

鳕鱼骨汤的熬制及风味物质释放规律

步营¹, 李月¹, 杨琬琳¹, 徐文婷¹, 朱文慧¹, 李学鹏¹, 励建荣¹, 毕蕾², 于建洋³

(1. 渤海大学食品科学与工程学院, 辽宁省高校重大科技平台“食品贮藏加工及质量安全控制工程技术研究中心”, 辽宁锦州 121013) (2. 抚顺独凤轩骨神生物技术股份有限公司, 辽宁抚顺 113122)
(3. 荣成泰祥食品股份有限公司, 山东威海 264309)

摘要: 本文以鳕鱼骨为研究对象, 对高压熬制鳕鱼骨汤的最佳熬制工艺参数进行了研究, 分析了高压鱼汤在熬制 15、30、45、60、75、90、105 和 120 min 过程中的风味变化规律, 对比分析了常压和高压鳕鱼骨汤的风味物质差异。研究表明, 高压熬制最佳工艺条件为料水比 1:2、温度 110 °C、时间 2 h, 蛋白溶出率为(7.49±0.26) g/100 g 鱼骨; 高压鱼骨汤在熬制过程中, 多肽类物质在 30 min 后开始稳步地溶出, 最终稳定在 2.00 mg/L; 3 种核苷酸在 90~105 min 的区间内浓度达到最高, 有机酸类物质中乳酸含量在 90 min 时达到最高, 为 67.91 mg/L; GC-MS 分析结果表明醛类、酮类是构成鱼骨汤风味的主要物质; 高压鱼骨汤中的蛋白质溶出率、多肽和 5'-AMP 的含量分别是常压鱼骨汤的 1.54、1.20 和 4.87 倍。在常压鱼骨汤和高压鱼骨汤中分别检测到 33 和 37 种挥发性风味物质, 同时在高压条件下产生了更多的醛类、酮类物质, 具有更好的风味。

关键词: 鳕鱼骨; 鱼骨汤; 高压熬制; 风味物质; 风味释放

文章编号: 1673-9078(2020)03-226-233

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.3.030

Cooking Progress and Flavor Release of Alaska Pollock Frame Soup

BU Ying¹, LI Yue¹, YANG Wan-lin¹, XU Wen-ting¹, ZHU Wen-hui¹, LI Xue-peng¹, LI Jian-rong¹, BI Lei²,
YU Jian-yang³

(1.College of Food Science and Engineering, Bohai University, National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, the Fresh Food Storage and Processing Technology Research Institute of Liaoning Provincial Universities, Jinzhou 121013, China)(2.Dufengxuan Gushen Biological Technology Co. Ltd., Fushun 113122, China)(3.Rongcheng Taixiang Food Co. Ltd., Weihai 264309, China)

Abstract: In this paper, the optimum process parameters for Alaska pollock frame soup were studied. The variation of flavor in high pressure fish bone soup was analyzed during cooking for 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 and 120 min, and the difference of flavor substances between normal and high pressure fish bone soup was also analyzed. The results showed that the optimum process condition for high-pressure process was material water ratio 1:2, temperature 110 °C and time 2 h, and the protein dissolution rate was (7.49±0.26) g/100 g. In the boiling process of high-pressure fish bone soup, peptides began to dissolve out steadily after 30 min, and finally stabilized at 2.00 mg/L. The concentration of the three nucleotides reached the highest within the interval of 90~105 min, and the content of lactic acid in organic acids reached the highest at 90 min, which was 67.91 mg/L. The results of gas chromatography-mass spectrometry analysis showed that aldehydes and ketones were the main components of the flavor of fish bone soup. The protein dissolution rate, polypeptide and the content of 5'-AMP in taste nucleotides were 1.54, 1.20 and 4.87 times higher than those of normal pressure Alaska pollock frame soup respectively. Thirty-three and 37 volatile flavor substances were detected in the normal and high pressure fish bone soup respectively. Under high pressure, more aldehydes and ketones were produced, which have better flavor.

引文格式:

步营,李月,杨琬琳,等.鳕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 Wan-lin, et al. Cooking progress and flavor release of Alaska pollock frame soup [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 226-233

收稿日期: 2019-09-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0400106); 辽宁食品产业校企联盟校企合作科研项目(2018LNSPLM0103); 辽宁兴辽英才项目(XLYC1807133); 辽宁省高等学校生鲜食品产业技术研究院支持项目(辽教办发(2017)55号)

作者简介: 步营(1981-), 男, 工程师, 研究方向: 水产品加工及贮藏; 通讯作者: 朱文慧(1982-), 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工及贮藏

Key words: Alaska pollock frame; fish bone soup; high pressure cooking; flavor compounds; flavor release

中国的水产品产量居世界首位, 占全球水产品生产的 35%, 且一直保持高速增长势头。水产品加工和综合利用是渔业生产的延续^[1], 海水鱼加工过程中伴随大量副产品出现, 如商业鱼片制作通常会生产 60%~70%的副产品, 包括鱼头、鱼皮、鱼鳞、鱼鳍、鱼骨、内脏、鱼卵等^[2]。这些副产物未能充分加工利用造成了极大的浪费, 造成巨大的经济损失。其次, 由此产生的高污染有机物对环境造成巨大的污染压力, 严重制约海水渔业的可持续发展。因此, 开展海水鱼加工副产物的高值化利用已成为行业的迫切需求。

狭鳕鱼(Pollock)俗称明太鱼或朝鲜明太鱼, 属脊椎动物门(Vertebrata)鳕形目(Gadiformes)^[3], 是重要的经济鱼类, 广泛分布于太平洋北部。狭鳕鱼肉味甘美, 蛋白质含量高, 氨基酸种类齐全, 具有较高的开发利用价值^[4]。鳕鱼作为我国远洋捕捞的重要经济鱼种之一, 年加工量可达 50 万 t^[5], 其中大多用作鳕鱼排的加工, 鳕鱼骨是鳕鱼加工过程中产生的主要副产物之一, 骨间仍残留大量的鱼肉, 约占鱼体总重的 15%^[6]。鱼骨架包括硬骨和软骨组织, 具有多重生理功能, 在形态学上, 鱼骨包括头骨、内骨和鱼鳞^[7]。鱼骨主要是由无机质羟基磷灰石和有机质 I 型胶原蛋白组成, 包括灰分(25%~55%)、蛋白质(25%~40%)和脂肪(10%~40%)。鲜骨的加工起源于 70 年代, 日本最早利用超微粉碎技术, 先后开发出骨味素、骨松、骨肉、骨味汁等食品 and 食品添加剂^[8-10]。目前, 利用鳕鱼骨开发研究诸如鳕鱼骨汤等海鲜调味基料的研究不够深入, 不成体系。因此, 有必要对鳕鱼骨在海鲜调味料方面的综合利用开展系统研究。

鉴于此, 本研究以狭鳕鱼骨为原料, 研究了鱼骨汤高压熬制工艺, 探明了鱼骨汤高压熬制过程中的风味变化规律, 对比分析了常压和高压熬制骨汤工艺的风味差异, 以期后续生产加工提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料与试剂

鳕鱼骨, 山东荣成泰祥食品股份有限公司提供; AMP、IMP、GMP(标准品), Sigma 公司; C8-C20 正构烷烃(标准品), Fluka 公司; 琥珀酸(分析纯), 北京索莱宝科技有限公司; 乳酸(分析), 阿拉丁化学试剂; 磷酸二氢钾(优级纯), 天津市风船化学试剂科技有限公司; 甲醇(色谱纯), Sigma 公司; 氯化钾、氢氧化钾(分析纯), 福晨(天津)化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器设备

分析天平 MS105DU, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司; 电热恒温水槽 DK-8D, 上海一恒科技有限公司; 反压高温蒸煮锅 FY-50A, 华威科创(武汉)科技有限公司; 顶空样品瓶 20 mL, 美国 SUPELCO 公司; 固相微萃取装置, 美国 SUPELCO 公司; 萃取头 50/30 μm DVB/CAR/PDMS, 美国 SUPELCO 公司; 气相色谱-质谱联用仪 Agilent 7890N-5975C, 美国 Agilent 公司; 高效液相色谱仪 1100, 美国 Agilent 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 鱼骨汤熬制工艺的研究

1.3.1.1 常压骨汤熬制的工艺研究

在前期实验的基础上, 选择料水比为 1:2、熬制温度为 100 $^{\circ}\text{C}$, 熬制时间为 2 h 作为常压熬制工艺进行后续风味分析。

1.3.1.2 高压骨汤熬制的工艺研究

将鳕鱼骨和一定量的水置于蒸煮袋, 三层蒸煮袋真空封存。将样品置于反压高温杀菌锅中(压力 0.1 MPa), 将温度调至设定温度, 温度达到设定温度后维持一定时间, 出锅冷却后滤去固体杂质。分析高压熬制时间、温度、料水比对鱼骨汤品质的影响。

1.3.2 正交试验分析

表 1 正交试验因素与水平

Table 1 Factors and levels of the orthogonal array experiment

| 水平 | 因素 | | |
|----|--------|-------|--------------------------|
| | A 时间/h | B 料水比 | C 温度/ $^{\circ}\text{C}$ |
| 1 | 1 | 1:1 | 110 |
| 2 | 1.5 | 1:1.5 | 115 |
| 3 | 2 | 1:2 | 120 |

根据前期单因素试验结果, 以高压鱼骨汤中的蛋白质溶出率为指标, 选择熬制时间(A)、熬料水比(B)、熬制温度(C)三因素, 进行 $L_9(3^3)$ 正交试验, 确定高压熬制鱼骨汤的最佳工艺条件, 因素水平见表 1。

1.3.3 粗蛋白含量和蛋白溶出率的测定

参考 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》进行粗蛋白含量的测定。

蛋白溶出率(g/100 g 鱼骨)=鱼骨汤蛋白质浓度 \times 鱼骨汤体积/鱼骨质量。

1.3.4 游离氨基酸含量的测定

在 Akagündüz^[11]等人方法的基础上进行了部分修

改。样品溶液与氨基水杨酸以 4:1 的比例混合,置于 4 °C 下使蛋白质沉淀 1 h,于 10000×g 下离心 15 min,取上清液再重复上述离心步骤 2 次,共 3 次离心后样品通过 0.22 μm 滤膜。然后将溶液注入氨基酸分析仪进行氨基酸检测分析。

1.3.5 可溶性肽的测定

1.3.5.1 标准曲线的绘制

配制浓度分别为 0、20、40、60、80、100 μg/mL 的酪氨酸溶液,分别取 1 mL (做四个平行)于不同的试管中,加入 5 mL 福林酚试剂甲,混匀后在 20~25 °C 下放置 10 min,再加入 0.5 mL 福林酚试剂乙,立即摇匀,在 20~25 °C 保温 30 min,然后在波长 500 nm 处测定光密度值,取两组测定的平均值,吸光度为横坐标,以可溶性肽浓度为纵坐标,绘制标准曲线。

1.3.5.2 样品测定

采用 TCA (Trichloroacetic acid) 沉淀法对样品进行前处理具体为:用 3 mL 的样液加入 27 mL 质量分数为 5% 的 TCA,均质后于 4 °C 下放置 1 h,10000×g 离心 10 min,得上清液^[12]。然后用超纯水稀释至合适浓度使可溶性肽的浓度控制在 0.2 μg/mL~0.25 μg/mL 范围之内。取 1 mL 稀释液加入 5 mL 福林酚试剂甲混匀后在 20~25 °C 下放置 10 min,再加入 0.5 mL 福林酚试剂乙,立即摇匀,在 20~25 °C 保温 30 min,然后在波长 500 nm 处测定光密度值,另取 3 mL 纯水加入 27 mL 质量分数为 5% 的 TCA,以下操作同样品测定作空白对照。

1.3.6 SPME-GC-MS 分析

1.3.6.1 SPME 条件

取破碎后的样品 5 g 加入 20 mL 样品瓶中,放入微型磁力搅拌转子并密封后将 SPME 针插入样品瓶中,在 60 °C 恒温磁力搅拌器中平衡 15 min,使用 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头(280 °C 活化 30 min),顶空吸附 20 min,插入 GC 进样口,解吸 5 min,分析 20 min。

1.3.6.2 GC-MS 条件

HP-5MS 毛细管柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm); 解析时间 5 min; 进样口温度 250 °C; 柱初温 40 °C,保持 4 min,载气为 99.999% 高纯氮气,流速 1.0 mL/min; 不分流模式进样; 以 5 °C/min 程序升温到 90 °C,然后在 5 °C/min 的升温速率升至 230 °C,最后保温 6 min; 流量 1.0 mL/min; 不分流模式进样。

色谱-质谱传输线温度 280 °C,离子源温度

230 °C,四极杆温度 150 °C; 离子化方式: EI; 电子能量 70 eV; 质量扫描范围 30~550 (m/z)。

1.3.6.3 挥发性物质的定性定量分析

所得 GC-MS 检测结果通过计算机 NIST11 谱库和人工检索处理,并利用 C8~C20 正构烷烃混标的保留时间 (RT, Remain Time) 计算各个色谱峰的保留指数 (RI, Remain Index),统计匹配度大于 50 (最大值 100) 的挥发性成分,按峰面积归一法计算各化学成分的相对含量。

1.3.7 核苷酸的测定

样品前处理:将 5 mL 样品用 15 mL 高氯酸 (5% W/W) 均质。将混合物在 6000×g 下离心 10 min,取上清液备用,沉淀中加入 10 mL 高氯酸 (5% W/W) 均质,合并两次上清液,用 5 mol/L 氢氧化钾溶液将上清液 pH 调节至 6.75,用 0.45 μm 滤膜过滤后进行高效液相色谱分析^[13]。

色谱条件: C18 柱 (5 μm, 4.6 mm×250 mm), 柱温为 25 °C, 流速 0.8 mL/min, 进样量为 20 μL。流动相由 (A) KH₂PO₃ (0.05 mol/L, pH 4.5) 和 (B) 甲醇组成,梯度洗脱用 100% A 洗脱 10 min,再用 85% A 洗脱 7 min,最后用 100% A 洗脱 10 min。将紫外检测器的波长设置为 254 nm,并根据外部校准曲线定量。

1.3.8 有机酸的测定

样品前处理:取 5 g 样品加入 0.25 mL 高氯酸 (5% W/W),匀浆后静置 20 min,10000×g 于 -4 °C 冷冻离心 10 min,吸取 1 mL 上清液,用 0.45 μm 滤膜过滤后进行高效液相色谱分析。

色谱条件: C18 柱 (5 μm, 4.6 mm×250 mm), 柱温为 25 °C, 流速为 0.5 mL/min, 进样量为 10 μL, 流动相由 (A) KH₂PO₃ (0.01 mol/L, pH 2.8) 和 (B) 甲醇组成,以 A:B=95:5 的比例等度洗脱 15 min。将紫外检测器的波长设置为 205 nm,并根据外部校准曲线定量。

1.3.9 数据分析

使用软件 SPSS 19.0 进行单因素方差分析,差异显著的组别采用邓肯多重比较进行分析, $p < 0.05$ 表示差异显著;使用软件 Excel 2017 和 Origin 8.5 制表和绘图。

2 结果与讨论

2.1 正交试验结果

表2 正交试验设计及结果

Table 2 Design and results of orthogonal test

| 组序 | A 时间/h | B 料水比 | C 温度/℃ | 蛋白质溶出率 (g/100 g 鱼骨) |
|----------------|-----------|----------|-----------|------------------------|
| 1 | 1 | 1:1 | 110 | 4.25±0.01 |
| 2 | 1 | 1:1.5 | 115 | 5.55±0.02 |
| 3 | 1 | 1:2 | 120 | 6.87±0.02 |
| 4 | 1.5 | 1:1 | 120 | 6.28±0.04 |
| 5 | 1.5 | 1:1.5 | 110 | 4.71±1.00 |
| 6 | 1.5 | 1:2 | 115 | 7.05±0.04 |
| 7 | 2 | 1:1 | 115 | 5.46±0.04 |
| 8 | 2 | 1:1.5 | 120 | 6.58±0.90 |
| 9 | 2 | 1:2 | 110 | 6.75±0.00 |
| k ₁ | 5.56 | 5.33 | 6.58 | |
| k ₂ | 6.01 | 5.61 | 6.02 | |
| k ₃ | 6.26 | 6.89 | 5.23 | |
| R | 0.71 | 1.56 | 1.34 | |

表2为正交试验分析结果。由表可知,影响高压熬制鱼骨汤效果的因素主次顺序依次为: B>C>A,即料水比>温度>时间。比较均值k大小可以得出高压熬制鱼骨汤的最佳组合A₃B₃C₁,即熬制时间为2h、料水比为1:2、温度为110℃。在最优条件下进行3次验证试验,测得蛋白质溶出率的达到(7.49±0.26)g/100g鱼骨,优于正交试验组。

2.2 高压鱼骨汤熬制过程中的风味释放规律

在鱼骨汤熬制过程中,鱼骨中的氨基酸、有机酸、核苷酸等呈味物质逐渐溶于汤中,使鱼骨汤呈现不同的味觉特征。鱼骨汤的风味主要来源于三种途径:(1)鱼骨在高压环境下,自身可溶性的风味物质不断释放并溶于汤中;(2)蛋白质、糖类等大分子物质在高压高温条件下会发生降解的现象;(3)已经溶于汤中的部分风味前体物质互相之间会发生反应^[14]。

表3 高压鱼骨汤熬制过程中非挥发性风味物质的释放 (mg/L)

Table 3 Release of non-volatile flavor substance during the preparation of the fish bone broth of high atmosphere

| 时间/min | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 105 | 120 |
|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 多肽含量 | 1.56±0.16 ^b | 1.00±0.00 ^d | 1.33±0.00 ^c | 1.67±0.00 ^b | 1.67±0.00 ^b | 1.89±0.16 ^a | 2.00±0.00 ^a | 2.00±0.01 ^a |
| 5'-GMP 浓度 | 0.91±0.00 ^b | 0.75±0.00 ^d | 0.83±0.00 ^c | 0.96±0.00 ^b | 1.13±0.00 ^a | 1.17±0.00 ^a | 1.14±0.06 ^a | 0.94±0.00 ^b |
| 5'-IMP 浓度 | 1.12±0.00 ^d | 0.91±0.00 ^c | 1.13±0.00 ^d | 1.30±0.00 ^c | 1.46±0.00 ^b | 1.48±0.00 ^a | 1.52±0.06 ^a | 1.26±0.00 ^c |
| 5'-AMP 浓度 | 8.52±0.05 ^f | 6.89±0.04 ^e | 8.77±0.04 ^e | 10.11±0.02 ^d | 11.88±0.02 ^b | 11.95±0.03 ^b | 13.48±0.03 ^a | 11.62±0.04 ^c |
| 乳酸浓度 | 36.91±0.10 ^f | 27.81±1.11 ^e | 46.39±0.15 ^d | 63.12±0.16 ^b | 63.98±0.14 ^b | 67.91±0.30 ^a | 54.93±0.40 ^c | 38.72±0.56 ^e |
| 琥珀酸浓度 | 56.47±0.17 ^a | 31.56±0.20 ^c | 26.29±0.88 ^e | 34.34±0.35 ^b | 27.85±0.29 ^d | 26.24±0.35 ^c | 26.79±0.14 ^c | 16.30±0.57 ^f |

注:同行肩标不同表示差异显著(p<0.05)。

表4 高压鱼骨汤熬制过程中挥发风味物质的释放

Table 4 Release of volatile flavor substance during the preparation of the fish bone broth of high atmosphere

| 物质种类 | 15 min | | 30 min | | 45 min | | 60 min | | 75 min | | 90 min | | 105 min | |
|------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|---------|----------|
| | 个数 | 相对百分含量/% | 个数 | 相对百分含量/% | 个数 | 相对百分含量/% | 个数 | 相对百分含量/% | 个数 | 相对百分含量/% | 个数 | 相对百分含量/% | 个数 | 相对百分含量/% |
| 烃类 | 11 | 5.92 | 14 | 6.32 | 9 | 4.74 | 9 | 5.38 | 5 | 2.44 | 13 | 7.63 | 4 | 2.53 |
| 醛类 | 9 | 15.02 | 10 | 9.93 | 8 | 14.13 | 12 | 12.98 | 7 | 10.69 | 8 | 6.68 | 8 | 7.94 |
| 酮类 | 8 | 7.55 | 5 | 7.16 | 5 | 10.16 | 7 | 5.94 | 7 | 5.4 | 7 | 4.6 | 8 | 23.04 |
| 酯类 | 3 | 3.55 | 3 | 3.54 | 1 | 0.04 | 4 | 3.94 | 1 | 3.17 | 2 | 2.26 | 3 | 4.44 |
| 酚类 | 1 | 0.05 | 1 | 0.61 | 0 | - | 1 | 0.68 | 0 | - | 1 | 0.16 | 2 | 2.24 |
| 含氮类 | 2 | 7.48 | 3 | 1.33 | 3 | 5.06 | 3 | 4.41 | 3 | 5.14 | 7 | 1.17 | 5 | 4.96 |
| 呋喃类 | 1 | 0.62 | 1 | 0.75 | 1 | 1.01 | 2 | 2.11 | 1 | 0.61 | 0 | - | 1 | 0.72 |
| 醇类 | 1 | 4.28 | 1 | 0.56 | 2 | 2.11 | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 2 | 1.13 |
| 含硫类 | 0 | - | 1 | 0.76 | 0 | - | 2 | 1.34 | 1 | 0.64 | 0 | - | 0 | - |
| 醚类 | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 1 | 0.54 | 0 | - | 0 | - | 0 | - |
| 酸类 | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 5 | 2.91 | 0 | - |
| 其他 | 0 | - | 0 | - | 0 | - | 2 | 0.31 | 3 | 2.84 | 0 | - | 0 | - |

表3列出了高压鱼骨汤在熬制15、30、45、60、75、90、105和120 min多肽、呈味核苷酸、有机酸的含量变化。其中多肽在15 min内迅速从汤中溶出,随着时间的延长,溶出的多肽类可能发生了降解,在30 min时含量从1.56 mg/L减少到了1.00 mg/L,在30 min后,多肽类物质开始稳步溶出,直至105 min至120 min几乎达到了平衡状态,多肽含量稳定在2.00 mg/L。3种核苷酸在熬制30 min的时间内与多肽含量的变化呈现相同的趋势,伴随着化学反应与热反应的发生,呈味核苷酸出现部分降解,随后又开始稳步释放,在90~105 min的区间内浓度都达到了最高,在持续高温的状态下,后续开始发生降解,含量在120 min时都有所下降。有机酸类风味物质中乳酸和琥珀酸在前期迅速溶出后分别下降至27.81 mg/L和31.56 mg/L,乳酸含量在90 min时达到最高为67.91 mg/L,持续的高温环境会使酸类降解或与溶出的挥发性醇类发生反应形成酯类化合物,所以在90~120 min区间内乳酸的含量急剧减少。而琥珀酸除了一些小的起伏波动外,后期处于逐渐减少的趋势。

表4为高压鱼骨汤在熬制15、30、45、60、75、90、105 min挥发性风味物质的变化规律,各时间段分别产生36、39、29、43、28、43和33种风味物质。由表可知,醛类、酮类是鱼汤挥发性风味物质的主要组成成分。随着高压熬制时间的延长,醛类物质的含量逐渐降低,种类个数呈先增加后减少的趋势。烃类和酯类物质含量和种类个数变化不大。随着热反应时间的增加,醇类与酸类在反应过程中生成了酯类,进一步提升了高压鱼骨汤的风味。

2.3 常压鱼骨汤与高压鱼骨汤的非挥发性风味物质比较

风味是影响鱼骨汤品质的重要因素,在熬制过程中许多风味前体降解并相互反应形成多种挥发性和非挥发性物质。非挥发性化合物(滋味化合物)主要包括游离氨基酸、还原糖、肽、核苷酸等。

在高压熬制过程中鱼骨中的肉质受高压作用变得更加疏松,与水的接触面积随之增大,使得各种风味物质都加速溶出。由表5可知,高压鱼骨汤中的蛋白质溶出率高于常压鱼骨汤,是常压鱼骨汤的1.54倍,多肽是常压鱼骨汤的1.20倍。鱼骨中的蛋白质多为胶原蛋白,胶原蛋白是由3条左手螺旋(二级结构)的多肽链组成,这三条链相互缠绕形成右手螺旋结构(三级结构)。肽链间的范德华力、氢键和共价交联键作用力使得胶原三股螺旋结构稳定,而高压蒸煮比常压蒸

煮温度更高、压力更大、破坏力更强,可使骨头软化,钙溶出增加,骨蛋白受热变性,胶原蛋白结构变得松散,内部非极性基团暴露到分子表面,增强了骨蛋白的水溶性^[15],从而使得高压提取工艺在提取时间短的情况下骨汤中的蛋白溶出率和多肽含量高于常压提取工艺。

表5 常压和高压鱼骨汤中的非挥发性风味物质含量的比较

Table 5 Comparison of the contents of non-volatile flavor compounds in fish bone broth cooked with atmosphere and high pressure

| 滋味成分 | | 常压鱼骨汤 | 高压鱼骨汤 |
|-----------------------|-----------|------------|------------|
| 蛋白质/ (g/100 g 鱼骨) | 蛋白质溶出率 | 4.87±0.00 | 7.49±0.26 |
| | 多肽 | 1.67±0.00 | 2.00±0.00 |
| 呈味核苷酸 (mg/L) | 5'-GMP | - | 0.94±0.00 |
| | 5'-IMP | - | 1.12±0.00 |
| | 5'-AMP | 1.75±0.02 | 8.52±0.05 |
| 有机酸/ (mg/L) | 乳酸 | 24.32±0.18 | 38.72±0.56 |
| | 琥珀酸 | 30.43±1.08 | 16.30±0.57 |
| 游离氨基酸/ (mg/100 mL) | 牛磺酸 Tau | 39.13±0.14 | 44.37±0.46 |
| | 天冬氨酸 Asp | 4.54±0.01 | 3.69±0.05 |
| | 苏氨酸 Thr | 4.10±0.05 | 3.79±0.08 |
| | 丝氨酸 Ser | 6.25±0.17 | 6.05±0.02 |
| | 谷氨酸 Glu | 6.11±0.09 | 5.08±0.00 |
| | 甘氨酸 Gly | 10.15±0.02 | 11.49±0.19 |
| | 丙氨酸 Ala | 8.10±0.07 | 8.57±0.16 |
| | 胱氨酸 Cys | - | - |
| | 缬氨酸 Val | 1.82±0.12 | 1.28±0.06 |
| | 甲硫氨酸 Met | 1.84±0.04 | 1.77±0.10 |
| | 异亮氨酸 Ile | 2.87±0.04 | 1.47±0.02 |
| | 亮氨酸 Leu | 1.74±0.03 | - |
| | 酪氨酸 Tyr | - | - |
| 苯丙氨酸 Phe | - | - | |
| 赖氨酸 Lys | 1.25±0.04 | 0.93±0.01 | |
| 组氨酸 His | 6.8±0.04 | 5.76±0.05 | |
| 精氨酸 Arg | 1.51±0.05 | 1.17±0.01 | |

熬制的时间不断变长会释放出可溶性蛋白,发生水解后会产生游离氨基酸,从表5可知,两种鱼骨汤的游离氨基酸的组成几乎相同,高压鱼骨汤中牛磺酸高于常压鱼骨汤,其他氨基酸几乎没有差别,含量也较低,说明鱼骨汤熬制过程中水解度较小,未产生很多的游离氨基酸。呈味核苷酸中的5'-GMP和5'-IMP均未在常压鱼骨汤中检测出,高压鱼骨汤中溶出了少量的5'-GMP、5'-IMP和大量的5'-AMP,其中5'-AMP的含量是常压鱼骨汤的4.87倍。通过对两种鱼汤中有机酸含量的对比可看出,乳酸于高压高温环境可以较

稳定地释放,而琥珀酸较容易在高压高温环境中降解。

在烹饪过程中的相互作用等化学反应产生。鱼汤熬制过程中的主要热反应是美拉德反应、脂质氧化以及它们的反应产物之间的相互作用,大量的挥发性化合物,如醛、酮、醇、酯类等,都与鱼骨汤的整体风味特性有关,而鱼骨汤中独特的香气来源于蒸煮过程中所产生的丰富挥发性化合物。

2.4 常压鱼骨汤与高压鱼骨汤的挥发性风味

物质比较

鱼骨汤的风味可通过脂质氧化、美拉德反应及其

表6 常压和高压鱼骨汤中的挥发性风味物质含量的比较

Table 6 Comparison of the content of volatile flavor compounds in fish bone broth cooked with atmosphere and high pressure

| 类别 (个数) | 化合物名称 | 常压 | | | 高压 | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 保留时 间(RT) | 相对百 分含量/% | 保留 指数(RI) | 保留时 间(RT) | 相对百 分含量/% | 保留指 数(RI) |
| 烃类 | 双戊烯 | 13.54 | 0.49 | 1029 | 13.54 | 0.41 | 1029 |
| | 茴香烯 | 24.90 | 3.96 | 1295 | 24.90 | 1.18 | 1295 |
| | 十一烷 | 16.09 | 0.81 | 1102 | 16.10 | 1.04 | 1103 |
| | 2-氨基戊烷 | 2.23 | 0.52 | <800 | - | - | - |
| | 十甲基四硅氧烷 | 6.67 | 0.54 | <800 | - | - | - |
| | 正二十四烷 | 38.25 | 0.36 | 1812 | - | - | - |
| | 甲苯 | - | - | - | 4.99 | 0.53 | <800 |
| | 间二甲苯 | - | - | - | 8.20 | 0.23 | <800 |
| | 四氢噻唑 | - | - | - | 21.71 | 0.94 | 1217 |
| | 2-甲基丙烯醛 | - | - | - | 2.09 | 1.72 | <800 |
| | 2,4-二甲基-1-庚烯 | - | - | - | 7.24 | 0.31 | <800 |
| | 正二十四烷 | - | - | - | 14.48 | 0.52 | 1056 |
| | 十三烷 | - | - | - | 36.08 | 0.24 | 1710 |
| | 醛类 | 庚醛 | 9.33 | 0.85 | 902 | 9.34 | 1.33 |
| 苯甲醛 | | 11.45 | 3.00 | 966 | 11.46 | 1.51 | 967 |
| 正辛醛 | | 12.75 | 1.45 | 1006 | 12.77 | 1.60 | 1006 |
| 壬醛 | | 16.34 | 2.99 | 1107 | 16.35 | 4.14 | 1108 |
| 3,4-二甲基苯甲醛 | | 22.04 | 0.35 | 1226 | - | - | - |
| 十四醛三聚物 | | 28.82 | 0.66 | 1400 | - | - | - |
| 戊醛 | | - | - | - | 2.80 | 0.14 | <800 |
| 癸醛 | | - | - | - | 21.51 | 1.24 | 1213 |
| 2-甲基丙烯醛 | | - | - | - | 2.09 | 1.72 | <800 |
| 2-乙基苯甲醛 | | - | - | - | 21.97 | 2.55 | 1224 |
| 酮类 | 3-己酮 | 5.53 | 0.95 | <800 | 5.56 | 0.53 | <800 |
| | 3-辛酮 | 12.21 | 5.37 | 989 | 12.22 | 2.48 | 990 |
| | 仲辛酮 | 12.36 | 1.64 | 994 | 12.37 | 1.24 | 994 |
| | 2-壬酮 | 15.85 | 2.09 | 1096 | 15.86 | 1.27 | 1097 |
| | 甲基辛基甲酮 | 20.91 | 0.66 | 1198 | 20.94 | 0.52 | 1199 |
| | 安非他酮 | 40.01 | 0.50 | 1899 | 35.77 | 0.04 | 1598 |
| | 2-庚酮 | - | - | - | 9.01 | 0.43 | <800 |
| | 4-甲基-2-庚酮 | - | - | - | 10.62 | 0.18 | 941 |

转下页

| 接上页 | | | | | | | |
|------|------------------------|-------|------|------|-------|------|------|
| 酸类 | 1,6-丙二胺四乙酸 | 2.02 | 0.41 | <800 | - | - | - |
| | 顺式乌头酸酐 | 39.24 | 0.24 | 1861 | - | - | - |
| | 2-己炔酸 | - | - | - | 2.97 | 0.27 | <800 |
| | 氟乙酸 | - | - | - | 14.22 | 0.12 | 1049 |
| 氨基酸类 | DL-丙氨酸 | - | - | - | 2.02 | 0.45 | <800 |
| 酯类 | 2-氧代-2,5-二氢-吡咯-1-羧酸叔丁酯 | 35.56 | 1.12 | 1594 | - | - | - |
| | 邻苯二甲酸双庚酯 | 41.69 | 0.08 | 1986 | - | - | - |
| | 酞酸二乙酯 | 41.76 | 0.23 | 1989 | - | - | - |
| | 乙酸丁酯 | - | - | - | 6.48 | 0.71 | <800 |
| | 邻苯二甲酸二己酯 | - | - | - | 39.77 | 0.24 | 1887 |
| 酚类 | 丁香酚 | 27.49 | 1.55 | 1374 | - | - | - |
| | 2,4-二叔丁基苯酚 | 31.83 | 2.13 | 1515 | - | - | - |
| | 抗氧化剂 264 | - | - | - | 31.70 | 2.65 | 1512 |
| 咪唑类 | 2-乙基咪唑 | 3.44 | 2.58 | <800 | 3.46 | 1.61 | <800 |
| 醇类 | 2-癸烯-1-醇 | 21.51 | 1.17 | 1213 | - | - | - |
| 醌类 | 2,6-二叔丁基苯醌 | 30.45 | 0.49 | 1401 | - | - | - |
| 含氮类 | 三甲胺 | 1.68 | 3.96 | <800 | 1.68 | 4.74 | <800 |
| | 异丙胺 | 1.99 | 0.56 | <800 | 2.26 | 1.33 | <800 |
| | N-甲基-2-羟基乙胺 | 2.07 | 1.08 | <800 | - | - | - |
| | N-甲基辛胺 | 2.28 | 1.66 | <800 | - | - | - |
| | 二仲丁胺 | 36.81 | 0.05 | 1744 | - | - | - |
| | 8-羟基喹啉 | - | - | - | 30.94 | 0.94 | 1401 |
| 含S类 | 二甲基二硫 | - | - | - | 4.41 | 0.56 | <800 |

脂质是影响肉品风味的重要因素之一，醛类、醇类和酮类主要来源于脂肪酸氧化，其中部分还可与美拉德反应和硫胺素降解的化学物质反应。烃类化合物也是重要的风味前体，因为它们可以通过美拉德反应与氨基酸发生反应，可以产生其他挥发性物质，如焙烤和肉味风味化合物。

由表 6 可知，在常压鱼骨汤和高压鱼骨汤中分别检测到 33 和 37 种挥发性风味物质，其中醛类化合物的阈值较低^[16]，很容易与其他类物质发生重叠的风味效应，长链的醛类即使未检测到芳香^[17]，仍可以作为部分风味前体与芳香化合物相结合并对香气产生一定作用。高压鱼骨汤中醛类化合物种类（8 种）比常压鱼骨汤中的种类（6 种）更加丰富，可能是高压鱼骨汤风味更好的原因之一。据报道，壬醛、庚醛是由不饱和脂肪酸的氧化或食品中脂类的热分解形成的^[18]。

酮类，尤其是 2-酮，被认为对肉类和肉制品的香气有很大的影响，因为它们有一种特殊的气味，可以为鱼骨汤的风味作很大的贡献^[19]。酯类是由鱼骨中醇和羧酸的酯化反应而得的，通常具有水果香气。与高压鱼汤相比，烃类物质种数由 6 种增加至 10 种，烃类化合物可能是通过烷基自由基的脂质自氧化过程或类

胡萝卜素的分解生成，可能有助于提高鱼肉的整體香味效果^[20]。

3 结论

通过高压鱼骨汤熬制过程中非挥发性风味物质与挥发性风味物质的释放规律研究发现，随着熬制时间的延长，在 90~105 min 的区间内各非挥发性组分浓度都达到了最高。在高压熬制过程中挥发性风味物质未呈现规律性变化，随着热反应时间的延长，风味物质的变化使得鱼骨汤风味逐渐趋于浓郁。高压鱼骨汤中的风味物质明显高于常压鱼骨汤，高压鱼骨汤中醛类化合物种类比常压鱼骨汤中的种类更加丰富，因此，高压熬制工艺优于常压熬制鱼骨汤工艺。

参考文献

- [1] Arvanitoyannis I S, Kassaveti A. Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2008, 43(4): 726-745
- [2] Rodrigues Freitas I, Cortez-Vega W R, Prentice C. Physicochemical and functional properties of protein

- recovered from fish waste [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2016,25(7):1034-1044
- [3] 毕潇潇.松江鲈(*Trachidermus fasciatus*)种群的形态学与遗传学研究及四种鳕鱼的遗传学研究[D].青岛:中国海洋大学,2009
- BI Xiao-xiao. Studies on the morphology and genetics of *Trachidermus fasciatus* populations and four species of gadidae fish [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009
- [4] 闫虹.狭鳕鱼排美拉德反应制备肉香型风味物及其抗氧化活性研究[D].合肥:合肥工业大学,2015
- YAN Hong. Study on preparation and antioxidant activity of meat-like flavor by maillard reaction from Alaska pollock frame [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2015
- [5] Hou H, Li B, Zhao X, et al. Optimization of enzymatic hydrolysis of Alaska pollock frame for preparing protein hydrolysates with low-bitterness [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(2): 421-428
- [6] Julian C G, Jose M, Raul R M, et al. Dietary habits, nutrients and bone mass in spanish premenopausal women: The contribution of fish to better bone health [J]. Nutrients, 2012, 5(1): 10-22
- [7] Huysseune A. Skeletal System [M]. San Diego: Academic Press, 2000, 307-317
- [8] 叶明泉,李春俊,刘东升,等.鲜骨加工技术研究进展[J].食品工业科技,1999,1:34-36
- YE Ming-quan, LI Chun-jun, LIU Dong-sheng, et al. Advances in fresh bone processing technology [J]. Science and Technology of Food Industry, 1999, 1: 34-36
- [9] 潘永刚.骨头食品的开发与加工工艺[J].食品与机械,1995,4: 16-17
- PAN Yong-gang. Bone food development and processing technology [J]. Food and Machinery, 1995, 4: 16-17
- [10] 刘玉德.动物鲜骨的开发利用[J].食品科学,2000,21(2): 37-38
- LIU Yu-de. Exploitation and utilization of fresh animal bones [J]. Food Science, 2000, 21(2): 37-38
- [11] Akagündüz Y, Mosquera M, Giménez B, et al. Sea bream bones and scales as a source of gelatin and ACE inhibitory peptides [J]. LWT-Food Sci Technol, 2014, 55(2): 579-585
- [12] 朱文慧,杨琬琳,步莹,等.超高压耦合酶解鳕鱼骨的工艺优化及其对酶解液滋味的影响[J].食品工业科技,2019, 40(4):214-219
- ZHU Wen-hui, YANG Wan-lin, BU Ying, et al. Optimization of ultra high pressure coupled with enzymatic hydrolysis technology and its effect on the taste of hydrolysate in pollock bone [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(4): 214-219
- [13] Yokoyama Y, Sakaguchi M, Kawai F, et al. Change in concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1992, 58(11): 2125-2136
- [14] 刘红.热反应型风味基料的研制及与市售相关产品的风味比较[D].杭州:浙江工商大学,2010
- LIU Hong. Study on techniques of flavoring based on Maillard reaction and comparison of flavor with related products [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2010
- [15] 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,2015,7:146-150
- LIU Da-yu, XIAO Long-quan, LIU Hai-qiang, et al. Preparation and analysis volatile flavor compounds of fresh bone soup [J]. Food Science and Technology, 2015, 7: 146-150
- [16] García González D L, Tena N, Aparicio Ruiz R, et al. Relationship between sensory attributes and volatile compounds qualifying dry-cured hams [J]. Meat Science, 2008, 80(2): 315-325
- [17] Moon S Y, Cliff M A, Lichan C Y. Odour-active components of simulated beef flavour analysed by solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry and -olfactometry [J]. Food Research International, 2006, 39(3): 294-308
- [18] 吴娜.基于脂质热氧化降解解析中华绒螯蟹关键香气物质的形成机制[D].上海:上海海洋大学,2019
- WU Na. Formation mechanism of key odorants derived from lipid oxidation and degradation in Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*) [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019
- [19] Singh A, Ramaswamy HS. Effect of high-pressure treatment on trypsin hydrolysis and antioxidant activity of egg white proteins [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2014, 49(1): 269-279
- [20] 蔡原,刘哲,宋明伟,等.虹鳟不同部位鱼肉挥发性风味物质组成比较[J].食品科学,2011,36(16):269-273
- CAI Yuan, LIU Zhe, SONG Ming-wei, et al. Comparative analysis of volatile flavor components in different parts of rainbow trout [J]. Food Science, 2011, 36(16): 269-273