

番薯提取液与茶多酚、葛根黄酮对 PC12 细胞的协同抗氧化研究

刘晓娟, 何凤林, 赵力超, 刘欣

(华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

摘要: 采用 PC12 细胞模型, 以加合法为协同评价方法, 通过测定 LDH、MDA 和 SOD 等指标, 研究了番薯提取液与茶多酚、葛根黄酮的协同抗氧化作用。结果表明: 对于 LDH 和 MDA, 茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液各浓度组合中的 SE 值均小于 1, 说明各组合均能够对 LDH 和 MDA 产生显著抑制作用 ($p < 0.01$ 或 $p < 0.05$), 对于 SOD, 各浓度组合中的 SE 值均大于 1, 说明各组合均能够对 SOD 产生显著协同作用 ($p < 0.01$ 或 $p < 0.05$); 茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液的浓度分别为 10 mg/L、50 mg/L、2% 时, LDH 和 MDA 的 SE 值均最小, 说明该组合对 LDH 和 MDA 的协同抑制最强; 茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液的浓度分别为 5 mg/L、10 mg/L、1% 时, SOD 的 SE 值最大, 说明该组合对 SOD 的协同作用最强。茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液对 PC12 细胞的 LDH、MDA 和 SOD 均有显著影响 ($P < 0.05$), 说明茶多酚与葛根黄酮共存于番薯中时, 能够与番薯产生显著的协同抗氧化作用。

关键词: 番薯提取液; 茶多酚; 葛根黄酮; PC12 细胞; 协同抗氧化

文章编号: 1673-9078(2015)12-14-18

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.12.003

Synergistic Antioxidant Activity of Sweet Potato Extracts Combined with Tea Polyphenols and Pueraria Flavonoids on PC12 Cells

LIU Xiao-juan, HE Feng-lin, ZHAO Li-chao, LIU Xin

(College of Food Science, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Using the adding method, the synergistic antioxidant properties of sweet potato extracts (SPE) in combination with tea polyphenols (TP) and pueraria flavonoids (PF) on PC12 cells were studied via determining the malondialdehyde (MDA) content and the activities of lactic dehydrogenase (LDH) and superoxide dismutase (SOD). The results showed that the SE (LDH and MDA) of different combinations of SPE, TP, and PF concentrations was less than one, indicating that the combinations exhibited significant inhibitory effects on LDH and MDA ($p < 0.01$ or $p < 0.05$); the SE (SOD) value of all combinations was more than one, indicating that the combinations exhibited significant synergistic effects on SOD ($p < 0.01$ or $p < 0.05$). For 10 mg/L TP, 50 mg/L PF, and 2% SPE, SE (LDH and MDA) value was the lowest, indicating that this combination showed the strongest inhibition of LDH and MDA. For 5 mg/L TP, 10 mg/L FP, and 1% SPE, SE (SOD) value was the highest, indicating that this combination showed the strongest synergistic effect on SOD. Thus, the effects of TP, FP, and SPE on LDH, MDA, and SOD were significant ($P < 0.05$), indicating that TP and FP coexist in sweet potato and can produce significant synergistic antioxidant effects.

Key words: sweet potato extract; tea polyphenols; pueraria flavonoid; PC12 cell; synergistic antioxidant activity

番薯 (*Ipomoea batatas*) 又名红薯、甜薯和地瓜等, 我国番薯资源丰富, 据联合国粮农组织 2012 年的统计资料, 我国是世界上种植番薯面积最大的主产国, 占世界总产量的 85% 左右。据有关部门统计, 我国红薯直接作饲料的占 50%, 工业加工占 15%, 直接食用占 14%, 用作种薯占 6%, 另有 15% 因保藏不当而霉

收稿日期: 2014-09-10

基金项目: 广东省科技计划农业公关项目 (2012A020602038)

作者简介: 刘晓娟 (1980-), 女, 博士, 副教授, 研究方向为食品化学与功能食品

烂掉, 因此大力发展番薯制品加工尤其是番薯精深加工, 提高番薯的经济附加值很有必要^[1]。

番薯中含有多种营养成分和保健成分, 富含 18 种氨基酸, 其中包含 8 种人体必需氨基酸, 膳食纤维含量为米面的 10 倍, 维生素 B₁ 和 B₂ 是米面的 2 倍, 维生素 E 为小麦的 9.5 倍, 维生素 C 和类胡萝卜素的含量均比米面高 121 倍^[2]。在番薯的众多功能成分中, 以胡萝卜素和维生素 C 最为突出。番薯胡萝卜素含量与胡萝卜相比毫不逊色, 维生素 C 的含量可与柑桔相媲美^[3]。因此, 番薯中含有大量的抗氧化物质, 但在

番薯的加工过程中这些抗氧化物质容易损失, 导致番薯产品的抗氧化功能下降, 因此, 增强番薯的抗氧化性, 对于开发抗氧化番薯制品具有重要的意义。大量研究表明, 天然抗氧化剂添加到食品中能够保护食品中抗氧化物的损失或与食品中的抗氧化物质起到协同作用, 从而提高食品的抗氧化^[4]。茶多酚和葛根黄酮由于具有很强的抗氧化效果, 是食品中常用的天然抗氧化剂^[5-7], 茶多酚和葛根黄酮与其它抗氧化剂(如 VE 和 Vc 等)具有协同抗氧化作用^[8-9]。我们前期的体外 DPPH 和 FRAP 等化学实验结果表明, 番薯提取液与茶多酚、葛根黄酮在清除 DPPH 自由基和总还原能力(FRAP)方面均有显著协同作用^[10]。由于体外化学抗氧化评价方法的局限性, 近年来细胞模型的抗氧化活性测定方法得到了发展, 该方法能有效预测化学物质在生物系统中(物质在细胞中的吸收、代谢和分布等)抗氧化活性, 成为抗氧化活性测定的世界通用方法^[11]。本文采用 PC12 细胞实验, 进一步研究番薯提取液与茶多酚、葛根黄酮的协同抗氧化作用及优化配方, 对于指导开发抗氧化番薯制品提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

1.1.1 材料

PC12 细胞购自中国科学院上海细胞生物学研究所细胞库, 源于大鼠肾上腺嗜铬细胞。

新鲜番薯, 购于广州市场。

1.1.2 药品和试剂

葛根黄酮(纯度为 50%)购自福州日冕科技开发有限公司; 茶多酚(纯度为 50%)购自福州日冕科技开发有限公司; 胎牛血清购自美国 Hyclone 公司; DMEM 高糖培养基、青-链霉素双抗购自美国 Gibco 公司; MTT 购自美国 Sigma 公司; LDH 试剂盒、SOD 试剂盒和 MDA 试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.1.3 仪器

TC-2323 二氧化碳培养箱, 美国 SHELDON 公司; Enspire Xenon Light Module 酶标仪, 美国 perkinElmer 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 细胞培养

细胞接种于 50 mL 培养瓶中, 含体积分数 10% 胎牛血清、100 U/mL 青霉素、100 μ g/mL 链霉素的 DMEM 高糖培养基, 置 37 $^{\circ}$ C、5% CO₂ 饱和湿度的恒

温培养箱内常规培养, 每 2~3 d 更换一次培养液, 当细胞在培养瓶中生长至 80% 满时进行传代。

1.2.2 试剂配置

称取茶多酚 0.01 g, 加 10 mL 的 DEME 完全培养基, 配成 1000 mg/L 的母液; 称取 0.015 g 葛根黄酮, 加 10 mL 的 DMEM 完全培养基, 配成 1500 mg/L 的母液; 称取 5 g 番薯, 70% 乙醇超声离心定容至 50 mL, 浓度为 10%。以上 3 种试剂用无菌滤膜过滤后冷藏, 用时再用培养基稀释成相应的浓度。

1.2.3 抗氧化剂对 PC12 细胞存活率的影响

将对数生长期细胞按 1×10^5 个/mL 接种于 96 孔培养板中, 每孔 200 μ L, CO₂ 培养箱中培养 24 h, 用 D-hank's 清洗两次。试验分为对照组、模型组、药物处理组。对照组加入 200 μ L 的 DMEM 培养基; 模型组加入 190 μ L 的 DMEM 培养基, 药物处理组加入不同浓度的抗氧化剂 190 μ L, 其中茶多酚设置了 5 mg/L (低)、10 mg/L (中) 和 20 mg/L (高) 3 个浓度, 葛根黄酮浓度设置了 10 mg/L (低)、50 mg/L (中) 和 100 mg/L (高) 3 个浓度, 番薯提取液设置了 0.5% (低)、1% (中) 和 2% (高) 3 个浓度, 每个剂量重复 6 孔, 模型组和药物组预孵 4 h 后各加入 H₂O₂ 10 μ L, 使 H₂O₂ 终浓度为 100 μ mol/L, 继续培养 20 h 后每孔加入 MTT (5 mg/mL) 10 μ L, 再培养 4 h, 弃培养基, 每孔加入 DMSO 150 μ L, 混悬 15 min, 用酶标仪在波长 570 nm 处读取吸光度(A), 取 6 孔 A 值的均数按公式计算细胞存活率: 细胞存活率=(实验孔-空白组)/(对照孔-空白组) \times 100%, 每组重复 6 次。

1.2.4 抗氧化剂对 PC12 细胞的抗氧化协同试验

将对数生长期细胞按 1×10^5 个/mL 接种于 96 孔培养板中, 每孔 200 μ L, CO₂ 培养箱中培养 24 h, 用 D-hank's 清洗两次。试验分为对照组、模型组、药物处理组。对照组加入 200 μ L 的 DMEM 培养基; 模型组加入 190 μ L 的 DMEM 培养基, 药物处理组加入不同浓度不同配比的抗氧化剂 190 μ L, 抗氧化剂组合根据响应面设计(见表 2), 其因素水平参照体外抗氧化协同实验和抗氧化剂对细胞存活率的影响, 模型组和药物组预孵 4 h 后加入 H₂O₂ 10 μ L, 使 H₂O₂ 终浓度为 100 μ mol/L, 再继续培养 20 h 后测定相应指标^[10]。

1.2.5 LDH 含量的测定

取 1.2.4 处理的各组细胞上清液按 LDH 试剂盒说明书测定其 OD 值并计算活性。

1.2.6 SOD 和 MDA 含量的测定

收集经 1.2.4 处理后的细胞用 D-hank's 洗涤 2 次, 吸干多余的 D-hank's。置于冰袋上, 加入细胞裂解液

300 μL 裂解 30 min, 显微镜下观察无细胞后取悬液, 按 SOD 及 MDA 试剂盒说明书测定其 OD 值并计算活性。

1.2.7 抗氧化协同评价

采用加合法分析复合抗氧化剂组分间的协同作用, 具体计算过程如下^[12]:

$$SE = I_E / I_T, I_T = I_{TA} + I_{TB} + I_{TC}$$

式中: I_E -复合抗氧化剂对指标的实验值, I_T -复合抗氧化剂对指标的理论计算值, I_{TA} -茶多酚对指标的理论值, I_{TB} -葛根黄酮对指标的理论值, I_{TC} -番薯提取液对指标的理论值。

当 $SE > 1$ 时, 说明存在协同作用, $SE < 1$ 时, 说明存在拮抗作用。

其中, 当指标是 LDH 和 MDA 时, $SE < 1$ 时, 说明存在协同作用, $SE > 1$ 时, 说明存在拮抗作用。

2 结果与分析

2.1 茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液对 PC12

细胞存活率的影响

将茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液均设低、中、高 3 个浓度梯度, 研究在此浓度范围内, 对细胞存活率有无影响, 以选取合适的浓度进行下一步实验, 实验结果见图 1。

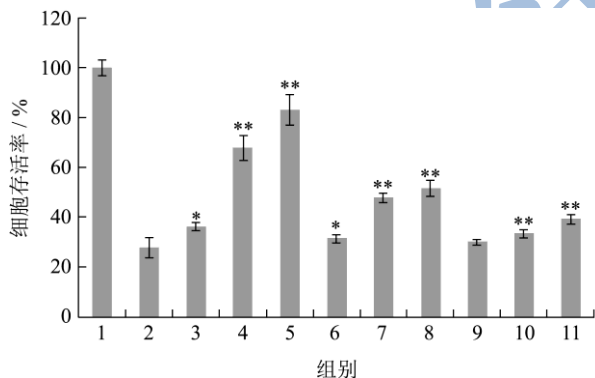


图 1 茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液对 PC12 细胞存活率的影响

Fig.1 Effects of tea polyphenols, pueraria flavonoids, and sweet potato extract on the survival rate of PC12 cells

注: 1: 对照组; 2: H_2O_2 损伤模型组; 3: 茶多酚低剂量组; 4: 茶多酚中剂量组; 5: 茶多酚高剂量组; 6: 葛根黄酮低剂量组; 7: 葛根黄酮中剂量组; 8: 葛根黄酮高剂量组; 9: 番薯提取液低剂量组; 10: 番薯提取液中剂量组; 11: 番薯提取液高剂量组, 与模型组相比, $**p < 0.01$, $*p < 0.05$ 。

根据图 1 中 MTT 检测结果显示, 100 μmol/L 的 H_2O_2 可导致细胞存活率明显下降, 降低了 70%。茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液能在一定程度上保护 PC12

细胞免受 H_2O_2 的损伤, 初番薯提取液低剂量组外, 其它高、中、低 3 个剂量组均能显著抑制氧化损伤导致的细胞存活率下降 ($P < 0.01$ 或 $P < 0.05$), 即说明茶多酚浓度在 5 mg/L~20 mg/L、葛根黄酮浓度在 10 mg/L~100 mg/L、番薯提取液浓度在 1%~2% 对 PC12 细胞的存活率不会造成不良影响, 在此浓度范围内可以进一步采用 PC12 细胞模型开展三者协同抗氧化研究。

2.2 茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液对 PC12

细胞的抗氧化协同作用

2.2.1 单一抗氧化剂对 PC12 细胞的抗氧化作用

结合体外抗氧化协同实验结果和抗氧化剂对细胞存活率的影响结果, 选取合适的浓度梯度进行抗氧化实验, 研究各因素单独存在时对细胞抗氧化作用的影响, 各因素对抗氧化指标的影响结果见表 1。

表 1 单一抗氧化剂对 PC12 细胞的抗氧化作用

Table 1 Antioxidant effect of single antioxidant on PC12 cells

组别	LDH (U/L)	SOD (U/mL)	MDA (nmol/mL)
对照组	239.33±3.11	11.26±1.06	2.04±0.11
模型组	434.00±4.00	4.81±0.71	4.05±0.23
茶多酚(5 mg/L)	280.33±3.21**	10.17±1.01**	3.67±0.25**
茶多酚(7.5 mg/L)	266.33±3.03**	12.95±0.25**	3.24±0.14**
茶多酚(10 mg/L)	255.67±4.26**	24.97±1.07**	2.96±0.06**
葛根黄酮(10 mg/L)	320.33±4.11**	13.92±1.12**	3.72±0.22*
葛根黄酮(30 mg/L)	304.33±3.12**	16.90±1.00**	3.45±0.43*
葛根黄酮(50 mg/L)	291.67±4.50**	22.51±0.51**	3.17±0.15**
番薯提取液(1%)	318.33±3.01**	7.97±0.17**	3.88±0.11
番薯提取液(1.5%)	309.67±4.60**	13.89±1.18**	3.64±0.14
番薯提取液(2%)	301.67±4.07**	17.34±0.24**	3.14±0.08**

注: 与模型组比较 $**p < 0.01$, $*p < 0.05$ 。

SOD (超氧化物歧化酶)、MDA (丙二醛) 和 LDL (低密度脂蛋白) 是抗氧化研究常用的三个指标, SOD 是生物体内重要的抗氧化酶, 能够清除体内过多的有害的氧自由, MDA 是脂质氧化的产物, LDL 的氧化可导致动脉粥样硬化的发生。根据表 1 可知, 与模型组相比, 茶多酚处理组、葛根黄酮处理组和番薯提取液组均能极显著降低细胞培养液中的 LDH 的释放量 ($p < 0.01$), 3 个处理组均能极显著提高细胞中 SOD 的含量 ($p < 0.01$), 除番薯提取液低、中剂量组, 3 个处理组均能显著降低细胞中 MDA 的含量 ($p < 0.01$ 或 $p < 0.05$), 从而说明茶多酚、葛根黄酮和番薯提取

液都对 H₂O₂ 损伤的 PC12 细胞具有保护作用, 都具有很强的抗氧化效果, 此试验数据还可用于下一步协同试验中的理论值的计算。

2.2.2 茶多酚、葛根黄酮与番薯提取液的协同抗氧化作用

根据选取的各因素浓度水平, 利用响应面设计三者共存时的协同试验, 根据试验结果中各抗氧化指标的值, 研究茶多酚和葛根黄酮与番薯提取液的协同作用。试验结果和方差分析见表 3~4。

表 2 因素水平表

Table 1 Table of factors and levels

编码	自变量		
	A[茶多酚 /(mg/L)]	B[葛根黄酮 /(mg/L)]	C(番薯提 取液/%)
-1	5	10	1.0
0	7.5	30	1.5
1	10	50	2.0

表 3 复配后的协同抗氧化作用

Table 3 Synergistic antioxidant effects of the combinations

试验	A/(mg/L)	B/(mg/L)	C/%	LDH/(U/L)	SE/LDH	MDA/(nmol/mL)	SE/MDA	SOD/(U/mL)	SE/SOD
1	5	50	1	208.76±5.75	0.70**	2.81±0.04	0.79**	29.79±1.08	2.20*
2	10	10	1	202.29±8.63	0.68**	2.72±0.07	0.77**	28.16±0.54	1.80**
3	7.5	30	1.5	201.91±2.22	0.69**	2.71±0.23	0.79**	29.84±1.00	2.05**
4	7.5	30	1.5	212.95±2.87	0.73**	2.87±0.03	0.83**	29.36±1.04	2.01**
5	11.7	30	1.5	187.43±9.36	0.72**	2.54±0.12	0.82**	35.36±1.27	2.06**
6	7.5	30	1.5	206.10±7.72	0.70**	2.78±0.12	0.80**	30.62±0.67	2.10**
7	7.5	3.6	1.5	232.38±5.11	0.81**	3.14±0.03	0.77**	25.13±0.84	1.79**
8	5	50	2	172.57±5.71	0.91**	2.36±0.03	0.71**	30.35±1.51	1.82**
9	10	10	2	210.29±4.57	0.72**	2.84±0.07	0.87**	29.24±0.97	1.56**
10	7.5	63.6	1.5	168.76±9.98	0.87**	2.27±0.03	0.69**	36.46±0.54	1.97**
11	7.5	30	0.66	216.38±9.91	0.77**	2.87±0.24	0.68**	22.42±1.36	2.23*
12	5	10	1	194.29±9.29	0.63**	2.59±0.18	0.69**	25.79±1.53	2.41*
13	7.5	30	1.5	204.19±8.66	0.70**	2.69±0.22	0.78**	25.55±0.53	1.75**
14	5	10	2	190.48±9.47	0.63**	2.64±0.05	0.75**	27.47±1.79	1.99*
15	3.3	30	1.5	230.10±9.29	0.76**	3.13±0.10	0.67**	25.58±0.51	1.88**
16	10	50	2	156.95±8.58	0.55**	2.05±0.08	0.66**	38.61±0.23	1.79**
17	7.5	30	2.34	158.86±6.56	0.61**	2.12±0.12	0.69**	36.29±5.41	1.99**
18	7.5	30	1.5	184.00±3.02	0.63**	2.48±0.09	0.72**	29.44±0.28	2.02**
19	7.5	30	1.5	183.62±9.24	0.63**	2.46±0.13	0.71**	29.78±0.94	2.04**
20	10	50	1.0	185.52±4.41	0.64*	2.54±0.13	0.76**	27.41±0.49	1.48**

注: ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$ 。

根据表 3 可知, 茶多酚、葛根黄酮和番薯溶液各浓度组合中的 SE (LDH) 和 SE (MDA) 均小于 1, 说明茶多酚和葛根黄酮与番薯溶液共存时, 在试验设置的浓度范围内, 均能够对 LDH 和 MDA 产生抑制作用, 显著性分析可知, 各组合产生的抑制作用是显著的 ($p < 0.01$ 或 $p < 0.05$), 说明茶多酚、葛根黄酮和番薯溶液复配对 LDH 和 MDA 的协同抑制作用显著高于单独存在时的抑制效果; 各浓度组合中的 SE (SOD) 均大于 1, 说明茶多酚和葛根黄酮与番薯溶液共存时, 在试验设置的浓度范围内, 均能够对 SOD 产生协同作用, 显著性分析可知, 产生的协同作用是显著的 ($p < 0.01$ 或 $p < 0.05$)。因此, 从 LDH、MDA 和 SOD 这

3 个衡量抗氧化能力的重要指标来看, 茶多酚、葛根黄酮和番薯溶液复配具有显著的协同抗氧化能力, 从而为开发抗氧化番薯制品提供了重要的参考。

在试验号为 16 时 (茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液的浓度分别为 10 mg/L、50 mg/L、2%), LDH 和 MDA 的 SE 值均最小, 说明该组合对 LDH 和 MDA 的协同抑制作用最强。在试验号为 12 (茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液的浓度分别为 5 mg/L、10 mg/L、1%) 时, SOD 的 SE 值最大, 说明该组合对 SOD 的协同作用最强, 这也说明并非是浓度越高的组合, 协同作用越大, 协同作用的大小与各因素的浓度组合相关。根据方差分析结果可知, 茶多酚、葛根黄酮和番

薯提取液对 PC12 细胞的 LDH、MDA 和 SOD 均有显著影响 ($p < 0.05$ 或 $p < 0.01$)，这说明茶多酚与葛根黄酮共存于番薯中时，能够与番薯之间产生显著的协同抗氧化作用。因此通过响应面设计来优化番薯与茶多酚、葛根黄酮的协同抗氧化配方，对于指导开发高效的抗氧化番薯制品提供理论依据。

3 结论

3.1 茶多酚在 5 mg/L~20 mg/L、葛根黄酮在 10 mg/L~100 mg/L、番薯提取液在 1%~2%浓度范围内均能显著抑制 H_2O_2 氧化损伤导致的细胞存活率下降 ($p < 0.01$)，在此浓度范围内可以进一步采用 PC12 细胞模型开展三者协同抗氧化研究。

3.2 在单一抗氧化试验中，茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液处理组的高、中、低剂量组均能极显著降低细胞培养液中的 LDH 的释放量 ($p < 0.01$)，且均能极显著提高细胞中 SOD 的含量 ($p < 0.01$)，除番薯提取液低、中剂量组外，其它处理组均能显著降低细胞中 MDA 的含量 ($p < 0.01$ 或 $p < 0.05$)，从而说明茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液都对 H_2O_2 损伤的 PC12 细胞具有很强的抗氧化保护效果，此试验数据可用于下一步协同试验中理论值的计算。

3.3 在协同抗氧化试验中，茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液各浓度组合中的 SE (LDH) 和 SE (MDA) 均小于 1，说明各组合均能够对 LDH 和 MDA 产生显著抑制作用 ($p < 0.01$ 或 $p < 0.05$)；各浓度组合中的 SE (SOD) 均大于 1，说明各组合均能够对 SOD 产生显著协同作用 ($p < 0.01$ 或 $p < 0.05$)。茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液的浓度分别为 10 mg/L、50 mg/L、2% 时，LDH 和 MDA 的 SE 值均最小，说明该组合对 LDH 和 MDA 的协同抑制最强。茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液的浓度分别为 5 mg/L、10 mg/L、1% 时，SOD 的 SE 值最大，说明该组合对 SOD 的协同作用最强。茶多酚、葛根黄酮和番薯提取液对 PC12 细胞的 LDH、MDA 和 SOD 均有显著影响 ($p < 0.05$)，这说明茶多酚与葛根黄酮共存于番薯中时，能够与番薯之间产生显著的协同抗氧化作用。

参考文献

[1] 何川. 红薯的营养价值及开发利用[J]. 西部粮油科技, 2003, 5: 44-46
HE Chuan. Nutrition of sweet potato and its development and usage [J]. China Western Cereals & Oils Technology, 2003 (5): 44-46

[2] 周增学. 红薯的营养价值与保健功能[J]. 食品与药品, 2006, 8(8): 75-76
ZHOU Zeng-xue. The nutritional value and health function of sweet potato [J]. Food and Drug, 2006, 8(8): 75-76

[3] Heo H J, Kim Y J, Chung D, et al. Antioxidant capacities of individual and combined phenolics in a model system [J]. Food Chem., 2007, 104(1): 87-92

[4] Zanfini A, Corbini G, Rosa C L, et al. Antioxidant activity of tomato lipophilic extracts and interactions between carotenoids and α -tocopherol in synthetic mixtures [J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43: 67-72

[5] 龙秀, 李国基, 耿予欢. 茶多酚对干果类食品抗氧化作用的研究. 现代食品科技, 2005, 21(3): 118-121
LONG Xiu, LI Guo-ji, GENG Yu-huan. Study on the Anti-oxidation Effect of Tea Polyphenols on Dry Fruit [J]. Modern Food Science and Technology, 2005, 21(3): 118-121

[6] Cai Y J, Ma L P, Hou L F, et al. Antioxidant effects of green tea polyphenols on free radical initiated peroxidation of rat liver microsomes [J]. Chem. Phys. Lipids, 2009, 120: 109-117

[7] Guerra M C, Eeroni E S P, Broccoli M. Comparison between Chinese medical herb puerarial obatacrude extract and its main isoflavone puerarin antioxidant properties and effects on rat liver CYP-catalysed drug metabolism [J]. Life Sci., 2000, 67: 2997-3006

[8] Zhou B, Wu L M, Yang L, et al. Evidence for α -tocopherol regeneration reaction of green tea polyphenols in SDS micelles [J]. Free Radical Biol. Med., 2005, 38: 78-84

[9] Niki E, Saito T, Kawakami A. Inhibition of oxidation of methyl linoleate in solution by vitamin E and vitamin C [J]. J. Biol. Chem., 1984, 259: 4177-4182

[10] Liu X J, He F L, Zhao L C, et al. Synergistic Antioxidant Activity of Sweet Potato Extracts in Combination with Tea Polyphenols and Pueraria Flavonoid in Vitro [J]. Advance Journal of Food Science and Technology, 2014, 6(2): 215-220

[11] Wolfe K L, Kang X, He X, et al. Cellular antioxidant activity of common fruits [J]. J. Agric. Food Chem., 2008, 56(18): 8418-8426

[12] Fuhrman B, Volkova N, Rosenblat M. Lycopene synergistically inhibits LDL oxidation in combination with vitamin E, glabridin, rosmarinic acid, carnolic acid, or garlic [J]. Antioxidants & Redox Signaling, 2000, 2: 491-505