

# 电子舌技术在甜面酱口感评价中的应用

王璐, 黄明泉\*, 孙宝国, 田红玉, 陈海涛

(北京工商大学 食品添加剂与配料北京高校工程研究中心, 北京市食品风味化学重点实验室, 北京 100048)

**摘要:** 对7种不同品牌的甜面酱用电子舌交叉型传感器进行检测, 同时测定其4项理化指标(总酸值、氨基态氮值、食盐含量、还原糖含量), 所得数据用主成分分析法(PCA)进行分析比较, 并将电子舌传感器响应信号值与理化指标进行了简单相关性分析(CCA), 研究表明: 该电子舌可以从综合口感方面对7个品牌的甜面酱样品进行有效的区分, 并且理化指标和传感器相应信号之间具有较强相关性。因此, 电子舌技术有望应用于甜面酱生产的在线监控, 以保证其品质的一致性与评价的客观性。

**关键词:** 电子舌; 甜面酱; 理化指标; 主成分分析; 相关性分析

## Application of Electronic Tongue Technique in Taste Evaluation of Sweet Sauce

WANG Lu, HUANG Ming-quan\*, SUN Bao-guo, TIAN Hong-yu, CHEN Hai-tao

(Beijing Key Laboratory of Flavor Chemistry, Beijing Higher Institution Engineering Research Center of Food Additives and Ingredients, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** Seven different brands of sweet sauces were evaluated using electronic tongue with cross-type sensors, and four physicochemical indices including total acid value, amino nitrogen value, salt content and reducing sugar content of these sweet sauces were also determined. The acquired data were analyzed by principal component analysis (PCA) and canonical correlation analysis (CCA). Results demonstrate that electronic tongue technique was very effective in discriminating 7 different sweet sauce brands according to overall taste evaluation. Moreover, an obvious correlation between physicochemical indices and sensor response signals was observed. Accordingly, electronic tongue technique can be hopefully applied for online production monitoring of sweet sauce so as to ensure consistency and objectivity in quality evaluation.

**Key words:** electronic tongue; sweet sauce; physicochemical index; PCA; CCA

中图分类号: TS207.3

文献标识码: B

文章编号: 1002-6630(2012)20-0347-05

甜面酱又称面酱或甜酱, 它是以面粉、小麦粉为主要原料, 经过制曲和保温发酵酿制而成的半固体状调味料。我国生产甜面酱历史悠久, 北魏贾思勰的《齐民要术》中就记载了“作麦酱法”(类似现在的甜面酱), 到清代对其制法和在菜肴中的运用记载得更为详细, 《调鼎集》《养小录》《随园食单》都记载了甜酱的制法及其运用, 李化楠的《醒园录》除记了制法外, 还指出了“做酱诸忌”、“做酱用水”等要点, 由此看出面酱的酿造和食用在当时已经相当普及<sup>[1]</sup>。甜面酱口感甜中带咸, 并带有浓郁的酱香和酯香, 既可作为美味的菜点直接食用, 又可用于酱爆、酱烧及凉拌等多种烹饪方式, 同时也是酱制各种酱腌菜的主要辅料, 是餐桌上必不可少的调味品。

目前, 国内外对酱类制品的研究仍以其加工工艺的优化<sup>[2-5]</sup>和功能营养成分的分析<sup>[6-10]</sup>为主, 而对其风味和滋

味的分析也主要以豆类为原料的酱制品为研究对象, 如酱油<sup>[11-13]</sup>、黄酱<sup>[14-15]</sup>、豆瓣酱<sup>[16-17]</sup>等。近年来, 对于面酱风味口感的研究逐步发展起来, 尤其是对其挥发性风味物质的研究日益成熟。曾灿伟<sup>[18]</sup>通过对甜面酱发酵过程的动态检测探讨发酵温度、湿度对挥发性成分的影响。金华勇等<sup>[19]</sup>通过顶空固相微萃取技术比较了3种传统甜面的挥发性成分。张玉玉等<sup>[20]</sup>利用同时蒸馏萃取法和气相色谱—质谱(GC-MS)联用技术, 对“六必居”甜面酱的香气成分进行了分析。孟驾等<sup>[21-23]</sup>采用同时蒸馏萃取、溶剂萃取和顶空固相微萃取3种萃取方法, 分别与GC-MS联用分析甜面酱的挥发性成分, 并对3种萃取方法的分析结果进行了比较, 同时还探讨了前期发酵温度、光照等因素对挥发性成分形成的影响。但是, 对甜面酱口感评价和滋味分析的研究鲜有报道。

电子舌(electronic tongue)作为模仿人体味觉机理研

收稿日期: 2011-09-23

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31101350); “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD23B01); 北京市属高等学校人才强教计划资助项目(PHR20090504)

作者简介: 王璐(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品分析检测。E-mail: wanglutasha@163.com

\*通信作者: 黄明泉(1977—), 男, 讲师, 博士, 研究方向为香料香精。E-mail: hmqsir@163.com

制出来的一种智能识别电子系统,近年来已逐渐应用到食品的检测和分析领域。它主要由传感器阵列和模式识别方法组成,传感器阵列对液体样品作出响应并输出信号,信号经模式识别方法处理后,得到反映样品味觉特征的结果。与普通理化分析方法和人工感官评价相比,电子舌技术拥有快速、便捷、高效、灵敏等特点,能够满足食品工业大批量、自动化生产趋势的要求<sup>[24-26]</sup>。目前较成熟的电子舌系统有法国的Alpha M.O.S公司和日本的Kiyoshi Toko公司生产的电子舌。

本研究利用法国Alpha M.O.S公司生成的Astree电子舌对市售的7种不同品牌的甜面酱进行测定,所得数据结合理化指标数值进行主成分分析(principal component analysis, PCA)和相关性分析(canonical correlation analysis, CCA),从而对甜面酱的滋味口感进行综合评价。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

甜面酱样品来自市售的7种不同品牌,首次采样前未打开包装,样品信息详见表1。

表1 7种甜面酱样品信息表

Table 1 List of 7 brands of sweet sauces used in this study

编号	1	2	3	4	5	6	7
品牌	李锦记	天源酱园	王致和	葱伴侣	六必居	金狮	龙菲
产地	广东	北京	北京	山东	北京	北京	北京

甲醛、无水硫酸铜、酒石酸钾钠、亚铁氰化钾、次甲基蓝、氢氧化钠、葡萄糖、铬酸钾等(均为分析纯) 国药集团化学试剂有限公司;硝酸银标准滴定溶液(0.1009mol/L)、氢氧化钠标准滴定溶液 国家化学试剂质检中心。

### 1.2 仪器与设备

ES-1908(1500W)温控电炉 深圳市康之泰电器有限公司;雷磁PSHJ-5酸度计 上海精密科学仪器有限公司;集热式恒温加热磁力搅拌器 河南省予华仪器有限公司;红外线干燥箱 北京市兴争仪器设备厂;Astree II 电子舌系统(装置如图1所示) 法国Alpha M.O.S公司。

电子舌系统主要由味觉传感器、信号采集器和模式识别系统3部分组成。该电子舌系统含有1套交叉选择性化学传感器阵列和一个Ag/AgCl参比电极,此传感器阵列包含ZZ、BA、BB、CA、GA、HA、JB 7根具有非专一选择性的传感器,传感器是由有机物覆盖的硅晶管制成,每个传感器前端有1个电子芯片,芯片表面覆盖一层敏感吸附薄膜,可以选择性吸附液体中的游离分子,传感器之间互相影响,所采集的信号数据最终体现的是

样品的整体信息和综合口感。图2是Astree型电子舌7根传感器对不同呈味物质的交叉选择性测试结果图,将咖啡碱、盐酸、谷氨酸钠、氯化钠、蔗糖分别作为5种基本味觉:苦、酸、鲜、咸、甜的代表呈味物质,将这5种物质配制成相同浓度(0.01mol/L)的溶液,用电子舌进行测定,由图2所示,电子舌的7根传感器对5种呈味物质都有不同程度的响应,但敏感程度各不同,由此可见传感器对5种基本味觉具有交叉选择性。

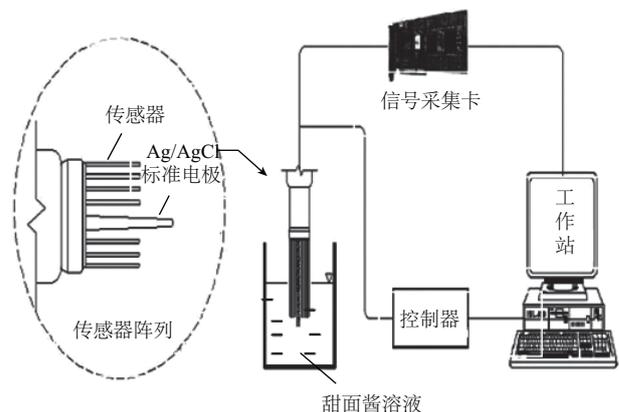


图1 Astree型电子舌系统装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of Astree electronic tongue system

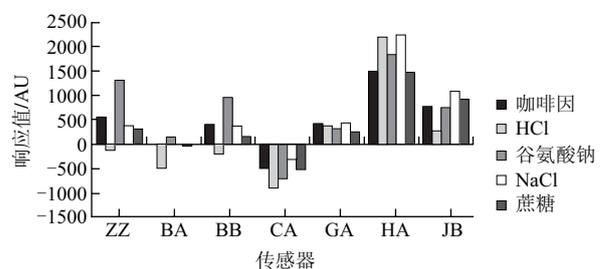


图2 Astree型电子舌传感器对不同呈味物质的交叉选择性

Fig.2 Cross-selectivity of Astree electronic tongue sensors to different taste-active substances

### 1.3 方法

#### 1.3.1 甜面酱理化指标的测定

总酸、氨基态氮、食盐、还原糖的含量都直接影响着甜面酱口感的差异性,采用GB/T5009.40—2003《酱卫生标准的分析方法》测定。其中,总酸用氢氧化钠滴定法;氨基态氮用甲醛法;食盐用硝酸银滴定法;还原糖含量:采用GB/T5009.7—2008《食品中还原糖的测定》直接滴定法测定。

#### 1.3.2 电子舌检测

实验前对样品进行预处理,用精度为0.001g的电子天平准确称取5.000g甜面酱定容至100mL,经过滤后取澄清液备用。采用Sensor array<sup>#1</sup>检测,取澄清液直接倒入电子舌专用烧杯中(每杯样品量体积为25mL),室温条件

下测定。

测定前,电子舌系统需要经过自检、活化、校准和诊断等步骤,以确保采集所得数据的可靠性和稳定性。电子舌系统的参数设置:室温下,每个样品重复7次测量,数据采集时间为120s,每秒采集一个数据,仪器软件取第120秒测量值的响应信号作为稳定数据区域的输出值。预实验表明传感器在刚开始测量时的感应强度会上下波动,测量3~4次后,响应强度趋于稳定,因此取最后3次测量数据作为统计分析的原始数据。

### 1.3.3 统计学分析

本实验采用多元统计分析中的主成分分析法(PCA)和简单相关性分析(CCA)。通过对数据的分析,从中挖掘出不同甜面酱样品之间的异同以及传感器信号与理化指标之间的联系,作为进一步研究的基础。所有数学统计分析均由SPSS 18.0统计分析软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 电子舌传感器信号响应值

电子舌以1次/s的速率采集传感器电压信号,每个样品重复7次进行平行测定,取最后3次的检测数据进行分析,得到7个样品的7根传感器最后3次测量的响应信号值,最后3次平行信号的平均值和标准偏差(SD)见表2。

表2 甜面酱电子舌测定结果

Table 2 Electronic tongue sensor response signals of sweet sauces

样品	ZZ	BA	BB	CA	GA	HA	JB
1	2384.36±2.49	970.73±10.43	1276.03±29.55	1243.79±2.12	1477.80±6.86	2643.39±36.87	1464.28±3.63
2	1948.88±7.93	967.57±11.80	1250.81±26.41	1240.64±3.50	1508.31±5.97	2645.62±37.12	1502.11±5.46
3	2010.00±1.98	963.00±11.30	1262.10±30.55	1228.64±5.00	1524.48±3.17	2641.05±37.64	1532.11±5.01
4	2175.97±2.28	963.51±10.44	1273.28±31.52	1225.38±2.74	1544.52±2.97	2646.34±35.85	1553.87±4.75
5	2020.07±2.99	975.00±9.78	1270.94±27.78	1236.67±0.80	1554.38±3.91	2646.64±35.52	1564.15±3.81
6	1985.29±2.21	967.17±12.40	1275.52±26.89	1222.84±3.02	1559.77±9.24	2637.28±35.19	1562.01±3.87
7	2173.94±2.87	967.07±10.09	1291.08±28.87	1215.42±3.21	1572.08±8.32	2636.06±33.26	1577.67±1.99

表3 甜面酱理化指标结果

Table 3 Physicochemical indices of sweet sauces

样品编号	总酸	氨基态氮	食盐(以NaCl计)	还原糖
1	0.63±0.01	0.238±0.002	8.90±0.02	15.1±0.1
2	2.42±0.02	0.543±0.002	9.87±0.07	20.8±0.1
3	2.10±0.01	0.537±0.004	9.00±0.04	24.9±0.1
4	1.61±0.01	0.502±0.004	8.73±0.06	22.7±0.1
5	1.90±0.02	0.536±0.002	9.93±0.04	18.3±0.1
6	2.07±0.03	0.536±0.003	8.51±0.05	20.5±0.1
7	1.87±0.04	0.627±0.002	8.59±0.05	25.9±0.2

由表2可知, BB、HA两根传感器所采集的样品数据标准偏差较大,说明BB、HA在样品中不稳定,其信号数据不可用。因此,舍弃这两根传感器信号值,最终采用ZZ、BA、CA、GA、JB这5根传感器信号。

### 2.2 样品理化指标检测结果

表3列出根据国标方法检测的7种甜面酱4个理化指标的检测结果。

### 2.3 数据统计分析

#### 2.3.1 主成分分析(PCA)

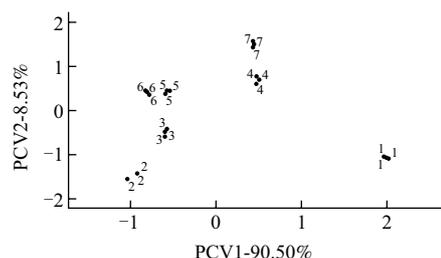


图3 7种不同甜面酱样品电子舌结果主成分分析图

Fig.3 PCA of electronic tongue sensor response signals for sweet sauces

主成分分析是一种通用的数据降维方法,研究如何将具有一定相关性的多变量指标间的问题化为几个互不相干的综合指标问题。一般习惯把新的指标称作主成分,主成分中方差贡献率最大的视为第1主成分,贡献率次之为第2主成分,以此类推。当方差贡献率累积达到

85%以上时就认为所选的几个主成分能够反映原来指标的信息。

对电子舌测定得到的7种甜面酱的传感器信号进行主成分分析,结果如图3所示。5根传感器主成分1(PCV1)和主成分2(PCV2)的累积方差贡献率为99.03%大于85%,这说明主成分1和2包含样品大量信息,可以反映7种样品的整体信息。经PCA分析后得到的区别指数(discrimination index, DI)是判断电子舌是否能区分样品的重要指标,一般当DI值>80时,认为对样品具有良好的区分度。图3中,每一个样品的3个点(即3次平行数据)离散度较小,而不同样品之间没有互相干扰,且DI值达到98,由此显示电子舌能够有效区分7个不同品牌的甜面酱。

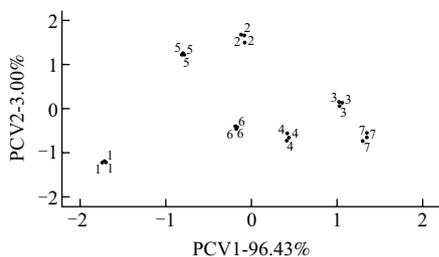


图4 7个不同甜面酱样品4个理化指标主成分分析图  
Fig.4 PCA of 4 physicochemical indices for sweet sauces

同理,对7种甜面酱样品的4个理化指标进行主成分分析,结果如图4所示。主成分1和2的累积方差贡献率为99.42%,也可以认为能够反映原信息量。通过比较图3和图4,可以发现1号和2号样品在两图中均远离其他样品,处在网络图的边缘地带,这说明这两个样品与其他样品口感差距比较大。样品在两PCA分析图的主成分轴(即坐标轴)方向上的分布趋势并不相同。图3中7个样品的在沿主成分1的方向(即X轴方向)上的排列顺序与图4中7个样品沿主成分2的方向(即Y轴方向)上的排列顺序虽然一致(图3依次为2、6、3、5、7、4、1;图4依次为1、4、7、6、3、5、2),但图4中的主成分2的贡献率只有3.00%,远不能够体现样品的主要信息,由此说明两图体现的7个甜面酱口感信息虽不一致,但理化指标描述的样品信息与电子舌传感器数据仍然存在一定的联系。因此,将4个理化指标以其中任意3个理化指标组合为变量做主成分分析(图5),发现当以总酸值、氨基态氮值、食盐含量3个理化指标为变量时,样品在其主成分1的方向上的排列顺序与电子舌数据的主成分分析图一致。

比较图3与图5,发现两者不仅在主成分1方向上的位置分布一致,而且主成分2方向上,1、2号样品均处于中下方且远离其他样品,而4、6、7号样品均处于中上方位置。对于3号、5号两个样品在两个主成分图中相对位置并不一致,分析导致这种结果的主要原因是由于这3种甜面酱在口感上相对比较接近,而电子舌所得数据是基于样品的综合口感分析,并不只局限于总酸值、氨基态

氮值、食盐含量这3个方面的影响,当这两个样品在上述3个指标比较接近时,其他因素的影响权重就变大,成为影响区分的主要因素。由表3中甜面酱理化指标具体数值可以发现3、5号样品的上述3个指标的数值的确是非常接近的。

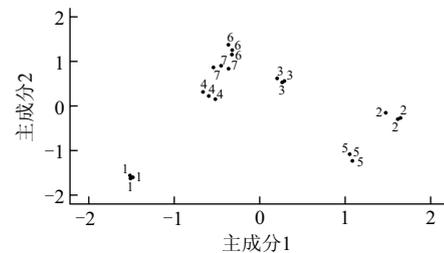


图5 7个不同甜面酱3个样品理化指标主成分分析图  
Fig.5 PCA of 3 physicochemical indices for sweet sauces

由上述3个主成分分析图观察发现,甜面酱样品基于总酸值、氨基态氮值、食盐含量这3个理化指标的口感描述与电子舌传感器数据体现的样品信息基本一致,而还原糖指标反映的样品信息与基于电子舌得到的信息没有直接的相关性。分析其原因可能是还原糖的含量体现的是甜面酱样品中所含的糖度(即含糖量的多少),而电子舌对口感的综合分析反映的是甜面酱样品的甜度(即甜味的高低),糖度和甜度没有直接的相关性。甜面酱中主要含有葡萄糖和麦芽糖等还原糖,由于两种糖的甜度不同(以蔗糖的甜度为100计,葡萄糖相对甜度为74,麦芽糖相对甜度为32~60),样品中两者的质量百分比也不同,因此甜面酱的还原糖总量并不能完全反映其甜度的大小。

### 2.3.2 简单相关性分析

由于7个样品在图3和图5中沿主成分1的方向排列顺序一致,由SPSS 18.0统计分析软件可以得到电子舌数据主成分分析主成分1的传感器线性组合表达式(式1)和3个理化指标主成分分析过程中主成分1线性表达式(式2)分别为:

$$PCV1 = -0.999 \times ZZ + 0.056 \times BA + 0.163 \times CA - 0.437 \times GA - 0.457 \times JB \quad (1)$$

$$PCV1' = 0.807 \times TA + 0.551 \times AN + 0.825 \times SA \quad (2)$$

式中:TA为总酸值;AN为氨基态氮值;SA为食盐含量。

表4 传感器与理化指标相关系数矩阵  
Table 4 Correlation coefficients between electronic tongue sensor response signals and physicochemical indices

理化指标	ZZ	GA	JB
总酸	-0.957**	0.478	0.492
氨基态氮	-0.719	0.812*	0.820*
食盐	-0.418	-0.249	-0.217

注:\*,差异显著( $P < 0.05$ );\*\*,差异极显著( $P < 0.01$ )。

根据式(1)(2)中各变量系数得知PCV1主要由ZZ、GA、JB 3个传感器信号解释,PCV1'主要由总酸值、氨

基态氮值、食盐含量解释。进一步对两组数据进行简单相关性分析,由SPSS统计分析软件得到3根传感器与3个理化指标的相关系数矩阵见表4。

相关系数 $r$ 是变量之间相关程度的指标,其取值范围为 $[-1,1]$ 。 $r>0$ 为正相关, $r<0$ 为负相关, $r=0$ 表示不相关。 $|r|$ 值越大,变量之间的线性相关程度越高;通常 $|r|>0.7$ 时,认为两个变量有较强的线性相关性。从表4可以发现,总酸值与传感器ZZ呈显著负相关,即总酸的含量越大,ZZ的响应信号值越小;而总酸值与传感器GA、JB只存在一般的相关性。氨基态氮值与传感器ZZ、GA、JB相关性都很强,但与ZZ没有达到显著性水平,即氨基态氮值与GA、JB呈显著正相关,当甜面酱样品中氨基态氮值越大,GA、JB的响应值越大。食盐含量与传感器ZZ存在一般相关性,与其他两根传感器都没有显著相关性。

### 3 结论

本实验利用电子舌技术对7种不同品牌甜面酱进行检测,同时进行理化指标检测。通过对获得的数据进行主成分分析(PCA)比较发现电子舌可以将7种品牌甜面酱完全区分,其区分结果与以总酸值、氨基态氮值、食盐含量为指标的区分结果基本一致。

进一步对电子舌传感器信号响应值与理化指标数值进行简单相关性分析,结果表明甜面酱某一方面的特征口感与对应的一根或几根传感器具有显著相关性。由于甜面酱4项理化指标分别在一定程度上体现了甜面酱4种特征口感:酸、鲜、咸、甜味,通过对甜面酱理化指标与传感器相关性的分析,可以应用相应传感器来对某一理化指标作回归分析建立回归方程,并结合相关预测模型(如Fisher多级判别模型、BP神经网络模型等)的建立实现对甜面酱理化指标的在线快速监测<sup>[27]</sup>。

本实验中由于甜面酱中糖的种类及甜度的区别导致其还原糖的含量与甜度在样品区分上的不一致问题,仍有待于进一步深入探讨。

#### 参考文献:

- [1] 洪光住. 面酱酿制源流食用考[J]. 中国酿造, 1977(3): 1-4.
- [2] 康旭, 曾灿伟, 黄红霞, 等. 酿造工艺对甜面酱风味成分影响研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(1): 58-60.
- [3] 曹宝忠. 甜面酱生产技术探讨[J]. 中国酿造, 2005(7): 1-4.
- [4] Van Der SLUIS C, TRAMPER J, WUFFELS R H. Enhancing and accelerating flavour formation by salt tolerant yeasts in Japanese soy sauce processes[J]. Trends Food Sci Tech, 2001, 12(9): 322-327.
- [5] 冯治平, 吴士业. 酶促法甜面酱生产工艺条件研究[J]. 食品科学,

- 2008, 29(9): 358-360.
- [6] MOON G, LEE M, LEE Y. Main component of soy sauce representing antioxidative activity[J]. Int Congress Series, 2002(1245): 509-510.
- [7] 包启安. 豆酱的功能性[J]. 中国酿造, 2002(3): 1-6.
- [8] HIROYUKIA F, TOMOHODEA Y, KAZUNORIB O. Efficacy and safety of Touchi extract, an  $\alpha$ -glucosidase inhibitor derived from fermented soybeans, in non-insulin-dependent diabetic mellitus[J]. J Nutr Biochem, 2001, 12(6): 351-356.
- [9] 鱼红闪, 郭勇, 金凤燮, 等. 大酱发酵过程中大豆皂甙变化的研究[J]. 食品科学, 1999, 21(5): 20-24.
- [10] 范俊峰, 李里特, 张艳艳, 等. 传统大豆发酵食品的生理功能[J]. 食品科学, 2005, 26(1): 250-254.
- [11] 李素云, 纵伟, 张培旗, 等. 模糊综合评判在调味品感官评价中的应用[J]. 中国调味品, 2010, 35(7): 27-29.
- [12] 李睿晓, 王金美, 刘乐宁. 感官评价原理在酱油评鉴中的应用[J]. 中国调味品, 2009(9): 39-40.
- [13] JEONG S Y, CHUNG S J, SUH D S, et al. Developing a descriptive analysis procedure for evaluating the sensory characteristics of soy sauce[J]. J Food Sci, 2004, 69(8): 319-325.
- [14] ZHAO Jianxin, DAI Xiaojun, LIU Xiaoming, et al. Comparison of aroma compounds in naturally fermented and inoculated Chinese soybean pastes by GC-MS and GC-Olfactometry analysis[J]. Food Control, 2011, 22(6): 1008-1013.
- [15] CHUNG H Y. Volatile flavor components in red fermented soybean (*Glycine max*) curds[J]. J Agric Food Chem, 2000, 48(5): 1803-1809.
- [16] 黄明泉, 韩书斌, 孙宝国, 等. 固相微萃取/气质联机分析郫县豆瓣酱挥发性香成分的研究[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(4): 147-152.
- [17] 黄明泉, 韩书斌, 孙宝国, 等. 同时蒸馏萃取/气质联机分析郫县豆瓣酱挥发性香成分的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(4): 136-139.
- [18] 曾灿伟. 甜面酱酿制过程中的菌相分析及风味成分研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2009.
- [19] 金华勇, 曾灿伟, 康旭, 等. 顶空固相微萃取-气-质联用技术分析传统甜面酱中挥发性风味成分[J]. 中国发酵, 2009(5): 152-154.
- [20] 张玉玉, 黄明泉, 田红玉, 等. “六必居”面酱挥发性成分SDE法提取及GC-MS分析[J]. 中国食品学报, 2010, 10(2): 154-159.
- [21] 孟鹭, 乔宇, 康旭, 等. 同时蒸馏萃取、溶剂萃取和顶空固相微萃取与GC-MS联用分析甜面酱的挥发性成分[J]. 中国调味品, 2011, 36(1): 97-100.
- [22] 孟鹭, 乔宇, 刘彩香, 等. 前期发酵温度对甜面得挥发性成分的形成及品质的影响[J]. 食品科学, 2011, 31(23): 248-252.
- [23] 孟鹭, 乔宇, 李冬生, 等. 光照对甜面得挥发性成分影响的研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(11): 2311-2314.
- [24] VLASOV Y, LEGIN A, RUDNITSKAYA A. Electronic tongues and their analytical application[J]. Anal Bioanal Chem, 2002, 373(3): 136-146.
- [25] 黄星奕, 张浩玉, 赵杰文. 电子舌技术在食品领域应用研究进展[J]. 食品科技, 2007, 32(7): 20-24.
- [26] RUDNITSKAYA A, NIEUWOUTD H H, MULLER N, et al. Instrumental measurement of bitter taste in red wine using an electronic tongue[J]. Anal Bioanal Chem, 2010, 397(7): 3051-3060.
- [27] 王茹, 田师一. 模式识别技术在电子舌中的应用与发展[J]. 食品科学, 2009, 34(2): 108-112.