紫薯茎叶中黄酮的提取及其功能性研究进展

郑 丽，刘振春*，张 星，刘 想

(吉林农业大学，长春 130000)

摘 要: 黄酮类化合物广泛存在于植物界，是许多中草药的有效成分。在自然界中最常见的是黄酮和黄酮醇，此外，还有双氢黄醇、异黄酮、双黄酮、黄烷醇、查尔酮、橙酮及花色苷等。由于类黄酮具有很强的抗氧化和消除自由基的作用，备受国内外研究者的青睐，成为研究的热点。黄酮类化合物有着重要的医用价值，主要体现在:抗炎症、抗过敏；抑制细菌、抑制病毒；防治肝病、防治血管疾病；抗肿瘤、抗化学毒物等。本文从节约资源、提高黄酮得率、实验操作性强等方面分析,选取紫薯茎叶为实验材料，并结合国内外大量研究理论成果，论述了黄酮类化合物的提取方法，将这些方法的优缺点进行了总结，同时，详细的阐述了黄酮类化合物的功能性研究进展，希望对黄酮的研究者起到借鉴、提供参考的价值。

关键词: 紫薯；茎叶；黄酮；提取；功能性

Extraction of flavonoids from stems and leaves of purple sweet potato and its functional analysis

ZHENG Li, LIU Zhen-Chun*, ZHANG Xing, LIU Xiang

(*Jilin Agricultural University*, *Chang chun*, 130000, *China*)

ABSTRACT: Flavonoids are widely found in the plant community, which are the active ingredient of many Chinese herbal medicines. In nature, the most common flavonoids are flavones and flavonols. In addition, there are double hydrogen flavonols, isoflavone, double flavone, flavanone alcohol, chalcones, aurones and anthocyanin, *etc*. Because of its strong antioxidant and free radical elimination effect, it has been favored by researchers at home and abroad, and has become a hot research topic. Flavonoids have important medical values, mainly in anti-inflammatory, anti allergy, inhibition of bacteria and virus, prevention and treatment of liver disease, prevention and treatment of vascular disease, anti tumor and anti chemical poison, *etc.* This paper selected purple sweet potato stems and leaves as experimental materials, and combined with a large number of domestic and foreign research achievements in theory to discuss the extraction methods of flavonoids from the aspects of conservation of resources, improvement of flavonoids yield and experimental operational. The advantages and disadvantages of these methods were summarized and the research advances in function of flavonoids were detailed described, in order to provide references for the researchers.

KEY WORDS: purple sweet potato; stems and leaves; flavonoids; extraction; functionality

基金项目：吉林省科技发展项目(20150311)

Fund: Supported by the Science and Technology Development Project of Jilin Province (20150311)

*通讯作者：刘振春，教授，主要研究方向为营养科学与功能性食品。E-mail: 13504467811@163.com

***Corresponding author:** LIU Zhen-Chun, Professor, Ph.D., Jilin Agricultural University, Changchun 130000, China. E-mail: 13504467811@163.com

1　引　言

中国是世界上甘薯栽培面积最大的国家，仅薯蔓(甘薯的地上茎部分，含叶、 柄、藤三部分)年产干重可达3000~6000 万吨，资源量巨大[1]。然而目前，除了用于家畜的饲料外[2]，未见其他的开发形式,我国对甘薯茎叶的开发及保健食品的研发也刚刚起步[3-5]。经过大量研究,发现紫薯茎叶中含丰富的营养物质和功能性成分,其中,黄酮类化合物因其独有的抗肿瘤、抗衰老等宝贵的药用价值而被广泛关注[6]。

2　紫薯茎叶简介

在甘薯秧蔓的顶部约 5~15 cm 及嫩叶、叶柄统称为甘薯茎叶[7]。相对常见蔬菜而言，甘薯茎叶中镁、锰、铁、锌等微量元素含量都非常高，营养成分比较齐全，具有增强人体的免疫力，延缓衰老等重要的医用价值[8,9]。不同品种的甘薯茎叶所含功能性成分之间的差异见表 1[10]。

表 1 中数据显示不同甘薯品种叶中功能性成分含量均高于茎，且紫薯这个品种黄酮含量最高为 33.12 mg/g，这为我们在选取不同甘薯品种做实验时提供了有利的参考。

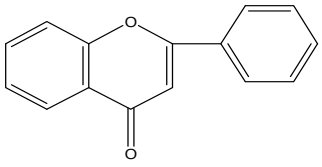
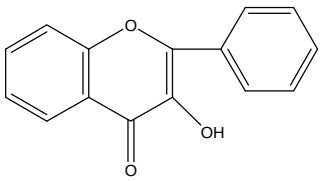
3　黄酮的分类及结构

目前，国内外研究已经确定的黄酮类化合物种类共计 12 种(见表 2)，其生物活性呈现多样而温和的趋势[11-13]。黄酮类化合物除了少部分多糖苷为无定型粉末外，其余大多数的形状是结晶性固体。结晶的好坏与分子量有着密切的联系，一般而言，分子量小，结晶性好，而分子量大，结晶性差。大多数黄酮类化合物能够和铝盐、镁盐和铅盐等发生反应而生成有色的络合物[14]。薄南南等[15]在研究玉米须中总黄酮提取及含量测定时，利用 HCl-Zn 粉氧化还原显色反应和铝盐络合显色反应，鉴定了黄酮的存在。

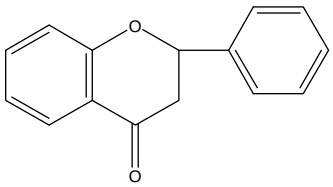
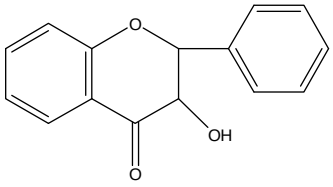
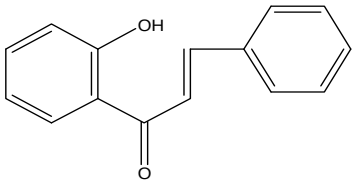
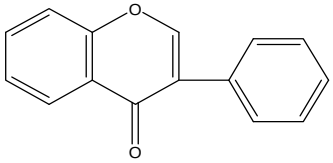
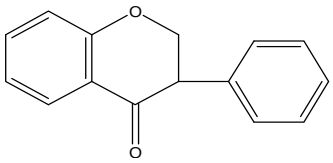
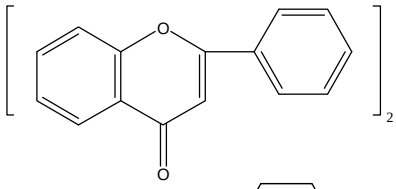
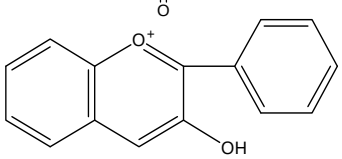
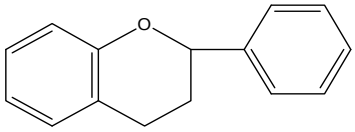
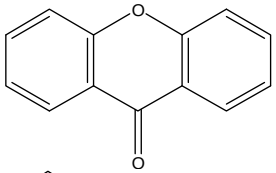
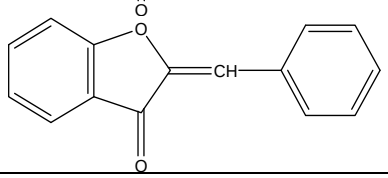
表 1　不同甘薯品种功能性成分含量差异
Table 1　Difference of functional components in different sweet potato varieties

名称		花青苷 (mg/g 干重)	黄酮 (mg/g 干重)	绿原酸 (mg/g 干重)	维生素 C (mg/g 干重)
泰紫薯	茎	0.32	7.34	0.43	2.79
1 号	叶	4.53	14.08	0.82	16.32
泰薯	茎	0.35	5.85	0.21	1.95
5 号	叶	4.21	10.42	0.16	18.01
紫	茎	0.82	17.30	0.75	2.86
薯	叶	4.57	15.82	0.49	23.70
台农	茎	0.37	8.54	0.07	1.75
71	叶	3.90	8.56	0.12	15.98
金叶	茎	0.41	7.84	0.08	2.11
薯	叶	1.28	12.62	0.17	17.29

表 2　常见的黄酮类化合物分类
Table 2　Classification of common flavonoids

类型	母体结构	结构特征	代表化合物
黄酮类		以 2-苯基色原酮为基本母核 3 位无含氧取代	芹菜素、木犀草素、黄芩苷等
黄酮醇类		在黄酮基本母核的 3 位上连有羟基或其他含氧基团	槲皮素、杨梅素、芦丁等

续表 **2**

类型	母体结构	结构特征	代表化合物
二氢黄酮类		可看作是黄酮基本母核的 2、3 位双键被氢化而成	如橙皮素和橙皮苷，甘草素和甘草苷等
二氢黄酮醇类		二氢黄酮醇是黄酮醇类的 2、3 位被氢化的黄酮类化合物	二氢槲皮素、二氢桑色素、水飞蓟素等
查尔酮类		二氢黄酮 C 环的 1、2 位键断裂生成的开环衍生物，即三碳链不构成环	红花苷等
异黄酮类		异黄酮类母核为 3-苯基色原酮的结构，环连接在 C 环的 3 位上	大豆素、大豆苷、葛根素等
二氢异黄酮类		二氢异黄酮具有黄酮的 2、3 位被氢化的基本母核	紫檀素、鱼藤酮等
双黄酮类		由二分子黄酮衍生物聚合生成的二聚物	如银杏素等
花色苷类		基本母核的 C 环无羰基,1 位氧原子以氧盐形式存在	如飞燕草素、矢车菊素等
黄烷醇类		根据 C 环上的 3、4 位存在羟基的情况分为黄烷-3-醇和黄烷-3,4-二醇	如儿茶素等
苯骈色酮		母核由苯环和色原酮的 2、3 位骈和而成，是一种特殊类型的黄酮类化合物	如异芒果素等
橙酮类化合物		C 环为含氧五元环，母核碳原子的编号也与其他黄酮类不同	硫磺菊素等

4　黄酮类化合物的提取方法

黄酮类化合物常用的提取方法有热水提取法、有机溶剂提取法、超声波提取法、酶解法、微波提取法以及超临界流体萃取法等,各种提取方法的优缺点比较见表 3。

4.1　热水提取法

热水提取法一般用于提取含纤维较多、质地松泡、粘性较大或有效成分不清楚的药材。此方法成本低、操作简便、且得率较高。

何明祥[16]利用热水法从仙草中提取总黄酮。采用正交试验设计方法分别对仙草中黄酮的提取条件进行了研究。试验结果表明，提取时间、料液比对黄酮的提取率影响较大，最佳工艺条件为:提取温度 85 ℃,提取时间 2.5 h,料液比 1:55。

热水提取法也存在一定的缺陷，提取物中含有糖类等水溶性的杂质从而影响提取物的纯度,同时，水提取物易滋生细菌，影响保存。所以，如何克服热水处理法中后期复杂操作成为现在研究者面临的最大问题，随着科技的发展这一难题有望解决。

4.2　有机溶剂提取法

根据黄酮苷类溶于甲醇、乙醇、乙酸乙酯等有机溶剂的理化性质，陆国权等[17]采用三因子三水平正交试验得出甘薯黄酮最佳提取条件为:乙醇体积分数为 70%,料液比为 1:60(*m*:*V*)，水浴温度为 80 ℃,浸提时间为 1 h。在此条件下，一次提取工艺得率可达 87.15%，同时，通过对不同品种甘薯的总黄酮含量的分析比较确定紫薯块根黄酮类物质含量最高。

Fan 等[18]用酸化乙醇的方法对紫心甘薯中的花青素类黄酮化合物进行提取，并运用响应面分析法确定最佳提取工艺条件为:反应温度 80 ℃，反应时间 60 min，料液比是 1:32(*m*:*V*)，此条件下,花青素产量为 1.58 mg/g。

在有机溶剂提取法中最常用的是乙醇和甲醇。实验表明，乙醇浓度对提取结果有较大的影响，在一定范围内增加乙醇浓度黄酮得率变大，关于如何控制最佳乙醇浓度从而获得理想的黄酮得率成为未来研究的趋势。

4.3　超声波提取法

超声提取法是依据超声波的空化作用、机械效应和热效应等加速细胞内有效物质的释放、扩散和溶解，进而显著提高提取效率的一种方法。

王和才等[19]为研究和开发紫薯茎叶资源，以紫薯茎叶为原料提取总黄酮类化合物，考察了乙醇体积分数、浸提时间、料液比等因素对提取率的影响。采用超声波辅助的方法，并设计了三因素三水平正交试验优化工艺参数。结果表明：紫薯茎叶总黄酮类化合物提取最佳工艺条件为:乙醇体积分数为 70%，提取时间 50 min，料液比 1:50(*m*:*V*),在此优化参数下,总黄酮类化合物提取率为 8.324%。

王玫等[20]采用超声波提取法，以总黄酮含量为考察指标，利用单因素试验法对影响紫甘薯叶总黄酮提取率的因素进行分析，并通过正交试验确定紫甘薯叶总黄酮的最佳提取工艺条件。紫甘薯叶总黄酮的最佳提取工艺为：乙醇体积分数 80%，料液比 1:40(*m*:*V*)，提取时间 30 min，提取溶剂 pH9.0，在此条件下紫甘薯叶中总黄酮的提取率为 8.22%。

张匀等[21]在单因素试验的基础上，采用正交试验确定了超声波法提取甘薯叶中黄酮类化合物的最佳工艺条件为：乙醇体积分数 80%，料液比 1:40(*m*:*V*)，提取时间 45 min，测得“双篙”品种的黄酮含量最高是 10.74%，不同甘薯中黄酮含量存在差异，变幅在 7.06%~10.74%之间，平均含量为 8.71%。

超声波法因其提取效果显著，目前在植物有效成分的提取中普遍应用。但是，超声设备在工作时产生的噪声问题还无法解决，使得在工业应用时有一定的难度。

4.4　酶　法

酶法是利用合适的溶解酶来破坏植物细胞壁并使其中的成分流出来的一种方法，具有成本低、操作简便、效率较高等优点。

李金林等[22]利用纤维素酶提取紫甘薯花色苷,并研究 pH 值、酶用量、酶解温度、酶解时间和底物浓度对花色苷提取效果的影响，结果表明最佳提取条件为:pH 4.5，酶解温度 35℃，加酶量 0.1%，底物浓度 1:5，酶解时间 30 min。

鲍诚等[23]以紫甘薯为原料，采用高效、无污染的酶解法提取紫甘薯花色苷，通过单酶法和双酶法提取的花色苷得率进行比较发现，利用双酶法提取紫甘薯花色苷明显优于单一酶法的提取效果，最终确定采用独创的双酶法提取紫甘薯花色苷。通过单因素试验和四因素三水平正交试验,得出紫甘薯花色苷双酶法提取的最佳工艺条件为：真菌 α-淀粉酶 0.30%，酸性果胶酶 0.05%，酶解 pH 4.0，酶解温度 50 ℃。在此条件下，花色苷得率为 249 mg/100 g。

酶法面临的最大问题是如何保护好酶的活性。酶易受环境例如温度等的影响而变性，导致实验结果产生误差。酶技术有待进一步完善。

4.5　微波提取法

微波萃取是利用电磁场的作用使固体或半固体物质中的某些有机物成分与基体产生有效的分离，而且能够保持分析对象的原本化合物状态不变的一种分离方法。

邵圣娟等[24]采用微波协助浸提法提取甘薯叶中的黄酮类化合物,以甘薯叶中总黄酮含量为指标,考察乙醇浓度、料液比、微波萃取时间、微波输出功率等单因素的影响,并结合正交实验设计对提取工艺条件加以优化与改进。所

得最佳提取工艺条件为:乙醇体积分数为 60%、料液质量比为 1:25(*m*:*V*)、微波输出功率为 400 W、萃取时间为 6 min,总黄酮质量分数达到 83.68 mg/g。

Krishnan 等[25]研究了微波辅助对诃子中黄酮类化合物提取的产量、平衡浓度和有效扩散系数的影响,并与传统的水提法对比,控制微波的功率、萃取时间和溶剂溶度,最终得出结论:微波辅助萃取可以在原有的平均产量水平上提高 14.17%。

虽然微波辅助过程中提取的优点有很多,然而关于微波萃取的强化作用问题仍未得到解答。这将成为国内外研究者研究的一个热点问题。

4.6 超临界流体萃取法

超临界流体萃取(supercritical fluid extraction, SFE)是一种将超临界流体作为萃取剂,把一种成分从混合物中分离出来的技术。二氧化碳因其无毒、易挥发、比一般的有机溶媒成本低等优点而成为最常用的超临界流体。

陈瑛等[26]研究了超临界流体萃取红薯叶总黄酮的影响因素,并对生产工艺进行了优化设计。在单因素试验和正交试验的基础上,得到了红薯叶的超临界萃取工艺的最佳优化条件为:萃取压力 30 MPa,萃取温度 50 ℃,夹带剂为 80%乙醇,夹带剂用量为原料质量的 50%,萃取时间 150 min, CO_2 流量 15 L/h。在此工艺条件下,黄酮得率为 6.25%。

SFE 是目前提取产品纯度较高的新型技术,但是所需费用较大,普及存在一定难度,同时,就国内情况现状而言,该设备技术还不成熟。

5 黄酮类化合物的生理活性

黄酮类化合物有许多有趣的生物学特性[27-30],它们能对由氧化压力引起的各种疾病起到治疗的作用[31],此外,类黄酮还具有显著的抗氧化活性,可以降低人体中的自由基浓度稳态[32]。它们有能力抑制特定的酶,刺激一些激素和神经递质[33]。

5.1 抗氧化抗自由基作用

黄酮类化合物具有抗氧化、消除体内自由基抗衰老等作用。高丽威等[34]对紫心甘薯中总黄酮及其抗氧化活性进行研究,结果表明:紫心甘薯薯皮的抗氧化性高于紫心甘薯薯肉的抗氧化性,当抗氧化剂浓度从 0.01 mg/mL 增加到 0.04 mg/mL 时,清除率从 25%迅速上升到 80%,抗氧化剂浓度与清除率之间接近线性关系,但是当清除率接近极大值时,继续提高抗氧化剂浓度,其清除率上升十分缓慢。

高荫榆等[35]研究薯蔓黄酮(FSPV)的体外抗氧化作用,测定 FSPV 对二苯代苦味酰自由基(DPPH)、超氧阴离子自由基($O^-_2\cdot$)和羟自由基(·OH)的清除率。实验结果表明:FSPV 对 DPPH 的清除效果良好(IC_{50}=8.60 mg/L),但稍逊于 V_C和芦丁;对$O^-_2\cdot$清除能力(IC_{50}=1.56 mg/L)强于芦丁但弱于 V_C;对·OH 的清除能力(IC_{50}=13.38 mg/L)强于芦丁和 V_C;对亚油酸也有很好的抗氧化作用,0.20%FSPV 对亚油酸抗氧化能力优于 0.10%BHT。

目前对黄酮抗氧化作用大多停留在提取、检测阶段,而如何把黄酮的这一大功能性应用到实际生产生活中将成为研究者们未来研究的主方向。

表 3 各类提取方法优缺点比较一览表

Table 3 Comparison of advantages and disadvantages of several kinds of extraction methods

提取方法	特点	优点	缺点	投入产出比
热水提取法	适用于黄酮苷类物质含量较高的原料	操作简单、成本低、适宜工业化大规模生产	杂质较多	得率较高
有机溶剂提取法	最常用的是醇提取法,用于提取苷元和苷类	提取时间短、杂质少、提取物纯度高	有挥发性和毒性、需要控制浓度与温度	得率高
超声波提取法	利用超声波的空化作用加速植物有效成分的浸出提取	提取时间短、无需加热	提取规模小、不适合大规模生产	得率较高
酶法	适宜含杂质大多为淀粉、果胶、蛋白质等的中药材的提取	操作简便、提取率高	可能破坏有效成分或生成其他水解产物	得率高
微波提取法	利用电磁场的作用进行分离	高效性、选择性、操作简便、副产物少、所需时间短	若提取时间过长、温度过高、提取率反而下降	得率较高
超临界流体萃取法	CO_2是最常用的超临界流体	工艺简单、操作温度低、气体易除去、无溶剂残留	对设备有严格的要求	得率高

5.2　抗肿瘤抗癌的作用

国内外大量研究表明黄酮类化合物有很高的药理活性，其抗肿瘤的药用价值成为诸多研究工作者研究的热点。罗丽萍等[1]研究薯蔓黄酮(FSPV)对瘤株和动物的抗肿瘤作用。采用 MTT 法研究 FSPV 对 4 种瘤株生长的抑制作用；以动物移植性肿瘤肉瘤 S_{180} 为模型,以环磷酰胺为阳性对照,以生理盐水为阴性对照,观察 FSPV 对动物的抗肿瘤作用。结果表明: FSPV 能显著抑制 4 种瘤株的生长,并呈一定的剂量浓度关系;尤其对 H_{L-60} 瘤株效果最佳。FSPV 对 S_{180} 荷瘤小鼠有较强的抑瘤作用(P<0.05)。结论: FSPV 对 4 种瘤株和移植性 S_{180} 肉瘤小鼠具有抗肿瘤作用。Knowles 等[40]将不同种类黄酮对人前列腺瘤 PC-3 的抑制作用进行了研究，结果表明不同种类黄酮对 PC-3 瘤细胞有延迟生长作用。

黄酮类化合物主要通过诱导肿瘤细胞凋亡，阻止其增值，而达到抗癌的效果。目前的研究在具体是哪一种结构的黄酮类化合物能够起到抗肿瘤的功效，还未找到准确的结论，但是，随着科技的进步，相信会得到完善。

5.3　抗心血管疾病

黄酮类化合物能够扩张冠状动脉，对心肌功能紊乱有保护作用，能够防止血栓的形成。Dai 等[36]研究总黄酮是否具有降压、抗心血管疾病的作用，以大鼠为实验材料，结果表明: 大鼠在给药后 40~80 min 时，血压明显下降，因此，总黄酮类物质具有降压的作用。

黄酮类化合物抗心血管疾病的生理特性在动物实验方面取得了良好的效果，有望应用到人类，给心血管疾病患者送去福音。

5.4　降糖的作用

最新研究结果表明糖尿病的得病率与人们的日常饮食有密切关系。我国糖尿病患者人数还在逐步增加,占世界人口的 7%[37]。国内外大量的体外和动物实验支持有益的饮食类黄酮对葡萄糖稳态的影响[38-47]。

Wedick 等[48]做了一项关于英国人在饮食类黄酮含量方面的研究，结果表明身体摄取类黄酮含量高的人糖尿病得病率较低。俞浩等[49]研究了白背三七总黄酮对糖尿病大鼠的降血糖作用，结果表明: 白背三七总黄酮能够改善糖尿病大鼠高血糖症状，其机制可能与其改善脂质代谢，抗脂质过氧化和抑制胰腺组织细胞病理变化有关。

黄酮类化合物能够降糖，日常饮食中摄取到的黄酮含量有限，如何将提取出的黄酮添加到食品中做成产品，提高含量是目前各研究者面临的困境。

5.5　抗炎、镇痛活性

黄酮类化合物还具有抗炎、镇痛的重要活性。鄢春旻等[50]以单纯疱疹病毒 HSV-1 和 HSV-2 为模型,检测黄酮类化合物的抗炎、抗病毒活性,并对其抗病毒机制进行了简单研究。结果表明，富含黄酮类化合物的中药或民间用药具有很好的抗炎作用。很多研究表明,食用富含黄酮类植物性食物和提取物也可以诱导提高认知能力[51]。

黄酮类化合物在抗炎、镇痛方面的研究需要进一步强化，对医学界而言有很重要的医用价值。

6　结论与展望

从紫薯茎叶中提取黄酮类化合物，既可以提高附加值又保护了环境。随着对紫薯茎叶中黄酮类化合物的提取及功能性研究，有关黄酮功能性方面的探索将逐步完善。目前，国内外提取黄酮主要采用超声波法和微波法，已对方法中的影响因素进行探讨并优化了实验条件，获得了较高的黄酮得率。超声波法具有短时、高效的优点，被广泛应用于植物有效成分的提取，但是，也存在着一定的局限，超声作用的时间与强度需要一系列实验来确定，工业中大规模提取时有一定难度。微波提取对于富含水的细胞很容易击破，而含水较少的却不能击破，因此，微波技术有待进一步研究与改善。

参考文献

[1] 罗丽萍, 高荫榆, 洪雪娥, 等. 甘薯叶柄藤类黄酮的抗肿瘤作用研究[J]. 食品科学, 2006, 27(8): 248–250.
Luo LP, Gao YY, Hong XE, *et al*. Study on the anti-tumor effect of flavonoids from sweet potato stalk [J]. Food Sci, 2006, 27(8): 248–250.

[2] 王世宽, 吴平, 许燕丽, 等. 甘薯叶的营养成分与应用前景[J]. 四川理工学院学报, 2009, 22(6): 57–59.
Wang SK, Wu P, Xu YL, *et al*. Nutritional composition and application prospect of sweet potato leaves [J]. Sichuan Univ Sci Eng, 2009, 22(6): 57–59.

[3] 杜方岭, 王文亮, 王守经. 甘薯的营养价值及其开发利用研究[J]. 中国食物与营养, 2008, (9): 27–28.
Du FL, Wang WL, Wang SJ. Study on the nutritional value of sweet potato and its development and utilization [J]. Food Nutr China, 2008, (9): 27–28.

[4] Hiroshi Ishi, Hiroko Suzuno, Noriko Sugiyama, *et al*. Nutritive evaluation on chemical components of leaves, stalks and stems of sweet potatoes (*Ipomoea batatas poir*) [J]. Food Chem, 2000, 68: 359–367.

[5] Zhang GW, He L, Hu MM. Optimized ultrasonic assisted extraction of flavonoids from *Prunella vulgaris* L. and evaluation of antioxidant activities *in vitro*[J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2011, 12(1): 18–25.

[6] Stefan M, Axel M. Flavones and flavones synthases [J]. Phytochemistry, 2005, 66(20): 2399–2407.

[7] 郭小丁, 张允刚, 史新敏, 等. 菜用型甘薯嫩梢的开发利用[J]. 中国蔬菜, 2001, (4): 40–41.
Guo XD, Zhang YG, Shi XM, *et al*. Development and utilization of tender tip of vegetable sweet potato [J]. Chin Vegetable, 2001, (4): 40–41.

[8] 杜连起, 赵永光, 李润丰. 甘薯茎尖营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2006, 22(6): 99–101.
Du LQ, Zhao YG, Li RF. Analysis and evaluation of the nutritional

components of sweet potato stem tip [J]. Food Sci, 2006, 22(6): 99–101.

[9] 张天翼. 甘薯茎叶医疗及保健作用的研究[J]. 辽宁师专学报(自然科学版), 2007, 9(3): 27–28.
Zhang TY. Study on the medical and health care function of sweet potato stem and leaf [J]. J Liaoning Teach Coll (Nat Sci Ed), 2007, 9(3): 27–28.

[10] 马娇燕. 七种甘薯茎和叶营养品质分析[J]. 陕西农业科学, 2013, (2): 73–76.
Ma JY. Analysis of nutritional quality of seven kinds of sweet potato stems and leaves [J]. Shaanxi Agric Sci, 2013, (2): 73–76.

[11] Manach C, Scalbert A, Morand C, *et al*. Polyphenols: Food sources and bioavailability [J]. Am J Clin Nutr, 2004, 79: 727–747.

[12] Beecher GR. Overview of dietary flavonoids: nomenclature, occurrence and intake [J]. J Nutr, 2003, 133: 3248S–54S.

[13] Gunnel N, Christine B, And ersL, *et al.* Effects of dehydroepi and rosterone supplement on health-related quality of life in glucocorti-coid treated female patients with systemic lupus erythematosus [J]. Autoimmunity, 2005, 38(7): 531－540.

[14] Parsons TD, Kpatz KM, Thompson E. DHEA supplementation and cognition in postmenopausal women [J]. Intern J Neuro-sci, 2006, 116: 141–155.

[15] 薄南南, 傅桦. 玉米须中总黄酮的提取及含量测定[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2009, 8, 30(4): 44–47.
Bo NN, Fu H. Extraction and content determination of total flavonoids in corn silk [J]. J Cap Normal Univ (Nat Sci Ed), 2009, 8, 30(4): 44–47.

[16] 何明祥. 仙草中黄酮的热水法提取[J]. 农产品加工学刊, 2008, 08, (8): 44–46.
He MX. Hot water extraction method of flavonoids in immortality[J]. J Agric Prod Proc, 2008, 08, (8): 44–46.

[17] 陆国权, 任韵, 唐中厚, 等. 甘薯黄酮类物质的提取及其基因型差异研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2005, 31(5): 541–544.
Lu GQ, Ren Y, Tang ZH, *et al*. Study on the extraction of flavonoids from sweet potato and its genotypic difference [J]. J Zhejiang Univ (Agric Life Sci Ed), 2005, 31(5): 541–544.

[18] Gong JF, Han YH, Gu ZX, *et al*. Optimizing conditions for anthocyanins extraction from purple sweet potato using response surface methodology (RSM) [J]. LWT, 2008, 41: 155–160.

[19] 王才和, 杨巍, 王刚, 等. 超声波辅助提取紫薯茎叶总黄酮的工艺研究[J]. 农产品加工学刊, 2011, (10): 46–48.
Wang HC, Yang W, Wang G, *et al*. Study on ultrasonic assisted extraction of total flavonoids from stems and leaves of purple sweet potato [J]. J Agric Prod Proc, 2011, (10): 46–48.

[20] 王玫. 甘薯叶黄酮类化合物的提取、分离、纯化及其挥发性化学成分的研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
Wang M. Extraction, separation and purification of Flavonoids from sweet potato leaves and their volatile constituents [D]. Changsha: Central South University, 2010.

[21] 张匀, 栾雨时, 张华微. 甘薯叶中黄酮类化合物的提取工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(6): 92–94.
ZhangY, Luan YS, Zhang HW. Study on the extraction technology of Flavonoids from sweet potato leaves [J]. J Food Res Dev, 2006, 27(6): 92–94.

[22] 李金林. 紫甘薯花色苷提取、膜分离及加工稳定性研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2007.
Li JL. Extraction, membrane separation and processing stability of anthocyanins from purple sweet potato [D]. Nanchang: Nanchang University, 2007.

[23] 鲍诚. 紫甘薯花色苷双酶法提取纯化工艺与降血糖功能及机理研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2012.
Bao C. Study on the function and mechanism of the extraction and purification technology of purple sweet potato anthocyanins by double enzyme method [D]. Yantai: Yantai University, 2012.

[24] 邵圣娟, 卫静莉. 微波辅助提取甘薯叶中黄酮类化合物的工艺研究[J]. 科研与开发, 2015, (3): 10–12.
Shao SJ, Wei JL. Microwave assisted extraction of flavonoids from sweet potato leaves [J]. Sci Res Dev, 2015, (3): 10–12.

[25] Krishnan RY, Chandran MN, Vadivel V, *et al*. Insights on the influence of microwave irradiation on the extraction of flavonoids from *Terminalia chebula* [J]. Sep Purif Technol, 2016, 39(6): 1–38.

[26] 陈瑛, 孙兴力, 王文渊. 红薯叶中黄酮类化合物的超临界提取研究[J]. 广州化工, 2011, (6): 82–84.
Chen Y, Sun XL, Wang WY. Supercritical extraction of flavonoids from sweet potato leaves [J]. Guangzhou Chem Ind, 2011, (6): 82–84.

[27] Espín JC, García-Conesa MT, Tomás-Barberán FA. Nutraceuticals: facts and fiction [J]. Phytochemistry, 2007, 68: 2986–3008.

[28] Bellocco E, Barreca D, Laganà G, *et al*. Influence of *L*-rhamnosyl-*D*-glucosyl derivatives on properties and biological interaction of flavonoidsl [J]. Biochem, 2009, 321: 165–171.

[29] Van't Veer P, Janson M, Klert M, *et al*. Fruits and vegetables in the prevention of cancer and cardiovascular disease [J]. Public Health Nutr, 2000, (3): 103–107.

[30] Barreca D, Laganà G, Bruno G, *et al*. Diosmin binding to human serum albumin and its preventive action against degradation due to oxidative injuries [J]. Biochem, 2013, 95: 2042–2049.

[31] Routray W, Orsat V. Microwave-assisted extraction of flavonoids: A review [J]. Food Bio pro Technol, 2011, (5): 409–424.

[32] Havsteen BH. The biochemistry and medical significance of the flavonoids [J]. Pharmacol Ther, 2002, 96: 67–202.

[33] Galleano M, Verstraeten SV, Oteiza PI, *et al*. Antioxidant actions of flavonoids: thermodynamic and kinetic analysis [J]. Arch Biochem Biophys, 2010, 501: 23–30.

[34] 高丽威, 李向荣. 微波萃取法提取紫心甘薯总黄酮及其抗氧化活性研究[J]. 浙江大学学报(理学版), 2009, 36(5): 571–574.
Gao LW, Li XR. Extraction of total flavonoids from purple sweet potato by microwave assisted extraction and its antioxidant activity [J]. J Zhejiang Univ (Sci Ed), 2009, 36(5): 571–574.

[35] 高荫榆, 洪雪娥, 罗丽萍, 等. 甘薯叶柄藤类黄酮的体外抗氧化作用研究[J]. 食品科学, 2006, 27(7): 103–106.
Gao YY, Hong XE, Luo LP, *et al.* Antioxidant effect of flavonoids from sweet potato leaf petiole *in vitro* [J]. Food Sci, 2006, 27(7): 103–106.

[36] Dai M, Liu QY, Li DZ, *et al*. Research of material bases on antifebrile and hypotensive effects of floschrysant hemi [J]. Chin Tradit Herb drug, 2001, 24(7): 505–506.

[37] Barreca D, Gattuso G, Laganà G, *et al.* C- and O-glycosyl flavonoids in Sanguinello and Tarocco blood orange (*Citrus sinensis* (L.) osbeck) juice: identification and influence on antioxidant properties and acetylcholinesterase activity [J]. Food Chem, 2016, 196, 619–627.

[38] Arts IC, Hollman PC. Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies [J]. Am J Clin Nutr, 2005, 81, 317S–325S.

[39] Philippe J, Raccah D. Treating type 2 diabetes: how safe are current therapeutic agents? [J]. Int J Clin Pract, 2009, 63: 321–322.

[40] Cai EP, Lin JK. Epigallocatechin gallate (EGCG) and rutin suppress the glucotoxicity through activating IRS2 and AMPK signaling in rat pancreatic beta cells [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57: 9817–9827.

[41] Fu Z, Zhang W, Zhen W, Lum H, *et al*. Genistein induces pancreatic beta-cell proliferation through activation of multiple signaling pathways and prevents insulin-deficient diabetes in mice [J]. Endocrinology, 2010, 151: 3026–3037.

[42] Fu Z, Zhen W, Yuskavage J, *et al.* Epigallocatechin gallate delays the onset of type 1 diabetes in spontaneous non-obese diabetic mice [J]. Br J Nutr , 2011, 105: 1218–1225.

[43] Zhang Y, Liu D. Flavonol kaempferol improves chronic hyperglycemia-impaired pancreatic beta-cell viability and insulin secretory function [J]. Eur J Pharmacol , 2011, 670: 325–332.

[44] Zhu W, Jia Q, Wang Y, *et al*. The anthocyanin cyanidin-3-O-betaglucoside, a flavonoid, increases hepatic glutathione synthesis and protects hepatocytes against reactive oxygen species during hyperglycemia: Involvement of a cAMP-PKA-dependent signaling pathway [J]. Free Radic Biol Med , 2012, 52: 314–327.

[45] Eid HM, Martineau LC, Saleem A, *et al.* Stimulation of AMP-activated protein kinase and enhancement of basal glucose uptake in muscle cells by quercetin and quercetin glycosides, active principles of the antidiabetic medicinal plant *Vaccinium vitisidaea* [J]. Mol Nutr Food Res, 2010, 54: 991–1003.

[46] Takikawa M, Inoue S, Horio F, *et al*. Dietary anthocyanin-rich bilberry extract ameliorates hyperglycemia and insulin sensitivity via activation of AMP activated protein kinase in diabetic mice[J]. J Nutr, 2010, 140: 527–533.

[47] Jung UJ, Lee MK, Park YB, *et al.* Effect of citrus flavonoids on lipid metabolism and glucose-regulating enzyme mRNA levels in type-2 diabeticmice [J]. Int J Biochem Cell Biol, 2006, 38: 1134–1145.

[48] Wedick NM, Pan A, Cassidy A, *et al*. Dietary flavonoid intakes and risk of type 2 diabetes in US men and women [J]. Am J Clin Nutr , 2012, 95: 925–933.

[49] 俞浩, 毛斌斌, 周国梁, 等. 白背三七总黄酮对糖尿病大鼠的降血糖作用[J]. 食品科学, 2013, 34(15): 295–298.
Yu H, Mao BB, Zhou GL, *et al*. Hypoglycemic effect of total flavonoids of 37 white back on diabetic rats [J]. Food Sci, 2013, 34(15): 295–298.

[50] 鄢春旻. 黄酮类化合物抗病毒及抗炎活性研究[D]. 南京：南京大学, 2012.
Yan CH. Antiviral and anti-inflammatory activities of flavonoids [D]. Nanjing: Nanjing University, 2012.

[51] Spencer JP. Beyond antioxidants: the cellular and molecular interactions of flavonoids and how these underpin their actions on the brain [J]. Proc. Nutr. Soc, 2010, 69: 244–260.

(责任编辑：杨翠娜)

作者简介

郑　丽，硕士研究生，主要研究方向为谷物食品科学与副产物高值化利用。
E-mail: nldxqf@163.com

刘振春，教授，博士，主要研究方向为营养科学与功能性食品。
E-mail: 13504467811@163.com