

# 基于超快速电子鼻对生乳快速鉴别及应用

张琳<sup>1</sup>, 胡娅洁<sup>1</sup>, 康海龙<sup>1</sup>, 李慧<sup>2</sup>, 刘庆爽<sup>2</sup>, 喻东威<sup>2</sup>, 于敏<sup>1</sup>, 逯刚<sup>2,\*</sup>

(1. 内蒙古蒙牛高科乳业有限公司, 呼和浩特 011500; 2. 内蒙古蒙牛乳业(集团)股份有限公司, 呼和浩特 011500)

**摘要:** 利用超快速电子鼻检测法快速鉴别不同地区生乳气味信息及异常乳检测应用。收集巴彦淖尔、达拉特旗、林格尔、凉城和宁夏5个地区生乳样品, 利用电子鼻对其进行检测, 建立指纹图谱, 结合保留指数和AroChemBase数据库对生乳样品气味成分进行定性分析, 利用主成分分析(PCA)、软独立建模分析(SIMCA)和判别因子分析(DFA)对生乳的香气特征进行分类预测、快速识别。结果表明, 不同样品间可以快速区分, 5个地区生乳样品在异丙醇和2-丁酮的特征峰面积含量上有主要差异。与生乳相比, 异常乳可能的主要差异化合物为乙醇、异戊醛、2-甲基丁醛、2-乙基呋喃和3-甲基-2-丁烯-1-醇, 并在异常乳中产生了麦芽味、发酵味、酸味以及油腻味等不良气味。DFA判别因子累计区分指数100%, 可以有效区分生乳和异常乳。综上所述, 超快速电子鼻能够较好分析生乳气味信息, 并快速、有效地鉴别生乳质量。

**关键词:** 生乳; 超快速电子鼻; 挥发性成分; 检测分析

中图分类号: TS252/TS252.7

文献标识码: A

文章编号: 1006-2513(2024)8-0208-0009

doi: 10.19804/j.issn1006-2513.2024.8.026

## Rapid identification and application of raw milk based on ultra-fast electronic nose

ZHANG Lin<sup>1</sup>, HU Yajie<sup>1</sup>, KANG Hailong<sup>1</sup>, LI Hui<sup>2</sup>, LIU Qingshuang<sup>2</sup>, YU Dongwei<sup>2</sup>,  
YU Min<sup>1</sup>, LU Gang<sup>2,\*</sup>

(1. Inner Mongolia Mengniu High-Tech Dairy, Co., Ltd., Hohhot 011500;

2. Inner Mongolia Mengniu Dairy (Group) Co., Ltd., Hohhot 011500)

**Abstract:** The odor information of raw milk from different regions was quickly identified and the application of abnormal milk was detection by ultra-fast electronic nose detection. Raw milk samples selected from five different regions (Bayannur, Dalate County, Horinger, Liangcheng and Ningxia) were detected by ultra-fast electronic nose, and fingerprints were established. Combined with retention index and AroChemBase database, the aroma components of raw milk samples were qualitatively analyzed. The aroma characteristics of raw milk were classified, predicted and quickly identified by principal component analysis (PCA), soft independent modeling of class analysis (SIMCA) and discriminant factor analysis (DFA). The results showed that different samples could be quickly distinguished, and significant differences were observed in the peak area content of isopropanol and 2-butanone in raw milk samples from the five regions. In addition, compared with raw milk, the main differing compounds in

收稿日期: 2023-11-23

基金项目: 呼和浩特科技计划资助项目(2021-农-重-1)

作者简介: 张琳(1982-), 女, 本科, 助理工程师, 研究方向: 乳品安全检测。

\*通信作者: 逯刚(1978-), 男, 高级工程师, 研究方向: 食品安全与质量分析。E-mail: lugang@mengniu.cn

abnormal milk were ethanol, 3-methylbutanal, 2-methylbutanal, 2-ethyl furan and 3-methylbut-2-en-1-ol, and some unpleasant smells such as malt taste, fermented taste, sour taste and greasy taste were produced in abnormal milk. The cumulative discriminant index of DFA discriminant factor was 100%, which could effectively distinguish raw milk from abnormal milk. To sum up, ultra-fast electronic nose could well analyze the odor information of raw milk, and quickly and effectively identify the quality of raw milk.

**Key words:** raw milk; ultra-fast electronic nose; volatile components; detection and analysis

牛奶作为常见的乳制品之一,其中含有丰富的蛋白质、脂肪、乳糖、维生素等多种营养物质<sup>[1-2]</sup>,深受人们喜爱,因此其口感及挥发性成分的研究也不断增多,研究表明,乳中主要含有醛、酮、脂肪酸、酯、醇和芳香化合物等成分<sup>[3]</sup>。此外,生乳中的挥发性成分分析是获取其信息和区分不同生乳的有效方法,如果乳出现变质或者掺假情况,其成分会随之发生变化。现有感官分析检测<sup>[4]</sup>、顶空固相微萃取<sup>[5]</sup>、气相色谱质谱<sup>[6]</sup>等已被用于乳中挥发性成分的检测分析。其中感官分析需要具备专业能力的工作人员<sup>[7-8]</sup>,费力且不灵活,而气相色谱-质谱能够进行气味信息分离并完成定性定量<sup>[9-10]</sup>,现有研究中利用气相色谱-质谱鉴别分析牛乳挥发性成分的研究较多。Kang N K<sup>[11]</sup>等人采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱对新鲜和变质牛乳样品进行检测,鉴定出约30种挥发性化合物。Hougaard A B<sup>[12]</sup>等人通过气相色谱-质谱测定了在80、100℃和120℃下灭菌乳中的59种挥发性成分。但是气相色谱-质谱检测过程比较复杂,耗时较长,并且无法对不同地区生乳进行快速检测与分类。因此,生乳快速、有效检测鉴别方法与手段的开发与利用是十分重要的。

电子鼻通过模仿人类嗅觉感知实现对样品中的挥发性化合物识别分类,从而对样品进行快速检测<sup>[13]</sup>。但是超快速电子鼻是使用气相色谱的原理实现气味分析,从而快速分离样品中有差异的挥发性成分,将分离筛选出的色谱峰作为传感器,通过主成分分析和建立不同模型来判别分析各种气味物质,同时结合保留指数利用AroChemBase数据库定性分析<sup>[14]</sup>。其中主成分分析又被称为主分量分析,其作为多元统计方法的一种,在数据转换和降维多项指标后,对降维后特征向量线性分类,捕捉数据集中的最大差异,建立二维图或者三维图<sup>[15]</sup>。软独立建模分析作为一种定性分析

的手段,可以进行简单判别。样品判别分类可以通过不同类别样品在主成分空间的类距离差异来实现,此外,通过逐个验证样本交叉有效性来计算百分比<sup>[16-17]</sup>。判别因子分析用于判定个体所属类别,是在PCA的基础之上,不同类组间数据差异进一步扩大,同类组间数据差异进一步缩小,从而更好地识别数据,能够更好地体现样品间的差异性<sup>[18]</sup>。研究表明,电子鼻能够对不同加工和不同种类的成品乳进行快速区分鉴别,但在生乳地区溯源,生乳异常方面的鉴别研究较少。

文章中以牛生乳为分析对象,利用电子鼻,针对不同地区生乳以及异常乳的气味成分进行快速分析和鉴别,利用化学计量学分析其气味,为生乳地区溯源,质量监控奠定基础。该项技术在生乳检测领域的引入能够使客观判别其气味成为可能。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

生乳,来自不同地区生牛乳(巴彦淖尔,达拉特旗,和林格尔,凉城,宁夏);异常乳,混入变质豆奶粉(或草料)的生牛乳样品;nC<sub>6</sub>~nC<sub>16</sub>标准品,美国RESTEK公司;水,自制超纯水。

### 1.2 仪器与设备

超快速电子鼻,配有PAL-RSI自动进样器及色谱柱:MXT-5(Crossbond 5%二苯基/95%二甲基聚硅氧烷)/MXT-1701(Crossbond 14%氰丙基苯基/86%二甲基聚硅氧烷);RZ33821单通道移液器,美国Thermo Fisher Scientific公司;Synergy超纯水系统,法国Millipore公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 样品制备

分别取生乳样品,置于20 mL顶空进样瓶中,加盖密封待检测。

#### 1.3.2 电子鼻进样方法考察

为了确认进样方法,以实现分析效果良好的

目的,对电子鼻检测条件进行优化。选取同一样品,分别对样品用量、振荡温度和进样体积进行单因素考察,分析其对气味色谱峰峰面积以及峰形的影响。具体实施方案见表1~3。

表1 样品量的试验条件

| 样品量 /mL | 温度 /℃ | 进样体积 / $\mu$ L |
|---------|-------|----------------|
| 2       | 80    | 4000           |
| 3       | 80    | 4000           |
| 4       | 80    | 4000           |
| 5       | 80    | 4000           |

表2 振荡温度的试验条件

| 样品量 /mL | 温度 /℃ | 进样体积 / $\mu$ L |
|---------|-------|----------------|
| 4       | 70    | 4000           |
| 4       | 80    | 4000           |
| 4       | 90    | 4000           |
| 4       | 100   | 4000           |

表3 进样体积的试验条件

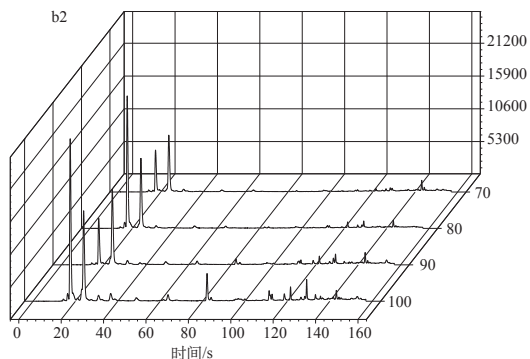
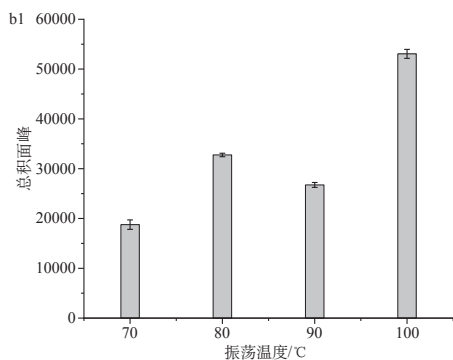
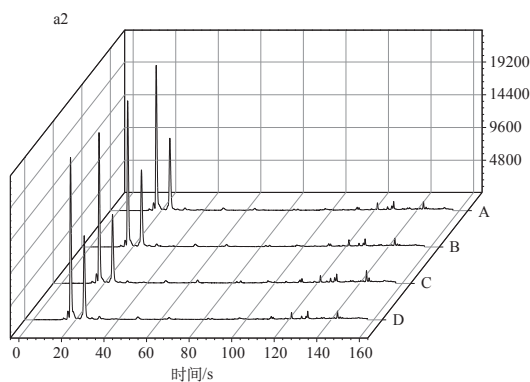
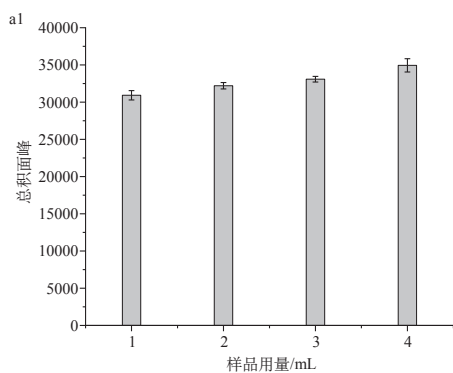
| 样品量 /mL | 温度 /℃ | 进样体积 / $\mu$ L |
|---------|-------|----------------|
| 4       | 100   | 2000           |
| 4       | 100   | 3000           |

| 样品量 /mL | 温度 /℃ | 进样体积 / $\mu$ L |
|---------|-------|----------------|
| 4       | 100   | 4000           |
| 4       | 100   | 5000           |

**1.3.2.1 进样量考察** 由图1(a)可知,当加热振荡温度为80℃,加热振荡时间15 min,进样体积4000  $\mu$ L,检测同一样品不同样品用量,随着样品用量的增大,峰面积逐渐增大。样品用量为4 mL时,峰面积趋于饱和,综合考虑最终选择样品用量为4 mL。

**1.3.2.2 振荡温度考察** 由图1(b)可知,当样品用量为4 mL,加热振荡时间15 min,进样体积4000  $\mu$ L,检测同一样品不同振荡温度,除了90℃测试,峰面积有所降低,其余峰面积随着加热振荡温度的增大,峰面积逐渐增大。当振荡温度为100℃时,峰形完整,峰面积最大。因此选择振荡温度为100℃。

**1.3.2.3 进样体积考察** 由图1(c)可知,当样品用量为4 mL,加热振荡温度为100℃,加热振荡时间15 min,检测同一样品不同进样体积,随着进样体积的增大,峰面积逐渐增大,综合考虑最终选择进样体积为5000  $\mu$ L。



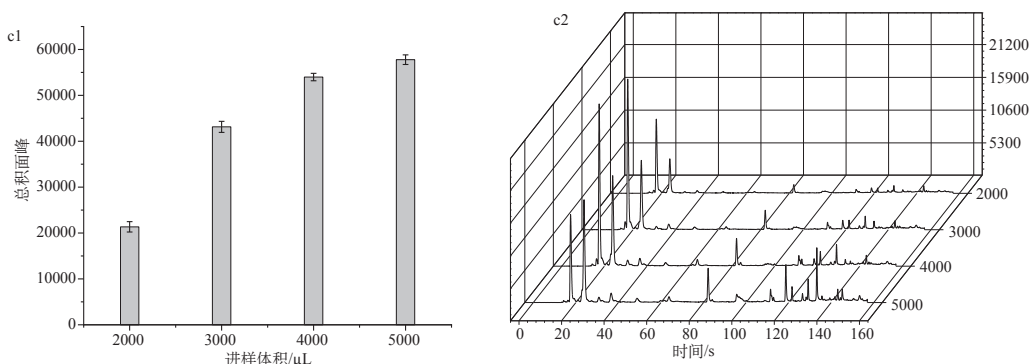


图1 不同样品用量 (a)、振荡温度 (b) 和进样体积 (c) 对峰面积和峰形的影响

Figure 1 Influence of different sample volume, oscillating temperature and injection volumes on peak area and shapes

综上所述, 选取进样量为 4 mL, 进样体积 5000  $\mu\text{L}$ , 加热振荡时间 15 min 作为最终测试条件。此条件能够满足样品量多, 检测速度快等检测需求。

### 1.3.3 电子鼻检测参数

采用超快速电子鼻对生乳样品进行检测, 分析参数如表 4 所示。根据电子鼻检测程序设定, 加热振荡器中可同时放入三个样品瓶, 因此设定程序开始检测后, 只有第一个样品振荡需 15 min, 同时放入其他样品后, 第一个样品与第二个样品检测中间间隔只有 8 min 左右。与气相色谱-质谱检测需前处理后在上机的检测所需时间 (大约 1 h) 和流程<sup>[3, 20]</sup>相比, 该方法更适用于大批量样品检测, 相比人工品评该方法省时省力且人为因素较小<sup>[4]</sup>。

表 4 电子鼻分析参数

Table 4 Analysis parameters of electronic nose

| 序号 | 参数     | 优化条件                       | 序号 | 参数        | 优化条件  |
|----|--------|----------------------------|----|-----------|---|
| 1  | 样品量    | 4 mL                       | 10 | 捕集阱初始温度   | 50 $^{\circ}\text{C}$   |
| 2  | 样品瓶体积  | 20 mL                      | 11 | 捕集阱分流速度   | 5 mL/min  |
| 3  | 加热振荡时间 | 15 min                     | 12 | 捕集持续时间    | 30 s  |
| 4  | 加热振荡温度 | 100 $^{\circ}\text{C}$     | 13 | 捕集阱最终温度   | 240 $^{\circ}\text{C}$  |
| 5  | 孵化炉转速  | 700 r/min                  | 14 | 柱温初始温度    | 50 $^{\circ}\text{C}$   |
| 6  | 进样体积   | 5000 $\mu\text{L}$         | 15 | 柱温的程序升温方式 | 1.5 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 至 140 $^{\circ}\text{C}$ , 3.0 $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 至 250 $^{\circ}\text{C}$ 保持 20 s |
| 7  | 进样速度   | 250 $\mu\text{L}/\text{s}$ | 16 | 采集时间      | 157 s   |
| 8  | 进样口温度  | 200 $^{\circ}\text{C}$     | 17 | 检测器温度     | 270 $^{\circ}\text{C}$  |
| 9  | 进样持续时间 | 25 s                       | 18 | FID 增益    | 12  |

### 1.4 数据处理

超快速电子鼻运用 AlphaSoft 软件完成 PCA、SIMCA 和 DFA, 利用 AroChemBase 数据库定性分析样品气味化合物, Origin 2019 作图, 采用 SPSS 25 进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同地区生乳鉴别分析

#### 2.1.1 不同地区生乳气味指纹图谱分析

通过电子鼻对不同地区生乳进行检测, 生乳气味指纹图谱, 如图 2 所示。对各地区指纹图谱进行对比分析后, 发现生乳气味指纹图谱中共检出 16 个共有峰, 不同地区生乳样品峰的数量几乎没有差异, 110 s 后的气味峰较为密集、峰面积较小, 结合 16 个特征峰相对峰面积热图 (图 3) 分析, 1 号特征峰相对峰面积含量巴彦淖尔生乳样品 (A1~6) 最高, 3 号特征峰相对峰面积含量达拉特旗生乳样品 (B1~6) 最高, 结果表明, 不同地区生乳特征峰基本相同, 但特征峰含量有明显区别。

#### 2.1.2 生乳气味定性分析

为明确不同地区生乳气味信息成分, 对比正构烷烃  $\text{nC}_6 \sim \text{nC}_{16}$  标准品的保留时间, 将气味指纹图谱中 16 个共有峰保留时间转换为保留指数之后, 与 AroChemBase 数据库进行比对, 鉴定出 16 个可能共有化合物, 如表 5 所示。结果表明, 特征峰峰面积相对最大的两组峰为 1 和 3 号峰可能为异丙醇和 2-丁酮, 由此可见, 牛乳中醇类和酮类组分的峰面积大于其他挥发性成分, 据报道, 酮作为牛乳中的一种天然挥发性化合物<sup>[19]</sup>。

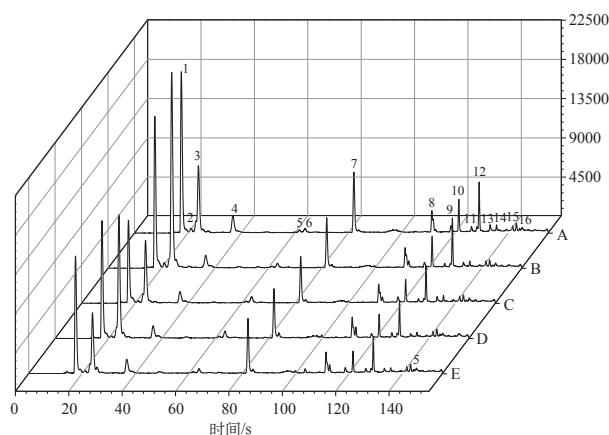


图2 不同地区生乳气味峰指纹图谱

Figure 2 The odor chromatogram fingerprints of raw milk from different regions

注: A. 巴彦淖尔 B. 达拉特旗 C. 和林格尔 D. 凉城 E. 宁夏

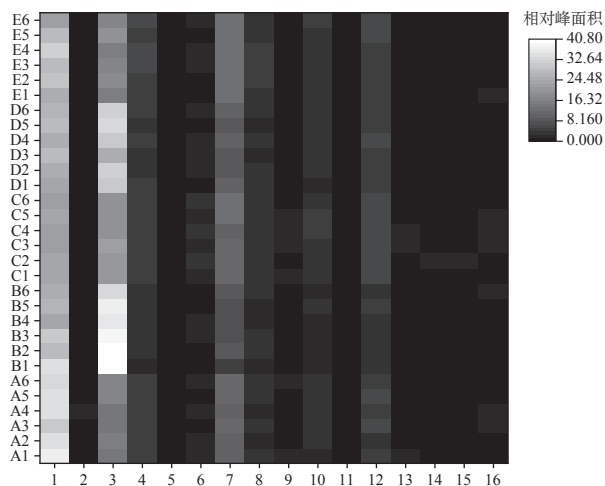


图3 不同地区生乳气味峰相对峰面积热图分析

Figure 3 Heatmap analysis of odor chromatogram relative peak area of raw milk from different regions

注: 1~16. 色谱峰; A1~6. 巴彦淖尔; B1~6. 达拉特旗; C1~6. 和林格尔; D1~6. 凉城; E1~6. 宁夏

表5 生乳中可能化合物及感官描述信息

Table 5 Possible compounds and sensory description information in raw milk

| 峰号 | 保留时间/s | 保留指数 | 分子式  | 可能化合物             | 感官描述信息                                 |
|----|--------|------|--|-------------------|--|
| 1  | 17.54  | 471  | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O                | 异丙醇               | 丙酮、酒精、乙醇、醚、花香的, 植物的、令人愉快的、木头味          |
| 2  | 21.16  | 545  | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O                | 正丙醇               | 酒精、乙醇、水果、发酵的、泼辣                        |
| 3  | 23.98  | 601  | C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O                | 2-丁酮              | 丙酮、黄油、奶酪、巧克力、醚、芳香的、水果、甜的、令人愉快的、尖锐的、泼辣  |
| 4  | 36.90  | 690  | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O               | 2-戊酮              | 丙酮、香蕉、水果、甜的、木头味                        |
| 5  | 61.80  | 793  | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O               | 2-己酮              | 丙酮、肉桂、醚、水果、酮、肉、泼辣                      |
| 6  | 63.94  | 802  | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O               | 正己醛               | 橡木、醛类、新鲜、水果、牛油、草、绿、强烈的、葡萄酒             |
| 7  | 82.22  | 893  | C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O               | 环己酮               | 丙酮、薄荷                                  |
| 8  | 111.44 | 1094 | C <sub>9</sub> H <sub>18</sub> O               | 2-壬酮              | 烤熟的、奶酪、新鲜、水果、牛奶(热)、甜的、绿、肥皂味的、          |
| 9  | 118.60 | 1167 | C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O               | 反, 顺-2, 6-壬二烯-1-醇 | 黄瓜、紫罗兰、绿、多叶                            |
| 10 | 121.54 | 1198 | C <sub>10</sub> H <sub>20</sub> O <sub>2</sub> | 辛酸乙酯              | 苹果、烘焙果味、花香的, 植物的、新鲜、水果、甜的、葡萄酒、薄荷、绿、肥皂味 |
| 11 | 126.28 | 1260 | C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>2</sub>  | 丙位辛内酯             | 焦糖化、椰子、奶油的、奶制品、水果、草本、泼辣                |
| 12 | 129.16 | 1298 | C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O <sub>2</sub> | 壬酸乙酯              | 水果、玫瑰、朗姆酒、蜡质的                          |
| 13 | 133.28 | 1362 | C <sub>9</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>  | 椰子醛               | 椰子、奶油的、水果、桃、甜的、强烈的、木头味的、蜡质的            |
| 14 | 135.68 | 1398 | C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub> | 癸酸乙酯              | 苹果、葡萄、甜的、水果、蜡质的                        |
| 15 | 141.72 | 1499 | C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub> | 月桂酸               | 椰子、温和的、蜡质的                             |
| 16 | 143.12 | 1522 | C <sub>15</sub> H <sub>22</sub>                | 去氢白菖烯             | 花香、草本、辣                                |

此外,牛乳中检测到醛类、酯类等化合物,结果与 E.Chouliara<sup>[20]</sup>、Yue J<sup>[21]</sup> 以及 Vazquez-Landaverde P A<sup>[22]</sup> 等人利用气相色谱-质谱研究发现牛乳中的挥发性气味成分类似。图 4 为生乳气味特征成分气味轮,图中显示,16 个可能化合物主要分为 6 个主观感知类别,被感知为“蜡质的”和“泼辣”的化合物个数相对较多,主要感官描述为奶油的、奶制品、甜的,都为生乳特征感官风味。综上所述,通过电子鼻指纹图谱检测方法可以快速对样品进行定性分析,以此鉴别生乳成分。

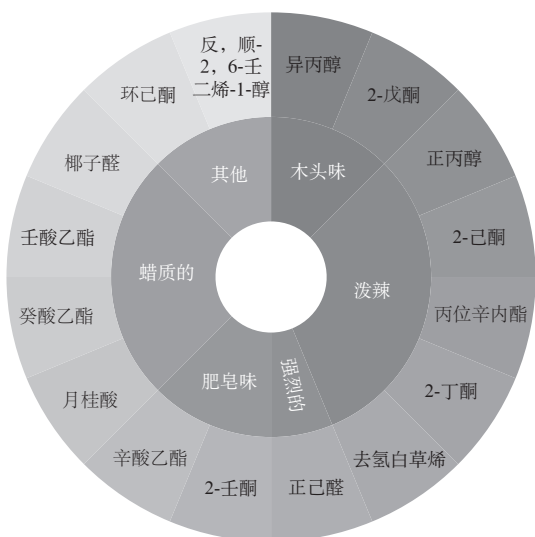


图 4 生乳气味特征成分(外圈)和主观感知类别(内圈)的气味轮

Figure 4 Flavor wheel of 16 main odor characteristic components (outer circle) and subjective perception category (inner circle) in raw milk

### 2.1.3 不同地区生乳的主成分分析

对不同地区生乳进行 PCA 分析,结果如图 5 所示。在 PCA 模型中,主成分贡献率为(PC1: 67.272%; PC2: 27.608%),累计贡献率能够达到 94.88%,因此主成分分析结果可以较好地代表样品气味信息。对其进行区分后,样品中达拉特旗生乳样品(B)与巴彦淖尔生乳样品(A)、和林格尔生乳样品(C)及宁夏生乳样品(E)在以 PC2 为区分轴时区分开,达拉特旗生乳样品(B)在以 PC2 为区分轴时距离相对较远,和林格尔生乳样品(C)、凉城生乳样品(D)及宁夏生乳样品(E)与巴彦淖尔生乳样品(A)以 PC1 轴作为区分。结

果表明 PCA 分析能够较好区分生乳气味信息。

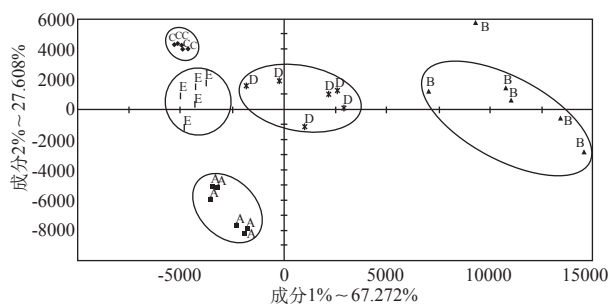


图 5 不同地区生乳的 PCA 分析

Figure 5 PCA analysis of raw milk from different regions

注: A. 巴彦淖尔 B. 达拉特旗 C. 和林格尔 D. 凉城 E. 宁夏

### 2.1.4 不同地区生乳聚类分析

聚类分析利用分析对象特征从而进行分类的方法,广泛应用到指纹图谱分析领域<sup>[23]</sup>。为初步判定峰面积较大的异丙醇、2-丁酮和环己酮含量对生乳地区归属的影响,以生乳中检测的相关含量为变量,欧式距离平方为度量标准,通过组间平均数联结法完成聚类分析,结果如图 6 所示。其中,和林格尔生乳样品(C)与宁夏生乳样品(E)先聚为一类,此类生乳异丙醇、2-丁酮和环己酮含量相对偏低,再与巴彦淖尔生乳样品(A)聚为一类后与凉城生乳样品(D)聚为一类,最后与达拉特旗生乳样品(B)聚类,达拉特旗生乳样品的各物质含量较高。

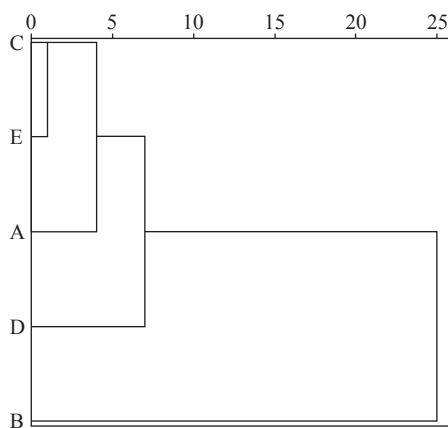


图 6 不同地区生乳的聚类分析

Figure 6 Cluster analysis of raw milk from different regions

注: A. 巴彦淖尔 B. 达拉特旗 C. 和林格尔 D. 凉城 E. 宁夏

### 2.1.5 不同地区生乳软独立建模分析

图 7 为不同地区生乳 SIMCA,从图中可以看

出, 以和林格尔样品 (C) 为参照对 4 类不同地区的生乳样品进行 SIMCA 分类, 由图可知, 巴彦淖尔、达拉特旗、凉城、宁夏生乳样品均在参照区域外, 表明 SIMCA 为有效模型, 能将不同地区的生乳进行准确、有效的区分。

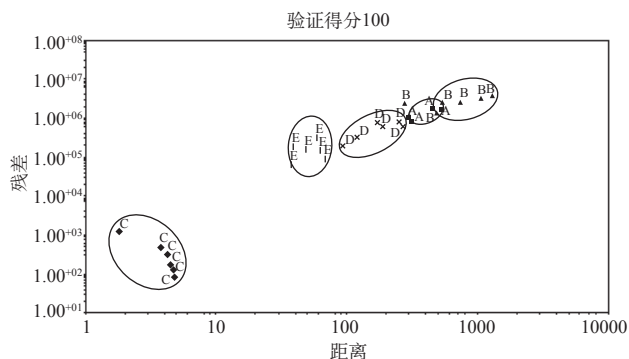


图 7 不同地区生乳 SIMCA 分类

Figure 7 SIMCA classification of raw milk from different regions

注: A. 巴彦淖尔 B. 达拉特旗 C. 和林格尔 D. 凉城 E. 宁夏

## 2.2 生乳和异常乳鉴别分析

### 2.2.1 生乳和异常乳气味指纹图谱分析

通过在样品中混入草料, 表示在挤奶过程中生乳遭受污染, 豆奶变质会产生酸臭味, 因此以混入变质豆奶粉来表示生乳发酵情况。将混入不同物质的生乳样品作为异常乳, 利用电子鼻对比气味差异, 如图 8 所示。与生乳样品相比, 异常乳的色谱图出现了新的色谱峰, 原有特征峰面积

也发生明显变化, 与 AroChemBase 数据库信息进行对比从而定性分析生乳和异常乳样品气味成分, 确定了可能差异化合物名称、化合物气味信息, 如表 6 所示。其中主要差异化合物为乙醇、异戊醛、2-甲基丁醛、2-乙基呋喃和 3-甲基-2-丁烯-1-醇。通过模拟发现, 异常乳产生的麦芽味、发酵味和酸味等, 是因周围环境不良以及挤奶操作不当、器皿设备污染等因素使得生乳中细菌大量生长所导致的<sup>[24-26]</sup>, 油腻味是因生乳暴露在阳光或荧光下时间过长而引起的氧化味<sup>[27]</sup>。结果表明, 电子鼻可以快速、准确地鉴别出生乳和异常乳间的气味差异。

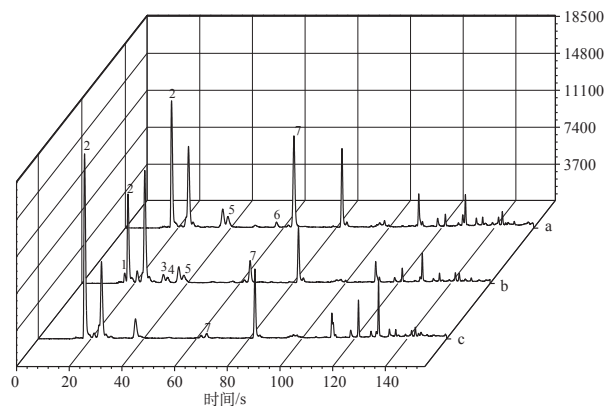


图 8 生乳和异常乳气味峰指纹图谱

Figure 8 The odor chromatogram fingerprints of raw milk and abnormal milk

注: a. 混入变质豆奶粉生乳样品, b. 混入草料生乳样品, c. 生乳样品

表 6 主要差异化合物及感官描述信息

Table 6 Main differences compounds and sensory description information

| 峰号 | 保留时间/s | 保留指数 | 分子式                              | 可能化合物         | 感官描述信息                       |
|----|--------|------|----------------------------------|---------------|------------------------------|
| 1  | 16.29  | 444  | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O  | 乙醇            | 酒精、乙醇、醚、芳香的、令人愉快的、泼辣、甜的      |
| 2  | 17.54  | 471  | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O  | 异丙醇           | 丙酮、酒精、乙醇、醚、花香的、植物的、令人愉快的、木头味 |
| 3  | 31.15  | 651  | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O | 异戊醛           | 醛类、油腻的、杏仁、奶酪、烤的、草本           |
| 4  | 32.73  | 661  | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O | 2-甲基丁醛        | 杏仁、麦芽、发霉、呛人的、酸味、烧焦的、发酵的      |
| 5  | 38.71  | 702  | C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O  | 2-乙基呋喃        | 酸性的、烧焦的、土的、麦芽、泼辣、甜的          |
| 6  | 57.39  | 776  | C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O | 3-甲基-2-丁烯-1-醇 | 水果、绿、草本、薰衣草                  |
| 7  | 63.94  | 802  | C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O | 正己醛           | 橡木、醛类、新鲜、水果、牛油、草、绿、强烈的、葡萄酒   |

### 2.2.2 生乳和异常乳判别因子分析

对生乳进行 DFA 分析, 结果如图 9 所示, 图中横、纵坐标判别因子 1、2 累积区分指数达到

100%, 2 种样品未出现重合部分, 且相距较远。8 批生乳样品均能得到有效分离, 所有样品按其性质分为 2 类, 结果表明, 通过 DFA 能够快速、有

效地区分生乳和异常乳样品,且区分效果良好。

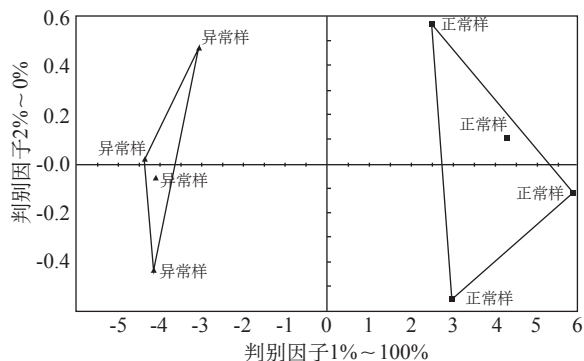


图9 生乳和异常乳判别因子分析  
Figure 9 Discriminant factor analysis of raw milk and abnormal milk

### 3 结论

基于超快速电子鼻,对比分析不同地区生乳的色谱图以及特征峰峰面积情况,从而鉴定出16种共有化合物。通过建立PCA、SIMCA模型的统计分析,能够对不同地区生乳样品气味进行快速鉴别分析。同时对比分析生乳和异常乳样品的色谱,评价其质量整体特征,结果表明,生乳和异常乳中存在的可能化合物与感官描述信息出现明显差异,异常乳中出现了新的可能化合物,为生乳异味的可能来源。DFA的统计分析能够快速鉴别生乳和异常乳样品。此外超快速电子鼻检测只需将样品置于顶空进样瓶中,加盖密封检测。从检测到出具结果平均只需8 min,真正做到快速高效检测。综上所述,超快速电子鼻的气味分析能作为快速鉴别生乳成分及含量的工具,对其质量控制和地区溯源具有重要的应用价值。

#### 参考文献:

[1] 张瑞瑞,刘慧敏,孟璐,等.乳及乳制品中病原微生物溯源技术研究进展[J].微生物学通报,2021,48(5):1788-1799.  
[2] Tunick M H, Van Hekken D L. Dairy products and health: Recent insights[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(43): 9381-9388.  
[3] Zhang S, Yang R J, Zhao W, et al. Influence of pulsed electric field treatments on the volatile compounds of milk in comparison with pasteurized processing[J]. Journal of Food Science, 2011, 76(1): C127-C132.  
[4] 蒋靖雯,林思宇,易灿,等.感官分析技术及其在乳制品中的应用[J].中国乳业,2022(2):110-116.

[5] 艾对,张富新,李延华,等.顶空固相微萃取-气质联用法分析羊乳和牛乳中挥发性化合物[J].食品与发酵工业,2014,40(10):189-193.  
[6] 孔德明,陈超,周启动,等.气相色谱-质谱联用法同时测定牛奶中的6种天然雌激素[J].分析测试学报,2023,42(2):216-220.  
[7] 高雅慧,徐良,董亚欣,等.基于Heracles II超快速气相电子鼻对不同加工方式牛奶的快速鉴别[J].食品工业科技,2019,40(14):260-263,269.  
[8] 田晴,孙立永,杨胜广,等.不同品种甘薯烘烤后感官、质构及香气成分的差异[J].食品工业科技,2021,42(5):85-92.  
[9] Jia W, Zhang R, Shi L, et al. Accurate determination of volatile-flavor components in *Bos grunniens* milk by high-throughput dynamic headspace gas chromatographic-mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2019, 1603: 67-82.  
[10] Dong W J, Hu R S, Long Y Z, et al. Comparative evaluation of the volatile profiles and taste properties of roasted coffee beans as affected by drying method and detected by electronic nose, electronic tongue, and HS-SPME-GC-MS[J]. Food Chemistry, 2019, 272: 723-731.  
[11] Kang N K, Jun T S, Yang Y S, 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.  
[12] Hougaard A B, Vestergaard J S, Varming C, et al. Composition of volatile compounds in bovine milk heat treated by instant infusion pasteurisation and their correlation to sensory analysis[J]. International Journal of Dairy Technology, 2011, 64(1): 34-44.  
[13] Sanaeifar A, ZakiDizaji H, Jafari A, et al. Early detection of contamination and defect in foodstuffs by electronic nose: A review[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2017, 97: 257-271.  
[14] 查圣华,王俊亮,周舒扬,等.基于Heracles超快速气相电子鼻对不同产地西洋参快速鉴别研究[J].食品工业科技,2023,44(1):284-291.  
[15] 武文奇,毛怡宁,李虹,等. Heracles II超快速气相电子鼻对金银花粉质量的鉴别研究[J].中国中药杂志,2019,44(23):5129-5133.  
[16] 罗霄,韦志强,俞佳,等. Heracles II气相电子鼻技术快速鉴别莘澄茄与洋澄茄[J].成都大学学报:自然科学版,2018,37(1):34-37.  
[17] 卢一,解达帅,吴纯洁.基于Heracles II超快速气相电子鼻的疏燕麦冬快速鉴别研究[J].中药材,2017,40(5):1070-1073.  
[18] 刘立轩,冷晓红,郭鸿雁,等.基于电子鼻技术的秦艽药材产地鉴别[J].时珍国医国药,2020,31(3):617-619.  
[19] Solano-Lopez C E, Ji T, Alvarez V B. Volatile compounds and chemical changes in ultrapasteurized milk packaged in polyethylene terephthalate containers[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(6).  
[20] Chouliara E, Georgogianni K G, Kanellopoulou N, et al. Effect of ultrasonication on microbiological, chemical and

- sensory properties of raw, thermized and pasteurized milk [J]. International Dairy Journal, 2010, 20 (5) : 307-313.
- [21] Yue J, Zheng Y R, Liu Z M, et al. Characterization of volatile compounds in microfiltered pasteurized milk using solid-phase microextraction and GC × GC-TOFMS [J]. International Journal of Food Properties, 2015, 18 (10) : 2193-2212.
- [22] Vazquez-Landaverde P A, Velazquez G, Torres J A, et al. Quantitative determination of thermally derived off-flavor compounds in milk using solid-phase microextraction and gas chromatography [J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88 (11) : 3764-3772.
- [23] 姜丽, 胡伯凯, 王忠伟, 等. 基于高效液相色谱法构建贵州青花椒指纹图谱及聚类分析 [J]. 中国食品添加剂, 2023, 34 (8) : 253-260.
- [24] 余剑华. 牛奶异味及其产生原因 [J]. 乳业科学与技术, 2004, 27 (2) : 68-69.
- [25] 马燕芬, 卢德勋, 王丽芳. 牛奶产生不良气味的原因、预防措施及其评分标准 [J]. 乳业科学与技术, 2007, 30 (3) : 159-162, 158.
- [26] 张聪. 从源头保证乳品安全: 原奶质量管理: 访成都优然牧业有限责任公司质量工程师罗正中 [J]. 食品安全导刊, 2019 (S1) : 34-35.
- [27] 白延琴, 史慧智, 王若勇, 等. 生乳异味产生的原因及分析 [J]. 畜牧兽医杂志, 2017, 36 (5) : 79-81.

## 行业组织 品牌展览

### 2024国际天然提取物和健康食品配料展览会 ( FIC-健康展2024 )

#### 暨第二十三届全国秋季食品添加剂和配料展览会

展出时间: 2024年11月21~23日

展出地点: 广州中国进出口商品交易会展馆B区

主/承办单位:

中国食品添加剂和配料协会 中国国际贸易促进委员会轻工行业分会  
北京中食添会展中心 《中国食品添加剂》杂志社有限公司

地址: 北京市朝阳区朝外大街甲6号万通中心C座1402室

电话: 010-59795833

传真: 010-59071335 59071336

电子信箱: cfaa1990@126.com

联系人: 张越宸 尹胜利 陈艳燕

展会网址: www.cfaa.cn