

## 蒲公英的基原分子鉴定及质量评价研究进展

廖钰<sup>1,2</sup>, 彭韦楠<sup>2</sup>, 杨新华<sup>2</sup>, 周如洁<sup>2</sup>, 李佳媛<sup>2</sup>, 曹帅<sup>2</sup>, 胡青<sup>2</sup>, 季申<sup>2</sup>, 李丽敏<sup>2\*</sup>

1. 复旦大学药学院, 上海 201203

2. 国家药品监督管理局监管科学创新研究基地, 上海市药品检验研究院, 上海 201203

**摘要:** 蒲公英为历史悠久、应用广泛的药食同源药材, 具有清热解毒、消肿散结等功效。《中国药典》2025年版中明确药材蒲公英为菊科植物蒲公英 *Taraxacum mongolicum*、碱地蒲公英 *Taraxacum borealisinense* 或同属数种植物的干燥全草, 为典型的多基原药材。蒲公英属植物种类繁多、种间形态相似, 加之产地生态多样, 导致其市场基原混杂、药材质量参差不齐, 临床用药的有效性和安全性无法保证。综述了近年蒲公英分子鉴定技术和质量评价方法的研究进展, 总结现有蒲公英质量控制与品质评价研究现状, 并提出研究展望, 为蒲公英药材标准化、优质资源筛选及产业高质量发展提供参考。

**关键词:** 蒲公英; 多基原中药; 分子鉴定; 质量评价; 碱地蒲公英

中图分类号: R286.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)12-4937-12

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.12.034

## Research progress on molecular identification of botanical origins and quality evaluation of *Taraxaci Herba*

LIAO Yu<sup>1,2</sup>, PENG Weinan<sup>2</sup>, YANG Xinhua<sup>2</sup>, ZHOU Rujie<sup>2</sup>, LI Jiayuan<sup>2</sup>, CAO Shuai<sup>2</sup>, HU Qing<sup>2</sup>, JI Shen<sup>2</sup>, LI Limin<sup>2</sup>

1. School of pharmacy, Fudan University, Shanghai 201203, China

2. NMPA Center for Innovation and Research in Regulatory Science, Shanghai Institute for Drug Control, Shanghai 201203, China

**Abstract:** Pugongying (*Taraxaci Herba*) is a well-established medicinal and edible herb with a long history of use in traditional Chinese medicine, known for its heat-clearing, detoxifying, anti-inflammatory, and swelling-reducing properties. The *Chinese Pharmacopoeia* defines *Taraxaci Herba* as the dried whole plant of *Taraxacum mongolicum*, *Taraxacum borealisinense*, or several other closely related species within the genus *Taraxacum* (Asteraceae), making it a typical multi-origin herbal medicine. *Taraxaci Herba* comprises numerous species with highly similar interspecific morphological characteristics. Coupled with diverse ecological conditions across producing areas, this has led to mixed botanical origins in the marketplace and inconsistent quality of medicinal materials, thereby compromising the efficacy and safety of clinical use. This review summarizes recent advances in molecular identification technologies and quality evaluation methods for *Taraxaci Herba*, outlines the current status of quality control and comprehensive quality assessment research, and proposes future research perspectives. The aim is to provide a scientific reference for the standardization of medicinal materials, the selection of high-quality germplasm resources, and the high-quality development of the *Taraxaci Herba* industry.

**Key words:** *Taraxaci Herba*; multi-origin Chinese herbal medicine; molecular identification; quality evaluation; *Taraxacum borealisinense*

蒲公英 *Taraxaci Herba* 为《中国药典》2025年版收载药材, 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全草<sup>[1]</sup>, 欧亚、拉丁美洲等均有悠久的食用和药用历史<sup>[2-3]</sup>, 是经典的药食同源中药材, 亦是中药复方的常用药味, 具有清热

解毒、消肿散结、利尿通淋等传统功效, 被广泛应用于治疗疮痍肿毒、乳痈、湿热黄疸等疾病<sup>[4-5]</sup>。现代研究表明, 蒲公英含有酚酸类、黄酮类、三萜类及多糖等活性成分, 具有抗炎、抗氧化、保肝利胆、免疫调节等药理作用, 在功能性食品、保健品及草药茶等领域应用广泛<sup>[6-11]</sup>。

收稿日期: 2026-02-02

基金项目: 上海市科委研发平台专项 (21DZ2290200); 国家中医药管理局全国老药工传承工作室建设项目 (国中医药人教函 [2025] 181 号)

作者简介: 廖钰 (2003—), 女, 硕士研究生, 研究方向为新药研究与开发。E-mail: 17779134489@163.com

\*通信作者: 李丽敏 (1975—), 女, 博士, 主任药师, 从事中药、天然药物质量控制和安全性检测方法研究。E-mail: lilimin\_sifdc@163.com

蒲公英属是全球公认的分类学复杂类群,拥有超过 2 000 个物种,且种间杂交、无融合生殖现象普遍,传统形态学进行物种鉴别难度大<sup>[12-13]</sup>,药材使用中对其基原关注较少。近年来,随着市场需求增多与栽培规模增大,市场野生与栽培蒲公英同时存在,不同基原、来源药材的质量差异带来临床药效影响<sup>[14]</sup>,科学的质量评价方法和标准对监控产品质量尤为重要。《中国药典》2015 年版一部蒲公英以咖啡酸为含量控制指标,《中国药典》2025 年版更替为以菊苣酸作为质量控制指标,但单一成分指标仍难以全面反映药材整体质量,且蒲公英种属基原、产地、生长环境等因素对其有效性成分和安全性影响较大,进而影响产品质量。

本文通过对近年来蒲公英的基原鉴定技术与质量评价研究进展进行综述,总结现有蒲公英质量评价方法的成果与不足,并提出展望,以期为今后蒲公英药材的标准化、优质资源筛选及产业高质量发展提供科学依据。

## 1 蒲公英属植物的分布特征及我国常见药用品种

蒲公英属 *Taraxacum* F. H. Wigg. 为菊科多年生草本植物,主要分布于北半球温带及寒温带地区,在欧洲、亚洲及北美洲均有广泛分布<sup>[15]</sup>。该属植物物种分化程度较高,且多数物种在形态特征上具有较高相似性,种间界限相对不够清晰,在一定程度上

增加了药用植物基原准确鉴定的难度。

我国地域辽阔,自然环境类型多样,蒲公英属植物在不同生态区域呈现出相对稳定但又存在一定交叉分布的格局。东北及华北地区是蒲公英属植物的重要分布区,蒲公英 *T. mongolicum* Hand.-Mazz.、碱地蒲公英 *T. borealisinense* Kitam. 及异苞蒲公英 *T. heterolepis* Nakai et Koidz. ex Kitag. 等种类分布较集中;长江以北部分地区还分布有东北蒲公英 *T. ohwianum* Kitam. 等区域性习用品种;西北及高原地区生态条件较为特殊,可见大头蒲公英 *T. calanthodium* Dahlst. 等对高寒环境具有较强适应性的种类,其分布范围相对局限,地域特征较为明显。

受地域资源条件及传统用药习惯影响,我国蒲公英形成多基原的应用格局,其中蒲公英和碱地蒲公英因资源广、应用久,为《中国药典》记载的主要药用基原,而其余如芥叶蒲公英 *T. brassicaefolium* Kitag.、亚洲蒲公英 *T. asiaticum* Dahlst. 及斑叶蒲公英 *T. variegatum* Kitag. 等,多作为地方习用品种或在部分地区替代使用(表 1)。不同蒲公英属植物在化学成分组成及含量水平方面存在一定差异,进而导致药材质量波动,影响药效评价可靠性。因此,系统厘清其药用基原,并结合分子生物学手段实现精准鉴定,是解决基原不清、开展科学质量评价的重要基础。

表 1 我国常见蒲公英属药用品种及其分布与使用情况

Table 1 Distribution and utilization of common medicinal *Taraxacum* species in China

药用品种	拉丁名	主要分布区域	药用情况
蒙古蒲公英	<i>T. mongolicum</i>	东北、华北及全国多地	药典收载基原,应用最广
碱地蒲公英	<i>T. borealisinense</i>	华北、东北	药典收载基原,北方地区常用
异苞蒲公英	<i>T. heterolepis</i>	华北地区	地方习用品种
东北蒲公英	<i>T. ohwianum</i>	东北地区	区域性习用品种
大头蒲公英	<i>T. calanthodium</i>	西北及高寒地区	高寒适应型,区域性应用
芥叶蒲公英	<i>T. brassicaefolium</i>	北方部分地区	部分地区替代使用
亚洲蒲公英	<i>T. asiaticum</i>	亚洲多地	部分地区替代使用
斑叶蒲公英	<i>T. variegatum</i>	局部分布	地方使用,形态特征明显

## 2 蒲公英基原的分子鉴定技术

蒲公英属植物种类繁多,种间形态高度相似,由于无融合生殖(apomixis)、自然杂交及遗传变异的共同作用,形成了复杂的微种复合群(microspecies aggregate),从而导致其分类界限较为模糊。传统形态学、组织学等基原鉴定方法在区分近缘类群时较为困难,且药材经采收、加工、贮藏后性状易变,鉴定难度进一步增大<sup>[16-19]</sup>。分子生物

学鉴定技术可从遗传物质层面实现蒲公英药材更稳定、客观的基原溯源<sup>[20]</sup>。

### 2.1 序列测定与分析技术

**2.1.1 DNA 条形码技术** DNA 条形码技术是当前中药材基原鉴定中应用最为成熟的分子生物学方法,其基本原理是选取具有较好通用性和物种分辨能力的标准化短 DNA 片段,通过 PCR 扩增、测序并与数据库比对,实现物种层面的鉴定。植物中常用的 DNA

条形码片段主要包括叶绿体基因组中的核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶大亚基 (ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit, *rbcL*)、成熟酶 K (maturase K, *matK*)、*trnH-psbA* 基因间区 (*trnH-psbA* intergenic spacer, *trnH-psbA*) 等区域以及核糖体 DNA 的内转录间隔区 (internal transcribed spacer, ITS) [20]。

蒲公英属植物的基原鉴定研究中,ITS 及 ITS2 片段因进化速率适中、种间变异信息较为丰富且扩增成功率高,被认为是具有较好应用前景的条形码序列。顾选等[21]通过提取样品 DNA 并扩增 ITS 区序列,鉴定巴西市场中标示为“DENTE DELEÃO”的蒲公英药材,发现真伪品序列差异显著,可有效区分混伪品猫儿菊 *Hypochaeris radicata* L.,并结合形态学与产地信息验证了鉴定结果。研究显示,蒲公英属植物 ITS 序列长度通常约为 700~750 bp,种间碱基序列差异较明显,而 G+C 含量稳定在 50%左右,在一定程度上可有效区分蒲公英属不同物种中亲缘关系较远类群[22-23],但对无融合生殖形成的近缘微种类群,单一条形码片段的分辨能力仍存在一定局限。

**2.1.2 基因组水平测序与近缘种的单核苷酸多态性 (single nucleotide polymorphism, SNP) 比对技术高通量测序技术 (next-generation sequencing, NGS)**

推动蒲公英基原鉴定从单个/少数条形码片段的序列比向基因组水平分析拓展,采用多片段组合策略 (如 ITS+*matK*+*trnH-psbA*) 增加序列信息量,并将研究对象扩展至叶绿体全基因组或全基因组数据,为提高鉴定分辨率提供了研究策略。

叶绿体基因组结构相对保守、母系遗传,可避免杂交与基因重组干扰,适用于蒲公英属植物的系统发育与物种鉴定[24],还能进一步开发高特异性分子标记。如研究者通过对橡胶蒲公英 *Taraxacum koksaghyz* Rodin (TK) 及其近缘种的叶绿体基因组进行测序与比较,成功筛选出可特异区分 TK 的单核苷酸多态性 (single nucleotide polymorphism, SNP) 和微卫星标记 (simple sequence repeats, SSR),并验证其在种质鉴定与杂交追溯中的可行性,为蒲公英品系鉴定与筛选提供了科学依据[25]。此外,全基因组测序或重测序可提供更全面的遗传信息,通过比较不同蒲公英物种的全基因组序列,挖掘出大量 SNP 及结构变异,进而开发高特异性的鉴定标记和进行亲缘关系分析[26],为解决无融合生殖物种划分等复杂分类问题提供高分辨率数据。

蒲公英基原鉴定现状及分子鉴定技术研究路径见图 1。

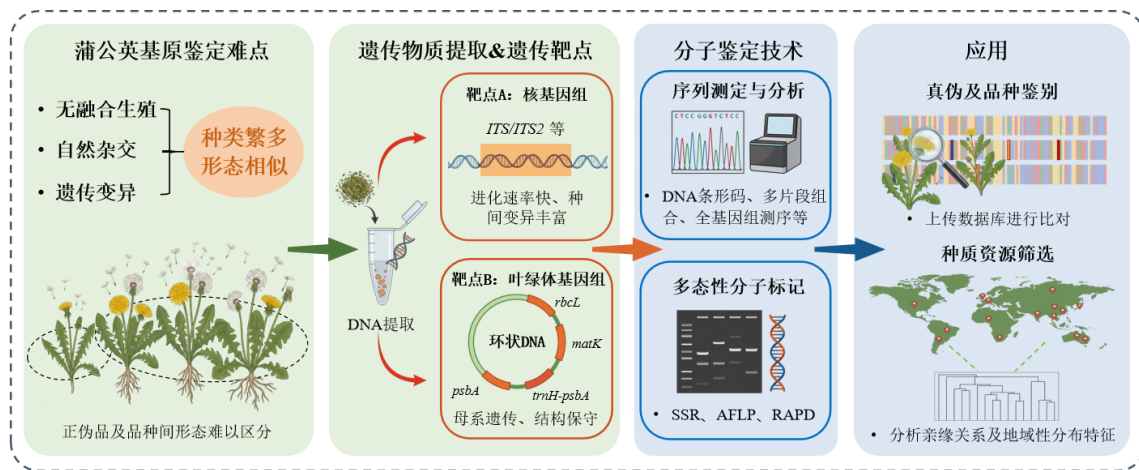


图 1 蒲公英基原鉴定现状及分子鉴定技术研究路径

Fig. 1 Current status of botanical origin identification and molecular identification strategies of *Taraxacum*

**2.2 多态性分子标记技术**

多态性分子标记技术的核心,是利用不同物种或个体间的 DNA 序列/结构差异 (即多态性),来实现物种区分、遗传多样性分析、亲缘关系鉴定等目标[27]。该技术在蒲公英形态近似种鉴别、无融合生殖群类划分、遗传结构解析及系统分类等研究中具

有重要应用价值。

**2.2.1 SSR** SSR 又称简单序列重复,是由 1~6 个核苷酸组成的重复单元串联而成,广泛存在于真核生物基因组中。SSR 标记具有多态性高、共显性遗传、重复性好等优点,适用于遗传多样性分析、亲缘关系及物种鉴定等研究[28]。

在蒲公英属植物中，研究人员已从蒙古蒲公英、橡胶蒲公英等多个物种的基因组或转录组数据中开发了大量的 SSR 标记，被成功应用于评估不同蒲公英居群的遗传多样性、揭示居群间的遗传分化格局、以及鉴定不同来源的种质资源<sup>[29]</sup>。Nowicki 等<sup>[30]</sup>利用 SSR 标记有效区分来自不同地理来源的蒙古蒲公英种质，并发现部分标记在不同物种间具有良好的通用性，可用于跨物种的亲缘关系分析；李喜凤等<sup>[31]</sup>基于 ISSR 技术对扩增引物进行聚类分析，显示聚类结果与地理来源关联性较强，同一地区蒲公英种质可聚为一类，呈现出明显的地域性分布特征。

**2.2.2 其他分子标记技术** 除 SSR 外，扩增片段长度多态性（amplified fragment length polymorphism, AFLP）和随机扩增多态性 DNA（random amplified polymorphic DNA, RAPD）等标记技术也曾广泛应用于蒲公英属植物的遗传多样性研究。此技术无需预先

获得序列信息，可在短时间内同时检测多个基因组位点，适用于蒲公英早期的群体遗传结构与亲缘关系研究<sup>[32]</sup>。如曹晖等<sup>[33]</sup>通过 AP-PCR 和 RAPD 技术成功鉴别了蒲公英与其常见混伪品“土公英”，李喜凤等<sup>[34]</sup>应用 RAPD 技术对河南地区 24 个蒲公英居群进行遗传多样性分析，结果显示种间遗传距离为 0.008 7~0.792 2，多态性位点率达 92.63%，为蒲公英种间差异区分及居群亲缘关系判定提供了可靠依据。

基原分子鉴定亦可辅助进行品系的筛选与培育，提高蒲公英药材的质量一致性和生产效率。已有研究围绕蒲公英种质资源开展系统筛选与优化工作，通过农艺性状评价<sup>[35]</sup>、抗性鉴定<sup>[36]</sup>等手段，为选育出适宜人工栽培、活性成分稳定、产量较高的蒲公英品系提供科学依据，推动蒲公英药材种质资源的系统评价和规范化利用。

蒲公英物种鉴定主要的分子生物学技术及其特点见表 2。

表 2 蒲公英基原溯源的主要分子生物学方法

Table 2 Major molecular biological approaches for tracing botanical origins of *Taraxacum* species

方法类别	方法名称	主要标记/数据	核心优势	局限性	文献
序列测定与分析技术	DNA条形码	<i>ITS</i> 、 <i>rbcL</i> 、 <i>matK</i> 、 <i>trnH-psbA</i>	操作成熟、重复性好、判别准确	单片段信息量有限，对近缘种分辨率不足	23
	多片段组合条形码	<i>ITS+matK+trnH-psbA</i> 等	信息量增加，鉴定成功率提升	仍受限于片段长度，难以解决极近缘种	24
	叶绿体全基因组比较	叶绿体基因组序列	信息量大、母系遗传、抗重组干扰	需测序成本，分析较复杂	25
多态性分子标记技术	基因组水平测序/SNP比对	全基因组测序数据、SNP	分辨能力强，可区分近缘种/微种	测序成本高、数据分析复杂	26
	SSR	SSR扩增片段	多态性高、共显性遗传、重复性好	需前期开发特异引物	29
	AFLP	限制性酶切扩增片段	标记数量多，信息量大	显性标记，重复性一般	32
	RAPD	随机扩增DNA片段	操作简便、成本低	重复性较差，稳定性不足	34

### 3 蒲公英质量标准现状及质量评价研究

#### 3.1 蒲公英质量控制标准现状

**3.1.1 不同国家药典收录情况** 《中国药典》2025 年版收载蒲公英 *Taraxaci Herba* 药材及饮片标准，规定性状、显微鉴别、水分、灰分、浸出物及含量测定等项目，并以菊苣酸为质量控制指标<sup>[1]</sup>。《欧洲药典》(Ph. Eur. 11.0) 收载 *Taraxaci officinalis Radix* 及 *Taraxaci officinalis Herba cum Radice* 植物药材专论，规定性状、鉴别及理化检查等质量控制内容，其质量评价体系与《中国药典》在基原范围、控制部位及指标成分选择等方面存在差异<sup>[37]</sup>。《美国顺势疗法药典》(*Homeopathic Pharmacopoeia of the United States*, HPUS) 收载了以蒲公英 *Taraxacum officinale* (No. 9017) 及 *Taraxacum officinale Radix*

(No. 9023) 为原料的酊剂，对其制备方法及质量控制要求进行了规定<sup>[38]</sup>。不同质量标准对蒲公英及相关产品的质控侧重点存在一定差异，以少数理化指标或单一成分进行质量控制，对于表征复杂药材整体质量存在一定局限性（表 3）。

**3.1.2 中国地方及团体标准的收载情况** 各省市地方炮规中收载的蒲公英药材和饮片标准，均借鉴中国药典相关内容。《中药材商品规格等级蒲公英》团体标准中，采用中国药典标准理化指标的基础上，结合野生与栽培蒲公英在采收方式和形态特征上的差异，对蒲公英商品规格进行了等级划分<sup>[39]</sup>；河北省地方标准（DB 13/T 5709-2023）针对蒲公英药材茎叶的 4 种酚酸成分（单咖啡酰酒石酸、咖啡酸、绿原酸、菊苣酸）建立

表3 蒲公英国内外药典质量标准对比

Table 3 Comparison of quality standards for *Taraxaci Herba* in different pharmacopoeias

质量标准	《中国药典》2025年版	《欧洲药典》(11.0版)
收载基原	蒙古蒲公英、碱地蒲公英及同属数种植物(全草)	药用蒲公英 <i>T. officinale</i> (根/全草)
鉴别方法	性状、显微、薄层色谱(以菊苣酸为对照品)、HPLC	性状、显微、薄层色谱(以蒲公英甾醇为对照品)
检查项目	水分≤13.0%, 总灰分≤10.0%, 浸出物≥18.0%	根: 水分≤12.0%, 总灰分≤10.0%, 浸出物≥20.0%; 全草: 水分≤10.0%, 总灰分≤17.0%, 浸出物≥30.0%
含量指标	菊苣酸: 药材≥0.45%, 饮片≥0.30%	无专属成分含量测定项
安全性控制	重金属(Pb、Cd、As、Hg、Cu)限量未明确规定	重金属≤2×10 <sup>-5</sup> , 农药残留符合欧盟EC 396/2005标准

定量评价与质量指数分级方法, 将蒲公英质量划分为5个等级, 体现了多指标质量评价的模式<sup>[40]</sup>。

当前国内外蒲公英药材质量评价标准多以少数理化指标或单一化学成分为主, 难以揭示蒲公英成分特征及其与药效之间的内在关联。多指标综合评价、化学指纹图谱分析、组学技术及谱效关系研究等方法已逐渐被应用于蒲公英质量评价。

### 3.2 蒲公英质量评价研究

目前植物化学领域已从蒲公英不同部位中分

离鉴定出超过200种化合物, 主要包括黄酮类、酚酸类、萜类、植物甾醇类、多糖、挥发油、脂肪酸、胡萝卜素类及多种维生素和矿物质等<sup>[41]</sup>, 具有显著的抗炎、抗氧化、抗肿瘤及抗菌活性(表4)。不同化学成分的积累特性和药理活性存在差异, 进而影响药材的有效性和安全性, 完善的质量评价体系为蒲公英资源合理开发、临床安全有效应用和产业高质量发展提供保障(图2)。

#### 3.2.1 基于多指标性成分及整体特征的质量评价

表4 蒲公英主要化学成分及药理活性

Table 4 Major phytochemical constituents and pharmacological activities of *Taraxaci Herba*

类别	代表性成分	分布部位	药理活性	文献
酚酸类	菊苣酸、绿原酸、咖啡酸、异绿原酸、单咖啡酰酒石酸	全草	抗氧化、抗炎、抗菌、抗病毒、保肝	42-49
黄酮类	木犀草素、槲皮素、芹菜素、木犀草素-7-O-葡萄糖苷、芦丁	地上部分居多	抗肿瘤、抗炎、免疫调节、利尿、利胆	50-56
萜类	蒲公英甾醇、蒲公英赛醇、蒲公英苦素、蒲公英酸	根部	抗炎、抗肿瘤、降血糖、调血脂	57-60
植物甾醇类	β-谷甾醇、豆甾醇	根部	抗炎、降胆固醇	61
多糖类	蒲公英多糖、菊粉	根部	抗肿瘤、免疫调节	62-63

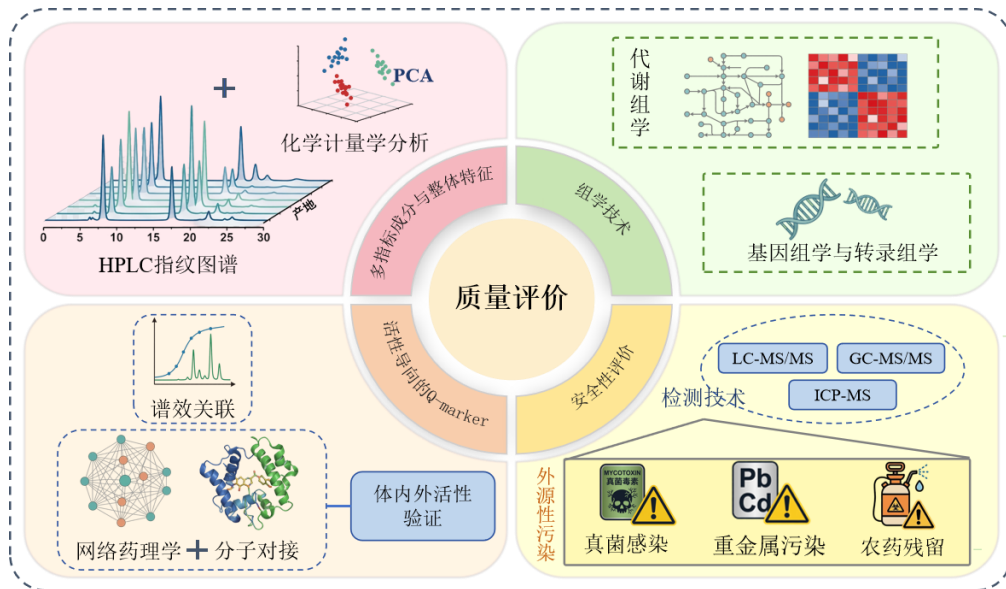


图2 蒲公英质量评价体系及研究进展概述

Fig. 2 Overview of quality evaluation system and research progress of *Taraxaci Herba*

多成分质量评价可弥补单一指标的局限性,有效提升了蒲公英药材的质量评价能力。以蒲公英中酚酸类和黄酮类成分为主要研究目标,研究者们分别建立了咖啡酸、绿原酸、菊苣酸、单咖啡酒石酸等5~15种酚酸类成分的检测方法用于产地和质量差异等评价<sup>[64-65]</sup>。如冯倩等<sup>[66]</sup>通过对14个不同产地蒲公英样品中的总黄酮和咖啡酸含量综合分析,揭示了不同产地样品间成分含量差异显著。施亚琴等<sup>[67]</sup>以超高效液相色谱法测定蒲公英中5种活性成分,揭示不同产地蒲公英中咖啡酸、绿原酸等酚酸类成分差异,明确产地对成分积累的重要影响。

指纹图谱和特征图谱技术是评价复杂体系中整体化学信息的综合性方法<sup>[68-70]</sup>,其与主成分分析、聚类分析等化学计量学方法相结合的评价策略被广泛用于药材质量评价研究。惠西珂等<sup>[71]</sup>以HPLC法建立蒲公英指纹图谱,并测定菊苣酸等5种主要酚酸类成分含量,结合总黄酮、浸出物等多项指标,以主成分分析对8个不同产地42批样品进行了综合质量评价。李超等<sup>[72]</sup>建立了29批不同产地蒲公英的指纹图谱,确定13个共有峰,指认了5个关键酚酸和黄酮类成分用于产品质量评价。孟然等<sup>[73]</sup>建立了30批蒲公英指纹图谱,通过聚类分析将10个产地蒲公英分为4类,筛选出4个产地差异性标志物可作为质量评价指标。刘爱朋等<sup>[74]</sup>通过建立指纹图谱方法,对11批野生蒲公英和9批栽培蒲公英进行系统分析,并对咖啡酸、绿原酸和木犀草素等6种相关成分进行测定和分析,揭示了异绿原酸A和木犀草素是区分野生品与栽培品的关键差异化合物。史蓝田等<sup>[75]</sup>通过建立特征图谱、多组分含量定量和化学计量学分析等方法结合,对22批不同种质蒲公英的质量进行评价,筛选出可用于区分野生与栽培种质及质量评价的8种化学成分,为蒲公英药材的质量控制、种质筛选及野生资源的合理开发利用提供了参考。

此外,张泽昭等<sup>[76]</sup>采用化学计量学方法实现蒲公英感官特征的客观量化评价,基于采集30批样品的“色-气-味”多维数据,通过雷达图、变异系数分析及主成分分析构建综合判别模型,筛选出W5S、a值和苦味作为关键特征指标,实现了对不同产地样品的有效区分,为蒲公英质量评价方法提供了补充。

**3.2.2 基于组学技术的质量评价** 中药材生长过程中多重生物学作用,对其关键次生代谢产物(如

酚酸类、黄酮类、甾醇类等)的产生与积累具有重要的影响,直接关联中药材的内在质量。代谢组、基因组及转录组等多组学技术推动中药材质量评价由经验控制向源头控制转变,亦是本草基因组学的重要内涵之一<sup>[77-78]</sup>。

代谢组学以小分子代谢物为研究核心,可系统表征药材在特定生长条件、遗传背景及加工状态下的真实化学组成,是中药质量评价中具直接表征意义的组学手段。超高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱(UPLC-Q-TOF-MS)技术,已广泛应用于蒲公英物质基础解析及生态来源、产地等因素对其品质的影响研究<sup>[79]</sup>,为揭示蒲公英品质差异提供了直观化学证据。Zhao等<sup>[80]</sup>对蒲公英*T. officinale*根、叶、花组织系统代谢组学分析,鉴定出1298种代谢物(含88种黄酮类、25种酚酸类),阐明花为多酚类及黄酮衍生物的核心积累部位,根、叶则具酚酸代谢组织特异性,并通过整合基因组学揭示了药用部位化学差异的内在基础。Zhang等<sup>[81]</sup>采用HPLC-Q-TOF-MS分析甘肃、河南等产区蒙古蒲公英*T. mongolicum*,发现样品代谢谱差异显著,筛选出6~26种差异代谢物(集中于苯丙烷、黄酮类合成通路),此类物质对地理环境敏感,可作为潜在质量标志物支撑产地质量评价;刘新月等<sup>[82]</sup>通过UPLC-Q-TOF-MS对10个不同来源样本分析,鉴定出2843种代谢物,其中1537种差异代谢物,包含19种类别,并在不同比较组中鉴定出17种共同表格的差异化合物,揭示种原(栽培/野生)对次生代谢物积累影响显著。

相较于代谢组学的直观表征,基因组学与转录组学则从分子调控层面解析蒲公英次生代谢产物形成的遗传基础,如Wu等<sup>[83]</sup>对蒲公英叶片样品进行RNA-Seq分析,筛选出在不同处理条件下显著差异表达基因,并将其与酚酸类生物合成通路进行关联分析,为解析相关代谢调控机制提供了候选基因基础。

**3.2.3 活性导向的质量标志物(quality marker, Q-Marker)挖掘** 中药Q-Marker是中药材及其制品中与其功能属性密切相关,并能反映产品安全性和有效性的标示性化学物质,核心强调“成分-活性-质量”的内在关联<sup>[84]</sup>。通过谱效关系、网络药理学结合体内外活性验证等方法,进行活性导向筛选Q-Marker筛选,可为蒲公英科学质量评价体系构建提供关键支撑。

谱效关系研究通过建立化学指纹图谱与药效学指标的数学关联模型,筛选药效贡献显著成分,是 Q-Marker 挖掘的成熟策手段。研究多以 HPLC/UHPLC 建立指纹图谱,或基于 LC-MS/MS 定量,结合抗氧化、抗炎等体内活性指标,采用灰色关联度分析 (grey relational analysis, GRA)、偏最小二乘回归 (partial least squares regression, PLSR) 等统计学方法解析关联<sup>[85-86]</sup>。Wu 等<sup>[87]</sup>通过对 19 批不同来源蒲公英的谱效关系研究,发现菊苣酸、咖啡酸等 5 种成分与抗氧化活性呈显著正相关 ( $r > 0.8$ ),为抗氧化功效核心物质基础;王琴等<sup>[88]</sup>通过指纹图谱与抗炎模型,实现 12 批蒲公英药材的质量优劣评价。关欣等<sup>[89]</sup>、罗利利等<sup>[90]</sup>的研究均表明,蒲公英花的抗炎、抑菌活性优于茎和叶,提示蒲公英活性成分存在组织分布特异性,应结合部位差异进行分级评价。

网络药理学通过构建“成分-靶点-通路-疾病”多维网络模型,可系统预测药物中多种化合物的整体药效和干预疾病的作用机制,结合分子对接技术可验证 Q-Marker 与特定靶点的结合潜力,目前已应用于蒲公英的抗炎、抗肿瘤、抗氧化活性的 Q-Marker 挖掘<sup>[91-94]</sup>。Liu 等<sup>[95]</sup>建立了基于网络药理学技术挖掘蒲公英生物活性相关质量控制指标的策略,采用 HPLC-DAD-MS/MS 表征 22 种酚类化合物,揭示菊苣酸、咖啡酸和木犀草素在抗炎、抗氧化网络中与核心靶点高度关联,可作为核心 Q-Marker 组合;Aabideen 等<sup>[96]</sup>揭示了蒲公英乙醇提取物较好的抗氧化和体外抗肥胖活性,以 UPLC-Q-TOF-MS 鉴定了与活性相关的 22 种次生代谢产物,采用分子对接结合能验证所鉴定此生代谢产物具有胰脂肪酶抑制活性且优于参比药物奥利司他。咎立峰等<sup>[97]</sup>采用 UPLC-Q-TOF/MS 成分鉴定、体外细胞炎症模型构建,并结合网络药理学预测了蒲公英中茺花素、甘草次酸、木犀草素、科罗素酸等成分与验证核心靶点结合活性良好。

活性导向的 Q-Marker 挖掘策略有效强化了蒲公英化学成分与药效之间的内在联系,为建立更具针对性的质量评价体系提供了依据。但现阶段筛选出的 Q-Marker 仍需结合不同物种、产地及采收期样品的含量分布特征,并通过体内外药效实验进一步验证其代表性和稳定性,方能支撑其应用于质量标准控制。

**3.2.4 蒲公英质量安全性评价** 蒲公英作为药食

两用中药材,其质量安全性亦为影响临床用药及健康产品开发的重要因素。近年来,围绕蒲公英外源性污染物的研究逐渐增多,主要集中于重金属富集特征、农药残留检测方法及安全风险评估等方面。

在重金属污染方面,蒲公英因具有较强的环境适应能力及元素富集特性,可被用作环境污染的指示植物<sup>[98]</sup>。已有研究表明,蒲公英对 Cd、Pb、Cr、Zn、As 等多种重金属均具有一定富集能力,且不同部位间存在显著差异,一般表现为根部对 Cd、Cu 等元素富集能力较强,而地上部分亦可对部分元素产生迁移积累<sup>[99]</sup>。Nazir 等<sup>[100]</sup>研究进一步指出,蒲公英 *Taraxacum officinale* 对多种重金属呈现“Zn>Pb>Cr>As>Cd”的累积趋势,同时,不同生境对其富集特征影响显著,在城市道路及矿区周边区域,受交通排放及工业污染影响,土壤及蒲公英体内 Pb、Cd 等含量明显升高,且与污染源距离呈负相关关系<sup>[101]</sup>。白晓艳等<sup>[102]</sup>对矿区周围土壤蒲公英中重金属含量进行测定,发现其 Pb、Cd、Cr 含量远高于食品安全限量,潜在毒性风险较大。吴航等<sup>[103]</sup>对鞍山地区蒲公英中重金属含量进行测定,健康风险评价结果显示,尽管单一重金属的靶标危害系数 (target hazard quotient, THQ) 多小于 1,但复合暴露风险 (total target hazard quotient, TTHQ) 可超过安全阈值,提示多元素协同污染不容忽视。在作用机制方面,蒲公英在重金属胁迫下通过调节抗氧化酶体系 (SOD、POD、CAT) 及渗透调节物质以缓解氧化损伤,但同时伴随光合能力下降及生长抑制<sup>[104]</sup>;此外,外源化学物质亦可影响其对重金属的吸收行为,如杀菌剂可诱导重金属吸收“滞后效应”,提示多污染物交互作用复杂<sup>[105]</sup>。总体来看,蒲公英重金属富集特征受土壤类型、土地利用方式及人为污染源等多因素影响明显,目前研究对于蒲公英中重金属检测主要采用电感耦合等离子体质谱 (inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)、电感耦合等离子体发射光谱 (inductively coupled plasma optical emission spectrometry, ICP-OES) 及原子吸收光谱 (atomic absorption spectrometry, AAS) 等技术,可实现多元素同时检测,同时元素形态分析逐渐受到重视,为更科学评价其生物有效性提供依据。

随着蒲公英人工栽培规模的扩大,其农药使用及残留问题逐渐受到关注。蒲公英中可检测到有机氯类、有机磷类及氨基甲酸酯类等多种农药残留,

针对农药残留检测,近年来多采用 QuEChERS 前处理结合气相或液相色谱-串联质谱(GC-MS/MS、LC-MS/MS)技术,实现多组分同步检测,具有灵敏度高、选择性强等优点,为蒲公英的种植生产和质量管控提供了数据参考<sup>[106-108]</sup>。在风险评价方面,相关研究显示蒲公英中禁用农药虽有检出,但整体膳食暴露风险较低<sup>[109]</sup>,仅部分样品在生长季节存在超标风险<sup>[110]</sup>。此外, $\gamma$ 射线处理等技术可有效促进农药降解,且对蒲公英主要活性成分影响较小,为其安全性控制提供了新思路<sup>[111]</sup>。

作为全草类药材,蒲公英在生长及贮藏过程中易受到真菌污染并产生真菌毒素<sup>[112]</sup>,常见毒素包括黄曲霉毒素(aflatoxins, AFs)、伏马毒素(fumonisin, FBs)、脱氧雪腐镰刀菌烯醇(deoxynivalenol, DON)等,且多呈复合污染特征<sup>[113]</sup>。目前,基于 LC-MS/MS 的多毒素检测方法已逐步建立,可实现多种真菌毒素的高灵敏检测,为蒲公英质量安全评价提供了重要技术支撑<sup>[114]</sup>。亦有相关研究通过形态学结合分子生物学方法对蒲公英病原菌进行分离与鉴定,并开展抗病种质筛选,为从源头上控制污染风险提供了理论依据<sup>[115]</sup>。

总体而言,当前蒲公英质量安全评价研究已取得一定进展,但仍存在不足:一是多数研究侧重于单一污染物检测,对多污染物协同污染及其累积效应关注不足;二是不同产地、不同种质蒲公英的污染差异缺乏系统比较;三是外源性污染与内在活性成分及药效之间的关联研究仍较为薄弱。未来应加强多技术融合,结合多元素检测、农药多残留分析及生物毒性评价方法,以期构建蒲公英整体协同安全评价体系。

#### 4 结语与展望

蒲公英是一种应用广泛的食药同源中药,富含多种活性成分,具有多种药理作用。同属植物种类繁多,因杂交及无融合生殖特性,给近缘种鉴别带来挑战,DNA 条形码、全基因组测序等分子生物学技术的发展,为蒲公英属植物种属分类及种质鉴定提供了有力的支撑;蒲公英质量评价研究已从传统单一指标,向多指标、整体化及活性导向转变,为产品等级划分、品质评价和品种优选提供了依据,现有研究针对蒲公英抗炎、抗氧化成分展开诸多研究,揭示了蒲公英来源、产地、不同部位及采收的成分差异,为产品质量评价和标准制定提供了依据。

蒲公英植物分布广泛,且不同采收时间与环境条件下,不同种属植物活性成分的积累存在显著差异。未来蒲公英从样品基原控制、产品有效性和安全性方面的研究应更加深入:(1)针对不同基原产品的质量和功效差异,建立基于基原鉴定的质量评价研究,比较不同基原蒲公英的成分和活性差异,推动技术产业化应用,为源头控制和药材溯源提供依据。(2)整合多组学技术挖掘蒲公英抗炎、抗氧化、抗肿瘤等多重药效作用的物质基础,揭示蒲公英酚酸、黄酮、甾醇、倍半萜、多糖等多类型活性成分质量形成机制,为质量调控提供理论支撑。(3)结合药理作用与药效学研究,开展以活性导向的谱效关系研究,构建成分-药效关联,以化学计量学及机器学习筛选能反映多靶点药效的稳定 Q-Marker 组合,通过大样本验证其普适性,构建多指标-多维度质量评价体系。(4)深入开展蒲公英无机元素分布和比较研究,探索“有机成分-无机元素-环境因子”协同作用,揭示药材生长过程无机元素及环境对活性成分的影响,为完善有效性和安全性质量评价体系和分级策略提供依据。(5)开展规范化栽培研究,明确基原、环境因子、栽培措施对蒲公英成分的影响,建立从种植到加工的全产业链质量控制模式,最终实现从源头推动药材实现可追溯、多指标、整体性的质量评价体系建立,构建完善的质量控制方法,为蒲公英规范化开发与产业化应用提供支撑。

**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: 378.
- [2] Fan M, Zhang X, Song H P, et al. Dandelion (*Taraxacum* genus): A review of chemical constituents and pharmacological effects [J]. *Molecules*, 2023, 28(13): 5022.
- [3] Martinez M, Poirrier P, Chamy R, et al. *Taraxacum officinale* and related species: An ethnopharmacological review and its potential as a commercial medicinal plant [J]. *J Ethnopharmacol*, 2015, 169: 244-262.
- [4] Li Y N, Chen Y L, Sun-Waterhouse D. The potential of dandelion in the fight against gastrointestinal diseases: A review [J]. *J Ethnopharmacol*, 2022, 293: 115272.
- [5] 石爱文, 姚佳靖, 王庆, 等. 蒲公英化学成分和药理作用研究进展及其质量标志物预测分析 [J]. *中华中医药学刊*, 2024, 42(9): 38-45.
- [6] 张振华, 马青, 王艳艳, 等. 蒲公英药效物质基础研究

- 进展 [J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(11): 148-152.
- [7] Cord D, Rimbu M C, Popescu L. New prospects in oncotherapy: Bioactive compounds from *Taraxacum officinale* [J]. *Med Pharm Rep*, 2025, 98(3): 290-299.
- [8] Grauso L, Emrick S, de Falco B, et al. Common dandelion: A review of its botanical, phytochemical and pharmacological profiles [J]. *Phytochem Rev*, 2019, 18(4): 1115-1132.
- [9] Sharifi-Rad M, Roberts T H, Matthews K R, et al. Ethnobotany of the genus *Taraxacum*-phytochemicals and antimicrobial activity [J]. *Phytother Res*, 2018, 32(11): 2131-2145.
- [10] Laila U, Kaur J, Sharma K, et al. Dandelion (*Taraxacum officinale*): A promising source of nutritional and therapeutic compounds [J]. *Recent Adv Food Nutr Agric*, 2024, 16(1): 41-56.
- [11] Yan Q Z, Xing Q C, Liu Z, et al. The phytochemical and pharmacological profile of dandelion [J]. *Biomed Pharmacother*, 2024, 179: 117334.
- [12] 袁昌齐. 蒲公英的本草论证和种类鉴定 [J]. 中国野生植物资源, 2001, 20(3): 6-8.
- [13] Wu J H, Sun J L, Liu M Q, et al. Botany, traditional use, phytochemistry, pharmacology and quality control of taraxaci herba: Comprehensive review [J]. *Pharmaceuticals*, 2024, 17(9): 1113.
- [14] 韩艳蕾, 任艳, 曹也, 等. 药用蕨类植物资源现状和人工栽培研究进展 [J]. 中草药, 2026, 57(2): 778-788.
- [15] 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.
- [16] 李海洋, 桂新景, 侯富国, 等. 中药材和中药饮片快速鉴定技术研究进展 [J]. 分析测试学报, 2023, 42(8): 1026-1038.
- [17] 曹晖, 毕培曦, 邵鹏柱. 蒲公英及其混淆品土公英的显微鉴别 [J]. 中药材, 2013, 36(11): 1765-1768.
- [18] 陈巧蓉, 刘超, 尚远宏, 等. 藏药星状凤毛菊、藏蒲公英的生药学鉴定 [J]. 西南民族大学学报: 自然科学版, 2005, 31(6): 939-941.
- [19] 张文智, 冯敏, 李祥, 等. 还阳参与其易混淆品蒲公英的鉴别研究 [J]. 山西中医药大学学报, 2020, 21(1): 62-65.
- [20] Letsiou S, Madesis P, Vasdekis E, et al. DNA barcoding as a plant identification method [J]. *Appl Sci*, 2024, 14(4): 1415.
- [21] 顾选, 崔秀梅, 余春霞, 等. 基于 DNA 条形码—产地—形态分析联用的巴西草药 DENTEDE LE O (蒲公英) 的混伪品鉴定及生药学研究 [J]. 环球中医药, 2015, 8(11): 1291-1294.
- [22] 李杨美汇, 张义, 黄俊, 等. 三种蒲公英属植物 DNA 条形码序列的初步筛选 [J]. 分子植物育种, 2021, 19(15): 5054-5061.
- [23] 李喜凤, 杜云锋, 张红梅, 等. 蒲公英属植物 rDNA ITS 序列测定及分析 [J]. 时珍国医国药, 2012, 23(3): 714-715.
- [24] Kuluev B, Uteulin K, Bari G, et al. Molecular genetic research and genetic engineering of *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin [J]. *Plants*, 2023, 12(8): 1621.
- [25] Zhang Y X, Iaffaldano B J, Zhuang X F, et al. Chloroplast genome resources and molecular markers differentiate rubber dandelion species from weedy relatives [J]. *BMC Plant Biol*, 2017, 17(1): 34.
- [26] Salih R H M, Majeský L, Schwarzacher T, et al. Complete chloroplast genomes from apomictic *Taraxacum* (Asteraceae): Identity and variation between three microspecies [J]. *PLoS One*, 2017, 12(2): e0168008.
- [27] 张占平, 陆佳欣, 徐姣, 等. 药用植物 DNA 条形码与分子标记技术的研究进展 [J]. 沈阳药科大学学报, 2024, 41(5): 653-661.
- [28] 高宁, 程玉鹏, 王振月, 等. 药用植物种质资源鉴定中的分子技术 [J]. 中医药学报, 2008, 36(3): 61-64.
- [29] Gabit B, Karina G, Gulnar G, et al. Multilocus DNA polymorphism of some rubber-bearing dandelions (*Taraxacum* spp.) of Russia and Kazakhstan [J]. *Genet Resour Crop Evol*, 2022, 69(1): 335-348.
- [30] Nowicki M, Zhao Y C, Boggess S L, et al. *Taraxacum kok-saghyz* (rubber dandelion) genomic microsatellite loci reveal modest genetic diversity and cross-amplify broadly to related species [J]. *Sci Rep*, 2019, 9: 1915.
- [31] 李喜凤, 邱天宝, 张红梅, 等. 蒲公英遗传多样性的 ISSR 分析 [J]. 中草药, 2012, 43(10): 2025-2029.
- [32] Nicolai M, Pisani C, Bouchet J P, et al. Discovery of a large set of SNP and SSR genetic markers by high-throughput sequencing of pepper (*Capsicum annuum*) [J]. *Genet Mol Res*, 2012, 11(3): 2295-2300.
- [33] 曹晖, 毕培曦, 邵鹏柱. 香港市售蒲公英及其混淆品土公英的 DNA 指纹鉴别研究 [J]. 中国中药杂志, 1997, 22(4): 197-200.
- [34] 李喜凤, 杜云锋, 张红梅, 等. 蒲公英总 DNA 的提取及其 RAPD-PCR 反应条件的优化 [J]. 时珍国医国药, 2010, 21(6): 1501-1503.
- [35] 安素妨, 余永亮, 许兰杰, 等. 56 份药用蒲公英种质资源农艺性状综合评价 [J]. 种子, 2025, 44(3): 113-119.
- [36] 冯薇, 吴哲, 孟然, 等. 蒲公英白粉病病原菌鉴定及种质资源抗病性评价 [J]. 中国蔬菜, 2025(3): 104-110.
- [37] European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare (EDQM). European Pharmacopoeia 11.0 [S].

- Strasbourg: Council of Europe, 2023.
- [38] The Homeopathic Pharmacopoeia Convention of the United States. Homeopathic Pharmacopoeia of the United States: *Taraxacum officinale* (Monograph No. 9017) and *Taraxacum officinale*, Radix (Monograph No. 9023) [S/OL]. (2012-10-04) [2026-02-13]. <http://www.hpus.com>.
- [39] 中华中医药学会. T/CACM 1021.180—2018 中药材商品规格等级 蒲公英 [S]. 北京: 中华中医药学会, 2018.
- [40] 河北省市场监督管理局. DB13/T 5709—2023 基于酚酸类成分的蒲公英质量评价技术规程 [S]. 石家庄: 河北省市场监督管理局, 2023.
- [41] 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.
- [42] 闫本纯, 李宏伟, 郭青鑫, 等. 基于 NF- $\kappa$ B/CREB/RUNX2 通路探讨蒲公英水提取物对肾结石大鼠肾脏的保护作用 [J]. 中草药, 2024, 55(14): 4796-4802.
- [43] Tanasa (Acretei) M V, Negreanu-Pirjol T, Olariu L, et al. Bioactive compounds from vegetal organs of *Taraxacum* Species (dandelion) with biomedical applications: A review [J]. *Int J Mol Sci*, 2025, 26(2): 450.
- [44] 张晓东, 孙立亚, 孟然, 等. 22 份蒲公英资源酚酸类成分提取及体外功能活性分析 [J]. 江苏农业科学, 2021, 49(19): 190-196.
- [45] Hu C, Kitts D D. Luteolin and luteolin-7-*O*-glucoside from dandelion flower suppress iNOS and COX-2 in RAW264.7 cells [J]. *Mol Cell Biochem*, 2004, 265(1): 107-113.
- [46] Choi B R, Cho I J, Jung S J, et al. Lemon balm and dandelion leaf extract synergistically alleviate ethanol-induced hepatotoxicity by enhancing antioxidant and anti-inflammatory activity [J]. *J Food Biochem*, 2020, 44(8): e13232.
- [47] Rehman S, Ijaz B, Fatima N, et al. Therapeutic potential of *Taraxacum officinale* against HCV NS5B polymerase: *In-vitro* and *in silico* study [J]. *Biomed Pharmacother*, 2016, 83: 881-891.
- [48] Jia Y Y, Guan R F, Wu Y H, et al. *Taraxacum mongolicum* extract exhibits a protective effect on hepatocytes and an antiviral effect against hepatitis B virus in animal and human cells [J]. *Mol Med Rep*, 2014, 9(4): 1381-1387.
- [49] Wang T, Xue B, Shao H, et al. Effect of dandelion extracts on the proliferation of ovarian granulosa cells and expression of hormone receptors [J]. *Chin Med J*, 2018, 131(14): 1694-1701.
- [50] Clare B A, Conroy R S, Spelman K. The diuretic effect in human subjects of an extract of *Taraxacum officinale* Folium over a single day [J]. *J Altern Complementary Med*, 2009, 15(8): 929-934.
- [51] 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.
- [52] Li X H, He X R, Zhou Y Y, et al. *Taraxacum mongolicum* extract induced endoplasmic reticulum stress associated-apoptosis in triple-negative breast cancer cells [J]. *J Ethnopharmacol*, 2017, 206: 55-64.
- [53] 刘晓燕, 龙凤, 赵玉, 等. 蒲公英中有效成分抗肿瘤作用机制的研究进展 [J]. 中草药, 2023, 54(10): 3391-3400.
- [54] Yoon J Y, Cho H S, Lee J J, et al. Novel TRAIL sensitizer *Taraxacum officinale* F. H. Wigg enhances TRAIL-induced apoptosis in Huh7 cells [J]. *Mol Carcinog*, 2016, 55(4): 387-396.
- [55] Qu Y H, Shen Y, Teng L, et al. Chicoric acid attenuates tumor necrosis factor- $\alpha$ -induced inflammation and apoptosis via the Nrf2/HO-1, PI3K/AKT and NF- $\kappa$ B signaling pathways in C28/I2 cells and ameliorates the progression of osteoarthritis in a rat model [J]. *Int Immunopharmacol*, 2022, 111: 109129.
- [56] 岑丽航, 肖瑞琳, 李苗, 等. 蒲公英的抗癌抗炎机制研究进展 [J]. 国际药学研究杂志, 2020, 47(11): 954-961.
- [57] 李雪石, 张彦文. 蒲公英水提取物对链脲佐菌素致糖尿病大鼠的降血糖作用及其机制 [J]. 中草药, 2013, 44(7): 863-868.
- [58] 苏楠楠. 蒲公英萜类成分及其活性研究 [D]. 延吉: 延边大学, 2019.
- [59] Lu J J, Shuai B, Shou Z X, et al. Taraxasterol inhibits tumor growth by inducing apoptosis and modulating the tumor microenvironment in non-small cell lung cancer [J]. *Cancers*, 2022, 14(19): 4645.
- [60] Ren F, Zhang Y, Qin Y H, et al. Taraxasterol prompted the anti-tumor effect in mice burdened hepatocellular carcinoma by regulating T lymphocytes [J]. *Cell Death Discov*, 2022, 8: 264.
- [61] Cui M, Wang X, Yu T, et al. Unveiling the genus *Taraxacum*: From folk medicine to chemodiversity-driven pharmacological and toxicological outcomes—a systematic review [J]. *J Ethnopharmacol*, 2026, 360: 121231.
- [62] Qiao Q G, Song X Z, Zhang C, et al. Structure and immunostimulating activity of polysaccharides derived from the roots and leaves of dandelion [J]. *Chem Biol Technol Agric*, 2024, 11(1): 51.
- [63] 牛亦婷, 刘子彰, 包怡红, 等. 蒲公英多糖提取技术及生物活性的研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2024, 45(7): 204-209.
- [64] 雷京奇, 张泽昭, 任东, 等. 基于 UPLC-MS/MS 法比较不同产地蒲公英叶中 15 种成分含量 [J]. 中国药物

- 警戒, 2024, 21(11): 1256-1263.
- [65] 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.
- [66] 冯倩, 穆丽, 郑伟, 等. 不同产地蒲公英药材中总黄酮和咖啡酸含量分析与评价 [J]. 中国现代中药, 2013, 15(10): 839-841.
- [67] 施亚琴, 朱粉霞, 丁淑敏, 等. 超高效液相色谱法同时测定蒲公英中 5 种活性成分的含量 [J]. 中国医院药学杂志, 2013, 33(09): 677-680.
- [68] 赵娟, 谢世静, 赵兴华, 等. 中药指纹图谱质控方法研究进展 [J]. 云南中医中药杂志, 2020, 41(1): 82-86.
- [69] 李天娇, 包永睿, 王帅, 等. 中药质量控制与评价创新方法研究进展及应用 [J]. 中草药, 2022, 53(20): 6319-6327.
- [70] 马双成, 王莹, 魏锋. 我国中药质量控制模式十年来的实践与探索 [J]. 中国药学杂志, 2023, 58(1): 2-9.
- [71] 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.
- [72] 李超, 苏晓楠, 朱法根, 等. 蒲地蓝消炎口服液源头把控: 基于超高效液相指纹图谱的蒲公英药材质量研究 [J]. 中国中药杂志, 2020, 45(18): 4307-4315.
- [73] 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.
- [74] 刘爱朋, 郭利霄, 薛紫鲸, 等. 基于指纹图谱和多组分含量测定的蒲公英药材质量控制研究 [J]. 中国中药杂志, 2018, 43(18): 3715-3721.
- [75] 史蓝田, 刘晓杰, 李晓琳, 等. 基于特征图谱和化学标志物的蒲公英种质资源评价 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2026, 32(7): 267-275.
- [76] 张泽昭, 雷京奇, 高乐, 等. 基于“色-气-味”数字化表征的蒲公英产地鉴别 [J]. 中草药, 2025, 56(10): 3661-3667.
- [77] 肖水明, 初晞, 廖保生, 等. 本草基因组学在中药材质量均一性评价与控制中的应用 [J]. 中草药, 2025, 56(9): 3291-3304.
- [78] 周德来, 王春霞, 李富云, 等. 组学技术在党参质量评价与药理作用机制研究中的应用 [J]. 中草药, 2025, 56(7): 2536-2546.
- [79] 孔佳琦, 孟宪双, 尚宇瀚, 等. 青胶蒲公英化学成分鉴定及质谱裂解规律研究 [J]. 质谱学报, 2022, 43(3): 278-286.
- [80] Zhao X, Li Y G, Huang Y C, *et al.* Integrative analysis of the metabolome and transcriptome reveals the mechanism of polyphenol biosynthesis in *Taraxacum mongolicum* [J]. *Front Plant Sci*, 2024, 15: 1418585.
- [81] Zhang S B, Li C, Gu W, *et al.* Metabolomics analysis of dandelions from different geographical regions in China [J]. *Phytochem Anal*, 2021, 32(6): 899-906.
- [82] 刘新月, 王桂英, 刘晓杰, 等. 基于非靶向代谢组学分析不同种原蒲公英的代谢产物差异 [J]. 中草药, 2025, 56(24): 9154-9164.
- [83] Wu Z, Meng R, Feng W, *et al.* Study of dandelion (*Taraxacum mongolicum* Hand. -Mazz.) salt response and caffeic acid metabolism under saline stress by transcriptome analysis [J]. *Genes*, 2024, 15(2): 220.
- [84] 刘昌孝, 陈士林, 肖小河, 等. 中药质量标志物 (Q-Marker): 中药产品质量控制的新概念 [J]. 中草药, 2016, 47(9): 1443-1457.
- [85] 卫强, 刘克敏. 中药谱效关系的研究进展 [J]. 中药新药与临床药理, 2019, 30(5): 634-638.
- [86] 张建锋, 侯长周, 侯晓杰, 等. 基于谱效关联技术的中药质量控制研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(3): 205-209.
- [87] Wu Z, Yang Y H, Li Z J, *et al.* Development of dandelion (*Taraxacum* spp.) quality evaluation technology based on phenolic acids [J]. *Folia Hortic*, 2022, 34(2): 187-209.
- [88] 王琴, 王华, 袁成业, 等. 基于药材质量优劣数字化方法在蒲公英药材质量评价中的应用研究 [J]. 北京中医药, 2019, 38(1): 69-72.
- [89] 关欣, 王鹤辰, 包永睿, 等. 灰色关联分析中药蒲公英不同部位对 RAW264.7 细胞的抑制作用 [J]. 中国现代应用药学, 2021, 38(11): 1354-1357.
- [90] 罗利利, 薛姑美, 慕湘帆, 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.
- [91] 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.
- [92] 欧丽萍, 陈良琪, 顾若琪, 等. 基于网络药理学和实验验证研究蒲公英颗粒保护小鼠急性肺损伤的作用机制 [J/OL]. 海南医学院学报, (2025-04-16) [2026-01-20]. <https://doi.org/10.13210/j.cnki.jhmu.20250415.001>.
- [93] 周鑫辰, 董姝含, 张卓, 等. 基于蒲公英-桑叶治疗急性髓系白血病潜在机制的网络药理学分析 [J]. 吉林大学学报: 医学版, 2024, 50(4): 1087-1097.
- [94] 赵光耀, 赵坤, 蒋文雯, 等. 基于网络药理学对蒲公英抑制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性成分及作用机制的研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2020, 32(3): 403-413.
- [95] Liu F J, Yang J, Chen X Y, *et al.* Chemometrics integrated with *in silico* pharmacology to reveal antioxidative and anti-inflammatory markers of dandelion for its quality control [J]. *Chin Med*, 2022, 17(1): 125.

- [96] Aabideen Z U, Mumtaz M W, Akhtar M T, *et al.* Anti-obesity attributes; UHPLC-QTOF-MS/MS-based metabolite profiling and molecular docking insights of *Taraxacum officinale* [J]. *Molecules*, 2020, 25(21): 4935.
- [97] 咎立峰, 王如, 郭海燕, 等. 基于 UPLC-Q-TOF/MS 和网络药理学分析蒲公英水提物的抗炎成分及其机制 [J/OL]. 食品科学, (2025-12-22) [2026-01-18]. <https://link.cnki.net/urlid/11.2206.TS.20251222.1228.024>.
- [98] Lisiak-Zielińska M, Borowiak K, Budka A, *et al.* How polluted are cities in Central Europe? - Heavy metal contamination in *Taraxacum officinale* and soils collected from different land use areas of three representative cities [J]. *Chemosphere*, 2021, 266: 129113.
- [99] 王哲, 周铜, 赵莹晨, 等. 内蒙古白云鄂博矿区优势植物重金属和稀土元素富集特征 [J]. 中国稀土学报, 2022, 40(3): 512-522.
- [100] Nazir S, Ahmad K S, Zafar M, *et al.* *Taraxacum officinale* as sentinel for heavy metal bioaccumulation and phytostabilization in urban soils [J]. *Int J Environ Sci Technol*, 2025, 23(1): 60.
- [101] Bartkowiak A, Lemanowicz J, Rydlewska M, *et al.* The impact of proximity to road traffic on heavy metal accumulation and enzyme activity in urban soils and dandelion [J]. *Sustainability*, 2024, 16(2): 812.
- [102] 白晓艳, 李静, 高娃, 等. 呼伦贝尔神华宝日希勒矿区周围土壤蒲公英中 Pb、Cr、Cd 重金属形态分布特征研究 [J]. 赤峰学院学报: 自然科学版, 2022, 38(7): 6-10.
- [103] 吴航, 高迪, 贾莲, 等. 鞍山地区 4 种野菜重金属含量测定及健康风险评估 [J]. 鞍山师范学院学报, 2024, 26(4): 31-37.
- [104] 徐术菁, 类淑营, 周霞, 等. Pb 胁迫对东北蒲公英生长及生理的影响 [J]. 北方园艺, 2022(13): 70-78.
- [105] Adamczyk-Szabela D, Lisowska K, Wolf W M. Hysteresis of heavy metals uptake induced in *Taraxacum officinale* by thiuram [J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 20151.
- [106] 秦晋钰, 魏嘉波. QuEChERS-高效液相色谱/串联质谱法测定药食同源中药材中 30 种农药残留 [J]. 山西化工, 2024, 44(11): 67-71.
- [107] 董冰岩, 沈璐璐, 章海啸. 超高效液相色谱法测定陈皮、蒲公英根中 2 种氨基甲酸酯类农药残留 [J]. 农药, 2020, 59(4): 281-283.
- [108] 杨秀虾. 气相色谱法测定蒲公英中有机磷农药残留 [J]. 现代食品, 2020(6): 166-169.
- [109] 王娣, 张红, 张瑜, 等. 白芍、黄芪及蒲公英中 33 种禁用农药残留分析及风险评估 [J]. 陕西农业科学, 2025, 71(12): 82-87.
- [110] Skubic M, Baša Česnik H, Velikonja Bolta Š, *et al.* Is common dandelion (*Taraxacum officinale* Agg.) foraged for food in vineyards pesticide residues free? [J]. *Foods*, 2025, 14(4): 684.
- [111] Zhao Z L, Chen M, Zhao X, *et al.* Effect of gamma irradiation on the degradation rate of various pesticides and active ingredients in dandelion [J]. *Food Chem*, 2025, 464: 141523.
- [112] 秦筱茂. 九种药材中真菌种类及污染真菌毒素初探 [D]. 北京: 北京协和医学院, 2011.
- [113] 焦明月. 中药材中真菌污染风险及蒲公英中真菌毒素检测方法研究 [D]. 镇江: 江苏大学, 2024.
- [114] 许婧, 潘惠勤, 谭琰南, 等. LC-MS/MS 在中药真菌毒素检测中的应用进展 [J]. 分析测试学报, 2025, 44(9): 1856-1870.
- [115] 冯薇, 吴哲, 孟然, 等. 蒲公英白粉病病原菌鉴定及种质资源抗病性评价 [J]. 中国蔬菜, 2025(3): 104-110.

[责任编辑 时圣明]