

不同性别伊拉兔肉挥发性风味物质的 SPME-GC-MS分析

陈康¹, 李洪军^{1,2}, 贺稚非^{1,2,*}, 陈红霞¹

(1.西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2.重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400716)

摘要: 探究不同性别兔肉挥发性风味物质的差异。以伊拉兔为实验对象, 采用固相微萃取和气相色谱-质谱联用法分析测定公兔与母兔挥发性风味成分, 并对其进行比较分析。结果显示: 公兔和母兔的挥发性化合物分别有26种和48种, 确定兔肉主体风味物质是醛类、烃类、醇类、酮类和呋喃类化合物。公兔与母兔共同的挥发性化合物有20种, 且在母兔中检出酯类、醚类、酚类和酸类, 而在公兔中未检出, 母兔的挥发性风味物质明显比公兔丰富。

关键词: 公兔; 母兔; 挥发性风味物质; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱联用

SPME-GC-MS Analysis of Volatile Flavor Compounds in Male and Female Ira Rabbit Meat

CHEN Kang¹, LI Hong-jun^{1,2}, HE Zhi-fei^{1,2,*}, CHEN Hong-xia¹

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

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

Abstract: The purpose of the present study was to explore the difference in volatile flavor compounds of male and female rabbit meat by headspace solid-phase microextraction (HS-SPME) combined with gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Results showed that 26 and 48 volatile compounds were detected from male and female rabbit meat, respectively. The major volatile flavor compounds in rabbit meat were aldehydes, hydrocarbons, alcohols, ketones and furans. Twenty volatile compounds were common to meats from both sexes. Esters, ethers, phenols and acids were detected in female rabbit meat rather than male rabbit meat. Volatile flavor compounds were significantly more abundant in female rabbit meat than in male rabbit meat.

Key words: male rabbit; female rabbit; volatile flavor compound; headspace solid-phase microextraction (HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

中图分类号: TS251.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)06-0098-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201406020

近年来, 随着经济不断发展, 消费者生活水平以及保健意识不断提高, 人们对肉品的营养也有了更高的要求。兔肉因具有“三高”(高蛋白质、高赖氨酸、高消化率)和“三低”(低脂肪、低胆固醇、低热量)的营养特性, 兔肉适宜动脉硬化、肥胖和高血压等人群食用, 兔肉符合现代生活对肉品营养的要求, 日渐得到消费者的信任与青睐^[1-2]。

近50年来, 全世界的兔肉产量增加了2.5倍。中国是兔肉最大的生产国(700 000 t/a), 意大利(230 000 t/a)、西班牙(74 161 t/a)和法国(51 400 t/a)是欧洲主要的兔肉生产国^[3]。但我国兔肉消费量年人均约0.35 kg, 仅与世界人均消费水平持平, 而法国、意大利、西班牙等

国, 兔肉的消费量年人均达3~5 kg^[4]。目前, 国外尚无兔肉的挥发性风味物质研究报道, 主要集中在猪肉、牛肉、羊肉和香肠等^[5-9], 国内仅有王珺等^[10]对兔肉不同部位的挥发性化合物进行了分析, 因此, 国内外对不同性别兔肉的挥发性化合物进行具体分析很少。本研究的目的是通过探究不同性别伊拉兔的挥发性化合物的差异以更好地了解兔肉的品质特点。由于固相微萃取(solid-phase microextraction, SPME)是一种能将采样、萃取、浓缩、进样集于一体的成熟的样品前处理技术, 具有灵敏度高、所需样品量少、不消耗溶剂和重复性及线性好等优点, 现已广泛应用于萃取多种物质的挥发性化合物, 并结合气质联用(gas chromatography-mass

收稿日期: 2013-05-21

基金项目: 国家现代农业(兔)产业技术体系建设专项(CARS-44-D-1); 公益性行业(农业)科研专项(201303144)

作者简介: 陈康(1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品微生物与发酵工程。E-mail: 445684997@qq.com

*通信作者: 贺稚非(1960—), 女, 教授, 博士, 研究方向为食品微生物学与食品安全。E-mail: zfhe2003@yahoo.com.cn

spectrometry, GC-MS) 分析鉴定其挥发性化合物^[11-14]。因此, 本研究采用SPME结合GC-MS法分析测定伊拉兔与母兔腹部肌肉的挥发性化合物。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

冷却兔肉, 伊拉配套系商品代, 公、母兔各5只, 75日龄, 同一批次, 相同体质量, 取自西南大学肉兔养殖基地, 屠宰后用装有碎冰的保温箱运回实验室, 于-18℃保藏待用, 使用前原料在4℃解冻24h后, 分取兔肉腹部肌肉作为实验材料。

GCMS-QP2010气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司; 手动固相微萃取进样器、75 μm CAR/PDMS涂层萃取头 美国Supelco公司; MJ-25BM04A搅拌机 广东美的精品电器制造有限公司; FA1004A型电子天平 重庆泰瑞仪器有限公司; HH-2数显恒温水浴锅 常州澳华仪器有限公司; XHF-D型匀浆机 宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.2 方 法

1.2.1 顶空固相微萃取

将兔腹部肌肉绞碎, 在电子天平上准确称取肉样4g (精确到0.001g), 放于15 mL萃取瓶中, 旋紧瓶盖, 90℃水浴平衡15 min后, 再通过隔热垫插入活化好的SPME萃取头(270℃活化30 min), 并推出纤维头, 置于90℃恒温水浴中萃取30 min, 立即插入GC进样口解吸5 min。

1.2.2 GC-MS分析

GC条件: DB-5MS毛细管色谱柱(30 m×0.25 mm, 0.25 μm); 压力32.0 kPa; 总流量15.8 mL/min; 柱流量1.04 mL/min; 载气为氦气, 不分流进样; 进样口温度250℃, 柱箱升温程序: 起始温度35℃, 保持5 min, 以4℃/min升至75℃, 再以2℃/min升至100℃, 最后以10℃/min升至230℃, 保持8 min。

MS条件: 电子电离源; 电子能量70 eV; 接口温度250℃; 离子源温度230℃; 检测器电压350 V; 质量扫描范围(*m/z*): 40~400。

1.2.3 定性及定量分析

用所测得的质谱数据通过MS谱库进行检索, 对相似度不低于80%的化合物进行定性鉴定, 再用峰面积归一化法进行定量分析^[15]。

2 结果与分析

2.1 不同性别伊拉兔肌肉挥发性化合物的比较分析

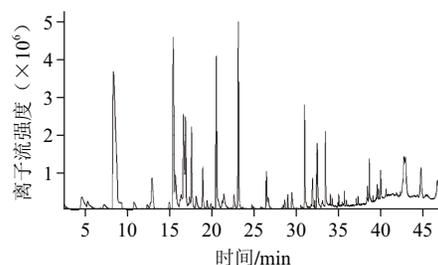


图1 公兔腹部肌肉中挥发性化合物的总离子流图

Fig.1 Total ion chromatogram of volatile compounds in abdominal muscle of male rabbits

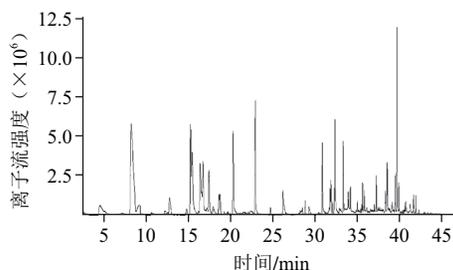


图2 母兔腹部肌肉中挥发性化合物的总离子流图

Fig.2 Total ion chromatogram of volatile compounds in abdominal muscle of female rabbits

由图1和图2可知, 不同性别伊拉兔腹部肌肉中的挥发性化合物存在明显的差异。公兔的腹部肌肉中挥发性化合物共26种, 主要是醛类、烃类、醇类、酮类和其他, 其中醛类14种、烃类8种、醇类2种、酮类1种、其他1种。母兔的腹部肌肉中挥发性化合物共48种, 主要是醛类、烃类、醇类、酮类、酯类、醚类、酚类、酸类和其他, 其中醛类20种、烃类14种、醇类6种、酮类2种、酯类2种、醚类、酚类、酸类和其他分别都仅1种。结果见表1。

由表1可知, 公兔和母兔中共同的挥发性化合物有20种, 其中以醛类物质最多。公兔的主要挥发性风味物质是己醛(27.486%)、反-2-庚烯醛(12.888%)、1-辛烯-3-醇(5.478%)、2-戊基呋喃(6.333%)、辛醛(4.581%)、反-2-辛烯醛(8.075%)、壬醛(9.130%)、2-十一烯醛(5.404%)等, 母兔的主要挥发性风味物质是己醛(21.510%)、反-2-庚烯醛(7.787%)、苯甲醛(6.697%)、1-辛烯-3-醇(5.185%)、2-戊基呋喃(4.012%)、反-2-辛烯醛(5.637%)、壬醛(6.789%)、反,反-2,4-癸二烯醛(5.061%)等, 且都以醛类物质较多。从总挥发性化合物的种类和数量上看, 母兔远高于公兔, 它们所含的挥发性化合物种类和数量的差异主要来源于醛类、烃类和醇类化合物的变化。

2.2 挥发性化合物对公兔和母兔风味的影响

醛类化合物: 公兔和母兔的风味中醛类的种类和含

表1 鉴定的公兔和母兔腹部肌肉的挥发性化合物
Table 1 Volatile compounds identified in abdominal muscle of male and female rabbits

种类	保留时间/min	化合物名称	分子式	相对分子质量	相对含量/%	
					公兔	母兔
醛类	8.283	己醛 hexanal	C ₆ H ₁₂ O	100	27.486	21.510
	12.783	庚醛 heptanal	C ₇ H ₁₄ O	114	2.385	1.811
	15.258	反-2-庚烯醛 2-heptenal, (E)-	C ₇ H ₁₂ O	112	12.888	7.787
	15.442	苯甲醛 benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	106	2.628	6.697
	17.425	辛醛 octanal	C ₈ H ₁₆ O	128	4.581	2.901
	20.275	反-2-辛烯醛 2-octenal, (E)-	C ₈ H ₁₄ O	126	8.075	5.637
	22.867	壬醛 nonanal	C ₉ H ₁₈ O	142	9.130	6.789
	26.133	反-2-壬烯醛 2-nonenal, (E)-	C ₉ H ₁₆ O	140	1.689	1.564
	26.267	3-乙基苯甲醛 benzaldehyde, 3-ethyl-	C ₉ H ₁₀ O	134	—	0.638
	28.142	反-4-十一碳烯醛 <i>trans</i> -undec-4-enal	C ₁₁ H ₂₀ O	168	—	0.432
	28.733	癸醛 decanal	C ₁₀ H ₂₀ O	156	0.454	0.586
	30.750	反-2-癸烯醛 2-decenal, (E)-	C ₁₀ H ₁₈ O	154	—	2.788
	31.658	反,反-2,4-癸二烯醛 2,4-decadienal, (E,E)-	C ₁₀ H ₁₆ O	152	2.692	5.061
	31.967	十四醛 tetradecanal	C ₁₄ H ₂₈ O	212	0.285	1.728
	33.217	2-十一烯醛 2-undecenal	C ₁₁ H ₂₀ O	168	5.404	2.263
	34.058	十二醛 dodecanal	C ₁₂ H ₂₄ O	184	—	0.607
	35.700	十六醛 hexadecanal	C ₁₆ H ₃₂ O	240	0.475	0.545
	38.358	十八醛 octadecanal	C ₁₈ H ₃₆ O	268	0.137	6.903
	40.192	顺-9-十八碳烯醛 9-octadecenal, (Z)-	C ₁₈ H ₃₄ O	266	—	0.165
	41.475	顺-9-十六碳烯醛 9-hexadecenal, (Z)-	C ₁₆ H ₃₀ O	238	—	0.72
		合计			78.309	77.132
烃类	18.600	右旋柠檬烯 <i>D</i> -limonene	C ₁₀ H ₁₆	136	—	1.192
	18.708	3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯 1,3-hexadiene, 3-ethyl-2-methyl-	C ₉ H ₁₆	124	2.153	1.348
	28.417	十二烷 dodecane	C ₁₂ H ₂₆	170	—	0.267
	31.750	十四烷 tetradecane	C ₁₄ H ₃₀	198	—	1.481
	32.300	4-乙基-3-壬烯-5-炔 3-nonen-5-yne, 4-ethyl-	C ₁₁ H ₁₈	150	1.478	—
	33.925	3-甲基-5-丙基壬烷 nonane, 3-methyl-5-propyl-	C ₁₃ H ₂₈	184	0.201	—
	35.392	顺-3-十七碳烯 3-heptadecene, (Z)-	C ₁₇ H ₃₄	238	—	0.175
	35.500	十九烷 nonadecane	C ₁₉ H ₄₀	268	—	0.730
	35.967	二十烷 eicosane	C ₂₀ H ₄₂	282	—	0.483
	36.408	1-氯代十四烷 tetradecane, 1-chloro-	C ₁₄ H ₂₉ Cl	232	—	0.093
	36.892	二十一烷 heneicosane	C ₂₁ H ₄₄	296	0.517	0.175
	37.325	5-苯基十一烷 undecane, 5-phenyl-	C ₁₇ H ₂₈	232	—	0.206
	37.467	4-苯基二十烷 eicosane, 4-phenyl-	C ₂₆ H ₄₆	358	—	0.432
	38.408	2,3-二氢-1,1,3-三甲基-3-苯基-1 <i>H</i> -吲哚 1 <i>H</i> -indene, 2,3-dihydro-1,1,3-trimethyl-3-phenyl-	C ₁₈ H ₂₀	236	1.013	1.286
	39.308	2,4-二苯基-4-甲基-1-戊烯 2,4-diphenyl-4-methyl-1-pentene	C ₁₈ H ₂₀	236	—	1.111
	39.408	1,1'-(1,1,2,2-四甲基-1,2-亚乙基)二苯 benzene, 1,1'-(1,1,2,2-tetramethyl-1,2-ethanediyl)bis-	C ₁₈ H ₂₂	238	0.327	—
	39.742	反-2,4-二苯基-4-甲基-2-戊烯 2,4-diphenyl-4-methyl-2(E)-pentene	C ₁₈ H ₂₀	236	0.771	0.905
44.575	三十二烷 dotriacontane	C ₃₂ H ₆₆	450	2.027	—	
		合计			8.487	9.884
醇类	16.375	1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	C ₈ H ₁₆ O	128	5.478	5.185
	31.825	叶绿醇 phytol	C ₂₀ H ₄₀ O	296	1.256	—
	35.250	2-己基-1-癸醇 1-decanol, 2-hexyl-	C ₁₆ H ₃₄ O	242	—	0.165
	37.708	亚麻醇 9,12-octadecadien-1-ol, (Z,Z)-	C ₁₈ H ₃₄ O	266	—	0.072
	37.800	油醇 oleyl alcohol	C ₁₈ H ₃₆ O	268	—	0.113
	37.875	<i>n</i> -十五烷醇 <i>n</i> -pentadecanol	C ₁₅ H ₃₂ O	228	—	0.123
	40.292	顺-14-甲基-8-十六烯-1-醇 (8 <i>Z</i>)-14-methyl-8-hexadecen-ol	C ₁₇ H ₃₄ O	254	—	0.051
		合计			6.734	5.709
酮类	16.575	2-甲基-3-辛酮 3-octanone, 2-methyl-	C ₉ H ₁₈ O	142	—	1.101
	32.758	反-3-壬烯-2-酮 (3 <i>E</i>)-3-nonen-2-one	C ₉ H ₁₆ O	140	—	0.401
	34.792	6,10-二甲基-5,9-十一双烯-2-酮 5,9-undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-	C ₁₃ H ₂₂ O	194	0.137	—
		合计			0.137	1.502
酯类	33.767	癸酸乙酯 decanoic acid, ethyl ester	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	200	—	0.381
	39.217	十四酸乙酯 tetradecanoic acid, ethyl ester	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	—	0.082
		合计			—	0.463
醚类	32.167	2-丙基苯酚甲醚 2-propylphenol, methyl ether	C ₁₀ H ₁₄ O	150	—	0.761
		合计			—	0.761
酚类	35.650	2,4-二叔丁基苯酚 phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)-	C ₁₄ H ₂₂ O	206	—	0.134
		合计			—	0.134
酸类	41.042	棕榈酸 <i>n</i> -hexadecanoic acid	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	256	—	0.401
		合计			—	0.401
其他	16.717	2-戊基呋喃 furan, 2-pentyl-	C ₉ H ₁₄ O	138	6.333	4.012
		合计			6.333	4.012

量均为最高,分别检出14种和20种,分别占挥发性化合物种类总数的53.85%和41.67%,相对含量分别为78.309%和77.132%。饱和直链醛含量较高,主要有己醛、辛醛、壬醛、庚醛和癸醛等,其中己醛在公兔和母兔的含量均最高,分别为27.486%和21.510%。己醛具有生油脂、青草及苹果味,是肉中亚油酸氧化的产物^[16],因此己醛是评价兔肉氧化程度和肉品质的重要指标。辛醛、壬醛是油酸氧化的产物,辛醛具有果子香气,壬醛有橙子和玫瑰香气^[17]。然而,不饱和烯醛(反-2-庚烯醛、反-2-辛烯醛、反-2-癸烯醛、反,反-2,4-癸二烯醛和2-十一烯醛等)也占有很大的比例,其中反,反-2,4-癸二烯醛在母兔中含量稍大于公兔,呈强烈的鸡香和鸡油味,是多不饱和脂肪酸氧化的主要产物之一^[18]。可见,母兔中醛类比公兔丰富。一般醛类的阈值都较低,且在兔肉的挥发性物质中占的比重最大,具有脂肪的香味,因此醛类在兔肉的风味贡献中起着最主要的作用。在王珺等^[10]的研究中,醛类也是兔肉最主要的风味化合物,但由于兔的品种不同和部位差异,主要的醛类化合物稍有不同。

烃类化合物:在公兔的腹部肌肉中检测到8种烃类化合物,母兔的腹部肌肉中检测到14种,分别占挥发性化合物种类总数的30.77%和29.17%,相对含量分别为8.487%和9.884%。其中烷烃类物质主要来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂,由于烃类化合物芳香阈值较高,其对公兔和母兔风味直接贡献较小^[19]。在王珺等^[10]的研究中,兔腹部肌肉中含烃类化合物的相对含量也高于醇类化合物,但其他部位如前腿肌和背肌结果相反,并由于伊拉兔是从法国引进的优良品种,其烃类和醇类化合物种类存在着差异。

醇类化合物:在公兔和母兔中检出的醇类化合物种类均不多,公兔仅含2种,母兔含6种。醇类化合物在公兔和母兔中的相对含量分别为6.734%和5.709%。一般醇类是由脂肪酸衍生而来或由羰基化合物还原而来,且醇类的阈值大都较高,不饱和脂肪醇的阈值相对较低^[20]。其中1-辛烯-3-醇来源于不饱和脂肪酸的氧化,表现出类似蘑菇的香气^[21],是公兔和母兔的主要挥发性风味物质之一,相对含量分别为5.478%和5.185%,可能与兔肉口感鲜美的特性有关。因此,不饱和醇类化合物对公兔和母兔风味的形成具有一定作用,但直链饱和醇对兔肉的风味贡献非常小。

酮类化合物:酮类物质具有桉叶味、脂肪味和焦燃味特殊的香气,可能是由于不饱和脂肪酸的氧化或热降解、氨基酸降解而产生的,对兔肉腥味物质具有增强作用^[18]。如母兔中检出的2-甲基-3-辛酮可使腥味物质增强,仅存在于生肉中。此外,烯酮类化合物增强作用也较强。由于在兔肉中种类较少,含量较低,阈值也比同分异构的醛类高,因此对风味的贡献要小于醛。酮类在

母兔中的检出量远大于公兔,因此对母兔的风味影响强于公兔。

此外,本研究还在母兔中检出酯类、醚类、酚类和酸类化合物,而在公兔中未检出。由于其种类和含量较少,因此不是导致公兔与母兔风味差异的主要因素,但对赋予母兔更好的风味有一定的作用。值得注意的是,在公兔和母兔中均检出了2-戊基呋喃,且含量都较高,相对含量分别为6.333%和4.012%。据相关资料显示,2-戊基呋喃少有在兔肉的风味物质中报道,推测2-戊基呋喃在其他品种兔肉中含量较低,因此2-戊基呋喃很可能是伊拉兔肉的特征性风味化合物之一。2-戊基呋喃具有稍甜和稍苦的杏仁味、泥土芳香和青香的豆香味及类似蔬菜的香韵,且呋喃类化合物的香气阈值大都极低^[22],因此,对兔肉的风味有一定的贡献。

3 结论

利用SPME进样,经GC-MS分析,鉴定出公兔和母兔的挥发性化合物分别有26种和48种,其中,公兔和母兔中共同的挥发性化合物有20种。挥发性化合物对兔肉风味起主要作用的包括:醛类、烃类、醇类、酮类和呋喃类化合物,公兔的主要挥发性风味物质是己醛、反-2-庚烯醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃、辛醛、反-2-辛烯醛、壬醛、2-十一烯醛等,母兔的主要挥发性风味物质是己醛、反-2-庚烯醛、苯甲醛、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃、反-2-辛烯醛、壬醛、反,反-2,4-癸二烯醛等。同时,在母兔中检出酯类、醚类、酚类和酸类,而在公兔中未检出,所以,母兔的挥发性风味物质明显丰富于公兔。

参考文献:

- [1] 陈丽清,韩佳冬,马良,等.兔肉品质及其影响因素研究进展[J].食品科学,2011,32(19):298-301.
- [2] 薛山,贺雅非,李洪军.兔肉胶原蛋白特性及评定方法研究[J].食品工业科技,2013,34(4):372-377.
- [3] ZOTTE A D, SZENDRŐ Z. The role of rabbit meat as functional food[J]. Meat Science, 2011, 88(3): 319-331.
- [4] 杨佳艺,李红军.我国兔肉加工现状分析[J].食品科学,2010,31(17):429-432.
- [5] RIVAS-CAÑEDO A, JUEZ-OJEDA C, NUÑEZ M, et al. Effects of high-pressure processing on the volatile compounds of sliced cooked pork shoulder during refrigerated storage[J]. Food Chemistry, 2011, 124(3): 749-758.
- [6] RIVAS-CAÑEDO A, JUEZ-OJEDA C, NUÑEZ M, et al. Volatile compounds in ground beef subjected to high pressure processing: A comparison of dynamic headspace and solid-phase microextraction[J]. Food Chemistry, 2011, 124(3): 1201-1207.
- [7] LEE K H, YUN H, LEE J W, et al. Volatile compounds and odor preferences of ground beef added with garlic and red wine, and irradiated with charcoal pack[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2012, 81(8): 1103-1106.

- [8] WATKINS P J, ROSE G, WARNER R D, et al. A comparison of solid-phase microextraction (SPME) with simultaneous distillation-extraction (SDE) for the analysis of volatile compounds in heated beef and sheep fats[J]. *Meat Science*, 2012, 91(2): 99-107.
- [9] SUN Weizheng, ZHAO Qiangzhong, ZHAO Haifeng, et al. Volatile compounds of Cantonese sausage released at different stages of processing and storage[J]. *Food Chemistry*, 2010, 121(2): 319-325.
- [10] 王珺, 贺稚非, 李洪军, 等. 顶空固相微萃取结合GC-MS分析兔肉挥发性风味物质[J]. *食品科学*, 2013, 34(14): 212-217.
- [11] RISTICEVIC S, NIRI V H, VUCKOVIC D, et al. Recent developments in solid-phase microextraction[J]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2009, 393(3): 781-795.
- [12] DUAN Chunfeng, SHEN Zheng, WU Dapeng, et al. Recent developments in solid-phase microextraction for on-site sampling and sample preparation[J]. *Trends in Analytical Chemistry*, 2011, 30(10): 1568-1574.
- [13] DONG Liang, PIAO Yongzhe, ZHANG Xiao, et al. Analysis of volatile compounds from a malting process using headspace solid-phase micro-extraction and GC-MS[J]. *Food Research International*, 2013, 51(2): 783-789.
- [14] 刘春红. 固相微萃取技术及其在国内食品领域中的应用[J]. *生命科学仪器*, 2009, 7(2): 23-27.
- [15] 宋永, 乔娜, 温婷婷, 等. 顶空固相微萃取-气质联用分析哈尔滨风干肠中的挥发性风味化合物[J]. *食品科学*, 2013, 34(2): 224-226.
- [16] MACHIELS D, VAN RUTH S M, POSTHUMUS M A, et al. Gas chromatography-olfactometry analysis of the volatile compounds of two commercial Irish beef meats[J]. *Talanta*, 2003, 60(4): 755-764.
- [17] DRUMM T D, SPANIER A M. Changes in the content of lipid autoxidation and sulfur-containing compounds in cooked beef during storage[J]. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 1991, 39(2): 336-343.
- [18] 王霞, 黄健, 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.
- [19] 解薇, 娄永江. 顶空固相微萃取-气质联用技术分析秘鲁鲑鱼肉的挥发性风味成分[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(5): 71-75.
- [20] 刘玉平, 陈海涛, 孙宝国. 鱼肉中挥发性成分提取与分析的研究进展[J]. *食品科学*, 2009, 30(23): 447-451.
- [21] LEDUC F, TOURNAYRE P, KONDOYAN N, et al. Evolution of volatile odorous compounds during the storage of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. *Food Chemistry*, 2012, 131(4): 1304-1311.
- [22] VERBEEK J R, HICKS T, LANGDON A. Odorous compounds in bioplastics derived from bloodmeal[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2012, 89(3): 529-540.