

# 不同溶剂的蒲公英根提取物的抗氧化活性及降糖能力比较分析

李婧雯<sup>1</sup>, 包怡红<sup>1,2</sup>

(1. 东北林业大学林学院, 黑龙江哈尔滨 150040)

(2. 黑龙江省森林食品资源利用重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150040)

**摘要:** 研究溶剂极性对蒲公英根提取物活性功能的影响。以蒲公英根为原料, 分别采用不同极性的6种溶剂(水、甲醇、无水乙醇、乙酸乙酯、氯仿和正己烷)进行提取, 比较不同溶剂提取物的抗氧化能力和对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶和 $\alpha$ -淀粉酶的影响, 并对提取物中的活性成分进行分析。结果表明提取溶剂的极性对蒲公英根的提取效率和提取物抗氧化活性的影响差异显著, 随着溶剂极性的降低, 提取率和抗氧化活性也随之下降, 水的提取率最高可达24.87%, 且水提取物清除DPPH自由基、对羟基自由基和ABTS<sup>+</sup>能力最高, 具有较强的还原能力。随着浓度的增加6种提取物对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶和 $\alpha$ -淀粉酶抑制率不断增大, 当浓度达到5 mg/mL时, 水提取物对两种酶的抑制能力最强, 达到71.56%和74.9%。且6种提取物中水提取物多糖含量最高为63.92 mg/g, 乙醇提取物总黄酮和总酚含量最高, 分别为10.03 mg/g和12.26 mg/g, 甲醇提取物皂苷含量最高为0.88 mg/g。通过体外验证不同极性溶剂提取物的抗氧化以及降糖能力, 对蒲公英根活性功能的评估及开发应用提供理论依据和技术参考。

**关键词:** 蒲公英根; 溶剂提取; 抗氧化活性;  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制率;  $\alpha$ -淀粉酶抑制率

文章编号: 1673-9078(2020)05-64-72

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.5.010

## Comparative Analysis of Antioxidant and Hypoglycemic Capabilities of *Taraxacum mongolicum* Root Extracts in Different Solvents

LI Jing-wen<sup>1</sup>, BAO Yi-hong<sup>1,2</sup>

(1. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

(2. Key Laboratory of Forest Food Resources Utilization of Heilongjiang Province, Harbin 150040, China)

**Abstract:** In order to evaluate the active function of extracts from *Taraxacum mongolicum* root by different solvents, the *Taraxacum mongolicum* root was used as the raw material in this work. Six solvents, namely water, methanol, ethanol, ethyl acetate, chloroform and hexane were used. The effects of different solvent on the antioxidant activities of extracts were investigated. The effects of different extracts on the  $\alpha$ -glucosidase and  $\alpha$ -amylase were also studied. The active ingredients in different extracts were analyzed. The results indicated that solvent polarity had a substantial influence on the extraction efficiency of *Taraxacum mongolicum* root and the antioxidant activities of their extracts. As the polarity of the solvent decreased, the extraction rate and antioxidant activity decreased. The water extract had the highest crude extract yield of 24.87%. Water extract also revealed the best DPPH radical scavenging capacity, the best hydroxyl radicals scavenging capacity, the best ABTS<sup>+</sup> scavenging capacity, and the best reducing power. With the concentration increasing, the inhibitory rates of six extracts to  $\alpha$ -glucosidase and  $\alpha$ -amylase increased. When the concentration reached to 5 mg/mL, the inhibition abilities of  $\alpha$ -glucosidase and  $\alpha$ -amylase were the strongest under water extraction conditions, reaching 71.56% and 74.9%, respectively. Among the six solvent extracts, the content of polysaccharides in water extraction was highest, and the content was 63.92 mg/g. The content of total flavon and total phenols in the ethanol extract were highest,

引文格式:

李婧雯,包怡红.不同溶剂的蒲公英根提取物的抗氧化活性及降糖能力比较分析[J].现代食品科技,2020,36(5):64-72

LI Jing-wen, BAO Yi-hong. Comparative analysis of antioxidant and hypoglycemic capabilities of *Taraxacum mongolicum* root extracts in different solvents [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(5): 64-72

收稿日期: 2019-10-17

基金项目: 黑龙江省自然科学基金重点项目 (ZD2019C002); 国家重点研发计划项目 (2017YFC1601901)

作者简介: 李婧雯 (1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 功能性食品

通讯作者: 包怡红 (1970-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 食品生物技术与功能食品

and the content were 10.03 mg/g and 12.26 mg/g, respectively. The content of saponin in methanol extract was highest, and the value was 0.88 mg/g. By *in vitro* verification of antioxidant and hypoglycemic capacity assays, the evaluation of the active function of *Taraxacum Mongolicum* roots will provide the foundation for their development and application.

**Key words:** *Taraxacum mongolicum* root; solvent extraction; antioxidant activities; inhibitory rate of  $\alpha$ -glucosidase; inhibitory rate of  $\alpha$ -amylase

蒲公英(*Taraxacum Mongolicum*)又名黄花地丁, 婆婆丁等, 为菊科多年生药食同源草本植物, 种类繁多, 资源丰富<sup>[1]</sup>。其药用价值早已载入各种医书, 性平味甘、微苦, 可清热解毒、消肿散结<sup>[2]</sup>, 有“天然抗生素”之美称。蒲公英含有多种生理活性成分, 如黄酮、多糖、酚类化合物、三萜、甾醇和倍半萜内酯类等<sup>[3,4]</sup>。我国学者以及临床医学已经证实蒲公英具有抗氧化、抑菌、抗肿瘤、降血脂、降血糖、保肝利胆、胃黏膜损伤修复等作用<sup>[5]</sup>。C M Park<sup>[6]</sup>等通过蒲公英提取物恢复耗尽的谷胱甘肽(GSH)和抗氧化酶活性, 确定了提取物抑制LPS刺激的iNOS基因表达及其转录因子NF- $\kappa$ B的能力, 并与亚硝酸盐还原同时发生, 具有很强的抗氧化和抗炎能力。宋晓勇<sup>[7]</sup>等通过体内体外实验研究了蒲公英多糖具有很好的抗氧化活性及降血糖作用, 表明其抗氧化作用可能是蒲公英多糖降血糖的机制之一。

自由基的自稳态失衡可导致恶性肿瘤、原发性高血压、动脉粥样硬化、糖尿病等自由基疾病<sup>[8,9]</sup>。从食物和天然产物中寻找活性物质, 开发成为降糖、降脂、降压功能性食品或药物成为研究的热点。资料表明: 提取溶剂的种类直接影响提取物的组成及生物活性, 如涂宗财等<sup>[10]</sup>研究红薯叶不同溶剂提取物抗氧化性及活性成分鉴定时发现, 甲醇提取物中总酚含量和总黄酮含量最高, 且抗氧化能力最好。刘世馨等<sup>[11]</sup>在研究中发现, 洋葱皮的60%乙醇提取物具有较好的抗氧化能力及抑制 $\alpha$ -糖苷酶活性, 且提取物中总黄酮的含量较多。由此可见, 提取溶剂的极性对提取物的活性具有较大的影响, 且不同极性溶剂提取物的活性物质组成也有所不同。

近年来, 对蒲公英的研究主要集中在其地上茎叶及花部分, 对蒲公英根部的药理活性研究较少, 特别是降糖活性研究较少。本实验以蒲公英根为原料, 通过体外试验研究不同极性溶剂对蒲公英根提取物抗氧化性及降糖能力的影响。 $\alpha$ -淀粉酶和 $\alpha$ -葡萄糖苷酶是直接参与淀粉及糖原代谢途径中两个最关键的酶, 抑制 $\alpha$ -淀粉酶和 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性可以抑制碳水化合物的水解释放葡萄糖、减缓小肠对葡萄糖的吸收, 从而达到降糖效果。本实验通过比较蒲公英根不同溶剂提取物抗氧化及降糖能力、活性物质含量差异以及成

分与抗氧化和降糖能力之间的相关性, 为蒲公英根在食品、医药等领域的进一步深入研究与利用提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

蒲公英根, 由河南省南召县提供。将采摘的新鲜蒲公英根表面去除杂质, 清水漂洗干净, 50℃鼓风干燥72h, 然后粉碎过40目筛, 放入自封袋中, 置于-4℃冷藏备用。

DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl)、ABTS<sup>+</sup> (2,2'-azino-bis(3-ethyl-benzothiazolin-6-sulfonic acid)和Folin-Ciocalteu试剂, 北京博奥拓达科技有限公司;  $\alpha$ -葡萄糖苷酶、 $\alpha$ -淀粉酶、4-硝基苯基- $\alpha$ -D-吡喃葡萄糖苷(pNPG)、阿卡波糖、菝葜皂苷元对照品, 没食子酸和芦丁标准品, 上海源叶生物科技有限公司; 可溶性淀粉; 甲醇、正己烷、无水乙醇、苯酚、乙酸乙酯、氯仿、碳酸钠、亚硝酸钠、硝酸铝、高氯酸和香草醛等均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

FW100型高速万能粉碎机, 天津市泰斯特仪器有限公司; 721型可见分光光度计, 上海佑科仪器有限公司; ELx800NB型酶标仪, 美国BioTek公司; 电热恒温水浴锅DK-8D, 巩义市予华仪器有限责任公司; 电热恒温鼓风干燥箱, 上海一恒科学仪器有限公司; RE-2000A旋转蒸发器, 巩义市予华仪器有限责任公司; pH计, Sartorius。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 蒲公英根的不同溶剂提取物的制备

将干燥除杂后的蒲公英根粉碎, 过40目筛。称取蒲公英根10g, 以1:20(m/V)的比例分别加入水、甲醇、无水乙醇、正己烷、乙酸乙酯和氯仿, 回流提取2h, 使用旋转蒸发器浓缩, 低温烘干备用并计算提取物得率。

$$\text{提取物得率} / \% = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \times 100\%$$

以水为溶剂,将水提取物配置成5 mg/mL的样液;以乙醇为溶剂,将其余的各提取物分别配制成5 mg/mL的样液,现用现配,待使用时再分别以相应的溶剂稀释到需要的质量浓度。

### 1.3.2 抗氧化能力测定

#### 1.3.2.1 DPPH 自由基清除能力的测定

参考文献<sup>[12]</sup>,准确取2.0 mL不同浓度的样品溶液和2.0 mL 0.1 mmol/L的DPPH-溶液混合,摇匀,避光反应30 min,以无水乙醇作为空白,517 nm波长处测定吸光度。

#### 1.3.2.2 对羟基自由基( $\cdot\text{OH}$ )清除率测定

参考文献<sup>[13]</sup>的方法,略作修改。10 mL离心管中依次加入1 mL样品溶液,1 mL 6 mmol/L的 $\text{FeSO}_4$ 溶液,1 mL 6 mmol/L水杨酸-乙醇溶液和1 mL 6 mmol/L的 $\text{H}_2\text{O}_2$ 溶液,于37 °C水浴30 min,然后在510 nm处测定吸光值。

#### 1.3.2.3 铁离子还原能力测定

参考文献<sup>[14]</sup>的方法进行测定,以反应体系的吸光度比较提取物还原能力的大小。

#### 1.3.2.4 ABTS<sup>+</sup>清除率的测定

参考文献<sup>[15]</sup>方法。用20 mmol/L、pH为4.5的醋酸缓冲液制备得到7.0 mmol/L的ABTS<sup>+</sup>贮液,取5 mL ABTS<sup>+</sup>贮液与5 mL 2.45 mmol/L过硫酸钾混合,室温避光反应12~16 h,使用前稀释,使溶液在734 nm吸光值在0.700±0.002即可使用,该工作液现配现用。将20 μL样品溶液加入180 μL ABTS<sup>+</sup>工作液,室温避光反应60 min,测吸光值。

### 1.3.3 降糖能力测定

#### 1.3.3.1 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性测定

参考文献<sup>[16]</sup>方法,略作修改。将配制好的样品溶液10 μL和 $\alpha$ -葡萄糖苷酶(4 U/mL)溶液40 μL加入96微孔板中,在37 °C微孔板恒温振荡器中孵化10 min,加入50 μL的pNPG(2 mmol/L),37 °C反应1 h,然后加入50 μL  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (0.1 mol/L)终止反应,在405 nm波长处酶标仪测定其吸光度,每组重复3次。选取阿卡波糖作阳性对照组,样品背景组以磷酸缓冲液代替 $\alpha$ -葡萄糖苷酶,空白对照组以磷酸缓冲液代替样品。

$$\text{抑制率}/\% = \frac{OD_{\text{空白}} - (OD_{\text{样品组}} - OD_{\text{样品背景组}})}{OD_{\text{空白}}} \times 100\%$$

#### 1.3.3.2 $\alpha$ -淀粉酶抑制活性测定

参考文献<sup>[17]</sup>的方法,略作修改。在37 °C反应体系中依次加入1 U/mL  $\alpha$ -淀粉酶液200 μL(0.1 mol/L pH为6.8的磷酸盐缓冲液配制),将不同溶剂提取液100 μL,置于37 °C恒温水浴中平衡5 min,加入1%

可溶性淀粉500 μL启动反应,5 min后加入500 μL 3,5-二硝基水杨酸(3,5-dinitrosalicylic acid, DNS)显色,在沸水浴中反应5 min,然后立即加入冰水浴冷却,定容至25 mL后于540 nm波长处测定吸光度。选取阿卡波糖作阳性对照组,空白对照组以磷酸缓冲液代替样品,样品背景组以磷酸缓冲液代替酶液。

$$\text{抑制率}/\% = \frac{OD_{\text{空白}} - (OD_{\text{样品组}} - OD_{\text{样品背景组}})}{OD_{\text{空白}}} \times 100\%$$

### 1.3.4 不同溶剂提取物中的活性成分含量测定

#### 1.3.4.1 多糖含量的测定

参考文献<sup>[18]</sup>。得到葡萄糖标准曲线方程为 $Y=8.617X+0.0451$ ( $R^2=0.991$ )。通过标准曲线计算蒲公英根提取物中多糖的含量。

#### 1.3.4.2 总黄酮含量的测定

参考文献<sup>[19]</sup>,采用氯化铝比色法测定样品中总黄酮含量。以芦丁(Rutin)为标准品绘制标准曲线,得到回归方程: $y=8.2514x+0.0023$ ( $R^2=0.9988$ )。

#### 1.3.4.3 总酚含量的测定

参照Dorman等<sup>[20]</sup>的方法,以没食子酸(Gallic Acid, GA)为标准品绘制标准曲线,得到回归方程 $y=0.1071x-0.126$ ( $R^2=0.9923$ )。根据标准曲线计算各样品中的总酚含量。

#### 1.3.4.4 皂苷含量的测定

参考文献<sup>[21]</sup>,略作修改。以菝葜皂苷元为标准品绘制皂苷标准曲线,得到回归方程为 $y=0.2027x-0.2145$ ( $R^2=0.9928$ )。精确称取0.050 g蒲公英根提取物稀释至5 mg/mL的溶液。移取1.0 mL蒲公英根提取物(5 mg/mL),加入0.8 mL高氯酸和0.2 mL 0.5%香草醛溶液,充分混合,60 °C水浴20 min,取出后冰浴5 min,加入5 mL冰乙酸,充分混合并于554 nm处测吸光值。通过回归方程计算蒲公英根提取物中皂苷的含量。

### 1.3.5 数据分析

每组实验至少重复3次,结果表示为 $\pm s$ ,采用Origin 8.0绘图软件绘图,SPSS 19.0对数据进行统计学分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 DPPH 自由基清除能力

由图1可知,不同溶剂提取物对DPPH自由基均有一定的清除能力,且呈现量效关系。水提取物的清除能力最高,浓度为5 mg/mL时清除率可达96.04%;其次是甲醇提取物清除率为91.07%,乙醇提取物的清除率为80.29%。水的极性最强,且水提取物中的主要成分为多糖,多糖具有调节增强机体抗氧化酶活性,有

效清除自由基的功能, 因此水提取物表现出最强的 DPPH·清除能力; 董航<sup>[22]</sup>等研究几种中药多糖抗氧化能力中发现, 人參多糖对 DPPH 自由基清除率为 96.10%, 虫草多糖清除率为 78.61%, 与多种中药多糖清除 DPPH 自由基能力相比, 蒲公英根水提取物的清除能力较强。极性较小的乙酸乙酯提取物在浓度 2~4 mg/mL 时, DPPH 自由基清除率明显上升, 非极性溶剂正己烷提取物的清除能力表现最弱, 浓度在 2~4 mg/mL 时, DPPH 自由基清除能力基本不变, 当浓度为 5 mg/mL 时, 清除率为 50.04%。

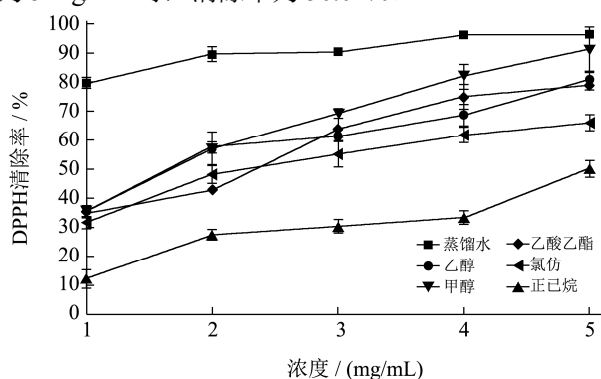


图1 蒲公英根的不同溶剂提取物对 DPPH 自由基的清除能力  
Fig.1 DPPH radical scavenging activity of various solvent extracts from *Taraxacum mongolicum* root

## 2.2 羟基自由基 ( $\cdot\text{OH}$ ) 清除能力

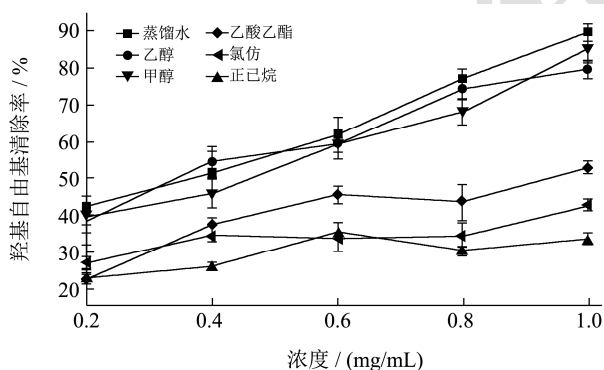


图2 蒲公英根的不同溶剂提取物对  $\cdot\text{OH}$  自由基的清除能力  
Fig.2  $\cdot\text{OH}$  radical scavenging activity of various solvent extracts from *Taraxacum mongolicum* root

如图 2 所示, 提取溶剂极性的不同对羟基自由基清除能力的影响显著。当样品质量浓度达到 1 mg/mL 时, 提取物的清除能力大小顺序为: 水提取物>甲醇提取物>乙醇提取物>乙酸乙酯提取物>氯仿提取物>正己烷提取物。当浓度为 1 mg/mL 时, 水具有最强的清除能力, 清除率为 89.42%, 甲醇提取物次之, 清除率为 84.86%, 氯仿和正己烷的清除能力较弱,  $\cdot\text{OH}$  自由基清除率维持在 22.52%~42.49%。赵艳红<sup>[23]</sup>等对常见药食植物提取物体外抗氧化研究中发现, 在清

除  $\cdot\text{OH}$  自由基能力时香料类、粮食类植物显示较强的清除能力, 并且蒸馏水提取物比 80%乙醇和乙酸乙酯提取物清除能力强, 可能由于天然植物中各极性溶剂溶解的抗氧化成分不同, 水提取物中的活性成分清除  $\cdot\text{OH}$  自由基能力更强。

## 2.3 铁离子还原能力

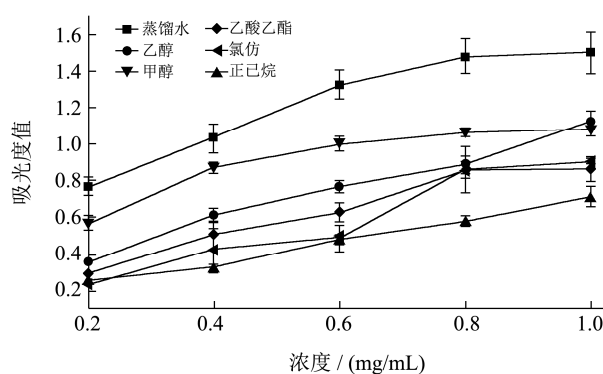


图3 蒲公英根不同溶剂提取物的还原能力

Fig.3 Reducing power of various solvent extracts from *Taraxacum mongolicum* root

如图 3 所示, 随样品质量浓度的增加, 提取物的还原能力均成增大趋势, 并与 DPPH 自由基以及羟基自由基清除能力基本一致。当样品质量浓度为 0.8 mg/mL 时, 提取物的还原能力大小顺序为: 水提取物>甲醇提取物>乙醇提取物>氯仿提取物>乙酸乙酯提取物>正己烷提取物。栗铭鸿<sup>[24]</sup>等对鸡枞菌不同溶剂提取物抗氧化能力研究中发现, 蒸馏水提取物的还原能力最强, 随着溶剂极性的减弱, 吸光度值也呈下降的趋势, 鸡枞菌总还原能力越来越弱, 与本研究结果相一致。

## 2.4 ABTS<sup>+</sup>·清除率的测定

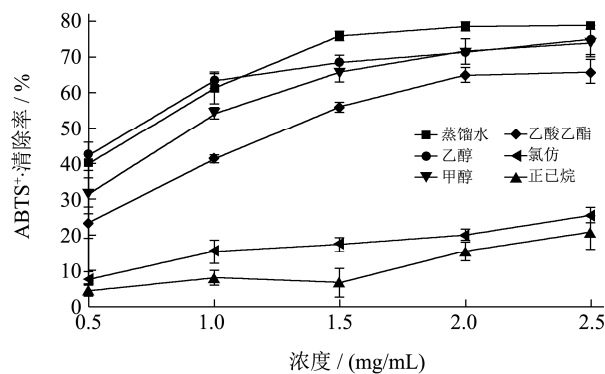


图4 蒲公英根不同溶剂提取物对 ABTS<sup>+</sup> 自由基的清除能力

Fig.4 ABTS<sup>+</sup> free radical scavenging activity of various solvent extracts from *Taraxacum mongolicum* root

如图 4 所示, 蒲公英根不同溶剂提取物对 ABTS<sup>+</sup>·清除能力, 随提取物浓度增大, 清除能力越来越

越强。除氯仿和正己烷提取物外,当浓度在 0.5~2 mg/mL 时,各溶剂提取物的清除率显著增长,浓度达到 2 mg/mL 后,清除率随浓度增大变化不大,且水提取物具有最强清除能力,达到了 78.91%清除率。在测定浓度范围内,氯仿和正己烷提取物的清除能力较弱。向进乐<sup>[25]</sup>等研究枳椇果梗不同极性多酚抗氧化中发现,对 ABTS<sup>+</sup>·自由基的清除能力水相>正丁醇相>乙酸乙酯相>氯仿相,说明枳椇果梗多酚以极性酚为主。

### 2.5 α-葡萄糖苷酶抑制活性

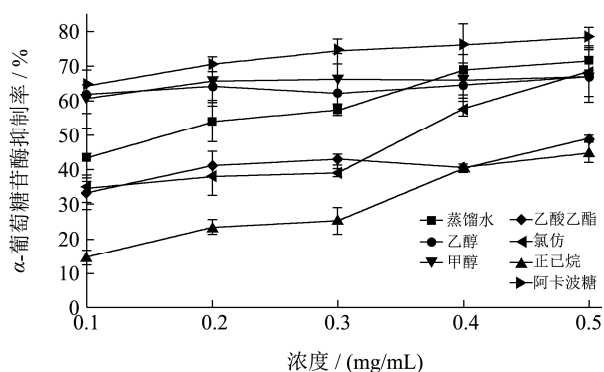


图5 蒲公英根不同溶剂提取物对 α-葡萄糖苷酶抑制率的影响

Fig.5 Effects of extracts from *Taraxacum mongolicum* root by different solvents on the inhibitory rates of α-glucosidase

抑制 α-葡萄糖苷酶的活性可以减少葡萄糖的生成和吸收,调整血糖水平,减少高血糖对胰腺的刺激,从而保护胰腺功能<sup>[26]</sup>。通过对不同剂量蒲公英根提取液进行实验,结果如图 5 所示。当浓度在 0.1~0.5 mg/mL 之间时,随着浓度的增加,抑制效果基本呈现上升趋势,当浓度达到 0.5 mg/mL 时,阿卡波糖抑制能力为 78.28%,各提取物中水提取物的抑制能力最强,达到 71.56%,仅次于阿卡波糖的抑制能力。其次是甲醇提取物,抑制率为 67.16%,正己烷和乙酸乙酯提取物抑制能力较差。因此,蒲公英根各溶剂提取物

表1 蒲公英根不同溶剂提取物得率、多糖、总黄酮、总酚和皂苷含量

Table 1 Extraction yields and contents of polysaccharide, total flavonoid, total phenolic and saponin from *Taraxacum mongolicum* root leaf extracts with different solvents

溶剂	提取物得率/%	多糖/(mg/g)	总黄酮/(mg/g)	总酚/(mg/g)	皂苷/(mg/g)
水	24.87±2.18 <sup>a</sup>	63.92±1.82 <sup>d</sup>	2.57±0.06 <sup>a</sup>	8.93±0.34 <sup>c</sup>	0.54±0.05 <sup>a</sup>
甲醇	15.68±1.46 <sup>a</sup>	6.23±1.54 <sup>d</sup>	5.31±0.18 <sup>b</sup>	10.21±0.30 <sup>d</sup>	0.88±0.03 <sup>b</sup>
乙醇	11.19±0.87 <sup>a</sup>	8.26±1.71 <sup>d</sup>	10.03±0.24 <sup>c</sup>	12.26±0.43 <sup>e</sup>	0.8±0.05 <sup>b</sup>
乙酸乙酯	1.89±0.09 <sup>b</sup>	nd	8.53±0.04 <sup>d</sup>	7.17±0.30 <sup>b</sup>	0.63±0.03 <sup>a</sup>
氯仿	2.41±0.39 <sup>c</sup>	nd	7.44±0.43 <sup>c</sup>	8.31±0.24 <sup>c</sup>	nd
正己烷	1.20±0.12 <sup>d</sup>	nd	7.90±0.27 <sup>c</sup>	5.73±0.44 <sup>a</sup>	nd

注:同列小写字母不同表示差异显著 ( $p < 0.05$ ); nd: 未检出或者无法检出。

对 α-葡萄糖苷酶有明显的抑制作用。胡巧云<sup>[27]</sup>等研究十种中药水提取物对 α-葡萄糖苷酶的抑制作用,发现水提取物都具有较好的抑制能力。

### 2.6 α-淀粉酶抑制活性

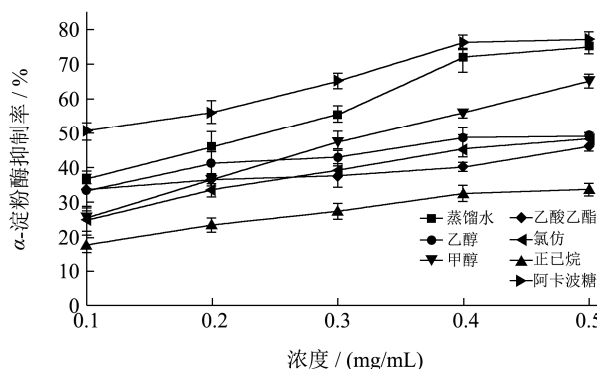


图6 蒲公英根不同溶剂提取物对 α-淀粉酶抑制率的影响

Fig.6 Effects of extracts from *Taraxacum mongolicum* root by different solvents on the inhibitory rates of α-amylase

α-淀粉酶是一种糖苷水解酶,通过抑制肠道内唾液和胰淀粉酶的活性来降低血糖和血脂水平<sup>[28]</sup>。如图 6 所示,蒲公英根提取物对 α-淀粉酶与 α-葡萄糖苷酶的抑制能力变化趋势基本一致,当浓度在 0.1~0.5 mg/mL 之间时,抑制效果随浓度增大而增加,并且水提取物的抑制能力最强,当浓度达到 0.5 mg/mL,阿卡波糖对 α-淀粉酶抑制率为 77.03%,水提取物的抑制率达到 74.9%,其次是甲醇提取物抑制率达到 64.89%。乙酸乙酯、氯仿及正己烷提取物变化趋势较弱。张煜<sup>[29]</sup>研究扁枝槲寄生不同极性组分提取物对 α-淀粉酶抑制活性时,水粗提物对 α-淀粉酶抑制能力最强,其次是乙醇粗提物,乙酸乙酯及正丁醇萃取组分抑制能力较弱。

### 2.7 蒲公英根不同极性溶剂提取物成分分析

由表 1 可知,水提物具有最高的得率 24.87%,其次是甲醇提取物 15.68%,正己烷的粗提物得率最低 1.2%。由此可知,随提取溶剂极性的降低,提取物的得率呈现下降趋势。董怡等<sup>[30]</sup>研究表明,溪黄草不同溶剂粗提物得率也随提取溶剂极性的降低而呈现下降趋势。

不同提取溶剂对蒲公英根中的活性成分的影响主要取决于所提取的活性成分在不同极性提取液中的溶解能力。溶解率越高,提取越充分。以水为提取剂时,多糖含量显著高于甲醇和乙醇提取物中的含量,含量为 63.92 mg/g。赵玉红<sup>[31]</sup>研究了老山芹不同溶剂(水、酸溶剂、碱溶剂、醇溶剂)提取物的活性成分其促进细胞生长活性提取物抗氧化活性,发现水提物以及碱提物多糖含量最高。朱英等<sup>[32]</sup>研究了红腺忍冬叶不同溶剂提取物中咖啡酸和多糖的含量变化,发现多糖含量在红腺忍冬叶水提物中最高。多糖是生物大分子,常易溶于水,不溶于有机溶剂,而小分子溶于一定浓度的有机溶剂中。甲醇提取物和乙醇提取物中含有少量多糖成分,而乙酸乙酯、氯仿和正己烷提取物中未检测到多糖成分。因此提取溶剂的极性对植物提取多糖的影响很大,但由于植物的化学组成各不相同,因此在提取植物多糖时溶剂的选择也至关重要。

在不同溶剂提取物中,总黄酮含量最高的是乙醇提取物为 10.03 mg/g,其次是乙酸乙酯。氯仿和正己烷的总黄酮含量无显著性差异,含量最小的是水提取物。总酚含量最高的是乙醇提取物,为 12.26 mg/g,甲醇提取物和水提取物相对较少,含量最小的是正己烷提取物,为 5.73 mg/g,溶剂类型对皂苷的提取效率表现出与多糖、总酚和总黄酮相似的规律,甲醇提取物具有最高的皂苷含量为 0.88 mg/g,其次为乙醇提取物(0.8 mg/g),由于皂苷不溶于氯仿、乙醚和苯中,所以氯仿和正己烷提取物中未检测到皂苷。

## 2.8 蒲公英根提取物成分与抗氧化活性和降糖能力相关性分析

由表 2 相关性分析可知,蒲公英根提取物中多糖的含量对抗氧化能力及降糖能力影响最为显著。多糖对蒲公英根提取物抗氧化贡献最大,羟基自由基清除能力和 ABTS<sup>+</sup>清除能力的相关性分别达到了 0.686 和 0.637, DPPH 自由基和铁离子还原能力相关性为 0.621 和 0.572。其次,总酚对抗氧化能力也展现出较强的显著性, DPPH 自由基、羟基自由基清除能力、ABTS<sup>+</sup>清除能力铁离子还原能力的相关性分别为 0.399、0.373、0.542 和 0.582,总黄酮及皂苷的显著性

相对较弱。由于多糖具有调节增强机体抗氧化酶活性,有效清除自由基的功能。多糖的抗氧化作用机制具有多途径、多靶点、多效应,主要是通过内源性抗氧化应激通路调节编码下游抗氧化酶基因的表达,从而减少自由基的生成<sup>[33]</sup>。在蒲公英根体外抗氧化的研究中,刘珊珊等<sup>[34]</sup>采用木瓜蛋白酶-纤维素酶双酶协同提取蒲公英根多糖,当多糖得率为 32.97%, DPPH 自由基清除率达到 92.31%。

表 2 蒲公英根不同溶剂提取物多糖、总酚、总黄酮和皂苷含量与抗氧化活性和降糖能力的相关性

Table 2 Pearson's correlation coefficients and hypoglycemic ability of antioxidant activities with the contents of polysaccharide, total flavonoid, total phenolic and saponin of extracts from *Taraxacum mongolicum* root

项目	多糖	总黄酮	总酚	皂苷
DPPH 自由基清除率	0.621**	0.313*	0.399**	0.338
对羟基自由基清除率	0.686**	0.299**	0.373**	0.380**
ABTS <sup>+</sup> 清除率	0.637**	0.169	0.542**	0.490*
铁离子还原能力	0.572**	0.285	0.582**	0.408*
$\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制率	0.359**	0.257	0.399*	0.173
$\alpha$ -淀粉酶抑制率	0.707**	0.490**	0.480**	0.216

注: \*\*相关性极显著 ( $p < 0.01$ )。\*相关性显著 ( $p < 0.05$ )。

多糖对降糖能力相关性也极为显著,对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制能力相关系数为 0.359,对  $\alpha$ -淀粉酶抑制能力相关系数为 0.707。总黄酮提取物和皂苷提取物与  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制能力呈现弱相关,相关系数为 0.257 和 0.173;皂苷提取物与  $\alpha$ -淀粉酶抑制能力呈现弱相关,相关系数为 0.216。研究发现,植物多糖主要是通过抑制胰岛细胞凋亡、保护修护胰岛细胞、调节糖代谢关键酶活性、促进肝糖元的合成、减少糖异生以及调节信号通路等途径达到降糖目的<sup>[35]</sup>。Chen C 等<sup>[36]</sup>证明了辣木叶多糖具有抑制  $\alpha$ -淀粉酶和  $\beta$ -葡萄糖苷酶活性的作用,具有治疗糖尿病的潜力。并且已有大量的研究表明多糖类化合物含量与天然植物提取物抗氧化活性及降糖活性具有显著的相关性<sup>[37,38]</sup>。

## 3 结论

本实验通过溶剂极性对蒲公英根提取物的活性及成分组成影响进行分析。体外抗氧化研究表明:不同极性溶剂提取物均有一定的抗氧化能力且成正相关,水提取物具有较高的还原能力以及 DPPH·、对羟基自由基、ABTS<sup>+</sup>清除能力。 $\alpha$ -葡萄糖苷酶和  $\alpha$ -淀粉酶是碳水化合物消化和吸收的关键酶,在酶作用下释放的葡萄糖经小肠进入血液从而升高血糖。蒲公英根各溶剂提取物能显著抑制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶和  $\alpha$ -淀粉酶活性,

水提取物抑制作用比其他溶剂提取物好,对 $\alpha$ -淀粉酶抑制作用略高于 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用,可达到74.9%;根据蒲公英根提取物成分分析,水提取物中多糖为主要活性成分,甲醇和乙醇提取物中总酚占主要成分;通过相关性分析表明:多糖是影响生物活性的主要成分,对抗氧化活性和降糖能力影响极其显著。综上所述,蒲公英根不同极性溶剂提取物中水提取物表现出显著的体外降血糖和抗氧化能力。此次研究的试验均为体外测定,其在生物体内的活性还需要进一步试验验证。

### 参考文献

- [1] 易思荣,黄娅.蒲公英属植物的研究概况[J].时珍国医国药,2002,2:108-111  
YI Si-rong, HUANG Ya. Overview of research on genus *Taraxacum* [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2002, 2: 108-111
- [2] 谢沈阳,杨晓源,丁章贵,等.蒲公英的化学成份及其药理作用[J].天然产物研究与开发,2012,24(S1):141-151  
XIE Shen-yang, YANG Xiao-yuan, DING Zhang-gui, et al. Chemical constituents and pharmacological effects of *Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz [J]. Natural Product Research and Development, 2012, 24(S1): 141-151
- [3] 许先猛,董文宾,卢军,等.蒲公英的化学成分和功能特性的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2018,9(7):1623-1627  
XU Xian-meng, DONG Wen-bin, LU Jun, et al. Research progress on the chemical compositions and functional properties of dandelion [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(7): 1623-1627
- [4] 丁惠,张馨方,纪文华,等.蒲公英药用研究进展[J].辽宁中医药大学学报,2018,20(9):156-159  
DING Hui, ZHANG Xin-fang, JI Wen-hua, et al. Progress in medicinal research of *Taraxacum mongolicum* Hand.-Mazz [J]. Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2018, 20(9): 156-159
- [5] 林云,江林,蒋健,等.蒲公英的药理作用研究进展[J].中国现代中药,2011,13(8):42-47  
LIN Yun, JIANG Lin, JIANG Jian, et al. Advances in research on pharmacological effects of dandelion [J]. Modern Chinese Medicine, 2011, 13(8): 42-47
- [6] C M Park, J Y Park, K H Noh. *Taraxacum officinale* Weber extracts inhibit LPS-induced oxidative stress and nitric oxide production via the NF- $\kappa$ B modulation in RAW 264.7 cells [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 133(2): 834-42
- [7] 宋晓勇,刘强,王子华.蒲公英多糖降糖药理作用研究[J].中国药房,2009,20(27):2095-2097  
SONG Xiao-yong, LIU Qiang, WANG Zi-hua. Antihyperglycemic activity of herba taraxaci polysaccharides [J]. China Pharmacy, 2009, 20(27): 2095-2097
- [8] Beckman J S, Beckman T W, Chen J, et al. Apparent hydroxylradical production by peroxynitrite: Implications for endothelial injury from nitric oxide and superoxide [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1990, 87(4): 1620-1624
- [9] Niki E. Antioxidant capacity: Which capacity and how to assess it? [J]. Journal of Berry Research, 2011, 1(4): 169-176
- [10] 涂宗财,傅志丰,王辉,等.红薯叶不同溶剂提取物抗氧化性及活性成分鉴定[J].食品科学,2015,36(17):1-6  
TU Zong-cai, FU Zhi-feng, WANG Hui, et al. Comparison of antioxidant activities of various solvent extracts of sweet potato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.] leaves and identification of antioxidant constituents of the methanol extract [J]. Food Science, 2015, 36(17): 1-6
- [11] 刘世馨,杜咏梅,侯小东,等.洋葱皮不同溶剂提取物的体外抗氧化、抑制 $\alpha$ -糖苷酶活性研究[J].食品工业科技,2018,39(9):33-39  
LIU Shi-xin, DU Yong-mei, HOU Xiao-dong, et al. Study on antioxidant and inhibition of  $\alpha$ -glucosidase activities *in vitro* of different solvent extracts from onion skin (*Allium cepa* L.) [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(9): 33-39
- [12] Saltarelli, Ceccaroli P, Iotti M, et al. Biochemical characterisation and antioxidant activity of mycelium of *Ganoderma lucidum* from central Italy [J]. Food Chemistry, 2009, 116(1): 143-151
- [13] Wada L, Ou B. Antioxidant activity and phenolic content of Oregon caneberries [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50 (12): 3495-3500
- [14] 包怡红,梁敏,赵行,等.俄罗斯野生蓝莓引种前后营养成分含量及抗氧化活性的比较分析[J].中国酿造,2017,36(5): 156-160  
BAO Yi-hong, LIANG Min, ZHAO Hang, et al. Comparative analysis of nutrient contents and antioxidant activities of Russia's wild blueberry before and after introduction [J]. China Brewing, 2017, 36(5): 156-160
- [15] 安可婧.生姜不同前处理联合热风间歇微波耦合干燥的研究[D].中国农业大学,2014  
AN K J. Research on different pretreatments combined with hot air coupling intermittent microwave drying of ginger [D]. China Agricultural University Ph.D. ionDissertat, 2014

- [16] Zhu Yunping, Yin Lijun, Cheng Yongqiang, et al. Effects of sources of carbon and nitrogen on production of  $\alpha$ -glucosidaseinhibitor by a newly isolated strain of *Bacillus subtilis* B2 [J]. Food Chemistry, 2008, 109(4): 737-742
- [17] Pradeep P M, Sreerama Y N. Phenolic antioxidants of foxtail and little millet cultivars and their inhibitory effects on  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase activities [J]. Food Chemistry, 2017: S0308814617319222
- [18] 骆嘉原,孙凯峰,包怡红.黑木耳多糖的酶法生物转化工艺优化及其体外降血糖性能[J].食品工业科技,2019,40(21): 203-209,230  
LUO Jia-yuan, SUN Kai-feng, BAO Yi-hong. Optimization of enzymatic biotransformation process of polysaccharides from *Auricularia auricula* and its hypoglycemic performance *in vitro* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(21): 203-209, 230
- [19] Rina Andriyani, Thelma A Buddiati, Sri Pudjiahariti. Effect of extraction method on total flavonoid, total phenolic content, antioxidant and anti-bacterial activity of *Zingiberis officinale* rhizome [J]. Procedia Chemistry, 2015, 16: 149-154
- [20] Dorman HJ D, Peltoketo A, Hiltunen R, et al. Characterisation of the antioxidant properties of de-odourised aqueous extracts from selected *Lamiaceae herbs* [J]. Food Chemistry, 2003, 83: 255-262
- [21] 葛思琪,赵庆生,孙广利,等.芦笋总皂苷的提取纯化及抗氧化研究[J].食品研究与开发,2018,39(20):57-62  
GE Si-qi, ZHAO Qing-sheng, SUN Guang-li, et al. Study on extraction purification and antioxidant activity of total saponins from asparagus officinal L. [J]. Food Research and Development, 2018, 39(20): 57-62
- [22] 董航.几种中药多糖的组成及抗氧化活性研究[D].长春师范学院,2012  
DONG Hang. Study on composition and antioxidant activity of polysaccharides from several kinds of Chinese traditional medicines [D]. Changchun Normal University, 2012
- [23] 赵艳红,李建科,赵维,等.常见药食植物提取物体外抗氧化活性的评价[J].食品科学,2009,30(3):104-108  
ZHAO Yan-hong, LI Jian-ke, ZHAO Wei, et al. Evaluation on antioxidant activities of extracts from common edible and medicinal plants *in vitro* [J]. Food Science, 2009, 30(3): 104-108
- [24] 栗铭鸿,李官浩,朴守焕,等.鸡枞菌不同溶剂提取物成分分析及抗氧化作用研究[J].食品与机械,2018,34(1):144-148  
LI Ming-hong, LI Guan-hao, PIAO Shou-huan. Research of composition and antioxidant activity of different solvent extracts from *Termitomyces albuminosus* [J]. Food & Machinery, 2018, 34(1): 144-148
- [25] 向进乐,李志西,李欢,等.枳椇果梗不同极性多酚及抗氧化活性研究[J].食品科学,2011,32(15):25-29  
XIANG Jin-le, LI Zhi-xi, LI Huan, et al. Separation and antioxidant activity of polyphenols with different polarities from *Hovenia acerba* fruit [J]. Food Science, 2011, 32(15): 25-29
- [26] 李宪瑾,范晓,韩丽君,等.海藻提取物中  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的初步筛选[J].中国海洋药物,2002,2:8-11  
LI Xian-cui, FAN Xiao, HAN Li-jun, et al. Screening for  $\alpha$ -Glucosidase inhibitors from the macroalgal extracts [J]. Chinese Journal of Marine Drugs, 2002, 2: 8-11
- [27] 胡巧云,余红纯,张梅喜,等.十种中药提取物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用[J].郑州大学学报(医学版),2011,46(2):211-213  
HU Qiao-yun, SHE Hong-chun, ZHANG Mei-xi, et al. Inhibitory effects of 10 kinds of traditional Chinese medicine extracts on  $\alpha$ -Glucosidase activity [J]. Journal of Zhengzhou University(Medical Sciences), 2011, 46(2): 211-213
- [28] 黄绍华,胡晓波,王震宙.山药多糖对  $\alpha$ -淀粉酶活力的抑制作用[J].食品工业科技,2006,9:94-95  
HUAGN Shao-hua, HU Xiao-bo, WANG Zhen-zhou. Inhibition of yam polysaccharides on  $\alpha$ -amylase activity [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 9: 94-95
- [29] 张煜.扁枝槲寄生提取物体外抗氧化、降糖、降脂效应研究[D].昆明:云南农业大学,2016  
ZHANG Yu. Study of antioxidant, hypoglycemic and hypolipidemic activity of extracts of *Visum ardiculatum in vitro* [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2016
- [30] 董怡,林恋竹,赵谋明.溪黄草根不同溶剂提取物的抗氧化性[J].食品科学,2011,32(15):39-42  
DONG Yi, LIN Lian-zhu, ZHAO Mou-ming. Antioxidant activity of different solvent extracts from *Rabdosia serra* (Maxim.) Hara roots [J]. Food Science, 2011, 32(15): 39-42
- [31] 赵玉红,马捷,李佳启,等.老山芹不同溶剂提取物的活性成分及其促进细胞生长活性[J].现代食品科技,2018,34(6): 39-45  
ZHAO Yu-hong, MA Jie, LI Jia-qi, et al. Active ingredients and active function of extracts from *Heracleum moellendorffii* Hance by different solvents [J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(6): 39-45
- [32] 朱英,杨志峰,郑平平,等.红腺忍冬叶不同溶剂提取物中咖啡酸和多糖的含量变化研究[J].浙江中医药大学学报,2015, 39(11):824-828



- ZHU Ying, YANG Zhi-feng, ZHENG Ping-ping, et al. Experimental study on change of caffeic acid or polysaccharides content in the different extracts of leaves of *Lonicera hypoglauca* Miq [J]. Journal of Zhejiang Chinese Medical University, 2015, 39(11): 824-828
- [33] 孟祥云,汪永锋,杨丽霞,等.中药多糖抗氧化作用及其机制研究进展[J].中华中医药杂志,2018,33(8):3504-3509  
MENG Xiang-yun, WANG Yong-feng, YANG Li-xia, et al. Research progress on antioxidant mechanism and effects of traditional Chinese medicine polysaccharides [J]. China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy, 2018, 33(8): 3504-3509
- [34] 刘珊珊,刘亚琼,张琦.双酶提取蒲公英根多糖工艺优化及其抗氧化性研究[J].食品科学技术学报,2019,37(6):108-115  
LIU Shan-shan, LIU Ya-qiong, ZHANG Qi. Optimization of synergistic enzymatic hydrolysis of polysaccharide from dandelion root using response surface methodology and investigation on its antioxidant activity [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(6): 108-115
- [35] 肖瑞希,陈华国,周欣.植物多糖降血糖作用及机制研究进展[J].食品科学,2019,40(11):254-260  
XIAO Riu-xi, CHEN Hua-guo, ZHOU Xin. Research progress of hypoglycemic effect and mechanism of plant polysaccharides [J]. Food Science, 2019, 40(11): 254-260
- [36] Chen C, Zhang B, Huang Q, et al. Microwave-assisted extraction of polysaccharides from *Moringaoleifera* Lam. leaves: Characterization and hypoglycemic activity [J]. Industrial Crops and Products, 2017, 100: 1-11
- [37] 朱娇娇,周安婕,丁怡,等.3种天然植物多糖的抗氧化与降血糖活性研究[J].粮食与油脂,2018,31(8):96-100  
ZHU Jiao-jiao, ZHOU An-jie, DING Yi, et al. Antioxidant and hypoglycemic activities of three natural plant polysaccharides [J]. Cereals & Oils, 2018, 31(8): 96-100
- [38] Liu J, Zhang J F, Lu J Z, et al. *Astragalus* polysaccharide stimulates glucose uptake in L6 myotubes through AM PK activation and AS160/TBC1D4 phosphorylation [J]. Acta Pharmacologica Sinica, 2013, 34(1): 137-145
- 
- (上接第 169 页)
- [16] 李利,陈莎,陈福生,等.红曲菌次生代谢产物生物合成途径及相关基因的研究进展[J].微生物学通报,2013,40(2):294-303  
LI Li, CHEN Sha, CHEN Fu-sheng, et al. Review on biosynthetic pathway of secondary metabolites and the related genes in *Monascus* spp [J]. Microbiology China, 2013, 40(2): 294-303
- [17] Vendruscolo F, Buhler R M M, De Carvalho J C, et al. *Monascus*: A reality on the production and application of microbial pigments [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2016, 178(2): 211-223
- [18] Chen Y P, Tseng C P, Liaw L L, et al. Cloning and characterization of monacolin K biosynthetic gene cluster from *Monascus pilosus* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(14): 5639-5646
- [19] Lin Y L, Wang T H, Lee M H, et al. Biologically active components and nutraceuticals in the *Monascus*-fermented rice: A review [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2008, 77(5): 965-973
- [20] Lee B H, Pan T M. Benefit of *Monascus*-fermented products for hypertension prevention: A review [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2012, 94(5): 1151-1161
- [21] Lee B H, Pan T M. Dimerumic acid, a novel antioxidant identified from *Monascus*-fermented products exerts chemoprotective effects: Mini review [J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(1): 2-9
- [22] Pyo Y H, Seo S Y. Simultaneous production of natural statins and coenzyme Q(10) by *Monascus pilosus* fermentation using different solid substrates [J]. Food Science and Biotechnology, 2010, 19(6): 1635-1641
- [23] Hu Y, Zhou Y, Mao Z, et al. NAD<sup>+</sup>-dependent HDAC inhibitor stimulates *Monascus* pigment production but inhibit citrinin [J]. Amb Express, 2017, 7(1): 166
- [24] 胡艳.红色红曲菌 M7 中 *sir2* 基因功能的初步分析[D].武汉:华中农业大学,2018  
HU Yan. Preliminary analysis of *sir2* gene function in *Monascus ruber* M7 [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018
- [25] 邵彦春.红曲霉产色素相关基因的克隆及功能研究[D].武汉:华中农业大学,2007  
SHAO Yan-chun. Cloning of the pigment-producing gene(s) with their functions in *Monascus* spp. [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007