

调理草鱼片在不同加热方式下的品质变化

童光森^{1*}, 咎博文², 崔 香³, 冯 飞¹, 陈 韬¹, 高原菊¹, 陈 实¹, 李 想¹

(1. 四川旅游学院, 成都 610100; 2. 成都大学肉类加工四川省重点实验室, 成都 610106;

3. 成都信息工程大学, 成都 610225)

摘 要: 目的 比较不同加热方式下调理草鱼片的品质变化。**方法** 对比不同加热方式(水浴、汽蒸、油炸和微波)处理后调理草鱼片的感官、水分含量、烹饪损失率、色度值、质构、微观结构和挥发性风味物质的变化。

结果 水浴和油炸加热对调理草鱼片的感官评价显著高于其他加热方式($P<0.05$); 水浴加热和汽蒸加热更有利于提升亮度值; 汽蒸加热后的水分含量显著高于其他组别($P<0.05$); 不同加热方式对调理草鱼片的蒸煮损失率影响显著($P<0.05$); 水浴和汽蒸加热后的硬度显著低于其他组别($P<0.05$); 汽蒸加热后的调理草鱼片纤维组织紧致清晰, 与对照组更为相近; 共检测出 86 种挥发性风味物质, 其中醛类、醇类、酮类和酸类为调理草鱼片的主要挥发性风味物质, 汽蒸加热后的主要挥发性风味物质在种类和数量上优于其他加热方式。**结论** 不同加热方式后的调理鱼片品质差异明显, 汽蒸加热更有利于调理草鱼片的加热。

关键词: 调理草鱼片; 加热方式; 挥发性风味物质; 微观结构; 质构

DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2023.02.052

Quality changes of prepared grass carp fillet under different heating methods

TONG Guang-Sen^{1*}, ZAN Bo-Wen², CUI Xiang³, FENG Fei¹, CHEN Tao¹,
GAO Yuan-Ju¹, CHEN Shi¹, LI Xiang¹

(1. Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China; 2. Meat Processing Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu University, Chengdu 610106, China; 3. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

ABSTRACT: Objective To compare the quality of prepared grass carp fillets under different heating methods.

Methods The sensory, moisture content, cooking loss rate, chroma value, texture, microstructure and volatile flavor substances of prepared grass carp slices after different heating methods (water bath, steaming, frying and microwave) were compared. **Results** Water bath and frying heating significantly improved the sensory evaluation of prepared grass carp fillets compared with other heating methods ($P<0.05$). Water bath heating and steam heating were more conducive to the increase of brightness value. The moisture content after steam heating was significantly higher than that in other groups ($P<0.05$). Different heating methods had significant effects on the cooking loss rate of prepared grass carp fillets ($P<0.05$). The hardness of water bath and steam heating was significantly lower than that of other

基金项目: 川菜工业化四川省高等学校工程研究中心项目(GCZX22-25)、肉类加工四川省重点实验室项目(21-R-38)、四川旅游学院“川西食材资源开发与综合利用”团队项目

Fund: Supported by the Sichuan Cuisine Industrialization Engineering Research Center Project of Sichuan Higher Education Institutions (GCZX22-15), the Meat Processing Key Laboratory Project of Sichuan Province (21-R-38), and the Sichuan Tourism University “Western Sichuan Food Material Resources Development and Comprehensive Utilization” Team

*通信作者: 童光森, 硕士, 副教授, 主要研究方向为烹饪科学。E-mail: 610100tgsen@163.com

*Corresponding author: TONG Guang-Sen, Master, Associate Professor, Sichuan Tourism University, No.456, Hung Ling Road, Longquanyi District, Chengdu 610100, China. E-mail: 610100tgsen@163.com

groups ($P<0.05$). After steaming, the fibrous tissue of the prepared grass carp fillet was compact and clear, which was more similar to that of the control group. A total of 86 kinds of volatile flavor substances were detected, among which aldehydes, alcohols, ketones and acids were the main volatile flavor substances of conditioned grass carp fillets. The types and amounts of volatile flavor substances after steaming were superior to other heating methods.

Conclusion The quality of prepared fillets after different heating methods is different obviously and steam heating is more conducive to the heating of grass carp.

KEY WORDS: prepared grass carp fillet; heating methods; volatile flavor substances; microstructure; texture

0 引 言

近年来,我国淡水产品的产量呈现逐年增长的趋势,2019 年全国淡水产品产量为 3198 万 t,其中淡水鱼占绝大多数,产量达到 2686 万 t^[1]。草鱼作为我国主要淡水经济鱼类,因其肉质鲜美、营养丰富,产量和消费量都位居我国淡水鱼首位^[2]。调理草鱼片是淡水加工产品中的一种,经过调理不仅可以改善鱼肉的风味,而且可以延长鱼肉的货架期,具有重要的经济和科研价值^[3]。

调理草鱼片经加热后其质地、风味会有所改变,常见的加热方式有油炸、蒸煮、微波和烤制等^[4],加工方式多样,满足了消费者对多元饮食的需求。多种热加工方式后均可加速其感官品质的变化^[5],不同的加热方式因传热介质和温度的区别在很大程度上最终会影响产品的质量和得率^[6]。近几年,国内外学者针对鱼肉制品在加热过程中质构、风味和色泽的研究较广。李锐等^[7]比较了汽蒸、水煮、空气炸 3 种不同加热方式对罗非鱼片质构特性和蛋白质理化特性的影响,研究结果表明不同加热方式对罗非鱼肉质构特性和蛋白质理化性质影响程度不同,空气油炸处理后鱼片弹性和咀嚼性相对较好,汽蒸处理对蛋白氧化变性影响程度相对较小。ZHANG 等^[8]的研究表明微波加热会导致鱼糜制品温度分布不均匀,通常会出现热点和冷点。由于传热介质的差异性,不同加工方式下,调理鱼肉中大分子物质会产生不同的物理化学变化,从而对调理鱼肉的感官以及风味产生不同程度的影响。目前,关于调理鱼肉产品种类结构较为单一,限制了进一步的发展,且大多数研究集中在生产工艺优化上,因此开发多种产品和选择合适的加热方式就显得尤为重要。

因此,本研究通过对不同加热方式对调理草鱼片的感官、色泽、质构、水分含量、蒸煮损失率、微观结构和挥发性风味物质进行分析,以探究不同加热方式对调理草鱼片品质的影响,为调理草鱼片最优加热方式和标准化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本地鲜活草鱼,体质量为(1000±100) g、盐(加碘食

盐)、食用油(金龙鱼精练一级食用油)、生姜、大葱(成都市龙泉驿区十陵街道友谊菜市场);豌豆淀粉(成都恒达毛实业);料酒(千禾零添加姜葱料酒)。

戊二醛(分析纯,上海麦克林生化科技有限公司);乙醇(分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司)

1.2 仪器与设备

ALLC4N 千分之一分析天平(常州市衡正电子仪器有限公司);NR2003nh 色差仪(深圳市三恩驰科技有限公司);SQ680-Clarus SQ8T 气相色谱-质谱仪(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)(美国 Perkin Elmer 公司);TMS-PRO 质谱仪(美国 FTC 公司);E-1045 离子溅射装置(日本株式会社日立高新技术那珂事务所);Inspect 扫描电子显微镜(美国 FEI 公司);UPH-II-10T 优谱超纯水制造机(成都超纯科技有限公司);Rtx-5MS 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm, 美国 Agilent 公司);50/30μm DVB/CAR/PDMS 萃取头(美国 Supelco 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 调理草鱼片的制备及分组

制备:将鲜活的草鱼宰杀去头、去鳞、去内脏后进行漂洗,取背部肌肉切成长 5 cm、宽 3 cm、厚 0.5 cm 的片,加入鱼肉质量 1.5%的食盐、0.5%的料酒和 1%的淀粉搅拌均匀,分成 4 组,每组 10 片。

分组:调理草鱼片制品经以下 4 种方式进行加热,得到熟制品,见表 1。

表 1 调理草鱼片的制备及分组
Table 1 Preparation and grouping of prepared grass carp fillets

组别	加热方式	加热条件
A	水浴	100℃; 3 min
B	汽蒸	120℃; 3 min
C	油炸	140℃; 3 min
D	微波	中火; 3 min

1.3.2 实验方法

(1)感官评价

参考 GB/T 37062—2018《水产品感官评价指南》熟制评价标准,并适当修改。每个样品检测 3 次作为检测结果。在评定前对评定人员进行培训,在一间无异味、无噪声的房间选择大小适中厚度均匀的调理鱼肉片,分别对上

述 5 个指标进行感官评价。每次品评后,用清水漱口,等待 2 min 后,再进行下一个样品评价(表 2)。

表 2 加热方式对草鱼片感官评价的影响
Table 2 Effects of heating method on sensory evaluation of grass carp fillets

指标	评分标准	分值
色泽	外表色泽均匀洁白,有光亮	7~10
	外表颜色较均匀	4~6
形状	表面色灰暗或发黑、无光泽、颜色不均匀	0~3
	呈片状、肉质紧密,表面均匀	7~10
	呈片状、表面有毛刺坍塌	4~6
	呈长方形、表面有裂痕	0~3
结构	切面表面均一、布满均匀细小气孔	7~10
	切面表明较均匀、无大气孔	4~6
气味	切面表面不均匀、有大气孔	0~3
	香气浓郁、无异味	7~10
	香气较淡、无异味	4~6
	有特殊异味	0~3
口感	鲜甜、咸鲜味适中	7~10
	咸味适中、鲜味不足	4~6
	偏咸或偏淡	0~3

(2)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》第一法直接干燥法测定,每组样品平行测定 3 次。

(3)蒸煮损失率

蒸煮损失率按照公式(1)计算:

$$\text{烹饪损失率}/\% = \sqrt{\frac{M1 - M2}{M1}} \times 100 \quad (1)$$

式中: M1 为蒸煮前的质量, g; M2 为蒸煮后的质量, g。每个样品检测 3 次作为检测结果。

(4)色度值

采用全自动测色色差计进行色泽测定,测定 L^* 、 a^* 和 b^* , 重复 3 次。其中, L^* 表示亮度值; a^* 表示红绿值, b^* 表示黄蓝值, 每组样品平行测定 3 次。

(5)质构分析

参考郑红等^[9]方法,采用质构仪对草鱼片进行 3 次质地剖面分析(texture profile analysis, TPA)模式测试。测定指标包括硬度、弹性、咀嚼性、胶黏性、内聚性和回复性。将草鱼肉切成长 3 cm、宽 1 cm、厚 0.5 cm 的鱼片,每个样品随机选取 3 份鱼片进行测量,取平均值。测试条件: 探头 TA7; 测前速率 2 mm/s; 测试速率 1 mm/s; 测后速率 2 mm/s; 测试距离 1.5 mm; 触发力 5 g, 每组样品平行测定 3 次。

(6)微观结构

组织取材后,加入适量 2.5%戊二醛溶液进行固定,4℃过夜去除戊二醛溶液,用超纯水洗涤 2 次,每次 5 min,用系列梯度酒精脱水,30%、50%、70%、80%、90%、95%、100%,每梯度 10 min。将样本轻轻粘在导电胶上,离子溅射镀膜,最后在镜下选择合适位置,200 倍数进行观察,每组样品平行测定 3 次。

(7)挥发性风味物质

根据李锐^[6]的方法。将不同热加工处理后的草鱼片打碎,称取 2 g 装于样品瓶中,加入搅拌子密封,磁力搅拌装置温度 120℃,转速 1.5 r/s,平衡 600 s,然后将老化(250℃, 600 s)的萃取头插入样品瓶萃取 7200 s,随后插入 GC-MS 进样口,解析 600 s。

GC 条件: 进样口温度: 250℃, 色谱柱: Rtx-5MS 色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 升温程序: 起始温度 40℃, 保持 1 min, 以 5℃/min 升至 170℃, 保留 1 min, 然后以 15℃/min 升至 250℃, 保留 1 min。载气(氮气 99.9999%), 流速 1 mL/min, 分流比 5:1。

MS 条件: 电子轰击电离源(electron bombardment ionization source, EI), 电子轰击能量为 70 eV, 离子源温度 230℃; 全扫描; 质量扫描范围: 35~400 m/z; 扫描延迟 66 s; 标准调谐文件。

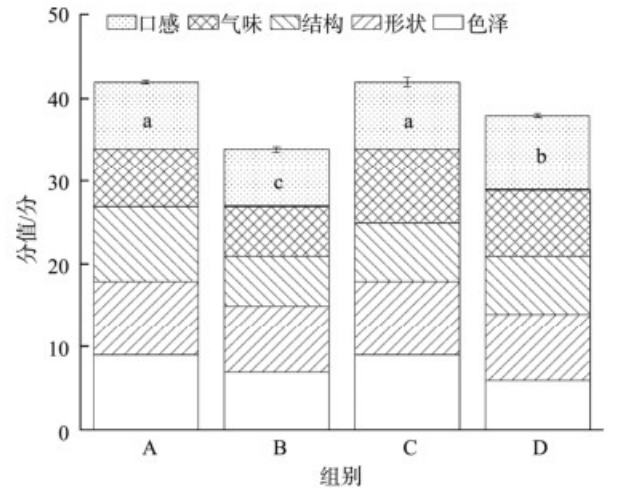
1.3.3 数据处理

实验数据重复 3 次,均采用 SPSS 2021 和 Origin 2018 软件进行分析与作图。

2 结果与分析

2.1 不同加热方式对调理草鱼片感官评价的影响

水浴加热后的调理鱼片色泽洁白、肉质紧密、味道较淡; 汽蒸加热后的鱼片外表颜色均匀,但表面有气孔; 油炸加热后的鱼片色泽洁白、带有油脂的光泽、味道咸鲜; 微波加热后的鱼片色泽带有微黄,咸味较突出; 从图 1 可以看出, A 组和 C 组总分都达到了 42 分,说明水浴加热和油炸加热的效果更好,更适合调理鱼片的加热。



注: 不同小写字母表示不同加热方式的调理鱼肉片之间差异显著 ($P<0.05$), 下同。

图 1 不同加热方式对调理草鱼片感官评价的影响
Fig.1 Effects of different heating methods on sensory evaluation of prepared grass carp fillets

2.2 不同加热方式对调理草鱼片水分含量的影响

加工后肌肉内部水分含量的高低可直接反映其多汁性的好坏,从图 2 可以看出,不同加热方式对调理草鱼片水分含量的影响显著($P<0.05$),这主要是因为调理草鱼片在加热过程中,肌肉纤维因热收缩而导致脱水,同时构成肌肉纤维的蛋白质也因为热变性致使保水性降低,从而导致水分含量下降^[10]。其中 B 水分含量最高,为 74.10%,这可能是因为胶原蛋白进一步生成可溶于水的明胶,从而吸收了部分肌肉的内部水分,缓解了水分的流失;D 组的水分含量最低,为 45.20%,这可能是因为微波加热中,高电磁场和高功率会导致肌肉蛋白质在短时间内快速变性,从而质地基体破碎,最终导致内部水分的迅速流失^[11]。

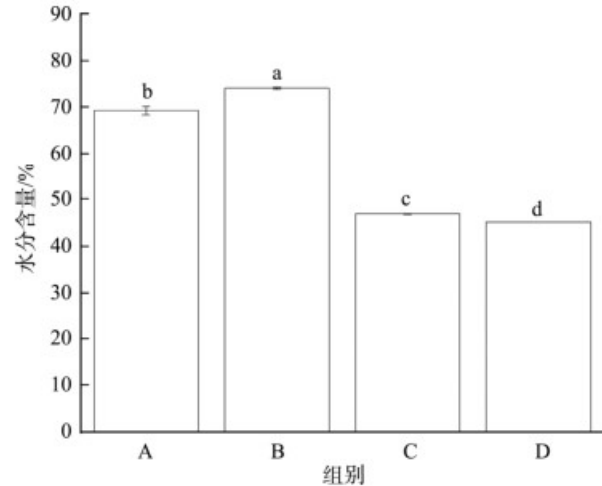


图 2 不同加热方式对调理草鱼片水分含量的影响
Fig.2 Effects of different heating methods on moisture content of conditioned grass carp fillets

2.3 不同加热方式对调理草鱼片蒸煮损失率的影响

从图 3 可以看出,各组对调理草鱼片的蒸煮损失率影响显著($P<0.05$),A 组为 1.45%,重量损失最小,B 组为 4.39%,C 组为 33.44%,这与 VAUDAGNA 等^[12]和 CHRISTENSEN 等^[13]发现加热温度和加热时间对烹饪损失率有着极显著的影响,其中加热温度的影响远高于加热时间的研究结果一致。D 组的重量损失最大,为 44.30%,这与微波加热选择性和穿透性强,可以在极短时间提升食物内部温度有关^[14-15]。

2.4 不同加热方式对调理草鱼片色度值的影响

加热后的表观颜色是调理草鱼片重要的评价指标。由表 3 可知,除 a^* 外,加热后的调理草鱼片的色度值产生了显著性变化($P<0.05$),其中 A 组和 B 组对 L^* 影响显著($P<0.05$),分别为 81.63 和 80.89,这是因为加热使得鱼肉中残留的淤血充分释放,导致鱼肉色泽发生改变^[16]。C 组

对 b^* 影响更大,为 14.04,这主要是因为表面油脂的附着、脂肪氧化和美拉德反应的加剧^[17-18]。由此得出,水浴加热和汽蒸加热更有利于提升亮度值,油炸加热更有利于提升黄度值。因此,水浴、汽蒸、微波和油炸 4 种加热方式所得到的草鱼片的 a^* 相比,水浴和汽蒸加热更容易受到消费者青睐。

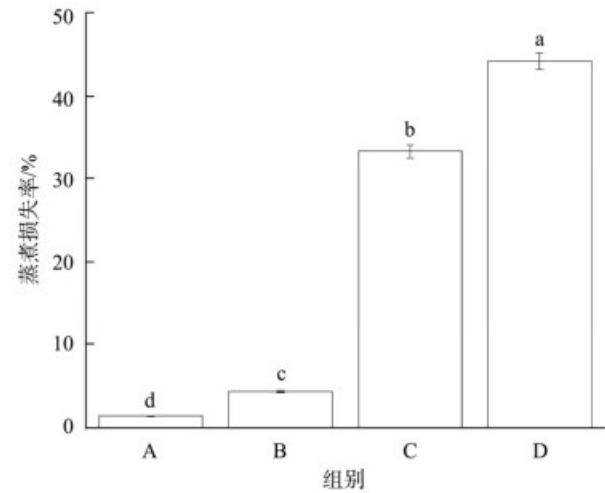


图 3 不同加热方式对调理草鱼片蒸煮损失率的影响
Fig.3 Effects of different heating methods on cooking loss rate of prepared grass carp fillets

表 3 不同加热方式对调理草鱼片色度值的影响
Table 3 Effects of different heating methods on chromaticity values of prepared grass carp fillets

	L^*	a^*	b^*
A	81.63±1.26 ^a	-1.74±0.26 ^a	6.02±1.21 ^b
B	80.89±1.81 ^a	-0.40±2.18 ^a	5.72±0.71 ^b
C	67.10±2.61 ^c	-0.48±0.33 ^a	14.04±3.59 ^a
D	73.09±1.43 ^b	-1.27±0.67 ^a	9.54±1.83 ^b

注: 同列肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同。

2.5 不同加热方式对调理草鱼片质构的影响

对调理草鱼片来说,硬度越大,断裂需要的能量越大;弹性越大,发生断裂是需要的形变量越大;咀嚼性越大,那就说明咀嚼时需要的能量越大^[19]。

由表 4 可知,加热后的调理草鱼肉片硬度、弹性、内聚性和咀嚼性上在不同程度上发生了变化。A 组和 B 组硬度显著低于其他组别($P<0.05$),分别为 3.31 N 和 3.04 N,这是因为胶原蛋白会开始转化为明胶或形成凝胶,使鱼肉软化^[20];C 组弹性、内聚性和咀嚼性高于 A、B 组;与其他组相比,D 组硬度、弹性、内聚性和咀嚼性增加。因此,水浴加热和汽蒸加热更能提升调理草鱼片的嫩度,油炸加热使得弹性显著增加,微波加热后嫩度下降,咀嚼性增加。

表 4 不同加热方式对调理草鱼片质构的影响
Table 4 Effects of different heating methods on texture of conditioned grass carp fillets

	硬度/N	弹性	内聚性	咀嚼性
A	3.31±0.56 ^c	1.85±0.27 ^b	0.31±0.02 ^{ab}	2.55±0.22 ^b
B	3.04±0.84 ^c	1.74±0.49 ^b	0.30±0.03 ^{ab}	2.23±0.93 ^b
C	7.46±1.06 ^b	2.27±0.25 ^{ab}	0.39±0.42 ^{ab}	8.11±1.20 ^{ab}
D	7.85±3.20 ^a	2.81±0.55 ^a	0.41±0.10 ^a	12.62±9.21 ^a

2.6 不同加热方式对调理草鱼片微观结构的影响

由图 4 可知, 加热会使得微观结构的产生明显的变化,

这与唐建华等^[21]的研究一致。A 组肌肉纤维开始膨胀, 纤维组织结构出现了松散; B 组纤维组织紧致清晰, 这有可能是汽蒸加热不会发生搅动, 并且加热后内部温度不高, 对鱼肉破坏较小, 因此更能有效地保留肌肉纤维结构; C 组的纤维结构出现了明显的收缩, 肌肉纤维中的间隙明显增大, 这可能是因为油炸加热的温度较高引起的; D 组的肌肉纤维结构呈片状, 可能是在微波的作用下加剧了蛋白质的交联, 增加了水化能力, 从而使得细胞的间隔变小后形成片状^[22]。因此, 汽蒸加热后的微观结构变化较小, 油炸和微波加热影响较大。

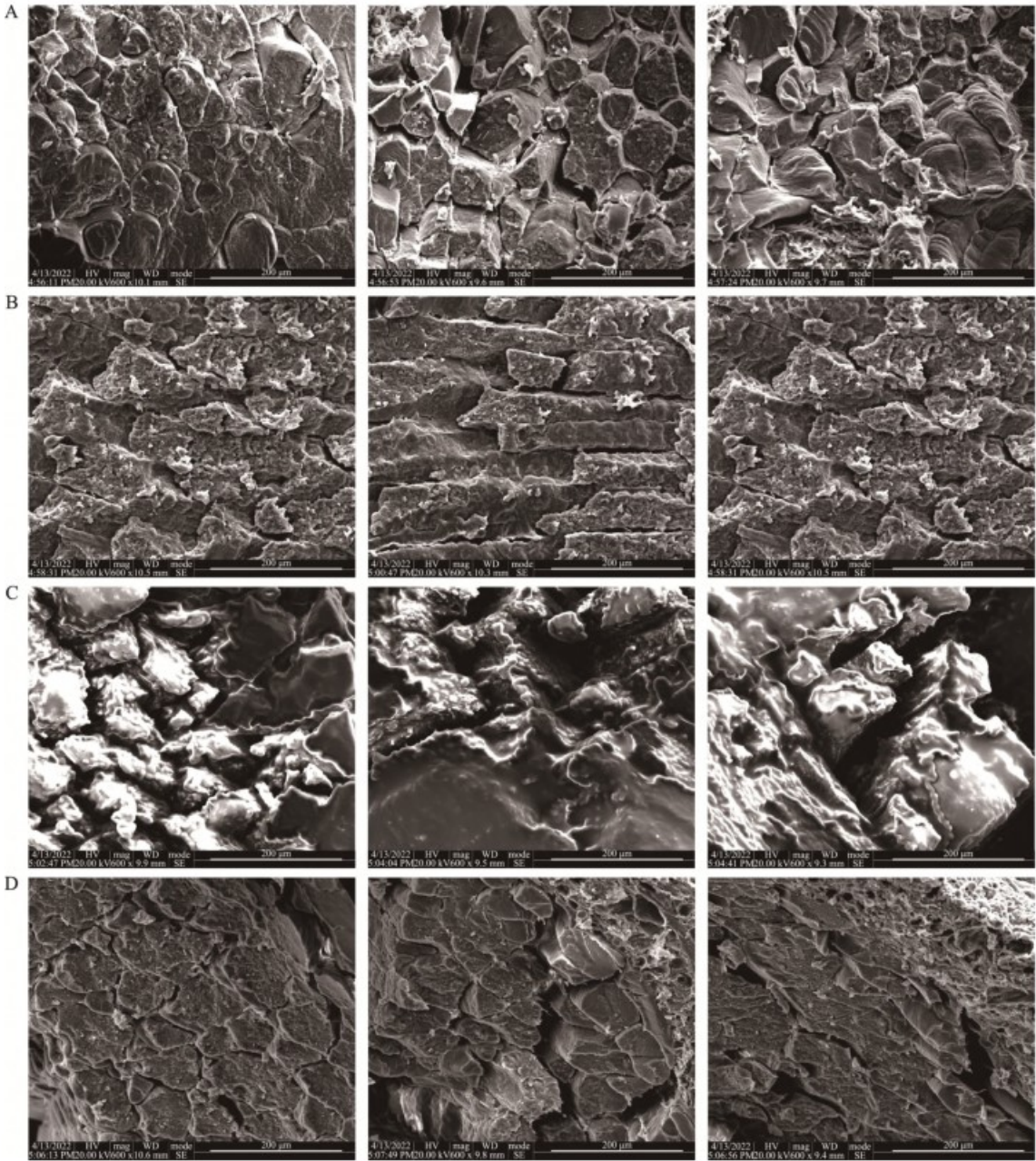


图 4 不同加热方式对调理草鱼片微观结构的影响
Fig.4 Effects of different heating methods on microstructure of prepared grass carp fillets

2.7 不同加热方式对调理草鱼片挥发性风味物质的影响

由表 5 可知, 从不同加热方式的调理草鱼片中共检测出 86 种挥发性风味物质, 其中醛类 8 种、醇类 13 种、酯类 12 种、酸类 10 种、烯类 11 种、烷类 10 种、苯类 4 种、酮类 5 种、醚类 1 种和其他 12 种。不同加热方式后的调理草鱼片所含挥发性风味物质的种类和相对含量都有所差异, 但风味类型相近, 其中相对含量较高的为醛类、醇类等, 而醚类、烷类的含量相对较低。

醛类物质的阈值一般较低, 并具有脂肪的香味, 对调理草鱼片主体风味的形成具有重要贡献^[23]。壬醛是油酸氧化的产物, 具有油脂味、腊香^[24]。正己醛和正辛醛是其主要成分, 正己醛主要产生于亚油酸和花生四烯酸的氧化, 具有青草气味^[25], 还会增加油炸加热调理草鱼片的油脂味、烤肉味和烘烤味。A 组种类与 B 组相近, 说明水浴加热和汽蒸加热对醛类物质的影响相近, B 组和 D 组醛类种类最多, 说明汽蒸和微波加热更有利于醛类物质的生成。

表 5 不同加热方式对调理草鱼片挥发性风味物质的影响
Table 5 Effects of different heating methods on volatile flavor substances of conditioned grass carp fillets

类别	化合物	保留时间/min	CAS	中文名	相对含量/%			
					A	B	C	D
醛类	1	3.922	16630-91-4	2-甲基庚醛	3.98		4.43	2.06
	2	6.127	66-25-1	正己醛	6.81	5.56	6.55	5.31
	3	9.257	111-71-7	庚醛	7.76	5.28		5.72
	4	3.41	123-38-6	丙醛		3.05		
	5	3.952	638-37-9	丁二醛		2.18		
	6	13.057	124-13-0	正辛醛	1.90	3.99	3.02	3.61
	7	11.514	100-52-7	苯甲醛				1.25
	8	17.011	124-19-6	壬醛	6.13	5.48	3.37	4.94
醇类	1	2.214	64-17-5	乙醇	7.04	5.15		
	2	4.671	71-41-0	1-戊醇	3.45		1.41	4.24
	3	5.376	71-41-0	正戊醇		4.38	3.86	2.08
	4	4.06	110-63-4	1,4-丁二醇		0.98		
	5	42.224	55261-00-2	二氧化 4-氨基四氢噻吩-3-醇	2.51	1.18	1.58	
	6	13.152	817-91-4	4-甲基-1-庚醇			0.84	
	7	3.75	4415-82-1	环丁基甲醇		4.68	3.45	
	8	3.757	1576-96-1	反-2-戊烯-1-醇	4.74			3.12
	9	2.842	35301-43-0	2-乙基环丁醇		2.16		
	10	4.751	1565-80-6	S-2-甲基-1-丁醇		2.34	3.49	
	11	6.665	16369-05-4	2-氨基-3-甲基-1-丁醇			2.80	
	12	5.043	6117-91-5	2-丁烯-1-醇		0.53		
	13	12.249	26001-58-1	正-2-辛烯-1-醇				2.09
酯类	1	42.431	3032-55-1	三羟甲基乙烷三硝酸酯		3.08	5.11	
	2	12.392	3050-69-9	己酸乙烯基酯		2.23		
	3	4.743	625-22-9	硫酸二丁酯				1.53
	4	2.962	141-78-6	乙酸乙酯		5.99		7.50
	5	6.827	543-87-3	硝酸异戊酯				4.25
	6	42.712	123-86-4	乙酸丁酯		0.39		
	7	4.315	52195-40-1	1,2,4-苯三甲酸三辛酯	3.15			
	8	9.132	122-70-3	丙酸-2-苯乙酯				0.14
	9	6.865	16466-61-8	叠氮二羧酸二叔丁酯			3.29	
	10	5.143	2438-20-2	丙酸 2-甲基丁酯	2.62			
	11	5.023	2399-48-6	丙烯酸四氢糠基酯	3.12			
	12	5.124	1002-16-0	硝酸戊酯				2.66
酸类	1	3.475	6152-89-2	5-羟基戊酸	2.93			
	2	3.087	72-18-4	L-缬氨酸		0.98		
	3	7.105	144-62-7	草酸		4.34		
	4	6.87	6737-24-2	2-羟基-2-[(1-氧代-2-丙烯基)氨基]乙酸	0.50			
	5	41.896	54699-35-3	1,2,4-苯三羧酸		2.45	0.99	2.77

表 5(续)

类别	化合物	保留时间/min	CAS	中文名	相对含量/%			
					A	B	C	D
酸类	6	4.858	133-37-9	DL-酒石酸			1.48	
	7	6.927	107-35-7	牛磺酸		2.75	3.76	
	8	42.609	645-88-5	2-(氨基氧基)乙酸		0.37		
	9	4.636	42848-06-6	E-1-甲基硫代-1-丙烯				3.97
	10	12.324	557-24-4	马来酰胺酸	1.30			
烷烃类	1	5.499	513-35-9	2-甲基-2-丁烯	1.19			
	2	3.63	1691-13-0	1,2-二氟乙烯	0.00		4.01	3.79
	3	4.698	3769-23-1	4-甲-1-己烯	2.17			
	4	4.38	52195-40-1	Z-1-甲硫基-1-丙烯			4.64	
	5	3.462	75-02-5	氟化乙烯		2.85		3.66
	6	8.916	100-42-5	苯乙烯	4.21	2.65	3.71	3.61
	7	11.056	79-92-5	蒎烯	0.93		1.02	1.38
	8	7.085	75-02-5	氟乙烯	4.84			
	9	6.722	75-38-7	1,1-二氟乙烯			6.75	
	10	42.481	381-61-3	2-氟-1:3-丁二烯		2.18		
	11	14.158	99-83-2	水芹烯			0.98	
	12	6.507	541-05-9	六甲基环三硅氧烷	4.02			
	13	6.705	53229-41-7	1,2-环氧基-5-甲基己烷	2.30			
	14	19.625	62108-22-9	2,5,9-三甲基癸烷			1.51	
	15	15.212	16747-50-5	1-乙基-1-甲基环戊烷	1.92			
苯类	16	13.005	111-84-2	壬烷				0.49
	17	20.721	62108-22-9	2,5,9-三甲基癸烷		1.59		0.79
	18	14.011	515-40-2	1-氯-2-甲基-2-苯基丙烷		0.38		
	19	19.558	1002-43-3	3-甲基十一烷	1.49			
	20	15.462	1071-26-7	2,2-二甲基庚烷		0.62		
	21	20.676	921-47-1	2,3,4-三甲基正己烷	0.73			
	1	7.858	100-41-4	乙基苯	4.37	2.90		4.22
	2	8.136	106-42-3	对二甲苯	1.98	1.09		
	3	13.931	535-77-3	间异丙基甲苯	1.53	1.33		1.35
	4	8.206	108-38-3	间二甲苯			2.11	2.06
酮类	1	14.221	54410-98-9	4,6,8-三甲基-1-壬酮	0.34			
	2	4.295	666-52-4	氘代丙酮		6.32		
	3	20.749	5405-79-8	2,2-二甲基己酮			0.54	
	4	2.249	39795-60-3	5-溴吡啶啉-2-酮	3.04			
醚类	5	3.237	590-90-9	4-羟基-2-丁酮		1.43		
	1	4.505	3299-32-9	烯丙基甲基硫醚		3.50		
	1	13.936	824-86-2	苄基甲基亚砷	2.33			
	2	3.61	3226-65-1	L-蛋氨酸亚砷			6.69	5.00
其他	3	3.965	14094-11-2	叔-丁基甲基亚砷				
	4	5.086	7446-09-5	二氧化硫		2.76	2.41	6.56
	5	2.319	10102-44-0	二氧化氮	2.61			
	6	2.849	14610-37-8	N-叔丁基甲胺			1.66	
	7	42.419	5823-51-8	1,2,5-噻二唑啉 1,1-二氧化物		0.85	7.15	
	8	6.997	53005-05-3	4,4'-二异硫氰酰-2,2'-基二磺酸二钠盐			1.45	6.74
	9	7.903	100-41-4	乙基苯			5.43	
	10	2.284	75-12-7	甲酰胺				3.13
	11	42.186	6921-35-3	3,3-二甲基乙氧			0.50	
	12	3.117	13961-37-0	2-乙基哌嗪	2.07			

醇类物质主要来源于糖、氨基酸和醛类化合物的还原以及脂质氧化^[26], B组检测出的种类最多, 相对含量也较高, 说明汽蒸加热有利于醇类物质的生成。

酯类物质主要是醇类和酸类物质酯化反应的产物^[27], 各组间种类差异较大, B组和D组的酯类物质更多。说明对其类别影响差距明显, 汽蒸和微波加热更有利于酯类物质的生成。

酸类物质一般来源于烷烃类有机化合物的氧化和酯类物质的水解^[28]。各组的酸类物质种类和相对含量变化较大, 但B组的相对含量和种类明显高于其他组别。说明汽蒸加热更有利于酸类物质的生成。

烷烃物质主要来自脂肪酸烷氧自由基的均裂, 现有研究表明, 烷烃类化合物在一定条件下可以形成醛和酮^[29]。烷烃类物质的阈值较高, 一般对风味的贡献都较小^[30]。

酮类赋予调理鱼片花香及果香味, 是调理草鱼片具有贡献的挥发性成分^[31]。A组和B组的酮类物质数量虽然一样, 但B组的相对含量远高于A组, C组相对含量较低, D组未检测出酮类物质。说明汽蒸加热更利于酮类物质的生成。

其他风味物质对调理草鱼片的风味影响较小, 但对整体风味的形成具有促进作用。

3 结 论

本研究通过对比不同加热方式(水浴、汽蒸、油炸和微波)处理调理草鱼片的感官、色度值、水分含量、烹饪损失率、质构、微观结构和挥发性风味物质的变化情况, 发现加热对调理草鱼片的感官评价影响显著($P<0.05$), 水浴加热和油炸加热的效果更优; 水浴加热和汽蒸加热更有利于其提升亮度值, 油炸加热更有利于提升黄度值; 加热方式对调理草鱼片水分含量的影响显著($P<0.05$); 不同加热方式对调理草鱼片的蒸煮损失率影响显著($P<0.05$); 水浴加热对调理草鱼片质构的影响最小, 汽蒸加热更能提升其嫩度, 油炸加热使得弹性显著提高($P<0.05$), 微波加热后嫩度下降、咀嚼性增加; 汽蒸加热后的调理草鱼片纤维组织紧致清晰; 共检测出86种挥发性风味物质, 其中醛类8种、醇类13种、酯类12种、酸类10种、烯类11种、烷类10种、苯类4种、酮类5种、醚类1种和其他12种, 醛类、醇类、酮类和酸类为调理草鱼片的主要挥发性风味物质。

综上所述, 汽蒸加热对调理草鱼肉微观结构、水分含量影响相对较小, 主要挥发性风味物质种类丰富、相对含量较高, 还可以提升其嫩度, 减少烹饪损失, 因此, 汽蒸加热更有利于调理草鱼片的加热。本研究中仅考察了特定方式、温度、时间下不同加热方式对调理草鱼片品质和挥发性风味物质的影响, 而特定加工方式中不同温度与加热时间对调理草鱼片品质性质的影响还需进一步研究。

参考文献

- [1] 王正云, 李婷, 刘子潇, 等. 不同贮藏温度下草鱼内脏鱼油品质变化[J]. 食品工业科技, 2023, 44(1): 362-368.
WANG ZY, LI T, LIU ZX, *et al.* Quality changes of grass carp visceral fish oil under different storage temperatures [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2023, 44(1): 362-368.
- [2] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
Ministry of Agriculture Fisheries Bureau. China fishery yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2012.
- [3] 田丽, 庄帅, 罗涛, 等. 干制对生鲜调理草鱼贮藏品质和菌群结构的影响[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(2): 164-172.
TIAN L, ZHUANG S, LUO T, *et al.* Effects of drying on the storage quality and microbial composition of fresh prepared grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets [J]. *J China Agric Univ*, 2022, 27(2): 164-172.
- [4] 卢琳, 路索, 武润琳, 等. 第二段加热方式对鱼饼食用品质及脂肪含量的影响[J/OL]. 华中农业大学学报(自然科学版): 1-7. [2022-12-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1181.S.20220613.1237.002.html>
LU L, LU S, WU RL, *et al.* Effect of the second heating method on the edible quality and fat content of fish cake [J/OL]. *J Huazhong Agric Univ (Nat Sci Ed)*: 1-7. [2022-12-01]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1181.S.20220613.1237.002.html>
- [5] PATEIRO M, LORENZO JM, VÁZQUEZ JA, *et al.* Oxidation stability of pig liver pâté with increasing levels of natural antioxidants (grape and tea) [J]. *Antioxidants*, 2015, 4(1): 102-123.
- [6] 李锐. 不同热加工方式对罗非鱼片品质变化影响作用研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2021.
LI R. Effects of different thermal processing methods on tilapia fillet quality [D]. Yantai: Yantai University, 2021.
- [7] 李锐, 孙祖莉, 杨贤庆, 等. 加热方式对罗非鱼片质构特性和蛋白质理化特性的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(4): 577-583.
LI R, SUN ZL, YANG XQ, *et al.* Effects of heating methods on texture and protein physicochemical properties of Nile tilapia fillets [J]. *J Dalian Ocean Univ*, 2020, 35(4): 577-583.
- [8] ZHANG H, WANG W, WANG H, *et al.* Effect of e-beam irradiation and microwave heating on the fatty acid composition and volatile compound profile of grass carp surimi [J]. *Radiat Phys Chem*, 2017, 130: 436-441.
- [9] 郑红, 苏现波, 马良, 等. 不同冷藏时间的鳙鱼肉经熟化后质构特性变化及其机理[J]. 食品科学, 2018, 39(23): 6.
ZHENG H, SU XB, MA L, *et al.* Effect and underlying mechanism of cold storage on textural properties of cooked monopterus albus [J]. *Food Sci*, 2018, 39(23): 6.
- [10] 丁波, 代安娜, 顾利, 等. 卤制过程中牦牛肉品质的变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(9): 171-175.
DING B, DAI ANN, GU L, *et al.* Study on meat quality changes in the process of marinating [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(9): 171-175.
- [11] 徐若媛, 薛纪元, 王敏, 等. 不同热处理方式对牛肉嫩度和挥发性风味物质的影响[J/OL]. 食品工业科技: 1-18. [2022-12-20]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022050168
XU RY, XUE JY, WANG M, *et al.* Effects of different thermal treatments on tenderness and volatile flavor compounds of beef [J/OL]. *Sci Technol Food Ind*: 1-18. [2022-12-20]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.

2022050168

- [12] VAUDAGNA SR, SANCHEZ G, NEIRA MS, *et al.* Sous vide cooked beef muscles: Effects of low temperature-long time (LT-LT) treatments on their quality characteristics and storage stability [J]. *Int J Food Sci*, 2002, 37(4): 425–441.
- [13] CHRISTENSEN L, ERTBJERG P, LØJE H, *et al.* Relationship between meat toughness and properties of connective tissue from cows and young bulls heat treated at low temperatures for prolonged times [J]. *Meat Sci*, 2013, 93(4): 787–795.
- [14] CHANDRASEKARAN S, RAMANATHAN S, BASAK T. Microwave food processing-A review [J]. *Food Res Int*, 2013, 52(1): 243–261.
- [15] 赵宇航, 尹文婷, 汪学德, 等. 微波预处理对芝麻油风味、营养和安全品质的影响[J/OL]. *食品科学*: 1-20. [2022-12-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20221110.1747.006.html>
- ZHAO YH, YIN WT, WANG XD, *et al.* Effect of microwaving sesame seed on the flavor, nutrition and safety quality of sesame oil [J]. *Food Sci*: 1-20. [2022-12-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20221110.1747.006.html>
- [16] 熊雅雯, 黄卉, 李来好, 等. 不同煮制条件对罗非鱼片品质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(11): 39–48.
- XIONG YW, HUANG H, LI LH, *et al.* Effects of different boiling conditions on the quality of tilapia fillets [J]. *Food Sci*, 2022, 43(11): 39–48.
- [17] CARLEZ A, VECIANA-NOGUES T, CHEFTEL JC. Changes in colour and myoglobin of minced beef meat due to high pressure processing [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 1995, 28(5): 528–538.
- [18] THIANSILAKUL Y, BENJAKUL S, RICHARDS MP. Isolation, characterisation and stability of myoglobin from Eastern little tuna (*Euthynnus affinis*) dark muscle [J]. *Food Chem*, 2010, 124(1): 254–261.
- [19] 卜玲娟, 姚青, 王彪, 等. 蒸制方式与器具对鳊鱼品质的影响[J]. *食品工业*, 2022, 43(3): 5.
- BU LJ, YAO Q, WANG B, *et al.* Effects of steaming methods and steaming utensils on the quality of mandarin fish [J]. *Food Ind*, 2022, 43(3): 5.
- [20] BELL JW, FARKAS BE, HALE SA. Effect of thermal treatment on moisture transport during steam cooking of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) [J]. *J Food Sci*, 2001, 66(2): 307–313.
- [21] 唐建华, 张秀南, 何小龙, 等. 加热温度对草鱼肉理化性质、质构与微观结构的影响[J]. *美食研究*, 2020, 37(4): 6.
- TANG JH, ZHANG XN, HE XL, *et al.* Effects of heating temperature on the physical and chemical properties, texture profiles and microstructure of grass carp [J]. *J Res Die Sci Cult*, 2020, 37(4): 6.
- [22] 姜晶丹, 杨明远, 许长华, 等. 湿腌时盐质量浓度对草鱼肌肉组织结构和品质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(8): 40–45.
- JIANG JD, YANG MY, XU CH, *et al.* Effects of salt concentration on texture, microstructure and quality of grass carp muscle [J]. *Food Sci*, 2021, 42(8): 40–45.
- [23] 秦琛强, 杨卫芳, 吕学泽, 等. 北京油鸡煲汤过程中鸡汤的风味变化[J]. *肉类研究*, 2021, 35(10): 25–32.
- QIN CQ, YANG WF, LV XZ, *et al.* Change in the flavor of Beijing-you chicken broth during cooking [J]. *Meat Res*, 2021, 35(10): 25–32.
- [24] DING A, ZHU M, QIAN X, *et al.* Effect of fatty acids on the flavor formation of fish sauce [J]. *LWT*, 2020, 134: 110259.
- [25] 顾赛麒, 唐锦晶, 周绪霞, 等. 腌腊鱼传统日晒干制过程中品质变化与香气形成[J]. *食品科学*, 2019, 40(17): 36–44.
- GU SQ, TANG JJ, ZHOU XX, *et al.* Quality change and aroma formation in cured fish during traditional processing [J]. *Food Sci*, 2019, 40(17): 36–44.
- [26] SELLI S, CAYHAN GG. Analysis of volatile compounds of wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) by simultaneous distillation-extraction (SDE) and GC-MS [J]. *Microchem J*, 2009, 93(2): 232–235.
- [27] HZ A, KH B, HC A, *et al.* Characterization of flavor active non-volatile compounds in chicken broth and correlated contributing constituent compounds in muscle through sensory evaluation and partial least square regression analysis [J]. *LWT*, 2020, 118: 108786.
- [28] 冯军, 陈海海, 黄明泉, 等. 不同品牌郫县豆瓣酱挥发性成分的比较研究[J]. *北京工商大学学报(自然科学版)*, 2010, 28(3): 17–22.
- FENG J, CHEN HT, HUANG MQ, *et al.* Study on volatiles in different pixian pea sauces [J]. *J Food Sci Technol*, 2010, 28(3): 17–22.
- [29] 贾哲, 陈晓婷, 潘南, 等. 双斑东方鲀在冷藏保鲜过程中挥发性风味物质的变化[J]. *食品科学*, 2021, 42(20): 188–196.
- JIA Z, CHEN XT, PAN N, *et al.* Changes of volatile flavor compounds in takifugu bimaculatus during refrigeration storage [J]. *Food Sci*, 2021, 42(20): 188–196.
- [30] 张韵, 李惠惠, 王菁, 等. 不同烹制工艺对香菇挥发性成分和感官特性的影响[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(6): 75–84.
- ZHANG Y, LI HH, WANG J, *et al.* Effects of cooking techniques on volatile components and sensory characteristics of shiitake mushroom [J]. *Food Res Dev*, 2022, 43(6): 75–84.
- [31] 杜颖琦, 范丽莉, 欧昌荣, 等. 鲭鱼发酵过程中挥发性风味成分与细菌种群演替的相关性研究[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(20): 152–162.
- DU YQ, FAN LL, OU CR, *et al.* Correlation between volatile flavor components and bacterial population succession during mackerel fermentation [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2022, 43(20): 152–162.

(责任编辑: 黄周梅 于梦娇)

作者简介



童光森, 硕士, 副教授, 主要研究方向为烹饪科学。

E-mail: 610100tgsen@163.com