

脱脂纯牛奶感官评价与电子鼻分析相关性研究

迟雪露, 宋 铮, Khalmetov Muratzhan, 艾娜丝*, 孙宝国

(北京工商大学 北京食品营养与人类健康高精尖创新中心, 北京市食品添加剂工程技术研究中心, 北京市食品风味化学重点实验室, 北京 100048)

摘要: 选取 4 种市售不同品牌的 UHT (超高温灭菌) 脱脂纯牛奶作为研究对象, 通过感官描述性分析和电子鼻技术对其风味属性进行评价。采用主成分分析(PCA)和聚类分析(CA)结合偏最小二乘回归(PLSR)法将电子鼻传感器性能和感官属性进行相关性分析。感官评价结果显示: 样品奶油味及脂质感评分均较低, A 样品奶腥味明显, 影响整体风味; 对 4 种样品进行 PCA 分析, 结果表明: PC1 和 PC2 的贡献率分别为 66.87% 和 33.13%, 区分效果较好; 基于感官属性和传感器响应值的 PLSR 分析建立的相关性模型, 其中 PC1 方差贡献率为 49%, PC2 为 34%, 能够很好地解释感官属性和传感器响应值之间的相关性, 反映脱脂纯牛奶样品的整体信息。

关键词: UHT 脱脂纯牛奶; 感官评价; 电子鼻技术; 相关性; 香料与香精

中图分类号: TS252.5 文献标识码: A 文章编号: 1003-5214(2018)06-0998-06

Study on Correlation between Sensory Evaluation and Electronic Nose Sensors Analysis of Skimmed Milk

CHI Xue-lu, SONG Zheng, Khalmetov Muratzhan, AI Na-si*, SUN Bao-guo

(Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health, Beijing Laboratory for Food Quality and Safety, Beijing Key Laboratory of Flavor Chemistry, Beijing 100048, China)

Abstract: Four kinds of commercially ultra-high-temperature (UHT) skimmed milk were selected to evaluate the flavor attributes by sensory descriptive analysis and electronic nose technique. Principal component analysis (PCA), cluster analysis (CA) and partial least squares regression (PLSR) were used to analyze the correlation between electronic nose sensor performance and sensory attributes. The results showed that creamy and fat attributes had low sensory score, obvious fresh smell affected the overall flavor of sample A. PCA results indicated that the contribution rate of PC1 was 66.87% and that of PC2 was 33.13%. The electronic nose could distinguish four samples well. For the correlation model of sensory attributes and sensor response values based on PLSR analysis, the PC1 variance contribution rate was 49% and that of PC2 was 34%. These two methods could be combined, which make up the defects of sensory evaluation and intelligence sensory technology and available to provide a reference of improving the flavor of UHT skimmed milk.

Key words: UHT skimmed milk; sensory evaluation; electronic nose; correlation; perfumes and essences

Foundation items: National Key R&D Program (2016YFD0401100); Research Foundation for Youth Scholars of Beijing Technology and Business University (QNJJ2016-16)

牛乳营养较为完善且易消化吸收^[1-2], 在人们日常生活中占据重要地位^[3]。人们对乳制品的喜好受其风味及感官品质的影响^[4-7], 而这些因素与乳中脂类的含量相关^[8-10]。脱脂纯牛奶因缺少脂肪而风味

欠佳, 但是对于肥胖及心血管疾病等消费群体具有潜在的价值。

通常采用感官评定方法评价乳品品质, 直观了解消费者对产品的感官感受^[11]。然而, 感官评价中

收稿日期: 2017-09-08; 定用日期: 2017-11-22; DOI: 10.13550/j.jxhg.20170733

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项 (2016YFD0401100); 北京工商大学青年教师科研启动基金资助项目 (QNJJ2016-16)

作者简介: 迟雪露 (1992—), 女, 硕士生。联系人: 艾娜丝 (1986—), 女, 博士, 讲师, E-mail: ainasi@btbu.edu.cn。

评价时间及疲劳效应可影响感官评价实验的重现性, 感官人员的生理及心理状况也会对产品评价结果产生影响^[12], 这就要求感官人员具有高灵敏的感官识别能力及较强的语言描述能力, 对既定属性进行反复评价, 以期减小误差。相较于感官评价方法而言, 电子鼻技术是近几年兴起并广泛应用于挥发性风味分析领域的新兴技术。目前, 电子鼻技术已经成功地应用于乳制品^[13]、茶^[14]、果汁^[15]、肉制品^[16]、咖啡^[17]、红酒^[18]及其他食品的风味分析中, 此新兴技术弥补了感官评价的局限性, 但对于综合属性的区分不如人工感官评价灵敏、真实。

本文结合感官评价和电子鼻技术分析 4 种不同品牌市售脱脂纯牛奶, 将人工感官评价和电子鼻的检测结果对比分析并建立关联, 全面分析脱脂奶的感官品质。为脱脂奶风味分析研究提供技术参考。

1 实验部分

1.1 材料与仪器

4 种市售不同品牌脱脂纯牛奶, 含脂量均为 0.5% 以下 (每 100 g 样品中乳脂肪的质量), 样品标记为 A、B、C、D; MilkoScan FT120 乳成分分析仪, 福斯华 (北京) 科贸有限公司; PEN2 便携式电子鼻系统, 德国 Airsense 公司; 电子分析天平 (ME104), 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司; DF-101S 集

热式恒温加热磁力搅拌器, 予华仪器有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 感官属性及评分标准的确定

按照 GB/T 16291.1—2012^[19]对评价成员进行筛选和培训, 通过考察感官识别及表达能力, 选择感觉灵敏度高, 表达能力强的感官评价人员 8 人, 建立感官评价小组, 其中女性 5 名, 男性 3 名, 年龄范围在 20~30 周岁。

针对筛选后的脱脂纯牛奶的感官属性, 对 4 个样品的特征风味属性强度进行评价。感官评价人员对脱脂纯牛奶样品进行品评, 评价过程在独立感官评价室内进行, 每个小组成员的评价均是独立进行, 成员间相互无干扰。要求评价人员从视觉、嗅觉、味觉等方面描述出系列样品的所有感觉。描述词收集后, 经过整理并进行描述词的筛选, 最终确定脱脂纯牛奶的感官属性。样品感官评价标准为 0~5 分, 0 分为感官属性强度最弱, 5 分为感官属性强度最强, 评分上限为 5 分。

1.2.2 感官评价

通过描述性检验对样品脱脂纯牛奶进行感官分析, 使用随机的 3 位数字对脱脂纯牛奶样品进行编号, 根据表 1, 感官评价小组成员对样品每一个属性打分。收集感官评价人员的数据结果, 并进行统计分析。

表 1 描述性检验评分标准

Table 1 Sensory attributes and standard of quantitative descriptive analysis

序号	属性	评价标准
1	奶香味	感受样品原本具有的奶香味的程度, 满分为 5 分
2	奶甜味	品尝样品时, 口腔感受到甜味强度, 满分为 5 分
3	奶油味	感受样品在口腔中残留的油腻感强度, 满分为 5 分
4	腥味	品尝样品是否具有类似金属的、泥土的腥味, 满分为 5 分
5	酸味	品尝样品时, 口腔感受到的酸味强度, 满分为 5 分
6	咸味	品尝样品时, 口腔感受到的咸味强度, 满分为 5 分
7	涩味	品尝时, 嘴和舌头感受到的一种褶皱感的强度, 满分为 5 分
8	苦味	品尝样品是否感受到苦味强度, 满分为 5 分
9	脂质感	样品在口腔当中的柔软性、流动性和均匀性强度, 满分为 5 分
10	后味	感官评价结束后, 残留在口腔以及喉中的感觉强度, 满分为 5 分

1.2.3 电子鼻实验

PEN 2 便携式电子鼻设备由 10 个传感器组成, 分别为 W1C、W5S、W3C、W6S、W5C、W1S、W1W、W2S、W2W 和 W3S, 电子鼻的 10 个传感器对不同的挥发性化合物组成灵敏度有所差异, 电子鼻传感器性能描述见表 2。

为了保证电子鼻测试结果的准确性, 电子鼻系统在检测之前要进行预热和校准。取 5 mL 脱脂纯牛奶样品装入电子鼻 20 mL 具塞样品瓶中, 同时加入

1.0 g NaCl 及转子, 水浴温度 (40±2) °C, 30 r/min 磁力搅拌 10 min。水浴结束后同时将补空气针和样品吸收针插入 20 mL 具塞样品瓶中。同一样品传感器清洗时间为 300 s, 自动调零时间 10 s, 样品准备时间 5 s, 样品测试时间 60 s, 进样流量 300 mL/L。要求每种样品测量前后, 传感器都进行清洗和标准化, 以消除漂移现象并减小实验误差。为了保证电子鼻测试结果的准确性, 每个样品 4 组平行, 选取测定过程中 55~60 s 的数据进行统计分析。

表 2 电子鼻传感器性能描述^[20]
Table 2 Sensors properties of electronic nose^[20]

传感器	性能描述	探测主要基团	传感器对应基团的阈值/(mL/m ³)
W1C	对芳香成分灵敏	C ₇ H ₈	10
W5S	灵敏度大, 对氮氧化物灵敏	NO ₂	1
W3C	氨水, 对芳香成分灵敏	C ₆ H ₆	10
W6S	对氢气有选择性	H ₂	100
W5C	对脂肪族芳香化合物灵敏	C ₃ H ₈	1
W1S	对甲烷、碳氢化合物灵敏	CH ₄	100
W1W	对硫化物灵敏	H ₂ S	1
W2S	对乙醇灵敏	CO	100
W2W	对硫化物和氯化物灵敏	H ₂ S	1
W3S	对甲烷灵敏	CH ₄	100

2 结果与讨论

2.1 感官评价结果分析

根据感官评价实验, 将数据进行统计分析后绘制的描述性检验雷达图见图 1。

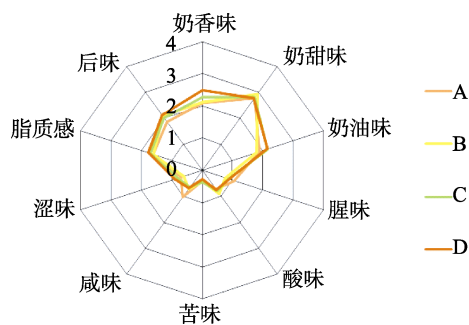


图 1 4 种样品描述性检验雷达图

Fig.1 Radar chart of sensory evaluation of four samples

由图 1 可知, 综合整体风味, 评价人员对 A、B 样品的接受度和认可度低于 C、D 样品。对比乳制品特有的奶香味、奶甜味、奶油味属性, B 样品奶香味和奶油味属性评分最低, 奶甜味明显, D 样品中 3 个属性评分均明显高于其他样品。有研究指出, 牛乳内源酶作用于蛋白质等物质会产生滋味肽以及带有甜味和酸味的氨基酸等风味前体物质^[21]。奶香味和奶油味主要来自于牛乳脂肪中的不饱和醛、酮类物质^[22-23], 因此, 全部样品的奶香味及奶油味均较弱。D 样品的奶香味和奶油味属性高于其他 3 个样品, 这可能与奶牛自身因素、饲料和饲喂方式存在差异有关^[24]。

脂肪水解的主要产物是脂肪酸、甘油单酯和甘油二酯, 这些产物中的短链脂肪酸如丁酸、己酸等会产生强烈的令人不愉快的哈喇味、苦味等^[25], 样品均脱去绝大部分脂肪, 因此由脂肪水解带来的异味可忽略不计, 不良风味如酸味、苦味和涩味的评分均较低, 这说明 4 个样品的品质良好。脂质感是牛乳制

品在口腔中的滑度、流动性和柔软度的综合体现, 这种感觉主要来源于脂肪^[26], 4 个样品中脂质感属性的评分均较低, 差异并不明显。

奶腥味属性上 A 样品评分略高, 结合 A 样品其他感官属性评分可知, 奶腥味是影响评价人员对 A 样品喜好的主要原因。牛乳制品的甜咸风味主要和乳糖及盐类物质相关, 咸味属性上 A 样品的评分偏高, 可能是由于样品的加工工艺存在差异导致乳糖等分解程度不同, 对风味产生一定影响。

牛乳中除乳脂肪外, 蛋白质、乳糖及无机盐等成分的含量变化也在一定程度上影响牛乳的功能性质及挥发性风味。牛乳风味是多因素协同作用的结果, 日粮营养水平与营养素组成、环境因素、奶牛生理状态以及热加工过程中产生的一系列变化都会对牛乳风味产生影响^[24]。

2.2 电子鼻结果分析

电子鼻是由性能彼此重叠的多个化学传感器(即气体传感器阵列)和适当模式识别方法组成, 可识别复杂气味的仿生学仪器, 这与人和动物的鼻子一样, “闻到”的是目标物的整体气味^[27]。挥发性物质在不同传感器中的吸附和解析并不是瞬间发生的, 仪器会自动收集测试时间内各传感器的响应值。测试过程中, 测量室的气流保持不变, 在测试阶段, 待测样品挥发性气体通过顶空以恒定速率吸入设备采样单元, 最终使 10 种传感器响应值发生变化。4 种样品的 10 个传感器响应曲线的对比图见图 2。

由图 2 可知, 电子鼻中 10 个传感器的相对电阻率比值(G/G_0)是随时间变化而变化的, 图中每一条曲线都代表一个传感器, 随着采集时间的不断变化, 电子鼻传感器对样品挥发性风味物质的响应强度也相应发生变化。在进样初始阶段, 电子鼻的传感器对样品中的挥发性风味物质没有识别完全, G/G_0 值比较低, 随着时间推移, 挥发性组分在传感器表面不断富集, 传感器的 G/G_0 值不断增大, 最后趋于

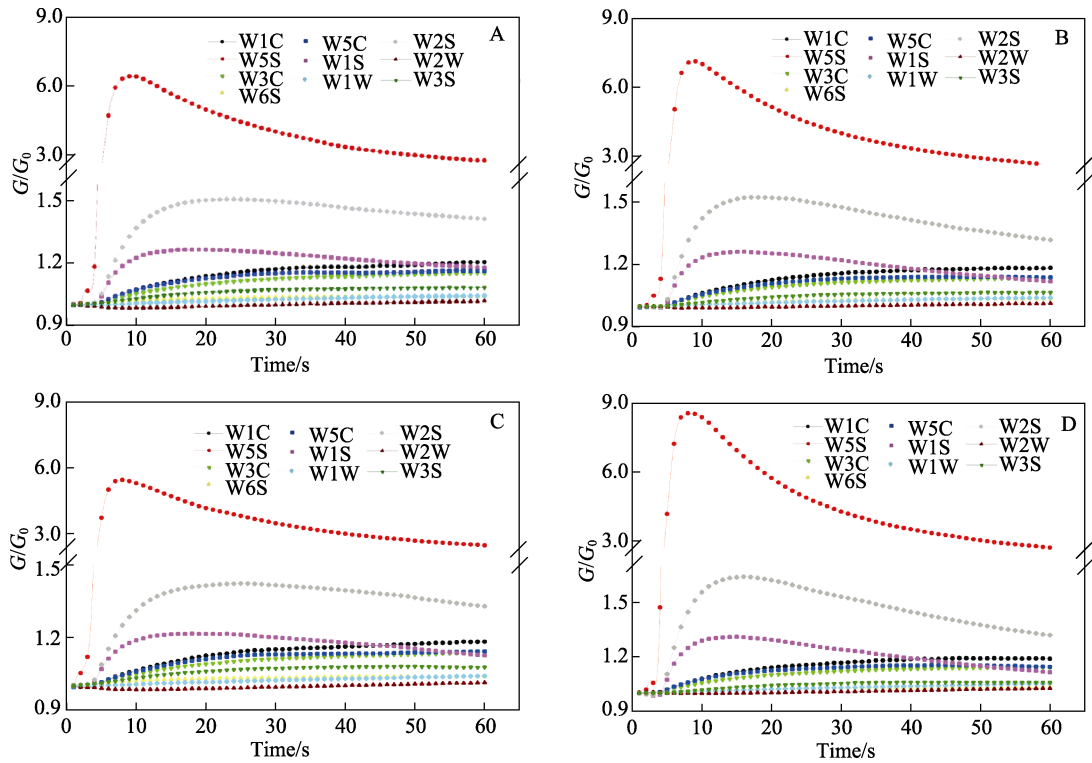


图 2 4 种样品的 10 个传感器响应曲线
 Fig. 2 Response curves of ten sensors of four samples

平缓, 达到相对稳定的状态^[28]。其中, W5S、W1S、W2S 这 3 个传感器和其他传感器相比具有更高的 G/G_0 值, 其中 W5S 传感器响应值变化最为明显, 相同条件下 D 样品响应值最大, 而 C 样品最低。图 2 中 4 组响应曲线可以充分说明电子鼻的传感器对 4 种脱脂纯牛奶样品中挥发性风味物质有较为明显的响应。为进一步验证电子鼻对 4 个样品的区分效果, 在 50~60 s 的稳定时间段内, 选取测试阶段最后 6 s 即 55~60 s 的数据进行主成分分析 (PCA), 10 个传感器灵敏度的 PCA 分析结果见图 3。

率为 98.13%, 因此, 可以认为 PC1 和 PC2 两个主成分可以代表传感器的整体信息。由 PC1 可知, W1C、W3C、W6S、W5C、W2S、W1S、W3S 均分布在靠近零轴区域, 说明这 7 个传感器对样品的区分及整体信息的采集贡献较大, 其次是 W1W 和 W5S。从 PC2 分布可知, W2W 靠近零轴, 说明在第二主成分上 W2W 对于区分 4 种不同品牌脱脂纯牛奶香气的贡献较大。

通过电子鼻采集到的数据对 4 个样品进行 PCA 分析, 结果如图 4 所示。

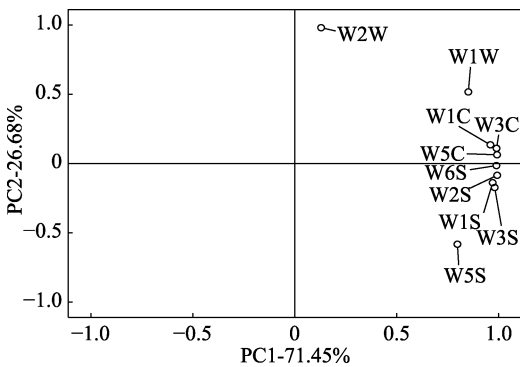


图 3 10 个传感器灵敏度的 PCA 分析结果
 Fig. 3 PCA results of the sensitivity of ten sensors

据文献报道^[28-29], 主成分的总贡献率超过 70%~85% 即可代表整体信息, 图 3 中 PC1 贡献率为 71.45%, PC2 贡献率为 26.68%, 两个主成分总贡献

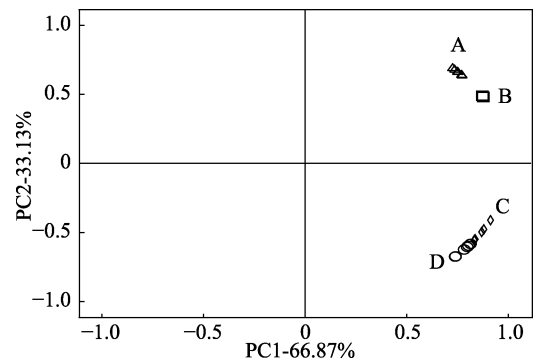


图 4 4 种样品的主成分分析结果
 Fig. 4 PCA results of four samples

由图 4 可知, 第一主成分和第二主成分的贡献率分别为 66.87% 和 33.13%。PC1 和 PC2 总贡献率为 100%, 贡献率越大, 说明主成分越能更好代表样

品的整体信息。除 C 和 D 两个样品有少许重叠之外，其他两个样品均能较好地分离，这说明完全分离的两组样品能通过电子鼻的传感器得到很好地区分，C、D 两个样品中可能存在相似的香气物质。感官评价实验中 C 样品和 D 样品的好好性评分结果接近，这与电子鼻的检测结果相一致。

聚类分析 (CA) 是降维的分析方法，用于在变量众多时寻找有代表性的变量，以便于用少量、有代表性的变量代替大变量集时，损失信息较少。通过将电子鼻的 10 个传感器的响应值作为变量，对 4 种样品进行聚类分析，结果见图 5。

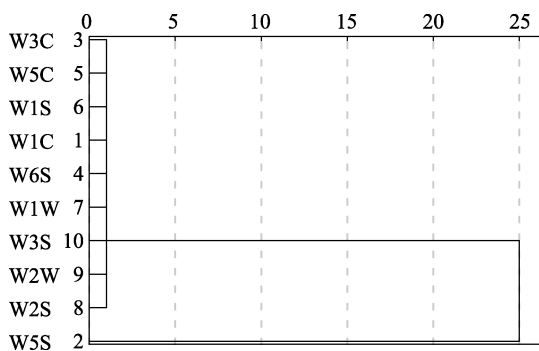


图 5 4 种样品的聚类分析结果
Fig. 5 CA results of four samples

图 5 中，10 个传感器的响应程度有差异性的区分作用，W5S 和 W3S 聚为一类，在显示 4 种脱脂纯牛奶风味的差异性中起到了相似的作用，W2W 和 W2S 起到了另一种相似的区分作用，W3C、W5C、W1S、W1C、W6S 和 W1W 则是起到了第 3 种显示 4 种样品香气差异的区分作用。通过对电子鼻测试结果进行分析，初步掌握电子鼻传感器对 4 种样品区分的相似性和相异性。

2.3 相关性分析

通过对 4 种不同品牌脱脂纯牛奶进行感官评价和电子鼻实验，运用偏最小二乘回归分析 (PLSR) 将得到的数据结果进行统计分析，进一步研究人工感官评价和智能感官分析之间的相关性。PLSR 是一种多元分析的统计法，可以很好地解决样本容量少、解释变量个数多以及变量间多重相关等问题，可以简化数据结构并进行两组变量间的相关分析^[20]。以脱脂纯牛奶的 10 个感官属性 (奶香味、奶甜味、奶油味、奶腥味、酸味、咸味、涩味、苦味、脂质感、后味) 作为 x 变量，以电子鼻 10 个传感器 (W1C、W5C、W3C、W6S、W5C、W1S、W1W、W2S、W2W、W3S) 作为 y 变量，电子鼻 10 个传感器和感官属性的相关性载荷图见图 6。

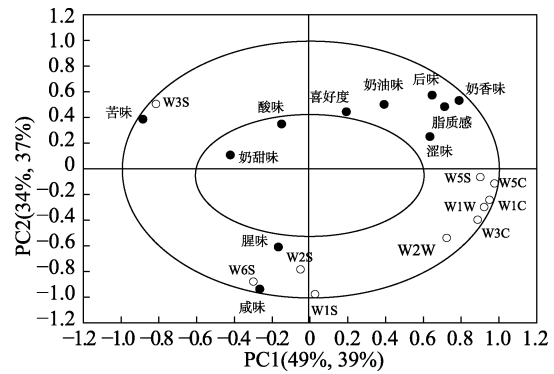


图 6 感官评价和电子鼻相关性分析
Fig. 6 The correlation between sensory attributes and electronic nose

图中里面的椭圆 (小) 代表方差贡献率为 50%，外面的椭圆 (大) 代表方差贡献率为 100%。全部传感器以及感官属性 (奶甜味和酸味除外) 均位于两个椭圆之间，说明该模型中，传感器变量可以很好地解释感官属性^[30]。从图 6 中可以看出，此 PLSR 模型的方差贡献率，PC1 为 49%，PC2 为 34%。咸味和腥臭味属性与 W1S、W6S、W2S 相关性较强，而 W5S、W5C、W3C、W1W、W2W、W1C 6 个传感器和奶油味、奶香味、脂质感、涩味感官属性一定程度上相关。

3 结论

(1) 通过对 4 种不同品牌的脱脂纯牛奶的 10 个感官属性进行感官评价，B 样品接受度和认可度低于 C、D 样品。对比乳制品所特有的奶香味、奶甜味、奶油味 3 个属性，B 样品奶香味和奶油味评分最低，奶甜味明显，D 样品中 3 个属性评分均明显高于其他样品。A 样品中咸味和腥臭味较为明显，影响整体风味。

(2) 将电子鼻 10 个传感器在稳定时间段内的数据进一步分析，传感器 PCA 结果显示，PC1 和 PC2 总贡献率达到 98.13%，10 个传感器中 W1C、W3C、W6S、W5C、W2S、W1S、W3S 在 PC1 上贡献较大，W2W 在 PC2 上贡献较大。样品 PCA 结果显示，PC1 和 PC2 的总贡献率为 100%，电子鼻对样品整体风味识别和区分效果良好。CA 结果显示，电子鼻的传感器有差异性的区分作用，W5S 和 W3S 聚为一类，W2W 和 W2S 聚为一类，W3C、W5C、W1S、W1C、W6S 和 W1W 聚为一类，聚为一类的传感器在区分样品整体风味过程中起到了相似的作用。

(3) 运用 PLSR 分析方法对感官评价和电子鼻检测数据进行统计分析，建立感官属性-电子鼻传感器 PLSR 模型，相关性结果表明电子鼻可以较好地预测不同品牌脱脂纯牛奶的感官属性。将电子鼻作

为一种辅助性分析手段对样品进行客观、快速地评价, 结合感官评价可以更加全面具体的分析脱脂纯牛奶的感官品质, 弥补了人工感官评价存在的主观性与智能感官分析的局限性, 旨在为脱脂纯牛奶品质改善及加工工艺优化提供技术参考。

参考文献:

- [1] Pereira P C. Milk nutritional composition and its role in human health[J]. *Nutrition*, 2014, 30(6): 619-627.
- [2] Visioli F, Strata A. Milk, dairy products, and their functional effects in humans: a narrative review of recent evidence[J]. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 2014, 5(2): 131-143.
- [3] Ren Fazheng (任发政), Luo Jie (罗洁), Guo Huiyuan (郭慧媛). Analysis of the current security status and industrial development of dairy products in China[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology (中国食品学报)*, 2016, 16(6): 1-6.
- [4] Zhi R, Zhao L, Shi J. Improving the sensory quality of flavored liquid milk by engaging sensory analysis and consumer preference[J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(7): 5305-5317.
- [5] Ai N, Liu H, Wang J, *et al.* Triple-channel comparative analysis of volatile flavour composition in raw whole and skim milk via electronic nose, GC-MS and GC-O[J]. *Analytical Methods*, 2015, 7(10): 4278-4284.
- [6] Zhang X M, Ai N S, Wang J, *et al.* Lipase-catalyzed modification of the flavor profiles in recombined skim milk products by enriching the volatile components[J]. *Journal of Dairy Science*, 2016, 99(11): 8665-8679.
- [7] Pivk U, Ulrich N P, Juillerat M A, *et al.* Assessing lipid coating of the human oral cavity after ingestion of fatty foods[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(2): 507-511.
- [8] Engelen L, de Wijk R A, Prinz J F, *et al.* The effect of oral and product temperature on the perception of flavor and texture attributes of semi-solids[J]. *Appetite*, 2003, 41(3): 273-281.
- [9] Engelen L, de Wijk R A, Prinz J F, *et al.* The relation between saliva flow after different stimulations and the perception of flavor and texture attributes in custard desserts[J]. *Physiology and Behavior*, 2003, 78(1): 165-169.
- [10] Engelen L, de Wijk R A, Prinz J F. The role of intra-oral manipulation in the perception of sensory attributes[J]. *Appetite*, 2003, 40(1): 1-7.
- [11] Guo Qihui (郭奇慧). The application of sensory scoring for milk drink[J]. *Journal of Dairy Science and Technology (乳业科学与技术)*, 2010, 33(6): 274-275.
- [12] Qin Lan (秦蓝), Li Fenghua (李凤华), Tian Huaixiang (田怀香), *et al.* Study on correlation between sensory evaluation and electronic nose sensors analysis of chicken seasonings[J]. *Food and Machinery (食品与机械)*, 2014, 30(4): 11-13.
- [13] Ampuero S, Bosset J O. The electronic nose applied to dairy products: a review[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2003, 94(1): 1-12.
- [14] Zhu J C, Chen F, Wang L Y, *et al.* Evaluation of the synergism among volatile compounds in Oolong tea infusion by odour threshold with sensory analysis and E-nose[J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 1484-1490.
- [15] Qiu S, Wang J. The prediction of food additives in the fruit juice based on electronic nose with chemo metrics[J]. *Food Chemistry*, 2017, 230: 208-214.
- [16] Gu X, Sun Y, Tu K, *et al.* Evaluation of lipid oxidation of Chinese-style sausage during processing and storage based on electronic nose[J]. *Meat Science*, 2017, 99: 1-9.
- [17] Dong W, Zhao J, Hu R, *et al.* Differentiation of Chinese robusta coffees according to species, using a combined electronic nose and tongue, with the aid of chemo metrics[J]. *Food Chemistry*, 2017, 229: 743-751.
- [18] Rodriguez-Mendez M L, Apetrei C, Gay M, *et al.* Evaluation of oxygen exposure levels and polyphenolic content of red wines using an electronic panel formed by an electronic nose and an electronic tongue[J]. *Food Chemistry*, 2014, 155: 91-97.
- [19] Standardization Administration of the People's Republic of China. Sensory analysis-General guidance for the selection, training and monitoring of assessors—Part 1: Selected assessors: GB/T 16291.1-2012. [S]. Beijing: Standards Press, 2012.
- [20] Liu Yongguo (刘永国), Cai Qiwei (蔡琦玮), Yang Hongwei (杨宏伟), *et al.* Multivariate analysis of the effect of gas impingement treatment at different temperatures on fruit quality of strawberry [J]. *Food Science (食品科学)*, 2013, 34(14): 324-328.
- [21] Ai Nasi (艾娜丝), Tong Lingjun (仝令君), Zhang Xiaomei (张晓梅), *et al.* Comparative analysis of volatile flavour composition in whole milk and skim Milk[J]. *Food Research And Development(食品研究与开发)*, 2016, 37(11): 1-6.
- [22] Fuchsmann P, Stern M T, Brügger Y A, *et al.* Olfactometry profiles and quantitation of volatile sulfur compounds of Swiss tilsit cheeses[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(34): 7511-7521.
- [23] Zhang Xiaomei (张晓梅), Ai Nasi (艾娜丝), Wang Jing (王静), *et al.* Research advances in milkfat and flavor improvement by enzymolysis[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology (中国食品学报)*, 2014, 14(12): 128-135.
- [24] Yang Yongxin (杨永新), Wang Jiaqi (王加启), Bu Dengpan (卜登攀), *et al.* A review on research progress in key nutritional characteristics of milk[J]. *Food Science (食品科学)*, 2013, 34(1): 328-332.
- [25] McSweeney P L H, Nursten H E, Urbach G. Flavours and off-flavours in milk and dairy products[M]. *Advanced Dairy Chemistry*, 1997, 3: 403-468.
- [26] Frøst M B, Dijksterhuis G, Martens M. Sensory perception of fat in milk[J]. *Food Quality and Preference*, 2001, 12(5): 327-336.
- [27] Wang Jun (王俊), Cui Shaoqing (崔绍庆), Chen Xinwei (陈新伟), *et al.* Advanced Technology and New Application in Electronic Nose[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery (农业机械学报)*, 2013, 44(11): 160-167, 179.
- [28] Zhou Rujun (周如隼), Yi Fengping (易封萍), Xiao Zuobing (肖作兵), *et al.* Study on the simulated perfume essence of fresh oriental[J]. *Fine Chemicals (精细化工)*, 2011, 28(3): 253-259.
- [29] Liu Li (刘立), Li Daixi (李代禧), Yu Huaixing (余华星), *et al.* Evaluation of five kinds of whole milk domestic and abroad based on sensory and electronic nose, electronic tongue[J]. *Food and Fermentation Technology (食品与发酵科技)*, 2014, 50(5): 90-96.
- [30] Niu Yunwei (牛云蔚). Study on characteristic flavor and directional control of cherry wine[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.