



# 反应时间对牛肉、牛骨美拉德反应产物风味品质的影响

李迎楠, 刘文营, 张顺亮, 李家鹏, 陈文华, 曲超, 艾婷, 成晓瑜\*

(北京食品科学研究院, 中国肉类食品综合研究中心, 国家肉类加工工程技术研究中心, 北京 100068)

**摘要:** 以牛肉、牛骨等为研究对象, 分析不同反应时间对美拉德反应产物风味品质的影响。结果表明: 反应时间不同, 美拉德反应产物中挥发性风味物质种类及相对含量均存在明显差异, 反应时间为30、45、60、75、90 min条件下分别检测出42、40、43、43、41种挥发性风味物质。反应温度为105℃, 反应时间为60 min时, 美拉德反应产物中挥发性风味物质含量高达92.95%, 具有特征风味的醛、酮类化合物的含量为47.38%。运用电子鼻分析可知, 不同反应时间美拉德反应产物的主成分之间有显著性差异, 利用主成分分析可以很好地区分不同反应时间下的美拉德反应产物。所得到的美拉德反应产物肉香味浓郁, 回味悠长。

**关键词:** 牛肉; 牛骨; 美拉德反应; 反应时间; 挥发风味物质; 电子鼻

Effect of Reaction Time on the Flavor Quality of Maillard Reaction Products from Beef Meat and Bone Hydrolysates

LI Yingnan, LIU Wenying, ZHANG Shunliang, LI Jiapeng, CHEN Wenhua, QU Chao, AI Ting, CHENG Xiaoyu\*

(China Meat Processing and Engineering Center, China Meat Research Center, Beijing Academy of Food Sciences, Beijing 100068, China)

**Abstract:** This study was concerned with the effect of reaction time on the generation of flavor compounds from the Maillard reaction of beef meat and bone hydrolysates. The composition and relative contents of volatile compounds in the Maillard reaction products at different reaction times were significantly different. A total of 42, 40, 43, 43 and 41 volatile compounds were detected upon reaction for 30, 45, 60, 75 and 90 min, respectively. The reaction at 105 °C for 60 min yielded as high as 92.95% volatile flavor compounds in the products with aldehyde and ketone responsible for the characteristic flavor together accounting for 47.38%. Electronic nose analysis showed significant differences in major volatile components among the reaction products at different reaction times, which could be clearly discriminated from each other by principal component analysis. The Maillard reaction products had a strong meat flavor with a long lingering aftertaste.

**Key words:** beef meat; beef bone; Maillard reaction; reaction time; volatile flavor compounds; electronic nose

DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.05.001

中图分类号: TS251.94

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2016) 05-0001-05

引文格式:

李迎楠, 刘文营, 张顺亮, 等. 反应时间对牛肉、牛骨美拉德反应产物风味品质的影响[J]. 肉类研究, 2016, 30(5): 1-5.

DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.05.001. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

LI Yingnan, LIU Wenying, ZHANG Shunliang, et al. Effect of reaction time on the flavor quality of maillard reaction products from beef meat and bone hydrolysates[J]. Meat Research, 2016, 30(5): 1-5. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.05.001. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

影响美拉德反应的因素较多, 反应产物的性质及结构受氨基酸及糖的种类的影响, 而且还与反应时间、温度及水分含量等有关。Wronkowska等<sup>[1]</sup>研究发现反应时间对荞麦美拉德反应产物的颜色有显著影响, 反应时间为30 min, 160℃条件下可获得营养型荞麦产品; Qian

等<sup>[2]</sup>通过研究猪血浆蛋白水解物-单糖美拉德反应模型发现, 美拉德反应产物的颜色、褐变程度及中间产物的含量随反应时间的增加而增加, 并可提升反应产物的抗氧化能力。刘平等<sup>[3]</sup>研究发现在大豆肽-木糖美拉德反应体系中, 随着反应时间的延长, 体系的褐变强度逐渐增

收稿日期: 2015-12-17

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD28B09)

作者简介: 李迎楠(1989—), 女, 工程师, 硕士, 研究方向为副产物综合利用。E-mail: liyingnan\_love@126.com

\*通信作者: 成晓瑜(1972—), 女, 教授级高级工程师, 硕士, 研究方向为副产物综合利用。E-mail: chxyey@aliyun.com

强,反应时间控制在120~150 min,所得的美拉德产物可提升鲜味、醇厚味和持续感;孙芳达等<sup>[4]</sup>研究发现以猪骨蛋白水解物和葡萄糖-木糖作为反应原料建立的美拉德反应体系,延长加热时间会导致美拉德反应中间产物和氨基酸态氮损失率上升,热反应时间为40 min条件下,在该体系得到的美拉德产物较好。

目前,关于反应时间对美拉德反应产物风味品质影响的相关研究较少,大部分仅局限于对成品中风味物质的鉴定。本研究利用生物酶解技术得到牛肉酶解物及牛骨酶解物,添加一定量的木糖、水解植物蛋白(hydrolyzed vegetable protein, HVP)、葡萄糖等进行美拉德反应,通过气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectromete, GC-MS)联用、电子鼻传感器等方法,分析不同反应时间对美拉德反应产物风味品质的影响,考察不同反应时间特征风味的变化情况,为研究美拉德反应产物提供理论技术支持。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

牛肉、牛骨市售。

复合动物蛋白酶、风味蛋白酶 诺维信投资有限公司;葡萄糖、半胱氨酸、甘氨酸等均为食品级。

### 1.2 仪器与设备

TRACE高速组织捣碎机、1310气相色谱-TSQ8000质谱联用仪 美国Thermo公司;DB-Wax 75 $\mu$ m CAR/PDMS固相微萃取(solid phase micro extraction, SPME)针 美国J&W公司;便携式电子鼻传感器 德国Airsense公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 牛肉酶解物、牛骨酶解物制备

参考文献[5-6]方法,称取新鲜牛肉,按质量比1:1加入蒸馏水,经高速组织捣碎机搅碎,加入质量分数为0.4%风味蛋白酶,50 $^{\circ}$ C条件下酶解3 h,灭酶后冷却至室温备用。取新鲜牛骨破碎后加热除油脂,取骨渣酶解,温度为55 $^{\circ}$ C,复合动物蛋白酶添加量为15 mg/g,酶解4 h;风味蛋白酶添加量为10 mg/g,酶解2 h;收集酶解液过滤、冻干后备用。

#### 1.3.2 美拉德反应

准确称取牛肉水解液50 g、牛骨酶解物4 g、木糖5 g、葡萄糖2 g、半胱氨酸5 g、HVP 30 g、丙氨酸1.5 g、甘氨酸3 g混合均匀,反应温度为105 $^{\circ}$ C,美拉德反应时间分别为30、45、60、75、90 min,考察不同反应时间对美拉德反应产物风味品质的影响。

#### 1.3.3 挥发性成分的GC-MS分析

样品前处理:取1 mL美拉德反应产物样品装入瓶

中,50 $^{\circ}$ C水浴平衡30 min,SPME针头萃取30 min后,进入GC-MS进行分离和分析。

色谱条件:色谱柱DB-Wax极性柱;柱流速1.0 mL/min;载气:He(99.999%);进样口温度250 $^{\circ}$ C,柱温:起始温度35 $^{\circ}$ C,保持3 min后以5 $^{\circ}$ C/min升温到200 $^{\circ}$ C,再以10 $^{\circ}$ C/min升到250 $^{\circ}$ C保持5 min。

质谱条件:传输线温度260 $^{\circ}$ C;离子源温度280 $^{\circ}$ C;质谱质量扫描范围设定为40~600 u<sup>[7-8]</sup>。

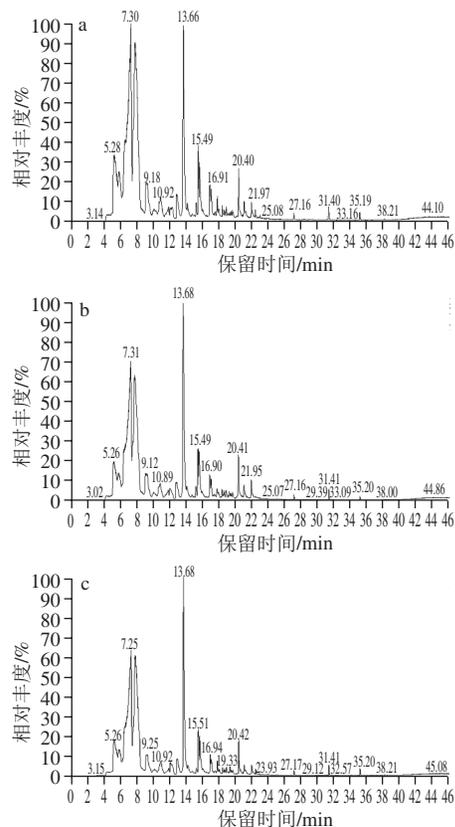
### 1.3.4 电子鼻传感器分析

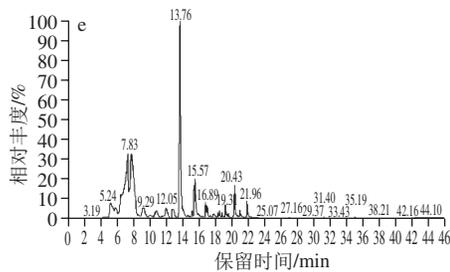
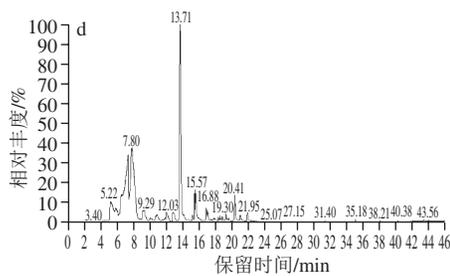
电子鼻传感器中不同金属氧化物半导体型化学传感元件所对应的敏感物质类型不同<sup>[9]</sup>。不同反应时间条件下得到的美拉德反应产物不同,进而影响主成分风味物质的种类和相对含量,因此在传感器上呈现不同的气味感应信号。准确量取3 mL美拉德反应产物样品,25 $^{\circ}$ C恒温环境平衡2 h,传感信号在60 s后基本稳定,选定信号采集时间为70 s。

## 2 结果与分析

### 2.1 GC-MS测定分析结果

利用GC-MS对不同时间条件下美拉德反应产物进行分析,其挥发性成分总离子流色谱图如图1所示。采用面积归一化法对各成分进行定量分析,主要挥发性成分分析结果如表1、图2所示。美拉德反应时间不同,反应产物中挥发性风味物质种类及相对含量均存在明显差异。





a~e. 反应时间分别为30、45、60、75、90 min。

图1 不同反应时间GC-MS总离子流图

Fig.1 GC-MS total ion current chromatograms of Maillard reaction products at different reaction times

表1 不同反应时间挥发性风味物质分析

Table 1 Analysis of volatile flavor compounds in Maillard reaction products at different reaction times

分类	化合物名称	相对含量/%				
		30 min	45 min	60 min	75 min	90 min
醇类	3-己炔-2,5-二醇	—	—	—	—	0.02
	3-丁烯-2-醇	—	—	—	0.02	—
	反-2-庚烯-1-醇	0.06	0.09	0.05	—	—
	4-甲基-2-硝基-1,3-戊二醇	—	0.02	0.04	0.02	—
	5-己炔-1-醇	—	—	—	0.03	—
	顺-1,3-环戊二醇	—	—	—	0.12	—
	反式-1,2-环戊二醇	0.03	—	—	—	—
	糠醇	11.60	18.27	18.61	32.07	35.22
	3-甲基-1,2-环戊二醇	—	—	—	0.08	0.07
	2,3-二甲基环己醇	—	0.20	—	—	0.06
	1,1-二甲基环己醇	—	0.10	—	—	0.12
	顺-2-乙基-2-己烯醇	—	—	—	—	0.15
	顺-2-甲基环己醇	0.32	—	—	—	—
	顺-2-壬烯-3-醇	0.24	—	0.06	—	—
	麦芽糖醇	0.93	1.27	0.66	1.08	1.68
4-异丙基苯甲醇	0.07	0.05	—	—	0.05	
醛类	异丁醛	0.07	0.05	0.01	—	—
	丙酮醛	0.12	0.07	0.10	0.05	0.11
	3-甲基丁醛	1.21	0.55	0.58	0.41	0.16
	2-甲基丁醛	18.22	20.01	22.66	14.96	15.52
	丁二醛	0.04	—	0.02	—	—
	甲硫基丙醛	0.96	1.01	0.93	0.90	0.93
	苯甲醛	1.75	0.97	1.17	0.95	1.03
	苯乙醛	0.41	0.32	—	0.32	0.38
	丙酮	8.02	8.31	7.42	4.69	3.50
	3-甲基-2-丁酮	—	—	0.05	0.10	0.06
	丁酮	3.66	3.72	3.61	3.44	2.59
	3-羟基-2-丁酮	4.38	4.15	4.11	3.59	1.95
	2-甲基四氢呋喃-3-酮	0.37	2.12	1.90	2.39	2.06
	3-甲氧基-环己酮	—	—	—	0.17	—

续表1

分类	化合物名称	相对含量/%					
		30 min	45 min	60 min	75 min	90 min	
酮类	6-羟基-2-己酮	0.58	0.10	—	—	0.23	
	3-羟基-环己酮	0.26	0.22	—	—	—	
	2-乙酰基呋喃	4.69	3.57	4.08	3.18	3.78	
	2,6-二甲基-3-庚酮	—	—	0.11	—	—	
	3-甲基-1,2-环戊二酮	—	—	—	0.82	—	
	甲基环戊烯醇酮	0.16	0.34	0.47	—	1.28	
	5-甲基-2-乙酰基呋喃	0.21	0.21	0.16	0.11	—	
	2-异丙基-2,5-二甲基-环己酮	—	—	—	0.29	0.38	
	乙酸异丙酯	2.99	2.14	2.34	1.99	1.41	
	1,1-二甲基-2-丙烯基乙酸酯	—	—	—	1.24	1.18	
	反-9-十四烯-1-醇酯	—	—	0.04	—	—	
	2-乙酰柠檬酸三乙酯	1.86	1.43	1.54	—	—	
	γ-戊内酯	—	—	—	1.34	1.46	
	γ-二甲基丁内酯	—	0.30	—	0.21	—	
	1-环戊基乙基己酸酯	—	—	—	—	0.17	
酯类	4-氧代戊酸甲酯	—	—	0.27	—	—	
	S-甲基-N-(2-甲基-3-丁氧基)二硫代氨基甲酸酯	0.15	0.05	0.08	—	—	
	10-甲基-8-十四碳烯-1-醇酯	—	0.06	—	0.05	—	
	10,13-十八碳二炔酸甲酯	—	—	—	0.05	—	
	辛酸乙酯	0.07	—	0.07	—	—	
	2-己基-1,1-双环丙烷-2-辛酸甲酯	—	—	0.03	—	—	
	癸酸乙酯	0.05	—	0.04	0.05	—	
	2-甲基吡嗪	3.29	3.47	3.90	3.43	3.37	
	2,5-二甲基吡嗪	—	1.85	1.76	1.26	1.29	
	2,3-二甲基吡嗪	0.23	0.23	—	0.23	0.21	
	2,6-二甲基吡嗪	—	—	0.17	—	—	
	2-乙基-6-甲基吡嗪	1.15	0.99	0.97	0.95	0.95	
	2,3,5-三甲基吡嗪	0.29	0.47	0.30	0.46	0.63	
	4-甲基-5-[2-甲基-2-丙烯基]-咪唑	—	0.07	—	—	—	
	2-乙酰基吡咯	1.22	—	0.03	0.03	0.30	
2-乙基-3,5-二甲基吡嗪	—	—	—	—	0.11		
3-乙基-2,5-甲基吡嗪	—	—	0.04	0.08	—		
2-氨基-5-[(2-羧基)乙基]-咪唑	0.03	0.03	—	—	—		
酸类	乙酸	15.50	13.05	13.08	6.90	5.43	
	6-壬烯酸	0.38	0.08	0.19	1.40	—	
	丁酸	—	0.49	0.37	0.19	0.04	
	17-十八炔酸	—	—	0.26	0.18	—	
	己酸	—	—	—	—	0.52	
	4-甲基-3-戊烯酸	0.37	—	0.09	—	0.40	
	十八烷二酸	0.05	—	—	—	0.05	
	酚类	愈创木酚	1.04	1.30	0.53	0.73	0.85
		2,6-二甲氧基苯酚	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07
	总计	87.11	91.79	92.95	90.62	89.77	

经GC-MS分析可知,反应时间为30、45、60、75、90 min条件下分别检测出42、40、43、43、41种挥发性风味物质,其中醇类、醛类、酮类化合物含量相对较高;挥发性风味物质相对含量分别为87.11%、91.79%、92.95%、90.62%、89.77%,其中反应时间为60 min条件下,美拉德反应产物中挥发性风味物质含量高达92.95%。

醛酮类化合物是肉类脂肪加热后肉香成分的特征化合物,挥发性风味物质中若除去醛、酮类化合物,

则肉品特有的风味消失,所以醛、酮类化合物对产品肉香味的形成起到不可忽视的作用<sup>[10]</sup>。美拉德反应时间为60 min时,醛、酮类化合物相对含量最高,达到47.38%,其次为反应时间45 min和30 min时。醛类化合物的阈值较低<sup>[11]</sup>,具有很强的与许多其他物质重叠的风味效应。苯甲醛被描述为脂香、苦杏仁、樱桃及坚果香味;David等<sup>[12]</sup>发现2-甲基丁醛、3-甲基丁醛对牛肉风味的呈现有重要作用,二者均具有令人愉快的水果香气;甲硫基丙醛具有强烈的易扩散的烤肉香和焦香的香气特征<sup>[13]</sup>。酮类化合物中含量较高的丙酮、丁酮可能由多不饱和脂肪酸碳链的 $\beta$ 氧化和脱羧作用产生,有独特的清香和果香,并随碳链的增长赋予更强的花香特征<sup>[14]</sup>。3-羟基-2-丁酮等羟基酮类具有愉快的奶油香味,可能是在美拉德反应过程中产生的;2-乙酰基呋喃则具有烤香、烟熏香及坚果香<sup>[15]</sup>。

直链饱和醇的香味对于肉制品的风味贡献很小,但随着碳链的增长,可以产生清香、木香及脂肪香的特征,而不饱和醇阈值较低<sup>[16]</sup>。不同反应时间条件下醇类化合物除糠醇外其余物质含量相当,而反应时间为75、90 min时,糠醇含量相对较高,糠醇具有焦糖香及甜香等气味,但是过量则会引起较重的苦味,对美拉德反应产物的风味产生一定的影响。

酯类化合物能够赋予食品醚香和甜的水果香气,短链脂肪酸水解产生的甲基酮和内酯可能对肉类的风味产生影响<sup>[17]</sup>。酸类化合物则可能是由相应的醇、醛在美拉德反应过程中高温氧化得到的。不同反应时间下酯类化合物及酸类化合物相对含量相差不大,酯类化合物的整体含量不高,但对整体风味却有一定的协调作用,其中含量相对较高的乙酸酯类具有愉快的水果香气,酸类化合物中含量相对较高的乙酸则呈现刺激、尖酸的气息。

含氮类杂环化合物是烤肉制品中最重要的香气物质,多数杂环类化合物具有肉香味<sup>[18]</sup>。烷基吡嗪通常被描述为烤香味,具有坚果香或烘香的风味特征,不同反应时间下美拉德反应产物检测出的含氮类化合物主要有2-甲基吡嗪、2,5-二甲基吡嗪、2-乙基-6-甲基吡嗪及2,3,5-三甲基吡嗪。反应时间为60 min时,含氮类化合物含量相对较高,达到7.17%,其中吡嗪类化合物相对含量高达7.14%,其他条件下含氮类化合物含量相差不大。此外,酚类化合物检测出的相对含量较少,愈创木酚具有可口的肉香及烟熏味<sup>[15]</sup>,2,6-二甲氧基苯酚则被描述为甜香、木香、烟熏香。

综合上述分析得到,反应时间为60 min时,美拉德反应产物中挥发性物质相对含量较高,达到92.95%,其中具有特征风味的醛、酮类化合物的含量为47.38%,吡嗪类化合物含量为7.17%,在该配方条件下反应时间为60 min较为适宜,此时美拉德反应产物肉香味浓郁,回味悠长。

## 2.2 电子鼻传感器分析结果

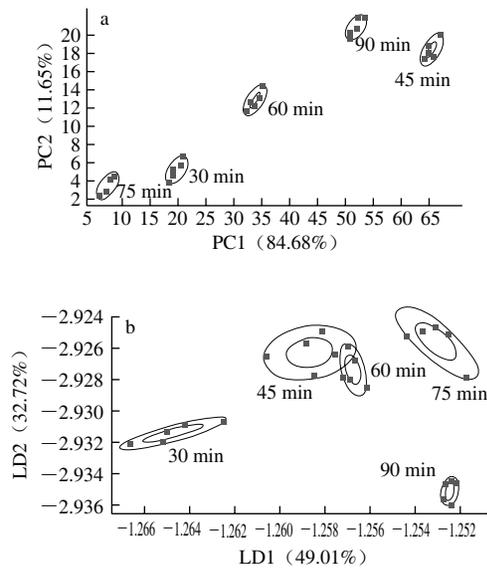


图2 不同牛骨酶解物添加量肉味香精的PCA分析(a)和LDA分析(b)  
Fig.2 PCA analysis (a) and LDA analysis (b) of different amount of bovine hydrolysates

由图2a可知,PC1、PC2的方差贡献率分别为84.68%和11.65%,总贡献率为96.33%,说明在整体香气成分水平上美拉德反应产物中主成分可以很好地反映多指标信息<sup>[19-20]</sup>。不同反应时间下各数据点均分布在各自的区域内,说明不同反应时间下美拉德反应产物的主成分之间有显著性差异;沿PC1方向变化很大,说明不同反应时间下美拉德反应产物的风味发生明显变化,利用PCA方法可以很好地区分不同反应时间下的美拉德反应产物。由图2b可知,LD1、LD2的方差贡献率分别为49.01%和32.72%,其中反应时间为45 min和60 min时有部分重叠,说明二者之间具有一定的相似性,其余数据分布较为分散。在LD2方向上,90 min条件下美拉德反应产物与其他4组相距较远,可能是由于反应时间过长,导致反应产物产生了与其他组不同的物质。通过比较可知,PCA分析方法比LDA分析方法更能有效地区分各反应条件下美拉德反应产物,5种样品间的风味成分存在显著性差异,不同反应时间对美拉德反应产物风味产生一定的影响。

## 3 结论

美拉德反应时间不同,反应产物中挥发性风味物质种类及相对含量均存在明显差异。反应时间为30、45、60、75、90 min时分别检测出42、40、43、43、41种挥发性风味物质,其中醇类、醛类、酮类化合物含量相对较高;挥发性风味物质相对含量分别为87.11%、



91.79%、92.95%、90.62%、89.77%。美拉德反应产物中主要挥发性风味成分物质包括：2-甲基丁醛、3-甲基丁醛、甲硫基丙醛、3-羟基-2-丁酮、2-乙酰基呋喃、糠醇、2-甲基吡嗪、2,5-二甲基吡嗪、2-乙基-6-甲基吡嗪及2,3,5-三甲基吡嗪等。综合分析可知，反应温度为105℃，反应时间为60 min条件下，美拉德反应产物中挥发性风味物质含量高达92.95%，与其他反应时间相比具有较大的优势，其中该条件下具有特征风味的醛、酮类化合物的含量为47.38%，吡嗪类化合物含量为7.14%，此时美拉德反应产物肉香味浓郁，回味悠长，具有良好的香气；运用电子鼻分析可知，不同反应时间下美拉德反应产物的主成分之间有显著性差异，利用PCA方法可以很好地区分不同反应时间下的美拉德反应产物，不同反应时间对美拉德反应产物风味产生一定的影响。

本研究以牛骨、牛肉、木糖等为原料进行美拉德反应，并对不同反应时间下美拉德产物风味品质进行分析，判断出较为适宜的反应时间，得到风味较好的美拉德反应产物，为美拉德反应的研究提供一定的理论参考。

#### 参考文献：

- [1] WRONKOWSKA M, PISKULA M, HENRYK Z. Effect of roasting time of buckwheat groats on the formation of Maillard reaction products and antioxidant capacity[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 355-358. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.09.064.
- [2] QIAN L, JIANG L, BAOHUA K, et al. Antioxidant capacity of Maillard reaction products formed by a porcine plasma protein hydrolysate-sugar model system as related to chemical characteristics[J]. Food Science and Biotechnology, 2014, 23(1): 33-41. DOI:10.1007/s10068-014-0005-8.
- [3] 刘平, 张晓鸣, 车振明. 反应时间对大豆肽-木糖美拉德反应体系的影响[J]. 食品与发酵科技, 2014, 50(3): 16-20. DOI:10.3969/j.jssn.1674-506X.2014.03-004.
- [4] 孙芳达, 孔保华, 韩齐, 等. 反应初始pH和加热时间对猪骨蛋白水解物美拉德产物特性的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(22): 106-110.
- [5] 郑捷, 刘安军, 何立蓉, 等. 牛骨酶解制备牛肉香精及气质联用分析[J]. 现代食品科技, 2010, 26(3): 306-310.
- [6] 张顺亮, 成晓瑜, 乔晓玲, 等. 牛骨酶解产物中咸味肽组分的分离纯化及成分研究[J]. 食品科学, 2012, 33(6): 29-32.
- [7] 潘晓倩, 成晓瑜, 张顺亮, 等. 不同发酵剂对北方风干香肠色泽和风味品质的改良作用[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 81-86. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201514016.
- [8] LIU F, SONG S, ZHANG X, et al. Effect of sterilization methods on ginger flavor beverage assessed by partial least squares regression of descriptive sensory analysis and gas chromatography-mass spectrometry[J]. European Food Research and Technology, 2014, 238(2): 1-11. DOI:10.1007/s00217-013-2093-8.
- [9] RAJAMAKI T, ALAKOMI H L, RITCANEN T A, et al. Application of an electronic nose for quality assessment of modified atmosphere packaged poultry meat[J]. Food Control, 2006, 17: 5-13. DOI:10.1016/j.foodcont.2004.08.002.
- [10] MARTINS S I F S, JONGR N W M F, van BOEKEL M A J S. A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modeling[J]. Trend in Food Science and Technology, 2000, 11: 364-373.
- [11] 钱飞, 刘海英, 过世东. 克氏原螯虾头酶解物挥发性风味成分分析[J]. 食品工业科技, 2010, 31(4): 134-139.
- [12] DAVID M, SASKIA M R. Gas chromatography-olfactometry analysis of the volatile compounds of two commercial Irish beef meats[J]. Talanta, 2003, 60: 755-764.
- [13] 张娜. 中华绒螯蟹挥发性物质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008(3): 141-144.
- [14] TANCHOTIKUL U, HSIEH T C. Analysis of volatile flavor components in steamed rangia clam by dynamic headspace sampling and simultaneous distillation and extraction[J]. Journal of Food Science, 1991, 56: 327-331. DOI:10.1111/j.1365-2621.1991.tb05272.x
- [15] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 116-193.
- [16] WETTASINGHE M, VASANTHAN T, TEMELLI F, et al. Volatiles from roasted by products of the poultry processing industry[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(8): 3485-3492. DOI:10.1021/jf000122a.
- [17] 孙红梅, 李侠, 张春晖, 等. 鸡骨素及其酶解液的美拉德反应产物挥发性风味成分比较分析[J]. 分析测试学报, 2013, 32(6): 661-667. DOI:10.3969/j.issn.1004-4957.2013.06.002.
- [18] 吕玉. 美拉德反应模型体系的研究及牛肉香精的制备[D]. 北京: 北京工商大学, 2010.
- [19] 陈辰, 鲁晓祥, 张鹏, 等. 玫瑰香普通贮后货架品质的电子鼻结合GC-MS检测[J]. 现代食品科技, 2015, 31(10): 313-320. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.10.051.
- [20] 贡慧, 史智佳, 杨振, 等. 电子鼻快速检测不同煮制时间的酱牛肉风味[J]. 肉类研究, 2014, 28(11): 34-37.