

2 种紫薯化学抗氧化能力比较

孙海燕^{1,2,3,4*}

1(陕西理工大学 陕西省资源生物重点实验室,陕西 汉中,723000)

2(陕西理工大学 生物科学与工程学院,陕西 汉中,723000)

3(国家农产品保鲜工程技术研究中心秦巴地区保鲜工作站,陕西 汉中,723000)

4(陕南秦巴山区生物资源综合开发协同创新中心,陕西 汉中,723000)

摘要 以紫罗兰和秦紫一号 2 种紫薯为研究对象,对其基本理化指标、酚类物质含量及抗氧化能力进行了比较和相关性研究。结果表明:紫薯含有较为丰富的粗灰分、总糖和蛋白质,含量最高分别达 (4.47 ± 0.16) 、 (19.08 ± 0.72) 、 (16.69 ± 0.05) g/100 g;主要酚类物质类黄酮最高含量可达 (7.38 ± 0.21) mg/g;单体酚种类最高达 10 种,其中儿茶素的含量最高为 4.54 mg/L。2 种紫薯均具有较强的抗氧化能力,且紫薯中的各酚类物质均与不同的抗氧化方法有显著的相关性,其中总酚与 6 个抗氧化指标均极显著相关。

关键词 紫薯;酚类物质;抗氧化能力

紫薯营养物质含量丰富,富含蛋白质、淀粉、氨基酸、膳食纤维、维生素及 Cu、Mn、K、Zn 和 Se 等矿物质^[1]。多项研究表明,紫薯花青素含量丰富,功能价值较高。罗春丽等^[2]的研究表明,紫薯花青素具有良好的体外抗氧化能力和经过氧化氢诱导损伤 HepG2 细胞的保护作用。张慢等^[3]通过对高血脂大鼠的实验发现,紫薯花青素有显著的降低血脂和抗氧化作用。LI 等^[4]报道,紫薯中花青素比红甘蓝、葡萄皮、接骨木和紫玉米中的花青素有更好的自由基清除活性。WANG 等^[5]也证实了紫薯花青素可作为天然食品着色剂和抗氧化剂。其他研究也表明,紫薯花青素具有强抗氧化活性^[6]。此外,在美国允许从水果和蔬菜中提取的花青素作为食品着色剂,大多数国家(如美国、中国、欧共体国家、日本等)允许其用于食品的着色^[7],欧盟将其列为天然食品着色剂。

紫薯在我国种植广泛,产量丰富,价格低廉,其营养价值和功能价值均较高,已成为近几年的研究热点。但目前对于紫薯酚类物质的研究主要集中在花青素范围,而对其他酚类物质的研究较少。因此,本文选取了杨凌地区的紫罗兰、秦紫一号 2 种紫薯为研究材料,对其基础理化成分、酚类物质含量及抗氧化活性进行研究。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

紫罗兰和秦紫一号:产地陕西杨凌,由陕西甘薯产业联盟提供;体积分数 95% 乙醇、甲醇、甲基纤维素、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、对二甲氨基肉桂醛(P-DMACA)、菲咯啉等,均为分析纯,购自天津科密欧化学试剂有限公司;乙腈(色谱级),购自天津市津东天正精细化学试剂厂;考马斯亮蓝、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DP-PH)、福林酚,北京索莱宝科技有限公司;总抗氧化能力试剂盒、抗超氧阴离子自由基试剂盒、过氧化氢试剂盒、羟自由基试剂盒,均购自南京建成科技有限公司;牛血清蛋白、葡萄糖,中国食品药品检定研究院;香草酸(vanillic acid)、阿魏酸(ferulic acid)、水杨酸(salicylic acid),美国 Fluka 公司;安息香酸(3,4-dihydroxybenzoic acid)、反式白藜芦醇(trans-resveratrol),美国 Alorich 公司;绿原酸(chlorogenic acid)、香豆素(coumarin)、桑色素(morin)、芦丁(rutin)、咖啡酸(caffeic acid)、香豆酸(p-coumaric acid)、儿茶素(catechin)、没食子酸(gallic acid)、表儿茶素(-epicatechin)、槲皮素(quercetin)、桔皮素(tangeretin)、山奈酚(kaempferol)、丁香酸(syringic acid),购自美国 Sigma 公司,以上均为标准品。

1.2 仪器与设备

台式高速冷冻离心机(H1850R 型),湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;紫外-可见分光光度计(UV-2250 型),苏州岛津仪器有限公司;超声波清洗机

第一作者:硕士,讲师(本文通讯作者,E-mail:diyson2008@163.com)。

基金项目:陕西省访问学者项目(No. 14JS019)

收稿日期:2016-06-12,改回日期:2016-09-22

(SB-5200 DTD 型), 宁波新芝生物科技股份有限公司; 旋转蒸发器 (RE-52AA 型), 上海亚荣生化仪器厂; 电子水分测定仪 (ESH105 型), 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; 脂肪测定仪 (SZF-06A), 上海嘉定粮油仪器有限公司; 超高效液相色谱仪 (waters UPLC I—Class)、Empower 色谱工作站、二极管阵列检测器、自动进样器, Waters 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 理化指标测定方法

水分测定使用水分测定仪测定; 灰分测定根据 GB 5009.4—2010^[8], 采用干法灰化测定; 蛋白质测定采用考马斯亮蓝显色法, 蛋白质的提取参考沈莲清等人^[9]的方法; 脂肪测定根据 GB/T14772—2008^[10], 采用索氏抽提法测定; 总糖测定参照彭科怀^[11]的方法, 使用反滴定法测定。

1.3.2 酚类物质测定方法

1.3.2.1 紫薯中酚类物质提取方法

将鲜活紫薯洗净后, 去除伤疤等杂质, 避光条件下快速切碎, 液氮冷冻粉碎成粉末, 在冻干机中冻干 20 h, 冻干后取出装于自封袋中, 存放于 -80 ℃ 冰箱中。

提取时称取 1 g 干粉于 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 体积分数为 0.1% HCl 乙醇溶液, 料液比 1:10 (g:mL), 于水温 30 ℃, 40 kW 超声提取器中提取 30 min, 然后在 4 ℃ 下 10 000 r/min 下离心 10 min, 收集上清液于离心管中, 重复以上步骤 3 次, 合并 3 次所收集的上清液, 经旋转蒸发仪 (<40 ℃) 蒸馏浓缩至体积 ≤5%, 用甲醇定容至 5 mL, 所制得样液存储于 4 ℃ 冰箱以备后续分析。

1.3.2.2 总酚测定方法

采用福林-消卡法^[12-13], 每个样品重复 3 次。结果以没食子酸计, 标准曲线公式为 $Y = 10.597X + 0.0167$, $R^2 = 0.9993$, 其中, Y 为吸光度, X 为没食子酸标准溶液浓度 (mg/mL)。

1.3.2.3 单宁测定方法

采用甲基纤维素沉淀法^[14], 每个样品重复 3 次。结果以儿茶素计, 标准曲线公式为 $Y = 0.0765X - 0.0019$, $R^2 = 0.9983$, 其中, Y 为吸光度, X 为儿茶素标准溶液浓度 (mg/mL)。

1.3.2.4 总花色苷测定方法

采用 pH 示差法^[15]。总花色苷的含量按公式 1 和 2 计算:

$$A = (A_{520} - A_{700})pH_{1.0} - (A_{520} - A_{700})pH_{4.5} \quad (1)$$

$$W = (A \times M_w \times DF \times 1000) / (\varepsilon \times 1) \quad (2)$$

式中: W 为紫薯中花色苷的含量, 单位 mg/L; M_w 为二甲花翠素葡萄糖苷分子质量, 493.5; D_F 为稀释倍数 (0.2 mL 稀释到 5 mL, 稀释 25 倍); ε 为二甲花翠素葡萄糖苷的消光系数, 28 000。

1.3.2.5 总类黄酮测定方法

采用 $NaNO_2 - AlCl_3$ 亚硝酸钠-氯化铝法, 每个样品重复 3 次。结果以芦丁等价表示, 标准曲线公式为 $Y = 0.09X + 0.0012$, $R^2 = 0.9979$, 其中, Y 为吸光度, X 为芦丁标准溶液浓度 (mg/mL)。

1.3.2.6 黄烷醇含量测定方法

采用 P-DMACA 盐酸法^[16], 每个样品重复 3 次。结果以 (+)-儿茶素等价表示, 标准曲线公式为 $Y = 0.0898X + 0.0009$, $R^2 = 0.9949$, 其中, Y 为吸光度, X 为芦丁标准溶液浓度 (mg/mL)。

1.3.2.7 单体酚含量测定方法

色谱柱: Waters BEH C_{18} 反相色谱柱 (2.1 mm × 50 mm, 1.7 μm; 流速: 0.2 mL/min; 柱温: 30 ℃; 切换波长法, 检测波长: 210 nm ~ 400 nm; 流动相 V: A 为 V(水): V(乙酸) = 1:99, B 为乙腈; 梯度洗脱。检测时间 15 min, 进样量 0.5 μL。

梯度洗脱程序: 0 ~ 3 min, B 为 3% ~ 6%, 3 ~ 7 min, B 为 6% ~ 15%, 7 ~ 11 min, B 为 15% ~ 30%, 11 ~ 13 min, B 为 30%, 13 ~ 15 min, B 为 30% ~ 3%。

1.3.3 抗氧化活性测定方法

1.3.3.1 总抗氧化能力的测定

采用总抗氧化试剂盒法。在 37 ℃ 时, 每分钟每毫升紫薯多酚提取液使反应体系的吸光度值每增加 0.01 时, 为一个总抗氧化能力单位。总抗氧化能力计算公式如下:

$$\text{总抗氧化能力} / (U \cdot mL^{-1}) = \frac{A_s - A_0}{0.01 \times 30} \times \frac{\text{反应液总量}}{\text{取样量}} \times \text{稀释倍数} \quad (3)$$

式中: A_s 为样品测定值; A_0 为以蒸馏水代替样品时的空白测定值。其中, 紫罗兰的取样量为 0.1 mL, 稀释倍数为 2 倍; 秦紫一号的取样量为 0.1 mL, 稀释倍数为 1 倍。

1.3.3.2 DPPH 自由基清除能力测定方法

参考孟江飞的方法^[13,17], 略有修改。DPPH 自由基清除率的计算公式如下:

$$\text{清除率} / \% = \left[1 - \frac{A_s - A_0}{A} \right] \times 100 \quad (4)$$

式中: A_s 为样品测定值; A_0 为体积分数 95% 乙醇代替 DPPH 溶液时的测定值; A 为蒸馏水代替样品时

的空白测定值。

1.3.3.3 亚铁离子螯合能力测定方法

按照郑杰的方法^[18],略有改动。亚铁螯合能力计算公式如下:

$$\text{螯合率}/\% = \left[1 - \frac{A_s}{A} \right] \times 100 \quad (5)$$

式中: A_s 为样品测定值; A 为去离子水代替样品后的测定值。

1.3.3.4 过氧化氢含量测定方法

采用过氧化氢试剂盒法。过氧化氢含量 (mmol/L) 计算公式如下:

$$\text{过氧化氢含量} = \frac{A_s - A_0}{A - A_0} \times \text{标准品浓度} \times \text{稀释倍数} \quad (6)$$

式中: A_s 为样品测定值; A_0 为蒸馏水代替样品后的测定值; A 为标准品代替样品后的测定值。其中, 标准品浓度为 163 mmol/L, 紫罗兰与秦紫一号的稀释倍数均为 1 倍。

1.3.3.5 抗超氧阴离子自由基测定方法

采用抗超氧阴离子试剂盒法。在反应系统中, 每升紫薯多酚提取液在 37 ℃ 反应 40 min 所抑制的超氧阴离子自由基相当于 1 mg 的 V_c 所抑制的超氧阴离子自由基的变化值为一个活力单位。抗超氧阴离子能力 (U/L) 计算公式如下:

$$\text{抗超氧阴离子能力} = \frac{A_0 - A_s}{A_0 - A} \times \text{标准品浓度} \times 100 \times \text{稀释倍数} \quad (7)$$

式中: A_0 为蒸馏水代替样品后的测定值; A_s 为样品测定值; A 为标准品代替样品后的测定值; 标准品浓度为 0.15 mg/mL。其中, 紫罗兰的与秦紫一号的稀释倍数均为 2 倍。

1.3.3.6 抑制羟自由基能力测定方法

采用抑制羟自由基能力试剂盒法。规定每毫升紫薯多酚提取液在 37 ℃ 下反应 1 min, 使反应体系过氧化氢浓度降低 1 mmol/L 为一个抑制羟自由基能力单位。抑制羟自由基能力 (U/mL) 计算公式如下:

$$\text{抑制羟自由基能力} = \frac{A_1 - A_s}{A - A_0} \times \text{标准品浓度} \times \frac{1}{\text{取样量}} \times \text{稀释倍数} \quad (8)$$

式中: A_1 为标准品代替样品后的测定值; A_s 为样品测定值; A 为底物代替样品后的测定值; A_0 为蒸馏水代替样品后的测定值; 标准品的浓度为 8.824 mmol/L。其中, 紫罗兰的取样量为 0.2 mL, 稀释倍数为 5 倍; 秦紫一号的取样量为 0.2 mL, 稀释倍数为 1 倍。

1.4 数据处理

每个实验均重复进行 3 次, 相关数据的处理使用 Excel 和 SPSS 数据统计处理。

2 结果与分析

2.1 紫薯中理化指标测定结果

由下表 1 所知, 2 种紫薯中各项理化成分含量有显著差异, 紫罗兰的各项理化成分含量均高于秦紫一号, 2 种紫薯中灰分、总糖、蛋白质含量较为丰富。其中, 紫罗兰的蛋白质含量达到了 (16.69 ± 0.05) g/100 g, 秦紫一号蛋白质含量只有 (13.49 ± 0.19) g/100 g, 但也明显高于蔡自建等^[19]从甘薯中测定的蛋白质含量 2.3 g/100 g, 说明紫薯在薯类作物中的蛋白质含量较高。并且在这 2 种紫薯中, 灰分和总糖的含量最高达到了 (4.47 ± 0.16) g/100 g、(19.08 ± 0.72) g/100 g, 说明紫薯具有较高的营养价值。

表 1 两种紫薯中理化成分含量 (干粉)
Table 1 Nutrient content in two kinds of purple sweet potato

单位: g/100g

| 理化指标 | 测定的水分为 紫薯干粉所含水分值 | 灰分 | 脂肪 | 总糖 | 蛋白质 |
|------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 紫罗兰 | 17.85 ± 0.15 ^a | 4.47 ± 0.16 ^a | 0.84 ± 0.09 ^a | 19.08 ± 0.72 ^a | 16.69 ± 0.05 ^a |
| 秦紫一号 | 12.93 ± 0.45 ^b | 4.00 ± 0.2 ^a | 0.65 ± 0.02 ^b | 12.08 ± 0.36 ^b | 13.49 ± 0.19 ^b |

注: *, 不同小写字母表示在 0.05 水平上存在显著差异。

2.2 紫薯中酚类物质测定结果

由表 2 可知, 紫薯中酚类物质含量在两种紫薯中的含量不同, 紫罗兰的酚类物质含量除单宁外, 均高于秦紫一号。其中, 2 种紫薯中含量最高的酚类物质均为类黄酮, 紫罗兰中总类黄酮的含量达到了 (7.38 ± 0.21) mg/g, 秦紫一号中的总类黄酮含量达到了 (3.76 ± 0.12) mg/g, 说明类黄酮物质可能为紫薯中主要的

酚类物质, 并且均高于蔡湛等^[13]测得紫薯中总类黄酮含量 1.48 mg/g。RUMBAOA 等^[20]在研究紫薯的抗氧化活性时发现紫薯中总酚含量约为 736.8 mg/100 g, 此结果与该实验中测得的紫薯中总酚含量的结果不同。但 WANG 等^[11]的研究发现, 紫薯中的酚类物质含量在 192.7 ~ 1 159 mg/100 g 内, 这个结果与该实验中紫薯的总酚含量 ((4.99 ± 0.09)、(2.19 ± 0.05) mg/g)

测定结果一致。蔡湛等^[7]测得紫薯中总花色苷含量为 (1.80 ± 0.02) mg/g,郝萍萍等^[21]测得的紫薯中总花色苷含量高达 4.17 mg/g,均高于该实验中测得的总花色苷含量 (0.90 ± 0.04) mg/g。出现这些结果的原因可能与试验中所选紫薯的品种、样品的处理方法、酚类物质的提取率不同有关。但是,目前还没有发现相关文献对于紫薯中单宁含量和黄烷醇含量的研究结果。

表2 两种紫薯中酚类物质的含量

Table 2 Content of Total phenols, tannins, total anthocyanins, total flavonoids and flavanol in two kinds of purple sweet potato

| 测试指标 | 样品种类 | 含量/(mg·g ⁻¹) |
|------|------|--------------------------|
| 总酚 | 紫罗兰 | 4.99 ± 0.09^a |
| | 秦紫一号 | 2.19 ± 0.05^b |
| 单宁 | 紫罗兰 | 0.63 ± 0.12^a |
| | 秦紫一号 | 1.13 ± 0.06^b |
| 总花色苷 | 紫罗兰 | 0.90 ± 0.04^a |
| | 秦紫一号 | 0.21 ± 0.03^b |
| 总类黄酮 | 紫罗兰 | 7.38 ± 0.21^a |
| | 秦紫一号 | 3.76 ± 0.12^b |
| 黄烷醇 | 紫罗兰 | 0.008 ± 0.00^a |
| | 秦紫一号 | 0.003 ± 0.00^b |

注: * 不同小写字母表示在 0.05 水平上存在显著差异。

2 种紫薯中单体酚的种类及含量如下表 3 所示。

表3 两种紫薯中单体酚最大吸收波长、含量及保留时间
Table 3 The maximum absorption wavelength, content and retention time in the phenolic compounds of two kinds of purple sweet potato

| 化合物名称 | 最大吸收波长/nm | 紫罗兰 | | 一号 | |
|-------|-----------|----------------------------|----------|----------------------------|----------|
| | | 浓度梯度/(mg·L ⁻¹) | 保留时间/min | 浓度梯度/(mg·L ⁻¹) | 保留时间/min |
| 儿茶素 | 280 | 4.54 ± 0.017 | 4.5 | 0.25 | 4.496 |
| 绿原酸 | 325 | 1.31 ± 0.023 | 4.629 | 0.35 | 4.644 |
| 香草酸 | 260/291 | 1.12 ± 0.011 | 4.963 | 0.08 | 4.956 |
| 咖啡酸 | 322/238 | 1.36 ± 0.005 | 5.112 | 1.20 | 5.104 |
| 丁香酸 | 273 | 0.00 | 5.655 | 0.03 | 5.656 |
| 香豆酸 | 308 | 1.18 ± 0.023 | 7.069 | 0.00 | 7.973 |
| 阿魏酸 | 235/323 | 0.26 ± 0.012 | 7.969 | 0.24 | 8.481 |
| 芦丁 | 256/356 | 0.12 ± 0.006 | 8.462 | 0.00 | 9.586 |
| 香豆素 | 277 | 0.39 ± 0.017 | 9.553 | 0.10 | 11.242 |
| 槲皮素 | 254/370 | 0.29 ± 0.012 | 11.285 | 0.32 | 12.597 |
| 山奈酚 | 266/366 | 0.17 ± 0.023 | 12.606 | 0.16 | 4.496 |

从表 3 中可以看出,2 种紫薯中均含有多种单体酚,紫罗兰的单体酚种类达到了 10 种,浓度梯度为在 $0.12 \sim 4.54$ mg/L 内(该值为超高压测定结果,计算是按照当时测定老师给出的公式计算得到的,单位为 mg/L),秦紫一号的单体酚种类达到了 9 种,浓度梯

度在 $0.1 \sim 1.2$ mg/L 内。2 种紫薯中单体酚浓度梯度差别很大,紫罗兰的单体酚除丁香酸与槲皮素外,其余单体酚浓度梯度均高于秦紫一号,浓度梯度最高的单体酚是儿茶素,浓度梯度可达 4.54 mg/L,除此之外,绿原酸、香草酸咖啡酸、香豆酸这几种酚酸的浓度梯度相对于儿茶素含量较次之,其余酚酸相对浓度梯度较少,丁香酸在紫罗兰中未检出。在秦紫一号中,咖啡酸是浓度梯度最高的单体酚,浓度梯度为 1.2 mg/L,而香草酸、丁香酸这 2 种单体酚浓度梯度最少,其余单体酚浓度梯度次之,香豆酸与芦丁未检出。

2.3 紫薯抗氧化活性测定结果

2 种不同品种紫薯各项抗氧化指标见表 4,其差异达到显著水平。紫罗兰的总抗氧化能力、过氧化氢含量、抑制羟自由基能力均大于秦紫一号,而秦紫一号的 DPPH 自由基清除力、亚铁离子螯合力、抗超氧阴离子能力大于紫罗兰。紫罗兰的总抗氧化能力为 (155.65 ± 3.67) U/mL,清除过氧化氢的能力为 (365.17 ± 3.15) mmol/L, DPPH 自由基清除能力为 $(82.85 \pm 1.63)\%$,亚铁离子螯合率为 $(56.63 \pm 0.40)\%$,抗超氧阴离子能力为 (139.29 ± 4.12) U/L,抑制羟自由基能力为 (460.77 ± 3.83) U/mL;秦紫一号的总抗氧化能力为 (27.63 ± 1.48) U/mL,过氧化氢含量为 (198.06 ± 5.82) mmol/L, DPPH 自由基清除能力为 $(94.76 \pm 1.47)\%$,亚铁离子螯合率为 $(66.59 \pm 0.17)\%$,抗超氧阴离子能力为 (171.03 ± 1.37) U/L,抑制羟自由基能力为 (15.40 ± 1.26) U/mL。

表4 两种紫薯的抗氧化活性能力

Table 4 Antioxidant activity capacity of two kinds of purple sweet potato

| 测定指标 | 样品种类 | |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| | 紫罗兰 | 秦紫一号 |
| 总抗氧化能力/(U·mL ⁻¹) | 155.65 ± 3.67^a | 27.63 ± 1.48^b |
| DPPH 清除率/% | 82.85 ± 1.63^a | 94.76 ± 1.47^b |
| 亚铁离子螯合率/% | 56.63 ± 0.40^a | 66.60 ± 0.17^b |
| 过氧化氢含量/(mmol·mL ⁻¹) | 365.17 ± 3.16^a | 198.06 ± 5.82^b |
| 抗超氧阴离子能力/(U·L ⁻¹) | 139.29 ± 4.12^a | 171.03 ± 1.37^b |
| 抑制羟自由基能力/(U·mL ⁻¹) | 460.77 ± 3.83^a | 15.40 ± 1.26^b |

注: * ,不同小写字母表示在 0.05 水平上存在显著差异。

2.4 两种紫薯的酚类物质与抗氧化活性相关性分析

表 5 为实验所测定的 5 种酚类物质分别与 6 个抗氧化指标之间的相关性。总酚与 6 个抗氧化指标

均极显著相关,其中总酚与总抗氧化能力、抑制羟自由基能力呈正相关,这与任晓婷等人^[22]测定的猕猴桃中总酚含量与清除自由基能力呈显著正相关相一致。单宁与总抗氧化能力、过氧化氢含量、抗超氧阴离子能力、抑制羟自由基能力均显著相关。总花色苷除总抗氧化能力外,与其他5个抗氧化指标均极显著相关。总类黄酮与亚铁离子螯合能力显著相关,与其余5个抗氧化指标极显著相关。黄烷醇与6个抗氧化指标均显著相关。结果显示,各酚类总量与不同抗氧化方法之间存在相关性,这与黄龙等人^[23]研究的

苦瓜中酚类物质与抗氧化能力相关性的结果一致,也与闫林茂等人^[24]研究的百合花瓣酚类物质同抗氧化能力存在相关性的结论一致。

3 结论

通过对2种紫薯进行酚类物质以及抗氧化活性进行比较分析,可以得出:

(1)理化指标中,紫罗兰的各项理化指标含量均高于秦紫一号,说明紫罗兰的营养价值好于秦紫一号。

表5 酚类物质含量与抗氧化活性相关性分析

Table 5 The content of phenolic compounds and antioxidant activity relationship analysis

| | 总酚 | 单宁 | 总花色苷 | 类黄酮 | 黄烷醇 | 总抗 | DPPH | Fe ²⁺ 螯合 | H ₂ O ₂ 含量 | 抑制O ₂ ⁻ | 羟自由基 |
|----------------------------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------|------|
| 总酚 | 1 | | | | | | | | | | |
| 单宁 | -0.952 * | 1 | | | | | | | | | |
| 总花色苷 | 0.999 ** | -0.965 * | 1 | | | | | | | | |
| 类黄酮 | 0.998 * | -0.970 * | 1.000 ** | 1 | | | | | | | |
| 黄烷醇 | 0.989 * | -0.930 * | 0.986 * | 0.987 * | 1 | | | | | | |
| 总抗 | 1.000 ** | 1.000 * | 1.000 | 0.999 ** | 0.989 * | 1 | | | | | |
| DPPH | -0.996 ** | 0.937 | -0.994 ** | -0.999 ** | -0.976 * | -0.995 ** | 1 | | | | |
| Fe ²⁺ 螯合 | -0.999 ** | 0.950 | -0.998 ** | -0.996 * | -0.984 * | -0.999 ** | 0.999 ** | 1 | | | |
| H ₂ O ₂ 含量 | -0.999 ** | -0.962 * | 1.000 ** | 0.999 ** | 0.989 * | 1.000 ** | -0.994 ** | -0.998 ** | 1 | | |
| 抑制O ₂ ⁻ | -0.997 ** | 0.967 * | -0.999 ** | -0.998 ** | -0.987 * | -0.998 ** | 0.995 ** | 0.998 ** | -0.998 * | 1 | |
| 羟自由基 | 0.999 ** | -0.964 * | 1.000 ** | 1.000 ** | 0.988 * | 1.000 ** | -0.994 ** | -0.998 ** | 1.000 * | -0.998 ** | 1 |

注:*,在0.05水平(双侧)上显著相关。**,在0.01水平(双侧)极显著相关。

(2)酚类物质测定中,紫薯具有较为丰富的酚类物质,其主要酚类物质为类黄酮,含量最高可达(7.38±0.21)mg/g。除单宁外,紫罗兰的各种酚类物质含量均高于秦紫一号。紫罗兰的单体酚种类为10种,含量在0.12~4.54 mg/L内,秦紫一号的单体酚种类为9种,含量在0.1~1.2 mg/L内。

(3)抗氧化活性研究中,发现紫罗兰的总抗氧化能力、过氧化氢含量、抑制羟自由基能力均大于秦紫一号,而秦紫一号的DPPH自由基清除力、亚铁离子螯合力、抗超氧阴离子能力大于紫罗兰。对紫薯酚类物质与抗氧化活性的相关性研究表明,紫薯中的各酚类物质均与不同的抗氧化方法有很大的相关性。总酚与6个抗氧化指标均极显著相关,其中总酚与总抗氧化能力、抑制羟自由基能力呈正相关,总花色苷除总抗氧化能力外,与其他5个抗氧化指标均呈极显著相关,总类黄酮与亚铁离子螯合能力以外的其余5个抗氧化指标呈极显著相关。

参 考 文 献

[1] 陈杰华. 新型紫马铃薯功能性食品研究[D]. 杭州:浙江

大学,2012.

[2] 罗春丽,王林,李杏,等. 紫薯花青素体外抗氧化及对H₂O₂诱导HepG2细胞氧化损伤的保护作用[J]. 食品科学,2015,36(17):1-9.

[3] 张慢,潘丽军,姜绍通,等. 紫薯花青素降血脂及抗氧化效果的研究[J]. 食品科学,2014,35(19):1-7.

[4] LI Jing, SONG Huige, DONG Nan, et al. Degradation Kinetics of Anthocyanins from Purple Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) as Affected by Ascorbic Acid[J]. Food Sci. Biotechnol. 2014,23(1): 89-96.

[5] WANG Shu-mei, YU Dong-jin, SONG Kyung-bin. Quality Characteristics of Purple Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) Slices Dehydrated by the Addition of Maltodextrin[J]. Horticulture, Environment and Biotechnology, 2011, 52(4): 435-441.

[6] LU L Z, ZHOU Y Z, ZHANG Y Q, et al. Anthocyanin extracts from purple sweet potato by means of microwave baking and acidified elect rolysed water and their antioxidation in vitro[J]. Int. J. Food Sci. Tech. 2010,45: 1 378-1 385.

[7] 蔡湛,兰余,赵淑娟,等. 紫薯的抗氧化及活性成分研究[J]. 粮食与油脂,2015, 28(1):43-48.

- [8] GB 5009.4—2010. 食品中灰分的测定[S].
- [9] 沈莲清,黄光荣,王向阳等. 茶渣中蛋白质的碱法提取工艺研究[J]. 中国食品学报, 2007,6(7):108-112.
- [10] GB/T14772—2008. 食品中粗脂肪的测定[S].
- [11] 彭科怀,张坤,反滴定法测定食品中总糖的方法[J]. 现代预防医学,2010,37(22):4 319-4 321.
- [12] 孟江飞. 山西乡宁地区葡萄采收时间对葡萄及葡萄酒酚类物质与抗氧化活性影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [13] 陆占国,郭红转,封丹. 芫荽茎叶精油成分及清除DP-PH自由基能力研究[J]. 食品与发酵工业,2006,32(8):36-39.
- [14] 张宏丽. 贺兰山东麓葡萄籽功能性成分研究与利用[D]. 宁夏:宁夏大学,2013.
- [15] 胡立志,袁春龙,袁琳. 蛋白-单宁沉淀法测定葡萄籽中单宁含量[J]. 北方园艺,2012(14):23-26.
- [16] BOTTLE Steven Eric. Spin probes for electron paramagnetic resonance imaging[J]. Chinese Science Bulletin, 2008,53(24):3 777-3 789.
- [17] OM P S, TEJ K. B hat. DPPH antioxidant assay revisited [J]. Food Chemistry, 2009, 113(4):1202-1205.
- [18] 郑杰,于笛,陈冲,等. 海蜇生殖腺酶解物抗氧化活性的研究[J]. 水产科学,2014,33(2):81-87.
- [19] 蔡自建,龙虎. 甘薯营养研究及食品开发[J]. 西南民族大学学报,2005,31(1):103-106.
- [20] RUMBAOA R G O, CORNAGO D F, GERONIMO I M. 2009b. Phenolic content and antioxidant capacity of Philippine sweet potato (*Ipomoea batatas*) varieties[J]. Food Chem, 2010,113(4):1 133-1 138.
- [21] 郝萍萍,吴发萍,张文学,等. 紫薯酒抗氧化活性及其酚类物质分析[J]. 食品发酵与科技,2013,49(1):63-66.
- [22] 任晓婷,张生万. 李美萍,等. 不同品种猕猴桃总酚含量与清除自由基能力相关性研究[J]. 山西工业大学学报,2016,36(5):341-344.
- [23] 黄龙,邓媛媛,张名位,等. 不同苦瓜品种果肉中酚类物质含量及抗氧化能力比较[J]. 中国农业科学,2011,44(22):4 660-4 668.
- [24] 闫林茂,郭宇龙,张延龙,等. 百合花瓣酚类物质及其抗氧化活性的分析[J]. 食品科学,2013,34(7):51-55.

Comparison of chemical antioxidant capacities in two kinds of purple sweet potato

SUN Hai-yan^{1,2,3,4*}

1(Shaanxisci-tech University, Shaanxi Key Laboratory of Resource Biology, Hanzhong 723000, China)

2(Biological Science and Engineering, Shaanxi sci-tech University, Hanzhong 723000, China)

3(National Engineering Research Center for Preservation of Agricultural Products in Qinba Area Preservation Workstation, Hanzhong 723000, China)

4(Qinling-Bashan Mountains Bioresources Comprehensive Development C. I. C. Chaoyang Road, Hanzhong 723000, China)

ABSTRACT In this experiments, the physical and chemical components, phenolics and antioxidant activity of two kinds of purple potato (Violets and Qin Zi 1) produced in YangLing region were determined. The results showed, crude ash, protein and total sugar content of purple sweet potato were abundant, (4.47 ± 0.16) g/100 g, (19.08 ± 0.72) g/100 g, (16.69 ± 0.05) g/100 g respectively; flavonoids were the main phenolic compounds, the highest content was (7.38 ± 0.21) mg/g; The species of mono-phenol up to 10 species, which the highest content of catechins is 4.54 mg/L. Two kinds of purple potato all had strong antioxidant activity, and the phenolic substances in purple sweet potato were significantly correlated with different antioxidant methods, and the total phenolic compounds were significantly correlated with the six antioxidant indexes.

Key words purple sweet potato; phenols; antioxidant capacity