

# 冷却去油工艺 对牦牛骨汤挥发性化合物的影响

郭文瑞<sup>1</sup>,李永鹏<sup>1</sup>,王 军<sup>1</sup>,杨濯羽<sup>1</sup>,余群力<sup>1,\*</sup>,杨 勤<sup>2</sup>

(1.甘肃农业大学食品科学与工程学院,甘肃兰州 730070;

2.甘南藏族自治州畜牧科学研究所,甘肃甘南 747000)

**摘要:**为了研究冷却去油工艺对牦牛骨汤中挥发性化合物的影响,本实验选取成年牦牛骨制备骨汤,根据有无去油工艺分为:普通牛骨汤和冷却去油牛骨汤,运用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)进行挥发性化合物的测定。结果发现,冷却去油工艺使牛骨汤中的醛类和酯类物质分别减少了34.78%和16.65%,而酮类和烃类物质分别增加了33.37%和17.93%。来自于脂肪氧化产物的己醛、庚醛和辛醛分别显著减少了1.28%、7.44%、5.81%( $p < 0.05$ ),而来自于美拉德反应产物的苯并噻唑极显著减少了1.01%( $p < 0.01$ )。经去油工艺的牛骨汤新检出19种挥发性化合物,其中癸烷和2,3-庚二酮的含量最高,分别为5.85%和2.21%。结果表明,冷却去油工艺可以影响牦牛骨汤挥发性化合物的种类,能使部分挥发性化合物被GC-MS检出。

**关键词:**牦牛骨汤,去油工艺,挥发性化合物,气相色谱-质谱

## Effects of defatting process on volatile compounds in yak beef stock

GUO Wen-rui<sup>1</sup>, LI Yong-peng<sup>1</sup>, WANG Jun<sup>1</sup>, YANG Zhuo-yu<sup>1</sup>, YU Qun-li<sup>1,\*</sup>, YANG Qin<sup>2</sup>

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

2.Institute of Animal Sciences of Gannan Tibetan Autonomous Prefecture, Gannan 747000, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of defatting process on volatile compounds in yak beef stock, the volatile compounds of beef stock prepared with and without defatting process from yak were determined through gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). It was found that defatting process decreased aldehydes and esters in beef stock by 34.78% and 16.65% respectively, and increased ketones and hydrocarbons by 33.37% and 17.93% respectively. While hexanal, heptanal and octanal from lipid oxidation products was significantly decreased by 1.28%, 7.44% and 5.81% ( $p < 0.05$ ) respectively through defatting process, and benzothiazole from Maillard reaction products was highly significantly decreased by 1.01% ( $p < 0.01$ ). There were 19 volatile compounds only detected in beef stock with defatting process, such as decane and 2,3-heptadione (top 2 relative content, with 5.85% and 2.21%, respectively). It was showed that defatting process had a significant effect on volatile compounds in yak beef stock, and some volatiles could be detected through defatting process.

**Key words:** yak beef stock; defatting process; volatile compounds; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2013)22-0080-05

牦牛骨营养丰富,富含多种人体所需的营养物质,有巨大的经济开发潜力<sup>[1-2]</sup>。同时牦牛骨汤又具有独特的口感和风味,而这种独特的风味主要与其中的挥发性化合物有关。去油工艺是骨汤制作过程中一个非常重要的步骤,有助于改善骨汤的性状,避免

产品因含油量过高而导致的乳化效果差,品质不均一等缺陷。然而,去油工艺由于去除了大量油脂,其中不乏重要的风味物质前体,因而极有可能会对挥发性化合物产生影响。因此,研究去油工艺对牦牛骨汤挥发性化合物影响,对于牦牛骨汤产品品质控制而言,具有重大的理论指导意义。

近些年来,国内外均有针对肉中挥发性物质的研究报道。Stetzer等<sup>[3]</sup>研究了成熟与牛肉风味和挥发性化合物的影响,发现成熟可减少某些酸类物质。Rivas-Canedo等<sup>[4]</sup>研究了高压处理对猪肉挥发性化合物影响,发现加压处理的样品可能积累不同的挥发性化合物。而Snitkjaer等<sup>[5]</sup>研究了时间对牛骨汤中挥

收稿日期:2013-04-23 \* 通讯联系人

作者简介:郭文瑞(1988-),女,硕士研究生,研究方向:农产品加工与贮藏。

基金项目:国家自然科学基金(31260380);公益性行业(农业)科研专项(201203009);国家现代农业(肉牛牦牛)产业技术体系(CARS-38)。

发性化合物的影响,发现时间的长短均不利于骨汤中一些挥发性物质的释放。尽管对挥发性化合物的研究很多,然而,国内关于冷却去油工艺对牦牛骨汤挥发性化合物影响的研究极少。

本研究选取成年牦牛棒骨,进行牛骨汤的制备,根据有无去油工艺将其分为两组,通过顶空固相萃取(SPME)进行挥发性化合物的采集,再利用运用气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)对牦牛骨汤中的挥发性化合物进行测定,通过比较有无去油工艺条件下牦牛骨汤产品中挥发性化合物的差异,分析冷却去油工艺对牦牛骨汤挥发性化合物的影响,以期最终为牦牛骨汤品质改善提供理论依据和技术方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

**牛棒骨** 本研究随机选取自然放牧下,发育正常、健康无病的成年牦牛,牛屠宰剔骨后,采集牛棒骨,并将其切分为3cm长的棒骨块,以备熬制牛骨汤;  
**氯化钠(分析纯)** 天津市光复科技发展有限公司。

**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 $\mu$ 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;真空减压浓缩罐 上海科劳机械设备有限公司;高压灭菌锅 YX-280A18L型不锈钢手提式电热压力蒸汽灭菌器。

### 1.2 普通牛骨汤和冷却去油牛骨汤的制备

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 $^{\circ}$ C,压力0.1~0.15MPa,高压煮骨1h后,打开高压釜盖,添加辅料,肉、水和盐的质量比为1:1.5:0.015,然后进行常压煮制60min,制成预制牛骨汤。

将预制好的牛骨汤用火煮制3h后,用滤布分离汤渣,后分成12份,其中6份骨汤不经过去油工艺为普通牛骨汤组;另外6份在4 $^{\circ}$ C条件下进行冷却6h,除去油脂即为冷却去油牛骨汤组,然后各取2mL装入GC-MS色谱进样瓶中,以备挥发性化合物测定。

### 1.3 挥发性化合物测定

将装有骨汤样的GC-MS色谱进样品瓶60 $^{\circ}$ C恒温条件下,使用手动SPME进样器,通过静态顶空方法吸附30min。吸附完毕后,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 $\mu$ m);升温程序:50 $^{\circ}$ C保持2min,以3 $^{\circ}$ C/min升至225 $^{\circ}$ C,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 $^{\circ}$ C,解吸时间2min。

**质谱条件:**电子轰击(ED)离子源;电子能量70eV;离子源温度200 $^{\circ}$ C;质量扫描范围10~400m/z。

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WILEY、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 普通牛骨汤与冷却脱脂牛骨汤总离子流图

普通牛骨汤的总离子流图如图1所示,使用GC-MS测定,由可总离子流图可以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。

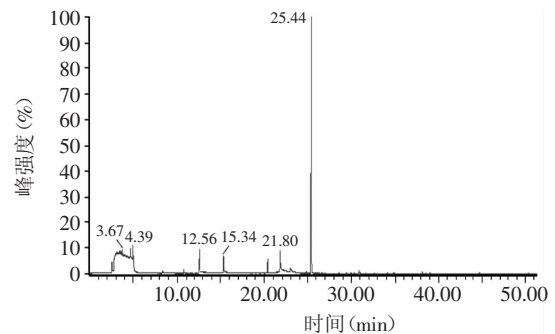


图1 普通牛骨汤的挥发性化合物总离子流图

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

冷却去油牛骨汤的总离子流图如图2所示,使用GC-MS测定,由总离子流图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。

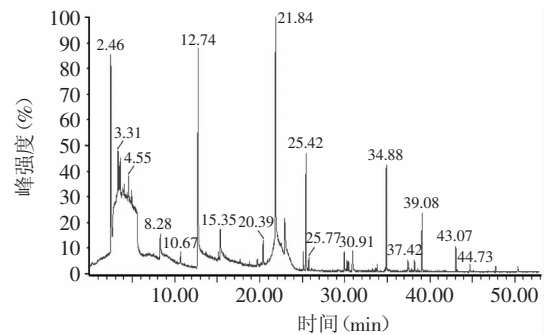


图2 冷却去油牛骨汤的总离子流图

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

### 2.2 冷却去油处理对牛骨汤中各种挥发性化合物的影响

冷却去油牛骨汤与普通牛骨汤中检出的物质如表1所示,两组牛骨汤中共检出33种挥发性化合物,而冷却去油工艺处理的牛骨汤比普通牛骨汤多检出19种,包括2-甲基戊烷、辛烷、3-甲基庚烷、环戊烷、癸烷、丁烷、十一烷、3,5,5-三甲基环己烯、十六烷、戊醛、癸醛、甲硫基丙醛、2-庚酮、2-壬酮、2-癸酮、2,3-庚二酮、邻二甲苯、2,6-二叔丁基对甲酚和2-戊基呋喃,其中癸烷含量最高为5.85%,2,3-庚二酮次之,其含量为2.21%,其他挥发性化合物含量变化不明显。去油工艺使得挥发性化合物种类明显增加,这可能是由于部分挥发性化合物在骨汤中油相较高的情况下不易释放,经过去油工艺使骨汤中油相降低,

从而使部分未挥发出来的物质得到充分释放,使冷却去油牛骨汤的挥发性化合物种类增多。

冷却去油处理后的牛骨汤醛类物质变化明显,壬醛经冷却脱脂工艺后的含量由35.28%减少到8.18%,减少了27.10%,而已醛、庚醛和辛醛( $p<0.05$ )分别显著减少了1.28%、7.44%和5.81%,其他醛类物

表1 冷却去油骨汤与原骨汤的挥发性化合物  
Table 1 Volatile compounds from control and defatting beef stock

物质名称	普通牛骨汤	冷却去油牛骨汤	显著性
烃类	6.49%	24.42%	ns
2-甲基戊烷(异己烷)	-	1.30%	-
己烷	1.14%	0.91%	ns
环己烷	3.12%	0.79%	ns
辛烷	-	0.65%	-
3-甲基庚烷	-	0.33%	-
环戊烷	-	0.16%	-
癸烷	-	5.85%	-
丁烷	-	0.15%	-
十一烷	-	0.32%	-
3,5,5-三甲基环己烯	-	0.76%	-
十二烷	0.82%	7.32%	*
十四烷	1.41%	4.91%	ns
十六烷	-	0.97%	-
醛类	59.77%	24.99%	ns
戊醛	-	0.28%	-
己醛	2.34%	1.06%	*
庚醛	11.25%	3.81%	*
辛醛	7.60%	1.79%	*
2,4-己二烯醛	3.30%	8.27%	ns
壬醛	35.28%	8.18%	ns
癸醛	-	0.52%	-
甲硫基丙醛	-	1.08%	-
酮类	6.92%	40.29%	ns
2-庚酮	-	0.30%	-
2,3-辛二酮	0.44%	0.97%	ns
2-辛酮	6.47%	34.67%	*
2-壬酮	-	0.98%	-
2-癸酮	-	1.16%	-
2,3-庚二酮	-	2.21%	-
醇类	6.33%	6.37%	ns
辛醇	6.33%	6.37%	ns
酯类	17.15%	0.50%	ns
乙酸乙酯	17.15%	0.50%	ns
芳香族	-	0.72%	-
邻二甲苯	-	0.15%	-
2,6-二叔丁基对甲酚	-	0.57%	-
杂环类	3.34%	2.70%	ns
2-戊基呋喃	-	0.38%	-
苯并噻唑	3.34%	2.33%	**

注:-表示未检出此种物质;\*\* $p<0.01$ ,差异极显著;\* $p<0.05$ ,差异显著;ns:表示不显著。

质在两组骨汤中差异不显著。同时2-辛酮( $p<0.05$ )经冷却脱脂工艺后的含量显著增加了28.20%。此外,冷却去油工艺处理对杂环类化合物也有明显影响,其中苯并噻唑的含量在两组牛骨汤中的极差异显著( $p<0.01$ ),同时在冷却去油牛骨汤中检出了2-戊基呋喃的杂环类物质,这些常见的呋喃和噻唑类的物质对骨汤风味有特殊影响。

经冷却去油工艺处理对牛骨汤中各种挥发性化合物的含量有明显影响,其中己醛、庚醛、辛醛和2-辛酮( $p<0.05$ )差异显著,而苯并噻唑的含量在两组牛骨汤中差异极显著( $p<0.01$ ),同时经冷却去油工艺处理的牛骨汤一些挥发性化合物可被检出。

### 2.3 普通牛骨汤与冷却去油牛骨汤的挥发性化合物种类比较

普通牛骨汤与冷却去油牛骨汤的挥发性化合物种类差异如图3所示,两组牛骨汤中均含有烃类、醛类、酮类、醇类、酯类和杂环类化合物,其中在普通牛骨汤中相对含量最高的为醛类物质,其相对含量高达59.77%;酯类化合物次之,其相对含量明显低于醛类物质;酮类、烃类、醇类化合物相对含量依次降低,分别为6.92%、6.49%和6.33%,含量最少的是杂环类物质。而在冷却去油牛骨汤中相对含量最高的是酮类物质,其相对含量为40.29%;醛类和烃类次之,其相对含量分别为24.99%和24.42%;醇类、杂环类和芳香类物质其相对含量依次降低,而相对含量最少的是酯类物质。

经冷却去油工艺后,增加了芳香族物质,两种牛骨汤在各类化合物的含量上也发生了变化。与普通牛骨汤相比,冷却去油牛骨汤中的烃类和酮类化合物含量均有增加,酮类物质增加程度最大,烃类次之,其含量分别增加了33.37%和17.93%,而冷却去油牛骨汤与普通牛骨汤中醇类物质相对含量变化不明显。

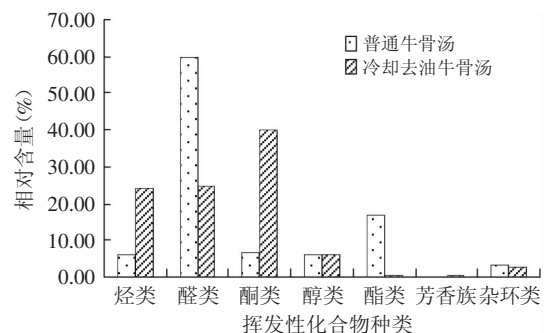


图3 冷却去油牛骨汤与普通牛骨汤挥发性化合物种类及其含量  
Fig.3 The kinds of volatile compounds from control and defatting beef stock and its content

## 3 讨论

### 3.1 脂肪氧化产物的变化

研究发现,冷却去油工艺处理的牛骨汤引起了醛类物质种类和含量的差异,此工艺使得牛骨汤中醛类物质的含量明显减少了34.78%,而在两组骨汤中均检出己醛、庚醛、辛醛和壬醛,其中在冷却去油

牛骨汤中新检出戊醛和癸醛,这些饱和脂肪醛均与脂肪氧化产物有关。类似研究中,Lorenzo等<sup>[6]</sup>研究了半成熟香肠切面挥发性化合物与不良风味间的关系,发现部分挥发性化合物和脂质氧化有关,Yancey等<sup>[7]</sup>也研究发现部分挥发性化合物和脂肪氧化有关,且这些脂肪氧化产物对肉的风味有一定的影响;Hadorn等<sup>[8]</sup>发现一些挥发性化合物来自于脂肪酸的氧化产物;Stetzer等<sup>[3]</sup>指出己醛和脂质氧化有关,并且其和肝呈现异味有正相关关系;Vasta等<sup>[9]</sup>研究发现某些饱和脂肪醛一般都具有刺激性气味,从而影响肉的品质及风味;而Tikk等<sup>[10]</sup>研究发现壬醛具有“过热味”的不良脂肪氧化气味,对肉的风味有一定影响。本研究发现,冷却去油工艺处理的牛骨汤中壬醛含量降低了27.10%,同时对脂肪氧化产物己醛、庚醛、辛醛分别显著减少了1.28%、7.44%、5.81% ( $p < 0.05$ )。

经冷却去油工艺处理的牛骨汤中酮类物质的含量由6.92%增加到40.29%,其中2-辛酮、2-庚酮、2-壬酮和2-癸酮等变化明显;而2-戊基呋喃在去油后的骨汤中可被检出。Kraujalytė等<sup>[11]</sup>通过固相微萃取气相色谱嗅觉测量法对某种水果的化学和感官特性进行研究,发现2-辛酮在水果香气中表现明显。根据Pham等<sup>[12]</sup>对于挥发性化合物与消费者可接受风味之间的研究,发现2-庚酮具有烧焦的不良气味,而Rivas-Cañedo等<sup>[13]</sup>也发现2-庚酮具有一定的不良气味,对肉制品风味具有显著影响。根据Calkins等<sup>[14]</sup>对肉中所含基本挥发性化合物特征风味的分析,发现2-壬酮具有“热牛奶”的味道;Elmore等<sup>[15]</sup>研究了饮食对羔羊肉中的脂肪酸组成和烤羊肉中挥发性香气化合物的影响,发现2-戊基呋喃是亚油酸分解的产物,对肉的风味有一定影响;Kim等<sup>[16]</sup>研究发现一些呋喃类物质具有一定的特征气味,对肉制品的风味有一定影响。根据已有的研究可以知道2-庚酮、2-壬酮、2-癸酮大多来自于脂肪氧化产物,而其中甲基酮对于肉类的风味具有重要影响。而在本研究中可以发现,冷却去油工艺处理使牛骨汤挥发性化合物中的2-辛酮显著增加了28.20%,同时对甲基酮和2-戊基呋喃有明显影响。

### 3.2 美拉德反应产物的变化

冷却去油牛骨汤与普通牛骨汤中均检出美拉德反应产物苯并噻唑,而在冷却去油工艺的牛骨汤中新检出了美拉德反应产物甲硫基丙醛。甲硫基丙醛来自美拉德反应产物的非环状含硫化合物<sup>[14]</sup>,根据Mottram等<sup>[17]</sup>的综述甲硫基丙醛是蛋氨酸和半胱氨酸通过Strecker降解形成了甲硫醇和硫化氢,然后这两种物质再与美拉德反应中间体缩合得到的一种含硫化合物,是一种具有肉汤味的挥发性化合物。而苯并噻唑来自美拉德反应产物的环状含硫化合物<sup>[14]</sup>,根据Sun等<sup>[18]</sup>研究发现苯并噻唑具有肉汤味及烧烤味,这种含硫化合物的阈值很低,其含量变化可能会引起整体风味的改变。本研究发现在经冷却去油工艺的牛骨汤中新检出了甲硫基丙醛,且含量为1.08%,而苯并噻唑在冷却去油牛骨汤和普通牛骨汤中差异

极显著( $p \leq 0.01$ )。

### 3.3 挥发性化合物种类的变化

冷却去油前后牛骨汤中共检测出33种挥发性化合物,而冷却去油牛骨汤比普通牛骨汤多检出19种挥发性化合物,可见冷却去油工艺使挥发性化合物的种类增加。Snitkjær等<sup>[19]</sup>发现熬制时间对牛骨汤挥发性化合物具有不同影响,过长的熬制及过短的熬制都不利于骨汤中一些挥发性物质的释放,而恰到好处熬制时间对应于种类最丰富的挥发性化合物,并提出熬制时间可能是由于对油相与水相的交互作用产生了影响,从而导致了挥发性化合物的不同释放程度。而从某种程度上,该假说与本研究中冷却去油后骨汤中有更多挥发性化合物能够被GC-MS检出的现象,似乎具有内在联系,部分甲基酮类、直连和支链烃类、芳香族化合物等物质在去油后才可被检出,很有可能是由于油相组分的降低,提高了这些物质的释放程度。

## 4 结论与展望

本实验选取成年牦牛骨为原料制备牛骨汤,通过冷却去油工艺处理牛骨汤,并分析冷却去油工艺处理对牦牛骨汤中挥发性化合物的影响,得出以下结论,冷却去油工艺使牛骨汤中的醛类和酯类物质分别减少了34.78%和16.65%,而酮类和烃类物质分别增加了33.37%和17.93%。此外,经去油工艺的牛骨汤新检出19种挥发性化合物,其中癸烷和2,3-庚二酮的含量最高,相对含量分别为5.85%和2.21%。而经冷却去油工艺处理的牛骨汤中来自于脂肪过氧化作用的醛类物质己醛、庚醛和辛醛分别显著减少了1.28%、7.44%和5.81% ( $p < 0.05$ ),来自于美拉德反应产物的苯并噻唑极显著减少了1.01% ( $p < 0.01$ )。结果表明,冷却去油工艺可以影响牦牛骨汤挥发性化合物的种类,能使部分挥发性化合物可被GC-MS检出。

然而,去油工艺对牦牛骨汤挥发性化合物的影响机理,仅仅通过对牦牛骨汤的研究还不能完全被揭示。因此,如需彻底搞清楚去油工艺对骨汤挥发性化合物的影响机理,则需通过重组骨汤风味产生模拟体系,进一步探索各种挥发性化合物的生成及影响机理。

### 参考文献

- [1] 沙景龙,李永鹏,张丽,等. 日粮中Zn和Se强化对秦宝雪花牛肝中矿物质及挥发性化合物的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 33(17): 357-360.
- [2] 郭兆斌,余群力. 牛副产品-脏器的开发利用现状[J]. 肉类研究, 2010, 25(3): 35-37.
- [3] Stetzer A J, Cadwallader K, Singh T K, *et al.* Effect of enhancement and ageing on flavor and volatile compounds in various beef muscles[J]. Meat Science, 2008, 79(1): 13-19.
- [4] Rivas-Cañedo A, Juez-Ojeda C, Nunz 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(1): 749-758.

(下转第87页)

组, 20℃条件下的预期储存时间为200d。0.02%TBHQ与0.02%茶多酚均可提高牡丹籽油的氧化稳定性。

表1 不同抗氧化剂与牡丹籽油预期储存时间的影响

Table 1 The effect between different antioxidants and anticipative time

抗氧化剂	对照组	0.02% TBHQ	0.02% 茶多酚	0.02% DMY	0.02% 迷迭香
60℃(d)	2.6	14.69	12.5	8.5	5.85
20℃(d)	42	235	200	136	94

### 3 结论

牡丹籽油富含不饱和脂肪酸, 极易氧化酸败。温度、光照、空气均可加速牡丹籽油的氧化, 其中温度和光照影响显著 ( $p < 0.05$ ), 空气影响相对较小, 影响程度为: 温度 > 光照 > 空气, 故为保持牡丹籽油的风味及其营养价值, 其应在低温、避光、密闭条件下储藏。

添加抗氧化剂是提高牡丹籽油氧化稳定性的有效途径之一, 在0.02%浓度下, 几种抗氧化剂的抗氧化效果为: TBHQ > 茶多酚 > DMY > 迷迭香 (鼠尾草酸  $\geq 30\%$ ) >  $V_E$ ; TBHQ和茶多酚均能提高牡丹籽油的氧化稳定性, 是牡丹籽油较为理想的抗氧化剂, 而 $V_E$ 促进了牡丹籽油的氧化; TBHQ和茶多酚均能显著减缓牡丹籽油的氧化速度, 使其在20℃下的货架寿命从42d分别延长至235d和200d。

#### 参考文献

[1] 李凯, 周宁, 李赫宁. 牡丹花、牡丹籽成分与功能研究进展[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(3): 228-230.

[2] 易军鹏, 朱文学, 马海乐, 等. 响应面法优化微波提取牡丹籽油的工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(14): 99-104.

[3] 邓鹏, 程永强, 薛文通, 等. 油脂氧化及其氧化稳定性测定方法[J]. 食品科学, 2005, 26(增1): 196-198.

[4] Coupland J N, McClements D J. Lipid oxidation in food emulsions[J]. Trends in Food Science & Technology, 1996, 7(3): 83-91.

[5] 周海梅, 马锦琦, 苗春雨, 等. 牡丹籽油的理化指标和脂肪酸成分分析[J]. 中国油脂, 2009, 34(7): 72-73.

[6] 王昌涛, 张萍, 董银卯. 超临界CO<sub>2</sub>提取牡丹籽油工艺以及成分分析[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(8): 96-99.

[7] 苗健银, 车科, 陈雪香, 等. 亚临界流体萃取油茶籽油的抗氧化活性研究[J]. 林产化学与工业, 2012, 32(4): 67-71.

[8] 李桂华. 油料油脂检测与分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 135-136.

[9] 肖小年, 刘媛洁, 易醒, 等. 薏苡仁油在不同存放条件下的氧化与氧化稳定性[J]. 食品科学, 2009, 30(21): 43-45.

[10] 朱新鹏. 紫苏油贮藏稳定性研究[J]. 中国油脂, 2012, 37(9): 62-64.

[11] 王亚萍, 方学智, 聂明, 等. 几种抗氧化剂对山茶油的氧化抑制作用研究[J]. 中国油脂, 2010, 35(1): 47-50.

[12] 姚茂君, 邓燕洁, 陈双平. 二氢杨梅素在猕猴桃籽油中的抗氧化性研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(1): 36-38.

[13] 高佳佳, 郑洋, 黄训端, 等. 几种抗氧化剂对棉籽油氧化稳定性的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(11): 283-286.

[14] 黄海娟. 花生油氧化稳定性控制技术的研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2012: 13-19.

[15] 王琴, 区子卉. 芥末油抗氧化性的研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(7): 100-103.

(上接第83页)

[5] Snitkjær P, Frøst M B, Skibsted L H, *et al.* Flavour development during beef stock reduction[J]. Food Chemistry, 2010, 122(3): 645-655.

[6] Lorenzo J M, Bedia M, Bañón S. Relationship between flavour deterioration and the volatile compound profile of semi-ripened sausage[J]. Meat Science, 2013, 93(3): 614-620.

[7] Yancey E J, Grobbel J P, Dikeman M E, *et al.* Effects of total iron, myoglobin, hemoglobin, and lipid oxidation of uncooked muscles on livery flavor development and volatiles of cooked beef steaks[J]. Meat Science, 2006, 73(4): 680-686.

[8] 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.

[9] Vasta V, Priolo A. Ruminant fat volatiles as affected by diet: a review[J]. Meat Science, 2006, 73(2): 218-228.

[10] Tikk K, Haugen J E, Andersen H J, *et al.* Monitoring of warmed-over flavour in pork using the electronic nose—correlation to sensory attributes and secondary lipid oxidation products[J]. Meat Science, 2008, 80(4): 1254-1263.

[11] Kraujalytė V, Leitner E, Venskutonis P R. Chemical and sensory characterisation of aroma of Viburnum opulus fruits by solid phase microextraction—gas chromatography—olfactometry[J].

Food Chemistry, 2012, 132(2): 717-723.

[12] Pham A J, Schilling M W, Mikel W B, *et al.* Relationships between sensory descriptors, consumer acceptability and volatile flavor compounds of American dry-cured ham[J]. Meat Science, 2008, 80(3): 728-737.

[13] 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 micro-extraction[J]. Food Chemistry, 2011, 124(3): 1201-1207.

[14] Calkins C R, Hodgen J M. A fresh look at meat flavor[J]. Meat Science, 2007, 77(1): 63-80.

[15] 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.

[16] Kim H, Cadwallader K R, Kido H, *et al.* Effect of addition of commercial rosemary extracts on potent odorants in cooked beef[J]. Meat Science, 2013, 94(2): 170-176.

[17] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424.

[18] Xie J C, Sun B G, Zheng F P, *et al.* Volatile flavor constituents in roasted pork of Mini-pig[J]. Food Chemistry, 2008, 109: 506-514.