

# 芹菜叶改善鱼糕的凝胶特性

仪淑敏<sup>1</sup>, 吕柯明<sup>1</sup>, 张诗雯<sup>1</sup>, 励建荣<sup>1</sup>, 李学鹏<sup>1</sup>, 徐永霞<sup>1</sup>, 牟伟丽<sup>2</sup>, 沈琳<sup>3</sup>, 谢晶<sup>4</sup>, 郭晓华<sup>5</sup>, 于建洋<sup>6</sup>

(1.渤海大学食品科学与工程学院, 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, 国家鱼糜及鱼糜制品加工技术研发分中心, 辽宁锦州 121013) (2.蓬莱京鲁渔业有限公司, 山东烟台 265600)

(3.大连东霖食品股份有限公司, 辽宁大连 116000) (4.上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

(5.山东美佳集团有限公司, 山东日照 276800) (6.荣城泰祥食品股份有限公司, 山东威海 264309)

**摘要:** 本文研究了芹菜叶对鱼糕凝胶特性的影响, 分别将8%、10%、12%、14%的芹菜叶加入鱼糕中, 以未添加为空白对照组, 分析样品营养成分, 并以pH、色度、质地、感官评价、微观结构作为评定指标。结果表明: 金线鱼鱼糜蛋白质含量高达18.32%, 脂肪含量2.48%, 钙离子含量为60 mg/100 g。芹菜叶中膳食纤维、总酸和钙离子含量较高, 分别为3.23%、1.51%、457.40 mg/100 g。随着芹菜叶添加量的增加, 鱼糕的 $L^*$ 值、 $a^*$ 值、白度和pH下降,  $b^*$ 值上升, 具有显著性; 质地和感官评价呈先上升后下降趋势。与空白组相比, 添加量为10%的硬度、胶着度和咀嚼度分别提高了35.33%、29.77%、29.73%, 微观结构均匀致密。芹菜叶添加量为10%时, 鱼糕凝胶特性最好, 旨在为鱼糜制品的开发和增加传统鱼糜制品的品质及营养提供理论基础。

**关键词:** 芹菜; 鱼糕; 凝胶特性

文章编号: 1673-9078(2020)02-152-158

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.2.022

## Celery Leaf Improve the Gel Properties of Fish Cake

YI Shu-min<sup>1</sup>, LYU Ke-ming<sup>1</sup>, ZHANG Shi-wen<sup>1</sup>, LI Jian-rong<sup>1</sup>, LI Xue-peng<sup>1</sup>, XU Yong-xia<sup>1</sup>, MOU Wei-li<sup>2</sup>, SHEN Lin<sup>3</sup>, XIE Jing<sup>4</sup>, GUO Xiao-hua<sup>5</sup>, YU Jian-yang<sup>6</sup>

(1.College of Food Science and Technology, Bohai University, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, National R & D Branch Center of Surimi and Surimi Products Processing, Jinzhou 121013, China) (2.Penglai Jinglu Fishery Co. Ltd., Yantai 265600, China) (3.Dalian Donglin Food Co. Ltd., Dalian 116000, China) (4.College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306, China) (5.Shandong Meijia Group Co. Ltd., Rizhao, 276800, China) (6.Rongcheng Taixiang Food Co. Ltd., Weihai 264309, China)

**Abstract:** In order to investigate the effect of celery leaf on the gel properties of fish cake, 8%, 10%, 12% and 14% of the celery leaf were added to the fish cake, and the sample without the celery leaf as the control group. The nutrient contents, pH, color, texture, sensory evaluation, and microstructure of sample were measured. The results were shown that the protein, fat and calcium contents of *Nemipterus virgatus* surimi were 18.32%, 2.48%, 60 mg/100 g respectively. The dietary fiber, total acid and calcium contents of celery leaf were 3.23%, 1.51%, 457.40 mg/100 g. The values of  $L^*$ ,  $a^*$ , whiteness and pH of the fish cake were decreased significantly, the texture and sensory evaluation were increased and then decreased with the increase of celery leaf additions. Compared with the control group, the hardness, adhesion and chewiness increased by 35.33%, 29.77% and 29.73%, respectively, with the addition of 10% celery leaf. The fish cake was uniform and dense in microstructure. When the addition of celery leaf was 10%, the gel properties of fish cake were the best. The aim was to provides theoretical basis for the development of surimi-based production and increase the quality and nutrition of traditional surimi-based production.

**Key words:** celery; fish cake; gel property

收稿日期: 2019-08-17

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31972107); 国家自然科学基金面上项目(31571868); 辽宁省自然科学基金项目(辽科发(2018)25号); 辽宁省教育厅高水平创新团队(境)外培养项目(辽教函(2018)225号); 中央引导地方科技发展专项资金项目(2018107005)

作者简介: 仪淑敏(1980-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 水产品贮藏加工及质量安全

通讯作者: 励建荣(1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 水产品贮藏加工及安全控制

鱼类在人们健康生活中扮演重要角色,为世界三分之一的人口提供至少 20% 蛋白质摄入量,并且发展中国家对其高度依赖<sup>[1]</sup>。金线鱼 (*Nemipterus virgatus*) 又称红衫、红哥鲤,隶属于鲈形目金线鱼科,体侧有多条明显黄色纵带,肉质细嫩、营养丰富、价格低廉,广泛分布在印度-西太平洋亚热带、热带海区,是海产经济鱼类之一,同时也是常见冷冻鱼糜及鱼糜制品的原料<sup>[2-4]</sup>。并且金线鱼的产量呈现快速增长趋势,据统计,近五年从 33.17 万 t 增长到 37.46 万 t,增长了 12.93%,可为鱼糜制品提供充足稳定的原料<sup>[5]</sup>。同时金线鱼糜有延展性好、凝胶强度高、硬度适中等特点,被广泛应用于鱼糜制品加工<sup>[6]</sup>。

鱼糜制品是我国水产品加工中增长最快的产品之一,近五年增加了 16.21%<sup>[5]</sup>。鱼糜制品主要是以冷冻鱼糜为原料,添加辅料调味、经斩拌、热凝胶化、成型等工艺制成的水产食品,种类繁多,如鱼糕、鱼肉香肠、鱼排、鱼丸、模拟扇贝柱、模拟蟹棒等<sup>[7]</sup>。鱼糕 (Fish cake) 发源于湖北省荆州,故又称荆州画糕,以鱼糜为主要原料,添加猪肉、鸡蛋等,蒸制成营养健康的深加工食品,清香爽口、鲜香嫩滑、老少皆宜,深受消费者青睐。

芹菜 (Celery) 是由球根、绿叶、叶柄和种子组成,隶属于伞形目、芹亚科、芹属,常见种类有旱芹、水芹、西芹等,其中旱芹药用价值最高,又被称为“药芹”,在世界各地均有生长<sup>[8]</sup>。芹菜中含有丰富的膳食纤维、维生素、微量元素 (钙、磷、铁、硒等) 以及多种挥发性成分,风味独特。其中的黄酮类化合物具有良好的抗氧化性,具有降血压、降血脂的能力。膳食纤维 (Dietary fiber) 是芹菜中含量最多的物质,包括植物可食用部分的残余物和类似的碳水化合物,不能被人体消化吸收,但它与碳水化合物和脂质代谢有关,由于其低胆固醇特性,可促进肠道功能,降低血脂<sup>[9]</sup>。所以,芹菜中所含的多种成分对人体健康有重要益处。

目前,膳食纤维在鱼糜制品凝胶特性方面研究很多。赵红雷等<sup>[10]</sup>研究发现添加 1% 的豆渣粉可改善鱼糜凝胶特性。Alakhrash 等<sup>[11]</sup>得出添加量为 6 g/100 g 燕麦麸可显著提高狭鳕鱼糜凝胶的剪切力、质地特性、持水性。Debusca 等<sup>[12]</sup>研究发现,添加 6 g/100 g 的长链粉状纤维素可增强鱼糜的热凝胶化,提高质地和颜色。Lin 等<sup>[13]</sup>研究得出麦麸膳食纤维具有良好的持水性和溶解性,可以作为天然添加剂,改善鱼糜功能。但多数学者的研究对象为纯化后的膳食纤维且添加量较高,对富含膳食纤维的芹菜对鱼糜制品凝胶特性的研究较少<sup>[14]</sup>。

芹菜叶中的营养成分有 10 项高于芹菜茎,但在中国多数人在食用过程中由于芹菜叶水分含量较低,且其中的萜类化合物的味道会让部分人难以接受再加上口感不好就会丢掉芹菜叶,造成营养价值的损失,在欧美国家将芹菜茎和叶一起做成脱水蔬菜和罐头十分受欢迎<sup>[8]</sup>。本文为探究芹菜叶对鱼糕凝胶品质的影响,分别将 8%、10%、12%、14% 的芹菜叶添加到鱼糕中,以空白组做对照,观察鱼糕品质的变化,旨在提高鱼糜制品营养价值的同时提高其品质,为鱼糜制品的加工提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

金线鱼糜 (SA 级): 购于青岛新锦国际贸易有限公司,购买后于 -80 °C 冰箱贮藏;芹菜 (旱芹)、食盐、马铃薯淀粉、味精、姜粉、白糖、料酒、香油、葱: 购于锦州万达超市。

石油醚、戊二醛,天津福晨化学试剂有限公司;硫酸钾、硫酸铜,天津虔诚伟业科技发展有限公司;氢氧化钠标准品,上海阿拉丁试剂公司;磷酸二氢钠,天津市致远化学试剂有限公司;磷酸氢二钠,天津市天力化学试剂有限公司;无水乙醇,天津市风船化学试剂科技有限公司,以上试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

电热鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;L1/12 马弗炉,深圳市凯斯机电应用技术有限公司;FOSS 8400 型全自动定氮仪,瑞典 FOSS 公司;FJ200-SH 数显高速分散均质机,上海标本模型厂;FE28K pH 计, Mettler Toledo 公司;UMC 5 真空斩拌机,德国 Stephan 公司;HH-4 数显恒温水浴锅,常州国华电器有限公司;CR-400 色彩色差计,杭州祥盛科技有限公司;TA-XT-Plus 质构仪,英国 Stable Micro Systems 公司;E-1045 镀金仪,日本日立高新技术公司;S4800 场发射扫描电镜,日本 Minolta 公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 鱼糕的制备

将冷冻的金线鱼鱼糜流水解冻至微化状态,切成小块,放入真空斩拌机中低档斩拌 2 min,加入食盐后中档真空斩拌 2 min,加入预先用料理机斩碎的芹菜叶以及淀粉、味精、姜粉、白糖、葱、料酒、香油等剩余其它配料后高档真空斩拌 3 min,取出物料整形后蒸制 15 min,随即用冰水冷却,放置 4 °C 冰箱贮

藏, 备用。在斩拌过程过, 控制物料温度低于 10 °C。芹菜叶的添加量分别为 0%、8%、10%、12%、14%, 调节鱼糕的水分为 73%。

表 1 鱼糕成分表

Table 1 Compositions of fish cake

成分	比例/%	成分	比例/%
鱼糜	67.5	食盐	1.00
味精	0.25	姜粉	0.20
糖	1.40	葱	0.15
淀粉	7.00	料酒	0.30
香油	0.20	芹菜叶	8、10、12、14

### 1.3.2 组成成分测定

水分测定参考 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准水分含量的测定》; 灰分测定参考 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准食品中灰分的测定》; 蛋白质测定参考 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》; 脂肪测定参考 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》; 总膳食纤维、可溶性膳食纤维、不可溶性膳食纤维含量测定参考 GB 5009.88-2014《食品安全国家标准食品中膳食纤维的测定》; 钙离子测定参考 GB 5009.92-2016《食品安全国家标准食品中钙的测定》; 总酸测定参考 GB

12456-2008《食品安全国家标准食品中总酸的测定》, 每组 3 个平行。

### 1.3.3 pH 测定

pH 测定参考 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准食品 pH 值的测定》<sup>[15]</sup>, 每组 3 个平行。

### 1.3.4 色度测定

参考 Marchetti 等<sup>[16]</sup>方法, 将样品放至室温, 切成 2 cm×2 cm×2 cm 的立方体, 使用色差计测定其亮度值  $L^*$ 、红绿值  $a^*$  及黄蓝值  $b^*$ , 通过公式计算出白度值, 每组 6 个平行。

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

### 1.3.5 质地特性测定

参考 Consuelo 等<sup>[17]</sup>的方法略有修改, 将样品放至室温, 切成 2 cm×2 cm×2 cm 的立方体, 采用 TA-XT-Plus 质构仪对样品进行质地特性分析。测定参数: 探头型号 P/50, 触发力 5 g, 压缩比为 40%, 测前速度、测试速度、测后速度均为 1 mm/s, 每组 6 个平行。

### 1.3.6 感官评价测定

找男生女生共 10 人组成感官评价小组, 进行基础培训, 按照感官评价标准表对样品的色泽、质地、风味、喜爱度方面进行打分并计算各项分值和总分值。

表 2 鱼糕感官评价标准表

Table 2 Sensory evaluation standards of fish cake

项目	1~5 分	6~10 分	11~15 分
色泽	颜色过深或过浅, 不均匀	颜色适中, 比较均匀	颜色饱满、均匀
质地	无弹性, 质地不均, 有较多大气孔	较有弹性, 质地均匀, 有小气孔	弹性很好, 质地均匀, 基本无气孔
风味	味道过淡或过咸, 有很强的腥味	味道适中, 有适当腥味、蔬菜味	味道适中, 基本无腥味, 有浓郁的蔬菜味
喜爱度	无法接受	可接受	非常喜欢

### 1.3.7 扫描电镜观察微观结构

扫描电镜 (Scanning Electron Microscope, SEM) 测定方法参考 Zhang 等<sup>[18]</sup>略有修改, 将样品切成 3 mm×3 mm×2 mm 薄片, 用 2.5% 的戊二醛溶液 (含 50%、pH 7.2 的磷酸盐缓冲溶液) 固定样品 24 h, 然后用磷酸盐缓冲溶液漂洗样品 3 次, 每次 15 min, 去离子水漂洗 1 h 去除固定液, 分别用浓度为 50%、70%、90% 的乙醇梯度脱水各 1 次, 每次 15 min, 无水乙醇脱水 3 次, 每次 10 min, 自然干燥后进行离子溅射镀金并在扫描电镜下观察。

## 1.4 统计分析

采用 Excel 对数据进行平均值及标准差计算; 采用 SPSS 软件对数据进行 Duncan's 法显著性分析, 显著性水平均为 ( $p < 0.05$ ); 采用 Origin 8.5 软件绘图; 采用 Adobe Photoshop CS6 对图片进行处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 芹菜叶和金线鱼鱼糜组成成分及 pH

表 3 反映的是芹菜叶和金线鱼鱼糜的组成成分及 pH。由表可知, 芹菜叶含有较多的营养成分。除水分外, 膳食纤维含量最高并且可溶性膳食纤维与不可溶性膳食纤维的比值均为 1:3.7, 与中国营养学会推荐的可溶性与不可溶性膳食纤维比例 1:3 接近, 更有利于人体健康<sup>[19]</sup>。芹菜叶中钙离子含量较高, 可达 457.40 mg/100 g。总酸含量为 1.51 g/100 g, 酚酸是芹菜中总酸的一种, 也是酚类化合物之一, 可以延缓衰老, 降低肿瘤、炎症、心脑血管等疾病的发病率。金线鱼鱼糜的主要组成成分中除水分外, 含量最高的是蛋白质, 此外, 还含有少量脂肪, 是低脂高蛋白的水产品。芹菜叶 pH 为 5.86, 显著低于金线鱼糜 pH 为 7.68。

表3 芹菜叶和金线鱼鱼糜组成成分(g/100 g)

Table 3 Compositions and pH of celery leaf and *Nemipterus*

virgatus surimi		
组成成分	芹菜叶	金线鱼鱼糜
水分	89.03±0.18	76.04±0.21
灰分	2.92±0.01	0.71±0.01
蛋白质	2.29±0.00	18.32±0.34
脂肪	1.65±0.10	2.48±0.72
可溶性膳食纤维	0.71±0.03	-
不可溶性膳食纤维	2.64±0.07	-
总膳食纤维	3.23±0.00	-
钙离子(mg/100 g)	457.40±0.60	60.00±0.50
总酸	1.51±0.02	-

## 2.2 芹菜叶添加量对鱼糕 pH 的影响

pH 既是影响肌原纤维蛋白凝胶的重要因素又可以反映食品的新鲜程度。图 1 反映的是芹菜叶的添加量对鱼糕 pH 的影响。由图可知,与空白组相比,添加芹菜叶对鱼糕的 pH 有显著降低的作用 ( $p<0.05$ ),并且随着添加量的增加,样品 pH 显著降低 ( $p<0.05$ ),从空白组的 7.52 下降到 7.08。这是由于芹菜叶的 pH 较低为 5.86 属于弱酸性,不同芹菜叶添加量的 pH 差异较大,所以对样品的 pH 有较大的调节作用。添加芹菜叶使样品 pH 更加接近 7.0,从而获得更紧密的蛋白质三维凝胶网络结构。pH 在中性时静电斥力较大,蛋白质天然二级结构的  $\alpha$ -螺旋含量增加,  $\beta$ -折叠含量降低,蛋白质间结合能力减弱,使得颗粒小,易于形成有序的凝胶网络结构,且 pH 越接近 7.0,效果就越好<sup>[20]</sup>。同时,较低的 pH 会抑制微生物生长繁殖,使

表4 芹菜叶添加量对鱼糕色度的影响

Table 4 Effect of different celery leaf contents on color of fish cake

芹菜叶添加/%	$L^*$	$a^*$	$b^*$	白度
0	76.01±0.11 <sup>a</sup>	-5.93±0.05 <sup>a</sup>	14.61±0.28 <sup>d</sup>	71.29±0.20 <sup>a</sup>
8	59.55±0.26 <sup>b</sup>	-17.52±0.44 <sup>b</sup>	29.70±0.19 <sup>ab</sup>	46.84±0.16 <sup>b</sup>
10	59.34±0.31 <sup>b</sup>	-18.36±0.42 <sup>c</sup>	30.03±0.21 <sup>a</sup>	46.22±0.21 <sup>c</sup>
12	55.17±0.36 <sup>c</sup>	-19.29±0.49 <sup>d</sup>	29.29±0.09 <sup>c</sup>	43.08±0.19 <sup>d</sup>
14	53.76±0.15 <sup>d</sup>	-19.92±0.38 <sup>d</sup>	29.40±0.06 <sup>bc</sup>	41.70±0.04 <sup>e</sup>

注:不同的字母表示同一参数下差异性显著 ( $p<0.05$ )。下表同。

## 2.4 芹菜叶添加量对鱼糕质地特性的影响

质地分析是评价鱼糜制品品质的重要因素,同时它会影响消费者对产品的喜好程度,被广泛地应用于肌肉食品和鱼糜凝胶的结构特性的实证分析<sup>[25,26]</sup>。图 2 反映的是芹菜叶的添加量对鱼糕硬度、胶着度、以及咀嚼度的影响。由图可知,随着芹菜叶添加量的增

加,样品硬度、胶着度以及咀嚼度均呈现先升高后降低的趋势,且均高于空白组,添加量为 10% 的效果最佳,分别为 1835.96 g、1334.13、1200.89,显著高于其他组 ( $p<0.05$ )。这可能是由于芹菜中的膳食纤维起到了重要作用,膳食纤维可以与蛋白质和水发生交联或填充在蛋白质凝胶网络结构中,从而改善质地<sup>[27]</sup>。Han 和梁雯雯等<sup>[28,29]</sup>的研究发现 2% 的壳聚糖和可溶

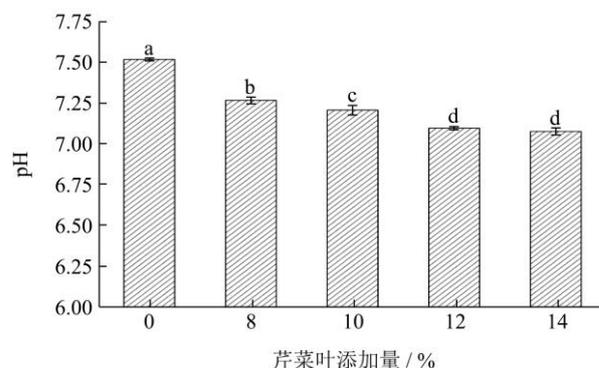


图1 芹菜叶添加量对鱼糕 pH 的影响

Fig.1 Effect of different celery leaf contents on pH of fish cake

注:不同的字母表示同一参数下差异性显著 ( $p<0.05$ )。

## 2.3 芹菜添加量对鱼糕色度的影响

食品的色泽及品质与消费者对其印象、评价有着密不可分的关系,一般用  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  系统表示白度结果,  $L^*$  值表示样品的明亮程度,  $a^*$  值表示红色与绿色之间的渐变,  $b^*$  值表示黄色与蓝色之间的渐变<sup>[22]</sup>。表 4 反映的是芹菜叶添加量对鱼糕色度的影响。由表可知,随着芹菜叶添加量的增加,样品的  $L^*$  值、 $a^*$  值、白度值均显著下降 ( $p<0.05$ ),  $b^*$  值显著升高 ( $p<0.05$ ),可能由于芹菜中色素的影响,与孙冬梅的研究结果相一致<sup>[23]</sup>。芹菜中含有多种色素,如叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素等<sup>[24]</sup>。所以芹菜叶添加量增加,鱼糕绿度和黄度升高,亮度下降,导致白度下降。

性褐藻膳食纤维可以显著提高硬度、弹性等质地特性。当添加量超过 10%时, 样品质地有所下降可能是因为形成了一些颗粒较大的膳食纤维, 无法填充在蛋白质的凝胶网络结构中甚至破坏了凝胶体系, 在一定程度上降低了质地特性。此外, 芹菜中的钙离子可以增强蛋白质分子间的疏水相互作用, 促使谷氨酸残基中的  $\gamma$ -羧基酰胺基团与其它氨基酸残基之间发生交联作用, 形成共价键, 改善质地<sup>[30]</sup>。李欢等<sup>[31]</sup>研究表明添加 1%鱼骨粉时, 其中的钙可提高鱼糜硬度和凝胶强度, 有较好的凝胶结构, 但当添加量为 2%时由于钙与蛋白质形成钙桥, 导致凝胶强度下降, 与本文研究结果相似。

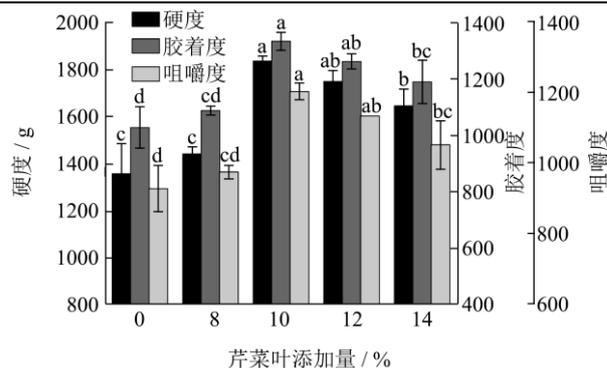


图 2 芹菜叶添加量对鱼糕质地特性的影响

Fig.2 Effect of different celery leaf contents on texture characteristics of fish cake

表 5 不同芹菜添加量对鱼糕感官评价的影响

Table 5 Effect of different celery leaf contents on sensory evaluation of fish cake

芹菜叶添加量/%	感官评价/分				
	色泽	质地	滋味	喜爱度	总分
0	13.00±0.63 <sup>a</sup>	11.33±0.52 <sup>a</sup>	8.33±0.82 <sup>c</sup>	10.17±0.75 <sup>b</sup>	42.83±1.17 <sup>b</sup>
8	9.17±0.75 <sup>c</sup>	8.50±0.55 <sup>b</sup>	11.83±0.75 <sup>b</sup>	9.67±0.82 <sup>b</sup>	39.17±1.72 <sup>c</sup>
10	13.50±0.55 <sup>a</sup>	11.50±0.55 <sup>a</sup>	13.83±0.75 <sup>a</sup>	12.17±0.75 <sup>a</sup>	51.00±0.63 <sup>a</sup>
12	11.67±0.52 <sup>b</sup>	8.83±0.75 <sup>b</sup>	11.67±0.52 <sup>b</sup>	9.33±0.82 <sup>b</sup>	41.50±1.76 <sup>b</sup>
14	7.83±0.75 <sup>d</sup>	6.83±0.75 <sup>c</sup>	11.33±0.82 <sup>b</sup>	7.33±0.82 <sup>c</sup>	33.33±1.03 <sup>d</sup>

### 2.5 芹菜添加量对鱼糕感官评价的影响

感官分析技术可直观反映消费者对产品的喜好度及产品的品质情况<sup>[32,33]</sup>。表 5 反映的是芹菜叶添加量对鱼糕色泽、质地、滋味、喜爱度评分以及总感官评价得分的影响。由表可知, 随着芹菜叶添加量的增加, 鱼糕的样品色泽、质地、滋味、喜爱度评分和感官评价总分均呈现先升高后降低的趋势, 添加量为 10%的各感官评价得分均最高, 且均高于空白组, 总分为 51 分。其中, 芹菜叶对滋味影响较大, 从而影响总分。有研究表明添加量 10%的芹菜浓缩汁对芹菜花色香韵的效果最佳, 具有较好的口感和弹性, 但随着添加量的增加, 弹性下降, 绿色加深, 苦味增加, 超出消费者接受范围, 与本实验结果相一致<sup>[34]</sup>。

### 2.6 芹菜添加量对鱼糕微观结构的影响

扫描电子显微镜利用高能电子束轰击样品表面, 以一定的时间和空间顺序进行网格扫描, 对样品表面形貌进行观察<sup>[35]</sup>。图 3 反映的是芹菜叶的添加量对鱼糕扫描电镜观察微观结构的影响。由图可知, 芹菜叶添加量为 10%的鱼糕凝胶网络结构相对于其它添加量的结构更加致密均匀, 孔洞少且小, 优于空白组, 其余各添加量间的比较差异不显著。这是由于芹菜中的膳食纤维及酚类有助于提高凝胶结构。Zhou 等<sup>[36]</sup>

研究发现添加茶多酚可修饰蛋白质二级结构, 与蛋白质交联, 使凝胶结构更为有序、致密。

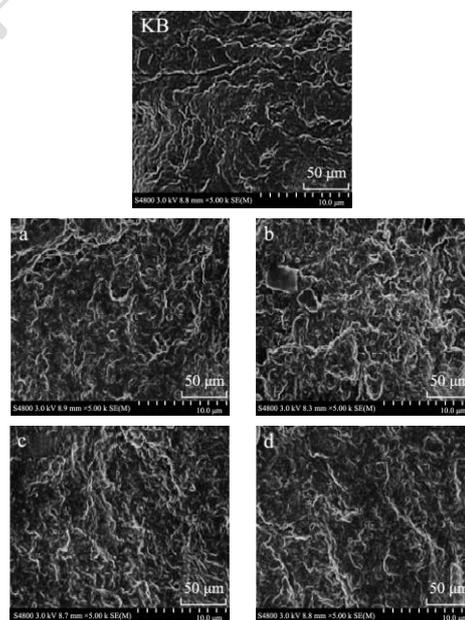


图 3 芹菜添加量对鱼糕微观结构的影响 (×5000)

Fig.3 Effect of different celery leaf contents on SEM microstructure of fish cake (×5000)

注: KB 表示空白组; a-d 分别表示芹菜叶的添加量为 8%、10%、12%、14%。

## 3 结论

金线鱼鱼糜高蛋白低脂肪, 钙离子含量较低, 芹菜叶中膳食纤维、钙离子和总酸含量较高。随着芹菜叶添加量的增加, 鱼糕的 $L^*$ 值、 $a^*$ 值、白度和pH下降,  $b^*$ 值上升, 具有显著性; 硬度、胶着度、咀嚼度及感官评价得分均随着添加量增加呈先上升后下降趋势, 添加量为10%效果最佳, 微观结构均匀致密。添加芹菜叶可以改善鱼糕凝胶特性。

## 参考文献

- [1] 阚建全. 食品化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008  
KAN Jian-quan. Food Chemistry [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2008
- [2] 梁日深, 陈冬青, 苏国茂, 等. 基于 COI 及 RAG2 基因序列 15 种金线鱼科鱼类分子系统进化关系[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2017, 47(8): 74-81  
LIANG Ri-shen, CHEN Dong-qing, SU Guo-mao, et al. Molecular phylogenetic relationship of 15 *Nemipteridae* fishes based on mitochondrial COI and nuclear RAG2 Gene sequences [J]. Journal of Ocean University of China: Natural Science Edition, 2017, 47(8): 74-81
- [3] 王金路, 王雪琦, 仪淑敏, 等. 金线鱼鱼丸冷藏过程中品质变化规律研究[J]. 水产科学, 2015, 34(1): 14-19  
WANG Jin-lu, WANG Xue-qi, YI Shu-min, et al. Quality changes in *Nemipterus virgatus* fish-ball during refrigerating storage [J]. Fisheries Science, 2015, 34(1): 14-19
- [4] WU Z, LI X. Complete mitochondrial genome of the *Nemipterus virgatus* (Perciformes: *Nemipteridae*) [J]. mitochondrial DNA Part A: DNA mapping [J]. Sequencing and Analysis, 2016, 27(5): 3485-3486
- [5] 农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴 2013-2018[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013-2018  
Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture. China Fishery Statistical Year Book. 2013-2018 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013-2018
- [6] 仪淑敏, 马兴胜, 励建荣, 等. 超高压对金线鱼鱼肉肠凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 129-133  
YI Shu-min, MA Xing-sheng, LI Jian-rong, et al. Effect of ultra-high pressure on gel properties of fish (*Nemipterus virgatus*) sausage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(10): 129-133
- [7] 顾晓慧, 殷邦忠, 王联珠, 等. 我国冷冻鱼糜生产及标准现状分析[J]. 食品科学, 2014, 35(23): 303-307  
GU Xiao-hui, YIN Bang-zhong, WANG Lian-zhu, et al. Current situation of frozen surimi production and quality standards in China [J]. Food Science, 2014, 35(23): 303-307
- [8] Malhotra S. Celery [M]. Herbs and Spices, 2012: 249-267
- [9] 李海霞, 文丽君, 陈丽珍, 等. 芹菜素席夫碱金属配合物的合成及抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(7): 164-169, 294  
LI Hai-xia, WEN Li-jun, CHEN Li-zhen, et al. Synthesis of schiff base metal derivatives of apigenin and their antioxidant activity [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(7): 164-169, 294
- [10] 赵洪雷, 李涛, 徐永霞, 等. 豆渣粉对鲢鱼鱼糜凝胶品质的影响[J]. 包装与食品机械, 2018, 36(6): 10-15  
ZHAO Hong-lei, LI Tao, XU Yong-xia, et al. Effect of okara powder on gel quality of *Silver carp* surimi [J]. Packaging and Food Machinery, 2018, 36(6): 10-15
- [11] Alakghrash Fatimah, Anyanwu Ugochukwu, Tahergorabi Reza. Physicochemical properties of Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) surimi gels with oat bran [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 41-47
- [12] Debusca Alicia, Tahergorabi Reza, Beamer Sarah K, et al. Physicochemical properties of surimi gels fortified with dietary fiber [J]. Food Chemistry, 2014, 148: 70-76
- [13] Lin Yanan, Chen Kang, Tu Dan, et al. Characterization of dietary fiber from wheat bran (*Triticum aestivum* L.) and its effect on the digestion of surimi protein [J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 102: 106-112
- [14] Knudsen K E Bach. The nutritional significance of "dietary fibre" analysis [J]. Animal Feed Science and Technology, 2001, 90(1-2): 3-20
- [15] 中国卫生和计划生育委员会. 中华人民共和国国家标准 食品安全国家标准食品 pH 值的测定: GB 5009.237-2016 [S]  
China Health and Family Planning Commission. National Standards of the People's Republic of China, National Food Safety Standards, Determination of food pH: GB 5009.237-2016 [S]
- [16] Marchetti Lucas, Muzzio Bianca, Cerrutti Patricia, et al. Bacterial nanocellulose as novel additive in low-lipid low-sodium meat sausages. Effect on quality and stability [J]. Food Structure, 2017, 14: 52-59
- [17] Pita-Calvo Consuelo, Guerra-Rodríguez Esther, Saraiva Jorge A, et al. Effect of high-pressure processing pretreatment on the physical properties and colour assessment of frozen European hake (*Merluccius merluccius*) during long term storage [J]. Food Research International, 2018, 112: 233-240
- [18] Zhang Tao, Xu Xiao-Qi, Ji Lei, et al. Phase behaviors involved in surimi gel system: Effects of phase separation on

- gelation of myofibrillar protein and kappa-carrageenan [J]. Food Research International, 2017, 100(1): 361
- [19] 中国营养学会.最新《中国居民膳食营养素参考摄入量》要点精编(13)[J].健康指南,2016,10:33-34  
China Nutrition society. up to date《Chinese residents Dietary Reference in takes》fine compilation of key points (13) [J]. Health Guide, 2016, 10: 33-34
- [20] 张兴,杨玉玲,马云,等.pH 对肌原纤维蛋白及其热诱导凝胶非共价键作用力与结构的影响[J].中国农业科学,2017,3: 564-573  
ZHANG Xing, YANG Yu-ling, MA Yun, et al. Effects of pH on the non-covalent forces and structure of myofibrillar protein and heat induced gel [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 3: 564-573
- [21] 王卫,熊纬,孙然,等.天然植物提取物对肉制品中单增李斯特菌的抑制研究[J].食品科技, 2018,43(12):272-277  
WANG Wei, XIONG Wei, SUN Ran-ran, et al. Inhibitory effect of natural plant extracts on the growth of listeria monocytogenes in meat product [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(12): 272-277
- [22] 董志俭,李欢,励建荣,等.微胶囊化姜黄油对冷藏鲢鱼鱼丸的保鲜效果[J].食品工业科技,2015, 36(18): 341-344  
DONG Zhi-jian, LI Huan, LI Jian-rong, et al. Effect of curcuma oil microencapsulated on the quality of silver carp fish-ball during chilled storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(18): 341-344
- [23] 孙冬梅.富硝芹菜粉关键生产工艺及其在肉制品中的应用[D].无锡:江南大学,2012  
SUN Dong-mei. Study on the processing of celery powder riched in nitrate and its application in the meat products [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012
- [24] 尹娟.光质对芹菜叶片光合色素和光合荧光特性的影响[J].江苏农业科学,2018, 46(4):116-119  
YI Juan. Effects of light quality on photosynthetic pigment and photosynthetic fluorescence characteristics of celery leaves [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(4): 116-119
- [25] 张屹环,夏文水.大宗淡水鱼糜凝胶性质比较研究[J].食品与生物技术学报,2012,31(6):654-660  
ZHANG Yi-huan, XIA Wen-shui. Studies on comparison of gel properties of conventional freshwater fish surimi gel [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2012, 31(6): 654-660
- [26] Kim Byung, Park Jae, Yoon Won. Rheology and texture Properties of Surimi Gels [M]. Surimi and Surimi Seafood, 2005: 491-582
- [27] RAMÍREZ J A, RODRÍGUEZ N R, URESTI R M, et al. Fiber-rich functional fish food from striped mullet (*Mugil cephalus*) using amidated low methoxyl pectin [J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21(4): 527-536
- [28] Han Minyi, Clausen Mathias P Christensen Morten, et al. Enhancing the health potential of processed meat: the effect of chitosan or carboxymethyl cellulose enrichment on inherent microstructure, water mobility and oxidation in a meat-based food matrix [J]. Food & Function, 2018, 9(7): 4017-4027
- [29] 梁雯雯.可溶性褐藻膳食纤维对低盐鱼糜制品物理特性的影响[J].食品工业学报,2019,2:37-40,46  
LIANG Wen-wen. Effect of soluble brown seaweed dietary fiber on physical properties of low salt surimi products [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 2: 37-40, 46
- [30] 邵瑶瑶,赵燕,徐明生,等.金属离子对蛋白质凝胶化行为的影响研究进展[J].食品科学,2017,38(5):299-304  
SHAO Yao-yao, ZHAO Yan, XU Ming-sheng, et al. A review of effects of metal ions on gelation behavior of protein [J]. Food Science, 2017, 38(5): 299-304
- [31] 仪淑敏,李欢,陈思,等.鱼骨粉对金线鱼糜凝胶特性的影响[J].食品科学,2017,38(9):1-7  
YI Shu-min, LI Huan, CHEN Si, et al. Effect of fish bone powder on gel properties of *Nemipterus virgatus* surimi [J]. Food Science, 2017, 38(9): 1-7
- [32] 张亦芬.食品感官检验技术及其应用分析[J].质量探索,2016,13(2):40-41  
ZHANG Yi-fen. Food sensory inspection technology and application analysis [J]. Quality Exploration, 2016, 13(2): 40-41
- [33] 贾娜,王乐田,戴琳,等.真空沟帮子烧鸡贮藏中脂肪氧化及感官品质的变化[J].肉类研究,2014,28(9):13-16  
JIA Na, WANG Le-tian, DAI Lin, et al. Changes in lipid oxidation and sensory quality in vacuum-packaged goubangzi roast chicken during shelf-life [J]. Meat Research, 2014, 28(9): 13-16
- [34] 武俊瑞,岳喜庆,乌日娜,等.芹菜花色香肠的研制[J].食品科技,2008,10:51-53  
WU Jun-rui, YUE Xi-qing, WU Ri-na, et al. Development of the celery assortment sausage [J]. Food Science and Technology, 2008, 10: 51-53

(下转第 52 页)