糖添加量对广式腊肠脂质降解的影响

仇超颖，苏国万，崔春，孙为正
（华南理工大学轻工与食品学院，广东广州 510640）

摘要：研究了不同糖添加量（3%、6%、9%、12%，*m/m*）对广式腊肠脂质降解的影响规律。将广式腊肠中瘦肉和肥丁分别进行研究，利用固相萃取技术将脂质分为中性脂肪、磷脂和游离脂肪酸，采用气质联用分析中性脂肪和磷脂的脂肪酸组成、游离脂肪酸的组成及含量。结果表明：磷脂是广式腊肠中脂质降解的主要成分，中性脂肪也对游离脂肪酸的释放有一定作用；瘦肉部分的脂质是腊肠脂质降解的主要部分。糖添加量对中性脂肪和磷脂的多不饱和脂肪酸组成比例具有显著影响，糖添加量低时多不饱和脂肪酸组成比例高，尤其是对瘦肉部分的磷脂影响最为显著，糖添加量为 12%时其比例为 17.88%，而添加量为 6%和 3%时分别变为 36.70%和 33.94%；游离脂肪酸含量随糖添加量的减少而降低，表明糖对腊肠的脂质降解具有一定促进作用。由于多不饱和脂肪酸极易氧化导致其组成比例较低。

关键词：广式腊肠；糖含量；脂质降解；脂质组成；游离脂肪酸

文章篇号：1673-9078(2015)11-271-276 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.11.041

Effect of Sugar Additionon Lipolysis of Cantonese-style Sausage

QIU Chao-ying, SU Guo-wan, CUI Chun, SUN Wei-zheng
(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The effect of sugar addition (3%, 6%, 9%, and 12%, *m/m*) on lipolysis in Cantonese-style sausage was studied. Lean pork and diced fatty meat in Cantonese-style sausage were separated; the lipids were divided into neutral lipid, phospholipids, and free fatty acids (FFAs) by solid phase extraction, and the compositions and content of the fatty acids and FFAs in neutral lipid and phospholipids were determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that most lipolysis reactions involved phospholipids; neutral lipid also played a certain role in the release of FFAs, and the lipids in the lean pork played the main role in the lipolysis in Cantonese-style sausage. The proportions of polyunsaturated fatty acids (PUFAs) in neutral lipids and phospholipids were considerably influenced by the amount of added sugar. When a small amount of sugar was added, high proportions of PUFAs were obtained, especially in phospholipids of lean pork. When 12% of sugar was added, the proportion of PUFAs was 17.88%. When 6% and 3% of sugar were added, the proportions of PUFAs were 36.70% and 33.94%, respectively. The content of FFAs decreased with decrease in the amount of sugar, indicating that sugar can promote the lipolysis in sausage. A relatively low proportion of PUFAs was found because PUFAs are easily oxidized.

Key words: Cantonese-style sausage; sugar levels; lipolysis; lipid composition; free fatty acids

广式腊肠是广东省传统特产食品之一，属于广式腊味的一类，是以猪肉为主要原料，瘦肉经粗绞，肥膘经切丁后，配以辅料，灌入天然肠衣或人造肠衣再经晾晒或烘烤而成。产品具有外形美观、色泽明亮、腊香浓郁、香醇芬厚、鲜味可口等特点，深受消费者的喜爱和欢迎[1,2]。

广式腊肠在加工制作过程中加入大量的白砂糖（约 12~14%，按原料肉计），经过 72 h 左右 50 ℃的烘烤加工而成，因此广式腊肠在配方和加工工艺方面均有别于西式腌腊肉制品。膳食中糖摄入量的增加常可能引起总能量的增多[3]。碳水化合物的质量与数量作为疾病的重要危险因子已经被广泛认可[4]。含糖量越多的食品能引起更大的餐后高血糖和高胰岛素水平，而这两个因素现在都被认为是许多代谢疾病的危险因素。JOHNSON 等[5]研究发现，高糖摄入量与心血管疾病的增加相关。含糖量高的食品无论在动物还是人类中都与肥胖、甘油三酯、高密度脂蛋白、高凝状态相关。随着我国经济和社会的发展，在基本解决食物供应问题的同时，食物的健康营养越来越引起全社会的关注。因此，降低广式腊肠中的糖含量，开发符合绿色健康理念的广式腊肠新产品具有重要意义。

糖含量对广式腊肠的质量品质具有重要影响，Qiu 等[6]研究发现随着糖添加量对广式腊肠的基本理

收稿日期：2015-02-27
基金项目：广东省成果转化项目（2012B040400002）；广东省科技计划项目（2010B080701103）
作者简介：仇超颖（1988-），女，博士研究生，研究方向：食品科学
通讯作者：孙为正（1983-），男，博士，副研究员，研究方向：食品科学

化指标、蛋白质组分及蛋白质降解、质构、微生物具有重要影响，随着糖添加量的增加，蛋白质降解受到抑制，但可改善其质构特性，且可以抑制微生物生长，提高产品安全性。孙为正[7]研究表明脂质降解对腌腊肉制品质量品质和风味形成具有重要影响，肉制品中脂质组成对产品的氧化稳定性及风味品质具有重要作用。广式腊肠脂质含量较高，约占 30%~50%[7]。孙为正[7]、龙卓珊[8]对广式腊肠中脂质在加工过程与贮存过程中变化进行了研究，但是糖添加量对脂质降解的影响未有研究。

本文通过改变糖添加量，系统研究辅料糖对广式腊肠中脂质降解的影响规律，将瘦肉与肥丁两个部分进行分离，分别分析其脂质组成和游离脂肪酸的释放规律，探讨糖在广式腊肠脂质降解中的作用，为开发低糖广式腊肠产品提供理论依据和方法指导。

1 材料与方法

1.1 原料及试剂

广式腊肠加工原料及配方如下：猪后腿肉（猪瘦肉）、背部脂肪（肥肉）、糖、盐、酒、亚硝酸钠，其中猪瘦肉购自华南理工大学后勤集团，肥肉购自广州百佳超市。瘦肉用 5 mm 孔径挡板绞碎，肥肉切成 0.6×0.6×0.6 cm 方丁，按照 7:3 比例混合，每 100 kg 肉中加入食盐 3.5 kg，酒 4 kg，亚硝酸钠 0.02 kg，水 20 kg，其中糖添加量分为别 3、6、9、12 kg。

工艺流程：

选料修正→切膘丁→漂洗→绞肉→拌料→灌肠→扎孔→扎草、束绳→烘焙（50 ℃，3 h；45 ℃，69 h）→成品整理→包装

十七烷酸甲酯、三氟化硼-甲醇溶液购自 Sigma 公司；甲醇、正己烷、异丙醇、乙腈、二氯甲烷均为色谱纯；其他常规化学试剂均为分析纯。

1.2 主要仪器与设备

MM12 型绞肉机（广东省韶关市食品机械厂）；GCH-5 灌肠机（广州旭众食品机械有限公司）；气相色谱仪、Trisplus 自动进样器、四级杆 DSQ II 质谱分析仪（ThermoFinnigan，San Jose，CA，USA）；3-18K 型台式高速冷冻离心机（德国 SIGMA）；GL-21M 冷冻离心机（湘仪离心机仪器有限公司，长沙）；500MG 氨丙基（BOND ELUT LRC-NH2）固相萃取柱（Phenomenex，USA）；RE-52AA 旋转蒸发仪（上海亚荣生化仪器有限公司）；FJ200-S 数显高速分散均质机（上海昂尼仪器仪表有限公司）。

1.3 试验方法

1.3.1 脂质提取

将广式腊肠中肥丁与瘦肉部分分离，取少许样品绞碎，精确称取一定量处理好的样品，按 Folch 等的方法[9]，用氯仿：甲醇溶液（2:1，*V*/*V*）提取。

1.3.2 脂质分离

参照孙为正[7]的方法。称取 1.3.1 提取的脂质 100 mg，用 1 mL 氯仿溶解，然后经氨丙基硅胶固相萃取柱（Phenomenex，500 mg）吸附，用 3.0 mL 氯仿-异丙醇（2:1）洗脱中性脂肪，用 3.0 mL 的 2%乙酸-乙醚溶液洗脱游离脂肪酸，用 3.0 mL 甲醇洗脱磷脂，各提取液利用旋转蒸发仪蒸干。

1.3.3 脂肪酸组成测定

将 1.3.2 所得的中性脂肪和磷脂样品，分别取 0.1 和 0.2 mL 氮气吹干溶剂，甲酯化后应用气质联用测定脂肪酸组成。

脂肪酸的甲酯化：将样品溶剂氮气吹干后，加入 2 mL 14%的三氟化硼-甲醇溶液（质量比）使脂肪酸甲酯化（60 ℃水浴 30 min，用 2，2-二甲氧基丙烷做水清除剂吸收甲酯化生成的微量水）。冷却后加入 1 mL 水和 1 mL 正己烷振荡，静置分层后完全吸收上层有机相，氮气吹干溶剂，用正己烷定容，以备气质联用分析。

气质联用分析：色谱柱：TR-5MS capillary column（30 m ×0.2 mm，0.25 μm，Thermo，美国）。检测器为 FID；进样量为 1.0 μL，分流比 100:1，进样口温度 250 ℃；接口温度 250 ℃；色谱柱升温程序：40 ℃保持 1 min，以 10 ℃/min 升至 150 ℃保持 2 min，以 10 ℃/min 升至 220 ℃，之后以 5 ℃/min 升至 280 ℃，保持 3 min，氦气作为载气，流速 1.0 mL/min，质谱条件：离子源温度 230 ℃，电离方式 EI，电子能量 70 ev，质谱扫描范围是 35~450 amu，脂肪酸组成以峰面积归一法测定相对含量。

1.3.4 游离脂肪酸测定

步骤同 1.3.3，在甲酯化定容时加入十七酸甲酯做内标（20 μg/mL）。

1.4 数据分析与处理

所有数据均以 X±SD 给出，采用 SPSS 11.5（SPSS Inc.，Chicago，IL，USA）统计分析软件进行数据分析。

2 结果与讨论

广式腊肠为高脂肪含量产品，在烘烤过程中的热

作用及脂肪酶作用，使脂质发生降解，释放出游离脂肪酸。糖添加量不同会对脂肪酶作用有一定影响，进而影响广式腊肠脂质的脂肪酸组成。由于广式腊肠特殊的加工工艺，肥丁和瘦肉是分别加入而不是搅碎混合加入，故此瘦肉中的脂肪降解与肥丁中的脂质降解可能存在差异。因此针对瘦肉和肥丁中的中性脂肪、磷脂及游离脂肪酸组成分别进行研究，可深入解析广式腊肠中脂肪降解程度及作用机理。

2.1 中性脂肪降解

表 1 为不同糖添加量对广式腊肠的中性脂肪中脂肪酸组成的影响。由表 1 可见，单不饱和脂肪酸是中性脂肪（甘油三酯）中的主要成分（主要以油酸为主），其次是饱和脂肪酸（以棕榈酸为主）和多不饱和脂肪酸（主要以亚油酸为主）。不同糖添加量的广式腊肠，不论是瘦肉部分还是肥丁部分，油酸均是其主要成分，所占比例均高于 38%。

从中性脂肪的脂肪酸组成比例来看，不同糖添加量对瘦肉和肥丁的饱和脂肪酸比例并无显著性影响（$P>0.05$），而对单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸的比例影响显著（$P<0.05$），尤其是多不饱和脂肪酸。在糖含量 12%时，瘦肉和肥丁中多不饱和脂肪酸比例分别为 11.61%和 12.57%，而糖含量为 3%时，瘦肉和肥丁中多不饱和脂肪酸比例分别为 14.84%和 22.61%，表明中性脂肪同样对游离脂肪酸的释放也有重要作用。糖添加量高时多不饱和脂肪酸所占的比例较少，这主要是由于多不饱和脂肪酸比饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸更易氧化，导致其更易从甘油三酯上得到释放[10]；且脂肪酶较易作用于甘油三酯的 3 号位，而 3 号位主要是多不饱和脂肪酸[11]。

表 1 不同糖添加量对广式腊肠的中性脂肪中脂肪酸组成的影响（%）

Table 1 Effect of different amounts of added sugar on fatty acid composition of neutral lipids in Cantonese-style sausage (%)

	瘦肉部分				肥丁部分			
	12%	9%	6%	3%	12%	9%	6%	3%
C14:0	2.22±0.23^{a}	1.73±0.22^{b}	2.20±0.12^{a}	2.00±0.12^{ab}	1.25±0.22^{a}	2.49±0.36^{c}	1.86±0.18^{b}	2.42±0.24^{c}
C16:1	4.03±0.26^{a}	1.98±0.85^{b}	3.46±0.34^{a}	3.71±0.23^{a}	1.16±0.14^{a}	1.41±0.13^{a}	2.65±0.37^{b}	3.90±0.71^{c}
C16:0	26.73±0.92^{a}	29.30±0.94^{b}	26.41±0.39^{a}	25.38±0.39^{a}	25.51±0.31^{a}	26.81±0.82^{a}	26.17±1.10^{a}	25.73±1.52^{a}
C18:2	10.50±0.18^{a}	9.86±0.18^{b}	14.47±0.40^{c}	14.24±0.43^{c}	11.53±0.31^{a}	11.81±0.55^{a}	15.98±0.68^{b}	21.66±0.38^{c}
C18:1	44.39±0.77^{a}	47.79±1.46^{b}	41.21±0.40^{c}	41.14±0.71^{c}	49.06±1.18^{a}	46.52±1.27^{a}	41.50±1.32^{b}	32.70±1.66^{c}
C18:0	10.57±0.75^{a}	8.37±0.30^{b}	11.00±0.38^{a}	12.22±0.1^{c}	9.94±0.39^{a}	9.57±0.35^{a}	10.91±1.01^{ab}	12.02±0.86^{b}
C20:4	0.86±0.07^{a}	0.43±0.09^{b}	0.36±0.08^{b}	0.30±0.06^{b}	0.35±0.15^{ab}	0.46±0.12^{b}	0.17±0.05^{a}	0.34±0.08^{ab}
C20:2	0.25±0.06^{a}	0.25±0.03^{a}	0.36±0.05^{a}	0.32±0.07^{a}	0.70±0.08^{a}	0.35±0.06^{b}	0.28±0.12^{b}	0.60±0.14^{a}
C20:1	0.45±0.05^{ab}	0.29±0.15^{a}	0.53±0.07^{bc}	0.67±0.14^{c}	0.51±0.17^{a}	0.57±0.19^{a}	0.48±0.07^{a}	0.61±0.05^{a}
∑SFA	39.52±1.90^{a}	39.40±1.46^{a}	39.61±0.89^{a}	39.61±0.71^{a}	36.71±0.92^{a}	38.87±1.54^{a}	38.94±2.28^{a}	40.18±2.62^{a}
∑MUFA	48.87±1.08^{a}	50.06±2.46^{a}	45.20±1.56^{b}	45.52±1.07^{b}	50.72±1.49^{a}	48.50±1.59^{a}	44.63±1.75^{b}	37.21±2.42^{c}
∑PUFA	11.61±0.23^{b}	10.54±0.30^{a}	15.19±0.52^{c}	14.87±0.56^{c}	12.57±0.54^{a}	12.63±0.73^{a}	16.43±0.85^{b}	22.61±0.60^{c}

注：相同脂质来源的数据在同一行中标注不同角标者具有显著性差异（$P<0.05$）；3%、6%、9%、12%为广式腊肠糖添加量。

2.2 磷脂降解

磷脂是脂肪的一个重要组成部分，也是肉制品风味前体物质的主要来源和脂质氧化的主要底物之一。表 2 为不同糖添加量对广式腊肠磷脂脂肪酸组成的影响。由表 2 可知，瘦肉部分的磷脂和肥丁部分的磷脂存在较大差异，瘦肉部分的多不饱和脂肪酸比例显著高于肥丁部分。

不同糖添加量对瘦肉部分的多不饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸具有显著影响（$P<0.05$），糖添加量为 12%时，多不饱和脂肪酸比例为 17.88%，而添加量为 6%和 3%时分别变为 36.70%和 33.94%；与此相对应单不饱和脂肪酸在糖添加量为 12%时为 43.28%，而糖添加量为 6%和 3%时分别变为 26.99%和 28.09%，结果表明磷脂是广式腊肠脂质降解的主要成分。孙为正研究发现广式腊肠原料中瘦肉部分的饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸比例分别为 39.35%、19.60%和 41.05%[7]，综合表明多不饱和脂肪酸是磷脂降解的主要成分。不同糖添加量对瘦肉部分的饱和脂肪酸的影响较小（$P>0.05$）。糖添加量为 12%时广式腊肠瘦肉部分的亚油酸（C18:2）和花生四烯酸（C20:4）比例均低于低糖添加量，这可能是由于糖对磷脂降解具有促进作用，且磷脂酶对磷脂中多不饱和脂肪酸具有优先选择性释放作用[12]。而对于肥丁部分而言，饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸均变化较小，表明其对降解不显著，对产品品质影响较小。

表 2 不同糖添加量对广式腊肠的磷脂中脂肪酸组成的影响（%）

Table 2 Effect of different amounts of added sugar on fatty acid composition of phospholipids in Cantonese-style sausage (%)

	瘦肉部分				肥丁部分			
	12%	9%	6%	3%	12%	9%	6%	3%
C14:0	0.50±0.01^{a}	0.73±0.03^{b}	0.74±0.09^{b}	0.81±0.09^{b}	1.66±0.34^{a}	1.60±0.43^{a}	1.87±0.15^{a}	1.37±0.12^{a}
C16:1	0.68±0.04^{b}	0.24±0.04^{a}	1.14±0.17^{c}	1.30±0.16^{c}	1.24±0.27^{a}	1.98±0.22^{c}	1.65±0.14^{bc}	1.49±0.18^{ab}
C16:0	26.87±1.28^{a}	29.99±2.02^{b}	25.21±1.37^{a}	25.35±1.65^{a}	24.97±0.55^{a}	28.01±1.55^{c}	27.03±0.47^{bc}	25.86±0.66^{ab}
C18:2	15.88±0.84^{a}	14.48±0.83^{a}	27.64±1.21^{c}	25.11±0.82^{b}	9.60±0.40^{a}	12.66±0.66^{b}	14.39±0.82^{c}	12.80±0.15^{b}
C18:1	42.47±1.45^{a}	41.30±1.79^{a}	25.45±1.48^{b}	26.63±0.73^{b}	46.48±0.83^{a}	44.23±1.89^{ab}	43.41±1.11^{b}	40.42±1.10^{c}
C18:0	11.47±0.68^{a}	9.04±0.82^{b}	10.37±0.89^{ab}	11.81±0.62^{a}	15.00±0.19^{b}	10.70±0.43^{a}	10.93±0.70^{a}	16.72±0.54^{c}
C20:4	1.79±0.32^{a}	3.80±0.72^{b}	8.86±0.73^{c}	8.50±0.72^{c}	0.31±0.08^{ab}	0.30±0.08^{ab}	0.26±0.12^{a}	0.45±0.08^{b}
C20:2	0.21±0.04^{a}	0.21±0.03^{a}	0.20±0.07^{a}	0.33±0.066^{b}	0.50±0.05^{a}	0.27±0.04^{b}	0.19±0.07^{b}	0.58±0.19^{a}
C20:1	0.13±0.01^{a}	0.21±0.03^{b}	0.40±0.06^{c}	0.16±0.04^{ab}	0.23±0.03^{a}	0.26±0.05^{a}	0.27±0.07^{a}	0.32±0.11^{a}
∑SFA	38.84±1.97^{a}	39.76±2.87^{a}	36.31±2.34^{a}	37.97±2.36^{a}	41.63±1.08^{ab}	40.31±2.41^{a}	39.82±1.31^{a}	43.95±1.31^{b}
∑MUFA	43.28±1.51^{a}	41.75±1.86^{a}	26.99±1.71^{b}	28.09±0.92^{b}	47.95±1.13^{a}	46.46±2.16^{a}	45.34±1.32^{a}	42.23±1.38^{b}
∑PUFA	17.88±1.20^{a}	18.49±1.58^{a}	36.70±2.01^{b}	33.94±1.60^{b}	10.42±0.53^{a}	13.23±0.78^{b}	14.84±1.00^{b}	13.83±1.11^{b}

注：相同脂质来源的数据在同一行中标注不同角标者具有显著性差异（P<0.05）；3%、6%、9%、12%为广式腊肠糖添加量。

肉制品中磷脂的降解程度与其加工条件、动物种类、贮存条件及肌肉代谢类型有密切的关系[12]，磷脂的高氧化活性主要是由于其高含量的不饱和脂肪酸，不饱和脂肪酸比饱和脂肪酸容易氧化，尤其是多不饱和脂肪酸。此外，由于脂类物质（包括游离脂肪酸）在水中的溶解度较低，脂肪酶（包括磷脂酶、脂肪氧合酶）在催化反应中，良好的油-水界面是影响酶催化效果的重要因素之一[13]。磷脂的乳化特性和不饱和脂肪酸的低熔点使反应具有较好油-水界面的不饱和脂肪酸更易受酶作用而释放。同时磷脂具有相对较好的乳化性，更易形成良好的油-水界面而与酶发生作用，这可能是含有较多不饱和脂肪酸的磷脂水解程度较高的主要原因。广式腊肠添加的糖为白砂糖，其主要成分为蔗糖，其含有大量亲水性的羟基，对酶活具有一定的保护作用[14]，这可能是高糖添加量时磷脂更易降解的原因之一。

2.3 游离脂肪酸释放规律

表 3 为不同糖添加量对广式腊肠的游离脂肪酸含量的影响。由表 3 可知，无论是瘦肉部分还是肥丁部分，油酸（C18:1）、棕榈酸（C16:0）、和硬脂酸（C18:0）均为广式腊肠两部分脂质的游离脂肪酸主要组成成分，其中油酸比例最高，均高于 38%；游离脂肪酸在高糖添加量时具有较高含量，但两部分脂质在具体含量上有所差别，瘦肉部分的游离脂肪酸含量明显高于肥丁部分。在糖添加量为 12%时，瘦肉部分和肥丁部分的游离脂肪酸总量为 70.01 和 30.39 mg/10 g 脂肪，而在糖添加量为 3%时仅为 50.22 和 22.67 mg/10 g 脂肪。再次印证糖具有促进广式腊肠脂质降解的作用，当糖添加量降低后脂肪的降解作用下降，导致游离脂肪酸含量降低。在本研究中，多不饱和脂肪酸中的亚油酸和花生四烯酸的含量在糖添加量12%时具有最大值，进而导致了多不饱和脂肪酸含量的升高。

就瘦肉部分而言，4 个糖添加量的游离脂肪酸均以饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸为主，且比例相当，多不饱和脂肪酸比例最小；就肥丁部分而言，游离脂肪酸主要以饱和脂肪酸为主，其次是单不饱和脂肪酸，多不饱和脂肪酸比例最低，这与上述中性脂肪和磷脂脂肪酸组成变化存在差异。这可能是由于多不饱和脂肪酸极易氧化，在加工过程中已经发生氧化，进而导致比例偏低。相比于多不饱和脂肪酸，单不饱和脂肪酸较为稳定不易发生氧化，饱和脂肪酸较难发生氧化[15]。

3 结论

广式腊肠脂质降解过程中，磷脂是释放游离脂肪酸的主要组分，尤其是瘦肉部分中的磷脂组分；中性脂肪对游离脂肪酸释放也具有一定贡献。糖作为广式腊肠的主要加工辅料对脂质降解具有显著影响，随着糖添加量的增加游离脂肪酸释放量增大；中性脂肪和磷脂的脂肪酸组成变化表明多不饱和脂肪酸优先被释放；游离脂肪酸组成表明多不饱和脂肪酸由于自身氧化导致其所占比例降低；中性脂肪和磷脂的脂肪酸组成及游离脂肪酸含量结果表明糖具有促进脂质降解的作用。

表 3 不同糖添加量对广式腊肠的游离脂肪酸含量的影响

Table 3 Effect of different amounts of added sugar on free fatty acid content of Cantonese-style sausage

	瘦肉部分				肥丁部分			
	12%	9%	6%	3%	12%	9%	6%	3%
C14:0	0.97±0.06^{a}	0.53±0.14^{b}	0.83±0.25^{a}	0.61±0.03^{b}	0.36±0.07^{a}	0.34±0.05^{ab}	0.27±0.04^{ab}	0.25±0.01^{b}
%	1.28	0.84	1.28	1.21	1.18	1.31	1.06	1.10
C16:1	2.12±0.08^{a}	1.53±0.11^{b}	1.37±0.16^{b}	1.08±0.11^{c}	0.34±0.03^{a}	0.37±0.03^{a}	0.36±0.09^{a}	0.21±0.17^{a}
%	2.79	2.44	2.12	2.15	1.12	1.42	1.42	0.93
C16:0	18.93±0.25^{a}	14.32±1.12^{b}	15.78±0.82^{c}	11.93±0.35^{d}	6.81±0.34^{a}	6.03±0.95^{a}	5.98±0.87^{a}	5.52±0.20^{a}
%	24.90	22.81	24.37	23.76	22.41	23.20	23.57	24.35
C18:2	8.67±0.47^{a}	7.03±0.61^{b}	7.18±0.29^{b}	5.72±0.28^{c}	4.31±0.33^{a}	2.77±0.33^{b}	3.02±0.18^{b}	2.53±0.13^{b}
%	11.41	11.20	11.09	11.39	14.18	10.66	11.90	11.16
C18:1	30.02±2.08^{a}	25.13±2.64^{b}	27.66±1.83^{ab}	21.37±1.25^{c}	11.58±0.97^{a}	10.38±0.30^{ab}	10.65±0.56^{ab}	9.52±0.48^{b}
%	39.49	40.03	42.72	42.55	38.10	39.94	41.98	41.99
C18:0	12.71±0.86^{a}	11.71±0.73^{ab}	10.68±0.83^{b}	8.42±0.55^{c}	6.52±0.31^{a}	5.59±0.51^{b}	4.74±0.57^{c}	4.28±0.15^{c}
%	16.72	18.65	16.49	16.77	21.45	21.51	18.68	18.88
C20:4	1.59±0.28^{a}	1.32±0.33^{a}	0.63±0.13^{b}	0.50±0.11^{b}	0.13±0.04^{ab}	0.23±0.10^{b}	0.09±0.05^{a}	0.12±0.03^{ab}
%	2.09	2.10	0.97	1.02	0.43	0.88	0.35	0.53
C20:2	0.34±0.03^{a}	0.46±0.08^{b}	0.27±0.07^{a}	0.25±0.05^{a}	0.10±0.07^{a}	0.07±0.02^{a}	0.12±0.04^{a}	0.10±0.02^{a}
%	0.45	0.73	0.42	0.50	0.33	0.27	0.47	0.44
C20:1	0.66±0.15^{a}	0.75±0.11^{a}	0.35±0.09^{b}	0.33±0.04^{b}	0.24±0.06^{a}	0.21±0.12^{a}	0.14±0.02^{a}	0.14±0.03^{a}
%	0.87	1.19	0.54	0.66	0.79	0.81	0.55	0.62
SFA	32.61±1.24^{a}	26.56±2.03^{b}	27.29±1.72^{b}	20.96±0.93^{c}	13.69±0.72^{a}	11.96±1.53^{ab}	10.99±1.55^{b}	10.05±0.37^{b}
%	42.90	42.31	42.15	41.74	46.02	46.02	43.32	44.33
MUFA	32.80±2.34^{a}	27.41±2.82^{ab}	29.38±2.01^{b}	22.78±1.34^{c}	12.16±1.15^{a}	10.96±0.53^{ab}	11.15±0.67^{ab}	9.87±0.67^{b}
%	43.15	43.66	45.37	45.36	40.01	42.17	43.95	43.54
PUFA	10.60±0.78^{a}	8.81±1.05^{b}	8.08±0.49^{b}	6.48±0.44^{c}	4.54±0.43^{a}	3.07±0.45^{b}	3.23±0.27^{b}	2.75±0.18^{b}
%	13.95	14.03	12.48	12.90	14.94	11.81	12.73	12.13
Total	76.01±8.43^{a}	62.78±11.52^{b}	64.75±8.43^{b}	50.22±5.32^{c}	30.39±4.47^{a}	25.99±4.84^{b}	25.37±4.85^{b}	22.67±2.43^{b}

注：相同脂质来源的数据在同一行中标注不同角标者具有显著性差异（P<0.05），含量以mg/10 g表示；3%、6%、9%、12%为广式腊肠糖添加量。

参考文献

[1] Sun W, Zhao M, Zhao H, et al. Effect of manufacturing level on the biochemical characteristics of Cantonese sausage during processing [J]. Journal of Food Biochemistry, 2011, 35(4): 1015-1033

[2] 朱定和,朱凌,肖仔君,等.广式腊肠的营养成分分析[J].现代食品科技,2014,30(1):160-164
ZHU Ding-he, ZHU Ling, XIAO Zi-jun, et al. Analysis of nutrition compositions of cantonese sausage [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(1): 160-164

[3] Frary C.D., Johnson R.K., Wang M.Q. Children and adolescents' choices of foods and beverages high in added sugars are associated with intakes of key nutrients and food groups [J]. Journal of Adolescent Health, 2004, 34(1): 56-63

[4] Malik V S, Schulze M B, Hu F B. Intake of sugar-sweetened beverages and weight gain: a systematic review [J]. Am. J. Clin. Nutr. 2006, 84(2): 274-288

[5] Johnson R K, Appel L J, Brands M, et al. Dietary sugars intake and cardiovascular health a scientific statement from the american heart association [J]. Circulation, 2009, 120(11): 1011-1020

[6] Qiu C, Sun W, Cui C, et al. Effect of sugar level on physicochemical, biochemical characteristics and proteolysis properties of cantonese sausage during processing [J]. Journal of Food Quality, 2012, 35(1): 34-42

[7] 孙为正.广式腊肠加工过程中脂质水解、蛋白质降解及风味成分变化研究[D].广州:华南理工大学,2011
SUN Wei-zheng. Studies on lipolysis, protelysis and flavor compounds during processing of cantonese sausage [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2011

[8] 龙卓珊,徐玉娟,杨万根,等.烘烤中广式腊肠挥发性风味成分及脂质的变化[J].食品科学,2010,31(16):208-212
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(16): 208-212

[9] Folch J, Lees M, Sloane-Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. J Biol Chem, 1957, 226(1): 497-509

[10] Coutron-Gambotti C, Gandemer G. Lipolysis and oxidation in subcutaneous adipose tissue during dry-cured ham processing [J]. Food Chemistry, 1999, 64(1): 95-101

[11] Molly K, Demeyer D, Civera T, et al. Lipolysis in a Belgian sausage: relative importance of endogenous and bacterial enzymes [J]. Meat Science, 1996, 43(3): 235-244

[12] Toldrá F. The role of muscle enzymes in dry-cured meat products with different drying conditions [J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(4): 164-168

[13] Tucker G, Words L.著.酶在食品加工中的应用[M].李雁群;肖功年译.北京:中国轻工业出版社,2002
Tucker G, Words L. Eds. Enzymes in food processing [M]. LI Yanqun; XIAO Gongnian Transl. Beijing: China Light Industry Press, 2002

[14] 徐岩,李建波,王栋.解脂假丝酵母脂肪酶的纯化及性质研究[J].无锡轻工大学学报,2001,20(3):257-260
XU Yan, LI Jian-bo, WANG Dong. Purif ication and properties of the lipase from candida lipolytica [J]. Journal of Wuxi University of Light Industry, 2001, 20(3): 257-260

[15] Qiu C, Zhao M, Sun W, et al. Changes in lipid composition, fatty acid profile and lipid oxidative stability during cantonese sausage processing [J]. Meat science, 2013, 93(3): 525-532

现代食品科技