

花椒添加量对卤兔腿挥发性风味物质的影响

Effects of different pepper addition levels on volatile compounds in stewed rabbit meat

朱成林 兰秋雨 李 诚 夏许寒

ZHU Cheng-lin LAN Qiu-yu LI Cheng XIA Xu-han

刘爱平 冯朝辉 杨 勇 刘韞滔

LIU Ai-ping FENG Chao-hui YANG Yong LIU Yun-tao

(四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

(College of Food, Sichuan Agriculture University, Ya'an, Sichuan 625014, China)

摘要:采用电子鼻和气质联用(GC—MS)技术分析花椒添加量对卤兔腿挥发性风味物质的影响。电子鼻可以明显区分花椒不同添加量的卤兔腿。GC—MS分析结果表明,随着花椒添加量的增加,醛类、酸类和醚类的峰面积呈先下降后上升的趋势;主要来自脂肪氧化降解产物的烃类峰面积呈先上升后下降的趋势;来自氨基酸 Strecker 降解和美拉德反应产物的峰面积呈无规律性变化。花椒对卤兔后腿挥发性风味成分的影响主要是改变了其含量和比例,对其原有挥发性风味成分的种类基本没有影响。与对照组相比,卤兔后腿肉中新增加的挥发性风味成分来自花椒的直接引入,主要是烃类、酮类和醇类物质,其含量和种类随着花椒添加量的增加而增加,且当花椒添加量为 0.30% 时新增加的物质种类最多。

关键词:花椒;卤兔腿;挥发性风味物质;电子鼻;GC—MS

Abstract: The effects of different addition levels of pepper on volatile compounds in stewed rabbit meat were analyzed by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry (GC—MS). Results of electronic nose show that the addition of pepper had a significant impact on the volatile compounds of stewed rabbit. Results of GC—MS showed that chromatographic area of aldehydes, acids and ethers decreased first and then increase when increasing the pepper addition levels. The chromatographic area of hydrocarbon derived from lipid oxidation increased first and then decreased with the increase of addition level of pepper. Chromatographic area of some compounds from Strecker degradation of amino acids and Maillard reaction changed

unsteadily. Stewed rabbit with different levels of pepper had the similar volatile compound profiles except volatiles from pepper. Pepper changed the proportion and composition of volatile compounds. Compared with the control group, the new volatile compounds of stewed rabbit, including alcohols, ketones and alkanes, were found. This may due to the addition of pepper. Chromatographic area and variety increased with the increase of pepper addition level. The chromatographic variety obtained the most when the addition level of pepper was 0.30%.

Keywords: pepper; stewed rabbit; volatile compounds; electronic nose; GC—MS

花椒(*Zanthoxylum bungeanum* Maxim),又称蜀椒、川椒或山椒,为芸香科、花椒属落叶灌木或小乔木,其果皮可作调味料。中国花椒具有资源广、产量大的特点,主要分布在四川及秦岭以南等地区^[1]。中国使用花椒有着非常悠久的历史,既可充当常用的食品调味料,又是一种传统的中药材。花椒可掩盖各种肉类的腥气;促进唾液分泌,增加食欲;使血管扩张,起到降低血压的作用。四川汉源县是花椒的著名产地,汉源花椒以皮厚肉丰、色艳味浓而闻名全国,有“贡椒”之称^[2]。

酱卤肉制品以其自身的风味特点越来越受到广大消费者的接受和喜爱。其中,常用的原料肉中兔肉以其“四高四低”的特点^[3-4] 尤受人们青睐。各地传统酱卤兔腿制品也已形成各自的特点^[5]。香辛料的使用对酱卤肉制品风味影响很大。如何继承、保持传统酱卤肉制品特有的风味是工业化生产中的关键点。目前已有相关学者^[6-8] 报道了酱卤肉制品中挥发性风味成分。反式茴香脑、茴香醛^[9-10]、桂皮醛^[11] 等香辛料挥发性成分在酱卤肉制品中均被检测到,且被作为

作者简介:朱成林,男,四川农业大学在读硕士研究生。

通讯作者:李诚(1964—),男,四川农业大学教授,博士生导师。

E-mail:lichenglcp@163.com

收稿日期:2015-10-25

这些制品的特征风味成分之一。目前,关于香辛料添加量对酱卤肉制品挥发性风味物质影响的研究仅见刘欣等^[10]和鲁松涛等^[12]的报道。关于兔肉挥发性风味物质的研究,仅有对其不同部位^[13]或不同性别^[14]新鲜兔肉的挥发性风味物质的研究,尚未发现对卤制兔肉挥发性风味物质的报道,尤其是针对花椒不同添加量,研究其对卤兔腿挥发性风味物质的影响,目前国内外均未见相应的报道。本研究选取花椒为研究对象,通过设置不同的添加量梯度,对用其煮制的兔腿进行挥发性风味成分检测、分析,以期为传统酱卤制品的大规模、批量化工业生产提供一定的试验依据。

1 原料和方法

1.1 原料与仪器

冷冻兔后腿:品种为獭兔,重量(175±25)g,购自四川成都市农贸市场;

花椒:品种为汉源清溪花椒,购自四川省雅安市吉选超市;

电子鼻:Gemini型,法国Alpha M. O. S.公司;

气相色谱—质谱联用仪:Agilent 7890A型,美国Agilent Technologies公司;

SPME萃取头:75 μm Car/PDMS,美国Supelco公司;

SPME萃取头手柄:57330-U型,美国Supelco公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品制备 本试验分为两组,分别为对照组(未添加花椒)和花椒组(花椒添加量为0.05%,0.10%,0.20%,0.30%)。对照组煮制兔腿时只添加4.00%的食盐,花椒组煮制兔腿时分别添加不同量的花椒和4.00%的食盐(食盐和花椒的添加量为质量分数,均以肉重计)。将清洗过的兔腿冷水下锅煮制(水与兔腿质量比为2:1),同时加入食盐和花椒,煮至沸腾后开始计时,大火180℃煮制5min,小火60℃煮制30min。煮制好的兔腿冷却至室温后迅速去皮、剔骨,用于电子鼻和气质(GC—MS)的检测。

1.2.2 电子鼻检测 将样品迅速切碎,称取2.00g于10mL顶空瓶中,专用瓶盖封口,于65℃孵化炉中加热30min,用于电子鼻检测。测试条件:测试时间90s,采样间隔1s,清洗时间120s,归零时间10s,样品流量300mL/min,内部流量300mL/min。所有样品平行测定3次,取44~46s处的数据作为分析点。

1.2.3 GC—MS分析 将样品迅速切碎成2mm左右肉粒,称取5.00g于SPME顶空萃取瓶中,在80℃条件下将样品瓶加热15min,然后用SPME萃取头萃取样品瓶中挥发性化合物35min,用于气质的分析、鉴定。色谱条件:Agilent HP 5MS毛细管柱(30m×0.25mm×0.25μm);载气为He,流速1mL/min。进样口温度250℃,不分流进样,解析时间5min。升温程序:起始温度40℃,保持3min,5℃/min升温至80℃,保持1min,5℃/min升温至120℃,保留1min,再以6℃/min升温至230℃,于230℃保持8min。质谱条件:Agilent 5975MSD质谱,电子电离(electron ionization,

EI)离子源;电子能量70eV;GC与MS接口温度280℃;离子源温度230℃;电子检测器检测电压350V;质量扫描范围10~450amu。

1.2.4 数据处理 电子鼻数据利用Alpha Soft操作及数据处理软件(V12版本)中的主成分分析(principal component analysis, PCA)进行分析。挥发性风味物质的定性与定量:采用NIST11谱库检索,结合保留指数和相关文献进行人工谱图解析,鉴定花椒不同添加量煮制兔腿的风味成分;采用面积归一化法进行定量分析,得出各挥发性风味物质的相对含量。本试验共分5组,每一组样品平行测定3次。利用Excel 2010进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 卤兔腿挥发性风味物质的电子鼻分析结果

用Alpha Soft软件对花椒不同添加量的卤兔腿风味在电子鼻6个传感器上的感应值(取第45秒时的值)进行主成分分析,图1中每个点所组成的三角形代表花椒不同添加量煮制兔腿样品的数据采集点。第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)的贡献率分别为94.744%和5.083%,二者之和达到99.827%。如图1所示卤兔腿肉在花椒添加量0.10%的数据采集点在第一主成分和第二主成分上变化都很大,而花椒添加量0.05%,0.20%,0.30%的变化不大。花椒添加量0.05%的样品能够与花椒添加量0.20%,0.30%的样品很好的区分,但花椒添加量0.20%与花椒添加量0.30%的样品区分程度不佳。对5组样品的挥发性风味成分进行GC—MS的分析和鉴定,以期探明花椒不同添加量煮制兔腿样品中风味成分的变化规律。

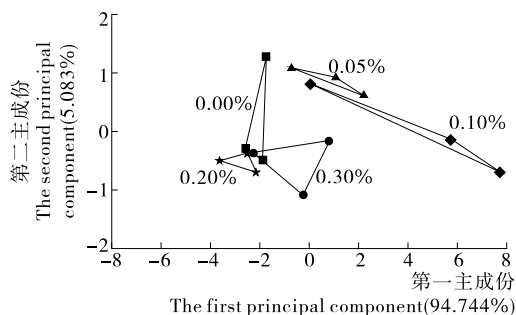


图1 花椒不同添加量卤兔腿挥发性风味物质主成分分析图

Figure 1 PCA plot of rabbit samples in different groups

2.2 GC—MS检测及挥发性风味成分分析

图2为5组样品风味物质的总离子流图,表1为风味物质的种类、保留时间、匹配度和相对含量。

由表1可知,当花椒添加量为0.00%,0.05%,0.10%,0.20%,0.30%时分别鉴定出28,29,33,33,40种挥发性风味物质,主要为醛类、酮类、醇类、烃类、酸类、酯类、醚类等,相对含量最高的为醛类化合物,对兔肉的整体风味贡献很大,符合相关学者^[13-14]的研究结果。添加花椒后兔腿中新增增加了花椒中特有的挥发性风味物质,如D-柠檬烯、月桂烯等。除了由花椒引入的挥发性风味成分外,其他挥发性风味成分的种类基本不变,但含量和比例均发生了变化。

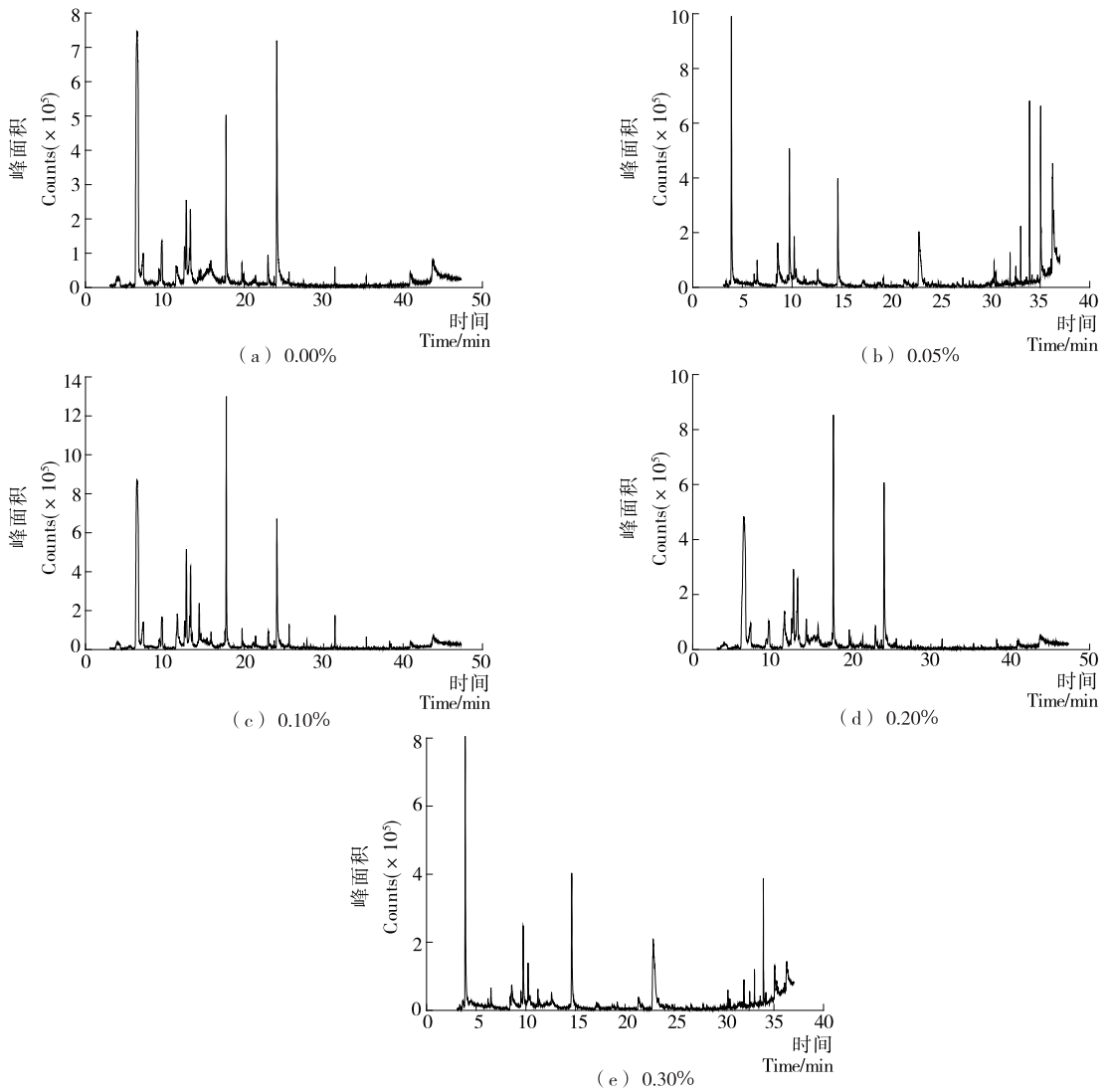


图 2 花椒不同添加量卤兔腿的 SPME—GC—MS 总离子图

Figure 2 Totals on current chromatogram of volatile flavor compounds from different groups

表 1 花椒不同添加量卤兔腿的 GC—MS 分析

Table 1 GC—MS analysis results of volatile flavor compounds from different groups

种类	保留时间	化合物名称	相似度	相对含量/%				
				0.00%	0.05%	0.10%	0.20%	0.30%
	6.48	己醛	83	34.44	9.95	8.07	7.11	6.28
	6.49	庚醛	90	3.17	1.36	1.32	0.55	0.29
	8.44	(E)-2-庚烯醛	94	—	0.21	0.13	—	0.71
	8.57	苯甲醛	97	2.06	0.93	0.55	0.93	4.52
	10.23	正辛醛	97	2.37	4.36	2.06	4.58	3.14
	14.63	壬醛	86	5.87	17.02	18.21	19.82	23.05
	15.80	反-2-辛烯醛	78	—	0.69	0.39	2.91	2.79
	19.22	癸醛	91	0.44	1.40	0.45	0.42	0.70
醛类	23.72	十一醛	83	—	0.47	—	—	—
	23.93	2-丁基-2-辛烯醛	95	0.14	—	0.10	—	0.13
	26.66	2-辛烯醛	97	0.12	—	—	—	—
	30.57	十二醛	91	0.23	0.45	0.11	—	—
	31.98	十三醛	91	0.41	—	—	—	—
	33.94	肉豆蔻醛	97	0.45	1.48	0.40	1.35	0.60
	33.05	正十五碳醛	95	—	0.48	0.32	0.55	—
	34.05	十六醛	94	1.59	—	0.66	—	1.14
	36.35	十八醛	91	—	—	0.33	0.18	0.38

续表 1

种类	保留时间	化合物名称	相似度	相对含量/%				
				0.00%	0.05%	0.10%	0.20%	0.30%
	5.63	甲苯	90	—	0.21	0.68	0.53	0.28
	8.33	苯乙烯	87	—	—	—	—	0.15
	11.21	D-柠檬烯	98	—	0.92	3.20	4.77	6.24
	11.56	月桂烯	91	—	—	6.40	5.72	5.23
	12.75	邻异丙基甲苯	80	—	—	—	—	0.25
	13.62	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	90	—	—	—	0.40	—
	13.63	3,7-二甲基-1,3,7-辛三烯	87	—	—	—	—	0.55
	14.32	右旋萜二烯	98	0.67	0.67	3.27	1.92	1.25
	14.51	2-甲基-3-乙基-1,3-己基	83	—	—	—	1.05	—
烃类	16.37	1,3,5,5-四甲基-1,3-环己二烯	90	—	—	—	0.07	—
	16.37	1,5,5,6-四甲基-1,3-环己二烯,	94	—	—	—	—	0.15
	16.38	2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯	94	—	—	0.76	0.42	0.18
	20.25	1,3-二叔丁基苯	90	—	1.75	3.18	1.25	0.24
	21.68	正十三烷	94	0.51	0.87	0.71	0.71	1.50
	24.57	十四烷	95	0.16	0.33	0.11	0.29	0.43
	24.57	十一烷	78	—	0.19	—	—	—
	24.57	十五烷	78	—	1.39	—	—	0.12
	25.16	1-石竹烯	95	—	—	—	—	0.09
	27.46	g-杜松烯	86	—	—	—	—	0.04
	30.88	十七碳烯	89	0.15	—	—	—	—
	30.98	1-(1,5-二甲基-4-己烯基)-4-甲基苯	87	—	—	0.20	0.06	—
酮类	9.31	2-庚酮	86	1.09	0.54	0.84	1.08	—
	11.41	2,5-辛二酮	83	—	—	1.76	1.67	1.03
	15.23	2-壬酮	82	—	—	—	0.12	0.17
	20.07	右旋香芹酮	94	—	—	0.20	0.24	0.40
	20.40	3-甲基-6-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-酮	96	—	—	—	5.52	5.53
	20.33	丁酸-1-乙烯基-1,5-二甲基-4-己烯基酯	80	—	—	—	1.13	—
	24.21	反-3,7-二甲基-2,6-辛二烯-1-醇乙酸酯	90	—	—	—	—	0.14
酯类	24.22	橙花醇乙酸酯	78	—	—	—	0.14	—
	27.89	乙酸香叶酯	91	—	0.51	0.21	—	—
	34.76	十六烷酸甲酯	95	0.29	0.20	—	—	—
	37.98	(Z,Z)-9,12-十八烷二烯酸甲酯	99	0.43	—	—	—	—
	38.07	8-油酸甲酯	99	0.61	—	—	—	—
	33.53	肉豆蔻酸	89	—	0.20	—	—	—
	35.08	十三酸	89	—	—	—	—	2.97
	35.95	棕榈酸	98	4.52	1.10	1.10	1.54	1.30
	38.29	反式-9-十八碳烯酸	91	—	—	—	1.56	4.66
	38.72	油酸	99	2.35	9.54	—	—	—
酸类	39.03	十八烷酸	99	2.61	—	—	—	—
	39.06	硬脂酸	97	2.18	—	—	—	—
	43.79	反油酸	90	—	—	—	1.25	4.68
	13.04	桉叶油醇	78	—	—	1.00	—	—
	15.53	3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇	97	—	—	4.84	—	—
	23.27	4-三甲基-3-环己烯-1-甲硫醇	90	—	—	—	—	0.22
	26.67	2-丁基-2,7-辛二烯-1-醇	93	—	—	—	—	0.42
醚类	18.63	草蒿脑	93	0.19	—	—	—	—
	21.39	茴香脑	98	3.70	3.20	2.69	2.87	3.64
其他	11.57	2-戊基咪喃	91	7.35	12.05	6.15	5.95	4.79
	16.49	N-乙基苯胺	91	—	—	—	—	0.72

表 2 花椒不同添加量卤兔腿挥发性成分分类统计结果

Table 2 Statistical results of volatile flavor compounds from different groups

类别	相对含量/%					种类数				
	0.00%	0.05%	0.10%	0.20%	0.30%	0.00%	0.05%	0.10%	0.20%	0.30%
醛类	51.28	38.79	33.10	38.40	43.73	12	12	14	10	12
烃类	1.49	6.33	18.51	17.19	16.72	4	8	9	12	15
酮类	1.09	0.54	2.80	8.62	7.12	1	1	3	5	4
酯类	1.33	0.71	0.21	1.27	0.14	3	2	1	2	1
酸类	11.66	10.84	1.10	4.35	13.61	4	3	1	3	4
醇类	0.00	0.00	5.84	0.00	0.64	0	0	2	0	2
醚类	3.89	3.20	2.69	2.87	3.64	2	1	1	1	1
其他	7.35	12.05	6.15	5.95	5.51	1	1	1	1	2
总计	78.09	72.46	70.40	78.65	91.11	27	28	29	34	41

2.2.1 花椒添加量对醛类物质的影响 脂肪降解的主要产物为具有脂肪香味的醛类物质,因其检出浓度高且气味阈值低,是肉制品的主要风味成分之一^[15]。本试验检测出来的主要醛类为己醛、壬醛和辛醛等,主要来自不饱和脂肪酸的氧化和某些氨基酸的 Strecker 降解^[7,16-17]。本试验 5 组卤兔腿样品的挥发性风味成分中,己醛和壬醛的含量最高,这与相关学者^[11-12]的研究结果基本一致。这些醛类一共有 17 种,包括 11 种饱和醛、4 种不饱和醛和 2 种芳香醛。

随着花椒添加量的增加,己醛、庚醛等物质的相对含量均呈现逐渐下降的趋势,可能是花椒中的某些活性成分抑制了脂肪氧化产物的生成所造成的^[18-19],且随着花椒添加量的增加这种抑制作用逐渐增强;而苯甲醛、2-丁基-2-辛烯醛的相对含量无明显变化规律。

2.2.2 花椒添加量对烃类物质的影响 烃类物质主要来自于脂肪酸烷氧自由基的均裂^[20-21]。本试验检测到的烷烃和芳香烃类物质的相对含量在 1%~19%,花椒不同添加量的样品之间相差较大。但烷烃和芳香烃因其气味阈值较高,故对卤兔腿的风味影响不大。花椒组新增加的烃类物质有甲苯、1,3-二叔丁基苯、D-柠檬烯和月桂烯。

2.2.3 花椒添加量对酮类物质的影响 脂肪氧化和美拉德反应是酮类物质产生的主要途径^[22]。酮类物质中不饱和酮是动物特征风味和植物油脂味的主要来源^[23]。本试验共鉴定出 5 种甲基酮,分别是 2-庚酮、2,5-辛二酮、2-壬酮、右旋香芹酮和 3 甲基-6-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-酮。由于酮类的阈值高^[23],且检出的相对含量较低,故对卤兔腿挥发性风味的贡献相对较小。

与对照相比,添加花椒后新增加的酮类物质有 2,5-辛二酮、2-壬酮、右旋香芹酮和 3 甲基-6-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-酮,而 2,5-辛二酮的含量随花椒的增加而减少。

2.2.4 花椒添加量对酯类物质的影响 脂质氧化产生的醇和游离脂肪酸之间的酯化作用是酯类最主要的来源。一般酯类的阈值较高、含量较低,通常认为对肉制品挥发性风味影响很小^[24]。

本试验检出对照组样品中相对含量最高的为 8-油酸甲酯,原因可能为兔肉脂肪中油酸含量较高。对照组和花椒组中检测出的酯类类别和相对含量都相差较大,可能与萃取挥发性风味物质时,温度过高,酯类氧化有一定的关系。

2.2.5 花椒添加量对羧酸类物质的影响 磷脂和脂肪酸甘油酯的加热氧化或酶解是羧酸类物质的主要来源之一。一般认为 C₆~C₁₁ 羧酸会在一定程度上影响肉类风味。GC-MS 检测出样品中种类和含量较丰富的为羧酸,且均检测到了棕榈酸,其中对照样品中棕榈酸含量相对较高。随着花椒添加量的增加,其相对含量呈无规律性变化,可能与花椒中某些活性成分的抗氧化作用有关。

2.2.6 花椒添加量对醇类物质的影响 脂肪氧化会产生醇类物质,饱和醇对卤兔腿风味影响不大,而不饱和醇则对其风味的形成有一定的影响^[25]。本试验 5 组样品中醇类物质主要为不饱和醇类。

醇类物质主要在花椒添加量为 0.10% 和 0.30% 时检测到,可能是由于仪器设备检测误差所致。随着花椒添加量的增加,卤兔腿醇类物质的相对含量的呈无规律性变化。

2.2.7 花椒添加量对醚类物质的影响 醚类化合物通常对肉制品风味的形成具有不可替代的作用,且一般含有苯环的醚都具有愉快而强烈的香气。样品中检测出的茴香脑的含量最高,很可能与加入的花椒有关。

2.2.8 花椒添加量对含氮及杂环化合物的影响 主要来源于还原糖和氨基酸之间的美拉德反应等生成的含氮及杂环化合物^[26],一般来讲气味阈值较低。

试验组只在花椒添加量为 0.30% 时,检测到了 N-乙基苯胺。5 组试验样品中均检测到 2-戊基咪喃。亚油酸氧化会产生 2-戊基咪喃,气味阈值较低,是肉制品的重要风味物质^[27],随花椒添加量的增加其相对含量呈下降趋势。

3 结论

本研究采用电子鼻和 GC-MS 技术对花椒不同添加量的卤兔腿的挥发性风味成分进行了检测和分析。电子鼻可以明显区分出花椒不同添加量的卤兔腿。结合 GC-MS 进一步检测发现,相对含量最高的为醛类化合物,与卤兔腿的特征香味的形成关系很大,前人的相关研究^[11-12]也证明了此观点;花椒的加入主要是改变了样品挥发性风味物质的比例和含量,且直接带入了花椒本身的某些挥发性风味物质(不排除某些风味物质是由于花椒的加入促使某些反应产生),主要是萜烯类物质及其含氧衍生物,这些物质与花椒的添加量呈正相关。样品中花椒添加量达到 0.30% 时萜烯类

物质和其含氧衍生物的相对含量急剧上升。样品中主要来自于脂肪氧化降解的风味物质的相对含量随花椒添加量的增加基本变化趋势为先升后降,可能由于花椒中一些活性物质的抗氧化作用所致,但仍有待进一步研究。

参考文献

- [1] 罗凯,朱琳,阙建全,等.不同产地青花椒和红花椒挥发油的比较研究[J].食品工业科技,2012,33(18):103-106.
- [2] 祝瑞雪,曾维才,赵志峰,等.汉源花椒精油的化学成分分析及其抑菌作用[J].食品科学,2011,32(17):85-88.
- [3] 杨佳,杨佳艺,王国栋,等.兔肉营养特点与人体健康[J].食品工业科技,2012,33(12):422-426.
- [4] Antonella D Z, Zsolt S. The role of rabbit meat as functional food[J]. Meat Science, 2011, 88(3): 319-331.
- [5] 荣笠棚,卓勇贤,彭翔东,等.兔肉熟食产品加工现状及其发展趋势[J].中国养兔,2013(8):37-40.
- [6] 段艳,郑福平,杨梦云,等.ASE-SAFE/GC-MS/GC-O法分析德州扒鸡风味化合物[J].中国食品学报,2014,14(4):222-230.
- [7] 张逸君,郑福平,张玉玉,等.MAE-SAFE-GC-MS法分析道口烧鸡挥发性成分[J].食品科学,2014,35(22):130-134.
- [8] 孙承峰,喻倩倩,宋长坤,等.酱牛肉加工过程中挥发性成分的含量变化分析[J].现代食品科技,2014,30(3):130-136.
- [9] 王琴,蒋林,温其标,等.气质联用对不同提取法的八角茴香油化学成分的分析[J].食品工业科技,2006,27(10):189-190.
- [10] 陈旭,王胜威,母应春,等.顶空固相微萃取气-质联用研究贵州常用卤味料挥发性成分[J].食品与机械,2013,29(4):24-28.
- [11] 刘欣,赵改名,田玮,等.肉桂添加量对卤鸡腿肉挥发性风味成分的影响[J].食品与发酵工业,2013,39(6):34-40.
- [12] 鲁松涛,赵改名,李苗云,等.丁香对卤制鸡肉风味物质形成的影响[J].农产品加工学刊,2011(11):20-25.
- [13] 王珺,贺雅非,李洪军,等.顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱法分析兔肉的挥发性风味物质[J].食品科学,2013,34(14):212-217.
- [14] 陈康,李洪军,贺雅非,等.不同性别伊拉兔肉挥发性风味物质的SPME-GC-MS分析[J].食品科学,2014,35(6):

98-102.

- [15] Riu-Aumatell M, Castellari M, López-Tamames E, et al. Characterisation of volatile compounds of fruit juices and nectars by HS/SPME and GC/MS[J]. Food Chemistry, 2004, 87(4): 627-637.
- [16] Elmore J S, Motterm D S, Enser M, et al. Effect of the polyunsaturated fatty acid composition of beef muscle on the profile of aroma volatiles[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 1999, 47(4): 1 619-1 625.
- [17] Ventanas J, Coárdoba J J, Antequera T, et al. Hydrolysis and Maillard reactions during ripening of Iberian ham[J]. Journal of Food Science, 1992, 57(4): 813-815.
- [18] Padmashree A, Roopa N, Semwal A D, et al. Star-anise (Ilicium verum) and black caraway (Carum nigrum) as natural antioxidants[J]. Food Chemistry, 2007, 104(1): 59-66.
- [19] Sampaio, G R, Saldanha T, Soares R A M, et al. Effect of natural antioxidant combinations on lipid oxidation in cooked chicken meat during refrigerated storage[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2012, 135(3): 1 383-1 390.
- [20] 陈建良, 芮汉明, 陈号川. 不同鸡种的鸡肉挥发性风味特性的比较研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(10): 1 129-1 134.
- [21] 袁华根, 高峰, 徐骏, 等. 鸡肉挥发性风味化合物分析[J]. 江西农业学报, 2006, 18(5): 139-141.
- [22] Calkins C R, Hodgen J M. A fresh look at meat flavor[J]. Meat Science, 2007, 77(1): 63-80.
- [23] 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.
- [24] Spanier A M, Shahid Y F, Parliament T H, et al. Food flavors and chemistry[M]. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2001: 280-288.
- [25] Liu Y, Xu X L, Ouyang G F, et al. Changes in volatile compounds of traditional Chinese Nanjing water-boiled salted duck during processing[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(71): S371-S377.
- [26] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.
- [27] 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.

(上接第87页)

5 结语

本试验针对传统分装机存在的分装精度差、自动化程度低、工作效率不高等缺点进行了深入研究。从自动分装机的硬件设计、算法研究、软件设计、抗干扰设计等多个角度,开展了相关理论与试验研究,提出了模糊-PID动态称重控制算法,优化了内置芯片处理程序,简化了外围硬件设计,降低了开发成本。最后研制得到了一种可以应用于颗粒食品分装的新型自动定量分装控制机。通过现场实际试验研究发现,新型分装控制机分装效果稳定、分装误差小、工作效率高,可以满足颗粒食品的生产需求。

参考文献

- [1] 张莹. 颗粒食品自动定量分装控制技术研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2010: 23-24.
- [2] 王晓彬. 试剂精密定量封装机的开发设计[D]. 济南: 山东大学,

2014: 32-33.

- [3] 杨振昊. 肠类米饭定量灌装技术与装备研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 45-47.
- [4] 吕帅. 用于带硬颗粒黏稠物料的活塞式定量灌装装置研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013: 2-32.
- [5] 王家寅. 基于PLC的试剂精密定量封装控制系统开发[D]. 济南: 山东大学, 2014: 41-43.
- [6] 肖玮. 粉剂剂间歇计量与连续充填装置的协同设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2012: 21-27.
- [7] 刘铭宇. 蔬菜基复合材料全自动多列填充包装机设计及相关技术研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2014: 34-36.
- [8] 张磊. 基于STM32的连续式分包装机的研发[D]. 泉州: 华侨大学, 2014: 33-39.
- [9] 张沂阳. 油制辣椒灌装机控制系统的设计[D]. 贵阳: 贵州大学, 2015: 22-27.
- [10] 孙国梁. 油制辣椒自动灌装机设计与研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2015: 19-25.