

罗非鱼鳞胶原蛋白复合凝胶的防辐射作用 及理化性质研究

刘磊^{1,2}, 孙卫东², 张业辉¹, 李思佳^{1,2}, 张友胜¹, 阮奇珺¹, 汪婧瑜¹, 黄利华³

(1. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610) (2. 广西大学轻工与食品工程学院, 广西南宁 530004)

(3. 广州城市职业学院食品系, 广东广州 510405)

摘要: 为了研究罗非鱼鳞胶原蛋白复合凝胶抗紫外辐射作用及理化性质的变化。本文采用三种促凝剂分别与鱼鳞胶原蛋白形成复合凝胶, 研究促凝剂对其抗紫外辐射作用及理化性质的影响。结果表明: 凝胶的吸光值随可得然胶质量的增加而减小; 在紫外灯照射 300 s 后, 胶原蛋白和明胶、琼脂、可得然胶复合凝胶保护下的大肠杆菌存活率分别为 0、46.43%±0.75%、33.28%±0.75%、62.06%±0.75%。因此, 可得然胶复合凝胶抗紫外辐射效果最好; 促凝剂的种类和质量对胶原蛋白的硬度、黏性和回弹性有明显影响; 扫描电镜观察发现可得然胶与胶原蛋白有效结合, 形成结构较稳定的复合物; 通过流变学方法确定胶原凝胶的黏弹性发现, 可得然胶形成的凝胶弹性模量 G' 和黏性模量 G'' 较大, 且时间和温度的变化对其影响较小。研究结果为罗非鱼鳞胶原蛋白复合凝胶材料防辐射作用的研究提供了可以借鉴的科学依据。

关键词: 罗非鱼鳞; 胶原蛋白; 抗紫外辐射; 弹性模量; 黏性模量

文章编号: 1673-9078(2019)08-91-97

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.8.015

Anti-radiation Effect and Physicochemical Properties of Tilapia Scale Collagen Composite Gel

LIU Lei^{1,2}, SUN Wei-dong², ZHANG Ye-hui¹, LI Si-jia^{1,2}, ZHANG You-sheng¹, RUAN Qi-jun¹, WANG Jing-yu¹,
HUANG Li-hua³

(1. Sericulture & Agri-food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China) (2. Institute of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China) (3. Guangzhou City Vocational College Food Department, Guangzhou 510405, China)

Abstract: In order to study the anti-ultraviolet radiation effect and physicochemical properties of tilapia fish scale collagen composite gel. In this paper, three coagulants were used to form a composite gel with fish scale collagen, and the effects of coagulant on its anti-ultraviolet radiation and physical and chemical properties were studied. The results show that the absorbance of the gel decreases with the increase of the quality of the curdlan. After exposure to UV light for 300 s, the survival rates of Escherichia coli under the protection of collagen and gelatin, agar and curdlan gel were 0, 46.43%±0.75%, 33.28%±0.75%, 62.06%±0.75%, respectively. Therefore, it is best to obtain the anti-ultraviolet radiation effect of the curdlan composite gel. The type and quality of the coagulant have a significant effect on the hardness, gumminess and resilience of collagen. Scanning electron microscopy showed that the Therefore, it is best to obtain the anti-ultraviolet radiation effect of the curdlan can be effectively combined with collagen to form a stable structure. By determining the viscoelasticity of the collagen gel by the rheological method, it is found that the gel elastic modulus G' and the viscous modulus G'' formed by the curdlan are larger, and the influence of time and temperature changes is small. The research results provide a scientific basis for the study of the anti-radiation effect of tilapia fish scale

收稿日期: 2019-03-22

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); 广东省教育厅科技项目 (2017GKSCX057); 广东省农业厅科技项目 (2018LM2154); 广东省重点领域研发计划项目 (2019B020212003)

作者简介: 刘磊 (1994-), 男, 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

collagen composite gel material.

Key word: tilapia scales; collagen; anti-UV radiation; elastic modulus; viscous modulus

罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*) 又称为非洲鲫鱼, 是我国淡水鱼养殖的主要品种之一, 据 2016 年统计我国罗非鱼生产量约占世界的 30%, 且仍以每年 9% 的增速增加^[1-3], 目前我国已经成为罗非鱼主要的养殖和出口国家。罗非鱼加工的下脚料, 如鱼皮、鱼鳞、鱼骨、鱼鳃等, 约占鱼体总质量的 40%~55%, 其中 10% 左右为鱼鳞^[4]。鱼鳞中含有丰富的脂肪、蛋白质、维生素及人体所必需的几种微量元素, 这些物质不仅可以增强大脑记忆、延缓细胞衰老, 而且其水解产物胶原蛋白肽具有抗菌抗肿瘤防辐射等功能^[5-7]。Takashi Fujii 等^[8]研究胶原蛋白复合物对紫外照射无毛小鼠的影响时也证实了, 胶原蛋白活性肽具有抵御紫外辐射, 对紫外线引起的皮肤光老化有保护作用, 能够有效预防和延缓光老化。

近年来, 胶原蛋白的研究不再仅限于食品领域, 在非食品领域中, 都无不例外的对胶原蛋白产品的生物学性能以及物理学特性提出新的要求^[9,10]。周婉等^[11]利用虾青素和胶原蛋白形成复合凝胶, 可有效缓解皮肤厚度增生, 修复皮肤胶原纤维和弹性纤维网状结构, 有效改善 UV 引起的皮肤光老化损伤。CT 是医院常用的人体断面扫描诊断设备, 仍然存在较高的辐射剂量, 对于儿童和孕产妇等可能诱导产生不良反应, 损害机体健康^[12,13]。因此, 在医疗领域也需要一种既能辅助降低辐射对人体伤害又不影响诊断准确性的材料。而胶原蛋白因其良好的生物物理性质, 是优选的材料之一。本研究以罗非鱼加工副产物鱼鳞为原料提取胶原蛋白, 与几种不同促凝剂复合形成凝胶材料, 研究其抗紫外辐射作用并进行其性状表征, 为罗非鱼鱼鳞胶原蛋白复合凝胶的广泛应用提供可借鉴的科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

新鲜罗非鱼鳞, 购于华润万家超市; 胃蛋白酶, 阿拉丁试剂公司; 可得然胶, 郑州卓研生物科技有限公司; 琼脂、明胶, 阿拉丁试剂公司; 胰蛋白胨、酵母提取粉, 广东环凯微生物科技有限公司。

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; 质构仪 (TA-XT Plus), 英国 Stable Micro Systems 公司; 流变仪 (AR-1500 EX),

美国 TA 公司; 色度仪 (Ultra Scan VIS), 美国 Hunter Lab 公司; 紫外分光光度计 (UV-1800), 日本岛津公司; 双人单面净化工作台 (SW-CJ-2D 型), 中国广州市泰昌生物科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 鱼鳞胶原蛋白的提取

将罗非鱼鱼鳞进行清洗去杂, 按照 GB/T 5009.3-2003, 105 °C 干燥恒重法去除鱼鳞中的水分。称取一定质量的干鱼鳞, 浸泡在 0.5 mol/L 盐酸溶液中, 在常温下搅拌处理 2 h。反应结束后, 洗去残留的浸泡液, 得到脱灰后的鱼鳞。加入一定量的蒸馏水及 0.2% 的胃蛋白酶 (pH=3.5) 在 40 °C 条件下进行酶解 2 h, 酶解后对其进行均质处理, 在 100 MPa 条件下循环均质 1 次^[14]。然后将酶解液置于恒温加热磁力搅拌器中恒温 (T=80 °C) 加热 8 h 后, 5000 r/min 离心后过滤, 最后将提取的胶原蛋白放置于 4 °C 冰箱内保存。

1.3.2 鱼鳞胶原蛋白复合凝胶材料的制备

将提取的胶原蛋白与可得然胶、琼脂、明胶三种促凝剂分别进行复合。分别以 0.5 g、1.0 g、1.5 g 加入到装有 10 mL 水的烧杯中加热溶解, 再加 20 mL 胶原蛋白使其充分复合, 最后进行超声处理。将制备的胶原复合凝胶在 4 °C 冰箱中保存。

1.3.3 罗非鱼鳞胶原蛋白复合凝胶的抗紫外性试验

取鱼鳞胶原蛋白复合凝胶, 在 540 nm 波长下测定鱼鳞胶原蛋白复合凝胶材料在成凝胶前和成凝胶后的吸光度, 绘制吸光值变化图。

取胶原蛋白和鱼鳞胶原蛋白复合凝胶, 将其放在烧杯中在紫外灯下长时间照射 (0、10、20、30、40、50、60 min), 然后在 540 nm 波长下测定其吸光度, 绘制吸光值变化曲线。

1.3.4 罗非鱼鳞胶原蛋白复合凝胶对紫灯照射下大肠杆菌存活率的测量

1.3.4.1 菌种的选育

选用大肠埃希氏菌作为接受紫外辐射的细菌载体, 用来研究鱼鳞胶原蛋白复合凝胶材料对紫灯照射下大肠杆菌的影响^[15]。

1.3.4.2 制备培养基

LB 固体培养基: 胰蛋白胨 10 g、酵母提取物 5 g、氯化钠 10 g、营养琼脂 20 g; LB 液体培养基: 胰蛋白胨 10 g、酵母提取物 5 g、氯化钠 10 g。依照此配方

配置培养基^[13], 后续实验操作均在无菌操作台上完成。

1.3.4.3 大肠杆菌菌悬液的制备

从冰箱中取出保存的大肠杆菌冻干粉, 复苏菌种后, 将菌悬液接种于预先配置好的 LB 液体培养基里, 放入恒温震荡培养箱内培养至 OD 值为 1.2。

1.3.4.4 测定大肠杆菌紫外照射存活率

将试管中的菌悬液放在距离紫外灯 30 cm 处, 对每一组试管进行时长为 0、30、60、90、120、150、180、210、240、270、300 s 的紫外灯照射, 然后进行涂布平板, 最后将所有平皿放入生化培养箱进行 37 ℃、24 h 恒温培养, 24 h 后利用平板计数法计数。细菌紫外照射存活率公式:

$$\text{存活率} = \frac{\text{照射菌液活均数}}{\text{未照射菌液活均数}} \times 100\%$$

1.3.5 罗非鱼鳞胶原蛋白复合凝胶的色度测量

取 1.5 cm 厚度的鱼鳞胶原蛋白复合凝胶材料, 用 UltraScan VIS 色差仪测定样品的 L*, a* 和 b* 值。其中, L* 表示亮度, a* 表示红度, b* 为黄度, 每次测试重复三次取平均值。

1.3.6 罗非鱼鳞胶原蛋白复合凝胶的质构分析

采用 QTS-25 型质构仪分析罗非鱼鳞胶原蛋白复合凝胶材料的相关质构参数。测试条件如下: 测试探头 P/0.5, 力量感元 0.1 kg, 测试高度 15 mm, 测前、测试及测后速率均为 1 mm/s, 压缩应变 20%, 停留时间 5 s。每次测试重复三次取平均值^[15,16]。

1.3.7 罗非鱼鳞胶原蛋白复合凝胶的扫描电镜观察

胶原蛋白凝胶复合材料, 切块 (3×3×2 mm), 采用 2.5% 戊二醛溶液于 4 ℃ 固定 24 h, 去除固定液后用磷酸盐缓冲液 (0.2 mol/L, pH=7.2) 漂洗 3 次, 15 min/次, 去离子水冲洗 1 h。利用 30%、50%、70%、80%、90%、95% 乙醇梯度脱水, 每个梯度处理 15 min, 100% 乙醇脱水 2 次, 20 min/次, 最后经过二氧化碳临界干燥和离子溅射镀金后, 进行扫描电镜观察^[17]。

1.3.8 罗非鱼鳞胶原蛋白复合凝胶的流变学特性分析

采用 AR-500 动态流变仪测定凝胶在一定振荡频率的条件下, 时间扫描下凝胶样品黏弹性的变化。测定条件: 椎板 40 mm, 2°, 平衡时间 1 min, 扫描时间 0~50 min, 振荡频率为 60 rad/s, 选择 0.3% 的振荡应变来测定凝胶。在线性黏弹区内, 测定时间扫描中 G' 和 G'' 的变化及体系中温度变化^[18,19]。

1.4 数据分析

测定和分析结果采用 SPSS V15.0, 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 普通光和紫外光对胶原复合凝胶吸光值

的影响

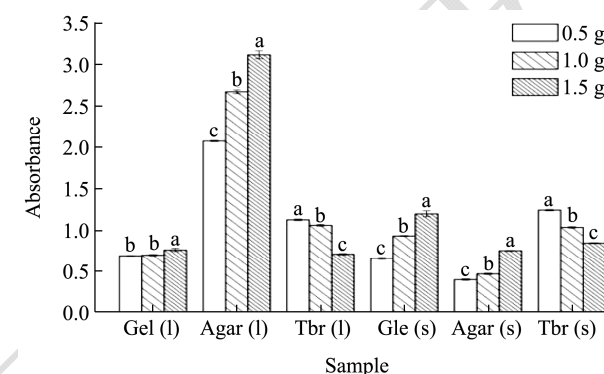


图1 凝胶材料在成凝胶前后对吸光度影响

Fig.1 The effect of gel material on the value of absorbance before and after gelation

注: 不同小写字母表示同一列比较具有显著性差异 ($p < 0.05$); Gel (l)、Agar (l)、Tbr (l): 成胶前, Gel (s)、Agar (s)、Tbr (s): 成胶后。

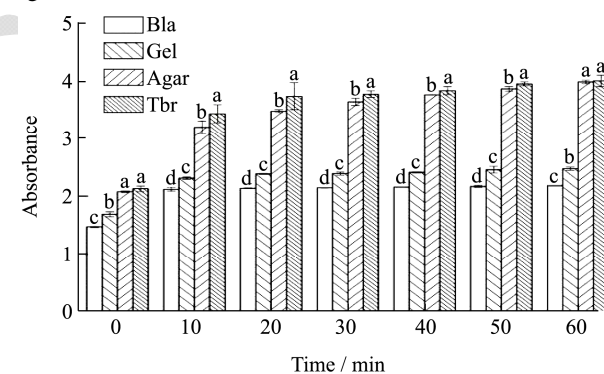


图2 紫外灯照射时间对复合凝胶吸光值的影响

Fig.2 Effect of UV lamp irradiation time on the value of absorbance of composite gel

注: 不同小写字母表示同一列比较具有显著差异 ($p < 0.05$)。

由图 1 可知, 琼脂与胶原形成凝胶前后吸光值变化较大, 且形成凝胶后吸光值减小; 而明胶、可得然胶与胶原形成凝胶前后吸光值变化较小, 且形成凝胶后的吸光值增大。另外, 明胶、琼脂形成的凝胶吸光值随其质量的增加而增大; 而可得然胶与胶原复合凝胶的吸光值是随其质量的增加而减小。由此可知, 明胶、琼脂和可得然胶使胶原结构发生了变化, 其中

可得然胶形成的凝胶吸光值的变化独特。

由图 2 可知, 胶原蛋白和三种复合凝胶的吸光值随着紫外灯照射时间增加逐渐增大, 其中吸光值在前 20 min 内上升较快, 在 20~60 min 内上升趋势较为平缓; 在紫外灯照射时间相同的情况下, 三种复合凝胶的吸光值大于胶原蛋白的吸光值。由此可知, 胶原蛋白和三种复合凝胶都能够吸收紫外线, 都具有抗紫外能力, 并且三种复合凝胶抗紫外能力比胶原蛋白抗紫外能力强^[14]。

2.2 鱼鳞胶原蛋白复合凝胶对紫灯照射下大肠杆菌的影响

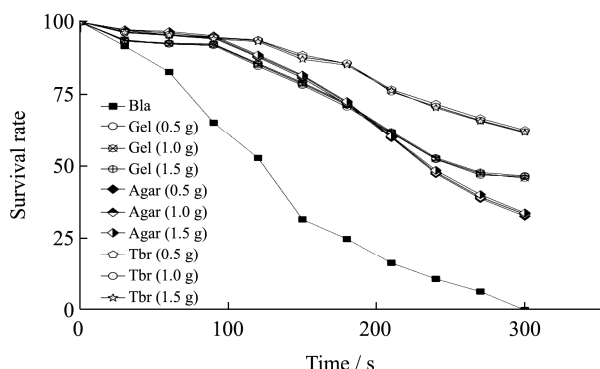


图 3 鱼鳞胶原蛋白复合凝胶对紫外灯照射下大肠杆菌的影响
Fig.3 Effect of fish scale collagen composite gel on Escherichia coli under ultraviolet light

由图 3 可知, 复合凝胶下的大肠杆菌存活率比空白组高, 说明促凝剂形成的凝胶延长了大肠杆菌的存活时间; 不同质量的促凝剂形成的凝胶大肠杆菌存活率相近, 说明促凝剂的添加量对大肠杆菌存活率影响较小。董渭雪等^[15]检测大鲵黏液糖蛋白保护大肠杆菌抵抗紫外线能力试验发现, 各样品在紫外照射 90 s 时大肠杆菌的存活率已经达到 0。而胶原蛋白和明胶、琼脂、可得然胶复合凝胶在紫外灯照射 300 s 保护下的大肠杆菌存活率分别为 0、46.43%±0.75%、33.28%±0.75%、62.06%±0.75%。由此可知, 胶原蛋白是抵抗紫外线优良的蛋白, 其中可得然胶复合凝胶材料的抗紫外作用最好, 可能是可得然胶与胶原有效的结合, 胶原被糖化修饰使分子间产生相互作用力^[9], 使胶原能够清除胞内氧自由基, 提高抗氧化酶活性, 通过抑制紫外辐照后的胶原降解, 从而抑制光老化和凋亡的发生, 降低光损伤程度, 达到对大肠杆菌的保护作用。

2.3 不同促凝剂对罗非鱼鱼鳞胶原蛋白色度

的影响

由表 1 可知, 加入相同种类促凝剂形成的复合凝胶, 随其质量的增大, Gel 和 Tbr 的 a*值和 b*值差异性逐渐减小, 并且 Tbr 样品的 L*值差异性也逐渐减小; 加入不同种类相同质量的促凝剂形成的复合凝胶, b*值差异性较大, 而 L*值、a*值差异性较小。由此可见, 不同促凝剂形成的凝胶材料构象变化不同, 其内部的二硫键、疏水键、巯基以及疏水基团等的含量不同, 使色度变化不同的。

表 1 促凝剂对胶原蛋白凝胶色度的影响

样品	L*	a*	b*
Gel(0.5 g)	36.61±0.70 ^e	3.29±0.27 ^a	11.62±1.05 ^a
Gel(1.0 g)	40.06±2.70 ^{bc}	1.83±0.39 ^{cd}	8.94±0.28 ^b
Gel(1.5 g)	42.75±0.30 ^a	1.89±0.26 ^{cd}	9.17±0.35 ^b
Agar(0.5 g)	41.33±0.75 ^{ab}	1.65±0.07 ^{cd}	7.69±0.57 ^c
Agar(1.0 g)	41.26±0.71 ^{ab}	1.56±0.11 ^{cd}	10.72±0.22 ^a
Agar(1.5 g)	40.15±0.31 ^{bc}	1.40±0.07 ^d	11.43±0.06 ^a
Tbr(0.5 g)	37.26±0.51 ^{de}	2.42±0.05 ^b	3.62±0.28 ^d
Tbr(1.0 g)	39.35±0.80 ^{bcd}	1.92±0.12 ^c	1.87±0.43 ^e
Tbr(1.5 g)	38.45±0.25 ^{cde}	1.65±0.08 ^{cd}	1.93±0.15 ^e

注: 不同小写字母表示同一列比较具有显著性差异 ($p < 0.05$)。Gel(0.5 g)、Gel(1.0 g)和Gel(1.5 g)表示: 明胶添加量为 0.5 g、1.0 g 和 1.5 g; Agar(0.5 g)、Agar(1.0 g)和 Agar(1.5 g): 琼脂添加量分别为 0.5 g、1.0 g 和 1.5 g; Tbr(0.5 g)、Tbr(1.0 g)和 Tbr(1.5 g): 可得然胶添加量分别为 0.5 g、1.0 g 和 1.5 g。

2.4 不同促凝剂对罗非鱼鱼鳞胶原蛋白质构特性的影响

由表 2 可知, 促凝剂对胶原蛋白分子硬度、黏性和回弹性等有明显的影响, 而对弹性、黏结性影响不显著。促凝剂的添加量越多, 胶原凝胶的硬度、黏性越大, 其中可得然胶添加量越多, 胶原凝胶的硬度、黏性均匀增大。由于可得然胶和胶原复合, 凝胶中的离子键、氢键、疏水键、二硫键和非二硫共价键发生变化, 氢键、离子键含量较低, 对分子间的作用力产生影响, 疏水性基团不易暴露, 暴露出来的巯基, 被氧化成二硫键, 导致胶原凝胶的变性和解聚, 形成新的有序结构, 此时形成的胶原凝胶材料硬度、黏性增大^[20]。

表 2 促凝剂对罗非鱼鱼鳞胶原蛋白特性的影响

Table 2 Effect of coagulant on the protein structure of tilapia fish scale collagen

样品	硬度	弹性	黏结性	黏性	回弹性
Gel(0.5 g)	141.31±16.65 ^f	1.03±0.16 ^a	0.81±0.10 ^a	130.20±24.53 ^c	0.71±0.21 ^b
Gel(1.0 g)	170.30±12.65 ^{ef}	0.95±0.03 ^a	0.78±0.07 ^a	127.36±17.45 ^c	0.73±0.11 ^b
Gel(1.5 g)	237.29±39.62 ^{de}	1.17±0.19 ^a	0.79±0.24 ^a	222.73±56.20 ^c	0.81±0.15 ^b
Agar(0.5 g)	152.361±6.90 ^{ef}	0.97±0.02 ^a	0.90±0.07 ^a	146.19±23.06 ^c	0.65±0.08 ^b
Agar(1.0 g)	173.86±10.43 ^{ef}	0.98±0.01 ^a	1.12±0.42 ^a	137.57±19.46 ^c	1.57±0.14 ^a
Agar(1.5 g)	779.67±31.32 ^a	0.98±0.02 ^a	0.84±0.14 ^a	604.45±76.34 ^a	1.83±0.48 ^a
Tbr(0.5 g)	290.49±33.25 ^d	1.14±0.13 ^a	0.68±0.18 ^a	178.88±71.06 ^c	0.35±0.14 ^b
Tbr(1.0 g)	483.77±61.93 ^c	1.04±0.07 ^a	0.72±0.07 ^a	334.23±21.45 ^b	0.36±0.08 ^b
Tbr(1.5 g)	594.80±65.23 ^b	1.22±0.06 ^a	0.85±0.11 ^a	521.07±100.71 ^a	0.47±0.11 ^b

注：不同小写字母表示同一列比较具有显著性差异 ($p < 0.05$)。

2.5 促凝剂的添加对罗非鱼鱼鳞胶原蛋白的微观结构的影响

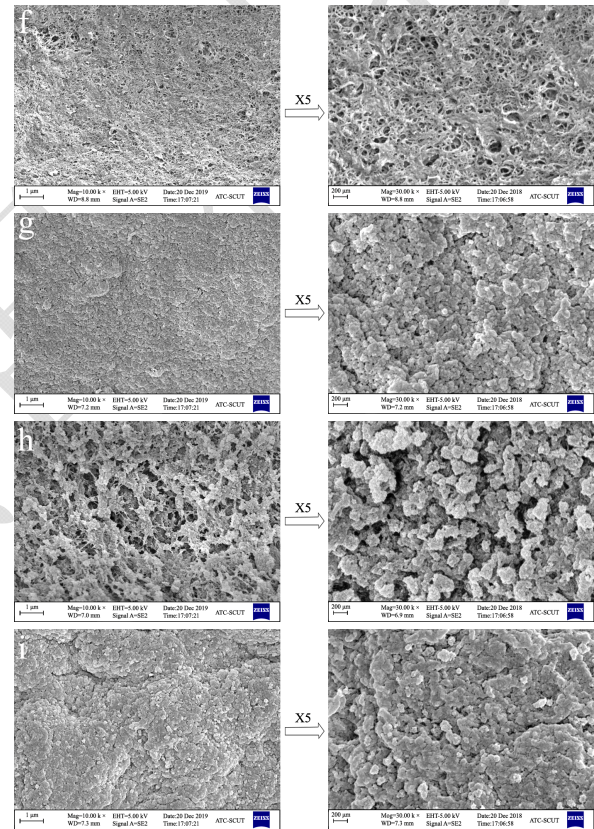
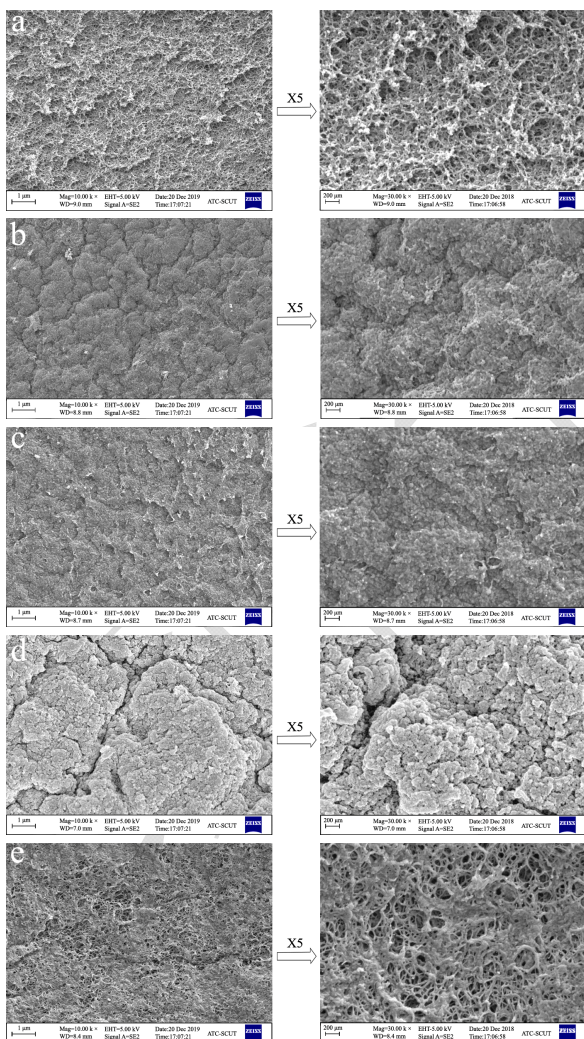


图 4 促凝剂的添加对胶原蛋白的微观结构的影响

Fig.4 Effect of the addition of coagulant on the microstructure of collagen

注：a: Gel(0.5 g); b: Gel(1.0 g); c: Gel(1.5 g); d: Agar(0.5 g); e: Agar(1.0 g); f: Agar(1.5 g); g: Tbr(0.5 g); h: Tbr(1.0 g); i: Tbr(1.5 g)。

胶原蛋白的网状结构发生变化，必然会影响到胶原蛋白的吸光值。由图 4 可知，明胶的添加使胶原暴露出更多的-SH 基团，促进了二硫键的交联，形成致密

的细纤维网状结构(图 4a~c), 导致凝胶的吸光值增大; 琼脂的添加导致凝胶纤维又粗又短, 在凝胶内形成更大的孔, 胶原白网状结构变得疏松(图 4d~f), 导致凝胶吸光值降低。可得然胶的添加, 使其分子紧密吸附于胶原活性肽链上, 形成结构较稳定的复配物(图 4d~f), 提高了凝胶的吸光值。可得然胶与胶原有效结合, 抑制紫外线照后胶原的降解, 降低光损伤程度, 展现出良好的抗辐射活性。由此可见, 可得然胶分子与胶原有效结合, 可得然胶分子增强了凝胶的抗辐射能力。

2.6 促凝剂对胶原凝胶的黏弹性的影响

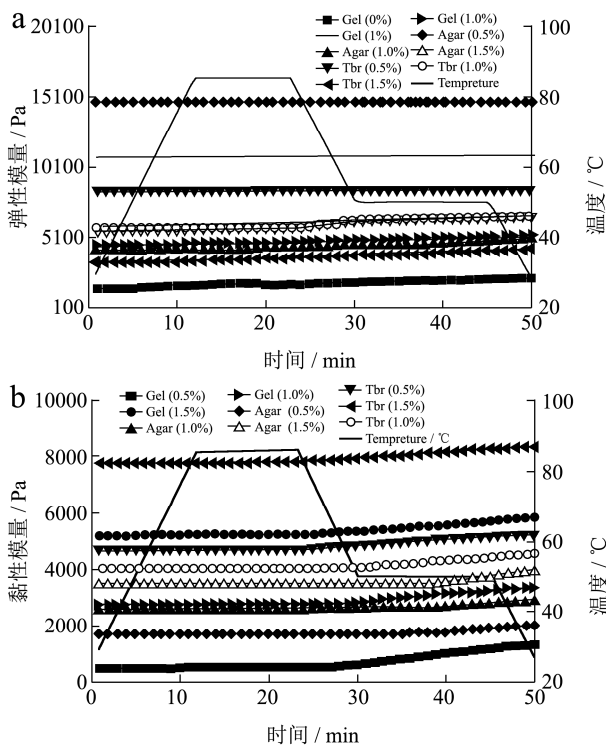


图5 促凝剂对胶原凝胶黏弹性的影响

Fig.5 Effect of coagulant on the viscoelasticity of collagen gel

为了研究复合凝胶表面可得然胶分子之间的关系对凝胶抗紫外辐射能力的影响, 通过黏弹性分析来确定凝胶的机械性质^[20]。由图 5 可知, 胶原凝胶的黏弹性通过测量 G' (a) 和 G'' (b) 来确定。在 25 °C~85 °C 内凝胶的 G' 和 G'' , 充分反映了凝胶支架在重塑过程中的黏弹性。与胶原相同, G' 和 G'' 随时间的增大而增大, 与先前报道的数据一致^[20-22]。凝胶在整个过程中 G' 都大于 G'' , 反映了胶原的凝胶特性。促凝剂的含量越高, G' 和 G'' 就越大, 硬度和黏度越大, 这也印证了糖化修饰的胶原凝胶的特性^[23]。可得然胶使胶原的 G' 和 G'' 明显高于明胶和琼脂, 并且温度的变化对其影响较小^[23]。这是由于胶原与可得然胶有效结合, 被糖化修饰使分子间产生了相互作用力, 表现出更强的 G'

和 G'' 进而产生协同增效作用。

3 结论

本文采用三种促凝剂分别与罗非鱼鱼鳞胶原蛋白形成凝胶, 其中可得然胶对胶原抗紫外辐射作用以及理化特征的影响显著。结果表明, 明胶、琼脂和可得然胶使胶原结构发生了变化, 其中可得然胶形成的凝胶吸光值的变化独特; 在紫外灯照射 300 s 后, 胶原蛋白和明胶、琼脂、可得然胶复合凝胶保护下的大肠杆菌存活率分别为 0、46.43%±0.75%、33.28%±0.75%、62.06%±0.75%, 由此可知, 三种复合凝胶抗紫外辐射的作用比胶原蛋白强, 其中可得然胶复合凝胶抗紫外辐射效果最好; 不同促凝剂对凝胶色度的影响不同, 促凝剂的种类和质量对胶原蛋白分子的硬度、黏性和回弹性等有明显影响, 而对弹性、黏结性影响不大; 扫描电镜显示可得然胶与胶原蛋白有效结合, 吸附于胶原蛋白活性肽链上, 形成结构较稳定的复配物; 通过流变学方法测量 G' 和 G'' 来确定胶原凝胶的黏弹性发现, 可得然胶形成的凝胶 G' 和 G'' 较大, 且时间和温度的变化对其影响较小。

参考文献

- [1] 刘雨萱, 陈媛, 李美良, 等. 罗非鱼鱼鳞胶原蛋白的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 21(3): 1-13
LIU Yu-xuan, CHEN Yuan, LI Mei-liang, et al. Research progress of tilapia fish scale collagen [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 21(3): 1-13
- [2] 吴谦, 申铨日, 武林贺, 等. 罗非鱼鱼鳞胶原蛋白水解物对成骨细胞 MC3T3-E1 增殖分化的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 120-124
WU Qian, SHEN Xuan-ri, WU Lin-he, et al. Effect of collagen hydrolysates from tilapia fish scale on the proliferation and differentiation of MC3T3-E1 [J]. Food Science and Technology, 2016, 41(8): 120-124
- [3] Chun-Yung Huang, Jen-Min Kuo, Shu-Jing Wu, et al. Isolation and characterization of fish scale collagen from tilapia (*Oreochromis* sp.) by a novel extrusion-hydro-extraction process [J]. Food Chemistry, 2016, 190: 997-1006
- [4] 王兆梅, 廖伟, 李琳, 等. 胶原蛋白在离子液中的溶解及流变特性[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 34-37
WANG Zhao-mei, LIAO Wei, LI Lin, et al. Dissolution and rheological behavior of collagen in ionic liquids [J]. Journal of Functional Materials, 2014, 30(11): 34-37
- [5] Pal G K, Suresh P V. Sustainable valorisation of seafood by-products: Recovery of collagen and development of

- collagen-based novel functional food ingredients [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2016, 37: 201-215
- [6] Jochen, Bürck, Stefan H, et al. Resemblance of electrospun collagen nanofibers to their native structure [J]. *Langmuir*, 2013, 29(5): 1562-1572
- [7] 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
- [8] Okuda T, Yasui N, et al. Effects of amla extract and collagen peptide on UVB-induced photo aging in hairless mice [J]. *Journal of Functional Foods*, 2013, 5(1): 451-459
- [9] 任舒文. 几种海洋特征寡糖-胶原蛋白复配物对紫外辐射损伤的保护作用及机制研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010
- REN Shu-wen. Protective effects and mechanisms of complexes combined deep-sea fish skin collagen peptides with different marine oligosaccharides against ultraviolet-induced damage [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010
- [10] Nishimoto M, Mizuta S, Yoshinaka R. Characterization of molecular species of collagen in muscles of Japanese amberjack, *Seriola quinqueradiata* [J]. *Food Chemistry*, 2004, 84(1): 127-132
- [11] 周婉, 李芸, 马也, 等. 虾青素-胶原蛋白耦合物改善小鼠皮肤光老化作用研究[J]. *中国海洋药物*, 2018, 37(3): 59-65
- ZHOU Wan, LI Yun, MA Ye, et al. Effect of astaxanthin-collagen coupling on photo aging of skin in mice [J]. *Chinese Journal of Marine Drugs*, 2018, 37(3): 59-65
- [12] 王卫, 侯振洲, 赵剑, 等. CT 辐射防护方法的研究现状[J]. *影像研究与医学应用*, 2018, 2(24): 3-4
- WANG Wei, HOU Zhen-zhou, ZHAO Jian, et al. Research status of CT radiation protection methods [J]. *Journal of Imaging Research and Medical Applications*, 2018, 2(24): 3-4
- [13] Andriakopoulou C E, Zadpoor A A, Grant M H, et al. Development and mechanical characterisation of self-compressed collagen gels [J]. *Materials Science and Engineering*, 2018, 84: 243-247.
- [14] Nishimoto M, Mizuta S, Yoshinaka R. Characterization of molecular species of collagen in muscles of Japanese amberjack, *Seriola quinqueradiata* [J]. *Food Chemistry*, 2004, 84(1): 127-132
- [15] 董渭雪, 陈德经, 辛茜, 等. 大鲵黏液糖蛋白的抗氧化及防紫外作用[J]. *陕西理工大学学报(自然科学版)*, 2018, 34(3): 54-58
- DONG Wei-xue, CHEN De-jing, XIN Xi, et al. Antioxidation and anti-UV effect of giant salamander mucus glycoprotein [J]. *Journal of Shaanxi University of Technology*, 2018, 34(3): 54-58
- [16] 梁健华, 朱志伟, 陈竹兵. 超声波对鱼皮中杂蛋白的除去效果及对鱼皮中纤维结构的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(11): 155-161
- LIANG Jian-hua, ZHU Zhi-wei, CHEN Zhu-bing. Effects of HIU-aided pretreatment of crude protein in fish skin: Separation and structure [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(11): 155-161
- [17] Chen S, Hirota N, Okuda M, et al. Microstructures and rheological properties of tilapia fish-scale collagen hydrogels with aligned fibrils fabricated under magnetic fields [J]. *Acta Biomaterialia*, 2011, 7(2): 644-652
- [18] Jian W, Wu H, Wu L, et al. Effect of molecular characteristics of konjac glucomannan on gelling and rheological properties of Tilapia myofibrillar protein [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 150: 21-31
- [19] Yang Y L, Kaufman L J. Rheology and confocal reflectance microscopy as probes of mechanical properties and structure during collagen and collagen/hyaluronan self-assembly [J]. *Biophysical Journal*, 2009, 96(4): 1566-1585
- [20] Schuetz T, Richmond N, Harmon M E, et al. The microstructure of collagen type I gel cross-linked with gold nanoparticles [J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2012, 101C(1): 118-125
- [21] Francis-Sedlak M E, Uriel S, Larson J C, et al. Characterization of type I collagen gels modified by glycation [J]. *Biomaterials*, 2009, 30(9): 1851-1856
- [22] Hu H, Li B, Xue Z, et al. The effect of pacific cod (*Gadus macrocephalus*) skin gelatin polypeptides on UV radiation-induced skin photo aging in ICR mice [J]. *Food Chemistry*, 2012, 115(3): 945-950