

王丽, 刘光宪, 张德权, 等. 安福火腿游离脂肪酸、风味物质及氨基酸分析 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(16): 236-242. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020090113

WANG Li, LIU Guangxian, ZHANG Dequan, et al. Analysis of Free Fatty Acids, Flavor Substances and Amino Acids in Anfu Ham[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(16): 236-242. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020090113

· 分析检测 ·

安福火腿游离脂肪酸、风味物质 及氨基酸分析

王 丽¹, 刘光宪^{1*}, 张德权², 李 雪¹, 程文龙¹, 袁林峰¹
(1. 江西省农业科学院农产品加工研究所, 江西南昌 330200;
2. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100081)

摘要:为揭示安福火腿的品质特性及其主体挥发性风味物质成分, 采用气相色谱-质谱联用、固相微萃取-气相色谱-质谱联用等对其肌肉脂肪和皮下脂肪中游离脂肪酸、挥发性风味物质进行对比分析及肌肉中氨基酸的组分含量进行定量检测。结果表明, 从肌肉脂肪和皮下脂肪中分别检测出 19、29 种游离脂肪酸(皮下脂肪的总游离脂肪酸含量是肌肉脂肪的 7.992 倍), 29、31 种挥发性风味物质。采用气味活性值分析法分别得到 7、14 种主体挥发性风味物质, 其中己醛、辛醛、壬醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛和双戊烯是肌肉脂肪和皮下脂肪中共同呈现的关键挥发性风味物质, 3-甲硫基丙醛和癸醛仅存在于肌肉脂肪中。肌肉中检测出 17 种氨基酸, 且必需氨基酸的含量丰富, 占氨基酸总量的 41.98%, 天冬氨酸和谷氨酸两种鲜味氨基酸的含量最高, 它们对安福火腿的鲜美度有着重要的贡献。此研究可为后期分析加工工艺对安福火腿品质的影响提供借鉴。

关键词:安福火腿, 肌肉脂肪, 皮下脂肪, 脂肪酸, 风味物质, 氨基酸

中图分类号: TS251.5 文献标识码: A 文章编号: 1002-0306(2021)16-0236-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020090113

Analysis of Free Fatty Acids, Flavor Substances and Amino Acids in Anfu Ham

WANG Li¹, LIU Guangxian^{1*}, ZHANG Dequan², LI Xue¹, CHENG Wenlong¹, YUAN Linfeng¹

(1. Institute of Agricultural Processing, Jiangxi Academy of Agricultural Science, Nanchang 330200, China;
2. Institute of Agricultural Processing, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China)

Abstract: To reveal the quality characteristics and main volatile flavor components of Anfu ham, free fatty acids and volatile flavor components in intramuscular fat and subcutaneous fat of it were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and solid phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS), and the content of amino acids in muscles was determined quantitatively. The results showed that 19 and 29 kinds of free fatty acids were detected in intramuscular fat and subcutaneous fat, respectively (the total free fatty acid content of subcutaneous fat was 7.992 times that of intramuscular fat). 29 and 31 volatile flavor compounds were detected in intramuscular fat and subcutaneous fat, respectively. 7 and 14 main volatile flavor compounds were obtained from intramuscular fat and subcutaneous fat by the method of odor activity value (OAV). The hexanal, octanal, nonanal, (E,E)-2,4-decadienal and dipentene were the key volatile flavor compounds in intramuscular fat and subcutaneous fat among them. Moreover, 3-methylthiopropionaldehyde and decanal were only found in intramuscular fat. 17 kinds of amino acids were detected in muscles, and the content of essential amino acids accounted for 41.98% of the total amino acids. Aspartic acid and glutamic

收稿日期: 2020-09-14

基金项目: 江西省重点研发计划项目(20202BBFL63038); 江西省重点研发计划项目(20202BBFL63037); 江西现代农业科研协同创新专项项目(JXXTCXQN201905); 江西省杰出青年人才资助计划(20192BCBL23026); 江西现代农业科研协同创新专项(JXXTCX202003)。

作者简介: 王丽(1989-), 女, 硕士, 实习研究员, 研究方向: 肉品加工, E-mail: 294641397@qq.com。

* 通信作者: 刘光宪(1982-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 肉品加工, E-mail: liugx178@163.com。

acid had the highest content of delicious amino acids, which had an important contribution to the freshness of Anfu ham. This study could provide reference for analyzing the influence of processing technology on the quality of Anfu ham.

Key words: Anfu ham; intramuscular fat; subcutaneous fat; fatty acid; flavor substance; amino acid

火腿是我国传统肉制品的典型代表,在肉制品的发展中有着举足轻重的作用^[1]。目前市场上以浙江金华、江苏如皋、云南宣威和江西安福生产的火腿最为有名,被称为“中国四大名腿”。安福火腿的产地为江西省安福县,其气候湿润温和、干湿明显,四季分明,与其它产地存在较大差异;另外,安福火腿一直沿用传统工艺,经腌制、翻缸、洗晒、发酵等在自然条件下生产加工而成^[2]。因此其风味特征与其它产地的火腿存在特殊性,所以被称为“西腿”。

研究表明各产地的火腿风味受原料、产地气候条件、加工工艺、储藏方式、脂肪酸含量和组成及其水解氧化程度、蛋白质酶解后的肽类与游离氨基酸所发生的美拉德和 Strecker 降解反应等因素的影响^[3-7]。李玲等^[8]发现两年金华火腿肌内脂肪、皮下脂肪中总游离脂肪酸的含量分别比两年宣威火腿高 34.58%、29.09%;Wang 等^[9]采用全二维气相色谱法从金华、宣威和如皋火腿中共鉴定出 165 种挥发性物质,发现不同产地的火腿间香气成分及组成存在一定的差异性;磷脂是脂类物质中最重要风味前提物质,约 66.67% 的磷脂在金华火腿生产过程中发生水解,且其含量与游离脂肪酸含量的相关性为 0.91^[10];Liu 等^[11]对五种不同产地的云南火腿游离氨基酸含量与组成进行分析,认为游离氨基酸是火腿的重要代谢产物,其含量占总水溶性低分子量化合物的 53.45%~59.71%;梁定年等^[12]研究表明火腿中氨基酸的含量变化规律与发酵、腌制过程中蛋白质的水解有关,且谷氨酸、丙氨酸、组氨酸、甲硫氨酸和天冬氨酸等对火腿的风味有着重要的影响^[12]。

综上所述,目前火腿研究主要以金华、宣威、如皋等为主,对江西安福火腿的研究报道较少。为此,本论文以安福火腿为研究对象,采用气相色谱-质谱联用(gas chromatography mass spectroetry, GC-MS)、固相微萃取-气相色谱-质谱联用(solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, SPME-GC-MS)对安福火腿的肌内脂肪和皮下脂肪中游离脂肪酸组分含量和挥发性风味物质进行对比分析;通过气味活动值(odor activity value, OAV)对安福火腿肌内脂肪和皮下脂肪的主体挥发性风味物质进行分析与评价;并对肌肉中氨基酸的组分含量进行定量检测。通过分析研究首次揭示安福火腿的品质特性和主体挥发性风味物质,为丰富我国火腿加工技术研究提供理论基础,为不同产地的火腿进行分类评价提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

安福火腿 购自南昌市华润万家澄湖店;甲醇、

正己烷、甲醇 色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;37 种脂肪酸混合标准品、十九烷酸甲酯、癸酸甲酯 色谱纯, Sigma 公司。

Trace1310 ISQ 气相色谱-质谱联用仪 美国 ThermoFisher 公司;7890A-5975C 固相微萃-气相色谱-质谱联用仪 美国 Agilent 公司;L-8900 高速氨基酸分析仪 日本日立公司。

1.2 实验方法

1.2.1 游离脂肪酸测定

1.2.1.1 样品处理与脂肪酸提取 分别取安福火腿股二头肌部位的肌内脂肪、皮下脂肪作为样品,放入液氮中速冻后,研磨成粉,置于-80 °C 备用。分别取 1 g 样品加入到 15 mL 离心管中,继续加入 2 mL 5% 盐酸甲醇溶液,3 mL 氯仿甲醇溶液(体积比 1:1),100 μ L 500 mg/L 十九烷酸甲酯内标。于 85 °C 水浴锅中水浴 1 h 后,在离心管中加入 1 mL 正己烷,振荡萃取 2 min,静置 1 h。取上层清液 100 μ L,用正己烷定容到 1 mL,用 0.45 μ m 滤膜过膜后上机测试。

1.2.1.2 GC-MS 条件 GC 条件:色谱柱为 TG-5MS (30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m)。升温程序,80 °C 保持 1 min,以 10 °C/min 的速率升温至 200 °C,继续以 5 °C/min 的速率升温至 250 °C,最后以 2 °C/min 的速率升到 270 °C,保持 3 min。进样口温度 290 °C,载气流速 1.2 mL/min。MS 质谱条件:离子源温度 280 °C;传输线温度 280 °C;溶剂延迟时间 5 min;扫描范围 30~400 amu;EI 源 70 eV。

1.2.1.3 定性定量方法 参考李玲等^[8]的方法进行定性定量检测,并略作改动。以十九烷酸甲酯为内标物,采用内标法对样品中的游离脂肪酸进行定量分析。

1.2.2 挥发性风味物质分析

1.2.2.1 SPME 条件 参考罗玉龙等^[13]的方法测定,并略作改动。萃取针使用前,在气质进样口于 250 °C 活化 20 min。样品置于 20 mL 萃取瓶中,加入 1 μ L 0.5 mg/mL 的癸酸甲酯内标物,密封,置于 60 °C 水浴 20 min 后,插入活化后的萃取针萃取 30 min,在 250 °C 解吸 5 min 后进行数据采集与检测。

1.2.2.2 GC-MS 条件 GC 条件:进样口温度 250 °C,气质接口温度 250 °C,载气流速 1.5 mL/min。升温程序:初始 50 °C,保持 1 min,以 5 °C/min 升温到 100 °C 保持 2 min;4 °C/min 升温到 180 °C 保持 3 min;5 °C/min 升温到 250 °C 保持 5 min。MS 质谱条件:离子源温度 230 °C,四级杆温度 150 °C,EI 电离 70 eV,全扫描 35~550 amu。

1.2.2.3 定性定量方法 结合 NIST2014 和 WILEY8.0 中的谱库进行对比分析, 仅保留正反匹配度大于 80% 的物质。以癸酸甲酯为内标物对样品中挥发性风味物质进行定量分析, 计算公式如下:

$$C_x = \frac{A_x \times m_1}{A_1 \times m_2}$$

式中: C_x 为待测挥发性化合物的浓度, $\mu\text{g}/\text{kg}$; A_x 为待测挥发性化合物的峰面积; m_1 为加入内标物的质量, μg ; A_1 为加入内标物的峰面积; m_2 为样品的质量, kg 。

1.2.2.4 主体挥发性风味物质的评价 通过 OAV 对安福火腿的肌内脂肪、皮下脂肪中主体挥发性风味物质进行分析与评价, 计算公式如下:

$$\text{OAV} = \frac{C_i}{\text{OT}_i}$$

式中: C_i 为某种挥发性风味化合物的含量, $\mu\text{g}/\text{kg}$; OT_i 为该化合物的嗅觉阈值, $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

1.2.3 氨基酸组成测定 参考梁定年等^[12]的方法测定, 并略作改动。取 2 g 样品于 20 mL 的水解管中, 加入 16 mL 6 mol/L 的盐酸溶液, 真空脱气 30 min, 充氮封管, 在 110 °C 下水解 23 h, 取出冷却后, 用去离子水无损转移到 50 mL 容量瓶中定容。取 1 mL 水解液于瓶中, 真空下脱酸抽干, 加 1 mL 水再抽干, 再加 1 mL 水再抽干备用。上机前加入 1 mL 0.02 mol/L 的盐酸溶液, 用 0.22 μm 的水相膜滤膜过滤上机分析。色谱柱条件: 柱温 57 °C; 衍生反应温度 135 °C; 缓冲液流速 0.4 mL/min; 进样量 20 μm 。

1.3 数据分析与处理

试验数据采用 SPSS 18.0 软件进行统计分析, OriginPro 2017 和 Excel 2010 软件进行图表处理与制作。

2 结果与分析

2.1 游离脂肪酸的分析

游离脂肪酸是火腿加工过程中脂肪降解产生的, 是火腿风味的前体物质, 其组成和含量与火腿特殊风味的形成有直接相关性。本论文以 37 种混合标准样品游离脂肪酸作为参照, 总离子流图见图 1。通过 GC-MS 对安福火腿中肌内脂肪与皮下脂肪的游离脂肪酸进行测定, 总离子流图分别为图 2、图 3 所示。结果显示, 安福火腿的皮下脂肪中检出 29 种游离脂肪酸, 肌内脂肪中只检出 19 种, 其中癸酸、肉豆蔻油酸、十五碳酸、反式亚油酸、 γ -亚麻酸、山萘酸、芥酸、顺-13,16-二十二碳二烯酸、二十三碳酸、顺-15-二十四碳烯酸 10 种游离脂肪酸则未检出。详见表 1。

由表 1 可知, 顺-9-油酸、棕榈酸、硬脂酸、亚油酸是肌内脂肪和皮下脂肪中主要的 4 种游离脂肪酸, 与李玲等^[8]报道宣威与金华火腿的结果一致。其中皮下脂肪中的顺-9-油酸 (25.815%)、棕榈酸

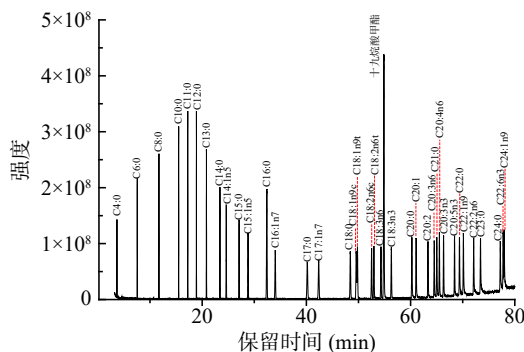


图 1 37 种游离脂肪酸总离子流图

Fig.1 Total ion flow diagram of 37 free fatty acids

注: C4:0—丁酸; C6:0—己酸; C8:0—辛酸; C10:0—癸酸; C11:0—十一碳酸; C12:0—月桂酸; C13:0—十三碳酸; C14:0—肉豆蔻酸; C14:1n5—肉豆蔻油酸; C15:0—十五碳酸; C15:1n5—顺-10-十五碳烯酸; C16:0—棕榈酸; C16:1n7—棕榈油酸; C17:0—十七碳酸; C17:1n7—顺-10-十七碳烯酸; C18:0—硬脂酸; C18:1n9c—顺-9-油酸; C18:1n9t—反式油酸; C18:2n6c—亚油酸; C18:2n6t—反式亚油酸; C18:3n6— γ -亚麻酸; C18:3n3— α -亚麻酸; C20:0—花生酸; C20:1—顺-11-二十碳烯酸; C20:2—顺-11,14-二十碳二烯酸; C20:3n6—顺-8,11,14 二十碳三烯酸; C21:0—二十一碳酸; C20:4n6—花生四烯酸; C20:3n3—顺-11,14,17 二十碳三烯酸; C20:5n3—二十碳五烯酸; C22:0—山萘酸; C22:1n9—芥酸; C22:2n6—顺-13,16-二十二碳二烯酸; C23:0—二十三碳酸; C24:0—木蜡酸; C22:6n3—二十二碳六烯酸; C24:1n9—顺-15-二十四碳烯酸; 十九烷酸甲酯为内标。

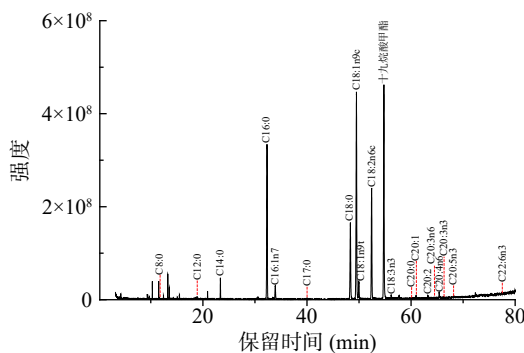


图 2 安福火腿肌内脂肪中游离脂肪酸总离子流图

Fig.2 Total ion flow diagram of free fatty acids in intramuscular fat in Anfu ham

(15.275%)、硬脂酸 (10.871%) 和亚油酸 (7.395%) 分别是肌内脂肪 (2.609%、1.586%、0.950%、2.406%) 的 9.895、9.631、11.443 和 3.074 倍。肌内脂肪和皮下脂肪中游离脂肪酸的含量能反映出火腿在加工过程中脂肪的水解程度及风味形成。结果显示, 安福火腿肌内脂肪与皮下脂肪游离脂肪酸的含量存在一定的差异性。从总游离脂肪酸含量分析可知, 火腿皮下脂肪 (66.263%) 是肌内脂肪 (8.291%) 的 7.992 倍。其中, 单不饱和脂肪酸 (ΣMUFA) 含量在肌内脂肪与皮下脂肪总含量中所占比例最大, 分别为 36.075%、44.838%。皮下脂肪的多不饱和脂肪酸 (ΣPUFA) 含量最少, 为 8.482%, 是肌内脂肪的 3.237 倍, 但肌内

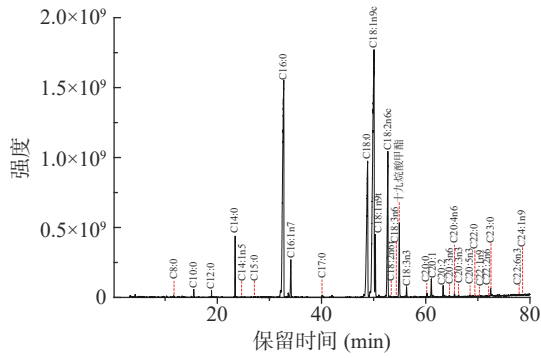


图 3 安福火腿皮下脂肪中游离脂肪酸总离子流图
Fig.3 Total ion flow diagram of free fatty acids in subcutaneous fat in Anfu ham

脂肪的 PUFA/SFA(0.979)比值高于皮下脂肪(0.302)。通过比较宣威火腿和金华火腿,安福火腿中肌内脂肪的 PUFA/SFA 比值高于宣威、金华火腿,但皮下脂肪的比值低于它们^[8],这可能与不同产地火腿原料来源及加工环境等不同,而出现游离脂肪酸含量的差异性。皮下脂肪的必需脂肪酸(ΣEFA)的含量与肌内脂肪相比较为丰富,这与皮下脂肪含量较高及水解程度有关。

2.2 挥发性风味物质的分析

2.2.1 挥发性风味物质种类和数量 采用 SPME-GC-MS 方法对安福火腿中挥发性风味物质进行分析,结果显示,肌内脂肪与皮下脂肪中挥发性风味物质种类和数量存在一定的差异,皮下脂肪风味物质的种类和数量均多于肌内脂肪。其中,肌内脂肪中检测出 29 种挥发性风味物质,包括 10 种醛类、10 种烃类、3 种酯类、1 种酮类、1 种醇类、1 种酸类和 3 种其它类;皮下脂肪中检测出 31 种挥发性风味物质,包括 13 种醛类、8 种烃类、2 种酮类、2 种醇类、1 种酯类、1 种酸类、呋喃类 1 种和 3 种其它类。

2.2.2 挥发性风味物质含量 为进一步揭示安福火腿中各种挥发性风味物质的具体差异,本研究对挥发性风味物质进行了定量分析,结果如表 2 所示。

结果表明,安福火腿皮下脂肪中挥发性风味物质的总含量高于肌内脂肪,皮下脂肪的挥发性风味物质是干腌火腿风味的主体部分,可能与皮下脂肪中的游离脂肪酸含量高,并发生不同程度的氧化与水解,产生醛类、醇类、烃类等化合物有关,它对火腿风味形成具有一定的影响^[22-23]。

结果显示,安福火腿挥发性风味物质中醛类和烃类含量最高,种类也最为丰富,肌内脂肪和皮下脂肪中主要的醛类分别为:己醛、壬醛和庚醛;己醛、(E)-2-庚烯醛和(E)-2-辛烯醛;肌内脂肪和皮下脂肪主要的烃类分别为:苯乙烯和对二甲苯;环辛四烯和对二甲苯。其中皮下脂肪中烯烃类化合物含量高于肌内脂肪,但种类却少于肌内脂肪,且在肌内脂肪和皮下脂肪中均检测出双戊烯;皮下脂肪中醇类化合物(26.93 μg/kg)含量高于肌内脂肪,其中 1-辛烯-3-醇

表 1 安福火腿中肌内脂肪和皮下脂肪游离脂肪酸的含量与组成(%)

Table 1 Free fatty acid content and composition in intramuscular fat and subcutaneous fat of Anfu ham (%)

游离脂肪酸	肌内脂肪(%)	皮下脂肪(%)
辛酸(C8: 0)	0.005±0.001	0.010±0.001
癸酸(C10: 0)	-	0.074±0.002
月桂酸(C12: 0)	0.008±0.001	0.056±0.001
肉豆蔻酸(C14: 0)	0.109±0.006	0.971±0.013
肉豆蔻油酸(C14: 1n5)	-	0.013±0.001
十五碳酸(C15: 0)	-	0.016±0.001
棕榈酸(C16: 0)	1.586±0.123	15.275±0.136
棕榈油酸(C16: 1n7)	0.157±0.007	1.348±0.025
十七碳酸(C17: 0)	0.010±0.002	0.092±0.001
硬脂酸(C18: 0)	0.950±0.019	10.871±0.148
顺-9-油酸(C18: 1n9c)	2.609±0.077	25.815±0.430
反式油酸(C18: 1n9t)	0.181±0.008	1.919±0.67
亚油酸(C18: 2n6c)	2.406±0.042	7.395±0.066
反式亚油酸(C18: 2n6t)	-	0.013±0.003
γ-亚麻酸(C18: 3n6)	-	0.008±0.001
α-亚麻酸(C18: 3n3)	0.051±0.002	0.374±0.009
花生酸(C20: 0)	0.012±0.001	0.433±0.267
顺-11-二十碳烯酸(C20: 1)	0.044±0.001	0.601±0.047
顺-11,14-二十碳二烯酸(C20: 2)	0.044±0.002	0.420±0.034
顺-8,11,14-二十碳三烯酸(C20: 3n6)	0.014±0.001	0.051±0.006
花生四烯酸(C20: 4n6)	0.073±0.002	0.109±0.003
顺-11,14,17-二十碳三烯酸(C20: 3n3)	0.011±0.001	0.054±0.005
二十碳五烯酸(C20: 5n3)	0.010±0.001	0.033±0.005
山萘酸(C22: 0)	-	0.008±0.001
芥酸(C22: 1n9)	-	0.009±0.004
顺-13,16-二十二碳二烯酸(C22: 2n6)	-	0.006±0.001
二十三碳酸(C23: 0)	-	0.266±0.020
二十二碳六烯酸(C22: 6n3)	0.011±0.001	0.017±0.001
顺-15-二十四碳烯酸(C24: 1n9)	-	0.005±0.000
饱和脂肪酸(ΣSFA)	2.680±0.022	28.071±0.054
单不饱和脂肪酸(ΣMUFA)	2.991±0.023	29.711±0.082
多不饱和脂肪酸(ΣPUFA)	2.620±0.051	8.482±0.012
必需脂肪酸(ΣEFA)	2.529±0.015	7.879±0.026
总脂肪酸含量(FFA)	8.291±0.016	66.263±0.045
PUFA/SFA	0.979±0.011	0.302±0.040

注: -表示未检测到该化合物。

(24.86 μg/kg)含量最高,肌内脂肪中醇类化合物含量(0.43 μg/kg)最低,只检测出芳樟醇,芳樟醇具有柠檬果香味,天然存在于肉桂等香辛料中,可能与安福火腿在制作过程中添加的香辛料有关^[18]。

2.2.3 主体挥发性风味物质分析 食品主体的风味与各挥发性风味物质的浓度及其阈值密切相关^[24]。为进一步了解安福火腿中主体挥发性风味物质成分,本论文采用 OAV 法,筛选出主体挥发性风味物质。OAV 值大于 1 的化合物,则表示该化合物对食品的风味有影响,且 OAV 值越大,则该化合物对食品风味的影响就越大^[25]。

由表 3 可知,安福火腿中有 16 种主体挥发性风味物质的 OAV 值大于 1。其中,肌内脂肪中检测出

表2 安福火腿中肌内脂肪和皮下脂肪挥发性风味物质的含量与组成

Table 2 Content and composition of volatile flavor substances in intramuscular fat and subcutaneous fat of Anfu ham

化合物名称	阈值(μg/kg)	含量(μg/kg)	
		肌内脂肪	皮下脂肪
醛类		19.9	203.09
己醛	4.5 ^[13]	9.23	80.63
(E)-2-己烯醛	190 ^[14]	-	1.62
庚醛	3 ^[13]	2.32	8.75
(E)-2-庚烯醛	13 ^[13]	-	34.35
苯甲醛	350 ^[13]	0.88	3.84
辛醛	0.7 ^[13]	1.44	6.20
(E,E)-2,4-庚二烯醛	0.057 ^[14]	-	6.89
苯乙醛	4 ^[14]	1.38	7.22
(E)-2-辛烯醛	3 ^[13]	-	19.83
壬醛	1 ^[13]	3.17	15.10
(E)-2-壬烯醛	0.08 ^[13]	-	7.36
(E,E)-2,4-壬二烯醛	0.09 ^[15]	-	5.06
(E,E)-2,4-癸二烯醛	0.07 ^[14]	0.13	6.24
3-甲硫基丙醛	0.2 ^[16]	0.81	-
癸醛	0.1 ^[13]	0.22	-
正十五碳醛	1.48 ^[17]	0.32	-
酮类		0.69	14.50
2-庚酮	140 ^[15]	0.69	-
(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮	N.F	-	14.21
(E)-3-壬烯-2-酮	N.F	-	0.29
醇类		0.43	26.93
芳樟醇	1.5 ^[18]	0.43	-
正庚醇	3 ^[13]	-	2.07
1-辛烯-3-醇	1 ^[13]	-	24.86
酯类		5.4	0.57
异戊酸甲酯	11 ^[19]	3.66	-
己酸甲酯	70 ^[19]	1.54	-
辛酸甲酯	N.F	0.20	-
戊二酸二甲酯	N.F	-	0.57
酸类		1.43	0.50
2-甲基丁酸	N.F	1.43	-
癸酸	10000 ^[20]	-	0.50
烃类		29.16	82.62
乙基苯	N.F	2.14	4.92
对二甲苯	N.F	10.22	26.45
苯乙烯	35 ^[21]	10.59	-
4-异丙基甲苯	N.F	0.36	0.67
双戊烯	4 ^[18]	4.58	5.49
萜品烯	260 ^[21]	0.44	-
十二烷	110 ^[21]	0.22	2.07
十九烷	N.F	0.14	-
十三烷	220 ^[15]	0.40	2.90
十四烷	300 ^[15]	0.07	0.72
环辛四烯	N.F	-	39.40
呋喃类		-	21.21
2-正戊基呋喃	6 ^[14]	-	21.21
其它		2.56	11.62
2,5-二甲基吡嗪	1700 ^[14]	1.77	-
4-烯丙基苯甲醚	N.F	0.16	1.09
茴香脑	15 ^[21]	0.63	8.08
2,6-二甲基吡嗪	1500 ^[14]	-	2.45

注: -表示未检测到该化合物; N.F表示未查到该化合物的阈值; 标准序号为该化合物阈值来源的参考文献。

表3 安福火腿肌内脂肪和皮下脂肪中挥发性风味物质 OAV 分析

Table 3 OAV of volatile compounds in intramuscular fat and subcutaneous fat from Anfu ham

化合物名称	OAV值		气味描述
	肌内脂肪	皮下脂肪	
己醛	2.05	17.92	青草香 ^[13]
庚醛	+	2.92	脂肪、花香味 ^[13]
(E)-2-庚烯醛	-	2.64	腥味 ^[13]
辛醛	2.06	8.86	脂肪、柑橘味 ^[13]
(E,E)-2,4-庚二烯醛	-	120.88	泥土味 ^[14]
苯乙醛	+	1.81	杏仁、坚果味 ^[20]
(E)-2-辛烯醛	-	6.61	肉香、坚果味 ^[15]
壬醛	3.17	15.10	甜橙香、油脂香 ^[13]
(E)-2-壬烯醛	-	92.00	脂肪味 ^[13]
(E,E)-2,4-壬二烯醛	-	56.22	青草味 ^[15]
(E,E)-2,4-癸二烯醛	1.86	89.14	肉香、油脂香 ^[21]
3-甲硫基丙醛	4.05	-	肉香、洋葱味 ^[28]
癸醛	2.20	-	腊香味、淡果香 ^[17]
双戊烯	1.15	1.37	柠檬香 ^[32]
1-辛烯-3-醇	-	24.86	泥土、蘑菇、青草味 ^[21]
2-正戊基呋喃	-	3.54	可可豆、烧烤味 ^[17]

注: -表示未检测到该化合物; +表示OAV值小于1; 仅显示OAV>1的挥发性风味化合物。

7种,包括6种醛类、1种烯炔类;皮下脂肪中检测出14种,包括11种醛类、1种醇类、1种烯炔类、1种呋喃类。己醛、辛醛、壬醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、双戊烯是肌内脂肪和皮下脂肪中共同呈现的主体挥发性风味物质。

与其它火腿类似,安福火腿中醛类化合物的含量和种类在火腿中最为丰富^[1],主要来源于脂肪酸的氧化降解和 Strecker 降解产物^[26-27],其风味阈值较低,有着脂香、清香等风味,是其它挥发性风味物质的中间体,其对火腿总体风味的形成有着举足轻重的作用^[23,28]。对肌内脂肪和皮下脂肪影响较大的醛类主要是己醛、辛醛和壬醛,这与金华火腿研究结果一致^[28];己醛在肌内脂肪和皮下脂肪中均是含量最高的醛类化合物,这与谭椰子等^[29]、母雨等^[30]研究的结果一致。在皮下脂肪中,对风味贡献大(OAV>15)的醛类化合物有6种,主要为不饱和烯醛,不饱和烯醛是肉制品中常见的风味物质,有脂香、青草味等,主要是不饱和脂肪酸的氧化降解产物^[13,21,29]。其中(E,E)-2,4-庚二烯醛贡献最大,OAV值为120.88。在肌内脂肪中,OAV总体值较小,对风味贡献大(OAV>2)的醛类化合物有3-甲硫基丙醛、壬醛、癸醛、辛醛和己醛,其中,3-甲硫基丙醛、癸醛是肌内脂肪区分与皮下脂肪的关键风味化合物。安福火腿中含硫化合物含量不高,阈值较低,对火腿总体风味有着重要的作用^[28],其中3-甲硫基丙醛的OAV值(4.05)最大,具有肉香、洋葱等风味,可能是通过参与美拉德反应的含硫氨基酸发生 Strecker 降解产生的^[28]。

烷烃类化合物的阈值高,对火腿风味影响不

大^[31]。但烯烃类化合物的阈值相对较低,具有果香味,对提升火腿的风味具有一定的作用^[32]。双戊烯是肌肉脂肪和皮下脂肪中关键的烯烃类挥发性风味化合物,具有令人愉快的柠檬果香味,在五香驴肉^[18]和复合精油涂层的干腌火腿^[32]中也发现该化合物。

不饱和醇类化合物主要来源于不饱和脂肪酸的氧化降解,其阈值较低,对食品的总体风味品质有着重要的影响。1-辛烯-3-醇主要是脂肪酸 β -氧化水解而产生的,具有蘑菇香和青草味,普遍存在于干腌火腿中,因阈值较低,是火腿中典型的香气成分^[33]。在皮下脂肪中 1-辛烯-3-醇的 OAV 值为 24.86,对火腿风味贡献较大,这与罗玉龙等^[13]研究结果一致。

含氧杂环化合物普遍存在于肉制品中,主要是脂肪酸氧化、氨基酸降解及美拉德反应等的产物,具有果香味、碳烤味、肉香味等^[1]。在皮下脂肪中,2-正戊基呋喃的 OAV 值大于 1,多数是硫胺素降解产物^[34],具有可可豆和烧烤味,这可能与安福火腿传统的制作工艺有关。同时 2-正戊基呋喃对金华、宣威、如皋火腿及碳烤羊腿的风味品质具有一定的贡献^[29,34]。

2.3 肌肉中氨基酸的分析

氨基酸的种类和含量对火腿风味具有一定的影响,本论文分析了安福火腿肌肉中氨基酸组成,结果见表 4,从安福火腿肌肉中,共检测出 17 种氨基酸,总量为 33.68 g/100 g,高于三川焐灰火腿和风干火腿^[12];且必需氨基酸的含量丰富,占总氨基酸含量的 41.98%。天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸、丝氨酸和苏氨酸 6 种呈味氨基酸的含量对提升火腿的风味品质有着重要作用,占比为 43.73%;其中,谷氨酸和天冬氨酸的含量最高,分别为 5.29 和 3.25 g/100 g,这对安福火腿的鲜美度有着重要的贡献。胱氨酸和蛋氨酸的含量分别为 0.31 和 1.18 g/100 g,这两种含硫氨基酸可能是产生含硫挥发性风味物质的主要来源^[28]。

3 结论

本文首次对江西安福火腿营养、风味特征开展研究,从肌肉脂肪和皮下脂肪中分别检测出 19、29 种游离脂肪酸,其中顺-9-油酸、棕榈酸、硬脂酸和亚油酸是主要的游离脂肪酸。从总游离脂肪酸含量来看,皮下脂肪是肌肉脂肪的 7.992 倍。皮下脂肪中挥发性风味物质的种类与含量均高于肌肉脂肪,且两者的醛类和烃类含量最高,种类也最为丰富。从 OAV 值来看,肌肉脂肪的总体值较小,己醛、辛醛、壬醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛和双戊烯是肌肉脂肪和皮下脂肪中共同呈现的关键挥发性风味物质;3-甲硫基丙醛和癸醛仅存在于肌肉脂肪中,是肌肉脂肪区别与皮下脂肪的关键风味化合物。肌肉中检测出 17 种氨基酸,且必需氨基酸的含量丰富,占氨基酸总量的 41.98%,谷氨酸和天冬氨酸两种鲜味氨基酸的含量最高,它们对安福火腿的鲜美度有着重要的贡献。

表 4 安福火腿肌肉中氨基酸组成(g/100 g)

Table 4 Amino acid composition in the muscles of Anfu ham (g/100 g)

氨基酸	呈味	氨基酸含量 (g/100 g)
天冬氨酸(Asp)*	鲜味	3.25±0.03
苏氨酸(Thr)*	甜味	1.53±0.15
丝氨酸(Ser)*	甜味	0.92±0.05
谷氨酸(Glu)*	鲜味	5.29±0.05
甘氨酸(Gly)*	甜味	1.71±0.03
丙氨酸(Ala)*	甜味	2.04±0.07
胱氨酸(Cys)	-	0.31±0.04
缬氨酸(Val)	甜味	1.91±0.08
蛋氨酸(Met)	甜/苦味	1.18±0.07
异亮氨酸(Ile)	苦味	1.87±0.03
亮氨酸(Leu)	苦味	2.90±0.03
酪氨酸(Tyr)	苦味	1.28±0.04
苯丙氨酸(Phe)	苦味	1.51±0.03
赖氨酸(Lys)	甜/苦味	3.24±0.06
组氨酸(His)	苦味	1.27±0.03
精氨酸(Arg)	甜/苦味	2.01±0.04
脯氨酸(Pro)	甜/苦味	1.46±0.05
氨基酸总量		33.68±0.05
必需氨基酸总量		14.14±0.06
呈味氨基酸总量		14.73±0.06
必需氨基酸占比(%)		41.98±0.11
呈味氨基酸占比(%)		43.73±0.10

注: -表示未查到该化合物呈味情况; *表示是呈味氨基酸,色氨酸被破坏。

安福火腿中肌肉脂肪和皮下脂肪的游离脂肪酸组成与含量的差异性决定了它们的挥发性风味物质及主体挥发性风味物质组成与含量的差异性。通过对比发现,安福火腿在游离脂肪酸、主体挥发性风味物质和氨基酸的组成与含量上,与其它产地火腿均存在一定的差异性,这可能与各产地火腿的原料、发酵环境(如:温度、湿度和微生物种群组成等)、加工工艺与储藏方式等有着显著相关性。后期可从安福火腿的生产工艺出发,详细研究其与不同产地火腿风味品质的差异性。本研究一方面将为地方区域火腿品牌建设提供理论依据,另一方面为后期研究火腿加工工艺对风味品质影响的机制提供参考。

参考文献

- [1] 郭新,卢士玲,王斌,等.中国传统火腿风味分析研究进展[J].粮食与油脂,2019,32(3):18-21.
- [2] 黄占旺,徐明生,汤凯洁,等.安福火腿发酵微生物分离与发酵工艺研究[J].江西农业大学学报(自然科学),2003(4):635-638.
- [3] Benet I, Dolores G M, Ibanez C, et al. Analysis of SPME or SBSE extracted volatile compounds from cooked cured pork ham differing in intramuscular fat profiles[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(1): 393-399.
- [4] Luna G, Aparicio R, Garcia-gonzalez D L, et al. A tentative characterization of white dry-cured hams from Teruel (Spain) by SPME-GC[J]. Food Chemistry, 2006, 97(4): 621-630.
- [5] Narvaez-rivas M, Gallardo E, Leon-gamacho M, et al.

- Evolution of volatile hydrocarbons from subcutaneous fat during ripening of Iberian dry-cured ham. A tool to differentiate between ripening periods of the process[J]. *Food Research International*, 2015, 67: 299–307.
- [6] Angela J, Carmen G, Maria L T, et al. Effect of ripening time and rearing system on amino acid-related flavour compounds of Iberian ham[J]. *Meat Science*, 2007, 75(4): 585–594.
- [7] Zhu C, Tian W, Li M, et al. Separation and identification of peptides from dry-cured Jinhua ham[J]. *International Journal of Food Properties*, 2018, 20(3): 2980–2989.
- [8] 李玲, 张敬竟, 王桂瑛, 等. 宣威火腿与金华火腿中游离脂肪酸组成比较分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(15): 225–229.
- [9] Wang W L, Feng X, Zhang D N, et al. Analysis of volatile compounds in Chinese dry-cured hams by comprehensive two-dimensional gas chromatography with high-resolution time-of-flight mass spectrometry[J]. *Meat Science*, 2018, 140(14): 14–25.
- [10] 邰延军, 周光宏, 徐幸莲, 等. 金华火腿生产过程中脂质水解特性研究[J]. *食品与机械*, 2007(3): 5–9.
- [11] Liu S Y, Wang G Y, Xiao Z C, et al. ¹H-NMR-based water-soluble low molecular weight compound characterization and free fatty acid composition of five kinds of Yunnan dry-cured hams[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2019, 108: 174–182.
- [12] 梁定年, 薛桥丽, 黄启超, 等. 三川焐灰火腿和风干火腿发酵过程中理化性质变化[J]. *肉类研究*, 2019, 33(9): 19–24.
- [13] 罗玉龙, 王柏辉, 赵丽华, 等. 苏尼特羊和小尾寒羊的屠宰性能、肉品质、脂肪酸和挥发性风味物质比较[J]. *食品科学*, 2018, 39(8): 103–107.
- [14] Gkarane V, Brunton N P, Harrison S M, et al. Volatile profile of grilled lamb as affected by gastration and age at slaughter in two breeds[J]. *Journal of Food Science*, 2018, 83(10): 2466–2477.
- [15] 李柯呈, 徐宝才, 姚忠, 等. 干腌盐量对南京盐水鸭特征风味成分的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(17): 98–104.
- [16] Tian H X, Li F H, Qin L, et al. Quality evaluation of beef seasonings using gas chromatography-mass spectrometry and electronic nose: correlation with sensory attributes and classification according to grade level[J]. *Food Analytical Methods*, 2015, 8(6): 1552–1534.
- [17] 葛孟甜, 李肖婵, 林琳, 等. 我国四个地区河蟹蟹肉挥发性物质的比较[J]. *中国调味品*, 2019, 44(4): 16–22.
- [18] 谢恬, 王丹, 马明娟, 等. OAV 和 GC-O-MS 法分析五香驴肉风味活性物质[J]. *食品科学*, 2018, 39(8): 123–128.
- [19] 蒋肇祥, 黄雨婷, 邓莎, 等. 不同复合菌种发酵驴肉香肠的风味特性[J]. *食品科技*, 2019, 44(12): 99–104.
- [20] 李少辉, 赵巍, 李朋亮, 等. 基于香味活性值对五谷晒醋香气成分的研究[J]. *中国酿造*, 2020, 39(1): 88–92.
- [21] 张哲奇, 臧明伍, 张凯华, 等. 关键工艺对粉蒸肉挥发性特征风味形成的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(4): 222–228.
- [22] Huan Y J, Zhou G H, Zhao G M, et al. Changes in flavor compounds of dry-cured Chinese Jinhua ham during processing[J]. *Meat Science*, 2005, 71(2): 291–299.
- [23] Zhang Y Y, Wu H Z, Tang J, et al. Influence of partial replacement of NaCl with KCl on formation of volatile compounds in Jinhua ham during processing[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2016, 25(2): 379–391.
- [24] 李贞子, 杨具田, 祁高展, 等. 兰州大尾羊肉挥发性风味组分研究[J]. *食品与机械*, 2016, 32(12): 50–54, 95.
- [25] 何聪聪, 苏柯冉, 刘梦雅, 等. 基于 AEDA 和 OAV 值确定西瓜汁香气活性化合物的比较[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(7): 279–285.
- [26] 赵景丽, 赵改名, 柳艳霞, 等. 谷氨酸美拉德反应在金华火腿挥发性风味物质形成中的作用[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(9): 110–115.
- [27] 臧明伍, 王宇, 韩凯, 等. 香港酱牛肉挥发性风味化合物的研究[J]. *肉类研究*, 2009, 23(6): 46–51.
- [28] 赵景丽, 赵改名, 柳艳霞, 等. 含硫氨基酸美拉德反应在金华火腿挥发性风味物质形成中的作用[J]. *食品科学*, 2013, 34(19): 23–26.
- [29] 谭椰子, 周光宏, 徐幸莲, 等. 3 个品牌干腌火腿皮下脂肪挥发性风味比较分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(16): 185–192.
- [30] 母雨, 苏伟, 母应春. 盘县火腿微生物多样性及主体挥发性风味解析[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(15): 77–85.
- [31] 朱建军, 王晓宇, 胡萍, 等. 黔式腊肉加工过程中挥发性风味物质的变化[J]. *食品与机械*, 2013, 29(4): 20–23.
- [32] 戴照琪, 赵见营, 罗辑, 等. 复合精油涂层对干腌火腿挥发性风味品质的影响研究[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(3): 243–249, 258.
- [33] Muriel E, Antequera T, Petró M J, et al. Volatile compounds in Iberian dry-cured loin[J]. *Meat Science*, 2004, 68(3): 391–400.
- [34] 马建荣, 潘腾, 王振宇, 等. 传统炭烤羊腿特征挥发性风味物质分析[J]. *肉类研究*, 2019, 33(1): 50–54.