

不同加工方式对河鲢鱼干品质的影响

王穆峰¹, 蔡国华^{2,3}, 李佳佳^{1*}

(1. 天津食品研究院有限公司, 天津 300435; 2. 山西农业大学 食品科学与工程学院, 山西 晋中 030801;
3. 天津农学院 食品科学与生物工程学院, 天津 300392)

摘要: 以河鲢鱼为研究对象, 探究不同风干方式对河鲢鱼干品质的影响。采用两种配方腌制后, 分别在中温、低温两种条件下风干, 以水分活度降至 0.88 为终点, 测定不同风干过程中产品的营养成分、挥发性盐基氮 (total volatile base nitrogen, TVB-N) 值、硫代巴比妥酸反应物 (thiobarbituric acid reactive substance, TBARS) 值、水分动态变化及终产品的风味成分。结果表明: 随着加工过程进行, 鱼干水分含量及水分活度逐渐降低, 蛋白质和灰分含量相对增加, 成品中脂肪含量明显增加; 加工过程中 TVB-N 值上升, 河鲢鱼干成品中 TVB-N 值达到 70 mg/100 g; 加工过程中 TBARS 值呈现先升后降的趋势, 风干结束时 TBARS 值为 2.4~2.8 mg/kg。相比于中温风干, 低温风干的河鲢鱼干品质更好, 挥发性风味物质种类更丰富。

关键词: 河鲢鱼; 低温风干; 水分活度; 水分分布; 风味物质

Effects of Different Processing Methods on the Quality of Puffer Fish

WANG Mufeng¹, CAI Guohua^{2,3}, LI Jiajia^{1*}

(1. Tianjin Food Research Institute Co., Ltd., Tianjin 300435, China; 2. College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, Shanxi, China; 3. College of Food Science and Biological Engineering, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300392, China)

Abstract: The effects of different air drying methods on the quality of puffer fish were studied. After being cured with two different formulas, puffer fish were dried at medium and low temperatures, respectively. When the water activity decreased to 0.88, the nutrient composition, total volatile basic nitrogen (TVB-N), thiobarbituric acid reactive substance (TBARS), water dynamic changes, and flavor components of the final product were determined. The results showed that the drying process was accompanied by the gradually decreased moisture content and water activity, relatively increased protein and ash content, and significantly increased fat content in the dried puffer fish. During the drying process, TVB-N increased and reached 70 mg/100 g in the finished product. The drying process witnessed the first increase and then decrease in TBARS, which was within the range of 2.4~2.8 mg/kg at the end of drying. The puffer fish air-dried at low temperatures had better quality and richer volatile flavor compounds than that air-dried at high temperatures.

Key words: puffer fish; low-temperature air drying; water activity; moisture distribution; flavor compound

引文格式:

王穆峰, 蔡国华, 李佳佳. 不同加工方式对河鲢鱼干品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(20): 150-157.

WANG Mufeng, CAI Guohua, LI Jiajia. Effects of Different Processing Methods on the Quality of Puffer Fish[J]. Food Research and Development, 2024, 45(20): 150-157.

河鲢鱼 (*Tetraodontidae*) 俗称河豚鱼, 又名巴鱼、气鼓鱼, 属于硬骨鱼纲、辐鳍亚纲、鲀形目, 与鲟鱼、刀鱼并称“长江三鲜”。我国河鲢鱼资源丰富, 有红鳍东方鲀、黄鳍东方鲀、暗纹东方鲀、假睛东方鲀、菊黄东方鲀

等 40 余个品种, 分布于我国东海、黄海、渤海、长江等海域^[1]。河鲢鱼肉食用价值较高, 富含人体必需的各种氨基酸、矿物质、二十碳五烯酸 (eicosapentaenoic acid, EPA)、二十二碳六烯酸 (docosahexaenoic acid,

作者简介: 王穆峰 (1969—), 男 (汉), 高级畜牧师, 硕士, 研究方向: 畜牧养殖。

*通信作者: 李佳佳 (1996—), 女 (汉), 助理工程师, 硕士, 研究方向: 食品科学。

DHA)等营养物质,具有高蛋白、低脂肪的特点^[2]。与野生河鲢鱼相比,养殖河鲢鱼毒性较低,味道鲜美,消费量逐年增加。且河鲢鱼肉质较嫩,无小骨刺,适宜进行深加工^[3],但目前国内关于河鲢鱼深加工产品的研究较少。

食盐腌制可有效抑制微生物的生长代谢,预防水产品腐败变质,延长产品货架期^[4]。腌制加工法基于用盐方式分为干腌法、湿腌法和混合腌制法。干腌法腌制周期往往较长,且产品食盐含量高,并可能出现食盐渗透不均匀的现象。采用盐水腌制的湿腌法虽然能有效缩短腌制时间,降低产品中的食盐含量,但会导致原料营养成分损失和改变。混合腌制法综合了干腌法和湿腌法的优点,在现代生产中应用广泛^[5-6]。

近年来,风干水产品备受人们喜爱,发展前景广阔。自然风干法要求产品含盐量高,在长时间的干燥过程中,鱼肉脂肪酸会发生过度氧化,严重降低产品的营养品质^[7]。同时,自然干燥法受到自然气候条件的限制,生产效率低,难以实现大规模生产^[8]。随着食品工程技术的发展,目前已产生人工干燥新技术如恒温恒湿风干技术、真空冷冻干燥技术^[9]。恒温恒湿风干技术可通过调节温湿度来控制鱼体内部水分风干速度、微生物生长速度、内源酶活性、脂质氧化分解速度等,有利于脂肪适度氧化及蛋白质适度水解,在促进风干产品风味形成的同时缩短了风干时间,提高了生产效率,也突破了传统工艺的季节性限制^[10]。目前,关于风干方式对水产品风味品质影响的研究较多,而风干温度对水产品品质影响的报道较少。

以河鲢鱼为研究对象,通过不同腌制料及风干方法加工,探究加工过程中营养成分、挥发性盐基氮、脂肪氧化、水分分布变化及鱼干成品风味成分的变化,以期分析中温和低温风干工艺对河鲢鱼干品质的影响,为寻找河鲢鱼新的深加工方法提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

河鲢鱼:天津市海发珍品实业发展有限公司;食盐、五香粉、花椒油、白酒、花椒、丁香粉、白砂糖、鸡精、鲜味酱油、食用植物油、鲜姜片、鲜葱片、辣椒粉、葡萄糖、无色酱油、姜粉、胡椒粉、丁香粉:市售;氢氧化钠、盐酸、乙醚、硝酸银、酪酸钾、硼酸、三氯乙酸(trichloroacetic acid, TCA)、乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)、丁基羟基茴香醚(butyl hydroxyanisole, BHA)、2-巯代巴比妥酸、氯仿、高氯酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠(均为分析纯)、甲醇(色谱级):国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

Friocell 22 恒温恒湿培养箱:艾力特国际贸易有限

公司;DHG-9070A 电热恒温鼓风干燥箱:上海一恒科技仪器有限公司;Aw-1/1A 型水分活度仪:无锡市碧波电子设备厂;YXQ-LS 立式压力蒸汽灭菌锅:上海博讯实业有限公司医疗设备厂;NM120-Angiyst 低场核磁共振分析成像仪:上海纽迈电子科技有限公司;UVS-1 漩涡振荡仪:北京优晟联合科技有限公司;DZKW-S-4 水浴锅:上海科恒实业发展有限公司;ST-40R 冷冻离心机:美国 Thermo Fisher 公司;DZ/DZQ-5002SB 真空包装机:杭州艾博机械工程有限公司;UDK159 全自动凯氏定氮仪、DK20 消化炉:意大利 VELP 公司;FA1004A 电子天平:上海精天电子仪器有限公司;WFJT200 可见分光光度计:尤尼柯(上海)仪器有限公司;Agilent 7890A 5975C 气质联用仪:美国安捷伦公司;5 cm 可调节刻度固相微萃取装置、蓝色平头 PDMS/DVB 65 μm 萃取头:美国 Supelco 公司。

1.3 方法

1.3.1 湿腌水的制备

湿腌水 A:开水中分别加入 2%(河鲢鱼肉质量)的花椒粉、白胡椒粉、五香粉和丁香粉,焖制 5 min 后冷却,加入白砂糖、鸡精、鲜味酱油和肉样重量 3% 的食盐,搅拌均匀。

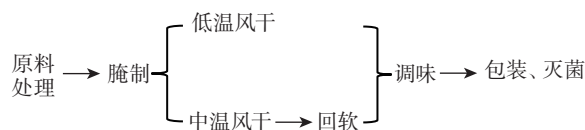
湿腌水 B:开水中分别加入 2%(河鲢鱼肉质量)的白酒、无色酱油、五香粉、白砂糖、葡萄糖、鸡精,加入 2.5%(河鲢鱼肉质量)的食盐,搅拌均匀。

1.3.2 调味油的制备

调味油 A:食用植物油加热至 140 $^{\circ}\text{C}$,加入花椒粒、鲜姜片和葱片,炸出香味后,去除姜、葱和花椒粒,趁热倒入辣椒粉中,加入 3% 的食盐迅速搅拌均匀,得调味油 A。

调味油 B:食用植物油加热至 140 $^{\circ}\text{C}$,加入花椒粒、鲜姜片和洋葱片,炸出香味后,去除姜、洋葱和花椒粒,静置冷却 5 min 后加入 3% 的食盐搅拌均匀,得调味油 B。

1.3.3 河鲢鱼干的制备



原料处理:河鲢鱼宰杀后去除头和所有内脏,确保无毒和安全后清洗、冷却,4 $^{\circ}\text{C}$ 下冷藏待用。

腌制:首先采用干腌法去除河鲢鱼中的残留血液。准确称取 2% 肉样重量的食盐,均匀涂抹在鱼体表面,在 0~4 $^{\circ}\text{C}$ 下干腌 12 h,用无菌水清洗、沥干后,放入等质量的湿腌水 A、B 中分别腌制 6 h。湿腌结束后取出沥干。

低温风干:在恒温恒湿培养箱中进行。设定初始干燥温度为 17 $^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 60%,当恒温恒湿箱中

的相对湿度稳定时(6 d),再以 3℃/24 h 升高温度,以 5%/24 h 增加湿度。河鲢鱼干的水分含量达到 45%~50% 时终止干燥。

中温风干:在电热恒温鼓风干燥箱中进行。设置干燥温度为(45±2)℃,河鲢鱼干的水分含量达到 45%~50% 时终止干燥。

回软:中温风干结束后,将鱼干放入凉开水中浸泡 1 min,达到回软目的。

调味:基于河鲢鱼干质量分别加入 6% 调味油 A、B 进行调味。

包装、灭菌:将加工好的河鲢鱼干真空包装后,在 121℃ 下灭菌 20 min。

1.3.4 河鲢鱼干加工试验组条件设置及取样时间

河鲢鱼干加工试验组条件设置见表 1,取样时间见表 2。

表 1 河鲢鱼干加工试验组条件设置

Table 1 Setting of drying conditions of puffer fish

组别	干腌	湿腌	风干	回软	调味	灭菌
1	2% 食盐	湿腌水 A	45℃鼓风	凉开水	调味油 A	121℃
2	表面涂擦	湿腌水 B	干燥箱	浸泡	调味油 B	20 min
3	均匀	湿腌水 A	17~29℃恒	1 min	调味油 A	
4		湿腌水 B	温恒湿箱		调味油 B	

表 2 河鲢鱼加工过程中的取样

Table 2 Sampling points in the air drying process of puffer fish

组别	取样时间						
	A	B	C	D	E	F	G
1	原料	湿腌结束	干燥 12 h	干燥 24 h	干燥 36 h	干燥 48 h	成品
2	原料	湿腌结束	干燥 12 h	干燥 24 h	干燥 36 h	干燥 48 h	成品
3			干燥 1 d	干燥 4 d	干燥 7 d	干燥 10 d	
4			干燥 1 d	干燥 4 d	干燥 7 d	干燥 10 d	

1.3.5 指标测定

1.3.5.1 营养成分的测定

水分含量参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》测定;粗脂肪含量参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》测定;粗蛋白含量参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》测定;灰分含量参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》测定。

1.3.5.2 盐分含量的测定

盐分含量参照 GB 5009.44—2016《食品安全国家标准 食品中氯化物的测定》测定。

1.3.5.3 水分活度(water activity, A_w)的测定

水分活度采用水分活度仪测定。

1.3.5.4 挥发性盐基氮(total volatile base nitrogen, TVB-N)值的测定

TVB-N 值参照 GB 5009.228—2016《食品安全国

家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》测定。

1.3.5.5 硫代巴比妥酸反应物(thiobarbituric acid reactive substance, TBARS)值的测定

精确称取 5 g 剪碎的肉样,加 15 mL 7.5%TCA 含有 0.1%BHA 和 0.1%EDTA 的混合溶液,匀浆 30 s。过滤,收集滤液。取 2.5 mL 滤液,再加入 2.5 mL 0.02 mol/L 2-硫代巴比妥酸,沸水浴 40 min,立即将其放在碎冰中冷却。加 3 mL 氯仿,混匀,2℃,2 000×g 离心 10 min,于 532 nm 测定吸光度。TBARS 值(T , mg/kg)计算公式如下。

$$T = \frac{A \times V \times M}{\varepsilon \times l \times m} \times 1000$$

式中: A 为吸光度; V 为样品体积, mL; M 为丙二醛的分子量, 72.063; ε 为摩尔吸光系数, 156 000; l 为比色皿的光径, cm; m 为肉样质量, g。

1.3.5.6 河鲢鱼风干过程中的水分分布测定

精确称取 1.000 0 g 左右的河鲢鱼样品,用玻璃棒缓慢放入核磁专用试管(直径约 15 mm)底部,尽量排除肉样间隙中的空气,勿按压,防止鱼肉中水分被挤出,同时,封口膜封口防止水分蒸发。低场核磁共振分析成像仪参数:偏移频率 $O1$ 为 960.366 1 kHz, 90 度脉冲射频脉宽 13.5 us; 180 度脉冲射频脉宽 27.0 us; 采样点数 1 024; 开始采样时间 75 ms; 充分采样等待时间 2 000 ms; 信号采样频率 200 kHz; 累加采样 4 次; 模拟增益 20 db; 数字增益 3 db; 半回波时间 τ 值为 200 ms, 累加采样 4 次; 回波个数 2 000。磁体温度 32℃ 累加采样, 后开始测定, 采用 Multi Exp Inv Analysis 软件以综合迭代算法进行反演, 得样品弛豫时间及其对应的弛豫信号分量, 对所测样品的质量进行信号幅度的归一化处理, 即得横向弛豫时间 T_2 波谱图。横坐标为横向弛豫时间 T_2 , 纵坐标为各弛豫时间对应的信号分量 A_i 。

1.3.5.7 低场核磁共振成像分析

将样品垂直于梯度场 Z 轴方向置于检测管内使用成像序列进行成像试验, 采用 SE 成像序列, 通过改变序列参数 TR 和 TE, 改变质子密度。试验参数为 GSlice X=0、GSlice Y=1、GSlice Z=0, 得河鲢鱼肉横截面图像。

1.3.5.8 河鲢鱼干挥发性风味成分的测定

采用固相微萃取气质联用技术(solid phasemicro-extraction-gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS)分析河鲢鱼干挥发性风味成分, 分别称取样品各 6 g 装入 15 mL 萃取瓶中(鱼肉体积控制在萃取瓶体积的 1/2 处, 以免顶空萃取时探头触碰鱼肉而腐蚀)并编号。设置萃取温度为 50℃, 萃取时间为 30 min。当样品萃取结束后, 采用气质联用仪中解吸 10 min。色谱条件: 毛细管色谱柱为 DB-5ms 柱(30 m×

0.25 mm×0.25 μm), 进样口温度 250 ℃, 接口温度 250 ℃。升温程序设置为起始温度 45 ℃保留 2 min, 以 6 ℃/min 升温到 240 ℃保留 5 min。载气为 He, 流速为 1.0 mL/min, 不分流。

质谱条件^[11]: 电离方式为电子电离(electron ionization⁺, EI⁺), 电子能量 70 eV, 灯丝发射电流 200 μA, 离子源温度 200 ℃, 接口温度 250 ℃。

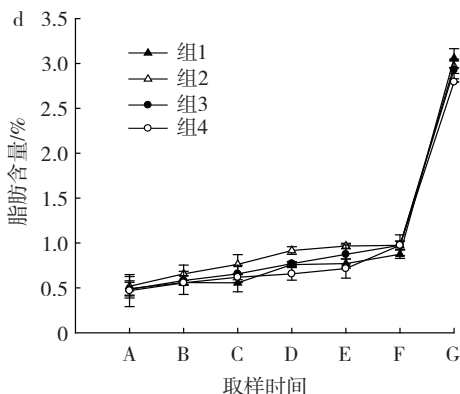
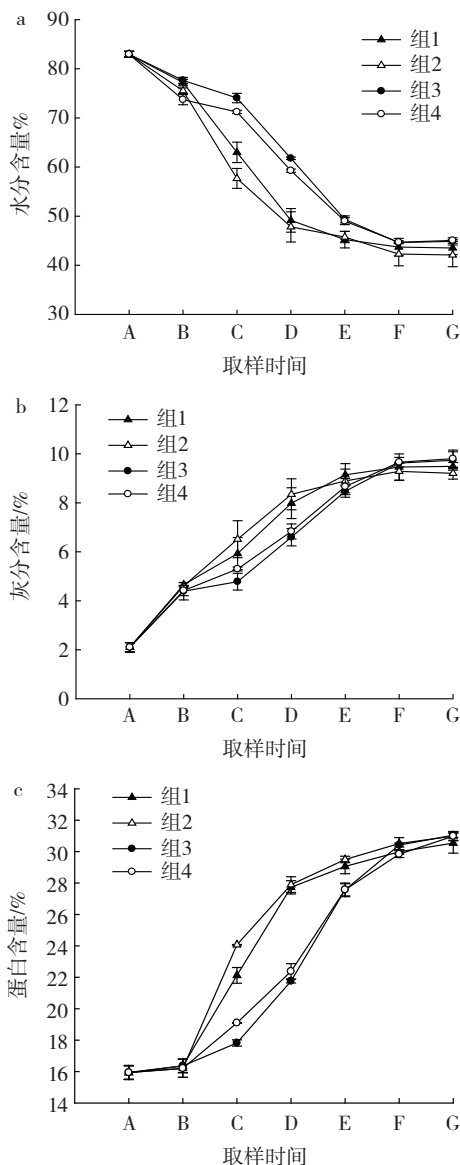
1.4 数据统计分析

采用 Microsoft Excel 进行数据整理, 用 Statistix8.0 中的 Turkey test 程序进行显著性差异($p<0.05$)分析, Sigma Plot 10.0 作图分析。

2 结果与分析

2.1 河鲢鱼干加工过程中营养成分变化

4 组河鲢鱼干加工过程中营养成分的变化如图 1 所示。



a. 水分含量; b. 灰分含量; c. 蛋白含量; d. 脂肪含量。

图 1 河鲢鱼干加工过程中营养成分变化

Fig.1 Changes in nutrient content of puffer fish during the drying process

由图 1 可见, 风干过程中, 4 组河鲢鱼干水分含量均明显下降, 当水分含量降低至 40~50% 时, 组 3 和 4 需要经过 10 d 缓慢的干燥过程, 而组 1 和 2 只需要 48 h 快速干燥过程。随着风干过程, 蛋白质和灰分的相对含量逐渐增加。由图 1d 可知, 河鲢鱼本身脂肪含量(0.5%)较低, 在风干过程中, 河鲢鱼干脂肪有上升趋势, 经过回软、调味后, 脂肪含量提高至 3.0%, 可在一定程度上改善产品口感。

2.2 河鲢鱼干加工过程中盐含量的变化

河鲢鱼干加工过程中盐含量的变化见图 2。

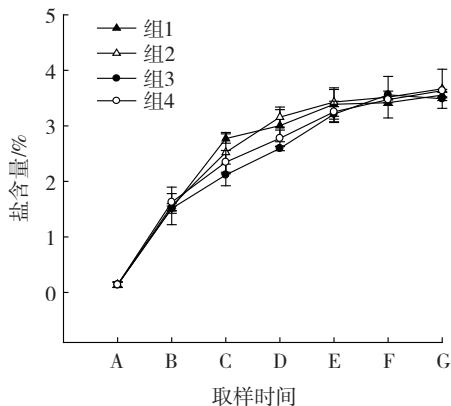


图 2 河鲢鱼干加工过程中盐含量的变化

Fig.2 Changes in salt content of puffer fish during the drying process

由图 2 可知, 加工过程中河鲢鱼干中的盐含量呈上升趋势, 腌制阶段(B 阶段)由于食盐渗透, 盐含量明显增加, 风干阶段(C~F 阶段)随水分丧失而盐含量进一步增加, 变化明显, 在风干后期(E~F 阶段)变化缓慢。4 组河鲢鱼干产品的盐含量均为 3%~4%, 与传统生产的风干鱼含盐量(6%~10%)^[12]相比, 盐含量减少了近 50%。

2.3 河鲢鱼干加工过程中水分活度的变化

河鲢鱼干加工过程中水分活度的变化见图 3。

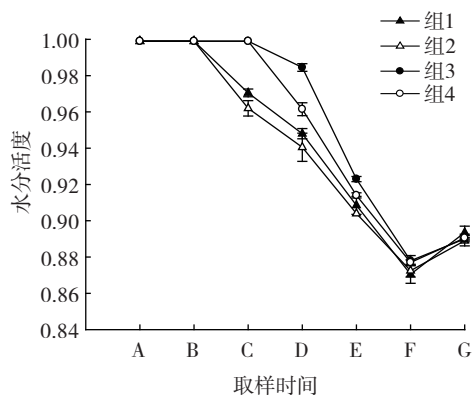


图3 河鲀鱼干加工过程中水分活度的变化

Fig.3 Changes in water activity of puffer fish during the drying process

水分活度(A_w)是风干鱼质量控制的重要参数,与风干鱼的货架期寿命和食用安全性联系密切^[13]。组1和2在风干过程中, A_w 降趋势明显,可能是由于干燥温度高(45℃),水分散失快导致。中温风干条件下,干燥速度快,但易造成河鲀鱼干表面过干,内部的水分无法迁移到表面散发,产生表面和内部水分含量不均匀的现象。而组3和4在风干的前4 d(C~D阶段), A_w 变化缓慢,这是由于此阶段风干温度低,相对湿度高,水分不容易散失。随着风干过程的进行,风干温度逐渐升高,相对湿度逐渐下降,在风干中后期(D~F阶段), A_w 下降明显,产品内外水分达到均匀一致,在风干结束时(F阶段), A_w 降至0.88。

2.4 河鲀鱼干加工过程中 TVB-N 值的变化

河鲀鱼干加工过程中 TVB-N 值的变化见图4。

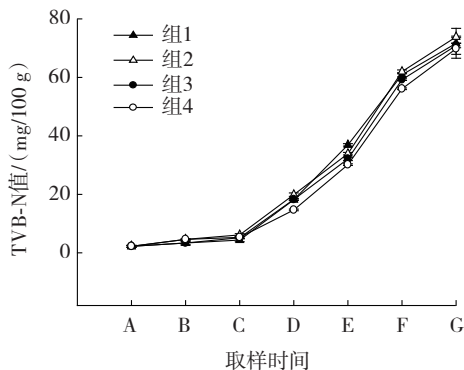


图4 河鲀鱼干加工过程中 TVB-N 值的变化

Fig.4 Changes in TVB-N of puffer fish during the drying process

TVB-N 值是用来判定鲜肉新鲜程度的指标,也可通过 TVB-N 值变化研究风干肉制品中的蛋白及风味变化^[14]。由图4可见,在河鲀鱼干加工过程中,TVB-N 值逐渐增加,由风干前期(C~D阶段)的4~6 mg/100 g 升高到风干结束时(G阶段)的60~70 mg/100 g。这与张会丽^[14]、马艳梅^[15]的研究结果一致。

2.5 河鲀鱼干加工过程中 TBARS 值的变化

TBRAS 值是反映肉类中脂肪氧化程度的关键指标。TBRAS 值越高,脂肪氧化程度越大^[16]。河鲀鱼干加工过程中 TBARS 值的变化如图5所示。

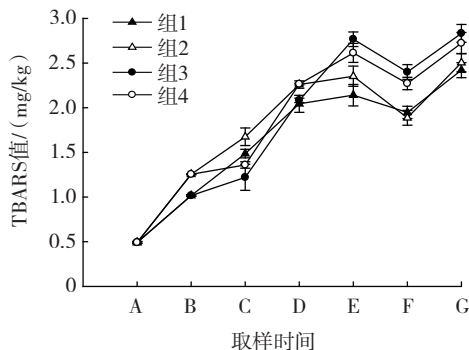


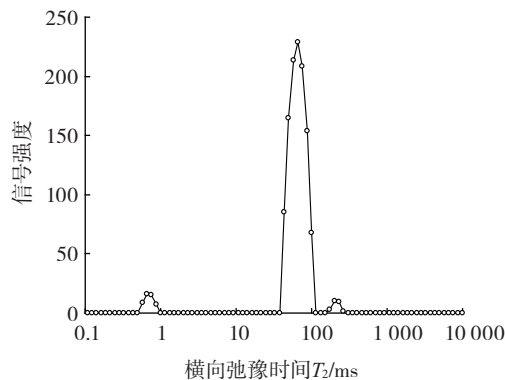
图5 河鲀鱼干加工过程中 TBARS 值的变化

Fig.5 Changes in TBARS during the drying process of puffer fish

加工过程中,4组鱼干的 TBARS 值在风干前期(B~D阶段)明显升高,风干后期(E~F阶段)变化缓慢,且略有下降趋势,成品的 TBARS 值分别为2.42、2.50、2.83、2.72 mg/kg。在风干前期(B~D阶段)组1和2的 TBARS 值大于组3和4,是由于组1和2的风干温度高导致的。而风干后期(E~F阶段),组3和4的 TBARS 值明显大于组1和2的 TBARS 值,这是由于组3和4的风干工艺时间长,且在后期温度上升,促进脂肪氧化,有利于产品风味物质的形成,与陈娇娇等^[17]研究结果一致。

2.6 河鲀鱼干加工过程中水分分布的变化

图6为新鲜河鲀鱼低场核磁共振横向弛豫时间(T_2)分布。

图6 新鲜河鲀鱼横向弛豫时间 T_2 波谱图Fig.6 Transverse relaxation time T_2 spectrogram of fresh puffer fish

T_{21} (0~10 ms)为结合水, T_{22} (10~100 ms)为不易流动水, T_{23} (100~1 000 ms)为自由水。由图6可知,0.1~1 ms 间出现第1个峰为结合水,其峰面积为48.08,占总峰面积的4%;在10~100 ms 出现第2个峰为不易流动水,其峰面积占总峰面积的94.1%;100~1 000 ms 出

现第 3 个峰为自由水, 占总峰面积的 1.8%。综上, 新鲜河鲀鱼中绝大部分水分为不易流动水, 结合水和自由水所占比例较小。河鲀鱼风干过程中, 水分发生迁移, 分布状态发生变化^[18]。

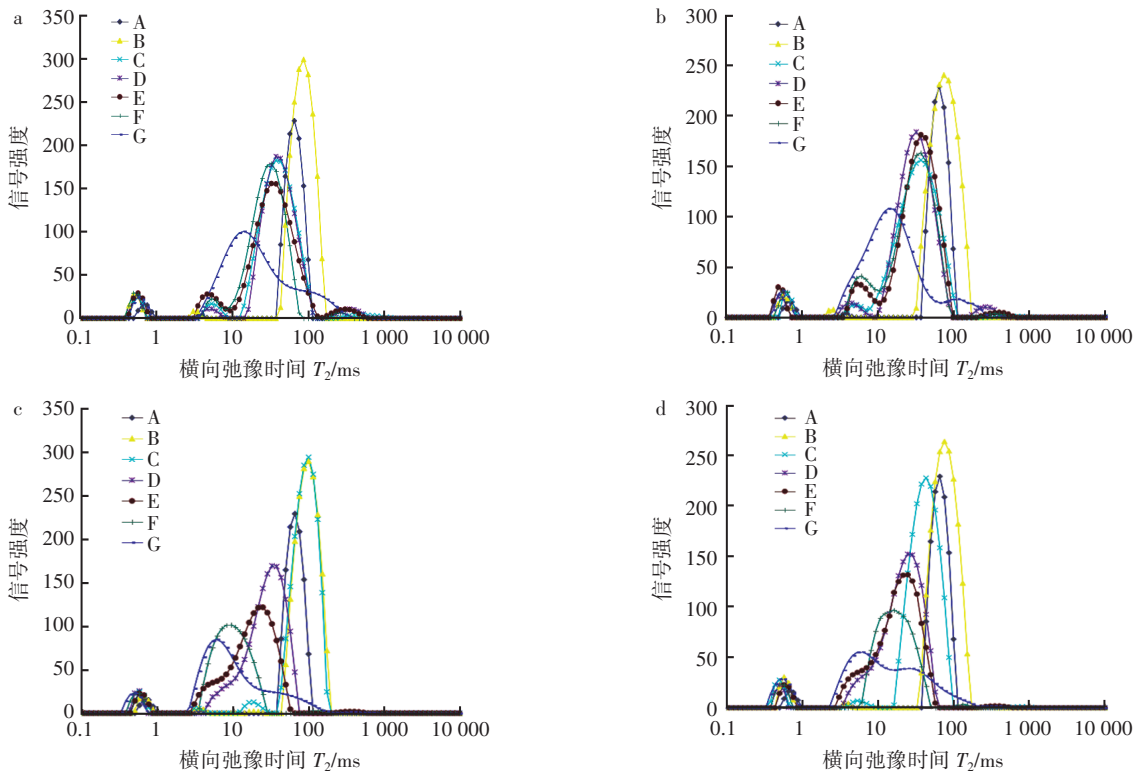
河鲀鱼干加工过程中 P_{22} (T_{22} 弛豫时间峰面积) 变化及 T_2 波谱图变化分别见表 3 和图 7 所示。

表 3 4 组河鲀鱼干加工过程中 P_{22} (T_{22} 弛豫时间峰面积) 的变化

Table 3 Changes in T_{22} peak area during the drying process of puffer fish in 4 different groups

取样时间	组 1	组 2	组 3	组 4
A	1 722.55±2.11 ^{Ab}	1 722.55±2.11 ^{Ab}	1 722.55±2.11 ^{Ac}	1 722.55±2.11 ^{Ac}
B	1 904.82±6.12 ^{Ba}	1 892.02±7.30 ^{Ba}	1 937.96±3.52 ^{Aa}	1 902.91±2.92 ^{Ba}
C	1 711.94±4.51 ^{Cb}	1 672.47±5.42 ^{Dc}	1 903.89±3.61 ^{Ab}	1 886.89±2.53 ^{Bb}
D	1 588.48±3.13 ^{Cc}	1 558.37±4.21 ^{Dd}	1 665.82±3.82 ^{Ad}	1 635.35±3.44 ^{Bd}
E	1 510.9±3.64 ^{Ad}	1 499.03±6.27 ^{Be}	1 392.29±2.01 ^{Cc}	1 283.79±2.62 ^{De}
F	1 460.17±5.11 ^{Ae}	1 453.53±3.45 ^{Af}	1 100.38±2.82 ^{Bf}	1 094.6±2.86 ^{Bf}
G	1 407.46±6.51 ^{Af}	1 400.48±3.62 ^{Ag}	1 052.4±2.41 ^{Bg}	1 047.61±3.03 ^{Bg}

注: 相同取样时间数据肩标不同大写字母表示差异显著 ($p<0.05$); 相同组别不同小写字母表示差异显著 ($p<0.05$)。



a. 组 1; b. 组 2; c. 组 3; d. 组 4。

图 7 河鲀鱼干加工过程中横向弛豫时间 T_2 波谱图

Fig.7 Transverse relaxation time T_2 spectrogram of puffer fish during the drying process

在风干过程中 T_{22} 弛豫时间的峰面积整体呈下降趋势, 可形象说明河鲀鱼中水分的迁移变化规律, P_{22} 代表了不易流动水的量, A_{22} 逐渐降低, 表明不易流动水转变为结合水^[19]。4 组河鲀鱼在风干过程中, 在腌制结束时, 由于经过湿腌过程, 导致 A_{22} 有一上升现象。之后风干过程中, 各组 P_{22} 均有明显下降趋势 ($p<0.05$), 但中温和低温风干条件下各组之间差异显著 ($p<0.05$)。组 1 和 2 的河鲀鱼干产品 P_{22} 值从起初的 1 722.55 降至 1 400.48~1 407.46; 组 3 和 4 的产品从起

初的 1 722.55 降至 1 047.61~1 052.4。表明低温风干的产品最终产品中水分分布均匀, 水分含量略高, 感官评价好, 这与图 1(a) 中水分含量变化相一致。

2.7 河鲀鱼干加工过程中质子密度成像的变化

分别在 7 个取样点上对河鲀鱼进行低场核磁共振 (low-field nuclear magnetic resonance, LF-NMR) 成像试验。质子密度代表内部总水分含量, 质子密度越大, 信号量就越大, 图像显示越亮^[20]。图 8 为河鲀鱼内部所有氢质子的质子密度像。

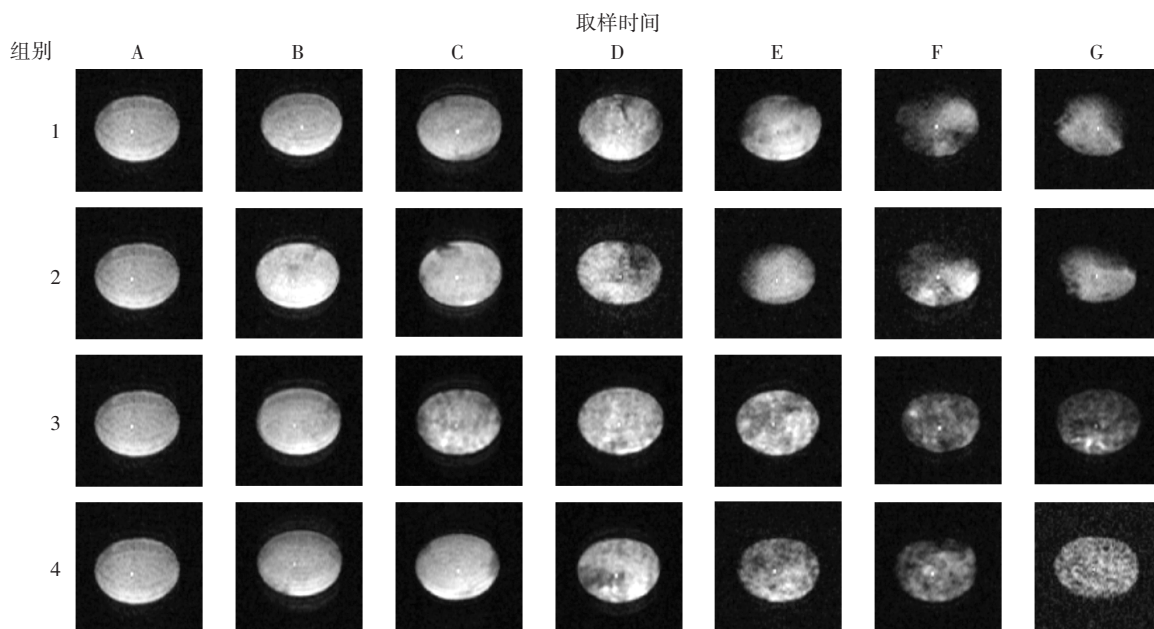


图8 河鲀鱼干加工过程中的质子密度成像

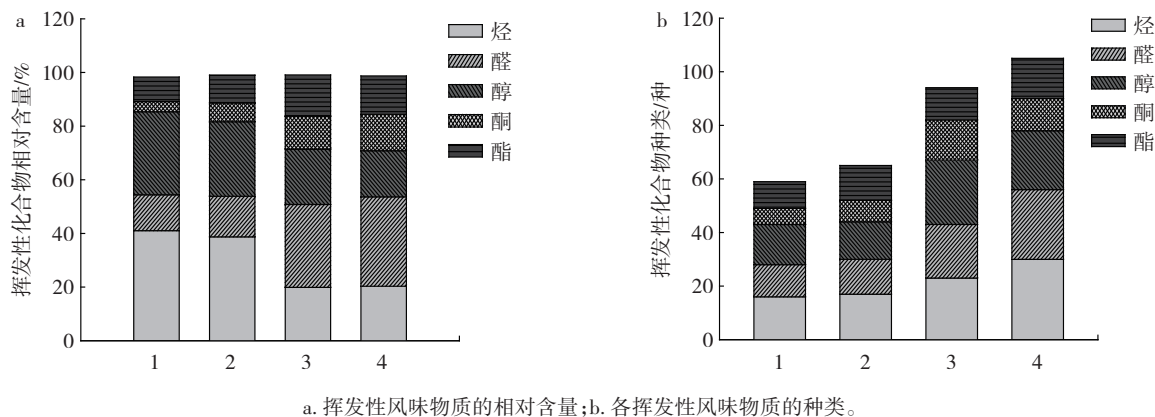
Fig.8 Proton density imaging of puffer fish during the drying process

从图8可知,在风干前期(B~D阶段),河鲀鱼肌肉信号致密均匀。随着风干过程进行,水分开始迁移,由内部逐渐向外部渗透,使河鲀鱼内部水分含量减少。在成品时,可清楚地看到信号显著变弱,亮度减弱。4组方案中,在组1和2的风干后期(E~F阶段),水分变得不均匀,不能呈现完整的圆形,这是由于组1和2的风干温度高,外部水分流失大于内部水分向外部迁移,使得外部水分越来越少,最终硬化。组3和4的风干

温度低,采用控制风干温度和湿度来进行干燥,由图8中可看出,水分分布均匀,说明外部水分流失小于或等于内部水分向外部迁移,最终达到较好的风干目的。由质子密度图换可以看出,不同的腌制配方对水分分布没有显著影响。

2.8 河鲀鱼干成品的挥发性风味成分分析

河鲀鱼干产品的挥发性风味成分分析结果如图9所示。



a. 挥发性风味物质的相对含量;b. 各挥发性风味物质的种类。

图9 河鲀鱼干产品的挥发性风味成分分析

Fig.9 Volatile flavor compounds of dried puffer fish products

4组产品的挥发风味物质主要有烃类、醛类、醇类、酮类、酯类等。醛类化合物主要是由脂肪氧化降解,具有脂肪香味,对产品的整体风味有重要作用^[21]。醇类化合物一般对肉品的风味产生贡献有限,除非含量较高或者为不饱和醇。酮类化合物是脂肪酸氧化的最终产物,是典型的风味物质。酯类化合物是酸和醇经酯化而成,有些具有水果香味,有些具有轻微的

油脂味,总体而言,酯类会赋予食品一种香甜的果香。烷烃类广泛存在于水产品的挥发性化合物中,对食品的整体风味贡献较小^[22]。从图9a得知,风干组1和2的烷烃类和醇类物质相对含量高与组3和4。图9b显示,组1和2中每种风味物质种类也明显较低。综上,在风干温度较高时,挥发性风味物质比水更容易挥发。

3 结论

本研究对不同加工方式河鲢鱼干的营养成分、TVB-N、TBARS、水分迁移情况以及挥发性风味物质进行探究。试验结果表明,两种腌制配方对河鲢鱼在风干过程中的营养成分、TVB-N、TBARS、水分迁移等没有显著性的影响,但风味成分种类以及相对含量不同。低温风干的鱼干内外水分分布均匀,而中温风干的鱼干存在外部硬化的现象。且低温风干条件下,产品风味成分优于中温风干,这表明低温下风干能更好地产生和保留滋味物质和香气。低温风干的河鲢鱼干品质优于中温风干的河鲢鱼干,可为河鲢鱼等海鱼干的加工提供参考。

参考文献:

- [1] 朱烨. 暗纹东方鲀鱼片半干制品干燥方法及其品质研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2022.
ZHU Ye. Study on drying technology and quality of semi-dried *Takifugu obscurus* fillets[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022.
- [2] PINTO E P, RODRIGUES S M, GOUVEIA N, et al. Tetrodotoxin and saxitoxin in two native species of puffer fish, *Sphoeroides mar-moratus* and *Lagocephalus lagocephalus*, from NE Atlantic Ocean (Madeira Island, Portugal) [J]. Marine Environmental Research, 2019, 151: 104780.
- [3] 韩悦, 马剑锋, 陈雪昌, 等. 4种养殖河豚鱼肌肉营养成分分析与评价[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(8): 28-35.
HAN Yue, MA Jianfeng, CHEN Xuechang, et al. Nutrient components in muscle of four species of cultured puffer fish[J]. Food Research and Development, 2022, 43(8): 28-35.
- [4] 王栋, 张琦, 陈玉峰, 等. 干腌肉制品低盐加工技术及其减盐机制研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(7): 222-231.
WANG Dong, ZHANG Qi, CHEN Yufeng, et al. Progress in processing technologies for low-salt dry-cured meat products and understanding their principles[J]. Food Science, 2022, 43(7): 222-231.
- [5] 杨文鹤, 刘策, 韩乃瑄, 等. 肉类腌制工艺安全性的研究进展[J]. 肉类工业, 2022(11): 39-45.
YANG Wenhe, LIU Ce, HAN Naixuan, et al. Research progress on the safety of meat curing process[J]. Meat Industry, 2022(11): 39-45.
- [6] GONG X H, WAN J, ZHOU Y L, et al. Mediated curing strategy: An overview of salt reduction for dry-cured meat products[J]. Food Reviews International, 2023, 39(7): 4565-4580.
- [7] 周琪, 张佳敏, 王博, 等. 肉制品风味形成机制及加工方式对风味影响的研究进展[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2024, 43(4): 74-84.
ZHOU Qi, ZHANG Jiamin, WANG Bo, et al. Research progress on the formation mechanism of meat flavor and the influence of processing methods on it[J]. Journal of Xihua University (Natural Science Edition), 2024, 43(4): 74-84.
- [8] GAO J H, CHENG S Y, SUN X M, et al. Combination of contact ultrasound and infrared radiation for improving the quality and flavor of air-dried beef during hot air drying[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2024, 110: 107047.
- [9] 吴浩. 真空冷冻干燥技术在牛肉制品中的应用[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020.
WU Hao. Application of vacuum freeze-drying technology in beef products[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2020.
- [10] SHEN L W, CHEN F X, HUANG Q, et al. Effect of light treatment on oxidation and flavour of dry-cured Wuchang fish[J]. Food Chemistry: X, 2024, 22: 101464.
- [11] 张艳霞, 姚冬, 王营娟, 等. 冻藏期间不同包装方式大黄鱼肉中挥发性成分分析[J]. 食品安全导刊, 2022, (32): 86-89.
ZHANG Yanxia, YAO Dong, WANG Yingjuan, et al. Analysis of volatile components in the meat of *pseudosciaena crocea* in different packaging methods during frozen storage[J]. China Food Safety Magazine, 2022, (32): 86-89.
- [12] 谢昌芯. 超声波辅助低盐风干鱼腌制工艺及其品质形成机理研究[D]. 黄石: 湖北师范大学, 2024.
XIE Changxin. Research on pickling process and quality formation mechanism of ultrasound assisted pickling low salt dry fish[D]. Huangshi: Hubei Normal University, 2024.
- [13] SHEN Z W, LUAN A N, YI S X, et al. Moderate protein degradation and lipid oxidation induced by cold plasma and its effect on the quality of dried fish products[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2023, 123: 105636.
- [14] 张会丽. 风鱼腌制风干成熟工艺及其蛋白质水解规律的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
ZHANG Huili. Study on curing and air-drying ripening technology of wind fish and its protein hydrolysis law[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009.
- [15] 马艳梅. 羊肉火腿中蛋白质的变化规律及其对其品质的影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2014.
MA Yanmei. Study on the Protein degradation and its impact on the quality of the Dry-Cured mutton ham during the processing[D]. Shihezi: Shihezi University, 2014.
- [16] KIM J K, JO C R, KIM H J, et al. Relationship of specific microbial growth and TBARS value in radiation-sterilized raw ground pork[J]. Preventive Nutrition and Food Science, 2004, 9(4): 312-316.
- [17] 陈娇娇, 蒋爱民, 杜斯欣, 等. 温度对风干罗非鱼块品质的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(14): 85-90.
CHEN Jiaojiao, JIANG Aimin, DU Sixin, et al. Effects of drying temperature on the qualities of tilapia[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(14): 85-90.
- [18] LI M, LI B, ZHANG W J. Rapid and non-invasive detection and imaging of the hydrocolloid-injected prawns with low-field NMR and MRI[J]. Food Chemistry, 2018, 242: 16-21.
- [19] ZU X Y, LI H L, XIONG G Q, et al. Gamma irradiation on moisture migration and lipid degradation of *Micropterus salmoides* meat[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2022, 192: 109915.
- [20] ZHU J Y, LI S S, YANG L, et al. Effect of multiple freeze-thaw cycles on water migration, protein conformation and quality attributes of beef longissimus dorsi muscle by real-time low field nuclear magnetic resonance and Raman spectroscopy[J]. Food Research International, 2023, 166: 112644.
- [21] 阿依姑丽·吾布力. 不同烟熏液的制备及其对风干鱼品质特性的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
WUBULI·Ayiguli. The preparation of different smoking liquids and their effects on the quality characteristics of dried fish[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021.
- [22] LU Q, LIU F F, BAO J Q. Volatile components of American silver carp analyzed by electronic nose and MMSE-GC-MS-O[J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(11): e13006.

加工编辑: 孟琬星

收稿日期: 2024-08-23