

虎纹蛙肌肉挥发性成分和脂肪酸分析

夏明明¹, 邵晨^{1,*}, 刘源²

(1. 浙江师范大学生态研究所, 浙江 金华 321004; 2. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 对虎纹蛙肌肉中的挥发性成分和脂肪酸分别进行测定。采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)分析虎纹蛙肌肉中的挥发性成分。结果共鉴定出 36 种成分, 其中醛类化合物有 15 种, 且含量最高, 占挥发性成分总量的 68.76%; 己醛、(Z)-4-庚烯醛、(E,Z)-2,4-癸二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、1-辛烯-3-醇和 2,3-戊二酮等可能对虎纹蛙肉的整体风味贡献较大; 虎纹蛙肌肉脂肪酸主要由不饱和脂肪酸(UFA)组成, 占脂肪酸总量的 72.89%; 在日常饮食中, 虎纹蛙肉为 *n*-3 多不饱和脂肪酸(*n*-3 PUFA)较为丰富的食物资源; 亚麻酸($C_{18:3\ n-3}$, ALA)、二十碳五烯酸($C_{20:5\ n-3}$, EPA)和二十二碳六烯酸($C_{22:6\ n-3}$, DHA)为主要的 *n*-3 PUFA。UFA 为虎纹蛙肉的重要风味前体物质。

关键词: 虎纹蛙; 挥发性成分; 脂肪酸; 顶空固相微萃取(HS-SPME); 气相色谱-质谱联用(GC-MS)

Analysis of Volatile Components and Fatty Acids in Tiger Frog (*Hoplobatrachus rugulosus*)

XIA Ming-ming¹, SHAO Chen^{1,*}, LIU Yuan²

(1. Institute of Ecology, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China;

2. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The volatile components and fatty acids in tiger frog meat were analyzed by headspace-solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS). Results indicated that 36 volatile compounds were isolated and identified, which included 15 aldehydes with the highest content and were accounted for 68.76% of total volatile components. Hexanal, (Z)-4-heptenal, (E,Z)-2,4-decadienal, (E,E)-2,4-decadienal, 1-octen-3-ol and 2,3-pentanedione made the great contribution to the total flavor of tiger frog meat. The fatty acids of tiger frog meat were dominated by unsaturated fatty acids (UFA), which was accounted for 72.89% of total fatty acids. Tiger frog meat was an *n*-3 PUFA-rich food source in daily diet. Linolenic acid ($C_{18:3\ n-3}$, ALA), eicosapentaenoic acid ($C_{20:5\ n-3}$, EPA) and docosahexaenoic acid ($C_{22:6\ n-3}$, DHA) were the major *n*-3 PUFA. UFA was the important aromatic precursor of tiger frog meat.

Key words: tiger frog; volatile compounds; fatty acids; headspace-solid phase microextraction (HS-SPME); gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

中图分类号: TS201.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)06-0217-04

风味是评定肉品质的一个重要指标, 主要由香味物质(挥发性)和滋味物质(非挥发性)组成, 非挥发性滋味物质产生肉的滋味; 挥发性风味物质产生肉的香味。而挥发性风味物质是风味质量的决定性因素, 它可能包括醛类、醇类、酮类、酸类、烃类和酯类等多种化合物, 肉的香味就是这些化合物综合作用的结果。当然, 有的物质对风味的产生作用较大, 有的作用较小。作用较大的物质为肉的香气活性成分, 决定肉的特征性香气。肉品的挥发性风味成分是一个极其复杂的混合物, 是由多种风味前体物质经过一系列的复杂化学反应生

成, 如氨基酸和肽的水解、脂肪的氧化、糖的降解、核苷酸的降解和硫胺素的降解等^[1], 这些初级反应产生的化合物之间再发生二级反应从而产生更多的风味物质。

虎纹蛙(*Hoplobatrachus rugulosus*)是我国的一种大型经济食用蛙类, 因其营养价值高、肉质细嫩、味道鲜美、风味独特, 颇受广大消费者的喜爱。目前对虎纹蛙肉质的研究主要集中于对其营养价值的评价上^[2-4], 而对其风味品质的研究还少见。本实验拟采用较新的风味提取分析技术, 顶空固相微萃取结合气相色谱质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS), 对虎纹蛙肌肉中的挥发性成

收稿日期: 2010-04-23

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(Y506234); 浙江省科技计划重点项目(2008C22057)

作者简介: 夏明明(1983—), 女, 硕士, 研究方向为动物资源及其保护生物学。E-mail: 2007210596@zjnu.net

* 通信作者: 邵晨(1962—), 男, 教授, 硕士, 研究方向为动物学及保护生物学。E-mail: sky86@zjnu.cn

分进行初步分析,并就挥发性成分对蛙肉的整体风味可能的贡献进行初步探讨。另外,对虎纹蛙肌肉中的脂肪酸进行分析,评价虎纹蛙肉脂肪酸营养品质的优劣,并分析脂肪酸对风味产生的影响,可为虎纹蛙肌肉主体香味成分及香气产生机理的进一步研究提供部分理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜虎纹蛙成体6只(雌雄比例为1:1)购于温州市永嘉县虎纹蛙养殖场。经处死后,取蛙肉绞碎混匀,冻存于-70℃冰箱中保存备用。

氯仿、氢氧化钾、甲醇、氯化钠、正己烷、无水硫酸钠(均为分析纯) 中国医药集团(上海)化学试剂公司。

1.2 仪器与设备

Trace MS 气相色谱-质谱联用仪 美国 Finnigan 公司;SPME 装置[配手动进样手柄及75μm碳分子筛/聚二甲基硅氧烷(CAR/PDMS)萃取头] 美国 Supelco 公司;电热磁力搅拌器 日本岛津公司;HWS-12 电热恒温水浴锅 上海一恒科学仪器有限公司;DB-Wax 弹性石英毛细管柱(30m×0.25mm,0.25μm) 美国 J & W Scientific 公司。

1.3 方法

1.3.1 挥发性成分分析

取适量蛙肉按1:2的比例(g/mL)加入饱和NaCl溶液,混合匀质。量取6mL样液于含有微型搅拌子的10mL样品瓶中。置于磁力搅拌器上,将已老化好的萃取头插入样品瓶顶空部分,于40℃吸附30min后取出,迅速插入GC进样口,于250℃解吸3min,同时启动GC-MS采集数据。

1.3.2 脂肪酸分析

参照Folch等^[5]的方法,即用氯仿-甲醇(C-M,2:1,V/V)抽提法提取总脂肪。取0.1g脂肪于10mL具塞试管中,加入1mol/L的氢氧化钾甲醇溶液2mL,于60℃水浴中至脂肪滴完全消失,冷却至室温后,加入2mL正己烷,振荡摇匀。随后加入2mL的饱和NaCl溶液,静置片刻,吸取上层正己烷溶液约1mL于试管中,加适量无水硫酸钠脱水后,取10μL进行GC-MS分析。

1.3.3 气相色谱与质谱联用(GC-MS)分析

挥发性成分的GC-MS分析:进样方式为不分流进样;脂肪酸的GC-MS分析:进样方式为分流进样,分流比为10:1。挥发性成分与脂肪酸GC-MS分析的其他条件一致。GC条件:载气为氦气(He),流速为0.8mL/min,进样口温度为250℃;柱温设定为程序升温:初始温度40℃,保持3min,以5℃/min的速度升温至100℃,无保留;然后以10℃/min的速度升温至230℃,保留7min。

MS条件:采用GC-MS全扫描模式,质量扫描范围为 m/z 33~450;电离方式:电子轰击(EI);电子能量:70eV;离子源温度:200℃;检测器电压:350V;发射电流:200μA。

1.3.4 定性定量分析

定性:将获得的挥发性成分和脂肪酸的谱图经计算机检索,同时与NIST、REPLIB、MAINLIB和Wiley等4个标准谱图库相匹配,正反匹配度均大于800(最大值1000)的为有效化合物。定量:各化合物按照峰面积归一化方法计算相对含量。

2 结果与分析

2.1 虎纹蛙肌肉挥发性成分的组成及含量

表1 虎纹蛙肌肉挥发性成分的组成与相对含量
Table 1 Compositions and contents of volatile components in tiger frog meat

挥发性成分	相对含量/%	挥发性成分	相对含量/%
醛类		酮类	
戊醛	4.70	2,3-戊二酮	4.05
己醛	45.30	3-辛酮	0.32
庚醛	5.73	1-辛烯-3-酮	0.46
(Z)-4-庚烯醛	0.20	2,3-辛二酮	6.30
辛醛	3.83	6-甲基-5-庚烯-2-酮	0.43
2-乙基-2-己烯醛	0.87	3,5-辛二烯-2-酮	0.30
壬醛	1.83	烃类	
(E)-2-辛烯醛	0.36	甲苯	1.09
(E,E)-2,4-庚二烯醛	0.52	1,4-二甲苯	0.57
苯甲醛	4.44	酸类	
(E)-2-壬烯醛	0.26	乙酸	0.26
2,5-二甲基苯甲醛	0.30	己酸	0.71
(E)-2-十一烯醛	0.07	辛酸	0.08
(E,Z)-2,4-癸二烯醛	0.12	壬酸	0.23
(E,E)-2,4-癸二烯醛	0.22	呋喃类	
醇类		2-乙基呋喃	0.76
1-戊醇	2.79	2-戊基呋喃	0.23
1-己醇	1.75	酯类和酚类	
1-辛烯-3-醇	8.18	乙酸乙酯	1.57
4-乙基环己醇	0.25	苯酚	0.28
(E)-2-辛烯-1-醇	0.63		

采用HS-SPME结合GC-MS萃取和分离鉴定虎纹蛙肌肉中的挥发性成分。挥发性成分的组成及相对含量如表1所示。本研究中共检出36种挥发性成分,其中醛类15种、醇类5种、酮类6种、酸类4种、烃类2种、呋喃类2种、酯类和酚类各1种。通过对挥发性成分的定量分析得知,虎纹蛙肌肉挥发性物质主要由醛类化合物组成,占总量的68.76%,其次为醇类和酮类,含量分别为13.60%和11.85%。显然,醛、醇和酮类化合物是虎纹蛙肉中的主要挥发性化合物,达总量的94.21%,即虎纹蛙肉的挥发性成分主要由挥发性羰基化合物和醇类化合物组成。戊醛、己醛、庚醛、辛醛、壬醛和

苯甲醛为虎纹蛙肉中含量较高的醛类化合物；1-戊醇、1-己醇和1-辛烯-3-醇为含量较高的醇类化合物；2,3-戊二酮和2,3-辛二酮是含量较高的酮类化合物。己醛是含量最高的挥发性成分，占总量的45.30%，其次为1-辛烯-3-醇和2,3-辛二酮，含量分别为8.18%和6.30%。

2.2 虎纹蛙肌肉挥发性成分贡献性分析

肉品风味的形成一般与低阈值的挥发性化合物密切相关。挥发性羰基化合物和醇类化合物具有较好的感官特性且风味阈值较低，对风味的影响较大，已报道对鱼肉风味的产生有重要作用^[6]。

醛类化合物的阈值通常比其他化合物的阈值低，且具有脂肪香味，因此此类化合物对肉的整体风味有重要作用。5~9个碳原子的醛具有青香、油香和脂香风味^[7]，戊醛、己醛、庚醛、辛醛和壬醛作为虎纹蛙肌肉中主要的挥发性饱和醛类，可能对虎纹蛙肉的风味有重要作用。其中，己醛为虎纹蛙肉中含量最高的挥发性成分，其阈值较低，并具有清香青草气味，对虎纹蛙肉风味的产生有重大贡献。研究中烯醛含量均低于饱和醛，但是它们的阈值一般也低于饱和醛，因此烯醛对虎纹蛙肉的风味起着较重要的作用。值得特别指出的是，(Z)-4-庚烯醛、(E,Z)-2,4-癸二烯醛和(E,E)-2,4-癸二烯醛。(Z)-4-庚烯醛阈值很低(0.04 μg/kg)，能产生瓜果类香气，广泛存在于冷贮存的鳕鱼、牡蛎、生的和熟的虾、熟的蟹肉、小龙虾的废物、蒸的蛤和多刺大熬虾尾肉的挥发性风味中^[8]。(E,E)-2,4-癸二烯醛阈值(0.07 μg/kg)和(E,Z)-2,4-癸二烯醛阈值(0.04 μg/kg)^[9]，远低于己醛，具有油炸食品的香味，已被报道为牛蛙蛙腿肉的重要主体风味成分^[9]。苯甲醛为虎纹蛙肉中含量较高的芳香醛(4.44%)，其具有令人愉快的坚果香和水果香，已报道为海鲜中重要的挥发性风味物质^[10]。

与相应的醛类和酮类相比，醇类具有较高的阈值，除非它们具有较高的含量或者为不饱和醇，否则不会对肉品的风味产生很大影响^[10]。本研究中1-己醇和1-戊醇含量较高，但是它们的阈值较高(4mg/kg和0.25mg/kg)^[7]，所以对虎纹蛙肉风味的形成可能作用不大。不饱和醇是香味的重要组成部分，本研究中1-辛烯-3-醇含量较高，阈值较低，并具有类似于蘑菇的气味，已被报道为牛蛙蛙腿肉中的主体风味成分之一^[9]。

酮类物质的阈值高于其同分异构体醛，对风味贡献相对较小。但是不饱和酮是动物特征风味的来源。2,3-戊二酮和2,3-辛二酮是虎纹蛙肉中主要的酮类化合物。有研究^[8]报道，烷基二酮给予食品一种强烈的奶油香和宜人的香味。2,3-戊二酮、3,5-辛二烯-2-酮和1-辛烯-3-酮作为酮类化合物中的最强气味剂^[8]，对虎纹蛙肉的特征风味可能起较大作用。

虎纹蛙肌肉中烃类、酸类、呋喃类、酯类和酚类化合物较少。这些化合物通常具有较高的风味阈值，而被认为对肉品风味的贡献不大。2-戊基呋喃和乙酸乙

酯，分别具有蔬菜芳香和菠萝的果香气，且阈值均较低，对虎纹蛙肉的风味可能有一定贡献。

2.3 虎纹蛙肌肉脂肪酸的组成及含量

虎纹蛙肌肉中脂肪酸的组成及其相对含量如表2所示。在本研究中，共检出22种脂肪酸，其中饱和脂肪酸(SFA)8种，单不饱和脂肪酸(MUFA)5种，多不饱和脂肪酸(PUFA)9种。虎纹蛙肌肉脂肪酸主要由不饱和脂肪酸(UFA)组成，占总量的72.89%；SFA含量(27.12%)和PUFA含量(30.44%)相差不多；MUFA含量(42.45%)高于PUFA含量(30.44%)；n-6 PUFA含量(20.77%)高于n-3 PUFA的含量(9.67%)。

表2 虎纹蛙肌肉脂肪酸的组成与相对含量
Table 2 Compositions and contents of fatty acids in tiger frog meat

脂肪酸	相对含量/%	脂肪酸	相对含量/%
C _{12:0}	0.27	C _{18:3 n-6}	0.23
C _{14:0}	1.22	C _{18:3 n-3} (ALA)	6.02
C _{15:0}	1.09	C _{20:2 n-6}	0.80
C _{16:0}	16.30	C _{20:3 n-6}	0.13
C _{17:0}	2.01	C _{20:4 n-6} (ARA)	5.28
C _{18:0}	5.85	C _{20:4 n-3}	0.23
C _{19:0}	0.18	C _{20:5 n-3} (EPA)	2.22
C _{20:0}	0.19	C _{22:6 n-3} (DHA)	1.19
C _{16:1 n-7}	10.48	SFA	27.12
C _{18:1 n-9}	30.80	MUFA	42.45
C _{18:1 n-5}	0.16	PUFA	30.44
C _{19:1 n-10}	0.19	UFA	72.89
C _{20:1 n-11}	0.81	n-3 PUFA	9.67
C _{18:2 n-6} (LA)	14.33	n-6 PUFA	20.77

n-3 PUFA和n-6 PUFA具有不同的生理功能，但是过多的摄入n-3 PUFA或者n-6 PUFA对于人类的健康都是不利的，所以两者在日常膳食中的平衡相对来说更为重要，医学研究证明，n-3 PUFA和n-6 PUFA的平衡摄入将会预防心血管疾病、关节炎、哮喘、癌症和精神性疾病等多种疾病^[11]。国际粮农组织和世界卫生组织(FAO/WHO)联合委员会推荐，在日常膳食中n-6/n-3 PUFA的比值在5:1~10:1之间为宜^[12]。本研究中虎纹蛙肉中n-6/n-3 PUFA的比值为2.15。因此，尽管虎纹蛙肉中含有较高含量的n-6 PUFA，但是在正常饮食中，其为n-3 PUFA较为丰富的食物资源。科学研究表明，降低n-6 PUFA的摄入增加n-3 PUFA的摄入，将会防止心血管疾病和冠心病发生，防止慢性炎症性疾病(如关节炎、牛皮癣和炎症性肠病等)发生，并能提高视觉功能^[13]。

油酸(C_{18:1 n-9})为虎纹蛙肌肉中含量最高的脂肪酸，占到总脂肪酸的30.80%，其次为棕榈酸(C_{16:0})和亚油酸(C_{18:2 n-6}, LA)，含量分别为16.30%和14.33%。α-亚麻酸(C_{18:3 n-3}, ALA)、二十碳五烯酸(C_{20:5 n-3}, EPA)和二十二碳六烯酸(C_{22:6 n-3}, DHA)为主要的n-3 PUFA，与耿宝荣等^[3]研究结果一致。n-3 PUFA不能由人类自身合成，只能通过饮食获得^[14]。耿宝荣等^[3]报道ALA、EPA

和 DHA 具有抗病、解毒、增强免疫力等作用。

本研究所测定的脂肪酸组成比较复杂,与耿宝荣等^[3]研究的虎纹蛙肉中脂肪酸组成差异较大。本研究虎纹蛙肌肉中除含有奇数碳链脂肪酸(如 15、17、19、C_{19:1 n-10})外,还检出 C_{20:0}、C_{18:1 n-5}、C_{20:1 n-11}、 γ -亚麻酸(C_{18:3 n-6})、C_{20:2 n-6}、C_{20:3 n-6}、ARA 和 C_{20:4 n-3} 等多种脂肪酸。从脂肪酸的相对含量上讲,ARA 为本研究中检出的一种含量较高的脂肪酸(5.28%),而在耿宝荣等^[3]研究中未有检出。其研究检测出的 DHA 含量(7.50%)高于本研究中的 DHA 含量(1.19%),而 ALA 含量 1.80%。低于本研究中的 ALA 的含量(6.02%)。究其原因,可能与虎纹蛙样本的性别比例(其研究中雌雄比例为 1:3)、营养条件和生活环境等因素有关。ALA 是 DHA 和 EPA 等 $n-3$ PUFA 的前体物质,而 LA 是 $n-6$ PUFA 中 ARA 的前体物质^[15]。由此可以发现,脂肪酸组成和含量的差异也可能与所测虎纹蛙自身合成不同长链脂肪酸的能力有关。另外,本研究中脂肪提取方法与耿宝荣等^[3]研究中脂肪提取方法不同,其研究中脂肪提取方法为索式提取法。显然其研究中提取的脂肪主要为甘油三酯,本研究提取的脂肪包括甘油三酯和磷脂。刘源等^[16]报道,甘油三酯只含极低比例的 PUFA,而磷脂含有高比例的 PUFA,特别是含有 3 个或者更多双键的脂肪酸,如 ARA,这可能为 ARA 未有在耿宝荣等^[3]研究中检出的一个重要原因。本研究中 PUFA 含量较高,大于耿宝荣等^[3]研究中的 PUFA 含量。

2.4 脂肪酸对挥发性成分的影响

风味主要来自前体物质脂肪、蛋白质、碳水化合物和一些微量的矿物质和维生素等,其中,脂肪起着关键性的作用,它是肉品主要的风味前体物质^[16]。脂肪衍生的挥发性物质是由热导致的磷脂和甘油三酯中脂肪酸的氧化产生的,这些成分无论是作为香味化合物,还是作为其他化合物的中间体对于理想的肉类香味都是十分重要的^[16]。由表 1 可以看出,虎纹蛙肌肉挥发性成分大部分为脂肪降解的产物,如醛类、醇类、酮类、烃类和呋喃类等化合物^[17],这与虎纹蛙肉含有较高含量的 UFA 有关,UFA 比 SFA 更容易自动氧化产生肉风味。

脂肪酸是影响肉品风味的一个重要因素。它不仅具有重要的营养价值,还是重要的风味前体物质。肉的独特风味与 UFA 有着很大关系,特别是 PUFA,它极易氧化,其氧化产物直接影响风味物质的组成。挥发性羰基化合物和醇类化合物是通过特定的脂肪氧化酶作用于脂质中的 PUFA 衍生而来^[8]。其中,烷基醛、烯醛和二烯醛是亚油酸酯和亚麻酸酯的氢过氧化物的降解产物^[8]。而本研究中 LA 和 ALA 含量较高,这可能为蛙肉含有较高含量的醛类化合物的主要原因。另外,研究中高含量的己醛和 1-辛烯-3-醇为亚油酸的降解产物。

3.1 虎纹蛙肌肉挥发性成分主要由挥发性羰基化合物和醇类化合物组成,醛类化合物最为丰富。通过分析讨论挥发性成分对蛙肉的整体风味可能的贡献,初步认为己醛、(Z)-4-庚烯醛、(E,Z)-2,4-癸二烯醛、(E,E)-2,4-癸二烯醛、1-辛烯-3-醇和 2,3-戊二酮等成分可能为虎纹蛙肉的重要挥发性风味物质。另外,戊醛、己醛、庚醛、辛醛、壬醛、苯甲醛、2,3-辛二酮、1-辛烯-3-酮、3,5-辛二烯-2-酮、2-戊基呋喃和乙酸乙酯等成分对蛙肉的风味也可能有一定贡献。

3.2 虎纹蛙肌肉 UFA 含量丰富,在日常饮食中为 $n-3$ PUFA 较为丰富的食物资源。油酸为含量最高的脂肪酸,占到总脂肪酸的 30.80%,其次为棕榈酸和 LA,含量分别为 16.30% 和 14.33%。ALA、EPA 和 DHA 为主要的 $n-3$ PUFA。虎纹蛙肌肉脂肪酸不仅具有重要的营养价值,而且对风味的产生也有重要作用。肉的独特风味与 UFA(特别是 PUFA)有着密切关系。

参考文献:

- [1] XIE Jianchun, SUN Baoguo, ZHENG Fuping, et al. Volatile flavor constituents in roasted pork of Mini-pig[J]. Food Chemistry, 2008, 109(3): 506-514.
- [2] 戴聪杰, 耿宝荣. 虎纹蛙的含肉率及蛙肉和蛙皮氨基酸组成分析[J]. 动物学杂志, 2003, 38(2): 60-64.
- [3] 耿宝荣, 戴聪杰. 虎纹蛙蛙肉和蛙皮的营养成分分析与评价[J]. 营养学报, 2004, 26(5): 403-405.
- [4] 刘丽, 刘楚吾, 林东年, 等. 泰国虎纹蛙与中国虎纹蛙肌肉的营养成分比较[J]. 水利渔业, 2008, 28(3): 64-66.
- [5] FOLCH J, LESS M, STANLEY G H S. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues[J]. Journal of Biology and Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [6] 王怡娟, 姜永江, 陈梨柯. 养殖美国红鱼鱼肉中挥发性成分的研究[J]. 水产科学, 2009, 28(6): 303-307.
- [7] 刘登勇, 周光宏, 徐幸莲. 确定食品关键风味化合物的一种新方法: ROAV 法[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 370-374.
- [8] SHAHIDI F. 肉制品与水产品的风味[M]. 李洁, 朱国斌, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2001: 143-175.
- [9] NO'BREGA I C C, ATAI'DE C S, MOURA O M, et al. Volatile constituents of cooked bullfrog (*Rana catesbeiana*) legs[J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 186-191.
- [10] CHEN Dewei, ZHANG Min. Analysis of volatile compounds in Chinese mitten crab (*Eriocheir Sinensis*) [J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2006, 14(3): 297-303.
- [11] FERNÁNDEZ M, ORDÓÑEZ J A, CAMBERO I, et al. Fatty acid compositions of selected varieties of Spanish dry ham related to their nutritional implications[J]. Food Chemistry, 2007, 101(1): 107-112.
- [12] FAO/WHO. Fats and oils in human nutrition. Report of a joint FAO/WHO expert consultation[R]. Rome: FAO/WHO, 1993.
- [13] HUYNH M D, KITTS D D. Evaluating nutritional quality of pacific fish species from fatty acid signatures[J]. Food Chemistry, 2009, 114(3): 912-918.
- [14] AKPINAR M A, GÖRGÜN S, AKPINAR A E. A comparative analysis of the fatty acid profiles in the liver and muscles of male and female *Salmo trutta macrostigma* [J]. Food Chemistry, 2009, 112(1): 6-8.
- [15] GIL A. Polyunsaturated fatty acids and inflammatory disease[J]. Bio-medicine and Pharmacotherapy, 2002, 56(8): 388-396.
- [16] 刘源, 徐幸莲, 王锡昌, 等. 脂肪对鸭肉风味作用研究[J]. 中国食品学报, 2009, 9(1): 95-100.
- [17] LIU Yuan, XU Xinglian, OUYANG Gangfeng, et al. Changes in volatile compounds of traditional Chinese Nanjing water-boiled salted duck during processing[J]. Journal of Food Science, 2006, 71(4): 371-378.

3 结 论