

# 气相色谱及其联用技术在肉品检测中的应用进展

## Application progress of gas chromatography and its hyphenated technology in meat products

叶永丽<sup>1</sup> 赫欣睿<sup>1</sup> 陈士恩<sup>1</sup> 扈晓鹏<sup>2</sup> 马忠仁<sup>1,3</sup>

YE Yong-li<sup>1</sup> HE Xin-rui<sup>1</sup> CHEN Shi-en<sup>1</sup> HU Xiao-peng<sup>2</sup> MA Zhong-ren<sup>1,3</sup>

(1. 西北民族大学生命科学与工程学院, 甘肃 兰州 730030; 2. 天津科技大学食品工程与生物技术学院, 天津 300457; 3. 甘肃省动物细胞工程技术研究中心, 甘肃 兰州 730030)

(1. College of Life Sciences and Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou, Gansu 730030, China; 2. Faculty of Food Engineering and Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China; 3. Animal Cell Engineering & Technology Research Center of Gansu, Lanzhou, Gansu 730030, China)

**摘要:**气相色谱作为一门发展成熟的技术在物质组分及含量分析方面得到了广泛应用,该技术具有简便、快速等优点,是食品营养组分及质量安全分析的主要技术之一。文章对气相色谱及其联用技术在肉及肉制品中营养成分分析、风味物质、新鲜度、农药和兽药残留、环境富集和加工过程中产生的有毒化合物检测几个方面的应用进行综述,并对其在肉类检测方面的应用前景进行展望。

**关键词:**气相色谱;肉及肉制品;联用技术;检测

**Abstract:** As a mature technology, gas chromatography has been widely used in analysis of composition and content of material, and it is also promising for analysis of food nutrition components and quality and security as it is easy, fast to use. The application of gas chromatography and its hyphenated technology in nutrition ingredient analysis, flavor compound, freshness, pesticide and veterinary residue, and toxic chemical from environment and process of meat and meat products are reviewed, and then prospected its perspective applications in meat detection.

**Keywords:** gas chromatography; meet and meat products; hyphenated technology; detection

在动物饲养、屠宰到加工、贮藏过程中,由于饲养管理不当或因不良条件会引发自身成分发生转化等,导致肉及肉制品变质,营养价值降低,甚至含有外来的或者自身合成的有毒有害物质,影响食用安全性。随着消费水平和消费意识的

提高,人们越来越重视肉品的营养要求和品质安全。而传统的农兽药残留、有毒化合物、营养成分分析等各种肉类质量安全检测方法中,如微量扩散法、索氏抽提法、斑点半定量法等,灵敏度和准确度不高,重复性、定量效果较差<sup>[1-2]</sup>。因此需要一种既可以反映肉品品质,又可以满足简便、准确定量分析的检测评价技术,实现对肉品质量、有害物质残留等的检测。

气相色谱(gas chromatography, GC)是根据待检物质的沸点、极性和吸附性质的差异来分离混合物的一种仪器分析方法<sup>[3]</sup>。由于具有技术成熟、检测灵敏度高、物质分离效果好、选择性高、方便快捷等特点,气相色谱在食品<sup>[4-5]</sup>、制药<sup>[6-8]</sup>、石油化工<sup>[9-10]</sup>、环境检测<sup>[10-12]</sup>等众多行业中均有着广泛的应用。文章综述了气相色谱及其联用技术在肉及肉制品中营养成分分析、肉品安全卫生检测等方面的应用,以期为该技术在肉品行业检测中发挥更大的作用提供参考。

### 1 气相色谱及其联用技术

在对气相色谱的研究过程中产生了一些新的技术,如快速气相色谱、制备气相色谱、微型气相色谱、多维气相色谱、顶空气相色谱、裂解气相色谱等<sup>[13-18]</sup>。随着相关技术的普及,国内外生产不同类型和不同用途的气相色谱仪的规模增加,但中国气相色谱仪的使用情况仍不乐观。据傅若农<sup>[19]</sup>对中国发表的涉及气相色谱或者气相色谱—质谱(GC—MS)设计的论文统计结果显示国产仪器的使用只占1.5%,而美国产安捷伦(Agilent)的使用量将近2/3。

气相色谱自1952年问世以来,在技术上的创新已取得了巨大的成就,并且在各领域中的应用范围也越来越广。其与质谱、光谱等其它分析设备的联用在复杂混合物的分析中显示出更高的灵敏度、更优的选择性以及适用性。气相色谱联用技术能够弥补单纯气相色谱的不足。目前应用较多的气相色谱联用技术除气相色谱—质谱(GC/MS)外,固相微

**基金项目:**甘肃省农牧厅现代农业生产发展资金(编号:[2014]349号);教育部创新团队发展计划(编号:IRT13091);西北民族大学研究生科研创新项目(编号:Yxm2014185)

**作者简介:**叶永丽(1990—),女,西北民族大学在读硕士研究生。  
E-mail: yylhxp@163.com

**通讯作者:**陈士恩

**收稿日期:**2015-09-01

萃取—气相色谱联用(SPME—GC)、气相色谱—傅立叶变换红外光谱联用(GC/FTIR)、气相色谱—原子光谱联用(GC/AS)等<sup>[20]</sup>的应用也较广泛。由于研究对象的复杂性,简单的两种技术联用已不能满足分析需求,进而出现了气相色谱与多种精密仪器联用的应用,且这一趋势成为气相色谱技术应用的主流。

## 2 气相色谱及其联用技术在肉与肉制品分析中的应用进展

### 2.1 在肉品营养成分分析中的应用

肉及肉制品是蛋白质、氨基酸、脂肪酸等必需营养成分的主要来源之一。氨基酸作为营养来源,在肉风味贡献上也起着重要作用,如谷氨酸、甘氨酸、丝氨酸等鲜味氨基酸是形成畜禽肉香味的前提物质<sup>[21]</sup>。肌内脂肪含量及组成对肉的嫩度、风味、多汁性、适口性等有重要影响,如磷脂赋予了肉品细嫩多汁和良好口感的品质,且可通过化学反应使得其挥发性产物的构型发生改变而影响肉制品的风味<sup>[22]</sup>。营养成分的平衡摄取,对机体健康及发育有重要意义,例如饱和脂肪酸和反式脂肪酸过量摄取会提高冠心病的发病率,而 $\omega$ -3、 $\omega$ -6系列不饱和脂肪酸则能降低该病发病率<sup>[23]</sup>。因而对肉品中营养成分及其含量进行定量,不但可为营养膳食提供参考,而且对研究肉品保藏方法、降低肉品在保藏过程中营养价值损耗程度等也均有意义。

GC法是最常用的脂肪酸分析技术,与液相色谱法(PLC)相比,其样品前处理简便、耗时短。皮立等<sup>[24]</sup>采用三氟化硼—甲醇法对青海欧拉羊背最长肌肉中的脂肪进行甲酯化,GC—MS技术检测脂肪酸组分及含量,结果共检测到17种脂肪酸,建立的方法分离效果好,精确度高。Cividini A.等<sup>[25]</sup>采用气相色谱法探讨了放牧/圈养方式以及哺乳期/断奶期对羔羊背最长肌肌内脂肪酸组成的影响,而Lopes L. S.等<sup>[26]</sup>也采用该法探讨了3种不同基因型和3种不同饲养方式对山羊肉质量和脂肪酸组成的影响,所建立的方法精密度和灵敏度高,检出限低,方法具有可行性和实用性。

GC法在分析氨基酸中有自身的优势,如高分辨率、分析速度快、成本比HPLC法低等<sup>[27]</sup>。氨基酸在GC分析前必须进行衍生化,以保证其进样成分具有挥发性<sup>[28]</sup>。Pérez-Palacios T.等<sup>[27]</sup>采用GC—MS技术检测了鳕鱼、虾米、牛肉、猪肉等样品中的游离氨基酸组成和含量,在优化前处理条件的基础上,对19种氨基酸进行了定量,检出限为 $2.0 \times 10^{-5} \sim 1.8 \times 10^{-1} \mu\text{g}/\mu\text{L}$ ,回收率为82.99%~115.77%,精确度好。该方法可应用于解冻及油炸样品中游离氨基酸的检测。但GC分析方法由于常用衍生化剂而不稳定或者柱吸附能力太强而不能检测高分子量氨基酸,加之氨基酸分析前处理步骤耗时、繁琐的缺点,限制了该法在氨基酸检测分析中的广泛应用。此外,GC法及其联用技术还可应用于糖类、维生素等检测中<sup>[5]</sup>。

### 2.2 肉品中风味物质的检测

当前已有各种技术如GC与MS或FID联用应用于测定熟肉的挥发性风味物质。其中,水蒸气同步蒸馏提取(SDE)、动态顶空夹带 Tenax TA、以及固相微萃取(SPME)是提取熟肉中风味物质的常用技术。这些技术单独使用不能确定所检

组分的香味或其特征,但与GC/MS或气—固色谱(GSC)/FID联用则可有效检测肉样中的挥发性风味物质。结合两种或多种技术进行风味成分测定已有报道,如气相色谱法和嗅觉测量法结合(GC/O)<sup>[29]</sup>。结合模拟人嗅觉的高灵敏度和选择性的仪器使用,使得GC在风味化学上成为一种强有力的、意义深远的技术手段。近年来,GC/O成为测定熟肉挥发性风味物质气味特征强度的主要技术之一<sup>[30]</sup>。

王霞等<sup>[31]</sup>在采用电子鼻对经不同温度处理的黄鳍金枪鱼肉和新鲜鱼肉进行主成分分析的基础上,进一步用顶空固相萃取气相色谱—质谱联用方法对生鲜的以及经95,150℃处理的3种鱼肉挥发性风味物质进行分析,结果表明,3种样品分别检测到了52,50,53种组分,并发现黄鳍金枪鱼生肉中如1-戊烯-3-醇、1,5-辛二烯-3-醇等腥味组分较多,而热处理的鱼肉中具有特殊香气的长链醛类和吡嗪类物质相对含量增加。Yang Yuan-fan等<sup>[32]</sup>采用气相色谱—质谱法对福州鱼露挥发组分进行分析,试验共检测到鱼酱中挥发性组分22种,方法的精确度和灵敏度高。Hajaratul N. M.等<sup>[33]</sup>也采用GC—MS技术,考察DB-WAX和HP-5MS色谱柱对Budus鱼酱特殊芳香起主要作用的挥发性组分分离效果,结果显示两种柱均可检测到30种组分,其中共同检测到的组分为16种,表明两种柱均适用于鱼酱挥发性组分的分析测定。与其它技术相比,对其挥发性风味物质组分的检测,气相色谱技术优势明显,特别是近年来样品萃取技术的发展,气相色谱及其联用技术成为这方面检测的首选方法。

### 2.3 肉品新鲜度检测

肉制品在微生物和酶的作用下,其脂肪、蛋白质等组分会分解而导致腐败变质,品质下降。传统的肉品新鲜度评价很大程度上存在个人主观差异,而气相色谱法可根据肉品在存放过程中产生的挥发性成分以及降解产物等进行定量检测,从而对肉及肉制品的新鲜程度作出量化的判断。

猪肉和水产品中含氧化三甲胺,其在酶、微生物的作用下分解成三甲胺和二甲胺,肉品新鲜度下降的同时,生成三甲胺的量也增加<sup>[34]</sup>。传统检测三甲胺含量的方法在特异性、精密度和灵敏度上较低,且样品处理过程复杂。胡彩虹等<sup>[35]</sup>在考察样品处理条件的基础上,采用气相色谱法对猪肉、带鱼、沼虾中的三甲胺进行检测,其操作简便、样品重现性好。洪兆鹏等<sup>[36]</sup>以新鲜猪肉为样品,采用固相微萃取—气相色谱—质谱(HS—SPME—GC—MS)方法,探讨了在4℃下随冷藏时间的延长其挥发性物质的组分和含量变化情况,以此对猪肉的新鲜度作出评价,结果显示随着冷藏时间的延长,猪肉中的挥发性组分变化明显,由于微生物代谢使得烷烃类和醇类含量增多,时间在4d以上时,蛋白质分解程度明显,样品中可检测到硫氢甲烷、3-甲硫基丙烯等含硫化合物,表明样品已经腐败。

### 2.4 肉品中农药残留的检测

农药作为控制病虫害、提高农作物收率的重要手段之一,在农业生产中起着重要作用。而由于农药的大量使用,加之其降解速度慢,使得动植物和生态环境受到不同程度的污染,并通过食物链的富集作用,对人类生命健康造成威胁,因而对农残进行准确测定意义重大。采用常规的样品前处理方法,操作繁琐,有毒溶剂使用量大,检测设备灵敏度低,

从安全角度出发,建立并推广灵敏度和精密度高、选择性好的农药残留分析方法具有必要性。

吴刚等<sup>[37]</sup>以乙腈为提取溶剂,采用加速溶剂萃取(ASE)法提取目标物,毛细管气相色谱法进行组分分离,磷型火焰光度检测器(P-FPD)检测,分析猪肉、牛肉、鸡肉和鱼肉中的 36 种有机磷农药残留量。结果表明,前处理净化效果好,杂质干扰少,分离效果好。此外,该课题组以微池电子捕获检测器( $\mu$ -ECD)代替 P-FPD,测定动物源性食品中的 50 种电负性残留农药含量,其最低检出限范围为 0.04~2.60  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。以牛肉作试样测定回收率,农药添加浓度为 0.05~0.20  $\text{mg}/\text{kg}$  时,回收率为 61.4%~112.7%,回收效果好。

Chris A. 等<sup>[38]</sup>利用气相色谱—质谱串联建立了一种简便的动物产品中脂溶性农药残留检测方法。以脂肪含量较高的猪肉为待检肉样,萃取过程参考 Payá P 等<sup>[39]</sup>建立的 QuEChERS 方法,可检测样品中有机氯、有机磷、拟除虫菊酯类、苯三唑等数十种农药,该方法的平均回收率为 70%~120%,检出限为 3  $\mu\text{L}/\text{kg}$ ,准确度、精确度和线性度高。Otonello G. 等<sup>[40]</sup>采用加速溶剂萃取—固相萃取柱净化—气相色谱—质谱(ASE—SPE—GC—MS)法对鲈鱼、巨鲈、海鲂、鳎目鱼体内的 18 多氯联苯(PCBs)进行检测,结果发现,最低检出限为 PCB28(0.4  $\text{ng}/\text{g}$  脂肪重),线性关系( $R^2 > 0.994$ )和回收率(80%~110%)较好。气相色谱及其联用技术检测农残已成为一种常规方法,但简便、成本低、精确度高、对操作者安全有保障的前处理技术探究是推广其在农残检测中应用的关键所在。

## 2.5 肉品中兽药残留检测

为提高经济收益,一些不法商家在饲养畜禽时无节制使用兽药、禁用添加剂,导致畜禽产品中抗生素、激素等残留严重。若长期摄入这些物质,会致机体产生急性、慢性中毒甚至“三致”效应。动物源性食品中兽药残留的状况和检测技术已成为世界各国关注的焦点之一。气相色谱及其相关联用技术测定肉品中兽药残留,具有灵敏高、重复性好、准确度高等优点。

Zehra 等<sup>[41]</sup>利用 GC—MS 法对由 ELISA 法从 55 份牛肉样品中筛选得到 21 份潜在含克伦特罗的样品进行验证,结果显示其中 1 份样品为阳性。赵枫霞等<sup>[42]</sup>认为与 HPLC 法相比,GC—MS 法检测克伦特罗的灵敏度更高,假阳性率更低。刘国祥等<sup>[43]</sup>采用 GC—MS 技术对鸡肉组织中氯羟吡啶的含量进行测定,结果发现,该方法不仅优于气相色谱法、液相色谱—质谱法,具有简单、灵敏、重现性好的优点,而且其检出限(0.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ )远低于中国无公害食品禽肉中所规定的氯羟吡啶残留量(0.05  $\text{mg}/\text{kg}$ )。宫向红等<sup>[44]</sup>建立了一种 GC—MS 检测水产品中己烯雌酚激素残留的方法,以鳗鱼和虾为样品进行方法回收率、精密度以及检出限测定,结果显示添加水平为 0.5~1.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  时,己烯雌酚的回收率 > 75%,检出限为 0.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

## 2.6 环境富集和加工过程中产生的有毒化合物检测

在畜禽养殖、屠宰、加工以及肉品贮藏过程中会产生潜在的外、内源性污染物,如环境、加工和包装过程可能污染的多环芳烃、由于富集作用积蓄在水产品体内的有机化合物、

加热过程产生的杂环胺等具有致癌毒性的物质<sup>[45-46]</sup>。目前建立的各种有毒化合物的检测方法诸多,而色谱及其联用技术的检测因其定性定量方面效果更好而应用更为普遍。

Surma M. 等<sup>[47]</sup>采用 QuEChERS—GC—MS 方法对 10 多种火腿中的 12 类多环芳烃进行了检测,结果发现该方法的检出限为 0.1~0.9  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,回收率为 72.4%~110.8%,适用于动物性食品多环芳烃的检测。Madureira T. V. 等<sup>[48]</sup>同样采用此法建立了野生型和饲养型贻贝中的多环芳烃种类和含量,试验对样品中的 16 种多环芳烃进行了定量,结果显示两种贻贝中多环芳烃的含量有差异,野生型、饲养型贻贝中 16 种多环芳烃的总含量分别为 52.91,37.58  $\text{ng}/\text{g}$ 。沈海涛等<sup>[46]</sup>建立了水产品中 3 种有机锡的 GC—MS 检测方法,方法检出限范围为 0.33~0.97  $\text{ng}/\text{g}$ ,方法模型可靠,可应用于水产品中有机锡的检测。王盼等<sup>[49]</sup>对烹调食品中的杂环胺检测方法进行了综述,其认为气相色谱与质谱联用具有灵敏度高、分析速度快、鉴别能力强等优点,但由于该化合物自身挥发性低的性质限制了气相色谱法的推广。

## 3 展望

与其它检测技术相结合的应用,是近年来气相色谱突破其局限性、克服其缺点的发展趋势。气相色谱仪虽然具有比一般检测仪器更高的灵敏度和精密度,但对样品处理要求高,加上样品前处理的自动化程度仍有待提高,难以适应肉制品行业的发展,因此研发低成本、检测方便的在线监测设备以及更加便捷、高效、自动化程度高的样品处理技术很有必要。此外,对于气相色谱及其联用技术在肉及肉制品行业中的一些空白领域,如肉类掺假等一些目前尚缺乏便捷、低成本检测手段的领域,可尝试其可行性研究,以拓展其在肉类行业中更广泛、更普遍的应用。随着其它检测技术的发展,特别是样品制备自动化趋势的发展,相信气相色谱及其联用技术变得越来越实用化,其优势也将得到充分发挥。

## 参考文献

- 1 万郑凯,何娟,康长安,等.气相色谱—质谱联用在农药残留检测方面的应用进展[J].分析测试技术与仪器,2006,12(1):51~58.
- 2 胡艳云.食品中有害残留物检测的前处理技术与色谱分析技术研究[D].合肥:中国科学技术大学,2006.
- 3 刘虎威.气相色谱方法及应用[M].北京:化学工业出版社,2007:2~3.
- 4 Steven J Lehotay, Jana Hajšlová. Application of gas chromatography in food analysis[J]. Trends in Analytical Chemistry, 2002, 21(9): 686~697.
- 5 薄海波.色谱技术在食品安全质量分析中的应用研究[D].兰州:中国科学院兰州化学物理研究所,2005.
- 6 杜薇,邹巧根,孙莉莉,等.色谱及其联用技术在药物杂质分析中的应用[J].海峡药学,2013,25(5):1~5.
- 7 Paulina Szatkowska, Marcin Koba, Piotr Kośliński, et al. Analytical methods for determination of benzodiazepines. A short review[J]. Central European Journal of Chemistry, 2014, 12(10): 994~1 007.
- 8 季晓燕,王亚敏,梁逸曾,等.8种化湿药挥发油成分的气相色谱—质谱研究[J].时珍国医国药,2010,21(1):71~74.
- 9 Ma Ning, Hou Du-jie, Shi He-sheng. Novel tetracyclic terpanes in crude oils and source rock extracts in Pearl River Mouth Basin

- and their geological significance[J]. *Journal of Earth Science*, 2014, 25(4): 713~718.
- 10 杨海鹰. 气相色谱在石油化工中的应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 91~175.
- 11 綦敬帅, 宋吉英, 史衍玺, 等. 微波辅助萃取—气相色谱法测定农用地膜中的邻苯二甲酸酯类增塑剂[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(1): 289~294.
- 12 Nsirik U Benson, Joseph P Essien, Francis E Asuquo, et al. Occurrence and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface microlayer and subsurface seawater of Lagos Lagoon, Nigeria[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2014, 186(9): 5 519~5 529.
- 13 翟建. 气相色谱法在环境分析中的应用[J]. *广州化工*, 2012, 40(14): 24~27.
- 14 傅若农. 色谱分析概论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 135~159.
- 15 傅若农. 近几年国内外气相色谱固定相的进展[J]. *分析实验室*, 2013, 32(5): 111~124.
- 16 傅若农. 气相色谱近年的发展[J]. *色谱*, 2009, 27(5): 584~591.
- 17 Li Hua, Yang Feng-qing, Huang Wei-hua, et al. Preparative gas chromatography and its applications[J]. *Journal of Chromatographic Science*, 2013, 51(7): 704~15.
- 18 Philip J Marriott, Sung-Tong Chin, Bussayarat Maikhunthod. Multidimensional gas chromatography[J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2012, 34: 1~21.
- 19 傅若农. 近两年国内气相色谱的进展[J]. *分析实验室*, 2011, 30(5): 88~122.
- 20 张艳华. 气相色谱的联用技术[J]. *光谱实验室*, 2013, 30(6): 2 836~2 840.
- 21 吴妹英, 曹长贤, 张力, 等. 不同品种猪肌肉内脂肪酸和氨基酸含量[J]. *福建农林大学学报*, 2009, 38(2): 166~170.
- 22 孟丽云, 张文广, 高爱琴, 等. 畜禽肉质特性研究进展[J]. *中国畜牧兽医*, 2011, 38(9): 143~148.
- 23 Jayne V Woodside, Daan Kromhout. Fatty acids and CHD[J]. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2005, 64(4): 554~564.
- 24 皮立, 胡凤祖, 星玉秀, 等. 青海欧拉羊肌肉脂肪酸组成的气相色谱—质谱分析[J]. *食品科学*, 2012, 33(6): 190~193.
- 25 Angela Cividini, Alenka Levart, Silvester Žgur, et al. Fatty acid composition of lamb meat from the autochthonous Jezersko-Solčava breed reared in different production systems[J]. *Meat Science*, 2014, 97(4): 480~485.
- 26 Lopes L S, Martins S R, Chizzotti M L, et al. Meat quality and fatty acid profile of Brazilian goats subjected to different nutritional treatments[J]. *Meat Science*, 2014, 97(4): 602~608.
- 27 Pérez-Palacios T, Melo A, Cunha S, et al. Determination of free amino acids in coated foods by GC—MS: Optimization of the extraction procedure by using statistical design[J]. *Food Anal. Methods*, 2014, 7(1): 172~180.
- 28 Magdalena C Waldhler, Michael A Gruber, Katja Dettmer, et al. Capillary electrophoresis and column chromatography in biomedical chiral amino acid analysis[J]. *Anal Bioanal Chem.*, 2009, 394(3): 695~706.
- 29 吴容, 陶宁萍, 刘源, 等. GC—O—AEDA 法在食品风味分析中的应用[J]. *食品与机械*, 2011, 27(4): 163~168.
- 30 Hoa Van Ba, Inho Hwang, Dawoon Jeong, et al. Principle of meat aroma flavors and future prospect[C]//Latest Research into Quality Control. Croatia: In Tech Press, 2012: 145~176.
- 31 王霞, 王健, 侯云丹, 等. 电子鼻结合气相色谱—质谱联用技术分析黄鳍金枪鱼肉的挥发性成分[J]. *食品科学*, 2012, 33(12): 268~272.
- 32 Yang Yuan-fan, Chen Shen-ru, Ni Hui, et al. Analysis of volatile components in a Chinese fish sauce, Fuzhou Yulu, by gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2008, 9(12): 977~981.
- 33 Hajaratul Najwa Mohamed, Yaakob Che Man, Shuhaimi Mustafa, et al. Tentative identification of volatile flavor compounds in commercial budu, a Malaysian fish sauce, using GC—MS[J]. *Molecules*, 2012, 17(5): 5 062~5 080.
- 34 邓后勤, 夏延斌, 邓友光, 等. 三甲胺测定方法的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2005, 31(12): 84~88.
- 35 胡彩虹, 许梓荣. 气相色谱法测定猪肉、鱼和虾中三甲胺的含量[J]. *食品科学*, 2001, 22(5): 62~64.
- 36 洪兆鹏, 邹小波, 石吉勇. 接种不同优势腐败菌的冷藏猪肉中挥发性物质的研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(6): 111~115.
- 37 吴刚, 鲍晓霞, 王华雄, 等. 加速溶剂萃取—凝胶渗透色谱净化—气相色谱快速分析动物源性食品中残留的多种有机磷农药[J]. *色谱*, 2008, 26(5): 577~582.
- 38 Chris Anagnostopoulos, Konstantinos Liapis, Serko A Haroutounian, et al. Development of an easy multiresidue method for fat-soluble pesticides in animal products using gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Anal. Methods*, 2014, 7(1): 205~216.
- 39 Paula Payá, Michelangelo Anastassiades, Dorothea Mack, et al. Analysis of pesticide residues using the Quick Easy Cheap Effective Rugged and Safe (QuEChERS) pesticide multiresidue method in combination with gas and liquid chromatography and tandem mass spectrometric detection[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2007, 389(6): 1 697~1 714.
- 40 Giuliana Ottonello, Angelo Ferrari, Emanuele Magi. Determination of polychlorinated biphenyls in fish: Optimisation and validation of a method based on accelerated solvent extraction and gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Food Chemistry*, 2014, 142: 327~333.
- 41 Hajrulai-Musliu Z, Uzunov R, Stojkovski V, et al. Determination of clenbuterol in meat samples with ELISA and GC—MS method[J]. *European Scientific Journal*, 2013, 9(21): 817~824.
- 42 赵枫霞, 赵金忠. 动物性食品中克伦特罗(瘦肉精)残留的检测[J]. *中国计量*, 2012(1): 80~82.
- 43 刘国祥, 苏贻娟, 方炳虎, 等. 气相色谱—质谱法测定鸡肉组织中残留的氯羟吡啶[J]. *色谱*, 2009, 27(1): 86~90.
- 44 宫向红, 徐英江, 张秀珍. 气相色谱—质谱法测定水产品中的己烯雌酚[J]. *食品科学*, 2009, 30(2): 168~169.
- 45 王丽, 金芬, 张雪莲, 等. 食品中多环芳烃及卤代多环芳烃的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(10): 369~373.
- 46 沈海涛, 马冰洁, 高筱萍, 等. 气相色谱—质谱法测定水产品中的有机锡[J]. *中国卫生检验杂志*, 2008, 18(1): 69~70.
- 47 Surma M, Sadowska-Rociek A, Cielik E. The application of d-SPE in the QuEChERS method for the determination of PAHs in food of animal origin with GC—MS detection[J]. *Eur Food Res Technol*, 2014, 238(6): 1 029~1 036.
- 48 Madureira T V, Velhote T, Santos C, et al. A step forward using QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe) based extraction and gas chromatography-tandem mass spectrometry-levels of priority polycyclic aromatic hydrocarbons in wild and commercial mussels[J]. *Environ Sci. Pollut Res*, 2014, 21(9): 6 089~6 098.
- 49 王盼, 洪燕婷, 朱雨辰, 等. 烹调食品中杂环胺检测的分析方法[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(22): 343~348.