

## 脂肪酶-蜗牛酶提取茶籽多糖及其抗氧化作用

周丽明, 张 勇

(上饶师范学院 生命科学学院, 江西 上饶 334001)

**摘要:**以油茶籽饼为原料,优化脂肪酶-蜗牛酶提取茶籽多糖的条件,探讨酶提茶籽多糖的抗氧化作用。通过单因素试验和正交试验分析酶解温度和 pH、酶解时间、酶添加量、脂肪酶和蜗牛酶质量比对茶籽多糖得率的影响;测定和比较酶提茶籽多糖与水提茶籽多糖对  $O_2^- \cdot$ 、DPPH  $\cdot$ 、 $\cdot OH$ 、ABTS $^+ \cdot$  4 种自由基的清除率;采用 Schaal 烘箱法研究酶提茶籽多糖对油脂的抗氧化作用。结果表明:脂肪酶-蜗牛酶提取茶籽多糖的最佳工艺条件为酶解温度 35  $^{\circ}C$ 、pH 7.0、酶解时间 2.5 h、酶添加量 2.0%、脂肪酶和蜗牛酶质量比 2:3,在此条件下茶籽多糖得率可达 5.83%;酶提茶籽多糖的抗氧化作用强于水提茶籽多糖。酶提茶籽多糖具有作为油脂抗氧化剂的潜质。

**关键词:**茶籽多糖;脂肪酶;蜗牛酶;抗氧化

中图分类号:TS229;O629.1

文献标识码:A

文章编号:1003-7969(2021)02-0114-06

## Extraction of *Camellia oleifera* seed polysaccharides by lipase - snailase and its antioxidant effect

ZHOU Liming, ZHANG Yong

(School of Life Science, Shangrao Normal University, Shangrao 334001, Jiangxi, China)

**Abstract:** The conditions of extracting *Camellia oleifera* seed polysaccharides (COSP) from *Camellia oleifera* seed cake by lipase - snailase were optimized and the antioxidant effect of COSP was investigated. The effects of enzymolysis temperature and pH, enzymolysis time, enzyme dosage, mass ratio of lipase to snailase on yield of COSP were analysed by single factor experiment and orthogonal experiment. The scavenging rates of COSP extracted by lipase - snailase and water on  $O_2^- \cdot$ , DPPH  $\cdot$ ,  $\cdot OH$  and ABTS $^+ \cdot$  were determined and compared. The antioxidant effects of COSP extracted by lipase - snailase on oils were investigated by Schaal oven method. The results showed that the optimal conditions of COSP extracted by lipase - snailase were obtained as follows: enzymolysis temperature 35  $^{\circ}C$ , pH 7.0, enzymolysis time 2.5 h, enzyme dosage 2.0% and mass ratio of lipase to snailase 2:3. Under these conditions, the yield of COSP was 5.83%. The antioxidant effect of COSP extracted by lipase - snailase was better than that of COSP extracted by water. COSP extracted by lipase - snailase had potential as antioxidant for oils.

**Key words:** *Camellia oleifera* seed polysaccharides (COSP); lipase; snailase; antioxidation

油茶(*Camellia oleifera*)是起源地和主产地均在中国的一种木本油料植物,其种子——油茶籽(*Camellia oleifera* seed)含油量高达 25%~35%<sup>[1]</sup>,榨油后剩余大量的油茶籽饼。油茶籽饼中含有脂肪

6%~8%<sup>[2]</sup>、茶皂素 10%~15%、蛋白质 10%~20%、糖类物质 30%~50%、咖啡碱 0.4% 以上<sup>[3]</sup>,其中的多糖——茶籽多糖具有降血糖<sup>[4-5]</sup>,清除亚硝酸盐、 $\cdot OH$  和  $O_2^- \cdot$ <sup>[6-8]</sup>、DPPH  $\cdot$ 、ABTS $^+ \cdot$ <sup>[9]</sup>,抗凝血和抗血栓<sup>[10]</sup>,提高肉鸡生长性能<sup>[11]</sup>,抗油脂氧化<sup>[12]</sup>,保护 DNA<sup>[13]</sup>,改善猪的生长性能<sup>[14]</sup>等功能。

目前,植源性多糖的提取方法主要有热水浸提法<sup>[5]</sup>、碱浸提法、酶解法、微波辅助提取法<sup>[6]</sup>、超声辅助提取法<sup>[15-16]</sup>等。碱浸提法因提取条件要求高,

收稿日期:2020-07-20;修回日期:2020-10-14

基金项目:江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ161055)

作者简介:周丽明(1980),女,讲师,硕士,研究方向为生物活性物质(E-mail)312140@sru.edu.cn。

且碱易破坏多糖活性,而应用较少<sup>[17]</sup>。酶解法因具有酶解条件温和、活性物质溶出快速等特点而受到关注<sup>[18-20]</sup>,其中使用纤维素酶和果胶酶提取多糖较多,蜗牛酶因含有果胶酶、纤维素酶、淀粉酶、蛋白酶等<sup>[21]</sup>多种酶类而被陈文娟等<sup>[22]</sup>用于提取白芽奇兰茶多糖。目前尚未见使用酶解法提取茶籽多糖及其抗氧化作用的报道。

茶籽多糖原料油茶籽或油茶籽饼中含油脂,因此为了更好地提取茶籽多糖,需预先采用乙醇<sup>[6]</sup>、石油醚<sup>[23]</sup>、乙醚<sup>[3]</sup>或正己烷<sup>[7]</sup>等有机溶剂对原料进行脱脂处理,这样就增加了操作时间和工序。油脂抗氧化剂是延缓油脂氧化以保证食用油品质的有效物质,高效、安全的天然油脂抗氧化剂成为油脂抗氧化剂的重要发展方向。天然多糖因可通过与金属离子络合和直接捕获产生的活性氧两种途径抑制脂质过氧化而作为油脂抗氧化剂被研究<sup>[24]</sup>。本研究将脂肪酶和蜗牛酶按一定比例混合后直接作用于油茶籽饼,将脱脂与提取多糖同步进行,减少了制备茶籽多糖的操作时间,通过单因素试验和正交试验优化提取工艺,并比较了酶提茶籽多糖与水提茶籽多糖的体外抗氧化活性以及茶籽多糖对油脂的抗氧化作用,为全面探索茶籽多糖的抗氧化功能以及在油脂抗氧化剂领域的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

油茶籽饼,江西华尔圣实业有限公司提供。金龙鱼食用植物调和油(生产日期:2019年12月16日),购于超市;蜗牛酶(最适温度30~37℃,最适pH 5.8~7.2),福建漳州金田生物科技有限公司;脂肪酶(有效温度30~50℃,最适温度35~45℃,有效pH 4.0~12.0,最适pH 8.0~9.0,酶活100 000 U/g),沧州夏盛酶生物技术有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

UV-2102. PC型紫外可见分光光度计,尤尼柯上海仪器有限公司;PHSJ-3F型pH计,上海仪电科学仪器股份有限公司;HH-6数显恒温水浴锅,江西省博力仪器设备有限公司;AL204型电子天平,梅特勒-托利多仪器上海有限公司;TGL-16C型离心机,上海安亭科学仪器厂;GZX-9076MBF型电热恒温鼓风干燥箱,上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 脂肪酶-蜗牛酶提取茶籽多糖及茶籽多糖得率测定

准确称取经干燥的油茶籽饼5 g于烧杯中,按

料液比1:9<sup>[3]</sup>加入蒸馏水,然后再加入一定量的脂肪酶-蜗牛酶,在一定水浴温度、pH条件下搅拌酶解一定时间(酶解过程中,在pH计的辅助下,滴加0.1 mol/L HCl或0.1 mol/L NaOH维持pH在设定pH的±0.2范围内),然后抽滤,滤液在100℃下被加热20 min以灭酶活,浓缩,再加入4倍体积无水乙醇,4℃静置12 h,4 500 r/min离心10 min,分别用丙酮和乙醚洗涤沉淀,沉淀溶于250 mL水,即为茶籽多糖溶液。

取1.2.1的茶籽多糖溶液5 mL,稀释10倍,然后按文献[3]操作(葡萄糖标准曲线的线性回归方程为 $y = 8.583x + 0.0362$ , $R = 0.9978$ ,线性范围为0~0.160 mg/mL)测定茶籽多糖稀释液中的多糖质量浓度,按式(1)计算茶籽多糖得率( $R$ )。

$$R = \frac{Cn \times 250}{m \times 1000} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $C$ 为茶籽多糖稀释液中的多糖质量浓度,mg/mL; $n$ 为稀释倍数; $m$ 为油茶籽饼质量,g。

#### 1.2.2 酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖体外抗氧化活性的测定

在最佳工艺条件下按1.2.1制备酶提茶籽多糖溶液,按文献[3]制备水提茶籽多糖溶液。将两种茶籽多糖溶液适度稀释或浓缩,制得多糖质量浓度分别为0.5、1.0、1.5、2.0 mg/mL的两种茶籽多糖溶液。分别按文献[25-27]操作,测定不同质量浓度的两种多糖溶液对 $O_2^- \cdot$ 、DPPH $\cdot$ 、ABTS $^+ \cdot$ 和 $\cdot OH$ 的清除效果。每组以同等质量浓度的 $V_C$ 溶液作阳性对照。

#### 1.2.3 酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖对油脂抗氧化作用的测定

将1.2.2制备的酶提茶籽多糖溶液和水提茶籽多糖溶液真空冷冻干燥即得酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖。以30%乙醇为溶剂,配制质量浓度分别为5、10 mg/mL的水提茶籽多糖溶液和酶提茶籽多糖溶液。

采用Schaal烘箱法<sup>[12]</sup>研究酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖对食用油脂的抗氧化作用。准确称取50.0 g食用调和油8份,分别置于250 mL锥形瓶中,其中2份分别加入1 mL 5 mg/mL的酶提茶籽多糖溶液和水提茶籽多糖溶液,使多糖添加量为0.01%;2份分别加入1 mL 10 mg/mL的酶提茶籽多糖溶液和水提茶籽多糖溶液,使多糖添加量为0.02%;1份不添加任何物质作为空白对照;1份添加1 mL 30%乙醇作为阴性对照;1份加入1 mL 10 mg/mL柠檬酸的30%乙醇溶液(添加量0.02%),1份加入1 mL 10 mg/mL特丁基对苯二酚(TBHQ)的

30%乙醇溶液(添加量0.02%)作为阳性对照。同时做一组平行。将全部样品混合均匀后置于(65±1)℃恒温干燥箱中强化贮存,定时振荡混匀并改变样品在干燥箱中的相对位置,每隔2d取样,按照GB/T 5009.37—2003测定过氧化值。

## 2 结果与分析

### 2.1 酶提茶籽多糖单因素试验

#### 2.1.1 酶解温度和pH对茶籽多糖得率的影响

因酶活与环境的温度和pH密切相关,所以本研究根据试验用酶的条件设置5种酶解温度与pH的组合方式:方式1(酶解温度35℃,pH 6.0)、方式2(酶解温度35℃,pH 7.0)、方式3(酶解温度40℃,pH 7.0)、方式4(酶解温度40℃,pH 8.0)、方式5(酶解温度45℃,pH 8.0)。在酶解时间2.0h、酶添加量2.0%、脂肪酶和蜗牛酶质量比1:1的条件下,研究酶解温度和pH对茶籽多糖得率的影响,结果见图1。

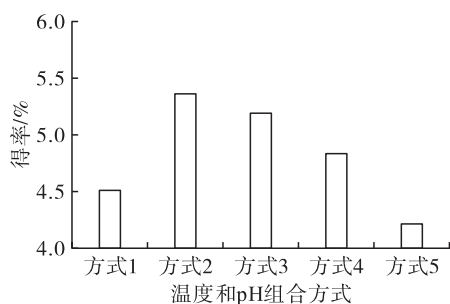


图1 酶解温度和pH对茶籽多糖得率的影响

由图1可知:采用组合方式2(酶解温度35℃,pH 7.0)时,茶籽多糖得率最高;采用组合方式5(酶解温度45℃,pH 8.0)时,茶籽多糖得率最低。这是因为35℃为脂肪酶和蜗牛酶的最适温度,脂肪酶的有效pH范围较宽(pH 4.0~12.0),pH为7.0虽不是脂肪酶最适pH,但依然具有较强的酶活,能有效降解油脂,使蜗牛酶能与原料充分接触,在最适pH条件下高效降解原料中的纤维素、果胶等成分,加速原料中多糖成分的溶出,多糖得率达到最大。在酶解温度45℃、pH 8.0条件下,虽有利于脂肪酶酶解,但偏离蜗牛酶最适温度和pH,使蜗牛酶活性大大降低,造成原料中多糖成分溶出较少,多糖得率最低。因此,确定酶解温度35℃、pH 7.0。

#### 2.1.2 酶解时间对茶籽多糖得率的影响

在酶解温度35℃、pH 7.0、酶添加量2.0%、脂肪酶和蜗牛酶质量比1:1的条件下,研究酶解时间对茶籽多糖得率的影响,结果见图2。

由图2可知,随着酶解时间的延长,茶籽多糖得率逐渐增加,在酶解时间2.5h时,茶籽多糖得率达

到最大,再延长酶解时间,茶籽多糖得率开始下降。蜗牛酶具有同时降解葡聚糖、甘露聚糖和几丁质的能力<sup>[28]</sup>。在酶解提取茶籽多糖过程中,蜗牛酶可能部分降解茶籽多糖,如果酶解时间较长,酶解后期多糖溶出较慢,造成蜗牛酶对多糖的降解速度大于多糖的溶出速度,致使多糖得率开始下降。因此,确定酶解时间为2.5h。

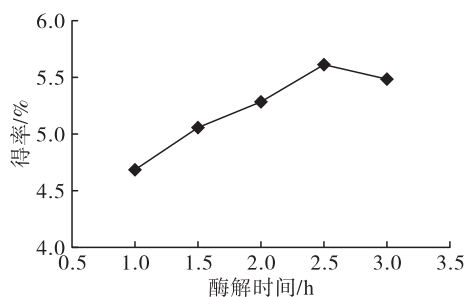


图2 酶解时间对茶籽多糖得率的影响

#### 2.1.3 酶添加量对茶籽多糖得率的影响

在酶解温度35℃、pH 7.0、酶解时间2.5h、脂肪酶和蜗牛酶质量比1:1的条件下,研究酶添加量对茶籽多糖得率的影响,结果见图3。

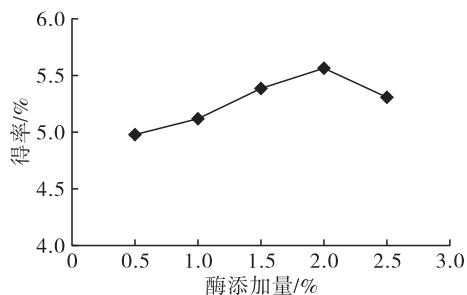


图3 酶添加量对茶籽多糖得率的影响

由图3可知:随着酶添加量的增加,酶对油脂、纤维素和果胶等降解更充分,多糖溶出的也更多,多糖得率呈增加趋势;在酶添加量为2.0%时,茶籽多糖得率达到最大;再进一步增加酶添加量,在2.5h的酶解时间里,多糖的溶出已基本完全,但被酶降解的多糖也更多,加大了多糖的损失,多糖得率有所降低。因此,确定酶添加量为2.0%。

#### 2.1.4 脂肪酶和蜗牛酶质量比对茶籽多糖得率的影响

在酶解温度35℃、pH 7.0、酶解时间2.5h、酶添加量2.0%的条件下,研究脂肪酶和蜗牛酶质量比对茶籽多糖得率的影响,结果见图4。

由图4可知:随着脂肪酶在混合酶中占比的逐渐增大,茶籽多糖得率也逐渐增大;当脂肪酶和蜗牛酶质量比为2:3时,茶籽多糖得率达到最大。这可能是因为脂肪酶首先降解油茶籽饼表面的油脂,脂肪酶用量的增加使得油脂被降解得更快,油茶籽饼

与蜗牛酶能充分接触,多糖也更易溶出。当继续增加脂肪酶用量时,虽然油脂被降解得更快了,但蜗牛酶量有所减少,造成油茶籽饼内的细胞壁降解变慢,多糖溶出也减缓,多糖得率缓慢下降。因此,确定脂肪酶和蜗牛酶质量比为2:3。

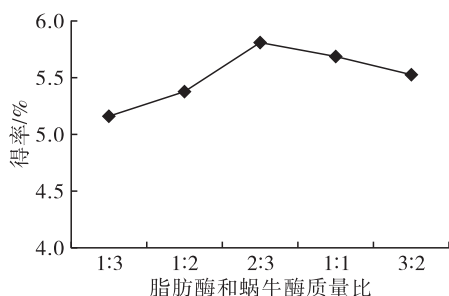


图4 脂肪酶和蜗牛酶质量比对茶籽多糖得率的影响

## 2.2 酶提茶籽多糖正交试验

以茶籽多糖得率为衡量指标,在单因素试验的基础上,以酶解温度和pH组合(A)、酶解时间(B)、酶添加量(C)、脂肪酶和蜗牛酶质量比(D)为因素,设计 $L_9(3^4)$ 正交试验。正交试验因素水平见表1,正交试验设计及结果分析见表2。

表1 正交试验因素水平

水平	A	B/h	C/%	D
1	35℃, pH 7.0	2.0	1.5	2:3
2	40℃, pH 7.0	2.5	2.0	1:1
3	40℃, pH 8.0	3.0	2.5	3:2

表2 正交试验设计及结果分析

试验号	A	B	C	D	得率/%
1	1	1	1	1	5.25
2	1	2	2	2	5.67
3	1	3	3	3	5.38
4	2	1	2	3	4.96
5	2	2	3	1	5.12
6	2	3	1	2	5.05
7	3	1	3	2	4.49
8	3	2	1	3	4.89
9	3	3	2	1	5.02
$k_1$	5.43	4.90	5.06	5.13	
$k_2$	5.04	5.23	5.22	5.07	
$k_3$	4.80	5.15	5.00	5.08	
R	0.63	0.33	0.22	0.06	

从表2可以看出,4个因素对茶籽多糖得率影响的主次顺序依次为酶解温度和pH > 酶解时间 > 酶添加量 > 脂肪酶和蜗牛酶质量比,脂肪酶-蜗牛酶提取茶籽多糖的最佳条件为 $A_1B_2C_2D_1$ ,即酶解温度35℃,pH 7.0,酶解时间2.5 h,酶添加量2.0%,脂肪酶和蜗牛酶质量比2:3。在最佳条件下进行3次验证试验,茶籽多糖得率分别为5.79%、5.82%、5.88%,平均值为5.83%。

采用脂肪酶-蜗牛酶提取茶籽多糖,将脱脂和提取同步进行,减少了操作步骤,缩短了操作时间。与热水回流提取茶籽多糖的工艺<sup>[3]</sup>相比,脂肪酶-蜗牛酶提取茶籽多糖的提取温度更低,减少了能耗;得率由2.56%大幅度提升到5.83%,提高了产量。与微波辅助提取茶籽多糖的工艺(茶籽多糖得率7.61%)<sup>[6]</sup>相比,脂肪酶-蜗牛酶提取茶籽多糖的得率略低,但相较于微波辅助提取茶籽多糖工艺1:60的料液比节省了大量的水资源,而且减少了后期浓缩时的能耗。

## 2.3 酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖体外抗氧化活性的比较

酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖对 $O_2^- \cdot$ 、DPPH $\cdot$ 、 $\cdot OH$ 、ABTS $^+ \cdot$ 的清除效果如图5~图8所示。由图5~图8可知,酶提茶籽多糖对 $O_2^- \cdot$ 、DPPH $\cdot$ 、 $\cdot OH$ 、ABTS $^+ \cdot$ 4种自由基的清除率均高于同等质量浓度的水提茶籽多糖,说明酶提法有利于获取高抗氧化活性的多糖。这可能是因为酶提法的温度较水提法低,避免了因高温造成多糖抗氧化活性的损失。另外,蜗牛酶是一种混合酶,酶提法在提取多糖的同时可能对大相对分子质量的多糖进行部分降解,造成多糖的相对分子质量降低,溶解性增加;蜗牛酶中含有的蛋白酶对多糖中的蛋白质进行了降解,提高了多糖的抗氧化活性。不同质量浓度的两种茶籽多糖溶液对 $O_2^- \cdot$ 、DPPH $\cdot$ 、 $\cdot OH$ 、ABTS $^+ \cdot$ 4种自由基的清除效果与多糖质量浓度呈正相关性,但清除效果要弱于 $V_c$ 。当茶籽多糖质量浓度为2.0 mg/mL时,对 $O_2^- \cdot$ 、DPPH $\cdot$ 、ABTS $^+ \cdot$ 3种自由基的清除率均达到80%以上,接近 $V_c$ 的抗氧化能力。

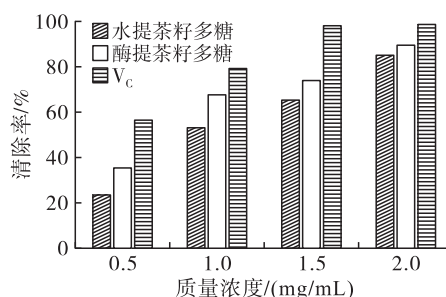


图5 酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖对 $O_2^- \cdot$ 的清除效果

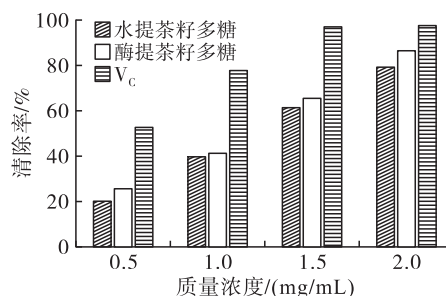


图6 酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖对DPPH $\cdot$ 的清除效果

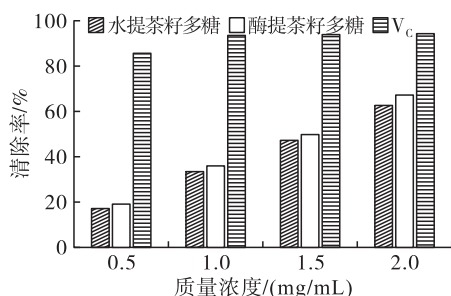


图7 酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖对·OH的清除效果

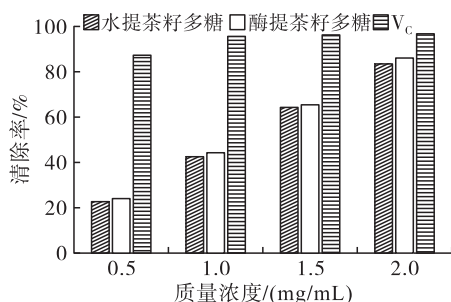


图8 酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖对ABTS·+的清除效果

#### 2.4 酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖对油脂的抗氧化作用(见图9)

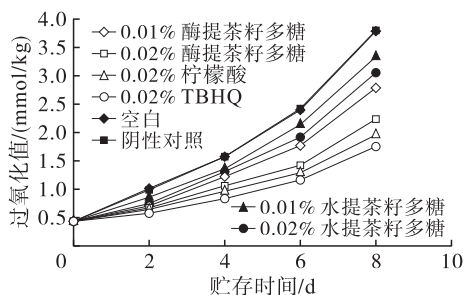


图9 酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖对油脂的抗氧化作用

从图9可以看出,酶提茶籽多糖和水提茶籽多糖均有延缓油脂氧化的作用,且对油脂的抗氧化效果与多糖的添加量呈正相关。酶提茶籽多糖对油脂的抗氧化效果明显强于水提茶籽多糖,这与两种多糖的体外抗氧化活性的比较试验结果一致,但对油脂的抗氧化效果要弱于传统的油脂抗氧化剂——柠檬酸和TBHQ。

### 3 结论

根据单因素试验和正交试验,本研究确定以茶籽多糖得率为衡量指标的脂肪酶-蜗牛酶提取茶籽多糖的最佳工艺条件为酶解温度35℃、pH 7.0、酶解时间2.5 h、酶添加量2.0%、脂肪酶和蜗牛酶质量比2:3,在此条件下茶籽多糖得率可达5.83%。酶提茶籽多糖较水提茶籽多糖具有更强的体外抗氧化活性以及对油脂的抗氧化效果。酶提茶籽多糖具有作为油脂抗氧化剂的潜质,但其抗氧化效果还有待于进一步加强。将酶提茶籽多糖进行分离纯化,并测定

各组分的相对分子质量,揭示茶籽多糖相对分子质量与其抗氧化活性之间的关系,是今后研究的方向。

#### 参考文献:

- [1] 肖志红,陈永忠.油茶加工利用研究综述[J].林业科技开发,2005,19(2):10-13.
- [2] 谭搏.茶籽饼中茶皂素的提取纯化与茶籽多糖的提取[D].长沙:中南林业科技大学,2009.
- [3] 王艾平,周丽明,张勇,等.水溶性茶籽多糖提取条件研究[J].上饶师范学院学报,2012,32(6):70-73.
- [4] 张宽朝,马皖燕,文汉.油茶籽多糖降血糖作用的初步研究[J].食品工业科技,2014,35(2):337-339,345.
- [5] JIN R S, GUO Y H, XU B Y, et al. Physicochemical properties of polysaccharides separated from *Camellia oleifera* Abel seed cake and its hypoglycemic activity on streptozotocin-induced diabetic mice [J]. Int J Biol Macromol, 2019,125:1075-1083.
- [6] 张智敏,夏伯候,周万猛,等.微波辅助提取茶籽多糖的工艺优化及其体外抗氧化活性评价[J].中国油脂,2017,42(4):131-135.
- [7] XU Z, LI X, FENG S L, et al. Characteristics and bioactivities of different molecular weight polysaccharides from camellia seed cake[J]. Int J Biol Macromol, 2016, 91:1025-1032.
- [8] 胡平平,李加兴,李忠海,等.油茶饼粕茶皂素与多糖综合提取工艺[J].食品科技,2012,37(2):196-200,204.
- [9] 王贺,方学智,杜孟浩,等.茶粕多糖纯化及其理化特性、抗氧化和抑菌活性[J].食品工业科技,2019,40(3):48-53.
- [10] 王淑如,王丁刚.茶叶多糖的抗凝血及抗血栓作用[J].中草药,1992,23(5):254-256.
- [11] 袁钟宇,张石蕊,贺喜,等.茶籽多糖及茶皂素对肉鸡生长性能和肠道微生物的影响[J].中国畜牧杂志,2010,46(7):28-31.
- [12] 张勇,周丽明,黄章平.比清除率衡量Sevage法脱茶籽多糖蛋白的效果[J].南方农业学报,2016,47(1):107-111.
- [13] 陈桂冰,孙培冬,宁奇,等.茶籽多糖抗氧化性及其对DNA氧化损失的保护作用[J].天然产物研究与开发,2016,28(6):949-954.
- [14] 李学军,朱良.茶籽多糖对生长猪生长性能及抗氧化能力的影响[J].广东饲料,2010,19(7):17-18.
- [15] 原姣姣,陈锦璇,张帆,等.响应面优化超声-酶辅助强化油橄榄叶多糖的提取[J].中国油脂,2019,44(4):128-132.
- [16] 张宽朝,文汉,陶俊,等.油茶籽多糖I的分离纯化、单糖组分及降脂作用[J].食品与生物技术学报,2018,37(3):329-335.

(下转第123页)

质量浓度的  $V_c$  (91.17%)。PW-25 和  $V_c$  对羟自由基清除作用的  $IC_{50}$  分别为 65.77、46.46  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

### 3 结论

牡丹叶多糖最佳纯化工艺为 ZTC1 + 1 - II 型天然澄清剂法脱蛋白和过氧化氢脱色法联用,在此联用方法下牡丹叶粗多糖蛋白脱除率为 89.66%、色素脱除率为 79.35%,多糖保留率为 61.41%。采用不同体积分数的乙醇从精制牡丹叶多糖中依次沉淀得到 4 个多糖组分,红外光谱实验结果表明 4 个多糖组分均具有多糖典型的吸收峰,且特殊吸收峰表明存在  $\beta$ -D-吡喃糖环;DPPH 自由基和羟自由基清除能力实验表明 PW-25 段多糖组分对自由基的清除能力最强,但略差于  $V_c$ 。综上所述,牡丹叶多糖 PW-25 可作为天然抗氧化剂的良好来源。

### 参考文献:

[1] 程安玮,孙金月,王维婷,等.牡丹籽油的研究进展[J].食品科学技术学报,2016(3):79-84.  
 [2] 毛善巧,李西俊.牡丹籽油的研究进展及油用牡丹综合利用价值分析[J].中国油脂,2017,42(5):123-126.  
 [3] 万培余,董国跃,候志铭,等.陕西省油用牡丹产业发展机遇挑战及对策[J].陕西林业科技,2015(5):54-57.  
 [4] 杜扶阳,韩宇.陕西省油用牡丹产业发展探析[J].现代农业科技,2015(5):54-57.  
 [5] 陈程,张存劳,罗国平,等.超声波辅助纤维素酶提取牡丹籽饼中多糖及其清除自由基活性研究[J].中国油脂,2018,43(4):119-124.

[6] 陈程,梁宇柱,张存劳,等.基于 PB 设计和 BBD 响应面法优化牡丹籽饼中油脂的超声辅助提取工艺[J].中国油脂,2018,43(2):14-18.  
 [7] 陈程,王海坤,张存劳,等.响应面法优化超声辅助提取牡丹籽粕中多酚工艺[J].中国油脂,2017,42(3):127-130.  
 [8] 陈程,罗国平,张存劳,等.HPLC 法测定牡丹籽油中 2 种有机酸类成分的含量[J].中国食品添加剂,2018(2):177-181.  
 [9] 陈程,曹斌,张存劳,等.HPLC 法测定牡丹籽饼、牡丹叶、牡丹籽外壳中芍药苷的含量[J].应用化工,2018,47(6):1312-1313.  
 [10] 喻俊,张利,李亚波,等.干燥方式对牛蒡多糖理化性质及抗氧化活性的影响[J].食品与机械,2016,32(6):160-163.  
 [11] 朱海霞,张小芳,高洋,等.萝卜籽粕中黄酮的提取及纯化工艺研究[J].食品与机械,2018,32(1):159-162.  
 [12] 商龙臣,吴少魏,张弛,等.南瓜晒多糖的制备表征及活性分析[J].食品科学,2016,37(19):48-53.  
 [13] 陈程,罗国平,闫梦茹,等.基于体外抗糖尿病活性优选葛根素-黄连素最佳配比[J].现代中药研究与实践,2018,32(3):35-38.  
 [14] 孔宇,张倚菲,韩鹏云,等.沙棘籽粕多酚提取工艺优化、组分分析及抗氧化性能研究[J].中国油脂,2020,45(4):109-114.

(上接第 118 页)

[17] 艾于杰.抗氧化活性茶多糖构效关系研究[D].武汉:华中农业大学,2019.  
 [18] IBUKUNOLUWA F O, SOO R K, DONGYUP H, et al. Influences of combined enzyme-ultrasonic extraction on the physicochemical characteristics and properties of okra polysaccharides [J/OL]. Food Hydrocoll, 2020, 100: 105396[2020-07-20]. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105396>.  
 [19] 周思杰,张智红,段久芳,等.雪松松针多糖超声波酶法提取及其抗氧化性[J].天然产物研究与开发,2019,31(2):284-291.  
 [20] 于侃超,杨晓杰,王瑶,等.不同提取方法对桔梗多糖体外抗氧化性的影响[J].天然产物研究与开发,2016,28(2):251-256.  
 [21] 张涛,吴昌英,张永模,等.蜗牛酶降解壳聚糖制备壳寡糖的研究[J].华西药学杂志,2010,25(3):313-315.  
 [22] 陈文娟,陈建福,卢惠婷,等.蜗牛酶辅助提取白芽奇兰

茶多糖及其抗氧化活性[J].安徽农业大学学报,2018,45(6):996-1003.  
 [23] 陈桂冰,孙培冬,季晓彤,等.茶籽多糖的提取及脱蛋白工艺研究[J].中国油脂,2016,41(8):74-77.  
 [24] 常馨月,陈程莉,龚娣,等.天然抗氧化剂抑制油脂氧化的研究进展[J].中国油脂,2020,45(4):46-50.  
 [25] 周丽明,张勇,林国卫,等.葛根多糖提取条件的优化及其抗氧化活性的研究[J].湖北农业科学,2012,51(19):4344-4347.  
 [26] 程轩轩,张旭红,杨慧文,等.白藜多糖的分离纯化及抗氧化活性研究[J].中草药,2017,48(20):4219-4223.  
 [27] SONG H F, ZHANG Q B, ZHANG Z S, et al. In vitro antioxidant activity of polysaccharides extracted from *Bryopsis plumosa* [J]. Carbohydr Polym, 2010, 80(4):1057-1061.  
 [28] 杨春瑜,刘海玲,杨春莉,等.响应曲面法优化蜗牛酶辅助提取黑木耳多糖工艺[J].食品工业科技,2015,36(22):198-202,208.