



一份特有红花甜荞活性物质的抗氧化特性研究

侯泽豪¹, 孙坤坤¹, 魏淑东², 王书平¹, 张迎新¹,

尹军良¹, 刘志雄³, 方正武¹

(1. 长江大学 农学院/主要粮食作物产业化湖北省协同创新中心, 湖北荆州 434025;

2. 长江大学 生命科学学院, 湖北荆州 434025; 3 长江大学 园艺园林学院, 湖北荆州 434025)

摘要 以一份特有红花甜荞‘HHTQ’为试验对象, 利用高效液相色谱法(HPLC)测定该红花甜荞子叶、叶片、叶柄和花序中的花青素质量分数, 同时利用分光光度法测定这4个部位的总酚和总黄酮质量分数, 采用铁离子还原能力(FRAP)、DPPH·清除能力和ABTS⁺·清除能力3种方法评价其体外抗氧化能力差异。结果表明, 红花甜荞中4个不同组织的总花青素、总酚和总黄酮质量分数为1.32~3.43 mg/g、26.59~225.47 mg/g和16.28~128.96 mg/g。花序中的花青素以矢车菊素-3-O-芸香糖苷为主, 叶柄和子叶中的矢车菊素-3-O-葡萄糖苷占比较高, 子叶中则表现为等量积累这2种单体形式。4个不同部位的总酚和总黄酮质量分数差异显著, 其体外抗氧化能力差异较大, 以花序中的总酚(225.47 mg/g)和总黄酮(128.96 mg/g)质量分数最大, 体外抗氧化能力最强; 其次为叶片和子叶, 以叶柄最低。该材料具有鲜艳的表型性状, 同时含有丰富的酚类物质和较强的抗氧化活性, 具有潜在的保健产品开发和观赏应用价值。

关键词 红花甜荞; 花青素; 酚类物质; 黄酮; 抗氧化活性

中图分类号 S326; S567

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2019)08-1259-08

荞麦, 属蓼科(Polygonaceae)荞麦属, 是一种重要的杂粮作物, 分为甜荞(*Fagopyrum esculentum* Moench)和苦荞(*Fagopyrum tataricum* Gaertn)2个栽培品种, 甜荞为异花授粉作物, 结实率较低, 在亚洲、欧洲和美洲均有大量种植^[1], 而苦荞为自花授粉作物, 主要栽培于中国, 在多数西方国家被认为是野生植物^[2]。荞麦中富含多种药用和营养保健成分, 如膳食纤维、维生素、矿物质和多酚类物质等多种生物活性物质, 具有降血压、抗氧化和降低毛细血管脆性等多种药理作用, 是重要的药食两用作物^[3]。研究表明多酚类物质是食物具有抗氧化能力和抑制慢性疾病的主要原因之一^[4], 而目前常使用化学抗氧化性的方法(如DPPH法、FRAP法、ORAC法和ABTS法)研究多酚类物质的抗氧化能力^[4-6]。如Min等^[7]利用DPPH法和ORAC法来评价具有不同麸皮颜色的大米抗氧化能力, 研究结果表明多酚物质的含量与抗氧化能力具有高度正相关。荞麦因具有丰富的多酚类物质, 因此, 在食品工业上, 荞麦的

籽粒、叶片和花可制成荞麦茶或保健产品等, 并起到降低血液中的胆固醇和葡萄糖水平的作用^[8]。

作物植株颜色是一种重要的经济性状, 鲜艳的颜色不仅能改善产品的色泽, 而且能激发消费者的购买欲和食欲。花青素作为植物呈色中的一类重要色素, 可使植物呈现粉红色到蓝紫色^[9-10], 同时也是目前发现的最有效的天然水溶性自由基清除剂^[11]。由于花青素的抗氧化能力及其在预防人类慢性疾病、控制肥胖和减轻糖尿病中的重要作用, 因此, 色彩鲜艳的天然食物受到国内外消费者的广泛推崇^[12-13]。

Suzuki等^[14]通过反相液相色谱-电喷雾电离-串联质谱技术对红花荞麦品种‘Gan-Chao’花瓣中的花青素质量分数和种类进行分析, 结果表明红花荞麦花瓣中花青素种类以矢车菊素-3-O-葡萄糖苷和矢车菊素-3-O-芸香糖苷为主, 而白花荞麦花瓣中并未检测到花青素的存在; Kim等^[15]的研究发现‘Gan-Chao’花瓣中的花青素质量分数最高可达0.19 mg/g, 但其叶片中仅含有微量

收稿日期:2019-03-05 修回日期:2019-03-12

基金项目:国家自然科学基金(31671755, 31571736)。

第一作者:侯泽豪, 男, 硕士研究生, 研究方向为作物遗传育种。E-mail: houzehao1994@126.com

通信作者:方正武, 男, 博士, 副教授, 研究方向为植物种质材料创新与利用。E-mail: fangzhengwu88@163.com

的花青素。长江大学小麦与荞麦种质创新课题组(以下称本课题组)在前期的研究中,从中国贵州毕节地区收集到一份甜荞农家品种(命名为‘HHTQ’)^[16],其子叶、叶片、叶柄和花序在田间生长发育时均表现为深红色(图 1-A),是一份特有的农家红花荞麦品种。

为了明确‘HHTQ’中活性物质的分布和抗氧化特性,本试验采用高效液相色谱法对该材料的子叶、叶片、叶柄及花序的花青素质量分数进行测定,同时利用分光光度法测定其总酚和总黄酮质量分数,并分析 FRAP 抗氧化能力, DPPH·清除能力和 ABTS⁺·清除能力,为进一步开发利用‘HHTQ’荞麦资源提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

供试红花甜荞品种是本课题组于 2009 年从贵州毕节地区(105°36'E, 26°21'N)征集所得,经 8 a 选育,现命名为‘HHTQ’,并于长江大学农学院实验基地(112°15'E, 30°36'N)进行繁育。于 2018 年 9 月播种,待种子发芽出土,子叶完成展开后,对生长健壮且无病虫害的植株进行子叶取样;待植株生长 50 d 左右至盛花期,对叶柄、叶片和花序进行取样,各样品利用真空冷冻干燥机冷冻干燥后研磨成冻干粉, -20 °C 保存,备用。

1.2 仪器与试剂

UV-8000 型紫外可见分光光度计(上海元析仪器有限公司);Agilent1260 高效液相色谱仪—Agilent 1260 series VWD 检测器(美国 Agilent 公司);EYELA N-1200B 旋转蒸发仪(东京理化器械株式会社);真空冷冻干燥机(上海博医康实验仪器有限公司);5810R 高速冷冻离心机(德国 Eppendorf 公司)。

奎诺二甲基丙烯酸酯(Trolox)、没食子酸(Gallic acid)、芦丁(Rutin)、Folin 酚试剂均购自美国 Sigma 公司;矢车菊素-3-O-葡萄糖苷和矢车菊素-3-O-芸香糖苷购自北京索莱宝科技有限公司;色谱纯甲醇、甲酸均购自上海麦克林生化科技有限公司;其他试剂为国产分析纯。

1.3 试验方法

1.3.1 花青素的提取及高效液相色谱分析 花青素的提取参考 Chu 等^[17]的方法略加改动,准确称取 100 mg 冻干样品,置于 15 mL 离心管中,加入 5 mL 含 $\varphi=1\%$ HCl 的甲醇提取液,于 4 °C 下

避光震荡 24 h。样品经 4 °C, 4 500 g 离心 10 min 后,取 500 μ L 上清液于新的 1.5 mL 离心管中,加入 500 μ L 去离子水和 300 μ L 氯仿,充分混匀去除叶绿素,4 °C 13 500 g 离心 15 min,转移上清液于新的 1.5 mL 离心管中,经 0.22 μ m 滤膜(索来宝,北京)过滤后, -20 °C 保存,备用,每个样品做 3 个生物学重复。

采用 Agilent1260 高效液相色谱仪对花青素提取液进行定量分析。色谱条件为:色谱柱 Inertsil ODS-3(250 mm \times 4.6 mm, 5 μ m) C18 色谱柱(岛津,日本),进样量 20 μ L,流速 1 mL/min,检测波长 520 nm,柱温 25 °C,流动相甲醇(A)—5%乙酸水溶液(B),梯度洗脱 0~2 min, 10% A; 2~6 min, 10%~20% A; 6~10 min, 20%~30% A; 10~15 min, 30%~35% A; 15~20 min, 35%~50% A; 20~24 min, 50%~90% A; 24~29 min, 90%~10% A; 29~30 min, 10% A。以标准品矢车菊素-3-O-葡萄糖苷($y=21.513x-2.1431, R^2=0.9988$, 测定范围: 5~50 μ g/mL)和矢车菊素-3-O-芸香糖苷($y=34.401x-29.958, R^2=0.9983$, 测定范围: 5~75 μ g/mL)建立标准曲线进行定量测定,其中 y 为峰面积, x 为标准品质量浓度(μ g/mL),最终结果以每 1 g 样品干质量中所含花青素(mg/g)表示。

1.3.2 荞麦各组织游离酚物质的提取 参照 Min 等^[7]的方法并稍有改进,准确称取 100 mg 样品冻干粉,置于 10 mL 离心管中,加入 8 mL 正己烷,上下颠倒混匀后静置 10 min, 4 °C, 4 500 g 离心 10 min,弃上清,重复 3 次。向沉淀中加入 8 mL 含 $\varphi=1\%$ HCl 的甲醇提取液,每 10 min 上下颠倒 1 次,30 min 后 4 °C 4 500 g 离心 10 min,收集上清液,重复 3 次,合并上清液,37 °C 旋转蒸发浓缩,用含 $\varphi=1\%$ HCl 的甲醇提取液复溶并定容至 15 mL,每个样品做 3 个生物学重复。

1.3.3 总酚和总黄酮质量分数的测定 采用 Folin 酚法^[18]测定样品中的总酚质量分数,总酚质量分数以干基每 1 g 样品干质量中所含没食子酸量(mg/g)表示;采用亚硝酸钠-硝酸铝-氢氧化钠法^[19]测定总黄酮质量分数,总黄酮质量分数以干基每 1 g 样品中所含芦丁量(mg/g)表示。

1.3.4 FRAP 抗氧化能力、DPPH·和 ABTS⁺·清除能力测定 参考 Benzie 和 Strain 的方法^[20]测定游离酚提取液的 FRAP 抗氧化能力,以奎诺二甲基丙烯酸酯(Trolox)作为标准品

绘制标准曲线,得回归方程 $y = 0.0053x - 0.0807$ ($R^2 = 0.9983$),其中 y 为吸光度, x 为 Trolox 质量浓度($\mu\text{g/mL}$)。结果以干基每 1 g 样品中的质量分数(mg/g)表示。

参考 Chen 和 Ho 的方法^[21]测定游离酚提取液的 DPPH·清除能力,以 Trolox 当量为标准品绘制标准曲线,得回归方程 $y = -0.0027x + 0.5129$ ($R^2 = 0.9951$),其中 y 为吸光度, x 为 Trolox 质量浓度($\mu\text{g/mL}$)。结果以干基每 1 g 样品中的质量分数(mg/g)表示。

参考 Re 等^[22]的方法测定游离酚提取液的 ABTS⁺·清除能力,以 Trolox 当量为标准品绘制标准曲线,得回归方程 $y = -0.003x + 0.8008$ ($R^2 = 0.9974$),其中 y 为吸光度, x 为 Trolox 质量浓度($\mu\text{g/mL}$)。结果以干基每 1 g 样品中的质量分数(mg/g)表示。

1.4 数理统计

利用 Excel 2013 和 SPSS 19.0 软件进行数

据统计和分析,数据以平均值 \pm 标准差 (Means \pm SD)表示,采用单因素方差分析,不同组织间比较采用 Duncan's 法,显著水平为 0.05,利用 Origin 2017 进行绘图。

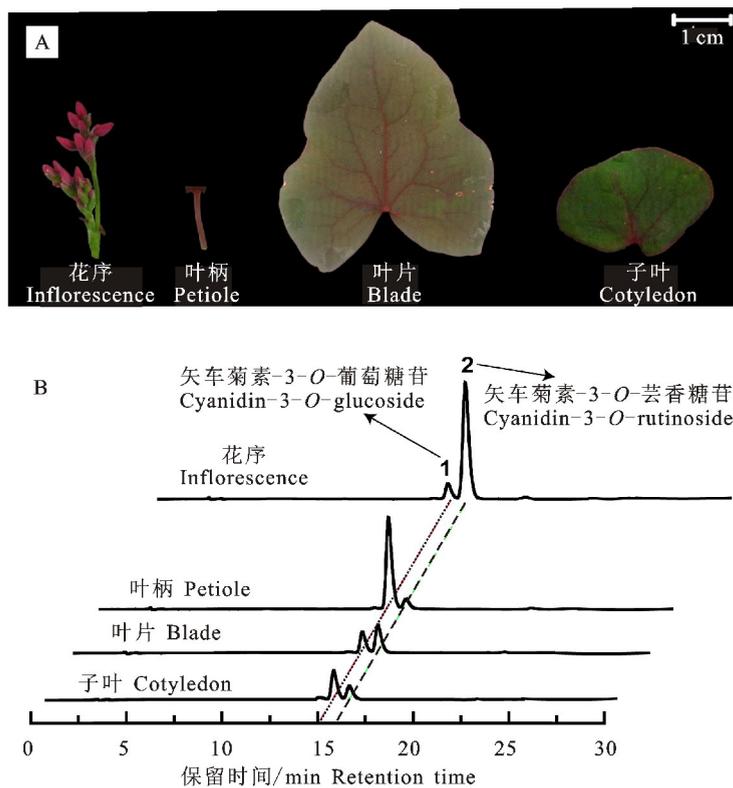
2 结果与分析

2.1 红花甜荞‘HHTQ’的表型性状

由图 1-A 可以看出,‘HHTQ’荞麦材料表现出鲜艳的色彩,其叶片边缘、叶脉以及叶柄呈紫红色。同时在整个花期,其花序均呈现出鲜艳的红色,可能富含花青素,具有一定的观赏价值和潜在应用价值。

2.2 红花甜荞‘HHTQ’不同部位的花青素质量分数

利用 HPLC 对红花甜荞‘HHTQ’不同部位花青素提取液进行定量测定(图 1-B 和表 1),发现 4 个部位的花青素积累差异较大。花序和叶柄中积累的花青素质量分数最高,显著高于叶片和子叶($P < 0.05$)。花序和叶柄积累的花青素总质



A. 红花甜荞‘HHTQ’不同部位的表型性状 Phenotypes of the four plant parts of the red-flowers buckwheat variety of ‘HHTQ’;
B. 花序、叶柄、叶片和子叶花青素提取液的高效液相色谱分析 HPLC profiles of anthocyanins extracted from the cotyledons, blades, petioles and inflorescences of the red-flowers buckwheat variety of ‘HHTQ’

图 1 红花甜荞‘HHTQ’不同部位的花青素成分分析

Fig. 1 Anthocyanin composition analysis of different parts of red-flowers buckwheat variety ‘HHTQ’

表 1 红花甜荞‘HHTQ’不同部位的花青素质量分数

部位 Plant part	矢车菊素-3-O-葡萄糖苷 Cyanidin-3-O-glucoside	矢车菊素-3-O-芸香糖苷 Cyanidin-3-O-rutinoside	总质量分数 Total mass fraction
花序 Inflorescence	0.53 ± 0.02 a	2.90 ± 0.09 a	3.43 ± 0.09 a
叶柄 Petiole	3.02 ± 0.13 b	0.26 ± 0.01 b	3.28 ± 0.15 a
叶片 Blade	0.73 ± 0.00 c	0.71 ± 0.02 c	1.44 ± 0.03 b
子叶 Cotyledon	0.96 ± 0.03 d	0.36 ± 0.01 d	1.32 ± 0.03 b

注:同列中不同小写字母表示组织间差异达显著水平($P < 0.05$),下同。

Note: In the same columns, the different lowercase letters means significant difference ($P < 0.05$), the same below.

量分数无显著差异,分别为 3.43 mg/g 和 3.28 mg/g,但具有不同的花青素单体积累模式,花序中以积累矢车菊素-3-O-芸香糖苷为主,质量分数达 2.90 mg/g,占总质量分数的 84.55%;而叶柄中则积累大量的矢车菊素-3-O-葡萄糖苷,其质量分数达 3.02 mg/g,占花青素总质量分数的 92.07%。子叶的花青素积累模式与叶柄相似,以矢车菊素-3-O-葡萄糖苷为主(0.96 mg/g,占总质量分数的 72.73%),而叶片则表现为等量积累。

2.3 红花甜荞‘HHTQ’不同部位总酚和总黄酮质量分数

由表 2 可知,红花甜荞‘HHTQ’总酚和总黄酮在 4 个不同部位中的积累量存在显著差异($P < 0.05$),且总酚和总黄酮的积累模式在 4 个部位具有一致性,以花序中最高(总酚质量分数为 225.47 mg/g,总黄酮质量分数为 128.96 mg/g),叶柄中最低(总酚质量分数为 26.59 mg/g,总黄酮质量分数为 16.28 mg/g)。4 个部位的总酚和总黄酮质量分数大小顺序均为:花序 > 叶片 > 子叶 > 叶柄。

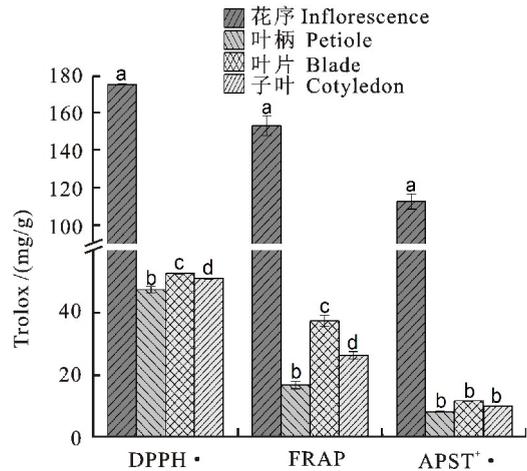
2.4 红花甜荞‘HHTQ’不同部位抗氧化能力

‘HHTQ’荞麦 4 个不同部位的抗氧化能力如图 2 所示。4 个不同部位的 DPPH·清除能力的变幅为 47.52 ~ 174.51 mg/g。各部位的 DPPH·清除能力差异较大,以花序的清除能力最强,为 174.51 mg/g;其清除能力大小顺序为:花序 > 叶片 > 子叶 > 叶柄。FRAP 抗氧化能力与 DPPH·清除能力趋势一致,以花序最高,为 152.55 mg/g;叶片次之,为 37.56 mg/g;以叶柄最低,为 17.16 mg/g。在 ABTS⁺·清除能力方面,花序的抗氧化能力显著高于其他部位($P < 0.05$),为 112.31 mg/g;叶柄,叶片和子叶的 ABTS⁺·清除能力无差异,ABTS⁺·清除能力变幅为 8.63 ~ 12.05 mg/g。

表 2 红花甜荞‘HHTQ’不同部位总酚和总黄酮质量分数

Table 2 Total phenols and total flavonoids in different parts of red-flower buckwheat variety of ‘HHTQ’ mg/g

部位 Plant part	总酚 Total phenolic	总黄酮 Total flavonoid
花序 Inflorescence	225.47 ± 5.79 a	128.96 ± 3.94 a
叶柄 Petiole	26.59 ± 1.79 b	16.28 ± 1.20 b
叶片 Blade	60.87 ± 0.74 c	44.39 ± 0.25 c
子叶 Cotyledon	51.03 ± 2.83 d	30.84 ± 0.50 d



不同字母表示差异显著($P < 0.05$) Different letters mean significantly differences($P < 0.05$).

图 2 红花甜荞‘HHTQ’不同部位抗氧化能力

Fig. 2 Antioxidant abilities of different parts of red-flower buckwheat variety of ‘HHTQ’

2.5 红花甜荞‘HHTQ’多酚类物质质量分数与抗氧化能力的相关性分析

总酚、总黄酮和总花青素与抗氧化能力的相关系数如表 3 所示。总酚和总黄酮质量分数与 DPPH·清除能力、FRAP 抗氧化能力以及 ABTS⁺·清除能力的相关性较大,相关系数在 0.980 以上。与总酚与总黄酮质量分数相比,总花青素与 3 个抗氧化能力指标的相关系数较低,

分别为 0.594(DPPH·清除能力)、0.530(FRAP 抗氧化能力)和 0.601(ABTS⁺·清除能力)。这

些结果表明花青素作为一类酚类化合物,在植物抗氧化能力上发挥了一定的作用。

表 3 总酚、总黄酮和总花青素质量分数与抗氧化能力的相关系数

Table 3 Correlation coefficients of total phenols, total flavonoids and total anthocyanins with the antioxidant capacities

项目 Item	总酚 Total phenolic	总黄酮 Total flavonoid	总花青素 Totalanthocyanin
DPPH·清除能力 DPPH free radical scavenging capacity	0.992	0.981	0.594
FRAP 抗氧化能力 FRAP antioxidant capacity	0.999	0.995	0.530
ABTS ⁺ ·清除能力 ABTS ⁺ free radical scavenging activity	0.991	0.980	0.601

3 讨论

3.1 荞麦中花青素的积累

前人的研究发现红花甜荞‘Gan-Chao’花瓣中的花青素质量分数随发育时期的变化而增加^[14-15],最高可达 0.19 mg/g,但其叶片中仅含有微量的花青素^[15]。本研究利用 HPLC 对红花甜荞‘HHTQ’的花青素质量分数进行测定,发现该甜荞品种在子叶、叶片、叶柄和花序中均积累了大量的花青素,花序中积累的花青素总质量分数达到 3.43 mg/g,子叶和叶片中的花青素总质量分数分别达到 1.32 mg/g 和 1.44 mg/g,显著高于‘Gan-Chao’。Kim 等^[15]利用荧光定量 PCR 技术分析发现与花青素合成相关的结构基因(如 *FePAL*、*FeCHS*、*FeDFR* 和 *FeANS* 等)在红花甜荞‘Gan-Chao’中表现出较高的表达量。周天山等^[23]的研究发现紫芽茶树中富含花青素,与绿芽茶树相比,紫色芽叶片的花青素相关基因(如 *CsDFR*、*CsANS* 和 *CsF3'H* 等)呈上调趋势,而本课题在前期对红花品种‘HHTQ’的转录组测序分析中同样发现,‘HHTQ’的子叶和花序中与花青素合成相关的结构基因(如 *FeCHS*、*FeF3'H* 和 *FeDFR*)表现出较高的表达量^[16],但其内在分子机理仍待研究,进一步探索花青素的积累机制对于培育和应用富含花青素的荞麦品种具有潜在价值。

3.2 荞麦中的总酚和总黄酮质量分数

多酚是广泛存在于植物组织中的一类具有生物活性的次级代谢产物^[24],黄酮类物质(如芦丁、表儿茶素等)是荞麦多酚类物质的重要组成部分^[25],因具有抗癌和抗氧化等多种作用而被广泛应用于抗癌以及预防冠心病等心脑血管疾病的药物当中^[26]。由于荞麦中富含多种维生素,必需氨基酸和多酚等功能活性物质,因此荞麦作为一种营养保健的粗粮而深受喜爱^[27]。本次研究对荞麦不

同部位的总酚质量分数进行测定,发现 4 个不同部位的总酚质量分数存在显著差异($P < 0.05$),以花序中的总酚质量分数最高,为 225.47 mg/g,且其总黄酮积累模式与总酚一致,以花序最高,为 128.96 mg/g。总酚和总黄酮质量分数高低顺序均为:花序 > 叶片 > 子叶 > 叶柄。这一研究结果与 Zielinska 等^[28]的研究发现荞麦不同部位的总黄酮化合物积累量差异较大(花朵 > 叶片 > 茎)的结果相似。

3.3 荞麦多酚类物质的抗氧化能力

前人的研究结果表明,荞麦籽粒的抗氧化能力与总黄酮/芦丁的含量成正相关,黄酮类物质的积累量越高,其抗氧化能力最强^[28-29]。本研究发现荞麦 4 个不同部位的抗氧化能力存在显著差异,以花序最高,叶柄最低,且总酚和总黄酮质量分数与 DPPH·清除能力、FRAP 抗氧化能力以及 ABTS⁺·清除能力的相关系数均在 0.98 以上,但花青素质量分数与抗氧化能力的相关系数仅为 0.530~0.601。前人在紫薯的研究中发现,不能单独利用花青素质量分数解释抗氧化能力的强弱,而是由多种生物活性物质(如酚类化合物、维生素 C 和胡萝卜素等)综合决定^[30-32],在本次研究中,发现叶柄中虽积累大量的花青素,但其总酚和总黄酮的质量分数最低,从而导致其抗氧化能力显著低于含有较高总酚和总黄酮质量分数的叶片和子叶。因此,全面准确地分析荞麦不同部位抗氧化能力对指导其开发利用具有重要价值。

4 结论

该红花甜荞品种‘HHTQ’具有鲜红的表型性状,且其花序、叶柄、叶片和子叶中花青素、总酚、总黄酮质量分数及其体外抗氧化能力差异较大,该品种的花青素类型以矢车菊素-3-O-葡萄糖苷和矢车菊素-3-O-芸香糖苷 2 种为主,且花青素单体的积累具有组织特异性,花序中矢车菊素-3-

O-芸香糖苷质量分数、总酚和总黄酮质量分数显著高于其他部位,同时抗氧化能力最强。叶片和子叶中均积累了一定量的多酚类物质,具有较强的抗氧化能力。鉴于该品种具有丰富的酚类物质和较强的抗氧化活性,可以将其作为荞麦茶新产品和天然抗氧化剂资源进行开发利用。

参考文献 Reference:

- [1] 唐宇,邵继荣,周美亮. 中国荞麦属植物分类学的修订[J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(3): 646-653.
TANG Y, SHAO J R, ZHOU M L. A taxonomic revision of *Fagopyrum* Mill from China[J/OL]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(3): 646-653.
- [2] 杨红叶,杨联芝,柴岩,等. 甜荞和苦荞籽中多酚存在形式与抗氧化活性的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(5): 90-94, 97.
YANG H Y, YANG L ZH, CHAI Y, et al. Comparison of antioxidant activity and the content of free and bound phenolics in common buckwheat and tartary buckwheat particles[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2011, 32(5): 90-94, 97.
- [3] 任顺成,孙军涛. 荞麦粉、皮、壳及芽中黄酮类含量分析研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(6): 210-214.
REN SH CH, SUN J T. Analysis of flavonoid contents in buckwheat flour, bran, hull and sprout[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2008, 23(6): 210-214.
- [4] 李敏. 不同花青素提取物的组成、稳定性及抗氧化性比较研究[D]. 南京:南京财经大学, 2013.
LI M. Study on componet analysis, stability and oxidation resistance of different anthocyanins[D]. Nanjing: Nanjing University of Finance and Economics, 2013.
- [5] 李青,张名位,张瑞芬,等. 5种水稻品种谷壳中游离态和结合态酚类物质含量及其抗氧化活性比较[J]. 中国农业科学, 2012, 45(6): 1150-1158.
LI Q, ZHANG M W, ZHANG R F, et al. Free and bound phenolic contents and antioxidant activity of five varieties of indica rice husk[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(6): 1150-1158.
- [6] JIMENEZ P, CABRORO P, BASTERRECHEA J E, et al. Effects of short-term heating on total polyphenols, anthocyanins, antioxidant activity and lectins of different parts of dwarf elder (*Sambucus ebulus* L.) [J]. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2014, 69(2): 168-174.
- [7] MIN B, GU L, MCCLUNG AM, et al. Free and bound total phenolic concentrations, antioxidant capacities, and profiles of proanthocyanidins and anthocyanins in whole grain rice (*Oryza sativa* L.) of different bran colours [J]. *Food Chemistry*, 2012, 133(3): 715-722.
- [8] DZIADEK K, KOPEĆ A, PIÁTKOWSKA E, et al. Identification of polyphenolic compounds and determination of antioxidant activity in extracts and infusions of buckwheat leaves[J]. *European Food Research and Technology*, 2017, 244(2): 333-343.
- [9] ZHANG Y, XU S, CHENG Y, et al. Transcriptome profiling of anthocyanin-related genes reveals effects of light intensity on anthocyanin biosynthesis in red leaf lettuce[J]. *PeerJ*, 2018, 6: e4607.
- [10] 侯泽豪,王书平,魏淑东,等. 植物花青素生物合成与调控的研究进展[J]. 广西植物, 2017, 37(12): 1603-1613.
HOU Z H, WANG SH P, WEI SH D, et al. Anthocyanin biosynthesis and regulation in plants[J]. *Guihaia*, 2017, 37(12): 1603-1613.
- [11] 吕婉婉,赵明,秦慧存,等. 白及花花青素测定与体外抗氧化活性研究[J]. 基因组学与应用生物学, 2017, 36(12): 5269-5276.
LÜ W W, ZHAO M, QIN H C, et al. Study on determination of anthocyanin from *Bletilla striata* flower and antioxidant activity *in vitro* [J]. *Genomics and Applied Biology*, 2017, 36(12): 5269-5276.
- [12] HE J, GIUSTI M M. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties[J]. *Annual Review of Food Science and Technology*, 2010, 1: 163-187.
- [13] CHIU L W, ZHOU X, BURKE S, et al. The purple cauliflower arises from activation of a MYB transcription factor [J]. *Plant Physiology*, 2010, 154(3): 1470-1480.
- [14] SUZUKI T, KIM S J, MOHAMED Z I S, et al. Structural identification of anthocyanins and analysis of concentrations during growth and flowering in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) petals [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2007, 55(23): 9571-9575.
- [15] KIM Y B, PARK S Y, THWE A A, et al. Metabolomic analysis and differential expression of anthocyanin biosynthetic genes in white and red-flowered buckwheat cultivars (*Fagopyrum esculentum*) [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(44): 10525-10533.
- [16] FANG Z, HOU Z, WANG S, et al. Transcriptome analysis reveals the accumulation mechanism of anthocyanins in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) cotyledons and flowers [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019, 20(6): 1493.
- [17] CHU H, JEONG J C, KIM W J, et al. Expression of the sweetpotato R2R3-type 1bMYB1a gene induces anthocyanin accumulation in *Arabidopsis* [J]. *Physiologia Plantarum*, 2013, 148(2): 189-199.
- [18] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA-RAVENTÓ S RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent [J]. *Methods in Enzymology*, 1999, 299: 152-178.
- [19] ZHISHEN J, MENGCHENG T, JIANMING W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals [J]. *Food Chem-*

- istry, 1999; 64(4): 555-559.
- [20] BENZIE IFF, STRAIN JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": The FRAP assay [J]. *Analytical Biochemistry*, 1996, 239(1): 70-76.
- [21] CHEN C W, HO C T. Antioxidant properties of polyphenols extracted from green and black teas [J]. *Journal of Food Lipids*, 1995, 2(1): 35-46.
- [22] RE R, PELLEGRINI N, PROTEGGENTE N, *et al.* Antioxidant activity applying an improvement ABTS radical cation decolorization assay [J]. *Free Radical Biology and Medicine*, 1999, 26(9): 1231-1237.
- [23] 周天山, 王新超, 余有本, 等. 紫芽茶树类黄酮生物合成关键酶基因表达与总儿茶素、花青素含量相关性分析 [J]. *作物学报*, 2016, 42(4): 525-531.
- ZHOU T SH, WANG X CH, YU Y B, *et al.* Correlation analysis between total catechins (or anthocyanins) and expression levels of genes involved in flavonoids biosynthesis in tea plant with purple leaf [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42(2): 525-531.
- [24] 关海宁, 刁小琴, 乔秀丽, 等. 提取方式对玉米须总多酚抗氧化活性的影响研究 [J]. *食品工业*, 2018, 39(8): 25-29.
- GUAN H N, DIAO X Q, QIAO X L, *et al.* Research of influence of extraction method on antioxidant activity of polyphenols from corn silk [J]. *The Food Industry*, 2018, 39(8): 25-29.
- [25] KALINOVÁ J P, VRCHOTOVÁN, TRÍSKA J. Phenolics levels in different parts of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) achenes [J]. *Journal of Cereal Science*, 2019, 85: 243-248.
- [26] LEE J H, PARK K H, LEE M H, *et al.* Identification, characterisation, and quantification of phenolic compounds in the antioxidant activity-containing fraction from the seeds of Korean perilla (*Perilla frutescens*) cultivars [J]. *Food Chemistry*, 2013, 136(2): 843-852.
- [27] WATANABE M. Catechins as antioxidants from buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) groats [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, 46(3): 839-845.
- [28] ZIELINSKA D, TUREMKO M, KWIATKOWSKI J, *et al.* Evaluation of flavonoid contents and antioxidant capacity of the aerial parts of common and tartary buckwheat plants [J]. *Molecules*, 2012, 17(8): 9668-9682.
- [29] JIANG P, BURCZYNSKI F, CAMPBELL C, *et al.* Rutin and flavonoid contents in three buckwheat species *Fagopyrum esculentum*, *F. tataricum* and *F. homotropicum* and their protective effects against lipid peroxidation [J]. *Food Research International*, 2007, 40(3): 356-364.
- [30] OKI T, MASUDA M, IURUTA S, *et al.* Involvement of anthocyanins and other phenolic compounds in radical-scavenging activity of purple-fleshed sweet potato cultivars [J]. *Journal of Food Science*, 2002, 67(5): 1752-1756.
- [31] PHILPOTT M, GOULD KS, MARKHAM KR, *et al.* Enhanced coloration reveals high antioxidant potential in new sweetpotato cultivars [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2003, 83(10): 1076-1082.
- [32] EL FAR MMME, TAIE HAA. Antioxidant activities, total anthocyanins, phenolics and flavonoids contents of some sweetpotato genotypes under stress of different concentrations of sucrose and sorbitol [J]. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2009, 3(4): 3609-3616.

Antioxidant Activities of Different Plant Parts of A Special Cultivar of Red-flower Buckwheat

HOU Zehao¹, SUN Kunkun¹, WEI Shudong², WANG Shuping¹,
ZHANG Yingxin¹, YIN Junliang¹, LIU Zhixiong³ and FANG Zhengwu¹

(1. Hubei Collaborative Innovation Center for Grain Industry/College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou Hubei 434025, China; 2. College of Life Science, Yangtze University, Jingzhou Hubei 434025, China; 3. College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou Hubei 434025, China)

Abstract The method of high performance liquid chromatography (HPLC) was used to measure the anthocyanin mass fractions of cotyledons, blades, petioles and inflorescences in a special anthocyanin-enriched common buckwheat cultivars, meanwhile, spectrophotometry was used to measure the total phenols (TPs) and total flavonoids (TFs). Difference of its antioxidant activity were evaluated in terms of ferric reducing ability of plasma (FRAP), DPPH free radical scavenging capacity and ABTS⁺ free radical scavenging activity. The results showed that the total anthocyanin mass fractions, TPs and TFs in these four different plants parts ranged from 1.32 to 3.43 mg/g, 26.59 to 225.47 mg/g and 16.28 to 128.96 mg/g, respectively. Cyanidin-3-*O*-rutinoside and cyaniding-3-*O*-glucoside were the major anthocyanins in the inflorescences and petioles, Cyanidin-3-*O*-rutinoside dominated in the inflorescences; and these two monomeric forms accumulated in equal amounts in the cotyledons. The TPs, TFs and antioxidant activities significantly differed among the four different plant parts. the TPs, TFs and antioxidant activities were ranked in the order of inflorescence > blade > cotyledon > petiole. The anthocyanin-enriched common buckwheat cultivar had vivid phenotypic traits, and was rich in phenolics with high antioxidant activities. These results indicated that this new anthocyanin-enriched buckwheat cultivar was of high-potential ornamental and healthcare values, it had potential valuable source of natural antioxidants.

Key words Common buckwheat; Anthocyanin; Phenolics; Flavonoid; Antioxidant activity

Received 2019-03-05 **Returned** 2019-03-12

Foundation item The National Natural Science Foundation of China (No. 31671755, No. 31571736).

First author HOU Zehao, master student. Research area: crop genetics and breeding. E-mail: houze-hao1994@126.com

Corresponding author FANG Zhengwu, Ph. D, associate professor. Research area: innovation and utilization of plant germplasm. E-mail: fangzhengwu88@163.com

(责任编辑: 史亚歌 **Responsible editor: SHI Yage**)