

## 氧化羊骨油对羊肉味调味基料挥发性风味物质的影响

刘金凯<sup>1,2</sup>, 高远<sup>1</sup>, 王振宇<sup>1</sup>, 陈丽<sup>1</sup>, 张德权<sup>1</sup>, 艾启俊<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院农产品加工研究所/农业部农产品加工重点实验室, 北京 100193; <sup>2</sup>北京农学院食品科学与工程学院, 北京 102206)

**摘要:**【目的】确定添加适度氧化的羊骨油对热反应型羊肉味调味基料挥发性风味物质的影响, 为高品质羊肉味调味基料风味的开发提供理论依据。【方法】评价以过氧化值、酸价和茴香胺值表征的氧化羊骨油对调味基料挥发性风味物质的影响, 利用 Pen3 型电子鼻对不添加羊骨油、添加未氧化羊骨油和添加适度氧化羊骨油的 3 个热反应体系进行研究, 以电子鼻主成分分析中的区分指数作为检测指标, 确定 3 个热反应体系的区分度; 应用固相微萃取-气质联用技术分离鉴定基料的挥发性风味物质, 通过“相对气味活度值 (ROAV)”评价各挥发性风味物质对调味基料总体风味的贡献, 并结合聚类分析方法, 确定添加氧化羊骨油后羊肉味调味基料的关键挥发性风味物质。【结果】电子鼻结果显示, 未添加羊骨油与添加未氧化羊骨油的调味基料间区别指数为 0.589, 未添加羊骨油与添加氧化羊骨油的调味基料间区分指数为 0.917, 添加未氧化羊骨油与添加氧化羊骨油的调味基料间区分指数为 0.787。气质联用结果显示, 不添加羊骨油、添加未氧化羊骨油和添加适度氧化羊骨油的 3 组调味基料中挥发性风味物质的种类分别为 42 种、63 种和 61 种, 主要为醛类、烃类; 在添加未氧化羊骨油组和添加氧化羊骨油组中, 含硫、含氮杂环化合物的相对含量差异不显著, 而对调味料风味改善贡献较小的烃类物质相对含量显著降低, 同时醛类物质的相对含量显著增加, 添加羊骨油尤其是氧化羊骨油可使热反应体系生成更多的醛类挥发性风味物质; 确定 3 组调味基料中关键挥发性物质 (ROAV > 1) 有 11 种: 辛醛、壬醛、癸醛、反, 反-2, 4-癸二烯醛、桃醛、庚醛、反-2-壬烯醛、十二醛、1-辛烯-3-醇、庚醇、反, 反-2, 4-壬二烯醛, 这些关键挥发性物质主要以脂肪香气为主, 并包含甜香、青香、焦香和柑橘等香气; 通过聚类分析将 11 种关键风味物质分为三类, 第一类物质在添加氧化羊骨油后 ROAV 值变化较小; 第二类包括反, 反-2, 4-癸二烯醛、反-2-壬烯醛, 在添加氧化羊骨油后 ROAV 值显著增加; 第三类为癸醛, 在添加氧化羊骨油后 ROAV 值显著降低, 而第二类与第三类物质在未添加羊骨油组和添加未氧化羊骨油组间的差异不显著 ( $P>0.05$ )。【结论】添加氧化羊骨油, 可以显著影响羊肉味调味基料挥发性风味物质的种类, 增强热反应型羊肉味调味基料的风味, 反, 反-2, 4-癸二烯醛与反-2-壬烯醛是改善调味基料最关键挥发性风味物质。

**关键词:** 羊骨油; 氧化; 羊肉味调味基料; 挥发性风味物质

## Effect of Oxidized Sheep Bone Oil on Volatile Flavor Compounds of Mutton Flavor Seasoning

LIU Jin-kai<sup>1,2</sup>, GAO Yuan<sup>1</sup>, WANG Zhen-yu<sup>1</sup>, CHEN Li<sup>1</sup>, ZHANG De-quan<sup>1</sup>, AI Qi-jun<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agro-Product Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193; <sup>2</sup>Department of Food Science and Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206)

**Abstract:** 【Objective】The effect of a moderate addition of oxidation sheep bone oil on the volatile flavor compounds in thermal reactive mutton flavor seasoning were investigated in order to provide a scientific basis for improving the flavor of the high

收稿日期: 2013-08-07; 接受日期: 2013-11-05

基金项目: 科研院所技术开发研究专项 (2012EG134236) 国家现代肉羊产业技术体系 (CARS-39)

联系方式: 刘金凯, E-mail: liujinkai333@163.com. 通信作者张德权, E-mail: dqzhang0118@126.com. 通信作者艾启俊, E-mail: aiqj@sohu.com

quality mutton flavor seasoning. 【Method】 Samples of oxidized sheep bone oil indicating peroxide value, acid value and p-anisidine value were prepared by the control oxidization technology. Influences of sheep bone oil on the volatile flavor compounds in thermal reactive mutton flavor seasoning were discussed. An electronic nose was used to analyze the three thermal reactive mutton flavor seasoning, including without adding sheep bone oil, adding non-oxidized sheep bone oil and adding moderate oxidized sheep bone oil. With the discrimination index of the PCA about the three mutton flavor seasonings as response value, the effects of sheep bone oil on mutton flavor seasonings were studied. The volatile flavor compounds in three systems were analyzed by solid phase micro-extraction (SPME) combined with gas chromatography mass spectrometry (GC-MS), and a parameter named “relative odor activity value (ROAV)” was applied in evaluating the contributions to global odor perception of three systems. The characteristic volatile flavor compounds of mutton flavor seasoning added with oxidized sheep bone oil were identified by cluster analysis (CA) method. 【Result】 The electronic nose responded differently to the flavor of different mutton flavor seasonings. The discrimination index of adding non-oxidized sheep bone oil and without adding sheep bone oil was 0.589. The discrimination index of adding oxidized sheep bone oil and without adding sheep bone oil was 0.917. The discrimination index of adding non-oxidized sheep bone oil and adding oxidized sheep bone oil was 0.787. A total of 42, 63 and 61 kinds of volatile flavor compounds were identified in the three thermal reactive mutton flavor seasonings, including without adding sheep bone oil, adding non-oxidized sheep bone oil and adding moderate oxidized sheep bone oil. Among these compounds, the predominant ones were aldehydes and hydrocarbons. The relative contents of S, N-containing heterocyclic compounds were not significantly different. Adding sheep bone oil resulted in a significant decrease in hydrocarbons relative contents but a significant increase in aldehydes. CA showed that octanal, nonanal, capraldehyde, (E, E)-2,4-decadienal, tetradecanal, heptaldehyde, (E)-2-nonenal, dodecanal, 1-octen-3-ol, heptanol, (E, E)-2,4-nonadienal were the key volatile flavor compounds of the mutton flavor seasonings. It could be known that the key volatile flavor compounds have more fat order with less sweet/green, burnt, and citrus smell. The 11 key volatile flavor compounds could be classified into 3 clusters. After adding oxidized sheep bone oil, the relative odor activity value of (E, E)-2,4-decadienal and (E)-2-nonenal increased, on the contrary, the relative odor activity value of capraldehyde decreased. The relative odor activity value of (E, E)-2,4-decadienal, (E)-2-nonenal and capraldehyde were not significantly different between adding non-oxidized sheep bone oil and without adding sheep bone oil. 【Conclusion】 After adding oxidized sheep bone oil, the kinds of the volatile flavor compounds were increased, (E, E)-2,4-decadienal and (E)-2-nonenal were the important characteristic volatile flavor compounds for improving the mutton flavor seasoning.

Key words: sheep bone oil; oxidation; mutton flavor seasoning; volatile flavor compounds

## 0 引言

【研究意义】中国是羊肉生产大国，每年的羊肉产量超过 400 万吨，随之产生的羊骨副产物每年超过 80 万吨。骨中含有大量的油脂，约占骨重的 10%，但其加工仅限于工业用油，丰富的脂肪酸并未得到有效地利用。油脂氧化不仅是酸败的主要原因，也是产生脂肪香气和肉的特征风味的重要渠道，通过调控脂肪氧化强化调味基料风味，将为羊骨油高效利用提供新途径<sup>[1]</sup>。【前人研究进展】大量研究发现羊肉的水溶性提取物在加热时可以产生类似牛肉与猪肉的香味<sup>[2-4]</sup>。进一步研究发现，这些香味物质来源于脂肪氧化<sup>[5-6]</sup>。有研究表明，脂质氧化的主要途径分别为脂质的自动氧化降解和热氧化裂解，不饱和脂肪酸很容易通过非酶反应而自动降解成大量的具有很低阈值的醛类挥发性物质，热裂解中则会产生其他饱和或不饱和的碳氢化合物、 $\beta$ -酮酸、甲基酮、内酯和酯类<sup>[7]</sup>。基

于此，近年来科研人员通过脂肪的控制氧化，得到过氧化值相对较高、茴香胺值和酸值尽可能低的适度氧化脂肪，将其加入调味料的热反应过程制备出多种肉味调味料<sup>[8-9]</sup>，并分析了脂肪氧化程度对调味料风味的影响，确定适度氧化的脂肪对调味料风味存在强化作用<sup>[10]</sup>。【本研究切入点】上述研究虽已明确了脂肪经适度氧化后产生的挥发性风味物质种类，但其参与热反应后对调味料挥发性风味物质的影响及产生的关键风味物质尚不明确。【拟解决的关键问题】本研究以热反应型羊肉味调味基料为研究对象，通过对比羊骨油添加与否对调味基料中挥发性风味物质种类和相对含量的影响，明确氧化羊骨油强化羊肉味调味基料风味的关键挥发性风味物质，为羊骨油的高效利用和羊肉味调味基料的风味强化奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料制备

1.1.1 氧化及未氧化羊骨油的制备 购买新鲜羊棒骨,在破碎度为 1.5 cm,压力为 0.2 MPa,温度为 130 ,料液比为 1:2.5,时间为 2 h 的条件下,热-压抽提得到羊骨素及未氧化羊骨油,按 GB/T 5538-2005 测得未氧化羊骨油过氧化值为 1.63 meq/kg、按 GB/T 24304—2009 测得未氧化羊骨油茴香胺值为 3.31、按 GB/T 5530—2005 测得未氧化羊骨油酸价为 1.9 mg KOH·g<sup>-1</sup>。

在装有电动搅拌器、通气管、水银温度计和回流冷凝管的 500 mL 四口烧瓶中加入 100 g 羊骨油,利用空气压缩机和玻璃转子流量计按 0.51 L·min<sup>-1</sup> 的流速通入空气进行羊骨油氧化,控制氧化时间 118 min,氧化温度为 109 ,得到氧化的羊骨油样品,测得其过氧化值为 104.21 meq/kg、茴香胺值为 20.58、酸价为 2.61 mg KOH·g<sup>-1</sup>。

1.1.2 热反应羊肉味调味基料制备 根据李桂星<sup>[11]</sup>方法,用风味蛋白酶酶解制备的羊骨素,得到羊骨素酶解液(水解度为 22.8%)。设置未添加羊骨油组、添加未氧化羊骨油组和添加氧化羊骨油组 3 个试验组,均取羊骨素酶解液 100 g、半胱氨酸 0.9 g、甘氨酸 0.9 g、丙氨酸 1.8 g、脯氨酸 0.9 g、木糖 2.4 g、葡萄糖 1.2 g、VB<sub>1</sub> 1.8 g,分别于添加未氧化羊骨油组加入未氧化羊骨油 4 g、添加氧化羊骨油组加入氧化羊骨油 4 g,调节起始 pH6.0,于高压灭菌锅内 110 条件下热反应 75 min。反应结束后静置去除上层羊油,室温密封待用。

## 1.2 仪器与设备

T6 单光束紫外分光光度计:北京普析通用仪器有限责任公司;D8401W 型电动搅拌器:天津市华兴科学仪器厂;LZB3 玻璃转子流量计:浙江余姚流量仪表厂;ACO208 电磁式空气压缩机:浙江森森实业有限公司;yy-1 数显恒温油浴锅:江苏省金坛市金祥龙电子有限公司;LS-50HD 立式压力蒸汽灭菌器:江阴滨江医疗设备有限公司;ML204/02 电子天平:上海梅特勒-托利多有限公司;F-50A pH 计:北京屹源电子仪器科技公司;PEN3 电子鼻:德国 Airsense 公司;GC-MS-QP2000 气相色谱质谱联用仪:日本岛津公司。

## 1.3 试验方法

电子鼻检测条件:取样品 4 mL 放入 15 mL 样品瓶中,密封 30 min 后,通过顶空抽样的方法进行检测,测试时间为 60 s,传感器清洗时间为 180 s,进样流量为 300 mL·min<sup>-1</sup>,取响应曲线较为平稳的第 48—52 s

内数据进行主成分分析(principle component analysis, PCA),每类样品设 3 个重复<sup>[12]</sup>。

固相微萃取条件:取样品 2 mL 放入 15 mL 样品瓶中,使萃取头暴露在样品瓶中样品的上部,进样装置为 AOC-5000,平衡 20 min,萃取时间为 40 min,每类样品设 3 个重复。

气相色谱条件:Rtx-5MS 30 m×0.25 mm×0.25 μm 色谱柱;载气为氦气,流速为 1.0 mL·min<sup>-1</sup>;进样口温度为 250 ;升温程序为起始柱温 40 ,保持 3 min,以 5 ·min<sup>-1</sup> 升到 120 ,以 10 ·min<sup>-1</sup> 升到 230 ,保持 5 min,进样量 0.6 μL。

质谱条件:电子轰击离子源(EI),电子能量 70 eV,离子源温度 200 ,传输线温度 250 ,质量范围 35—500 amu。

## 1.4 关键挥发性物质评价方法

关键挥发性物质的确定:采用相对香气活度值法(relative odor activity value, ROAV)<sup>[13]</sup>,定义对样品风味贡献最大的组分:ROAV<sub>max</sub>=100,对其他香气成分则有:

$$ROAV_i = 100 \times \frac{C_i}{C_{\max}} \times \frac{T_{\max}}{T_i}$$

其中: $C_i$ 、 $T_i$  分别为各挥发性物质的相对百分含量和相对应的感觉阈值; $C_{\max}$ 、 $T_{\max}$  分别为对样品总体风味贡献最大组分的相对百分含量和相对应的感觉阈值。

## 1.5 统计分析

GC-MS 挥发性物质定性试验数据处理由 GCMS Postrun Analysis 软件系统完成。香气成分通过 NIST05 谱库确认定性,且仅当相似度大于 85 时鉴定结果才予以报道。GC-MS 挥发性物质定量按面积归一化法求得各挥发性物质在调味基料中的相对百分含量。3 个热反应体系的香气活度值(ROAV)采用 SAS9.2 统计软件进行“类间平均距离法”聚类分析。3 个热反应体系中不同挥发性物质相对峰面积、相对含量、香气活度值数据用 SAS 9.2 统计软件进行处理,采用费雪尔最小显著差异法(Fisher's LSD)进行差异显著性分析,显著水平为 0.05,结果采用均值±标准差形式。

# 2 结果

## 2.1 3 组调味基料电子鼻技术分析结果

通过电子鼻配套数据主成分分析软件(PCA)对不添加羊骨油、添加未氧化羊骨油和添加适度氧化羊

骨油 3 个热反应体系制备的调味基料整体挥发性风味物质进行分析(图 1)。发现 3 个热反应体系制备的 3 组调味基料整体挥发性风味物质经主成分分析显示,第一主成分(PC1)贡献度(96.4%)与第二主成分(PC2)贡献度(2.12%)之和在 95%以上,表明此差异能在 PC1、PC2 构建的平面上充分展示<sup>[14]</sup>。3 组基料挥发性风味物质整体信息均存在差异。未

添加羊骨油与添加未氧化羊骨油的调味基料间区别指数为 0.589,添加氧化羊骨油的调味基料与未添加羊骨油的调味基料区分指数为 0.917,添加氧化羊骨油的调味基料与添加未氧化羊骨油的调味基料区分指数为 0.787,表明添加氧化羊骨油基料产生的挥发性风味物质与其他 2 个基料产生的挥发性风味物质存在显著差别。

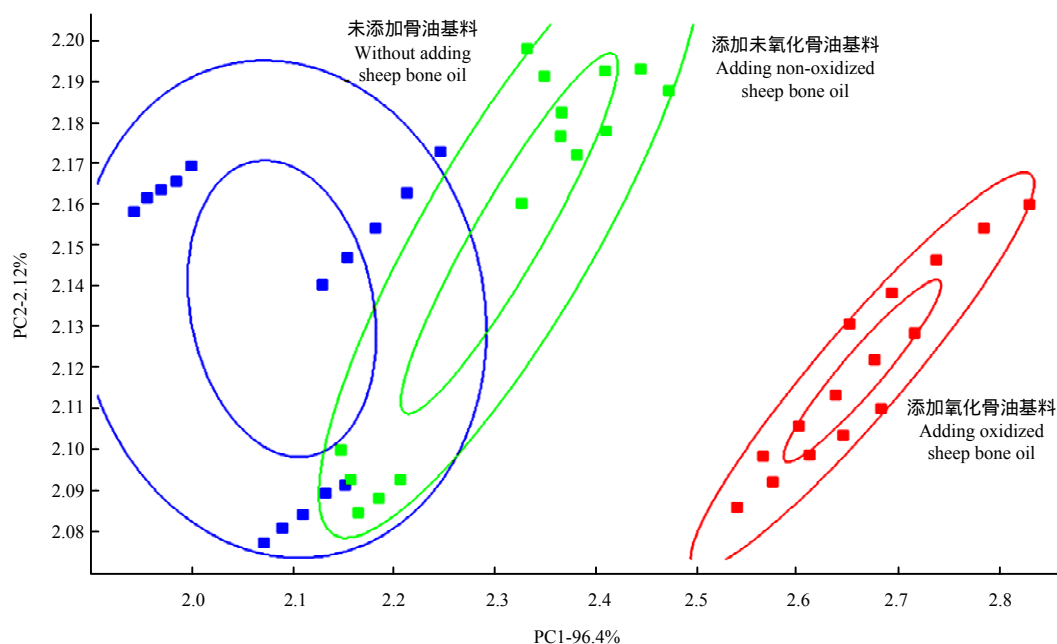


图 1 不同样品的 PCA 分析

Fig. 1 PCA analysis of different treated samples

## 2.2 3 组调味基料中挥发性风味物质测定结果

采用固相微萃取-气质联用技术(SPME-GC-MS)分析未添加羊骨油、添加未氧化羊骨油和添加适度氧化羊骨油这 3 个热反应体系下羊肉味调味基料中的挥发性风味物质组成,结果显示,这 3 个热反应体系中,挥发性风味物质的种类分别为 42 种、63 种和 61 种。

在挥发性物质中,由于烃类阈值较高,因此,尽管其含量较多,仍对风味的直接贡献较小。而醛类阈值一般极低,且具有脂肪香味,因此是肉香味的主要构成部分。由表 1 可知,未添加羊骨油组的调味料中,主要的挥发性风味物质为含硫、含氮杂环化合物和烃类,其相对含量分别为 53.62%和 30.12%,而在添加未氧化羊骨油组和添加氧化羊骨油组中,含硫、含氮杂环化合物的相对含量差异不显著,而对调味料风味

改善贡献较小的烃类物质相对含量显著降低,同时醛类物质的相对含量显著增加,结果显示,添加羊骨油之后醛类物质的种类与相对含量都增加了 2 倍以上,使羊肉味调味料得到了显著的改善。此外,直链饱和醇的香味对于肉制品的风味贡献相对较小,但随着碳链的增长可以产生出清香、木香和脂肪香的特征风味;不饱和醇的阈值较低,因此对特征风味贡献较大<sup>[15]</sup>,在本研究中添加羊骨油的体系中检测出醇类物质的种类与相对含量都明显增加。

4-甲基-5-( $\beta$ -羟乙基)噻唑是硫胺素发生亚甲基桥裂解形成的一种重要的食品、肉类和调味品的加香物质<sup>[16]</sup>,本研究通过 GC-MS 分析可知,其 3 组肉味调味料中相对含量均高达 45%以上,使其具有明显的肉香味。醛类中的反-2-烯醛与 2,4-二烯醛类是肉类调味料中不可或缺的化合物,其主要来源于亚油酸与亚

表 1 羊肉味调味基料挥发性风味物质种类

Table 1 Kinds of volatile flavor compounds in mutton flavor seasoning

风味物质 Volatile flavor compounds	未添加羊骨油		添加未氧化羊骨油		添加氧化羊骨油	
	Without adding sheep bone oil		Adding non-oxidized sheep bone oil		Adding oxidized sheep bone oil	
	种类 Kinds	相对含量 Relative content (%)	种类 Kinds	相对含量 Relative content (%)	种类 Kinds	相对含量 Relative content (%)
醛类 Aldehydes	9	8.17±0.68 <sup>b</sup>	19	24.73±1.52 <sup>a</sup>	17	20.94±1.25 <sup>a</sup>
酮类 Ketones	2	1.72±0.46 <sup>a</sup>	4	1.60±0.30 <sup>a</sup>	3	0.83±0.16 <sup>b</sup>
酚类 Hydroxybenzenes	2	2.73±0.48 <sup>a</sup>	N.D.	...	1	0.67±0.23 <sup>b</sup>
醇类 Alcohols	3	0.29±0.12 <sup>b</sup>	13	6.79±0.42 <sup>a</sup>	10	7.19±0.78 <sup>a</sup>
酯类 Esters	1	0.26±0.12 <sup>b</sup>	2	0.77±0.16 <sup>b</sup>	4	2.75±0.48 <sup>a</sup>
酸类 Acids	2	3.09±0.70 <sup>a</sup>	4	0.88±0.18 <sup>c</sup>	4	2.00±0.26 <sup>b</sup>
醚类 Aethers	N.D.	-	1	0.42±0.22 <sup>a</sup>	1	0.04±0.01 <sup>b</sup>
呋喃类 Furans	N.D.	-	N.D.	-	2	0.68±0.06
烃类 Hydrocarbons	19	30.12±3.36 <sup>a</sup>	17	16.59±4.09 <sup>b</sup>	17	13.42±3.53 <sup>b</sup>
含硫、含氮杂环化合物 S, N-containing heterocyclic compounds	4	53.62±2.44 <sup>a</sup>	3	48.22±1.96 <sup>a</sup>	2	51.48±1.78 <sup>a</sup>
总计 Total	42	100	63	100	61	100

N.D.代表未检出（Not detected），表中不同字母表示差异显著（ $P < 0.05$ ）

N.D.: Not detected. Different letter indicate significant difference at  $P < 0.05$

脂肪酸的氢过氧化物的降解，添加氧化羊骨油的基料中检测出的 2-烯醛或 2,4-二烯醛种类与相对含量均高于其他 2 种基料。此外，在添加氧化羊骨油的基料中检测出由亚油酸氧化生成的 2-戊基呋喃<sup>[17-18]</sup>与 2-庚基呋喃，其为肉味调味料中常用的呋喃类香料。1-辛烯-3-醇是亚油酸氢过氧化物降解产物<sup>[19]</sup>，其具有蘑菇味，是添加氧化羊骨油调味基料的关键挥发性物质。

2.3 3 组调味基料关键挥发性物质聚类分析结果

调味基料的风味是由各挥发性风味物质的阈值与其在风味体系中的浓度共同决定的<sup>[16]</sup>，为了进一步确定羊骨油对羊肉味调味基料的影响，结合表 2 所示的挥发性风味物质的相对百分含量和感觉阈值，确定癸醛在未添加羊骨油和添加未氧化羊骨油的调味基料中的相对气味活度值  $ROAV_{max}=100$ ，反-2-壬烯醛在添加氧化羊骨油的调味基料中的相对气味活度值  $ROAV_{max}=100$ 。其他挥发性风味物质的相对气味活度值结果如表 1 所示。经计算，所有组分均满足  $0 < ROAV < 100$ ，且  $ROAV$  越大的组分对样品总体风味的贡献也越大。一般认为  $ROAV > 1$  的物质为所分析样品的关键挥发性物质，而  $0.1 < ROAV < 1$  的物质对样品总体香气具有重要的修饰作用。表 3 所示为不

同羊肉味调味基料的关键挥发性物质（ $ROAV > 1$ ）以及相应的感官描述。“1-4”为 3 组调味基料所共有的关键挥发性物质，“5-11”为不被 3 组基料所共有的关键挥发性物质，但其  $ROAV$  值在其他基料中起重要修饰作用，故也对其进行分析（表 3）。

由表 3 可知，虽然 3 组调味基料的风味存在一定的差异，且风味物质的组成和含量不相同，但它们的关键风味物质的组成存在着交叉关系，未添加羊骨油基料中的关键风味物质，在其他基料中也对风味起到重要修饰作用。3 组基料中 11 种关键挥发性物质主要以脂肪香气为主，并包含甜香、青香、焦香和柑橘香气，其中，醛类 9 种，醇类 2 种。对 3 组调味料比较发现，添加氧化羊骨油的基料与未添加羊骨油的基料相比除桃醛含量略有下降外，其他关键挥发性物质含量都有不同程度增加。在未添加羊骨油组和添加未氧化羊骨油组中，癸醛因其阈值较低且相对含量较多，对风味的贡献十分显著。而在添加氧化羊骨油组中，尽管癸醛的含量与未添加羊骨油组相比变化不大，但由于生成的反-2-壬烯醛具有更低的阈值和相对较高的含量，因而在该组中对风味贡献十分显著，同时反-2,4-癸二烯醛的相对气味活度值也显著增加。

表 2 羊肉味调味基料主要挥发性风味物质组成与相对气味活度值  
Table 2 Composition and relative odor activity value in volatile flavor compounds in mutton flavor seasoning

序号 No.	化合物 Compounds	感觉阈值 <sup>[16]</sup> Odor threshold ( $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	未添加羊骨油		添加未氧化羊骨油		添加氧化羊骨油	
			Without adding sheep bone oil	Adding non-oxidized sheep bone oil	Adding oxidized sheep bone oil	Without adding sheep bone oil	Adding non-oxidized sheep bone oil	Adding oxidized sheep bone oil
			相对含量 Relative content (%)	相对气味活 度值 ( ROAV )	相对含量 Relative content (%)	相对气味活度 值 ( ROAV )	相对含量 Relative content (%)	相对气味活度 值 ( ROAV )
1	糠醛 Furfural	3000	1.33±0.34 <sup>a</sup>	<0.01	1.02±0.16 <sup>a</sup>	<0.01	0.92±0.20 <sup>a</sup>	<0.01
2	苯甲醛 Benzaldehyde	350	1.36±0.11 <sup>b</sup>	0.08±0.02 <sup>A</sup>	1.67±0.03 <sup>a</sup>	0.02±0.00 <sup>B</sup>	1.33±0.04 <sup>b</sup>	0.02±0.00 <sup>B</sup>
3	辛醛 Octanal	0.7	0.81±0.16 <sup>b</sup>	23.62±0.24 <sup>A</sup>	2.83±0.21 <sup>a</sup>	14.65±0.10 <sup>C</sup>	2.54±0.47 <sup>a</sup>	16.13±0.08 <sup>B</sup>
4	壬醛 Nonanal	1	1.28±0.27 <sup>c</sup>	26.12±0.21 <sup>B</sup>	9.06±0.69 <sup>a</sup>	32.83±0.18 <sup>A</sup>	4.56±0.86 <sup>b</sup>	20.27±0.01 <sup>C</sup>
5	癸醛 Capraldehyde	0.1	0.49±0.10 <sup>b</sup>	100±0.00 <sup>A</sup>	2.76±0.23 <sup>a</sup>	100±0.00 <sup>A</sup>	0.42±0.02 <sup>b</sup>	18.67±2.58 <sup>B</sup>
6	反,反-2,4-癸二烯醛 (E, E)-2,4-Decadienal	0.07	0.07±0.01 <sup>c</sup>	20.41±0.00 <sup>B</sup>	0.41±0.03 <sup>b</sup>	21.22±6.50 <sup>B</sup>	1.13±0.21 <sup>a</sup>	71.75±0.06 <sup>A</sup>
7	桃醛 Tetradecanal	14	1.03±0.27 <sup>a</sup>	1.5±0.05 <sup>A</sup>	0.51±0.11 <sup>b</sup>	0.13±0.02 <sup>B</sup>	0.31±0.14 <sup>b</sup>	0.1±0.03 <sup>B</sup>
8	庚醛 Heptaldehyde	3	N.D.		0.87±0.10 <sup>b</sup>	1.05±0.03 <sup>B</sup>	1.43±0.24 <sup>a</sup>	2.12±0.04 <sup>A</sup>
9	反-2-辛烯醛 (E)-2-Nonenal	3	N.D.		0.18±0.03 <sup>b</sup>	0.22±0.05 <sup>B</sup>	0.52±0.08 <sup>a</sup>	0.77±0.05 <sup>A</sup>
10	反-2-壬烯醛 (E)-2-Nonenal	0.08	N.D.		0.30±0.04 <sup>b</sup>	13.59±0.48 <sup>B</sup>	1.80±0.34 <sup>a</sup>	100±0.00 <sup>A</sup>
11	桂醛 Cinnamaldehyde		N.D.		0.07±0.02 <sup>b</sup>		0.19±0.05 <sup>a</sup>	
12	十一醛 Undecenal	5	N.D.		0.94±0.17	0.68±0.07	N.D.	
13	2-十一烯醛 2-Undecenal		N.D.		0.61±0.04 <sup>b</sup>		2.56±0.06 <sup>a</sup>	
14	十二醛 Dodecanal	2	N.D.		0.67±0.17 <sup>a</sup>	1.21±0.21 <sup>A</sup>	0.29±0.07 <sup>b</sup>	0.64±0.04 <sup>B</sup>
15	十五醛 Pentadecanal		N.D.		1.22±0.22		N.D.	
16	顺-2-庚烯醛 (Z)-2-Heptenal		N.D.		N.D.		0.05±0.01	
17	顺-6-壬烯醛 (Z)-6-Nonenal		N.D.		N.D.		0.03±0.00	
18	反,反-2,4-壬二烯醛 (E, E)-2,4-Nonadienal	0.09	N.D.		N.D.		0.03±0.01	1.48±0.04
19	辛醇 Octanol	110	0.22±0.16 <sup>c</sup>	0.04±0.02 <sup>B</sup>	1.54±0.48 <sup>b</sup>	0.05±0.01 <sup>B</sup>	2.90±0.25 <sup>a</sup>	0.12±0.01 <sup>A</sup>
20	芳樟醇 Linalool	6	0.04±0.01	0.14±0.08	N.D.		N.D.	
21	壬醇 Nonanol	50	0.03±0.00 <sup>a</sup>	0.01±0.00 <sup>A</sup>	0.30±0.17 <sup>a</sup>	0.02±0.01 <sup>A</sup>	0.17±0.13 <sup>ab</sup>	0.02±0.01 <sup>A</sup>
22	庚醇 Heptanol	3	N.D.		0.46±0.11 <sup>b</sup>	0.56±0.18 <sup>B</sup>	1.60±0.31 <sup>a</sup>	2.37±0.01 <sup>A</sup>
23	1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	1	N.D.		0.12±0.01 <sup>b</sup>	0.43±0.02 <sup>B</sup>	0.25±0.06 <sup>a</sup>	1.11±0.04 <sup>A</sup>
24	2-乙基己醇 2-Ethyl-1-hexanol	270000	N.D.		0.06±0.02	<0.01	N.D.	
25	十二醇 Dodecanol		N.D.		0.62±0.12 <sup>a</sup>		0.46±0.08 <sup>a</sup>	
26	辛酸 Octanoic Acid	3000	0.86±0.36 <sup>a</sup>	<0.01	0.36±0.14 <sup>a</sup>	<0.01	0.98±0.26 <sup>a</sup>	<0.01
27	癸酸 Decanoic acid	100000	2.23±0.34 <sup>a</sup>	<0.01	0.18±0.06 <sup>b</sup>	<0.01	N.D.	
28	己酸 Hexanoic acid	3000	N.D.		0.13±0.02 <sup>b</sup>	<0.01	0.32±0.04 <sup>a</sup>	<0.01
29	棕榈酸 n-Hexadecanoic acid	10000	N.D.		0.21±0.04	<0.01	N.D.	
30	庚酸 Heptanoic acid	3000	N.D.		N.D.		0.55±0.04	<0.01
31	石竹烯 Caryophyllene	64	0.28±0.04	0.09±0.03	N.D.		N.D.	
32	2-戊基呋喃 2-Pentyl-furan	6	N.D.		N.D.		0.23±0.03	0.17±0.01
33	2-庚基呋喃 2-Heptyl-furan		N.D.		N.D.		0.45±0.04	
34	4-甲基-5-( $\beta$ -羟乙基)噻唑 4-Methyl-5-thiazoleethanol	10800	50.88±2.88 <sup>a</sup>	0.1±0.03 <sup>A</sup>	45.3±2.12 <sup>a</sup>	0.02±0.00 <sup>B</sup>	50.15±1.56 <sup>a</sup>	0.02±0.00 <sup>B</sup>

N.D.代表未检出，表中不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )  
N.D.: Not detected. N.D.: Not detected. Different letter indicate significant difference at  $P < 0.05$

表 3 羊肉味调味基料中关键挥发性物质及峰面积 (ROAV 1)

Table 3 Area of characteristic volatile flavor compounds in mutton flavor seasoning (ROAV 1)

关键挥发性物质 Characteristic volatile flavor compounds	感官描述 Aroma description	未添加羊骨油		添加未氧化羊骨油		添加氧化羊骨油	
		Without adding sheep bone oil		Adding non-oxidized sheep bone oil		Adding oxidized sheep bone oil	
		ROAV 值	面积 Peak area ( $\times 10^6$ )	ROAV 值	面积 Peak area ( $\times 10^6$ )	ROAV 值	面积 Peak area ( $\times 10^6$ )
辛醛	脂香、青香、蜂蜜 <sup>[20]</sup>	23.62±0.24 <sup>A</sup>	4.17±0.21 <sup>b</sup>	14.65±0.10 <sup>C</sup>	17.64±2.12 <sup>a</sup>	16.13±0.08 <sup>B</sup>	18.94±2.11 <sup>a</sup>
Octanal	Fatty, green, honey						
壬醛	脂香、青香 <sup>[16]</sup>	26.12±0.21 <sup>B</sup>	6.53±1.24 <sup>c</sup>	32.83±0.18 <sup>A</sup>	56.43±1.50 <sup>a</sup>	20.27±0.01 <sup>C</sup>	33.97±2.31 <sup>b</sup>
Nonanal	Fatty, green						
癸醛	甜香味 <sup>[16]</sup>	100±0.00 <sup>A</sup>	2.49±0.35 <sup>b</sup>	100±0.00 <sup>A</sup>	17.17±0.99 <sup>a</sup>	18.67±2.58 <sup>B</sup>	3.13±1.06 <sup>b</sup>
Capraldehyde	Sweet						
反,反-2,4-癸二烯醛	油脂味 <sup>[16]</sup>	20.41±0.00 <sup>B</sup>	0.34±0.06 <sup>c</sup>	21.22±6.50 <sup>B</sup>	2.54±0.86 <sup>b</sup>	71.75±0.06 <sup>A</sup>	8.41±1.20 <sup>a</sup>
(E, E)-2,4-Decadienal	Oily						
桃醛	脂肪香、牛奶香、奶油香、鱼香 <sup>[16]</sup>	1.5±0.05 <sup>A</sup>	5.29±1.37 <sup>a</sup>	0.13±0.02 <sup>B</sup>	3.16±0.93 <sup>b</sup>	0.1±0.03 <sup>B</sup>	2.32±0.74 <sup>b</sup>
Tetradecanal	Fatty, dairy, cream, fishy						
庚醛	青香、焦香 <sup>[16]</sup>	...		1.05±0.03 <sup>B</sup>	5.42±1.33 <sup>b</sup>	2.12±0.04 <sup>A</sup>	10.63±0.59 <sup>a</sup>
Heptaldehyde	Green, burnt						
反-2-壬烯醛	脂肪香、油脂气 <sup>[16]</sup>	...		13.59±0.48 <sup>B</sup>	1.89±0.24 <sup>b</sup>	100±0.00 <sup>A</sup>	13.39±1.78 <sup>a</sup>
(E)-2-Nonenal	Fatty, oily						
十二醛	皂香、柑橘香 <sup>[21]</sup>	...		1.21±0.21 <sup>A</sup>	4.17±0.70 <sup>a</sup>	0.64±0.04 <sup>B</sup>	2.19±0.09 <sup>b</sup>
Dodecanal	Soap, citrus						
1-辛烯-3-醇	甜的蘑菇样 <sup>[20]</sup>	...		0.43±0.02 <sup>B</sup>	0.73±0.13 <sup>b</sup>	1.11±0.04 <sup>A</sup>	1.87±0.14 <sup>a</sup>
1-Octen-3-ol	Mushroom						
庚醇	脂香、酒香、木香 <sup>[20]</sup>	...		0.56±0.18 <sup>B</sup>	2.85±0.75 <sup>b</sup>	2.37±0.01 <sup>A</sup>	11.90±1.06 <sup>a</sup>
Heptanol	Fatty, winey, woody						
反,反-2,4-壬二烯醛	煎炸肥肉样香 <sup>[16]</sup>	...		...		1.48±0.04	0.25±0.07
(E, E)-2,4-Nonadienal	Fragrant fried fat						

部分挥发性风味物质因无法查到其感觉阈值而未作分析，表中不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )  
Some volatile flavor compounds was not analyzed because of no available odor threshold. N.D.: Not detected. Different letter indicate significant difference at  $P < 0.05$

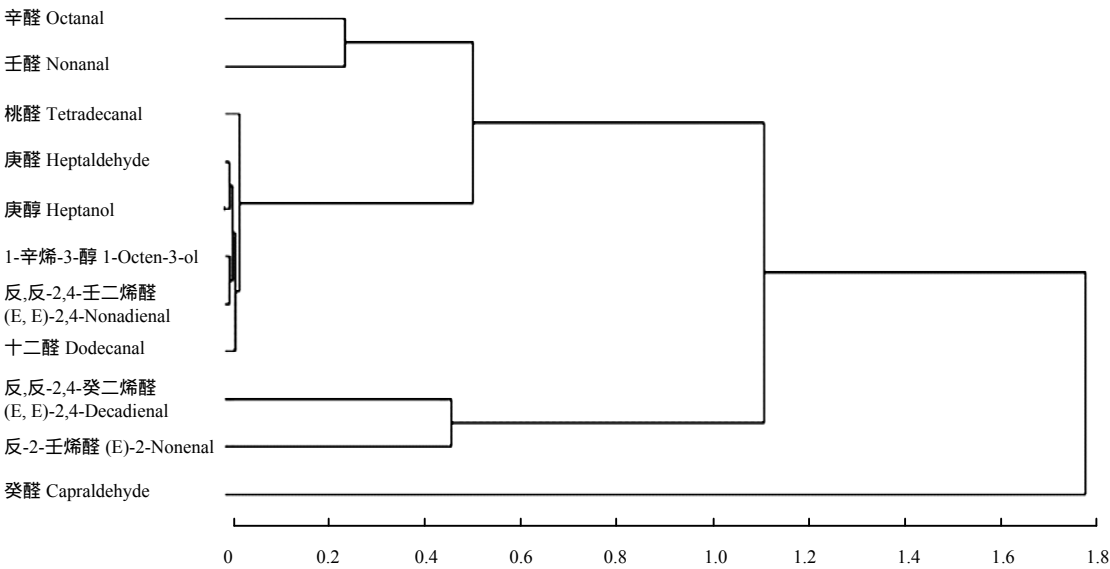


图 2 关键挥发性物质聚类分析

Fig. 2 Clustering results of characteristic volatile flavor compounds

目前,研究多偏重于检测方法的摸索和分析数据的简单比较,而未对其检测数据进行综合的深层次的分析处理<sup>[22]</sup>。为分析表 3 中筛选得到的 11 种关键挥发性物质在添加氧化羊骨油后的变化规律,采用聚类分析法进行了进一步分析,结果(图 2)显示,若以 0.8 作为分界点,可将 11 种物质分成 3 类,第 1 类包括辛醛、壬醛、桃醛、庚醛、十二醛、1-辛烯-3-醇、庚醇、反,反-2,4-壬二烯醛,添加氧化羊骨油对其 ROAV 值变化影响较小;第二类包括反,反-2,4-癸二烯醛、反-2-壬烯醛,在添加氧化羊骨油后 ROAV 值显著增加;第三类为癸醛,在添加氧化羊骨油后 ROAV 值显著降低,而第二类与第三类物质在未添加羊骨油组和添加未氧化羊骨油组间的差异不显著( $P > 0.05$ )。该分析结果表明,调味基料关键风味物质的聚类分析可以用于调味基料风味物质的表征与识别,反,反-2,4-癸二烯醛、反-2-壬烯醛、癸醛是将添加氧化羊骨油调味基料与其他 2 种基料区分开来的关键挥发性风味物质。

### 3 讨论

对 3 组调味基料的挥发性风味物质种类比较发现,添加了羊骨油的调味基料组醛类物质种类和含量都显著增加。这主要是由于未添加羊骨油的基料中醛类物质主要是由美拉德反应产生<sup>[23]</sup>,如糠醛是美拉德反应 Amdaori 中间体通过 1,2-烯醇化后脱氨、脱水形成<sup>[24]</sup>,而脂肪氧化和降解也是醛类物质生成的一个重要途径<sup>[25]</sup>,如亚油酸可以通过氧化生成对风味贡献显著的反-2-壬烯醛,因此,添加羊骨油尤其是氧化羊骨油可使热反应体系生成更多的醛类挥发性风味物质。

3 组基料检测出的关键挥发性物质 (ROAV = 1) 和对样品总体风味具有重要修饰作用的挥发性物质 (0.1 ROAV < 1) 的总数分别为 7 种、12 种、14 种,且未添加羊骨油基料中检测出的关键风味物质,在添加羊骨油的基料中起着重要修饰作用。因此,可知添加羊骨油的基料不但含有未添加羊骨油调味基料的全部关键风味物质,而且随着氧化羊骨油的加入,重要挥发性物质种类增加了 1 倍,大大丰富了调味基料的挥发性风味。

由于添加氧化骨油的基料中癸醛峰面积变化不大,而生成阈值较低的反,反-2,4-癸二烯醛与反-2-壬烯醛,使得癸醛在添加氧化羊骨油的基料中 ROAV 值相对降低,因此,在添加氧化羊骨油的基料中起到风味强化作用的关键性风味物质是聚类分析中得出的

反,反-2,4-癸二烯醛与反-2-壬烯醛。许多研究表明,反,反-2,4-癸二烯醛是鸡肉、牛肉和熟猪肉的重要香味物质<sup>[26-28]</sup>,因此,可以推断不同脂肪经氧化后均会生成反,反-2,4-癸二烯醛,且由于其阈值较低,反,反-2,4-癸二烯醛对不同脂肪氧化制备的调味料风味均起到重要作用。Shahidi<sup>[29]</sup>研究结果显示,脂肪酸作为脂肪的主要组成部分,其组成成分影响脂肪氧化,进而决定挥发性风味物质的种类和强度。Banskalieva 等<sup>[30]</sup>与 Park 等<sup>[31]</sup>研究表明,羊肌肉及其各器官中亚油酸为主要多不饱和脂肪酸。同时,亚油酸经氧化作用可生成 9-氢过氧化物,并进一步断裂生成反-2-壬烯醛与反,反-2,4-癸二烯醛<sup>[26,32]</sup>。因此,亚油酸作为反-2-壬烯醛与反,反-2,4-癸二烯醛的前体物质,是影响调味料基料关键风味物质关键脂肪酸。同时,电子鼻技术分析结果与关键挥发性物质聚类分析结果一致,可以进一步判断由于氧化羊骨油的添加,反,反-2,4-癸二烯醛与反-2-壬烯醛成为改善此调味基料风味的最主要风味物质。

### 4 结论

醛类物质是影响肉味调味基料风味的关键物质,添加羊骨油之后醛类物质的种类与相对含量都增加了 2 倍以上,并检测出包括庚醛、反-2-壬烯醛、反,反-2,4-壬二烯醛、庚醇、1-辛烯-3-醇等多种关键风味物质。其中,反-2,4-癸二烯醛与反-2-壬烯醛是区分添加氧化羊骨油羊肉味调味基料与其他 2 种基料的最关键挥发性风味物质。

### References

- [1] 孙宝国. 肉味香精的制造理念与核心技术. 中国食品学报, 2007, 7(5): 1-5.  
Sun B G. Preparation concept and crucial technique of meat flavoring. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2007, 7(5): 1-5. (in Chinese)
- [2] Hornstein I, Crowe P F. Flavor studies on beef and pork. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1960, 8(6): 494-498.
- [3] Hornstein I, Crowe P F. Meat flavor: Lamb. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1963, 11(2): 147-149.
- [4] Pearson A M, Wenham L M, Carse W A, McLeod K, Davey C L, Kirton A H. Observations on the contribution of fat and lean to the aroma of cooked beef and lamb. *Journal of Animal Science*, 1973, 36(3): 511-515.
- [5] Petrus G M H. Process for the preparation of a flavoured foodstuff as



- well as a foodstuff obtainable by such a process[P]. EP, 298552. 1989-01-11.
- [6] Simmons J, Charles III S, Visser J. Process for the Preparation of Flavouring Mixtures[P]. US, 5178892. 1993-01-12.
- [7] 文志勇, 孙宝国, 梁梦兰, 谢建春. 脂质氧化产生香味物质. 中国油脂, 2004, 29(9): 41-44.
- Wen Z Y, Sun B G, Liang M L, Xie J C. Flavour compounds from lipid oxidation. *China Oil and Fats*, 2004, 29(9): 41-44. (in Chinese)
- [8] 谢建春, 孙宝国, 郑福平, 钟秋. 以形成特征性羊肉香味为目标的热反应工艺研究. 食品与发酵工业, 2007, 33(4): 1-5.
- Xie J C, Sun B G, Zheng F P, Zhong Q. Study on thermal reaction technology with oxidized lamb fat appended to develop characteristic mutton flavor. *Food and Fermentation Industries*, 2007, 33(4): 1-5. (in Chinese)
- [9] 林庆斌, 孙宝国, 谢建春. 以热反应制备羊肉香精为目的的羊脂控制氧化工艺研究. 食品科学, 2005, 26(8): 142-146.
- Lin Q B, Sun B G, Xie J C. Study on the technology of suet oxidized in control for preparation of muttoney flavor by the thermal reaction. *Food Science*, 2005, 26(8): 142-146. (in Chinese)
- [10] Song S Q, Zhang X M, Xiao Z B, Niu Y W, Khizar H, Karangwa E. Contribution of oxidized tallow to aroma characteristics of beeflike process flavour assessed by gas chromatography-mass spectrometry and partial least squares regression. *Journal of Chromatography A*, 2012, 1254: 115-124.
- [11] 李桂星. 羊骨素及其衍生化产品提取制备工艺研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- Li G X. Study on extraction, preparation of sheep bone extracts and its derivative products[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2012. (in Chinese)
- [12] 朱丽云, 张拥军, 何杰民, 蒋家新, 金晖. 不同工艺热反应风味香料的电子鼻检测. 中国食品学报, 2012, 12(2): 207-212.
- Zhu L Y, Zhang Y J, He J M, Jiang J X, Jin H. Electronic nose detection of thermal reaction flavors from different processes. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2012, 12(2): 207-212. (in Chinese)
- [13] 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. 食品科学, 2008, 29(7): 370-374.
- Liu D Y, Zhou G H, Xu X L. "ROAV" method: A new method for determining key odor compounds of rugao ham. *Food Science*, 2008, 29(7): 370-374. (in Chinese)
- [14] 刘宁, 马捷, 刘延琳. 电子鼻对酿酒酵母菌株产香特性的评价. 食品科学, 2011, 32(2): 164-167.
- Liu N, Ma J, Liu Y L. Evaluation of aroma-producing characteristics of *saccharomyces cerevisiae* strains by electronic nose. *Food Science*, 2011, 32(2): 164-167. (in Chinese)
- [15] 刘红, 杨荣华, 戴志远, 王宏海, 叶婧. 利用鲢鱼制备肉味香精及其香气成分的分析. 中国食品学报, 2010, 10(2): 149-153.
- Liu H, Yang R H, Dai Z Y, Wang H H, Ye J. The preparation of meat flavor essence from silver carp and the analysis of flavor components. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2010, 10(2): 149-153. (in Chinese)
- [16] 孙宝国. 食用调香术: 第二版. 北京: 化学工业出版社, 2010: 23-28.
- Sun B G. *Edible Flavouring Operation: Second Edition*. Beijing: Chemical Industry Press, 2010: 23-28. (in Chinese)
- [17] Guadagni D G, Buttery R G, Turnbaugh J G. Odour thresholds and similarity ratings of some potato chip components. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1972, 23(12): 1435-1444.
- [18] Elmore J S, Campo M, Enser M, Mottram D S. Effect of lipid composition on meat-like model systems containing cysteine, ribose, and polyunsaturated fatty acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(2): 1126-1132.
- [19] Wurzenberger M, Grosch W. Stereochemistry of the cleavage of the 10-hydroperoxide isomer of linoleic acid to 1-octen-3-ol by a hydroperoxidelyase from mushrooms (*psalliotabispora*). *Biochimica et Biophysica Acta*, 1984, 795(1): 163-165.
- [20] Calkins C R, Hodgen J M. A fresh look at meat flavor. *Meat Science*, 2007, 77(1): 63-80.
- [21] 王霞, 黄健, 侯云丹, 王求娟, 陈义方, 夏静波, 苏秀榕. 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风味物质. 食品科学, 2012, 33(12): 268-272.
- Wang X, Huang J, Hou Y D, Wang Q J, Chen Y F, Xia J B, Su X R. Analysis of volatile components in yellowfin tuna by electronic nose and GC-MS. *Food Science*, 2012, 33(12): 268-272. (in Chinese)
- [22] 宋江峰, 李大婧, 刘春泉, 刘玉花. 甜糯玉米软罐头主要挥发性物质主成分分析和聚类分析. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2122-2131.
- Song J F, Li D J, Liu C Q, Liu Y H. Principal components analysis and cluster analysis of flavor compositions in waxy corn soft can. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(10): 2122-2131. (in Chinese)
- [23] 慕艳梅, 孙宝国, 黄明泉, 刘玉平, 陈海涛. 同时蒸馏萃取-气质联用分析月盛斋酱牛肉的挥发性风味物质. 食品科学, 2010, 31(18): 370-374.
- Qi Y M, Sun B G, Huang M Q, Liu Y P, Chen H T. Analysis of volatile compounds in yueshengzhai spiced beef by simultaneous distillation extraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Food Science*,

- 2010, 31(18): 370-374. (in Chinese)
- [24] 谭斌. Maillard 反应体系制备热加工牛肉风味基料的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005.
- Tan B. Studies on the preparation of basic thermal process beef flavorings by maillard reaction of model system[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2005. (in Chinese)
- [25] Xie J C, Sun B G, Zheng F P, Wang S B. Volatile flavor constituents in roasted pork of Mini-pig. *Food Chemistry*, 2008, 109(3): 506-514.
- [26] 宋焕禄. 食品风味化学. 北京: 化学工业出版社, 2007: 113-115.
- Song H L. *Food Flavor Chemistry*. Beijing: Chemical Industry Press, 2007: 113-115. (in Chinese)
- [27] Gasser U, Grosch W. Primary odorants of chicken broth. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 1990, 190(1): 3-8.
- [28] Song S Q, Zhang X M, Khizar Hayat, Liu P, Jia C S, Xia S Q, Xiao Z B. Formation of the beef flavour precursors and their correlation with chemical parameters during the controlled thermal oxidation of tallow. *Food Chemistry*, 2011, 124(1): 203-209.
- [29] Shahidi F. 肉制品与水产品的风味: 第二版//李洁, 朱国斌. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- Shahidi F. *Flavor of Meat, Meat Products and Seafoods: Second Edition*//Li J, Zhu G B. Beijing: China Light Industry Press, 2001. (in Chinese)
- [30] Banskalieva V, Sahlu T, Goetsch A L. Fatty acid composition of goat muscles and fat depots: A review. *Small Ruminant Research*, 2000, 37(3): 255-268.
- [31] Park Y W, Washington A C. Fatty acid composition of goat organ and muscle meat of Alpine and Nubian breeds. *Journal of Food Science*, 1993, 58(2): 245-248.
- [32] Ho C T, Zhang Y G, Shi H, Tang J. Flavor chemistry of Chinese foods. *Food Review International*, 1989, 5(3): 253-287.
- (责任编辑 李莉)