

家庭烹调对鲟鱼中脂肪酸和胆固醇的影响

兰晓芳¹, 阮光锋¹, 范志红^{1,*}, 李楠楠¹, 王 顺²

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 2. 北京市水产科学研究所, 北京 100068)

摘 要: 对杂交鲟鱼 (*Acipenser baerii* × *A. schrenckii*) 进行了清蒸、油煎、微波、微波烤、烤箱烤和压力锅煎6种家庭烹调处理, 测定其脂肪和胆固醇含量、脂肪氧化指标和各脂肪酸含量的变化。结果表明, 所有烹调方法均降低了 $n-3/n-6$ 多不饱和脂肪酸含量的比值, 其中压力烹调比值最高(0.85), 清蒸次之(0.83), 而烤箱烤最低(0.73)。胆固醇保存率以清蒸和压力锅煎最高, 两种处理间无显著差异。烹调后样品酸价和硫代巴比妥酸值上升而氧化值下降, 并与样品的胆固醇含量相关。清蒸和压力烹调中脂肪酸和胆固醇变化相对较少, 可能与其密闭烹调条件造成氧化程度较低有关。

关键词: 鲟鱼; 家庭烹调; 胆固醇; 脂肪酸; 氧化

Impact of Domestic Preparation on Fatty Acids and Cholesterol of Cultured Hybrid Sturgeon

LAN Xiaofang¹, RUAN Guangfeng¹, FAN Zhihong^{1,*}, LI Nannan¹, WANG Shun²

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Beijing Fisheries Research Institute, Beijing 100068, China)

Abstract: The effect of six cooking methods on changes in fat components of cultured hybrid sturgeon (*Acipenser baerii* × *A. schrenckii*) was studied with respect to fat and cholesterol contents, lipid oxidation parameters and fatty acid profiles. All cooking treatments, steaming, pan frying, microwave roasting, oven roasting and pressure frying, decreased the ratio of $n-3$ to $n-6$ polyunsaturated fatty acids (PUFA) in samples. The $n-3/n-6$ ratio of pressure fried samples was the highest (0.85), followed by the steamed samples (0.83), and the oven-roasted samples exhibited the lowest level (0.73). The retention of cholesterol was the highest in steamed and pressure fried samples with no significant difference between both treatments. The acid value increased while the peroxide value decreased after all cooking treatments, which correlated significantly to cholesterol contents of the treated samples. These results suggest that the relatively smaller change of PUFA and cholesterol in pressure cooking may be explained by less oxidation in sealed pressure cooker during heating.

Key words: sturgeon; domestic preparation; cholesterol; fatty acid; oxidation

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201607004

中图分类号: TS254.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 07-0016-07

引文格式:

兰晓芳, 阮光锋, 范志红, 等. 家庭烹调对鲟鱼中脂肪酸和胆固醇的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(7): 16-22. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201607004. <http://www.spkx.net.cn>

LAN Xiaofang, RUAN Guangfeng, FAN Zhihong, et al. Impact of domestic preparation on fatty acids and cholesterol of cultured hybrid sturgeon[J]. Food Science, 2016, 37(7): 16-22. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201607004. <http://www.spkx.net.cn>

鱼类营养价值丰富, 是 $n-3$ 不饱和脂肪酸的重要来源之一^[1]。膳食中 $n-3$ 与 $n-6$ 脂肪酸的比值是多种癌症及冠心病的风险因素, 特别是与血栓形成及心脏病发作密切相关^[2-3]。相关研究证实^[4-5], 增加富含二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA, $C_{20:5\ n-3}$)和二十二碳六烯

酸(docosahexaenoic acid, DHA, $C_{22:6\ n-3}$)的水产品摄入能降低多种疾病及心脏病发作的风险。

鱼类经烹调食用能提高安全性, 并改善鱼肉质、增强风味^[6], 但也会影响其营养价值^[7], 其中的不饱和脂肪酸如EPA和DHA极易受到氧化破坏^[8-9]。有报道油煎后

收稿日期: 2015-06-03

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAD91B01)

作者简介: 兰晓芳(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品营养。E-mail: tapeti@126.com

*通信作者: 范志红(1966—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食物营养。E-mail: daisyfan@vip.sina.com

鱼肉中的 $n-6$ 与 $n-3$ 脂肪酸比值大幅升高,银鲑鱼(silver catfish)由0.13升至8.33^[7],新西兰大鲑鱼(New Zealand king salmon)由0.68升至1.78^[10],大西洋马鲛(Indo-Pacific king mackerel)由0.54升至1.28^[11]。因此,评价食物中膳食脂肪酸摄入时,有必要考虑到烹调因素的影响^[12]。鱼类烹调过程中的胆固醇氧化问题也受到关注^[7,13],因为脂肪酸的氧化往往伴随着胆固醇氧化,这一过程使食物中的胆固醇含量有所下降^[14],而胆固醇氧化产物(cholesterol oxidation products, COPs)具有细胞毒性,会导致细胞凋亡及炎症反应,还与动脉粥样硬化及神经退行性病变的发生有关^[14-15]。

鲟鱼刺少质嫩,是深受欢迎的淡水鱼类之一。有报道它的 $n-3$ 脂肪酸含量十分丰富,达24.3%^[16],总脂肪酸含量达30.9%^[17],但不同品种间的测定数据差异较大^[16-21],有关鲟鱼烹调后脂肪及胆固醇成分变化的相关报道更十分有限^[7,10]。本研究意图探究鲟鱼烹调后脂肪和胆固醇含量及脂肪酸成分的变化,以及烹调后的脂肪氧化评价,为鲟鱼的合理烹调提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料及烹调方法

本实验中所用杂交鲟鱼(*Acipenser baerii* × *A. schrenckii*)由北京市水产研究所提供,经过净膛、去头、水洗,保存在-18℃的冰箱中。实验前,将鱼背部的肉切成1.5 cm的厚片,均匀分成6份,每份100 g,进行实验。每个实验设3个平行。

本实验所用的6种家庭常用烹调方法如表1所示。

表1 烹调的具体操作条件

Table 1 Cooking treatments for sturgeon samples

烹调方式	操作条件
生样	不进行烹调处理
清蒸	100℃, 15 min
微波	中火(2 450 Hz, 800 W), 4 min
微波烤	烧烤模式: 150℃(1 000 W), 15 min
烤箱烤	200℃(900 W), 15 min
油煎	180℃(电磁炉设置温度), 上下两面各煎2 min, 共4 min
压力锅煎	60 kPa, 20 min, 达到保压时间之后手动泄压

注:1)以上烹调油均使用福临门一级大豆油,烹调时使用去离子水,为避免干扰,烹调中不加任何调味品。2)各种烹调均在鱼块表面刷上一层大豆油,每种烹调均使用10 g大豆油。

烹调结束后,将样品冷却至室温,用预先称过质量的纸巾吸干样品表面的油和水。将纸巾再次称质量,并用于分析油脂在烹调过程中的变化。放凉的样品放置于冷冻袋中,保存在-18℃冰箱中用于后续测定,并于1周内完成全部测定工作。测定项目包括鱼肉的pH值、酸价(acid value, AV)、过氧化值(peroxide value, PV)

和硫代巴比妥酸值(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)。

1.2 试剂与仪器

硫酸、硼酸、乙醇、氢氧化钠、五水合硫酸铜、硫酸钾、甲基红、次甲基蓝、乙醚、石油醚(沸程60~90℃)均为分析纯 北京化工厂。

BS210S万分之一电子天平 德国Sartorius公司; pH计 瑞士梅特勒-托利多公司; KND-102F自动定氮仪、SZC-D脂肪测定仪 上海纤检有限公司; HP6820气相色谱仪 美国Agilent公司; L-2000高效液相色谱 日本日立公司; 高压锅、EG823LA6-NS微波炉 美的生活电器集团。

1.3 分析步骤

1.3.1 基础成分测定

鲟鱼生样和烹调后样品分别进行3次平行测定,基础成分测定项目包括水分、粗蛋白、脂肪和灰分。pH值测定参考Martínez-Alvarez等^[22]方法,水分、粗蛋白、脂肪和灰分的测定均参照国标方法^[23-26]。

1.3.2 脂肪氧化分析

用AV值、PV值和TBARS值评价鱼肉脂肪的氧化程度。AV和PV值的测定方法参考国标^[27-28],TBARS的提取参考Sørensen等^[29]方法,并依据Raghavan等^[30]方法对氧化过程中的副产物丙二醛(OHC—CH₂—CHO)进行测定。丙二醛在水溶液中以烯醇(CHOH=CH—CH—HO)形式存在,酸性条件下蒸出后与硫代巴比妥酸试剂TBA作用生成红色化合物,可在530 nm波长处测定其吸光度。

1.3.3 脂肪酸含量测定

采用氯仿-甲醇-水的混合溶液提取脂肪^[31]。加入三氟化硼-苯、甲醇等试剂,三氟化硼-甲醇溶液、苯、甲醇体积比为25:20:55,释放出脂肪酸,并在BF₃催化剂存在下酯化^[32],生成脂肪酸甲酯,然后进样分析。

气相色谱分析条件如下:毛细管色谱柱:HP-INNOWax(30 m×0.32 mm, 0.25 μm);载气:氮气,流量1.6 mL/min。柱头压:14 psi。柱箱温度:起始温度200℃,维持2 min,以2℃/min升温至240℃,保持5 min。进样方式:分流比10:1,进样口250℃,进样量1 μL。检测器:FID, 275℃。用脂肪酸标准品的保留时间定性,根据样品与标准品的气相色谱峰面积比值,得到脂肪酸相对含量。

参照Ulbricht等^[33]的方法对脂肪酸质量进行评价,用下述公式计算致动脉粥样硬化指数(atherogenic index, AI)和致血栓指数(thrombogenicity index, TI)。

$$AI/\% = \frac{C_{12:0} + 4(C_{14:0} + C_{16:0})}{\sum PUFA + n-3 PUFA + C_{18:1} + \sum MUFA} \times 100 \quad (1)$$

$$TI/\% = \frac{C_{14:0} + C_{16:0} + C_{18:0}}{0.5C_{18:1} + 0.5\sum MUFA + 0.5(n-6 PUFA) + 3(n-3 PUFA) + \frac{n-3 PUFA}{n-6 PUFA}} \times 100 \quad (2)$$

式中: MUFA为单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid); PUFA为多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid)。

1.3.4 胆固醇含量测定

参照国家标准GB/T 22220—2008《食品中胆固醇的测定 高效液相色谱法》^[34]方法测定,用氢氧化钾溶液将样品皂化后,乙醚-石油醚混合液提取。液相色谱参数设定为:预柱: Security Guard ODS C₁₈ (4.0 mm×3.0 mm, 10 μm); 分析柱: Diamonsil C₁₈ (150 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相: 100%甲醇; 检测波长: 205 nm; 柱温: 38 ℃; 进样量: 10 μL。

1.4 数据分析

每个实验重复3次,用单因素方差分析(analysis of variance, ANOVA)对烹调前后鲟鱼的基础成分、脂肪酸组分、脂肪氧化产物进行分析。设置显著水平为 $P<0.05$,用IBM SPSS 19.0软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 基础成分分析

烹调后样品的水分、灰分、粗蛋白和脂肪含量如表2所示。鲟鱼生样的测定结果与Vaccaro^[17]和Badiani^[18-19]等对人工养殖杂交鲟鱼的测定结果近似。烹调过程中,鲟鱼的水分含量下降,使其他成分含量有不同程度的上升。在6种烹调方法中,清蒸引起的水分损失最小,而压力锅煎造成的水分损失最大。

表2 烹调后鲟鱼基础成分的含量变化

Table 2 Proximate composition of raw and cooked sturgeon samples

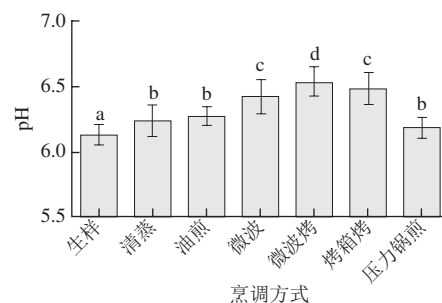
g/100 g				
烹调方式	水分	脂肪	蛋白质	灰分
生样	72.47±1.62 ^a	5.27±0.28 ^a	19.39±0.12 ^a	1.12±0.08 ^a
清蒸	67.47±1.48 ^b	9.15±0.36 ^b	21.46±0.58 ^b	1.09±0.04 ^a
油煎	54.36±1.22 ^c	16.07±0.54 ^c	26.68±0.38 ^d	2.27±0.07 ^c
微波	61.79±1.38 ^d	9.86±0.53 ^b	23.32±0.36 ^b	1.32±0.04 ^b
微波烤	63.56±1.85 ^d	8.99±0.33 ^b	25.32±0.42 ^c	1.53±0.05 ^b
烤箱烤	61.09±1.32 ^d	9.28±0.23 ^b	26.52±0.26 ^c	2.18±0.05 ^a
压力锅煎	49.56±1.20 ^b	11.08±0.29 ^d	35.64±0.32 ^b	3.64±0.12 ^d

注: 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

油煎和压力锅煎使鲟鱼脂肪含量大幅升高,这与国外的研究结果一致^[13]。油煎后,鲟鱼脂肪含量高达生样的3倍,这与Weber^[7]和Sioen^[12]等研究结果相似。Puwastien等^[11]发现,煮制后的鲟鱼脂肪含量变化并不大。因此推测,油煎后干物质含量上升的主要原因很可能是吸收了添加的大豆油。中式烹调鱼类经常采用油煎,容易造成食材脂肪含量的上升。采用烤制或压力锅煎时,因水分蒸发,进而使油渗透进食材当中,也会使烹调后的脂肪含量上升^[35]。

2.2 pH值

pH值可以反映样品的化学品质及贮藏稳定性。据报道,鲟鱼生样的pH值为5.88^[36],人工养殖的鲟鱼pH值在6.10~6.29之间^[19]。由图1可知,鲟鱼生样pH值为6.12,与前人研究结果一致^[19]。不管采用哪种烹调方法,都会使pH值上升,这可能与脂肪和蛋白质的氧化以及蛋白质分解产物胺类的形成有关^[37-38]。6种烹调方法中,以压力锅煎和清蒸后pH值上升幅度最小,可能是因为这两种烹调方法造成的脂肪氧化程度较小,蛋白质分解也较少。



小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。下同。

图1 烹调后鲟鱼的pH值变化

Fig.1 Change in pH in sturgeon fillets with different cooking treatments

2.3 脂肪氧化分析

2.3.1 酸价

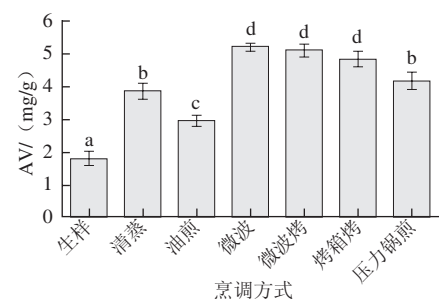


图2 烹调后鲟鱼酸价变化

Fig.2 Change in acid value (AV) in sturgeon fillets with different cooking treatments

由图2可知,6种烹调均会造成鱼肉酸价上升,推测这可能与脂肪的水解和氧化过程相关。和油煎、清蒸相比,在高温空气中长时间暴露的烹调方法(烤箱烤、微波、微波烤)使酸价升高程度更大,Weber等^[7]的研究也得到了类似结果。清蒸和压力锅煎的酸价上升较少,可能是因为有水蒸气保护,脂肪氧化程度较小,同时游离脂肪酸析出较少^[7]。

2.3.2 过氧化值

由图3可知,烹调后,鲟鱼过氧化值显著降低。尽管有研究显示^[39],油炸后沙丁鱼的过氧化物含量几乎不变,但有研究报道^[40]鲤鱼(common carp)和鲱鱼(mackerel)在微波加热后,过氧化值有所下降;波罗的海鲱鱼

(Baltic herring fillets) 油炸后的过氧化值显著下降^[41]。随温度升高, 脂肪氧化过程变快, 氢过氧化物的形成和分解速率加快, 导致过氧化值下降^[8,35]。Saghir等^[42]对不同烹调处理的牛肉进行研究, 发现过氧化值与烹调时间和汁液损失成负相关关系。本研究也发现, 烹调时间最长的样品过氧化值下降程度最大。

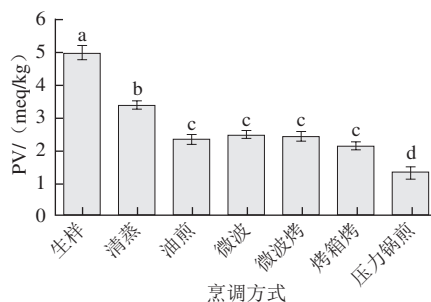


图3 烹调后鲟鱼过氧化值变化

Fig.3 Change in PV in sturgeon fillets with different cooking treatments

2.3.3 TBARS值

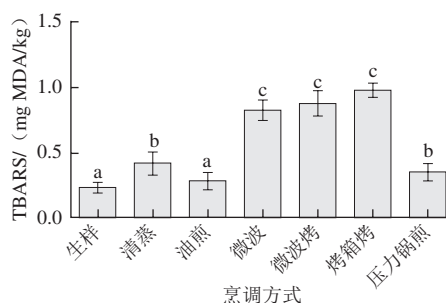


图4 烹调后鲟鱼TBARS值变化

Fig.4 Change in TBARS value in sturgeon fillets with different cooking treatments

TBARS值可表示脂肪氧化的终产物之一——丙二醛的浓度, 用以评价脂肪氧化的后期反应。由图4可知, 烤箱烤、微波和微波烤都会使样品的TBARS值显著上升, 可能是处理过程中高温和充足的氧气加剧了脂质过氧化反应, 生成了大量丙二醛。而压力锅煎和清蒸的TBARS值上升程度小, 与pH值和酸价的变化趋势一致。油煎处理与生样相比未见显著差异, 可能是因为油炸后形成的丙二醛一部分溶入油中, 或与蛋白质形成交联产物^[7]。

2.3.4 pH值与氧化程度指标间的相关性分析

各烹调方法样品的pH值与AV、PV、TBARS值的相关关系如表3所示, AV与pH值成显著正相关关系, TBARS值与pH值成极显著正相关关系 ($P=0.001<0.01$), 决定系数 $R^2=0.891$ 。在现有研究条件下, 未发现PV与pH值的线性相关关系。这一结果提示, 可以用pH值这个较易测得的指标对鱼肉烹调后的脂肪氧化程度进行评价。

表3 各烹调方法样品的pH值与AV、PV、TBARS值的方程及相关关系
Table 3 Correlation between pH and AV, PV or TBARS

因变量 (y)	自变量 (x)	回归方程	决定系数 (R^2)	P
AV	pH	$y=6.516x-37.172$	0.673	0.024*
TBARS	pH	$y=1.844x-11.342$	0.891	0.001**
PV	pH	$y=-3.196x+22.911$	0.186	0.334

注: *. $P < 0.05$, 表示差异显著; **. $P < 0.01$, 表示差异极显著。下同。

2.4 胆固醇含量

Badiani等^[18-19]测得人工养殖的鲟鱼胆固醇含量为61.4~70.4 mg/100 g, 远小于本研究测得的153 mg/100 g水平 (图5)。烹调后胆固醇含量下降可能是由于胆固醇氧化的原因^[43]。清蒸和压力锅煎在一定程度上减少了烹调过程中氧气与鱼表面的接触, 因此这两种烹调方法造成的胆固醇氧化损失较少。微波、油煎、烤箱烤和微波烤4种烹调方法之间未见显著差异。暴露在空气中高温加热会促进富含多不饱和脂肪酸的烹调油发生脂肪氧化, 从而引发和加速胆固醇的氧化^[44]。

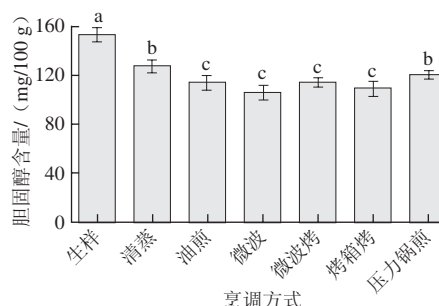


图5 烹调后鲟鱼胆固醇含量变化

Fig.5 Change in cholesterol in sturgeon fillets with different cooking treatments

考虑到胆固醇损失也是脂肪氧化的结果之一, 将其与pH值、AV、PV、TBARS值指标进行线性相关分析, 结果如表4所示。胆固醇含量与pH值和AV成显著负相关关系, 与PV成显著正相关关系。这提示, pH值、AV和PV的变化可以反映出鲟鱼烹调后的胆固醇保留情况。虽然未发现胆固醇与TBARS值有显著的线性相关, 但存在负相关的变化趋势。

表4 胆固醇含量与pH值、AV、PV、TBARS值指标的线性相关分析
Table 4 Linear correlation between cholesterol content and pH, AV, PV or TBARS

因变量 (y)	自变量 (x)	回归方程	R^2	P
胆固醇含量	pH	$y=-272.026x+2159.532$	0.572	0.049*
胆固醇含量	AV	$y=-10.492x+163.328$	0.708	0.018*
胆固醇含量	TBARS	$y=-33.902x+140.507$	0.467	0.091
胆固醇含量	PV	$y=11.143x+91.052$	0.696	0.020*

2.5 脂肪酸组分的变化

鲟鱼生样和烹调后的脂肪酸组成如表5所示, 生样中饱和脂肪酸 (saturated fatty acid, SFA)、MUFA、PUFA含量比为1:1.4:1.4, 与Kaya等^[45]测定的SFA 33.61%、

MUFA 32.46%、PUFA 21.03%结果有所不同。Vaccaro等^[17]研究发现,人工养殖杂交鲟鱼的脂肪酸组成中,PUFA占比最大,达44.5%,SFA和MUFA含量相当,分别为28.7%和26.9%。测定数据间的差异可能源自鱼的品种和饲料不同,Kaya等^[45]所用的鲟鱼品种*Huso huso* L. 1758,Vaccaro等^[17]所用的品种是*Acipenser naccari*×*A. baerii*。

表 5 烹调后鲟鱼脂肪酸组成
Table 5 Fatty acid profiles of sturgeon samples with different cooking treatments

脂肪酸名称	烹调方式							%
	生样	清蒸	油煎	微波	微波烤	烤箱烤	压力锅煎	
饱和脂肪酸	C _{12:0}	—	—	—	—	—	—	—
	C _{14:0}	3.42±0.01 ^a	3.04±0.02 ^a	3.04±0.03 ^b	2.99±0.04 ^a	3.25±0.03 ^a	3.02±0.02 ^a	2.82±0.01 ^a
	C _{16:0}	17.64±0.05 ^a	17.17±0.10 ^{ad}	16.72±0.09 ^a	17.40±0.06 ^a	17.90±0.07 ^a	18.97±0.11 ^b	16.94±0.13 ^c
	C _{17:0}	4.51±0.10 ^a	3.80±0.02 ^a	3.73±0.03 ^a	4.31±0.07 ^b	3.36±0.04 ^a	4.02±0.01 ^b	3.54±0.02 ^d
	C _{18:0}	0.00±0.01	1.09±0.08 ^d	2.97±0.03 ^c	1.86±0.04 ^d	2.22±0.12 ^b	1.17±0.01 ^b	1.70±0.02 ^c
	C _{20:0}	—	—	—	—	—	—	—
	ΣSFA	25.57±0.13 ^a	25.10±0.12 ^a	26.46±0.08 ^b	26.56±0.11 ^b	26.72±0.13 ^b	27.18±0.10 ^b	25.01±0.11 ^c
单不饱和脂肪酸	C _{18:1n-7}	4.35±0.03 ^a	6.19±0.05 ^b	5.41±0.06 ^a	5.45±0.02 ^c	5.87±0.03 ^b	4.71±0.05 ^b	4.97±0.02 ^a
	C _{18:1n-9}	32.36±0.21 ^a	32.66±0.20 ^a	31.89±0.23 ^b	32.34±0.19 ^a	32.90±0.21 ^b	33.63±0.19 ^a	33.94±0.18 ^a
	C _{20:1n-9}	1.65±0.02 ^a	1.61±0.02 ^b	2.00±0.02 ^b	1.93±0.02 ^c	1.98±0.02 ^{bc}	2.14±0.03 ^a	2.46±0.05 ^c
	ΣMUFA	38.36±0.15 ^a	40.46±0.21 ^c	39.30±0.21 ^b	39.71±0.18 ^b	40.75±0.20 ^a	40.49±0.18 ^a	41.37±0.17 ^d
	C _{18:2n-6}	17.84±0.12 ^a	17.49±0.07 ^b	17.72±0.08 ^b	17.58±0.02 ^d	17.05±0.03 ^c	17.35±0.13 ^a	16.96±0.08 ^a
多不饱和脂肪酸	C _{20:2n-6}	1.06±0.02 ^a	1.35±0.01 ^d	1.44±0.01 ^b	1.14±0.02 ^c	1.18±0.02 ^b	1.31±0.03 ^b	1.25±0.02 ^a
	C _{18:3n-3}	3.31±0.04 ^a	3.15±0.03 ^d	3.08±0.02 ^a	3.25±0.03 ^c	2.38±0.02 ^b	2.28±0.05 ^b	2.99±0.02 ^c
	C _{20:5n-3} (EPA)	5.91±0.02 ^a	5.11±0.03 ^a	4.81±0.02 ^c	4.34±0.03 ^d	4.74±0.03 ^d	3.95±0.05 ^b	5.18±0.03 ^a
	C _{22:5n-3} (DPA)	—	—	—	—	—	—	—
	C _{22:6n-3} (DHA)	7.95±0.02 ^a	7.34±0.03 ^b	7.19±0.04 ^a	7.42±0.02 ^b	7.18±0.03 ^c	7.44±0.08 ^b	7.24±0.03 ^c
	ΣPUFA	36.07±0.13 ^a	34.44±0.15 ^c	34.24±0.11 ^d	33.73±0.13 ^c	32.53±0.13 ^b	32.33±0.12 ^b	33.62±0.13 ^c
	Σn-6	18.91±0.12 ^a	18.84±0.11 ^a	19.16±0.13 ^c	18.72±0.06 ^b	18.23±0.08 ^a	18.66±0.13 ^a	18.21±0.14 ^b
脂肪酸分析	Σn-3	17.16±0.08 ^b	15.60±0.04 ^c	15.08±0.06 ^c	15.01±0.02 ^c	14.30±0.02 ^b	13.67±0.06 ^b	15.41±0.05 ^c
	EPA+DHA	13.86±0.04 ^a	12.45±0.03 ^c	12.00±0.05 ^c	11.76±0.04 ^b	11.92±0.03 ^b	11.39±0.05 ^b	12.42±0.01 ^c
	PUFA/SFA	1.41	1.37	1.29	1.26	1.22	1.19	1.34
	UFA/SFA	2.91	2.98	2.78	2.77	2.74	2.68	3.00
	n-3/n-6	0.91	0.83	0.79	0.80	0.78	0.73	0.85
	n-6/n-3	1.10	1.21	1.27	1.25	1.28	1.36	1.18
	AI	1.01	0.95	0.95	0.98	1.00	1.04	0.91
总脂肪酸含量	TI	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.12
	总脂肪酸含量	100	100	100	100	100	100	100

注:—,未检测到;DPA,二十二碳五烯酸(docosapentaenoic acid);UFA,不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid);同类脂肪酸中同列小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

由表5可知,在PUFAs中,亚油酸(C_{18:2 n-6})是含量最高的n-6脂肪酸,DHA(C_{22:6 n-3})和EPA(C_{20:5 n-3})是含量最高的n-3脂肪酸。作为一种淡水鱼,鲟鱼能提供较为丰富的EPA和DHA。在6种烹调处理后,样品的SFA均有所上升,可能原因是高温长时加热条件下,不饱和脂肪酸易发生氧化反应,含量有所下降。此外,其中,压力锅煎的样品单不饱和脂肪酸含量最高。

不饱和脂肪酸热稳定性差,且随着不饱和程度的增加,稳定性下降^[12]。热处理会提高n-3 PUFA的热敏性。心

血管相关的健康研究证实,鱼类能否发挥对心血管的有益作用与其采用的烹调方法密切相关^[4]。有研究显示^[5],缺血性中风的发病风险与烤鱼的摄入成负相关关系,与炸鱼、鱼肉三明治的摄入成正相关关系。

油煎处理保留的n-6脂肪酸和PUFA总量和较多,可能是因为烹调用油渗入了样品中。清蒸和压力锅煎保留的PUFA含量最高,n-3脂肪酸含量也最高,说明这两种烹调方法对不饱和脂肪酸有较好的保护作用,一方面可能是因为水蒸气的保护作用,同时压力锅煎为密闭过程,可能阻碍了n-3脂肪酸的氧化过程。有豆类烹调实验发现^[46],相比其他烹调方法,压力烹调在抗氧化物质的保留方面存在明显优势。Xu等^[47]也通过实验证实,蒸豆子中的多酚类物质保留率最高。

鲟鱼生样中,n-6/n-3脂肪酸的比值为1.10:1,烹调后这一比例均有上升,其中烤箱烤的比例最高,为1.36:1。Nikoo等^[13]研究发现,油炸后鲟鱼的n-6/n-3脂肪酸的比值由1.922上升至3.125;烟熏处理后,这一比例从0.2上升至2.63^[45]。可见,在讨论膳食中n-6/n-3脂肪酸的比值时,不仅要考虑食材,更要考虑烹调方法。由于脂肪酸组分的变化,6种烹调处理对鲟鱼的AI值和TI值均有影响,其中清蒸和压力锅煎的值最小,烤箱烤的值最高。

3 结 论

油煎、清蒸、压力锅煎、烤箱烤、微波、微波烤都会对鲟鱼的基础成分、氧化指标、胆固醇含量和脂肪酸组成有所影响。在脂肪氧化的各指标中,TBARS值和AV值与样品pH值有显著相关关系,胆固醇含量的变化很可能与脂肪氧化指标和pH值相关。

6种烹调方法中,清蒸对鲟鱼基础成分的影响最小,压力锅煎对n-6/n-3脂肪酸的比值影响最小。值得注意的是,在氧化稳定性、脂肪酸组成和胆固醇稳定性方面,清蒸和压力锅煎相较于其他烹调方法显示出了较大优越性,提示这两类烹调方法可能有利于保持鱼类食材对心脑血管疾病的预防作用。由于本研究中清蒸的时间,以及压力烹调的压力和时间,均超过烹熟鱼类的实际需要,在以后的研究中,还可以考虑适当降低烹调压力,缩短烹调时间,以便更好地发挥这两种烹调方法的健康优势。

参考文献:

[1] PUWASTIEN P, JUDPRASONG K, KETTWAN E, et al. Proximate composition of raw and cooked Thai freshwater and marine fish[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 1999, 12(1): 9-16. DOI:10.1051/0004-6361:20040190.

[2] LOMBARDO Y B, HEIN G, CHICCO A. Metabolic syndrome: effects of n-3 PUFAs on a model of dyslipidemia, insulin resistance and adiposity[J]. Lipids, 2007, 42(5): 427-437. DOI:10.1016/j.jnutbio.2005.08.002.

- [3] LOMBARDO Y B, CHICCO A G. Effects of dietary polyunsaturated *n*-3 fatty acids on dyslipidemia and insulin resistance in rodents and humans: a review[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2006, 17(1): 1-13. DOI:10.1016/j.jnutbio.2005.08.002.
- [4] MOZAFFARIAN D, LEMAITRE R N, KULLER L H, et al. Cardiac benefits of fish consumption may depend on the type of fish meal consumed the cardiovascular health study[J]. Circulation, 2003, 107(10): 1372-1377. DOI:10.1161/01.CIR.0000055315.79177.16.
- [5] MOZAFFARIAN D, LONGSTRETH W T, LEMAITRE R N, et al. Fish consumption and stroke risk in elderly individuals: the cardiovascular health study[J]. Archives of Internal Medicine, 2005, 165(2): 200-206.
- [6] BOGNAR A. Comparative study of frying to other cooking techniques influence on the nutritive value[J]. Grasas y Aceites, 1998, 49(3/4): 250-260.
- [7] WEBER J, BOCHI V C, RIBEIRO C P, et al. Effect of different cooking methods on the oxidation, proximate and fatty acid composition of silver catfish (*Rhamdia quelen*) fillets[J]. Food Chemistry, 2008, 106(1): 140-146. DOI:10.1016/j.foodchem.2007.05.052.
- [8] FRANKEL E N. Lipid oxidation[J]. Progress in Lipid Research, 1980, 19(1/2): 1-22.
- [9] KULÁS E, ACKMAN R G. Different tocopherols and the relationship between two methods for determination of primary oxidation products in fish oil[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(4): 1724-1729.
- [10] LARSEN D, QUEK S Y, EYRES L. Effect of cooking method on the fatty acid profile of New Zealand King Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*)[J]. Food Chemistry, 2010, 119(2): 785-790. DOI:10.1016/j.foodchem.2009.07.037.
- [11] BAKAR J, RAHIMABADI E Z, MAN Y B C. Lipid characteristics in cooked, chill-reheated fillets of Indo-Pacific king mackerel (*Scomberomorus guttatus*)[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 2144-2150. DOI:10.1016/j.lwt.2007.12.004.
- [12] SIOEN I, HAAK L, RAES K, et al. Effects of pan-frying in margarine and olive oil on the fatty acid composition of cod and salmon[J]. Food Chemistry, 2006, 98(4): 609-617. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.06.026.
- [13] NIKOO M, RAHIMABADI E Z, SALEHIFAR E. Effects of frying-chilling-reheating on the lipid content and fatty acid composition of cultured sturgeon (*Huso huso*, Beluga) fillets[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2010, 19(2): 120-129. DOI:10.1080/10498850.2010.493267.
- [14] OTAEGUI-ARRAZOLA A, MENENDEZ-CARREÑO M, ANSORENA D, et al. Oxysterols: a world to explore[J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(12): 3289-3303. DOI:10.1016/j.fct.2010.09.023.
- [15] VEJUX A, LIZARD G. Cytotoxic effects of oxysterols associated with human diseases: induction of cell death (apoptosis and/or oncosis), oxidative and inflammatory activities, and phospholipidosis[J]. Molecular Aspects of Medicine, 2009, 30(3): 153-170. DOI:10.1016/j.mam.2009.02.006.
- [16] CHEN I C, CHAPMAN F A, WEI C, et al. Differentiation of cultured and wild sturgeon (*Acipenser oxyrinchus desotoi*) based on fatty acid composition[J]. Journal of Food Science, 1995, 60(3): 631-635. DOI:10.1111/j.1365-2621.1995.tb09844.x.
- [17] VACCARO A M, BUFFA G, MESSINA C M, et al. Fatty acid composition of a cultured sturgeon hybrid (*Acipenser naccarii* × *A. baerii*)[J]. Food Chemistry, 2005, 93(4): 627-631. DOI:10.1016/j.foodchem.2004.09.042.
- [18] BADIANI A, ANFOSSI P, FIORENTINI L, et al. Nutritional composition of cultured sturgeon (*Acipenser* spp.)[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 1996, 9(2): 171-190. DOI:10.1006/jfca.1996.0024.
- [19] BADIANI A, STIPA S, NANNI N, et al. Physical indices, processing yields, compositional parameters and fatty acid profile of three species of cultured sturgeon (*Genus acipenser*)[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1997, 74(2): 257-264.
- [20] PALEARI M A, BERETTA G, GRIMALDI P, et al. Composition of muscle tissue of farmed white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) with particular reference to lipidic content[J]. Journal of Applied Ichthyology, 1997, 13(2): 63-66. DOI:10.1111/j.1439-0426.1997.tb00102.x.
- [21] GARCÍA-GALLEGO M, SANZ A, DOMEZAIN A, et al. Age-size influences on tissue-lipid quality of the sturgeon *Acipenser naccarii* from intensive culture[J]. Journal of Applied Ichthyology, 1999, 15(4/5): 261-264. DOI:10.1111/j.1439-0426.1999.tb00247.x.
- [22] MARTÍNEZ-ALVAREZ O, LÓPEZ-CABALLERO M E, GÓMEZ-GUILLÉN M C, et al. The effect of several cooking treatments on subsequent chilled storage of thawed deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) treated with different melanosis-inhibiting formulas[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(8): 1335-1344. DOI:10.1016/j.lwt.2009.03.025.
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 5009.3—2010 食品中水分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [24] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 5009.5—2010 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 9695.7—2008 肉与肉制品 总脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 5009.4—2010 食品中灰分的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [27] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 5530—2005 动植物油脂 酸值和酸度测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 5538—2005 动植物油脂 过氧化值测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [29] SØRENSEN G, JØRGENSEN S S. A critical examination of some experimental variables in the 2-thiobarbituric acid (TBA) test for lipid oxidation in meat products[J]. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 1996, 202(3): 205-210.
- [30] RAGHAVAN S, HULTIN H O. Model system for testing the efficacy of antioxidants in muscle foods[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(11): 4572-4577.
- [31] FOLCH J, LEES M, SLOANE-STANLEY G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [32] HARTMAN L, LAGO R C. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids[J]. Laboratory Practice, 1973, 22: 475-476.
- [33] ULBRICHT T L V, SOUTHGATE D A T. Coronary heart disease: seven dietary factors[J]. The Lancet, 1991, 338: 985-992.
- [34] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 22220—2008 食品中胆固醇的测定 高效液相色谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [35] SAGUY I S, DANA D. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 56(2): 143-152. DOI:10.1016/S0260-8774(02)00243-1.
- [36] ÜNAL ŞENGÖR G F, ALAKAVUK D Ü, TOSUN Ş Y, et al. The chemical and sensory quality of smoked sturgeon (*Huso huso*): a case study[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2010, 19(3/4): 310-317. DOI:10.1080/10498850.2010.520422.

- [37] BRAGGINS T J. Effect of stress-related changes in sheepmeat ultimate pH on cooked odor and flavor[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1996, 44(8): 2352-2360.
- [38] OZ F, KABAN G, KAYA M. Effects of cooking techniques and levels on the formation of heterocyclic aromatic amines in chicken and fish[J]. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 2010, 9: 1259-1264.
- [39] SANCHEZ-MUNIZ F J, VIEJO J M, MEDINA R. Deep-frying of sardines in different culinary fats. Changes in the fatty acid composition of sardines and frying fats[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1992, 40(11): 2252-2256.
- [40] EL-MONEIM E A, VÁ J D, DOLEŽ M. Oxidative changes of lipids during microwave heating of minced fish flesh in catering[J]. *Czech Journal of Food Sciences*, 2009, 27(Suppl 6): 17-19.
- [41] ARO T, TAHVONEN R, MATTILA T, et al. Effects of season and processing on oil content and fatty acids of baltic herring (*Clupea harengus membras*)[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(12): 6085-6093.
- [42] SAGHIR S, WAGNER K H, ELMADFA I. Lipid oxidation of beef fillets during braising with different cooking oils[J]. *Meat Science*, 2005, 71(3): 440-445. DOI:10.1016/j.meatsci.2005.03.021.
- [43] XU G, SUN J, LIANG Y, et al. Interaction of fatty acids with oxidation of cholesterol and β -sitosterol[J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(1): 162-170. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.06.003.
- [44] BRONCANO J M, PETRÓN M J, PARRA V, et al. Effect of different cooking methods on lipid oxidation and formation of free cholesterol oxidation products (COPs) in *Latissimus dorsi* muscle of Iberian pigs[J]. *Meat Science*, 2009, 83(3): 431-437. DOI:10.1016/j.meatsci.2009.06.021.
- [45] KAYA Y, TURAN H, EMIN ERDEM M. Fatty acid and amino acid composition of raw and hot smoked sturgeon (*Huso huso*, L. 1758)[J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2007, 59(7/8): 635-642.
- [46] ROCHA-GUZMÁN N E, GONZÁLEZ-LAREDO R F, IBARRA-PÉREZ F J, et al. Effect of pressure cooking on the antioxidant activity of extracts from three common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars[J]. *Food Chemistry*, 2007, 100(1): 31-35. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.09.005.
- [47] XU B J, CHANG S K C. Total phenolic content and antioxidant properties of eclipse black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by processing methods[J]. *Journal of Food Science*, 2008, 73(2): H19-H27. DOI:10.1111/j.1750-3841.2007.00625.x.