

以化学结合作用为基础的植物多酚的应用研究进展^Δ

贾淑平^{1,2*},陶海燕¹,买买提吐尔逊^{1,2#}(1.喀什大学化学与环境科学学院,新疆喀什 844008;2.新疆特色药食用植物资源化学实验室,新疆喀什 844008)

中图分类号 R282.6 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2016)25-3571-04
DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2016.25.35

摘要 目的:反映植物多酚不同结合作用对其应用的影响,促进植物多酚的有效利用。方法:以“Plant polyphenol”“Chemical binding”“Application”“植物多酚”“结合作用”“应用”等为关键词,组合检索2000—2015年在PubMed、SpringerLink、Web of Science、Elsevier、中国知网、万方、维普等数据库中关于以植物多酚化学性质为基础,在不同领域中的应用研究文献,并对其中的代表文献进行归纳、总结。结果与结论:共检索到相关文献310余篇,其中有效文献47篇。利用多酚与蛋白质、多肽、氨基酸和金属离子发生化学反应的特性以及其清除自由基的能力,可实现多酚在医药、食品、日用化学品、环保等多个领域中的应用。但对植物多酚的利用目前主要体现在总多酚提取物的综合利用上,对活性较高的纯组分的利用则较少。建议通过综合采用不同分离手段,对有效成分进行分离、纯化、浓缩或者生物化学交联改性等,以提高植物多酚的利用率和扩大其应用范围。

关键词 植物多酚;化学反应性;应用;前景

植物多酚(即植物单宁),属多羟基酚类,存在于600余种植物的皮、根、叶、果实及果皮中^[1]。植物多酚在自然界来源丰富,在某些树皮中多酚含量最高可达40%^[2]。人们对植物多酚化学的研究极大地推动了多酚化学结构、性质及应用的深入探索。经研究发现^[3],植物多酚可与蛋白质、多肽、氨基酸和金属离子结合以及较强的抗氧化能力等特殊的化学性质,在医药、食品、环境保护等方面有较大的应用潜力^[4-6]。随着现代科学的进步与发展,便产生了以化学结构和化学性质为基础的应用研究。目前,人们对于植物多酚的结构已经有了一定掌握,并按照多酚的结构将其分为水解单宁和缩合单宁两类^[7],由于结构组成上的不同,水解单宁和缩合单宁具有各自独特的化学性质和应用范围。

笔者以“Plant polyphenol”“Chemical binding”“Application”“植物多酚”“结合作用”“应用”等为关键词,组合检索2000—2015年在PubMed、SpringerLink、Web of Science、Elsevier、中国知网、万方、维普等数据库中的相关文献。结果,共检索到相关文献310余篇,其中有效文献47篇。分析归纳关于以植物多酚化学性质为基础在不同领域中的应用研究文献时发现,约有2/3的文献集中在生命科学和医药领域,而且50%以上是化学和其他学科的交叉研究。笔者从植物多酚化学结构和结合作用对多酚在医药、食品、日用化学品、环保等不同领域应用的影响角度进行综述,以期为促进植物多酚的有效利用提供参考。

1 植物多酚的化学性质

1.1 植物多酚与蛋白质、多肽、氨基酸的化学结合作用

植物多酚的多个活性反应位点赋予了其许多特有的化学性质,其中多酚与蛋白质及氨基酸的结合所产生的活性是其最重要的特性之一^[8]。蔡菁华等^[9]研究表明,多酚与蛋白质、多肽、氨基酸的结合主要是形成氢键或疏水键。首先,多酚的酚羟基可与蛋白质表面主链的官能团,包括肽基、侧链上的羟

基、氨基和羧基以氢键的形式发生多点结合;然后,再与蛋白质分子形成多点交联,进而形成大分子化合物。

多酚可与多数蛋白质结合,但是这种结合能力的强弱与多酚和蛋白质的种类以及结构具有明显的关系^[10-11]。石碧等^[7]研究了一系列不同氨基酸与水解单宁亲水性的关系,结果表明氨基酸的侧基越大,极性越强,与单宁的亲水性越好,从而说明了疏水键是多酚与蛋白质相互作用的另一种重要形式。另有研究表明,多酚与蛋白质的结合反应是一种受多种因素影响的复杂的可逆反应,影响反应的因素有多酚和蛋白质的分子质量及浓度比、反应温度和时间、pH值等^[12-13]。

1.2 植物多酚-金属离子的化学结合作用

若将植物多酚视为具有多个邻位酚羟基的多元配体,那么这种配体与金属离子之间就具有很强的结合能力,多酚中两个相邻的酚羟基脱氢后形成氧负离子,与金属离子配合形成稳定的五元环化合物^[14]。

茶叶中多酚类物质的总称为茶多酚,包括黄烷醇类、花色苷类、黄酮类、黄酮醇类和酚酸类等。儿茶素是黄烷醇类物质,是茶多酚中最为重要的一种,主要由L-表没食子酸儿茶素没食子酸酯、L-表没食子酸儿茶素、L-表儿茶素没食子酸酯、L-表儿茶素、D、L-没食子儿茶素和D、L-儿茶素这6种单体组成。儿茶素与金属离子的反应性及其生物活性已成为国内外天然产物开发与利用研究的热点。孙世利等^[15]研究结果表明,儿茶素可与铜离子(Cu²⁺)形成稳定的络合物,但是其抗菌活性与儿茶素单体相悖,可能由于在形成络合物过程中儿茶素将Cu²⁺还原为亚铜离子(Cu⁺),Cu⁺具有较强的酶促氧化反应,可生成较多活性氧自由基和活性氧原子,从而影响其抗菌活性。另外,Guo L等^[16]研究发现,在碱性条件下儿茶素可自发进行氧化生成自由基;当Cu²⁺存在时,儿茶素的自动氧化受Cu²⁺催化作用更易进行,但若pH值改变,则结果相反。

已发现植物多酚中的花青素可与镁离子(Mg²⁺)络合形成金属花青素,而且只有在Mg²⁺存在下才可能形成金属花青素,Mg²⁺在增强金属花青素稳定性方面也起着重要作用^[17-18]。近年来,人们逐渐展开了对没食子酸与金属的配位机制的研究。Albadarin AB等^[19]研究发现,六价铬[Cr(VI)]在没食子酸和没食子酸甲酯作用下转变为三价铬[Cr(III)],且形成Cr(III)-没食子酸、Cr(III)-没食子酸甲酯,这对消除和回收废水中的

Δ 基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目(No.201442137-9)

* 讲师,硕士。研究方向:天然产物提取分离与应用。E-mail:jj-ashp0530@163.com

通信作者:教授。研究方向:天然产物的开发及应用。E-mail: maimat@163.com

Cr(VI)以及防止皮革中Cr(IV)的产生具有较大的应用价值。

1.3 植物多酚的抗氧化性

多酚中的黄烷醇类化合物具有较强的抗氧化性,这类化合物因为具有消耗吸收活性超氧自由基、氧自由基、羟基自由基等能力,而具有较强的抗氧化性,且随着分子质量的增大其抗氧化性增强^[20-21]。国内外学者研究得出,在含有茶多酚和牛奶的饮料中由于茶多酚与 β -乳球蛋白形成复合物,减少了饮料中羟基的数目,进而提高了茶多酚的供电子能力和抗氧化活性^[22]。多酚的分子质量越大,其抗氧化性一般就越强。多酚的抗氧化性比一般的抗氧化剂如维生素E(VE)、维生素C(VC)更强,并且多酚与VE、VC具有协同抗氧化效应,二者合用抗氧化性显著增强。植物多酚作为一种天然抗氧化剂,已被广泛应用在许多领域,如食品、日用化学品、电化学及金属防腐等行业^[23-24]。

宓伟等^[25]对山楂原花青素和VC联合作用于胰岛素抵抗(IR)模型大鼠的研究结果表明,这两种强抗氧化性物质可以产生联合作用,明显改善IR大鼠肝脏氧化应激,且无明显副作用。这一研究结果表明,原花青素类多酚物质对于治疗高胰岛素血症,以及与IR有密切关系的多囊卵巢综合征、冠心病、高血压、脂肪肝等疾病有一定疗效,也说明多酚类与其他物质的联合应用在医药领域有着广阔的前景。

2 植物多酚类物质的应用

以植物多酚与蛋白质、金属离子发生结合反应后的特性和抗氧化性为基础的应用主要集中在医药、食品、日用化学品和环保等领域。不同种类的多酚在实际应用中区别不大,但是由于其结构不同导致其性质不同,因而在应用方面水解单宁主要集中体现在医药、食品添加剂、水处理和日用精细化工等领域,而缩合单宁则除了应用在鞣革、医药上外,还用作治疗出血、炎症反应、过敏和心脑血管等方面的疾病^[3]。

2.1 在医药中的应用

植物多酚与蛋白质、多肽、多糖等发生相互作用,包括植物多酚的抗氧化性和与金属离子配合等的一系列性质,使植物多酚具有一定的生物活性,主要体现在杀菌、抗病毒、抗肿瘤、降压、调脂等方面^[26-27]。

植物多酚能够显著抑制细菌、真菌、酵母菌等的生长^[28-29],从睡莲根中提取的水解单宁具有很强的杀菌消炎能力,可用于治疗喉炎、白带、眼部感染。部分黑荆树皮多酚在一定条件下的降解产物,对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、铜绿假单胞菌和蜡状芽孢杆菌等有显著的抑制作用;而多酚本身可以减少链球菌在牙齿表面的吸附并抑制其生长,从而减少龋齿的形成^[30]。多酚抗病毒的机制与其抗菌性是相似的,多酚的化学结构和聚合形式直接决定了其抗病毒的能力^[31]。Obok G等^[32]研究发现,黄麻叶的多酚提取物对 α -淀粉酶、葡萄糖苷酶具有抑制作用,从而降低血糖。

植物多酚对癌变发生的不同阶段都有抑制作用,其对肿瘤多方面的抑制作用体现在:作为一种有效抗诱变剂,可减少诱变剂的致癌作用;提高染色体修复能力,提高细胞免疫力;抵抗肿瘤细胞生长扩散^[33]。Cai YZ等^[34]对100多种中草药植物的多酚含量以及抗氧化活性与抗癌作用关系的研究表明,这类植物的抗氧化活性与其中存在的酚酸类、黄酮类、单宁类、香豆素等多酚有直接的关系。表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)是绿茶主要的成分之一,具有优良的抗氧化性。王苗苗等^[35]对EGCG在保护心脑血管缺血再灌注损伤作用机制方面进行了全面的阐述和总结时发现,EGCG在治疗老年心脑

血管疾病方面具有独特的疗效,其药理作用机制主要为调节氧化应激、抗细胞凋亡、激活腺苷受体等,但是各机制之间关系并不明确。这一发现表明,多酚类物质中真正具有独特药理或者生物活性的成分可能是其中某一种成分或者少数几种成分。

2.2 在食品中的应用

目前,植物多酚作为从自然环境中获得的纯天然物质,受到了人们的青睐,在食品工业中主要作为抗氧化剂、防腐剂及澄清剂等。植物多酚的酚羟基可以提供活泼质子,能够捕获油脂由于氧化而生成的自由基,中断级链反应,防止油脂的氧化变质。高云涛等^[36]研究了诃子多酚对猪油和菜籽油的抗氧化性能,结果发现诃子多酚对动、植物这两种油脂均具有显著抗氧化性能。由于植物多酚中的酚羟基与蛋白质的氨基发生氢键结合,并逐步形成网络结构的大分子物质而聚集沉淀,同时可吸附和沉淀其他悬浮固体。所以,植物多酚常用作果汁饮料中的澄清剂^[37]。利用多酚与蛋白质的结合可产生涩味化合物的特点,可将甜、酸与涩等其他味适当调配,以丰富和改进食品的风味^[38]。

2.3 在日用化学品中的应用

由于植物多酚具有抗氧化、抑菌、杀菌等独特生理活性和化学活性,通常被作为抗氧化、抗衰老、抗紫外线、增白和保湿等多重作用的添加剂,作为活性成分用在化妆品、溶液、染发剂、牙膏、祛臭剂等日用化学品中^[39]。同时,由于植物多酚不仅可以与蛋白质结合,还可以与多肽、多糖、透明质酸、多元醇以及磷脂等以氢键多点结合的形式形成复合物,从而具有清除自由基及抗皱作用^[40-41]。另外,酚类物质在紫外光区有强烈的吸收,并且又能够清除活性氧及抑制酪氨酸酶和过氧化氢酶的活性,阻止黑色素的形成,所以还常用作制备具有抗炎、抑菌和美白功效的多酚复合型产品^[42]。

2.4 在环保及其他方面的应用

随着工业的快速发展,含重金属废水已经是一大类污染物。有毒金属可影响水的自净作用,在水中不会自行沉淀或转变为无毒物质,并且可以通过富集在生态系统中对各种水生动植物造成不同程度的伤害。植物单宁可用作水处理剂,具有防垢、除垢、软化、缓蚀、抑菌等多种功效,而且这种化合物来源广泛,具有价格低廉、使用简便、条件温和等优点^[43-44]。成晓敏等^[45]对植物单宁采用甲醛、二甲胺和氯化苯进行化学修饰,制备了阳离子絮凝剂,并成功用于油污水方面的处理。

另外,以植物多酚与金属离子发生结合反应为基础的应用领域还有在矿石浮选工艺中作为含钙镁矿物的抑制剂、金属防腐、胶黏剂等^[46]。而在鞣革方面的应用则是以植物多酚-金属离子复合物的形成以及与蛋白质发生交联反应为基础^[47]。

3 结语

由于植物多酚类物质在自然界中分布范围广、种类多,而且因植物的生长环境也不同,因此所含多酚的种类和成分也都不一样。目前,人们通过高效液相、质谱、核磁等检测手段对不同植物中多酚物质的种类和结构已有了一定的认识。但是,目前对植物多酚的利用主要是对多种多酚提取物的综合利用,而真正发挥生物活性或药理作用的多酚物质往往是其中的一种或少数几种,其他共存的成分可能还会对有效成分造成不利影响。所以,只有综合利用不同分离手段,如萃取、树脂分离纯化、葡聚糖凝胶色谱、分子筛以及生物和化学分离等,对有效成分进行分离、纯化、浓缩后才能对这一丰富的天然资源进行高效的利用。此外,通过其他天然物质如壳聚糖、

胶原和明胶对植物多酚提取物进行生物化学交联,在一定程度上可扩大多酚的应用范围,这也是植物多酚精细化研究利用的一个方面。因此,今后研究的重点应是多酚单一有效成分的分离、纯化和浓缩,以大大提高多酚的利用效率。

参考文献

- [1] 宋立江,狄莹,石碧.植物多酚研究与利用的意义及发展趋势[J].化学进展,2000,12(2):161.
- [2] 庞道睿,刘凡,廖森泰,等.植物源多酚类化合物活性研究进展及其应用[J].广东农业科学,2013,doi:10.16768/j.issn.1004-874x.2013.04.004.
- [3] 张亮亮,汪咏梅,徐曼,等.植物单宁化学结构分析方法研究进展[J].林产化学与工业,2012,32(3):107.
- [4] Liu F, Antonion J, Li Y, *et al.* Chitosan/sulfobutylether- β -cyclodextrin nanoparticles as a potential approach for tea polyphenol encapsulation[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, doi:10.1016/j.foodhyd.2016.01.024.
- [5] Wang XY, Zhang J, Lei F, *et al.* Covalent complexation and functional evaluation of (-)-epigallocatechin gallate and α -lactalbumin[J]. *Food Chemistry*, 2014, doi:10.1016/j.foodchem.2013.09.127.
- [6] 张双双,方芳.茶多酚(TP)与皮肤病治疗的研究进展[J].复旦学报:医学版,2015,42(2):273.
- [7] 石碧,狄莹.植物多酚[M].北京:科学出版社,2000:5-7、10.
- [8] Kim HS, Quon MJ, Kim JA. New insights into the mechanisms of polyphenols beyond antioxidant properties; lessons from the green tea polyphenol, epigallocatechin 3-gallate[J]. *Redox Biol*, 2014, doi:10.1016/j.redox.2013.12.022.
- [9] 碁菁华,蔡同一,庞美霞,等.影响蛋白质-酚类聚合物形成的因素研究[J].中国食品学报,2009,9(6):78.
- [10] 阚茗铭,叶发银,赵国华.多酚-蛋白质共价作用及其对食品体系的影响研究进展[J].食品科学,2015,36(1):245.
- [11] Nicolas JJ, Richard-Forget FC, Goupy PM, *et al.* Enzymatic browning reactions in apple and apple products[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1994, 34(2):109.
- [12] Schmidt JM, Greve-Poulsen M, Damgaard H, *et al.* Effect of membrane material on the separation of proteins and polyphenol oxidase in ultrafiltration of potato fruit juice[J]. *Food Bioprocess Technol*, 2016, doi:10.1007/s11947-015-1670-1.
- [13] Yan MY, Li BF, Zhao X, *et al.* Physicochemical properties of gelatin gels from walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) skin cross-linked by gallic acid and rutin[J]. *Food Hydrocolloids*, 2011,25(5):907.
- [14] Miyata N, Tani Y, Sakata M, *et al.* Microbial manganese oxide formation and interaction with toxic metal ions[J]. *J Biosci Bioeng*, 2007,104(1):1.
- [15] 孙世利,杨军国,张岚翠,等.儿茶素与金属离子相互作用及其生物学意义[J].细胞生物学杂志,2007,29(2):225.
- [16] Guo L, Ma Y, Shi J, *et al.* The purification and characterisation of polyphenol oxidase from green bean[J]. *Food Chemistry*, 2009, doi:10.1016/j.foodchem.2009.03.088.
- [17] Jiménez M, García-Carmona F. Measurement of latent polyphenol oxidase activity in the presence of the divalent cations Ca^{2+} , Mg^{2+} and Mn^{2+} [J]. *Phytochemical Analysis*, 1993,4(4):149.
- [18] 周宝利,张琦,叶雪凌,等.不同品种茄子果皮花青素含量及其稳定性[J].食品科学,2011,32(1):99.
- [19] Albadarin AB, Mangwandi C, Walker GM, *et al.* Influence of solution chemistry on Cr(VI) reduction and complexation onto date-pits/tea-waste biomaterials[J]. *J Environ Manage*, 2013,114(2):190.
- [20] Shukla S, Mehta A, Mehta P, *et al.* Antioxidant ability and total phenolic content of aqueous leaf extract of *Stevia rebaudiana* Bert[J]. *Exp Toxicol Pathol*, 2012, 64(7/8):807.
- [21] Fraga CG, Galleano M, Verstraeten SV, *et al.* Basic biochemical mechanisms behind the health benefits of polyphenols[J]. *Mol Aspects Med*, 2010,31(31):435.
- [22] Kanakis CD, Hasni I, Bourassa P, *et al.* Milk β -lactoglobulin complexes with tea polyphenols[J]. *Food Chemistry*, 2011,127(3):1046.
- [23] Lv J, Yu L, Lu Y, *et al.* Phytochemical compositions, and antioxidant properties, and antiproliferative activities of wheat flour[J]. *Food Chemistry*, 2012,135(2):325.
- [24] Gülçin I, Elmastaş M, Aboul-Enen HY. Antioxidant activity of clove oil: a powerful antioxidant source[J]. *Arab J Chem*, 2012,5(4):489.
- [25] 宓伟,练武,尹淑英,等.山楂原花青素及维生素C对胰岛素抵抗大鼠肝脏氧化应激的影响[J].中草药,2016,47(4):625.
- [26] 贾淑平,曾睿,但卫华,等.植物多酚药理作用的研究及应用[J].中国药房,2009,20(12):953.
- [27] 赵欣,王强.苦丁茶叶制虫茶粗多酚的抗氧化、抗突变和体外抗肝癌效果[J].现代食品科技,2015,31(3):24.
- [28] Liu HY, Qiu NX, Ding HH, *et al.* Polyphenols contents and antioxidant capacity of 68 Chinese herbals suitable for medical or food uses[J]. *Food Research International*, 2008,41(4):363.
- [29] 钱丽红,陶妍,谢晶.茶多酚对金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞菌的抑菌机理[J].微生物学通报,2010,37(11):1628.
- [30] 李楠.海棠多酚的种类及其体外抗氧化活性和抑菌活性研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2014:33-36.
- [31] Patras A, Brunton NP, Downey G, *et al.* Application of principal component and hierarchical cluster analysis to classify fruits and vegetables commonly consumed in Ireland based on in vitro antioxidant activity[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2011, doi:10.1016/j.jfca.2010.09.012.
- [32] Oboh G, Ademiluyi AO, Akinyemi AJ, *et al.* Inhibitory effect of polyphenol-rich extracts of Jute leaf (*Corchorus olitorius*) on key enzyme linked to type 2 diabetes (α -amylase and α -glucosidase) and hypertension (angiotensin I converting) in vitro[J]. *Journal of Functional Foods*, 2012, doi:10.1016/j.jff.2012.02.003.

呼吸系统疾病吸入粉雾剂的特性研究进展^Δ

马银玲^{1,2*}, 赵 锋², 庞国勋¹, 邱志宏¹, 董占军^{1#} (1.河北省人民医院药学部, 石家庄 050051; 2.河北医科大学药学院, 石家庄 050017)

中图分类号 R944.9; R318.13; R974 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2016)25-3574-05
DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2016.25.36

摘要 目的:总结呼吸系统疾病用吸入粉雾剂(DPI)中药物选择、新型辅料、装置研究、吸入技巧等因素的研究进展,为今后剂型研究提供参考。方法:以“吸入粉雾剂”“吸入装置”“呼吸疾病”“Dry powder inhaler”“Respiratory disease”“Inhalation device”“Inhalation skill/technique”等为关键词,组合查询1995年1月—2015年7月在中国知网、万方、维普和PubMed、Scienedirect、Springer-Link、Wiley Online Library等数据库以及FDA官网中有关吸入粉雾剂的相关文献,对影响制剂疗效的因素进行综述与分析。结果与结论:共筛选出相关文献62篇,其中有效文献35篇。设计DPI时,应将药物的选择、辅料的特性、装置的内部构造、使用技巧等方面协同考虑。药物应选择作用强、持续时间长的新型化合物;辅料应注重粒径、分布、圆整度、表面形态等方面;装置应能诱导足够的湍流通过碰撞将药物粒子解聚,剪切力与湍流是装置的核心;患者的吸入技巧教育也非常重要。
关键词 吸入粉雾剂;呼吸系统疾病;吸入装置

吸入粉雾剂(DPI)是将药物或药物辅料粉末化后通过特定给药装置经患者口部主动吸入的制剂,通过患者主动吸入产生气流将药物粉末吸入呼吸系统产生疗效。该制剂是由粉末制剂与其相对应的给药装置共同构成,其治疗效果受粉末处方、吸入装置、患者吸入技巧等多种因素影响^[1]。

呼吸系统疾病主要病变在气管、支气管、肺部及胸腔,以呼吸受阻、咳嗽、疼痛等为表症,易受冷空气、污浊空气、空气

清新剂等因素影响^[2-3]。近年来,随着大气污染的加重,呼吸系统疾病发病率呈明显的上升趋势^[4-5]。

DPI因具有局部浓度高利于治疗、避免首关效应、起效快速、患者依从性好、处方简单、成本低、药物稳定、易精确定量等特点,已成为呼吸系统疾病的研究热点剂型之一^[1-5]。目前,国内外已批准上市的DPI近20余种^[6-13],但仍存在对患者吸入力量的依赖、药物解离低、有效药物吸入比例低等方面的不

- [33] 陆雪莹,热依木古丽·阿布都拉,李艳红,等.新疆石榴皮总多酚有效部位的抗氧化、抗菌及抗肿瘤活性[J].食品科学,2012,33(9):26.
- [34] Cai YZ, Luo Q, Sun M, *et al.* Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer[J]. *Life Sci*, 2004, 74(17):2157.
- [35] 王苗苗,韩杰,娄海燕.表没食子儿茶素没食子酸酯对心脑血管缺血再灌注损伤保护作用机制的研究进展[J].中草药,2014,45(18):2732.
- [36] 高云涛,李晓芬,戴建辉,等.诃子多酚的纯化及其油脂抗氧化作用[J].食品科学,2012,33(3):58.
- [37] 胡思,李华,陆启玉.茶多酚在食品工业中的应用研究进展[J].粮食与油脂,2015,28(7):1.
- [38] Sim SY, Ng JW, Ng WK, *et al.* Plant polyphenols to enhance the nutritional and sensory properties of chocolates[J]. *Food Chemistry*, 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.12.092.
- [39] Angerhofer CK, Maes D, Giacomoni PU, *et al.* The use of natural compounds and botanicals in the development of anti-aging skin care products[M]. Norwich, NY: William Andrew Publishing, 2009:205-263.
- [40] 骆慧敏,宁敏,徐迎波,等.多孔淀粉对茶多酚的吸附性能及其复合物抗氧化能力的研究[J].茶叶科学,2015,35(5):473.
- [41] Noipa T, Srijaranai S, Tuntulani T, *et al.* New approach for evaluation of the antioxidant capacity based on scavenging DPPH free radical in micelle systems[J]. *Food Research International*, 2011, doi: 10.1016/j.foodres.2011.01.034.
- [42] 付建红,郭丽艳.新疆石榴皮多酚的提取及其对酪氨酸酶的抑制作用[J].生物加工过程,2015,13(3):59.
- [43] 刘玉荣,邱业先,张倩倩.季铵盐型阳离子单宁-聚铝复合絮凝剂对活性印染废水脱色处理的研究[J].中国新技术新产品,2010,doi: 10.13612/j.cnki.cntp.2010.08.002.
- [44] Mondal MK. Removal of Pb(II) ions from aqueous solution using activated tea waste: adsorption on a fixed-bed column[J]. *J Environ Manage*, 2009, doi: 10.1016/j.jenvman.2009.05.025.
- [45] 成晓敏.单宁酸的阻垢缓蚀机理与性能研究[D].太原:中北大学,2012:36-39.
- [46] 刘英波,王劲榕.电感耦合等离子体发射光谱法测定矿石中钽铌[J].云南冶金,2013,42(1):58.
- [47] 吴樊花,刘公岩,张宗才.改性塔拉微粉兔皮复鞣工艺中的应用[J].中国皮革,2013,42(13):32.

Δ 基金项目:2012年河北省医学科学研究重点课题计划项目(No. 20120217)

* 硕士研究生。研究方向:临床药学、循证药学。E-mail: maling-shz@163.com

通信作者:主任药师,硕士生导师。研究方向:医院药学、药事管理。电话:0311-86988604。E-mail: 13313213656@126.com

(收稿日期:2015-11-18 修回日期:2016-05-17)
(编辑:余庆华)