

doi:10.12301/j.issn.2095-6002.2021.05.006

文章编号:2095-6002(2021)05-0049-07

引用格式:曲鹏辉,滕超,鹿发展,等.小麦麸皮木聚糖理化性质及抗氧化活性研究[J].食品科学技术学报,2021,39(5):49-55.



QU Penghui, TENG Chao, LU Fazhan, et al. Study on physicochemical properties and antioxidant activity of xylan extracted from wheat bran[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 39(5):49-55.

小麦麸皮木聚糖理化性质及抗氧化活性研究

曲鹏辉¹, 滕超^{1,2,*}, 鹿发展¹, 张小涵¹, 夏韩硕¹,
范光森², 李秀婷^{1,2,*}

(1. 北京工商大学 食品质量与安全北京实验室, 北京 100048;

2. 北京工商大学 北京市食品添加剂工程技术研究中心, 北京 100048)

摘要:小麦麸皮是天然可再生的农业副产品,其中木聚糖是小麦麸皮中非淀粉多糖的主要成分,具有优良的理化特性和生理活性;但小麦麸皮多作为醋、酱油或饲料等其他廉价产品的原料,造成了资源浪费。通过对小麦麸皮高温蒸煮液进行乙醇分级沉淀,得到4种木聚糖组分(EXy40、EXy60、EXy80、EXy90),对各组分进行单糖组成分析、相对分子质量测定、红外光谱分析;考察了酶解对4种木聚糖组分体外抗氧化活性的影响。结果表明:4种木聚糖组分的相对分子质量分布较窄,多分散性系数较小;经改性后,体外抗氧化活性均有显著增强,其中EXy40、EXy80和EXy90三种组分的羟自由基清除率达到97%以上。研究以期小麦麸皮的综合开发利用及深入探索小麦麸皮木聚糖的构效关系,提供一定的理论依据。

关键词:小麦麸皮木聚糖;高温蒸煮;乙醇分级沉淀;改性;抗氧化活性

中图分类号: TS210.9; O636.1+3

文献标志码: A

小麦麸皮是小麦制粉过程中主要的副产物,约占小麦籽粒的22%~25%,富含多种功能成分,如膳食纤维、蛋白质、黄酮类和酚酸类等。然而,目前大部分小麦麸皮主要作为醋、酱油或饲料等其他廉价产品的原料。

小麦麸皮的主要成分包含46%的非淀粉多糖,其中阿拉伯木聚糖约为70%,是麦麸中重要的生理活性物质。木聚糖作为一种可再生的天然半纤维素,由 β -D-吡喃木糖残基通过 β -1,4糖苷键连接而成主链,阿拉伯糖、葡糖醛酸、4-O-甲基醚或乙酸等其他基团与主链相连形成侧链^[1]。木聚糖具有溶解性、氧化凝胶性等优良理化特性,及抗氧化^[2]、降

血糖^[3]、降血脂^[4]和调节免疫力^[5]等功效,在食品、化工和医疗等领域中应用潜力巨大。木聚糖酶是半纤维素酶体系中一种极为重要的酶,催化木聚糖骨架中 β -1,4糖苷键的断裂水解,生成低聚木糖。木聚糖的主链聚合度、取代度、侧残基和侧链长度等结构的不同,其理化性质也会存在明显差异。

目前,研究多集中在麦麸无糖的提取工艺优化,对其木聚糖理化性质的系统分析较少。本研究采用高温蒸煮及乙醇分级沉淀的方法,从小麦麸皮中提取到4种小麦麸皮木聚糖组分,系统地对这4种木聚糖组分的相对分子质量、官能团及显微结构等进行分析,并通过耐热木聚糖酶对木聚糖进行酶解,研

收稿日期:2020-06-22

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0400206);国家自然科学基金资助项目(31671793;31201449);2019年度国家留学基金管理委员会资助项目。

第一作者:曲鹏辉,女,硕士研究生,研究方向为食品生物技术。

*通信作者:滕超,男,副教授,博士,主要从事食品生物技术方面的研究;

李秀婷,女,教授,博士,主要从事食品微生物及酶工程方面的研究。

究酶解前后木聚糖体外抗氧化活性的变化,旨在探索影响和提升木聚糖抗氧化性能的方法及规律。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

小麦麸皮,河北五得利面粉集团有限公司;木聚糖酶,北京食品营养与人类健康高精尖创新中心保藏的嗜热真菌 *Talaromyces thermophilus* F1208 发酵所得;耐高温 α -淀粉酶,北京索莱宝科技有限公司;Protamax 复合蛋白酶,诺维信酶制剂公司;葡萄糖、半乳糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、葡萄糖醛酸标准品,美国 Sigma 试剂公司;国产色谱纯乙腈,国产分析纯无水乙醇、三氟乙酸、甲醇、氯仿、1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、PMP、硝酸钠,上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

LC-6 型高温高压反应釜,德国优莱博公司;Free zone 4.5plus 型真空冷冻干燥机,美国 Labconco 公司;Nicolet IS50 型傅里叶变换红外光谱仪、多功能酶标仪,Thermo Scientific 公司;1260 型高效液相色谱仪,安捷伦科技有限公司;超高效聚合物色谱系统,美国 Waters 公司;SU8010 型扫描电子显微镜,日本日立公司。

1.3 实验方法

1.3.1 麦麸木聚糖的制备

麸皮与蒸馏水的料液比(g/mL)为 1:12,Protamax 复合蛋白酶的加酶量为麸皮质量的 3%,在 45℃ 下水浴振荡酶解 2 h,加 1.5% (以麸皮质量计)的耐高温 α -淀粉酶,在 100℃ 条件下,酶解 30 min,碘液验证淀粉是否完全水解。烘干至恒重制得去淀粉、脱蛋白的麦麸,粉碎,以料液比(g/mL)1:15 与去离子水混合,设置反应釜的参数为温度 170℃,保温时间 0 min。高温蒸煮结束后,冷却至室温以 8 000 r/min 离心 15 min,液体浓缩至一定体积。

1.3.2 麦麸木聚糖组分的分离

采用乙醇分级沉淀法分离麦麸木聚糖^[6]。在高温蒸煮后的木聚糖提取液中加入乙醇,由低到高依次调整乙醇体积分数至 40%、60%、80% 和 90%。每次调节后,将混合液于 4℃ 冰箱中静置 1 h,8 000 r/min 离心 10 min,固体沉淀进行冷冻干燥,得到 4 种木聚糖组分分别标记为 EXy40、EXy60、EXy80 和 EXy90。

1.3.3 麦麸木聚糖组分相对分子质量测定

参考文献[7],将 4 种麸皮木聚糖组分配置成

1 mg/mL 的水溶液,用于超高效凝胶渗透色谱 APC 联用多角度激光散射仪测定相对分子质量分布。流动相为 20 mmol/L 硝酸钠溶液,流速为 0.35 mL/min;柱温 35℃;进样量 20 μ L;色谱柱为 ACQUITY APC 200、ACQUITY APC 250 和 ACQUITY APC 400(三柱串联)。

1.3.4 麦麸木聚糖傅里叶变换红外光谱分析

取少量不同麦麸木聚糖组分样品,置于傅里叶变换红外光谱仪进行测定,扫描范围为 400 ~ 4 000 cm^{-1} 。

1.3.5 麦麸木聚糖单糖组成测定

参照文献[8],称取 2.5 mg 样品于 5 mL 安瓿瓶中,加入 2 mol/L 的三氟乙酸 1 mL,熔封,110℃ 水解 2 h,结束后在坩埚中蒸发至无酸性气味,加入 1 mL 蒸馏水,吸取 250 μ L 水解液,再加入等体积的 0.6 mol/L NaOH 和 500 μ L PMP-甲醇溶液(0.4 mol/L),70℃ 下水浴 1 h,冷却至室温后,加入 500 μ L HCL 溶液(0.3 mol/L)中和,加入 1 mL 氯仿振荡,静置,弃下层有机相,重复萃取 3 次以上,将萃取后的上清液用 0.22 μm 有机滤膜过滤后用于上样。

取衍生化的样品溶液及标准品用高效液相色谱仪进行检测分析,检测条件:色谱柱为 ZORBAX Eclipse Plus C18(4.6 mm \times 250 mm,5 μm),流动相为 20 mmol/L 磷酸盐缓冲液(pH 值 6.9)-乙腈溶液(体积比 83:17),流速 1 mL/min,检测波长 250 nm,柱温 30℃,进样量 10 μ L,等梯度洗脱。

1.3.6 木聚糖酶酶解条件优化

将 4 种木聚糖组分分别配置成质量浓度为 10 mg/mL 的溶液,加入木聚糖酶对木聚糖进行酶解,DNS 法测定酶解液中还原糖含量,并以还原糖含量为指标,采用单因素轮换法依次考察 pH 值、酶解时间、加酶量和酶解温度对木聚糖酶酶解特性的影响。

1.3.7 酶解产物薄层色谱分析

将 4 种木聚糖组分按优化酶解条件充分酶解后,酶解产物加入阴离子树脂,吸附过夜,点样于薄层色谱板,于展开槽中展开 2 次,吹干,放入显色剂中显色。以 $V(\text{正丁醇}):V(\text{醋酸}):V(\text{水})=2:1:1$ 为展开剂, $V(\text{硫酸}):V(\text{甲醇})=20:1$ 为显色剂。

1.3.8 体外抗氧化活性测定

1) DPPH·清除能力测定^[9]:吸取 100 μ L DPPH-乙醇溶液(0.5 mmol/L)与不同质量浓度(0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mg/mL)的木聚糖溶液等体

积混合,放置黑暗处 30 min 并不断振荡,在 517 nm 用酶标仪测定样品反应液的吸光度,以相同质量浓度的维生素 C (Vc) 为阳性对照。清除率按式(1)计算。

$$\text{清除率} = [1 - (A_i - A_j) / A_0] \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, A_0 ,蒸馏水代替样品溶液吸光度; A_j ,无水水醇代替 DPPH-乙醇时样品溶液的吸光度; A_i ,待测样品溶液吸光度。

2) $\cdot\text{OH}$ 清除能力测定^[10]:将 0.5 mL 木聚糖样品溶液(0.5、1.0、1.5、2.0、2.5 mg/mL)与 0.5 mL FeSO_4 (6 mmol/L) 和 0.5 mL 水杨酸-乙醇溶液(6 mmol/L)混合,加入 0.5 mL 过氧化氢溶液(6 mmol/L),37 °C 水浴 30 min 后,取上清液,在 510 nm 处用酶标仪立即测定样品反应液的吸光度,以相同质量浓度的维生素 C 为阳性对照。清除率计算同式(1),此时, A_j 为用蒸馏水代替过氧化氢的样品溶液的吸光度。

1.4 数据处理

所有实验重复 3 次,采用 Microsoft、Origin 及 SPSS 软件整理分析数据,数据均采用平均值 \pm 标准偏差的形式表示。

2 结果与分析

木聚糖的生理活性与其相对分子质量有关,分级醇沉可以有效分离具有不同相对分子质量和木糖残基取代度的木聚糖。通过高温蒸煮并乙醇分级沉淀得到 4 种木聚糖组分 (EXy40、EXy60、EXy80、EXy90),各木聚糖组分得率依次为 6.51%、5.64%、5.13% 和 1.34% (相对于预处理后麸皮的质量)。与较高体积分数的乙醇相比,较低体积分数的乙醇可以沉淀出更多的木聚糖组分。

2.1 木聚糖酶解条件优化结果

木聚糖的优化酶解条件如表 1,酶解后的样品进行真空冷冻干燥至恒重,以备后续实验使用。

表 1 木聚糖酶的优化酶解条件

Tab. 1 Optimal enzymolysis conditions of xylanase

酶解条件	EXy40	EXy60	EXy80	EXy90
pH 值	6.5	6.5	7.0	7.5
温度/°C	55	50	50	50
时间/h	4	2	2	2
加酶量/(U·mL ⁻¹)	25	20	20	20

2.2 理化性质分析

2.2.1 麦麸木聚糖组分的相对分子质量分析

通过凝胶渗透色谱法 (GPC) 测定乙醇分级沉淀

法提取的 4 种木聚糖组分的重均分子量 (M_w)、数均分子量 (M_n) 和多分散性系数 (M_w/M_n), 结果见表 2。当乙醇体积分数从 40% 增加到 60% 时, M_w 和 M_n 明显增大; 在乙醇体积分数为 60% 时, 木聚糖的 M_w 和 M_n 最大, 分别为 3.119×10^4 和 1.535×10^4 ; 进一步提高乙醇体积分数时, M_w 和 M_n 均大幅度降低。木聚糖的相对分子质量对其生理活性有着重要影响, 低相对分子质量的木聚糖分支少易聚集, 从而具有较高的黏度和良好的生理特性; 而高相对分子质量的木聚糖具有更高的抗氧化活性^[11]。其次, 随着醇沉体积分数的增加, M_w/M_n 逐渐减小, EXy80 和 EXy90 的 M_w/M_n 均低于 1.5, 说明其相对分子质量分布很窄。由此可得, 高温蒸煮并乙醇分级沉淀制备得到了相对分子质量分布窄、多分散性系数小的木聚糖; 而这类多分散性系数小于 3 的多聚糖在商业上有很大的应用潜力。

表 2 4 种木聚糖组分的重均、数均分子量 and 多分散性系数

Tab. 2 Weight-average and number-average molecular weights and polydispersity coefficient of four xylan components

组分	EXy40	EXy60	EXy80	EXy90
M_n	8.759×10^3	1.535×10^4	7.992×10^3	3.818×10^3
M_w	2.352×10^4	3.119×10^4	1.038×10^4	4.536×10^3
M_w/M_n	2.685	2.033	1.299	1.188

2.2.2 麦麸木聚糖组分的红外光谱分析

4 种木聚糖组分 EXy40、EXy60、EXy80 和 EXy90 的红外光谱如图 1。4 种木聚糖组分在 3343 cm^{-1} 附近处均有较宽的吸收峰, 为纤维素、半纤维素中 O—H 的收缩振动; $2800 \sim 3000 \text{ cm}^{-1}$ 处为多糖分子中甲基或亚甲基中 C—H 伸缩振动的吸收峰^[12]; 在 1635 cm^{-1} 处吸收峰为木质素中苯环的特征吸收峰; 在 1248 cm^{-1} 处吸收峰表示纤维素和半纤维素中 C—O 的变形振动; 在 $1010 \sim 1050 \text{ cm}^{-1}$ 处吸收峰表示小麦麸皮木聚糖组分中含有吡喃糖^[13]; 在 $890 \sim 900 \text{ cm}^{-1}$ 处吸收峰表示 β -D-吡喃糖苷键中 C—H 变角振动的吸收峰。结果表明: 采用乙醇分级沉淀制备的 4 种麦麸木聚糖组分的特征官能团无显著性差异, 且均为多糖的典型基团。

2.2.3 麦麸木聚糖组分的单糖组成分析

乙醇沉淀法制备麦麸木聚糖的单糖组分含量分析见表 3。4 种麸皮木聚糖组分中, 糖组成成分包括 12.94% ~ 43.78% 木糖, 20.35% ~ 42.44% 阿拉伯糖, 5.44% ~ 20.95% 葡萄糖, 2.12% ~ 12.90% 甘露

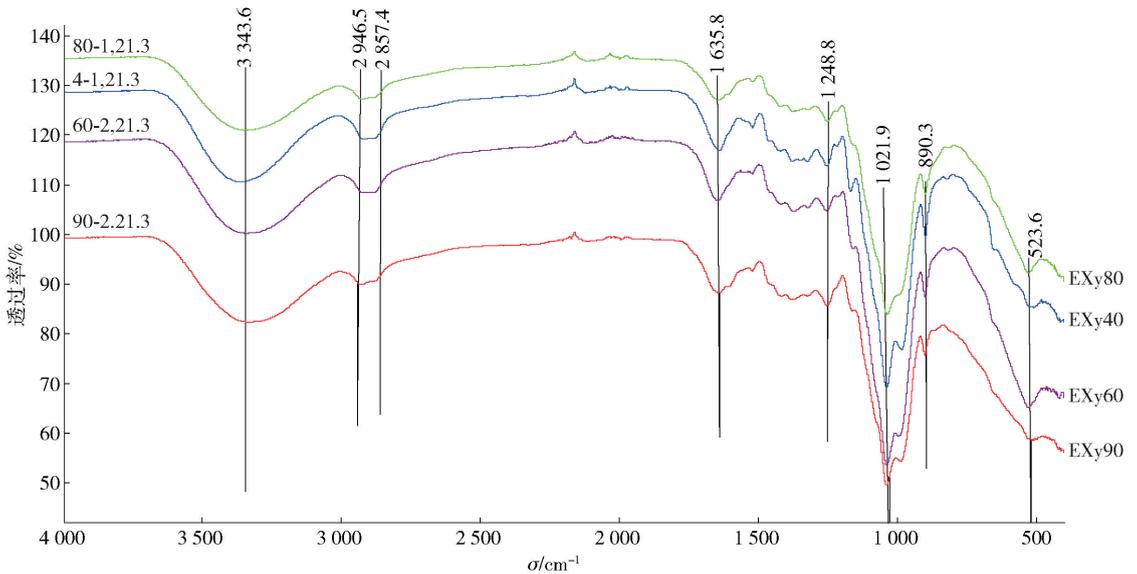


图1 4种木聚糖组分的FT-IR光谱

Fig. 1 FT-IR spectra of four xylan components

表3 4种木聚糖组分中糖基和糖醛酸的含量

Tab. 3 Contents of glycosyl and uronic acids of four xylan components

糖基	糖基含量/%			
	EXy40	EXy60	EXy80	EXy90
半乳糖	3.06	5.86	8.32	8.00
木糖	43.78	38.49	28.11	12.94
阿拉伯糖	25.65	37.97	42.44	20.35
葡萄糖	20.95	9.15	6.83	5.44
甘露糖	2.57	5.98	12.90	2.12
葡萄糖醛酸	3.99	2.55	1.39	2.02
$n(\text{阿拉伯糖})/$ $n(\text{木糖})$	0.58	0.98	1.51	1.57

糖和3.06%~8.32%半乳糖,而葡萄糖醛酸仅为1.39%~3.99%。葡萄糖可能来自葡萄糖醛酸、阿拉伯木聚糖和木葡聚糖,而半乳糖来自阿拉伯半乳聚糖,少量的葡萄糖醛酸可能是4-O-甲基葡萄糖醛酸以支链的形式存在。阿拉伯糖和木糖的摩尔比值常用来表示木聚糖聚合物的线性或分支程度^[14],且该值对木聚糖的溶解度也有重要影响,比值越大木聚糖的溶解度越好,分支度越低。由表3可知,随着乙醇体积分数从40%增加到90%,阿拉伯糖和木糖的摩尔比值从0.58增加到1.57,说明随着乙醇体积分数的增加,更多支化的木聚糖被沉淀出来,即支链木聚糖在较高乙醇体积分数下获得的更多。田贝贝等^[15]研究结果指出:基于不同分子质量和分支结构的阿拉伯木聚糖在乙醇中的溶解度不同,分级醇沉能够获到不同相对分子质量、阿拉伯糖和木糖的摩尔比值及木糖残基取代度的木聚糖,与本研究结果

一致。由此可得,不同体积分数的乙醇沉淀能够有效分离出不同分子结构及单糖比例的小麦麸皮木聚糖。

2.2.4 木聚糖酶解产物的薄层色谱分析

采用木聚糖酶对4种麦麸木聚糖组分进行酶解,酶解产物进行薄层色谱(TLC)分析,结果如图2。木聚糖酶对不同分子结构的木聚糖进行酶解,酶解产物的种类和含量皆不同。由图2(a)可知,随着乙醇体积分数的不断增加,各木聚糖组分酶解后还原糖含量逐渐降低,EXy40组分酶解后得到的还原糖质量分数最高,为303 mg/g;其次为EXy60、EXy80和EXy90木聚糖组分,质量分数分别为178、76、52 mg/g。由图2(b)可知,酶解后EXy40木聚糖组分含有木糖、阿拉伯糖、木二糖、木四糖和木五糖,酶解产物种类较多;EXy60木聚糖组分含有木糖、阿拉伯糖和木四糖;EXy80和EXy90木聚糖组分仅含有少量木糖和阿拉伯糖,种类相对较少。说明木聚糖酶水解较低乙醇体积分数醇沉得到的木聚糖时,可以产生大量的活性低聚糖。有研究表明:当木聚糖酶水解不同结构和组成成分的木聚糖时,由于木聚糖酶空间结构的容纳性,导致酶与底物的结合方式改变,从而引起产物变化。

2.3 酶解前后木聚糖体外抗氧化活性分析

2.3.1 DPPH·清除能力分析

酶解前后4种木聚糖组分清除DPPH·的能力如图3。由图3(a)可知,质量浓度0.5~2.5 mg/mL时,4种木聚糖组分对DPPH·的清除效果随质量浓度的增加

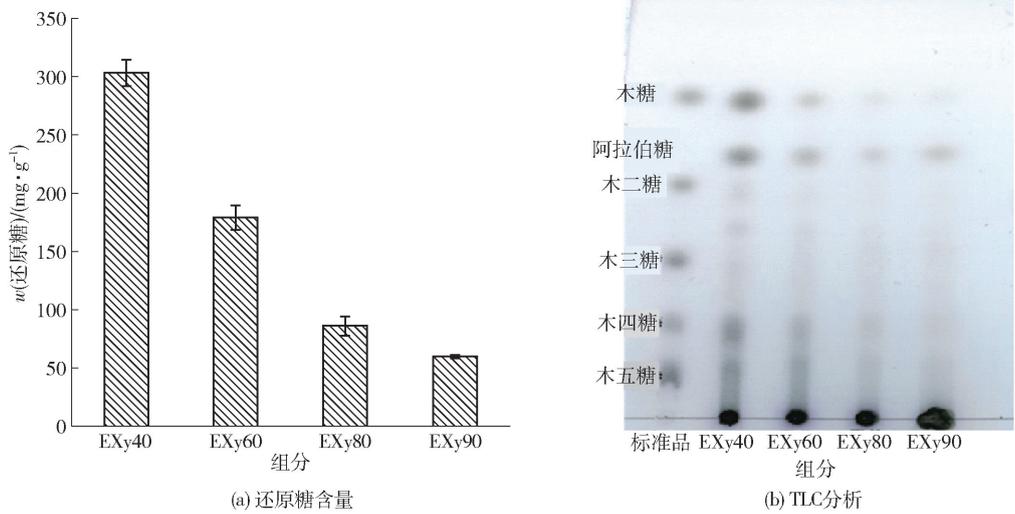


图2 4种木聚糖组分酶解后还原糖含量和TLC分析

Fig. 2 Contents of reducing sugar and TLC analysis after enzymatic hydrolysis of four xylan components

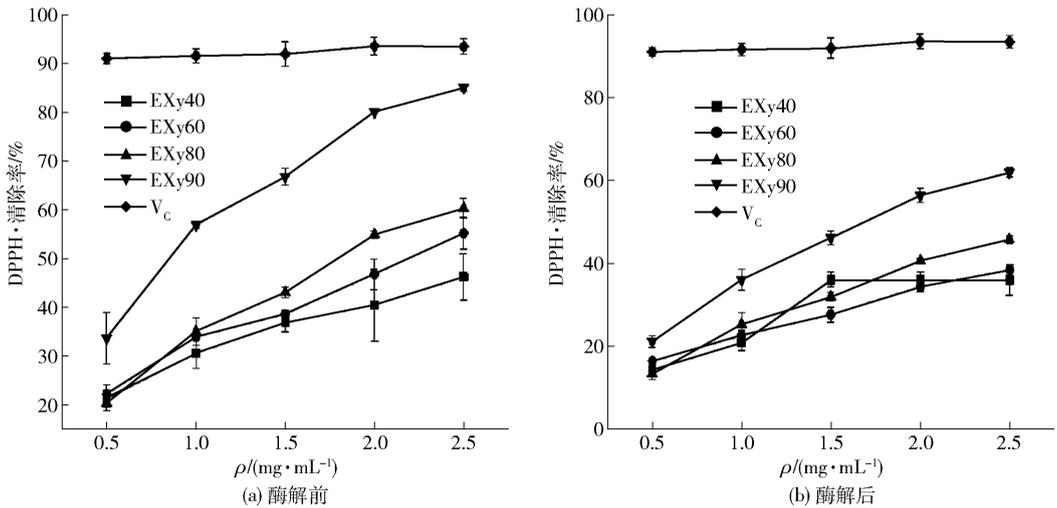


图3 4种木聚糖组分酶解前后的DPPH·清除率

Fig. 3 DPPH free radical scavenging rate before and after enzymolysis of four xylan components

而提高。其中,EXy90木聚糖组分清除能力较强,质量浓度为2.5 mg/mL时,DPPH·的清除率达到85%。由图3(b)可知,酶解后各木聚糖组分对DPPH·的清除能力整体趋势基本没有改变,EXy90木聚糖组分依然是4个组分中清除能力最高的,其次为EXy80和EXy60木聚糖组分。但与水解前相比,清除能力都有所降低。有文献报道:木聚糖酶随机水解木聚糖链,产生不同聚合度和取代度的低聚木糖,使木聚糖相对分子质量降低,而相对分子质量较高的木聚糖抗氧化能力更好^[2]。Valls等^[11]研究表明:桉树木聚糖的抗氧化活性随低聚木糖的长度的减小而降低,即抗氧化活性会随着低聚木糖聚合度的降低而降低。因此,酶水解使木聚糖聚合度、取代度及相对分子质量降低,

可能是抗氧化活性降低的原因。

2.3.2 ·OH清除能力分析

酶解前后4种木聚糖组分清除·OH的能力如图4。由图4(a)可知,质量浓度0.5~2.5 mg/mL时,随着质量浓度的增加,各木聚糖组分对·OH清除能力呈现缓慢上升的趋势,且4种木聚糖组分对·OH清除效果相差不大,均处于较低水平。由图4(b)可知,酶解后各木聚糖组分在0.5~2.5 mg/mL,随质量浓度的增加,·OH清除率迅速增加后趋于平缓;且相比酶解前,清除效果大幅度提高,其中EXy90、EXy80和EXy40木聚糖组分具有较高的·OH清除率,质量浓度为2.0 mg/mL以上时,均能达到97%左右。

4种木聚糖组分抗氧化活性的不同在于其相对

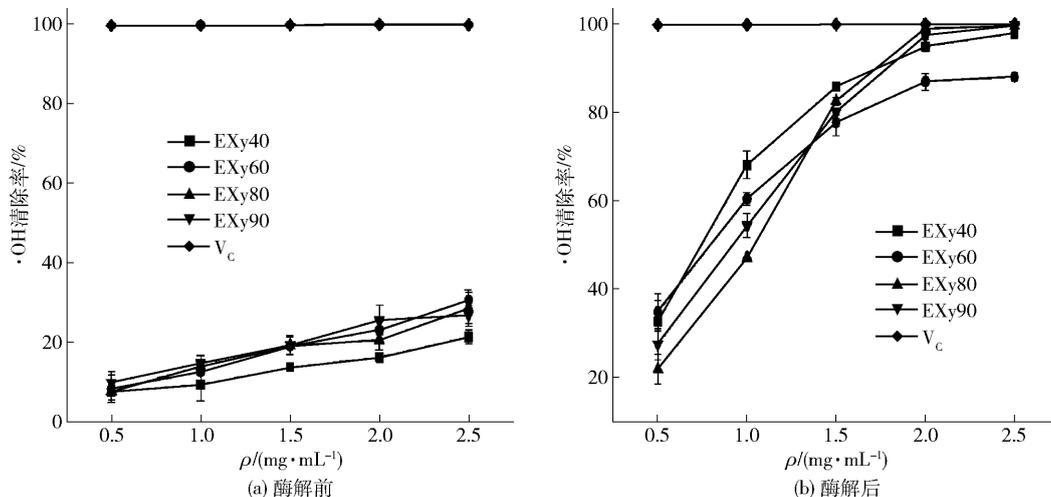


图4 4种木聚糖组分酶解前后的·OH清除率

Fig. 4 OH free radical scavenging rate before and after enzymolysis of four xylan components

分子质量、单糖比例和分支结构的差异。酶解前,与DPPH·清除能力相比,4种木聚糖组分的·OH清除能力相对较弱,原因在于自由基清除的作用机理不同,DPPH·清除率的测定是基于自身电子转移;而·OH清除率的测定是基于络合机理,且可能受多方面因素的影响,有待于进一步研究。酶解后4种木聚糖组分的·OH清除能力大幅度提高,抗氧化活性改变,可能是因为木聚糖酶的水解作用使木聚糖组分的聚合度、取代度及相对分子质量降低。

3 结论

本研究采用高温蒸煮对小麦麸皮进行处理,并对蒸煮液进行乙醇分级沉淀,经离子色谱、FT-IR、单糖组成分析,明确了4种木聚糖组分组成,即以木糖和阿拉伯糖为主,且相对分子质量分布较窄,多分散性系数较小。采用酶法修饰木聚糖组分,显著提升了木聚糖组分对·OH的清除能力。研究结果旨在为开发具有高抗氧化活性的木聚糖资源提供新的方向。

参考文献:

[1] NAIDU D S, HLANGOTHI S P, JOHN M J. Bio-based products from xylan: a review [J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 179: 28–41.

[2] RAO R S P, MURALIKRISHNA G. Water soluble feruloyl arabinoxylans from rice and ragi: changes upon malting and their consequence on antioxidant activity [J]. Phytochemistry, 2006, 67(1): 91–99.

[3] DHITAL S, DOLAN G, STOKES J R, et al. Enzymatic hydrolysis of starch in the presence of cereal soluble fibre

polysaccharides [J]. Food and Function, 2014, 5(3): 579.

- [4] GUNNESS P, WILLIAMS B A, GERRITS W J J, et al. Circulating triglycerides and bile acids are reduced by a soluble wheat arabinoxylan via modulation of bile concentration and lipid digestion rates in a pig model [J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2016, 60(3): 642–651.
- [5] WANG J, SUN B, CAO Y, et al. *In vitro* fermentation of xylooligosaccharides from wheat bran insoluble dietary fiber by *Bifidobacteria* [J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 82(2): 419–423.
- [6] 王娜, 马琳, 谢新华, 等. 红枣多糖初步纯化及其对体外抗凝活性的影响 [J]. 中国食品学报, 2015, 15(10): 141–146.
- WANG N, MA L, XIE X H, et al. The effect of extraction and purification process on anticoagulant activity of polysaccharide of jujube [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(10): 141–146.
- [7] 刘丽娅, 张梅红, 钟葵, 等. 酸法和酶法制备不同分子质量的麦麸阿拉伯木聚糖 [J]. 中国食品学报, 2013, 13(12): 52–58.
- LIU L Y, ZHANG M H, ZHONG K, et al. Preparation of arabinoxylans extracted from wheat bran with different molecular weight by acid and enzymatic degradation [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(12): 52–58.
- [8] 张守军, 王荣申, 刘兵, 等. 柱前衍生化 HPLC 法测定香椿子多糖的单糖组成 [J]. 山东化工, 2015, 44(17): 71–73.
- ZHANG S J, WANG R S, LIU B, et al. Determination of monosaccharide components of toona sinensis seed

- polysaccharide by pre-column derivatization HPLC method[J]. Shandong Chemical Industry, 2015, 44(17): 71–73.
- [9] VARDAKOU M, NUENO PALOP C, GASSON M, et al. *In vitro* three-stage continuous fermentation of wheat arabinoxylan fractions and induction of hydrolase activity by the gut microflora[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2007, 41(5): 584–589.
- [10] JIANHUA X, MENGXIA D, MINGYUE S, et al. Physico-chemical properties, antioxidant activities and angiotensin-I converting enzyme inhibitory of protein hydrolysates from mung bean (*Vigna radiate*) [J]. Food Chemistry, 2019, 270: 243–250.
- [11] VALLS C, PASTOR F, VIDAL T, et al. Antioxidant activity of xylooligosaccharides produced from glucuronoxylan by Xyn10A and Xyn30D xylanases and eucalyptus autohydrolysates [J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 194: 43–50.
- [12] LI N, FENG Z, NIU Y, et al. Structural, rheological and functional properties of modified soluble dietary fiber from tomato peels [J]. Food Hydrocolloids, 2018, 77: 557–565.
- [13] WANG W, MA X, JIANG P, et al. Characterization of pectin from grapefruit peel: a comparison of ultrasound-assisted and conventional heating extractions [J]. Food Hydrocolloids, 2016, 61: 730–739.
- [14] XU F, SUN J X, GENG Z C, et al. Comparative study of water-soluble and alkali-soluble hemicelluloses from perennial ryegrass leaves (*Lolium perenne*) [J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 67(1): 56–65.
- [15] 田贝贝, 陈洁, 王远辉. 小麦淀粉加工废水中阿拉伯木聚糖的理化性质及抗氧化活性研究 [J]. 食品工业科技, 2017, 38(15): 40–44.
- TIAN B B, CHEN J, WANG Y H. Study on physico-chemical properties and antioxidant activity of arabinoxylan from wheat starch wastewater [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(15): 40–44.

Study on Physicochemical Properties and Antioxidant Activity of Xylan Extracted from Wheat Bran

QU Penghui¹, TENG Chao^{1,2,*}, LU Fazhan¹, ZHANG Xiaohan¹, XIA Hanshuo¹,
FAN Guangsen², LI Xiuting^{1,2,*}

(1. Beijing Laboratory for Food Quality and Safety, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China; 2. Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: Wheat bran is a natural and renewable agricultural by-product. Among them, xylan is the main component of non-starch polysaccharides in wheat bran and has excellent physicochemical properties and physiological activities. Wheat bran is mostly used as a raw material for other cheap products such as vinegar, soy sauce or feed, resulting in a waste of resources. Xylan was prepared by different gradient concentrations of ethanol from wheat bran high-temperature cooking liquor and four precipitation fractions were obtained, which were EXy40, EXy60, EXy80 and EXy90. Monosaccharide compositions, relative molecular weight and infrared spectrum of four kinds of xylan were determined. Moreover, effects of enzymatic modification on the *in vitro* antioxidant activities of xylans were investigated. As a result, the relative molecular weight distribution of the four xylan components was narrow and the polydispersion coefficient was small. The *in vitro* antioxidant activities of the four xylan components were significantly enhanced after enzymatic hydrolysis. The scavenging effect on hydroxyl radical was improved, and the removal rate of EXy40, EXy80 and EXy90 could reach more than 97%. This study might provide a certain theoretical basis for the comprehensive development and utilization of wheat bran and the in-depth study of the structure-activity relationship of xylan extracted from wheat bran.

Keywords: wheat bran xylan; high-temperature cooking; ethanol fractional precipitation; modification; antioxidant activity

(责任编辑:张逸群)