

11S 大豆球蛋白对鸡肌球蛋白凝胶品质特性的影响

张秋会^{1,2}, 李苗云², 高晓平², 张建威², 赵改名², 岳喜庆¹

(1. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866) (2. 河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450002)

摘要: 为了更好地揭示大豆蛋白质在肉制品加工中的作用, 为肉糜类制品加工提供理论基础, 本文将鸡胸脯肉和大豆蛋白质中的含量最多和最重要的肌球蛋白与 11S 大豆球蛋白分别进行了提取, 并利用十二烷基磺酸钠凝胶电泳对蛋白质进行了鉴定; 采用质构仪、低场核磁共振仪、扫描电镜等现代生物技术的方法和手段研究了 11S 大豆球蛋白添加浓度对肌球蛋白凝胶品质特性的影响, 结果表明: 所提取的两种蛋白质纯度都达到了 90% 以上; 低浓度的 11S 大豆球蛋白对肌球蛋白凝胶的保水性有提高作用, 较高浓度的添加显著降低凝胶保水性; 11S 大豆球蛋白能对肌球蛋白凝胶强度影响不大; 高浓度的 11S 的添加能够使肌球蛋白凝胶形成空洞直径较大的不均匀的微观结构。综合考虑, 4% 11S 的添加量能够获得理想的肌球蛋白凝胶品质。

关键词: 11S 大豆球蛋白; 肌球蛋白; 保水性; 凝胶强度; 微观结构

文章编号: 1673-9078(2015)3-103-107

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.3.018

Effect of 11S Globulin on the Properties of Chicken Myosin Gel

ZHANG Qiu-hui^{1,2}, LI Miao-yun², GAO Xiao-ping², ZHANG Jian-wei², ZHAO Gai-ming², YUE Xi-qing¹

(1. College of Food, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

(2. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to reveal more accurately the role of soybean protein in meat processing and to provide the theoretical basis for minced meat processing, important proteins such as myosin and 11S globulin (high abundant in meat and soybean proteins) were extracted from chicken breast muscle and soybean, respectively, for this study. SDS-PAGE was used to determine the purity of myosin and 11S globulin. The effect of 11S globulin on the properties of chicken myosin gel was investigated by modern biotechnological methods, including texture analysis, low-field NMR, and SEM. The results showed that the purity of the two extracted proteins exceeded 90%. Low concentrations of 11S globulin improved the water holding capacity (WHC) of the myosin gel, but at high concentrations, the WHC decreased significantly. 11S globulin had little effect on the strength of the myosin gel. Higher concentrations of 11S globulin promoted inhomogeneous microstructures with larger holes in the myosin gel. Collectively, the desired quality of the myosin gel was obtained with the 11S globulin content of 4%.

Key words: 11S globulin; myosin; water holding capacity; gel strength; microstructure

肌球蛋白是肌肉中含量最高也是最重要的蛋白质, 约占肌肉总蛋白质的三分之一, 占肌原纤维蛋白的 50~55%, 有很好的凝胶能力^[1]。重组低温肉制品和肉糜类产品的品质, 肌球蛋白的功能特性, 即肌球蛋白的凝胶性、保水性、结合性等决定了肉制品的品质^[2]。国内外均有报道证实了肌球蛋白的功能特性尤其是凝胶特性受很多因素的影响, 如盐类^[3]、pH 值^[4]、离子强度^[5]、非肉添加物质^[6]、制备条件^[7]、加工条件等^[1, 8]等有密切关系。

长期以来, 在肉制品加工中, 特别是肉糜类制品

中, 许多非肉蛋白质成分^[9-10] (非肉动物蛋白和植物基蛋白、碳水化合物、胶体类物质、盐类等), 尤其是大豆分离蛋白质, 作为增稠剂、胶凝剂、乳化稳定剂、水分保持剂、粘合剂和填充剂等添加到肉制品中, 不仅具有营养作用, 而且能够改善肉制品风味、出品率、外观、质地等肉制品品质特性^[11]。11S 是大豆分离蛋白中具有凝胶特性的含量最多, 最重要的蛋白质, 为了更好地说明大豆分离蛋白在肉制品加工中的作用, 更清楚地说明大豆分离蛋白对肌肉凝胶品质特性的影响, 本研究以 11S 大豆球蛋白和鸡肌球蛋白混合凝胶为研究对象, 利用十二烷基磺酸钠凝胶电泳 (polyacrylamide gel electrophoresis, SDS-PAGE)、扫描电镜 (scanning electron microscope, SEM)、保水性、质构仪、核磁共振仪 (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) 等手段和方法, 对肌球蛋白和 11S 混合凝胶的品质特性以及品质特性间的相关性进行分析, 讨论

收稿日期: 2014-07-29

基金项目: 河南省教育厅科学技术研究重点项目 (12B550007)

作者简介: 张秋会 (1978-), 女, 在读博士, 讲师, 研究方向为低温肉制品加工与品质控制

通讯作者: 赵改名 (1965-), 男, 博士, 教授, 研究方向为肉品科学; 岳喜庆 (1966-), 男, 博士, 教授, 研究方向为动物性食品科学利用

11S 对肌球蛋白凝胶品质特性的影响, 探讨 11S 在混合凝胶中的作用, 为构建 11S 大豆球蛋白和肌球蛋白在凝胶形成中的相互作用机制奠定基础。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

主要实验原料为 6~8 周的三黄鸡(养殖场圈养)购于河南省郑州市某批发市场; 大豆(郑 0451)购于河南省农业科学研究所。

1.2 化学材料

所使用的主要化学试剂有 KCl、 KH_2PO_4 、 K_2HPO_4 、EDTA、焦磷酸钠、PIPES(对二氯己环-1,4-二(2-乙磺酸))、 MgCl_2 、固体 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 NaHCO_3 、 CaCl_2 、 Na_2CO_3 、HCl、NaOH、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、酒石酸钾钠($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)、牛血清蛋白等均为分析纯, 市售。

电泳试剂为进口分装产品; 电泳用标准蛋白(次高分子量 9 条带 Marker, 14.4~200 kD)为 TAPARA 公司的 Premixed Protein Marker, 货号 DPP530A。

1.3 实验仪器

本实验使用的主要仪器有 SIM-F140AY65 制冰机, 日本三洋; Hitachi S-3400N 扫描电子显微镜, 日本日立; TA.XT.PLUS 质构仪, 北京微讯超技仪器技术有限公司; NMR PQ001 分析仪, 上海纽迈电子有限公司; TU-1901 紫外可见分光光度计, 北京普析通用仪器有限公司; ALLEGRA-64A 高速冷冻离心机, BECKMAN COULTER; DYY-5 稳压稳流电泳仪, 北京市六一仪器厂; DYCZ-24 DN 型电泳槽, 北京市六一仪器厂; EC3 Imaging System, Ultra-Violet Products Ltd.等。

1.4 实验方法

1.4.1 鸡肌球蛋白的提取

肌球蛋白的提取方法参考Cao Yingying等人的方法进行^[1], 并进行了修改。详细过程如下:

将鸡采用刺杀放血法, 放血, 取下鸡胸脯肉(烫毛之前), 称重, 除去可视结缔组织和脂肪, 切碎称重, 用绞肉机搅约 2~3 min 形成肉糜, 在肉中加入 3 倍体积(V/M, 样品重量的)更改的Guba-Straub(GS)溶液(0.3 mol/L KCl, 0.1 mol/L KH_2PO_4 , 0.05 mol/L K_2HPO_4 , 1 mmol/L EDTA, 4 mmol/L 焦磷酸钠, pH 6.5), 搅拌提取 10 min, 以样品重 3 倍体积(V/m)的冷蒸馏水(0~4 °C)

稀释, 3000×g 离心 20 min, 取上清, 四层纱布过滤; 在滤液中加入 6.5 倍上清体积的(V/V)的 1 mmol/L EDTA 溶液(pH 7.0), 静置 2 h(或者过夜)。虹吸出溶液中上清部分, 余下部分于 4 °C, 10000×g 离心 10 min, 得到粗蛋白。

取沉淀溶解在 1 体积的 3 mol/L KCl, 轻轻搅拌溶解(静置 2 h 或者过夜)。在溶液中加入 2.725 倍体积(3 mol/L KCl 溶液的体积)的冷蒸馏水, 同时加入 1 mol/L MgCl_2 和 0.1 mol/L 焦磷酸钠使其浓度均为 5 mmol/L, 使 KCl 浓度为 0.6 mol/L, 剧烈搅拌 10 min, 加入冷却的蒸馏水, 调节离子强度为 0.3, pH 6.6 左右, 10000×g 离心 15 min, 4 °C 冷冻离心, 取上清, 调节溶液离子强度为 0.03, 静置 2 h 或者过夜, 虹吸出上清部分, 再次在 4 °C 条件下, 10000×g 离心 10 min, 收集沉淀, 重复上述操作一次。

取沉淀, 加入 1 倍体积的 3 mol/L KCl, 25 mmol/L PIPES 的缓冲液(pH 7.0)溶解, 轻轻搅拌, 静置 2 h 或者过夜溶解。在溶液中加入 2.725 倍体积(PIPES 的缓冲液的体积)的冷蒸馏水, 使 KCl 的浓度为 0.6 mol/L, 加入 1 mol/L MgCl_2 和 0.1 mol/L 焦磷酸钠使其浓度分别为 5 mmol/L, 剧烈搅拌 10 min; 在上清中缓慢加入固体 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (2 min 内加完, 保证硫酸铵的良好分散), 使其饱和浓度达到 35%, 10000×g 离心 25 min; 取上清; 在上清中缓慢加入固体 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (2 min 内加完), 使其饱和浓度达到 48%, 继续搅拌 10 min。10000×g 离心 15 min, 取沉淀。在沉淀中加入 1 体积(沉淀体积)的 0.6 mol/L KCl, 20 mmol/L KH_2PO_4 - K_2HPO_4 磷酸盐缓冲液(PBS, pH 6.5), 并以此溶液作为透析液透析 24 h, 中间换透析液一次。肌球蛋白溶液于 0~4 °C 贮存(至多一周), 备用。所有操作均在 0~4 °C 下进行。

1.4.2 11S 大豆球蛋白的提取

11S 的提取主要参考 Motohiko Hirotsuka 的方法^[12], 并进行了修改。详细过程如下:

选用优质大豆, 先用粉碎机把大豆粉碎, 过 60 目筛, 备用。称取一定量的大豆粉, 加入 10 倍体积(10:1, V/m)的石油醚, 室温放置 12 h, 过滤除去石油醚, 反复以上操作 2~3 次, 然后在 40 °C 干燥, 得到脱脂大豆粉。取一定量的脱脂大豆粉, 加入 8 倍体积(V/m, 豆粉重量)的蒸馏水, 用 5 mol/L 的 NaOH 调 pH 为 8.0, 室温搅拌 1 h, 然后 3000×g, 25 °C, 离心 10 min, 收集上清液。再在沉淀中加入 5 倍体积(豆粉重量)的蒸馏水, 继续室温搅拌 30 min, 然后 3000×g, 25 °C, 离心 10 min, 收集所有上清液。

在上清液中加入无水 Na_2SO_3 , 使其最终浓度为 1 mmol/L, 用 7 mol/L 的 HCl 调 pH 为 6.4, 将溶液置

于 0~2 °C 冰浴处理 2 h 或过夜, 然后 3000×g, 4 °C, 离心 10 min, 沉淀即为 11S。再在沉淀中加入 1 倍上清体积的蒸馏水, 加入无水 Na₂SO₃, 使其最终浓度为 1 mmol/L, 调 pH 为 6.4, 将溶液置于 0~2 °C 冰浴处理 2 h 或过夜, 然后 3000×g, 4 °C, 离心 10 min, 沉淀即为 11S。

将沉淀溶解于 6 倍体积 (V/m, 豆粉重量) 的 PBS (0.6 mol/L KCL, 20 mmol/L KH₂PO₄-K₂HPO₄) 溶液中, 3 000×g, 25 °C, 离心 10 min 除去不溶解部分, 备用。

1.4.3 蛋白质浓度测定

蛋白质的浓度的测定采用双缩脲法^[1], 标准蛋白采用牛血清白蛋白进行。

1.4.4 蛋白质电泳

采用 LAEMMLI^[13] 的不连续 SDS-PAGE 系统及技术进行, 分离胶质量分数为 17%, 聚合胶质量分数为 5%, 电泳初始电压为 80 V, 进入分离胶后调整电压至 120 V。

电泳结束后, 小心取下分离胶, 室温染色过夜, 再在室温下脱色, 每隔 3~4 h 换 1 次脱色液, 至背景无色, 采用凝胶成像分析系统进行分析。

1.4.5 凝胶的制备

制备凝胶时, 调整蛋白质浓度为 20 mg/mL, pH 为 6.5, 离子强度为 0.6, 按照蛋白质总浓度添加 11S, 混匀, 每组做三个平行。密封后放入水浴锅中加热, 从 25 °C 升温至 65 °C (加热速度控制在 1 °C/min), 并在 65 °C 下保温 20 min 取出, 室温冷却半小时后在 4 °C 下过夜保存, 备以测定凝胶品质特性。

1.4.6 凝胶保水性测定

凝胶保水性测定方法参考 Cao Yingying 等人的方法进行^[1]。

1.4.7 凝胶强度测定

利用 TA.XT.plus 质构仪测定凝胶强度, 单位为 g。质构分析参数设定: 探头型号 (P5mm Dia cylinder stainless); 测试模式: compression; 测试前探头速度为 1.00 mm/s; 测试时探头速度为 1.00 mm/s; 检测后速度为 1.00 mm/s; 目标模式: Distance; 触发类型: Button; 打破模式: Off。然后用质构仪自带的软件 Texture Expert English 1.22 中的 TPAFRAC.MAC 过程进行分析, 计算凝胶强度。

1.4.8 凝胶 NMR 自旋-自旋弛豫时间(T₂)测定

NMR 弛豫测量在纽迈台式脉冲 NMR 分析仪 PQ001 上进行。测试条件为: 质子共振频率为 22.6 MHz, 测量温度为 32 °C。测定和分析方法参考 Han Minyi 等人^[14]的方法进行。

1.4.9 凝胶微观结构测定

凝胶微观结构的测定参考 Cao Yingying 等人^[1]的方法, 将制备好的凝胶进行脱水处理, 干燥后进行喷金, 于扫描电子显微镜下观察凝胶微观结构。

1.4.10 实验设计

采用单因素实验, 分别测定了不同 11S 添加量对肌球蛋白质凝胶保水性、凝胶强度、微观结构的影响。

1.5 数据统计分析

利用 SPSS19.0 进行方差分析和相关性分析, 差异显著性 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 蛋白质标准曲线

按照上述肌球蛋白质浓度测定方法建立的标准曲线为 $y=0.2342x$, $R^2=0.9997$ 。提取的肌球蛋白质浓度为 20~40 g/L, 提取率在 1% 左右。

2.2 肌球蛋白和 11S 的鉴定

图 1 是 11S 大豆球蛋白和肌球蛋白质的 SDS-PAGE 电泳图谱。肌球蛋白相对分子质量为 470 kD~510 kD^[1], 由 2 条重链(205 kD)的和 4 条轻链(16、18、22、30 kD) 组成^[15]。从图中可以看出, 肌球蛋白各分离良好, 肌球蛋白亚基占 93.10%。

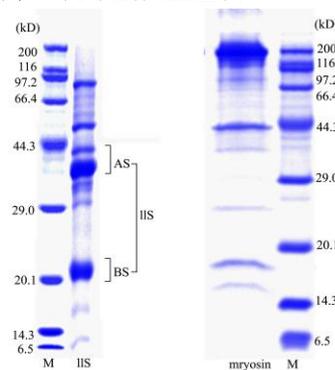


图 1 肌球蛋白和 11S 大豆球蛋白 SDS-PAGE

Fig.1 SDS-PAGE of myosin and 11S globulin

11S 大豆球蛋白主要由酸性亚基 (AS、A_{1a}38000、A_{1b}38000、A₂38000、A₃45000、A₄38000、A₅11000) 和碱性亚基(BS, B19000)组成^[27]。根据 SDS-PAGE 实际实验结果, 所得 11S 大豆球蛋白分子量分别为 82.55、49.42、41、34.84、20.21、13.1 kD, 其中前两个条带可能为 7S 的亚基 (α 68000、 α' 72000、 β 52000), 11S 亚基条带占亚基总量的 91.43%。

2.3 11S 对肌球蛋白凝胶品质的影响

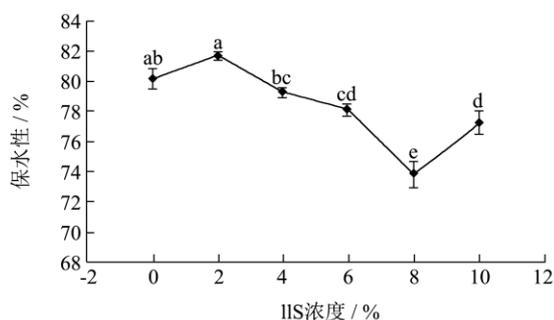


图 2 11S 添加浓度对肌球蛋白凝胶保水性的影响

Fig.2 Effect of 11S concentration on the water holding capacity of chicken myosin gel

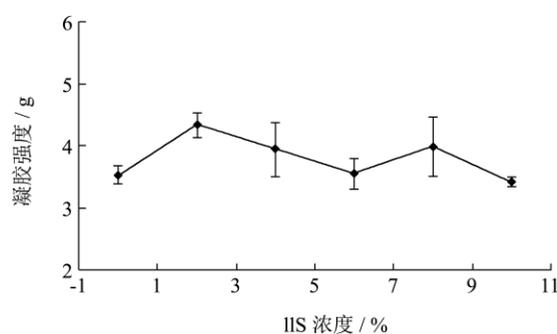


图 3 11S 添加浓度对鸡肌球蛋白凝胶强度的影响

Fig.3 Effect of 11S concentration on the strength of chicken myosin gel

图 2 是 11S 添加浓度对肌球蛋白凝胶保水性的影响。从结果可以看出，11S 的添加浓度对肌球蛋白的保水性有显著影响。2~4% 浓度范围保水性变化不显著；2% 添加量使保水性有所增高，4% 添加量又降低了保水性；6~10% 范围内显著降低了肌球蛋白凝胶的保水性；主要原因可能是 11S 大豆球蛋白活性基团和肌球蛋白活性基团形成交联，在凝胶中形成较大的空洞，不能够保持住更多的水分；建议后期研究过程中考虑 4~6% 的添加量，有利于形成高保水性的凝胶。

图 3 是 11S 添加浓度对肌球蛋白凝胶强度的影响。从结果可以看出，11S 的添加对肌球蛋白凝胶强度的影响不显著。2~8% 添加量范围内，肌球蛋白凝胶强度有升高趋势；10% 添加量又降低了肌球蛋白凝胶强度；低浓度 11S 的添加有助于形成硬的凝胶，较高浓度的 11S 的添加凝胶则较软；形成这种现象的原因可能是在高浓度的 11S 凝胶中出现较多、较大而不均匀的空洞。

凝胶中的水分可以分为不可移动水、可移动水和自由水，其中可移动水占总水分的 80%。肌肉凝胶的保水性主要取决于凝胶对不易流动水的保持能力，韩敏仪等人认为可移动水可以增加凝胶的保水性。

NMR 拟合后得到三种水分，0~10 ms 内的为 T_{21} （不可移动水），10~100 ms 内的为 T_{22} （可移动水），100 ms 以上的合并为 T_{23} （自由水）。表 1 是 11S 添加浓度对肌球蛋白凝胶弛豫时间的影响。从结果可以看出，11S 的添加显著降低了不可移动水和自由水的出峰时间，显著升高了可移动水的出峰时间。

表 1 11S 添加浓度对肌球蛋白凝胶弛豫时间的影响

Table 1 Effect of 11S concentration on the relaxation time of myosin gel

11S 浓度 / (%以总蛋白计)	T_{21}/ms	T_{22}/ms	T_{23}/ms
0	2.06±0.13 ^a	34.65±1.79 ^c	1267.40±102.17 ^a
2	1.54±0.22 ^{ab}	47.61±2.16 ^a	563.10±48.54 ^c
4	1.20±0.13 ^b	34.16±2.05 ^c	1072.30±0.00 ^b
6	1.09±0.25 ^b	36.92±3.71 ^{bc}	1112.40±40.15 ^{ab}
8	1.03±0.60 ^b	43.50±2.48 ^{ab}	1152.60±46.36 ^{ab}
10	0.80±0.08 ^b	32.32±3.21 ^c	1232.80±0.00 ^{ab}

如果用 P_{21} 、 P_{22} 、 P_{23} 分别表示不可移动水、可移动水和自由水的峰面积，即 T_{21} 积分峰面积、 T_{22} 积分峰面积和 T_{23} 积分峰面积，即可获得如表 2 11S 添加浓度对肌球蛋白凝胶弛豫时间积分峰面积的影响。从结果中可以看出，11S 的添加量在 2~4% 范围内，显著升高了凝胶中不可移动水的峰面积，对于可移动水和自由水的峰面积没有显著影响，这和保水性变化规律基本一致；在 6~10% 添加范围内，11S 的添加对可移动水和自由水峰面积影响不显著，但对于不可移动水仍然是有显著升高作用。

表 2 11S 添加浓度对肌球蛋白凝胶弛豫时间积分峰面积的影响

Table 2 Effect of 11S concentration on the peak area integration of myosin gel relaxation time

11S 浓度 / (%以总蛋白计)	P_{21}	P_{22}	P_{23}
0	8.16±0.19 ^c	16.80±1.15	357.67±3.94 ^{ab}
2	10.18±0.03 ^c	17.92±2.29	366.03±1.24 ^a
4	16.25±0.57 ^a	15.72±0.45	365.37±0.77 ^{ab}
6	9.03±0.39 ^c	18.83±0.73	349.88±2.85 ^c
8	14.40±1.11 ^{ab}	15.51±0.90	354.82±2.58 ^c
10	13.53±1.41 ^b	16.84±0.92	356.90±3.09 ^{bc}

图 4 是 11S 添加浓度对肌球蛋白微观结构的影响。从图中可以看出，11S 的添加改变了肌球蛋白凝胶的不规则丝状网络结构，使肌球蛋白凝胶丝状结构更加明显，空洞数量增多；4% 添加量以下，不规则空洞数量增多，大小较均匀；6% 以上时，不规则空洞增大，丝状网络结构有断裂。这种现象可能是导致保水性显著变化的原因，也是导致高浓度 11S 添加量时凝

胶强度降低的因素。

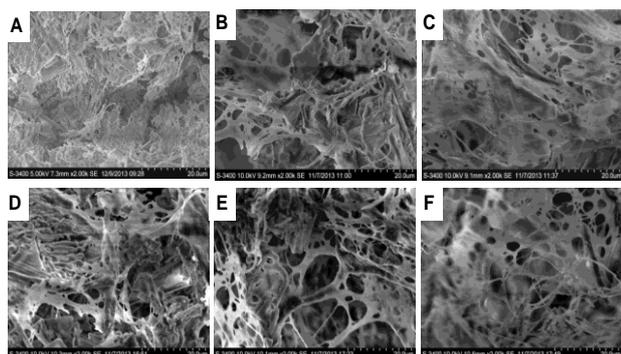


图 4 11S 添加浓度对肌球蛋白微观结构的影响

Fig.4 Effect of 11S concentration on myosin gel microstructure

注: A~F 分别为 11S 添加浓度 0、2、4、6、8、10%。

2.4 混合凝胶品质特性相关性分析

表 3 凝胶品质指标间的皮尔逊相关系数

Table 3 Pearson correlation coefficients among the results of myosin gel properties

	保水性/%	凝胶强度/g	T ₂₁ /ms	T ₂₂ /ms	T ₂₃ /ms	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃
保水性/%	1	-0.149	-0.219	0.019	-0.425	-0.703**	0.592*	0.428
凝胶强度/g		1	0.691**	0.326	-0.157	0.214	0.147	-0.128
T ₂₁ /ms			1	0.308	0.179	0.294	-0.059	-0.163
T ₂₂ /ms				1	-0.500*	0.260	0.588*	0.552*
T ₂₃ /ms					1	0.101	-0.696**	-0.359
P ₂₁						1	-0.457	-0.005
P ₂₂							1	0.427
P ₂₃								1

注: **在0.01水平(双侧)上显著相关, *在0.05水平(双侧)上显著相关。

3 结论

通过以上研究和分析, 11S 大豆球蛋白和肌球蛋白的提取纯度较高, 为后期实验奠定了基础。另外, 本研究也充分证明了 11S 的添加能够显著改变肌球蛋白凝胶的品质特性, 尤其是保水性和凝胶微观结构, 较低浓度的添加量更适于形成理想的凝胶品质, 因此, 4% 的 11S 添加量较适合后期实验的开展。

参考文献

[1] CAO Ying-ying, XIA Tian-lan, ZHOU Guang-hong, et al. The mechanism of high pressure-induced gels of rabbit myosin [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2012 (16): 41-46

[2] XIONG Y L, Brekke C J. Changes in protein solubility and gelation properties of chicken myosin fibrils during storage [J]. Food Science 1989, 54(5): 1141-1146

[3] EGELANDSDAL B, FRETHEIM K, SAMEJIMA K.

表 3 是 11S 和鸡肌球蛋白混合凝胶品质指标间的皮尔逊相关系数。从结果中可以看出, 凝胶的保水性和不可流动水的积分峰面积呈极显著负相关关系(相关系数为-0.703), 和可移动水的积分峰面积呈显著正相关关系(相关系数为 0.592); 混合凝胶的强度和不可流动水的出峰时间呈极显著正相关关系(相关系数为 0.691); 可移动水的出峰时间和自由水的出峰时间呈显著的负相关(相关系数为-0.500), 和可移动水及自由水的积分峰面积呈显著正相关(相关系数分别为 0.588 和 0.552); 自由水的出峰时间和可流动水的积分峰面积呈极显著的负相关关系(相关系数为-0.696)。本试验结果充分说明了 11S 大豆球蛋白和肌球蛋白混合凝胶的保水性主要由可移动水决定的, 保水性越好, 凝胶强度越低, 而三种不同状态的水分间的转移和分布对凝胶品质有较大的关系。

Dynamic rheological measurements on heat-induced myosin gels: effect of ionic strength, protein concentration and addition of adenosine triphosphate or pyrophosphate [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1986, 37(9): 915-926

[4] WESTPHALEN A D, BRIGGS J L, LONERGAN S M. Influence of pH on rheological properties of porcine myofibrillar protein during heat induced gelation [J]. Meat Science, 2005, 70(2): 293-299

[5] BERTRAM H C, KRISTENSEN M, ANDERSEN H J. Functionality of myofibrillar proteins as affected by pH, ionic strength and heat treatment—a low-field nmr study [J]. Meat Science, 2004, 68(2): 249-256

[6] CHIN K B, GO M Y, XIONG Y L. Konjac flour improved textural and water retention properties of transglutaminase-mediated, heat-induced porcine myofibrillar protein gel: effect of salt level and transglutaminase incubation [J]. Meat Science, 2009, 81: 565-572

[7] JEREMIAH L E, AALHUS J L, ROBERTSON W M, et al.

- The effects of grade, gender and postmortem treatment on beef. II. cooking properties and palatability attributes [J]. Canadian Journal of Animal Science, 1996, 77(1): 41-54
- [8] LÓPEZ-LÓPEZ I, COFRADES S, CAÑEQUE V, et al. Effect of cooking on the chemical composition of low-salt, low-fat wakame/olive oil added beef patties with special reference to fatty acid content [J]. Meat Science. 2011, 89(1): 27-34
- [9] ALFONSO T M, CHABELA L P. Textural properties and microstructure fo low-fat and sodium-reduced meat batters formulated with gellan gum and dicationic salts [J]. LWT-Food Science and Technology. 2009, 42: 563-569
- [10] ACHOURI A, BOYE J I, BELANGER D, et al. Functional and molecular properties of calcium precipitated soy glycinin and the effect of glycation with κ -carrageenan [J]. Food Research International, 2010, 43: 1494-1504
- [11] YOUSSEF M K, BARBUT S. Effects of two types of soy protein psolates, native and preheated whey protein isolates on emulsified meat batters prepared at different protein levels [J]. Meat Science, 2011, 87: 54-60
- [12] HIROTSUKA M, TANIGUCHI H, NARITA H, et al. Functionality and digestibility of a highly phosphorylated soybeanprotein [J]. Agric. Biol. Chem., 1984, 48(1): 93-100
- [13] LAEMMLI U K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacterio phage T4 [J]. Nature, 1970, 227: 680-685
- [14] HAN M Y, WANG P, XU X L, ZHOU G H. Low-field NMR study of heat-induced gelation of pork myofibrillar proteins and its relationship with microstructural characteristics [J]. Food Research International, 2014, 62: 1175-1182
- [15] STARR R, OFFER G. Polypeptide chains of intermediate molecular weight in myosin preparations [J]. FEBS Letters, 1971, 15(1): 40-44