

# 蒲公英叶和茎中多酚、多糖类成分解析及 抗氧化、抗菌活性

徐雪峰, 闫浩, 杜金凤, 李桂娟

(海南科技职业大学 化学与材料工程学院, 海南 海口 571126)

**摘要:** 蒲公英作为一种多年生药食同源的菊科属草本植物,富含多酚和多糖等活性成分,具有良好的抗氧化、抗菌活性。该研究以蒲公英叶、茎为研究对象,通过超声波辅助乙醇-水浸提制备蒲公英多酚提取物、水提醇沉法制备多糖提取物,利用液相色谱-质谱联用鉴定多酚提取物中酚类化合物,利用液相色谱鉴定多糖提取物中单糖组成。结果表明,蒲公英叶主要含咖啡酸(67.8 mg/g),蒲公英茎中主要含木犀草素(89.3 mg/g);叶、茎多糖中均含D-甘露糖、D-鼠李糖、D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖、D-半乳糖、D-木糖7种单糖,其中茎多糖提取物中单糖含量占比前2位分别为D-半乳糖醛酸(11.779%)和D-半乳糖(9.758%),叶多糖提取物中单糖含量占比前2位分别为D-半乳糖(7.492%)和D-葡萄糖(5.876%)。此外,蒲公英茎多酚提取物较蒲公英叶多酚提取物具有更强的ABTS<sup>+</sup>自由基清除能力,其半数抑制浓度(IC<sub>50</sub>)分别为0.59 mg/mL和0.76 mg/mL;并且蒲公英茎多酚提取物对表皮葡萄球菌有明显的抑菌效果,通过诱导细胞膜破裂产生的抗菌作用,其最低抑菌浓度为0.95 mg/mL,蒲公英叶或茎多糖提取物无抑菌效果。

**关键词:** 植物组织;活性成分;自由基清除能力;总还原力;表皮葡萄球菌

## Component Analysis of Dandelion Leaf and Stem Polyphenol and Polysaccharide as well as Their Antioxidation and Antibacterial Functions

XU Xuefeng, YAN Hao, DU Jinfeng, LI Guijuan

(College of Chemical and Material Engineering, Hainan Vocational University of Science and Technology,  
Haikou 571126, Hainan, China)

**Abstract:** As an Asteraceae herbaceous plant, dandelion (*Taraxacum mongolicum*) has been used as a food and medicine homology for many years. Rich in active ingredients including polyphenols and polysaccharides, dandelion has ideal antioxidant and antibacterial activities. In this study, the dandelion leaf and stem were selected as research objects. The dandelion polyphenol extract was prepared by ultrasonic-assisted ethanol-water extraction and phenolic compounds were identified by high pressure chromatography-mass spectrometry-mass spectrometry (HPLC-MS/MS). Besides, polysaccharide extract was prepared by water extraction and alcohol precipitation and the monosaccharide composition in the polysaccharide extract was identified by HPLC. The results showed that the the dandelion leaf mainly contained caffeic acid (67.8 mg/g) while the dandelion stem mainly contained luteolin (89.3 mg/g). D-mannose, D-rhamnose, D-glucuronic acid, D-galacturonic acid, D-glucose, D-galactose, and D-xylose were found in the leaf and stem polysaccharides. In monosaccharide content percentage from the stem polysaccharide extract, the top two monosaccharides were D-galacturonic acid (11.779%) and D-galactose (9.758%). In contrast, the top two monosaccharides in the leaf polysaccharide extract were D-galactose (7.492%) and D-glucose (5.876%), respectively. In addition, the dandelion stem polyphenol extract had a stronger ABTS<sup>+</sup> free radical scavenging ability than leaf polyphenol extract, with half-maximal inhibitory concentration (IC<sub>50</sub>) of 0.59 mg/mL and 0.76 mg/mL, respectively. Moreover, the dandelion stem polyphenol extract induced cell membrane rupture, exhibiting a notable inhibition effect on *Staphylococcus epidermidis*, with minimal inhibitory concentration of 0.95 mg/mL, but the leaf or stem polysaccharide extract did not show any inhibition effect.

**Key words:** plant tissue; active component; free radical scavenging activities; total reducing power; *Staphylococcus epidermidis*

引文格式:

徐雪峰, 闫浩, 杜金凤, 等. 蒲公英叶和茎中多酚、多糖类成分解析及抗氧化、抗菌活性[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(8): 182-190.

XU Xuefeng, YAN Hao, DU Jinfeng, et al. Component Analysis of Dandelion Leaf and Stem Polyphenol and Polysaccharide as well as Their Antioxidation and Antibacterial Functions[J]. Food Research and Development, 2025, 46(8): 182-190.

蒲公英 (*Taraxacum*) 又名黄花地丁或婆婆丁, 是具有千年生长历史的菊科多年生药食同源草本植物, 全球均有广泛分布, 在亚洲、欧洲、北美洲等北半球的温带以及亚热带地区有 2 000 余种<sup>[1]</sup>。目前我国的蒲公英有 70 种以上, 几乎遍及全国; 主要分布在东北、华北、华东、华中、西南等区域, 如内蒙古、吉林、江苏等地<sup>[2]</sup>, 品种以蒙古蒲公英、东北蒲公英、碱地蒲公英等为主。研究表明, 蒲公英含黄酮类、酚酸类、香豆素类、植物甾醇类、三萜类及倍半萜内酯类、多糖等活性成分<sup>[3]</sup>, 富含酚酸类化合物(如咖啡酸和绿原酸)、黄酮类化合物(如木犀草素、槲皮素)等。研究表明, 蒲公英具有保护肝胆、清热解毒、光谱抗菌、抗氧化和增强免疫等作用<sup>[4-5]</sup>。

国内外对蒲公英酚类等活性成分的研究较为关注。Williams 等<sup>[6]</sup>从蒲公英花和叶中鉴定出木犀草素- $\beta$ -7-O-葡萄糖甙及木犀草素-3'-O-甲醚。Schütz 等<sup>[7]</sup>研究发现蒲公英花、叶、根均富含黄酮(木犀草素、芹菜素和槲皮素及其糖苷衍生物)、酚酸(咖啡酸、绿原酸、香豆酸、阿魏酸等)、植物甾醇( $\beta$ -谷甾醇、豆甾醇)以及萜类化合物(山金车烯二萜、款冬二萜), 具有良好的抗氧化、抗炎、降脂、抗动脉粥样硬化、降血糖、抗血栓、抗菌和免疫提高等生理活性。凌云等<sup>[8]</sup>从蒲公英中分离鉴定槲皮素-3-O- $\beta$ -葡萄糖甙和槲皮素-3-O- $\beta$ -半乳糖甙。陈景耀等<sup>[9]</sup>研究发现, 蒲公英黄酮提取物具有较强清除超氧阴离子自由基( $\cdot\text{O}_2^-$ )作用, 测得芦丁含量为 5.49%, 槲皮素含量为 1.22%。碱地蒲公英中发挥抗菌和抗氧化作用的成分主要为绿原酸和咖啡酸<sup>[10]</sup>。研究表明, 蒲公英水提浸出液对金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、表皮葡萄球菌(*Staphylococcus epidermidis*)、粪肠球菌(*Enterococcus faecalis*)、大肠埃希菌(*Escherichia coli*)和变形杆菌(*Proteus*)等食源病菌具有抑制作用<sup>[11]</sup>。此外, 蒲公英叶多糖具有良好的清除 DPPH 自由基和 NO 的能力, 可作为潜在的功能食品因子<sup>[12]</sup>。然而, 当前缺乏对蒲公英叶与茎的功能组分的系统研究, 尤其是其多酚多糖的组成及其抗氧化、抑菌活性主效成分的物质基础并不明确。

为此, 本研究以蒲公英叶、茎为研究对象, 通过超声波辅助乙醇-水浸提制备多酚提取物并通过水提醇

沉等方法制备多糖提取物, 以 ABTS<sup>+</sup> 自由基清除率、总还原力为指标, 以表皮葡萄球菌为抑菌模型, 评价其生物活性, 通过分析手段揭示其主效成分, 以期为蒲公英功能食品的开发利用提供实践及理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

蒲公英叶粉、蒲公英茎粉: 4 月采摘于海口, 50 °C 烘干至恒重后粉碎后过 60 目筛; 乙醇、没食子酸、福林酚: 南京化学试剂股份有限公司; 咖啡酸、木犀草素、2, 2'-联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸[2, 2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]、没食子酸标准品、葡萄糖标准品、三氟乙酸(trifluoroacetic acid, TFA)、1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮(1-phenyl-3-methyl-5-pyrazolone, PMP)(均为色谱纯): 上海阿拉丁生化科技股份有限公司; D-甘露糖、D-鼠李糖、D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖、D-半乳糖、D-木糖标准品: 上海百灵威化学技术有限公司; 活细菌/死细菌染色试剂盒: 上海贝博生物科技有限公司。除特殊标记, 其余试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

电子天平(TE124s): 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司; 紫外分光光度计(UV-1900i): 日本岛津公司; 酶标仪(Multiskan GO): 美国赛默飞世尔科技有限公司; 电热恒温鼓风干燥箱(DHG-9030): 上海索谱仪器有限公司; 真空干燥箱(DZF-6020): 上海一恒科学仪器有限公司; 旋转蒸发器(RV 3): 德国艾卡公司; 灭菌锅(YXQ-50A): 上海博讯实业有限公司医疗设备厂; 超净工作台(SW-CJ-2FD): 苏州净化设备有限公司; 扫描电子显微镜(EVO LS10): 德国蔡司公司; 共聚焦激光扫描显微镜(UltraVIEW®VoX): 美国 Perkin-Elmer 公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 蒲公英提取物的制备

##### 1.3.1.1 多酚提取物制备

参考刘杨等<sup>[13]</sup>的方法, 将 3.5 g 蒲公英叶或茎干粉与 75% 乙醇提取溶剂混合, 在超声功率 120 W、提取温度 50 °C 和固液比 1:20 (g/mL) 条件下, 连续超声辅助提取 2 次, 每次超声时间 30 min, 合并滤液抽滤, 旋

蒸除醇后加蒸馏水溶解进行分散,并在-40℃下真空冷冻干燥,获得蒲公英粗提取物。

### 1.3.1.2 多糖提取物制备

参考徐晋等<sup>[14]</sup>的水提醇沉法,将4.0g蒲公英叶或茎粉按照固液比1:50(g/mL)加入纯水作为提取溶剂,100℃下提取2次,每次提取1.0h,合并提取液,60℃下浓缩后加80%乙醇,在4℃下静置24h沉淀,以8000 r/min离心10 min收集沉淀物(粗多糖),用蒸馏水复溶,4℃下静置24h沉淀,利用10000 Da的玻璃纸透析48h,55℃热水复溶,抽滤除杂收集滤液后,再用80%乙醇醇沉,6000 r/min离心5 min,冷冻干燥获较高纯度的蒲公英粗多糖。

### 1.3.2 多酚的测定

#### 1.3.2.1 多酚标准曲线的建立

配制不同浓度没食子酸标准液(0.04~0.20 mg/mL),取1.0 mL标准液与0.5 mL福林酚试剂及4.0 mL蒸馏水充分混合摇匀,加入1.5 mL 20% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>溶液定容至10.0 mL;在室温下避光反应60 min后,记录该混合溶液在765 nm处吸光度,以没食子酸溶液的浓度为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制标准曲线。

#### 1.3.2.2 蒲公英样品中多酚含量的测定

称取适量的蒲公英叶或茎粉多酚提取物,利用蒸馏水配制浓度为0.1~0.6 mg/mL样品溶液,按照1.3.2.1方法在765 nm波长测定样品溶液的吸光度,根据标准曲线,计算多酚含量。

#### 1.3.2.3 蒲公英多酚提取物的组成

利用甲醇精确配制咖啡酸、木犀草素的混合标准溶液,其浓度分别为0.2、0.1 mg/mL。按照谢普军等<sup>[15]</sup>的测定方法,进样量分别为5、10、15、20、25 μL, HPLC梯度洗脱条件:流动相A为2%乙酸-水,流动相B为甲醇,0 min,5% B;0~10 min,5%~20% B;10~20 min,20%~40% B;15~25 min,40%~60% B;25~35 min,60%~80% B;35~45 min,5% B,检测波长280 nm。

### 1.3.3 多糖的测定

#### 1.3.3.1 多糖标准曲线的建立

配制0.1~0.6 mg/mL的葡萄糖标准液,加入5%苯酚1.0 mL和浓硫酸5.0 mL,摇匀冷却,室温放置30 min后在490 nm波长下测定标准溶液的吸光度,以葡萄糖浓度(mg/mL)为横坐标,以吸光度为纵坐标,绘制标准曲线。

#### 1.3.3.2 蒲公英样品中多糖含量的测定

分别精密称取样品蒲公英叶和茎中提取的粗多糖并用水配制成浓度分别为0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mg/mL的样品溶液,按照1.3.3.1方法对样品溶液进行吸光度的检测并绘制浓度与吸光度的响应曲线。

#### 1.3.3.3 蒲公英多糖提取物中单糖组成

参照任浩娜等<sup>[16]</sup>的方法,以TFA水解蒲公英多糖,

水解产物加入PMP进行衍生化,采用反相高效液相色谱法,测定蒲公英多糖提取物中单糖的衍生物。色谱柱:Hypersil ODS C18柱(250 mm×4.6 mm,5 μm);流动相:100 mmol/L醋酸铵缓冲液(醋酸铵-冰醋酸,pH5.5,体积比为100:1):乙腈=77:23(体积比);检测波长245 nm。

### 1.3.4 抗氧化性及总还原力的测定

#### 1.3.4.1 ABTS<sup>+</sup>自由基清除率

参照张海芬等<sup>[17]</sup>的方法,在室温避光条件下,通过7 mmol/L ABTS和2.45 mmol/L K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>反应16 h生成ABTS溶液,利用磷酸缓冲盐溶液(pH7.4,84 mmol/L)将新制的ABTS溶液稀释至在734 nm下的吸光度为0.72;取该ABTS溶液3.9 mL与蒲公英多酚或多糖提取液(0.1~1.2 mg/mL)0.1 mL在试管中摇匀后反应6 min,并测定其734 nm处吸光度,并以V<sub>c</sub>作为阳性对照,蒸馏水作为空白对照。ABTS<sup>+</sup>自由基清除率(X,%)计算公式如下。

$$X = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100$$

式中:A<sub>0</sub>为未加样品的吸光度(0.72);A<sub>1</sub>为加入样品的吸光度。

#### 1.3.4.2 总还原力

参考Oyaizu<sup>[18]</sup>的方法,将蒲公英多酚或多糖提取液1.0 mL、磷酸缓冲液(0.2 mol/L,pH6.6)2.5 mL和K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>](1%)溶液2.5 mL快速混合摇匀后,在50℃下孵化20 min后冷却,接着加入10%三氯乙酸2.5 mL混匀,取2.5 mL混合液与2.5 mL蒸馏水和0.5 mL氯化亚铁(0.1%)混合。混合液在700 nm下测吸光度,并以V<sub>c</sub>作为阳性对照,蒸馏水作为空白对照。

### 1.3.5 最小抑菌浓度的测定

参考任世达等<sup>[19]</sup>的二倍梯度稀释方法。取稀释至10<sup>8</sup> CFU/mL的表皮葡萄球菌液(米勒-海顿肉汤作为培养基),加到已灭菌的96孔板中,梯度稀释使得葡萄球菌每孔的多酚或多糖提取物样品的抑菌液终浓度为4、2、1、0.5、0.25 mg/mL,将96孔板放入恒温(37℃)培养箱中培养24 h,以肉眼观察到无明显沉淀为最小抑菌浓度(minimal inhibitory concentration, MIC)。用酶标仪(35℃,波长600 nm,振荡45 min)检测吸光度;培养箱培养24 h后再次用酶标仪检测吸光度,以抑制细菌生长的最低浓度为MIC(Y,%),计算公式如下。

$$Y = (A_0 - A_2) / A_0 \times 100$$

式中:A<sub>0</sub>为未加样品的吸光度;A<sub>2</sub>为加入样品的吸光度。

### 1.3.6 菌体形貌表征

以对数期的表皮葡萄球菌为研究对象,经蒲公英样品处理后,测定其细胞膜渗透性变化,通过共聚焦激光扫描显微镜评估细菌活力。将细菌细胞悬浮液用0.85% NaCl稀释至约10<sup>8</sup> CFU/mL。将0.1 mL样品溶液与1.0 mL细菌悬浮液混合,经4 h孵育后,在4℃下

4 500×g 离心 10 min 获得菌体细胞,并用 0.85% NaCl 缓冲液重新混悬,通过活细菌/死细菌染色试剂盒的方法进行染色。在 480 nm 的激光波长下监测探针处理的细胞。

采用扫描电子显微镜研究样品对表皮葡萄球菌细胞微观结构的影响。采用 1.0 mg/mL 样品处理细菌 24 h,将处理过的细菌悬浮液以 6 000×g 离心 10 min 获得沉淀物(细菌),通过 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH7.2)洗涤沉淀物后将其重悬于 6.0 mL 磷酸缓冲液(10<sup>8</sup> CFU/mL)中。在 20 kV 的加速电压下观察其微观结构。

#### 1.4 数据统计与分析

数据利用 Excel 和 SPSS 19 软件进行处理统计,采用 Origin 7 软件绘制分析图。

## 2 结果与分析

### 2.1 多酚和多糖标准曲线的绘制

图 1 为蒲公英提取物中多酚和多糖的标准曲线。

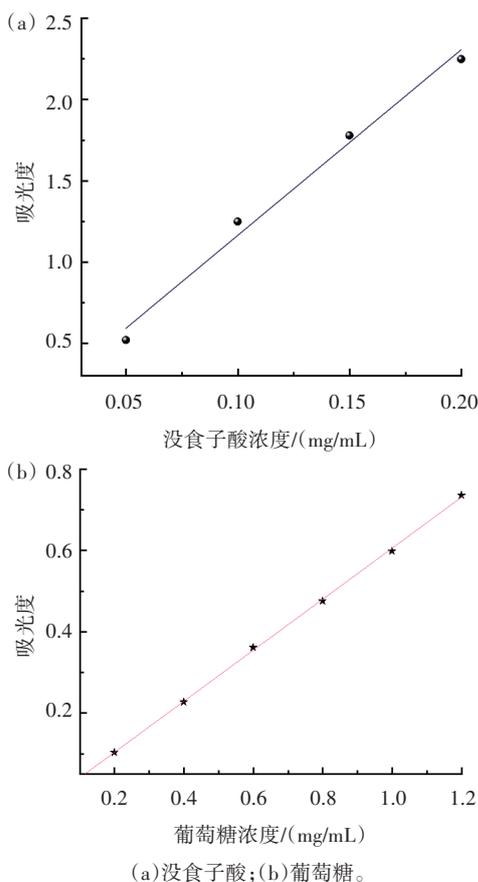


图 1 没食子酸和葡萄糖的标准曲线

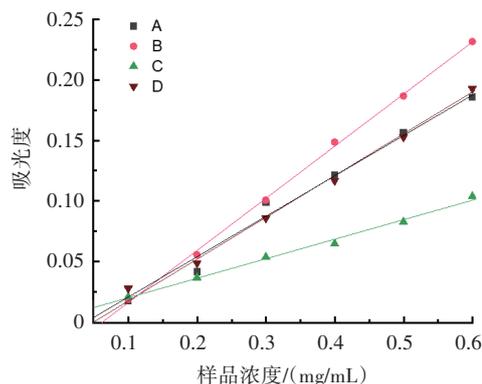
Fig.1 Standard curves of gallic acid and glucose

由图 1(a)可知,在 0.04~0.20 mg/mL 范围内,以没食子酸浓度测定多酚的拟合曲线良好, $R^2$  为 0.977,拟合的线性方程为  $Y=11.08X+0.12$ 。由图 1(b)可知,在 0.2~1.2 mg/mL 范围内,以葡萄糖浓度测定多糖的拟合

曲线良好, $R^2$  为 0.999,拟合的线性方程为  $Y=0.627X-0.0222$ 。多酚及多糖拟合的结果,与已有研究结果相似<sup>[20]</sup>。

### 2.2 蒲公英提取物中多酚、多糖含量测定结果

蒲公英提取物中多酚、多糖含量测定结果见图 2。



A. 叶多酚提取物;B. 茎多酚提取物;C. 叶多糖提取物;D. 茎多糖提取物。

图 2 多酚与多糖含量测定结果

Fig.2 Measurement results of polyphenols and polysaccharides

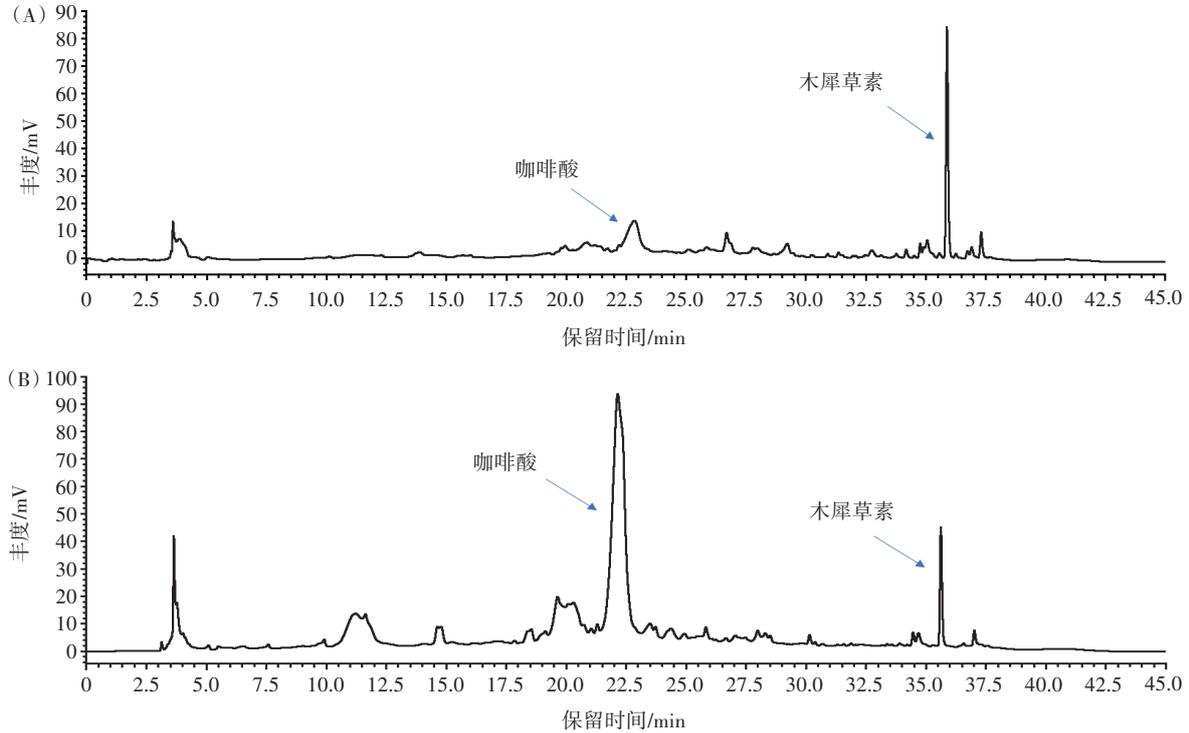
由图 2 可知,叶多酚提取物的线性方程为  $Y=0.35X-0.017$ , $R^2=0.995$ ;茎多酚提取物的线性方程为  $Y=0.43X-0.027$ , $R^2=0.999$ ;叶多糖提取物的线性方程为  $Y=0.16X-0.0042$ , $R^2=0.992$ ;茎多糖提取物的线性方程为  $Y=0.33X-0.013$ , $R^2=0.992$ 。结合 2.1 的拟合方程,计算可得茎多糖提取物中多糖含量为 0.596 1 mg/mg 干基,即多糖含量为 59.61%;叶多糖提取物中多糖含量为 0.294 5 mg/mg 干基,即多糖含量为 29.45%。计算可得茎多酚提取物中多酚含量 0.028 7 mg/mg 干基,即多酚含量为 2.87%;叶多酚提取物中多酚含量 0.013 5 mg/mg 干基,即多酚含量为 1.35%。由此可见,蒲公英茎多糖提取物中多糖含量较叶多糖提取物高,但蒲公英叶多酚提取物多酚含量较茎多酚提取物高,可能是由光合作用强度不同以及多糖与多酚等次生代谢物的累计途径和生物量不同导致<sup>[21-22]</sup>。

### 2.3 蒲公英提取物中多酚组成和多糖的单糖组成

#### 2.3.1 蒲公英茎与叶多酚组成分析

图 3 为蒲公英茎和叶多酚提取物中多酚的组成。表 1、表 2 分别为蒲公英茎、叶多酚提取物中多酚组成的高效液相色谱串联质谱(high performance liquid chromatography - tandem mass spectrometry, HPLC - MS/MS)鉴定结果。

由图 3(A)和图 3(B)可知,蒲公英多酚提取物中主要成分为咖啡酸和木犀草素;茎和叶多酚提取物主要成分不同,茎多酚提取物主要为木犀草素(65.68 mg/g),而叶多酚提取物为咖啡酸(97.32 mg/g)。由表 1 和表 2 可知,蒲公英茎多酚提取物含有咖啡酸、阿魏酸、蒲公英苦素、蒲公英酸、芹菜素、木犀草素、槲皮素、绿原



(A)茎多酚提取物;(B)叶多酚提取物。

图3 蒲公英多酚提取物中多酚组成

Fig.3 Polyphenol composition in dandelion polyphenol extract

表1 通过 HPLC-MS/MS 鉴定茎多酚提取物中多酚组成

Table 1 Polyphenol composition of stem polyphenol extract by HPLC-MS/MS

化合物	分子离子峰/Da	丰度	保留时间/min	碎片离子峰(m/z)
咖啡酸	181	1.22×10 <sup>5</sup>	21.881	181.1, 153, 135, 125.2, 107, 91, 76.9
阿魏酸	195	2.67×10 <sup>4</sup>	14.897	195.1, 163.1, 145, 134.9, 116.9, 107, 88.9
蒲公英素	243.3	1.81×10 <sup>5</sup>	29.380	243.1, 173.2, 145.2, 131, 105.1, 90.8, 79
蒲公英酸	263.3	5.18×10 <sup>4</sup>	15.887	263, 199.1, 171.1, 147.1, 127.9
芹菜素	271	5.92×10 <sup>5</sup>	30.933	271.1, 117.2, 102.8, 149.2
木犀草素	287	6.98×10 <sup>4</sup>	19.083	286.9, 268.9, 241.1, 213.1, 165.1, 153
槲皮素	303	4.29×10 <sup>5</sup>	17.838	303, 256.9, 229
绿原酸	355	2.19×10 <sup>5</sup>	11.784	354.8, 266.9, 250.9, 72.8, 339, 284.9
蒲公英甾醇	427.2	1.41×10 <sup>4</sup>	18.190	427.6, 383.5
木犀草素-7-糖苷	449	3.20×10 <sup>5</sup>	15.579	449, 286.90
菊苣酸	475	1.26×10 <sup>5</sup>	16.174	475.1, 457.2, 362

表2 通过 HPLC-MS/MS 鉴定叶多酚提取物中多酚组成

Table 2 Polyphenol composition of leaf polyphenol extract by HPLC-MS/MS

化合物	分子离子峰/Da	丰度	保留时间/min	碎片离子峰(m/z)
咖啡酸	181.15	3.15×10 <sup>5</sup>	20.393	181.1, 163.1, 135, 106.9, 91
阿魏酸	195.19	1.01×10 <sup>5</sup>	22.970	195.1, 177.1, 165.1, 159.1, 135.1, 91, 79.1
蒲公英素	243.3	3.83×10 <sup>5</sup>	29.374	243.1, 173.2, 145.1, 131.2, 105.1, 91
蒲公英酸	263.3	1.93×10 <sup>6</sup>	30.529	263.2, 245.2, 67, 81, 105, 133.1, 147.1, 175.2
芹菜素	271.24	6.41×10 <sup>5</sup>	30.365	271.2, 117, 1, 163.1,
木犀草素	287.23	9.10×10 <sup>5</sup>	20.710	286.9, 241, 153
槲皮素	303.24	4.37×10 <sup>5</sup>	17.816	302.9, 257, 229
绿原酸	355.31	1.11×10 <sup>5</sup>	30.447	355, 266.9, 250.9, 72.8
菊苣酸	475.19	1.91×10 <sup>4</sup>	27.995	474.8, 339, 407, 428.8, 456.8

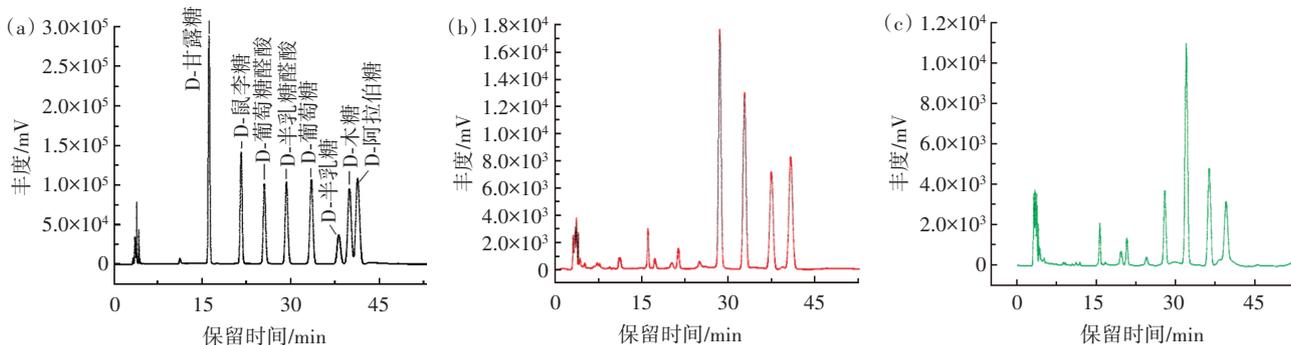
酸、蒲公英甾醇、木犀草素-7-糖苷、菊苣酸,比蒲公英叶多酚提取物组成更丰富,而蒲公英甾醇和木犀草素-7-糖苷在蒲公英叶提取物中并未检测出。此外,除咖啡酸和木犀草素含量(>65 mg/g)较高外,其他鉴定出的化合物含量均小于6 mg/g。因此,蒲公英叶多酚提

取物与茎多酚提取物中多酚组成相似,但主要成分不同,该研究结果与已有的研究结果相似<sup>[23]</sup>。

### 2.3.2 蒲公英茎与叶多糖提取物中单糖组成

图4和表3为蒲公英多糖提取物中单糖的组成。

由图4和表3可知,通过与单糖标准品的保留时



(a) 单糖标准品;(b)茎多糖提取物;(c)叶多糖提取物。

图4 蒲公英多糖提取物中单糖组成

Fig.4 Monosaccharide compositions of dandelion polysaccharide extract

表3 蒲公英茎和叶多糖提取物中的单糖组成

Table 3 Monosaccharide composition in dandelion stem and leaf polysaccharide extract

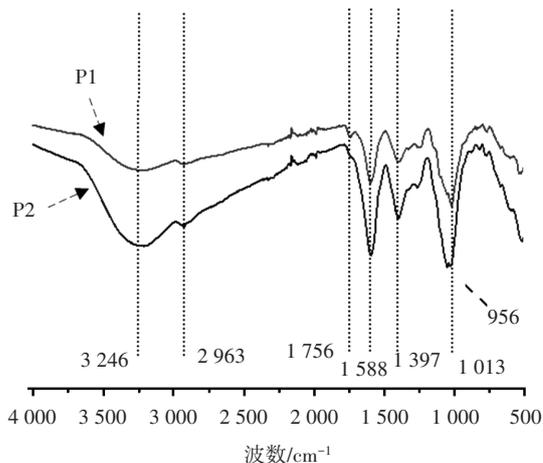
样品	D-甘露糖/%	D-鼠李糖/%	D-葡萄糖醛酸/%	D-半乳糖醛酸/%	D-葡萄糖/%	D-半乳糖/%	D-木糖/%	D-阿拉伯糖/%
茎多糖提取物	0.590	0.608	0.249	9.758	7.287	11.779	0.089	-
叶多糖提取物	0.444	0.547	0.232	1.941	5.876	7.492	2.104	-

注:-表示未检出。

间对比可知,蒲公英茎和叶多糖提取物中单糖共有7种,包括D-甘露糖、D-鼠李糖、D-葡萄糖醛酸、D-半乳糖醛酸、D-葡萄糖、D-半乳糖、D-木糖。两种蒲公英多糖提取物单糖组成相同,但茎多糖提取物占比最高的前2位为D-半乳糖(11.779%)、D-半乳糖醛酸(9.758%);而叶多糖提取物中占比最高的前2位为D-半乳糖(7.492%)和D-葡萄糖(5.876%)。研究结果与已有研究相似,表明蒲公英叶和茎是一种潜在的活性多糖开发可食用资源<sup>[23]</sup>。

图5为蒲公英茎和叶多糖提取物红外图谱。

由图5可知,蒲公英叶或茎多糖提取物在3246 cm<sup>-1</sup>处均有强吸收峰,这是由O—H伸缩振动引起的,且该值小于3400 cm<sup>-1</sup>,为分子间氢键作用<sup>[24]</sup>。在2963 cm<sup>-1</sup>处有一个较弱吸收峰,这是多糖C—H键的振动伸缩峰,也是多糖类物质的特征吸收峰<sup>[25]</sup>。1756 cm<sup>-1</sup>处出现的吸收峰则是羧基的C=O键振动伸缩导致<sup>[26]</sup>。此外,1588、1397 cm<sup>-1</sup>处存在的两个弱吸收峰则是由羧基的对称或不对称伸缩振动引起,这表明蒲公英组分中含有糖醛酸。1013 cm<sup>-1</sup>处的强吸收峰,这是由C—O—C和C—O—H的伸缩振动引起的<sup>[27]</sup>,表明多糖中存在大量吡喃糖环。在956 cm<sup>-1</sup>有较弱吸收峰,说明蒲公英多糖提取物中糖苷键主要以



P1为蒲公英茎多糖提取物;P2为蒲公英叶多糖提取物。

图5 蒲公英多糖提取物 FT-IR

Fig.5 FT-IR of dandelion polysaccharide extract

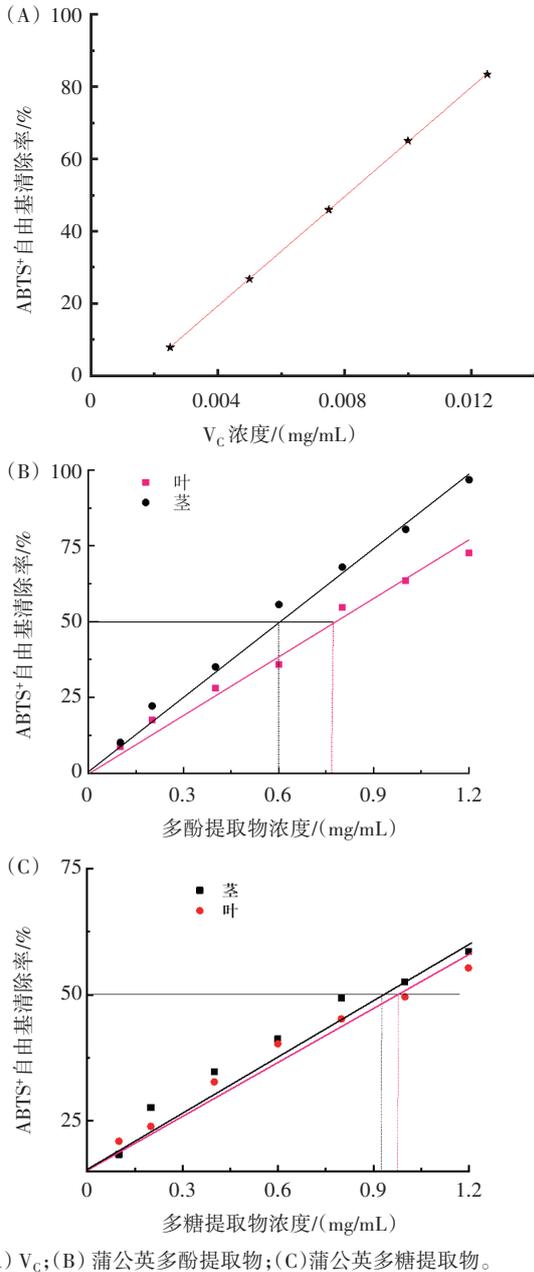
β-型为主。

### 2.4 蒲公英提取物抗氧化评价

#### 2.4.1 ABTS<sup>+</sup>自由基清除能力

图6为各物质对ABTS<sup>+</sup>自由基清除能力。

由图6可知,不同样品对ABTS<sup>+</sup>自由基清除率呈剂量效应线性关系,V<sub>C</sub>的IC<sub>50</sub>值为0.01 mg/mL,蒲公英叶多酚提取物的IC<sub>50</sub>值为0.76 mg/mL,蒲公英叶多糖



(A) V<sub>c</sub>; (B) 蒲公英多酚提取物; (C) 蒲公英多糖提取物。

图6 清除 ABTS<sup>+</sup> 自由基的能力

Fig.6 ABTS<sup>+</sup> free radical scavenging ability

提取物 IC<sub>50</sub> 值为 0.97 mg/mL, 蒲公英茎多酚提取物 IC<sub>50</sub> 值为 0.59 mg/mL, 蒲公英茎多糖 IC<sub>50</sub> 值为 1.16 mg/mL。由此可知, V<sub>c</sub> 清除 ABTS<sup>+</sup> 自由基能力约是蒲公英的 100 倍。蒲公英茎多酚提取物清除自由基能力最强, 其他依次为叶多酚提取物、茎多糖提取物和叶多糖提取物。这可能蒲公英茎多酚含量更高, 且单位浓度的供氢能力更强, 从而产生的清除 ABTS<sup>+</sup> 自由基能力更强<sup>[28]</sup>。

#### 2.4.2 蒲公英提取物总还原力

图 7 为各物质的总还原力测定结果。

由图 7 可知, V<sub>c</sub> 与蒲公英叶与茎多酚或多糖提取物的总还原力(还原 Fe<sup>3+</sup>能力)呈现剂量效应关系。纵

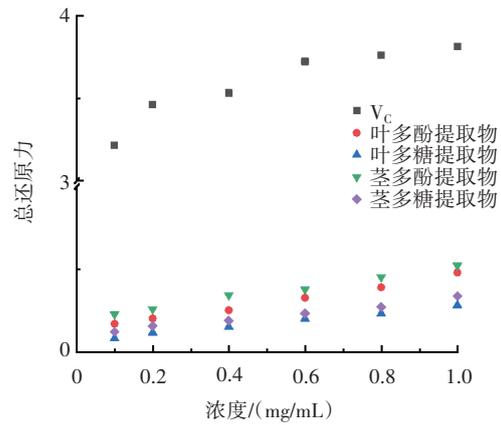


图7 样品总还原力

Fig.7 Total reducing power of samples

坐标吸光度越大表明物质的总还原力越强。蒲公英提取物样品的总还原力随其浓度的增加而提高, 且蒲公英多酚提取物较蒲公英多糖提取总还原力更强, 尤其以蒲公英茎多酚提取物最强, 但仍远小于 V<sub>c</sub> 的还原力。因此, 蒲公英茎多酚提取物较叶多酚或多糖提取物具有更强的还原能力。可能由于蒲公英茎中木犀草素较叶中咖啡酸的含量更高, 且给电子能力更强, 表现出更强的总还原力<sup>[29]</sup>。

#### 2.5 蒲公英提取物抑菌活性评价

图 8 为蒲公英叶与茎不同提取物抑制表皮葡萄球菌的效果。

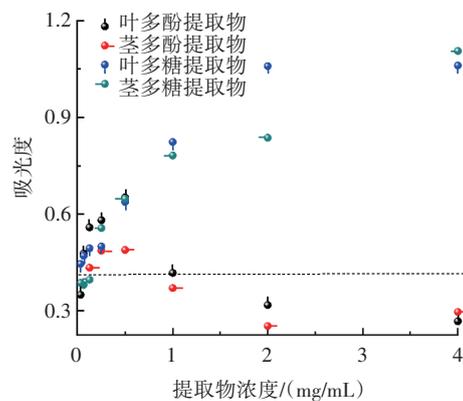
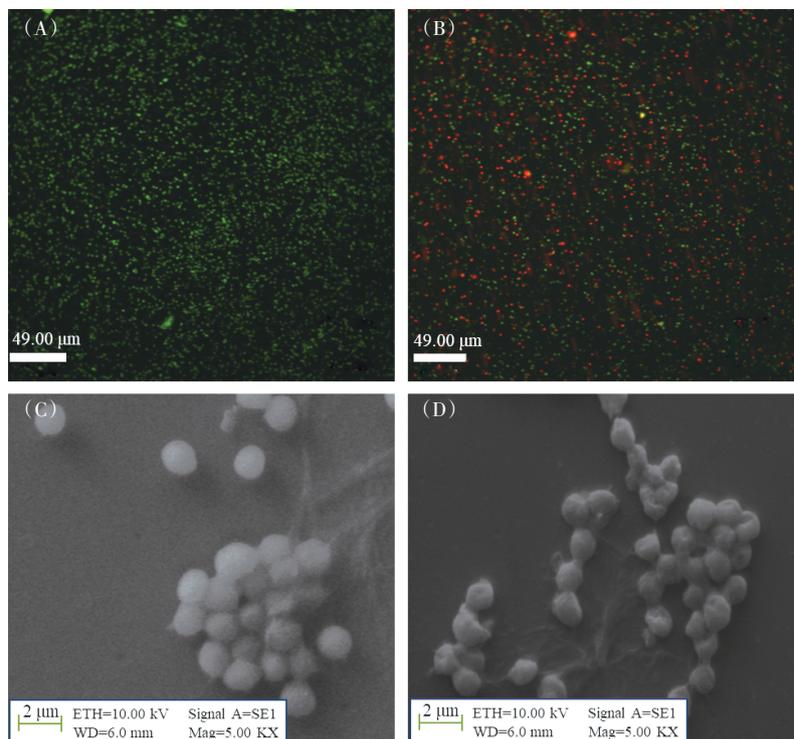


图8 蒲公英提取物有效抑制表皮葡萄球菌  
Fig.8 Effective inhibition of dandelion extract on *Staphylococcus epidermidis*

由图 8 可知, 在营养液中表皮葡萄球菌培养 24 h 后, 在 600 nm 下测定的吸光度为 0.39 作为参考值, 蒲公英叶多酚提取物最低抑制表皮葡萄球菌浓度 (MIC) 为 1.96 mg/mL, 而蒲公英茎多酚提取物的 MIC 为 0.95 mg/mL, 蒲公英叶和茎多糖对表皮葡萄球菌无抑制效果, 多糖提取物浓度增加反而更利于微生物的生长。在蒲公英茎多酚提取物 MIC 条件下, 通过激光共聚焦和扫描电子显微镜等手段, 探究蒲公英茎多酚提取物的抗菌效果, 如图 9 所示。



(A)、(B)为空白和蒲公英茎多酚提取物处理的表皮葡萄球菌的共聚焦激光扫描电子显微镜图;(C)、(D)为空白和蒲公英茎多酚提取物处理的表皮葡萄球菌的扫描电子显微镜图。

图9 蒲公英茎多酚提取物抗菌效果

Fig.9 Antibacterial effect of dandelion stem polyphenol extract

由图9可知,由于茎多酚提取物能够改变细胞膜中脂肪酸的构成,并抑制麦角甾醇的合成,从而降低细胞膜的流动性,提高细胞膜的通透性,引起细菌的细胞膜破裂,进而破坏细胞壁的完整性而产生抗菌作用,导致胞内三磷酸腺苷、蛋白质及其他营养物质泄漏,导致细胞形态不可逆的损伤<sup>[30]</sup>。

### 3 结论

本研究制备蒲公英叶和茎的多糖提取物以及多酚提取物,其多糖含量分别为29.22%、58.56%,多酚含量分别为0.42%、2.85%。蒲公英叶或茎多糖提取物主要有半乳糖醛酸及半乳糖,蒲公英叶多酚提取物主要含咖啡酸,蒲公英茎多酚提取物主要含木犀草素;并且多酚及多糖提取物的自由基清除能力呈剂量效应关系,其中茎多酚提取物清除ABTS<sup>+</sup>自由基和总还原力均最强。此外,蒲公英茎多酚提取物对表皮葡萄球菌通过诱导细胞膜破裂而产生明显的抑菌效果, MIC为0.95 mg/mL,而蒲公英叶或茎多糖提取物无抑菌作用,本研究结果对蒲公英高值化精准利用及功能食品开发具有重要意义。

### 参考文献:

[1] 李芳,谢光凡,杨帆. 蒲公英在食品中的应用研究进展[J]. 中国食品工业, 2022(18):84-87.

LI Fang, XIE Guangfan, YANG Fan. Research progress on the application of dandelion in food[J]. China Food Industry, 2022(18):84-87.

[2] 孟志云,徐绪,沈建平. 蒲公英的研究进展[J]. 人民军医药学专刊, 1997(2): 83-87.

MENG Zhiyun, XU Suixu, SHEN Jianping. Research progress of dandelion[J]. Special Issue of People's Army Medicine, 1997(2): 83-87.

[3] 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.

[4] 杜军英,姜东伯,狄柯坪,等. 蒲公英抑菌抗炎作用的研究进展[J]. 白求恩医学院学报, 2012, 10(2): 128-131.

DU Junying, JIANG Dongbo, DI Keping, et al. Research progress on antibacterial and anti-inflammatory effects of *Taraxacum mongolicum*[J]. Journal of Bethune Medical Science, 2012, 10(2): 128-131.

[5] OLAS B. New perspectives on the effect of dandelion, its food products and other preparations on the cardiovascular system and its diseases[J]. Nutrients, 2022, 14(7): 1350.

[6] WILLIAMS C A, GOLDSTONE F, GREENHAM J. Flavonoids, cinnamic acids and coumarins from the different tissues and medicinal preparations of *Taraxacum officinale*[J]. Phytochemistry, 1996, 42(1): 121-127.

[7] SCHÜTZ K, CARLE R, SCHIEBER A. *Taraxacum*—A review on its phytochemical and pharmacological profile[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2006, 107(3): 313-323.

[8] 凌云,鲍燕燕,郭秀芳. 蒲公英中两个黄酮甙的分离鉴定[J]. 中国中药杂志, 1999, 24(4): 225.

LING Yun, BAO Yanyan, GUO Xiufang. Isolation and identifica-

- tion of two flavonoid glycosides in dandelion[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 1999, 24(4): 225.
- [9] 陈景耀, 龚祝南, 宰学明, 等. 蒲公英提取物黄酮类物质成分及其抗氧化活性的初步研究[J]. 中国野生植物资源, 2001, 20(3): 22-23.
- CHEN Jingyao, GONG Zhunan, ZAI Xueming, et al. Determination of antioxidative activation and distillation of total flavonoid, rutin and quercetin in *Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2001, 20(3): 22-23.
- [10] 宰学明, 吴国荣, 龚祝南, 等. 旱生和湿生环境对蒲公英体内抗氧化物质的影响[J]. 植物研究, 2002, 22(2): 196-200.
- ZAI Xueming, WU Guorong, GONG Zhunan, et al. Effects on antioxidant ingredients of *Taraxacum mongolicum* Hard. - Mazz in drought and wet environments[J]. Bulletin of Botanical Research, 2002, 22(2): 196-200.
- [11] 童延清, 李晖. 紫花地丁、蒲公英体外抗菌作用研究[J]. 中华微生物学和免疫学杂志, 2003, 23(9): 669.
- TONG Yanqing, LI Hui. Study on antibacterial effects of *Viola yedoensis* and *Taraxacum mongolicum* in vitro[J]. Chinese Journal of Microbiology and Immunology, 2003, 23(9): 669.
- [12] LI F, FENG K L, YANG J C, et al. Polysaccharides from dandelion (*Taraxacum mongolicum*) leaves: Insights into innovative drying techniques on their structural characteristics and biological activities[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 167: 995-1005.
- [13] 刘杨, 赵婧, 梁莉, 等. 响应面优化蒲公英多酚超声波辅助乙醇提取工艺及其抗氧化性[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 287-292.
- LIU Yang, ZHAO Jing, LIANG Li, et al. Optimization of ultrasonic-assisted alcohol extraction of polyphenols from dandelion and their antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(2): 287-292.
- [14] 徐晋, 庞倩婵, 孙京格, 等. 蒲公英叶多糖超声波细胞粉碎辅助提取工艺优化及体外抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(10): 132-139.
- XU Jin, PANG Qianchan, SUN Jingge, et al. Polysaccharides from dandelion leaves: Optimization of ultrasonic cell crushing-assisted extraction and antioxidant activity[J]. Food Research and Development, 2023, 44(10): 132-139.
- [15] 谢普军, 黄立新, 张彩虹, 等. 蒲公英茶与叶的化学成分测定分析[J]. 食品工业科技, 2014, 35(15): 346-351.
- XIE Pujun, HUANG Lixin, ZHANG Caihong, et al. Determination and analysis of chemical compositions on dandelion tea and leaves [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(15): 346-351.
- [16] 任浩娜, 陈晓辉, 毕开顺, 等. 柱前衍生化 HPLC 法分析沙参多糖中单糖组成[J]. 沈阳药科大学学报, 2009, 26(3): 206-209.
- REN Haona, CHEN Xiaohui, BI Kaishun, et al. Analysis of monosaccharide composition in *Radix Glehniace* by precolumn derivatization HPLC[J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University, 2009, 26(3): 206-209.
- [17] 张海芬, 高云涛, 那吉, 等. 8 种水生蔬菜清除水溶性 ABTS<sup>+</sup>自由基活性研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(6): 8-13, 18.
- ZHANG Haifen, GAO Yuntao, NA Ji, et al. Scavenging activities of water-soluble ABTS<sup>+</sup> free radicals from eight species of aquatic vegetables[J]. Food Research and Development, 2019, 40(6): 8-13, 18.
- [18] OYAIZU M. Antioxidative activities of browning products of glucosamine fractionated by organic solvent and thin-layer chromatography[J]. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 1988, 35(11): 771-775.
- [19] 任世达, 方晓敏, 罗雁非, 等. 超声波辅助提取玉米花丝多酚工艺优化及其抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 201-208.
- REN Shida, FANG Xiaomin, LUO Yanfei, et al. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of corn silk polyphenols and its antibacterial activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(17): 201-208.
- [20] ZHAO L, ZHAO J L, BAI Z H, et al. Polysaccharide from dandelion enriched nutritional composition, antioxidant capacity, and inhibited bioaccumulation and inflammation in *Channa asiatica* under hexavalent chromium exposure[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 201: 557-568.
- [21] 迟晓君, 宋光春, 段曦, 等. 不同生长期对蒲公英理化性质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 281-285.
- CHI Xiaojun, SONG Guangchun, DUAN Xi, et al. Effects of different growth stages on physicochemical properties of dandelion[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 281-285.
- [22] 蒋欣梅, 张雪, 程瑶, 等. 光强对蒲公英生长、活性成分积累及抗氧化活性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2023, 54(3): 26-34.
- JIANG Xinmei, ZHANG Xue, CHENG Yao, et al. Effects of light intensity on growth, accumulation of active constituents and antioxidant activities of *Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2023, 54(3): 26-34.
- [23] GONZÁLEZ-CASTEJÓN M, VISIOLI F, RODRIGUEZ-CASADO A. Diverse biological activities of dandelion[J]. Nutrition Reviews, 2012, 70(9): 534-547.
- [24] LI H X, DONG Z, LIU X J, et al. Structure characterization of two novel polysaccharides from *Colocasia esculenta* (taro) and a comparative study of their immunomodulatory activities[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 42: 47-57.
- [25] SANANDIYA N D, SIDDHANTA A K. Chemical studies on the polysaccharides of *Salicornia brachiata*[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 112: 300-307.
- [26] CHAI Z, HUANG W Y, ZHAO X, et al. Preparation, characterization, antioxidant activity and protective effect against cellular oxidative stress of polysaccharide from *Cynanchum auriculatum* Royle ex Wight[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 119: 1068-1076.
- [27] ZHANG M M, WANG G, LAI F R, et al. Structural characterization and immunomodulatory activity of a novel polysaccharide from *Lepidium meyenii*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(9): 1921-1931.
- [28] ILYASOV I R, BELOBORODOV V L, SELIVANOVA I A. Three ABTS<sup>+</sup> cation-based approaches for the evaluation of antioxidant activity: Fast- and slow-reacting antioxidant behavior[J]. Chemical Papers, 2018, 72(8): 1917-1925.
- [29] GULCIN İ. Antioxidants and antioxidant methods: An updated overview[J]. Archives of Toxicology, 2020, 94(3): 651-715.
- [30] NOHYNEK L J, ALAKOMI H L, KÄHKÖNEN M P, et al. Berry phenolics: Antimicrobial properties and mechanisms of action against severe human pathogens[J]. Nutrition and Cancer, 2006, 54(1): 18-32.