

不同加工方式的武昌鱼鱼肉中挥发性成分分析

李冬生¹, 李阳^{1,2}, 汪超¹, 廖李², 汪兰², 熊光权², 程薇², 乔宇^{2,*}

(1.湖北工业大学/工业发酵湖北省协同创新中心,湖北武汉 430068;

2.湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所/

湖北省农产品辐照工程技术研究中心,湖北武汉 430064)

摘要:以武昌鱼为原料,对原料进行盐腌,盐腌后的武昌鱼进行自然风干、油炸、冷冻干燥和热风烘干4种加工处理,对原料进行腌制,再对腌制过后的武昌鱼进行自然风干、油炸、冷冻干燥和热风烘干处理,并采用顶空-固相微萃取技术结合气质联用仪对鱼肉中挥发性成分进行鉴定。结果表明:5种不同加工方式的武昌鱼鱼肉中分别检测到45、34、34、38和43种成分。腌制和4种加工后5种加工后的武昌鱼鱼肉中共同检测出醛类、酮类和醇类,且所占比例最大。以腌制后的武昌鱼的总挥发性含量为参考标准,热风烘干和冷冻干燥后含量分别增加84.48%和65.39%,自然风干和油炸后挥发性含量分别降低11.57%和86.37%。从对挥发性组分的保留程度上来看,冷冻干燥和热风烘干效果是最好的,油炸效果最差。

关键词:武昌鱼,腌制,自然风干,油炸,冷冻干燥,热风烘干,挥发性成分

Analysis of volatiles in *Megalobrama amblycephala* by different processing methods

LI Dong-sheng¹, LI Yang^{1,2}, WANG Chao¹, LIAO Li², WANG Lan², XIONG Guang-quan², CHENG Wei², QIAO Yu^{2,*}

(1.Hubei University of Technology/Hubei Provincial Cooperative Innovation Center of Industrial Fermentation, Wuhan 430068, China;

2.Research Institute of Agricultural Products Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Sciences/Agricultural Products Processing Subcenter of Hubei Agricultural Science & Technology Innovation Center, Wuhan 430064, China)

Abstract: The salted *Megalobrama amblycephala* was processed with air drying, frying, freeze drying and hot air drying. The volatile components of *Megalobrama amblycephala* meat were extracted by headspace solid phase microextraction and identified by gas chromatography-mass spectrometry. The results showed a total of 45, 34, 34, 38 and 43 kinds of compounds were detected in different processing of *Megalobrama amblycephala*. Aldehyde, ketone and alcohol was the largest part of volatile components in both salted and four processed *Megalobrama amblycephala*. Base on volatiles components of the pickled *Megalobrama amblycephala*. The volatile components of *Megalobrama amblycephala* meat processed with hot air drying and freeze drying was increased 84.48% and 65.39%, respectively. The volatile components of *Megalobrama amblycephala* meat processed with air drying and frying was decreased 11.57% and 86.37%, respectively. Base on the degree of the reserved volatile components, The effect of freeze-drying and hot air drying was the best in the four, on the contrary, that of fry was the worst.

Key words: *Megalobrama amblycephala*; pickle; air - drying; frying; freeze drying; hot air drying; volatile components

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)23-0049-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2014.23.001

武昌鱼,学名团头鲂 (*Megalobrama*

amblycephala),原产于湖北省鄂州梁子湖。与四大淡水鱼相比,武昌鱼有着其独特的风味,目前在我国淡水鱼养殖产业中,武昌鱼已经成为主要养殖品种之一^[1]。新鲜的鱼含水量丰富,长期贮藏容易腐败变质,使得产品品质降低,因此必须及时采取有效的保鲜措施或进入加工的环节。加工后不仅能够延长产品的货架期,还能提高原料的利用率和附加值。目

收稿日期:2014-02-20

作者简介:李冬生(1961-),男,硕士,教授,研究方向:食品生物技术。

*通讯作者:乔宇(1981-),女,博士,副研究员,研究方向:农产品加工。

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(31201317);国家科技支撑课题(2010BAD01B07;2014BAA03B05)。

前对武昌鱼的加工工艺有清蒸^[2]、风干^[3]、油炸、烘干、冷冻干燥^[4]等。由于各种加工方式的加工原理和工艺不一样,加工过程中对武昌鱼的营养成分和风味影响也大不相同,最终影响着生产成本和消费者的感官喜好。

本研究以武昌鱼为原料,采用顶空固相微萃取-气质联用技术分析比较了不同加工处理后的武昌鱼挥发性成分的变化,对不同加工方式对武昌鱼挥发性成分的影响进行研究,为武昌鱼相关制品的加工工艺提供有效的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

武昌鱼 鲜活,湖北工业大学社区生鲜市场购得(0.4~0.6kg),急杀后去内脏和鳞片等;云鹤牌精制碘盐 湖北盐业有限公司;氯化钠 分析纯,国药集团化学试剂有限公司;双蒸水。

SPME 萃取装置 57330U SUPELCO;气质联用仪 7890A/5975C Agilent 仪器有限公司;多用途干燥箱 DP01 Sida 仪器有限公司;双缸电炸炉 S-XC-DZL 北京食之秀机械设备有限公司;圆形装料盘 直径 360mm,8 层,德国 Christ 公司研制;Delta1-24Lsc 冻干机;BD-25LTB 型低温冰冻柜 -40℃,海尔公司。集热式恒温加热磁力搅拌器 DF-101S 郑州长城科工贸有限公司;真空包装机 DZ-280/2SD 东莞市金桥科技电器制造有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 加工方式 将 12 条整只清洗后的武昌鱼浸泡于 15% 的食盐溶液中 1h,料液比为 1:4;腌制之后进行分组,每组 3 条,分别标号 1~4,将 1 号吊挂在室外阴凉通风处自然晾晒 1 周;将 2 号样置于 60℃ 恒温鼓风干燥箱中烘干 24h,每隔 30min 翻动一次,反复

翻动 6 次;将 3 号样置于电炸炉中 140℃ 进行油炸;将 4 号-36℃ 冷冻过夜后置于冷冻干燥机中干燥 24h。真空密封后置于常温干燥器中以待分析。

1.2.2 固相微萃取条件 称取 3g 鱼肉放于 50mL 螺口样品瓶中,加入 12mL 去离子水和 4g NaCl,用聚四氟乙烯隔垫密封,60℃ 置于磁力搅拌器中水浴平衡 15min。然后用 DVB/CAR/PDMS 50/30μm (二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷) 萃取头顶空吸附 60min 后,将萃取头插入 GC 进样,解析 5min。

1.2.3 色谱条件 柱型采用 Agilent HP-5ms 毛细管柱(60 m × 250μm × 0.25μm);程序升温:初温 40℃ 以 2.5℃/min 的速率升温到 130℃,保持 1min。再以 8℃/min 的速率升温到 250℃ 保持 1min;进样口温度 270℃,不分流;载气为氦气;体积流量为 1.0mL/min。

1.2.4 质谱条件 电离方式为:EI;电子能量:70eV;电压 350V;连接口温度 280℃;离子源温度 230℃;四极杆温度 150℃;质量扫描范围 m/z 35~395u。

1.2.5 定性与半定量方法 化合物定性方法:经 NIST08 数据库检索定性;化合物定量方法:内标法,采用乙酸正戊酯为内标进行半定量;计算公式为:各挥发性成分的含量(ng/g) = 各组分的峰面积 × 内标物质量(ng)/(内标物峰面积 × 样品量(g))。

2 结果与分析

2.1 不同加工方式的腌制武昌鱼挥发性成分分析

对不同加工处理后的武昌鱼鱼肉的挥发性成分进行分析,经 NIST08 谱库检索,各组分鉴定分析如表 1 所示,腌制后的鱼肉中共鉴定出 45 种化合物,其中醛类 17 种(37.23%)、醇类 10 种(44.17%)、酮类 1 种(9.01%)、烯炔 7 种(3.21%)、烷炔 9 种(6.01%)、酯 1 种(0.36%)。在已鉴定出的 35 种化合物中己醛(5.31%)、壬醛(18.38%)、己醇(5.64%)、1-辛烯-3

表 1 不同处理后的武昌鱼鱼肉中的挥发性成分的分析

Table 1 Volatile components in *Megalobrama amblycephala* meat after different treatments

化合物英文名	化合物中文名	含量(ng/g)				
		腌制	自然风干	油炸	冷冻干燥	热风烘干
Hexanal	己醛	713.24	862.67	78.76	2571.3	3272.75
Heptanal	庚醛	176.28	182.56	10.21	267.77	387.83
2-Heptenal, (E)-	(E)-2-庚烯醛	45.21	32.54	6.59	32.88	119.26
Benzaldehyde	苯甲醛	138.01	118.37	14.27	217.07	374.06
Octanal	辛醛	434.9	274.02	27.58	755.63	1107.96
2,4-Heptadienal, (E,E)-	(E,E)-2,4-庚二烯醛	114.11	367.82	18.22	N.D.	77.26
2-Octenal, (E)-	(E)-2-辛烯醛	180.22	137.1	18.22	316.01	525.14
Nonanal	壬醛	2468.97	1564.03	264.23	4135.74	4533.29
2-Nonenal, (E)-	(E)-2-壬烯醛	87.4	25.86	4.7	89.32	266.31
Benzaldehyde, 3-ethyl-	3-乙基-苯甲醛	77.1	52.06	N.D.	81.29	192.05
cis-4-Decenal	(Z)-4-癸烯醛	N.D.	79.26	N.D.	165.55	149.14
Decanal	癸醛	76.37	62.09	N.D.	233.72	186.65
2,4-Nonadienal, (E,E)-	(E,E)-2,4-壬二烯醛	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	51.78
2-Decenal, (E)-	(E)-2-癸烯醛	78.84	N.D.	N.D.	N.D.	362.43
Undecanal	十一醛	N.D.	26.66	11.64	N.D.	55.58
2-Undecenal	2-十一烯醛	69.03	N.D.	N.D.	61.51	N.D.
Dodecanal	月桂醛	N.D.	N.D.	11.31	275.27	N.D.

续表

化合物英文名	化合物中文名	含量 (ng/g)				
		腌制	自然风干	油炸	冷冻干燥	热风烘干
2,4-Decadienal, (E,E)-	(E,E)-2,4-癸二烯醛	205.23	196.52	29.54	215.01	880.59
Benzaldehyde,4-pentyl-	4-丙基-苯甲醛	57.29	N.D.	N.D.	20.42	N.D.
Tridecanal	十三醛	35.92	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Tetradecanal	肉豆蔻醛	44.42	59.94	2.13	40.32	218.65
1-Hexanol	己醇	758.06	830.87	33.38	1396.13	561.71
1-Heptanol	庚醇	229.02	89.78	30.36	218.03	215.73
1-Octen-3-ol	1-辛烯-3-醇	2863.64	4165.85	171.65	4221.92	3521.69
3-Octanol	3-辛醇	N.D.	11.33	N.D.	N.D.	N.D.
1-Hexanol,2-ethyl-	2-乙基-己醇	N.D.	N.D.	N.D.	550.43	N.D.
Eucalyptol	桉叶油醇	N.D.	N.D.	N.D.	111.12	N.D.
2-Octen-1-ol, (E)-	(E)-2-辛烯-1-醇	538.78	691.93	18.91	459.02	673.46
1-Octanol	辛醇	605.26	284.01	52.08	536.95	617.45
3-Octanol,2-methyl-	2-甲基-3-辛醇	537.93	N.D.	N.D.	N.D.	658.22
3-Nonen-1-ol, (Z)-	(Z)-3-壬烯-1-醇	24.98	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
1-Nonanol	壬醇	315.45	79.78	32.82	254.26	114.38
1-Nonen-3-ol	1-壬烯-3-醇	N.D.	62.4	N.D.	N.D.	N.D.
1-Undecanol	十一醇	46.5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2-Cyclohexen-1-ol	2-环己烯-1-醇	N.D.	N.D.	14.32	N.D.	337.96
Cedrol	雪松醇	14.55	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2,3-Octanedione	2,5-辛二酮	1211.07	1041.36	171.65	2560.61	1577.36
3,5-Octadien-2-one, (E,E)-	(E,E)-3,5-辛二烯-2-酮	N.D.	N.D.	316.61	N.D.	N.D.
1-Hexene,3,5,5-trimethyl-	3,5,5-三甲基-己烯	75.12	N.D.	N.D.	N.D.	44.78
D-Limonene	柠檬烯	25.69	N.D.	31.61	821.99	108.53
1,3-Hexadiene, 3-ethyl-2-methyl-	3-乙基-2-甲基-1,3-己二烯	88.29	40.66	N.D.	N.D.	299.59
1,3,6-Octatriene,3,7-dimethyl-	3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯	42.7	71.56	548.9	N.D.	154.44
2,4,6-Octatriene, 2,6-dimethyl-, (E,Z)-	(E,Z)-2,6-二甲基-2, 4,6,-辛三烯	N.D.	N.D.	51.93	N.D.	N.D.
1,3-Cyclooctadiene	环辛二烯	N.D.	N.D.	N.D.	93.01	N.D.
1-Decene,3,4-dimethyl-	3,4-二甲基-1-癸烯	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	118.46
1,4-Octadiene	1,4-辛二烯	71.14	N.D.	N.D.	N.D.	77.56
5-Dodecene, (E)-	(E)-5-十二烯	N.D.	2.72	N.D.	N.D.	N.D.
5-Octadecene, (E)-	(E)-5-十八烯	N.D.	N.D.	N.D.	24.42	N.D.
3-Heptadecene, (Z)-	(Z)-3-十七烯	61.14	N.D.	3.54	32.02	N.D.
8-Heptadecene	8-十七烯	67.11	N.D.	1.85	N.D.	324.94
1-Heptadecene	1-十七烯	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	41.1
Decane	癸烷	N.D.	N.D.	85.2	N.D.	N.D.
Undecane	十一烷	20.81	N.D.	10.44	45.05	43.29
Dodecane	十二烷	25.48	33.31	16.93	293.05	67.48
Tridecane	十三烷	27.76	N.D.	7.02	74.57	161.32
Tetradecane	十四烷	28.56	14.78	5.88	108.4	65.34
Pentadecane	十五烷	136.72	48.74	9.84	114.11	893.13
Hexadecane	十六烷	71.05	40.75	5.35	184.8	128.83
Heptadecane	十七烷	435.25	230.9	30.33	291.45	1136.4
Octadecane	十八烷	21.19	42.05	N.D.	33	48.23
Nonadecane	十九烷	40.77	55.84	N.D.	N.D.	32.78
Hexanoic acid, ethyl ester	己酸乙酯	29	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

-醇 (21.31%)、(E)-2-辛烯醇 (4.01%)、辛醇 (4.51%)、2,5-辛二酮 (9.01%) 的含量较高。

自然风干处理后的鱼肉中共鉴定出 34 种化合物,其中醛类 15 种 (34.02%)、醇类 8 种 (52.32%)、

酮类 1 种 (8.77%)、烯炔 3 种 (0.97%)、烷炔 7 种 (3.93%)。在已鉴定出的 46 种化合物中,己醛 (7.26%)、(E, E)-2, 4-庚二烯醛 (3.10%)、壬醛 (13.17%)、己醇 (6.99%)、1-辛烯-3-醇 (35.07%)、(E)-2-辛烯-1-醇 (5.82%)、2,5-辛二酮 (8.77%) 的含量较高。相对于腌制的鱼肉,自然风干处理后的鱼肉挥发性含量降低了 11.57%。

油炸处理后的鱼肉中共鉴定出 35 种化合物,其中醛类 13 种 (27.16%)、醇类 7 种 (19.30%)、酮类 2 种 (9.37%)、烯炔 5 种 (34.83%)、烷炔 8 种 (9.34%)。在已鉴定出的 46 种化合物中,己醛 (4.30%)、壬醛 (14.43%)、1-辛烯-3-醇 (9.37%)、辛醇 (2.84%)、3, 7-二甲基-1, 3, 6-辛三烯 (29.97%)、癸烷 (4.65%)、2,5-辛二酮 (9.37%) 的含量较高。相对于腌制的鱼肉,油炸处理后的鱼肉挥发性含量降低了 86.37%。

冷冻干燥处理后的鱼肉中共鉴定出 37 种化合物,其中醛类 16 种 (42.66%)、醇类 8 种 (34.87%)、酮类 1 种 (12.95%)、烯炔 4 种 (4.37%)、烷炔 8 种 (5.15%)。在已鉴定出的 46 种化合物中,己醛 (11.57%)、辛醛 (3.40%)、壬醛 (18.61%)、己醇 (6.28%)、1-辛烯-3-醇 (19.00%)、柠檬烯 (3.70%)、2,5-辛二酮 (11.52%) 的含量较高。相对于腌制的鱼肉,冷冻干燥处理后的鱼肉挥发性含量升高了 65.39%。

热风烘干处理后的鱼肉中共鉴定出 43 种化合物,其中醛类 17 种 (51.49%)、醇类 8 种 (27.04%)、酮类 1 种 (6.36%)、烯炔 8 种 (4.72%)、烷炔 9 种 (10.40%)。在已鉴定出的 46 种化合物中,己醛 (13.20%)、辛醛 (4.47%)、壬醛 (18.29%)、1-辛烯-3-醇 (14.21%)、十五烷 (3.60%)、十七烷 (4.59%)、2,5-辛二酮 (6.36%) 的含量是最高的。相对于腌制的鱼肉,热风烘干处理后的鱼肉挥发性含量升高了 84.48%。江建等人^[4]曾报道,淡水鱼肉的挥发性成分主要是由醛类、醇类和酮类化合物组成。由本次结果可知,各个处理组的鱼肉中挥发性的醛类、醇类和酮类的含量基本上占总挥发性组分含量的 90% 以上,与文献报道一致。

2.2 不同加工方式对武昌鱼鱼肉挥发性物质含量的影响

2.2.1 醛 如表 2 所示,从含量上看,热风烘干 > 冷

冻干燥 > 腌制 > 自然风干 > 油炸,且不同处理方式之间相互之间含量差距非常大。鱼肉中的醛类主要是花生四烯酸、亚油酸和亚麻酸等脂肪酸在脂肪氧合酶氧化形成氢过氧化物的裂解而形成^[5], $C_6 \sim C_9$ 。醛类一般具有水果、蔬菜类似的青味,这些醛类通常被认为是对新鲜鱼肉风味影响最大^[6]。本次实验中己醛和壬醛同时在五种处理后的鱼肉中检测到,如表 1 所示,不同加工处理后二者含量大小关系与醛类总含量一致。对比油炸前后,己醛和壬醛的含量分别下降了 90.87% 和 89.30%,醛类的含量极少也标志着鱼肉本身的风味损失严重。

2.2.2 醇 鱼肉中醇类主要来自脂质的氧化分解产生^[7-8], $C_8 \sim C_9$ 的醇类化合物被认为鱼淡水鱼中的挥发性物质相关^[9],尤其是 1-辛烯-3-醇,具有类似蘑菇的气味,是鱼肉中的腥味成分之一^[10]。相对于腌制,4 种不同加工处理后的鱼肉中醇类的种类都是下降的,从含量上看,除油炸样品是下降 94.04%,其它 3 种处理方式分别增加 4.75%、30.56%、12.92%。如表 1 所示,冷冻干燥中己醛和 1-辛烯-3-醇的含量是所有处理后的鱼肉中最高的,其次是热风烘干和自然风干,油炸样品的含量依旧是最低的。

2.2.3 酮 酮类同样是由于不饱和脂肪酸的氧化降解而产生的。鱼肉中的酮类化合物会产生类似花香和果香的风味^[11]。本次实验结果,除油炸处理检测 2 种酮类,其它处理的鱼肉中只检测到了 2,5-辛二酮。如表 1 所示很明显冷冻干燥和热风烘干后 2,5-辛二酮的含量是升高的,而自然风干和油炸后的含量是下降的。油炸后的 2,5-辛二酮含量降低了 85.83%。

2.2.4 其它化合物 烷炔的含量相对来说不高,且烷炔大多阈值较高,对鱼肉整体风味贡献较小^[12]。碳氢化合物多是由于烷基自由基的脂质氧化过程或类胡萝卜素的分解产生^[13]。油炸过后的鱼肉中烯炔含量显著升高,占其总挥发性组分的比例是最大的,而其它处理后的鱼肉中烯炔含量较少。推测可能是由于类胡萝卜素在高温下降解产生。酯类化合物都具有令人愉快的水果香气或酒香味,但在本次实验中,只有腌制的鱼肉中检测到,其它 4 种加工方式鱼肉中均为检测到,推测可能是由于鱼肉自身酯类含量偏低以及加工损失。

3 结论

综合不同加工处理后的武昌鱼鱼肉挥发性组分

表 2 不同处理后武昌鱼鱼肉挥发性成分的种类及含量

Table 2 The kinds and contents of aromatic compounds found in *Megalobrama amblycephala* meat samples after different treatments

组分	腌制原始样		自然风干		油炸		冷冻干燥		热风烘干	
	种类	含量(ng/g)	种类	含量(ng/g)	种类	含量(ng/g)	种类	含量(ng/g)	种类	含量(ng/g)
醛	17	5002.54	15	4041.49	13	497.40	16	9478.80	17	12760.75
醇	10	5934.18	8	6215.94	7	353.54	8	7747.86	8	6700.61
酮	1	1211.07	1	1041.36	2	171.65	1	2877.22	1	1577.36
烯	7	431.18	3	114.95	5	637.83	4	971.44	8	1169.41
烷	9	807.60	7	466.37	8	170.99	8	1144.44	9	2576.79
酯	1	48.51	0	0	0	0	0	0	0	0
总计	45	13435.09	34	11880.11	35	1831.42	37	22219.75	43	24784.92

分析结果可知,加工方式对武昌鱼鱼肉挥发性组分的种类以及含量影响较大。因为武昌鱼鱼肉挥发性组分主要由挥发性醛类、酮类和醇类组成,故这三者的含量变化直接影响这武昌鱼鱼肉挥发性组分的变化。从挥发性组分含量结果可知,热风烘干和冷冻干燥后含量分别增加 84.48% 和 65.39%,自然风干和油炸后挥发性含量分别降低 11.57% 和 86.37%。从对挥发性组分的保留程度上来看,冷冻干燥和热风烘干效果是最好的,油炸效果最差。但是不同加工方式对生产设备和能耗的要求有差异,再则各种加工方式后产品的整体品质也不一样,因此就需要对不同加工后产品的营养成分以及特征香味进行进一步的深入研究,同时根据消费者需要灵活运用各种加工处理方式。

参考文献

- [1] 徐兴川,张江红,鲍继良.我国武昌鱼产业发展回顾与前景展望[J].渔业致富指南,2011(15):12-14.
- [2] 黄文,王益,戚向阳,等.清蒸武昌鱼的真空软包装加工工艺[J].食品科技,2002(6):23,28.
- [3] 明汉萍,董宝炎,喻陆一.风干武昌鱼软罐头的加工技术[J].渔业现代化,2002(2):30-31.
- [4] 陈学玲,何建军,程薇,等.武昌鱼真空冷冻升华干燥工艺的研究[J].湖北农业科学,2006,45(3):367-369,388.
- [5] I Medina, Suhur Saeed, Nazlin Howell. Enzymatic oxidative activity in sardine (*Sardina pilchardus*) and herring (*Clupea harengus*) during chilling and correlation with quality [J]. European Food Research and Technology, 1999, 210(1):34-38.
- [6] François Leduc, Pascal Tournayre, Nathalie Kondjoyan, et al. Evolution of volatile odorous compounds during the storage of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Food chemistry, 2012, 131(4):1304-1311.
- [7] Schieberle P, Grosch W, Kexel H, et al. A study of oxygen isotope scrambling in the enzymic and non-enzymic oxidation of linoleic acid [J]. Biochim Biophys Acta, 1981, 666(3):322-326.
- [8] Ventanas S, Esteveza M, Andrés A I, et al. Analysis of volatile compounds of Iberian dry-cured loins with different intramuscular fat contents using SPME-DED [J]. Meat Science, 2008, 79(1):172-180.
- [9] David B, Josephson D. Variations in the occurrences of enzymically derived volatile aroma compounds in salt and freshwater fish [J]. J Agric Food Chem, 1984, 32:1344-1347.
- [10] N Ganeko. Analysis of Volatile Flavor Compounds of Sardine (*Sardinops melanostica*) by Solid Phase Microextraction [J]. Journal of Food Science, 2008, 73:83-88.
- [11] Chung H. Aroma extract dilution analysis of volatile compounds from crab meat [J]. J Agric Food Chem, 1994, 42:2867-2870.
- [12] Josephson D. Enzymic hydroperoxide initiated effects in fresh fish [J]. J Food Sci, 1985, 52:596-600.
- [13] 张青.淡水鱼鱼肉中气味活性物质的鉴定[D].上海:上海海洋大学,2008.
- [14] 丁良,于朝云,杨慧,等.大蒜油中大蒜辣素的薄层扫描法[J].中成药,2007,29(2):305-306.
- [15] 周重阳,陈海波,罗艳.用生物检定法测定大蒜油汇总大蒜辣素和大蒜新素的含量[J].中草药,1997,28(1):18-20.
- [16] 唐辉,黄洪勇,陈坚,等.4-巯基嘧啶紫外法定量测定鲜蒜中大蒜辣素[J].食品科技,2007(4):183-187.
- [17] 李瑜,许时婴.分光光度法测定大蒜提取物中硫代亚磺酸酯[J].食品与机械,2004,20(3):51-53.
- [18] 张民,陈倩娟,刘玉柱.HPLC法测定大蒜中蒜氨酸和大蒜素的含量[J].食品与发酵工业,2009,35(2):156-158.
- [19] 孙永慧,王桂姬,张颖,等.高效液相色谱法测定大蒜油缓释片中大蒜素的含量[J].中国中医药信息杂志,2010,17(2):44-45.
- [20] Wang Haiping, Li Xixiang, Liu Su, et al. Quantitative Determination of Allicin in *Allium sativum* L. Bulbs by UPLC [J]. Chromatographia, 2010, 71(1):159-161.
- [21] 王海平,李锡香,刘新艳,等.大蒜辣素 UPLC 检测体系优化及其在大蒜资源评价中的应用[J].植物遗传资源学报, 2012, 13(6):936-945.
- [22] Arzanlou M, Bohlooli S. Introducing of Green Garlic Plant as a New Source of Allicin [J]. Food Chemistry, 2010, 120(1):179-183.
- [23] Yoo Miyoung, Lee Sanghee, Lee Sangil, et al. Validation of High Performance Liquid Chromatography Methods for Determination of Bioactive Sulfur Compounds in Garlic Bulbs [J]. Food Sci Biotechnol, 2010, 19(6):1619-1626.
- [24] 何妮,刘进奎,董小海,等.蒜素快速检测方法的建立及应用[J].中国调味品,2013,38(10):74-77.
- [25] 王建,张玲,贾斌,等.NY/T 1800-2009 大蒜及制品中大蒜素的测定 气相色谱法[S].北京:中国农业出版社,2009.
- [26] Lanzotti V. The analysis of onion and garlic [J]. J Chromatogr A, 2006, 1112(1-2):3-22.
- [27] Amault I, Haffner T, Siess MH, et al. Analytical method for appreciation of garlic therapeutic potential and for validation of a new formulation [J]. J Pharm Biomed Anal, 2005, 37(5):963-970.
- [28] 唐辉,陈坚.蒜氨酸及其相关活性组分的研究进展[J].国际药学研究杂志,2008,35(6):441-446.

(上接第 289 页)

119-122.

[10] 丁良,于朝云,杨慧,等.大蒜油中大蒜辣素的薄层扫描法[J].中成药,2007,29(2):305-306.

[11] 周重阳,陈海波,罗艳.用生物检定法测定大蒜油汇总大蒜辣素和大蒜新素的含量[J].中草药,1997,28(1):18-20.

[12] 唐辉,黄洪勇,陈坚,等.4-巯基嘧啶紫外法定量测定鲜蒜中大蒜辣素[J].食品科技,2007(4):183-187.

[13] 李瑜,许时婴.分光光度法测定大蒜提取物中硫代亚磺酸酯[J].食品与机械,2004,20(3):51-53.

[14] 张民,陈倩娟,刘玉柱.HPLC法测定大蒜中蒜氨酸和大蒜素的含量[J].食品与发酵工业,2009,35(2):156-158.

[15] 孙永慧,王桂姬,张颖,等.高效液相色谱法测定大蒜油缓释片中大蒜素的含量[J].中国中医药信息杂志,2010,17(2):44-45.

[16] Wang Haiping, Li Xixiang, Liu Su, et al. Quantitative Determination of Allicin in *Allium sativum* L. Bulbs by UPLC [J]. Chromatographia, 2010, 71(1):159-161.

[17] 王海平,李锡香,刘新艳,等.大蒜辣素 UPLC 检测体系优化及其在大蒜资源评价中的应用[J].植物遗传资源学报, 2012, 13(6):936-945.

[18] Arzanlou M, Bohlooli S. Introducing of Green Garlic Plant as a New Source of Allicin [J]. Food Chemistry, 2010, 120(1):179-183.

[19] Yoo Miyoung, Lee Sanghee, Lee Sangil, et al. Validation of High Performance Liquid Chromatography Methods for Determination of Bioactive Sulfur Compounds in Garlic Bulbs [J]. Food Sci Biotechnol, 2010, 19(6):1619-1626.

[20] 何妮,刘进奎,董小海,等.蒜素快速检测方法的建立及应用[J].中国调味品,2013,38(10):74-77.

[21] 王建,张玲,贾斌,等.NY/T 1800-2009 大蒜及制品中大蒜素的测定 气相色谱法[S].北京:中国农业出版社,2009.

[22] Lanzotti V. The analysis of onion and garlic [J]. J Chromatogr A, 2006, 1112(1-2):3-22.

[23] Amault I, Haffner T, Siess MH, et al. Analytical method for appreciation of garlic therapeutic potential and for validation of a new formulation [J]. J Pharm Biomed Anal, 2005, 37(5):963-970.

[24] 唐辉,陈坚.蒜氨酸及其相关活性组分的研究进展[J].国际药学研究杂志,2008,35(6):441-446.