

曹清华, 杜莹, 韦万丽, 等. 白术不同极性溶剂萃取物的抗氧化活性[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 228–231.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.063

白术不同极性溶剂萃取物的抗氧化活性

曹清华¹, 杜莹¹, 韦万丽¹, 周清娣², 廖莉玲¹

(1. 贵州师范大学化学与材料科学学院, 贵州贵阳 550001; 2. 悉尼大学化学学院, 澳大利亚悉尼 2006)

摘要:为了深入研究白术的抗氧化活性成分, 将白术的 87% 甲醇提取物依次用石油醚、三氯甲烷、乙酸乙酯、正丁醇进行萃取, 得到不同溶剂萃取物, 以清除 2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐 (ABTS) 自由基和 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 自由基的能力及总还原能力为评价指标, 研究各萃取物的抗氧化活性, 并探讨抗氧化活性与总多酚、总黄酮及总多糖含量之间关系。结果表明: 白术不同极性的萃取物均有抗氧化活性, 其中乙酸乙酯相的抗氧化活性最好, 清除 ABTS 自由基、DPPH 自由基的 IC_{50} 分别为 (0.021 ± 0.003) 、 (0.031 ± 0.005) mg/mL, 乙酸乙酯相中总多酚和总黄酮含量最高, 分别是 $(37.54 \pm 0.51)\%$ 、 $(30.53 \pm 0.92)\%$ 。清除 ABTS 自由基、DPPH 自由基、总还原能力与总多酚含量呈现相关关系 (r 分别为 -0.901 、 -0.870 、 1.000), 清除 ABTS 自由基、DPPH 自由基、总还原能力与总黄酮含量呈现显著相关关系 (r 分别为 -0.912 、 -0.976 、 0.913), 白术各萃取物中黄酮类和多酚类可能是主要的抗氧化物质。

关键词: 白术; 总黄酮; 总多酚; 总多糖; 抗氧化活性; 萃取物

中图分类号: S567.23⁺3.01; R284.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0228-03

从中草药中提取抗氧化活性成分的研究已被国内外学者青睐, 开发天然抗氧化剂已经成为研究的热点^[1-2]。白术为菊科植物, 其有效活性成分主要有白术内酯类、多糖和挥发油等^[3]。目前, 已有对白术黄酮、多糖抗氧化活性的研究^[4-5], 但是鲜有对白术提取物化学成分含量和抗氧化活性的相关性报道。为了深入研究白术抗氧化活性成分, 本研究采用清除 2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐 (ABTS) 自由基、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (DPPH) 自由基与测定总还原能力的方法, 系统地评价白术粗提物不同极性溶剂萃取物的抗氧化活性, 并探讨各萃取物的抗氧化能力及其与总多酚、总黄酮、总多糖含量之间的相关性, 以期对白术抗氧化活性物质的进一步研究及白术的开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

白术, 由贵州同济药业有限公司提供; 芸香苷标准品, 分析纯, 购自贵州迪大科技有限责任公司; 二苯基苦味酰基苯肼, 分析纯, 购自东京化成株式会社; 没食子酸标准品, 分析纯, 购自天津市科密欧化学试剂开发中心; ABTS, 分析纯, 购自上海源叶生物有限公司; 其余试剂均为分析纯。

分光光度计 (LS5 型, 上海仪电分析仪器有限公司); 旋转蒸发仪 (RE-52 型, 上海亚荣生化仪器厂); 电子天平 (A200S 型, 德国)。

收稿日期: 2017-08-10

作者简介: 曹清华 (1992—), 男, 贵州遵义人, 硕士研究生, 研究方向为天然产物。E-mail: 1131325833@qq.com。

通信作者: 廖莉玲, 硕士, 教授, 从事天然产物化学方面的研究。E-mail: 116383@163.com。

1.2 试验方法

1.2.1 样品的制备 将白术粉碎后过 40 目筛, 称取 3 000 g 白术粉末, 用 87% 甲醇按料液比 1 g : 30 mL 混匀, 于 62 ℃ 水浴提取 2 次, 每次 1.5 h, 合并 2 次提取液, 抽滤, 于 55 ℃ 真空减压浓缩至粉末状, 得到粗品。取一定量粗品, 用蒸馏水溶解, 依次用石油醚、三氯甲烷、乙酸乙酯、正丁醇进行萃取, 萃取 3 次, 旋干各相溶液, 分别得到石油醚相、三氯甲烷相、乙酸乙酯相、正丁醇相、水相样品, 按照式 (1) 计算得率:

$$C = m_1 / m_2 \times 100\% \quad (1)$$

式中: C 为得率, %; m_1 为旋干后各部分的样品质量, g; m_2 为起始加入的白术样品质量, g。

1.2.2 总多酚含量的测定 参照文献 [6], 以没食子酸为标准品, 精确配制浓度为 0.05 mg/mL 的标准溶液, 分别取 1、2、3、4、5 mL 标准溶液, 依次加入 2 mL FC 试剂 (即 Folin-Ciocalteu 试剂)、7.5 mL 15% 碳酸钠溶液, 定容到 25 mL 容量瓶中, 反应时间为 50 min, 反应温度为 35 ℃, 在最大吸收波长 770 nm 下测定标准系列的吸光度。在同样条件下测定不同样品的吸光度, 平行测定 3 次, 代入回归方程, 计算白术各溶剂萃取物样品的总多酚含量。

1.2.3 总黄酮含量的测定 总黄酮含量的测定采用 $NaNO_2 - Al(NO_3)_3$ 比色法^[7], 以芸香苷为标准品, 精确配制浓度为 0.2 mg/mL 的标准品溶液, 等梯度取不同体积的溶液于 25 mL 容量瓶中, 加入 1 mL 5% 亚硝酸钠, 反应 6 min 后加入 1 mL 10% 硝酸铝溶液, 静置 6 min 后再加入 4.3% 氢氧化钠溶液, 定容, 摇匀后静置 20 min, 在 515 nm 处测定标准系列的吸光度。在同样条件下测定不同溶剂萃取物样品的吸光度, 平行测定 3 次, 代入相应的回归方程, 计算白术各溶剂萃取物样品的总黄酮含量。

1.2.4 总多糖含量测定 采用硫酸苯酚法^[8], 以葡萄糖为标准品, 精确配制浓度为 0.2 mg/mL 的标准溶液, 等梯度取

不同体积的标准溶液于 10 mL 具塞试管中,加入 1 mL 5% 苯酚溶液,再迅速加入 5 mL 浓硫酸,于沸水中反应 30 min,冷却后在 490 nm 处测定标准系列的吸光度,在此条件下测定不同溶剂萃取物样品的吸光度,平行测定 3 次,代入回归方程,计算白术各溶剂萃取物样品的总多糖含量。

1.2.5 抗氧化能力测定 (1)清除 DPPH 自由基能力的测定。测定方法参考文献[9],并作适当修改:取一定质量的样品,用 80% 甲醇溶解,配制成为不同浓度的样液,分别向 10 mL 容量瓶中加入 2 mL 不同浓度的样液,再加入 5 mL 0.1 mmol/L DPPH 溶液,最后用 80% 甲醇定容到 10 mL。摇匀后避光反应 30 min,在 517 nm 波长下测定吸光度。平行测定 3 次,以维生素 C 作为阳性对照,按式(2)计算清除率,并计算清除 DPPH 自由基的 IC₅₀。

$$R = [1 - (D_{517\text{ nm(a)}} - D_{517\text{ nm(a)}}) / D_{517\text{ nm(c)}}] \times 100\%$$
。 (2)
式中:R 为自由基清除率,% ;D_{517 nm(a)} 为待测液的吸光度;D_{517 nm(b)} 为不加自由基的吸光度;D_{517 nm(c)} 为不加样液的吸光度。

(2)清除 ABTS 自由基的测定。测定方法参考文献[10],并作适当修改:将样品配制成为浓度为 0.2 mg/mL 的样液,分别取 1、2、3、4、5 mL 到 10 mL 容量瓶中,加入 5 mL 0.2 mmol/L ABTS 溶液,用无水乙醇定容到 10 mL,室温下反应 15 min 后,在 733 nm 处测吸光度,平行测定 3 次,以维生素 C 作为阳性对照,清除率按式(2)计算,并求出清除 ABTS 自由基的 IC₅₀。

(3)总还原能力测定。测定方法参考文献[11],并作适当修改:取 1 mL 样液,加入 1 mL 磷酸缓冲盐溶液(即 PBS,浓度为 0.1 mol/L,pH 值=6.8)、1 mL 1% 六氰合铁酸钾溶液混匀,于 50 ℃ 水浴 30 min。冷却后加入 1 mL 10% 三氯乙酸溶液,混匀后在 6 000 r/min 下离心 10 min,取 2 mL 上清液,加 3 mL 蒸馏水和 1 mL 0.1% 氯化铁溶液,静置 10 min 后,在 700 nm 处测定其吸光度,平行测定 3 次(吸光度越大,说明样品的总还原能力越强)。

1.2.6 相关性分析 采用 Excel 2007 处理数据并作图,通过 SPSS 20.0 软件对清除 ABTS 自由基、DPPH 自由基、总还原能力与总多酚、总黄酮、总多糖含量进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 总黄酮、总多酚和总多糖含量的标准曲线

以吸光度对浓度作图,得出总多酚含量的回归方程为 $y = 115.4x + 0.0304, r^2 = 0.9996$,式中:y 为 D_{770 nm};x 为多酚含量(mg/mL)。总黄酮的回归方程为 $y = 11.363x + 0.0019, r^2 = 0.9999$,式中:y 为 D_{515 nm};x 为总黄酮含量(mg/mL)。总多糖含量的回归方程为 $y = 0.0128x + 0.0387, r^2 = 0.9996$,式中:y 为 D_{490 nm};x 为多糖浓度(mg/mL)。

2.2 白术不同极性溶剂萃取物的总黄酮、总多酚和总多糖含量

由表 1 可知,不同极性溶剂萃取的得率以水相最高,为(86.53 ± 1.66)%,说明白术粗提取物中水溶性物质比较多,其次是正丁醇相,得率为(6.25 ± 0.21)%,石油醚相的得率最低,为(1.14 ± 0.11)%,表明白术粗提取物中极性较小的物质比较少。各分段部位中乙酸乙酯相中的总多酚含量最

高,为(37.54 ± 0.51)%,其次是正丁醇相、三氯甲烷相,总多酚含量分别是(17.64 ± 0.56)%、(13.42 ± 0.88)%,表明白术的粗提取物中多酚类物质属于中等极性的较多。各分段部位中总黄酮含量以乙酸乙酯相中最高,为(30.53 ± 0.92)%,正丁醇相、三氯甲烷相中的总黄酮含量相差不大,分别为(18.83 ± 0.02)%、(18.14 ± 0.61)%,水相中总黄酮含量最低,为(4.22 ± 0.79)%,表明白术的粗提取物中的黄酮类物质属于中等极性的较多,在极性大的溶剂中黄酮类物质含量较低。在各分段部位中,水相中的总多糖含量最高,为(22.58 ± 0.34)%,石油醚相中总多糖含量最低,为(1.31 ± 0.13)%。

表 1 白术不同极性溶剂萃取物中的总黄酮、总多糖、总多酚含量及得率

萃取物部位	萃取相得率 (%)	总多酚含量 (%)	总黄酮含量 (%)	总多糖含量 (%)
石油醚相	1.14 ± 0.11	8.32 ± 0.14	14.52 ± 0.45	1.31 ± 0.13
三氯甲烷相	1.88 ± 0.13	13.42 ± 0.88	18.14 ± 0.61	3.52 ± 0.22
乙酸乙酯相	1.63 ± 0.09	37.54 ± 0.51	30.53 ± 0.92	6.65 ± 0.08
正丁醇相	6.25 ± 0.21	17.64 ± 0.56	18.83 ± 0.02	7.59 ± 0.10
水相	86.53 ± 1.66	6.72 ± 0.31	4.22 ± 0.79	22.58 ± 0.34

2.3 白术不同极性溶剂萃取物的抗氧化活性

2.3.1 清除 ABTS 自由基能力 由表 2、图 1 可以看出,白术粗提取物中不同极性溶剂萃取物清除 ABTS 自由基的效果最佳的是乙酸乙酯相,IC₅₀ 为(0.021 ± 0.003)mg/mL,浓度较小时,随着浓度提高,清除率迅速增加,当浓度达到 0.06 mg/mL 时,清除能力就趋于平缓,清除率超过 80%,比维生素 C 清除能力略低。此外,正丁醇相清除 ABTS 自由基能力也比较好,IC₅₀ 为(0.034 ± 0.005)mg/mL,当含量大于 0.08 mg/mL 时,清除能力变化不大。三氯甲烷相、石油醚相和水相清除 ABTS 自由基的能力均随着浓度的增加而增加,IC₅₀ 分别为(0.048 ± 0.012)、(0.061 ± 0.004)、(0.068 ± 0.006)mg/mL,在相同浓度下,乙酸乙酯相、正丁醇相、三氯甲烷相、石油醚相、水相的清除能力依次减弱。

表 2 白术不同极性溶剂萃取物的 IC₅₀ 值

萃取物部位	清除 ABTS IC ₅₀ 值 (mg/mL)	清除 DPPH IC ₅₀ 值 (mg/mL)
石油醚相	0.061 ± 0.004	0.053 ± 0.008
三氯甲烷相	0.048 ± 0.012	0.042 ± 0.001
乙酸乙酯相	0.021 ± 0.003	0.031 ± 0.005
正丁醇相	0.034 ± 0.005	0.040 ± 0.002
水相	0.068 ± 0.006	0.058 ± 0.011

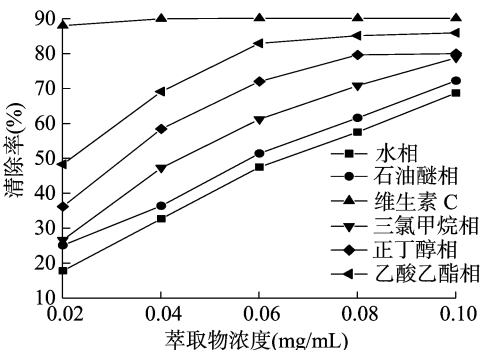


图 1 白术不同极性溶剂萃取物对 ABTS 自由基的清除作用

2.3.2 清除 DPPH 自由基能力 由表 2、图 2 可以看出,白术不同极性溶剂萃取物清除 DPPH 能力最强的是乙酸乙酯相,IC₅₀ 为(0.031 ± 0.005) mg/mL,当浓度达到 0.08 mg/mL 时,清除 DPPH 自由基的能力与维生素 C 的清除能力大致相同。在低浓度下,正丁醇相、三氯甲烷相清除 DPPH 的能力相差不大,IC₅₀ 也比较接近,分别为(0.040 ± 0.002)、(0.042 ± 0.001) mg/mL;在高浓度下,正丁醇相的清除效果明显高于三氯甲烷相。石油醚相、水相清除 DPPH 自由基的能力相对较弱,随着浓度的增大,其清除效果增强。三氯甲烷相、水相、石油醚相清除 DPPH 自由基的差异较小,出现这种结果的原因可能是同一种多酚类物质对不同自由基的清除能力有差异,这与李伟等的报道^[12-13]一致。

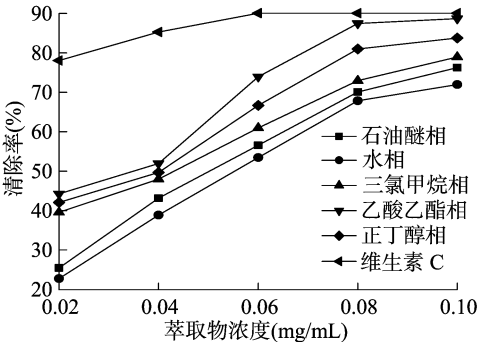


图2 白术不同极性溶剂萃取物对 DPPH 自由基的清除作用

2.3.3 总还原能力 由图 3 可知,白术不同溶剂萃取物总还原能力最好的是乙酸乙酯相,比其他相要好很多,当浓度达到 0.10 mg/mL 时,与维生素 C 的总还原能力接近。当浓度为 0.02 mg/mL 时,三氯甲烷相、水相、正丁醇相、石油醚相的总还原能力基本一致,随着浓度增加,正丁醇相、三氯甲烷相的总还原能力的增加幅度明显大于石油醚相、水相,总还原能力排序依次是维生素 C > 乙酸乙酯相 > 正丁醇相 > 三氯甲烷相 > 石油醚相 > 水相。

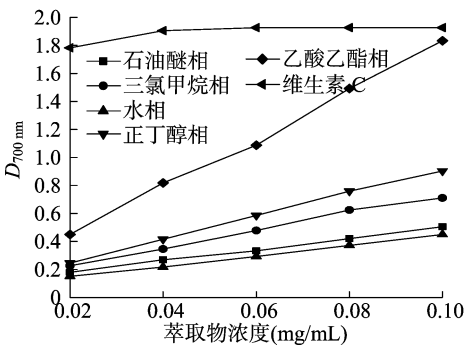


图3 白术不同极性溶剂萃取物的总还原能力

2.4 总多酚、总黄酮、总多糖含量与抗氧化活性的相关性

由表 3 可知,清除 DPPH 自由基与清除 ABTS 自由基 IC₅₀、清除 DPPH 自由基 IC₅₀ 与总还原能力、清除 ABTS 自由基 IC₅₀ 与总还原能力测试方法之间的相关系数分别为 0.929、-0.871、-0.899,清除 ABTS 自由基 IC₅₀ 与清除 DPPH 自由基 IC₅₀、总还原能力呈显著相关($P < 0.05$)。总多酚含量与清除 ABTS 自由基 IC₅₀ 呈显著负相关($r = -0.901, P < 0.05$),即总多酚含量越高,IC₅₀ 越小,清除 ABTS 自由基能力较强,总多酚含量与清除 DPPH 自由基 IC₅₀ 呈中等相关($r = -0.870$),总多酚含量与总还原能力呈极显著正相关($r = 1.000, P < 0.01$),即总多酚含量越高,总还原能力越强。总黄酮含量与清除 ABTS 自由基的 IC₅₀ 呈显著负相关($r = -0.912, P < 0.05$),总黄酮含量与清除 DPPH 自由基的 IC₅₀ 呈极显著负相关($r = -0.976, P < 0.01$),总黄酮含量与总还原能力呈显著正相关($r = 0.913, P < 0.05$)。总多糖含量与清除 ABTS 自由基的 IC₅₀ 呈中等正相关($r = 0.836$),总多糖含量与清除 DPPH 自由基的 IC₅₀ 呈显著正相关($r = 0.913, P < 0.05$),即总多糖含量越高,IC₅₀ 越大,清除 ABTS 自由基、DPPH 自由基的能力越小,总多糖含量与总还原能力呈负相关($r = -0.676$)。

表 3 总多酚含量、总黄酮含量、总多糖含量、清除 ABTS IC₅₀、清除 DPPH IC₅₀、总还原能力间的相关性

相关因子	相关系数					
	总多酚含量	总黄酮含量	总多糖含量	清除 ABTS 自由基 IC ₅₀	清除 DPPH 自由基 IC ₅₀	总还原能力
总多酚含量	1.000	0.914 *	-0.679	-0.901 *	-0.870	1.000 **
总黄酮含量	0.914 *	1.000	-0.907 *	-0.912 *	-0.976 **	0.913 *
总多糖含量	-0.679	-0.907 *	1.000	0.836	0.913 *	-0.676
清除 ABTS 自由基 IC ₅₀ 值	-0.901 *	-0.912 *	0.836	1.000	0.929 *	-0.899 *
清除 DPPH 自由基 IC ₅₀ 值	-0.870	-0.976 **	0.913 *	0.929 *	1.000	-0.871
总还原能力	1.000 **	0.913 *	-0.676	-0.899 *	-0.871	1.000

注:“*”表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关;“**”表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

综上所述,白术不同极性溶剂萃取物中的总多酚、总黄酮含量排序为乙酸乙酯相 > 正丁醇相 > 三氯甲烷相 > 石油醚相 > 水相,说明白术多酚、黄酮主要为中等极性物质,各萃取物中总多糖含量排序为水相 > 正丁醇相 > 乙酸乙酯相 > 三氯甲烷相 > 石油醚相。各萃取物清除 ABTS 自由基、DPPH 自由基的能力及总还原能力的排序均为维生素 C > 乙酸乙酯相 > 正丁醇相 > 三氯甲烷相 > 石油醚相 > 水相,表明各极性部位的抗氧化能力排序为乙酸乙酯相 > 正丁醇 > 三氯甲烷 > 石油醚 > 水相,与样品中总黄酮、总多酚的含量排序相同,存在显著相关性,而总多糖含量越高,样品清除 ABTS、DPPH 自由

基的能力越弱,说明黄酮类、多酚类可能是白术的主要抗氧化物质,多糖不是白术的主要抗氧化物质。

3 结论

本研究应用清除 DPPH 自由基、ABTS 自由基法与总还原力法对白术不同极性溶剂萃取物的抗氧化能力进行了系统评价。结果表明,白术不同极性溶剂萃取物清除 ABTS 自由基、DPPH 自由基能力与总还原能力的排序相同。乙酸乙酯相清除 ABTS 自由基、DPPH 自由基的效果最好,IC₅₀ 分别为(0.021 ± 0.003)、(0.031 ± 0.005) mg/mL,总还原能力也最

白云, 罗玲英, 庄昕波, 等. 超高压预处理对乳化肠品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 231–234.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.064

超高压预处理对乳化肠品质的影响

白云¹, 罗玲英^{1,2}, 庄昕波¹, 韩敏义¹, 徐幸莲¹, 周光宏¹

(1. 南京农业大学肉类生产与加工质量安全控制协同创新中心, 江苏南京 210095; 2. 南京农业大学工学院, 江苏南京 210031)

摘要:以质构特性、蒸煮损失、色泽、显微结构、流变学特性为指标, 研究超高压作用(100、200、300 MPa, 9 min)对乳化肠品质特性的影响及其机制, 旨在为新型低温乳化肠的研发提供理论依据。结果表明, 随着压力(0.1~200 MPa)升高, 乳化肠的蒸煮损失显著降低($P < 0.05$), 硬度逐渐下降, 亮度增大, 红度减小, 同时乳化肠中的脂肪颗粒变小, 网络结构较为致密; 但当压力升至 300 MPa 时, 乳化肠硬度显著下降, 储能模量急剧降低, 内部形成了碎片化的松散结构, 不利于形成良好的品质。因此, 在一定压力范围内(≤ 200 MPa), 超高压处理可以改善乳化肠的品质。

关键词:超高压; 肉糜; 乳化肠; 品质; 机制

中图分类号: TS251.6⁺5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0231-04

乳化肠是由瘦肉、脂肪、水、盐和其他添加物通过斩拌、乳化等工艺加工而成的凝胶类制品, 具有营养美味、食用方便等特点, 因而受到消费者的喜爱^[1]。但由于乳化肠在煮制及贮藏时肌肉蛋白聚集收缩, 导致孔径中的水分及脂肪流失^[2], 造成了产品出水出油, 质构特性变差, 影响了其外观和商业

收稿日期: 2018-04-25

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31471601); 现代农业产业技术体系建设专项资金(编号: CARS-35)。

作者简介: 白云(1984—), 女, 陕西汉中, 人, 博士研究生, 实验师, 主要从事肉品加工与质量安全控制研究。E-mail: baiyun@njau.edu.cn。

通信作者: 周光宏, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事肉品加工与质量安全控制研究。E-mail: guanghong.zhou@hotmail.com。

强, 同时, 乙酸乙酯相中总多酚、总黄酮含量最高, 分别是(37.54±0.51)%、(30.53±0.92)%。其他萃取物的总黄酮、总多酚含量与抗氧化活性强弱排序一致, 总多酚、总黄酮含量与清除自由基能力呈负相关, 与总还原能力呈显著或极显著正相关, 而总多糖含量与清除自由基能力呈正相关, 提取物中黄酮类、多酚类可能是主要抗氧化物质, 可以通过进一步的分离提纯活性较好、多酚黄酮含量高的乙酸乙酯相、正丁醇相, 得到抗氧化活性物质。

本研究综合评价了白术提取物不同极性溶剂萃取物的抗氧化活性, 并探讨了抗氧化能力与总多酚、总黄酮和多糖含量之间的相关关系, 可以为白术抗氧化活性物质的分离研究提供科学依据。

参考文献:

- [1] 赵保路. 自由基、营养、天然抗氧化剂与衰老[J]. 生物物理学报, 2010, 26(1): 26–36.
- [2] 李驰荣, 黄惠, 龚盛昭, 等. 18 种中药的抗氧化活性及成分分析[J]. 中国化妆品, 2016(增刊 2): 69–71.
- [3] 谢明, 宗可欣, 富波, 等. 中药白术的研究综述[J]. 黑龙江医药, 2015(2): 299–301.

价值。

食品超高压加工技术(HPP)是一项近年来流行起来的非热加工技术, 不仅可以改善肉类嫩度, 有效灭菌延长货架期, 同时也不会影响肉类风味和营养成分^[3]。随着超高压设备的发展, 该技术受到了更多学者的重视, 用于肉类蛋白修饰, 以期获得食用品质较好的肉制品。超高压作用于单纯的肉类蛋白已有了很多研究, 如对猪肉蛋白质结构的影响^[4]、对鸡肉凝胶特性的影响^[5]等, 但从分子变化角度阐述超高压对乳化肠这一复杂对象的整体影响鲜有报道。本研究以猪背最长肌为原料制成乳化肠, 研究超高压对产品质构、肉色及保水保油性等食用品质的影响, 进一步通过探究乳化肠的微观结构以及流变特性, 分析超高压处理影响乳化肠品质特性的机制, 为利用超高压技术改善乳化肠品质提供理论和技术依据。

- [4] Wang J M, Zhang X, Kang W Y. Antioxidant activity of *Atractylodes lancea* and *Atractylodes lancea* Preparata[J]. Fine Chemicals, 2010, 27(7): 664–666.
- [5] 林晓, 张莱娣, 廖小媚, 等. 白术总黄酮提取及其抗氧化活性的研究[J]. 广州化工, 2015, 43(7): 72–74.
- [6] 崔紫姣, 张彩云, 刘彬彬, 等. Folin-Ciocalteu 比色法测定甜茶总多酚含量[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(3): 158–160.
- [7] 饶丽明, 朱岳鑫, 吴立蓉. 白术总黄酮提取工艺研究[J]. 中国处方药, 2016, 14(6): 36–38.
- [8] 宫江宁, 饶玉, 杨义菊, 等. 大孔树脂吸附纯化黔产龙胆草多糖工艺优化[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 178–181.
- [9] 鄯佩娟, 段旭昌, 王敏, 等. 长裂苦苣菜甲醇提取物各极性成分的抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 146–150.
- [10] 曹清明, 郭靖宇, 钟海雁, 等. 油茶叶中黄酮的超声辅助提取及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 162–166.
- [11] 欧阳凯, 何先元, 陈飞, 等. 四齿四棱草总皂苷提取工艺优化及抗氧化性研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 141–145.
- [12] 李伟, 张应团. 火棘多酚类物质的体外抗氧化作用[J]. 食品工业科技, 2008(9): 121–123.
- [13] 胡均亮, 陆方菊, 陈功, 等. 不同来源红曲米多酚类化合物和抗氧化活性的聚类分析[J]. 中国酿造, 2017, 36(3): 39–43.