

基于 HPLC 指纹图谱和多成分定量结合化学模式识别评价蒲公英不同部位质量

李运法^{1,2}, 桑宏杨^{1,2}, 乔俊昊^{1,2}, 谢彩侠^{1,2}, 苏成福^{1,2}, 王瑞生^{1,2}, 杨春静^{1,3}, 龚海燕^{1,2}, 雷敬卫^{1,2*}

1. 河南中医药大学药学院, 河南 郑州 450046

2. 河南省中药质量控制与评价工程技术研究中心, 河南 郑州 450046

3. 河南中医药大学第三附属医院, 河南 郑州 450046

摘要: **目的** 为明确蒲公英 *Taraxacum mongolicum* 不同部位间化学成分差异, 以蒲公英栽培品和野生品为研究对象, 将其分为全草、地上部分、根 3 个部位进行比较。**方法** 采用 Venusil C₁₈ 色谱柱以乙腈-0.2% 磷酸, 流动相梯度洗脱, 体积流量 1.0 mL/min, 柱温 30 °C, 检测波长 330 nm。建立蒲公英药材的指纹图谱, 测定不同部位蒲公英的 6 个成分 (单咖啡酰酒石酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、异绿原酸 C、菊苣酸) 含量, 结合相似度评价、聚类分析 (cluster analysis, CA) 和正交偏最小二乘判别分析 (orthogonal partial least squares discriminant analysis, OPLS-DA) 对采集的指纹图谱信息进行分析。**结果** 蒲公英指纹图谱标定 9 个共有峰, 并确认其中 6 个主要化学成分, 筛选 5 个主要差异性成分。定量分析结果显示, 蒲公英根相比较蒲公英全草和地上部分, 化学成分含量差异较大。**结论** 该方法简便可靠, 重复性好, 建立的综合质量评价模型的分析结果全面客观, 可用于蒲公英药材整体质量的综合评价, 丰富了蒲公英有关质量分析的研究, 为蒲公英以后开发、质量控制和临床应用提供了依据和参考。

关键词: 蒲公英; 栽培; 野生; HPLC 指纹图谱; 绿原酸; 咖啡酸; 阿魏酸; 异绿原酸 C; 菊苣酸

中图分类号: R282.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2026)09-3562-10

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.09.024

Analysis and evaluation of different parts and quality of *Taraxacum mongolicum* based on HPLC fingerprint and multi-component quantitative analysis combined with chemical pattern recognition

LI Yunfa^{1,2}, SANG Hongyang^{1,2}, QIAO Junhao^{1,2}, XIE Caixia^{1,2}, SU Chengfu^{1,2}, WANG Ruisheng^{1,2}, YANG Chunjing^{1,3}, GONG Haiyan^{1,2}, LEI Jingwei^{1,2}

1. School of Pharmacy, Henan University of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China

2. Henan Engineering Research Center for Quality Control and Evaluation of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China

3. The Third Affiliated Hospital of Henan University of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou 450046, China

Abstract: Objective To elucidate the chemical composition differences among various parts of Pugongying (*Taraxacum mongolicum*), this study compared cultivated and wild *T. mongolicum* samples, dividing them into three parts: whole plant, above-ground parts, and roots. **Methods** A Venusil C₁₈ chromatographic column was used with acetonitrile-0.2% phosphoric acid as the mobile phase for gradient elution at a flow rate of 1.0 mL/min, column temperature of 30 °C, and detection wavelength of 330 nm. A fingerprint spectrum of *T. mongolicum* medicinal materials was established, and the contents of six components (monocaffeoyl tartaric acid, chlorogenic acid, caffeic acid, ferulic acid, isochlorogenic acid C, and chicoric acid) were determined in different parts. The collected fingerprint spectrum data were analyzed using similarity evaluation, cluster analysis (CA), and orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA). **Results** The *T. mongolicum* fingerprint spectrum identified nine common peaks, with six major chemical

收稿日期: 2026-02-02

基金项目: 河南省高等学校重点科研项目计划基础研究专项 (25ZX011); 河南省教育厅 (42102310552)

作者简介: 李运法 (1999—), 男, 汉族, 安徽亳州市人, 硕士研究生, 研究方向为中药质量分析。E-mail: 2421215428@qq.com

*通信作者: 雷敬卫 (1972—), 男, 汉族, 河南郑州市人, 教授, 研究生导师, 博士, 研究方向为中药质量分析。

Tel: (0371)656955281 E-mail: 925390812@qq.com

components confirmed and five primary differential components screened. Quantitative analysis revealed significant differences in chemical composition content between *T. mongolicum* roots compared to whole plant and above-ground parts. **Conclusion** This method is simple, reliable, and highly reproducible. The comprehensive quality evaluation model provides objective analytical results suitable for holistic quality assessment of *T. mongolicum* medicinal materials. This study enriches research on quality analysis of *T. mongolicum* and offers evidence for future development, quality standardization, and clinical application.

Key words: *Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz.; cultivation; Wild; HPLC fingerprint; chlorogenic acid; caffeic acid; ferulic acid; isochlorogenic acid C; chicoric acid

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^[1]。蒲公英又名黄花地丁、婆婆丁，味苦、甘、性寒，归肝、脾、胃经，具有清热解毒、消肿散结、利湿通淋等功效，享有“乳痈之要药”美誉，临床上主要用于热毒疮痈、乳痈、肠痈等^[2]。现代研究发现蒲公英含有多糖、黄酮类、甾醇类、酚酸类^[3-6]等化学成分，具有降血压、抗炎、抗肿瘤、抗菌、抗氧化和增强免疫力等药理活性^[7-11]。《中国药典》2025年版仅靠菊苣酸含量作为评价蒲公英质量指标，不足以全面、综合地反映蒲公英整体质量。

蒲公英同属植物种类众多，在我国分布广泛且野生资源丰富，因蒲公英生长迅速，再生能力强等特点，为追求利益最大化，商家只对蒲公英地上部分进行收割，这也导致市场上部分栽培蒲公英只有地上部分而缺少根部的现象^[12]，野生蒲公英一般采挖多为全草采挖，栽培和野生品两者之间药用部位相差较大，使得野生品和栽培品市场价格差异较大。经大量文献考证，现今对蒲公英化学成分研究较多^[13-14]，但均未对不同品规及不同部位进行研究，故本实验采用蒲公英栽培品和野生品分为全草、地上部分、地下部分分别对蒲公英进行质量分析评价，比较蒲公英在缺少根部情况下是否对蒲公英整体的质量造成影响，以及通过所建立的指纹图谱快速区分野生品和栽培品，为蒲公英质量标准提供参考。

1 材料

1.1 仪器与试剂

1200型高效液相色谱仪(美国安捷伦科技有限公司); Venusil C₁₈色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm, 天津博纳艾杰尔科技有限公司); 十万分之一分析天平(梅特勒-托利多仪器有限公司); 对照品单咖啡酰酒石酸(批号 AFDE3051)、绿原酸(批号 AZZ2011851)、阿魏酸(批号 G27A11L12005)、菊苣酸(批号 AZDA2215)、异绿原酸 C(批号

AFCB0705)、咖啡酸(批号 AFCB1409)均购自成都埃法生物科技有限公司，质量分数均大于 98%。甲醇(色谱纯，美国 Tedia 公司); 娃哈哈纯净水。

1.2 药材

蒲公英药材于 2024 年采集河南省鹿邑县杨柳口镇、巩义市各 10 个批次，经河南中医药大学陈随清教授鉴定为菊科植物蒲公英 *T. mongolicum* Hand.-Mazz 的新鲜药材。蒲公英样本栽培品 4 月 1 日采自河南鹿邑，分别为栽培全草(ZQC1~ZQC10)、栽培地上部分(ZDS1~ZDS10)、栽培地下部分(ZDX1~ZDX10); 野生品 3 月 31 日采自河南巩义，分别为野生全草(YQC1~YQC10)、野生地上部分(YDS1~YDS10)、野生地下部分(YDX1~YDX10)。

2 方法与结果

2.1 HPLC 指纹图谱的建立

2.1.1 供试品溶液的制备 精密称取蒲公英粉末(过四号筛)0.5 g，置具塞锥形瓶中，加 80% 甲醇 20 mL，称定质量，超声处理(25 °C、功率 400 W、40 kHz) 40 min，放冷，甲醇补足减少的质量，滤过，取续滤液，过 0.22 μm 微孔滤膜，即得。

2.1.2 对照品溶液的制备 分别精密称取单咖啡酰酒石酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、菊苣酸、异绿原酸 C 对照品适量，加甲醇制成质量浓度为 0.164、0.280、0.168、0.540、0.145、0.124 mg/mL 对照品溶液。分别量取以上 6 种对照品溶液适量，配制成一定质量浓度的混合对照品溶液。

2.1.3 色谱条件 色谱柱: Venusil C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相为乙腈(A)-磷酸(B); 梯度洗脱程序: 0~10 min, 10%~12% A; 10~15 min, 12%~16% A; 15~20 min, 16%~20% A; 20~25 min, 20%~25% A; 25~32 min, 25% A; 32~37 min, 25%~29% A; 37~47 min, 29%~45% A; 47~60 min, 45% A; 检测波长 330 nm; 体积流量 1.0 mL/min; 柱温为 30 °C; 进样量为 10 μL。

2.1.4 精密度试验 精密称取蒲公英粉末(过四号筛) 0.5 g (ZQC3), 按“2.1.1”项方法进行供试品溶液制备, 按“2.1.3”项色谱条件连续 6 次进样测定, 记录色谱图, 以单咖啡酰酒石酸色谱峰为参照峰, 计算共有峰的相对保留时间和相对峰面积各峰的相对保留时间 RSD 均小于 0.02%, 相对峰面积 RSD 均小于 0.58%。

2.1.5 稳定性试验 精密称取蒲公英粉末(过四号筛) 0.5 g (ZQC3), 按“2.1.1”项方法进行供试品溶液制备, 按“2.1.3”项色谱条件分别于制备后 0、2、4、6、8、12、24 h 进样测定, 记录色谱图, 以单咖啡酰酒石酸色谱峰为参照峰, 计算共有峰的相对保留时间和相对峰面积, 各峰的相对保留时间的 RSD 均小于 0.02%, 相对峰面积的 RSD 均小于 2.19%。

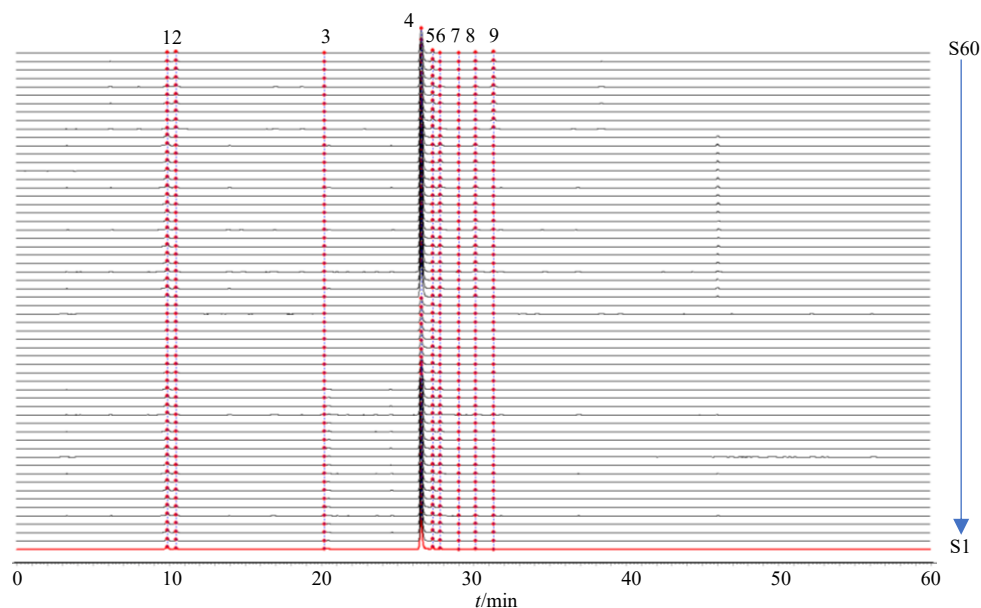
2.1.6 重复性试验 精密称取蒲公英粉末(过四号筛) 0.5 g (ZQC3), 按“2.1.1”项样品制备方法平行制备 6 份供试品溶液, 按“2.1.3”项色谱条件进样测定, 记录色谱图, 以单咖啡酰酒石酸色谱峰为参照峰, 计算共有峰的相对保留时间和相对峰面积, 各峰的相对保留时间的 RSD 均小于 0.02%, 相对峰面积的 RSD 均小于 0.60%。

2.1.7 HPLC 指纹图谱差异性分析 将野生和栽培蒲

公英全草、地上部分、根 HPLC 图谱导入“中药色谱指纹图谱评价软件(2012 版)”, 建立蒲公英不同部位指纹图谱。以栽培蒲公英全草(ZQC1)为参照, 采用中位数法, 设置时间窗为 0.1, 进行多点校正, 经 Mark 峰匹配后生成对照图谱, 共标定共有峰 9 个, 60 批 HPLC 叠加图谱见图 1。

色谱图的增减显示蒲公英所含的化学成分的种类和含量的变化, 由图 2 可知蒲公英不同部位之间化学成分存在差异, 11 号峰(咖啡酸)是栽培和野生蒲公英根所特有, 14 号峰峰高栽培蒲公英高于野生蒲公英, 23 号峰(阿魏酸)为栽培蒲公英全草和野生蒲公英根特有, 8 号峰和 22 号峰峰高野生蒲公英高于栽培蒲公英, 24 号峰和 25 号峰为野生蒲公英特有峰, 27 号峰为栽培蒲公英地上特有, 28 号峰为野生蒲公英根特有, 查阅文献发现造成差异性的原因可能是与生长环境和土壤中所含的微量元素有关^[15]。

与对照品溶液进行对比, 指出单咖啡酰酒石酸(1 号峰)、绿原酸(2 号峰)、菊苣酸(4 号峰)、异绿原酸 C(7 号峰)咖啡酸(11 号峰)、阿魏酸(23 号峰)6 个成分, 见图 2。对 60 批蒲公英不同部位进行相似度评价, 相似度均大于 0.995, 相似度较高, 说明化学成分一致性较高, 质量均一且稳定, 相似度结果见表 1。



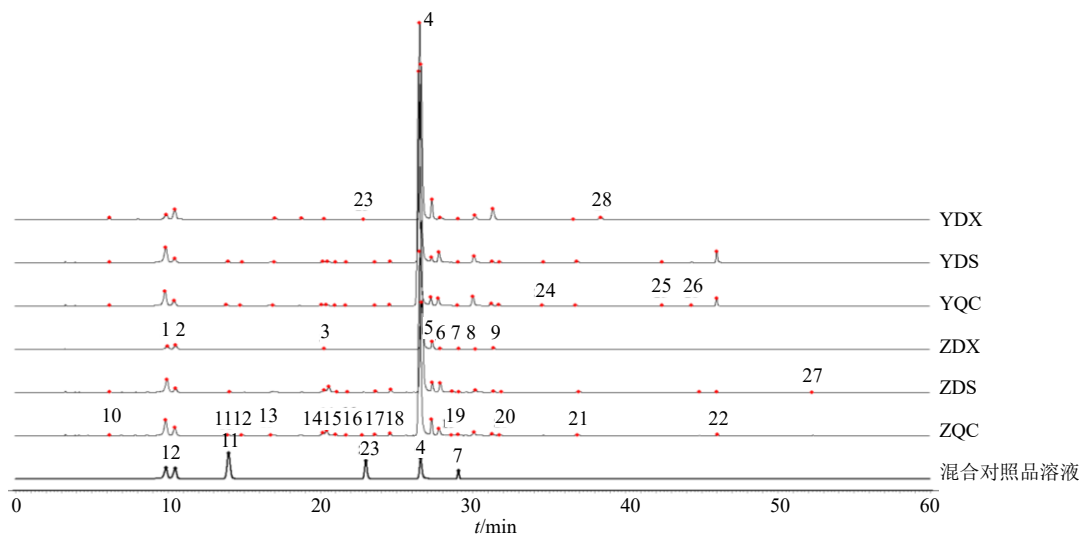
S1~S10-栽培全草; S11~S20-栽培地上; S21~S30-栽培根; S31~S40-野生全草; S41~S50-野生地上; S51~S60-野生根。

S1—S10-cultivated whole herb; S11—S20-cultivated aerial parts; S21—S30-cultivated roots; S31—S40-wild whole herb; S41—S50-wild aerial parts;

S51—S60-wild roots.

图 1 60 批蒲公英不同部位 HPLC 叠加图谱

Fig. 1 Superimposed HPLC spectra of different parts of 60 batches of *T. mongolicum*



1-单咖啡酰酒石酸; 2-绿原酸; 4-菊苣酸; 7-异绿原酸 C; 11-咖啡酸; 23-阿魏酸。
1-chlorogenic acid; 2-coffee acid; 4-chicoric acid; 7-isocaffeoylquinic acid C; 11-caffeic acid; 23-ferulic acid.

图 2 混合对照品、栽培和野生蒲公英不同部位差异性色谱图分析

Fig. 2 Differential chromatographic analysis of mixed reference samples and different parts of cultivated and wild *T. mongolicum*

表 1 60 批蒲公英不同部位相似度评价结果

Table 1 Similarity evaluation results of different parts of 60 batches of *T. mongolicum*

编号	相似度	编号	相似度	编号	相似度	编号	相似度	编号	相似度	编号	相似度
ZQC-1	0.999	ZDS-1	1.000	ZDX-1	0.995	YQC-1	1.000	YDS-1	0.999	YDX-1	0.995
ZQC-2	0.999	ZDS-2	0.999	ZDX-2	0.995	YQC-2	1.000	YDS-2	0.999	YDX-2	0.995
ZQC-3	0.999	ZDS-3	1.000	ZDX-3	0.995	YQC-3	0.999	YDS-3	1.000	YDX-3	0.996
ZQC-4	1.000	ZDS-4	1.000	ZDX-4	0.995	YQC-4	0.999	YDS-4	0.999	YDX-4	0.995
ZQC-5	1.000	ZDS-5	0.999	ZDX-5	0.996	YQC-5	1.000	YDS-5	0.999	YDX-5	0.996
ZQC-6	1.000	ZDS-6	0.999	ZDX-6	0.996	YQC-6	0.999	YDS-6	0.999	YDX-6	0.995
ZQC-7	0.999	ZDS-7	0.999	ZDX-7	0.995	YQC-7	1.000	YDS-7	1.000	YDX-7	0.995
ZQC-8	0.999	ZDS-8	1.000	ZDX-8	0.995	YQC-8	1.000	YDS-8	0.999	YDX-8	0.995
ZQC-9	0.999	ZDS-9	0.999	ZDX-9	0.995	YQC-9	0.999	YDS-9	0.999	YDX-9	0.996
ZQC-10	0.999	ZDS-10	1.000	ZDX-10	0.995	YQC-10	1.000	YDS-10	0.999	YDX-10	0.995

2.2 化学模式识别

2.2.1 聚类分析 以栽培品、野生品蒲公英不同部位的共有峰面积为基础, 利用 IBM SPSS 26.0 软件进行聚类分析, 结果见图 3, 当组间距离为 10 时, 蒲公英样品聚为 4 类, 野生根 (YDX1~YDX10)、栽培根 (ZDX1~ZDX10) 分别聚为一类, 野生全草 (YQC1~TYQC10) 和野生地上 (YDS1~YDS10) 聚为一类, 栽培全草 (ZQC1~ZQC10) 和栽培地上 (ZDS1~ZDS10) 聚为一类。从聚类分析结果可知野生蒲公英根和栽培蒲公英根差距较大, 而蒲公英地上部分和蒲公英全草之间差距较小。

2.2.2 主成分分析 (principal component analysis, PCA) 以 60 批蒲公英指纹图谱中 9 个共有峰的峰

面积为变量, 运用 IBM SPSS Statistics 26 软件对上述的 60×9 阶数据矩阵进行 PCA, 以主成分特征值>1 为提取标准并生成因子得分系数矩阵。以特征值及方差累积贡献率作为确定主成分个数的选择依据, 共有 3 个主成分的特征值大于 1, 其方差累积贡献率为 96.562%, 说明这 5 个主成分可解释原有变量 96.562% 的信息, 在一定程度上可以代替指纹图谱 9 个共有峰来评价蒲公英样品的质量。特征值及贡献率见表 2。

因子载荷矩阵反映了各主成分与个共有峰即原始变量之间的相关系数, 结果见表 3, 第 1 主成分主要反映色谱峰 1、4、6、8 的信息, 第 2 主成分主要反应色谱峰 3、7 的信息, 第 3 主成分主要反映色谱峰 2、5 的信息, 这些成分为主要影响蒲公英质量的因素。

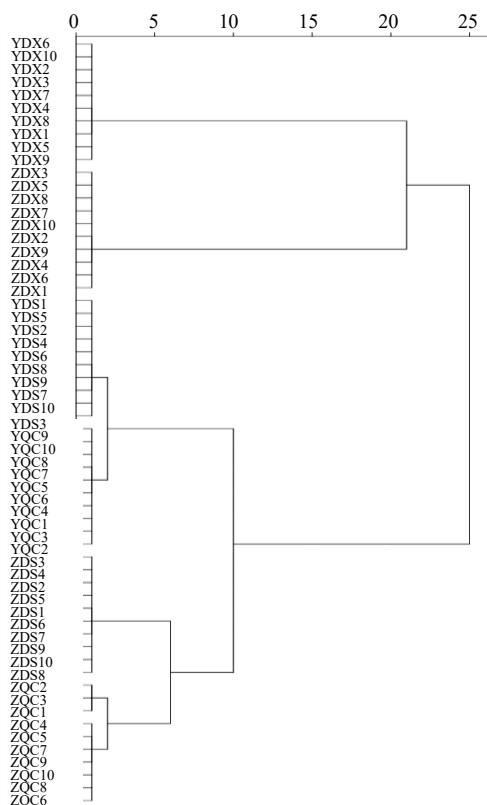


图3 60批蒲公英样品 HCA 图

Fig. 3 HCA chart of 60 batches of *T. mongolicum* samples

运用 IBM SPSS Statistics 26 软件计算蒲公英不同部位样品的主成分得分，以各主成分对应的贡献率为权重计算综合得分，以此评价栽蒲公英不同部位之间的质量，结果见表 4。

2.2.3 OPLS-DA 为了更好的区分蒲公英不同部位之间的差异性，将蒲公英不同部位之间的共有峰

表 2 特征值及方差贡献率

Table 2 Eigenvalues and variance contribution rate

主成分因子	特征值	方差贡献率/%	积累方差贡献率/%
1	4.608	51.195	51.195
2	2.435	27.052	78.247
3	1.648	18.316	96.562

表 3 因子载荷矩阵

Table 3 Factor Loading Matrix

共有峰	载荷		
	因子 1	因子 2	因子 3
1	0.735	0.628	-0.241
2	0.015	-0.004	0.982
3	0.191	0.966	-0.016
4	0.954	0.286	0.030
5	-0.170	0.147	0.971
6	0.705	0.557	-0.350
7	0.096	0.972	0.003
8	0.969	-0.104	0.007
9	-0.018	-0.469	0.852

表 4 蒲公英不同部位主成分因子得分

Table 4 Principal component factor scores of different parts of *T. mongolicum*

样品编号	主成分 1 得分	主成分 2 得分	主成分 3 得分	综合值等分	样品编号	主成分 1 得分	主成分 2 得分	主成分 3 得分	综合值等分
ZQC1	2.240	2.676	0.996	2.125	YQC1	3.094	1.735	0.092	2.134
ZQC2	2.269	2.774	1.016	2.172	YQC2	3.145	1.767	0.127	2.177
ZQC3	2.296	2.809	0.967	2.186	YQC3	3.090	1.743	0.121	2.140
ZQC4	2.263	2.619	0.837	2.091	YQC4	3.164	1.818	0.108	2.198
ZQC5	2.200	2.629	0.863	2.065	YQC5	3.226	1.863	0.123	2.245
ZQC6	2.384	2.968	0.950	2.275	YQC6	3.207	1.850	0.110	2.229
ZQC7	2.087	2.776	0.965	2.067	YQC7	2.981	1.651	0.241	2.079
ZQC8	1.964	2.801	0.961	2.009	YQC8	2.850	1.590	0.232	1.992
ZQC9	2.124	2.912	1.032	2.137	YQC9	2.917	1.618	0.223	2.033
ZQC10	1.966	2.912	0.950	2.039	YQC10	2.883	1.619	0.242	2.019
ZDS1	2.148	2.263	-0.160	1.738	YDS1	3.061	1.962	-0.457	2.075
ZDS2	2.221	2.346	-0.157	1.801	YDS2	2.946	1.888	-0.441	1.997
ZDS3	2.117	2.290	-0.145	1.732	YDS3	2.873	1.850	-0.463	1.944
ZDS4	2.071	2.258	-0.163	1.696	YDS4	3.134	2.058	-0.394	2.153
ZDS5	2.189	2.329	-0.160	1.779	YDS5	3.062	1.984	-0.449	2.084
ZDS6	2.206	2.405	-0.152	1.810	YDS6	3.188	2.075	-0.455	2.175
ZDS7	2.294	2.604	-0.130	1.917	YDS7	3.084	2.071	-0.459	2.118
ZDS8	2.070	2.396	-0.143	1.738	YDS8	3.028	2.021	-0.452	2.076
ZDS9	2.249	2.591	-0.149	1.886	YDS9	3.007	2.010	-0.448	2.063
ZDS10	2.190	2.646	-0.154	1.870	YDS10	3.100	2.082	-0.419	2.138
ZDX1	0.001	0.040	0.148	0.040	YDX1	0.915	-0.073	2.714	0.980
ZDX2	0.001	0.100	0.170	0.062	YDX2	0.845	0.021	2.645	0.957
ZDX3	0.003	0.117	0.131	0.060	YDX3	0.925	0.097	2.617	1.015
ZDX4	0.027	0.147	0.154	0.085	YDX4	0.986	0.124	2.676	1.066
ZDX5	0.002	0.106	0.107	0.051	YDX5	0.718	-0.026	2.338	0.818
ZDX6	0.036	0.145	0.113	0.081	YDX6	0.854	-0.026	2.656	0.950
ZDX7	0.015	0.099	0.152	0.065	YDX7	0.865	0.082	2.365	0.931
ZDX8	-0.002	0.100	0.138	0.054	YDX8	0.986	0.124	2.676	1.066
ZDX9	0.005	0.118	0.157	0.066	YDX9	0.718	-0.026	2.338	0.818
ZDX10	0.010	0.117	0.134	0.064	YDX10	0.854	-0.026	2.656	0.950

数据导入多元统计分析软件 SIMCA 14.1 进行 OPLS-DA, 得分矩阵如图 4 所示。由图可知, 栽培和野生蒲公英不同部位分为 6 类, 各部位分别聚为一类, 从图中看出蒲公英全草和蒲公英地上部分差距较小, 蒲公英全草、地上部分和蒲公英根部差距较大。与主成分分析结果基本相同, 分析结果经置换检验(permutation test) 200 次后结果如图 5 所示, 置换后 R^2 及 Q^2 均小于置换前对应的值, 提示该模型较好。

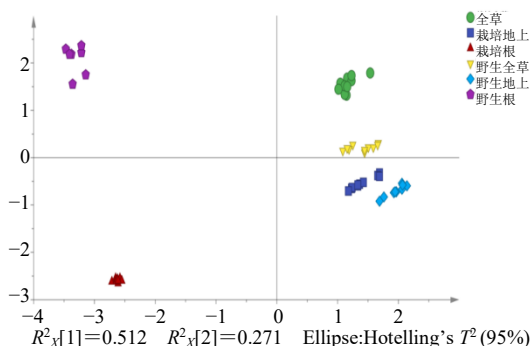


图 4 蒲公英不同部位样品 OPLS-DA 图

Fig. 4 OPLS-DA plot of different parts of *T. mongolicum* samples

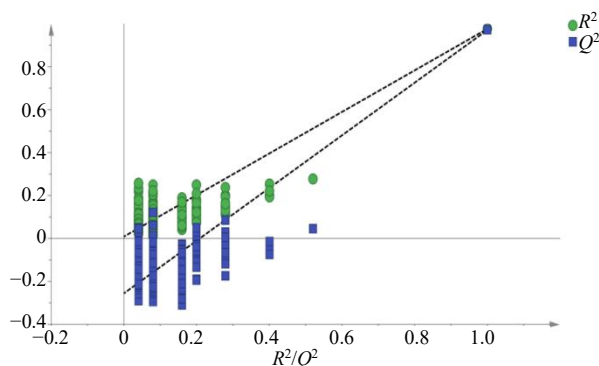


图 5 200 次响应排序检验

Fig. 5 200 times response sorting test

变量重要性投影 (variable importance in projection, VIP) 值是筛选差异化合物的重要指标, VIP 值越高, 对组间差异的影响越大^[4]。为进一步筛选引起蒲公英不同部位之间差异的标志性成分, 通过对 VIP 值进行分析, 得到差异性标记物的 VIP 得分图, 见图 6, 以 VIP 值 > 1 为阈值, 筛选出了 5 个变量, 按 VIP 值的大小依次 8、2 (绿原酸)、3、9、6 号峰所代表的可能是为导致样品差异性的主要因素, 但未对蒲公英主要成分单咖啡酰酒石酸、菊苣酸、异绿原酸 C 造成影响, 可见蒲公英全草和地上部分没有显著的化学成分之间的差异, 且蒲公英

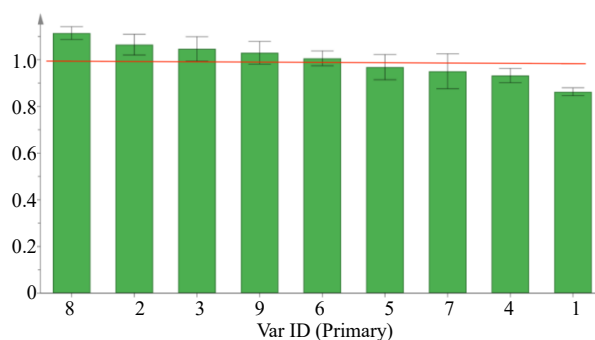


图 6 蒲公英 9 个色谱峰的 VIP 得分图

Fig. 6 VIP score chart of nine chromatographic peaks of *T. mongolicum*

根部对蒲公英整体的化学成分影响较小。

2.3 总黄酮和总多糖的测定

2.3.1 总黄酮样品的测定

精密称定药材样品 0.5 g, 加 70%乙醇 25 mL, 置于具塞锥形瓶后, 超声处理 (功率 500 W、频率 40 kHz) 50 min, 用 70%乙醇补足缺失的质量, 摇匀, 滤过, 取滤液 0.5 mL, 加 5%亚硝酸钠 0.5 mL, 反应 6 min, 加入 10%硝酸铝溶液 0.5 mL, 反应 6 min, 加入 4% NaOH 溶液 5 mL, 摇匀, 加入 70%乙醇定容至 10 mL, 静置反应 12 min 后, 以相应空白为参照于波长 508 nm 处测量吸光度 (A) 值。精密称取干燥至恒定质量的芦丁对照品配制成 0.208 mg/mL 的溶液置于 25 mL 量瓶中。精密移取芦丁对照品溶液 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mL, 于波长 508 nm 处测量 A 值, 以 A 值为纵坐标 (Y), 对照品质量浓度为横坐标 (X), 计算得标准曲线 $Y=1.6768X-0.0111$, $R^2=0.9997$ 。精密称取各批次样品, 分别按照上述方法制备供试品溶液, 按照此标准曲线分别测定各样品总黄酮含量, 平行测定 3 次, 取平均值, 结果见表 5, 结果得出, 蒲公英总黄酮含量在不同部位间呈现明显规律: 蒲公英全草和地上部位的含量普遍高于根部。其中, 野生品地上部位的总黄酮含量整体略优于栽培品。蒲公英地上部位含量最高, 野生品优势明显: 野生地上部位 (YDS) 的总黄酮均值最高, 达 22.561 5 mg/g; 栽培茎 (ZDS) 次之, 为 21.758 3 mg/g。全草含量次之, 野生品同样领先: 野生全草 (YQC) 均值为 22.142 1 mg/g, 栽培全草 (ZQC) 为 19.793 7 mg/g。根中含量相对较低: 野生根 (YDX) 和栽培根 (ZDX) 的均值分别为 19.072 2 mg/g 和 17.749 1 mg/g。总体而言, 总黄酮含量呈现地上部位 > 全草 > 根的趋势, 且野生品在各部位的含量均略高于栽培品。

2.3.2 多糖样品的测定 精密称定药材样品 1 g, 加水 25 mL, 置于具塞锥形瓶后, 超声处理 (功率 200 W、频率 40 kHz, 70 °C) 60 min, 摇匀, 滤过, 取续滤液 10 mL 溶液, 加乙醇至 80%, 醇沉过夜, 离心, 弃去上层液体, 加水 100 mL 溶解, 取 1 mL 定容至 100 mL, 取 2 mL, 加 6% 苯酚 1 mL, 浓硫酸 5 mL, 热水浴 30 min 后立即取出, 置于冰水中冰水浴 10 min, 以相应空白为参照, 于波长 490 nm 处测量 A 值。采用苯酚-硫酸法, 将 100 mg D-无水葡萄糖对照品加入蒸馏水定容至 100 mL 制成 1 mg/mL 的储备液, 精密移取 D-无水葡萄糖对照品溶液 0.01、0.02、0.04、0.06、0.08、0.10 mL, 全部补足至 2.0 mL, 于波长 490 nm 处测量 A 值, 以吸光度为纵坐标 (Y), 对照品浓度为横坐标 (X), 计算得标准曲线 $Y=8.8227X-0.002$, $R^2=0.9991$ 。

精密称取各批次样品, 分别按照上述方法制备供试品溶液, 按照此标准曲线计算分别测定各样品总多糖含量, 平行测定 3 次, 取平均值, 结果见表 5, 与黄酮不同, 蒲公英总多糖的含量呈现根远高于全草和地上的分布特点, 且栽培品在全草和根中的含量略占优势。野生根 (YDX) 的总多糖均值最高为 38.119 4 mg/g, 其次是栽培根 (ZDX) 为 35.849 9 mg/g; 全草含量次之, 栽培品优势明显: 栽培全草 (ZQC) 均值为 19.083 7 mg/g, 显著高于野生全草 (YQC) 的 11.954 3 mg/g; 地上部位中含量最低, 2 品种接近: 野生地上部位 (YDS) 和栽培地上部位 (ZDS) 的均值分别为 6.934 6 mg/g 和 6.437 4 mg/g, 均处于较低水平。总体来看, 总多糖的分布规律为根 > 全草 > 地上部位, 与总黄酮的分布趋势恰好相反。

表 5 总黄酮和总多糖含量测定 (n=3)

Table 5 Content determination of total flavonoids and total polysaccharides (n = 3)

编号	质量分数/(mg·g ⁻¹)		编号	质量分数/(mg·g ⁻¹)	
	总多糖	总黄酮		总多糖	总黄酮
ZQC-1	18.834 8	18.939 1	YQC-1	11.481 9	22.144 7
ZQC-2	19.655 0	19.749 5	YQC-2	11.877 8	22.147 8
ZQC-3	18.778 3	19.602 2	YQC-3	11.821 3	21.448 0
ZQC-4	18.806 6	19.823 2	YQC-4	12.104 1	21.816 3
ZQC-5	19.428 7	20.633 6	YQC-5	11.906 1	22.454 8
ZQC-6	19.145 9	19.872 3	YQC-6	11.962 7	21.251 5
ZQC-7	19.032 8	20.535 4	YQC-7	11.991 0	22.061 9
ZQC-8	19.117 6	19.135 6	YQC-8	12.132 4	21.914 6
ZQC-9	19.089 4	19.503 9	YQC-9	12.104 1	22.135 6
ZQC-10	18.948 0	20.142 4	YQC-10	12.160 6	22.946 0
ZDS-1	6.504 5	21.296 7	YDS-1	6.872 2	21.979 9
ZDS-2	6.532 8	21.935 2	YDS-2	6.985 3	22.618 4
ZDS-3	6.589 4	21.959 7	YDS-3	6.957 0	22.642 9
ZDS-4	6.589 4	21.959 7	YDS-4	6.815 6	22.642 9
ZDS-5	6.250 0	21.861 5	YDS-5	7.070 1	22.544 7
ZDS-6	6.391 4	21.836 9	YDS-6	7.155 0	22.520 1
ZDS-7	6.391 4	21.100 2	YDS7	6.900 5	21.783 4
ZDS-8	6.221 7	21.640 5	YDS-8	7.041 9	22.323 7
ZDS-9	6.419 7	21.910 6	YDS-9	6.759 0	22.593 8
ZDS-10	6.476 2	22.082 5	YDS-10	6.787 3	22.765 7
ZDX-1	35.379 0	17.416 5	YDX-1	37.415 2	18.866 0
ZDX-2	35.605 2	18.005 9	YDX-2	38.065 6	18.399 4
ZDX-3	36.425 3	18.349 7	YDX-3	39.253 4	18.546 7
ZDX-4	35.888 0	17.613 0	YDX-4	38.914 0	19.013 3
ZDX-5	35.548 6	17.146 4	YDX-5	38.093 9	19.209 8
ZDX-6	35.661 8	17.293 7	YDX-6	37.641 4	18.669 5
ZDX-7	35.718 3	17.760 3	YDX-7	37.698 0	19.258 9
ZDX-8	36.114 3	17.956 8	YDX-8	38.009 0	19.602 7
ZDX-9	35.944 6	18.718 1	YDX-9	38.122 2	19.971 1
ZDX-10	35.803 2	17.932 2	YDX-10	37.980 8	19.185 2

2.4 不同部位有效成分的测定

2.4.1 供试品溶液的制备 同“2.1.1”项。

2.4.2 对照品溶液的制备 同“2.1.2”项。

2.4.3 色谱条件 同“2.1.3”项。

2.4.4 线性关系考察 精密吸取“2.1.2”项下各对照品溶液，稀释成不同浓度对照品溶液。按照“2.1.3”液相条件进样测定，记录各峰面积，进行线性回归，

绘制标准曲线，其中以各待测成分的质量浓度为横坐标 (X)，峰面积为纵坐标 (Y)。线性关系结果见表 6。

表 6 线性关系考察结果

Table 6 Results of investigation on linear relationships

对照品	回归方程	r	线性范围/(mg·mL ⁻¹)
单咖啡酰酒石酸	$Y=21\ 287 X-144.5$	0.999 7	0.009~0.364
绿原酸	$Y=17\ 134 X-3.874\ 3$	0.999 2	0.012~0.480
咖啡酸	$Y=27\ 712 X-1.4261$	0.999 9	0.001~0.031
阿魏酸	$Y=34\ 693 X-44.792$	0.999 3	0.001~0.058
菊苣酸	$Y=21\ 795 X-104.23$	0.999 5	0.027~1.080
异绿原酸 C	$Y=19\ 698 X-51.441$	0.999 6	0.003~0.124

2.4.5 精密度试验 精密称取蒲公英粉末（过四号筛）0.5 g（ZQC1），按“2.1.1”项方法进行供试品溶液制备，按“2.1.3”项色谱条件连续 6 次进样测定，记录色谱图，计算单咖啡酰酒石酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、菊苣酸、异绿原酸 C 峰面积，计算得到各峰的相对峰面积 RSD 为 0.58%、0.23%、2.37%、0.68%、0.45%、2.86%。

2.4.6 稳定性试验 精密称取蒲公英粉末（过四号筛）0.5 g（ZQC1），按“2.1.1”项方法进行供试品溶液制备，按“2.1.3”项色谱条件分别于制备后 0、2、4、6、8、12、24 h 进样测定，记录色谱图，计算咖啡酰酒石酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、菊苣酸、异绿原酸 C 峰面积，计算得到各峰的相对峰面积的 RSD 为 0.26%、0.8%、0.37%、0.65%、0.37%、3.03%。

2.4.7 重复性试验 精密称取蒲公英粉末（过四号筛）0.5 g（ZQC1），按“2.1.1”项样品制备方法平行制备 6 份供试品溶液，按“2.1.3”项色谱条件进样测定，记录色谱图，计算单咖啡酰酒石酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、菊苣酸、异绿原酸 C 的质量分数，计算得到各成分质量分数的 RSD 为 0.39%、0.30%、0.61%、1.44%、0.45%、2.25%。

2.4.8 加样回收率试验 精密称取蒲公英粉末（过四号筛）0.25 g，分别精密加入适量对照品，按“2.1.1”项样品制备方法平行制备 6 份供试品溶液，按“2.1.3”项色谱条件进样测定，记录色谱图，计算各成分的加样回收率，结果单咖啡酰酒石酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、菊苣酸、异绿原酸 C 的平均加样回收率分别为 99.39%、99.77%、99.22%、99.23%、98.69%、101.17%、RSD 为 1.41%、2.17%、2.94%、1.26%、1.99%、2.96%。

2.4.9 含量测定及数据分析 分别称取 60 批蒲公英样品，按“2.1.1”项方法制备供试品溶液，按“2.1.3”项色谱条件进样测定，记录色谱图，计算单咖啡酰酒石酸、绿原酸、咖啡酸、阿魏酸、菊苣酸、异绿原酸 C 的含量，结果见表 7。蒲公英不同部位各成分平均值含量见图 7。

从表 7 中可知蒲公英全草和地上部分单咖啡酰酒石酸、菊苣酸含量均高于蒲公英根的含量，且在蒲公英根中未测到咖啡酸，但是蒲公英根绿原酸含量高于蒲公英地上部分，野生蒲公英根的绿原酸高于野生全草和地上部分；野生蒲公英单咖啡酰酒石酸、咖啡酸、菊苣酸含量均高于栽培蒲公英含量，绿原酸、异绿原酸 C 含量低于栽培蒲公英。

3 讨论

在前期的实验考察中，本课题组对《中国药典》2025 年版中的液相方法及其含量测定结果进行了对比。经研究发现方法存在一定局限性，它仅能测定菊苣酸的含量，无法识别出更多的化合物。基于此，本课题组决定不采用该方法。本研究在 190~400 nm 处进行了全波长的扫描，并比较了蒲公英样品在 280、300、330 nm 波长下各色谱峰的分度、出峰数量，峰型等情况，最终确定指纹图谱在波长 330 nm 处色谱峰的信息较为全面且吸收波长最大，可以使含量测定更为准确，分离的峰较多且分离度较好。在流动相的选择上，实验对比了甲醇-0.01% 甲酸水、乙腈-0.2% 磷酸水溶液，乙腈-0.4% 磷酸水溶液等不同的流动相，研究发现 0.2% 和 0.4% 磷酸水溶液作为流动相，各色谱峰之间的分离度良好，且没有明显差异，综合考虑下选择乙腈-0.2% 磷酸水溶液。考察了提取溶液 60%、70%、80% 的甲醇水

表 7 蒲公英不同部位中各成分含量测定结果 (n = 3)

Table 7 Determination of component content in different parts of *T. mongolicum* (n = 3)

编号	质量分数/(mg·g ⁻¹)						编号	质量分数/(mg·g ⁻¹)					
	单咖啡酰酒石酸	绿原酸	咖啡酸	阿魏酸	菊苣酸	异绿原酸 C		单咖啡酰酒石酸	绿原酸	阿魏酸	咖啡酸	菊苣酸	异绿原酸 C
ZQC-1	2.330	1.172	0.053	0.063	18.623	0.141	YQC-1	2.337	0.778	-	0.113	24.113	0.127
ZQC-2	2.325	1.186	0.054	0.067	18.768	0.142	YQC-2	2.366	0.803	-	0.115	24.421	0.128
ZQC-3	2.372	1.175	0.054	0.064	18.856	0.143	YQC-3	2.297	0.792	-	0.116	24.217	0.128
ZQC-4	2.182	1.035	0.051	0.070	18.441	0.144	YQC-4	2.337	0.788	-	0.117	24.591	0.129
ZQC-5	2.151	1.051	0.051	0.070	18.344	0.148	YQC-5	2.346	0.794	-	0.114	24.490	0.127
ZQC-6	2.285	1.098	0.052	0.073	19.373	0.151	YQC-6	2.335	0.794	-	0.118	24.626	0.128
ZQC-7	2.241	1.097	0.055	0.068	17.904	0.151	YQC-7	2.218	0.754	-	0.109	23.269	0.132
ZQC-8	2.146	1.044	0.053	0.068	16.822	0.148	YQC-8	2.138	0.724	-	0.106	22.327	0.129
ZQC-9	2.289	1.102	0.055	0.062	17.796	0.152	YQC-9	2.195	0.737	-	0.107	22.827	0.133
ZQC-10	2.147	1.055	0.051	0.062	16.854	0.153	YQC-10	2.178	0.740	-	0.106	22.787	0.133
ZDS-1	2.037	0.556	0.060	-	17.387	0.135	YDS-1	2.399	0.603	-	0.108	24.480	0.131
ZDS-2	2.121	0.568	0.060	-	17.896	0.136	YDS-2	2.327	0.593	-	0.108	23.980	0.131
ZDS-3	1.984	0.555	0.063	-	17.190	0.136	YDS-3	2.202	0.582	-	0.106	23.229	0.132
ZDS-4	1.951	0.546	0.061	-	17.068	0.136	YDS-4	2.441	0.638	-	0.113	25.285	0.134
ZDS-5	2.051	0.561	0.062	-	17.700	0.137	YDS-5	2.483	0.606	-	0.100	24.488	0.132
ZDS-6	2.089	0.565	0.061	-	17.800	0.138	YDS-6	2.517	0.619	-	0.105	25.087	0.133
ZDS-7	2.159	0.578	0.061	-	18.084	0.141	YDS-7	2.436	0.604	-	0.103	24.269	0.134
ZDS-8	1.931	0.554	0.063	-	17.116	0.142	YDS-8	2.363	0.603	-	0.112	23.978	0.134
ZDS-9	2.109	0.565	0.061	-	17.778	0.142	YDS-9	2.328	0.600	-	0.106	23.915	0.134
ZDS-10	2.010	0.557	0.063	-	17.411	0.144	YDS-10	2.473	0.622	-	0.105	24.629	0.135
ZDX-1	0.682	0.558	-	-	4.781	0.120	YDX-1	0.898	1.395	0.069	-	15.738	0.121
ZDX-2	0.692	0.571	-	-	4.867	0.123	YDX-2	0.867	1.350	0.070	-	15.293	0.123
ZDX-3	0.688	0.559	-	-	4.809	0.124	YDX-3	0.853	1.338	0.069	-	15.151	0.125
ZDX-4	0.691	0.566	-	-	4.840	0.124	YDX-4	0.827	1.316	0.068	-	14.584	0.117
ZDX-5	0.679	0.543	-	-	4.724	0.123	YDX-5	0.813	1.226	0.068	-	13.549	0.120
ZDX-6	0.697	0.579	-	-	4.674	0.125	YDX-6	0.874	1.313	0.066	-	14.582	0.118
ZDX-7	0.683	0.559	-	-	4.792	0.120	YDX-7	0.857	1.258	0.069	-	14.036	0.124
ZDX-8	0.684	0.564	-	-	4.809	0.122	YDX-8	0.865	1.377	0.069	-	15.256	0.122
ZDX-9	0.688	0.559	-	-	4.808	0.124	YDX-9	0.825	1.245	0.072	-	13.754	0.122
ZDX-10	0.689	0.564	-	-	4.827	0.124	YDX-10	0.891	1.340	0.068	-	14.879	0.121

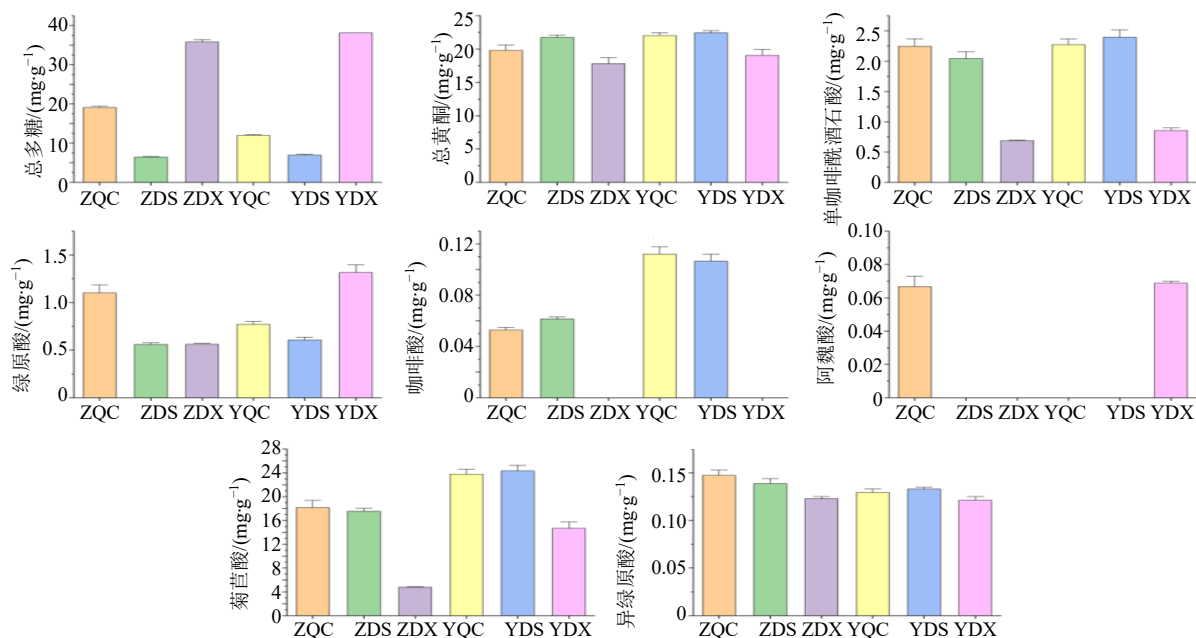


图 7 蒲公英不同部位中成分含量均值箱线图

Fig. 7 Box plot of mean content of different parts of *T. mongolicum*

超声温度 (25、40、60 °C), 超声时间 (20、40、60 min) 最终选择以 80%, 甲醇超声处理 (25 °C, 40 min) 作为提取溶液的方法。

蒲公英的指纹图谱和含量测定方法已有文献报道, 包芮之等^[6]、洪博等^[7]建立了蒲公英药材的化学指纹图谱和含量测定方法, 但蒲公英在药材市场种类复杂, 有全草、叶、根, 未见有对蒲公英不同部位之间进行分析。本研究在前人的基础上把蒲公英分为全草、地上部分、地下部分分别进行质量分析比较, 更加全面的比较蒲公英的不同部位之间的差异性, 通过建立的指纹图谱可以快速确认蒲公英的部位; 根据指纹图谱 9 号峰和 22 号峰的差异性可以辨别样品是否为野生或栽培蒲公英。含量检测结果表明, 蒲公英的地上部分 (包括全草) 与根部在化学成分上存在显著差异。其中, 黄酮、单咖啡酰酒石酸、咖啡酸、菊苣酸以及异绿原酸 C 的含量在地上部分和全草中均高于根部; 而根部则以多糖含量最高。现代有研究表明蒲公英发挥药效的是蒲公英多糖、蒲公英黄酮、蒲公英甾醇所以还需要结合蒲公英药理和临床实验进行验证才能进一步确认蒲公英地上部分能否当成蒲公英全草使用^{[18]-[19]}。

综上所述, 本研究建立了栽培和野生蒲公英不同部位的 HPLC 指纹图谱方法简单、准确、方便、科学可靠, 有效地反映了蒲公英不同部位之间的特征行和定量信息, 可以有效区分蒲公英不同部位, 为蒲公英今后药用和生产提供一定的理论基础, 也对今后蒲公英的开发利用提供依据。

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 2025: 25.
- [2] 廖香莲, 吴新, 陈志元, 等. AHP-熵权法结合 Box-Behnken 响应面法优化蒲公英多成分提取工艺 [J]. 药物评价研究, 2026, 49(1): 191-201.
- [3] 樊富华, 闫圣坤, 刘洋, 等. 蒲公英多糖的化学结构、提取分离、生物活性及其应用研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(7): 246-252.
- [4] 孟然, 薛志忠, 鲁雪林, 等. 蒲公英的功效成分与药理作用研究进展 [J]. 江苏农业科学, 2021, 49(9): 36-43.
- [5] 杜盼, 朱坤, 陈丽艳. 蒲公英三萜类化合物的抗肿瘤作用研究状况 [J]. 中国临床药理学杂志, 2022, 38(17): 2098-2101.
- [6] 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.
- [7] 樊富华, 闫圣坤, 刘洋, 等. 蒲公英多糖的化学结构、提取分离、生物活性及其应用研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(7): 246-252.
- [8] 孙洋洋, 赵宁, 柏冬. 基于抗炎作用的蒲公英清热解毒物质基础研究 [J]. 中华中医药学刊, 2024, 42(4): 92-96.
- [9] 葛冰洁, 王政, 周鸿缘, 等. 蒲公英甾醇药理作用研究进展 [J]. 动物医学进展, 2020, 41(9): 102-105.
- [10] Hao F S, Deng X X, Yu X, et al. *Taraxacum*: A review of ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacological activity [J]. *Am J Chin Med*, 2024, 52(1): 183-215.
- [11] Duan L, Zhang C M, Zhao Y, et al. Comparison of bioactive phenolic compounds and antioxidant activities of different parts of *Taraxacum mongolicum* [J]. *Molecules*, 2020, 25(14): 3260.
- [12] 杨辉, 王建升, 郭宝林, 等. 野生和家种蒲公英质量比较研究 [J]. 中国现代中药, 2017, 19(10): 1400-1402.
- [13] 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, 2025, 10: 1-7.
- [14] 孟然, 薛志忠, 鲁雪林, 等. 蒲公英的功效成分与药理作用研究进展 [J]. 江苏农业科学, 2021, 49(9): 36-43.
- [15] 苏海兰, 郑梅霞, 江保东, 等. 栽培与野生七叶一枝花土壤微生物多样性研究 [J]. 福建农业学报, 2024, 39(8): 993-1005.
- [16] 包芮之, 袁鑫怡, 曾淑欣, 等. 基于化学识别模式的蒲公英指纹图谱的研究 [J]. 化学研究与应用, 2021, 33(7): 1386-1390.
- [17] 洪博, 刘荣宏, 侯玉娇, 等. 蒲公英药材 UPLC 指纹图谱及 10 个成分含量测定研究 [J]. 药物分析杂志, 2023, 43(11): 1858-1865.
- [18] 刘晓燕, 龙凤, 黄勇, 等. 蒲公英多糖通过下调 LncRNACCAT1 表达抑制 MDA-MB-231 细胞增殖、迁移和侵袭 [J]. 中草药, 2024, 55(4): 1145-1157.
- [19] 沈锦晟, 史玥, 夏旋, 等. 蒲公英治疗对乙酰氨基酚诱导肝损伤的研究进展 [J]. 中药药理与临床, 2025, 41(6): 95-100.

[责任编辑 时圣明]