

植物膳食多酚及其定量分析方法的研究进展

徐维盛^{1,2}, 杨月欣^{1*}

(1. 中国疾病预防控制中心营养与食品安全所, 北京 100050;
2. 北京市科学技术研究院, 北京市营养源研究所, 北京 100069)

摘要: 植物多酚是一种植物次生代谢物, 其结构多样, 具有多种生物活性。本文对近年来研究较多的植物多酚(茶多酚、葡萄多酚、苹果多酚、石榴多酚、海藻多酚)及其定量分析方法(高压液相色谱法、气相色谱法、毛细管电泳法、红外光谱法、核磁共振波谱法及各种联用技术)进行了综述, 以期对植物多酚的后续研究提供参考。

关键词: 植物多酚; 活性; 种类; 检测方法

Technologies in quantification of plant polyphenols and its research progress

XU Wei-Sheng^{1,2}, YANG Yue-Xin^{1*}

(1. National Institute of Nutrition and Food Safety, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China;
2. Beijing Research Institute for Nutritional Resources, Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100069, China)

ABSTRACT: Plant polyphenols, with complex structures and multiple functions, are a class of plant secondary metabolites and have been widely used in food because of its activities. This paper reviewed the kinds of plant polyphenols such as tea polyphenol, grape polyphenol, apple polyphenol, pomegranate polyphenol, and algae polyphenols, and the detection methods such as high pressure liquid chromatography, gas chromatography, high performance capillary electrophoresis, infrared spectroscopy, nuclear magnetic resonance spectroscopy, and some hyphenated techniques to provide a reference for the further study.

KEY WORDS: plant polyphenols; activity; kinds; detection methods

1 前言

多酚类化合物是分子结构中含有若干个酚羟基的植物成分的总称, 具有一定的抗氧化能力, 植物多酚是植物生长过程中的代谢产物。植物多酚是目前国内外研究热点, 被称为继第六类营养素膳食纤维之后的第七类营养素。植物多酚类结构中均有一定量的R·OH, 能形成有抗氧化作用的氢自由基(H·), 以消除

超氧阴离子(O^{2·-})和羟基自由基(OH·)等自由基活性, 具有抗诱变性和抗癌性等生物活性。大量的体内、体外动物实验以及众多流行病学研究资料表明摄入或补充一定量植物多酚, 具有预防和抑制疾病的作用^[1,2]。

2 植物多酚种类

2.1 茶多酚(tea polyphenols, TP)

茶多酚又名茶单宁、茶鞣质, 是茶叶中一类具有

基金项目: 北京市科学技术研究院青年骨干项目(2012-019)、国家科技支撑计划项目(2012BAD33B01)、北京市财政资金项目创新工程项目
Fund: Supported by the Youth Projects of Beijing Science and Technology Research Institute (2012-019), the National Science and Technology Support Plan (2012BAD33B01) and the Financial Project Innovation Projects of Beijing.

*通讯作者: 杨月欣, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为食品营养。E-mail: xxyang@263.net

*Corresponding author: YANG Yue-Xin, Professor, National Institute of Nutrition and Food Safety, Chinese Center for Disease Control and Prevention, No.29, Nanwei Road, Xicheng District, Beijing 100050, China. E-mail: xxyang@263.net

抗氧化作用的多羟基酚类的总称,具有很高的食用、药用价值。茶多酚是决定茶叶品质的关键物质,对茶汤滋味、颜色也起着决定性作用。茶多酚主要包括儿茶素类(黄烷酮类)、黄酮、黄酮醇类、花青素类、花黄素类、花白素类和酚酸以及缩酚酸类,其中主体成分儿茶素类多存在于茶树新梢中,占茶叶干重的12%~24%,约占茶多酚总量的90%左右。

茶多酚具有极强的抗氧化作用,一方面可通过抑制氧化酶,减少自由基的生成,提高其抗氧化活性;另一方面通过灭活自由基,保护抗氧化酶,提高体内抗氧化酶的活性,进而增强抗氧化作用^[3]。茶多酚已被列为食品添加剂(GB 12493-90),是一种理想的天然食品抗氧化剂。同时,茶多酚还具有抗癌抗肿瘤、抗动脉粥样硬化、降血脂、抗衰老、抗辐射、抗菌、抗病毒等药理学作用^[4,5]。

2.2 葡萄多酚(grape procyanidins, GPC)

葡萄多酚是存在于葡萄中的所有酚类物质的总称,主要存在于葡萄皮和葡萄籽中。葡萄除食用外,其悠久的酿酒历史,也使得人们对葡萄果实及葡萄酒中的多酚类物质关注日益增加。葡萄多酚在果实色泽、风味以及葡萄酒的色泽、口感、香味、营养价值等方面都发挥着重要的作用^[6,7]。葡萄多酚主要包括酚酸类(苯甲酸类以及肉桂酸类)、黄酮醇类、黄烷醇类、黄烷酮类、花色苷类(甲基花翠素类、花翠素类、芍药素类及花青素类)以及芪类化合物白藜芦醇,其中没食子酸在鲜果中的含量可达到0.46 mg/kg,表儿茶素在鲜果中的含量可到达38.46 mg/100 g,白藜芦醇更是葡萄酒产地的重要鉴定指标之一^[7-10]。葡萄品种、光照、温度以及栽培措施等都会影响到葡萄多酚的含量。

葡萄多酚自身作为优良的供氢体,形成的自由基可通过共振杂化成稳定的自由基,从而使自由基失活,切断链式反应起到抗氧化作用^[11],同时葡萄多酚还能直接减少氧自由基的生成从而保护小鼠心肌线粒体免受氧自由基引起的损伤^[12]。同时,葡萄多酚还具有抗肿瘤、预防神经退行性改变、抗菌、抗病毒、抗疲劳等生理活性^[2,13-16]。葡萄多酚的大鼠急性毒性试验和遗传毒性试验结果均为阴性,病理组织学检查未发现异常,表明该物质对大鼠各项指标未产生明显毒性作用,属于实际无毒物质^[16]。葡萄酒中的主要功效成分之一的白藜芦醇

具有优异的抗癌、抗肿瘤活性,且不会引起细胞毒害作用,同时具有抗血小板凝集、调节脂质代谢、血管松弛效果以及保护心脏、雌激素调节、抗菌、抗氧化等作用,能够清除体内自由基,活化体内功能因子,促进并保持体内新陈代谢的顺畅,使内外分泌协调,因此被列为“100种最有效的抗衰老物质之一”^[6,16]。

2.3 苹果多酚(apple polyphenols)

苹果是一种富含多酚的水果,新鲜苹果及其制品的颜色和风味的形成与多酚密切相关。苹果多酚主要包括酚酸类、儿茶素类(黄烷醇类)、黄酮类、原花色苷类,以绿原酸为主的酚酸类约占25%,儿茶素、表儿茶素、没食子酸等单体约占15%,根皮苷、根皮素、二氢查耳酮、槲皮素等黄酮类化合物约占10%,原花色苷类约占50%^[17]。

苹果多酚是一类氧化还原能力很低的还原剂,具有较强的供氢能力,氢与羟基自由基结合,能使之还原为惰性化合物或较稳定的自由基,从而清除体内过多的有害自由基起到抗氧化作用,苹果多酚的超氧阴离子清除自由基能力是维生素C和维生素E的30倍,具有较强的抗氧化活性^[18]。苹果多酚同时具有抗过敏、预防龋齿、增白、除臭、抗癌、抑制血压上升等功效。英国就有“一天一苹果,医生远离我”的谚语,也从侧面反映出苹果的营养及医疗保健作用。现代研究表明,富含于苹果汁中的根皮苷、根皮素等具有二氢查耳酮类结构的黄酮类化合物对口服毒性极小,其用量安全可靠^[19]。

2.4 石榴多酚(pomegranate polyphenols)

石榴多酚是石榴中所含有的一类具有多个酚羟基功效成分的总称,在石榴各部分中均有分布,含量约为其干质量的10%~20%,其中石榴皮中含量最高,其次为籽、汁,花中含量最低。石榴多酚中的主要成分为安石榴苷,目前还检测出没食子酸、鞣花酸、绿原酸、咖啡酸、儿茶素、表儿茶素、芦丁、槲皮素、山奈酚、根皮苷、根皮素、阿魏酸、对羟基苯甲酸等其他13种皮、籽共有成分^[20,21],其结构类型涵盖了酚酸、儿茶素类、黄酮类等几大类常见植物多酚结构。

现代研究结果表明,石榴多酚具有抗氧化、抗衰老、防癌抗癌、润肤美容、抗菌、降血压、预防心脑血管疾病、抗肝损伤等多种生物学活性^[22-24]。

2.5 海藻多酚(algae polyphenols)

海藻多酚是从海藻中提取出来的多酚类功效成分的总称。同陆生植物不同, 海藻生长在化学组分极其复杂的海洋中, 其代谢产物普遍具有独特的生物活性, 根据组分不同, 可分为简单酚类和多酚类化合物。简单酚类又可以根据是否含有卤族元素分成卤代酚类和不含卤酚类。目前已确定了 30 多种海藻卤代酚类, 其中大多数为溴代单酚及其衍生物和溴代二酚化合物, 极少含氯, 在红藻、褐藻、蓝藻、绿藻中均有分布。不含卤酚类主要是从一些红藻和褐藻中分离出的简单酚的衍生物和带有脂肪链的酚类, 如对羟基苯乙酸、烷化间苯二酚、烷化间苯三酚等。海藻多酚类化合物在褐藻中的含量较多, 其主要成分为间苯三酚及其衍生物, 主要包括多羟基联苯、多羟基苯醚、混合多羟基联苯多苯醚及多(间邻)羟基苯醚四种^[25]。

随着现代分离、分析技术的提高, 作为海洋天然药物重要来源的海藻资源备受关注。现代研究结果表明, 海藻多酚具有较强的抗氧化活性^[26], 同时具有抗肿瘤、抗菌、抗病毒、化学防御、抗糖尿病综合症、抗凝血、降血压、抗哮喘、除臭等多种生物活性, 且经毒理学试验证明海藻多酚属低毒物质, 食

用安全^[27-29]。目前, 部分富含多酚类功效成分的植物提取物已被开发为商品, 如表 1 所示。

3 植物多酚分析方法

植物多酚传统的分析方法主要为分光光度法, 该方法主要测定总酚含量。随着科技的进步、仪器的更新, 人们对植物多酚的定性定量分析提出了更高的要求, 从总多酚检测细化到单一化学成分分析, 新技术新方法在植物多酚研究中发挥着重要的作用。本文着重从色谱法、光谱法以及联用技术三个方面对近几年植物多酚研究中应用的新技术方法进行综述。

3.1 色谱法

3.1.1 高压液相色谱法

高压液相色谱法具有灵敏度高、准确性好等优点, 其样品预处理简单, 色谱柱选择范围宽、流动相种类及比例可任意变化、检测方式多样, 可实现多种物质同时在线分离分析, 是目前在植物多酚定性定量研究中应用最多的方法之一。

Eva 等^[30]选择 DAD 检测器, 以甲醇-pH 2 水溶液为流动相, 固定相选择不同长度、不同颗粒大小、不同填料的多根色谱柱, 分离分析了水果-绿茶中的 10 种酚酸、2 种儿茶素和 3 种花黄素, 获得了满意的结

表 1 多酚类及代表产品

Table 1 Polyphenols and representative products

多酚类名称		代表产品	
多酚单体	黄酮(flavon)	甘草油性提取物; 洋葱提取物; 芸香苷分解物	
	异黄酮(isoflavon)	大豆异黄酮; 芸香苷酶解物; 油菜籽提取物	
	黄酮醇(flavanone)	可可多酚; 杨梅提取物; 荞麦提取物	
	黄烷酮(flavanone)	柑橘皮提取物	
	黄烷醇(flavanol)	绿茶提取物	
	黄烷酮醇(flavanonol)	松树提取物	
	花色苷(anthocyanin)	蓝莓提取物	
低聚和多聚多酚 (单宁)	查耳酮(chalcone)	红花素	
	绿原酸(chlorogenic acid)	生咖啡豆提取物; 向日葵提取物; 苹果提取物	
	没食子酸(gallic acid)	月见草提取物	
	鞣花酸(cllagic acid)	紫地丁提取物	
	综合型单宁	花色素原	乌龙茶提取物; 葡萄籽提取物; 生苹果提取物
	加水分解型单宁	没食子单宁	甜菜提取物; 儿茶树提取物
	鞣花单宁	桉树提取物	

果。Nishitani 等^[31]选择 PDA 检测器,以 A: 水-甲醇-磷酸=85:15:0.1, B: 水-甲醇-乙酸乙酯-磷酸=85:15:1:0.1 为流动相,选择梯度洗脱方式,在 40 min 内成功分离了 10 种儿茶素、4 种酚酸以及其他三种多酚物质,这些化合物的检测限范围在 1.4~3.5 ng 范围内。Lin 等^[32]采用不同比例的甲醇-水-甲酸为流动相,选择等度洗脱和梯度洗脱两种方式对不同产地的绿茶、乌龙茶、普洱茶以及黑茶中的儿茶素类多酚进行分析,其等度洗脱在 60 min 内检出 6 种儿茶素,其梯度洗脱在 36 min 内分离出 7 种儿茶素。他们比较了两种不同洗脱方式结果后认为,由于梯度洗脱后需用流动相将柱子恢复到最初的平衡状态,虽然其洗脱能力强,但其总计花费的时间更多;而等度洗脱操作更简单,更适合于系统地分析各类茶叶。除了色谱柱、流动相、洗脱方式等选择多样化外,检测波长的选择也十分重要,能使每一类物质在其最大吸收波长处出检测也是 HPLC 技术的一个优势。陈磊等^[33]选择检测波长 280 nm,以乙腈和 3%乙酸水为流动相,梯度洗脱方式,20 min 内检测了黄酒中 5-羟甲基糖醛和 9 种多酚(儿茶素、表儿茶素、绿原酸、芦丁、咖啡酸、原儿茶酸、丁香酸、阿魏酸、p-香豆酸),10 种化合物的检出限范围为 0.2~0.5 mg/L。张雪莹等^[34]采用波长切换技术:363 nm(0~18 min),371 nm(18~30 min),选择乙腈(A)-0.025 mol/L 磷酸水(B)为流动相,梯度洗脱方式,在 30 min 内同时测定了山楂果实中的芦丁、金丝桃苷、槲皮素三种多酚物质,该色谱条件下,基线平稳,获得了满意的分离度和测定结果。

3.1.2 气相色谱法

气相色谱法以其分离效率高、分析速度快、样品用量少、检测灵敏度高、选择性好、应用范围广等优点,在卫生检验、医学检验以及药物分析中得到广泛的应用。气相色谱主要用于分析各种气体和易挥发的有机物质,对部分热不稳定物质或者难以气化的物质,需通过化学衍生化的方法,才可用气相色谱法分析。已有报道称儿茶素经乙酸乙酯萃取、三甲基氯硅烷衍生后,采用程序升温法,只用一个内标物就实现了多种儿茶素同时分析。但由于前处理复杂,且需衍生化,前处理方法繁琐,目前已较少应用。气相色谱法目前主要应用于样品的溶剂残留检测。黄秋森^[35]选择气相色谱法测定茶多酚中的氯仿和乙酸乙酯残留。该方法以蒸馏水溶解样品,以 Na_2CO_3 、正己烷

为萃取剂萃取,经 2 m×3 mm i.d. 不锈钢柱分离,350 °C 高温检测,获得了满意的结果,氯仿和乙酸乙酯的最低检出限分别为 0.50 μg/g 和 0.36 μg/g。

3.1.3 高效毛细管电泳法

高效毛细管电泳(high performance capillary electrophoresis, HPCE)统指在高压电场和毛细管分离通道中,依据试样中各组分电泳淌度和分配行为上的差异实现分离的一类分析技术,具有高效、快速、进样体积小、抗污染能力强的优点,其柱效高于 HPLC,理论板数可达 $10^6/\text{m}$,毛细管凝胶电泳可达 $10^7/\text{m}$ 。

娄静等^[36]使用非接触电导检测器与紫外检测器同时检测,以 150 mmol/L 2-氨基-2-甲基-1-丙醇为缓冲液,采用石英毛细管柱(50 μm i.d. ×50 cm,非接触检测器有效长度 38 cm、紫外检测器有效长度 41.5 cm),在 7 min 内实现了 3 中多酚的分离测定。Xu 等^[37]以 60 mmol/L $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ -120 mmol/L NaH_2PO_4 (pH 8.8)为缓冲液,选用 60 cm 毛细管柱,21 min 内成功分离了鱼腥草中的四种黄酮类多酚,其最低检测限范围为 0.02~0.05 μg/mL。王晓葵^[38]研制了新式的狭缝式 CE-CL 联用接口,实现了分离毛细管和反应毛细管在显微镜下快速、精确对接,同时用于烟草多酚的测定,实验测得芦丁、绿原酸、槲皮素和咖啡酸的检出限分别为 3.7×10^{-9} 、 6.4×10^{-8} 、 8.5×10^{-8} 、 1.3×10^{-10} mol/L,较套式接口检测多酚物质的检出限(10^{-5} mol/L)降低了二、三个数量级。HPLC 法分离多酚类功效成分易出现峰展宽导致柱效降低的现象,与之相比,HPCE 法分离效率更高,且所需样品量少,分析速度快,在实际样品分析中具有较好的实用性和经济性。

3.2 光谱分析法

3.2.1 红外光谱法

红外光谱属于分子吸收光谱,按照波长范围分为近红外区(0.75~2.5 μm)、中红外区(2.5~25 μm)和远红外(25~300 μm)三个区域。一般而言,近红外光谱是由分子的倍频、合频产生的,中红外光谱属于分子基频振动光谱,远红外光谱则属于分子的转动光谱和某些集团的振动光谱。红外光谱对样品具有相当广泛的适用性,不受样品存在状态的限制,无机、有机、高分子化合物等均可检测。具有测试迅速,操作方便,重复性好,灵敏度高,试样用量少,无污染以及样品非破坏性等优点。

吴玉萍等^[39]应用傅里叶变换红外漫反射光谱仪, 在采集的 340 个样品光谱图中优化挑选具有代表性的 244 个烟草样品, 建立了近红外光谱与烟草多酚含量间的数学模型。利用建立的模型对 20 个样品的预测结果与实测值之间的平均标准偏差为 0.10, 经统计学分析, 与化学法测定结果间差异不显著。此方法测定样品成分含量耗时长, 工作繁琐, 且模型的可靠性将直接影响到方法的准确性。王毅等^[40]利用小波消噪预处理茶叶近红外光谱, 滤去其中的噪声信息, 再用区间偏最小二乘法(iPLS)与遗传算法(GA)相结合的 PLS 波长筛选法 iPLS-GA 建立茶多酚的预测模型, 提高了近红外光谱茶多酚预测模型的精度, 建模数据量从 3320 个减少到 18 个, 使模型得以简化。

3.2.2 核磁共振波谱法

核磁共振波谱法(nuclear magnetic resonance spectroscopy, NMR)属于光谱法的一个分支, 是指具有核磁性质的原子核, 在强磁场的帮助下, 吸收射频辐射, 引起核自旋能级跃迁的现象, 以核磁共振信号强度对照射频率作图, 既得核磁共振波谱图。其研究主要集中在 ¹H-NMR 和 ¹³C-NMR 两个方面。同红外光谱一样, NMR 可以提供分子中化学官能团的数目和种类, 但它还可以提供许多红外光谱无法提供的信息。刘硕谦^[41]选择 ¹H-NMR、¹³C-NMR 和 DEPT 对水皂角活性多酚提取物进行核磁共振波谱解析, 推断该样品所含物质为一类二聚黄烷醇化合物, 即水皂角植物中的有效组分。王卫东等^[42]选择 HPLC-DAD-ESI-MS 联用技术分析黑莓清汁二次沉淀中的酚类物质, 同时选择固体核磁共振(CP/MAS ¹³C-NMR)获得了 ¹³C-NMR 的固体高分辨信号, 结果表明黑莓清汁二次沉淀物中含有黄酮类及缩合单宁类化合物。由于核磁共振波谱设备较昂贵, 尚未广泛应用于酚类物质的检测, 但其在化合物结

构确证尤其是新化合物结构确证中的确发挥着不可替代的作用。吴长生^[43]选择核磁共振技术, 并且利用异核单量子相关(HSQC)、异核多键相关(HMBC)、同核化学位移相关(COSY)等二维核磁共振技术(2D NMR)对从天然桑黄中分离的 11 个新化合物进行了结构解析, 其中 9 个为新多酚类化合物。

3.3 联用技术

联用技术即将两种或两种以上的分析技术连接起来, 以便得到一种更快、更有效的分析工具。目前联用技术主要包括光谱-光谱技术、色谱-色谱技术以及色谱-光谱联用等三大类, 其中应用最多的是色谱-光谱联用技术, 该技术利用色谱技术进行分离和定量, 联合光谱技术优异的鉴别能力, 既发挥了色谱、光谱技术各自的优势又提高了效率。目前色谱联用技术研究现状见表 2 所示。

在植物多酚研究中, 应用较多的为 LC-MS、LC-MS-MS 联用技术。Dou 等^[44]选择 HPLC-UV-MS 联用技术, 以 BDS Hypersil C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)为固定相, 乙腈-含 0.5%乙酸水溶液为流动相, 分离测定了乌龙茶中 2 种生物碱、11 种黄烷醇类、8 种有机酸和酯、11 种二聚体原花青素、3 种茶黄素以及 22 种黄酮苷类化合物。Gonzalez 等^[45]采用 HPLC-DAD-MS-MS 二级质谱联用技术, 以反相 LiChroCART C₁₈ 柱(25 cm×0.4 cm, 5 μm)为色谱柱, 甲醇-水为流动相, 分析测定了黑加仑汁、橘汁和绿茶溶液中的 4 种茶黄素。Wang 等^[46]选择较先进的液相-基质辅助激光解析电离/飞行时间质谱(HPLC-UV-MALDI-TOF MS)联用技术, 以 Supelcosil SPLC-18-DB 250 mm×10 mm(5 μm)色谱柱为固定相, 乙腈-2%乙酸水溶液为流动相, 分析测定洋葱、绿茶等食品中山奈酚、槲皮素、杨梅素等 14 中多酚类物质。

表 2 色谱联用技术
Table 2 Hyphenated techniques

	MS	IR	AES	AAS	NMR	FL	UV-Vis	GC	HPLC
GC	***	***	**	*		**	*	**	*
HPLC	***	**	*	**	**	***	***	*	*
SFC	*	*	*						
TLC	*	**				***	***		
HPCE	**	*				***	***		

注: *无市售产品, 正在研制; **有市售产品, 但使用较少; ***有市售产品, 且广泛应用

4 结 语

植物多酚的定性定量传统分析方法主要包括化学还原法^[47-52]、离子沉降法^[47,48]、特定功能基团分析法(多为分光光度法)^[53,54]、蛋白质沉降法^[47,48]等,上述方法均只能对植物多酚总量进行测定。国家标准(GB/T 8313-2008)中茶多酚的含量测定方法仍为分光光度法,而茶叶中儿茶素类则选用高压液相色谱法(HPLC)。在烟草行业标准(YC/T 202-2006)中,对烟草中绿原酸、茛菪亭及芸香苷三种多酚类化合物的含量测定选择 HPLC 法,但国家标准中对此类物质的 HPLC 检测方法为空白。然而以分光光度法为主的分析方法具有专属性差、灵敏度低等局限性,不能满足市场对保健食品的需求。

随着技术的进步,科技的发展,仪器分析步入又一个崭新的时代。随着人民生活水平的不断提高,对食品营养的要求也日益增强,如何准确、定量的分析食品中的营养成分,无疑将会成为未来食品营养分析的发展方向。2005年,HPLC法已被列入测定红茶以及绿茶中儿茶素含量的国际标准(ISO 14502-2-2005)。虽然目前植物多酚研究中新技术新方法依然存在一些缺点,但鉴于其高效精确的特性,一定会在植物多酚研究中发挥更大的作用。

参考文献

- [1] Tapiero H, Tew KD, Nguyen Ba G, *et al.* Polyphenols: do they play a role in the prevention of human pathologies [J]. *Biomed Pharmacother*, 2002, 56(4): 200-207.
- [2] 刘芸, 仇农学, 杨玺玉. 葡萄皮提取物总多酚含量及体外抗氧化活性、抑菌活性[J]. *食品科学*, 2011, 32(1): 5-9.
Liu Y, Qiu NX, Yang XY. Assessment of total phenolic content and in vitro antioxidant and antimicrobial activities of ethanol extract from grape residue left after making wine [J]. *Food Sci*, 2011, 32(1): 5-9.
- [3] 王聪慧, 张星星, 孙莉颖, 等. 茶多酚药理作用的研究进展[J]. *中国药业*, 2010, 19(4): 62-63.
Wang CH, Zhang XX, Sun LY, *et al.* Research advance on pharmacological action of tea-polyphenol [J]. *China Pharm*, 2010, 19(4): 62-63.
- [4] 张焕金, 蔡林儿. 绿茶提取物茶多酚抗癌作用的研究进展[J]. *华南国防医学杂志*, 2012, 26(5): 522-523.
Zhang HJ, Cai LE. Research advance on anticancer effect of tea-polyphenols of green tea [J]. *Mil Med J S Chin*, 2012, 26(5): 522-523.
- [5] 赵立春, 岳桂华. 茶多酚在心血管疾病方面的药效学研究[J]. *亚太传统医药*, 2009, 5(10): 144-146.
Zhao LC, Yue GH. Research on pharmacodynamics of tea polyphenols with cardiovascular disease [J]. *Asia-Pac Tradit Med*, 2009, 5(10): 144-146.
- [6] 李光宇, 彭丽萍. 葡萄酒中主要的多酚类化合物及其作用[J]. *酿酒*, 2007, 34(4): 60-61.
Li GY, Peng LP. Primary polyphenols in wine and their function [J]. *Liquor Making*, 2007, 34(4): 60-61.
- [7] Da Silva JMR, Darmon N, Fernandez Y, *et al.* Oxygen free radical scavenger capacity in aqueous models of different procyanidins from grape seeds [J]. *J Agr Food Chem*, 1991, 39(9): 1549-1552.
- [8] Goldberg DM, Karumanchiri A, Tsang E, *et al.* Catechin and epicatechin concentrations of red wines: regional and cultivar-related differences [J]. *Am J Enol Vitic*, 1998, 49(1): 23-34.
- [9] Goldberg DM, Tsang E, Karumanchiri A, *et al.* Quercetin and p-coumaric acid concentrations in commercial wines [J]. *Am J Enol Vitic*, 1998, 49(2): 142-151.
- [10] 刘金豹, 杜中军, 翟衡. 葡萄浆果中的主要多酚化合物及营养因素[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2003, (2): 22-26.
Liu JB, Du ZJ, Zhai H. The main polyphenolics in grape berry and their influencing factors [J]. *Sino-Ov Grapevine Wine*, 2003, (2): 22-26.
- [11] 王尔孚, 焦淑萍, 尹桂春. 山葡萄多酚对辐射小鼠红细胞免疫功能的影响[J]. *北华大学学报: 自然科学版*, 2008, 9(1): 32-33.
Wang EF, Jiao SP, Yin GC. Effects of polyphenols of vitis amurensis on erythrocyte immune function of irradiated mice [J]. *J Beihua Univ (Nat Sci)*, 2008, 9(1): 32-33.
- [12] 杨立军. 葡萄多酚的研究概况[J]. *海峡药学*, 2009, 21(6): 103-105.
Yang LJ. Summary on study of grape procyanidins [J]. *Strait Pharm J*, 2009, 21(6): 103-105.
- [13] 唐传核, 杨晓泉. 葡萄及葡萄酒生理活性物质的研究概况(III)-预防癌症、炎症、神经疾患及其他疾病效果[J]. *中国食品添加剂*, 2003, (3): 42-48.
Tang CH, Yang XQ. Recent advances in bioactive components in grape and wine(iii)-cancer, inflammation, neurodegenerative diseases and other diseases preventing effects [J]. *China Food Addit*, 2003, (3): 42-48.
- [14] Chan MY. Antimicrobial effect of resveratrol on dermatophytes and bacterial pathogens of the skin [J]. *Biochem Pharmacol*, 2002, 63(2): 99-104.
- [15] 沈继红, 张爱军. 葡萄多酚的毒性试验[J]. *毒理学杂志*, 2006, 20(2): 96-97.
Shen JH, Zhang AJ. The study on toxicology of grape procyanidins with mice [J]. *J Toxicol*, 2006, 20(2): 96-97.

- [16] 毕海丹. 白藜芦醇保健医药专利研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(2): 795-796, 801.
Bi HD. Patent research progress of resveratrol on health care and medicine [J]. J Anhui Agr Sci, 2011, 39(2): 795-796,
- [17] 王旗, 刘恩岐. 植物多酚的研究现状[J]. 山西农业科学, 2009, 37(1): 92-94.
Wang Q, Liu EQ. Progress in research on plant polyphenol [J]. J Shanxi Agr Sci, 2009, 37(1): 92-94.
- [18] Lu Y, Foo LY. Antioxidant and radical scavenging activities of polyphenols from apple pomace [J]. Food Chem, 2000, 68(1): 81-85.
- [19] 李慕琼, 范引科, 李晰, 等. 根皮苷及根皮素对小鼠的半数致死量测定 [J]. 中国药师, 2013, 16(3): 466-468.
Li MQ, Fan YK, Li X, *et al.* LD₅₀ Determination of Phloridzin and Phloretin in mice [J]. China Pharm, 2013, 16(3): 466-468.
- [20] 李梦颖, 李建科, 于振, 等. 石榴多酚的提取、检测和成分分析研究进展[J]. 食品工业科技, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20130510.1310.009.html>
Li MY, Li JK, Yu Z, *et al.* Research progress in extraction, detection and composition analysis of pomegranate polyphenol [J]. Sci Technol Food Ind, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1759.TS.20130510.1310.009.html>
- [21] 汝绍刚, 赵文英, 崔波, 等. 超声法提取石榴多酚的研究[J]. 化学与生物工程, 2011, 28(10): 43-46.
Ru SG, Zhao WY, Cui B, *et al.* Study on extraction of polyphenols from pomegranate husk by ultrasonic extraction method [J]. Chem Bioeng, 2011, 28(10): 43-46.
- [22] 董淑英, 童旭辉, 刘浩, 等. 石榴多酚对大鼠心肌缺血-再灌注损伤后心肌细胞凋亡的影响[J]. 中药材, 2012, 35(11): 1824-1828.
Dong SY, Tong XH, Liu H, *et al.* Effects of pomegranate polyphenols on cardiomyocyte apoptosis in rats with myocardial ischemia/reperfusion injury [J]. J Chin Med Mater, 2012, 35(11): 1824-1828.
- [23] 董淑英, 童旭辉, 刘浩, 等. 石榴多酚对心肌缺血-再灌注损伤大鼠心功能的保护作用[J]. 南方医科大学学报, 2012, 32(7): 924-927.
Dong SY, Tong XH, Liu H, *et al.* Protective effects of pomegranate polyphenols on cardiac function in rats with myocardial ischemia/reperfusion injury [J]. J South Med Univ, 2012, 32(7): 924-927.
- [24] 杨丽娜, 林茜, 付中喜, 等. 石榴多酚对小鼠急性肝损伤的保护作用[J]. 中国老年学杂志, 2010, 30(17): 2488-2489.
Yang LN, Lin Q, Fu ZX, *et al.* Protective effect of pomegranate polyphenols on acute liver injury in rats [J]. Chin J Gerontol, 2010, 30(17): 2488-2489.
- [25] 纪明侯. 海藻化学[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
Ji MH. Marine Algal Chemistry [M]. Beijing: Science Press, 1997.
- [26] Kang K, Park Y, Hwang HJ, *et al.* Antioxidative properties of brown algae polyphenolics and their perspectives as chemopreventive agents against vascular risk factors [J]. Archibes Pharm Res, 2003, 26(4): 286-293.
- [27] 李冰心, 李颖畅, 励建荣. 海藻多酚的提取及其生物活性研究进展[J]. 食品与发酵科技, 2012, 48(5): 12-15.
Li BX, Li YC, Li JR. The research progress of extraction and biological activity of algae polyphenols [J]. Food Ferment Technol, 2012, 48(5): 12-15.
- [28] 杨会成, 董士远, 刘尊英, 等. 海藻中多酚类化学成分及其生物活性研究进展[J]. 中国海洋药物杂志, 2007, 26(5): 53-59.
Yang HC, Dong SY, Liu ZY, *et al.* Research progress in the chemical component and bioactivities of polyphenols extracted from marine algae [J]. Chin J Mar Drugs, 2007, 26(5): 53-59.
- [29] 娄清香, 严小军. 褐藻多酚的毒理学研究[J]. 海洋科学, 2000, 24(9): 53-55.
Lou QX, Yan XJ. Toxicological study on brown algal polyphenols [J]. Mar Sci, 2000, 24(9): 53-55.
- [30] Eva B, Adriana F. Isolation and determination of phenolic compounds in fruit-green tea [J]. J Liq Chromatogr Relat Technol, 2004, 27(1): 31-48.
- [31] Nishitani E, Sagesaka YM. Simultaneous determination of catechins, caffeine and other phenolic compounds in tea using new hplc method [J]. J Food Comp Anal, 2004, 17(5): 675-685.
- [32] Lin JK, Lin CL, Liang YC, *et al.* Survey of catechins, gallic acid, and methylxanthines in green, oolong, pu-erh, and black teas [J]. J Agr Food Chem, 1998, 46(9): 3635-3642.
- [33] 陈磊, 黄雪松. 高效液相色谱法同时检测黄酒中 5-羟甲基糖醛和 9 种多酚[J]. 分析化学, 2010, 38(1): 133-137.
Chen L, Huang XS. Simultaneous determination of 5-hydroxymethylfurfural and nine kinds of phenolic compounds in rice wine using high performance liquid chromatography [J]. Chin J Anal Chem, 2010, 38(1): 133-137.
- [34] 张雪莹, 张杨, 张建逵, 等. HPLC 多波长切换法同时测定野生山楂中芦丁、金丝桃苷及槲皮素含量 [J]. 中华中医药学刊, 2012, 30(11): 2418-2420.
Zhang XY, Zhang Y, Zhang JQ, *et al.* Simultaneous determination of rutin, hyperoside, quercetin in wild fructus crataegi by multiple wavelength RP-HPLC [J]. Chin Arch Tradit Chin Med, 2012, 30(11): 2418-2420.
- [35] 黄秋森. 气相色谱法测定茶多酚中的氯仿和乙酸乙酯残留[J]. 福建分析测试, 2005, 14(2): 2172-2174.
Huang QS. Gas chromatographic determination of residual chloroform and ethyl acetate in tea polyphenols [J]. Fujian Anal Test, 2005, 14(2): 2172-2174.

- [36] 娄静, 解静, 齐若冰, 等. 毛细管电泳非接触电导及紫外检测同时分离测定 3 种多酚[J]. 分析实验室, 2009, 28(Suppl.): 258–259.
Lou J, Xie J, Qi RB, *et al.* Analysis of three phenolic compounds by capillary electrophoresis with contactless conductivity and UV detection [J]. *Chin J Anal Lab*, 2009, 28(Suppl.): 258–259.
- [37] Xu XQ, Ye HZ, Wang W, *et al.* Determination of flavonoids in *houltuynia cordata* thunb. and *saururus chinensis*(lour.) bail. by capillary electrophoresis with electrochemical detection [J]. *Tanata*, 2006, 68(3): 759–764.
- [38] 王晓葵. 毛细管电泳分离多酚及其与化学发联用的研究[D]. 中国科学技术大学, 2007.
Wang XQ. Capillary electrophoresis and that coupled with chemiluminescence detection in the determination of polyphenols [D]. University of Science and Technology of China, 2007.
- [39] 吴玉萍, 陈萍, 李应金, 等. 近红外光谱法快速检测烟草中总多酚含量[J]. 光谱实验室, 2008, 25(3): 465–467.
Wu YP, Chen P, Li YJ, *et al.* Rapid determination of polyphenols in tobacco by near infrared reflectance spectroscopy [J]. *Chin J Spectrosc Lab*, 2008, 25(3): 465–467.
- [40] 王毅, 陈斌, 叶静, 等. 优化茶多酚近红外光谱定量分析模型[J]. 计算机与应用化学, 2010, 27(5): 686–689.
Wang Y, Chen B, Ye J, *et al.* Optimization on quantitative analysis models of tea polyphenols by near infrared spectroscopy [J]. *Comput Appl Chem*, 2010, 27(5): 686–689.
- [41] 刘硕谦. 水皂角活性多酚提取、纯化与检测技术的研究[D]. 湖南农业大学, 2003.
Liu SQ. Extraction, purification and determination of bio-active polyphenols in *cassia nomame* [D]. Hunan Agricultural Uniber-sity, 2003.
- [42] 王卫东, 许时婴. 黑莓清汁贮藏期间二次沉淀的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(4): 162–165.
Wang WD, Xu SY. Study on sediments of clear blackberry juice during storage [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2010, 31(4): 162–165.
- [43] 吴长生. 药用真菌桑黄化学成分的研究[D]. 山东大学, 2011.
Wu CS. Chemical constituents of the medicinal fungus *phellinus baumii* [D]. Shandong University, 2011.
- [44] Dou J, Lee VSY, Tzen JTC, *et al.* Identification and comparison of phenolic compounds in the preparation of oolong tea manufactured by semifermentation and drying processes [J]. *J Agr Food Chem*, 2007, 55(18): 7462–7468.
- [45] Gonzalez BG, Trindade LM, Manzanara P, *et al.* Production of bioavailable flavonoid glucosides in fruit juices and green tea by use of fungal α -l-rhamnosidases [J]. *J Agr Food Chem*, 2004, 52(20): 6136–6142.
- [46] Wang J, Sporns P. MALDI-TOF-MS analysis of food flavonol glycosides [J]. *J Agr Food Chem*, 2000, 48(5): 1657–1662.
- [47] 杨正华, 马力, 陈永忠. 植物多酚的提取与检测研究进展[J]. 湖南林业科技, 2012, 39(4): 63–65.
Yang ZH, Ma L, Chen YZ. The research development of extraction and detection of plant polyphenol [J]. *Hunan Forest Sci Technol*, 2012, 39(4): 63–65.
- [48] 程春龙, 李俊清. 植物多酚的定量分析方法和生态作用研究进展[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2457–2460.
Cheng CL, Li JQ. Research advances in ecological significance and quantification of plant polyphenols [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, 17(12): 2457–2460.
- [49] Price ML, Butler LG. Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum sorghum grain [J]. *Food Chem*, 1977, 25(6): 1268–1273.
- [50] 王岸娜, 徐山宝, 刘小彦, 等. 福林法测定猕猴桃多酚含量的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 398–401.
Wang AN, Xu SB, Liu XY, *et al.* Study on determination of content of phenol in kiwifruit by folin method [J]. *Food Sci*, 2008, 29(7): 398–401.
- [51] 缪晓平, 邓开野, 谭梅唇. 苹果渣中多酚物质的提取工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(20): 11004–11005.
Miao XP, Deng KY, Tan MC. Study on the extraction technology of polyphenols from aapple residue [J]. *J Anhui Agr Sci*, 2010, 38(20): 11004–11005.
- [52] 李爱珍, 邵秀芝, 严奉伟. 莲藕中多酚类物质的提取工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2009, (5): 80–83.
Li AZ, Shao XZ, Yan FW. The Study of extraction process of polyphenol in lotus root [J]. *China Food Addit*, 2009, (5): 80–83.
- [53] Porter LG, Hrstich LN, Chan BG. The conversion of procyanidins and prodelphinidins to cyanidin and delphinidin [J]. *Phytochem*, 1985, 25(1): 223–230.
- [54] Makkar HPS. Quantification of tannins in tree and shrub foliage [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



徐维盛, 博士后, 主要研究方向为营养与功能食品分析。

E-mail: hbxuweisheng@163.com



杨月欣, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为食品营养。

E-mail: yxyang@263.net