

# GC-MS结合电子鼻分析温度对肉味香精风味品质的影响

李迎楠, 刘文营, 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:** 以肉味香精为研究对象, 从感官品质、挥发性风味物质组成和电子鼻分析角度研究不同反应温度对其风味品质的影响。结果表明, 不同温度条件下肉味香精在感官评价、挥发性风味物质等方面都有较大的差异性。105 °C 条件下的肉味香精产品风味和口感相对较好; 经气相色谱-质谱联用仪分析, 该条件得到的肉味香精中挥发性物质相对含量较高, 达到93.62%, 其中具有特征风味的吡嗪类化合物高达8.19%, 醛、酮类化合物的相对含量较高; 在此条件下得到的肉味香精, 色泽呈现深褐色, 香味浓郁, 回味悠长。运用电子鼻技术分析发现, 不同温度条件下样品存在显著性差异, 风味有所改变。

**关键词:** 肉味香精; 挥发性风味物质; 温度; 美拉德反应

Effect of Temperature on Sensory and Flavor Characteristics of Maillard Reaction Products Derived from Bovine Bone Hydrolysate as Analyzed by GC-MS and Electronic Sensor

LI Yingnan, LIU Wenyong, CHENG Xiaoyu\*

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

**Abstract:** The effect of different reaction temperatures on sensory quality and volatile flavor compounds of Maillard reaction products (MRPs) derived from bovine bone hydrolysate was determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and electronic nose. The results showed that MRPs generated at different temperatures exhibited high variability in sensory quality and volatile flavor. The meat flavor produced at 105 °C had obvious advantages in the terms of flavor and taste. In the meantime, it contained much more volatile flavor substances, which could reach 93.62% as detected by GC-MS. In particular, pyrazine compounds as characteristic flavor components accounted for 8.19%. The contents of aldehydes and ketones were higher as well. The meat flavor manufactured under this condition was dark brown, and had full bodied fragrance and a lasting aftertaste. At the same time, electronic nose analysis revealed that products obtained at different reaction temperatures had significant differences in volatile flavor composition.

**Key words:** meat flavor; volatile flavor composition; temperature; Maillard reaction

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614018

中图分类号: TS251.94

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 14-0104-06

引文格式:

李迎楠, 刘文营, 成晓瑜. GC-MS结合电子鼻分析温度对肉味香精风味品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 104-109.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614018. <http://www.spkx.net.cn>

LI Yingnan, LIU Wenyong, CHENG Xiaoyu. Effect of temperature on sensory and flavor characteristics of Maillard reaction products derived from bovine bone hydrolysate as analyzed by GC-MS and electronic sensor[J]. Food Science, 2016, 37(14): 104-109. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201614018. <http://www.spkx.net.cn>

美拉德反应是发生在氨基酸的氨基组分与还原糖的羰基之间的热反应, 以动物和植物蛋白作为原料通过美拉德反应形成自然风味的天然香料日益受到关注, 通过

美拉德反应制备的肉味香精现已被广泛用于肉类食品的加工, 风味改善及增香<sup>[1]</sup>。

美拉德反应受到许多环境因素的影响, 其中不同

收稿日期: 2015-11-26

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303082); “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, 高级工程师, 硕士, 研究方向为副产物综合利用。E-mail: chxyey@aliyun.com

反应温度形成的风味物质有很大的差异, Lin等<sup>[2]</sup>研究发现美拉德反应产物随着烘焙时间和时间的延长而增多。Karangwa等<sup>[3]</sup>研究发现向葵粕多肽中添加D-木糖和半胱氨酸在120 °C条件下美拉德反应产物具有更明显的肉香风味, 且升高温度会加速高分子肽降解。Jiang Zhangmei等<sup>[4]</sup>研究发现随着温度的升高, 半乳糖-牛酪蛋白肽美拉德反应的褐变程度及游离氨基含量也随之增加。Aurea等<sup>[5]</sup>研究发现烧烤和煎汉堡中心温度低于90 °C时主要形成呋喃素, 当温度达到90~100 °C时, 呋喃素含量减少36%, 荧光化合物增加了98%, 同样的温度采用水煮处理则美拉德反应产物很少。郑晓杰等<sup>[6]</sup>以鸡骨为原料, 研究发现随着温度的升高, 鸡骨酶解液-木糖美拉德反应产物中多数游离氨基酸含量显著降低, 其损失率总体上与温度呈现正相关, 其中丙氨酸、色氨酸、苏氨酸和亮氨酸等损失率高达50%以上。章银良等<sup>[7]</sup>研究发现不同温度条件下的酪蛋白-木糖美拉德反应褐变程度随着温度的升高而增加, 在100~160 °C范围内差异显著 ( $P < 0.05$ ), 酪蛋白-木糖美拉德反应产物抗氧化物质主要是醛类、酮类、酚类、烯炔和杂环类物质。

目前, 国内外研究多集中于温度对美拉德反应产物化学性质变化的影响, 包括褐变程度、游离氨基酸含量及抗氧化性等, 或是通过改变处理条件优化美拉德反应, 而关于反应温度对制备肉味香精风味影响的研究相对较少。常规的肉味香精制备多选用牛肉酶解物<sup>[8-10]</sup>, 通过添加适量的牛骨酶解物制备肉味香精的研究, 对牛的副产物综合利用具有更深的意义。

本研究利用食品级生物酶试剂制备牛肉酶解物及牛骨酶解物, 通过气相色谱-质谱 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 联用、电子鼻等高科技分析手段, 分析不同温度对肉味香精风味品质的影响, 优选出适宜的反应温度, 为肉味香精的开发及其产业化提供理论技术支持。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

牛肉、牛骨 市购; 复合动物蛋白酶 (食品级, 酶活力 $8.9 \times 10^4$  U/g)、风味蛋白酶 (食品级, 酶活力 $4.2 \times 10^4$  U/g) 诺维信 (中国) 投资有限公司; 木糖、葡萄糖、酵母提取物、半胱氨酸、水解植物蛋白 (hydrolyzed vegetable protein, HVP)、丙氨酸、甘氨酸均为食品级。

### 1.2 仪器与设备

TRACE 1310 GC-TSQ8000 MS联用仪 美国

Thermo公司; PEN3型便携式电子鼻传感器 德国Airsense公司; SHB-III循环水式多用真空泵 郑州长城科工贸有限公司; LGJ-30D冷冻干燥机 北京四环科学仪器厂有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 牛骨酶解物制备

参考文献<sup>[11]</sup>方法, 并稍作修改。取新鲜牛骨, 去肉破碎后加热至110 °C, 保温15 min; 除去油脂后取下层骨渣进行酶解, 酶解温度为60 °C, 料液比为1:1 (g/g), 复合动物蛋白酶15 mg/g, 酶解4 h; 风味蛋白酶10 mg/g, 酶解2 h后终止反应; 将酶解液真空抽滤、取滤液冻干成粉后备用。

#### 1.3.2 牛肉酶解液制备

参考文献<sup>[12]</sup>方法, 并稍作修改。称取50 g新鲜牛肉, 按肉水比1:1 (g/g) 加入水, 经组织捣碎机搅碎, 加入0.2 g风味蛋白酶, 55 °C酶解4 h后终止反应, 冷却至室温备用。

#### 1.3.3 美拉德反应制备肉味香精

取牛肉水解液50 g, 加入木糖5 g、葡萄糖2 g、酵母1 g、半胱氨酸5 g、牛油5 g、HVP 30 g、丙氨酸1.5 g、甘氨酸3 g、牛骨酶解物2 g混合均匀, 美拉德反应时间为75 min, 考察反应温度 (90、95、100、105、110 °C) 对肉味香精风味品质的影响。

#### 1.3.4 固相微萃取 (solid phase microextraction, SPME) 法

取1 mL肉味香精样品装入SPME小瓶, 将小瓶放入50 °C水浴锅中平衡30 min, 将已老化好的SPME针头插入样品瓶中, 使石英纤维头暴露于顶空的气体中, 萃取30 min后, 将吸附了分析组分的萃取头插入GC-MS进行分离和分析<sup>[12]</sup>。

#### 1.3.5 GC-MS测定方法

GC条件: 色谱柱DB-Wax极性柱 (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm); 载气He (99.99%); 流速1.0 mL/min。升温程序: 进样口温度250 °C; 柱温起始35 °C保持3 min, 以5 °C/min升温到200 °C, 再以10 °C/min升到250 °C保持5 min。

MS条件: 传输线温度260 °C; 离子源温度280 °C; 质量扫描范围40~600 u; 扫描方式为全扫描。

#### 1.3.6 电子鼻传感器检测

PEN3型电子鼻传感器由10种金属氧化物半导体型化学传感元件组成, 如表1所示, 每种传感元件对应的敏感物质类型不同。不同反应温度得到的美拉德反应产物不同, 进而影响风味物质的种类和含量, 在传感器上呈现不同的气味感应信号<sup>[13-14]</sup>。

准确量取1 mL肉味香精, 放入样品瓶, 25 °C恒温环境平衡2 h, 运用PEN3型电子鼻传感器对不同样品进行检

测。传感型号在60 s后基本稳定, 选定信号采集时间为70 s。每种样品分别做5次平行重复。

**表1 化学传感器对不同物质的响应类型**  
**Table 1 Chemical sensors corresponding to different types of volatile substances**

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	芳香成分苯类
2	W5S	灵敏度大, 对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	氨类, 对芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对无机硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分, 对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

### 1.3.7 感官评价

由15人组成的感官评定小组, 采用接受性检验法<sup>[15]</sup>, 将不同温度条件下的肉味香精稀释同一体积分数, 将样品进行编号, 按照个人喜好程度进行打分, 评分指标包括色泽、肉香味、焦香味、咸味、回味。计分采用10分制。感官评定具体标准如表2所示。

**表2 感官评价标准**

Table 2 Criteria for sensory evaluation of Maillard reaction products	10~8分	7~5分	4~3分	2~0分
色泽	深褐色	浅褐色	稍重/淡	黑色/深黄色
咸味	适宜	稍咸/淡	较咸/淡	无咸味
香味	香味浓郁	较淡/太浓	很淡	无香味
回味	悠长	较长	短	无回味
焦味	无焦味	很淡	有焦味	很浓

### 1.4 数据处理

风味组分的MS分析: 根据所得MS图, 通过检索NIST和Willey谱库, 对不同温度条件下美拉德反应产物的挥发性组分进行定性分析, 其中化合物的确定以匹配度和反匹配度均大于800为准, 并根据面积归一化法求得各成分的相对含量。

电子鼻数据分析: 运用Winmuster软件对数据进行主成分分析 (principal component analysis, PCA) 和线性判别分析 (linear discriminant analysis, LDA)。

感官评价数据分析: 运用SPSS软件对感官数据进行标准差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同反应温度肉味香精感官评价结果

如表3所示, 不同温度条件下肉味香精在色泽、香味、回味、焦味方面具有一定的差异性。105 °C条件下的肉味香精色泽呈现深褐色、香味更加浓郁、回

味悠长, 且无焦味, 其评价结果要显著优于其他条件 ( $P < 0.05$ )。其中, 100 °C条件下被描述为咸味更突出, 但其色泽及香味指标低于105 °C, 而90 °C和110 °C则表现出较差的评分, 其中110 °C具有明显的焦味, 可能是由于在同一时间条件下温度过高引起的, 90 °C条件下肉味香精色泽呈现为浅褐色, 香味不够突出, 可能是由于反应不够充分。综上所述, 105 °C条件下肉味香精整体感觉相对较好, 最容易被接受, 其次为100 °C。

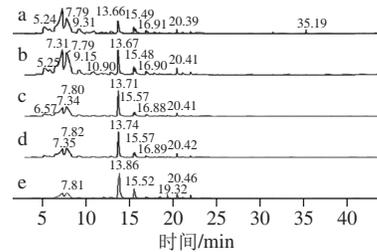
**表3 感官评价结果**

**Table 3 Results of sensory analysis of Maillard reaction products obtained at different reaction temperatures**

温度/°C	色泽	咸味	香味	回味	焦味
90	5.8±0.75 <sup>a</sup>	7.4±0.80 <sup>a</sup>	5.6±1.02 <sup>a</sup>	7.0±0.63 <sup>a</sup>	7.0±0.63 <sup>a</sup>
95	7.0±0.63 <sup>b</sup>	8.0±0.53 <sup>a</sup>	7.0±0.63 <sup>b</sup>	7.4±0.49 <sup>ab</sup>	7.6±0.49 <sup>a</sup>
100	7.8±0.40 <sup>bc</sup>	8.4±0.49 <sup>a</sup>	8.2±0.40 <sup>c</sup>	8.2±0.40 <sup>b</sup>	7.8±0.40 <sup>a</sup>
105	8.2±0.75 <sup>c</sup>	8.2±0.75 <sup>a</sup>	8.4±0.70 <sup>c</sup>	8.2±0.75 <sup>b</sup>	7.8±0.75 <sup>a</sup>
110	7.4±0.80 <sup>bc</sup>	8.2±0.40 <sup>a</sup>	7.8±0.75 <sup>bc</sup>	8.0±0.78 <sup>ab</sup>	5.2±0.70 <sup>b</sup>

注: 不同肩标字母表示纵向5组结果间存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。

### 2.2 不同反应温度肉味香精风味物质分析



a. 90 °C; b. 95 °C; c. 100 °C; d. 105 °C; e. 110 °C。

**图1 不同温度条件下GC-MS总离子流图**

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

**表4 不同温度条件下挥发性风味物质分析**

**Table 4 Analysis of volatile flavor compounds in Maillard reaction products obtained at different reaction temperatures**

类别	化合物名称	相对含量/%				
		90 °C	95 °C	100 °C	105 °C	110 °C
醇类	反-2-庚烯-1-醇	0.03			0.08	0.03
	4-甲基环己醇		0.16			
	4-甲基-2-硝基-1,3-戊二醇		0.03	0.02	0.01	
	3,4-二甲基-2-己醇					0.05
	顺-1,3-环戊二醇			0.12		
	糠醇	10.13	15.58	34.07	30.98	46.80
	3-甲基-1,2-环戊烷二醇			0.08		
	3-己炔-2,5-二醇					0.23
	1,1-环己二醇		0.02		0.11	
	反-2-甲基环己醇	0.36				
	2,3-二甲基环己醇	0.22				
	反-2-乙基-2-己烯-1-醇		0.30		0.12	
	4-(1-甲基乙基)环己醇	0.04	0.11			
	麦芽糖醇	1.22	1.20	1.08	1.32	2.81

续表4

类别	化合物名称	相对含量/%				
		90 °C	95 °C	100 °C	105 °C	110 °C
醛类	异丁醛	0.10	1.83		0.39	
	丙酮醛			0.05	0.04	
	3-甲基丁醛	0.42	0.70	0.41	0.22	0.09
	2-甲基丁醛	20.45	23.73	14.96	19.66	5.29
	苯甲醛	1.28	0.70	0.95	0.72	0.74
	反-2-癸烯醛					0.08
	香茅醛	0.10				
	苯乙醛	0.31	0.39	0.32	0.39	0.45
	十一醛				0.21	
	丙酮	10.43	9.21	4.69	2.82	1.35
	3-甲基-2-丁酮			0.10	0.04	0.05
	丁酮	3.91	3.18	3.44	2.50	1.20
	3-羟基-2-丁酮	6.31	5.10	3.59	2.95	2.04
	2-甲基四氢呋喃-3-酮	0.23	0.37	2.39	1.72	1.57
	酮类	6-羟基-2-己酮	0.43	0.65		
3-羟基-环己酮			0.28	0.17	0.24	
3-甲基-1,2-环戊二酮				0.82	0.65	0.36
甲基环戊烯醇酮			0.20			2.96
乙基环戊烯醇酮						0.61
1-(5-甲基-吡嗪-2-基)-乙酮						0.07
2-异丙基-2,5-二甲基-环己酮				0.29		
Z-四氢-6-(2-戊烯基)-2H-吡喃-2-酮						0.04
2-乙酰基呋喃		4.49	3.92	3.18	3.51	
5-甲基-2-乙酰基呋喃		0.26	0.26	0.11	0.17	
乙酸		11.25	10.50	6.90	9.39	4.11
6-壬烯酸			0.27	1.40		0.34
丁酸		0.55		0.19		
正戊酸						
己酸			0.58		0.28	
异戊酸	0.17					
酯类	4-甲基-3-戊烯酸		0.27		0.54	
	3-羟基月桂酸				0.02	0.09
	3-壬烯酸				0.05	
	3-甲基-己酸					0.28
	异丙烯乙酸酯	2.84	0.82	1.99	0.89	0.49
	1,1-二甲基-2-丙烯基乙酸酯	1.91	1.64	1.24	1.31	0.73
	乙酸异龙脑酯	0.07	0.07			
	2-乙基环己酸酯				0.12	
	γ-戊内酯	2.28	1.61	1.34	1.31	1.43
	Γ-二甲基丁内酯				0.21	
	乙酰丙酸甲酯	0.39				
	乙酸糠酯					0.21
	癸酸乙酯			0.05		
	2-甲基吡嗪	3.77	3.17	3.43	3.03	4.03
	含氮类	3-(5-甲基呋喃基)-N-呋喃丙酰胺				
2,5-二甲基吡嗪			1.43	2.26	3.11	
2,3-二甲基吡嗪		0.29	0.24	0.23	0.23	
2,6-二甲基吡嗪		1.69				0.27
2-乙基-6-甲基吡嗪		0.63	0.63	0.95	0.47	0.46
2,3,5-三甲基吡嗪				0.46	0.51	1.41
3,6-二甲基-2-吡啶胺		0.36	0.11			
2-甲基-6-乙基吡嗪			0.36		0.71	0.53
1,2,5-三甲基吡咯			0.06			

续表4

类别	化合物名称	相对含量/%				
		90 °C	95 °C	100 °C	105 °C	110 °C
	2,4-二甲基-3-乙基吡咯	0.06				
	2-乙酰基吡咯		0.09	0.03	0.05	0.02
	2-乙基-3,5-二甲基吡嗪				0.13	0.38
	3-乙基-2,5-甲基吡嗪			0.08		
	2,3,5-三甲基-6-乙基吡嗪					0.07
	2-(1-丙基丁基)-吡啶		0.06			
	硼烷吡啶			0.33	0.71	0.18
	甲硫基丙醛	0.65	0.76	0.90	0.67	0.54
含硫类	S-甲基-N-(2-甲基-3-丁氧基)二硫代氨基甲酸酯		0.03		0.03	
	二甲基二硫	0.76	0.33			
醚类	二糠基醚		0.03		0.03	0.06
酚类	愈创木酚	1.06	1.10	0.73	1.22	1.10
	2,6-二甲氧基苯酚	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05

表5 不同温度条件下挥发性风味物质相对含量对比

Table 5 Relative contents of volatile flavor compounds in Maillard reaction products obtained at different reaction temperatures

类别	90 °C		95 °C		100 °C		105 °C		110 °C	
	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%	种类	相对含量/%
醇类	6	12.00	7	17.40	5	35.37	6	32.62	5	49.92
醛类	6	22.66	5	27.35	5	16.69	7	21.63	5	6.65
酮类	7	26.06	9	23.17	10	18.78	10	14.64	9	10.21
酸类	3	11.97	4	11.62	3	8.49	5	10.28	4	4.82
酯类	5	7.49	4	4.14	5	4.83	4	3.63	4	2.86
含氮类	6	6.80	9	6.15	8	7.77	9	8.95	11	17.45
含硫类	2	1.41	3	1.12	1	0.90	2	0.70	1	0.54
醚类			1	0.03			1	0.03	1	0.06
酚类	2	1.13	2	1.17	2	0.79	2	1.27	2	1.15
总计	37	89.52	44	92.15	39	93.62	46	93.75	42	93.67

由表4、5可知,不同温度条件下肉味香精经GC-MS分析,从90、95、100、105、110 °C条件下分别检测出37、44、39、46、42种挥发性风味成分,相对含量分别为89.52%、92.15%、93.62%、93.75%、93.67%,而研究[12,16]发现,牛骨酶解物中添加还原糖、氨基酸等物质进行美拉德反应,得到的挥发性化合物多为60种以上,本研究得到的挥发性风味物质种类较少,但相对含量较高。挥发性风味物质的总量由高到低依次为105 °C > 110 °C > 100 °C > 95 °C > 90 °C,其中反应温度105 °C条件下挥发性风味物质相对含量高达93.75%。醇类化合物对食品的风味贡献很小,其作用主要体现在感官分析方面,且对美拉德反应产物的总体气味有协同效应<sup>[17]</sup>。例如糠醇具有焦糖香、甜香及咖啡香等气味,且相对含量较高。反应温度100、105 °C和110 °C条件下醇类化合物相对含量较高,且较为接近,这与感官分析结果较为接近。这表明反应温度对肉味香精中醇类化合物影响较大。醛、酮类化合物是由美拉德反应引起脂肪酸降解产生的<sup>[18]</sup>,使肉味香精的风味更加圆润、有层次感,其对产品中肉香味的构成起到不可替代的作用<sup>[19]</sup>。

本研究中羰基类化合物相对含量较高,这与相关文献[20]研究结果较为一致,其中醛类化合物中相对含量较高的2-甲基丁醛具有果香、坚果香及青香风味,苯甲醛、苯乙醛可能赋予产物脂香风味。而酮类化合物中3-羟基-2-丁酮具有甜香,并带有脂肪的油腻气息;2-甲基四氢呋喃-3-酮具有果香、豆香及青香;2-乙酰基呋喃及5-甲基-2-乙酰基呋喃具有烤香、烟熏香、清甜及烤面包的气味<sup>[21]</sup>,二者在110℃条件下未检出。反应温度为105℃条件下醛、酮类化合物种类最多,这与感官分析结果一致,而110℃条件下醛、酮类化合物相对含量最低。

酸类化合物可能是由相应的醇、醛在美拉德反应过程中高温氧化得到的,也可能是由长链脂肪酸降解生产的。5种反应温度条件下,除110℃外其余温度酸类化合物相对含量相差不大,其中相对含量较高的乙酸具有刺激、尖酸的气息,105℃条件下的酸类化合物种类相对较多,酸类化合物对整体的香气贡献不大。

酯类化合物主要是游离的脂肪酸和脂肪氧化产生的醇酯化产生的。张佳敏等<sup>[22]</sup>研究发现酯类化合物在检测到的风味物质中占有较大比例,而本研究中相对含量较低,可能是由于原料的差异性,以猪肉、羊肉为原料制作的香精中酯类化合物含量高于牛肉,其中相对含量较高的乙酸酯类具有愉快的水果香气;而 $\gamma$ -戊内酯具有果香及甜香。除90℃外其余温度条件下酯类化合物含量及种类相差不大。含氮类、含硫类化合物在美拉德反应产物中多具有烤肉香气,共同构成了肉味香精的特征风味<sup>[23]</sup>。具有坚果味和烤香味的含氮吡嗪类化合物是挥发性风味成分中的重要组分。研究发现,肉味香精中杂环类化合物中主要有吡咯类、噻唑类和吡嗪类,本研究中检测出丰富的吡嗪类,这可能是区别于其他香精的突出风味物质,吡咯类相对含量较少,且未检测出噻唑类化合物。吡嗪类化合物受温度、时间、pH值及前体物质的量等诸多因素影响,pH值偏高环境中可能促进吡嗪的生成,氨基酸和还原糖可分别为吡嗪的生成提供氮和碳原子<sup>[24]</sup>。其中相对含量较高的2-甲基吡嗪具有坚果香及烤香;2,3-二甲基吡嗪具有可可、咖啡及面包样气味,反应温度为105℃及110℃时,吡嗪类化合物种类相对较多,且反应温度为105℃时吡嗪类化合物相对含量最高达到8.19%,这与感官评价结果相一致。因此该条件下肉味香精烤香味较为明显,同时含硫类化合物也是肉类风味的重要贡献者。

醚类、酚类化合物检测出的种类较少,二糠基醚具有咖啡、榛子、坚果香气,而愈创木酚具有可口的肉香及烟熏味;2,6-二甲氧基苯酚具有甜香、木香及烟熏香<sup>[21]</sup>。综合上述分析得到,反应温度为105℃条件下,美拉德反应制备的肉味香精的挥发性物质相对含量较高,其中具有特征风味的吡嗪类化合物、醛、酮类化合物的相对含

量较高,结合感官评价分析,肉味香精在该反应条件下较为适宜。

### 2.3 电子鼻测定结果

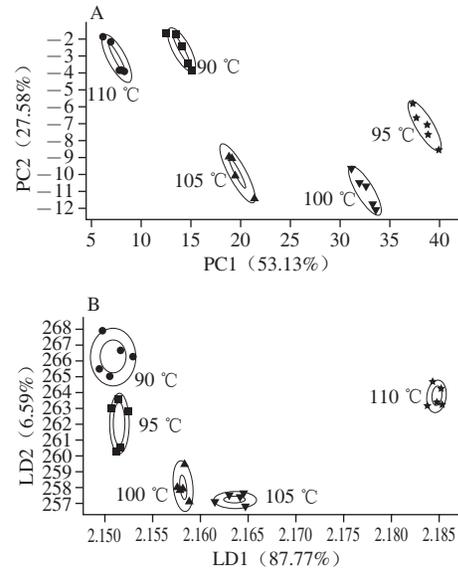


图2 不同温度条件下肉味香精的PCA (A) 和LDA (B)

Fig. 2 PCA analysis (A) and LDA analysis (B) of Maillard reaction products obtained at different reaction temperatures

利用电子鼻技术从整体香气成分水平上对不同温度条件下肉味香精进行PCA和LDA。PCA转换中得到的PC1和PC2的贡献率越大,则主要成分可以更好地反映多指标信息<sup>[25]</sup>。如图2A所示,PC1、PC2的方差贡献率分别为53.13%和27.58%,PC1、PC2的总贡献率为80.71%,且不同温度条件处理组之间无重合区域,数据点均分布在各自的区域内,说明不同温度条件下肉味香精的主成分之间有显著性差异。如图2B所示,LD1、LD2的方差贡献率分别为87.77%和6.59%,LD1、LD2的总贡献率为94.36%,其中110℃与其他温度条件之间距离较远,说明110℃与其他温度条件主成分有明显差异。因此,采用PCA和LDA方法,能够区分出这5种温度条件下样品存在显著性差异,风味有所改变。

### 3 结论

不同温度条件下肉味香精在感官评价、挥发性风味物质等方面都有较大的差异性,可见温度对肉味香精的风味品质有很大的影响。感官分析结果表明,105℃条件下的肉味香精产品风味和口感相对较好,最容易被接受;GC-MS分析结果显示,反应温度为105℃条件下,肉味香精中挥发性物质相对含量较高,达到93.62%,其中具有特征风味的吡嗪类化合物、醛、酮类化合物的相对含量较高,结合感官评价分析,肉味香精在该反应条件下较为适

宜;运用电子鼻技术分析发现,不同温度条件下样品存在显著性差异,风味有所改变。在此条件下得到的肉味香精,色泽呈现深褐色,香味浓郁,回味悠长。

目前,美拉德反应制备香精的反应温度各有不同。本研究通过对美拉德反应产物风味品质进行分析,判断出较为适宜的反应温度,同时得到风味较好的肉味香精,为肉味香精的自动化生产提供一定的理论参考,有关其他因素(反应时间、pH值等)对反应产物风味的影响有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] HONG J H, JUNG D W, KIM Y S, et al. Impacts of glutathione Maillard reaction products on sensory characteristics and consumer acceptability of beef soup[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(8): 427-434. DOI:10.1111/j.1750-3841.2010.01783.x.
- [2] LIN J T, LIU S C, HU C C, et al. Effects of roasting temperature and duration on fatty acid composition, phenolic composition, Maillard reaction degree and antioxidant attribute of almond (*Prunus dulcis*) kernel[J]. Food Chemistry, 2016, 190: 520-528. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.06.004.
- [3] KARANGWA E, LINDA V R, SHABBAR A, et al. Temperature and cysteine addition effect on formation of sunflower hydrolysate Maillard reaction products and corresponding influence on sensory characteristics assessed by partial least square regression[J]. Food Research International, 2014, 57: 242-258. DOI:10.1016/j.foodres.2014.01.030.
- [4] JIANG Zhangmei, WANG Lizhe, CHE Hongxia, et al. Effects of temperature and pH on angiotensin- I -converting enzyme inhibitory activity and physicochemical properties of bovine casein peptide in aqueous Maillard reaction system[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 59: 35-42. DOI:10.1016/j.lwt.2014.06.013.
- [5] AUREA J B T, DANIELE A L, GENI R S, et al. Influence of home cooking conditions on Maillard reaction products in beef[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 161-169. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.09.008.
- [6] 郑晓杰, 林胜利, 聂小华, 等. 温度对鸡骨酶解液-木糖美拉德反应产物中非挥发性物质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(3): 140-143. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201503025.
- [7] 章银良, 张陆燕, 周文权, 等. 不同温度对酪蛋白-木糖模式美拉德反应产物抗氧化性的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(4): 211-219.
- [8] 慕艳梅, 孙金沅, 陈海涛, 等. 美拉德反应制备酱牛肉香精的挥发性成分分析[J]. 食品科学, 2012, 33(8): 199-202.
- [9] 赵中胜, 谭雪莹, 查恩辉, 等. 牛肉香精制备工艺[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(9): 54-56.
- [10] 吕梦莎. 牛肉香精的制备及Maillard反应中间产物-Alpha-二羰基化合物的研究[D]. 广州: 暨南大学, 2013.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 王曼, 王振宇, 马长伟. 基于电子鼻的不同去势猪肉风味品质评价[J]. 肉类研究, 2009, 23(12): 45-49.
- [14] 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.
- [15] PETER S. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives[J]. Journal of Chromatography B, 2002, 770: 3-18. DOI:10.1016/S0378-4347(01)00438-8.
- [16] 方端. 牛骨蛋白酶解工艺及其产物热反应体系建立研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [17] 张晓鸣. 食品风味化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009.
- [18] BREWER M S. Irradiation effects on meat flavor[J]. Meat Science, 2009, 81(1): 1-14.
- [19] 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
- [20] 刘红. 热反应型风味基料的研制及与市售相关产品的风味比较[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2010.
- [21] 孙宝国. 食用调香术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010: 116-193.
- [22] 张佳敏, 王卫, 张志宇. 利用美拉德反应生产天然肉味香料及其风味成分分析[J]. 食品科技, 2011, 36(2): 248-252.
- [23] 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.
- [24] VAROUJAN G A M, PEER H G. Components contributing to beef flavor, volatile components produced by the reaction of 4-hydroxy-5-methyl-3(2H) furanone and its thio analog with hydrogen sulfide[J]. Food Science Technology, 2003, 9(1): 1-6.
- [25] 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.