

文章编号:1673-1689(2007)04-0022-06

红薯中黄酮提取及抗氧化研究

许钢

(浙江工商大学 食品生物与环境学院, 浙江 杭州 310035)

摘要: 作者研究了从红薯中提取黄酮类活性物质的最佳方法以及该提取物的抗氧化性。设计四因素三水平的正交试验,用水浴法和超声法对红薯中黄酮类物质的提取方法进行了研究,选取最佳条件。通过 DPPH 体系法,氮蓝四唑(NBT)光化合还原法和抗坏血酸 $\text{Cu}^{2+}-\text{H}_2\text{O}_2$ 体系法,分别研究最佳条件下薯皮薯肉提取物的抗氧化性。结果表明:水浴法以固液质量体积比 1 g : 15 mL,体积分数 70% 乙醇水溶液在 65 °C 浸提 1 h 为最佳;超声法以固液质量体积比 1 g : 15 mL,体积分数 70% 乙醇水溶液超声 35 min 浸提为最佳。在提取方法中,超声法优于水浴法,其黄酮得率分别为 2.80 mg/g 和 2.14 mg/g;抗氧化性实验表明,薯肉中提取的黄酮类活性物质对 DPPH、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 、 $\cdot\text{OH}$ 的清除率分别可达 80.34%、66.23%、53.32%,薯皮中提取的黄酮类活性物质的清除率分别可达 86.81%、84.59%、75.06%。

关键词: 红薯; 黄酮; 水浴法; 超声法; 抗氧化

中图分类号: S 531

文献标识码: A

Studies on the Extracting and Antioxidant Activities of Flavonoids in Sweet Potatoes

XU Gang

(College of Food Science, Biotechnology and Environmental Engineering, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310035, China)

Abstract: In this study, the extracting of flavonoids from sweet potatoes and the antioxidant activities of the extracts were investigated. The optimum extract conditions of flavonoids in sweet potatoes by using bath and supersonic method was gained by the orthoynal experiment. The antioxidant activity of the extracts with the optimum conditions was evaluated using the system of DPPH radical, NBT photoreduction, ascorbic acid- $\text{Cu}^{2+}-\text{H}_2\text{O}_2$. The results of assays show: 65°C, 15:1 of 70% ethanol solution to sweet potato weight ratio, extract for 1 hour were optimal by the means of bath method, while for the supersonic method as follow: 15:1 of 70% ethanol solution to sweet potato weight ratio, supersonic extract for 35 min. The latter extract method is better and the total flavonoids in the extract was 2.80 mg/g while the former was 2.14 mg/g. The scavenging capacity of DPPH radical, superoxide radical ($\text{O}_2^{\cdot-}$), hydroxyl radical ($\cdot\text{OH}$) for pulp of sweet potatoes was 80.34%, 66.23%, 53.32%, respectively, for the shell, the value was 86.81%, 84.59%, 75.06%, respectively.

Key words: sweet potatoes; flavonoids; bath method; supersonic method; antioxidant activities

自由基是生物体内生化反应的普遍中间介质

或称非特异性调节剂。正常生理情况下,活性氧的

收稿日期:2006-10-18.

作者简介:许钢(1958-),女,广东番禺人,高级实验师,主要从事食品分析研究. Email:zsugex@163.com

产生与清除可维持在一个无害的极低水平,保证活性氧的代谢平衡,使机体保持正常的生理代谢,但在衰老、应激等情况下,平衡将会被破坏,体内活性氧大量积累,产生过多的活性氧自由基和羟自由基。自由基会攻击细胞中敏感的构造而引起一系列的反应^[1],当人体内自由基过多时会引起各种病变例如冠心病,风湿性关节炎,癌症以及加速人体老化^[2]。

适当补充外源性抗氧化剂或给予机体内源性抗氧化物质再生,可以改善这一状况,抗氧化可以捕捉自由基以停止其连锁反应,避免其对活细胞的更进一步伤害。

目前食品中常用的抗氧化剂主要是合成的抗氧化剂,如丁基羟基茴香醚(BHA),二丁基羟基甲苯(BHT),叔丁基对苯二酚(TBHQ),没食子酸丙酯(PG)等,由于毒性和致癌作用等原因,许多国家已停止或严格限制其使用。寻找和开发天然、无毒的天然抗氧化剂已成为人们关心的焦点,而黄酮类化合物恰能符合这些要求。

黄酮类化合物(flavonoids)是一类以黄酮为母核的化合物,广泛存在于植物体中,目前为止已发现的黄酮类化合物有4 000~5 000多种。黄酮类化合物具有广泛的生物活性,具有高抗氧化性,低毒性,无不良反应,同时还有显著的清除人体内自由基、抗老化、抗突变等保健功能,是一类极具开发前景的天然有机抗氧化剂^[3]。因此,寻找可开发的原料,是目前开发黄酮类化合物的关键。

红薯学名甘薯(sweet potato),为旋花科一年生草本植物,原产于美洲,属根茎类作物。

红薯中含有多种人体需要的营养物质,它对人体消化、吸收、泌尿系统均有特殊的保护作用^[4]。日本国立癌症预防研究所通过对40多种蔬菜抗癌成分的分析以及实验性抑癌试验,结果在20种对肿瘤有明显抑制作用的蔬菜中,红薯名列榜首。研究还发现,红薯中含有一种物质对保护皮肤、延缓衰老有很好的作用。红薯的许多功能与它所含的黄酮类化合物有关^[5-7]。

目前,我国红薯种植面积达1.1亿亩,居世界首位,年产鲜红薯约1.5亿吨,占世界总产量的80%以上。

如何进行开发利用,对于提高红薯的经济效益和社会效益都有着重要的意义。目前,关于红薯中黄酮类化合物开发的研究报道相对甚少。因此,作者设计正交试验,选择提取红薯中的黄酮类活性物质的最佳条件。并通过DPPIH体系法,氮蓝四唑

(NBT)光化合还原法和抗坏血酸 $\text{Cu}^{2+} \cdots \text{H}_2\text{O}_2$ 体系法分别测定提取物对DPPIH清除率、超氧自由基 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除率、羟自由基 $\cdot\text{OH}$ 的清除率^[8],对其抗氧化性能分别进行分析研究。

1 材料与仪器

1.1 原料

红薯:购于杭州农贸市场,将薯皮和薯肉干燥后分别粉碎、过60目筛,分装于棕色瓶中备用。

1.2 试剂

二苯代苦味酰自由基(DPPH):Sigma公司产品;无水乙醇,丙酮,甲醇,亚硝酸钠,氢氧化钠,柠檬酸钠,盐酸,抗坏血酸,细胞色素C;以上试剂均为分析纯;芦丁标准品,核黄素,甲硫氨酸,氮蓝四唑(NBT);均为生化试剂。

1.3 仪器

岛津UV-1601型分光光度计及其配套设备:日本岛津公司产品;SK5200LH型超声波发生器:上海科导超声仪器有限公司产品;DBG120-002型台式干燥箱:重庆试验设备厂产品;HH·S11-4电热恒温水浴锅及冷凝回流装置:北京长安科学仪器厂产品;ZDS-10型光照度计:上海嘉定学联仪表厂产品;自制反应暗箱及光照反应箱。

2 方法与步骤

2.1 红薯中黄酮的提取方法

2.1.1 红薯原料的前处理 黄酮通常存在于植物细胞内,而细胞膜产生的扩散阻力使得其浸提速率比较小。为了提高提取效率,需要对细胞进行预处理如干燥、粉碎等,这样有助于细胞膜的破裂,溶剂也容易进入细胞内部直接溶解黄酮^[9]。因此,将购买的新鲜红薯洗净,去皮、切片、红薯皮和肉分开低温烘干,粉碎机粉碎,过60目筛,细粉放置在棕色瓶中保存备用。

2.1.2 红薯黄酮的提取工艺 由于有关红薯中黄酮类活性物质研究相对甚少,因此只能参考粮食作物和其他植物原料提取黄酮方法^[10-12],并考虑实验条件设备,设计红薯黄酮提取的工艺流程如下:

称取5g干燥粉末→浸提剂浸泡16h→水浴或超声→冷却→抽滤→浓缩→定容棕色容量瓶→避光保存备用。

2.2 黄酮质量浓度的测定

2.2.1 芦丁标准溶液的配制 准确称取干燥恒重的芦丁标准品0.0752g,用体积分数30%的乙醇

溶解并定容于 250 mL 容量瓶中,摇匀,得质量浓度为 0.300 8 mg/mL 的标准应用液。

2.2.2 芦丁标准工作曲线及回归方程的建立 分别吸取芦丁标准溶液 0,1.0,2.0,4.0,6.0,8.0 mL,分别置于 0,1,2,3,4,5 号共 6 只 25 mL 的容量瓶中,用体积分数 30%乙醇补充至 12.5 mL,再分别加入 0.7 mL 质量分数为 5% 亚硝酸钠溶液,混匀,放置 5 min 后分别加入 0.7 mL 质量分数 10% 硝酸铝溶液,混匀,6 min 后分别加入 5 mL 1 mol/L 氢氧化钠溶液,混匀,用体积分数 30%乙醇标定至刻度线,放置 10 min 后于 510 nm 处,以 0 号试剂作为空白参比,分别比色测定其吸光度值。用最小二乘法进行线性回归,得芦丁溶液浓度(C)与吸光度值(A)关系曲线的回归方程式: $C=95.167A-6.2611, R^2=0.9998$ 。

2.2.3 提取液中黄酮质量浓度的测定 分别取一定量的待测提取液或该提取液的溶剂于 25 mL 容量瓶中,用体积分数 30%乙醇补充至 12.5 mL,再分别加入 0.7 mL 质量分数为 5% 亚硝酸钠溶液,摇匀,放置 5 min 后分别加入 0.7 mL 质量分数 10% 硝酸铝溶液,摇匀,6 min 后分别加入 5 mL 1 mol/L 氢氧化钠溶液,混匀,用体积分数 30%乙醇标定至刻度线,放置 10 min,取上述中加入溶剂配制的溶液作为空白,于 510 nm 处,比色测定提取液的吸光度值。根据芦丁标准溶液浓度(C)与吸光度值(A)关系曲线的回归方程式: $C=95.167A-6.261, R^2=0.9998$,得到稀释后的提取液黄酮质量浓度,再根据稀释倍数计算得到原始提取液黄酮质量浓度,最后计算红薯中黄酮的质量浓度。

2.3 提取红薯薯肉黄酮最佳条件选择

2.3.1 提取条件的正交设计 样品在浸提剂中室温浸泡 16 h 后,分别选定水浴和超声两种方法提取红薯黄酮,其中水浴法为:浸提剂、浸提剂质量分数、水浴温度、水浴时间;超声法则是:浸提剂、浸提剂质量分数、超声时间、固液比(超声温度控制在 30℃左右)。按照正交表 $L_9(3^4)$ 安排四因素三水平正交试验^[12-13],结果见表 1 与表 2。

表 1 水浴法提取红薯黄酮因素水平表
Tab. 1 Level and factor of bath

水平	浸提剂 A	浸提剂 质量分数 B/%	水浴 温度 C/℃	水浴 时间 D/h
1	乙醇	55	80	0.5
2	甲醇	70	65	1.0
3	丙酮	85	50	2.0

表 2 超声法提取红薯黄酮因素水平表
Tab. 2 Level and factor of supersonic

水平	浸提剂 A	浸提剂 质量分数 B/%	超声 时间 C/min	固液质量 体积比 D/(g : mL)
1	乙醇	55	50	1 : 15
2	甲醇	85	35	1 : 10
3	丙酮	70	20	1 : 20

2.3.2 红薯黄酮类活性物质的提取 根据 2.1.2 的工艺流程,按正交设计的试验方案进行薯肉中黄酮类的提取试验。

2.3.3 红薯黄酮质量浓度的测定 按 2.2.3 所用方法测各提取液吸光度,并按回归方程计算黄酮液质量浓度。

2.4 红薯黄酮的抗氧化性研究

2.4.1 对 DPPH 的清除作用 准确称取 DPPH 20 mg,用无水乙醇溶解并定容于 500 mL 容量瓶中,则 DPPH 试剂的质量浓度为 0.04 mg/mL,避光保存。取 2 mL DPPH 溶液溶解的待测物,充分混合。30 min 后在 517 nm(最大吸收波长处)测定其吸光度^[14]。各待测物对 DPPH 的清除率 K 可用下式计算:

$$K=(1-(A_1-A_2)/A_2)\times 100\%$$

式中: A_1 =2 mL DPPH 溶液+2 mL 待测溶液吸光度; A_2 =2 mL 待测溶液+2 mL 溶剂的吸光度; A_0 =2 mL DPPH 溶液+2 mL 溶剂的吸光度。

2.4.2 清除活性氧自由基($O_2^{\cdot-}$) 甲硫氨酸作用于核黄素时可产生超氧离子自由基 $O_2^{\cdot-}$,还原氮蓝四唑(NBT),而黄酮类活性物质可以清除该反应,故可依据清除率高低来研究黄酮对 $O_2^{\cdot-}$ 的清除效果^[15,16],从而评价其抗氧化性。

参照 Beauchamp 等的方法,加以改进。反应在装有一支 10 W 的节能日光灯,四周衬有铝箔的暗箱中进行,调节反应物离灯的距离,用光照度计测定其受光强度为 8 000 lx。5 mL 反应液中,核黄素的浓度为 3×10^{-6} mol/L,甲硫氨酸浓度为 1×10^{-2} mol/L。在 20℃,光照 20 min,核黄素即因光化反应产生 $O_2^{\cdot-}$ 。然后在此体系中加入 NBT,使其浓度达到 1×10^{-4} mol/L。光照核黄素产生的 $O_2^{\cdot-}$ 能将 NBT 还原为蓝色的产物,以不光照的试液作校正,在 560 nm 测得其吸光度为 A,可表示 $O_2^{\cdot-}$ 的含量。加入红薯黄酮后能清除 $O_2^{\cdot-}$ 来抑制 NBT 的还原,测得此时的吸光度为 A_1 , $A-A_1$ 表示 $O_2^{\cdot-}$ 的减少量,则清除率可计算为:

$$\text{清除率}(\%)=(A-A_1)/A\times 100\%$$

2.4.3 清除羟自由基($\cdot\text{OH}$) 在生理浓度, Cu^{2+} 存在下, 用抗坏血酸作为还原剂, 能与中间生成的 H_2O_2 反应, 使 Cu^{2+} 还原为 Cu^+ , 生成 $\cdot\text{OH}$ 。

还原型细胞色素 C(II) 呈浅红色, 而氧化型呈浅黄色。前者在 550 nm 处有尖锐吸收峰, 而后者不明显。因此, 可用比色分析, 通过测定还原型细胞色素 C(II) 含量的变化了解 $\cdot\text{OH}$ 的生成。

在 $\text{VC}-\text{Cu}^{2+}-\text{H}_2\text{O}_2$ 体系中, $\text{VC}(\text{II})$ 与 O_2 缓慢反应生成 H_2O_2 , H_2O_2 再与被抗坏血酸还原了的 Cu^+ 反应产生 $\cdot\text{OH}$ 。一般这一系列反应要在 25 $^{\circ}\text{C}$ 下作用 90 min 才完毕。经过改进, 作者在反应液中加入 H_2O_2 后马上进行测定, 使 VC 和 O_2 反应产生 H_2O_2 这一反应提前完成, 这样就大大缩短了反应时间而不影响实验效果。

将细胞色素 C、抗坏血酸、pH 7.4 的 PBS 按一定比例配成 6 mL 反应液, 用紫外分光光度计在 550 nm 处测得吸光度值为 A 。不改变反应液中细胞色素 C 和抗坏血酸的浓度, 再在反应液中加入 H_2O_2 和 CuSO_4 。溶液从浅红色立即转变为浅黄色, 在 550 nm 处测得吸光度值为 A_1 , $A-A_1$ 可表示 $\cdot\text{OH}$ 生成量。在反应液中加入红薯黄酮能清除 $\cdot\text{OH}$ 自由基, 在 550 nm 处测得吸光度值为 A_2 , $A-A_2$ 表示反应体系中最后剩余 $\cdot\text{OH}$ 自由基的含量, 则清除率可计算为:

$$\text{清除率}(\%) = ((A-A_1) - (A-A_2)) / (A-A_1) \times 100\% = (A_2-A_1) / (A-A_1) \times 100\%$$

3 结果与讨论

3.1 提取红薯薯肉黄酮最佳条件选择

3.1.1 水浴法正交试验结果 按表 1 进行四因素三水平正交试验, 以黄酮为检测对象, 并对实验结果做方差分析及显著性检验, 得出水浴最佳条件为 $A_1B_2D_2C_2$ 。即以 15 倍原料质量的 70% 乙醇溶液, 在 65 $^{\circ}\text{C}$ 条件下水浴浸提 1 h, 黄酮得率最高。

3.1.2 超声法正交试验结果 按照表 2 做正交试验, 以黄酮得率为检测对象, 并对其做方差分析和显著性检验, 得出超声最佳条件为 $A_1C_2B_2D_1$ 。即以 15 倍原料质量的体积分数 70% 乙醇溶液, 超声 35 min, 黄酮得率最高。

3.2 最佳条件下提取红薯黄酮并测定

分别用水浴法和超声法的最佳条件做红薯中黄酮类活性物质的提取, 测得水浴提取和超声提取的黄酮类活性物质质量分数分别为 2.14 mg/g 和 2.80 mg/g。

3.3 红薯黄酮类提取物对 DPPH 的清除作用

DPPH(二苯代苦味酰自由基) 在有机溶剂中是一种稳定的自由基, 深紫色, 在 517 nm 有强吸收。有自由基清除剂存在时, DPPH 的单电子被配对, 而使其颜色变浅, 最大吸收波长处的吸光度变小, 且这种颜色变浅的程度与配对电子数是成化学计量关系的。因此, 用该波长处的吸收可检测自由基的清除情况, 从而评价实验样品的抗氧化能力。抗氧化剂清除 DPPH 自由基的清除率越高其抗氧化性越强。

3.3.1 红薯皮黄酮类提取物对 DPPH 的清除作用

根据 2.4.1 方法分别对水浴、超声法提取的薯皮黄酮进行 DPPH 清除测定, 清除结果见表 3。

表 3 红薯皮黄酮提取物对 DPPH 的清除率
Tab. 3 The comparison of DPPH scavenging capacity of the extractions %

红薯皮黄酮 质量浓度/($\mu\text{g/mL}$)	超声法	水浴法
6.0	19.47	17.98
6.6	28.37	27.58
7.8	44.95	44.60
9.0	55.53	56.35
12.0	56.11	67.23
15.0	76.92	78.66
18.0	82.93	84.65
19.2	84.62	86.81

表 4 红薯肉黄酮提取物对 DPPH 的清除率
Tab. 4 The comparison of DPPH scavenging capacity of the extractions %

红薯肉黄酮 质量浓度/($\mu\text{g/mL}$)	超声法	水浴法
11.4	17.72	16.99
12.0	24.71	24.51
12.6	30.77	29.85
13.8	43.59	43.45
15.0	53.61	54.37
16.2	64.57	65.53
18.0	73.89	74.51
19.2	79.92	80.34

3.3.2 红薯薯肉黄酮对 DPPH 的清除作用 根据 2.4.1 方法分别对水浴、超声法提取的薯肉黄酮进行 DPPH 清除测定, 清除结果见表 4。

由表 3、表 4 可见, 超声法和水浴法分别提取红薯薯皮、薯肉黄酮活性物质的 4 个样品, 对 DPPH 自由基都具有较强的清除能力, 其抗氧化能力均随浓度增加而增加。但薯皮提取物的清除能力薯肉提取物好。但水浴法和超声法提取的红薯黄酮对

DPPH 的清除率没有明显的差别。

3.4 红薯黄酮清除活性氧自由基(O₂⁻·)

氧是需氧生物生命过程中必不可少的物质,它不断地提供了生命活动所需要的能量,但伴随着分子氧的消耗,通过单电子还原生成了活性氧,它们是许多生理和病理过程的积极参与者,黄酮类化合物是一种良好的活性氧自由基的清除剂,对不同种类的氧自由基,不同结构的黄酮化合物可以达到不同的清除效果。

3.4.1 红薯薯皮黄酮对氧自由基(O₂⁻·)清除作用

根据 2.4.2 的方法,分别对水浴、超声法提取的薯皮黄酮进行 O₂⁻· 的清除结果见表 5。

表 5 红薯皮黄酮对 O₂⁻· 清除率
Tab.5 The comparision of O₂⁻· scavenging capacity of the extractions %

红薯皮黄酮 质量浓度/(μg/mL)	超声法	水浴法
1.97	4.50	3.40
4.92	22.62	23.44
9.84	53.11	36.39
22.82	70.98	57.54
33.68	78.81	68.85
57.05	84.59	74.75

3.4.2 红薯薯肉黄酮对氧自由基(O₂⁻·)清除作用

根据 2.4.2 方法,分别对水浴、超声法提取的薯肉黄酮进行 O₂⁻· 的清除结果见表 6。

由表 5、6 可见,4 个红薯黄酮液样品对氧自由基 O₂⁻· 的清除率随均浓度的增加而增加,但红薯皮黄酮提取物的清除能力明显强于红薯肉薯皮黄酮提取物;而且,同种原料中,超声法明显优于水浴法。

表 6 红薯肉黄酮对 O₂⁻· 清除率
Tab.6 The comparision of O₂⁻· scavenging capacity of the extractions %

红薯肉黄酮 质量浓度/(μg/mL)	超声法	水浴法
1.97	1.48	1.15
4.92	11.31	7.54
9.84	19.34	15.25
19.67	44.59	35.25
49.18	63.77	54.10
68.85	66.23	58.69

3.5 红薯黄酮清除羟自由基(·OH)

羟基自由基是最活泼的自由基,细胞内的 H₂O₂ 能与 Fe²⁺ 或 Cu²⁺ 离子反应生成羟基自由基,另外,

紫外线也能使 H₂O₂ 均裂生成羟基自由基。同时,羟自由基也是毒性最大的自由基,它可与活细胞中的任何分子发生反应而造成损害,且反应速度快。

3.5.1 红薯黄酮对羟自由基(·OH)的清除作用

根据 2.4.3 的方法,分别对水浴、超声法提取的薯肉黄酮进行 ·OH 的清除结果见表 7。

表 7 红薯黄酮对 ·OH 的清除率
Tab.7 The comparision of ·OH scavenging capacity of the extractions %

黄酮质量浓度/ (μg/mL)	薯皮		薯肉	
	超声法	水浴法	超声法	水浴法
20.83	6.40	6.20	2.10	4.30
41.70	15.57	15.10	16.48	15.10
83.30	32.72	28.60	26.77	23.57
104.17	56.52	48.28	41.65	36.38
125.00	75.06	68.42	53.32	50.34

3.5.2 红薯黄酮对羟自由基(·OH)的清除作用

比较 由表 7 看出,红薯黄酮的 4 个样品对 ·OH 的清除率也是随浓度的增加而增加。无论是薯皮还是薯肉黄酮,在较低浓度范围时,对 ·OH 自由基具有清除效果比较接近,随着浓度的增大,薯皮黄酮清除羟自由基的能力强于薯肉黄酮;超声法提取的黄酮对 ·OH 的清除率也略优于水浴法。

4 结 语

1) 红薯黄酮的提取 通过正交设计得出,红薯黄酮水浴法提取的最佳条件为:固液比 1 g : 15 mL,体积分数 70%乙醇溶液 65 ℃下浸提 1 h,此时红薯肉黄酮的得率为 2.80 mg/g;超声法的最佳条件为:固液比为 1 g : 15 mL,体积分数 70%乙醇溶液超声 35 min。此时红薯肉黄酮的得率为 2.14 mg/g。超声提取法明显优于水浴提取法。

2) 红薯黄酮类活性物质对 DPPH 自由基的清除能力 无论是薯肉还是薯皮黄酮,对 DPPH 自由基均有较好的清除能力,且随着浓度的增大,清除能力也增加。其中薯皮黄酮最大清除率可达 84.62%(超声)和 86.81%(水浴),薯肉黄酮则为 79.92%(超声)和 80.34%(水浴),薯皮清除效果大于薯肉。

3) 红薯黄酮类活性物质对氧自由基的清除能力 通过红薯黄酮对 O₂⁻· 自由基的清除能力研究,薯皮黄酮最大清除率可达 84.59%(超声)和 74.75%(水浴),薯肉黄酮则为 66.23%(超声)和 58.23%(水浴)。用超声法提取的黄酮清除氧自由

基的能力明显比水浴法提取的好。

4) 红薯黄酮类活性物质对羟自由基的清除能力 通过实验发现红薯黄酮对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力不及对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的清除能力,同种原料和同等浓度下,超声法优于水浴法。其中薯皮黄酮最大清除率可达75.06%(超声)和68.42%(水浴),薯肉黄酮则为

53.32%(超声)和50.34%(水浴)。清除效果薯皮大于薯肉,清除方法超声法优于水浴法。

总之,红薯中含有丰富的黄酮类活性物质,尤其是薯皮黄酮提取物,就抗氧化性而言,远高于薯肉。而且超声法提取的活性物质抗氧化性能优于水浴法。

参考文献(References):

- [1] 汪秋安,周冰,单杨.天然黄酮类化合物的抗氧化活性和提取技术研究进展[J].化工生产与技术,2004,11(5):29-33.
WANG Qiu-an,ZHOU Bing,SHAN Yang. Progress on antioxidant activation and extracting technology of flavonoids[J].
Chemical Production and Technology,2004, 11(5):29-33. (in Chinese)
- [2] GOH Ngho-khang,KONG Jin-ming, et al. Antioxidant capacity measurement of flavonoids by chemiluminescence method [J]. **Natural Product Research and Development**,2004,16(1):46-50.
- [3] 孔琪,吴春.菊花黄酮的提取及抗氧化活性研究[J].中草药,2004,35(9):1001-1002.
KONG Qi,WU Chun. The study of extracting and antioxidant activation of flavonoids in chrysanthemum[J]. **Chinese Traditional and Herbal Drugs**,2004,35(9):1001-1002. (in Chinese)
- [4] 贾生平,周宇梅.红薯的综合加工[J].山西食品工业,1998,(03):28-29.
JIA Sheng-ping,ZHOU Yu-mei. Comprehensive processing of sweet potato[J]. **Shanxi Food Industry**,1998,(03):28-29. (in Chinese)
- [5] 李兴华.红薯的食用、药用与开发[J].应用科技,1998,(07):28.
LI Xin-hua. The eating,medical properties and exploitation of sweet potato[J]. **Applied Science and Technology**,1998(07): 28. (in Chinese)
- [6] 马庆一,张侠.红薯梗中清除自由基活性成分的研究[J].食品科学,2003,24(6):145-148.
MA Qing-yi,ZHANG Xia. The study of free radical scavenging activity component in sweet potato stems[J]. **Food Science**, 2003,24(6):145-148. (in Chinese)
- [7] 刘栋等,甘薯水溶性紫色素清除DPPIH自由基活性研究[J].中国食品添加剂,2003,(12):50-53.
LIU Dong, QIAN Jian-ya, WONG Li-zhen. The efficiency of water soluble purple pigment of sweet potato as dpbh radical scavenger[J]. **China Food Additives**,2003,(12):50-53. (in Chinese)
- [8] ZHONG Geng,Romeo T Toledo, et al. Effects of Heat Treatment on Flavonoids Content and Antioxidant Capacity of Buckwheat flour Ethanolic Extracts[J]. **Agricultural Sciences in China**,2003,2(9):1035-1040.
- [9] 欧阳平,张高勇,康保安.类黄酮提取的基本原理、影响因素和传统方法[J].中国食品添加剂,2003,(5):54-57.
OUYANG Ping,ZHANG Gao-yong,KANG Bao an. The fundamental, affecting factors and traditional methods of the extraction of flavonoids[J]. **China Food Additives**,2003,(5):54-57. (in Chinese)
- [10] 许钢.玉米不同部位提取物的抗氧化性能研究[J].食品与发酵工业,2004,30(4):88-93.
XU Gang. Comparison anti-oxidation activity of extracts from different parts of corn[J]. **Food and Fermentation Industries**,2004,30(4):88-93. (in Chinese)
- [11] Mei-Chih Lin, Ming-Jer Tsai, Kuo-Ching Wen, Supercritical fluid extraction of flavonoids from Scutellariae Radix[J]. **Journal of Chromatography A**, 1999,830:387-395.
- [12] 许钢,张虹,胡剑.竹叶中黄酮提取方法的研究[J].分析化学研究简报,2000,28(7):857-859.
XU Gang,ZHANG Hong,HU Jian. Leaching method of flavone from bamboo leaves[J]. **Chinese Journal of Analytical Chemistry**,2000,28(7):857-859. (in Chinese)
- [13] 倪永年.化学计量学在分析化学中的应用[M].北京:科学出版社,2004.
- [14] 张燕平,张虹,洪咏平,等.食品安全、营养与发展[M].北京:中国农业科技出版社,2002.
- [15] 许钢,张虹,吴延年.大麦叶提取物清除 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 和 $\cdot\text{OH}$ 的动态研究[J].中国粮油学报,2003,18(2):36-39.
XU Gang,ZHANG Hong,WU Yan-nian. Scavenging capacity of barley leaves on superoxide free radical and hydroxyl free radical[J]. **Journal of the Chinese Cereals and Oils Association**, 2003,18(2):36-39. (in Chinese).
- [16] 张虹,许钢,张辉.六月霜中提取物清除 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 和 $\cdot\text{OH}$ 自由基[J].无锡轻工大学学报,2000,19(6):574-579.
ZHANG Hong,XU Gang,ZHANG Hui. Scavenging capacity of artemisia anomala s. Moore oil superoxide free radical and hydroxyl free radical[J]. **Journal of Wuxi University of Light Industry**,2000,19(6):574-579. (in Chinese)

(责任编辑:朱明)