



不同干燥方式对卵形鲳鲹鱼片风味的影响

吴燕燕^{1,2*}, 陈 茜^{1,2}, 石 慧^{1,2}, 魏 涯², 王悦齐²

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306;

2. 中国水产科学研究院南海水产研究所, 农业农村部水产品加工重点实验室, 广东 广州 510300)

摘要: 为探究不同方式干燥卵形鲳鲹鱼片的风味差异, 实验选取冰鲜卵形鲳鲹为原料, 采用热风干燥、热泵干燥和冷冻干燥 3 种方式干制卵形鲳鲹鱼片, 分别测定并分析其 TBA 值、呈味核苷酸含量、游离氨基酸含量和挥发性风味物质等指标。结果显示, 干燥后的卵形鲳鲹鱼片中 TBA 值与 K 值均显著上升, 其中冷冻干燥鱼肉的 TBA 值仅比冰鲜鱼片增加 1.6 倍, 但热泵干燥和热风干燥则分别增加了 5.5 和 4.5 倍。干燥后鱼肉中的总游离氨基酸含量及味精当量较冰鲜卵形鲳鲹鱼片显著降低, 其中热风干燥鱼肉的味精当量则下降了 50.83%。热泵干燥鱼肉中苦味氨基酸含量和鲜味氨基酸含量分别占总氨基酸含量的 19.11% 和 7.37%, 而冷冻干燥组鱼肉中甜味氨基酸相对百分含量最高, 为 53.62%。3 种干燥方式中, 热泵干燥卵形鲳鲹的味精当量最高, 为 4.47 谷氨酸钠 (MGS)/100 g, 表明热泵干燥卵形鲳鲹鱼片的鲜味程度最高。就挥发性风味成分而言, 热泵干燥鱼肉酯类和酮类较多, 其主要呈现果香味和焙烤坚果味; 热风干燥中烃类和芳香类的相对含量约占 70%, 醛类和酯类相对含量达 20%; 而冷冻干燥中烃类与芳香类相对含量占到 90% 以上, 醛类和酯类相对含量不足 8%, 其风味较淡。研究表明, 3 种干燥方式的卵形鲳鲹鱼片均具有较好的食用品质, 其中热泵干燥使鱼肉中的鲜味更为明显, 而冷冻干燥能有效抑制和延缓鱼肉脂肪的氧化, 更适合应用于脂肪含量较高的鱼肉中。本研究结果可为卵形鲳鲹轻便干燥食品加工提供技术参考。

关键词: 卵形鲳鲹; 热风干燥; 热泵干燥; 冷冻干燥; 呈味核苷酸; 游离氨基酸; 挥发性成分

中图分类号: TS 254.4

文献标志码: A

我国海水鱼养殖产业发展迅速, 近几年, 除了大宗养殖的大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)^[1]、花鲈 (*Lateolabrax japonicus*)^[2] 和石斑鱼 (*Epinephelus* spp.)^[3] 的产量突破 15 万 t 以上, 卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*) 育种、养殖、深海网箱技术突破之后, 其产量也迅速增长, 2019 年产量达到 16.8 万 t。卵形鲳鲹是硬骨鱼纲 (Osteichthyes) 鲈形目 (Perciformes) 鲹科 (Perciformes) 鲳鲹属 (*Trachinotus*) 鱼

类, 又名黄蜡鲳、金鲳, 鱼头小, 体高侧扁, 鱼身呈椭圆, 表面没有鱼鳞类附着物, 肉白无刺^[4]。卵形鲳鲹肉质细嫩, 蛋白质含量丰富, 富含多不饱和脂肪酸和微量元素, 具有良好的食用价值和营养保健价值^[5]。目前卵形鲳鲹主要以鲜活或冰鲜销售为主, 加工方式主要是条冻和少量以咸鱼等形式的腌制加工, 其中冷冻卵形鲳鲹占加工总量的 50%~80%, 但卵形鲳鲹的低温保鲜流通和贮

收稿日期: 2021-01-13 修回日期: 2021-04-28

资助项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系专项 (CARS-47); 国家重点研发计划 (2019YFD0901903); 广东省基础与应用基础研究基金 (2019A1515111158)

通信作者: 吴燕燕 (照片), 从事水产品加工与质量安全控制研究, E-mail: wuyygd@163.com



藏方式存在冻存成本较高, 容易受到腐败微生物污染, 在内源酶及微生物作用下易出现脂质氧化等品质劣变的现象^[6]。因此, 开发卵形鲳鲹的加工形式, 保持卵形鲳鲹的品质及提高产品附加值, 实现卵形鲳鲹的多元化、精细化加工具有重要意义。

干燥是一种具有悠久历史的水产品保存形式, 可以有效延长水产品保质期, 具有简易、有效、成本低等优点。目前工业上应用较多的有热风干燥、热泵干燥、冷冻干燥等方式。其中热风干燥作为食品干燥中应用最为广泛的一种干燥加工方式, 主要是应用热空气作为媒介使鱼肉温度升高, 加速其中水分蒸发而除去水分^[7]。热泵干燥是利用热泵产生的干空气对鱼肉进行干燥, 同时保持鱼肉所处环境的温度和湿度, 能更好地保持鱼肉的品质^[8]。冷冻干燥是在一定真空度下, 将冷冻物料中的水分从固态升华为气态, 从而实现低温干燥^[9]。不同的干燥方式因其干燥原理的不同, 对干燥过程中鱼肉的脂肪氧化、蛋白质降解和微生物发酵等有不同的影响, 产生不同的风味物质, 最终赋予鱼干制品独特的风味^[10]。鱼肉风味主要由脂肪酸、游离氨基酸、呈味核苷酸以及小分子肽等非挥发性的滋味物质和醛类、酯类等挥发性气味物质相互作用共同构成, 其中游离氨基酸和呈味核苷酸对鱼肉贡献较大, 被用于鱼肉制品滋味评价的指标。风味品质是食品品质至关重要的一部分, 是直接影响消费者对食品接受度的重要因素。本研究使用热风干燥、热泵干燥和冷冻干燥加工卵形鲳鲹, 研究不同干燥方式处理后卵形鲳鲹干制品的风味差异, 解析不同干燥方式对卵形鲳鲹鱼干风味的形成机制, 旨在为开发卵形鲳鲹轻便营养干制产品的加工提供理论和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

卵形鲳鲹体质量 300~400 g, 体长 20~30 cm, 冰鲜, 购自广州华润万家超市。

DHG-9145A 型电热恒温鼓风干燥器, 上海一恒科学仪器有限公司; RCX-1500-1540 普立-热泵除湿干燥箱, 佛山显高冷冻设备厂; Alpha1-4 型冷冻干燥机, 德国 christ 公司; BS124S 型电子天平, 德国 Sartorius 公司; 3K30 型台式高速冷冻离心机, 德国 Sigma 公司; Agilent 1100 液相色谱仪和 Agilent GC-MS 7890B-5977A 气相色谱-质谱

联用仪, 美国 Agilent 公司。

1.2 实验方法

鱼片制备 冰鲜卵形鲳鲹去鳃和内脏后, 置于装有碎冰的泡沫箱中, 20 min 内运回实验室, 4 °C 下去头、去皮、清洗, 切分为 2.5 cm×2 cm×0.5 cm 的鱼片, 进行干燥处理。

干燥方法^[11] 热风干燥: 鱼片置于 60 °C 热风干燥箱中, 直至水分含量降至 20%±2%。

热泵干燥: 鱼片置于 30 °C、湿度 12 % 的热泵干燥箱中, 直至水分含量降至 20%±2%。

冷冻干燥: -80 °C 冰箱冻结好的鱼片置于冷阱温度 -40 °C、真空度 20 Pa 的冷冻干燥箱中, 直至水分含量降至 20%±2%。

TBA 值的测定 参照苗苗^[12]的方法稍作改进, 取 5 g 碎肉置于 50 mL 离心管中, 加入 25 mL 体积分数为 7.5 % 的 TCA, 振荡 30 min, 静置分层, 取 5 mL 上清液于比色管中, 与 5 mL 物质的量浓度为 0.02 mol/L 的 TBA 混合, 100 °C 沸水浴 40 min, 冷却至室温, 取 5 mL 上清液与 5 mL 氯仿混合静置分层后, 测定上清液在 532 nm 处的吸光度。以每千克鱼肉中所含的丙二醛 (MDA) 的毫克数表示。以同样的方法, 未加入样品的作为空白组, 平行 3 次。

核苷酸的测定 参考龚玺等^[13]的方法, 略作改动。取冰鲜及干燥后的鱼肉样约 2 g 放入离心管内, 加入体积分数为 10% 的高氯酸溶液 20 mL, 冰浴下 1 000 r/min 均质 30 s, 在 4 °C 条件下 8 000 r/min 离心 10 min, 取出上清液。再用 10 mL 5% 的高氯酸溶液提取沉淀物中的待测物, 在 4 °C 下 8 000 r/min 离心 10 min, 重复操作 1 次, 合并上清液。用 NaOH 溶液调节上清液 pH 值为 6.5 后, 用 4 °C 预冷的双蒸水定容至 50 mL。最后用 0.22 μm 水系滤膜过滤, 滤液于 4 °C 下保存待测。

HPLC 条件 色谱柱为 Grace Smart RP-185 U (250 mm×4.6 mm, 5μm), 流动相为 pH 值 4.8 的 20 mmol/L 的柠檬酸、醋酸、三乙胺混合液, 进行平衡和洗脱。进样量为 10 μL, 流速 0.8 mL/min, 柱温 35 °C, 检测波长 260 nm。

游离氨基酸的测定 称取约 2.00 g 干燥样品, 约 5.00 g 鲜样, 加 0.01 mol/L 盐酸, 均质 1 min, 定容至 50 mL, 静置提取 30 min, 取上清液过 0.2 μm 的水系滤膜, 上机分析, 采用 OPA-FOMC 在线柱前衍生高效液相色谱法测定^[14]。

色谱条件 Agilent zoubax ellipse AAA 柱

(4.6 mm×150 mm, 3.5 μm), 流动相为 90 mmol/L 的 Na₃PO₄ (1.193 g NaH₂PO₄·2H₂O 与 29.493 g Na₂HPO₄·12H₂O 定容至 1 L, pH 值 7.8) 进行平衡和洗脱。进样量为 10 μL, 流速 0.8 mL/min, 柱温 40 °C, 检测波长为两个检测信号: ①紫外 338 nm; ②荧光 (EX=266 nm, EM=305 nm)。

滋味强度 (TAV) 值^[15] 滋味强度是反映该物质对鱼肉总体风味贡献大小的指标, 是指呈味物质的含量与其呈味阈值之比。TAV 值大于 1 时该风味物质对鱼肉整体风味贡献较大, 小于 1 时贡献较小。该指标已经普遍用于食品的滋味分析中, 但仍有不足之处, 不能衡量几种风味物质的协同作用。

味精当量 味精当量 (equivalent umami concentration, EUC) 是指呈味核苷酸 (IMP、GMP、AMP) 与谷氨酸钠 (MSG) 等按一定比例混合能增加鲜味的强度, 它是氨基酸与核苷酸协同效应的结果。计算公式^[16]:

$$\text{EUC}(\text{g MSG}/100 \text{ g}) = \sum a_i b_i + 1218 \times \left(\sum a_i b_i \right) \times \left(\sum a_j b_j \right) \quad (1)$$

式中, a_i 为鲜味氨基酸 (Asp 或 Glu) 的浓度 (g/100 g); b_i 为鲜味氨基酸的相对鲜度系数 (Glu: 1; Asp: 0.077); a_j 为呈味核苷酸 (IMP、GMP、AMP) 的浓度 (g/100 g); b_j 为呈味核苷酸的相对鲜度系数 (IMP: 1; GMP: 2.3; AMP: 0.18); 1218 是协同作用常数。

挥发性成分测定 完全参考熊添等^[5] 的方法, 样品前处理后, 上机鉴定, 操作按照 JY/T 021—1996 分析型气相色谱方法通则及 GB/T 6041—2002 进行。采用面积归一化法计算化合物的相对含量。

1.3 数据分析

采用 SPSS 17.0 软件对数据进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 使用 Excel 2010 软件作图分析。差异显著 ($P < 0.05$) 时用 Duncan 氏检验进行多重比较分析。结果采取平均值±标准误 (mean±SE) 的形式。

2 结果

2.1 不同干燥方式对卵形鲳鲹 TBA 值的影响

研究表明, 当鱼肉中的 TBA 值大于 1 mg

MDA/kg 时, 鱼肉就会产生严重的腥臭味^[17]。3 种干燥方式处理后的卵形鲳鲹鱼干 TBA 值均未超过 1 mg MDA/kg (图 1), 脂肪氧化程度较低, 能保持较好的品质; 但干燥方式对卵形鲳鲹的 TBA 值有显著影响, 3 种干燥方式均会引起卵形鲳鲹的 TBA 值上升。以冰鲜鱼肉为对照, 冷冻干燥鱼肉的 TBA 值为 0.26 mg/kg, 上升幅度最少, 热泵干燥的鱼肉的 TBA 值最高。冷冻干燥、热风干燥和热泵干燥鱼肉的 TBA 值分别增加了 1.6、4.5 和 5.5 倍。

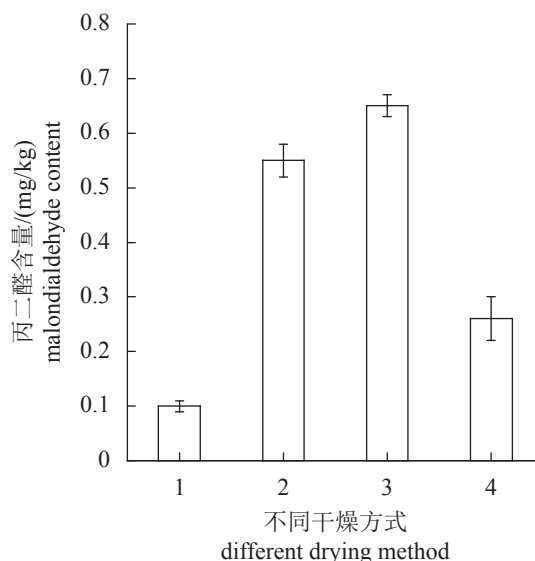


图 1 不同干燥方式对卵形鲳鲹 TBA 值的影响

1.冰鲜鱼肉, 2.热风干燥鱼肉, 3.热泵干燥鱼肉, 4.冷冻干燥鱼肉, 下同

Fig. 1 Effect of different drying methods on TBA value of *T. ovatus*

1. chilled fish, 2. hot air dried fish, 3. heat pump dried fish, 4. freeze dried fish, the same below

2.2 对 K 值及核苷酸的影响

经干燥加工后, 鱼肉 K 值都呈上升趋势, 冷冻干燥鱼肉的 K 值上升幅度最小。热风干燥、热泵干燥和冷冻干燥鱼肉的 K 值分别为 55.42%、54.54% 和 14.05% (表 1)。冷冻干燥鱼肉的 K 值在 20% 以下, 仍保持一级鲜度状态, 而热风干燥和热泵干燥后的鱼肉 K 值较高, 与其他两组存在显著差异 ($P < 0.05$)。

4 种样品的 IMP 含量较高, 分别为 133.17、67.71、70.42 和 160.30 mg/100 g, 并且其 TAV 值均 > 2。与冰鲜鱼肉相比, 热风干燥和热泵干燥鱼肉的 IMP 含量分别下降了 49.15% 和 47.12% (表 1)。

表 1 不同方式干燥对卵形鲳鲅核苷酸含量的影响

Tab. 1 Effect of different drying methods on nucleotide content of *T. ovatus*

核苷酸相关化合物 nucleotide related compounds	冰鲜鱼肉 chilled fish	热风干燥鱼肉 hot air dried fish	热泵干燥鱼肉 heat pump dried fish	冷冻干燥鱼肉 freeze dried fish
次黄嘌呤/(mg/100 g) Hx	0.98±0.00 ^d	29.80±0.04 ^b	35.40±0.03 ^a	2.05±0.02 ^c
肌苷酸/(mg/100 g) IMP	133.17±0.21 ^b	67.71±0.11 ^c	70.42±0.25 ^c	160.30±1.99 ^a
IMP的滋味强度值 TAV of IMP	5.33	2.71	2.82	6.41
次黄嘌呤核苷/(mg/100 g) HxR	7.84±0.15 ^d	17.27±0.14 ^c	29.42±0.06 ^a	19.88±0.33 ^b
腺苷酸/(mg/100 g) AMP	1.28±0.14 ^a	0.81±0.01 ^b	0.66±0.02 ^b	1.18±0.02 ^a
AMP的滋味强度值 TAV of AMP	0.15	0.35	0.59	0.40
二磷酸腺苷/(mg/100 g) ADP	24.05±0.27 ^c	14.65±0.27 ^d	49.02±0.19 ^a	38.68±0.02 ^b
三磷酸腺苷/(mg/100 g) ATP	1.28±0.09	0.81±0.01	0.66±0.01	1.18±0.02
鸟苷酸/(mg/100 g) GMP	0.26±0.36 ^a	0.08±0.12 ^a	0.43±0.16 ^a	0.25±0.21 ^a
GMP的滋味强度值 TAV of GMP	0.02	0.01	0.01	0.02
总量 total	167.58±0.11 ^b	130.31±0.69 ^b	185.34±0.38 ^b	222.34±2.13 ^a
K值/% K value	7.70±0.14 ^d	55.42±0.03 ^a	54.54±0.07 ^b	14.05±0.06 ^c

注：同行中上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)
Notes: in the same row, values with different lowercase letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$)

热泵干燥和热风干燥鱼肉的 Hx 含量分别为 29.80 和 35.40 mg/100 g，显著高于冷冻干燥鱼肉的 2.05 mg/100 g，表明热泵干燥鱼肉的 ATP 降解程度最高、热风干燥次之、冷冻干燥最低。

2.3 游离氨基酸的组成及含量

与冰鲜鱼肉相比，干燥后鱼肉的总游离氨基酸都呈现一定程度的下降(表 2)，热风干燥、热泵干燥和冷冻干燥鱼肉的总游离氨基酸含量分别降低了 28.6%、20.5% 和 51.9%。三种干燥方式中，冷冻干燥鱼肉的甜味氨基酸比例最高，占总氨基酸的 53.92%，其鲜味氨基酸与苦味氨基酸的比例与冰鲜鱼肉差异不显著($P>0.05$)。而热泵干燥鱼肉中苦味氨基酸与鲜味氨基酸分别占总游离氨基酸的 19.11% 和 7.37%，明显高于其他组，但其甜味氨基酸所占比例最低，且与冰鲜鱼肉存在显著差异($P<0.05$)。除冷冻干燥鱼肉以外，其他组的谷氨酸 TAV 值均 >1 ，其中热泵干燥鱼肉的谷氨酸 TAV 值最高，其鲜味则较其他两组更为突出；而且与新鲜鱼肉相比，经热泵干燥后鱼肉的谷氨酸含量显著增加。各组鱼肉丙氨酸的 TAV 值均 >2 ，其中冰鲜鱼肉的 TAV 值甚至于 >3 。而鱼肉中的苦味氨基酸的 TAV 值均 <1 。

2.4 不同干燥方式对卵形鲳鲅 EUC 的影响

EUC 是用两种鲜味氨基酸(谷氨酸和天冬氨酸)与 3 种呈味核苷酸(IMP、AMP 和 GMP)协同

作用产生的鲜味程度，反映鲜味物质之间的鲜味协同效应对滋味的贡献^[18]。冰鲜卵形鲳鲅的 EUC 为 6.04 g MSG/100 g，与杨欣怡等^[19]的研究结果相似，干燥鱼肉的 EUC 皆显著下降，其中热风干燥鱼肉 EUC 下降幅度最大，下降了 50.83%，而热泵干燥和冷冻干燥鱼肉分别下降了 21.52% 和 35.93%(图 2)。味精呈味阈值较低，仅为 0.03 g/100 g，因此四种样品分别相当于 100~200 倍谷氨酸钠的鲜味程度。热泵干燥鱼肉的 EUC 为 4.47 g MSG/100 g，分别为热风干燥和冷冻干燥鱼肉的 1.6 和 1.2 倍，因此热泵干燥鱼肉的鲜味程度高于另外两种干燥方式处理的鱼肉。

2.5 不同干燥方式对卵形鲳鲅挥发性成分的影响

经干燥后，鱼肉的风味物质的总量发生明显变化。与新鲜鱼肉相比，热风干燥和热泵干燥使鱼肉的风味物质含量下降，其风味物质含量分别下降了 73.26% 和 20.62%(图 3)。而经冷冻干燥后的鱼肉的风味物质含量则增加了 33.27%，这可能与脂肪氧化和蛋白质降解有关。有研究表明，加热处理可改变蛋白质构象及相互作用力，降低风味物质的吸附^[20]。此外，不同的干燥方式对鱼肉中的风味物质含量有显著影响，这主要是与不同干燥方式的干燥温度有关。干燥温度较高时，干燥过程中的挥发性物质会随着水分的蒸发而损失，导致终产品风味物质的含量发生变化。

表 2 不同方式干燥卵形鲳鲹游离氨基酸含量

氨基酸种类 amino acids	呈味阈值 taste threshold	冰鲜鱼肉 chilled fish	热风干燥鱼肉 hot air dried fish	热泵干燥鱼肉 heat pump dried fish	冷冻干燥鱼肉 freeze dried fish
天冬氨酸 Asp	100	17.80±3.43 ^a	1.75±1.46 ^b	14.35±3.31 ^a	6.48±3.90 ^b
谷氨酸 Glu	30	35.40±1.97 ^b	35.10±1.63 ^b	52.71±3.92 ^a	19.15±0.77 ^c
天冬酰胺 Asn		1.43±0.05 ^a	0.12±0.21 ^b	0.22±0.38 ^b	0±0 ^b
丝氨酸 Ser	150	18.21±1.34 ^a	16.39±0.74 ^b	11.78±0.52 ^c	8.79±0.66 ^d
谷氨酰胺 Gln		5.37±0.56 ^a	2.91±0.35 ^b	3.39±0.54 ^b	2.24±0.30 ^c
组氨酸 His	20	21.29±0.66 ^b	11.12±1.04 ^c	24.37±0.22 ^a	9.00±0.59 ^d
甘氨酸 Gly	130	0±0 ^d	157.79±4.87 ^a	112.48±1.34 ^c	135.46±8.95 ^b
苏氨酸 Thr	260	254.14±20.85 ^a	0±0 ^c	26.97±0.97 ^b	17.69±1.48 ^b
瓜氨酸 Ccp		30.46±2.43 ^a	27.98±0.44 ^b	12.37±0.50 ^c	3.56±0.64 ^d
精氨酸 Arg	50	15.84±1.09 ^b	19.31±0.49 ^a	10.17±0.82 ^c	6.48±0.86 ^d
丙氨酸 Ala	60	196.67±20.59 ^a	155.06±5.18 ^b	182.78±3.54 ^a	124.76±5.98 ^c
酪氨酸 Tyr		20.31±1.46 ^a	10.86±1.47 ^b	8.06±1.02 ^c	7.49±0.52 ^c
半胱氨酸 Cys		157.16±10.75 ^a	126.48±1.80 ^b	92.25±1.38 ^d	111.06±7.41 ^c
缬氨酸 Val	40	16.54±1.14 ^b	15.00±0.31 ^c	32.07±0.54 ^a	6.85±0.54 ^d
蛋氨酸 Met	30	10.73±0.99 ^b	8.35±0.21 ^c	14.05±0.48 ^a	4.41±0.19 ^d
正缬氨酸 Cbz		3.67±1.02 ^b	1.59±0.46 ^c	18.37±1.77 ^a	1.75±0.16 ^{bc}
色氨酸 Trp		168.58±14.62 ^a	110.38±1.63 ^{ab}	92.02±76.63 ^b	3.85±0.40 ^c
苯丙氨酸 Phe	90	26.06±1.78 ^a	15.65±0.16 ^b	24.08±0.23 ^a	11.36±1.26 ^c
异亮氨酸 Ile	90	12.47±0.60 ^b	8.88±0.24 ^c	19.90±0.18 ^a	4.62±0.43 ^d
亮氨酸 Leu	50	34.64±2.87 ^b	19.87±0.45 ^c	41.44±0.75 ^a	15.54±1.27 ^d
赖氨酸 Lys	50	16.78±1.26 ^a	11.46±0.91 ^b	7.48±0.23 ^c	16.94±2.67 ^a
羟脯氨酸 Hyp		62.30±3.67 ^b	52.97±3.91 ^c	80.44±6.96 ^a	23.06±2.89 ^d
肌氨酸 Sar		0.54±0.12 ^b	0.33±0.19 ^b	20.87±2.47 ^a	0.99±1.31 ^b
脯氨酸 Pro	300	24.31±2.05 ^a	12.53±1.30 ^b	11.89±1.42 ^b	11.05±1.43 ^b
总游离氨基酸 TAA		1 150.69±82.73 ^a	821.86±13.63 ^b	914.52±90.89 ^b	552.57±36.31 ^c
甜味氨基酸 SAA		493.32±43.43 ^a	341.75±11.58 ^{bc}	345.90±5.98 ^b	297.75±16.92 ^c
SAA/TAA/%		42.84±0.68 ^b	41.58±0.77 ^{bc}	38.06±3.61 ^c	53.92±1.54 ^a
苦味氨基酸 BAA		154.36±9.08 ^b	109.63±2.04 ^c	173.56±0.25 ^a	75.20±7.65 ^d
BAA/TAA/%		13.43±0.37 ^b	13.34±0.22 ^b	19.11±1.98 ^a	13.59±0.77 ^b
鲜味氨基酸 FAA		53.19±3.21 ^b	36.85±1.93 ^c	67.06±6.97 ^a	25.63±3.54 ^d
FAA/TAA/%		4.64±0.43 ^b	4.48±0.20 ^b	7.37±0.95 ^a	4.63±0.46 ^b

冰鲜鱼肉中共鉴定出 45 种挥发性风味物质, 包括 6 种酯类、1 种醇类、5 种含氮类化合物、9 种芳香类化合物、4 种醛类、4 种酮类、13 种烷烃类、4 种烯烃。其中芳香类化合物和醛类化合物相对含量最高, 分别为 33.3% 和 33.19, 其次为含氮类化合物 (14.52%), 再次为酮类化合物 (3.23%), 酯类和醇类的相对含量较低, 醚类化合物未被检出。热风干燥鱼肉中共鉴定出 41 种挥发性风味物质, 包括 5 种酯类、1 种醇类、2 种含氮类化合物、6 种芳香类化合物、2 种醛类、1 种酮

类、2 种醚类、20 种烷烃类、2 种烯烃类, 其中烃类物质的相对含量最高, 占主要挥发性物质的 43.06%, 芳香类化合物和醛类分别占 28.41% 和 11.63%。热泵干燥和冷冻干燥鱼肉中分别鉴定出 46 种和 57 种挥发性风味物质, 其中热泵干燥鱼肉中的挥发性物质以酯类、芳香类和烃类物质为主, 其相对含量分别为 35.52%、31.11% 和 18.94%; 而冷冻干燥鱼肉中烃类化合物和芳香类化合物分别占主要挥发性物质的 57.71% 和 32.78%。热风干燥和冷冻干燥使鱼肉中的烃类化合物含量显著

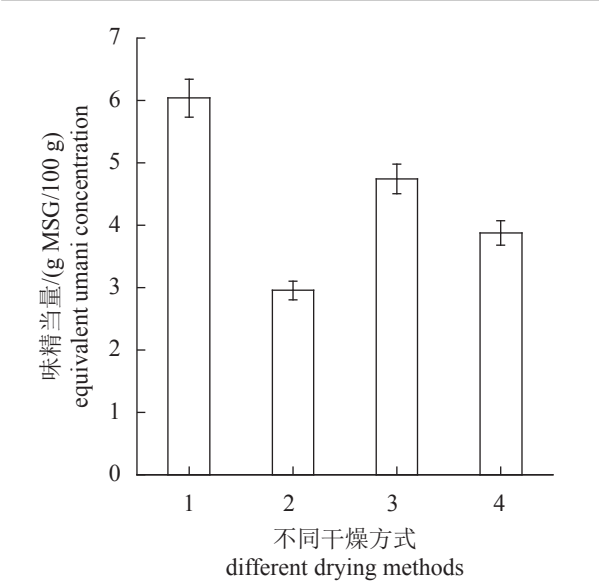


图 2 不同干燥方式对卵形鲳鲹味精当量的影响

Fig. 2 Effect of different drying methods on EUC of *T. ovatus*

上升，而热泵干燥则使鱼肉中的醛类挥发性物质相对含量显著上升(表 3)。

干燥后，鱼肉中的烃类物质均呈明显的上升趋势，热风干燥、热泵干燥和冷冻干燥鱼肉中的烃类挥发性成分相对含量均从新鲜鱼肉的 10.79% 分别增加到 43.06%、18.94% 和 57.71%。四组样品中芳香类化合物的相对含量均高达约 30%，甲苯、甲氧基苯酚、2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚均存在于四种样品中(表 4)。与新鲜鱼肉相比，干燥后的鱼肉中醛类物质的相对含量显著减少，新鲜鱼肉中的醛类物质相对含量为 33.19%，经干燥处理后，热风干燥、热泵干燥和冷冻干燥组中的醛类物质相对含量分别下降至 11.63%、1.94% 和 4.07%。

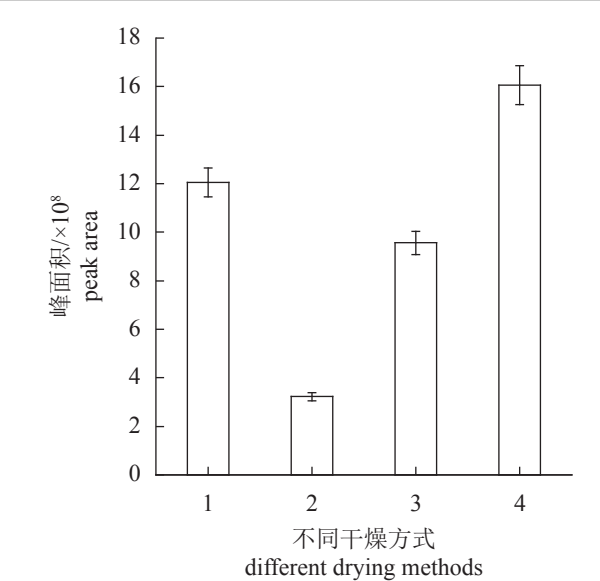


图 3 风味物质的总峰面积

Fig. 3 Total peak area of flavor substances

酯类呈味阈值低，对鱼肉风味的形成具有较大贡献，本研究发现三组干燥之间差异较大，热泵干燥鱼肉中含有 11 种酯类，相对含量为 35.52%，均明显高于其他组，且丁酸乙酯占极大部分。四组样品中均有检出 1-辛烯-3 醇(蘑菇醇)，其主要与亚油酸氢过氧化物的降解有关，呈现蘑菇味和泥土味，是鱼肉固有腥味成分^[21]。冰鲜鱼肉中 4-十八烷基吗啉的相对含量较高，熊添等^[5]也在卵形鲳鲹中检出，认为其为卵形鲳鲹鱼肉的特征性风味物质。川芎嗪仅在热泵干燥鱼肉中被检出，并且相对含量较高，具有焙烤坚果香气，可能是由于加工过程中的微生物作用及美拉德反应而产生的。据报道，其广泛存在于白酒^[22]、香醋^[23]等发酵型食品中，白酒中的川芎嗪是在制曲和堆积

表 3 主要挥发性物质种类及相对含量

Tab. 3 Types and relative contents of main volatile substances

化合物 compounds	新鲜鱼肉 fresh fish		热风干燥鱼肉 hot air drying fish		热泵干燥鱼肉 heat pump drying fish		冷冻干燥鱼肉 freeze drying fish	
	百分含量/% percentage content	种类 type	百分含量/% percentage content	种类 type	百分含量/% percentage content	种类 type	百分含量/% percentage content	种类 type
酯类 ester	2.72	5	9.27	5	35.52	11	3.86	6
醇类 alcohols	2.25	1	2.59	1	2.55	4	1.16	2
含氮类 nitrogen-containing compounds	14.52	5	2.65	2	8.81	6	0.42	1
芳香类 aromatic	33.3	9	28.41	6	31.11	6	32.78	10
醛类 aldehyde	33.19	4	11.63	2	1.94	2	4.07	4
酮类 ketone	3.23	4	0.34	1	0.59	2	0	0
醚类 ether	0	0	2.05	2	0.55	1	0	0
烃类 hydrocarbon	10.79	17	43.06	22	18.94	14	57.71	34

表 4 不同干燥方式对卵形鲳鲹特征挥发性成分的影响

Tab. 4 Effect of different drying methods on characteristic volatile ingredients of <i>T. ovatus</i>		g/100 g			
化合物 compounds		冰鲜鱼肉 chilled fish	热风干燥鱼肉 hot air dried fish	热泵干燥鱼肉 heat pump dried fish	冷冻干燥鱼肉 freeze dried fish
丁酸乙酯	butanoic acid, ethyl ester	ND	ND	25.42	ND
丁酸丁酯	butanoic acid, butyl ester	ND	ND	1.10	ND
丁酸戊酯	butanoic acid, pentyl ester	ND	ND	1.03	ND
异丁酸异戊酯	propanoic acid, 2-methyl-, 3-methylbutyl ester	ND	ND	0.75	ND
丁酸异戊酯	butanoic acid, 3-methylbutyl ester	ND	ND	0.53	ND
1-辛烯-3-醇	1-octen-3-ol	2.25	2.59	0.26	0.41
4-十八烷基吗啉	4-octadecyl-morpholine	13.08	ND	ND	ND
川芎嗪	tetramethyl-pyrazine	ND	ND	6.52	ND
甲苯	toluene	19.25	2.71	17.26	13.54
甲氧基苯肼	methoxy-phenyl-_oxime-	2.30	6.07	7.29	1.13
2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚	butylated hydroxytoluene	8.43	12.93	4.46	14.28
己醛	hexanal	31.11	10.22	ND	3.31
庚醛	heptanal	1.82	1.41	ND	0.38
(E,E)-2,4-庚二烯醛	(E,E)-2,4-heptadienal	0.07	ND	ND	ND
苯乙醛	benzeneacetaldehyde	ND	ND	1.16	ND
2-乙烯基-2-丁烯醛	2-ethenyl-2-butenal	0.18	ND	ND	ND
2,5-辛二酮	2,5-octanedione	1.04	ND	ND	ND
2,2,4,6,6-五甲基庚烷	2,2,4,6,6-pentamethyl-heptane	ND	14.09	10.04	23.02
5-乙基-2-甲基-辛烷	5-ethyl-2-methyl-octane	ND	0.64	ND	0.13
2,2,4,4-四甲基辛烷	2,2,4,4-tetramethyloctane	ND	ND	1.19	2.68
壬烷	nonanal	1.08	2.54	2.19	5.09
3-甲基-十一烷	3-methyl-undecane	ND	0.45	0.32	1.22
十二烷	dodecane	0.25	ND	0.57	3.42
十三烷	tridecane	0.28	1.08	0.18	0.52
十四烷	tetradecane	0.30	2.45	0.25	0.90
十五烷	pentadecane	3.69	6.90	2.24	7.48
2,6,10,14-四甲基-十五烷	2,6,10,14-tetramethyl-pentadecane	1.09	2.29	0.70	2.12
十七烷	heptadecane	0.75	1.20	0.33	ND
二十烷	eicosane	0.15	0.88	0.15	0.29

注：“ND”表示未检出
Notes: "ND" means not detected

发酵中的美拉德反应中产生的，具有扩张血管，改善微循环及抑制血小板积聚等作用，并且能调节脂质代谢以及抑制脂质过氧化^[24]。新鲜鱼肉中酮类含量最高，占总挥发性化合物的 3.23%，经干燥后，酮类化合物含量显著下降，冷冻干燥鱼肉中的酮类物质为未检出状态。冰鲜卵形鲳鲹中检测出的 2,5-辛二酮被报道有强烈的鱼腥味^[25]。

3 讨论

3.1 不同干燥方式对卵形鲳鲹理化性质的影响

卵形鲳鲹目前主要以养殖为主，鱼肉中脂肪含量较高，所以在加工过程中易出现脂质氧化。

TBA 值是利用油脂发生酸败分解产生的醛、酮类化合物与硫代巴比妥酸 (TBA) 反应生成粉红色物质的性质，检测丙二醛的含量，以此反映油脂的酸败程度并作为鱼肉品质变化的评价指标之一^[26]。卵形鲳鲹鱼片在干燥加工过程中受温度、微生物和酶等因素的影响，鱼肉中的脂肪会发生氧化反应，形成各种挥发性风味物质，从而影响鱼肉的风味。3 种干燥方式均对鱼肉的脂肪氧化具有促进作用，但冷冻干燥对鱼肉脂肪氧化的影响较低，这是因为低温会抑制微生物的生长和脂肪酶的活性，从而降低了干燥过程中卵形鲳鲹的脂肪氧化。研究表明温度升高会促进脂肪氧化，导致 TBA 值升高^[27]，但热泵干燥鱼肉中的 TBA 值最高，可能

是由于热泵干燥箱中的环境温度和湿度有利于与脂肪氧化相关的微生物生长, 从而促进了鱼肉的脂肪氧化过程。综合各结果, 可见冷冻干燥对鱼片的脂质氧化影响最小, 特别适合于这种脂肪含量较高的鱼类。

鱼类 ATP 分解一般是按 $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} \rightarrow \text{AMP} \rightarrow \text{IMP} \rightarrow \text{HxR} \rightarrow \text{Hx}$ 的途径进行^[28], K 值是以 $\text{HxR} + \text{Hx}$ 的量对 ATP 关联化合物总量的比值, 以此表示鱼体内 ATP 的降解反应程度, 进而反映鱼肉的新鲜度。 K 值越小表示越新鲜, K 值越大则反之。新鲜宰杀的鱼肉 K 值一般 $<10\%$, $<20\%$ 为一级鲜度, $<60\%$ 可供一般加工和食用^[29]。在加工过程中, ATP 的分解反应受环境温度、湿度及加工时间等因素的影响, 因此不同方式干燥的鱼肉 K 值也会有所不同。冷冻干燥鱼肉 K 值低主要是由于加工过程是在低温真空环境下进行, 不利于 ATP 分解反应。热风干燥鱼肉 K 值较高的主要原因是由于高温加快了 ATP 的分解, 同时处理时间较长使得分解的最终产物蓄积。热泵干燥的加工时间是其他两种干燥方式的 3~6 倍, 为 $\text{HxR} + \text{Hx}$ 的生成和蓄积提供了时间。但 3 种干燥方式处理后的卵形鲳鲅鱼干的 K 值均低于 60%, 未出现腐败变质现象, 仍具备食用价值。冷冻干燥可以较好地保持鱼肉的新鲜度, 有效避免鱼肉由于温度上升而导致蛋白质分解变质。

3.2 不同干燥方式对卵形鲳鲅滋味的影响

IMP 为对卵形鲳鲅干制品鲜味贡献最大的呈味核苷酸, 作为 ATP 的分解产物, IMP 对鱼肉的鲜味起着重要作用^[30]。冷冻干燥鱼肉中的 IMP 含量最高, 是新鲜鱼肉 IMP 含量的 1.2 倍, 表明适度的加工有助于 IMP 的形成, 起到增鲜的作用。IMP 含量与鱼肉鲜度密切相关, 但当 IMP 降解为具有腐败气味的 HxR 和 Hx 时, 会使鱼肉鲜度下降^[31]。 Hx 作为 ATP 的最终产物, 其味苦, 呈腐败的哈喇味, 其含量经干燥后均呈现不同程度的增加, 这也反映了 ATP 降解的程度。温度的上升对 ATP 的分解有一定影响, 冷冻干燥鱼肉的 HxR 和 Hx 含量均相对较低, 是因为低温在一定程度上抑制了酶活性和 IMP 降解, 从而减缓了 HxR 和 Hx 的积累, 使冷冻干燥鱼肉保持较好的鲜度, 这与 K 值的结果相一致。AMP 和 GMP 分别具有甜味和鲜味, 并且可以与 IMP 相互作用, 三者协同增鲜^[32], 然而其 TAV 值均小于 1, 说明

二者对卵形鲳鲅干制品的鲜味贡献不大。上述结果表明, 冷冻干燥不仅可以有效保持鱼肉的鲜度, 而且可以增加其 IMP 含量, 提升鱼肉的鲜味。

水产品中游离氨基酸的组成和含量对其呈味有重要影响, 其中呈味氨基酸包括鲜味氨基酸(谷氨酸、天冬氨酸), 甜味氨基酸(苏氨酸、丝氨酸和丙氨酸)和苦味氨基酸(组氨酸、酪氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸和苯丙氨酸)^[33]。热风干燥与热泵干燥鱼肉中总游离氨基酸含量较冷冻干燥高, 主要是由于干燥加工使鱼肉中的水溶性氨基酸随水分蒸出^[34], 相较于冷冻干燥, 热泵干燥与热风干燥由于其环境温度、氧气和湿度等因素, 蛋白质和多肽更易被氨肽酶水解成游离氨基酸, 因此其总游离氨基酸含量较高。按呈味氨基酸的比例, 热风干燥鱼肉与冰鲜鱼肉最为接近。鲜味氨基酸主要是谷氨酸和天冬氨酸, 卵形鲳鲅鱼肉中的鲜味主要来源于谷氨酸, 热风干燥可以促进蛋白质的水解和谷氨酸的生成, 提高鲜味氨基酸含量, 从而提升鱼肉的鲜味。鱼肉中甜味氨基酸主要是丙氨酸, 其与谷氨酸、肌苷酸等呈味物质有协同作用, 是鱼肉甜味的主要贡献者^[35]。而苦味氨基酸对各组鱼肉的苦味贡献不大。综合分析认为, 热泵干燥处理有一定的提鲜作用, 而冷冻干燥鱼肉的甜味有所增益。

3.3 不同干燥方式对卵形鲳鲅挥发性风味的影响

烃类物质是脂肪酸烷氧自由基氧化的产物, 能够赋予水产品清香和甜香的气味, 但其阈值一般较高, 对整体风味贡献较少^[36]。四组卵形鲳鲅鱼肉中均检测出壬烷、十三烷、十四烷和十五烷, 结果与杨欣怡等^[37]的研究结果相似。热风干燥和冷冻干燥鱼肉中 2,6,10,14-四甲基-十五烷的含量明显高于新鲜鱼肉, 其是在烷基自由基的脂质氧化过程中产生的, 具有清新香甜的气味, 有助于增加卵形鲳鲅鱼干的整体呈味^[38]。热风干燥促进鱼肉中的脂肪氧化进程, 有利于 2,6,10,14-四甲基-十五烷风味物质的形成。芳香类化合物的主要来源与苯环氨基酸的氧化降解和脂肪酸氧化产物的二次降解有关^[39]。芳香类挥发性化合物具有较高的稳定性, 干燥方式对芳香类物质在鱼肉中的相对含量影响较少。2,6-二叔丁基-4-苯酚具有抑制油脂氧化的功能, 但由于其阈值较高, 对风味形成的影响较小。醛类物质主要来源于脂肪降解及氧化反应, 由于醛类物质的呈味阈值较低, 是鱼肉

风味形成的主要贡献物质^[40]。新鲜鱼肉中的醛类物质主要是由己醛和庚醛组成,经干燥加工后,热泵干燥鱼肉中己醛和庚醛的含量下降最明显。己醛是由亚油酸自动氧化形成的氢过氧化物断裂后产生的具有青草香味和脂肪味的物质^[41],是水产品中常见的风味物质,但己醛含量过高时会呈现不愉快的酸败气味和刺激性的辛辣味。庚醛具有油脂氧化味,经干燥后鱼肉的庚醛含量均呈下降趋势,热泵干燥鱼肉中的庚醛含量降至未检出状态。苯乙醛为风信子和山楂花香,较低浓度时会呈现水果的甜香气,但其仅在热泵干燥鱼肉中被检出,这可能是微生物酶作用下氨基酸代谢的结果,并可能来源于苯丙氨酸。2,4-庚二烯醛和 2-乙基-2-丁烯醛被证实为鱼肉的典型腥味物质^[42],经干燥处理后两种物质消失,表明干燥处理可以有效减弱鱼肉中的腥味,提升鱼肉的风味。微生物作用下产生的丁酸乙酯可促进鱼腥味的形成,单一的乙酯类物质具有清香气味,但多种乙酯类物质混合就会产生强烈的腥臭味^[43-44]。本实验并未检测出其他乙酯类物质,说明丁酸乙酯对热泵干燥鱼肉的清香味具有一定的贡献。酮类主要来源于多不饱和脂肪酸的氧化、降解以及氨基酸降解,多为脂肪味、焦燃味特殊香气并且有增强腥味的的作用,但由于阈值高而对鱼肉气味贡献小。醇类主要来源于脂肪氧化,可分为不饱和醇与饱和醇,其中不饱和醇的阈值较低,对风味贡献较大,而饱和醇则由于风味阈值较高而对风味影响较小^[45]。不饱和醇类化合物具有蘑菇香气和金属味。1-辛烯-3-醇可作为反映鱼肉脂肪氧化程度的标志物之一^[46],冷冻干燥和热泵干燥鱼肉中的 1-辛烯-3-醇含量均明显低于热风干燥组,可推断这两种干燥方式对鱼肉脂肪氧化的影响较小,能更好地保持卵形鲳鲹干鱼片品质。热风干燥的加工温度较高,在一定程度上促进了脂肪的氧化降解。

综上所述,比较冰鲜鱼肉及三种干燥方式得到的干制品,发现干燥后鱼肉 TBA 值、K 值均有显著上升,但均在安全食用范围之内,具有较高的食用价值。干燥加工可有效去除水产品特有的鱼腥味,增加鱼肉中呈味氨基酸含量,提升鱼片的风味。热泵干燥鱼片的鲜味程度最高;而冷冻干燥能有效延缓鱼肉中脂肪的氧化,适合应用于高脂鱼的干燥加工。本研究为下一步研发卵形鲳鲹轻便干制食品提供了理论和技术依据,也为其他鱼类轻便干制加工提供技术参考。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] 陶文斌, 吴燕燕, 李来好. 养殖大黄鱼保鲜、加工技术现状[J]. 食品工业科技, 2018, 39(11): 339-343.
Tao W B, Wu Y Y, Li L H. Status of processing and preservation technology of breeding *Pseudosciaena crocea*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(11): 339-343 (in Chinese).
- [2] 张海燕, 吴燕燕, 李来好, 等. 鲈鱼保鲜加工技术研究现状[J]. 广东海洋大学学报, 2019, 39(4): 115-122.
Zhang H Y, Wu Y Y, Li L H, et al. Opportunity, status and prospect of bass processing development[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2019, 39(4): 115-122 (in Chinese).
- [3] 吴燕燕, 张涛, 李来好, 等. 不冻液处理对石斑鱼在常温物流过程中的品质和货架期的影响[J]. 水产学报, 2019, 43(12): 2574-2583.
Wu Y Y, Zhang T, Li L H, et al. Effects of unfrozen liquid treatment on the quality and shelf life of grouper in normal temperature direct-sale logistics course[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(12): 2574-2583 (in Chinese).
- [4] 熊添, 吴燕燕, 林婉玲, 等. 即食调味金鲳鱼工艺技术研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(13): 180-186.
Xiong T, Wu Y Y, Lin W L, et al. Study on the technology of instant seasoning *Trachinotus ovatus*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(13): 180-186 (in Chinese).
- [5] 熊添, 吴燕燕, 李来好, 等. 卵形鲳鲹肌肉原料特性及食用品质的分析与评价[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 104-112.
Xiong T, Wu Y Y, Li L H, et al. Material characteristics and eating quality of *Trachinotus ovatus* muscle[J]. Food Science, 2019, 40(17): 104-112 (in Chinese).
- [6] 石慧, 吴燕燕, 胡晓, 等. 灰色关联度法综合评价卵形鲳鲹鱼片不同干制方法的品质差异[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(17): 166-173.
Shi H, Wu Y Y, Hu X, et al. Comprehensive evaluation of quality differences of different drying methods of *Trachinotus ovatus* fillet by grey correlation degree method[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(17): 166-173 (in Chinese).
- [7] 吴佰林, 薛勇, 王玉, 等. 鲛鱼热风干燥动力学及品质

- 变化研究[J]. 食品科技, 2018, 43(10): 174-180.
- Wu B L, Xue Y, Wang Y, *et al.* Study on the kinetics and quality changes of hot air drying of *Scomberomorus niphonius*[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(10): 174-180 (in Chinese).
- [8] 宋小勇, 钟宇, 邓云. 热泵干燥技术的研究现状与发展趋势[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2014, 32(4): 60-66,70.
- Song X Y, Zhong Y, Deng Y. Status and development trend of heat pump drying technique[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science), 2014, 32(4): 60-66,70 (in Chinese).
- [9] 吴燕燕, 石慧, 李来好, 等. 水产品真空冷冻干燥技术的研究现状与展望[J]. 水产学报, 2019, 43(1): 197-205.
- Wu Y Y, Shi H, Li L H, *et al.* Research status and prospects of vacuum freeze-drying technology for aquatic products[J]. Journal of Fisheries of China, 2019, 43(1): 197-205 (in Chinese).
- [10] 陈青云, 施文正, 万金庆, 等. 三种干燥方式对罗非鱼片风味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(16): 323-327,333.
- Chen Q Y, Shi W Z, Wan J Q, *et al.* Effect of three kinds of drying methods on the flavor substances of tilapia fillet[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(16): 323-327,333 (in Chinese).
- [11] 周明珠, 熊光权, 乔宇, 等. 不同干燥方式下鲷鱼片的干燥特性及风味变化[J]. 现代食品科技, 2021, 37(4): 242-251.
- Zhou M Z, Xiong G Q, Qiao Y, *et al.* Drying characteristics and flavor changes of catfish fillets under different drying methods[J]. Modern Food Science & Technology, 2021, 37(4): 242-251 (in Chinese).
- [12] 苗苗. 鱼糜制品贮藏过程中脂肪氧化及其控制技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2016.
- Miao M. Studies on lipid oxidation and its control technology of surimi products during storage and transportation[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2016 (in Chinese).
- [13] 龚玺, 刘源, 王锡昌, 等. 离子对反相高效液相色谱法测定暗纹东方鲀肉中呈味核苷酸[J]. 食品工业科技, 2011, 32(5): 411-414.
- Gong X, Liu Y, Wang X C, *et al.* Ion-pair reversed-phase high performance liquid chromatography method for determination of flavor nucleotides in *Fugu obscurus* muscle[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(5): 411-414 (in Chinese).
- [14] 李娜, 锁然, 许成保, 等. 柱前衍生反相高效液相色谱法测定贝类中氨基酸含量[J]. 食品工业科技, 2011, 32(5): 400-402,406.
- Li N, Suo R, Xu C B, *et al.* Determination of amino acids in shellfish by reversed phase high performance liquid chromatography[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(5): 400-402,406 (in Chinese).
- [15] 郭全友, 张秀洁, 姜朝军. 大黄鱼成鱼养殖阶段滋味物质分析[J]. 现代食品科技, 2019, 35(4): 222-229.
- Guo Q Y, Zhang X J, Jiang C J. Analysis of taste compounds in adult stage of the cultured large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)[J]. Modern Food Science & Technology, 2019, 35(4): 222-229 (in Chinese).
- [16] 李晓瑞, 王梓, 刘贵珊, 等. 组合酶对复合骨素酶解液呈味物质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(22): 50-56.
- Li X R, Wang Z, Liu G S, *et al.* Effects of combined enzymes on flavoring substances of compound osteolysin hydrolysate[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(22): 50-56 (in Chinese).
- [17] 常娅妮, 马俪珍, 杨梅, 等. 开背调味鱼不同储藏温度下的品质变化[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(5): 60-66.
- Chang Y N, Ma L Z, Yang M, *et al.* Quality changes of open-back seasoned fish at different storage temperatures[J]. Storage and Process, 2020, 20(5): 60-66 (in Chinese).
- [18] 王芝妍, 官爱艳, 吕梁玉, 等. 超高压处理对中华管鞭虾虾肉风味的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 156-162.
- Wang Z Y, Guan A Y, Lv L Y, *et al.* Effect of ultra-high pressure (UHP) on the flavor of *Solenocera melantho* meat[J]. Food Science, 2017, 38(18): 156-162 (in Chinese).
- [19] 杨欣怡, 宋军, 赵艳, 等. 网箱海养卵形鲳鲅肌肉中呈味物质分析评价[J]. 食品科学, 2016, 37(8): 131-135.
- Yang X Y, Song J, Zhao Y, *et al.* Analysis and evaluation of flavor components in meat of sea cage-cultured *Trachinotus ovatus*[J]. Food Science, 2016, 37(8): 131-135 (in Chinese).
- [20] Sun W Z, Cui C, Zhao M M, *et al.* Effects of composition and oxidation of proteins on their solubility, aggregation and proteolytic susceptibility during processing of

- Cantonese sausage[J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(1): 336-341.
- [21] 顾赛麒, 张晨超, 张月婷, 等. 舟山渔场三种海鱼冰藏过程中品质和风味的变化[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(11): 244-251.
- Gu S Q, Zhang C C, Zhang Y T, *et al.* Quality and flavor changes of three kinds of marine fish in Zhoushan fishing ground during ice storage[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(11): 244-251 (in Chinese).
- [22] 王奕芳, 周容, 张明春, 等. 白酒中重要的功能化合物吡嗪的研究进展[J]. *酿酒*, 2018, 45(6): 20-24.
- Wang Y F, Zhou R, Zhang M C, *et al.* Research progress in important function pyrazine compounds in Baijiu (Chinese liquor)[J]. *Liquor Making*, 2018, 45(6): 20-24 (in Chinese).
- [23] 范梦蝶, 王天泽, 杜文斌, 等. 山西老陈醋晾晒前、后挥发性香味物质比较分析[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(12): 229-242.
- Fan M D, Wang T Z, Du W B, *et al.* Comparison of volatile flavor compounds in Shanxi aged vinegar before and after aging[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(12): 229-242 (in Chinese).
- [24] 吴建峰. 白酒中四甲基吡嗪全程代谢机理研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- Wu J F. Study on the biosynthesis mechanism of tetramethylpyrazine during the Chinese liquor brewing[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2013 (in Chinese).
- [25] 秦晓. 养殖暗纹东方鲀风味物质鉴定分析 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
- Qin X. Characterization of flavor substances of farmed *Takifugu obscurus*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015 (in Chinese).
- [26] 陈媚依, 杨宏. 鹧鸪茶提取物对鲢鱼鱼糜制品保鲜作用的研究[J]. *食品科技*, 2020, 45(11): 131-137.
- Chen M Y, Yang H. Effects of extract of *Mallotus oblongifolius* on the preservation of carp surmise products[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(11): 131-137 (in Chinese).
- [27] 高瑞昌, 袁丽, 刘伟民, 等. 热泵冷风干燥鲢鱼的挥发性盐基氮和脂质氧化品质模型[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(23): 227-232.
- Gao R C, Yuan L, Liu W M, *et al.* Modeling of total volatile basic nitrogen and thiobarbituric acid of silver carp dried in cold-air dryer with heat pump[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(23): 227-232 (in Chinese).
- [28] Jia S L, Liu Y M, Zhuang S, *et al.* Effect of ϵ -polylysine and ice storage on microbiota composition and quality of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) stored at 0 °C[J]. *Food Microbiology*, 2019, 83: 27-35.
- [29] 吴奇子, 陈雪, 刘欢, 等. 不同贮藏温度条件下鲈鱼货架期预测模型的构建[J]. *食品科学*, 2015, 36(22): 232-236.
- Wu Q Z, Chen X, Liu H, *et al.* Predictive modelling of shelf life for *Scomber japonicus* stored at different temperatures[J]. *Food Science*, 2015, 36(22): 232-236 (in Chinese).
- [30] Mohan C O, Ravishankar C N, Gopal T K S, *et al.* Nucleotide breakdown products of seer fish (*Scomberomorus commerson*) steaks stored in O₂ scavenger packs during chilled storage[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2009, 10(2): 272-278.
- [31] 蓝蔚青, 胡潇予, 李诗慧, 等. 冷藏处理方式对大目金枪鱼贮藏品质及内源酶活性的影响[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(2): 237-247.
- Lan W Q, Hu X Y, Li S H, *et al.* Effect of refrigerated treatment methods on the quality change and endogenous enzyme activity of big-eye Tuna (*Thunnus obesus*)[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(2): 237-247 (in Chinese).
- [32] 伍彬, 章超桦, 吉宏武, 等. 南美白对虾虾头自溶产物主要呈味成分分析[J]. *食品科学*, 2010, 31(10): 184-187.
- Wu B, Zhang C H, Ji H W, *et al.* Analysis of taste-active components of autolysate of *Litopenaeus vannamei* shrimp head[J]. *Food Science*, 2010, 31(10): 184-187 (in Chinese).
- [33] 陈剑岚, 方林, 施文正, 等. 季节对草鱼肉滋味和鲜度的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(19): 31-35.
- Chen J L, Fang L, Shi W Z, *et al.* Effect of different seasons on freshness and taste of grass carp meat[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(19): 31-35 (in Chinese).
- [34] 吴燕燕, 曹松敏, 李来好, 等. 蓝圆鲹腌干工艺中组织蛋白酶与游离氨基酸和滋味形成的关系[J]. *食品科学*, 2018, 39(4): 13-19.
- Wu Y Y, Cao S M, Li L H, *et al.* Relationship of cathepsin and free amino acids and taste formation in the dry-cured *Lateolabrax japonicus* [J]. *Food Science*, 2018, 39(4): 13-19.

- sin with free amino acids and flavor substances during salted *Decapterus maruadsi* processing[J]. [Food Science](#), 2018, 39(4): 13-19 (in Chinese).
- [35] 陈小雷, 胡王, 马朝彬, 等. 丁香油对蟹黄鲜虾酱贮藏品质的影响[J]. 渔业科学进展, 2020, 41(6): 181-191.
Chen X L, Hu W, Ma C B, *et al.* Effects of clove oil on storage quality of crab cream and shrimp sauce[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(6): 181-191 (in Chinese).
- [36] 麦雅彦, 杨锡洪, 连鑫, 等. SDE/GC-MS测定南美白对虾的挥发性香气成分[J]. 现代食品科技, 2014, 30(1): 206-210.
Mai Y Y, Yang X H, Lian X, *et al.* Determination of volatile aroma compounds of *Litopenaeus vannamei* by SDS/GC-MS[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(1): 206-210 (in Chinese).
- [37] 杨欣怡, 杜雪莉, 张风桦, 等. 网箱海养卵形鲳鲹肌肉挥发性风味成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(1): 218-224.
Yang X Y, Du X L, Zhang F P, *et al.* Analysis of volatile flavor compounds in sea-cage cultured *Trachinotus ovatu* muscles[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, 43(1): 218-224 (in Chinese).
- [38] 王珏, 林亚楠, 马旭婷, 等. 鲈鱼干制过程中风味物质及风味活性物质分析[J]. 中国食品学报, 2019, 19(9): 269-278.
Wang J, Lin Y N, Ma X T, *et al.* Analysis of volatile compounds and odor-active compounds in dried mackerel[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(9): 269-278 (in Chinese).
- [39] Xie J C, Sun B G, Zheng F P, *et al.* Volatile flavor constituents in roasted pork of mini-pig[J]. [Food Chemistry](#), 2008, 109(3): 506-514.
- [40] 王琦, 岳大鹏, 王然然, 等. 风干金鲳鱼制品加工过程中脂质氧化和挥发性成分的变化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 54-60.
Wang Q, Yue D P, Wang R R, *et al.* Changes of lipid-oxidation and volatile compounds of air-dried golden pomfret during processing[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(1): 54-60 (in Chinese).
- [41] 张晶晶, 梁萍, 施文正, 等. 不同冷藏期鲳鱼及草鱼气味变化分析[J]. [食品科学](#), 2016, 37(20): 31-36.
Zhang J J, Liang P, Shi W Z, *et al.* Changes in volatile compounds of pomfret and grass carp during different storage periods[J]. [Food Science](#), 2016, 37(20): 31-36 (in Chinese).
- [42] 赵凤, 许萍, 曾诗雨, 等. 鲟鱼传统发酵过程中挥发性风味物质的分析评价[J]. [食品科学](#), 2019, 40(10): 236-242.
Zhao F, Xu P, Zeng S Y, *et al.* Analysis of volatile compounds in fermented sturgeon[J]. [Food Science](#), 2019, 40(10): 236-242 (in Chinese).
- [43] Parlapani F F, Mallouchos A, Haroutounian S A, *et al.* Microbiological spoilage and investigation of volatile profile during storage of sea bream fillets under various conditions[J]. [International Journal of Food Microbiology](#), 2014, 189: 153-163.
- [44] Mikš-Krajnik M, Yoon Y J, Ukuku D O, *et al.* Volatile chemical spoilage indexes of raw Atlantic salmon (*Salmo salar*) stored under aerobic condition in relation to microbiological and sensory shelf lives[J]. [Food Microbiology](#), 2016, 53: 182-191.
- [45] 陈怡颖, 张玥琪, 孙颖, 等. 鸡肉及其酶解液挥发性风味成分的对比分析[J]. 精细化工, 2015, 32(4): 426-433.
Chen Y Y, Zhang Y Q, Sun Y, *et al.* Comparison of volatile compounds in chicken and enzymatic hydrolysate[J]. *Fine Chemicals*, 2015, 32(4): 426-433 (in Chinese).
- [46] Fratini G, Lois S, Pazos M, *et al.* Volatile profile of Atlantic shellfish species by HS-SPME GC/MS[J]. [Food Research International](#), 2012, 48(2): 856-865.

Effects of different drying methods on the flavor of *Trachinotus ovatus* fillets

WU Yanyan^{1,2*}, CHEN Qian^{1,2}, SHI Hui^{1,2}, WEI Ya², WANG Yueqi²

(1. College of Food Sciences and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Key Lab of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300, China)

Abstract: In order to explore the difference in flavor of dried *Trachinotus ovatus* fillets with different drying methods, chilled *T. ovatus* fillets were selected as raw materials in this study. Three drying methods were applied in the drying process, including hot air drying, heat pump drying, and freeze drying and the TBA value, nucleotide content, free amino acid content, and volatile flavor substances were measured and analyzed. The results were compared between different drying method groups and the chilled fish group. The results showed that the TBA value and K value of the *T. ovatus* fillets increased significantly after drying. The TBA value of freeze dried fish was only 1.6 times higher than that of chilled fish fillets, but heat pump drying and hot air drying increased the figure by 5.5 and 4.5 times respectively. After drying, the total free amino acid content and MSG equivalent of the fish were significantly lower than those of the chilled fish fillets. The MSG equivalent of hot air dried fish has dropped by 50.83%. The bitter amino acid content and the umami amino acid content in the heat pump dried fish accounted for 19.11% and 7.37% of the total amino acid content, respectively. Among the three drying methods, the MSG equivalent of 4.47 g MSG/100 g of heat pump dried *T. ovatus* fillets is the highest, indicating that the heat pump dried *T. ovatus* fillets has the highest umami degree. In terms of volatile flavor components, heat pump dried fish contains more esters and ketones, which mainly present the flavors of fruits and roasted nuts. In hot air dried fish, the relative content of hydrocarbons and aromatics is about 70%, and the relative content of aldehydes and esters is 20%. In freeze dried fish, the relative content of hydrocarbons and aromatics accounted for more than 90% of the total, and the aldehyde and esters are less than 8%, so its flavor is relatively weak. In summary, the *T. ovatus* fillets processed by three drying methods had good eating quality. Among them, heat pump drying makes the umami taste in the fish more obvious. Freeze drying can effectively inhibit the oxidation of fat and is more suitable for the fish with high fat content. This provides a technical reference for the processing of light and dry food for the *T. ovatus*.

Key words: *Trachinotus ovatus*; hot air drying; heat pump drying; freeze drying; taste nucleotides; free amino acids; volatile components

Corresponding author: WU Yanyan. E-mail: wuyygd@163.com

Funding projects: China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-47); National Key R & D Program of China (2019YFD0901903); Guangdong Basic and Applied Basic Research Foundation (2019A1515111158)