

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.01.008

江西地方品牌酱鸭游离脂肪酸和风味特性分析

Analysis of free fatty acids and flavor characteristics of sauced duck from Jiangxi local brands

刘光宪¹ 李雪¹ 王丽¹ 程文龙¹ 陈智韡²LIU Guang-xian¹ LI Xue¹ WANG Li¹ CHENG Wen-long¹ CHEN Zhi-wei²

(1. 江西省农业科学院农产品加工研究所, 江西 南昌 330200; 2. 正邦集团有限公司, 江西 南昌 330200)

(1. Institute of Agricultural Processing, Jiangxi Academy of Agricultural Science, Nanchang, Jiangxi 330200, China; 2. Zhengbang Group Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi 330200, China)

摘要:采用气相色谱—质谱联用技术和氨基酸分析技术对江西老字号酱鸭、煌上煌酱鸭、向塘酱鸭游离脂肪酸和风味特性进行研究。结果表明:3 个品牌酱鸭中共检出 23 种游离脂肪酸,其中顺-9-油酸、棕榈酸、亚油酸为江西酱鸭的主要游离脂肪酸;向塘酱鸭中的谷氨酸含量显著高于其他两种酱鸭,为 9.27 g/100 g;3 种酱鸭中共鉴定出 92 种挥发性风味物质,包括烃类、醛类、酯类、醇类、酚类、酮类等,其中烃类为江西地方酱鸭的主要挥发性风味物质;气味活性值分析共得 18 种主体风味物质,其中(E,E)-2,4-癸二烯醛、芳樟醇、壬醛分别为江西老字号酱鸭、煌上煌酱鸭、向塘酱鸭中贡献最大的主体风味成分。

关键词:酱鸭;游离脂肪酸;挥发性风味物质;气味活性值

Abstract: The free fatty acids and the flavor characteristics of the time-honored sauced duck, Huangshanghuang sauced ducks and Xiangtang sauced duck in Jiangxi province were investigated by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and amino acid analysis. The results showed that twenty-three kinds of free fatty acids were detected in the three kinds of sauced duck, which cis-9-oleic acid, palmitic acid and linoleic acid were the main free fatty acids in Jiangxi sauced duck. The glutamic acid content of Xiangtang sauced duck was higher than that of the other two sauced duck significantly, which was 9.27 g /100 g. Ninety-two volatile flavor compounds were identified from the three brands of sauced ducks, including hydrocarbons, aldehydes, esters, alcohols, phenols, ketones. And hydrocarbons were the main volatile

flavor substances in the three sauced ducks. Eighteen main volatile flavor compounds were obtained by odor activity value, which (E,E)-2,4-decadienal, linalol and nonaldehyde were the largest contribution in the time-honored sauced duck, Huangshanghuang sauced ducks and Xiangtang sauced duck respectively.

Keywords: sauced duck; free fatty acids; volatile flavor compounds; odor activity value

中国是世界上鸭肉生产量最多的国家,2019 年产量高达 944 万 t。鸭肉因其具有高蛋白、低脂肪、低胆固醇、高维生素含量和风味浓郁等特点而深受消费者喜爱,是一种营养丰富的食物来源^[1]。目前,市场上的鸭肉制品主要有北京烤鸭、南京盐水鸭、南安板鸭、四川樟茶鸭、江西酱鸭等知名产品,其中江西酱鸭是中国传统的酱卤制品,也是江西的“食品名片”之一,具有酱香浓郁、肉质鲜美、风味独特等特点,在鸭肉制品市场中占有重要地位。目前,江西酱鸭工业化生产程度低,品牌各异,且生产工艺上存在一定的差异性。崔要奇等^[2]研究发现,较冷冻贮藏,常温贮藏和冷藏贮藏对酱鸭的品质影响较小;张建友等^[3]研究了不同贮藏温度(4, 25, 37 °C)对真空包装酱鸭品质的影响;程珂萌等^[4]研究了低温风干型酱鸭在加工过程中脂质氧化特性的变化;Zhou 等^[5]研究了不同萃取条件和纤维涂层对酱鸭挥发性风味物质的影响。而有关不同品牌酱鸭间挥发性风味物质和游离脂肪酸差异比较的研究尚未见报道。

酱鸭风味主要包括香味和滋味,其香味主要来源于酱鸭中的脂质水解和氧化生成的醛类、烃类、醇类、酯类等挥发性风味物质,脂质水解产生的游离脂肪酸是酱鸭挥发性风味物质的重要前体化合物。文章拟以江西具有代表性的 3 种地方酱鸭(江西老字号酱鸭、煌上煌酱鸭和向塘酱鸭)为原料,采用气相色谱—质谱联用技术(GC-MS)探究不同品牌酱鸭中的游离脂肪酸差异及其对酱鸭

基金项目:江西现代农业科研协同创新专项项目(编号:JXX-TCXQN201905);江西省杰出青年人才资助计划(编号:20192BCBL23026);江西省农业科学院创新基金博士启动项目(编号:20191CBS001);江西省重点研发计划(编号:20202BBFL63037, 20202BBFL63038)

作者简介:刘光宪(1982—),男,江西省农业科学院农产品加工研究所副研究员,博士。E-mail:liugx178@163.com

收稿日期:2020-10-05

风味的影响;通过测定 3 种江西地方品牌酱鸭中的氨基酸组分和含量探究酱鸭中氨基酸对酱鸭滋味的影响;采用顶空固相微萃取—气相色谱—质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)分析 3 种酱鸭中的挥发性风味物质差异,并通过气味活性值法(OAV)获得 3 种酱鸭的主体风味物质,旨在为江西地方酱鸭品质特征标识与鉴别、标准化加工提供依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

江西老字号酱鸭:江西九江老字号卤制品有限公司;

煌上煌酱鸭:江西煌上煌集团食品有限公司;

向塘酱鸭:江西南昌县向塘机务段菜市场;

十九烷酸甲酯、37 种脂肪酸标准品、癸酸甲酯:美国 Sigma 公司;

浓盐酸、氯仿:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

甲醇、正己烷:色谱纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.1.2 主要仪器与设备

气相色谱—质谱联用仪:Trace1310 ISQ 型,美国赛默飞科技有限公司;

恒温磁力搅拌器:08-2T 型,上海梅颖浦仪器仪表制造有限公司;

气相色谱—质谱联用仪:7890A-5975C 型,美国安捷伦公司;

高速氨基酸分析仪:L-8900 型,日本日立公司。

1.2 试验方法

1.2.1 游离脂肪酸的测定 将 3 种地方品牌酱鸭(江西老字号酱鸭、煌上煌酱鸭和向塘酱鸭)的可食部分取下,绞碎混匀,分别编号为 1 号、2 号、3 号酱鸭。取酱鸭肉样品 1.00 g 于 15 mL 离心管,分别加入 2 mL 5% 的盐酸甲醇溶液、3 mL 氯仿—甲醇溶液($V_{\text{氯仿}}:V_{\text{甲醇}}$ 为 1:1)和 50 μg 内标(十九烷酸甲酯),混匀,85 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 1 h,冷却至室温,再加入 1 mL 正己烷溶液,震荡萃取 2 min,静置分层。取上层清液 100 μL 于 2 mL 离心管中,再加入 900 μL 正己烷溶液,混匀,用 0.45 μm 滤膜过膜后待测。

(1) 气相色谱条件:色谱柱为 TG-5MS(5% 苯基)聚碳硅氧烷毛细管柱(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);升温程序为 80 $^{\circ}\text{C}$ 保持 1 min,以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 200 $^{\circ}\text{C}$,保持 1 min,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 250 $^{\circ}\text{C}$,保持 1 min,以 25 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 270 $^{\circ}\text{C}$,保持 3 min;进样口温度 290 $^{\circ}\text{C}$,载气流速(He)为 1.2 mL/min,不分流进样。

(2) 质谱条件:电离方式为 EI 源,电子轰击质谱电压 70 eV,传输线温度 280 $^{\circ}\text{C}$,离子源温度 280 $^{\circ}\text{C}$,质谱扫描范围 30~400 amu。

(3) 定性定量:以 37 种混合脂肪酸标准品的总离子流图为对照,采用峰面积归一法定量分析各种游离脂

肪酸。

1.2.2 挥发性风味物质的测定

(1) SPME 萃取条件:将酱鸭肉在未完全解冻状态下剁碎成 2 mm 左右肉粒,混匀,取 5.00 g 酱鸭肉样品于 20 mL SPME 萃取瓶中,加入 1.00 μg 癸酸甲酯作为内标物(1 mg/mL),密封。萃取头使用前需在 250 $^{\circ}\text{C}$ 下老化 20 min。将装有酱鸭肉的萃取瓶于 60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 20 min,插入萃取针萃取 30 min^[6]。

(2) GC-MS 分析:色谱柱为 HP-5MS 非极性毛细管柱(60 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm),进样口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,气质接口温度 250 $^{\circ}\text{C}$,载气流速 1.5 mL/min。升温程序为初始温度 50 $^{\circ}\text{C}$ 保持 1 min,以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 100 $^{\circ}\text{C}$,保持 2 min;以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 180 $^{\circ}\text{C}$,保持 3 min;以 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升温至 250 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min。离子源温度 230 $^{\circ}\text{C}$,四极杆温度 150 $^{\circ}\text{C}$,电离方式为 EI,电子能量 70 eV,扫描范围 m/z 35~550。

(3) 挥发性风味物质的定性:将酱鸭挥发性风味物质的结果与数据库 NIST2014 和 WILEY8.0 中的谱库进行对比分析,筛选出正反匹配度均 >85 的挥发性物质(最大匹配度为 100)。

(4) 挥发性风味物质的定量:以癸酸甲酯作为内标物对酱鸭样品中的挥发性风味物质进行定量分析^[7],并按式(1)进行计算。

$$C_x = \frac{A_x \times m_1}{A \times m_2} \times 1\,000, \quad (1)$$

式中:

C_x ——酱鸭中挥发性化合物质量浓度, $\mu\text{g}/\text{kg}$;

A_x ——待测挥发性物质的峰面积;

A ——内标癸酸甲酯的峰面积;

m_1 ——内标物质量, μg ;

m_2 ——加入萃取瓶中的样品质量,g。

1.2.3 主体风味成分的测定 采用内标法定量出酱鸭中各挥发性风味化合物的质量浓度,根据文献中各挥发性化合物在水中的气味阈值(OVA),对 $\text{OAV} \geq 1$ 的风味物质进行分析,并按式(2)计算气味活性值。

$$A_i = \frac{C_i}{T_i}, \quad (2)$$

式中:

A_i ——酱鸭中各挥发性风味化合物的气味活性值;

C_i ——酱鸭中各挥发性风味物质的质量浓度, $\mu\text{g}/\text{kg}$;

T_i ——酱鸭中各风味化合物在水中的气味阈值, $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

1.2.4 氨基酸含量测定 取 2 g 样品于 20 mL 水解管中,加入 16 mL 6 mol/L 的盐酸溶液,用真空泵脱气并充入氮气封管,110 $^{\circ}\text{C}$ 下水解 22 h,冷却并定容至 50 mL 容量瓶中。取 1 mL 水解液于真空下脱酸抽干,加入 1 mL

水抽干(重复两次)。上机前加入 1 mL 0.02 mol/L 的盐酸溶液,用 0.22 μm 水相滤膜过滤,上机分析。

1.2.5 数据分析 采用 SPSS 17.0 和 Excel 2007 软件进行统计分析和制表,P≤0.05 为差异显著,氨基酸组成和含量分析结果取平均值。

2 结果与分析

2.1 游离脂肪酸分析

脂肪分解产生的游离脂肪酸是酱鸭挥发性风味物质的重要前体物质,且酱鸭中的游离脂肪酸氧化与酱鸭风味形成具有直接关系^[8-9]。由表 1 可知,3 种酱鸭中共检出 23 种游离脂肪酸,其中饱和脂肪酸(SFA),单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)分别为 8,6,9 种。顺-9-油酸、棕榈酸、亚油酸是江西酱鸭的主要游离

脂肪酸,其对酱鸭挥发性风味物质的产生具有重要作用^[10-11],该结果与赵瑜亮^[12]的一致。2 号酱鸭样品的总游离脂肪酸(TFFA)含量最少,为 6.100 4 g/100 g,可能是因为 2 号酱鸭采用了透明真空包装,而 1 号和 3 号酱鸭采用的是聚乙烯材质的非密封性塑料包装袋,真空包装会抑制酱鸭的脂肪分解和氧化,从而减少游离脂肪酸的产生。3 种酱鸭中的 SFA 主要是由棕榈酸和硬脂酸组成,两者总和分别为 3.802 5,1.448 2,3.087 1 g/100 g,占酱鸭中饱和脂肪酸的 91%,95%,98%。

研究^[13]表明,SFA 会提高人体血液中的低密度脂蛋白胆固醇含量,导致动脉管腔狭窄,引起动脉粥样硬化,增加患冠心病的风险。3 种酱鸭样品中的 MUFA 含量均最高,分别占 TFFA 的 52%,46%,45%,且顺-9-油酸是

表 1 酱鸭中游离脂肪酸的组成和含量变化[†]

Table 1 The composition and content changes of free fatty acids in different brands of sauced duck g/100 g

游离脂肪酸种类	1号酱鸭	2号酱鸭	3号酱鸭
肉豆蔻酸(C _{14:0})	ND	0.023 2±0.000 5	ND
棕榈酸(C _{16:0})	2.754 0±0.032 9	1.003 3±0.001 6	2.331 0±0.025 8
十七碳酸(C _{17:0})	0.010 0±0.000 1	ND	0.013 0±0.000 4
硬脂酸(C _{18:0})	1.048 6±0.029 7	0.444 9±0.010 0	0.756 1±0.009 9
花生酸(C _{20:0})	0.024 1±0.003 1	0.014 9±0.000 5	0.023 1±0.005 7
山萘酸(C _{22:0})	0.017 7±0.001 4	0.013 1±0.002 9	0.014 1±0.000 5
二十三碳酸(C _{23:0})	ND	0.013 7±0.000 2	ND
木蜡酸(C _{24:0})	0.301 2±0.019 0	0.008 2±0.001 3	0.010 5±0.001 7
肉豆蔻油酸(C _{14:1n5})	0.011 1±0.000 7	ND	0.010 6±0.001 0
棕榈油酸(C _{16:1n7})	0.403 0±0.009 1	0.124 0±0.003 8	0.257 3±0.004 0
顺-9-油酸(C _{18:1n9c})	6.985 8±0.062 4	2.542 9±0.019 0	4.200 0±0.004 2
反式油酸(C _{18:1n9t})	0.153 4±0.002 0	0.057 5±0.002 1	0.118 3±0.006 5
顺-11-二十碳烯酸(C _{20:1})	0.053 1±0.000 1	0.018 0±0.001 0	0.038 2±0.000 1
芥酸(C _{22:1n9})	ND	0.034 8±0.000 1	ND
亚油酸(C _{18:2n6c})	2.365 7±0.010 6	1.498 1±0.024 5	2.062 3±0.004 3
反式亚油酸(C _{18:2n6t})	ND	ND	0.012 8±0.000 3
γ-亚麻酸(C _{18:3n6})	0.008 3±0.000 0	ND	0.011 1±0.002 7
α-亚麻酸(C _{18:3n3})	0.094 8±0.000 8	0.063 3±0.002 5	0.103 6±0.001 0
顺-11,14-二十碳二烯酸(C _{20:2})	0.014 5±0.001 5	ND	0.012 8±0.001 5
顺-8,11,14-二十碳三烯酸(C _{20:3n6})	0.024 2±0.002 8	0.009 8±0.000 1	0.020 3±0.003 6
花生四烯酸(C _{20:4n6})	0.233 7±0.003 2	0.215 3±0.005 8	0.210 2±0.008 6
二十碳五烯酸(C _{20:5n3})	0.017 0±0.000 6	0.008 5±0.000 6	0.015 1±0.001 4
二十二碳六烯酸(C _{22:6n3})	0.048 5±0.003 3	0.014 5±0.001 0	ND
饱和脂肪酸(SFA)	4.155 6±0.019 8	1.521 3±0.014 3	3.147 9±0.012 8
单不饱和脂肪酸(MUFA)	7.606 5±0.050 7	2.777 2±0.012 6	4.630 8±0.009 9
多不饱和脂肪酸(PUFA)	2.806 8±0.004 9	1.801 9±0.009 6	2.448 0±0.006 5
总脂肪酸含量(TFFA)	14.568 8±0.073 5	6.100 4±0.034 8	10.226 7±0.012 4
PUFA/SFA	0.675 4±0.002 1	1.184 4±0.007 9	0.777 7±0.004 9

† ND 表示未检测到该化合物。

3 种酱鸭中含量最高的游离脂肪酸,其具有降低人体血液中低密度脂蛋白胆固醇和甘油三酯的效果,可预防动脉硬化等心血管疾病的发生^[14]。1 号酱鸭样品中的 PUFA 含量较 2 号和 3 号酱鸭的高,且 3 种酱鸭中的 PUFA 均以必需脂肪酸亚油酸含量最高,亚油酸还是风味物质(*E, E*)-2,4-癸二烯醛的来源^[15]。研究^[16]表明,PUFA/SFA>0.4 则被认为是健康的食物,3 种酱鸭中 PUFA/SFA 为 0.675 4~1.184 4,其中 2 号酱鸭的 PUFA/SFA 最大,为 1.184 4。这可能是由于 3 种酱鸭的加工工艺、包装方式

的差异导致多不饱和脂肪酸的氧化程度不同,进而影响 PUFA/SFA。

2.2 挥发性风味物质分析

由表 2 可知,3 种酱鸭样品中共鉴定出 92 种挥发性风味物质,其中烃类、醛类、酯类、醇类、酚类、酮类及其他类分别为 36,14,12,8,3,4,15 种。3 种酱鸭样品中最主要的挥发性风味物质为烃类,与程珂萌等^[26]的研究结果一致,但赵瑜亮^[12]认为酱鸭中主要的挥发性风味物质为酯类、醛类和酮类,这可能与酱鸭加工工艺的差异有关,

表 2 酱鸭中的挥发性风味物质含量与组成变化[†]

Table 2 The content and composition of volatile flavor substances in different brands of sauced duck

种类	名称	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)			阈值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	文献
		1 号酱鸭	2 号酱鸭	3 号酱鸭		
	甲苯	50.14±2.36	25.70±1.15	—	200.00	[17]
	六甲基环三硅氧烷	68.30±0.85	37.93±1.01	46.89±0.91	NF	
	乙基苯	223.27±3.48	—	—	NF	
	间二甲苯	—	70.22±2.67	60.53±1.44	NF	
	对二甲苯	1 060.30±6.14	362.03±3.27	268.14±3.51	NF	
	环辛四烯	1 249.00±4.12	—	—	NF	
	苯乙烯	—	308.72±1.89	340.72±1.28	730.00	[18]
	α -蒎烯	35.42±0.57	—	35.37±0.56	6.00	[19]
	蒎烯	44.01±0.28	—	—	150.00	[20]
	α -水芹烯	33.70±0.34	—	34.35±0.42	160.00	[19]
	β -蒎烯	—	—	28.99±0.32	140.00	[19]
	桉烯	—	212.87±0.11	100.55±2.65	NF	
	月桂烯	—	307.54±6.12	345.62±0.45	13.00	[20]
	葵烷	—	—	12.42±0.49	NF	
	(<i>Z</i>)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	13.76±0.21	45.27±2.75	80.28±2.21	NF	
烃类	α -萜品烯	54.70±1.25	—	44.29±2.51	NF	
	4-异丙基甲苯	40.40±0.42	16.21±0.52	38.42±0.34	150.00	[19]
	双戊烯	877.69±2.48	701.31±2.98	405.18±2.31	NF	
	萜品烯	167.61±1.25	53.94±0.95	105.57±0.87	260.00	[21]
	萜品油烯	51.48±0.15	30.52±0.09	44.16±0.12	NF	
	别罗勒烯	32.55±0.52	9.32±0.07	39.67±1.15	NF	
	十甲基环五硅氧烷	181.02±2.10	104.74±1.04	121.54±1.98	NF	
	十二烷	—	19.69±0.25	25.21±0.20	110.00	[21]
	十一烷	19.83±0.13	—	—	NF	
	萘	—	—	17.00±0.18	0.44	[19]
	茴香脑	1 946.02±3.51	96.39±3.22	15.33±1.55	15.00	[20]
	正十三烷	27.53±1.55	19.24±0.21	43.31±2.05	220.00	[18]
	α -葎澄茄油烯	33.48±0.19	5.20±0.24	—	NF	
	十四烷	—	4.95±0.08	—	300.00	[18]
	1-石竹烯	40.73±1.24	19.75±0.50	36.36±1.19	64.00	[19]
	α -石竹烯	13.20±0.25	6.22±0.11	7.35±0.18	160.00	[19]
	十四甲基环七硅氧烷	—	30.97±0.51	28.42±0.05	NF	

续表 2

种类	名称	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)			阈值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	文献
		1号酱鸭	2号酱鸭	3号酱鸭		
	α -柏木烯		2.18 \pm 0.02	—	NF	
	δ -杜松烯	12.61 \pm 0.12	4.61 \pm 0.09	11.72 \pm 0.62	NF	
烃类	大根香叶烯 D	—	—	3.72 \pm 0.03	NF	
	正二十三烷	14.34 \pm 0.07	—	—	NF	
	小计	6 219.12 \pm 1.40	2 495.50 \pm 1.24	2 341.16 \pm 2.00		
	己醛	—	509.82 \pm 2.89	—	10.00	[22]
	庚醛	—	57.17 \pm 1.35	—	3.00	[23]
	(E)-2-庚烯醛	—	31.28 \pm 1.20	—	150.00	[24]
	正辛醛	—	157.37 \pm 1.22	—	0.70	[19]
	苯甲醛	150.27 \pm 0.89	68.03 \pm 0.54	122.77 \pm 1.07	350.00	[15]
	壬醛	366.61 \pm 2.36	189.46 \pm 1.52	129.87 \pm 2.45	1.00	[15]
	苯丙醛	—	—	7.06 \pm 0.10	NF	
醛类	(E,E)-2,4-壬二烯醛	11.73 \pm 0.11	—	—	0.62	[19]
	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	26.48 \pm 1.05	—	—	40.00	[20]
	2,4-壬二烯醛	—	17.39 \pm 1.09	—	0.09	[18]
	(E,E)-2,4-癸二烯醛	100.85 \pm 1.09	26.66 \pm 0.59	—	0.27	[19]
	乙基香兰素	—	—	7.21 \pm 0.21	NF	
	十八醛	—	4.37 \pm 0.28	23.86 \pm 0.64	NF	
	十五醛	11.41 \pm 0.15	—	6.33 \pm 0.05	NF	
	小计	667.34 \pm 0.94	1 061.54 \pm 1.19	297.12 \pm 0.75		
	乙酸乙酯	—	28.30 \pm 1.15	—	5.00	[24]
	硅烷二醇二甲酯	156.68 \pm 2.56	—	—	NF	
	正己酸乙酯	51.26 \pm 2.31	—	—	5.00	[25]
	辛酸乙酯	—	70.34 \pm 1.24	—	19.30	[25]
	己二酸二甲酯	15.75 \pm 0.09	26.90 \pm 0.23	7.96 \pm 0.05	NF	
	丁酸-1-乙烯基-1,5-二甲基-4-己烯基酯	—	—	11.85 \pm 0.09	NF	
酯类	乙酸芳樟酯	64.45 \pm 0.96	59.43 \pm 1.65	—	110.90	[19]
	乙酸松油酯	—	—	36.70 \pm 0.02	2 500.00	[19]
	α -戊基- γ -丁内酯	—	69.34 \pm 2.36	—	21.00	[19]
	乙酸香叶酯	—	8.41 \pm 1.06	—	9.00	[19]
	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醇 3-甲基丁酸酯	—	—	7.05 \pm 1.24	NF	
	月桂酸乙酯	—	—	4.07 \pm 0.06	NF	
	小计	288.15 \pm 1.48	262.72 \pm 1.28	67.64 \pm 0.29		
	二甲基硅烷二醇	—	82.30 \pm 0.21	—	NF	
	糠醇	97.13 \pm 1.65	32.00 \pm 0.61	—	NF	
	桉叶油醇	404.87 \pm 3.48	62.76 \pm 0.81	—	1.30	[19]
	芳樟醇	2 014.82 \pm 5.61	2 167.39 \pm 5.30	—	6.00	[19]
醇类	苯乙醇	—	9.08 \pm 1.52	—	86.00	[19]
	2-茨醇	28.14 \pm 0.24	—	15.06 \pm 1.15	NF	
	4-萜烯醇	168.32 \pm 1.81	86.35 \pm 1.09	133.45 \pm 1.22	340.00	[19]
	α -松油醇	8.97 \pm 0.39	—	6.05 \pm 0.14	280.00	[15]
	小计	2 803.00 \pm 2.21	2 439.89 \pm 1.59	209.06 \pm 0.84		

续表 2

种类	名称	含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)			阈值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	文献
		1 号酱鸭	2 号酱鸭	3 号酱鸭		
酚类	乙基麦芽酚	—	3 396.03±6.21	—	NF	
	丁香酚	75.71±0.87	24.52±1.01	126.70±0.15	7.10	[19]
	异丁香酚	5.14±0.01	—	—	NF	
	小计	80.85±0.44	3 420.55±0.21	126.70±0.15		
酮类	甲基庚烯酮	26.20±1.07	—	9.99±1.10	50.00	[18]
	2-茨酮	—	—	10.81±1.59	NF	
	左旋香芹酮	—	7.87±0.15	—	NF	
	胡椒酮	—	—	44.04±0.59	680.00	[19]
	小计	26.20±1.07	7.87±0.15	64.84±1.09		
其他	2-甲基吡嗪	39.99±0.18	—	24.49±0.59	60.00	[24]
	2,5-二甲基吡嗪	323.28±2.65	43.39±0.91	136.17±0.79	1 700.00	[15]
	2-乙基-3,5-二甲基吡嗪	79.04±0.52	13.23±0.08	29.30±0.92	1	[24]
	2,3-二甲基吡嗪	—	—	21.31±2.01	NF	
	2-乙基-6-甲基吡嗪	—	—	26.50±0.57	NF	
	2-乙酰基吡嗪	—	—	30.45±0.14	NF	
	2,3-二甲基-5-乙基吡嗪	21.00±1.95	—	7.77±0.81	NF	
	4-烯丙基苯甲醚	532.60±2.69	—	216.20±3.95	NF	
	N,N-二丁基甲酰胺	—	13.85±0.09	—	NF	
	4-甲基-5-(2-乙酰氧乙基)噻唑	—	—	14.18±0.02	NF	
	棕榈酸	—	—	27.22±0.92	NF	
	硬脂酸	—	—	4.36±0.07	NF	
	十六碳酰胺	—	—	13.84±0.06	NF	
油酸酰胺	—	—	22.96±1.09	NF		
硬脂酰胺	—	—	6.90±0.04	NF		
	小计	995.91±1.60	70.48±0.36	581.65±0.86		

† NF 表示未找到该化合物的风味阈值，“—”表示未检测到该化合物。

或与酱鸭卤制过程中香辛料的使用种类不同有关^[5,27]。1 号酱鸭的挥发性风味物质中烃类、醇类化合物含量最多,分别为 6 219.12,2 803.00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。其中烃类化合物中的茴香脑含量最多,为 1 946.02 $\mu\text{g}/\text{kg}$,且茴香脑的气味阈值低,对酱鸭风味的贡献巨大,其主要来源于香料小茴香和八角中,具有茴香、甘草的香味。1 号酱鸭中的醇类风味物质中芳樟醇含量最高,为 2 014.82 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。芳樟醇主要来源于香叶和八角的直接引入,具有铃兰香味^[28]。2 号酱鸭样品中的酚类化合物含量最多,为 3 420.55 $\mu\text{g}/\text{kg}$,其中乙基麦芽酚含量高达 3 396.03 $\mu\text{g}/\text{kg}$,而 1 号和 3 号酱鸭样品并未检出乙基麦芽酚成分,可能是由于 2 号酱鸭在生产加工过程中加入了适量具有焦甜香气和水果香气的食品添加剂乙基麦芽酚,从而赋予 2 号酱鸭特有的香味。3 号酱鸭挥发性风味物质总含量最少,但其他类中的吡嗪类化合物种类最多,这主要是蛋白质或氨基酸的氨基与糖类化合物的羰基发生美拉德反应所致。

2.3 主体风味物质分析

由表 3 可知,3 种酱鸭中共检出 18 种主体风味化合物,其中(E,E)-2,4-癸二烯醛、芳樟醇、壬醛分别为 1 号、2 号和 3 号酱鸭中贡献最大的主体风味成分。1 号酱鸭共检出 10 种主体风味物质,其中烃类、醛类、酯类、醇类、酚类和吡嗪类分别为 2,3,1,2,1,1 种;2 号酱鸭共检出 14 种主体风味物质,其中烃类、醛类、酯类、醇类、酚类和吡嗪类分别为 2,6,2,2,1,1 种;3 号酱鸭共检出 7 种主体风味物质,其中烃类、醛类、酚类和吡嗪类分别为 4,1,1,1 种。

烃类中的烷烃类化合物由于具有较高的气味阈值,对酱鸭风味起辅助、修饰作用。但烯烃类化合物阈值相对较低,主要来源于酱鸭在酱制过程中香辛料的添加;茴香脑对 1 号酱鸭的风味起主要作用,其主要来源于茴香和八角等香辛料;2 号酱鸭中最关键的烃类风味物质为月桂烯,其主要来源于青花椒和陈皮,具有香辣味和胡椒味;3 号酱鸭中最主要的烃类化合物是萘,具有樟脑味。

表 3 酱鸭中挥发性风味物质的气味阈值[†]
Table 3 OAV of volatile flavor substances in different brands of sauced duck

化合物	OAV			气味特征
	1号酱鸭	2号酱鸭	3号酱鸭	
α-蒎烯	5.90	ND	5.90	树脂香味
月桂烯	ND	23.66	26.59	香辣味、胡椒味
萘	ND	ND	38.64	樟脑味
茴香脑	129.73	6.43	1.02	甘草味、茴香味
己醛	ND	50.98	ND	青草味
庚醛	ND	19.06	ND	脂肪味、油味
正辛醛	ND	224.82	ND	甜味、油脂味
壬醛	366.61	189.46	129.87	青草味、玫瑰香、脂肪味
(E,E)-2,4-壬二烯醛	18.92	ND	ND	果香味、油脂味
2,4-壬二烯醛	ND	193.25	ND	鸡肉味
(E,E)-2,4-癸二烯醛	373.51	98.75	ND	脂肪味
乙酸乙酯	ND	5.66	ND	果香味
正己酸乙酯	10.25	ND	ND	青苹果香和白兰地香
辛酸乙酯	ND	3.64	ND	水果香和花香
桉叶油醇	311.43	48.28	ND	草药味
芳樟醇	335.80	361.23	ND	花香味、柑橘香味
丁香酚	10.66	3.45	17.85	丁香辛香、烟熏香
2-乙基-3,5-二甲基吡嗪	79.04	13.23	29.30	坚果味、烘烤味

† ND表示未检测到该化合物。

醛类化合物主要来源于酱鸭中脂肪酸的氧化降解和Strecker降解,具有较强的挥发性和较低的风味阈值,是酱鸭中重要的风味化合物^[29]。1号酱鸭中(E,E)-2,4-癸二烯醛的OAV最高,来源于ω-6多不饱和脂肪酸,具有焦脂味和油烤味,被认为是重要的鸭肉味香气化合物^[30]。2号酱鸭中最关键的醛类挥发性化合物是正辛醛,具有油脂味、辛辣味^[17]。3号酱鸭的醛类风味物质中只有壬醛的OAV≥1,具有青草味、焦香味和油脂味,它可能与鸭肉中油酸的氧化降解有关^[31],是3号酱鸭的关键风味成分。

醇类风味物质通常具有较高的阈值,对酱鸭的风味起辅助、修饰作用,但不饱和醇类化合物具有相对较低的嗅觉阈值,其主要来源于不饱和脂肪酸的氧化降解。酯类化合物是酱鸭的重要风味物质,其主要来源于羧酸和醇的酯化反应。1号和2号酱鸭中检出乙酸乙酯、己酸乙酯和辛酸乙酯,其均是酒中的特征风味化合物,具有甜味和果香味,可能是酱鸭加工过程中加入了适量白酒,它赋予酱鸭特殊的酯香、去除鸭腥、遮掩鸭体不良风味的作用^[32-34]。

2.4 氨基酸分析

氨基酸是酱鸭中蛋白质降解的终产物^[35],不同氨基酸呈现不同的味道(主要有苦味、甜味和鲜味),它是体现酱鸭滋味的重要物质,也是酱鸭挥发性风味的重要前体物质,对酱鸭品质的影响巨大。由表4可知,3种酱鸭中共检出17种氨基酸,且3种酱鸭中的氨基酸种类无显著

表 4 酱鸭中氨基酸的组成及含量[†]

Table 4 The composition and content of amino acids in different brands of sauced duck g/100 g

种类	1号酱鸭	2号酱鸭	3号酱鸭
天门冬氨酸	2.79±0.03 ^a	2.78±0.01 ^a	3.20±0.07 ^b
苏氨酸	1.30±0.02 ^a	1.25±0.03 ^b	1.51±0.01 ^c
丝氨酸	0.89±0.01 ^a	0.90±0.01 ^a	1.05±0.02 ^b
谷氨酸	6.50±0.02 ^a	5.98±0.01 ^b	9.27±0.03 ^c
甘氨酸	2.17±0.02 ^a	2.93±0.03 ^b	2.56±0.02 ^c
丙氨酸	2.02±0.02 ^a	2.11±0.05 ^b	2.35±0.03 ^c
胱氨酸	0.26±0.002 ^a	0.25±0.01 ^a	0.27±0.02 ^a
缬氨酸	1.54±0.02 ^a	1.44±0.03 ^b	1.79±0.02 ^c
蛋氨酸	0.93±0.01 ^a	0.82±0.01 ^b	1.12±0.02 ^c
异亮氨酸	1.56±0.02 ^a	1.39±0.04 ^b	1.79±0.02 ^c
亮氨酸	2.53±0.02 ^a	2.33±0.03 ^b	2.91±0.02 ^c
酪氨酸	0.94±0.02 ^a	0.83±0.01 ^b	1.10±0.04 ^c
苯丙氨酸	1.35±0.02 ^a	1.37±0.02 ^a	1.60±0.02 ^b
赖氨酸	2.60±0.02 ^a	2.33±0.02 ^b	3.02±0.05 ^c
组氨酸	0.82±0.01 ^a	0.75±0.02 ^b	0.95±0.01 ^c
精氨酸	1.92±0.01 ^a	1.96±0.03 ^a	2.32±0.01 ^b
脯氨酸	1.61±0.02 ^a	2.00±0.02 ^b	1.93±0.02 ^c
总氨基酸	31.70±0.19 ^a	31.42±0.14 ^b	37.36±0.01 ^c

† 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

差异,但含量差异显著。此外,由于试验采用酸水解法测定氨基酸含量,会破坏色氨酸,故未在酱鸭中检出。酱鸭中的呈味氨基酸有天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、脯氨酸和精氨酸^[2],其中谷氨酸是重要的鲜味氨基酸,其与钠盐结合时能为酱鸭提供强烈的鲜味。3号酱鸭中的谷氨酸含量显著高于1号和2号酱鸭,说明3号酱鸭的肉质更为鲜美,风味更佳醇厚,这可能与3号酱鸭在加工过程中加入较多的味精或酿造酱油有关^[2]。

3 结论

对江西具有代表性的3种不同品牌酱鸭(江西老字号酱鸭、煌上煌酱鸭和向塘酱鸭)的游离脂肪酸、挥发性风味物质和氨基酸含量进行了测定。结果表明,3种酱鸭中共检出23种游离脂肪酸,其中顺-9-油酸、棕榈酸、亚油酸为江西老字号酱鸭的主要游离脂肪酸,煌上煌酱鸭的总游离脂肪酸含量最少,为6.1004g/100g,这可能与包装方式有关。3种酱鸭中共鉴定出92种挥发性风味物质,包括烃类、醛类、酯类、醇类、酚类和酮类等,其中烃类为江西老字号酱鸭的主要挥发性风味物质。3种酱鸭中共检出18种主体风味物质,其中(E,E)-2,4-癸二烯醛、芳樟醇、壬醛分别为江西老字号酱鸭、煌上煌酱鸭和向塘酱鸭中贡献最大的主体风味成分。为更好揭示江西地方产品风味特点,需与各酱鸭的加工工艺进行结合,同时还需开展更多批次酱鸭产品的研究分析。

参考文献

- [1] CAI Zhen-dong, RUAN Yi-fan, HE Jun, et al. Effects of microbial fermentation on the flavor of cured duck legs[J]. Poultry Science, 2020, 99(9): 4 642-4 652.
- [2] 崔要奇, 刘伟, 刘伟, 等. 不同保藏方式对酱鸭加工过程中肌肉质构和氨基酸组分的影响[J]. 食品工业科技, 2017(3): 336-341.
- [3] 张建友, 赵瑜亮, 张梦雨, 等. 不同贮藏温度酱鸭品质变化及其货架期预测[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 250-257.
- [4] 程珂萌, 周昌瑜, 潘道东, 等. 低温风干型酱鸭加工过程中脂质氧化特性[J]. 食品科学, 2018, 39(12): 219-225.
- [5] ZHOU Jin-jie, HAN Yang-qing, ZHUANG Hai-ning, et al. Influence of the type of extraction conditions and fiber coating on the meat of sauced duck neck volatile compounds extracted by solid-phase microextraction (SPME)[J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(7): 1 661-1 672.
- [6] JERKOVIC I, KOVACEVIC D, SUBARIC D, et al. Authentication study of volatile flavour compounds composition in Slovenian traditional dry fermented salami "kulen"[J]. Food Chemistry, 2009, 119(2): 813-822.
- [7] GIRI A, OSAKO K, OHSHIMA T. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish mear based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing[J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 621-631.
- [8] GIANELLI M P, SALAZAR V, MOJICA L, et al. Volatile compounds present in traditional meat products (charqui and longaniza sausage) in Chile[J]. Brazilian Archives of Biology and Technology, 2012, 55(4): 603-612.
- [9] WANG Ying, JIANG Ya-ting, CAO Jin-xuan, et al. Study on lipolysis-oxidation and volatile flavour compounds of dry-cured goose with different curing salt content during production[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 33-40.
- [10] 刘姝韵, 王桂瑛, 谷大海, 等. 五种云南火腿游离脂肪酸含量比较分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(2): 207-213.
- [11] 闫文杰, 李兴民, 江玉霞. 金华火腿中肌间脂肪和皮下脂肪的脂肪酸分析[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(2): 124-126.
- [12] 赵瑜亮. 酱鸭贮藏品质控制及其货架期预测研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2018: 20-21.
- [13] 李鹏, 孙京新, 王凤舞, 等. 白牦牛肉脂肪酸分析及功能性评价[J]. 食品科学, 2008, 29(4): 106-108.
- [14] SCHMID U, BORNSCHEUER U T, SOUMANOU M M, et al. Optimization of the reaction conditions in the lipase-catalyzed synthesis of structured triglycerides[J]. Journal of the American Oil Chemists Society, 1998, 75(11): 1 527-1 531.
- [15] GKARANE V, BRUNTON N P, HARRISON S M, et al. Volatile profile of grilled lamb as affected by castration and age at slaughter in two breeds[J]. Journal of Food Science, 2018, 83(10): 2 466-2 477.
- [16] JIMENEZ-COLMENERO F, VENTANAS J, TOLDRA F. Nutritional composition of dry-cured ham and its role in a healthy diet[J]. Meat Ence, 2010, 84(4): 585-593.
- [17] 戴欣玮, 滕建文, 韦保耀, 等. 炭烤和电烤广式烧鸭挥发性风味成分对比分析[J]. 食品工业, 2013, 34(8): 134-139.
- [18] 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.
- [19] 孙圳, 韩东, 张春晖, 等. 定量卤制鸡肉挥发性风味物质剖面分析[J]. 中国农业科学, 2016, 49(15): 3 030-3 045.
- [20] 朱萌, 王德鹏, 汪兰, 等. 酱卤鸭脖储藏期风味变化[J]. 中国调味品, 2018, 43(8): 57-61.
- [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] MICHAEL C, MARTIN C, MONIKA C, et al. Re-investigation on odour thresholds of key food aroma compounds and development of an aroma language based on odour qualities of defined aqueous odorant solutions[J]. European Food Research and Technology, 2008, 228(2): 265-273.
- [23] BUTTERY R G, LING L C, STERN D J. Studies on popcorn aroma and flavor volatiles[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 1997, 45(3): 837-843.
- [24] 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.

(下转第 65 页)

复合材料 Posterior 和 Supreme 的颜色变化比微杂化复合材料小;Burn 运动饮料比其他运动饮料产生更大的变色。溶液对复合材料的颜色稳定性受到溶液的类型、浸入时间和复合材料的组成成分等因素的影响。

参考文献

- [1] 尹路, 林垚, 邵金铨, 等. 美白凝胶及酸性饮料对离体牙釉质结构的影响[J]. 口腔颌面修复学杂志, 2012, 13(1): 38-41.
- [2] 梁向阳, 孔晶晶, 李春年, 等. 不同材料在碳酸饮料所致脱矿釉质再矿化中的作用[J]. 口腔医学研究, 2017(12): 56-73.
- [3] 陈晓玲, 陈志群, 林垚, 等. 牙齿美白剂及酸性饮料对釉质表面结构的影响[J]. 华西口腔医学杂志, 2013, 31(5): 530-532.
- [4] 侯晓玫, 张清, 陈霄迟, 等. 北京市 12 岁人群牙侵蚀患病情况及酸性饮料危险性分析[J]. 中华口腔医学杂志, 2009, 44(4): 208-211.
- [5] 任常群. 酸性饮料与牙酸蚀症[J]. 国外医学(卫生学分册), 1999(4): 44-46, 55.
- [6] 赵培城, 周晓云, 倪裕强. 豆奶的稳定性[J]. 食品与机械, 1992(1): 17-18.
- [7] 曹迎春, 夏文水. 黄原胶对酸性乳饮料稳定性影响的研究[J]. 食品科技, 2006(6): 104-107.
- [8] 李静, 杜柏桥, 黄龙, 等. 羧甲基纤维素钠溶液的流变性质及其在酸性乳饮料中的应用[J]. 食品科学, 2007(11): 56-59.
- [9] 姚晶. 稳定剂对酸性乳饮料的稳定作用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008: 56-66.
- [10] 高晋华, 杜民权, 台保军. 牙齿酸蚀症[J]. 国际口腔医学杂志, 2005, 32(5): 388-390.
- [11] 郑蕾, 田禹, 孙德智. pH 值对活性污泥胞外聚合物分子结构和表面特征影响研究[J]. 环境科学, 2007(7): 101-105.
- [12] 贾新庄, 林原. 酸性含乳饮料稳定性影响因素研究[J]. 中国乳品工业, 2004(10): 43-46.
- [13] 杨国浩. 酸性乳饮料稳定性影响因素分析[J]. 农产品加工(学刊), 2007(7): 83-84, 91.
- [14] 周森, 何志勇, 曾茂茂, 等. 可溶性大豆多糖对于配制型酸性乳饮料稳定效应影响因素研究[J]. 食品科技, 2019(7): 98-103.
- [15] 杨静, 刘丽军, 邓婧. 青岛市城阳区初中学生牙酸蚀患病情况调查[J]. 青岛大学学报(医学版), 2018(1): 134-139.
- [16] 招启文, 张可冬, 陈晓, 等. 气相色谱-质谱联用测定固体运动饮料中肌醇的含量[J]. 食品工业, 2017(7): 286-288.
- [17] 张冬洁, 尹永智, 李洪亮, 等. 对 PET 瓶中酸性乳饮料稳定性影响因素的研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(15): 178-191.
- [18] 欧凯, 刘小杰, 唐星, 等. 缓解视疲劳保健乳饮料的研制[J]. 食品与机械, 2009, 25(2): 113-115.
- [19] 郑宁. 罐装紫薯复合饮料的稳定性[J]. 现代食品, 2017(1): 111-115.
- [20] 邓玉杰, 马雪蕾, 古丽娜孜, 等. 外部因素对葡萄酒酿造过程中颜色稳定性的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(5): 30-33.
- [21] 孟祥敏. 榛子蛋白饮料生产工艺及稳定性研究[J]. 农产品加工, 2018(12): 97-105.
- [22] 冯然军. 运动型饮料中禁用酸性染料的检测方法研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2015: 11-19.
- [23] 周峰. 高效液相色谱检测运动饮料中的人工合成色素[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(20): 159-163.
- [24] 邓文辉, 李新生, 吴三桥, 等. 黑色色素纯化及运动饮料配方研究[J]. 食品科技, 2013(6): 119-123.
- [25] 涂志红, 文震, 刘佳欣, 等. 二十八烷醇微乳液的制备及其在运动饮料中的应用[J]. 中国食品学报, 2013(9): 114-118.
- [26] 刘伟, 张楠, 范赛, 等. 固相萃取一气相色谱-串联质谱法测定运动饮料中的 9 种紫外线稳定剂[J]. 分析化学, 2014, 42(5): 706-710.
- [27] 纹图谱研究[D]. 北京: 北京工商大学, 2009: 35-36.
- [31] NIETO G, BANON S, GARRIDO M D. Effect of supplementing ewes' diet with thyme (*Thymus zygis ssp. gracilis*) leaves on the lipid oxidation of cooked lamb meat[J]. Food Chemistry, 2011, 125(4): 1 147-1 152.
- [32] 曲直, 林耀盛, 唐道邦, 等. 不同品种板鸭的理化特性及风味物质比较[J]. 现代食品科技, 2014(7): 273-278.
- [33] 蔡雪梅, 何莲, 易宇文, 等. GC-MS 结合电子鼻分析啤酒对啤酒鸭风味的影响[J]. 中国调味品, 2020, 45(7): 158-163.
- [34] 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.
- [35] JE Jae-young, PARK Pyo-jam, JUNG Won-kyo, et al. Amino acid changes in fermented oyster (*Crassostrea gigas*) sauce with different fermentation periods[J]. Food Chemistry, 2005, 91: 15-18.

(上接第 60 页)

- [25] 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.
- [26] 程珂萌, 付晶晶, 潘道东, 等. 低温风干工艺下酱鸭加工过程中品质特性变化规律研究[J]. 核农学报, 2017, 31(8): 1 537-1 545.
- [27] COMI G, IACUMIN L. Identification and process origin of bacteria responsible for cavities and volatile off-flavour compounds in artisan cooked ham[J]. International Journal of Food Ence & Technology, 2012, 47(1): 114-121.
- [28] 秦艳秀. 香辛料反复使用对猪肉汤挥发性风味成分的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019: 23-52.
- [29] 何苗, 陈洁, 曾茂茂, 等. 高温杀菌对福建风味鸭风味的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 29-34.
- [30] 陈耿俊. 全聚德烤鸭香味活性化合物分析及其气相色谱指