

基于“色-气-味”数字化表征的蒲公英产地鉴别

张泽昭^{1,2,3}, 雷京奇¹, 高 乐^{1,2,3}, 姜晓娅^{1,2,3}, 李 宁^{1,2,3}, 王鑫国^{1,2,3}, 邹 韵^{4*}, 牛丽颖^{1,2,3*}

1. 河北中医药大学, 河北 石家庄 050091

2. 河北省中药配方颗粒技术创新中心, 河北 石家庄 050091

3. 中药材品质评价与标准化河北省工程研究中心, 河北 石家庄 050091

4. 国家药监局高级研修学院, 北京 100073

摘要: 目的 对蒲公英 *Taraxacum mongolicum* 的颜色、气味和滋味进行数字化表征, 并对蒲公英进行产地区分。方法 通过分光测色计、电子鼻和电子舌对 30 批次蒲公英粉末的颜色、气味和滋味数据进行雷达图、变异系数及主成分分析(principal components analysis, PCA), 从中提取对产地区分有意义的特征传感信号指标, 对其进行数据融合, 做 PCA 及聚类分析。结果 对分光测色计传感信号做变异系数分析, 色度系统变异系数 $a^* > b^* > L^*$, 且 a^* 的变异系数远大于其余 2 个传感信号值, 选择 a^* 作为色度特征指标; 选择电子鼻传感信号前 2 个主成分进行建模, PC1 贡献率 73.6%, PC2 贡献率 10.9%, 累积贡献率为 84.5%, 结合雷达图进行分析, 选择对前 2 个主成分贡献最大且响应最高的 W1W 及 W5S 作为影响不同样品的气味特征指标; 对电子舌传感信号做雷达图, 选择苦味(Bitterness)、咸味(Saltiness)和鲜味(Umami)对不同样品的响应值较高且差异较大的传感器作为滋味特征指标。以苦、咸、鲜、W1W、W5S 和 a^* 特征指标融合数据分析蒲公英整体性状, 选择前 2 个主成分进行建模, 累积贡献率为 78.6%, 能较好地对蒲公英的产地进行区分。聚类分析欧氏距离=25 时, 样品划分为 1、2 两类, 欧氏距离为 21 时, 可划分为 I、II、III 3 类。通过偏最小二乘判别分析(partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)筛选得到 W5S、 a^* 和苦味为蒲公英产地区分的差异特征指标。结论 对“色”“气”“味”特征进行 PCA 和聚类分析可对蒲公英进行产地区分, 为其质量评价提供参考。

关键词: 蒲公英; 电子舌; 电子鼻; 分光测色计; 主成分分析; 聚类分析; 产地鉴别

中图分类号: R286.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2025)10-3661-07

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.10.023

Origin discrimination of *Taraxacum mongolicum* based on “color-odor-taste” digital characterization

ZHANG Zezhao^{1,2,3}, LEI Jingqi¹, GAO Le^{1,2,3}, JIANG Xiaoya^{1,2,3}, LI Ning^{1,2,3}, WANG Xinguo^{1,2,3}, ZOU Yun⁴, NIU Liying^{1,2,3}

1. Hebei University of Chinese Medicine, Shijiazhuang 050091, China

2. Hebei Traditional Chinese Medicine Formula Granule Engineering & Technology Innovate Center, Shijiazhuang 050091, China

3. Hebei Provincial Engineering Research Center for Quality Evaluation & Standardization of Chinese Medicinal Materials, Shijiazhuang 050091, China

4. National Medical Products Administration institute of Executive Development, Beijing 100073, China

Abstract: Objective To discriminate the origin of *Taraxacum mongolicum* through digitizing characteristics which are color, odor, and taste.

Methods Radar plots, coefficient of variation, and principal component analysis (PCA) were performed on the color, odor, and taste data of 30 batches of *T. mongolicum* powder using spectrophotometer, electronic nose, and electronic tongue. Meaningful feature sensing signal indicators for production area were extracted from the data and fused for PCA and cluster analysis. **Results** The coefficient of variation analysis of the spectrophotometer sensing signal showed that the coefficient of variation of the chromaticity system was $a^* > b^* > L^*$, and the

收稿日期: 2024-11-02

基金项目: 国家中医药管理局科技项目 (GZY-KJS-2023-030); 河北省自然科学基金资助项目 (H2022423335); 河北省重点研发计划项目 (23372502D); 河北省中医药管理局科研计划项目 (2025075)

作者简介: 张泽昭 (1994—), 男, 实验师, 硕士, 研究方向为中药分析及药效物质基础。

*通信作者: 邹 韵, 女, 讲师, 研究方向为药品监管。E-mail: 52sodagreen@163.com

牛丽颖, 女, 教授, 研究方向为中药分析与质量控制。E-mail: niuliyingy@163.com

coefficient of variation of a^* was much larger than that of the other two sensing signal values. Therefore, a^* was selected as the chromaticity feature marker. Selecting the first two principal components of the electronic nose sensing signal for modeling, with PC1 contributing 73.6%, PC2 contributing 10.9%, cumulative contribution 84.5%. Analyzing the radar chart and selecting W1W and W5S, which have the highest contribution to the first two principal components, as odor characteristic markers that affect different samples; Making a radar image of the electronic tongue sensing signal and selecting sensors with high and significantly different response values for bitterness, saltiness, and umami to different samples as taste characteristic markers. Bitterness, saltiness, umami, W1W, W5S, and a^* characteristic sensing signals were used to analyze the overall traits of *T. mongolicum*, the first two principal components were selected for modeling, with a cumulative contribution of 78.6%, which can effectively distinguish the origin of *T. mongolicum*. When the Euclidean distance of clustering analysis = 25, the samples were divided into two categories: 1 and 2. When the Euclidean distance = 21, the samples were divided into three categories: I, II, and III. W5S, a^* , and bitterness were identified as differential characteristic markers for distinguishing *T. mongolicum* production areas by using partial least squares discriminant analysis (PLS-DA). **Conclusion** PCA and cluster analysis of "color", "odor", and "taste" characteristics can be used to discriminate the origin of *T. mongolicum*, which can provide a reference for its quality evaluation.

Key words: *Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz.; electronic tongue; electronic nose; spectrophotometer; principal component analysis; cluster analysis; origin discrimination

蒲公英为菊科植物蒲公英 *Taraxacum mongolicum* Hand. -Mazz.、碱地蒲公英 *T. borealisinense* Kitam.或同属数种植物的干燥全草，具有清热解毒、消肿散结、利尿通淋等功效^[1]。蒲公英在全国各地均有分布，不同产地采收的蒲公英因气候、土壤等条件的影响，质量存在显著差异^[2]。目前对不同产地蒲公英的质量研究多集中于其化学成分研究^[3-6]，电子舌等智能传感器的出现为多维度评价蒲公英质量提供了新的思路，正逐步应用于中药材的质量评价^[7-10]。

本研究采用测色仪、电子鼻和电子舌技术对不同产地蒲公英进行“色”“气”和“味”的研究。通过雷达图、变异系数、主成分分析（principal components analysis, PCA）等统计学方法对各传感器的数据进行分析，筛选出反映不同产地蒲公英质量的重要传感器，最终对筛选出的传感器数据进行融合，进行 PCA 及聚类分析，建立蒲公英的“色-气-味”综合质量判别体系，以期为蒲公英的产地判别及质量评价提供参考。

1 材料

1.1 药材

30 批蒲公英样品信息见表 1，均经河北省医疗器械检验研究院段吉平主任药师鉴定为菊科植物蒲公英 *T. mongolicum* Hand. -Mazz.、碱地蒲公英 *T. borealisinense* Kitam.或同属数种植物的干燥叶。

1.2 仪器

PEN3 型电子鼻系统（德国 AIRSENSE 公司）；SA402B 型电子舌系统（日本 Insent 公司）；BSA224S-CW 型电子分析天平（北京赛多利斯有限公司）；KQ-250 型超声波清洗器（江苏昆山市超声

表 1 蒲公英药材样品信息		
Table 1 Sample information of <i>T. mongolicum</i>		
编号	产地	批号
S1	河北	20230601
S2	河北	20230602
S3	河北	20230603
S4	河北	20230604
S5	河北	20230605
S6	山西	20230606
S7	山西	20230607
S8	山西	20230608
S9	山西	20230609
S10	山西	20230610
S11	吉林	20230701
S12	吉林	20230702
S13	吉林	20230703
S14	吉林	20230704
S15	吉林	20230705
S16	河南	20230706
S17	河南	20230707
S18	河南	20230708
S19	河南	20230709
S20	河南	20230710
S21	安徽	20230711
S22	安徽	20230712
S23	安徽	20230713
S24	安徽	20230714
S25	安徽	20230715
S26	黑龙江	20230716
S27	黑龙江	20230717
S28	黑龙江	20230718
S29	黑龙江	20230719
S30	黑龙江	20230720

仪器有限公司); TDZ5-WS 型低速离心机 (湖南湘仪实验仪器开发有限公司); UPR-II-20L 型纯化水来自净水系统 (四川纯技术公司); YS6010 型台式分光测色仪 (广东三恩时智能科技有限公司)。

2 方法

2.1 电子舌分析

称取蒲公英供试品粉末 2.0 g, 置于 100 mL 锥形瓶中, 加入 100 mL 纯净水, 超声提取 30 min 后, 转速 4 000 r/min 离心 5 min, 取上清液于电子舌专用样品杯中上机测试。将原始数据在电子舌自带数据处理软件中转化为味觉值后导出进行分析。电子舌各传感器详细信息见表 2。

表 2 电子舌传感器信息

Table 2 Information table of electronic tongue sensor

传感器	味道	回味
鲜味 (AAE)	鲜味	丰富度
咸味 (CT0)	咸味	—
酸味 (CA0)	酸味	—
苦味 (C00)	苦味	苦味回味
涩味 (AE1)	涩味	涩味回味
甜味 (GL1)	甜味	—

2.2 电子鼻分析

采用直接顶空进样法进行测定。称取蒲公英供试品粉末 5.0 g, 置于 100 mL 烧杯中, 使药材粉末平铺于烧杯底部, 双层封口膜封口, 室温静置 30 min, 上机测试。采样间隔 1 s, 清洗 90 s, 零点调整 10 s, 预采样 5 s, 测试 240 s, 进样体积流量 300 mL/min。每批蒲公英称量 3 份, 平行测定 3 次, 取平均值进行数据分析。电子鼻各传感器详细信息见表 3。

表 3 电子鼻传感器信息

Table 3 Information table of electronic nose sensor

序号	传感器	性能特点
1	W1C	对芳香成分灵敏
2	W5S	对氮氧化合物灵敏
3	W3C	对氨水、芳香成分灵敏
4	W6S	对氢灵敏
5	W5C	对烷烃、芳香成分灵敏
6	W1S	对短链烷烃灵敏
7	W1W	对无机硫化物灵敏
8	W2S	对醇醚醛酮类灵敏
9	W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

2.3 颜色测定方法

取蒲公英粉末适量置自封袋, 校正仪器后测定。标准光源为 D65; 观察者角度为 10°; 样品类型: 反射; 反射口径为 25.4 mm; 测量模式 SCI (包含镜面反射光, Specular Component Included); 色彩空间 CIE (国际照明委员会, Commission Internationale de l'Eclairage), 记录亮度值 (L^*)、红绿度值 (a^*)、黄蓝度值 (b^*)。每个样品重复 3 次。

2.4 统计学方法

应用 Origin 2021 软件进行雷达图、聚类分析。应用 SIMCA 14.1 软件进行 PCA 和偏最小二乘判别分析 (partial least squares discriminant analysis, PLS-DA)。

3 结果

3.1 电子舌结果

电子舌系统传感器对不同蒲公英样品响应强度雷达图见图 1, 传感器在不同样品间响应信号的标准偏差数据见图 2。《中国药典》2020 年版^[1]描述为“气微, 味微苦。”, 说明蒲公英的苦味是其典型滋味属性, 除苦味 (Bitterness) 传感器外, 咸味 (Saltiness) 和鲜味 (Umami) 对不同样品的响应值较高且不同样本间离散程度较大, 可以作为蒲公英不同样品间的差异滋味特征传感器, 其他传感器响应较低且差异不明显, 所以选择苦味、咸味和鲜味作为影响不同样品的滋味特征传感器。

3.2 电子鼻结果

对 20 批样品电子鼻传感器信号值绘制雷达图 (图 3), W1W、W2W、W1S、及 W5S 对不同样

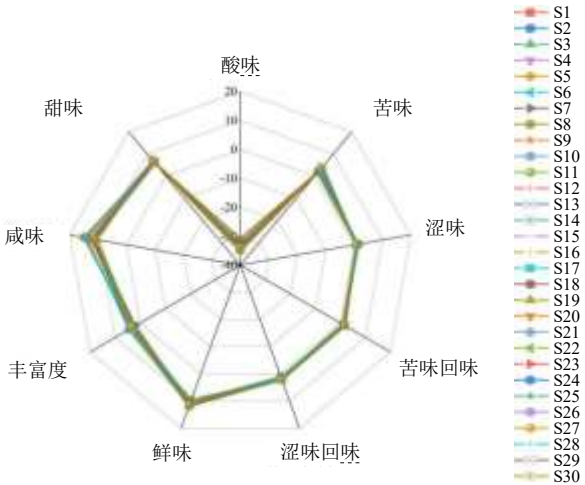


图 1 电子舌传感器雷达图

Fig. 1 Radar image of electronic tongue sensor

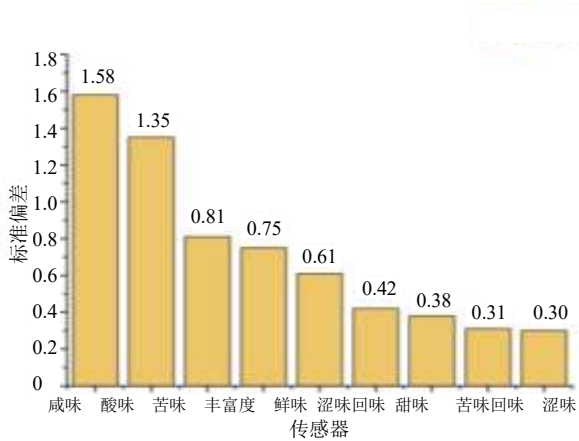


图 2 电子舌传感器离散度

Fig. 2 Discrepancy of electronic tongue sensor

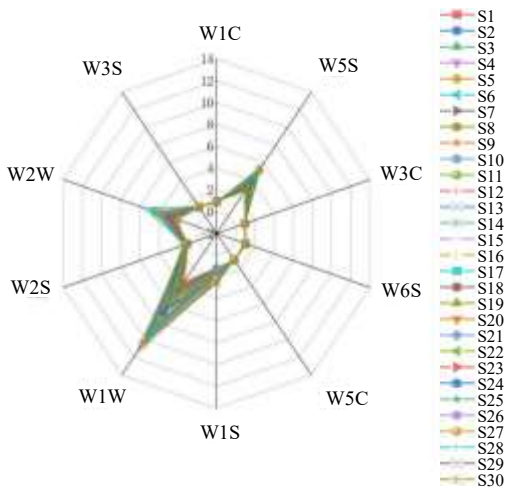


图 3 电子鼻传感器雷达图

Fig. 3 Radar image of electronic nose sensor

品的响应较强且差异明显。根据特征值 >1 原则，对数据进行 PCA，选择前 2 个主成分建模。PC1 贡献 73.6%，PC2 贡献 10.9%，累积贡献率为 84.5%，说明前 2 个主成分能解释大部分原始信息。根据 PCA 载荷图结果（图 4），其中 W1S、W5S、W6S、W3S 传感器对 PC1 贡献最大，W2W 和 W1W 传感器对 PC2 贡献最大。W5S 传感器的响应较高，说明蒲公英中含有氮氧化合物较多，且不同样品之间差异较大，说明 W5S 传感器可能是区分不同样品的关键传感器。无机硫化物是化肥的重要成分之一，在不同产地的土壤中其含量差异也较大，蒲公英的生长可能受此影响，这可能是区分不同产地蒲公英的关键因素，综合分析，选择 W1W 及 W5S 作为影响不同样品的气味特征传感器。

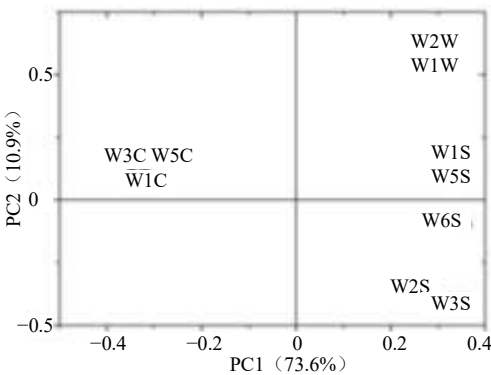


图 4 电子鼻 PCA 载荷图

Fig. 4 PCA loading diagram of electronic nose

3.3 测色仪结果

L^* 、 a^* 、 b^* 色彩模型中“ L^* ”代表明度值，正值为偏白，负值偏黑；“ a^* ”表示从绿色到红色的颜色分量，正值为偏红，负值为偏绿；“ b^* ”表示从蓝色到黄色的颜色分量，正值为偏黄，负值为偏蓝^[1]。对 30 批蒲公英样品进行色度测定并计算其变异系数（表 4），30 批蒲公英样品的 L^* 、 b^* 测定值均为正值，

表 4 测色仪传感器信息

Table 4 Information table of color measuring instrument

sensors			
批号	L^*	a^*	b^*
S1	61.60	0.11	14.63
S2	59.74	-0.72	19.37
S3	60.21	-1.57	20.47
S4	59.82	-1.26	16.95
S5	59.81	-1.04	17.97
S6	63.75	-1.47	16.85
S7	62.19	-2.27	18.26
S8	62.11	-2.32	17.80
S9	62.99	-2.38	18.89
S10	62.48	-1.05	14.15
S11	58.78	-0.06	16.83
S12	57.20	0.38	15.59
S13	58.46	0.40	16.34
S14	58.46	0.65	14.61
S15	57.64	0.56	15.92
S16	59.65	1.89	13.26
S17	59.84	1.90	13.75
S18	60.49	2.07	13.65
S19	60.18	1.95	13.66
S20	57.49	2.18	12.56
S21	56.64	2.70	12.31
S22	57.09	2.66	13.04
S23	57.05	2.60	13.03
S24	57.67	2.45	13.42
S25	56.40	2.78	12.63
S26	60.22	-0.74	23.83
S27	61.23	-1.10	26.70
S28	60.64	-1.23	25.52
S29	61.93	-2.41	26.71
S30	61.34	-1.51	24.30
标准差	2.00	1.75	4.32
平均值	59.77	0.14	17.10
变异系数	3.35	1 250.00	25.26

a^* 存在负值。《中国药典》2020 年版^[1]项下描述,根为“棕褐色”,叶“绿褐色或暗灰绿色”,蒲公英的叶和根占整株植物的比例较大,其中叶和根的比例差异可能是造成红绿色度差异的关键因素,不同产地间的叶、根比例或各部位色度可能有较大差异。色度值的变异系数由大到小依次为 $a^* > b^* > L^*$, 且代表红绿色度 a^* 值的变异系数远远大于其他 2 个传感信号的变异系数,说明 a^* 是影响蒲公英不同样品品质的重要色度因素,所以选择 a^* 作为影响不同样品的色度传感器。

3.4 蒲公英特征性状 PCA 及聚类分析结果

选择苦味、咸味和鲜味作为味道特征指标, W1W 和 W5S 作为气味特征指标, a^* 作为色度特征指标,综合上述特征指标,对其进行 PCA 及聚类分析,结果如图 5、6 所示。

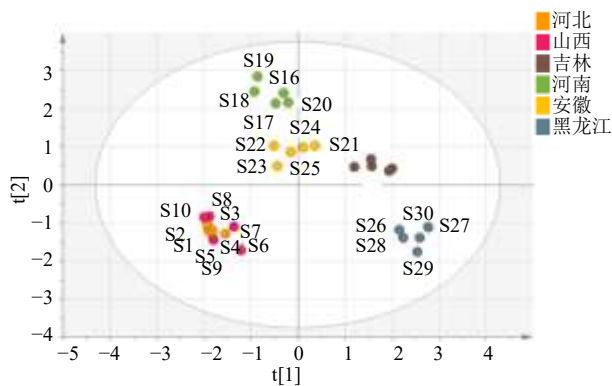


图 5 蒲公英“色-气-味”融合数据 PCA 得分图

Fig. 5 PCA score diagram of *T. mongolicum* “color-odor-taste” fusion data

PCA 显示,前 2 个主成分的累积贡献率为 78.6%,能解释 30 批蒲公英大部分的整体质量。由 PCA 图可知,河北、山西地区的蒲公英较为相似,其他 4 个产地的蒲公英均能根据产地自分为一类,说明不同产地蒲公英能够较好地通过以上 6 个特征指标进行产地区分。

以苦味等 6 个特征指标进行聚类分析(图 6),当欧氏距离=25 时,样品分为 1、2 两类,其中黑龙江、吉林作为东北产区与其他以南地区产区有明显区分。欧氏距离=21 时,样品分为 I、II、III 3 类,河北(S1~S5)、山西(S6~S10)产区的蒲公英较为相近归为 I 类,河南(S16~S20)、安徽(S21~S25)产区的蒲公英较为相近归为 II 类,黑龙江(S26~S30)、吉林(S11~S15)产区的蒲公英较为接近归为 III 类。根据地理位置推断,聚类结果与产地的纬

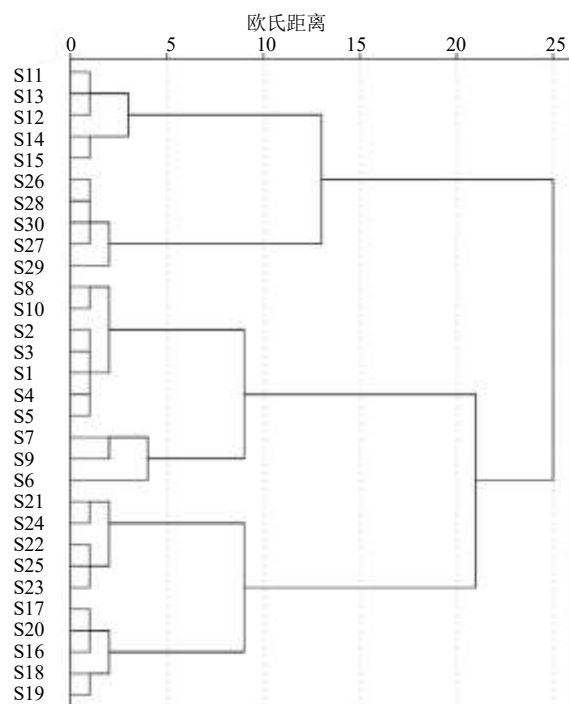


图 6 蒲公英“色-气-味”融合数据聚类分析

Fig. 6 Cluster analysis diagram of *T. mongolicum* “color-odor-taste” fusion data

度有直接关系,可能是不同维度地区的土壤、气候有差异,造成 30 批蒲公英聚类分析结果按纬度划分为 3 类^[12]。其中 I 类样品中,山西产地 8、10 号样品和河北产地的样品较为接近,可能是由于样品产地的土壤气候较为接近所致。河南产地和安徽产地的样品也有类似的情况,原因大致相同。

3.5 PLS-DA

为了进一步寻找蒲公英产地差异区分的关键特征指标,采用 SIMCA 14.1 软件对融合数据进行 PLS-DA。该模型累计解释能力参数 R^2_X 和 R^2_Y 分别为 0.930 和 0.714,预测能力参数 Q^2 为 0.592,均 > 0.5 ,对 PLS-DA 进行 200 次交叉验证(图 7),左侧所有绿色 R^2 值和蓝色 Q^2 值均低于右侧样品点, R^2 及 Q^2 与 Y 轴的交点分别为 0.177 和 -0.524,表明所建立的模型稳定可靠且具有良好的预测性且未过拟合。由 PLS-DA 得分图(图 8)可知,产地归属与 PCA 及聚类结果大致相同,以 $VIP \geq 1$ 为标准,得到 3 个质量差异特征指标(图 9),依次为 W5S、 a^* 和苦味,分别为代表了气味的氮氧化合物、颜色的红绿色度以及味道中的苦味,说明色、气和味的数字化特征指标均对蒲公英的产地区分有着重要的意义。

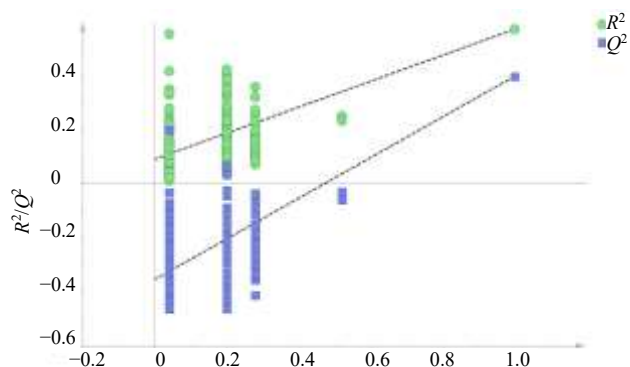


图 7 蒲公英“色-气-味”融合数据 PLS-DA 置换检验图
Fig. 7 PLS-DA model permutation test diagram of *T. mongolicum* “color-odor-taste” fusion data

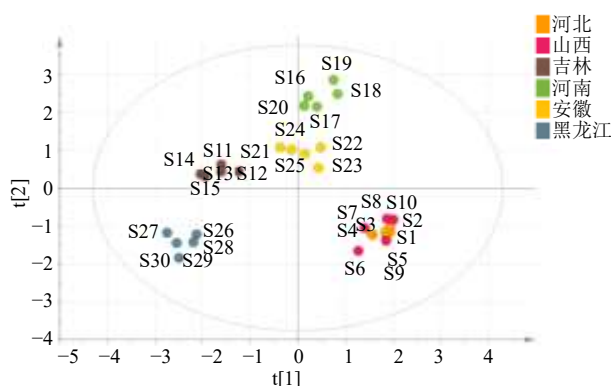


图 8 蒲公英“色-气-味”融合数据 PLS-DA 得分图
Fig. 8 PLS-DA score diagram of *T. mongolicum* “color-odor-taste” fusion data

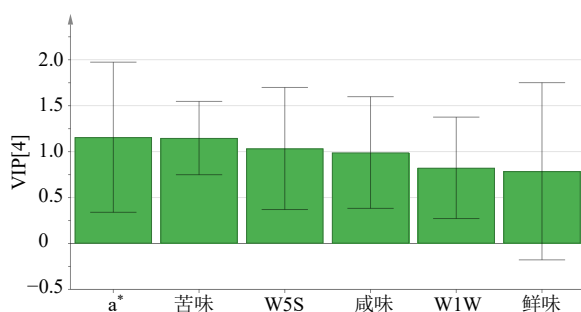


图 9 蒲公英“色-气-味”融合数据 VIP 得分图
Fig. 9 PLS-DA VIP score diagram of *T. mongolicum* “color-odor-taste” fusion data

对不同产地蒲公英的 W5S、 a^* 和苦味 3 个差异特征指标分别取均值，做雷达图（图 10），可以发现在滋味属性中，黑龙江、吉林苦味显著高于其他产地；在气味属性中，黑龙江氮氧化合物含量较高，其他产地差异不明显；在红绿色度上，黑龙江、河

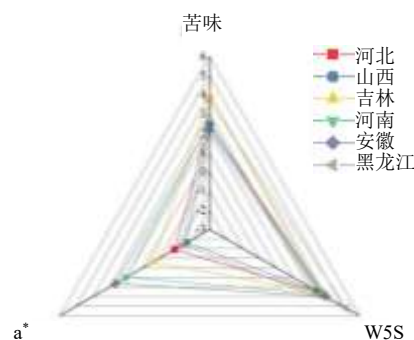


图 10 蒲公英差异特征指标雷达图
Fig. 10 Radar image of differential characteristic indicators of *T. mongolicum*

南及吉林产地为正值，颜色更绿，可能与产地的光照条件有关。

4 讨论

本研究对蒲公英的“色”“气”和“味”进行了数据筛选及融合，通过特征指标进行了 PCA 及聚类分析，结果显示能较好地地区分不同产地的蒲公英，对其进行 PLS-DA，结果显示颜色、气味和滋味均对蒲公英的产地区分有较高的贡献，基于“色-气-味”数字化表征的蒲公英产地鉴别模型有意义，该模型为蒲公英的产地鉴别及质量评价提供了参考。

有研究表明，随着植物生长环境变化，其次生代谢发挥了重要的调节作用，同种药用植物次生代谢产物会形成鲜明的“地域性”差异^[12]，次生代谢产物在植物药活性成分中有着重要的地位^[13]，次生代谢亦影响着植物的外观形态，如蒲公英叶的大小、根的粗细等，而不同药用部位所含活性成分的种类和数量均有不同程度的差异^[14-15]，目前对蒲公英的化学成分研究较为充分^[16-17]，后期可将蒲公英的“色”“气”和“味”与化学成分进行关联，并综合各产地不同药用部位差异化的影响，更进一步揭示其“色-气-味”产地差异的物质基础，为临床选药提供参考。

蒲公英因其繁殖迅速、生长旺盛的特点，分布较为广泛，在我国大部分地区皆可见^[18]。生态环境差异是导致药材质量差异的重要因素，自然界复杂的光照、温度、水分、土壤等生态因素与植物的生长状态紧密相关，同时也影响着药用植物品质的优劣^[12]，同种植物由于地理、生态等因素的影响，其质量也略有不同，本研究仅收集 6 个产地共 30 批蒲公英样品，西北、西南及华南地区的样品尚未收

集,得到的结果具有一定的局限性,后续可扩大蒲公英样品量,为蒲公英药材的质量评价及道地产区的选择提供参考。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 367.
- [2] 迟剑峰, 王建强, 虞海霞, 等. 基于 HPLC 特征图谱结合多模式识别分析不同产地蒲公英根特征标志物的研究 [J]. 吉林农业大学学报, 2023, 11: 1-7.
- [3] 孟然, 吴哲, 冯薇, 等. 基于 HPLC 指纹图谱结合化学模式识别及多成分定量的蒲公英质量评价研究 [J]. 中草药, 2022, 53(24): 7887-7896.
- [4] 惠西珂, 李超, 谷巍, 等. 蒲公英质量标准提升及不同产地药用蒲公英质量评价 [J]. 中国药房, 2021, 32(7): 818-824.
- [5] 姜雪冰, 王知斌, 孙延平, 等. 东北蒲公英根的化学成分研究 [J]. 中成药, 2023, 45(6): 1887-1891.
- [6] Milovanovic S, Grzegorzczak A, Łukasz Ś, *et al.* Phenolic, tocopherol, and essential fatty acid-rich extracts from dandelion seeds: Chemical composition and biological activity [J]. *Food Bioprod Process*, 2023, 142: 70-81.
- [7] 马涵玉, 钱琪, 王凤霞, 等. 基于 HS-GC-MS 和电子感官技术比较不同产地金银花气味和味道差异 [J]. 中草药, 2024, 55(6): 2085-2093.
- [8] 奉梅, 徐杨, 时小东, 等. 基于电子舌技术研究蜜炙枇杷叶配方颗粒的“炮制痕迹” [J]. 中草药, 2024, 55(6): 1970-1976.
- [9] 宁滢, 文有青, 李正, 等. 基于物质基础的中药味道评价技术研究进展 [J]. 中成药, 2024, 46(7): 2315-2320.
- [10] Chen Y, Liao Z W, Wang Z, *et al.* Isolation and identification of bitter compounds in ginseng (*Panax ginseng* C. A. meyer.) based on preparative high performance liquid chromatography, UPLC-Q-TOF/MS and electronic tongue [J]. *Separations*, 2024, 11(4): 114.
- [11] Durmus D. CIELAB color space boundaries under theoretical spectra and 99 test color samples [J]. *Color Res Appl*, 2020, 45(5): 796-802.
- [12] 顾旭鹏, 杨林林, 董诚明, 等. 中药材品质形成机制及调控研究进展 [J]. 北方园艺, 2024(6): 129-137.
- [13] 王升, 蒋待泉, 康传志, 等. 药用植物次生代谢在中药材生态种植中的作用及利用 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(9): 2002-2008.
- [14] 李福森, 张勇, 宋吉玲, 等. 寒地蒲公英叶、生根和熟根中总黄酮提取方法的优化及含量比较 [J]. 长春师范大学学报, 2022, 41(8): 107-111.
- [15] 罗利利, 薛姑美, 綦湘帆, 等. 蒲公英不同部位抑菌作用及代谢物差异的 UPLC-MS/MS 分析 [J]. 核农学报, 2022, 36(6): 1183-1192.
- [16] 刘亦菲, 刘兆薇, 任一冉, 等. 蒲公英化学成分、药理作用研究进展及质量标志物预测分析 [J]. 中华中医药学刊, 2024, 42(8): 132-141.
- [17] 张松保, 孔令婕, 谷巍, 等. 基于 HPLC-Q-TOF-MS/MS 技术的蒲公英化学成分分析及其抗癌机制的网络药理学研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2022, 34(2): 305-314.
- [18] 秦聪聪, 杜沁圆, 展照双, 等. 密蒙花的本草考证 [J]. 中国药房, 2022, 33(19): 2423-2427.

[责任编辑 时圣明]