

大豆油、亚麻籽油和紫苏籽油 对草鱼鱼糜品质的影响

米红波^{1,2},王 聪¹,赵 博¹,仪淑敏¹,励建荣^{1,*},黄建联³,丁浩宸³,王 琪³,熊善柏⁴

(1.渤海大学食品科学与工程学院,辽宁省食品安全重点实验室,生鲜农产品贮藏加工

及安全控制技术国家地方联合工程研究中心,辽宁锦州 121013;

2.江南大学食品科学与技术国家重点实验室,江苏无锡 214000;

3.福建安井食品股份有限公司,福建厦门 361022;

4.华中农业大学食品科技学院,湖北武汉 430070)

摘要:研究了大豆油、亚麻籽油和紫苏籽油对草鱼鱼糜品质的影响,分析了添加不同含量的植物油后,草鱼鱼糜的色泽、凝胶特性、持水性、蒸煮损失、质构参数和微观结构的变化规律。结果表明,添加植物油可显著增加鱼糜凝胶的白度,但会降低鱼糜的持水性、凝胶强度、硬度、凝聚性和咀嚼性,同时蒸煮损失明显提高,而对弹性、粘着性和回复性影响不大。添加3%的植物油对鱼糜凝胶的微观结构没有显著性影响,尤其是添加3%的紫苏籽油时,草鱼鱼糜凝胶的网络结构相对光滑、平整,并无大的孔洞,而且持水性和凝胶强度下降幅度最低。因此,可以将紫苏籽油添加到鱼糜制品中,提高鱼糜营养价值,改善制品色泽,而不影响其弹性。

关键词:大豆油,亚麻籽油,紫苏籽油,鱼糜,品质

Effects of soybean, flaxseed and perilla seed oils on the quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) surimi gels

MI Hong-bo^{1,2}, WANG Cong¹, ZHAO Bo¹, YI Shu-min¹, LI Jian-rong^{1,*},

HUANG Jian-lian³, DING Hao-chen³, WANG Qi³, XIONG Shan-bai⁴

(1.College of Food Science and Technology, Bohai University, Food Safety Key Lab of Liaoning Province,
National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety
Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013, China;

2.State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214000, China;

3.Fujian Anjoy Food Co., Ltd., Xiamen 361022, China;

4.College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: The effect of soybean, flaxseed and perilla seed oil on quality of grass carp surimi were investigated in this study. The changes of color, gel properties, water holding capacity (WHC), cooking loss, texture parameters and microstructure of the surimi gel in the presence of different concentrations of vegetable oil were analyzed. The results indicated that the addition of vegetable oil significantly increased the whiteness and cooking loss of surimi gel, but reduced WHC, gel strength, hardness, cohesiveness and chewiness. There was no significant difference in springiness, cohesiveness and resilience among all the samples. No significant influence was found when 3% vegetable oil was added into surimi gel. Especially for 3% perilla seed oil, the gel network structure of grass carp surimi was relatively smooth and there were no large holes. Meanwhile, the minimum decrease range of WHC and gel strength was found with an addition of 3% perilla seed oil.

Key words: soybean oil; flaxseed oil; perilla seed oil; surimi; quality

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2017)18-0060-06

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.18.012

鱼糜是指将鱼体经过采肉、漂洗、脱水,之后再精滤而制成的肌肉蛋白质浓缩物,可以加工成各种

各样具有独特风味、富有弹性的凝胶性食品,如鱼糕、鱼丸、鱼肉肠、鱼卷等,统称为鱼糜制品^[1]。由于

收稿日期:2017-02-28

作者简介:米红波(1986-),女,博士,讲师,研究方向:水产品贮藏与加工,E-mail:mihongbo1001@163.com。

*通讯作者:励建荣(1964-),男,博士,教授,研究方向:水产品和果蔬贮藏加工、食品安全,E-mail:lijr6491@163.com。

基金项目:江南大学食品科学与技术国家重点实验室开放课题资助课题(SKLF-KF-201503);辽宁省科技攻关项目(2015103020)。

其独特的质构和营养价值,鱼糜制品越来越受到人们的欢迎,是我国水产品加工中增长最快的产品之一。漂洗是鱼糜制备过程中的重要环节,用于除去水溶性蛋白、脂肪、血红素和杂质等,并可提高肌原纤维蛋白浓度。值得注意的是,此工序也将鱼肉中富含的多不饱和脂肪酸一并去除。中国,加工鱼糜制品时通常加入猪油以改善产品风味,形成柔软光滑的质地^[2],然而,动物脂肪里含有大量的饱和脂肪酸和胆固醇,摄入过多可能会引起高血压、肥胖、冠心病和心血管疾病等。因此,利用植物油代替动物脂肪来强化鱼糜制品的脂质营养价值并改善其口感、色泽等将越来越受到消费者的欢迎。

植物油可以改善鱼糜制品的质构、增强色泽,使鱼糜制品白度明显增加^[3]。然而,植物油种类和用量不同,对鱼糜制品的质量和营养价值都会产生重要影响^[4],橄榄油、大豆油和稻米油添加量为2%时,对罗非鱼鱼糜凝胶强度的增强效果最大,而添加量大于2%后,植物油对鱼糜凝胶强度的提高程度分别随着植物油添加量的增加而下降^[5];花生油可提高白鲢鱼糜的断裂强度和持水性,而玉米油却导致其下降^[6];Benjakul等^[7]研究发现大豆油的添加降低了黄笛鲷和马鲛鱼混合鱼糜的凝胶特性。因此,针对特定的鱼糜及其制品,需要找到最优的植物油添加配比,才能达到既改善品质又增强营养的作用。

大豆油是世界上最常用的食用油之一,也是我国居民的主要食用油,含有大量的亚油酸。而亚麻籽油和紫苏籽油富含 $\omega-3$ 不饱和脂肪酸,其中亚麻籽油中 α -亚麻酸含量为33%~53%,紫苏籽油中 α -亚麻酸含量高达60%以上^[8]。 α -亚麻酸是人体必需脂肪酸,在人体内可以转化成二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA),具有抗氧化、抗衰老、降血脂血压,改善心血管疾病等功能^[9-10]。因此,将这三种植物油添加到鱼糜制品中,可加强其营养价值,实现营养均衡、健康。

本实验以草鱼为研究对象,分析了大豆油、亚麻籽油和紫苏籽油对草鱼鱼糜凝胶强度、色泽、持水性、蒸煮损失、质构以及微观结构的影响,以期对植物油在鱼糜制品加工中应用提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜草鱼 购于锦州林西街水产批发市场;亚麻籽油、紫苏籽油 吉林长白工坊科贸有限公司;大豆油 山东鲁花集团有限公司;食盐、玉米淀粉 锦州大润发超市。

ZB-20 型斩拌机 诸城市瑞恒食品机械厂;YC-200 型采肉机 诸城市惠得食品机械有限公司;TA.XT Plus 型质构仪 英国 Stable Micro System 公司;CR-400 色彩色差计 日本 Minolta 公司;SORVALL Stratos 型冷冻高速离心机 德国 Thermo Fisher Scientific 公司;S4800 场发射扫描电镜 日本 Minolta 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 鱼糜凝胶制备

新鲜草鱼去头、去内脏后切

成两片,利用采肉机采肉,鱼肉用去离子水漂洗3次后脱水制得鱼糜,用斩拌机将鱼糜空斩2 min,添加2.5%食盐进行盐斩3 min,然后按比例添加大豆油、亚麻籽油和紫苏籽油(添加量为1%、3%、5%,添加量通过预实验筛选而得),用冰水调节水分含量至80%,继续斩拌10 min,将斩拌好的鱼糜灌入内径25 mm、高30 mm的玻璃小瓶,封口后40℃水浴加热30 min,85℃水浴加热20 min形成凝胶^[11]。以未添加植物油的鱼糜样品作为空白对照组,所有样品均置于4℃冰箱保存,24 h后测定相关指标。

1.2.2 色泽测定 采用色彩色差计室温下测定鱼糜的 L^* (明度)、 a^* (红色度)、 b^* (黄色度)值。用亨氏白度计算法^[12]:

$$\text{白度}(W) = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

1.2.3 凝胶特性测定 将鱼糜凝胶放在室温下(25~30℃)平衡30 min,切成25 mm×25 mm的圆柱体,用质构仪测定鱼糜凝胶的破断力和凹陷距离,凝胶强度为破断力和凹陷距离的乘积。测定条件:选用圆柱形探头 P/0.5,测试速度1 mm/s,压缩距离15 mm,触发力10 g^[6]。

1.2.4 质构测定 鱼糜按1.2.3的方式处理后采用质构仪的TPA(texture profile analysis)测定模式,探头型号 P/50,测试速度1 mm/s,压缩比40%,触发力5 g。使用 Texture Expert Exceed version 1.22 程序进行数据的采集与分析,获得硬度、弹性、粘性、凝聚性、咀嚼性和回复性六项质构参数^[13]。

1.2.5 持水性测定 通过样品可压出的水分测定其持水性。将鱼糜凝胶切成5 mm薄片,精确称重(W_1)后置于双层滤纸中间,装入50 mL离心管中,4℃、5000 r/min下离心15 min。离心完毕后立即对样品进行称量(W_2)。持水性的计算如下^[14]:

$$\text{持水性}(\%) = W_2 / W_1 \times 100$$

1.2.6 蒸煮损失测定 将鱼糜凝胶切成15 mm×15 mm×2 mm的圆柱体并称重(G_1)后放入蒸煮袋内,封口,置于90℃水浴20 min。蒸煮结束后迅速取出凝胶,擦干表面液体后再次称重(G_2)。蒸煮损失的计算如下^[15]:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = (G_1 - G_2) / G_1 \times 100$$

1.2.7 微观结构观察 鱼糜凝胶的微观结构观察参照 Oujifard^[16]的方法并略微修改,将鱼糜凝胶切成3 mm×3 mm×2 mm的小块,利用体积分数2.5%戊二醛溶液固定24 h,去除固定液,经过磷酸盐缓冲液(0.2 mol/L,pH7.2)漂洗三次(15 min/次),再利用去离子水冲洗1 h,50%、70%、80%、90%的乙醇梯度脱水(15 min/处理),100%乙醇脱水3次(10 min/次),真空冷冻干燥后将其粘在样品台导电条带上固定,经离子溅射镀金后,用扫描电子显微镜对样品微观组织结构进行观察拍照。

1.3 数据统计与分析

实验中所有分析重复两次,每次做三个平行测定($n=2 \times 3$),结果以平均值±SD表示,方差分析使用 IBM SPSS 22.0 软件,显著性差异检验使用 Duncan 多重检验, $p < 0.05$ 表示具有显著性差异。

表1 不同植物油添加量下鱼糜凝胶色泽的变化

Table 1 Changes in color of surimi gels in the presence of different concentrations of vegetable oil

植物油种类	添加量(%)	L^*	a^*	b^*	白度
对照组	0	61.95 ± 1.09^f	-5.52 ± 0.16^a	8.52 ± 0.63^f	60.61 ± 1.01^e
	1	69.52 ± 2.66^{de}	-6.17 ± 0.19^{bc}	9.99 ± 0.99^{de}	67.31 ± 2.40^{cd}
大豆油	3	73.05 ± 3.16^{bc}	-6.06 ± 0.27^{bc}	11.03 ± 0.62^{bc}	70.22 ± 2.72^b
	5	76.37 ± 1.93^a	-6.12 ± 0.17^{bc}	11.93 ± 1.00^{ab}	72.79 ± 1.45^a
亚麻籽油	1	68.02 ± 1.06^e	-5.95 ± 0.12^b	9.29 ± 1.16^{ef}	66.15 ± 0.90^d
	3	70.69 ± 2.17^d	-6.06 ± 0.12^{bc}	11.74 ± 0.69^{ab}	67.83 ± 1.90^{cd}
紫苏籽油	5	73.26 ± 0.67^{bc}	-6.20 ± 0.16^c	12.37 ± 0.36^a	69.89 ± 0.67^b
	1	68.31 ± 1.10^e	-5.95 ± 0.17^{bc}	9.49 ± 0.59^e	66.38 ± 0.92^d
	3	71.24 ± 0.67^{cd}	-6.06 ± 0.10^{bc}	10.72 ± 0.40^{cd}	68.71 ± 0.55^{bc}
	5	73.96 ± 1.12^b	-6.15 ± 0.30^{bc}	12.20 ± 0.56^a	70.59 ± 1.09^b

注:同列标有不同小写英文字母表示差异显著($p < 0.05$);表2~表4同。

2 结果与讨论

2.1 植物油对鱼糜凝胶色泽的影响

鱼糜白度指标能反应鱼糜的色泽和品质等级,是衡量鱼糜物理品质的一个重要指标,色泽白嫩的鱼糜制品更受消费者欢迎。白度与蛋白质成分、蛋白质变性、聚合、交联程度及其表面的光学特性密切相关^[17]。添加不同的植物油后,鱼糜色泽变化如表1所示, L^* 、 b^* 和白度显著($p < 0.05$)提高,且随着植物油添加量的增加而逐渐升高,在添加5%的大豆油后白度达到最大值为72.79。 a^* 在添加植物油后呈下降趋势,在添加5%亚麻籽油的鱼糜凝胶中 a^* 达到最低,但是在不同植物油及不同添加量的大豆油和紫苏籽油之间并无显著性差异($p > 0.05$)。植物油可增白鱼糜凝胶是由于光反射在凝胶基质中的油滴表面时,光散射能力增强的结果^[7,18]。

2.2 植物油对鱼糜凝胶持水性和蒸煮损失的影响

鱼糜的持水性反映了蛋白凝胶保持水分的能力,与鱼糜的凝胶网络结构和蛋白质变性程度密切相关^[14]。鱼糜的蒸煮损失是指凝胶在蒸煮过程中水分、淀粉等易流失物质因渗出所造成的质量减少^[19]。因此,持水性和蒸煮损失间接反映了鱼糜凝胶微观网络结构的致密程度。持水性越高,蒸煮损失越低,表明鱼糜凝胶的网络结构对水分和淀粉等物质的束缚能力越强,即凝胶的空间网络结构越致密^[11]。如表2所示,添加植物油后,鱼糜凝胶持水性呈下降趋势,蒸煮损失显著升高($p < 0.05$),表明植物油的添加对鱼糜凝胶网络的致密度的影响具有一定的副作用。实际上,这部分流失的水包含一些不能维持在鱼糜凝胶结构中的植物油。然而,添加3%亚麻籽油或紫苏籽油的鱼糜凝胶持水性与对照组相比并无显著性差异($p > 0.05$)。同时,和其他实验组相比,添加3%紫苏籽油的鱼糜凝胶蒸煮损失率最低。

2.3 植物油对鱼糜凝胶破断力、凹陷距离和凝胶强度的影响

破断力是指凝胶崩裂或断裂时单位面积所受的力,反应凝胶内部结构的坚实程度,凹陷距离用来评价鱼糜凝胶结合性,而凝胶强度是指凝胶破断力在迫使凝胶断裂过程中所做的功^[8]。添加植物油后,鱼

表2 不同植物油添加量下鱼糜凝胶持水性和蒸煮损失的变化

Table 2 Changes in WHC and cooking loss of surimi gels in the presence of different concentrations of vegetable oil

植物油种类	添加量(%)	持水性(%)	蒸煮损失(%)
对照	0	91.35 ± 0.39^a	3.99 ± 0.65^g
	1	80.58 ± 1.89^d	11.98 ± 1.07^a
大豆油	3	88.27 ± 1.28^{bc}	7.86 ± 0.63^c
	5	87.21 ± 1.61^c	7.27 ± 0.59^{cd}
亚麻籽油	1	82.79 ± 2.19^d	8.81 ± 0.48^b
	3	89.35 ± 2.03^{abc}	6.75 ± 0.77^{de}
	5	88.18 ± 0.71^{bc}	6.22 ± 0.48^{ef}
	1	86.87 ± 1.81^e	5.55 ± 0.28^f
紫苏籽油	3	90.71 ± 1.55^{ab}	5.28 ± 0.48^f
	5	88.72 ± 0.81^{bc}	6.58 ± 0.38^{de}

糜凝胶的破断力、凹陷距离和凝胶强度显著下降,无论哪种植物油,添加量为3%时,下降幅度最小。除对照组外,添加3%紫苏籽油的鱼糜破断力、凹陷距离和凝胶强度最高,分别为180.74 g, 6.47 mm和1170.27 g·mm(表3)。Benjakul等^[7]的研究报道大豆油的添加会降低鱼糜凝胶的破断力,且随着添加量的增加破断力逐渐下降,但不影响鱼糜凝胶的形变量。植物油(大豆油、玉米油、花生油、菜籽油等)会降低鲢鱼鱼糜的凝胶强度^[6,20]。这是因为鱼糜凝胶强度和蛋白质浓度之间具有一定的线性关系,添加的植物油参与了凝胶网络的形成从而使网络中蛋白的含量下降,导致凝胶强度降低^[8]。而钱娟^[5]的研究报道植物油(橄榄油、大豆油和稻米油)的添加一定程度地提高了罗非鱼鱼糜的凝胶强度。随着油茶籽油浓度的提高,白鲢鱼鱼糜凝胶强度显著增加^[21],这与本研究结果不一致。可能是因为植物油可以作为填充剂插入到凝胶基质的空洞中,从而限制凝胶基质的移动,改善凝胶形成能力,而油作为水的替代物提高了凝胶中蛋白的浓度,使得凝胶强度增强^[6]。在本实验中,所有鱼糜凝胶的水分含量均用冰水调整到80 g/100 g,添加植物油后,参与凝胶网络形成的蛋白浓度大幅度下降,植物油的填充效应不能弥补

表3 不同植物油添加量下鱼糜凝胶特性的变化

Table 3 Changes in gel prosperity of surimi gels in the presence of different concentrations of vegetable oil

植物油种类	添加量(%)	破断力(g)	凹陷距离(mm)	凝胶强度(g·mm)
对照	0	195.33 ± 3.61 ^a	7.14 ± 0.35 ^a	1394.71 ± 74.52 ^a
	1	113.37 ± 4.90 ^f	4.56 ± 0.31 ^e	516.70 ± 29.83 ^e
大豆油	3	146.17 ± 8.66 ^d	6.30 ± 0.32 ^b	920.15 ± 65.65 ^c
	5	101.07 ± 5.30 ^g	4.63 ± 0.31 ^e	467.10 ± 24.63 ^{ef}
亚麻籽油	1	83.28 ± 5.25 ^h	4.91 ± 0.36 ^{de}	409.60 ± 43.94 ^f
	3	156.31 ± 7.10 ^c	6.00 ± 0.40 ^{bc}	936.79 ± 52.65 ^c
紫苏籽油	5	129.05 ± 4.08 ^e	5.65 ± 0.33 ^c	730.01 ± 56.98 ^d
	1	88.52 ± 3.48 ^h	5.22 ± 0.21 ^d	461.94 ± 27.28 ^{ef}
	3	180.74 ± 8.75 ^b	6.47 ± 0.16 ^b	1170.27 ± 76.23 ^b
	5	103.44 ± 2.26 ^g	5.06 ± 0.42 ^d	523.24 ± 45.62 ^e

表4 不同植物油添加量下鱼糜凝胶硬度、弹性、粘着性、凝聚性、咀嚼性和回复性的变化

Table 4 Changes in hardness, springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness and resilience of surimi gels in the presence of different concentrations of vegetable oil

植物油种类	添加量(%)	硬度	弹性	粘着性	凝聚性	咀嚼性	回复性
对照	0	27.63 ± 1.49 ^a	0.94 ± 0.12 ^a	0.79 ± 0.09 ^a	21.87 ± 1.50 ^a	20.49 ± 1.02 ^a	0.45 ± 0.07 ^a
	1	15.01 ± 0.62 ^e	0.87 ± 0.23 ^a	0.86 ± 0.06 ^a	12.43 ± 0.90 ^e	10.78 ± 0.61 ^e	0.48 ± 0.06 ^a
大豆油	3	20.84 ± 1.19 ^c	0.93 ± 0.01 ^a	0.84 ± 0.06 ^a	17.44 ± 1.13 ^c	16.28 ± 0.86 ^c	0.45 ± 0.04 ^a
	5	10.16 ± 1.03 ^f	0.87 ± 0.44 ^a	0.82 ± 0.05 ^a	8.31 ± 0.74 ^f	7.31 ± 1.13 ^h	0.42 ± 0.03 ^a
亚麻籽油	1	18.37 ± 0.43 ^d	0.90 ± 0.53 ^a	0.82 ± 0.07 ^a	15.10 ± 0.72 ^d	13.62 ± 0.87 ^d	0.45 ± 0.07 ^a
	3	18.61 ± 1.46 ^d	0.90 ± 0.74 ^a	0.80 ± 0.07 ^a	14.78 ± 1.05 ^d	13.49 ± 0.80 ^d	0.45 ± 0.05 ^a
紫苏籽油	5	13.79 ± 0.71 ^c	0.87 ± 0.05 ^a	0.82 ± 0.07 ^a	11.33 ± 1.10 ^e	9.92 ± 1.09 ^{ef}	0.45 ± 0.05 ^a
	1	11.53 ± 0.39 ^f	0.92 ± 0.17 ^a	0.83 ± 0.06 ^a	9.61 ± 0.67 ^f	8.83 ± 0.72 ^{fg}	0.46 ± 0.04 ^a
	3	23.65 ± 1.40 ^b	0.92 ± 0.45 ^a	0.82 ± 0.07 ^a	19.37 ± 0.85 ^b	17.95 ± 1.12 ^b	0.47 ± 0.05 ^a
	5	10.25 ± 0.76 ^f	0.89 ± 0.06 ^a	0.84 ± 0.05 ^a	8.59 ± 0.87 ^f	7.72 ± 0.50 ^{gh}	0.47 ± 0.04 ^a

凝胶网络结构中蛋白浓度下降导致的负面影响,因此,添加植物油后,鱼糜凝胶的破断力、凹陷距离及凝胶强度均降低。

2.4 植物油对鱼糜凝胶质构参数的影响

质构参数是衡量食品口感的重要指标,通过对食品质构参数的测定、分析,可以进一步改善食品加工工艺,以获得具有最佳口感的食品^[22]。表4列出了包括硬度、弹性、粘着性、凝聚性、咀嚼性和回复性在内的各项质构参数。添加植物油后,鱼糜硬度、凝聚性和咀嚼性显著下降($p < 0.05$),其中,和对照组相比,添加3%的大豆油、亚麻籽油和紫苏籽油后,硬度分别下降了24.6%、32.6%和14.4%。硬度可能与鱼肉蛋白质含量有关,而植物油的添加造成了鱼肉蛋白质含量的下降^[8]。凝聚性和咀嚼性是硬度值的补充参数,因此添加植物油对鱼糜凝胶的凝聚性和咀嚼性的影响趋势也与硬度值类似。

弹性表征物体在外力作用下发生形变,当撤去外力后恢复原来状态的能力^[23],主要与凝胶中蛋白质网络结构的变化情况相关。弹性是衡量鱼糜品质的重要指标,是硬度、伸缩性和粘性的综合体现。添加植物油后,鱼糜的弹性、粘着性和回复性变化不大,实验组和对照组之间并无显著性差异($p > 0.05$)。这种结果与之前的研究报道一致,添加鱼油、亚麻籽油、玉米油或海藻油后,阿拉斯加鳕鱼鱼糜的弹性和

回复性均没有显著性变化^[18,24]。

2.5 植物油对鱼糜凝胶微观结构的影响

一般情况下,鱼糜蛋白分子的有序聚集形成均匀致密的鱼糜凝胶网络结构,凝胶结构越均匀致密有序,其凝胶强度越高,持水性越好^[25]。添加不同种类和浓度的植物油后,草鱼鱼糜凝胶的微观网络结构如图1所示。对照组样品表面较均匀、致密,无孔洞,具有较强的空间层次感,有利于束缚更多的自由水,鱼糜具有较高的持水性和凝胶强度(表2和表3)。添加1%或5%的植物油后,凝胶网络出现较大的孔洞,部分堆积结块,结构粗糙、松散。而添加3%的植物油后,和对照组样品相比,虽然凝胶网络结构较松散,但是并未出现较大的孔洞,表面相对光滑、平整,尤其是3%的紫苏籽油的添加,对鱼糜凝胶的微观结构影响不大,鱼糜凝胶仍具有较致密的网络结构。该结果与前面所述的在实验组中添加3%的紫苏籽油所获得的最大的持水性和凝胶强度相一致(表2和表3)。这可能是由于少量添加的植物油未与蛋白之间形成疏水相互作用,破坏了原有的网络结构;随着添加量的增加,植物油可以作为凝胶网络的填充剂,限制凝胶基质的移动,从而得到较致密及较少孔洞的微观结构;然而当植物油添加量过多时,参与凝胶形成的蛋白浓度下降,将降低凝胶网络形成能力,使得鱼糜微观结构的致密度降低^[26]。

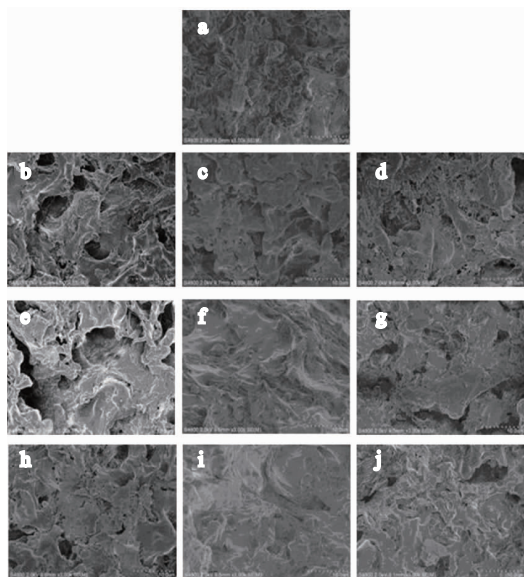


图1 鱼糜凝胶的微观结构(3000×)

Fig.1 The microstructure of surimi gels(3000×)

注:a 未添加植物油的对照组;b 添加1%大豆油;c 添加3%大豆油;d 添加5%大豆油;e 添加1%亚麻籽油;f 添加3%亚麻籽油;g 添加5%亚麻籽油;h 添加1%紫苏籽油;i 添加3%紫苏籽油;j 添加5%紫苏籽油。

3 结论

不同添加量的大豆油、亚麻籽油和紫苏籽油对草鱼鱼糜凝胶的品质具有显著性影响。添加大豆油、亚麻籽油和紫苏籽油虽然可明显提高鱼糜凝胶的白度,但增加鱼糜凝胶的蒸煮损失,降低了鱼糜凝胶的持水性、凝胶强度、硬度、凝聚性和咀嚼性,而对凝胶的弹性、粘着性和回复性影响不大。和大豆油、亚麻籽油相比,紫苏籽油添加量为3%时,鱼糜凝胶持水性没有显著性变化,凝胶强度和蒸煮损失变化幅度最小。添加3%植物油的鱼糜凝胶的微观结构虽然和对照组相比较松散,但是没有出现较大的空洞,表面相对光滑、平整。因此,可以考虑将紫苏籽油添加到鱼糜制品中,既提高了营养价值,又改善制品色泽,同时不影响凝胶弹性。对于凝胶强度和持水性的下降,是否可以寻找适合的凝胶增强剂来弥补,有待于进一步深入研究。

参考文献

- [1] 张浩. 蓝圆鲐冷冻鱼糜加工关键工艺研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- [2] 王卫芳, 李丹丹, 熊善柏, 等. 猪肉添加量对鱼糜凝胶制品品质的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 531-534.
- [3] Park J W. Surimi and surimi seafood[M]. 3rd ed. New York: Taylor & Francis Group, 2013: 478-480.
- [4] Wu M G, Xiong Y L, Chen J. Rheology and microstructure of myofibrillar protein-plant lipid composite gels; Effect of emulsion droplet size and membrane type[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 4(106): 318-324.
- [5] 钱娟. 罗非鱼低盐鱼糜的凝胶特性及其制品的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.

- [6] Shi L, Wang X F, Chang T. Effects of vegetable oils on gel properties of surimi gels[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57: 586-593.
- [7] Benjakul S, Visessanguan W, Kwalumtharn Y. The effect of whitening agents on the gel-forming ability and whiteness of surimi[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2004, 39: 773-781.
- [8] 郭培, 申铨日, 周清平. 添加紫苏籽油对罗非鱼鱼糜品质的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(2): 167-171.
- [9] Dong H, Han H J, Kim K H, et al. Effect of various light emitting diode irradiation on volatile profiles of perilla oil using mass spectrometry-based electronic nose[J]. Food Science and Biotechnology, 2015, 24: 481-487.
- [10] Freire M, Bou R, Cofrades S, et al. Double emulsions to improve frankfurter lipid content: Impact of perilla oil and pork backfat[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96: 900-908.
- [11] 余永名, 马兴胜, 仪淑敏, 等. 豆类淀粉对鲢鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(1): 129-135.
- [12] 李睿智, 王崑, 仪淑敏, 等. 白鲢鱼鱼糜凝胶过程中水分及凝胶特性的变化[J]. 现代食品科技, 2016, 32(5): 91-97.
- [13] Debusca A, Tahergorabi R, Beamer S K, et al. Interactions of dietary fibre and omega-3-rich oil with protein in surimi gels developed with salt substitute[J]. Food Chemistry, 2013, 141(1): 201-208.
- [14] Majumdar R K, Saha A, Dhar B, et al. Effect of garlic extract on physical, oxidative and microbial changes during refrigerated storage of restructured product from Thai pangas (*Pangasianodon hypophthalmus*) surimi[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(12): 7994-8003.
- [15] Alakhrash F, Anyanwu U, Tahergorabi R. Physicochemical properties of Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) surimi gels with oat bran[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 41-47.
- [16] Oujifard A, Benjakul S, Ahmad M, et al. Effect of bambara groundnut protein isolate on autolysis and gel properties of surimi from threadfin bream (*Nemipterus bleekeri*) [J]. LWT - Food Science and Technology, 2012, 47(2): 261-266.
- [17] Hwang J S, Lai K M, Hsu K C. Changes in textural and rheological properties of gels from tilapia muscle proteins induced by high pressure and setting[J]. Food Chemistry, 2007, 21(1): 1-8.
- [18] Pietrowski B N, Tahergorabi R, Matak K E, et al. Chemical properties of surimi seafood nutrified with ω -3 rich oils[J]. Food Chemistry, 2011, 129(3): 912-919.
- [19] Ma X S, Yi S M, Yu Y M, et al. Changes in gel properties and water properties of *Nemipterus virgatus* surimi gel induced by high-pressure processing[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 61(2): 377-384.
- [20] Hsu C K, Chiang B H. Effects of water, oil, starch, calcium carbonate and titanium dioxide on the color and texture of threadfin and hairtail surimi gels[J]. International Journal of Food

(下转第73页)

高等教育出版社, 2017: 193-194.

[15] 袁德保, 李芬芳, 杨晓泉. 大豆蛋白的热处理改性及热聚集行为研究进展[J]. 现代食品科技, 2012, 28(12): 1829-1833.

[16] Guo Jian, Yang Xiao-Quan, He Xiu-Ting, et al. Yuan-Yuan Zhang. Limited Aggregation Behavior of β -Conglycinin and Its Terminating Effect on Glycinin Aggregation during Heating at pH 7.0[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(14): 3782-3791.

[17] Ryan K N, Vardhanabhuti B. Stability and mechanism of whey protein soluble aggregates thermally treated with salts[J]. Food Hydrocolloids, 2012, 27(2): 411-420.

[18] 迟玉杰, 鲍志杰, 程缘. 蛋清蛋白热处理改性及其热聚集行为的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2014(12): 3951-3954.

[19] Li Xianghong, Cheng Yunhui, Yi Cuiping, et al. Effect of

(上接第64页)

Science & Technology, 2002, 37(4): 387-393.

[21] 周绪霞, 姜珊, 顾赛麒, 等. 油茶籽油对鱼糜凝胶特性及凝胶结构的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 27-33.

[22] 米红波, 千春录, 傲特海, 等. 淡水鱼鱼糕加工适性和微冻特性的研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(3): 84-95.

[23] 林毅, 仪淑敏, 励建荣, 等. 水溶性壳聚糖对梅鱼鱼丸贮藏过程中凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2010, 31(1): 333-339.

[24] Sell C, Beamer S, Jaczynski J. Sensory characteristics and

(上接第68页)

[6] 黄汉昌, 姜招峰. 芦丁与人血清白蛋白相互作用的紫外可见光谱特性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(3): 476-481.

[7] 姚惠芳, 景浩. 芦丁与牛血清白蛋白的相互作用[J]. 食品科学, 2013, 34(23): 6-10.

[8] 栾强, 谭凤芝, 徐同宽, 等. 氯化血红素与牛血清白蛋白作用的光谱性质研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(11): 72-75.

[9] Zhang GW, Ma YD, Wang L, et al. Multispectroscopic studies on the interaction of maltol, a food additive, with bovine serum albumin[J]. Food Chemistry, 2012, 133: 264-270.

[10] Rasoulzadeh F, Najarpour H, Naseri A, et al. Fluorescence quenching study of quercetin interaction with bovine milk xanthine oxidase[J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2009, 72: 190-193.

[11] Li DJ, Zhu JF, Jin J, et al. Studies on the binding of nevadensin to human serum albumin by molecular spectroscopy and modeling[J]. Journal of Molecular Structure, 2007, 846:

ionic strength on the heat-induced soy protein aggregation and the phase separation of soy protein aggregate/dextran mixtures[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(3): 1015-1023.

[20] Sheard P R, Fellows A, Ledward D A, et al. Macromolecular changes associated with the heat treatment of soya isolate[J]. International Journal of Food Science & Technology, 1986, 21(1): 55-60.

[21] Vivian James T, Callis Patrik R. Mechanisms of tryptophan fluorescence shifts in proteins[J]. Biophysical Journal, 2001, 80(5): 2093-2109.

[22] 杨培慧, 郑志雯, 刘凌波, 等. 金属离子协同效应对血红蛋白分子荧光光谱的影响[J]. 分析科学学报, 2005, 3: 268-270.

[23] 余晶梅. 荧光探针法和疏水相互作用层析法分析蛋白表面疏水性[D]. 杭州: 浙江大学, 2014: 30-32.

storage quality indicators of surimi franks nutritionally enhanced with omega-3 rich flaxseed oil and salmon oil[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2015, 50: 210-217.

[25] 王艳霞, 张金丽, 张瑞婷, 等. 鱼种和亲水胶体对鱼糜制品凝胶性质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(2): 143-147.

[26] Wang H L, Chou C H, Yu Y S, et al. Chicken surimi fortified by omega-3 fatty acid addition: manufacturing and quality properties[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96: 1609-1617.

34-41.

[12] Wang ZQ, Li JS, Wang J, et al. Spectrometry researches on interaction and sonodynamic damage of riboflavin(RF) to bovine serum albumin(BSA)[J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2012, 87: 1-10.

[13] Qiao H, Zhang SW, Wang W. Fluorescence spectroscopic and viscosity studies of hydrogen bonding in Chinese Fenjiu[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering, 2013, 115: 405-411.

[14] Li T, Cheng ZJ, Cao LJ, et al. Comparison of interactions between three food colorants and BSA[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 740-748.

[15] 裴明砚, 郑学仿, 曹洪玉, 等. 3-溴丙酮酸与人血清白蛋白相互作用的光谱学研究[J]. 分析化学, 2010, 38(7): 948-952.

[16] Shahabadi N, Maghsudi M, Rouhani S. Study on the interaction of food colourant quinoline yellow with bovine serum albumin by spectroscopic techniques[J]. Food Chemistry, 2012, 135: 1836-1841.