

电子鼻结合化学计量法对羊奶中蛋白质掺假的识别

贾茹, 张娟, 王佳奕, 丁武*

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 利用电子鼻结合化学计量法对羊奶中的蛋白质掺假进行定性和定量的研究。用电子鼻检测掺入了不同蛋白质物质的羊奶, 采用主成分分析、线性判别分析对电子鼻响应值进行定性分析, 采用线性回归分析、Fisher判别分析以及K-最邻近值分析对电子鼻响应值进行定量分析。结果表明: 主成分分析和线性判别分析都能够区分不同类别的掺假样品。线性回归分析的决定系数为84.5%, 表明回归方程估测可靠程度较高。Fisher判别分析的原始分类的正确率达到100.0%, 交叉验证的正确率为98.2%, 说明其预测结果较好。K-最邻近值分析对训练集的分类正确率达到95.1%, 对验证集的分类正确率为97.1%, 说明模型的预测结果良好。说明应用电子鼻技术检测羊奶中的蛋白质掺假具有一定的可行性。

关键词: 羊奶; 蛋白质掺假; 电子鼻; 化学计量法

Recognition of Goat Milk Adulterated with Proteins Using Electronic Nose Combined with Chemometric Methods

JIA Ru, ZHANG Juan, WANG Jiayi, DING Wu*

(College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Goat milk adulterated with proteins was qualitatively discriminated and quantitatively analyzed using electronic nose combined with chemometric methods. Milk samples adulterated with different proteins were detected by electronic nose and then the response values were analyzed qualitatively by principal component analysis (PCA), and linear discriminant analysis (LDA) and quantitatively by linear regression analysis, Fisher discriminant analysis (FDA) and K nearest neighbor (KNN) analysis. The results showed that PCA and LDA were able to distinguish different adulterants. The determination coefficient of linear regression analysis was 84.5%, indicating high reliability of the regression equation. The accuracy of the original classification by FDA reached 100.0%, and the accuracy of cross validation was 98.2%, indicating good predication performance. The classification accuracy of the training set by KNN analysis was 95.1%, and the classification accuracy of the validation set was 97.1%, indicating good prediction performance of the model. All of these results showed that it is feasible to apply electronic nose technology in recognition of protein adulteration in goat milk.

Key words: goat milk; protein adulteration; electronic nose; chemometric methods

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201708048

中图分类号: TS252.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 08-0308-05

引文格式:

贾茹, 张娟, 王佳奕, 等. 电子鼻结合化学计量法对羊奶中蛋白质掺假的识别[J]. 食品科学, 2017, 38(8): 308-312.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201708048. <http://www.spkx.net.cn>

JIA Ru, ZHANG Juan, WANG Jiayi, et al. Recognition of goat milk adulterated with proteins using electronic nose combined with chemometric methods[J]. Food Science, 2017, 38(8): 308-312. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201708048. <http://www.spkx.net.cn>

羊奶风味独特, 且不含过敏原, 含有200多种活性物质和营养物质^[1-3]。近年来, 羊奶逐渐得到消费者的认

可, 成为我国乳制品消费中增长速度最快的产品^[4]。作为一种与人民生活息息相关的营养品, 它的安全性直接影

收稿日期: 2016-07-14

基金项目: 陕西省社发攻关项目 (2013K13-04-10); 国家自然科学基金面上项目 (31172236)

作者简介: 贾茹 (1991—), 女, 硕士研究生, 研究方向为畜产品深加工及安全控制。E-mail: sxrujia@163.com

*通信作者: 丁武 (1971—), 男, 教授, 博士, 研究方向为畜产品深加工及安全控制。E-mail: dingwu10142000@163.com

响到人们的身体健康^[5]。由于乳品质量一般以蛋白质含量为主要检测指标，因此许多不法分子为了提高乳品中蛋白质含量，而向其中掺入尿素、硝酸铵或者非乳蛋白如大豆蛋白、水解植物蛋白等，以提高乳品中的氮含量，造成蛋白质增多的假象^[6-8]。因此，研究出快速检测原料羊奶及其制品中的蛋白质掺假的方法就极为重要。

目前对乳制品掺假的检测方法主要有化学方法^[9]、高效液相色谱法^[10-11]、气相色谱法^[12]、质谱法^[13]、红外光谱法^[14-17]、核磁共振法^[18]、乳成分分析法^[19]、指纹图谱法^[20]、离子交换法^[21]等。与此同时，电子鼻作为一种嗅觉传感技术，具有操作简单、快速、准确和无损的特点，在食品品质检测、质量安全评价等方面均有应用^[22-33]，因此，电子鼻有望在羊奶的掺假方面发挥作用。徐亚丹等^[34]采用PEN2便携式电子鼻检测了纯奶和添加了不同含量的外来蛋白的牛奶。结果表明：电子鼻可以根据不同气味准确地区分纯牛奶与奶粉奶；奶粉奶添加比例为20%~40%时，电子鼻可以根据气味的浓度区分它们。高晓霞等^[35]用电子鼻检测伊利奶粉中掺入的不同品牌的奶粉、豆粉、尿素以及植脂末时，电子鼻均能够实现对它们区分。由此说明，不同蛋白质掺假物质的挥发性气味是可以被电子鼻检测出来的，这也为采用电子鼻检测不同蛋白质掺假物质提供了依据。本实验以加入不同蛋白质掺假物质的羊奶为研究对象，用电子鼻检测样品的挥发性成分，进而利用多种化学计量方法进行分析。主要用主成分分析（principal component analysis, PCA）、线性判别分析（linear discriminant analysis, LDA）进行定性分析，以及利用线性回归分析、Fisher判别分析（Fisher discriminant analysis, FDA）和K-最邻近值（K nearest neighbor, KNN）进行定量分析。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂与仪器

“美羚”牌全脂纯羊奶粉 市售。
水解植物蛋白粉、水解动物蛋白粉、大豆分离蛋白粉、乳清蛋白粉、尿素均为分析纯。

表 1 PEN3电子鼻传感器名称及性能描述				
Table 1 Performance of sensors applied in PEN3 electronic nose				
阵列序号	传感器名称	主要检测物质	参照物质	检出限
S1	W1C	芳香族化合物	甲苯	10 mg/L
S2	W5S	氮氧化合物，响应物质范围广且灵敏度高	NO ₂	1 mg/L
S3	W3C	氢气以及芳香族化合物	苯	10 mg/L
S4	W6S	氢气	H ₂	100 mg/L
S5	W5C	烷烃类化合物、芳香族化合物及弱极性化合物	丙烷	1 mg/L
S6	W1S	环境中的甲烷，响应物质范围广	CH ₄	100 mg/L
S7	W1W	无机硫化物、含硫有机物及萜烯、吡嗪类化合物	H ₂ S	1 mg/L
S8	W2S	乙醇及部分芳香族化合物，响应物质范围广	CO	100 mg/L
S9	W2W	芳香族化合物以及含硫有机化合物	H ₂ S	1 mg/L
S10	W3S	较高浓度物质（>100 mg/L），对甲烷选择性较强	CH ₄	100 mg/L

PEN3电子鼻 德国Airsense公司。电子鼻含10个金属氧化物传感器阵列，各传感器的名称及性能描述见表1。

1.2 方法

1.2.1 羊奶的制备及掺假奶样分组

将纯净水与全脂羊奶粉按质量比6:1搅拌混合，超声10 min混匀，制得原羊奶备用。分别制备与羊奶密度相等的乳清蛋白粉、水解植物蛋白粉、水解动物蛋白粉、大豆分离蛋白粉、尿素工作液。按不同体积分数梯度分别掺入到纯羊奶中制得掺假奶样，乳清蛋白粉组的体积分数分别为0.1%、0.2%、0.5%、0.8%、2%、5%；水解植物蛋白粉组的体积分数分别为0.1%、0.3%、0.5%、0.8%、2%、5%；水解动物蛋白粉组的体积分数分别为0.3%、0.5%、1%、2%、5%、10%；大豆分离蛋白粉组的体积分数分别为0.1%、0.5%、1%、5%、8%、10%；尿素组的体积分数分别为1%、3%、4%、5%、8%、10%。共制备对照羊奶样品及掺假羊奶样品共260个。

为了减小实验误差，奶样的制备均为在室温条件下现做现配。

1.2.2 电子鼻检测

取10 mL的样品于50 mL的电子鼻样品瓶密封，25 ℃平衡30 min，然后进行测量。检测时采用手动顶空进样方式，将零气针头以及电子鼻进样器针头先后插入样品瓶盖的软膜进行采样，设定样品准备时间5 s，检测时间60 s，测量计数1 s，自动调零时间10 s，清洗时间300 s，内部流量400 mL/min，进样流量400 mL/min。

1.3 数据分析

采用软件Winmuster、Matlab 7.0、SPSS 20.0、Minitab 15.0进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 特征值选取

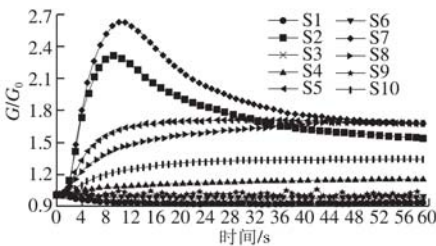


图 1 电子鼻对对照组奶样挥发成分响应
Fig. 1 Response graphs of sensors to volatile components of control samples

对样品进行电子鼻检测，最终获得了电子鼻对各样品的响应图，以对照组的一个样品为例，如图1所示。每条曲线代表各传感器对该样品挥发成分的响应强度（ G/G_0 ）随时间的变化而变化，响应强度的高低反映了传感器对所测样品的挥发成分的灵敏度大小。进样后，电子鼻10个传感器的响应值逐渐偏离基线，然后趋于平稳并在

55 s后多数传感器达到稳定状态,故选取55~59 s内的平均响应值作为特征值进行分析。

2.2 异常值的检测结果

对对照组的羊奶样品采用基于最小协方差估计的稳健马氏距离异常值检测方法检测异常值,结果如图2所示,对照组样品的1号、19号和20号样品为异常样品,予以剔除。用同样的方法对其他组的样品检测。剔除异常值之后再进一步的分析。

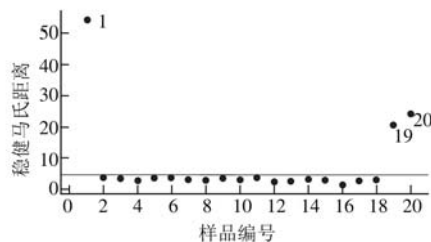


图2 对照组异常值检测

Fig. 2 Outlier plots for control samples

2.3 PCA结果

对样品数据做Kaiser-Meyer-Olkin检验后,其统计量取值为0.731,大于0.5,说明样本数据适合作PCA。同时,Bartlett's球形检验的显著性值小于0.05,说明作PCA是适宜的,并且卡方值比较大,也说明变量之间相关性越强。作PCA后,得到的结果如图3所示,前3个主成分的特征值均大于1,因此,提取前3个主成分就可以代表样品的信息。

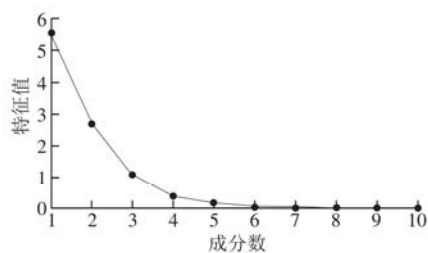


图3 碎石图

Fig. 3 Scree plot

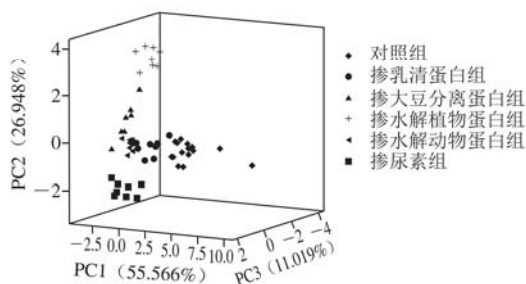


图4 各类奶样PCA图

Fig. 4 PCA plot of milk samples

由图4可看到,3个主成分的累计贡献值为93.533%。各类掺假样品的分布区域与对照样品有间隔,无重叠,说明电子鼻能将掺假样品和对照样品区分开来。同时不同类别的掺假样品具有特定的分布区域,说明电子鼻能识别出不同类别的掺假样品。

2.4 LDA结果

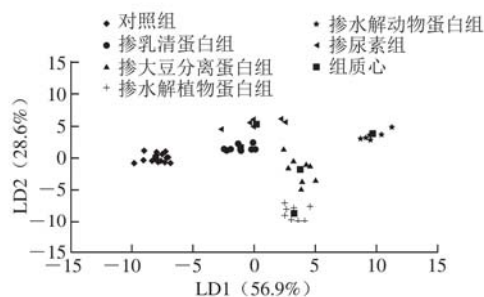


图5 各类奶样的判别图

Fig. 5 LDA plot of milk samples

LDA是一种有监督的分类方法,主要为了建立不同样本分类间的差异。各奶样的判别结果如图5所示。LD1方差贡献率为56.9%,LD2方差贡献率为28.6%,合计为85.5%。根据判别分析的特点,组间距离越远差异越大可知,分组距离越远,羊奶样品的挥发性物质变化越大。各类掺假样品与对照样品均有一定的距离,且每组样品组内较集中,说明判别分析可以将各类样品区分开。

2.5 线性回归分析结果

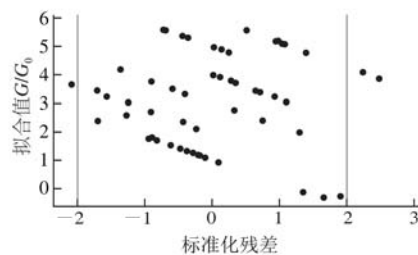


图6 残差图

Fig. 6 Residual plot

由图6可看到,有3个样品的标准化残差落在(-2, 2)区间以外,可在95%置信度将其判为异常实验点,不参与回归线拟合。将异常点剔除后得到的回归模型图如图7所示。

图7相应的回归方程为: $Y = 283.143 + 339.917x_1 - 0.848x_2 - 621.248x_3 + 6.045x_4 + 72.132x_5 + 2.655x_6 - 4.399x_7 + 1.394x_8 - 24.576x_9 - 48.115x_{10}$ (Y 为预测掺假比例; $x_1 \sim x_{10}$ 为10个传感器的响应值)。

该回归模型的决定系数为84.5%,回归的拟合度较高,表明此回归方程估测可靠程度较高。说明电子鼻可以较好预测出羊奶中掺入的不同的蛋白质物质。

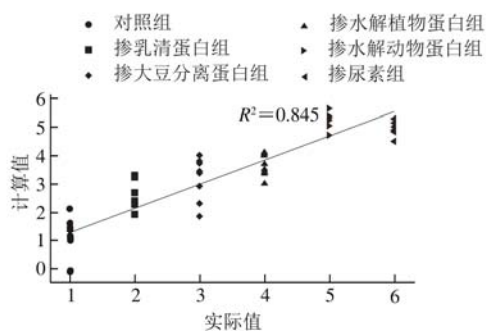


图7 各奶样的回归模型图

Fig. 7 Good agreement between calculated and actual values

2.6 FDA结果

表2 FDA分类结果

Table 2 Classification results from Fisher discriminant analysis

类别	正确率/%						总正确率/%
	对照组	掺乳清蛋白组	掺大豆分离蛋白组	掺水解植物蛋白组	掺水解动物蛋白组	掺尿素组	
初始分类	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
掺乳清蛋白组	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
掺大豆分离蛋白组	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	
掺水解植物蛋白组	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	
掺水解动物蛋白组	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	
掺尿素组	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
交叉验证分类 ^a	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.2
掺乳清蛋白组	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
掺大豆分离蛋白组	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	
掺水解植物蛋白组	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	
掺水解动物蛋白组	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	
掺尿素组	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	

注：a. 仅对分析中的案例进行交叉验证。在交叉验证中，每个案例都是按照从该案例以外的所有其他案例派生的函数来分类的。

取前3个主成分进行FDA，建立掺假奶的判别分析模型，其分类结果如表2所示。原始分类的正确率达到100.0%，交叉验证的正确率为98.2%。所有样品中，只有掺尿素组的交叉验证有12.5%的误判，其余组都是100.0%正确，说明预测结果较好。以下为通过判别分析得到的5个典型的判别式函数：

$$Y_1 = 339.947 + 1.008310x_1 - 11.922x_2 - 1.349382x_3 - 47.145x_4 - 20.763x_5 + 58.600x_6 + 3.011x_7 - 0.543x_8 - 11.899x_9 - 11.899x_{10} \quad (1)$$

$$Y_2 = -19.080 + 259.869x_1 - 14.681x_2 - 255.774x_3 - 36.310x_4 + 58.365x_5 + 51.509x_6 - 4.223x_7 - 17.195x_8 - 9.033x_9 - 6.620x_{10} \quad (2)$$

$$Y_3 = -105.579 - 86.902x_1 + 50.991x_2 + 293.971x_3 + 13.968x_4 - 138.023x_5 - 70.574x_6 - 24.586x_7 + 76.855x_8 + 31.161x_9 - 37.379x_{10} \quad (3)$$

$$Y_4 = -723.717 - 484.670x_1 + 4.023x_2 + 1.010.509x_3 + 16.300x_4 + 87.131x_5 - 28.309x_6 + 11.519x_7 + 24.605x_8 - 31.625x_9 + 87.540x_{10} \quad (4)$$

$$Y_5 = -364.677 - 146.913x_1 - 18.829x_2 + 432.591x_3 -$$

$$40.680x_4 - 51.266x_5 + 15.774x_6 + 15.831x_7 + 7.942x_8 + 24.062x_9 + 103.122x_{10} \quad (5)$$

2.7 KNN分析结果

采用双向划分法DUPLEX方法对训练集和验证集进行划分，分别得到185个训练集样品和71个验证集样品，分组结果见表3，然后对样品数据进行KNN分析。

表3 分组结果

Table 3 Groupings results of samples

组别	训练集样本数	验证集样本数
对照组	12	4
掺乳清蛋白组	38	10
掺大豆分离蛋白组	35	13
掺水解植物蛋白组	32	16
掺水解动物蛋白组	37	11
掺尿素组	31	17
合计	185	71

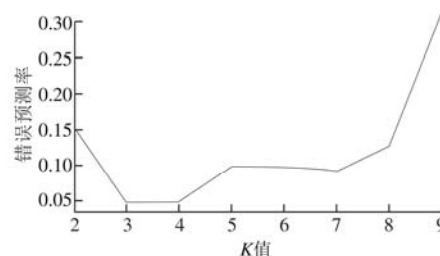


图8 KNN的选择视图

Fig. 8 Selection of the optimal number of nearest neighbor values

由图8可知，当K值取3或4时，模型的预测错误率较低。由于K取4时的分类结果比K取3时的分类结果理想，故采用4个近邻值进行分析，分类如表4所示。

表4 KNN分析分类结果

Table 4 Classification results from K-nearest neighbor analysis

分区	类别	正确率/%						总正确率/%
		对照组	掺乳清蛋白组	掺大豆分离蛋白组	掺水解植物蛋白组	掺水解动物蛋白组	掺尿素组	
训练	对照组	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.1
	掺乳清蛋白组	0.0	89.5	0.0	10.5	0.0	0.0	
	掺大豆分离蛋白组	0.0	0.0	85.7	0.0	14.3	0.0	
	掺水解植物蛋白组	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	
	掺水解动物蛋白组	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	
	掺尿素组	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
验证	对照组	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.1
	掺乳清蛋白组	20.0	80.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	掺大豆分离蛋白组	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	
	掺水解植物蛋白组	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	
	掺水解动物蛋白组	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	
	掺尿素组	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	

由表4可知，对训练集的分类正确率达到95.1%，对验证集的分类正确率为97.1%。训练集样品中，掺乳清蛋白组和掺大豆分离蛋白组分别有10.5%和14.3%的误判，其余组都是100.0%正确；验证集样品中，只有掺乳清蛋白组有20.0%的误判，其余组都是100.0%正确，说明采用KNN分析法建立的模型预测结果良好。

3 结论

PCA和LDA说明:电子鼻能够区分不同类别的蛋白质掺假物质,即电子鼻能够对不同类别的蛋白质掺假物质进行定性分析。采用线性回归分析、FDA和KNN分析建立的掺假物模型预测能力良好,说明电子鼻能够对不同类别的蛋白质掺假物质进行定量分析。本实验建立模型时所用的样品量小,在实际生产中,样品量要远大于实验中的样品量,因此,模型应用于实际时还需要进一步的探索。

参考文献:

- [1] 曹斌云,罗军,姚军虎,等.山羊奶的营养价值与特点[J].畜牧兽医学杂志,2007,26(1):49-50. DOI:10.3969/j.issn.1004-6704.2007.01.021.
- [2] 陈建明,冯建忠,张居农.山羊奶营养及加工工艺特性[J].中国奶牛,2009(4):42-45. DOI:10.3969/j.issn.1004-4264.2009.04.017.
- [3] 杨琴,蔡雷江,孙宗奇,等.萨能奶山羊乳的营养特性及酸羊奶产品开发[J].贵州农业科学,2009,37(1):116-119. DOI:10.3969/j.issn.1001-3601.2009.01.041.
- [4] 王引泉,郝丽霞,石刚.羊奶的营养与食疗特性[J].畜牧兽医学杂志,2010,29(1):66-67. DOI:10.3969/j.issn.1004-6704.2010.01.028.
- [5] STĂNCIUC N, RÂPEANU G. Identification of adulterated sheep and goat cheeses marketed in Romania by immunocromatographic assay[J]. Food and Agricultural Immunology, 2010, 21(2): 157-164. DOI:10.1080/09540100903508683.
- [6] 邓会玲,万宇平,贾芳芳,等.乳品掺假快速检测的研究进展[J].乳业科学与技术,2011,34(6):284-287. DOI:10.3969/j.issn.1671-5187.2011.06.010.
- [7] 马占峰,刘修宽,韩旭.原料乳中掺假动物水解蛋白快速预判的研究[J].中国乳业,2012(1):54-56. DOI:10.3969/j.issn.1671-4393.2012.01.025.
- [8] 曹佳,赵武奇,魏振东.掺假羊奶原奶中植物蛋白的近红外快速检测[J].农产品加工:学刊,2012(3):131-133. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2012.03.036.
- [9] 秦立虎,韩起文,孙武斌.鲜奶掺假的快速检验技术[J].四川食品与发酵,2005,41(2):24-27. DOI:10.3969/j.issn.1674-506X.2005.02.016.
- [10] 王明阳,刘辉,呈维娜.超高效液相质谱法快速测定奶粉及奶制品中的三聚氰胺[J].检验检疫学刊,2009,19(2):41-42. DOI:10.3969/j.issn.1674-5354.2009.02.015.
- [11] 徐然,郝卫强,毛燕妮,等.反相液相色谱和HILIC对奶制品中三聚氰胺的检测[J].中国乳品工业,2009,37(9):27-29. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2009.09.008.
- [12] 蒋珍菊,王雁,王玺.基于Bayes分类的原料乳中植物奶油掺假监测研究[J].食品科技,2012,37(7):288-291. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2012.07.051.
- [13] 方秋华,黄显会,郭春娜,等.高效液相色谱-串联质谱法检测羊奶中乙酰孕激素多残留研究[J].分析测试学报,2012,31(10):1314-1318. DOI:10.3969/j.issn.1004-4957.2012.10.018.
- [14] 倪力军,钟霖,张鑫,等.近红外光谱结合非线性模式识别方法进行牛奶中掺假物质的判别[J].光谱学与光谱分析,2014,34(10):2673-2678. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2014)10-2673-06.
- [15] 徐宗良,夏元军,巩军.近红外快速检测奶粉乳清粉成分研究[J].中国乳品工业,2002,30(2):40-42. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2002.02.012.
- [16] VIEIRA S M, de SOUZA L M, FRANÇA A S, et al. FTIR-PLS as a promising method for rapid detection of adulteration by waste whey in raw milk[J]. Dairy Science and Technology, 2016, 96(1): 123-131. DOI:10.1007/s13594-015-0247-0.
- [17] LIM J, KIM G, MO C, et al. Detection of melamine in milk powders using near-infrared hyperspectral imaging combined with regression coefficient of partial least square regression model[J]. Talanta, 2016, 151: 183-191. DOI:10.1016/j.talanta.2016.01.035.
- [18] 姜潮,韩剑众,范佳利,等.低场核磁共振结合主成分分析法快速检测掺假牛乳[J].农业工程学报,2010,26(9):340-344. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2010.09.056.
- [19] 王衍彬,刘东红,叶兴乾,等.超声乳成分分析仪对牛乳掺水解动物蛋白和脲的检测效果研究[J].中国食品学报,2005,5(2):109-113. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2005.02.020.
- [20] 王二丹,鲁利利,张泰铭,等.采用非线性化学指纹图谱技术测定羊奶中掺牛奶的含量[J].食品与发酵工业,2015,41(3):199-203. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.201503035.
- [21] 刘婷,姜金斗,刘宁. HPLC-OPA柱后衍生离子交换法对乳粉中掺水解动物蛋白检测方法的研究[J].食品工业科技,2007,28(7):207-209. DOI:10.3969/j.issn.1002-0306.2007.07.066.
- [22] 贾茹,刘占东,马利杰,等.电子鼻对山羊奶中致脂游离脂肪酸的识别研究[J].中国乳品工业,2015,43(3):18-21. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2015.03.005.
- [23] 马利杰,贾茹,杨春杰,等.基于电子鼻技术对羊奶粉中掺假牛奶粉的快速检测[J].中国乳品工业,2014,42(11):47-50. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2014.11.012.
- [24] 罗莉,王金水,渠琛玲,等.电子鼻在乳制品中的应用[J].农产品加工:学刊,2010(9):89-91. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2010.09.026.
- [25] 郭奇慧,白雪,康小红.应用电子鼻区分不同气味的原奶[J].食品科技,2008,33(6):179-181. DOI:10.3969/j.issn.1005-9989.2008.06.055.
- [26] 郭奇慧,白雪,胡新宇,等.应用电子鼻区分不同货架期的酸奶[J].食品研究与开发,2008,29(10):109-110. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2008.10.035.
- [27] 郭奇慧,白雪,康小红.应用电子鼻区分不同货架期的纯奶[J].乳业科学与技术,2008,31(2):68-69. DOI:10.3969/j.issn.1671-5187.2008.02.007.
- [28] 郭奇慧,白雪,胡新宇,等.应用电子鼻区分不同成熟期的契达干酪[J].中国乳品工业,2008,36(4):31-32. DOI:10.3969/j.issn.1001-2230.2008.04.008.
- [29] 李照,邢黎明,云战友,等.电子鼻测定牛奶中掺入外来脂肪[J].乳业科学与技术,2008,31(1):39-41. DOI:10.3969/j.issn.1671-5187.2008.01.013.
- [30] 刘志东,郭本恒,王荫榆,等.电子鼻在乳品工业中的应用[J].食品与发酵工业,2007,33(2):102-107. DOI:10.3321/j.issn:0253-990X.2007.02.024.
- [31] CUI S, WANG J, YANG L, et al. Qualitative and quantitative analysis on aroma characteristics of ginseng at different ages using E-nose and GC-MS combined with chemometrics[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2015, 102: 64-77. DOI:10.1016/j.jpba.2014.08.030.
- [32] SINGH H, RAJ V B, KUMAR J, et al. Metal oxide SAW E-nose employing PCA and ANN for the identification of binary mixture of DMMP and methanol[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2014, 200: 147-156. DOI:10.1016/j.snb.2014.04.065.
- [33] BOUGRINI M, TAHRI K, HADDI Z, et al. Aging time and brand determination of pasteurized milk using a multisensor E-nose combined with a voltammetric E-tongue[J]. Materials Science and Engineering: C, 2014, 45: 348-358. DOI:10.1016/j.msec.2014.09.030.
- [34] 徐亚丹,王俊,赵国军.基于电子鼻的对掺假的“伊利”牛奶的检测[J].中国食品学报,2006,6(5):111-118. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2006.05.023.
- [35] 高晓霞,宋娟娟,董亚飞,等.应用电子鼻对奶粉掺假快速检测的研究[J].食品工业科技,2012,33(18):79-83. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2012.18.048.