

不同品种薯尖的总酚、总黄酮含量及抗氧化活性比较

陈蓬凤^{1,2}, 梅新¹, 黄师荣², 蔡芳¹, 王少华¹, 何建军¹, 施建斌¹, 隋勇¹, 蔡沙¹, 熊添¹, 陈学玲¹, 范传会¹
(1.湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所,湖北武汉 430064)

(2.湘潭大学化工学院,湖南湘潭 411105)

摘要:为筛选出抗氧化活性较高的薯尖品种、为薯尖的开发利用提供理论依据,本研究比较了四种不同品种薯尖(福薯 7-6、福薯 18、宁菜、7001)的叶、茎尖、柄、茎 4 个部位的总酚、总黄酮含量。并且以 DPPH·清除率、总还原力、·OH 清除能力、超氧阴离子自由基清除能力为抗氧化活性衡量指标,分析了 4 个品种各个部位的抗氧化活性及其与酚类物质含量的相关性。实验表明:4 种薯尖的总多酚含量介于 4.42~98.15 mg GAE/g DW,总黄酮含量介于 0.97~36.17 mg RE/g DW, DPPH·清除率介于 5.13~53.1 mg trolox/g,总还原力介于 5.65~115.00 mg Vc/g,·OH 清除能力介于 0.04~0.06(Vc mg/g),超氧阴离子清除能力介于 27.11%~54.50%;在 4 个部位间,叶、茎尖的酚类物质含量及相关抗氧化活性总体上显著高于其他部位;4 种薯尖中只有福薯 7-6 和福薯 18 在叶部位的总黄酮含量无显著差异,且各个品种在茎尖和柄部位的·OH 清除能力均无显著差异;总酚、总黄酮含量与抗氧化活性均呈正相关。总而言之,不同品种、不同部位薯尖的总酚、总黄酮含量,以及其抗氧化活性均存在一定差异。经过筛选认为 7001 品种薯尖的酚类物质含量及其抗氧化能力最高,可作为优质抗氧化剂的资源。

关键词:薯尖;多酚;黄酮;抗氧化活性

文章编号:1673-9078(2021)03-132-138

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.3.0697

Comparison of the Total Phenolics, Total Flavonoids and Antioxidant

Activities in Potato Tips of Different Varieties

CHEN Peng-feng^{1,2}, MEI Xin¹, HUANG Shi-rong², CAI Fang¹, WANG Shao-hua¹, HE Jian-jun¹, SHI Jian-bin¹,
SUI Yong¹, CAI Sha¹, XIONG Tian¹, CHEN Xue-ling¹, FAN Chuan-hui¹

(1. Institute of Agro-Product Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430064, China) (2. College of Chemical Engineering, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China)

Abstracts: In order to screen out potato tips with a higher antioxidant activity and provide a theoretical basis for the development and utilization of potato tips, the contents of total phenolics and total flavonoids in the leaves, stem tips, stalks and stems of four varieties of sweet potato tips (Fushu7-6, Fushu18, Ningcai and 7001) were compared in this study. Using DPPH· scavenging rate, total reducing power, ·OH scavenging capacity and superoxide anion radical scavenging capacity as indicators of antioxidant activity, the correlation between the antioxidant activity of each part of the four varieties and its phenolic substance content was examined. Experiments showed that the total phenolic contents of the four kinds of potato tips ranged from 4.42 to 98.15 mg GAE/g DW, with the total flavonoid content in the range of 0.97~36.17 mg RE/g DW, DPPH· scavenging rate in the range of 5.13~53.1 mg trolox/g, the total reducing power in the range of 5.65~115.00 mg Vc/g, the ·OH scavenging capacity in the range of 0.04~0.06 (Vc mg/g), and the superoxide anion scavenging capacity in the range of 27.11%~54.50%. Among the four parts, the contents of phenolic substances and associate antioxidant activities in leaves and stem tips were generally higher than those of other parts. Among the 4 kinds of potato tips, only the total flavonoid contents in Fushu 7-6 and Fushu 18 leaf

引文格式:

陈蓬凤,梅新,黄师荣,等.不同品种薯尖的总酚、总黄酮含量及抗氧化活性比较[J].现代食品科技,2021,37(3):132-138

CHEN Peng-feng, MEI Xin, HUANG Shi-rong, et al. Comparison of the total phenolics, total flavonoids and antioxidant activities in potato tips of different varieties [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(3): 132-138

收稿日期: 2020-07-24

基金项目: 湖北省中央引导地方科技发展专项 (2018ZYD011); 湖北省农业科技创新中心团队项目 (2016-620-000-001-25)

作者简介: 陈蓬凤 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 生物与食品化工

通讯作者: 梅新 (1978-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 薯类深加工及副产物综合利用

samples were insignificantly different, and the ·OH scavenging capacities of the stem tips and stalks of all varieties differed insignificantly; the contents of total phenolics and total flavonoids were positively correlated with the corresponding antioxidant activity. All in all, there were some differences in the total phenolic content and total flavonoid content as well as their antioxidant activities of different varieties and different parts of potato tips. After screening, it was concluded that the 7001 variety of potato tip had the highest phenolic content and antioxidant capacity, which may be used as a resource of high-quality antioxidants.

Key words: potato tip; polyphenol; flavonoid; antioxidant activity

抗氧化剂能有效降低食品氧化, 稳定食品品质, 延长货架期等。近年来, 抗氧化食品越来越引起人们的重视, 而天然抗氧化剂因其无毒、安全、经济等优点, 日益受到越来越多的专家和消费者的关注。植物多酚、黄酮类物质作为天然抗氧化剂的重要来源, 广泛存在于果蔬中, 具有抗氧化、预防心血管疾病、抗衰老等多种生理功效^[1-3]。

甘薯 (*Ipomoea batatas* L.) 属于旋花科 (Convolvulaceae) 甘薯属, 又名甜薯、地瓜、番薯、白薯、红薯等, 是我国主要栽培种植农作物之一。薯尖又称薯尖, 是红薯幼茎的一部分, 可分为叶、柄、茎、尖四部分, 主要化学成分有纤维、蛋白质、维生素、矿物质、脂肪酸、花色苷、黄酮、多酚、咖啡原酸等。正是因为具有花色苷、黄酮、多酚等这些功能性成分, 所以使得薯尖具有抗氧化活性、预防心血管病和糖尿病、抗癌等多种生理保健功能^[4]。有研究显示^[5,6], 甘薯总酚含量大约为常见蔬菜如菠菜、油菜、卷心菜等的 2~3 倍, 亚洲蔬菜研究中心将薯尖列为高营养蔬菜品种, 美称其为“蔬菜皇后”, 在日本、美国, 它被列为“长寿食品”。而在国内甘薯茎叶的利用程度普遍较低, 少部分用作蔬菜和饲料外, 大部分被随意丢弃, 造成资源浪费^[7]。并且近年来, 随着农业科技的发展, 薯尖作为一种时兴的蔬菜越来越受到国内外人们的青睐, 同时我国农业研究机构在菜用型甘薯品种选育方面取得了较大的发展, 培育出许多菜用甘薯品种, 如福菜薯、广菜薯、宁菜薯、鲁薯等等。菜用甘薯易种植, 生长速度快, 生产成本低, 且天然无公害。因此, 改良型菜用甘薯薯尖的开发利用具有很好的价值和广阔的市场前景^[8]。而目前类似的甘薯体外抗氧化活性等研究多以叶片、茎等单一部位为主, 而以薯尖为研究对象, 关于不同品种、不同部位之间的比较研究较少, 目前薯尖或茎尖研究更多集中于其营养物质的测定及比较^[4,8]、栽培技术^[9-11]、产品加工^[12-15]等, 且现有的类似研究一般只有 1~2 个抗氧化评价指标, 往往不足以全面详细地评价筛选某个品种。

本文通过测定福薯 7-6、福薯 18、宁菜、7001 四种不同叶菜型薯尖品种的叶、茎尖、柄、茎 4 个部位的总酚、总黄酮含量, 以 DPPH·清除率、总还原力、

·OH 清除能力、超氧阴离子自由基清除能力为抗氧化活性衡量指标, 从而筛选出抗氧化活性较高、品质较好的甘薯品种。这一方面可为甘薯薯尖资源的利用, 以及进一步促进甘薯薯尖等功能性或保健食品及其它深加工产品的开发提供一定理论依据, 另一方面通过筛选优良品种, 可促进其甘薯的大面积培育、种植、推广, 且高品质的薯尖品种有利于某些薯尖或甘薯加工产品的工艺改良, 促进其产业化发展。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

4 种叶菜型甘薯尖品种幼苗 (福薯 7-6、福薯 18、宁菜、7001) 于湖北省农科院 7 月份采摘; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、没食子酸 (Gallic acid, GA)、芦丁标准品, 上海源叶生物科技有限公司; 其他试剂均为国产分析纯。

722N 可见分光光度计, 上海仪电分析仪器公司; LGJ-25C 冷冻干燥机、SB-5200D 超声波清洗机, 宁波新芝生物科技公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备

将采摘后的新鲜甘薯幼苗分为叶、茎尖、柄、茎四个部位的不同样品, 经冷冻干燥后, 用粉碎机粉碎并过 60 目筛, 将制得的粉末装入密封袋中, -20 °C 以下冷藏备用。称取 2 g (准确至 0.001 g) 左右样品粉末, 按 1:40 (*m/V*) 加入 70% 乙醇提取, 于 50 °C 水浴中浸提 60 min, 4000 r/min 离心 10 min, 滤纸过滤后于 4 °C 避光保存备用。

1.2.2 总多酚含量测定

总多酚含量采用福林酚法^[16], 稍作修改: 取样品各 0.1 mL 于 10 mL 比色管中, 加入 0.5 mL 福林酚试剂, 混匀反应 5 min。加入 1.5 mL 20% Na₂CO₃, 加蒸馏水定容至 10 mL, 摇匀。室温下避光放置 60 min 后 765 nm 测定吸光度。同样方法以系列浓度梯度的没食子酸制得标准溶液, 绘制标准曲线计算多酚含量 (mg

GAE/g DW)。

1.2.3 总黄酮含量测定

总黄酮含量采用硝酸铝显色法^[17]：分别取 1 mL 样品溶液、5%亚硝酸钠溶液于 25 mL 刻度试管中，摇匀放置 6 min 后加 10%硝酸铝溶液 1 mL，混匀，静置 6 min，加入 1 mol/L 氢氧化钠溶液 4 mL，再用蒸馏水稀释至刻度线，15 min 后分别在 510 nm 处测定其吸光度。以芦丁为标准品，绘制标准曲线计算总黄酮含量(mg RE/g DW)。

1.2.4 DPPH·清除率测定

参照何礼等人^[18]的方法测定，稍作改动。分别量取不同提取物 2 mL 及 2 mL DPPH·乙醇溶液(0.2 mmol/L，避光 4 °C 保存，现用现配)混合摇匀，室温避光放置 30 min，以乙醇为调零空白，517 nm 波长处测定吸光度 A_1 ，同时测定 2 mL 样品及 2 mL 无水乙醇混合液的吸光度 A_2 ，2 mL 乙醇及 DPPH 溶液混合液的吸光度 A_0 。按照公式(1)计算 DPPH 自由基清除率。以 Trolox 作为抗氧化能力参考标准，表示为 Trolox 当量(Trolox mg/g)。

$$\text{清除率}/\% = [1 - (A_1 - A_2) / A_0] \times 100\% \quad (1)$$

1.2.5 总还原力的测定

参照刘冉等人^[7]的方法测定。分别吸取 2.5 mL 不同浓度样品溶液，依次加入 0.2 mol/L 磷酸盐缓冲溶液(pH 6.6)、1%铁氰化钾溶液各 2.5 mL，混匀，50 °C 水浴 20 min 后快速冷却，加入 2.5 mL 10%三氯乙酸(trichloroacetic acid, TCA)终止反应，3000 r/min 离心 10 min，取 2.5 mL 上清液，加入 2.5 mL 蒸馏水、0.5 mL 0.1% FeCl₃ 溶液，混匀，10 min 后于 700 nm 下比色，还原能力以吸光值表示。Vc 作阳性对照，并以 Vc 当量(mg Vc E/g DW)表示。

1.2.6 ·OH 清除能力测定

参照王萍等人^[19]的方法测定。在比色管中依次加入 10 mmol/L 的 FeSO₄ 1 mL、10 mmol/L 水杨酸 1 mL，再分别 1 mL 加入不同样品溶液，最后加 8.8 mmol/L H₂O₂ 1 mL，37 °C 反应 0.5 h，以蒸馏水作参比，在 510 nm 波长处测吸光度，并同时做不加显色剂的样品空白；以同样的方法测定 Vc 的·OH 清除能力，作为对照。按公式(2)计算·OH 清除率。

$$\text{清除率}/\% = [1 - (A_i - A_j) / A_0] \times 100\% \quad (2)$$

式中： A_0 为蒸馏水代替样品的空白对照吸光值； A_i 为样品溶液反应后的吸光度值； A_j 为不加 H₂O₂ 的样品溶液与无水乙醇混合后的吸光度值。

1.2.7 超氧阴离子自由基清除能力测定

参照文献^[20,21]的方法测定，稍作修改。取 50 mmol/L Tris-HCl 溶液(pH=8.2) 4.5 mL，5 mmol/L 邻

苯三酚溶液 0.2 mL，样品溶液 1.0 mL，蒸馏水 2.5 mL，迅速摇匀，每隔 30 s 进行一次全波长扫描(190~400 nm)，测得 5 min 内的吸光值。以 Tris-HCl 溶液调零，蒸馏水代替样品作空白对照。按公式(3)计算样品的超氧阴离子清除率。

$$\text{清除率}/\% = (V_0 - V_{\#}) / V_0 \times 100\% \quad (3)$$

式中： V_0 为邻苯三酚自身氧化每 30 s 的吸光值拟合直线取其斜率所得自身氧化速率； $V_{\#}$ 为邻苯三酚与样品溶液混合反应液每 30 s 的吸光值拟合直线取其斜率所得的氧化速率。

1.3 数据处理

所有实验数据均为 3 次重复实验结果平均值，以平均值±SD 表示。采用 SPSS 20.0 统计软件进行数据分析，采用 Origin 8.5 绘图软件绘图，差异显著性比较使用 Duncan 新复极差法，利用 Pearson 进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种薯尖不同部位的总多酚含量比较

表 1 不同品种薯尖不同部位的总多酚含量

Table 1 The content of total polyphenols in different parts of different varieties of sweet potatoes

品种	总多酚含量 (mg GAE/g DW)			
	叶	茎尖	柄	茎
福 7-6	25.29±0.21 ^{Cb}	34.46±1.06 ^{Da}	5.09±0.19 ^{Cd}	12.91±0.04 ^{Ac}
福 18	20.61±0.79 ^{Db}	44.35±0.44 ^{Ca}	9.34±0.40 ^{Ac}	5.88±0.20 ^{Cd}
宁菜	28.26±0.05 ^{Bb}	98.15±0.61 ^{Aa}	4.42±0.09 ^{Dd}	5.58±0.08 ^{Dc}
7001	60.37±2.14 ^{Ac}	68.91±1.92 ^{Bb}	7.91±0.18 ^{Bd}	9.30±0.19 ^{Bd}

注：大写字母表示不同品种差异显著， $p < 0.05$ ；小写字母表示不同部位差异显著， $p < 0.05$ ，表 2 同。

总多酚含量以没食子酸当量(mg GAE/g DW)表示。由表 1 可知，4 个不同类型品种甘薯中叶、茎尖、柄、茎 4 个部位的总多酚含量介于 4.42~98.15 mg GAE/g DW，从整体来看，叶、茎尖的多酚含量高于其他两个部位，并且不同品种在同一个部位之间的总多酚含量均具有显著性差异($p < 0.05$)。曹清河^[22]等人筛选了包括福薯 7-6 在内的 7 个菜用型甘薯品种，以甘薯茎尖及其幼叶为提取对象，测定含量较高的福薯 7-6 与福薯 10，分别达 4.47 和 3.96 mg/g FW，且与其它品种(系)差异极显著。刘丽香^[23]的研究发现不同品种红薯的多酚含量也具有显著差异，品种间含量相差 1.22~3.02 倍。另一方面，同一品种在不同部位的

总酚含量也存在显著性差异 ($p < 0.05$), 只有 7001 品种的柄和茎部位之间的总酚含量无显著差异。在叶、茎尖、柄、茎 4 个部位之间总酚含量最高的品种分别为 7001、宁菜、福 18、福 7-6, 其含量对应为 60.37、98.15、9.34、12.91 mg GAE/g DW。

2.2 不同品种薯尖不同部位的总黄酮含量比较

总黄酮含量以芦丁当量 (mg RE/g DW) 表示。由表 2 可知, 4 个不同类型品种甘薯中叶、茎尖、柄、茎 4 个部位的总黄酮含量介于 0.97~36.17 mg RE/g DW, 从整体来看, 叶、茎尖的总黄酮含量较高于其他两个部位, 其中叶的总黄酮含量在 13.19~23.63 mg RE/g DW 之间, 这与孔秀林^[24]等人用 70% 乙醇提取甘薯叶片所得的黄酮含量相接近。同一品种的 4 个部位之间的总黄酮含量具有显著差异 ($p < 0.05$), 其中只有宁菜的柄、茎部位的总黄酮含量无显著差异。熊运海^[25]的研究表明不同甘薯品种叶的总黄酮含量显著高于茎、叶柄。不同品种在同一部位的总黄酮含量也存在显著差异, 除了福 7-6 和福 18 的叶部位总黄酮含量差异不明显。叶、茎尖、柄、茎的总黄酮含量最高的品种分别为: 7001、7001、福 18、福 7-6, 其含量对应为 23.63、36.17、3.09、4.84 mg RE/g DW。

表 2 不同品种薯尖不同部位的总黄酮含量

Table 2 The content of total flavonoids in different parts of different varieties of sweet potatoes				
品种	总黄酮含量 (mg RE/g DW)			
	叶	茎尖	柄	茎
福 7-6	13.19±0.21 ^{Cb}	18.90±0.77 ^{Ba}	1.10±0.03 ^{Cd}	4.84±0.26 ^{Ac}
福 18	13.23±0.12 ^{Cb}	17.26±0.39 ^{Ca}	3.09±0.09 ^{Ac}	1.79±0.06 ^{Cd}
宁菜	19.27±0.12 ^{Bb}	7.49±0.25 ^{Dc}	0.97±0.08 ^{Dd}	1.09±0.03 ^{Dd}
7001	23.63±1.13 ^{Ab}	36.17±0.29 ^{Aa}	1.40±0.03 ^{Bd}	2.91±0.02 ^{Bc}

2.3 不同品种薯尖不同部位的抗氧化活性

2.3.1 DPPH·自由基清除能力

结果如图 1 所示, DPPH·清除率以 trolox 当量表示。结果表明, DPPH·清除率介于 5.13~53.1 mg trolox/g, 整体来看, 叶和茎尖的 DPPH·清除能力比其他部位高, 其中, 7001 品种甘薯的叶、茎尖部位 DPPH·清除率最高。不同品种甘薯在同一部位之间的 DPPH·清除率存在显著差异 ($p < 0.05$), 其中福 7-6 和福 18 的茎尖部位差异不明显, 福 18 和宁菜的叶部位也无统计学差异 ($p > 0.05$)。田迪英^[26]曾比较红薯梗、茎、叶的总黄酮含量, 发现其与 DPPH·清除率无显著

性差异。傅玉凡^[27]等人对不同叶菜型甘薯品种的绿原酸含量研究中同样发现茎尖各部位的绿原酸含量和清除 DPPH·的能力有显著差异, 特别是叶片含量极显著高于茎和叶柄。相同品种在不同部位表现出的 DPPH·清除率也存在显著差异, 其中福 18 和 7001 的叶、茎尖部位表现的 DPPH·清除力无显著差异, 且福 18 的柄和茎在 DPPH·清除率的表现也不具有显著差异。在叶、茎尖、柄、茎四个部位的 DPPH·自由基清除力最高的品种分别为: 7001、7001、7001、福 7-6, 其大小对应为: 52.37、51.83、8.22、8.61 mg trolox/g。

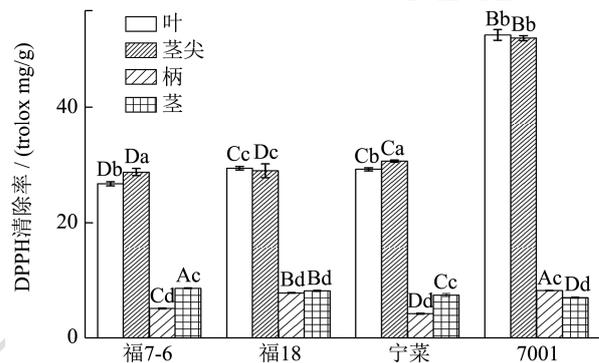


图 1 不同品种薯尖不同部位的 DPPH·自由基清除能力

Fig.1 DPPH· Free radical scavenging ability of different parts of different varieties of sweet potatoes

注: 大写字母表示不同品种差异显著, $p < 0.05$; 小写字母表示不同部位差异显著, $p < 0.05$, 下同。

2.3.2 总还原能力

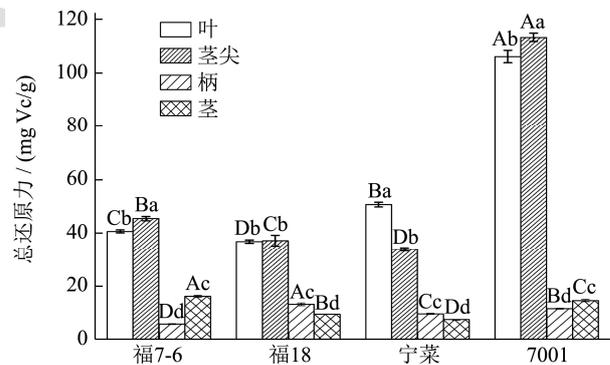


图 2 不同品种薯尖不同部位的总还原能力

Fig.2 Total reduction capacity of different parts of different varieties of sweet potato

结果如图 2 所示, 总还原力以 Vc 当量表示。结果表明, 总还原力介于 5.65~115.00 mg Vc/g, 叶和茎尖的总还原能力整体比其他部位高, 其中, 7001 品种甘薯的叶、茎尖部位总还原力最高。不同品种甘薯在同一部位之间的总还原力均存在显著差异 ($p < 0.05$)。相同品种在不同部位表现出的 DPPH·清除率也存在显著差异, 其中甘薯品种福 18 的叶、茎尖部位的总还原力无显著差异 ($p > 0.05$)。在叶、茎尖、柄、茎各个

部位的总还原力最高的品种分别为：7001、7001、福18、福7-6，其大小对应为：106.06、113.21、13.17、16.16 mg Vc/g。

2.3.3 ·OH 清除能力

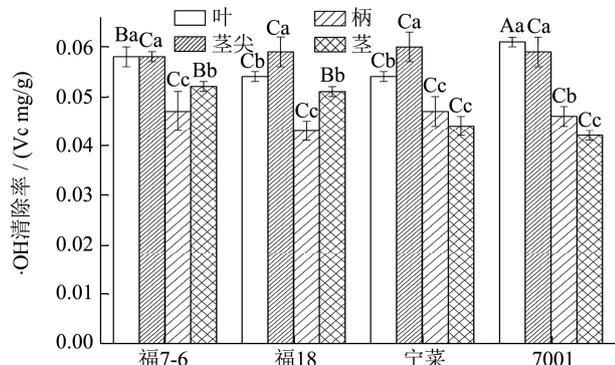


图3 不同品种薯尖不同部位的·OH 清除能力

Fig.3 ·OH scavenging ability of different parts of different varieties of sweet potato

结果如图3所示，·OH 清除能力以 Vc 当量表示。结果表明，·OH 清除能力介于 0.04~0.06 Vc mg/g，叶和茎尖的·OH 清除能力整体均比其他部位高，不同品种在叶和茎部位的·OH 清除能力存在显著差异 ($p < 0.05$)，由图可知，福18和宁菜的叶部位·OH 清除能力无显著差异，福18和福7-6、宁菜和7001的茎部位无显著差异。同时，4个品种甘薯在茎尖和柄部位的·OH 清除能力均无显著差异。而对于同一品种，其不同部位之间也存在显著差异，其中，福7-6、7001的叶、茎尖部位，福18的叶、茎部位，以及宁菜的柄、茎部位均无显著差异。在叶、茎部位的·OH 清除能力

最高的品种分别为：7001、福7-6，其大小对应为：0.06、0.05 mg Vc/g。

2.3.4 超氧阴离子自由基清除能力

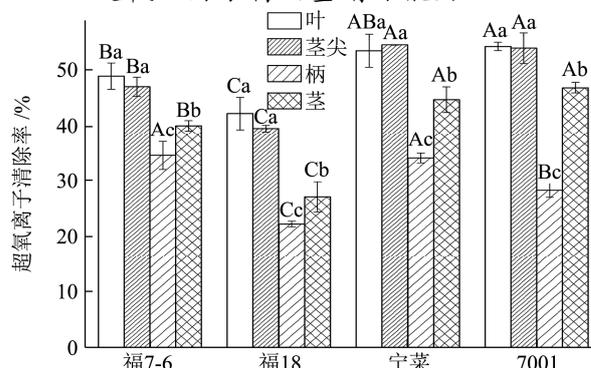


图4 不同品种薯尖不同部位的超氧阴离子自由基清除能力

Fig.4 Superoxide anion free radical scavenging ability of different parts of different varieties of sweet potatoes

结果如图4所示，超氧阴离子清除能力介于 27.11%~54.50%之间，叶、茎尖的清除力也比其他部位要高，且同一品种叶、茎尖部位的超氧阴离子清除力均无显著差异 ($p > 0.05$)，而不同品种在同一部位的超氧阴离子清除力具有显著差异 ($p < 0.05$)。其中，只有福7-6和宁菜在柄部位的自由基清除力无显著差异；宁菜和7001薯尖的茎部位的清除力也无统计学差异。在叶、茎尖、柄、茎各个部位的超氧阴离子清除力最高的品种分别为：7001、7001、福7-6、7001，其大小对应为：54.21%、53.90%、34.58%、46.86%。

2.4 相关性分析

表3 总多酚和总黄酮与抗氧化活性指标的相关性

Table 3 Correlation between total polyphenols and total flavonoids and antioxidant activity indicators

抗氧化指标	总多酚		总黄酮	
	相关系数(r)	显著水平(p)	相关系数(r)	显著水平(p)
DPPH·清除率	0.953	0.000**	0.935	0.000**
总还原力	0.45	0.002**	0.45	0.002**
·OH 清除能力	0.613	0.011*	0.681	0.004**
超氧阴离子自由基清除能力	0.482	0.029*	0.462	0.072

注：*表示相关性显著， $p < 0.05$ ；**表示相关性极显著， $p < 0.01$ 。

不同品种薯尖不同部位的总多酚和总黄酮与抗氧化活性指标的相关性见表3。其总酚、总黄酮与 DPPH·清除率、总还原力、·OH 清除能力均呈极显著正相关 ($p < 0.01$)，而总酚含量与超氧阴离子自由基清除能力显著正相关 ($p < 0.05$)，总黄酮含量与超氧阴离子自由基清除能力呈正相关但不显著 ($p > 0.05$)，这种差异性的原因可能是由于多酚、黄酮类物质的多样性及各个样品中具有抗氧化作用的有效酚类物质的种类和含量不同，显示出的抗氧化活性有一定的差异^[28]。结果表明，

多酚和黄酮是甘薯不同部位中重要的抗氧化物质，其含量高低直接反映其抗氧化能力，是重要的抗氧化剂来源。

3 结论

3.1 本实验对福7-6、福18、宁菜、7001四种不同类型的甘薯薯尖及其叶、茎尖、柄、茎4个不同部位的酚类物质含量和相关抗氧化性指标进行了研究，结果表明四种甘薯品种的总多酚含量介于 4.42~98.15 mg

GAE/g DW, 总黄酮含量介于 0.97~36.17 mg RE/g DW, DPPH·清除率介于 5.13~53.10 mg trolox/g, 总还原力介于 5.65~115.00 mg Vc/g, ·OH 清除能力介于 0.04~0.06mg Vc/g, 超氧阴离子清除能力介于 27.11%~54.50%之间。甘薯不同部位之间的总酚和总黄酮含量, 以及其抗氧化活性均存在显著差异, 叶、茎尖的酚类物质含量及相关抗氧化活性总体上显著高于其他部位。另一方面, 不同品种在同一部位的酚类物质含量具有显著差异, 只有福 7-6 和福 18 在叶部位的总黄酮含量无显著差异。不同品种在同一部位在抗氧化活性的表现上也具有显著差异, 但在茎尖和柄部位的·OH 清除能力均无显著差异。总体而言, 4 种薯尖在品种、部位之间的总酚、总黄酮含量和抗氧化活性均存在显著性差异, 且抗氧化活性与总酚总黄酮含量呈正相关, 这与靳艳玲^[29]等人的结果相类似。福薯 7001 品种薯尖的总酚、总黄酮含量及其抗氧化能力相对最高, 可作为优质抗氧化剂的资源。

3.2 而目前关于薯尖的多酚、黄酮组分及其抗氧化机制等深入研究还比较少, 傅玉凡^[27]等人曾探讨叶菜型甘薯品种茎尖叶片、茎和叶柄的绿原酸在不同时期的含量差异, 且有资料显示^[4], 多酚含量有器官依赖性, 甘薯叶片最多, 刘丽香^[23]发现甘薯叶中的主要多酚组成是绿原酸及其衍生物, 鉴于此, 本文研究结果对于甘薯薯尖品种筛选及酚类物质含量、抗氧化水平提供一定参考价值, 这也为进一步的薯尖抗氧化组分测定及相关深入研究作铺垫。

参考文献

- [1] 郑剑英.不同处理对低温下甘薯糖代谢、能量代谢和酚类代谢的调控研究[D].杭州:浙江农林大学,2015
ZHENG Jian-ying. The regulation of different treatments on sugar metabolism,energy metabolism and phenol metabolism of sweet potato under low temperature [D]. Hangzhou: Zhejiang Agriculture and Forestry University, 2015
- [2] 刘少茹,聂明建,王丽虹,等.甘薯贮藏过程中淀粉与可溶性糖的变化[J].安徽农业科学,2015,43(25):274-276
LIU Shao-ru, NIE Ming-jian, WANG Li-hong, et al. Changes of starch and soluble sugar during sweet potato storage [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(25): 274-276
- [3] 孙照,李新生,徐皓,等.甘薯采后生理及贮藏保鲜技术研究进展[J].现代食品,2016,6:49-50
SUN Zhao, LI Xin-sheng, XU Hao, et al. Research progress of sweet potato postharvest physiology and storage technology [J]. Modern Food, 2016, 6: 49-50
- [4] 杨显斌.叶菜型甘薯茎尖的主要营养及其生理保健功能[J].科技资讯,2010,33:137-138
YANG Xian-bin. The main nutrition and physiological health function of leafy sweet potato stem tip [J]. Science & Technology Information, 2010, 33: 137-138
- [5] Jung J, Lee S, Kozukue N, et al. Distribution of phenolic compounds and antioxidative activities in parts of sweet potato (*Ipomoea batata* L.) plants and in home processed roots [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(1): 29-37
- [6] Xu W, Liu L, Hu B, et al. TPC in the leaves of 116 sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) varieties and Pushu 53 leaf extracts [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2010, 23(6): 599-604
- [7] 刘冉,程霜,王雷,等.不同品种甘薯叶提取物抗氧化及对 α -葡萄糖苷酶抑制活性的研究[J].食品工业科技,2019,40(23): 283-289
LIU Ran, CHENG Shuang, WANG Lei, et al. Antioxidant and α -glucosidase inhibitory activity of different varieties of sweet potato leaf extracts [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(23): 283-289
- [8] 雷碧瑶,卢虹玉,陈秀文,等.7 种菜用甘薯茎尖的感官评定和营养成分分析[J].安徽农业科学,2015,43(24):232-234
LEI Bi-yao, LU Hong-yu, CHEN Xiu-wen, et al. Sensory evaluation and nutrient composition analysis of 7 kinds of vegetable sweet potato stem tips [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(24): 232-234
- [9] 古崇.食叶(茎尖)红薯的高产栽培技术[J].农村新技术,2012, 2:4-5
GU Chong. High-yield cultivation techniques of leaf-eating (stem tip) sweet potatoes [J]. New Rural Technology, 2012, 2: 4-5
- [10] 杜晓娟,朱丽敬,黄玉.红薯芽苗的保健及栽培技术[J].现代农业,2010,12:16
DU Xiao-juan, ZHU Li-jing, HUANG Yu. Health care and cultivation techniques of sweet potato sprouts [J]. Modern Agriculture, 2010, 12: 16
- [11] 张艳,杨博文.无公害红薯芽苗菜丰产高效栽培技术[J].蔬菜,2008,6:15
ZHANG Yan, YANG Bo-wen. High yield and high efficiency cultivation techniques of pollution-free sweet potato sprout [J]. Vegetables, 2008, 6: 15
- [12] 贾生平,周宇梅.红薯茎尖的加工[J].中国果菜,2002,3:25
JIA Sheng-ping, ZHOU Yu-mei. Processing of sweet potato stem tip [J]. China Fruit & Vegetables, 2002, 3: 25
- [13] 孟爱丽,刘晓博,司辉清.红薯茎叶的产品开发及其功能成分研究进展[J].食品工业,2012,33(10):133-136

- MENG Ai-li, LIU Xiao-bo, SI Hui-qing. Development of stem and leaf of sweet potato and its functional components [J]. Food Industry, 2012, 33(10): 133-136
- [14] 贾生平.红薯茎尖饮料的加工[J].农家参谋,2002,5:36
JIA Sheng-ping. Processing of sweet potato stem tip beverage [J]. Agricultural Staff, 2002, 5: 36
- [15] 李林轩,李硕.红薯茎尖挂面的加工工艺[J].粮食科技与经济,2008,2:44
LI Lin-xuan, LI Shuo. Processing technology of sweet potato stem tip hanging noodles [J]. Grain Science and Economy, 2008, 2: 44
- [16] 席利莎,孙红男,木泰华,等.甘薯茎叶多酚的体外抗氧化活性与加工稳定性研究[J].中国食品学报,2015,15(10):147-156
XI Li-sha, SUN Hong-nan, MU Tai-hua, et al. *In vitro* antioxidant activity and processing stability of polyphenols from sweet potato stems and leaves [J]. Chinese Journal of Food Science, 2015, 15(10): 147-156
- [17] 杨永涛.罗布麻总黄酮的提取、分离纯化及其抗氧化性能研究[D].广州:华南理工大学,2018
YANG Yong-tao. Study on extraction, separation and purification of total flavonoids of *Apocynum venetum* and its antioxidant properties [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018
- [18] 何礼,陈克玲,何建,等.低温贮藏下塔罗科血橙抗氧化性能研究[J].西南农业学报,2015,28(6):2666-2671
HE Li, CHEN Ke-ling, HE Jian, et al. Study on the antioxidant properties of Taroko blood orange under low temperature storage [J]. Acta Southwest Agricultural, 2015, 28(6): 2666-2671
- [19] 王萍,王宇鹤,李辉,等.枇杷核不同极性萃取物总黄酮、总多酚含量与其抗氧化活性的相关性[J].化学试剂,2020,42(9): 1067-1072
WANG Ping, WANG Yu-he, LI Hui, et al. Correlation between the total flavonoids and total polyphenols of different polar extracts of loquat core and their antioxidant activity [J]. Chemical Reagents, 2020, 42(9): 1067-1072
- [20] 廖圆圆,王燕新,郭晓农,等.枇杷叶总黄酮提取及体外抗氧化的研究[J].西北民族大学学报(自然科学版),2020,41(1): 60-64
LIAO Yuan-yuan, WANG Yan-xin, GUO Xiao-nong, et al. Extraction of total flavonoids from loquat leaves and *in vitro* antioxidant activity [J]. Journal of Northwest University for Nationalities (Natural Science Edition), 2020, 41(1): 60-64
- [21] 延莎,范亚芳,郑龙华,等.乳酸菌发酵茶花粉所得提取物对4种自由基的清除能力[J].食品科技,2017,42(3): 238-243
YAN Sha, FAN Ya-fang, ZHENG Long-hua, et al. Scavenging ability of four free radicals of extracts from tea pollen fermented by lactic acid bacteria [J]. Food Science and Technology, 2017, 42(3): 238-243
- [22] 曹清河,魏猛,唐君,等.菜用型甘薯多酚含量的测定及其基因型差异[J].江西农业学报,2013,25(4):24-26
CAO Qing-he, WEI Meng, TANG Jun, et al. Determination of polyphenol content of vegetable sweet potato and its genotype difference [J]. Jiangxi Journal of Agriculture, 2013, 25(4): 24-26
- [23] 刘丽香.甘薯叶中多酚提纯工艺及抗氧化活性研究[D].南京:南京农业大学,2008
LIU Li-xiang. Purification technology and antioxidant activity of polyphenols in sweet potato leaves [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008
- [24] 孔秀林,张文婷,孙健,等.甘薯叶片中多酚类物质的提取及抗氧化活性研究[J].江苏师范大学学报(自然科学版),2018, 36(2):34-37
KONG Xiu-lin, ZHANG Wen-ting, SUN Jian, et al. Extraction and antioxidant activity of polyphenols in sweet potato leaves [J]. Journal of Jiangsu Normal University (Natural Science Edition), 2018, 36(2): 34-37
- [25] 熊运海.甘薯茎、叶柄、叶片黄酮含量与抗氧化活性的关系[J].江苏农业科学,2011,39(3):447-449
XIONG Yun-hai. The relationship between the content of flavonoids in sweet potato stems, petioles and leaves and antioxidant activity [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2011, 39(3): 447-449
- [26] 田迪英.红薯梗、茎、叶提取物抗氧化活性研究[J].食品研究与开发,2006,6:143-144
TIAN Di-ying. Study on the antioxidant activity of extracts from sweet potato stems, stems and leaves [J]. Food Research and Development, 2006, 6: 143-144

(下转第 15 页)