

可溶性褐藻膳食纤维 对低盐鱼糜制品物理特性的影响

梁雯雯^{1 2 3} 龚钰桥^{1 2 3} 郭建^{1 2 3} 汪秋宽^{1 2 3} 武龙^{1 2 3} 何云海^{1 2 3} 丛海花^{1 2 3 *}

(1.大连海洋大学食品科学与工程学院 辽宁大连 116023;

2.国家海藻加工技术研发分中心 辽宁大连 116023;

3.辽宁水产品加工及综合利用重点实验室 辽宁大连 116023)

摘要: 为考察可溶性褐藻膳食纤维(Soluble brown seaweed dietary fiber, SBF)应用于低盐鱼糜制品的适宜添加量,研究0%~1.5%浓度范围内,SBF对低盐鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)制品蒸煮损失、凝胶持水力、质构特性(硬度、咀嚼性、内聚性、粘附性、胶黏性、弹性)和热物性(热扩散率、热阻率、热传导率、比热)的影响。结果显示:随着SBF浓度的增加,鱼糜制品的蒸煮损失显著下降($p < 0.05$);硬度、弹性、咀嚼性和粘附性表现出极显著增大($p < 0.01$);SBF浓度0.75%~1.5%范围内,凝胶持水力显著提高($p < 0.05$);添加SBF对鱼糜制品的内聚性、胶黏性和热阻率有不同程度的增大作用;对热扩散率、热传导率和比热有不同程度的降低。SBF可作为良好的膳食纤维来源添加到低盐鲢鱼鱼糜制品中,添加量<1%时,产品硬度在适宜的范围内。

关键词: 可溶性褐藻膳食纤维;鱼糜制品;持水力;蒸煮损失;质构

Effect of Soluble Brown Seaweed Dietary Fiber on Physical Properties of Low Salt Surimi Products

LIANG Wen-wen^{1 2 3}, GONG Yu-qiao^{1 2 3}, GUO Jian^{1 2 3}, WANG Qiu-kuan^{1 2 3},
WU Long^{1 2 3}, HE Yun-hai^{1 2 3}, CONG Hai-hua^{1 2 3 *}

(1.College of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

2.Nation R&D Branch Center For Seaweed Processing, Dalian 116023, China;

3.Key and Open Laboratory of Aquatic Product Processing and Utilization of Liaoning Province, Dalian 116023, China)

Abstract: To investigate the suitable addition amount of soluble brown seaweed dietary fiber (SBF) for low-salt surimi products, this article investigated the effects of 0%~1.5% concentrations of SBF on cooking loss, water-holding capacity, texture properties (hardness, chewiness, cohesiveness, adhesivity, springness) and thermal physical properties (thermal diffusivity, thermal resistivity, thermal conductivity, specific heat) of low salt *Hypophthalmichthys molitrix* surimi products. The results showed that, with the increase of the concentration of SBF, cooking loss significantly decreased ($p < 0.05$); hardness, elasticity, mastic ability and adhesiveness showed significant increase ($p < 0.05$); In the range of 0.75~1.5% SBF concentration, WHC significantly increased ($p < 0.01$); the addition of SBF could increase the cohesion, adhesiveness and thermal resistance and reduce the heat diffusion rate, heat conduction rate and specific heat of products to varying degrees. SBF could be added to low-salt silver carp surimi products as a good source, and the hardness of products was within the appropriate range when the amount of addition was less than 1%.

Key words: soluble brown seaweed dietary fiber (SBF); surimi products; WHC; cooking loss; texture

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)02-0037-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.02.007

引文格式: 梁雯雯, 龚钰桥, 郭建, 等. 可溶性褐藻膳食纤维对低盐鱼糜制品物理特性的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(2): 37-40, 46.

我国淡水鱼资源非常丰富, 2015年淡水鱼总养殖量达3165.30万吨, 其中淡水鲢鱼占422.60万吨,

位居第二^[1], 2016年淡水养殖鱼类3179.26万吨, 鲢鱼产量450.66万吨^[2]。鱼糜制品是全球生产加工和

收稿日期: 2018-01-08

作者简介: 梁雯雯(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品热加工新技术及蛋白质化学, E-mail: 1594574567@qq.com。

* 通讯作者: 丛海花(1983-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 水产品加工新技术及藻类活性组分, E-mail: 287669592@qq.com。

基金项目: 国家自然科学基金委员会青年科学基金项目(31701630); 辽宁省科技厅博士启动基金(201601284); 农业部水产品加工重点实验室开放基金(NYJG201502); 辽宁省教育厅科学技术研究项目(L201610); 辽宁省大学生创新训练项目(20160158058)。

消耗量最大的水产加工食品之一,将大量低值淡水鱼资源开发成鱼糜制品,能够在增强保藏性、提高附加值的同时,进一步缓解海水鱼原料资源逐年紧缺问题。传统海水鱼糜制品加工过程中,有加盐擂溃的工艺(2%~3%)以促使盐溶性蛋白溶出,但当前人们逐渐意识到减少加工食品中外源盐分对人体健康的重要性,因此,寻求新工艺、新配方来确保低盐鱼糜制品感官品质和弹性是一个新的挑战。

目前报道的方法主要包括更换鱼糜原料、添加增强离子强度的小分子、改变辅料配方、使用新的加工工艺等。袁美兰等^[3]通过测定四种常见淡水鱼肉盐溶性蛋白的质构特性,发现鲢鱼和鲤鱼为加工鱼糜最适原料,青鱼和草鱼稍差。用 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 替代 Na^+ ,但会带来一定的不良风味^[4]。胱氨酸作为一种弱氧化剂可以最大化二硫键的形成,进而提高溶解度。L-赖氨酸与肌球蛋白之间特异性相互作用(与谷氨酰胺酰基残基的 ϵ -氨基酸基团和 γ -甲酰胺基团)破坏了肌球蛋白间的静电作用,从而抑制了肌球蛋白纤维的形成,提高溶解度^[5]。Cando等^[6]发现添加胱氨酸或赖氨酸的低盐鱼糜(0.3% NaCl)凝胶理化特性相当于常规含盐量对照组;添加变性淀粉为辅料的鲢鱼鱼糜制品的凝胶特性有显著提高,且持水力增强^[7];葡萄糖酸钠对鱼糜制品凝胶特性也有显著提高作用^[8]。近年来,植物多糖成为鱼糜制品辅料的新宠,Zeng等^[9]研究发现,添加6%竹笋膳食纤维的鱼丸经过170℃(50 s)及190℃(10 s)的深油炸加工后,脂肪含量相较于对照组显著下降了7.8%。Juliana等^[10]发现,将苹果膳食纤维作为脂肪替代成分添加到鸡肉饼中,鸡肉饼的水分、蛋白质和灰分含量没有影响,但脂质含量显著降低。这些研究多集中在陆生植物原料的膳食纤维对鱼糜制品的改善方面,成功进行工业化生产的包括魔芋多糖、卡拉胶、菊苣菊粉、瓜尔豆胶和黄原胶等^[11-13]。海洋来源膳食纤维对低盐鱼糜制品品质影响的研究较少。

我国褐藻类资源丰富,在褐藻精深加工过程中,可溶性褐藻膳食纤维(Soluble brown seaweed dietary fiber, SBF)作为主要副产物没有得到充分利用。SBF相较于燕麦膳食纤维具有更强的清除体内自由基的能力,对体内重金属 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Hg^{2+} 有很好的吸附效果,强化褐藻膳食纤维的功能性食品在欧美、日本等发达国家已经非常流行。SBF改善食品的营养和质地特性的同时,还可以制备低热量产品,提高产品的附加值和营养性^[14]。本文考察不同浓度SBF对低盐鲢鱼鱼糜制品的蒸煮损失、凝胶持水力、质构特性(Texture profile analysis, TPA)及热物理特性的影响,旨在研发一类富含褐藻膳食纤维的低盐鱼糜制品,提高淡水来源鱼糜制品品质,进一步解决行业瓶颈问题,同时丰富褐藻资源的综合加工利用。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

SBF 国家海藻研发分中心中试生产岩藻聚糖硫酸酯时^[15],最后一步取上清液加入乙醇使溶液中乙醇浓度为20%,沉淀所得;鲜活鲢鱼、鸡蛋 大连

市熟食品交易中心;淀粉 怀来隆晨食品有限公司;白糖 安琪酵母有限公司;食盐 湖南盐业股份有限公司。

HR/T20MM 立式高速冷冻离心机 湖南赫西仪器装备有限公司;DS-1 高速组织捣碎机 上海标本模型厂制造;AL204 电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;KD2 Pro 热特性分析仪 美国METER公司;TMS-Pro 质构仪 FTC 仪器有限公司;HH-6 数显恒温水浴锅 国华电器有限公司;YC-2 型层析实验冷柜 上海谷宁仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 鱼糜制品的制备 参考Fatimah A.^[16]的方法,取新鲜原料鱼,去鱼头、鱼鳞、内脏,采肉漂洗三次(先用清水漂洗两次,再用盐水漂洗一次,盐水浓度0.15%,每次3 min),沥干并冷却至4℃后静置60 min,绞肉(此过程分为两个阶段,一是空绞,将鱼糜放入组织搅拌机中空绞10 min;二是混合绞,加入不同浓度(0%、0.25%、0.5%、0.75%、1%、1.25%、1.5%)的SBF及配料(淀粉30%、水20%、蛋清10%、白糖3%、盐1%)继续搅拌,时间为15 min,待热处理。

1.2.2 鱼糜制品的热处理 参考朱玉安等^[17]的方法,对鱼糜进行二段加热:将鱼糜平铺至食品级密封塑料盒内,避免气泡的产生,置于40℃水浴锅加热15 min,然后在90℃水浴锅加热15 min后立即放入冰水混合物中冷却10 min,取出用滤纸吸干样品表面水分,冷却后测热物理特性,将产品切成大小一致的样品($3 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$, $20 \pm 0.2 \text{ g}$),测凝胶持水力和进行质构特性分析。

1.3 指标的测定

1.3.1 蒸煮损失 参考Fatimah A.等^[16]的方法,加热前后样品质量差与加热前样品质量之比为蒸煮损失。

1.3.2 凝胶持水力 参考涂晓琴^[18]的方法,样品用双层滤纸包裹,放入100 mL离心管中,离心转速8000 r/min,时间10 min,温度4℃。取出离心后样品称重。离心后样品重量与离心前样品重量之比为凝胶持水力,结果为3次平行。

1.3.3 质构特性分析 参考张莉莉等^[19]的方法,参数:圆柱形探头(高度为1 cm);测试速度:60 mm/s;压缩比:40%;下移位移为30 mm。结果为5次平行。

1.3.4 热物性 使用热物性分析仪,双针型探头,将探头插入待测的样品中心读数,结果为3次平行。

1.4 数据分析

使用SPSS(19.0)软件进行LSD多重比较法分析显著性,EXCEL(office 2010)软件作图,小写字母表示差异性显著($p < 0.05$),大写字母表示差异性极显著($p < 0.01$)。

2 结果与分析

2.1 SBF对鱼糜制品蒸煮损失的影响

SBF对低盐鲢鱼鱼糜制品蒸煮损失的影响如图1,随着SBF浓度的增加,蒸煮损失显著降低($p < 0.05$),这一结论与李来好^[20]的研究结果相符。加热蒸煮时,氢键的相互作用逐渐减弱,鱼肉中水分不易被结合而损失,添加的SBF会结合一部分自由水,达

到保持鱼糜组织完整性的目的。SBF 浓度为 1.5% 时, 蒸煮损失为 0.94%, 这一结果与涂晓琴^[18] 研究比较, 有显著的优势, 大豆膳食纤维和改性大豆膳食纤维需要添加量到 8% 时蒸煮损失才能降低到 2% 以下; 对比 Fatimah A. 等^[16] 对燕麦膳食纤维降低阿拉斯加鳕鱼糜蒸煮损失的研究, 在降低膳食纤维原料使用方面, 也有明显优势。

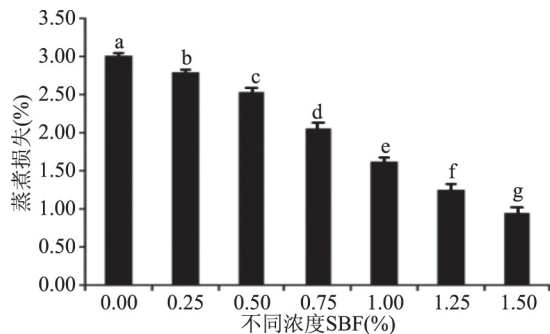


图 1 SBF 浓度对鱼糜制品蒸煮损失率影响

Fig.1 Effect of SBF concentration on cooking loss of surimi

2.2 SBF 对鱼糜制品凝胶持水力的影响

凝胶持水力表示的是产品可以保持水分多少的能力, 也被称为水合作用, 不仅与产品风味密切相关, 也影响产品的口感、颜色及其他指标^[21]。如图 2, 随着 SBF 浓度的增大, 除了添加量为 0.25% 组, 低盐鲢鱼鱼糜制品的凝胶持水能力相比空白组均显著提高 ($p < 0.05$)。可以推断出, 在热处理过程中, 褐藻膳食纤维起到了一定的稳定蛋白的作用^[22]。这一结果与 Kim 等^[23] 的研究结果相似, 发现添加膳食纤维的牛肉糜凝胶持水力得到显著提高, 尤其对冷冻/解冻后的牛肉饼效果显著, 原因是 SBF 直接参与冻藏过程中冰晶的形成, 影响冷冻食品内部冰晶体的形成, 基于这个原因, SBF 也常作为冷冻保护剂用于鱼糜制品中。鱼糜制品的持水力随着 SBF 添加量的增大而显著提高 ($p < 0.05$) (0.50% 与 0.75% 相比不显著), 这应该与其内部网络结构截留水的能力有关, 也就是 SBF 的膨胀性。文献报道 SBF 的膨胀力可达 138 mL/g, 持水率达 6720%^[24], 明显优于燕麦全谷可溶性膳食纤维^[25] (膨胀力可达 1.8 mL/g, 持水率达 5.5 g/g)。

2.3 SBF 对鱼糜制品质构特性的影响

质构仪对样品检测过程中, 探头第一次挤压后, 产品几乎可以恢复到原有高度, 这是粘弹性物质所具有的典型特征, 有研究表明, 多糖类物质对鱼糜制

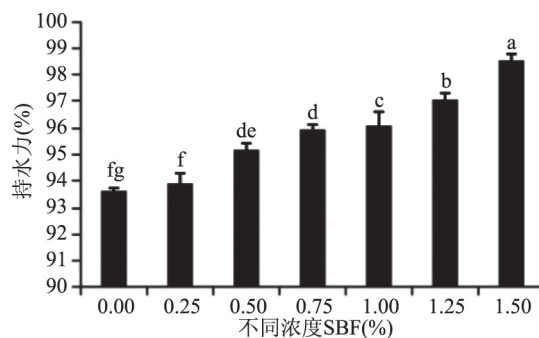


图 2 SBF 浓度对鱼糜制品凝胶持水力的影响

Fig.2 Effect of SBF concentration on water-holding capacity of surimi

品的品质有改善作用, 如壳聚糖添加到鱼糜中, 产品的粘弹性、内聚性及胶粘性方面具有显著的提高^[26]。不同浓度 SBF 对鱼糜制品 TPA 参数 (硬度、粘附性、弹性、咀嚼性、胶黏性及内聚性) 的影响结果如表 1 所示。随着 SBF 浓度的增加, 低盐鲢鱼鱼糜制品的质构参数呈增大的趋势, 且不同 SBF 添加量的鱼糜制品在硬度、弹性、咀嚼性和粘附性上表现出极显著差异 ($p < 0.01$)。

硬度是反映鱼糜制品品质的重要指标之一, 描述与食品变形或穿透产品所需的力有关的机械质地特性, 是食品保持形状的内部结合力, 随着 SBF 浓度的增加, 硬度指标呈现极显著增大 ($p < 0.01$) 的趋势。Kim 等^[23] 发现当添加膳食纤维使产品硬度值 > 60 N 时, 消费者可接受度变低, 当 SBF 添加量为 1% 时, 产品的硬度 > 60 N, 因此选择 SBF 添加量要 $< 1\%$ 。添加 SBF 的低盐鲢鱼鱼糜凝胶具有良好的弹性, 涂晓琴^[18] 发现随着豆渣中可溶性膳食纤维含量的增加, 鱼糜凝胶的弹性轻微增大。SBF 主要成分为 α -L-古洛糖醛酸和 β -D-甘露糖醛酸, 是一种长链线型多糖, 插入到鱼肉蛋白质的三维立体结构中, 与之结合形成多糖-蛋白质复合物, 改变凝胶中由共价键和非共价键形成的网状结构^[26], 加固其网络结构, 提高其稳定性, 最终改善鱼糜制品的弹性和咀嚼性; SBF 具有梯度黏合作用, 溶于水后形成具有黏性的溶液, 可以使鱼糜制品的粘附性得到显著提高。另外, SBF 具有吸湿性, 可与大多数多价阳离子反应形成交联, 控制水分子的流动, 加热可得热不可逆性的刚性结构, 稳定性能好, 对鱼糜凝胶的内聚性有一定的改善作用。

2.4 SBF 对鱼糜制品热物性的影响

当前随着人们生活水平的不断提高及调理食品行业的日益壮大, 开发即食低盐鱼糜制品是目前企

表 1 SBF 浓度对鱼糜制品质构特性的影响

Table 1 Effects of SBF concentration on TPA of surimi

添加量 (%)	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
硬度 (N)	29.78 \pm 1.41 ^A	36.82 \pm 2.30 ^B	41.78 \pm 1.39 ^C	45.24 \pm 1.74 ^D	64.6 \pm 3.90 ^E	70.16 \pm 2.10 ^F	74.12 \pm 3.52 ^G
弹性 (Pa)	65.00 \pm 3.98 ^A	93.63 \pm 4.65 ^B	113.72 \pm 2.07 ^C	150.47 \pm 2.46 ^D	182.62 \pm 1.57 ^E	220.46 \pm 3.93 ^F	266.74 \pm 4.48 ^G
内聚性	0.35 \pm 0.02 ^a	0.46 \pm 0.05 ^b	0.49 \pm 0.05 ^{bc}	0.52 \pm 0.06 ^{bcd}	0.54 \pm 0.05 ^{cd}	0.56 \pm 0.05 ^d	0.63 \pm 0.06 ^e
咀嚼性	69.00 \pm 6.17 ^A	93.63 \pm 5.92 ^B	121.12 \pm 6.07 ^C	152.27 \pm 7.59 ^D	177.42 \pm 7.14 ^E	240.46 \pm 8.33 ^F	245.87 \pm 8.97 ^G
胶黏性	13.04 \pm 1.28 ^a	15.46 \pm 1.30 ^{ab}	19.93 \pm 1.30 ^{bc}	23.56 \pm 0.89 ^d	26.68 \pm 0.73 ^{de}	30.16 \pm 1.99 ^{ef}	32.30 \pm 2.18 ^{fg}
粘附性	0.14 \pm 0.02 ^A	0.17 \pm 0.03 ^B	0.51 \pm 0.11 ^C	0.92 \pm 0.14 ^D	1.29 \pm 0.20 ^E	2.00 \pm 0.11 ^F	3.01 \pm 0.19 ^F

表2 SBF 浓度对鱼糜制品热物性的影响

Table 2 Effects of SBF concentration on thermal physical properties of surimi

添加量(%)	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
热扩散率(mm^2/s)	0.153 ± 0.008^a	0.140 ± 0.010^{ab}	0.137 ± 0.003^b	0.134 ± 0.007^b	0.133 ± 0.007^b	0.132 ± 0.011^b	0.130 ± 0.009^b
热阻率($\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}$)	85.067 ± 5.5784^e	93.63 ± 4.65^f	113.72 ± 2.07^e	150.47 ± 2.46^{cd}	182.62 ± 1.57^{cb}	220.46 ± 3.93^b	266.74 ± 4.48^a
热传导率($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	3.551 ± 0.011^a	3.433 ± 0.060^b	3.379 ± 0.088^{bcdf}	3.335 ± 0.061^{bdef}	3.324 ± 0.057^{efg}	3.244 ± 0.088^{fg}	3.082 ± 0.056^g
比热($\text{MJ}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$)	0.543 ± 0.024^a	0.487 ± 0.030^a	0.468 ± 0.007^a	0.449 ± 0.029^a	0.441 ± 0.008^a	0.436 ± 0.010^a	0.409 ± 0.031^b

业增加产品附加值、降低流通成本的需求。即食产品在灭菌过程中,需要高温热处理。食品中热量传递主要由热扩散率、热传导率、热阻、比热容几种参数决定,研究这四种热物理参数是热加工设计的要求。影响食品热物性的主要因素有含水量、组分及温度,大多数食品的热物性的计算公式主要考察含水量和温度的影响^[27]。AbuDagga 等^[28]对太平洋鲑鱼鱼糜热传导率、比热随温度变化规律进行了研究,热扩散率在 $50 \sim 100^\circ\text{C}$ 范围内值大于 $1.3 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$; Belibagli 等^[29]以银鳕鱼和鲭鱼鱼糜为研究对象,发现鱼糜制品成分的不同对热扩散率有不同程度的影响,具有高淀粉含量的样品的热扩散率随着温度的升高而增加,目前尚无 SBF 与鱼糜制品热物理特性相关性的研究报道。

如表 2 所示,添加 SBF 对鱼糜制品的各项热物性均有一定程度的影响。其中,当 SBF 浓度达到 0.25% 时,与空白对照组相比,热扩散率无显著性差异($p > 0.05$),但 SBF 浓度为 0.5%~1.5% 时,与空白组有显著性差异($p < 0.05$),且随着添加量的增大,热扩散率逐渐降低; SBF 组热阻率与空白组均有显著性差异($p < 0.05$),且随着添加量的增大,热阻率逐渐降低; SBF 组热传导率与空白组均有显著性差异($p < 0.05$),且随着添加量的增大,热传导率逐渐降低;从比热上看,仅 SBF 浓度为 1.5% 时,与空白组有显著性差异($p < 0.05$)。SBF 填充鲑鱼鱼肉蛋白的空隙中,形成不同于原始鱼糜凝胶结构的更加致密的三维网状结构凝胶体,影响了各项热物理指标。

3 结论

本论文考察了不同浓度褐藻可溶性膳食纤维(0%~1.5%)对低盐(1%)鲑鱼鱼糜制品物理特性的影响,结果表明 SBF 可以有效地提高低盐鲑鱼鱼糜制品的品质。综合分析各项物理指标发现,随着 SBF 浓度增加,蒸煮损失显著下降($p < 0.05$),凝胶持水力逐渐升高,硬度、弹性、咀嚼性和粘附性极显著增大($p < 0.01$),当 SBF 浓度 $< 1\%$ 时,消费者对硬度的接受程度较好;同时考察了 SBF 浓度对鱼糜制品热物性参数的影响,为进一步开发即食鱼糜制品以及高温灭菌的传热过程中热量衡算奠定基础。

本研究中的低盐(1%)相较于传统的海水鱼鱼糜加工,对鲑鱼鱼肉蛋白凝胶的形成无优势,但添加了 SBF 后,从宏观产品质构特性来说达到了可接受程度。因此应进一步对 SBF 如何从微观结构、分子层面等多尺度分析,如何改善低盐鲑鱼鱼糜制品的凝胶特性,并与其他商业化膳食纤维进行比较。

参考文献

- [1]中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社 2015.
- [2]中国渔业统计年鉴[M].北京:中国农业出版社 2016.
- [3]袁美兰,赵利,卢琴韵,等.不同品种淡水鱼加工鱼糜的适应性[J].食品科技 2014,39(5):135-139.
- [4]胡新颖.鲑鱼骨骼肌丝氨酸蛋白酶抑制剂的纯化、性质鉴定及对肿瘤细胞增殖的影响[D].北京:中国农业大学 2005.
- [5]Liu D, Kanoh S, Niwa E. Effect of L-lysine on the elasticity of kamaboko prepared by setting the paste of Alaska pollack [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1995, 61: 608-611.
- [6]Cando D, Herranz B, Borderías A J, et al. Different additives to enhance the gelation of surimi gel with reduced sodium content [J]. Food Chemistry 2016, 196(1): 791-799.
- [7]刘海梅,刘茹,熊善柏,等.变性淀粉对鱼糜制品凝胶特性的影响[J].华中农业大学学报, 2007(1): 116-119.
- [8]竹下瑞惠,大泉澈,赤羽義章,等.スケトウタラリ身の二段加熱グルの物性に及ぼすグルコ酸トリウムの影響[J].日本水産學會志(JPN) 2000, 66(3): 291-297.
- [9]Zeng H, Chen J W, Zhai J L, et al. Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoots dietary fiber [J]. Food Science and Technology 2016, 73: 425-431.
- [10]Juliana M, Guedes-Oliveira, Raquel L, et al. Washed cashew apple fiber (*Anacardium occidentale* L.) as fat replacer in chicken patties [J]. LWT - Food Science and Technology, 2016, 71: 268-273.
- [11]张琳,汤丹,高红亮,等.魔芋多糖在富含膳食纤维鱼丸中的应用研究[J].食品工业科技 2012, 33(14): 299-302.
- [12]Cardoso C, Mendes R, Pedro S, et al. Quality changes during storage of fish sausages containing dietary fiber [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology 2008, 17(1): 73-95.
- [13]Cardoso C, Mendes R, Nunes M L. Dietary fibers effect on the textural properties of fish heat-induced gels [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology 2007, 16(3): 19-30.
- [14]Shahin R, Mohamed K, Francisco J, et al. Application of seaweeds to develop new food products with enhanced shelf-life, quality and healthy-related beneficial properties [J]. Food Research International 2017, 99(3): 1066-1083.
- [15]王亚芳,张海霞,汪秋宽,等.几种褐藻多糖硫酸酯粗提物的降血脂作用[J].食品科技 2015, 40(2): 247-253.
- [16]Fatimah A, Ugochukwu A, Reza T. Physicochemical properties of Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) surimi gels with oat bran [J]. LWT - Food Science and Technology 2016, 66: 41-47.

(下转第 46 页)

开发[J].中国野生植物资源 2016 35(4):67-71.

[4]倪勤学,高前欣,霍艳荣,等.紫山药色素的提取工艺及抗氧化性能研究[J].天然产物的开发与利用 2012 24:229-233.

[5]赵晋晋.怀山全粉理化特性及怀山—小麦复合粉面条配方优化研究[D].福州:福建农林大学 2014.

[6]谢荣辉.山药挂面的研制[J].现代食品科技 2008 24(6):561-562.

[7]张敏,童华荣,张丽平,等.鲜山药挂面配方及优化研究[J].中国粮油学报 2006 21(1):63-67.

[8]王丽霞,林光威,孙辰晨.山药营养面条的研制[J].农产品加工(学刊) 2012(11):183-185.

[9]张贞贞.山药及主要组分对面粉特性及面条品质的影响[D].郑州:河南工业大学 2014.

[10]Li P H, Huang C C, Yang M Y, et al. Textural and sensory properties of salted noodles containing purple yam flour[J]. Food Research International 2012 47(2):223-228.

[11]李冬梅.紫淮山紫薯营养面条的研制[J].食品研究与开发 2014 36(36):46-49.

[12]王晓曦,王忠诚,曹维让,等.小麦破损淀粉含量与面团流变学特性及降落数值的关系[J].郑州工程学院学报 2001 22(3):53-57.

[13]张娇娇.山药粘液质的性质及酶解制粉工艺的研究[D].无锡:江南大学 2014.

[14]张娟.山药营养保健挂面的研制[D].杨凌:西北农林科技大学 2008.

[15]孔晓雪,王爱,丁其娟,等.高膳食纤维面团粉质特性与面包烘焙特性的研究[J].食品科学 2013 34(17):111-115.

[16]Aleksandra T, Miroslav H, Tamara D. Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour[J]. Food Hydrocolloids 2010 24(6):626-632.

[17]陈芳芳,于文滔,刘少伟,等.紫薯粉对面团粉质特性和

质构特性的影响[J].食品工业 2014 35(5):170-174.

[18]刘崇万,刘世娟,徐振秋,等.菊粉对面团流变学特性及无糖酥性饼干烘焙品质的影响[J].食品工业 2016 37(7):11-15.

[19]刘钟栋.面粉品质改良技术及应用[M].北京:中国轻工业出版社 2005:82-88.

[20]丁瑞琴.甘薯粉面团流变学性质及面条工艺的研究[D].福州:福建农林大学 2009.

[21]张园园,卢宇,阿荣,等.藜麦粉对小麦面团流变学特性的影响[J].食品科技 2016 41(6):159-163.

[22]王小媛,王文静,丁俊豪,等.红枣粉对小麦面团特性以及微观结构的影响[J].食品工业科技 2018 39(9):28-32.

[23]单珊.紫薯-小麦混合粉的性质及面条品质研究[D].无锡:江南大学 2012.

[24]姜小苓,李小明,冯素伟,等.蛋白质和淀粉对面团流变学特性和淀粉糊化特性的影响[J].食品科学 2014 35(1):44-49.

[25]吕振磊,李国强,陈海华.马铃薯淀粉糊化及凝胶特性研究[J].食品与机械 2010 26(3):22-27.

[26]陈书攀,何国庆,谢卫忠,等.菊粉对面团流变性及面条质构的影响[J].中国食品学报 2014 14(7):170-175.

[27]刘传富,郭玉秋,代养勇,等.木薯醋酸酯淀粉对面团及挂面力学特性的影响[J].现代食品科技 2016 32(6):233-238.

[28]杨文建,俞杰,孙勇,等.添加金针菇粉、茶树菇粉对面团流变学特性的影响[J].食品科学 2014 35(23):43-47.

[29]冯世德,孙太凡.玉米粉对小麦面团和馒头质构特性的影响[J].食品科学 2013 34(1):101-104.

[30]王乐.马铃薯面团特性及面条品质研究[D].西安:陕西科技大学 2017.

[31]仇干,胥心,邓云.紫马铃薯全粉-小麦粉混粉的理化特性研究[J].食品研究与开发 2017 38(3):15-19.

(上接第40页)

[17]朱玉安,刘友明,张秋亮,等.加热方式对鱼糜制品特性的影响[J].食品科学 2011 32(3):107-110.

[18]涂晓琴.豆渣对白鲢鱼糜凝胶特性及冻融稳定性的影响[D].武汉:华中农业大学 2013.

[19]张莉莉,张涛,姜晓明,等.水分状态对鱼糜凝胶高温处理热稳定性的影响[J].食品发酵工业 2013 39(2):56-61.

[20]李来好.海藻膳食纤维的提取、毒理和功能特性的研究[D].青岛:中国海洋大学 2005.

[21]Macc R, Yen C H, Alexander M. Evaluation of alkaline electrolyzed water to replace traditional phosphate enhancement solutions: Effects on water holding capacity, tenderness, and sensory characteristics[J]. Meat Science 2017 123:211-218.

[22]López-López I, Cofrades S, Yakan A, et al. Frozen storage characteristics of low-salt and low-fat beef patties as affected by Wakame addition and replacing pork backfat with olive oil-in-water emulsion[J]. Meat Science 2010 84:1244-1254.

[23]Kim H W, Danika K M, Yong J L. Effects of soy hull pectin and insoluble fiber on physic chemical and oxidative

characteristics of fresh and frozen/thawed beef patties[J]. Meat Science 2016 117:63-67.

[24]陈培基,李来好,李刘冬,等.二种褐藻膳食纤维的功能活化及其生理功能的比较[J].食品科学 2005 26(1):226-230.

[25]王珍.热加工方式对燕麦全谷可溶性膳食纤维理化及功能特性影响研究[D].郑州:郑州轻工业学院 2016.

[26]吴涛,茅林春,冯武.壳聚糖对白鲢鱼丸热凝胶特性及脂质氧化的影响[J].湖北农业科学 2011 50(2):368-372.

[27]俞微微.计算猪肉、牛肉和鳕鱼的热物理性质的经验公式[J].大连水产学院学报 2000 15(1):50-54.

[28]Abu Daggia Y, Kolbe E. Thermophysical properties of surimi paste at cooking temperatures[J]. Journal of Food Engineering, 1997 32:325-337.

[29]Belibagli K B. Thermophysical properties of silver hake and mackerel surimi at cooking temperatures[J]. Journal of Food Engineering 2003 60(4):439-448.