

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.032473

引用格式:蔡丽君,郑尧,郭全友,等.油炸工艺参数对即食泥鳅品质的影响[J].食品与发酵工业,2022,48(19):153-161. CAI Lijun, ZHENG Yao, GUO Quanyou, et al. Effect of frying process parameters on the quality of ready-to-eat loach[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(19): 153-161.

油炸工艺参数对即食泥鳅品质的影响

蔡丽君¹, 郑尧¹, 郭全友^{1*}, 杨絮¹, 王海华^{2,3,4*}, 马本贺^{2,3,4}

1(中国水产科学研究院东海水产研究所,上海,200082)2(江西省水产科学研究所,江西 南昌,330039)

3(农业农村部湖泊渔业资源环境科学观测实验站,江西 南昌,330039)

4(南昌市特种水产繁育与健康养殖重点实验室,江西 南昌,330039)

摘要 为探究泥鳅在油炸过程中品质变化规律,以台湾泥鳅为原料,分析即食泥鳅油炸环节中时间、温度和煎炸油品种等关键因子,对其感官评分、理化指标、色差、水分分布及质构等品质特性的影响,并探究其指标间的相关性。结果表明,随油炸时间延长及油炸温度升高,即食泥鳅的感官总分均呈先上升后下降的趋势,分别在150 s(90.84±2.13)和180℃(92.07±0.90)时得分最高。不同的油炸时间、油炸温度及煎炸油品种所炸制的即食泥鳅的水分含量与含油率、硬度与弹性均呈负相关,自由水向结合水方向移动, b^* 值增大。当用180℃调和油炸150 s时,即食泥鳅品质最佳。根据 Pearson 相关性分析,感官总分能有效评价即食泥鳅品质特性。

关键词 即食泥鳅;油炸时间;油炸温度;煎炸油品种;油炸工艺参数

泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus* ssp. Taiwan)作为高蛋白低脂肪的淡水鱼,富含优质蛋白及多不饱和脂肪酸,素有“水中人参”的美誉,广受消费者青睐^[1]。目前,泥鳅以鲜活流通和销售为主,随着人们生活节奏的加快及消费需求的提高,研发出即食泥鳅、泥鳅粉、泥鳅汤、泥鳅酱和熏泥鳅等多元产品,可占据一定的市场空间。其中,即食泥鳅具有食用便利、流通方便等优点,成为最主要的市售泥鳅加工形式。

即食泥鳅通常经预处理、腌制、烘干、油炸、调味和杀菌等工序制作而成^[1]。泥鳅的品种以及腌制、油炸等关键环节,均对产品品质和保质期产生影响。台湾泥鳅肥满度大、含肉率高、价格低廉,常作为精深加工的原料^[2]。泥鳅腌制多采用盐、料酒等材料去腥^[3]。油炸对产品的颜色、口感和独特风味等起决定作用^[3-4]。同时,基于消费市场和产业调研,市售即食泥鳅中均以油炸形式为主,由于油炸时间^[5]、油炸温度^[6]与煎炸油品种^[7]等均对产品口感、色泽等食用品质产生影响,其品质变化与食品在油炸过程中的水分含量损失和含油率增加密切相关。陈康明^[8]研究发现在180℃煎炸180 s的条件下,公干鱼的水分含量达24.0%,且其色差值、硬度、咀嚼性等在此条件下最佳。

食用品质与产品的保水能力、色泽及质地等密切

相关。油炸使鲭鱼的水分含量降低至30.0%~55.0%,含油率升高10.0%以上, b^* 值上升(10.0~25.0)^[9];随油炸时间延长以及温度升高,油炸鹅肉损失率越高(出品率越低)且 b^* 增加(40.0~65.0, 7.0~13.0),硬度、咀嚼性增大^[10]。因此,常通过改变油炸工艺参数来提升产品品质,目前,尚未对油炸时间、油炸温度与煎炸油品种等关键参数进行系统研究。

本研究以台湾泥鳅为对象,经去头去内脏、腌制、干制等步骤后,探究油炸时间(60、90、120、150、180 s)、油炸温度(160、170、180、190、200℃)和煎炸油品种(大豆油、花生油、葵花籽油、菜籽油、调和油)等关键因素,对理化指标、色差、质构等食用品质的影响,并采用 Pearson 探究指标间的相关性分析,旨在为即食泥鳅的油炸工艺优化和品质提升提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

鲜活池塘台湾泥鳅(21.00±1.41)g,购自上海市宝山吴淞物流园区,于2021年8月23日运到实验室,去头去内脏后,洗净备用。食用盐、保鲜膜、老姜、料酒、花生油、大豆油、调和油、葵花籽油、菜籽油、吸油纸、锡纸,均购于上海大润发超市;无水乙醚、三氯

第一作者:硕士研究生(郭全友研究员和王海华研究员为共同通信作者,E-mail:dhsguoqy@163.com; haihuawang998@sina.com.cn)

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0901704);中国水产科学研究院基本科研业务费项目(2020TD68)

收稿日期:2022-05-27,改回日期:2022-06-09

乙酸、2-硫代巴比妥酸、1,1,3,3 四乙氧基丙烷,均购自国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

PH-070A 干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司; T3-321C Midea 电烤箱,美的集团有限公司; WJ-800G 油炸锅,福建省莆田市城厢区峰之行百货商行; SZC-D 脂肪测定仪,上海纤检仪器有限公司; Novasina 水分活度仪,上海胤旭机电设备股份有限公司; PQ001-20-25V 低场核磁共振仪,苏州纽迈分析仪器股份有限公司; CR-400 色差仪,柯尼卡美能达(中国)投资有限公司; TMS-PRO 美国 FTC 质构仪,北京盈盛恒泰科技有限责任公司。

1.3 实验方法

1.3.1 即食油炸泥鳅的制备

1.3.1.1 工艺流程

泥鳅去头去内脏→腌制→烘制→烤制→油炸→冷却→品质评价

1.3.1.2 操作要点

(1) 预处理:将鲜活台湾泥鳅放入冰水混合物(质量比 3:1,0~4℃)中,致晕,约 15 min 后取出,将其去头去内脏,用清水漂洗 3 次,沥水。共 17 批,340 条。

(2) 腌制:以 20 条为 1 个批次,4℃干腌 2 h(盐质量分数为 0.6%、姜 4%、料酒 4%)后沥水。

(3) 烘制:将腌制后泥鳅放入 80℃烘箱 1 h(每 30 min 翻面)。

(4) 烤制:将烘制后泥鳅放入 80℃烤箱 1 h(每 30 min 翻面),拿出冷却至室温(约 30 min),备用。以上所得产品作为油炸前的对照组(80℃、0 s)。

(5) 油炸:将烤制后泥鳅肉投入 3 L 油炸锅中于 160~200℃下油炸 60~180 s,炸制泥鳅呈淡黄色。预热煎炸油时间约 8~10 min,每次泥鳅与油的比例约为 1:100(g:mL),累计使用时长约 1 h,确保煎炸油品质不劣变^[11]。

1.3.1.3 油炸环节的单因素试验

(1) 基于油炸温度(180℃)、煎炸油品种(调和油)条件不变,分别在 60、90、120、150、180 s 时捞出。

(2) 基于油炸时间(150 s)、煎炸油品种(调和油)条件不变,改变油炸温度 160、170、180、190、200℃。

(3) 将制备好的泥鳅分别放入 180℃的葵花籽油、菜籽油、花生油、调和油、大豆油的煎炸油中油炸 150 s 后捞出。以上步骤均用吸油纸包裹,冷却至室温后,待测。

1.3.2 感官评分

选取 12 名评定人员,其中 6 名男生,6 名女生,年龄均为 23~29 岁食品学院研究生,进行即食油炸泥鳅感官评分专门的培训。感官评分标准见表 1,按照外观、气味、滋味、口感分别占 0.20、0.25、0.30、0.25 的权重计算分值,共 100 分。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory scoring standard

项目	评分标准	分值
外观 (20)	表面干湿适宜,不粗糙无破损,黄褐色且发亮	16~20
	表面偏干或偏湿,轻微粗糙,轻微破损,黄褐色不发亮	12~15
	表面偏干或偏湿,粗糙,有破损,稍发黄且焦黑	9~11
	较黏或较干,表面发皱,较多破损,焦黑或暗灰色	5~8
气味 (25)	很黏或很干,表面发皱,严重破损,焦黑或暗灰色	1~4
	油炸香气浓郁,无焦味、腥味和哈喇味	21~25
	香气较为浓郁,有点焦味,略有腥味和哈喇味	15~20
	香气一般,有点焦味,有点腥味和哈喇味	9~14
滋味 (30)	香气不明显,焦味,腥味和哈喇味较重	5~8
	无香气,明显焦味,腥味和哈喇味严重	1~4
	无腥味,鲜味足、富有肉感,甜咸辣适中	25~30
	略有腥味,较鲜,肉感较好,甜咸辣度较好	18~24
口感 (25)	略有腥味,略有鲜味,肉感一般,甜咸辣可接受	13~17
	腥味较大,鲜度不足,肉感较差,甜咸辣不可接受	8~12
	腥味大,无鲜味,无肉感,甜咸辣不可接受	1~7
	肉质紧密,弹性好	21~25
品质评价	肉质较紧密,弹性较好	15~20
	肉质、弹性一般	9~14
	肉质较松散,弹性较差	5~8
	肉质松散,弹性差	1~4

1.3.3 理化指标

1.3.3.1 水分含量

根据 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》,将样品放入 105℃烘箱烘干至恒重(直接干燥法)。

1.3.3.2 出品率

参考陈康明^[8]的方法并略有改动,取适量泥鳅放入油炸锅油炸,沥干并用吸油纸进一步吸干油分,冷却至室温后称重(精确度到 0.1 g)。出品率计算如公式(1)所示:

$$Y/\% = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (1)$$

式中:Y,出品率,%; m_1 ,油炸后产品质量,g; m_2 ,油炸前样品质量,g。

1.3.3.3 含油率

根据 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中索氏抽提法进行测量。

1.3.3.4 水分活度

参照 GB 5009.238—2016《食品安全国家标准

食品中水分活度的测定》中水分活度仪扩散法测定食品中的水分活度。

1.3.4 色差

用色差计测定色差值, L^* 为亮度值; a^* 是红绿值; b^* 是黄蓝值。

1.3.5 水分分布

将即食油炸泥鳅剪切成质量一致的小块,放入专用测定管(外径为 2.5 cm)中,样品称重后放入射频线圈中心,脉冲序列参数如下:前方挡位为 1,等待时间 4 800 ms,回波时间 0.2 ms,回波个数 5 700,采样频率 200 kHz,射频时间为 0.002 ms,累计次数为 16,主频为 22 MHz,频率偏置为 72 079.40 Hz,90°脉宽为 6.6 μ s,180°脉宽为 13.04 μ s,模拟增益为 20 dB,数字增益为 3,扫描次数为 8 次。通过 SIRT 反演,选择滤波档位 2,迭代 100 万次,得到不同状态水分的顶峰弛豫时间(T_{21} 、 T_{22} 、 T_{23})及峰面积比例(P_{21} 、 P_{22} 、 P_{23})。

1.3.6 质构

参考蔡丽君等^[2]的方法,沿即食油炸泥鳅脊柱剪取 10 mm × 7 mm × 4 mm 背部肌肉(中部),进行质构剖面分析(texture profile analysis, TPA)模式下的挤

压试验:测试速度 30 mm/min,50%形变量,回程距离 30 mm。

1.4 数据处理

数据由 SPSS 22.0 统计软件进行统计学分析(平均数 ± 标准差)和相关性分析(Pearson),采用单因素方差分析(One-way ANOVA)和 Duncan's 多重比较检验进行显著性评价($P < 0.05$)。采用 Origin 2021 作图。

2 结果与讨论

2.1 感官评分

产品的感官特性是决定产品是否被消费者接受的首要因素,其中主要通过气味、色泽和口感来影响其品质^[12-13]。由图 1-a 所示,随油炸时间的延长,即食泥鳅感官总分呈先上升后下降的趋势,其中 150 s 时的感官总分最高,达(90.84 ± 2.13),其次是 120 s 和 180 s,说明 150 s 油炸出的即食泥鳅,更易被消费者接受;如图 1-b 所示,油炸 150 s 时的外观、气味、滋味、口感等得分最高,分别为(18.20 ± 0.40)、(22.16 ± 0.90)、(28.03 ± 0.90)、(22.45 ± 0.61),且与其他油炸时间具有显著差异($P < 0.05$)。

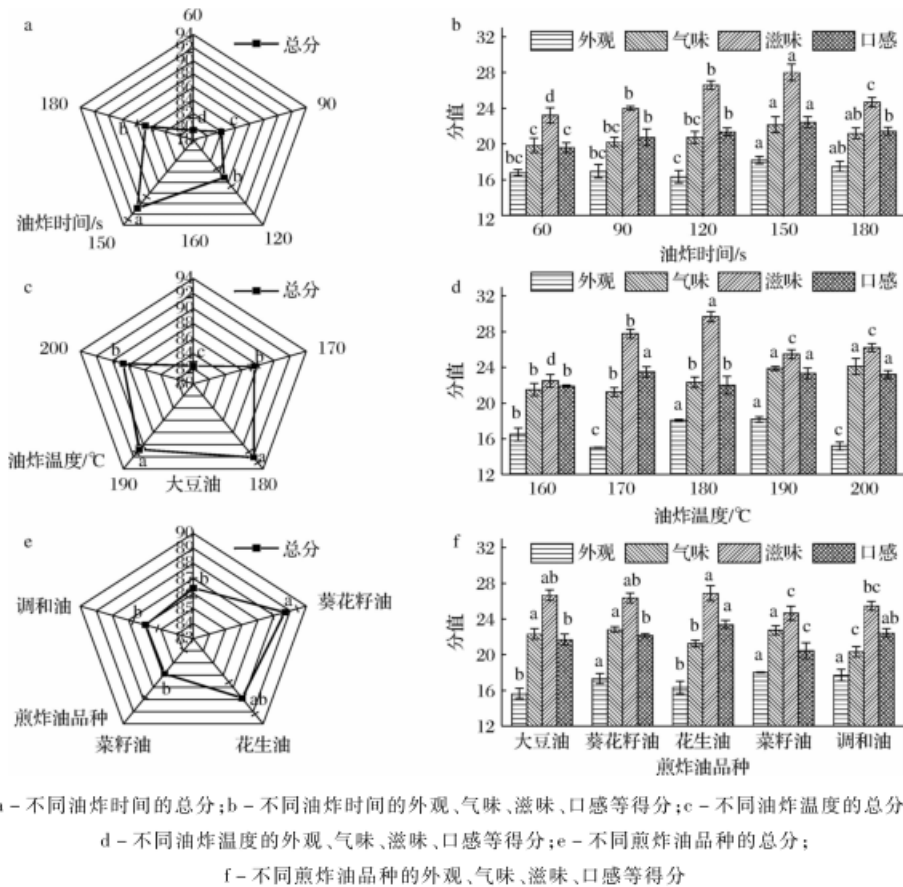


图 1 油炸时间、油炸温度及煎炸油品种对即食泥鳅感官评分的影响

Fig. 1 Effect of frying time, frying temperature and oil types on sensory evaluation of ready-to-eat loach

由图 1-c 所示,随着即食泥鳅随油炸温度的升高,感官总分呈先上升后下降的趋势。180 °C 油炸的感官总分最高(92.07 ± 0.90),与 190 °C 时无显著差异($P > 0.05$)。由图 1-d 所示,180 °C 时的滋味分值最高(29.67 ± 0.58),其次是 170 °C 和 190 °C,且 180 °C 时的外观分值与 190 °C 无显著差异($P > 0.05$)。以上说明,即食泥鳅最佳油炸条件具有一定范围,时间过长、过短或温度过高、过低均会导致其感官得分降低。即食泥鳅的最佳油炸条件为油炸时间(150 s)和油炸温度(180 °C),与油炸鲭鱼(170 °C, 2 min)^[9]及油炸牡蛎^[14](175 °C, 1.0 ~ 2.0 min)略有不同,表明原料的不同导致最佳油炸温度和时间具有差异。

由图 1-e 所示,采用葵花籽油、花生油炸制即食泥鳅的总分显著高于其他品种($P < 0.05$)。由图 1-f 所示,采用花生油炸制即食泥鳅的滋味得分最高(26.88 ± 0.85),与葵花籽油和大豆油之间无显著差异($P > 0.05$),说明不同煎炸油品种炸制即食泥鳅的感官得分差异较小。此外,不同油炸温度所炸制即食泥鳅的感官总分浮动范围最大(1.0 ~ 11.0),其次为油炸时间(0.7 ~ 10.0)、煎炸油品种(0.1 ~ 4.5),可能是因为油炸温度间隔较高(以 10 °C 为单位增长),而油炸时间间隔较短(以 30 s 为单位增长),造成油炸温度所炸制产品的感官总分比油炸时间差异略大;且与油炸温度和油炸时间相比,不同煎炸油品种所炸制即食泥鳅的感官总分浮动范围较小。综上所述,从感官评分上看,油炸时间、油炸温度和煎炸油品种分别选择 150 s、180 °C 和葵花籽油为宜。

表 2 油炸时间、油炸温度及煎炸油品种对即食油炸泥鳅理化指标的影响

Table 2 Effect of frying time, frying temperature and oil types on physicochemical indexes of ready-to-eat loach

类别	样品	出品率/%	水分含量/%	含油率/%	水分活度
对照组	0 s, 80 °C	62.15 ± 1.25 ^a	52.33 ± 0.41 ^a	8.35 ± 0.06 ^f	0.98 ± 0.00 ^a
油炸时间/s	60	59.06 ± 1.44 ^{abc}	49.03 ± 0.18 ^b	10.11 ± 0.27 ^c	0.97 ± 0.01 ^{ab}
	90	56.96 ± 1.07 ^{bcd}	45.07 ± 0.07 ^d	13.22 ± 0.36 ^d	0.95 ± 0.01 ^{cd}
	120	55.56 ± 2.40 ^{cdef}	44.63 ± 1.14 ^{de}	10.38 ± 0.07 ^c	0.96 ± 0.00 ^{bcd}
	150	52.81 ± 1.31 ^{fg}	41.53 ± 0.17 ^f	13.67 ± 0.25 ^d	0.94 ± 0.01 ^d
	180	53.14 ± 0.82 ^{gh}	41.31 ± 0.27 ^f	13.44 ± 0.36 ^d	0.94 ± 0.01 ^d
油炸温度/°C	160	60.24 ± 2.17 ^{ab}	47.46 ± 0.52 ^c	13.56 ± 0.19 ^{cd}	0.96 ± 0.01 ^{abc}
	170	57.32 ± 3.34 ^{bcd}	43.75 ± 0.07 ^e	16.52 ± 1.16 ^b	0.95 ± 0.01 ^{bcd}
	180	56.69 ± 2.50 ^{cde}	39.66 ± 0.56 ^{gh}	16.18 ± 0.23 ^b	0.95 ± 0.01 ^{bcd}
	190	55.02 ± 0.24 ^{def}	39.13 ± 0.26 ^h	15.85 ± 0.28 ^b	0.94 ± 0.01 ^d
	200	52.74 ± 0.01 ^{fg}	37.27 ± 0.71 ⁱ	16.31 ± 0.01 ^b	0.94 ± 0.00 ^d
煎炸油品种	大豆油	48.01 ± 1.16 ^h	37.56 ± 0.52 ⁱ	16.69 ± 0.16 ^b	0.95 ± 0.00 ^{cd}
	葵花籽油	50.45 ± 0.11 ^{gh}	40.60 ± 0.33 ^{fg}	16.66 ± 0.24 ^b	0.97 ± 0.00 ^{ab}
	花生油	50.29 ± 1.00 ^{gh}	34.75 ± 0.41 ^j	22.14 ± 0.37 ^a	0.95 ± 0.00 ^{bcd}
	菜籽油	52.81 ± 2.10 ^{fg}	37.71 ± 0.94 ⁱ	13.42 ± 0.08 ^{cd}	0.95 ± 0.01 ^{cd}
	调和油	56.48 ± 0.37 ^{cde}	41.16 ± 1.09 ^f	14.38 ± 0.70 ^c	0.95 ± 0.00 ^{bcd}

注:同列数据上标不同小写字母表示组间存在显著差异($P < 0.05$) (下同)

2.2 理化指标

油炸导致产品的水分含量、出品率及水分活度降低,并伴随着含油率升高,其中水分含量和含油率常呈负相关^[6]。水分含量、含油率及出品率常作为衡量油炸制品的主要指标,而水分活度与微生物生长情况紧密相关^[15]。由表 2 可知,当即食泥鳅水分含量过大($> 50.0%$),其表面潮湿,质地较软,与对照组相比,油炸后即食泥鳅的出品率和水分含量更低,含油率则相反。经油炸后的即食泥鳅水分含量为 34.0% ~ 50.0%,明显高于油炸公干鱼^[8],可能与原料不同或与干制环节有关。

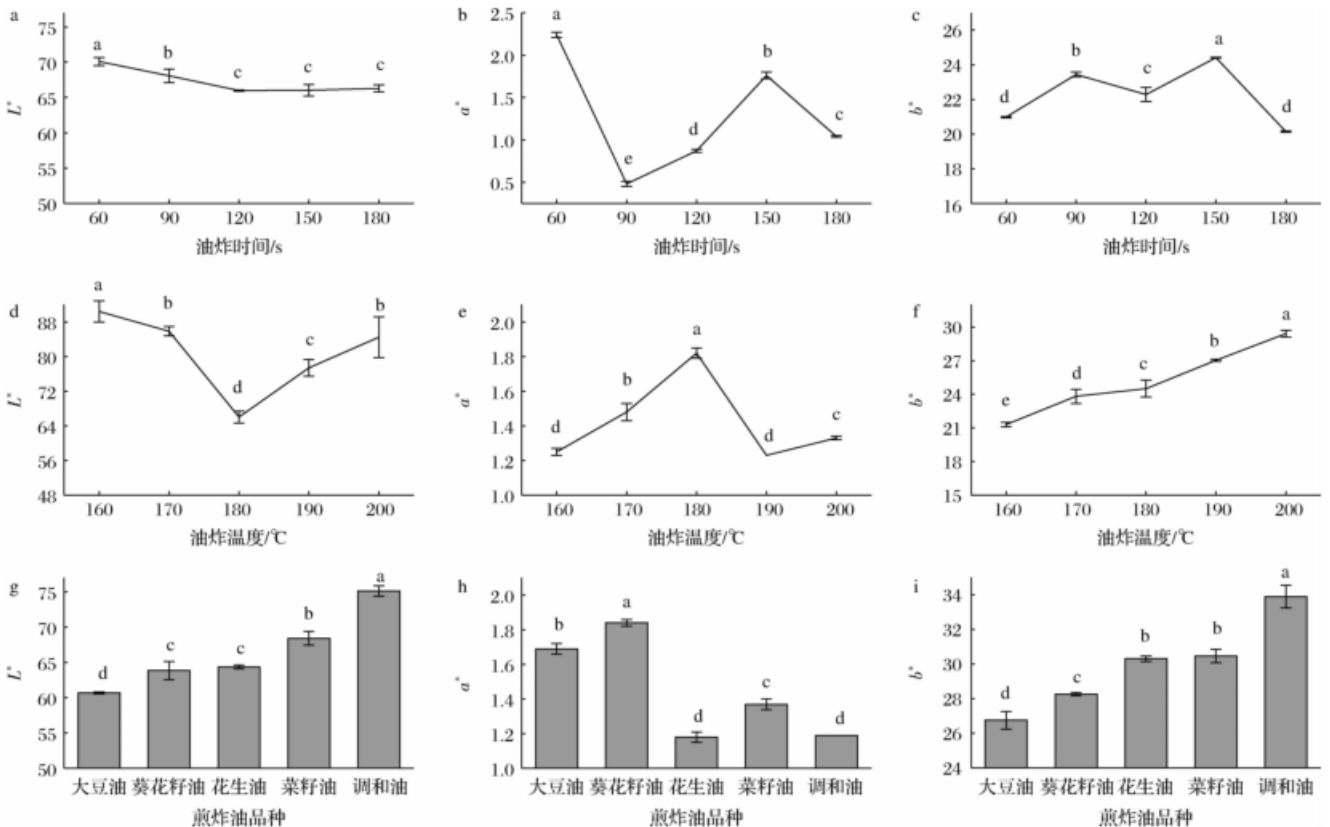
整体来看,随油炸时间延长,水分含量、出品率、水分活度均呈下降趋势,含油率则相反,与 WANG 等^[16]研究发现一致,可能是油炸过程中,泥鳅肌肉的肌动蛋白和肌球蛋白发生变性,大部分肌肉中的自由水受热蒸发,小部分自由水转化成不易流动水、结合水,使其持水力减弱,导致可溶性物质和水分流失,出品率降低,进而食物产生空洞,油进入孔隙中,使得产品的含油率增加^[14],此外油炸使水分活度下降,限制微生物生长。由表 2 可知,经 150 s 和 180 s 油炸的产品理化指标均无显著差异($P > 0.05$),表明随油炸时间增加,水分含量等指标到达某一阈值时,均趋于平稳,与其转化不易流动水或结合水的程度有关(转化程度越高,水分含量越低)。油炸 150 s 即食泥鳅的水分含量达到(41.53 ± 0.17)%,相比对照组的水分含量和出品率均减少 10% 左右。随油炸时间增加,含油率增幅 2% ~ 6%。

即食泥鳅出品率随油炸温度的升高而降低。含油率随油炸温度和油炸时间的升高而升高,与汤风雨^[17]研究鲤鱼鱼块的含油率结论一致。煎炸油品种对即食泥鳅的水分含量、含油率、水分活度和出品率的影响略有差异(表2),与不同植物油本身物性有关。葵花籽油煎炸产品的水分含量和水分活度均最高。花生油煎炸产品的含油率最高(22.14 ± 0.37)%,而水分含量最低(34.75 ± 0.41)%。综上所述,除对照组外,相比其他油炸时间,60 s时的出品率和水分含量最高;相比其他油炸温度,160 °C时的出品率和水分含量最高,含油率最低;相比其他煎炸油,调和油制作的即食泥鳅出品率最高。

2.3 色差

食品色泽是油炸产品最重要的感官品质特征之

一,并影响消费者对食品接受程度,常采用 L^* 、 a^* 、 b^* 量化评价产品的色泽^[18]。对照组的 L^* 和 b^* 分为(51.40 ± 0.28)、(16.33 ± 0.14),均低于其他油炸组的即食泥鳅($P < 0.05$),说明油炸方式会导致即食泥鳅的颜色变亮变黄。由图2-a可知,随油炸时间的增加, L^* 值呈下降趋势,其中60 s时的 L^* 最高(70.09 ± 0.56),其次是90 s,油炸120、150、180 s三者产品间的 L^* 值无显著差异($P > 0.05$),表明随油炸时间增加,即食泥鳅发生焦糖化和美拉德反应,导致 L^* 值降低,使其颜色变暗变深,与ZHANG等^[9]研究结果一致。由图2-b可知,油炸60 s产品的 a^* 约是90 s的5倍。由图2-c可知, b^* 值为16.0~25.0,远比 a^* 值大,150 s时的 b^* 最大(24.41 ± 0.02),说明油炸150 s的即食泥鳅颜色最黄。



a - 不同油炸时间的 L^* ; b - 不同油炸时间的 a^* ; c - 不同油炸时间的 b^* ; d - 不同油炸温度的 L^* ; e - 不同油炸温度的 a^* ;

f - 不同油炸温度的 b^* ; g - 不同煎炸油品种的 L^* ; h - 不同煎炸油品种的 a^* ; i - 不同煎炸油品种的 b^*

图2 油炸时间、油炸温度及煎炸油品种对即食泥鳅色差的影响

Fig. 2 Effect of frying time, frying temperature and oil types on chromatic aberration of ready-to-eat loach

随油炸温度的升高,即食泥鳅的 L^* 呈先下降后上升趋势, b^* 持续升高。由图2-d和图2-e可知,180 °C时的 L^* 最低, a^* 最高,说明180 °C所炸制即食泥鳅的颜色本应接近深红,但因 a^* 值(1.82 ± 0.03)

远小于 b^* 值(24.50 ± 0.76), b^* 约是 a^* 值的13倍,所以肉眼看即食泥鳅仍为黄色。该结论与FALOYE等^[19]不一致,可能因为原料和油炸工艺不同所导致。由图2-g和图2-i可知,大豆油炸制即食泥鳅的 L^* 及

b^* 最低,分别为(60.70 ± 0.13)、(26.75 ± 0.51),而调和油则相反,说明采用大豆油炸制即食泥鳅的肌肉颜色深,而调和油的颜色最亮,这主要是由于加热过程中的美拉德反应造成的。由图 2-h 可知,葵花籽油的 a^* 最高,达(1.84 ± 0.02)。 b^* 值的范围为 26.0 ~ 34.0,约是 a^* (1.1 ~ 1.9) 的 15 倍以上,说明黄值显著大于红值,即食泥鳅整体呈现黄色。综上所述,油炸时间(150 s)、油炸温度(200 °C)、煎炸油品种(调和油)的 b^* 值最高。

2.4 水分分布

为深入了解油炸时间、油炸温度及煎炸油品种对即食泥鳅水分状态的影响,利用低场核磁共振技术(low-field nuclear magnetic resonance, LFNMR)获得即食泥鳅的水分分布情况。横向弛豫时间 T_2 反映了样品的水状态,通常归为 3 个弛豫主峰,结合水 T_{21} 为蛋白质三四级结构紧密结合的水(<10.0 ms)、不易流动水 T_{22} 为肌原纤维内部的结合水(10.0 ~ 100.0 ms)及自由水 T_{23} 是存在于肌原纤维蛋白外部或肌细胞间隙,具有强流动性(>100.0 ms)^[16]。油炸制品的弛豫图谱较为复杂,见图 3-a 和图 3-b, T_{21} 有 2 个峰,分为强

结合水(<1.3 ms)和弱结合水(1.3 ~ 9.6 ms); T_{23} 通常有 2 个峰,因为低场核磁共振技术无法很好地将油和水分离开。对照组共有 5 个峰,第 1 个峰为 T_{21} 强结合水(0.01 ~ 1.12 ms),第 2 个峰为弱结合水(1.38 ~ 5.54 ms);第 3 个峰 T_{22} 为 87.46% (9.66 ~ 126.04 ms);第 4 个峰 T_{23} 主要为即食泥鳅本身的自由水或油脂(135.10 ~ 410.27 ms),第 5 个峰 T_{23} 可能由于 80 °C 干制温度较高,致使即食泥鳅吸取空气中少量的水分(821.43 ~ 3 783.46 ms),由于第 5 个峰比例较少,不作详细描述。

由图 3 可知,与对照组相比,油炸后即食泥鳅的水分分布主要存在三方面不同。多数 T_{21} 的峰结束时间缩短, T_{22} 降低, T_{23} 中还包含着煎炸油,因而多数 T_{23} 的峰比例增高。无论是油炸时间、油炸温度或煎炸油品种,水分分布趋势整体向左移,这点与徐静^[20] 研究油炸鱿鱼的水分分布结论相一致,因为油炸不仅使即食泥鳅的细胞间隙自由水快速蒸发,且鱼肉中持水力变差、流动性降低,导致肌纤维网格收缩,使得自由水向不易流动水和结合水方向移动,产品水分含量显著降低^[16]。

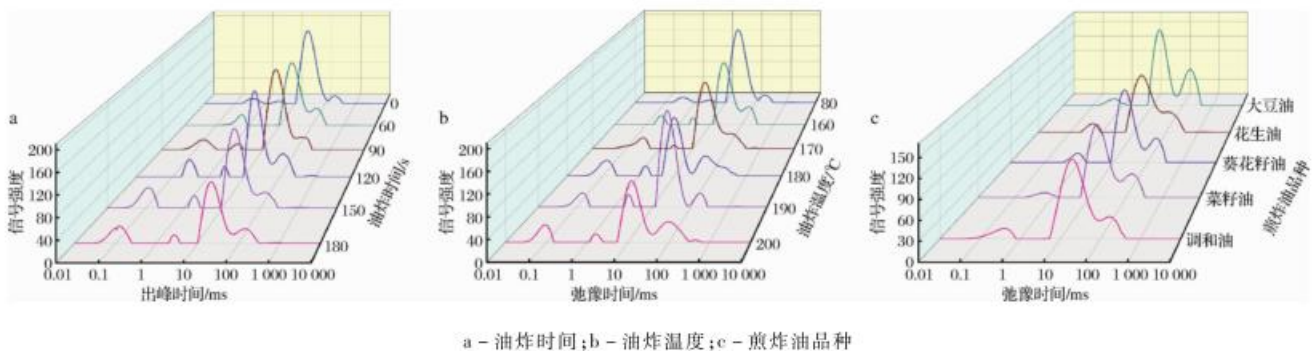


图 3 油炸时间、油炸温度及煎炸油品种对即食泥鳅水分分布的影响

Fig. 3 Effect of frying time, frying temperature and oil types on water distribution of ready-to-eat loach

2.5 质构

质构是通过模拟人的咀嚼过程来评定食品组织状态和品质的量化指标。鱼肉的质构特性是由其肌肉的水分、本身肌纤维结构以及相互作用决定。在油炸过程中,鱼肉内的水分快速形成水蒸气,导致鱼体内形成一定压力,对其组织结构造成破坏^[17]。硬度增大主要源于肌原纤维蛋白的变性,与蛋白质凝聚变性程度及肌浆蛋白含量等因素有关^[21-22]。

内聚性和咀嚼性与蛋白质结构有关^[23],150 s 时的内聚性和咀嚼性均显著高于其他处理组($P < 0.05$) (表 3),可能是由于油炸导致泥鳅肌原纤维蛋白结构连接紧密。120 s 时的黏附性和弹性最高,分

别达到(14.66 ± 0.28) g · mm 和(1.23 ± 0.01) mm,而硬度最低。170 °C 时的硬度最高,且其硬度是对照组(1 658.44 ± 34.92) g 的 1.3 倍,说明即食泥鳅蛋白因油炸受热而变性,形成凝胶,使得硬度明显增加,这一结论与吕曼丽^[1] 结论一致。黏附性整体随着油炸温度升高而增加($P < 0.05$)。200 °C 时的黏附性最高,为(35.54 ± 0.87) g · mm,是对照组的 2.9 倍,是 160 °C 黏附性的 1.8 倍。黏附性的增加可能是由于油炸方式使得泥鳅肌肉表面形成一层较硬的薄膜,因而需要更大能量。采用菜籽油煎炸的即食泥鳅制品的硬度、内聚性、胶黏性和咀嚼性最大,分别为(2 434.75 ± 30.25) g、(0.45 ± 0.01)、(1 049.93 ± 33.71) g 和

(8.53 ± 0.11) mJ, 调和油次之。硬度、弹性和咀嚼性是评价肉质的关键指标,但其值高低与肉质好坏之间的关系有待研究。综上所述,120 s 时的黏附性和弹

性最高,而硬度、胶黏性、咀嚼性最低;160 °C 时的黏附性、内聚性和咀嚼性最低;大豆油所炸制即食泥鳅的弹性最高,硬度及胶黏性最低。

表 3 油炸时间、油炸温度及煎炸油品种对即食油炸泥鳅质构的影响

Table 3 Effect of frying time, frying temperature and oil types on texture properties of ready-to-eat loach

类别	样品	硬度/g	黏附性/(g·mm)	内聚性	弹性/mm	胶黏性/g	咀嚼性/mJ
对照组	0 s, 80 °C	1 658.44 ± 34.92 ^g	12.13 ± 0.23 ^h	0.44 ± 0.00 ^{ab}	1.08 ± 0.02 ^{bc}	729.65 ± 19.01 ^e	6.38 ± 0.27 ^c
油炸时间/s	60	1 255.18 ± 40.01 ⁱ	12.08 ± 0.15 ^h	0.40 ± 0.00 ^{de}	1.07 ± 0.02 ^{bc}	605.63 ± 12.10 ^h	6.33 ± 0.10 ^c
	90	1 134.21 ± 21.39 ^k	11.91 ± 0.78 ^h	0.41 ± 0.01 ^{de}	1.06 ± 0.02 ^{bc}	510.31 ± 21.38 ⁱ	5.42 ± 0.11 ^d
	120	952.75 ± 42.77 ^l	14.66 ± 0.28 ^e	0.41 ± 0.01 ^{ede}	1.23 ± 0.01 ^a	363.72 ± 1.29 ^k	3.41 ± 0.14 ^e
	150	1 187.14 ± 32.08 ^{jk}	12.44 ± 0.45 ^h	0.44 ± 0.01 ^{abc}	1.11 ± 0.01 ^b	614.34 ± 15.56 ^{gh}	6.81 ± 0.01 ^b
	180	1 240.06 ± 42.77 ^{ij}	14.11 ± 0.28 ^e	0.40 ± 0.00 ^e	1.03 ± 0.02 ^c	432.83 ± 12.09 ^j	4.48 ± 0.05 ^f
油炸温度/°C	160	1 882.70 ± 10.70 ^c	19.59 ± 0.32 ^c	0.34 ± 0.01 ^f	0.63 ± 0.02 ^{gh}	669.76 ± 16.25 ^f	4.94 ± 0.30 ^c
	170	2 177.58 ± 15.13 ^c	25.87 ± 0.61 ^d	0.43 ± 0.01 ^{abc}	0.61 ± 0.01 ^h	943.31 ± 10.45 ^b	5.65 ± 0.09 ^d
	180	2 018.79 ± 10.69 ^d	33.06 ± 0.90 ^b	0.41 ± 0.01 ^{ede}	0.73 ± 0.01 ^f	852.03 ± 24.07 ^e	6.75 ± 0.04 ^b
	190	1 776.84 ± 10.69 ^f	31.06 ± 0.66 ^c	0.42 ± 0.01 ^{bcde}	0.77 ± 0.01 ^f	668.18 ± 23.71 ^f	6.32 ± 0.25 ^c
	200	2 061.64 ± 17.46 ^d	35.54 ± 0.87 ^a	0.43 ± 0.00 ^{abcd}	0.67 ± 0.02 ^g	807.18 ± 14.79 ^d	5.54 ± 0.21 ^d
煎炸油品种	大豆油	1 431.60 ± 31.49 ^h	6.45 ± 0.06 ^k	0.40 ± 0.00 ^e	0.92 ± 0.01 ^d	632.65 ± 11.10 ^{gh}	5.68 ± 0.11 ^d
	葵花籽油	1 867.60 ± 32.10 ^c	8.12 ± 0.11 ^j	0.34 ± 0.01 ^f	0.48 ± 0.01 ⁱ	651.45 ± 18.46 ^{fg}	3.64 ± 0.05 ^e
	花生油	2 049.10 ± 53.46 ^d	6.25 ± 0.17 ^k	0.39 ± 0.01 ^e	0.87 ± 0.01 ^c	645.60 ± 14.28 ^{fg}	4.75 ± 0.11 ^{ef}
	菜籽油	2 434.75 ± 30.25 ^a	15.94 ± 0.23 ^f	0.45 ± 0.01 ^a	0.86 ± 0.02 ^c	1 049.93 ± 33.71 ^a	8.53 ± 0.11 ^a
	调和油	2 253.29 ± 21.38 ^b	10.52 ± 0.13 ⁱ	0.44 ± 0.00 ^{abc}	0.74 ± 0.01 ^f	968.18 ± 26.51 ^b	7.05 ± 0.12 ^b

2.6 即食泥鳅感官总分与理化指标、色差、水分分布、质构的相关性分析

对即食泥鳅油炸过程中的感官总分、理化指标和质构等 20 个品质指标进行相关性分析,结果见表 4。感官总分与含油率、b* 值呈极显著正相关 (P < 0.01), 相关性 (r) 分别为 0.562、0.429; 感官总分与硬度、粘附性、胶黏性呈显著正相关 (P < 0.05), r 分

别为 0.408、0.427、0.362; 而感官总分与出品率、水分含量均呈极显著负相关 (P < 0.01)。含油率与出品率、水分含量均呈极显著负相关 (P < 0.01), r 分别为 -0.505、-0.747。b* 值与出品率、水分含量均呈极显著负相关 (P < 0.01), 而含油率反之 (r = 0.502); 其与硬度、胶黏性呈极显著正相关 (P < 0.01), r 分别为 0.670、0.612, 而与弹性呈显著负相关 (P < 0.05)。

表 4 即食泥鳅指标相关性分析

Table 4 Correlation analysis of ready-to-eat loach indexes

	总分	出品率	水分含量	含油率	水分活度	L*	a*	b*	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	T ₂₁	T ₂₂	T ₂₃	硬度	黏附性	内聚性	弹性	胶黏性	咀嚼性
总分	1	-0.425**	-0.680**	0.562**	-0.290	-0.124	0.246	0.429**	0.123	-0.440*	-0.371*	-0.390*	-0.433*	-0.397*	0.408*	0.427*	0.268	-0.373*	0.562**	0.190
出品率		1	0.764**	-0.505**	0.151	0.597**	-0.090	-0.431**	0.252	0.349	-0.512**	0.445*	0.314	0.209	-0.053	0.323	-0.078	0.095	0.077	0.123
水分含量			1	-0.747**	0.400**	0.353*	0.027	-0.681**	0.138	0.473**	-0.564**	0.566**	0.423*	0.379*	-0.461**	-0.073	-0.287	0.230	-0.311*	-0.170
含油率				1	-0.149	-0.045	0.023	0.502**	-0.227	-0.376*	0.527**	-0.461*	-0.369*	-0.418*	0.527**	0.041	-0.077	-0.549**	0.281	-0.088
水分活度					1	0.054	0.319*	-0.078	-0.391*	0.166	0.089	0.219	0.092	0.043	0.047	-0.335	-0.381*	-0.201	-0.001	-0.261
L*						1	-0.097	-0.093	-0.065	0.181	-0.146	0.185	0.095	-0.144	0.435**	0.547**	-0.089	-0.509**	0.400*	0.083
a*							1	-0.017	-0.142	-0.380**	0.478**	0.192	-0.429*	-0.681**	0.156	0.024	0.052	-0.250	0.285	0.275
b*								1	-0.492**	-0.090	0.412*	-0.307	-0.312	-0.288	0.670**	-0.094	0.328	-0.391*	0.612**	0.367*
P ₂₁									1	-0.328	-0.317	0.043	-0.010	0.151	-0.400*	0.458*	0.142	0.322	-0.301	-0.080
P ₂₂										1	-0.791**	0.265	0.579**	0.607**	-0.244	-0.254	0.011	0.301	-0.172	-0.007
P ₂₃											1	-0.297	-0.576**	-0.703**	0.505**	-0.044	-0.105	-0.515**	0.371*	0.062
T ₂₁												1	0.267	0.043	-0.246	0.054	0.101	0.227	-0.089	0.088
T ₂₂													1	0.693**	-0.448*	-0.130	-0.057	0.393*	-0.399**	-0.298
T ₂₃														1	-0.562**	-0.172	-0.116	-0.499**	-0.522**	-0.389*
硬度															1	0.331	0.164	-0.772**	0.896**	0.431*
黏附性																1	0.231	-0.349	0.349*	0.208
内聚性																	1	0.295	0.436*	0.634**
弹性																		1	-0.593**	0.003
胶黏性																			1	0.703**
咀嚼性																				1

注: * : 显著相关 (P < 0.05); ** : 极显著相关 (P < 0.01)

硬度主要与理化指标中的水分含量、含油率呈极显著相关($P < 0.01$);与色差中的 L^* 、 b^* 呈极显著相关($P < 0.01$);与弹性、胶黏性呈极显著相关($P < 0.01$), r 分别为 -0.772 、 0.896 。黏附性与 L^* 呈极显著正相关($P < 0.01$)($r = 0.547$)。胶黏性与咀嚼性呈极显著正相关($P < 0.01$)($r = 0.703$)。

由表4所示,除 P_{21} 外,感官总分与水分分布中的其他指标均呈显著负相关($P < 0.05$);且大多数水分分布的指标与水分含量、含油率有良好的相关性,特别是 P_{22} 、 P_{23} 、 T_{21} ($P < 0.01$)。 P_{21} 与色差中 b^* 值呈极显著负相关($P < 0.01$)($r = -0.492$)。 P_{22} 与 P_{23} 呈极显著负相关($P < 0.01$)($r = -0.791$),因而导致水分分布整体左移。综上所述,感官总分可有效评价即食泥鳅品质优劣。

3 结论

随油炸时间延长(60~180 s),150 s时的感官总分最高, b^* 值最大,咀嚼性最强。随油炸温度升高(160~200 ℃),180 ℃时的感官总分最高和咀嚼性最强。调和油炸制即食泥鳅的出品率和水分含量均最高,而含油率最低,且 b^* 值最大。以上表明,180 ℃调和油油炸150 s的即食泥鳅品质最佳。与对照组相比,不同油炸时间、油炸温度或煎炸油品种所炸制的即食泥鳅水分分布趋势整体向左移,即 P_{22} 与 P_{23} 呈极显著负相关($P < 0.01$)($r = -0.791$),且其与水分含量、含油率有良好的相关性($P < 0.05$)。感官总分与含油率、 b^* 值、硬度等13个指标均有显著相关性($P < 0.05$),因此,感官总分是有效评价即食泥鳅品质的综合性指标。

参 考 文 献

- [1] 吕曼丽. 即食油炸泥鳅产品的加工及品质评估[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2015.
LYU M L. The study on the processing conditions and quality attributes of a ready-to-eat fried loach[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2015.
- [2] 蔡丽君, 郭全友, 马东林, 等. 池塘和稻田养殖模式对泥鳅营养品质的影响[J]. 渔业科学进展, 2022, 43(3):196-206.
CAI L J, GUO Q Y, MA D L, et al. Effects of pond-cultivation and paddy-cultivation modes on nutritional quality of loach[J]. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(3):196-206.
- [3] 周鸣谦, 鲍刘莉, 刘云鹤. 即食泥鳅加工工艺[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(8):120-122.
ZHOU M Q, BAO L L, LIU Y H. Processing technology of ready-to-eat loach[J]. Food Research and Development, 2012, 33(8):120-122.
- [4] 刘云鹤, 姚东瑞, 周鸣谦, 等. 不同加工条件对即食泥鳅质构特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(12):104-106.
LIU Y H, YAO D R, ZHOU M Q, et al. Effect of processing conditions on texture characteristics of ready-to-eat loach[J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(12):104-106.
- [5] CRUZ G, CRUZ-TIRADO J P, DELGADO K, et al. Impact of pre-drying and frying time on physical properties and sensorial acceptability of fried potato chips[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(1):138-144.
- [6] NGOBESE N Z, WORKNEH T S. Potato (*Solanum tuberosum* L.) nutritional changes associated with French fry processing: Comparison of low-temperature long-time and high-temperature short-time blanching and frying treatments[J]. LWT, 2018, 97:448-455.
- [7] 张晖, 李培燕, 吴港城, 等. 基于传质特性研究油种类对煎炸薯条质构的影响[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(1):10-18.
ZHANG H, LI P Y, WU G C, et al. Research on the influence of oil types on the texture of fried French fries based on mass transfer characteristics[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(1):10-18.
- [8] 陈康明. 油炸公干鱼品质变化规律及其煎炸油的复配研究[D]. 无锡:江南大学, 2020.
CHEN K M. Research on quality variation of fried *Stolephorus commersonii* and its mixture of frying oil[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2020.
- [9] ZHANG W, CHENG S S, WANG S Q, et al. Effect of pre-frying on distribution of protons and physicochemical qualities of mackerel[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(11):4 838-4 846.
- [10] 宋福香, 计红芳, 江开欣, 等. 油炸对鹅肉理化性质、质构与微观结构的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(3):136-141.
SONG F X, JI H F, JIANG K X, et al. Effect of deep frying on physicochemical properties, texture and microstructure of goose meat[J]. Food Science, 2017, 38(3):136-141.
- [11] JUNG S S, KIM M J, LEE J. Estimating the time of frying oils have been used for French fries based on profile changes of fatty acids derived from heated oil model systems[J]. Food Science and Biotechnology, 2014, 23(5):1 405-1 410.
- [12] SUN S Q, RASMUSSEN F D, CAVENDER G A, et al. Texture, color and sensory evaluation of sous-vide cooked beef steaks processed using high pressure processing as method of microbial control[J]. LWT, 2019, 103:169-177.
- [13] TRONCOSO E, PEDRESCHI F, ZÚÑIGA R N. Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying[J]. LWT - Food Science and Technology, 2009, 42(1):187-195.
- [14] 陈美花, 潘佳丽, 翁文治. 油炸温度和时间对外裹糊牡蛎品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(12):124-129.
CHEN M H, PAN J L, WENG W Z. Effect of frying temperature and time on the quality of battered and breaded oyster[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(12):124-129.
- [15] 周风超, 庄惠琼, 沈惠丹, 等. 枇杷风味猪肉脯的加工工艺[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(4):123-129.
ZHOU F C, ZHUANG H Q, SHEN H D, et al. Research on the processing of dried pork slice with loquat flavor[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(4):123-129.
- [16] WANG B, LI H J, HUANG Z B, et al. Dynamic changes in the qualities and heterocyclic aromatic amines of roasted pork induced

- by frying temperature and time [J]. *Meat Science*, 2021, 176: 108457.
- [17] 汤风雨. 可常温保藏即食糖醋鲤鱼食品的加工工艺研究[D]. 无锡:江南大学, 2013.
TANG F Y. Study on process and technology of ready-to-eat sweet and sour carp with long shelf life at ambient temperature [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013.
- [18] 赵文字, 赵美钰, 王可心, 等. 油炸方式对高白鲑肌肉食用品质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(4): 72-79.
ZHAO W Y, ZHAO M Y, WANG K X, et al. Effect of frying methods on the eating quality of *Coregonus peled* meat [J]. *Food Science*, 2021, 42(4): 72-79.
- [19] FALOYE O R, SOBUKOLA O P, SHITTU T A, et al. Influence of frying parameters and optimization of deep fat frying conditions on the physicochemical and textural properties of chicken nuggets from FUNAAB-Alpha broilers [J]. *SN Applied Sciences*, 2021, 3(2): 1-17.
- [20] 徐静. 鱿鱼调理食品加工中品质控制技术的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2016.
XU J. Study on quality control technology in squid conditioning food processing [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2016.
- [21] LARSEN D, QUEK S Y, EYRES L. Evaluating instrumental colour and texture of thermally treated New Zealand King Salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and their relation to sensory properties [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2011, 44(8): 1814-1820.
- [22] HATAE K, YOSHIMATSU F, MATSUMOTO J J. Discriminative characterization of different texture profiles of various cooked fish muscles [J]. *Journal of Food Science*, 1984, 49(3): 721-726.
- [23] 叶路漫. 加工工艺对风干金鲳鱼制品品质作用的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019.
YE L M. Study on the effect of processing technology on the quality of air-dried gold pomfret products [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2019.

Effect of frying process parameters on the quality of ready-to-eat loach

CAI Lijun¹, ZHENG Yao¹, GUO Quanyou^{1*}, YANG Xu¹,
WANG Haihua^{2,3,4*}, MA Benhe^{2,3,4}

1(East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 200082, China)

2(Jiangxi Fisheries Research Institute, Nanchang 330039, China)3(Experimental Station of Lake Fishery

Resources and Environment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanchang 330039, China)

4(Nanchang Key Laboratory of Special Aquaculture Breeding and Healthy Aquaculture, Nanchang 330039, China)

ABSTRACT To explore the quality change laws of loach (*Paramisgurnus dabryanus* ssp. Taiwan) during frying, the key factors of frying time, frying temperature, and oil types in ready-to-eat loach were analyzed with sensory evaluation, physicochemical indexes, color, water distribution, texture, and the correlation among its indexes. The results showed that with the extension of frying time and the increase of frying temperature, the sensory total score of ready-to-eat loach increased at first and then decreased, and the score was the highest at 150 s (90.84 ± 2.13) and 180 °C (92.07 ± 0.90), respectively. The moisture content of ready-to-eat loach prepared by different frying time, frying temperature, and oil types was negatively correlated with oil content. The hardness of ready-to-eat loach prepared by different frying time, frying temperature, and oil types was negatively correlated with springiness. In addition, ready-to-eat loach of free water moved toward bound water and the b^* value increased. The ready-to-eat loach was of the best quality when it was fried in 180 °C blended oil for 150 s. According to the correlation analysis of Pearson, the total sensory score could effectively evaluate the quality characteristics of ready-to-eat loach.

Key words ready-to-eat loach; frying time; frying temperature; oil types; frying process parameters