

响应面优化革胡子鲶鱼鱼头汤熬煮工艺

李璐,孙慧娟,李刚,吴迪,马俪珍,李玲*

(天津农学院 食品科学与生物工程学院 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心 天津市水产品加工及质量安全校企协同创新重点实验室,天津 300384)

摘要:以革胡子鲶鱼鱼头为原料,研究鱼头汤的熬煮工艺,以大豆油油量、熬煮时间、加热功率作为考察因素,以汤中蛋白质含量为筛选指标,通过单因素试验和响应面试验确定最佳熬煮工艺条件。响应面优化的最佳工艺参数为大豆油油量 18.1 g、熬煮时间 64.1 min、加热功率 489.2 W。根据实际操作的方便性将最佳工艺调整为大豆油油量 18 g、熬煮时间 64 min、加热功率 500 W,此条件下汤中蛋白质含量为 0.943 g/100 g,试验结果与模型预测值相近。

关键词:革胡子鲶鱼;鱼头汤;响应面;蛋白质;熬煮工艺

Optimization of the Cooking Process of the Fish Head Soup of *Clarias gariepinus* by Response Surface Methodology

LI Lu, SUN Hui-juan, LI Gang, WU Di, MA Li-zhen, LI Ling*

(Tianjin Aquatic Product Processing and Quality Safety School Enterprise Synergy Innovation Key Laboratory, National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing, College of Food Science and Biotechnology, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China)

Abstract: The cooking process of the fish head soup with the African catfish (*Clarias gariepinus*) as the raw material was studied. The cooking factors including soybean oil content, cooking time, and heating power were optimized with the protein content in the soup as the indicator. Through single factor test and response surface test, the optimum cooking conditions were selected. The cooking conditions were optimized as soybean oil content of 18.1 g, cooking time of 64.1 min, and heating power of 489.2 W. For the convenience of operation, we took the soybean oil content of 18 g, the cooking time of 64 min, and the heating power of 500 W. The soup prepared under these conditions had the best quality, with the protein content of 0.943 g/100 g. The test result was close to the model-predicted value, indicating the model could be used in the production practice.

Key words: *Clarias gariepinus*; fish head soup; response surface; protein; cooking process

引文格式:

李璐,孙慧娟,李刚,等. 响应面优化革胡子鲶鱼鱼头汤熬煮工艺[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(6): 124-129.

LI Lu, SUN Huijuan, LI Gang, et al. Optimization of the Cooking Process of the Fish Head Soup of *Clarias gariepinus* by Response Surface Methodology[J]. Food Research and Development, 2022, 43(6): 124-129.

淡水鱼在我国渔业中的地位举足轻重。革胡子鲶鱼(*Clarias gariepinus*, CG)无刺,且为我国优质淡水鱼之一,其蛋白含量高、养殖成本低、存活率高、生长周期短^[1-2],但其头部为黑色,外观可接受度低。革胡子鲶鱼的鱼头和骨刺占其质量的 40 % 左右,营养价值较高。

鱼类加工产业多将鱼头和骨刺直接丢弃,造成资源利用不合理,甚至环境污染,增加加工成本,极大地影响企业利润^[3]。所以对鱼头、鱼骨等副产物进一步利用、增加其附加值具有重要的社会意义和经济价值。

汤是生活中不可或缺的一道菜肴。在熬煮过程

基金项目:天津市淡水养殖产业技术体系创新团队-水产品加工岗位(ITTFRS2021000-012)

作者简介:李璐(1995—),女(汉),硕士研究生,研究方向:水产品加工品质与安全。

* 通信作者:李玲(1982—),女(汉),副教授,博士,研究方向:果蔬采后生理与分子生物学、食品质量与安全。

中,汤中肉质变软、结构疏松,溶出的脂质、蛋白质等物质与原料中呈味物质达到相对平衡^[4],从而赋予汤丰富的滋味^[5-6],被逐渐广泛应用到其他菜品中。一方面,汤可以刺激唾液腺分泌更多的唾液,使人们的食欲增加;另一方面,汤进入胃时可以促进肠胃的蠕动和食物的消化及吸收^[7]。在一定程度上,汤具有食疗的作用,有提高机体免疫力等功效^[8]。近年来,汤由高温高压的烹煮方式转为低温慢炖^[9]。赵勇等^[10]以鸡汤为研究对象,研究烹制对其灭菌效果及营养物质浸出的影响,得出在 100℃左右烹制时蛋白质溶出较多。刘达玉等^[11]以猪腿骨为原料,发现常压熬制汤整体香气较好,口味更受人喜欢。步营等^[12]以鱼骨为研究对象,对高压熬制鳕鱼骨汤的工艺参数进行研究且分析熬制过程中鱼骨汤风味变化,研究结果表明,高压熬制最佳条件为料水比 1:2 (g/mL)、温度 110℃、时间 2 h,蛋白质溶出率为 (7.49±0.26) g/100 g 鱼骨。冯雨等^[13]研究发现,草鱼鱼头汤在熬煮温度 95.54℃、熬煮时间 3.51 h、鱼水比 1:5.85 (g/mL)的条件下,鱼头汤中蛋白质含量和总固形物含量最大,汤质最好。朱琳等^[14]研究不同的加工方式对乌鱼汤营养成分的影响,建议熬制时间控制在 1.5 h~3 h。在汤的熬煮过程中,随着鱼头中营养物质的溶出,汤中会形成具有生理效应的胶体,这些胶体粒子由脂肪、蛋白质、糖类等组成。王一铮等^[15]研究发现,河鲢汤在熬煮过程中形成的颗粒聚集体可以有效促进肝细胞的增殖,其聚集体的粒径分布在纳米范围。禄彦科^[16]研究发现骨汤熬煮过程中有微纳米颗粒的生成,营养成分主要以脂肪为主,白汤比清汤的粒径普遍更大,颗粒尺寸的范围更广。

虽然人们对畜禽肉汤的研究较多,但是对淡水鱼鱼头汤的研究很少,市场上相关产品也不多,所以,本研究通过对鲢鱼鱼头汤的熬煮工艺进行单因素试验,然后进行响应面分析,以汤中的蛋白质含量为响应值,优选出鱼头汤最佳熬煮工艺,旨在为企业实际生产提供参考依据,增加鱼头的附加值。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜革胡子鲢鱼:市售,共 15 尾,同一批次,尾质量 (1.69±0.13) kg,鱼头质量 (0.34±0.04) kg,鱼头长 (14.78±1.16) cm,鱼头宽 (9.69±0.53) cm;食盐、大豆油:市售。

硫酸铜、硼酸、甲基红指示剂:天津市北方天医化学试剂厂;硫酸钾、浓硫酸、浓盐酸:天津市风船化学试剂科技有限公司;溴甲酚绿指示剂:北京索莱宝科技

有限公司;氢氧化钠:天津市光复发展有限公司;95%乙醇:天津市津东天正精细化学试剂厂。以上化学试剂均为分析纯。

1.2 设备与仪器

XH-B WL 定氮蒸馏装置:上海昕沪实验设备有限公司;AS220.R2 万分之一电子天平:波兰瑞德威科技(深圳)有限公司;BJRJ-82 绞肉机:浙江嘉兴艾博实业有限公司;CM-5 色差仪:日本 Konica minolta 公司;C21-WK2102 美的电磁炉:广东美的生活电器制造有限公司;SDX-1 全自动风冷速冻箱:天津市特斯达食品机械科技有限公司;nano zs90 纳米粒度及 Zeta 电位分析仪:英国马尔文仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 鱼头汤熬煮工艺

鱼头前处理:新鲜鱼→敲击致晕→宰杀→放入冰水→剥下鱼头(冰浴)→新鲜鱼头→去鳃(冰浴)→洗净(冰水)→沥干(速冻)→剁成小块→搅碎→混匀→装袋备用。

鱼头汤熬煮工艺:鱼头(200 g)→油煎 20 s(1 200 W)→加水[料液比 1:6 (g/mL)],加热功率 1200 W]→加盐 0.5%^[17](开始计时)→保沸(按试验设计调整加热功率)→过滤→取样(无明显固形物)。

1.3.1.1 单因素试验设计

革胡子鲢鱼头汤熬煮工艺的单因素试验各取鱼头 200 g,各因素的固定条件:鱼水料液比 1:6 (g/mL)、熬煮时间 150 min、大豆油油量 15 g、加热功率 400 W。各因素梯度分别设置如下,熬煮时间:30、60、90、120、150、180 min;大豆油油量:5、10、15、20、25 g;加热功率:120、300、400、500、600、800 W。每次改变一个因素进行试验,以蛋白质含量为参考指标,每个试验重复 3 次,试验结果取平均值。

1.3.1.2 响应面试验设计

根据单因素的试验结果,筛选合适条件进行响应面设计,以大豆油油量(A)、熬煮时间(B)、加热功率(C)为自变量,考察这 3 个因素对鱼头汤蛋白质含量的影响,依据 Box-Behnken 的中心组合试验设计原理,设计三因素三水平响应面试验模型,优化鱼头汤熬煮工艺,试验水平及因素见表 1。

表 1 响应面试验因素及水平
Table 1 Factors and levels of response surface test

水平	大豆油油量/g	熬煮时间/min	加热功率/W
-1	15	30	400
0	20	60	500
1	25	90	600

1.3.2 成分测定

蛋白质含量:采用凯氏定氮法,依照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》进行。

1.4 数据处理

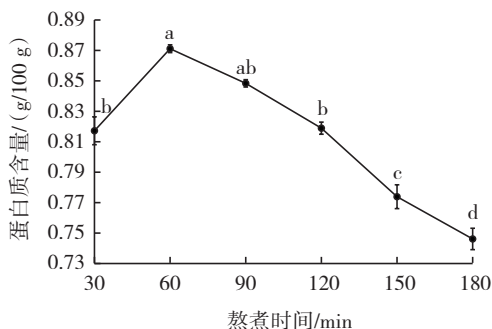
运用 SPSS19.0 软件进行方差分析,且利用 Duncan 新复极差法进行显著性检验($P<0.05$),运用 Office Excel2019 作图,利用 Design-Expert 11 软件对响应面进行回归分析。

2 结果与分析

2.1 鱼头汤熬制工艺参数优化试验结果分析

2.1.1 单因素试验结果

熬煮时间对鱼头汤蛋白质含量的影响见图 1。



小写字母不同表示差异显著, $P<0.05$ 。

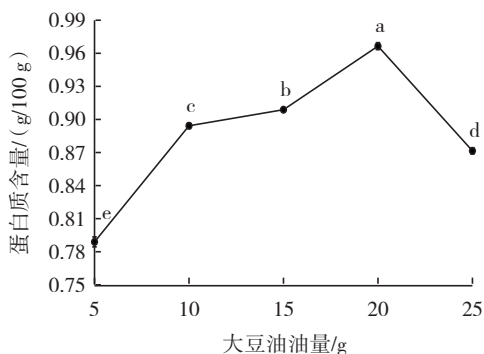
图1 熬煮时间对鱼头汤蛋白质含量的影响

Fig.1 The effect of cooking time on the protein content of fish head soup

由图 1 可知,鱼头汤蛋白质含量随着熬煮时间的延长呈现先增加后降低的趋势,在熬煮 60 min 时蛋白质含量达到最大值 0.87 g/100 g;在 60 min 以后,随着熬煮时间的继续延长,蛋白质含量不断下降,这可能是由于糖类物质逐渐溶出与蛋白质结合,形成聚合物;另一部分蛋白质随着热作用的持续进行,开始分解。因此选取熬煮时间 30、60、90 min 进行后续试验。

大豆油油量对鱼头汤蛋白质含量的影响见图 2。

鱼头经过油煎,汤形成乳白色,油脂将蛋白质乳化,更有利于蛋白质的溶出,由图 2 可知,不同大豆油油量会对汤中的蛋白质含量产生较大影响。当 200 g 鱼头中添加大豆油 5 g~20 g 时,汤中蛋白质含量逐渐增加,大豆油油量为 20 g 时蛋白质含量达到最大值。大豆油油量为 20 g~25 g 时,蛋白含量逐渐下降,这可能是由于油脂与汤中溶出的物质相互作用,形成大分子聚合物,随着油脂含量的增加,促进了物质间的相互作用和大分子物质的形成^[18]。因此选取大豆油油量



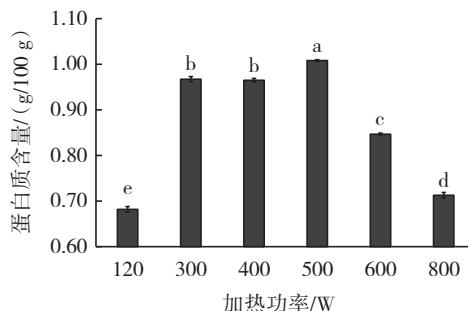
小写字母不同表示差异显著, $P<0.05$ 。

图2 大豆油油量对鱼头汤蛋白含量的影响

Fig.2 The effect of soybean oil content on protein content of fish head soup

15、20、25 g 进行后续试验。

加热功率对鱼头汤蛋白质含量的影响见图 3。



小写字母不同表示差异显著, $P<0.05$ 。

图3 加热功率对鱼头汤蛋白含量的影响

Fig.3 The influence of heating power on the protein content of fish head soup

由图 3 可知,随着加热功率的增加,蛋白质含量呈现整体上先增加后降低的趋势,加热功率为 500 W 时蛋白质含量达到最大。当加热功率大于 500 W 时,汤中蛋白质含量显著下降,这可能因为蛋白质和脂肪不断热分解成小分子物质^[19-20]。这与瞿明勇等^[21]研究猪排骨汤的制作工艺时,发现加热功率对猪排骨汤的营养有显著影响的结果一致。所以选择加热功率 400、500、600 W 继续后续试验。

2.1.2 响应面试验设计及结果

响应面试验设计及结果见表 2。

通过 Design-Expert 11 软件对大豆油油量、熬煮时间、加热功率及响应值(蛋白质含量)建立三因素三水平的二次回归模型,得到回归方程: $Y=0.94-0.036A+0.027B-5.493E-003C-7.444E-003AB+0.022AC-0.018BC-0.053A^2-0.12B^2-0.074C^2$ 。

2.1.3 回归方程显著性分析

方差分析结果见表 3。

表2 响应面试验设计及结果

Table 2 Design and results of response surface test

试验号	A 大豆油油量	B 熬煮时间	C 加热功率	Y 蛋白质含量/(g/100 g)
1	-1	-1	0	0.754 443
2	1	-1	0	0.709 922
3	-1	1	0	0.839 715
4	1	1	0	0.765 418
5	-1	0	-1	0.863 865
6	1	0	-1	0.733 805
7	-1	0	1	0.846 641
8	1	0	1	0.804 056
9	0	-1	-1	0.733 805
10	0	1	-1	0.807 253
11	0	-1	1	0.720 578
12	0	1	1	0.723 508
13	0	0	0	0.941 816
14	0	0	0	0.937 521
15	0	0	0	0.957 775
16	0	0	0	0.918 635
17	0	0	0	0.941 838

由表3可知,模型 $P<0.000\ 3$, F 值为21.612, $R^2=0.965\ 3$,表明此二项回归方程拟合的模型极显著,失拟项不显著($P>0.05$)。一次项 A 、二次项(A^2 、 B^2 、 C^2)的 $P<0.01$,影响极显著;一次项 B 的 $P<0.05$,表示熬煮时间

表3 方差分析

Table 3 Analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	0.124 401	9	0.013 822	21.612 0	0.000 3**
A	0.010 619	1	0.010 619	16.603 2	0.004 7**
B	0.005 894	1	0.005 894	9.215 706	0.019 0*
C	0.000 241	1	0.000 241	0.377 437	0.558 4
AB	0.000 222	1	0.000 222	0.346 567	0.574 6
AC	0.001 913	1	0.001 913	2.991 044	0.127 3
BC	0.001 243	1	0.001 243	1.943 815	0.205 9
A^2	0.011 903	1	0.011 903	18.610 5	0.003 5**
B^2	0.059 599	1	0.059 599	93.187 22	<0.000 1**
C^2	0.023 217	1	0.023 217	36.301 51	0.000 5**
残差	0.004 477	7	0.000 64		
失拟项	0.003 693	3	0.001 231	6.279 872	0.054 0
纯误差	0.000 784	4	0.000 196		
总离差	0.128 878	16			

注:**表示差异极显著($P<0.01$);*表示差异显著($P<0.05$)。

是此模型的显著影响因素。交互项 AB 、 BC 、 AC 影响不显著。从 F 值可以看出 A 、 B 、 C 3个因素对蛋白质含量影响大小顺序为 $A>B>C$ 。

2.2 响应曲面分析及验证试验

2.2.1 响应曲面分析

图4~图6为各因素交互作用的响应面和等高线图。

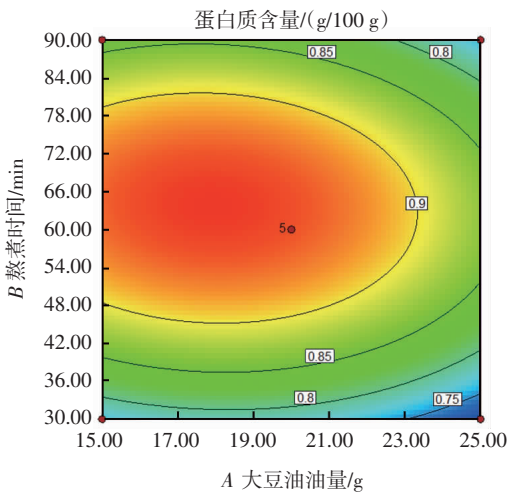
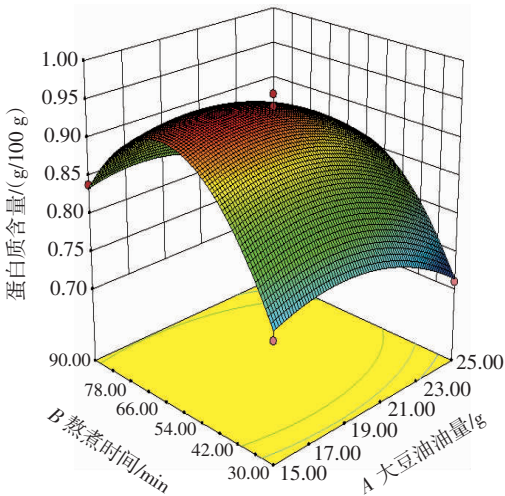


图4 大豆油油量与熬煮时间交互作用对汤中蛋白质含量的影响

Fig.4 The effect of the interaction between soybean oil content and boiling time on the protein content in the soup

由图4可知,大豆油油量和熬煮时间交互作用产生的3D图像呈一个弧面,蛋白质含量随着两个因素的增加呈现先增加后降低的趋势。同理,固定大豆油油量,蛋白质含量变化趋势也如此。由图4~6可知,大



豆油油量与加热功率交互作用等高线图趋向椭圆,交互作用好于其他两组但影响仍不显著。

2.2.2 验证试验

通过 Design-Expert 11 分析得出最佳工艺参数:

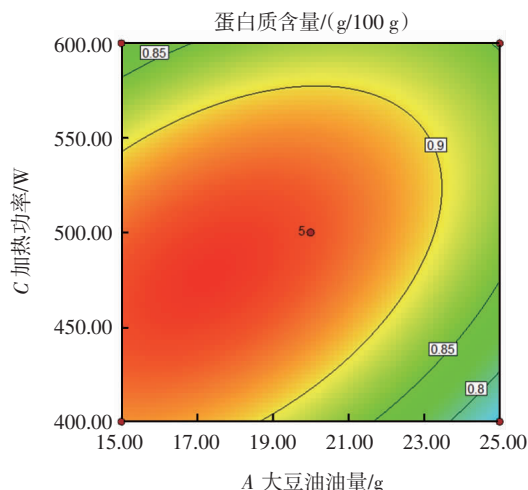


图5 大豆油油量与加热功率交互作用对汤中蛋白质含量的影响

Fig.5 The effect of the interaction between oil content and heating power on the protein content in the soup

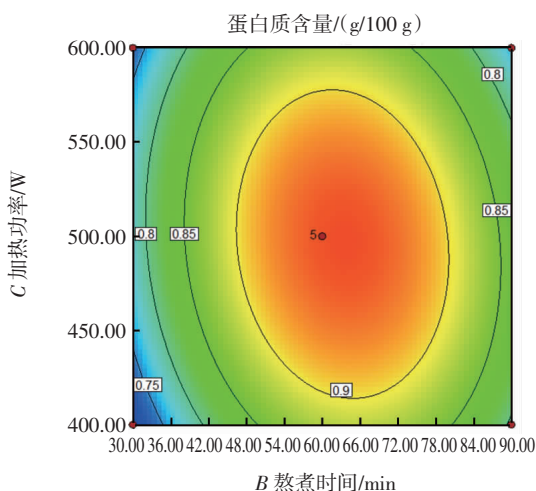


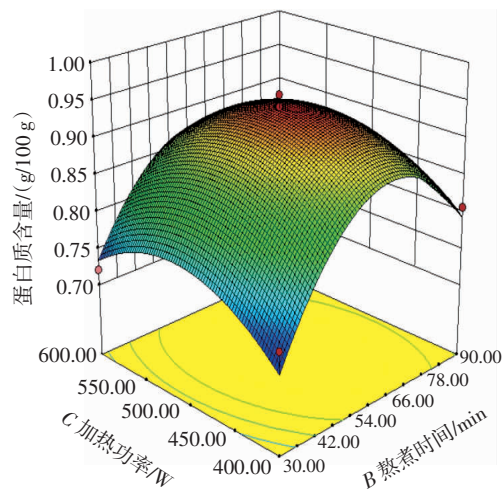
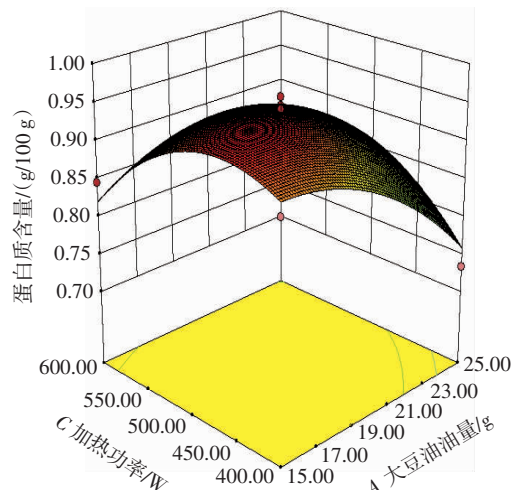
图6 熬煮时间与加热功率交互作用对汤中蛋白质含量的影响

Fig.6 The effect of the interaction between boiling time and power on protein content in soup

大豆油油量 18.1 g、熬煮时间 64.1 min、加热功率 489.2 W。通过预测的模型,结合试验中实际条件的方便及可操作性,调整参数为大豆油油量 18 g、熬煮时间 64 min、加热功率 500 W,此时汤中蛋白质含量预测值为 0.948 g/100 g。在上述条件下重复 3 次验证试验,实际得到的鱼头汤中的蛋白质含量平均值为 (0.943 ± 0.005) g/100 g。试验值与模型预测值之间的相对误差较小,结果可行。

3 结论

本试验通过单因素试验和响应面试验,对大豆油油量、熬煮时间、加热功率进行优化,得到革胡子鲶鱼鱼头汤最佳工艺参数为 200 g 鱼头中添加大豆油油量 18 g、熬煮时间 64 min、加热功率 500 W,此时汤中蛋白质含量为 0.943 g/100 g,与预测值相近。该模型可用于



指导实际生产。

参考文献:

- [1] 李鹏,郭耀华,马俪珍,等.加热处理对鲶鱼鱼糜漂洗水中肌浆蛋白性质的影响[J].天津农学院学报,2015,22(2):16-20.
LI Peng, GUO Yaohua, MA Lizhen, et al. Effects of heating treatment on the properties of sarcoplasmic proteins in chyme rinsing water of catfish[J]. fish Journal of Tianjin Agricultural College, 2015, 22(2):16-20.
- [2] CHAIJAN M, KLOMKLAO S, BENJAKUL S. Characterisation of muscles from Frigate mackerel (*Auxis thazard*) and catfish (*Clarias macrocephalus*)[J]. Food Chemistry, 2013, 139(1-4): 414-419.
- [3] 夏宇. 鱼体不可食部分——鱼头和骨刺的加工利用[J]. 南京农业大学学报, 1995, 18(2): 103-107.
XIA Yu. Utilization of discarded parts of fish——The heads and thorns[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 1995, 18(2): 103-107.

- [4] 董海英, 王海滨. 畜禽骨汤及其调味料应用开发研究进展[J]. 肉类研究, 2009, 23(12): 76–80.
DONG Haiying, WANG Haibin. Research on the development and application of animals' bone soup and its seasoning[J]. Meat Research, 2009, 23(12): 76–80.
- [5] BOLES J A, SHAND P J. Effect of muscle location, fiber direction, and slice thickness on the processing characteristics and tenderness of beef stir-fry strips from the round and chuck[J]. Meat Science, 2008, 78(4): 369–374.
- [6] SKIPNES D, ØSTBY M L, HENDRICKX M E. A method for characterising cook loss and water holding capacity in heat treated cod (*Gadus morhua*) muscle[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(4): 1078–1085.
- [7] KILINC B. Preparation of liquid anchovy (*Engraulis encrasicolus*) soup and microbiological and sensory changes during refrigerated storage[J]. Journal of Muscle Foods, 2010, 21(3): 451–458.
- [8] 蒋静. 电磁加热模式对鲫鱼汤营养素释放的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
JIANG Jing. The influence of electromagnetic heating mode on the nutrients release of crucian soup[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016.
- [9] 吕永林, 李杰. 骨汤工业化发展趋势探讨[J]. 肉类工业, 2020(5): 54–57.
LU Yonglin, LI Jie. Discussion on the industrial development trend of bone soup[J]. Meat Industry, 2020(5): 54–57.
- [10] 赵勇, 邱祥国. 烹制对鸡汤灭菌作用及营养物质浸出的试验观察[J]. 扬州大学烹饪学报, 2005, 22(2): 44–47.
ZHAO Yong, QIU Xiangguo. Experimental observation of the effects of cooking process on bacteria extinction and nutrient permeation in chicken soup[J]. Cuisine Journal of Yangzhou University, 2005, 22(2): 44–47.
- [11] 刘达玉, 肖龙泉, 刘海强, 等. 不同工艺制备骨汤及其成分分析[J]. 食品科技, 2015, 40(7): 146–150.
LIU Dayu, XIAO Longquan, LIU Haiqiang, et al. Preparation and analysis volatile flavor compounds of fresh bone soup[J]. Food Science and Technology, 2015, 40(7): 146–150.
- [12] 步营, 李月, 杨琬琳, 等. 鲮鱼骨汤的熬制及风味物质释放规律[J]. 现代食品科技, 2020, 36(3): 226–233.
BU Ying, LI Yue, YANG Wanlin, et al. Cooking progress and flavor release of Alaska pollock frame soup[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 226–233.
- [13] 冯雨, 邓梦琦, 陈志奇, 等. 响应面法优化鱼头汤熬煮工艺[J]. 肉类研究, 2019, 33(11): 43–49.
FENG Yu, DENG Mengqi, CHEN Zhiqi, et al. Optimization of cooking process for fish head broth by response surface methodology [J]. Meat Research, 2019, 33(11): 43–49.
- [14] 朱琳, 陈丽丽, 袁美兰, 等. 加工方法对乌鱼汤营养成分的影响[J]. 中国调味品, 2017, 42(9): 61–64, 72.
ZHU Lin, CHEN Lili, YUAN Meilan, et al. Effect of processing methods on the nutritional components of mullet soup[J]. China Condi-ment, 2017, 42(9): 61–64, 72.
- [15] 王一铮, 黄玲, 刘如玉, 等. 河鲢汤对小鼠急性乙醇肝损伤的保护作用[J]. 福建中医学院学报, 2010, 20(3): 28–29.
WANG Yizheng, HUANG Ling, LIU Ruyi, et al. Protective effects of corbicula fluminea decoction on acute ethanol liver injury in mice [J]. Journal of Fujian University of Traditional Chinese Medicine, 2010, 20(3): 28–29.
- [16] 禄彦科. 猪骨汤微纳米胶粒的形成、化学性质及其初步分离[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2016.
LU Yanke. The formation chemistry and primary separation of micro/nano particles in pig bone broth[D]. Hangzhou: Zhejiang Gong-shang University, 2016.
- [17] 冯媛, 赵洪雷, 曲诗瑶, 等. 海鲢鱼汤烹制过程中风味特性的变化[J]. 食品科学, 2020, 41(8): 202–207.
FENG Yuan, ZHAO Honglei, QU Shiyao, et al. Changes in flavor characteristics of sea catfish broth during cooking process[J]. Food Science, 2020, 41(8): 202–207.
- [18] 钱雪丽. 金枪鱼头汤微纳米胶粒结构的形成及其抗氧化作用的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
QIAN Xueli. Formation of micro/nano-sized colloidal particles and its antioxidation effect in tuna (*Thunnus obesus*) head soup[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [19] 刘迪. 猪跟腱胶原蛋白的提取及蛋白基包装材料的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 15–16.
LIU Di. Extraction of pig's tendon collagen and study on protein-based on packaging materials[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017: 15–16.
- [20] 张建友, 邵鹏, 茹巧美, 等. 热处理对猪骨高汤品质变化的影响研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(3): 143–146.
ZHANG Jianyou, KUAI Peng, RU Qiaomei, et al. Study on the effect of heating on the quality of pig bone soup[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(3): 143–146.
- [21] 瞿明勇, 张瑞霞, 赵思明, 等. 猪排骨汤的营养品质及制作工艺优化[J]. 食品工业科技, 2008, 29(4): 265–268.
QU Mingyong, ZHANG Ruixia, ZHAO Siming, et al. Nutrition quality and cooking process optimization of porkchop soup[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(4): 265–268.

加工编辑:王艳

收稿日期:2021-03-30