DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2020.05.032

野地瓜不同部位活性成分、抗氧化能力及其相关性分析

Analysis of active compounds, antioxidant activity and correlation in different parts from *Ficus tikoua* Bur.

杨秀群[1,2] 谢国芳[1,3] 吴 倩[1]

YANG Xiu-qun[1,2] *XIE Guo-fang*[1,3] *WU Qian*[1]

陈 炼[1,3] 陈 佳[1,3] 刘永玲[3]

CHEN Lian[1,3] *CHEN Jia*[1,3] *LIU Yong-ling*[3]

(1. 贵州省果品加工工程技术研究中心,贵州 贵阳 550005;2. 贵阳学院教学设备及实验管理中心,贵州 贵阳 550005;3. 贵阳学院食品与制药工程学院,贵州 贵阳 550005)

(1. *Guizhou Engineering Research Center for Fruit Processing*, *Guiyang*, *Guizhou* 550005, *China*; 2. *Teaching Equipment and Laboratory Management Center*, *Guiyang University*, *Guiyang*, *Guizhou* 550005, *China*; 3. *Food and Pharmaceutical Engineering Institute*, *Guiyang University*, *Guiyang*, *Guizhou* 550005, *China*)

摘要:以贵州野地瓜为试验材料,分析其不同部位的酚类物质、V_C、总酚、总黄酮含量,采用总还原力(TRPA)、$ABTS^+$自由基清除能力(ABTS)和Fe^{2+}的还原能力(FRAP)法评价其体外抗氧化能力,并通过相关性分析来确定主要抗氧化成分。结果显示:藤、叶和果实中抗氧化活性物质含量及抗氧化能力存在显著差异($P<0.05$)。藤的总酚和总黄酮含量显著高于叶和果实($P<0.05$),而叶中V_C含量显著高于藤和果实($P<0.05$);各部位主要酚类成分为没食子酸、鞣花酸、绿原酸和芦丁,叶中酚类物质显著高于果实和藤($P<0.05$);果实的FRAP显著高于ABTS和TRPA($P<0.05$),藤和叶的ABTS和FRAP均显著高于TRPA($P<0.05$),果实的ABTS和FRAP均显著高于藤和叶($P<0.05$),且随着样品质量浓度的增加其抗氧化活性呈正相关;相关性分析发现,总酚对TRPA贡献最大,鞣花酸对FRAP贡献显著,绿原酸对ABTS有显著贡献。

关键词:野地瓜;酚类物质;总酚;总黄酮;抗氧化能力

Abstract: To investigate the bioactive compounds and antioxidant activity of vine, leaves and fruits of the *Ficus tikoua* Bur. in Guizhou Province, the phenolic compounds, vitamin C, total phenols, total flavonoids were analyzed. Antioxidant activity was evaluated by total reducing power assay (TRPA), free radical scavenging capacity of $ABTS^+$ · (ABTS) and ferric ion reducing antioxidant power(FRAP) method in vitro, and Pearson correlation analysis was conducted. The results indicated that the contents of bioactive compounds and antioxidant activity were significantly different between the vine, leaves and fruits ($P<0.05$). The content of total phenols and flavonoids in vine was significantly higher than that in leaves and fruits ($P<0.05$), while the content of V_C in leaves was significantly higher than that in fruits and leaves ($P<0.05$). Gallic acid, ellagic acid, chlorogenic acid and rutin were the major phenolic compounds in the *Ficus tikoua* Bur. Phenolic compounds in leaves was significantly higher than that in fruits and vine ($P<0.05$). The FRAP of fruit was significantly higher than that of ABTS and TRPA ($P<0.05$). The ABTS and FRAP of vine and leaf were significantly higher than that of TRPA ($P<0.05$), ABTS and FRAP of fruit were significantly higher than those of vine and leaf ($P<0.05$). The antioxidant activity of the samples increased positively with the concentration. Relevance analysis found that total phenols has a

基金项目:贵州省科技厅—贵阳市科技局—贵阳学院联合基金(编号:黔科合J字LKG[2013]16号);贵州省科技厅—贵阳市科技局—贵阳学院联合基金(编号:黔科合LH字[2014]7179号);贵州省教育厅高等学校拔尖人才计划(编号:黔教合KY字[2019]066号);贵阳市科技局贵阳学院专项资金资助(编号:GYU-KYZ[2019~2020]PT09-02)

作者简介:杨秀群,女,贵阳学院高级实验师,硕士。

通信作者:谢国芳(1987—),男,贵阳学院教授,硕士生导师,硕士。E-mail:xieguofang616@sina.com

收稿日期:2020-02-27

strongest contribution to the TRPA value, and the ellagic acid and chlorogenic acid contribute significantly to the FRAP and ABTS, respectively. The *Ficus tikoua* Bur. can be fully exploited and utilized according to the content of bioactive compounds and antioxidant activity.

Keywords: *Ficus tikoua* Bur.; phenolics compounds; total phenols; total flavonoids; antioxidant activity

野地瓜又称地枇杷、地石榴、地果等，桑科榕属木质藤本植物。野地瓜全株可入药，是集绿化、观赏、食用、药用于一体的多用途植物，具有开发利用价值。

野地瓜主要有黄酮类及异黄酮类、有机酸、三萜类、甾体类、香豆素类等物质[1-2]，其提取物具有抗菌、抗氧化、抗溶血、抗炎、止血、镇痛、抗病毒、抗肿瘤、激活酪氨酸酶等作用[3-5]。研究[6]显示，野地瓜藤和根具有清除DPPH自由基、羟基自由基、超氧阴离子自由基等抗氧化能力，但尚无野地瓜藤、叶和果实活性成分及其抗氧化能力方面的研究。试验拟以野地瓜藤、叶和果实为试材，对比分析其酚类组分、总酚、总黄酮及 V_C 含量，使用总还原力(total reducing power assay，TRPA)、$ABTS^+$ 自由基清除能力(free radical scavenging capacity of $ABTS^+$，ABTS)和 Fe^{2+} 的还原能力(ferric ion reducing antioxidant power，FRAP)法进行体外抗氧化能力评价，以期探索野地瓜不同部位抗氧化成分及其药用价值，为其进一步开发利用提供理论支撑。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

野地瓜藤、叶和果实：采自贵州省遵义县沙湾镇八一村，挑选色泽鲜亮、颗粒饱满、无机械损伤的成熟果实，用蒸馏水冲洗干净，阴干水分，于－70 ℃超低温冰箱冻藏备用；

9种酚类物质标准品：分析纯，纯度≥95.0%，上海阿拉丁生化科技股份有限公司；

三氟乙酸、甲醇(≥99.5%)：色谱纯，上海阿拉丁生化科技股份有限公司；

还原性抗坏血酸、芦丁、水溶性 V_E、TPTZ、ABTS：美国 Sigma 公司；

C_{18} 色谱柱(250 mm×4.6 mm，5 μm)：沃特世科技(上海)有限公司。

1.2　主要仪器与设备

研磨机：IKA A11型，德国IKA公司；

超声清洗器：KQ5200DE型，昆山市超声仪器有限公司；

高效液相色谱仪：LC-20A型，日本岛津公司；

紫外分光光度计：UV-2550型，日本岛津公司。

1.3　方法

1.3.1　酚类物质提取　称取10 g冻样研磨成浆，取2 g果浆装入10 mL离心管中，加入4.0 mL 70% 甲醇溶液，50 ℃超声波辅助提取30 min，冷却后10 000 r/min离心15 min，将上清液过滤到10 mL的容量瓶中，加入3 mL 70%甲醇溶液于残渣中在提取30 min，在4 ℃、12 000 r/min离心10 min，合并上清液，用70%甲醇溶液定容，用0.45 μm的滤膜过滤后待测，取1.0 mL转移至进样瓶中等待进样，每个样品3次重复[7]。

1.3.2　酚类物质分析　采用液相色谱法[7]。C_{18} 色谱柱(250 mm × 4.6 mm，5 μm)，溶液A(甲醇)和溶液B(3‰三氟乙酸)，利用溶液B进行线性梯度洗脱：0～5 min，88% B；5～10 min，88%～75% B；10～15 min，75% B；15～20 min，75%～70% B；20～25 min，70% B；25～35 min，70%～65% B；35～40 min，65% B；40～50 min，50% B；50～55 min，88% B；55～60 min，88% B。柱温30 ℃；流动相速率0.8 mL/min；进样量10 μL；紫外检测器波长280 nm。

1.3.3　活性成分测定

(1) 总酚含量：参照文献[8]。

(2) 黄酮含量：参照文献[9]。

(3) V_C 含量：参照文献[10]。

1.3.4　抗氧化能力分析

(1) 对 Fe^{2+} 的还原能力(FRAP)：参照文献[11]。

(2) 总还原力(TRPA)：参照文献[12]。

(3) $ABTS^+$ 自由基清除能力(ABTS)：参照文献[13]。

1.4　数据处理

试验设计3组平行，数据采用Excel软件进行整理，结果以平均值±标准误差表示，使用IBM SPSS 22.0软件统计Duncan's组间差异分析($P<0.05$)和相关性分析，使用GraphPad Prism 7.0作图。

2　结果与分析

2.1　酚类物质标准品和野地瓜样品高效液相色谱图

多酚标准品和野地瓜样品HPLC色谱图见图1。

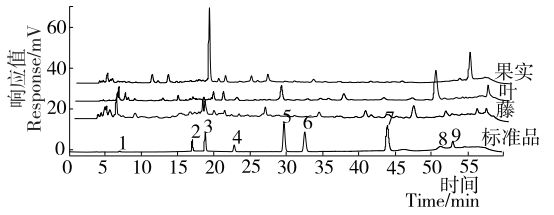
2.2　各指标的标准曲线方程

野地瓜各指标、选用波长、回归方程及相关系数见表1。

由表1可知，所测指标总酚、总黄酮、V_C、TRPA、FRAP和ABTS线性回归方程的相关系数 R^2 为0.998 0～0.999 9，表明测试方法具有较好的可靠性。

2.3　野地瓜藤、叶和果实中酚类物质分析

野地瓜藤、叶和果实中酚类物质含量见表2。结果显示，野地瓜藤、叶和果实均含有所测9种酚类物质，但主



1. 没食子酸　2. 儿茶素　3. 绿原酸　4. 表儿茶素　5. *p*-香豆酸　6. 阿魏酸　7. 鞣花酸　8. 芦丁　9. 槲皮素

图 1　酚类物质标准品和野地瓜藤、叶和果实色谱图

Figure 1　The chromatograms of standard and root, leaves and fruit of *Ficus tikoua* Bur.

表 1　所测指标标准曲线回归方程信息

Table 1　Regression equation information of standard curve of measured indicators

指标	波长/nm	线性方程	相关系数 R^2
总酚	760	$y=0.010\ 7x+0.115\ 3$	0.998 9
总黄酮	512	$y=11.974\ 0x+0.015\ 6$	0.999 9
V_C	534	$y=0.017\ 2x+0.127\ 3$	0.999 2
TRPA	700	$y=0.113\ 0x-0.052\ 4$	0.999 0
FRAP	593	$y=0.086\ 9x-0.061\ 9$	0.998 0
ABTS	734	$y=0.595\ 1x-0.304\ 3$	0.998 2

要组分存在差异,果实中酚类组分之和显著高于叶和藤($P<0.05$),酚类物质种类及其含量却表现出无规律的显著性差异。果实中主要酚类成分是绿原酸、芦丁、表儿茶素、鞣花酸、没食子酸和儿茶素等。叶中主要酚类成分为没食子酸、芦丁、绿原酸、表儿茶素和儿茶素等,藤中则主要是儿茶素、没食子酸、芦丁和绿原酸;叶中没食子酸、芦丁和槲皮素含量高于果实和藤,叶中没食子酸含量分别是果实和藤的4.0 倍和 5.3 倍,芦丁含量分别是果实和藤的 1.3 倍和 5.3 倍,槲皮素含量分别是果实和藤的 1.2 倍和 1.8 倍;果实中绿原酸、表儿茶素和 *p*-香豆酸含量显著高于叶和藤($P<0.05$),果实中绿原酸的含量分别是叶和藤的 5.7 倍和30.0 倍,表儿茶素分别是叶和藤的 1.4 倍和 4.6 倍,*p*-香豆酸分别是叶和藤的 3.4 倍和 3.9 倍。

2.4　野地瓜藤、叶和果实中 V_C、总酚、总黄酮含量分析

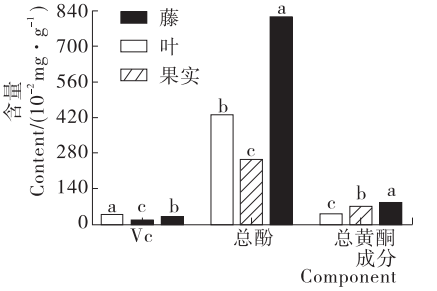
如图 2 所示,野地瓜藤、叶和果实中总酚含量均显著高于总黄酮和 V_C($P<0.05$);藤中总酚和总黄酮含量显著高于叶和果实($P<0.05$),而叶中 V_C 含量则显著高于藤和果实($P<0.05$),说明野地瓜不同部位活性成分存在显著差异。试验中,果实的酚类组分之和显著高于叶和藤($P<0.05$);野地瓜果实中的 V_C 含量为 10 mg/100 g,与前期存在较大差异[1],可能是由于产地和成熟度引起的。研究显示,黄秋葵果实总酚含量显著高于叶[14],而金刺梨和八月瓜叶中总酚含量显著高于果实[7,15];黄秋葵和金刺梨果实中总黄酮含量显著高于叶[7,14];丹参、大花罗布

表 2　野地瓜藤、叶和果实酚类组分含量分析†

Table 2　Polyphenol content in the root, leaf and fruit from *Ficus tikoua* Bur.　mg/kg

成分	藤	叶	果实
没食子酸	19.95±2.84^b	105.40±1.71^a	25.47±1.30^c
儿茶素	32.06±0.06^a	12.42±0.04^c	10.70±0.16^b
绿原酸	11.73±0.11^c	55.72±2.15^b	316.16±11.63^a
表儿茶素	9.39±0.81^c	30.72±1.03^b	42.73±1.21^a
p-香豆酸	3.94±0.74^a	4.53±0.51^a	15.35±1.01^b
阿魏酸	7.09±0.52^a	7.90±0.43^b	2.56±0.97^{ab}
鞣花酸	5.90±0.74^c	5.42±0.85^b	32.83±2.98^a
芦丁	14.55±0.02^c	69.03±1.30^b	53.26±2.47^a
槲皮素	5.21±0.00^c	9.51±0.27^b	7.62±0.46^a

† 同列小写字母不同表示不同部位间差异显著($P<0.05$)。



小写字母不同表示不同部位间差异显著($P<0.05$)

图 2　野地瓜藤、叶和果实中 V_C、总酚、总黄酮含量

Figure 2　Contents of V_C, total phenols and total flavonoids in roots, leaves and fruits from *Ficus tikoua* Bur.

麻和蓝莓叶中总酚和总黄酮含量显著高于茎[16-17],然而红海榄的总酚和黄酮含量茎>叶[18];八月瓜和新疆红枣果皮总黄酮含量均显著高于果肉[15,19],说明总酚和黄酮在不同种类植物的不同部位分布存在较大差异。试验发现野地瓜不同部位总酚含量大小依次为藤>叶>果实,与金刺梨和八月瓜叶和果实的分布一致[7,15],与红海榄茎和叶中的分布一致[18];野地瓜不同部位总黄酮依次为藤>果实>叶,与黄秋葵和金刺梨果实和叶中的分布一致[7,14],与红海榄茎和叶中的分布一致[18]。

2.5　野地瓜藤、叶和果实抗氧化能力分析

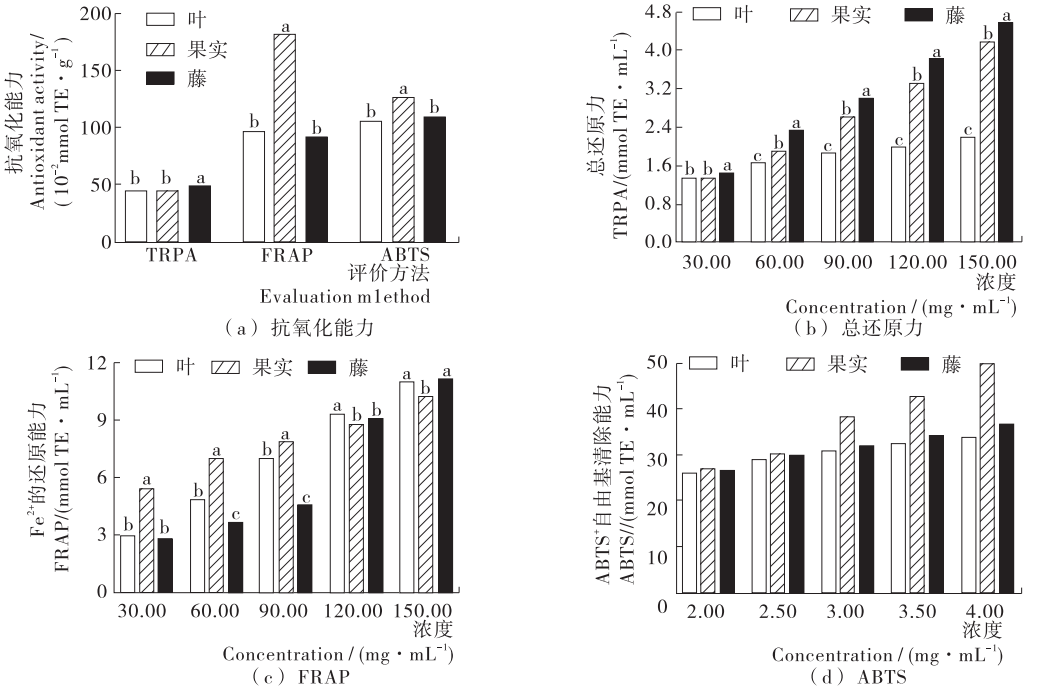
如图 3 所示,野地瓜 3 个部位均具有较强的总还原力(TRPA)、$ABTS^+$ 自由基清除能力(ABTS)和对 Fe^{2+} 的还原力(FRAP)等抗氧化活性。从野地瓜藤、叶和果实当量浓度抗氧化能力比较发现藤、叶和果实对铁的还原力(FRAP)和 $ABTS^+$ 自由基清除能力(ABTS)均显著高于总还原力(TRPA)($P<0.05$);野地瓜果实除了 TRPA 略低于藤和叶外,FRAP 显著高于叶和藤($P<0.05$),约为

叶和藤的 2.0 倍，ABTS 也显著大于藤和叶（$P<0.05$），约为叶和藤的 1.2 倍；不同部位的抗氧化活性大小 TRPA 为藤＞叶＞果实，FRAP 为果实＞叶＞藤，ABTS 为果实＞藤＞叶，与图 1 中抗氧化活性物质总酚为藤＞叶＞果实，总黄酮为藤＞果实＞叶，V_C 为叶＞藤＞果实含量排序不一致，由此说明虽然总黄酮、总酚和 V_C 与野地瓜的抗氧化活性存在相关性，但野地瓜各部位的主要抗氧化活性物质可能不只有酚类物质、黄酮及 V_C。野地瓜藤、叶和果实中的抗氧化活性差异较大，其总还原力（TRPA）、$ABTS^+$ 自由基清除能力（ABTS）和对 Fe^{2+} 的还原力（FRAP）等抗氧化活性随质量浓度的增加均呈增加趋势。但各种抗氧化活性随浓度增加的幅度不同。随浓度的增加，叶的 TRPA 幅度较小，藤和果实的 TRPA 增加幅度较大，当浓度增加到一定量时，藤和果实的 TRPA 与叶的差距变大；而藤和叶的 ABTS 随浓度增大的增幅较小，果实的增幅较大，导致果实与藤和叶的 ABTS 差距变大；叶的 FRAP 随浓度增加的增幅较大，果实的增幅较小，而藤的增幅先小后大。导致低浓度时 FRAP 大小为果实＞叶＞藤，且差距较大，高浓度时野地瓜藤、叶和果实的 FRAP 差距很小。

由表 2 可知，不同部位野地瓜提取物浓度与总还原力（TRPA）、抗氧化能力（FRAP）和 $ABTS^+$ 自由基清除能力的回归方程的相关系数 R^2 为 0.958 5～1.000 0，均具有较好的可靠性。

2.6　各项指标的相关性分析

杨世波等[6]发现野地瓜根的乙醇提取物、乙酸乙酯、石油醚、正丁醇及丙酮提取物能较好的清除 DPPH、OH 和 O_2^- 等自由基，其中乙醇提取物的清除能力最强，且抗氧化性随各组分浓度的增加均呈上升的趋势。野地瓜藤、叶和果实的各项指标相关性分析结果见表 3。结果显示，总酚含量与儿茶素显著正相关，与槲皮素极显著负相关，与表儿茶素、鞣花酸、芦丁显著负相关，野地瓜不同部位儿茶素含量大小为藤＞叶＞果实，槲皮素、芦丁含量为叶＞果实＞藤，表儿茶素含量为果实＞叶＞藤，鞣花酸含量为果实＞藤＞叶，正负相关导致总酚含量为藤＞叶＞果实；总黄酮与儿茶素、阿魏酸显著正相关，儿茶素含量为藤＞叶＞果实，阿魏酸含量为叶＞藤＞果实，则总黄酮含量为藤＞果实＞叶；TRPA 与总酚极显著正相关，与儿茶素显著正相关，与槲皮素极显著负相关，总酚含量为藤＞叶＞果实，儿茶素含量为藤＞叶＞果实，槲皮素为叶＞果实＞藤，正负作用导致 TRPA 为藤＞叶＞果实；FRAP 与绿原酸、鞣花酸、芦丁极显著正相关，与表儿茶素显著正相关，与 *p*-香豆酸极显著负相关，与没食子酸显著负相关，绿原酸、表儿茶素和 *p*-香豆酸含量均为果实＞叶＞藤，鞣花酸含量为果实＞藤＞叶，芦丁和没食子酸含量为叶＞果实＞藤，故 FRAP 为果实＞叶＞藤；ABTS 与绿原酸、FRAP 极显著正相关，与鞣花酸、芦丁显著正相关，与 *p*-香豆酸、V_C 极显著负相关，与没食子酸显著负相



（a）抗氧化能力　（b）总还原力　（c）FRAP　（d）ABTS

小写字母不同表示不同部位间差异显著（$P<0.05$）

图 3　野地瓜藤、叶和果实抗氧化能力分析

Figure 3　Analysis of antioxidant activity in root, stem, leaf and fruit from *Ficus tikoua* Bur.

表 2　不同部位浓度抗氧化能力的回归方程信息

Table 2　Regression equation information of antioxidant activity in different parts

指标	部位	回归方程	相关系数 R^2
TRPA	藤	$y=0.025\ 9x+0.675\ 1$	0.998 8
	叶	$y=0.006\ 8x+1.183\ 5$	0.979 5
	果实	$y=0.023\ 8x+0.505\ 4$	0.994 2
FRAP	藤	$y=0.071\ 2x+0.408\ 5$	0.998 4
	叶	$y=0.068\ 5x+0.825\ 0$	0.998 7
	果实	$y=30.001\ 0x-0.003\ 6$	1.000 0
ABTS	藤	$y=4.882\ 1x+16.863\ 0$	0.996 5
	叶	$y=3.522\ 2x+19.605\ 0$	0.958 5
	果实	$y=11.527\ 0x+2.5947\ 0$	0.984 0

关,绿原酸、*p*-香豆酸和 FRAP 含量均为果实>叶>藤,鞣花酸含量为果实>藤>叶,芦丁、没食子酸含量均为叶>果实>藤,V_C 的含量为叶>藤>果实,正负相关性导致 ABTS 为果实>藤>叶。试验发现,野地瓜藤、叶和果实醇提取物均有较强的 FRAP、ABTS 和 TRPA 等体外抗氧化能力,其抗氧化活性随质量浓度的增加呈正相关增长,说明野地瓜全株皆有抗氧化活性,具有极大的开发潜力。同时野地瓜藤、叶和果实中乙酸乙酯及正丁醇等其他极性成分的抗氧化能力仍需进一步深入研究。通过相关性分析发现,野地瓜不同部位的抗氧化活性物质和抗氧化能力存在显著相关性关系:ABTS 与 *p*-香豆酸、V_C 极显著负相关,与没食子酸显著负相关,协同作用和拮抗作用最终导致 ABTS 为果实>藤>叶。由此可见,野地瓜各部位总酚和总黄酮的大小与其相关的酚组分含量大小有关,各部位抗氧化性的大小与其所含的抗氧化活性成分大小有关,该结果与丹参[16]、红海榄[18]、新疆红枣[19]和五味子[20]等研究结果一致。

表 3　活性成分、抗氧化能力及其相互间相关性分析†

Table 3　Analysis of active components, antioxidant capacity and their correlation

指标	没食子酸	儿茶素	绿原酸	表儿茶素	*p*-香豆酸	阿魏酸	鞣花酸	芦丁	槲皮素	V_C	总酚	总黄酮	TRPA	FRAP
儿茶素	0.048													
绿原酸	−0.921**	−0.402												
表儿茶素	−0.777	−0.562	0.937**											
p-香豆酸	0.861*	0.282	−0.937**	−0.812*										
阿魏酸	−0.346	0.848*	0.035	−0.062	−0.078									
鞣花酸	−0.790	−0.605	0.960**	0.988**	−0.857*	−0.145								
芦丁	−0.812*	−0.600	0.971**	0.942**	−0.894*	−0.199	0.982**							
槲皮素	−0.498	−0.856*	0.784	0.905*	−0.655	−0.469	0.921**	0.891*						
V_C	0.986**	0.046	−0.932**	−0.791	0.919**	−0.358	−0.804	−0.823*	−0.511					
总酚	0.480	0.893*	−0.769	−0.860*	0.652	0.562	−0.897*	−0.892*	−0.987**	0.487				
总黄酮	−0.425	0.857*	0.084	−0.179	−0.222	0.848*	−0.182	−0.132	−0.547	−0.435	0.563			
TRPA	0.268	0.907*	−0.623	−0.753	0.583	0.624	−0.787	−0.768	−0.939**	0.322	0.943**	0.654		
FRAP	−0.875*	−0.429	0.973**	0.862*	−0.967**	−0.073	0.918**	0.966**	0.756	−0.900*	−0.769	0.087	−0.647	
ABTS	−0.907*	−0.189	0.936**	0.789	−0.993**	0.171	0.829*	0.869*	0.590	−0.955**	−0.586	0.320	−0.490	0.957**

† * 和 * * 分别表示在 P<0.05 和 P<0.01 水平上显著相关。

3　结论

通过对比分析野地瓜藤、叶和果实的 V_C、酚类组分、总酚及总黄酮等活性成分及其含量,发现各个部位均含有 9 种酚类物质,但含量差异显著。酚类组分主要为没食子酸、儿茶素、鞣花酸、绿原酸、芦丁和表儿茶素;体外抗氧化活性能力测定发现野地瓜藤、叶和果实均具有较好的 FRAP、ABTS 和 TRPA 能力。当量浓度时,FRAP、ABTS 突出,果实的 FRAP 和 ABTS 均比藤和叶的强,藤、叶和果实的 TRPA 相当。随着样品质量浓度的增加其抗氧化活性呈正相关增长;总酚对 TRPA 贡献最大,鞣花酸对 FRAP 贡献显著,绿原酸对 ABTS 有显著贡献。野地瓜藤、叶、果实部位各种酚类物质含量不同,抗氧化能力各有优势,可以根据不同需要充分开发利用野地瓜资源。

参考文献

[1] 杨世波, 张润芝, 江志勇, 等. 地板藤根的化学成分研究[J].

中成药，2014，36(3)：554-558.
[2] 郭良君，谭兴起，郑巍，等. 地瓜藤化学成分研究[J]. 中草药，2011，42(9)：1 709-1 711.
[3] WEI Shao-peng，LU Li-na，JI Zhi-qin，et al. Chemical constituents from *Ficus tikoua*[J]. Chem Nat Compd，2012，48(3)：484-485.
[4] 张文平，张晓平，时瑞梓，等. 民族药地板藤止血抗炎及镇痛作用研究[J]. 时珍国医国药，2017，28(12)：2 905-2 906.
[5] 田民义，刘婷婷，洪怡，等. 地果化学成分及抗肿瘤活性研究[J]. 中药材，2018，41(9)：1 868-1 871.
[6] 杨世波，王韦，张润芝，等. 地板藤根的抗氧化和抑菌活性研究[J]. 云南民族大学学报：自然科学版，2013，22(4)：235-238.
[7] 谢国芳，徐小燕，王瑞，等. 金刺梨果实和叶中酚类、V_C含量及其抗氧化能力分析[J]. 植物科学学报，2017，35(1)：122-127.
[8] DRAGOIC-UZELA V，SAVIC Z，BRALA A，et al. Evaluation of phenolic content and antioxidant capacity of blueberry cultivars (*Vaccinium corymbosum* L.) grown in the northwest Croatia[J]. Food Technol Biotech，2010，48(2)：214-221.
[9] NUNCIO-JAUREGUI N，MUNERA-PICAZO S，CALIN-SANCHEZ A，et al. Bio-active compound composition of pomegranate fruits removed during thinning[J]. J Food Compos Anal，2015，37：11-19.
[10] XIE Guo-fang，TAN Shu-ming. Effect of Cultivar on quality of the common bean during storage[J]. Int Agr Eng J，2015，24(2)：69-78.
[11] TAUCHEN J，MARSIK P，KVASNICOVA M，et al. In vitro antioxidant activity and phenolic composition of Georgian，central and westeuropean wines[J]. J Food Compos Anal，2015，41：113-121.
[12] OLIVEIRA I，BAPTISTA P，MALHEIROR，et al. Influence of strawberry tree (*Arbutus unedo* L.) fruit ripening stage on chemical composition and antioxidant activity[J]. Food Res Int，2011，44(5)：1 401-1 407.
[13] SCHAICH K M，TIAN X，XIE J. Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy：A critical evaluation of ABTS，DPPH，and ORAC assays[J]. J Functional Foods，2015，14：111-125.
[14] 李孟秋，翟俊乐，田欢，等. 黄秋葵提取物体外抗氧化活性的研究[J]. 中国食品添加剂，2015(10)：65-69.
[15] 刘永玲，谢国芳，王威，等. 八月瓜叶、果皮和果肉中酚类、V_C含量及其抗氧化能力分析[J]. 食品研究与开发，2019，40(15)：66-72.
[16] 李欣，薛治浦，朱文学. 丹参不同部位总酚酸和总黄酮含量分析及其抗氧化活性研究[J]. 食品科学，2011，32(3)：108-111.
[17] 李晓英，薛梅，樊汶樵. 蓝莓花、茎、叶酚类物质含量及抗氧化活性比较[J]. 食品科学，2017，38(3)：142-147.
[18] 周婧，李钢，徐静. 红海榄不同部位总酚和总黄酮含量分析及抗氧化活性研究[J]. 食品科技，2017，42(6)：220-224.
[19] 吴本培，雷波. 新疆红枣主栽品种不同部位的总酚含量和抗氧化活性比较[J]. 食品研究与开发，2019，40(7)：59-63.
[20] 金银萍，曲正义，崔丽丽，等. 五味子不同部位黄酮和酚酸类成分的含量测定及抗氧化活性[J]. 中国实验方剂学杂志，2018，24(19)：79-84.

(上接第 163 页)

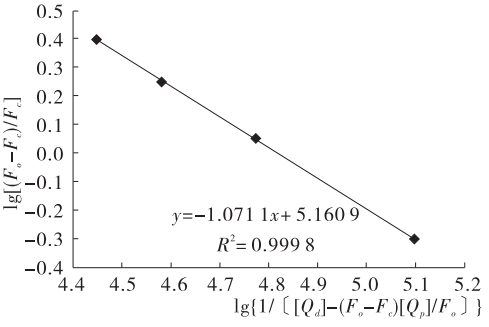


图 8　白及多糖脂质体对酪氨酸酶的双倒数图

Figure 8　Double reciprocal plot of tyrosinase to *Bettila striata* polysaccharide liposomes

糖抑制酪氨酸酶活性的特征，通过竞争酪氨酸酶的结合点(n=1.071 1)，从而抑制酪氨酸酶活性，能有效地渗入皮肤且其输送能力强于传统基质介质的。后续可利用白及多糖打造新型的保健食品或美白功效的化妆品。

参考文献

[1] 吴久健，孟岳良，邹俪华，等. 白及不同提取部位对小鼠止血活性实验[J]. 药学实践杂志，2011，29(3)：206-207，234.
[2] 罗惠娟，肖小敏，徐建平，等. 中药多糖、胸腺肽对 U14 宫颈癌荷瘤鼠外周血 TLC 亚群及 NK 细胞的影响[J]. 海南医学，2012(23)：15-18.
[3] 吴永祥，程满怀，江海涛，等. 白及萃取物的抑菌活性及其二氯甲烷萃取物化学成分分析[J]. 食品与机械，2017，33(12)：76-79.
[4] 赵丹，曹玉峰，丁文玉，等. 玫瑰发酵液的抗氧化及美白功效探究[J]. 食品与机械，2017，33(9)：141-145，196.
[5] 侯丽芬，宗珊盈，张海臣，等. β-谷甾醇乙酸酯对脂质膜结构稳定性的影响[J]. 食品与机械，2019，35(9)：20-25.
[6] 董建新，俞涵，姜伟，等. 响应面法优化白及多糖的提取和醇沉工艺[J]. 基因组学与应用生物学，2019，38(8)：3 681-3 689.
[7] 穆丹丹，俞桂新. 15 种中药活性单体化合物对酪氨酸酶抑制作用研究[J]. 世界最新医学信息，2019，19(70)：153-154.
[8] 褚盼盼，门玉倩，孔令悦，等. 黑豆红色素抑制胰脂肪酶催化反应动力学研究[J]. 食品科技，2018，43(5)：302-307.