

# 熟化方式对胡陈马铃薯挥发性风味的影响

陈新园<sup>1,2,3</sup> 陈 义<sup>1</sup> 王 茜<sup>1,2,3</sup> 康孟利<sup>2,3</sup> 凌建刚<sup>2,3</sup>

(1. 宁波大学食品科学与工程学院, 浙江 宁波 315832; 2. 宁波市农业科学研究院, 浙江 宁波 315040;

3. 国家蔬菜加工技术研发专业中心, 浙江 宁波 315040)

**摘要:** [目的] 探明熟化方式对国家地理标志农产品——胡陈马铃薯特征挥发性物质差异的影响。[方法] 以胡陈马铃薯为研究对象, 利用气相色谱—离子迁移谱(GC-IMS)结合指纹图谱分析技术, 探究 4 种熟化方式对其挥发性风味物质的影响。[结果] 胡陈马铃薯挥发性风味物质以醇、醛、酮为主, 4 种熟化方式对其特征挥发性风味成分产生显著差异。醇物质含量: 蒸制 > 煎制 > 烤制 > 炸制, 醛物质含量: 煎制 > 炸制 > 烤制 > 蒸制, 酮物质含量: 烤制 > 蒸制 > 炸制 > 煎制。指纹图谱分析显示, 相比其余 3 种熟化方式, 煎制可显著提高胡陈马铃薯的果香味。[结论] GC-IMS 结合指纹图谱技术可实现不同熟化方式土豆挥发性风味成分差异的有效鉴别。

**关键词:** 马铃薯; 熟化方式; 气相色谱—离子迁移谱; 风味; 指纹图谱

## Effects of cooking methods on the volatile flavor of Huchen potato

CHEN Xinyuan<sup>1,2,3</sup> CHEN Yi<sup>1</sup> WANG Xi<sup>1,2,3</sup> KANG Mengli<sup>2,3</sup> LING Jiangan<sup>2,3</sup>

(1. School of Food Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315832, China; 2. Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Ningbo, Zhejiang 315040, China; 3. National Vegetable Processing Technology Research and Development Professional Center, Ningbo, Zhejiang 315040, China)

**Abstract:** [Objective] To explore the effects of cooking methods on the differences in characteristic volatile compounds of Huchen potato, a nationally recognized geographical indication agricultural product. [Methods] Taking Huchen potato as the research subject, gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) combined with fingerprint analysis technology was used to explore the impact of four cooking methods on its volatile flavor substances. [Results] The volatile flavor substances of Huchen potato are mainly alcohols, aldehydes, and ketones. The four cooking methods caused significant differences in their characteristic volatile flavor components. Alcohol content ranked as steaming > pan-frying > roasting > deep-frying; aldehyde content ranked as pan-frying > deep-frying > roasting > steaming; ketone content ranked as roasting > steaming > deep-frying > pan-frying. Fingerprint analysis showed that compared with the other three cooking methods, pan-frying significantly enhanced the fruity aroma of Huchen potato. [Conclusion] GC-IMS combined with fingerprint analysis technology can effectively distinguish the differences in volatile flavor components of potatoes prepared by different cooking methods.

**Keywords:** potatoes; cooking method; gas chromatography-ion mobility spectrometry; flavor; fingerprinting

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 为茄科茄属一年生草本植物, 是全球最重要的粮菜兼用作物<sup>[1]</sup>。据 FAO 统计, 马铃薯块茎富含人体所需的氨基酸、碳水化合物和矿物质等营养物质, 是世界上第四大粮食作物<sup>[2]</sup>, 深受消费者青睐。超过 150 个国家和地区种植马铃薯, 全世界 2/3 的人口以马铃薯为主食<sup>[3]</sup>。熟化方式是影响马铃薯块茎营养成分被人体消化吸收的重要因素<sup>[4]</sup>。目前, 马铃薯多采用蒸煮、油炸和烘烤等熟化方式, 而熟化马铃薯的风味物

基金项目: 宁波市重点研发计划创新联合体项目 (编号: 2022H006)

通信作者: 凌建刚 (1973—), 男, 宁波市农业科学研究院研究员, 博士。E-mail: nbnjg@zju.edu.cn

收稿日期: 2024-11-04 改回日期: 2025-07-14

引用格式: 陈新园, 陈义, 王茜, 等. 熟化方式对胡陈马铃薯挥发性风味的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(10): 11-19.

Citation: CHEN Xinyuan, CHEN Yi, WANG Xi, et al. Effects of cooking methods on the volatile flavor of Huchen potato[J]. Food & Machinery, 2025, 41(10): 11-19.

质是由鲜马铃薯中的氨基酸、核糖核酸、糖和脂质等风味前体物质转化而成<sup>[5-9]</sup>。蒸煮是胡陈马铃薯主要的熟化方式但蒸煮马铃薯的香气较弱且区别于新鲜和烘烤方式的香气<sup>[10]</sup>。蒸煮马铃薯检测到的挥发性化合物中,脂类降解产物占 22%~69%,糖降解或美拉德反应产物占 28%~77%<sup>[9,11]</sup>。煎马铃薯是胡陈马铃薯最具地域特色的熟化方式,而煎炸主要风味化合物是由美拉德反应/Strecker 降解、脂质降解和硫胺素的热降解产生<sup>[12]</sup>。烤马铃薯是小马铃薯常用的熟化方式,风味主要来源于美拉德反应<sup>[12]</sup>。胡陈马铃薯是浙江省宁波市宁海县胡陈乡传统优势农作物,由于胡陈乡独特的砂性土壤和适宜的气候环境,使得胡陈马铃薯具有个头均匀、品质优良、皮色较黄、淀粉含量适中、高蛋白、低脂肪、软糯可口等特点<sup>[13]</sup>。日常胡陈马铃薯多采用蒸制、煎制、炸制、烤制 4 种方式进行熟化,宁波特色菜中就有油煎小马铃薯,但关于胡陈马铃薯风味物质组分以及熟化过程中风味物质变化尚未见报道,且众多学者研究多集中于不同品种间蒸煮或煎炸比较,并未进行同一品种马铃薯的蒸煎炸烤风味物质变化研究。

目前,关于马铃薯风味物质组分的分析多采用操作方便、检测速度快的固相微萃取(SPME)与气相色谱-质谱联用(GC-MS)进行检测<sup>[14-17]</sup>,但因 GC-MS 检测的样品提取过程耗时长、谱图解析复杂<sup>[18]</sup>等因素,中国学者多采用气相色谱-离子迁移谱联用仪(GC-IMS)。GC-IMS 具有低检测限和高灵敏度<sup>[19]</sup>等特点,在鉴别马铃薯品种以及产地中应用较多。李凯峰等<sup>[17]</sup>利用 GC-IMS 对不同品种马铃薯进行风味分析得出不同品种马铃薯适宜的烹饪方式;Jiang 等<sup>[20]</sup>将 6 个品种马铃薯蒸煮后进行 GC-IMS 检测,共检出 63 种风味化合物,其中醇类、醛类和酮类种类和浓度较为丰富;刘国敏等<sup>[21]</sup>利用 GC-IMS 技术对不同品种马铃薯挥发性风味物质进行萃取与鉴定,得出醛类物质是蒸马铃薯主要的风味物质;苏艳玲等<sup>[22]</sup>利用 GC-IMS 技术检测发现,彩色马铃薯中挥发性有机物质含量为 52 种。但现阶段对同一品种马铃薯蒸制、煮制、煎制、炸制、烤制后的风味特性变化研究较少,且对胡陈马铃薯熟化后风味的研究还未见报道。研究拟以胡陈马铃薯为原料,采用 GC-IMS 法测定胡陈马铃薯的挥发性风味成分,并结合指纹图谱探究经过蒸制、煎制、炸制、烤制 4 种方式熟化后胡陈马铃薯的挥发性风味物质变化情况,为胡陈马铃薯熟化方式提供理论指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 材料

马铃薯:产地浙江省宁波市宁海县胡陈乡;  
金龙鱼一级大豆油:益海嘉里金龙鱼食品集团股份

有限公司;

2-甲基-3-庚酮:色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;  
氯化钠、无水硫酸钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

色谱柱:DB-WAX 毛细管色谱柱(15 m×0.53 mm, 1.0 μm),美国 Restek 公司。

#### 1.1.2 主要仪器设备

米博蒸烤烘炸一体机:MK02A 型,宁波方太厨具有限公司;

蒸锅:ZN23FK930 型,浙江苏泊尔股份有限公司;

电磁炉:C22-IA815 型,浙江苏泊尔股份有限公司;

医用低温冰箱:ULTS1368 型,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;

分析天平:FA2004 型,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;

食品风味分析仪:FlavourSpec<sup>®</sup>型,德国 GAS 公司;

静态顶空自动进样装置:CTC-PAL 3 型,瑞士 Zwingen CTC Analytics AG 公司。

## 1.2 试验方法

1.2.1 原料处理 挑选应季新鲜、无病虫害、无损伤的马铃薯块茎,单个质量(20±5) g。采用以下 4 种不同熟化方式进行加工,以新鲜马铃薯(Ra)为对照。

(1) 蒸制(St):根据文献[22]并修改,选用大小均匀的马铃薯,清洗、晾干,单层 200 g,采用苏泊尔蒸锅,常压汽蒸 25 min,蒸煮完成后冷却至室温。

(2) 煎制(Ro):根据文献[23]并修改,选用大小均匀的马铃薯,清洗、晾干,单层 200 g,采用苏泊尔蒸锅,常压汽蒸 25 min 后压扁,大豆油 10 g,200 °C 煎 1 min 翻面煎 1 min,冷却至室温。

(3) 炸制(Fr):根据文献[22]并修改,选用大小均匀的马铃薯,清洗、晾干,单层 200 g,采用苏泊尔蒸锅,常压汽蒸 25 min 后压扁,大豆油 200 g,200 °C 油炸 1 min 翻面炸 1 min,大豆油与马铃薯质量比例为 2:1,冷却至室温。

(4) 烤制(Ba):根据文献[15]并修改,选用大小均匀的马铃薯,清洗、晾干,单层 200 g,采用苏泊尔蒸锅,常压汽蒸 25 min 后压扁,采用米博蒸烤烘炸一体机,表面刷油,选择环风烤模式 180 °C,20 min 中间翻面,冷却至室温。

1.2.2 GC-IMS 风味分析 根据文献[23]并修改,选用食品风味分析仪对不同方式熟化马铃薯的风味进行分析,取 3 g 样品(加入 1 mg/L 2 甲基-3-庚酮内标),置于 20 mL 顶空瓶中,60 °C 孵育 15 min 后进样。进行 GC-IMS 分析测定,具体分析条件:色谱柱柱温 60 °C,载气为 N<sub>2</sub>,分析时间 30 min,IMS 温度 45 °C,进样体积 500 μL,孵化转速 500 r/min。

### 1.3 数据处理

采用GC-IMS仪器配套的分析软件对数据进行分析。以上每个试验重复3次操作,测得数据均用平均值±标准差进行表示。所得数据使用SPSS 29.0软件进行分析,使用Oringin 2021软件进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同方式熟化马铃薯的气相色谱—离子迁移谱对比

图1为GC-IMS的三维谱图,相似度较高,为了便于观察,进行降维处理。降维后投影获得的二维俯视图如图2所示。从图2可以清晰地看出,马铃薯挥发性物质信号峰均出现在保留时间为100~1 300 s、迁移时间为1.0~1.9 ms的范围内。

为进一步对比5种样品中挥发性成分的差异,选取新鲜样品谱图作为参比,对熟化后样品的图谱扣减参比,得到不同熟化样品的差异对比图,如图3所示。结果发现,St样品的信号峰在迁移时间1.0 ms时红色较深,其挥发性物质浓度增大;1.0~1.9 ms时蓝色较深且分布多,其挥发性物质含量减小。而其他3种熟化方式信号峰丰富、红色分布较广且颜色较深,其挥发性物质含量更丰富,3种处理均能显著地增加马铃薯中挥发性物质含量。

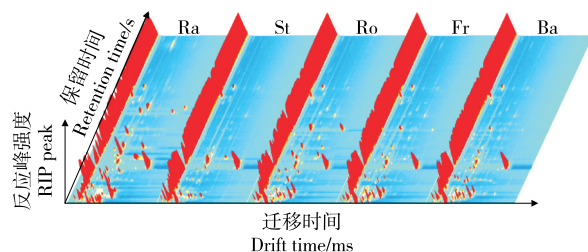


图1 不同熟化方式马铃薯挥发性物质的GC-IMS三维谱图

Figure 1 GC-IMS three dimensional spectra of volatile substances in potatoes using different cooking methods

### 2.2 不同方式熟化马铃薯的挥发性物质指纹图谱对比

对所有挥发性物质进行指纹图谱分析,见图4。粗实线框是马铃薯鲜样(Ra)的特征性风味,包括顺-4-庚烯醛、2-戊基呋喃、1-戊烯-3-醇、1-戊烯-3-酮、戊醇、反-2-辛烯醛、反-2-戊烯醛、2-甲基-1-丙醇、顺-2-戊烯-1-醇、丁醛、1-辛烯-3-醇、2-己醇等物质含量较高,风味以青草香味、水果味为主。不同方式熟化马铃薯挥发性成分亮点位置不同,其挥发性成分种类和含量存在明显差异,其中Ro样品(加粗虚线框)亮点最多,挥发性成分最丰富;其次为Ba样品(细实线框)、Fr样品(细虚线框),St样品(双实线框)中亮点最少。乙醇在St样品中含量较高,醛类、酮类物质经过蒸制后减少主要是由于温度高风味物质挥发。2-丙

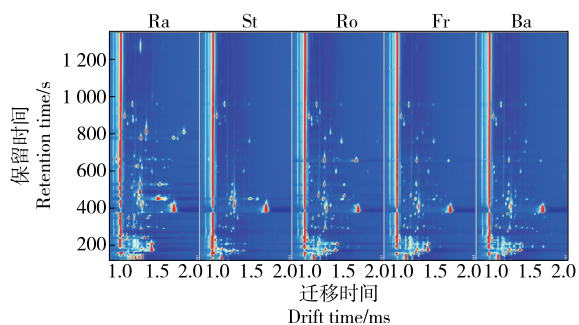


图2 不同熟化方式马铃薯挥发性物质的GC-IMS二维谱图俯视图

Figure 2 Top view of GC-IMS two-dimensional spectra of volatile substances in potatoes using different cooking methods

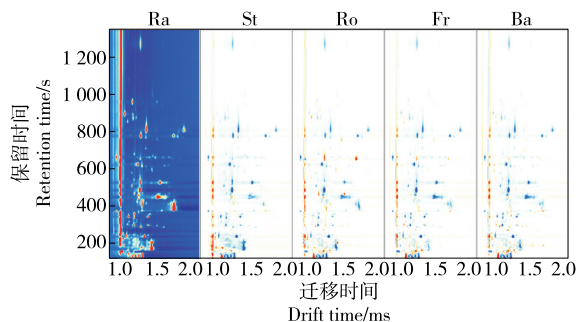


图3 不同熟化方式马铃薯挥发性物质的GC-IMS二维谱图差异对比图

Figure 3 Comparison of differences in GC-IMS two-dimensional spectra of volatile substances in potatoes using different cooking methods

酮在Ra样品中未检测到,糠醛、反-2-庚烯醛、反-2-丁烯醛、丁酸丁酯、戊醛、壬醛、反-2-己烯-1-醛、己醛、反,反-2,4-庚烯醛等物质在Ro样品中含量较高,风味以脂肪味、果香味为主。3-甲基-2-丁烯醛、2-丁酮、反-3-戊烯-2-酮等物质在Fr样品中含量较高。乙酸丁酯、3-羟基-2-丁酮、丙酸丁酯、4-庚酮等物质在Ba样品中含量较高,乙酸乙酯、苯甲醛等物质在Ba样品中含量略高于其他样品,风味以坚果香为主。

### 2.3 不同方式熟化马铃薯挥发性物质定性分析

利用离子迁移时间和保留指数对马铃薯鲜样(Ra)以及蒸制(St)、煎制(Ro)、炸制(Fr)、烤制(Ba)4种熟化马铃薯的挥发性化合物进行定性分析(见图5),共检测出75种挥发性成分,通过GC-IMS系统对检出物质峰进行鉴定分析,得到70种成分如表1所示,包括醛类26种、醇类17种、酮类13种、酯类5种、酸类3种、呋喃类1种以及其他少量风味化合物,醇类、醛类和酮类是胡陈马铃薯中的主要挥发性风味物质。经分析可知,不同熟化方式处理

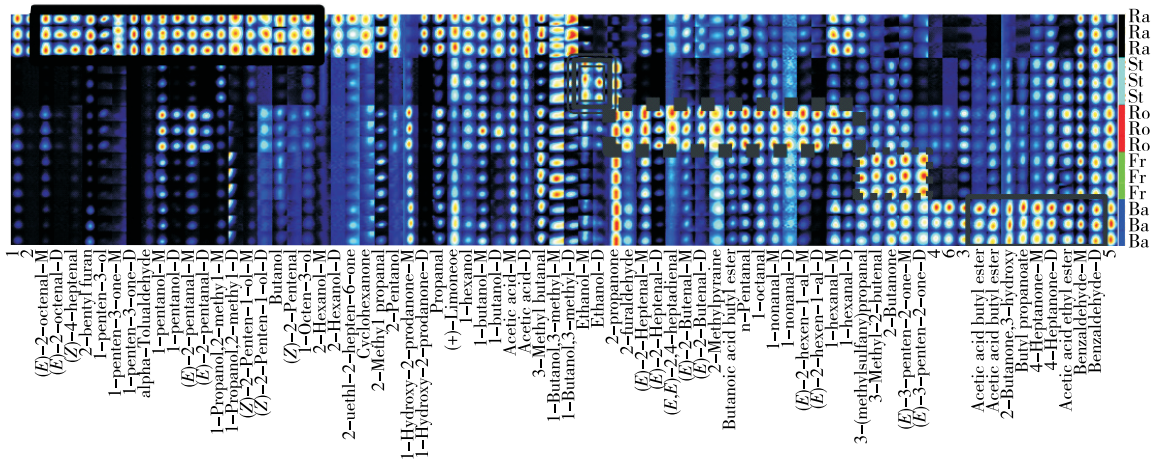


图 4 不同熟化方式马铃薯挥发性有机化合物的指纹图谱

Figure 4 GC-IMS fingerprints of volatile organic compounds in potatoes using different cooking methods

后马铃薯中挥发性化合物种类基本一致,但含量存在显著性差异。与马铃薯鲜样相比,经蒸制处理马铃薯挥发性成分总量相对减少,后续进行煎制、炸制和烤制处理挥发性物质含量增多。

含量的损失<sup>[27]</sup>。对比 4 种方式熟化后的马铃薯,乙醇在 St 样品中含量较高,Petersen 等<sup>[28]</sup>同样发现,马铃薯鲜样以及熟化后的马铃薯中含有乙醇。对表 1 数据进行进一步分析,对比 St 处理其他 3 种熟化方式显著增加了正丁醇、正辛醇、正戊醇的含量( $P < 0.05$ ),主要是由于熟化过程中发生美拉德反应和氨基酸的 Strecker 降解<sup>[26]</sup>。与蒸制相比,煎制处理显著增加了正丁醇、正辛醇、正戊醇的含量( $P < 0.05$ ),可知经过 4 种方式熟化后,Ro 处理对醇类物质保留较多。

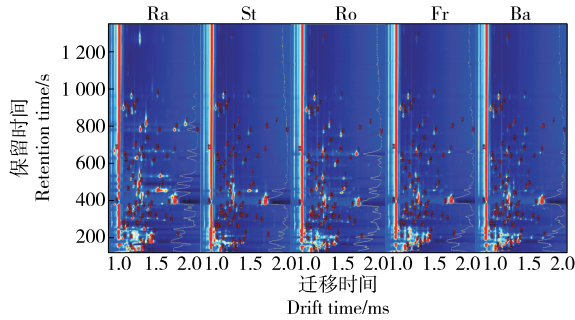


图 5 不同熟化方式马铃薯挥发性成分的离子迁移谱定性分析

Figure 5 IMS qualitative analysis of volatile components in potatoes using different cooking methods

醇类物质是马铃薯中含量相对较多的挥发性风味物质,马铃薯中含有的醇类物质主要有直链醇类(正丁醇、正己醇、正辛醇、正戊醇、乙醇、2-戊醇)和分支醇类(1-辛烯-3-醇、3-甲基-1-丁醇、顺-2-戊烯-1-醇、二甲基己醇、2-糠醛缩二乙醇),短链直醇因其分子结构简单在感官上呈现柔和的香气特征<sup>[24]</sup>;与短链直醇相比,分支醇的感觉阈值较低<sup>[25]</sup>,对马铃薯香气层次的增加具有潜在的促进作用,主要来源于美拉德反应和氨基酸的 Strecker 降解<sup>[26]</sup>;3-甲基-1-丁醇呈果香味、酒香味,顺-2-戊烯-1-醇呈绿色清香味,二甲基己醇呈水果味,在 Ra 样品中的含量均显著高于经过熟化处理的马铃薯( $P < 0.05$ ),由表 1 可知,经熟化后马铃薯中醇类挥发性物质显著性减少( $P < 0.05$ ),主要与醇类物质挥发性较强、稳定性不高有关,加热处理时造成

醛类物质一般具有奶油、脂肪、香草以及清香等气味,它们的风味阈值较低<sup>[29]</sup>。经分析胡陈马铃薯中含量最多的特征性物质为醛类,这与赵兵等<sup>[14]</sup>的研究结果一致。由表 1 可以看出,Ra 样品中反式-2-辛烯醛、反式-2-戊烯醛、4-庚烯-1-醛、3-三氟甲基苯甲醛、异戊醛、丙醛、2-甲基丙醛、丁醛含量显著高于经过熟化的马铃薯( $P < 0.05$ )。Fr 样品中壬醛含量显著高于其他 3 种熟化方式( $P < 0.05$ ),这与刘爽等<sup>[30]</sup>的研究结果一致。壬醛是由 n-9 类多不饱和脂肪酸氧化产生<sup>[31]</sup>,Fr 样品不饱和脂肪酸氧化更多且壬醛是马铃薯酥脆性特征气味物质,表明炸制处理赋予马铃薯酥脆性。样品中异戊醛经蒸制后含量显著减少( $P < 0.05$ ),后续进行熟化处理含量显著增大主要是由于煎制、炸制、烤制过程中缬氨酸通过 Strecker 降解反应中的氧化脱氨和脱羧步骤产生异戊醛<sup>[31]</sup>。对比 4 种熟化方式熟化后马铃薯中醛类物质含量,Ro 样品中的反式-2-辛烯醛、反式-2-庚烯醛、反式-2-戊烯醛、2-乙基丁烯醛、2-乙基丁烯醛、丙醛以及反式-2-己烯醛二甲基乙缩醛含量显著高于 St、Fr、Ba 样品( $P < 0.05$ ),这主要与脂肪氧化有关。

酮类物质多带有刺激性气味,马铃薯中酮类物质种类相对较少。主要包括 2-氟苯基丙酮、2-丁酮、3-羟基-2-丁酮、3-戊烯-2-酮等。3-羟基-2-丁酮主要通过美拉德反

应产生;2-丁酮可作为形成脂肪风味的重要前体,来源于β-酮酸的脱羧或饱和脂肪酸的氧化<sup>[32]</sup>。进一步分析得到,经熟化后的马铃薯中2-丁酮、2-氟苯基丙酮的含量均显著高于Ra样品( $P<0.05$ ),表明熟化过程中脂肪会发生氧化反应。Fr样品中3-戊烯-2-酮含量显著高于其他3种方式熟化后的马铃薯,主要与油炸熟化时马铃薯完全浸泡在油脂中有关。酯类物质主要呈现果香和花香<sup>[33]</sup>,胡陈马铃薯中酯类物质主要有羟基乙酸丁酯、丁酰乳酸丁脂、丙酸丁酯等酯类,经过熟化后含量增加,这是由于加工过程中温度升高,马铃薯中的酸和醇会发生酯化反应产生酯类。丁酰乳酸丁脂(水果香)在Ro样品中含量显

著高于其他3种熟化方式( $P<0.05$ ),表明煎制能够提高马铃薯中的果香味。酸类物质具有果香味和辛辣味,马铃薯中酸类物质有乙酯乙酸、乙酸。经过熟化后马铃薯中乙酯乙酸含量显著增加( $P<0.05$ ),乙酸含量显著减少,且烤制样品乙酸减少较多,这与烤制处理时间长、温度高有关。吡嗪类化合物主要是一类在高温作用下生成且量较多的美拉德反应产物,能够贡献烘烤香味<sup>[34]</sup>。2-甲基吡嗪具有坚果香、烤香味,由表1可知,Ro、Fr、Ba样品中2-甲基吡嗪含量显著高于Ra与St样品( $P<0.05$ ),表明煎制、炸制、烤制3种熟化方式能够赋予马铃薯更多烤香味。

表1 不同熟化方式马铃薯挥发性风味的GC-IMS分析结果<sup>†</sup>

Table 1 GC-IMS analysis results of volatile compounds in potatoes by different cooking methods

种类	名称	保留时间/s	迁移时间/ms	峰面积					风味描述
				Ra	St	Ro	Fr	Ba	
醇	1-辛烯-3-醇	873.019	1.164	920.15±14.58 <sup>a</sup>	221.13±30.21 <sup>c</sup>	301.01±7.17 <sup>b</sup>	211.71±33.23 <sup>c</sup>	145.99±18.08 <sup>d</sup>	薰衣草,玫瑰和干草香气
	正己醇	714.800	1.332	315.59±12.46 <sup>a</sup>	192.96±42.59 <sup>b</sup>	174.75±10.74 <sup>bc</sup>	116.54±25.08 <sup>d</sup>	137.10±21.72 <sup>cd</sup>	果味,酒精青香
	3-甲基-1-丁醇(M)	457.116	1.235	1 641.79±77.03 <sup>a</sup>	1 548.12±30.67 <sup>ab</sup>	1 249.93±22.93 <sup>bc</sup>	1 519.13±261.76 <sup>ab</sup>	1 143.31±274.53 <sup>c</sup>	威士忌酒香,香蕉果香
	3-甲基-1-丁醇(D)	458.272	1.486	5 709.60±40.53 <sup>a</sup>	2 306.14±192.50 <sup>b</sup>	1 577.63±101.70 <sup>c</sup>	1 345.05±482.83 <sup>c</sup>	1 169.71±569.05 <sup>c</sup>	威士忌酒香,香蕉果香
	正丁醇(M)	369.679	1.184	1 579.01±56.60 <sup>a</sup>	881.20±66.64 <sup>c</sup>	1 176.98±226.05 <sup>b</sup>	626.74±53.91 <sup>c</sup>	739.19±217.01 <sup>c</sup>	红酒味
	正丁醇(D)	370.141	1.385	393.45±40.34 <sup>a</sup>	95.71±27.01 <sup>c</sup>	212.14±84.03 <sup>b</sup>	58.82±17.91 <sup>c</sup>	97.98±24.40 <sup>c</sup>	红酒味
	正辛醇	601.434	1.410	581.80±27.73 <sup>c</sup>	563.99±107.12 <sup>c</sup>	1 171.20±94.27 <sup>a</sup>	783.50±33.01 <sup>b</sup>	785.85±46.29 <sup>b</sup>	果香味,脂肪味
	正戊醇(M)	535.944	1.257	3 971.88±31.15 <sup>a</sup>	878.65±25.41 <sup>c</sup>	2 958.76±72.25 <sup>b</sup>	1 516.97±94.66 <sup>c</sup>	1 037.76±41.55 <sup>d</sup>	香膏
	正戊醇(D)	533.898	1.518	3 340.51±154.66 <sup>a</sup>	151.18±83.36 <sup>c</sup>	1 146.88±41.88 <sup>b</sup>	246.74±83.25 <sup>c</sup>	167.29±48.76 <sup>c</sup>	香膏
	顺-2-戊烯-1-醇(M)	667.767	0.947	2 285.52±80.43 <sup>a</sup>	443.09±45.50 <sup>b</sup>	277.37±34.35 <sup>c</sup>	261.45±29.86 <sup>c</sup>	271.78±40.17 <sup>c</sup>	绿色、塑料、橡胶
	顺-2-戊烯-1-醇(D)	667.767	1.455	456.27±28.22 <sup>a</sup>	76.47±48.88 <sup>c</sup>	165.23±8.77 <sup>b</sup>	89.04±13.52 <sup>c</sup>	81.96±21.98 <sup>c</sup>	绿色、塑料、橡胶
	乙醇(M)	194.710	1.045	380.42±32.97 <sup>d</sup>	1 504.49±56.32 <sup>a</sup>	954.87±53.05 <sup>b</sup>	347.67±40.73 <sup>a</sup>	656.55±128.88 <sup>c</sup>	芳香气味
	乙醇(D)	193.400	1.130	177.99±21.94 <sup>c</sup>	2 277.08±291.94 <sup>a</sup>	912.95±145.16 <sup>b</sup>	355.61±42.18 <sup>c</sup>	668.99±183.19 <sup>b</sup>	芳香气味
	二甲基己醇(M)	714.803	1.332	884.34±44.30 <sup>b</sup>	232.02±46.91 <sup>b</sup>	171.99±38.92 <sup>bc</sup>	140.64±13.57 <sup>c</sup>	137.15±34.52 <sup>c</sup>	水果味、脂肪味
	二甲基己醇(D)	300.811	1.565	214.67±61.99 <sup>a</sup>	58.73±40.35 <sup>b</sup>	50.46±33.47 <sup>b</sup>	40.10±25.78 <sup>b</sup>	47.72±32.35 <sup>b</sup>	水果味、脂肪味
	2-戊醇	535.944	1.257	177.06±13.45 <sup>a</sup>	38.10±23.13 <sup>b</sup>	62.55±8.36 <sup>b</sup>	34.78±8.35 <sup>b</sup>	35.25±13.35 <sup>b</sup>	杂醇油,清香
	2-糠醛缩乙二醇	879.236	1.089	114.22±24.46 <sup>d</sup>	146.80±23.25 <sup>d</sup>	821.94±7.49 <sup>a</sup>	266.19±24.40 <sup>c</sup>	412.99±20.67 <sup>b</sup>	杏仁香、烤面包香
醛	3-(甲基硫代)丙醛	852.816	1.094	509.96±72.86 <sup>c</sup>	320.29±10.67 <sup>d</sup>	626.26±38.20 <sup>c</sup>	1 042.89±71.83 <sup>a</sup>	767.28±101.24 <sup>b</sup>	肉香、果香
	反式-2-辛烯醛(M)	808.424	1.337	4 781.59±28.99 <sup>a</sup>	244.56±102.89 <sup>d</sup>	1 123.84±102.17 <sup>b</sup>	519.27±59.42 <sup>c</sup>	333.11±103.49 <sup>d</sup>	脂肪、青香草药味
	反式-2-辛烯醛(D)	808.999	1.828	2171.59±90.82 <sup>a</sup>	145.59±105.88 <sup>b</sup>	189.01±92.49 <sup>b</sup>	143.00±94.68 <sup>b</sup>	121.13±84.84 <sup>b</sup>	脂肪、青香草药味
	反式-2-庚烯醛(M)	660.566	1.256	990.03±197.91 <sup>d</sup>	197.69±48.01 <sup>c</sup>	3 967.57±119.07 <sup>a</sup>	2 200.75±159.47 <sup>b</sup>	1 562.60±140.76 <sup>c</sup>	辛辣味、脂肪味
	4-庚烯-1-醛	515.400	1.149	1 015.07±162.08 <sup>a</sup>	106.77±40.97 <sup>b</sup>	151.33±25.38 <sup>b</sup>	103.99±35.06 <sup>b</sup>	72.84±22.47 <sup>b</sup>	青草、油脂味
	1-己醛(M)	622.109	1.282	1 427.70±129.19 <sup>a</sup>	522.96±33.86 <sup>c</sup>	1 536.93±70.82 <sup>a</sup>	715.21±135.70 <sup>c</sup>	1 073.76±152.61 <sup>b</sup>	青香、脂肪味、水果味

续表 1

种类	名称	保留时间/s	迁移时间/ms	峰面积					风味描述
				Ra	St	Ro	Fr	Ba	
	1-己醛(D)	621.501	1.577	384.31±91.43 <sup>a</sup>	51.23±10.75 <sup>c</sup>	415.02±32.60 <sup>a</sup>	80.97±38.53 <sup>c</sup>	201.99±56.60 <sup>b</sup>	青香、脂肪味、水果味
	正戊醛	221.248	1.421	2 323.56±211.77 <sup>b</sup>	268.41±19.72 <sup>d</sup>	3 790.24±292.32 <sup>a</sup>	1 660.82±137.39 <sup>e</sup>	1 720.93±257.02 <sup>c</sup>	青草气味,带微弱香蕉味
	反式-2-庚烯醛(D)	659.678	1.671	421.20±67.52 <sup>bc</sup>	186.80±118.47 <sup>e</sup>	4 402.06±504.78 <sup>a</sup>	796.79±143.12 <sup>b</sup>	445.90±117.77 <sup>bc</sup>	辛辣的,青香蔬菜,脂肪
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	914.335	1.197	165.97±33.48 <sup>b</sup>	109.49±31.63 <sup>c</sup>	402.37±15.36 <sup>a</sup>	153.84±22.20 <sup>bc</sup>	116.36±16.52 <sup>c</sup>	脂肪,蔬菜,肉桂味
	异戊烯醛	446.970	1.091	69.63±10.59 <sup>d</sup>	104.81±21.90 <sup>c</sup>	167.83±7.95 <sup>b</sup>	300.59±24.50 <sup>a</sup>	192.28±21.90 <sup>b</sup>	果香
	3-三氟甲基苯甲醛	1 264.980	1.262	3 272.98±102.55 <sup>a</sup>	445.25±213.76 <sup>b</sup>	419.04±230.23 <sup>b</sup>	640.22±192.99 <sup>b</sup>	535.75±158.10 <sup>b</sup>	风信子香气,杏仁味
	苯甲醛(M)	956.493	1.156	2 506.59±131.25 <sup>a</sup>	2 271.56±80.09 <sup>b</sup>	2 247.72±50.54 <sup>b</sup>	2 341.31±81.53 <sup>ab</sup>	2 548.26±178.16 <sup>a</sup>	苦杏仁,櫻桃及坚果香
	苯甲醛(D)	957.140	1.473	310.13±19.27 <sup>a</sup>	306.26±48.57 <sup>a</sup>	295.32±59.91 <sup>a</sup>	328.67±61.20 <sup>a</sup>	317.24±15.58 <sup>a</sup>	苦杏仁,櫻桃及坚果香
	壬醛(M)	761.014	1.480	356.50±23.92 <sup>d</sup>	626.50±122.95 <sup>c</sup>	1 167.22±83.63 <sup>a</sup>	823.55±9.51 <sup>b</sup>	603.34±64.79 <sup>c</sup>	柑橘香气,强油脂气味
	壬醛(D)	760.189	1.952	111.41±24.80 <sup>a</sup>	94.80±56.33 <sup>b</sup>	147.47±20.36 <sup>a</sup>	138.42±63.14 <sup>a</sup>	118.30±62.48 <sup>a</sup>	柑橘香气,强的油脂气味
	反式-2-戊烯醛(M)	357.662	1.105	1 840.07±69.04 <sup>a</sup>	175.47±31.27 <sup>d</sup>	1 444.36±104.81 <sup>b</sup>	399.17±56.17 <sup>c</sup>	324.28±51.49 <sup>c</sup>	土豆,豌豆
	反式-2-戊烯醛(D)	356.275	1.360	1 687.71±162.33 <sup>a</sup>	45.35±33.51 <sup>c</sup>	742.32±100.38 <sup>b</sup>	74.81±22.87 <sup>c</sup>	60.01±11.51 <sup>c</sup>	土豆,豌豆
	2-乙基丁烯醛(M)	266.132	1.035	646.66±3.63 <sup>b</sup>	233.91±8.14 <sup>d</sup>	961.08±35.18 <sup>a</sup>	410.57±7.80 <sup>c</sup>	416.07±22.10 <sup>c</sup>	
	2-乙基丁烯醛(D)	266.459	1.204	152.04±1.40 <sup>b</sup>	30.73±11.02 <sup>d</sup>	228.06±20.73 <sup>a</sup>	59.36±12.62 <sup>c</sup>	52.13±6.49 <sup>cd</sup>	
	异戊醛	186.193	1.403	9 293.44±466.77 <sup>a</sup>	1 608.55±55.75 <sup>d</sup>	5 326.46±292.96 <sup>c</sup>	7 243.51±52.44 <sup>b</sup>	5 473.37±645.62 <sup>c</sup>	巧克力、脂肪味
	丙醛	134.101	1.143	3 228.89±74.44 <sup>a</sup>	487.42±4.09 <sup>d</sup>	1 847.84±102.59 <sup>b</sup>	1 162.04±28.82 <sup>c</sup>	1 047.52±57.95 <sup>c</sup>	刺激性气味,青草气味
	2-甲基丙醛	139.015	1.283	2 244.80±242.99 <sup>a</sup>	102.70±18.92 <sup>d</sup>	542.85±66.77 <sup>c</sup>	860.01±60.76 <sup>b</sup>	488.22±50.29 <sup>c</sup>	香蕉味,微弱坚果气味
	丁醛	164.218	1.282	1 589.74±52.38 <sup>a</sup>	103.77±10.19 <sup>d</sup>	539.20±56.74 <sup>a</sup>	503.25±50.92 <sup>b</sup>	251.72±44.00 <sup>c</sup>	刺激性气味,绿叶气味
	反式-2-己烯醛二甲基乙缩醛(M)	477.084	1.182	578.10±33.02 <sup>c</sup>	252.05±17.88 <sup>c</sup>	2 282.43±87.47 <sup>a</sup>	1 044.44±96.92 <sup>b</sup>	399.17±56.70 <sup>d</sup>	青香、香蕉、脂肪
	反式-2-己烯醛二甲基乙缩醛(D)	475.520	1.520	393.81±18.24 <sup>b</sup>	73.23±41.92 <sup>c</sup>	1 756.77±173.13 <sup>a</sup>	265.90±36.45 <sup>b</sup>	67.71±23.16 <sup>c</sup>	青香、香蕉、脂肪
	酮 6-甲基-5-庚烯-2-酮	684.742	1.180	279.46±76.40 <sup>a</sup>	195.29±20.00 <sup>b</sup>	154.51±17.98 <sup>b</sup>	160.81±19.57 <sup>b</sup>	186.47±13.76 <sup>b</sup>	柑橘味,果味,酮香
	环己酮	586.232	1.148	220.81±16.29 <sup>a</sup>	67.62±32.63 <sup>c</sup>	120.92±25.55 <sup>b</sup>	94.66±34.67 <sup>bc</sup>	86.04±13.02 <sup>bc</sup>	强烈的刺激性气味,泥土味
	1-甲基-2-吡咯烷酮(M)	310.517	1.173	1 930.99±23.62 <sup>a</sup>	613.88±26.39 <sup>b</sup>	299.50±44.54 <sup>c</sup>	236.26±16.12 <sup>c</sup>	269.78±86.50 <sup>c</sup>	酒味、皮质味
	1-甲基-2-吡咯烷酮	310.979	1.368	393.38±14.90 <sup>a</sup>	26.40±6.02 <sup>d</sup>	29.83±4.69 <sup>d</sup>	99.73±9.87 <sup>b</sup>	73.46±11.06 <sup>c</sup>	酒味、皮质味
	1-戊烯-3-酮(M)	252.699	1.079	1 324.92±40.59 <sup>a</sup>	154.75±24.46 <sup>b</sup>	207.97±41.18 <sup>b</sup>	165.14±10.22 <sup>b</sup>	169.22±8.47 <sup>b</sup>	强烈刺激性气味
	1-戊烯-3-酮(D)	252.044	1.313	7 155.21±238.72 <sup>a</sup>	98.90±48.53 <sup>b</sup>	135.14±63.15 <sup>b</sup>	180.60±46.41 <sup>b</sup>	98.18±27.12 <sup>b</sup>	强烈刺激性气味

续表 1

种类	名称	保留时间/s	迁移时间/ms	峰面积					风味描述
				Ra	St	Ro	Fr	Ba	
	2-氟苯基丙酮	145.568	1.122	1 181.43±31.07 <sup>e</sup>	11 581.04±59.45 <sup>d</sup>	12 773.23±99.79 <sup>e</sup>	13 257.99±103.74 <sup>b</sup>	14 161.19±153.66 <sup>a</sup>	清新、苹果、梨
	2-丁酮	178.002	1.246	484.44±23.87 <sup>e</sup>	1 222.59±18.32 <sup>d</sup>	1 871.97±19.84 <sup>e</sup>	2 656.84±52.01 <sup>a</sup>	2 540.39±23.13 <sup>b</sup>	果香,樟脑香味
	羟基丙酮(D)	628.798	1.227	3 992.72±273.11 <sup>a</sup>	174.08±96.89 <sup>b</sup>	356.45±37.37 <sup>b</sup>	212.32±102.44 <sup>b</sup>	306.77±35.53 <sup>b</sup>	刺激性气味、焦糖味
	羟基丙酮(M)	627.582	1.056	235.28±28.47 <sup>d</sup>	367.73±75.85 <sup>c</sup>	775.60±45.52 <sup>a</sup>	605.15±72.21 <sup>b</sup>	720.05±33.38 <sup>a</sup>	刺激性气味、焦糖味
	3-羟基-2-丁酮	597.786	1.066	137.26±59.86 <sup>e</sup>	264.17±16.74 <sup>b</sup>	244.89±8.35 <sup>b</sup>	244.87±13.69 <sup>b</sup>	507.42±18.83 <sup>a</sup>	黄油味、奶油味
	3-戊烯-2-酮(D)	313.212	1.352	142.25±16.27 <sup>e</sup>	36.28±8.44 <sup>e</sup>	111.54±2.74 <sup>d</sup>	474.05±16.89 <sup>a</sup>	307.43±14.44 <sup>b</sup>	
	3-戊烯-2-酮(M)	316.094	1.093	271.17±30.45 <sup>d</sup>	280.69±20.53 <sup>d</sup>	492.05±10.39 <sup>e</sup>	1 125.59±33.72 <sup>b</sup>	827.01±9.14 <sup>a</sup>	
	酯 1-戊烯-3-基乙酸酯	384.530	0.947	1 019.27±35.44 <sup>a</sup>	164.10±36.61 <sup>c</sup>	307.52±4.97 <sup>b</sup>	173.44±32.07 <sup>c</sup>	151.96±20.89 <sup>c</sup>	热带果香
	羟基乙酸丁酯	169.177	1.340	76.37±42.61 <sup>e</sup>	113.66±128.36 <sup>c</sup>	351.73±53.03 <sup>b</sup>	254.78±71.26 <sup>b</sup>	703.38±43.31 <sup>a</sup>	果香
	羟基乙酸丁脂(D)	285.991	1.626	31.35±15.96 <sup>b</sup>	33.63±17.48 <sup>b</sup>	38.51±8.28 <sup>b</sup>	35.98±21.03 <sup>b</sup>	126.07±28.41 <sup>a</sup>	清新的果味、甜味
	丁酰乳酸丁脂	423.519	1.337	395.69±53.65 <sup>bc</sup>	219.09±26.46 <sup>d</sup>	937.51±65.16 <sup>a</sup>	449.76±32.62 <sup>b</sup>	348.57±20.33 <sup>c</sup>	水果香
	丙酸丁酯	360.021	1.288	57.47±17.36 <sup>e</sup>	187.29±16.14 <sup>b</sup>	238.62±18.08 <sup>b</sup>	212.07±85.32 <sup>b</sup>	600.99±53.56 <sup>a</sup>	泥土、甜玫瑰香
	酸 乙酸乙酯	169.177	1.340	43.69±10.20 <sup>e</sup>	218.58±6.96 <sup>b</sup>	325.89±26.35 <sup>a</sup>	171.79±17.14 <sup>b</sup>	331.23±50.38 <sup>c</sup>	清新的果味、甜味
	乙酸(M)	893.611	1.057	3 410.24±137.80 <sup>a</sup>	3 090.18±18.99 <sup>b</sup>	2 910.70±105.06 <sup>c</sup>	2 744.30±91.01 <sup>d</sup>	2 649.19±50.94 <sup>d</sup>	辛辣味
	乙酸(D)	894.000	1.163	476.98±9.06 <sup>a</sup>	263.09±31.71 <sup>b</sup>	232.34±37.28 <sup>bc</sup>	177.00±34.75 <sup>cd</sup>	155.18±37.41 <sup>d</sup>	辛辣味
	呋 2-戊基呋喃	491.550	1.255	12 313.80±850.65 <sup>a</sup>	1 234.35±36.38 <sup>c</sup>	893.85±103.11 <sup>c</sup>	710.53±83.35 <sup>c</sup>	2 243.88±459.05 <sup>b</sup>	果香、蔬菜香味
	其 4-庚胺(M)	377.785	1.240	382.35±7.98 <sup>e</sup>	614.64±10.86 <sup>b</sup>	475.06±22.99 <sup>d</sup>	528.20±28.95 <sup>c</sup>	802.94±24.44 <sup>a</sup>	果香
	他 4-庚胺(D)	377.785	1.601	92.01±14.53 <sup>e</sup>	135.61±5.89 <sup>b</sup>	101.67±7.06 <sup>c</sup>	113.37±15.85 <sup>bc</sup>	274.40±15.02 <sup>a</sup>	果香
	2-甲基吡嗪	554.744	1.095	77.51±10.02 <sup>e</sup>	37.67±14.89 <sup>d</sup>	217.79±34.56 <sup>a</sup>	147.46±9.90 <sup>b</sup>	114.27±14.46 <sup>b</sup>	坚果香、烤香味
	柠檬烯	431.705	1.217	589.33±6.59 <sup>a</sup>	410.40±81.78 <sup>b</sup>	261.81±46.46 <sup>c</sup>	335.96±9.24 <sup>bc</sup>	524.51±42.00 <sup>a</sup>	柠檬、橘子、松油味
	$\beta$ -顺式-戊烯	329.225	1.111	222.47±10.13 <sup>a</sup>	19.46±8.93 <sup>c</sup>	62.27±13.14 <sup>b</sup>	41.35±10.79 <sup>bc</sup>	47.52±23.84 <sup>b</sup>	

† 同行肩标字母不同表示有显著性差异( $P < 0.05$ )。

#### 2.4 不同方式熟化马铃薯挥发性物质的相对含量

由图 6 可以看出,经过 4 种方式熟化后的马铃薯挥发性物质与马铃薯鲜样含有的挥发性物质基本一致,但是各挥发性物质的含量存在一定差异。相比于 St 样品,Ro、Fr、Ba 样品中挥发性有机物含量显著上升。在检出的挥发性化合物中,醇类、醛类和酮类物质含量相对较高,其次是酯类、酸类及呋喃类,这与苏艳玲等<sup>[22]</sup>报道的一致。马铃薯鲜样中醛类含量为 42.00%,蒸制为 22.05%,煎制为 49.68%,炸制为 42.56%,烤制为 35.36%。除蒸制外,其他 3 种熟化方式熟化后的马铃薯醛类物质的相对含量最高,表明醛类物质对马铃薯香味的呈现起主要作用。

#### 2.5 不同方式熟化马铃薯挥发性物质的主成分分析

由图 7 可以看出,PC1、PC2 贡献率分别为 51%、23%,

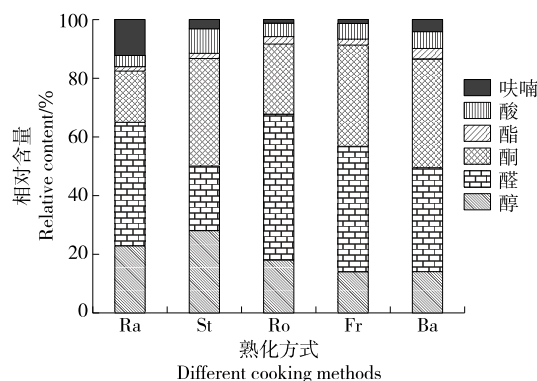


图 6 熟化方式对马铃薯中挥发性物质种类的影响

Figure 6 Effects of different cooking methods on varieties of volatile components in potatoes

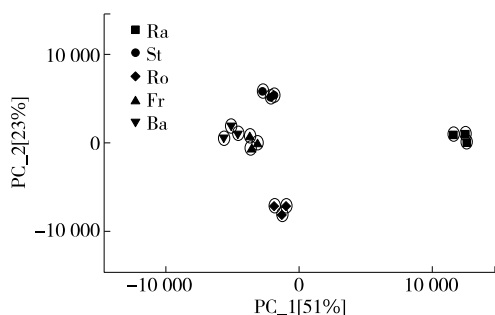


图 7 不同熟化方式马铃薯挥发性风味成分的 PCA 分析图  
Figure 7 Principal component analysis (PCA) plots of volatile compounds in potatoes using different cooking methods

累积贡献率为 74%。说明主成分分析能够充分展示出不同熟化方式马铃薯样品大部分挥发性有机物信息。其中 Fr 样品与 Ba 样品距离较近,表明炸制与烤制之间风味差异较小;4 种熟化样品 (St、Ro、Fr、Ba) 与 Ra 样品之间距离较远,表明经过熟化后马铃薯风味会发生较大改变。

### 3 结论

胡陈马铃薯共检出 75 种挥发性物质,主要成分为醇类、醛类和酮类,其中醛类物质含量最多。胡陈马铃薯中主要的挥发性风味化合物为 3-甲基-1-丁醇、正戊醇、异戊醛、反式-2-辛烯醛、1-戊烯-3-酮。利用气相色谱—离子迁移谱技术检测分析了 4 种方式熟化后的马铃薯样品,对二维图谱进行分析发现差异性图谱能更直观地反映马铃薯挥发性风味成分的区别;指纹图谱可以反映马铃薯的各种风味成分的具体差异,得出蒸制马铃薯香味最弱,煎制、炸制和烤制会增加马铃薯的香气。确定了熟化前后马铃薯特征香气成分及其特征峰,研究显示,蒸制马铃薯呈现出果香味;煎制马铃薯风味以脂肪味、果香味为主;炸制马铃薯含有酥脆性特征气味物质;烤制风味以坚果香为主。

该研究探究了胡陈马铃薯不同熟化方式挥发性物质含量差异。但不同熟化方式马铃薯样品结构特性、消化特性与风味进行结合分析还需要进一步研究。

#### 参考文献

[1] TIAN J H, CHEN J C, YE X Q, et al. Health benefits of the potato affected by domestic cooking: a review[J]. Food Chemistry, 2016, 202: 165-175.

[2] KING J C, SLAVIN J L. White potatoes, human health, and dietary guidance[J]. Advances in Nutrition (Bethesda, Md. ), 2013, 4(3): 393S-401S.

[3] 卢肖平. 马铃薯主粮化战略的意义、瓶颈与政策建议[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2015(3): 1-7.

LU X P. Strategy of potato as staple food: significance, bottlenecks and policy suggestions[J]. Journal of Huazhong

Agricultural University (Social Sciences Edition), 2015(3): 1-7.

[4] LEONEL M, DO CARMO E L, FERNANDES A M, et al. Chemical composition of potato tubers: the effect of cultivars and growth conditions[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(8): 2 372-2 378.

[5] BUTTERY R G, LING L C. Characterization of nonbasic steam volatile components of potato chips[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1972, 20(3): 698-700.

[6] MORRIS W L, SHEPHERD T, VERRALL S, et al. Relationships between volatile and non-volatile metabolites and attributes of processed potato flavour[J]. Phytochemistry, 2010, 71(14/15): 1 765-1 773.

[7] ULRICH D, HOBERG E, NEUGEBAUER W, et al. Investigation of the boiled potato flavor by human sensory and instrumental methods[J]. American Journal of Potato Research, 2000, 77(2): 111-117.

[8] DRESOW J F, BOHM H. The influence of volatile compounds of the flavour of raw, boiled and baked potatoes: impact of agricultural measures on the volatile components[J]. Landbauforschung Volkenrode, 2009, 59(4): 309-337.

[9] ORUNA-CONCHA M J, BAKKER J, AMES J M. Comparison of the volatile components of two cultivars of potato cooked by boiling, conventional baking and microwave baking[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2002, 82(9): 1 080-1 087.

[10] BLANDA G, CERRETANI L, COMANDINI P, et al. Investigation of off-odour and off-flavour development in boiled potatoes[J]. Food Chemistry, 2010, 118(2): 283-290.

[11] SINGH J, KAUR L. Advances in potato chemistry and technology[M]. 2nd ed. Pittsburgh: Academic Press, 2016: 339-368.

[12] CRAIG DUCKHAM S, DODSON A T, BAKKER J, et al. Effect of cultivar and storage time on the volatile flavor components of baked potato[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(20): 5 640.

[13] 孙吉晶, 王丹, 吴林倩. “南方小土豆”的革新之路[N]. 宁波日报, 2024-05-26(1).

SUN J J, WANG D, WU L Q. The innovation road of the "Southern Little potato"[N]. Ningbo Daily, 2024-05-26(1).

[14] 赵兵, 张敏, 梁杉. 过度蒸煮对马铃薯风味化合物组成的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(22): 200-204.

ZHAO B, ZHANG M, LIANG S. Effect of overcooking on flavor compounds of potato[J]. Food Science, 2017, 38(22): 200-204.

[15] 王榛, 陈雷, 潘超, 等. 不同熟化方法对紫色马铃薯挥发性风味物质形成的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(6): 128-133.

WANG Z, CHEN L, PAN C, et al. The effect of different cooking methods on volatile compounds of purple potato[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32 (6): 128-133.

[16] 杨军林, 任亚梅, 张武岗, 等. 基于主成分分析法的熟化马铃



- 薯品质评价[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 70-77.
- YANG L J, REN Y M, ZHANG W G, et al. Quality evaluation of cooked potatoes based on principal component analysis[J]. Food Science, 2018, 39(19): 70-77.
- [17] 李凯峰, 周远平, 王琼, 等. 3种烹调方式下马铃薯风味化合物组分构成的品种间差异比较[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 159-166.
- LI K F, ZHOU P Y, WANG Q, et al. Comparison of volatile components of six potato cultivars cooked by three different methods[J]. Food Science, 2020, 41(20): 159-166.
- [18] 朱丽娜, 孟新涛, 徐斌, 等. 基于气相离子迁移谱检测的轮南白杏气调包装果实采后风味物质变化[J]. 现代食品科技, 2019, 35(8): 294-303.
- ZHU L N, MENG X T, XU B, et al. Changes of postharvest flavor substance in different packages of "Lunnan" apricots using gas chromatography-ion mobility spectroscopy[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(8): 294-303.
- [19] CHEN Y P, CAI O D, LI W Q, et al. Application of gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) and ultrafast gas chromatography electronic-nose (uf-GC E-nose) to distinguish four Chinese freshwater fishes at both raw and cooked status[J]. Journal of Food Biochemistry, 2022, 46(6): e13840.
- [20] JIANG H, DUAN W S, ZHAO Y C, et al. Development of a flavor fingerprint using HS-GC-IMS for volatile compounds from steamed potatoes of different varieties[J]. Foods, 2023, 12(11): 2252.
- [21] 刘国敏, 覃维治, 韦荣昌, 等. 不同品种(系)马铃薯挥发性风味物质对比分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 284-292.
- LIU G M, TAN W Z, WEI R C, et al. Comparative analysis of volatile flavor compounds in different varieties (lines) of potatoes[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 284-292.
- [22] 苏艳玲, 张谨华, 冯雅蓉. 3种不同熟化方式对彩色马铃薯挥发性风味物质组成的影响[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(1): 15-18, 49.
- SU Y L, ZHANG J H, FENG Y R. Effects of three different ripening methods on the composition of volatile flavor compounds in colored potatoes[J]. Cereals & Oils, 2024, 37(1): 15-18, 49.
- [23] 夏兰欣, 周贵华, 王广, 等. GC-MS和GC-IMS分析食用油对熟炕马铃薯挥发性成分的影响[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(12): 236-245.
- XIA L X, ZHOU G H, WANG G, et al. Conjoint analysis of effects of edible oil on volatile components of cooked kang potatoes by GM-MS and GC-IMS[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(12): 236-245.
- [24] 刘春云, 赵鑫琦, 孔令茹, 等. 桑葚白兰地对风干肠挥发性风味成分及品质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(6): 244-253.
- LIU C Y, ZHAO X Q, KONG L R, et al. Effect of mulberry brandy on volatile flavor components and quality of air-dried sausages[J]. Food Science, 2023, 44(6): 244-253.
- [25] 许雪萍, 李静, 范亚苇, 等. 不同烹调方式对猪肉脂质氧化和挥发性风味物质的影响[J]. 食品工业, 2019, 40(1): 151-155.
- XU X P, LI J, FAN Y W, et al. Effects of different cooking methods on lipid oxidation and volatile flavor compounds in pork[J]. The Food Industry, 2019, 40(1): 151-155.
- [26] HUANG Q, DONG K, WANG Q, et al. Changes in volatile flavor of yak meat during oxidation based on multi-omics[J]. Food Chemistry, 2022, 371: 131103.
- [27] HIRAIDE M, MIYAZAKI Y, SHIBATA Y. The smell and odorous components of dried shiitake mushroom, *lentinula edodes* I: relationship between sensory evaluations and amounts of odorous components[J]. Journal of Wood Science, 2004, 50(4): 358-364.
- [28] PETERSEN M A, POLL L, LARSEN L M. Comparison of volatiles in raw and boiled potatoes using a mild extraction technique combined with GC odour profiling and GC-MS[J]. Food Chemistry, 1998, 61(4): 461-466.
- [29] 刘敬科, 刘松雁, 赵巍, 等. 小米粥中挥发性风味物质的分析与研究[J]. 粮食与饲料工业, 2010(11): 31-33, 36.
- LIU J K, LIU S Y, ZHAO W, et al. Analysis and study on volatile flavor compounds in millet porridge[J]. Cereal & Feed Industry, 2010(11): 31-33, 36.
- [30] 刘爽, 潘洪冬, 赵思明. 酥脆薯条的加工工艺与风味特征研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(14): 196-202.
- LIU S, PAN H D, ZHAO S M. Study on the processing technology and flavor characteristics of crispy fries[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(14): 196-202.
- [31] HUAN Y J, ZHOU G H, ZHAO G M, et al. Changes in flavor compounds of dry-cured Chinese Jinhua ham during processing[J]. Meat Science, 2005, 71(2): 291-299.
- [32] 韩沅汐, 蒋思源, 张二豪, 等. 电子鼻结合HS-GC-IMS技术分析不同种类风干肉干挥发性风味特征[J]. 食品工业科技, 2025, 46(11): 281-291.
- HAN A X, JIANG S Y, ZHANG E H, et al. Analysis of volatile flavor characteristics of different types of air-dried jerky based on electronic nose combined with HS-GC-IMS technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(11): 281-291.
- [33] 胡航伟, 巩敏, 梁辰, 等. 基于气相离子迁移谱技术的芋头产地鉴别方法[J]. 食品工业科技, 2023, 44(10): 297-303.
- HU H W, GONG M, LIANG C, et al. Identification method of taro (*Colocasia esculenta* L.) origin based on gas chromatography-ion Mobility spectrometry technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(10): 297-303.
- [34] SCALONE G L L, CUCU T, DE KIMPE N, et al. Influence of free amino acids, oligopeptides, and polypeptides on the formation of pyrazines in maillard model systems[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(22): 5364-5372.