

微射流-酶处理对罗非鱼皮胶原蛋白结构和理化特性的影响

李思佳^{1,2}, 孙卫东², 张业辉¹, 刘磊^{1,2}, 张友胜¹, 阮奇珺¹, 汪婧瑜¹

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东广州 510610)

(2. 广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530004)

摘要: 为了研究微射流-酶复合改性方法对罗非鱼皮胶原蛋白结构及理化性质的影响。本文采用3种蛋白酶分别协同微射流处理鱼皮胶原蛋白, 研究不同处理方法对其质构特性、流变特性及微观结构的影响。结果表明: 微射流-酶处理的鱼皮胶原蛋白粒径变小, 分布更加均匀及黏度上升的特点, 微射流-胰蛋白酶和微射流-胃蛋白酶处理的胶原蛋白的网状结构致密均匀, 凝胶强度、硬度和黏性分别提高75.17%和14.44%, 27.26%和77.66%, 67.87%和8.90%, 但是微射流-木瓜蛋白酶处理的胶原蛋白的网状结构稀疏且分布不均, 凝胶强度、硬度和黏性分别降低21.06%, 35.96%, 28.28%。其中, 微射流-胃蛋白酶处理的鱼皮胶原蛋白感官评分最高, 具有更容易被人们接受的感官要求。研究结果有利于提升罗非鱼加工副产物的高值化利用水平。

关键词: 罗非鱼皮; 微射流; 协同作用; 胶原蛋白; 理化特性

文章编号: 1673-9078(2019)07-24-29

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.7.005

Effect of Microfluidization-enzyme Treatment on Structure and Physicochemical Properties of Collagen from Tilapia Skin

LI Si-jia^{1,2}, SUN Wei-dong², ZHANG Ye-hui¹, LIU Lei^{1,2}, ZHANG You-sheng¹, RUAN Qi-jun¹, WANG Jing-yu¹

(1. Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610,

China)(2. Institute of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: The effect of the enzymatic extraction treatment coupled with microfluidization on structure and physicochemical properties of tilapia skin collagen was investigated. Synergistic modification of three different kinds of enzymes and microfluidization was used in fish skin collagen, and their texture characteristics, rheological properties and microstructure were studied and compared in this study. The results showed that the diameter of collagen particles became smaller and more uniform, and the viscosity increased. The network structure of collagen was densely uniform, the gel strength, hardness, gumminess of collagen were increased by 75.17% and 14.44%, 27.26% and 77.66%, 67.87% and 8.90% after microstructure-Trypsin and microstructure-Pepsin, respectively. The network structure of collagen was loose and non-uniform, the gel strength, hardness, gumminess of collagen were decreased by 21.06%, 35.96%, and 28.28%, respectively. The sensory scores of fish skin collagen of microstructure-Pepsin treatment were highest in the sensory experiment, and more easily accepted by people. The results benefit to the utilization of by-product of Tilapia industry.

Key words: tilapia skin; microfluidization; extraction treatment; collagen; physicochemical properties

罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*) 俗称非洲鲫鱼, 具有繁殖能力强、生长迅速等特点, 已成为我国淡水鱼养殖的主要品种之一。我国的罗非鱼大部分被加工成鱼片出口, 在加工过程中产生的鱼皮、鱼骨等

收稿日期: 2019-03-07

基金项目: 广东省自然科学基金重点项目 (2018B0303110006); 广东省对外合作项目 (2018A050506048); 广州市教育厅科技项目 (2017GKSCX057)

作者简介: 李思佳 (1994-), 女, 在读硕士, 研究方向: 食品科学

通讯作者: 张业辉 (1979-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 食品科学与农产品加工

副产物约占鱼体总重量的40%~65%, 这些副产物通常被直接丢弃或者加工成鱼骨粉等作为饲料, 而罗非鱼的鱼皮中含有的丰富胶原蛋白没有得到充分利用^[1,2]。胶原蛋白肽因其较弱的抗原性、低致敏性和良好的生物相容性, 以及小分子肽易被肠道吸收, 且在体内生理功能不易被破坏等特性, 受到保健食品、医药、生物和材料等领域的青睐^[3]。

微射流是一种高压均质技术, 产生的高压、高频震荡、强烈剪切等机械力的综合作用可导致物料分子发生显著变化, 改变物质分子间的结合方式, 导致键

的破坏或重组,从而对生物大分子的功能特性产生影响^[4]。如刘伟^[5]等研究了动态高压微射流技术对酶的活性和构象变化的影响,表明胰蛋白酶经过 80、100 和 120 MPa 处理后,酶活性提高,木瓜蛋白酶的活性随着压力和次数增加,呈下降趋势。Wang 等^[6]研究了高压处理对胃蛋白酶催化和理化性质的影响,表明高压处理使胃蛋白酶构象改变,蛋白酶活性提高。目前许多研究集中在微射流均质对蛋白功能特性的影响,关于微射流-酶协同改性法对蛋白理化性质的影响研究还鲜有报道^[7]。本文以流变特性、凝胶强度、质构特性、粒度、微观结构及感官评价等作为评价指标,通过比较微射流-酶的协同作用对罗非鱼皮胶原蛋白理化特性和结构特性的影响,提高罗非鱼加工副产物的综合利用价值,也对罗非鱼皮胶原蛋白资源的研究有着非常重要的意义^[8,9]。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜罗非鱼,购于华润万家超市;胃蛋白酶、木瓜蛋白酶、胰蛋白酶,阿拉丁试剂公司;柠檬酸,天津市大茂化学试剂场;碳酸钠,美国 Sigma 公司。

1.2 仪器与设备

DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限责任公司;电子天平,奥豪斯仪器(上海)有限公司;M-110EH 微射流均质机,美国 Microfluidics 公司;Nano-ZS90 纳米粒度仪,英国马尔文公司;质构仪(TA-Xt.Plus),英国 Stable Micro Systems 公司;流变仪(AR-1500EX),美国 TA 公司;色度仪(UltraScan VIS),美国 Hunter Lab;数显 pH 计(pHS-25),上海精密科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 鱼皮胶原蛋白的制备

鱼皮清水漂洗、沥干,加入 0.5% 的碱性脂肪酶(pH=9.0) 40 °C 水浴反应 30 min,去离子水洗至中性。均分 2 等分,一份加入 0.2% 的蛋白酶 40 °C 水浴 30 min 并不断进行搅拌,蛋白酶分别选取胃蛋白酶(pH=3.5)、木瓜蛋白酶(pH=7.6)、胰蛋白酶(pH=5.0),沸水灭酶,另一份加入 0.2% 的蛋白酶后投入高压微射流均质机中,进行均质处理,在 100 MPa 条件下循环均质 1 次,沸水灭酶。5000 r/min 离心后过滤后,将胶原蛋白溶液置于 60 °C 水浴浓缩 3 h,然后置于 4 °C 冰箱内。

Tr: 胰蛋白酶处理; TrM: 微射流-胰蛋白酶处理; Pa: 木瓜蛋白酶处理; PaM: 微射流-木瓜蛋白酶处理; Pe: 胃蛋白酶处理; PeM: 微射流-胃蛋白酶处理。

1.3.2 罗非鱼胶原蛋白的感官评价

由 10 名以上具丰富感官评定经验的研究人员组成评定小组,对胶原蛋白凝胶的颜色、气味、组织形态、口感四个因素进行感官评定,评分标准详见表 1 所示^[10]。

表 1 罗非鱼皮胶原蛋白感官评分标准

Table 1 Tilapia skin collagen sensory score

项目	评分标准	分值
颜色	不能接受	0~7
	可以接受	8~13
	喜欢	14~20
气味	有腥味影响食用	0~6
	有少许腥味可以食用	7~13
	无异味适合食用	14~20
组织形态	弹性差黏	0~9
	弹性一般	10~19
	弹性好	20~30
口感	较硬,弹性差粗糙不均匀	0~9
	柔软适中较有弹性较细腻均匀	10~19
	柔软适中富有弹性入口细滑细腻均匀	20~30

1.3.3 罗非鱼皮胶原蛋白质构测定

采用 TA-XL.PLUS 物性分析仪对样品的 TPA 特性进行测试。选用探头 P/0.5 柱形探头,测试形变量 50%,力量感元 5 kg,测试高度 15 mm,实验前速: 1.0 mm/s,实验速度: 0.5 mm/s,返回速度: 1.0 mm/s,停留时间 5 s,测试至少 3 个平行样^[11]。

1.3.4 罗非鱼皮胶原蛋白色度测定

取 1 cm 厚度的胶原蛋白凝胶,用 Ultra Scan VIS 色差仪测定样品的 L*, a* 和 b* 值。L* 表示亮度, a* 表示红度, b* 为黄度,每组实验重复 6 次,实验结果取平均值^[12]。

1.3.5 罗非鱼皮胶原蛋白粒径测定

胶原蛋白样品用蒸馏水分散,采用 WJL-628 激光粒度仪测定胶原蛋白粒子分布及其大小^[9]。

1.3.6 罗非鱼皮胶原蛋白的表观黏度测定

采用 AR-1500EX 流变仪测定溶液的黏度(剪切应力)曲线。测定条件: 温度 80 °C, 椎板 40 mm, 2°, 设定剪切速率范围为 0.1~200 s⁻¹, slope 为 10 pt./dec, 进行变剪切速率扫描,以测定样品的动态黏度变化规律,重复两遍实验^[13]。

1.3.7 罗非鱼皮胶原蛋白扫描电镜观察

将 3 mm×3 mm×2 mm 块状样品置于体积分数

2.5%戊二醛溶液 (0.2 mol/L, 磷酸盐缓冲液 pH 7.2) 中在 4 °C 固定 24 h 然后用磷酸盐缓冲液 (0.2 mol/L, pH 7.2) 漂洗 3 次, 15 min/次, 去离子水冲洗 1 h, 依次 30%、50%、70%、80%、90%、95% 乙醇梯度脱水, 15 min/处理, 100% 乙醇脱水 2 次, 20 min/次, 将干样品用离子溅射仪镀金后, 扫描电镜观察^[14]。

1.4 数据分析

测定和分析结果采用 SPSSV 15.0, Origin 7.5 和 Excel 软件进行数据处理, 所有结果以平均值±标准偏差表示。指标内部的均值比较采用单因素方差分析, 多重比较采用 Tukey 法, 95% 置信度 ($p < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 微射流-酶处理罗非鱼皮胶原蛋白感官性

质的影响

色泽、风味、口感等感官评价指标是评价食品原料的重要指标, 由图 1 可知, 感官评定结果 (得分由大到小): 颜色为 Pa、paM、Pe、Tr、TrM、PeM, 气味为 PeM、paM、Pa、TrM、Tr、Pe、Tr., 组织形态为 PeM、paM、Pe、Pa、Tr、TrM, 口感为 PeM、paM、Pe、Pa、Tr、TrM。由以上结果可知: 颜色最佳为 Pa, 气味、组织形态和口感最佳为 PeM。综合考虑, 最优的结果为 PeM。

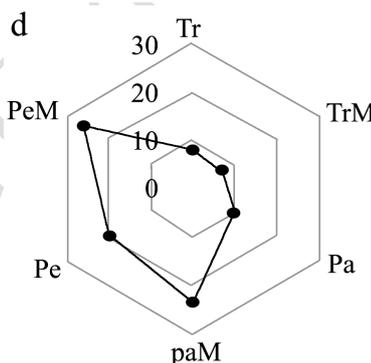
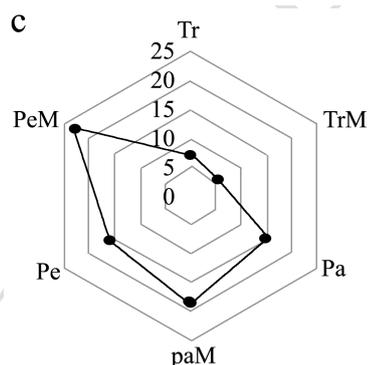
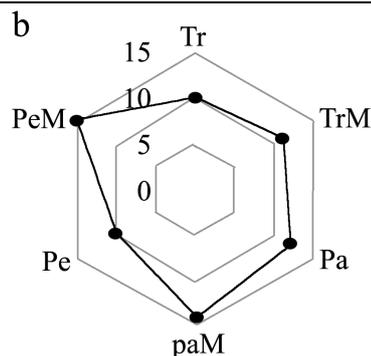
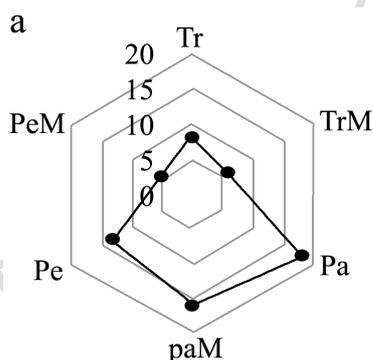


图 1 不同处理方法对罗非鱼皮胶原蛋白感官影响

Fig.1 Effects of tilapia skin collagen of different treatments on sensory

注: a: 颜色; b: 气味; c: 组织形态; d: 口感。

2.2 微射流-酶处理对罗非鱼皮胶原蛋白结构特性的影响

表 2 不同处理方法对罗非鱼皮胶原蛋白结构的影响

Table 2 Effects of Tilapia skin collagen of different treatments on texture

样品	硬度/g	弹性	黏结性	黏性/g	凝胶强度
Tr	254.84±5.48 ^a	0.87±0.01 ^a	0.78±0.02 ^a	176.89±3.90 ^a	581.75±66.25 ^a
TrM	324.31±9.90 ^b	0.98±0.01 ^c	0.93±0.03 ^c	296.95±18.96 ^b	1019.03±86.13 ^b
Pa	877.91±11.24 ^c	0.92±0.03 ^{ab}	0.81±0.07 ^{ab}	699.21±76.94 ^{ef}	2437.13±68.82 ^d
paM	562.14±3.92 ^{bc}	0.96±0.02 ^{bc}	0.91±0.03 ^{bc}	501.42±13.62 ^{cd}	1923.79±43.86 ^{bc}
Pe	345.61±7.86 ^b	0.98±0.01 ^c	0.93±0.06 ^c	520.57±24.38 ^{bc}	1532.04±67.06 ^b
PeM	614.02±5.82 ^{bc}	1.00±0.02 ^c	0.95±0.03 ^c	567.13±14.28 ^{de}	1753.28±111.89 ^{bc}

注: 不同小写字母表示同一列比较具有显著性差异 ($p < 0.05$)。下表同。

由表 2 可知,微射流-酶处理对鱼皮胶原蛋白的硬度、黏性、凝胶强度等有明显的影响,而对弹性、黏结性影响不显著。微射流-胰蛋白酶和微射流-胃蛋白酶处理的胶原蛋白硬度、黏性、咀嚼性和凝胶强度显著提高,但微射流-木瓜蛋白酶处理的胶原蛋白硬度、黏性、咀嚼性和凝胶强度明显降低。原因是高压均质剧烈条件导致蛋白酶产生不同的构象和性质变化,胰蛋白酶和胃蛋白酶经过高压均质处理后蛋白质次级键发生改变,亚基间发生转化,分子内残基之间以及残基与介质间的相互作用发生改变,改变了酶活性位点,酶活性中与基质接触几率增大,提高了酶的活性,因而蛋白疏水性增强,暴露更多疏。木瓜蛋白酶经过高压均质处理后构象表现为去折叠态,去折叠态的木瓜蛋白酶结构松散,二硫键断裂,巯基含量升高,活性降低,导致蛋白疏水性减弱^[15]。

2.3 微射流-酶处理对罗非鱼皮胶原蛋白色度的影响

表 3 不同处理方法对罗非鱼皮胶原蛋白色度的影响

Table 3 Effects of tilapia skin collagen of different treatments on Chroma

样品	L*	a*	b*
Tr	42.33±0.16 ^d	1.27±0.29 ^{cd}	14.19±0.42 ^{cd}
TrM	35.04±0.25 ^{acd}	2.47±0.04 ^e	16.49±0.41 ^d
Pa	38.17±3.71 ^{cd}	1.87±0.08 ^{de}	15.34±0.16 ^d
paM	39.47±0.53 ^{cd}	1.72±0.05 ^{cde}	12.15±1.56 ^{bc}
Pe	36.29±0.81 ^{ab}	0.35±0.28 ^b	17.22±0.82 ^a
PeM	55.42±1.52 ^e	-2.71±0.48 ^a	15.81±1.39 ^d

由表 3 可知,微射流-胰蛋白酶处理鱼皮胶原蛋白的 L*值降低, a*值和 b*值升高;微射流-木瓜蛋白酶处理的鱼皮胶原蛋白的 L*值没有显著性变化, a*值和 b*值降低;微射流-胃蛋白酶处理的鱼皮胶原蛋白的 L*值升高, a*值和 b*值降低。由此可见,微射流与不同蛋白酶的协同作用,致使鱼皮胶原蛋白的构象变化不同,内部的二硫键、疏水键、巯基以及疏水基团等的含量不同。因此,不同处理的鱼皮胶原蛋白的色度变化是不同的。

2.4 微射流-酶处理对罗非鱼皮胶原蛋白粒径分布的影响

由图 2 可知,微射流-酶处理的胶原蛋白溶液的粒径分布向左移动,峰型变窄,表明微射流-酶处理的胶原蛋白溶液粒径小,分布更加均匀。原因是酶解作用

使蛋白构象和理化性质发生变化,分子量减小,结构较松散,暴露出更多疏水基团和巯基等,而高压均质的高速撞击以及强烈剪切等机械作用促使胶原蛋白结构展开,进一步改善蛋白的结构特征、乳化性、表面疏水性和溶解性等,使酶解后的胶原蛋白分子颗粒变得更小,表面分子发生解离,因此粒径减小^[16]。

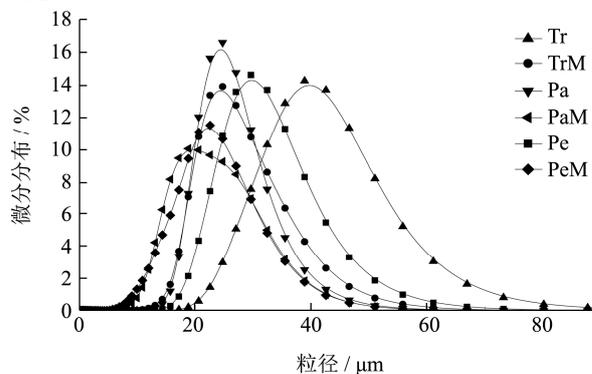


图 2 不同处理方法对罗非鱼皮胶原蛋白溶液的粒径分布的影响

Fig.2 Effects of tilapia skin collagen of different treatments on particle size distribution

2.5 微射流-酶处理对罗非鱼皮胶原蛋白溶液黏度的影响

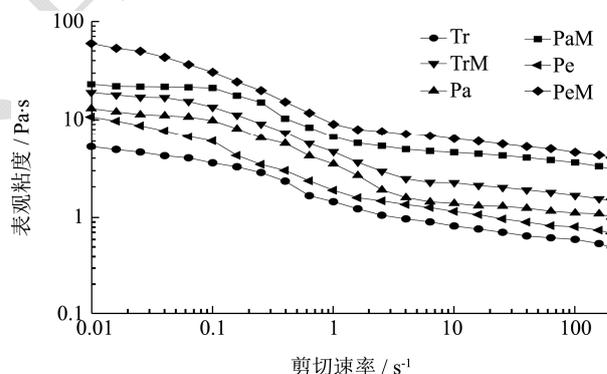


图 3 不同处理方法对罗非鱼皮胶原蛋白溶液表观黏度的影响

Fig.3 Effects of tilapia skin collagen of different treatments on visitor (80 °C)

由图 3 可知,在较低剪切速率条件下,溶液表观黏度下降迅速,在较高剪切速率下,溶液表观黏度下降缓慢,且溶液黏度随剪切速率的增加而减小,因此不同处理方法得到的胶原蛋白溶液均表现典型非牛顿流体的假塑性流动行为。微射流-酶处理的胶原蛋白溶液的黏度高于未经过微射流处理的胶原蛋白溶液的黏度。原因是微射流-酶处理过程中,产生的压力瞬时释放、高频振荡等物理作用协同蛋白酶酶解作用导致胶原蛋白侧链的氢键和离子键被破坏,多聚体变成低聚体,蛋白次级键断裂的同时主链会有部分断裂,分子

空间结构发生改变,分子间距增大,分子热运动加剧,粒径变小,胶原蛋白黏度上升^[17]。

2.6 罗非鱼皮胶原蛋白扫描电镜分析

由图 4 可知,微射流-胰蛋白酶和微射流-胃蛋白酶处理的胶原蛋白网结构较细密,形状相对均一规则,原因是高压均质作用导致胰蛋白酶和胃蛋白酶活性增强,使胶原蛋白暴露出更多的-SH 基团,-SH 基团增加,促进了二硫键的交联或交换,网状结构更加致密。而微射流-木瓜蛋白酶处理的胶原蛋白网状结构的孔隙形状不规则,整体结构较疏松。原因是微射流处理导致木瓜蛋白酶的活性降低,酶解程度降低,蛋白质网状结构变得疏松^[18]。

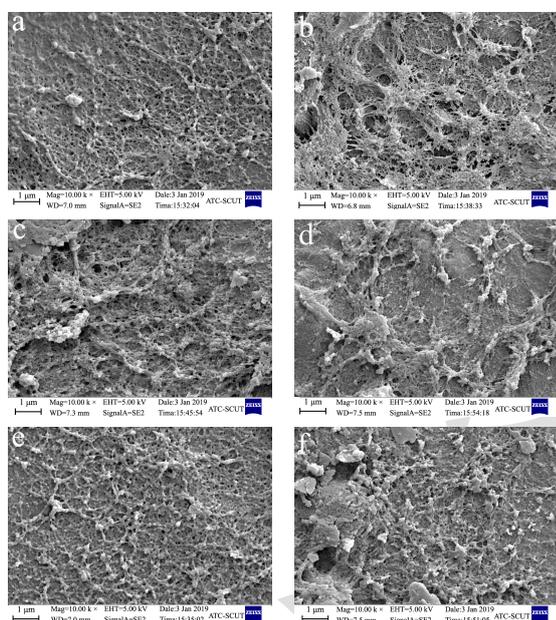


图 4 不同处理方法的罗非鱼胶原蛋白扫描电镜

Fig.4 Effects of tilapia skin collagen of different treatments on SEM images

注: a: TrM; b: PaM; c: PeM; d: Tr; e: Pa; f: Pe。

3 结论

运用微射流协同蛋白酶处理鱼皮胶原蛋白,不仅是两种处理方法的叠加,更是对鱼皮胶原蛋白的理化特性和结构特征带来显著变化,并得到如下结论。

3.1 微射流-胰蛋白酶处理鱼皮胶原蛋白的 L*值降低, a*值和 b*值升高;微射流-木瓜蛋白酶处理的鱼皮胶原蛋白的 L*值没有显著性变化, a*值和 b*值降低;微射流-胃蛋白酶处理的鱼皮胶原蛋白的 L*值升高, a*值和 b*值降低。综合颜色、气味、组织形态、口感的感官评定指标,微射流-胃蛋白酶处理的鱼皮胶原蛋白感官评分最高,具有更容易被人们接受的感官要求。

3.2 微射流-酶处理的鱼皮胶原蛋白都表现粒径变小,分布更加均匀及黏度上升的特点,由此可见微射流的机械作用协同蛋白酶的酶解作用,加速蛋白分子间的化学键变化,导致蛋白的快速变性和解聚,蛋白颗粒变小,高分子蛋白聚集体解聚,形成较小的分子。

3.3 微射流-胰蛋白酶和微射流-胃蛋白酶处理的胶原蛋白的凝胶强度、硬度、黏性等都有所增强,但是微射流-胃蛋白酶处理的胶原蛋白的凝胶强度、硬度、黏性等却显著降低。原因是微射流的高压均质剧烈条件导致蛋白酶构象和性质发生改变,致使胰蛋白酶和胃蛋白酶活性升高,木瓜蛋白酶活性降低。

参考文献

- [1] 郝淑贤,林婉玲,李来好,等.不同提取方法对罗非鱼皮胶原蛋白理化特性的影响[J].食品科学,2014,35(15):59-62
HAO Shu-xian, LIN Wan-ling, LI Lai-hao, et al. Effect of extraction methods on Physico-chemical properties of collagen from tilapia skin [J]. Food Science, 2014, 35(15): 59-62
- [2] Jochen Bürck, Stefan H, Udo G, et al. Resemblance of electrospun collagen nanofibers to their native structure [J]. Langmuir, 2013, 29(5): 1562-1572
- [3] Gao L L, Wang Z Y, Zheng L I, et al. The characterization of acid and pepsin soluble collagen from ovine bones (*Ujumuqin sheep*) [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(3): 704-711
- [4] 沈兰,王昌盛,唐传核,等.高压微射流处理对大豆分离蛋白构象及功能特性的影响[J].食品科学,2012,33(3):72-76
SHEN Lan, WANG Chang-sheng, TANG Chuan-he, et al. Effects of high pressure microfluidization on the conformation and functional properties of soy protein isolate [J]. Food Science, 2012, 33(3): 72-76
- [5] 张兆琴.动态高压微射流技术对胰蛋白酶和菠萝蛋白酶性质和构象变化的影响[D].南昌:南昌大学,2010
ZHANG Zhao-qin. Effects of dynamic high pressure microfluidics on the properties and conformational changes of trypsin and bromelain [D]. Nanchang: Nanchang University, 2010
- [6] Wang J, Bai T, Ma Y, et al. Effect of high-pressure treatment on catalytic and physicochemical properties of pepsin. [J]. Molecules, 2017, 22(10): 1659
- [7] Popa C, Katsumata K I, Isobe T, et al. Preparation and characterization of lotus ceramics with different pore sizes and their implication for the generation of microbubbles for CO₂ sequestration applications [J]. Ceramics International,

- 2013, 39(2): 1443-1449
- [8] Apnn A, Lima JÃ nior E M, Piccolo N S, et al. Study of tensiometric properties, microbiological and collagen content in nile tilapia skin submitted to different sterilization methods [J]. Cell & Tissue Banking, 2018, 5: 1-10
- [9] Linlin Z, Jun C, Wuyin W. Effect of thermal treatment on the properties of acid-soluble collagen from tilapia skin [J]. Food Science, 2017, 5
- [10] He J S, Azuma N, Hagiwara T, et al. Effects of sugars on the cross-linking formation and phase separation of high-pressure induced gel of whey protein from bovine milk [J]. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry, 2016, 70(3): 615-625
- [11] 鉬晓艳,熊光权,李新,等.草鱼鱼鳞酶溶性胶原蛋白肽脱腥脱苦工艺研究[J].食品工业科技,2014,35(15):232-235
JU Xiao-yan, XIONG Guang-quan, LI Xin, et al. Study on the debitterification and debittering process of grass carp fish scale enzymatic collagen peptide [J]. Food Industry Technology, 2014, 35(15): 232-235
- [12] 万婕,刘成梅,刘伟,等.动态超高压微射流处理后膳食纤维对酸奶品质的影响[J].食品科学,2007, 28(10):139-142
WAN Jie, LIU Cheng-mei, LIU Wei, et al. Effect of dietary fiber on the quality of yogurt after dynamic ultra-high pressure microfluidization [J]. Food Science, 2007, 28(10): 139-142
- [13] 白雪,张彬,邓丹雯,等.采用微射流处理改变番茄籽分离蛋白的理化性质及结构[J].食品科学,2015,36(9):61-65
BAI Xue, ZHANG Bin, DENG Dan-wen, et al. Modification of physicochemical properties and structure of tomato seed protein isolate by microfluidic treatment [J]. Food Science, 2015, 36(9): 61-65
- [14] Thale A, Tillmann B. The collagen architecture of the sclera-SEM and immunohistochemical studies [J]. An-Nals of Anatomy-anatomischer Anzeiger, 1993, 175(3): 215-220
- [15] Rui T, Zhang Y, Duan M, et al. Adaptive intra mode decision for HEVC based on texture characteristics and multiple reference lines [J]. Multimedia Tools & Applications, 2018, 12: 1-22
- [16] Raithore S, Peterson D G Effects of polyol type and particle size on flavor release in chewing gum [J]. Food Chemistry, 2018, 253: 293-299
- [17] 赵园园,薛勇,董军,等.两种植物提取物对即食海参体壁胶原蛋白稳定性的影响[J].现代食品科技,2015,31(11):113-119
ZHAO Yuan-yuan, XUE Yong, DONG Jun, et al. Effects of two plant extracts on the stability of collagen in the body wall of ready-to-eat sea cucumber [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(11): 113-119
- [18] 陈明辉,汤海青,欧昌荣,等.鲟鱼皮胶原蛋白的理化特性研究[J].现代食品科技,2015,31(12):191-196
CHEN Ming-hui, TANG Hai-qing, OU Chang-rong, et al. Study on physicochemical properties of collagen in carp skin [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(12): 191-196

(上接第 306 页)

- [16] Tuerk C, Gold L. Systematic evolution of ligands by exponential enrichment: RNA ligands to bacteriophage T4 DNA polymerase [J]. Science, 1990, 249(4968): 505-510
- [17] Haiss W, Thanh Ntk, Aveyard J, et al. Determination of size and concentration of gold nanoparticles from UV-vis spectra [J]. Analytical Chemistry, 2007, 79(11): 4215-4221
- [18] Demers L M, Mirkin C A, Mucic R C, et al. A fluorescence-based method for determining the surface coverage and hybridization efficiency of thiol-capped oligonucleotides bound to gold thin films and nanoparticles [J]. Analytical Chemistry, 2000, 72(22): 5535-5541
- [19] Rance G A, Khlobystov A N. Nanoparticle-nanotube electrostatic interactions in solution: The effect of pH and ionic strength [J]. Physical Chemistry Chemical Physics Pccp, 2010, 12(36): 10775-10780