蔗糖添加量对风干腊肠风味物质的影响

林耀盛，曲直，唐道邦，刘学铭，杨荣玲
（广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所，广东广州 510610）

摘要：以不同蔗糖添加量3%、6%、9%、12%和15%制作风干腊肠，采用顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱（HS-SPME-GC-MS）联用技术分析了成品风味物质含量，并进行统计分析。结果表明，以乙醇、己酸乙酯、丁酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯为主（占总挥发性的71.69%），共有104种挥发性成分，其中醇类物质9种，酯类32种，醛类物质14种，酸类有16种，酮类9种，和碳氢化合物12种，吲哚有3种，呋喃有2种，胺类有2种。不同蔗糖添加量对风干腊肠风味物质含量影响不同，随着蔗糖添加量的不断加大，风干腊肠的醇类和醛类风味物质相对百分含量与蔗糖添加量显著正相关（$p<0.05$），酯类和酸类风味物质相对百分含量与蔗糖添加量显著负相关（$p<0.05$）。而6%蔗糖添加量的风干腊肠中酯类和酸类风味物质的含量是最高，种类最丰富，含量分别高达13.60%和27.51%，这对产品风味的形成极为重要。

关键词：蔗糖；广式腊肠；风味物质；气相色谱–质谱联用

文章篇号：1673-9078(2015)1-200-207 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.1.035

Effect of Varying Sucrose Concentration on Volatile Flavor Compounds in Air-dried Cantonese-style Sausage

LIN Yao-sheng, QU Zhi, TANG Dao-bang, LIU Xue-ming, YANG Rong-ling
(Sericulture & Agri-Food Research Institute of Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China)

Abstract: Air-dried Cantonese-style sausages were prepared using different concentrations of sucrose (3%, 6%, 9%, 12%, and 15%), and headspace solid-phase microextraction gas chromatography–mass spectrometry (HS-SPME/GC-MS) was used to measure the content of flavor compounds, which were analyzed statistically. A total of 104 volatile components were identified, and the major components were ethanol, ethyl caproate, ethyl butyrate, ethyl octanoate, and ethyl decanoate (accounting for 71.69% of the total volatile compounds). Among all volatile compounds, there were 9 alcohols, 32 esters, 14 aldehydes, 16 acids, 9 ketones, 12 hydrocarbons, 3 indoles, 2 furans, and 2 amines. The results showed that different concentrations of sucrose had different effects on the content of flavor compounds in the final air-dried sausages. The relative percentages of alcohols and aldehydes in the dried sausage showed a significant positive correlation with the amount of sucrose added ($p < 0.05$), while the relative percentages of esters and acids showed a significant negative correlation ($p < 0.05$). Air-dried sausage with 6% sucrose showed the highest content of esters and acids, as high as 13.60% and 27.51%, respectively, which is very important for flavor.

Key words: sucrose; Cantonese-style sausage; flavor compounds; gas chromatography mass spectrometry

食品的风味主要来源于挥发性物质[1]。风味物质的分析首先采用溶剂提取、蒸馏、固相微萃取、顶空、吸附等方法富集和提取风味组分，然后对于富集的风味物质进行定性或定量分析。应用顶空-固相微萃取-气相色谱-质谱(HS-SPME-GC-MS)联用技术测定食品风味物质是近年来常用的方法，其中SPME是一项新型吸附技术，与以往分析食品中挥发性化合物的常用方法相比，采用气体进样，干扰少，谱图简单；并且将气相色谱与质谱联用，结果与参比物的谱图和保留指数进行比较，是分析挥发性物质的有效方法[2]。

广式腊肠作为中国传统的肉制品至今已有多年的历史，是最闻名的中式半干发酵香肠之一，是我国一种传统肉制品，属于腌腊肉的一个分支，其风味独特，深受消费者喜爱。广式腊肠以猪肉为主要原料，瘦肉经粗绞、肥膘经切丁后，添加调味料（食盐、曲酒、糖），发色剂（亚硝酸盐）等辅料，经搅拌、腌制、灌肠、干燥而成，具有岭南地区传统食品的醇香、浓厚等特有风味[3]。广式腊肠营养成分丰富，在成熟过程中，经有益微生物产生的各种酶对脂类、蛋白质、碳水化合物的降解，可形成的短链脂肪酸、醛、酮、氨基酸、核苷酸、次黄嘌呤、乳酸等营养物质和风味产

收稿日期：2104-06-10

基金项目：广东省科技计划项目（2010A020104002，2011A08080311，2012B040500058）

作者简介：林耀盛（1985-），男，硕士，研究方向为农产品贮藏与加工

通讯作者：唐道邦（1973-），男，副研究员，研究方向为农产品贮藏与加工

物[4]。

目前对于广式腊肠的研究主要集中有两方面，一方面是腊肠加工、贮藏过程中蛋白质、氨基酸、脂肪和脂肪酸、挥发性成分等的变化及对品质的影响[5~7]；另一方面是对成品品质特性的分析及其微生物学方面的测定分析[8]。孙为正等[9]研究了广式腊肠的加工工艺、配方和贮存条件等因素对酸价的影响，分析认为贮藏温度、加工过程中糖用量对腊肠的酸价有较大影响，而糖的种类对产品酸价的影响较小；引起广式腊肠贮存过程中酸价升高的因素主要是原料肉中脂肪酶和磷脂酶，其中磷脂酶为主导因素。但是，目前对于不同蔗糖添加量对广式腊肠的主要风味成分的影响尚不清晰，有待开展深入的研究。

本文主要采用 HS-SPME-GC-MS 联用分析技术对广式腊肠的品质和挥发性风味化合物进行了分析，通过气相色谱-质谱(GC-MS)联用技术鉴定主要风味提取物质，确定了不同蔗糖添加量广式腊肠风味物质的差异性，以期为腊肠生产中的风味物质鉴定与产品质量控制提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂、仪器

实验所用瘦肉、肥肉、蔗糖、食盐、味精、白酒、肠衣等均购于当地市场；亚硝酸钠为东莞广益食品添加剂实业有限公司提供。

实验所用试剂均购于广州化学试剂厂。Agilent 6890 GC/5975 MS 气质联用仪，DB-5MS UI 超高惰性石英毛细管柱（30.0 m×0.25 mm×0.25 μm），美国 Agilent 科技有限公司；ALC210.4 型电子天平，德国赛多利公司；DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器，巩义市予华仪器有限责任公司；DVB/CAR/PDMS 萃取头(50/30 μm)，上海安谱科学仪器有限公司；MM12 型绞肉机，广东省韶关市食品机械有限公司；微型灌肠机，广东韶关市大金食品机械厂；RG-20 型热泵干燥机，广东省农业机械研究所；TA-XT2i 质构仪，英国伦敦 stable micro system 公司；电热鼓风干燥箱，上海恒科仪器有限公司；电子天平，德国艾科勒有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 风干腊肠的制作

猪背脂和后腿肉取自屠宰 24 h 的土猪，后腿肉剔去碎骨、污物、筋、腱及结缔组织膜，成为纯精肉，并切成肉块备用，背脂经修整后切成 5~7 cm 的长条。瘦肉：肥肉的质量比为 8:2，置于绞肉机中搅拌 5 min。取出并向其中添加食盐 3.5%，味精 0.2%，白酒 2%，亚硝酸钠 0.01%，将绞肉与辅料混匀后分成五份，按 3%、6%、9%、12%、15%的不同比例添加蔗糖，并添加水 7%，混合均匀后将肉糜灌入直径 20 cm 的胶原蛋白肠衣进行灌肠。腊肠应用热泵干燥机进行烘烤，烘烤条件为：第 0~1 h，45 ℃，第 1~2 h，50 ℃，第 2~4 h，52 ℃，第 4~8 h，55 ℃；烘烤结束后挂于室外进行风干至成品含水量 20%以下（约 15 d），真空包装，置于 0~4 ℃冰箱冷藏待用。

1.2.2 固相微萃取分析

分别称取 5 g 已剪碎的腊肠于顶空瓶中，加盖，50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取头在气相色谱进样口（氮气保护下）270 ℃预先老化 1 h，再将萃取头置于称好样品的顶空瓶中，在 50 ℃恒温条件下萃取 30 min，解析 5 min。

1.2.3 GC-MS 分析条件

GC 条件：参考文献方法[10]并进行优化，采用 DB-5MS UI 超高惰性石英毛细管柱，载气为 He，流速为 1.0 mL/min，进样口温度 260 ℃，不分流进样。升温程序：初始温度 35 ℃，保持 1 min，再以 6 ℃/min 的升温速率升至 60 ℃，保持 1 min；之后再以 4 ℃/min 的升温速率升至 90 ℃，保持 3 min；最后再以 12 ℃/min 的升温速率升至 250 ℃，保持 6 min，运行时间 41 min。

MS 条件：电子轰击离子源，离子源温度 250 ℃，MS 四级杆温度 200 ℃，扫描方式为全扫描，扫描质量范围 30~450 u，溶剂延迟 3 min。化合物组成的分析结果以计算机 NIST11 谱库检索结果和人工谱图解析相结合的手段确定，按面积归一化法进行定量。

1.2.4 数据处理

试验数据处理由 Xcalibur 软件完成，未知化合物经计算机检索的同时与 NIST11 谱库和 Wiley 谱库相匹配，只有当匹配度均大于 800（最大值为 1000）的鉴定结果才予以确认。测试样品重复 3 次实验，所有数据采用 SPSS 19.0 软件进行统计。

2 结果与分析

2.1 风干腊肠中风味化合物分析

不同蔗糖添加量的广式腊肠挥发性风味物质（总离子流图如图 1）的种类和含量通过 GC-MS 分析结果得出（表 5），通过 SPME-GC-MS 法检测发现在不同的蔗糖添加量的广式腊肠中 104 种挥发性成分，其中醇类物质 9 种，酯类 32 种，醛类物质 14 种，酸类有

16 种，酮类 9 种，和碳氢化合物 12 种，吲哚有 3 种，呋喃有 2 种，胺类有 2 种。

风味物质发现醇类物质的含量是最高，主要有乙醇、二甲基硅二醇、二乙二醇、3-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-丁醇、庚醇、正戊醇、1-辛醇、苯乙醇，而其中乙醇占总挥发性物质的 54.44%，醇类来源于初加入白酒。广式腊肠中加入大量的酒目的产生特色的风味，同时也起到预防腊肠发酵期间的腐败变质作用。挥发性物质中 1-己醇具有草本味，3-甲基-1-丁醇产生一种刺激性的清香气味，苯乙醇有典型的因具有柔和、愉快而持久的玫瑰香气而广泛用于各种食用香精和烟用香精中，是配制玫瑰香型食品添加剂。

己酸乙酯、丁酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯均为乙基酯类化合物，占总挥发性风味物质的 17.24%，是腊肠特有的醇香味的主要物质，它们分别提供了水果清香、淡酒香、淡花香、淡甜香和复合果香气，C_1~C_{10} 脂肪生酯类物质多具有水果的香气，易挥发，而长链脂肪酸生成的酯类物质则多具有油脂味，乙基酯类是广式腊肠独特风味形成的主要物质之一。

脂肪醛类有戊醛、己醛、3-羟基丁醛、庚醛、苯甲醛、辛醛、反-2-辛烯醛、壬醛、癸醛、棕榈醛。其中，棕榈醛占总挥发性风味物质百分含量约 0.04%，具有弱蜡香和花香，而苯甲醛有显著的薯片香气，大部分直链醛和芳香醛可能来自氨基酸的 strecker 降解[11]。脂肪醛来自于各种脂肪酸的氧化裂解及脱羧作用，其感官属性主要是青草味及清淡的水果味，因此赋予腊肠令人愉悦的清新的青草味及淡淡的水果香味。在醛类化合物中己醛含量最高，研究表明，己醛呈生的油脂和青草气及苹果香味，对腊肠制品风味起着积极作用，己醛的产生是腊肠脂肪氧化的标志性产物，是腌腊肉制品的主要风味物质之一。戊醛具有果香和面包香，庚醛具有甜杏和坚果香气，壬醛具有脂肪香和花香，这些是主要风味物质之一[12]。

酸类物质占全部挥发性风味物质含量 7.08%，对风味有着重要的影响，丁酸较低时赋予广式腊肠奶香、干酪香、果香等气味，而值得一提的是在 6%的蔗糖添加量的腊肠例子总流图检测出棕榈酸(1.50%)、亚油酸(1.53%)、洋橄榄油酸(5.2%)、(Z, Z, Z)-8, 11, 14-二十碳三烯酸(0.07%)这四种不饱和脂肪酸，这是优质广式腊肠所含成分。

在检测中还发现了少量的胺类物质，此类物质多属于腐肉挥发性成分，由于酶和细菌的作用，使蛋白质分解而产生氨以及胺类等碱性含氮物质，是反应肉制品新鲜度的重要指标，由于样品采用真空包装，一方面可有效抑制微生物细菌的滋长，另一方面，配料中添加一定比例的蔗糖，使得本来含量不多的含氮化合物自身降解更少，容易与碳水化合物发生美拉德反应，产生呋喃类、吲哚类等化合物，而 6%添加量的风干腊肠中未检出，有效降解含氮化合物的产生，效果较佳。

酮类主要有 1-羟基-2-丁酮、2-庚酮、1-庚烯-3-酮、丁烯酮、2, 3-辛二酮、2-辛酮、3, 6-二甲氧基-9-(2-苯乙炔基)-9-芴酮、5-羟基-2-戊酮、(1, 1'-环己基)-2-酮九种，含量少，有较淡的水果香味，其中 2, 3-辛二酮具有奶油香味，其来源于美拉德反应的产物。

烷烃类是脂肪自动氧化的次级产物，伴随着醇、酮、醛的产生，如短链类、醛类、酮类、酸类和呋喃等杂环类化合物。这些次级氧化产物的含量随着脂肪酸的组成不同而存在较大的差异。五种腊肠中还检测到的呋喃类有 4-氯四氢呋喃、2-戊基呋喃，其中 2-戊基呋喃是亚油酸氧化的产物，浓度低时有特征性的坚果风味，高浓度就会产生令人不悦的豆腥异味。吲哚类主要以下三种化合物有 2-苯基吲哚、2-甲基-7-苯基吲哚、3-(4-硝基苯胺)-吲哚，有甜的花香味，对腊肠香气起重要的贡献作。柠檬烯在烃类物质中含量较高，该化合物有类似柠檬的香味，具有良好的镇咳、祛痰、抑菌作用[13]。其他的挥发性化合物，1, 1-二乙氧基乙烷可能由于不溶性的脂肪酸或氨基酸降解形成。

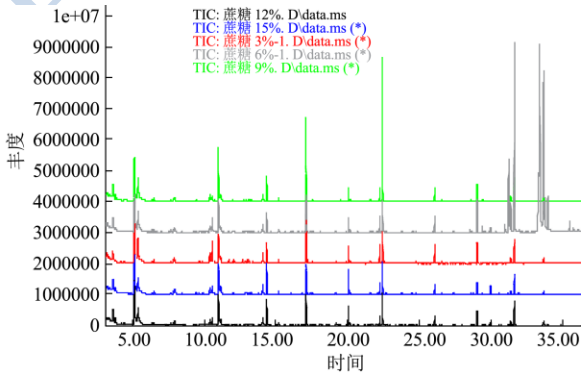


图 1 不同蔗糖添加量的风干腊肠挥发性风味物质总离子流图

Fig.1 Total ion chromatograms of volatile flavor compounds in air-dried sausages with different concentrations of sucrose

2.2 蔗糖添加量与风味物质含量的相关性

广式腊肠的主要挥发性风味物质，主要有醇类、酯类、醛类、酸类、酮类；其中醇类和酯类物质，其含量范围分别是 44.19%~60.24%和 19.07%~27.51%，其中乙醇和乙基酯类物质含量最高，其风味形成主要来源酒和脂肪氧化、蛋白质降解和微生物作用，醛类和酸类成分的相对含量仅次于酯类，分别占 2.82%~3.19%，4.23%~13.60%这与 sun 等[14]人研究的结果一致。从表 2 中可以看出，3%~6%蔗糖添加量，

醇类和醛类物质含量随着蔗糖添加量增大而减少，而酯类和酸类含量增大；6%~12%蔗糖添加量时，醇类和醛类物质相对百分含量随着蔗糖添加量加大而增大，随着蔗糖添加量的不断增大，醇类和醛类的百分比含量逐渐增加而酯类和酸类总体趋势减少，而 15%添加量，脂类含量略高于 12%添加量，变化趋势稳定。

表 1 不同蔗糖添加量的风干腊肠挥发性风味物质 GC-MS 分析结果

Table 1 GC-MS analysis of various volatile flavor compounds in air-dried sausage with different concentrations of sucrose

风味种类	序号	t_R/min	风味物质	相对百分含量/%				
				蔗糖3%	蔗糖6%	蔗糖9%	蔗糖12%	蔗糖15%
醇类(9种)	1	1.881	乙醇	55.36±3.04^{b}	43.23±4.53^{c}	56.22±2.49^{b}	58.80±6.04^{a}	58.62±4.50^{a}
	2	3.015	二甲基硅二醇	0.71±0.02^{b}	0.60±0.04^{c}	0.60±0.23	0.72±0.35^{ab}	0.74±0.68^{a}
	3	3.645	二乙二醇	0.48±0.08^{a}	nd	nd	0.26±0.04^{b}	0.24±0.18
	4	3.792	3-甲基-1-丁醇	0.08±0.04^{c}	0.08±0.01^{c}	0.16±0.04^{a}	0.12±0.09^{b}	0.09±0.03^{bc}
	5	3.858	2-甲基-1-丁醇	0.10±0.01^{c}	0.04±0.02^{b}	0.13±0.06^{a}	0.15±0.02^{a}	0.04±0.03^{b}
	6	4.382	正戊醇	0.03±0.01^{b}	0.04±0.01^{a}	nd	nd	0.03±0.01^{b}
	7	10.073	庚醇	0.09±0.05^{a}	0.01±0.01^{c}	0.01±0.01^{c}	0.04±0.01^{b}	0.02±0.01^{c}
	8	13.275	1-辛醇	0.10±0.01^{c}	0.04±0.01^{b}	0.02±0.01^{c}	0.05±0.01^{b}	0.09±0.07^{a}
	9	14.616	苯乙醇	0.17±0.06^{a}	0.13±0.01^{b}	0.13±0.05^{b}	0.10±0.05^{d}	0.12±0.12^{c}
			小计	57.12±4.55^{c}	44.19±5.38^{d}	57.27±2.84^{c}	60.24±6.18^{a}	59.99±3.09^{b}
酯类(32种)	10	3.416	丙酸乙酯	0.30±0.03^{b}	0.27±0.07^{c}	0.37±0.13^{a}	nd	0.26±0.04^{c}
	11	4.219	2-甲基丙酸乙酯	0.02±0.01^{b}	0.01±0.01^{c}	0.06±0.01^{a}	0.01±0.01^{c}	0.02±0.05^{b}
	12	5.398	乳酸乙酯	0.11±0.06^{d}	0.84±0.16^{b}	0.93±0.36^{a}	0.69±0.37^{c}	0.69±0.53^{c}
	13	6.384	2-甲基丁酸乙酯	0.04±0.03^{b}	0.03±0.01^{c}	0.05±0.01^{a}	0.04±0.02^{b}	0.04±0.04^{b}
	14	6.516	异戊酸乙酯	0.05±0.01^{b}	0.05±0.03^{b}	0.06±0.02^{a}	0.05±0.04^{b}	0.05±0.01^{b}
	15	7.883	戊酸乙酯	0.08±0.04^{a}	0.05±0.02^{c}	0.05±0.01^{c}	0.06±0.05^{b}	0.06±0.01^{b}
	16	10.993	己酸乙酯	4.29±1.01^{d}	4.86±0.69^{c}	5.45±1.00^{a}	5.22±1.18^{b}	5.47±0.94^{a}
	17	12.756	异丁基草酸壬酯	0.03±0.06^{b}	nd	0.04±0.01^{a}	nd	nd
	18	13.793	丁酸乙酯	4.58±0.12^{a}	3.78±0.69^{d}	4.32±0.98^{b}	4.19±0.76^{c}	4.29±0.41^{bc}
	19	13.818	庚酸乙酯	0.28±0.04^{a}	0.17±0.05^{c}	0.17±0.11^{c}	0.22±0.16^{b}	0.30±0.14^{a}
	20	15.643	(E)-2-庚烯酸乙酯	0.05±0.03^{a}	0.02±0.01^{b}	0.01±0.02^{c}	0.02±0.01^{b}	0.01±0.01^{c}
	21	16.374	苯甲酸乙酯	0.01±0.01^{b}	0.01±0.02^{b}	0.02±0.01^{a}	0.02±0.01^{a}	0.01±0.01^{b}
	22	16.567	丁二酸二乙酯	0.03±0.00^{a}	0.02±0.01^{b}	0.02±0.01^{b}	0.02±0.03^{b}	0.02±0.01^{b}
	23	16.822	7-辛烯酸乙酯	0.03±0.01^{a}	0.02±0.02^{b}	0.02±0.01^{b}	0.02±0.02^{b}	0.03±0.02^{a}
	24	17.096	辛酸乙酯	6.69±0.14^{a}	5.33±1.00^{d}	5.85±0.53^{b}	5.34±0.17^{d}	5.69±0.24^{c}
	25	17.228	癸酸乙酯	2.99±0.60^{a}	2.20±0.65^{b}	2.22±0.62^{b}	1.59±0.51^{d}	1.87±0.70^{c}
	26	18.585	苯乙酸乙酯	0.06±0.01^{b}	0.01±0.01^{c}	nd	nd	0.07±0.02^{a}
	27	18.687	2-辛烯酸乙酯	0.02±0.01^{c}	0.01±0.01^{d}	0.02±0.01^{c}	0.03±0.01^{b}	0.05±0.02^{a}
	28	20.064	壬酸乙酯	0.47±0.08^{b}	0.33±0.04^{d}	0.32±0.04^{d}	0.39±0.16^{c}	0.56±0.55^{a}
	29	21.675	戊酸丙酯	0.02±0.01^{c}	0.01±0.01^{d}	0.01±0.03^{d}	0.03±0.01^{b}	0.04±0.01^{a}
	30	21.990	癸烯酸乙酯	0.35±0.06^{a}	0.25±0.02^{bc}	0.27±0.02^{b}	0.17±0.85^{d}	0.23±0.08^{c}
	31	24.358	月桂酸乙酯	0.28±0.06^{a}	0.23±0.02^{b}	0.20±0.05^{bc}	0.17±0.07^{d}	0.18±0.09^{cd}
	32	26.065	咔唑-3-6-二基硫氰酸酯	0.07±0.02^{b}	0.08±0.04^{a}	0.06±0.01^{c}	0.06±0.01^{c}	0.07±0.03^{b}
	33	27.391	肉豆蔻酸乙酯	0.32±0.07^{b}	0.40±0.05^{a}	0.24±0.09^{c}	0.20±0.03^{d}	0.19±0.15^{d}
	34	27.564	肉豆蔻酸异丙酯	0.02±0.01	0.08±0.01	0.05±0.02	0.01±0.01	0.12±0.03
	35	29.028	十五酸乙酯	0.10±0.07^{a}	0.03±0.02^{c}	0.11±0.01^{a}	0.07±0.03^{b}	0.03±0.01^{c}
	36	29.439	E-11-透明质酸乙酯	0.03±0.01^{c}	0.43±0.22^{a}	nd	nd	0.06±0.03^{b}

转下页

接上页

	37	29.958	棕榈酸乙酯	0.38±0.00 b	2.40±0.79 a	0.34±0.07	0.33± 0.12 c	0.32±0.15 c
	38	30.359	十七酸乙酯	nd	0.33±0.01 a	nd	nd	nd
	39	31.299	亚油酸乙酯	0.06±0.05 b	2.03±0.37 a	0.04±0.04 d	0.05±0.03 c	0.04±0.02 d
	40	31.365	油酸乙酯	0.12±0.05 b	2.74±0.58 a	0.07±0.03 c	0.07±0.01 c	0.07±0.08 c
	41	31.619	硬脂酸乙酯	0.01±0.01 b	0.49±0.12 a	0.01±0.00 b	0.01±0.08 b	0.01±0.01 b
			小计	21.89±2.14 bc	27.51±1.58 a	21.38±2.73 bc	19.07±0.54 d	20.85±2.46 c
	42	33.596	戊醛	0.67±0.26 a	0.35±0.07 d	0.49±0.05 b	0.36±0.09 d	0.40±0.21 c
	43	33.667	己醛	1.13±0.45 d	1.44±0.48 a	1.32±1.00 c	1.34±0.33 b	1.35±0.48 b
	44	33.957	3-羟基丁醛	nd	nd	nd	0.29±0.08 a	nd
	45	35.472	庚醛	0.05±0.02 d	0.08±0.04 c	0.10±0.01 b	0.10±0.06 b	0.11±0.14 a
	46	3.233	苯甲醛	0.13±0.03 a	0.13±0.03 a	0.10±0.02 c	0.11±0.01 b	0.09±0.01 d
	47	5.134	辛醛	0.23±0.02 a	0.14±0.02 c	0.23±0.08 a	0.20±0.06 b	0.20±0.05 b
	48	5.545	（E）-2-辛烯醛	0.10±0.08 a	0.06±0.02 b	nd	nd	nd
醛类	49	7.944	壬醛	0.50±0.13 d	0.39±0.12 e	0.52±0.12 c	0.57±0.27 b	0.72±0.33 a
(14种)	50	9.865	癸醛	0.07±0.01 a	0.05±0.01 b	0.02±0.01 c	0.02±0.02 c	0.02±0.01 c
	51	11.155	(E)-2-癸烯醛	nd	0.06±0.05 a	nd	nd	nd
	52	12.909	2,4-癸二烯醛	0.02±0.02 a	nd	0.02±0.01 a	0.01±0.01 b	nd
	53	14.362	2-十二烯醛	0.04±0.01 c	0.03±0.02 d	0.02±0.01 e	0.09±0.03 b	0.11±0.03 a
	54	16.044	棕榈醛	0.06±0.05 b	0.08±0.05 a	0.03±0.03 c	0.03±0.02 c	nd
	55	17.426	十八醛	nd	0.03±0.02 a	nd	nd	0.02±0.03 b
			小计	3.00±0.65 b	2.84±0.68 c	2.85±0.18 c	3.12±0.26 a	3.02±0.48 b
	56	17.741	E-9-十四碳烯酸	0.01±.00 b	0.01±0.01 b	0.01±0.01 b	0.01±0.01 b	0.03±0.04 a
	57	19.180	肉豆蔻酸	nd	0.05±0.01 a	nd	nd	0.03±0.01 b
	58	21.776	E-11-十四烯酸	nd	0.01±0.01 b	0.01±0.01 b	0.01±0.01 b	0.02±0.01 a
	59	29.389	Z-7-透明质酸	nd	0.18±0.04 a	nd	nd	nd
	60	29.389	棕榈酸	0.01±0.02 c	1.50±0.39 a	nd	nd	0.02±0.02 b
	61	31.991	亚油酸	nd	1.53±0.90 a	nd	nd	nd
	62	25.943	洋橄榄油酸	nd	5.20±0.82 a	nd	nd	nd
	63	28.525	(Z,Z,Z)-8,11,14-二十碳三烯酸	nd	0.07±0.05 a	nd	nd	nd
酸类	64	28.855	乙酸	4.98±0.12 c	4.95±0.18 c	6.23±1.62 a	5.77±0.79 b	4.07±0.90 d
(16种)	65	30.954	庚酸	0.05±0.01 a	0.01±0.01 c	0.10±0.06 c	0.02±0.04 b	0.02±0.01 b
	66	31.228	己酸	0.02±0.00 c	0.03±0.01 b	0.04±0.01 a	0.03±0.01 b	nd
	67	32.428	辛酸	0.01±0.01 b	0.02±0.01 a	0.01±0.01 b	0.02±0.03 a	0.02±0.01
	68	33.317	环庚甲酸	nd	nd	0.01±0.02 a	nd	nd
	69	33.398	壬酸	0.05±0.02 b	0.01±0.01 e	0.03±0.02 c	0.09±0.01 a	0.02±0.01 d
	70	35.741	十三酸	nd	0.03±0.02 a	0.01±0.01 b	nd	nd
	71	2.446	7-苯二甲酸	0.02±0.01 a	nd	0.01±0.02 b	nd	nd
			小计	5.15±0.27 d	13.60±0.41 a	6.46±0.85 b	5.95±0.96 c	4.23±0.26 e
	72	3.391	1-羟基-2-丁酮	0.32±0.02 a	nd	nd	0.32±0.04 a	0.25±0.55 b
酮类	73	7.547	2-庚酮	0.01±0.02 a	0.01±0.01 a	0.01±0.01 a	nd	0.01± 0.01 a
(9 种)	74	10.307	1-庚烯-3-酮	0.03±0.01 b	nd	nd	0.02±0.02 a	0.02±0.01 a
	75	10.312	丁烯酮	0.10±0.02 b	0.06±0.02 a	0.01±0.01 b	nd	nd
	76	10.561	2,3-辛二酮	0.46±0.07 c	0.56±0.12 a	0.44±0.08 d	0.44±0.24 d	0.51±0.14 b

转下页

接上页

	77	16.969	2-辛酮	0.05±0.01 a	nd	0.01±0.01 b	0.01±0.01 b	nd
	78	18.082	3,6-二甲氧基-9-(2-苯乙炔基)-9-芴酮	0.02±0.01 b	0.03±0.01 a	0.03±0.01 a	0.03±0.01 a	0.01±0.01 c
	79	21.192	5-羟基-2-戊酮	0.02±0.01 a	nd	nd	0.01±0.01 b	nd
	80	23.702	(1,1'-环己基)-2-酮	0.04±0.01 a	0.04±0.02 a	0.04±0.02 a	0.03±0.01 b	0.04±0.02 a
			小计	1.05±0.43 a	0.71±0.09 c	0.54±0.10 d	0.86±0.23 b	0.84±0.20 b
碳氢化合物(12种)	81	10.561	2,4,6-三甲基-辛烷	0.07±0.04 a	0.02±0.01 d	0.05±0.01 b	0.02±0.02 d	0.03±0.01 c
	82	12.248	D-柠檬烯	0.13±0.02 b	0.15±0.02 a	0.10±0.02 bc	0.06±0.02 c	0.05±0.01 d
	83	14.037	2,3,8-三甲基-癸烷	0.15±0.03 a	0.03±0.03 b	0.02±0.01 c	nd	nd
	84	16.969	2,6-二甲基辛烷	0.17±0.06 a	0.04±0.02 c	0.07±0.01 b	nd	0.01±0.02 d
	85	18.082	3-甲基-十二烷	0.04±0.01 b	nd	0.05±0.02 a	0.02±0.02 c	0.02±0.05 c
	86	23.702	5-乙基-2-甲基-辛烷	0.06±0.02 a	nd	0.05±0.02 b	nd	nd
	87	4.427	环癸烷	0.04±0.04 a	0.01±0.02 b	nd	nd	0.01±0.01 b
	88	7.004	十二烷	0.09±0.03 a	0.04±0.02 b	nd	0.03±0.01 c	0.02±0.01 d
	89	11.730	1,3-二甲基环戊烷	0.05±0.01 a	0.01±0.01 b	0.05±0.03 a	nd	nd
	90	12.085	α-蒎烯	0.03±0.01 a	0.03±0.10 a	nd	0.02±0.01 b	nd
	91	12.690	十四烷	0.04±0.04 a	0.02±0.01 b	0.01±0.01 c	0.01±0.01 c	0.02±0.01 b
	92	12.827	十五烷	0.05±0.03 a	0.01±0.01 c	0.01±0.01 c	0.01±0.01 c	0.02±0.01 b
			小计	0.92±0.40 a	0.36±0.03 c	0.41±0.21 b	0.17±0.01 d	0.18±0.10 d
其他(10种)	93	12.939	2-苯基吲哚	0.03±0.06 b	0.02±0.01 a	0.02±0.01 a	0.02±0.00 a	0.02±0.04 a
	94	13.391	2-甲基-7-苯基吲哚	0.08±0.03 a	0.06±0.09 b	0.05±0.03 c	0.05±0.01 c	0.06±0.09 b
	95	13.478	3-(4-硝基苯胺)-吲哚	0.02±0.01 b	0.01±0.01 c	0.03±0.02 a	nd	0.01±0.01 c
	96	14.174	N-乙基环己胺	0.02±0.01 a	nd	nd	0.01±0.02 b	nd
	97	16.339	N-亚丁基-1-正丁胺	0.01±0.02 b	nd	0.02±0.01 a	0.01±0.01 b	0.01±0.01 b
	98	24.485	2-正戊基呋喃	0.11±0.06 a	0.06±0.05 c	0.10±0.05 b	0.05±0.05 d	0.06±0.05 c
	99	9.296	4-氯四氢吡喃	0.04±0.01 a	0.02±0.01 b	0.01±0.01 c	nd	0.01±0.03 c
	100	16.974	2,4-二叔丁基苯酚	0.04±0.02 b	0.03±0.01 c	0.04±0.00 b	0.02±0.01 d	0.08±0.09 a
	101	17.223	1,1-二乙氧基乙烷	0.10±0.02 e	0.50±0.44 b	0.60±0.35 a	0.29±0.25 d	0.36±0.06 c
	102	21.893	1,1,3-三乙氧基丙烷	0.04±0.01 a	0.03±0.01 b	0.02±0.01 c	0.03±0.01 b	nd
	103	22.538	甲氧苯基肟	0.08±0.05 a	0.05±0.02 c	0.08±0.01 a	0.06±0.03 b	0.06±0.05 b
	104	13.117	茴香脑	0.09±0.02 a	0.03±0.01 b	0.01±0.02 d	nd	0.02±0.01 c
			小计	0.66±0.12 c	0.81±0.68 b	0.98±0.45 a	0.54±0.36 d	0.69±0.12 c
			合计	89.79±5.30 bc	89.99±6.21 a	89.89±4.62 b	89.96±7.31 ab	89.80±5.41 bc

2.3 蔗糖添加量与风干腊肠中风味物质的含量相关性

用 SPSS19.0 对风干腊肠中蔗糖添加量、腊肠中醇类、酯类、醛类、和酸类百分比含量进行相关性分析，结果如表 3 所示。

从表 3 中可以看出，醇类和醛类风味物质相对百分含量与蔗糖添加量显著正相关，相关性系数分别为 0.525 和 0.665，随着蔗糖添加量的不断加大，醇类和醛类风味物质总体趋势上的相对百分比含量逐渐增大。酯类和酸类风味物质相对百分含量与蔗糖添加量显著负相关，相关性系数分别为-0.546 和-0.394，说明随着蔗糖添加量的不断加大，酯类和酸类风味物质整体上的相对百分比含量逐渐减少。

综合表 2 和表 3 的结果发现，6%蔗糖添加量为腊肠风味物质种类及含量发生变化的重要拐点，且含有不饱和脂肪酸包括棕榈酸(1.50%)、亚油酸(1.53%)、洋橄榄油酸(5.2%)，对产品风味的形成极为重要，可能由于糖的降解以及发酵期间与糖和氨基酸或脂肪的反应，从而形成风味物质的差异性变化。12%蔗糖添加量时，其醇类含量最高，酯类最低。风干腊肠在制作

过程中加入大量的酒，导致挥发性风味物质中乙醇含量很高，对腊肠总体的气味的直接贡献反而不大，但乙醇形成脂肪酸乙酯，高含量的乙基酯类的出现表明腊肠发生了一定程度的氧化，且戊醛和己醛的出现也表明腊肠一定程度氧化的发生氧化，因为脂质氧化生成脂肪酸并分解生成羰基化合物，己醛是亚油酸的氧化分解，2, 4-癸二烯醛是亚油酸氧化的产物。另外研究也发现[9]，随着蔗糖的添加量的增大，酸价逐渐降低，而贮藏过程中酸价因此受到抑制，其主要原因可能是腊肠制作过程中，蔗糖的大量加入对磷脂进行包裹，可起到阻止磷脂酶的氧化作用，从而磷脂水解受到影响，导致游离脂肪酸释放减少，致使酸价减低作用。当脂肪醛含量过高时会产生令人厌恶的腐败味，所以脂肪醛的含量并不是越多越好，6%蔗糖添加量产生的醛类风味物质相对百分含量为 2.84%，相对其他蔗糖添加量的风干腊肠产生的风味百分含量较低。

表 2 不同蔗糖添加量的风干腊肠中风味物质的相对含量

Table 2 Varieties and relative content of volatile flavor compounds in air-dried sausages with different concentrations of sucrose

风味物质	蔗糖添加量/%				
	3	6	9	12	15
醇类	57.12±4.55^{c}	44.19±5.38^{d}	57.27±2.84^{c}	60.24±6.18^{a}	59.99±3.09^{b}
酯类	21.89±2.14^{bc}	27.51±1.58^{a}	21.38±2.73^{bc}	19.07±0.54^{d}	20.85±2.46^{c}
醛类	3.00±0.65^{b}	2.84±0.68^{c}	2.85±0.18^{c}	3.12±0.26^{a}	3.02±0.48^{b}
酸类	5.15±0.27^{d}	13.60±0.41^{a}	6.46±0.85^{b}	5.95±0.96^{c}	4.23±0.26^{e}
酮类	1.05±0.43^{a}	0.71±0.09^{c}	0.54±0.10^{d}	0.86±0.23^{b}	0.84±0.20^{b}
碳氢化合物	0.92±0.40^{a}	0.36±0.03^{c}	0.41±0.21^{b}	0.17±0.01^{d}	0.18±0.10^{d}
吲哚	0.13±0.09^{a}	0.09±0.02^{c}	0.10±0.10^{b}	0.07±0.04^{d}	0.09±0.08^{c}
呋喃	0.15±0.05^{a}	0.08±0.04^{c}	0.11±0.06^{b}	0.05±0.02^{e}	0.07±0.04^{d}
胺类	0.03±0.01^{a}	nd	0.02±0.03^{b}	0.02±0.04^{b}	0.01±0.01^{c}
其他	0.35±0.03^{e}	0.64±0.11^{b}	0.75±0.07^{a}	0.40±0.03^{d}	0.52±0.20^{c}
总量	89.79±5.30^{bc}	89.99±6.21^{a}	89.89±4.62^{b}	89.96±7.31^{ab}	89.80±5.41^{bc}

表 3 风味物质含量与蔗糖添加量相关性分析

Table 3 Correlation analysis of the content of flavor compounds and the concentration of sugar

		蔗糖加量	醇类	酯类	醛类	酸类
蔗糖添加量	Pearson Correlation	1	.525(**)	-.546(**)	.665(**)	-.394(*)
醇类	Pearson Correlation	.525(**)	1	-.980(**)	.716(**)	-.967(**)
酯类	Pearson Correlation	-.546(**)	-.980	1	-.696(**)	.901(**)
醛类	Pearson Correlation	.665 (**)	.716(**)	-.696 (**)	1	-.685(**)
酸类	Pearson Correlation	-.394(*)	-.967(**)	.901(**)	-.685(**)	1

注：*表示显著差异（p<0.05）；**表示极显著差异（p<0.01）。

3 结论

3.1 采用 HS-SPME-GC-MS 方法对不同蔗糖添加量的广式风干腊肠进行了分离和鉴定挥发性物质结果看，醇类物质的含量是最高，酯类物质的种类达 30 种是最多的，其中以乙醇和乙基酯类物质（包括己酸乙酯、丁酸乙酯、辛酸乙酯、癸酸乙酯）为主分别占总挥发性的 54.44%和 17.25%，而 6%蔗糖添加量制作的风干腊肠中风味物质种类有 104 种，酯类与酸类风味物质种类丰富，其中酯类物质相对含量为 27.51%、酸类物质相对含量为 13.60%，同比其他蔗糖添加量制作的样品酯类、酸类物质相对百分含量最高。本研究通过在广式风干腊肠制作中添加一定比例的蔗糖，在整个工艺过程中，蔗糖通过水解产生一定量的葡萄糖和果糖，而葡萄糖作为还原性单糖，参与蛋白质降解产生的美拉德反应，促进脂质降解和氧化成为腊肠风味形成的主要途径之一；另外，适当的蔗糖添加量有利起到调节风味，使腊肠具有甜味，这是广式腊肠的显著特点。6%蔗糖添加量腊肠风味极为丰富，也符合现代营养饮食中低糖要求与现代都市人清淡口味的要求。

3.2 不同蔗糖添加量对风干腊肠风味物质含量影响不同，其中 3%~6%蔗糖添加量制作的样品风味物质中醇类和醛类物质含量随着蔗糖添加量增大而减少，而酯类和酸类含量随着蔗糖添加量增大而增加；6%~15%蔗糖添加量制作的样品风味物质，随着蔗糖

添加量的不断增大，醇类和醛类的百分比含量逐渐增加而酯类和酸类减少。

参考文献

[1] G L Alves, M R B Franco. Headspace gas chromatography-mass spectrometry of volatile compounds in murici (*Byrsonima crassifolia L. Rich*) [J]. Journal of Chromatography A, 2003, 985: 297-301

[2] Damjan Janeš, Dragana Kantar, Samo Kreft, Helena Prosen. Identification of buckwheat (fagopyrum esculentum moench) aroma compounds with GC-MS [J]. Food Chemistry, 2009, 112: 120-124

[3] 许鹏丽,郭祀远.广式腊肉风味物质成分分析的研究[J].食品工业科技,2009,30(11):122-124
XU Peng-li, GUO Si-yuan. Study on the volatile compounds of cantonese cured meat [J]. Food Science and Technology, 2009, 30(11): 122-124

[4] 吴燕涛,穆同娜,李蓓,等.我国广式腊肠研究进展[J].食品科学,2011,32(1):246-250
WU Yan-tao, MU Tong-na, LI Bei,et al. Research progress of cantonese sausage [J]. Food Science, 2011, 32(1): 246-250

[5] Weizheng Sun, Chun Cui, Mourning Zhao, et al. Effects of composition and oxidation of proteins on their solubility, aggregation and proteolytic susceptibility during processing of cantonese sausage [J]. Food Chemistry, 2011, 124: 336-341

[6] Chaoying Qiu, Mouming Zhao, Weizheng Sun, et al. Changes in lipid composition, fatty acid profile and lipid oxidative stability during Cantonese sausage processing [J]. Meat Science, 2013, 93: 525-532

[7] Weizheng Sun, Qiangzhong Zhao, Haifeng Zhao, et al. Volatile compounds of Cantonese sausage released at different stages of processing and storage [J]. Food Chemistry, 2010, 121: 319-325

[8] 龙桌珊,徐玉娟,潘思轶,等.固相微萃取结合嗅觉检测法鉴定广式腊肠活性风味物质[J].食品科学,2010,31(8):194-198
LONG Zhuo-shan, XU Yu-juan, YANG Wan-gen, et al. Changes in volatile flavor components and lipids of cantonese style sausage during oven roasting [J]. Food Science, 2010, 31(8): 194-198

[9] 孙为正,崔春,赵谋明,等.广式腊肠贮存过程中酸价影响因素研究[J].食品科技,2007,12:198-201
SUN Wei-zheng, CUI Chun, ZHAO Mou-ming, et al. Study on influential factors of acid value in Chinese cantonese sausage [J]. Food Science and Technology, 2007, 12: 198-201

[10] Wang Y J, Yang C X, Li S H, et al. Volatile characteristics of 50 peaches and nectarines evaluated by HP-SPME with GC-MS [J]. Food Chemistry, 2009, 166(1): 356-364

[11] 潘晓倩,赵冰,成晓瑜,等.“皇上皇”广式腊肠品质及风味成分分析[J].肉类研究,2013,27(9):15-18
PAN Xiao-qian, ZHAO Bing, CHENG Xiao-yu, et al. Quality characteristics and components of “Huangshanghuang” sausage [J]. Meat Reasearch, 2013, 27(9): 15-18

[12] Soyer A, Ozalp B, Dalmıs U, Bilgin V. Effects of freezing temperature and duration of frozen storage on lipid and protein oxidation in chicken meat [J]. Food Chemistry, 2010, 120: 1025-1030

[13] Promeyrat A, Gatellier P, Lebret B, et al. Evaluation of protein aggregation in cooked meat [J]. Food Chemistry, 2010,121: 412-417

[14] Sun Weizheng, Zhao Qiangzhong, Zhao Haifeng, et al. Volatile compounds of Cantonese sausage releaeed at different stages of processing and storage [J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 319-325