

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80559

5 种处理方法对赶黄草功效成分、体外抗氧化性和抑菌活性的影响

梁红春^{1,2} 夏 陈² 邓俊琳² 余鳗游² 刘 刚¹ 向卓亚²(1. 四川师范大学生命科学学院, 四川 成都 610101; 2. 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)

摘要:[目的]探究加工方法对赶黄草的成分和功能的影响。[方法]比较净制、酒炙、醋炙、盐炙和姜炙 5 种处理方法对赶黄草的功能成分、体外抗氧化及抑菌活性的影响,分析比较不同方法处理前后的功能成分差异性,采用 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基模型测定体外抗氧化活性,并检测处理后赶黄草对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、乙型副伤寒沙门氏菌和肠炎沙门氏杆菌 4 种常见致病菌的抑菌效果。[结果]净制后的赶黄草中总黄酮和总多酚含量均显著高于其他处理方法 ($P<0.05$),盐炙和酒炙的次之,醋炙的最低。酒炙后的赶黄草对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和肠炎沙门氏杆菌的抑菌活性最强,盐炙的最弱。酒炙后的赶黄草对 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基的清除能力最强,其 IC₅₀ 值分别为 33.52, 35.86 $\mu\text{g/mL}$;醋炙后的赶黄草对 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基的清除能力最弱,其 IC₅₀ 值分别为 43.90, 54.87 $\mu\text{g/mL}$ 。赶黄草中清除 DPPH 自由基和 ABTS⁺ 自由基的主要活性成分为没食子酸、山奈酚-3-*O*-芸香糖苷、乔松素和芦丁。[结论]酒炙是赶黄草的最佳处理方法。

关键词:赶黄草;处理方法;功能成分;抑菌能力;抗氧化活性

Effects of five different processing methods on functional components, *in vitro* antioxidant ability, and antibacterial activities of *Penthorum chinense* Pursh

LIANG Hongchun^{1,2} XIA Chen² DENG Junlin² YU Manyou² LIU Gang¹ XIANG Zhuoya²

(1. College of Life Science, Sichuan Normal University, Chengdu, Sichuan 610101, China; 2. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Sichuan Academy of Agricultural Sciences (Institute of Food and Nutritional Health, Sichuan Academy of Agricultural Sciences), Chengdu, Sichuan 610066, China)

Abstract: [Objective] To elucidate the effects of processing methods on the components and functions of *Penthorum chinense* Pursh, and to provide a theoretical foundation for the development of new products. [Methods] This study compares the effects of five distinct processing methods—cleansing, wine-processing, vinegar-processing, salt-processing, and ginger-processing—on the functional components, *in vitro* antioxidant activity, and antibacterial activity of *Penthorum chinense* Pursh. To be specific, the differences in functional components before and after processing are analyzed, the *in vitro* antioxidant activity is measured using DPPH and ABTS⁺ radical scavenging models, and the antibacterial effects of the processed medicine against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella paratyphi* B, and

基金项目:四川省农业科学院科技成果中试熟化与示范转化项目(编号:2024ZSSFXD03-12);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)

通信作者:刘刚(1968—),男,四川师范大学副教授,硕士。E-mail:314567185@qq.com

向卓亚(1994—),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。
E-mail:2462526735@qq.com

收稿日期:2024-06-18 **改回日期:**2025-02-24

引用格式:梁红春,夏陈,邓俊琳,等. 5 种处理方法对赶黄草功效成分、体外抗氧化性和抑菌活性的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(3): 134-141.

Citation: LIANG Hongchun, XIA Chen, DENG Junlin, et al. Effects of five different processing methods on functional components, *in vitro* antioxidant ability, and antibacterial activities of *Penthorum chinense* Pursh[J]. Food & Machinery, 2025, 41(3): 134-141.

Salmonella enteritidis are evaluated. [Results] The *Penthorum chinense* Pursh subjected to the cleansing process has a significantly higher content of total flavonoids and total polyphenols than those treated with other methods ($P<0.05$), followed by those treated by salt-processing and wine-processing, with vinegar-processed samples showing the lowest levels. The wine-processed *Penthorum chinense* Pursh exhibits the strongest antibacterial activity against *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Salmonella Enteritidis*, while the salt-processed samples show the weakest activity. In terms of antioxidant capacity, the wine-processed *Penthorum chinense* Pursh demonstrates the highest scavenging ability against DPPH and ABTS⁺ radicals, with IC₅₀ values of 33.52 and 35.86 $\mu\text{g/mL}$, respectively. Conversely, the vinegar-processed samples exhibit the weakest scavenging ability against DPPH and ABTS⁺ radicals, with IC₅₀ values of 43.90 and 54.87 $\mu\text{g/mL}$, respectively. The primary active components responsible for the scavenging of DPPH and ABTS⁺ radicals in *Penthorum chinense* Pursh are identified as gallic acid, kaempferol-3-O-rutinoside, pinocembrin, and rutin. [Conclusion] Wine-processing is identified as the optimal treatment method for *Penthorum chinense* Pursh.

Keywords: *Penthorum chinense* Pursh; processing method; functional components; antibacterial ability; antioxidant activity

赶黄草(*Penthorum chinense* Pursh),别名扯根菜,为虎耳草科扯根菜属植物,味甘微辛^[1],含多酚类、黄酮类等多种功能成分^[2],在苗族还被称为“神仙草”^[3]。其具有清热解毒、利湿退黄、利水消肿等多种功效,不仅可以用于黄疸、水肿、肝损伤等疾病的治疗^[4-5],还可以制成茶叶、饮料等^[6]用来预防疾病的发生。2020年6月,国家卫生健康委员会正式批准赶黄草为新食品原料。近年来,随着人们对赶黄草研究的深入,其药理作用和化学成分逐渐被揭示^[7],赶黄草提取物还具有抗乙肝病毒、保肝^[8],抗肝纤维化、抗肝癌^[9],抗菌、抗炎^[10],降低2型糖尿病大鼠的血糖水平^[11]等功能。中草药处理作为传统的中草药加工工艺之一,2006年被列为国家级非物质文化遗产。经处理后,可以清除中草药中的杂质和非药用部分,还能达到延长贮藏期、防止霉变的作用^[12],同时通过改变中草药的物理性质、化学成分来提高药效、降低毒副作用以及改善中草药风味^[13-14]。龙庆德等^[15]采用15种处理方法处理虎耳草,经HPLC法测得醋制方法处理后的虎耳草中有效成分含量优于其他方法。王璐等^[16]发现,衢枳壳经不同方法处理后,药效指标成分含量均有所降低,但仍符合相关规定,且部分处理品的抗氧化活性较未处理的有所增强。

赶黄草的处理方法多样,但各处理方法对其效果的研究尚不清楚。研究拟探讨不同处理方法对赶黄草功效成分、体外抗氧化活性和抑菌活性的影响,对比不同处理条件下赶黄草中有效成分的含量变化,以期赶黄草的合理处理和食品开发等研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

赶黄草:由四川师范大学生命科学学院马丹炜教授鉴定确认,古萃(古蒨)生物科技有限公司;

花雕酒:湖州浙一家酒业有限公司;

米醋:北京六必居食品有限公司;

盐、生姜:市售;

NaOH、福林酚试剂、Na₂CO₃、NaNO₂、AlCl₃·6H₂O、水溶性V_E、氯化钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、乙醇:分析纯,成都科隆化学有限公司;

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼、2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐、过硫酸钾、没食子酸、芦丁、乙腈、甲酸、甲醇:色谱纯,成都科隆化学有限公司;

标准品(儿茶素、异槲皮苷、山奈酚-3-O-芸香糖苷、紫云英苷、芦丁、槲皮素、山奈酚、乔松素-7-O-葡萄糖苷、乔松素、赶黄草苷A、没食子酸、没食子酰3苯并)、FRAP试剂盒:上海源叶生物科技有限公司;

牛肉膏蛋白胨液体培养基:北京奥博星生物技术有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

低速离心机:TD5A型,河南北宏实业有限公司;

电子天平:JA1203N型,上海佑科仪器仪表有限公司;

色差计:CR-400型,柯尼卡美能达控股公司;

pH计:PHS-3C型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

高效液相色谱仪:1290型,美国安捷伦公司;

多功能酶标仪:Synergy-HTX型,美国伯腾公司;

冷冻干燥机:FDU-2110型,东京理化器械株式会社;

生化培养箱:BSP-150型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;

多功能粉碎机:ST-10B型,上海树立仪器仪表有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 赶黄草的处理方法

(1)净制:取适量赶黄草原药材,除去杂质,切去根部,清洗,切段,干燥,得净制品,密闭保存,备用。

(2)酒炙:称取100g净制品,加20mL黄酒,拌匀,闷润2h,于炒制容器内90℃文火翻炒30min,静置,冷却。

(3)醋炙:称取100g净制品,加20mL米醋,拌匀,闷润2h,于炒制容器内90℃文火翻炒30min,静置,冷却。

(4)盐炙:称取2g食盐,加20mL水,配制成盐水。

称取 100 g 净制品,加 20 mL 盐水,拌匀,闷润 2 h,于炒制容器内 90 ℃文火翻炒 30 min,静置,冷却。

(5) 姜炙:生姜洗净,捣烂,加适量水,压榨取汁,姜渣再加水适量重复压榨一次,合并汁液,得到姜汁($m_{\text{姜汁}}:m_{\text{生姜}}$ 为 1:1)。称取 100 g 净制品,加入 20 mL 姜汁拌匀,闷润 2 h,于炒制容器内 90 ℃文火翻炒 30 min,静置,冷却。

1.2.2 待测样品的制备 分别将处理过的赶黄草样品粉碎,过 40 目筛,精密称取 0.5 g,加 8 mL 体积分数为 80% 的乙醇,40 ℃超声浸提 30 min,6 000 r/min 离心 10 min,取上清液,备用。残渣重复提取 2 次,合并提取液,定容至 25 mL,过 0.22 μm 滤膜,4 ℃离心,保存备用。

1.2.3 总多酚含量测定 参考 Chu 等^[17]的方法并改进。取 20 μL 样品,加 20 μL 福林酚,反应 5 min;加 160 μL 5% Na_2CO_3 ,混匀,室温避光反应 60 min,测定 765 nm 处吸光值。以没食子酸为标准品,得标准曲线 $y=0.005\ 6x+0.051\ 3(R^2=0.999\ 7)$,根据回归方程计算各样品中总多酚含量。

1.2.4 总黄酮含量测定 采用 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3\text{-NaOH}$ 比色法^[18]。以芦丁为标准品,得标准曲线 $y=0.431\ 7x+0.071(R^2=0.999\ 8)$,根据回归方程计算各样品中总黄酮含量。

1.2.5 活性成分测定 色谱柱为 Poroshell 120 C_{18} (4.6 mm×100 mm,2.7 μm);检测波长 280,320 nm;柱温 35 ℃;流速 0.8 mL/min;进样量 2 μL;流动相为 0.1% 的甲酸水溶液(A)+乙腈(B)。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。12 种多酚标准品线性方程及线性范围见表 1。

表 1 12 种多酚标准品线性关系方程

Table 1 Linear equations for 12 polyphenol standards

多酚单体	线性方程	线性范围/ (μg·mL ⁻¹)	R ²
没食子酸	$y=15.232x-104.36$	3.91~500.00	0.999 4
儿茶素	$y=4.053x-18.719$	7.81~500.00	0.999 4
芦丁	$y=9.452\ 2x+8.269\ 8$	3.13~200.00	0.999 5
异槲皮苷	$y=10.921x+2.090\ 2$	3.13~200.00	0.999 6
山奈酚-3- <i>O</i> -芸香糖苷	$y=8.907x-4.054$	3.13~200.00	0.999 9
紫云英苷	$y=12.615x-5.293\ 8$	1.56~200.00	0.999 9
乔松素-7- <i>O</i> -葡萄糖苷	$y=4.833\ 1x+3.079\ 1$	1.56~100.00	0.999 8
槲皮素	$y=6.549\ 1x-27.581$	3.91~250.00	0.999 8
山奈酚	$y=9.922\ 9x-24.233$	3.91~250.00	0.999 8
没食子酰 3 苯并	$y=3.984\ 8x-4.899\ 2$	3.91~250.00	0.999 3
乔松素	$y=7.933\ 1x+22.208$	6.25~400.00	0.999 8
赶黄草苷 A	$y=3.947\ 1x-16.577$	7.81~500.00	0.999 4

1.2.6 DPPH 自由基清除能力测定 参考 Kim 等^[19]的方法并改进。取 100 μL 样品(根据样品使用 80% 甲醇稀释),加 100 μL 的 80% 甲醇—DPPH 溶液(150 μg/mL),混匀;室温静置 30 min;测定 517 nm 处吸光值,并按式(1)计算 DPPH 自由基清除率。

$$A=\frac{A_0-A_1}{A_0}\times 100\%,\tag{1}$$

式中:

A ——自由基清除率,%;

A_0 ——空白对照组 OD 值;

A_1 ——样品组或阳性对照组的 OD 值。

1.2.7 ABTS⁺自由基清除能力测定 参考向卓亚等^[20]的方法稍作改进。取 40 μL 样品或溶剂(根据样品使用 80% 甲醇稀释),加 160 μL 的 80% 甲醇—ABTS 溶液(调整 724 nm 处吸光度为 0.7±0.02),混匀;室温避光反应 6 min;测定 734 nm 处吸光值,按式(1)计算 ABTS⁺自由基清除率。

1.2.8 铁离子总还原能力(T-AOC)测定 按试剂盒说明书进行测定。

1.2.9 体外抗氧化功能物质群的初步筛选 采用 HPLC 分析体外抗氧化空白组及样品组,对比不同极性阶段的物质消耗情况。

1.2.10 抑菌活性测定 将活化后的各菌株接种于牛肉膏蛋白胨液体培养基(NB 培养基)中;37 ℃摇床中培养 12 h;将上述菌悬液按体积分数 1% 转移至新的 NB 培养基中培养,用活菌计数法(平板菌落计数)测定活菌数,将菌悬液稀释至约 10⁷ CFU/mL;将无菌 NB 固体培养基平板均分为 3 个区,取 100 μL 活菌数为 10⁷ CFU/mL 的菌悬液均匀涂布于无菌 NB 固体培养基平板上,静置 10 min;在固体培养基表面的 3 个区域各放置一个灭菌后的牛津杯,每个小杯中滴加 100 μL 质量浓度为 10 mg/mL 的赶黄草提取物溶液,以无菌水为对照;37 ℃培养 24 h;测量抑菌圈直径,每组平行 3 次。按式(2)计算抑菌圈直径。

$$M=M_1-M_2,\tag{2}$$

式中:

M ——抑菌圈直径,mm;

M_1 ——药品组抑菌圈直径,mm;

M_2 ——对照组抑菌圈直径,mm。

1.3 统计与分析

比较经不同处理方法处理的赶黄草的功效成分、抗氧化和抑菌活性差异性,采用 SPSS 27.0 进行单因素方差分析,多重比较用 Duncan 法,结果用 $M\pm SD$ 表示, $P<0.05$ 表示差异显著。采用 Origin 2021 软件作图。

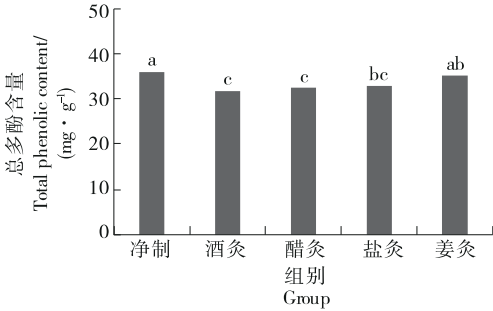
2 结果与分析

2.1 5 种处理方法赶黄草的活性成分变化

2.1.1 总多酚含量和单体酚含量变化比较 由图 1 可知,

与净制相比,赶黄草在处理后的总多酚含量(除姜灸外)均显著降低($P<0.05$),其中酒灸、醋灸和盐灸的总多酚含量无显著差异。处理后赶黄草的总多酚含量降低,一方面,酚类物质在高温条件下不稳定,易受热分解;另一方面,酚类物质的氧化与赶黄草中的多酚氧化酶有直接关系^[21],不同处理方法的差异可能是因为4种介质升温速度和沸点不同。一般来说,盐水和姜汁的热容较低,热传导性较好,因此升温速度可能比黄酒和醋的更快,多酚氧化酶更快被钝化。沸点的高低取决于物质的分子结构和相互作用力。盐灸、姜灸的沸点高于醋灸和酒灸的。高温条件下,多酚氧化酶被钝化,所以在盐灸和姜灸中,总多酚含量高于酒灸和醋灸的。黄酒中含有一定的乙醇,而乙醇中的羟基能与多酚类化合物结合形成氢键^[22],使得酒灸赶黄草中多酚类化合物更易溶解于黄酒中,导致酚类物质损失。

采用高效液相色谱法测定赶黄草中12种主要的多酚类化合物含量,结果见表2和图2,其中包括7种黄酮醇类化合物(儿茶素、异槲皮苷、山奈酚-3-*O*-芸香糖苷、紫云英苷、芦丁、槲皮素、山奈酚)、2种二氢黄酮类(乔松素-7-*O*-葡萄糖苷、乔松素)、1种二氢查耳酮类(赶黄草苷A)以及2种酚酸类(没食子酸、没食子酰3苯并)。相较于净制,各处理组赶黄草中不同功能成分含量变化趋势不同。5种处理方法对没食子酸含量无显著影响;表儿茶素只在醋



字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图1 不同处理方法赶黄草中总多酚含量

Figure 1 Total polyphenols content under five processing methods

灸方法中检出;山奈酚-3-*O*-芸香糖苷和芦丁含量在处理后的显著下降,可能是因为一些多酚类化合物在高温时会被氧化分解,与不同的处理介质也会有不同程度的反应生成其他物质,与徐月等^[23]的研究结果一致。紫云英苷、乔松素-7-*O*-葡萄糖苷、没食子酰3苯并含量在处理后的有所上升,一方面可能是因为通过处理,细胞壁被破坏,赶黄草中的相关成分更好地被释放出来;另一方面,多酚类化合物在高温条件且有介质的参与下,不稳定的氢键发生断裂,从而促进物质浸出^[24]。槲皮素($C_{15}H_{10}O_7$)作为赶

表2 5种处理方法处理后赶黄草中酚类化合物含量比较[†]

Table 2 Comparison of phenolic compounds in <i>Penthorum chinense</i> Pursh under five processing methods mg/g												
处理 方法	没食子酸	儿茶素	异槲皮苷	山奈酚-3- <i>O</i> -芸香糖苷	紫云英苷	乔松素 7- <i>O</i> - 葡萄糖苷	乔松素	赶黄草 苷 A	芦丁	槲皮素	山奈酚	没食子酰 3 苯并
净制	0.42±0.04	/	0.16±0.00 ^b	0.31±0.01 ^a	0.16±0.00 ^d	0.59±0.02 ^e	0.37±0.03 ^b	1.65±0.02 ^b	0.16±0.01 ^a	0.28±0.00 ^b	0.22±0.01 ^b	3.36±0.03 ^c
酒灸	0.47±0.00	/	0.14±0.01 ^b	0.33±0.01 ^a	0.18±0.01 ^c	1.02±0.03 ^d	0.22±0.00 ^c	1.28±0.02 ^c	0.12±0.01 ^b	0.27±0.02 ^b	0.27±0.01 ^a	4.77±0.09 ^c
醋灸	0.44±0.03	1.11±0.02	0.16±0.02 ^b	0.22±0.01 ^c	0.18±0.01 ^c	1.11±0.04 ^c	0.15±0.01 ^d	1.10±0.04 ^d	0.07±0.00 ^c	0.28±0.01 ^b	0.20±0.00 ^b	5.22±0.12 ^b
盐灸	0.43±0.02	/	0.19±0.02 ^a	0.26±0.01 ^b	0.26±0.02 ^a	1.28±0.01 ^b	0.50±0.02 ^a	2.19±0.01 ^a	0.11±0.02 ^b	0.35±0.02 ^a	0.21±0.02 ^b	5.66±0.08 ^a
姜灸	0.42±0.03	/	0.15±0.01 ^b	0.28±0.01 ^b	0.22±0.01 ^b	1.39±0.02 ^a	0.36±0.01 ^b	1.02±0.01 ^c	0.08±0.01 ^c	0.29±0.02 ^b	0.20±0.02 ^b	3.67±0.13 ^d

[†] “/”为未检出;同列小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

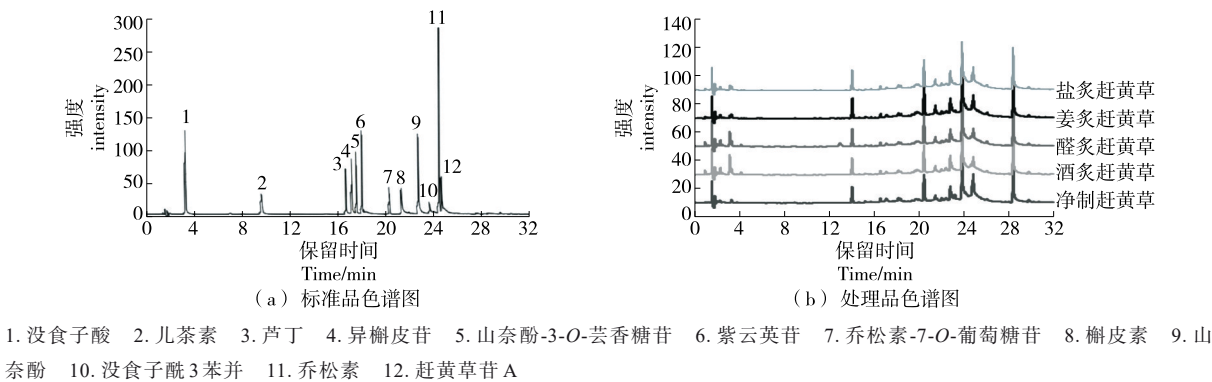


图2 5种处理方法处理后赶黄草的高效液相色谱图

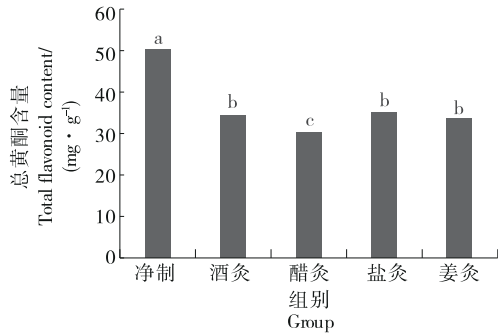
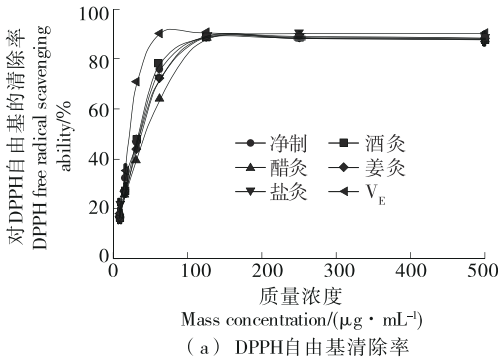
Figure 2 High-performance liquid chromatograms of *Penthorum chinense* Pursh under five processing methods

黄草中重要的功能成分,具有较强的生物活性^[25]。四川省中草药饮片处理规范(2015年)明确规定:按干燥品计算,处理后赶黄草中槲皮素含量不得低于0.10%。试验中处理后的赶黄草中槲皮素含量仍>0.1%,符合标准,其中盐制赶黄草中槲皮素含量显著高于其他4种方法的,这与刘莉等^[26]的结果一致。

2.1.2 总黄酮含量变化比较 由图3可知,相较于净制,赶黄草经处理后总黄酮含量显著降低($P<0.05$),且醋灸的总黄酮含量最低,损失率最高,达39.54%,盐炙的损失率最低,为30.07%,盐炙与酒炙、姜炙之间无显著差异。这与李利明^[27]的结果不一致,可能是因为黄酮类主要成分的组成含量不同。不同处理方法处理后的总黄酮含量有显著损失,可能是因为黄酮类化合物对温度更敏感,在高温条件下更易分解形成单体。醋灸中总黄酮含量最低,可能是因为游离黄酮类物质多含有羟基,而醋制品中主要成分为醋酸,含有羧基,两者发生酯化反应^[28],导致醋灸赶黄草中总黄酮含量减少。

2.2 抗氧化活性对比

2.2.1 DPPH自由基、ABTS⁺自由基清除活性比较 赶黄



字母不同表示差异显著($P<0.05$)
图3 不同处理方法赶黄草中总黄酮含量
Figure 3 Total flavonoids content under different processing methods

草中具有丰富的抗氧化活性成分,如槲皮素、没食子酸等^[29],且赶黄草的抗氧化活性与处理后有效成分的种类和含量相关^[30]。由图4可知,处理后赶黄草对DPPH自由基和ABTS⁺自由基的清除能力在一定范围内呈剂量一效应关系,达到一定的质量浓度后,清除能力不再随样品质量浓度的增加而上升。

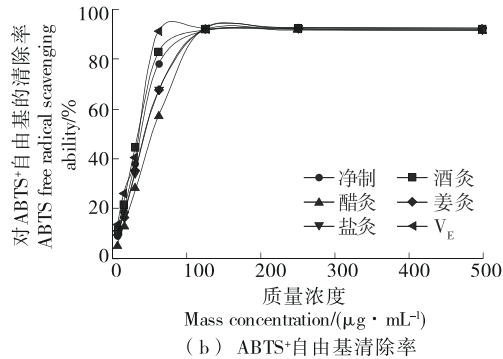


图4 5种处理方法后赶黄草的抗氧化能力
Figure 4 Antioxidant ability of *Penthorum chinense* Pursh under five processing methods

由表3可知,赶黄草清除DPPH自由基的IC₅₀值依次为醋灸>盐炙>姜炙>净制>酒炙>水溶性V_E,清除ABTS⁺自由基的IC₅₀值依次为醋灸>姜炙>盐炙>净制>水溶性V_E>酒炙,仅酒炙后赶黄草对DPPH自由基和ABTS⁺自由基的清除能力高于净制,酒炙赶黄草对ABTS⁺自由基的清除能力略高于水溶性V_E,与沈灵等^[31]的研究结果一致;其他方法处理后的赶黄草对DPPH自由基和ABTS⁺自由基的清除能力均有所降低。处理后赶黄草中具有抗氧化能力的成分主要是多酚类化合物和黄酮类化合物,醋灸赶黄草中总黄酮含量最低,因此其抗氧化能力也最差。

2.2.2 总还原力比较 由图5可知,随着样品质量浓度的增加,593 nm处吸光度值升高,对Fe³⁺还原力也升高,在

表3 5种处理方法赶黄草的DPPH自由基和ABTS⁺自由基半数清除浓度

Table 3	Comparison of half scavenging concentrations of DPPH and ABTS ⁺ radicals under five processing methods		μg/mL
组别	DPPH 自由基	ABTS ⁺ 自由基	
净制	34.54	40.52	
酒炙	33.52	35.86	
醋炙	43.90	54.87	
盐炙	37.03	46.03	
姜炙	35.91	47.85	
水溶性V _E	22.11	36.96	

一定范围内呈现出一定的剂量一效应关系。其中,酒灸赶黄草的总还原力最高,醋灸赶黄草的最低,与DPPH自由基和ABTS⁺自由基的清除能力一致。

2.2.3 体外抗氧化功能物质群初筛 由表4可知,在两种反应体系中,没食子酸、山奈酚-3-*O*-芸香糖苷、乔松素和芦丁反应后低于检测限,说明其为清除ABTS⁺自由基和DPPH自由基的主要活性成分。现代药理研究表明,没食子酸^[32]、山奈酚-3-*O*-芸香糖苷^[33]、乔松素^[34]和芦丁^[35]均具有抗氧化、抗炎等功能。在ABTS反应体系中,反应后赶黄草苷A含量显著降低,而在DPPH反应体系中无显著变化,说明在ABTS反应体系中,赶黄草苷A对清除ABTS⁺自由基起着重要的作用。乔松素-7-*O*-葡萄糖苷含量在两种反应体系反应后有所上升。

表4 ABTS自由基、DPPH自由基清除前后各物质浓度[†]

Table 4 Concentrations of various components before and after scavenging ABTS and DPPH radicals $\mu\text{g/mL}$						
组别	异槲皮苷	紫云英苷	乔松素-7- <i>O</i> -葡萄糖苷	槲皮素	山奈酚	没食子酰3苯并
未反应体系	2.55±0.05 ^a	21.98±0.15 ^a	41.28±0.36 ^b	102.51±0.60 ^b	6.28±0.08 ^a	54.96±0.79 ^a
ABTS反应体系	2.46±0.00 ^b	19.22±0.26 ^b	53.05±0.13 ^a	97.81±0.29 ^c	5.67±0.10 ^c	38.44±0.72 ^c
DPPH反应体系	2.49±0.02 ^{bc}	21.09±0.14 ^a	41.96±0.46 ^b	103.90±0.45 ^a	5.98±0.07 ^b	52.70±0.85 ^b
组别	赶黄草苷A	没食子酸	表儿茶素	山奈酚-3- <i>O</i> -芸香糖苷	乔松素	芦丁
未反应体系	973.61±3.32 ^a	25.93	/	51.82	38.53	17.82
ABTS反应体系	827.34±4.37 ^b	/	/	/	/	/
DPPH反应体系	964.26±5.00 ^a	/	/	/	/	/

† “/”为未检出;同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.4 抑菌活性对比

由表5可知,赶黄草对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、乙型副伤寒沙门氏菌和肠炎沙门氏杆菌均有一定的抑菌作用。处理后的赶黄草对大肠杆菌的抑制能力有所提高,抑菌圈直径大小依次为酒灸>醋灸>盐灸>姜灸>净制,可能是黄酒中含有一定的乙醇,可以穿透细菌的细胞膜、凝固蛋白质,导致细菌死亡,从而达到杀菌抑制作用^[36]。对于金黄色葡萄球菌来说,抑菌能力最高的为酒灸、净制和姜灸赶黄草,而醋灸和盐灸处理后的抑制能力下降。对于乙型副伤寒沙门氏菌来说,净制赶黄草的抑菌能力最高,处理后赶黄草的抑菌能力下降。对于肠炎沙门氏杆菌来说,酒灸赶黄草的抑菌能力最高,其次是醋灸,而盐灸和姜灸的抑制能力下降。总的来说,相较于净制、醋灸、盐灸和姜灸,采用黄酒处理后,赶黄草的抑菌能力得到提高且抑菌效果最好。

3 结论

比较了5种处理方法的赶黄草功能成分、抑菌能力和体外抗氧化能力。结果表明,赶黄草处理前后活性成分的组成和含量发生了不同变化,总多酚和总黄酮含量在

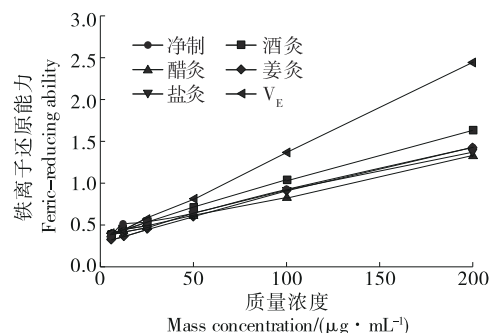


图5 5种处理方法后赶黄草的总还原力比较

Figure 5 Comparison of the total reducing power of *Penthorum chinense* Pursh under five processing methods

表5 5种处理方法后赶黄草的抑菌活性比较[†]

Table 5 Comparison of antibacterial activity of <i>Penthorum chinense</i> Pursh under five processing methods mm				
处理 方法	大肠杆菌	金黄色葡萄 球菌	乙型副伤寒 沙门氏菌	肠炎沙门氏 杆菌
净制	13.33±0.03 ^c	12.13±0.08 ^a	12.01±0.03 ^a	11.19±0.07 ^c
酒灸	13.81±0.05 ^a	12.27±0.07 ^a	11.91±0.02 ^b	13.06±0.06 ^a
醋灸	13.59±0.07 ^b	11.52±0.05 ^b	11.13±0.07 ^c	12.44±0.09 ^b
盐灸	13.15±0.10 ^c	11.28±0.09 ^c	10.51±0.08 ^d	10.86±0.06 ^d
姜灸	12.28±0.05 ^d	12.14±0.06 ^a	11.88±0.09 ^b	11.11±0.10 ^c
空白	8.04±0.02 ^e	8.06±0.01 ^d	8.07±0.02 ^e	8.03±0.09 ^e

† 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

处理后均有下降,其中,酒灸和醋灸的总多酚含量损失率最高,醋灸总黄酮的损失率最高。赶黄草处理后活性成分含量较高的有赶黄草苷A、没食子酰3苯并、没食子酸、山奈酚-3-*O*-芸香糖苷等,盐灸赶黄草的功能成分含量相对较高,但酒灸赶黄草的抗氧化能力最强、抑菌能力最好。没食子酸、山奈酚-3-*O*-芸香糖苷、乔松素和芦丁4种物质含量在DPPH自由基和ABTS⁺自由基反应体系中显

著下降,初步判断没食子酸、山奈酚-3-*O*-芸香糖苷、乔松素和芦丁为处理赶黄草中主要的抗氧化成分;赶黄草苷 A 含量在 ABTS⁺自由基体系中显著下降,在 DPPH 自由基反应体系中无显著差异,因此,赶黄草苷 A 在 ABTS⁺自由基清除中具有重要作用。综上,酒灸为赶黄草的最佳处理方法。后续可对赶黄草的抗氧化活性成分配伍、抑菌活性成分以及活性成分配伍进行研究。

参考文献

- [1]《全国中草药汇编》编写组. 全国中草药汇编[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1975: 480.
Compilation Group of National Chinese Herbal Medicine. National compilation of Chinese herbal medicine[M]. Beijing: People's Health Publishing House, 1975: 480.
- [2] 冯浩, 王智民, 董歌扬, 等. 赶黄草化学成分的研究[J]. 中国中药杂志, 2001, 26(4): 260-262.
FENG H, WANG Z M, DONG G Y, et al. Studies on chemical constituents from *Penthorum chinense* Pursh[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2001, 26(4): 260-262.
- [3]《中国植物志》编辑委员会. 中国植物志: 第三十四卷(第二分册) [M]. 北京: 科学出版社, 1992: 2-3.
Editorial Committee of the Flora of China. Flora of China: volume 34 (Part 2) [M]. Beijing: Science Press, 1992: 2-3.
- [4] 袁晓明, 胡丹. 赶黄草本草考证、化学成分和药理作用研究[J]. 中国医院用药评价与分析, 2023, 23(7): 889-891, 896.
YUAN X M, HU D. Herbal textual research, chemical components and pharmacological effects of *Penthorum chinense* [J]. Evaluation and Analysis of Drug-Use in Hospitals of China, 2023, 23(7): 889-891, 896.
- [5] WANG A Q, LI M X, 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.
- [6] 杜鹤阳, 詹儒君, 徐应丽, 等. 赶黄草保健袋泡茶的配方及冲泡工艺优化[J]. 现代食品, 2023, 29(1): 42-47.
DU H Y, ZHAN R J, XU Y L, et al. Optimization of the formula and brewing technology of health care teabag with *Penthorum chinense* Pursh[J]. Modern Food, 2023, 29(1): 42-47.
- [7] NABI F, AHMED J, TAO W L, et al. An updated review on efficiency of *Penthorum chinense* Pursh in traditional uses, toxicology, and clinical trials[J]. BioMed Research International, 2023, 2 023: 4254051.
- [8] LI X X, ZHAO W W, XIAO M, et al. *Penthorum chinense* Pursh. extract attenuates non-alcoholic fatty liver disease by regulating gut microbiota and bile acid metabolism in mice[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2022, 294: 115333.
- [9] DU Z N, HUANG D D, SHI P J, et al. Integrated chemical interpretation and network pharmacology analysis to reveal the anti-liver fibrosis effect of *Penthorum chinense*[J]. Frontiers in Pharmacology, 2022, 13: 788388.
- [10] YU N, WANG J Q, YU X Q, et al. Chemical constituents of the roots of *Eupatorium chinense* and their anti-inflammatory activities[J]. Phytochemistry Letters, 2022, 48: 11-14.
- [11] 胡吉蕾, 郑乐愉, 唐薇, 等. 赶黄草水提物对高脂饮食联合 STZ 诱导的 II 型糖尿病大鼠的降血糖作用[J]. 现代食品科技, 2020, 36(2): 25-31.
HU J L, ZHENG L Y, TANG W, et al. Hypoglycemic effects of extracts of *Penthorum chinense* Pursh in high fat diet and streptozotocin-induced type II diabetic rats[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(2): 25-31.
- [12] 卢铁道, 伏建斌. 中草药加工炮制技术[J]. 现代农村科技, 2015(8): 76-77.
LU T D, FU J B. Traditional Chinese medicine processing techniques[J]. Xiandai Nongcun Keji, 2015(8): 76-77.
- [13] 何佳, 金艳, 赵玉洋, 等. 有毒中草药炮制减毒方法研究进展[J]. 中国药物警戒, 2023, 20(9): 1 064-1 070.
HE J, JIN Y, ZHAO Y Y, et al. Research progress in methods for toxicity-decreasing processing of toxic herbal traditional Chinese medicines[J]. Chinese Journal of Pharmacovigilance, 2023, 20(9): 1 064-1 070.
- [14] WU X, WANG S P, LU J R, et al. Seeing the unseen of Chinese herbal medicine processing (*Paozhi*): advances in new perspectives[J]. Chinese Medicine, 2018, 13: 4.
- [15] 龙庆德, 张旭, 袁春杰. 不同炮制方法对虎耳草有效成分含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(33): 18 749-18 751.
LONG Q D, ZHANG X, YUAN C J. Effects of different methods processing *Saxifraga stolonifera* meerb. on its contents of active ingredients[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(33): 18 749-18 751.
- [16] 王璐, 汪丽霞, 吴婷婷, 等. 不同炮制方法对薤白壳药效指标成分含量及抗氧化活性的影响[J]. 中国药房, 2022, 33(7): 830-835.
WANG L, WANG L X, WU T T, et al. Effects of different processing methods on the contents of the pharmacodynamic index components and antioxidant activity of *Citrus aurantium* [J]. China Pharmacy, 2022, 33(7): 830-835.
- [17] CHU Y F, SUN J, WU X Z, et al. Antioxidant and antiproliferative activities of common vegetables[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(23): 6 910-6 916.
- [18] 陈克克, 强毅. 陕西山楂总黄酮的含量测定[J]. 光谱实验室, 2013, 30(6): 3 013-3 016.
CHEN K K, QIANG Y. Determination of total flavonoids in hawthorn from Shaanxi[J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2013, 30(6): 3 013-3 016.
- [19] KIM S Y, JEONG S M, PARK W P, et al. Effect of heating conditions of grape seeds on the antioxidant activity of grape seed extracts[J]. Food Chemistry, 2006, 97(3): 472-479.
- [20] 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, ZUO 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.
- [21] BUSTOS M C, ROCHA-PARRA D, SAMPEDRO I, et al. The influence of different air-drying conditions on bioactive compounds and antioxidant activity of berries[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(11): 2 714-2 723.
- [22] DING Q C, JIN Z, DONG J H, et al. Bioactivity evaluation of pinocembrin derivatives from *Penthorum chinense* Pursh stems [J]. Natural Product Communications, 2019, 14(9): 1934578X19875892.
- [23] 徐月, 高慧, 贾天柱. 五味子不同炮制品及不同部位中总黄酮等化学成分研究[J]. 时珍国医国药, 2014, 25(12): 2 897-2 899.
- XU Y, GAO H, JIA T Z. Studies on chemical constituents such as total flavonoids in different processed products and different parts of *Schisandra chinensis*[J]. Journal of Li-shizhen Traditional Chinese Medicine, 2014, 25(12): 2 897-2 899.
- [24] 薛兴澳. 糙米茶制备工艺及泡后糙米粉对饼干品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2024: 19-20.
- XUE X A. Preparation technology of brown rice tea and effect of soaked brown rice flour on cookie quality[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2024: 19-20.
- [25] 郭晴君, 杨惠繁, 杨蕴妍, 等. 槲皮素对高脂饮食诱导肥胖小鼠肝脏脂肪变性的改善作用及对色氨酸代谢物的影响[J]. 现代食品科技, 2024, 40(6): 96-103.
- GUO Q J, YANG H F, YANG Y Y, et al. Quercetin ameliorates hepatic steatosis and influences tryptophan metabolites in obese mice induced by a high-fat diet[J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(6): 96-103.
- [26] 刘莉, 闫凯莉, 汪莹, 等. 菟丝子不同炮制品指纹图谱与化学计量学研究[J]. 中药材, 2024, 47(4): 869-874.
- LIU L, YAN K L, WANG Y, et al. Study on fingerprint and chemometrics of different processed products of *Cuscuta semen*[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2024, 47(4): 869-874.
- [27] 李利明. 不同炮制方法对黄芪化学成分的影响[J]. 中国医药科学, 2014, 4(17): 85-87.
- LI L M. Effects of different processing methods on the chemical components of *astragalus propinquus*[J]. China Medicine and Pharmacy, 2014, 4(17): 85-87.
- [28] 鲍艳, 韩旆, 张文博, 等. 螺吡喃类刺激响应变色聚合物的研究进展[J]. 材料导报, 2024, 38(17): 273-281.
- BAO Y, HAN P, ZHANG W B, et al. Research progress of spiropyrans stimuli-responsive chromotropic polymers[J]. Materials Reports, 2024, 38(17): 273-281.
- [29] 王小淦. HPLC-DPPH法筛选黄芩与赶黄草中抗氧化剂及黄酮类化合物构效与活性研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2010: 35-37.
- WANG X S. Screening antioxidants from extracts of *scutellaria* and *Penthorum chinense* Pursh by on-line HPLC-DPPH method and study on the relation between structure and antioxidant activity of flavonoid[D]. Changsha: Hunan Normal University, 2010: 35-37.
- [30] 董晓宁, 赵海福, 赵强, 等. 中草药提取物抗氧化作用及其机理研究进展[J]. 中兽医医药杂志, 2014, 33(1): 25-29.
- DONG X Y, ZHAO H F, ZHAO Q, et al. Research progress of Chinese herbal medicine extracts oxidation resistance and its mechanism[J]. Journal of Traditional Chinese Veterinary Medicine, 2014, 33(1): 25-29.
- [31] 沈灵, 曾琳琳, 骆巧媚, 等. 黄精的炮制工艺优化及抗衰老作用研究[J]. 华西药学杂志, 2023, 38(4): 394-398.
- SHEN L, ZENG L L, LUO Q M, et al. Study on the optimal processing-technology and anti-aging effects of *Polygonatum sibiricum*[J]. West China Journal of Pharmaceutical Sciences, 2023, 38(4): 394-398.
- [32] 马存强, 周斌星, 马冰淞, 等. 茶叶微生物发酵过程中没食子酸代谢研究进展[J]. 中国食品学报, 2024, 24(7): 450-459.
- MA C Q, ZHOU B X, MA B S, et al. Research advances on gallic acid metabolism during tea-leaves microbial fermentation[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(7): 450-459.
- [33] 吴倩文, 赵书武, 高丰, 等. 基于网络药理学和分子对接的感冒清热颗粒防治新型冠状病毒肺炎的作用机制[J]. 世界中医药, 2021, 16(19): 2 856-2 863.
- WU Q W, ZHAO W F, GAO F, et al. Mechanism exploration of Ganmao Qingre Granules in the prevention and treatment of corona virus disease 2019 based on network pharmacology and molecular docking[J]. World Chinese Medicine, 2021, 16(19): 2 856-2 863.
- [34] GUO W W, WANG X, CHEN X Q, et al. Flavonones from *Penthorum chinense* ameliorate hepatic steatosis by activating the SIRT1/AMPK pathway in HepG2 cells[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(9): 2 555.
- [35] 侯阿娇, 郭新月, 满文静, 等. 款冬花的化学成分及药理作用研究进展[J]. 中医药信息, 2019, 36(1): 107-112.
- HOU A J, GUO X Y, MAN W J, et al. Research progress of chemical compositions and pharmacological effects of *Farfarae flos*[J]. Information on Traditional Chinese Medicine, 2019, 36(1): 107-112.
- [36] 林淑仪, 杨爱君, 何瑛, 等. 消毒酒精的贮存条件和消毒效果研究[J]. 食品安全导刊, 2023(15): 81-84.
- LIN S Y, YANG A J, HE Y, et al. Study on storage conditions and disinfection effects of disinfected alcohol[J]. China Food Safety Magazine, 2023(15): 81-84.