DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2026.16.010

预干燥对油炸卵形鲳鲹油脂吸收及挥发性风味物质的影响

卢思思[1,2],杨子毅[1,2],莫琬滢[1,2],谢霞婷[1,2],车桂香[1,2],欧妍[1,2],刘莹[1,2],马瑞东[1,2],刘小玲[1,2*]
(1. 广西大学 轻工与食品工程学院,广西 南宁 530004;2. 广西高校特色农产品精深加工与安全重点实验室,广西 南宁 530004)

摘　要:为降低水产制品在油炸过程中的油脂吸收程度,以卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)为研究对象,在不同预干燥条件下进行油炸,测定油脂含量与分布、微观结构、挥发性风味物质以及感官评分、煎炸油酸价、黏度和脂肪酸变化,探讨预干燥处理对油炸卵形鲳鲹在降低油脂吸收和改善风味中的效果。研究结果表明,预干燥处理显著减少油脂吸收($P<0.05$),延长干燥时间使鱼块油脂含量逐渐降低,鱼块表面吸收油脂含量逐渐减少,其表面结构由裂缝和孔洞转为致密平滑。挥发性风味物质分析表明,预干燥 1 h、油炸 3.5 min 的样品(D_{61}-$F_{3.5}$)在风味物质种类与相对含量上表现优于其他处理组,尤其油炸香气与鱼肉香气更平衡,更易被消费者接受。同时,在油炸前将鱼块进行预干燥处理可以明显降低煎炸油酸价及黏度,降低油脂氧化分解速率,延长煎炸油食用寿命。综上,适度的预干燥处理可有效减少油脂吸收,改善油炸鱼块的风味和质地。

关键词:卵形鲳鲹;预干燥;油炸;油脂吸收;挥发性风味物质

Effect of Pre-drying on Oil Absorption and Volatile Flavor Substances in Fried *Trachinotus ovatus*

LU Sisi[1,2], YANG Ziyi[1,2], MO Wanying[1,2], XIE Xiating[1,2], CHE Guixiang[1,2], OU Yan[1,2], LIU Ying[1,2], MA Ruidong[1,2], LIU Xiaoling[1,2*]
(1. College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China; 2. Key Laboratory of Deep Processing and Safety Control for Specialty Agricultural Products in Guangxi Universities, Nanning 530004, Guangxi, China)

Abstract: To reduce the oil absorption of fried aquatic products during the frying process, this study focused on *Trachinotus ovatus* and fried fish pieces at different pre-drying levels. The oil content and distribution, microstructure, volatile flavor substances, and sensory evaluation changes were measured, along with the acidity, viscosity, and fatty acid changes of the frying oil. The effects of pre-drying treatment on reducing oil absorption and improving flavor in fried *Trachinotus ovatus* were explored. The results indicated that pre-drying treatment significantly reduced oil absorption ($P<0.05$). Increasing the drying time gradually decreased the oil content in the fish pieces, and the oil absorption on the surface of the fish pieces gradually diminished, with the surface structure changing from cracks and pores to a dense and smooth texture. Volatile flavor substance analysis showed that the sample with 1 h of pre-drying and 3.5 min of frying (D_{61}-$F_{3.5}$) performed better in terms of flavor substance types and relative content compared to other treatment groups, particularly achieving a better balance between fried aroma and fish aroma, making it more acceptable to consumers. Additionally, pre-drying the fish pieces before frying significantly reduced the acidity and viscosity of the frying oil, lowered the rate of oil oxidation and decomposition, and extended the shelf life of the frying oil. In conclusion, appropriate pre-drying treatment can effectively reduce oil absorption, improve the flavor and texture of fried fish pieces, and provide a reference for developing low-fat aquatic prepared dishes.

Key words: *Trachinotus ovatus*; pre-drying; deep frying; oil absorption; volatile flavor substance

作者简介:卢思思(1999—),女(壮),硕士,研究方向:水产品加工与理论技术。
*通信作者:刘小玲(1972—),女(汉),教授,博士,研究方向:水产品加工与理论技术。

引文格式：
卢思思，杨子毅，莫琬滢，等．预干燥对油炸卵形鲳鲹油脂吸收及挥发性风味物质的影响[J]. 食品研究与开发，2026，47(16)：78-88.
LU Sisi, YANG Ziyi, MO Wanying, et al. Effect of Pre-drying on Oil Absorption and Volatile Flavor Substances in Fried *Trachinotus ovatus*[J]. Food Research and Development, 2026, 47(16): 78-88.

金鲳鱼学名卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)，属硬骨鱼纲、鲈形目、鲹科、鲳鲹属[1]。我国卵形鲳鲹养殖产业起步较早，现已成为广东、广西、海南、福建等省及自治区深水网箱养殖鱼类的主要品种[2]。水产品预制菜需求增加，油炸鱼块因其良好风味而广受欢迎[3]。油炸作为鱼类预制菜生产的一种常用热处理方法，可使鱼肉组织紧实，增进鱼肉的风味。但在深度油炸时会吸收大量油脂，在贮藏过程中容易引起油脂氧化酸败，影响口感和风味，从而缩短油炸食品贮藏期限。同时，油炸食品的高脂肪易引发代谢综合征。

在油炸过程中，当食品被置入热油后，内部基质的水分开始蒸发并从表面溢出，水蒸气不断由食物内部向外移动，食物表面形成孔隙，油脂通过这些孔隙渗入食品中，水分含量及其状态显著影响了油炸食品的油脂含量[4]。Zhang 等[5]探究一次油炸和二次油炸薯片的表面油、结构油、渗透表面油含量，以及油炸过程中油的分布。结果显示，薯片初始水分含量对其吸收油脂有显著影响，主要原因是水分蒸发后产生了大量的孔隙。Debnath 等[6]探究了鹰嘴豆粉油炸过程中水分蒸发和油脂吸收的动力学，结果表明，预干燥处理能显著影响油炸效果，并能够有效降低油炸后鹰嘴豆粉的油脂含量。多项研究表明，预干燥通过减少水分含量，从而减少油炸过程中水分蒸发产生的孔隙数量，限制油脂通过这些孔隙进入鱼块。同时，预干燥也影响鱼肉的风味和口感。一些研究还发现，预干燥工艺不仅能够减少油脂吸收，还能在一定程度上保留鱼类的鲜味和口感[7]。干燥时间是影响预干燥效果的重要参数，干燥时间过长可能导致水分流失过多，进而影响产品的口感。此外，目前大部分研究集中在油脂吸收[8-10]，而预干燥对油炸鱼块的油脂吸收和风味变化研究较少，且此部分内容对于开发更健康的油炸水产品具有重要意义。因此，如何优化干燥时间以达到降低油脂吸收、保留良好风味的双重目标仍是一个值得深入研究的方向。

本研究以卵形鲳鲹为研究对象，在不同预干燥条件下油炸卵形鲳鲹鱼块，测定油脂含量与分布、微观结构、挥发性风味物质、感官评分变化，以及煎炸用油酸价、黏度和脂肪酸变化，探讨预干燥工艺对油炸卵形鲳鲹在降低油脂吸收和改善风味中的效果，以期为开发低脂的油炸卵形鲳鲹冷冻预调理制品提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

冷冻卵形鲳鲹(人工养殖，0.5 kg/条)、食用植物调和油：市售；石油醚、无水乙醇、戊二醛、氢氧化钠、甲醇、三氟化硼-甲醇、异辛烷、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、无水硫酸钠、氯化钠、正己烷(均为分析纯)：国药集团化学试剂有限公司；苏丹红 B：天津市科密欧化学试剂有限公司。

X-GF101-3-BS 电热恒温鼓风干燥机：上海精宏实验设备有限公司；F16502 扫描电子显微镜：荷兰 PHENOM 公司；XJ-6K116 电炸锅：爱思杰电器(深圳)有限公司；7890B-5977A 气相色谱-质谱联用仪：美国 Agilent 公司；FD-1D-50 冷冻干燥机：北京博医康实验仪器有限公司；LEICA·DMi8 倒置显微镜：恩斯特莱卡公司；HJ-6A 数显恒温磁力搅拌器、XMTD-204 水浴锅：江苏金怡仪器科技有限公司；ROTAVISC lo-vi 型黏度仪：德国艾卡仪器设备有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 卵形鲳鲹肌肉的基本营养成分测定

冷冻卵形鲳鲹置于 4 ℃条件下解冻 12 h，去除内脏、鱼鳃、鱼鳞等不可食部分，清洗干净备用。取下鱼背肌部分肌肉组织，一部分剪碎于 4 000 r/min 匀浆后用于测定。水分含量测定参考 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》[11]；粗脂肪含量测定参考 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》[12]；粗蛋白质含量测定参考 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》[13]；灰分含量测定参考 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》[14]。

1.2.2 油炸过程中卵形鲳鲹鱼块水分含量和油脂含量的变化

将卵形鲳鲹肌肉组织切块(10 cm×5 cm×1 cm)，腌制 1 h 后进行油炸，油料质量比 10∶1、温度(150±5)℃，测定油炸 0、1、2、3、4、5、6 min 时鱼块的水分含量和油脂含量。

1.2.3 卵形鲳鲹鱼块预干燥及油炸工艺

干燥曲线的测定：按 1.2.2 处理卵形鲳鲹至腌制后，将卵形鲳鲹鱼块置于电热恒温鼓风干燥机中，于 50 ℃下对其进行预干燥。每隔 0.5 h 将样品取出进行称重，计算此时鱼块的水分含量(湿基)，绘制鱼块水分

含量变化曲线。通过下列公式计算干基含水率。

$$W_t = \frac{M_t - M_g}{M_g}$$

式中：W_t 为物料 t 时刻的干基含水率，g/g；M_t 为物料 t 时刻的质量，g；M_g 为物料绝干时的质量，g。

卵形鲳鲹鱼块预干燥工艺及油炸（油炸参数同 1.2.2，炸至水分含量 45%）工艺：将未经预干燥和油炸的样品记为 F；未经预干燥且油炸 4 min 的样品记为 D_{69}-F_4；经不同预干燥（分别干燥至水分含量 61%、55% 和 50%）和油炸（油炸时间分别为 3.5、2.5 min 和 1.0 min）样品分别标记为 D_{61}-$F_{3.5}$、D_{55}-$F_{2.5}$ 和 D_{50}-F_1。将油炸后的油液分别标记为 D_{69}-F_4-O、D_{61}-$F_{3.5}$-O、D_{55}-$F_{2.5}$-O 和 D_{50}-F_1-O（分别对应 D_{69}-F_4、D_{61}-$F_{3.5}$、D_{55}-$F_{2.5}$ 和 D_{50}-F_1 样品），未使用油液标记为空白组。

1.2.4　感官评价

将处理得到的不同组别卵形鲳鲹鱼块置于透明自封袋中，随机编号样品，并以随机顺序分发给感官评价员。由 10 名经过培训的感官评价人员对各个样品进行评分。评价指标包括鱼块色泽、气味、油腻感、质地、外形，具体感官评价标准见表 1。

表 1　感官评价标准

Table 1　Sensory evaluation criteria

指标	评分标准	分值
色泽	颜色金黄，有光泽，富有食欲	7~10
（10）	颜色金黄，稍有光泽	4~<7
	颜色焦黄或暗淡，无光泽	1~<4
气味	卵形鲳鲹油炸香气与肉香较为协调，无腥味	7~10
（10）	卵形鲳鲹油炸香气和肉香较淡，略有腥味	4~<7
	卵形鲳鲹油炸香气和肉香不明显，腥味重	1~<4
油腻感	表面不泛油，口感不滑腻	7~10
（10）	表面微泛油，油脂味较淡	4~<7
	泛油严重，油脂味浓郁	1~<4
质地	肉质软硬适度，微微的粗糙感	7~10
（10）	肉质稍微发干，粗糙感较小	4~<7
	无咀嚼性或过度咀嚼性，过软或过硬	1~<4
外形	油炸卵形鲳鲹外形饱满	7~10
（10）	油炸卵形鲳鲹外形略微收缩，不残缺	4~<7
	油炸卵形鲳鲹外形收缩严重，有残缺	1~<4

1.2.5　酸价的测定

酸价的测定参考 GB 5009.229—2016《食品安全国家标准 食品中酸价的测定》[15]。

1.2.6　黏度的测定

将油液在室温下静置 2 h，在 25 ℃的恒温水浴中，使用黏度仪测定体系的黏度，采用 SP-4 转子测量。每个样品平行 10 次，并计算其平均值。

1.2.7　苏丹红染色试验

将 0.5 g 苏丹红 B 倒入 1 L 食用植物调和油中，在 60 ℃烧杯中磁力搅拌加热 4 h，将染料与油充分混合，制备染色油。将卵形鲳鲹鱼块置于染色油中油炸，自然冷却后，将鱼块切为 2 mm×2 mm×1 mm 平整薄片，用倒置显微镜观察染色结果，放大倍数为 4 倍。

1.2.8　微观结构观察

参照董鑫磊等[16]的方法并稍作修改。将卵形鲳鲹鱼块切成 5 mm×5 mm×1 mm 的小块，放入烧杯中，加入石油醚浸泡 3 h，随后，用 pH7.4 磷酸缓冲溶液清洗 5 min，重复此过程 3 次；在 4 ℃条件下用 2.5% 戊二醛溶液固定 24 h；再次用 pH7.4 磷酸缓冲溶液清洗 5 min，重复此过程 3 次；然后依次用体积分数为 50%、60%、70%、80%、90% 和 100% 乙醇进行脱水，脱水后在−80 ℃下预冻 12 h，再置于冷冻干燥机中干燥 24 h；最后采用离子溅射对样品表面喷金。使用扫描电子显微镜观察并拍照。

1.2.9　脂肪酸的测定

参考严俊安等[17]的方法并稍作修改。样品甲酯化：称取 1 滴食用植物调和油（约 0.02 g）于 10 mL 玻璃螺口具塞离心管中，加入 2.5 mL 0.5 mol/L NaOH-MeOH 溶液，振荡混匀。在 45 ℃水浴中皂化 20 min，加入 2 mL 14% BF_3-甲醇溶液，混匀，继续水浴 2 min，取出迅速冷却，加入 2 mL 正己烷，振荡 1 min，加入 2 mL 饱和氯化钠溶液，上层清液经水洗和无水硫酸钠脱水后，于气相色谱-质谱联用仪（gas chromatography-mass spectrometry，GC-MS）进样分析。

色谱条件：TG-WAXMS 色谱柱（60 m×0.25 mm，0.5 μm），载气为高纯氦气。升温程序：190 ℃保持 0 min，再以 12 ℃/min 升温至 230 ℃并保持 18 min。进样口温度 250 ℃，检测器温度 280 ℃，柱流速 1 mL/min，分流比 10∶1，进样量 1 μL。

质谱条件：电子轰击源，电子能量 70 eV；溶剂延迟时间 4 min，离子源温度 230 ℃，四极杆温度 150 ℃；接口温度 250 ℃，质量扫描范围 m/z 50~500。

1.2.10　顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用（head-space solid phase micro-extraction gas chromatography-mass spectrometry，HS-SPME-GC-MS）分析

参考 Balcerzak 等[18]的方法并稍作修改。准确称取 3.0 g 卵形鲳鲹鱼块，放入 20 mL 顶空瓶中，加入 2 mL/g 样品的饱和氯化钠溶液密封后，将其置于 50 ℃带有磁力搅拌器的水浴锅中，加热平衡 10 min，将萃取头在 250 ℃下老化 0.5 h，并插入样品中吸附 0.5 h，再迅速将萃取头插入 GC-MS 中，解吸 5 min 后取出，样品重复试验两次。

色谱条件：色谱柱型号 HP-Innowax 毛细管柱（60 m×250 μm，0.25 μm），前进样口温度为 250 ℃，进样量为 1.0 μL，载气为高纯 He，流量为 1.0 mL/min。程序升温：柱箱初始温度为 40 ℃并保持 5 min，以 3 ℃/min

升至 80 ℃并保持 7 min，以 7 ℃/min 升至 200 ℃。

质谱条件：电子电离源，电子能量 70 eV，离子源温度 230 ℃，传输线温度 250 ℃，四极杆温度 150 ℃，扫描范围 m/z 35~500。

1.3 数据处理

采用 Office 2021 软件进行数据分析，用 SPSS 26.0 版软件进行邓肯氏单因素显著性差异分析，并用 Origin 2024 软件绘图。每组试验 3 次平行，结果用平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 卵形鲳鲹的基本营养组成

卵形鲳鲹和其他鱼类肌肉的营养成分分析如表 2 所示。

表 2 卵形鲳鲹和其他鱼类肌肉的营养成分分析

Table 2 Nutrient composition analysis of muscle of *Trachinotus ovatus* and other fishes

%

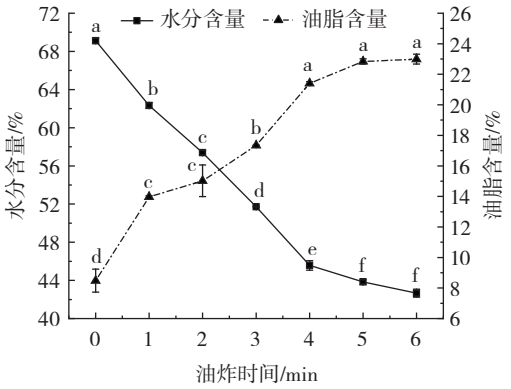
名称	水分含量	粗蛋白质含量	粗脂肪含量	灰分含量
卵形鲳鲹（*Trachinotus ovatus*）	69.11±0.28	20.19±0.15	8.48±0.76	1.15±0.07
银鲳（*Pampus argenteus*）[19]	73.11±1.21	20.16±0.66	4.90±0.13	1.21±0.16
灰鲳（*P. cinereus*）[19]	74.08±0.95	18.45±0.64	6.12±0.52	0.85±0.29
中国鲳（*P. sinensis*）[19]	77.24±0.92	18.71±0.22	2.31±0.11	1.15±0.04
梭鲈（*Sander lucioperca*）[20]	77.77±0.21	20.99±0.25	0.63±0.13	1.27±0.02
草鱼（*Ctenopharyngodon idella*）[21]	79.23±1.03	17.13±0.13	2.14±0.22	1.61±0.18

如表 2 所示，卵形鲳鲹肌肉营养组成丰富，卵形鲳鲹肌肉的粗蛋白质和灰分含量与银鲳、灰鲳、中国鲳等鲈形目海水鱼以及梭鲈、草鱼等淡水鱼差异不明显。水分含量达 69.11%，明显低于其他鱼类。卵形鲳鲹粗脂肪含量最高，达 8.48%，高于野生卵形鲳鲹的粗脂肪含量，这是因为网箱养殖卵形鲳鲹生活的水域有限，并且定期喂食饲料，导致养殖卵形鲳鲹肌肉中的脂肪积累较多[22-24]。在一定范围内，鱼的脂肪含量不仅与肌肉嫩度密切相关，而且当脂肪含量上升时，鱼的风味亦随之增强[24]。卵形鲳鲹的水分含量相对较低，同时其粗脂肪和粗蛋白质含量较高，因此其肉质比其他鱼类更加肥软细腻，营养价值也更为优越。

2.2 卵形鲳鲹鱼块油炸过程中的品质变化

2.2.1 油炸卵形鲳鲹鱼块水分含量和油脂含量的变化

油炸过程中卵形鲳鲹水分含量和油脂含量的变化如图 1 所示。



不同小写字母表示组内存在显著性差异（$P<0.05$）。

图 1 油炸过程中卵形鲳鲹水分含量和油脂含量的变化

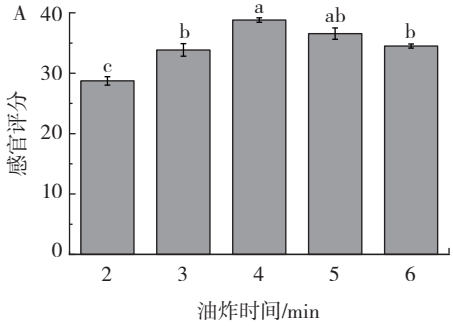
Fig.1 The changes of water content and oil content of *Trachinotus ovatus* block during frying

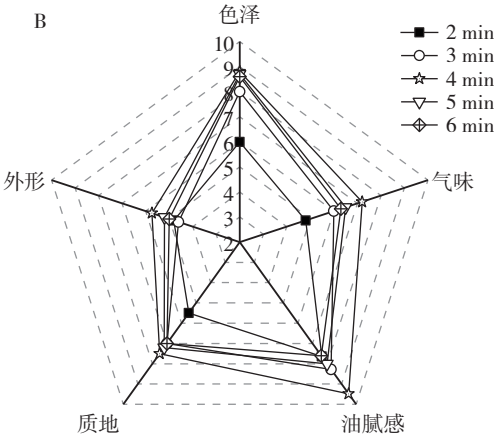
从图 1 可以看出，经过 6 min 油炸后，鱼块的水分含量从 69.11% 降至 42.66%。在 4 min 内，水分含量下降幅度较大，4 min 时水分含量为 45.97%，随后，鱼块的水分含量趋于稳定。在 5~6 min 时，水分含量变化不显著（由 43.83% 降低至 42.66%），此时水分的蒸发速率较低。与此同时，油炸鱼块的油脂含量随着水分含量减少而逐渐增加。油炸前 4 min，样品的油脂含量由 8.48% 上升至 21.40%。在 4~5 min 期间，油脂含量缓慢增长，从 21.40% 增至 22.84%。当油炸时间达到 5 min 后，油脂含量趋于稳定，显示油脂吸收已接近饱和状态。

2.2.2 不同油炸时间对卵形鲳鲹鱼块感官品质的影响

由前期预试验可知，油炸时间为 1 min 时，鱼肉并未熟透。因此选择 2~6 min 进行感官评价。油炸时间对油炸卵形鲳鲹感官品质的影响如图 2 所示。

如图 2 所示，150 ℃炸制 4 min 时，油炸卵形鲳鲹鱼块感官评分最高，为 38.80。随着油炸时间延长，水分流失加剧，鱼块外形严重收缩，从而导致感官评分下降。鱼肉颜色在油炸 4~6 min 时表现较佳，若油炸时间过长或过短，可能会使鱼肉色泽过暗或过白。油炸时间在 2 min 时，卵形鲳鲹鱼块油炸香气和肉香较淡，





A. 感官评分；B. 感官雷达图。不同小写字母表示存在显著性差异（$P<0.05$）。

图 2　油炸时间对油炸卵形鲳鲹感官品质的影响

Fig.2　Effects of frying time on sensory quality of fried *Trachinotus ovatus*

质地较软，感官评分较低。油炸时间在 6 min 时，卵形鲳鲹鱼块肉香气味较弱，油炸香气较强，油腻感较强，外形凹陷严重。当 150 ℃油炸 4 min 时，卵形鲳鲹鱼块油炸香气和肉香较为协调，颜色呈金黄色，外形较为饱满。因此综合考虑，选择鱼块 150 ℃油炸 4 min 的水分含量（45.97%）为油炸终止控制点。

2.3　预干燥对油炸卵形鲳鲹品质的影响

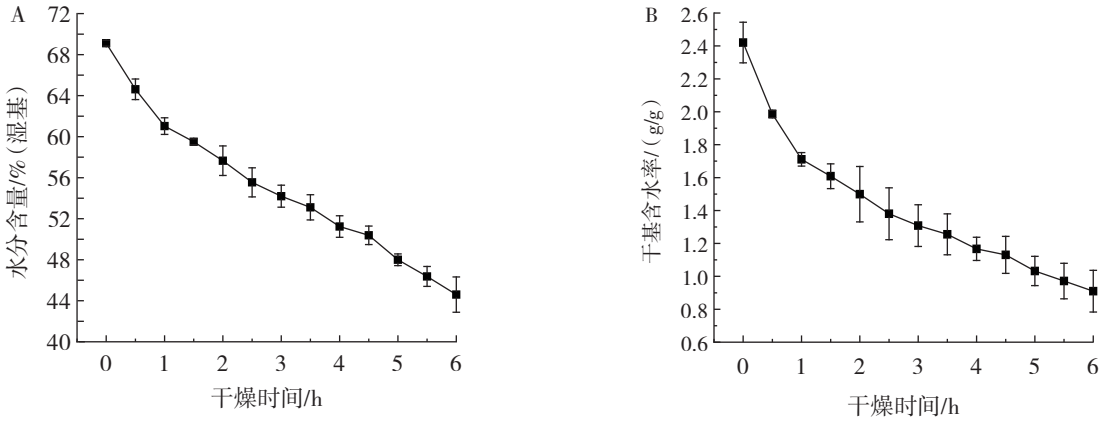
2.3.1　预干燥时间对卵形鲳鲹鱼块水分含量的影响

鱼块水分含量（湿基）及干基含水率随干燥时间变化如图 3 所示。

如图 3 所示，随着干燥时间的延长，鱼块水分含量（湿基）、干基含水率呈现下降趋势。可以推测在 50 ℃干燥温度下，鱼块达到水分含量约为 61%、55%、50%所需要的时间分别为 1.0、2.5、4.5 h。

2.3.2　预干燥对油炸卵形鲳鲹鱼块油脂含量的影响

卵形鲳鲹鱼块油脂含量如表 3 所示。



A. 干燥曲线（湿基）；B. 干燥曲线（干基）。

图 3　不同干燥时间下鱼块的脱水曲线

Fig.3　Moisture loss curve during the drying of fish blocks at different times

表 3　预干燥对油炸卵形鲳鲹鱼块油脂含量的影响

Table 3　The effect of pre-drying on the oil content and sensory evaluation of *Trachinotus ovatus* fillets

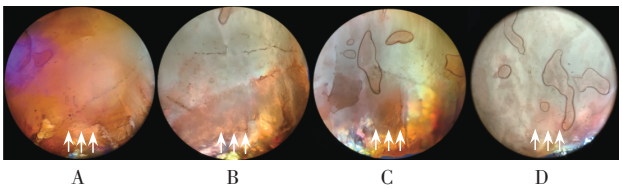
组别	油脂含量/%
D_{69}-F_4	21.64±0.23[a]
D_{61}-$F_{3.5}$	16.96±0.21[b]
D_{55}-$F_{2.5}$	16.52±0.41[bc]
D_{50}-F_1	15.78±0.06[c]

注：同列不同小写字母表示存在显著性差异（$P<0.05$）。

如表 3 所示，与未经预干燥样品（D_{69}-F_4）相比，预干燥显著减少了鱼块在油炸过程中的油脂含量，油脂含量大小顺序为 D_{69}-F_4>D_{61}-$F_{3.5}$>D_{55}-$F_{2.5}$>D_{50}-F_1，相比于 D_{69}-F_4，D_{61}-$F_{3.5}$ 处理的鱼块降低了 21.63% 的油脂吸引；同时，随着水分含量的降低，卵形鲳鲹鱼块肌肉结构收缩，不易积存油，鱼块油脂含量也随之降低，D_{50}-F_1 样品的油脂含量最低，为 15.78%。因此，适当预干燥有利于减少鱼块油炸时对油脂的吸收。

2.3.3　预干燥对油炸卵形鲳鲹鱼块油脂吸收的影响

光学显微镜观察油炸卵形鲳鲹鱼块的苏丹红染色程度如图 4 所示。



A. D_{69}-F_4；B. D_{61}-$F_{3.5}$；C. D_{55}-$F_{2.5}$；D. D_{50}-F_1。箭头（鱼块与油交界处）所指方向为油脂渗透方向。

图 4　油炸卵形鲳鲹鱼块的苏丹红染色图

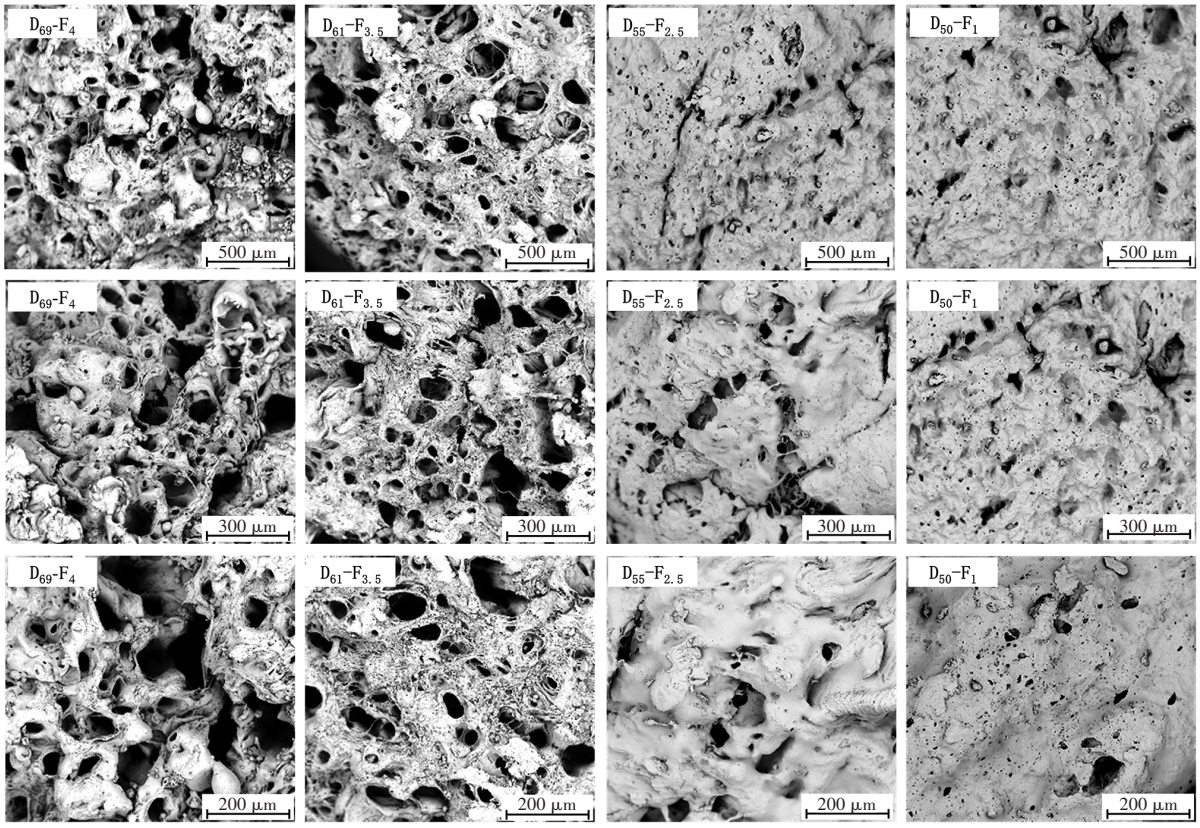
Fig.4　Sudan red-dyed stainimages of fried *Trachinotus ovatus*

从图 4 可以看出，油炸卵形鲳鲹鱼块的油脂吸收主要发生在鱼块与油接触的交界处。随着干燥时间的延长，油炸后鱼块与油交界处的染色程度逐渐减少，表

明延长干燥时间会使渗入鱼块中的油脂程度逐渐减少，这是因为预干燥会使鱼块内部结构致密化，阻碍油炸时油脂渗入到样品内部。

2.3.4　预干燥对油炸卵形鲳鲹鱼块微观结构的影响

利用扫描电子显微镜观察预干燥处理的油炸卵形鲳鲹鱼块微观结构的变化如图 5 所示。



从上到下放大倍数依次为×155、×250 和×400。

图 5　预干燥对油炸卵形鲳鲹微观结构的影响

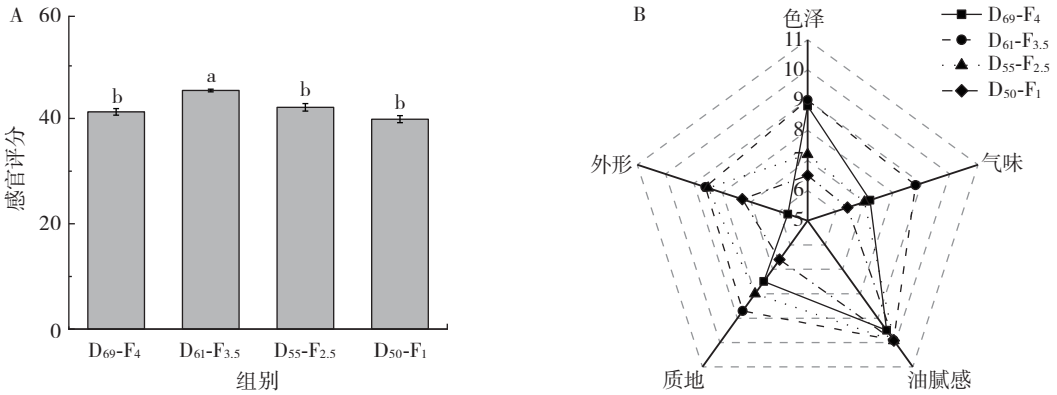
Fig.5　Effect of pre-drying on the microstructure of fried *Trachinotus ovatus*

如图 5 所示，未干燥处理的样品（D_{69}-F_4）表面出现不平整、凹陷卷曲。这是因为未干燥处理的样品水分含量较高，样品表面和内部均会出现更多的裂纹和孔隙，使水分更容易蒸发。而干燥处理的样品（D_{61}-$F_{3.5}$）表面显现出轻微不平整。随着干燥处理程度的增加，干燥处理的样品（D_{55}-$F_{2.5}$、D_{50}-F_1）平整度逐渐提升。这是因为干燥后鱼块内部结构致密化，在油炸过程中，水分蒸发导致内部微观结构的损伤相对较少。

2.3.5　预干燥对油炸卵形鲳鲹鱼块感官品质的影响

预干燥对油炸卵形鲳鲹鱼块感官品质的影响如图 6 所示。

如图 6 所示，D_{61}-$F_{3.5}$ 样品感官评分最高，呈现出鱼



A. 感官评分；B. 感官雷达图。不同小写字母表示存在显著性差异（P<0.05）。

图 6　预干燥对油炸卵形鲳鲹鱼块感官品质的影响

Fig.6　The impact of pre-drying on the sensory evaluation of fried *Trachinotus ovatus*

块油炸香气和鱼肉香气较为协调，颜色呈金黄色，外形较为饱满。而 D_{50}-F_1 样品鱼块油炸香气较淡，感官评分较低。因此，适当进行预干燥，有利于提高产品的感官品质。

2.3.6 预干燥对油炸卵形鲳鲹鱼块风味的影响

采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法（HS-SPME-GC-MS）对预干燥处理的卵形鲳鲹鱼块挥发性风味物质进行分析，结果见表 4。

表 4 不同预干燥处理油炸卵形鲳鲹鱼块挥发性风味物质及相对含量

Table 4 Volatile components and their relative contents in fried *Trachinotus ovatus* with different pre-drying treatments

编号	名称	保留时间/min	鉴定方式	相对含量/%				
				F	D_{69}-F_4	D_{61}-$F_{3.5}$	D_{55}-$F_{2.5}$	D_{50}-F_1
1	乙醛	4.78	MS	0.13	0.23	1.72	1.73	1.99
2	异丁醛	6.03	MS		0.33	0.35	0.30	0.23
3	2-甲基丁醛	8.28	MS		2.60	1.91	1.39	0.77
4	异戊醛	8.42	MS		2.60	3.73	2.07	1.27
5	戊醛	10.61	MS	1.73	3.10	2.14	2.30	2.26
6	己醛	15.44	MS，RI	13.27	3.62	4.18	7.45	5.32
7	庚醛	21.50	MS，RI	1.47	1.09	0.93	1.51	1.30
8	正辛醛	25.31	MS，RI	0.78	1.56	3.16	2.01	
9	壬醛	27.75	MS，RI	5.86	4.03	5.43	8.25	5.32
10	反-2-辛烯醛	28.48	MS，RI		0.32	0.23		
11	苯甲醛	30.19	MS，RI		1.29	1.74	1.58	
12	苯乙醛	31.80	MS，RI		1.35	1.62	1.90	1.90
13	4-异丙基苯甲醛	33.44	MS，RI	0.80		0.72	1.36	1.71
14	2，4-癸二烯醛	33.59	MS，RI		0.81	0.71	0.69	0.30
	醛类化合物（共计 14 种）			24.04	22.93	28.57	32.54	22.36
15	2-丁酮	7.91	MS		2.24	1.48	1.89	1.83
16	2-戊酮	10.51	MS		0.29	0.18	0.18	
17	2-庚酮	21.37	MS，RI		3.00	2.92	1.50	1.01
18	2-辛酮	25.20	MS，RI		0.52	0.65	0.61	
19	甲基庚烯酮	26.57	MS，RI	2.41	0.79	1.43	1.77	2.12
	酮类化合物（共计 5 种）			2.41	6.84	6.66	5.96	4.96
20	乙醇	8.92	MS，RI	31.44	13.78	9.81	9.60	15.42
21	异戊醇	22.58	MS，RI	2.47	0.74	0.90	0.97	1.26
22	1-戊醇	24.13	MS，RI	1.18	1.52	1.28	1.35	1.55
23	庚醇	28.75	MS，RI	0.62		0.39	0.61	0.78
24	1-辛烯-3-醇	28.67	MS，RI	2.04	1.38	1.39	2.05	2.59
25	2-乙基己醇	29.31	MS，RI	0.51	1.18	0.68		
26	芳樟醇	30.16	MS，RI	5.23	0.94	1.63	3.52	8.93
27	辛醇	30.29	MS，RI	0.82	0.42	0.64	0.81	1.16
28	4-萜烯醇	31.10	MS，RI	1.47	0.60	0.92	2.24	3.52
29	2-茨醇	32.36	MS，RI	1.96	0.67	0.78	1.62	2.05
30	α-松油醇	32.23	MS，RI	2.62	0.49	0.78	1.73	3.20
	醇类化合物（共计 11 种）			50.37	21.72	19.20	24.50	40.46
31	甲苯	13.33	MS	1.38	0.83	2.23	2.41	2.71
32	间二甲苯	18.21	MS，RI	0.98	3.78	1.65	1.28	1.11
33	1，2-二甲苯	21.38	MS，RI	0.69	1.09			
34	邻异丙基甲苯	24.72	MS，RI	1.49	2.27	2.24	0.58	2.01
	芳香族类化合物（共计 4 种）			4.55	7.97	6.13	4.27	5.84
35	吡嗪	22.85	MS，RI		0.75			
36	2-戊基呋喃	23.43	MS，RI		1.03	4.98	1.57	1.40
37	2-甲基吡嗪	24.72	MS，RI		2.33			
38	2-乙基吡嗪	26.37	MS，RI		0.56	0.64	0.49	
39	2，3-二甲基吡嗪	26.53	MS，RI		1.07	0.79	0.82	
40	2，6-二甲基吡嗪	26.81	MS，RI		1.49	1.12	0.59	

续表4 不同预干燥处理油炸卵形鲳鲹鱼块挥发性风味物质及相对含量

Continue table 4 Volatile components and their relative contents in fried *Trachinotus ovatus* with different pre-drying treatments

编号	名称	保留时间/min	鉴定方式	相对含量/%				
				F	D_{69}-F_4	D_{61}-$F_{3.5}$	D_{55}-$F_{2.5}$	D_{50}-F_1
41	2,3,5-三甲基吡嗪	27.63	MS,RI		11.80	4.06	2.50	
42	2,3,5,6-四甲基吡嗪	27.75	MS,RI		0.38	0.37		
43	2-乙基-5-甲基吡嗪	27.98	MS,RI		3.84			1.17
44	2-乙基-6-甲基吡嗪	28.71	MS,RI		0.87	0.78		0.97
45	3-乙基-2,5-二甲基吡嗪	29.00	MS,RI		3.47	5.28	2.07	
46	2-乙烷基-3,5-二甲基吡嗪	29.20	MS,RI		1.67	1.55	1.71	
47	3,5-二乙基-2-甲基吡嗪	29.51	MS,RI		0.46	0.59		
48	2-甲基-1H-吡咯	30.71	MS		0.28	0.33		
49	4(H)-N-乙酰基吡啶	32.60	MS		1.44	1.08		
50	吡嗪酰胺	32.61	MS		0.86			
	杂环类化合物(共计16种)			0.00	32.30	21.59	9.76	3.54
51	(*E*,*E*)-1,3,6-辛三烯	13.71	MS		1.92	4.45	4.12	8.58
52	*β*-蒎烯	16.12	MS,RI	1.47	1.37			
53	右旋萜二烯	21.81	MS	4.90	1.60	3.55	9.92	2.85
54	萜品烯	23.83	MS,RI	0.24	0.29	0.64	0.69	0.64
55	苯乙烯	24.42	MS,RI	2.67	0.22	0.21	0.21	0.45
56	萜品油烯	25.04	MS,RI	1.57	0.27	0.66	1.12	1.48
57	1-十四烯	26.52	MS	0.28		0.60	0.49	0.67
58	十七烯	30.09	MS	0.73		3.69	0.57	1.14
59	石竹烯	31.16	MS,RI	3.45	0.73	1.47	1.88	2.47
60	环辛二烯	31.95	MS	0.62		0.34	0.56	1.07
61	1,3-环己二烯	32.18	MS	1.10		0.40	1.08	1.28
	烯烃类化合物(共计11种)			17.02	6.39	16.02	20.64	20.63
62	乙酸	28.84	MS,RI	0.66	0.64	0.83	0.94	1.23
63	己酸	33.71	MS,RI	1.31	0.58	0.75	1.19	1.35
	酸类化合物(共计2种)			1.98	1.22	1.59	2.13	2.58
64	丁酸癸酯	31.62	MS	1.36	0.62	0.98	1.84	1.97
	酯类化合物(共计1种)			1.36	0.62	0.98	1.84	1.97
				100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

注:RI表示样品的线性保留指数与NIST Chemistry WebBook数据库中已发布的文献相符;MS表示质谱结果与NIST质谱数据库中的参考数据一致。

由表4可知,油炸卵形鲳鲹鱼块中共检出64种挥发性风味物质,包括14种醛类化合物、5种酮类化合物、11种醇类化合物、4种芳香族类化合物、16种杂环类化合物、11种烯烃类化合物、2种酸类化合物、1种酯类化合物。

油炸过程中,在一定的预干燥时间内,预干燥时间的延长会导致醛类和醇类化合物的相对含量上升。油炸鱼块的风味成分主要源自脂质氧化分解所产生的醛类、酯类和一元胺等物质[25],低阈值的低级醛在特殊风味的形成中起着重要作用[26]。与D_{69}-F_4样品相比,D_{61}-$F_{3.5}$、D_{55}-$F_{2.5}$样品的醛类相对含量上升。与D_{69}-F_4、D_{50}-F_1样品相比,D_{61}-$F_{3.5}$、D_{55}-$F_{2.5}$样品保留了赋予油炸鱼块水果香气和草本香气的苯乙醛、己醛、辛醛、庚醛等物质。苯甲醛在D_{69}-F_4、D_{61}-$F_{3.5}$和D_{55}-$F_{2.5}$样品均检测出,其具有杏仁、焦糖气味,在D_{61}-$F_{3.5}$样品中相对含量较高。2,4-癸二烯醛的气味阈值较低,为油炸鱼块带来了油脂香、青草香及坚果香等风味[27],是油脂和油炸食品中重要的呈香物质之一,在D_{69}-F_4、D_{61}-$F_{3.5}$样品中较为突出。2-甲基丁醛是异亮氨酸和亮氨酸在Strecker反应中降解形成的产物,具有果香气味,对水产品油炸制品的风味贡献有一定影响[27]。

杂环类化合物是水产品经高温或者长时间煎炸处理后形成的风味物质。呋喃、吡嗪和吡啶是油炸食品中典型的香气成分[28]。吡嗪的气味阈值极低,在极微小的浓度下便能产生显著的嗅觉影响[28]。样品中主要检测到的风味成分包括2-戊基呋喃、2,6-二甲基吡嗪、2,3,5-三甲基吡嗪和3-乙基-2,5-二甲基吡嗪等,这些成分能够赋予样品坚果香气和芳香特性。在D_{69}-F_4和D_{61}-$F_{3.5}$样品中油炸鱼块烧烤香气较其他样品更明显。

醇类化合物大部分是通过脂肪氧合酶的催化氧化

反应生成的，主要由 n-3 和 n-6 多不饱和脂肪酸的过氧化过程形成，其风味与化合物本身碳原子数有关，可以为鱼肉提供花香与水果香气[29]。1-辛烯-3-醇具有蘑菇味及腥味[30]，在 D_{55}-$F_{2.5}$、D_{50}-F_1 样品中含量较高，而 D_{69}-F_4、D_{61}-$F_{3.5}$ 样品中相对含量差异不大，随着油炸时间延长，1-辛烯-3-醇相对含量降低。庚醇、辛醇等均是脂肪酸氧化的产物[31]，预干燥组中庚醇、辛醇等风味化合物的相对含量均高于未干燥组的鱼块，说明预处理后的油炸鱼块有利于风味物质的形成，更具有肉香味。预干燥组的鱼块含有的芳樟醇、4-萜烯醇、α-松油醇相对含量较高，可提供类似花香、肉豆蔻及薄荷的香气，可为水产类产品提供良好风味。

烯烃类化合物呈现草药香、木香和柠檬香[32]。预干燥的油炸鱼块所含烯烃类化合物种类最多，主要有β-蒎烯、萜品烯、石竹烯等萜烯类化合物。

酯类是由醇和酸通过酯化反应生成的，它们是果香、甜味和花香的主要来源，有助于油炸样品形成独特的风味，丁酸癸酯在 D_{55}-$F_{2.5}$ 和 D_{50}-F_1 样品中含量较高，可提供柑橘和杏子香气。酮类多由不饱和脂肪酸经热氧化或氨基酸降解产生，具有较高的气味阈值，高温油炸可促进氧化降解[27]，D_{69}-F_4 样品中酮类的相对含量高于其他样品，但酮类物质阈值较高，对炸制鱼制品风味的形成贡献较小。

2.4 预干燥卵形鲳鲹鱼块对煎炸油品质的影响

2.4.1 预干燥卵形鲳鲹鱼块对煎炸油酸价和黏度的影响

酸价是衡量煎炸油酸败程度的重要指标，可以反映油中游离脂肪酸的含量[33]。在煎炸过程中，甘油三酯分子经过氧化反应形成小分子脂肪酸，同时，水分的引入促使甘油三酯分子发生水解，形成游离脂肪酸，从而导致油脂酸价升高。油样的黏度值越大，表明其劣化程度越高，在高温环境下，油脂会经历热聚合和热氧化聚合，从而形成聚合物。在鱼块油炸过程中，部分蛋白降解溶到油中，与油脂发生聚合反应，也会导致油的黏度上升[34]。

预干燥对煎炸油酸价和黏度的影响如表 5 所示。

表 5 预干燥卵形鲳鲹鱼块对煎炸油酸价和黏度的影响

Table 5 The impact of pre-drying *Trachinotus ovatus* fillets on the quality of edible oil

组别	酸价/(mg/g)	黏度/(mPa·s)
空白组	0.22±0.02[b]	33.00±2.45[c]
D_{69}-F_4-O	0.30±0.03[a]	68.70±2.21[a]
D_{61}-$F_{3.5}$-O	0.26±0.02[ab]	53.10±2.02[b]
D_{55}-$F_{2.5}$-O	0.25±0.01[ab]	49.20±1.55[c]
D_{50}-F_1-O	0.24±0.02[b]	40.20±1.55[d]

注：同列不同小写字母表示存在显著性差异（P<0.05）。

如表 5 所示，随着预干燥程度的增加，煎炸油的酸价和黏度明显下降，说明鱼块在油炸前进行预干燥，在一定程度上可以降低油劣变的速度。在油炸鱼块过程中，初始水分含量与最终水分含量之间差异越大，所需油炸时间越长，从而产生更多的聚合物和反应物，导致油脂的黏度和酸价上升[35]；随着油的黏度增加，在鱼块表面的油量也随之增多，这也是鱼块脂肪含量增加的原因之一。

2.4.2 预干燥卵形鲳鲹鱼块对煎炸油脂肪酸的影响

预干燥鱼块对煎炸油脂肪酸组成的影响如表 6 所示。

表 6 预干燥卵形鲳鲹鱼块对煎炸油脂肪酸的影响

Table 6 The impact of pre-drying on the fatty acid composition of *Trachinotus ovatus* fillets

编号	脂肪酸种类	脂肪酸相对含量/%				
		空白组	D_{69}-F_4-O	D_{61}-$F_{3.5}$-O	D_{55}-$F_{2.5}$-O	D_{50}-F_1-O
1	肉豆蔻酸 C14:0	0.23	0.33	0.32	0.30	0.35
2	十五烷酸 C15:0	0.04	0.06	0.06	0.06	0.05
3	棕榈酸 C16:0	10.16	9.98	10.02	10.11	9.90
4	棕榈油酸 C16:1	0.34	0.55	0.49	0.47	0.45
5	十七烷酸 C17:0	0.21	0.23	0.21	0.19	0.21
6	硬脂酸 C18:0	7.90	8.78	8.63	8.45	8.56
7	油酸 C18:1C	34.32	33.71	33.56	33.74	33.69
8	亚油酸 C18:2C	32.32	31.26	32.06	32.11	32.13
9	γ-亚麻酸 C18:3N6	9.38	9.18	9.38	9.41	9.41
10	花生酸 C20:0	1.43	1.78	1.42	1.42	1.45
11	花生一烯酸 C20:1	1.67	1.97	1.84	1.78	1.79
12	山嵛酸 C22:0	2.01	2.17	2.01	1.97	2.01
	饱和脂肪酸总量	21.98	23.33	22.66	22.49	22.53
	单不饱和脂肪酸总量	36.32	36.24	35.89	35.99	35.93
	多不饱和脂肪酸总量	41.70	40.44	41.44	41.52	41.54

如表 6 所示，在空白组中，不饱和脂肪酸的相对含量最高，达到 78.02%，其中多不饱和脂肪酸相对含量 41.70%。未干燥组的不饱和脂肪酸相对含量最低，饱和脂肪酸相对含量最高。干燥组的不饱和脂肪酸相对含量在 77.33%~77.51%，与空白组较为接近，可能因为食用植物调和油本身含有生育酚等抗氧化剂，更加耐炸[36]。

不同样品组间均能检出棕榈酸、硬脂酸、油酸等12 种脂肪酸。其中，含量最高的 3 种脂肪酸为棕榈酸、油酸和亚油酸。棕榈酸相对含量在空白组中最高（10.16%）。在饱和脂肪酸中，硬脂酸的占比也比较大，经过高温加热样品的硬脂酸均高于空白组，因此高温会影响脂肪酸分解，其中未干燥组的硬脂酸相对含量最高（8.78%）。在不饱和脂肪酸中，γ-亚麻酸的含量也较高。γ-亚麻酸在未干燥组中相对含量下降的同时，花生酸相对含量升高。表明油脂中不饱和脂肪酸在高温下发生了氢化，变为饱和状态。这是因为未干燥组中含有大量的水分子，高温加热会使鱼块表面水分大量蒸发，向食用植物调和油中引入氢分子，使不饱和脂肪酸氢化。而干燥组中减少了油炸鱼块时进入煎炸油的水分，从而降低了不饱和脂肪酸分解的速率。因此，推测由于鱼块干燥后水分减少，干燥后鱼块所用油炸至相同水分含量的时间缩短，减少了水分子的引入，从而降低了油脂氧化分解速率。

3 结论

本文探讨预干燥处理对油炸卵形鲳鲹鱼块在降低油脂吸收和改善风味中的效果，结果发现，预干燥前后油炸卵形鲳鲹鱼块油脂含量大小分别为 D_{69}-F_4>D_{61}-$F_{3.5}$>D_{55}-$F_{2.5}$>D_{50}-F_1 样品，相比于 D_{69}-F_4，D_{61}-$F_{3.5}$ 处理的鱼块降低了 21.63% 的油脂吸收，感官评分高，在油炸特征挥发性风味物质种类与相对含量上表现优于其他处理组。同时，在油炸前将鱼块进行预干燥处理可以明显降低煎炸油酸价及黏度，降低油脂氧化分解速率，延长煎炸油食用寿命。因此，适度的预干燥处理可有效减少油脂吸收，改善油炸鱼块的风味和质地，可为开发低脂健康水产预制菜提供理论依据和参考。

参考文献：

[1] 肖鑫鑫 . 金鲳鱼内脏酸性蛋白酶的分离及部分酶学性质和应用研究[D]. 海口: 海南大学, 2016.
XIAO Xinxin. Study on the isolation of golden pompano visceral acid proteinase and enzymatic properties and application[D]. Haikou: Hainan University, 2016.

[2] 韩丽娜, 王素华, 郑飞, 等 . 卵形鲳鲹加工利用技术研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(5): 202-204.
HAN Lina, WANG Suhua, ZHENG Fei, et al. Study on processing technology of *Trachinotus ovatus*[J]. Food Research and Development, 2016, 37(5): 202-204.

[3] 葛智勤, 陈哲, 余达威, 等 . 油炸预制鱼冷冻复热过程中的品质变化[J]. 食品工业科技, 2024, 45(4): 267-272.
GE Zhiqin, CHEN Zhe, YU Dawei, et al. Quality changes of pre-fried fish during frozen and reheating process[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(4): 267-272.

[4] BANSAL G, ZHOU W B, BARLOW P J, et al. Review of rapid tests available for measuring the quality changes in frying oils and comparison with standard methods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2010, 50(6): 503-514.

[5] ZHANG T T, LI J W, DING Z S, et al. Effects of initial moisture content on the oil absorption behavior of potato chips during frying process[J]. Food and Bioprocess Technology, 2016, 9(2): 331-340.

[6] DEBNATH S, BHAT K K, RASTOGI N K. Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food[J]. LWT-Food Science and Technology, 2003, 36(1): 91-98.

[7] 汤凤雨 . 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 Fengyu. 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.

[8] 崔璐璐 . 亲水胶体对外裹糊鱼块深度油炸过程油脂渗透的影响[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2022.
CUI Lulu. Effects of hydrocolloids on oil penetration of batter-breaded fish nuggets during deep-fat frying[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2022.

[9] 冯佳奇, 陈季旺, 廖鄂, 等 . 膳食纤维对外裹糊特性及油炸外裹糊鲢鱼鱼糜块油脂渗透的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(16): 34-41.
FENG Jiaqi, CHEN Jiwang, LIAO E, et al. Effect of dietary fiber on batter characteristics and oil penetration in deep-fried battered and breaded fish nuggets from silver carp surimi[J]. Food Science, 2023, 44(16): 34-41.

[10] 舒静, 陈季旺, 翟金玲, 等 . 预干燥对油炸外裹糊鱼块油脂渗透和质构特性的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(10): 210-216.
SHU Jing, CHEN Jiwang, ZHAI Jinling, et al. Effect of pre-drying on oil penetration and textural characteristics of deep-fried battered and breaded fish nuggets[J]. Food Science, 2024, 45(10): 210-216.

[11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会 . 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard Determination of moisture in food: GB 5009.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

[12] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局 . 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of fat in food: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

[13] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局 . 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of protein in food: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

[14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会 . 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard Determination of ash content in food: GB 5009.4—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

[15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会 . 食品安全国家标准 食品中酸价的测定: GB 5009.229—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's

Republic of China. National food safety standard Determination of acid value in food: GB 5009.229—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

[16] 董鑫磊, 易靓, 董诗瑜, 等 . 克氏原螯虾尾油炸过程中品质变化的研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(7): 80-86.
DONG Xinlei, YI Liang, DONG Shiyu, et al. Quality change of crayfish (*Procambarus clarkii*) tail during frying[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(7): 80-86.

[17] 严俊安, 朱李佳, 于微, 等 . 微波加热对食用油品质及脂肪酸成分的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(3): 110-115.
YAN Jun′an, ZHU Lijia, YU Wei, et al. Impact on edible oil quality and fatty acid composition by microwave heating[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(3): 110-115.

[18] BALCERZAK L, GIBKA J, SIKORA M, et al. Minor constituents of essential oils and aromatic extracts. Oximes derived from natural flavor and fragrance raw materials – Sensory evaluation, spectral and gas chromatographic characteristics[J]. Food Chemistry, 2019, 301: 125283.

[19] 徐善良, 王丹丽, 徐继林, 等 . 东海银鲳(*Pampus argenteus*), 灰鲳(*P.cinereus*)和中国鲳(*P.sinensis*)肌肉主要营养成分分析与评价[J]. 海洋与湖沼, 2012, 43(4): 775-782.
XU Shanliang, WANG Danli, XU Jilin, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in muscle of *Pampus argenteus*, *P. cinereus* and *P. sinensis* from the East China Sea[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2012, 43(4): 775-782.

[20] 汪涛, 沈勇, 孙龙生, 等 . 梭鲈与加州鲈、鳜鱼的肌肉品质比较[J]. 水产养殖, 2020, 41(7): 17-23.
WANG Tao, SHEN Yong, SUN Longsheng, et al. Comparison of muscle quality among Pikeperch, Largemouth bass and Mandarin fish[J]. Journal of Aquaculture, 2020, 41(7): 17-23.

[21] 郑善坚, 胡金春, 叶嘉政, 等 . 开化清水草鱼营养组成及肉质品质分析[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(6): 1343-1348.
ZHENG Shanjian, HU Jinchun, YE Jiazheng, et al. Analysis on nutritional composition and flesh quality of grass carp(*Ctenopharyngodon idella*) cultured in flowing water of Kaihua[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2023, 64(6): 1343-1348.

[22] 翁丽萍 . 养殖大黄鱼和野生大黄鱼风味的研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2012.
WENG Liping. Research on flavor of breeding large yellow croaker and wild large yellow croaker[D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2012.

[23] 吴燕燕, 李冰, 朱小静, 等 . 养殖海水和淡水鲈鱼的营养组成比较分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 348-352, 359.
WU Yanyan, LI Bing, ZHU Xiaojing, et al. Comparison of nutrient composition of cultured sea bass and cultured fresh-water bass, *Lateolabrax japonicas* and *Micropterus salmoides*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(20): 348-352, 359.

[24] 马睿 . 营养与养殖大黄鱼品质之间关系的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014.
MA Rui. Preliminary study on relationship between nutrition and fish quality of farmed large yellow croaker(*Pseudosciaena crocea*)[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.

[25] ZHAO D D, HU J, CHEN W X. Analysis of the relationship between microorganisms and flavour development in dry-cured grass carp by high-throughput sequencing, volatile flavour analysis and metabolomics[J]. Food Chemistry, 2022, 368: 130889.

[26] YANG J, WU S L, MAI R J, et al. Formation of amino acid-derived volatile compounds in dry-cured mackerel (*Scomberomorus niphonius*): Metabolic pathways involving microorganisms, precursors, and intermediates[J]. Food Chemistry, 2021, 364: 130163.

[27] 余远江 . 五种广西优势水产原料及其油炸制品的风味特征研究[D]. 南宁: 广西大学, 2021.
YU Yuanjiang. Study on flavor characteristics of five dominant aquatic raw materials and their fried products in Guangxi[D]. Nanning: Guangxi University, 2021.

[28] 周明珠, 杜柳, 邱文兴, 等 . 油炸肉制品风味的研究进展[J]. 现代食品科技, 2023, 39(5): 367-375.
ZHOU Mingzhu, DU Liu, QIU Wenxing, et al. Research progress on the flavor of fried meat products[J]. Modern Food Science & Technology, 2023, 39(5): 367-375.

[29] NI R J, YAN H Y, TIAN H L, et al. Characterization of key odorants in fried red and green Huajiao (*Zanthoxylum bungeanum* maxim. and *Zanthoxylum schinifolium* sieb. et Zucc.) oils[J]. Food Chemistry, 2022, 377: 131984.

[30] JOSEPHSON D B, LINDSAY R C, STUIBER D A. Identification of compounds characterizing the aroma of fresh whitefish (*Coregonus clupeaformis*)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1983, 31(2): 326-330.

[31] SHI S, KONG B H, WANG Y, et al. Comparison of the quality of beef jerky processed by traditional and modern drying methods from different districts in Inner Mongolia[J]. Meat Science, 2020, 163: 108080.

[32] GOH R M V, PUA A, LIU S Q, et al. Characterisation of volatile compounds in kumquat and calamansi peel oil extracts[J]. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 2020, 23(5): 953-969.

[33] 杨耀冲 . 油炸过程中油料比和间歇油炸分别对油炸麦穗鱼和油品质的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
YANG Yaochong. Effects of oil to sample ratio and intermittent frying on the quality of fried *Pseudorasbora parva* and oil respectively[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.

[34] 姬恒慧, 陈季旺, 翟嘉豪, 等 . 深度油炸过程煎炸油的氧化及其对油炸外裹糊鱼块品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(4): 97-104.
JI Henghui, CHEN Jiwang, ZHAI Jiahao, et al. Oxidation of frying oil during deep-fat frying and the effects of frying oil oxidation on the quality attributes of fried batter-breaded fish nuggets[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(4): 97-104.

[35] 吕梦莎, 梅灿辉, 李汴生, 等 . 预烘干对即食梅香黄鱼热杀菌前后色泽和质构特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(11): 33-38.
LÜ Mengsha, MEI Canhui, LI Biansheng, et al. Effects of pre-drying process on color and texture characteristics of ready-to-eat fermented yellow croaker before and after thermal sterilizing[J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(11): 33-38.

[36] 郭彦君, 朱世杰, 陈胜, 等 . 保障食用调和油营养价值的方法及其生物活性的作用研究[J]. 粮油与饲料科技, 2024(6): 214-218.
GUO Yanjun, ZHU Shijie, CHEN Sheng, et al. Methods of safeguarding the nutritional value of edible blended oils and the role of their biological activities[J]. Grain, Oil and Feed Science and Technology, 2024(6): 214-218.

责任编辑:冯娜
收稿日期:2024-12-04