

不同烹饪方式处理的鲟鱼肉营养成分和风味比较

彭海川, 钱琴, 母运龙, 张应杰, 李慧, 张崧*

(成都大学肉类加工四川省重点实验室, 四川成都 610106)

摘要: 为了探究烹饪方式对鲟鱼肉的蛋白质营养价值和风味物质含量的影响, 该研究以人工养殖的鲟鱼肉为原料, 比较了清蒸和煎炸烹饪方式, 对鲟鱼肉的基本营养物质、氨基酸、蛋白质、风味化合物含量, 以及氨基酸指数(AAS、EAAI)、蛋白质效价的影响, 结果表明, 以生鱼肉为对照, 清蒸和煎炸使鲟鱼肉的水分含量分别降低了56.41%和43.73%; 清蒸和煎炸使鲟鱼肉的干基脂肪含量分别降低了19.78%和17.47%; 清蒸和煎炸使鲟鱼肉的干基灰分含量分别增加了25.80%和20.85%; 清蒸和煎炸使鲟鱼肉的干基蛋白质含量分别增加了10.37%和26.27%。煎炸使鲟鱼肉的氨基酸指数和蛋白质效价较清蒸组更高。与鲟鱼生肉相比, 煎炸使鲟鱼肉的必需氨基酸含量、氨基酸指数和蛋白质效价均提高, 且较清蒸烹饪方式处理组高。通过固相微萃取技术(SPME)和气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)分析, 从生鲟鱼肉、清蒸鲟鱼肉和油炸鲟鱼肉中分别鉴定出27种、28种、27种挥发性风味物质, 主要包括醛类、烃类、醇类以及其他类风味化合物。总之, 鲟鱼肉经过煎炸和清蒸处理, 可以使其蛋白质营养价值提高、风味物质含量增加。

关键词: 鲟鱼肉; 氨基酸; 挥发性化合物; 蛋白质营养价值

文章编号: 1673-9078(2022)02-236-244

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.2.0585

Comparison of Nutritional Composition and Flavor of Sturgeon Meat

(*Acipenser sturio* Linnaeus) Treated by Different Cooking Methods

PENG Haichuan, QIAN Qin, MU Yunlong, ZHANG Yingjie, LI Hui, ZHANG Yin*

(Sichuan Key Laboratory of Meat Processing, Chengdu University, Chengdu 610106, China)

Abstract: To explore the effect of cooking methods on protein nutrition and flavor ingredients of sturgeon meat (*Acipenser sturio* Linnaeus), the meat from artificial breeding sturgeon was taken as raw material, the effects of steaming and frying on the contents of basic nutrients, amino acids, protein, flavor compounds, amino acid index (AAS, EAAI) and protein efficiency ratio (PER) of sturgeon meat were compared. The results indicated that steaming and frying reduced the water content of raw sturgeon meat by 56.41% and 43.73%, respectively; steaming and frying decreased the fat content (in dry matter) of sturgeon meat by 19.78% and 17.47%, respectively; steaming and frying increased the dry ash content of sturgeon meat by 25.80% and 20.85%, respectively; the dry protein content in both steamed and fried sturgeon meat were increased by 10.37% and 26.27%, respectively. The amino acid index and PER of sturgeon meat were higher than those of the steamed. Compared with the raw sturgeon meat, the essential amino acid content, amino acid index and PER of sturgeon meat were increased by frying, and higher than those of the steamed group. Solid phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry assays identified 27, 28 and 27 volatile flavor compounds from raw, steamed and fried sturgeon meat, respectively. The flavor compounds are aldehydes, hydrocarbons, alcohols and others. In brief, the protein nutritional value and flavor ingredient content of sturgeon meat can be increased by frying and steaming.

Key words: sturgeon meat; amino acid; volatile compounds; nutritional value of protein

引文格式:

彭海川, 钱琴, 母运龙, 等. 不同烹饪方式处理的鲟鱼肉营养成分和风味比较[J]. 现代食品科技, 2022, 38(2): 236-244

PENG Haichuan, QIAN Qin, MU Yunlong, et al. Comparison of nutritional composition and flavor of sturgeon meat (*Acipenser sturio* Linnaeus) treated by different cooking methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(2): 236-244

收稿日期: 2021-06-03

基金项目: 国家现代农业产业技术体系四川创新团队项目(sccxt-2021-15); 四川省科技计划重点研发项目(2020YFN0151)

作者简介: 彭海川(1996-), 男, 研究生, 研究方向: 农产品加工与保藏, E-mail: 944725498@qq.com

通讯作者: 张崧(1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工与保藏, E-mail: 418017822@qq.com

近年来,国内外研究人员探讨了烹饪方式对肉的营养价值及其风味物质的影响,发现烹饪方式对其有重要影响。在营养价值方面,研究人员发现,白鲳鱼肉经电蒸箱和火蒸锅烹饪后,电蒸箱清蒸的白鲳鱼肉的基本营养物质含量较明火蒸锅组高^[1];蒸煮处理的中华鳖腿肉,其蛋白质消化率及氨基酸评分均高于牛肉^[2]; Zhang 等^[3]发现经蒸煮和油炸烹饪,有利于兔肉的消化和蛋白质效价的保持。在风味方面,研究人员发现鲢鱼肉经清蒸和油炸,有利于减少腥味物质含量^[4];加热使鲑鱼肉的挥发性风味物质种类增加,且鱼肉腥臭味减弱^[5];草鱼经浸渍油爆使其土腥味物质减少、醛类物质显著增加,同时生成大量的吡嗪类物质^[6]。但目前有关烹饪方式对鲳鱼肉的蛋白质营养和风味影响研究较少。

人工养殖的成年鲟鱼 (*Acipenser sinensis* Gray),通常用来生产鱼子酱。采卵后的鲟鱼胴体,因其组织结构老化而丧失普通鱼肉的鲜嫩感,所以变成了“副产品”,这也成为制约鲟鱼产业发展的技术难题。为了解决鲟鱼肉的再利用问题,提高经济效益,国内外的研究人员尝试用鲟鱼肉制作食品。如将鲟鱼肉腌制后制作成鲟鱼肉干^[7];烟熏后制作成熏鲟鱼肉片^[8];鲟鱼肉经脱脂腌制后制作成即食肉干^[9];调味后制作成鲟鱼肉丁^[10]等。但目前有关烹饪方式对鲟鱼肉的蛋白质营养价值及其风味物质影响的报道较少。鉴于营养和风味是决定产品食用价值的关键因素,所以本研究以人工养殖的鲟鱼鱼肉为材料,以清蒸和油煎后鲟鱼肉的基本营养物质、氨基酸、蛋白质、风味化合物含量,以及氨基酸指数(AAS、EAAI)、蛋白质效价为指标,比较了烹饪方式对其蛋白质营养价值和风味物质含量的影响。以期为消费者和生产者选择较合理的鲟鱼肉烹饪方式提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

鲟鱼购于成都市三联水产批发市场,鲟鱼单条 35 kg, 1.2 m; 一级大豆油购于十陵镇好乐购超市。固体氢氧化钠、浓盐酸、石油醚(30~60 °C)、硫酸铜

(CuSO₄·5H₂O)、硫酸钾、硫酸、硼酸、乙酸镁[(CH₃COO)₂Mg·4H₂O],均为分析纯;海砂烘干至恒重;超纯水为实验室制备。

1.2 主要仪器设备

LE104E 型万分之一电子分析天平,梅特勒托利多公司; L-8800 氨基酸自动分析仪,日立(中国)有限公司; GFL-125 鼓风干燥箱,天津莱玻特瑞仪器设备有限公司; SZF-06A 脂肪测定仪,上海昕瑞仪器仪表有限公司; KDN-102C 定氮仪,上海纤检仪器有限公司; WP-UPT-20 型超纯水机,四川沃特尔特水处理设备有限公司; 马弗炉,成都瑞派斯科技有限公司; 美国 PE Clarus-680 气相色谱仪。

1.3 实验方法

1.3.1 鱼肉烹饪样品的制备

生鲟鱼肉(生):活鱼经净膛、去头水洗后,去红肉,取背部肉,将鲟鱼统一切割为长×宽×高为 4 cm×4 cm×2 cm 的鱼块,用洁净纱布擦去表面残留水分,于 4 °C 冰箱冷藏备用。在生鲟鱼肉表面均匀刷上一级大豆油,但不作任何加热处理,同时烹饪时所用均为去离子水。

清蒸鲟鱼肉(蒸):在上述生鲟鱼肉块表面均匀刷上一级大豆油,放入沸腾并产生蒸汽的蒸板上蒸 15 min 后,捞出鱼肉放在滤纸上晾干表面水分。

煎炸鲟鱼肉(煎):在上述生鲟鱼肉块表面均匀刷上一级大豆油,将样品置于平底锅中,油煎 6 min (每一面 3 min),控制温度不超过 180 °C,完成后将鱼肉放于滤纸上晾干表面油脂。

1.3.2 基本营养物质含量测定

水分含量按照食品安全国家标准 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》中的直接干燥法测定。脂肪含量测定按照食品安全国家标准 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法测定。蛋白质含量按照食品安全国家标准 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法测定。灰分含量按照食品安全国家标准 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》中的标准第一法测定。每组平行检测 3 个试样。

1.3.3 蛋白质的营养价值

$$\text{氨基酸价(AAS)} = \text{Min} \left(\frac{\lg \text{检测蛋白中氨基酸的mg数}}{\lg \text{参考蛋白中氨基酸的mg数}} \right)$$

$$\text{氨基酸指数(EAAI)} = \sqrt[n]{\left(\frac{\lg \text{检测蛋白中氨基酸的mg数}}{\lg \text{参考蛋白中氨基酸的mg数}} \right) \times \dots \times \left(\frac{\lg \text{检测蛋白中氨基酸的mg数}}{\lg \text{参考蛋白中氨基酸的mg数}} \right)}$$

式中:

n ——比较的氨基酸数目。

$$\text{蛋白质效价(Protein Efficiency Ratio, PER)} = -0.468 + 0.454 \times \text{Leu} - 0.105 \times \text{Tyr}$$

参照世界卫生组织提出的人体氨基酸需求模式计算鲟鱼肉氨基酸价 (Amino Acid Score, AAS)、氨基酸指数 (Essential Amino Acid Index, EAAI) 和蛋白质效率 (Protein Efficiency Ratio, PER) [11]。

1.3.4 鱼肉氨基酸含量测定

参照张苏平等[12]方法, 略有改动。3组平行实验取平均值。全自动氨基酸分析仪参数条件: 分离柱 (4.6 mm×60 mm), 采用阳离子交换树脂; 柱温: 57℃; 进样量: 15 μL; 检测波长: 570 nm (脯氨酸为 440 nm); 通道 1 流速: 0.40 mL/min; 通道 2 流速: 0.35 mL/min; 反应单元温度: 135℃。

1.3.5 鱼肉中风味物质的测定

参照冯倩倩等[13]方法, 用 SPME/GC-MS 对水解产物中的挥发性化合物进行了分析。为了鉴定和定量水解产物中的挥发性化合物, 进行了 SPME 纤维 (75 μm, 羧基/聚二甲基硅氧烷) /气相色谱-质谱仪 (Finnigan 痕量 GC/MS, Finnigan, 美国) 分析。采用 HP-IN NOWAS 毛细管柱 (长度 30 m, 内径 0.25 mm, 涂层 0.25 μm; Agilent, Boblingen, 德国) 作为毛细管柱进行 GC 分离。以氦为载气, 恒定流量为 0.8 mL/min。温度程序在 60℃时为 2.5 min, 坡道为 5℃/min 至 180℃, 然后在 10℃/min 升至 260℃, 保持 10 min。转移线的温度为 250℃, 每个样品分析, 1 μL 注入无分裂模式 (无分裂时间 1 min, 分裂流量 50 mL/min)。对于毛细管转移, 可编程温度汽化 (PTV) 入口从 30℃加热到 320℃ (14.5 C/s), 最后在最终温度下保持 5 min。GC 炉最初在 50℃下等温线加热 2 min, 然后增加到 280℃ (25℃/min), 在此温度下保持 5 min。质谱仪在电子冲击模式 (EI) 下工作。

1.3.6 数据分析

实验结果应用 Microsoft Excel 2010、SPSS 22.0 进行方差分析, 采用 One-way ANOVA 进行显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 烹饪方式对鲟鱼肉的基本营养物质含量

影响

烹饪后鲟鱼肉的基本营养物质含量见表 1。由表 1 中的营养物质含量的显著性分析可知, 以生鱼肉为对照, 烹饪后鲟鱼肉的水分含量为生鱼肉>煎炸鲟鱼肉>清蒸鲟鱼肉, 且差异明显 ($p<0.05$), 其中煎炸使鲟鱼肉水分含量降低了 43.73%, 清蒸使鲟鱼肉水分含量降低了 56.41%。烹饪后鲟鱼肉的干基灰分含量为清蒸鲟鱼肉>煎炸鲟鱼肉>生鲟鱼肉, 且差异明显 ($p<0.05$),

其中煎炸使鲟鱼肉干基灰分含量增加了 20.85%, 清蒸使鲟鱼肉的干基灰分含量增加了 25.80%。烹饪后鲟鱼肉的干基脂肪含量为生鲟鱼肉>煎炸鲟鱼肉>清蒸鲟鱼肉, 且差异明显 ($p<0.05$), 其中煎炸使鲟鱼肉的干基脂肪含量降低了 17.47%, 清蒸使鲟鱼肉的干基脂肪含量降低了 19.78%。烹饪后鲟鱼肉的干基蛋白含量为煎炸鲟鱼肉>清蒸鲟鱼肉>生鲟鱼肉, 且差异明显 ($p<0.05$), 清蒸使鲟鱼肉的干基蛋白质增加了 10.37%, 煎炸使鲟鱼肉的干基蛋白质增加了 26.27%。

煎炸和清蒸使鲟鱼肉的水分含量较生鲟鱼肉的明显降低, 这可能是因为熟化使生鱼肉的蛋白质变性, 导致肌肉束水能力下降、细胞内游离水溢出所致。煎炸鲟鱼肉的水分含量较清蒸组高, 这可能是因为煎炸在鱼肉表面形成一层硬壳, 阻止了鱼肉内部水分的流出所致。烹饪后鲟鱼肉的干基脂肪含量较生鲟鱼肉相比明显降低, 这可能也与鱼肉蛋白的高温变性导致其黏附脂肪的能力降低有关。烹饪后鲟鱼肉的干基蛋白质和干基灰分含量均较生鲟鱼肉显著增加, 这可能是因为熟制后鲟鱼肉的低水分含量、低脂肪含量导致蛋白质和灰分的相对含量增加。

表 1 不同烹饪方式后鲟鱼肉营养物质含量 (% , W/W)

Table 1 Nutrient content of sturgeon meat after different cooking

营养物质	methods		
	生鲟鱼肉	清蒸鲟鱼肉	煎炸鲟鱼肉
水分	74.62±1.04 ^a	32.53±0.96 ^c	41.99±0.98 ^b
干基灰分	2.83±0.02 ^c	3.56±0.03 ^a	3.42±0.03 ^b
干基脂肪	33.42±0.40 ^a	26.81±0.28 ^c	27.58±0.33 ^b
干基蛋白	33.38±0.43 ^c	36.84±0.92 ^b	42.15±0.38 ^a

2.2 烹饪方式对鲟鱼肉的蛋白质营养价值影响

2.2.1 烹饪方式对鲟鱼肉的氨基酸含量影响

不同烹饪方式对鲟鱼肉的氨基酸含量影响见表 2。由表 2 可知, 鲟鱼肉的氨基酸组成包括 7 种必需氨基酸, 2 种半必需氨基酸和 8 种非必需氨基酸。该氨基酸组成与白乌鱼的氨基酸组成^[14]类似。鲟鱼肉经烹饪后, 其氨基酸总含量煎炸 (388.26 mg/g) > 清蒸 (201.18 mg/g) > 生肉 (129.40 mg/g); 必需氨基酸总量为煎炸 (110.75 mg/g) > 清蒸 (57.70 mg/g) > 生 (43.88 mg/g)。生鲟鱼肉中, 谷氨酸含量最高, 半胱氨酸含量最低。烹饪后, 清蒸鲟鱼肉的氨基酸中以甘氨酸含量最高 (27.79 mg/g), 最低的是半胱氨酸 (2.60 mg/g); 煎炸鲟鱼肉的氨基酸中以甘氨酸含量最高 (54.23 mg/g), 最低的是半胱氨酸 (5.73 mg/g)。

烹饪过程中, 鲟鱼肉在高温作用下蛋白质变性, 导致肌肉蛋白中的氨基酸更容易溶出, 这可能是导致

烹饪处理后鲟鱼肉的氨基酸总量较生鲟鱼肉增加的主要原因^[15]。煎炸和清蒸使鲟鱼肉的甘氨酸含量显著 ($p<0.05$) 增加, 这可能也与烹饪处理使鲟鱼肉中的软骨蛋白变性有关。由于鲟鱼的背部肌肉中含有部分软

骨, 其中的甘氨酸含量丰富。当含有软骨的鲟鱼肉经过热处理后, 其中的骨胶原蛋白因为热变性而在酸解时变得容易溶出^[16], 因而导致蒸煮和煎炸的鲟鱼肉的甘氨酸和谷氨酸含量增加。

表 2 不同烹饪方式后鲟鱼肉的氨基酸组成

Table 2 Amino acid composition of sturgeon meat after different cooking methods

检测项目/(mg/g)	生	蒸	煎
天门冬氨酸 (Asp)	12.21±0.04 ^c	17.63±0.03 ^b	32.22±0.03 ^a
谷氨酸 (Glu)	19.41±0.01 ^c	27.33±0.06 ^b	51.73±0.06 ^a
丝氨酸 (Ser)	6.12±0.05 ^c	9.83±0.04 ^b	18.51±0.04 ^a
甘氨酸 (Gly)	11.22±0.01 ^c	27.79±0.07 ^b	54.23±0.14 ^a
丙氨酸 (Ala)	8.86±0.03 ^c	16.83±0.04 ^b	31.86±0.02 ^a
脯氨酸 (Pro)	7.18±0.01 ^c	16.64±0.02 ^b	34.10±0.03 ^a
苏氨酸 (Thr)	5.30±0.00 ^c	7.41±0.03 ^b	14.01±0.05 ^a
缬氨酸 (Val)	5.64±0.01 ^c	8.01±0.04 ^b	15.01±0.05 ^a
蛋氨酸 (Met)	3.54±0.02 ^c	4.75±0.01 ^b	12.04±0.06 ^a
异亮氨酸 (Ile)	5.04±0.02 ^c	6.54±0.01 ^b	12.16±0.15 ^a
亮氨酸 (Leu)	9.21±0.00 ^c	11.45±0.01 ^b	22.14±0.13 ^a
苯丙氨酸 (Phe)	4.12±0.01 ^c	5.48±0.02 ^b	10.31±0.03 ^a
组氨酸 (His)	5.35±0.03 ^b	5.11±0.01 ^c	12.49±0.00 ^a
赖氨酸 (Lys)	11.03±0.03 ^c	14.06±0.08 ^b	25.08±0.03 ^a
精氨酸 (Arg)	9.02±0.08 ^c	15.44±0.08 ^b	29.06±0.05 ^a
半胱氨酸 (Cys)	2.49±0.00 ^c	2.60±0.01 ^b	5.73±0.01 ^a
酪氨酸 (Tyr)	3.66±0.01 ^c	4.28±0.01 ^b	7.58±0.03 ^a
鲜味氨基酸	31.62±0.03 ^c	44.96±0.04 ^b	83.95±0.04 ^a
甜味氨基酸	38.68±0.02 ^c	78.50±0.04 ^b	152.80±0.04 ^a
苦味氨基酸	41.92±0.02 ^c	56.78±0.04 ^b	113.21±0.05 ^a
总量	129.4±0.03 ^c	201.18±0.09 ^b	388.26±0.09 ^a
EAA 总量	43.88±0.02 ^c	57.70±0.02 ^b	110.75±0.03 ^a
EAA 含量/%	33.91±0.02 ^a	28.68±0.02 ^b	28.53±0.01 ^b
AAS (child)	0.27±0.00 ^b	0.27±0.00 ^b	0.64±0.01 ^a
AAS (Adult)	0.32±0.00 ^b	0.32±0.00 ^b	0.76±0.01 ^a
EAAI (child)	0.24±0.00 ^c	0.30±0.00 ^b	0.60±0.00 ^a
EAAI (Adult)	0.45±0.00 ^c	0.56±0.00 ^b	1.11±0.01 ^a
Protein efficiency ratio (PER)	3.33±0.01 ^c	4.28±0.01 ^b	8.79±0.01 ^a

注: 表中鲜味氨基酸为 Asp 和 Glu 含量之和; 甜味氨基酸为 Thr、Ser、Gly、Ala 和 Pro 含量之和, 苦味氨基酸为 His、Ile、Leu、Phe、Arg、Met 和 Val 含量之和, EAA 代表必需氨基酸含量; AAS (child) 代表儿童对氨基酸需求模式的氨基酸价; AAS (Adult) 代表成人对氨基酸含量需求模式的氨基酸价; EAAI (child) 代表儿童对氨基酸需求模式的氨基酸指数; EAAI (Adult) 代表成人对氨基酸含量需求模式的氨基酸指数; PER 代表蛋白质效价; 每行中不同的字母表示烹饪方式存在显著性差异 ($p<0.05$)。

2.2.2 氨基酸价、氨基酸指数

根据世界卫生组织 (World Health Organization, WHO) 提出的人体氨基酸需求模式, 计算烹饪后鲟鱼肉的氨基酸价和氨基酸指数。参照 2~5 岁儿童对氨基酸的需求模式, 煎炸鲟鱼肉的氨基酸价 (AAS) 为 0.64, 显著 ($p<0.05$) 高于清蒸鲟鱼肉 (0.27) 和生鲟鱼肉的

氨基酸价 (0.27); 煎炸鲟鱼肉的氨基酸指数 (EAAI) 为 0.60, 显著 ($p<0.05$) 高于生鲟鱼肉和清蒸鲟鱼肉的 EAAI。参照成人对氨基酸含量的需求, 煎炸鲟鱼肉的氨基酸价为 0.76, 显著 ($p<0.05$) 高于清蒸鲟鱼肉和生鲟鱼肉的氨基酸价; 煎炸鲟鱼肉的氨基酸指数 (EAAI) 为 1.11, 显著 ($p<0.05$) 高于生鲟鱼肉和清蒸鲟鱼肉的

氨基酸指数。

由 AAS 可知,生鲟鱼肉的第一限制氨基酸为异亮氨酸(Ile),清蒸鲟鱼肉的第一限制氨基酸为组氨酸(His),煎炸鲟鱼肉的第一限制氨基酸为异亮氨酸(Ile)。AAS 为限制性氨基酸的比值,即只有一种氨基酸与人体氨基酸需求模式中的氨基酸的比值,而 EAAI 为多种氨基酸的加权比值,所以 EAAI 较 AAS 能全面反映鱼肉的氨基酸营养价值。由烹饪后鲟鱼肉的氨基酸营养指数比较结果可知,不论以儿童的氨基酸需求模式为参考,还是以成人的氨基酸需求模式为参照,煎炸鲟鱼肉的 EAAI 值均较清蒸和生肉的高。由此可见,煎炸和清蒸可以提高鲟鱼肉的氨基酸营养价值。

2.2.3 蛋白质效价

蛋白质效价(PER)常作为判断蛋白质营养价值的评价指标,美国分析化学家协会(AOAC)建议,PER 值大于 2.0 的蛋白质通常认为其营养价值较高^[17]。根据表 2 中烹饪鲟鱼肉的 Leu 和 Tyr 含量计算其蛋白质效价,得出煎炸鲟鱼肉的蛋白质效价(PER)为 8.79,显著($p<0.05$)高于清蒸鲟鱼肉和生鲟鱼肉的 PER 值。

AAS 和 EAAI 反映的是样品中氨基酸与标准蛋白质中氨基酸的营养价值差异,而 PER 反映的是人体对营养物质的吸收状况。由不同烹饪方式后鲟鱼肉的 PER 值比较可知,煎炸可以使鲟鱼肉的蛋白质营养价值提高,同时可以使鲟鱼肉中的蛋白质更易被人体吸收。

2.2.4 烹饪后呈味氨基酸含量

水溶性的氨基酸在食品风味中发挥着重要作用,影响着鱼肉的独特滋味。如甘氨酸、苏氨酸等具有令人愉悦的甜味,对鱼肉甜味有贡献,组氨酸则是某些水产品中“肉香”特征的来源,甲硫氨酸和缬氨酸等通常具有苦味,谷氨酸的钠盐具有鲜味,并且与鸟苷酸、肌苷酸有协同增强鲜味效果^[18]。由表 2 可知,呈味氨基酸含量为煎炸(349.96 mg/g) > 清蒸(180.24 mg/g) > 生肉(112.22 mg/g),其中鲜味氨基酸含量为煎炸(83.95 mg/g) > 清蒸(44.96 mg/g) > 生(31.62 mg/g); 甜味氨基酸含量为煎炸(152.80 mg/g) > 清蒸(78.50 mg/g) > 生(38.68 mg/g); 苦味氨基酸含量为煎炸(113.21 mg/g) > 清蒸(56.78 mg/g) > 生(41.92 mg/g)。

煎炸使鲟鱼肉的呈味氨基酸含量显著高于清蒸和生肉,这可能与煎炸温度较清蒸组高有关。高温处理使鲟鱼肉及软骨中的蛋白质变性程度更大。变性程度越大的蛋白可能在酸解测定氨基酸含量时,其中的蛋白质更容易被酸解而释放更多氨基酸,因而导致煎炸处理的鲟鱼肉的呈味氨基酸含量较清蒸和生肉都高。甜味及鲜味均为消费者普遍接受的风味。苦味虽然普遍不受欢迎,但是少量的苦味对食品的风味调节具有积极作用^[19]。因此,由表 2 中煎炸和清蒸烹饪使鲟鱼肉中的甜味氨基酸、鲜味氨基酸及苦味氨基酸含量增加的结果表明,清蒸和煎炸可以改善鲟鱼肉的风味。

表 3 不同烹饪方式处理后的鲟鱼肉挥发性风味物质含量

Table 3 Contents of volatile flavor compounds in sturgeon meat after different cooking methods

种类	保留时间/min	化合物名称	百分含量/%		
			生	蒸	煎
醛	3.83	正己醛	1.31	/	1.00
	9.38	(E,E)-2,4-庚二烯醛	0.84	0.49	0.43
	11.43	1-甲基环己-3-烯-1-甲醛	2.07	/	/
	10.98	反-2-辛烯醛	/	/	0.77
	14.68	反-2-顺-6-壬二烯醛	0.61	0.36	0.48
	14.95	反式-2-壬醛	0.28	/	0.44
	12.70	壬醛	1.36	1.15	3.21
	21.92	反,反-2,4-癸二烯醛	1.11	1.08	3.94
	19.28	反式-2-癸烯醛	0.33	0.51	0.73
	24.00	2-十一烯醛	/	0.76	/
	24.01	10-十一烯醛	/	/	0.93
	36.36	十五醛	/	/	0.41
	21.03	十八烷-9,12,15-三醛	/	0.38	/
	醇	5.29	正己醇	5.11	/
19.60		双环[2.2.1]庚-2-烯-7-醇	0.48	0.50	/
9.76		双环[2.2.1]庚烷-7-醇	2.21	/	/
8.11		4-庚烯-1-醇	0.48	/	/

续表 3

种类	保留时间/min	化合物名称	百分含量/%		
			生	蒸	煎
醇	11.45	2-辛炔-1-醇	/	/	0.91
	8.39	1-辛烯-3-醇	0.77	0.36	0.84
	15.48	1-壬醇	0.34	/	/
	12.89	2-亚甲基-环戊烷丙醇	/	/	2.12
	23.84	2,5-甲烷-1H-茛-7-醇, 八氢	/	0.57	/
	10.99	(+)-异松蒎醇	0.53	/	/
	24.60	双环[4.1.0]庚烷、-3-环丙基、-7-	/	/	1.05
	23.88	四氢呋喃-2-醇, 3,4-di[1-丁烯基]-	0.41	/	/
	24.01	13-十四烷基十一合一醇	0.51	/	2.22
烃	8.76	月桂烯	13.41	18.54	20.85
	9.95	D-柠檬烯	26.86	34.20	36.10
	24.59	(E, E)-12-甲基-1,5,9,11-三邻苯二酚	/	1.11	/
	24.96	11,11-二甲基螺环[2,9]十二烷-3,7-二烯	/	0.87	/
	28.09	Alpha-姜黄烯	0.74	/	/
	29.29	β -倍半水芹烯	1.94	0.69	/
	28.48	姜油烯	5.68	1.98	/
	25.59	ALPHA-律草烯	/	/	0.45
	25.28	(8Z, 11Z, 14Z)-庚烷 1,8,11,14-四烯	/	0.48	0.68
	11.87	环十二碳	/	2.08	/
	13.16	(E)-2-十二烯-4-炔	/	0.57	0.65
	19.59	多代克-3-炔	/	/	0.61
	12.21	1-十四碳烯-3-炔	/	2.96	/
	13.16	(E)-2-十二烯-4-炔	/	/	0.65
	20.87	1-十四炔	/	0.83	/
	24.49	1,11-十六二炔	/	0.34	/
	16.69	正十二烷	0.37	/	0.49
	28.65	正十五烷	0.68	1.07	0.74
	33.79	正十六烷	/	/	0.52
33.79	正十七烷	/	0.83	/	
33.79	正十九烷	0.56	/	/	
33.94	姥鲛烷	3.40	4.69	3.14	
酮	20.89	2-十一酮	0.92	/	/
其他	11.45	蒎烷胺	/	0.66	/
	12.89	螺[环丙烷-1,2'-]	/	1.35	/
	20.64	吡啶	/	2.13	/
	11.88	4a-甲基-1,2,3,4,4a,5,8,8a-八氢茶	/	/	1.48

注：“/”表示未检出。

2.3 烹饪方式对鲟鱼肉挥发性物质的影响

烹饪处理前后鲟鱼肉的风味物质含量变化见表 3。从表 3 可知, 生鲟鱼肉中共检测出 27 种化合物, 其中醛类 8 种 (7.91%)、醇类 9 种 (10.84%)、烃类 9 种

(53.64%)、酮类 1 种 (0.92%)。在这些物质中, 1-甲基环己-3-烯-1-甲醛 (2.07%)、正己醇 (5.11%)、月桂烯 (13.41%)、D-柠檬烯 (26.86%)、姜油烯 (5.68%)、姥鲛烷 (3.40%) 等挥发性物质的含量较高, 在生鲟鱼样品中, 烃类化合物含量最高, 其次是醇类化合物和

醛类化合物。

清蒸后, 鲟鱼肉中共检测出 28 种化合物, 其中醛类 7 种 (4.73%)、醇类 3 种 (1.43%)、烃类 15 种 (71.24%)、其他 3 种 (4.14%)。在这些化合物中, 月桂烯 (18.54%)、D-柠檬烯 (34.20%)、姥鲛烷 (4.69%), 吡啶 (2.13%) 等挥发性物质的含量较高, 与生鲟鱼肉相比, 清蒸后挥发性物质含量增加 8.84%, 清蒸鲟鱼肉的醛类化合物种类和含量均减少, 醇类化合物种类和含量也明显减少; 烃类化合物种类和含量明显增加。

煎炸后, 鲟鱼肉中共检测出 27 种化合物, 其中醛类 10 种 (12.34%)、醇类 5 种 (7.14%)、烃类 11 种 (64.88%)、其他 1 种 (1.47%)。在这些物质中壬醛 (3.21%)、反,反-2,4-癸二烯醛 (3.94%)、月桂烯 (20.85%)、D-柠檬烯 (36.10%)、姥鲛烷 (3.14%) 等挥发性物质的含量较高, 与生鲟鱼肉相比, 煎炸后鲟鱼肉的挥发性物质含量明显增加, 而且醛类化合物的种类和含量明显大于清蒸组; 醇类化合物种类和含量明显减少, 但种类和含量高于清蒸组; 煎炸鲟鱼肉的烃类化合物种类和含量均明显增加, 但烃类化合物的种类和含量相比于清蒸组减少。

2.3.1 醛类化合物

醛类化合物主要由不饱和脂肪酸分解产生, 是肉制品的主要风味贡献物^[20]。由表 3 可以看出, 不同烹饪方式处理的鲟鱼肉的醛类物质的含量大小为煎炸>清蒸>生, 清蒸处理后的醛类物质中, 正己醛和反式-2-壬醛等消失, (E,E)-2,4-庚二烯醛、反-2-,顺-6-壬二烯醛和壬醛等含量减少。煎炸后的醛类化合物中, 1-甲基环己-3-烯-1-甲醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛和反-2-,顺-6-壬二烯醛等含量减少, 壬醛和反,反-2,4-癸二烯醛等含量增加。反-2-辛烯醛、2-十一烯醛和十五醛等是烹饪后新形成的醛类化合物。

烹饪后鲟鱼肉中的正己醛、壬醛和 1-甲基环己-3-烯-1-甲醛等物质消失或含量减少的可能原因是受热分解。脂质氧化或 Strecker 降解使反,反-2,4-癸二烯醛和 10-十一烯醛等的化合物含量增加^[21]。清蒸和油炸后鲟鱼肉的醛类化合物相对含量降低。研究表明己醛、庚二烯醛和壬醛等是鱼肉腥味的重要来源^[22], 这表明烹饪可以降低鱼肉腥味。反-2-辛烯醛和 2-十一烯醛等可能是脂肪酸的氧化裂解产物, 它们只在烹饪后才被检出, 说明这些物质可能是烹饪鲟鱼的特征风味。

2.3.2 醇类化合物

醇类化合物主要来源于糖、氨基酸和醛类化合物的还原以及脂质氧化等^[23]。由表 3 可知, 醇类化合物种类和含量在烹饪后都减少, 饱和醇的阈值较高对鲟鱼整体风味贡献不大, 不饱和醇类化合物阈值较低,

对风味贡献较大, 正己醇、1-壬醇和双环[2.2.1]庚烷-7-醇等化合物在清蒸和煎炸后都未检测出。2-亚甲基-环戊烷丙醇、2-辛炔-1-醇和 13-十四烷基十一合一醇等在煎炸后含量增加。

正己醇和 1-壬醇等化合物在烹饪过程中可能受热分解, 2-亚甲基-环戊烷丙醇和 2-辛炔-1-醇等可能是脂肪酸的氧化分解和羰基化合物的还原反应生成。1-辛烯-3-醇是三种处理方式下均检测出的不饱和醇类化合物, 它可能是亚油酸氢过氧化物的降解产物^[24], 具有蘑菇香味, 是淡水鱼中主要的腥味成分之一, 通过清蒸后的样品含量最低, 煎炸后的含量最高, 说明清蒸能更好地降低鱼肉的腥味物质。

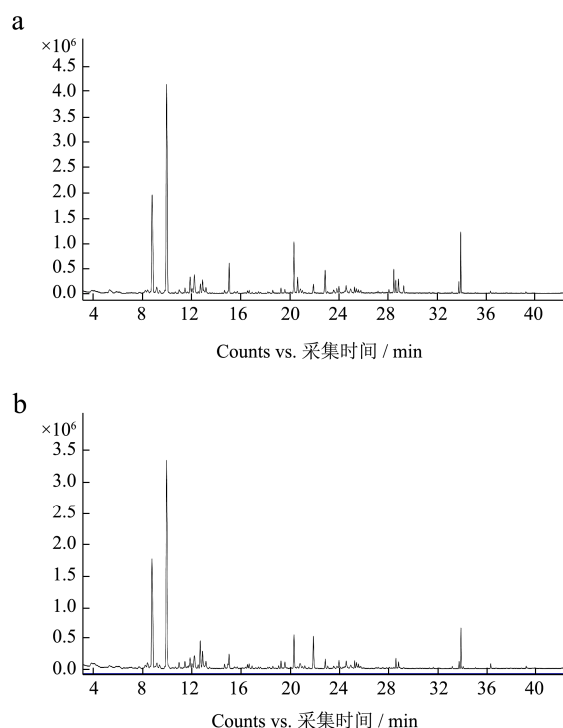


图1 鲟鱼肉风味物质总离子图

Fig.1 Total ion diagram of flavor substances in sturgeon meat

注: 图 a、b 为鲟鱼肉风味物质的总离子流图。

2.3.3 烃类化合物

烃类化合物包括烷烃类、烯烃类及芳香烃类物质。由表 3 可知, 烃类化合物种类和含量在烹饪后都增加, 烃类化合物含量为清蒸>煎炸>生。研究发现饱和烃类化合物的阈值较高, 对鱼肉风味贡献不大; 不饱和烃类阈值相对较低, 对鱼肉风味有一定贡献。在一定条件下, 烃类化合物可生成醛、酮和醇类等风味物质, 所以对鲟鱼肉风味的形成具有潜在作用。姜油烯和 β -倍半水芹烯等在烹饪后含量减少或未检测出, 月桂烯和 D-柠檬烯等在烹饪后含量明显增加, 烹饪后还检测出如环十二碳和正十七烷烃等新物质。

姜油烯和 β -倍半水芹烯等化合物可能是烹饪过程

中受热分解。月桂烯、D-柠檬烯等风味物质含量的增加和烹饪后检测出的新物质,可能是因为烹饪导致鲟鱼肉中的脂肪酸氧化,进而产生的自由基发生均裂而形成。D-柠檬烯可以赋予食品令人愉快的柠檬果香。综合其他风味物质含量的变化可知,清蒸和油炸烹饪后的鲟鱼肉较生鲟鱼肉的风味更好。

2.3.4 其他化合物

酮类化合物是由不饱和脂肪酸 β -氧化、氨基酸降解产生^[25]。由表3可知,酮类化合物在烹饪后均未检测出,可能是烹饪过程中随着温度升高,酮类化合物分解。酮类化合物阈值普遍偏高,对鱼肉总体风味贡献较小,但对腥味有一定叠加作用,这进一步说明热处理能降低鱼肉的腥味。清蒸后检测出吡嗪、蒎烷胺和螺[环丙烷-1,2'-]。吡嗪是色氨酸的代谢产物^[26],煎炸后检测出4a-甲基-1,2,3,4,4a,5,8,8a-八氢萘,它们可能是烹饪过程中发生的蛋白质热解产物,但具体形成机理还有待进一步研究。

3 结论

烹饪使鲟鱼肉的水分和干基脂肪含量显著($p<0.05$)降低,干基灰分和蛋白质含量显著($p<0.05$)增加;鲟鱼肉的氨基酸总量为煎炸(388.26 mg/g)>清蒸(201.18 mg/g)>生肉(129.40 mg/g),呈味氨基酸含量为煎炸(349.96 mg/g)>清蒸(180.24 mg/g)>生肉(112.22 mg/g)。从蛋白质营养价值分析,不论以儿童的氨基酸需求模式为参考,还是以成人的氨基酸需求模式为参照,煎炸鲟鱼肉的AAS、EAAI和PER值均为最大。鲟鱼肉的挥发性物质含量为煎炸(85.84%)>清蒸(81.54%)>生肉(73.31%)。总之,鲟鱼肉经煎炸和清蒸烹饪处理,可以使其蛋白质营养价值提高、风味物质含量增加。

参考文献

- [1] 朱堃.不同清蒸方式下鱼蟹感官评定和营养价值的比较及原因初探[D].无锡:江南大学,2017
ZHU Long. Comparison of sensory evaluation and nutritional value of fish and crabs under different steaming methods [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017
- [2] 张丹.中华鳖营养特征分析及评价[D].上海:上海海洋大学,2015
ZHANG Dan. Analysis and evaluation of nutritional characteristics of *Trionyx sinensis* [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015
- [3] Yin Z, Wang X, Wang W, et al. Effect of boiling and frying on nutritional value and in vitro digestibility of rabbit meat [J]. African Journal of Food Science, 2014, 8(2): 92-103
- [4] 陈丽丽,张树峰,袁美兰,等.不同烹饪方法对脆肉鲩挥发性风味物质的影响[J].中国调味品,2019,44(12):78-84
CHEN Lili, ZHANG Shufeng, YUAN Meilan, et al. Effects of different cooking methods on volatile flavor compounds of crispy grass carp [J]. Chinese Condiment, 2019, 44(12): 78-84
- [5] 郑平安,黄健,孙静,等.HS-SPME结合GC-MS法分析鲟鱼肉加热前后挥发性成分变化[J].食品科学,2012,14:242-246
ZHENG Ping'an, HUANG Jian, SUN Jing, et al. Analysis of volatile components in chub mackerel meat before and after heating by HS-SPME and GC-MS [J]. Food Science, 2012, 14: 242-246
- [6] 蒋晨毓,邱伟强,贡三月,等.草鱼油爆前后风味物质的变化分析[J].食品科学,2019,40(2):200-207
JIANG Chenyu, QIU Weiqiang, YUN Sanyue, et al. Analysis of flavor compounds of grass carp before and after oil explosion [J]. Food Science, 2019, 40(2): 200-207
- [7] 郭思亚,蒋美龄,张崑,等.腌制工艺对鲟鱼肉干质构特性的影响[J].食品研究与开发,2019,40(14):75-80
GUO Siya, JIANG Meiling, ZHANG Yin, et al. Effect of curing technology on texture characteristics of sturgeon jerky [J]. Food Research and Development, 2019, 40(14): 75-80
- [8] 陈康,张卓滩,沈清,等.烟熏对鲟鱼肉特性及脂质组学的影响[J].中国食品学报,2021,5:185-193
CHEN Kang, ZHANG Zhuowei, SHEN Qing, et al. Effects of smoking on characteristics and lipidomics of sturgeon [J]. Chinese Journal of Food Science, 2021, 5: 185-193
- [9] 徐璐.即食鲟鱼肉干制品加工工艺研究[D].大连:大连工业大学,2017
XU Lu. Study on processing technology of instant sturgeon dried meat products [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2017
- [10] 田其英.美味鲟鱼肉丁的加工工艺研究[J].中国调味品,2015,40(3):64-65,69
TIAN Qiyang. Study on processing technology of delicious sturgeon meat [J]. Chinese Condiment, 2015, 40(3): 64-65, 69
- [11] Zhang Y, Wang W, Wang X, et al. Bone soup: protein nutrition and enzymatic hydrolysis process optimized by response surface method [J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2014, 53(1): 1-12
- [12] 张苏平,邱伟强,卢祺,等.全自动氨基酸分析仪法测定4种贝类肌肉中谷胱甘肽和游离氨基酸含量[J].食品科学,2017,38(4):170-176
ZHANG Suping, QIU Weiqiang, LU Qi, et al. Determination of glutathione and free amino acids in four kinds of shellfish

- muscle by automatic amino acid analyzer [J]. Food Science, 2017, 38(4): 170-176
- [13] 冯倩倩,胡飞,李平凡.SPME-GC-MS 分析罗非鱼体中挥发性风味成分[J].食品工业科技,2012,33(6):67-70
FENG Qianqian, HU Fei, LI Pingfan. Analysis of volatile flavor components in tilapia by SPME-GC-MS [J]. Food Industry Technology, 2012, 33(6): 67-70
- [14] 柯欢,李慧,熊伟,等.白乌鱼与罗非鱼的营养物质比较分析[J].农产品加工,2020,1:47-49
KE Huan, LI Hui, XIONG Wei, et al. Comparative analysis of nutrients in white mullet and tilapia [J]. Agricultural Products Processing, 2020, 1: 47-49
- [15] Perez-Santaescolastica C, Carballo J, Fulladosa E, et al. Effect of proteolysis index level on instrumental adhesiveness, free amino acids content and volatile compounds profile of dry-cured ham [J]. Food Research International, 2018, 5: 559-566
- [16] 张崑,王新惠,王卫,等.高压和酶解辅助制备超微骨粉的工艺研究[J].现代食品科技,2014,10:172-175
ZHANG Yin, WANG Xinhui, WANG Wei, et al. Study on preparation of ultra fine bone powder assisted by high pressure and enzymatic hydrolysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 10: 172-175
- [17] 李洁莹,卢晓翠,甘雨,等.某蛋白质粉的营养价值评价[J].华南预防医学,2012,2:23-27
LI Jieying, LU Xiaocui, GAN Yu, et al. Evaluation of the nutritional value of a protein powder [J]. South China Preventive Medicine, 2012, 2: 23-27
- [18] Nishimura T, Kato H. Taste of free amino acids and peptides [J]. Food Reviews International, 1988, 4(2): 175-194
- [19] Cavalli J F, Fernandez X, Lizzani-Cuvelier L, et al. Comparison of static headspace, headspace solid phase microextraction, headspace sorptive extraction, and direct thermal desorption techniques on chemical composition of French olive oils [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2003, 51(26): 7709-7716
- [20] Bombo Trevisan A J, Lima D A, Sampaio G R, et al. Influence of home cooking conditions on Maillard reaction products in beef [J]. Food Chemistry, 2016, 196(APR.1): 161-169
- [21] Lamas B, Natividad J M, Sokol H. Aryl hydrocarbon receptor and intestinal immunity [J]. Mucosal Immunology, 2018, 11(4): 1024-1038
- [22] Selli S, Cayhan G G. Analysis of volatile compounds of wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by simultaneous distillation-extraction (SDE) and GC-MS [J]. Microchemical Journal, 2009, 93(2): 232-235
- [23] Drumm T D, Spanier A M. Changes in the content of lipid autoxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1991, 39(2): 336-343
- [24] Josephson D B, Lindsay R C, Stuber D A. Identification of compounds characterizing the aroma of fresh whitefish (*Coregonus clupeaformis*) [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1983, 31(2): 326-330
- [25] Taliana, Kênia, Alves, et al. Volatile profile in goat coalho cheese supplemented with probiotic lactic acid bacteria [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 76(10): 209-215
- [26] F Toldra. Proteolysis and lipolysis in flavour development of dry-cured meat products [J]. Meat Science, 1998, 49(supp-S1)

(上接第 154 页)

- [27] David R C, Patricia R M, Abelardo M, et al. Intestinal short chain fatty acids and their link with diet and human health [J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7: 185
- [28] Topping D L, Clifton P M. Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides [J]. Physiological Reviews, 2001, 81(3): 1031-1064

(上接第 171 页)

- [32] Diaz-Calderon P, Macnaughtan B, Hill S, et al. Changes in gelatinisation and pasting properties of various starches (wheat, maize and waxy maize) by the addition of bacterial cellulose fibrils [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 80: 274-280
- [33] Blanco Canalis M S, Leon A E, Ribotta P D. Incorporation of dietary fiber on the cookie dough. Effects on thermal properties and water availability [J]. Food Chemistry, 2019, 271: 309-317
- [34] 李静.不同损伤程度小麦淀粉糊化性质差异机理研究[D].无锡:江南大学,2016
LI Jing. Mechanism study of different pasting properties on wheat starch with different damage levels [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016