

6 种食用花卉有效成分及其抗氧化活性研究

Study on the bioactive ingredients and antioxidant activities of 6 kinds of edible flowers

张东峰¹ 刘琪² 张欣悦² 张佳琦² 付鑫景² 陆俊^{2,3}

ZHANG Dong-feng¹ LIU Qi² ZHANG Xin-yue² ZHANG Jia-qi² FU Xin-jing² LU Jun^{2,3}

(1. 广东轻工职业技术学院食品与生物工程系, 广东 广州 510300; 2. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004; 3. 特医食品加工湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410004)

(1. Department of Food and Biological Engineering, Guangdong Industry Technical College, Guangzhou, Guangdong 510300, China; 2. College of Food Science and Technology, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 3. Hunan Key Laboratory of Processed Food for Special Medical Purpose, Changsha, Hunan 410004, China)

摘要:利用超声波法对 6 种常见食用花卉的活性成分进行提取, 并对其活性成分和抗氧化活性进行测定。结果表明, 6 种食用花卉中多酚、黄酮、花色苷和类胡萝卜素活性成分含量范围分别为 6.20~63.17 mg GAE/g · DW, 12.52~180.47 mg CE /g · DW, 4.17~40.91 mg CyA /g · DW, 0.33~0.68 mg/g · DW。DPPH 自由基清除能力为 45.13~1 092.49 μmol Trolox (TE)/g · DW, 亚铁离子还原能力 (FRAP) 为 100.20~2 621.25 μmol TE/g · DW, 以及 ABTS 自由基清除能力为 100.12~1 708.03 μmol TE/g · DW。3 种抗氧化活性中, DPPH 自由基清除力最强的为橙色万寿菊, 亚铁离子还原能力和 ABTS 自由基清除能力最强的均为黄色万寿菊。高效液相色谱测定 6 种花卉样品中主要的多酚和黄酮类化合物为阿魏酸、没食子酸和槲皮素, 其中以橙色万寿菊和黄色万寿菊的活性成分含量最丰富。

关键词:食用花卉; 抗氧化活性; 活性成分; 万寿菊; 桂花

Abstract: In this study, the bioactive compounds of 6 common edible flowers were extracted by ultrasonic extraction method and their antioxidant activities were assessed. The content of flower active ingredients such as polyphenols, flavonoids, anthocyanins and carotenoids were determined by ultraviolet spectrophotometry and HPLC. The content of these active compounds range from 6.20~63.17 mg GAE/g · DW, 12.52~180.47 CE /g · DW, 4.17~40.91 mg CyA/g ·

基金项目:中南林业科技大学大学生研究性学习与创新性实验计划项目(编号:107-0167); 湖南省科技创新平台与人才计划项目(编号:2017TP1021)

作者简介:张东峰, 男, 广东轻工职业技术学院讲师, 博士。

通信作者:陆俊(1978—), 男, 中南林业科技大学副教授, 博士。

E-mail: 690056167@qq.com

收稿日期:2018-01-30

DW and 0.33~0.68 mg/g · DW, respectively. The antioxidant activities were assessed by DPPH, FRAP and ABTS assays, range from 45.13~1 092.49, 100.20~2 621.25 and 100.12~1 708.03 μmol TE/g DW respectively. The highest DPPH radical scavenging activity was found in orange *Tagetes erecta* L., and the highest ABTS and FRAP radical scavenging activity were found in yellow *Tagetes erecta* L.. HPLC determination results showed that the main polyphenols and flavonoids of these edible flowers were ferulic acid, gallic acid and quercetin. Among these 6 kinds of edible flower, orange *Tagetes erecta* L. and yellow *Tagetes erecta* L. contain the most abundant active ingredient.

Keywords: edible flowers; antioxidant activity capacity; active ingredient; *Tagetes erecta* L.; *Smanthus fragrans* (Thunb.) Lour

食用花卉是指能够直接利用花朵或花的叶食用的植物^[1]。近年来, 国内外对食用花卉的现状与前景已有一定的研究^[2], 现证实, 食用花卉中含有 96 种可供人体吸收的物质, 包括多种营养素、活性蛋白酶和多酚化合物等活性物质^[3-4], 其中多酚主要有酚酸、黄酮和花色苷^[5-6]等。食用花卉万寿菊, 具有祛风降火, 化痰止咳, 平肝清热的功效, 其主要酚酸类物质包括原儿茶素、绿原酸、没食子酸和阿魏酸^[7]。Kaisoon 等^[7]通过 FRAP 法对泰国的 12 种花卉进行研究, 测得万寿菊具有最高的三价铁还原抗氧化能力。Sugawara 等^[8]发现菊类中木犀草素-7-O-(6'-O-丙二酰氨)-葡萄糖苷具有很强的抗清除自由基的能力, 其他的黄酮类化合物如芹菜素、绿原酸、3,5-双咖啡酰基奎宁酸等也具有很好的抗氧化活性。桂花也是一种常见的食用花卉, 熊丽娜^[9]测得桂花黄酮总量为 179.03 mg 芦丁/g · DW, 桂花多酚的抗氧化能力为 1 476.5 μmol TE/g · DW, 证明其有较强的抗氧化能力。木芙蓉、桅子和木槿等食用花卉亦具有清热利湿、

益胃生津、抗炎和凉血止血等功效^[10-11],但对它们抗氧化活性的综合比较却鲜见报道,对其具体多酚类化合物组分的研究更是匮乏。因此,本研究通过3种体外抗氧化方法(ABTS、FRAP、DPPH),对木槿、栀子、桂花、木芙蓉、黄色万寿菊和橙色万寿菊6种食用花卉的抗氧化活性能力进行测定,并通过HPLC测定6种食用花卉的多酚类化合物,比较各食用花卉的抗氧化能力差异性及其与物质基础的相关性。为食用花卉的开发利用提供进一步的科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

木槿(*Hibiscus syriacus* Linn.)、栀子(*Gardenia jasminoides* Ellis)、桂花[*osmanthus fragrans* (Thunb.) Lour.]、木芙蓉(*Hibiscus mutabilis* L.)、黄色万寿菊[*Tagetes erecta* L. (Yellow)]、橙色万寿菊[*Tagetes erecta* L. (Orange)]:2016年7~10月采摘于中南林业科技大学长沙校区;

2,4,6-三吡啶基三嗪(TPTZ):分析纯,都莱生物技术有限公司;

水溶性维生素E(Trolox):分析纯,华蓝化学有限公司;

2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐(ABTS):分析纯,合肥博美生物有限公司;

1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH):分析纯,日本TCI公司;

其它试剂均为国产分析纯;

没食子酸、绿原酸、咖啡酸、儿茶素、阿魏酸、槲皮素、芹菜素、山奈酚:色谱纯,成都曼思特生物科技公司。

1.2 仪器与设备

高效液相色谱:LC-20A型,日本岛津有限公司;

紫外可见光光度计:UV1800型,日本岛津有限公司;

超声波细胞粉碎机:JY 92-IIN型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

高速多功能粉碎机:JP-150A-8型,永康式久品工贸有限公司;

快速混匀仪:SK-E型,江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司。

1.3 方 法

1.3.1 样品溶液的制备 阴干花卉在40℃的烘箱内干燥5h,磨粉后过40目筛。称取2g花粉,加入浓度为75%的乙醇30mL,在40℃,80W的条件下超声波提取40min。再用旋转蒸发器减压浓缩30min待用。

1.3.2 多酚的测定 采用福林-酚试剂比色法^[12],多酚含量以每克样品中没食子酸毫克当量表示(mg GAE/g·DW)。

1.3.3 黄酮的测定 采用亚硝酸钠-氯化铝法^[13],黄酮含量以每克样品中儿茶素毫克当量表示(mg CE/g·DW)。

1.3.4 花色苷的测定 参照Loizzo等^[14]的pH示差法并略作修改,将1mL提取物(1g/15mL75%乙醇溶液)与49mL氯化钾缓冲液(0.025mol/L,pH1)[或49mL乙酸钠缓冲液(0.025mol/L,pH4.5)]混合。10min后,在510,700nm测量每种溶液的原始吸光度。吸光度差异计算如下: $A = [(A_{510} - A_{700})_{pH1.0} - (A_{510} - A_{700})_{pH4.5}]$ 。使用矢车菊-3-葡萄糖苷($\epsilon = 26\,900\text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$, $M_w = 449.2\text{ g}/\text{mol}$)的摩尔吸光系数(ϵ)和分子量(M_w)按式(1)计算花色苷含量。

$$C = \frac{A \times M_w \times DF \times 1\,000 \times V}{\epsilon \times l \times m}, \quad (1)$$

式中:

C——花色苷含量,mg CyA/g·DW;

A——吸光度差异值;

M_w ——矢车菊-3-葡萄糖苷的分子量,g/mol;

DF——稀释倍数;

l——光路长,cm;

ϵ ——矢车菊-3-葡萄糖苷的摩尔消光系数,L/(mol·cm);

1 000——转换系数;

V——样品提取液的体积,L;

m——样品的重量,g。

1.3.5 类胡萝卜素的测定 采用比色法,参考文献^[15]修改如下:取样品提取液加蒸馏水稀释1~5倍后在440nm处测定样品的吸光度,同时用蒸馏水作空白对照。类胡萝卜素含量按式(2)计算:

$$C = \frac{A \times 20 \times DF \times V}{m}, \quad (2)$$

式中:

C——类胡萝卜素含量,mg/g·DW;

A——吸光度;

20——换算系数;

DF——稀释因子;

V——提取液体积,L;

m——被测食用花卉的质量,g。

1.3.6 DPPH抗氧化活性的测定 参考Gorjanovic等^[16]的方法,抗氧化能力用每克样品中Trolox微摩尔当量表示($\mu\text{mol TE}/\text{g} \cdot \text{DW}$)。

1.3.7 FRAP抗氧化活性的测定 参照Lu等^[17]的方法,抗氧化能力用每克样品中Trolox微摩尔当量表示($\mu\text{mol TE}/\text{g} \cdot \text{DW}$)。

1.3.8 ABTS抗氧化活性的测定 参照Oh等^[18]的方法,抗氧化能力用每克样品中Trolox微摩尔当量表示($\mu\text{mol TE}/\text{g} \cdot \text{DW}$)。

1.3.9 高效液相色谱法测定 参考Kaisoon等^[7]、张倩倩等^[19]的方法并进行适当优化。使用岛津LC-20A型高效液相色谱系统,配备有二极管(PDA)阵列检测器进行梯度洗脱,样品过0.45 μm 膜。色谱柱:CNW Athena C₁₈-WP(4.6mm×250mm,5 μm)。流动相A为乙酸(pH2.74)、流动相B为乙腈,设定0.8mL/min流速。梯度洗脱进行:0~5min,5%~9%B;5~12min,9%~12%B;12~17min,12%~18%B;17~21min,18%B;21~28min,18%~22%B;28~43min,22%~70%B;43~55min,70%~90%B;55~60min,90%~5%B,最后用5%B再平衡5min,柱温度38℃,检测波长280nm,进样体积10 μL 。各标准品溶液和样品过0.45 μm 膜,采用外标法得到标准曲线方程。

2 结果与分析

2.1 酚类化合物标准曲线

各标样线性范围、回归方程、LOD、LOQ见表1。

2.2 6种食用花卉的抗氧化活性成分

通过HPLC对6种食用花卉中的具体活性成分进行检测,结果见图1和表2,由表2可知,6种花卉抗氧化活性成

分的种类和含量有较大差异。如花色苷只在桅子花和芙蓉花检测到;没食子酸只在桅子花、桂花、黄色万寿菊、橙色万寿菊中检测到;绿原酸、咖啡酸、芹菜素分别只在木槿花、桂花和木槿花中检测到;阿魏酸除了芙蓉花,其他花卉中都能检测到,6 种食用花卉都检测到的活性成分为类胡萝卜素、槲皮素和山奈酚。6 种花卉中,多酚含量最多的为黄色万寿菊,其次为橙色万寿菊,最少的为木槿花;黄酮含量最多的为黄色万寿菊,其次为桂花,最少的也为木槿花。黄帅等^[20]研究表明万寿菊中存在类胡萝卜素、没食子酸、槲皮素等成分,本研究结果除这些成分外,还从中检测到了阿魏酸和山奈酚等活性成分。苗苗等^[21]测得万寿菊黄酮含量为 121.4 mg/g · DW,均低于本试验测得的 2 种万寿菊总黄酮含量。本试验测得的桂花总黄酮含量与 2 种万寿菊较接近,为(176.16±1.24) mg RT/g · DW,与熊丽娜^[9]测得桂花黄酮总量(179.03 mg/g · DW)结果相近。尹伟等^[22]研究表明桂花中含有绿原酸、咖啡酸、山奈酚、槲皮素等化合物,本试

验中未检出绿原酸,但检出了咖啡酸、山奈酚、槲皮素、阿魏酸和没食子酸。宋家玲等^[23]利用各种波普技术鉴定出桅子花中存在山奈酚、槲皮素、β-胡萝卜素等 15 种化合物,同样在本试验中,从桅子花中也检测到了山奈酚、槲皮素,此外还有阿魏酸和没食子酸;李军茂等^[24]利用超高效液相色谱与飞行时间质谱联用(UHPLC-Q-TOF-MS/MS)技术鉴定木芙蓉中包含芦丁、山奈酚、槲皮素等化合物,蒋益花等^[25]利用微波技术进行正交试验,测得木芙蓉中黄酮含量为 31.78 mg/g · DW,与本试验接近。卫强等^[26]在木槿的乙醇提取物中鉴定出 β-胡萝卜素、山奈酚、芹菜素等化合物,张文彦等^[27]测得木槿花中总黄酮含量为 6.01 mg/g · DW,低于本试验的 12.52 mg/g · DW。6 种花卉中抗氧化活性成分总量的排名为:橙色万寿菊>黄色万寿菊>桅子花>桂花>芙蓉花>木槿花。6 种常见花卉中所含多酚、黄酮及其他活性成分与已有研究存在一定差异,可能与花卉活性成分的提取方法、试验条件及花卉的地区不同有一定关系。

表 1 8 种酚类化合物回归方程、相关系数和线性检测范围

Table 1 Linear regression equation, correlation coefficient and linearity of eight reference standards

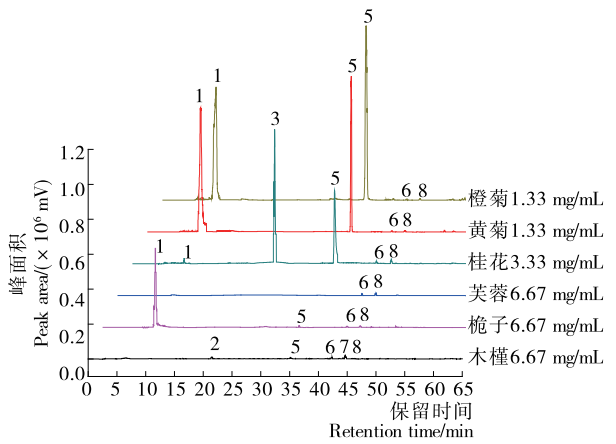
组分	保留时间/ min	检测浓度范围/ (μg · mL ⁻¹)	回归方程	相关系数 (R ²)	检测限 LOD/ (μg · mL ⁻¹)	定量限 LOQ/ (μg · mL ⁻¹)
没食子酸	8.931	10.21~49.99	Y=15 267.3X+20 836.4	0.999 8	1.16	3.94
绿原酸	21.499	9.61~49.66	Y=8 474.53X+4 028.07	0.999 4	2.12	7.05
咖啡酸	24.703	10.25~50.19	Y=29 153.7X+16 391.4	0.999 7	0.60	2.00
儿茶素	25.562	11.26~50.42	Y=10 428.1X-34 391.7	0.994 8	2.02	6.72
阿魏酸	35.004	10.46~50.58	Y=19 092.9X-2 948.09	0.998 6	1.39	4.64
槲皮素	42.262	10.70~50.24	Y=10 964.3X-23 686.4	0.998 3	1.05	3.49
芹菜素	44.110	9.73~49.89	Y=14 694.2X+42 140.6	0.995 8	0.55	1.82
山奈酚	44.492	11.57~50.52	Y=13 568.8X-54 962.4	0.992 3	1.02	3.38

表 2 6 种食用花卉抗氧化活性成分[†]

Table 2 Antioxidant active ingredient of six kinds of edible flowers

品种	多酚/ (mg GAE · g ⁻¹ · DW)	黄酮/ (mg CE · g ⁻¹ · DW)	类胡萝卜素/ (mg · g ⁻¹ · DW)	花色苷/ (mg CyA · g ⁻¹ · DW)	没食子酸/ (mg · g ⁻¹ · DW)	绿原酸/ (mg · g ⁻¹ · DW)
木槿花	6.20±0.70 ^e	12.52±0.22 ^f	0.33±0.02 ^d	nd	nd	0.70±0.05
桅子花	6.31±0.70 ^e	24.60±0.43 ^e	0.44±0.00 ^e	40.91±0.03 ^a	3.01±0.02 ^c	nd
芙蓉花	11.98±1.49 ^d	48.63±0.50 ^d	0.39±0.01 ^d	4.17±0.03 ^b	nd	nd
桂花	16.99±1.89 ^c	176.16±1.24 ^b	0.62±0.05 ^a	nd	1.16±0.02 ^d	nd
黄色万寿菊	63.17±3.24 ^a	180.47±1.24 ^a	0.56±0.09 ^b	nd	38.44±0.05 ^a	nd
橙色万寿菊	58.25±1.62 ^b	146.71±2.15 ^c	0.68±0.06 ^a	nd	32.41±0.20 ^b	nd
品种	咖啡酸/ (mg · g ⁻¹ · DW)	阿魏酸/ (mg · g ⁻¹ · DW)	槲皮素/ (mg · g ⁻¹ · DW)	芹菜素/ (mg · g ⁻¹ · DW)	山奈酚/ (mg · g ⁻¹ · DW)	总量* / (mg · g ⁻¹ · DW)
木槿花	nd	0.20±0.01 ^d	0.59±0.00 ^c	0.01±0.00	0.83±0.00 ^c	2.66±0.30 ^f
桅子花	nd	0.14±0.01 ^d	0.48±0.01 ^d	nd	0.76±0.00 ^c	45.74±0.34 ^c
芙蓉花	nd	nd	0.63±0.05 ^c	nd	0.82±0.06 ^c	6.01±1.13 ^c
桂花	19.60±0.01	15.41±0.13 ^c	1.15±0.17 ^b	nd	2.23±0.06 ^b	40.17±2.83 ^d
黄色万寿菊	nd	38.40±0.09 ^b	2.33±0.08 ^a	nd	3.11±0.05 ^a	82.84±5.66 ^b
橙色万寿菊	nd	56.73±0.02 ^a	2.08±0.00 ^a	nd	3.10±0.01 ^a	95.00±1.24 ^a

† 同一列不同小写字母表示数值间差异显著(P<0.05);nd 表示该物质在样品中未检测到或浓度低于检测限,* 总量为除多酚和黄酮之外的其他成分之和。



1. 没食子酸 2. 绿原酸 3. 咖啡酸 4. 儿茶素 5. 阿魏酸 6. 槲皮素 7. 芹菜素 8. 山奈酚

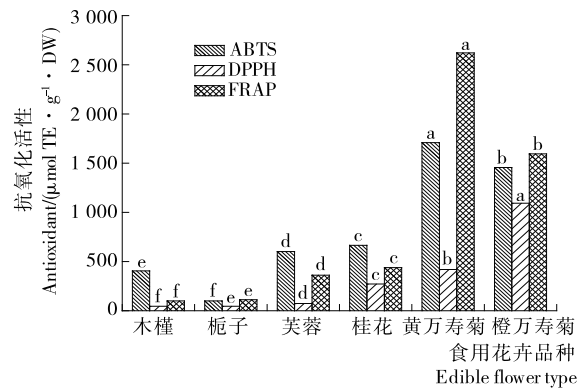
图1 乙醇提取食用花卉样品高效液相色谱图

Figure 1 HPLC figure of edible flowers samples extract with ethonal

结合相关研究,苗苗等^[20]测的栀子花总黄酮含量为13.3 mg/g · DW,万寿菊黄酮含量为121.4 mg/g · DW,本试验测得的总黄酮含量均高于已有研究。熊丽娜^{[9]18}测得桂花黄酮总量为179.03 mg/g · DW,与本试验测得结果相近。黄帅等^[21]研究表明万寿菊中存在类胡萝卜素、没食子酸、槲皮素等成分;宋家玲等^[22]利用各种波普技术鉴定出栀子花中存在山奈酚、槲皮素、β-胡萝卜素等15种化合物;李军茂等^[23]利用超高效液相色谱与飞行时间质谱联用(UHPLC-Q-TOF-MS/MS)技术鉴定木芙蓉中包含芦丁、山奈酚、槲皮素等化合物;蒋益花等^[24]利用微波技术进行正交试验,测得木芙蓉中黄酮含量为31.78 mg/g · DW;尹伟等^[25]发现桂花中含有绿原酸、咖啡酸、山奈酚、槲皮素等化合物;卫强等^[26]在木槿的乙醇提取物中鉴定出β-胡萝卜素、山奈酚、芹菜素等化合物,张文彦等^[27]测得木槿花中总黄酮含量为6.01 mg/g · DW,低于本试验的12.52 mg/g · DW。在鉴定这6种常见花卉中所含多酚、黄酮的具体成分方面,本试验结果与已有研究存在一定差异,可能与花卉活性成分的提取方法、试验条件及花卉的地区不同有一定关系。

2.3 6种食用花卉的抗氧化能力比较

由图2可知,不同品种花卉中的抗氧化活性具有显著性差异(P<0.05)。ABTS自由基的清除能力介于100.12~1708.03 μmol TE/g · DW,其抗氧化活性排序为:黄色万寿菊>橙色万寿菊>桂花>芙蓉花>木槿花>栀子花,黄色万寿菊ABTS活性值的含量约是栀子花的18倍。FRAP抗氧化活性值介于100.20~2621.25 μmol TE/g · DW,花卉的含量排名与ABTS基本一致,略有不同之处在于栀子花的FRAP抗氧化值略高于木槿花,但二者含量也基本相当,黄色万寿菊的FRAP抗氧化值也远高于排名第二的橙色万寿菊。DPPH自由基清除能力介于45.13~1092.49 μmol TE/g · DW,其抗氧化活性按照高低次序排列为:橙色万寿菊>黄色万寿菊>桂花>芙蓉花>栀子花>木槿花,本试验测定橙色万寿菊的DPPH自由基清除能力约是木槿的22倍,金月亭等^[28]测得



同一图例上不同小写字母代表抗氧化活性差异显著(P<0.05)

图2 6种食用花卉抗氧化活性

Figure 2 Antioxidant activity of 6 kinds of edible flowers

木槿花DPPH自由基清除能力为51.8 μmol TE/g · DW,与本试验结果比较接近。

熊丽娜^{[9]30}测得桂花ABTS抗氧化活性值为426.6 μmol TE/g · DW, DPPH抗氧化活性值为546.1 μmol TE/g · DW, FRAP抗氧化活性值为1556.1 μmol TE/g · DW,其中ABTS与DPPH的抗氧化活性值与本试验所得结果相近,而FRAP抗氧化活性值与本试验结果有较大差距。综合3种抗氧化测定方法结果,抗氧化活性最强的是黄色万寿菊,其次是橙色万寿菊、桂花、芙蓉花、木槿花和栀子花。这一结论与各花卉抗氧化活性成分含量,尤其是多酚含量排名基本一致,证实了唐津忠^[29]的观点,即抗氧化能力与抗氧化成分含量呈正比。食用花卉中各活性成分差异较大,因此,有必要对食用花卉的具体成分进一步分离纯化,并比较主要单体活性成分的抗氧化活性及其对抗氧化作用的贡献、协同抗氧化机理,以推动了食用花卉的开发与综合利用。

2.4 抗氧化活性成分与抗氧化活性相关性分析

对食用花卉的抗氧化活性成分含量与抗氧化能力进行相关性分析,由于所有变量在5%的显著水平上均不符合正态分布,故采用Spearman相关性分析,分析结果见表3。DPPH的清除活力与TPC(r=0.943)含量之间有较强的相关性、与TFC(r=0.829)含量之间有较弱的相关性。FRAP与TPC(r=1)、TFC(r=0.943)含量间有显著的相关性。ABTS与TPC(r=0.943)含量之间有强相关性、与TFC(r=0.886)含量间有较弱的相关性,证实了太志刚^[30]的观点,即通过ABTS法发现白刺花提取物清除ABTS⁺自由基的能力随含量的增加而增强。同时3种抗氧化活性(DPPH、ABTS、FRAP)之间的相关性表现出显著性水平,相关系数在P<0.01水平上至少达到0.886,表明抗氧化活性测定都是可靠和可互换的。李华等^[31]测得DPPH与ABTS、DPPH与FRAP、ABTS与FRAP的相关性均达0.9998。本试验测得DPPH与FRAP相关性r=0.943(P<0.01)、FRAP与ABTS相关性r=0.943(P<0.01),DPPH与ABTS相关性r=0.886(P<0.01),都有较显著的相关性。

表 3 食用花卉的抗氧化活性成分与抗氧化活性斯皮尔曼相关系数[†]

Table 3 Spearman correlation coefficients between the antioxidant activity and the antioxidant contents of edible flowers

相关系数	DPPH	FRAP	ABTS	TPC	TFC
DPPH	1.000	0.943**	0.886*	0.943**	0.829*
FRAP		1.000	0.943**	1.000**	0.943**
ABTS			1.000	0.943**	0.886*
TPC				1.000	0.943**
TFC					1.000

† **代表在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的。

3 结论

本研究测定了木槿花、栀子花、芙蓉花、桂花、黄色万寿菊和橙色万寿菊的主要抗氧化活性成分及其抗氧化的能力。通过高效液相色谱分离技术,得出 6 种食用花卉共有的活性成分含量的总体趋势是:黄酮>多酚>山奈酚>槲皮素>类胡萝卜素。通过对 6 种食用花卉的 11 种活性成分的总量比较,抗氧化活性成分含量最高的为黄色万寿菊,其余的高低排列顺序为橙色万寿菊、桂花、栀子花、芙蓉花和木槿花。通过 Spearman 相关性分析表明,食用花卉的抗氧化活性成分含量与抗氧化能力有显著相关性。多酚和黄酮的含量与 DPPH、FRAP 和 ABTS 间存在显著的相关性,但黄酮的含量与 DPPH 的抗氧化能力间的相关性未达到极显著水平,这对抗氧化活性物质的针对性利用提供了理论依据。综合 3 种抗氧化活性测定方法(DPPH、FRAP 和 ABTS),得出每种抗氧化活性测定方法中抗氧化活性最强的花卉品种不同。抗氧化活性最强的是黄色万寿菊,其次是橙色万寿菊、桂花、芙蓉花、木槿花和栀子花。本研究对于食用花卉的综合利用具有一定的指导意义,但对花卉抗氧化各组分抗氧化及协同作用和抗氧化机理仍有待进一步研究。

参考文献

[1] 陈卫元. 试论我国食用·药用花卉的市场开发[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(30): 13 128-13 132.

[2] 何化春, 张新华. 食用花卉在我国的利用现状及展望[J]. 山西科技, 2011(4): 145-146.

[3] 赵晓峰, 吴荣书. 我国食用花卉的开发利用及可持续发展[J]. 现代营销: 学苑版, 2012(3): 198-199.

[4] 苏爱国, 孙长花, 张素华. 食用花卉的营养价值及开发前景[J]. 中国食物与营养, 2008(2): 19-21.

[5] 徐良雄. 花卉抗氧化筛选与玫瑰花抗氧化活性研究[D]. 广州: 华南师范大学, 2004: 5-7.

[6] 雷昌贵, 陈锦屏, 卢大新, 等. 食品中多酚类化合物的测定方法及其研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(1): 100-104.

[7] KAISOON O, SIRIAMORNPNUN S, WEERAPREEYAKUL N, et al. Phenolic compounds and antioxidant activities of edible flowers from Thailand[J]. Journal of Functional Foods, 2011, 3(2): 88-99.

[8] SUGAWARA T, IGARASHI K. Cultivar variation in flavonoid components and radical scavenging activity of polyphenol fractions among edible chrysanthemum flowers[J]. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology, 2009, 56(11): 600-604.

[9] 熊丽娜. 我国常见食用花卉多酚组分及其生物功效研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.

[10] 郝枝花, 夏伦祝. 木芙蓉研究进展[J]. 安徽医药, 2005, 9(5): 324.

[11] 刘晓棠, 赵伯涛, 张玖, 等. 栀子的综合开发与利用[J]. 中国野生植物资源, 2008, 27(1): 19-23.

[12] EMINE A T, FATIH I, DERYA C, et al. Correlation between phenolic compounds and antioxidant activity of Anzer tea (*Thymus praecox Opiz* subsp. caucasicus var. caucasicus)[J]. Industrial Crops and Products, 2014(52): 687-694.

[13] ACÁCIO A F Z, CHARLES W I H, ALINE A, et al. A comparative study of the phenolic compounds and the in vitro antioxidant activity of different Brazilian teas using multivariate statistical techniques[J]. Food Research International, 2014(60): 246-254.

[14] LOIZZO M R, PUGLIESE A, BONESI M, et al. Edible flowers: a rich source of phytochemicals with antioxidant and hypoglycemic properties[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2015, 64(12): 2 467-2 474.

[15] 周丹蓉, 方智振, 廖汝玉, 等. 李果皮花色苷、类黄酮和类胡萝卜素含量及抗氧化性研究[J]. 营养学报, 2013, 35(6): 571-576.

[16] GORJANOVIC S, KOMES D, PASTOR F T, et al. Antioxidant capacity of teas and herbal infusions: polarographic assessment[J]. J Agric Food Chemistry, 2012, 60(38): 9 573-9 580.

[17] LU Xiao-nan, ROSS CAROLYN F, POWERS JOSEPH R, et al. Determination of total phenolic content and antioxidant activity of garlic (*Allium sativum*) and elephant garlic (*Allium ampeloprasum*) by attenuated total reflectance fourier transformed infrared spectroscopy[J]. Food Chem, 2011, 59(11): 5 215-5 221.

[18] OH J, JO H, CHO A R, et al. Antioxidant and antimicrobial activities of various leafy herbal teas[J]. Food Control, 2013, 31(2): 403-409.

[19] 张倩倩, 韩宝来, 赵素会. 6 种菊花营养成分分析[D]. 开封: 河南大学, 2015: 18-25.

[20] 黄帅, 周先礼, 王洪燕, 等. 万寿菊花的化学成分[J]. 华西药学杂志, 2007, 22(4): 370-373.

[21] 苗苗, 荣莹, 左平国, 等. 12 种市售食用花卉总黄酮含量及抗氧化活性的研究[C]// 妇幼与青少年营养进展学术研讨会及《中国孕妇、乳母和 0-6 岁儿童膳食指南》宣传推广会论文汇编. 重庆: 中国营养学会妇幼分会, 中国营养学会青年工作委员会, 2009: 12-35.

[22] 尹伟, 刘金旗, 张国升. 桂花的化学成分及药理学作用研究进展[J]. 赤峰学院学报: 自然版, 2015, 31(20): 77-78.

[23] 宋家玲, 杨永建, 戚欢阳, 等. 栀子花化学成分研究[J]. 中药材, 2013, 36(5): 752-755.

(下转第 184 页)

- International Symposium. [S.L.]: Bioluminescence and Chemiluminescence, 2014: 301-304.
- [29] CHEN Wen-yan, CAI Qiang, ZHAO Yuan, et al. Toxicity evaluation of pig slurry using luminescent bacteria and zebrafish[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2014, 11(7): 6 856-6 870.
- [30] CAI Yu-hang, LI Juan, ZHAO Wen-jin, et al. Single toxicity and QSAR-assistant toxic mechanisms of pesticides (dimethoate, malathion, atrazine, prometryn and acetochlor) to photobacterium phosphoreum in the sediment lixivium[J]. Asian Journal of Chemistry, 2015, 27(2): 569-574.
- [31] 石颖, 丁武, 张志超, 等. 应用青海弧菌评价常见 8 种兽药的安全性[J]. 西北农业学报, 2012, 21(6): 17-21.
- [32] 吴淑杭. 发光细菌法快速检测农产品中主要污染物联合毒性技术研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2007: 8-10.
- [33] NEALE P A, LEUSCH F D, ESCHER B I. Applying mixture toxicity modelling to predict bacterial bioluminescence inhibition by non-specifically acting pharmaceuticals and specifically acting antibiotics[J]. Chemosphere, 2017, 173: 387-394.
- [34] 孔令云, 田大勇, 石恬恬, 等. 混合化合物联合毒性研究进展[J]. 中国科技论文, 2014, 9(6): 663-668.
- [35] 张瑾, 刘树深, 邓慧萍, 等. 吡啶类离子液体对青海弧菌 Q67 的混合毒性评估[J]. 生态毒理学报, 2013, 8(6): 955-962.
- [36] 董玉瑛, 邹学军, 陈峥, 等. 三种药品联合毒性作用及其环境风险分析[J]. 环境化学, 2013, 32(7): 1 257-1 262.
- [37] 袁东星, 邓永智, 林玉晖. 蔬菜中有机磷农药残留的发光菌快速检测[J]. 环境化学, 1997, 16(1): 77-81.
- [38] 朱兰兰, 林洪, 王静雪, 等. 利用发光细菌进行褐牙鲈中氯霉素残留快速检测的研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(10): 155-159.
- [39] 张国辉, 赵吉, 邵玉琴, 等. 发光弧菌快速检测液态奶中的三聚氰胺[J]. 食品科学, 2010, 31(6): 145-147.
- [40] PELLINEN T, BYLUND G, VIRTA M, et al. Detection of traces of tetracyclines from fish with a bioluminescent sensor strain incorporating bacterial luciferase reporter genes [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(17): 4 812-4 815.
- [41] PIKKEMAAT M G, RAPALLINI M L B A, KARP M T, et al. Application of a luminescent bacterial biosensor for the detection of tetracyclines in routine analysis of poultry muscle samples[J]. Food Additives & Contaminants Part A Chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment, 2010, 27(8): 1 112-1 117.
- [42] 石颖. 发光细菌快速检测畜产品中兽药残留研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012: 13-23.
- [43] CHEN Wen-yan, CAI Qiang, ZHAO Yuan, et al. Toxicity evaluation of pig slurry using luminescent bacteria and zebrafish[J]. International Journal of Environmental Research & Public Health, 2014, 11(7): 6 856-6 870.
- [44] 何早, 吴卫国, 胡雨欣, 等. 发光细菌法检测大米中的重金属[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(5): 63-66.
- [45] 段效辉, 王颖, 曹鹏, 等. 发光细菌在水产品安全中的应用研究进展[J]. 化学与生物工程, 2016, 33(10): 8-11.
- [46] CUI Zhi-song, LUAN Xiao, JIANG Hui-chao, et al. Application of a bacterial whole cell biosensor for the rapid detection of cytotoxicity in heavy metal contaminated seawater[J]. Chemosphere, 2018, 200: 322-329.
- [47] VIROLAINEN N E, PIKKEMAAT M G, ELFERINK J W, et al. Rapid detection of tetracyclines and their 4-epimer derivatives from poultry meat with bioluminescent biosensor bacteria[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(23): 11 065-11 070.
- [48] 石颖, 丁武. 利用发光细菌检测猪肉中的兽药残留[J]. 西北农业学报, 2016, 25(9): 1 420-1 426.
- [49] SMITAL T, TERZIC S, ZAJA R, et al. Assessment of toxicological profiles of the municipal wastewater effluents using chemical analyses and bioassays[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2011, 74(4): 844-851.
- [50] CALABRESE E J, BALDWIN L A. Hormesis: the dose-response revolution [J]. Annual Review of Pharmacology and Toxicology, 2003, 43(1): 175-197.
- [51] CHAPMAN P M. The implications of hormesis to ecotoxicology and ecological risk assessment[J]. Human & Experimental Toxicology, 2001, 20(10): 499-505.
- [52] MORSE J G. Agricultural implications of pesticide-induced hormesis of insects and mites [J]. Human & Experimental Toxicology, 1998, 17(5): 266-269.
- [53] 汤森, 曾鸿鹄, 王大力, 等. 四环素对费氏弧菌产生生物兴奋效应(Hormesis)的时间关系和机制[J]. 环境化学, 2015, 34(11): 1 981-1 987.
- [54] SHEN Kai-li, SHEN Chao-feng, LU Yuan, et al. Hormesis response of marine and freshwater luminescent bacteria to metal exposure[J]. Biological Research, 2009, 42(2): 183-187.
- [55] MA Xiao-yan, WANG Xiao-chang, NGO H H, et al. Bioassay based luminescent bacteria: interferences, improvements, and applications[J]. Science of the Total Environment, 2014, 468: 1-11.
- [56] GAO Ya, LIN Zhi-fen, CHEN Rui, et al. Using molecular docking to compare toxicity of reactive chemicals to freshwater and marine luminous bacteria[J]. Qsar & Combinatorial Science, 2012, 31(11/12): 809-816.

(上接第 171 页)

- [24] 李军茂, 何明珍, 欧阳辉, 等. 超高效液相色谱与飞行时间质谱联用快速鉴别木芙蓉叶的化学成分[J]. 中国药学杂志, 2016, 51(14): 1 162-1 168.
- [25] 蒋益花, 陈敏明, 吴美媛. 微波法提取木芙蓉花总黄酮的工艺研究[J]. 中国酿造, 2007, 26(2): 34-36.
- [26] 卫强, 纪小影, 徐飞, 等. 木槿叶化学成分及抑制 α -葡萄糖苷酶活性研究[J]. 中药材, 2015, 38(5): 975-979.
- [27] 张文彦, 王晓红, 李安平. 木槿功能性营养成分与生物活性研究进展[J]. 食品与机械, 2017, 33(2): 216-219.
- [28] 金月亭, 应铁进. 木槿花生物活性的初步研究[J]. 中国食品学报, 2008, 8(3): 37-41.
- [29] 唐津忠, 鲁晓翔, 陈瑞芳. 金莲花中黄酮类化合物的提取及其抗氧化性研究[J]. 食品科学, 2003, 24(6): 88-91.
- [30] 太志刚. 四种花卉的化学成分及其抗氧化活性研究[D]. 昆明: 云南大学, 2011: 65-69.
- [31] 李华, 李佩洪, 王晓宇, 等. 抗氧化检测方法的相关性研究[J]. 食品与生物技术学报, 2008, 27(4): 6-11.