

天麻多酚的超声辅助提取工艺优化及抗氧化活性研究

Optimization of process extraction of polyphenols from *Gastrodia elata* Bl and its antioxidant activity

孙海燕^{1,2,3,4}

SUN Hai-yan^{1,2,3,4}

(1. 陕西理工大学陕西省资源生物重点实验室, 陕西 汉中 723000; 2. 陕西理工大学生物科学与工程学院, 陕西 汉中 723000; 3. 国家农产品保鲜工程技术研究中心秦巴地区保鲜工作站, 陕西 汉中 723000; 4. 陕南秦巴山区生物资源综合开发协同创新中心, 陕西 汉中 723000)

(1. Shaanxi Sci-tech University Shaanxi Key Laboratory of Resource Biology, Hanzhong, Shaanxi 723000, China; 2. Shaanxi Sci-tech University of Biological Science and Engineering, Hanzhong, Shaanxi 723000, China; 3. National Engineering Research Center for Preservation of Agricultural Products in Qinba Area Preservation Workstation, Hanzhong, Shaanxi 723000, China; 4. Qinling-Bashan Mountains Bioresources Comprehensive Development C. I. C., Hanzhong, Shaanxi 723000, China)

摘要:以鲜天麻为试材,研究了天麻总酚的超声辅助提取工艺条件,以最佳工艺对不同干燥条件下的天麻粉进行总酚提取,测定其总酚含量与抗氧化能力,并分析两者的相关性。结果表明,影响天麻总酚提取效果的最主要因素是提取温度,最优工艺条件为:提取温度 50 ℃、提取时间 35 min、提取功率 80 W,料液比 1:10(g/mL),在该条件下,天麻总酚含量最高为 5.62 mg/g;不同干燥条件下,55 ℃热风干燥制得的天麻粉总酚含量最高,达 5.754 mg/g,其总抗氧化能力、抗超氧阴离子自由基能力、抑制羟自由基能力和 DPPH 自由基清除能力也最高,同时,天麻总酚含量与其抗氧化能力呈显著相关,说明天麻总酚具有一定的抗氧化能力。

关键词:天麻;多酚;超声辅助提取;抗氧化活性

Abstract: The fresh *Gastrodia elata* was used to extract total phenolic content which help to explore an ultrasonic assisted extraction technology. The total phenol from the *G. elata* under different drying conditions was extracted by the optimized technology. The total phenolic content and antioxidant capacity were detected, and then the correlation between them was analyzed. The results showed that extraction temperature was the main factor that influenced the extraction efficiency of total phenol. The optimal process condition was extracting the total phenol for 35 min at 50℃, using a solid-liquid ratio is 1:10(g/mL) with extraction power 80 W, and consen-

quently 5.62 mg/g of total phenole was obtained from *G. Elata*. Furthermore, it was found that the highest content of total phenolic content is 5.754 mg/g in hot air drying among all the different drying conditions, and total antioxidant capacity, anti superoxide anion free radical, hydroxyl radical scavenging activity and DPPH radical scavenging ability of it were also the highest. In addition, the total phenolic content and antioxidant capacity were found significantly correlated with each other, and this indicated that the total phenolic compounds might possess certain antioxidant capacity.

Keywords: *Gastrodia elata*; polyphenols; ultrasound assisted extraction; antioxidant activity

天麻(*Gastrodia elata* Bl),又名赤箭、独摇芝、离母、合离草、神草、鬼督邮、木浦、明天麻、定风草、白龙皮等,根状茎肥厚,无绿叶,蒴果倒卵状椭圆形,常以块茎或种子繁殖,是兰科天麻属多年生草本植物,为常用名贵中药。主产于四川、贵州、云南、陕西等省,安徽省大别山区、皖南山区也有出产^[1-2]。

植物多酚是广泛存在于植物体内的一类多元酚类化合物,是植物的次生代谢产物,具有独特的生理活性和药用价值^[3-4]。多酚具有较强的清除自由基、抗氧化活性、抗衰老等生物活性功能。目前,从天麻块茎中共分离得到 20 个酚类化合物及其苷类,包括 8 种简单酚类:天麻素、对羟基苯甲醇、香荚兰醇、香荚兰醛、对羟基苯甲醛、对羟基苯甲醚、3,4-二羟基苯甲醛、对羟基苯乙醚;12 种含 2 个或 3 个苯环的酚类化合物,如 4,4'-二羟基二苯基甲烷等^[5]。但目前在天麻总酚提取工艺以及天麻粉的制备方法对总酚含量与抗氧化能

基金项目:陕西省教育厅专项(编号:16JK1155);秦巴山区生物资源综合开发协同创新中心项目(编号:QBXT-Z(P)15-22)

作者简介:孙海燕(1979—),女,陕西理工大学讲师,硕士。

E-mail: diyson2008@163.com

收稿日期:2016-06-07

力方面的影响报道甚少,仅廖全斌等^[6]对天麻提取物的抗氧化活性进行过简单研究,即采用DPPH自由基清除法研究抗氧化活性与天麻素含量的关系,而对天麻总酚的提取工艺及其它抗氧化方法未进行研究。本试验拟确定超声提取法提取天麻总酚的最优提取工艺条件,并研究不同干燥方法对天麻总酚抗氧化能力的影响,旨在为后续天麻干燥及总酚的提取与抗氧化能力的研究提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

红苕鲜天麻:采自陕西省汉中市南郑县青树镇柳树村,挖取当天运回实验室;

Folin-酚试剂、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH):北京索莱宝科技有限公司;

无水乙醇、盐酸、甲醇、碳酸钠、磷酸二氢钠、磷酸盐:分析纯,天津科密欧化学试剂有限公司;

没食子酸(Gallic acid)标准品:纯度90.8%,中国食品药品检定研究院;

总抗氧化能力(T-AOC)试剂盒、抗超氧阴离子自由基试剂盒、羟自由基试剂盒、过氧化氢(H₂O₂)试剂盒:南京建成生物科技有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

打浆机:DZJ-405型,广东天际电器有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:GZX-GF101-3BS型,上海跃进医疗器械有限公司;

微波炉:G70F20CN/L-DG型,格兰仕微波生活电器有限公司;

超声波清洗仪:Sb-5200 DFD型,中国宁波新芝生物科技股份有限公司;

真空干燥冷冻机:DZF型,中国宁波新芝生物科技股份有限公司;

紫外分光光度计:L5型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

高速离心机:H1850R型,中国湘仪公司;

旋转蒸发器:RE-52AA型,上海亚荣生化仪器厂;

万分之一天平:BAC2245型,赛多利斯科技仪器(北京)有限公司。

1.2 方 法

1.2.1 天麻干粉样品的制备 将鲜天麻清洗、切片、打浆,制成浆液后,分别用热风干燥、真空冷冻干燥、微波干燥制得天麻干粉,具体干燥处理方法:

(1) 热风干燥法:取一定量的天麻浆液,分别放于45,55,65℃下的干燥箱中干燥至恒重,取出装进自封袋中贴上标签,放于-80℃冰箱备用。45,55,65℃干燥的分别为样品1、样品2、样品3。

(2) 真空冷冻干燥法:将切片蒸煮后的天麻制成浆液,并与未蒸煮直接打浆的天麻浆液放入-80℃冰箱冻藏24 h,之后分别放入真空冷冻干燥机冻干成粉,取出装进自封袋中

贴上标签,放于-80℃冰箱备用。浆液蒸煮后冷冻干燥制备的为样品4,直接冷冻干燥制备的为样品5。

(3) 微波干燥法:将打浆后的天麻平铺在玻璃托盘中,分别用4个火力(40%,50%,60%,70%)干燥至恒重,微波炉的功率恒定在800 W,取出装进自封袋中贴上标签,放于-80℃冰箱备用。40%,50%,60%,70%火力的分别为样品6、样品7、样品8、样品9。

1.2.2 天麻总酚的提取工艺流程

天麻干粉→过筛(40目)→超声辅助提取→离心→取上清液→旋转蒸发浓缩→定容→天麻总酚提取液

1.2.3 天麻总酚提取条件

(1) 提取温度对天麻总酚含量的影响:取55℃烘干的天麻干粉1 g于50 mL离心管中,加入60%盐酸乙醇10 mL,放入超声提取器中,在功率60 W、时间30 min、频率40 kHz的条件下分别选用30,40,50,60,70℃的提取温度进行提取,然后在4℃、10 000 r/min下离心10 min,收集上清液,以上操作重复3次,3次上清液合并经旋转蒸发器蒸发浓缩至体积≤5%,用甲醇定容至5 mL,测定总酚含量。

(2) 提取时间对天麻总酚含量的影响:取55℃烘干的天麻干粉1 g于50 mL离心管中,加入60%盐酸乙醇10 mL,放入超声提取器中,在功率60 W、温度30℃、频率40 kHz的条件下分别选用20,25,30,35,40 min的提取时间进行提取,后续步骤同1.2.3(1)。

(3) 超声功率对天麻总酚含量的影响:取55℃烘干的天麻干粉1 g于50 mL离心管中,加入60%盐酸乙醇10 mL,放入超声提取器中,在时间30 min、温度30℃、频率40 kHz的条件下分别选用40,60,80,100,120 W的提取功率进行提取,后续步骤同1.2.3(1)。

(4) 料液比对天麻总酚含量的影响:取55℃烘干的天麻干粉1 g于50 mL离心管中,分别加入60%盐酸乙醇5,10,15,20,25 mL,放入超声提取器中,在时间30 min、温度30℃、功率60 W、频率40 kHz的条件下进行提取,后续步骤同1.2.3(1)。

(5) 正交试验设计:为了综合考虑各因素对天麻总酚含量的影响,根据单因素试验结果,选取提取温度、提取时间、料液比、超声功率4个考察因素,设计四因素三水平正交试验。

1.2.4 天麻总酚含量的测定

(1) 没食子酸的标准曲线绘制:准确称取0.5 g干没食子酸于100 mL容量瓶中,用水定容至刻度;准确吸取0.0,0.1,0.2,0.3,0.5,1.0 mL上述溶液并分别定容至10 mL;另取6支试管,分别吸取上述溶液0.1 mL,各加水5 mL,混合,各加福林-肖卡0.5 mL,充分混合;在30 s至8 min之内加入20%碳酸钠溶液1.5 mL,混合后用水定容到10 mL,20℃避光静置2 h,在波长765 nm处测量其吸光度,绘制标准曲线并求得线性回归方程。

(2) 天麻总酚含量测定:准确吸取天麻总酚提取液0.1 mL,按标准曲线制作加入各试剂,并定容至10 mL,20℃避光静置2 h,在波长765 nm处测量其吸光度,根据

式(1)计算天麻总酚含量。

$$A = \frac{C \times V \times n}{W}, \quad (1)$$

式中:

A ——总酚含量, mg/g;

C ——总酚浓度, mg/mL;

V ——提取液体积, mL;

n ——稀释倍数, 本试验为 5;

W ——原料重量, g。

1.2.5 抗氧化能力测定

(1) DPPH 自由基清除能力的测定:参考孟江飞^[7]的方法,修改如下:取 9 种天麻总酚提取液的样品各 1 mL 与 2 mL 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲液 (pH=6.0), 以及 2 mL 200 μ mol/L 的 DPPH 乙醇溶液混合均匀, 漩涡震荡后, 室温下避光静置 30 min, 2 000 r/min 离心 15 min 后, 取上清液在 517 nm 处测定吸光值。重复 3 次。DPPH 自由基清除能力按式(2)计算:

$$P = \left(1 - \frac{A_s - A_0}{A}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

P ——DPPH 自由基清除能力, %;

A_s ——样品吸光值测定值;

A_0 ——以 95% 乙醇代替 DPPH 溶液时的吸光值;

A ——以蒸馏水代替样品时的空白测定值。

(2) 总抗氧化能力的测定:采用总抗氧化试剂盒法进行。在 37 $^{\circ}$ C 时, 每分钟每毫升血清(浆)使反应体系的吸光度(OD)值每增加 0.01 时, 为一个总抗氧化能力单位。总抗氧化能力按式(3)计算:

$$Q = \frac{(A_s - A) \times N \times n}{0.01 \times 30}, \quad (3)$$

式中:

Q ——总抗氧化能力, U/mL;

A_s ——测定管吸光度值;

A ——对照管吸光度值;

N ——反应体系稀释倍数(反应液总体积/取样量);

n ——样品测试前稀释倍数, 本试验为 1。

(3) 抗超氧阴离子自由基能力的测定:采用抗超氧阴离子试剂盒法测定。在反应系统中, 每升血清(浆)在 37 $^{\circ}$ C 反应 40 min 所抑制的超氧阴离子自由基相当于 1 mg 的 Vc 所抑制的超氧阴离子自由基的变化值为一个活力单位。抗超氧阴离子能力按式(4)计算:

$$H = \frac{(A - A_s) \times C \times 1\,000 \times n}{A - A_0}, \quad (4)$$

式中:

H ——抗超氧阴离子自由基能力, U/L;

A ——对照管吸光度值;

A_s ——测定管吸光度值;

A_0 ——标准管吸光度值;

C ——标准品浓度, 0.15 mg/mL;

n ——样品测试前稀释倍数, 本试验为 1。

(4) 过氧化氢含量的测定:按照南京建成生物公司过氧化氢试剂盒(AO24)说明操作。样品中过氧化氢含量按式(5)计算:

$$W = \frac{(A_s - A) \times C \times n}{A_0 - A}, \quad (5)$$

式中:

W ——过氧化氢含量, mmol/L;

A_s ——测定管吸光度值;

A ——空白管吸光度值;

A_0 ——标准管吸光度值;

C ——标准品浓度, 163 mmol/L;

n ——样品测定前稀释倍数, 本试验为 3。

(5) 羟自由基清除能力的测定:采用羟自由基测试盒测定。每毫升血清(浆)在 37 $^{\circ}$ C 反应 1 min, 使反应体系中 H_2O_2 浓度降低 1 mmol/L 为一个抑制羟自由基能力单位。羟自由基清除能力按式(6)计算:

$$Y = \frac{(A - A_s) \times C \times V \times n}{A_u - A_0}, \quad (6)$$

式中:

Y ——抑制羟自由基能力, U/L;

A ——对照管吸光度值;

A_s ——测定管吸光度值;

A_u ——标准管吸光度值;

A_0 ——空白管吸光度值;

C ——标准品浓度, 8.824 mmol/L;

V ——取样量, mL;

n ——样品测定前稀释倍数, 本试验为 1。

2 结果与分析

2.1 没食子酸标准曲线

绘制没食子酸吸光度与浓度的标准曲线, 见图 1, 并拟合线性回归方程 $y=0.094\,3x-0.001\,4$, $R^2=0.999\,3$ 。

2.2 单因素试验结果与分析

2.2.1 提取温度对天麻总酚含量的影响 由图 2 可知, 在 30~70 $^{\circ}$ C 时, 天麻总酚含量随着温度的升高, 呈现出先增加后下降的趋势, 在 50 $^{\circ}$ C 时天麻总酚含量最高, 为 5.26 mg/g。随着温度升高, 天麻总酚含量反而下降。这可能是随着提取温度的提高, 天麻总酚的溶解度也随着增加, 天麻含量随之升高, 但温度过高会破坏天麻总酚含量, 使其降低。

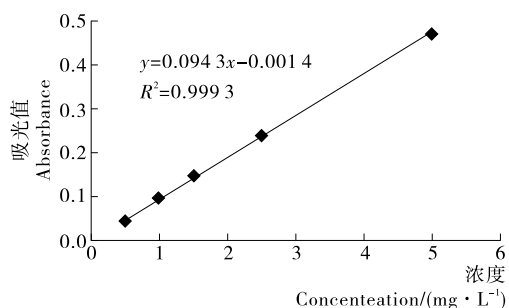


图 1 没食子酸标准曲线

Figure 1 Standard curve of gallic acid

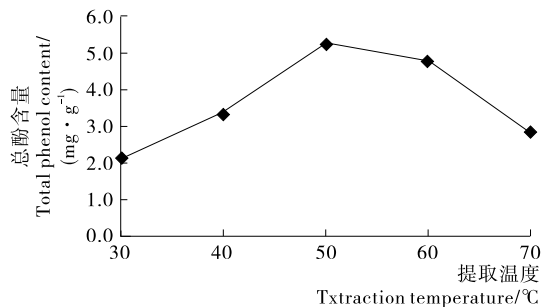


图2 提取温度对天麻总酚含量的影响

Figure 2 The influence of extraction temperature on the total phenol content of *gastrodia elata*

石恩惠等^[8]采用水浴提取法提取板栗总苞多酚,在乙醇浓度为60%、液料比为20:1(mL/g)、提取时间为120 min的条件下提取,发现在60~90℃时,板栗总苞多酚提取得率呈现先上升后下降趋势,到80℃时,提取得率达到最大,超过80℃时呈现降低的趋势,与本试验变化趋势一致。

2.2.2 提取时间对天麻总酚含量的影响 由图3可知,提取时间从20 min增加到35 min时,总酚含量逐渐增加,35 min达到最大,为4.27 mg/g,当提取时间超过35 min后,总酚含量不再增加,且略有下降,说明35 min时,天麻总酚已基本溶出完全,增加提取时间不能增大总酚含量,同时会造成部分总酚受到破坏^[9]。

朱素英^[9]利用响应曲面法优化天麻多酚的提取工艺,结果显示,在15~45 min时,天麻多酚提取量随时间的增加而增加,45 min时达到最大,为41.789 mg/g,超过45 min时,提取量反略有下降,与本试验变化趋势一致。

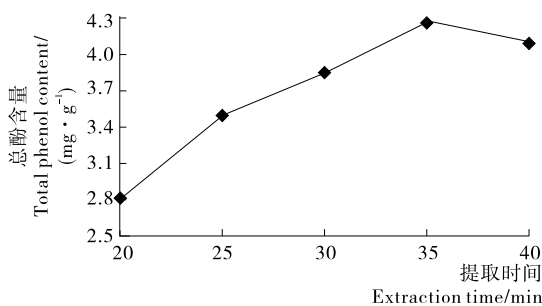


图3 提取时间对天麻多酚含量的影响

Figure 3 The influence of extraction time on the total phenol content of *gastrodia elata*

2.2.3 超声功率对天麻总酚含量的影响 由图4可知,随着超声功率的升高,天麻总酚含量呈现先增加后下降的趋势,在80 W时天麻总酚含量最高为4.17 mg/g。超过80 W时,天麻总酚含量反而下降。这可能是超声波在提取溶液中产生的空化效应和机械作用可以有效破碎植物细胞壁,使有效成分呈游离状态并溶入提取溶剂,因此,一定功率时可促进总酚的提取。当功率过高时,总酚会在超声的作用下分解,同时也会使更多的脂溶性物质溶入提取液中,影响总酚提取率^[10]。

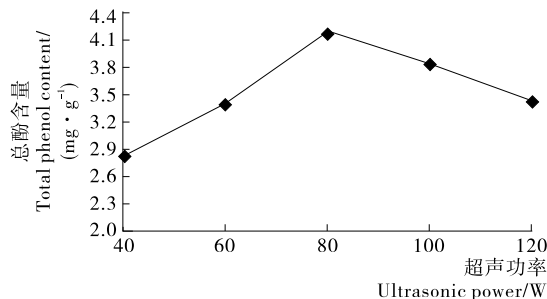


图4 超声功率对天麻总酚含量的影响

Figure 4 The influence of ultrasonic power on the total phenol content of *gastrodia elata*

罗磊等^[11]采用超声法提取金银花中类黄酮,在液料比55:1(mL/g)、55%乙醇、提取温度50℃、提取时间30 min的条件下提取,结果表明,随着超声功率的增大,金银花叶中黄酮类化合物提取率先升高后下降,在250 W时黄酮提取率最大,与本试验总体变化趋势一致。

2.2.4 料液比对天麻总酚含量的影响 由图5可知,料液比在1:5~1:10(g/mL)时,随着溶剂量的增加,天麻总酚含量也随之增大,当料液比为1:10(g/mL)时,总酚含量达到最高,为4.49 mg/g,说明此时总酚的溶出量已达饱和,而当料液比在1:10~1:25(g/mL)时,天麻总酚含量则逐渐降低。

郭树琴等^[12]采用超声提取绿茶茶多酚,在超声功率480 W、提取时间15 min的条件下提取,结果显示,随着液料比增大,多酚逐渐上升,当达到40:1(mL/g)后提取率开始缓慢下降,与本试验变化趋势一致。

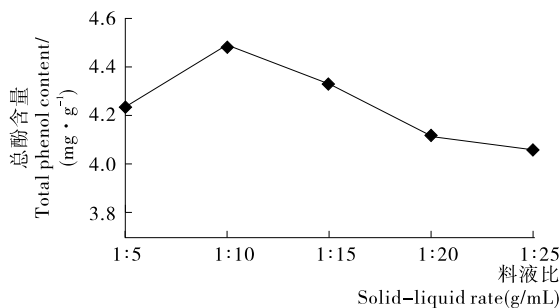


图5 料液比对天麻总酚含量的影响

Figure 5 The influence of the ratio of material to liquid on the total phenol content of *gastrodia elata*

2.3 天麻总酚提取工艺条件的优化

为了综合考虑各因素对天麻总酚含量的影响,根据单因素试验结果,选取提取温度、提取时间、料液比、超声功率4个考察因素,设计四因素三水平正交试验,试验因素水平见表1。

由表2可知,在超声提取天麻总酚的过程中,影响因素的主次顺序为:提取温度>料液比>提取功率>提取时间;最优提取工艺为:提取温度50℃、提取时间35 min、提取功率80 W,料液比1:10(g/mL)。由于正交试验分析得出的最优工艺条件组合,并不在实施的9个试验中。对正交试验最优水平组合进行验证实验,重复3次,天麻总酚含量为5.62 mg/g,证明该组合是超声提取天麻中的总酚最佳工艺组合。

表 1 正交试验因素水平

Table 1 Orthogonal experiment factor levels

编码	A 提取温度/℃	B 提取时间/min	C 料液比 (g/mL)	D 超声功率/W
1	40	30	1:5	60
2	50	35	1:10	80
3	60	40	1:15	100

表 2 超声法提取天麻总酚正交试验的结果分析

Table 2 The result analysis of orthogonal experiment of *gastrodia elata* total phenol extraction by ultrasonic method

序号	A	B	C	D	总酚含量/(mg·g ⁻¹)
1	1	1	1	1	2.650
2	1	2	2	2	4.530
3	1	3	3	3	2.960
4	2	1	2	3	4.340
5	2	2	3	1	4.190
6	2	3	1	2	4.850
7	3	1	3	2	3.770
8	3	2	1	3	3.680
9	3	3	2	1	4.040
k ₁	3.380	3.587	3.727	3.627	
k ₂	4.460	4.133	4.303	4.383	
k ₃	3.830	3.950	3.640	3.660	
R	1.080	0.546	0.663	0.756	

2.4 不同处理方法的总酚含量

由图 6 可知,热风干燥法的总酚含量高于其他两种方法;样品 2(即 55 °C 热风干燥法处理)的总酚含量最高(5.754 mg/g),样品 5(即直接冻干处理)总酚含量最低(1.529 mg/g)。

袁胜浩等^[13]在天麻中天麻素含量的影响因子研究中,将新鲜天麻与冻干天麻、蒸制天麻、烤制天麻中的天麻素比较,结果发现,蒸制后的天麻素含量最高;葛进等^[14]在蒸制

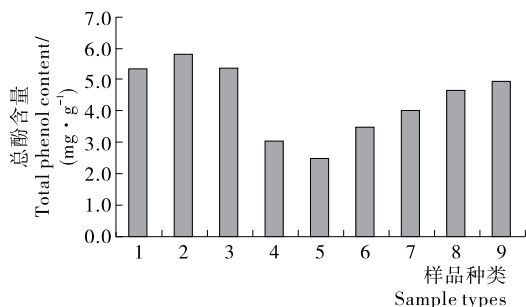


图 6 不同处理方法的总酚含量测定结果

Figure 6 Measurement result of total phenol content by different treatment

断生后真空冷冻干燥对天麻质量的影响研究中,发现与鲜天麻直接真空冷冻干燥相比,95 °C 蒸制后再真空冷冻干燥,其天麻素含量和复水率显著高于鲜天麻直接冷冻干燥,与本试验结果相同。

2.5 不同处理方法的总酚抗氧化能力

由表 3 可知,不同处理方法的总酚抗氧化能力差异显著。9 种样品中,样品 2 的总抗氧化能力、抗超氧阴离子自由基能力、抑制羟自由基能力、DPPH 自由基清除能力最强,分别达 5.763 U/mL、79.14 U/L、75.83 U/mL、88.73%;对于过氧化氢含量,样品 1 含量最高为 241.64 mmol/L;样品 5 总抗氧化能力与过氧化氢含量最低,分别为 0.217、49.09 mmol/L;样品 7 抗超氧阴离子自由基能力最低,为 4.6 U/L;样品 9 抑制羟自由基能力最低,为 7.06 U/mL;样品 8 DPPH 自由基清除能力最低,为 57.15%。

2.6 天麻总酚含量与抗氧化能力相关性分析

抗氧化活性物质的抗氧化能力与其成分之间紧密相关^[15],因此,对天麻总酚含量与其抗氧化特性进行相关性统计,结果(表 4)表明,总酚含量与总抗氧化能力、抑制羟自由基能力、过氧化氢含量、DPPH 自由基清除能力存在正相关,相关系数分别为 0.722,0.304,0.718,0.297;其中,总酚含量与总抗氧化能力、过氧化氢含量呈现极显著相关,与抗超氧阴离子自由基能力呈现负相关,相关系数分别为 0.722,0.718,-0.241。结合以上,说明天麻总酚含量与其抗氧化能力密切相关。

表 3 不同处理方法的总酚抗氧化活性能力测定结果

Table 3 Measurement result of antioxidant capacity of *gastrodia elata* total phenol by different treatment methods

样品	总抗氧化能力/(U·mL ⁻¹)	抗超氧阴离子自由基能力/(U·L ⁻¹)	过氧化氢含量/(mmol·L ⁻¹)	抑制羟自由基能力/(U·mL ⁻¹)	DPPH 自由基清除能力/%
样品 1	9.46±1.25 ^f	19.33±0.21 ^e	241.60±0.20 ⁱ	63.22±0.25 ^h	87.00±0.01 ^{cd}
样品 2	10.76±0.94 ^g	79.14±0.53 ⁱ	111.50±0.45 ^e	75.83±0.03 ⁱ	88.73±0.07 ^d
样品 3	6.78±0.29 ^d	12.88±0.71 ^d	177.30±0.28 ^h	26.93±0.41 ^e	69.30±0.09 ^{ab}
样品 4	5.26±0.00 ^{ab}	74.54±0.32 ^h	77.69±0.31 ^e	48.89±0.68 ^g	85.43±0.15 ^d
样品 5	5.22±0.01 ^a	43.25±0.00 ^g	49.09±0.03 ^a	30.18±0.74 ^f	64.47±0.12 ^{ab}
样品 6	5.56±0.23 ^{ab}	11.04±0.81 ^c	60.53±0.38 ^b	7.06±0.28 ^a	65.75±0.00 ⁱ
样品 7	5.61±0.29 ^c	42.33±1.00 ^f	96.70±0.51 ^d	8.02±0.09 ^b	57.15±0.01 ^b
样品 8	7.28±0.13 ^{bc}	4.60±0.51 ^a	142.50±0.09 ^g	14.32±0.20 ^c	79.93±0.01 ^c
样品 9	5.87±0.08 ^c	5.52±0.70 ^b	127.70±0.71 ^f	24.83±0.68 ^d	57.83±0.02 ^{ab}

† 同列不同字母表示在 P=0.05 水平上显著差异。

表4 总酚含量与抗氧化特性相关性分析

Table 4 Correlation analysis of total phenol content and antioxidant capacity

指标	总酚含量	总抗氧化能力	抑制羟自由基能力	抗超氧阴离子自由基能力	过氧化氢含量	DPPH 自由基清除能力
总酚含量	1.000					
总抗氧化能力	0.722**	1.000				
抑制羟自由基能力	0.304	0.744**	1.000			
抗超氧阴离子自由基能力	-0.241	0.201	0.608**	1.000		
过氧化氢含量	0.718**	0.611**	0.375	-0.373	1.000	
DPPH 自由基清除能力	0.297	0.608**	0.732**	0.492*	0.292	1.000

† **表示在 P=0.01 水平(双侧)上极显著相关; *表示在 P=0.05 水平(双侧)上显著相关。

3 结论

(1) 天麻总酚提取的最优工艺条件为:提取温度 50 ℃、提取时间 35 min、提取功率 80 W,料液比 1:10(g/mL),在此试验条件下,天麻总酚提取含量为 5.62 mg/g。

(2) 热风干燥法的总酚含量与抗氧化能力最大,其次是微波干燥,冷冻干燥的总酚含量与抗氧化能力最小。同时,天麻总酚含量与总抗氧化能力、过氧化氢含量相关性分析呈现极显著相关,说明天麻总酚具有一定的抗氧化能力。

(3) 本研究的不足之处在于对天麻多酚的抗氧化研究仅停留在体外化学测定,未深入到细胞水平和体内动物试验,下一步需更深入研究。

参考文献

- [1] 张宏杰,周建军,李新生. 天麻研究进展[J]. 氨基酸和生物资源, 2003, 25(1): 17-20.
- [2] 杨世林,兰进,徐锦堂. 天麻的研究进展[J]. 中草药, 2000, 31(1): 66-69.
- [3] 石碧,狄莹. 植物多酚[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 23.
- [4] 刘建康,黄伟,杨艺. 不同提取方法研究天麻中天麻素的含量[J]. 亚太传统医药, 2009, 10(5): 20-22.
- [5] KWON J, KIM N, LEE D H, et al. Metabolomics approach for the discrimination of raw and steamed *Gastrodia elata* using liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrom-

etry[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2014, 94 (6): 132-138.

- [6] 廖全斌,刘小琴,刘金鹏,等. 天麻提取物的抗氧化活性与其天麻素含量相关性研究[J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2006, 28(1): 80-82.
- [7] 孟江飞. 山西乡宁地区葡萄采收时间对葡萄及葡萄酒酚类物质与抗氧化活性影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011: 52-53.
- [8] 石恩慧,郭凯军,李红,等. 板栗总苞多酚提取工艺优化及其抗氧化性研究[J]. 动物营养学报, 2013, 25(2): 406-414.
- [9] 朱素英. 基于响应曲面法优化天麻多酚的提取工艺[J]. 食品工业科技, 2015, 36(1): 268-271.
- [10] 李宁. 超声辅助提取青茶叶多酚工艺及抗氧化活性研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2014: 19-21.
- [11] 罗磊,张冰洁,朱文学,等. 响应面试验优化超声辅助提取金银花叶黄酮工艺及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 13-19.
- [12] 郭树琴,吴胜举,李岱. 响应面法优化超声提取绿茶茶多酚工艺[J]. 生物加工过程, 2009, 7(1): 39-43.
- [13] 袁胜浩,王东,张香兰,等. 天麻中天麻素含量的影响因子研究[J]. 云南植物研究, 2008, 30(1): 110-114.
- [14] 葛进,刘大会,鲁慧珍,等. 蒸制断生后真空冷冻干燥对天麻质量的影响[J]. 中国医院药学杂志, 2016, 36(3): 180-186.
- [15] 周佳,阮征,江波,等. 蔬菜抗氧化能力及与酚酸和总黄酮相关性研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 139-143.

(上接第 119 页)

- [7] 王伟明,董大明,郑文刚,等. 梨果糖浓度近红外漫反射光谱检测的预处理方法研究[J]. 光谱学光谱分析, 2013, 33(2): 359-362
- [8] 徐惠荣,陈晓伟,应义斌. 基于多元校正法的香梨糖度可见/近红外光谱检测[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12): 1 000-1 298.
- [9] 许文丽,孙通,胡田,等. 基于变量优选和快速独立成分分析的黄花梨可溶性固形物可见/近红外光谱检测[J]. 光谱学光谱分析, 2014, 34(12): 3 253-3 256.
- [10] 许禄,邵学广. 化学计量学方法[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2004: 10-38.
- [11] 刘雪梅,章海亮. 基于 DPLS 和 LS-SVM 的梨品种近红外光谱识别[J]. 农业机械学报, 2012, 43(9): 1 000-1 298.
- [12] 褚小立. 化学计量学方法与分子光谱分析技术[M]. 北京: 化学

工业出版社, 2011: 41-53.

- [13] 尼珍,胡昌勤,冯芳. 近红外光谱分析中光谱预处理方法的作用及其发展[J]. 药物分析杂志, 2008, 28(5): 824-829
- [14] 张欣,单杨,李水芳. 基于多元散射校正和偏最小二乘(MSC/PLS)的傅里叶变换近红外光谱检测蜂蜜中还原糖[J]. 食品与机械, 2009, 25(6): 109-112.
- [15] 陆辉山,陈鹏强,闫宏伟,等. 基于近红外光谱漫透射技术的苹果可溶性固形物含量在线检测[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 40-42.
- [16] 王加华,韩东海. 便携式近红外水果糖度分析模型简化研究[J]. 食品安全质量检测技术, 2009, 1(1): 32-38.
- [17] 严衍禄. 近红外光谱分析基础与应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 8-39.