

10种野菜醇提取物活性成分及抗氧化活性研究

陈惠云¹, 花雪梅², 吴峰华², 刘兴泉², 孙志栋¹, 柴霖³

(1. 宁波市农业科学研究院农产品加工研究所, 浙江宁波 315040)

(2. 浙江农林大学农业与食品科学学院, 浙江临安 311300)(3. 浙江万里学院生物与环境学院, 浙江宁波 315100)

摘要:以10种野菜醇提取物活性成分含量及其体外抗氧化为研究目的, 选用甲醇为溶剂, 热水回流法制备野菜提取物。分别采用Folin-酚法和AlCl₃-乙酸钾比色法测定野菜提取物总酚和总黄酮含量, 以自由基清除率(1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical, DPPH)、还原力、Fe²⁺金属螯合力抗氧化体系来评价它们的抗氧化能力。采用高效液相色谱法(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)测定提取物主要活性成分含量。研究表明: 10种供试野菜提取物总黄酮和总酚含量差异显著, 总黄酮含量最高的是苦苣菜(85.69±2.33) mg/g, 总酚含量最高的是紫苏(151.57±3.96) mg/g。DPPH自由基清除力最强的是香椿; 还原力最强的是紫苏; 金属螯合力最强的是野芝麻。野菜提取物中含有黄酮、植物酚酸等多种次生代谢成分。10种供试野菜可以作为良好的天然抗氧化剂来源, 总酚是野菜提取物的主要抗氧化活性成分。

关键词: 野菜; 抗氧化能力; 黄酮; 酚酸; 高效液相色谱法(HPLC)

文章编号: 1673-9078(2017)6-94-99

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.6.014

Active Components and Antioxidant Activity of the Extracts of 10 Wild Vegetables

CHEN Hui-yun¹, HUA Xue-mei², WU Feng-hua², LIU Xing-quan², SUN Zhi-dong¹, CHAI Lin³

(1. Institute of Agricultural Product Processing Research, Ningbo Academy of Agricultural Sciences, Ningbo 315040, China) (2. College of Agriculture and Food Science, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Linan 311300, China) (3. College of Biological and Environmental Sciences, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China)

Abstract: The purpose of this study was to investigate the proportion of the main active components and *in vitro* activity of the extracts of 10 wild vegetables. The extracts of wild vegetables were obtained by hot water recirculation with methanol, and the total flavonoid content and total phenolic content were estimated by the AlCl₃ colorimetric method and Folin's reagent, respectively. The antioxidant activities of the extracts were evaluated by determining their reducing capacity, free-radical scavenging activity, and metal chelating ability. The main flavonoid and phenolic content of the extracts were determined by using HPLC. Significant difference was found in content of flavonoids and phenols of the extracts. *Sonchus oleraceus* showed the highest total flavonoid content of (85.69±2.33) mg/g, and *Perilla frutescens* showed the highest total phenol content of (151.57±3.96) mg/g. *Toona sinensis* showed the highest scavenging ability using the DPPH method. *P. frutescens* showed the highest reducing power. *Lamium barbatum* showed the highest metal chelating activity. The extracts contained abundant botanical secondary metabolites such as flavonoids and phenols. These vegetables can serve as good sources of natural antioxidants. It can be concluded that phenol is a main contributor to the antioxidant activity of the extracts.

Key words: wild vegetables; antioxidant activity; flavone; phenol; high performance liquid chromatography

自由基是人体正常生命活动的代谢产物, 具有高度的生物活性, 而环境污染、农药化肥、食品添加剂及不健康的生活方式等外来因素都会使人体产生多余

收稿日期: 2016-08-24

基金项目: 宁波市农业攻关项目(2012C10023); 国家自然科学基金项目(31301580); 浙江省自然科学基金项目(LY13C200012)

作者简介: 陈惠云(1980-), 女, 高级农艺师, 硕士, 研究方向: 食品加工与安全

通讯作者: 刘兴泉(1973-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工与安全

的自由基, 自由基过剩会导致生物大分子的氧化损伤, 可能会带来衰老、肿瘤、动脉硬化、心血管疾病、免疫力下降和炎症等疾病^[1,2]。大量研究表明, 合理使用抗氧化剂能有效预防这些疾病的产生并减缓机体的衰老速度。此外, 抗氧化剂作为食品添加剂, 能有效避免含油脂的食品在储藏、运输、加工和销售的过程中, 受到氧气、水、光、热和微生物等的影响, 导致食品发生褐变、酸败及营养素破坏等现象的发生^[3]。人工合成的抗氧化剂虽然具有抗氧化作用, 但有潜在毒性

和致癌作用,因此寻找天然、高效、低毒的抗氧化剂已引起广泛关注。自然界中,天然植物中抗氧化成分主要有黄酮类、酚酸类、皂苷类、多糖类和有机酸等。野菜作为一类重要的植物资源,不仅具有较高的营养价值,还具有多种医疗和保健作用,因此从野菜中寻找廉价且安全的天然抗氧化剂具有较大的开发前景。此外,野菜含有丰富的次生代谢产物,活性成分主要是以芦丁、槲皮素和山奈酚为代表的黄酮以及对香豆酸、绿原酸、咖啡酸和阿魏酸为代表的植物酚酸,具有清除自由基、抗氧化、抗衰老、抗病毒和降血脂等药理作用。

本研究以产自浙江余姚的 10 种野菜为原料,用甲醇经热水回流提取,旋蒸、干燥后得到提取物,比较分析各种野菜醇提取物的活性成分及抗氧化活性,并分析它们之间的相关性,为进一步开发具有天然抗氧化能力的野菜资源提供理论支撑。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

鱼腥草(*Houttuynia cordata*)、水芹(*Oenanthe javanica*)、白花败酱(*Patrinia villosa* Juss.)、苦苣菜(*Sonchus oleraceus*)、野芝麻(*Lamium barbatum*)、紫苏(*Perilla frutescens*)、紫背天葵(*Begonia fimbriatipula* Hance)、香椿(*Toona sinensis*)、马齿苋(*Portulaca oleracea* L.)和苦菊(*Cichorium endivia* L.)共 10 种野菜分别于 2013 年 5~7 月采自浙江省余姚市,取可食部分,洗净晾干,粉碎后过 60 目筛,装袋备用。

咖啡酸(*caffeic acid*)、绿原酸(*chlorogenic acid*)、对香豆酸(*p-coumaric acid*)、阿魏酸(*ferulic acid*)、福林酚试剂、DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical)均购自美国 Sigma 公司;芦丁(rutin)购自 Alfa Aesar 公司;槲皮素(querletin)、山奈酚(kaemperol)购自上海诗丹德生物公司;甲醇、乙腈和正己烷为色谱纯试剂;其余试剂均为分析纯试剂,水为去离子水。

1.2 仪器与设备

AL104 电子天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;UV-1800 紫外可见分光光度计,日本岛津公司;旋转蒸发仪,瑞士 BUCHI 公司;LC-20AT 高效液相色谱仪,配 DAD 二极管阵列检测器,日本岛津公司。

1.3 野菜样品的制备

称取一定量的样品,加甲醇以料液比 1:15 热水回

流提取 2 次,抽滤后合并滤液,将滤液减压浓缩至膏状,冷冻干燥,得到醇提物干样,密封保存于 4 °C 冰箱中,测定前用甲醇配制。

1.4 总酚和总黄酮含量的测定

1.4.1 总酚含量的测定

采用 Folin-酚法^[4]测定。取不同浓度的没食子酸标准溶液各 0.6 mL,加入稀释 10 倍的福林酚试剂 3 mL,然后加入 7.5% (m/V) 碳酸钠溶液 2.4 mL,充分混匀,黑暗放置 30 min,于波长 765 nm 测定吸光值并绘制标准曲线:

$$y=0.0088x+0.0559, R^2=0.9986。$$

将各提取物稀释到适当浓度,取 0.6 mL 待测液,按上述步骤测定吸光值,根据标准曲线计算总酚含量,其最终数值以没食子酸含量 mg/g 表示。

1.4.2 总黄酮含量的测定

采用 AlCl₃-乙酸钾比色法^[5]测定。取不同浓度的槲皮素标准溶液各 0.5 mL,依次各加入 95%乙醇 1.5 mL,AlCl₃溶液 0.1 mL,1 mol/L 乙酸钾 0.1 mL,最后用蒸馏水定容至 5 mL,摇匀,室温静置 30 min,在 415 nm 处测定吸光值并绘制标准曲线:

$$y=0.0053x+0.0531, R^2=0.9982。$$

将各提取物稀释到适当倍数,取 0.5 mL 待测液,按上述步骤测定吸光值,根据标准曲线计算总黄酮含量,其最终数值以槲皮素含量 mg/g 表示。

1.5 野菜提取物抗氧化活性测定

1.5.1 DPPH 自由基清除率^[6]

取不同浓度的样液各 0.3 mL,加入 0.1 mmol/L、2.7 mL DPPH 甲醇溶液,充分混匀后室温静置 1 h,在 517 nm 处测定吸光值 A₁,以提取剂替代样品测得空白 A₀。

$$\text{DPPH 清除率}(\%)=[(A_0-A_1)/A_0]\times 100$$

1.5.2 还原力测定^[7]

取不同浓度的样液各 1 mL,依次加入 0.2 mol/L 磷酸缓冲液 (pH 6.6) 2.5 mL 和 1%铁氰化钾溶液 2.5 mL,于 50 °C 水浴中保温 20 min,取出冷却后,加入 10%三氯乙酸溶液 2.5 mL,以 3000 r/min 的转速离心 10 min,取上清液 2.5 mL,依次加入蒸馏水 2.5 mL,0.1%三氯化铁溶液 0.5 mL,充分混匀,静置 10 min 后,于波长 700 nm 处测定吸光值。

1.5.3 Fe²⁺螯合力^[8]

取不同浓度提取物各 1 mL,加 3.7 mL 甲醇混匀,再依次加入 0.1 mL、1 mmol/L FeSO₄ 和 0.2 mL、5 mmol/L 菲洛嗪,剧烈震荡,室温下静置 10 min,于

波长 562 nm 下测定吸光值 A_S ，以提取剂替代样品测得空白 A_C 。以螯合力为 50% 时的体系浓度 IC_{50} 值表示。

$$\text{金属螯合力}(\%) C_{CA} = [1 - (A_S/A_C)] \times 100$$

1.6 野菜提取物中酚酸和黄酮含量测定

取 0.01 g 植物提取物，加入 4 mL、80% 甲醇溶解，定容至 5 mL，过 0.45 μm 的有机滤膜，采用高效液相色谱法测定绿原酸含量。参照 Huang 等人^[9]的方法，取 0.01 g 植物粗提物，加入 4 mL、80% 甲醇和 1 mL、6 mol/L 盐酸，在 80 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中加热酸解 1 h，冷却后，用甲醇补足至 5 mL，超声，挥干溶剂，用 10 mL 甲醇复溶，过 0.45 μm 的有机滤膜，采用高效液相色谱法检测阿魏酸、咖啡酸、对香豆酸、芦丁、槲皮素和山奈酚含量。

采用高效液相色谱仪检测，色谱柱： C_{18} (4.6 mm \times 250 mm, 5 μm)；流动相：5% 乙酸溶液 (A)；甲醇 (B)；梯度洗脱^[10]：0 min, 5%(B)；5 min, 15%(B)；25 min, 30%(B)；39 min, 42%(B)；47 min, 55%(B)；50 min, 70%(B)；56 min, 75%(B)；60 min, 100%(B)；检测波长：330 nm；柱温：28 $^{\circ}\text{C}$ ；流速：1.0 mL/min。

1.7 统计分析

每次试验处理均重复 3 次，结果以均值 \pm 标准差表示，应用 DPS 软件进行数理统计，并用 ANOVA 进行 LSD 多重差异分析，以 $p < 0.05$ 为显著 (*), $p < 0.01$ 为极显著 (**).

2 结果与分析

2.1 提取物总酚、总黄酮含量

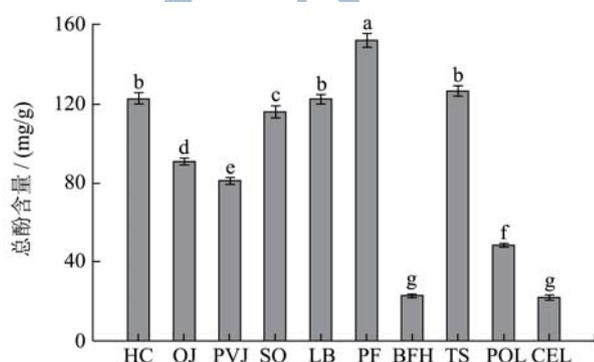


图1 Total phenolic content in the vegetables

注：HC-鱼腥草；OJ-水芹；PVJ-白花败酱；SO-苦苣菜；LB-野芝麻；PF-紫苏；BFH-紫背天葵；TS-香椿；POL-马齿苋；CEL-苦菊。

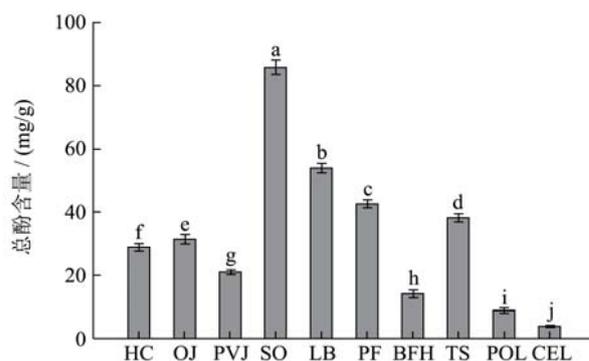


图2 野菜中总黄酮的含量

Fig.2 Total flavonoid content in the vegetables

注：HC-鱼腥草；OJ-水芹；PVJ-白花败酱；SO-苦苣菜；LB-野芝麻；PF-紫苏；BFH-紫背天葵；TS-香椿；POL-马齿苋；CEL-苦菊。图表中不同字母表示有显著差异 ($p < 0.05$)。

10 种供试野菜提取物总酚和总黄酮含量测定结果见图 1 和图 2。结果表明，10 种野菜材料之间总酚、总黄酮含量差异较大。总酚含量介于 22.10~151.57 mg/g 之间，紫苏含量最高，是苦苣菜、紫背天葵的 6.9 倍，马齿苋的 3.2 倍；总黄酮含量在 3.75~85.69 mg/g 之间，苦苣菜含量最高，苦菊含量最低，鱼腥草、苦苣菜、野芝麻、紫苏和香椿这几种野菜提取物的总酚含量超过 100 mg/g。

2.2 提取物的抗氧化能力

2.2.1 DPPH·清除率测定结果

DPPH·是一类非常稳定存在的自由基，在 517 nm 时有最大吸收，且浓度与吸光值呈线性相关。当抗氧化物质存在时，由于单电子配对使吸收减少，通过测定 DPPH·含量变化来评价抗氧化能力。该方法被广泛应用于测定天然植物抗氧化能力及抗氧化片段筛选。抗氧化剂对自由基的清除能力以 IC_{50} 来评价， IC_{50} 值越小，清除力越强。由表 1 可知，10 种供试野菜提取物 DPPH 抗氧化值差异较显著，自由基清除力由高到低依次为：香椿>鱼腥草、水芹、野芝麻>紫苏>苦苣菜>白花败酱>马齿苋>紫背天葵>苦菊。

2.2.2 还原力测定结果

还原力的测定方法操作简单、重复性强，主要应用于测定植物多酚类化合物的抗氧化能力。抗氧化物质降低 Fe^{3+} 与铁氰化物的复合物变为 Fe^{2+} 的过程，会出现不同程度的绿色到蓝色的亚铁氰化物复合物，样品还原力越强，抗氧化能力越好。由表 1 可知，10 种供试野菜提取物还原力差异显著，还原力由高到低依次为：紫苏>香椿>鱼腥草>苦苣菜>野芝麻>水芹>马齿苋>苦菊>白花败酱>紫背天葵。

2.2.3 Fe^{2+} 金属螯合力测定结果

金属离子通过脱氢等作用加速脂质过氧化,而金属螯合离子能大大降低这种作用,所以金属螯合力也是用来评价样品的抗氧化能力的常用方法。因此,可以通过加入螯合剂的颜色变化来测定样品的抗氧化能力。由表1可知,野芝麻对Fe²⁺表现出极强的螯合力,其IC₅₀值只有0.01 mg/mL,紫苏、水芹、白花败酱、鱼腥草也具有较强的螯合作用。

使用3种评价体系比较各野菜提取物的体外抗氧化活性,由于这3种方法的反应机制和反应条件不同,结果略有差异。因此,采用多种方法综合评价样品的抗氧化活性结果更具有客观性。

表1 野菜提取物清除自由基、还原力和金属螯合力的IC₅₀

Table 1 IC₅₀ of the free-radical scavenging capacities, reducing power, and iron-chelating capacities of the extracts

名称	DPPH /(mg/mL)	还原力 /(mg/mL)	螯合力 /(mg/mL)
鱼腥草	0.13±0.00 ^{de}	0.32±0.00 ^g	0.65±0.00 ^{de}
水芹	0.13±0.00 ^{de}	0.59±0.00 ^e	0.51±0.00 ^f
白花败酱	0.55±0.01 ^c	0.97±0.00 ^b	0.56±0.00 ^{ef}
苦苣菜	0.23±0.00 ^d	0.36±0.00 ^f	0.74±0.00 ^d
野芝麻	0.13±0.00 ^{de}	0.38±0.00 ^f	0.01±0.00 ^h
紫苏	0.15±0.00 ^{de}	0.14±0.01 ^h	0.20±0.00 ^g
紫背天葵	2.70±0.24 ^a	2.66±0.07 ^a	2.39±0.19 ^a
香椿	0.03±0.00 ^e	0.30±0.00 ^g	0.70±0.01 ^d
马齿苋	1.19±0.02 ^b	0.76±0.00 ^d	1.08±0.01 ^c
苦菊	>10000	0.88±0.02 ^c	2.00±0.10 ^b

注: 图表中不同字母表示有显著差异 ($p < 0.05$)。

2.3 相关性分析

表3 野菜提取物主要酚酸、黄酮含量测定结果

Table 3 Determination of flavone and phenol content of the extracts (n=3, mg/g)

	绿原酸	咖啡酸	对香豆酸	阿魏酸	芦丁	槲皮素	山奈酚
鱼腥草	27.25±1.19 ^a	0.96±0.12 ^{bc}	5.76±0.43 ^b	0.15±0.11 ^d	18.23±1.13 ^a	26.51±0.83 ^a	1.11±0.23 ^b
水芹	6.82±0.53 ^e	1.07±0.72 ^b	1.31±0.12 ^{cd}	0.06±0.07 ^e	12.26±0.91 ^b	1.32±0.21 ^d	0.22±0.14 ^c
白花败酱	16.02±1.13 ^b	0.95±0.13 ^{bc}	4.76±0.53 ^b	0.41±0.26 ^c	1.69±0.63 ^{de}	0.23±0.22 ^d	0.24±0.21 ^c
苦苣菜	7.40±0.28 ^e	2.34±0.14 ^a	22.57±1.05 ^a	0.18±0.25 ^d	5.26±0.35 ^c	1.25±0.71 ^d	0.03±0.09 ^c
野芝麻	10.89±0.85 ^d	1.20±0.41 ^b	2.18±1.03 ^c	0.35±0.41 ^{cd}	1.06±1.23 ^{ef}	0.48±0.71 ^d	0.15±0.22 ^c
紫苏	13.54±0.87 ^c	0.94±0.37 ^{bc}	1.12±0.61 ^{cd}	0.46±0.18 ^c	3.09±0.54 ^d	6.52±0.71 ^c	0.05±0.05 ^c
紫背天葵	1.33±0.25 ^f	0.08±0.11 ^d	0.65±0.62 ^d	ND	0.13±0.17 ^f	0.06±0.09 ^d	0.04±0.07 ^c
香椿	0.15±0.2 ^f	0.03±0.02 ^d	0.08±0.14 ^d	0.63±0.25 ^b	1.62±0.23 ^e	6.92±0.72 ^c	1.92±0.33 ^a
马齿苋	0.71±0.51 ^f	0.39±0.21 ^{cd}	1.22±0.84 ^{cd}	2.32±0.73 ^a	0.94±0.41 ^{ef}	13.49±1.04 ^b	0.86±0.21 ^b
苦菊	1.02±0.42 ^f	0.07±0.11 ^d	0.19±0.09 ^d	0.03±0.08 ^{ef}	0.08±0.15 ^f	0.04±0.07 ^d	0.03±0.03 ^c

注: ND表示未检出; 图表中不同字母表示有显著差异 ($p < 0.05$)。

10种野菜提取物活性成分与抗氧化能力之间的相关性分析结果见表2。10种供试野菜提取物中总酚含量与抗氧化能力之间显著相关 ($p < 0.01$), 其中DPPH和螯合力与总酚含量的相关系数分别达到了0.872和0.866, 对还原力的相关系数也有0.765, 因此可以认为野菜的抗氧化能力主要与总酚的含量相关。而总黄酮与DPPH、还原力、金属螯合力的相关性不显著 ($p > 0.05$), 分别为0.518、0.474和0.551, 可能由于还含有除了黄酮以外的酚酸类物质。此外, 由表2还可以看出, 总酚与总黄酮之间有一定的相关性 ($p < 0.05$), DPPH、螯合力、还原力彼此之间高度相关 ($p < 0.01$), 三种结果综合起来更能表明野菜的抗氧化活性。以上研究结果表明黄酮和酚酸是野菜抗氧化的主要成分^[11-13]。

表2 野菜提取物活性成分与抗氧化能力之间的相关性

Table 2 Coefficients of Pearson Correlation between the active extract components and the different methods for determining antioxidant capacity

	总黄酮	总酚	DPPH	还原力
总酚	0.693*			
DPPH	0.518	0.872**		
还原力	0.474	0.765**	0.953**	
螯合力	0.551	0.866**	0.927**	0.805**

注: *表示在0.05水平上显著相关; **表示在0.01水平上显著相关; 图表中不同字母表示有显著差异 ($p < 0.05$)。

2.4 野菜提取物中主要酚酸、黄酮含量分析

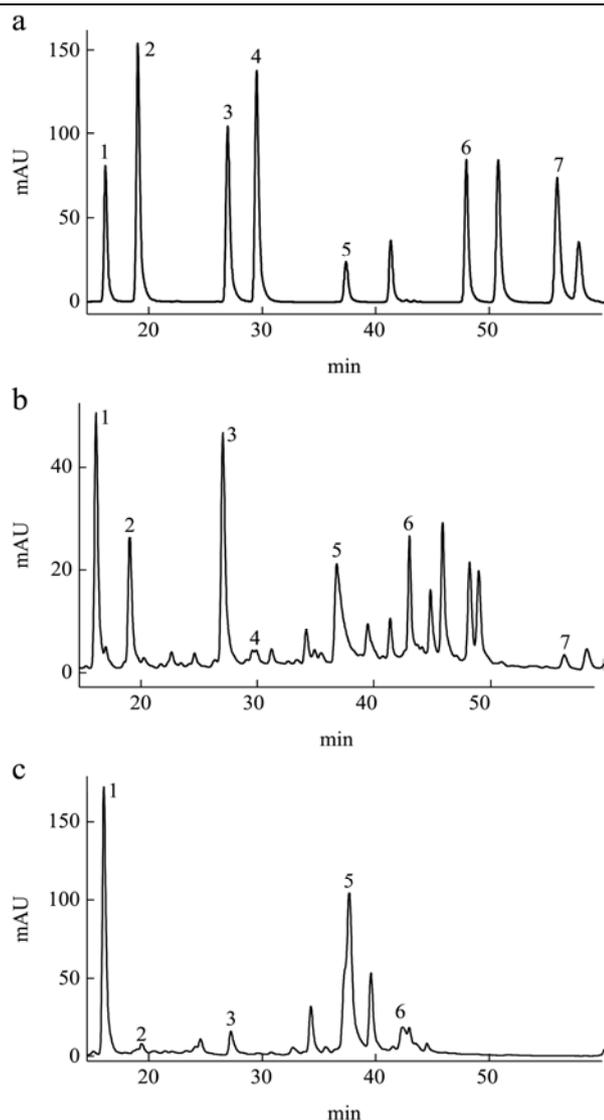


图3 混合标准品色谱图(1-绿原酸, 2-咖啡酸, 3-对香豆酸, 4-阿魏酸, 5-芦丁, 6-槲皮素, 7-山奈酚)(a); 水芹酸水解样品色谱图(b); 水芹未酸解样品色谱图(c)

Fig.3 HPLC chromatograms of mixed reference substances (1-chlorogenic acid, 2-caffeic acid, 3-*p*-coumaric acid, 4-ferulic acid, 5- rutin, 6- quercetin, 7- kaempferol) (a); HPLC chromatograms of acid-hydrolyzed *O.javanica* - MET extract (b); HPLC chromatograms of untreated *O.javanica* - MET extract (c)

10种野菜提取物中主要酚酸、黄酮含量测定结果见表3, 相应的HPLC色谱图见图3。已有研究表明, 多酚类化合物一般结合成苷或酯, 也有的以游离的形式存在, 在测定之前进行水解处理, 可以准确测定这些化合物的含量^[9]。10种供试野菜酚酸、黄酮总量在1.46~79.97 mg/g(干重)之间, 鱼腥草总含量较高, 紫背天葵和苦菊较低。10种供试野菜富含绿原酸、咖啡酸、对香豆酸以及芦丁和槲皮素, 阿魏酸和山奈酚含量则相对较低。7种活性成分的量在不同的野菜中

含量差异较大。鱼腥草、白花败酱、野芝麻和紫苏中的绿原酸含量较高, 含量均达到10 mg/g以上; 苦苣菜中咖啡酸和对香豆酸含量较高, 分别达到2.34和22.57 mg/g; 马齿苋中阿魏酸含量最高, 达到2.32 mg/g; 鱼腥草中芦丁和槲皮素含量较高, 分别为18.23和26.51 mg/g; 鱼腥草和香椿中山奈酚含量较高, 分别达到1.11和1.92 mg/g。

对鱼腥草、水芹、苦苣菜、紫苏、香椿和马齿苋等野菜的抗氧化能力及主要活性成分已有报道^[14], 由于材料及处理方法的不同, 研究结果与本文有一些差异。本文首次对白花败酱、野芝麻、紫背天葵和苦菊这4种野菜酚酸、黄酮含量进行了研究, 为以后这4种野菜的开发提供依据。

3 结论

3.1 10种供试野菜提取物中, 香椿、鱼腥草、野芝麻和紫苏具有较强的抗氧化能力, 总酚含量分别为126.47、122.37、122.64和151.57 mg/g(干重); 总黄酮含量分别为36.82、29.02、53.45和42.24 mg/g; DPPH自由基清除率 IC_{50} 值均小于150 mg/mL, 还原力抗氧化 IC_{50} 值均小于400 mg/mL, Fe^{2+} 螯合力 IC_{50} 值均小于700 mg/mL。而紫背天葵、马齿苋、苦菊的总酚和总黄酮含量较低, 且抗氧化能力相对较弱。

3.2 10种供试野菜的抗氧化活性与总酚含量具有较好的相关性, 总酚与DPPH、还原力和金属螯合力的相关系数分别为: 0.872、0.765和0.866。鱼腥草、野芝麻、紫苏及香椿的总酚含量较高, 抗氧化性也较强, 有望开发成新型的天然抗氧化剂。因此, 在筛选抗氧化植物资源时, 可将总酚含量作为一个初步判断依据, 对植物材料的抗氧化能力进行初步筛选。

3.3 10种供试野菜提取物含有丰富的次生代谢成分, 主要以绿原酸、对香豆酸等酚酸类化合物以及芦丁和槲皮素等黄酮类化合物为主。10种供试野菜次生代谢物含量差异显著, 其中有效成分总量最高的是鱼腥草, 达到79.97 mg/g, 紫背天葵和苦菊含量相对较低。

参考文献

- [1] 宫江宁, 廖莉玲, 王正武, 等. 6种种产野菜抗氧化性能的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(11): 60-63
GONG Jiang-ning, LIAO Li-ling, WANG Zheng-wu, et al. Free radical scavenging and antioxidant activity of six potherbs from Guizhou [J]. Food Science, 2010, 31(11): 60-63
- [2] 杨冬梅, 金月亭, 柯乐芹, 等. 12种常见蔬菜抗氧化活性的比较研究[J]. 中国食品学报, 2008, 7(5): 24-29

- YANG Dong-mei, JIN Yue-ting, KE Le-qin, et al. Antioxidant activities of 12 common vegetables [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2008, 7(5): 24-29
- [3] 龚艳振,徐亚健,刘华巍,等.天然抗氧化剂复配研究进展[J].食品科技,2012,6:264-267
- GONG Yan-zhen, XU Ya-jian, LIU Hua-wei, et al. Progress of synergistic antioxidant effects of natural antioxidants [J]. Food Science and Technology, 2012, 6: 264-267
- [4] Lim Y Y, Murtijaya J. Antioxidant properties of *Phyllanthus amarus* extracts as affected by different drying methods [J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(9): 1664-1669
- [5] Köksal E, Gülçin İ. Antioxidant activity of cauliflower (*Brassica oleracea* L.) [J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2009, 32(1): 65-78
- [6] Hatano T, Kagawa H, Yasuhara T, et al. Two new flavonoids and other constituents in licorice root: their relative astringency and scavenging effects [J]. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 1988, 36(6): 2090-2097
- [7] Apati P, Szentmihályi K, Kristo S T, et al. Herbal remedies of *Solidago*-correlation of phytochemical characteristics and antioxidative properties [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2003, 32(4): 1045-1053
- [8] Dinis T C P, Madeira V M C, Almeida L M. Action of phenolic derivatives (acetaminophen, salicylate, and 5-aminosalicylate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxy radical scavengers [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1994, 315(1): 161-169
- [9] Huang Z, Wang B, Eaves D H, et al. Phenolic compound profile of selected vegetables frequently consumed by african Americans in the southeast united states [J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1395-1402
- [10] Erkan N, Cetin H, Ayranci E. Antioxidant activities of *Sideritis congesta* Davis et Huber-Morath and *Sideritis arguta* boiss et Heldr: Identification of free flavonoids and cinnamic acid derivatives [J]. Food Research International, 2011, 44(1): 297-303
- [11] 杨颖,王琨,高仁杰,等.汉中 8 种野生食用植物成分分析与营养评价[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2013,41(3): 98-103
- YANG Ying, WANG Kun, GAO Ren-jie, et al. Analysis on chemical constituents and nutritional evaluation of eight wild edible plants collected in Hanzhong [J]. Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition), 2013, 41(3): 98-103
- [12] 刘海英,仇农学,姚瑞祺,等.我国 86 种药食两用植物的抗氧化活性及其与总酚的相关性分析[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2009,37(2):173-180
- LIU Hai-ying, QIU Nong-xue, YAO Rui-qi, et al. Correlation analysis between antioxidant capacity and total phenolic content to f 86 Chinese edible herbal extracts [J]. Journal of Northwest A & F University (Nat. Sci. Ed.), 2009, 37(2): 173-180
- [13] Katalinic V, Milos M, Kulisic T, et al. Screening of 70 medicinal plant extracts for antioxidant capacity and total phenols [J]. Food Chemistry, 2006, 94(4): 550-557
- [14] Feng L J, Yu C H, Ying K J, et al. Hypolipidemic and antioxidant effects of total flavonoids of *Perilla frutescens* leaves in hyperlipidemia rats induced by high-fat diet [J]. Food Research International, 2011, 44(1): 404-409