛰样品应以短时加热为宜。

参考文献:

- [1] 高尚武. 中国动物志(第二十七卷):水螅虫纲钵水母纲[M]. 北京:科学出版社,2002:30-34.
- [2] Omorim. Taxonomic review of three Japanese species of edible jellyfish (Scyphozoa; Phizostomeae) [J]. Plankton Biology and Ecology, 2004, 51 (1): 36-51.
- [3] Omori M, Nakano E. Jelly fish fisheries in southeast Asia [J]. Hydrobiologia, 2001, 451: 19-26.
- [4] 崔朝霞. 我国海域两种大型水母分子鉴定 [J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(1): 94-101.
- [5] 杨永芳. 水母的化学组成及生物活性的研究进展 [J]. 浙江海洋学院学报, 2009, 28(1): 86-91.
- [6] 林维宣, 纪淑娟, 马岩松, 等. 食品分析 [M]. 北京:轻工业出版社, 1989.
- [7] Kimura H, Mizuno H, Saito T, et al. Structural change of salted jellyfish during cooking [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1991, 57(1): 85-90.
- [8] 赵宗江. 组织细胞分子学实验原理与方法 [M]. 北京:中国中医药出版社, 2003: 54-56.
- [9] Gao X. Rheological properties and structural changes in different sections of boiled abalone meat [J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2003, 2(1): 44-48.
- [10] 张亚琦. 鲍鱼热风、晾晒干燥的比较试验 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 296-299.

- [11] Saito M. Collagen as the major edible component of sea cucumber (*Stichopus japonicus*) [J]. Food Chemistry and Toxicology, 2002, 67 (4): 1319 – 1322.
- [12] Matsumoto S. The tenderness of chicken meat [J]. Food Material Research Institute Press, 1987: 13 – 15
- [13] Kimura-Suda H. Desalting and restoration of salted jellyfish rhizostomeae during immersion in water [J]. Fisheries Science, 1995, 61(6): 948 – 950.
- [14] Kimura H. The rheological properties of salted jellyfish during cooking and dipping in water [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1991, 57(3): 463 – 466.
- [15] Iso N. The Changes in the rheological properties of fish meats during treatment at high temperatures [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1986, 52(6): 1055 – 1059.
- [16] Gao X. Rheological properties and structural changes in steamed and boiled abalone meat [J]. Journal of Fisheries Science, 2002, 68: 499 – 508.
- [17] Matumoto S. The rheological of food [M] // Watanabe S, ed. The tenderness of chicken meat. Food Material Research Institute Press, Tokyo, 1987: 13 – 15.
- [18] 李里特. 食品物性学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [19] Lee C. Evaluation of cheese texture [J]. Food Science, 1978, (43): 1600 – 1605.

Tissue structure and rheological properties changes of *Stomolophus meleagris* under different heating conditions

MENG Fei, ZHANG Zhao-hui*, ZHAO Xue, CHEN Bo-hu, GAO Xin, LI Ba-fang
(Food Science and Engineering College, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: The study was conducted to investigate the difference of tissue structure and rheological properties between raw and heated *Stomolophus meleagris* by heating for 15, 30, 45 and 60 min, respectively. Histopathology difference for all samples were observed by Van Gieson stain and scanning electron microscopy, respectively. And the rheological parameters were determined by stress-relaxation and rupture experimentation. The results showed that weight and volume were decreased significantly with longer heating time, and histopathological structures were changed significantly as well. Besides, The rupture strength became smaller, while viscous modulus η_1 , stress-relaxation time τ_1 increased with longer heating time. There was a correlation between rheological parameters and texture structure. These were caused by protein denaturation. Rheological parameters showed that the raw *S. meleagris* had lower hardness but higher elasticity and adhesiveness.

Key words: *Stomolophus meleagris*; cooking; tissue structure; rheological properties

Corresponding author: ZHNAG Zhao-hui. E-mail: zhangzh@ouc.edu.cn