

电子鼻在六堡茶陈化年份识别中的应用

温立香, 黎新荣*, 李建强, 冯春梅, 张 芬, 黄寿辉, 谢朝敏

(广西亚热带作物研究所/广西亚热带农产品加工研究所, 南宁 530001)

摘要:【目的】探索电子鼻(EN)技术在六堡茶陈化年份识别上的应用,为建立六堡茶品质评价新技术体系提供参考依据。【方法】采用PEN3型便携式电子鼻气味分析系统提取不同厂家、不同陈化年份六堡茶干茶、茶汤和茶底的响应特征值,用主成分分析法(PCA)和线性判别分析法(LDA)分析其陈化年份和预测模型,以马氏距离(MA)、欧氏距离(EU)和判别函数分析(DFA)法验证预测模型的准确性。【结果】不同陈化年份六堡茶对EN产生不同的响应信号,分别选取171~175、166~170和155~160 s的EN响应值作为建立干茶、茶汤和茶底识别模型的特征值;LDA较PCA能更好地区分不同陈化年份的六堡茶,不同陈化年份样品分布在不同区域,干茶、茶汤和茶底的判别式LD1和LD2的累计贡献率分别为93.00%、88.31%和80.52%;EU、MA和DFA法对干茶识别模型的验证准确率分别达88.23%、88.23%和94.12%,对茶汤识别模型的验证准确率均为82.35%,对茶底识别模型的验证准确率分别为70.58%、82.35%和94.12%。【结论】EN可识别不同陈化年份六堡茶的芳香物质等特征气味并对其进行区分和归类,可在茶叶陈化年份识别中推广应用。

关键词: 六堡茶; 电子鼻; 陈化年份; 识别

中图分类号: S571.1; TS272.7

文献标志码: A

文章编号: 2095-1191 (2017) 07-1291-06

Application of electronic nose in identification for aging years of Liupao tea

WEN Li-xiang, LI Xin-rong*, LI Jian-qiang, FENG Chun-mei, ZHANG Fen, HUANG Shou-hui, XIE Chao-min

(Guangxi Subtropical Crops Research Institute/Guangxi Subtropical Agro-products Processing Research Institute, Nanning 530001, China)

Abstract: 【Objective】The application of electronic nose (EN) in identification for aging years of Liupao tea was researched to provide reference for establishing new quality evaluation technology system of Liupao tea. 【Method】Response characteristic values of dry tea, tea infusion and wet tea leaf at different aging years from various producers were obtained by PEN3 portable EN smell analysis system. Principle component analysis (PCA) and linear discriminant analysis (LDA) were used to analyze their aging years and prediction model, and mahalanobis distance (MA), euclidean metric (EU) and discriminant function analysis (DFA) were applied in verification of accuracy of the prediction model. 【Result】Liupao tea of different aging years had different response signals on EN. The EN response values of 171-175, 166-170 and 155-160 s were selected as the characteristic values for dry tea, tea infusion and wet tea leaf to establish the identification model. LDA was better than PCA in distinguishing Liupao tea of different aging years. Samples of different aging years distributed in different regions. The cumulative contribution rates of discriminant LD1 and LD2 for dry tea, tea infusion and wet tea leaf were 93.00%, 88.31% and 80.52% respectively. The verification accuracy of identification model for dry tea with EU, MA and DFA reached 88.23%, 88.23% and 94.12%, identification model for tea infusion all reached 82.35% and for wet tea leaf reached 70.58%, 82.35% and 94.12%. 【Conclusion】EN can identify the smell characteristics such as aromatic substance in Liupao tea of different aging years, and realize distinguishing and classification. It can be used and promoted in the identification of tea aging years.

Key words: Liupao tea; electronic nose; aging year; identification

0 引言

【研究意义】香气是评价六堡茶品质的重要指标

之一,采用感官审评因受评审人员主观因素和评审环境影响,存在主观性强、重复性差、评审结果模糊、缺

收稿日期: 2016-10-27

基金项目: 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科能1598025-7)

作者简介: *为通讯作者,黎新荣(1982-),高级工程师,主要从事食品科学研究工作, E-mail: 44745348@qq.com。温立香(1987-),主要从事茶叶加工与加工工程研究工作, E-mail: 864655377@qq.com

乙里化识别(大为寺,2012;宋令寺,2016)寺歌点,而利用气相色谱、气质联用、电化学等检测方法存在操作繁琐、前处理复杂、费时、效率低等问题(于慧春等,2007;张莹等,2015),同时因六堡茶香气组分复杂,至今尚无法分析得知其所有化学成分,因此利用单一化学对照品来鉴别香气组成存在一定的鉴别盲点。电子鼻(EN)是模仿人类嗅觉系统直接对样品不同气味进行嗅觉感观指标量化分析识别,被称作气味指纹分析仪(黄骏雄和田莉娟,1999)。EN技术能将不同特性的气体传感器组合成气体传感器阵列,根据不同挥发物的特性配合不同的模式识别数据处理方法对各样品进行识别分类(于慧春等,2007),国内外在食品工业、环境检测、医疗卫生及普洱生茶、茵陈和烟叶香气识别等方面已有应用报道(王俊等,2004;李莉等,2015;罗斯瀚等,2015,清源等,2015)。因此,利用EN技术识别六堡茶的陈化年份,对客观、科学、规范化评价六堡茶品质具有重要意义。【前人研究进展】EN是气敏传感技术与信息处理技术有效结合的产物,可体现化学和计算机等多学科交叉的优势(Bourrounet et al.,1995;杜锋和雷鸣,2003),已有学者应用于茶叶品质分析(Dutta et al.,2003)。史波林等(2011)利用软独立建模分类法(SIMCA)建立不同等级西湖龙井茶判别模型,等级分类正确率在95%以上;吴亮亮等(2016)的研究结果表明,可采用10个金属氧化物气敏传感器组成阵列的EN技术对6个类型茉莉花茶进行香味鉴定;杨春兰等(2016)利用EN技术对6个贮藏时间、5个等级的黄山毛峰茶进行检测,建立的PCA-BPNN预测模型可用于检测黄山毛峰茶贮藏时间。【本研究切入点】随着六堡茶陈化年份的推移其品质特征会逐渐发生变化,呈越陈越好的趋势,陈化年份与其价格通常直接挂钩,但目前国内外未见将EN技术应用于六堡茶陈化年份识别的研究报道。【拟解决的关键问题】采用EN技术对不同陈化年份六堡茶进行检测识别,探索EN对其芳香物质变化的响应情况,为EN技术在六堡茶分类上应用及六堡茶品质评价新技术体系的建立提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试茶样为广西梧州茶厂、梧州中茶茶业有限公司、梧州茂圣茶业有限公司、梧州市天誉茶业有限公司和梧州圣源茶业有限公司等厂家市售陈化1~10年六堡茶产品,共68个。其中陈化年份1年的样品6个,陈化2年的样品4个,陈化3年的样品10个,陈化4年的样品15个,陈化5年的样品10个,陈化6年的样品5个,陈化7年的样品5个,陈化8年的样品5个,陈化9年的样品

5个,陈化10年以上的样品5个。每个样品取5g重复样,从总计204个样品中随机抽取34个作为未知样品(预测集样品),其余样品作为识别模型建立的建模样品(训练集样品)。

供试EN为PEN3型便携式电子鼻气味分析系统(含吸附/解吸附装置EDU3,德国AIR SENSE公司),主要由气体采样系统、传感器控制系统和信号采集系统组成,包括10组高灵敏金属氧化物传感器,各传感器的性能描述见表1。

表 1 EN传感器性能描述
Table 1 Performance description of EN sensors

序号 Serial No.	传感器名称 Sensor name	性能描述 Performance description
1	W1C	对芳香成分、苯类灵敏
2	W5S	灵敏度大,对氮氧化物很灵敏
3	W3C	对氨类、芳香成分灵敏
4	W6S	主要对氢化物有选择性
5	W5C	短链烷烃芳香成分
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对无机硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

1.2 试验方法

1.2.1 干茶检测 干茶香气较淡,检测过程中需先将PEN3和EDU3吸附/解吸附装置联用进行香气富集。称取3.0 g干茶样品,装入PEN3配套的顶空进样杯,静置30 min后进行气味数据录入,PEN3的采样时间为200 s,EN软件每秒自动记录1次采样数据,每个样品重复采样检测3次。

1.2.2 茶汤及茶底检测 直接用PEN3进行茶汤和茶底香气检测。参照连文钦等(2010)的感官审评要求(茶水比1:50),称取3.0 g干茶样品于烧杯,加沸蒸馏水150 mL冲泡5 min,滤出茶汤,分别将茶汤和茶底装入PEN3配套的顶空进样杯,静置30 min后进行气味数据录入,PEN3的采样时间为200 s,EN软件每秒自动记录1次采样数据,每个样品重复采样检测3次。

1.3 统计分析

样品陈化年份区分及识别模型的建立采用主成分分析法(Principle component analysis,PCA)和线性判别分析法(Linear discriminant analysis,LDA)进行分析,预测集样品的定性采用马氏距离(Mahalanobis distance,MA)、欧氏距离(Euclidean metric,EU)和判别函数分析(Discriminant function analysis,DFA)法进行判定。

2 结果与分析

2.1 六堡茶EN特征值的提取与选择

在图1~图3中,每条曲线代表EN的一个传感器对

不同类芳香物质的响应变化,不同传感器对六堡茶干茶、茶汤和茶底的信号响应特征均不同。六堡茶干茶、茶汤和茶底的信号响应特征值采集结果表明,其EN响应曲线均呈先急剧上升、达到峰值后逐渐下降、最后平缓趋于稳定的变化趋势;10个传感器信号响应值分别在160、150和150 s时开始趋于稳定。综合分析所有检测样本的响应图特征,本研究分别选取检测171~175、166~170和155~160 s的EN信号响应值作为建立干茶、茶汤和茶底识别模型的特征值。

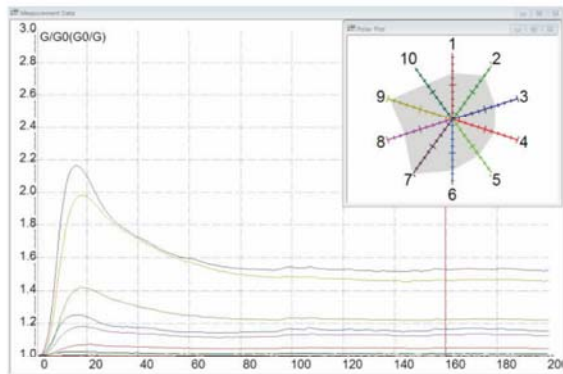


图 1 六堡茶干茶的EN响应曲线
Fig.1 EN response curve for Liupao dry tea

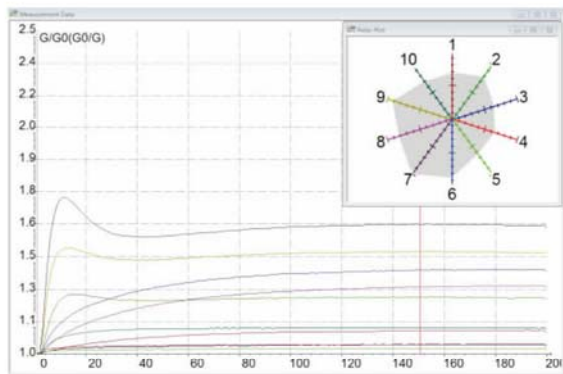


图 2 六堡茶茶汤的EN响应曲线
Fig.2 EN response curve for Liupao tea infusion

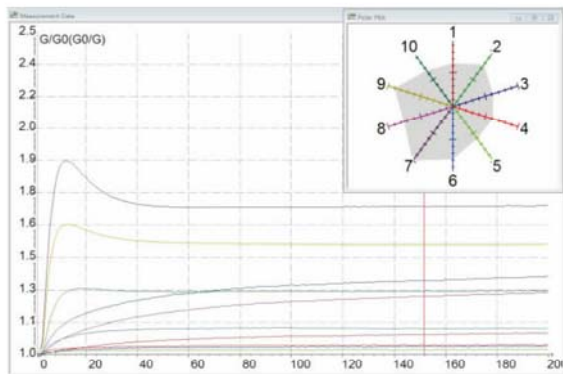


图 3 六堡茶茶底的EN响应曲线
Fig.3 EN response curve for Liupao wet tea leaf

2. 2 不同陈化年份六堡茶识别模型的建立

2. 2. 1 干茶识别模型的建立 图4和图5中每个椭圆范围内的点代表同一年份六堡茶干茶样品及重复的数据采集点。从图4可看出,PCA分析中的第一主成分PC1反映了原始变量81.49%的信息,第二主成分PC2反映了原始变量15.10%的信息,该两个主成分的累计贡献率达96.59%;在LDA分析中,LD1和LD2的贡献率分别为85.09%和7.91%,累计贡献率为93.00%。PCA分析结果显示,陈化1~2年、4~5年和7~9年六堡茶干茶样品的年份部分重叠,陈化年份的区分效果不理想;LDA分析中不同陈化年份六堡茶分布在二维空间的不同区域,在LD1上陈化1~6年的六堡茶可明显区分开来,在LD2上陈化6~10年的六堡茶依次排列,陈化7年的六堡茶分别与陈化6和8年的六堡茶略有重叠分布,说明采用LDA区分不同陈化年份六堡茶的效果优于PCA。

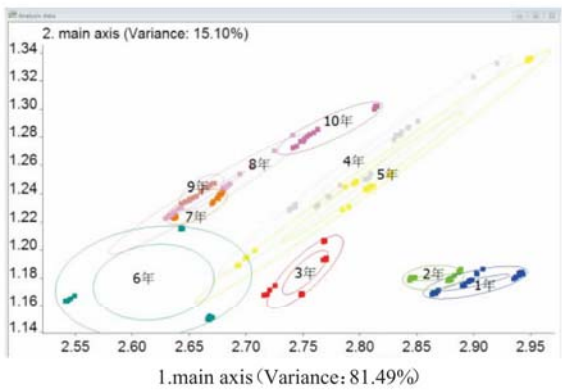


图 4 不同陈化年份六堡茶干茶的PCA分析结果
Fig.4 PCA analysis for Liupao dry tea of different aging years

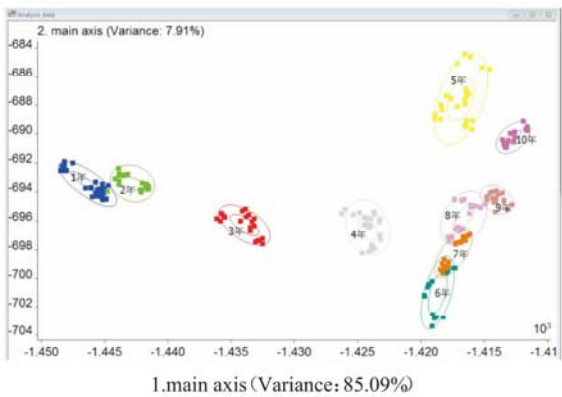


图 5 不同陈化年份六堡茶干茶的LDA分析结果
Fig.5 LDA analysis for Liupao dry tea of different aging years

2. 2. 2 茶汤识别模型的建立 从图6可看出,PC1和PC2的累计贡献率为97.42%,表明这两个主成分对应的特征向量所决定的二维子空间可充分保存原始数据信息,但从PC1和PC2两个主轴上看,随着六堡茶陈

化年份的增加,各陈化年份六堡茶并未呈一个很好的单向趋势,基于本研究茶汤样本的EN响应信号,运用PCA区分不同陈化年份六堡茶的效果不理想。从图7可看出,LD1和LD2的贡献率分别为73.22%和15.09%,累计贡献率为88.31%,茶汤的LDA分析中不同陈化年份的分布区域和重叠部分相对于干茶有所增加,其中陈化6年的六堡茶分别与陈化5和7年的有小部分交叉重叠,陈化8年的六堡茶分别与陈化9和10年的有部分交叉重叠,但总体上陈化1~6年的茶汤响应特征在LD1轴上呈一定的变化规律,陈化6~10年的在LD2轴上依次排列。经高温冲泡,茶汤与干茶芳香物质略有不同,结合LD1和LD2判别结果分析认为,六堡茶茶汤的EN信号响应特征可区分不同陈化年份的六堡茶茶样。

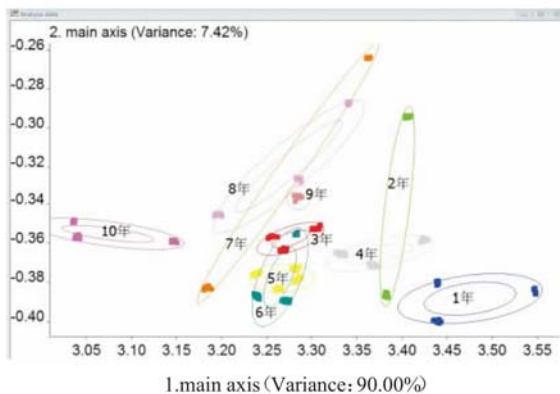


图 6 不同陈化年份六堡茶茶汤的PCA分析结果

Fig.6 PCA analysis for tea infusion from Liupao tea of different aging years

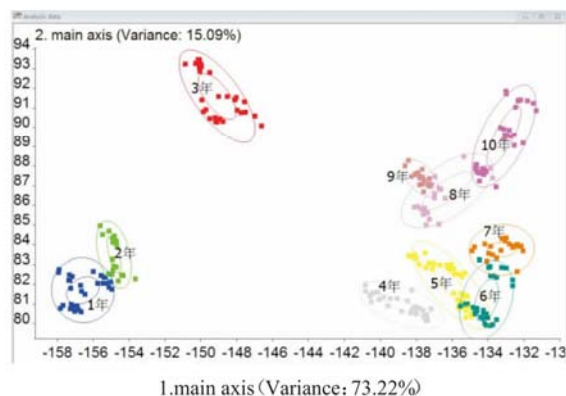


图 7 不同陈化年份六堡茶茶汤的LDA分析结果

Fig.7 LDA analysis for tea infusion from Liupao tea of different aging years

2. 2. 3 茶底识别模型的建立 从图8和图9可看出,PCA分析中PC1和PC2两个主成分的总贡献率为97.80%,LDA分析的LD1和LD2累计贡献率为80.52%。茶底PCA分析结果(图8)显示,用PCA分析不同陈化年份六堡茶茶底芳香气味的EN响应未能得到理想的区分效果;茶底LDA分析结果(图9)显示,陈化1~2年

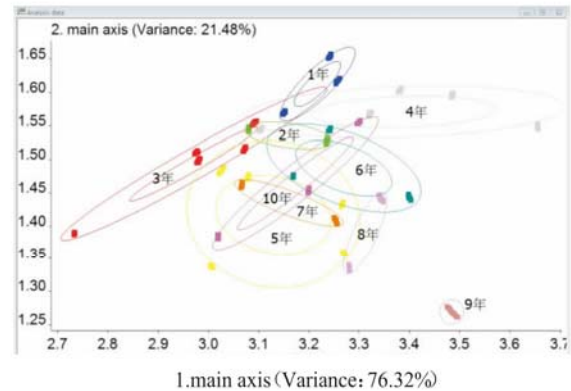


图 8 不同陈化年份六堡茶茶底PCA分析结果

Fig.8 PCA analysis for wet tea leaf from Liupao tea of different aging years

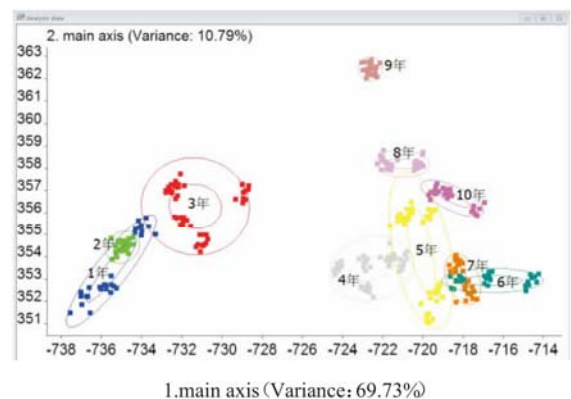


图 9 不同陈化年份六堡茶茶底的LDA分析结果

Fig.9 LDA analysis for wet tea leaf from Liupao tea of different aging years

的六堡茶年份变化不明显,陈化2年的六堡茶年份在陈化1年分布区域重叠,陈化5~7年的六堡茶有部分区域重叠,通过茶底气味的EN响应在一定程度上可将其陈化年份区分开来。

2. 3 识别模型准确性的验证

图10和图11分别为准确预测和不能准确预测的茶样曲线分布情况,其中,图10以预测准确的1种陈化3年六堡茶为例,其预测样品的气味特征曲线能穿过模型中陈化3年的六堡茶气味数据点,说明其气味特征与模型中陈化3年的六堡茶相似;图11以预测有所偏差的1种陈化4年六堡茶为例,预测样品的气味特征曲线穿过模型中陈化3年六堡茶的气味数据点后靠近陈化4年六堡茶的数据点区域,但最终未能穿过陈化4年六堡茶的数据点,DFA判定结果显示“unknow”字样。34个预测集样品分别在干茶、茶汤和茶底识别模型中的判定结果如表2所示,其中,干茶模型的EU、MA和DFA验证准确率分别为88.23%、88.23%和94.12%;茶汤模型的验证准确率均为82.35%;茶底模型的DFA验证准确率达94.12%,MA验证准确率为82.35%,EU验证准确率较低,为70.58%。即本研究中所建立的六堡茶陈化年份识别模型,基于干茶和茶底识别模

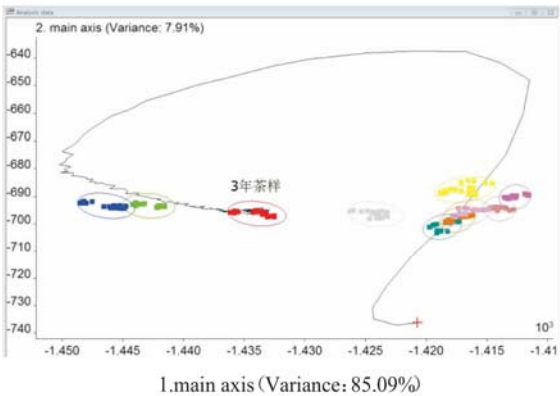


图 10 准确识别陈化3年六堡茶的茶样曲线分布
Fig.10 Accurate identification of tea sample curve distribution for Liupao tea aging three year

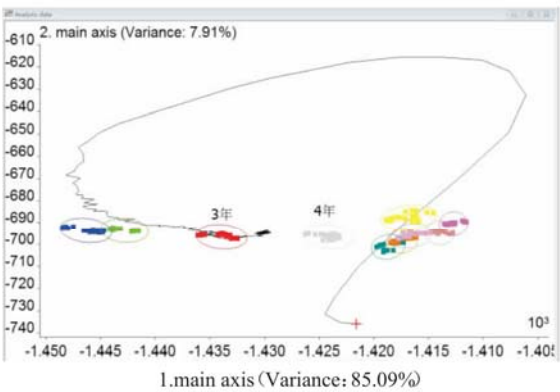


图 11 不能准确识别陈化4年六堡茶的茶样曲线分布
Fig.11 Incorrect identification of tea sample curve distribution for Liupao tea aging four years

表 2 预测样品在识别模型中的验证结果(%)
Table 2 Varification results of prediction tea samples in recognition model(%)

模型类别 Model category	验证准确率 Varification accuracy		
	EU	MA	DFA
干茶 Dry tea	88.23	88.23	94.12
茶汤 Tea infusion	82.35	82.35	82.35
茶底 Wet tea leaf	70.58	82.35	94.12

型的DFA判断准确率均在90.00%以上,这两个模型能较准确地判定不同陈化年份的六堡茶,可对不同陈化年份六堡茶进行初步区分和归类。

3 讨论

周亦斌(2005)研究认为,由EN气体传感器阵列直接得到的数据量非常庞大,选择测量过程中响应信号趋于稳定时提取特征值,可获得相对稳定的传感器信号;或选取测量过程中信号的高峰值,以获得传感器对测量气体的最大反应信号;也可选取测量过程中传感器信号的均值,以获得传感器对测量气体在整个测量过程中的平均反应信号。陈哲和赵文杰(2012)在利用EN区分不同等级碧螺春的研究中以提取最大值、最小值和平均值作为特征变量。本研究选择测量曲线

上趋于稳定时间段的特征参数作为六堡茶EN响应的特征值,与古小玲等(2010)、傅军和邢建国(2012)利用EN识别不同品牌绿茶和评判海南红碎茶选取稳定时刻的响应值作为特征值一致。

于慧春等(2007)采用EN结合PCA、LDA及BP(神经网络方法)对4个不同等级龙井茶进行分类判别,结果表明,PCA对差异较小的茶叶区分效果不理想,LDA和BP的区分效果相对较佳;张红梅等(2010)的研究结果表明,EN技术中的PCA和LDA均能将不同等级信阳毛尖茶明显地区分开来。本研究中,随着六堡茶陈化年份的增加,其挥发性芳香物质的气味会发生变化,EN可识别出其特征气味并进行区分和归类;EN系统中的LDA比PCA能更好地区分不同陈化年份六堡茶,结合DFA对于干茶和茶底识别模型的判断准确率均达94.12%的研究结果表明,采用EN可区分不同品质特征的茶叶并建立相应的预测模型。

本研究中某些陈化年份较近的六堡茶样品感官品质差别不明显,可能是导致PCA在不同陈化年份识别上存在一定局限的原因,如果拉大陈化时间间隔(如陈化时间间隔1~2年和3~4年划为一组)区分效果可能会更理想;在LDA识别模型中,有部分不同陈化年份(通常为临近年份)六堡茶的特征响应分布发生重叠,可能是所抽样本的实际陈化时间差距不明显引起,在今后的研究中应更科学地抽取样品以完善识别模型。

4 结论

EN可通过识别六堡茶挥发性芳香物质气味发生的变化而区分其陈化年份,可在茶叶陈化年份识别中推广应用。

参考文献:
陈哲, 赵杰文. 2012. 基于电子鼻技术的碧螺春茶叶品质等级检测研究[J]. 农机化研究, (11): 133-137. [Chen Z, Zhao J W. 2012. Detection of Biluochun green tea quality grade by using an electronic nose[J]. Agricultural Mechanization Research, (11): 133-137.]
杜锋, 雷鸣. 2003. 电子鼻及其在食品工业中的应用[J]. 食品科学, 24(5): 161-163. [Du F, Lei M. 2003. Electronic nose and its application in food industry[J]. Food Science, 24(5): 161-163.]
傅军, 邢建国. 2012. 嗅觉神经网络在电子鼻识别多品牌绿茶中的应用研究[J]. 传感技术学报, 25(3): 313-318. [Fu J, Xing J G. 2012. Discrimination of green tea with different brands by electronic nose and an olfactory neural network[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 25(3): 313-318.]
古小玲, 刘翔, 李达敏, 王书美. 2010. 海南红碎茶电子鼻技术应用及其与感官审评的比较[J]. 热带作物学报, 31(11):

- 2034-2038. [Gu X L, Liu X, Li D M, Wang S M. 2010. Electronic nose technology for Hainan broken black tea and its comparison with sensory evaluation [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 31 (11) : 2034-2038.]
- 关为, 田呈瑞, 陈卫军, 周劝娥, 张航, 唐敏敏, 夏秋瑜. 2012. 电子舌在绿茶饮料区分辨识中的应用 [J]. 食品工业科技, (12) : 56-59. [Guan W, Tian C R, Chen W J, Zhou Q E, Zhang H, Tang M M, Xia Q Y. 2012. Application of electronic tongue on green tea beverage discrimination [J]. Science and Technology of Food Industry, (12) : 56-59.]
- 黄骏雄, 田莉娟. 1999. 新颖的仿生检测技术——电子鼻 [J]. 现代仪器使用与维护, (1) : 6-10. [Huang J X, Tian L J. 1999. A new bionic detection technology—electronic nose [J]. Modern Instrument Use and Maintenance, (1) : 6-10.]
- 李莉, 张文静, 肖佳冰, 吕鹏辉, 李佳, 于建军. 2015. 郾城烟区不同品种烤烟叶片化学成分及香气物质比较 [J]. 江西农业学报, 27 (4) : 49-52. [Li L, Zhang W J, Xiao J B, Lv P H, Li J, Yu J J. 2015. Comparison of chemical components and aroma substances in leaves of different flue-cured tobacco varieties in Yancheng Area [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 27 (4) : 49-52.]
- 连文钦, 蔡值凌, 陈荔银, 汪玲平, 毕立新, 陈迪, 刘秀容. 2010. 进出口茶叶品质感官审评方法 [S]. SN/T 0917-2010. <http://www.csres.com/detail/215796.html>. [Lian W Q, Cai Z L, Chen L Y, Wang L P, Bi L X, Chen D, Liu X R. 2010. Method for the organoleptic examination on quality of tea for import and export tea sensory review room [S]. SN/T 0917-2010. <http://www.csres.com/detail/215796.html>.]
- 罗斯瀚, 陈婷, 何继燕, 夏梓祥, 彭文, 王白娟. 2016. 高压脉冲电场促进普洱生茶醇类香气的作用研究 [J]. 西南农业学报, 29 (3) : 683-688. [Luo S H, Chen T, He J Y, Xia Z X, Peng W, Wang B J. 2016. Effects of high-voltage pulsed electric field on promoting alcohols aroma of Pu'er raw tea [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 29 (3) : 683-688.]
- 清源, 何晓兰, 柳成益, 杨梅, 郑林用. 2015. 电子鼻和电子舌技术在块菌样品分类识别中的应用 [J]. 西南农业学报, 28 (3) : 1210-1216. [Qing Y, He X L, Liu C Y, Yang M, Zheng L Y. 2015. Application of electronic nose and tongue for discrimination of truffles with different processing technology [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 28 (3) : 1210-1216.]
- 史波林, 赵镭, 支瑞聪, 席兴军, 朱大洲. 2011. 应用电子鼻判别西湖龙井茶香气品质 [J]. 农业工程学报, 27 (S2) : 302-306. [Shi B L, Zhao L, Zhi R C, Xi X J, Zhu D Z. 2011. Aroma quality discrimination of Xihu-Longjing tea by electronic nose [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 27 (S2) : 302-306.]
- 王俊, 胡桂仙, 于勇, 周亦斌. 2004. 电子鼻与电子舌在食品检测中的应用研究进展 [J]. 农业工程学报, 20 (2) : 292-295. [Wang J, Hu G X, Yu Y, Zhou Y B. 2004. Research and application of electronic nose and electronic tongue in food inspection [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 20 (2) : 292-295.]
- 吴亮亮, 张丹丹, 叶小辉, 廖婷, 杨国一, 饶耿慧, 叶乃兴. 2016. 电子鼻在对名优茉莉花茶香气评价中的应用 [J]. 福建茶叶, (6) : 5-6. [Wu L L, Zhang D D, Ye X H, Liao T, Yang G Y, Rao G H, Ye N X. 2016. The application of electronic nose in evaluating the aroma of famous jasmine tea [J]. Tea in Fujian, (6) : 5-6.]
- 杨春兰, 薛大为, 鲍俊宏. 2016. 黄山毛峰茶贮藏时间电子鼻检测方法研究 [J]. 浙江农业学报, 28 (4) : 676-681. [Yang C L, Xue D W, Bao J H. 2016. Study on analysis method of storage time of Huangshanmaofeng tea by electronic nose [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 28 (4) : 676-681.]
- 余冬, 邵宛芳, 周婷, 方翔, 李家华. 2016. 不同茶树树型改造模式下茶叶品质特点的分析 [J]. 江西农业学报, 28 (7) : 39-42. [Yu D, Shao W F, Zhou T, Fang X, Li J H. 2016. Analysis of tea quality characteristics under different modes of tea tree transformation [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 28 (7) : 39-42.]
- 于慧春. 2007. 基于电子鼻技术的茶叶品质检测研究 [D]. 杭州: 浙江大学. [Yu H C. 2007. Discrimination of LongJing-green tea quality by electronic nose [D]. Hangzhou: Zhejiang University.]
- 于慧春, 王俊, 张红梅, 于勇. 2007. 龙井茶叶品质的电子鼻检测方法 [J]. 农业机械学报, 38 (7) : 103-106. [Yu H C, Wang J, Zhang H M, Yu Y. 2007. Measurement of the LongJing tea quality by using an electronic nose [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 38 (7) : 103-106.]
- 张红梅, 李燕, 王玲, 刘伟, 何玉静, 焦国涛. 2010. 信阳毛尖茶品质等级的电子鼻检测 [J]. 河南农业科学, (4) : 36-38. [Zhang H M, Li Y, Wang L, Liu W, He Y J, Jiao G T. 2010. Detection of Xinyang Maojian tea quality grade by electronic nose [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, (4) : 36-38.]
- 张莹, 钟应富, 袁林颖, 罗红玉, 郭秀宏. 2015. 不同等级云岭永川秀芽茶叶品质特征研究 [J]. 西南农业学报, 28 (1) : 84-89. [Zhang Y, Zhong Y F, Yuan L Y, Luo H Y, Wu X H. 2015. Study on different grade tea quality characteristics of Yunling-Yongchuan-Xiuya [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 28 (1) : 84-89.]
- 周亦斌. 2005. 基于电子鼻的西柿与黄酒的检测与评价研究 [D]. 杭州: 浙江大学. [Zhou Y B. 2005. Quality evaluation of tomato and rice wine by electronic nose [D]. Hangzhou: Zhejiang University.]
- Bourrounnet B, Talou H, Gaset A. 1995. Application of a multi-gas sensor device in the meat industry for boar taint detection [J]. Sensors and Actuators B, 27 (1-3) : 250-254.
- Dutta R, Hines E L, Gardner J W, Kashwan K R, Bhuyan M. 2003. Tea quality prediction using a tin oxide-based electronic nose: An artificial intelligence approach [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 94 (2) : 228-237.

(责任编辑 思利华)