

菜用黄麻叶总黄酮和总酚的提取 及其抗氧化活性研究

侯文焕, 廖小芳, 唐兴富, 赵艳红

(广西壮族自治区农业科学院经济作物研究所 南宁 530007)

摘要:为探讨菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取的最适乙醇体积分数及其抗氧化活性,以桂麻菜1号和桂麻菜2号为试材,通过比较不同体积分数的乙醇对菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取率的影响,确定提取最佳乙醇体积分数;以羟基自由基清除率、DPPH 自由基清除率和亚铁离子螯合率评价菜用黄麻叶总黄酮和总酚的抗氧化活性。结果表明,菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取的最适乙醇体积分数分别为 70%和 50%。2 个品种叶总黄酮和总酚的抗氧化能力均随提取物浓度增加而增强。桂麻菜1 号和桂麻菜2 号叶总黄酮提取物清除羟基自由基的半数抑制浓度(IC_{50})分别为 0.738 和 0.708 $mg \cdot mL^{-1}$,总酚提取物清除羟基自由基的 IC_{50} 分别为 0.463 和 0.419 $mg \cdot mL^{-1}$;2 个品种叶总黄酮提取物清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 分别为 1.151 和 1.153 $mg \cdot mL^{-1}$,总酚提取物清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 分别为 0.662 和 0.639 $mg \cdot mL^{-1}$;2 个品种叶总黄酮提取物螯合亚铁离子的 IC_{50} 分别为 0.307 和 0.306 $mg \cdot mL^{-1}$,总酚提取物螯合亚铁离子的 IC_{50} 分别为 0.150 和 0.171 $mg \cdot mL^{-1}$ 。综上,菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取的最适乙醇体积分数分别为 70% 和 50%,且菜用黄麻叶总黄酮和总酚均具有一定的抗氧化能力。

关键词:菜用黄麻;总黄酮;总酚;提取;抗氧化活性

中图分类号:S563.4

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)02-213-07

Extraction and antioxidant activity of total flavonoids and total phenols from vegetable jute leaves

HOU Wenhuan, LIAO Xiaofang, TANG Xingfu, ZHAO Yanhong

(Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China)

Abstract: To investigate the optimal ethanol volume fraction for extraction of total flavonoids and total phenols from vegetable jute leaves and evaluate their antioxidant activity, leaves of Guimacai No. 1 and Guimacai No. 2 were used as experimental materials. The effects of different ethanol volume fractions on the extraction yields of total flavonoids and total phenols were compared to determine the optimal extraction conditions. The antioxidant activities of the extracts were assessed by hydroxyl radical scavenging rate, DPPH radical scavenging rate, and ferrous ion chelating rate. The results showed that the optimal ethanol volume fraction for the extraction of total flavonoids and total phenols from vegetable jute leaves were 70% and 50%, respectively. The antioxidant capacity of total flavonoids and total phenols extracts from two vegetable jute cultivars enhanced with the increase of extract concentration. The half-maximal inhibitory concentrations (IC_{50}) of total flavonoid extracts from Guimaicai 1 and Guimaicai 2 for scavenging hydroxyl radical were 0.738 and 0.708 $mg \cdot mL^{-1}$, and those of total phenol were 0.463 and 0.419 $mg \cdot mL^{-1}$, respectively. For scavenging DPPH radical the IC_{50} value of total flavonoids extracts from Guimacai No. 1 and Guimacai No. 2 were 1.151 and 1.153 $mg \cdot mL^{-1}$, and those of total phenol extracts were 0.662 and 0.639 $mg \cdot mL^{-1}$, respectively. The IC_{50} value of total flavonoids extracts from Guimacai No. 1 and Guimacai No. 2 for chelating ferrous ions were 0.307 and 0.306 $mg \cdot mL^{-1}$, and those of total phenol extracts were 0.150 and 0.171 $mg \cdot mL^{-1}$, respectively. In conclusion, the optimal ethanol volume fractions for extracting total flavonoids and total phenols from vegetable jute leaves are 70% and 50%, respectively. Both total flavonoids and total phenols from edible jute leaves exhibit considerable antioxidant activity.

Key words: Vegetable jute; Flavonoids; Phenols; Extract; Antioxidant activity

收稿日期:2025-01-24;修回日期:2025-09-22

基金项目:广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科 2021YT113,桂农科 2024ZX38,桂农科 2025YP051);国家麻类产业技术体系建设专项资金资助项目(CARS-16S15)

作者简介:侯文焕,女,助理研究员,主要从事麻类作物育种与栽培研究。E-mail:houlwenhuan1112@126.com

通信作者:赵艳红,女,研究员,主要从事麻类作物育种与栽培研究。E-mail:zhaohong8011@126.com

黄麻为一年生韧皮纤维作物,生产上有长果种和圆果种两个栽培种,依据用途可分为纤用黄麻和菜用黄麻。菜用黄麻嫩茎质地爽脆、幼叶嫩滑、口感极佳、富含多种营养物质和生物活性成分,具有润肠通便、健脾胃、降血压等功效,在我国广西、广东、福建、重庆等地备受欢迎和广泛种植^[1]。黄酮类和多酚类化合物具有抗氧化、抗菌和抗炎等生物活性,是国内外食品、药品及保健品等相关领域研究的热点^[2-4]。黄麻叶含有丰富的黄酮类和多酚类等生物活性成分,具有抗炎、抗癌和保护心血管等功能^[5]。因此优化菜用黄麻叶总黄酮和总酚的提取条件并对其抗氧化活性进行分析,对增加菜用黄麻附加值以及开发相关产品具有重要意义。目前常用的植物总黄酮和总酚提取方法主要有溶剂提取法、超声辅助提取法、微波辅助提取法、超临界流体萃取法、酶解辅助提取法等,但不同作物的提取方法和提取率存在极大的差异^[6-8]。黄麻叶总黄酮和总酚提取以乙醇溶剂提取为主。崔启璐等^[9]采用水醇提取法提取黄麻纤维中的总黄酮类化合物;陈如冰等^[10]采用超声辅助乙醇溶剂提取长蒴黄麻中的总黄酮;张浪等^[11]采用乙醇冷凝回流法提取黄麻叶中的总酚。Biswas^[12]研究表明,黄麻叶总黄酮和总酚提取的最佳乙醇体积分数均为80%。Yakoub等^[13]研究表明,长果种黄麻叶乙醇提取物的酚酸和类黄酮含量以及抗氧化活性均高于乙醇/水提物和水提物。陈如冰等^[10]研究表明,长蒴黄麻总黄酮提取物对羟基自由基和超氧阴离子自由基具有一定的清除作用。张浪等^[11]研究表明,黄麻总酚提取液对1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基和铁离子还原/抗氧化能力(FRAP)均有一定的抗氧化能力。Sadat等^[14]研究表明,长果种黄麻叶甲醇提取物具有清除DPPH自由基的活性。Biswas等^[15]研究表明,黄麻叶提取物对DPPH自由基、羟基自由基、2,2'-联氮-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS)自由基均有一定的清除能力。虽然已有关于黄麻叶总黄酮、总酚提取及抗氧化活性分析的报道,但针对的是长果种黄麻,关于圆果种黄麻总黄酮和总酚的提取条件及抗氧化活性的研究鲜有报道。本研究以圆果种菜用黄麻为研究对象,采用乙醇回流法探讨圆果种菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取的最适乙醇体积分数,并对其抗氧化活性进行评价,以期为圆果种菜用黄麻的开发利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试菜用黄麻品种为圆果种黄麻桂麻菜1号和桂麻菜2号,均由广西农业科学院经济作物研究所选育。试验于2024年在广西农业科学院院内科研基地进行。田间试验采用随机区组设计,3次重复。5月10日播种,行长2.5 m,行距40 cm,株距10 cm,共10行,小区面积为10.0 m²,田间管理为常规管理。于开花期时采集植株分枝顶端10~15 cm的嫩叶,将嫩叶置于烘箱中105℃杀青15 min后,60℃烘干至恒质量,粉碎备用。

试验所用没食子酸、芦丁、DPPH、EDTA,均购自北京索莱宝科技有限公司;福林酚、碳酸钠、硝酸铝、乙酸钾、乙醇、甲醇、乙酸、菲罗嗪、氯化亚铁、硫酸亚铁等试剂均为分析纯,购自广东汕头市西陇化工股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 菜用黄麻叶总黄酮和总酚的提取 采用乙醇回流法^[11]提取菜用黄麻叶的总黄酮和总酚。取3 g菜用黄麻叶粉末,按料液比1:50分别加入同体积的乙醇溶液,回流提取3 h,过滤,滤液离心5 min,备用。

1.2.2 总黄酮含量测定及提取率计算 有以下内容:(1)芦丁标准曲线绘制:参照魏旭等^[16]的方法略有改动。用电子分析天平(BS124S型,北京赛多利斯仪器系统有限公司)称取芦丁对照品100 mg,使用无水乙醇溶解并定容于100 mL容量瓶中,配置成1 mg·mL⁻¹的标准品溶液。分别吸取芦丁标准品溶液1、2、3、4、5 mL,置于100 mL的容量瓶,再分别依次加入无水乙醇20 mL、100 mg·mL⁻¹硝酸铝溶液1 mL、98 mg·mL⁻¹乙酸钾溶液1 mL,混匀后加去离子水定容至刻度线,静置60 min,用紫外-可见分光光度计(QP5050A型,北京普析通用有限公司)于417 nm测吸光度。以芦丁的质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线。其回归方程为 $y=23.29x+0.0239$, $R^2=0.999$ 。

(2)总黄酮提取率计算:取1 mL滤液用10 mL容量瓶定容,测定其吸光度,对照标准曲线计算总黄酮提取率。

$$\text{总黄酮提取率/\%} = \frac{C \times V \times N}{M \times 1000} \times 100.$$

式中: C 为根据回归方程计算出的质量浓度,mg·mL⁻¹; V 为提取液的总体积,mL; N 为稀释倍

数; M 为菜用黄麻叶粉末的质量,g。

(3)乙醇体积分数对菜用黄麻叶总黄酮提取率的影响:取3 g桂麻菜1号粉末,按料液比1:50分别加入同体积的40%、50%、60%、70%、80%的乙醇溶液,回流提取3 h,过滤,滤液离心5 min,参照(2)测定不同乙醇体积分数提取下总黄酮的提取率,确定最佳乙醇体积分数。

(4)总黄酮提取与纯化:分别取100 g桂麻菜1号和桂麻菜2号叶粉末,按料液比1:50加入70%的乙醇,回流提取3 h,提取2次,过滤,合并滤液,参照(2)测定滤液质量浓度分别为 $0.32 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $0.26 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。滤液回收乙醇,大孔树脂D101吸附,先用纯水洗脱,然后用25%乙醇洗脱,收集洗脱液,浓缩至干,得到菜用黄麻叶总黄酮纯化提取物,参照(2)测定纯化后桂麻菜1号和桂麻菜2号总黄酮的含量为41.6%和45.6%。

1.2.3 总酚含量测定及提取率计算 有以下内容:

(1)标准曲线绘制:采用福林酚法测定^[17]。用电子分析天平称取没食子酸对照品400 mg,使用无水乙醇溶解并定容于100 mL容量瓶中,配置成 $4 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的标准品溶液。分别吸取没食子酸标准品溶液1、2、3、4、5 mL,定容于100 mL的容量瓶中,然后分别取1 mL没食子酸标准液于10 mL比色管中,分别加入福林酚试剂2.5 mL、15%碳酸钠溶液2.5 mL,混匀后加去离子水定容至刻度线,摇匀,40℃水浴60 min,静置冷却20 min。用紫外-可见分光光度计于765 nm测吸光度。以没食子酸的质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标绘制标准曲线。其回归方程为 $y=21.765x+0.043$, $R^2=0.9991$ 。

(2)总酚提取率计算:取1 mL滤液用50 mL容量瓶定容,测定其吸光度值,对照标准曲线计算总酚提取率。

$$\text{总酚提取率}/\% = \frac{C \times V \times N}{M \times 1000} \times 100。$$

式中: C 为根据回归方程计算出的质量浓度($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$); V 为提取液的总体积(mL); N 为稀释倍数; M 为菜用黄麻叶粉末的质量(g)。

(3)乙醇体积分数对菜用黄麻叶总酚提取率的影响:取3 g桂麻菜1号粉末,按料液比1:50分别加入同体积的40%、50%、60%、70%、80%的乙醇溶液,回流提取3 h,过滤,滤液离心5 min,参照(2)测定不同条件下总酚的提取率,确定最佳乙醇体积分数。

(4)总酚提取和纯化:分别取100 g桂麻菜1号

和桂麻菜2号叶粉末,按料液比1:50加入50%的乙醇,回流提取3 h,提取2次,过滤,合并滤液,滤液质量浓度分别为 $0.75 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 和 $0.55 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。滤液回收乙醇,大孔树脂AB-8吸附,先用纯水洗脱,然后用20%乙醇洗脱,收集洗脱液,浓缩至干,得到菜用黄麻总酚纯化提取物,参照(2)测定纯化后桂麻菜1号和桂麻菜2号总酚的含量为63.5%和55.3%。

1.3 体外抗氧化指标测定

1.3.1 羟基自由基清除率的测定 参照沙玉欢等^[18]的方法,分别配制质量浓度为0.1、0.2、0.4、0.6、0.8和 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的桂麻菜1号和桂麻菜2号总黄酮和总酚样品溶液以及阳性对照维生素C溶液。向试管中依次加入 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1}$ 菲罗啉3.0 mL、pH 7.4的磷酸盐缓冲溶液4 mL、 $0.75 \text{ mmol} \cdot \text{mL}^{-1}$ 硫酸亚铁2 mL,混合均匀后依次加入样品溶液2 mL、0.01%双氧水2 mL,40℃水浴保温60 min,于536 nm波长测量每个样品的吸光度。去离子水代替双氧水为空白对照,去离子水代替样品为对照,以维生素C作为阳性对照。计算羟基自由基清除率及半数抑制浓度(IC_{50})。

$$\text{羟基自由基清除率}/\% = \frac{A_s - A_1}{A_0 - A_1} \times 100。$$

式中: A_s 为样品的吸光度, A_1 为对照的吸光度, A_0 为空白对照的吸光度。

1.3.2 DPPH自由基清除率的测定 参照沙玉欢等^[18]的试验方法,分别配制质量浓度为0.1、0.2、0.4、0.6、0.8和 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的桂麻菜1号和桂麻菜2号总黄酮和总酚样品溶液以及阳性对照维生素C溶液。分别向试管中加入桂麻菜1号和桂麻菜2号样品溶液4 mL,再各加入DPPH溶液2 mL,混合摇匀,放置室温下暗处避光反应30 min,于517 nm波长处测定每个样品的吸光度。以4 mL去离子水代替样品作为空白对照,以维生素C作为阳性对照。计算DPPH自由基清除率及半数抑制浓度(IC_{50})。

$$\text{DPPH自由基清除率}/\% = \left(1 - \frac{A_s}{A_0}\right) \times 100。$$

式中: A_s 为样品的吸光度, A_0 为空白对照的吸光度。

1.3.3 亚铁离子螯合率的测定 参照张剑霜等^[19]的试验方法,分别配制质量浓度为0.1、0.2、0.4、0.6、0.8和 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的桂麻菜1号和桂麻菜2号总黄酮和总酚样品溶液以及阳性对照EDTA(乙二胺

四乙酸)溶液。分别向试管中加入 2 mL 样品溶液,然后加入 5 mmol·mL⁻¹ 菲啰嗪溶液 0.4 mL,再加入 2 mmol·mL⁻¹ 氯化亚铁溶液 0.2 mL,最后加入 7.4 mL 去离子水,混合摇匀,静置反应 10 min,于 562 nm 波长测定每个样品的吸光度。去离子水代替样品作为空白对照,以 EDTA 作为阳性对照。计算亚铁离子螯合能力及半数螯合浓度(IC₅₀)。

$$\text{亚铁离子螯合率/\%} = \left(1 - \frac{A_s}{A_0}\right) \times 100.$$

式中:A₀为空白对照的吸光度,A_s为样品的吸光度。

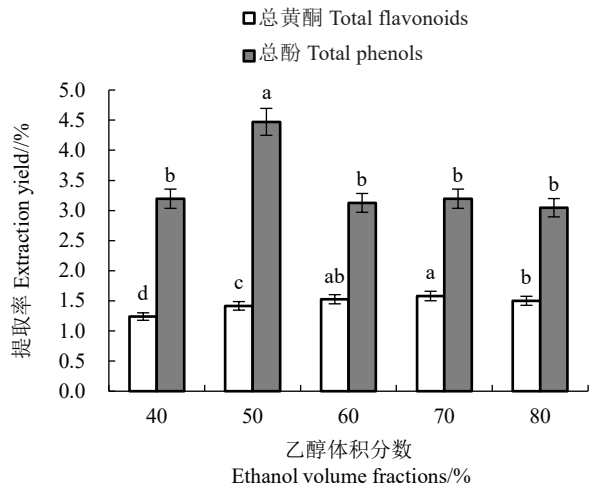
1.4 数据分析

采用 Excecl 进行数据分析和作图,采用 SPSS 20.0 进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 乙醇体积分数对菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取率的影响

由图 1 可知,随着乙醇体积分数的增加,菜用黄麻叶的总黄酮和总酚提取率整体上均呈先升高后降低的趋势,乙醇体积分数为 70%时总黄酮提取率最高,为 1.58%,与乙醇体积分数为 60%时差异不显著,但显著高于其他乙醇体积分数的提取率。总酚提取率在乙醇体积分数为 50%时最高,为 4.47%,显著高于其他乙醇体积分数的提取率。因此,提取



注:不同小写字母表示同一物质不同处理间存在显著差异(P<0.05)。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments of the same substance (P<0.05).

图 1 乙醇体积分数对菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取率的影响
Fig. 1 Effects of ethanol volume fractions on the extraction yield of total flavonoids and total phenols from vegetable jute leaves

菜用黄麻叶总黄酮的最适乙醇体积分数为 70%,总酚的最适乙醇体积分数为 50%。

2.2 菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取物对羟基自由基的清除能力

菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取物对羟基自由基的清除能力如图 2 所示。在 0.1~1.0 mg·mL⁻¹ 范围内 2 个菜用黄麻品种叶总黄酮提取物对羟基自由基清除能力均随浓度的增加而增强。在相同的浓度下,2 个菜用黄麻品种叶总黄酮提取物对羟基自由基的清除率始终低于维生素 C。在质量浓度 1.0 mg·mL⁻¹ 时,桂麻菜 1 号和桂麻菜 2 号叶总黄酮提取物及维生素 C 对羟基自由基的清除率依次为 57.2%、56.0%和 93.2%。IC₅₀是指某种物质在清除 50%自由基时所需的浓度,其值越低,代表样品清除自由基的能力越强,抗氧化能力越强。2 个菜用黄麻品种叶总黄酮提取物及维生素 C 清除羟基自由基的 IC₅₀ 依次为维生素 C(0.030 mg·mL⁻¹)<桂麻菜 2 号(0.708 mg·mL⁻¹)<桂麻菜 1 号(0.738 mg·mL⁻¹)。

由图 2 可知,在 0.1~1.0 mg·mL⁻¹ 范围内桂麻菜 1 号、桂麻菜 2 号叶总酚提取物清除羟基自由基的能力整体上均随浓度的增加而增强。在相同的浓度下,2 个菜用黄麻品种叶总酚提取物对羟基自由基的清除率始终低于维生素 C,且总酚提取物清除羟基自由基的能力均强于总黄酮。在浓度 1.0 mg·mL⁻¹

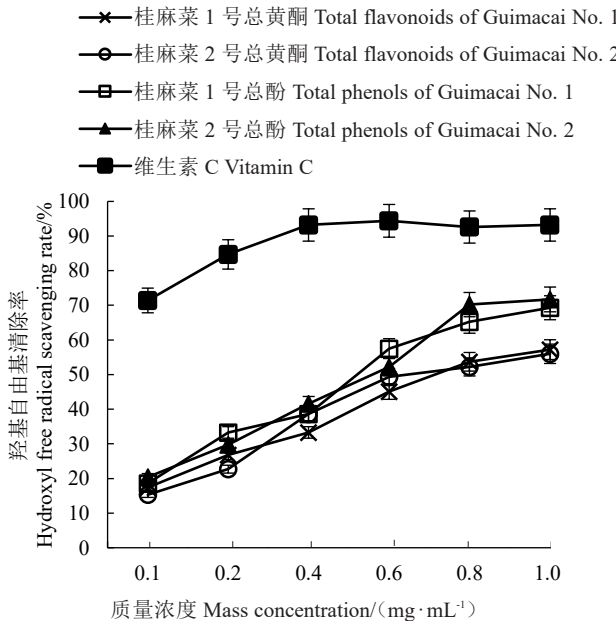


图 2 菜用黄麻叶总黄酮和总酚对羟基自由基的清除能力
Fig. 2 Capacity of hydroxy free radical scavenging by total flavonoids and total phenols from vegetable jute leaves

时,桂麻菜1号、桂麻菜2号叶总酚提取物及维生素C对羟基自由基的清除率依次为69.3%、71.7%和93.2%。2个菜用黄麻品种叶总酚提取物及维生素C清除羟基自由基的 IC_{50} 依次为维生素C($0.030\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)<桂麻菜2号($0.419\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)<桂麻菜1号($0.463\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)。桂麻菜2号清除羟基自由基的能力略高于桂麻菜1号。

2.3 菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取物对DPPH自由基的清除能力

菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取物对DPPH自由基的清除能力如图3所示。在浓度 $0.1\sim 1.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 范围内2个菜用黄麻品种叶总黄酮、总酚提取物对DPPH自由基的清除率均随浓度的增加而升高,维生素C对DPPH自由基的清除率随浓度的增加呈先升高后略降低的趋势。在相同浓度下,维生素C对DPPH自由基清除率始终高于菜用黄麻叶的总黄酮和总酚提取物,2个菜用黄麻品种叶总酚提取物对DPPH自由基清除能力均强于总黄酮。在浓度为 $1.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,桂麻菜1号叶总黄酮提取物、桂麻菜2号叶总黄酮提取物、桂麻菜1号叶总酚提取物、桂麻菜2号叶总酚提取物、维生素C对DPPH自由基的清除率依次为46.2%、45.7%、59.4%、62.3%和92.4%。2个菜用黄麻品种叶总黄酮提取物及维生素C清除DPPH自由基的 IC_{50} 依次为维生素C($0.107\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)<桂麻菜1号($1.151\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)<桂麻

菜2号($1.153\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)。2个菜用黄麻品种叶总酚提取物及维生素C清除DPPH自由基的 IC_{50} 依次为维生素C($0.107\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)<桂麻菜2号($0.639\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)<桂麻菜1号($0.662\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)。由此可知桂麻菜1号叶总黄酮提取物清除DPPH自由基的能力略高于桂麻菜2号,而桂麻菜2号叶总酚提取物清除DPPH自由基的能力略高于桂麻菜1号。

2.4 菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取物对亚铁离子的螯合能力

菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取物对亚铁离子的螯合能力如图4所示。菜用黄麻叶的总黄酮和总酚提取物对亚铁离子均表现出相对较强的螯合能力,在质量浓度 $0.1\sim 1.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 范围内2个菜用黄麻品种叶总黄酮和总酚提取物对亚铁离子的螯合率均随提取物浓度的增加而升高。在浓度 $1.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时,桂麻菜1号总黄酮提取物、桂麻菜2号总黄酮提取物、桂麻菜1号总酚提取物、桂麻菜2号总酚提取物对亚铁离子的螯合率分别为75.3%、74.3%、72.8%和76.0%。对照EDTA浓度在 $0.1\sim 1.0\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 范围内表现出较高的螯合能力,螯合率均高于92.0%,且EDTA对亚铁离子的螯合率始终高于2个菜用黄麻品种叶总黄酮和总酚提取物。2个菜用黄麻品种叶总黄酮提取物及EDTA螯合亚铁离子的 IC_{50} 依次为EDTA($0.001\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$)<桂麻菜2号

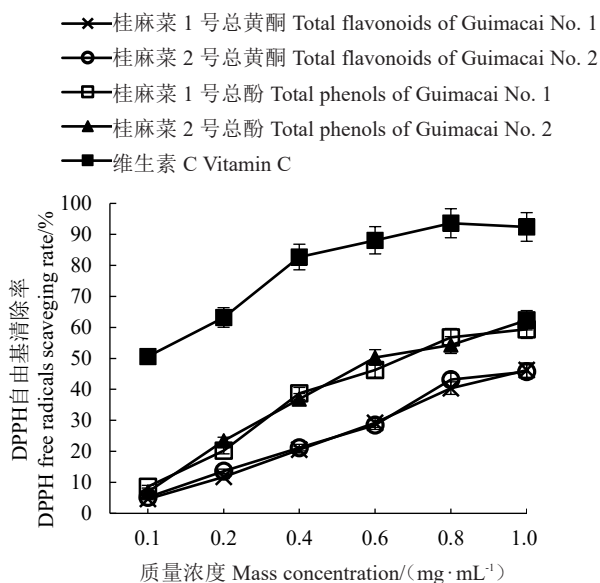


图3 菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取物对DPPH自由基的清除能力

Fig. 3 Capacity of DPPH free radical scavenging by total flavonoids and total phenols from vegetable jute leaves

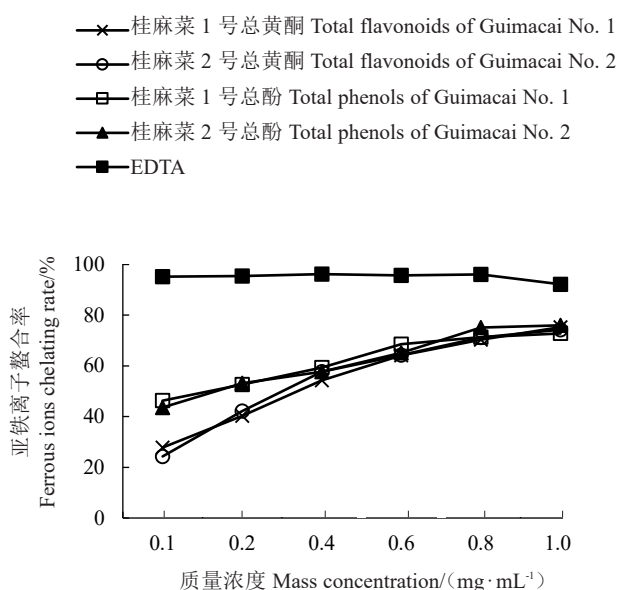


图4 菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取物对亚铁离子的螯合能力

Fig. 4 Ability of ferrous ion chelating by total flavonoids and total phenols from vegetable jute leaves

($0.306 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) < 桂麻菜1号($0.307 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$); 2个菜用黄麻品种叶总酚提取物及EDTA螯合亚铁离子的 IC_{50} 依次为EDTA($0.001 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) < 桂麻菜1号($0.150 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) < 桂麻菜2号($0.171 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)。由此可知, 桂麻菜2号总黄酮提取物对亚铁离子的螯合能力略高于桂麻菜1号, 而桂麻菜1号总酚提取物对亚铁离子的螯合能力略高于桂麻菜2号。

3 讨论与结论

回流提取法是提取植物总黄酮和总酚的常用方法^[20-21], 乙醇作为常用提取溶剂具有提取范围广、效果好、稳定性高、安全无毒、可回收利用等优点, 是提取总黄酮和总酚的理想溶剂^[22]。影响乙醇提取植物总黄酮、总酚的因素较多, 包括乙醇体积分数、料液比、提取温度、提取时间等^[23-25]。在实际应用中, 不同体积分数的乙醇对不同极性的活性成分具有不同的选择性, 对活性成分的溶解性能和杂质保留也有影响, 因此明确提取所需乙醇的最佳体积分数, 对获得最大提取量至关重要^[26]。本研究通过比较不同体积分数乙醇的提取率, 明确了用70%乙醇提取时菜用黄麻叶总黄酮提取率最高, 为1.58%, 此结果与陈如冰等^[10]的总黄酮最优提取浓度为80%乙醇的研究结果存在差异, 可能与提取方法不同有关; 在乙醇体积分数为50%时菜用黄麻叶总酚提取率最高, 此结果与张浪等^[11]的研究结果一致。由此可知采用乙醇回流法时菜用黄麻叶总酚提取的最优乙醇体积分数为50%。

总黄酮、总酚具有抗氧化、抗菌和抗炎等丰富的生物活性, 对改善人体健康水平有着积极的作用, 研究表明植物总黄酮和总酚具有较强的体外抗氧化能力^[27-28]。本研究表明菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取物对羟基自由基和DPPH自由基均具有清除作用, 清除能力随浓度的增加而增强; 同时菜用黄麻叶总黄酮和总酚提取物对亚铁离子具有螯合作用, 螯合能力随浓度的增加而增强, 此研究结果与陈如冰等^[10]、张浪等^[11]的研究结果一致。

综上, 采用乙醇回流法提取菜用黄麻叶总黄酮和总酚的最优乙醇体积分数分别为70%和50%, 菜用黄麻叶的总黄酮和总酚提取物对羟基自由基和DPPH自由基具有一定的清除作用, 对亚铁离子具有一定的螯合能力。本研究结果为菜用黄麻叶的

综合利用提供了理论依据。

参考文献

- [1] 侯文焕, 赵艳红, 唐兴富, 等. 菜用黄麻种质萌发期耐盐性评价[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(2): 309-320.
- [2] 王彦兵, 王晓媛, 肖兵, 等. 小粒咖啡果皮总黄酮提取工艺优化及其体外抗氧化活性分析[J]. 南方农业学报, 2020, 51(2): 385-393.
- [3] PEREZ-VIZCAINO F, FRAGA C G. Research trends in flavonoids and health[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2018, 646: 107-112.
- [4] 鲁雷震, 贾紫伟, 封成玲, 等. 玫瑰植物中活性物质及其功效研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(20): 206-213.
- [5] MIHAYLOVA D, DIMITROVA-DIMOVA M, POPOVA A. Dietary phenolic compounds- wellbeing and perspective applications[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2024, 25(9): 4769.
- [6] 杨金凤, 陈伟玲, 吕锦萍. 红苋菜总黄酮超声波辅助提取工艺优化及其抗氧化、抑菌活性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(14): 175-179.
- [7] 马嘉洁, 赵端端, 全世航, 等. 紫苏叶黄酮、多酚提取工艺优化及不同品种抗氧化活性比较[J]. 食品工业科技, 2023, 44(12): 344-352.
- [8] 杭书扬, 杨林霄, 郭建行, 等. 山药皮中黄酮、多酚提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(20): 122-127.
- [9] 崔启璐, 李佳蔚, 潘柳桂, 等. 黄麻纤维中黄酮类化合物提取工艺优化及表征[J]. 纺织学报, 2021, 42(8): 90-95.
- [10] 陈如冰, 周雪娜, 陈婉芳, 等. 长蒴黄麻总黄酮的提取及其抗氧化性[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(10): 162-165.
- [11] 张浪, 刘亮亮, 黄思齐, 等. 菜用黄麻叶中总多酚提取及抗氧化活性研究[J]. 中国麻业科学, 2020, 42(3): 113-122.
- [12] BISWAS A. 黄麻叶提取物抗氧化活性分析及类黄酮合成机制研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2021.
- [13] YAKOUB B A R, ABDEHEDI O, JRIDI M, et al. Flavonoids, phenols, antioxidant, and antimicrobial activities in various extracts from Tossa jute leave (*Corchorus olitorius* L.) [J]. Industrial Crops and Products, 2018, 118: 206-213.
- [14] SADAT A, HORE M, CHAKRABORTY K, et al. Phytochemical analysis and antioxidant activity of methanolic extract of leaves of *Corchorus olitorius* [J]. International Journal of Current Pharmaceutical Research, 2017, 9(5): 59-63.
- [15] BISWAS A, DEY S, LI D, et al. Comparison of phytochemical profile, mineral content, and in vitro antioxidant activities of *Corchorus capsularis* and *Corchorus olitorius* leaf extracts from different populations [J]. Journal of Food Quality, 2020: 2931097.
- [16] 魏旭, 王芳, 韩文玉, 等. 不同处理工艺对玫瑰花中抗氧化物质含量及抗氧化活性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(12): 66-73.
- [17] 齐奎元, 赵华武, 金江华, 等. 朱砂烟和普通烤烟烟叶酚类物质

- 差异分析[J]. 山东农业科学, 2023, 55(5): 76-83.
- [18] 沙玉欢, 毛晓英, 吴庆智, 等. 核桃分心木黄酮物质的组分及其抗氧化性分析[J]. 食品科学, 2021, 42(12): 91-98.
- [19] 张剑霜, 王地平, 侯忠华, 等. 赤水白茶总黄酮超声辅助提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2020, 41(17): 206-211.
- [20] 刘佳遥, 李明强, 周晓静, 等. 回流法提取分蘖洋葱总黄酮工艺研究及其含量测定[J]. 北方园艺, 2018(24): 125-134.
- [21] 郑斌, 赵巧丽, 文定青, 等. 提取方法对芒果核仁多酚提取率及抗氧化活性的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(9): 76-87.
- [22] 孙艳, 杨志伟. 火龙果总黄酮提取工艺优化[J]. 南方农业学报, 2016, 47(6): 1001-1008.
- [23] 刘小琳, 牛婷婷, 陈洁洁, 等. 玫瑰茄活性成分的双水相系统提取及其抗氧化活性[J]. 分子植物育种, 2023, 21(16): 5483-5490.
- [24] 吴存兵, 邵伯进, 吴君艳, 等. 生姜黄酮乙醇浸提工艺优化及其稳定性研究[J]. 南方农业学报, 2020, 51(11): 2798-2807.
- [25] 张敏君, 段雪伟, 王燕, 等. 构树根皮活性成分乙醇提取工艺优化及其抗氧化活性分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(11): 196-203.
- [26] 穆兴燕, 吴胜, 郭银萍, 等. 不同溶剂提取对刺梨物质含量变化及抗氧化活性的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(17): 68-75.
- [27] LIU Y F, QI Y W, CHEN X, et al. Phenolic compounds and antioxidant activity in red- and in green-fleshed kiwifruits[J]. Food Research International, 2019, 116: 291-301.
- [28] 曹艳妮, 徐坤, 邱思, 等. 刺梨、苹果和脐橙复配物的抗氧化能力[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(7): 60-66.