

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.06.014

周舟, 柳诚刚, 曹蒙, 等. 基于 GC-MS 结合化学计量法分析固始鹅块不同加工阶段的风味变化机制[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(6): 117-124.

ZHOU Z, LIU C G, CAO M, et al. The flavor change mechanism of gushi goose nuggets at different processing stages analyzed by GC-MS combined with chemometrics[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(6): 117-124.

# 基于 GC-MS 结合化学计量法分析 固始鹅块不同加工阶段的风味变化机制

周舟<sup>1</sup>, 柳诚刚<sup>1</sup>, 曹蒙<sup>1</sup>, 姚恒喆<sup>2</sup>, 李飞<sup>1</sup>, 杜险峰<sup>3</sup>✉

(1. 信阳农林学院 食品科学与工程学院, 河南 信阳 464000;

2. 青岛酒店管理职业技术学院, 山东 青岛 266100;

3. 哈尔滨商业大学 旅游烹饪学院, 黑龙江 哈尔滨 150025)

**摘要:** 为探究河南信阳固始鹅块在加工过程中的风味变化, 采用气相色谱-质谱 (GC-MS) 对 4 个不同加工阶段的固始鹅块样品进行挥发性成分分析, 并结合化学计量学的方法进行比较研究。结果表明, GC-MS 共鉴定出 24 种挥发性化合物, 可分为醛类、酮类、酯类、硫醚类、醇类与其它, 其中炖煮后和灭菌后的醇类挥发性风味物质占比高达 83.38%、83.39%, 乙醇、乙醛的占比较高, 酮类挥发性风味物质随着加工阶段的推进不断增加, 赋予鹅块果香、清香、奶油香气。多元统计分析表明不同样品的特征性风味成分存在统计学差异。通过相对气味活度值 (ROAV) 法确定关键挥发性风味物质分别有 7、5、4、4 种, 其中醛类为 4 个加工阶段的关键挥发性风味成分, 对不同加工阶段的固始鹅块风味起到积极的贡献作用。基于 GC-MS 结果建立正交偏最小二乘判别分析模型、主成分分析以及聚类分析均表明炖煮后和灭菌后的样品风味较接近, 说明灭菌后对固始鹅块产品的风味产生较大的影响。该研究对提高固始鹅块的精深加工水平及规模化生产, 提升信阳菜附加值具有参考价值。

**关键词:** 固始鹅块; 气相色谱-质谱联用; 挥发性风味物质; 相对气味活度值; 化学计量学

中图分类号: TS251.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)06-0117-08

网络首发时间: 2024-11-07 12:08:12

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20241107.1031.008>

## The Flavor Change Mechanism of Gushi Goose Nuggets at Different Processing Stages Analyzed by GC-MS Combined with Chemometrics

ZHOU Zhou<sup>1</sup>, LIU Cheng-gang<sup>1</sup>, CAO Meng<sup>1</sup>, YAO Heng-zhe<sup>2</sup>, LI Fei<sup>1</sup>, DU Xian-feng<sup>3</sup>✉(1. School of Food Science and Engineering, Xinyang Agriculture and Forestry  
University, Xinyang, Henan 464000, China;

收稿日期: 2024-04-03

基金项目: 信阳农林学院青年教师科研基金项目 (QN2021026、QN2022030、QN2023030); 河南省科技攻关项目 (242102110112)

Supported by: Young Teachers' Scientific Research Fund Project of Xinyang Agriculture and Forestry University (No.QN2021026, QN2022030, QN2023030); Scientific and Technological Breakthrough Foundation of Henan Province (No.242102110112)

第一作者: 周舟, 女, 1994 年出生, 硕士, 助教, 研究方向为传统烹饪工业化、食品加工, E-mail: zhou18855991049@163.com

通信作者: 杜险峰, 男, 1974 年出生, 硕士, 副教授, 研究方向为中餐烹饪技术、传统烹饪工业化、复配调味, E-mail: zz101291994@163.com

2. Qingdao Hotel Management Vocational and Technical College, Qingdao, Shandong 266100, China;
3. Tourism Culinary College, Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150025, China)

**Abstract:** To explore the flavor changes of Gushi goose nuggets of Henan, Xinyang during processing, GC-MS was used to analyze the volatile components of Gushi goose block samples at four different processing stages, and a comparative study was conducted by combining chemometrics methods. The results showed that a total of 24 volatile compounds were identified by GC-MS, which could be divided into aldehydes, ketones, esters, thioethers, alcohols and others. Among them, the proportion of alcohol volatile flavor substances reached 83.38% and 83.39% after stewing and sterilization, respectively, with high proportions of ethanol and acetaldehyde. The proportion of ketone volatile flavor substances increased gradually with the progression of processing stages, imparting fruity, fresh, and buttery aromas to the goose cubes. Multivariate statistical analysis showed that there were statistical differences in the characteristic flavor components of different samples. The ROAV method determined 7, 5, 4, and 4 key volatile flavor substances for each sample, respectively, among which aldehydes were the key volatile flavor components for all four processing stages, positively contributing to the flavor of Gushi goose cubes at different processing stages. Based on the results of GC-MS, the orthogonal partial least squares discriminant analysis model, principal component analysis and cluster analysis showed that the flavor of the samples after stewing and sterilization was close, indicating that the sterilization had a great influence on the flavor of Gushi goose products. This study is of great significance to improve the deep processing level and large-scale production of Xinyang Gushi goose blocks, as well as enhance the added value of Xinyang dishes.

**Key words:** gushi goose nuggets; gas chromatography-mass spectrometry; volatile flavor substances; relative odor activity value; stoichiometry

固始鹅块是河南信阳的一道特色地方菜，其汤色鲜美、肉质鲜嫩，深受消费者喜欢。随着人们生活节奏的加快，将固始鹅块进行工业化的生产包装，由于其贮藏期长且便捷，大大满足了人们的日常消费需要<sup>[1]</sup>。但固始鹅块的工业化产品因风味不佳而不受消费者的青睐。

固始鹅块产品的风味劣变主要是因为是在生产、贮藏和复热过程中，脂肪会氧化，导致其风味发生劣变<sup>[2-3]</sup>。尹含靛<sup>[4]</sup>研究发现卤制和拌料阶段风味鱼仔风味变化明显，是风味产生的主要加工阶段，龚姚谦<sup>[5]</sup>发现灭菌对芷江鸭风味影响最大。因此在固始鹅块的加工过程中除了生产、保鲜技术的提升，还应重点关注加工过程的风味变化机制，但目前国内外对于固始鹅块的加工过程中的风味变化规律还未见相关的研究报道。

本研究采用气相色谱-质谱法(Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)分析固始鹅块产品在不同的加工阶段的挥发性风味物质组分，对其

进行正交偏最小二乘判别分析(Orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA)，并结合相对气味活度值(Relative odor activity values, ROAV)、主成分分析(Principal components analysis, PCA)等对比分析不同加工阶段的固始鹅块的主体挥发性风味物质差异，旨在为采取有效技术手段对固始鹅块加工过程进行风味调控、达到保香增香的目的提供理论依据，对固始鹅块产品的后续加工及相关制品的开发提供了技术支持。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

新鲜固始鹅(净重1 500 g左右)、葱、姜：市售；食盐、食用油、耗油：信阳西亚超市。

### 1.2 仪器与设备

AL-204 电子天平：梅特勒-托利多仪器有限公司；7890A-5975C 气相质谱联用仪：日本岛津

公司; FA114A 型分析天平: 上海豪晟科学仪器有限公司; RT22E01 电磁炉: 美的集团股份有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 固始鹅块加工工艺

(1) 清洗、修整: 将新鲜的固始鹅去除内脏后, 洗净、沥水、修整后, 使每只鹅重量保持在  $(1\ 500 \pm 10)$  g;

(2) 炖煮: 将整鹅放入炖锅中加水炖煮(炖煮温度为  $100\ ^\circ\text{C}$ ) 1.5 h;

(3) 炒制、熬煮: 锅中放入 300 g 食用油, 加入姜丝 160 g、干辣椒 45 g, 鹅块炒制 1 min, 加入鹅汤 200 g、盐 40 g、耗油 20 g, 熬煮 5 min;

(4) 包装、灭菌: 将制作好的固始鹅块冷却至室温后真空包装, 放入高温灭菌锅中  $121\ ^\circ\text{C}$  保持 30 min 进行灭菌,  $-18\ ^\circ\text{C}$  冰箱中贮藏;

(5) 取样: 在原料肉、炖煮后、炒制后和灭菌后的 4 个阶段分别取样 50 g, 依次标记为 T1、T2、T3、T4。

#### 1.3.2 GC-MS 检测技术

样品处理: 将鹅块放入搅拌机搅碎后, 称取均匀样品 3.0 g 于 10 mL 顶空瓶中,  $60\ ^\circ\text{C}$  水浴平衡 5 min, 顶空萃取 55 min, 上机解析 5 min。

GC 条件: 色谱柱为 HP-5MS 毛细管柱( $30\ \text{m} \times 0.25\ \text{mm} \times 0.25\ \mu\text{m}$ ), 载气为高纯度氦气, 起始柱温  $50\ ^\circ\text{C}$ , 以  $5\ ^\circ\text{C}/\text{min}$  的速率升温至  $300\ ^\circ\text{C}$  并保持 20 min, 进样量为  $1\ \mu\text{L}$ , 分流比 50:1。

MS 条件: 使用 EI 电离源, 电离能量 70 eV, 离子源发生器温度  $230\ ^\circ\text{C}$ , 进样口温度和辅助加热器温度分别是  $300\ ^\circ\text{C}$  和  $280\ ^\circ\text{C}$ , 质量扫描范围从 40~800 amu, 溶剂延迟 3 min。

检测结果通过 NIST 2011 图库检索进行物质定性, 气质分析鉴定的化合物通过各峰面积与总峰面积的比值进行归一化法定量。

#### 1.3.3 关键挥发性风味物质评价

参考潘牧<sup>[6]</sup>的方法, 按下列公式计算:

$$\text{ROAV} \approx 100 \times \frac{C}{C_{\text{stan}}} \times \frac{T_{\text{stan}}}{T}$$

式中:  $C_{\text{stan}}$ 、 $T_{\text{stan}}$  分别为对鹅块样品风味贡献最大组分的相对含量 (%) 及阈值 (mg/L);  $C$ 、

$T$  分别为各挥发性物质的相对含量 (%) 及阈值 (mg/L)。一般认为  $\text{ROAV} \geq 1$ , 则表明其对样品风味有贡献, 为样品的关键风味化合物; 若  $0.1 \leq \text{ROAV} < 1$ , 则表明其对样品风味有修饰作用。

### 1.4 数据处理

采用 SIMCA 14.1 软件进行 OPLS-DA 处理, 采用 Origin 2021 软件进行制图以及主成分分析和绘制热图。

## 2 结果与分析

### 2.1 加工过程中的挥发性风味物质的变化分析

由表 1 可知, 4 个加工阶段的固始鹅块共鉴定出 13 种醛类、2 种酮类、3 种酯类、7 种醇类、1 种硫醚类和 2 种其他类。其中, 醛类、醇类、酮类是固始鹅块不同加工阶段的主要风味变化化合物。醇类挥发性风味物质在 4 个加工阶段含量均最高; 炖煮后、炒制后以及灭菌后的酮类挥发性风味物质高于原料肉, 酮类挥发性风味物质随着加工阶段的推进不断增加, 说明随着加工阶段的推进, 会赋予鹅块果香、清香、奶油香气。

醛酮类主要由不饱和脂肪酸氧化降解、美拉德反应、氨基酸降解产生<sup>[7-8]</sup>。研究表明醛酮类只有在浓度较低时贡献清香、水果香气, 而浓度过高则会导致不愉快气味产生<sup>[9]</sup>。在加工过程中固始鹅块的醛类物质含量相对较高且总体呈现下降的趋势, 其中各样品中乙醛的含量最高, 样品 T1 的乙醛相对含量最高, 说明乙醛对各加工阶段的固始鹅块的风味贡献较大。研究发现醛类挥发性风味物质是肉类脂肪的特征风味物质, 本研究结果与其一致<sup>[10]</sup>。灭菌后, 醛类物质显著减少。由于醛类物质不稳定, 在炖煮、灭菌的过程中易被还原成醇类和酸类, 导致加工后相对含量降低。在固始鹅块加工过程中酮类物质相对含量呈现不断上升的趋势, 均检测出 2 种酮类物质, 丁酮和 2,3-丁二酮, 贡献水果香气和奶油香。酮类物质在加工过程中不断增加, 可能是由于高温条件下酯类和醛类物质的氧化形成酮类挥发性化合物<sup>[11]</sup>。

醇类主要来源于肉类加工过程中的不饱和脂肪酸氧化, 不饱和醇类阈值低, 对固始鹅块的风

味发挥重要的作用。不同的加工阶段中,乙醇的相对含量最高,由于乙醇为饱和醇类,对鹅块的风味贡献不高。其次是甲硫醇,在炖煮后与灭菌后的样品中检测到,具有洋葱香,可能是来自所添加的姜、葱。

酯类挥发性化合物一般由醇和酸的酯化反应产生,会使肉类呈现香甜的果香<sup>[12]</sup>。4个加工阶段共检测出3种酯类挥发性化合物,相对含量较少,阈值较高,对固始鹅块的风味仅起到一定的修饰作用。酯类挥发性化合物仅在T1和T3样品中检测到,且含量相对较低,并且由于酯类的阈值较高,对固始鹅块的风味仅起到修饰作用。在原料肉的样品T1中检测到酯类风味物质1种三甲

氧基酯,相对含量较低;在炖煮后,样品T2中未检测到酯类风味物质;在炒制后,检出2种酯类风味物质,其中 $\gamma$ -丁酸内酯呈奶油香和辛辣味<sup>[13]</sup>,这可能来源于炒制过程中所加入的干辣椒中的酯类风味物质。高温灭菌后,样品T4中未检出酯类风味物质,说明高温杀菌会破坏鹅块的香甜风味,郑荣美<sup>[14]</sup>也发现高温杀菌后猪肉样品中的酯类显著降低。2-甲基硫醚仅在原料肉样品中检测到,可能是因为微生物降解含硫氨基酸(甲硫氨酸和半胱氨酸)所产生的硫化物所致<sup>[15]</sup>。在炖煮后和灭菌后的鹅块中还检测出相对含量较低、阈值较高的烷类化合物,对固始鹅块的总体风味影响较小。

表 1 不同加工阶段固始鹅块挥发性风味物质的相对含量

Table 1 Relative content of volatile flavor substances in Gushi goose nuggets in different processing stages

%

类别	化合物名称	CAS号	相对含量/%			
			T1	T2	T3	T4
醛类	乙醛	75-07-0	30.96±0.76 <sup>a</sup>	8.50±0.21 <sup>c</sup>	13.27±0.21 <sup>b</sup>	—
	异丁醛	78-84-2	0.94±0.09 <sup>a</sup>	0.44±0.02 <sup>a</sup>	—	—
	异戊醛	590-86-3	1.46±0.24 <sup>a</sup>	—	—	—
	正己醛	66-25-1	1.14±0.12 <sup>b</sup>	—	—	2.57±0.46 <sup>a</sup>
	戊醛	110-62-3	0.31±0.02 <sup>b</sup>	0.70±0.13 <sup>a</sup>	—	0.85±0.07 <sup>a</sup>
	2-甲基丁醛	96-17-3	0.44±0.01 <sup>a</sup>	—	—	—
	庚醛	111-71-7	—	—	0.39±0.05	—
酮类	丁酮	78-93-3	0.50±0.28 <sup>b</sup>	0.41±0.02 <sup>b</sup>	0.65±0.04 <sup>b</sup>	12.31±1.28 <sup>a</sup>
	2,3-丁二酮	431-03-8	0.61±0.06 <sup>c</sup>	1.74±1.14 <sup>b</sup>	5.25±0.37 <sup>a</sup>	0.68±0.02 <sup>c</sup>
酯类	三甲氧基酯	503-30-0	1.57±0.23 <sup>a</sup>	—	—	—
	1,4-丁磺酸内酯	1633-83-6	—	—	5.18±0.31 <sup>a</sup>	—
	$\gamma$ -丁酸内酯	96-48-0	—	—	17.82±0.53 <sup>a</sup>	—
醇类	乙醇	64-17-5	61.67±1.23 <sup>b</sup>	77.11±2.14 <sup>a</sup>	43.05±1.35 <sup>c</sup>	71.42±2.31 <sup>a</sup>
	甲硫醇	74-93-1	—	3.50±0.31 <sup>b</sup>	—	7.51±0.11 <sup>a</sup>
	丙醇	71-23-8	—	0.56±0.03 <sup>b</sup>	—	1.38±0.26 <sup>a</sup>
	1,3-丁二醇	107-88-0	—	1.88±0.02 <sup>b</sup>	4.06±0.21 <sup>a</sup>	—
	桉树脑	470-82-6	—	0.33±0.01 <sup>a</sup>	—	—
	仲丁醇	78-92-2	—	—	—	2.50±0.03 <sup>a</sup>
	异戊醇	123-51-3	—	—	—	0.78±0.01 <sup>a</sup>
硫醚类	二甲基硫醚	75-18-3	0.40±0.01 <sup>a</sup>	—	—	—
其它	戊烷	109-66-0	—	2.85±0.05 <sup>b</sup>	7.96±0.32 <sup>a</sup>	—
	2-乙基氮丙啶	2549-67-9	—	1.98±0.14 <sup>a</sup>	2.37±0.06 <sup>a</sup>	—

注:“—”表示未检测到该化合物;标有不同的小写字母表示有显著差异性( $P<0.05$ ),下同。

Note: “—” indicated that the compound was not detected; different lowercase letters indicated significant differences in the same indicator ( $P<0.05$ ), the same below.

## 2.2 不同加工阶段固始鹅块的 GC-MS 数据的 OPLS-DA 模型

以4种样品中检测出的挥发性香气化合物作

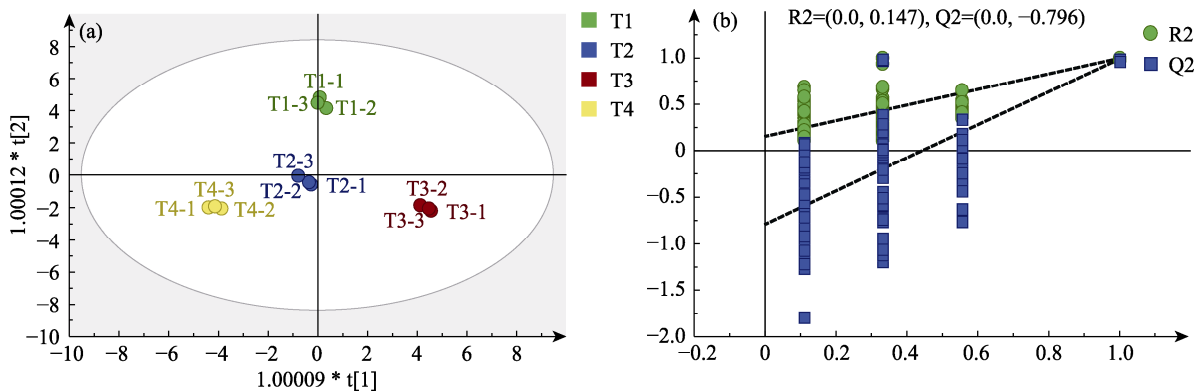
为因变量,不同加工阶段作为自变量,构建OPLS-DA模型(图1a),可以发现不同加工阶段样品有较好的区分。拟合指数 $R^2_X$ 为0.954,因变

量拟合指数  $R^2_Y$  为 0.99, 模型预测指数  $Q^2$  为 0.979, 模型的拟合结果可接受。经过 200 次的置换检验 (图 1b),  $Q^2$  回归线与纵轴相交小于 0, 说明模型验证有效<sup>[14]</sup>。如图 1a 所示, 原料肉样品 T1 分布在第一象限, 炖煮后与灭菌后的鹅块样品 T2、T4 共同分布在第四象限, 而炒制后的样品 T3 分布在第二象限, 4 个阶段的样品可显著分为 4 群, 其中 T2、T4 共同分布在第四象限, 说明 2 组样品的差异较小, 这与表 1 中的结果一致。变量投影重要性 (Variable importance for the projection, VIP) 值为 OPLS-DA 模型变量的权重值, VIP 值越大, 代表该物质对区分不同处理组之间的差异作用越关键。OPLS-DA 模型分析得出的 VIP 值大小如图 2 所示, VIP>1 的物质共有 9 种, 分别为正己醛 (1.119 77)、乙醇 (1.112 8)、丁酮 (1.066 84)、仲丁醇 (1.057 03)、异戊醇 (1.056 54)、戊

醛 (1.038 89)、三甲氧基酯 (1.016 66)、二甲基硫醚 (1.012 66), 可用于区分 4 组不同加工阶段固始鹅块的挥发性风味物质标记物, 均能够作为判别 4 种加工阶段的差异成分。

### 2.3 固始鹅块加工过程中的 ROAV

由表 2 可知, 通过计算各类香气成分的 ROAV 值得出  $ROAV \geq 1$  的香气成分共有醛类 7 种、酮类 2 种、醇类 3 种、硫醚类 1 种, 主要为醛类物质。原料肉样品 T1 中, 二甲基硫醚 ROAV 值为 100, 对原料肉的风味贡献最大, 贡献了卷心菜味和洋葱香气; 乙醛、异丁醛、异戊醛、正己醛、2-甲基丁醛、丁酮、2,3-丁二酮的  $ROAV \geq 1$ , 为原料肉的关键风味物质; 戊醛的  $ROAV < 1$ , 对风味起修饰作用。样品 T2 中, 甲硫醇的 ROAV 值为 100, 对炖煮后的固始鹅块的风味贡献最大, 为炖煮后固始鹅块贡献洋葱香气, 乙醛、异丁醛、



注: (a): OPLS-DA 得分图; (b): OPLS-DA 验证图。  
Note: (a): OPLS-DA score plot; (b): OPLS-DA verification diagram.

图 1 不同加工阶段固始鹅块 GC-MS 数据的 OPLS-DA 分析

Fig.1 OPLS-DA analysis of GC-MS data of Gushi goose in different processing stages

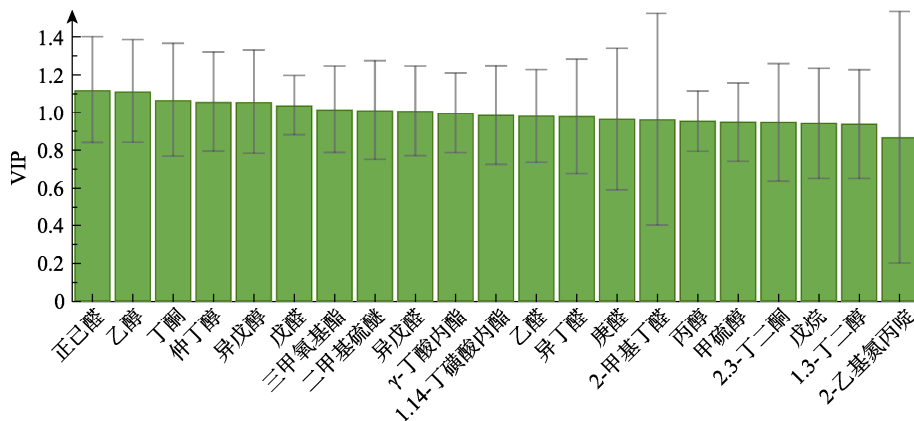


图 2 不同加工阶段固始鹅块 GC-MS 数据的 OPLS-DA 模型的 VIP

Fig.2 VIP of OPLS-DA model GC-MS data of Gushi goose in different processing stages

表 2 不同加工阶段的固始鹅块关键性风味物质及对应 ROAV 值

Table 2 Key flavor substances and corresponding ROAV values of Gushi goose nuggets in different processing stages

化合物名称	阈值/(mg/kg) <sup>[16]</sup>	气味描述 <sup>[17-21]</sup>	ROAV			
			T1	T2	T3	T4
乙醛	0.025	强烈的清香、草香、蔬菜、水果香气	37.15	1.94	5.97	—
异丁醛	0.001 5	奶香味	18.80	1.68	—	—
异戊醛	0.001 1	麦芽、麦芽酒	39.82	—	—	—
正己醛	0.005	草、牛脂、脂肪	6.84	—	—	1.25
戊醛	12	杏仁、麦芽、有刺激性	0.78	0.33	—	0.17
2-甲基丁醛	0.001	果香	13.20	<0.01	—	—
庚醛	0.002 8	脂肪香、柑橘香	—	<0.01	1.57	—
丁酮	0.000 3	果香、清香	50.00	7.81	24.35	100.00
2,3-丁二酮	0.059	奶油香	31.02	16.85	100.00	2.81
甲硫醇	0.001	洋葱香	—	100.00	—	91.51
桉树脑	1.3	桉树、草药、樟脑味	—	1.45	—	—
异戊醇	0.004	/	—	—	—	0.48
二甲基硫醚	0.000 12	卷心菜、洋葱香	100.00	—	—	—

注：“—”表示未检出，“/”表示未在文献中查询到该化合物的气味描述。

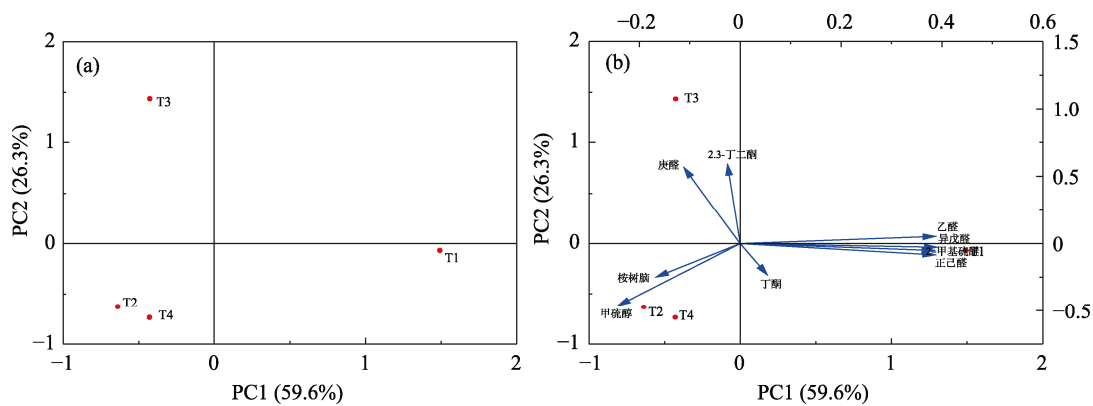
Note: “—”meant not detected, “/”meant that the odor description of the compound was not found in the literature.

丁酮、2,3-丁二酮的 ROAV $\geq$ 1, 对炖煮后固始鹅块的风味起到重要作用。在 T3 样品中, 关键性的风味物质为 2,3-丁二酮、乙醛、庚醛和丁酮, 为炒制后的固始鹅块贡献脂香、果香、清香和草香。在灭菌后, 风味贡献最大的是丁酮、正己醛、2,3-丁二酮、甲硫醇, 戊醛与异戊醇对固始鹅块风味起到一定的修饰作用。综合来看, 原料肉具有更多的关键风味物质, 共有 7 种, 以醛类风味物质居多, 整体风味表现为洋葱香、果香、麦芽香味突出。而炖煮后的关键性风味物质为 5 种, 整体风味呈现洋葱香、奶油香; 炒制后和灭菌后的关

键风味物质仅为 4 种, 炒制后固始鹅块整体风味突出表现为奶油香、果香, 灭菌后的固始鹅块样品整体风味则表现为果香、清香、洋葱香突出。

#### 2.4 关键性风味物质的主成分分析

图 3 为不同加工阶段中关键性风味物质的主成分分析图, 其中 PC1、PC2、PC3 的方差贡献率分别为 59.6%、26.3%、22.0%, 累计方差贡献率为 85.9%。图 3a 的 PCA 得分图可知不同的加工阶段总体特征风味存在差异。炖煮后与灭菌后的固始鹅块样品位于第三象限, 原料肉样品位于第二象限, 炒制后样品位于第四象限, 说明炖煮



注: (a): PCA 得分图; (b): PCA 双标图。

Note: (a): PCA score plot; (b): PCA biplot.

图 3 不同加工阶段关键性风味物质的 PCA 分析

Fig.3 PCA analysis of key flavor substances in different processing stages

后与灭菌后的固始鹅块样品整体香气特征接近。PCA 双标图 (图 3b) 表示每个化合物与不同加工阶段的距离表明挥发性风味物质与加工阶段之间的相关程度, 距离越近相关程度越高。原料肉的样品风味与乙醛、异戊醛、庚醛、2-甲基硫醚、正己醛有较强相关性, 主体呈现清香、麦芽、脂肪、洋葱香; 炖煮后与灭菌后的鹅块样品与甲硫醇、桉树脑有较强的相关性, 主体呈现洋葱香、樟脑味; 炒制后的鹅块与 2,3-丁二酮与庚醛有较强的相关性, 主要呈现脂肪香、奶油香。PCA 分析结果与 OPLS-DA 以及

ROAV 的分析结果基本一致, 不同加工阶段固始鹅块产生的风味物质能够得到良好的区分。

## 2.5 不同加工阶段关键风味聚类热图

由图 4 可知, 从左边的聚类来看, 炖煮后与灭菌后的样品聚在一起, 说明两阶段的固始鹅块的关键挥发性风味物质的组成与含量相似, 具有相似的气味, 这与 OPLS-DA 以及 PCA 的分析结果一致。而原料鹅肉则呈现出独特的香气分布。观察图 4 发现, 固始鹅块的风味差异主要集中在酮类化合物上。

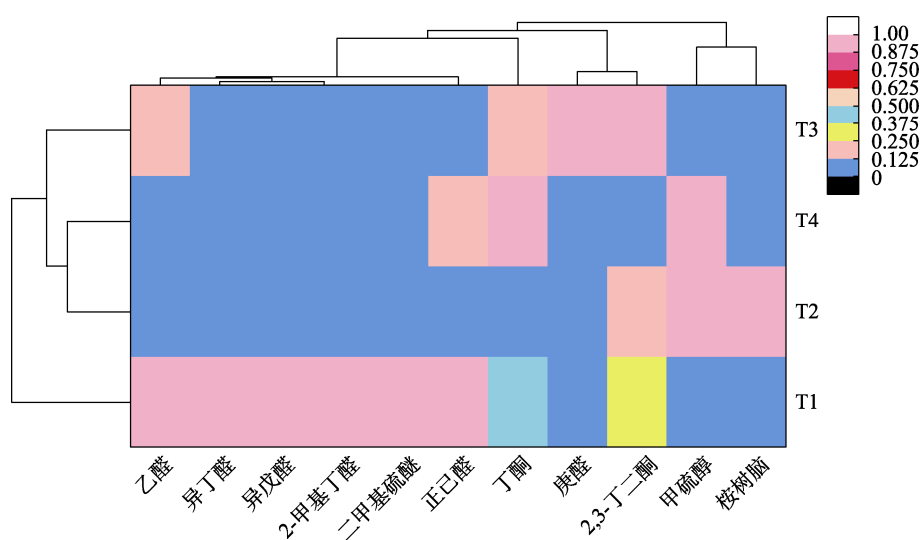


图 4 不同加工阶段固始鹅块关键挥发性风味物质的聚类热图

Fig.4 Cluster heat map of key volatile flavor compounds in Gushi goose nuggets at different processing stages

## 3 结论

采用 GC-MS 对不同加工阶段的固始鹅块产品的挥发性风味物质进行分析, 共鉴定出挥发性风味物质 24 种: 13 种醛类、2 种酮类、3 种酯类、7 种醇类、1 种硫醚类和 2 种其他类。固始鹅块样品中的主要挥发性成分是酮类和醛类。随着加工过程的进行, 醛类挥发性风味物质的含量显著提高, 醇类化合物相对含量在 4 个样品中占比最高。通过 ROAV 法分析确定原料肉整体风味表现为洋葱香、果香、麦芽香味突出。而炖煮后整体风味突出呈现洋葱香、奶油香, 炒制后固始鹅块整体风味突出表现为奶油香、果香、清香, 灭菌后的固始鹅块样品整体风味则表现为果香、清香、洋葱香味突出。通过 OPLS-DA 模型、PCA 以及聚类分析均发现炖煮后和灭菌后的样品风味较接

近, 说明灭菌后对固始鹅块产品的风味产生较大的影响。本研究为固始鹅块制作过程中的风味品质提供了一定理论依据, 也为其综合开发利用提供了参考。

## 参考文献:

- [1] 李冬梅, 张雪迪, 毕景然, 等. 中式预制菜肴产业的传承与创新[J]. 中国食品学报, 2022, 22(10): 1-8.  
LI D M, ZHANG X D, BI J R, et al. Inheritance and innovation of Chinese prefabricated dishes industry[J]. Chinese Journal of Food, 2022, 22(10): 1-8.
- [2] LUNGU N S, AFOLAYAN A J, IDAMOKORO E M. Warmed-over flavour profiles, microbial changes, shelf-life and check-all-that-apply sensory analysis of cooked minced pork treated with varying levels of Moringa oleifera leaf and root powder[J]. Heliyon, 2022, 8(9): e10616.
- [3] 李嘉灏, 曾瑶英, 熊玉帛, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 及电子舌对预制梅菜扣肉关键性风味与过熟味评价分析[J]. 食品工

- 业科技, 1-23.
- LI J H, ZENG Y Y, XIONG Y B, et al. Based on HS-SPME-GC-MS and electronic tongue, the evaluation and analysis of key flavor and over-cooked flavor of prefabricated meicai button meat[J]. Food industry science and technology, 1-23.
- [4] 尹含靓, 肖何, 邓高文, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 分析风味鱼仔加工过程中风味物质的变化[J]. 中国调味品, 2022, 47(3): 8-13.
- YIN H L, XIAO H, DENG G W, et al. The changes of flavor substances during the processing of flavor fish fry were analyzed based on HS-SPME-GC-MS[J]. Chinese condiment, 2022, 47(3): 8-13.
- [5] 龚姚谦, 刘红梅, 罗凤莲, 等. 加工工艺对芷江鸭挥发性风味成分的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 194-200.
- GONG Y Q, LIU F M, LUO F L, et al. Effect of processing technology on volatile flavor components of Zhijiang duck[J]. Food and machinery, 2020, 36(7): 194-200.
- [6] 潘牧, 李俊, 刘辉, 等. 4 种不同酵母酿造杨梅酒的风味特征差异分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(23): 214-226.
- PAN M, LI J, LIU H, et al. Analysis of flavor characteristics of bayberry wine fermented by four different yeasts[J]. Journal of Food Safety and Quality Inspection, 2023, 14(23): 214-226.
- [7] LINA G, MIN Z. Formation and release of cooked rice aroma[J]. Journal of Cereal Science, 2022, 107: 103523.
- [8] 常思盎, 惠腾, 刘毅, 等. 灭菌和复热工艺对黄焖鸡挥发性风味物质的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(4): 20-26.
- CHANG S Y, HUI T, LIU Y, et al. Effects of sterilization and reheating processes on volatile flavor compounds in stewed chicken[J]. Meat Research, 2018, 32(4): 20-26.
- [9] 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 and evaluation of volatile flavor substances in sturgeon during traditional fermentation[J]. Food Science, 2019, 40(10): 236-242.
- [10] GONG H, YANG Z, LIU M, et al. Time-dependent categorization of volatile aroma compound formation in stewed Chinese spicy beef using electron nose profile coupled with thermal desorption GC-MS detection[J]. Food Science and Human Wellness, 2017, 6(3): 137-146.
- [11] 周晓, 周劲松, 刘特元, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 分析循环熬制卤水对风味熟制小鱼干风味的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(19): 320-328.
- ZHOU X, ZHOU J, LIU T, et al. Analysis of the effects in the flavor anchovy during circulating boiling brine based on HS-SPME-GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(19): 320-328.
- [12] DENG S Y, LIU Y H, HUANG F, et al. Evaluation of volatile flavor compounds in bacon made by different pig breeds during storage time[J]. Food Chemistry, 2021, 357: 129765.
- [13] 陈丽兰, 陈祖明, 袁灿. 气相色谱-离子迁移谱结合化学计量法分析不同炒制时间对郫县豆瓣酱挥发性化合物的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(14): 283-290.
- CHEN L L, CHEN Z M, YUAN C. Gas chromatography-ion mobility spectrometry combined with chemometrics was used to analyze the effects of different frying time on the volatile compounds of Pixian bean paste[J]. Food Science, 2023, 44(14): 283-290.
- [14] 郑荣美, 张磊, 郑淮升, 等. 不同杀菌方式对白切香猪肉品质和挥发性成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024: 1-12.
- ZHENG R M, ZHANG L, ZHENG H S, et al. Effects of different sterilization methods on the quality and volatile components of white-cut pork[J]. Food and Fermentation Industry, 2024: 1-12.
- [15] 王树庆, 范维江, 郭风军. 冷鲜猪肉新鲜度检测的特征性化合物[J]. 食品工业, 2015, 36(11): 40-42.
- WANG S Q, FAN W J, GUO F J. Characteristic compounds for freshness detection of chilled pork[J]. Food industry, 2015, 36(11): 40-42.
- [16] Van GEMERT V J. Odor thresholds complications of odor threshold values in air, water and other media[M]. London: Longman, 2011.
- [17] 朱荫, 杨婷, 施江, 等. 西湖龙井茶香气成分的全二维气相色谱-飞行时间质谱分析[J]. 中国农业科学, 2015, 48(20): 4120-4146.
- ZHU Y, YANG T, SHI JIANG, et al. Comprehensive two-dimensional gas chromatography-time of flight mass spectrometry analysis of aroma components in West Lake Longjing tea[J]. Chinese Agricultural Sciences, 2015, 48(20): 4120-4146.
- [18] 张文玉, 李雅, 马赫, 等. GC-MS 结合化学计量法分析不同干燥方式对茺荃风味物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024: 1-9.
- ZHANG W Y, LI Y, MA H, et al. GC-MS combined with chemometrics was used to analyze the effects of different drying methods on the flavor substances of coriander[J]. Food and Fermentation Industry, 2024: 1-9.
- [19] 韩颖, 易宇文, 何莲, 等. 基于电子鼻和气质联用分析萌芽大蒜挥发性物质差异[J]. 食品工业科技, 2024: 1-14.
- HANG Y, YI Y W, HE L, et al. Based on electronic nose and GC-MS, the differences of volatile substances in germinated garlic were analyzed[J]. Food Industry Technology, 2024: 1-14.
- [20] 姜澳, 黎洪霞, 刘肇龙, 等. 飞龙掌血蜂蜜挥发性物质组成及关键香气物质分析[J]. 食品科学, 2024, 1-20.
- JIANG A, LI H X, LIU Z L, et al. Analysis of volatile components and key aroma components of Toddalia asiatica honey[J]. Food Science, 2024, 1-20.
- [21] 彭斌, 陈云云, 黄志强, 等. 三种鱿鱼内脏鱼油提取精炼及品质分析[J]. 食品工业科技, 2024, 1-23.
- PENG B, CHEN Y Y, HUANG Z Q, et al. Extraction, refining and quality analysis of fish oil from three kinds of squid viscera[J]. Food Industry Technology, 2024, 1-23. 完
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。