

赶黄草活性成分提取及不同部位成分分布对比

Extraction of active ingredients from *Penthorum chinense* pursh and comparison of component distribution in different parts

向卓亚¹ 朱柏雨¹ 朱永清¹ 夏陈¹ 陈松²

XIANG Zhuoya¹ ZHU Boyu¹ ZHU Yongqing¹ XIA Chen¹ CHEN Song²

(1. 四川省农业科学院农产品加工研究所[四川省农业科学院食物与营养健康研究所],

四川 成都 610066; 2. 古萃[古蔺]生物科技有限公司, 四川 泸州 646500)

(1. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology [Institute of Food Nutrition and Health, Sichuan Academy of Agricultural Sciences], Sichuan Academy of Agricultural Sciences,

Chengdu, Sichuan 610066, China; 2. Gucui Biotechnology Co., Ltd., Luzhou, Sichuan 646500, China)

摘要:目的:确定赶黄草活性成分提取溶剂,比较赶黄草不同部位活性成分含量差异,合理开发赶黄草。方法:测定赶黄草中总多酚、总黄酮、多酚类化合物含量及其抗氧化能力。结果:随着溶剂浓度的增加,总多酚、总黄酮含量呈先升高后降低的趋势。全草中主要的 7 种酚类化合物(儿茶素、芦丁、乔松素葡萄糖苷、槲皮素、山奈酚、乔松素和赶黄草苷 A)含量以及 ABTS 自由基清除能力与铁离子还原能力均以 80%乙醇提取物的最高。赶黄草不同部位总多酚含量、总黄酮含量、ABTS 自由基清除能力、DPPH 自由基清除能力及铁离子还原能力均呈现为花>叶>茎,且花和茎中的含量及活性随提取时间的延长均显著降低,而叶中的总多酚、总黄酮含量相对稳定。此外,抗氧化活性与总多酚、儿茶素、异槲皮苷、山奈酚-3-O-芸香糖苷、阿福豆苷、乔松素葡萄糖苷含量呈极显著正相关($P < 0.01$)。结论:80%乙醇提取赶黄草中活性成分效果最好,其活性成分含量高且活性稳定。

关键词:赶黄草;溶剂;部位;多酚类化合物;抗氧化活性

Abstract: Objective: This study aimed to determine the extraction solvent and compare the distribution of functional ingredient and antioxidant activities in different parts of *Penthorum chinense*

pursh. **Methods:** the total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant capacity and individual phenolic compounds content in *Penthorum chinense* pursh were determined and analyzed. **Results:** The total phenolic content, total flavonoid content increased and then decreased with the increase of solvent concentration. The seven main phenolic compounds (catechin, rutin, pinocembrin-7-O-glucoside, quercetin, kaempferol, pinocembrin and thoningianin A), ABTS radical scavenging ability, and ferric ion reduction ability were the highest in 80% ethanol extract. The contents of total phenolic content, total flavonoid content, ABTS radical scavenging ability, DPPH radical scavenging ability and ferric ion reducing ability of different parts of *Penthorum chinense* pursh were flower > leaves > stem. The total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant capacity of flower and stem decreased significantly with the increasing of storage time, while leaves were relatively stable. In addition, the antioxidant activities of *Penthorum chinense* pursh were significantly positively correlated with total phenolic content, catechin, isoquercetin, kaempferol-3-O-rutinoside, afzelin, and pinocembrin-7-O-glucoside ($P < 0.01$). **Conclusion:** 80% ethanol appears the most effective for polyphenol extraction in *Penthorum chinense* pursh, and the leaves have the great potential for development and utilization with high content and stable antioxidant activity.

Keywords: *Penthorum chinense* pursh; solvents; parts; polyphenol; antioxidant activity

基金项目:四川省农业科学院“1+9 揭榜挂帅”项目(编号:1+9KJGG007);四川道地中药材创新团队项目(编号:SCCXTD-2020-19)

作者简介:向卓亚,女,四川省农业科学院农产品加工研究所(四川省农业科学院食物与营养健康研究所)助理研究员,硕士。

通信作者:夏陈(1983—),男,四川省农业科学院农产品加工研究所(四川省农业科学院食物与营养健康研究所)副研究员,硕士。E-mail: 154541462@qq.com

收稿日期:2023-07-24 **改回日期:**2023-12-18

赶黄草为虎耳科扯根菜属植物(*Penthorum chinense* Pursh)全草,又名水杨柳、扯根菜,主要分布于东北、华北、华南和西南,是四川古蔺县重要农作物及中药材^[1]。其富含多种活性成分,主要为类黄酮类、香豆素类、鞣质

类、三萜类等,其中黄酮类化合物被认为是其主要活性成分^[2-3]。基于其丰富的活性成分,赶黄草常被苗医作为治疗肝病传统药物,现代研究^[4-5]表明其具有抗氧化、抗肝炎病毒、酒精/非酒精性肝脏保护等作用。

赶黄草作为新食品原料^[6-7],已有不同溶剂提取赶黄草的研究^[8],但考察指标仅为槲皮素这一指标。此外,赶黄草作为全草植物,目前市场上通常将其花、叶、茎 3 个部位分别出售,其中花的价格最高,叶次之,茎最低,可能是由于不同部位的槲皮素含量差异较大^[9],而关于赶黄草不同部位各类活性物质分布及抗氧化活性的研究尚未见报道。研究拟以水、乙醇和甲醇作为溶剂提取赶黄草全草中的活性成分,以总多酚、总黄酮含量以及体外抗氧化能力为指标,比较不同溶剂的提取效果。并以赶黄草不同部位(花、茎、叶)为研究对象,采用最佳提取溶剂进行提取,比较不同部位赶黄草活性成分含量差异,为赶黄草的合理开发与进一步利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

赶黄草全草:分别于 2021 年 8 月和 2022 年 8 月在四川省泸州市古蔺县黄荆镇采收,将其花、叶、茎剥离开,标记为 H1、J1、Y1、H2、J2、Y2,自然风干,样品信息见表 1,所有样品经粉碎并过 80 目筛,密封,于 -18 ℃ 保存备用;

表 1 供试样品信息来源

Table 1 Sample source information

编号	样品部位	采收时间	来源
H1	花	2021 年 8 月	古蔺县
J1	茎	2021 年 8 月	古蔺县
Y1	叶	2021 年 8 月	古蔺县
H2	花	2022 年 8 月	古蔺县
J2	茎	2022 年 8 月	古蔺县
Y2	叶	2022 年 8 月	古蔺县

没食子酸、儿茶素、原儿茶酸、表儿茶素、芦丁、异槲皮苷、山奈酚-3-O-芸香糖苷、紫云英苷、阿福豆苷、乔松素葡萄糖苷、槲皮素、山奈酚、没食子酰 3 苯并、乔松素、赶黄草苷 A(纯度 $\geq 98\%$):色谱纯,美国 Simga 公司;

α -生育酚聚乙二醇琥珀酸酯(水溶性 V_E)、福林酚、三硝基化铝、碳酸钠、没食子酸:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

数控超声波清洗仪:KQ-250DB 型,昆山市超声仪器有限公司;

酶标仪:ELX-800 型,美国伯腾仪器有限公司;

高效液相色谱仪:1290 型,配备自动进样器、二元泵、柱温箱、DAD 检测器,美国 Agilent 公司;

超纯水仪:UPT-11-2T 型,四川优普超纯科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品提取

(1) 溶剂:参照 Guo 等^[10]的方法略作修改,称取 1 g 赶黄草样品,分别加入 8 mL 不同溶剂(水、40% 甲醇、80% 甲醇、100% 甲醇、40% 乙醇、80% 乙醇以及 100% 乙醇),40 ℃ 超声提取 30 min,8 000 r/min 离心 15 min,残渣重复提取 2 次,合并 3 次提取液,定容至 25 mL,即为赶黄草全草提取液,过 0.22 μm 滤膜,于 4 ℃ 保存备用。

(2) 部位:分别称取 1 g 赶黄草叶、花和茎,加入 8 mL 80% 乙醇,40 ℃ 超声浸提 30 min,6 000 r/min 离心 10 min,残渣重复提取 2 次,合并 3 次提取液,定容至 25 mL,即为赶黄草样品提取液,过 0.22 μm 滤膜,于离心管中 4 ℃ 保存备用。

1.2.2 总多酚含量测定 参照 Xiang 等^[11]的方法。以没食子酸质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线为 $y = 0.0065x + 0.004$, $R^2 = 0.999$ 。

1.2.3 总黄酮含量测定 参照 Zhang 等^[12]的方法。以儿茶素质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线为 $y = 0.0017x + 0.001$, $R^2 = 0.999$ 。

1.2.4 抗氧化活性测定

(1) ABTS 自由基清除能力:参照 Ma 等^[13]的方法,以水溶性 V_E 质量浓度为横坐标,ABTS 自由基清除率为纵坐标制作标准曲线为 $y = 0.098x - 0.1401$, $R^2 = 0.9924$ 。

(2) DPPH 自由基清除能力:参照 Deng 等^[14]的方法,以水溶性 V_E 质量浓度为横坐标,DPPH 自由基清除率为纵坐标制作标准曲线为 $y = 0.3107x + 0.0329$, $R^2 = 0.9986$ 。

(3) 铁离子还原能力(FRAP):参照 Tian 等^[15]的方法,以水溶性 V_E 质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标制作标准曲线为 $y = 1.7863x + 0.0106$, $R^2 = 0.9998$ 。

1.2.5 多酚类化合物测定 参照朱柏雨等^[16]的方法稍作修改,提取物经 0.22 μm 微孔滤膜过滤后,采用高效液相色谱法进样分析。流动相 A 为 1% 甲酸—水溶液,流动相 B 为乙腈,梯度洗脱:0~10 min, 5%~10% B; 10~15 min, 10%~20% B; 15~20 min, 20%~35% B; 20~30 min, 35%~75% B; 30~32 min, 75%~95% B。Eclipse Plus C_{18} 柱(2.1 mm \times 50 mm, 1.8 μm),检测波长分别为 280, 350 nm;柱温 30 ℃;流量 0.8 mL/min;进样量 2 μL 。15 个标准品分别用甲醇溶解,以二倍稀释法制备不同浓度的标准品溶液,以质量浓度为横坐标,峰面积为纵坐标绘制标准曲线。

1.3 数据处理

采用 SPSS 20.0 统计软件进行数据分析,差异显著性

比较使用 Duncan 多重比较方法, $P < 0.05$ 表示差异具有显著性。

2 结果与分析

2.1 不同溶剂提取赶黄草全草活性成分

2.1.1 总多酚、总黄酮含量 由表 2 可知,不同溶剂提取赶黄草总多酚、总黄酮含量强弱为 80% 乙醇 = 40% 乙醇 \geq 100% 甲醇 > 80% 甲醇 > 40% 甲醇 > 水 > 100% 乙

醇。80%, 40% 乙醇提取物中总多酚含量显著高于其他溶剂提取物。此外,除 100% 乙醇外,乙醇提取总多酚的效果总体优于甲醇,其中 40%, 80% 乙醇更有利于获得较高含量的酚类化合物,但乙醇体积分数过高(100%)对酚类物质提取量反而显著降低。酚类物质在水中的溶解度较低,水提物中总多酚含量最低。研究^[17-19]表明,多酚易溶于一定浓度的有机溶剂中,不同体积分数的乙醇溶液提取中药材中多酚效果优于水提取物。

表 2 不同溶剂提取赶黄草全草中总多酚、总黄酮含量及抗氧化活性[†]

Table 2 The total phenolic content, flavonoids and antioxidant activities in *Penthorum chinense* pursh with different solvents mg/g

溶剂	总多酚含量	总黄酮含量	ABTS 自由基清除率	DPPH 自由基清除率	FRAP
水	52.75 ± 4.81 ^d	15.23 ± 0.75 ^f	251.86 ± 32.86 ^d	8.97 ± 0.20 ^d	1.36 ± 0.01 ^e
40% 甲醇	100.16 ± 2.56 ^c	29.17 ± 1.28 ^{de}	520.05 ± 22.34 ^b	20.44 ± 0.05 ^b	2.21 ± 0.00 ^c
80% 甲醇	111.78 ± 1.59 ^b	41.87 ± 0.88 ^b	294.37 ± 9.46 ^c	20.37 ± 0.06 ^b	2.39 ± 0.14 ^b
100% 甲醇	116.07 ± 4.19 ^b	36.25 ± 3.42 ^{bc}	311.87 ± 0.54 ^c	20.24 ± 0.01 ^b	1.99 ± 0.06 ^d
40% 乙醇	124.27 ± 1.38 ^a	33.35 ± 1.89 ^{cd}	614.08 ± 0.77 ^a	20.43 ± 0.02 ^b	2.62 ± 0.05 ^a
80% 乙醇	125.16 ± 5.64 ^a	60.21 ± 4.77 ^a	318.32 ± 6.09 ^c	20.67 ± 0.01 ^a	2.57 ± 0.04 ^a
100% 乙醇	43.28 ± 3.94 ^e	23.83 ± 2.83 ^e	192.44 ± 9.21 ^e	14.80 ± 0.11 ^c	1.01 ± 0.00 ^f

† 同列小写字母不同代表差异显著($P < 0.05$)。

总黄酮与总多酚含量趋势大致相同,80% 乙醇提取物中总黄酮含量最高,水提物的最低。相同溶剂条件下,随着溶剂极性降低,提取物中总黄酮含量显著增加,相同浓度下乙醇提取物中的总黄酮量显著高于甲醇提取物的,一方面可能是由于黄酮类化合物在水中的溶解度低于有机溶剂;另一方面,赶黄草中可能存在大量弱极性黄

酮类化合物,极性较低的溶剂容易破坏细胞膜,使其他细胞器中的黄酮类化合物被释放^[20]。

2.1.2 抗氧化活性比较 由表 2 可知,赶黄草全草的 DPPH 自由基清除能力为 8.97 ~ 20.67 mg/g。Ismail 等^[21]指出 DPPH 在极性溶剂体系中可以清除更多自由基。与其他溶剂提取物相比,80% 乙醇提取物的抗氧化

表 3 不同溶剂提取赶黄草中多酚类化合物[†]

Table 3 The contents of phenolic compounds in *Penthorum chinense* pursh with different solvents mg/g

溶剂	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	表儿茶素	芦丁	异槲皮苷	山奈酚-3-O-芸香糖苷	紫云英苷
水	1.85 ± 0.06 ^a	0.57 ± 0.02 ^a	1.22 ± 0.01 ^d	0.42 ± 0.03 ^c	/	0.16 ± 0.02 ^d	0.06 ± 0.00 ^f	0.34 ± 0.01 ^e
40% 甲醇	1.75 ± 0.00 ^b	0.52 ± 0.01 ^b	1.87 ± 0.03 ^{bc}	0.58 ± 0.01 ^b	0.01 ± 0.00 ^c	0.31 ± 0.00 ^c	0.66 ± 0.03 ^d	0.91 ± 0.04 ^c
80% 甲醇	1.76 ± 0.00 ^b	0.40 ± 0.01 ^c	2.02 ± 0.02 ^a	0.62 ± 0.00 ^b	0.03 ± 0.01 ^{ab}	0.38 ± 0.01 ^{ab}	1.18 ± 0.04 ^a	1.22 ± 0.00 ^a
100% 甲醇	1.68 ± 0.01 ^c	/	1.79 ± 0.07 ^c	0.58 ± 0.01 ^b	0.03 ± 0.00 ^{ab}	0.37 ± 0.01 ^b	0.95 ± 0.01 ^c	0.10 ± 0.00 ^f
40% 乙醇	1.79 ± 0.00 ^b	0.53 ± 0.01 ^b	1.99 ± 0.02 ^{ab}	0.60 ± 0.00 ^b	0.02 ± 0.00 ^{bc}	0.39 ± 0.00 ^a	1.12 ± 0.08 ^{ab}	1.17 ± 0.00 ^b
80% 乙醇	1.49 ± 0.02 ^d	0.30 ± 0.02 ^d	2.03 ± 0.02 ^a	0.56 ± 0.00 ^b	0.04 ± 0.00 ^a	0.37 ± 0.00 ^{ab}	1.08 ± 0.05 ^b	0.11 ± 0.01 ^f
100% 乙醇	1.22 ± 0.00 ^e	/	1.24 ± 0.03 ^d	0.99 ± 0.03 ^a	/	0.12 ± 0.01 ^e	0.26 ± 0.02 ^e	0.65 ± 0.00 ^d

溶剂	阿福豆苷	乔松素葡萄糖苷	槲皮素	山奈酚	没食子酰 3 苯并	乔松素	赶黄草苷 A
水	0.45 ± 0.02 ^e	0.27 ± 0.04 ^e	/	0.12 ± 0.00 ^g	0.26 ± 0.02 ^f	/	1.88 ± 0.03 ^g
40% 甲醇	0.91 ± 0.04 ^c	0.64 ± 0.01 ^c	/	0.23 ± 0.00 ^e	3.69 ± 0.02 ^e	/	15.33 ± 0.44 ^f
80% 甲醇	1.17 ± 0.01 ^a	0.73 ± 0.01 ^b	0.36 ± 0.01 ^b	0.31 ± 0.01 ^b	13.38 ± 0.37 ^a	0.38 ± 0.04 ^c	82.95 ± 0.67 ^b
100% 甲醇	1.21 ± 0.01 ^a	0.70 ± 0.00 ^b	0.37 ± 0.00 ^b	0.30 ± 0.00 ^c	11.66 ± 0.11 ^c	0.66 ± 0.03 ^b	81.77 ± 0.68 ^c
40% 乙醇	1.13 ± 0.00 ^b	0.71 ± 0.01 ^b	0.31 ± 0.01 ^c	0.29 ± 0.00 ^d	6.57 ± 0.03 ^d	0.01 ± 0.00 ^e	34.83 ± 0.06 ^e
80% 乙醇	1.17 ± 0.01 ^{ab}	0.86 ± 0.04 ^a	0.46 ± 0.02 ^a	0.32 ± 0.01 ^a	12.89 ± 0.12 ^b	1.12 ± 0.02 ^a	88.60 ± 0.61 ^a
100% 乙醇	0.66 ± 0.02 ^d	0.39 ± 0.00 ^d	0.30 ± 0.01 ^c	0.18 ± 0.00 ^f	3.90 ± 0.03 ^e	0.26 ± 0.05 ^d	37.03 ± 0.20 ^d

† 小写字母不同代表差异显著($P < 0.05$)。

能力最高,水提物的最低,可能与其较高含量的总多酚和总黄酮有关。除 100%乙醇外,其他溶剂提取物对 DPPH 自由基清除能力差异不显著($P>0.05$)。ABTS 自由基清除能力与铁离子还原能力变化趋势大致相似,80%乙醇提取物的抗氧化活性最高,而 100%乙醇提取物的最低。Lu 等^[22]发现,赶黄草醇提物的 DPPH 自由基清除能力和氧化还原能力高于水提物的。综上,除 DPPH 自由基清除能力外,ABTS 自由基清除能力与铁离子还原能力均为 80%乙醇提取物的最高。

2.1.3 15 种多酚类化合物含量 由表 3 和图 1(a)可知,80%乙醇提取物中有 7 种化合物含量最高,分别为儿茶素(2.03 mg/g)、芦丁(0.04 mg/g)、乔松素葡萄糖苷(0.86 mg/g)、槲皮素(0.46 mg/g)、山奈酚(0.32 mg/g)、乔松素(1.12 mg/g)以及赶黄草苷 A(88.60 mg/g)。40%乙醇提取物中异槲皮苷(0.39 mg/g)含量最高;80%甲醇提取物中山奈酚-3-O-芸香糖苷(1.18 mg/g)、紫云英苷(1.22 mg/g)和没食子酰 3 苯并(13.38 mg/g)含量最高,而水提物中没食子酸(1.85 mg/g)和原儿茶酸(0.57 mg/g)含量最高。说明不同溶剂对赶黄草中酚类物质的提取差异较大,80%乙醇是较有前景的提取溶剂,

与 He 等^[23]的研究结果一致。范玲等^[24]研究发现,相比水提物和 95%乙醇提取物,赶黄草中 70%乙醇提取物对小鼠内毒素性肝损伤具有明显保护作用。槲皮素在《四川省中药材标准》中作为赶黄草的指标成分,但其含量 $<1\text{ mg/g}$ 且与赶黄草保肝的临床疗效关联性较小^[25]。

综上,结合总多酚、总黄酮、多酚类化合物提取量,80%乙醇提取赶黄草中活性成分具有更强优势,将作为提取溶剂提取赶黄草不同部位(花、茎、叶)活性成分。

2.2 赶黄草不同部位活性成分比较

2.2.1 总多酚、总黄酮含量 由图 2 可知,同一收获时期的赶黄草花和叶中总多酚、总黄酮含量显著高于茎,说明赶黄草多酚物质主要存在于叶和花中,与陀扬凌等^[9]的结果一致。此外,2022 年采收的赶黄草多酚、总黄酮含量顺序均为花 $>$ 叶 $>$ 茎,随着贮藏时间的延长,2021 年采收的顺序则为叶 \geq 花 $>$ 茎,花和茎中总多酚、总黄酮含量显著降低,减少了约 36%~50%,而叶中含量无显著差异,可能是叶中酚类物质性质较花和茎中更稳定,通常酚类物质性质极其活泼,贮藏过程中极易发生氧化^[26]。综上,多酚物质主要分布在赶黄草花和叶中,但随着贮藏时间的延长,花和茎中的总多酚、总黄酮含量显著下降($P<0.05$)。

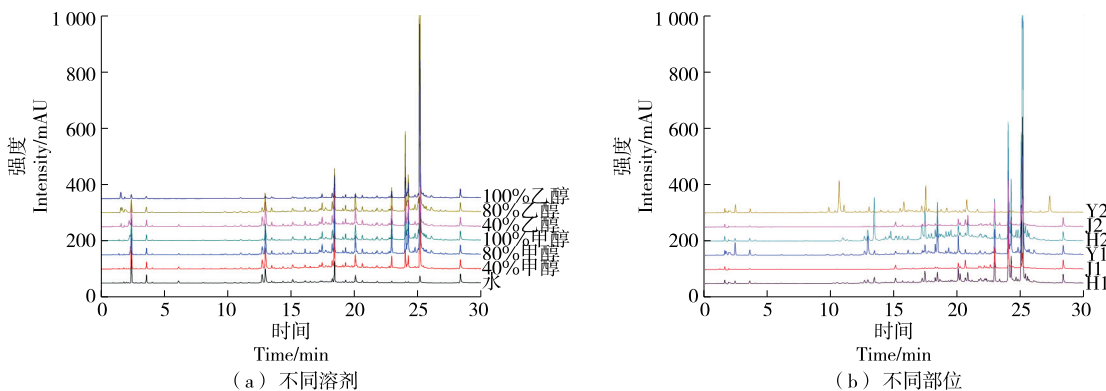
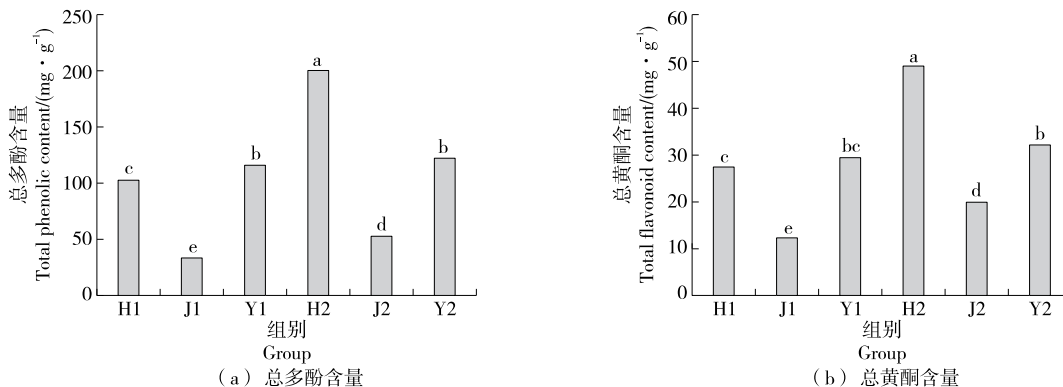


图 1 赶黄草液相图

Figure 1 HPLC chromatograms of phenolics from *Penthorum chinense pursh*



小写字母不同代表差异显著($P<0.05$)

图 2 赶黄草不同部位中总多酚、总黄酮含量

Figure 2 The total phenolic content and total flavonoids content in different parts of *Penthorum chinense pursh*

2.2.2 15种多酚类化合物含量 由表4和图1(b)可知,除儿茶素、芦丁、异槲皮苷、紫云英苷、乔松素葡萄糖苷、槲皮素、没食子酰3苯并以及乔松素外,7种多酚类化合物含量分布情况均为叶>花>茎,与孙佩等^[27]的结果一致。花和叶中含量最高的为赶黄草苷A,其次为没食子酰3苯并,与Sun等^[28]的结果一致。但与Yin等^[29]的结论存在差异,可能是由赶黄草品种、产地等因素导致的。乔松素含量在花中较高,仅次于没食子酰3苯并,在叶和茎中含量较低。赶黄草苷A、乔松素、没食子酰3苯并以及乔松素葡萄糖苷的药理作用与赶黄草的药理作用密切相关,具有保肝护肝活性^[3]。槲皮素在花、茎和叶中含量接近,与孙佩等^[27]、周滢等^[30]的研究结果不一致。此外,赶黄草中表儿茶素、芦丁、紫云英苷、槲皮素以及山奈酚在3个部位的含量均<1 mg/g,且各部位的酚类物质含

量随贮藏时间的延长而降低,其中花和茎中酚类物质降低程度最大。

2.2.3 抗氧化活性比较 由图3可知,赶黄草不同部位提取物的DPPH自由基、ABTS自由基清除能力以及铁离子还原能力均为花>叶>茎。随着贮藏时间的延长,赶黄草花和叶中DPPH自由基、ABTS自由基清除能力显著减弱($P < 0.05$),而叶中铁离子还原能力也显著减弱。不同部位的抗氧化活性变化趋势与总多酚、总黄酮含量变化趋势一致,表明赶黄草提取物的抗氧化活性与总多酚、总黄酮含量有密切关联。

2.3 相关性分析

由表5可知,儿茶素、山奈酚-3-O-芸香糖苷、阿福豆苷以及乔松素葡萄糖苷、山奈酚均与总多酚含量呈显著正相关($P < 0.05$)或极显著正相关($P < 0.01$);儿茶素、

表4 赶黄草不同部位多酚类化合物含量[†]

Table 4 Contents of phenolic compounds in different parts of *Penthorum chinense* pursh mg/g

样品	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	表儿茶素	芦丁	异槲皮苷	山奈酚-3-O-芸香糖苷	紫云英苷
H1	1.22±0.01 ^c	/	1.08±0.06 ^d	0.58±0.01 ^b	0.18±0.00 ^a	0.92±0.04 ^b	0.42±0.03 ^d	/
J1	1.00±0.01 ^d	/	/	/	0.02±0.00 ^d	0.10±0.02 ^e	0.28±0.02 ^e	0.30±0.02 ^b
Y1	1.61±0.05 ^a	0.33±0.01	1.94±0.02 ^c	0.58±0.00 ^b	0.04±0.00 ^c	0.38±0.00 ^d	1.07±0.06 ^b	0.10±0.00 ^d
H2	1.25±0.00 ^c	/	4.14±0.03 ^a	/	/	5.89±0.05 ^a	0.15±0.00 ^e	0.14±0.00 ^c
J2	1.02±0.01 ^d	/	/	/	0.08±0.00 ^b	0.64±0.01 ^c	0.81±0.02 ^c	0.34±0.01 ^a
Y2	1.49±0.03 ^b	/	3.59±0.23 ^b	0.72±0.04 ^a	0.04±0.01 ^c	0.09±0.00 ^e	1.75±0.12 ^a	0.10±0.00 ^d

样品	阿福豆苷	乔松素葡萄糖苷	槲皮素	山奈酚	没食子酰酐3苯并	乔松素	赶黄草苷A
H1	0.13±0.01 ^c	0.73±0.01 ^d	0.30±0.00 ^{cd}	0.16±0.01 ^e	18.20±0.10 ^b	5.88±0.09 ^b	28.19±0.64 ^d
J1	/	1.50±0.02 ^a	0.31±0.03 ^c	0.38±0.01 ^a	7.77±0.17 ^f	/	2.82±0.01 ^f
Y1	1.17±0.01 ^b	0.84±0.04 ^c	0.46±0.02 ^a	0.33±0.00 ^c	12.93±0.13 ^d	1.00±0.02 ^c	88.58±0.67 ^b
H2	1.20±0.01 ^b	0.57±0.02 ^e	0.26±0.00 ^d	0.19±0.00 ^d	24.58±0.04 ^a	7.81±0.25 ^a	62.40±0.18 ^c
J2	/	1.13±0.00 ^b	0.49±0.01 ^a	0.37±0.00 ^b	9.04±0.05 ^e	1.26±0.05 ^c	4.42±0.36 ^e
Y2	1.34±0.08 ^a	0.78±0.04 ^d	0.36±0.01 ^b	0.39±0.01 ^a	17.32±0.22 ^c	0.38±0.10 ^d	104.14±0.81 ^a

† 小写字母不同代表差异显著($P < 0.05$)。

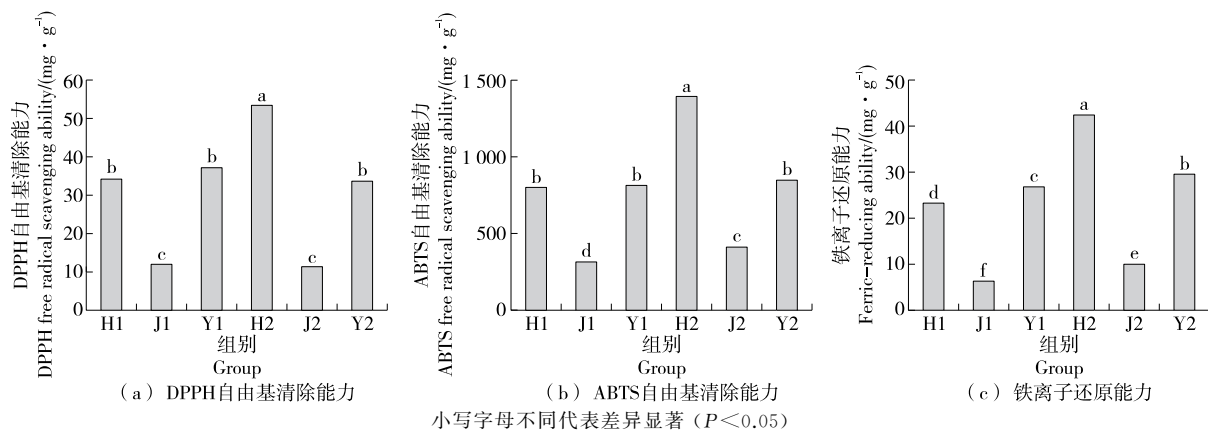


图3 赶黄草不同部位的DPPH自由基、ABTS自由基清除能力与铁离子还原能力

Figure 3 The DPPH, ABTS radical scavenging values and ferric reducing power (FRAP) in different parts of *Penthorum chinense* pursh

表 5 赶黄草中总多酚、总黄酮、多酚化合物与抗氧化活性的相关性[†]

Table 5 Correlation analysis of total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant capacity and individual phenolic compounds content in *Penthorum chinense* pursh

指标	总多酚含量	总黄酮含量	ABTS 自由基清除率	DPPH 自由基清除率	FRAP	没食子酸	原儿茶酸	儿茶素	表儿茶素	芦丁
总多酚含量	1.000	0.765 *	0.585	0.868 *	0.956 **	0.437	-0.623	0.964 **	-0.395	0.507
总黄酮含量		1.000	0.083	0.730	0.726	-0.034	-0.958 *	0.781 *	-0.097	0.900
ABTS 自由基清除率			1.000	0.524	0.671	0.497	0.359	0.589	-0.297	-0.772
DPPH 自由基清除率				1.000	0.803 *	0.056	-0.544	0.910 **	0.048	-0.757
FRAP					1.000	0.524	-0.585	0.970 **	-0.451	-0.172
没食子酸						1.000	0.902 *	0.383	-0.913 **	-0.411
原儿茶酸							1.000	-0.630	-0.422	-0.829
儿茶素								1.000	-0.295	0.073
表儿茶素									1.000	0.455
芦丁										1.000
异槲皮苷										
山奈酚 3-O-芸香糖苷										
紫云英苷										
阿福豆苷										
乔松素葡萄糖苷										
槲皮素										
山奈酚										
没食子酰苯并										
乔松素										
赶黄草苷 A										

指标	异槲皮苷	山奈酚 3-O-芸香糖苷	紫云英苷	阿福豆苷	乔松素葡萄糖苷	槲皮素	山奈酚	没食子酰苯并	乔松素	赶黄草苷 A
总多酚含量	0.990 **	0.945 **	0.118	0.935 **	0.948 **	0.567	0.908 *	0.748	0.069	0.539
总黄酮含量	0.719	0.797 *	-0.163	0.800 *	0.941 **	0.815	0.976 **	0.870 *	0.336	0.852 *
ABTS 自由基清除率	0.567	0.455	0.506	0.391	0.576	-0.199	0.424	-0.057	-0.603	-0.199
DPPH 自由基清除率	0.859 *	0.899 **	0.263	0.930 **	0.968 **	0.646	0.920 **	0.735	0.140	0.604
FRAP	0.947 **	0.900 **	0.282	0.831 *	0.881 *	0.381	0.804	0.631	-0.196	0.346
没食子酸	0.485	0.261	0.192	0.169	0.291	0.548	0.200	0.006	0.002	-0.101
原儿茶酸	-0.584	-0.644	0.305	-0.681	-0.671	-0.999 **	-0.749	-0.901 *	-0.999 **	-0.960 *
儿茶素	0.963 **	0.953 **	0.295	0.914 **	0.965 **	0.525	0.904 *	0.742	-0.049	0.516
表儿茶素	-0.403	-0.160	0.192	-0.105	-0.096	-0.672	-0.015	-0.037	-0.201	0.181
芦丁	0.751	0.736	-0.296	0.948	0.854	0.988	0.945	0.973 *	0.903	0.979 *
异槲皮苷	1.000	0.956 **	0.193	0.938 **	0.949 **	0.619	0.919 **	0.762 *	0.105	0.584
山奈酚 3-O-芸香糖苷		1.000	0.268	0.973 **	0.968 **	0.576	0.980 **	0.856 *	0.014	0.712
紫云英苷			1.000	0.120	0.459	-0.326	0.396	-0.073	-0.749	0.041
阿福豆苷				1.000	0.977 **	0.748	0.995 **	0.885 **	0.290	0.781
乔松素葡萄糖苷					1.000	0.664	0.972 **	0.798	0.147	0.665
槲皮素						1.000	0.737	0.953 *	0.817	0.980 *
山奈酚							1.000	0.897 *	0.241	0.801
没食子酰苯并								1.000	0.626	0.971 **
乔松素									1.000	0.828
赶黄草苷 A										1.000

[†] * 代表显著相关($P < 0.05$); ** 代表极显著相关($P < 0.01$)。

山奈酚-3-O-芸香糖苷、阿福豆苷、乔松素葡萄糖苷、山奈酚没食子酰苯并以及赶黄草苷 A 与总黄酮含量呈显著正相关($P < 0.05$)或呈极显著正相关($P < 0.01$);而原儿茶酸与总黄酮含量呈显著负相关($P < 0.05$)。DPPH 自由基清除能力、铁离子还原能力与总多酚含量分别呈显著($P < 0.05$)或极显著正相关($P < 0.01$), DPPH 自由基清除能力与儿茶素、异槲皮苷、山奈酚-3-O-芸香糖苷、阿福豆苷、乔松素葡萄糖苷以及山奈酚分别呈显著($P < 0.05$)或极显著正相关($P < 0.01$), 铁离子还原能力与儿茶素、异槲皮苷、山奈酚-3-O-芸香糖苷、阿福豆苷以及乔松素葡萄糖苷分别呈显著($P < 0.05$)或极显著正相关($P < 0.01$)。Liu 等^[9]研究表明,酚类化合物中游离羟基是抗氧化活性的主要原因,而游离羟基数量越多抗氧化活性越强,这可能是酚类化合物与抗氧化活性有较强相关性的原因。

3 结论

研究先利用不同溶剂提取赶黄草全草中活性成分,再对其总多酚、总黄酮、多酚类化合物含量以及抗氧化活性进行比较。结果表明,提取溶剂类型和溶剂浓度对酚类物质提取能力及抗氧化活性有显著影响。随着溶剂浓度的增加,赶黄草叶提取物中总多酚、总黄酮含量和抗氧化活性大体上呈先升高后降低的趋势,且乙醇的提取能力优于甲醇,而 80%乙醇提取物中有 7 种化合物含量最高。综合比较,80%乙醇提取赶黄草中活性成分具有更强的优势。总多酚、总黄酮、15 种多酚类化合物主要分布于赶黄草花和叶中,且叶中的多酚物质稳定。随着贮藏时间的延长,总多酚、总黄酮及多酚类化合物含量显著下降,尤其是花和茎的。后续可以将赶黄草不同部位(花、茎、叶)分开研究和利用,以提高疗效和更大程度开发利用川产赶黄草新食品资源。

参考文献

[1] 王萌, 吴霞, 江云, 等. 赶黄草的研究进展[J]. 食品与药品, 2013, 15(3): 202-205.
WANG M, WU X, JIANG Y, et al. Progress on *Penthorum chinense pursh*[J]. Food and Drug, 2013, 15(3): 202-205.

[2] HE L B, ZHANG S Y, LUO C M, et al. Functional teas from the stems of *Penthorum chinense pursh*: Phenolic constituents, antioxidant and hepatoprotective activity[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2019, 74: 83-90.

[3] WANG A Q, LI M M, HUANG H M, et al. A review of *Penthorum chinense pursh* for hepatoprotection: Traditional use, phytochemistry, pharmacology, toxicology and clinical trials [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2020, 251: 112569.

[4] LU Q, JIANG M H, JIANG J G, et al. Isolation and identification of compounds from *Penthorum chinense pursh* with antioxidant and

antihepatocarcinoma properties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(44): 11 097-11 103.

[5] HUANG D D, JIANG Y, CHEN W S, et al. Polyphenols with anti-proliferative activities from *Penthorum chinense pursh* [J]. Molecules, 2014, 19(8): 11 045-11 055.

[6] 郭艳, 兰真, 曾凡骏, 等. 赶黄草的安全性毒理学评价研究[J]. 预防医学情报杂志, 2016, 32(5): 476-481.
GUO Y, LAN Z, ZENG J F, et al. Toxicological assessment on safety of *Penthorum chinense pursh* [J]. Journal of Preventive Medical Information, 2016, 32(5): 476-481.

[7] 张凤梅, 卢馨, 张月天, 等. 古蔺县赶黄草食用比例人群调查研究[J]. 食品工业, 2016(11): 232-236.
ZHANG F M, LU X, ZHANG Y T, et al. Research on edible proportion of *Penthorum chinense pursh* through population survey in Gulin[J]. Food Industry, 2016(11): 232-236.

[8] 唐勇, 向小红, 李国春, 等. 赶黄草不同浓度乙醇提取物中没食子酸含量的测定[J]. 泸州医学院学报, 2016, 39(6): 575-578.
TANG Y, XIANG X H, LI G C, et al. Determination of the content of gallic acid in ethanol extract from different concentrations of ethanol extracts from *Phenthorum Chinese Pursh* [J]. Journal of Luzhou Medical College, 2016, 39(6): 575-578.

[9] 陀扬凌, 金玲, 张旭. 赶黄草花与茎、叶 HPLC 指纹图谱比较[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(15): 61-64.
TUO Y L, JIN L, ZHANG X. Comparison of HPLC fingerprint analysis of flos, caulis and folium from *Penthor chinense* [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2015, 21(15): 61-64.

[10] GUO W W, JIANG Y, CHEN X Q, et al. Identification and quantitation of major phenolic compounds from *Penthorum chinense pursh* by HPLC with tandem mass spectrometry and HPLC with diode array detection[J]. Journal of Separation Science, 2015, 38(16): 2 789-2 796.

[11] XIANG Z Y, XIA C, FENG S L, et al. Assessment of free and bound phenolics in the flowers and floral organs of two *Camellia* species flower and their antioxidant activities[J]. Food Bioscience, 2022, 49: 101905.

[12] ZHANG R, CHENG L, ZHANG T, et al. Brick tea consumption is a risk factor for dental caries and dental fluorosis among 12-year-old Tibetan children inGanzi[J]. Environ Geochem Health, 2019, 41 (3): 1 405-1 417.

[13] MA Y L, SUN P, FENG J, et al. Solvent effect on phenolics and antioxidant activity of Huangshan Gongju (*Dendranthema morifolium* (Ramat) Tzvel. cv. Gongju) extract [J]. Food and Chemical Toxicology, 2021, 147: 111875.

[14] DENG J L, XIANG Z Y, LIN C B, et al. Identification and quantification of free, esterified, and insoluble-boundphenolics in grains of hullless barley varieties and their antioxidant activities[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 151: 112001.

[15] TIAN J, CHEN J, LU F, et al. Domestic cooking methods affect the

- phytochemical composition and antioxidant activity of purplefleshed potatoes[J]. Food Chemistry, 2016, 197: 1 264-1 270.
- [16] 朱柏雨, 夏陈, 罗棵濒, 等. 四川黑茶多酚和咖啡碱含量及其抗氧化活性分析[J]. 食品与机械, 2021, 37(8): 25-32.
- ZHU B Y, XIA C, LUO K B, et al. Analysis of tea polyphenols and caffeine contents and their antioxidant activities of Sichuan dark tea[J]. Food & Machinery, 2021, 37(8): 25-32.
- [17] O'SULLIVAN A, O'CALLAGHAN Y, O'GRADY M, et al. The effect of solvents on the antioxidant activity in Caco-2 cells of Irish brown seaweed extracts prepared using accelerated solvent extraction (ASE®) [J]. Journal of Function Foods, 2013, 5: 940-948.
- [18] DUAN H X, ZHOU C E, LI J H. Comparison of tea water extraction and ethanol-extraction extracting tea polyphenols from unfermented Pu-erh[J]. Southwest China Journal of Agricultural Science, 2013, 26(6): 2 503-2 508.
- [19] 赵大洲, 石蓓梅, 叶主虹. 茶多酚水提与醇提的比较研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(8): 69-71.
- ZHAO D Z, SHI B M, YE Z H. A comparison study on water extraction and alcohol-extraction of tea polyphenols [J]. Food Research and Development, 2007, 28(8): 69-71.
- [20] MARCANO D, HASEGAWA M. Fitoquímica orgánica [M]. Venezuela: Editorial Torino, 2002: 100.
- [21] ISMAIL B B, PU Y F, GUO M M, et al. HLC-MS/QTOF identification of phytochemicals and the effects of solvents on phenolic constituents and antioxidant activity of baobab (*Adansonia digitata*) fruit pulp[J]. Food Chemistry, 2019, 277: 279-288.
- [22] LU Q, JIANG M H, JIANG J G, et al. Isolation and identification of compounds from *Penthorum chinense* pursh with antioxidant and antihepatocarcinoma properties[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60: 11 097-11 103.
- [23] HE L B, ZHANG S Y, LUO C M, et al. Functional teas from the stems of *Penthorum chinense* pursh: Phenolic constituents, antioxidant and hepatoprotective activity [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2019, 74: 83-90.
- [24] 范玲, 谢星星, 陈立, 等. 赶黄草 3 种提取物对小鼠内毒素性肝损伤的保护作用[J]. 中成药, 2019, 41(2): 291-297.
- FAN L, XIE X X, CHEN L, et al. Protective effects of three *Penthorum chinense* extracts on endotoxin-induced liver injury in mice[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2019, 41 (2): 291-297.
- [25] 李杰, 蒋志涛, 刘晓燕, 等. 赶黄草药理作用及其质量标志物研究进展[J]. 南京中医药大学学报, 2019, 35(6): 757-760.
- LI J, JIANG Z G, LIU X Y, et al. Advances in pharmacological effect and Q-marker research of *Penthorum chinense*[J]. Journal of Nanjing University of Chinese Medicine, 2019, 35(6): 757-760.
- [26] 向卓亚, 夏陈, 朱永清, 等. 贮藏时间对雅安藏茶中活性成分及其抗氧化活性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(11): 67-72.
- XIANG Z Y, XIA C, ZHU Y Q, et al. Effect of storage time on functional ingredient and antioxidant activity of Ya'an Tibetan tea [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(11): 67-72.
- [27] 孙佩, 童文, 杨晓, 等. 赶黄草不同生育时期植株重量及有效成分含量变化研究[J]. 西南农业学报, 2013, 26(6): 2 666-2 668.
- SUN P, TONG W, YANG X, et al. Study on variation of plant weight and active component contents in *Herba penthori* at different growth stages[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2013, 26(6): 2 666-2 668.
- [28] SUN Z L, ZHANG Y Z, FENG Z, et al. Quality assessment of *Penthorum chinense* pursh through multicomponent qualification and fingerprint, chemometric, and antihepatocarcinoma analyses[J]. Food & Function, 2018, 9(7): 3 807-3 814.
- [29] YIN J H, REN W, WEI B, et al. Characterization of chemical composition and prebiotic effect of a dietary medicinal plant *Penthorum chinense* pursh[J]. Food Chemistry, 2020, 319: 126568.
- [30] 周滢, 费曜. 川产赶黄草不同部位的槲皮素含量比较[J]. 世界科学技术(中医药现代化), 2014, 16(9): 2 047-2 049.
- ZHOU Y, FEI Y. Content comparison on quercetin from different parts of *Penthorum chinense* pursh from sichuan province [J]. World Science and Technology/Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica, 2014, 16(9): 2 047-2 049.
- [31] LIU F, NG T B. Antioxidative and free radical scavenging activities of selected medicinal herbs[J]. Life Science, 2000, 66: 725-735.
- Bioprocess Technology, 2023, 3 128: 1-26.
- [32] MAHN A, RUBIO M P. Evolution of total polyphenols content and antioxidant activity in broccoli florets during storage at different temperatures[J]. Journal of Food Quality, 2017, 2 017: 3742183.
- [33] 努尔开西·肉扎洪, 侯媛媛, 赵雅芹, 等. 二氧化氯熏蒸处理对蚕豆品质及褐变的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(1): 222-230.
- ROUZHAHONG N, HOU Y Y, ZHAO Y Q, et al. Effect of chlorine dioxide fumigation on quality and browning of broad beans[J]. Food Science, 2023, 44(1): 222-230.

(上接第 126 页)

- [29] HU H C, JING N N, PENG Y H, et al. ⁶⁰Co γ -ray irradiation inhibits germination of fresh walnuts by modulating respiratory metabolism and reducing energy status during storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 182: 111694.
- [30] FAN X. Chemical inhibition of polyphenol oxidase and cut surface browning of fresh-cut apples[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023, 63(27): 8 737-8 751.
- [31] RASANE P, SINGH J, KAUR S, et al. Strategic advances in the management of browning in fruits and vegetables[J]. Food and

- Bioprocess Technology, 2023, 3 128: 1-26.
- [32] MAHN A, RUBIO M P. Evolution of total polyphenols content and antioxidant activity in broccoli florets during storage at different temperatures[J]. Journal of Food Quality, 2017, 2 017: 3742183.
- [33] 努尔开西·肉扎洪, 侯媛媛, 赵雅芹, 等. 二氧化氯熏蒸处理对蚕豆品质及褐变的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(1): 222-230.
- ROUZHAHONG N, HOU Y Y, ZHAO Y Q, et al. Effect of chlorine dioxide fumigation on quality and browning of broad beans[J]. Food Science, 2023, 44(1): 222-230.