

肉品中脂肪检测技术研究进展

王 毅¹, 陈红霞¹, 朱慧敏¹, 李洪军^{1,2,*}

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400716; 2. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400716)

摘 要: 脂肪是食品中重要的营养成分, 可供能量和必需脂肪酸, 可作为脂溶性维生素载体。肉品中脂肪含量与脂肪酸种类及其组成直接影响肉品的质量和风味。本文介绍动物油脂的相关概念, 重点论述肉品中脂肪的提取与检测方法, 以及气相色谱法、高效液相色谱法、薄层色谱法和红外光谱法在脂肪酸分析检测中的应用现状。

关键词: 肉; 脂肪; 脂肪酸; 检测方法

Recent Progress on Analytical Techniques for Fatty Acid Composition of Meat

WANG Yi¹, CHEN Hong-xia¹, ZHU Hui-min¹, LI Hong-jun^{1,2,*}

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400716, China)

Abstract: As an important nutrient in foods, fat can supply energy and essential fatty acids, and also can be a carrier of fat-soluble vitamins. The fatty acid composition of meat is directly associated with its quality and flavor. This paper describes relevant concepts for animal derived fat and focuses on a review of extraction and analytical techniques for meat fatty acid composition and the current status of application of gas chromatography (GC), high performance liquid chromatography (HPLC), thin layer chromatography (TLC) and infrared spectroscopy (IRS) to analyze meat fatty acid composition.

Key words: meat; fat; fatty acid; detection techniques

中图分类号: TQ641; TS221

文献标识码: A

文章编号: 1001-8123(2012)11-0031-05

脂肪是由甘油和脂肪酸组成的三酰基甘油酯, 脂肪酸按其饱和度可以分为三大类: 饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)、单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acid, MUFA)和多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA)。不同食品中脂肪所含脂肪酸的种类和含量不一样, 脂肪的性质和特点主要取决于其中的脂肪酸。自然界中含有多多种脂肪酸, 一般由4~24个碳原子组成, 且大多数脂肪酸含有偶数个碳原子, 这是因为它们通常是从乙碳单位生物合成的^[1-2]。

根据第1个双键的位置及营养学功能又将PUFA分为 $n-3$ 和 $n-6$ 系列, 其中 $n-3$ 系列有: 亚麻酸($C_{18:3}$)、DHA($C_{22:6}$)、EPA($C_{20:5}$)等; $n-6$ 系列有亚油酸($C_{18:2}$)、花生四烯酸($C_{20:4}$)等。大量研究表明, 食物中脂肪酸的种类、比例与人体的营养需求密切相关。其中PUFA/SFA与 $n-6/n-3$ 是公认的评价脂肪营养价值的两个重要指标, 人类营养学认为PUFA/SFA为0.45或稍微高于此值为佳^[3]。FAO/WHO建议PUFA中 $n-6/n-3$ 的摄入比为(5~10):1, 低比率有利于降低人体患慢性疾病的风险^[4]。

动物脂肪分为蓄积脂肪和组织脂肪两大类, 蓄积

脂肪包括皮下脂肪、肾周脂肪、大网膜脂肪及肌间脂肪等, 组织脂肪为肌内脂肪和脏器内脂肪。其中皮下脂肪、肌间脂肪和肌内脂肪对肉品的品质影响较大, 研究较为广泛^[5-6]。皮下脂肪一般比较容易分离, 可以直接测定, 而肌间脂肪和肌内脂肪不易直接测定, 需要先进行分离提取。

1 油与脂

油脂(lipid)是由链状羧酸和甘油形成的酯, 在室温条件下呈液态的称作油, 呈固态的称作脂。动植物油脂的主要区别在于其不饱和脂肪酸的含量, 一般认为动物油饱和脂肪酸含量高, 植物油不饱和脂肪酸含量高。但也有例外, 深海鱼油是动物油, 但其含有大量不饱和脂肪酸, 因而在室温条件下呈液态, 而植物油中的棕榈油和椰子油, 饱和脂肪酸含量则较多^[7]。

肉类脂肪含有20多种脂肪酸, 最主要的有4种: 硬脂酸和软脂酸2种饱和脂肪酸及油酸和亚油酸2种不饱和脂肪酸。不同畜禽肉脂肪含量有较大差距, 一般反刍动物

收稿日期: 2012-10-02

作者简介: 王毅(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为肉品科学。E-mail: princeyi@2008.sina.com

*通信作者: 李洪军(1961—), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉类科学与酶工程。E-mail: hongjunli1961@yahoo.com.cn



硬脂酸含量较高,而亚油酸含量低,这也是为什么牛羊脂肪较猪禽脂肪坚硬的主要原因^[8]。不同动物脂肪与花生油在脂肪酸含量和种类上的具体区别见表1^[9-12]。

表1 不同动物脂肪与花生油的区别
Table 1 Comparison between animal fats and peanut oil

种类	总脂肪 含量/%	肌内脂肪 含量/%	饱和脂肪 酸含量/%	不饱和脂肪 酸含量/%	PUFA/SFA	n-6/n-3
牛	12	3.4	45	51	0.19	8.9
羊	20	7.9	47	52	0.15	12.6
猪	27	5.6	38	60	0.36	21.9
鸡	8	1.8	33	62	0.84	15.8
兔	9	2.0	39	60	0.85	7.1
花生	45		19	80	1.33	8.6

2 脂肪对肉品品质的影响

肉品中脂肪含量和脂肪酸种类及其组成直接影响肉品的质量和风味。脂类化合物在酶作用或加热条件下发生水解,释放出游离脂肪酸,游离脂肪酸增多会加速脂肪氧化酸败^[13]。脂类氧化是肉品变质的主要原因之一,它使肉品产生各种异味和臭味,还会降低食品的营养价值,某些氧化产物可能具有毒性。所以研究和控制脂类氧化对保证肉品品质有重要意义。

对肉品的风味形成途径Motttram^[14]已经作了很好的综述,主要是加热过程中由脂肪分解和美拉德反应形成的。在猪肉的挥发物中,碳氢化合物、醛酮、脂肪酸和酯等,通常由脂质的降解和氧化作用,或它们的进一步反应产生。

3 脂肪的检测方法

不同种类的食品,由于其脂肪含量及存在形式不同,因此测定脂肪的方法也就不同。我国现行的脂肪测定国家标准方法见表2。

表2 我国现行国家标准中脂肪测定方法
Table 2 Analytical methods for fat currently used in China

标准号	标准名称	方法
GB/T 5009.6—2003	食品中脂肪的测定	索氏抽提法、酸水解法
GB/T 14772—2008	食品中粗脂肪的测定	索氏抽提法
GB/T 22110—2008	食品中反式脂肪酸的测定	气相色谱法
GB/T 22223—2008	食品中总脂肪、饱和脂肪(酸)、不饱和脂肪(酸)的测定	水解提取-气相色谱法
GB/T 9695.1—2008	肉与肉制品 游离脂肪含量测定	索氏抽提法
GB/T 9695.2—2008	肉与肉制品 脂肪酸测定	三氟化硼甲酯化法
GB/T 9695.7—2008	肉与肉制品 总脂肪含量测定	酸水解-索氏抽提法
GB/T 17376—2008	动植物油脂 脂肪酸甲酯制备	三氟化硼法、三甲基氢氧化硫酸法、酯交换法
GB/T 17377—2008	动植物油脂 脂肪酸甲酯的气相色谱法分析	GC-MS
GB/T 5512—2008	粮油检验 粮食中粗脂肪含量测定	索氏抽提法、直滴式抽提法、萃取仪法
GB 5413.27—2010	食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中脂肪酸的测定	乙酰氯-甲醇甲酯化法、氨水-乙醇提取法
GB 5413.36—2010	食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中反式脂肪酸的测定	氨水-乙醇提取-氢氧化钾甲酯化法

3.1 脂肪的提取与测定

3.1.1 提取剂的选择

脂类的结构比较复杂,目前没有任何一种溶剂能将纯脂肪萃取出来,也就是说提取出来的都是粗脂肪。脂类不溶于水,易溶于有机溶剂,提取脂类大多采用低沸点的有机溶剂,因为提取温度不能超过溶剂沸点,却又要接近此沸点,这样提取效果才好,但高温又会使低级脂肪酸挥发损失,从而影响结果。常用的溶剂有乙醚、石油醚、氯仿-甲醇混合溶剂,其中乙醚沸点最低,溶解脂肪的能力强,应用最广泛。常用脂肪提取剂的区别见表3^[15-17]。

表3 不同有机溶剂的区别
Table 3 Comparison among different organic solvents

有机溶剂	沸点/℃	溶解性	安全性
甲醇	64.8	溶于水、有机溶剂	易挥发、刺激性、易燃易爆、有毒
乙醇	78.4	溶于水、有机溶剂	易挥发、刺激性、易燃易爆
三氯甲烷	61~62	非极性、不溶于水	易挥发、低毒、致癌
乙醚	34.6	非极性、可被2%水饱和	极易挥发、刺激性、易燃易爆、低毒
石油醚	30~60	不溶于水	易挥发、强刺激性、易燃易爆、低毒
苯	80.1	微溶于水	易挥发、易燃易爆、低毒、致癌
正己烷	68.74	不溶于水	易挥发、刺激性、易燃易爆、低毒
正庚烷	98.5	不溶于水	易挥发、刺激性、易燃易爆、低毒
异辛烷	99.3	不溶于水	易燃易爆、刺激性、低毒

3.1.2 索氏抽提法^[18]

在索氏抽提器中将样品用无水乙醚或石油醚等溶剂反复萃取,提取样品中的脂肪后,蒸去溶剂,所得物质即为脂肪或称粗脂肪。抽提法所测得的脂肪为游离脂肪。具体操作步骤参照GB/T 5009.6—2003、GB/T 14772—2008及GB/T 9695.1—2008等。

索氏抽提法适用于脂类含量较高,结合态脂类(磷脂、脂蛋白等)含量较少,能烘干磨细,不宜吸湿结块的样品的测定。但某些湿润、黏稠状态的食品,添加无水硫酸钠混合分散后也可使用此法。此法是经典方法,对大多数样品结果比较可靠,但抽提周期长(6~12h),溶剂耗量大。



3.1.3 酸水解法^[19]

某些食品中,脂肪被包含在食品组织内部,或与食品成分结合而成结合态脂类,如粮谷、焙烤食品等组织中包含的脂类,用索氏抽提法不能完全提取出来。必须用强酸将淀粉、蛋白质、纤维素水解,使脂类游离出来,再用有机溶剂提取。AOAC 996.06亦采用此法。具体操作步骤参照GB/T 5009.6—2003、GB/T 22223—2008和GB/T 9695.7—2008等。

酸水解法适用于各类食品总脂肪的测定,特别对于易吸潮、结块、难以干燥的食品应用此法测定效果较好,但此法不宜用于高糖类食品,因糖类食品遇强酸易炭化而影响测定效果。应用此法,脂类中的磷脂,将几乎完全分解为脂肪酸及碱,当用于测定含大量磷脂的食品(鱼、蛋及其制品)时,测定值将偏低。

3.1.4 氯仿-甲醇浸提法^[20-21]

在一定的水分存在下,极性的甲醇与非极性的氯仿混合溶液(简称CM混合液)在使试样组织中结合态脂类游离出来的同时与磷脂等极性脂类的亲合性增大,从而有效地提取出全部脂类。配合超声波、微波处理效果更佳。此法对于高水分生物试样如鲜肉、水产品等脂类的测定更为有效。干燥试样可在试样中加入一定量的水,使组织膨润后再提取。此法方便快捷,应用广泛。

3.1.5 巴布科克法改进法

巴布科克法(Babcock法)是用来测定乳及乳制品的一种方法,它是利用硫酸溶解乳中的乳糖、蛋白质等非脂成分使脂肪球膜破坏,脂肪游离出来,在乳脂瓶中直接读取脂肪层,从而迅速计算出被检乳中的脂肪率。

近来在有些科技书中,将Babcock法加以改进,用来测定肉制品和谷物类样品。用浓硫酸作为蛋白质的溶解剂,测定肉制品时会发生炭化,这些碳化物悬浮在脂肪层和水层的界面间,会造成读数不准确,因此,研究认为利用高氯酸-醋酸混合液代替硫酸,测定肉及肉制品的脂肪,测定值较为准确。

3.2 脂肪酸组分分析

3.2.1 气相色谱法(GC/GC-MS)

国家标准GB/T 22110—2008、GB/T 22223—2008、GB/T 9695.2—2008、GB/T 17377—2008、GB 5413.27—2010及GB 5413.36—2010中均使用气相色谱法对脂肪酸的种类和含量进行检测分析。肉品中脂肪酸含量的测定方法主要是将提取出的游离脂肪在三氟化硼催化下,进行甘油酯的皂化和游离脂肪酸的酯化,生成脂肪酸甲酯,经毛细管气相色谱柱,以保留时间定性,内标法或外标法定量测定脂肪酸甲酯含量。缺点是样品前处理过程复杂,耗时长(3~6h)、耗材多^[22-23]。

Forrester-Anderson等^[24]采用GC-MS测定3种兔肉脂肪酸含量,样品为出生和饲养都在草地上(O/O型)、出生和

饲养都在室内笼子里(I/I型)与出生在笼子里而饲养在草地上(I/O型)3种兔子在饲养104d后宰杀取得的背最长肌。采用AOAC标准方法测定脂肪含量和脂肪酸组成。结果表明,与I/I型相比,其他兔肉总脂肪含量较低,但n-3系列不饱和脂肪酸DHA、DPA、EPA含量较高。

黄业传等^[25]采用气相色谱法测定猪肉脂肪酸组成,以荣昌猪4个不同部位(肩颈肉、肋腹肉、背最长肌和股二头肌)的肌肉为原料,对比四者脂肪含量和肌内总脂、甘油三酯、磷脂、游离脂肪的脂肪酸组成。脂肪酸的定性采用与标品的保留时间进行对比,定量采用面积归一化法。结果表明4部位肌内总脂和甘油三酯含量有显著差异($P<0.05$),而磷脂和游离脂肪酸的含量差异不显著($P>0.05$);4部位总脂肪酸和游离脂肪组成有显著差异($P<0.05$),而甘油三酯和磷脂的脂肪酸组成差异不显著($P>0.05$)。

3.2.2 高效液相色谱法(HPLC)

采用高效液相色谱法测定脂肪,须先将脂肪从样品中提取出来,并使甘油三酯分离,再对其甲酯化,通过检测有效碳原子数和保留指数之间的相关关系来测定甲酯化的脂肪酸含量。HPLC不仅能测定脂肪酸的含量,还可以同时测出各种脂肪酸在丙三醇中的位置分布情况,此法准确性和重现性好,但样品准备过程复杂,耗时长^[26-27]。

Rodríguez-Castañedas等^[28]采用Ag⁺ HPLC测定羊奶脂肪中共轭亚油酸(CLA)异构体的含量,CLA甲酯在Ag⁺ HPLC色谱柱中分离,外加CLA标品制曲,由峰面积定量。*cis*-9、*trans*-11异构体的相对标准误差(RSD)为2.14%,而其他CLA异构体的RSD为2.08%~7.5%。*cis*-9、*trans*-11CLA甘油酯测定的重现性高达96%,采用HPLC分析测定不同CLA异构体方便快捷、用量少、重复性好。

赵海珍等^[29]采用高效液相色谱法(HPLC)测定猪油甘油三酯中的脂肪酸组成及其位置分布。利用sn-1,3位专一性脂肪酶对甘油三酯sn-1,3位上的脂肪酸进行水解,形成sn-2位甘油一酯和游离脂肪酸,再通过甘油三酯中脂肪酸总含量与sn-1,3位上的脂肪酸含量之间的差值计算出sn-2位上的脂肪酸含量。甲酯化后进行HPLC分析。结果表明,猪油甘油三酯中的脂肪酸主要是棕榈酸和油酸(分别占总量的26.61%和43.18%),其中油酸主要分布在sn-1,3位上,而棕榈酸分布在sn-2位上。

3.2.3 薄层色谱法(TLC)

薄层色谱(thin layer chromatography, TLC)又称薄层层析,是一种吸附薄层色谱分离法。它利用各成分对同一吸附剂吸附能力不同,使在移动相(溶剂)流过固定相(吸附剂)的过程中,连续的产生吸附、解吸附、再吸附、再解吸附,从而达到各成分互相分离的目的^[30-31]。TLC是快速分离和定性分析微量物质的一种很重要的实验技术。TLC常被用于分析食品中脂肪酸、类固醇、氨

基酸、核苷酸等物质。但是该法单独应用无法定量，常常与检测器联用。比如配有FID检测器的薄层色谱扫描仪应用广泛。

Fontecha等^[32]采用AgNO₃-TLC和GC-MS分析测定羊奶脂肪组分。样品脂肪以碳链长度的不同在AgNO₃-TLC上分离开，再用GC-MS检测分析。总脂肪图谱中检测出124个峰，含量大于1%的30个峰占总脂肪的70%。整个羊奶脂肪中检测出137种物质，其中50%是饱和脂肪酸酯、30%是单不饱和脂肪酸酯、20%是多不饱和脂肪酸酯。其中含量最多的是中链甘油酯，包括C₈、C₁₀、C₁₂和C_{18:1}。

姚婷^[33]采用棒状薄层扫描仪分析测定4种淡水鱼(鲫鱼、包头鱼、桂鱼、黑鱼)和6种海水鱼(鲳鱼、秋刀鱼、虹鳟鱼、刺鲃、鳕鱼、小带鱼)的脂类成分。用氯仿-甲醇混合液浸提萃取后旋转蒸发，称质量得总脂肪含量。再用棒状薄层扫描仪扫描已点样的色谱棒得到各样品脂肪分离的TLC-FID薄层图谱。结果表明，总脂肪含量为从包头鱼的1.7%到秋刀鱼的27.7%，淡水鱼和海水鱼脂肪的主要成分是胆固醇酯、甘油三酯、磷脂，淡水鱼中还含有甾醇类，不同品种间均存在显著性差异($P < 0.001$)。

3.2.4 红外光谱法(IRS)

红外吸收光谱分析(infrared absorption spectroscopy, IRS)，简称红外光谱，广泛应用于对物质化学组成的分析，它是根据光谱中吸收峰的位置与形状来推断未知物结构，依照特征吸收峰的强度来测定混合物中各组分的含量，方便快捷、灵敏度高、试样用量少、能分析各种形态的试样^[34-35]。其中近红外光谱(NIRS)是利用分析波长略高于可见光的近红外线(780~2500nm)进行无损伤快速的定性定量分析，在果蔬、肉乳化学组成、物理特性及其定性鉴别上应用广泛。

Guy等^[36]采用NIRS在400~2500nm对羊肉中脂肪酸组成进行测定，以验证NIRS对测定脂肪酸组成的可行性。处理样品为76头公羊(其中32头是食草放养的，44头是饲料圈养的)的背最长肌。测定结果表明，对放养羊脂的测定准确率要优于圈养羊脂，NIRS能较准确地测定几种单体脂肪酸(16:0、18:0、16:1 $\Delta 9$ *cis*、17:1 $\Delta 9$ *cis*、18:1 $\Delta 11$ *cis*、和16:1 $\Delta 9$ *trans*)和几个脂肪酸总量(总直链脂肪酸、总支链脂肪酸、总饱和脂肪酸、总多不饱和脂肪酸)等。结果证明NIRS作为一个快速便捷的检测方法对测定羊肉脂肪酸效果明显。

Pla等^[37]用NIRS在1100~2498nm测定兔肉脂肪酸含量来鉴别传统兔肉和有机兔肉，处理样品为119只兔后腿，另外将104只兔后腿用气相色谱法做对比研究，用光谱分析程序处理数据并建立一个定标统计模型。内部验证决定系数 $R^2=0.92$ ，NIRS能准确测定绝大多数脂肪酸，检测结果表明，与传统兔肉相比，有机兔肉单不饱和脂肪酸含量较低(30.54% < 34.64%)，多不饱和脂肪酸含量

较高(27.28% > 23.66%)，但饱和脂肪酸含量相近(42%)。这个鉴别数据模型的区分准确度高达98%。

4 结 语

脂肪是肉品中不可或缺的营养成分，脂肪酸的组成(PUFA/SFA、*n-6/n-3*)是衡量肉品营养价值的重要指标，所以对脂肪及其脂肪酸进行检测分析意义重大。国内外测定脂肪含量及脂肪酸组成的方法、标准有很多，但应用广泛的如上所述，这些方法各有其适用范围及优缺点，需要使用者根据样品特性、精度要求酌情选用。除此之外，脂肪组织中甘油三酯、磷脂、游离脂肪酸等的分离测定也是当前研究所不可缺少的，但尚无统一标准方法，多采用物理萃取法与化学萃取法两种，其中固相萃取柱洗脱分离应用广泛^[38-39]。总之，作为人体三大产能营养素之首，脂肪的作用无以取代，方便快捷、准确智能的脂肪测定技术是大势所趋。

参考文献:

- [1] 周光宏, 张兰威, 李洪军, 等. 畜产食品加工学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002: 25-31.
- [2] 罗建学. 羊肉脂肪酸的研究概况[J]. 肉类研究, 2010, 24(1): 12-15.
- [3] 张伟力, 曾勇庆. 猪肉肌肉脂肪测量方法及其误差分析[J]. 猪业科学, 2008(7): 102-103.
- [4] DALLE ZOTTE A, SZENDRO Z. The role of rabbit meat as functional food[J]. Meat Science, 2011, 88: 319-331.
- [5] 葛长荣, 马美湖. 肉与肉制品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009: 27-31.
- [6] 马力. 食品化学与营养学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 82-128.
- [7] 黄启超. 猪肉脂肪概念及其测定方法研究[J]. 食品科技, 2006(8): 134-138.
- [8] 黄业传. 不同处理条件下猪肉脂肪酸组成变化及脂肪对猪肉风味作用的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.
- [9] 阳丽芝, 陈志伟. 牛奶中脂肪检测技术研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(1): 270-273.
- [10] ENSER M, HALLETT K, HEWITT B, et al. Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork retail[J]. Meat Science, 1996, 42: 445-456.
- [11] INDRASTI D, CHE MAN Y B, MUSTAFA S, et al. Lard detection based on fatty acids profile using comprehensive gas chromatography hyphenated with time-of-flight mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2010, 122: 1273-1277.
- [12] 侯冬岩, 回瑞华, 李铁纯, 等. 黑花生和白花生中脂肪酸成分的比较[J]. 食品科学, 2011, 32(2): 177-179.
- [13] 陈银基. 不同影响因素条件下牛肉脂肪酸组成变化研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2004.
- [14] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.
- [15] PETER K, VOLLHARDT C, SCHORE N E. Organic chemistry: structure and function[M]. Hampshire England: Palgrave Macmillan Limited, 2010: 621-730.
- [16] 汪小兰. 有机化学[M]. 4版. 北京: 高等教育出版社, 2005: 34-51.
- [17] 赵士铎. 普通化学[M]. 3版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 23-47.



- [18] AOAC. Official Method 996.06 Fat (total, saturated, and unsaturated) in foods[S]. 2001.
- [19] 黄业传, 李洪军, 吴照民, 等. 猪肉烤制过程中脂肪含量和脂肪酸组成的变化[J]. 食品科学, 2011, 32(24): 213-219.
- [20] 李鹏, 王存堂, 张徐兰. 白牦牛肉脂肪酸组成及分析[J]. 肉类工业, 2007(9): 21-23.
- [21] FOLCH J, LEES M, SLOANE STANLEY G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [22] 徐竞. 兔肉脂肪酸组成的气相色谱法分析[J]. 肉类工业, 2009(4): 31-33.
- [23] ADAHCHOUR M, BEENS J, BRINKMAN U A, et al. Recent developments in the application of comprehensive two-dimensional gas chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 2008, 1186: 67-108.
- [24] FORRESTER-ANDERSON I T, McNITT J, WAY R, et al. Fatty acid content of pasture-reared fryer rabbit meat[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19: 715-719.
- [25] 黄业传, 李洪军, 吴照民, 等. 不同部位荣昌猪肉中脂肪含量和脂肪酸组成对比[J]. 食品科学, 2011, 32(22): 216-220.
- [26] 韩瑞丽, 马健, 张佳, 等. HPLC-ELSD与GC-MS法测定牛乳甘油三酯sn-2位脂肪酸组成[J]. 分析测试技术与仪器, 2009, 15(1): 30-34.
- [27] LESNEFEKY E J, STOLL M S K. Separation and quantitation of phospholipids and lysophospholipids by high-performance liquid chromatography[J]. Analytical Biochemistry, 2002, 285: 246-254.
- [28] RODRÍGUEZ-CASTAÑEDAS J L, PEÑA-EGIDO M J, GARCIA-MARINO M, et al. Quantitative determination of conjugated linoleic acid isomers by silver ion HPLC in ewe milk fat[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24: 1004-1008.
- [29] 赵海珍, 陆兆新, 别小妹, 等. 高效液相色谱法测定猪油甘油三酯中的脂肪酸位置分布[J]. 色谱, 2005, 23(2): 142-145.
- [30] 杨勤萍, 徐国梁, 施邑屏, 等. 高效液相色谱及薄层色谱分析蔗糖脂肪酸酯[J]. 分析测试学报, 1999, 18(1): 28-30.
- [31] KHAN M, WILLIAMS J P. An improved TLC method for the separation of major phospholipids and glycolipids from plant extracts and phosphatidylglycerol and bis-(monoacylglycerol) phosphate from animal lipid extracts[J]. J Chromatop, 1977, 140: 179-185.
- [32] FONTECHA J, RIOS J J, LOZADA L. Composition of goat's milk fat triglycerides analysed by silver ion adsorption-TLC and GC-MS[J]. International Dairy Journal, 2000, 10: 119-128.
- [33] 姚婷. 棒状薄层扫描仪在鱼脂类成分分析中的应用[C]//食品安全监督与法制建设国际研讨会暨第二届中国食品研究生论坛论文集. 杭州: 浙江工商大学出版社, 2005.
- [34] 朱明华. 仪器分析[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2000: 286-316.
- [35] TAKANON S, GOU N, HU Yaohua, et al. Detection of fatty acid composition in intramuscular fat of packed pork loin by near infrared spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(8): 2079-2082.
- [36] GUY F, PRACHE S, THOMAS A, et al. Prediction of lamb meat fatty acid composition using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) [J]. Food Chemistry, 2011, 127: 1280-1286.
- [37] PLA M, HERNANDEZ P, ARINO B, et al. Prediction of fatty acid content in rabbit meat and discrimination between conventional and organic production systems by NIRS methodology[J]. Food Chemistry, 2007, 100: 165-170.
- [38] JUANEDA P, ROCQUELIN G. Rapid and convenient separation of phospholipids and nonphosphorus lipids from rat heart using silica cartridges[J]. Lipids, 1985, 20(1): 40-41.
- [39] GANDEMER G, MORVAN-MAHI B, MEYNIER A, et al. Quantitative and qualitative analysis of free fatty acids in meat products using ion exchange resin[C]// Proceedings of 37th Congree of Meat Science and Technology. Kulmbach, 1991: 1139-1142.