

于洋, 周舟, 曹蒙, 等. 高温蒸汽杀菌温度对旅游食品固始鹅块风味品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2025, 46(14): 104–114. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020050

YU Yang, ZHOU Zhou, CAO Meng, et al. Effect of High Temperature Steam Sterilization Temperature on Flavor Quality of Tourism Food Gushi Goose Nuggets[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(14): 104–114. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020050

· 特邀主编专栏—地方特色食品: 加工技术、感官品质、风味特性和营养健康 (特邀主编: 易俊洁、和劲松、郭超凡) ·

高温蒸汽杀菌温度对旅游食品固始鹅块风味品质的影响

于 洋^{1,2,*}, 周 舟³, 曹 蒙³, 何珺悦⁴, 周 颖⁴

(1. 信阳农林学院旅游学院, 河南信阳 464000;

2. 河南大学工商管理博士后流动站, 河南开封 475000;

3. 信阳农林学院食品科学与工程学院, 河南信阳 464000;

4. 信阳农林学院管理学院, 河南信阳 464000)

摘 要: 为探究高温蒸汽杀菌温度 (121、126、134 °C) 对信阳特色旅游食品固始鹅块挥发性成分及香气特征的影响, 采用感官评价、顶空固相微萃取-气相色谱-质谱 (Headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS) 技术, 结合偏最小二乘判别分析 (Partial least squares discrimination analysis, PLS-DA)、相对气味活性值 (Relative odor activity value, ROAV) 及主成分分析 (Principle component analysis, PCA) 分析未杀菌组、121 °C 杀菌组、126 °C 杀菌组、134 °C 杀菌组 (M0、M1、M2、M3) 之间的感官品质与挥发性物质之间的差异。结果表明, 121 °C 处理组 (M1) 在香气、滋味、色泽及组织状态方面与对照组 (M0) 最为接近。4 组样品共鉴定出 99 种挥发性成分, 其种类与含量差异显著。基于 PLS-DA 筛选出 33 种投影变量重要性 (VIP>1) 的标志性成分, 模型对杀菌温度的判别预测准确率达 97.3%。ROAV 分析表明 134 °C (M3) 处理组的醛类物质 ROAV 显著高于其他组, 导致过熟味最强, 而 121 °C 杀菌组的特征风味物质种类最多, 脂肪香气、果香及清香更浓郁, 且未产生明显异味。PCA 结果表明, 当杀菌温度超过 121 °C 时, 挥发性成分由醇类主导转变为醛类主导, 脂肪香气显著增强。综合分析表明, 121 °C 高温蒸汽灭菌既能保持固始鹅块与未杀菌样品最接近的香气特征, 又能促进风味物质释放, 避免过熟异味的产生, 该结果为该旅游食品的加工工艺优化与品质提升提供了理论依据。

关键词: 固始鹅块, 高温蒸汽杀菌温度, 风味物质, 偏最小二乘判别分析, 相对气味活度值, 主成分分析

中图分类号: TS251.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2025)14-0104-11

本文网刊:

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025020050



Effect of High Temperature Steam Sterilization Temperature on Flavor Quality of Tourism Food Gushi Goose Nuggets

YU Yang^{1,2,*}, ZHOU Zhou³, CAO Meng³, HE Junyue⁴, ZHOU Ying⁴

(1. College of Tourism, Xinyang University of Agriculture and Forestry, Xinyang 464000, China;

2. Business Administration Postdoctoral Research Station, Henan University, Kaifeng 475000, China;

3. College of Food Science and Engineering, Xinyang University of Agriculture and Forestry, Xinyang 464000, China;

4. College of Management, Xinyang University of Agriculture and Forestry, Xinyang 464000, China)

收稿日期: 2025-02-12

基金项目: 河南省科技攻关项目 (242102110112, 252102110108); 信阳农林学院青年教师科研基金项目 (QN2022030, QN2023030); 2024 年度河南省“科技副总”; 2024 年度留学人员科研择优资助项目。

作者简介/通信作者*: 于洋 (1989-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 旅游食品加工与质量控制、文旅融合、文化旅游资源, E-mail: xyafuyy@163.com。

Abstract: To investigate the effects of high-temperature steam sterilization (121, 126, and 134 °C) on volatile components and aroma characteristics of Gushi goose nuggets: A characteristic Xinyang tourism food product, sensory evaluation coupled with headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) were used. Partial least squares discriminant analysis (PLS-DA), relative odor activity value (ROAV), and principal component analysis (PCA) were utilized to assess variations in sensory attributes and volatile compound profiles across experimental groups: non-sterilized control (M0), 121 °C sterilized (M1), 126 °C sterilized (M2), and 134 °C sterilized (M3). The results showed that the treatment group at 121 °C (M1) was closest to the control group (M0) in terms of aroma, taste, color, and tissue state. A total of 99 volatile components were identified in the four groups of samples, with significant differences in their types and contents. Based on PLS-DA, 33 characteristic components with variable importance in the projection ($VIP > 1$) were screened, and the discriminant prediction accuracy of the model for the sterilization temperature reached 97.3%. ROAV analysis indicated that the ROAV of aldehydes in the treatment group at 134 °C (M3) was significantly higher than that in other groups, resulting in the strongest overcooked flavor. In contrast, the group sterilized at 121 °C had the largest variety of characteristic flavor substances, with a richer fatty, fruity, and fresh aroma, and no obvious off-flavors were produced. The PCA results showed that when the sterilization temperature exceeded 121 °C, the dominant volatile components shifted from alcohols to aldehydes, significantly enhancing the fatty aroma. The comprehensive analysis demonstrated that high-temperature steam sterilization at 121 °C could not only maintain the aroma characteristics of Gushi goose nuggets to those of the unsterilized sample but also promoted the release of flavor substances and avoid the generation of overcooked off-flavors. These results provide a theoretical basis for the optimization of processing technology and the improvement of tourist food quality.

Key words: Gushi goose nuggets; high-temperature steam sterilization temperatures; flavor substances; partial least squares discriminant analysis; relative odor activity value; principal component analysis

固始鹅块是信阳传统名菜,以本地特色食材固始鹅为原料,经独特工艺烹制而成,具有汤鲜肉嫩的品质特征。作为旅游六要素“吃”的重要载体^[1],其不仅是地方饮食文化的代表,更因游客“在地体验+异地消费”需求延伸出旅游食品属性。随着信阳旅游业快速发展,传统菜肴制品的消费需求激增,固始鹅块作为“信阳十大名吃”之一,也出现了预制固始鹅块旅游食品。

固始鹅块作为高蛋白、高含水量旅游食品,其内源酶活性高,易受微生物污染导致货架期受限,杀菌工艺成为品质控制的核心环节^[2]。目前主流杀菌技术中,巴氏杀菌虽热损伤低但依赖冷链且传热不均^[3];辐照杀菌虽高效却易引发辐照异味与色泽劣变^[4];超高压杀菌具有杀菌均匀、便于控制的优点,但受制于设备成本且产品保质期较短,不利于在生产销售过程中的成本控制^[5],达不到规模化生产要求。相较之下,高温蒸汽杀菌技术凭借高效、低成本、易操作、安全性优势,可以实现旅游食品长期贮藏的目的,是目前食品工业中应用最广泛的杀菌方式之一^[6]。然而,高温处理易引发蛋白质变性、脂质氧化及美拉德反应过度,导致质构硬化、风味失真等问题^[7-8],因此精准控温是平衡杀菌效率与品质保留的关键。沈慧敏^[9]发现,121 °C 杀菌后的小龙虾尾部的质构、色泽、TBARS 和 5-HMF 最接近杀菌前状态的。宋玉申^[10]研究发现 110 °C/11 min 的高压蒸汽杀菌方案保留了小龙虾的口感、风味。邵俊峰^[11]发现 121 °C 杀菌烧鸡的香味与未杀菌组高度接近。这些研究表明适当的高压蒸汽杀菌温度可以较好地保持食品品质。多项研究表明高压蒸汽杀菌过程中

食品中的不饱和脂肪酸的氧化和分解,会产生更多的风味化合物,改变旅游食品的原有风味^[12-14]。长时间高温处理会加速脂质氧化,因不饱和脂肪酸的氧化降解和美拉德反应而破坏食品风味^[15],过高的杀菌温度会引发过熟味等不良风味。因此,在确保食品安全的前提下,如何优化杀菌工艺以最大限度地保留肉制品的自然风味和质构,成为食品加工领域亟待解决的重要研究课题。关于不同杀菌温度对旅游食品的特征香气及其区分的文献相对较少。因此,系统研究不同杀菌温度的特征香气是本研究的主要目的。

本研究主要探讨不同的高温蒸汽杀菌温度与风味之间的关系,通过利用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱(Headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)技术鉴定不同杀菌温度中旅游食品预制固始鹅块中的挥发性化合物,采用化学计量学方法建立不同杀菌温度下固始鹅块的各挥发性成分的判别模型,并结合相对气味活性值(Relative odor activity value, ROAV)分析各杀菌温度下固始鹅块的关键性特征风味,利用主成分分析(Principle component analysis, PCA)综合评价不同杀菌温度对固始鹅块的香气品质。旨在为预制固始鹅块的工业化生产提供一定的理论基础以及为最终的食用品质提供参考,为旅游食品的合适杀菌工艺提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜屠宰后的固始整鹅(净重 3 斤左右)、葱、姜 信阳三桥金润超市;食盐 中盐河南盐业有限公司;食用油 益海嘉里粮油有限公司;耗油 佛山海

天调味食品有限公司。

AL-204 电子天平 梅特勒-托利多仪器有限公司; LDZW-80L 立式高压蒸汽杀菌器 上海申安医疗器械厂; 5977A-7890B 气相质谱联用仪 美国安捷伦公司; 50/30 μm CAR/PDMS/DVB 型手动固相微萃取装置 美国 Supelco 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。

1.2 实验方法

1.2.1 固始鹅块加工工艺 固始鹅块的加工工艺参考前期实验^[16]的制作方法,将屠宰后的整鹅清洗修整(每只鹅的重量保持在 1500 ± 10 g)后,整鹅入锅加水炖煮 1.5 h,冷却至室温后切为 $2\text{ cm} \times 6\text{ cm}$ 块状;随后锅中放入 300 g 食用油、160 g 姜丝及 45 g 干辣椒煸炒出香,加入 200 g 鹅汤、40 g 盐与 20 g 蚝油熬煮 5 min;将制作好的固始鹅块冷却至室温后进行真空包装,真空包装后置入高压蒸汽杀菌锅,分别采用不同杀菌温度(未杀菌、121、126、134 $^{\circ}\text{C}$)条件下杀菌 20 min,杀菌后立即转移至 $0 \sim 4$ $^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存。从鹅胸部位取样,4 组样品分别标记为未杀菌组(M0)、121 $^{\circ}\text{C}$ 杀菌组(M1)、126 $^{\circ}\text{C}$ 杀菌组(M2)、134 $^{\circ}\text{C}$ 杀菌组(M3)。

1.2.2 感官评定 参照汪正熙等^[17]的方法稍作修改,选择十名食品专业人员作为感官评定员并进行培训。将不同杀菌处理的固始鹅块 100 $^{\circ}\text{C}$ 下复煮 15 min。感官评分标准见表 1。

表 1 感官评价标准
Table 1 Criteria for sensory evaluation

项目	评分标准	评分(分)
香气	味道爽口,辛辣适中	15~25
	味道一般,过咸或无味	8~14
	味道差或有不适口感	0~7
色泽	肉色正常,有光泽	15~25
	肉色略显暗灰色,光泽较差	8~14
	肉色呈暗灰色,无光泽	0~7
组织状态	肉质软硬适中,有嚼劲	15~25
	组织较紧密,略有嚼劲	8~14
	肉质疏松无嚼劲或过硬	0~7
滋味	味道爽口,辛辣适中	15~25
	味道一般,过咸或无味	8~14
	味道差或有不适口感	0~7

1.2.3 挥发性化合物的提取和鉴定 参考蒋小锋等^[18]的实验方法稍作改动。取 5.0 g 固始鹅块样品于 20 mL 顶空瓶,加盖密封后置于 50 $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴中富集 20 min 后,分别采用 PDMS/CAR 和 PDMS 萃取 60 min 后,将萃取头于 250 $^{\circ}\text{C}$ 进样口解吸 3 min,采用 GC-MS 联用仪进行风味分析。

GC 条件: HP-5MS 毛细管柱 ($30\text{ m} \times 0.25\text{ mm}$, $0.25\text{ }\mu\text{m}$),进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,不分流进样,载气(He)流速 1.2 mL/min,压力 2.4 kPa。升温程序:初

始温度 40 $^{\circ}\text{C}$ 保持 3 min,以 6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 120 $^{\circ}\text{C}$,维持 1 min,然后以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温到 300 $^{\circ}\text{C}$ 保持 10 min,接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$ 。

MS 条件: 离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$; 离子源电子能量 70 eV,扫描质量范围 35~500 amu。

数据获取: 利用 GC-MS 获取峰值,与 MS 谱库(NIST17-1.lib 与 NIST17s.lib)比对质谱信息, $\text{SI} \geq 80$ 的数据视为有效,进行人工定性分析,采用归一化法对峰面积进行定量。

1.2.4 关键挥发性风味物质评价 通过 ROAV 的大小评价不同风味物质对产品风味的贡献,确定关键风味成分。 $\text{ROAV} \geq 1$,为样品的关键风味化合物; $0.1 \leq \text{ROAV} < 1$,对样品风味有修饰作用^[19]。ROAV 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 为各挥发性物质的相对含量(%); T 为各挥发性物质的阈值(mg/kg); C_{stan} 风味贡献最大组分的相对含量(%); T_{stan} 为风味贡献最大组分的阈值(mg/kg)。

1.3 数据处理

GC-MS 数据通过 Microsoft Excel 2010 进行处理; 利用 SIMCA14.1 进行偏最小二乘判别分析(Partial least squares discrimination analysis, PLS-DA)图形的绘制; Venn 图与 PCA 分析通过 Origin 2021 分别进行绘制与分析。

2 结果与分析

2.1 感官评价

由图 1 可知, M0 组的感官评分最高,其次是 M1、M2、M3 组感官评分最低,说明不同的杀菌温度下的固始鹅块感官评分存在一定差异。其中,评分差异最大的是滋味与香气, M3 组较 M0 组滋味得分降幅达 33.3%(滋味),香气降幅达 34.8%。而感官色泽的降幅不大,各组的感官色泽的差异相对较小,

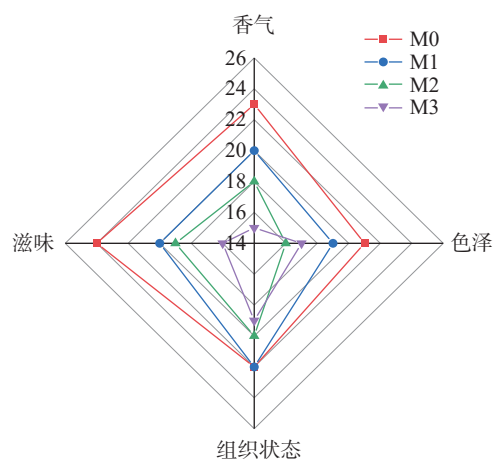


图 1 不同杀菌温度固始鹅块感官评分

Fig.1 Sensory scores of Gushi goose nuggets at different sterilization temperatures

M1 组的组织状态得分较接近于 M0 组, 而 M2、M3 组组织状态得分则较低。结果显示 M1 的香气、滋味、色泽、组织状态的评分更接近于 M0 组, 而 M2、M3 组由于温度偏高导致样品过于软烂因此评分较低。

2.2 GC-MS 分析结果

2.2.1 挥发性风味物质种类分析 采用 HS-SPME-GC-MS 技术对 4 组样品的香气组分及其相对含量进行鉴定与分析, 根据各类样品的挥发性成分建立不同杀菌温度下固始鹅块挥发性风味物质种类的韦恩图与化合物类别相对含量分析图(图 2), 四组样品的挥发性成分种类有较大差异。从图 2a 可知, 4 组样品分别检测出 36、45、49、43 种挥发性成分, 4 组样品共有的挥发性成分有 12 种, 分别有 18、15、9、13 种特有的挥发性成分。Venn 图展示了不同杀菌温度下的预制固始鹅块的挥发性成分种类的差异。由图 2b 可知, 不同杀菌温度下的固始鹅块的挥发性风味物质的种类可分为醇类、酸类、烷类、烯烃类、酯类、含硫化合物、醛类、酮类、其他类, 四组样品的物质种类相近, 但是含量有一定的差异性。这可能是由于杀菌处理引起的脂质氧化水平增加, 显著改变固始鹅块的风味^[20]。酯类风味物质与醇类风味物质的种类最多, 在整体挥发性物质中发挥了重要作用。

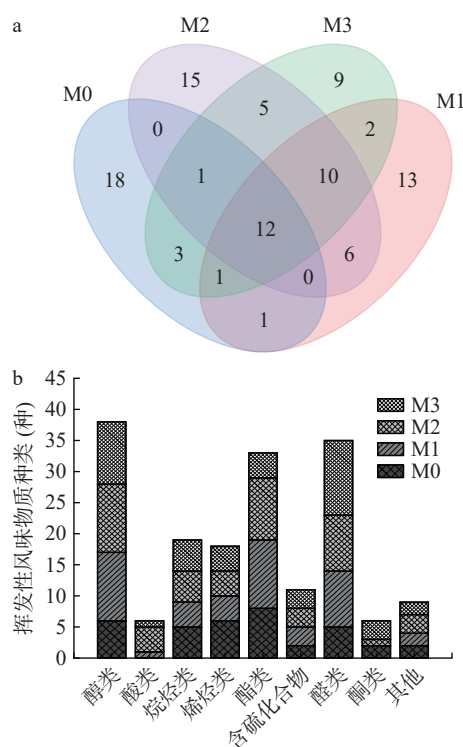


图 2 不同杀菌温度固始鹅块挥发性成分 Venn 图(a)、化合物种类分析图(b)

Fig.2 Venn diagram (a) and analysis diagram (b) of the types of compounds of the volatile components of Gushi goose nuggets at different sterilization temperatures

2.2.2 挥发性风味物质分析 由表 2 可知, 通过 HS-SPME-GC-MS 法, 4 组样品共检出 99 种挥发性物

质, 分别为醇类 23 种, 酸类 3 种, 烷类 12 种, 烯烃类 6 种, 酯类 23 种, 含硫化合物 3 种, 醛类 16 种, 酮类 5 种, 及其他类物质 7 种。本研究通过分析不同杀菌温度对固始鹅块风味物质的影响, 发现 4 组样品的挥发性成分呈现显著差异。

M0、M1、M2、M3 中的醇类物质的相对含量分别为 11.01%、22.14%、17.41%、17.90%。其中共有挥发性风味物质 1-辛烯-3-醇作为不饱和醇类, 相对含量随杀菌温度升高显著降低 ($P < 0.05$)。张德润等^[21] 也发现牛肉丸在杀菌后 1-辛烯-3-醇等醇显著减少。1-辛烯-3-醇有类似蘑菇的香气, 高浓度时常被认为是异味和腥味的来源。其含量的降低说明高温杀菌可有效降低鹅肉中的肉腥味^[22]。随着杀菌温度的提高, 醇类物质的含量在灭菌温度低于 121 °C 时含量增加, 但杀菌温度在高于 121 °C 后, 相对含量反而降低, 可能是杀菌过程中温度的提高发生了脂质氧化, 醇类物质转化为醛酮类物质^[23], 这也就减少了鹅肉中的腥味来源, 米鑫鑫等^[24] 研究鱼肉烘烤过程中醇类物质的含量的变化也发现了相同的变化规律。

酸类风味物质共检测出 5 种, 仅在杀菌组检出 (M1: 0.58%、M2: 11.65%、M3: 0.31%), M0 组可能是因为含量较低未被检测出。酸类风味物质主要是由热反应而产生, 具有刺鼻的不愉快气味, 其感官阈值极高^[25], 整体风味影响有限。

烷烃类物质源于脂质过氧化, 其风味阈值高, 对风味贡献有限, 但多种烷烃共同作用可能影响固始鹅块的风味^[26]。共检测出 12 种烷烃类物质, 其中 M0 中有 12 种、M1 中 11 种、M2 中 2 种、M3 中 5 种, 且相对含量随着杀菌温度的提高显著增加 ($P < 0.05$), 这可能源于脂肪酸降解^[27], 李昶展等^[28] 也得出相同的结论。烯烃类主要来自制作过程中添加的香辛料。M0 组检出烯烃类物质 6 种, 相对含量 5.96%, 杀菌后种类减少至 4 种 (M1: 3.37%、M2: 3.01%、M3: 4.90%), 说明杀菌后, 会导致烯烃类风味物质减少。这可能是因为烯烃类化合物进一步转化为醛酮类化合物^[29]。其中, 姜烯、(+)-柠檬烯、姜黄烯、 β -倍半水芹烯与 α -姜烯主要来源于固始鹅块制作过程中所放的干辣椒与生姜中^[30]。

4 组样品中共检测到 24 种酯类物质, 在种类和含量上差异较大。酯类物质主要来源于脂肪在高温下发生的氧化、水解等化学反应, 酯类物质的阈值较高, 对整体风味起到一定的修饰作用^[31]。其中乙酯类物质的阈值不高, 具有奶油香和果香等香味, 对固始鹅块的风味形成有着重要作用^[32]。杀菌温度的升高导致酯类化合物的相对含量显著减少 ($P < 0.05$), 可能与热处理和高压作用酯类物质不稳定而分解有关, 这与王善宇等^[22] 的研究结果一致。

含硫化合物主要是由氨基酸的降解产生, 来源于含硫氨基酸如半胱氨酸的转化, 赋予产品鱼、洋葱味道, 4 组样品中的含硫化合物可能来源于炖煮过程

中添加的葱段以及制作过程中所添加的耗油以及炖煮过程中所添加的葱段^[33-34]。在 4 组样品中共检测出 3 种含硫化合物, 相对含量大小为 M3>M0>M1>M2, M0 与 M3 的相对含量无显著性差异($P>0.05$),

M3 的相对含量显著增加可能是由于高温下的美拉德反应导致, 而杀菌温度提高至 134 ℃, 含硫化合物的相对含量显著降低, 说明在过高的杀菌温度会导致含硫化合物被破坏和挥发损失。这与赵冬

表 2 不同杀菌温度下固始鹅块挥发性成分的种类及含量

Table 2 Types and contents of volatile components of Gushi goose nuggets under different sterilization temperatures

种类	序号	挥发性化合物	CAS	分子式	保留时间 (min)	保留 指数	相对含量(%)			
							M0	M1	M2	M3
醇类	A1	2-丁基-1-正辛醇	3913-02-8	C ₁₂ H ₂₆ O	11.95	1393	1.09±0.20	—	—	—
	A2	反式-2-辛烯醇	18409-17-1	C ₈ H ₁₆ O	12.14	1067	0.56±0.02	—	—	—
	A3	1,7,7-三甲基双环2.2.1-庚烷-2-醇	10385-78-1	C ₁₀ H ₁₈ O	13.89	1138	0.95±0.00	—	—	—
	A4	1,3-戊二醇	149-31-5	C ₆ H ₁₄ O ₂	1.92	959	—	0.39±0.01 ^c	0.91±0.00 ^a	0.75±0.08 ^b
	A5	2-丁醇	78-92-2	C ₄ H ₁₀ O	2.15	581	—	1.89±0.03	—	—
	A6	正丁醇	71-36-3	C ₄ H ₁₀ O	2.74	662	—	1.57±0.05 ^a	1.61±0.12 ^a	—
	A7	(R)-(-)-2-丁醇	14898-79-4	C ₄ H ₁₀ O	2.16	581	—	—	1.63±0.15	—
	A8	异戊醇	123-51-3	C ₅ H ₁₂ O	3.98	697	—	9.76±0.11 ^a	3.94±0.08 ^b	4.29±0.48 ^b
	A9	2,2-二甲基丙硫醇	1679-08-9	C ₅ H ₁₂ S	5.76	1444	—	3.14±0.06	—	—
	A10	正庚醇	111-70-6	C ₇ H ₁₆ O	10.26	960	—	0.51±0.01 ^b	—	0.87±0.02 ^a
	A11	1-辛烯-3-醇	3391-86-4	C ₈ H ₁₆ O	10.43	969	4.75±0.18 ^a	1.46±0.01 ^b	0.89±0.02 ^c	0.30±0.00 ^d
	A12	2-甲基-6-庚烯-1-醇	67133-86-2	C ₈ H ₁₆ O	10.715	985	—	2.07±0.14	—	—
	A13	2,3-二甲基环己醇	1502-24-5	C ₈ H ₁₆ O	13.88	1030	—	0.71±0.11	—	—
	A14	(R)- α,α -4-三甲基-3-环己烯-1-甲醇	7785-53-7	C ₁₀ H ₁₈ O	14.26	1143	—	0.31±0.02	—	—
	A15	正己醇	111-27-3	C ₆ H ₁₄ O	7.89	860	—	—	3.00±0.07	—
	A16	辛醇	111-87-5	C ₈ H ₁₈ O	12.19	1059	—	—	1.23±0.06 ^a	1.27±0.02 ^a
	A17	苯乙醇	60-12-8	C ₈ H ₁₀ O	12.98	1136	—	—	0.40±0.03 ^a	0.5±0.01 ^a
	A18	6-甲基-5-庚烯-2-醇	1569-60-4	C ₈ H ₁₆ O	10.71	964	—	—	0.54±0.06 ^b	5.43±0.30 ^a
	A19	桉叶油醇	470-82-6	C ₁₀ H ₁₈ O	11.49	1059	2.26±0.12 ^a	—	—	1.84±0.07 ^b
	A20	芳樟醇	78-70-6	C ₁₀ H ₁₈ O	12.70	1082	0.52±0.01 ^a	0.33±0.01 ^a	—	—
	A21	3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇	624-15-7	C ₁₀ H ₁₈ O	15.17	1228	—	—	—	0.34±0.00
	A22	1-壬醇	143-08-8	C ₉ H ₂₀ O	13.89	1159	—	—	0.94±0.04	—
酸类	醇类总和						10.13±0.14 ^a	22.14±0.10 ^b	15.09±0.12 ^b	16.87±0.12 ^b
	B1	醋酸	64-19-7	C ₂ H ₄ O ₂	2.57	576	—	0.58±0.04 ^b	0.97±0.07 ^a	0.31±0.00 ^c
	B2	丙酸	79-09-4	C ₃ H ₆ O ₂	3.67	676	—	—	0.19±0.00	—
	B3	4-甲基戊酸	646-07-1	C ₆ H ₁₂ O ₂	10.33	910	—	—	9.99±0.27	—
	B4	异庚酸	628-46-6	C ₇ H ₁₄ O ₂	11.70	1009	—	—	0.5±0.05	—
烷烃类	酸类总和						—	0.24±0.12 ^b	11.65±0.14 ^a	0.31±0.01 ^b
	C1	三氯甲烷	67-66-3	CHCl ₃	2.284	—	—	4.68±0.38 ^b	5.23±0.26 ^a	5.72±0.17 ^a
	C2	环丙烷	68998-21-0	C ₃ H ₆	11.422	928	1.36±0.03	—	—	—
	C3	2,6,10-三甲基十三烷	3891-99-4	C ₁₆ H ₃₄	15.53	1419	0.52±0.01	—	—	—
	C4	十二烷	112-40-3	C ₁₂ H ₂₆	14.33	1214	0.56±0.01 ^b	—	1.32±0.03 ^a	1.26±0.07 ^a
	C5	1-溴-2-甲基环己烷	6294-39-9	C ₇ H ₁₃ Br	16.08	1038	—	0.23±0.03	—	—
	C6	正十五烷	629-62-9	C ₁₅ H ₃₂	17.18	1512	1.00±0.02 ^b	0.65±0.05 ^d	0.83±0.05 ^c	3.72±0.38 ^a
	C7	正十六烷	544-76-3	C ₁₆ H ₃₄	19.71	1612	0.58±0.08 ^a	—	—	0.32±0.25 ^b
	C8	正二十一烷	629-94-7	C ₂₁ H ₄₄	26.14	2109	—	1.17±0.04 ^a	0.89±0.07 ^b	—
	C9	正十九烷	629-92-5	C ₁₉ H ₄₀	21.03	1910	—	—	0.19±0.00	—
烯烃类	C10	2,3,5,8-四甲基癸烷	192823-15-7	C ₁₄ H ₃₀	12.71	1156	—	—	—	1.29±0.04
	烷烃类总和						4.02±0.12 ^d	6.73±0.12 ^c	8.46±0.56 ^b	12.31±0.15 ^a
	D1	蒎烯	79-92-5	C ₁₀ H ₁₆	9.73	943	0.68±0.12 ^a	0.41±0.00 ^b	0.26±0.01 ^c	0.21±0.02 ^c
	D2	α -姜黄烯	644-30-4	C ₁₅ H ₂₂	18.35	1524	0.79±0.16 ^a	0.21±0.01 ^b	0.25±0.02 ^b	0.14±0.02 ^c
	D3	姜烯	495-60-3	C ₁₅ H ₂₄	18.51	1451	2.33±0.13 ^a	2.26±0.11 ^a	2.23±0.08 ^a	2.00±0.21 ^a
	D4	(Z)-1-甲基-4-(6-甲基庚-2,5-二烯-2-基)环己-1-烯	29837-07-8	C ₁₅ H ₂₄	18.68	1518	0.71±0.08	—	—	—
	D5	β -倍半水芹烯	20307-83-9	C ₁₅ H ₂₄	18.88	1446	0.89±0.08	—	—	—
	D6	(+)-柠檬烯	5989-27-5	C ₁₀ H ₁₆	11.42	1018	0.56±0.04 ^a	0.49±0.01 ^a	0.27±0.02 ^b	2.55±0.17 ^b
烯烃类总和						5.96±0.01 ^a	3.37±0.12 ^b	3.01±0.32 ^b	4.90±0.56 ^a	

续表 2

种类	序号	挥发性化合物	CAS	分子式	保留时间 (min)	保留 指数	相对含量(%)			
							M0	M1	M2	M3
酯类	E1	邻苯二甲酸酯	84-69-5	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	18.22	1908	1.41±0.01	—	—	—
	E2	正己酸乙烯酯	3050-69-9	C ₈ H ₁₄ O ₂	12.63	974	0.63±0.03	—	—	—
	E3	棕榈酸甲酯	112-39-0	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	20.85	1878	1.18±0.12	—	—	—
	E4	棕榈酸乙酯	628-97-7	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	22.99	1978	9.97±0.21	—	—	—
	E5	反油酸乙酯	6114-18-7	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	27.14	2185	4.08±0.18	—	—	—
	E6	硫代乙酸甲酯	1534-08-3	C ₃ H ₆ OS	3.24	706	—	8.09±0.07	—	—
	E7	己酸乙酯	123-66-0	C ₈ H ₁₆ O ₂	10.83	984	0.94±0.26	—	—	—
	E8	甲酸己酯	629-33-4	C ₇ H ₁₄ O ₂	7.88	981	12.47±0.32 ^a	4.61±0.13 ^c	—	8.74±0.02 ^b
	E9	硫代丁酸甲酯	2432-51-1	C ₅ H ₁₀ OS	8.33	905	—	0.65±0.00 ^a	0.70±0.04 ^a	—
	E10	碳酸二(2-甲氧基乙基)-酯	626-84-6	C ₈ H ₁₆ O ₄	1.63	1071	—	13.31±0.26	—	—
	E11	异戊酸甲硫醇酯	23747-45-7	C ₆ H ₁₂ OS	9.56	940	—	0.69±0.05 ^a	0.48±0.03 ^a	—
	E12	苯乙酸乙酯	101-97-3	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	15.06	1259	—	0.82±0.03 ^a	0.30±0.01 ^b	—
	E13	苯乙酸丙酯	4606-15-9	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	16.41	1359	—	0.53±0.02	—	—
	E14	邻苯二甲酸二异丁酯	84-69-5	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	22.28	1908	5.49±0.03 ^a	0.60±0.01 ^b	0.47±0.03 ^b	0.37±0.03 ^b
	E15	邻苯二甲酸丁基酯2-乙基己基酯	85-69-8	C ₂₀ H ₃₀ O ₄	26.15	2370	—	0.62±0.04	—	—
	E16	邻苯二甲酸二丁酯	84-74-2	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	25.02	2037	—	0.29±0.02 ^b	0.45±0.04 ^a	—
	E17	邻苯二甲酸十一烷基丁酯	120670-28-2	C ₂₃ H ₃₆ O ₄	23.12	2732	—	1.08±0.08	—	—
	E18	碳酸二(2-甲氧基乙基)酯	626-84-6	C ₇ H ₁₄ O ₅	1.61	1112	—	—	6.37±0.16 ^a	4.5±0.12 ^b
	E19	硫代氨基甲酸酰胺甲酯	2986-19-8	C ₂ H ₆ N ₂ S	3.24	673	—	—	12.9±0.01	—
	E20	硫代丙酸甲酯	5925-75-7	C ₄ H ₈ OS	—	—	—	—	3.11±0.06	—
	E21	丁酸丙酯	105-66-8	C ₇ H ₁₄ O ₂	8.62	884	—	—	0.16±0.02	—
	E22	己酸正庚酯	6976-72-3	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	12.01	1481	—	—	0.62±0.03	—
	E23	亚硝酸正丙酯	543-67-9	C ₃ H ₇ NO ₂	3.24	—	—	—	—	1.34±0.10
含硫化 化合物	酯类总和						36.17±0.03 ^a	31.29±0.56 ^b	25.56±0.15 ^c	14.95±0.24 ^d
	F1	二甲基二硫	624-92-0	C ₂ H ₆ S ₂	4.17	722	5.96±0.13 ^a	4.61±0.09 ^b	3.48±0.28 ^c	2.43±0.12 ^d
	F2	二甲基三硫	3658-80-8	C ₂ H ₆ S ₃	10.19	972	—	1.19±0.04 ^b	13.11±0.40 ^a	0.68±0.06 ^c
	F3	二甲基四硫	5756-24-1	C ₂ H ₆ S ₄	14.71	1223	1.06±0.02 ^b	0.85±0.05 ^c	1.67±0.10 ^a	0.43±0.02 ^d
	含硫化化合物总和						7.02±0.04 ^a	6.65±0.14 ^a	18.26±0.21 ^b	3.54±0.02 ^c
	G1	正己醛	66-25-1	C ₆ H ₁₂ O	5.85	806	2.45±0.04 ^c	3.14±0.25 ^b	1.38±0.11 ^d	8.53±0.16 ^a
	G2	桃醛	124-25-4	C ₁₄ H ₂₈ O	22.71	1601	2.70±0.12	—	—	—
	G3	庚醛	111-71-7	C ₇ H ₁₄ O	8.67	905	—	1.69±0.00 ^b	0.81±0.01 ^c	2.89±0.01 ^a
	G4	5-甲基-2-(1-甲基乙烯基)-4-己烯醛	75697-98-2	C ₁₀ H ₁₆ O	14.99	1092	0.8±0.00	—	—	—
	G5	苯甲醛	100-52-7	C ₇ H ₆ O	10.01	982	—	0.67±0.12 ^c	0.83±0.10 ^a	0.93±0.03 ^a
醛类	G6	正辛醛	124-13-0	C ₈ H ₁₆ O	10.91	1005	—	0.86±0.02	1.08±0.07	1.72±0.07 ^a
	G7	壬醛	124-19-6	C ₉ H ₁₈ O	12.78	1104	1.74±0.13 ^c	3.20±0.13 ^b	2.94±0.05 ^b	4.11±0.14 ^a
	G8	反式-2-壬醛	18829-56-6	C ₉ H ₁₆ O	13.71	1112	—	0.62±0.02 ^c	1.14±0.30 ^b	1.92±0.05 ^a
	G9	癸醛	112-31-2	C ₁₀ H ₂₀ O	14.43	1204	—	0.53±0.01 ^a	—	0.33±0.03 ^b
	G10	3-苄氧基-2-氟-6-甲氧基苯甲醛	1895032-76-4	C ₁₅ H ₁₃ FO ₃	16.73	2008	—	0.53±0.00	—	—
	G11	十七醛	629-90-3	C ₁₇ H ₃₄ O	22.72	1899	0.97±0.04 ^c	1.39±0.05 ^b	1.52±0.10 ^b	3.41±0.20 ^a
	G12	反-2-辛烯醛	2548-87-0	C ₈ H ₁₄ O ₂	11.97	1013	—	—	—	1.64±0.01
	G13	反式-2-癸烯醛	3913-81-3	C ₁₀ H ₁₈ O	15.29	1212	—	—	—	0.73±0.05
	G14	反式-2,4-癸二烯醛	25152-84-5	C ₁₀ H ₁₆ O	16.09	1220	—	—	1.23±0.12	—
	G15	反-2-庚烯醛	57266-86-1	C ₇ H ₁₂ O	9.95	913	—	—	1.34±0.30 ^b	2.23±0.14 ^a
	G16	2-十一烯醛	2463-77-6	C ₁₁ H ₂₀ O	16.74	1311	—	—	—	0.86±0.07
	醛类总和						8.66±0.21 ^d	12.63±0.36 ^c	14.27±0.11 ^b	29.3±0.08 ^a
酮类	H1	甲基庚烯酮	1110-93-0	C ₈ H ₁₄ O	10.59	938	—	—	0.24±0.00	—
	H2	2,5-辛二酮	3214-41-3	C ₈ H ₁₄ O ₂	10.53	1088	2.1±0.01 ^a	—	—	1.15±0.08 ^a
	H3	N-[4-溴-正丁基]-2-哌啶酮	195194-80-0	C ₉ H ₁₆ BrNO	10.60	1635	—	—	—	0.70±0.05
	H4	2-壬酮	821-55-6	C ₉ H ₁₈ O	12.58	1052	—	—	—	0.81±0.03
	H5	6-甲基-6-庚烯-2-酮	10408-15-8	C ₈ H ₁₄ O	10.58	943	0.59±0.01	—	—	—
其他	酮类总和						2.69±0.01 ^a	—	0.24±0.01 ^b	2.66±0.01 ^a
	I1	1,1-二甲基胂	57-14-7	C ₂ H ₈ N ₂	1.92	512	—	3.16±0.12	—	—
	I2	2-戊基呋喃	3777-69-3	C ₉ H ₁₄ O	10.6	1040	0.66±0.04	—	—	—

续表 2

种类	序号	挥发性化合物	CAS	分子式	保留时间 (min)	保留 指数	相对含量(%)			
							M0	M1	M2	M3
	I3	2-甲氧基-3-(2-丙烯基)-苯酚	1941-12-4	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	16.69	1392	0.84±0.02	—	—	—
	I4	吡啶	120-72-9	C ₅ H ₇ N	15.8	1174	—	2.88±0.02 ^b	2.44±0.04 ^b	5.44±0.01 ^a
	I5	三甲胺	75-50-3	C ₃ H ₉ N	2.05	369	—	—	3.63±0.14	—
	I6	1-(苯氧基)-2,4-二氟苯	152434-86-1	C ₁₃ H ₁₀ F ₂ O	16.74	1492	—	—	0.74±0.03	—
	I7	茴香脑	104-46-1	C ₁₀ H ₁₂ O	15.70	1190	—	—	—	0.30±0.03
其他类总和							1.50±0.00 ^a	6.04±0.06 ^a	6.81±0.10 ^a	5.74±0.14 ^b

注: 表中挥发性成分含量以平均值±标准差表示; 同一指标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$); —表示未检出该挥发性成分。

等^[35]的研究结果一致。综上, 调味物质的加入主导了固始鹅块中含硫化合物的风味, 而杀菌工艺则一定程度影响了这类风味。

醛酮类由于其低气味阈值和脂肪香味, 对固始鹅块的香气有很大的影响。在所有处理组样品中检测到的醛类和酮类共 24 种, 酮类风味物质的相对含量总体呈下降趋势, 可能是因为高温导致酮类化合物氧化, 生成酸类化合物。醛类物质的比重最大, 醛类是肉类中最丰富的风味化合物, 随着杀菌温度的提高, 固始鹅块的醛类挥发性风味物质显著提高($P<0.05$), 主要来自脂质类成分的受热分解和氧化, 石华治等^[36]也发现牛肉丸煮制后醛类物质显著增加。正己醛、壬醛一般作为肉制品的加工与腐败程度, 因此杀菌温度过高会导致固始鹅块产生过高的加工感。相关研究表明醛类物质在低浓度时呈现果香、清香, 而高浓度时则可能产生土腥、金属等不良气味^[37]。Wang 等^[38]认为随着杀菌温度的升高, 醛类物质的显著增加导致肉类样品产生过熟味。因此, 134 ℃ 的杀菌温度下的固始鹅块的醛类物质显著高于其他组, 产生地过熟味较强。综上, 杀菌温度与醛酮类化合物含量呈正相关, 高温促进美拉德反应加深, 导致醛类和酮类物质含量上升。

2.3 固始鹅块不同杀菌温度下的 GC-MS 数据的 PLS-DA 模型

采用 PLS-DA 模型对 4 组杀菌鹅块样品的挥发物含量降维, 区分各组样品, 结果如图 3 所示, 所有样品得以区分, 样品间存在显著性差异, 其中 $R^2X=$

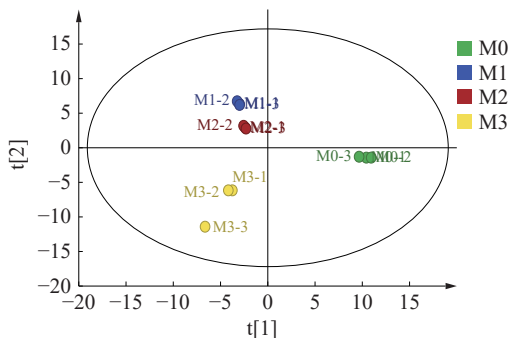


图 3 不同杀菌温度下的固始鹅块的 PLS-DA 模型得分图

Fig.3 PLS-DA model scores of Gushi goose nuggets at different sterilization temperatures

0.987, $R^2Y=0.998$, $Q^2=0.996$, 表明该模型稳定且预测能力较强。未杀菌固始鹅块样品 M0 位于第四象限, 121 ℃ 与 126 ℃ 杀菌样品 M1、M2 样品位于第二象限, M3 位于第三象限。M1 与 M2 样品距离较近, 但两者有一定的距离, 可以进行区分。因此挥发性成分在 4 组样品中含量差异明显, PLS-DA 模型可对不同杀菌温度下固始鹅块的风味实现可视化区分。

Loading 图显示 PLS-DA 模型中各自变量的重要性, 可识别变量对样本分类的贡献度, 发现区分不同类别差异的关键特征。如图 4 所示, 桃醛(G2)、二甲基二硫(F1)、邻苯二甲酸酯(E1)、环丙烷(C2)等化合物在载荷图中的位置接近 M0, 且距离中心原点和主要化合物团远, 说明这些化合物是未杀菌固始鹅块的主要挥发性成分; 同理, 正二十一烷(C10)、(+)-柠檬烯(D6)、2-丁醇(A5)和二甲基三硫(E7)等化合物是 M1 的主要挥发性成分; 反式-2,4-癸二烯醛(G14)、苯乙酸丙酯(E13)、正己醇(A16)等化合物是 M3 的主要挥发性成分; (+)-柠檬烯(D6)、反-2-辛烯醛(G12)和亚硝酸正丙酯(E23)等化合物是 M3 的主要挥发性成分。

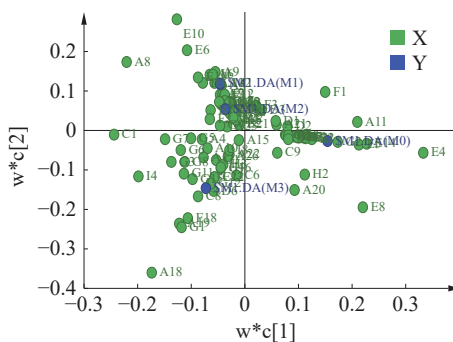


图 4 不同杀菌温度下固始鹅块的 PLS-DA 模型载荷图
Fig.4 PLS-DA model load diagram of Gushi goose at different sterilization temperatures

由图 5 可知, 将 PLS-DA 模型进行 200 次的置换检验(Permutation Test), 结果显示 $R^2=0.192$, $Q^2=-0.619$, Q^2 与 Y 轴的截距小于零, 并且所有左侧的 Q^2 值小于右侧, 说明该模型未出现过拟合现象, 预测稳定。

权重重要变量(Variable important in the projection, VIP)用于衡量变量对模型的贡献, 其中 VIP 值 >1

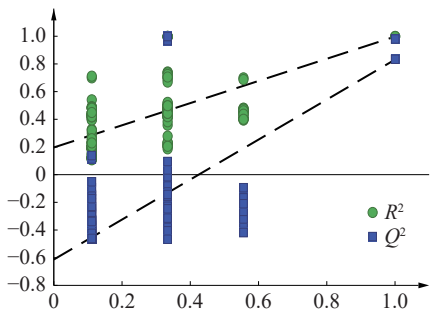


图 5 不同杀菌温度下的固始鹅块的 PLS-DA 模型置换检验
Fig.5 PLS-DA model replacement test of Gushi goose nuggets at different sterilization temperatures

的变量被视为重要变量。由图 6 可知,有 36 种挥发性成分 VIP 值大于 1,主要有苯乙醇(A18)、硫代氨基甲酰亚胺甲酯(E19)、碳酸二(2-甲氧基乙基)酯(E10)、4-甲基戊酸(B3)、(+)-柠檬烯(E6)、棕榈酸乙酯(E4)、异戊醇(A8)、正己醛(G1)、甲酸己酯(E8)、6-甲基-5-庚烯-2-醇(A19)、碳酸二(2-甲氧基乙基)酯(E18)、三氯甲烷(C1)等化合物,以上化合物能作为判别不同杀菌温度固始鹅块的标志性差异成分。

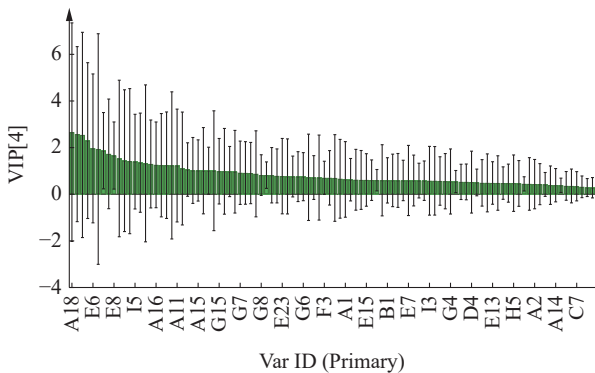


图 6 不同杀菌温度下的固始鹅块的 PLS-DA 模型的 VIP
Fig.6 VIP of PLS-DA model of Gushi goose at different sterilization temperatures

2.4 关键特征性香气成分分析

采用 ROAV 分析关键香气,以二甲基四硫的 ROAV 为 100,计算其他各挥发性成分的 ROAV,其中 ROAV≥0.1 的挥发性成分见表 3。4 组样品中,分别鉴定出 6、11、7、10 种关键挥发性风味物质 (ROAV≥1)。其中二甲基四硫贡献最大,二甲基四硫、1-辛烯-3-醇、二甲基二硫、正己醛及壬醛为共有主体风味成分,可以作为固始鹅块的主体风味物质,主要提供青香、洋葱以及脂肪香气。二甲基三硫呈现硫磺和卷心菜味,仅在 M1 和 M3 中检测到。M0 组中,1-辛烯-3-醇、桉叶油醇、芳樟醇、二甲基二硫、壬醛的香气贡献最明显,ROAV≥1,是 M0 组的关键挥发性风味物质,对鹅块的风味起到关键作用。随着杀菌温度的提高,1-辛烯-3-醇、芳樟醇的 ROAV 值总体呈下降趋势,逐渐在整体风味中变得边缘化。张德润等^[21]研究牛肉的热杀菌条件时也发

表 3 固始鹅块关键风味物质及 ROAV 值
Table 3 Key flavor substances and ROAV values of Gushi goose nuggets

挥发性化合物	阈值 (mg/kg)	香气类型描述	ROAV			
			M0	M1	M2	M3
异戊醇	0.004	苹果、白兰地、辛辣味	-	5.74	1.18	4.99
正庚醇	0.0054	油脂香、酒香	-	0.22	-	0.75
1-辛烯-3-醇	0.0015	蘑菇香、青香	5.97	2.29	0.71	0.93
正己醇	0.007	树脂、花朵	-	-	0.51	-
桉叶油醇	0.001	草药香、樟脑香	4.26	-	-	8.56
芳樟醇	0.00022	甜香、铃兰香、玫瑰香	4.46	3.53	-	-
1-壬醇	0.0455	甜而青的玫瑰花、果香	-	-	<0.1	-
二甲基二硫	0.0011	洋葱、卷心菜	10.05	9.86	3.79	10.27
二甲基三硫	0.0001	硫磺、鱼、卷心菜	-	28.00	-	31.63
二甲基四硫	0.00002	鱼、洋葱	100	100	100	100
正己醛	0.005	苹果、脂肪	0.92	1.48	0.33	7.93
庚醛	0.0028	柑橘、脂肪	-	1.42	0.35	4.80
正辛醛	0.000587	果味、脂肪味	-	3.45	2.20	13.63
壬醛	0.0011	青草味、脂肪味	2.98	6.84	4.29	17.38
反式-2-壬醛	0.00019	脂肪香、黄瓜味	-	7.68	7.19	47.00
癸醛	0.003	花香、油炸、橘皮、牛油	-	0.42	-	0.51
反-2-辛烯醛	0.003	水果香	-	-	-	2.54
反式-2-癸烯醛	0.017	油脂香	-	-	-	0.20
反式-2,4-癸二烯醛	0.000077	黄瓜香、柑橘香、坚果香、肉香	-	-	19.13	-
2-戊基呋喃	0.0058	脂肪香、果香、泥土味	0.21	-	-	-

注:表中-表示样品中不存在此化合物,阈值参考《空气、水和其他介质中气味和味觉阈值汇编》^[40];香气描述均来自文献^[41-45]。

现了相同的规律。正己醛在 M0 和 M3 组样品中仅对风味起修饰作用,而对 M1 和 M3 组样品中为关键挥发性风味物质,ROAV≥1,且 M3>M1,提供苹果、脂肪香气,但过高的正己醛会产生不良的风味^[39]。而对于经过高温杀菌的 3 组样品,异戊醇、二甲基二硫、二甲基四硫、正辛醛、壬醛、反式-2-壬醛的 ROAV≥1,为 M1、M2、M3 组样品的关键挥发性风味物质。随着杀菌温度的提高,醛类风味物质的 ROAV 值与种类显著增多,而醛类物质均提供脂肪香气,说明经过高温杀菌后,能够为固始鹅块增添更多脂肪香气。2-戊基呋喃仅在对照组检测到,对整体风味起到修饰作用。整体上看,经过高温杀菌处理后,固始鹅块的香气构成存在一定的变化,具体表现为醇类的贡献程度降低,含硫化合物、醛类的贡献程度明显上升,醛类物质的贡献程度提高增添了固始鹅块的脂肪香气。而含硫化合物的贡献程度显著提高,杀菌组中,M1 和 M3 组中最高,M2 组最低;二甲基二硫、二甲基三硫、二甲基四硫的 ROAV 值较高,具有强烈洋葱味,与加工过程中添加的葱段、耗油也密切相关。不同的杀菌工艺对于各香气物质影响各不相同,整体上看,M1、M2 组、M3 组香气物质相较于未杀菌 M0 组更浓烈,而杀菌组中,M2 组的总 ROAV 最低,香气强度最低,M3 最高,香气更浓烈,但是由于 M3 的固始鹅块的醛类物质的 ROAV 高于其他组,产生的过熟味较强,而 M1 组杀菌条件下的特征

分为物质最多,脂肪香气、果香、清香较浓,杀菌后的异味较少,是比较适宜的高温杀菌温度。

2.5 关键风味物质的主成分分析

通过 PCA 分析对 14 种 ROAV ≥ 1 的关键香气化合物进行解析,如图 7 所示。PC1(65.0%)与 PC2(24.2%)累计贡献率达 89.2%,有效区分不同杀菌温度组别。M0 和 M1 组样品主要分布于第二象限,说明其特征挥发性物质成分相似度较高;M2 组样品分布于第三象限,M3 组样品位于第四象限,与其他组有较大差异。M0 与 M1 组的主要挥发性物质是芳樟醇、1-辛烯-3-醇、二甲基四硫,主要贡献蘑菇香、青香甜香、洋葱味;126 °C 杀菌处理时,风味贡献主要表现为反式-2,4-癸二烯醛,主要贡献黄瓜香、柑橘香、坚果香、肉香;134 °C 杀菌处理时,风味贡献主要是壬醛、反式-2-癸烯醛、反-2-辛烯醛、庚醛、正己醛,主要表现为果香、脂肪香。M3 样品组与其他三组的风味差异较大,主要的特征风味物质为醛类风味物质,说明杀菌温度超过 121 °C 后,醛类风味物质明显增加,挥发性风味物质由醇类主导转变为醛类风味物质成分为主导,增加固始鹅块的脂肪香气。

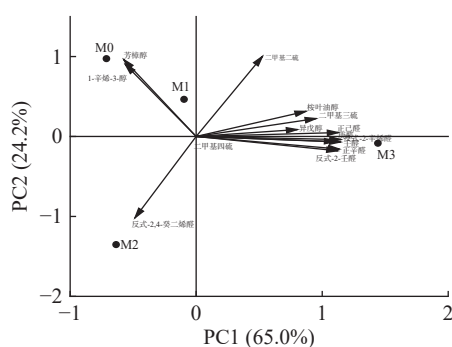


图 7 不同杀菌温度下固始鹅块关键风味物质的主成分分析
Fig.7 Principal component analysis of key flavor substances in Gushi goose nuggets at different sterilization temperatures

3 结论

本研究采用 HS-SPME-GC-MS 技术结合化学计量学,分析了不同杀菌温度(121、126、134 °C)对旅游食品固始鹅块挥发性风味的影响规律,共检出 9 大类 99 种挥发性成分。杀菌显著降低 1-辛烯-3-醇等腥味特征物质的相对含量,有效改善产品风味。随着杀菌温度的升高,烷烃、酯类物质含量递增,烯炔类递减,杀菌温度的增加使美拉德反应速度升高、反应程度加深,醛酮类物质的相对含量增加,且杀菌温度超过 126 °C 后,固始鹅块产品会产生较强地过熟味从挥发性成分中筛选出 28 种 VIP>1 的差异标志物可有效区分不同杀菌处理样品。进一步结合 ROAV 分析共鉴定出 20 种关键气味物质,杀菌后新增苯甲醛、己醛等特征成分,且醇类风味物质贡献程度降低,而含硫化合物及醛类物质的香气贡献度随温度升高显著增强,增强了固始鹅块脂肪香气。126 °C 杀菌样品的醛类物质的 ROAV 高于其他组,

产生的过熟味较强,而 121 °C 杀菌条件下的特征风味物质最多,杀菌后的异味较少。主成分分析表明,121 °C 组与未杀菌组风味轮廓最接近,而 134 °C 组因醛类物质占比显著提升,风味特征由醇类主导转变为醛类主导,赋予产品更浓郁的脂肪香气。综合表明 121 °C 杀菌在保持原有风味基础上,可有效降低腥味并适度提升香气复杂度。本研究从挥发性成分和香气特征的角度,分析了不同杀菌温度下固始鹅块风味的差异,为旅游食品固始鹅块的综合开发利用及评价提供参考数据。后期将结合相关的理化指标综合分析得出最佳的高温杀菌温度。

© 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] 王丹. 洛阳市旅游食品发展存在问题及其对策分析[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2012. [WANG D. Problems and countermeasures of tourism food development in Luoyang city[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2012.]
- [2] 胡健. 聚乳酸基微气氛控制膜的构建及其对冷鲜羊肉的保鲜机理研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2024. [HU J. Construction of polylactic acid-based micro-atmosphere control membrane and its preservation mechanism for chilled mutton[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2024.]
- [3] BORNHORST E R, LIU F, TANG J M, et al. Food quality evaluation using model foods: A comparison study between microwave-assisted and conventional thermal pasteurization processes[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2017, 10(7): 1248–1256.
- [4] 李娜, 骆琦, 薛丽丽, 等. 辐照对烧鸡贮藏期品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(8): 183–187. [LI N, LUO Q, XUE L L, et al. Effect of irradiation on quality characteristics of stored roast chicken[J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(8): 183–187.]
- [5] 吕欣然, 王淑娟, 张丹, 等. 不同剂量电子束辐照杀菌处理对黑果腺肋花楸果汁品质的影响[J]. *食品科学*, 2025, 46(5): 272–280. [LÜ X R, WANG S J, ZHANG D, et al. Effect of different doses of electron beam irradiation sterilization on the quality of *Aronia melanocarpa* juice[J]. *Food Chemistry*, 2025, 46(5): 272–280.]
- [6] SEVENICH R, BARK F, KLEINSTUECK E, et al. The impact of high pressure thermal sterilization on the microbiological stability and formation of food processing contaminants in selected fish systems and baby food puree at pilot scale[J]. *Food Control*, 2015, 50: 529–547.
- [7] HAO Z, ZHANG X, PENG X, et al. Identification of the key off-flavor odorants for undesirable spoiled odor in thermally sterilized fermented soymilk[J]. *Food Research International*, 2023, 164: 112407.
- [8] WANG M, GAO L, LI Y D, et al. Research on the sterilization technology of tobacco flavor liquid based on HHP[J]. *Journal of Light Industry*, 2019, 34(2): 25–34.
- [9] 沈慧敏. 常温即食小龙虾尾品质提升关键技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2023. [SHEN H M. Research on key technologies for improving the quality of instant crayfish tail at room temperature[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2023.]

- [10] 宋玉申. 热处理对包装后酱卤鸭脖风味的影响机制及其调控研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2022. [SONG Y S. Study on the influence mechanism and regulation of heat treatment on the flavor of sauced duck neck after packaging[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2022.]
- [11] 邵俊锋. 烧鸡在不同工艺下风味变化及营养卫生学评价[D]. 扬州: 扬州大学, 2021. [SHAO J F. Flavor changes and nutritional hygiene evaluation of roast chicken under different processes[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2021.]
- [12] 李素, 王守伟, 臧明伍, 等. 酱牛肉加工和杀菌过程中脂肪和气味活性成分变化[J]. 中国食品学报, 2024, 24(8): 357–370. [LI S, WANG S W, ZANG M W, et al. Changes of fat and odor-active components during the processing and sterilization of braised beef in soy sauce[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(8): 357–370.]
- [13] 刘新然, 李海露, 李学鹏, 等. 杀菌方式对卤制风味四角蛤蜊产品贮藏品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(22): 8210–8218. [LIU X R, LI H L, LI X P, et al. Effects of sterilization methods on the storage quality of marinated *Macra quadrangularis*[J]. Journal of Food Safety and Quality Testing, 2020, 11(22): 8210–8218.]
- [14] WU R, YANG C, XI L, et al. Evaluation of the influence of flavor characteristics of cooked bacon with different sterilization methods by GC-IMS combined with HS-SPME-GC-MS and electronic nose[J]. *Foods*, 2022, 11(22): 3547.
- [15] 梁二宏, 赵燕, 闵成军, 等. 梯度升温杀菌和高温杀菌对番茄炖牛腩品质差异分析[J/OL]. 食品科学: 1–16[2025-05-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20250310.1625.014.html>. [LIANG E H, ZHAO Y, MIN C J, et al. Analysis of the quality differences of stewed beef brisket with tomatoes treated by gradient heating sterilization and high-temperature sterilization[J/OL]. Food Science: 1–16[2025-05-09]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20250310.1625.014.html>.]
- [16] 周舟, 刘畅, 姚恒喆, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用结合相对气味活度值分析贮藏温度对固始鹅块挥发性风味物质的影响[J]. 食品科技, 2024, 49(6): 298–306. [ZHOU Z, LIU C, YAO H Z, et al. Headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry combined with relative odor activity value analysis of the effect of storage temperature on volatile flavor substances of Gushi goose[J]. Food Science and Technology, 2024, 49(6): 298–306.]
- [17] 汪正熙, 张佳敏, 王卫, 等. 红烧鹅菜肴工业化的加工工艺[J]. 食品工业, 2021, 42(12): 134–138. [WANG Z X, ZHANG J M, WANG W, et al. Industrial processing technology of braised goose dishes[J]. The Food Industry, 2021, 42(12): 134–138.]
- [18] 蒋小锋, 李云, 王彦平, 等. 基于 ROAV 法分析木瓜蛋白酶对马肉挥发性风味物质的影响[J]. 中国酿造, 2022, 41(8): 201–205. [JIANG X F, LI Y, WANG Y P, et al. Analyzed the effect of papain on volatile flavor compounds of horsemeat based on ROAV method[J]. China Brewing, 2022, 41(8): 201–205.]
- [19] ZHAO X X, LI S L, LIU Y H, et al. Production of fermented spicy rabbit meat using *Lactobacillus paracasei*[J]. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 2022, 45(1): 87–95.
- [20] ZOU Y, KANG D, LIU R, et al. Effect of ultrasonic assisted cooking on the chemical profiles of tasted and flavor of spiced beef[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2018, 46: 36–45.
- [21] 张德润, 李沛生, 阮征, 等. 不同热杀菌条件下潮汕牛肉丸质构和挥发性风味化合物的变化[J/OL]. 现代食品科技: 1–14[2025-05-09]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.6.01>
55. [ZHANG D R, LI B S, RUAN Z, et al. Changes in texture and volatile flavor compounds of Chaoshan beef balls under different heat sterilization conditions[J/OL]. Modern Food Technology: 1–14[2025-05-09]. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.6.0155>.]
- [22] 王善宇, 简冲, 薛勇, 等. 杀菌条件对蓝点马鲛鱼脂质及风味品质的影响[J]. 渔业科学进展, 2025, 46(1): 222–230. [WANG S Y, JIAN C, XUE Y, et al. Effects of sterilization conditions on lipid and flavor quality of *Scomberomorus niphonius*[J]. Research Progress in Fishery Science, 2025, 46(1): 222–230.]
- [23] 林芳, 孙骏威, 葛建. 草鱼片热风干制过程中脂质氧化特性研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(3): 192–200. [LIN F, SUN J W, GE J. Lipid oxidation characteristics of grass carp fillets during hot air drying[J]. Chinese Journal of Food, 2012, 12(3): 192–200.]
- [24] 米鑫鑫, 郑茜, 唐密, 等. 过热蒸汽技术对烤鱼“外酥里嫩”品质特性和风味的影响[J/OL]. 食品与发酵工业: 1–13[2025-05-09]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.041325>. [MI X X, ZHENG X, TANG M, et al. Effects of superheated steam technology on the quality characteristics of "crispy outside and tender inside" and flavor of grilled fish[J/OL]. Food and Fermentation Industries: 1–13[2025-05-09]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.041325>.]
- [25] SUN Y W, ZHANG Y, SONG H L. Variation of aroma components during frozen storage of cooked beef balls by SPME and SAFE coupled with GC-O-MS[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 45(1): e15036.
- [26] LIU Y, WAN Z, YOHANNES K W, et al. Functional characteristics of lactobacillus and yeast single starter cultures in the ripening process of dry fermented sausage[J]. *Frontier Microbiology*, 2021, 11: 611260.
- [27] 赵文华, 王桂琰, 王雪峰, 等. 鸡肉中挥发性风味物质及其影响因素的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(21): 337–343. [ZHAO W H, WANG G Y, WANG X F, et al. Research progress on volatile flavor compounds in chicken and their influencing factors[J]. Food Industry Technology, 2019, 40(21): 337–343.]
- [28] 李昀展, 陈俊霞, 周阳, 等. 不同杀菌方式对延边酱牛肉挥发性风味物质的影响[J]. 食品科技, 2024, 49(2): 106–110. [LI Y Z, CHEN J X, ZHOU Y, et al. Effects of different sterilization methods on volatile flavor compounds of Yanbian sauce beef[J]. Food Science and Technology, 2024, 49(2): 106–110.]
- [29] HU X, LI J, ZHANG L, et al. Effect of frying on the lipid oxidation and volatile substances in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillet[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(3): e16342.
- [30] SHAN Q Y, WANG Y, LIANG J D, et al. HS-SPME combined with GC-MS and GC-O for characterization of key aroma-active compounds in fruity and grassy peppers (*Capsicum chinense* Jacq)[J]. Food Chemistry, 2024, 24: 101944.
- [31] 朱文政, 严顺阳, 徐艳, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析不同烹制时间红烧肉挥发性风味成分[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(2): 247–253. [ZHU W Z, YAN S Y, XU Y, et al. Headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry analysis of volatile flavor components of braised pork at different cooking times[J]. Food and Fermentation Industry, 2021, 47(2): 247–253.]
- [32] 何济坤, 牛茵, 吴双慧, 等. 川味麻辣香肠的理化和微生物特性及挥发性风味物质分析[J]. 中国食品学报, 2024, 24(5): 393–404. [HE J K, NIU Y, WU S H, et al. Analysis of physico-

- chemical and microbial properties and volatile flavor compounds of Sichuan spicy sausage[J]. Chinese Journal of Food, 2024, 24(5): 393-404.]
- [33] 王洪江, 赵品贞, 姬庆, 等. 影响蚝油气味品质的关键风味化合物的研究[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(7): 309-315. [WANG H J, ZHAO P Z, JI Q, et al. Research on key flavor compounds affecting the odor quality of oyster sauce[J]. Food and Fermentation Industries, 2025, 51(7): 309-315.]
- [34] 陆宽, 王雪雅, 孙小静, 等. 电子鼻结合顶空 SPME-GC-MS 联用技术分析贵州不同品种辣椒发酵后挥发性成分[J]. 食品科学, 2018, 39(4): 199-207. [LU K, WANG X Y, SUN X J, et al. Analysis of volatile components in fermented chili peppers of different varieties in Guizhou using electronic nose combined with headspace SPME-GC-MS technology[J]. Food Science, 2018, 39(4): 199-207.]
- [35] 赵冬, 陈露晴, 华彩虹, 等. 不同杀菌方式对预制荔浦芋扣肉理化品质及挥发性成分的影响[J]. 食品科技, 2024, 49(11): 157-166. [ZHAO D, CHEN L Q, HUA C H, et al. Effects of different sterilization methods on the physicochemical quality and volatile components of prefabricated Lipu taro button meat[J]. Food Science and Technology, 2024, 49(11): 157-166.]
- [36] 石华治, 王娟, 刘玉平, 等. 潮汕牛肉丸煮制前后关键性香气成分对比分析[J]. 食品科学技术学报, 2018, 36(5): 44-50. [SHI H Z, WANG J, LIU Y P, et al. Comparative analysis of key aroma components of Chaoshan beef balls before and after cooking[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 36(5): 44-50.]
- [37] BI J C, LI Y, YANG Z, et al. Effect of different cooking times on the fat flavor compounds of pork belly[J]. Journal of Food Biochemistry, 2022, 46(8): e14184.
- [38] WANG Y, HE T, WANG J J, et al. High performance liquid chromatography fingerprint and headspace gas chromatography-mass spectrometry combined with Chemometrics for the species authentication of *Curcuma rhizoma*[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2021, 202(5): 114144.
- [39] 贾效函, 沈才洪, 傅其旭, 等. 气相色谱—离子迁移谱法分析烹调白酒对鸡胗去腥增香的效果[J]. 食品与机械, 2025, 41(1): 208-218. [JIA X H, SHEN C H, FU Q X, et al. Analysis of the effect of cooking liquor on removing fishy odor and enhancing aroma of chicken gizzard by gas chromatography-ion mobility spectrometry[J]. Food and Machinery, 2025, 41(1): 208-218.]
- [40] 里奥·范海默特. 空气、水和其他介质中气味和味觉阈值汇编[M]. 北京: 科学出版社, 2015. [HEMMERT R V. A compilation of odor and taste thresholds in air, water and other media[M]. Beijing: Science Press, 2015.]
- [41] 邹金浩, 沈虹斌, 龙正玉, 等. 乳酸菌接种发酵对牛肉黄豆复合酱品质的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(23): 93-101. [ZOU J H, SHEN H Y, LONG Z Y, et al. Effects of lactic acid bacteria inoculation and fermentation on the quality of beef and soybean compound sauce[J]. Food Science, 2024, 45(23): 93-101.]
- [42] 赖铭勇, 陈宇涵, 薛凌展, 等. 蒸烤大刺鲈工艺优化及其风味品质[J]. 广东海洋大学学报, 2024, 44(6): 141-150. [LAI M Y, CHEN Y H, XUE L Z, et al. Process optimization and flavor quality of steam-roasted *L. maxima*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2024, 44(6): 141-150.]
- [43] 何莲, 易宇文, 徐向波, 等. 基于电子鼻和气质联用技术分析德庄火锅底料在煮制过程中挥发性物质变化[J]. 食品工业科技, 2024, 45(24): 252-262. [HE L, YI Y W, XU X B, et al. Based on electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry, the changes of volatile substances in De Zhuang hotpot seasoning during cooking were analyzed[J]. Food Industry Technology, 2024, 45(24): 252-262.]
- [44] HAN D, ZHANG C H, FAUCONNIER M L, et al. Characterization and differentiation of boiled pork from Tibetan, Sanmenxia and Duroc×(Landrac×Yorkshire) pigs by volatiles profiling and chemometrics analysis[J]. Food Res Int, 2020, 130: 108910.
- [45] 崔宁, 钟比真, 王双龙, 等. 油炸条件对草鱼块品质和挥发性风味物质的影响[J/OL]. 食品工业科技: 1-27 [2025-05-09]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024090138>. [CUI N, ZHONG B Z, WANG S L, et al. Effects of frying conditions on the quality and volatile flavor compounds of grass carp fillets[J/OL]. Food Industry Technology: 1-27 [2025-05-09]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2024090138>.]