

## 基于电子舌技术的啤酒口感评价及其滋味信息与化学成分的相关性研究

刘佳<sup>1</sup>, 黄淑霞<sup>2,3</sup>, 余俊红<sup>2,3</sup>, 胡淑敏<sup>2,3\*</sup>, 杨朝霞<sup>2,3</sup>, 黄树丽<sup>2,3</sup>, 张宇昕<sup>2,3</sup>

1(天津科技大学 生物工程学院, 工业发酵微生物教育部重点实验室, 天津, 300457)

2(啤酒生物发酵工程国家重点实验室, 山东 青岛, 266100)

3(青岛啤酒股份有限公司, 山东 青岛, 266000)

**摘 要** 运用电子舌、感官品评以及风味化学分析技术对 30 个同一品类不同批次的啤酒样品进行感官评价、电子舌滋味评价和风味化学物质分析, 结合主成分分析及偏最小二乘回归法研究电子舌在同一品类不同样品间风味判别以及口感量化评价方面的应用。结果发现, 基于电子舌传感器的滋味信息及主成分分析方法, 可灵敏地区分不同样品间的滋味差异; 同时结合感官品评数据, 利用偏最小二乘法建立了基于电子舌的口感评价模型。此外, 通过对 40 种风味物质与 7 根电子舌传感器滋味信号间的偏最小二乘回归分析, 发现离子( $\text{Na}^+$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ )、有机酸(甲酸)、多糖(麦芽三糖、四糖及以上多糖)、小分子蛋白、总多酚以及醇类物质是影响电子舌滋味信息的主要因素, 且同一种物质对不同传感器滋味信号的影响及程度不同, 明确了影响不同传感器滋味信号的物质基础, 阐明了电子舌的呈味机制。该研究为客观、准确、快速的风味感官评价以及调控技术提供技术手段和理论依据。

**关键词** 电子舌; 滋味信息; 口感评价; 影响因素

啤酒是以麦芽、水为主要原料, 添加酒花并经酵母发酵而成的富含  $\text{CO}_2$  的低酒精度饮料, 深受全世界人们的喜爱。作为一种低酒精度的发酵饮品, 风味是啤酒的重要生命线, 其特征会直接影响产品的市场竞争力, 是影响消费者选择的重要质量指标。风味主要包括闻到的香气(aroma)、尝到的口味(taste)及感觉到的口感(mouthfeel), 其中香气、口味是由一种或几种风味化学物质刺激嗅觉传感器或味觉传感器产生。口感是啤酒与口腔、牙齿、牙龈等的接触感觉, 由触觉传感器产生, 受物质本身及物质间交互作用的影响, 是啤酒的一种综合感觉<sup>[1-2]</sup>。

啤酒风味分析和评价通常采用感官品评和风味物质分析技术<sup>[3-4]</sup>。感官评价可直接反应啤酒的品质和风味特点, 但对品评师要求高、主观性强、重复性差。此外, 口感是啤酒在口腔表面产生的特有的触觉感, 是啤酒的物理及化学性质决定的这样或者那样的感觉, 因此感官描述较为复杂, 感官品评更加难以一致。风味物质分析技术可靠性高、重复性好, 但仪器操作复杂、分析时间长、成本高, 且仅能对啤酒中部分成分进行评估, 不能代表其整体品质, 难以快速对啤

酒整体风味效果进行综合判断。随着生产过程其他环节自动化程度越来越高, 啤酒行业越来越需要一种客观、快捷、重复性好的方法来评价啤酒风味特征。

随着科技的进步, 1982 年英国 Warwick 大学的 PERSAUD 和 DODD 模仿哺乳动物嗅觉系统的结构和机理提出了 sensory array technology, 俗称电子鼻或者电子舌的概念, 故开发采用传感器矩阵表征气味和味道及监测品质。因其整合了人工智能和现代分析手段等相关技术, 故而兼有感觉器官和现代分析技术的双重优势, 具有灵敏度高、可靠性强、重复性好、整体性等特点, 在环境、食品、医药、农业和烟草等多个领域均有所涉及<sup>[5-10]</sup>。目前, 在啤酒行业已经实现了电子舌对不同品类、不同品牌啤酒产品风味特点的定性分析<sup>[11-13]</sup>。基于口感难以量化评价的技术难题, 东京工业大学联合札幌开发了一套基于脂质覆盖的新型口感传感器, 可用于量化评价口感饱满性及顺滑性, 并利用该技术研究了口感饱满性的影响因素<sup>[14]</sup>。日本 San-Ei Gen 公司联合新潟大学也开发了电子喉, 用于评价起泡感、酒体感等<sup>[15]</sup>。受原料、酵母及工艺波动影响, 规模化大生产中不同批次啤酒风味存在微量差异, 电子舌能否定量评价同一品牌不同批次样品微小风味差异, 以及啤酒组分与传感器滋味信息间的关系尚不明确, 在一定程度上影响了电子舌

第一作者: 硕士, 工程师(胡淑敏应用研究员为通讯作者, E-mail: husm@tsingtao.com.cn)。

收稿日期: 2017-06-04, 改回日期: 2017-08-07

在质量控制以及风味调控方面的广泛应用。

本文利用感官品评及电子舌对 30 个同一品类不同批次的啤酒样品进行感官评价和电子舌滋味分析,确定了不同样品间的滋味差异,并利用偏最小二乘回归法研究了口感感官评价和电子舌滋味信号之间的量化关系,建立了基于电子舌的啤酒口感定量评价技术;在此基础上,利用风味化学分析及数学统计分析技术,研究了电子舌传感器滋味信号和啤酒化学成分之间的关系,阐明电子舌的呈味机理。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验样品、主要试剂和主要仪器

10°P 啤酒样品共计 37 个,来自于青岛啤酒股份有限公司,样品均使用相同配方、工艺酿造,样品货架期均小于 20 d。

化学标准品醇酯类(正丙醇、异丁醇、异戊醇、乙酸乙酯、乙酸异戊酯、己酸乙酯、辛酸乙酯)、离子及有机酸类( $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、乳酸、乙酸、甲酸、丙酮酸、琥珀酸、草酸、柠檬酸),糖类(葡萄糖,麦芽糖,麦芽三糖)均购自 Sigma 公司。

$\alpha$ -ASTREE 电子舌(7 个化学传感器阵列和 1 个 Ag/AgCl 参比电极)系统,法国 Alpha MOS 电感耦合等离子体发射-质谱仪(ICP-AES),美国 Thermo Fisher 公司;P/ACE MDQ 毛细管电泳系统,美国 Beckman 公司;气相色谱仪,美国珀金埃尔默公司;高效液相色谱仪,美国 Waters 公司;冰点渗透压仪,德国 Loser 公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 啤酒口感特性感官品评

口感感官品评流程:首先,确定口感饱满性(fullness)为啤酒在口中饱满度和黏稠度的感官描述;圆润性为入口后圆滑、水体顺畅下咽的感官描述。第二,感官品评过程中需大口饮用,并忽略气味和口味的影响。第三,用 2 个口感特征得分固定的样品进行品评培训并作为标尺,其中 A 样品口感特征得分为 6, B 样品口感特征得分为 8, 其他样品与 A、B 比较并确定口感特性得分。第四,共有 8 位品酒师组成口感特性专门品评小组,其中国家级品酒员 4 名,其他为省级和公司级品评员。取平均值作为最终得分。

#### 1.2.2 啤酒样品电子舌分析

采用 Astree 第五套传感器,包括 SRS、GPS、STS、UMS、SPS、SWS、BRS 7 根传感器,选择 Ag/AgCl 作为参比电极。当未检测样品时,7 个传感器和标准电极均有一个初始电势差,并且保持稳定状态。当传感器

进入样品时,薄膜选择性吸附样品溶液中的游离分子,从而导致传感器与标志电势差发生改变。待薄膜吸附平衡后,这个电势差会保持在一定数值范围内。选用这个电势值作为最后的检测结果。由于不同传感器吸附分子不同,得出的电信号也不同。检测每一个样品时传感器共采集 120 s。在进行数据分析和处理是,采用第 120 s 的稳定数据作为输出值进行分析。

#### 1.2.3 啤酒糖组分分析方法

啤酒糖组分(单糖、二糖、三糖及麦芽四糖以上)采用体积排阻液相色谱法<sup>[16]</sup>。

多糖分子质量分布分析方法<sup>[17]</sup>:采用 3kDa 及 30kDa 截留分子质量的超滤膜处理啤酒,体积排阻液相色谱法测定截留后多糖组成。

#### 1.2.4 啤酒醇酯分析方法

醇类(异戊醇、异丁醇及正丙醇)及酯类(辛酸乙酯、己酸乙酯、乙酸异戊酯、乙酸乙酯)物质采用气相色谱法<sup>[18]</sup>测定。

#### 1.2.5 啤酒有机酸和离子分析方法

阴离子( $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{Cl}^-$ )和有机酸(柠檬酸、富马酸、草酸、琥珀酸/苹果酸、丙酮酸、甲酸、乙酸、乳酸)采用离子色谱法<sup>[19]</sup>测定。

阳离子( $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ )采用电感耦合等离子体发射光谱仪<sup>[20]</sup>。

#### 1.2.6 啤酒蛋白质及分子质量分布分析方法

采用考马斯亮蓝法测定啤酒中高分子蛋白质含量<sup>[21]</sup>。

采用毛细管电泳法分析啤酒中蛋白分子质量分布范围。

#### 1.2.7 啤酒渗透压测定分析方法<sup>[22]</sup>

渗透压:啤酒除气,然后通过冰点渗透压仪测定。

冻干后渗透压:取 5 mL 啤酒放入平皿中,冷冻干燥后用等体积去离子水溶解,然后使用冰点渗透压仪测定溶解后渗透压值。冻干后渗透压代表啤酒中非挥发性物质的浓度。

#### 1.2.8 啤酒总多酚分析方法

采用福林酚比色法测定<sup>[23]</sup>。

#### 1.2.9 数据统计分析

数据统计分析采用 SPSS 及 Minitab 分析。

## 2 结果

### 2.1 啤酒各滋味指标差异性分析

本文采用第 5 套传感器系统,包括 SRS、GPS、

STS、UMS、SPS、SWS、BRS 共 7 根传感器,其中 SRS、STS、UMS 分别是对酸味、咸味和鲜味敏感的专一性传感器,能够给出不同样品 3 种滋味相对强度大小。由表 1 可知,纳入本研究的 30 个样品其在 7 根传感器上的滋味信号响应值存在差异。由离散系数可以看出,样品在鲜味 UMS、SPS 上差异性最大,其次是 GPS、咸味 STS 以及酸味 SRS、SWS,而 BRS 的差异性最小。从极差值上可以看出,UMS、SPS、STS 及 GPS 大于 100。分析电子舌 7 根传感器对全部样品的区分辨别能力,判别能力最高为 1,数值越大则判别能力越强,其中 UMS、GPS 接近 1,判别能力最强,其次为 SPS、SRS 及 SWS,BRS 及 STS 最弱。

表 1 啤酒各滋味指标的差异性分析 (n=30)

Table 1 The significance analysis of each sensor signal of beer by electronic tongue analysis (n=30)					
指标	平均值	标准差	离散系数(CV)/%	极差	判别指数
SRS	1 160	19	1.64	73	0.762
GPS	1 306	39	2.99	102	0.902
STS	1 387	31	2.24	134	0.272
UMS	425	57	13.41	216	0.991
SPS	976	51	5.23	148	0.825
SWS	1 230	14	1.14	53	0.684
BRS	1 398	9	0.64	36	0.524

经 Person 相关性分析发现(表 2),啤酒样品各传感器之间呈现出一定的相关性,其中 GPS 与 SPS、SWS 均呈显著正相关( $P<0.001$ ),与咸味 STS 呈现负相关( $P<0.001$ );鲜味 UMS 与咸味 STS 呈现负相关( $P<0.001$ ),与 SWS 呈现正相关( $P<0.001$ );SPS 与 SWS 呈现正相关( $P<0.001$ )。

表 2 啤酒各滋味指标的相关性分析 (n=30)

Table 2 Correlation analysis of each taste signal of beer by electronic tongue analysis (n=30)						
传感器	SRS	GPS	STS	UMS	SPS	SWS
GPS	-0.099	1				
STS	0.389 *	-0.637 ***	1			
UMS	-0.365 *	0.687 ***	-0.725 ***	1		
SPS	-0.127	0.971 ***	-0.579 ***	0.684 ***	1	
SWS	0.172	0.736 ***	-0.620 ***	0.781 ***	0.692 ***	1
BRS	-0.088	0.440 *	0.051	0.209	0.547 **	0.109

注:Person 皮尔逊线性相关分析:\*\*\*表示  $P<0.001$ ,\*\*表示  $P<0.01$ ,\*表示  $P<0.05$ 。

2.2 不同啤酒样品滋味指标分析

根据 30 个啤酒样品 7 根传感器上的滋味信号响应值,利用软件对信号值分析,能够在 0 到 12 刻度上比较不同样品间的各种滋味的相对强度。从图 1 雷达图上可以直观地看到样品间在哪些传感器的响应

上存在差异。例如 12 号样品在 SRS 酸味响应值高,UMS 咸味、SWS 传感器上响应值较弱。

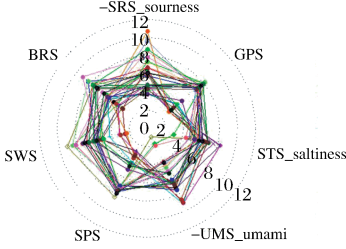


图 1 不同啤酒味觉强度指标雷达图  
Fig. 1 Radar chart of taste strength of 30 beer samples

主成分分析通过对原始数据向量的线性交换,利用降维的思想将多个指标转化为少数几个彼此不相关的综合指标。利用主成分分析方法对 30 个样品的滋味响应信号进行整体分析(图 2),在以 2 个权重最高的第一主成分(PC1,贡献性得分 75.5%)和第二主成分(PC2,贡献性得分 17.4%)作图时,能很好地反映样品的实际情况,且全部样品的主成分分析的识别指数为 95,表明不同啤酒样品滋味信号有差异,表明同一品类的不同产品能够通过电子舌很好地区分开来。

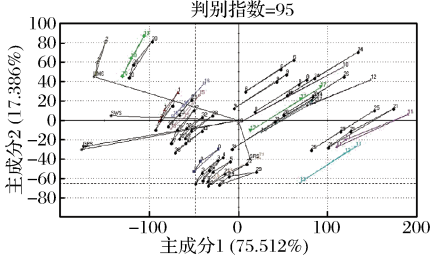


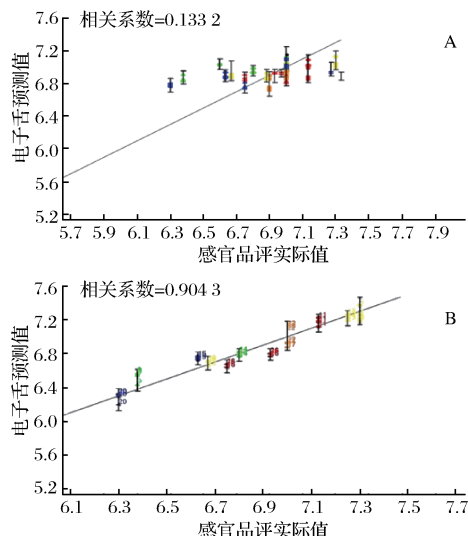
图 2 主成分分析及载荷图  
Fig. 2 Principal component analysis of beer flavor characteristics

2.3 基于电子舌滋味响应信号值的口感评价模型

口感是啤酒在口腔表面产生的特有的触觉感,是对啤酒一种综合性感觉。这是由物理及化学性质决定的这样或者那样的感觉,因此感官描述较为复杂,感官品评更加难以一致。为研究利用电子舌滋味响应信号建立口感评价模型的可能性,本文将 7 个传感器滋味响应值为自变量,口感饱满性得分为目标值,利用偏最小二乘回归方法(PLSR)建立自变量与目标值之间的相关性。

首先将 30 个样品的感官品评得分与电子舌数据进行 PLSR 分析,由图 3-A 可知 PLSR 曲线相关系数较低,仅为 0.133 2。造成相关系数低的原因首先是口感感官描述较为模糊,不同轮次的品评数据存在一定波动;其次为人类阈值与电子舌的阈值存在数量级

上的差异,对于人感觉滋味很相近的物质,电子舌上将差异放大,更加敏感地识别差异。



A-30个样品响应图;B-12个样品响应图

图3 电子舌实际感官品评得分与PLSR方程预测值响应图

Fig.3 Plot of PLS regression between observed and predicted mouthfeel scores on taste signal from electronic tongue

为了更好地建立模型,从30个样品中选择风味物质存在差异的样品12个,为消除不同轮次间感官

品评的波动,在同一品评轮次中对12个样品的口感打分。将12个样品的口感得分与电子舌数据进行分析,相关系数得到极大的提高,达到0.9043(图3-B),说明感官得分与电子舌预测得分相关性比较好。

为验证基于电子舌的口感预测模型,选择5个差异较大的样品进行模型验证,实际值和预测值有很好的对应性,相关系数达到0.9523。整体来看,可利用电子舌对啤酒样品风味特征进行预测。目前该模型仅适用于该品类,且采用相同工艺连续生产的样品。

## 2.4 呈味机理研究

为进一步阐明影响7根传感器滋味信号响应值的风味物质,分析30个样品中40种风味物质含量,包括糖类、蛋白质、醇类、酯类、有机酸、阴阳离子等。将40个风味化学指标组成X-matrice,7根传感器(SRS、STS、UMS、SWS、BRS、SPS及GPS)的滋味响应值为Y-matrice,PLSR回归建立风味指标和不同滋味响应值之间的模型,基于风味指标的SRS、STS、UMS、SWS、BRS、SPS及GPS的PLSR回归模型的 $R^2$ 方值分别为0.97、0.83、0.95、0.92、0.92、0.91及0.89,表明不同滋味响应值的变化是由风味物质变化导致(图4)。

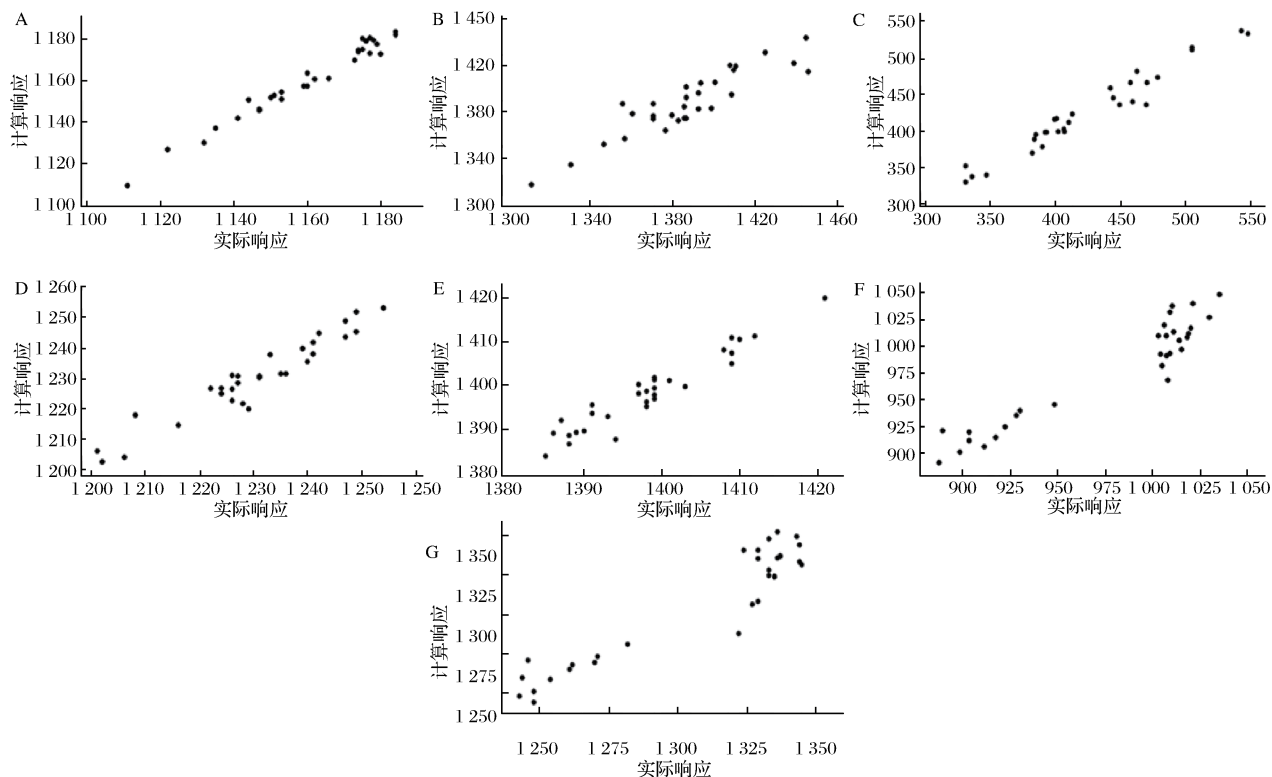


图4 SRS(A)、STS(B)、UMS(C)、SWS(D)、BRS(E)、SPS(F)及GPS(G)实际滋味响应值和预测值关系图

Fig.4 Correspondence of SRS (A),STS (B),UMS (C),SWS (D),BRS (E),SPS (F) and GPS (G) between observed values and prediction values of flavor

利用 PLSR 回归模型的标准化回归系数 (standard regression coefficient, SRC) 无量纲地比较各个自变量对因变量的影响,阐明 40 种风味物质分别对 7 个传感器滋味响应值的影响程度。其中 SRC 绝对值越高,代表影响程度越显著,SRC 绝对值越低,代表影响程度越低。

如图 5 和表 3 所示,同一种风味物质对 7 根传感器滋味响应值的影响及程度不同,例如  $\text{PO}_4^{3-}$  是影响 SRS、STS 滋味信号值的正面因素,但却是影响 GPS、UMS、SWS 及 BRS 滋味信号值的负面因素。又比如  $\text{Na}^+$  可提高咸味 STS 的响应值,但却降低鲜味 UMS 的响应值;糖可提高 SWS、鲜味 UMS 以及 GPS、SPS 的滋味响应值,但却降低咸味 STS 的响应值。

啤酒中影响 7 个传感器滋味响应值的关键物质为离子 ( $\text{Na}^+$ 、 $\text{PO}_4^{3-}$ )、有机酸 (甲酸)、多糖 (麦芽三糖、四糖及以上多糖)、小分子蛋白质、总多酚以及醇

类物质。其中影响 SRS 滋味信号响应值的主要因素为有机酸 (尤其是甲酸、乙酸及丙酮酸) 和阴离子;影响 STS 的主要为醇类 (异戊醇为正面因素,异丁醇为负面因素)、离子 (正面因素)、糖类 (负面因素) 及总多酚 (负面因素);影响 UMS 的主要为离子 (负面因素)、多糖 (正面因素) 及多酚 (正面因素);影响 SWS 的主要为离子 ( $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  为正面因素, $\text{PO}_4^{3-}$  为负面因素)、多糖 (正面因素)、甲酸 (正面因素) 和蛋白 (正面因素);影响 BRS 的主要为有机酸 (甲酸、琥珀酸/苹果酸为正面因素,柠檬酸为负面因素)、多糖 (正面因素)、离子 (除  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  外均为负面因素)、蛋白 (正面因素) 及总多酚 (正面因素);影响 SPS 的主要为多糖 (正面因素)、蛋白 (正面因素);影响 GPS 的主要为蛋白 (正面因素)、多糖 (负面因素)、有机酸 (除柠檬酸外均为负面因素)、离子 (除  $\text{PO}_4^{3-}$  外均为正面因素)、醇酯 (负面因素)、总多酚 (正面因素)。

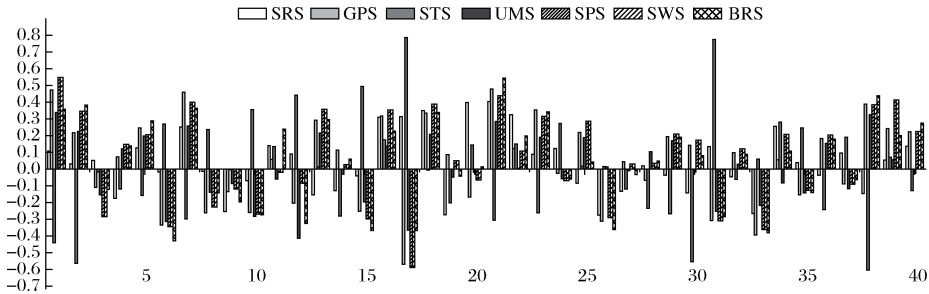


图 5 40 种风味物质对 7 根传感器滋味响应值的贡献性得分

Fig. 5 The contribution analysis of flavor compounds on 7 taste signals by electronic tongue

表 3 影响 7 根传感器滋味信号的关键物质

Table 3 Key flavor compounds correlated with 7 taste signals by electronic tongue

传感器	$ \text{SRC}  \geq 0.6$	$0.6 >  \text{SRC}  \geq 0.5$	$0.5 >  \text{SRC}  \geq 0.4$	$0.4 >  \text{SRC}  \geq 0.3$
SRS			甲酸 (+)	乙酸 (+)、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ (+)、丙酮酸 (+)、 $\text{PO}_4^{3-}$ (+)、 $\text{SO}_4^{2-}$ (+)
GPS		$\text{PO}_4^{3-}$ (-)	<10kDa 蛋白 (+)、麦芽四糖及以上 (+)、甲酸 (+)	己酸乙酯 (-)、>30kDa 多糖 (+)、柠檬酸 (-)、异戊醇 (-)、 $\text{SO}_4^{2-}$ (+)、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ (+)、琥珀酸/苹果酸 (+)、总多酚 (+)
STS	$\text{PO}_4^{3-}$ (+)、异戊醇 (+)、总多酚 (-)	麦芽三糖 (-)、异丁醇 (-)	$\text{Na}^+$ (+)、 $\text{Cl}^-$ (+)、麦芽四糖及以上 (-)	甲酸 (-)、蛋白质 (+)
UMS			$\text{Na}^+$ (-)	$\text{PO}_4^{3-}$ (-)、>30kDa 多糖 (+)、总多酚 (+)、麦芽四糖及以上 (+)
SPS		麦芽四糖及以上 (+)	<10kDa 蛋白 (+)	麦芽三糖 (+)、>30kDa 多糖 (+)
SWS		$\text{PO}_4^{3-}$ (-)、麦芽四糖及以上 (+)	<10kDa 蛋白 (+)、渗透压 (+)、甲酸 (+)	$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ (+)、总多酚 (+)、 $\text{Ca}^{2+}$ (+)
BRS		甲酸 (+)	总多酚 (+)、>30kDa 多糖 (-)	己酸乙酯 (-)、 $\text{Cl}^-$ (-)、 $\text{PO}_4^{3-}$ (-)、柠檬酸 (-)、 $\text{Na}^+$ (-)、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ (+)、琥珀酸/苹果酸 (+)、麦芽四糖以上 (+)、<10kDa 蛋白 (+)、麦芽三糖 (+)

注:()里的“+”代表与电极信号正相关,“-”代表与电极信号负相关。

### 3 结论

本文探讨电子舌在同一品类不同批次样品风味特征评价方面的应用,发现电子舌可以灵敏性判别不同样品间的滋味差异;同时建立了基于电子舌的口感评价技术,解决了口感感官评价模糊导致的量化困难的技术难题,为啤酒整体风味描述、口感定量评价提供了新的技术手段。电子舌检测样品仅需要 1~3 min,大大缩短了检测时间。在研究及实际生产中,可以使用稳定、客观的电子舌辅助个体差异大、重复性差的人工感官评价体系,建立更为客观的啤酒风味评价体系。

本文首次以国内主流啤酒品类 10°P Lager 啤酒为研究对象,阐明了影响 Lager 啤酒电子舌滋味信息的关键风味化学物质,分析了电子舌的呈味机理,为基于电子舌的感官评价体系在 Lager 啤酒风味调控方面的应用奠定了理论基础。

### 参 考 文 献

- [1] MEILGAARD M C, DALGLIESH C E, CLAPPERTON J F. Beer flavor terminology [J]. Journal of the Institute of Brewing, 2013, 85(1):38-42.
- [2] LANGSTAFF S A, LEWIS M J. The mouthfeel of beer-A review[J]. Journal of the Institute of Brewing, 2013, 99(1):31-37.
- [3] 董小雷,贾士儒.啤酒的感官品评[J].酿酒科技,2007, 153(3):110-113.
- [4] 李婷婷,胡连花,王雅玲.啤酒中风味物质检测技术研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(25):11862-11863.
- [5] LU L, HU X, ZHU Z. Biomimetic sensors and biosensors for qualitative and quantitative analyses of five basic tastes [J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2017, 87:58-70.
- [6] VLASOV Y G, LEGIN A V, RUDNITSKAYA A M, et al. Electronic tongue: Chemical sensor systems for analysis of aquatic media[J]. Russian Journal of General Chemistry, 2008, 78(12):2532-2544.
- [7] 刘瑞新,陈鹏举,李学林,等.人工智能感官:药学领域的新技术[J].药物分析杂志,2017,37(4):559-567.
- [8] 吕海鹏,张悦,杨婷,等.普洱茶滋味品质化学成分分析[J].食品与发酵工业,2016,42(2):178-183.
- [9] 王丹丹,凌霞,王念,等.基于电子舌技术对市售生抽酱油滋味品质的评价[J].食品与发酵工业,2017,43(6):244-249.
- [10] 汤尚文,郭壮,李健美.基于电子舌技术的不同品牌市售干脆面滋味品质评价[J].食品与发酵工业,2016,42(6):164-167.
- [11] 贾洪锋,梁爱华,何江红,等.电子舌对啤酒的区分识别研究[J].食品科学,2011,32(24):252-255.
- [12] 李建美,张志浩,郑韵,等.基于电子舌传感技术评价不同市售啤酒滋味品质[J].现代食品,2017(12):115-119.
- [13] 李婧祎.基于分层聚类的电子舌用于啤酒的识别[J].粮食流通技术,2016,1(2):83-86.
- [14] KANEDA H, KOBAYASHI N, WATARI J, et al. A new taste sensor for evaluation of beer body and smoothness using a lipid-coated quartz crystal microbalance[J]. Journal of the American Society of Brewing Chemists, 2002, 60(2):71-76.
- [15] FUNAMI T, MAI I, IKEGAMI A, et al. Throat sensations of beverages evaluated by in vivo measurements of swallowing[J]. Journal of Texture Studies, 2015, 46(3):187-199.
- [16] 李梅,董建军,尹花,等.体积排阻色谱法检测啤酒生产过程中的糖类化合物和发酵产物[J].食品工业科技,2012,33(23):320-322.
- [17] LANDSCHOOT A V, VANDERPUTTEN D, STALS I, et al. Spectrum of polysaccharides degradation products of ales and lager beers[C]//European Conference on Food Chemistry. Gesellschaft Deutscher Chemiker, 2005:615-618.
- [18] 王志沛,季晓东,武千钧,等.啤酒中挥发性风味物质的分析及风味评价[J].酿酒科技,2001,106(4):59-61.
- [19] 杨朝霞,王珣璆,李梅.有机酸分析方法之比较[J].啤酒科技,2009(9):17-20.
- [20] 张宇昕,郝俊光,纪秀苹.微波消解-电感耦合等离子体-质谱法连续测定啤酒花中的11种微量元素[J].光谱实验室,2013,30(1):224-227.
- [21] 黄淑霞,余俊红,史媛英,等.考马斯亮蓝法测定啤酒中的高分子质量蛋白质[J].啤酒科技,2006(8):59-62.
- [22] HU S, FAN W, DONG J, et al. Validation and application of osmolyte concentration as an indicator to evaluate fermentability of wort and malt[J]. Journal of the Institute of Brewing, 2017, 123(4):488-496.
- [23] 马美范,王新明.福林法测定啤酒多酚含量的研究[J].食品研究与开发,2013,34(5):93-96.

(下转第206页)