

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.80180

干制工艺对鲢鱼品质及晚期糖化 终末产物含量的影响

Effects of silver carp drying process on quality and
content of advanced glycation end products

栾傲男¹ 王传洋¹ KEVIN Li² 俞 健¹

LUAN Ao-nan¹ WANG Chuan-yang¹ KEVIN Li² YU Jian¹

王发祥¹ 刘永乐¹ 李向红¹ 李 彦¹

WANG Fa-xiang¹ LIU Yong-le¹ LI Xiang-hong¹ LI Yan¹

(1. 长沙理工大学食品与生物工程学院, 湖南 长沙 410114; 2. 湖南康宝莱葑硕天然产物有限公司, 湖南 长沙 410100)

(1. College of Food Science and Bioengineering, Changsha University of Science and
Technology, Changsha, Hunan 410114, China; 2. Hunan Herbalife Natsource Natural
Products Limited Company, Changsha, Hunan 410100, China)

摘要:目的:探究干制工艺对鲢鱼食用品质及安全的影响。方法:以新鲜鲢鱼为材料,以腌制盐添加量(NaCl)、腌制温度、腌制时间、风干温度和风干时间为考察因素,探究不同加工条件对鱼干复水率、色泽、质构以及 AGEs 形成的影响。结果:腌制盐添加量和风干温度对鱼干制品的感官评定影响显著($P<0.05$),最佳加工工艺条件为腌制盐添加量 9%,腌制温度 4℃,腌制时间 3 h,风干温度 60℃,风干时间 24 h。对鱼干风味贡献最大的为烷烃、芳香类化合物及含硫有机化合物,其中腌制盐添加量 9%,腌制温度 4℃,腌制时间 3 h,风干温度 60℃的鱼干制品的风味物质保留较好。鱼干制品色泽金黄,质地紧实,组织不松软。随着腌制盐添加量的增加,羧甲基赖氨酸(CML)和羧乙基赖氨酸(CEL)含量增加;但 3%和 9%腌制盐添加量下的鱼干的 CML 和 CEL 差别较小。结论:鲢鱼在不同干制工艺中所得品质与潜在危害物不同,在腌制盐添加量 9%,腌制温度 4℃,腌制时间 3 h,风干温度 60℃,风干时间 24 h 下所得的鱼干制品为最优产品。

关键词:鲢鱼;风干;晚期糖基化终末产物;风味;潜在危害物

害物

Abstract: Objective: The effect of dried silver carp process on quality and safety was studied. **Methods:** Taking the fresh silver carp as the raw material, the curing concentration (NaCl), curing temperature, curing time, drying temperature and drying time as investigating factors, investigated the effects of different processing conditions on the rehydration rate, color, texture and AGEs formation. **Results:** The concentration of curing salt and drying temperature had significant effects on the sensory evaluation of dried fish products ($P<0.05$), and the optimal processing conditions obtained were curing concentration of 9%, curing temperature of 4℃, curing time of 3 h, drying temperature of 60℃ and drying time of 24 h. The alkanes, aromatic compounds and sulfur-containing organic compounds contributed most to the flavor of dried fish. The dried fish products with a curing concentration of 9%, curing temperature of 4℃, curing time of 3 h, and drying temperature of 60℃ had better retention of flavor substances. The samples became yellowish in color, less bright and harder, which was reflected in sensory changes as dried fish products with golden color, firm texture and non-flabby tissue. The content of carboxymethyl lysine (CML) and carboxyethyl lysine (CEL) increased with increasing salt content. However, the differences in CML and CEL of dried fish under 3% and 9% salt concentration curing were not significant. **Conclusion:** The dried fish products with curing concentration of 9%, curing temperature of 4℃, curing time of 3 h, drying temperature of 60℃ and drying time of 24 h are the optimal products. This study provides technical support for the processing and safety

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31972106);湖南省自然科学基金项目(编号:2020JJ4096);湖南省重点研发计划项目(编号:2022NK2032)

作者简介:栾傲男,女,长沙理工大学在读硕士研究生。

通信作者:李彦(1970—),女,长沙理工大学副教授,硕士。

E-mail: 122511021@qq.com

收稿日期:2022-05-06

control of dried silver carp.

Keywords: silver carp; air-drying; advanced glycation end products; flavor; potential hazards

鲢鱼(*Hypophthalmichthys molitrix*)又名白鲢、鲢子,价格低廉。据统计^[1],2020 年中国鲢鱼养殖产量达 381.29 万 t,占全国淡水鱼产量的 12.34%^[1]。鲢鱼富含易于人体消化吸收的矿物元素、维生素、DHA、EPA 等;但因刺多、口感差及土腥味重,严重影响了鲢鱼直接食用品质^[2-3],因此多被加工成鱼糜、干制品。

风干鱼制品因独特的口感和风味及方便食用的特点而受消费者喜爱,加工过程中经腌制、干燥处理,减少了水分,降低了酶活性,抑制了微生物的生长,延长了保质期;还会形成由蛋白质和脂类水解、氧化、美拉德等反应产生的风味。Ana 等^[4]研究发现,使用含盐量较低的盐水腌制时,鲮鱼盐渍干鱼的干燥时间变短,质地变得柔软,咸鱼干产量提高;Wan 等^[5]研究发现,干燥温度对草鱼片干燥动力学影响最显著,草鱼热风干燥的最佳温度为 50℃;Zhang 等^[6]研究表明真空冷冻干燥方式最好,但其干燥成本较高。

畜、禽、鱼肉类食品中由于富含蛋白质、脂肪(尤其是不饱和脂肪)、还原糖等,在贮藏及加工过程中发生蛋白质氧化、脂肪氧化、美拉德反应所产生的香气以及颜色变化最后决定了鱼干的品质,但也产生较高含量的晚期糖化终末产物(AGEs),存在潜在的安全隐患^[7]。AGEs 主要包含羧甲基赖氨酸(CML)、羧乙基赖氨酸(CEL)、吡咯素等。食品中 AGEs 形成与其组成成分、加工工艺等密切相关,而较高的 NaCl 含量可能会促进加热过程中 AGEs 的生成^[8]。Li 等^[9]发现用盐和聚磷酸盐处理的肉类可能会导致 AGEs 浓度增加和蛋白质氧化。鱼加工食品在烘烤、蒸煮、煎炸等高温加工中易促进 AGEs 的形成。Tavares 等^[10]发现烘烤、煎炸对 AGEs 形成的促进作用高于蒸煮处理;Assar 等^[11]发现牛肉中 AGEs 含量随热处理程度的增加而增加。然而,目前国内外有关不同工艺生产的风干鱼制品中 AGEs 含量的研究尚未见报道。

研究拟通过感官评价、复水率的变化,考察腌制盐质量分数、腌制温度、腌制时间和风干温度对鲢鱼鱼干制品食用品质的影响,以复水率、色差、质构及电子鼻进一步研究及确定加工工艺对鱼干制品理化指标的影响,并分析不同工艺条件下鱼干的 AGEs 含量水平,以期优化风干鲢鱼的加工工艺和食用品质及安全控制提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

鲢鱼:白鲢,市售;

食盐:湖南省湘澧盐化有限责任公司;

盐酸、氨水、硼酸等:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

甲醇、甲酸、乙酸铵:色谱纯,北京百灵威科技有限公司;

AGEs 标准品和内标物:纯度均为 98%,加拿大 Toronto Research Chemicals 公司。

1.1.2 主要仪器设备

分析天平:AUY120 型,日本岛津公司;

粉碎机:JYL-C012 型,九阳股份有限公司;

手持均质机:IKAT10 型,德国 IKA 公司;

电热鼓风干燥箱:DHG-9145A 型,上海精宏实验设备有限公司;

电子鼻测定仪:PEN-3 型,德国 AIRSENSE 公司;

质构仪:TA.XT.plus 型,英国 Stable Mico System 公司;

色差仪:WSC-S 型,上海仪电物理光学仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:DK-98 型,天津泰斯特仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 鲢鱼鱼干的制备

鲢鱼→去皮、去头、去内脏→分割切块(3 cm×3 cm×2 cm)→洗净沥干→腌制 $[m_{\text{鲢鱼}}:V_{\text{水}}=1:5\text{ (g/mL)}]$ →干燥→成品

1.2.2 腌制盐质量分数对鱼干品质的影响 固定腌制时间 5 h,腌制温度 25℃,风干温度 45℃,风干时间 24 h,考察腌制盐质量分数(0%,3%,9%,15%)对感官评分和复水率的影响。

1.2.3 腌制时间对鱼干品质的影响 固定腌制盐质量分数 9%,腌制温度 25℃,风干温度 45℃,风干时间 24 h,考察腌制时间(1,2,3,5 h)对感官评分和复水率的影响。

1.2.4 腌制温度对鱼干品质的影响 固定腌制盐质量分数 9%,腌制时间 3 h,风干温度 45℃,风干时间 24 h,考察腌制温度(25,4℃)对感官评分和复水率的影响。

1.2.5 风干温度对鱼干品质的影响 固定腌制盐质量分数 9%,腌制时间 3 h,腌制温度 25℃,风干时间 24 h,考察风干温度(30,40,50,60℃)对感官评分和复水率的影响。

1.2.6 风干时间对鱼干品质的影响 固定腌制盐质量分数 9%,腌制时间 3 h,腌制温度 25℃,风干温度 45℃,考察风干时间(24,36,48 h)对感官评分和复水率的影响。

1.2.7 正交试验设计 根据单因素试验,以腌制温度、腌制时间、风干温度和风干时间为因素,设计四因素三水平的正交试验优化风干鲢鱼鱼制品的加工工艺。

1.2.8 感官评价 鲢鱼干制品以色泽、气味、口感和组织形态为检验项目进行综合评分。由 10 名品评员组成固定的感官评价小组,参照表 1 进行评定。

表 1 感官评分标准
Table 1 Sensory scoring criteria

评分	色泽	气味	口感	组织结构
25~20	色泽金黄,光泽好	鱼香味浓郁,无不良气味	味道好,咸淡适中,咀嚼性较好	形态整齐,软硬度较好
20~15	色泽较浅,无光泽	鱼香味较浓郁,无不良气味	味道好,咸淡适中,咀嚼性一般	形态完整,软硬度适中
15~10	色泽浅,无光泽	鱼香味较淡,略带鱼腥味或其他不良气味	味道一般,偏咸或偏淡,咀嚼性较差	形态较整齐,软硬度一般
10~0	色泽发暗,无光泽	无鱼香味,鱼腥味或其他不良气味较重	口感粗糙,过咸或过淡,咀嚼性较差	形态较整齐,软硬度一般

1.2.9 水分含量测定 按 GB 5009.3—2016 执行。

1.2.10 复水率测定 称取一定量的鱼干样品于 30 ℃ 水中,静置 40 min,除去表面水分,称重,按式(1)计算复水率^[12]。

$$X=\frac{m_2-m_1}{m_1}\times 100\%,$$

(1)

式中:

X——复水率,%;

m_2 ——复水后的质量,g;

m_1 ——干制鱼片的质量,g。

1.2.11 色泽测定 将鱼干样品切成 2 cm×2 cm×0.5 cm 左右的圆柱体进行颜色测定,未处理的新鲜鲢鱼样品作为色差计算的参照值(L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* 、 E_0^*),用色差测定仪进行测定 L^* 、 a^* 、 b^* 、 E^* 。

$$\Delta E=\sqrt{(L_0^*-L^*)^2+(a_0^*-a^*)^2+(b_0^*-b^*)^2},$$

(2)

式中:

ΔE ——总色差值;

L^* 、 a^* 和 b^* ——干制样品的亮度值、红度值和黄度值;

L_0^* 、 a_0^* 和 b_0^* ——参照样品(新鲜鱼肉)的亮度值、红度值和黄度值。

1.2.12 质构分析 用 TA-XT Plus 质构分析仪的 TPA 模式在室温条件下测量样品的硬度、弹性以及咀嚼性。将样品切成 2 cm×2 cm×0.5 cm 左右的圆柱体,选用 P/36R 探针,测前速度 3.00 mm/s;测试速度 1.00 mm/s;测后速度 3.00 mm/s;压缩度 50%;触发力 0.049 N。

1.2.13 电子鼻 准确称取 5 g 绞碎的肉置于顶空进样瓶中,室温静置 30 min,顶空进样,每组样品平行测定 3 次。传感器自清洗 120 s;样品准备时间 15 s,测定时间 120 s,载气流速 350 mL/min。10 种传感器的性能描述见表 2。

1.2.14 CML、CEL 含量测定 参照 Sun 等^[13]的方法。

1.2.15 数据处理 所有试验均至少重复 3 次,结果以平

表 2 PEN3 电子鼻传感器阵列及其性能

Table 2 PEN3 electronic nose sensor array and its performance characteristics

传感器序列	传感器名称	敏感物质	参考物质
S1	W1C	芳香物质	Toluene
S2	W5S	氮氧化物	NO ₂
S3	W3S	氨水、芳香类化合物	Propane
S4	W6S	对氢气有选择性	H ₂
S5	W5S	烷烃、芳香类化合物	Propane
S6	W1S	甲烷	CH ₃
S7	W1W	硫化物、含硫有机化合物	H ₂ S
S8	W2S	乙醇、部分芳香族化合物	CO
S9	W2W	芳香族化合物、有机硫化物	H ₂ S
S10	W3S	烷烃	CH ₃

均值±标准差表示。使用 Origin 9.1 软件进行绘图,使用 SPSS 26.0 软件对数据进行显著性和相关性分析, $P<0.05$ 表示有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 加工条件对鱼干制品食用品质的影响

2.1.1 腌制盐质量分数 由表 3 可知,随着腌制盐质量分数的增大,鱼干制品复水率呈下降趋势,是因为腌制过程中会发生细胞失水、蛋白质和脂肪的分解^[14]。感官得分先升后降,在 9%的腌制盐质量分数下得分为 86 分。腌制盐质量分数较低,产品水分含量较高,无法有效地抑制微生物生长繁殖,易造成腐败现象,不利于贮藏;而腌

表 3 腌制盐质量分数对鱼干制品品质的影响

Table 3 Effects of pickling concentration on the quality of dried fish

腌制盐质量 分数/%	水分含量/%	复水率/%	感官评分
0	51.01±0.76	6.79±0.06	72.26±2.04
3	50.56±0.58	6.28±0.16	74.88±1.66
9	42.94±1.25	6.03±0.06	86.30±1.58
15	40.63±0.97	5.76±0.13	80.04±3.06

制盐质量分数较高也会使得产品咸味过重,质地较硬,影响口感。

2.1.2 腌制时间 由表 4 可知,复水率在腌制时间为 5 h 时最低。随着腌制时间的延长,盐水的饱和度较高,鱼肉不断失水,肌肉结构被破坏,导致复水率降低。从鱼肉咸味角度看,腌制盐度越高,鱼肉咸味越重。腌制 5 h 内鱼肉的香气和口感均能得到较高的感官分值,说明从食用角度上来说,采用 9%食盐水腌制鲢鱼的腌制时间最好保持在 5 h 以内,与赵志霞等^[15]的结论相似。

表 4 腌制时间对鱼干干制品品质的影响
Table 4 Effects of pickling time on the quality of dried fish

腌制时间/h	水分含量/%	复水率/%	感官评分
1	51.76±1.51	2.95±1.51	79.43±1.34
2	46.23±0.08	2.75±0.25	82.57±2.51
3	44.48±0.70	2.25±0.34	80.66±0.73
5	42.30±0.91	0.63±0.08	85.74±1.51

2.1.3 腌制温度 由表 5 可知,较高的腌制温度得到的鱼干制品的复水率略高于低温腌制组,较高的复水率反映了鱼干制品有着良好的品质:组织状态破坏程度低及生物学特性保持较好。感官评价结果表明低温腌制与室温腌制的产品形态较好,但鱼风味较淡。

表 5 腌制温度对鱼干干制品品质的影响
Table 5 Effects of pickling temperature on the quality of dried fish

腌制温度/℃	水分含量/%	复水率/%	感官评分
4	46.31±0.74	1.94±0.15	79.50±0.15
25	41.56±1.96	2.38±0.18	82.50±0.71

2.1.4 风干温度 由表 6 可知,随着风干温度的升高,鱼干制品的复水率逐渐下降。当风干温度为 60 ℃时,鱼干制品复水效果较差,组织复水后易松散。当风干温度为 50 ℃时,鱼干制品的感官评分最高。当风干温度由 30 ℃增加至 50 ℃时,其感官评分逐渐升高,风干温度较低时,鱼干制品的水分含量较高;风干温度升高,水分含量下降,与此同时脂肪氧化加快,温度过高,脂肪过度氧化会产生不良气味,且鱼干制品表面硬化严重,产品口感变差,感官得分低。因此,风干温度过低或过高都不利于鱼干制品的感官评价和产品贮藏。

2.1.5 风干时间 由表 7 可知,风干时间延长,鱼干制品的复水率下降。较长的风干时间下,鱼干制品的复水率较低,产品品质低于短时间风干组。风干时间较短,鱼干制品水分无法充分流失,脂肪氧化程度低,不利于风干制品特殊香味的产生;风干时间越长,水分逸散越充分。适宜的风干时间有利于降低鱼干制品贮藏,但风干时间过

表 6 风干温度对鱼干干制品品质的影响

Table 6 Effects of drying temperature on the quality of dried fish

风干温度/℃	水分含量/%	复水率/%	感官评分
30	67.33±0.51	6.31±0.74	74.88±0.77
40	56.50±0.88	4.73±0.65	82.88±1.36
50	48.44±1.36	4.67±0.97	84.88±2.05
60	45.69±0.33	2.68±0.58	81.88±1.84

表 7 风干时间对鱼干干制品品质的影响

Table 7 Effects of drying time on the quality of dried fish

风干时间/h	水分含量/%	复水率/%	感官评分
24	47.88±1.38	24.64±0.48	74.38±1.38
36	41.60±1.84	16.57±0.76	70.06±0.55
48	34.64±0.98	12.40±1.03	68.74±0.96

长会造成产品过硬,表面收缩严重,影响鱼干品质。

2.2 鲢鱼鱼干制品加工工艺优化

2.2.1 正交试验 在单因素试验基础上,采用正交试验优化鲢鱼鱼干制品的加工工艺条件,各因素水平见表 8,试验设计及结果见表 9。

表 8 正交试验因素水平表

Table 8 Orthogonal test factors and level table

水平	A 腌制盐 质量分数/%	B 腌制 时间/h	C 风干 温度/℃	D 风干 时间/h
1	3	2	30	12
2	9	3	45	24
3	15	5	60	36

由表 9 可知,各因素对鲢鱼制品感官评分的影响顺序为腌制盐质量分数>风干温度>腌制时间>风干时间,其最佳工艺条件为 A₂B₂C₃D₂,即腌制盐质量分数 9%,腌制时间 3 h,风干温度 60 ℃,风干时间 24 h,在此加工条件下得到的鱼干制品色泽金黄,鱼香味浓,咸淡适中,形态整齐且口感较好。

各因素对鲢鱼制品复水率的影响顺序为腌制时间>风干时间>风干温度>腌制盐质量分数,其最佳工艺条件为 A₁B₃C₂D₂,即腌制盐质量分数 3%,腌制时间 5 h,风干温度 45 ℃,风干时间 24 h,较高的干燥温度使鱼干表面产生一层硬壳以及较为紧密的组织结构^[16],在此加工条件下得到的鱼干制品复水率最优,其物化性质和组织结构均满足加工工艺下的鱼干制品的品质要求。

2.2.2 鱼干色泽的变化 由表 10 可知,样品 5 的 L* 值略高于空白组,可能与肉表面渗出汁液有关,由于汁液对

光反射能力的加强,造成鱼肉的亮度增加^[17]。 a^* 值代表鱼肉的红色,经腌制、干燥处理后 a^* 值有所降低,可能是温度较高导致肌肉中血红蛋白和肌红蛋白因加热降解形成灰褐色的色素^[18]。 b^* 值的增大表明加工后,鱼块的颜色明显变黄,呈金黄的色泽,脂质氧化程度增加。此外,不同的加工条件对鱼干制品的 a^* 值影响较小,但对 L^* 、 b^* 、 ΔE 等均有一定的影响($P<0.05$)。这与热风干燥条件下鱼肉的色泽变化保持一致^[19-20]。

2.2.3 鱼干质构的变化 由表 11 可知,不同加工工艺下鱼干制品的硬度、弹性、黏聚性、胶着度均有所不同,说明

不同加工条件对鱼干品质结构有一定的影响。与鲜鱼肉相比,样品 5 的黏聚性无显著性变化,硬度、胶着度、弹性均有显著增加($P<0.05$),可能是样品 5 加工条件下鱼干制品蛋白质变性降解,肌原纤维断裂,从而导致鱼干变硬,皱缩,进而导致样品硬度和咀嚼度增加。同时,Serra 等^[21]发现肉制品的硬度、咀嚼性等质构指标与其水分含量呈负相关,进而受干燥温度、干燥时间影响最大。

2.2.4 鱼干电子鼻分析 由图 1 可知,挥发性成分贡献率最大的是 7 号(W1W)和 9 号(W2W)传感器,分别对硫化物、含硫化物和芳香族化合物、有机硫化物敏感。样

表 9 正交试验方案与结果

Table 9 Orthogonal test scheme and results

试验号	A	B	C	D	感官评分	复水率/%
1	1	1	1	1	65	17.42
2	1	2	2	2	72	21.20
3	1	3	3	3	69	19.20
4	2	1	2	3	77	13.20
5	2	2	3	1	82	13.81
6	2	3	1	2	75	29.31
7	3	1	3	2	78	17.31
8	3	2	1	3	71	10.50
9	3	3	2	1	68	28.34
感官评分	k_1	68.67	73.33	70.33	71.67	最优方案 $A_2B_2C_3D_2$
	k_2	78.00	75.00	72.33	75.00	
	k_3	72.23	70.67	76.33	72.33	
	R	9.33	4.33	6.00	3.33	
复水率	k_1	19.27	15.98	19.08	19.86	最优方案 $A_1B_3C_2D_2$
	k_2	18.77	15.17	20.91	22.61	
	k_3	18.71	25.61	16.77	14.30	
	R	0.56	10.44	4.14	8.31	

表 10 不同加工工艺下鱼干的色差[†]

Table 10 Analysis of color difference of dried fish with different processing techniques

试验号	L^*	a^*	b^*	ΔE
0	57.29±3.64 ^{ab}	7.45±12.77 ^a	15.51±5.99 ^b	40.07±2.92 ^{ab}
1	57.67±1.49 ^{ab}	2.36±1.38 ^b	22.74±1.05 ^a	38.77±1.78 ^{ab}
2	57.05±1.61 ^{ab}	1.63±0.67 ^b	12.99±0.50 ^b	35.54±1.49 ^b
3	53.59±3.29 ^b	3.24±0.43 ^b	22.32±0.96 ^a	42.24±3.08 ^{ab}
4	55.71±0.50 ^{ab}	4.88±0.59 ^b	24.63±0.57 ^a	41.66±0.54 ^{ab}
5	59.24±1.46 ^{ab}	1.59±0.67 ^b	21.95±1.10 ^a	36.95±1.70 ^b
6	56.42±1.11 ^{ab}	1.28±0.82 ^b	12.58±1.44 ^b	36.06±0.89 ^b
7	54.21±3.51 ^{ab}	2.90±1.25 ^b	10.96±2.11 ^b	37.08±3.39 ^b
8	54.21±1.47 ^{ab}	3.82±1.04 ^b	22.77±2.28 ^a	46.28±7.04 ^a
9	59.79±0.63 ^a	1.47±0.98 ^b	22.94±1.03 ^a	36.61±0.88 ^b

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 11 不同加工工艺下鱼干的质构特性[†]

Table 11 Charges on the texture of dried fish with different processing techniques

试验号	硬度/N	弹性	黏聚性/mJ	胶着度/N
0	16.52±3.31 ^c	0.55±0.08 ^b	0.54±0.04 ^b	902.78±225.29 ^c
1	34.66±9.90 ^{bc}	0.81±0.09 ^a	0.69±0.03 ^b	2 396.67±750.38 ^{bc}
2	33.26±7.56 ^{bc}	0.74±0.06 ^a	0.65±0.05 ^{ab}	2 193.94±625.45 ^{bc}
3	36.78±6.58 ^{bc}	0.84±0.05 ^a	0.67±0.08 ^b	2 443.48±401.44 ^{bc}
4	43.63±14.10 ^b	0.82±0.04 ^a	0.73±0.04 ^b	3 142.90±933.03 ^b
5	25.03±3.46 ^{bc}	0.79±0.06 ^a	0.67±0.05 ^b	1 680.14±233.23 ^{bc}
6	47.10±8.16 ^b	0.78±0.06 ^a	0.73±0.02 ^b	3 421.27±596.43 ^b
7	105.58±17.39 ^a	0.78±0.06 ^a	0.73±0.05 ^b	7 756.61±1 719.81 ^a
8	49.76±11.64 ^b	0.77±0.07 ^a	0.65±0.07 ^{ab}	3 252.93±911.58 ^b
9	42.24±19.60 ^b	0.79±0.07 ^a	0.69±0.09 ^b	2 980.68±1 732.89 ^{bc}

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

品 5 对 5 号传感器的响应值最大,从空白组的 1.2 增加至 5.7;对 7 号传感器的响应值也最大,从 1.13 增至 4.5,说明腌制盐质量分数 9%,腌制时间 3 h,风干温度 60 ℃,风干时间 24 h 下,鱼干制品风味物质保留较好。

由图 2 可知,第一主成分的贡献率为 90.07%,第二主成分的贡献率为 8.70%,总贡献率达 98.77%,即检测结果基本能够包含所有的气味信息;样品 5 响应值的特征区域较远,说明样品 5 与其他组的气味差异明显,风味较好。

2.2.5 鱼干的 AGEs 含量水平 基于感官评价、色差、质构及电子鼻的分析,与盐质量分数为 3%,9% 的鱼干相

比,盐质量分数为 15% 的鱼干的复水性以及感官评分较差因此对腌制盐质量分数为 3% 和 9% 工艺下的鱼干进行 AGEs 含量分析。由图 3 可知,盐质量分数为 3% 腌制的鱼干的 CML 含量为 5.26~61.79 mg/kg,CEL 含量为 6.02~52.24 mg/kg;盐质量分数为 9% 腌制的鱼干的 CML 含量为 14.18~42.49 mg/kg,CEL 含量为 18.19~32.48 mg/kg,与安婧等^[22]的结果类似。加工方法、加热温度以及肉的形状都会影响 AGEs 的生成^[23]。而不同的腌制盐质量分数、风干温度以及干燥时间会对 AGEs 的生成产生不同的影响。虽然目前没有关于食品中 AGEs 含量的监管指示,但普遍认为通过饮食摄入 AGEs 会增加血液中 AGEs 含量,在体内蓄积,引起诸多与 AGEs 相关的慢性疾病,如糖尿病、动脉粥样硬化、晚期肾病和阿尔兹海默症等。研究^[24]表明,这些非代谢性化合物的日摄入量限值为 10~12 g,因采用盐质量分数为 3% 和 9% 腌制并干燥的鱼干不会对人体造成潜在的风险,并且得到了良好的品质与口感。

当盐质量分数为 3% 时,随着腌制时间的增长,风干温度的提高以及风干时间的延长,AGEs 含量逐渐增加。其中 3 号的 CML 含量高达 61.80 mg/kg,CEL 含量高达 52.24 mg/kg,大约是对照组的 12~13 倍。随着含盐量的增加,CML 和 CEL 含量呈上升趋势,NaCl 促进肌肉组织铁离子的释放,从而加速蛋白质和脂质的氧化^[23],形成更多的 AGE。当盐质量分数为 9% 时,腌制的鱼干呈现出相似的趋势,但 6 号的 CML 含量为 42.49 mg/kg,CEL 含量为 32.48 mg/kg。9 号的干燥处理程度比 3 号小,因此含量比 3 号的少,与 Niu 等^[25]的研究一致。随着风干温度的升高,美拉德反应、蛋白质和脂肪氧化反应加速,促进 AGEs 或其活前体物形成,从而增加 AGEs 含量^[26]。腌制盐质量分数、腌制时间结合风干温度及风干时间对 AGEs 形成的影响是复杂的,但盐质量分数和风干温度的

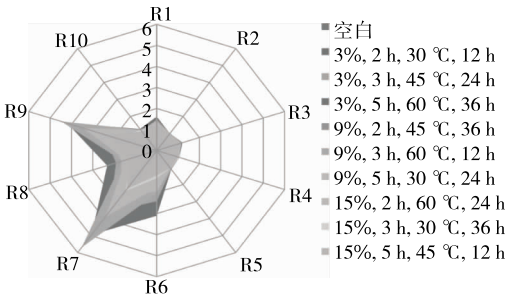


图 1 干制鲢鱼的雷达响应图

Figure 1 Radar response diagram of dry silver carp

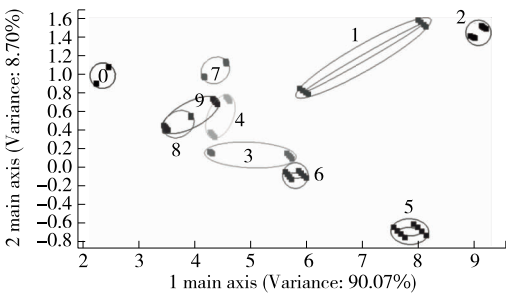


图 2 干制鲢鱼的 PCA 分析图

Figure 2 PCA analysis diagram of dry silver carp

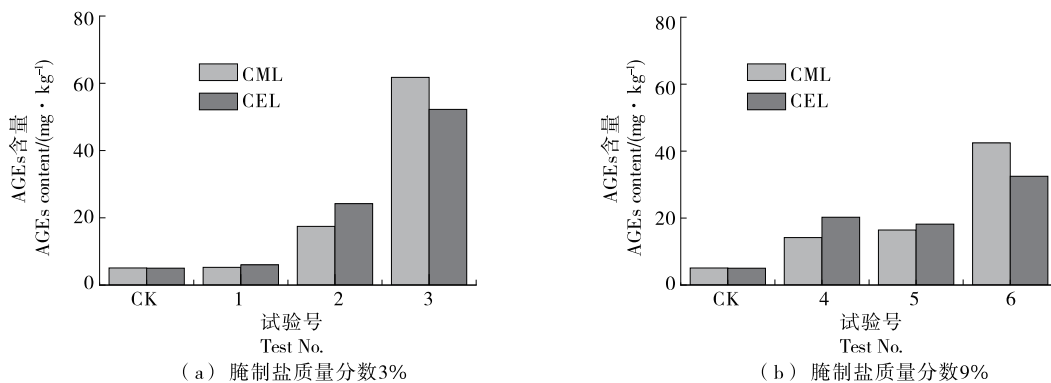


图3 不同工艺干制鲢鱼的 AGEs 含量

Figure 3 AGEs content of dried silver carp by different processing techniques

提高均会对 AGEs 的生成有促进作用,风干温度与盐质量分数相比其对 AGEs 的影响较小。综上,鱼干的含盐量越高,鱼干成品的 AGEs 含量越大。

3 结论

对不同加工工艺条件下风干鲢鱼制品的复水率、色差、质构及电子鼻进行了测定。结果表明,在鲢鱼鱼干工艺优化过程中,腌制盐质量分数和风干温度对鲢鱼鱼干制品的感官评定具有显著影响($P < 0.05$)。最优工艺组合为腌制盐质量分数 9%,腌制时间 3 h,风干温度 60 °C,风干时间 24 h,此时鱼干制品的风味物质保留较好,色泽金黄,鱼香味浓,咸淡适中,形态整齐且口感较好。随着含盐量的增加,晚期糖化终末产物生成水平提高,盐质量分数和风干温度的提高均对晚期糖化终末产物的生成有促进作用。鲢鱼干制过程中 AGEs 形成的潜在促进作用的机理有待进一步明确。此外,鲢鱼干制过程中对蛋白质、脂肪氧化的影响,以及氧化与 AGEs 形成的相关性尚待研究,这些研究将有助于预测鲢鱼在不同的工艺条件下 AGEs 的形成规律,对鲢鱼干的食用安全控制提供基础数据和技术支持。

参考文献

[1] 农业部渔业局. 2021 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2021: 25-26.
Bureau of Fisheries, Ministry of Agriculture. 2021 China fisheries statistical yearbook [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2021: 25-26.

[2] 孔保华, 耿欣, 刁新平. 鲢鱼肉的营养及理化特性的研究[J]. 渔业现代化, 2002(4): 33-35.
KONG Bao-hua, GENG Xin, DIAO Xin-ping. Study on the nutritional and physicochemical properties of silver carp meat[J]. Fishery Modernization, 2002(4): 33-35.

[3] 徐思敏, 李招, 王建辉, 等. 湖南省淡水鱼加工产业现状及其发展路径[J]. 食品与机械, 2017, 33(6): 213-216.
XIU Si-min, LI Zhao, WANG Jian-hui, et al. Current situation and

development strategies of fresh water fish processing industry in Hunan Province[J]. Food & Machinery, 2017, 33(6): 213-216.

[4] ANA B, RUI C. Influence of brine salting prior to pickle salting in the manufacturing of various salted-dried fish species[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100(3): 490-495.

[5] WAN J, ZHANG M, WANG Y Q, et al. Drying kinetics and quality characteristics of slightly salted grass carp fillets by hot air drying and vacuum microwave drying[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2013, 22(6): 595-604.

[6] ZHANG J H, ZHOU D Y, ZHONG X M, et al. Quality and protein degradation of golden pompano (*Trachinotus blochii*) fillets during four drying methods[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 130: 109638.

[7] ZHU Z S, HUANG M, CHENG Y Q, et al. A comprehensive review of N^ε-carboxymethyllysine and N^ε-carboxyethyllysine in thermal processed meat products[J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 98: 30-40.

[8] NIU L H, SUN X H, TANG J M, et al. Combination effects of salts and cold storage on the formation of protein-bound N^ε-(carboxymethyl)lysine and N^ε-(carboxyethyl)lysine in raw and subsequently commercially sterilized ground pork[J]. Food Chemistry, 2018, 264: 455-461.

[9] LI Y, XUE C Y, QUAN W, et al. Assessment the influence of salt and polyphosphate on protein oxidation and N^ε-(carboxymethyl)lysine and N^ε-(carboxyethyl)lysine formation in roasted beef patties[J]. Meat Science, 2021, 177(4): 108489.

[10] TAVARES W P S, DONG S Y, JIN W Y, et al. Effect of different cooking conditions on the profiles of Maillard reaction products and nutrient composition of hairtail (*Thichiurus lepturus*) fillets[J]. Food Research International, 2018, 103(1): 390-397.

[11] ASSAR S H, MOLONEY C, LIMA M, et al. Determination of N^ε-(carboxymethyl)lysine in food systems by ultra performance liquid chromatography-mass spectrometry[J]. Amino Acids, 2009, 36(2): 317-326.

[12] 余洋洋, 唐道邦, 温靖, 等. 热泵温度对白萝卜干燥速率及品质的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(2): 211-214.

- YU Yang-yang, TANG Dao-bang, WEN Jing, et al. Effect of different heat pump temperatures on drying rate and quality of white radish[J]. Food & Machinery, 2020, 36(2): 211-214.
- [13] SUN X H, TANG J M, WANG J, et al. Formation of free and protein-bound carboxymethyllysine and carboxyethyllysine in meats during commercial sterilization[J]. Meat Science, 2016, 116(6): 1-7.
- [14] 高凯日, 林琳, 陆剑锋, 等. 不同腌制处理对草鱼肉理化性质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(18): 21-28.
- GAO Kai-ri, LIN Lin, LU Jian-feng, et al. Effects of different curing treatments on physical and chemical properties of grass carp meat[J]. Food Research and Development, 2020, 41(18): 21-28.
- [15] 赵志霞, 吴燕燕, 李来好, 等. 低盐罗非鱼片快速腌制的工艺研究[J]. 南方水产科学, 2017, 13(6): 105-114.
- ZHAO Zhi-xia, WU Yan-yan, LI Lai-hao, et al. Study on fast brining technology for low-salinity tilapia fillets[J]. South China Fisheries Science, 2017, 13(6): 105-114.
- [16] TIAN Y T, ZHAO Y T, HUANG J J, et al. Effects of different drying methods on the product quality and volatile compounds of whole shiitake mushrooms[J]. Food Chemistry, 2016, 197: 714-722.
- [17] 李君珂, 孙雪梅, 柳全文, 等. 绿原酸对不同加热方式的草鱼品质的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(4): 80-85.
- LI Jun-ke, SUN Xue-mei, LIU Quan-wen, et al. Effect of chlorogenic acid on qualities of grass carp processed by different cooking methods[J]. Food Science, 2020, 41(4): 80-85.
- [18] MORETTI V M, VASCONI M, CAPRINO F, et al. Fatty acid profiles and volatile compounds formation during processing and ripening of a traditional salted dry fish product[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(5): 1 745-4 549.
- [19] PUANGSOMBAT K, SMITH J S. Inhibition of heterocyclic amine formation in beef patties by ethanolic extracts of rosemary[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(2): T40-T47.
- [20] 蔡路昀, 台瑞瑞, 周小敏, 等. 不同干燥方式下沙丁鱼干燥特性的比较[J]. 食品工业科技, 2019, 40(6): 19-25.
- CAI Lu-yun, TAI Rui-rui, ZHOU Xiao-min, et al. Comparison of drying characteristics of sardines under different drying methods[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(6): 19-25.
- [21] SERRA X, RUIZRAMIREZ J, ANAU J, et al. Texture parameters of dry-cured ham biceps femoris samples dried at different levels as a function of water activity and water content[J]. Meat Science, 2005, 69(2): 249-254.
- [22] 安婧, 张琪, 于楠, 等. 市售鱼加工食品中 3 种晚期糖基化终末产物分析及与组分的相关性[J]. 食品科学, 2021, 42(10): 1-10.
- AN Jing, ZHANG Qi, YU Nan, et al. Analysis of three kinds of advanced glycation end products and their correlation with composition in commercial fish processing foods[J]. Food Science, 2021, 42(10): 1-10.
- [23] SHAREDEH D, GATELLIER P, ASTRUC T, et al. Effects of pH and NaCl levels in a beef marinade on physicochemical states of lipids and proteins and on tissue microstructure[J]. Meat Science, 2015, 110(11): 24-31.
- [24] DELGADO A, CRISTIN A, FOGLIAN O, et al. Dietary advanced glycosylation end-products (dAGEs) and melanoidins formed through the maillard reaction: Physiological consequences of their intake[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2018, 9: 271-291.
- [25] NIU L H, SUN X H, TANG J M, et al. Free and protein-bound N^ε-carboxymethyllysine and N^ε-carboxyethyllysine in fish muscle: Biological variation and effects of heat treatment[J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2017, 57: 56-63.
- [26] BHASKAR M, RENE L, INES G, et al. Advanced glycation end products, protein cross links and post translational modifications in pork subjected to different heat treatments[J]. Meat Science, 2018, 145: 415-424.
- (上接第 12 页)
- [20] 杨舒婷, 杨焱. 提高黑米酒中花色苷含量的酿造方法研究[J]. 陕西农业科学, 2020, 66(2): 37-43.
- YANG Shu-ting, YANG Ye. Study on brewing method for increasing anthocyanin contents in black rice wine[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2020, 66(2): 37-43.
- [21] 闫征, 王四维. 咖啡酸对模拟饮料体系中黑米花色苷的辅色作用研究[J]. 农产品加工, 2015(21): 1-3, 7.
- YAN Zheng, WANG Si-wei. Studies on the copigmentation effect of caffeic acid on anthocyanins from black rice in simulated drink system[J]. Roducts Processing, 2015(21): 1-3, 7.
- [22] OHIRA S I, KUHARA K, SHIGETOMI A, et al. On-line electrodi-alytic matrix isolation for chromatographic determination of organic acids in wine[J]. J Chromatogr A, 2014, 1 372: 18-24.
- [23] 乔世玉, 王洪琳, 杨宏, 等. 贵州不同地区发酵糯米酒风味对比分析[J]. 酿酒科技, 2021(10): 17-23, 35.
- QIAO Shi-yu, WANG Hong-lin, YANG Hong, et al. Comparative analysis of flavor of fermented glutinous rice wine from different regions of Guizhou[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2021(10): 17-23, 35.
- [24] 张婷, 陈小伟, 张琪, 等. 木薯酒发酵过程中的有机酸变化及对其品质的影响分析[J]. 中国酿造, 2018, 37(5): 86-91.
- ZHANG Ting, CHEN Xiao-wei, ZHANG Qi, et al. Changes of organic acid in cassava wine fermentation process and effect on the quality[J]. China Brewing, 2018, 37(5): 86-91.
- [25] 韦广鑫, 杨笑天, 周永文, 等. 葡萄酒中酯类化合物研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(14): 394-399.
- WEI Guang-xin, YANG Xiao-tian, ZHOU Yong-wen, et al. Review on research progress of esters in wine[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(14): 394-399.
- [26] 李曦, 刘斌. 提高白酒酯类物质稳定性的研究进展[J]. 酿酒, 2021, 48(6): 23-25, 34.
- LI Xi, LIU Bin. Research progress in the improve the stability of baijiu ester material[J]. Liquor Making, 2021, 48(6): 23-25, 34.