

江洋,时浩楠,贾才华,等.外裹糊处理对油炸草鱼块的晚期糖基化终末产物的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(4):121-127.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2020.04.017

外裹糊处理对油炸草鱼块的晚期糖基化终末产物的影响

江洋,时浩楠,贾才华,荣建华,熊善柏,刘茹

华中农业大学食品科学技术学院/国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉),武汉 430070

摘要 以草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)为原料,制备油炸时间为0、30、90、120、180、240、300 s的直接油炸草鱼块(deep-fried fish nuggets,DFN)和外裹糊油炸草鱼块(breaded fish nuggets,BFN),对鱼块内外层的晚期糖基化终末产物(AGEs)含量和理化特性进行测定。结果表明:草鱼油炸过程中,水分流失、油脂吸收、美拉德反应和油脂氧化主要发生在鱼块外层。因此,油炸300 s后,DFN和BFN外层的羧甲基赖氨酸(CML)含量分别是内层的5.6和6.4倍。油炸时间延长会加剧鱼块内外层的水分流失和油脂吸收,丙二醛含量则先升高后趋于稳定。长时间加热还会引起鱼块外层的美拉德褐变颜色加深,CML和荧光AGEs含量显著增加。与DFN相比,BFN外层水分含量更低,油脂含量更高,在油炸后期美拉德褐变和荧光AGEs含量加速上升,但外裹糊的使用阻止了蛋白质与高温油脂直接接触,因此,油炸300 s后BFN外层的CML和荧光AGEs含量比DFN外层分别减少了34.6%和20.8%。外裹糊的使用还显著降低了鱼块内层的CML含量,对内层荧光AGEs含量则没有显著影响。以上结果表明,外裹糊的使用以及减少油炸时间均可以降低鱼块内外层的AGEs含量。

关键词 油炸;草鱼块;油炸时间;外裹糊;复合保鲜;油脂氧化;食品安全

中图分类号 TS 254.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2020)04-0121-07

油炸食品加工速度快,品质稳定,具有独特的风味和良好的口感质地,然而油炸食品也会带来一些健康问题,如终产品中油脂含量过高^[1]以及高温油炸过程中产生的一些有害物质。近年来的研究则发现,在一些高蛋白的食品中(例如肉类),晚期糖基化终末产物(advanced glycation end products,AGEs)的含量较高^[2]。而高AGEs饮食已经被证实与心血管疾病、阿兹海默症的发生密切相关^[3]。因此,有必要采取合适的工艺降低油炸肉制品中的AGEs含量,提高食品安全性。

草鱼是我国产量最大的水产品,2018年全国草鱼产量超过550万t^[4]。为了获得更好的产品品质和更高的得率,油炸鱼块时经常会进行裹糊、裹糠处理^[5]。这些处理方式改变了鱼块外层的理化组分,可能会导致AGEs含量和理化性质的差异。但目前还未见研究比较外裹糊的使用对油炸草鱼中AGEs含量和理化特性的影响的报道。

本研究以草鱼为原料,在不同时间下进行油炸,分别制备直接油炸草鱼块(deep-fried fish nuggets,

DFN)和油炸外裹糊草鱼块(breaded fish nuggets,BFN)。对2种方式制备的鱼块内外层AGEs含量和理化性质进行测定,确定油炸时间和外裹糊处理对油炸草鱼块安全性和理化特性的影响及AGEs主要的分布部位,为将来进一步开发健康油炸水产品提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

草鱼购自华中农业大学菜市场,每尾体质量约2.0~2.5 kg;七姊妹牌中筋小麦粉、七姊妹牌玉米淀粉,中原粮油有限公司;低芥酸菜籽油,山东鲁花集团有限公司;面包糠白糠,劲宝食品有限公司;其他辅料均购自中百超市(华农)。

DF-6L电炸炉,广东杰冠有限公司;Saituran2200-气相色谱-质谱联用仪,美国VARIAN有限公司;SE-206索氏提取仪,济南阿尔瓦仪器有限公司;K980凯氏定氮仪,上海析达仪器有限公司;F-4600荧光分光光度计,上海卓好实验室设备有限公司。

收稿日期:2020-03-24

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0901005)

江洋,硕士研究生。研究方向:水产品加工与贮藏。E-mail: 493626417@qq.com

通信作者:刘茹,博士,教授。研究方向:水产品加工与贮藏。E-mail: liuru@mail.hzau.edu.cn

1.2 油炸草鱼块的制备方法

1) 草鱼块的制备。挑选草鱼→去头、去内脏→清洗→切块(4.0 cm×3.0 cm×1.5 cm)→加入质量分数 1% NaCl 溶液、拌匀→4℃腌制 6 h→待油炸/待裹糊鱼块。

2) 外裹糊草鱼块的制备。58 g 中筋小麦粉、40 g 玉米淀粉、1.5 g NaCl 和 0.5 g 泡打粉混合→加入 130 mL 去离子水→搅拌器搅打均匀→冷却 30 min→将鱼块投入裹糊液中→二次裹糊至糊不成胶滴下→裹糠→待油炸鱼块。

3) 油炸草鱼块的制备。根据实验室前期研究,草鱼在 180℃左右进行油炸具有较好的风味,因此,固定油温为 180℃。将油锅预热至(180±2)℃(红外测温枪测定温度),并在此温度下保温 30 min。向油锅中投入 6 块(约 130 g)未裹糊或裹糊草鱼块,分别在油炸 30、90、120、180、240、300 s 时取样,平行制备 6 批次样品,待油炸鱼块冷却至室温后内外层分开,将相同油炸时间的不同批次样品粉碎后混合均匀,存放于-80℃保存备用。

1.3 检测方法

1) 水分、油脂和蛋白质含量的测定。按照 GB 5009.3—2016 中方法利用 105℃加热至恒质量进行水分含量测定;按照 GB 5009.6—2016 中方法利用索氏提取仪对油脂含量进行测定;按照 GB 5009.5—2016 中方法利用凯氏定氮法测定蛋白质含量。

2) 420 nm 吸光值的测定。参考 Kim 等^[6]的方法:准确称取 2 g 样品,加入 20 mL 体积分数 50% 乙醇,均质后冰浴 10 min。4℃下,10 000 r/min 离心 10 min,过滤收集滤液。重复提取 2 次,合并全部滤液并在 420 nm 处测定吸光值。因为美拉德反应的后期产物类黑精素在 420 nm 附近具有较强吸光值,因此可以用此波段的吸光值表征美拉德反应的后期产物^[7]。

3) 丙二醛含量的测定。参考陈林林等^[8]的方法:称取样品 2 g 置入 100 mL 具塞锥形瓶中,加入 50 mL 三氯乙酸混合液,摇匀后加塞密封,置于恒温振荡器上 50℃振摇 30 min,取出后冷却至室温,用双层定性慢速滤纸过滤,弃去初滤液,续滤液备用。准确量取上述滤液 5 mL 分别置于 25 mL 具塞比色管内,另取 5 mL 三氯乙酸混合液作为空白对照,加入 5 mL 硫代巴比妥酸水溶液,加塞,混匀,90℃水浴反应 30 min,取出待冷却至室温,在 532 nm 处测量吸光值。以 1,1,3,3-四乙氧基丙烷标品

稀释液绘制标曲定量丙二醛含量。丙二醛是油脂氧化的稳定二次产物,可以反映油脂氧化的程度^[9]。

4) 羧甲基赖氨酸含量(N^ε-carboxymethyl lysine, CML)的测定。CML 是最主要的 AGEs 之一,常被用作食品中 AGEs 的标志物^[10]。参考 Charissou 等^[11]的方法。称取约 100 mg 粉碎后的样品后使用 3 mL 水-氯仿-甲醇混合液(体积比=0.8:2:1)脱脂,4 000 r/min 离心 15 min,重复脱脂 2 次截留沉淀。向沉淀中加入 400 μL NaBH₄(pH 9.4)和 2 mL 硼酸盐缓冲液,4℃过夜还原。还原后滤去上清液。向沉淀中加入 5 mL 6 mol/L 的盐酸溶液,冲入氮气密闭后 110℃烘箱加热 22 h。取盐酸水解液 500 μL 进行真空干燥,后复溶于 500 μL 蒸馏水中,0.22 μm 滤膜过滤后冷冻干燥。向干燥样品中加入 2 mL 衍生剂(1.46 mL 亚硫酰氯溶于 100 mL 甲醇溶液),110℃反应 30 min 之后 60℃加热至近干。向干燥后的样品中再加入 2 mL 三氯甲烷和 400 μL 三氟乙酸酐,室温下反应 1 h,60℃加热至近干。将样品复溶于 500 μL 二氯甲烷中,-18℃保存,待 GC-MS 检测。GC-MS 条件:离子检测模式,Polarisq 离子阱质量检测器偶联 DB5-MS 毛细柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm);分流注射模式:70℃维持 2 min,5℃/min 升温至 260℃,15℃/min 升温至 290℃,最后保持 5 min;氦气作为载体,1.5 mL/min 流速;70 eV 电子轰击,以 $m/z = 180$ 作为定量离子。

5) 荧光 AGEs 含量的测定。称取 1 g 充分粉碎后的鱼块样品,加入 30 mL 的磷酸盐缓冲液(50 mmol/L, pH 7.4),37℃搅拌 1 h 后 3 000 r/min 离心 5 min,过滤收集滤液并用荧光分光光度计测定其荧光值,每个样品平行测定 3 次。仪器参数:激发波长 345 nm,发射波长 425 nm,狭缝宽度 Ex/Em=5 nm/5 nm,电压 700 V,响应时间 0.5 s。该波段的荧光值可以反映 AGEs 修饰蛋白质的水平,反映荧光 AGEs 的相对含量^[12]。

1.4 数据处理

试验数据以“平均值±标准差”表示,采用 Origin 8.0 软件作图,SAS 8.0 统计软件进行方差分析和显著性分析($P<0.05$ 表示存在显著性差异)。

2 结果与分析

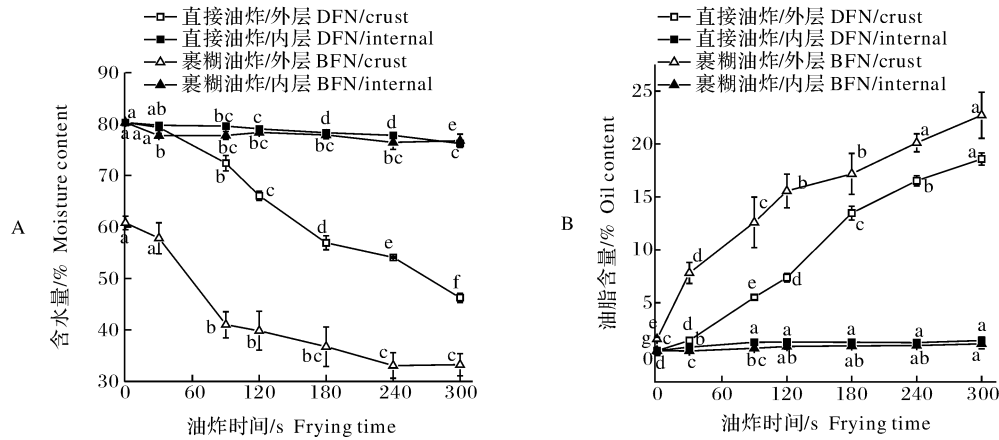
2.1 油炸过程中 DFN 和 BFN 的水分和油脂含量的变化

由图 1 可知,在油炸过程中,DFN 外层的水分

含量迅速下降,油脂含量迅速上升。在油炸 120 s 时,DFN 水分流失了 17.7%,而 BFN 外层水分含量则流失了 34.4%。由于外裹糊的主要成分为淀粉、水分和少量面筋蛋白,与主要成分为蛋白质的鱼肉相比,BFN 初始含水量较低,且外层持水能力较弱,所以油炸初期水分损失更大。而在 120 s 之后,BFN 外层的水分流失减缓,这可能是由于外裹糊中的淀粉在适度加热后发生糊化,此时外裹糊中的水分以不易流失的结合水为主,所以水分含量的下降

趋势减缓。油炸过程中,BFN 外层始终具有更高的油脂含量,因为与鱼肉相比,外裹糊的结构更加粗糙多孔,加速了油脂进入到外壳之中。

在油炸过程中,BFN 和 DFN 内层的水分含量缓慢下降,油脂含量缓慢上升,与鱼块外层相比,其变化速率很小。BFN 和 DFN 内层的水分含量始终非常接近,而 BFN 的油脂含量在数值上略低于 DFN 内层($P \geq 0.05$),可能是因为外裹糊的使用在一定程度上减缓了油脂的渗透。



不同字母表示组内存在显著性差异($P < 0.05$)。下同。Different letters indicate significant differences within groups ($P < 0.05$). The same as below.

图1 油炸过程中 DFN 和 BFN 的水分(A)和油脂(B)含量的变化

Fig.1 Moisture(A) and oil(B) content of DFN and BFN during frying

2.2 油炸过程中 DFN 和 BFN 的蛋白质含量的变化

由图 2 可知,DFN 外层的蛋白质含量远远高于 BFN,因为鱼肉的主要成分为蛋白质和水分,而外裹糊中仅含有少量的面筋蛋白,所以在未油炸时 DFN 外层的蛋白质含量就达到(16.1 ± 0.7)%,而

BFN 外层仅为(2.66 ± 0.04)%。随着油炸时间延长,DFN 和 BFN 外层的蛋白质含量均显著增加($P < 0.05$),是因为油炸过程中水分流失、鱼块总质量减少,导致蛋白质相对含量增高。

对于鱼块内层来说,DFN 和 BFN 的蛋白质含量在加热过程中均没有显著变化($P \geq 0.05$),是因为油炸过程中鱼块内层的水分含量变化较小。

2.3 油炸过程中 DFN 和 BFN 在 420 nm 吸光值的变化

由图 3 可知,鱼块内层温度较低($< 90^\circ\text{C}$)而未产生类黑素,所以图 3 中没有显示鱼块内层的 $A_{420\text{ nm}}$ 值。随着油炸时间延长,DFN 和 BFN 的 $A_{420\text{ nm}}$ 值均显著增加,表明美拉德反应程度随油炸时间延长而加深。在 120 s 前,BFN 外层的 $A_{420\text{ nm}}$ 值高于 DFN,表明 BFN 外层的美拉德反应程度更高,但两者差值并不大。油炸 300 s 时,BFN 外层的 $A_{420\text{ nm}}$ 值是 120 s 时的 2.98 倍,而 DFN 外层的 $A_{420\text{ nm}}$ 值为 120 s 的 1.49 倍,这表明油炸 120 s 后 BFN 外层美拉德反应加速进行,可能与淀粉糊化导致自由水的减少有关。

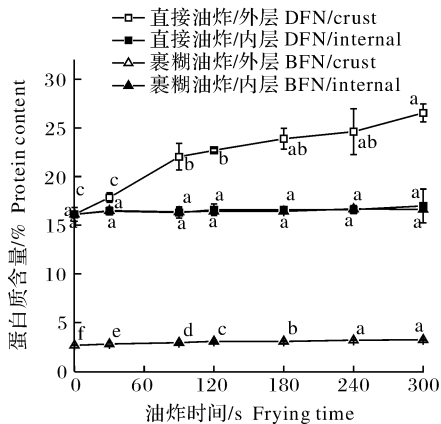


图2 油炸过程中 DFN 和 BFN 蛋白质含量的变化

Fig.2 Protein content of DFN and BFN during frying

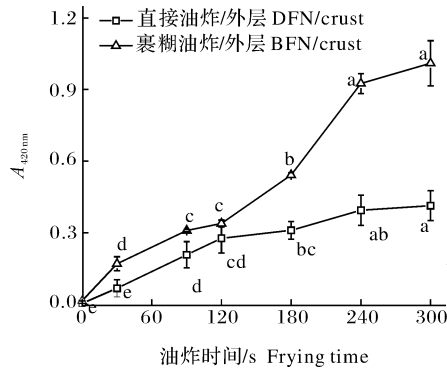


图 3 油炸过程中 DFN 和 BFN 在 420 nm 吸光值的变化

Fig.3 Absorbance at 420 nm of DFN and BFN during frying

2.4 油炸过程中 DFN 和 BFN 的丙二醛含量的变化

由图 4 可知,随着油炸的进行,DFN 和 BFN 外层的丙二醛含量均先上升后趋于稳定,且两者的变化趋势类似。原因是由于鱼肉和外裹糊自身的油脂含量很低,鱼块中丙二醛的增加均主要来源于煎炸油。在 180 s 后二者的丙二醛含量不再显著增加 ($P \geq 0.05$),表明其可能达到了生成和消减平衡。

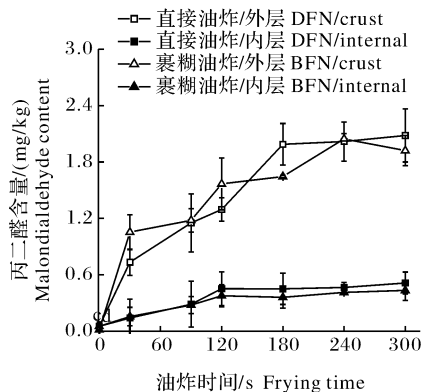


图 4 油炸过程中 DFN 和 BFN 的丙二醛含量的变化

Fig.4 Malondialdehyde content of DFN and BFN during frying

鱼块内层的丙二醛含量远远低于外层,是由于鱼块内部的油脂含量较低,并且内层较低的温度也不利于油脂氧化的发生。DFN 和 BFN 内层的丙二醛含量均先增加很快趋于稳定,这可能是因为鱼块内层蛋白质含量很高而丙二醛含量较低。DFN 和 BFN 内层丙二醛含量之间则没有明显差异 ($P > 0.05$)。

2.5 油炸过程中 DFN 和 BFN 的 CML 含量的变化

由图 5 可知,随着油炸时间的延长,DFN 和 BFN 外层的 CML 含量都呈显著上升趋势 ($P <$

0.05)。在整个油炸过程中,DFN 外层的 CML 含量一直高于 BFN。尽管 BFN 的美拉德褐变程度更高 (图 3),但其外层中蛋白质含量较低(约为 DFN 外层的 1/8)(图 2),限制了 BFN 中 CML 的生成量。

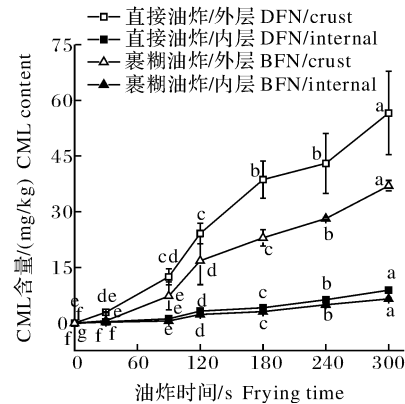


图 5 油炸过程中 DFN 和 BFN 的 CML 含量的变化

Fig.5 CML content of DFN and BFN during frying

对鱼块内层来说,CML 含量也随油炸时间的延长而增加,但增加速度明显低于外层,油炸 300 s 时内层 CML 含量只有外层的 15.7% (DFN) 和 17.7% (BFN),可能是因为鱼块内层的温度较低且油脂含量低,油脂氧化程度(丙二醛含量)和美拉德反应程度均处于较低水平。油炸 300 s 时,BFN 内层 CML 含量为 (6.54 ± 0.28) mg/kg,显著低于 DFN 内层的 (8.87 ± 0.13) mg/kg,可能是因为外裹糊的使用增加了鱼块厚度,降低了鱼块内部温度、油脂含量 (图 1) 和丙二醛含量 (图 4)。

2.6 油炸过程中 DFN 和 BFN 的荧光 AGEs 含量的变化

由图 6 可知,在 30~120 s,BFN 外层的荧光 AGEs 含量没有显著性增加 ($P \geq 0.05$),这可能是因为 BFN 外层蛋白质含量较少,且在此阶段美拉德反应程度较弱,导致荧光 AGEs 变化缓慢。在 120 s 之后,BFN 外层的荧光 AGEs 含量开始迅速上升,这与 $A_{420\text{ nm}}$ 值的变化趋势是一致的 (图 3),表明此时荧光 AGEs 的升高是美拉德反应加速进行的结果。对 DFN 外层来说,其荧光 AGEs 含量与 CML 含量呈现类似的变化趋势,表明在蛋白质充足的情况下,AGEs 含量会随着油炸时间的延长不断升高。由于 DFN 外层具有更多的蛋白质供 AGEs 修饰,导致其在 90 s 之后一直具有高于 BFN 的荧光 AGEs 含量。对于内层来说,加热过程中 DFN 和

BFN 的荧光 AGEs 含量无显著变化($P>0.05$),且两者含量非常接近,这可能是因为 DFN 和 BFN 内层具有接近的温度和化学组分。

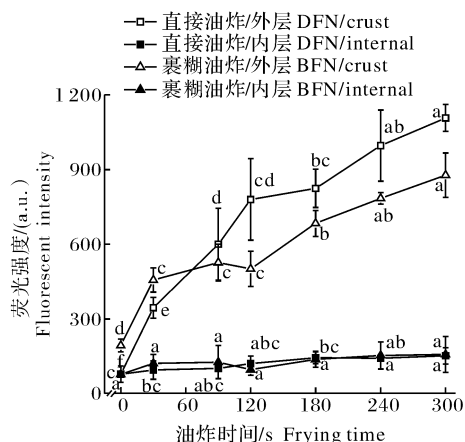


图6 油炸过程中 DFN 和 BFN 的荧光 AGEs 含量的变化

Fig.6 Fluorescent AGEs content of DFN and BFN during frying

3 讨论

在油炸过程中,鱼块内外层的 CML 含量和外层的荧光 AGEs 含量一直在增加,可能是因为鱼块表面温度升高,在高温下油脂加速氧化,为美拉德反应提供了更多的羰基供体,升高的温度和羰基化合物含量导致了美拉德反应增强^[13]。油炸鱼块外层 $A_{420\text{ nm}}$ 值和丙二醛含量的迅速上升也验证了这一分析。在油炸过程中,水分含量降低、油脂含量增加,也会促进 AGEs 的产生,是由于美拉德反应在较低的水分含量下反应更迅速,这仅在水分含量非常低时出现例外(如某些干制食品)^[14]。水分的蒸发还会导致油脂在蒸汽压差的作用下被吸入鱼块中^[15],增加油脂中羰基化合物与蛋白质反应的概率。因此,应当严格控制油炸时间以避免 AGEs 持续的上升。而在相同油炸时间下,鱼块外层组分可能是影响 AGEs 含量最重要的因素。据报道,随着食品组分的变化,美拉德反应可能会形成 3 种羰基化合物,其中只有 α -二羰基化合物与蛋白质的反应导致 AGEs 的形成^[16]。因此,对 AGEs 的控制不能只是抑制美拉德反应,应当采取措施避免美拉德反应中 α -二羰基化合物的产生及其与蛋白质的反应。例如多酚、黄酮类物质已经在模拟体系中显示出对 α -二羰基化合物的抑制作用,将来有望运用到油炸草鱼中^[17]。油脂氧化产生的 α -二羰基化合物也会促进

AGEs 形成,所以高油脂高蛋白食品通常具有较高的 AGEs 含量^[18]。本试验中尽管 BFN 外层油脂含量较高,但外裹糊阻止了蛋白质与高温油脂直接接触,从而降低了 AGEs 含量。油脂氧化产物与蛋白质的反应程度可以通过丙二醛含量的变化来间接表征。草鱼自身油脂含量很低,无论裹糊与否,鱼块吸收的油脂主要源于煎炸油。因此,在相同的油炸时间下,鱼块中丙二醛含量主要与吸收的油脂含量相关。因为丙二醛是一类 β -二羰基化合物,具有较高的反应活性,与 α -二羰基化合物类似,丙二醛在高温下可以与蛋白质侧链发生反应引起蛋白交联和氧化修饰^[19]。在油炸过程中,丙二醛被吸收增加的同时,与蛋白质反应而被消耗,导致丙二醛含量趋于稳定。研究显示,由于高温下丙二醛与蛋白质的反应,油炸食品常常具有比温和加热食品(如蒸、煮食品)更低的丙二醛含量^[7,20],这与本试验观察到的丙二醛被消减而趋于稳定的现象是一致的。这一产生与消减平衡的存在提示羰基化合物与蛋白质反应可能是蛋白质修饰产物如 AGEs 的重要来源。鱼块内外层 AGEs 含量也有很大差异,油炸 300 s 后,DFN 和 BFN 外层 CML 含量分别是内层的 5.6 倍和 6.4 倍,而 BFN 内层的 CML 含量则为 DFN 的 73.6%。尽管鱼块内层 AGEs 含量很低,但鱼块内层占整个鱼块的质量比例较高,因此,使用外裹糊处理鱼块来降低内层的 AGEs 含量也是有必要的。

综上所述,外裹糊阻止了鱼肉蛋白质与高温油脂的直接接触,显著降低了鱼块内外层的 AGEs 含量,但是使用外裹糊可能带来油脂含量高和美拉德褐变严重等问题。此外,避免长时间油炸、减少油炸鱼块外壳的食用都可以减少 AGEs 的摄入风险。

参考文献 References

- [1] 秦瑞珂,刘曼曼,熊善柏,等.油炸风味鱼浆猪肉复合香肠的配方优化[J].华中农业大学学报,2019,38(6):33-40. QIN R K, LIU M M, XIONG S B et al. Formula optimization of fish paste-pork composite sausage with frying flavor[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2019, 38(6): 33-40 (in Chinese with English abstract).
- [2] URIBARRI J, WOODRUFF S, GOODMAN S, et al. Advanced glycation end products in foods and a practical guide to their

- reduction in the diet[J]. Journal of the American Dietetic Association, 2010, 110(6): 911-916.
- [3] POULSEN M W, HEDEGAARD R V, ANDERSEN J M, et al. Advanced glycation end products in food and their effects on health[J]. Food and chemical toxicology, 2013, 60: 10-37.
- [4] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019. Fishery and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs. China fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2019(in Chinese).
- [5] OZEN E, SINGH R K. Quality of breaded and nonbreaded chicken nuggets baked in a radiant wall oven[J/OL]. Journal of food process engineering, 2019, 42(6): e13147[2020-03-24]. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13147>.
- [6] KIM J S, LEE Y S. Characteristics and antioxidant activity of Maillard reaction products from fructose-glycine oligomer[J]. Food science and biotechnology, 2010, 19(4): 929-940.
- [7] TAVARES W P S, DONG S, JIN W, et al. Effect of different cooking conditions on the profiles of Maillard reaction products and nutrient composition of hairtail (*Thichiurus lepturus*) filets[J]. Food research international, 2018, 103: 390-397.
- [8] 陈林林, 李伟, 张伟. 响应面法优化鲤鱼鱼糜复合保鲜工艺[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 307-312. CHEN L L, LI W, ZHANG W. Optimization of the compound preservative technology for carp surimi by response surface method[J]. Science and technology of food industry, 2017, 38(2): 307-312 (in Chinese with English abstract).
- [9] PANTAZI D, PAPAVERGOU A, POURNIS N, et al. Shelf-life of chilled fresh Mediterranean swordfish (*Xiphias gladius*) stored under various packaging conditions: microbiological, biochemical and sensory attributes[J]. Food microbiology, 2008, 25(1): 136-143.
- [10] 郑文华, 许旭. 美拉德反应研究进展[J]. 化学进展, 2005, 17(1): 122-129. ZHENG W H, XU X. Research progress on Maillard reaction[J]. Progress in chemistry, 2005, 17(1): 122-129 (in Chinese with English abstract).
- [11] CHARISSOU A, AIT-AMEUR L, BIRLOUEZ-ARAGON I. Evaluation of a gas chromatography/mass spectrometry method for the quantification of carboxymethyl lysine in food samples[J]. Journal of chromatography A, 2007, 1140(1/2): 189-194.
- [12] MATIACEVICH S B, SANTAGAPITA P R, BUERA M P. Fluorescence from the Maillard reaction and its potential applications in food science[J]. Critical reviews in food science and nutrition, 2005, 45(6): 483-495.
- [13] 吴惠玲, 王志强, 韩春, 等. 影响美拉德反应的几种因素研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(5): 441-444. WU H L, WANG Z Q, HAN C et al. Factors affecting the Maillard reaction[J]. Modern food science and technology, 2010, 26(5): 441-444 (in Chinese with English abstract).
- [14] 付莉, 李铁刚. 简述美拉德反应[J]. 食品科技, 2006, 31(12): 9-11. FU L, LI T G. Reviews on Maillard reaction[J]. Food science and technology, 2006, 31(12): 9-11 (in Chinese with English abstract).
- [15] SHAN J, CHEN J, XIE D, et al. Effect of xanthan gum/soybean fiber ratio in the batter on oil absorption and quality attributes of fried breaded fish nuggets[J]. Journal of food science, 2018, 83(7): 1832-1838.
- [16] YAYLAYAN V A, HAFFENDEN L, CHU F L, et al. Oxidative pyrolysis and postpyrolytic derivatization techniques for the total analysis of Maillard model systems: investigation of control parameters of Maillard reaction pathways[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2005, 1043(1): 41-54.
- [17] KHALIFA I, XIA D, DUTTA K, et al. Mulberry anthocyanins exert anti-AGEs effects by selectively trapping glyoxal and structural-dependently blocking the lysyl residues of β -lactoglobulins[J/OL]. Bioorganic chemistry, 2020, 96: 103615 [2020-03-24]. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2020.103615>.
- [18] GOLDBERG T, CAI W, PEPPA M, et al. Advanced glycoxidation end products in commonly consumed foods[J]. Journal of the American Dietetic Association, 2004, 104(8): 1287-1291.
- [19] ADAMS A, DE KIMPE N, VAN BOEKEL M A J S. Modification of casein by the lipid oxidation product malondialdehyde[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2008, 56(5): 1713-1719.
- [20] HU L, REN S, SHEN Q, et al. Proteomic study of the effect of different cooking methods on protein oxidation in fish fillets[J]. RSC advances, 2017, 7(44): 27496-27505.

Effect of batter treatment on the formation of advanced glycation end products of fried grass carp

JIANG Yang, SHI Haonan, JIA Caihua, RONG Jianhua, XIONG Shanbai, LIU Ru

*College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University/
National R&D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing (Wuhan),
Wuhan 430070, China*

Abstract Deep-frying is one of the traditional method of food processing with multiple advantages. However there are some safety hazard factors in deep-fired food which recently received many attentions. Advanced glycation end products (AGEs) is one of the main harmful compounds in deep-fried food which leads to human aging and insulin secretion defects. N^ε-carboxymethyllysine (CML) and fluorescent AGEs are usually used as the marker of AGEs. Grass carp is the largest freshwater fish in China. A large number of grass carp is processed using deep-frying every year. Therefore it is necessary to study the level of CML and fluorescent AGEs in deep-fried grass carp and to find effective methods to reduce the content. The purpose of the study was to investigate the effects of frying time and batter on the content and distribution of AGEs in deep-fried fish nuggets and to develop processing method to reduce the safety concerns. In this study deep-fried fish nuggets (DFN) and breaded fish nuggets (BFN) were prepared using grass carp for 0, 30, 90, 120, 180, 240 and 300 s. The AGEs content and physicochemical properties of the crust and internal of the fried fish were measured. The results showed that water loss, oil absorption, Maillard reaction and oil oxidation mainly occurred on the fish crust during frying. Therefore the CML content in the fish crust of DFN and BFN was 5.6 and 6.4 times that of the interior, respectively. Extending frying time resulted in higher water loss and oil absorption in both the fish crust and interior while the malondialdehyde content firstly increased and then became stable. Extending frying time could also promote Maillard reaction in the fish crust and significantly increased the content of CML and fluorescent AGEs. Compared with DFN, the BFN crust had lower moisture content and higher fat content. The Maillard reaction and fluorescent AGEs content rapidly increased during the late frying period but the use of the batter prevented the protein from directly contacting the high-temperature oil and thus the CML and fluorescent AGEs content in BFN crust were significantly reduced by 34.6% and 20.8% compared with DFN at 300 s. The use of the batter also significantly reduced the CML content in the interior of fish but had no significant effect on the fluorescent AGEs content. In conclusion the use of the batter and reducing the frying time could reduce the AGEs content in the fish crust and interior. The study provided basic information for the development of the healthy aquatic food.

Keywords frying; grass carp nugget; frying time; batter treatment; complex preservation; oil oxidation; food safety

(责任编辑:赵琳琳)