

鲟鱼肌肉脱脂工艺研究

赵文宇¹, 徐璐¹, 祁立波¹, 姜鹏飞¹, 秦磊¹, 白帆², 董秀萍^{1*}

(1. 国家海洋食品工程技术研究中心, 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心,
辽宁省海产品精深加工产业共性技术创新平台, 大连工业大学 食品学院, 辽宁 大连 116034;

2. 衢州鲟龙水产食品科技开发有限公司, 浙江 衢州 324000)

摘要: 该研究以俄罗斯鲟鱼为原料, 对脂肪酶法脱脂条件进行筛选和优化, 通过比较脱脂前后鲟鱼肌肉脱脂率、蛋白质损失率, 确定其最佳脱脂条件为: 酶浓度 20 U/mL、pH 值为 9、浸泡时间 50 min。对脱脂前后的鱼肉进行脂肪酸组成、组织形态、脂肪分布、腥味物质的分析发现: 酶法脱脂虽对鲟鱼肌肉组织结构有一定的破坏, 但在减少腥味物质、保持营养成分的同时能明显达到脱脂效果。

关键词: 鲟鱼; 脱脂; 碱性脂肪酶; 组织形态; 腥味物质

Study on the Degreasing Processing Technology of Sturgeon Muscle

ZHAO Wen-yu¹, XU Lu¹, QI Li-bo¹, JIANG Peng-fei¹, QIN Lei¹, BAI Fan², DONG Xiu-ping^{1*}

(1. National Engineering Research Center of Seafood, Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Liaoning Province Collaborative Innovation Center for Marine Food Deep Processing, School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning, China; 2. Quzhou Xunlong Aquatic Products Sci-tech Development Co., Ltd., Quzhou 324000, Zhejiang, China)

Abstract: *Acipenser gueldenstaedti* Brandt was used as the raw material to screen and optimize the conditions of degreasing with lipase. By comparing the muscle degreasing rate and protein loss rate before and after degreasing processing, the optimal degreasing conditions were as follows: the enzyme concentration was 20 U/mL, pH 9 and soaking time was 50 min. Furthermore, the analysis of fatty acid composition, tissue morphology, fat distribution, fishy compound of fish meat with and without degreasing showed that enzymatic degreasing had certain damages to the sturgeon muscle tissue structure, it was reducing fishy compounds and maintain nutrition simultaneously, it could obviously achieve degreasing effect.

Key words: sturgeon; degreasing; alkaline lipase; tissue structure; fishy compounds

引文格式:

赵文宇, 徐璐, 祁立波, 等. 鲟鱼肌肉脱脂工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(12): 102-107.

ZHAO Wenyu, XU Lu, QI Libo, et al. Study on the Degreasing Processing Technology of Sturgeon Muscle[J]. Food Research and Development, 2021, 42(12): 102-107.

鲟鱼(*Acipenser sinensis*)是体形较大、寿命较长的一种淡水鱼^[1]。随市场需求增加, 我国鲟鱼养殖业不断发展。但目前鲟鱼精深加工技术相对滞后, 产品形式

较为单一, 主要为鱼籽酱等。鱼籽酱生产过程存在大量加工副产物, 鱼肉占比大。鲟鱼肉厚、无肌间刺、味道鲜美、营养价值高^[2], 亟需开发利用。与其它养殖鱼类相比, 鲟鱼鱼肉脂肪含量较高, 易发生氧化酸败、产生不良气味, 影响加工过程并缩短相关产品的货架期, 增加运输和贮藏的难度。因此在加工鲟鱼时, 应考虑对其进行适度的脱脂处理。

脂肪对水产品原料加工适应性及品质有较大的影响^[3], 脱脂技术在水产品加工中应用广泛。漂洗法、

基金项目: 国家重点研发计划项目-蓝色粮仓科技创新专项“低值水产品副产物高值化利用与新产品创制”(2019YFD0902000)

作者简介: 赵文宇(1996—), 女(汉), 硕士, 研究方向: 水产品加工与贮藏。

* 通信作者: 董秀萍(1977—), 女(汉), 教授, 博士, 研究方向: 水产品加工与贮藏。

压榨法、有机溶剂萃取法、碱皂化法和酶法是目前常用的水产品脱脂方法。对比其它方法,酶法脱脂作用条件温和,能专一水解甘油三酯的酯键^[9],减少对其成分破坏且安全性高,已成为重要的脱脂方式之一。目前,相关研究主要以脱脂率为指标对脱脂工艺进行优化。另有欧阳杰等^[10]以脱脂前后鱼糜弹性和白度衡量脱脂效果;王旋等^[11]测定脱脂鱼片干制过程的氧化酸败程度以体现脱脂效果。但目前对脱脂后样品的脂肪酸组成、组织形态、挥发性组分的研究比较有限。

本研究以人工养殖的俄罗斯鲑鱼为代表,探究适宜的酶法脱脂条件,旨在为鲑鱼产品的精深加工提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷冻俄罗斯鲑鱼:体长 600 mm~750 mm,质量约 4 kg/条~5 kg/条,衢州鲑龙水产食品科技开发有限公司。俄罗斯鲑鱼捕获后,宰杀、去头、去尾、去内脏后置于-40℃冷冻待用,使用时 4℃解冻 6 h,取背部鱼肉。

碱性脂肪酶(酶活 35 000 U/g):深圳市绿维康生物有限公司;氢氧化钠、浓硫酸(分析纯):西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司;甘氨酸、五水硫酸铜(分析纯):天津市大茂化学试剂公司;正己烷(色谱纯):德国 Meker 公司;甲醇(色谱纯):Sigma-Aldrich 公司;改良油红 O 染色液:北京雷根生物技术有限公司;烷烃(C8~C20)标准品(色谱纯):瑞士 Fluka Buchs 公司。

1.2 仪器与设备

UDK129 全自动凯氏定氮仪:意大利 VELP 公司;CM1950 冷冻切片机:德国 Leica 公司;BX51 型倒置显微镜:日本 Olympus 公司;气相色谱-质谱联用仪:美国 Agilent 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 原料预处理

将鲑鱼鱼肉置于 4℃解冻 6 h 后,取背部肌肉,切成长、宽、厚为 5 cm×3 cm×0.5 cm 的肉片待用。

1.3.2 鲑鱼肌肉酶法脱脂工艺的优化

将碱性脂肪酶溶解在甘氨酸($C_2H_5NO_2$)-氢氧化钠(NaOH)缓冲溶液中即为脱脂液,采用鱼肉浸泡于脱脂液的方式,在温度 30℃、料液比 1:3(g/mL)的条件下进行酶法脱脂单因素试验,因素基本条件设置为:pH 9.0、脱脂时间 50 min。各因素梯度设置为:酶浓度 10、20、30、40、50 U/mL;浸泡时间 30、40、50、60、70 min;pH 值 7.0、8.0、9.0、10.0、11.0。每次改变一个因素,以鲑鱼肌

肉的脱脂率和蛋白质损失率为指标。试验重复 3 次,结果取平均值。

1.3.2.1 脱脂率测定

参照国标 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法对脱脂前后肌肉脂肪含量进行测定,并计算脱脂率。每一指标重复测定 3 次,结果取平均值。参照应巧玲等^[12]的方法按下式计算脱脂率。

$$\text{脱脂率}/\% = (A_0 - A)/A_0 \times 100$$

式中: A_0 为脱脂前鲑鱼肌肉脂肪含量,g; A 为脱脂后鲑鱼肌肉脂肪含量,g。

1.3.2.2 蛋白质损失率测定

参照国标 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法对脱脂前后肌肉粗蛋白含量进行测定,并计算蛋白质损失率。每一指标重复测定 3 次,结果取平均值。参照 Cansu 等^[13]的方法,按下式计算蛋白质损失率。

$$\text{蛋白质损失率}/\% = (F_0 - F)/F_0 \times 100$$

式中: F_0 为脱脂前鲑鱼肌肉蛋白质含量,g; F 为脱脂后鲑鱼肌肉蛋白质含量,g。

1.3.3 脂肪酸含量测定

参考 Yin 等^[14]的方法,采用气相色谱-质谱联用(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)法测定脱脂前后鱼肉的脂肪酸组成,采用内标法进行定量。

1.3.4 冷冻组织切片

参照杨宏旭等^[15]的方法制作鱼肉的冷冻组织切片。参照王肖燕等^[16]的方法,采用改良油性 O 染色法对冷冻组织切片进行染色,观察脂肪分布。

1.3.5 挥发性物质测定

参考 Huang 等^[17]的方法采用顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用(solid-phase micro-extraction and gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS)技术对脱脂前后的鱼肉进行挥发性风味物质的测定。

1.3.6 数据处理及统计分析

所得试验数据使用 Excel 2016 进行处理;使用 SPSS 19.0 分析数据,显著性水平设定为 $p < 0.05$;采用 Origin 2018 进行作图。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 酶浓度对脱脂率和蛋白质损失率的影响

酶浓度对鲑鱼肌肉脱脂率和蛋白质损失率的影响见图 1。

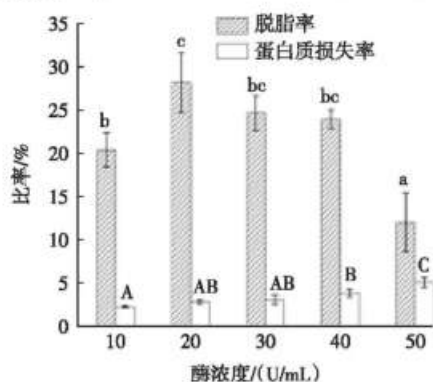
字母不同表示差异显著, $p < 0.05$ 。

图1 酶浓度对鲟鱼肌肉脱脂率和蛋白质损失率的影响

Fig.1 Effects of lipase concentration on degreasing rate and protein loss rate of sturgeon muscle

从图1可以明显观察到脱脂率随酶浓度的提高先增大后减小,于20 U/mL时达到最大值29.85%,之后脱脂率逐渐降低,这一变化可能是由于脱脂过程酶催化油脂水解反应是可逆反应^[13],随着酶浓度持续提高,水解反应向右进行,生成的甘油和脂肪酸堆积,反应便又逆向进行,发生酯化反应生成更多甘油酯,从而脱脂速率减缓。在酶浓度提高的同时蛋白质损失率也随之提高,这是因为脱脂过程部分水溶性蛋白溶出,且在碱溶液中蛋白质易发生水解反应^[14],造成蛋白质损失。综上,20 U/mL为较适酶浓度,此时脱脂率达到最大值,蛋白质损失率相对较小。

2.1.2 浸泡时间对脱脂率和蛋白质损失率的影响

浸泡时间对鲟鱼肌肉脱脂率和蛋白质损失率的影响见图2。

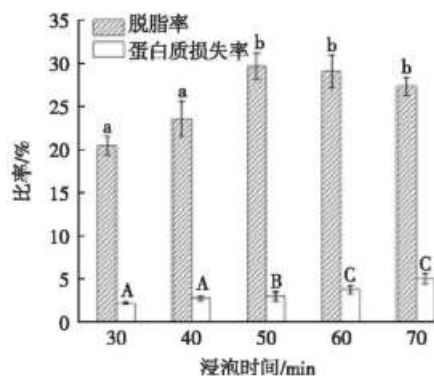
字母不同表示差异显著, $p < 0.05$ 。

图2 浸泡时间对鲟鱼肌肉脱脂率和蛋白质损失率的影响

Fig.2 Effects of soaking time on degreasing rate and protein loss rate of sturgeon muscle

通过图2可知,随着浸泡时间的延长,脱脂率有所提高,当浸泡时间超过50 min后脱脂率反而有一定下降,可能原因是随着酶促反应进行,底物处于限速浓度,酶促反应速率降低,这与徐海菊等^[15]对大黄鱼脱脂

的研究结果一致。随着脱脂时间的延长,蛋白质不断损失,造成鱼肉肌肉组织结构松散,对后续加工不利,因此当浸泡时间为50 min时能达到最大脱脂率,同时蛋白质损失率相对较小。

2.1.3 pH值对脱脂率和蛋白质损失率的影响

pH值对鲟鱼肌肉脱脂率和蛋白质损失率的影响见图3。

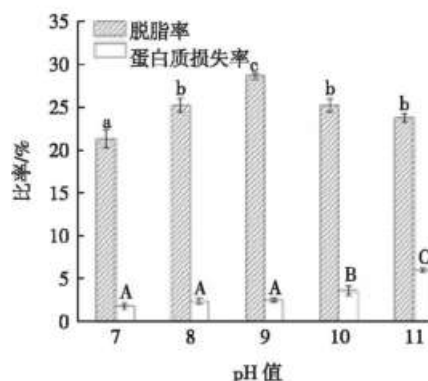
字母不同表示差异显著, $p < 0.05$ 。

图3 pH值对鲟鱼肌肉脱脂率和蛋白质损失率的影响

Fig.3 Effects of pH value on degreasing rate and protein loss rate of sturgeon muscle

pH值影响酶分子的带电性,从而影响酶活性^[16]。通过图3可知,脱脂率起初随着pH值提高而增加,这是因为适宜的碱性条件有利于脂肪酸水解,生成的脂肪酸钠盐是一种良好的乳化剂,有助于脱脂率的提高。当酶反应环境pH值>9时脱脂率下降,原因可能是酶在碱性过强的脱脂液环境下失活。蛋白质损失率随着pH值的增加逐渐升高,尤其当pH值从10增加到11时,蛋白质损失率迅速增高,这可能与肌肉中可溶性蛋白的损失有关。综上,当脱脂液pH 9时,能实现最好的脱脂效果。

2.2 酶法脱脂对鲟鱼肌肉脂肪酸组成的影响

脱脂前后鲟鱼肌肉脂肪酸组成见表1。

表1 脱脂前后鲟鱼肌肉脂肪酸组成

Table 1 Fatty acid composition of sturgeon muscle before and after degreasing

脂肪酸	相对含量/%	
	未脱脂	酶法脱脂
C9:0	0.01±0.00	0.00±0.00
C12:0	0.06±0.00	0.05±0.00
C13:0	0.03±0.00	0.02±0.00
C14:0	3.67±0.02	3.44±0.06
C15:0	0.35±0.01	0.33±0.00
C16:1	4.73±0.30	4.19±0.18
C16:0	19.70±0.30	22.77±0.30
C17:1	0.35±0.00	0.25±0.00
C17:0	0.29±0.01	0.28±0.00

续表1 脱脂前后鲟鱼肌肉脂肪酸组成
Continue table 1 Fatty acid composition of sturgeon muscle before and after degreasing

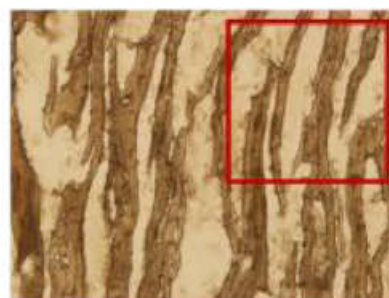
脂肪酸	相对含量/%	
	未脱脂	酶法脱脂
C18:3	0.38±0.07	0.28±0.01
C18:2	23.10±0.30	21.11±0.26
C18:1	30.01±0.68	37.95±0.57
C18:0	3.14±0.01	3.27±0.08
C19:0	0.09±0.00	0.08±0.01
C20:5	2.32±0.10	2.10±0.30
C20:4	0.45±0.01	0.43±0.07
C20:3	0.11±0.00	0.26±0.01
C20:2	1.58±0.20	1.69±0.30
C20:1	2.22±0.30	2.37±0.30
C20:0	0.14±0.00	0.10±0.00
C21:0	0.01±0.00	0.00±0.00
C22:6	5.35±0.30	4.78±0.14
C22:1	0.45±0.01	0.64±0.09
C22:0	0.04±0.00	0.04±0.00
单不饱和脂肪酸	37.76±0.65	45.40±0.89
多不饱和脂肪酸	33.29±1.69	30.65±3.27
饱和脂肪酸	27.53±3.59	30.28±2.34

脂肪酸的种类和比例是决定鱼肉品质的重要因素之一^[17]。脂肪酸中不饱和脂肪酸等成分提升了鱼肉本身的营养价值^[18],也构成了鱼肉特有的风味^[19]。脱脂后鲟鱼肌肉脂肪酸种类由24种减少至22种,这是由于脱脂过程脂肪最终被水解为脂肪酸盐。脱脂前肌肉不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid,UFA)、饱和脂肪酸(saturated fatty acid,SFA)的相对含量分别为71.05%、27.53%;酶法处理后,二者相对含量分别为75.68%、31.28%。脱脂前后鲟鱼肌肉脂肪酸组成变化较小,不饱和脂肪酸实现了较好的保留,与王旋等^[20]的研究结果一致。鲟鱼肌肉多不饱和脂肪酸中二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid,EPA)、二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid,DHA)含量相对较高为2.32%、5.35%。脱脂后二者变化不大为2.10%、4.78%。综上,采用酶法脱脂有效保留的不饱和脂肪酸能赋予鱼肉适当的风味,更好地保留鱼肉的营养成分。

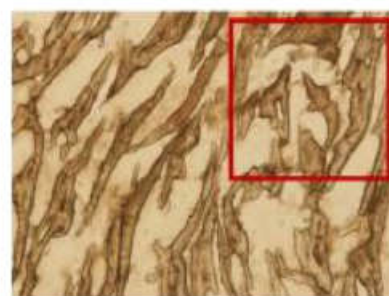
2.3 酶法脱脂对鲟鱼肌肉组织形态的影响

鲟鱼肌肉脱脂前后的肌肉组织结构图如图4所示。

肌原纤维是肌肉的主要成分,温度、pH值、高压、超声等外源条件均会使肌原纤维结构发生变化,如膨胀、收缩、破裂^[21]。从图4可以观察到脱脂后鲟鱼肌肉纤维破裂现象增多,肌肉组织更加松散。这是由于脂肪酶水解过程会导致部分肌原纤维蛋白变性,肌原纤维束收缩,最终引起肌肉组织破裂,这也可以用来解释脱脂过程蛋白质损失的现象。



(a)脱脂前



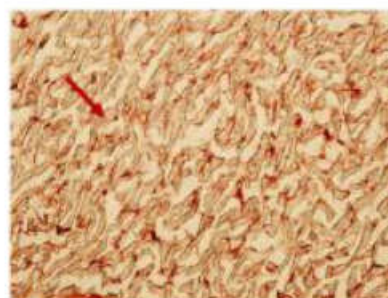
(b)脱脂后

图4 鲟鱼肌肉脱脂前后的肌肉组织结构图(20×)

Fig.4 Photos (20×) of sturgeon muscle tissue before and after degreasing

2.4 酶法脱脂对鲟鱼肌肉脂肪分布的影响

鲟鱼肌肉组织脱脂前后的脂肪分布变化见图5。



(a)脱脂前



(b)脱脂后

图5 鲟鱼肌肉组织脱脂前后的脂肪分布变化

Fig.5 Sturgeon muscle tissue in fat distribution before and after degreasing

采用改良油性O染色方法对组织切片进行染色,可使脂肪染成深红色。从图5可以明显观察到脱脂前后鲟鱼肌肉组织中深红色区域显著减少,说明大量脂肪被脂肪酶水解,脂肪含量降低。鲟鱼肌肉组织在酶法脱脂处理后更为松散,结果与图4肌肉组织形态切

片结果一致。

2.5 酶法脱脂对鲟鱼肌肉腥味物质的影响

鲟鱼肌肉脱脂前后挥发性风味成分的GC-MS结果见表2。

水产品腥味形成的重要原因是风味前体物质氧

表2 鲟鱼肌肉脱脂前后挥发性风味成分的GC-MS结果

Table 2 Results for GC-MS identification of sturgeon muscle volatile flavor compounds before and after degreasing

序号	化合物名称	气味特征	化学式	挥发性风味成分峰面积($\times 10^3$)		峰面积减小百分率/%
				未脱脂	脱脂后	
1	3-戊酮	丙酮味	$C_5H_{10}O$	906.79 $\pm$ 30.45		100
2	1,4-环己二烯		C_6H_8	623.37 $\pm$ 21.60	396.39 $\pm$ 46.27	36
3	1,3,5-环庚三烯		C_7H_8	206.10 $\pm$ 33.76	5.95 $\pm$ 0.60	97
4	己醛	青草味、酸败味	$C_6H_{12}O$	249.31 $\pm$ 21.45	148.73 $\pm$ 11.38	40
5	1,3-二甲基苯	芳香味	C_8H_{10}	96.46 $\pm$ 6.47	11.04 $\pm$ 1.60	89
6	2,4-辛二炔		C_8H_{10}	180.87 $\pm$ 21.29	9.15 $\pm$ 2.28	95
7	2-甲基丙酸丁酯	甜香	$C_8H_{16}O_2$	46.38 $\pm$ 3.27	4.32 $\pm$ 0.07	91
8	1-辛烯-3-醇	土腥味、蘑菇味	$C_8H_{16}O$	6.90 $\pm$ 0.98		100
9	2,3-辛二酮	脂肪味	$C_8H_{14}O_2$	8.40 $\pm$ 0.91	4.42 $\pm$ 0.07	47
10	2,2,4,6,6-五甲基庚烷	芳香味	$C_{12}H_{26}$	10.41 $\pm$ 0.54	2.19 $\pm$ 0.01	79
11	1-甲基-4-(甲基乙烯基)环己烯		$C_{10}H_{16}$	25.68 $\pm$ 2.27	4.67 $\pm$ 0.28	82
12	3,5-辛二烯-2-酮	脂肪味	$C_8H_{12}O$	8.00 $\pm$ 0.45	4.79 $\pm$ 1.23	40
13	4-壬醇	油脂味	$C_9H_{20}O$	8.36 $\pm$ 0.15	3.31 $\pm$ 0.21	60

化产生大量的挥发性化合物。鲟鱼脱脂前共鉴定出13种挥发性风味物质,酶法脱脂后主要检测到11种风味物质且峰面积显著减小,说明脱脂后鲟鱼肉的挥发性风味物质相对含量明显降低。醛类对鱼肉风味有很大影响,含量较高时往往会产生令人不愉快的气味。表2中可见己醛在鲟鱼样品中含量很高,而鱼体中鱼腥味化合物的主要成分包括己醛。张红燕等^[2]发现了金枪鱼油中的腥味物质包括1-辛烯-3-醇和4-壬醇等,脱脂前后鲟鱼肉中均存在以上物质且含量较多。酮类物质中2,3-辛二酮含量明显减少。酮类具有脂肪味,对腥味有增强作用。总的来说,酶法脱脂处理的鲟鱼肌肉可在一定程度上将醛类、酮类等对腥味影响较大的化合物除去,脱脂的同时达到一定去腥的效果。

3 结论

经筛选确定鲟鱼肌肉酶法脱脂工艺条件为:酶浓度20 U/mL、pH 9、浸泡时间50 min,此时可控制得到适宜蛋白质损失率并实现较好的脱脂效果。酶法脱脂后的鱼肉在脂肪酸组成、组织形态、脂肪分布、腥味物质可达到较好效果。

参考文献:

- [1] 魏洪城,薛敏. 鲟鱼营养研究进展(一)[J]. 中国水产, 2019(4): 98-100.

WEI Hongcheng, XUE Min. Research progress of sturgeon nutrition [J]. China Fisheries, 2019(4): 98-100.

- [2] 郭敏强,姜鹏飞,傅宝尚,等. 4种不同冻干鲟鱼龙筋的营养成分分析及评价[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12): 194-199.
- [3] GUO Minqiang, JIANG Pengfei, FU Baoshang, et al. Analysis and evaluation of nutritional components of different kinds of freeze drying sturgeon's bone marrow[J]. Food Research and Development, 2019, 40(12): 194-199.
- [4] 钟机,赵卉双,程新伟,等. 水产品脱脂技术的研究进展[J]. 农产品加工, 2016(3): 65-67.
- [5] ZHONG Ji, ZHAO Huishuang, CHENG Xinwei, et al. Research progress of degreasing technology of aquatic products[J]. Farm Products Processing, 2016(3): 65-67.
- [6] 吴燕燕,朱小静. 鱼类脱脂方法研究进展[J]. 核农学报, 2016, 30(6): 1163-1168.
- [7] WU Yanyan, ZHU Xiaojing. Research progress of fish degreasing methods[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, 30(6): 1163-1168.
- [8] 欧阳杰,蔡淑君,林蔚,等. 多脂红身鱼糜脱脂方法的对比实验研究[J]. 食品科学, 2009, 30(24): 179-182.
- [9] OUYANG Jie, CAI Shujun, LIN Wei, et al. Comparison of degreasing methods for fatty red fish surimi[J]. Food Science, 2009, 30(24): 179-182.
- [10] 王旋,张鹏,杨方,等. 酶法脱脂对鲟鱼品质及干燥特性的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(16): 100-103.
- [11] WANG Xuan, ZHANG Peng, YANG Fang, et al. Effect of enzymatic degreasing technology on channel catfish processing properties [J].

- Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(16): 100–103.
- [7] 应巧玲, 傅玉颖, 陆海霞, 等. 响应面法优化海鳗酶法脱脂工艺的研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(12): 56–63.
- YING Qiaoling, FU Yuying, LU Haixia, et al. Optimization of defatting technology of pike eel by alkaline lipase[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(12): 56–63.
- [8] CAUSU U, BORAN G. Optimization of a multi-step procedure for isolation of chicken bone collagen[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2015, 35(4): 431.
- [9] YIN F W, LIU X Y, FAN X R, et al. Extrusion of Antarctic krill (*Euphausia superba*) meal and its effect on oil extraction[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2015, 50(3): 633–639.
- [10] 杨宏旭, 刘大松, 李珞珂, 等. 低温贮藏条件下青鱼肉中蛋白和组织结构的变化对鱼肉品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(8): 208–213.
- YANG Houxu, LIU Dasong, LI Junke, et al. The effect of protein and tissue structure change on the quality of black carp fish meat at different temperature[J]. Food and Fermentation industries, 2016, 42(8): 208–213.
- [11] 王肖燕, 王金泉, 姚刚, 等. 脂肪组织冰冻切片油红O滴染法的建立[J]. 家畜生态学报, 2014, 35(8): 58–60.
- WANG Xiaoyan, WANG Jinquan, YAO Gang, et al. Drop methods of oil red O staining on adipose tissue frozen section[J]. Acta Ecologica Animalis Domastici, 2014, 35(8): 58–60.
- [12] HUANG X H, QI L B, FU B S, et al. Flavor formation in different production steps during the processing of cold-smoked Spanish mackerel[J]. Food Chemistry, 2019, 286: 241–249.
- [13] 朱小静, 吴燕燕, 李来好, 等. 脂肪酶 B4000 和 P1000 对鲜鲈鱼鱼片的脱脂工艺优化[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 174–178.
- ZHU Xiaojing, WU Yanyan, LI Laihao, et al. Degreasing process optimization of fresh *Micropterus salmoides* fillet by lipase B4000 and P1000[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(20): 174–178.
- [14] KRISTINSSON H G, RASCO B. Biochemical and functional properties of Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle proteins hydrolyzed with various alkaline proteases [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(3): 657–666.
- [15] 徐海菊. 养殖大黄鱼片碱性脂肪酶脱脂工艺优化 [J]. 食品科学, 2011, 32(12): 54–56.
- XU Haiju. Optimization of degreasing of cultured large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) fillets with alkaline lipase[J]. Food Science, 2011, 32(12): 54–56.
- [16] 黄海, 李八方, 曾名湧. 鲤鱼卵酶解制备钙离子结合活性肽的条件优化[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(1): 73–77.
- HUANG Hai, LI Bafang, ZENG Mingyong. Enzymatic preparation of carp eggs hydrolysate with Ca-binding activity[J]. Food Research and Development, 2017, 38(1): 73–77.
- [17] 赵佳, 邢青斌, 陆颖, 等. 不同肉类食物中脂肪酸组成[J]. 卫生研究, 2018, 47(2): 254–259.
- ZHAO Jia, XING Qingbin, LU Ying, et al. Fatty acid composition in different animal products[J]. Journal of Hygiene Research, 2017, 38(1): 73–77.
- [18] 钟先锋, 陆丽珠, 陈韵, 等. ω -3 多不饱和脂肪酸促眼部健康研究进展[J]. 中国油脂, 2018, 43(7): 129–134.
- ZHONG Xianfeng, LU Lizhu, CHEN Yun, et al. Progress in ω -3 polyunsaturated fatty acids promoting eye health[J]. China Oils and Fats, 2018, 43(7): 129–134.
- [19] AASLYNG M D, MEINERT L. Meat flavour in pork and beef—from animal to meal[J]. Meat Science, 2017, 132: 112–117.
- [20] 王旋. 酶法脱脂鲟鱼加工技术研究及产品开[D]. 无锡: 江南大学, 2015: 24–25.
- WANG Xuan. Study on inebriate process of enzymatic degrease Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) and product development[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015: 24–25.
- [21] HUGHES J, OISETH S, PURSLOW P P, et al. A structural approach to understanding the interactions between colour, water-holding capacity and tenderness[J]. Meat Science, 2014, 98(3): 520–532.
- [22] 张红燕, 李晔, 袁贝, 等. 金枪鱼油冬化前后脂肪酸含量和主体风味的解析[J]. 核农学报, 2017, 31(2): 314–324.
- ZHANG Hongyan, LI Ye, YUAN Bei, et al. Fatty acid content and main flavor analysis of tuna oil before and after winterization[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2017, 31(2): 314–324.

加工编辑:王艳

收稿日期:2020-09-01