

预制冷风风干武昌鱼干制过程中的品质变化及香气形成

陈方雪^{1,2}, 邓祎^{1,2}, 湛玲薇^{1,2}, 李冬生¹, 乔宇^{2*}, 吴文锦^{2*}, 熊光权², 汪兰², 李新², 石柳², 丁安子²

(1. 湖北工业大学生物工程与食品学院, 湖北武汉 430064)

(2. 湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430068)

摘要: 腌腊鱼制品是中国传统风味食品, 其加工技术是为了增加鱼类贮藏时间, 减少损失, 以及改善鱼类制品的风味和营养成分。该研究采用冷风干制盐腌武昌鱼, 以盐腌后未干制的武昌鱼做对比, 比较干制过程中武昌鱼品质的影响以及研究武昌鱼干制过程中香气的形成。通过测定水分含量、总脂含量、总氧化值、色度、电子鼻、脂肪酸、气相色谱-质谱联用 (Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) 结合风味感官等指标进行分析。结果表明: 总氧化值随着干制时间增加而逐渐增加, 水分含量和总脂含量随干制时间增加而逐渐减少, 干制 48 h 的鱼含水量及总脂含量为 47.63%、0.83 g/100 g。干制 48 h 的鱼颜色腹部偏黄, 背部略微暗。武昌鱼干制过程中通过 GC-MS 检测出九大类共 50 余种挥发物, 总挥发性化合物浓度从 277.04 ng/g 升至 1 219.22 ng/g。筛选出 8 种 OAV (Odor Activity Value, OAV) 大于 1 的气味活性物质, 随着干制时间的延长, 挥发性物质逐渐增加, 不饱和脂肪酸的含量逐渐降低。随着干制时间延长气味逐渐丰富, 干制 48 h 的香气最丰富。

关键词: OAV; 冷风干制; 品质; 香气; 预制菜; GC-MS

文章编号: 1673-9078(2023)02-9-17

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.2.0811

Quality Change and Aroma Formation during Drying in Pre-made Cold Air-dried Wuchang Fish

CHEN Fangxue^{1,2}, DENG Yi^{1,2}, SHEN Lingwei^{1,2}, LI Dongsheng¹, QIAO Yu^{2*}, WU Wenjin^{2*}, XIONG Guangquan², WANG Lan², LI Xin², SHI Liu², DING Anzi²

(1. School of Food and Biological Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430064, China)

(2. Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear Agriculture Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430068, China)

Abstract: Cured fish products are a traditional Chinese food, and these products are processed to extend storage duration, reduce losses, and improve flavor and nutritional value. Here, cold air-dried, salted Wuchang fish was compared with the undried salted fish to examine the effect of drying on product quality and to study the formation of aroma during the drying process. Specifically, the moisture content, total lipid content, total oxidation value, chromaticity, and fatty acids were quantified, in addition to electronic nose tests and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) combined with the analyses of flavor and other indicators. The total oxidation value increased, whereas the moisture and total lipid contents decreased gradually with the prolongation of drying duration. The color of the fish dried for 48 h was yellowish near the abdomen and slightly dark on the back. During the drying process of Wuchang fish, over 50 types of volatile compounds in nine categories were

引文格式:

陈方雪, 邓祎, 湛玲薇, 等. 预制冷风风干武昌鱼干制过程中的品质变化及香气形成[J]. 现代食品科技, 2023, 39(2): 9-17

CHEN Fangxue, DENG Yi, SHEN Lingwei, et al. Quality change and aroma formation during drying in pre-made cold air-dried wuchang fish [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(2): 9-17

收稿日期: 2022-06-27

基金项目: 湖北省重点研发计划项目 (2020BBA048); 湖北省农业科技创新中心重大科技研发项目 (2020-620-000-002-03)

作者简介: 陈方雪 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: celiach3n@163.com

通讯作者: 乔宇 (1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: qiaoyu412@sina.com; 共同通讯作者: 吴文锦 (1981-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: wuwenjin@hbass.com

detected using GC-MS, and the concentration of total volatile compounds increased from 277.04 to 1 219.22 ng/g. Eight types of odor-active compounds with the odor activity value (OAV) exceeding 1 were screened out. With the prolongation of drying duration, the concentration of volatile substances increased but the content of unsaturated fatty acids decreased gradually. With the prolongation of drying duration, the aroma intensified gradually, peaking after 48 h of drying.

Key words: odor activity value; cold air drying; quality; aroma; pre-made dishes; gas chromatography-mass spectrometry

武昌鱼，学名团头鲂（*Megalobrama amblycephala*），产自湖北省鄂州，是重要的淡水鱼养殖品种之一。腌腊鱼制品即采用盐腌制、自然晾晒干制加工而成的一种中国传统风味食品，其加工技术是为了便于鱼肉贮藏，风味改善，品种多样化等目的而世代相传发展起来的，是中国鱼制品几千年传承下来的智慧和结晶^[1]。腌制水产品通常是用食盐盐渍生鲜水产品，一定浓度的盐在鱼肉中逐渐扩散和渗透最终达到平衡，且一定浓度的盐在鱼肉中引发着生物化学变化，使鱼肉的结构组织呈现出新的化学和物理化学特性，从而改变了鱼肉原有的品质、滋味和气味，延长了鱼肉的贮藏期并且产生了独特的风味物质^[2]。

武昌鱼在风干过程中，通过脂肪氧化、蛋白质降解和微生物作用，产生了复杂的变化，使鱼肉中的糖类、蛋白质、脂类等大分子营养物质降解，形成特殊风味，深受人们喜爱^[3]。通常按照干制前的前处理方法及干制工艺的不同，将干制品分为不同种类，其风味各异，也受到了广大消费者的欢迎^[4]。

冷风干制是一种常见的使用低温、低湿介质，在较低温度的环境下使样品失去水分达到脱水效果的干燥方法。因为其低温低湿的环境，抑制了微生物、脂肪氧化和部分酶促氧化反应的发生，从而避免了食品中部分有效成分和营养物质的降解，达到了食品营养成分、品质低损耗的目的^[5]。同时，冷风干燥排除了湿度影响和外来杂物混入的可能，在一定程度上克服了如自然晾晒受环境影响大的问题^[6]。近年来，冷风干制技术得到越来越多的关注。陈子豪等^[7]采用冷风干制与多种方式进行仿刺参的干制实验，结果表明冷风干制更利于营养成分的保留，且具有很好的工业生产实用性。

本文采用冷风干制对盐腌制武昌鱼进行处理，以未干制的盐腌制鱼进行对照，研究冷风干制武昌鱼干制阶段的品质和香味变化，测定指标包括茴香胺值、过氧化值、水分含量、色度、总脂含量、色度、电子鼻、气质、脂肪酸等，为水产品加工及预制风干制品的加工和香气调控提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

原料为鲜活武昌鱼（400 g±50 g），样品购于武汉市洪山区武商量贩农科城店。实验所用甲醇、盐酸、焦性萘食子酸、石油醚（沸程：30℃~60℃）、氢氧化钠、甲醇三氯甲烷、冰乙酸、碘化钾、可溶性淀粉、硫代硫酸钠、乙醚、异丙醇、酚酞、氢氧化钾、茴香胺、冰醋酸、异辛烷、环己烷、苯、2,4-二硝基苯肼、乙醇、三氯乙酸试剂均为分析纯，购于国药集团化学试剂有限公司。仲辛醇为色谱纯，购于 TCI（上海化成工业发展有限公司）。

1.2 试验仪器与设备

AL104 分析天平，梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；PEN3 电子鼻，北京盈盛恒泰科技有限责任公司；HH-S2 恒温水浴锅，浙江温州新瑞仪器有限公司；14D302-1500 电子天平，上海良平仪器仪表有限公司；KQ5200DE 超声波，江苏省昆山市淀山湖镇；7890A-5975C GC-MS 气相色谱质谱联用仪，美国 Agilent Technologies 公司；SW-CJ-2D 超净工作台；广州瑞智净化设备有限公司；722N 可见分光光度计，上海仪电分析仪器有限公司；NMI20-025V-1 核磁共振分析仪，苏州市纽迈分析仪器股份有限公司；WR-10 便携式色差仪，深圳市威福光电有限公司。

1.3 样品处理

将超市购买的鲜活武昌鱼带水活体运输至实验室，宰杀、开背、去鳞、去内脏、腹部黑膜，并清洗净然后沥干水进行腌制。准确地称取整鱼质量 2% 的盐、1% 的糖和 0.5% 的白酒均匀地涂在鱼的全身。将鱼展平整齐地放置在干净的不锈钢桶中，放入 4℃ 的冰箱中腌制。每 24 h 将鱼翻面上下转动一次，腌制时常共 2 d。然后将腌制好的鱼用无菌水洗去表面残留的盐分及血水，放入 15℃ 的冷风干制机里面风干 48 h，每隔

16 h 进行取样, 进行测定, 每个指标测定次数重复 3 次。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 水分含量的测定

参照 GB 5009.3-2016 直接干燥法进行测定。

1.4.2 色度的测定

对鱼肉背部进行测度测定, 使用色差仪测定鱼肉的 L 值、 a 值和 b 值, 每组样品测 3 次, 取平均值进行计算。

1.4.3 总脂含量的测定

根据 Folch 等^[8]的方法并稍作修改, 取干腌武昌鱼背部鱼肉, 剁碎, 称取 5 g 鱼肉于离心管中, 随后加入 40 mL 氯仿-甲醇 (2:1, V/V) 溶液, 震荡, 摇匀, 在均质机中均质 1 min, 静置 1 h。过滤, 再加入 0.2 倍体积的生理盐水, 3 500 r/min 离心 30 min。随后吸净上清 (水与甲醇等液体杂质), 得到下层脂质溶液, 将其转移至提前干燥称质量的离心管中, 用氮吹仪氮吹至其挂壁且体积不再有减少, 得到浓缩脂质, 称重, 计算总脂含量。

1.4.4 过氧化值的测定

参照 GB 5009.227-2016 141《食品中过氧化值的测定》中滴定法进行测定。

1.4.5 茴香胺值的测定

参照 GB/T 24304-2009 49《动植物油脂茴香胺值的测定》的方法进行测定。

1.4.6 脂肪酸的测定

参照 GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》中外标法法进行测定。

1.4.7 电子鼻的测定

将鱼肉剁碎, 称取 2 g 鱼肉装入 PEN3 便携式电子鼻顶空瓶中, 同时加入转子, 将样品在 40 °C 条件下平衡 30 min 后进行测定, 测量时间 120 s, 清洗时间 100 s, 选用 116 s-120 s 的特征值进行主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA)。

1.4.8 GC-MS 的测定

将 50 μ L 质量浓度为 0.8×10^{-6} g/mL 仲辛醇作为内标物, 加入到 3 g 充分绞碎的鱼肉样品中, 通过计算待测挥发物与仲辛醇峰面积的比值得到各挥发性化合物的含量。

仪器参数: GC-MS 分析在配至 5975C 质谱仪 (安捷伦科技) 的 Agilent 7890A 气相色谱仪上进行。在 DB-WAX 色谱柱 (60 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μ m, 安捷伦科技公司) 上进行分离。载气氮气的恒定流速为 1.0 mL/min。进样器温度为 250 °C, 离子源温度为 230 °C。温度程序如下: 烘箱温度保持在 40 °C, 以 2 °C/min 的速度升

至 100 °C, 然后以 5 °C/min 的速度升至 180 °C, 最后在 8 °C 升至 250 °C/min, 保持 5 min。样品萃取后放置于进样口在 250 °C 下解吸 5 min。MS 扫描在 30-400 u 的范围内进行。全扫描模式, 不分流, 将检测到的挥发物质谱图与 NIST 08 谱库中的标准物质谱图进行对比。

1.4.9 感官评定

参考 Tan^[9]的方法对风干武昌鱼进行感官评定。10 名感官评价成员接受风干鱼风味评估培训和实践。选取 12 个气味描述性词汇用于区分样本。评估标准为 (0=难以察觉, 3=弱, 6=显着, 9=非常强)。将获得的风味轮廓绘制在雷达图中。

1.4.10 OAV 值

气味活性值 (Odor Activity Value, OAV) 通常用来表征风味化合物的贡献率大小, OAV 大于 1 的风味物质通常被认为是对样品风味有贡献的物质; OAV 值越大说明该组分对样品总体的风味贡献度越大。OAV 计算公式如下:

$$OAV = \frac{Ci}{OTi} \quad (1)$$

式中:

OAV——某个特征香气活性化合物的气味活性值;

Ci ——特征香气活性化合物的质量浓度, ng/g;

OTi ——特征香气化合物在水中的气味阈值。

1.4.11 统计分析方法

数据处理及图表绘制使用软件为 Graphpad Prism 9, 数据分析通为统计软件 DPS, 使用 Duncan 新复极差法进行方差分析和多重比较。所有实验结果以平均值 $\pm$ 标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 风干武昌鱼干制过程中水分含量的变化

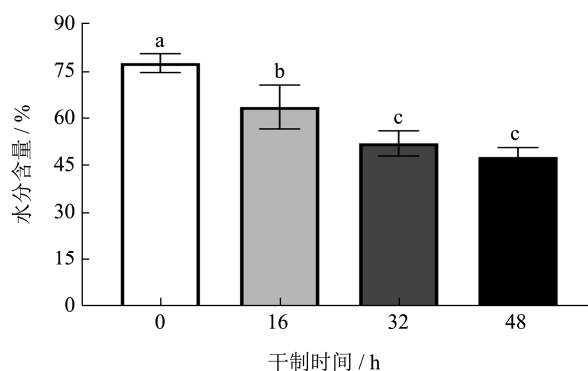


图 1 预制风干武昌鱼干制过程中水分含量的变化

Fig.1 Changes of moisture content in the drying process of prefabricated air-dried Wuchang fish

由图 1 可知,随着干制时间延长,冷风干制的武昌鱼鱼肉含水量逐渐减小,在风味的形成过程中水分不断的在减少,干制后期,武昌鱼失水速度逐渐降低,干制 32 h 与 48 h 水分含量无显著差异 ($P>0.05$),这肯能是因为鱼肉表面在干燥一段时间后,表面的肉质变硬影响了内部鱼肉的脱水。

2.2 预制风干武昌鱼干制过程中脂肪含量的变化

风干鱼干制过程中形成风味物质的主要反应之一是脂肪氧化,脂肪氧化会导致鱼肉内脂肪含量发生变化、鱼的颜色、风味和营养等也会随之发生变化^[10]。由图 2 可知随着干制时间增加总脂含量逐渐降低,且干制 32 h、48 h 后,总脂含量显著低于对照组,其脂肪含量降低的原因可能是在干制过程中鱼肉脂肪发生氧化,脂肪作为反应底物在氧化过程中被分解为游离的脂肪酸,脂肪酸是风味前体物质,在氧化过程中再反应生成醛、醇、酮和小分子挥发性物质,形成风干鱼的特征风味^[11]。

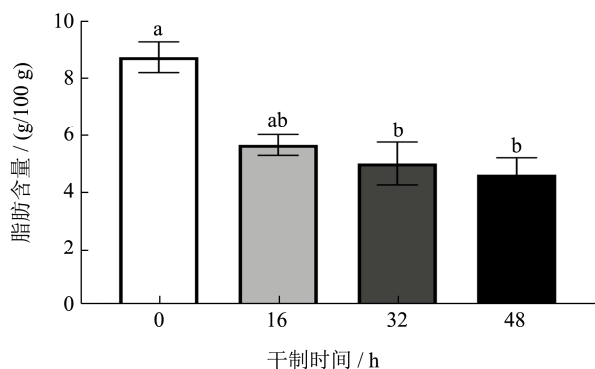


图 2 预制风干武昌鱼干制过程中脂肪含量的变化

Fig.2 Changes in fat content of prefabricated air-dried Wuchang fish during drying

2.3 预制风干武昌鱼干制过程中总氧化值的变化

过氧化值 (POV, Peroxide Value) 主要用于表征样品的初级氧化产物-氢过氧化物, p-AnV 反映油脂中次级氧化产物醛类总含量 (主要指 a-p-不饱和醛)。油脂氧化会导致过氧化值 (POV)、茴香胺值 (AV) 升高。同时由于氢过氧化物的不稳定,极易发生分解,同时大部分分解产物五发通过初级氧化指标进行衡量,需要研究其次级氧化指标,如茴香胺值的变化,并用

总氧化值 (TOTOX) 更加全面地评价干制鱼地氧化程度^[12]。由图 2 可知,随着风干时间增加过氧化值、茴香胺值及总氧化值 (TOTOX) 均逐渐提高且风干 48 h 时武昌鱼的过氧化值和茴香胺值均显著高于 ($P<0.05$) 未干制及干制时间较短 (16 h) 的样品。这是由于干制过程中,脂肪氧化,游离脂肪酸作为氧化的底物不断被分解,反应生成氢过氧化物,因为氢过氧化物的不稳定性会使其进一步分解,再反应生成次级氧化产物,醛、醇、酮等小分子化合物。随着干制时间延长武昌鱼的水分含量逐渐减小脂肪氧化程度明显升高,该结果与顾赛麒等^[13]一致。

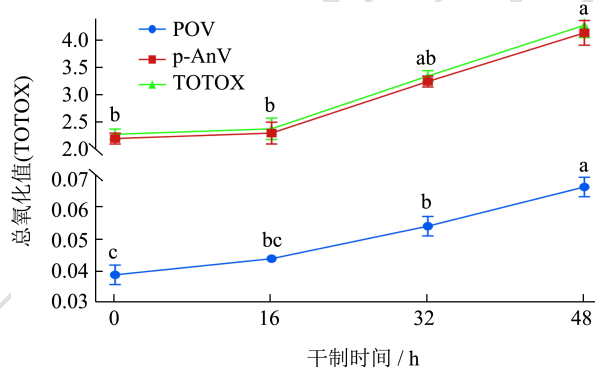
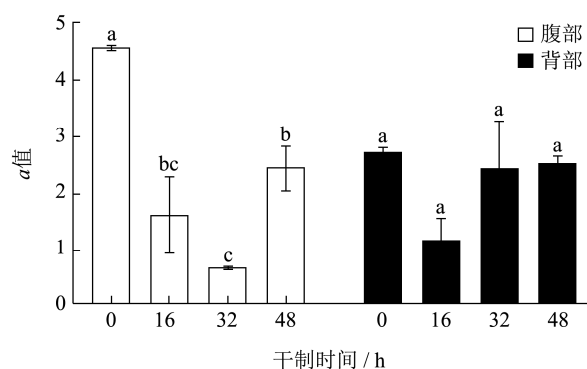
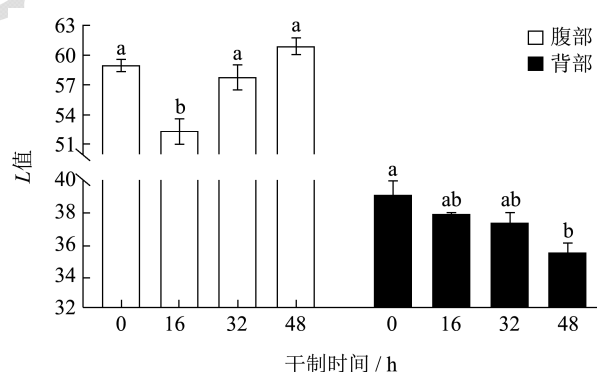


图 3 预制风干武昌鱼干制过程中总氧化值的变化

Fig.3 Changes in total oxidation value of prefabricated air-dried Wuchang fish during the drying process

2.4 预制风干武昌鱼干制过程中色度的变化



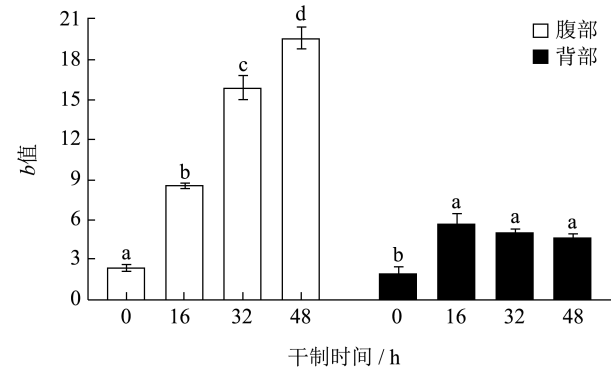


图4 预制风干武昌鱼干制过程中色度的变化

Fig.4 Changes in chromaticity during the drying process of prefabricated air-dried Wuchang fish

色泽是表征食品品质的指标之一，食品具有好的色泽则会增加消费者的喜爱度，食物色泽的好坏同时也决定是否被消费者所接受^[14]，鱼肉在干制过程中，伴随着微生物作用、蛋白质的降解、脂肪的氧化，这些反应对产品的色泽产生一定的影响。*L* 值表示亮度，*a* 表示从红绿色的范围，*b* 表示黄蓝色的范围。由图4可知，武昌鱼腹部随干制时间延长，*a* 值呈先下降后上升的变化趋势，*b* 值明显提高 ($P<0.05$)，*L* 值除16 h 略低外，其他处理时间无显著差异 ($P>0.05$)。干制48 h 时，鱼腹变黄，原因是鱼体中含有一定量脂肪组织，在加工干制过程中会氧化出现变暗发黄等现象。不同干制时间武昌鱼背肉 *a* 值无明显变化 ($P>0.05$) 且与未干制样品相近，*b* 值无显著差异 ($P>0.05$) 但均明显高于 ($P<0.05$) 未干制样品。随干制时间延长，武昌鱼背肉 *L* 值逐渐低，且干制

48 h 时明显低于 ($P<0.05$) 未干制样品，这可能是因随着干制时间延长，水分质量分数逐渐降低，造成鱼肉脱水、收缩、肌肉纤维间距减小，使得鱼肉背部颜色变暗^[13]。

2.5 不同干制时间武昌鱼脂肪酸变化的分析

脂肪酸是指一端含有一个羧基的长的脂肪族碳氢链，是有机物由 C、H、O 三种元素组成，某些脂肪酸具有自己特有的气味，鱼肉脂质的脂肪酸含有较多的不饱和脂肪酸且多为不饱和脂肪酸，极易氧化生成挥发性风味物质^[15]。SFA 表示饱和脂肪酸，MUFA 为单不饱和脂肪酸通常含有一个不饱和双键，而具有两个或两个机上不饱和双键的测称为 PUFA 为多不饱和脂肪酸。由表1可得，PUFA、SFA 总含量总体随干制时间增加呈下降趋势，造成这样的原因可能是在干制过程中发生氧化分解，PUFA 含有较多的不饱和双键，不饱和键越多越易氧化。随着干制时间的延长，MUFA、PUFA 逐渐减少，SFA 呈先上升后下降趋势，风干武昌鱼含有大量的不饱和脂肪酸，其中油酸 (C18:1n9c)、亚油酸 (C18:2n6c)、C20:3n6 含量最高，亚油酸、亚麻酸被认为是最重要的风味前体物质之一^[14]。风干武昌鱼含有 EPA (C20:5n3)、DHA (C22:6n3)、花生四烯酸 (C20:4n6) 和 γ -亚麻酸 (C18:3n6) 等有益与人体及心脑血管的不饱和脂肪酸含量最高。并且这些多不饱和脂肪酸是许多挥发性化合物如己醛、辛醛、壬醛、1-辛烯-3-醇等的风味前体^[16]。

表1 预制风干武昌鱼干制过程中脂肪酸含量的变化

Table 1 Changes in fatty acid content during the drying process of prefabricated air-dried Wuchang fish

脂肪酸类别	脂肪酸	脂肪酸含量/(mg/g)			
		0 h	16 h	32 h	48 h
SFA	C4:0	N.D	0.27±0.01	0.25±0.03	N.D
	C8:0	N.D	N.D	0.11±0.04	N.D
	C10:0	0.19±0.03	0.16±0.16	N.D	N.D
	C11:0	0.11±0.01	N.D	N.D	N.D
	C12:0	5.53±1.38	2.79±0.14	1.67±0.03	0.54±0.11
	C13:0	0.29±0.01	0.26±0.02	0.30±0.07	0.13±0.02
	C14:0	34.79±2.56	31.49±3.38	16.56±1.31	5.33±0.93
	C15:0	7.62±0.13	6.55±1.77	3.52±0.77	1.09±0.52
	C16:0	N.D	N.D	N.D	N.D
	C17:0	12.07±0.01	0.30±0.08	0.63±0.07	1.43±0.08
	C18:0	N.D	N.D	N.D	16±0.01
	C20:0	0.42±0.02	0.19±0.13	0.12±0.01	N.D
	C21:0	0.70±0.13	0.52±0.21	0.55±0.09	0.72±0.21
	C22:0	1.53±0.65	1.14±0.21	0.75±0.04	N.D

续表 1

脂肪酸类别	脂肪酸	脂肪酸含量/(mg/g)			
		0 h	16 h	32 h	48 h
MUFA	C23:0	1.11±1.07	0.65±2.33	0.35±0.07	0.31±0.23
	C24:0	2.79±0.06	2.50±0.5	1.28±0.04	N.D
	C14:1	0.63±1.37	0.43±3.18	0.26±0.03	0.20±0.18
	C15:1	0.20±0.32	0.17±0.03	N.D	N.D
	C16:1	27.43±0.18	21.02±0.26	11.07±0.13	18.5±0.26
	C17:1	N.D±3.39	7.59±4.54	3.96±2.49	0.95±0.54
	C20:1	1.92±3.21	1.23±1.37	0.62±0.36	0.26±0.07
	C24:1	2.61±0.83	1.95±1.31	0.71±0.61	1.75±1.31
PUFA	C18:1n9t	1.34±2.35	0.87±0.21	0.49±0.22	1.11±0.21
	C18:1n9c	65.28±1.77	45.25±3.15	16.25±1.30	8.81±3.15
	C18:2n6t	5.31±0.84	6.51±1.27	2.04±0.61	0.36±1.27
	C18:2n6c	7.37±2.15	1.09±0.23	0.82±0.58	0.10±0.02
	C18:3n6	49.57±2.78	31.61±5.16	15.96±2.04	4.21±5.16
	C18:3n3	1.27±0.03	0.84±0.44	0.58±0.30	0.09±0.01
	C20:2	23.61±0.32	19.08±1.92	10.46±0.23	2.9±1.92
	C20:3n6	59.97±4.18	44.64±4.65	25.12±0.84	6.959±3.29
	C20:3n3	0.47±0.77	N.D	N.D	N.D±1.57
	C20:4n6	3.42±1.12	2.77±2.11	1.56±0.82	0.43±2.1
	C22:1n9	63.66±2.64	59.07±4.49	29.01±1.94	7.81±4.49
	C20:5n3	8.41±2.73	6.57±1.29	3.54±2.07	0.69±0.29
	C22:6n3	20.65±0.31	27.93±0.46	13.52±0.22	N.D
	ΣSFA	67.15±5.18	41.77±6.83	26.11±2.48	24.52±4.26
	ΣMUFA	32.79±3.32	32.35±5.44	16.62±4.49	21.67±5.21
	ΣPUFA	310.34±15.41	246.05±15.36	119.31±9.87	33.48±7.87

注: N.D 表示未检出。

2.6 电子鼻主成分分析

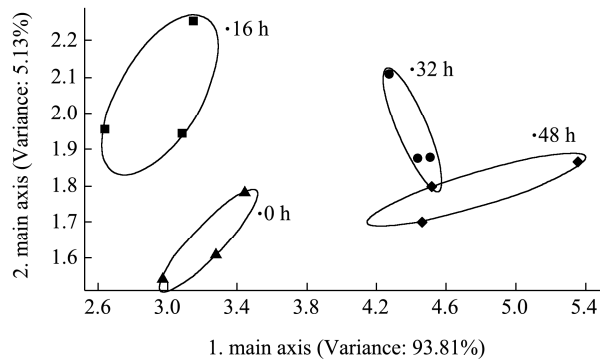


图5 预制冷风干武昌鱼干制过程中电子鼻 PCA 图

Fig.5 PCA diagram of electronic nose during the drying process of air-dried Wuchang fish

电子鼻是由电化学传感器阵列和适当的识别方法组成的仪器，在食品气味检测中有这广泛的应用，能够快速、高效、的判别样品挥发性气味的差异^[17]。样

品均远离原点且具有其独立的气味区域。由图 5 知，第一主成分的贡献率为（93.81%），第二主成分的贡献率为（5.13%），总贡献率为（98.94%），说明样品整体差异性信息在该主成分平面上有较为充分的展示。16 h 与 0 h 在第一主成分上有重叠，干制 32 h 与 48 h 存在交叉，说明 16 h 与未风干样品挥发性气体相近，32 h 和 48 h 挥发性气体较为相近。0 h 在第二主成分的响应强度较低 16 h 在第一主成分上响应强度较低。

2.7 气相色谱-质谱（GC-MS）的分析

由表 2 可知，三种干制时间以及空白对照组一共检测出 49 种挥发性物质，主要包括醛类、醇类、酸类、烯烃类、酮类、酯类、以及其他物质。如表 2 所示，随着干制时间的增干腌武昌鱼的挥发性物质也在逐渐增多。干制 48 h 的武昌鱼检测出的挥发性物质最多。在整个干燥过程中，鱼肉中的醛类物质种类和含量均增高，不饱和醇类和酮的含量和物质也逐渐增高。这

可能是因为鱼肉干制过程中，脂肪不断的氧化，氧化程度加深，产生了大量的醛、醇、酮挥发性化合物，并造成不断积累。这些挥发性物质都是带有特殊气味的，比如醛类化合物通常带有坚果、青草、水果香等，醇类带有酒精味、花香、刺激性气味等，烯炔类有花果香、青草香等，苯类有刺激性气味，还有一些种类的物质也含有一些其他气味如焦香味、奶油味等^[18]。醛类和醇类挥发性化合物一般含有较低的阈值，对水

产品整体风味气味贡献更大，饱和醇的阈值高，不饱和醇的阈值低，多数不饱和醇是鱼肉中鱼腥味的主要来源，大多酮类化合物阈值都偏高，对其风味贡献不大，但鱼肉的香气物质会相互作用与积累，腥味会叠加^[19]。OAV 是香气活力值，由上图可知 48 h 的 OAV 总值最高，其次是 32 h 的，因此可以得出随着干制时间增加武昌鱼的香气越来越浓郁，且香气物质种类和含量也越高。

表 2 预制风干武昌鱼风干过程中挥发性化合物和 OAV 值的变化

Table 2 Changes of volatile compounds and OAV values during air-drying of Wuchang fish										
化合物名称	气味描述 ^[20]	RT/min	挥发物含量/(ng/g)				OAV			
			0 h	16 h	32 h	48 h	0 h	16 h	32 h	48 h
醛类 (4 种)										
壬醛	油脂味	19.907	2.99	-	5.57	6.42	2.99	-	5.57	-
苯甲醛	苦杏仁味、坚果香		2.09	-	0.51	1.33	0.01	-	0	-
二甲醇缩甲醛			-	-	6.08	-	-	-	-	-
己醛	鱼腥味、青草味	10.048	-	0.48	2.53	9.03	-	105.86	562.59	2 007.1
醇类 (18 种)										
乙醇	酒精味	7.133	25.67	3.72	-	-	0.26	0.04	-	-
正己醇	刺激性	18.384	38.21	-	69.62	-	15.28	-	27.85	-
庚醇	香甜味	22.498	2.09	-	3.29	6.45	0.39	-	0.61	1.19
2-烯氧基乙醇		1.619	-	-	1.01	-	-	-	-	-
2-乙基己醇		23.972	7.46	-	-	18.06	0.02	-	-	0
正辛醇	鱼腥味、青草味	24.143	4.18	-	2.03	6.45	-	-	-	-
1-戊烯-3-醇		12.262	-	0.76	2.53	10.97	-	0	0.01	0.03
正壬醇	瓜香、清香		4.18	-	-	-	-	-	-	-
3-甲基-1-丁醇	玫瑰花香	13.607	-	-	-	10.97	-	-	-	-
桉叶油醇	凉香、药草香	13.691	-	-	2.53	20	-	-	-	-
2-氨基-1-丙醇		4.459	-	-	-	5.16	-	-	-	-
3-甲基-2-丁醇		17.187	-	0.57	-	-	-	-	-	-
2, 3-丁二醇	奶油香、油脂味	28.176	-	-	0.25	3.87	-	-	-	-
4-萜烯醇	清甜香、木香	29.465	-	-	0.51	2.58	-	-	-	-
alpha-松油醇	木香	34.191	-	-	0.76	3.23	-	-	0	0.01
环丁醇		4.315	-	-	-	13.55	-	-	-	-
1-辛烯-3-醇	蘑菇味、土壤味	22.187	33.43	-	48.86	212.26	-	-	-	-
反式-2-辛烯-1-醇		29.949	-	-	-	4.52	-	-	-	-
酸类 (3 种)										
乙酸	醋酸味	22.36	7.76	3.04	-	16.77	1.29	0.51	-	2.8
己酸	酸味		-	-	2.03	-	-	-	0.68	-
庚酸	霉臭味	39.516	-	-	-	7.1	-	-	-	-
烯类(3 种)										
柠檬烯	柠檬香	13.12	2.69	-	6.33	40	-	-	-	-
苯乙烯	花香、甜味	15.151	3.58	-	95.44	8.39	3.58	-	95.44	8.39
左旋-beta-蒎烯		10.667	-	-	-	4.52	-	-	-	-

续表 2

化合物名称	气味描述 ^[20]	RT/min	挥发物含量/(ng/g)				OAV			
			0 h	16 h	32 h	48 h	0 h	16 h	32 h	48 h
酮类(6种)										
2-戊酮	水果香		-	-	-	67.74	-	-	-	-
2-甲基-3-戊酮		8.283	-	-	-	19.35	-	-	-	-
3-辛酮	草药味、蘑菇味	14.944	-	-	3.8	10.97	-	-	0.18	0.51
2, 5-辛二酮		17.113	2.09	-	-	38.71	-	-	-	-
2, 3-辛二酮		15.774	-	-	13.67	-	-	-	-	-
3-羟基-2-丁酮		16.286	-	-	7.59	51.61	-	-	-	-
酯类(4种)										
丁酸甲酯		8.014	-	-	-	45.16	-	-	-	0.75
2-甲基丁酸甲酯		8.512	-	-	-	14.19	-	-	-	0.07
碳酸二甲酯			-	0.86	2.28	-	-	-	-	-
己酸甲酯		12.819	-	-	17.72	49.64	-	-	0.25	0.71
苯类(3种)										
间二甲苯	化学刺激味	11.604	4.18	-	-	6.45	0	-	-	0.01
对二甲苯	化学刺激味	11.438	3.28	3.62	21.01	9.68	0	0	0.02	0.01
甲苯	化学刺激味	9.27	-	20.39	4.3	12.26	-	0.01	0	0.01
其他(8种)										
4-甲基噻唑			-	-	3.04	-	-	-	-	-
二硫化碳		5.51	-	1.24	168.61	253.45	-	0.01	1.77	2.65
2-正戊基呋喃		14.038	-	-	3.54	12.26	-	-	0.59	2.04
茴香脑	大茴香、甜香	38.974	-	-	2.28	13.55	-	-	-	-
2-戊胺		4.275	-	-	-	16.13	-	-	-	-
1,3-二甲基戊胺		4.395	-	-	2.03	10.32	-	-	-	-
盐酸异丙胺		4.698	-	-	-	24.52	-	-	-	-
3-甲基吡啶		16.748	-	-	-	3.87	-	-	-	-

注：“-”表示未检出。

2.8 不同干制时间武昌鱼的风味轮廓图

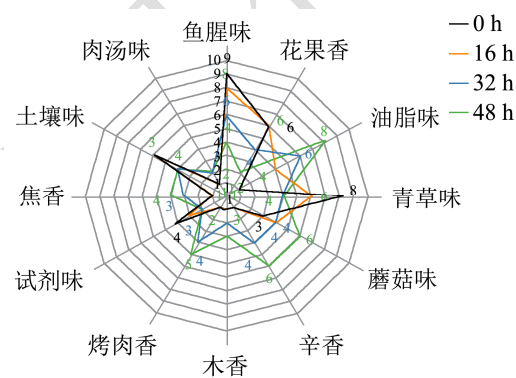


图 6 预制风干武昌鱼干制过程中的风味轮廓描述

Fig.6 Flavor profile description during the drying process of prefabricated air-dried Wuchang fish

如图 6 所示，随着干制时间延长，出现的气味越来越多，0 h 的鱼肉有强烈的鱼腥味和青草味，这是因

为 0 h 的鱼肉含有大量具有鱼腥味的青草味的饱和醇。16 h 时出现了木香、土壤、油脂味等气味，32 h 时花果香特别明显较为浓烈，48 h 出现的气味最多，其中花果香、青草味、辛香、蘑菇味、比较浓烈，且气味丰富。0 h 的鱼肉并没有油脂味，而是在干燥过程中逐渐出现油脂味，这可能是鱼肉氧化是产生的一些具有油脂味的醛类和脂肪酯类化合物所产生的^[20]。

3 结论

本实验以武昌鱼作为实验对象，通过控制风干制武昌鱼的时间，研究干制过程中武昌鱼品质的变化及香气的形成。本研究结果表明随着预制风干武昌鱼的干制时间延长，油脂 TOTOX（总氧化值）逐渐升高，总脂含量和含水量随着干制时间延长逐渐降低，含水量下降将有利于鱼肉的贮藏。干制 48 h 的武昌鱼呈现风干鱼特有的色泽，48 h 的武昌鱼 PUFA 种类最

多。干制 48 h 的武昌鱼含有 EPA (C20:5n3)、DHA (C22:6n3)、花生四烯酸 (C20:4n6) 和 γ -亚麻酸 (C18:3n6) 等有益于人体的多不饱和脂肪酸。不同干制时间武昌鱼风味均有不同, 16 h 与未风干样品挥发性气体相近, 32 h 和 48 h 挥发性气体较为相近。武昌鱼主要挥发性物质有醛类(壬醛、苯甲醛等)、酮类(2-戊酮、2,3-辛二酮等)、烯炔类(柠檬烯、2-蒎烯等)和其它一些物质(4-甲基噻唑), 他们的香味表现不同。低盐半干风干鱼较符合腌制食品绿色健康的趋势, 水产品加工与干制同时也是热点, 它作为一种节能型新技术既避免了热风干制造成的营养成分损失, 还可以更好保护产品品质。还在一定程度上克服了传统日晒风干环境问题带来的影响。风干鱼独特的风味口感深受人们喜爱, 它也有利于鱼产品的贮藏、方便食品, 这也是本课题研究意义所在。

参考文献

- [1] 陈胜军,张进伟,吴燕燕,等.腌腊鱼加工技术及质量安全研究进展[J].南方水产科学,2021,17(1):113-119
- [2] 董志俭,孙丽平,祁兴普,等.南美白对虾冷风干燥过程中的品质变化研究[J].食品研究与开发,2020,41(8):45-49
- [3] 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
- [4] Zhang Q, Ding Y, Gu S, et al. Identification of changes in volatile compounds in dry-cured fish during storage using HS-GC-IMS [J]. Food Res Int, 2020:137, 109339
- [5] 火玉明,周静,张华丹,等.基于 GC-IMS 分析三种植物油炒制海鲈鱼鱼松中挥发性风味物质的研究[J].食品工业科技, 2022,43(13):267-275
- [6] 李水红,吴帮志,罗来全,等.鱼制品加工技术研究[J].现代食品,2021,17:115-117
- [7] 陈子豪,王茂剑,张健,等.仿刺参冷风干制工艺优化及不同干制方式的比较[J].食品科学,2017,38(12):196-203
- [8] Folch J, Lees M, Stanl S G H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues [J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509
- [9] TAN Fengling, WANG Peng, TIAN Honglei, et al. Characterization of key aroma compounds in flat peach juice based on gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry (GC-MS-O), odor activity value (OAV), aroma recombination, and omission experiments [J] Food Chemistry, 2022, 366: 130604
- [10] ZhigangKe, Yan Bai, Yiwen Bai, et al. Cold plasma treated air improves the characteristic flavor of dry cured black carp through facilitating lipid oxidation [J] Food Chemistry, 2022, 377: 131932
- [11] 史梦佳.牡蛎冷风干燥及贮藏特性研究[D].福州:福建农林大学, 2019
- [12] 田伏锦,刘云宏,黄隽妍,等.马铃薯超声强化冷风干燥及品质特性[J].食品科学,2019,40(5):85-94
- [13] 顾赛麒,周洪鑫,郑皓铭,等.干制方式对腌腊草鱼脂肪氧化和挥发性风味成分的影响[J].食品科学,2018,39(21):1-10
- [14] 王钰杰.上海熏鱼加工过程中脂肪酸降解和风味成分的变化[D].上海:上海海洋大学,2019
- [15] 钟丽琪,杨靖杰,林芳,等.冷风干燥过程中温度对鲈鱼片品质的影响[J].科学养鱼,2017,7:72-74
- [16] 朱士臣,储雨珊,柯志刚,等.腌腊鱼贮藏过程品质变化及其多维度控制技术研究进展[J].食品与发酵工业,2020,46(10): 284-289
- [17] 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): e13133
- [18] Yang Y, Wang B, Fu Y, et al. HS-GC-IMS with PCA to analyze volatile flavor compounds across different production stages of fermented soybean whey tofu [J]. Food Chemistry, 2021, 346: 128880
- [19] Guo X, Wang Y, Lu S, et al. Changes in proteolysis, protein oxidation, flavor, color and texture of drycured mutton ham during storage [J]. Lwt, 2021, 149(8): 111860
- [20] Mall V, Schieberle P. Evaluation of key aromacomponds in proessed prawns (*Whitelegshrimp*) by quantitaion and aroma recombination experiments [J]. J Agric Food Chem, 2017, 65(13): 2776-2783