

基于电子鼻和电子舌技术对市售羊奶粉的鉴定及检测

乔春艳¹ 宋卓岩¹ 张雪茹¹ 郝果² 刘永峰^{1*}

(1. 陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710062; 2. 富平县检验检测中心, 陕西 富平 711700)

摘要:为鉴别及检测不同地区市售羊奶粉的品质,用电子鼻和电子舌技术对陕西地区和非陕西地区(包含国内非陕西地区和国外地区)的纯羊奶粉和配方羊奶粉共 35 种市售羊奶粉进行分类与检测,探究不同产地、不同配方之间羊奶粉的差异,对羊奶粉品质进行分析判别。结果表明,电子鼻技术可实现对纯羊奶粉和配方羊奶粉、国内地区与国外地区纯羊奶粉的有效区分;电子舌技术可实现对纯羊奶粉和配方羊奶粉、陕西地区和国内非陕西地区纯羊奶粉的有效区分。因此采用电子鼻和电子舌技术对不同产地来源、不同配方种类的羊奶粉进行分析,并对多种奶粉进行质量评估检测,可为市售羊奶粉质量的快速准确评估及其规范化生产提供理论依据。

关键词:电子鼻;电子舌;羊奶粉;鉴定

Identification and Quality Detection of Commercial Goat Milk Powder Using Electronic Nose and Electronic Tongue

QIAO Chunyan¹ SONG Zhuoyan¹ ZHANG Xueru¹ Hao Guo² LIU Yongfeng^{1*}

(1. College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China; 2. Fuping County Testing and Inspection Center, Fuping 711700, China)

Abstract: To identify and test the quality of commercially available goat milk powder (pure and formulated) from different regions (Shaanxi, domestic non-Shaanxi regions and foreign regions), electronic nose and electronic tongue technology were used to analyze and discriminate 35 such samples from these regions with different formulations. The analysis results showed that electronic nose was able to achieve effective differentiation between pure and formulated goat milk powder, as well as between pure goat milk powder from domestic and foreign regions. Additionally, the electronic tongue technology can achieve effective differentiation between pure and formulated goat milk powder, and between pure goat milk powder from Shaanxi and domestic non-Shaanxi regions. Therefore, electronic nose and electronic tongue can be used to analyze goat milk powder from different origins and different formulations, to identify its origin and evaluate the quality. It is believed that this study provides a theoretical basis for a rapid and accurate evaluation of the quality of goat milk powder and its standardized production.

Keywords: electronic nose; electronic tongue; goat milk powder; identification

羊奶是最接近母乳的乳品^[1],富含 200 多种营
养素和生物活性物质,具有较高的生物利用度,是
消费者的理想食物^[2-3]。目前,羊奶市场的主要产品
形式是羊奶粉,中国作为全球最大的羊奶消费国正

以超过 25% 的增速发展。羊奶粉品牌的逐渐扩增,
使市场上的羊奶粉质量评价成为值得关注的话题。
传统感官评价虽能体现消费者对食品的视觉、触
觉、味觉和嗅觉感受,但存在重复性差、个体差异大

基金项目:陕西省重点研发计划项目(2024NC-ZDCYL-03-07,2022KXJ-010);西安市科技计划项目(24NYGG0018)。

通信作者:刘永峰(1981—),男,博士,教授,博士研究生导师,主要从事畜产品科学研究。E-mail:yongfeng200@126.com

收稿日期:2022-05-31 修回日期:2022-06-30

等缺点,难以科学合理地对羊奶粉进行质量评估^[4]。此外,羊奶粉品质不仅受奶源、加工工艺、贮藏条件等多种因素的影响^[5],也受产地、饲养、环境、技术等因素的影响。因此,为了给消费者提供科学的理论指导,对市售羊奶粉进行差异评估尤为重要。

电子鼻和电子舌分别通过模拟人的嗅觉和味觉,避免了由于生理味觉和嗅觉的主观影响和缺陷引起的感官评价不足^[6-8]。利用不同传感器间的交叉响应信号实现对样本品质的分析,具有信号易于获得、信息丰富、全面表征样品性质等优势,已被广泛应用于食品、烟草、石油化工、医学等多个领域^[9-13]。在羊奶品质分析和检测中,电子鼻可以应用于风味强度^[14]、抗生素残留^[15-16]、掺假^[17]、贮藏时间^[18]、发酵风味变化^[19]等方面的品质检测。Yang等^[20]探究了电子鼻数据、感官数据和游离脂肪酸(free fatty acids, FFA)水平之间的关系,发现电子鼻系统评价与感官评价具有良好的相关性。Ding等^[15]进行了通过电子鼻检测山羊奶中不同浓度青霉素G的可行性、准确性和有效性测试,结果表明电子鼻系统可用于预测羊奶中青霉素G的浓度。张虹艳等^[18]利用电子鼻对常温和冷藏1~6 d的新鲜羊奶分类对比,线性判别式分析(linear discriminant analysis, LDA)表现出更明显的挥发性成分变化趋势,且与样品酸度的相关性较强。马利杰等^[17]结合电子鼻和多种化学计量方法,对山羊奶粉是否掺假进行了快速定性鉴别和定量分析。韩慧等^[21]基于电子舌检测系统实现了对羊奶质量的快速检测,用核主成分分析(kernel principal component analysis, KPCA)对不同纯度的羊奶进行定性鉴定,准确率达到100%。Tazi等^[22]在室温环境下每隔2 h对新鲜牛羊奶进行1次检测,采用主成分分析(principal component analysis, PCA)和LDA分别对电子舌的反应进行评估,结果表明电子舌能有效区别牛羊奶的口感。刘立等^[23]利用电子鼻和电子舌技术对国内外5种全脂牛奶进行检测分析,发现可较好区分不同品牌的牛奶,并指出可以将电子鼻和电子舌检测系统应用于乳制品质量控制、掺伪鉴别和溯源分析。综上,作者考虑了陕西地区和非陕西地区的产地来源,还综合考虑了纯羊奶粉、中老年配方羊奶粉、婴幼儿配方羊奶粉、学生配方羊奶粉等常见羊奶粉产品种类,基于电子鼻、电子舌技术开展了市

售羊奶粉质量的评估检测,旨在为市售羊奶粉质量的快速准确评估以及奶粉的规范化生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验所用市售羊奶粉共35种,包括29种纯羊奶粉与6种配方羊奶粉(2种中老年配方羊奶粉、3种婴幼儿配方羊奶粉、1种学生配方羊奶粉)。陕西地区纯羊奶粉包含宝鸡市4种、渭南市5种、西安市2种和咸阳市7种。国内非陕西地区纯羊奶粉包含云南省2种、内蒙古自治区3种。国外纯羊奶粉包含荷兰1种、澳大利亚2种、新西兰3种。具体羊奶粉分类见表1。

为验证电子鼻和电子舌技术检测羊奶粉的稳定性,从市场上购买4种新羊奶粉产品,分别为婴幼儿配方奶粉、纯羊奶粉、陕西地区纯羊奶粉和澳大利亚纯羊奶粉。

1.2 仪器与设备

超声波振荡仪:KQ3200B型,昆山市超声仪器有限公司;电子鼻:SuperNose型,美国Isenso Group公司;电子舌:SmarTongue型,美国Isenso Group公司。

1.3 试验方法

1.3.1 电子鼻检测

参照文献^[23]的方法并稍加改进,对市售羊奶粉进行电子鼻检测。将奶粉样品和蒸馏水以体积比1:8混合摇晃至奶粉颗粒完全溶解,超声20 min,于(40±1)℃水浴30 min,转移至集气瓶,用封口膜封口,液体量不超过瓶身的1/3,室温静置1 h待气体饱和,进行电子鼻检测。设置参数:进样量10 mL,冲洗时间120 s,空气流量600 mL/min。

1.3.2 电子舌检测

参照文献^[23]的方法并稍加改进,对市售羊奶粉进行电子舌检测。将奶粉样品和蒸馏水以体积比1:8混合摇晃至奶粉颗粒完全溶解,超声20 min,于(40±1)℃水浴30 min,取15 mL样品转移至样品皿中,运行电子舌仪器在室温下进行数据采集。设置参数:传感器放大倍数IE-4,采样时间180 s,频次1次/s。

1.4 数据处理

所有试验均重复5次,将电子鼻和电子舌分析

表 1 羊奶粉样品分类

Table 1 Sample classification of goat milk powder

地区类别	地区名称	羊奶粉类别	羊奶粉样品编号
陕西地区	宝鸡市	纯羊奶粉	1、2、3、5
		配方羊奶粉	4(中老年配方羊奶粉)
	渭南市	纯羊奶粉	6、7、8、10、11
		配方羊奶粉	9(婴幼儿配方羊奶粉)、12(中老年配方羊奶粉)
	西安市	纯羊奶粉	13、16
		配方羊奶粉	14(婴幼儿配方羊奶粉)、15(学生配方羊奶粉)
咸阳市	纯羊奶粉	17、18、19、20、22、23、24	
	配方羊奶粉	25(婴幼儿配方羊奶粉)	
国内非陕西地区	云南省	纯羊奶粉	21、26
	内蒙古自治区	纯羊奶粉	27、28、29
国外地区	新西兰	纯羊奶粉	30、31、32
	荷兰	纯羊奶粉	33
	澳大利亚	纯羊奶粉	34、35

得到的数据进行统计分析,由仪器自带软件进行 PCA 分析。

2 结果与讨论

2.1 电子鼻结果分析

2.1.1 电子鼻雷达图分析

电子鼻传感器对应的化合物类型如表 2 所示。选用 60 s 内传感器最大响应值为特征值,绘制羊奶粉样品挥发性风味的传感器响应值雷达图。除传感器 S2 外,各羊奶粉样品的传感器最大响应值均达 0.5 以上,说明传感效果良好,电子鼻可以很好地

反映羊奶粉气味。配方羊奶粉和纯羊奶粉的雷达图如图 1 所示。两类奶粉在 S5、S8、S11、S12 等传感器中均表现出更高的响应值,说明羊奶粉中挥发性物质主要对应于这几个传感器的物质,推测可能主要是醛酮类、酸类、烷烃类、醇类。除此之外,与纯奶粉相比,部分配方羊奶粉在 S1、S7、S9、S10 还有较突出的响应峰出现,推测可能主要是胺类、氨类及烷烃物质,表明配方羊奶粉中含有的挥发性物质更复杂,这应该与配方羊奶粉中添加了维生素、脂肪酸、矿物质等多种营养素有关。

作者对 18 种陕西地区纯羊奶粉进行地域分类,分为宝鸡市、渭南市、咸阳市、西安市,其电子鼻雷达图见图 2。各羊奶粉雷达图相似,在 S5、S8、S11、S12 等传感器中均表现出更高的响应值,说明羊奶粉中挥发性物质主要对应于这几个传感器的物质,推测主要是醛酮类、酸类、烷烃类、醇类。

根据电子鼻传感器的响应值大小判断,咸阳市纯羊奶粉在传感器 S5、S8、S11、S12 的响应值显著高于渭南市、宝鸡市、西安市的纯羊奶粉,而这 3 个市之间的纯羊奶粉无显著性差异,推测咸阳市纯羊奶粉的醛酮类、酸类、烷烃类、醇类的挥发性成分含量更高。此外,渭南市、宝鸡市、咸阳市和西安市的纯羊奶粉在传感器 S1、S7 有较小响应值,且响应值无显著性差异,推测主要是胺类和酸类物质,而且同一地区不同纯羊奶粉的雷达图几乎没有重叠,表明不同地区纯羊奶粉的挥发性物

表 2 电子鼻传感器对应的化合物类型

Table 2 Compound types corresponding to the electronic nose sensors

序号	对应物
S1	氨气、胺类
S2	硫化氢、硫化物
S3	氢气
S4	乙醇、有机溶剂
S5	醇类、酮类、醛类
S6	甲烷、沼气、天然气
S7	可燃性气体
S8	VOC(多用于环境气体污染检测)
S9	液化气、天然气、煤气
S10	液化气、可燃气体
S11	烷烃、乙醇、天然气、烟雾
S12	乙醇、有机溶剂
S13	烟气、烹调臭味
S14	甲烷、燃气

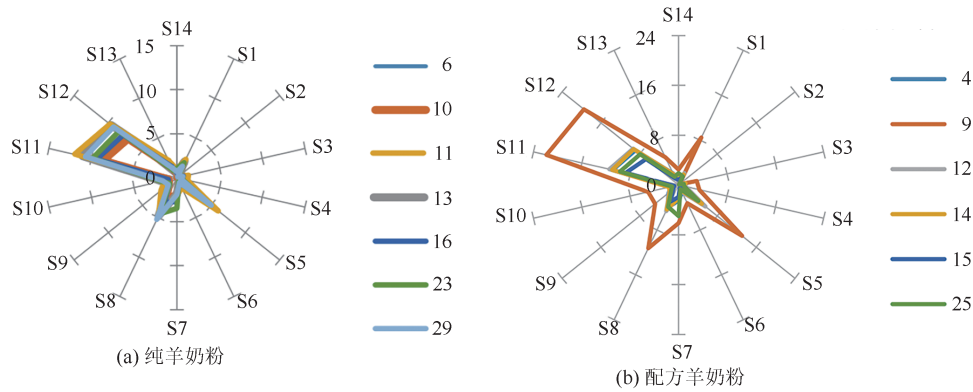


图1 配方羊奶粉和纯羊奶粉电子鼻传感器雷达图

Fig. 1 Electronic nose sensor radar map of formulated and pure goat milk powder

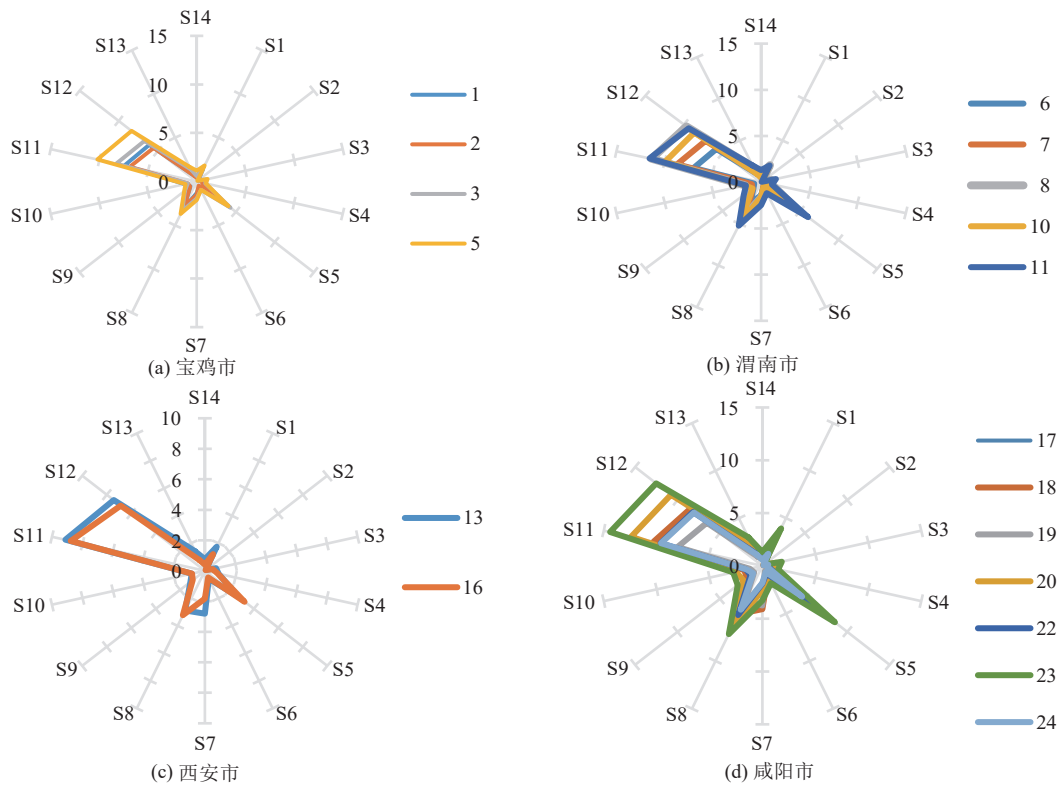


图2 陕西地区纯羊奶粉电子鼻雷达图

Fig. 2 Electronic nose radar map of pure goat milk powder from Shaanxi region

质会有差异,可能是由于受到不同地区奶源、环境、饲养方式等影响。

通过电子鼻雷达图推测羊奶粉中挥发性物质主要为醛酮类、酸类、烷烃类、醇类,部分配方羊奶粉还有胺类、氨类及烷烃类物质。此外,陕西地区各市之间的纯羊奶粉性质相似。通过电子鼻雷达图可以准确快速地反映不同羊奶粉样品的整体风味,为了对不同羊奶粉样品进行更全面的差异性分析,进一步对羊奶粉样品进行电子鼻PCA统计

分析。通过电子鼻雷达图可以准确快速地反映不同羊奶粉样品的整体风味,结合PCA统计分析,可以判别出不同羊奶粉样品间的差异。

2.1.2 电子鼻传感器响应信号的PCA分析

电子鼻测定纯羊奶粉及配方羊奶粉的PCA结果见图3,横、纵坐标分别表示PCA的第一主成分的贡献率和第二主成分的贡献率,贡献率越大,说明主要成分可以更好地反映指标信息^[24-25]。缺陷率(defect index, DI)为94.49,说明PCA法整体区分

效果很好,其主成分 1(principal component 1,PC1)的方差贡献率为 95.48%,主成分 2(principal component 2,PC2)的方差贡献率为 3.49%,累计贡献率为 98.97%,基本可以代表样品全部信息。样品间的距离越近说明其品质特性越相似,即距离可以量化样品间的品质差异。根据 PCA 结果将奶粉归为 2 个区域,分别为羊奶粉 4、9、12、14、15、25,羊奶粉 11、16、23、26、27、28,溯源到奶粉种类时发现前者为配方羊奶粉,后者为纯羊奶粉,纯羊奶粉和配方羊奶粉距离较远,区分度较好。

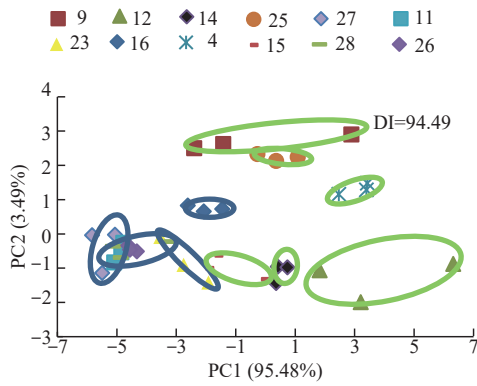


图 3 纯羊奶粉与配方羊奶粉的电子鼻 PCA 图
Fig. 3 Electronic nose principal component analysis of pure and formulated goat milk powder

电子鼻测定陕西地区及非陕西地区纯羊奶粉的 PCA 结果见图 4。DI 为 89.34,说明 PCA 法整体区分效果较好,其 PC1 的方差贡献率为 63.28%,PC2 的方差贡献率为 17.70%,累计贡献率为 80.98%,基本可以代表样品 80% 的信息。根据 PCA 结果可以看出,国外地区与国内地区(陕西地区及国内非陕西地区)纯羊奶粉数据点相距较远,得到了良好区分。此外,陕西地区各市(宝鸡市、渭南市、西安市、咸阳市)纯羊奶粉比较集中,表明其含有较多相似的羊奶粉挥发性物质,其中咸阳市与其他 3 市相距较远,说明咸阳市纯羊奶粉与其他 3 市可得到较好区分,这与陕西地区不同城市纯羊奶粉雷达图结果一致。上述结果表明,仅利用电子鼻技术的主成分分析法无法完全区分陕西地区各市之间与国内非陕西地区之间的差异,故需进一步利用电子舌探究其对陕西地区各市之间与国内非陕西地区之间的区分。

电子鼻测定陕西地区配方羊奶粉的 PCA 结果见图 5。DI 为 91.09,说明主成分分析法整体区分效

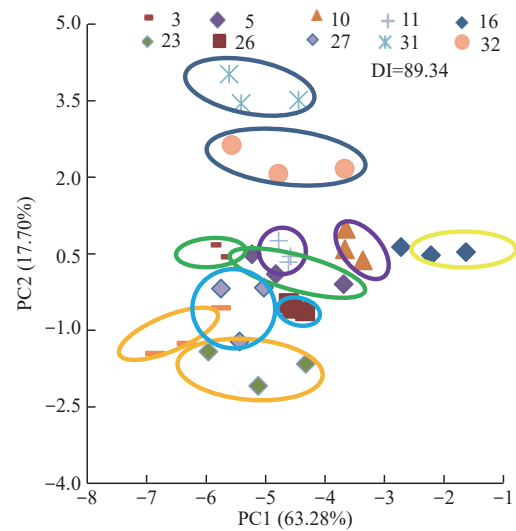


图 4 陕西地区及非陕西地区纯羊奶粉电子鼻 PCA 图
Fig. 4 Electronic nose principal component analysis of pure goat milk powder from at Shaanxi and non-Shaanxi regions

果较好,其 PC1 的方差贡献率为 59.71%,PC2 的方差贡献率为 28.77%,累计贡献率为 88.48%,基本可以代表样品 88.48% 的信息。根据 PC2 可以将陕西地区配方羊奶粉归结为 2 个区域,分为羊奶粉 9、25 和羊奶粉 4、14、15、12,溯源到奶粉品牌发现,羊奶粉 9、25 均为婴幼儿配方羊奶粉,羊奶粉 4、14、15 分别为中老年配方羊奶粉、幼儿配方羊奶粉和学生奶粉,羊奶粉 12 为中老年无蔗糖配方羊奶粉。结果表明电子鼻对婴儿配方奶粉区分性更好,原因是婴儿配方奶粉配料表中相比其他 3 类配方奶粉含有更丰富的营养成分,表明配方奶粉中添加成分的组成及含量是影响陕西各地配方羊奶粉风味物质差异性的主要原因。

根据电子鼻 PCA 结果可以发现,纯羊奶粉距离较紧密,而配方羊奶粉距离相对分散,主要原因

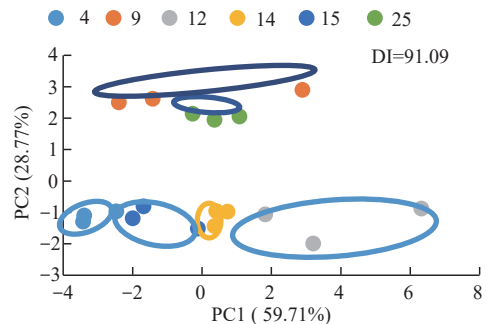


图 5 陕西地区配方羊奶粉电子鼻 PCA 图
Fig. 5 Electronic nose principal component analysis of formulated goat milk powder from Shaanxi region

是配方羊奶粉适用于不同人群,添加的营养素种类差异较大,其产生的挥发性物质更多,使得差异性增大,而纯羊奶粉之间成分性质相近,产生的挥发性物质差异不大。因此,基于电子鼻技术可实现对国内与国外地区纯羊奶粉的区分以及配方羊奶粉的区别。国外纯羊奶粉与国内纯羊奶粉含有的挥发性物质差异性较大,可能原因在于国内奶源、加工技术、饲料等与国外差距较大,还需进一步利用电子舌探究陕西地区各市之间纯羊奶粉与国内非陕西地区之间纯羊奶粉的区别。

综上,基于电子鼻技术可实现对国内与国外地区纯羊奶粉的区分。利用电子鼻技术的主成分分析无法完全区分陕西地区各市之间与国内非陕西地区之间纯羊奶粉的差异,故进一步利用电子舌探究其对陕西地区各市之间与国内非陕西地区之间纯羊奶粉的区别。

2.2 电子舌结果分析

电子舌能够对羊奶粉中的所有呈味物质进行鉴别,包括挥发性、半挥发性和难挥发性物质。纯羊奶粉与配方羊奶粉的电子舌测定结果见图6。DI为98.70,说明PCA法整体区分效果很好。配方羊奶粉编号为4、9、12、14、15、25,选择配方羊奶粉对应地区的纯羊奶粉进行比较,纯羊奶粉编号为3、7、10、13、16、23。根据PC1可以将配方羊奶粉和纯羊奶粉分为3个区域,分别为羊奶粉3、4、7、9,羊奶粉10、12、13、14、15、16,羊奶粉23、25,溯源到奶粉产地,可以发现羊奶粉13、14、15、16均为西安市羊奶粉,羊奶粉7、9、10、12为渭南市羊奶粉,羊奶粉23、25为咸阳地区羊奶粉,羊奶粉3、4为宝鸡市羊奶粉,结果显示咸阳市羊奶粉与其他市羊奶粉距离较远,可更好地区分地域。

通过分析配方羊奶粉与纯羊奶粉的聚类结果发现,同一地区配方羊奶粉和纯羊奶粉数据点之间得到了良好区分,其中咸阳市、西安市、宝鸡市配方羊奶粉和纯羊奶粉区分度较好。而渭南市配方羊奶粉与西安市配方羊奶粉较近,分离度较差,表明西安市配方羊奶粉和渭南市配方羊奶粉含有相似性较高的挥发性及难挥发性物质。

对29种羊奶粉按陕西地区与非陕西地区分别选择5种进行区分,陕西地区与非陕西地区纯羊奶粉的电子舌PCA结果见图7。DI为95.23,说明主成分分析法整体区分效果较好,各地区羊奶粉得

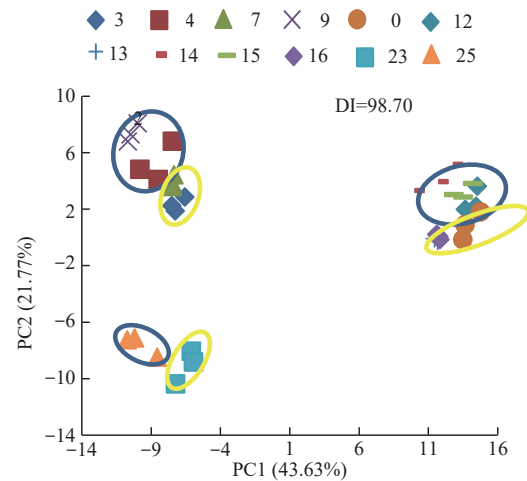


图6 配方羊奶粉与纯羊奶粉电子舌PCA图

Fig. 6 Electronic tongue principal component analysis of formulated and pure goat milk powder

到了良好区分。根据PC1和PC2可以将羊奶粉归为2个区域,分别为羊奶粉2、3、10、13、16,羊奶粉26、27、30、32、33,陕西地区和非陕西地区纯羊奶粉距离均较远且各地区分布较集中,表明两地区之间的差异性可得到较好区分,因此基于电子舌技术可实现对陕西地区及非陕西地区纯羊奶粉的区分。

根据图7电子舌PCA结果和配方羊奶粉与纯羊奶粉的聚类结果发现,配方羊奶粉与纯羊奶粉之间加工工艺及配方不同^[23],导致产生不同风味差异,从而可有效得到较高的区分度。通过与电子鼻对不同地区纯羊奶粉的PCA结果发现(见图4),电子舌DI更大(95.23),而且可实现对陕西地区及非陕西地区纯羊奶粉的区分。电子舌对各地区纯羊奶粉的地域区分效果更好,可能原因是电子鼻检测样品时捕捉的样品信息仅来自羊奶粉的挥发性和

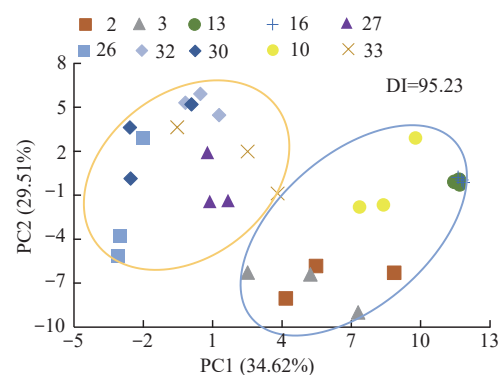


图7 陕西地区与非陕西地区纯羊奶粉电子舌PCA图

Fig. 7 Electronic tongue principal component analysis of pure goat milk powder from Shaanxi and non-Shaanxi regions

半挥发性物质^[26],而电子舌检测时捕捉的信息是除了半挥发性和挥发性物质,还包括一些难挥发性物质,检测到的信息更加丰富,获得的结果更加完整、精确^[27-28],因此电子舌可实现对纯羊奶粉来源地域的区分。

2.3 电子鼻与电子舌检测方法稳定性分析

2.3.1 电子鼻传感器响应信号的 PCA 分析

电子鼻测定纯羊奶粉及配方羊奶粉的 PCA 结果见图 8。DI 为 57.66,说明主成分分析法整体区分效果很好,其 PC1 的方差贡献率为 87.14%,PC2 的方差贡献率为 9.96%,累计贡献率为 97.10%,基本可以代表样品全部信息。PCA 结果将奶粉归为 3 个区域,分别为红色区域,黄色区域以及蓝色区域,溯源到奶粉种类发现红色区域为配方羊奶粉,黄色区域为配方羊奶粉与纯羊奶粉等比例混合,蓝色区域为纯羊奶粉。纯羊奶粉、配方羊奶粉以及混合奶粉距离较远,区分度较好。综上,电子鼻可实现对纯羊奶粉及配方羊奶粉的区分。

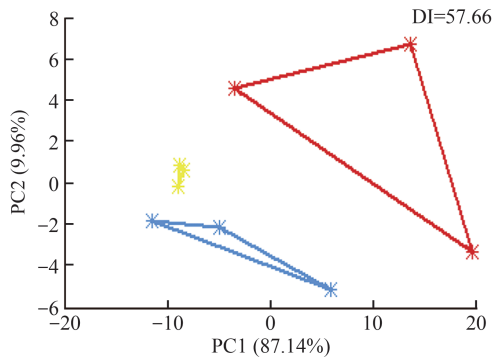


图 8 配方羊奶粉与纯羊奶粉电子鼻 PCA 图

Fig. 8 Electronic nose principal component analysis of formulated and pure goat milk powder

电子鼻测定陕西地区及非陕西地区纯羊奶粉的 PCA 结果见图 9。DI 为 41.56,说明主成分分析法整体区分效果较好,其 PC1 的方差贡献率为 94.98%,PC2 的方差贡献率为 4.96%,累计贡献率为 99.94%,基本可以代表样品所有的信息。根据 PCA 结果可以看出,陕西地区(黄色区域)与非陕西地区(蓝色区域)纯羊奶粉数据点相距较远,得到了较好区分。

2.3.2 电子舌传感器响应信号的 PCA 分析

纯羊奶粉与配方羊奶粉的电子舌测定结果见图 10。DI 为 82.27,说明主成分分析法整体区分效果

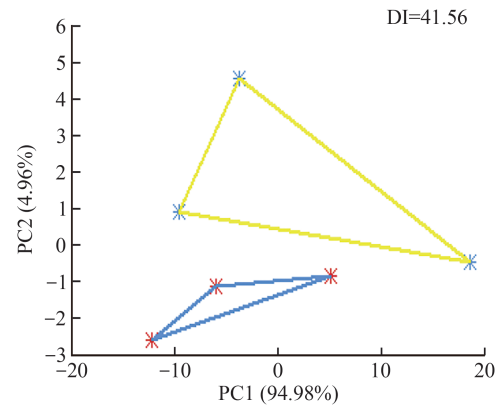


图 9 陕西地区与非陕西地区纯羊奶粉电子鼻 PCA 图

Fig. 9 Electronic nose principal component analysis of pure goat milk powder from Shaanxi and non-Shaanxi regions

很好。其 PC1 的方差贡献率为 57.31%,PC2 的方差贡献率为 18.73%,累计贡献率为 76.04%,基本可以代表大部分样品的信息,根据 PCA 结果将奶粉归为 3 个区域,分别为红色区域,黄色区域以及蓝色区域,溯源到奶粉种类发现红色区域为配方羊奶粉,黄色区域为配方羊奶粉与纯羊奶粉等比例混合,蓝色区域为纯羊奶粉。纯羊奶粉、配方羊奶粉以及混合奶粉距离较远,区分度较好。综上,电子舌可实现对纯羊奶粉及配方羊奶粉的区分。

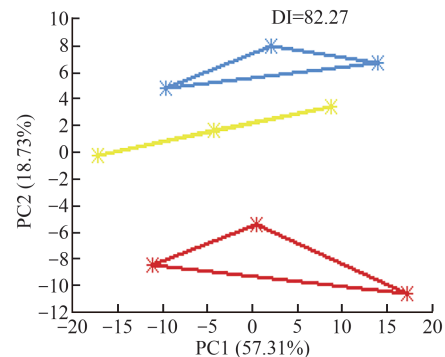


图 10 配方羊奶粉与纯羊奶粉电子舌 PCA 图

Fig. 10 Electronic tongue principal component analysis of formulated and pure goat milk powder

陕西地区与国内非陕西地区纯羊奶粉的电子舌 PCA 结果见图 11。DI 为 80.54,说明主成分分析法整体区分效果较好。其 PC1 的方差贡献率为 52.08%,PC2 的方差贡献率为 31.09%,累计贡献率为 83.17%,基本可以代表样品所有的信息。红色区域(陕西地区)和蓝色区域(国内非陕西地区)纯羊奶粉距离均较远,表明两地域之间差异性可得

到较好区分,因此基于电子舌技术可实现对陕西地区及非陕西地区纯羊奶粉的区分。

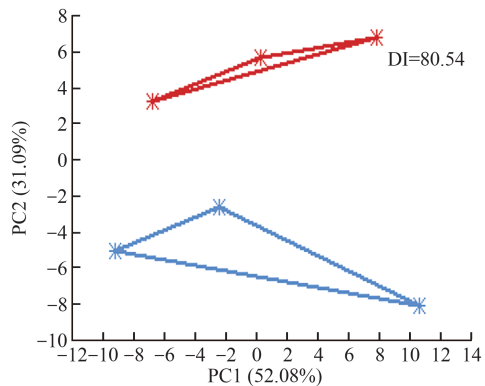


图 11 陕西地区与国内非陕西地区纯羊奶粉电子舌 PCA 图
Fig. 11 Electronic tongue principal component analysis of pure milk powder from Shaanxi and domestic non-Shaanxi regions

3 结论

电子鼻和电子舌技术均可实现对纯羊奶粉和配方羊奶粉的有效区分,电子鼻技术可实现对国内地区与国外地区纯羊奶粉的有效区分,电子舌技术可实现对陕西地区及非陕西地区纯羊奶粉的良好区分。目前通过电子鼻和电子舌对市售羊奶粉进行检测的样品数量有限,后期还需要收集更多不同地域、不同类型的奶粉进行验证。研究结果可为羊奶粉质量评估和品质初步监控提供理论依据。

参考文献

- [1] PAZZOLA M, STOCCO G, DETTORI M L, et al. Effect of goat milk composition on cheesemaking traits and daily cheese production[J]. *Journal of Dairy Science*, 2019, 102(5):3947-3955.
- [2] ALFÉREZ M J, BARRIONUEVO M, ALIAGA I L, et al. Digestive utilization of goat and cow milk fat in malabsorption syndrome[J]. *The Journal of Dairy Research*, 2001, 68(3):451-461.
- [3] RIBEIRO A C, RIBEIRO S D A. Specialty products made from goat milk[J]. *Small Ruminant Research*, 2010, 89(2/3):225-233.
- [4] 林宇山. 感官评价在食品工业中的应用[J]. *食品工业科技*, 2006, 8:202-203.
LIN Y S. Application of sensory evaluation in food industry[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2006, 8:202-203. (in Chinese)
- [5] 张怡. 贮藏温度对全脂羊奶粉品质稳定性的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(14):276-279.
- [6] ZHANG Y. Effect of temperature on the quality stability of whole goat milk powder[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2017, 38(14):276-279. (in Chinese)
- [7] 易宇文, 胡金祥, 杨进军, 等. 基于电子鼻和气质联用分析郫县豆瓣对鱼香调味汁的风味贡献[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(7):276-283.
YI Y W, HU J X, YANG J J, et al. Flavor contribution of Pixian horsebean to Yuxiang sauce based on electronic nose and GC-MS[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(7):276-283. (in Chinese)
- [8] 郭壮, 蔡宏宇, 汤尚文, 等. 基于电子舌技术 3 个地区产腌制大头菜滋味品质评价[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(8):65-68.
GUO Z, CAI H Y, TANG S W, et al. Taste profile characterization of salty mustard root collected from different regions by electronic tongue analysis [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(8):65-68. (in Chinese)
- [9] 姚璐, 丁亚明, 马晓钟, 等. 基于电子鼻技术的金华火腿鉴别与分级[J]. *食品与生物技术学报*, 2012, 31(10):1051-1056.
YAO L, DING Y M, MA X Z, et al. Identification and classification of Jinhua ham by electronic nose [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2012, 31(10):1051-1056. (in Chinese)
- [10] WASILEWSKI T, MIGOŃ D, GĘBICKI J, et al. Critical review of electronic nose and tongue instruments prospects in pharmaceutical analysis[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2019, 1077:14-29.
- [11] 文攀, 薛长风, 裴志胜, 等. 基于电子舌与电子鼻评价烘焙时间对黄秋葵籽风味品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(24):289-293.
WEN P, XUE C F, PEI Z S, et al. Effect of baking time on flavour quality of Okra seed based on electronic tongue and electronic nose[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(24):289-293. (in Chinese)
- [12] 邹光宇, 王万章, 王淼森, 等. 电子鼻/舌融合技术的信阳毛尖茶品质检测[J]. *食品科学*, 2019, 40(10):279-284.
ZOU G Y, WANG W Z, WANG M S, et al. Quality detection of Xinyang Maojian tea using electronic nose and electronic tongue[J]. *Food Science*, 2019, 40(10):279-284. (in Chinese)
- [13] TAN J Z, XU J. Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality-related properties determination: a review[J]. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2020, 4:104-115.
- [14] 赵钜阳, 姚恒喆. 利用近红外光谱及电子鼻技术快速无损鉴别长期冻藏猪肉[J]. *食品与生物技术学报*, 2021, 40(03):89-96.
ZHAO J Y, YAO H Z. Non-destructive identification of

- long-term frozen pork by near infrared analysis technology and electronic nose technique[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2021, 40(03): 89-96. (in Chinese)
- [14] 贾茹, 刘占东, 马利杰, 等. 电子鼻对山羊奶中致膻游离脂肪酸的识别研究[J]. *中国乳品工业*, 2015, 43(3): 18-21. JIA R, LIU Z D, MA L J, et al. Recognition of electronic nose for the free fatty acids responsible for goat odour in the goats' milk[J]. *China Dairy Industry*, 2015, 43(3): 18-21. (in Chinese)
- [15] DING W, ZHANG Y, KOU L P, et al. Electronic nose application for the determination of penicillin G in Saanen goat milk with fisher discriminate and multilayer perceptron neural network analyses[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015, 39(6): 927-932.
- [16] 王妍稳, 张瑶, 丁武. 电子鼻对羊奶中三种抗生素残留的快速检测[J]. *食品安全质量检测学报*, 2013(4), 1134-1140. WANG Y W, ZHANG Y, DING W. Rapid detection of three kinds of antibiotic residues in goat milk by electronic nose[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2013(4), 1134-1140. (in Chinese)
- [17] 马利杰, 刘占东, 杨春杰, 等. 电子鼻对原料羊乳中掺假过期复原乳的检测[J]. *乳业科学与技术*, 2014, 37(5): 17-20. MA L J, LIU Z D, YANG C J, et al. Rapid detection of raw goat milk adulterated with expired reconstituted milk using electronic nose[J]. *Journal of Dairy Science and Technology*, 2014, 37(5): 17-20. (in Chinese)
- [18] 张虹艳, 丁武. 基于 BP 神经网络的电子鼻羊奶贮藏时间的预测[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(6): 377-381. ZHANG H Y, DING W. Discrimination of fresh goat milk during storing based on electronic nose by BP neural network[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(6): 377-381. (in Chinese)
- [19] 白丽娟, 张猛, 金螺. 基于电子鼻技术监测羊奶发酵前后不同阶段风味的变化[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(13): 294-297. BAI L J, ZHANG M, JIN L. Changes in volatile component of goat's milk at different stages on the fermentation by electronic nose [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(13): 294-297. (in Chinese)
- [20] YANG C J, DING W, MA L J, et al. Discrimination and characterization of different intensities of goatly flavor in goat milk by means of an electronic nose[J]. *Journal of Dairy Science*, 2015, 98(1): 55-67.
- [21] 韩慧, 王志强, 李彩虹, 等. 基于电子舌的掺假羊奶快速定量预测模型[J]. *食品与机械*, 2018, 34(12): 53-56. HAN H, WANG Z Q, LI C H, et al. Rapid quantitative prediction model of adulterated goat milk based on electronic tongue[J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(12): 53-56. (in Chinese)
- [22] TAZI I, CHOIRIYAH A, SISWANTA D, et al. Detection of taste change of bovine and goat milk in room ambient using electronic tongue [J]. *Indonesian Journal of Chemistry*, 2017, 17(3): 422-430.
- [23] 刘立, 李代禧, 余华星, 等. 国内外五种著名全脂牛奶感官评价分析及其电子鼻、电子舌甄别初探[J]. *食品与发酵科技*, 2014, 50(5): 90-96. LIU L, LI D X, YU H X, 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*, 2014, 50(5): 90-96. (in Chinese)
- [24] 徐晓可, 吴清平, 张菊梅, 等. 食品中金黄色葡萄球菌多重 PCR 检测方法的研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2011, 30(1): 84-89. XU X K, WU Q P, ZHANG J M, et al. Studies on detection of *Staphylococcus aureus* in foods by multiplex PCR [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2011, 30(1): 84-89. (in Chinese)
- [25] 滕要辉, 索标, 艾志录, 等. 速冻食品中沙门氏菌和金黄色葡萄球菌多重 PCR 检测方法的建立与应用[J]. *食品科学*, 2013, 34(8): 140-144. TENG Y H, SUO B, AI Z L, et al. Establishment and application of a multiplex PCR assay for simultaneous detection of *Salmonella* spp. and *Staphylococcus aureus* in quick-frozen foods [J]. *Food Science*, 2013, 34(8): 140-144. (in Chinese)
- [26] 金螺, 白丽娟, 彭小雨, 等. 采用电子鼻检测羊奶中的牛奶掺入[J]. *食品与发酵工业*, 2015, 41(4): 165-168. JIN L, BAI L J, PENG X Y, et al. Discrimination of cow milk in goat milk by electronic nose [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2015, 41(4): 165-168. (in Chinese)
- [27] 黄珏, 王正亮, 李慕雨, 等. 基于电子舌和近红外光谱技术的进口牛肉产地溯源[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(12): 254-260. HUANG J, WANG Z L, LI M Y, et al. Origin traceability of imported beef based on electronic tongue and NIR spectra [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(12): 254-260. (in Chinese)
- [28] 刘建林, 孙学颖, 张晓蓉, 等. GC-MS 结合电子鼻/电子舌分析发酵羊肉干的风味成分[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(5): 348-354. LIU J L, SUN X Y, ZHANG X R, et al. Analysis of flavor components of fermented mutton jerky by GC-MS combined with electronic nose/electronic tongue [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(5): 348-354. (in Chinese)

(责任编辑: 闫林红)