

梨成熟果多酚提取工艺条件的优化

苏艳丽, 田永真, 杨健, 王龙, 王苏珂, 薛华柏, 张玲, 李秀根* (中国农业科学院郑州果树研究所, 河南郑州 450009)

摘要 [目的]提高梨果实多酚的提取率,研究梨成熟果多酚的提取工艺条件。[方法]利用超声波辅助提取法,在单因素试验的基础上结合正交试验对梨果实多酚的提取工艺条件进行优化。[结果]梨成熟果多酚提取的最佳工艺条件是甲醇浓度100%、料液比1:15(g:mL)、超声温度50℃和超声时间5min,在此条件下提取率是0.0564mg/g。[结论]研究可为梨加工品种的筛选及梨资源的高效利用提供参考。

关键词 梨果实;多酚;提取工艺;优化

中图分类号 S661.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)30-0102-03

Optimization of Extraction Conditions of Polyphenols from Pear Fruit

SU Yan-li, TIAN Yong-zhen, YANG Jian, LI Xiu-gen* et al (Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural science, Zhengzhou, Henan 450009)

Abstract [Objective] In order to improve extraction rate of polyphenol of pear fruit, to study the extraction process of polyphenols of pear fruit. [Method] The extraction technology of ultrasonic assistant was used in this paper. Orthogonal experiment was conducted based on the single factor. [Result] The optimized conditions of polyphenol of pear fruit were as follows: methanol concentration 100%, solid-liquid 1:15 (g:mL), the extraction temperature 50℃ and the extraction time 5 min. The yield of polyphenols was 0.0564 mg/g. [Conclusion] The study can provide reference for the selection of pear processing varieties and the efficient utilization of pear resources.

Key words Pear fruit; Polyphenols; Extraction conditions; Optimization

梨是我国主要水果之一,素有“百果之宗”的美誉,在我国栽培范围广泛,种质资源极为丰富。梨果实不仅肉质脆嫩、汁多味甜,含有多种营养成分,而且还颇具芳香,适合广大消费者的口味,同时具有一定的医用价值和保健作用,梨的保健作用与其所含多酚类物质密切相关^[1-3]。

近年来,随着梨副产品的日益增多,梨中多酚类物质成分引起人们的关注,酚类物质是引起梨果实褐变的主要成分^[4],并且对梨及其制品的感官品质有直接影响。已有研究主要集中在梨及梨制品褐变的控制方面,包括贮藏过程中褐变度及多酚含量变化^[5]、梨果汁褐变机理^[6]和梨汁酶促褐变理化因子^[7]等。梨果实是加工生产梨制品的主要原材料,因此,研究梨果实中多酚类物质的组成、含量具有很大的实际意义。目前,对梨多酚提取工艺的报道仅有果皮、果心及梨幼果^[8-10],提取方法大多是溶剂静置提取法^[11-12],超声波提取法已普遍应用于苹果多酚^[13]、香蕉皮多酚^[14]、石榴叶多酚^[15]和橘子皮多酚^[16]等酚类物质的提取,具有缩短提取时间、提高提取率、减少溶剂的用量、节约能源等优点^[17]。赵梅等^[12]用溶剂静置提取法优化了梨幼果多酚的提取条件,但采用超声法提取梨成熟果多酚的条件优化目前尚少见报道。笔者以梨成熟果为试验材料,利用超声波提取技术,通过对提取溶剂浓度、料液比、超声时间和超声温度等提取条

件的研究,对梨果实多酚的提取工艺条件进行优化,为进一步开展对酚类物质的研究奠定基础,为梨加工品种的筛选、梨制品的开发和梨资源的高效利用提供参考,也为超声提取植物多酚类物质的工业化生产提供理论和试验依据。

1 材料与方法

1.1 材料 供试原料用中梨1号成熟果,采自中国农业科学院郑州果树研究所梨资源圃。主要试剂:没食子酸标准品购自Sigma公司,色谱纯,稀释20倍备用;其他试剂均为分析纯。主要仪器:AB104-N电子天平,上海精密仪器仪表有限公司;KQ5200E超声波清洗仪,昆山市超声仪器有限公司;TU-1901双光束紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 总多酚的提取。选取健康成熟的梨果实,去皮去核后把果肉切成小块,迅速用液氮冷冻,粉碎机粉碎;然后准确称取粉碎后的果肉5g,加入适量的提取溶剂,经超声浸提、过滤、旋转浓缩后定容至10mL,即为梨果实总多酚提取液。

1.2.2 总多酚含量的测定。参考Folin-酚法^[18]测定,方法稍调整,准确移取1.0mL上述提取液,加入1.0mL FC显色剂和3.0mL 7.5%碳酸钠溶液于10mL离心管中,混合均匀,避光显色30min,在765nm波长下测定其吸光度。

1.2.3 标准曲线的绘制。准确称取没食子酸标准品2.75mg,用超纯水溶解,定容至50mL,得质量浓度为50mg/L的标准溶液。再分别准确移取此溶液0.1、0.2、0.4、0.6、0.8mL于5mL容量瓶中,加入1.0mL FC显色剂和3.0mL 7.5%的碳酸钠溶液,混匀,用超纯水定容至刻度处,以水作为空白对照,将上述6份标准溶液避光显色30min,在765nm波长下测定其吸光度。以没食子酸质量浓度为横坐标,吸光度值为纵坐标,建立标准曲线并进行回归分析,得出回归方程,通过标准曲线计算总多酚含量。

基金项目 中央级科研院所基本科研业务费专项(1610192017505);中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP);国家梨产业技术体系建设专项(CARS-29-01A);国家科技支撑计划项目(2013BAD02B00);中央级科研院所基本科研业务费专项(1610192016612)。

作者简介 苏艳丽(1979—),女,河南洛阳人,助理研究员,硕士,从事梨资源育种及果实多酚研究。*通讯作者,研究员,从事梨资源育种及栽培技术研究。

收稿日期 2017-07-12

1.2.4 多酚得率的计算。计算公式如下:

$$\text{多酚提取率}(\text{mg/g}) = C \times V \times N / m$$

式中, C 为提取液中多酚质量浓度(mg/mL); V 为提取液体积(mL); N 为稀释倍数; m 为梨成熟果果肉质量(g)。

1.2.5 单因素试验。选取提取溶剂、显色时间、溶剂浓度、料液比、超声时间和超声温度为影响因素,进行单因素试验。固定甲醇浓度 100%、料液比 1:20($\text{g}:\text{mL}$)、超声温度 40 $^{\circ}\text{C}$ 、超声时间 10 min、功率 150 W、显色时间 30 min,采用不同的提取溶剂:乙酸乙酯、丙酮、甲醇、乙醇,不同的显色时间:30、60、90、120 min,不同的甲醇浓度:30%、50%、70%、90%,料液比设定为 1:1、1:10、1:20、1:30($\text{g}:\text{mL}$),超声温度设定为 30、40、50、60 $^{\circ}\text{C}$,超声时间设定为 5、10、20、30 min,分别进行单因素试验,分析各因素不同水平对梨成熟果多酚提取率的影响。

1.2.6 正交试验。在单因素试验的基础上,进一步考察甲醇浓度、料液比、超声时间和超声温度对梨成熟果总多酚提取率的影响,设计 4 因素 3 水平 $L_9(3^4)$ 的正交试验。正交试验因素水平设计见表 1。

表 1 $L_9(3^4)$ 正交试验设计因素与水平

Table 1 Factors and levels of $L_9(3^4)$ orthogonal array design

水平 Level	因素 Factor			
	甲醇浓度(A) Methanol concentration %	料液比(B) Solid to liquid ration g/mL	超声时间(C) Ultrasonic time min	超声温度(D) Ultrasonic temperature $^{\circ}\text{C}$
	1	80	1:5	5
2	90	1:10	10	40
3	100	1:15	15	50

表 2 提取溶剂和显色时间对梨多酚提取率的影响

Table 2 Effect of solvent and coloration time on extraction rate of polyphenols

显色时间 Coloration time//min	提取溶剂 Extraction solvent			
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	丙酮 Acetone	甲醇 Methyl alcohol	乙醇 Ethyl alcohol
30	0.003 7	0.024 4	0.032 5	0.029 8
60	0.005 0	0.025 1	0.032 8	0.030 0
90	0.006 2	0.026 5	0.033 2	0.030 2
120	0.006 8	0.026 3	0.032 5	0.030 5

明多酚类物质在高浓度的甲醇溶液中溶解度增加,提取溶剂浓度低,不利于多酚物质的提取,这与赵梅等^[12]、欧阳玉祝等^[19]的研究结果一致。

2.2.3 料液比对梨成熟果中总多酚提取率的影响。由图 3 可以看出,料液比 1:20($\text{g}:\text{mL}$)之前,随着料液比中溶剂用量的增大,多酚提取率逐渐增加;之后,随着料液比中溶剂用量的提高,多酚提取率反而有下降的趋势。可能是料液比达到 1:20($\text{g}:\text{mL}$)时,溶剂已经能将梨成熟果样品中的多酚物质提取出来,继续增加提取溶剂,会使其他一些杂质也溶解出来,反而使多酚提取率降低,也浪费溶剂。且料液比为 1:10($\text{g}:\text{mL}$)和料液比 1:20($\text{g}:\text{mL}$)时多酚提取率差异不显著,综合考虑试验成本和提取效率,料液比选择 1:10($\text{g}:\text{mL}$)较为

2 结果与分析

2.1 标准曲线的绘制 根据上述方法绘制没食子酸标准曲线如图 1 所示,线性回归方程 $y = 0.075 2x + 0.007 9$,相关系数 $R^2 = 0.997 4$,其中 x 表示没食子酸的浓度(mg/L), y 表示 765 nm 波长下的吸光度值。从标准曲线可以看出,在质量浓度 0~8.0 mg/L 范围内有较好的线性关系。

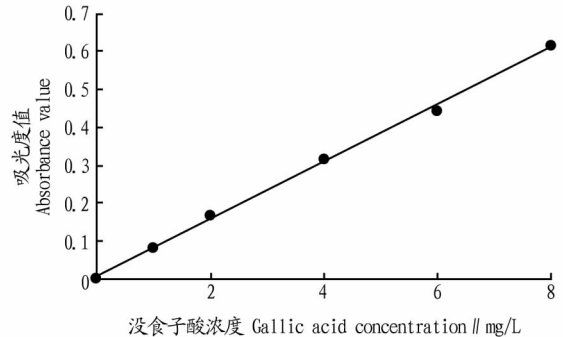


图 1 没食子酸标准曲线

Fig. 1 Standard curve of Gallic acid

2.2 单因素试验

2.2.1 提取溶剂和显色时间对梨成熟果中总多酚提取率的影响。由表 2 可看出,不同的显色时间下,甲醇为提取溶剂时多酚的提取率最高,但差异不大。为了节约试验时间,显色时间选 30 min 较合适。

2.2.2 甲醇浓度对梨成熟果中总多酚提取率的影响。由图 2 可看出,随着甲醇浓度的增加,多酚含量持续提高,由于甲醇浓度为 70% 和 90% 时,多酚得率之间差异显著 ($\text{Sig.} = 0.000 0$),因此,甲醇浓度选多酚提取率最高的 90%。这说

合适。

2.2.4 超声温度对梨成熟果中多酚提取率的影响。由图 4 可看出,超声温度在 30~40 $^{\circ}\text{C}$ 时,随着温度的升高,多酚含量显著增加,并且在 40 $^{\circ}\text{C}$ 时,多酚含量达到最大,之后随温度的升高反而呈下降趋势。可能原因是随着温度的升高,导致已被提取出的多酚类物质发生氧化和降解反应,所以选择最佳超声温度为 40 $^{\circ}\text{C}$ 。

2.2.5 超声时间对梨成熟果中总多酚提取率的影响。由图 5 可看出,在超声时间 10 和 20 min 条件下,多酚含量的变化并不明显,随着时间的延长,多酚含量逐渐减少,可能是由于超声时间过长导致梨果实部分多酚化学结构遭到破坏,从而使多酚提取率降低;另外,超声时间越长,消耗的能量越多,

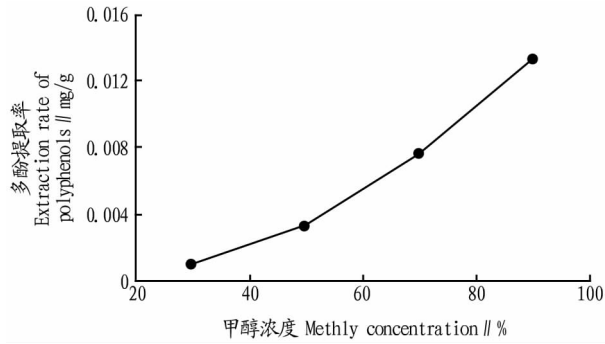


图2 甲醇浓度对梨多酚提取率的影响

Fig. 2 Effect of methanol concentration on extraction rate of polyphenols

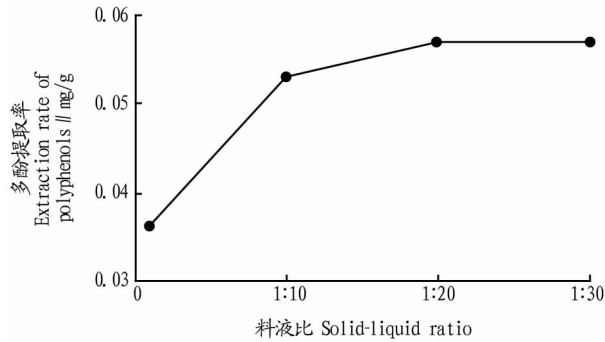


图3 料液比对梨多酚提取率的影响

Fig. 3 Effect of solid-liquid ratio on extraction rate of polyphenols

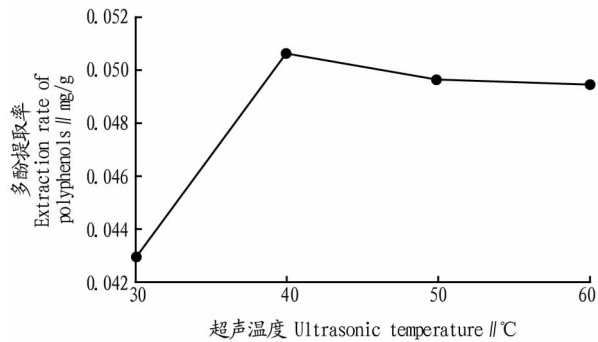


图4 超声温度对梨多酚提取率的影响

Fig. 4 Effect of temperature on extraction rate of polyphenols

故选择最佳超声时间为 10 min。

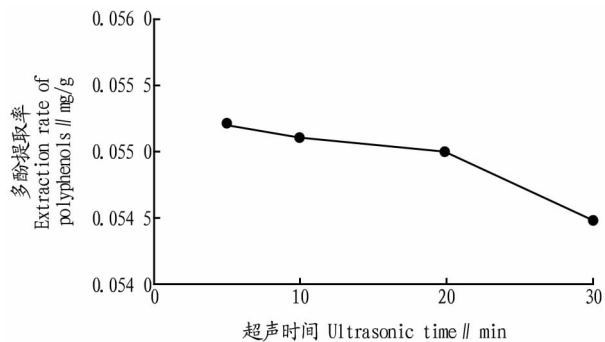


图5 超声时间对梨多酚提取率的影响

Fig. 5 Effect of ultrasonic time on extraction rate of polyphenols

2.3 正交试验优化梨果实多酚提取条件 正交试验优化结果见表2,通过各因素的极差 R 比较发现, $R_A > R_B > R_D > R_C$,影响多酚提取率的因素依次为甲醇浓度、料液比、超声温度、超声时间,甲醇浓度和料液比是影响总多酚提取率的主要因素。综合各因素 K 值和直观比较,得出梨成熟果总多酚提取的最佳工艺组合为 $A_3B_3C_1D_3$,即甲醇浓度 100%,料液比 1:15(g:mL),超声时间 5 min,超声温度 50 °C。

2.4 验证试验 由正交试验结果分析最佳提取工艺,在甲醇浓度 100%,料液比 1:15(g:mL),超声温度 50 °C,超声提取 5 min 条件下做验证试验,得到梨成熟果总多酚的提取率为 0.056 4 mg/g。结果表明,此方法提取效率较高,且具有良好的稳定性,得率符合正交试验的理论推测,因此确定此工艺条件最佳。

表2 梨果肉多酚提取工艺条件的正交试验设计方案与结果

Tab.2 Results and design of orthogonal test of the extraction condition of polyphenols in pear

试验号 Test No.	因素 Factor				提取率 Extraction rate//mg/g
	A	B	C	D	
1	1	1	1	1	0.041 6
2	1	2	2	2	0.047 2
3	1	3	3	3	0.050 1
4	2	1	2	3	0.043 0
5	2	2	3	1	0.043 8
6	2	3	1	2	0.051 6
7	3	1	3	2	0.050 5
8	3	2	1	3	0.056 1
9	3	3	2	1	0.055 1
K_1	0.046 3	0.045 0	0.049 9	0.046 8	
K_2	0.046 2	0.049 2	0.048 4	0.049 8	
K_3	0.054 0	0.052 3	0.048 2	0.049 9	
R	0.007 8	0.007 3	0.001 7	0.003 1	

3 结论与讨论

果实中总多酚的提取溶剂多用乙醇^[20-25],梨果实中多酚的提取溶剂多用甲醇^[26-27],与该研究认为甲醇为梨成熟果实最佳提取溶剂相一致。该试验采用超声波提取法,从甲醇浓度、料液比、超声温度、超声时间几个方面,对梨成熟果实总多酚的提取条件进行优化,得出影响梨果实多酚提取率的主要因素是甲醇浓度和料液比,与影响柿果多酚提取率的影响因素分析一致^[28]。该研究建立了梨果实总多酚的提取方法,最佳提取条件为甲醇浓度 100%,料液 1:15(g:mL),超声时间 5 min,超声温度 50 °C,此工艺条件下多酚提取率 0.056 4 mg/g。该工艺可靠、稳定,具有一定的参考价值,为梨果实多酚的进一步研究奠定基础。

参考文献

- [1] 董忠义,董晓彤. 梨的营养与药用功效[J]. 北方园艺,1996(4):36.
- [2] LI X, WANG T T, ZHOU B, et al. Chemical composition and antioxidant and anti-inflammatory potential of peels and flesh from 10 different pear varieties (*Pyrus* spp.) [J]. Food chemistry, 2014, 152: 531-538.
- [3] CHEN J L, WANG Z F, WU J H, et al. Chemical compositional characterization of eight pear cultivars grown in China [J]. Food chemistry, 2007, 104: 268-275.

(下转第 107 页)

尚有一定比例Ⅱ、Ⅲ时相的卵母细胞,结合繁殖实践中2个产卵高峰的出现,据此推断养殖光唇鱼为分批产卵类型,这与瓯江光唇鱼^[15]的研究结果相一致。

3.3 养殖光唇鱼对催产药物的敏感性 目前,鱼类催产药物主要有鲤鱼脑垂体(PG)、绒毛膜促性腺激素(HCG)、促黄体素释放激素类似物(LHRH-A3)和地欧酮(DOM)。该试验中采用HCG、LHRH-A3和DOM复合配伍的催产组合,保持DOM剂量不变,主要探索外源性促性腺激素HCG和LHRH-A3对养殖光唇鱼催产效果的影响。在多个药物配伍中发现,当配伍中的HCG剂量从1 000 IU/kg提高至1 500 IU/kg时,即HCG、LHRH-A3和DOM注射剂量分别为1 500 IU/kg、5 μg/kg和5 mg/kg的T₂组合在所有催产组合中获得最高的催产率,其余5组催产率均较低,初步分析认为养殖光唇鱼对HCG有着较高的敏感性,可能是由于HCG的作用机理为直接作用于已经生长成熟的卵母细胞周围的滤泡细胞,诱导滤泡细胞分泌孕酮,促使卵核破裂,进而诱导性腺成熟或排卵,而当HCG剂量从1 500 IU/kg再提高至2 000 IU/kg时,催产率却又明显降低,可能为催产剂量过大所致。与HCG相比,通过诱导垂体分泌促性腺激素的LHRH-A3敏感性就要差许多,这与陈礼强等^[11]有关云南光唇鱼人工繁殖的结果相一致。

4 结论

养殖光唇鱼在人工繁殖过程中,当催产药物配伍中HCG为1 500 IU/kg、LHRH-A3为5 μg/kg、DOM为5 mg/kg时,催产率最高,达到85.0%,且受精率和孵化率分别达到

86.1%和71.2%。因此,人工养殖光唇鱼可完全实现全人工繁殖。

参考文献

- [1] 伍献文. 中国鲤科鱼类志:下卷[M]. 上海:上海科学技术出版社,1977:274-277.
 - [2] 陈宜瑜. 中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目:中卷[M]. 北京:科学出版社,1998.
 - [3] YAN Y Z, GUO L L, XIANG X Y, et al. Age and growth of *Acrossocheilus fasciatus* (Barbinae, Cyprinidae) from the Puxi Stream in the Huangshan Mountain[J]. *China J Freshwat Ecol*, 2010, 25(1):79-83.
 - [4] 冀德伟, 李明月, 史雨红, 等. 光唇鱼的肌肉营养组成与评价[J]. *营养学报*, 2009, 31(3):298-303.
 - [5] 郭丽丽, 严云志, 席贻龙. 黄山浦溪河光唇鱼的性腺发育周年变化[J]. *淡水渔业*, 2008, 38(6):8-13.
 - [6] 姜建湖. 光唇鱼性腺及胚胎与仔、稚鱼发育的研究[D]. 宁波:宁波大学, 2012.
 - [7] 姜建湖, 张德明, 竺俊全, 等. 光唇鱼(*Acrossocheilus fasciatus*)胚胎及仔、稚鱼的发育[J]. *海洋与湖沼*, 2012, 43(2):280-287.
 - [8] 姚子亮, 寇国强, 练青平, 等. 人工养殖光唇鱼卵巢发育的组织学及周年变化[J]. *水产科学*, 2013, 32(1):31-35.
 - [9] 林衍峰, 甘成叙. 光唇鱼仿生态繁殖试验[J]. *水产科技情报*, 2016, 43(3):136-138, 142.
 - [10] 巫一安, 潘焰仁. 光唇鱼的驯养与人工繁殖试验[J]. *水产养殖*, 2009, 30(11):10-11.
 - [11] 陈礼强, 吴青, 郑耀明. 云南光唇鱼的人工繁殖研究[J]. *淡水渔业*, 2006, 36(1):43-45.
 - [12] 危起伟, 李罗新, 杜浩, 等. 中华鲟全人工繁殖技术研究[J]. *中国水产科学*, 2013, 20(1):1-11.
 - [13] 王宇希, 洪狄俊, 毛剑婷, 等. 光唇鱼雌性个体生殖力的测定[J]. *水产养殖*, 2012, 33(7):13-15.
 - [14] 蓝昭军, 赵俊, 李强, 等. 北江侧条光唇鱼的个体生殖力[J]. *华南师范大学学报(自然科学版)*, 2010(1):92-97.
 - [15] 练青平, 姚子亮, 王雨辰, 等. 瓯江光唇鱼的卵巢和卵母细胞发育研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2011, 20(3):374-381.
- (上接第104页)
- [4] 邹丽红, 张玉星. 砂梨果肉褐变与酚类物质及相关酶活性的相关分析[J]. *果树学报*, 2012, 29(6):1022-1026.
 - [5] 吕金海, 程丹菁. 金秋梨贮藏过程中褐变度及多酚含量变化[J]. *现代农业科技*, 2009(11):21-22.
 - [6] 徐芹. 砀山酥梨果汁褐变机理及控制技术研究[D]. 南京:南京农业大学, 2008.
 - [7] 张亚伟, 陈义伦. 不同品种梨汁酶促褐变因子及相关性[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(9):1880-1887.
 - [8] LIN L Z, HARNLY J M. Phenolic compounds and chromatographic profiles of pear skins (*Pyrus* spp.) [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2008, 56(19):9094-9101.
 - [9] 李丽梅, 何近刚, 关军锋. 梨果心与果皮中多酚提取工艺的研究[J]. *保鲜与加工*, 2014, 14(4):40-44.
 - [10] 李丽梅, 赵哲, 何近刚, 等. 不同品种梨果实酚类物质和抗氧化性能分析[J]. *食品科学*, 2014, 35(17):83-88.
 - [11] 孙希, 金哲雄. 植物多酚提取分离方法的研究进展[J]. *黑龙江医药*, 2015, 28(1):80-83.
 - [12] 赵梅, 张绍铃, 齐开杰, 等. 梨幼果多酚提取工艺优化及其成分分析[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(6):268-271.
 - [13] 金莹, 孙爱东, 胡晓丹, 等. 苹果多酚的超声波提取及抗氧化作用研究[J]. *北京林业大学学报*, 2007, 29(5):137-141.
 - [14] 陈晨, 胡文忠, 田沛源, 等. 超声辅助提取香蕉皮多酚工艺优化及其抗氧化性的分析[J]. *食品科学*, 2014, 35(2):12-17.
 - [15] 楠极, 李远志. 响应面法优化番石榴叶多酚的超声提取工艺[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(22):300-304.
 - [16] KHAN M K, ABERT-VIAN M, FABIANO-TIXIER A S, et al. Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel[J]. *Food chemistry*, 2010, 119(2):851-858.
 - [17] 孙红艳, 胡凯中, 郭志龙, 等. 超声波法提取刺梨多酚的工艺优化及体外抑菌活性研究[J]. *中国食品添加剂*, 2016(2):57-61.
 - [18] 李静, 聂继云, 李海飞, 等. Folin-酚法测定水果及其制品中总多酚含量的条件[J]. *果树学报*, 2008, 25(1):126-131.
 - [19] 欧阳玉祝, 陈小东, 唐红玉, 等. 路边青中总多酚的提取与分离研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(16):44-47.
 - [20] 武乾英, 王晓刚, 郭瑜, 等. 酸浆果实中多酚的提取及其抗氧化能力研究[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(10):33-37.
 - [21] 姚姝凤, 成江, 刘小攀, 等. 响应面法优化多花勾儿茶果实多酚提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(5):124-128.
 - [22] 吴桂苹, 黄菲菲, 李恒, 等. 胡椒总多酚的提取及其抗氧化活性研究[J]. *农学学报*, 2016, 6(11):67-74.
 - [23] 陈家祥. 忍冬果实总黄酮、总多酚和原花青素提取工艺优化及抗氧化活性研究[D]. 泰安:山东农业大学, 2016.
 - [24] 旷慧, 迟超, 吕长山, 等. 红树莓多酚的醇法提取工艺优化[J]. *食品科学*, 2016, 37(10):88-93.
 - [25] 樊慧, 陈王蓉. 蓝桉果实中多酚含量测定及其提取工艺优化[J]. *广东化工*, 2016, 43(16):30-31.
 - [26] 张小双, 郑迎春, 曹玉芬, 等. ‘早酥’和‘南果梨’16个部位多酚物质组成及含量分析[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(3):545-555.
 - [27] 李静, 聂继云, 曹玉芬, 等. 砀山酥梨和秋白梨酚类物质 UPLC-PDA-MS/MS-ESI 分析[J]. *园艺学报*, 2016, 43(4):752-762.
 - [28] 周舟, 曾建国, 彭淼, 等. 柿果多酚提取工艺优化[J]. *食品科学*, 2011, 32(16):117-120.