

真空减压浓缩工艺对牛骨汤挥发性化合物的影响

杨濯羽¹, 李永鹏¹, 余群力^{1*}, 张 丽¹, 张文华², 张玉斌¹

(1.甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2.宁夏夏华清真肉食品有限公司, 宁夏 中卫 755002)

摘 要: 研究真空减压浓缩工艺对于牛骨汤中挥发性化合物的影响, 选取成年黄牛骨, 并分为2组: 普通牛骨汤组和浓缩牛骨汤组, 分别制备骨汤, 运用气相色谱-质谱联用技术进行挥发性化合物的测定。结果发现, 真空浓缩处理使牛骨汤不仅含有普通牛骨汤中的烃类、醇类、醛类、酮类、酯类、芳香族以及杂环类化合物外, 还产生了酸类、 β -倍半水芹烯、2,3-二甲基吡嗪等新物质。同时发现浓缩处理后的牛骨汤中的醛类物质减少了42.57%, 芳香族化合物含量增加了17.26%, 烃类物质增加了11.78%, 酯类物质增加了7.39%, 其他物质相对含量变化不明显。结果表明, 真空减压浓缩工艺能够提升芳香族和烃类化合物含量, 并减少醛类物质, 因而对牛骨汤中挥发性化合物具有明显影响。

关键词: 牛骨汤; 真空减压浓缩工艺; 挥发性化合物

Effect of Vacuum Concentration on Volatile Compounds in Beef Bone Stock

YANG Zhuo-yu¹, LI Yong-peng¹, YU Qun-li^{1*}, ZHANG Li¹, ZHANG Wen-hua², ZHANG Yu-bin¹

(1. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Ningxia Xiahua Muslim Food Co. Ltd., Zhongwei 755002, China)

Abstract: In order to investigate the effect of vacuum concentration on volatile compounds in beef stock, ordinary and concentrated beef bone stocks made from adult cattle bones were analyzed by GC-MS for volatile composition. In addition to hydrocarbons, alcohols, aldehydes, ketones, esters, aromatic compounds and heterocyclic compounds, the concentrated bone stock also contained the compounds acid, β -sesqui-phellandrene and 2,3-dimethyl- pyrazine, which were not found in the ordinary bone stock. Meanwhile, the content of aldehydes in the concentrated stock was 42.57% lower than in its ordinary stock, whereas the contents of aromatic compounds, hydrocarbons and esters were increased by 17.26%, 11.78% and 7.39% in the former, respectively, although no evident differences were observed for other volatile compounds. These results suggest that vacuum concentration can increase the contents of aromatic compounds and hydrocarbons and reduce the content of aldehydes, indicating a significant effect on volatile compounds in beef bone stock.

Key words: beef stock; vacuum concentration; volatile compounds

中图分类号: TS251.94

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)10-0159-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201310034

骨汤在中国悠久的烹饪文化占有重要的地位, 它是制作菜肴的一种重要原辅料。牛骨汤营养丰富, 富含钙质, 并由于其独特的口感与芳香, 深受人们的欢迎。然而, 牛骨汤独特的风味往往与其中的挥发性化合物密切相关。真空减压浓缩是在真空状态下对物料进行低温浓缩的过程。在真空状态下, 液体蒸汽压升高, 沸点降低, 可以在低温下发生沸腾汽化现象, 从而达到物料浓缩的效果。同时, 在真空减压浓缩下, 温度较低, 避免了营养和香气成分的损失。这种工艺被广泛应用于化

学、食品、生物制药等工业中, 而将真空减压浓缩工艺运用于牛骨汤产品的开发具有良好的市场前景。因此, 研究真空减压浓缩工艺对牛骨汤挥发性化合物的影响具有重大意义。

近年来, 我国对于畜骨的利用研究也取得了很多成就。据报道文鹏程等^[1]对于牛骨进行了微胶囊营养骨粉加工工艺的研究, 谢雯雯等^[2]对于排骨汤的贮藏特性和动力学进行了研究, 指出加工过程对骨汤储藏特性具有明显影响。国外也有一些针对肉及其挥发性物质的报道,

收稿日期: 2012-03-14

基金项目: 国家现代农业(肉牛牦牛)产业技术体系资助项目(CARS-38); 国家公益性行业(农业)科研专项(201203009)

作者简介: 杨濯羽(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品科学。E-mail: 277232319@qq.com

*通信作者: 余群力(1962—), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜产品加工。E-mail: yuqunlihl@163.com

Kantha等^[3]对罐头牛肉汤进行了高效液相色谱法测定, Elmore等^[4]研究了羔羊的脂肪酸组成及挥发性化合物。然而目前国内关于真空减压浓缩工艺对牛骨汤挥发性化合物影响的研究几乎未见报道。

本研究选取成年黄牛棒骨, 在有无真空减压浓缩工艺的情况下分别制备骨汤, 然后通过固相微萃取(solid-phase microextraction, SPME)进行挥发性化合物的采集, 再运用气相色谱-质谱联用技术(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)对牛骨汤中的挥发性化合物进行测定, 通过比较有无浓缩条件下牛骨汤产品挥发性化合物的差异, 分析真空减压浓缩工艺对于牛骨汤挥发性物质的影响, 以期最终为牛骨汤生产工艺的改善提供理论依据和技术方法。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

随机选取宁夏回族自治区中卫市自然放牧条件下, 发育正常、健康无病、月龄在18个月的公黄牛, 来自宁夏夏华清真肉食品有限公司。牛屠宰剔骨后, 采集牛棒骨, 并将其切分为3cm长的骨块, 以备牛骨汤制备。

氯化钠(分析纯) 天津市光复科技发展有限公司。

1.2 仪器与设备

AUTOSYSTEM XL- TURBOMASS型气相色谱-质谱联用仪 美国Perkinelmer公司; 固相微萃取手动进样器(50/30 μ mDVB/CAR/PDMS) 美国Supelco公司; DS-II型电热三用水箱 北京市医疗设备厂; DZF-6030A型真空干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司; YX-280A18L型不锈钢手提式电热压力蒸汽灭菌器 北京华威兴业科技有限公司。

1.3 牛骨汤的制备

表1 牛骨汤原料及浓缩参数

Table 1 Raw materials and processing parameters for preparation of beef stock

项目	内容	普通牛骨汤	浓缩牛骨汤
原料	水/mL	市售屈臣氏纯净水	750
	牛骨/g	将牛小腿骨切割为3cm长的小段	500
	牛肉/g	取新鲜牛背最长肌	80
	食盐/g	市售	3.5
	胡椒/g	选干制白胡椒	0.8
	花椒/g	选形状饱满的干制花椒	0.6
	葱/g	将葱切为长度为4cm左右的葱段	5
	姜/g	取新鲜姜切片, 厚度约为0.1cm	5
	浓缩工艺	是否进行浓缩处理	否
浓缩参数	真空度/MPa	浓缩进行的真空度	-
	温度/℃	浓缩进行的温度	-
	浓缩时间/h	浓缩进行的时间	-
	终产品体积/mL	最终产品的体积	300
	骨汤得率/%	骨汤体积占用水体积的百分比	40

牛骨汤预制: 取500g棒骨块, 清洗浸泡30min, 除去棒骨中血水, 加水预煮, 直到沸腾, 去浮沫, 捞出牛骨。将预处理后的棒骨放入高压釜中, 温度121~126℃, 压力0.1~0.15MPa, 高压煮骨1h后, 打开高压釜盖, 添加食盐、胡椒、花椒、葱、姜(表1)。然后, 进行常压煮制60min, 制成预制牛骨汤。

普通牛骨汤的制备: 将预制好的牛骨汤用文火再煮制3h后, 去除表面油脂, 用滤布分离汤渣, 得到普通牛骨汤, 其得率为40%。

浓缩牛骨汤的制备: 将预制好的牛骨汤用文火再煮制3h后, 去除表面油脂, 用滤布分离汤渣, 然后使用真空减压浓缩罐在真空度0.08MPa、温度70℃条件下进行减压浓缩, 浓缩时间为6h。浓缩后即得浓缩牛骨汤, 其得率为30%。

两组牛骨汤均选取同样的牛骨进行制备, 每组制备6份, 然后各取50mL装入100mL点滴瓶中, 用封口胶密封后以备挥发性化合物测定。

1.4 挥发性化合物测定

将装有骨汤样品的点滴瓶放入90℃水浴锅中, 加热60min, 然后冷却至60℃, 并保持在60℃恒温水域条件下, 使用手动SPME进样器, 通过静态顶空方法吸附30min, 吸附过程中点滴瓶始终保持密封状态。吸附完毕之后退出SPME进样器, 进行GC-MS分析。

色谱条件: 色谱柱为OV1701色谱柱(50m \times 0.2mm, 0.33 μ m); 升温程序: 50℃保持2min, 以3℃/min升至225℃, 保持1min; 载气(He)流速0.8mL/min, 分流进样, 20min后打开分流阀, 分流比1:20; 进样解吸温度250℃, 解吸时间2min。

质谱条件: 电子电离(electron ionization, EI)源; 电子能量70eV; 离子源温度200℃; 质量扫描范围10~400m/z。

1.5 数据处理

用TuborMass 4.1.1数据处理系统, 对GC-MS结果进行分析, 通过对比系统自带的NBS、Nist等数据库进行人工解析, 对离子流图中各物质的峰面积进行加和(排除峰面积小于100或无法定性的杂质峰), 得到总峰面积, 然后利用如下公式: 相对含量/%=各物质离子流图峰面积/总峰面积 \times 100, 计算出各挥发性成分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 普通牛骨汤与浓缩牛骨汤总离子流图

普通牛骨汤的总离子流图如图1所示, 通过GC-MS测定可看出普通牛骨汤中的挥发性化合物的出峰时间主要集中在2~50min。

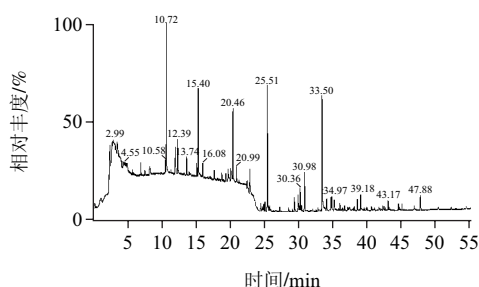


图1 普通牛骨汤的挥发性化合物总离子流图

Fig.1 Total ion chromatograms of volatile compounds from control beef stock

浓缩牛骨汤的总离子流图如图2所示,通过GC-MS测定可看出浓缩牛骨汤中的挥发性化合物的出峰时间同样主要集中在2~50min。

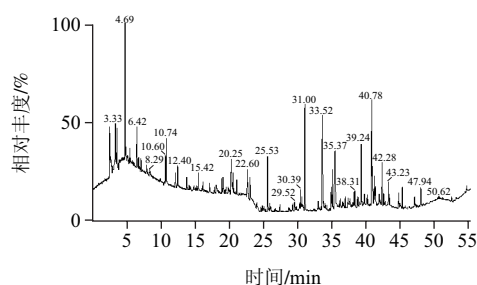


图2 浓缩牛骨汤的总离子流图

Fig.2 Total ion chromatograms of volatile compounds from concentrated beef stock

2.2 普通牛骨汤与浓缩牛骨汤的挥发性化合物种类比较

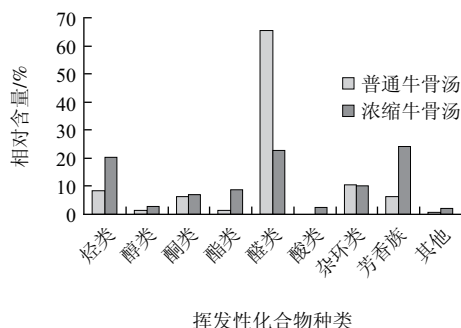


图3 浓缩牛骨汤与普通牛骨汤挥发性化合物种类及其含量

Fig.3 Volatile compounds and their relative contents in control and concentrated beef stock

普通牛骨汤与浓缩牛骨汤的挥发性化合物种类的差异如图3所示,普通牛骨汤中含有烃类、醇类、醛类、酮类、酯类、芳香族化合物、杂环类化合物、其他类,其中相对含量最高的物质为醛类物质,且相对含量高达65.40%;杂环类化合物排名第二,其相对含量明显低于醛类物质。烃类、酮类及芳香族化合物相对含量依次降低,分别为8.39%、6.72%和6.24%。醇类和酯类含量较

低,均不到5%,含量最少的是醚类物质。经浓缩处理后,除了含有上述9类物质外,还增加了酸类物质,两种牛骨汤在各类化合物的含量上也发生了变化。浓缩牛骨汤与普通牛骨汤相同,含量最高的同样是醛类物质,但其相对含量下降了42.57%,与此同时浓缩牛骨汤中的芳香族化合物含量增加了17.26%,增加程度最大,是浓缩处理前的4倍。经过浓缩处理后,烃类物质增加了11.78%,增加了1倍多,酯类物质增加了7.39%,醇类物质增加了1.43%。浓缩牛骨汤与普通牛骨汤的酮类物质与其他类物质相对含量变化不明显。

2.3 浓缩处理对牛骨汤中各种化合物的影响

浓缩牛骨汤与普通牛骨汤中检出的各种化合物如表2所示,普通牛骨汤中共检出61种物质,经浓缩处理后,浓缩牛骨汤共检出物质74种,比普通牛骨汤多13种。浓缩处理后醛类物质的变化明显,产生了许多普通牛骨汤中未发现的醛类物质,例如2-丁烯醛、乙缩醛、反,反-2,6-壬二烯醛、苯甲醛、对甲氧基苯甲醛、反式-2-十二醛。同时还有一些物质,例如反-2-己烯醛、反-2-庚烯醛等物质在浓缩骨汤中未被检测到,同时可以看出,在浓缩骨汤中,壬醛、己醛、庚醛、辛醛相对含量分别降低了11.31%、10.44%、9.75%、5.96%,同时浓缩牛骨汤醛类的物质均极显著低于普通牛骨汤,且反式-2,4-癸二烯醛在2种牛骨汤中的含量变化明显,其 P 值为0.049,其他醛类物质含量无显著影响。

浓缩处理对牛骨汤中的芳香族化合物也影响显著,使牛骨汤中产生了1,5-二甲基萘,但同时2,6-二甲基萘与1,3-二乙基萘未被检测到。其中浓缩骨汤的1-甲基萘与1,3-二甲基萘的含量是浓缩前的10倍左右。浓缩牛骨汤的烃类化合物比普通牛骨汤高出11.78%,且产生了二乙氧基甲烷、3-甲基壬烷、1,3,5-环庚烯、 β -倍半水芹烯。同时还有一些烃类物质,例如三氯甲烷、辛烷等在浓缩骨汤中未被检出,浓缩骨汤中产生的 β -倍半水芹烯相对含量为3.03%,被人们是一类具有特征香气的物质。浓缩骨汤中的酯类物质含量也变化显著,由1.27%增加到8.66%,这主要是由于乙酸乙酯的含量变化明显,浓缩后的骨汤中乙酸乙酯的相对含量是浓缩前的8倍多。同时浓缩骨汤中产生了普通骨汤中未检测到得酸类物质,含量为2.57%,主要为一些饱和酸。浓缩处理对于醇类、酮类、杂环类化合物以及其他类化合物的相对含量影响不明显,但2种骨汤在组成上略有差异。普通牛骨汤经过浓缩产生了一些2,5-二甲基吡嗪、2,3-二甲基吡嗪、2,2-二甲基-3-亚甲基二氢、二甲基二硫,这些物质通常被认为是对于骨汤风味有特殊贡献的物质。

表2 浓缩骨汤与原骨汤的挥发性化合物
Table 2 List of volatile compounds from control and concentrated beef stock

名称	相对含量/%		P值
	普通牛骨汤	浓缩牛骨汤	
烃类	8.39	20.17	0.0008
二乙氧基甲烷	—	0.13	
三氯甲烷	0.09	—	
辛烷	0.67	—	
壬烷	0.19	0.13	0.92
3-甲基戊烷	0.44	—	
3-甲基壬烷	—	0.63	
癸烷	0.92	1.58	0.83
十一烷	1.44	0.27	0.78
十二烷	1.13	1.70	0.88
3-甲基十三烷	—	0.13	
十三烷	0.98	2.27	0.49
十四烷	0.52	4.60	0.003
十五烷	0.54	2.52	0.42
1,3,5-环庚烯	—	0.27	
1,3,5,7-环辛四烯	0.29	0.35	0.91
己烯	—	0.19	
十二烯	0.06	0.61	0.89
双戊烯	0.57	0.98	0.91
8-甲基十一烯	0.49	—	
反式石竹烯	0.06	0.78	0.73
β -倍半水芹烯	—	3.03	
醇类	1.30	3.34	0.004
戊醇	—	0.04	
1-辛烯-3-醇	—	0.12	
异辛醇	0.43	0.41	0.95
辛醇	0.55	0.79	0.91
反式-2-癸烯醇	0.07	—	
壬醇	0.15	—	
2-癸烯-1-醇	0.10	—	
2-苯基-2-丙醇	—	0.61	
庚醇	—	0.41	
十二醇	—	0.96	
酮类	6.27	6.87	0.84
丙酮	0.22	6.00	0.0023
2-庚酮	0.90	0.24	0.047
2,3-戊二酮	—	0.07	
2,3-辛二酮	2.58	0.17	0.007
2-辛酮	1.14	—	
2-壬酮	0.54	0.12	0.033
苯乙酮	—	0.10	
2-十一酮	0.89	0.17	0.041
酯类	1.27	8.66	0.0003
乙酸乙酯	0.72	5.88	0.004
乙酸丁酯	0.51	1.51	0.62
丙酸乙酯	0.04	0.11	0.88
戊酸乙酯	—	0.32	
正己酸乙酯	—	0.84	
醛类	65.40	22.83	0.0001
异戊醛	0.20	0.30	0.82
2,4-己二烯醛	0.08	0.31	0.91
戊醛	1.34	0.61	0.042
己醛	14.29	3.85	0.001
2-丁烯醛	—	2.50	
乙缩醛	—	0.52	

续表2

名称	相对含量/%		P值
	普通牛骨汤	浓缩牛骨汤	
反-2-己烯醛	0.24	—	
庚醛	11.00	1.25	0.0019
辛醛	7.78	1.82	0.0023
反-2-庚烯醛	1.58	—	
反-2-辛烯醛	1.37	0.31	0.81
壬醛	14.99	3.68	0.0007
反-2-壬烯醛	3.41	1.00	0.007
反,反-2,6-壬二烯醛	—	0.62	
反,反-2,4-壬二烯醛	0.40	—	0.93
反-2-癸烯醛	2.65	—	
反式-2,4-癸二烯醛	1.02	0.90	0.049
反式-2-十二烯醛	2.81	—	
苯甲醛	—	2.08	
癸醛	1.93	1.73	0.9
对甲氧基苯甲醛	—	0.60	
反式-2-十二醛	—	0.75	
十一醛	0.31	—	
酸类	—	2.57	
乙酸	—	0.98	
己酸	—	0.61	
辛酸	—	0.98	
杂环类化合物	10.52	10.08	0.031
2,2-二甲基-3-亚甲基二环	—	0.47	
2,5-二甲基吡嗪	—	0.11	
6,6-二甲基-2-亚甲基双环	—	0.13	
2,3-二甲基吡嗪	—	0.12	
1-异丙基-4-亚甲基双环	—	0.17	
2-戊基呋喃	0.30	0.60	0.043
奥昔菊环	0.17	0.12	0.86
苯并噻唑	9.66	8.13	0.043
2-甲基苯并噻唑	0.39	0.23	0.78
芳香族化合物	6.24	23.50	0.0087
乙基苯	1.33	0.77	0.005
邻二甲苯	1.83	2.07	0.007
对二甲苯	0.94	0.83	0.053
2,6-二甲基萘	0.23	—	
1-甲基萘	0.63	8.19	0.0003
1,3-二甲基萘	0.78	9.16	0.0043
1,5-二甲基萘	—	1.19	
1,3-二乙基苯	0.13	—	
苯酚	0.22	0.32	0.08
4-丙烯基-2-甲氧基苯酚	0.15	0.97	0.62
其他	0.61	1.98	0.007
二甲基二硫	—	0.57	
4-丙烯基苯甲醛	0.61	1.41	0.63

注：—，未检出。

浓缩牛骨汤中的醛类物质显著低于普通牛骨汤，芳香族化合物、烃类、酯类物质的相对含量变化显著，对于其余化合物的相对含量影响不明显，但它们的组成有所不同。

3 讨论

浓缩处理后的牛骨汤不仅含有普通牛骨汤中所含有的烃类、醇类、醛类、酮类、酯类、芳香族化合物、杂

环类化合物、其他类外,还增加了酸类物质。这与成坚等^[5]对于鹅肉汤中挥发性成分以及Calkins等^[6]对于肉中所含基本挥发性化合物的种类的分析基本一致。浓缩处理后产生的酸类物质,多为短链脂肪酸,这些物质一般被认为是加热或者其他加工过程中通过与其他物质间的相互反应和裂解生成。根据Howard^[7]的理论,水解度越高,产生挥发性化合物的种类和数量就越多,实验中同样也证明了这一观点,浓缩后产生的挥发性化合物比浓缩前多13种,证明浓缩处理对于增加牛骨汤挥发性化合物具有良好的作用。

浓缩牛骨汤与普通牛骨汤中检出醛类物质均为17种,但其相对含量由65.4%下降到22.83%,且浓缩骨汤中饱和醛的含量明显下降。研究表明己醛和2,4-癸二烯醛是亚油酸氧化的基本产物,亚油酸的自氧化作用产生了亚油酸的9-氢过氧化物和13-氢过氧化物。13-氢过氧化物断裂生成己醛,9-氢过氧化物断裂生成2,4-癸二烯醛^[8]。浓缩牛骨汤中的己醛含量明显下降,说明浓缩处理可以减缓脂肪酸的氧化^[9]。有文献指出酯类在高温氧化过程中生成较多的2,4-癸二烯^[10],结果显示浓缩牛骨汤中的2,4-癸二烯的含量低于普通牛骨汤,这一结果与文献报道基本一致。浓缩后产生的2-丁烯醛、乙缩醛、苯甲醛等,其中苯甲醛通常被认为是Strecker氨基酸反应生成的^[11],本实验证明经过浓缩处理同样也可以产生该物质。

浓缩牛骨汤中烃类化合物相对含量增长了11.78%,浓缩牛骨汤中与普通牛骨汤中的烷烃均为10种,但浓缩牛骨汤中的烯烃种类为7种,多于普通骨汤。浓缩牛骨汤中十三烷、十四烷、十五烷的含量显著增长,且产生了许多烯烃类物质。不饱和烃和烯烃则是由肉中的不饱和脂肪酸通过水解、氧化、分解等一系列反应生成,他们可能对确定某些肉制品的特征风味具有重要作用,与Hadorn等^[12]对于脂肪酸与挥发性化合物的相关性的研究基本一致。故推断浓缩处理能够增加骨汤中的风味物质。反式石竹烯含量的增长与 β -倍半水芹烯的产生可以反映出动物放牧地点的牧草特色^[13]。

浓缩牛骨汤与普通牛骨汤中2-戊基呋喃的差异显著($P=0.043$),它的阈值相对较低(大约为 4×10^{-9}),具有蔬菜芳香^[14]。2-戊基呋喃作为肉品脂质氧化的指示物可能对牛骨汤的整体风味作用较大。增加的物质还有2,5-二甲基吡嗪、2,3-二甲基吡嗪等杂环类化合物,2,3-戊二酮、苯乙酮等酮类物质。杂环类化合物来源较广,刘源等^[15]认为烷基吡嗪的形成途径可能是二分子一胺基酮缩合,浓缩处理可能加剧了该反应的进行,增加了杂环类化合物的种类。肉制品中常见的挥发性杂环化合物主要有:吡啶、吡嗪、噻吩、噻唑和呋喃等物质。这些物质一般呈味阈值比较低,同时又具有重要的感官特性,对肉制品的风味产生较大的影响^[16]。浓缩处理后产生了吡嗪类物质,结果证实了Rivas-Cañedo等^[17]的假设,吡嗪的产生主要与热加工有关,随着反应温度的上升,吡嗪类含量均

有所增加^[18]。酮类物质也是美拉德反应的重要产物,浓缩后的牛骨汤产生了2,3-戊二酮,它被认为具有强烈的奶油味,这可能会使浓缩牛骨汤的奶油香味增强。所以,浓缩工艺对于增加牛骨汤中的挥发性化合物有重要作用。

4 结 论

浓缩工艺增加了牛骨汤中挥发性物质的种类,且对其相对含量也有影响。浓缩牛骨汤不仅含有普通牛骨汤中所含有的烃类、醇类、醛类、酮类、酯类、芳香族化合物、杂环类化合物、其他类外,还增加了酸类物质。且浓缩处理对于牛骨汤中醛类物质含量显著降低,芳香族化合物、烃类、酯类物质含量有明显增加,对于其余化合物的相对含量影响不显著。最重要的是浓缩工艺使牛骨汤产生了一些具有独特风味的挥发性化合物,例如 β -倍半水芹烯、2,5-二甲基吡嗪、2,3-二甲基吡嗪、2,3-戊二酮等挥发性物质。结果表明,真空减压浓缩工艺能够提升芳香族和烃类化合物含量,并减少醛类物质,因而对牛骨汤中挥发性化合物具有明显影响。

参考文献:

- [1] 文鹏程. 微胶囊营养粉加工工艺及品质的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [2] 谢雯雯, 胡坚, 熊善柏, 等. 排骨汤的贮藏特性和动力学研究[J]. 食品科学, 2011, 32(22): 148-151.
- [3] KANTHA S S, TAKEUCHI M, WATABE S, et al. HPLC determination of carnosine in commercial canned soups and natural meat extracts[J]. Food Science and Technology, 2000, 33(1): 60-62.
- [4] ELMORE J S, COOPER S L, ENSER M, et al. Dietary manipulation of fatty acid composition in lamb meat and its effect on the volatile aroma compounds of grilled lamb[J]. Meat Science, 2005, 69(2): 233-242.
- [5] 成坚, 曾庆孝, 马佩玲. 水煮鹅肉汤挥发性风味成分的GC-MS分析[J]. 中国调味品, 2003, 9(9): 15-17.
- [6] CALKINS C R, HODGEN J M. A fresh look at meat flavor[J]. Meat Science, 2007, 77(1): 63-80.
- [7] HOWARD G B. modern methods of particle size analysis[M]. John Wiley & Sons, 1984: 5-10.
- [8] HO C T, ZHANG Y, SHI H, et al. Flavor chemistry of Chinese foods[J]. Food Reviews International, 1989, 5(5): 253-287.
- [9] SONCINI S, CANTONI L M, BIONDI P A. Preliminary study of the volatile fraction in the raw meat of pork, duck and goose[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2007, 20(5): 436-439.
- [10] GERMANA B, LUCIANA B, GIOVANNI P, et al. Flavor compounds of dry-cured ham[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40(2): 2389-2394.
- [11] MASON M E, JOHNSON B, HAMMING M C. Volatile components of roasted peanuts: the major monocarbonyls and some noncarbonyl components[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1967, 15(1): 66-70.
- [12] HADORN R, EBERHARD P, GUGGISBERG D, et al. Effect of fat score on the quality of various meat products[J]. Meat Science, 2008, 80(3): 765-770.
- [13] PRIOLO A, CORNU A, PRACHE S, et al. Fat volatiles tracers of grass feeding in sheep[J]. Meat Science, 2004, 66(2): 475-481.
- [14] 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.
- [15] 刘源, 周宏光, 徐兴联, 等. 南京盐水鸭挥发性风味化合物的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(1): 166-170.
- [16] MOTTAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.
- [17] RIVAS-CANEDO A, FERNÁNDEZ-GARCÍA E, NUÑEZ M. Volatile compounds in fresh meats subjected to high pressure processing: effect of the packaging material[J]. Meat Science, 2009, 81(2): 321-328.
- [18] 李永鹏, 余群力. 宰后成熟过程对牦牛肉中挥发性风味化合物的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(5): 1-5.