

# 当归不同提取液中阿魏酸、咖啡酸含量及抗氧化作用的比较研究

管西芹<sup>1</sup>,毛近隆<sup>1</sup>,闫滨<sup>2\*</sup>,王丹丹<sup>1</sup>,张欣欣<sup>1</sup>,周洪雷<sup>1</sup>

<sup>1</sup>山东中医药大学药学院;<sup>2</sup>山东中医药大学中医学院,济南 250355

**摘要:**为考察不同提取条件对当归提取液中阿魏酸和咖啡酸的含量及抗氧化作用的影响,本研究通过 HPLC 外标一点法检测当归提取液中阿魏酸和咖啡酸的含量,通过 DPPH 法和 ABTS 法检测当归提取液的抗氧化作用。研究表明,不同提取条件下当归提取液中阿魏酸的含量为 0.574 ~ 0.707 mg/g,咖啡酸为 0.012 ~ 0.082 mg/g;碱水溶液提取时阿魏酸与咖啡酸的含量最高,其抗氧化活性也最强,而 95% 乙醇提取时的含量最低,抗氧化活性最弱;提取溶剂随醇浓度的增加,咖啡酸的含量逐渐减少,阿魏酸的含量呈现先增加后减少的趋势,30% ~ 50% 乙醇提取时各组分有良好的协同抗氧化作用。

**关键词:**阿魏酸;咖啡酸;HPLC;DPPH;ABTS;抗氧化作用

中图分类号:R285.5

文献标识码:A

DOI:10.16333/j.1001-6880.2018.12.001

## A Comparative Study among Ferulic Acid, Caffeic Acid Content and Antioxidation in Different Extracts of *Angelica sinensis*

GUAN Xi-qin<sup>1</sup>, MAO Jin-long<sup>1</sup>, YAN Bin<sup>2\*</sup>, WANG Dan-dan<sup>1</sup>, ZHANG Xin-xin<sup>1</sup>, ZHOU Hong-lei<sup>1</sup>

<sup>1</sup>College of Pharmacy, Shandong University of Traditional Chinese Medicine;

<sup>2</sup>College of Traditional Chinese Medicine, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China

**Abstract:** This work investigated the effects of different extraction conditions on the contents and antioxidation of ferulic acid and caffeic acid in *Angelica sinensis* extracts, the determination of ferulic acid and caffeic acid in *Angelica* were extracted by HPLC external standard method, the antioxidant activity of *Angelica sinensis* extracts were detected by DPPH and ABTS. The result showed that the contents of Ferulic acid in different extraction conditions of *Angelica sinensis* were 0.574-0.707 mg/g and Caffeic acid were 0.012-0.082 mg/g; *Angelica sinensis* have the highest contents when extracted by alkaline water, and its antioxidant activity is also strongest, but 95% ethanol extraction have the lowest content and weakest antioxidant activity; With the increase of alcohol concentration, The content of Caffeic acid was gradually increased, The content of Ferulic acid increased first and then decreased, Each component has a good synergistic antioxidant effect when extracted by 30% -50% alcohols.

**Key words:** ferulic acid; caffeic acid; HPLC; DPPH; ABTS; antioxidation

当归是伞形科植物当归 *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels 的干燥根,性温,味辛、甘,归肝、心、脾经,具有补血活血、调经止痛、润肠通便等功效。现代药理研究表明,当归具有抗氧化、抗炎、镇痛、抗肿瘤、抗血小板凝聚、抗动脉粥样硬化、抗衰老、增强免疫力等药理作用<sup>[1,2]</sup>。当归是最常用的中药之一,

具有“十方九归”之誉,尤其临床上作为补血活血药在心脑血管系统中广泛应用。

心脑血管疾病与氧化应激损伤密切相关,当归中的抗氧化物质可降低机体的氧化损伤。研究报道,当归芍药散<sup>[3]</sup>具有清除羟自由基、超氧阴离子的作用,明显抑制脑过氧化脂质的生成,显著提高衰老小鼠和缺血/再灌注损伤大鼠脑、血清中的 SOD 活力,降低血清中 MDA 的含量;当归补血汤<sup>[4]</sup>在大鼠心肌缺血模型中,明显降低血清中 TNF- $\alpha$ 、IL-6 和 MDA 的含量,提高血清中 SOD、CAT 和 GPx 的活力,显著改善冠脉结扎诱导的心脏病理学改变,其作用机制与调节氧化应激相关细胞因子及蛋白表达水平

收稿日期:2018-05-10 接受日期:2018-11-07

基金项目:科技部“重大新药创制”科技重大专项(2014ZX09509 001);山东省重点研发计划(2016GSF202034);山东省中医药科技发展计划(2015-023);山东省高等学校科技计划(J16LM53);山东省高等学校中医药抗病毒协同创新中心首批立项课题(XTCX2014B-01)

\*通信作者 Tel:86-013791013232; E-mail:robinyan2002@163.com

有关。

当归中的抗氧化药效物质报道有酚酸类<sup>[5]</sup>、黄酮类<sup>[6]</sup>、当归多糖<sup>[7,8]</sup>以及当归内酯<sup>[9,10]</sup>等。当归中有机酸类成分含量较多,中国药典<sup>[11]</sup>规定当归中阿魏酸的含量不低于0.050% (也即0.5 mg/g),在不同产地<sup>[12]</sup>当归中的阿魏酸为0.46~1.95 mg/g,在不同炮制<sup>[13]</sup>当归中的阿魏酸为0.12~0.75 mg/g。从生化途径看,咖啡酸与阿魏酸都是由莽草酸通过系列反应生成的肉桂酸衍生物<sup>[14]</sup>,当归中也有少量咖啡酸,但国内研究鲜有报道。

本实验探索当归在不同提取条件下抗氧化药效物质的溶出和生物效价的关系,当归提取液中的抗氧化成分阿魏酸和咖啡酸的含量通过HPLC比较研究,抗氧化作用通过清除DPPH·和ABTS·<sup>+</sup>自由基的能力进行评价,分析不同提取条件对当归提取液中酚酸类物质的含量和抗氧化作用的影响,为进一步研究当归的药理作用提供实验依据。

## 1 实验材料

当归(产地甘肃,批号161101):山东百味堂中药饮片有限公司生产,购于山东中医药大学第一附属医院中药房,粉碎,过三号筛。按照《中国药典》2015年版1部<sup>[11]</sup>测定当归中阿魏酸的含量为0.069% (也即0.69 mg/g),符合药典不少于0.050%的要求。

仪器与试剂:阿魏酸(上海诗丹德公司;批号588)、咖啡酸(上海诗丹德公司;批号2681);DPPH(北京中生瑞泰科技有限公司;批号160506),ABTS(上海阿拉丁生化科技股份有限公司;批号#K1517067),维生素C(Vc)(上海源叶生物科技有限公司;批号160709);乙腈为色谱纯(国药集团化学试剂有限公司;沪试),乙醇为分析纯(国药集团化学试剂有限公司;沪试),娃哈哈纯净水(杭州娃哈哈集团有限公司)。LC-10ATvp高效液相色谱仪(岛津,日本);SPD-10A检测器(岛津,日本);ZORBAX SB-C<sub>18</sub>(4.6×150 mm,5 μm)色谱柱(安捷伦,美国);FA1004N电子分析天平(上海精密科学仪器有限公司);QE-300高速万能粉碎机(浙江屹立工贸有限公司),Spectra Max多功能读板机(美谷分子仪器有限公司)。

## 2 实验方法

### 2.1 当归提取液中阿魏酸与咖啡酸含量的测定

#### 2.1.1 色谱条件

ZORBAX SB-C<sub>18</sub>色谱柱(4.6×150 mm,5 μm),流动相乙腈-0.085%磷酸水溶液(17:83),检测波长为316 nm,流速为1.0 mL/min,进样量为10 μL,柱温为35℃。

#### 2.1.2 对照品溶液的制备

精密称取阿魏酸对照品0.0019 g,咖啡酸0.0014 g,分别置10 mL容量瓶中,70%甲醇定容,即得对照品储备液,移液枪分别移取对照品储备液各200 μL置2 mL EP管,加入1600 μL 70%甲醇溶液制成每1 mL含阿魏酸19 μg和咖啡酸14 μg的混合对照品溶液,微孔滤膜(0.45 μm)过滤,取续滤液,即得。

#### 2.1.3 供试品溶液的制备

取0.5 g当归粉末,放入圆底烧瓶,加入50 mL蒸馏水,称重记录,加热回流1 h,放冷,溶剂补足失重,混匀,即得当归水提液。同法,得到不同溶剂的当归提取液,提取溶剂分别为30%乙醇、50%乙醇、70%乙醇、95%乙醇、酸水溶液(HCl调节pH为2~3)、碱水溶液(NaOH调节pH为11~12),酸水与碱水提取液分别用NaOH和HCl将pH调至中性,移液枪移取200 μL当归提取液置2 mL EP管,加入1800 μL 70%甲醇溶液,微孔滤膜(0.45 μm)过滤,取续滤液,即得。

#### 2.1.4 含量测定

取步骤“2.1.3”所得供试品溶液,按拟定的色谱条件进样,记录保留时间与峰面积,外标一点法计算阿魏酸与咖啡酸的含量(mg/g),结果见表1。

线性关系考察:分别取19 μg/mL的阿魏酸标对照品溶液和14 μg/mL的咖啡酸标准品溶液各0.01、0.03、0.09、0.27、0.81、2.43 mL置10 mL容量瓶,70%甲醇定容,共得6个不同浓度的混合对照品溶液,按拟定的色谱条件进样,以对照品浓度 $X$ (μg/mL)为横坐标,峰面积 $Y$ 为纵坐标,绘制标准曲线。阿魏酸的标准曲线为 $Y = 56489X + 756.96$ , $R^2 = 0.9993$ ;咖啡酸的标准曲线为 $Y = 55224X - 1645.6$ , $R^2 = 0.9991$ 。

精密度检验:取阿魏酸和咖啡酸混合对照品溶液,按拟定的色谱条件连续进样6次,记录阿魏酸和咖啡酸的峰面积,计算两组分峰面积的RSD分别为0.3%和0.5%,表明仪器精密度高。

重复性试验:取6份同一批次当归药材粉末,精密称定,按照“2.1.3”步骤用70%乙醇提取,按拟定

的色谱条件进样分析。阿魏酸和咖啡酸含量的 RSD 分别为 0.9% 和 1.5%。

稳定性试验:取同一供试品溶液,室温放置,分别于 0、2、4、6、8、10 h,按拟定的色谱条件进样分析。阿魏酸和咖啡酸峰面积的 RSD 分别为 1.7% 和 3%。结果表明供试品溶液在 10 h 内稳定。

加样回收率考察:取同一批次已知含量的当归粉末 6 份,加入已知浓度的混合标准品溶液适量,再加入 70% 乙醇溶液 50 mL,按照“2.1.3”制备供试品溶液,按拟定的色谱条件进样,计算加样回收率。阿魏酸的加样回收率为 98.3%,RSD 为 1.3%,咖啡酸的加样回收率为 96.3%,RSD 为 1.9%。

## 2.2 当归提取液抗氧化活性的研究

### 2.2.1 DPPH·自由基清除能力的研究

参考文献<sup>[15]</sup>的方法,并稍作改进。将当归不同溶剂的提取液稀释成不同浓度的测试液,Vc 作参照品。移液枪移取测试液 50  $\mu$ L 置 96 孔板内,设两个副孔,再加入 120  $\mu$ g/mL 的 DPPH 溶液 100  $\mu$ L,对照组用 70% 乙醇代替不同浓度的测试液,避光反应 30 min,用多功能读板机在 517 nm 处测各孔的吸光度,分别记作  $A_{\text{测试}}$  和  $A_{\text{对照}}$ ,按照下述公式计算清除率。

$$\text{自由基清除率}(\%) = \frac{A_{\text{对照}} - A_{\text{测试}}}{A_{\text{对照}}} \times 100\%$$

### 2.2.2 ABTS<sup>+</sup>自由基清除能力的研究

参考文献<sup>[15]</sup>的方法,并稍作改进。用 95% 乙

醇配制 135  $\mu$ g/mL 的 ABTS 工作液,将当归提取液用乙醇稀释成一系列不同浓度的测试液,Vc 做参照品。移取 50  $\mu$ L 不同浓度的提取液和 100  $\mu$ L ABTS 工作液置 96 孔板内,设两个副孔,对照组用 95% 乙醇代替不同浓度的当归提取液,避光反应 6 min,用多功能读板机在 734 nm 处测各孔的吸光度,分别记作  $A_{\text{测试}}$  和  $A_{\text{对照}}$ ,计算公式与 DPPH 相同。

自由基清除能力以半数抑制率( $IC_{50}$ )来衡量, $IC_{50}$ 是指清除率为 50% 时的药物浓度(以每毫升测试溶液相当于原药材的质量来表示), $IC_{50}$ 值越小其清除自由基的能力越强。 $IC_{50}$ 值以浓度为横坐标,以清除率为纵坐标做回归方程来计算求得。

## 3 结果与分析

### 3.1 阿魏酸和咖啡酸的含量测定

按照“2.1.1”的色谱条件进样,检测单一对照品、混合对照品及供试品溶液的色谱图,通过比较有 2 个主要色谱峰(如图 1-A 和图 1-B 所示),咖啡酸和阿魏酸的保留时间分别为 4.046 min 和 8.873 min,按外标一点法分别计算供试品中阿魏酸和咖啡酸的含量,结果如表 1 所示。将当归用 70% 甲醇提取时,阿魏酸的含量为 0.690 mg/g,咖啡酸为 0.039 mg/g,其中阿魏酸的含量与王婕等<sup>[12]</sup>报道相近;当归用纯水提取时咖啡酸的含量为 0.071 mg/g,与 Li 等<sup>[16]</sup>报道基本一致。

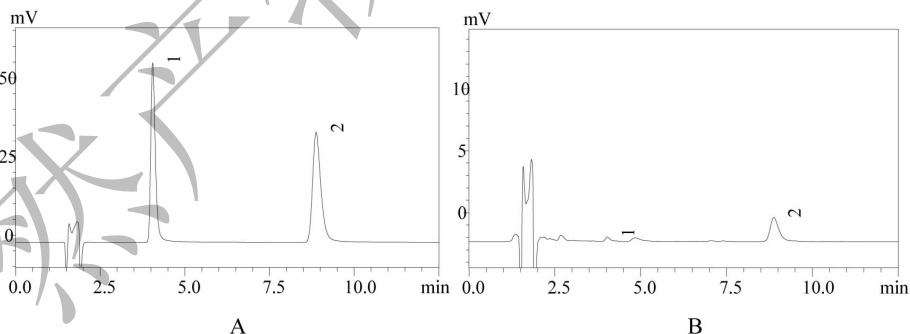


图 1 混合对照品溶液(A)和当归水提取液(B)的 HPLC 图谱

Fig. 1 HPLC chromatogram of mixed reference solution (A) and extract of water from Angelica (B)

当归以不同溶剂提取时,阿魏酸的含量为 0.574 ~ 0.707 mg/g,咖啡酸的含量为 0.012 ~ 0.082 mg/g,并呈现出一定的规律,如图 2 所示。当归以不同醇浓度的溶剂提取时,随着乙醇浓度的增加,咖啡酸的溶出逐渐降低,从 0.071 mg/g 降低到 0.012 mg/g;而阿魏酸的含量在 30% 乙醇时最高,从 0.597

mg/g 增加到 0.652 mg/g,又逐渐降低至 0.574 mg/g。当归以不同酸碱度的溶剂提取时,碱性条件下阿魏酸和咖啡酸的含量最高,分别为 0.707 mg/g 和 0.082 mg/g,酸性条件下不利于咖啡酸但有利于阿魏酸的溶出。

表 1 当归提取液中咖啡酸与阿魏酸的含量 ( $n=3$ )Table 1 The content of Caffeic acid and Ferulic acid in Angelica extract ( $n=3$ )

提取溶剂 Extraction solvent	咖啡酸 Ferulic acid (mg/g)	阿魏酸 Caffeic acid (mg/g)
70% 甲醇 70% Methanol	0.039 ± 0.007	0.690 ± 0.004
碱水溶液 Alkaline water	0.082 ± 0.014	0.707 ± 0.034
酸水溶液 Acid water	0.051 ± 0.001	0.641 ± 0.009
纯水 Water	0.071 ± 0.007	0.597 ± 0.052
30% 乙醇 30% Ethanol	0.038 ± 0.004	0.652 ± 0.016
50% 乙醇 50% Ethanol	0.028 ± 0.001	0.646 ± 0.010
70% 乙醇 70% Ethanol	0.021 ± 0.003	0.615 ± 0.008
95% 乙醇 95% Ethanol	0.012 ± 0.001	0.574 ± 0.024

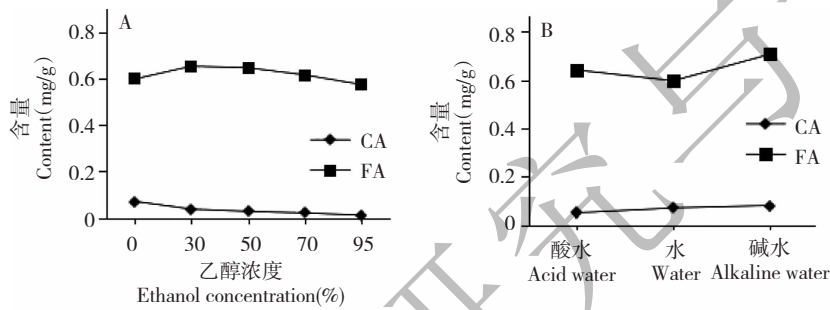
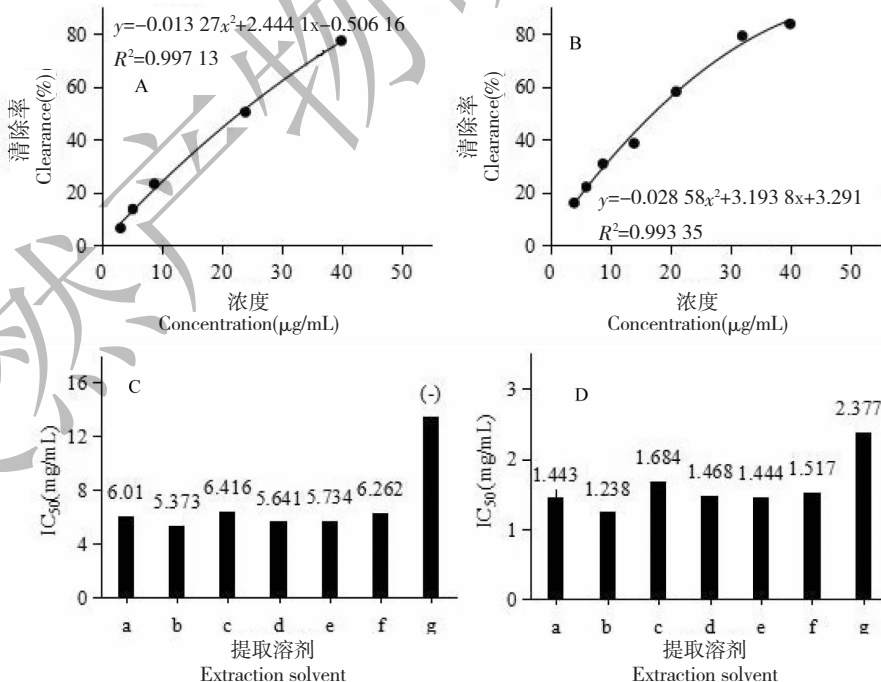


图 2 不同溶剂对提取液中阿魏酸 (FA) 与咖啡酸 (CA) 含量的影响

Fig. 2 Effect of different solvents on the contents of ferulic acid (FA) and caffeic acid (CA) in extracts

图 3 不同提取液对 DPPH·和 ABTS<sup>+</sup> 自由基清除能力比较Fig. 3 Comparison of scavenging activity on DPPH and ABTS<sup>+</sup> free radical of different extracts

注: a: 酸水, b: 碱水, c: 纯水, d: 30% 乙醇, e: 50% 乙醇, f: 70% 乙醇, g: 95% 乙醇。

Note: a: Acid water, b: Alkaline water, c: Water, d: 30% Ethanol, e: 50% Ethanol, f: 70% Ethanol, g: 95% Ethanol.

### 3.2 当归提取液对 DPPH· 和 ABTS<sup>+</sup> 自由基的清除能力

参照品 Vc 对 DPPH 自由基清除率曲线如图 3-A 所示,通过回归曲线方程计算 IC<sub>50</sub> 值为 23.212 μg/mL;参照品 Vc 对 ABTS<sup>+</sup> 自由基清除率的曲线如图 3-B 所示,IC<sub>50</sub> 值为 17.360 μg/mL。魏彦明等<sup>[17]</sup> 曾研究当归及其不同炮制品,其水提物在体外具有一定的抗脂质过氧化作用,其中当归碳中的阿魏酸含量低,但抗氧化活性最好。本实验研究不同提取条件对当归提取液中阿魏酸和咖啡酸的含量,以及对提取液抗氧化作用的影响,其 IC<sub>50</sub> 值比较如图 3-C 和 3-D 所示。

从图 3-C 可以看出不同条件下的当归提取液对 DPPH 自由基都具有一定的清除作用,在碱水溶液提取时阿魏酸和咖啡酸的含量最高,清除 DPPH 自由基的能力最强,IC<sub>50</sub> 值为 5.373 mg/mL;在醇溶液提取时,清除 DPPH 自由基的能力随乙醇浓度的增加,呈现先升高后降低趋势;在 30% 乙醇提取时活性最高,IC<sub>50</sub> 值为 5.641 mg/mL;纯水或 95% 乙醇提取时的清除能力都较弱,其中 95% 乙醇时阿魏酸和咖啡酸的含量最低,清除 DPPH 自由基的能力最弱,其 IC<sub>50</sub> 值大于 10 mg/mL。

从图 3-D 可以看出不同的当归提取液对 ABTS<sup>+</sup> 自由基具有一定的清除作用,在碱水溶液提取时阿魏酸和咖啡酸的含量最高,清除 ABTS<sup>+</sup> 自由基的能力最强,IC<sub>50</sub> 值为 1.238 mg/mL;在醇溶液提取时,清除 ABTS<sup>+</sup> 自由基的能力随乙醇浓度的增加,呈现先升高后降低趋势,在 50% 乙醇提取时活性最高,IC<sub>50</sub> 值为 1.444 mg/mL;纯水或 95% 乙醇提取时的清除能力都较弱,其中 95% 乙醇时阿魏酸和咖啡酸的含量最低,清除 ABTS<sup>+</sup> 自由基的能力最弱,其 IC<sub>50</sub> 值为 2.377 mg/mL。

## 4 讨论

在反相色谱柱为 ZORBAX SB-C<sub>18</sub>, 乙腈-0.085% 磷酸水溶液 (17:83), 检测波长为 316 nm, 流速为 1.0 mL/min, 进样量为 10 μL, 柱温为 35 °C 条件下检测, 当归中两种酚酸类物质的 HPLC 保留时间比较, 咖啡酸 (4.046 min) 较小, 阿魏酸 (8.873 min) 较大, 由于咖啡酸有 2 个酚羟基, 其极性大而保留时间小。当归以不同的溶剂提取时, 阿魏酸的含量为 0.574 ~ 0.707 mg/g, 咖啡酸为 0.012 ~ 0.082 mg/g。当归用 95% 乙醇提取时, 阿魏酸和咖

啡酸的含量最低, 分别为 0.574 mg/g 和 0.012 mg/g; 而碱水溶液有利于酚酸类物质的水解和溶出, 阿魏酸和咖啡酸的含量最高, 分别为 0.707 mg/g 和 0.082 mg/g。

不同醇浓度的当归提取液对 DPPH· 和 ABTS<sup>+</sup> 自由基都具有一定的清除作用, 与酚酸类物质的浓度呈现出相似的趋势, 其抗氧化作用随乙醇浓度的增加呈现先升高后降低趋势, 纯水或 95% 乙醇提取时较弱, 30% ~ 50% 乙醇提取时较强。提取液中阿魏酸的极性较弱, 随着醇比例的增加其含量先增加后减少, 而咖啡酸的极性较大, 随着醇的比例增加其含量逐渐减少, 因此, 95% 乙醇提取液的抗氧化作用较弱, 而 30% ~ 50% 醇提液的抗氧化作用较强。当归中在纯水提取时多糖类成分溶出最高<sup>[18]</sup>, 酚酸类在 30% 乙醇中溶出较高, 黄酮类成分在 70% 乙醇提取时溶出最高<sup>[19]</sup>, 用 95% 醇提取时当归内酯溶出提高但黄酮、多糖、酚酸类等成分溶出减少, 因此, 当归以 30% ~ 50% 乙醇提取时不同的成分发挥良好的协同抗氧化作用。

不同酸碱度的当归提取液对 DPPH· 和 ABTS<sup>+</sup> 自由基具有良好的清除作用, 纯水溶液的清除能力较弱, 碱水溶液的清除能力最强。当归在酸水提取时, 咖啡酸的含量低于纯水提取, 而阿魏酸的含量略高于纯水提取, 可能是酸性条件下咖啡酸的极性大而溶出受到抑制, 但有利于结合态阿魏酸的水解和溶出<sup>[20]</sup>, 而酸性条件也能适当提高当归多糖的提取率<sup>[18]</sup>, 因此, 酸水提取液的抗氧化活性要优于纯水提取液。当归在碱水提取时, 碱性条件有利于当归中总酚酸的水解和溶出, 其中阿魏酸和咖啡酸的溶出也最高, 而当归中的黄酮类化合物具有酚羟基也易溶于碱水, 有些具有糖醛酸的酸性多糖在碱性条件下溶出也进一步增加, 碱水提取液中多种抗氧化活性成分协同作用使抗氧化活性最强。

### 参考文献

- 1 Li X (李曦), Zhang LH (张丽宏), Wang XX (王晓晓), et al. Research progress of chemical composition and pharmacological action on *Angelica sinensis* [J]. *J Chin Med Mater* (中药材), 2013, 36: 1023-1028.
- 2 Liu XD (刘雪东), Li WD (李伟东), Cai BC (蔡宝昌), et al. Research progress of chemical composition and effects of cardiovascular system on *Angelica sinensis* [J]. *J Nanjing Univ Tradit Chin Med* (南京中医药大学学报), 2010, 26: 155-157.

- 3 Ma SP(马世平), Zhan Y(詹莹), Zhai R(翟融). Experimental studies on the antioxidative activity of danggui shsoyao san( DSS)[J]. *Pharmacol Clin Chin Mater Med*(中药药理与临床), 2001, 17:1-3.
- 4 Wang SG(王时光), Yang F(杨帆), Liang GQ(梁国庆), et al. Effect of antioxidant activity of Dangguibuxuetang on coronary artery ligation - induced myocardial ischemia rat[J]. *Lishizhen Med Mater Med Res*(时珍国医国药), 2016, 27: 1850-1852.
- 5 Zhang XX(张晓晓), Zhang S(张硕), Huang XY(黄晓燕), et al. Anti-lipoperoxidation of several organic polyphenol acids in vitro[J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2014, 26:398-402.
- 6 Wang FR(王芙蓉), Wu DQ(吴冬青), An HG(安红钢), et al. Study on the optimum extraction process for total flavonoids from *Angelica sinensis*(Oliv.) Diels and its antioxidant effects in vitro[J]. *J Tradit Chin Vet Med*(中兽医医学杂志), 2010, 05:11-15.
- 7 Ling XM(凌小曼), Ding H(丁虹), Luo SD(罗顺德), et al. Study on the pharmacological mechanism of angelica polysaccharide on the immunocompetence and the effects of its anti-oxidation[J]. *Chin J Hosp Pharm*(中国医院药学杂志), 2002, 22:8-10.
- 8 Yan A(闫安), Xie YL(谢云亮). Effect of *Angelicae sinensis* radix polysaccharide on oxidative stress level and inflammatory cytokine expression of brain tissues in rats with cerebral ischemia reperfusion injury[J]. *Chin J Exp Tradit Med Form*(中国实验方剂学杂志), 2018, 24:123-127.
- 9 Long Y(龙悦), Du JR(杜俊蓉), Chen SJ(陈淑杰). Free radical scavenging and antioxidant activities of *Angelica sinensis*(Oliv.) Diels lactones[J]. *West China J Pharm Sci*(华西药学杂志), 2010, 25:420-422.
- 10 Li WD(李伟东), Wu Y(吴育), Liu XD(刘雪东), et al. Isolation, identification and screen of lactone compounds from *Angelica sinensis*[J]. *Chin Tradit Patent Med*(中成药), 2011, 33:2114-2118.
- 11 Chinese Pharmacopoeia Commission(国家药典委员会). Pharmacopoeia of the People's Republic of China; Vol I(中华人民共和国药典:第一部)[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2015:133-134.
- 12 Wang J(王婕), Zhao JB(赵建邦), Song PS(宋平顺). Determination of ferulic acid and ligustilide in 30 batches of *Angelica sinensis*[J]. *Chin J Exp Tradit Med Form*(中国实验方剂学杂志), 2011, 17:70-73.
- 13 Wang YM(王雁梅), Ren JL(任京力), Zhu WY(朱吾元), et al. Effect of different processing methods on contents of active ingredients in *Angelicae sinensis* radix[J]. *Chin J Exp Tradit Med Form*(中国实验方剂学杂志), 2014, 20:42-45.
- 14 Taofiq O, Gonzalez-Paramas AM, Barreiro MF, et al. Hydroxycinnamic acids and their derivatives: cosmeceutical significance, challenges and future perspectives, a review[J]. *Molecules*, 2017, 22:1-24.
- 15 Zeng WC(曾维才), Shi B(石碧). Common methods of antioxidant activity evaluation for natural products: a review[J]. *Chem Ind Eng Prog*(化工进展), 2013, 32: 1205-1213.
- 16 Li W, Tang Y, Qian Y, et al. Comparative analysis of main aromatic acids and phthalides in *Angelicae sinensis* radix Chuanxiong rhizoma and Fo-Shou-San by a validated UHPLC-TQ-MS/MS[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2014, 99:45-50.
- 17 Wei YM(魏彦明), Guo YS(郭延生), Qu YL(曲亚玲), et al. Anti-lipid peroxidation of the water extracts from processed products of chinese *Angelica in vitro*[J]. *Nat Prod Res Dev*(天然产物研究与开发), 2010, 22:878-882.
- 18 Sheng XL(盛小莉), Wang KP(王凯平). Optimization of *Angelica* polysaccharide extraction process using orthogonal design[J]. *Chin Tradit Pat Med*(中成药), 2008, 30:1862-1864.
- 19 Cai X(蔡璇). Optimization of extraction process of total flavonoids from *Angelica sinensis* by response surface method[J]. *Food Res Dev*(食品研究与开发), 2016, 37:100-104.
- 20 Liu J(刘敬), Li WJ(李文健), Wang CM(王春明), et al. Biosynthesis and regulation of ferulic acid in *Angelica sinensis*[J]. *Chin Tradit Herb Drugs*(中草药), 2008, 39:1909-1912.