

· 基础研究 ·

西红花花瓣中氨基酸与微量元素等成分含量研究

吕卓¹, 袁文婷², 汤迪³, 濮存海^{4*}

1. 陕西省食品药品监督检验研究院, 陕西 西安 710065;
2. 延边大学 药学院, 吉林 延吉 133000;
3. 上海优耕农业科技有限公司, 上海 200000;
4. 中国中药协会 中药新技术专委会, 江苏 南京 210008

[摘要] 目的: 测定西红花非药用部位花瓣中氨基酸、微量元素和蛋白质的含量, 为其综合利用提供参考。方法: 采用氨基酸分析仪、电感耦合等离子质谱法(ICP-MS)、凯氏定氮仪分别对西红花花瓣中的16种氨基酸、26种微量元素及蛋白质进行分析研究。结果: 西红花非药用部位的花瓣中含有人体所需的6种必需氨基酸(苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸)和6种微量元素(铬、铁、钴、铜、钼和锌), 含有对人体至关重要的蛋白质, 同时未检测到对人体有潜在危害的重金属元素锡和汞。结论: 西红花花瓣含有丰富的营养物质, 可以进行综合利用, 开发其在保健食品领域的应用潜力。

[关键词] 西红花花瓣; 氨基酸; 微量元素; 蛋白质

[中图分类号] R282 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-4890(2021)06-1023-06

doi:10.13313/j.issn.1673-4890.20200103001

Content of Amino Acids, Trace Elements and Other Components in Petals of *Crocus sativus*

LYU Zhuo¹, YUAN Wen-ting², TANG Di³, PU Cun-hai^{4*}

1. Shaanxi Institute for Food and Drug Control, Xi'an 710065, China;
2. College of Pharmacy, Yanbian University, Yanji 133000, China;
3. Shanghai You Geng Agricultural Technology Co., Ltd., Shanghai 200000, China;
4. Committee of New Technology of Traditional Chinese Medicine, Nanjing 210008, China

[Abstract] **Objective:** To determine the content of amino acids, trace elements and proteins in the petals, non-medicinal parts, of *Crocus sativus* L., which can provide a scientific basis for its comprehensive utilization. **Methods:** Sixteen amino acids, twenty-six elements and proteins in *C. sativus* petals were analyzed with an amino acid analyzer, an inductively coupled plasma-mass spectrometer (ICP-MS) and automatic Kjeldahl apparatus. **Results:** The *C. sativus* petals contain 6 kinds of essential amino acids (threonine, valine, isoleucine, leucine, phenylalanine and lysine), 6 kinds of essential trace elements (Cr, Fe, Co, Cu, Mo and Zn) and proteins vital to the human body. Moreover, no tin and mercury were detected which were heavy metal elements potentially harmful to human health. **Conclusion:** The petals of *C. sativus* are rich in nutrients, which can be comprehensively utilized for its application and research in the field of health food.

[Keywords] petals of *Crocus sativus* L.; amino acids; trace elements; proteins

西红花 *Crocus sativus* L. 又名藏红花, 药用部位为花的柱头, 具有活血化瘀等作用^[1]。其产量较低, 90朵花能得到1g左右的干燥柱头, 副产物花瓣都被丢弃^[2]。西红花非药用部位的药理作用和化学成分也多有报道。现代药理研究表明, 西红花非药用部位具有抗氧化作用^[3-5]、抗真菌与细胞毒作用^[6]、

心血管系统保护作用^[7]、肝脏和肾脏保护作用^[8]等。文献研究表明, 西红花非药用部位中含有多种化学成分。王晓萌等^[9]采用气相色谱-质谱法(GC-MS)分析西红花花瓣和雄蕊中的挥发油成分, 在花瓣中鉴定出16个化合物, 雄蕊中鉴定出20个化合物。高文运等^[10]从西红花侧芽中分离得到4个蒽醌类化合

* [通信作者] 濮存海, 主任药师, 研究方向: 中药新技术产业化; E-mail: pucunhai@163.com

物。宋纯清^[11]从西红花的花被中分离出5个黄酮醇类化合物。除此之外,西红花非药用部位中还含酚酸类^[12]和西红花酸类^[13]等成分。氨基酸、蛋白质、微量元素在人体生命过程中发挥重要的作用。蛋白质是生命的物质基础,是构成细胞的基本有机物,是生命活动的主要承担者。氨基酸可以提高人体免疫力,维持正常代谢水平。部分氨基酸还可以发挥健脑、调节血压、促进生长和发育等作用。微量元素不仅是人体的必要组分,还充当酶的激活剂、催化剂等角色。目前,西红花花瓣中氨基酸、蛋白质、微量元素等成分研究较少。本研究分别测定了西红花花瓣中氨基酸、蛋白质和微量元素的含量,为西红花的综合利用提供参考。

1 材料

1.1 试药

西红花柱头及花瓣样品由上海优耕农业科技有限公司提供,经江苏省药品检验研究院胡浩彬主任药师鉴定为鸢尾科植物番红花 *Crocus sativus* L. 的柱头及花瓣。将西红花花瓣及残留的柱头经冷冻干燥后,以挑选出残剩柱头的花瓣(挑选)和未经挑选柱头的花瓣(未挑选)作为研究样品。

16种氨基酸混合标准溶液[天冬氨酸(Asp)、苏氨酸(Thr)、丝氨酸(Ser)、谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、缬氨酸(Val)、蛋氨酸(Met)、异亮氨酸(Ile)、亮氨酸(Leu)、酪氨酸(Tyr)、苯丙氨酸(Phe)、赖氨酸(Lys)、组氨酸(His)、精氨酸(Arg)、脯氨酸(Pro),批号:SLBT4982,浓度均为 $2.5\ \mu\text{mol}\cdot\text{mL}^{-1}$,西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司];多元素混合标准物质溶液[硼(B)、钛(Ti)、钒(V)、铬(Cr)、锰(Mn)、铁(Fe)、钴(Co)、镍(Ni)、铜(Cu)、锌(Zn)、砷(As)、硒(Se)、锶(Sr)、钼(Mo)、镉(Cd)、锡(Sn)、锑(Sb)、钡(Ba)、汞(Hg)、铊(Tl)、铅(Pb),批号:GNM-M25748-2013(17D5090),质量浓度均为 $100\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$];钾(K)单元素标准物质溶液(批号:GSB 04-1733-2004,质量浓度: $1000\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)均购于国家有色金属及电子材料分析测试中心;钠(Na)单元素标准物质溶液[批号:GBW(E)080127,质量浓度: $1000\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$];镁(Mg)单元素标准物质溶液[批号:GBW(E)080126,质量浓度: $1000\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$];铝(Al)单元

素标准物质溶液[批号:GBW(E)080219,质量浓度: $1000\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$];钙(Ca)单元素标准物质溶液[批号:GBW(E)080118,质量浓度: $1000\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$]均购于中国计量科学研究院;内标多元素混合标准溶液[批号:IS7B17D1,其中含有铋(Bi)、镓(Ga)、铟(In)、锂(Li)、钪(Sc)、铽(Tb)、钇(Y),质量浓度均为 $100\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$,Reagecon公司];生物成分分析标准物质-黄芪样品[批号:GBW10028(GSB-19),地球物理地球化学勘察研究所];婴儿配方乳粉中蛋白质、脂肪、乳糖定量分析质控样品(批号:QC-IP-709,中国检验检疫科学研究院测试评价中心)。

盐酸(分析纯)、双氧水(优级纯)、硫酸钾(分析纯)、硫酸铜(分析纯)、硫酸(分析纯)、硼酸(分析纯)、氢氧化钠(分析纯)均购于国药集团化学试剂有限公司;硝酸(优级纯,德国Merck公司);水为GB/T 6682规定的一级水。

1.2 仪器

L-8900型氨基酸分析仪(日立仪器有限公司);7800型电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS,安捷伦科技有限公司);Mars6型微波消解仪(美国CEM公司);K-360型全自动凯氏定氮仪(瑞士Buchi有限公司);AE-240型电子分析天平(精度为 $0.1\ \text{mg}$,瑞士Mettler-Toledo公司)。

2 方法与结果

2.1 氨基酸的测定

2.1.1 分析条件 磺胺型阳离子树脂色谱柱,检测波长分别为 570 、 $440\ \text{nm}$ ^[14]。

2.1.2 供试品溶液的制备 分别称定研细混匀后的西红花花瓣(挑选)、西红花花瓣(未挑选)及西红花柱头约 $1\ \text{g}$,置耐压螺盖玻璃试管中,加入 $6\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 盐酸溶液 $10\ \text{mL}$,置减压干燥器中抽真空,充入氮气,重复抽真空-充入氮气3次后,在充氮状态下拧紧螺丝盖。将耐压螺盖玻璃试管放在 $110\ ^\circ\text{C}$ 下水解 $22\ \text{h}$ 后,取出,冷却至室温。将水解液转移至 $25\ \text{mL}$ 量瓶中,用少量水润洗试管3次,润洗液移入同一量瓶内,水定容至刻度,摇匀。精密吸取上述溶液 $1\ \text{mL}$ 置 $15\ \text{mL}$ 离心管中,于 $45\ ^\circ\text{C}$ 下氮气吹干,残渣用水溶解并定容于 $10\ \text{mL}$ 量瓶,摇匀,精密吸取 $3\ \text{mL}$ 置于 $10\ \text{mL}$ 量瓶,用水稀释并定容至刻度,经 $0.22\ \mu\text{m}$ 微孔滤膜滤过,供测定。

2.1.3 标准品溶液的制备 取浓度均为 $2.5 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的混合标准品溶液 1 mL, 定容至 10 mL, 作为标准品中间使用液。再精密吸取上述标准品中间使用液 0.25、0.50、1.50、2.00、2.50 mL 分别置于 5 mL 量瓶中, 用水稀释并定容至刻度, 摇匀, 即得。

2.1.4 方法学考察

2.1.4.1 线性关系考察 分别将 2.1.3 项下标准曲线工作溶液注入氨基酸分析仪, 进样量 20 μL , 以峰面积为纵坐标(Y), 氨基酸浓度为横坐标(X), 绘制标准曲线, 计算回归方程、相关系数(r)以及线性范围, 线性关系良好, 见表 1。

表 1 氨基酸标准曲线

名称	线性方程	r
Asp	$Y=2.0 \times 10^7 X + 64\ 001$	0.999 7
Thr	$Y=2.0 \times 10^7 X + 178\ 552$	0.999 6
Ser	$Y=2.0 \times 10^7 X + 208\ 232$	0.999 2
Glu	$Y=2.0 \times 10^7 X + 161\ 465$	0.999 2
Gly	$Y=2.0 \times 10^7 X + 113\ 854$	0.999 8
Ala	$Y=2.0 \times 10^7 X + 49\ 200$	0.999 1
Val	$Y=2.0 \times 10^7 X + 169\ 979$	0.999 0
Met	$Y=2.0 \times 10^7 X + 10\ 359$	0.999 1
Ile	$Y=2.0 \times 10^7 X + 66\ 100$	0.999 2
Leu	$Y=2.0 \times 10^7 X + 16\ 274$	0.998 7
Tyr	$Y=2.0 \times 10^7 X + 48\ 253$	0.999 0
Phe	$Y=2.0 \times 10^7 X + 344\ 865$	0.998 6
Lys	$Y=3.0 \times 10^7 X + 533\ 835$	0.997 9
His	$Y=2.0 \times 10^7 X + 242\ 085$	0.999 0
Arg	$Y=2.0 \times 10^7 X + 67\ 929$	0.999 3
Pro	$Y=6.0 \times 10^6 X + 157\ 834$	0.998 9

注: 线性范围均为 $0.012\ 5 \sim 0.250\ 0 \mu\text{mol}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。

2.1.4.2 精密度试验 取 2.1.3 项下对照品中间使用液, 注入氨基酸分析仪, 重复测定 6 次, 进样量 20 μL , 计算各氨基酸峰面积的 RSD。结果表明, Asp、Thr、Ser、Glu、Gly、Ala、Val、Met、Ile、Leu、Tyr、Phe、Lys、His、Arg 和 Pro 峰面积的 RSD 分别为 0.26%、0.21%、0.15%、0.11%、0.19%、0.25%、0.30%、0.18%、0.24%、0.17%、0.28%、0.15%、0.13%、0.16%、0.24% 和 0.12%, 表明仪器精密度良好。

2.1.4.3 重复性试验 取西红花柱头, 按照 2.1.2 项下方法平行制备 6 份供试品溶液, 注入氨基酸分析仪, 计算氨基酸含量及 RSD, 结果表明, Asp、Thr、Ser、Glu、Gly、Ala、Val、Met、Ile、Leu、Tyr、Phe、Lys、His、Arg 和 Pro 峰面积的 RSD 分别

为 2.31%、2.26%、3.09%、1.55%、3.16%、5.32%、4.57%、7.11%、4.13%、2.48%、4.49%、3.42%、6.74%、3.02%、3.91% 和 1.08%, 表明该方法的重复性良好。

2.1.4.4 加样回收率试验 取西红花柱头, 称取 6 份样品, 添加 $0.25 \mu\text{mol}\cdot\text{mL}^{-1}$ 氨基酸混合标准品溶液一定体积, 按照 2.1.2 项下方法平行制备 6 份供试品溶液, 加样回收率为 85.8% ~ 97.8%, RSD 为 0.77% ~ 4.52%, 表明回收率和精密度符合要求。

2.1.5 样品氨基酸含量测定结果 按照 2.1.2 项下分别对西红花花瓣(挑选)、西红花花瓣(未挑选)及西红花柱头进行氨基酸测定, 见表 2。从实验数据可以看出三者氨基酸含量较为接近。

表 2 西红花花瓣与柱头氨基酸质量分数($n=3$)

名称	氨基酸质量分数		
	花瓣(挑选)	花瓣(未挑选)	柱头
Asp	11.04	11.53	16.11
Thr	5.01	5.10	7.28
Ser	4.73	5.04	7.31
Glu	21.33	23.46	22.64
Gly	5.71	5.71	9.05
Ala	7.90	8.05	12.62
Val	7.38	7.49	9.90
Met	0.12	0.13	0.33
Ile	5.93	6.04	8.34
Leu	9.18	9.61	14.52
Tyr	未检出(<0.028)	未检出(<0.028)	3.25
Phe	10.72	7.58	8.57
Lys	7.11	7.49	10.20
His	3.43	3.63	3.91
Arg	4.83	5.06	8.72
Pro	14.79	16.19	6.79
总量	119.21	122.11	149.54

2.2 元素测定

2.2.1 ICP-MS 测定条件 射频功率 1500 W; 等离子体气流量 $15 \text{L}\cdot\text{min}^{-1}$; 采样锥: 镍; 雾化室温度: $2 \text{ }^\circ\text{C}$; 样品提升速率: $0.3 \text{r}\cdot\text{s}^{-1}$; 雾化器: 同心雾化器; 采集方式: 跳峰; 分析模式: 碰撞反应池^[15]。

2.2.2 供试品溶液的制备 称取研细混匀样品约 0.25 g, 置消解罐中, 加入硝酸 5 mL, 进行预消解, 预消解完成后再加入双氧水 2 mL, 置微波消解仪进

行消解,消解完成后冷却,并进行赶酸,赶酸完成后用纯化水将消解液转移至10 mL量瓶中,上机测定时再精密吸取上述样品溶液1 mL置100 mL量瓶中,用纯化水稀释并定容至刻度,过0.22 μm微孔滤膜后上机测定。

2.2.3 标准品溶液的制备 分别取多元素混合标准物质溶液0.1 mL及Na、Mg、Al、K、Ca单元素标准物质溶液各0.01 mL置于50 mL量瓶中,用5%硝酸稀释并定容至刻度,摇匀,制成多元素混合标准品溶液储备液。取上述多元素混合标准品溶液储备液2.5 mL置50 mL量瓶中,用5%硝酸溶液稀释并定容至刻度,摇匀,制成多元素混合标准品溶液使用液(1)。准确移取多元素混合标准品溶液使用液(1)5.0、2.0、1.0、0.5 mL置于10 mL量瓶中,用5%硝酸稀释并定容至刻度,摇匀,制成多元素混合标准品溶液使用液(2)~(5),作为系列标准曲线溶液。

2.2.4 内标多元素溶液配制 取内标多元素混合标准溶液0.1 mL置于50 mL量瓶中,用5%硝酸溶液稀释并定容至刻度,摇匀,制成内标多元素混合标准品溶液储备液。取内标多元素混合标准品溶液储备液5 mL置于20 mL量瓶中,用5%硝酸稀释并定容至刻度,摇匀,制成内标多元素混合标准品溶液使用液。Bi、Ga、In、Tb、Y质量浓度均为10 ng·mL⁻¹,Li、Sc质量浓度均为50 ng·mL⁻¹。

2.2.5 空白溶液制备 除不称定样品外,其余同2.2.2项下制备空白样品溶液。

2.2.6 方法学考察

2.2.6.1 线性关系考察 分别将上述多元素标准曲线溶液注入电感耦合等离子体质谱仪,以待测元素与内标元素信号强度的响应比率为纵坐标(*Y*),元素质量浓度为横坐标(*X*),绘制标准曲线,计算回归方程、*r*及线性范围,线性关系良好。结果见表3。

2.2.6.2 精密度试验 取2.2.3项下多元素混合标准品溶液使用液(3),注入电感耦合等离子体质谱仪,重复测定11次,以待测元素与内标元素的信号强度的响应比率计算RSD。结果表明,26种元素(B、Na、Mg、Al、K、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Sr、Mo、Cd、Sn、Sb、Ba、Hg、Tl和Pb)的RSD分别为4.64%、2.99%、3.06%、5.12%、4.82%、2.82%、4.77%、4.91%、

表3 26种元素标准曲线

元素	线性方程	<i>r</i>
B	$Y=0.02554X+0.01253$	0.9989
Na	$Y=7.189X+3.629$	0.9986
Mg	$Y=0.5154X+0.1849$	0.9996
Al	$Y=0.11700X+0.05728$	0.9996
K	$Y=0.04352X-0.45760$	0.9989
Ca	$Y=0.01251X+0.00416$	0.9974
Ti	$Y=0.00332X$	0.9986
V	$Y=0.14090X+0.00098$	0.9997
Cr	$Y=0.19250X+0.00429$	0.9994
Mn	$Y=0.09472X+0.00264$	0.9998
Fe	$Y=0.3117X+0.1216$	0.9987
Co	$Y=1.691X+0.004$	0.9995
Ni	$Y=0.9474X+0.03501$	0.9997
Cu	$Y=3.339X+0.052$	0.9995
Zn	$Y=1.400X+0.134$	0.9994
As	$Y=0.01907X$	0.9999
Se	$Y=0.00114X+0.00030$	0.9996
Sr	$Y=0.09302X+0.00216$	0.9994
Mo	$Y=0.10520X+0.00509$	0.9995
Cd	$Y=0.03641X+0.00012$	0.9998
Sn	$Y=0.06375X+0.00197$	0.9999
Sb	$Y=0.08600X+0.00023$	0.9998
Ba	$Y=0.00827X+0.00239$	0.9996
Hg	$Y=0.01247X+0.00039$	0.9991
Tl	$Y=0.17890X+0.00140$	0.9999
Pb	$Y=0.06628X+0.00409$	0.9998

注:线性范围均为0.5~10.0 ng·mL⁻¹。

4.36%、6.68%、4.52%、2.25%、2.36%、3.47%、3.93%、2.62%、3.93%、2.06%、3.82%、2.34%、3.60%、2.21%、3.44%、2.87%、4.45%、2.43%,表明仪器精密度良好。

2.2.6.3 加样回收率试验 取元素质控样,按照2.2.2项下方法平行制备2份供试品溶液,按2.2.1项下条件进样检测。结果表明,26种元素(B、Na、Mg、Al、K、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Sr、Mo、Cd、Sn、Sb、Ba、Hg、Tl和Pb)质量分数分别为16.91、1410.12、2211.13、1912.24、6903.15、4711.42、19.31、2.32、1.90、32.33、1091.24、0.42、2.21、7.94、21.93、0.53、0.05、0.513、0.04、0、0.05、

19.64、0.06、0.05、1.51 mg·kg⁻¹，测得量与标准物质的标准值比较后，均在范围内，结果表明该方法的准确度符合要求。

2.2.7 样品元素含量测定 按照参考文献[15]方法，分别对挑选后的西红花花瓣及柱头中26种元素进行测定。结果表明，3种试样中元素含量由高到低顺序为K、Mg、Fe、Al、Ca、Mn(表4)。

表4 西红花花瓣和柱头元素测定结果($n=3$)
mg·kg⁻¹

元素	质量分数		
	花瓣(挑选)	花瓣(未挑选)	柱头
B	4.80	5.42	7.65
Na	3.11	4.50	2.26
Mg	259.66	376.01	406.76
Al	49.68	64.05	5.60
K	3 374.05	3 696.52	3 279.46
Ca	34.98	45.78	20.02
Ti	4.58	3.46	1.00
V	0.26	0.42	0.01
Cr	1.55	1.03	0.30
Mn	10.20	14.12	10.59
Fe	107.61	144.90	39.24
Co	0.13	0.13	0.04
Ni	0.42	0.58	0.14
Cu	3.75	4.29	4.66
Zn	5.01	5.36	5.07
As	0.21	0.07	0.09
Se	未检出(<0.05)	未检出(<0.05)	1.20
Sr	1.39	1.86	0.66
Mo	0.41	0.63	0.18
Cd	0.09	0.15	0.13
Sn	未检出(<0.001)	未检出(<0.001)	未检出(<0.001)
Sb	0.01	0.03	0.01
Ba	6.12	5.87	0.49
Hg	未检出(<0.002)	未检出(<0.002)	未检出(<0.002)
Tl	未检出(<0.0001)	未检出(<0.0001)	未检出(<0.0001)
Pb	0.67	0.75	0.09

2.3 蛋白质测定

2.3.1 检测参数 自动凯氏定氮仪蒸汽输出90%^[16]。

2.3.2 供试品溶液制备 取混匀的供试样品，准确称定后，置凯氏定氮仪消化瓶中，加消化剂硫酸钾6g、硫酸铜0.4g，再沿瓶壁缓缓加硫酸20mL进行消化，当消化温度达到420℃之后，继续消化1h，

当消化管内容物的颜色逐渐转化成透明的淡绿色时，取出冷却后加入50mL水，于自动凯氏定氮仪上实现自动加液、蒸馏、滴定、记录滴定数据。同法检测空白对照样品。

2.3.3 方法学考察

2.3.3.1 重复性试验 取西红花柱头，按照2.3.1项下方法平行制备6份供试品溶液，用自动凯氏定氮仪进行测定，计算蛋白质含量及RSD，结果表明，蛋白质质量分数为162.67~162.93 g·kg⁻¹，RSD为0.05%，方法的重复性良好。

2.3.3.2 加样回收率试验 取质控样品按照2.3.2项下方法平行制备2份供试品溶液，测定蛋白质含量并与质控样品的标准值比较，测定值均值为239.02 g·kg⁻¹，在质控样规定标准范围内(233.90~250.00 g·kg⁻¹)，结果表明，该方法的准确度符合要求。

2.3.4 样品蛋白质含量测定 分别称取西红花花瓣(挑选)、西红花花瓣(未挑选)及西红花柱头约0.5g，按照2.3.2项下制备样品，进行样品测定($n=3$)。结果表明，西红花花瓣(挑选)、西红花花瓣(未挑选)及西红花柱头蛋白质质量分数分别为117.15、137.78、162.90 g·kg⁻¹。

3 讨论

挑选、未挑选西红花花瓣和西红花柱头的氨基酸、微量元素和蛋白质含量检测结果显示，样品中均含有6种人体所需的必需氨基酸(Thr、Val、Ile、Leu、Phe、Lys)，必需氨基酸的含量分别占总氨基酸含量的38.0%、35.5%、39.5%。西红花花瓣中还含有大量的Glu。文献报道，Glu是一种重要的兴奋性神经递质，主要用于治疗肝性昏迷，还可改善儿童智力发育，可作为筛查智商正常的高功能孤独症儿童的诊断指标^[17]。西红花花瓣含有人体所必需的6种微量元素(Cr、Fe、Co、Cu、Mo、Zn)，未检测到对人体有潜在危害的重金属元素Sn和Hg，并且As、Cu、Cd、Pb的含量也都符合《中华人民共和国药典》2020年版重金属限量的规定。同时西红花花瓣还富含大量的K，含量高于西红花柱头，约占总微量元素的84.5%。K为人体必需的矿物质元素之一，主要分布在人体细胞内，维持细胞内渗透压和细胞内外的酸碱平衡。人体缺钾后，容易产生心肌损害，引起细胞变性和坏死，此外还会对肾、肠和骨骼造成一定的损伤^[18]。除此之外，西红花花瓣中蛋白质含量虽低于西红花柱头，但种类也较丰富。

检测数据证实,西红花花瓣含有丰富的营养物质,可以在保健食品方面对其进行开发和研究,并通过动物实验和临床研究对其进行深入研究,提高其利用价值。虽然西红花花瓣有些营养成分的含量低于柱头,但是在1朵西红花中,柱头仅占很小的一部分。我国上海崇明的西红花种植已达上千亩,农户在采摘柱头后,其主要副产物花瓣都被丢弃,有些柱头还残留在花瓣上,造成了严重的资源浪费。若将这些西红花花瓣合理利用,将会对西红花柱头的短缺起到一定的缓解作用,同时也会降低种植成本、增加农户收益、促进当地的经济、减少环境污染。

参考文献

- [1] 张娜,李林森.藏红花药理作用研究进展[J].药物评价研究,2013,36(5):394-396.
- [2] 李坤,商晓慧,叶冠.西红花柱头、雄蕊和花瓣的挥发性化学成分GC-MS分析[J].上海医药,2017,38(13):74-78.
- [3] HOSSEIN GOLI S A, MOKHTARI F, RAHIMMALEK M. Phenolic compounds and antioxidant activity from saffron (*Crocus sativus* L.) petal[J]. J Agric Sci, 2012, 4(10):175.
- [4] 黄一泓,刘雅莉,武文斌,等.藏红花花瓣体外抗氧化活性部位的筛选与研究[J].天然产物研究与开发,2013,25(11):1489-1493,1567.
- [5] 陈可,曲绮雯,陈霞连,等.藏红花花瓣粗多糖的体外抗氧化活性研究[J].四川大学学报(自然科学版),2016,53(2):448-452.
- [6] ZHENG C J, LI L, MA W H, et al. Chemical constituents and bioactivities of the liposoluble fraction from different medicinal parts of *Crocus sativus* [J]. Pharm Biol, 2011, 49(7):756-763.
- [7] 黄一泓.藏红花花瓣抗氧化活性部位的筛选及对高脂血症的预防作用[D].上海:华东师范大学,2013.
- [8] OMIDI A, OMIDI A, RIAHINIA N, et al. Hepatoprotective effect of *Crocus sativus* (saffron) petals extract against acetaminophen toxicity in male Wistar rats [J]. Avicenna J Phytomed, 2014, 4(5):330-336.
- [9] 王晓萌,叶扬,周双,等.藏红花花瓣和雄蕊挥发油化学成分GC-MS分析及比较[J].天然产物研究与开发,2012,24(9):1239-1241.
- [10] 高文运,李医明,朱大元.番红花侧芽中的新萜醌化合物[J].植物学报,1999(5):82-84.
- [11] 宋纯清.番红花化学成分研究Ⅱ.番红花花被中的黄酮醇类化合物[J].中草药,1990,21(10):7-9,46.
- [12] LI C Y, LEE E J, WU T S. Antityrosinase principles and constituents of the petals of *Crocus sativus* [J]. J Nat Prod, 2004, 67(3):437-440.
- [13] 黄利英,次仁巴姆,余永新,等.高效液相色谱法测定藏红花不同部位的有效成分[J].中兽医医药杂志,2014,33(3):5-9.
- [14] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定:GB 5009.124—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [15] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中多元素的测定:GB 5009.268—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [16] 国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [17] 张茗晰,张守纯.氨基酸在自闭症研究中的进展与策略[J].现代畜牧兽医,2015(11):59-61.
- [18] 成青.茶叶中钾对人体的营养作用[J].中国茶叶,1984,6(1):13.

(收稿日期:2020-01-03 编辑:田苗)