

# 基于电子舌传感技术评价不同市售啤酒滋味品质

## Evaluation of the Quality of Different Commercial Beer Based on Electronic Tongue Sensing Technology

◎ 李建美<sup>1</sup>, 张志浩<sup>2</sup>, 郑 韵<sup>1</sup>, 郭艳婧<sup>1</sup>, 李 霞<sup>1</sup>, 孙 琦<sup>2</sup>

(1. 重庆轻工职业学院, 重庆 400065;

2. 重庆师范大学生命科学学院, 重庆 401331)

Li Jianmei<sup>1</sup>, Zhang Zhihao<sup>2</sup>, Zheng Yun<sup>1</sup>, Guo Yanjing<sup>1</sup>, Li Xia<sup>1</sup>, Sun Qi<sup>2</sup>

(1.Chongqing Vocational College of Light Industry, Chongqing 400065, China;

2.College of Life Science, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

**摘 要:** 应用电子舌传感技术和多元统计学方法相结合的手段, 本研究对市售 6 个啤酒品牌下 15 个样品的滋味品质特征进行综合评价分析。结果表明, 评价啤酒品质的 8 种滋味指标可以划分为三大类, 其中第一主成分由酸味、鲜味和鲜味的回味组成; 第二主成分由苦味和苦味的回味组成; 第三主成分由咸味、涩味和涩味的回味构成。因子分析发现综合得分排名前三的啤酒样品分别为 C<sub>1</sub>、F<sub>1</sub> 和 E<sub>1</sub>。与此同时, 通过聚类分析可以将 15 个不同品牌与类型的啤酒样品按照滋味品质的差异情况分为 5 类, 与现有啤酒市场行情相符。研究说明电子舌传感技术在啤酒品牌区分、品质口感判定和市场分析中具有巨大的应用潜力。

**关键词:** 电子舌; 啤酒; 多元统计; 滋味品质评价

**Abstract:** In this study, the taste profile characterizations from 15 beer samples, including 6 different beer brands on the market, were evaluated by both the electronic tongue and multivariate statistical analysis tools. The results indicated that 8 kinds of beer taste profile in our research could be divided into 3 types. The first principal part was comprised of sourness, umami and richness. And the second was characterized by both bitterness and aftertaste-B; and the third is consisted of saltiness, astringency and aftertaste-A. Furthermore, the top three of beer samples were C<sub>1</sub>, E<sub>1</sub>, and F<sub>1</sub> respectively evaluated by factor analysis. Meanwhile, 15 beer samples could be divided into 5 types through clustering analysis, which was consistent with market conditions for beers. It could be concluded that the electronic tongue has great potential applications potential in quality distinguish and judge as well as the market analysis.

**Key words:** Electronic tongue; Beers; Multivariate statistics; Quality evaluation

中图分类号: TS217; R151

滋味特征是评价啤酒品质的主要参考指标之一, 同时也成为生产企业在研制与销售啤酒中的主要关注点之一<sup>[1-4]</sup>。现阶段的啤酒品质分析中, 人们通过理化和感官分析对啤酒品质进行观察与评估, 但这些传统分析技术手段存在操作过程复杂、预处理时间长、检测灵敏度低、主观性强且结果重复性差等缺点<sup>[5-6]</sup>, 难以适应现

代食品生产工业的快速发展, 因此构建并应用不依赖于生物味觉的客观而又准确的感受系统, 是一项紧迫而有意义的工作, 在这种情况下电子舌技术应运而生<sup>[7-9]</sup>。

电子舌通过应用多通道仿生类脂膜传感技术, 模拟人类等生物活体的味觉感受机制, 将不同品种与类型的食品样品味道转化为可以量化的数值形式, 主要

包括酸味、苦味、鲜味、涩味与咸味等五种基本味觉指标,以及3种基本味的回味指标:苦味的回味、涩味的回味和鲜味的回味<sup>[6]</sup>。与传统分析方法相比,电子舌所检测的不是样品中某个具体化合物浓度的强度信号,而是与组分浓度相关的总体强度信号<sup>[10]</sup>;电子舌重点不在于检测出被测对象的化学组成及组分浓度,而是反映待测对象之间的整体特征差异并予以辨识<sup>[11-12]</sup>。正因为如此,电子舌传感技术已经被广泛用于饮料<sup>[13-15]</sup>、肉类<sup>[16-18]</sup>、茶叶<sup>[19-21]</sup>、乳制品<sup>[22]</sup>等不同类型食品的感官评价和检测中。

本研究中利用日本 Insent 公司生产的电子舌传感器对市售的来自6个品牌共计15种啤酒样品进行测定,通过主成分分析、因子分析、聚类分析和相关性分析等多元统计学方法对不同品牌、不同产地和不同类型的啤酒样品中滋味品质综合评价与分析,以期啤酒质量品质评价体系的构建提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

实验样本采用市售的由6家不同公司生产的15个品种啤酒,详见表1。

表1 啤酒实验样本统计表

| 样品编号           | 样品类型 | 原麦汁浓度  |
|----------------|------|--------|
| A <sub>1</sub> | 冰纯   | 8° P   |
| A <sub>2</sub> | 纯情   | 8° P   |
| A <sub>3</sub> | 黄金   | 10° P  |
| B <sub>1</sub> | 超纯   | 11° P  |
| B <sub>2</sub> | 超干   | 11° P  |
| B <sub>3</sub> | 纯啤   | 11° P  |
| B <sub>4</sub> | 特制   | 11° P  |
| C <sub>1</sub> | 鲜啤   | 10° P  |
| C <sub>2</sub> | 清爽   | 8° P   |
| D <sub>1</sub> | 清爽   | 8° P   |
| D <sub>2</sub> | 冰酷   | 9° P   |
| D <sub>3</sub> | 勇闯天涯 | 8° P   |
| D <sub>4</sub> | 丛林迷彩 | 8° P   |
| E <sub>1</sub> | 特制   | 9.5° P |
| F <sub>1</sub> | 小麦王  | 10° P  |

内部溶液、参比溶液、阴离子溶液、阳离子溶液、

味觉标准溶液和氯化钾溶液(日本 Insent 公司提供)。

### 1.2 仪器与设备

SA 402B 味觉分析系统(主要配有5个测试传感器和2个参比传感器,其中AAE、CT0、CA0、AE1和C00测试传感器分别用于测试鲜味、咸味、酸味、涩味和苦味,日本 Insent 公司)。

### 1.3 检测方法

测定前,需提前24 h对传感器与参比传感器进行活化。测定时将啤酒样品倒在2个样品杯中,待电子舌系统自检后进行样品测定。

### 1.4 数据处理与分析

根据电子舌系统采集的原始数据,借助SPSS分析软件通过使用主成分分析、因子分析、聚类分析、方差分析和相关性分析等多元数理统计手段对啤酒滋味品质整体结构的差异进行评价。

## 2 结果与分析

### 2.1 市售啤酒各滋味指标的变化

对所得数据进行差异性分析可知,本研究中的15种啤酒样品中的鲜味、涩味、咸味、苦味和酸味等5种基本味觉指标,以及包括后味B(苦味的回味)、后味A(涩味的回味)和丰度(鲜味的回味)等3种基本味觉的回味指标之间差异均非常显著( $p < 0.01$ )。其中不同啤酒样品中鲜味指标变化最为明显,其次为涩味、咸味、苦味和酸味,并且这5种基本味觉指标差异远大于苦味、涩味和鲜味三种基本味的回味指标。由于啤酒的生产工艺、原料、品种类型以及产地等不同,造就了不同品牌和种类啤酒在鲜味、酸味和苦味等味觉指标上的差异,实验结果表明电子舌传感技术可以反应不同啤酒的品质特征以及品牌之间的细微差异。

### 2.2 基于主成分分析的市售啤酒滋味品质评价

由主成分分析发现,前三个主成分方差累计贡献率达到81.09%,表明前三个主成分可以全面地反

映和代表原始样本数据中的信息量、描述不同品种啤酒样品滋味品质。其中第一主成分的方差贡献率为 36.89%，第二和第三主成分的方差贡献率分别为 28.49% 和 15.71%。根据计算样本相关矩阵的特征向量可知前三个主成分与不同滋味指标之间的函数关系式分别为： $PC1=0.935$  鲜味 -  $0.940$  酸味 +  $0.861$  丰度 -  $0.392$  涩味 +  $0.413$  苦味 -  $0.207$  后味 A +  $0.230$  咸味 -  $0.131$  后味 B； $PC2=0.886$  苦味 +  $0.867$  后味 B -  $0.117$  酸味 -  $0.121$  鲜味 +  $0.115$  丰度 +  $0.252$  涩味 -  $0.092$  咸味 +  $0.584$  后味 A； $PC3=0.902$  咸味 +  $0.739$  后味 A +  $0.353$  涩味 +  $0.035$  酸味 +  $0.219$  鲜味 -  $0.049$  丰度 -  $0.058$  苦味 +  $0.138$  后味 B。其中，第一主成分中鲜味、酸味和丰度三项指标的系数绝对值最大；在第二主成分中苦味和后味 B 两项指标的系数绝对值最大；而第三主成分中咸味、后味 A 和涩味三项指标的系数绝对值最大。由此可见，原先用于评价啤酒品质的 8 种滋味指标可以划分为三大类，其中第一主成分由酸味、鲜味和丰度等响应信号值组成；第二主成分由苦味和后味 B 两种指标构成；第三主成分则由咸味、涩味和后味 A 等三种指标构成。

### 2.3 基于因子分析和聚类分析的市售啤酒滋味品质评价

由系数矩阵采用回归方法将前三个公因子表示为 8 种滋味指标的线性形式，因子得分函数分别为： $F_1=0.123$  苦味 -  $0.318$  酸味 -  $0.137$  涩味 -  $0.078$  后味 A -  $0.061$  后味 B +  $0.323$  鲜味 +  $0.291$  丰度 +  $0.085$  咸味； $F_2=0.481$  苦味 -  $0.051$  酸味 +  $0.087$  涩味 +  $0.200$  后味 A +  $0.450$  后味 B -  $0.119$  鲜味 +  $0.054$  丰度 -  $0.201$  咸味； $F_3=0.038$  酸味 -  $0.183$  苦味 +  $0.201$  涩味 +  $0.414$  后味 A -  $0.047$  后味 B +  $0.176$  鲜味 -  $0.048$  丰度 +  $0.639$  咸味。上述三个公因子分别从不同方面反映了不同品牌啤酒滋味品质的总体水平，但单独使用某一公因子不能对啤酒滋味品质作出综合评价，因此按照各公因子对应的方差贡献率为权数计算综合统计量为： $F=0.455F_1+0.351F_2+0.194F_3$ ，并进一步得到综合因子得分，对不同啤酒样品滋味品质进行排序，结果如表 2 所示。

表 2 不同啤酒样品滋味品质综合得分与评价表

| 样品编号           | F1        | F2        | F3        | 综合得分      | 排名 |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|
| A <sub>1</sub> | 0         | 0         | 0         | 0         | 7  |
| A <sub>2</sub> | -0.327 92 | -0.720 31 | -0.150 79 | -0.431 29 | 13 |
| A <sub>3</sub> | -0.421 08 | -0.450 87 | 1.097 26  | -0.136 98 | 10 |
| B <sub>1</sub> | -1.150 90 | -1.256 89 | 1.592 43  | -0.655 90 | 15 |
| B <sub>2</sub> | 0.082 66  | -1.577 64 | 2.058 63  | -0.116 77 | 9  |
| B <sub>3</sub> | -0.603 69 | -1.046 96 | 1.255     | -0.398 69 | 12 |
| B <sub>4</sub> | 0.334 71  | -0.944 71 | 1.740 88  | 0.158 431 | 6  |
| C <sub>1</sub> | 0.787 47  | 1.585 5   | 1.198 58  | 1.147 334 | 1  |
| C <sub>2</sub> | 0.904 38  | 0.168 56  | 0.567 09  | 0.580 673 | 4  |
| D <sub>1</sub> | -0.715 82 | 0.115 69  | -0.008 64 | -0.286 77 | 11 |
| D <sub>2</sub> | -0.458 85 | 0.249 26  | 0.609 9   | -0.002 97 | 8  |
| D <sub>3</sub> | 0.116 32  | 0.333 06  | 0.152 97  | 0.199 506 | 5  |
| D <sub>4</sub> | -0.884 81 | -0.985 88 | 1.216 67  | -0.512 6  | 14 |
| E <sub>1</sub> | 1.823 55  | -0.978 12 | 0.795 03  | 0.640 631 | 3  |
| F <sub>1</sub> | 1.301 98  | -0.885 12 | 2.434 84  | 0.754 083 | 2  |

基于平均欧氏距离聚类分析的市售啤酒样品滋味品质评价见图 1。

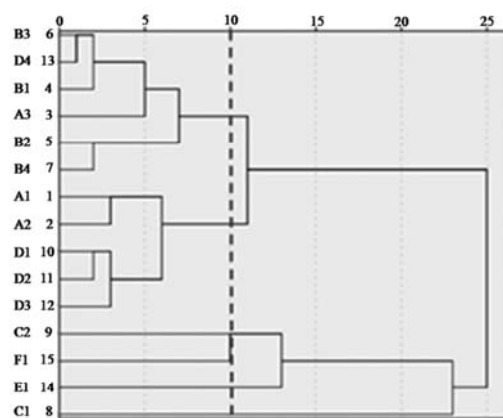


图 1 基于平均欧氏距离聚类分析的市售啤酒样品滋味品质评价图

由图 1 可以直观的看出，当相对距离阈值取值为 10 时，本研究中 15 种啤酒样品可以划分为 5 大类。

由于通过电子舌得到的是反映测试样品不同滋味品质的各项指标，因此表 2 所示排名代表的是不同品牌与类型啤酒滋味品质的总体比较情况，从中可以看出，滋味指标中综合得分最高的为产地为青岛的某啤酒样品 C<sub>1</sub>，其次为 F<sub>1</sub>（产地为湖北武汉），排名第三的为产地来自北京的样品 E<sub>1</sub>，需要说明的是，这三种

品牌啤酒所属公司目前占据全国啤酒市场份额的一半左右,结果进一步证明电子舌能够准确方便的对啤酒滋味品质进行评价,为企业进行产品研发和市场营销

提供有利参考。通过单因素方差分析进一步对这5大类在8种滋味指标变量上的取值情况进行差异性分析,结果如表3所示。

表3 不同类别啤酒滋味指标方差分析表

| 类别 | 酸味                  | 苦味                   | 涩味                 | 后味 B                | 后味 A                | 鲜味                  | 丰度                   | 咸味                  |
|----|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 1  | -0.960 <sup>a</sup> | 2.250 <sup>a</sup>   | 1.247 <sup>a</sup> | 1.703 <sup>a</sup>  | 0.273 <sup>a</sup>  | 0.843 <sup>a</sup>  | 0.227 <sup>ab</sup>  | 1.923 <sup>a</sup>  |
| 2  | -2.993 <sup>b</sup> | -0.547 <sup>bd</sup> | 0.773 <sup>a</sup> | -1.297 <sup>b</sup> | -0.060 <sup>c</sup> | 2.497 <sup>b</sup>  | 0.440 <sup>a</sup>   | 0.313 <sup>b</sup>  |
| 3  | -1.800 <sup>a</sup> | 0.388 <sup>c</sup>   | 0.720 <sup>a</sup> | -0.458 <sup>c</sup> | 0.142 <sup>b</sup>  | 1.213 <sup>a</sup>  | 0.040 <sup>bc</sup>  | 1.888 <sup>a</sup>  |
| 4  | 0.917 <sup>c</sup>  | -1.244 <sup>b</sup>  | 1.000 <sup>a</sup> | -0.433 <sup>c</sup> | 0.106 <sup>b</sup>  | 0.079 <sup>c</sup>  | -0.097 <sup>c</sup>  | 1.485 <sup>a</sup>  |
| 5  | 0.235 <sup>c</sup>  | -0.030 <sup>dc</sup> | 0.934 <sup>a</sup> | -0.280 <sup>c</sup> | 0.077 <sup>b</sup>  | -0.207 <sup>c</sup> | -0.011 <sup>bc</sup> | -0.141 <sup>b</sup> |

注:对每列进行方差分析,其中相同字母表示差异不显著( $p > 0.05$ ),不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ )

综合分析,将15种不同品牌与类型的啤酒样品按照滋味品质的差异情况可以分成5类,各个类别的滋味特征具体表述为:①苦味与咸味两种滋味特征显著优于其他类别,且后味A与后味B足,代表啤酒样品为C<sub>1</sub>。②酸味与鲜味特征显著,且丰度值显著高于其他类别,但后味A显著低于其他类别,代表啤酒样品为E<sub>1</sub>。③酸味、鲜味、咸味以及后味A特征明显,但后味B和丰度略微不足,主要包括F<sub>1</sub>和C<sub>2</sub>。④苦味与咸味两项滋味指

标较为明显外,其他各项滋味指标(不包括涩味)水平一般,这一类别中主要包含B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>3</sub>、B<sub>4</sub>、A<sub>3</sub>和D<sub>4</sub>6种啤酒样品。⑤这一类别中包含啤酒样品为A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、D<sub>1</sub>、D<sub>2</sub>和D<sub>3</sub>5种啤酒样品,这一类别中各项滋味指标水平平均处于一般水平。

## 2.4 市售啤酒样品各滋味指标的相关性分析

啤酒样品中各滋味指标的相关性分析见表4。

表4 啤酒样品中各滋味指标的相关性分析表

|      | 酸味                    | 苦味                  | 涩味                 | 后味 B               | 后味 A               | 鲜味                   | 丰度    | 咸味    |
|------|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-------|-------|
| 酸味   | 1.000                 |                     |                    |                    |                    |                      |       |       |
| 苦味   | -0.531 <sup>*</sup>   | 1.000               |                    |                    |                    |                      |       |       |
| 涩味   | 0.217                 | 0.056               | 1.000              |                    |                    |                      |       |       |
| 后味 B | 0.124                 | 0.660 <sup>**</sup> | 0.040              | 1.000              |                    |                      |       |       |
| 后味 A | 0.132                 | 0.399               | 0.558 <sup>*</sup> | 0.571 <sup>*</sup> | 1.000              |                      |       |       |
| 鲜味   | -0.888 <sup>***</sup> | 0.259               | -0.251             | -0.194             | -0.130             | 1.000                |       |       |
| 丰度   | -0.782 <sup>***</sup> | 0.463 <sup>*</sup>  | -0.230             | -0.050             | -0.192             | 0.766 <sup>***</sup> | 1.000 |       |
| 咸味   | -0.105                | -0.035              | -0.037             | 0.146              | 0.536 <sup>*</sup> | 0.389                | 0.110 | 1.000 |

注:\*\*\*为 $p < 0.001$ ; \*\*为 $p < 0.01$ ; \*为 $p < 0.05$

由表4可知,啤酒样品的不同滋味指标之间具有一定的相关性,其中酸味与鲜味( $r=-0.888$ ,  $p < 0.001$ )和丰度( $r=-0.782$ ,  $p < 0.001$ )之间均呈极显著负相关,而鲜味与丰度( $r=0.766$ ,  $p < 0.001$ )之间呈极显著正相关;苦味与后味B之间具有非常显著正相关性( $r=-0.660$ ,  $p < 0.01$ );除此之外,后味A与后味B之间也具有一定的显著正相关性( $r=0.571$ ,  $p < 0.05$ )。

## 3 结论

本研究通过电子舌技术对市售的15种啤酒样品进

行滋味指标检测和评价,对所得数据进行主成分、聚类和方差等多种数理统计分析,并对8种滋味指标彼此之间进行相关性检测,结果发现不同品牌、产地和类型的啤酒样品的滋味品质具有显著性差异,根据各指标综合得分和滋味特征可以对被测啤酒样品划分为五大类,结果表明电子舌技术可用于啤酒感官评价,并为啤酒新品研发和市场研究提供一种全新思路。

参考文献:

[1]徐清.啤酒的感官评价体系研究[J].食品安全导刊,

2015 (12): 59-59.

[2] Baldwin E A, Bai J, Plotto A, et al. Electronic noses and tongues: applications for the food and pharmaceutical industries[J].Sensors, 2011, 11 (5): 4744-4766.

[3]Gutierrez J M, Haddi Z, Amari A, et al.Hybrid electronic tongue based on multisensor data fusion for discrimination of beers[J].Sensors & Actuators B Chemical, 2013, 177 (1): 989-996.

[4]Sipos L, Kovacs Z, Sagi K V, et al.Discrimination of mineral waters by electronic tongue, sensory evaluation and chemical analysis.[J].Food Chemistry, 2012, 135 (4): 2947-2947.

[5]王 俊, 胡桂仙, 于 勇, 等.电子鼻与电子舌在食品检测中的应用研究进展 [J]. 农业工程学报, 2004, 20 (2): 292-295.

[6] 邓少平, 田师一. 电子舌技术背景与研究进展 [J]. 食品与生物技术学报, 2007, 26 (4): 110-116.

[7] Ciosek P, Wroblewski W. Sensor arrays for liquid sensing—electronic tongue systems[J].Analyst, 2007, 132 (10): 963-978.

[8] Vlasov Y G, Legin A V, Rudnitskaya A M. Electronic tongue: Chemical sensor systems for analysis of aquatic media[J].Russian Journal of General Chemistry, 2008, 78 (12): 2532-2544.

[9]Kalit M T, Markovic K, Kalit S, et al.Application of electronic nose and electronic tongue in the dairy industry[J].Mljekarstvo, 2014, 64 (4): 228-244.

[10]关 为, 田呈瑞, 陈卫军, 等.电子舌在绿茶饮料区分辨识中的应用 [J]. 食品工业科技, 2012, 33 (13): 56-59.

[11]Uchiyama Y, Yamashita M, Kato M, et al. Evaluation of the taste of tea with different degrees of fermentation using a taste sensing system[J]. Sensors and Materials, 2011, 23 (8): 501-506.

[12]姜 莎, 陈芹芹, 胡雪芳, 等.电子舌在红茶饮料区分辨识中的应用 [J]. 农业工程学报, 2009 (11): 345-349.

[13]田晓静, 刘丽霞, 王 俊.电子舌技术在肉与肉制

品检测中的应用 [J]. 食品工业科技, 2013, 34 (7): 397-400.

[14]王 霞, 徐幸莲, 王 鹏.基于电子舌技术对鸡肉肉质区分的研究 [J]. 食品科学, 2012, 33 (21): 100-103.

[15]Gil L, Barat J M, Baigts D, et al. Monitoring of physical - chemical and microbiological changes in fresh pork meat under cold storage by means of a potentiometric electronic tongue[J]. Food Chemistry, 2011, 126 (3): 1261-1268.

[16]Hayashi N, Chen R, Ikezakl H, et al. Techniques for universal evaluation of astringency of green tea infusion by the use of a taste sensor system[J]. Bioscience, biotechnology, and biochemistry, 2006, 70 (3): 626-631.

[17]贺 玮, 胡小松, 赵 镭, 等.电子舌技术在普洱散茶等级评价中的应用 [J]. 食品工业科技, 2009 (11): 125-127.

[18]Chen Q, Zhao J, Vittayapadung S. Identification of the green tea grade level using electronic tongue and pattern recognition[J]. Food Research International, 2008, 41 (5): 500-504.

[19]Dias L A, Peres A M, Veloso A C A, et al. An electronic tongue taste evaluation: identification of goat milk adulteration with bovine milk[J].Sensors & Actuators B Chemical, 2009, 136 (1): 209-217.

[20]Mercante L A, Scagion V P, Pavinatto A, et al. Electronic tongue based on nanostructured hybrid films of gold nanoparticles and phthalocyanines for milk analysis[J]. Journal of Nanomaterials, 2015, 16 (1): 402.

[21]Wei Z, Wang J. Detection of antibiotic residues in bovine milk by a voltammetric electronic tongue system[J]. Analytica Chimica Acta, 2011, 694 (1-2): 46-56.

[22]张 卫.2015 年度中国啤酒行业消费者满意度测评结果公布 [J]. 中国食品, 2015 (15): 74-75.

基金项目: 重庆市教委科学技术研究项目 (编号: KJ1758498); 重庆师范大学博士启动基金项目 (编号: 17XL13006)。

通讯作者: 孙 琦。