

基于电子舌的白及及其近似饮片的快速辨识研究*

李媛媛¹, 王艳丽², 姚静^{2,3,4}, 施钧瀚^{2,3,4}, 桂新景^{2,3,4}, 张璐^{2,3,4},
冯文豪¹, 张璞¹, 张慧杰¹, 李学林^{2,3,4}, 刘瑞新^{2,3,4**}

(1. 河南中医药大学药学院 郑州 450008; 2. 河南中医药大学第一附属医院药学部 郑州 450000;

3. 河南省中药饮片临床应用现代化工程研究中心 郑州 450000;

4. 河南中医药大学呼吸疾病中医药防治省部共建协同创新中心 郑州 450000)

摘要:目的 探讨电子舌方法用于白及及其近似饮片快速辨识的可行性。方法 收集45批白及饮片及其近似品天麻饮片30批、玉竹饮片30批、黄花白及饮片29批,分别进行药典与地方标准辨识(M_1 法)、HPLC指纹图谱辨识(M_2 法),并结合原始采购信息获取最终饮片种类的标杆信息(Y),再采集电子舌味觉感官数据(X)并利用化学计量学方法分别建立主成分分析-判别分析(PCA-DA)、偏最小二乘-判别分析(PLS-DA)的45批白及饮片与剩余89批饮片的二分类辨识模型和45批白及饮片、30批天麻饮片、30批玉竹饮片、29批黄花白及饮片的四分类辨识模型($Y=F(X)$, M_2 法)。结果 经留一法交互验证,基于PCA-DA、PLS-DA二分类辨识模型的正判率分别为98.51%、100.00%,基于PCA-DA、PLS-DA四分类辨识模型的正判率分别为100.00%(无未分类样本)、100.00%(有4个未分类样本),模型判别良好,结合正判率与模型未分类样本数两项指标,最终选择二分类辨识以PLS-DA为最终辨识模型、四分类辨识以PCA-DA为最终辨识模型,两种模型正判率均为最高,且均未出现未分类样本。结论 电子舌可快速准确辨识白及及其近似饮片,为未来研发智能化中药饮片快速辨识设备提供了思路。

关键词:白及 电子舌 快速辨识 PCA-DA PLS-DA

doi: 10.11842/wst.20201106003 中图分类号: R282.5 文献标识码: A

白及为兰科植物白及 *Bletilla striata* (Thunb.) Reichb.f. 的干燥块茎,性味苦、甘涩、微寒,归肺、肝、胃经,临床常用于肺胃出血、皮肤皲裂、疮痍肿毒、外伤出血等^[1],在化妆品、工业制胶、保健及食品领域也应用较广。白及的应用范围广、药用价值高、用量大,其野生量与栽培量已满足不了市场的需求,且在2015年版中国药典中也未明确规定有效成分和含量,因此同属或相似种植物充伪或掺伪白及的问题尤为突出^[2-3]。

其中市场中同属植物黄花白及、水白及等冒充白及的现象较为常见^[4];天麻、玉竹因与白及具有外表皮黄白色、角质样、半透明等多个相似饮片的性状特征,市场上也有出现玉竹碎片、质量次等的天麻饮片等掺伪白及饮片的情况^[5]。目前,白及饮片的真伪鉴别和分类研究多采用白及药典检测方法^[6-7]或其他现代检测方法如光谱指纹图谱法^[8-11]、色谱指纹图谱法^[12]和基因组学、蛋白质组学等生物鉴别方法^[13-16],此类方法准确可

收稿日期:2020-11-06

修回日期:2021-03-21

* 河南省中医管理局普通课题(2018ZY2131):基于智能感官技术及多传感器信息融合的中药饮片快速质量评价方法研究,负责人:刘瑞新;河南省中医管理局普通课题(2018JDZX087):基于仿生传感器信息融合的砂仁及山茱萸饮片质量识别关键技术研究,负责人:桂新景;国家自然科学基金委员会常规面上项目(81774452):基于多传感器信息融合与多尺度模拟的中药呈苦规律及抑苦机制研究,负责人:李学林。

** 通讯作者:刘瑞新,主任药师,硕士研究生导师,主要研究方向:中药饮片临床应用现代化关键技术研究。

表1 TS-5000Z 电子舌传感器简介

传感器名称	可评价的味道	
	先味(相对值)	回味(CPA值)
酸味传感器(CAO)	酸味(醋酸、柠檬酸、酒石酸等引起的酸味)	无
苦味传感器(COO)	苦味(苦味物质引起的味道)	苦味回味(啤酒、咖啡等呈现的苦味的残留和持久性)
涩味传感器(AE1)	涩味(涩味物质引起的味道、低浓度下感知为刺激性回味)	涩味回味(茶、红酒等呈现的涩味的残留和持久性)
鲜味传感器(AAE)	鲜味(氨基酸、核酸等引起的鲜味)	丰富性(汤、调味汁等含有的可持续性感知的鲜味)
咸味传感器(CTO)	咸味(食盐等无机盐引起的咸味)	无

靠,可定性定量表征,重复性也较好,但操作繁琐、耗时较长、技术要求高、可及性差。传统经验辨识主要通过眼观、手试、鼻闻及口尝等方式综合评价中药饮片,但其对鉴别人员水平要求高、主观性强、且难以传承和量化。那么,探索一种快速、精准地鉴别白及饮片真伪及分类的方法就显得尤为重要,现代智能感官技术的出现为此提供了可能。

电子舌(electronic tongue)又称味觉指纹图谱技术^[7],可模拟人类和动物的味觉系统,通过对所测试对象的物质基础的响应获得味觉信号,利用独特的先味与回味测量技术,能够定性、定量分析苦味、甘味、涩味、酸味等指标^[8],可快捷、灵敏、准确、全面地反映中药材的整体味觉特征,已用于中药材的质量评价、药性分析、产地鉴别、掺伪鉴别、炮制品滋味鉴别等^[9-24]。因此,笔者以白及饮片为载体,选取天麻、玉竹、黄花白及作为其近似品^[4,25],基于电子舌和化学计量学方法对其进行分类辨识,探讨快速准确评价饮片的可行性。

1 仪器与材料

1.1 仪器

Thermo UltiMate 3000 高效液相色谱仪、紫外检测器(赛默飞世尔科技有限公司),万分之一电子天平(BSA2245-CW, Sartorius),十万分之一电子分析天平(CP225D, Sartorius),超声波清洗器(HK250, 上海科导超声仪器有限公司),JW-2018H型高速离心机,电子显微镜(LEICA DM1000, 上海LAS V4.0系统),薄层成像仪(TLC ViSuALi ZER2, 瑞士卡玛公司),电热鼓风干燥箱(GZX-9146MBE, 上海博迅实业有限公司医疗设备厂);高温箱型电阻炉(4-13, 沈阳市节能电炉厂),TS-5000Z型电子舌(日本INSENT公司),电子舌的传

感器介绍见表1。

1.2 材料

白及对照药材(121261-201706, 中国食品药品检定研究院), Militarine(1,4-二[4-(葡萄糖氧)苄基]-2-异丁基苯果酸酯)(≥98%, K1809B72711, 上海源叶生物科技有限公司), 乙腈(601797-04185, 天津市四友精细化学品有限公司), 磷酸(20150302, 天津市永大化学试剂有限公司), 纯化水, 乙醇、乙腈、磷酸均为色谱纯, 稀甘油(国药准字H20073910, 20180708, 南昌白云药业有限公司)。实验用45批白及、30批天麻、30批玉竹和29批黄花白及样本分别购自于郑州市5家中医院(河南中医药大学第一附属医院、河南中医药大学第三附属医院、郑州中医骨伤病医院、河南省中医院、天津中医药研究院附属医院)、8家医药公司(安徽人民中药饮片有限公司、安徽德昌药业股份有限公司、安徽普仁中药饮片有限公司、亳州市先锋中药饮片有限公司、亳州市沪渔药业有限公司、亳州市永刚饮片厂有限公司、四川新荷花中药饮片股份有限公司、郑州瑞龙制药股份有限公司)、成都荷花池药材市场、张仲景大药房等。购进信息:编号1-45为白及饮片,编号46-75为天麻饮片,编号76-105为玉竹饮片,编号106-134为黄花白及饮片。

2 方法

2.1 药典与地方标准辨识方法(M₁法)

M₁法包括性状鉴别、显微鉴别、薄层鉴别(参照2015年版中国药典一部附录白及项下的方法、2015年版《四川省中药饮片炮制规范》^①黄花白及 *Bletilla ochracea* Schltr, 2009年版《甘肃省中药炮制规范》^②和2009年版《甘肃省中药材标准》^③小白及(实为黄花白及 *Bletilla ochracea* Schltr, 而非植物学白及属小白及

① 四川省食品药品监督管理局. 四川省中药饮片炮制规范. 四川: 科技出版社, 2015. 5.

② 甘肃省卫生局. 甘肃省中药炮制规范. 甘肃: 人民出版社, 2009. 12-13.

③ 甘肃省食品药品监督管理局. 甘肃省中药材标准. 甘肃: 文化出版社, 2009. 13-4.

Bletilla formosana (Hayata) Schltr)项下的性状鉴别方法)加以对比辨识。

2.2 HPLC 辨识方法(M_2 法)

色谱条件:Shim-pack GIST C18-AQ 色谱柱;流动相:0.1% 磷酸水溶液(A)-乙腈(B);梯度洗脱(0-5 min, 5%-20%; 5-10 min, 20%-24%; 10-20 min, 24%-31.5%; 20-25 min, 31.5%-35%; 25-30 min, 35%-42%; 30-45 min, 42%-60%);流速:1.0 mL·min⁻¹;检测波长 280 nm;柱温:30℃;进样量 10 μL。

2.3 电子舌辨识方法(M_1 法)

标杆辨识信息(Y)的获取:结合药典与地方标准结果、HPLC 指纹图谱对比结果和原始购买饮片信息,共同确定饮片分类的标杆信息。味觉信息矩阵(X)的获取:取 1-134 号样本粉碎后过 6 号筛,精密称取 2.0 g 样本粉末置 100 mL 烧杯中,加入适量纯化水,迅速搅拌均匀后,静置 5 min,过滤,将上清液转移至 100 mL 容量瓶中,定容待测。将上述各样本溶液(30 mL)分别倒入电子舌专用烧杯中,遵行平衡-测先味值-清洗-测回味值的程序,在室温下进行味觉数据采集。电子舌传感器依次在清洗液中清洗 90 s、参比溶液中清洗 120 s,另一组参比溶液中清洗 120 s,使传感器归零 30 s 至达到平衡条件后开始采集。每个样本的先味值采集时间为 30 s,在两组参比溶液中分别间隔 3 s 时间清洗后,再将传感器插入新的参比溶液中采集 30 s 后输出回味值,如此循环测试 4 次,去掉第 1 次循环,取后 3 次循环的平均数据作为测试结果,最终得到 8 根传感器味觉信息矩阵 $X(134 \times 8)$;

2.4 二分类辨识模型的建立及优化

以电子舌采集的 134 个样本的 8 个味觉信息(134×8)作为自变量;基于药典与地方标准检测、HPLC 指纹图谱对比和原始采购信息的综合结果作为标准因变量 Y,建立 X 和 Y 之间的关系 $Y = F(X)$ 模型,利用 MATLAB 矩阵实验室,分别建立 134 个样本的 PCA-DA, PLS-DA 二分类辨识模型,辨识结果以留一法交互验证的结果为准。模型构建参考文献^[26]。

2.5 四分类辨识模型的建立及优化

原理同 2.4。

2.6 模型(特征变量)与味觉传感器对分类贡献度的追踪

利用 MATLAB 矩阵实验室建模时,为达到分类效果,二分类辨识模型构建时标杆信息 Y 的设定:“1”白

及饮片,“2”非白及饮片;四分类辨识模型构建时标杆信息 Y 的设定:“1”白及饮片,“2”天麻饮片,“3”玉竹饮片,“4”黄花白及饮片;经模型运算后,所得分类结果 \hat{Y} 表达意义相同。

2.6.1 基于 Wilk's lambda 变异度分析与排序

将传感器信息值矩阵 $X(134 \times 8)$ 及标杆信息 Y 导入 MATLAB 矩阵工作区,建模之前先对变量进行 Wilk's lambda 变异度分析,运行程序后得到反映模型特征变量的柱状图。

2.6.2 最优模型潜变量得分图追踪

利用 MATLAB 矩阵实验室,分别建立 PCA-DA、PLS-DA 辨识模型后,以正判率最高且无未分类样本的模型为最优,追踪其最优模型的潜变量得分图,找到其反映对于分类结果贡献度最大的传感器。

3 结果

3.1 药典与地方标准辨识(M_1 法)结果

30 批天麻饮片、30 批玉竹饮片均不符合 2015 年版中国药典一部附录白及项下标准,45 批白及饮片符合 2015 年版中国药典一部附录白及项下标准而不符合 2015 年版《四川省中药饮片炮制规范》、2009 年版《甘肃省中药炮制规范》和 2009 年版《甘肃省中药材标准》黄花白及项下标准,黄花白及饮片(106-120 号)既符合 2015 年版中国药典一部附录白及项下标准,又符合 2015 年版《四川省中药饮片炮制规范》、2009 年版《甘肃省中药炮制规范》和 2009 年版《甘肃省中药材标准》黄花白及项下标准。最终,二分类判别结果:1-45 号样品被判定为“白及饮片”,46-134 号样品被判定为“非白及饮片”;四分类判别结果:1-45 号样品被判定为“白及饮片”,46-75 号样品被判定为“天麻饮片”,76-105 号样品被判定为“玉竹饮片”,106-134 号样品被判定为“黄花白及饮片”。

3.2 HPLC 辨识(M_2 法)结果

对 134 批 4 种饮片样本各随机抽取 3 个(白及饮片编号为 4、9、27;天麻饮片编号为 46、65、70;玉竹饮片编号为 78、97、102;黄花白及饮片编号为 109、114、131)为代表性样本建立 HPLC 图,见图 1。从图 1 可以明显看到白及与天麻、玉竹、黄花白及饮片指纹图谱不同程度的差异;以 45 批白及饮片和对照药材为代表性样本,建立白及指纹图谱,45 批白及的指纹图谱相似度均高于 0.90(均值 0.931),30 批天麻指纹图谱相似

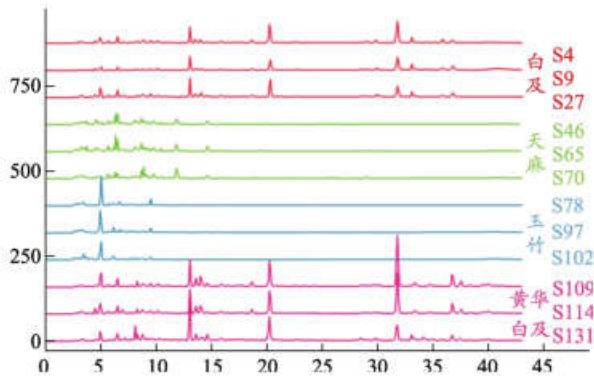


图1 3批白及、3批天麻、3批玉竹、3批黄花白及的HPLC图

度为0.2-0.34(均值0.263, $P < 0.01$), 30批玉竹的指纹图谱相似度为0.1-0.2(均值0.134, $P < 0.01$), 黄花白及的指纹图谱相似度为0.7-0.88(均值0.822, $P < 0.05$), 因此根据指纹图谱的相似度对比确定判别结果, M_2 法的二分类和四分类判别结果与 M_1 法一致。

3.3 二分类辨识模型及交互验证结果

3.3.1 PCA-DA 辨识模型及交互验证结果

变量选择7个时PCA-DA模型性能达到最优, 前7个主成分贡献百分比之和达99%以上, 可解释原变量大部分信息, 经留一法交互验证, 除77号、78号这2个玉竹样本被误分为白及样本外, 其余样本均被正确分类。模型主成分得分图见图2, 45批白及饮片和89批非白及饮片存在重叠现象, 说明大多数白及饮片与非白及饮片在这两个变量(味道)上较为相似, 但该模型整体正判率达98.51%, 因此, 在此模型下基本可将白及饮片与非白及饮片进行区分。

3.3.2 PLS-DA 辨识模型及交互验证结果

潜变量个数为4时PLS-DA模型性能达到最优, 4个潜变量可解释80%以上的自变量差异信息和30%左右的因变量差异信息, 经留一法交互验证, 134个样本均被正确分类。模型主成分得分图见图3, 45批白及饮片和89批非白及饮片部分存在重叠现象, 说明两类饮片在这两个变量(味道)上存在味道相似情况, 但该模型的正判率高达100.00%, 因此, 在此模型下可完全将白及饮片与非白及饮片进行区分。

3.4 四分类辨识模型及交互验证结果

3.4.1 PCA-DA 判别模型及交互验证结果

PCA-DA最优辨识模型参数为变量选择7个; 前7个主成分贡献百分比之和达99%以上, 可解释原变量大部分信息, 经留一法交互验证, 45批白及、30批天麻、30批玉竹、29批黄花白及均被正确分为1、2、3、4

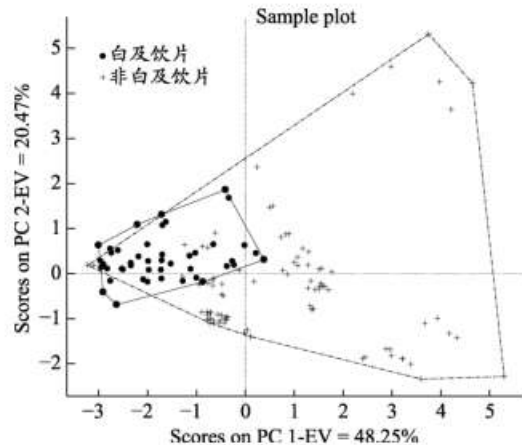


图2 PCA-DA模型主成分得分图

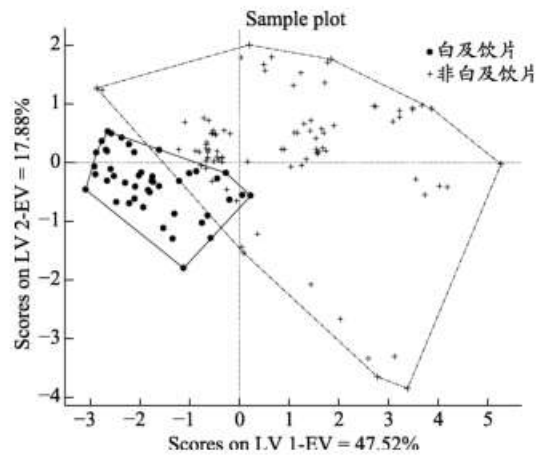


图3 PLS-DA模型主成分得分图

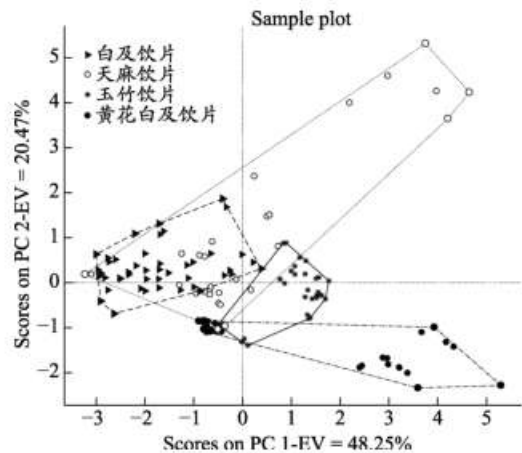


图4 PCA-DA模型主成分得分图

类, 且不存在未分类样本。模型主成分得分图见图4, 白及饮片与玉竹饮片、黄花白及饮片不存在重叠现象, 天麻饮片与白及饮片重叠部分较多, 说明白及饮

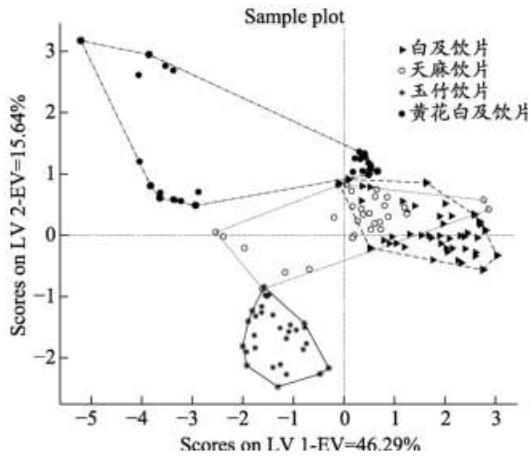


图5 PLS-DA模型主成分得分图

片与玉竹饮片、黄花白及饮片在这两个变量(味道)上差异较大,与天麻饮片的味道较为相近;另外玉竹饮片与天麻饮片、黄花白及饮片存在交叉现象,但所建立的PCA-DA模型正判率为100.00%,因此,在此模型下可完全将四类饮片进行区分。

3.4.2 PLS-DA 辨识模型及交互验证结果

潜变量个数为7时模型性能达到最优,所选7个潜变量可解释99%以上的自变量差异信息和50%以上的因变量差异信息,经留一法交互验证,该模型中

有4个未分类样本,分别为31号、77号、78号、84号样本。模型正判率为100.00%,模型主成分得分图见图5,除白及饮片和天麻饮片存在重叠现象外,其余饮片均不存在交叉重叠现象,说明白及饮片和天麻饮片在这两个变量(味道)上较为相似,但该模型正判率为100.00%,因此,在此模型下可完全将四类饮片进行区分。

3.5 电子舌各味觉传感器(变量)的模型贡献结果

电子舌共采集8种味觉信息,即酸味、苦味、涩味、苦味回味、涩味回味、鲜味、丰富性、咸味的味觉数据,分别标记为1、2、3、4、5、6、7、8号味觉变量,只考虑变量本身、不考虑分类结果模型情况下,8个变量所携带变异信息 Wilk's lambda 柱状图见图6, Wilk's lambda 越小则表示变量携带变异信息越强,因此二分类辨识模型和四分类辨识模型的8号、3号、4号、5号变量的贡献度较大,且均呈正相关;7号变量的模型贡献度最小。将最优模型的变量优选过程各传感器的潜变量载荷图图6(b)、图6(d)与 Wilk's lambda 柱状图图6(a)、6(c)结合,观察不同特征对于分类结果的贡献,可看到7号变量在坐标原点附近,说明该特征属性波动在样本之间区别的贡献不大,其余7个变量分布较为分散,

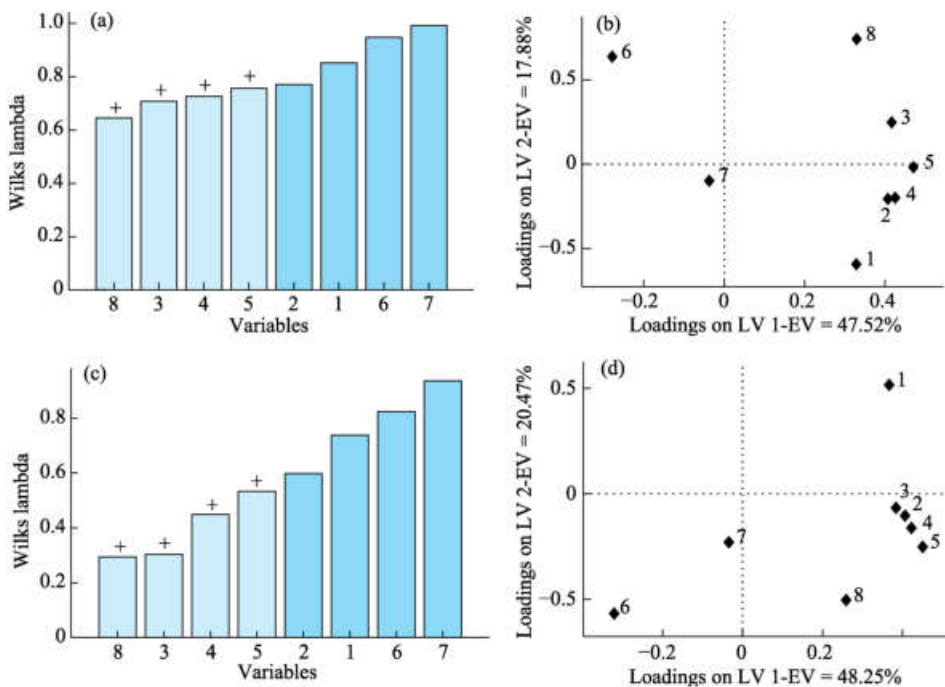


图6 模型贡献度分析

注:a. 二分类辨识模型 Wilk's lambda 柱状图;b. PLS-DA 二分类辨识模型变量载荷图;c. 四分类辨识模型 Wilk's lambda 柱状图;d. PCA-DA 四分类辨识模型变量载荷图;+: 传感器信息值与结果正相关;

说明这7个变量均携带显著的变异信息。

4 讨论

4.1 模型构建结果及电子舌(M_3 法)响应分析

除二分类的PCA-DA模型正判率为98.51%外,其余三种模型正判率均高达100%,表明电子舌技术对白及和其相似饮片的分类辨识具有极高的潜力。虽然4种模型的主成分得分图的不同饮片之间存在部分重叠现象,样品间在主成分1和2的变量(饮片味道)上具有一定程度的相似性,但它仅为饮片分类结果贡献大部分信息的二维图,而最终饮片分类结果需靠三维或多维图来完成。另外,模型变量载荷图亦是这个道理,电子舌传感器的分类结果中对第一潜变量贡献较大的分别是5、4、3、2这4个变量,分别为涩味回味、苦味回味、涩味、苦味传感器,其中涩味回味是区分4种饮片的最关键味道,苦味回味、涩味、苦味虽不是最关键味道但对饮片分类结果也有贡献。尽管有关键变量(传感器),但分类模型不是仅仅靠某一个变量,最终还是要靠综合判定,只是某些变量贡献度更大而已。变量8虽然wilk's lambda较大,但并非影响分类的最关键变量。

4.2 分错类与未分类样本分析

77号、78号样本在二分类的PCA-DA模型构建中被错误分为白及饮片,在四分类的PLS-DA模型构建中未被分类,但基于 M_1 法与 M_2 法均被确认为玉竹饮片,因此推测可能为样本的来源产地不同、保存时间较长以及储藏环境差异使之味道发生了改变。除77号、78号样本外,31号、84号样本也在四分类的PLS-DA模型构建中未被分类,这可能与模型本身的机理

有关;相较于PLS-DA模型,PCA-DA模型并未出现未分类样本,更适用于饮片的四分类辨识。

4.3 电子舌的应用展望

本研究所用的电子舌技术是通过传感器采集样品味觉信息从而实现样品的分类辨识,且所建模型正判率较高,说明此技术较好的适用于白及及近似饮片的分类辨识。然而,中药领域广泛,饮片种类繁多,辨识复杂,在其嗅觉、味觉及视觉特征上均有所体现,但对于那些味觉特征不明显的饮片,较难通过电子舌技术进行分类。目前,发展智能感官融合技术^[27,29]是未来进行中药饮片分类的方向之一,可结合同类不同类型的电子舌技术或其他电子感官技术如电子眼^[26]、电子鼻^[24,28]等,构建二源^[28]或多源智能感官辨识模型^[29],辨识结果势必会更加可靠。

5 结论

二分类辨识模型的正判率PCA-DA < PLS-DA,四分类辨识模型的正判率PCA-DA = PLS-DA(PLS-DA模型中有未分类样本),因此二分类辨识以PLS-DA为最终辨识模型、四分类辨识以PCA-DA为最终辨识模型。

综合比较,电子舌辨识较药典与地方标准辨识(M_1 法)、HPLC辨识(M_2 法)的检测时间显著缩短,二分类与四分类辨识模型正判率均可达100%,与 M_1 法和 M_2 的辨识结果一致。总体而言,该技术能够实现对白及其相似饮片分类的相对快速、准确地辨识,为中药饮片的质量评价提供了新思路、新技术,同时为构建中药饮片质量快速辨识智能专家系统奠定了基础。

参考文献

- 夏涛,王昌权,陈浩,等.白及有效成分Miltaraine在肝微粒体中的体外代谢途径及其酶促动力学特征.中国药房,2019,30(10):1316-1320.
- 李明华,程显隆,李宁新,等.白及的质量问题及真伪鉴别方法.中国药事,2018,32(11):1490-1499.
- 张曼,韩亭亭,胡春芳,等.白及产业现状及可持续发展策略.中草药,2019,50(20):5103-5108.
- 翟萌.白及与其混淆品、伪品的生药学对比研究.成都:成都中医药大学硕士研究生学位论文,2012.
- 翟萌,马逾英,郑光雅,等.市售白及与三种混淆品的对比鉴别.成都中医药大学学报,2012,35(3):53-56.
- 贡玉伟.白及的性状与薄层色谱鉴别研究.内蒙古中医药,2017,36(8):137,139.
- 朱新焰,张彬若,杨竹雅,等.白及与2种混淆品的对比鉴别研究.西南农业学报,2019,32(9):2167-2173.
- Pan W, Wu M, Zheng Z, et al. Rapid authentication of *Pseudostellaria heterophylla* (Taizishen) from different regions by near-infrared spectroscopy combined with chemometric methods. *J Food Sci*, 2020, 85(7): 2004-2009.
- Zuo Y, Deng X, Wu Q. *Gastrodia elata* discrimination of from different geographical origin for quality evaluation using newly-build near infrared spectrum coupled with multivariate analysis. *Molecules*, 2018,

- 23(5): 1088–1106.
- 10 鄢玉芬, 李峰庆, 刘珈羽, 等. 近红外光谱技术鉴别白及粉及其混伪品. 天然产物研究与开发, 2018, 30(7): 1219–1225.
- 11 刘珈羽, 李峰庆, 郭换, 等. 白及粉品种近红外快速定性鉴别模型的建立. 成都中医药大学学报, 2018, 41(1): 34–37.
- 12 Wu X, Gao X, Zhu X, et al. Fingerprint analysis of *Cnidium monnieri* (L.) *Cusson* by high-speed counter-current chromatography. *Molecules*, 2019, 24(24): 4496–4510.
- 13 Lin H, Lin L, Chun L, et al. Identification and bioinformatic analysis of Aux/IAA family based on transcriptome data of *Bletilla striata*. *Bioengineered*, 2019, 10(1): 668–678.
- 14 陈美君, 李峰庆, 吕蒙, 等. 白及与其混伪品 ITS2 序列二级结构比较与鉴别. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(15): 46–52.
- 15 陈红波. 基于白及转录组数据的 EST-SSR 分子标记开发、验证及应用. 遵义: 遵义医科大学硕士研究生学位论文, 2019.
- 16 邢佳鑫, 陈玲, 张希, 等. SSR 和 ISSR 法对白芨的真伪鉴定. 热带农业科学, 2019, 39(10): 42–47.
- 17 Aouadi B, Zaukuu J L Z, Vitális F, et al. Historical evolution and food control achievements of near infrared spectroscopy, electronic nose, and electronic tongue—critical overview. *Sensors*, 2020, 20(19): 5479–5520.
- 18 赵丽蓉, 张虹, 方文韬, 等. 应用电子舌技术对多花黄精药材“味”的测定与分析. 现代中药研究与实践, 2019, 33(6): 5–9.
- 19 Sobrino-Gregorio L, Tanleque-Alberto F, Bataller R, et al. Using an automatic pulse voltammetric electronic tongue to verify the origin of honey from Spain, Honduras, and Mozambique. *J Sci Food Agr*, 2020, 100(1): 212–217.
- 20 柴冲冲, 曹妍, 毛民, 等. 基于电子舌技术评价黄芩酒炙前后滋味变化及其在黄芩饮片鉴别中的应用研究. 中国中药杂志, 2020, 45(11): 2552–2559.
- 21 吴浩善, 张冬月, 康廷国, 等. 基于电子舌技术的南、北五味子及其产地的鉴别研究. 中药材, 2018, 41(4): 822–828.
- 22 毕胜, 谢若男, 金传山, 等. 基于仿生技术的制川乌炮制过程变化研究. 中草药, 2020, 51(23): 5956–5962.
- 23 陈栋杰, 郭盛, 卢有媛, 等. 基于电子舌技术的不同产地枸杞子鉴别研究. 南京中医药大学学报, 2020, 36(5): 615–622.
- 24 梅桂林, 陈娜, 姚洁, 等. 基于电子鼻、电子舌技术的白术药材等级鉴别研究. 广州化工, 2020, 48(21): 76–78, 84.
- 25 陈美君. 中药白及品质评价研究. 成都: 成都中医药大学硕士研究生学位论文, 2017.
- 26 刘瑞新, 郝小佳, 张慧杰, 等. 基于电子眼技术的中药川贝母真伪及规格的快速辨识研究. 中国中药杂志, 2020, 45(14): 3441–3451.
- 27 詹明瑜. 加速新兴技术融合应用, 推动图书出版业创新发展. 出版广角, 2020(18): 32–34.
- 28 马泽亮. 基于电子鼻和电子舌的智能感官检测系统设计与应用研究. 济南: 山东理工大学硕士研究生学位论文, 2019.
- 29 马静, 田亮玉, 周鹏. 中药饮片质量评价方法研究. 中国医药导刊, 2019, 21(2): 95–98.

A Fast Identification of *Bletillae Rhizoma* and Similar Decoction Pieces with Electronic Tongue Technology

Li Yuanyuan¹, Wang Yanli², Yao Jing^{2,3,4}, Shi Junhan^{2,3,4}, Gui Xinjing^{2,3,4}, Zhang Lu^{2,3,4}, Feng Wenhao¹, Zhang Pu¹, Zhang Huijie¹, Li Xuelin^{2,3,4}, Liu Ruixin^{2,3,4}

(1. College of Pharmacy, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450008, China; 2. Department of Pharmacy, The First Affiliated Hospital of Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450000, China; 3. Henan Engineering Research Center for Modernization of Clinical Application of Chinese Herbal Pieces, Zhengzhou 450000, China; 4. Co-construction Collaborative Innovation Center for Chinese Medicine and Respiratory Diseases by Henan & Education Ministry of P.R. China, Henan University of Chinese Medicine, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: Objective To discuss the feasibility of fast identification of *Bletillae Rhizoma* and similar decoction pieces with electronic tongue technology. Methods Collected 45 batches of *Bletillae Rhizoma* pieces and 30 batches of *Gastrodia elata* pieces, 30 batches of *Polygonatum odoratum* pieces, 29 batches of *Bletilla ochracea* pieces, respectively conducted the pharmacopoeia and local standards identification (M_1 method), HPLC fingerprint identification (M_2 method), and combined the original purchase information to obtain the benchmark information (Y) of the final type of decoction pieces. Then electronic tongue taste sensory data (X) was collected and chemometric methods was used to establish two-class identification model of 45 batches of *Bletillae Rhizoma* and remaining 89 batches of decoction pieces and four-class identification model of 45 batches of *Bletillae Rhizoma* and 30 batches of *Gastrodia elata*, 30 batches of

Polygonatum odoratum, 29 batches of *Bletilla ochracea* pieces with methods of principal component analysis-discriminant analysis (PCA-DA) and partial least squares-discriminant analysis (PLS-DA) ($Y = F(X)$, M_3 method). Results With leave-one-out cross validation method, the positive judgment rates of two-class identification models based on the PCA-DA and PLS-DA were 98.51% and 100.00%, and the positive judgment rates of four-class identification models based on the PCA-DA and PLS-DA were 100.00% (No unclassified samples) and 100.00% (there are 4 unclassified samples). The model discriminated well. And finally, the two-class identification with PLS-DA was chosen as the final identification model. Four-class identification with PCA-DA as the final identification model through combining the two indicators of positive judgment rate and the unclassified samples of the model. Two kinds of models had the highest positive judgment rate, and no unclassified samples appeared. Conclusion The electronic tongue can quickly and accurately identify *Bletillae Rhizoma* and similar decoction pieces, providing new ideas for the future development and research of intelligent equipment for fast identification of traditional Chinese medicine decoction pieces.

Keywords: *Bletillae Rhizoma*, Electronic tongue, Fast identification, PCA-DA, PLS-DA

(责任编辑: 马丽安、谢涛, 责任译审: 周阿剑)