

苹果果皮和果肉多糖的组成及抗氧化活性比较

李洁,郭玉蓉*,贾丰,张晓瑞

(陕西师范大学 食品工程与营养科学学院,陕西 西安,710119)

摘 要 为探究苹果果皮和果肉多糖的差异,采用传统的热水浸提法,分别从苹果果皮和果肉渣中提取苹果果皮多糖(APP)和苹果果肉多糖(AFP),采用PMP柱前衍生高效液相色谱法对2种多糖进行单糖组成分析并通过体外抗氧化体系对其抗氧化活性进行比较。结果表明:APP和AFP均由甘露糖、核糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖、木糖、半乳糖、阿拉伯糖、岩藻糖这10种单糖组成,且主要由阿拉伯糖、半乳糖醛酸和半乳糖组成,但单糖比例存在很大差异。2种多糖均表现出很强的DPPH·和·OH清除能力和较弱的还原力,在相同的浓度下,APP的抗氧化活性显著高于AFP。

关键词 苹果;多糖;果皮;果肉;组成;抗氧化

苹果是世界四大水果之冠,营养丰富,食用方便,深受人们的喜爱。俗语“一天一个苹果,医生远离我”便很好地体现了人们对苹果营养价值的总结。根据FAO的最新统计,中国的苹果产量已经从2000年的2 040万t增长至2013年的3 970万t。而随着苹果产量的大幅度上升,我国每年产生的苹果渣有100万t,急需开发利用。一般情况下,苹果渣由苹果皮、苹果肉、苹果籽和苹果梗组成。榨前分离技术是采用冷破碎设备在果汁压榨前实现果皮、果核、果籽与果肉的分离,从而提高果汁的外观品质,方便苹果皮、肉的分别利用^[1]。

多糖是由糖苷键结合的至少由10个单糖组成的聚合糖高分子碳水化合物,广泛存在于动物、植物和微生物细胞中,与脂质、蛋白质和水一起被称为构成生命的四大基本物质。多糖来源广且无毒,许多天然多糖在免疫调节、抗肿瘤、降血糖、抗病毒、抗氧化等方面显示出良好的应用前景。而目前关于苹果多糖的研究主要集中在利用苹果全渣进行多糖的提取、分离纯化和生物活性研究^[2-5]。关于苹果果皮和果肉的对比研究主要有总三萜含量^[6]、多酚含量^[7]、稳定性^[8]和香气成分的比较^[9],对于利用苹果加工中所产生的副产物苹果皮渣和苹果肉渣分别提取多糖并研究其组成和抗氧化活性的比较研究未见报道。

本研究分别从榨前分离得到的苹果果皮渣和榨

汁后的苹果果肉渣中提取苹果果皮多糖(apple peel polysaccharide, APP)和苹果果肉多糖(apple flesh polysaccharide, AFP),并对APP和AFP进行单糖组成和抗氧化活性比较研究,以期开发新的多糖植物资源,提高苹果的附加值,并帮助人们更好地认识苹果果皮多糖和苹果果肉多糖。

1 试剂与仪器

1.1 主要试剂

苹果果皮渣和苹果果肉渣,由陕西师范大学冷破碎果汁生产线提供;L-岩藻糖(Fuc)、L-鼠李糖(Rha)、D-木糖(Xyl)、D-(+)-葡萄糖(Glc)、D-甘露糖(Man)、D-核糖(Rib)、D-(+)-半乳糖醛酸(GalUA)、L-(+)-阿拉伯糖(Ara)、D-葡萄糖醛酸(GlcUA)、D-(+)-半乳糖(Gal)、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH),均购自Sigma公司;色谱甲醇、乙腈,购自Fisher Scientific;三乙胺(TEA)、PMP,购自天津市科密欧化学试剂有限公司;三氟乙酸(TFA),购自上海科丰实业有限公司;粮食酒精、甲醇、FeSO₄、水杨酸、H₂O₂、FeCl₃、三氯乙酸(TCA)、磷酸盐缓冲液、K₃[F(CN)₆],苯酚,浓H₂SO₄,均为分析纯。

1.2 主要仪器

DIONEX P680型高效液相色谱仪,美国戴安公司;Tensor 27红外光谱仪,德国布鲁克公司;LGJ-18C冷冻干燥机,北京四环科学仪器厂;Kjeltec 2300全自动凯氏定氮仪,瑞典福斯公司;WFJ2100型分光光度计,尤尼科仪器有限公司上海分公司。

第一作者:硕士研究生(郭玉蓉教授为通讯作者,E-mail:guoyu-rong730@163.com)。

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金资助(农业部重点科研项目)(No 1201020001)

收稿日期:2015-09-29,改回日期:2015-12-24

2 实验方法

2.1 苹果果皮和果肉多糖的提取与纯化

榨前分离得到的苹果果皮渣和榨汁后的苹果果肉渣用 40 ℃ 温水清洗 3 次→60 ℃ 鼓风烘干→粉碎过 80 目筛→体积分数 75% 乙醇脱色[料液比 1:5 (g:mL) (下同), 重复 3 次]→热水浸提(料液比 1:15, 温度 80 ℃, 时间 90 min, 重复 3 次)→上清液合并后浓缩至原体积的 1/4→95% 乙醇沉淀(4 ℃, 24 h)→4 000 r/min 离心 20 min→沉淀用无水乙醇洗涤 3 次→冻融→透析 72 h→真空冷冻干燥→APP 和 AFP。

2.2 得率、总糖和蛋白质含量的测定

多糖得率的计算公式如公式(1)。

$$\text{得率}/\% = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

式中: m_1 表示冷冻干燥后多糖的质量(g); m_0 表示所称脱脂后的苹果渣粉的质量(g)。

采用苯酚-硫酸显色法测定 APP 和 AFP 的总糖含量^[10]。

参考 GB/T 5009.5—2010, 采用凯氏定氮法测定 APP 和 AFP 中蛋白质的含量。

2.3 苹果果皮和果肉多糖的红外光谱分析

取冷冻干燥后所得的 APP 和 AFP 各 1 mg, 加入充分干燥后的 KBr 颗粒, 用玛瑙研钵仔细研磨混合后制成厚度适宜的薄片, 采用 Tensor 27 型红外光谱仪迅速在 4 000 ~ 400 cm^{-1} 区间内进行红外光谱扫描, 观察谱峰情况^[11]。

2.4 苹果果皮和果肉多糖的单糖组成分析

2.4.1 标准品溶液的制备

精密称取一定量的 10 种单糖, 用体积分数 10% 的甲醇溶液配制成 10 mg/mL 的母液。取适量母液稀释为 5 个不同质量浓度的单糖溶液, 参照田灵敏等^[12]的衍生化方法进行标准溶液的制备。

2.4.2 苹果果皮和果肉多糖溶液的制备

取 APP 和 AFP 各 20 mg 于安瓿瓶中, 加入 3 mol/L 的 TFA 溶液 2 mL, 充氮气封口, 100 ℃ 水解 8 h 后冷却至室温, 4 000 r/min 离心 10 min, 上清液转至 5 mL 蒸馏烧瓶, 减压蒸馏蒸干后加 1 mL 超纯水溶解, 得 APP 和 AFP 的水解溶液。分别取 AFP 和 APP 水解液 100 μL , 按 2.4.1 的方法制备多糖的 PMP 标记物。

2.4.3 HPLC 色谱条件

采用梯度洗脱方式, 流动相 A 为纯乙腈, 流动相

B 由 100 mL 乙腈、900 mL 超纯水、0.45 g KH_2PO_4 和 0.5 mL 的 TEA 组成。梯度洗脱程序为: 0 min, 95% B; 5 min, 95% B; 8 min, 90% B; 30 min, 90% B。色谱条件为: Agilent C_{18} 柱 (250 mm \times 4.6 mm ID, 5 μm), 紫外检测器, 柱温 35 ℃, 进样量 20 μL , 流速 1 mL/min, 检测波长为 250 nm。

2.5 苹果果皮和果肉多糖的体外抗氧化活性

2.5.1 对 DPPH·清除能力的测定

取 1 mL 不同浓度的苹果果皮和果肉多糖溶液 (1, 2, 3, 4, 5 mg/mL), 分别加入 4 mL 100 $\mu\text{mol/L}$ 的 DPPH-甲醇溶液, 充分混匀, 在室温下暗反应 30 min 后于 517 nm 处测其吸光值。同时, 用 V_c 做阳性对照。以上每个处理重复 3 次。

$$\text{DPPH} \cdot \text{清除率}/\% = \left(1 - \frac{A_2 - A_1}{A_0}\right) \times 100 \quad (2)$$

式中: A_0 为空白的吸光值; A_1 为背景的吸光值; A_2 为样品的吸光值^[13]。

2.5.2 还原力的测定

取 1 mL 不同浓度的苹果果皮和果肉多糖溶液 (2, 4, 6, 8, 10 mg/mL), 依次加入 2.5 mL 0.2 mol/L pH 6.6 的磷酸缓冲液, 2.5 mL 10 g/L 的 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, 充分混匀后于 50 ℃ 下水浴 20 min, 冷却, 再加入 2.5 mL 10% 的 TCA 溶液终止反应。4 000 r/min 离心 10 min, 取 2.5 mL 上清液, 加入 2.5 mL 蒸馏水和 0.5 mL 10 g/L 的 FeCl_3 , 混匀, 静置 10 min, 于 700 nm 处测其吸光值。同时用 V_c 做阳性对照。以上每组处理重复 3 次^[14]。

2.5.3 对 $\cdot\text{OH}$ 清除能力的测定

取 1 mL 不同浓度的苹果果皮和果肉多糖溶液 (1, 2, 3, 4, 5 mg/mL), 分别加入 1 mL 9 mmol/L Fe-SO_4 的溶液, 1 mL 9 mmol/L 水杨酸-乙醇溶液和 1 mL 9 mmol/L 的 H_2O_2 溶液, 充分混匀, 在 37 ℃ 下水浴 30 min 后于 510 nm 处测其吸光值。同时, 用 V_c 做阳性对照。以上每个处理重复 3 次。

$$\cdot\text{OH} \text{ 的清除率}/\% = \left(1 - \frac{A_2 - A_1}{A_0}\right) \times 100 \quad (3)$$

式中 A_0 为空白的吸光值; A_1 为背景的吸光值; A_2 为样品的吸光值^[15]。

2.6 数据处理与统计分析

所有实验均重复 3 次。实验结果采用“DPS 7.05”统计软件进行统计分析。不同处理间的数据采用多重比较的方法进行显著性分析, 显著水平为 0.05。

3 结果与分析

3.1 APP 和 AFP 得率、总糖含量和蛋白质残留量的比较

APP 和 AFP 的得率分别为 3.91% 和 4.82%，APP 得率低于 AFP，原因可能是果皮中含有较多的木质素、纤维素等不溶性多糖和较多的色素等，而果肉中含有较多的水溶性多糖。苯酚-硫酸法所得的回归方程如下： $y = 0.0057x + 0.0783$ ($R^2 = 0.9958$, y 为吸光值, x 为质量浓度)，标准葡萄糖的吸光度在质量浓度范围有良好的线性关系。根据回归方程计算 APP 和 AFP 的总糖含量为 72.02% 和 82.06%。

凯氏定氮法测得 APP 和 AFP 中残留蛋白质为 1.52% 和 0.86%，表示蛋白质已经基本去除。

3.2 APP 和 AFP 红外光谱分析比较

图 1 是 APP 和 AFP 的红外光谱图。

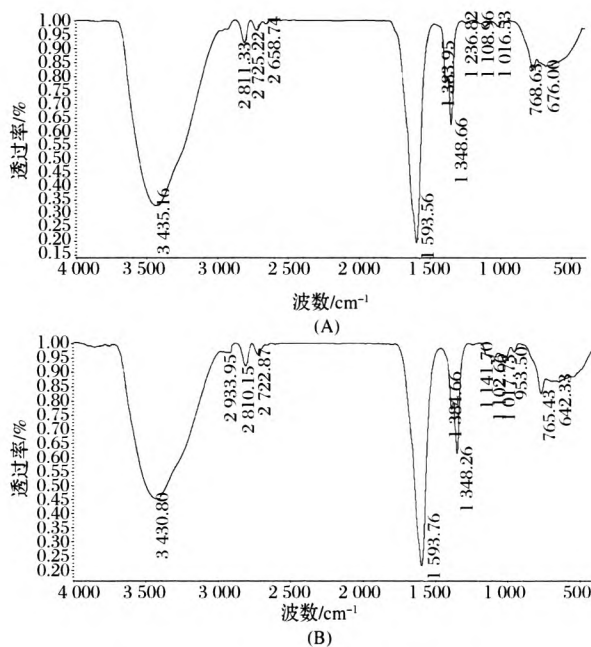


图 1 APP(A) 和 AFP(B) 的红外光谱图

Fig. 1 FT-IR spectra of APP (A) and AFP (B)

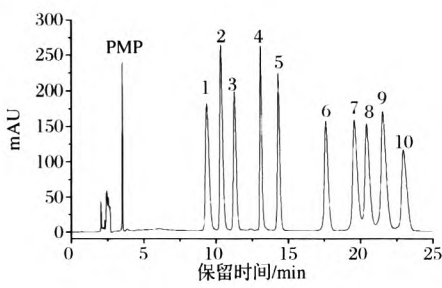
由图 1 可知,APP 和 AFP 在 4 000 ~ 400 cm^{-1} 波数范围内均具有糖类物质的吸收峰。3 435.16 cm^{-1} (APP) 和 3 430.80 cm^{-1} (AFP) 处的宽峰为 O—H 的伸缩振动。而出现在 3 000 ~ 2 800 cm^{-1} 内的弱吸收峰 (APP: 2 811.33 cm^{-1} 和 2 725.22 cm^{-1} ; AFP: 2 933.95 cm^{-1} 和 2 810.15 cm^{-1}) 为糖类的 C—H 伸缩振动。1 400 ~ 1 200 cm^{-1} 之间的 2 个峰 (APP: 1 383.95 cm^{-1} 和 1 348.66 cm^{-1} ; AFP: 1 384.66 cm^{-1} 和 1 348.26 cm^{-1}) 是 C—H 变角振动。每种特定多

糖在 1 200 ~ 950 cm^{-1} 内具有特殊的吸收峰,其出峰位置和强度都是特定的,故 1 200 ~ 950 cm^{-1} 波长区间也称为多糖分子的指纹区^[16]。1 108.98、1 016.53、964.61 cm^{-1} (APP) 和 1 102.65、1 017.73、953.50 cm^{-1} (AFP) 为吡喃糖环的醚键 (C—O—C) 和羟基的吸收峰。红外结果表明 APP 和 AFP 均有吡喃糖环的存在。

3.3 APP 和 AFP 单糖组成分析

PMP 是标记还原糖选择性非常高的试剂,由于 PMP 可以在温和的条件下与还原糖进行定量反应,且具有不易裂解,分析时不产生异构峰等优点,已被成功地应用于多糖化合物的单糖组成分析^[17-19]。

图 2 为 10 种 PMP 标记的单糖标准品的 HPLC 色谱图。



1. D-甘露糖 (Man); 2. D-核糖 (Rib); 3. L-鼠李糖 (Rha); 4. D-葡萄糖醛酸 (GlcUA); 5. D-(+)-半乳糖醛酸 (GalUA); 6. D-(+)-葡萄糖 (Glc); 7. D-木糖 (Xyl); 8. D-(+)-半乳糖 (Gal); 9. L-(+)-阿拉伯糖 (Ara); 10. L-岩藻糖 (Fuc)

图 2 10 种 PMP 标记的单糖标准品的 HPLC 色谱图

Fig. 2 HPLC chromatogram of 10 PMP-labeled standard monosaccharides

由图 2 可以看出,10 种单糖标准品在 25 min 内达到很好的基线分离效果,出峰顺序为:甘露糖、核糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖、木糖、半乳糖、阿拉伯糖、岩藻糖。根据各单糖的出峰时间可以确定样品的单糖组成,根据峰面积可以求得样品的浓度,进而求得样品单糖组成的摩尔百分数。10 种 PMP 标记的单糖标准品的 HPLC 结果与 APP 和 AFP 单糖组成的摩尔百分数如表 1 所示。由表 1 可知,APP 和 AFP 均由 10 种单糖组成,但各组分的摩尔百分数存在一定差异。APP 中各单糖的摩尔百分数分别为: 1.460%、1.662%、3.065%、11.692%、21.212%、8.079%、5.500%、13.236%、32.261%、1.833%,主要由阿拉伯糖、半乳糖醛酸、半乳糖和葡萄糖醛酸 4 种单糖组成,其摩尔百分数之和达 78.40%。此外,酸性半乳糖醛酸和半乳糖醛酸的摩

尔百分数约为 32.90%，这表明 APP 为酸性杂多糖。AFP 中各单糖的摩尔百分数分别为：2.239%、0.306%、6.174%、5.360%、29.327%、8.572%、7.389%、10.191%、28.287%、1.974%，主要由半乳糖醛酸、阿拉伯糖、半糖和葡萄糖组成，其摩尔百分数之和达 76.56%。且酸性葡萄糖醛酸和半乳糖醛酸的摩尔百分数约为 34.69%，表明 AFP 也是一种酸性糖。窦姣等^[20]报道苹果全渣多糖主要由阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖、木糖组成，与本研究结果基本一致，同时由于苹果品种不同，其单糖组成会存在一些差异，但阿拉伯糖和半乳糖为其共同主要组成单糖。

表 1 10 种 PMP 标记的单糖标准品的 HPLC 结果与 APP 和 AFP 单糖组成的摩尔百分数

Table 1 HPLC results of 10 PMP-labeled standard monosaccharides and the molar ratio of APP and AFP						
标准品	保留时间/ min	线性方程 ($Y=aX+b$)	R^2	摩尔百分数/%		
				AFP	APP	
甘露糖	9.265	$Y=1\,200.2X+3.459$	0.974 8	2.239	1.460	
核糖	10.351	$Y=1\,388.0X+2.608$	0.982 7	0.306	1.662	
鼠李糖	11.305	$Y=772.2X+13.242$	0.997 2	6.174	3.065	
葡萄糖醛酸	13.137	$Y=977.9X+2.696$	0.991 8	5.360	11.692	
半乳糖醛酸	14.361	$Y=962.9X+3.793$	0.994 2	29.327	21.212	
葡萄糖	17.625	$Y=1\,226.3X-5.720$	0.991 3	8.572	8.079	
木糖	19.561	$Y=1\,625.6X-8.344$	0.997 6	7.389	5.500	
半乳糖	20.322	$Y=1\,643.9X-12.427$	0.997 4	10.191	13.236	
阿拉伯糖	21.430	$Y=1\,982.6X-12.786$	0.992 5	28.287	32.261	
岩藻糖	22.825	$Y=1\,351.6X-7.341$	0.996 4	1.974	1.833	

以上分析结果表明，APP 和 AFP 均由 10 种单糖组成，各单糖摩尔百分数比例存在一定差异，且主要由阿拉伯糖、半乳糖醛酸和半乳糖组成，二者均为酸性多糖。此外，有研究指出，阿拉伯糖和半乳糖有很好的抗肿瘤活性^[21-22]，这说明 APP 和 AFP 可望有较高的生物活性。

3.4 APP 和 AFP 体外抗氧化活性比较

3.4.1 APP 和 AFP 对 DPPH·清除能力的比较

DPPH 自由基清除能力是分析源自天然的食物和物质的常用手段，它能在较短的时间内进行抗氧化活性评价^[23]。图 3 是 APP 和 AFP 清除 DPPH·能力比较，由图 3 可知，APP 和 AFP 均具有一定的 DPPH·清除能力，且这种 DPPH·清除能力呈浓度依赖，即在 0~5 mg/mL 内，APP 和 AFP 的清除能力分别为 0~74.35%，0~35.80%，但均小于 Vc 的清除能力 0~93.38% (0~2 mg/mL)，随着 APP 和 AFP 浓度的增大，其对 DPPH·的清除能力不断增大，且逐渐接近于 Vc 的清除能力，在 5 mg/mL 时，APP 和 AFP 的清

除能力分别达到 74.35% 和 35.80%。这种 APP 和 AFP 清除 DPPH·能力的不同可能与多种因素有关，如多糖的结构，分子质量和多糖组成^[24]。

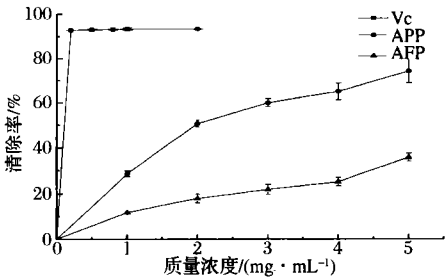


图 3 APP 和 AFP 清除 DPPH·能力比较
Fig. 3 Comparison of DPPH radical scavenging capacity between APP and AFP

3.4.2 APP 和 AFP 还原力的比较

还原力可以作为评价某一化合物是否具有潜在的抗氧化活性的重要指标，有报道指出某些植物提取物的抗氧化活性和还原力有直接的关系^[25]。图 4 是 APP 和 AFP 总还原力的比较，由图 4 可知：在试验浓度范围 0~10 mg/mL，APP 和 AFP 表现出一定的还原力，且表现出剂量依赖关系，均随浓度的增大而升高，当浓度为 10 mg/mL 时，APP 和 AFP 的总还原力分别为 0.11 和 0.25，而 Vc 的还原力为 2.21。在相同的浓度条件下，还原能力的顺序为：AFP < APP < Vc，这可能是因为 APP 中还原性较强的酚类物质含量较高。

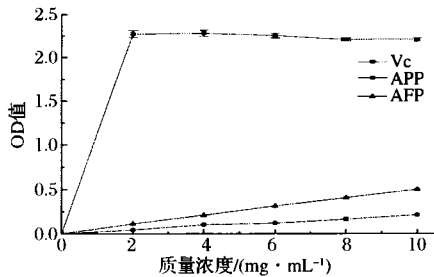


图 4 APP 和 AFP 还原力的比较
Fig. 4 Comparison of reducing power between APP and AFP

3.4.3 APP 和 AFP 对·OH清除能力的比较

·OH 和其他自由基相比，是生物体内最活泼的活性氧，可导致大量的疾病发生。对·OH清除率的检测也是抗氧化剂抗氧化活性的指标之一。图 5 是 APP 和 AFP 清除·OH能力的比较，由图 5 可知，APP 和 AFP 均具有一定的·OH清除能力，APP 和 AFP 清除·OH的能力随着多糖溶液浓度的增大而增大，但 APP 对·OH的清除能力的增加较快，当 APP 的浓度达到 5 mg/mL 时，其对·OH清除能力达

到 88.87%, 接近于 Vc 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力 (99.55%), 而 AFP 对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力的增加较缓慢, 当 AFP 的浓度达到 5 mg/mL 时, 其对 $\cdot\text{OH}$ 的清除能力达到 50.32%, 这说明 AFP 的 $\cdot\text{OH}$ 清除能力不如 APP。

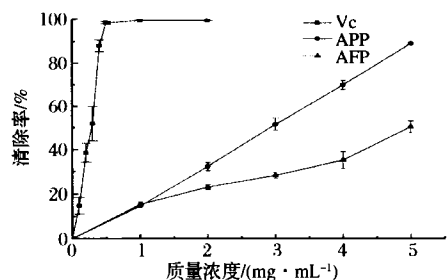


图5 APP 和 AFP 清除 $\cdot\text{OH}$ 能力比较

Fig.5 Comparison of $\cdot\text{OH}$ scavenging capacity between APP and AFP

4 结论

水提醇沉法所得 APP 和 AFP 的总糖含量分别达到 72.02% 和 82.06%, 其中蛋白质含量仅为 1.52% 和 0.86%。红外光谱分析表明, 二者均含有吡喃糖环。APP 和 AFP 均由甘露糖、核糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖、木糖、半乳糖、阿拉伯糖、岩藻糖这 10 种单糖组成, 各单糖所占比例存在差异, 且其主要组成均为阿拉伯糖、半乳糖醛酸和半乳糖组成, 表明 APP 和 AFP 均为酸性杂多糖。此外, APP 和 AFP 均显示出很强的 DPPH \cdot 和 $\cdot\text{OH}$ 清除能力和较弱的还原力, 且相同浓度下 APP 的抗氧化活性显著高于 AFP。因此, 利用苹果加工过程中产生的果皮和果肉渣分别提取多糖, 可以作为一种天然的抗氧化剂, 同时对增加苹果附加值和保护环境具有多重意义。

参 考 文 献

- [1] 窦姣, 郭玉蓉, 薛战锋, 等. 榨前分离苹果皮多糖的鉴定及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(1): 111-115.
- [2] 马文杰, 郭玉蓉, 魏决. 应用二次回归旋转正交组合设计提取水溶性苹果多糖的工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(20): 105-108.
- [3] 杨素. 苹果中多糖和黄酮类化合物肝损伤保护作用的药理活性研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2013.
- [4] 李倩. 苹果寡糖的制备、结构鉴定与抗肿瘤活性研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2013.
- [5] 李宇华. 低分子量苹果多糖的结肠炎癌变预防作用及

- 机制研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2010.
- [6] 李志华, 宋晓凯, 赵艳敏, 等. 不同品种苹果果皮和果肉中总三萜含量的测定[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(11): 87-90.
- [7] 王皎, 高颖, 赵艳敏, 等. 测定不同品种苹果果皮和果肉中总多酚的含量[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(20): 87-89.
- [8] 赵玉, 任亚梅, 张爽, 等. 苹果果皮和果肉多酚稳定性研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 93-101.
- [9] 靳兰, 陈佰鸿, 毛娟, 等. 两个品种苹果果皮和果肉中香气成分的比较[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(6): 149-154.
- [10] 张维杰. 糖复合物生化研究技术[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1994: 11-12.
- [11] 窦姣, 郭玉蓉, 薛战锋, 等. 超声辅助提取工艺中 pH 对苹果果胶品质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(10): 172-176.
- [12] 田灵敏, 邱雪梅, 潘子敬, 等. 新型糖组成高效液相色谱分析技术的构建及其在水飞蓟多糖质控中的应用[J]. 药学学报, 2010, 45(4): 498-504.
- [13] WANG X, LU X. Characterization of pectic polysaccharides extracted from apple pomace by hot-compressed water[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 102, 174-184.
- [14] 马虎飞, 王思敏, 杨章民. 陕北野生枸杞多糖的体外抗氧化活性[J]. 食品科学, 2011, 32(3): 60-63.
- [15] LIU Y, DU Y Q, WANG J H, et al. Structural analysis and antioxidant activities of polysaccharide isolated from Jinqian mushroom[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 64: 63-68.
- [16] ZHANG S, HE B, GE J, et al. Extraction, chemical analysis of Angelica sinensis polysaccharides and antioxidant activity of the polysaccharides in ischemia-reperfusion rats[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2010, 47(4): 546-550.
- [17] 王泽文, 冷凯良, 孙伟红, 等. 柱前衍生高效液相色谱法分析海带岩藻聚糖的单糖及糖醛酸组成[J]. 分析科学学报, 2011, 27(1): 26-30.
- [18] 王向红, 吉爽爽, 生庆海, 等. 柱前衍生高效液相色谱法检测 8 种枣水溶性多糖的单糖组成[J]. 中国食品学报, 2014, 14(9): 257-262.
- [19] 戴军, 朱松, 汤坚, 等. PMP 柱前衍生高效液相色谱法分析杜氏盐藻多糖的单糖组成[J]. 分析测试学报, 2007, 26(2): 206-210.
- [20] 窦姣, 郭玉蓉, 李洁, 等. 苹果疏除幼果与成熟果多糖成分分析及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(1): 110-114.
- [21] PEI J J, WANG Z B, MA H L, et al. Structural features

- and antitumor activity of a novel polysaccharide from alkaline extract of *Phellinus linteus* mycelia [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2015, 115: 472 – 477.
- [22] YAN C, YIN Y, ZHANG D, et al. Structural characterization and in vitro antitumor activity of a novel polysaccharide from *Taxus yunnanensis* [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2013, 96(2): 389 – 395.
- [23] SEEDEVI P, MOOVENDHAN M, SUDHARSAN S, et al. Structural characterization and bioactivities of sulfated polysaccharide from *Monostroma oxyspermum* [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2015, 72: 1 459 – 1 465.
- [24] ZHANG Y, LU X, FU Z, et al. Sulphated modification of a polysaccharide obtained from fresh persimmon (*Diospyros kaki* L.) fruit and antioxidant activities of the sulphated derivatives [J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(3): 1 084 – 1 090.
- [25] KAN Y, CHEN T, WU Y, et al. Antioxidant activity of polysaccharide extracted from *Ganoderma lucidum* using response surface methodology [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2015, 72: 151 – 157.

Comparison of composition and antioxidant activity of polysaccharides from apple peel and apple flesh

LI Jie, GUO Yu-rong*, JIA Feng, ZHANG Xiao-rui

(College of Food Engineering and Nutritional Science, Shanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

ABSTRACT To explore the difference between apple peel and apple flesh polysaccharides, traditional hot water extracting method was used to extract apple peel polysaccharides (APP) and apple flesh polysaccharides (AFP) from apple peel and flesh pomace, respectively. Then high performance liquid chromatography (HPLC) based on pre-column derivatization with PMP was employed to investigate the composition of APP and AFP. Besides, the antioxidant activity of APP and AFP were evaluated in vitro. The results showed that both APP and AFP were composed of mannose, ribose, rhamnose, glucuronic acid, galacturonic acid, glucose, xylose, galactose, arabinose, fucose with arabinose, galacturonic acid and galactose being the main components, however their proportion differed greatly. APP and AFP exhibited strong DPPH· and ·OH radical scavenging capacity and relative low reducing powers, while the antioxidant activity of APP was higher than AFP at the same concentration.

Key words apple; polysaccharide; peel; flesh; composition; antioxidant