

## 青田鲤鱼汤风味和滋味特性的分析

桂美娇, 栗紫慧, 韩梦丽, 宋震皓, 施文正, 徐冠洪, 曲映红

### Analysis of Flavor and Taste Characteristics of Qingtian Carp Soup

GUI Meijiao, LI Zihui, HAN Mengli, SONG Zhenhao, SHI Wenzheng, XU Guanhong, and QU Yinghong

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024070147>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

电子鼻和气相离子迁移谱技术比较瓮臭味及正常红酸汤的风味差异

Analysis on the Flavor Difference of Red Sour Soup Including Urn Odor and Normal Flavor Samples with Electronic Nose and Gas Chromatography-Ion Mobility Spectroscopy

食品工业科技. 2020, 41(14): 216-221,227 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.14.035>

基于电子鼻、气相-离子迁移谱 (GC-IMS) 法分析广西螺蛳粉与螺蛳鸭脚煲风味

Analysis of the Flavor of Guangxi Luosi-Noodle and Luosi-Hot-Pot by Electronic Nose and Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry (GC-IMS)

食品工业科技. 2021, 42(9): 281-288 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070197>

基于气相-离子迁移谱对竹燕窝菌汤风味成分的分析

Analysis of Volatile Flavor Constituents in Bamboo Bird's Nest Soups with Headspace-Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry

食品工业科技. 2020, 41(23): 8-14,24 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020050191>

基于气相色谱-离子迁移谱和电子鼻技术分析制坯方式对三华李果坯挥发性成分的影响

Effects of Billet-Making Methods on Volatile Flavor Components of Sanhua Plum Fruit Billets Based on Headspace-Gas Chromatography-Ion Mobility Spectroscopy and Electronic Nose

食品工业科技. 2023, 44(23): 253-261 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023010024>

基于电子鼻和顶空气相色谱-离子迁移谱分析不同干燥方式对羊肚菌挥发性化合物的影响

Analysis the Effects of Different Drying Methods on the Volatile Compounds in *Morchella esculenta* Based on Electronic Nose and Headspace Gas Chromatography-Ion Mobility Spectrometry

食品工业科技. 2024, 45(7): 261-269 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023050088>

基于GC-IMS和电子鼻分析牛肉腐败进程中挥发性风味物质的变化

Changes of Volatile Flavor Substances of Beeves in Spoilage Process Based on Gas Chromatography Ion Mobility Spectrometry and Electronic Nose

食品工业科技. 2024, 45(11): 235-244 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023070121>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

桂美娇, 栗紫慧, 韩梦丽, 等. 青田鲤鱼汤风味和滋味特性的分析 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(12): 296–303. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024070147

GUI Meijiao, LI Zihui, HAN Mengli, et al. Analysis of Flavor and Taste Characteristics of Qingtian Carp Soup[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(12): 296–303. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2024070147

· 分析检测 ·

# 青田鲤鱼汤风味和滋味特性的分析

桂美娇<sup>1</sup>, 栗紫慧<sup>1</sup>, 韩梦丽<sup>1</sup>, 宋震皓<sup>1</sup>, 施文正<sup>1,2</sup>, 徐冠洪<sup>3</sup>, 曲映红<sup>1,\*</sup>

(1.上海海洋大学食品学院, 上海 201306;

2.国家淡水水产品加工技术研发分中心(上海), 上海 201306;

3.青田愚公农业科技有限公司, 浙江丽水 323900)

**摘要:** 在传统的鱼汤制作中, 鲤鱼因其土腥味重, 肉质不佳不常作为鱼汤的制作原料, 青田鲤鱼采用稻田养殖法, 土腥味淡, 鳞软可食, 常用来制作汤品。为探究青田鲤鱼汤(田鱼汤)的风味特性, 寻求最佳的熬煮时间节点以获得最佳风味, 分别采用全自动氨基酸分析仪、高效液相色谱法、气相色谱-离子迁移色谱(gas chromatography-ion mobility spectrometry, GC-IMS)、电子鼻等测定汤中总固形物、游离氨基酸、呈味核苷酸和挥发性化合物的变化, 并结合感官评价, 与传统黑鱼汤进行对比。结果表明, 田鱼汤在煮制时间为 50 min 前的总固形物含量要高于黑鱼汤, 天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸等鲜甜味氨基酸在煮制过程中, 呈现上升趋势, 总游离氨基酸含量与黑鱼汤相当。继续煮制, 黑鱼汤的含量高于田鱼汤, 但苦味物质含量增多, 不利于整体滋味的呈现。同时, 田鱼汤中的主要呈味核苷酸为 GMP, 与黑鱼汤中的主要呈味核苷酸 IMP 相比, 前者鲜味更加突出。电子鼻的结果表明, 与黑鱼汤在 20~70 min 内逐渐增加的气味属性强度相比, 田鱼汤的气味属性强度在煮制 20~40 min 时变化明显, 50 min 时后趋于稳定, 说明合适的煮制时间对田鱼汤的气味影响更大。通过 GC-IMS 能够分别鉴定出田鱼汤和黑鱼汤中的 41 和 46 种风味化合物, 其变化在煮制 60 min 后趋于稳定。两者都含有酯类和醛类, 主要区别在于前者中酚类物质种类更多, 且鱼腥味物质含量少, 更容易被消费者接受, 而后者则含有的更多的酮类物质。综合分析, 熬煮时间在 50~60 min 时最有利于两种鱼汤中风味物质的析出和整体口感的协调, 与黑鱼汤的对比表明, 田鱼汤同样适宜于制作汤品。本研究为改善田鱼汤的风味提供了新的视角, 为鱼汤的品种提供了新的选择。

**关键词:** 田鱼汤, 黑鱼汤, 气相色谱-离子迁移色谱, 电子鼻, 风味特征

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)12-0296-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2024070147



本文网刊:

## Analysis of Flavor and Taste Characteristics of Qingtian Carp Soup

GUI Meijiao<sup>1</sup>, LI Zihui<sup>1</sup>, HAN Mengli<sup>1</sup>, SONG Zhenhao<sup>1</sup>, SHI Wenzheng<sup>1,2</sup>, XU Guanhong<sup>3</sup>, QU Yinghong<sup>1,\*</sup>

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

2.National R & D Branch Center for Freshwater Aquatic Products Processing Technology (Shanghai),

Shanghai 201306, China;

3.Qingtian Yugong Agricultural Science and Technology Co., Ltd., Lishui 323900, China)

**Abstract:** In traditional fish soup preparation, carp was rarely used as a raw material due to its strong earthy flavor and poor meat quality. However, Qingtian carp, cultivated through the paddy field farming method, exhibits a mild earthy flavor and soft edible scales, making it suitable for soups. To explore the flavor characteristics of Qingtian carp soup (field fish soup) and determine the optimal simmering time for peak flavor, changes in total solids, free amino acids, flavor nucleotides, and volatile compounds were analyzed using an amino acid analyzer, HPLC, GC-IMS, and electronic nose, combined with sensory evaluation (compared to traditional blackfish soup). Results indicated that the total solids content of field fish soup

收稿日期: 2024-07-15

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD2100902)。

作者简介: 桂美娇(2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产品加工, E-mail: xiaomei2333167@163.com。

\* 通信作者: 曲映红(1969-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工, E-mail: yhq@shou.edu.cn。

exceeded that of blackfish soup before 50 min of cooking. Freshness-related amino acids (aspartic acid, glutamic acid, glycine, and alanine) increased during cooking, with total free amino acid content comparable to blackfish soup. Prolonged cooking (>50 min) led to higher solids in blackfish soup but increased bitterness, negatively impacting flavor. The dominant flavor nucleotide in field fish soup was GMP (vs. IMP in blackfish soup), enhancing its umami profile. Electronic nose analysis revealed that odor intensity in field fish soup stabilized after 50 min, whereas blackfish soup attributes gradually increased (20~70 min). GC-IMS identified 41 volatile compounds in field fish soup and 46 in blackfish soup, both rich in esters and aldehydes. Field fish soup contained more phenolic compounds (preferred by consumers) and fewer fishy substances, while blackfish soup had higher ketone levels. A simmering time of 50~60 min optimizes flavor substance release and taste harmony in both soups. Qingtian carp demonstrates comparable suitability to blackfish for soup production, offering a novel option for diversifying fish soup varieties. This study provides practical insights for improving field fish soup flavor.

**Key words:** crap soup; snakehead fish soup; gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS); electronic nose; flavor characteristic

鱼汤制作简单,营养丰富,接受度高,并且能够满足咀嚼能力有所下降的老年人的营养需求<sup>[1]</sup>。鱼的种类不同,鱼汤的营养价值及风味会有很大的差异。鲤鱼(*Cyprinus carpio*)是世界上养殖最大、最重要的淡水鱼品种之一<sup>[2]</sup>,但因其口感较差,一般不是制作汤品的首选,而青田养殖的鲤鱼肉质细嫩鲜美,土腥味很淡,除红烧外,也常作为鱼汤的原料。黑鱼(*Channa argus*),一种凶猛的肉食性淡水鱼,与其他淡水鱼相比,具有产肉量高、富含蛋白质、赖氨酸和微量元素锌,且拥有较高的抗氧化活性等优点<sup>[3]</sup>,因此常用来制作汤品。据《2024年中国渔业统计年鉴》可知,2023年鲤鱼养殖产量高达2873211吨,而黑鱼的养殖产量也达到605438吨,两者的高产量也为后续研究及开发利用提供了广阔的空间。

稻鱼养殖系统是一个资源组合系统,它是农业与水产养殖有机结合的生产模式,已运用在黄鲷鱼<sup>[4]</sup>、鲤鱼<sup>[5]</sup>、鲈鱼<sup>[6]</sup>等品种上。在这种养殖系统下,不仅可以提供优质的鲤鱼和绿色安全的水稻,还可以在很大程度上降低温室气体的排放量和稻田化肥、农药的使用<sup>[4]</sup>。已有研究表明,稻田养鱼模式下,鲤鱼的粗脂肪积累及总体脂肪酸的比例更有利于人体心血管健康<sup>[7]</sup>,而青田县的青田相较于一般稻田,实现了免农药、免施肥的养殖措施,对鱼肉的品质会有很大的提升。在煮制过程中,鲤鱼存在的腥味物质会在一定程度上影响鱼汤的风味<sup>[8]</sup>。风味常被作为评估汤的质量的一个重要属性,而原料和辅料的选择往往决定了汤的风味成分,从而影响了汤的整体风味<sup>[1]</sup>。

煮制过程中游离氨基酸、还原糖、不饱和脂肪酸等非挥发性化合物会逐步溶解在汤中,从而赋予汤一定的滋味,同时,醛、醇、酮等挥发性化合物也通过美拉德反应和脂肪酸氧化释放出来<sup>[9]</sup>,而如何选择煮制的时间,最大化把握挥发性和非挥发性化合物溶解到汤中的时机,是影响鱼汤风味的重要因素。Lai等<sup>[10]</sup>和Meng等<sup>[11]</sup>在骨汤的熬制过程中发现,当熬制时间达到7h后,汤中的营养物质和风味化合物浓度到达最大值后会逐渐降低,Guan等<sup>[12]</sup>在鸡骨架的

煮制过程中同样发现了该规律。因此,合适的熬煮时间,有助于汤中营养溶解和风味形成之间达到适当平衡<sup>[11]</sup>。

本研究探究了不同熬煮时间对稻田鲤鱼汤中挥发性和非挥发性风味物质变化的影响,并与传统黑鱼汤进行比较。研究结果将为青田鱼有效利用以及营养汤的风味调节奠定一定的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

青田鲤鱼 青田愚公农业科技有限公司提供;黑鱼 上海浦东新区当地水产品市场,每尾鱼质量为(1100±200)g,长约(20±5)cm;三氯乙酸、氢氧化钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、高氯酸等 均为分析纯,上海高信化玻仪器有限公司。

FSH-2A 可调高速均质机 江苏省常州苏瑞仪器有限公司;Flavor Spec®气相色谱-离子迁移谱联用仪 德国G.A.S公司;FOX-4000 气味指纹分析仪(电子鼻,E-nose) 法国Alpha M.O.S公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 鱼汤的制备 鱼去除内脏、鱼头、鱼尾,清洗干净,控干水分,取400g鱼块,加油15mL煎制并加入黄酒10mL,3min后加水1600mL及五香粉1g、葱10g、姜3g、盐7g,微沸后计时,并于20、30、40、50、60、70min时取样,两种鱼汤制作方法皆如上所示。

1.2.2 总固形物含量的测定 参考Guan等<sup>[12]</sup>的方法并稍加修改,称取鱼汤10.00mL,加去离子水定容至100mL。吸取稀释液5mL于已烘至恒重( $m_0$ )的称量瓶中,100℃干燥箱烘6h。取出,放入干燥器中冷却至室温,称重,再干燥0.5h,再称重,直至两次称量误差小于0.001g,即为恒重( $m$ )。总固形物含量的计算公式如下所示:

$$\rho = \frac{m - m_0}{10} \times 100 \times 5$$

式中: $\rho$ 为总固形物含量,g/100mL; $m$ 为恒重后

总固形物和称量瓶的质量, g;  $m_0$  为称量瓶的质量, g。

1.2.3 呈味核苷酸的测定 参考 Wang 等<sup>[13]</sup> 的方法并稍作修改, 取 5 mL 样品, 加入 15 mL 5% 高氯酸溶液进行均质, 然后在 4 °C、10000 r/min 条件下离心 10 min, 取上清液, 沉淀重复上述操作, 将 2 次离心所得上清液合并。用 5 mol/L 氢氧化钾调节上清液的 pH 至 6.5, 超纯水定容至 50 mL 后用 0.22 μm 滤膜过滤, 然后进行高效液相色谱测定。

1.2.4 游离氨基酸的测定 根据 Yu 等<sup>[14]</sup> 的方法并稍作修改。将 3 mL 样品与 15 mL 三氯乙酸溶液 (15% w/w) 进行匀浆 1 min, 静置 2 h 后, 10000 r/min 离心 15 min, 过滤。取上清液 5 mL, NaOH 溶液 (3 mol) 调节 pH 至 2.0, 并用超纯水迅速定容至 10 mL, 过 0.22 μm 水相膜待测。每组样品平行测定三次。操作过程保持在 4 °C 以下。

1.2.5 电子鼻的测定 参考 Yang 等<sup>[15]</sup> 的方法并稍作修改, 准确吸取 2 mL 样品于电子鼻自动进样瓶中。样品温度 60 °C, 孵育时间 15 min。顶空产生参数: 产生时间为 500 s, 搅动速率 500 r/min。顶空注射参数: 注射体积 2400 μL; 注射速率 2400 μL/s。每组样品重复测定 5 次。

1.2.6 GC-IMS 的测定 参考 Lü 等<sup>[1]</sup> 的方法并稍作修改, 取样 2 mL 置于 20 mL 顶空瓶中, 孵育温度 60 °C, 孵育时间 20 min, 孵化转速为 500 r/min, 自动取样, 进样量 500 μL, 针温 85 °C。

GC 条件: 色谱柱 MXT-WAX (30 m×0.53 mm, 1 μm), 柱温: 60 °C, 载气为 N<sub>2</sub> (≥99.999%)。初始流速为 2.0 mL/min, 保持 2 min; 8 min 内升至 10 mL/min; 10 min 内升至 100 mL/min 并保持 10 min。运行时间 30 min, 离子迁移谱检测温度为 85 °C, 漂移气为 N<sub>2</sub>。

1.2.7 感官评价 对鱼汤样品的感官评估由 20 名富有经验的小组成员 (10 名男性和 10 名女性) 进行。采用 10 分制给出每个感官属性的感官评分 (表 1), 然后根据各自的权重 (鲜味 30%、苦味 10%、气 20%、颜色 10%、丰富度 30%) 计算得出总评分。

### 1.3 数据处理

所有的实验都进行了三次重复评价, 采用 SPSS27.0 对数据进行分析, 结果以均数和标准差 (SD) 表示。采用单因素方差分析 (ANOVA) 以  $P < 0.05$  表示差异显著。图表由 Origin2021 以及

GC-IMS 仪器自带的 Laboratory Analytical Viewer (LAV) 分析软件绘制, GC-IMS Library Search 软件内置的 NIST 数据库和 IMS 数据库对挥发性成分进行定性分析并绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种鱼汤的总固形物含量分析

总固形物含量是指可溶性固形物与不溶性固形物含量之和, 通常用来衡量干燥物质或食品中除去水分后剩余的物料量等, 可用于决定某些食品的稳定性<sup>[16]</sup>。可溶性固形物主要来源于氨基酸、矿物质、糖原、维生素等可溶性物质, 在煮制过程中, 汤中的可溶性固形物会逐步从肉、骨等组织中释放出来<sup>[11]</sup>。随着熬煮时间的增加, 两种鱼汤的总固形物的含量均逐步增加 (图 1), 说明两者的营养物质及风味物质等正在逐步溶解, 且田鱼汤前期的溶解程度要高于黑鱼汤, 当熬煮时间达到 50 min 后, 田鱼汤的总固形物含量增长趋势减慢, 60 min 时趋于稳定, 而黑鱼汤熬煮 20~50 min 时, 固形物含量上升缓慢 ( $P > 0.05$ ), 熬煮 50~70 min 时, 固形物含量显著上升 ( $P < 0.05$ ), 且总含量高于田鱼汤。

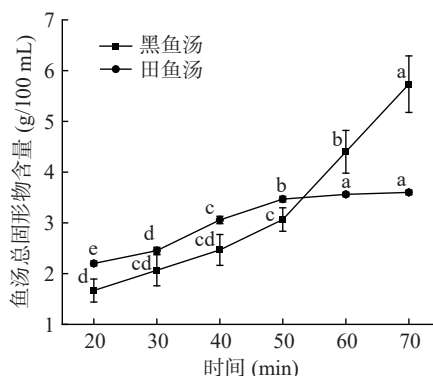


图 1 不同熬煮时间对两种鱼汤总固形物含量的影响

Fig.1 Effects of different simmering time on total solids content of two types of fish stock

注: 不同小写字母表示两种鱼汤各自不同熬煮时间之间的差异显著 ( $P < 0.05$ ), 图 2 同。

### 2.2 两种鱼汤的呈味核苷酸分析

呈味核苷酸是水产品重要的呈味物质, 尤其是 GMP、IMP 和 AMP 等能够提供鲜味和甜味, 并与游离氨基酸协同作用, 改善鲜味<sup>[17]</sup>。图 2 展示了这些呈味核苷酸在煮制过程中所产生的变化, 黑鱼汤在熬煮 20~60 min 内核苷酸含量显著上升 ( $P < 0.05$ ),

表 1 两种鱼汤的感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria of two types of fish soup

项目	0~3分	4~6分	7~10分
鲜味(30%)	鲜味不突出	具有轻微的鲜味	鲜味适中
苦味(10%)	苦味突出	具有轻微苦味	苦味适中
气味(20%)	香气不突出, 鱼腥味较重	香气一般, 整体气味不协调, 无腥味	香气浓郁, 整体气味协调, 无腥味
颜色(10%)	鱼汤呈现棕色	鱼汤呈现浅黄色	鱼汤呈现奶白色
丰富度(30%)	滋味较差, 口感不协调, 过咸或有异味	滋味一般, 口感较协调, 咸鲜一般, 无异味	滋味醇厚, 口感协调, 鲜味融合, 咸度适中

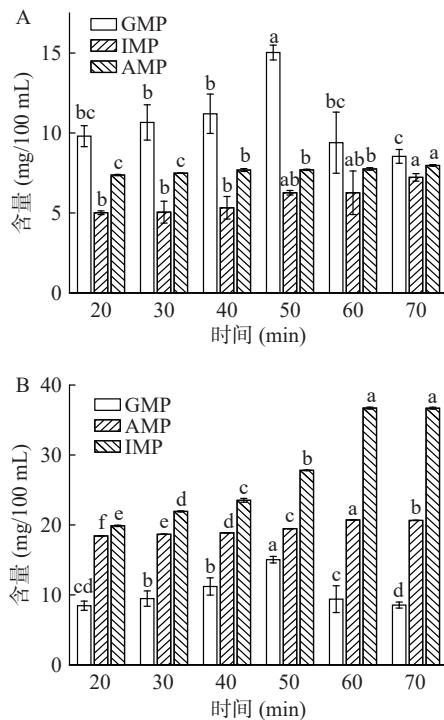


图 2 不同熬煮时间对田鱼汤(A)及黑鱼汤(B)呈味核苷酸含量的影响

Fig.2 Effects of different simmering times on the flavor-presenting nucleotide content of tianyu broth (A) and blackfish broth (B)

60 min 后核苷酸含量变化不显著( $P>0.05$ )。IMP 单独存在时没有任何鲜味,但与谷氨酸钠(即味精)相互作用可以使人们对鲜味的敏感度增加数倍<sup>[18]</sup>; AMP 可以抑制苦味,产生令人愉悦的甜味与咸味,但当其单独存在时对鲜味没有促进作用<sup>[19]</sup>,与 IMP 的协同作用时对鱼肉的鲜味有很大贡献,故黑鱼汤中 IMP 和 AMP 等呈味核苷酸含量的增加,使黑鱼汤鲜

味增加。单个核苷酸对风味的贡献如下: GMP>IMP>AMP, GMP 的鲜味强度大约是 IMP 的 3~4 倍<sup>[20]</sup>。一般认为,含量最高的核苷酸为 IMP,黑鱼汤中 IMP 的含量确实也印证了这一点,而在田鱼汤中含量最高的为 GMP,在田鱼汤中,熬煮 50 min 时 GMP 含量最高,IMP 和 AMP 在 70 min 时含量最高。熬煮过程中,呈味核苷酸会发生热降解以及美拉德反应,导致其浓度在达到最大值后下降,这点与骨汤的熬制过程有相似之处<sup>[11]</sup>。田鱼汤中含量最多的呈味核苷酸是 GMP,其次是 AMP。说明在田鱼汤中的鲜味物质含量丰富,这一点从总固形物的含量中可以得到印证。

### 2.3 两种鱼汤的游离氨基酸分析

不同的氨基酸由于其不同的结构会形成不同的味道,因此鱼肉中所含氨基酸的种类和含量的不同,会造成鱼汤滋味的差异性<sup>[21]</sup>。对于汤中游离氨基酸的来源有两种推测,一种是从鱼肉中流入汤中的原始游离氨基酸,另一种是由于氨基肽酶对蛋白质和多肽的降解<sup>[22]</sup>。

对黑鱼汤在熬煮过程中游离氨基酸含量的变化(表 2)进行分析。随着熬煮时间的延长,游离氨基酸总体呈不断上升的趋势,其中天冬氨酸、甘氨酸、组氨酸分别属于鲜味氨基酸、甜味氨基酸及苦味氨基酸,其含量均在熬煮过程中不断上升,且在熬煮 60 min 后高于阈值,对黑鱼汤的滋味具有较大贡献,组氨酸虽然属于苦味氨基酸,但有研究表明组氨酸与某些水产品的“肉香味”有关联<sup>[23]</sup>,可能会增添鱼汤的肉香味。

田鱼汤中的游离氨基酸变化与黑鱼汤具有一定的差异,可以看出,随着熬煮时间的增加,各种游离氨基酸的含量总体上同样呈现上升趋势, Meng 等<sup>[11]</sup>在

表 2 不同熬煮时间下两种鱼汤中游离氨基酸含量的变化

Table 2 Changes of free amino acid contents in two kinds of fish broths at different simmering times

种类	阈值 <sup>[13]</sup> (mg/100 g)	黑鱼汤(mg/100 mL)						田鱼汤(mg/100 mL)					
		20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	70 min
Asp	3	0.97±0.11 <sup>f</sup>	1.45±0.02 <sup>e</sup>	1.82±0.02 <sup>d</sup>	2.57±0.02 <sup>c</sup>	4.41±0.20 <sup>b</sup>	5.48±0.28 <sup>a</sup>	2.18±0.04 <sup>d</sup>	1.97±0.12 <sup>d</sup>	2.14±0.02 <sup>d</sup>	3.08±0.02 <sup>c</sup>	3.88±0.28 <sup>b</sup>	4.72±0.29 <sup>a</sup>
Thr	260	4.40±45.49 <sup>e</sup>	5.95±0.06 <sup>d</sup>	6.78±0.02 <sup>d</sup>	8.87±0.06 <sup>c</sup>	13.90±0.70 <sup>b</sup>	16.48±0.82 <sup>a</sup>	2.37±0.05 <sup>c</sup>	2.32±0.14 <sup>c</sup>	3.51±0.02 <sup>d</sup>	4.83±0.03 <sup>c</sup>	5.81±0.42 <sup>b</sup>	6.8±0.42 <sup>a</sup>
Ser	150	2.21±0.24 <sup>e</sup>	3.32±0.05 <sup>d</sup>	4.09±0.02 <sup>d</sup>	5.74±0.03 <sup>c</sup>	9.64±0.47 <sup>b</sup>	11.85±0.58 <sup>a</sup>	2.27±0.04 <sup>d</sup>	2.15±0.12 <sup>d</sup>	2.36±0.01 <sup>d</sup>	3.45±0.03 <sup>c</sup>	4.47±0.31 <sup>b</sup>	5.44±0.34 <sup>a</sup>
Glu	30	5.06±0.62 <sup>e</sup>	6.51±0.05 <sup>de</sup>	7.76±0.01 <sup>d</sup>	10.62±0.08 <sup>c</sup>	17.81±0.82 <sup>b</sup>	21.87±1.06 <sup>a</sup>	3.4±0.07 <sup>d</sup>	3.22±0.18 <sup>d</sup>	3.53±0.02 <sup>d</sup>	5.13±0.03 <sup>c</sup>	6.66±0.45 <sup>b</sup>	8.1±0.50 <sup>a</sup>
Gly	130	25.96±2.43 <sup>e</sup>	38.97±0.66 <sup>d</sup>	47.21±0.20 <sup>d</sup>	65.52±0.23 <sup>c</sup>	108.66±5.61 <sup>b</sup>	131.91±6.12 <sup>a</sup>	26.8±7.59 <sup>b</sup>	11.8±0.66 <sup>b</sup>	55.25±8.42 <sup>d</sup>	19.91±0.12 <sup>b</sup>	26.25±1.85 <sup>b</sup>	49.85±8.78 <sup>a</sup>
Ala	60	9.22±1.03 <sup>e</sup>	13.85±0.17 <sup>d</sup>	17.03±0.03 <sup>d</sup>	23.62±0.15 <sup>c</sup>	39.92±1.97 <sup>b</sup>	48.80±2.39 <sup>a</sup>	4.96±0.05 <sup>d</sup>	4.69±0.26 <sup>d</sup>	5.5±0.09 <sup>d</sup>	7.63±0.05 <sup>c</sup>	10±0.69 <sup>b</sup>	12.36±0.68 <sup>a</sup>
Cys	-	0.00±0.00 <sup>e</sup>	0.14±0.00 <sup>d</sup>	0.15±0.01 <sup>d</sup>	0.23±0.01 <sup>c</sup>	0.84±0.01 <sup>b</sup>	1.01±0.05 <sup>a</sup>	0.25±0.01 <sup>d</sup>	0.27±0.02 <sup>d</sup>	0.29±0.00 <sup>d</sup>	0.44±0.00 <sup>c</sup>	0.6±0.03 <sup>b</sup>	0.73±0.04 <sup>a</sup>
Val	40	1.01±0.09 <sup>e</sup>	1.44±0.05 <sup>d</sup>	1.73±0.01 <sup>d</sup>	2.40±0.02 <sup>c</sup>	4.20±0.19 <sup>b</sup>	5.14±0.27 <sup>a</sup>	1.77±0.03 <sup>d</sup>	1.59±0.09 <sup>d</sup>	1.73±0.00 <sup>d</sup>	2.47±0.01 <sup>c</sup>	3.16±0.21 <sup>b</sup>	3.81±0.23 <sup>a</sup>
Met	30	0.31±0.03 <sup>e</sup>	0.53±0.05 <sup>d</sup>	0.66±0.01 <sup>d</sup>	1.02±0.04 <sup>c</sup>	2.03±0.13 <sup>b</sup>	2.59±0.15 <sup>a</sup>	0.53±0.01 <sup>d</sup>	0.49±0.03 <sup>d</sup>	0.56±0.01 <sup>d</sup>	0.86±0.01 <sup>c</sup>	1.12±0.08 <sup>b</sup>	1.35±0.09 <sup>a</sup>
Ile	90	0.66±0.03 <sup>e</sup>	1.01±0.00 <sup>d</sup>	1.23±0.01 <sup>d</sup>	1.71±0.00 <sup>c</sup>	2.89±0.15 <sup>b</sup>	3.49±0.14 <sup>a</sup>	0.93±0.02 <sup>d</sup>	0.86±0.05 <sup>d</sup>	0.93±0.01 <sup>d</sup>	1.37±0.01 <sup>c</sup>	1.81±0.12 <sup>b</sup>	2.18±0.14 <sup>a</sup>
Leu	190	1.20±0.01 <sup>f</sup>	1.86±0.00 <sup>e</sup>	2.25±0.00 <sup>d</sup>	3.09±0.01 <sup>c</sup>	5.10±0.25 <sup>b</sup>	6.13±0.28 <sup>a</sup>	2.35±0.03 <sup>d</sup>	2.09±0.12 <sup>d</sup>	2.29±0.03 <sup>d</sup>	3.33±0.04 <sup>c</sup>	4.33±0.28 <sup>b</sup>	5.22±0.33 <sup>a</sup>
Tyr	-	0.58±0.22 <sup>e</sup>	1.17±0.04 <sup>d</sup>	1.35±0.02 <sup>d</sup>	1.82±0.09 <sup>c</sup>	2.82±0.17 <sup>b</sup>	3.34±0.10 <sup>a</sup>	2.78±0.12 <sup>c</sup>	2.13±0.11 <sup>c</sup>	2.34±0.07 <sup>de</sup>	3.31±0.06 <sup>cd</sup>	4.3±0.29 <sup>b</sup>	5.15±0.31 <sup>a</sup>
Phe	90	0.80±0.00 <sup>f</sup>	1.14±0.01 <sup>d</sup>	1.32±0.03 <sup>d</sup>	1.77±0.01 <sup>c</sup>	2.83±0.18 <sup>b</sup>	3.44±0.19 <sup>a</sup>	1.89±0.15 <sup>cd</sup>	1.33±0.06 <sup>c</sup>	1.53±0.04 <sup>de</sup>	2.24±0.08 <sup>cd</sup>	3.02±0.20 <sup>b</sup>	3.62±0.23 <sup>a</sup>
Lys	50	4.60±0.63 <sup>f</sup>	7.02±0.13 <sup>e</sup>	8.93±0.03 <sup>d</sup>	12.59±0.24 <sup>c</sup>	21.42±0.94 <sup>b</sup>	26.61±1.28 <sup>a</sup>	2.95±0.05 <sup>d</sup>	2.71±0.15 <sup>d</sup>	3.02±0.02 <sup>d</sup>	4.54±0.04 <sup>c</sup>	6.03±0.41 <sup>b</sup>	7.4±0.47 <sup>a</sup>
His	20	5.92±0.75 <sup>f</sup>	8.89±0.15 <sup>e</sup>	11.13±0.04 <sup>d</sup>	15.28±0.09 <sup>c</sup>	25.58±1.16 <sup>b</sup>	31.06±1.44 <sup>a</sup>	29.9±0.48 <sup>d</sup>	29.71±1.64 <sup>d</sup>	33.34±0.21 <sup>d</sup>	50.15±0.34 <sup>c</sup>	66.02±4.68 <sup>b</sup>	81.23±5.03 <sup>a</sup>
Arg	50	1.18±0.96 <sup>b</sup>	1.75±0.64 <sup>b</sup>	1.61±0.00 <sup>b</sup>	2.25±0.01 <sup>b</sup>	4.12±0.47 <sup>a</sup>	4.91±0.18 <sup>a</sup>	2.25±0.05 <sup>d</sup>	2.06±0.12 <sup>d</sup>	2.25±0.01 <sup>d</sup>	3.27±0.02 <sup>c</sup>	4.16±0.27 <sup>b</sup>	5.01±0.31 <sup>a</sup>
Pro	300	0.76±0.14 <sup>f</sup>	1.15±0.05 <sup>e</sup>	1.49±0.03 <sup>d</sup>	1.94±0.02 <sup>c</sup>	3.22±0.21 <sup>b</sup>	3.89±0.18 <sup>a</sup>	2.07±0.04 <sup>d</sup>	2.04±0.12 <sup>d</sup>	2.28±0.05 <sup>d</sup>	3.37±0.06 <sup>c</sup>	4.47±0.28 <sup>b</sup>	5.67±0.41 <sup>a</sup>

注:“-”表示没有参考阈值;同一行不同上标字母表示差异有统计学意义( $P<0.05$ )。

骨汤中也发现了此类趋势。总游离氨基酸含量的增加趋势与总固形物含量的增加趋势一致, 沸腾 50 min 后, 总含量趋于稳定。在田鱼的蒸煮过程中, 组氨酸的含量超过阈值, 对鱼汤的滋味起重要影响, 其它呈苦味的游离氨基酸含量远远低于其阈值, 因此对鱼的滋味影响不大。天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸等鲜甜味氨基酸在煮制过程中, 总体上呈现上升趋势, 并在 60 min 时趋于稳定。这表明田鱼汤的熬煮时间在 50~60 min 时滋味更加适宜。在 70 min 时, 苦味氨基酸是汤的主要成分, 而苦味氨基酸在煮制 50 min 后显著升高 ( $P<0.05$ ), 这一点在两种鱼汤中均有体现。

根据两种鱼汤的苦味、甜味、及总游离氨基酸的气泡图 (图 3) 可以看出, 黑鱼汤中甜味氨基酸及总游离氨基酸的含量要高于田鱼汤, 两者都需要适当限制加热时间, 有助于减少苦味氨基酸的形成, 使汤的滋味更加适宜。

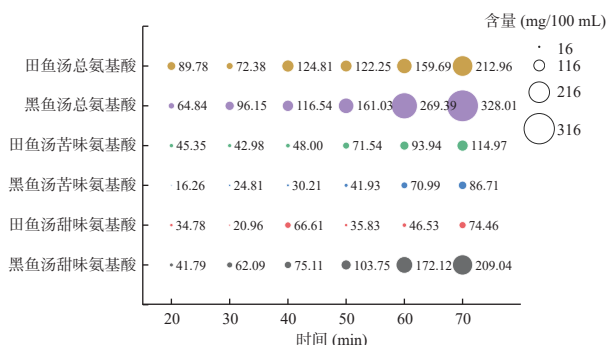


图 3 不同熬煮时间对两种鱼汤苦味、甜味及总游离氨基酸含量的影响

Fig.3 Effects of different simmering time on the bitter and sweet flavor and total free amino acid contents of two types of fish broths

### 2.4 两种鱼汤的电子鼻分析

电子鼻主要由交叉敏感传感器阵列和模式识别算法组成, 可用于定性区分气体分子及其响应特征<sup>[24-25]</sup>。由图 4 可知, 电子鼻对 P30/2 (醇、醛、硫化氢及燃烧产物敏感)、PA/2 (胺、氨、酒精敏感)、P10/2 (甲烷、乙烷敏感)、T30/1 (碳氧化合物、燃烧产物、氨、醇敏感) 传感器的响应值明显。也就是说, 随着熬煮时间的增加, 田鱼汤和黑鱼汤两种鱼汤在煮制的 6 个时间段内都含有醇类、醛类等物质。在田鱼汤中, 煮制 20 min 时对酒精、醛、醇等都具有最高的气味响应值, 可能由于此刻刚加入黄酒, 酒精味遮掩了鱼汤的主体香气, 随着熬煮时间的延长, 鱼汤的主体香气逐渐明显。可以看出, 两种鱼汤在熬煮时间达到 60 min 后, 气味响应值不再呈现较大差异。此外, 值得注意的是, 不同的熬煮时间显著且不同地改变了两种鱼汤样品的气味属性强度。在雷达图中, 黑鱼汤样品的气味属性强度依次递减: 20 min<30 min<40 min<50 min<60 min<70 min, 田鱼汤样品的气味属性强度: 50 min<60 min<70 min<40 min<

30 min<20 min, 田鱼汤样品呈现出与黑鱼汤不同的气味强度趋势, 所以合适的熬煮时间对于田鱼汤来说, 是影响其气味属性的重要因素。

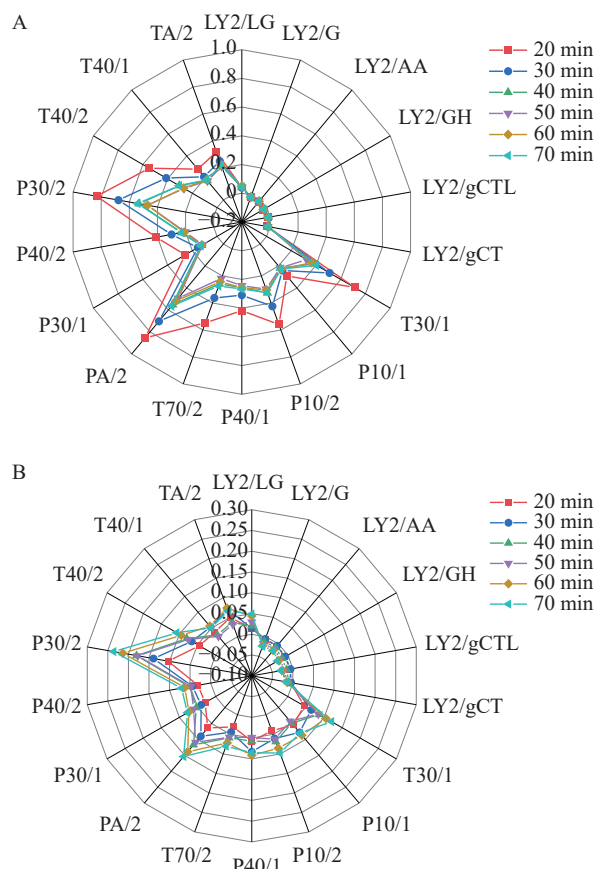


图 4 不同熬煮时间的田鱼汤(A)、黑鱼汤(B)风味化合物的雷达图

Fig.4 Radar plots of flavor compounds in field fish soup (A), black fish soup (B) with different simmering times

图 5 显示了两种鱼汤不同熬煮时间的电子鼻响应值的主成分分析图。图中反映出鱼汤的 PC1 的贡献率为 74.4%, PC2 的贡献率为 22.7%, 这两个主成分可以解释两种鱼汤在煮制过程中 97.1% 气味的整体信息。可以看出, 熬煮时间越长, 黑鱼汤的气味响

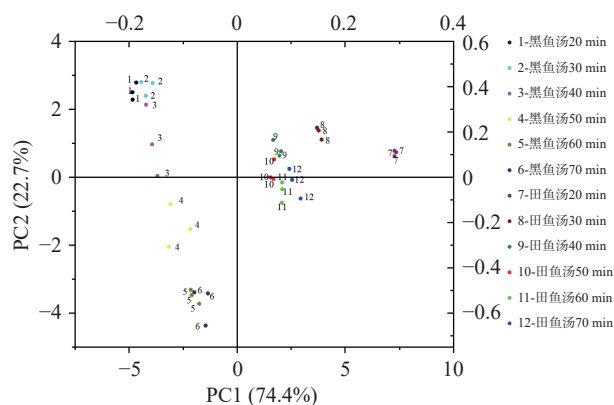


图 5 不同熬煮时间的田鱼汤及黑鱼汤风味化合物的 PCA 图

Fig.5 PCA plots of the flavor compounds of field fish soup and black fish soup with different simmering times

应值越高, 气味越浓郁, 这点与黑鱼汤的雷达图结果一致。田鱼汤在不同熬煮时间的气味具有明显规律, 煮制 20 min 组与 30 min 组明显分离, 说明此时煮熟的化合物发生了很大的变化, 而随着熬煮时间升高, 化合物发生的变化减小, 以至于熬煮时间到达 70 min 时, 与 60 min 时所呈现的效果相似。总的来说, 黑鱼汤中的风味化合物随熬煮时间的增加而逐步增多, 而田鱼汤在不同熬煮时间则具有各自的特征, 50~60 min 后田鱼汤的风味化合物含量逐步稳定, 说明这个时间点是田鱼汤煮制的适宜时间。

### 2.5 两种鱼汤的 GC-IMS 分析

**2.5.1 两种鱼汤的 GC-IMS 光谱分析** GC-IMS 用来分析复杂样品的挥发性风味成分, 不需要大量样品制备过程, 是一种高效的、被广泛接受的测试方法, 已广泛运用于日常食品的质量检测及监控中<sup>[26]</sup>。采用 GC-IMS 对不同熬煮时间时两种鱼汤的风味特征进行了研究。为了检验不同熬煮时间挥发性有机化合物的差异, 以熬煮 20 min 鱼汤为基准后得到其它熬煮时间时风味化合物的二维光谱(图 6A、图 6B)。红色区域中含有的风味化合物的量随着熬煮时间的增长而增加, 在 60 min 时达到最高且趋于稳定, 说明此刻鱼汤中的风味化合物含量达到了稳定状态。这与电子鼻的 PCA 结果一致。此外, 利用离子漂移时间和离子峰强度对汤的挥发性有机化合物

进行定性分析。从田鱼汤中共鉴定出 41 种风味化合物, 包括 11 种酯类、9 种酚类、6 种醛类、3 种醇类、3 种酸类、2 种呋喃、1 种酮类、1 种酮和 1 种吡嗪和 5 种其他化合物。从黑鱼汤中共鉴定出 46 种风味化合物, 14 种酯类、12 种酮类、6 种醛类、3 种酚类、2 种呋喃、2 种醚、1 种醇类、1 种酸类、1 种吡嗪、1 种吡咯、1 种吡啶和 2 种其他化合物。某些物质具有相同的 CAS 号和化学式, 是同一物质的单体和二聚体两种形态。

**2.5.2 两种鱼汤 GC-IMS 指纹图谱比较分析** 为了突出不同熬煮时间的两种鱼汤中挥发性有机化合物的差异, 将每种鱼汤样品的挥发性化合物平行检测三次, 并获得 GC-IMS 指纹图谱。从指纹图(图 6C)可以看出, 田鱼汤中挥发性风味物质主要为酯类、酚类及醛类。酯类通常由羧酸和醇的酯化反应形成, 具有宜人的水果风味, 可以很好的改善样品的滋味<sup>[27-28]</sup>。田鱼汤中含有丰富的酯类物质, 包括丁二酸二乙酯、苯丙酸乙酯、乙酸酯、3-己烯丁酸酯等。通过查询风味数据库(The goods scents company)可知, 苯丙酸乙酯赋予田鱼汤花香, 丁二酸二乙酯赋予田鱼汤水果风味, 且乙酸酯和 3-己烯丁酸酯等随着熬煮时间的增加而逐步增加, 两者都可以赋予田鱼汤新鲜水果的青香香气, 为田鱼汤的风味做出了极大的贡献。酚类作为田鱼汤中的主要风味物质之一, 对产品的颜色和

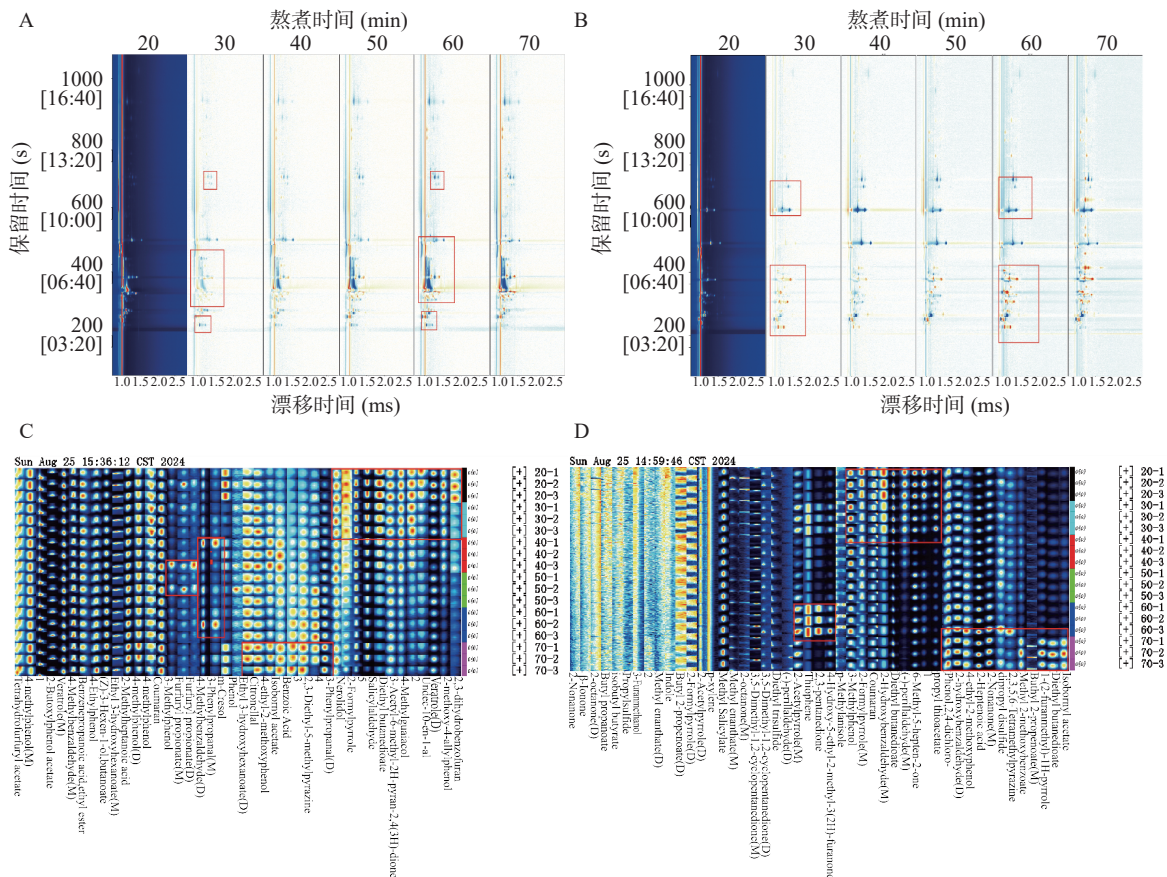


图 6 不同熬煮时间的田鱼汤以及黑鱼汤挥发性化合物组分光谱(A、B)和指纹图谱(C、D)

Fig.6 Spectra (A, B) and fingerprints (C, D) of the flavor compounds in field fish soup as well as black fish soup with different boiling times

风味有重要影响,并常被用于保健品的开发中<sup>[29]</sup>。在70 min时,4-乙基苯酚、3-甲基苯酚、4-乙基-2-甲氧基苯酚是主要的酚类物质,赋予鱼汤香料的独特风味,其中4-乙基-2-甲氧基苯酚还具有丁香的风味,4-乙基苯酚具有强烈的烟熏味和轻微香甜气味,可用于配制威士忌、朗姆酒、咖啡等,两者均随着熬煮时间的增加而增加。对于田鱼汤中的主要风味化合物中的酚类及酯类,一方面,稻鱼养殖系统会在一定程度上改善鱼肉的品质,使得鱼汤的主体香气更加怡人<sup>[7]</sup>;另一方面,黄酒的主要风味成分为酯类及酚类物质<sup>[28]</sup>,黄酒的添加为田鱼汤的总体风味做出了一定的贡献。

同时醛类、酮类和醇类也在鱼汤的整体风味中起到重要作用。一般来说,酶促反应、脂质氧化、环境衍生反应及微生物作用等会产生一些引起异味的特征化合物,像醛类中的己醛、庚醛和壬醛等就具有鱼腥味、草腥味和土霉味,被认为是鱼和鱼制品异味的主要风味化合物<sup>[30]</sup>,而在田鱼汤中含量较少。一方面是推测稻田养殖这种养殖方式相较于其它方式来说,会使鱼的品质变得更好,不同的养殖方法,确实能够在很大程度上影响鱼肉的品质及风味<sup>[31-32]</sup>,另一方面是黄酒的加入,改变了鱼汤中醛类的组成,在Lü等<sup>[1]</sup>的研究中,就推测过菌类的加入使得鱼汤中的醛类物质发生改变,降低其碳链长度。最后,仅在40~50 min的汤中发现了2-呋喃甲醇丙酸酯和3-羟基己酸乙酯等物质。

从图6D可以看出,对于黑鱼汤来说,酯类、酮类以及醛类是主要的风味化合物。且在熬煮时间为20 min时,黑鱼汤中4-乙基愈创木酚、2-甲氧基苯甲酸甲酯、丁二酸二乙酯、水杨醛、2,4-二氯苯酚的含量相对较低,随着熬煮时间的增加,其含量逐渐增高。

酮类主要由脂肪酸氧化、氨基酸降解和美拉德反应产生<sup>[1]</sup>。黑鱼汤样品中鉴定出多种酮类,包括2-辛酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮、2-吡咯基甲酮、2,3-戊二酮和3,5-二甲基-1,2-环戊二酮。在20~70 min的熬煮过程中,酮类浓度无显著变化。其中,2-吡咯基甲酮赋予了面包、可可、榛子等烘焙香气,而2-辛酮则为样品带来了独特的脂肪风味。就20 min而言,6-甲基-5-庚烯-2-酮是最主要的风味化合物之一,富有蘑菇、橡胶等气味,随着熬煮时间的延长,浓度逐渐下降。说明热处理有助于改善风味或掩盖风味。合适的温度可以显著促进香气化合物的产生,作为诱导烹饪气味形成的有效策略,热处理通常伴随着美拉德反应、脂质氧化等热反应的发生,并产生各种挥发性化合物<sup>[33-34]</sup>。每个阶段产生的挥发性化合物种类不尽相同,在田鱼汤中,20 min时呈不良气味的藜芦醇、1-吡咯-2-甲醛等随着热处理时间的延长而逐步降低,而黑鱼汤中4-乙基愈创木酚、2-甲氧基苯甲酸甲酯等怡人的气味成分随着热处理时间的延长而逐

步增加,两者均达到了调和汤品风味的目的。从总体来看,熬煮时间在一定范围内的增加,使得鱼汤中蛋白质受热分解并溶入水中扩散,产生的风味前体物进入汤中<sup>[35]</sup>,使鱼汤鲜味增强,滋味变好。

## 2.6 两种鱼汤的感官评价

综合评价两种不同熬煮鱼汤的感官特性,结果如图7所示。综合各项评分来看,田鱼汤和黑鱼汤煮制时间为60 min时,鲜味较浓,香气和谐,因为加入黄酒的缘故,色泽偏黄,苦味较弱,显著优于其他煮制时间( $P<0.05$ )。其次是黑鱼汤的70 min煮制时间,其主要缺陷在于“颜色”,在这个煮制阶段,鱼汤的汤体呈黄棕色,从消费者的喜好来看,这是不利的。此外,田鱼汤中,煮制50 min与60 min时的综合得分相当,而煮制时间为20 min的综合得分则是所有样本中最不令人满意的,特别是在“鲜味”和“气味”方面。因此可以推测,黄酒的加入在煮制初期对鱼汤的整体风味有负面影响。结果表明,适宜的煮制时间会使鱼汤滋味更加协调。

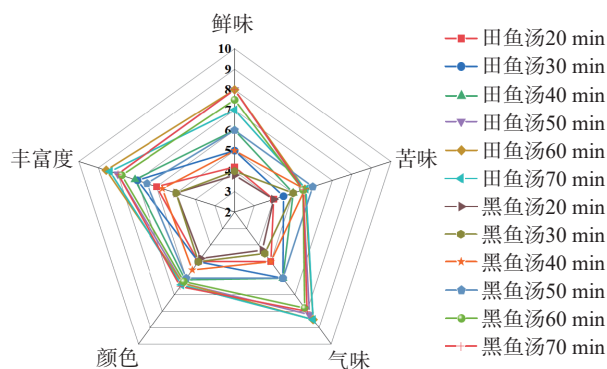


图7 不同熬煮时间的田鱼汤以及黑鱼汤的感官评价

Fig.7 Sensory evaluation of the field fish broth and the black fish broth with different simmering times

## 3 结论

两种鱼汤的挥发性风味物质的主要区别在于田鱼汤中酚类物质种类更多,而黑鱼汤则含有更丰富的酮类物质,且熬制时间为50~60 min时的鱼汤样品的挥发性风味化合物种类最多,滋味最适宜,继续加热,会使得苦味呈味氨基酸占据主体滋味。同时,虽然田鱼汤中滋味物质含量与黑鱼汤相当,但田鱼汤中鱼腥味物质极少,更受消费者的青睐。综上,合适的熬煮时间对鱼汤中滋味物质的迁移和所得鱼汤的整体风味都有影响,熬制时间在50~60 min时,甜味氨基酸呈现上升趋势,IMP和GMP分别为黑鱼汤和田鱼汤的主要呈味核苷酸,气味物质种类丰富和谐,滋味适宜,表明青田鲤鱼具有制作为汤品的潜力。研究不仅为优质田鱼汤的生产提供了理论依据,也为青田鲤鱼的有效利用以及研究热处理时间与阶段性风味化合物的形成之间的关系提供了一定的理论基础。后续可进一步对熬制过程中各成分之间的相互作用关系进行研究。

© The Author(s) 2025. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

- [ 1 ] LÜ Y N, BAI X T, ZHAO H L, et al. Flavor characteristics of large yellow croaker soup served with different dried edible fungi[J]. *Food Chem: X*, 2024, 21: 101059.
- [ 2 ] FRANEK R, MARINOVIC Z, LUJIC J, et al. Cryopreservation and transplantation of common carp spermatogonia[J]. *PLoS One*, 2019, 14(4): e0205481.
- [ 3 ] REN M T, YIN T, YOU J, et al. Comparative study of the nutritional composition and antioxidant ability of soups made from wild and farmed snakehead fish (*Channa argus*) [J]. *Foods*, 2022, 11(20): 3294.
- [ 4 ] DIAO W X, JIA R, HOU Y R, et al. Effects of stocking density on the growth performance, physiological parameters, antioxidant status and lipid metabolism of pelteobagrus fulvidraco in the integrated rice-fish farming system[J]. *Animals (Basel)*, 2023, 13(11): 1721.
- [ 5 ] TAO L, CHAI J, LIU H Y, et al. Characterization and dynamics of the gut microbiota in rice fishes at different developmental stages in rice-fish coculture systems[J]. *Microorganisms*, 2022, 10(12): 2373.
- [ 6 ] JIA R, WANG L, HOU Y R, et al. Effects of stocking density on the growth performance, physiological parameters, redox status and lipid metabolism of micropterus salmoides in integrated rice-fish farming systems[J]. *Antioxidants*, 2022, 11: 1215.
- [ 7 ] HE X M, HU W J, WU M F, et al. Evaluation of the effect of different fertilizer, stocking density, and culture modes on muscle nutritional quality of paddy field domesticated carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Aquacult Int*, 2024, 32(5): 1–26.
- [ 8 ] ZHANG J M, GEN K K, SUN J H, et al. Key factors affecting the flesh flavor quality and the nutritional value of grass carp in four culture modes[J]. *Foods*, 2021, 10(9): 2075.
- [ 9 ] ZOU J, XU M J, ZOU Y F, et al. Chemical compositions and sensory characteristics of pork rib and Silkie chicken soup prepared by various cooking techniques[J]. *Food Chemistry*, 2021, 345: 128755.
- [ 10 ] LAI J, WU R Y, WANG J, et al. Effect of cooking modes on quality and flavor characteristic in *Clitocybe squamulose* chicken soup[J]. *Front Nutr*, 2022, 15: 1048352.
- [ 11 ] MENG Q, ZHOU J W, GAO D, et al. Desorption of nutrients and flavor compounds formation during the cooking of bone soup[J]. *Food Control*, 2022, 132: 108408.
- [ 12 ] GUAN H N, TIAN Y L, FENG C M, et al. Migration of nutrient substances and characteristic changes of chicken white soup emulsion from chicken skeleton during cooking[J]. *Foods*, 2024, 13(3): 410.
- [ 13 ] WANG H L, ZHU Y Z, ZHANG J, et al. Study on changes in the quality of grass carp in the process of postmortem[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2018, 42(6): e12683.
- [ 14 ] YU D W, XU Y S, REGENSTEIN J M, et al. The effects of edible chitosan-based coatings on flavor quality of raw grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets during refrigerated storage[J]. *Food Chemistry*, 2018(242): 412–420.
- [ 15 ] YANG W X, SHI W Z, QU Y H, et al. Research on the quality changes of grass carp during brine salting[J]. *Food Science Nutrition*, 2020, 8(6): 2968–2983.
- [ 16 ] SIRISOMBOON P, NAWAYON J. Evaluation of total solids of curry soup containing coconut milk by near infrared spectroscopy [J]. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 2016, 24(2): 191–198.
- [ 17 ] CHEN Q, ZHANG Y R, JING L N, et al. Changes in protein degradation and non-volatile flavor substances of swimming crab (*Portunus trituberculatus*) during steaming[J]. *Foods*, 2022, 11(21): 3502.
- [ 18 ] HWANG Y H, ISMAIL I, JOO S T. Identification of umami taste in sous-vide beef by chemical analyses, equivalent umami concentration, and electronic tongue system[J]. *Foods*, 2020, 9: 251.
- [ 19 ] WANG Q, WANG Z M, YANG X Q, et al. Nutrient composition and flavor profile of crucian carp soup utilizing fish residues through comminution and pressure-conduction treatment[J]. *Foods*, 2024, 13(5): 800.
- [ 20 ] ZHANG J J, YAO Y J, YE X Q, et al. Effect of cooking temperatures on protein hydrolysates and sensory quality in crucian carp (*Carassius auratus*) soup[J]. *J Food Sci Technol*, 2013, 50: 542–548.
- [ 21 ] HARIMANA Y, TANG X, LE G W, et al. Quality parameters of black carp (*Mylopharyngodon piceus*) raised in lotic and lentic freshwater systems[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 90: 45–52.
- [ 22 ] SANDRIA F, PRATAMA R I, LIVIAWATY E. Composition of flavor non-volatile compound steamed snakehead fish (*Channa striata*) [J]. *Asian J Fish Aquat Res*, 2022, 19: 30–39.
- [ 23 ] LU Q, WANG S H, XUE S J, et al. Comparison of non-volatile flavor compounds in *Stropharia rugosoannulata* soup processed by different methods[J]. *J Food Sci Technol*, 2022, 59(10): 4025–4036.
- [ 24 ] PERSAUD K, DODD G. “Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose” [J]. *Nature*, 1982, 299: 352–355.
- [ 25 ] YANG X, LI M, JI X H. Recognition algorithms in e-nose: A review[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2023, 23: 20460–20472.
- [ 26 ] BRENDEL R, S CHWOLOW S, ROHN S. Volatilomic profiling of citrus juices by dual-detection HS-GC-MS-IMS and machine learning—an alternative authentication approach[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(5): 1727–1738.
- [ 27 ] MIAO X Q, LI S, SHANG S, et al. Characterization of volatile flavor compounds from fish maw soaked in five different seasonings[J]. *Food Chemistry: X*, 2023, 19: 2590–1575.
- [ 28 ] ZHAO W H, QIAO M, DONG H, et al. Effect of Hong Qu on the flavor and quality of Hakka yellow rice wine (*Huangjiu*) produced in Southern China[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2022, 160: 6423–6438.
- [ 29 ] ZHAO X X, TANG F X, CAI W C, et al. Effect of fermentation by lactic acid bacteria on the phenolic composition, antioxidant activity, and flavor substances of jujube-wolfberry composite juice[J]. *LWT*, 2023, 184: 114884.
- [ 30 ] WU T L, WANG M Q, WANG P, et al. Advances in the formation and control methods of undesirable flavors in fish[J]. *Foods*, 2022, 11(16): 2504.
- [ 31 ] BERZI-NAGY L, MOZSAR A, TOTH F, et al. Effects of different fish diets on the water quality in semi-intensive common carp (*Cyprinus carpio*) farming[J]. *Water*, 2021, 13(9): 1215.
- [ 32 ] HU B J, ZHOU J, QIU H M, et al. Comparison of nutritional quality and volatile flavor compounds among bighead carp from three aquaculture systems[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2021, 28: 4291–4299.
- [ 33 ] YOKOGAWA T, YAMAZAKI C, HARA M, et al. Effect of Maillard reaction on the quality of clarified butter, ghee[J]. *Journal of Natural Medicines*, 2022, 77: 230–237.
- [ 34 ] LI J Y, MA Y, XIAO F, et al. Formation and conversion of flavor related compounds of thermal cooked *Ruditapes philippinarum* soup[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2023, 58: 6421–6431.
- [ 35 ] XIAO N Y, XU H Y, JIANG X, et al. Evaluation of aroma characteristics in grass carp mince as affected by different washing processes using an E-nose, HS-SPME-GC-MS, HS-GC-IMS, and sensory analysis[J]. *Food Res Int*, 2022, 158: 111584.