

# 植物多酚类物质研究进展

姜楠, 王蒙, 韦迪哲, 冯晓元\*

(北京农业质量标准与检测技术研究中心, 农业部农产品质量安全风险评估实验室(北京),  
农产品产地环境监测北京市重点实验室, 北京 100097)

**摘要:** 多酚是高等植物的次级代谢产物, 其结构复杂, 具有多种功效, 如抗氧化作用、抗病毒和抗炎症作用、抑菌作用等。近年来关于天然来源的植物多酚的开发及其在食品中的应用已成为研究热点, 主要研究集中在多酚的制备、分离纯化、结构鉴定及生物活性方面。本文在对植物多酚文献分析的基础上, 阐述了多酚类物质在提取制备及分离纯化方面的研究现状, 重点对多酚类物质含量测定、单酚鉴定及抑菌作用进行了综述, 并对植物多酚类物质今后的研究重点进行了展望, 以期对植物多酚类物质在食品工业中的开发利用提供参考和思路。

**关键词:** 多酚类物质; 分离纯化; 成分鉴定; 抑菌作用

## Research progress on plant polyphenols

JIANG Nan, WANG Meng, WEI Di-Zhe, FENG Xiao-Yuan\*

(Beijing Research Center for Agricultural Standards and Testing, Risk Assessment Lab for Agro-products (Beijing),  
Ministry of Agriculture, Beijing Municipal Key Laboratory of Agriculture Environment Monitoring,  
Beijing 100097, China)

**ABSTRACT:** Polyphenols with complex structures are a class of plant secondary metabolites and have antioxidative, antiviral, anti-inflammatory and antibacterial activities. Polyphenols derived from natural source have already become a research priority in food industry and researches are focused on the preparation, isolation, purification, structure identification and bioactivity of polyphenols. On the basis of literature analysis of plant polyphenols, this article summarized the researches of extraction, separation and purification methods, focusing on the content determination of these compounds, monophenol identification and antimicrobial activities. Moreover, the future development tendencies of plant polyphenols are proposed, so as to provide reference and ideas on application of plant polyphenols in food industry.

**KEY WORDS:** plant polyphenols; separation and purification; component identification; antibacterial activity

## 1 引言

随着生活水平的提高, 人们对食品的要求日趋增高, 更倾向于富含功能性成分的食品。果蔬是膳食的重要组成

部分, 无论是鲜食还是加工制品在日常生活中都占有重要地位。而且果蔬作为天然的植物源性食品原料, 富含多种有效成分, 包括多酚、类胡萝卜素、有机碱、含氮化物和有机硫化物等<sup>[1]</sup>。

基金项目: 北京市自然科学基金项目(6154023)、北京农业质量标准与检测技术研究中心开放课题项目(ZBZXKFKT201504)

**Fund:** Supported by the Natural Science Foundation of Beijing (6154023) and Beijing Research Center for Agricultural Standards and Testing Open Foundation (ZBZXKFKT201504)

\*通讯作者: 冯晓元, 研究员, 博士, 主要研究方向为果品质量与安全。E-mail: fengxiaoyuan2014@126.com

\*Corresponding author: FENG Xiao-Yuan, Professor, Beijing Research Center for Agricultural Standards and Testing, Room 703, Block A, Beijing Agricultural Building, No.11 Middle Road of Shuguang Garden, Haidian District, Beijing 100097, China. E-mail: fengxiaoyuan2014@126.com

多酚是具有苯环并结合多个羟基化学结构的物质总称,主要通过莽草酸和丙二酸途径合成,是植物体内重要的次生代谢产物,是果蔬感官品质和营养品质的主要决定因素<sup>[2]</sup>,对植物的生长发育和调节、基因的诱导表达、信号传导等都有一定的影响<sup>[3,4]</sup>。植物多酚的研究历史悠久,已被证实具有较强的抗氧化作用<sup>[5,6]</sup>,能有效预防高血糖、高血脂、心脑血管等慢性疾病<sup>[7,8]</sup>,还具有降低癌症风险<sup>[9]</sup>以及抵抗神经性<sup>[10]</sup>疾病。

近年来天然来源的植物多酚类物质因具有显著的抗氧化作用,常被作为抗氧化剂、抑菌剂、防腐剂等广泛应用于食品、药品、营养保健等众多领域,因此不同植物组织中多酚成分的分离鉴定及抑菌特性已成为国内外学者的研究热点。本文通过对近几年植物多酚文献的统计分析,重点综述了多酚在分离纯化、成分鉴定以及抑菌特性方面的研究进展,以期天然植物多酚成分以及果蔬制品的开发利用奠定基础。

## 2 植物多酚的制备

植物多酚成分复杂、结构不稳定,目前还没有标准化的提取方法。传统的加热、回流提取往往加热时间长,在提取过程中多酚易发生氧化分解而大量损失。溶剂萃取法常采用丙酮水溶液或醇水溶液提取多酚,但也存在提取时间长、溶剂使用量过大造成环境污染以及多酚得率低等问题。因而近几年许多新技术用于植物功能成分的提取,包括超声辅助提取、微波辅助提取、酶辅助提取、超高压及超临界萃取等<sup>[11,12]</sup>。

Mustapa 等<sup>[13]</sup>对比了微波辅助提取、加压微波辅助提取、超临界 CO<sub>2</sub>(SPE)萃取以及传统的溶剂提取 4 种方式提取鳄嘴花中多酚的效果。结果表明微波辅助方法提取多酚的得率最高,同时有机溶剂使用量最小、耗时最短。Deng 等<sup>[14]</sup>研究了黄花叶和树皮中多酚物质的提取和抗氧化作用,超声辅助提取多酚的得率显著高于超高压提取方法,但是也有研究表明超高压提取多酚的效果显著优于超声辅助提取<sup>[15]</sup>,这可能与提取时使用的溶剂、植物组织、压力参数及超声条件有关。超声、微波、高压辅助提取操作简单,成本低廉,提取效率高,日趋代替传统的提取方法,成为植物多酚成分的主流提取方法。

酶辅助提取也是一种用于植物多酚提取的有效方法,但其成本较高、操作较繁琐。Maier 等<sup>[16]</sup>研究了通过酶辅助法改进葡萄果渣多酚的实验室提取方法和中试提取方法。董亚婷等<sup>[17]</sup>采用酶法破壁工艺对蜂花粉中的多酚物质进行了提取,纤维素酶破壁处理结合乙醇提取的多酚得率显著高于乙醇和水的提取方式。

## 3 植物多酚的分离纯化

多酚的分离纯化至关重要,关系到后续的定性定量

分析及功能活性研究。多酚物质的分离纯化方法有柱层析、薄层层析、超滤、大孔树脂吸附、固相萃取等,其中尤以大孔树脂吸附最为常用且分离效果较好<sup>[18]</sup>。多酚物质的分离纯化往往通过高效吸附剂的吸附-解析完成,而大孔树脂具有吸附速度快、吸附容量大、选择性好、不易受无机物影响、解析率高等优点,适于工业化生产。此外,固相萃取技术因其操作简单、耗时短,最主要的是能选择性地将目标组分与干扰物质分离,近年来使用该技术对多酚进行分离纯化的研究日趋增多<sup>[19,20]</sup>。

范德华力、分子间氢键作用力以及自身的多孔结构决定着树脂对不同化合物的吸附性,通过吸附-解析作用,多酚物质的纯度大大提高,其中常用的吸附剂有 C<sub>18</sub>、苯乙烯-二乙烯基苯共聚物、乙醇醇和甲基丙烯酸酯共聚物<sup>[21,22]</sup>。Xi 等<sup>[23]</sup>研究了大孔树脂 AB-8 分离纯化甘薯多酚的效果,考察了吸附-解析的最佳条件,纯化后的多酚含量及纯度大大提高。Kim 等<sup>[24]</sup>对比了 HP-20、SP-850、XAD-7HP、XAD-2 4 种大孔树脂对海藻多酚的纯化效果,结果表明 HP-20 随着温度的升高表现出较强的吸附-解析能力,且多酚的回收率为 92%。

固相萃取技术常作为化学分离和纯化的手段应用于生物医学、食品分析、农兽药残留前处理过程、有机合成等众多领域,该技术主要是目标物与吸附剂之间通过疏水作用力、离子交换作用以及物理吸附等方式达到分离或纯化的目的<sup>[25]</sup>。固相萃取的主要过程是保留和洗脱,首先目标物被保留在吸附剂上,而后通过极性较强的溶剂将目标物与吸附剂分离从而被洗脱下来,很大程度上减少杂质干扰。苹果多酚样品经固相萃取小柱处理后经高效液相色谱测定,大部分杂峰不再出现,可减小检测干扰,更易判断多酚成分的组成<sup>[26]</sup>。Capriottia 等<sup>[27]</sup>优化了液液萃取和固相萃取两种橄榄油多酚的提取工艺,固相萃取对于酚类物质的分离和纯化效果更佳。

## 4 植物多酚的成分分析

多酚物质组成复杂,结构不稳定,易氧化分解,但是多酚物质的定性定量以及结构分析对于功能活性评价至关重要。目前对于多酚分析方法的灵敏度和选择性要求越来越高,研究人员也开发出更多的新方法新技术用于多酚成分的分析,研究中常用的定量方法主要有分光光度法以及色谱法。

### 4.1 紫外分光光度法

紫外分光光度法是植物多酚定量分析的常用方法,根据多酚种类不同而选择不同的前处理条件和仪器参数。酚类物质中的酚酸一般在 260~330 nm 范围内有特征吸收峰,而不同类型的黄酮类化合物其 I 带(300~400 nm)和 II 带(240~280 nm)紫外吸收的峰形、峰位和吸收强度差异较大,因此可通过酚类物质紫外光谱推测黄酮类化合物的

可能的结构类型<sup>[15]</sup>。但是分光光度法的局限在于只能测定同类结构的总酚含量, 不能区分结构类似的单一酚类物质含量。

## 4.2 色谱法

### 4.2.1 高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)

高效液相色谱法灵敏度高、定量准确, 通过与标准物质的保留时间进行比对从而确定单体酚组成, 该方法是目前植物多酚的分离鉴定的首选方法。表 1 列举了近年来部分用于植物多酚定量分析的 HPLC 检测条件。HPLC 检测多酚时一般选用分离度较高的 C<sub>18</sub> 反相色谱柱, 流动相的选择一般根据基质的性质以及所含多酚种类选择适当极性的溶剂。此外, 由于多酚物质特别是酚酸类易分解, 因而常出现色谱峰拖尾、变宽和不对称等现象, 研究中常在流动相中加入适量的酸性抑制剂可抑制此类化合物的电离, 改善峰形, 常用的有甲酸、乙酸、磷酸、三氟乙酸等。HPLC 虽然定量准确, 但需准备标准品, 通过与已知标准物质进行比对方可确定具体成分。此外, HPLC 难以鉴定未知化合物的结构, 需与质谱联合使用, 液质联用技术可在没有标准品的情况下推断样品的种类及结构。

### 4.2.2 液质联用技术

HPLC 能够用于低分子量的多酚分析, 而对于大分子量、结构复杂的多酚物质的分析效果不理想。目前, 液质联用技术(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS)是植物多酚成分研究的常用方法, 也是多酚结构鉴定最有

效的手段, 可用于新化合物的发现与鉴别。电喷雾技术是一种软电离质谱技术, 通过提高源内锥孔电压使被测化合物在离子源内发生碰撞诱导裂解, 产生碎片离子而获得化合物的分子量信息, 从而实现化合物的结构鉴定, 必要时需通过正负两种模式进行确证<sup>[35]</sup>。目前使用较多的质谱有: 三重四级杆质谱、飞行时间质谱、静电场轨道阱质谱和傅里叶变换离子回旋共振质谱等。

Wojdylo 等<sup>[36]</sup>运用高效液相色谱-飞行时间质谱联用技术(LC-PDA-QTOF/MS)分析了不同酸樱桃品种中的多酚物质, 优化了质谱条件, 鉴定出 41 种多酚成分, 包括 14 种黄酮-3-醇类、11 种花青素类、5 种羟基肉桂酸、10 种黄酮醇类、1 种黄酮。Liu 等<sup>[37]</sup>使用高效液相色谱质谱联用技术(HPLC-ESI-MS<sup>2</sup>)研究了不同成熟时期的莲子果皮多酚的成分和含量。在没有标准品的情况下, 高效液相色谱-飞行时间质谱联用技术(HPLC-Q-TOF-MS<sup>2</sup>)用于初步鉴定桑椹中多酚类物质<sup>[38]</sup>。

### 4.2.3 其他色谱方法

高速逆流色谱(high-speed counter-current chromatography, HSCCC)是由美国国家医学研究院的 Ito<sup>[39]</sup>于 20 世纪 70 年代早期研制开发的一种连续高效液液分配色谱技术。该技术利用不相溶的两相在螺旋管中做高速行星式运动, 使被分离物在两相之间多次分配, 从而实现短时间内对混和物质的高效分离和制备。由于 HSCCC 无需固定相, 因此克服了固相载体对样品的吸附、污染和峰拖尾等缺点, 而且样品回收率较高。目前, HSCCC 技术得到

表 1 不同种类多酚成分 HPLC 法检测条件  
Table 1 Conditions of HPLC for detection of different kinds of polyphenol content

多酚种类	色谱柱	流动相		柱温/°C	流速 mL/min	波长	文献
		A	B				
黄烷醇、儿茶素、表儿茶素、花青素	C <sub>18</sub>	0.1% 甲酸水	乙腈	40	0.8	360	[28]
香豆酸、没食子酸、香草酸、咖啡酸、山奈酚、芦丁、木犀草素等	C <sub>18</sub>	甲醇	乙腈	-	1	280	[29]
没食子酸、羟甲苯甲酸、原花青素、对香豆酸、儿茶素、阿魏酸等	C <sub>18</sub>	2% 乙酸水	甲醇	-	1	287/340	[30]
咖啡酰奎宁酸、奎宁酸、儿茶素、表儿茶素等	C <sub>18</sub>	0.05% 甲酸水	乙腈	40	3	254/280/320	[31]
肉桂酸、黄酮、花青素、原花青素	C <sub>18</sub>	0.25% 甲酸水	乙腈:甲醇(85:15, V:V)	30	0.4/0.6	280	[32]
5-O-咖啡酰莽草酸、落新妇苷、花旗松素、黄杞苷及白藜芦醇	C <sub>18</sub>	0.1% 乙酸水	乙腈	-	1	291	[33]
香豆酸、儿茶素、咖啡酸、芦丁、绿原酸、没食子酸	C <sub>18</sub>	0.1% TFA 水	甲醇	30	1	280	[34]

了飞速改进和完善,越来越多地被应用于天然产物的研究,尤其是黄酮类化合物的分离纯化。Sutherland等<sup>[40]</sup>综述了关于HSCCC技术分离纯化天然产物有效成分的研究情况,其中关于黄酮类化合物的报道将近一半。Jiang等<sup>[41]</sup>使用HSCCC分离了苦荞麦中5种黄酮物质,该文采用正己烷:乙酸乙酯:甲醇:水(V:V:V=3:5:3:5)、乙酸乙酯:正丁醇:水(V:V:V=7:3:10)2套溶剂萃取系统分别萃取不同的多酚成分。

此外,在研究中还有使用毛细管电泳对多酚成分进行检测。毛细管电泳是以毛细管为分离通道,以高压直流电场为驱动力的与电化学方法相结合的液相分离技术,该技术具有分析速度快、分离效率高、重现性好、样品和试剂用量少等众多优点。马晓年等<sup>[42]</sup>研究了毛细管电泳分离检测茶叶中的5种多酚化合物,采用20 kV的分离电压、25℃的毛细管柱温和200 nm的检测波长,儿茶素、表儿茶素、槲皮素、山奈酚和杨梅素可以在14 min实现有效分离与检测。

## 5 植物多酚的抑菌作用

近年来,食品安全问题日渐成为人们关注的焦点,传统的食品抗氧化剂、抑菌剂、保鲜剂已不能满足人们对食品安全的需求。因此,直接来源于生物体自身组成成分或其代谢产物愈易被消费者所接受。植物多酚作为天然保鲜剂,不仅具有良好的抑菌作用,而且对人体还具有保健功效。

目前关于多酚化合物抑菌特性的研究不再局限于植物多酚粗提物的广谱抑菌作用<sup>[11,27,43]</sup>,更侧重针对某一多酚成分深入研究其抑菌机制<sup>[44]</sup>。多酚化合物中,黄烷-3-醇、黄酮醇和单宁与其他多酚物质相比具有更广泛更高效的抑菌活性<sup>[45]</sup>。黄烷-3-醇中尤以儿茶素类的抗菌活性研究最为广泛,如没食子儿茶素-3-没食子酸酯、表没食子儿茶素-3-没食子酸酯、儿茶素-3-没食子酸酯、表儿茶素-3-没食子酸酯等具有很强的抗食源性致病菌作用,这些化合物的抗菌活性强于一般抗生素,如四环素或万古霉素<sup>[46,47]</sup>。黄酮醇主要对革兰氏阳性菌如金黄色葡萄球菌、嗜酸乳杆菌、内氏放线菌;革兰氏阴性菌如普氏菌、口腔链球菌、产黑普氏菌等有较强的抑菌作用。原花青素、没食子酸鞣质、鞣花单宁是单宁类的多酚物质,研究的比较多的是那些来自浆果的原花青素,它们能抑制多种致病菌的生长,如肾盂肾炎大肠杆菌、致龋变形链球菌和耐苯唑西林金黄色葡萄球菌<sup>[48]</sup>。

此外,目前也有研究集中在多酚物质抑制真菌毒素产毒方面。Pani等<sup>[49]</sup>考察了29种多酚物质在不同浓度水平下对小麦中镰刀菌所产的单端孢霉毒素的产毒情况,大部分多酚物质在1.5 mmol/L或1.0 mmol/L条件下对脱氧雪腐镰刀菌烯醇的抑制率达70%。花生红衣中的多酚物质对黄曲霉毒素B1产毒具有可显著抑制作用<sup>[50]</sup>。

## 6 展望

我国植物资源丰富,无论是药用还是食用都有很大的开发利用空间,而植物多酚作为天然的无毒无副作用的抑菌剂、抗氧化剂可添加到食品中,应用前景广泛。通过对文献进行分析,关于植物多酚物质在今后主要的研究方向应为:(1)多酚物质组成多样,根据基质不同所含成分存在较大差异,而目前对于多酚的提取工艺多集中在实验室研究,并未考虑到实际生产中的实际因素,应开发适合产业化生产的多酚提取工艺,利于实验室成果转化,将多酚成分转化成可食的食品或药品;(2)大分子物质的结构特性都与其生物活性密切相关,应加深多酚物质的结构鉴定技术的研究,在此基础上进一步评价其生物功能活性。此外,也可侧重对多酚化合物在体内的活性、毒性、生物利用度的研究;(3)关于植物多酚的抑菌机制也尚未明确,为了更好的利用植物多酚的抑菌效果及延长食品的货架期,应该不断深入对植物多酚抑菌机制的研究。

### 参考文献

- [1] Liu RH. Health benefits of fruit and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals [J]. *Am J Clin Nutr*, 2003, 78(3): 517-520.
- [2] Lapornik B, Prosek M, Wondra AG. Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time [J]. *J Food Eng*, 2005, 71(2): 214-222.
- [3] Rajha HN, Louka N, Darra NE, *et al.* Multiple response optimization of high temperature, low time aqueous extraction process of phenolic compounds from grape byproducts [J]. *Food Nutr Sci*, 2014, 5(5): 351-360.
- [4] Nacz M, Shahidi F. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis [J]. *J Pharm Biomed*, 2006, 41(5): 1523-1542.
- [5] Seiquera I, Ruedab A, Olalla M. Assessing the bioavailability of polyphenols and antioxidant properties of extra virgin argan oil by simulated digestion and Caco-2 cell assays. comparative study with extra virgin olive oil [J]. *Food Chem*, 2015, 188: 496-503.
- [6] Kacem M, KacemImen, Simon G, *et al.* Phytochemicals and biological activities of *Ruta chalepensis* L. growing in Tunisia [J]. *Food Bio Sci*, 2015, 12: 73-78.
- [7] Roopchand DE, Kuhn P, Rojo LE, *et al.* Lueberry polyphenol-enriched soybean flour reduces hyperglycemia, body weight gain and serum cholesterol in mice [J]. *Pharmacol Res*, 2013, 68: 59-67.
- [8] Ramchoun M, Harnafi H, Alem C, *et al.* Hypolipidemic and antioxidant effect of polyphenol-rich extracts from Moroccan thyme varieties [J]. *e-SPEN J*, 2012, 7: 119-124.
- [9] Usenik V, Fajt N, Mikulic PM, *et al.* Sweet cherry pomological and biochemical characteristics influenced by rootstock [J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58: 4928-4933.
- [10] Serra AT, Duarte RO, Bronze MR, *et al.* Identification of bioactive response in traditional cherries from Portugal [J]. *Food Chem*, 2011, 125:

- 318–325.
- [11] Wang LJ, Weller CL. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants [J]. Trends Food Sci Technol, 2006, 17(6): 300–312.
- [12] Meneses MA, Caputo G, Scognamiglio M, et al. Antioxidant phenolic compounds recovery from *Mangifera indica* L. by-products by supercritical antisolvent extraction [J]. J Food Eng, 2015, 163: 45–53.
- [13] Mustapa AN, Martin A, Mato RB, et al. Extraction of phytochemicals from the medicinal plant *Clinacanthus nutans* Lindau by microwave-assisted extraction and supercritical carbon dioxide extraction [J]. Ind Crop Prod, 2015, 74: 83–94.
- [14] Deng Y, Zhao YY, Zakour OP, et al. Polyphenols, antioxidant and antimicrobial activities of leaf and bark extracts of *Solidago canadensis* L [J]. Ind Crop Prod, 2015, 74: 803–809.
- [15] Xi J, Shen D, Li Y, et al. Comparison of *in vitro* antioxidant activities and bioactive components of green tea extracts by different extraction methods [J]. Int J Pharm, 2011, 408: 97–101.
- [16] Maier T, Goeppert A, Kammerer DR, et al. Optimization of a process for enzyme-assisted pigment extraction from grape (*Vitis vinifera* L.) pomace [J]. Eur Food Res Technol, 2008, 227(1): 267–275.
- [17] 董亚婷, 杨远帆, 倪辉, 等. 茶花粉酶法破壁工艺提高提取物抗氧化活性及多酚含量[J]. 农业工程学报, 2013, 21: 288–294.
- Dong YT, Yang YF, Ni H, et al. Enzymatic cell wall disruption process improves antioxidant activity and polyphenol content of camellia pollen extracts [J]. Trans Chin Society Agric Eng, 2013, 21: 288–294.
- [18] 苏东晓. 荔枝果肉多酚的分离鉴定及其调节脂质代谢作用机制[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- Su DX. Preparation and structure identification of Litchi pulp polyphenols and research on the mechanism of their hypolipidemic effect [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014.
- [19] Sojka BM, Guyot S, Kolodziejczyk K, et al. Composition and properties of purified phenolics preparations obtained from an extract of industrial blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) pomace [J]. J Hort Sci Biotechnol, 2009, 84: 100–106.
- [20] Michalkiewicz A, Biesaga M, Pyrzynska K. Solid-phase extraction procedure for determination of phenolic acids and some flavonols in honey [J]. J Chromatogr A, 2008, 1187(1–2): 18–24.
- [21] Liu Q, Cai W, Shao X. Determination of seven polyphenols in water by high performance liquid chromatography combined with preconcentration [J]. Talanta, 2008, 77(2): 679–683.
- [22] 陈亮, 李医明, 陈凯先, 等. 植物多酚类成分提取分离研究进展[J]. 中草药, 2013, 11: 1501–1507.
- Chen L, Li YM, Chen KX, et al. Research progress in extraction and isolation of plant polyphenols [J]. Chin Trad Herb Drugs, 2013, 11: 1501–1507.
- [23] Xi LS, Mu TH, Sun HN. Preparative purification of polyphenols from sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves by AB-8 macroporous resins [J]. Food Chem, 2015, 172: 166–174.
- [24] Kima J, Yoona M, Yang H, et al. Enrichment and purification of marine polyphenol phlorotannins using macroporous adsorption resins [J]. Food Chem, 2014, 162: 135–162.
- [25] Múlek M, Högger P. Highly sensitive analysis of polyphenols and their metabolites in human blood cells using dispersive SPE extraction and LC-MS/MS [J]. Anal Bioanal Chem, 2015, 407: 1885–1899.
- [26] 贺金娜, 曹栋, 史苏佳. 苹果多酚的固相萃取纯化研究[J]. 食品工业科技, 2014, 16: 290–292.
- He JN, Cao D, Shi SJ. Study on solid phase extraction in the purification of apple polyphenol [J]. Sci Tech Food Ind, 2014, 16: 290–292.
- [27] Capriottia AL, Cavalierea C, Crescenzi C, et al. Comparison of extraction methods for the identification and quantification of polyphenols in virgin olive oil by ultra-HPLC-QToF mass spectrometry [J]. Food Chem, 2014, 158: 392–400.
- [28] Antonioli A, Fontana AR, Piccoli P, et al. Characterization of polyphenols and evaluation of antioxidant capacity in grape pomace of the cv. Malbec [J]. Food Chem, 2015, 178: 172–178.
- [29] Mokhtara M, Soukup J, Donato P, et al. Determination of the polyphenolic content of a *Capsicum annum* L. extract by liquid chromatography coupled to photodiode array and mass spectrometry detection and evaluation of its biological activity [J]. J Sep Sci, 2015, 38(2): 171–178.
- [30] Khallouki F, Haubner R, Ricarte I, et al. Identification of polyphenolic compounds in the flesh of Argan (Morocco) fruits [J]. Food Chem, 2015, 179: 191–198.
- [31] Karar MGE, Pletzer D, Jaiswal R, et al. Identification, characterization, isolation and activity against *Escherichia Coli* of quince (*Cydonia oblonga*) fruit polyphenols [J]. Food Res Int, 2014, 65: 121–129.
- [32] Sójka M, Kołodziejczyk K, Milala J, et al. Composition and properties of the polyphenolic extracts obtained from industrial plum pomaces [J]. J Funct Food, 2015, 12: 168–178.
- [33] 张清峰, 张汉扬, 上官新晨, 等. 高效液相法同时测定土茯苓中五种多酚成分[J]. 现代食品科技, 2013, (9): 2275–2278.
- Zhang QF, Zhang HY, Shangguan XC, et al. Quantitative analysis of five polyphenols in *Rhizoma smilacis Glabrae* by HPLC [J]. Mod Food Sci Technol, 2013, (9): 2275–2278.
- [34] 欧阳乐, 王振宇, 刘冉, 梁薇薇, 等. HPLC 法分离鉴定樟子松树皮多酚研究[J]. 食品工业科技, 2013, 13: 276–279.
- Ouyang L, Wang ZY, Liu R, et al. Study on separation and identification scotch pine bark polyphenols with HPLC method [J]. Sci Technol Food Ind, 2013, 13: 276–279.
- [35] 夏玮, 古丽加玛丽·阿比斯, 潘晨, 等. 腊梅花中黄酮类化合物的UHPLC/QTOF-MS 分析 [J]. 中成药, 2014, 36(11): 2345–2349.
- Xia W, Giljiamali ABS, Pan C, et al. Identification of flavonoids from *Chimonanthus praecox* (L.) Link by UHPLC/QTOF-MS [J]. Chin Tradit Pat Med, 2014, 36(11): 2345–2349.
- [36] Wojdyło A, Nowicka P, Laskowski P, et al. Evaluation of sour cherry (*Prunuscerasus* L.) fruits for their polyphenol content, antioxidant properties, and nutritional components [J]. Agric Food Chem, 2014, 62: 12332–12345.
- [37] Liu Y, Ma SS, Ibrahim SA, et al. Identification and antioxidant properties of polyphenols in lotus seed epicarp at different ripening stages [J]. Food Chem, 2015, 185: 159–164.
- [38] 李辰辰, 陆小腾, 童华荣. HPLC-Q-TOF-MS-MS 测定桑椹中多酚类物质[J]. 食品科学, 2015, 36(2): 101–104.
- Li CC, Lu XTJ, Tong HR. Analysis of phenolic compounds in mulberry by high performance liquid chromatography-time of flight mass spectrometry [J]. Food Sci, 2015, 36(2): 101–104.
- [39] Ito Y, Bowman RL. Countercurrent chromatography liquid partition chromatography without solid support [J]. Science, 1970, 167(3916):

- 281–283.
- [40] Sutherland IA, Fisher D. Role of counter-current chromatography in the modernisation of Chinese herbal medicines [J]. *J Chromatogr A*, 2009, 1216(4): 740–753.
- [41] Jiang SJ, Liu Q, Xie YA, *et al.* Separation of five flavonoids from tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn) grains via off-line two dimensional high-speed counter-current chromatography [J]. *Food Chem*, 2015, 186: 153–159.
- [42] 马晓年, 邵娅婷, 李菲, 等. 毛细管电泳分离检测茶叶中5种多酚类化合物 [J]. *食品科学*, 2014, 35(8): 129–132.  
Ma XN, Shao YT, Li F, *et al.* Separation and determination of five kinds of polyphenolic compounds in tea by capillary electrophoresis [J]. *Food Sci*, 2014, 35(8): 129–132.
- [43] Kołodziejczyk K, Sójka M, Abadias M, *et al.* Polyphenol composition, antioxidant capacity, and antimicrobial activity of the extracts obtained from industrial sour cherry pomace [J]. *Ind Crops Prod*, 2013, 51: 279–288.
- [44] Zhao Y, Chen MS, Zhao ZG, *et al.* The antibiotic activity and mechanisms of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) bagasse extract against food-borne pathogens [J]. *Food Chem*, 2015, 185: 112–118.
- [45] 柯春林, 王娣, 谢海伟, 等. 多酚化合物抗菌活性的最新进展 [J]. *食品工业科技*, 2012, 17: 405–408.  
Ke CL, Wang D, Xie HW, *et al.* Research progress in antibacterial activity of polyphenol compounds [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 17: 405–408.
- [46] Ning Y, Ling JQ, Wu CD. Synergistic effects of tea catechin epigallocatechin gallate and antimycotics against oral *Candida* species [J]. *Arch Oral Biol*, 2015, 60(10): 1565–1570.
- [47] Singh BN, Shankar S, Srivastava RK. Green tea catechin, epigallocatechin-3-gallate (EGCG): mechanisms, perspectives and clinical applications [J]. *Biochem Pharmacol*, 2011, 82(12): 1807–182.
- [48] Cote J, Caillet S, Doyon G, *et al.* Bioactive compounds in cranberries and their biological properties [J]. *Crit Rev Food Sci*, 2010, 50(7): 666–679.
- [49] Pani G, Scherm B, Azara E, *et al.* Natural and natural-like phenolic inhibitors of type B trichothecene *in vitro* production by the wheat (*Triticum sp.*) pathogen *Fusarium culmorum* [J]. *Agric Food Chem*, 2014, 62: 4969–4978.
- [50] Pizzolitto RP, Dambolena J, Zunino MP, *et al.* Activity of natural compounds from peanut skins on *Fusarium verticillioides* growth and fumonisin B1 production [J]. *Ind Crop Prod*, 2013, 47: 286–290.

(责任编辑: 金延秋)

### 作者简介



姜楠, 硕士, 实习研究员, 主要研究方向为农产品质量与安全。

E-mail: jiangnan\_fx@163.com



冯晓元, 博士, 研究员, 主要研究方向为果品质量与安全。

E-mail: fengxiaoyuan2014@126.com