不同热处理燕麦片风味物质分析

顾军强[1,2]，钟葵[2]，周素梅[2]，佟立涛[2]，刘丽娅[2]，周闲容[2]，王立[1]
（1.江南大学食品学院，江苏无锡 214036）
（2.中国农业科学院农产品加工研究所/农业部农产品加工综合性重点实验室，北京 100193）

摘要：为了研究不同热处理对燕麦片风味的影响，应用电子鼻检测经微波、焙烤、蒸煮处理的燕麦片风味，运用主成分方法进行分析，同时采用固相微萃取-气质联用仪对不同处理的燕麦片风味物质进行定性定量分析。结果表明：电子鼻可较好区分不同热处理的燕麦片，第一主成分贡献率为 61.33%，第二主成分贡献率为 23.19%，足够收集全部传感器信息。经不同处理的燕麦片共鉴定出 61 种挥发性风味成分，仅 6 种为相同挥发性成分，表明不同热处理对燕麦片风味成分影响较大。未处理燕麦片主要风味为烯类（37.78%）、醛类（14.30%）、萘类（14.16%），微波和蒸煮处理燕麦片均产生了较多的醛类，分别占总挥发性成分的 62.05%和 80.65%，焙烤处理除了产生较多醛类（33.95%），还生成较多的吡嗪类（38.82%）与嘧啶类（20.12%），呈现了浓郁的烤香味。

关键词：热处理；燕麦片；电子鼻；固相微萃取；风味物质
文章篇号：1673-9078(2015)4-282-288 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.4.046

Effects of Various Heat Treatments on Volatile Compounds in Oatmeal

GU Jun-qiang[1,2], ZHONG Kui[2], ZHOU Su-mei[2], TONG Li-tao[2], LIU Li-ya[2], ZHOU Xian-rong[2], WANG Li[1]
(1.Jiangnan University, Wuxi 214036, China) (2.Comprehensive Key Laboratory of Agro-products Processing, Institute of Agro-products Processing Science and Technology Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: The impacts of various heat treatments on volatile compounds in oatmeal were examined using an electronic nose to analyze the flavor of oatmeal samples that were microwaved, baked, and steam cooked. Principle component analysis (PCA) was employed, and qualitative and quantitative analyses of the volatile compounds in oatmeal were conducted using solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS). Samples exposed to different heat treatments had distinct characteristics based on the electronic nose and PCA. The contributions of the first and second principal components were 61.33% and 23.19%, respectively, which contained sufficient sensory information to differentiate samples. A total of 61 volatile compounds were identified in the oatmeal samples, and only six were common among the heat treatments, indicating a significant effect of heat treatment method on flavor components. The main volatile compounds in the untreated oatmeal samples were alkenes (37.78%), aldehydes (14.30%), and naphthalenes (14.16%). Numerous aldehydes were produced in the oatmeal samples treated by microwaves and steaming, accounting for 62.05% and 80.65% of their compounds, respectively. Numerous aldehydes (33.95%), pyrazines (38.82%), and pyrimidines (20.12%) were produced after baking, resulting in a strong flavor associated with baking.

Key words: heat treatment; oatmeal; electronic nose; solid-phase microextraction; volatile compounds

燕麦籽粒灭酶处理是燕麦制品加工的前提[1]。目前主要有蒸煮、焙烤、微波等几种灭酶方式，这些不同强度的热处理伴随着微生物的杀灭、美拉德反应、脂肪氧化及焦糖化反应等[2]，这些变化使燕麦制品具有了不同于原料的风味，如焙烤将产生烤香等。微波是高频微波场的作用使分子碰撞、摩擦而产热，其加热原理与蒸汽、焙烤等表面热传导的加热方式有着本质的区别，因此微波处理将可能使燕麦片产生独特的风味。

电子鼻作为一种新型快速检测方法，在分析食品的气味时，可以快速对食品中挥发性气味进行分类和识别。目前，电子鼻主要应用于酒类[3]、羊奶[4]等。Li等[5]通过电子鼻清晰区分了经不同热处理的燕麦风味，干热处理（热风烘烤和红外烘烤）和湿热处理（常压蒸煮、高压蒸煮、微波）燕麦风味差异较大，相比湿热处理，干热处理可赋予燕麦更多更好的风味。徐托明[6]利用电子鼻很好区分了燕麦样品不同烘炒时间

收稿日期：2014-06-20
基金项目：科技部十二五科技支撑的项目（2012BAD34B08）；科技部十二五科技支撑计划项目（2012BAD29B03-02）；农业部公益性行业科研专项经费项目（201403063）
作者简介：顾军强（1988-），男，硕士研究生，从事粮油深加工与功能食品研究
通讯作者：王立（1978-），男，教授，从事功能因子及健康食品研究

的气味差异，烘炒8 min的样品气味低于烘炒6 min的样品气味。曹汝鸽[7]研究了焙炒、常压蒸煮、高压蒸煮、远红外处理和微波加热等5种灭酶处理方法对燕麦粉气味的影响，通过电子鼻分析，焙炒处理与其他4种处理燕麦片风味差异较大，可以清晰地在主成分分析图谱上直观的表现出来。

固相微萃取(SPME)集采样、萃取、浓缩、进样为一体，与气相色谱和质谱(GC-MS)联用已高效用于巧克力[8]、面包[9]等挥发性成分的研究。Klensporf等[10]通过固相微萃取(SPME)和溶剂辅助蒸发对燕麦片主要香气成分进行了分析，并着重对其中的醛类进行了统计分析。孙培培等[11]采用同时蒸馏萃取法(SDE)和气-质联用法(GC-MS)，并用十五碳烷作为内标物进行了内标法定量分析，从燕麦片中共分离鉴定出72种挥发性化合物，并对其进行了分类和定量分析。

本试验采用电子鼻检测经微波、焙烤、蒸煮处理的燕麦片风味，利用主成分分析方法进行区分识别，同时采用SPME技术对不同热处理的燕麦片挥发性成分进行提取，结合气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)鉴定分析了经不同热处理燕麦片的挥发性成分，并与未处理样对比，对各处理条件下主要挥发性成分进行归类和定量分析。以期为不同燕麦制品风味的评价提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2012年收裸燕麦品种坝莜1号，由河北省农业科学院提供。籽粒经挑拣清选后备用。

1.2 试验仪器

微波炉，NN-GS597M，上海松下微波炉有限公司；焙烤箱，KWS1530J-F5R，佛山市格兰仕电器有限公司；气相色谱-质谱联用仪，岛津 GC-MS QP2010 plus；电子鼻，PEN3，德国 Airsense 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 灭酶处理

蒸煮处理：燕麦籽粒在金属敞开容器中平摊成 0.5 cm薄层，100 ℃常压蒸汽蒸制 30 min（温度达到 100 ℃时开始计时，裸燕麦脂肪酶被完全灭活）。

微波处理：燕麦籽粒经过润麦后（调节样品含水率到 20%，润麦 12 h），称取 20.00 g样品，用保鲜膜密封，在微波 1000 W 条件下处理 40 s（裸燕麦脂肪酶被完全灭活）。

焙烤处理：燕麦籽粒经过润麦后（调节样品含水率到 20%，润麦 12 h），称取 20.00 g样品，使用焙烤箱 155 ℃焙烤 30 min（裸燕麦脂肪酶被完全灭活）。

1.3.2 燕麦片加工工艺

裸燕麦→去杂筛选→水洗除尘→灭酶→烘至水分 15%→压片→烘至水分 10%以下→冷却→包装

1.3.3 固相微萃取条件

精密称取已经粉碎的燕麦片 5 g置入 20 mL 的顶空瓶中，加入 1.8 g NaCl、10 mL 双蒸水混匀，用 PTFE/硅橡胶隔垫密封压紧。采用 65 μm PDMS/DVB 萃取头，将样品置于 40 ℃条件下平衡 15 min 后，将萃取头插入顶空瓶中萃取 40 min，最后将萃取头拔出并置于 250 ℃的进样口中解吸 5 min。

1.3.4 气相色谱/质谱条件

气相色谱条件：载气：氦气；柱流速：1 mL/min；进样口温度：250 ℃；萃取头在进样口解析5 min，脉冲无分流进样；起始温度40 ℃保持5 min，以3 ℃/min升至160 ℃保持2 min，再以8 ℃升至220 ℃，保留3 min。

质谱条件：离子源温度200 ℃，传输线温度250 ℃，采用全扫描（Scan）模式采集信号，扫描范围35~500 m/z。

1.3.5 电子鼻条件

精密称取已经粉碎的燕麦片 3.00 g 置入 20 mL 的顶空瓶中，用 PTFE/硅橡胶隔垫密封压紧。载气为合成干燥空气，自动进样，获取时间为 60 s。

1.4 统计分析

采用Microsoft Excel进行数据整理，SPSS软件进行主成分分析。未知化合物采用NIST05谱库检索和人工图谱解析，用峰面积归一化法算出各成分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 不同处理工艺燕麦片电子鼻主成分（PCA）分析

PEN3 便携式电子鼻主要由 10 个金属氧化物传感器阵列，各个传感器的名称及性能描述见表 1，传感器阵列组成的仪器主要包括传感器通道、采样通道和计算机。信号采集过程为：燕麦片粉末经密封一段时间后，将其顶空气体经采样通道泵入到电子鼻中，传感器因吸附了一定量的挥发性物质，电导率发生改变，此信号被数据采集系统获取并存储于计算机中。采样完成后，经活性炭过滤之后的洁净空气被泵入电子鼻，对传感器进行清洗并使其恢复到初始状态。

主成分分析（PCA）是一种多元统计方法，它是将所提取的传感器多指标的信息进行数据转换和降维，并对降维后的特征向量进行线性分类，最后在PCA分析图上显示主要的二维图。PCA分析可以识别样品组间是否存在差异以及总结对这些差异贡献最大的因素。表2是各主成分的因子载荷矩阵及其特征值、方差贡献率和累计方差贡献率，第一主成分（PC1）的贡献率为61.33%，第二主成分（PC2）的贡献率为23.19%，第三主成分的贡献率为11.18%。对第一主成分贡献较大的传感器为W1C（0.99）、W5S（0.88）、W3C（0.98）、W1S（0.62）、W5C（0.99）、W2W（0.89）和W3S（-0.75），对第二主成分贡献较大的传感器为W6S（-0.61）、W1W（0.82）和W2S（0.60），各传感器对第三主成分贡献均较小(<0.60)。

表 1 PEN3 的标准传感器阵列

Table 1 PEN3 standardsensor array

阵列序号	传感器名称	性能描述	气体
1	W1C	对芳香成分灵敏	甲苯,10mL/m^3
2	W5S	对氮氧化合物很灵敏	NO_2,1mL/m^3
3	W3C	对氨水、芳香成分灵敏	苯,10mL/m^3
4	W6S	对氢气有选择性	H_2,100mL/m^3
5	W5C	对烷烃、芳香成分	丙烷,1mL/m^3
6	W1S	对甲烷灵敏	CH_4,100mL/m^3
7	W1W	对硫化物灵敏	H_2S,1mL/m^3
8	W2S	对乙醇灵敏	CO,100mL/m^3
9	W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏	H_2S,1mL/m^3
10	W3S	对烷烃灵敏	CH_4,10mL/m^3

表 2 主成分因子载荷矩阵及方差贡献率

Table 2 Factor loading matrix and variance contributions of the significant principal components

传感器名称	PC1	PC2	PC3
W1C	0.99	-0.12	0.04
W5S	0.88	0.44	-0.13
W3C	0.98	-0.14	0.06
W6S	0.56	-0.61	0.52
W5C	0.99	-0.11	0.06
W1S	0.62	0.55	0.54
W1W	0.31	0.82	-0.41
W2S	-0.56	0.60	0.53
W2W	0.89	0.42	-0.03
W3S	-0.75	0.44	0.28
特征值	6.13	2.32	1.12
贡献率/%	61.33	23.19	11.18
累计贡献率/%	31.82	84.52	95.70

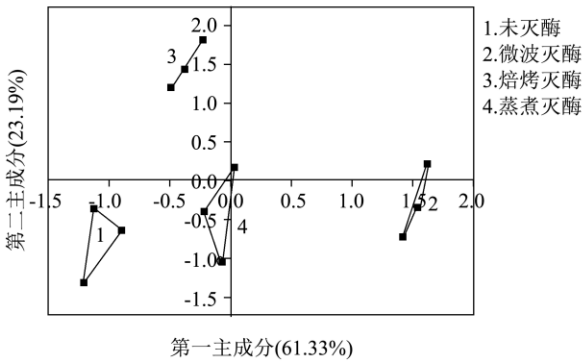


图 1 不同处理燕麦片样品主成分分析图

Fig.1 PCA plot for oatmeals with different treatments

图1为各处理燕麦片样品电子鼻主成分分析图，从图中可以看出，图中第一主成分(PC1)和第二主成分(PC2)的总贡献率达到84.52%，足够收集特征性信息。同一样品组的投影在第一主成分轴上分布较窄，在第二主成分上的分布较宽，说明第一主成分对同一样品的重复识别率更高。在第一主成分坐标轴上1、3和4号样品在图中的分布较为接近，而2号样品与其他样品间的距离较远，说明1、3和4号样品间的差异较小，而2号样品在第一主成分与其他样品的差异较大；第二主成分坐标轴上3号样品与其他样品距离较远，表明3号样品在第二主成分与其他样品差异较大。通过主成分分析，不同处理的燕麦片经电子鼻分析后均可以得到了有效的区分，表明不同热处理后燕麦片风味组成有较大的差异，通过固相微萃取-气质联用仪可分析热处理后燕麦片风味物质的变化及其主要挥发性成分。

2.2 不同处理工艺燕麦片挥发性成分的 GC-MS 分析

未处理和微波、烘焙、蒸煮处理的燕麦片，经顶空固相萃取法获得了其挥发性成分，总离子流色谱图如图 2 所示，比较四个图谱可以发现，未处理及蒸煮处理燕麦片的挥发性成分较少且含量较低，微波及焙烤处理燕麦片挥发性成分种类较丰富，并且含量高，尤其在保留时间 5~10 min 的挥发性成分其含量较蒸煮处理燕麦片有明显差异。焙烤产生的挥发性物质种类最多，含量也最高。

2.3 不同处理工艺燕麦片挥发性成分分析

将上述色谱图经 NIST05 谱库检索和人工图谱解析，用峰面积归一化法算出各成分的相对含量，共鉴定出 61 种挥发性风味成分。由于燕麦籽粒在灭酶过程中主要发生美拉德、焦糖化和脂肪降解三种反应，所以将这些风味成分划分为八类，分别为醛类、烯类、

酯类、酮类、醇类、烷烃类、杂环类及其他，其中醛类 18 种，烯烃类 3 种，酯类 4 种，酮类 5 种，醇类 6 种，烷烃类 5 种，萘类、嘧啶和吡嗪类共 13 种，其他 7 种为苯酚及酸类物质。

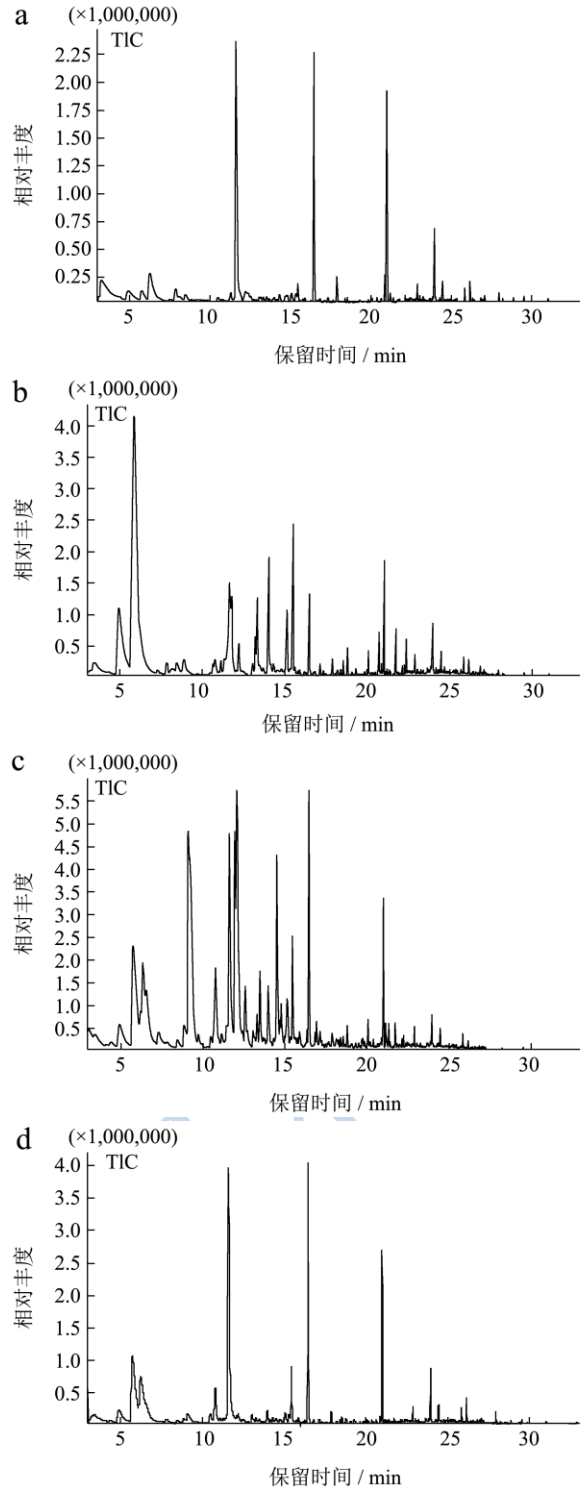


图 2 利用 SPME 检测燕麦片挥发性成分的 GC-MS 总离子色谱图

Fig.2 Total ion chromatograms for four kinds of oatmeal by SPME combined with GC-MS

注：a: 未处理，b: 微波处理，c: 烘焙处理，d: 蒸煮处理。

2.3.1 不同处理工艺燕麦片醛类物质

醛类物质一般具有奶油、脂肪、香草及清香等气味。三种热处理方式产生的醛类物质在相对含量和数量上都占绝对优势且醛类化合物的阈值一般较低，对燕麦片整体香气有很大贡献，是燕麦片的主要挥发性成分。未处理、微波、焙烤及蒸煮处理燕麦片挥发性成分中醛类物质各占14.30%、62.05%、33.95%及80.65%。由表3所示，在检测到的18种醛类物质中，相比未处理样品（仅2种醛类物质），微波产生了10种，焙烤产生了12种，蒸煮产生了7种。其中，正己醛含量最高，具有浓郁的青草味，是重要的香气成分，蒸煮处理燕麦片风味中正己醛相对含量最高，为51.66%，其次是微波和焙烤处理燕麦片。除了正己醛，微波处理燕麦片中还含有壬醛、正戊醛和正辛醛等；焙烤处理燕麦片中含有苯甲醛、3-呋喃甲醛、苯乙醛及不饱和醛；蒸煮处理燕麦片含有苯甲醛、壬醛、正庚醛等。壬醛呈现蜡香、柑橘香味，苯甲醛可呈现苦杏仁和坚果香味，不饱和醛类物质含量低于饱和醛，但是其阈值也低于饱和醛，可呈现坚果香和干炒味等。醛类物质产生的香气赋予了燕麦片特有的清香味[12]。

2.3.2 不同处理工艺燕麦片醇类及酯类物质

表4显示了不同处理燕麦片醇类及酯类物质的种类和相对含量。在检测到的6种醇类物质中，未处理燕麦片仅含正己醇，相对含量占10.83%，蒸煮处理燕麦片不含有醇类，微波处理燕麦片含有5种，相对含量为20.35%，焙烤处理燕麦片含有3种，相对含量5.97%。饱和醇类化合物阈值较高，对燕麦片风味影响较小。不饱和醇类，如2-甲基-4-己烯-3-醇阈值较低，在微波和焙烤处理燕麦片中被检测到，对燕麦片的风味具有一定的贡献。

不同处理的燕麦片中酯类物质含量均较少(<10%)，在检测的 4 种酯类物质中，未处理燕麦片含有三种，丙位辛内酯、丙位壬内酯和邻苯二甲酸二异丁酯，微波及蒸煮处理主要产生了己酸乙烯酯，焙烤处理燕麦片未检测到酯类物质，可能与脂肪或脂肪酸的热降解和氧化有关系。

2.3.3 不同处理工艺燕麦片酮类物质

表 5 显示了不同处理燕麦片酮类物质的种类和相对含量。未处理燕麦片中仅含有 3, 5-辛二烯-2-酮（6.18%），蒸煮处理产生了 3-辛烯-2-酮和 3, 5-辛二烯-2-酮两种（3.80%），微波处理主要产生了 3-辛烯-2-酮等 4 种酮类物质（5.51%），焙烤处理产生了甲基戊基甲酮和 4-羟基-3-甲基苯乙酮两种（0.90%）。酮类物质一般具有奶油香味和果蔬香味，阈值高于同分异构体的醛，对风味物质贡献相对较小。链状酮类化合物

在 C5~C8 中等长度时具有挥发性较强的果实味，如微波处理产生的 3-辛烯-2-酮具有水果香，对燕麦片整体风味有一定的贡献。

表 3 不同处理燕麦片风味中醛类物质的种类和相对含量（%）

Table 3 Types and relative contents of aldehydes in the oatmeal samples after various heat treatments

保留时间/min	中文名称	未处理	微波处理	焙烤处理	蒸煮处理
3.045	2-甲基丁醛			1.66	
3.409	3-甲基丁醛			1.79	
3.471	正戊醛		1.67		
5.748	正己醛	9.06	50.58	11.34	51.66
6.551	3-呋喃甲醛			4.62	
8.860	正庚醛			1.20	2.21
8.895	5-甲基己醛		1.00		
10.768	苯甲醛		0.89	5.14	14.08
12.190	正辛醛		1.34		1.63
13.474	苯乙醛			2.63	
13.978	反式-2-壬烯醛			2.20	
15.459	壬醛	5.24	4.97	2.24	9.51
17.144	反式-2-壬烯醛		0.36		
18.536	癸醛		0.39		0.83
18.798	反,反-2,4-壬二烯醛		0.74	0.43	0.73
20.062	2-十一烯醛			0.35	
21.329	反式-2,4-癸二烯醛			0.35	
22.233	反式-2-十一烯醛		0.11		
	醛类总和	14.30	62.05	33.95	80.65

表 4 不同处理燕麦片风味中醇类及酯类物质的种类和相对含量（%）

Table 4 Types and relative contents of alcohols and esters in oatmeal samples after various heat treatments

保留时间/min	中文名称	未处理	微波处理	焙烤处理	蒸煮处理
4.908	正戊醇		14.44	2.93	
7.310	糠醇			0.93	
7.854	正己醇	10.83	0.83		
11.135	正庚醇		0.49		
13.200	苯甲醇		1.59		
15.130	2-甲基-4-己烯-3-醇		3.00	2.11	
	醇类总和	10.83	20.35	5.97	
13.991	己酸乙烯酯		5.25		2.82
19.842	丙位辛内酯	0.56			
22.129	丙位壬内酯	1.13	0.18		
28.876	邻苯二甲酸二异丁酯	0.61			
	酯类总和	2.30	5.43		2.82

2.3.4 不同处理工艺燕麦片碳氢类物质

表6显示了不同处理燕麦片碳氢类物质的种类和相对含量。在检测到的8种碳氢类物质中，未处理样种类较多（7种），相对含量为46.92%，蒸煮处理燕麦片含4种，相对含量为6.63%，微波处理燕麦片含4种，相对含量为2.12%，焙烤处理燕麦片仅含1种，相对含量为0.24%。

相对于未处理样，热处理后碳氢类化合物相对含量比较低，以及此类物质阈值较高，所以碳氢类化合物对产品的风味贡献比较小。

表 5 不同处理燕麦片风味中酮类物质的种类和相对含量（%）

Table 5 Types and relative contents of ketones in oatmeal samples after various heat treatments

保留时间/min	中文名称	未处理	微波处理	焙烤处理	蒸煮处理
8.441	甲基戊基甲酮		0.76	0.62	
13.298	3-辛烯-2-酮		3.70		0.92
14.309	3,5-辛二烯-2-酮	6.18	0.40		2.88
20.066	环癸酮		0.65		
21.135	4-羟基-3-甲基苯乙酮			0.28	
	酮类总和	6.18	5.51	0.90	3.80

表 6 不同处理燕麦片风味中碳氢类物质的种类和相对含量（%）

Table 6 Types and relative contents of hydrocarbons in oatmeal samples after various heat treatments

保留时间/min	中文名称	未处理	微波处理	焙烤处理	蒸煮处理
18.390	十二烷	0.87			
20.385	十四烷	1.33			
22.887	正十四烷	2.56	0.45	0.24	1.36
24.465	正十七烷	2.55	0.42		1.48
25.838	正二十一烷	1.83	0.28		1.23
	烷烃总和	9.14	1.15	0.24	4.07
3.250	氮杂环丙烷-1-乙烯	37.78			
13.040	右旋萜二烯				2.56
21.724	8-甲基-1-十一烯		0.97		
	烯类总和	37.78	0.97		2.56

2.3.5 不同处理工艺燕麦片杂环类物质

表 7 不同处理燕麦片风味中杂环类物质的种类和相对含量（%）

Table 7 Types and relative content of heterocydic compounds in oatmeal samples after various heat treatments

保留时间/min	中文名称	未处理	微波处理	焙烤处理	蒸煮处理
17.887	萘	6.86	0.50		1.77
20.869	1-甲基萘	5.13			
21.203	2-甲基萘	1.47	0.34		
23.248	1, 2-二甲基萘	0.70			
	萘类总和	14.16	0.84		1.77
6.336	2-甲基吡嗪			6.10	
9.123	2, 5-二甲基吡嗪				4.33
11.952	2-乙基-6-甲基吡嗪			7.67	
12.076	2-乙基-3-甲基吡嗪			16.08	
12.578	2-乙烯吡嗪			2.69	
14.504	3-乙基-2, 5-甲基吡嗪			5.85	
16.932	3, 5-乙基-2-甲基吡嗪			0.43	
	吡嗪总和			38.82	4.33
9.112	4,6-二甲基嘧啶			20.12	

热处理过程中燕麦中氨基酸类、二胺类等成分会发生热裂解及类脂的氧化降解形成杂环化合物，使食品带有香味。由表 7 可以看出，不同处理燕麦片含有的杂环类物质主要为萘、吡嗪及嘧啶类，共 12 种。未处理燕麦片主要含有 4 种萘类（14.16%），蒸煮处理燕麦片含有 1 种萘类（1.77%）和 1 种吡嗪（4.33%）。微波处理燕麦片中仅含 2 种萘类（0.84%），焙烤处理燕麦片中含有 6 种吡嗪（38.82%）及 1 种嘧啶类（20.12%）。杂环类物质主要由焙烤处理生成，这是因为在焙烤过程中，高温使氨基酸容易发生热解反应，

生成复杂化合物。产生的吡嗪类、嘧啶类大多是氨基酸和糖类的美拉德反应以及斯特克（Strecker）反应形成的[6]。这些杂环类物质阈值较低，具有较浓的烤坚果香气，是焙烤处理后燕麦片的主要呈香成分[14]。

2.3.6 不同处理工艺燕麦片中其他物质

表 8 显示了不同处理燕麦片中酸类、苯及苯酚类物质的种类和相对含量。未处理样品含有 3 种酸类（4.78%）和微量 1-甲氧基-4-丙烯基苯（0.53%），蒸煮处理燕麦片未检测出酸类及苯、苯酚类物质，微波处理燕麦片含有少量苯及苯酚类物质（2.95%），焙烤处理燕麦片仅含微量正己酸（0.35%）和辛酸（0.35%）。不同处理燕麦片风味中其他物质的种类和相对含量均较少，对燕麦片风味影响不大。

表 8 不同处理燕麦片风味中其他物质的种类和相对含量（%）

Table 8 Types and relative contents of other volatile compounds in oatmeal samples after various heat treatments

保留时间/min	中文名称	未处理	微波处理	焙烤处理	蒸煮处理
11.291	正己酸	2.93		0.35	
17.325	辛酸	1.13		0.35	
20.067	壬酸	0.72			
	酸类总和	4.78		0.70	
11.333	苯酚		0.92		
20.641	1-甲氧基-4-丙烯基苯	0.53			
20.706	3-叔丁基苯酚		1.13		
22.354	1-乙氧基-4-三甲基丁苯		0.90		
	苯及苯酚类总和	0.53	2.95		

4 结论

4.1 通过电子鼻技术和PCA分析方法，电子鼻能较好的区分不同热处理燕麦片气味的差异。第一主成分（PC1）的贡献率为61.33%，第二主成分（PC2）的贡献率为23.19%。对第一主成分贡献较大的传感器为W1C（0.99）、W5S（0.88）、W3C（0.98）、W1S（0.62）、W5C（0.99）、W2W（0.89）和W3S（-0.75），对第二主成分贡献较大的传感器为W6S（-0.61）、W1W（0.82）和W2S（0.60）。

4.2 四种不同处理的燕麦片共鉴定出61种挥发性风味成分，其中仅含有6种相同挥发性成分，表明不同热处理方式对燕麦片挥发性成分影响较大。未处理燕麦片主要香味为烯类（37.78%）、醛类（14.30%）、萘类（14.16%），微波和蒸煮处理燕麦片均产生了较多的醛类，分别占总挥发性成分的62.05%和80.65%，焙烤处理除了产生较多醛类（33.95%），还生成了较多的吡嗪类（38.82%）与嘧啶类（20.12%），呈现了浓郁的烤香味。

参考文献

[1] Qian Keying, Ren Changzhong, Li Zaigui. An investigation on pretreatments for inactivation of lipase in naked oat kernels using microwave heating [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 95(2): 280-284

[2] 李雯,陈怡菁,任建华,等.熟化方式对小米粉制品挥发性成分的影响[J].中国粮油学报,2014,29(4):93-97
LI Wen, CHEN Yi-jing, REN Jian-hua, et al. Effects of cooking methods on volatile compounds of millet powder products [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(4): 93-97

[3] Rodriguez-Mendez M L, Apetrei C, Gay M, et al. Evaluation of oxygen exposure levels and polyphenolic content of red wines using an electronic panel formed by an electronic nose and an electronic tongue [J]. Food Chemistry, 2014, 155: 91-97

[4] Wang Y W, Zhang Y, Ding W. Rapid detection of three kinds of antibiotic residues in goat milk by electronic nose [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2013, 4(4): 1134-1140

[5] Li Z G, Cao R, Ren C Z. The effects of different inactivation treatments on the storage properties and sensory quality of naked oat [J]. Food Bioprocess Technol, 2012, 5: 1853-1859

[6] 徐托明.燕麦茶的研发及其风味物质的评价研究[D].华中农业大学,2010
XU Tuo-ming. Study on the exploitation of oat tea and evaluation of its flavor substances [D]. Huazhong Agricultural University, 2010

[7] 曹汝鸽,林钦,任长忠,等.不同灭酶处理对燕麦气味和品质的影响[J].农业工程学报,2010,12:378-382
CAO Ru-ge, LIN Qin, REN Chang-zhong, et al. Effects of different inactivation treatment on oat flavor and quality [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural

Engineering, 2010, 12: 378-382

[8] Kumari R, Patel D K, Chaturvedi P, et al. Solid phase micro extraction combined with gas chromatography-mass spectrometry for the trace analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in chocolate [J]. Analytical Methods, 2013, 5(8): 1946-1954

[9] Plessas S, Bekatorou A, Gallanagh J, et al. Evolution of aroma volatiles during storage of sourdough breads made by mixed cultures of kluyveromyces marxianus and *Lactobacillus Delbrueckii* ssp bulgaricus or lactobacillus helveticus [J]. Food Chemistry, 2008, 107: 883-889

[10] Klensporf D, Jele H H. Effect of heat treatment on the flavor of oat flakes [J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48: 656-661

[11] 孙培培,黄明泉,孙宝国,等.同时蒸馏萃取-气质联机分析燕麦片挥发性成分的研究[J].食品工业科技,2011,12:479-483
SUN Pei-pei, HUANG Ming-quan, SUN Bao-guo, et al. Study on volatile components in oats flakes by simultaneous distillation extraction and gas chromatography-mass spectrometry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 12: 479-483

[12] 孙宝国.食用调香术[M].北京:化学工业出版社,2003
SUN Bao-guo. Edible flavoring technique [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003

[13] 贾春晓,毛多斌,孙晓丽,等.烘烤葵花籽的香气成分分析及最佳焙烤条件研究[J].食品工业科技,2006,8:60-65
JIA Chun-xiao, MAO Duo-bin, SUN Xiao-li, et al. Studies on the analysis of aroma components in roasted sunflower seeds and the best roasting conditions [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 8: 60-65

现代食品科技