

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.07.028

丁香抗氧化活性物质提取及人工胃肠液对其活性的影响*

江慎华¹ 蔡志鹏² 廖亮¹ 上官新晨² 徐明生² 沈勇根²

(1. 九江学院生命科学学院, 九江 332000; 2. 江西农业大学食品科学与工程学院, 南昌 330045)

【摘要】 采用水浴振荡、超声、微波和超声-微波协同对丁香抗氧化活性物质进行了提取,并用人工胃、肠液对有效部位进行了处理。结果表明,在4种提取方法中,协同提取和微波提取总多酚、总黄酮得率以及抗氧化能力要优于另外2种方法,协同提取时间仅为微波提取的1/2,协同提取效率最高。人工胃液处理后,丁香有效部位抗氧化活性得到显著提高($P < 0.001$),而人工肠液处理后,其抗氧化活性却显著性降低($P < 0.001$)。

关键词: 丁香 抗氧化活性 提取 人工胃液 人工肠液

中图分类号: TS201.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)07-0149-07

Extraction of Antioxidants from Clove and Effect of Artificial Gastrointestinal Juice Immersion on Its Antioxidant Properties

Jiang Shenhua¹ Cai Zhipeng² Liao Liang¹ Shangguan Xincheng² Xu Mingsheng² Shen Yonggen²

(1. College of Life Science, Jiujiang University, Jiujiang 332000, China

2. College of Food Science and Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract

The antioxidants of clove were extracted by water bath shaking, ultrasonic-assisted extraction (UAE), microwave-assisted extraction (MAE) and ultrasonic and microwave-assisted extraction (UMAE), the effective fraction of clove were immersed in the artificial gastrointestinal juice. The results showed that the total polyphenols and flavonoids recoveries were highest, and the antioxidant capacities were strongest for the extracted liquids by MAE and UMAE. However, the extraction time of UMAE was only half of that of MAE. The extraction efficiency of UMAE was the highest. The antioxidant capacities of the effective fraction of clove were significantly improved after immersed by the artificial gastric juice ($P < 0.001$), while its antioxidant capacities were significantly reduced after immersed by the artificial intestinal juice ($P < 0.001$).

Key words Clove, Antioxidant activity, Extraction, Artificial gastric juice, Artificial intestinal juice

引言

活性氧可以对生物大分子及小分子物质造成氧化损伤,容易诱发很多疾病^[1]。摄入外源性抗氧化剂能有效预防或抑制这些疾病的发生^[2]。人工合成的抗氧化剂因其存在潜在的毒性而使其应用日益

受到限制^[3],寻找有效的天然抗氧化剂已成为相关领域研究的热点^[4]。

超声提取技术具有良好的空化、机械和热效应,可破除细胞壁使溶剂更好地渗透进物料内部、增加接触面积、提高提取效率^[5-7]。微波提取技术具有良好的热效应和生物学效应,可使有效成分快速地

收稿日期: 2012-02-14 修回日期: 2012-03-29

* 国家自然科学基金资助项目(31060050)、中国博士后科学基金资助项目(20100481099)、江西省教育厅科学基金资助项目(GJJ12620)和江苏省农产品物理加工重点实验室开放课题资助项目(JAPP2010-5)

作者简介: 江慎华,副教授,主要从事天然产物研究与开发、食品营养学和功能性食品研究,E-mail: jiangshenhua66@163.com

通讯作者: 沈勇根,副教授,主要从事食品科学与工程研究,E-mail: foodsp@163.com

从物料中释放出来^[8]。因而这两种技术被广泛运用于中草药等原料功能因子的提取^[5~13],但是,超声和微波协同对丁香非挥发性抗氧化活性成分进行提取尚未见相关报道。

食品或药品服用后先经过胃肠道消化、吸收后才能为机体所利用^[14]。食品或药品在胃肠道消化受 pH 值、消化酶、无机盐等多种生理因素的影响^[15]。采用人工胃、肠液在体外模拟体内消化道环境的试验方法被广泛应用^[16~20],而采用人工胃肠液处理模拟体内环境对丁香有效部位抗氧化活性的变化未见相关报道。

笔者前期对国家公布的 87 种药食两用物品原料筛选发现,丁香抗氧化活性名列第一^[21],并采用生物活性追踪法确定了乙酸乙酯部位是丁香抗氧化活性的有效部位^[2]。本文在此基础上,采用超声、微波协同萃取对丁香抗氧化活性物质进行提取并研究人工胃、肠液处理模拟体内环境对丁香有效部位抗氧化活性的影响,以期后续丁香深加工及体内功能试验等打下基础。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

丁香,购自黄庆仁棧华氏大药房,产地云南省,购回后粉碎,过 40 目筛置冰箱中备用。三吡啶三吡嗪 (tripyrindyl triazine, 简称 TPTZ)、1,1-二苯基苦基苯肼 (1,1-diphenyl-1-picrylhydrazyl, 简称 DPPH)、氮蓝四唑 (nitro blue tetrazolium, 简称 NBT) 购自 Sigma 公司,胃蛋白酶、胰蛋白酶购自国药集团化学试剂有限公司。其余化学试剂均为国产分析纯或优级纯。

1.2 主要仪器设备

CW-2000 型超声-微波协同萃取仪,上海新拓分析仪器科技有限公司;UNIC 7200 型可见分光光度计,尤尼柯(上海)仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 丁香抗氧化活性成分提取

采用江慎华等^[2]方法,称取 7 g 丁香粉末,利用体积分数 60% 乙醇,在丁香粉末质量(g)与乙醇体积(mL)比例为 1:20、60℃ 水浴的条件下振荡提取 40 min,真空抽滤后定容、置冰箱中备用。

微波和超声辅助提取均设定功率 50 W、未控制温度,其他条件与水浴振荡相同。

超声-微波协同提取,两者功率均设定为 50 W、提取 20 min,其他条件与水浴振荡相同。

1.3.2 抗氧化活性测定

(1) 总多酚、总黄酮得率

采用 Abu Bakar 等^[22]方法测定样品总多酚得

率,略有修改。将 Folin 试剂取出适当体积稀释 10 倍,取该稀释液 2.25 mL 加入到 0.1 mL 样液中,20℃ 静置 5 min,然后加入 2.25 mL 质量分数 6% 的碳酸钠溶液,振荡均匀、室温静置 90 min 后于波长 765 nm 处读数。将没食子酸配成质量浓度为 25、50、100、150、200、250 μg/mL 6 个样液作标准曲线。

采用 Abu Bakar 等^[22]方法测定样品总黄酮得率。加 2.25 mL 蒸馏水于试管中,取 0.5 mL 样液加入试管,加入 0.15 mL 质量分数 5% 的 NaNO₂,静置 6 min 后加入 0.3 mL 质量分数 10% 的 AlCl₃·6H₂O,静置 5 min 后加入 1.0 mL 1 mol/L NaOH,振荡均匀后于波长 510 nm 处比色测定。将芦丁配成质量浓度为 25、50、100、200、400、600、800、1 000 μg/mL 8 个样液作标准曲线。

(2) 总还原力(700 nm 处吸光度)

采用 Gu 等^[23]方法,略有修改。取 0.5 mL 样液于试管中,依次加入 1.25 mL 0.2 mol/L pH 值 6.6 的磷酸缓冲溶液和 1.25 mL 质量分数 1% 的铁氰化钾(K₃Fe(CN)₆)溶液,于 50℃ 水浴中保温 20 min 后快速冷却,再加入 1.25 mL 质量分数 10% 的三氯醋酸溶液,依次加入 4.25 mL 蒸馏水、0.85 mL 质量分数 0.1% 的三氯化铁溶液振荡摇匀,静置 10 min 后在波长 700 nm 下测吸光度,吸光度越高总还原力越强。

(3) FRAP 法抗氧化能力(波长 593 nm 处吸光度)

采用 Jeong 等^[24]方法,略有修改。取 100 μL 样液同 1.0 mL FRAP 工作液混合均匀,37℃ 反应 10 min 后,于波长 593 nm 测定吸光度,吸光度越高抗氧化能力越强。FRAP 工作液由 0.3 mol/L pH 值 3.6 的乙酸钠缓冲液、10 mmol/L TPTZ 溶液(TPTZ 溶液采用 40 mmol/L 优级纯 HCl 溶解)和 20 mmol/L 三氯化铁以体积比 10:1:1 混匀,现用现配。

(4) 总抗氧化能力(波长 695 nm 处吸光度)

采用 Pan 等^[25]方法,略作修改。配制硫酸、磷酸钠、钼酸铵混合试剂,各试剂终浓度分别为 0.6、28 和 4 mmol/L。取 4 mL 该混合液,加入 0.4 mL 样液,摇匀后加塞于 95℃ 水浴加热 90 min,取出冷却后以甲醇代替样液为空白于波长 695 nm 处测吸光度,吸光度越高总抗氧化力越强。

(5) DPPH 自由基清除率

采用 Ammar 等^[26]方法,略有修改。1.0 mL 样液同 2.0 mL 0.05 mmol/L DPPH 溶液(采用甲醇现用现配)振荡摇匀,对对照为 1.0 mL 甲醇和 2.0 mL 0.05 mmol/L DPPH 混合,常温避光反应 60 min 后于波长 517 nm 处比色,以甲醇作参比调零,吸光度越

低清除率越强。DPPH 自由基清除率计算式为

$$Y = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%$$

式中 A_0 ——波长 517 nm 处空白样品的吸光度

A ——波长 517 nm 处样品的吸光度

(6) 超氧阴离子自由基清除率

采用 Duan 等^[27]方法。取 2.7 mL 蛋氨酸 (14.5 mmol/L), 依次加入 0.1 mL 3.0 mmol/L EDTA、0.1 mL 1.89 mmol/L NBT、1.0 mL 样液、0.1 mL 核黄素 (39 μ mol/L), 采用 2 个 20 W 荧光灯照射 20 min, 于波长 560 nm 处测定吸光度, 以甲醇代替样品执行相同操作做空白对照, 吸光度越小, 超氧阴离子清除能力越强。超氧阴离子自由基清除率计算公式为

$$X = \frac{B_0 - B}{B_0} \times 100\%$$

式中 B_0 ——波长 560 nm 处空白样品的吸光度

B ——波长 560 nm 处样品的吸光度

(7) 羟自由基清除率

采用 Yang 等^[28]方法, 略有修改。在反应体系中依次加入 0.5 mL FeSO_4 (2 mmol/L)、1.0 mL 水杨酸 (6 mmol/L) 和 3.0 mL 样液, 混匀后加入 0.5 mL H_2O_2 (质量分数 0.01%) 启动反应, 然后于 37°C 水浴 30 min, 冷却后于 510 nm 处测定吸光度, 吸光度越低清除能力越强。羟基自由基清除率计算公式为

$$Z = \frac{Z_0 - (Z_i - Z_{i0})}{Z_0} \times 100\%$$

式中 Z_0 ——未加样液的吸光度

Z_i ——加入样液的吸光度

Z_{i0} ——试剂空白的吸光度

1.3.3 人工胃肠液的配制及处理

(1) 丁香抗氧化有效部位 (乙酸乙酯相) 的制备 弱极性的乙酸乙酯部位为丁香抗氧化活性的有效部位^[2]。采用文献^[2]方法可制备得到丁香抗氧化活性有效部位。称取 100 g 过 40 目筛的丁香干粉, 采用超声、微波协同提取, 提取液浓缩后采用正己烷脱除精油, 之后加入适量的蒸馏水悬浮后分别采用极性逐渐增大的乙酸乙酯和正丁醇依次萃取, 最后剩余水相部分。将其中乙酸乙酯相浓缩、冻干获得干粉, 用甲醇配制成适当浓度置冰箱中备用。

(2) 人工胃液、肠液的配置方法

人工胃液的配制^[29]: 取浓度为 1 mol/L 的稀盐酸 16.4 mL, 加 800 mL 蒸馏水和 10 g 胃蛋白酶, 混合均匀后加水稀释至 1 000 mL 即得。

人工肠液的配制^[29]: 取 6.8 g 磷酸二氢钾, 加水

500 mL 溶解, 用 0.1 mol/L 氢氧化钠溶液调节 pH 值至 6.8, 另取胰蛋白酶 10 g, 加水适量使之溶解, 将两液混合后, 加水稀释至 1 000 mL 即得。

人工胃、肠液处理采用 Madureira 等^[30~31]方法。量取 5 mg/mL 丁香有效部位样液 5 mL 分别加入到 100 mL 人工胃液和 100 mL 对照组蒸馏水及 165 mL 人工肠液和 165 mL 对照组蒸馏水中, 处理样和对照样置 37°C、130 r/min 水浴振荡 70 min (此转速模拟体内胃蠕动) 或 45 r/min 水浴 (此转速模拟体内肠蠕动) 振荡 120 min。反应结束后采用乙酸乙酯萃取 3 次^[31], 萃取液浓缩至干后采用 50 mL 甲醇定容、备用。

1.3.4 人工胃、肠液处理对丁香有效部位抗氧化活性的影响

采用 1.3.2 节的方法测定人工胃、肠液处理对丁香有效部位 (乙酸乙酯相) 总抗氧化能力、总还原力、FRAP 法抗氧化能力、DPPH 自由基清除能力的影响。

2 结果与分析

2.1 不同提取方法对丁香抗氧化活性物质提取的测定结果与分析

2.1.1 总多酚、总黄酮得率

黄酮和多酚类化合物被认为是植物抗氧化活性的主要物质基础^[32]。Liu 等^[33]通过测定该植物总黄酮和总多酚得率来评价余甘子抗氧化活性。本试验采用水浴振荡提取 (ZD)、微波辅助提取 (WB)、超声辅助提取 (CS) 和超声-微波协同提取 (XT) 丁香抗氧化活性成分。各种方法所得样品总多酚、总黄酮得率如表 1 所示。

表 1 样品总多酚、总黄酮得率 (质量比)

Tab. 1 Recoveries of total flavonoids and polyphenols

样品提取方法	mg/g	
	总多酚得率	总黄酮得率
ZD	230.238 \pm 5.740 ^D	110.500 \pm 2.575 ^C
WB	315.060 \pm 15.318 ^B	136.293 \pm 1.222 ^A
CS	279.643 \pm 5.357 ^C	125.262 \pm 1.667 ^B
XT	340.655 \pm 1.859 ^A	136.770 \pm 0.599 ^A

注: 相同列不同字母代表各样品之间存在显著性差异, $P < 0.001$ 。

由表 1 可知, 这 4 种提取方法中, XT 提取总多酚和总黄酮得率最高, WB 提取其次, 这两种提取方法均显著性优于 ZD 提取和 CS 提取 ($P < 0.001$)。Cheng 等^[34]研究超声-微波协同、微波辅助、超声辅助、索氏抽提和热回流提取鸡血藤黄酮类物质时也

发现,超声-微波协同提取显示出更高的提取效率和更短的提取时间。

2.1.2 总还原力

为了评价提取效率,对4种不同提取方法所得提取液抗氧化能力进行了测定,其结果如表2所示。在波长700 nm处的吸光度,XT提取和WB提取显

著高于ZD提取和CS提取($P < 0.01$)。由此可见,在丁香抗氧化活性成分的提取过程中,XT提取比其他3种方法具有更高的提取效率。Hayat等^[35]也发现微波辅助与超声辅助提取所得柑橘皮酚酸类物质的总还原力相当,强于振荡提取物($P < 0.05$),但微波辅助比超声辅助提取所需时间更短。

表2 4种提取方法所得提取液抗氧化能力

Tab.2 Antioxidant activities of the extracts obtained by four different methods

样品提取方法	总还原力 (OD700)	FRAP法抗氧化 能力(OD593)	总抗氧化能力 (OD695)	DPPH自由基 清除率/%	超氧阴离子自由基 清除率/%	羟自由基 清除率/%
ZD	0.199 ± 0.020 ^B	0.333 ± 0.024 ^C	0.880 ± 0.007 ^C	48.05 ± 0.87 ^D	81.74 ± 1.44 ^B	47.71 ± 1.63 ^C
WB	0.236 ± 0.014 ^{AB}	0.488 ± 0.015 ^{AB}	1.054 ± 0.018 ^A	62.30 ± 0.33 ^B	89.93 ± 1.37 ^A	73.35 ± 2.82 ^A
CS	0.208 ± 0.013 ^{AB}	0.431 ± 0.008 ^B	0.982 ± 0.020 ^B	57.08 ± 0.44 ^C	82.16 ± 1.96 ^B	56.16 ± 1.55 ^B
XT	0.239 ± 0.006 ^A	0.500 ± 0.010 ^A	1.075 ± 0.020 ^A	64.67 ± 1.14 ^A	90.24 ± 1.44 ^A	74.76 ± 3.90 ^A
显著性水平	$P < 0.01$	$P < 0.001$	$P < 0.05$	$P < 0.01$	$P < 0.05$	$P < 0.01$

注:相同列不同字母表示显著性差异。

2.1.3 FRAP法抗氧化能力

如表2所示,在波长593 nm处的吸光度,XT提取液最高,XT提取液和WB提取液显著高于ZD提取液和CS提取液($P < 0.001$)。

2.1.4 总抗氧化能力

如表2所示,XT提取液和WB提取液总抗氧化能力(波长695 nm吸光度)分别为 1.075 ± 0.020 和 1.054 ± 0.018 ,仍显著高于CS提取液和ZD提取液($P < 0.05$)。XT提取效率最高,WB提取效率其次,ZD提取效率最低。Pan等^[36]也发现微波辅助提取物总抗氧化能力强于索氏抽提物和阳性对照BHT。

2.1.5 DPPH自由基清除率

如表2所示,在原溶液稀释1200倍后,XT提取液、WB提取液、CS提取液和ZD提取液仍具有很强的DPPH自由基清除能力。它们的清除率分别达到 $(64.67 \pm 1.14)\%$ 、 $(62.30 \pm 0.33)\%$ 、 $(57.08 \pm 0.44)\%$ 和 $(48.05 \pm 0.87)\%$ 。此处结果与总抗氧化力、FRAP法抗氧化能力、总还原力结果稍有不同,XT提取液除了清除能力最强外,并显著高于WB提取液和其他2种提取液($P < 0.01$)。Hayat等^[35]也发现与水浴振荡提取液相比,超声、微波辅助提取液都具有很强的DPPH自由基清除能力。

2.1.6 超氧阴离子自由基清除率

如表2所示,XT提取液、WB提取液、CS提取液和ZD提取液在稀释100倍后都具有很好的超氧阴离子自由基清除能力,清除率分别达 $(90.24 \pm 1.44)\%$ 、 $(89.93 \pm 1.37)\%$ 、 $(82.16 \pm 1.96)\%$ 和 $(81.74 \pm 1.44)\%$,XT提取液清除率最高,ZD提取液清除率最低。

2.1.7 羟自由基清除率

如表2所示,不同提取方法中,XT提取液清除率最高,WB提取液其次,ZD提取液清除率最低。Hayat等^[35]也发现微波、超声辅助提取物羟自由基清除率显著高于振荡提取液($P < 0.05$)。

由于目前还没有一种方法可以同时全面评价活性物质的抗氧化能力。因此,本试验采用了不同的评价方法(总多酚与总黄酮得率、总还原力、DPPH自由基清除能力、总抗氧化能力、超氧阴离子自由基清除能力和羟自由基清除能力)来比较4种提取方法所得提取液的抗氧化能力。通过以上结果可知,XT提取效果最好、提取效率最高,WB提取次之,与XT提取效果基本没有显著性差异,但是,XT提取时间(20 min)仅为WB提取时间(40 min)的1/2。ZD提取效果最弱。

2.1.8 总多酚、总黄酮得率与抗氧化活性之间的相关性

为了分析以上4种不同提取方法所得提取液抗氧化能力产生差异的原因,本文对不同提取液总多酚、总黄酮得率与所采用的6种抗氧化能力以及不同抗氧化能力相互之间进行了相关性分析,其结果如表3所示。

从该表可见,总多酚得率与6种抗氧化能力均高度相关,其中与DPPH自由基清除率与总抗氧化能力极显著性相关($P < 0.001$);与羟自由基清除率、总还原力和FRAP抗氧化能力显著性相关($P < 0.05$)。总黄酮得率与DPPH自由基清除率、总抗氧化能力和FRAP抗氧化能力极显著性相关($P < 0.001$);与羟自由基清除率显著性相关($P < 0.05$)。

表 3 抗氧化能力与总多酚、总黄酮得率之间相关性

Tab. 3 Correlation among the antioxidant properties and the recoveries of total flavonoids and polyphenols

	总多酚得率	总黄酮得率	超氧阴离子 自由基清除率	羟自由基 清除率	DPPH 自由 基清除率	总抗氧化 能力	总还原力	FRAP 法抗 氧化能力
总多酚得率	1.000	0.977 *	0.900	0.968 *	0.993 **	0.991 **	0.954 *	0.982 *
总黄酮得率		1.000	0.890	0.969 *	0.993 **	0.997 **	0.947	0.998 **
超氧阴离子自由基清除率			1.000	0.974 *	0.877	0.895	0.988 *	0.869
羟自由基清除率				1.000	0.962 *	0.972 *	0.997 **	0.958 *
DPPH 自由基清除率					1.000	0.999 **	0.940	0.997 **
总抗氧化能力						1.000	0.952 *	0.998 **
总还原力							1.000	0.933
FRAP 法抗氧化能力								1.000

注: * 表示显著性 $P < 0.05$; ** 表示显著性 $P < 0.001$ 。

由此可见,不同提取液抗氧化活性的主要物质来源是其中所含的总多酚和总黄酮,不同提取液抗氧化能力产生差异的原因可能是不同提取手段从相同的环境中提取出来的功能成分(如总多酚和总黄酮)含量产生差异所导致。相比而言,总多酚和总黄酮得率与超氧阴离子自由基清除能力相关性最弱,这显示除了这两种成分外,可能还有其它成分也具有一定的超氧阴离子自由基清除能力。XT 提取能达到更高提取效率的主要原因是:微波通过样品和提取液极性分子吸收其电磁能量而产生加热作用,超声波具有良好的空化效应及相应的机械和热效应等。而将微波和超声结合实现同时辅助提取能够加速电磁产热、有效搅拌和加速传质过程,最大化地结合了超声和微波的优点,从而对功能成分能实现更高的提取效率^[34]。

2.2 人工胃肠液处理对丁香有效部位抗氧化活性的影响

采用人工胃、肠液在体外模拟体内消化道环境具有容易实现、重现性好、并可获得与体内试验一致的结果等优点^[16~17]。本文采用人工胃、肠液对丁香有效部位(乙酸乙酯相)进行处理。处理前后抗氧化活性(总还原力、FRAP 法抗氧化能力、总抗氧化能力和 DPPH 自由基清除能力)变化情况如表 4 所

示。

由表 4 可见,经人工胃、肠液处理后,丁香有效部位抗氧化活性发生了不同的变化趋势。其中,经人工胃液处理后,抗氧化活性得到显著提高。其有效部位总还原力吸光度由处理前的 0.194 ± 0.001 提高到处理后的 0.220 ± 0.001 ,具有显著性差异($P < 0.001$)。FRAP 法抗氧化能力吸光度由处理前的 0.425 ± 0.006 显著提高到处理后的 0.488 ± 0.019 ($P < 0.001$)。总抗氧化能力吸光度由处理前的 0.518 ± 0.005 显著提高到处理后的 0.622 ± 0.027 ($P < 0.001$)。DPPH 自由基清除率由处理前的 $(72.709 \pm 1.458)\%$ 显著提高到处理后的 $(80.492 \pm 1.182)\%$ ($P < 0.001$)。丁香抗氧化有效部位经人工胃液处理后活性提高的原因可能是丁香有效部位(乙酸乙酯相)中多酚或黄酮类化合物在低 pH 值的胃液环境中发生了水解、一些苷类化合物变成了相应的苷元的缘故。

经人工肠液处理后,丁香有效部位抗氧化能力(总还原力、FRAP 法抗氧化能力、总抗氧化能力、DPPH 自由基清除率)却显著降低。抗氧化活性降低的原因可能是其中一些抗氧化活性成分(如多酚或黄酮类化合物等)在肠液环境中不稳定所造成。

表 4 人工胃、肠液处理对丁香有效部位抗氧化能力的影响

Tab. 4 Antioxidant activities variation after immersed by the artificial gastrointestinal juice

处理方法	总还原力	FRAP 法抗氧化能力	总抗氧化能力	DPPH 自由基清除率/%
未处理	0.194 ± 0.001^B	0.425 ± 0.006^B	0.518 ± 0.005^B	72.709 ± 1.458^B
人工胃液	0.220 ± 0.001^A	0.488 ± 0.019^A	0.622 ± 0.027^A	80.492 ± 1.182^A
未处理	0.170 ± 0.002^C	0.356 ± 0.004^C	0.464 ± 0.018^B	57.832 ± 0.171^C
人工肠液	0.085 ± 0.004^D	0.166 ± 0.005^D	0.325 ± 0.024^C	26.305 ± 1.231^D

注:相同列不同字母代表各样品之间存在显著性差异, $P < 0.001$ 。

3 结论

(1)在 4 种提取手段中,超声-微波协同对丁香

总多酚、总黄酮提取得率最高、提取液抗氧化活性(总还原力、FRAP 法抗氧化能力、总抗氧化能力、DPPH 自由基清除率、超氧阴离子自由基清除率和

羟自由基清除率)最强,提取效果最好、效率最高。

(2)人工胃液对丁香有效部位处理后,抗氧化活性(总还原力、FRAP法抗氧化能力、总抗氧化能

力和DPPH自由基清除率)显著提高($P < 0.001$)。

人工肠液对丁香有效部位处理后,抗氧化活性显著降低($P < 0.001$)。

参 考 文 献

- Shon M Y, Kim T H, Sung N J. Antioxidants and free radical scavenging activity of *Phellinus baumii* (Phellinus of Hymenochaetaceae) extracts[J]. Food Chemistry, 2003, 82(4): 593 ~ 597.
- 江慎华, 王书源, 马海乐, 等. 丁香活性物质提取工艺优化与抗氧化活性研究[J]. 农业机械学报, 2010, 41(1): 132 ~ 138.
Jiang Shenhua, Wang Shuyuan, Ma Haile, et al. Extracting Technology and antioxidant activity of bioactive components from clove[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(1): 132 ~ 138. (in Chinese)
- Chotimarkom C, Benjakul S, Silalai N. Antioxidant components and properties of five long-grained rice bran extracts from commercial available cultivars in Thailand[J]. Food Chemistry, 2008, 111(3): 636 ~ 641.
- Tabaraki R, Nateghi A. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of natural antioxidants from rice bran using response surface methodology[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2011, 18(6): 1279 ~ 1286.
- Zhang L F, Liu Z L. Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction (UMAE) and ultrasonic assisted extraction (UAE) of lycopene from tomatoes[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2008, 15(5): 731 ~ 737.
- 沈文娟, 岳亮, 何英翠, 等. 天然药物常用提取技术与方法研究概况[J]. 中南药学, 2011, 9(2): 127 ~ 130.
Shen Wenjuan, Yue Liang, He Yingcui, et al. The progress on the extraction technologies for natural medicines[J]. Central South Pharmacy, 2011, 9(2): 127 ~ 130. (in Chinese)
- Yang B, Jiang Y M, Shi J, et al. Extraction and pharmacological properties of bioactive compounds from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) fruit—a review[J]. Food Research International, 2011, 44(7): 1837 ~ 1842.
- Chen Z, Zhang L, Chen G. Microwave-assisted extraction followed by capillary electrophoresis-amperometric detection for the determination of antioxidant constituents in *Folium Eriobotryae*[J]. Journal of Chromatography A, 2008, 1193(1~2): 178 ~ 181.
- Guo L, Liu C. Extraction and antioxidant activity of ultrasonic-assisted flavonoids from *Suaeda salsa*[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 140: 343 ~ 349.
- Yang L M, Han L L, Yang Z. Microwave-assisted extraction of garlic essential oil from garlic[J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 117 ~ 119: 1022 ~ 1026.
- 舒伯特, 雷吉尔. 食品微波加工技术[M]. 徐树来, 郑先哲, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 221 ~ 235.
- 李超, 王乃馨, 王卫东, 等. 超声波协同微波提取丁香挥发油的研究[J]. 粮油加工, 2009(10): 56 ~ 60.
Li Chao, Wang Naixin, Wang Weidong, et al. Ultrasonic and microwave-assisted extraction of volatile oil from clove[J]. Cereals and Oils Processing, 2009(10): 56 ~ 60. (in Chinese)
- Zhang H F, Yang X H, Wang Y. Microwave assisted extraction of secondary metabolites from plants: current status and future directions[J]. Trends in Food Science & Technology, 2011, 22(12): 672 ~ 688.
- 梁文权. 生物药剂学与药物动力学[M]. 3版. 北京: 人民卫生出版社, 2007.
- Bouayed J, Hoffmann L, Bohn T. Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastrointestinal digestion and dialysis of apple varieties: bioaccessibility and potential uptake[J]. Food Chemistry, 2011, 128(1): 14 ~ 21.
- Qiu S, Lu C, et al. Effect of 1-MCP on quality and antioxidant capacity of in vitro digests from Sunrise apples stored at different temperatures[J]. Food Research International, 2009, 42(3): 337 ~ 342.
- Biehler E, Bohn T. Methods for assessing aspects of carotenoid bioavailability[J]. Current Nutrition & Food Science, 2010, 6(1): 44 ~ 69.
- Gil-Izquierdo A, Gil M I, Tomas-Barberan F A, et al. Influence of industrial processing on orange juice flavanone solubility and transformation to chalcones under gastrointestinal conditions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(10): 3024 ~ 3028.
- Bermúdez-Soto M J, Tomas-Barberan F A, García-Conesa M T, et al. Stability of polyphenols in chokeberry (*Aronia melanocarpa*) subjected to in vitro gastric and pancreatic digestion[J]. Food Chemistry, 2007, 102(3): 865 ~ 874.
- Rufián-Henares J A, Morales F J. Effect of in vitro enzymatic digestion on antioxidant activity of coffee melanoidins and fractions[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(24): 10016 ~ 10021.

- 21 Jiang S H, Li Hanquan, Ma H L, et al. Antioxidant activities of selected Chinese medicinal and edible plants [J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2011, 62(5): 441 ~ 444.
- 22 Abu Bakar M F, Mohamed M, Rahmat A, et al. Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*) [J]. Food Chemistry, 2009, 113(2): 479 ~ 483.
- 23 Gu F L, Kim J M, Hayat K, et al. Characteristics and antioxidant activity of ultrafiltrated Maillard reaction products from a casein-glucose model system [J]. Food Chemistry, 2009, 117(1): 48 ~ 54.
- 24 Jeong C H, Choi G N, Kim J H, et al. Antioxidant activities from the aerial parts of *Platycodon grandiflorum* [J]. Food Chemistry, 2010, 118(2): 278 ~ 282.
- 25 Pan Y M, He C H, Wang H S, et al. Antioxidant activity of microwave-assisted extract of *Buddleia officinalis* and its major active component [J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 497 ~ 502.
- 26 Ammar R B, Bhourri W, Sghaier M B, et al. Antioxidant and free radical-scavenging properties of three flavonoids isolated from the leaves of *Rhamnus alaternus* L. (Rhamnaceae): a structure-activity relationship study [J]. Food Chemistry, 2009, 116(1): 258 ~ 264.
- 27 Duan X W, Jiang Y M, Su X G, et al. Antioxidant properties of anthocyanins extracted from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit pericarp tissues in relation to their role in the pericarp browning [J]. Food Chemistry, 2007, 101(4): 1 365 ~ 1 371.
- 28 Yang G M, Wang D, Tang W, et al. Anti-inflammatory and antioxidant activities of oxytropis falcata fractions and its possible anti-inflammatory mechanism [J]. Chinese Journal of Natural Medicines, 2010, 8(4): 285 ~ 292.
- 29 国家药典委员会. 中国药典 2010 版; 二部 [M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010.
- 30 Madureira A R, Amorim M, Gomes A M, et al. Protective effect of whey cheese matrix on probiotic strains exposed to simulated gastrointestinal conditions [J]. Food Research International, 2011, 44(1): 465 ~ 470.
- 31 Cai Z W, Qian T X, Wong R N S, et al. Liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry for metabolism and pharmacokinetic studies of ginsenoside Rg3 [J]. Analytica Chimica Acta, 2003, 492(1 ~ 2): 283 ~ 293.
- 32 Sultana B, Anwar F, et al. Antioxidant activity of phenolic components present in barks of *Azadirachta indica*, *Terminalia arjuna*, *Acacia nilotica*, and *Eugenia jambolana* Lam. trees [J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1 106 ~ 1 114.
- 33 Liu X, Zhao M, et al. Antioxidant activity of methanolic extract of emblica fruit (*Phyllanthus emblica* L.) from six regions in China [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2008, 21(3): 219 ~ 228.
- 34 Cheng X L, Wan J Y, Li P, et al. Ultrasonic/microwave assisted extraction and diagnostic ion filtering strategy by liquid chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry for rapid characterization of flavonoids in *Spatholobus suberectus* [J]. Journal of Chromatography A, 2011, 34(26): 5 774 ~ 5 786.
- 35 Hayat K, Hussain S, et al. Optimized microwave-assisted extraction of phenolic acids from citrus mandarin peels and evaluation of antioxidant activity in vitro [J]. Separation and Purification Technology, 2009, 70(1): 63 ~ 70.
- 36 Pan Y, He C, et al. Antioxidant activity of microwave-assisted extract of *Buddleia officinalis* and its major active component [J]. Food Chemistry, 2010, 121(2): 497 ~ 502.

(上接第 178 页)

- 16 Hannan M W, Burks T F, Bulanon D M. A real-time machine vision algorithm for robotic citrus harvesting [C] // 2007 ASABE Annual International Meeting, Paper No: 073125, 2007.
- 17 司永胜, 乔军, 刘刚, 等. 苹果采摘机器人果实识别与定位方法 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(9): 148 ~ 153.
Si Yongsheng, Qiao Jun, Liu Gang, et al. Recognition and location of fruits for apple harvesting robot [J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 148 ~ 153. (in Chinese)
- 18 van Henten E J, van Tuijl B A J, Hemming J, et al. Field test of an autonomous cucumber picking robot [J]. Biosystems Engineering, 2003, 86(3): 305 ~ 313.
- 19 Arima S, Kondo N, Monta M. Strawberry harvesting robot on table-top culture [C] // 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting, Paper No: 043089, 2004.