

7 种鱼香肉丝调料智能嗅觉识别

Discrimination of seven Yuxiang shredded pork sauces based on electronic nose

易宇文^{1,2} 范文教² 乔明锋^{1,2} 彭毅秦^{1,2}
YI Yu-wen^{1,2} FAN Wen-jiao² QIAO Ming-feng^{1,2} PENG Yi-qin^{1,2}
邓 静^{1,2} 张 旭² 胡金祥²
DENG Jing^{1,2} ZHANG Xu² HU Jin-xiang²

(1. 烹饪科学四川省高等学校重点实验室, 四川 成都 610100; 2. 四川旅游学院, 四川 成都 610100)

(1. Culinary Science Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 610100, China;
2. Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610100, China)

摘要:对川渝地区 7 种知名品牌的鱼香肉丝调料进行加热前后的电子鼻检测, 结合感官评价和理化指标, 将检测得到的数据进行主成分和聚类分析。结果表明: 电子鼻能够将加热前后的 7 种鱼香肉丝调料进行有效区分; 四川地区的鱼香肉丝调料在加热前表现出明显的相似性, 加热后相似性降低; 重庆地区的鱼香肉丝调料加热前后未表现出相似性; 相对加热前, 7 种鱼香肉丝调料在加热后气味物质差异明显, 可能与其使用的原材料及加热过程中理化反应有关。

关键词:鱼香肉丝调料; 电子鼻; 理化指标; 主成分分析; 聚类分析; 感官评价

Abstract: In this study, seven Yuxiang shredded pork sauces in Sichuan and Chongqing area were measured by an electronic nose before and after heating respectively, combined with principal component analysis (PCA) and cluster analysis (CA), as well as in combination with sensory evaluation and physical and chemical indicators. The results showed that electronic nose could effectively distinguish the seven Yuxiang shredded pork sauces before and after heating. Compared with heated, the Yuxiang shredded pork sauces in Sichuan area showed obvious similarities before heating, however, the Yuxiang shredded pork sauces in Chongqing area didn't show similarities whether heated or not. Some obvious changes about the odor of the seven Yuxiang shredded pork sauces between heated and without heating were observed.

基金项目:四川省教育厅资助项目(编号:16ZA0349); 烹饪科学四川省高等学校重点实验室资助项目(编号:PRKX2015Z11); 四川旅游学院大学生科研资助项目(编号:201511552035)

作者简介:易宇文, 男, 四川旅游学院副研究员, 硕士。

通信作者:乔明锋(1985—), 男, 四川旅游学院讲师, 博士。

E-mail: 84564650@qq.com

收稿日期:2016-07-22

and this might may attributed to their raw materials and the physical and chemical reactions in the heating process.

Keywords: Yuxiang shredded pork sauce; E-nose; physico-chemical property; PCA; CA; sensory evaluation

复合调味料是指以特殊的加工工艺将两种或两种以上的单一调味料调配而成的一种食品添加剂^[1], 具有食用方便、味型多样化、技术应用高新化、传统调料现代化等特点^[2]。川渝地区的鱼香肉丝调料属于复合调味料的一种, 它咸甜酸辣兼备, 姜葱蒜香气浓郁, 具有煮鱼时的香气, 顾名鱼香味。且该地区是鱼香味的发源地, 其风味地道、正中, 具有很强的代表性。随着现代生活节奏的加快, 市场上出现了鱼香味复合调味料, 这种复合调味料以传统配方为基础, 结合现代食品加工技术加工而成。

气味是评价食品的重要指标, 一般来讲, 在评价食品的气味时, 主要依靠人的嗅觉, 即鼻子, 但生理嗅觉易受个体差异、生理状况、心里状况和喜好差异的影响, 导致结果不稳定、重现性差, 甚至结果相反。智能嗅觉识别系统(电子鼻)是 20 世纪中后期发展起来的一种模拟人嗅觉的传感技术, 它利用传感器阵列分析气味物质, 获得相应的响应信号, 然后利用参数模型技术^[3]将响应信号处理成数据, 最后获得图谱, 形成不同气味之间的差异。电子鼻的出现能够避免生理嗅觉的缺陷, 保证评价结果的一致性、稳定性和重现性。目前智能嗅觉识别主要应用于鉴别乳类^[4-5]、水产品^[6-7]、油脂^[8-9]、水果^[10-11]、畜产品^[12-13]等。

鱼香肉丝调料在菜肴炒制时, 赋予原料鱼香味, 而不同品种或者相同品牌的鱼香肉丝调料在加热前后其风味物质是否有变化, 这种变化是否在可接受的范围内, 目前未见相

关报道。本研究拟采用电子鼻技术,结合感官评价和理化指标,利用主成分和聚类分析等方法,比较川渝地区7种鱼香肉丝调料风味物质的差异及其在加热前后的变化,以期为企业改进配方和工艺提供参考。

表1 7种鱼香肉丝调料样品信息表

Table 1 Samples information of 7 Yuxiang shredded pork sauces

| 序号 | 配料 | 生产日期 | 产地 |
|----|---|------------|--------|
| 1 | 植物油、豆瓣、泡辣椒、泡姜、酿造酱油、酿造食醋、食用盐、豆豉、白砂糖、味精、食品添加剂 | 2016/03/26 | 重庆市渝北区 |
| 2 | 白砂糖、食用盐、大蒜、泡椒、香辛料、花生、谷氨酸钠、冰乙酸、柠檬酸焦糖色、豆瓣、植物油、食醋、鸡精、老姜、高鲜精(谷氨酸钠、5'-呈味核苷酸二钠、琥珀酸二钠)、辣椒红 | 2016/02/16 | 重庆九龙坡区 |
| 3 | 植物油、郫县豆瓣、泡辣椒、生姜、酿造酱油、酿造食醋、食用盐、大蒜、白砂糖、谷氨酸钠、酵母提取物、香辛料、山梨酸钾、食用香精 | 2016/03/17 | 成都市温江区 |
| 4 | 酿造酱油、植物油、姜、蒜、辣椒、白砂糖、酿造食醋、食用盐、食品添加剂(谷氨酸钠、山梨酸钾) | 2016/03/01 | 成都市大邑县 |
| 5 | 辣椒、植物油、白砂糖、食用盐、蒜、酿造食醋、酿造酱油、姜、黄酒、柠檬酸、酵母抽提物、5'-呈味核苷酸二钠、山梨酸钾、辣椒红 | 2016/02/22 | 成都市双流县 |
| 6 | 辣椒、植物油、白砂糖、食用盐、蒜、食醋、酱油、姜、水、食品添加剂(红曲米、谷氨酸钠、焦糖色、苯甲酸钠、山梨酸钾) | 2015/08/14 | 成都市新都县 |
| 7 | 植物油、腌渍辣椒(酱腌菜)、蒜、白砂糖、酿造酱油、酿造食醋、食用盐、姜、水、食用香精、食品添加剂(谷氨酸钠、5'-呈味核苷酸二钠、山梨酸钾) | 2016/03/03 | 成都市武侯区 |

1.2 仪器设备

数显集热式磁力搅拌器:DF-II型,金坛市杰瑞尔电器有限公司;

多功能食品安全测温仪:CEM IR-97型,深圳华盛昌机械实业有限公司;

电子鼻:FOX 4000型,法国Alpha MOS公司,该仪器由18种金属氧化物传感器组成,分布在主机的3个矩阵室,每个矩阵室内有6个传感器,每个传感器对一类或者几类物质敏感。

1.3 电子鼻分析方法

1.3.1 样品处理 未加热样品:从包装袋中取出样品,准确称量0.5000 g,放入顶空瓶,密封、编号,待用。加热样品:在磁力搅拌锅内加入植物油,加热至120℃;在烧杯内加入鱼香肉丝调料,放入搅拌子,将烧杯放入油浴锅,开始加热,每隔10 s测一次温度,当温度达到110℃时,开始计时,保温5 min,保温结束后,准确称量0.5000 g,放入顶空瓶,密封、编号,待用。

1.3.2 电子鼻分析 电子鼻分析条件:顶空产生温度70℃;顶空加热时间300 s;载气流量150 mL/s;进样量500 μL;进样速度500 μL/s;数据采集时间120 s;数据采集延迟180 s;手动进样。每个样品平行测试3次。取传感器在第120 s时获得信号进行分析,此时信号输出最为稳定。

1.4 感官评价

鱼香肉丝的特点是姜葱蒜香味浓郁、酸甜适口。样品配方中都未使用葱,故感官评价从蒜香味、姜香味、醋香味和总体香味4个维度对鱼香肉丝调料进行评价。样品处理方式按照1.3.1中加热样品处理;评价人员由7名川菜烹饪大师

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用7种鱼香肉丝调料样品信息见表1。

担任;采用李华等^[14]的统计分析方法以避免评价尺度、评价位置和评价方向上的差异。其评价标准见表2。

表2 鱼香肉丝调料香味感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standard of Yuxiang shredded pork sauce

| 蒜香味(35分) | 姜香味(10分) | 醋香味(25分) | 总体香味(30分) |
|------------------|--------------|------------------|--------------------------|
| 有寡淡的蒜香味(1~10) | 有寡淡的姜香味(1~5) | 有醋香味(1~8) | 总体香气寡淡(1~10) |
| 蒜香味浓郁但不协调(11~20) | 有姜的香味(6~10) | 有醋香味但刺激不协调(9~15) | 总体香气比较浓郁但鱼香不突出(11~20) |
| 蒜香味浓郁协调(21~35) | | 醋香味浓郁而且协调(16~25) | 总体香气浓郁,各种香气协调鱼香突出(21~30) |

1.5 理化检测

蛋白质含量的测定:按GB 5009.5—2010执行。

总酸含量的测定:按GB/T 12456—2008执行。

总糖含量的测定:按GB/T 9695.31—2008执行。

1.6 数据分析

主成分分析(principal component analysis, PCA),是一种多元统计分析方法,它在线性变化后的众多变量中选取具有决定性的两个变量(PC1和PC2),形成二维图,作为判别物质的依据,其中PC1和PC2的贡献率超过70%以上时即可反应出物质的总体特征^[15]。聚类分析(cluster analysis, CA),是将研究对象分为相对同质的群组的统计分析方法,

把参与聚类的每个样本当作一类,然后根据它们之间的相似性逐步合并相同的项,最后成为一个大类^[8]。数据分析与作图采用 Origin 9.1。

2 结果分析

2.1 鱼香肉丝调料加热前后理化指标检测结果

鱼香肉丝调料中挥发性风味物质,主要来源于美拉德反应的产物及原料中的热敏感性物质。其中,蛋白质和糖的存在是美拉德反应的必备条件;醋中的醋酸在受热时会挥发出刺激性气体;大蒜中的大蒜素受热后气味物质会发生变化^{[16]4-5}。表 3 中,蛋白质和总糖含量在加热后总体呈下降趋势,应是美拉德反应消耗所致。相对于加热前,总酸的含量有降有升,降低可能是醋酸一类的物质受热产生挥发性气

体消耗所致;升高可能是乳酸一类的物质溶解出原料所致。

2.2 鱼香肉丝调料加热前后电子鼻雷达响应信号对比

对川渝地区 7 种知名品牌的鱼香肉丝调料,分别进行加热前后的电子鼻检测,获得电子鼻传感器在第 120 s 时的稳定响应信号强度值,作为检测值。图 1 中可以清晰地反应出,同一根传感器对不同样品的响应强度是不一致的,加热后样品信号更强,说明电子鼻能够将他们有效区分开来。1、5 和 7 号样品加热前后变化不大,而 2、3、4 和 6 号样品变化较大,其响应值变化较大的主要体现在 P40/2、P30/1、PA/2 3 根传感器上,而这 3 根传感器对有机化合物、可燃气体和氧化能力较强的气体敏感;说明样品在加热后,风味物质中的碳氢化合物、含硫化合物和醇类化合物可能损失严重^[17]。

表 3 7 种鱼香肉丝调料加热前后理化指标检测结果

Table 3 The results of physical and chemical indexes (before and after heating) of 7 Yuxiang shredded pork sauces

| 序号 | 蛋白质/(10 ⁻² g·g ⁻¹) | | 总酸/(g·L ⁻¹) | | 总糖/(10 ⁻² g·g ⁻¹) | |
|----|---|-----------|-------------------------|------------|--|------------|
| | 加热前 | 加热后 | 加热前 | 加热后 | 加热前 | 加热后 |
| 1 | 1.50±0.03 | 0.74±0.03 | 7.95±0.06 | 7.83±0.11 | 26.99±0.03 | 22.22±0.09 |
| 2 | 2.50±0.20 | 1.11±0.04 | 8.10±0.13 | 8.10±0.18 | 29.25±0.11 | 13.35±0.03 |
| 3 | 1.72±0.08 | 0.97±0.01 | 7.10±0.03 | 7.63±0.10 | 23.96±0.03 | 20.24±0.03 |
| 4 | 0.72±0.03 | 0.72±0.01 | 7.15±0.07 | 7.63±0.43 | 19.30±0.36 | 16.98±0.12 |
| 5 | 1.33±0.03 | 1.03±0.03 | 21.70±0.13 | 12.70±0.18 | 25.87±0.09 | 24.23±0.03 |
| 6 | 1.34±0.04 | 1.13±0.03 | 11.67±0.18 | 8.57±0.09 | 25.24±0.14 | 22.08±0.12 |
| 7 | 1.65±0.06 | 0.72±0.04 | 5.70±0.18 | 6.30±0.09 | 24.90±0.04 | 8.72±0.01 |

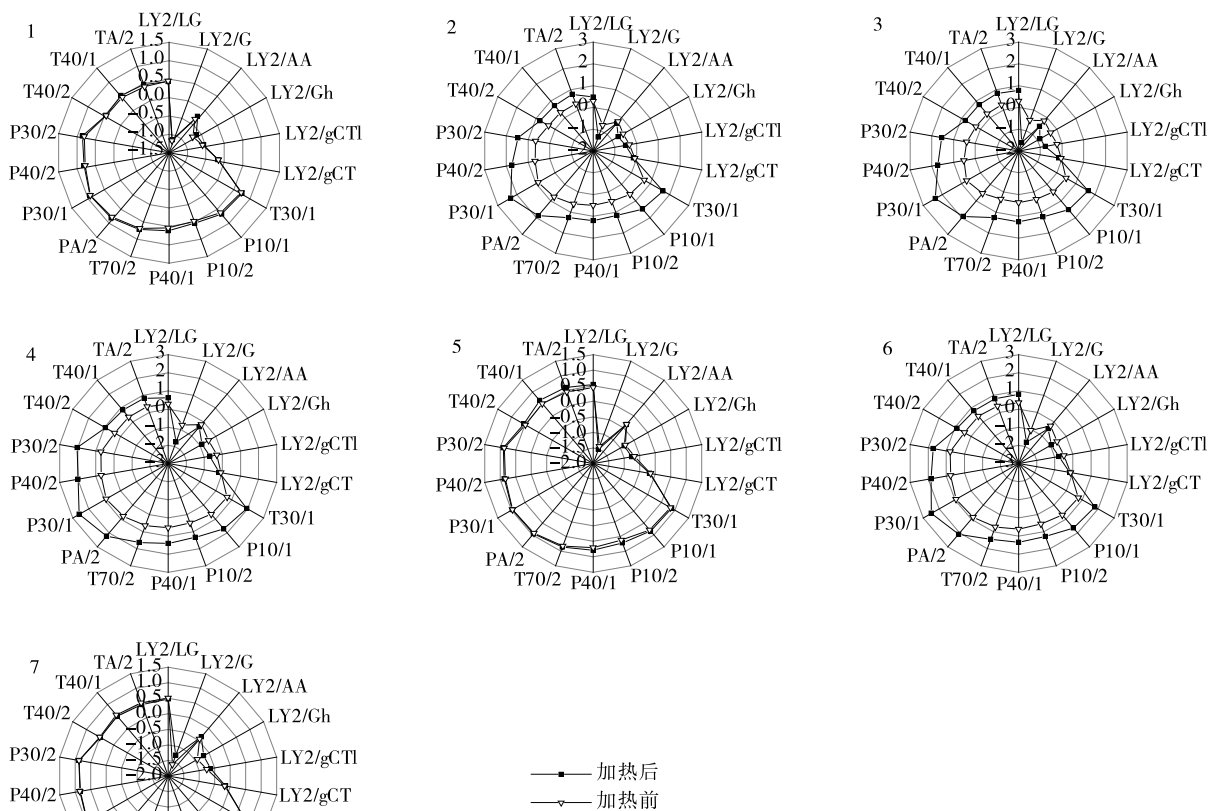


图 1 7 种鱼香肉丝调料加热前后电子鼻响应雷达图

Figure 1 The radar map of E-nose responses (before and after heating) of 7 Yuxiang shredded pork sauces

2.3 鱼香肉丝调料加热前后 PCA 分析

利用电子鼻分析加热前后的 7 种鱼香肉丝调料。由图 2(a)可知,主成分 1(PC1)和主成分 2(PC2)贡献率分别为 97.34% 和 2.64%,其总贡献率达到 99.98%,总体识别指数为 92,说明对采集的数据信息进行线性变换和降维时,主成分被有效保存,能够较好地反应物质的多指标信息。7 个样品均匀地分布在 4 个象限,说明电子鼻能够将其有效区分开来,也说明样品之间具有某些相似性。2 号样品单独分布在第二象限,说明它与其他样品间的差异明显;由表 1,分析 2 号样品的配方,配料与其他样品不同的原料有冰乙酸、花生,由此可以推测,造成这种差异可能是冰乙酸受热产生的刺激性气体,以及花生和白糖受热发生美拉德反应生成特征香气内酯类和呋喃类化合物^[18]造成的,另外,表 3 中理化指标中的总酸及蛋白质含量也能印证推测。3、4 号样品,1、6 号样品以及 5、7 号样品分别分布在坐标轴的不同区域,说明他们两两相似度较高;分析这 6 种调味品的产地,发现 3 号(产地:成都温江区)和 4 号(产地:成都市大邑县)、5 号(产地:成都双流县)和 7 号(产地:成都武侯区)表现出明显的地域相似性。温江区和大邑县位于成都市的西面,而双流县和武侯区位于成都市南面。由此可见成都市西面和南面对鱼香味的认识是有区别的,尽管他们紧紧相连,仅有方位上的差异。

由图 2(b)可知,有 3 个样品分布在纵坐标的右面,4 个样品分布在左面,与加热前相比,其相对位置均发生了变化,说明加热对样品影响较大。相对位置变化不大的是 5、7 号样品,而 3、4 号样品变化比较大,分析其配料表,3 号比 4 号多了食用香精和香辛料,二者在加热后其相似度降低,应该是这些物质在加热后挥发出来较多香气物质,使其区别明显。在 1、6 号样品组中,1 号相对位置变化不大,但 6 号位置变化较大,这说明加热对 6 号影响大,分析 1、6 号样品的配料表,发现 1 号中使用了含水量较大的泡辣椒、泡姜和豆豉等,而其他配料与 6 号基本一致;当进行顶空富集加热(70 °C)时,由于温度不高,所挥发的风味物质并不能有大量的富集,而使 1 号和 6 号相似度高;加热(120 °C)后,6 号的相对位置发生了较大变化,造成这种变化可能是 6 号中的食醋^[19]、及大蒜中的热敏性物质大蒜素^[16]受热损失较多;而 1 号中由于部分原料含水量较高,在加热时,部分水分蒸发了,挥发性物质损失并不多,所以其相对位置变化不大。2 号样品的相对位置也发生了较大变化,可能是加热(120 °C)过程发生美拉德反应,但是生成的香气物质在加热过程中分散到空气中。当再次进行顶空富集加热(70 °C)时,2 号不会在再此温度发生美拉德反应,同时由于冰乙酸的挥发,导致 2 号在加热前后变化较大。

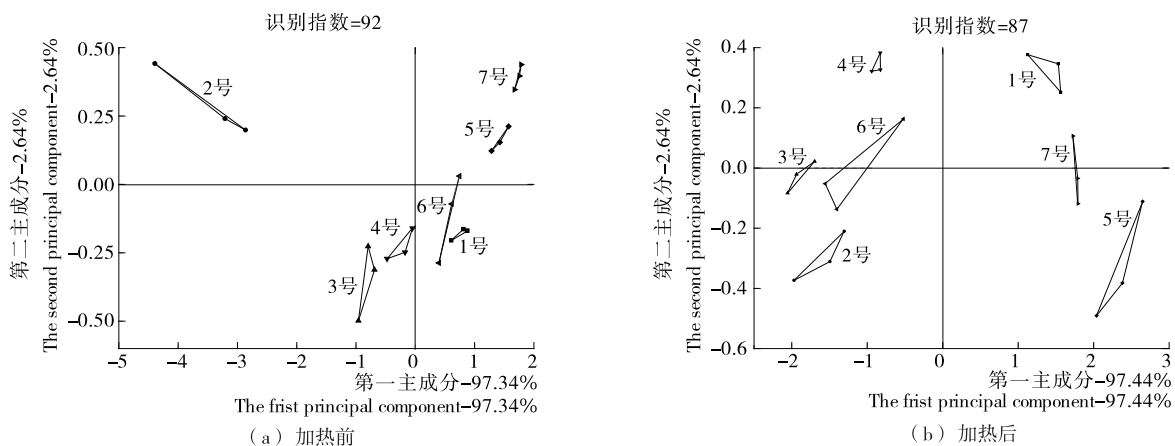


图 2 7 种鱼香肉丝调料加热前后的 PCA 分析

Figure 2 The principal component analysis of 7 Yuxiang shredded pork sauces (before and after heating)

2.4 鱼香肉丝调料加热前后聚类分析

由图 3(a)可知,1、6 号样品,5、7 号样品以及 3、4 号样品,两两相似度高。其中相似度最高的是 1、6 号样品,香气最为相似,这与它们在 PCA 中的分布是一致的,都分布在第四象限。相比之下,相似度最低的是 3、4 号样品,香气差异性较为明显。1、6 号样品在 0.057 91 时聚为一类;5、7 号样品在 0.090 62 时聚为一类;3、4 号样品在 0.127 47 时聚为一类;这与 PCA 分析中他们分别分布在第四、一和三象限是一致的。在标度为 0.358 41 时,1、6、5、7、3 和 4 号样品聚为一类,说明它们有一定的相似性;在标度为 0.820 62 时,7 个样品聚为一类;另外,2 号样品与其他样品的差异是非常明显的,这也与其在 PCA 分析中单独分布在第二象限是一致的。

前 1、6 号样品,5、7 号样品以及 3、4 号样品两两聚类变成 1、7 号样品在标度为 0.203 48 时聚类,且与 5 号样品在标度为 0.357 38 时聚为一类,这与 PCA 分析中它们分布在纵坐标的右面是一致的。2、3 号样品也在标度为 0.197 85 时聚类;4、6 号样品在标度为 0.206 72 时聚类;2、3 号样品与 4、6 号样品在 0.275 88 是聚为一类,这也印证了 PCA 分析;在标度为 1.046 71 时,可以将 7 个样品为聚为一类。

2.5 鱼香肉丝调料加热后感官评价

由图 4 可知,加热前,1、6 号样品的评分为 56.64 和 55.43 分;3、4 号样品得分分别为 71.71 和 69.89 分,其差异很小,可以认为它们两两相似。再结合主成分和聚类分析,能够印证感官评分的结果,说明感官评价能够与仪器分析的结果互相印证。5、7 号样品的得分分别是 60.43 和 72.58,这与

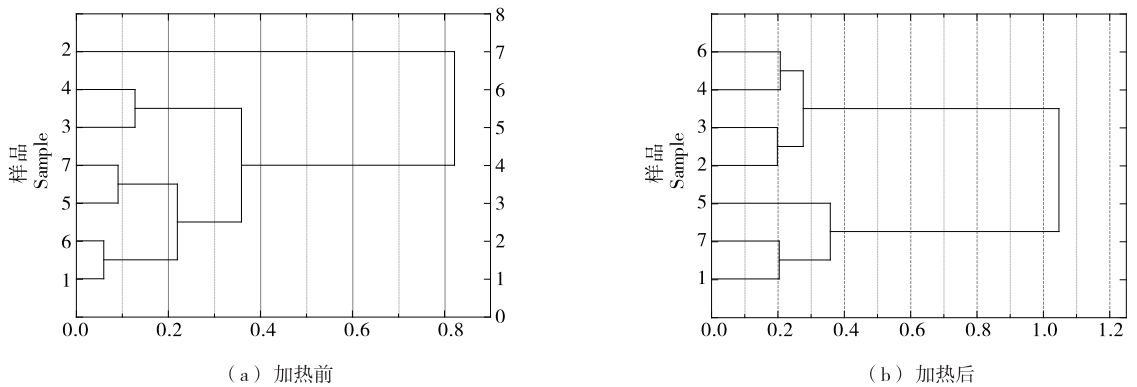


图 3 7 种鱼香肉丝调料加热前后样品聚类分析

Figure 3 The clustering analysis of 7 Yuxiang shredded pork sauces (before and after heating)

主成分和聚类分析的结果是不一致的,这可能与人的嗜好、生理状况、心理状况和环境等有关。

由图 4 还可以看出,加热后样品的感官评分总体上呈下降趋势,说明在加热的过程中应该有较多的挥发性物质散失。2、4、6 号样品的得分分别为 44.14,41.08,46.43 分,得分比较靠近,可以近似地认为这 3 个样品比较相似,香气物质接近,这与主成分和聚类分析的结果基本一致。而在主成分和聚类分析中,3 号样品与 2、4、6 号样品非常相似,但在感官评价中差异却较大,这可能与评价人的嗜好、心理状况等有关。1、5、7 号样品的得分分别是 47.40,52.29,50.00 分,这 3 个样品的感官评分比较靠近,可以认为差异性小,这与主成分(这 3 个样品都分布在纵坐标的右面)和聚类分析的结果是一致的。

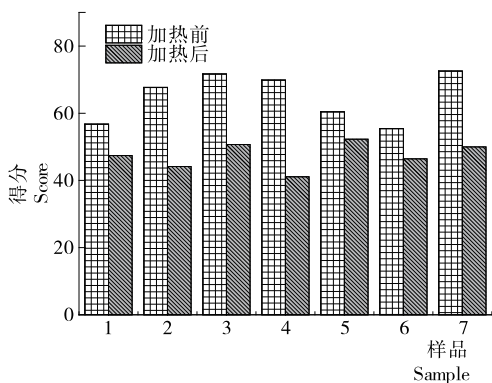


图 4 7 种鱼香肉丝调料加热前后感官评分

Figure 4 The sensory score (before and after heating) of 7 Yuxiang shredded pork sauces

3 结论

本研究结合感官评价和理化分析,利用电子鼻技术检测川渝地区 7 种知名品牌的鱼香肉丝调料,及其在加热前后风味物质的变化。结果表明电子鼻能够有效区分川渝地区的鱼香肉丝调料,加热前后的识别指数分别为 91 和 87。鱼香肉丝调料在加热前表现出比较明显的地域相似性,处于成都市南面的产品相似性高,处于成都西面的产品相似性也比较高;但重庆地区的样品未表现出相似性,这与重庆地区的两

个样品的配料差异较大有关。鱼香肉丝调料的相似性在加热前后变化非常大,在加热前表现出明显的地域聚类,加热后地域聚类消失,区别明显;另外,研究结果还表明鱼香肉丝调料的配料对产品的相似度影响较大。由于条件限制,并未指出是何种物质的损失造成加热前后相似性差异较大。但该研究结果对鱼香肉丝调料的生产具有一定的理论指导意义。

参考文献

- [1] 中华人民共和国卫生部. GB 2760—2014 食品添加剂使用标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 1.
- [2] 江新业. 浅论复合调味料的发展[J]. 中国酿造, 2015, 34(1): 13-17.
- [3] 王平. 人工嗅觉与人工味觉[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2007: 17.
- [4] 王宠, 梁琪, 甘伯中, 等. 电子鼻在干酪风味检测中的应用[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 250-253.
- [5] BOUGRINI Madiha, TAHRI Khalid, HADDI Zouhair, et al. Aging time and brand determination of pasteurized milk using a multisensor e-nose combined with a voltammetric e-tongue[J]. Materials Science and Engineering: C, 2014, 45: 348-358.
- [6] KANG Nae Kyung, JUN Tae-Sun, YANG Yoon Seok, et al. Analysis of Volatile Flavor Compounds in Milk Using Electronic Nose System [J]. Journal of Sensor Science and Technology, 2014, 23(5): 320-325.
- [7] 熊青, 谢晶. 气味指纹技术在水产品质量检测中的应用[J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 227-230.
- [8] 吴浩, 刘源, 顾赛麒, 等. 电子鼻、电子舌分析和感官评价在鱼糜种类区分中的应用[J]. 食品工业科技, 2013, 34(18): 80-82.
- [9] DORA Melucci, ALESSANDRA Bendini, FEDERICA Tesini, et al. Rapid direct analysis to discriminate geographic origin of extra virgin olive oils by flash gas chromatography electronic nose and chemometrics[J]. Food chemistry, 2016, 204: 263-273.
- [10] 陈辰, 鲁晓翔, 张鹏, 等. 基于电子鼻技术的玫瑰香葡萄贮藏期快速判别[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 137-141.
- [11] HONG Xue-zhen, WANG Jun. Use of electronic nose and tongue to track freshness of cherry tomatoes squeezed for juice consumption; comparison of different sensor fusion approaches [J]. Food and Bioprocess Technology, 2015, 8(1): 158-170.

(下转第 54 页)

表7 与国家标准方法效果比对
Table 7 Effect comparison with the national standard method

| 方法 | 样品消化与预还原过程 | 试剂 | 样品检出限/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 处理方式 |
|------------|---|-----------------------|--|----------------------------|
| 本法 | 直接消化 2~3 h, 加入 5% HCl 溶液至沸腾, 不超过 5 min, 电动萃取 10 min; 硒元素态化: 无 | 5% 硫脲 + 5% 抗坏血酸(毒性微弱) | 0.005 | 萃取中通过离子交换膜选择性滤过 |
| 氢化物原子荧光光谱法 | 预消化 12 h, 消化 2~3 h, 加入 6 mol/L HCl 溶液, 硒的预还原时间未明确说明; 硒元素态化: 超过 5 min, 有损失 | 铁氰化钾(毒性较小) | 0.025 | 未做说明 |
| 荧光法 | 烘干 6~24 h, 消化 2~3 h, 加入 10% HCl 溶液, 硒的预还原时间未明确说明; 硒元素态化: 超过 5 min, 有损失 | DAN 试剂(毒性较大, 需要暗室操作) | 0.020~1.000 | 当某些蔬菜、水果出现沉淀, 以加热出现滚滚白烟为终点 |

方法, 在保证试验结果准确的前提下, 具有耗时少、试剂毒性小、预还原过程准确稳定、样品检出限低和能消除复杂基体影响的优点。

3 结论

本研究将电驱动膜萃取技术应用于蔬菜、水果的硒元素检测中, 设计了一种电驱动膜萃取装置, 提出了新的检测方法, 回收率达到 88.0%~96.7%, 实际样品检出限达到 0.005 mg/kg, 精密度高。同时做标准物质比对并与第三方检验机构进行能力验证, 结果准确、符合要求。将本方法与国家标准方法关键步骤进行了比较, 结果表明, 本法具有更低的样品检出限和更高的工作效率, 更适用于蔬菜、水果中硒含量的检测, 将对我国富硒产业的发展起到积极促进作用。

试验中, 因样品消化液含酸, 转移入样品池中会导致其溶液电导率值不断变大。若样品池中溶液电导率值接近接收瓶中溶液电导率值, 装置的富集效率和重复性会受到影响。研究符合试验要求的最低电导率差值和如何降低样品消化液对样品池溶液电导率值影响的方法, 有待进一步研究。

参考文献

- [1] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.93—2010 食品安全国家标准 食品中硒的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 1-3.
- [2] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.93—2010 食品安全国家标准 食品中硒的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 3-6.
- [3] 国家环境保护局. GB/T 15505—1995 水质 硒的测定 石墨炉

原子吸收分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995: 631-633.

- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. SN/T 2208—2008 水产品中钠、镁、铝、钙、铬、铁、镍、铜、锌、砷、镉、钼、铅、汞、硒的测定 微波消解-电感耦合等离子体-质谱法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008: 1-3.
- [5] 弓巧娟, 杨海英. 石墨炉原子吸收法测定黑花生中的硒[J]. 分析测试学报, 2011, 30(2): 218-221.
- [6] 张喜琦, 张卉, 王骏, 等. 不同蔬菜中硒累积量及硒生物富集能力差异研究[J]. 江苏农业科学, 2009(4): 170-171.
- [7] 刘兴艳, 柏杉杉, 张希. 水果中硒含量的研究[J]. 四川师范大学学报: 自然科学版, 2010, 33(4): 526-528.
- [8] 王军, 刘从强, 王莹莹. 电感耦合等离子体质谱测量硒的研究进展[J]. 质谱学报, 2008, 29(5): 311-320.
- [9] 董文丽, 李和平, 徐刚. 离子缔合体系测定痕量硒(IV)的研究与应用[J]. 食品与机械, 2006, 29(5): 81-83.
- [10] 王玉军, 骆广生, 戴猷元. 膜萃取的应用研究[J]. 现代化工, 2000, 20(1): 13-18.
- [11] 徐铜文. 离子交换膜的重大国家需求和创新研究[J]. 膜科学与技术, 2008, 28(5): 1-10.
- [12] 孙建楠. 一种新型的样品前处理技术—电膜萃取的发展及应用[J]. 济宁医学院学报, 2015, 2(3): 86-91.
- [13] 黄森. 砷和硒的电动萃取/原子荧光光谱新方法研究[D]. 北京: 中国科学技术大学, 2014: 3-7.
- [14] 陈世洋, 施周, 李学瑞, 等. 阴离子交换膜分离饮用水中 Cr(VI)的研究[J]. 膜科学与技术, 2014, 34(1): 96-100.
- [15] 盛聚, 谢式千, 潘承毅. 概率论与数理统计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 184-187.

(上接第 31 页)

- [12] 朱成林, 兰秋雨, 李诚, 等. 花椒添加量对卤兔腿挥发性风味物质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 154-159.
- [13] WANG Jun, HONG Xue-zhen, WANG Yong-wei, et al. Discrimination of storage time for pork using Metal Oxide Semiconductor (MOS)-type E-Nose [J]. Sensors and materials, 2013, 25(4): 257-268.
- [14] 李宁, 郑福平, 李强, 等. 电子鼻对牛奶, 奶油, 奶味香精检测参数的研究[J]. 食品科学, 2009(18): 335-339.
- [15] 李华, 刘曙东, 王华, 等. 葡萄酒感官评价结果的统计分析方法

研究[J]. 中国食品学报, 2006, 6(2): 126-131.

- [16] 王赛赛. 蒜油的纯化及其微胶囊化研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2011: 3-5.
- [17] 郑平安, 黄健, 孙静, 等. HS-SPME 结合 GC-MS 法分析鲈鱼肉加热前后挥发性成分变化[J]. 食品科学, 2012, 33(14): 242-246.
- [18] 阚建全. 食品化学[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2008: 376-377.
- [19] 张丽娟. 恒顺香醋醋酸发酵过程中风味物质的变化分析[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 3-5.