

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90028

HPD 600 型大孔树脂纯化麦麸多酚及其 抗氧化活性和定性分析

Antioxidant activity and qualitative analysis of wheat bran polyphenols
purified using HPD 600 macroporous resin

田富林¹ 黄文晶^{1,2} 张 驰¹ 沈汪洋^{1,2} 吴 凡¹

TIAN Fu-lin¹ HUANG Wen-jing^{1,2} ZHANG Chi¹ SHEN Wang-yang^{1,2} WU Fan¹

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430000;

2. 大宗粮油精深加工省部共建教育部重点实验室, 湖北 武汉 430000)

(1. College of Food Science and Technology, Wuhan Polytechnic University, Wuhan, Hubei 430000, China;

2. Key Laboratory of the Deep Processing of Bulk Grain and Oil Authorized by Ministry of Authorized by
Ministry of Education, Wuhan, Hubei 430000, China)

摘要:目的:建立一种 HPD 600 型大孔树脂纯化麦麸多酚的工艺,提高麦麸多酚的利用价值。方法:采用碱水解法提取麦麸中的结合态多酚,以单因素试验优化大孔树脂的动态吸附—解吸条件,确定最佳纯化工艺;以 ABTS 自由基和 DPPH 自由基清除率反映抗氧化活性;UPLC-MS/MS 完成纯化物中多酚组分的定性。结果:在最佳工艺条件下,纯化物的多酚纯度和抗氧化活性都显著提高。纯化物中主要包含 6 种多酚化合物,按保留时间依次为: *p*-羟基苯甲酸、咖啡酸、香草醛、*p*-香豆酸、反式阿魏酸和水杨酸。结论:建立的大孔树脂纯化工艺能有效实现对麦麸多酚的富集,所得纯化物的抗氧化能力显著提高,同时还保持了其中多酚种类的丰富性。

关键词:麦麸多酚;大孔树脂;纯化;抗氧化;HPLC-MS/MS;定性

Abstract: Objective: A process was developed for the purification of bran polyphenols from HPD 600 macroporous resin. The purity and antioxidant activity of the extracts were analyzed before and after purification, and the polyphenol fractions in the purified products were characterized. **Methods:** The bound polyphenols in wheat bran were extracted by alkali hydrolysis, and the dynamic adsorption-desorption conditions of the macroporous

resin were optimized by single-factor test to determine the optimal purification process. The antioxidant activity fraction was determined by ABTS and DPPH radical scavenging rate. The characterization of the polyphenol fraction in the purified product was completed by UPLC-MS/MS. **Results:** Under optimal process conditions, the purity of the polyphenols and the antioxidant activity of the purified product were significantly increased. The purified products contained mainly nine polyphenolic compounds, in order of retention time: *p*-hydroxybenzoic acid, caffeic acid, vanillin, *p*-coumaric acid, trans-ferulic acid and salicylic acid. **Conclusion:** The macroporous resin purification process is effective in enriching bran polyphenols and the resulting purified product has a significantly higher antioxidant capacity, while maintaining the richness of the polyphenolic species.

Keywords: wheat bran polyphenols; macroporous resin; purify; antioxidant; HPLC-MS/MS; qualitative analysis

多酚广泛存在于植物体中,是一种天然的抗氧化剂。研究^[1-3]表明,多酚对人体健康有许多积极作用,如抗炎、抗菌、抗癌等。多酚在小麦籽粒中主要以结合态存在于小麦麸皮中,通过与纤维素、半纤维素、木质素、果胶和蛋白质等成分共价结合存在于小麦麸皮的细胞壁结构中^[4-5]。小麦麸皮中结合态多酚的种类和含量丰富,但常规的溶剂萃取手段无法对结合态多酚进行有效的提取,这也使得麦麸多酚的利用受到了限制。碱水解法是一种促进植物细胞壁中结合态多酚游离化的有效方法:在强碱性条件下,连接多酚与细胞壁的糖苷键和酯键被破坏^[6-7],有机试剂能够大量溶解脱离共价键束缚的多

基金项目:湖北省中央引导地方科技发展专项(编号:2020ZYD015);湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队计划项目(编号:LT201911);湖北省教育厅科研项目(编号:Q20201605)

作者简介:田富林,男,武汉轻工大学在读硕士研究生。

通信作者:黄文晶(1987—),男,武汉轻工大学讲师,博士。

E-mail: huangwenjingbest@163.com

收稿日期:2021-10-28

酚化合物,实现对麦麸中结合多酚的提取。但是由于麦麸复杂的成分,碱水解提取物中除了多酚外还含有很多其他化合物,不利于研究其生物活性,需要对提取物进行纯化。

大孔树脂吸附法是目前常用的多酚类物质纯化方法之一,树脂可再生重复利用,具有选择性好,吸附量大,吸附、解吸速度快,生产效率高,操作简便易行等优点^[8-9]。HPD 600 型大孔树脂是一种中性大孔树脂,常用于黄酮、多酚等植物天然成分的提取和富集。研究拟建立一种 HPD 600 型大孔树脂纯化麦麸多酚粗提物的工艺,并评价纯化结果,以期提高麦麸多酚的纯度,为大量制备高纯度的麦麸多酚的生物活性提供方法依据。

1 材料与方 法

1.1 主要材料与试剂

小麦纯麸皮:湖北三杰粮油食品集团有限公司;

乙醚、乙酸乙酯、NaOH:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

盐酸:优级纯,国药集团化学试剂有限公司;

Folin-Phenol 试剂:飞扬生物工程有限公司;

2,2'-联氨-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二胺盐(ABTS)、2,2-二苯基-1-三硝基苯肼(DPPH):>98%(HPLC),美国 Sigma 公司;

HPD 600 型大孔树脂:国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

振荡培养箱:ZHTY-70N 型,上海知楚仪器有限公司;

旋转蒸发器:XD-2000A 型,上海贤得实验仪器有限公司;

冷冻干燥机:LGJ-20G 型,四环福瑞科仪科技发展(北京)有限公司;

超高液相色谱仪:Ultimate 3000 型,赛默飞世尔科技有限公司;

质谱仪:Thermo Scientific Q Exactive 型,赛默飞世尔科技有限公司;

多功能酶标仪:EnSpire 型,美国 PerkinElmer 公司。

1.3 方 法

1.3.1 大孔树脂预处理 大孔树脂在无水乙醇中浸泡 12 h,溶胀后抽滤去除乙醇。用蒸馏水反复清洗树脂,直至洗出液加适量水后无白色浑浊现象时为止。大孔树脂在 1 mol/L NaOH 中浸泡 4 h,浸泡后抽滤去除 NaOH。用蒸馏水反复洗涤大孔树脂,直至溶液 pH 值降至 7.0。加入 1 mol/L 盐酸浸泡 4 h,浸泡后抽滤去除 HCl。用蒸馏水反复洗涤大孔树脂,直至溶液 pH 值降至 7.0。

1.3.2 麦麸多酚碱水解粗提物制备 参考 Verma 等^[10]的报道,以碱水解法从麦麸中提取多酚,制备粗提物。提

取方法稍作修改:将 2 g 麦麸与 75 mL NaOH (2 mol/L)混合,在振荡培养箱中(40 °C,300 r/min)反应 4 h。充分水解后,用 6 mol/L 的盐酸将 pH 调至 2。分别用 100 mL 乙醚和 75 mL 乙酸乙酯萃取水解液中的多酚,重复萃取 3 次。将所有有机相混合,加入适量的超纯水,通过旋蒸去除有机试剂后冷冻干燥(0 Pa,-80 °C,2 d),所得粉末即为麦麸多酚粗提物。粗提物-20 °C 避光保存。

1.3.3 总多酚含量(TPC)测定 采用福林酚法(FC),根据文献^[11]修改如下:0.2 mL 样品溶液和 0.2 mL Folin-Phenol 试剂混合均匀,1~2 min 后加入 0.4 mL Na₂CO₃ 溶液(0.12 g/mL),水浴(50 °C,1 h)反应后定容至 5 mL 并冷却至室温,测定 745 nm 处的吸光度,根据没食子酸标准曲线计算 TPC,结果表示为毫克没食子酸当量每毫升(mg GA/mL)。

1.3.4 树脂用量对动态吸附效果的影响 以超纯水将粗提物配制成质量浓度为 0.5 mg GA/mL 的样品溶液,根据 HPD 600 型大孔树脂对多酚化合物的最大吸附量,考察不同用量树脂(2,3,4,5 g)对 300 mL 样品溶液的动态吸附效果。树脂湿法装柱,样品溶液以 1.5 mL/min 的流速注入吸附系统,每 10 mL 收集一份流出液并测定其 TPC。以流出液体积为横坐标、流出液 TPC 为纵坐标绘制泄露曲线^[12],以此评价不同用量树脂的吸附效果。

1.3.5 样品溶液流速对动态吸附效果的影响 在陶莎等^[8]的研究基础上考察样品溶液流速(1.0,1.2,1.4,1.6,1.8,2.0 mL/min)对动态吸附效果的影响,0.5 mg GA/mL 的样品溶液以上述流速注入吸附系统,每 10 mL 收集一份流出液并测定其 TPC。绘制泄露曲线以此评价样品溶液流速对树脂吸附效果的影响。

1.3.6 动态解吸试验

(1) 洗脱液浓度和体积对洗脱效果的影响:准确称取 4 g 预处理后的湿树脂,置于 500 mL 具塞锥形瓶中并加入 250 mL 质量浓度为 0.5 mg GA/mL 的样品溶液,振荡培养箱中震荡吸附(120 r/min,35 °C) 24 h 后取上清液测定其 TPC,并按式(1)计算总吸附量^[13]。将达吸附平衡的大孔树脂装柱,以 150 mL 不同体积分数(20%,40%,60%,80%)的乙醇水溶液进行洗脱,洗脱液每 3 mL 收集一份并测定其 TPC。以洗脱液体积为横坐标,TPC 为纵坐标绘制动态洗脱曲线。

$$Q_s = (C_0 - C_v)V, \quad (1)$$

式中:

Q_s ——总吸附量,mg GA;

C_0 ——样品溶液初始浓度,0.5 mg GA/mL;

C_v ——上清液 TPC,mg GA/mL;

V ——样品溶液体积,mL。

(2) 洗脱液流速对洗脱效果的影响:准确称取 4 g 预处理后的湿树脂,按 1.3.6(1)中的方法静态吸附。将达吸

附平衡的大孔树脂装柱,使用 150 mL 体积分数为 80% 的乙醇水溶液以不同流速 (1.0, 2.0, 3.0, 4.0 mL/min) 进行洗脱,洗脱液每 3 mL 收集一份并测定其 TPC。以洗脱液体积为横坐标,TPC 为纵坐标绘制动态洗脱曲线。

1.3.7 多酚纯度及抗氧化活性测定 按上述条件对粗提物进行纯化,旋蒸除去洗脱液中乙醇后对剩余水溶液冷冻干燥,得到纯化后的麦麸多酚。按下述方法分别测定两种样品的纯度和抗氧化能力。

(1) 多酚纯度:样品以二甲基亚砜(DMSO)溶解,参照文献[14]测定并根据式(2)计算样品中的多酚纯度。

$$P = \frac{C_0}{C} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

P ——多酚纯度,%;

C_0 ——样品的总多酚质量浓度,mg GA/mL;

C ——样品溶液的质量浓度,mg/mL。

(2) ABTS 自由基($ABTS^+ \cdot$)清除能力:根据文献[15]修改如下:ABTS⁺·储备溶液由 176 μ L 浓度为 140 mmol/L 的 $K_2S_2O_8$ 溶液和 10 mL 浓度为 7 mmol/L 的 ABTS 溶液组成的混合物在黑暗中放置 12~16 h 制成。使用前,ABTS⁺·溶液用无水乙醇稀释至吸光度为 0.70 ± 0.02 (734 nm)。

0.1 mL 样品溶液与 3.9 mL ABTS⁺·储备液在室温下避光反应 6 min。然后用分光光度计测定其在 734 nm 处的吸光度。按式(3)计算 ABTS⁺·清除率。

$$S = \left(1 - \frac{A_s - A_r}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

S ——自由基清除率,%;

A_s ——样品与 ABTS⁺·/ DPPH·混合溶液的吸光度;

A_r ——DMSO 与 ABTS⁺·/ DPPH·混合液的吸光度;

A_0 ——样品与无水乙醇混合溶液的吸光度。

(3) DPPH 自由基(DPPH·)清除能力:根据文献[16—17]修改如下:无水乙醇将 DPPH 试剂粉末配制成 0.5 mmol/L 的溶液,测定时以 0.5 mL 样品溶液与 3.5 mL DPPH·溶液室温条件下避光反应 1 h 后测定其在 517 nm 处的吸光度。DPPH·的清除能力以清除率表示,并按式(3)计算 DPPH·清除率。

1.3.8 麸皮多酚定性分析 采用 UPLC-MS/MS 法。液相部分使用 Ultimate 3000 型超高液相色谱仪,并配备有 DAD 检测器,色谱柱: Hypersil GOLD 100 mm \times 2.1 mm, 3 μ m。柱温 25 $^{\circ}$ C,进样量 20 μ L,流动相流速 0.25 mL/min。采用梯度洗脱,流动相 A 为含 0.1% 甲酸的乙腈溶液,流动相 B 为 0.1% 的甲酸水溶液,流动相 A

的梯度为:0.0~6.0 min, 5%~10%; 6.0~16.0 min, 10%~80%; 16.0~20.0 min, 80%; 20.0~20.1 min, 80%~5%; 20.1~30.0 min, 5%。DAD 检测条件:190~800 nm 范围全扫。MS 采用 Q Exactive 静电场轨道阱质谱。离子源为 HESI 源,雾化气 40 Pa,辅助气 8 Pa,喷雾电压 3 200 V,离子传输毛细管温度 300 $^{\circ}$ C,辅助气温度 300 $^{\circ}$ C。扫描模式:负离子 Full MS/dd-MS2,扫描范围:50~750(m/z)。

1.3.9 数据处理 质谱相关数据以 Xcalibur 4.1(Thermo Fisher Scientific)软件进行分析,以 SPSS 25 和 ORIGIN Pro 2016 软件进行数据分析和作图。

2 结果与分析

2.1 树脂用量和上样体积的确定

图 1 为不同用量 HPD 600 型大孔树脂的泄露曲线,反映了经树脂吸附后的流出液中的 TPC 变化情况。当流出液 TPC 为上样液浓度的 1/10 时,达到泄露点,此时的样品溶液体积被认定为最佳上柱体积^[12]。图 1 结果显示:2,3,4,5 g 大孔树脂所对应的最佳上柱体积分别为 60,150,250,300 mL,据此,选择以 4 g HPD 600 型大孔树脂对 250 mL 质量浓度为 0.5 mg GA/mL 的麦麸多酚粗提液进行纯化,可达到理想的吸附效果。

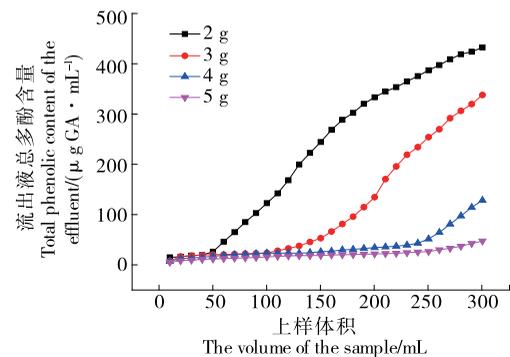


图 1 不同用量 HPD 600 型大孔树脂的吸附泄露曲线
Figure 1 The adsorption leak curves for different dosages of HPD 600 macroporous resins

2.2 样品溶液流速的确定

由图 2 可知,样品溶液的流速越大,流出液的 TPC 越高,这是因为高流速减小了溶液中多酚与大孔树脂的接触时间,不利于大孔树脂的吸附作用^[18]。当上样体积达到 250 mL 时,流速为 1.2, 1.4 mL/min 的流出液的 TPC 分别为 (48.85 ± 1.45) , (50.90 ± 1.62) μ g GA/mL,接近样品溶液浓度的 1/10。据此认为这两种流速条件能达到更好的吸附效果,但高流速能够提高生产效率,因此选择样品溶液流速为 1.4 mL/min。

2.3 动态洗脱条件的确定

2.3.1 洗脱液浓度的确定 乙醇溶液的浓度会显著影响

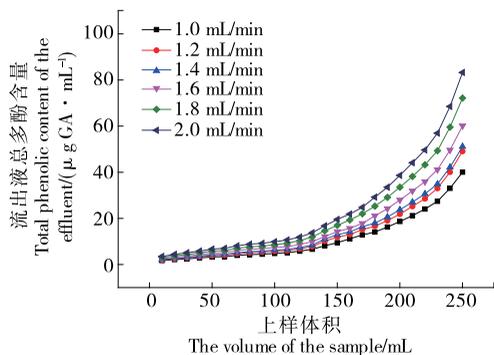
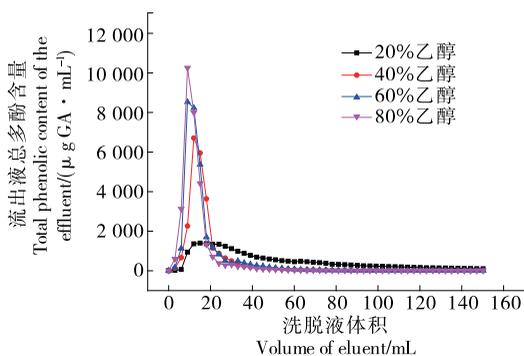


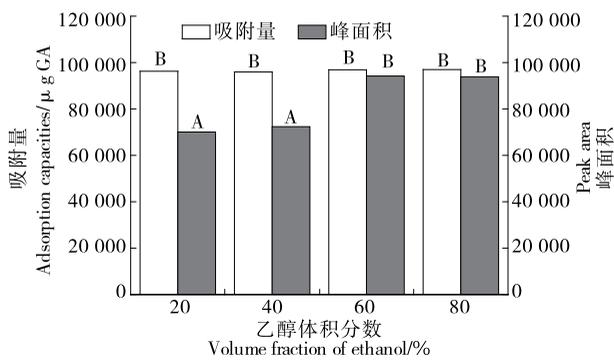
图 2 不同流速样品溶液的吸附泄露曲线

Figure 2 The adsorption leak curves for different flow rates of sample solutions

动态洗脱效果^[19]。由图 3(a)可知,随着乙醇体积分数的增大,流出液的最大 TPC 升高,说明大体积分数的乙醇溶液对样品溶液中的多酚具有更好的洗脱效果。这是因为样品溶液中的多酚是以乙醚、乙酸乙酯萃取得到的,这两种有机试剂的极性较弱。因此,萃取物中的多酚也为弱极性,在纯水中的溶解度较低,但易溶于乙醇溶液。图 3(b)中的峰面积是对图 3(a)中洗脱曲线的积分,可以



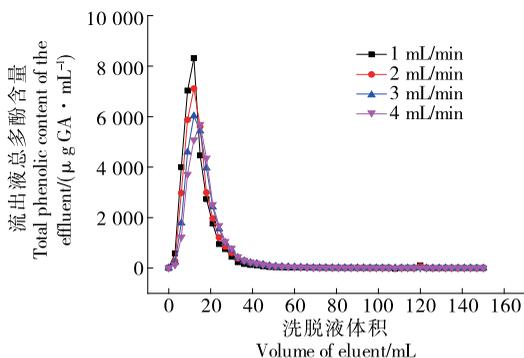
(a) 动态洗脱曲线



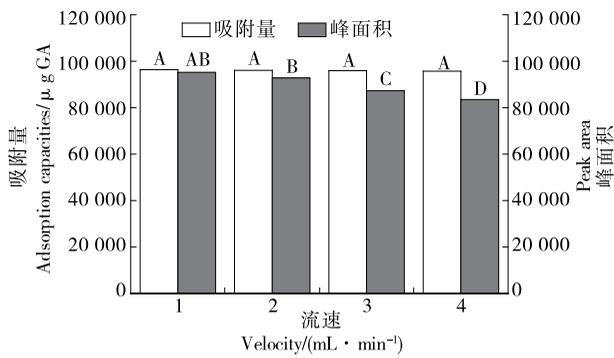
同一指标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 3 乙醇体积分数对洗脱效果的影响

Figure 3 Effects of ethanol volume fraction on elution



(a) 动态洗脱曲线



同一指标字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 4 洗脱液流速对洗脱效果的影响

Figure 4 Effects of eluent flow rate on the elution effect

反映总的洗脱量,显著性分析结果显示,20%,40%的乙醇溶液的洗脱量显著低于大孔树脂的吸附总量,说明被树脂吸附的多酚未被完全洗脱,洗脱效果不佳;60%,80%的乙醇溶液的洗脱量与大孔树脂的吸附总量之间无显著性差异,说明洗脱效果较好。考虑到成本问题,选择60%的乙醇溶液作为洗脱液。

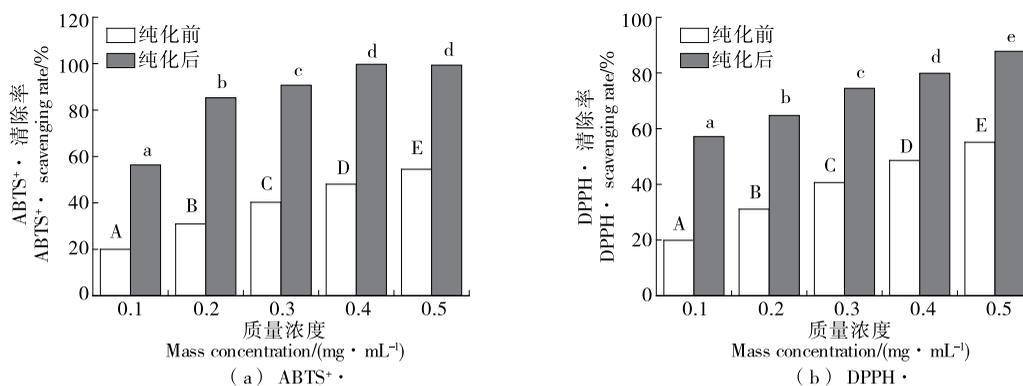
2.3.2 洗脱液流速的确定 图 4(a)显示,随着洗脱液流速升高,流出液的最大 TPC 呈降低趋势。对比洗脱量与大孔树脂吸附总量[图 4(b)],发现洗脱量与洗脱液流速呈负相关,流速为 2,3,4 mL/min 的洗脱体系的洗脱量显著小于大孔树脂的吸附总量,说明被大孔树脂吸附的多酚未被完全洗脱;而流速为 1 mL/min 的洗脱体系中,洗脱量与大孔树脂的吸附总量无显著性差异,说明其洗脱效果较好,因此选择洗脱液流速为 1 mL/min。结果表明低流速有助于洗脱,是因为在低流速情况下,洗脱液可以进入树脂的孔缝,其中的多酚更为彻底地溶解在洗脱液中并被带出^[20-21]。

2.4 纯化前后麦麸多酚纯度和抗氧化活性比较

2.4.1 多酚纯度 纯化前后样品中多酚纯度分别为(7.09±0.20)%和(38.91±1.41)%,纯化后样品中多酚纯

度比纯化前的高约 5.49 倍,说明该纯化工艺有效地纯化了麦麸多酚。

2.4.2 抗氧化活性 根据自由基清除测试结果,清除率与浓度相关,所有纯化后样品的自由基清除能力显著高于未纯化的。这是因为纯化的样品中多酚含量较高,从而提高了自由基清除能力。在 $ABTS^+$ 清除试验中[图 5(a)],质量浓度为 0.4 mg/mL 的纯化后样品对自由基的清除率接近 100%。在 DPPH 清除试验中[图 5(b)],清除率随样品浓度的增大而提高,质量浓度为 0.5 mg/mL 的纯化后样品对 DPPH 的清除率最高,为 $(87.79 \pm 1.96)\%$ 。此外,相同浓度的样品对两种自由基的清除效果存在差异,样品对 $ABTS^+$ 表现出更好的清除效果,可能与两个体系中自由基的浓度及样品对两种自由基的不同清除机制有关。



字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图 5 纯化前后抗氧化能力的比较

Table 5 Comparison of antioxidant capacity before and after purification

表 1 纯化后麦麸多酚提取物的定性结果

Table 1 Qualitative results of purified wheat bran polyphenol extracts

保留时间/min	$[M-H]^- (m/z)$	MS/MS(m/z)	定性结果
6.98	137.023 30	93.033 26	<i>p</i> -羟基苯甲酸
9.26	179.034 13	135.044 05	咖啡酸
10.41	151.038 99	136.015 50,108.020 43	香草醛
10.51	163.039 09	119.049 04,93.033 29	<i>p</i> -香豆酸
11.09	193.049 91	178.026 29,149.059 72,134.036 24	反式阿魏酸
12.29	137.023 28	93.033 20	水杨酸



图 6 *p*-羟基苯甲酸和水杨酸的结构式

Figure 6 Structural formulas for *p*-hydroxybenzoic acid and salicylic acid

2.5 纯化后麦麸多酚提取物的定性分析

由表 1 可知,经 HPD 600 型大孔树脂纯化后的提取物中主要含有 6 种多酚化合物,按保留时间从小到大依次为:*p*-羟基苯甲酸、咖啡酸、香草醛、*p*-香豆酸、反式阿魏酸和水杨酸,除香草醛外,其余均为酚酸。在这 6 种多酚化合物中,存在一对同分异构体——*p*-羟基苯甲酸与水杨酸(结构式见图 6),其 MS1、MS2 高度相似,但保留时间明显不同,这是因为结构的差异导致了二者极性的不同,从而影响到固定相对它们的保留时间。在 *p*-羟基苯甲酸[图 6(A)]和水杨酸[图 6(B)]中,羟基与羧基的位置关系分别为对位和邻位,对位的偶极矩大于邻位,且邻位的羟基与羧基之间会形成分子内氢键,导致 *p*-羟基苯甲酸的极性远大于水杨酸^[22]。试验以 C_{18} 为固定相的反相色谱柱,极性较弱的水杨酸与色谱柱中固定相间的作

用力强于 *p*-羟基苯甲酸^[23]。在梯度洗脱过程中,甲酸水溶液的体积分数从高到低,在此过程中,极性较强的 *p*-羟基苯甲酸先被洗脱,极性较弱的水杨酸后被洗脱,造成 *p*-羟基苯甲酸先出峰,保留时间小于水杨酸。Onofrejová 等^[24]使用以 C_{18} 为固定相的反相色谱体系对藻类提取物中的多酚进行定性时也鉴定出了 *p*-羟基苯甲酸和水杨酸,且前者的保留时间也小于后者。

3 结论

以 HPD 600 型大孔树脂对麦麸多酚提取物进行纯化,研究了树脂用量、样品溶液的体积和流速、洗脱剂的浓度和流速对纯化效果的影响,并以此确定样品溶液质量浓度为 0.5 mg GA/mL 时的最佳纯化工艺条件,在最佳条件下,纯化后的提取物中多酚纯度为纯化前的 5.49 倍,抗氧化活性也显著提高,说明该纯化工艺能有效富集提取物中的多酚。此外,经 HPD 600 型大孔树脂纯化后的提取物中主要含有 *p*-羟基苯甲酸、咖啡酸、香草醛、*p*-香豆酸、反式阿魏酸和水杨酸 6 种多酚化合物。但纯化物中仍含有一定量的杂质,如何进一步除杂仍有待研究,这个问题仅依靠大孔树脂无法解决,需要借助更精密的仪器(如制备型液相色谱仪、高效逆流色谱等)来完成。

参考文献

- [1] ASHUN Chaudhary, VIVEK S Jaswal, SONIKA Choudhary, et al. Ferulic acid: A promising therapeutic phytochemical and recent patents advances[J]. *Recent Patents on Inflammation & Allergy Drug Discovery*, 2019, 13(2): 115-123.
- [2] NILOOFAR Kahkeshani, FATEMEH Farzaci, MARYAM Fotouhi, et al. Pharmacological effects of gallic acid in health and diseases: A mechanistic review[J]. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 2019, 22(3): 225-237.
- [3] PEI Ke-han, OU Juan-ying, HUANG Jun-qing, et al. *p*-Coumaric acid and its conjugates: Dietary sources, pharmacokinetic properties and biological activities[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2016, 96(9): 2 952-2 962.
- [4] TRUST Beta, SHIN Nam, JIM E Dexter, et al. Phenolic content and antioxidant activity of pearled wheat and roller-milled fractions[J]. *Cereal Chemistry*, 2004, 82(4): 390-393.
- [5] BEATRIZ A Acosta-Estrada, JANET A Gutiérrez-Urbe, SERGIO O Serna-Saldivar. Bound phenolics in foods, a review[J]. *Food Chemistry*, 2014, 152: 46-55.
- [6] KIM Kyung-Hee, TSAO Rong, YANG Raymond, et al. Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions[J]. *Food Chemistry*, 2006, 95(3): 466-473.
- [7] TANG Yao, ZHANG Bing, LI Xi-hong, et al. Bound phenolics of quinoa seeds released by acid, alkaline, and enzymatic treatments and their antioxidant and α -glucosidase and pancreatic lipase inhibitory effects[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(8): 1 712-1 719.
- [8] 陶莎, 黄英, 康玉凡, 等. 大孔吸附树脂分离纯化红小豆多酚工艺及效果[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(23): 276-285.
TAO Sha, HUANG Ying, KANG Yu-fan, et al. Technology of separation and purification and its efficiency of adzuki bean polyphenols with macroporous adsorption resins[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(23): 276-285.
- [9] 张子东, 张圆圆, 孟永斌, 等. 沙枣果总黄酮类化合物的富集研究[J]. *植物研究*, 2018, 38(3): 467-474.
ZHANG Zi-dong, ZHANG Yuan-yuan, MENG Yong-bin, et al. Flavonoids enrichment from *elaegnus angustifolia* fruit[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2018, 38(3): 476-474.
- [10] VERMA B, HUCL P, CHIBBAR R N. Phenolic acid composition and antioxidant capacity of acid and alkali hydrolysed wheat bran fractions[J]. *Food Chemistry*, 2009, 116(4): 947-954.
- [11] REBECA López-Froilán, BLANCA Hernández-Ledesma, MONTAÑA Cámara, et al. Evaluation of the antioxidant potential of mixed fruit-based beverages: A new insight on the folin-ciocalteu method [J]. *Food Analytical Methods*, 2018, 11(10): 2 097-2 906.
- [12] 曾棋平, 吴坤林, 陈锦珊. 大孔吸附树脂纯化紫茶总多酚的工艺优化研究[J]. *药学实践杂志*, 2021, 39(1): 77-81.
ZENG Qi-ping, WU Kun-lin, CHEN Jin-shan. Optimization of total polyphenol purification from purple tea by microporous resin[J]. *Journal of Pharm Aceutical Practice*, 2021, 39(1): 77-81.
- [13] 陈明威, 魏明, 陶良凡, 等. 大孔树脂分离纯化霍山石斛多酚及其抗氧化活性研究[J]. *食品与机械*, 2020, 36(11): 148-153.
CHEN Ming-wei, WEI Ming, TAO Fan-liang, et al. Purification of polyphenols from *Dendrobium huoshanense* by macroporous resin and its antioxidant activity[J]. *Food & Machinery*, 2020, 36(11): 148-153.
- [14] PAMELA Raquel Rivera-Tovar, MARÍA Dolores Torres, CONRADO Camilo, et al. Multi-response optimal hot pressurized liquid recovery of extractable polyphenols from leaves of maqui (*Aristotelia chilensis* [Mol.] Stuntz) [J]. *Food Chemistry*, 2021, 357: 129729.
- [15] RICARDO Iván González-Vega, JOSÉ Luis Cárdenas-López, JOSÉ Antonio López-Elias, et al. Optimization of growing conditions for pigments production from microalga *Navicula incerta* using response surface methodology and its antioxidant capacity[J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2021, 28(2): 1 401-1 416.
- [16] BRAND-WILLIAMS W, CUVELIER M E, BERSET C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 1995, 28(1): 25-30.
- [17] MOHAMED Saleh A, KHAN Jalaluddin A. Antioxidant capacity of chewing stick miswak *Salvadora persica* [J]. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 13(1): 40-45.
- [18] 马景蕃, 谢晓倩, 杨昊坤, 等. 大孔树脂纯化白背天葵多酚及其体外抗氧化研究[J]. *热带作物学报* 2021, 42(2): 575-582.
MA Jing-fan, XIE Xiao-qian, YANG Hao-kun, et al. Purification of *Gynura formosana* Kitam polyphenols by macroporous resin and its antioxidant activity in vitro [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2021, 42(2): 575-582.
- [19] 袁欢, 彭莉莎, 孙梦瑶, 等. 大孔树脂对二角菱壳多酚的吸附及解吸性能研究[J]. *食品与机械*, 2021, 37(4): 47-52.
YUAN Huan, PENG Li-sha, SUN Meng-yao, et al. Study on absorption and desorption properties of macroporous resin for pericarps of *Trapa bispinosa* Roxb[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(4): 47-52.

(下转第 242 页)

求,健全课程思政建设机制,为各专业开展思政教育工作进行铺垫。另一方面,食品质量与安全课程的专业教师在课程中开展思政教育前,要结合实际制定工作计划,明确课程思政建设的指导思想,并将上述内容整理好后交由学院党组织和教学工作指导小组进行综合审议,并给出参考意见。任课教师要在参考意见的基础上,构建该课程的课程思政体系,并以此作为开展教学工作的指导思想,用于指导思政元素与该课程的融合。此外,在课程思政指导思想的规划中,教师要充分了解学生需求,对学生喜欢的教学形式和教学内容有一定了解,进而保障食品质量与安全课程开展思政教育工作目标的实现。

(2) 拓展教学手段和方式,丰富课程思政实现途径。在课程思政建设中,任课教师要转变先前单一的教学手段和教学方式,通过不断探索多样化教学模式,重视课程思政实践方式的实现,以达到教育的目的。一方面,任课教师可采用现代化的多媒体教学手段,讲授食品质量与安全课程中的相关知识,尤其是检查操作的具体流程和相关技术、方法的运用,既能使课程内容更加丰富、生动、具体,也能使学生清晰掌握科学的食品质量与安全的专业知识,还能借助检测操作中的细致过程开展思政教育,使学生意识到过程的重要性,用更多耐心对待学习和生活中的一切事情。教师还可以在课堂上进行食品安全反面案例教育,以此警示学生,使学生正视所学专业的重要性,增强学生责任意识。另一方面,多样化的教学模式应该应用至教学中,发挥其应有的作用。如情景教学法,食品质量与安全课程的实践性较强,其中涉及诸多检测方法和检测标准,在课堂教学中,可以结合具体教学内容模拟食品安全检测工作的相关情景,由学生检测某一食品,然后教师再对学生的检测过程和结果进行点评,这不仅能使学生通过实践机会加强对所学知识的掌握,还能在操作过程中养成具体问题具体分析的良好习惯,形成严谨、认真的工作作风,达到思政教育目的。

(3) 走校企联合培养人才道路,增强思政教育实践性。食品质量与安全课程具有较强的实践性,这决定了该课程在人才培养模式上走校企联合道路的必要性,既

能使学生有机会通过在企业实习实践中消化了解所学的相关知识和技能,也能使学生在未来工作中更加得心应手,在具体实践中认识到食品质量与安全工作的重要性,从而增加思政教育实践性。在校企合作中,校企双方都要设置负责人,以做好对接工作,强化联合培养人才效果,实现双赢目的。一方面,对于高校而言,任课教师要重视根据食品专业特点完善实习计划,实习计划要全面且有针对性,能够有效指导学生进行实习。将学生在实习中团队合作、工作出错率和时间观念等都作为考核内容,教师根据学生表现进行引导教育,进而调整思政内容在教学中的运用计划。另一方面,企业在合作中不能仅提供实习岗位,还要帮助高校开展思政教育,记录学生在实习中的错误和违规行为,与企业正式员工一样进行处罚,使学生了解到工作中的细节。企业要提供一线技术工人作为导师带领学生进行实习,导师要将自身在工作中的经验和精神传授给学生,为学生树立榜样,同时导师还要用严格的制度约束学生,使学生在实习中真正学习到知识,也使学生认识到自己所要从事职业的伟大,增强责任心,发挥思政教育作用。

(4) 优化教学评价,深化思政教育的作用。开展教学评价的主要目的是为了促进教学改革,为学生进行下一阶段学习提供参考,从而提升学习能力。在课程思政视角下,发挥教学评价对思政教育的作用,可以从以下方面入手:① 教学评价要重视教师评价的作用,既要重视学生的专业知识和对食品行业实践技能的掌握程度,也要重视其在教学过程中、学习实践中的表现,同时更要重视学生思想道德水平。教师对学生思想道德水平的评价,要采用多种途径进行,可以参考其他科目教师和学生的意见,还可对学生在学习、实践、生活中的态度进行评价。② 教学评价离不开学生的自我评价,学生在自我反思过程中,能及时发现自身不足,尤其是学习态度方面的自我调整,强化思政教育效果。

(作者:张婉旭,女,河南农业职业学院讲师,硕士)

(基金项目:河南省职业教育教学改革研究实践项目〔编号:ZJB20243〕)

(上接第 178 页)

- [20] JIA Guang-tao, LU Xiu-yang. Enrichment and purification of macdecassoside and asiaticoside from *Centella asiatica* extracts with macroporous resins[J]. *Journal of Chromatography A*, 2008, 1 193 (1/2): 136-141.
- [21] XI Li-sha, MU Tai-hua, SUN Hong-nan. Preparative purification of polyphenols from sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves by AB-8 macroporous resins[J]. *Food Chemistry*, 2015, 172: 166-174.
- [22] 王兴明, 康明. 基础有机化学[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 208-209.

WANG Xing-ming, KANG Ming. *Basic organic chemistry* [M]. Beijing: Science Press, 2012: 208-209.

- [23] 于世林. 高效液相色谱方法及应用[M]. 3 版. 北京: 化学工业出版社, 2018: 120-123.
- YU Shi-lin. *Methods and applications of high-performance liquid chromatography* [M]. 3rd ed. Beijing: Chemical Industry Press, 2018: 120-123.
- [24] ONOFREJOVÁ L, VAŠÍCKOVÁ J, KLEJDUŠ B, et al. Bioactive phenols in algae: The application of pressurized-liquid and solid-phase extraction techniques[J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2010, 51(2): 464-470.