

一种发酵麸皮多糖的提取 及其对大鼠的抗氧化作用

安晓萍,王 园^{*},史俊祥,段元霄,张倩茹,孟子琪,李 暄,齐景伟^{*}

(内蒙古农业大学动物科学学院,内蒙古呼和浩特 010018)

摘 要:对发酵麸皮多糖的提取工艺进行研究,测定其单糖组成,并对其体内抗氧化活性进行研究。采用水提醇沉法提取混菌发酵麸皮中的多糖,并优化提取条件;利用柱前衍生高效液相色谱法分析发酵麸皮多糖的单糖组成;腹腔注射敌草快建立大鼠氧化应激模型,测定低、中、高(100、200和400 mg/kg)剂量发酵麸皮多糖对模型大鼠血浆和肝脏组织中总抗氧化能力、抗氧化酶、还原型谷胱甘肽和丙二醛含量的影响。结果表明,发酵麸皮多糖的适宜提取条件为浸提料水比1:20(w/v,g/mL)、浸提温度80℃和浸提时间30 min,此条件下发酵麸皮多糖含量为151.57 mg/g;其单糖组成包括甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖和岩藻糖,摩尔比为2.70:0.62:100.20:4.34:7.80:12.23:35.17;与敌草快致氧化应激大鼠相比,灌胃多糖可显著提高大鼠血浆和肝脏组织中抗氧化酶活性和GSH含量($p < 0.05$),降低脂质过氧化产物MDA水平($p < 0.05$)。综上所述,适宜条件下提取的发酵麸皮多糖可缓解由敌草快诱导的大鼠氧化应激,因此该多糖具有在功能性食品方面的应用潜力。

关键词:发酵麸皮多糖,提取,单糖组成,氧化应激大鼠,抗氧化功能

Extraction of Fermented Wheat Bran Polysaccharides and Its Antioxidative Effects on Rats

AN Xiao-ping, WANG Yuan^{*}, SHI Jun-xiang, DUAN Yuan-xiao,
ZHANG Qian-ru, MENG Zi-qi, LI Xuan, QI Jing-wei^{*}

(College of Animal Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: To research the extraction process of polysaccharides from fermented wheat bran, determine its monosaccharide components, and investigate its antioxidative activity *in vivo*, using water extraction and alcohol precipitation method to extract fermented wheat bran polysaccharides (FWBP), and the extraction conditions were optimized. The monosaccharide composition of FWBP was determined by precolumnderivatization HPLC. The rats were established as oxidative stress model by peritoneal injecting diquat. The rats were orally treated with FWBP at 100, 200 and 400 mg/kg for 2 weeks, respectively. Effects of FWBP on the activities of total antioxidative capacity, catalase, glutathione peroxidase and superoxide dismutase, and the glutathione and malondialdehyde levels in the plasma and liver of rats were investigated. The results demonstrated that the optimum extraction conditions for FWBP were material/water ratio 1:20 (w/v, g/mL), extraction temperature 80℃ and extraction duration 30 min. The FWBP contained mainly mannose, rhamnose, glucose, galactose, xylose, arabinose and mycose with the molar ratio at 2.70:0.62:100.20:4.34:7.80:12.23:35.17. Compared with diquat induced oxidative-stress rats, pretreatment of rats with FWBP significantly increased the activities of CAT, SOD, GSH-Px and the levels of GSH whereas ($p < 0.05$) decreased the levels of MDA in plasma and liver ($p < 0.05$). In summary, FWBP exerted a protective effect against diquat-induced oxidative stress and would be worthy of becoming a potential dietary antioxidant.

Key words: fermented wheat bran polysaccharides; extraction; monosaccharide composition; oxidative stress rats; antioxidative properties

中图分类号: TS209

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)16-0281-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2018.16.050

引文格式: 安晓萍, 王园, 史俊祥, 等. 一种发酵麸皮多糖的提取及其对大鼠的抗氧化作用[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 281-285.

收稿日期: 2017-11-17

+ 并列第一作者

作者简介: 安晓萍(1973-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 生物饲料的研发与应用, E-mail: Xiaoping_an@163.com。

王园(1986-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 生物饲料的研发与应用, E-mail: wangyuan.926@163.com。

* 通讯作者: 齐景伟(1966-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 生物饲料的研发与应用, E-mail: qijingwei_66@126.com。

基金项目: 内蒙古农业大学引进人才科研启动项目(YJ2015-1); 内蒙古自治区科技重大项目; 内蒙古自治区科技创新引导奖励资金。

小麦麸皮作为小麦加工面粉的主要副产物,是一种重要的膳食纤维来源,对机体保持健康状态发挥着重要的作用。麸皮的利用常集中在饲料领域,其价值没有得到充分的发挥。麸皮中除含有一定数量的淀粉、蛋白质、脂肪外,还含有 46% 左右的非淀粉多糖(non-starch polysaccharides, NSP)^[1],包括果胶多糖、纤维素多糖以及由阿拉伯木聚糖、混合链 β -葡聚糖、葡甘露聚糖、半乳聚糖、木聚糖等组成的非纤维素多糖^[2]。大量研究表明,麸皮多糖具有诸多可贵的生物活性,包括抗氧化^[3]、免疫调节^[4-5]和益生作用^[6]等。因此,麦麸多糖已经在食品工业、发酵工业等领域崭露头角。

微生物发酵法是一种常用的食品、饲料加工技术。麸皮经过微生物处理后,其物理特性和营养价值均能够得到改善^[7-8]。小麦麸皮经过酵母菌或乳酸菌为菌种的液态发酵后,可溶性阿拉伯木聚糖、酚酸含量、抗氧化活性均有提高^[9-11]。崔晨晓等^[12]以酵母菌为菌种进行小麦麸皮固态发酵,同样提高了可溶性阿拉伯木聚糖和总酚含量。与液态发酵法相比,固态发酵法具有成本低、条件温和、不受设备限制且多糖转化率较高的优点。

前期研究已利用枯草芽孢杆菌和酿酒酵母菌固态发酵了小麦麸皮,发现发酵麸皮多糖含量可达 130.21 mg/g,且具有一定的抗炎活性^[13-14],但发酵麸皮多糖的组成及其抗氧化活性仍有待于进一步研究。因此,本文通过对发酵麸皮粗多糖提取工艺进行优化,测定其单糖组成,并选用健康的雄性 Wistar 大鼠为研究对象,采用腹腔注射敌草快(Diquat)建立大鼠氧化应激模型,研究发酵麸皮多糖的抗氧化活性,以期为在生产中将发酵麸皮多糖应用于改善机体健康状况提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

Wistar 大鼠 健康无菌级,雄性,断奶,36 只,内蒙古医科大学试验动物中心(SCXK(蒙)2015-0001);酿酒酵母 CGMCC 2.119、枯草芽孢杆菌 CGMCC 1.0892 动物科学学院水产实验室保存;麸皮、豆粕粉、玉米粉 市购;甲醇、三氟乙酸、氯仿、1-苯基-3-甲基-5-吡唑啉酮(PMP) 色谱纯,天津市康科德科技有限公司;甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖、岩藻糖 美国 Sigma 公司;营养肉汤培养基、麦芽汁液体培养基 广东环凯微生物科技有限公司;总蛋白定量、总抗氧化能力(Total antioxidant capacity, T-AOC)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(Glutathione Peroxidase, GSH-Px)、谷胱甘肽(Glutathione, GSH)、超氧化物歧化酶(Superoxide Dismutase, SOD)、丙二醛(Malondialdehyde, MDA) ELISA 试剂盒 武汉基因美生物科技有限公司;其他试剂 均为国产分析纯。

YX-18LDJ 型手提式压力蒸汽灭菌器 上海申安医疗器械厂;SW-CJ 型超净工作台 上海新苗医疗器械;GX2 型智力光照培养箱 宁波东南仪器有限公司;SH2-82 型旋转气浴恒温振荡器 金坛市岸

头中旺实验仪器厂;TG16-WS 型台式高速离心机 湖南湘仪仪器开发有限公司;Epoch2 型微孔板分光光度计 美国伯腾仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 固态发酵小麦麸皮 将保藏的酿酒酵母和枯草芽孢杆菌分别接种于灭菌(121 °C, 0.1 MPa)的麦芽汁培养基和营养肉汤培养基中,培养 24 h(37 °C, 120 r/min),使菌体浓度达到 10^8 cfu/mL,以 6.73:3.26 的比例组成复合菌种液。发酵底物为麸皮 80.46%、豆粕粉 9.32% 和玉米粉 10.22%,总接种量 10.4%,料水比为 1:1.16 (w/v, g/mL),置于 35.4 °C 发酵 52.7 h^[13-14]。发酵结束后,于 45 °C 烘箱中烘干(24 h)后粉碎过 60 目筛。

1.2.2 发酵麸皮多糖提取工艺研究 采用水提醇沉法,取干燥后发酵麸皮 10 g,以一定料液比,一定温度,水浴浸提一定时间,离心(5000 r/min, 15 min)取上清液,上清液加入 4 倍体积的 95% 乙醇,静置过夜,离心(5000 r/min, 15 min)收集沉淀,沉淀冻干备用。利用单因素试验研究浸提温度、浸提时间和料水比对发酵麸皮多糖产量的影响。

浸提温度设定为 50、60、70、80、90、100 °C(固定料液比 1:20,浸提时间 30 min);浸提时间设定为 10、20、30、60、90、120 min(固定料液比 1:20,固定浸提温度 80 °C);浸提料水比(w/v, g/mL)设定为 1:10、1:20、1:30、1:40(固定浸提温度 80 °C,浸提时间 30 min)。

1.2.3 发酵麸皮多糖含量测定 采用葡萄糖苯酚-硫酸分光光度法测定发酵麸皮多糖含量。发酵麸皮多糖含量由下列公式计算得出:

发酵麸皮多糖含量(mg/g) = [发酵麸皮多糖液浓度(mg/mL) × 发酵麸皮多糖液体积(mL)] / [固体浸提物的质量(g)]

1.2.4 发酵麸皮多糖单糖组成的测定

1.2.4.1 发酵麸皮多糖酸水解 称取冻干的发酵麸皮多糖样品 2 mg,加入 2 mol/L 三氟乙酸(TFA)溶液 0.5 mL,在 120 °C 条件下水解 2 h。氮吹仪吹干。

1.2.4.2 标准品溶液的制备 分别精确称取单糖标准品 10 mg,溶解于 1 mL 水溶液中,配制成 10 mg/mL 的母液。各取 5 μ L 单糖标准品母液加入至 0.5 mL TFA 溶液(2 mol/L)中,与样品同时在 120 °C 条件下水解 2 h。氮吹仪吹干。

1.2.4.3 PMP 柱前衍生 向完全酸水解干燥后得到的样品中加入 0.5 mL PMP 甲醇溶液(0.5 mol/L)和 0.5 mL NaOH 溶液(0.3 mol/L),充分混匀后于 70 °C 水浴反应 30 min。冷却至室温,加入 0.5 mL HCl 溶液(0.3 mol/L)中和。加入 0.5 mL 氯仿反复萃取 3 次,离心(5000 r/min, 5 min)取上清液,经 0.22 μ m 微孔滤膜过滤后用于 HPLC 分析。

1.2.4.4 色谱条件 色谱柱为 SHISEIDO C₁₈ 柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μ m);流动相 A 为 0.1 mol/L 磷酸盐缓冲液(pH7.0);流动相 B 为乙腈水溶液(82:18, v/v);流速 1.0 mL/min;柱温 25 °C;进样量 10 μ L;采用 VWD 测器检测,检测波长为 245 nm。

1.2.5 发酵麸皮多糖对大鼠抗氧化功能的影响

1.2.5.1 动物试验设计 本试验选用雄性 Wistar 大鼠 36 只,经过一周的适应期,随机分为 6 组。低剂量组 (low-dose, CL)、中剂量组 (middle-dose, CM) 和高剂量组 (high-dose, CH):每天分别灌服 100、200 和 400 mg/kg 发酵麸皮多糖粗制品;阳性对照组 (positive control, PC):100 mg/kg 维生素 C;阴性对照组 (negative control, NC):空白攻毒;正常对照组 (control, CT):空白不攻毒。试验期 14 d。试验结束当天,除 CT 组外,其它 5 组大鼠腹腔注射敌草快 0.1 mmol/kg,CT 组注射等量生理盐水,攻毒 24 h 后处死。

1.2.5.2 血浆和肝脏组织样品的制备 大鼠攻毒前禁食 12 h,自由饮水,攻毒后 24 h 后乙醚致晕,心脏采血,并采集肝脏样本。血液样品采集后立即放置在冰盒中,离心 (4 ℃, 3000 r/min) 10 min,血浆保存于 -20 ℃,用于测定抗氧化功能相关指标。肝脏样本用生理盐水洗净后,装入无菌采样袋,浸入液氮,取出后 -80 ℃ 冷冻保存。测定时,用含 NaCl 浓度为 0.86% 磷酸盐缓冲溶液 (phosphate buffered solution, PBS) 缓冲液 (0.01 mol/L, pH7.4) 匀浆,离心 (4 ℃, 3000 r/min) 10 min,得到的上清液用于抗氧化功能相关指标测定。

1.2.5.3 血浆和肝脏组织中抗氧化指标的测定 总蛋白定量、T-AOC、CAT、GSH-Px、GSH、SOD 及 MDA 定量测定根据 ELISA 试剂盒说明书进行。

1.3 数据处理

采用 SAS 8.1 统计软件 GLM 模型进行单因素方差分析,多重比较采用 Duncan's 检验, $p < 0.05$ 为差异显著。发酵麸皮多糖提取试验均重复 6 次,动物试验每组 6 个重复。

2 结果与分析

2.1 发酵麸皮多糖提取工艺优化

由图 1A 可知,当浸提温度在 50~80 ℃ 范围内变化时,发酵麸皮多糖含量随浸提温度的升高逐渐增加 ($p < 0.05$),浸提温度在 80 ℃ 时,提取效果最佳;在 80~100 ℃ 范围内,发酵麸皮多糖含量小幅度上升后维持稳定 ($p > 0.05$)。考虑到升温过程能源浪费比较严重,增加提取成本,故将浸提温度定为 80 ℃。

由图 1B 可知,当浸提时间在 10~30 min 范围内变化时,发酵麸皮多糖含量随浸提时间的延长逐渐增加 ($p < 0.05$),浸提时间达到 30 min 时,发酵麸皮多糖含量达到最大,延长浸提时间,发酵麸皮多糖含量没有显著变化 ($p > 0.05$)。考虑到缩短生产时间,降低提取成本,故将浸提时间确定为 30 min。

由图 1C 可知,当浸提料水比在 1:10~1:20 (w/v, g/mL) 范围内变化时,发酵麸皮多糖含量随浸提料水比的增加而增加 ($p < 0.05$),当浸提料水比为 1:20 (w/v, g/mL) 时,发酵麸皮多糖含量达到最大,浸提料水比在 1:20~1:40 (w/v, g/mL) 范围内变化时,发酵麸皮多糖含量不再继续增加 ($p > 0.05$)。提取液的增加有利于溶质的溶出,但过大的浸提料水比会增加溶剂的消耗,提高对提取设备的要求,会给后续浓缩干燥

带来不便,因此,故将浸提料水比确定为 1:20。

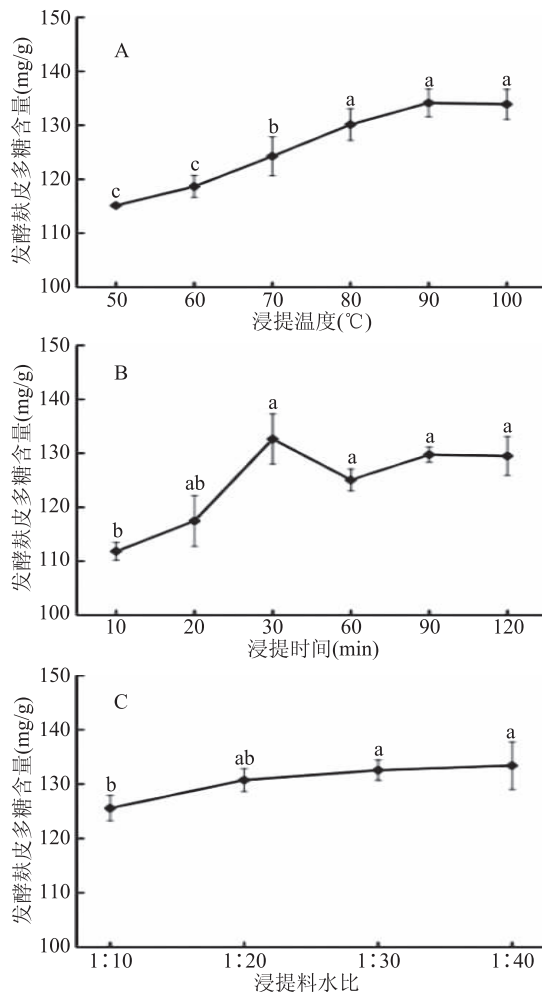


图 1 浸提条件对发酵麸皮多糖含量的影响

Fig.1 Effects of extraction conditions on fermented wheat bran polysaccharides production
注:标示不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$);
含有相同字母表示差异不显著 ($p > 0.05$)。

根据上述单因素试验结果,确定出的发酵麸皮多糖最佳提取条件为浸提温度 80 ℃、浸提时间 30 min 和浸提料水比 1:20 (w/v, g/mL)。此条件下重复 6 次提取发酵麸皮多糖,得到发酵麸皮多糖含量为 (151.57 ± 3.25) mg/g,较提取工艺优化前发酵麸皮多糖含量 (130.21 ± 3.78) mg/g 提高了 21.36 mg/g。程彦伟等^[15]研究确定的麸皮多糖最佳提取工艺为料水比 1:20 (w/v, g/mL)、提取温度 100 ℃、提取时间 2 h。康波等^[16]利用单因素试验结合正交试验,确定出麦麸多糖的最佳条件为料液比 1:25 (w/v, g/mL)、提取时间 4 h 和提取温度 100 ℃。本试验所得到的浸提温度相对较低,浸提时间较短,说明微生物发酵可能会破坏牢固的化合键,使麸皮多糖释放出来,因此,提取过程不需要过高的温度和过长的时间。

2.2 发酵麸皮多糖的单糖组成

混合标准单糖及发酵麸皮多糖酸水解衍生液的 HPLC 色谱图如图 2 所示。由图可见,发酵麸皮多糖的单糖组成包括甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖、岩藻糖,其摩尔比分别为 2.70:0.62:

100.20: 4.34: 7.80: 12.23: 35.17, 发酵麸皮多糖具有以葡萄糖为主的基本结构组成特征。王忠合等^[17]利用超声波法提取麦麸多糖并用液相色谱法对其进行单糖组分测试,结果显示:单糖组成为葡萄糖、木糖、半乳糖、甘露糖,其比例为 1.21 : 0.57 : 0.84 : 1。Madhukumar 等^[18]用气相色谱法对水提醇沉制得的小麦麸皮水溶性多糖的化学组成成分进行了分析,结果表明,该小麦麸皮水溶性多糖是由鼠李糖、阿拉伯糖、木糖、甘露糖、半乳糖、葡萄糖按摩尔比 1.3: 21.2: 38.5: 1.6: 26.4: 11.3 组成。熊慧薇等^[19]利用气相色谱法测定了麦麸膳食纤维中的单糖成分为鼠李糖、阿拉伯、木糖、甘露糖、葡萄糖和半乳糖,其比例为 5.7: 103.9: 100.7: 7.3: 62.8: 9.8。本试验所测发酵麸皮多糖除了有甘露糖、鼠李糖、葡萄糖、半乳糖、木糖和阿拉伯糖,还含有岩藻糖,其中以葡萄糖含量最高,这可能是由于在微生物发酵过程中纤维素和半纤维素更多的被利用,促进发酵原料中植物多糖的溶出,且微生物自身也产生了胞外多糖。

2.3 发酵麸皮多糖对大鼠血浆及肝脏组织中抗氧化相关指标的影响

2.3.1 大鼠血浆中抗氧化相关指标的变化 大鼠血浆中抗氧化相关指标如表 1 所示,与 CT 组相比,NC 组中血浆 CAT、GSH-Px 和 SOD 活性、T-AOC 以及 GSH 含量显著降低($p < 0.05$),而 MDA 含量显著升高($p < 0.05$)。CM 组、CH 组和 PC 组的 GSH-Px 活性显著高于 NC 组($p < 0.05$),其中 CM 组显著低于 CT 组($p < 0.05$),CH 组、PC 组与 CT 组差异不显著($p > 0.05$);CL 组、CM 组的 MDA 含量显著低于 NC 组,却显著高于 CT 组($p < 0.05$);PC 组的 GSH 含量显著高于 NC 组,却显著低于 CT 组($p < 0.05$)。这表明灌胃发酵麸皮多糖可以缓解由敌草快引起的大鼠血浆中抗氧化相关酶和 GSH 含量的降低,抑制 MDA

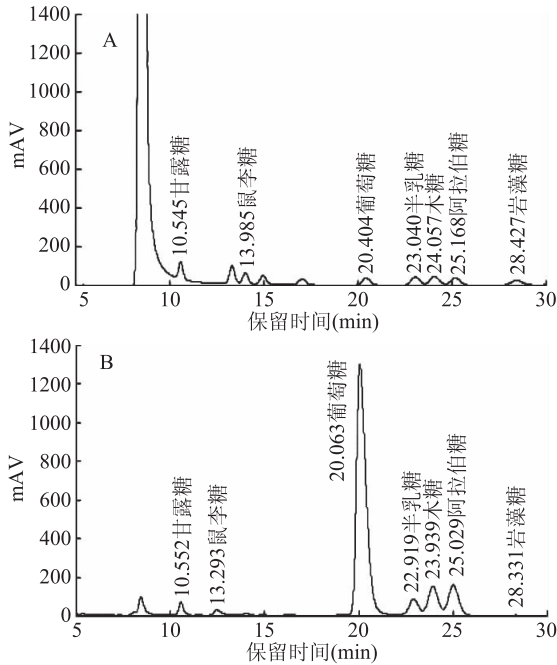


图2 混合标准单糖(A)及发酵麸皮多糖酸水解衍生液(B)的 HPLC 色谱图

Fig.2 HPLC chromatograms of standard monosaccharides (A) and derivatives of fermented wheat bran polysaccharides (B)

水平的升高,并且具有剂量依赖效应。

2.3.2 大鼠肝脏组织中抗氧化指标的变化 大鼠肝脏组织中抗氧化相关指标如表 2 所示,与 CT 组相比,NC 组肝脏组织中 T-AOC 和 GSH-Px 活性以及 GSH 含量显著降低,而 MDA 含量显著升高($p < 0.05$)。CH 组肝脏组织中 T-AOC、GSH-Px 活性和 GSH 含量显著高于 NC 组($p < 0.05$),与 CT 组差异不显著($p > 0.05$);PC 组肝脏组织中 T-AOC 和 GSH-Px 活性显著高于 NC 组($p < 0.05$),与 CT 组差异不

表 1 发酵麸皮多糖对大鼠血浆中抗氧化相关指标的影响

Table 1 Effects of fermented wheat bran polysaccharides on theantioxidative status in the plasma of rats

项目	CT	NC	CL	CM	CH	PC
T-AOC(U/mL)	14.25 ± 0.47 ^a	10.87 ± 0.43 ^b	12.25 ± 0.43 ^b	11.36 ± 0.73 ^b	10.19 ± 0.57 ^b	10.07 ± 0.16 ^b
CAT(U/mL)	59.23 ± 2.73 ^a	46.23 ± 1.50 ^{bc}	43.29 ± 3.94 ^c	44.82 ± 0.41 ^{bc}	53.81 ± 5.61 ^{ab}	42.33 ± 1.16 ^c
GSH-Px * (U/mL)	894.21 ± 3.59 ^a	701.69 ± 1.99 ^c	716.27 ± 13.93 ^c	770.97 ± 14.02 ^b	863.72 ± 32.90 ^a	896.52 ± 11.05 ^a
SOD(U/mL)	131.81 ± 4.16 ^a	106.91 ± 1.59 ^b	103.23 ± 2.19 ^b	100.78 ± 3.89 ^b	104.11 ± 2.53 ^b	98.30 ± 2.10 ^b
GSH(umol/L)	6.67 ± 0.37 ^a	5.11 ± 0.05 ^{cd}	4.66 ± 0.05 ^d	4.84 ± 0.10 ^{cd}	5.22 ± 0.06 ^{bc}	5.69 ± 0.02 ^b
MDA(nmol/mL)	4.06 ± 0.31 ^c	5.52 ± 0.05 ^a	4.87 ± 0.08 ^b	4.97 ± 0.07 ^b	5.10 ± 0.21 ^{ab}	5.10 ± 0.04 ^{ab}

注: * 表示指标与发酵麸皮多糖浓度之间存在剂量依赖效应($p < 0.05$);不同小写字母表示同行数据差异显著($p < 0.05$);相同小写字母表示同行数据差异不显著($p > 0.05$);表 2 同。

表 2 发酵麸皮多糖对大鼠肝脏组织中抗氧化相关指标的影响

Table 2 Effects of fermented wheat bran polysaccharides on theantioxidative status in the liver of rats

项目	CT	NC	CL	CM	CH	PC
T-AOC * (U/mg)	1.10 ± 0.10 ^a	0.69 ± 0.03 ^b	0.80 ± 0.03 ^b	0.81 ± 0.03 ^b	1.09 ± 0.06 ^a	1.02 ± 0.02 ^a
CAT(U/mg)	3.41 ± 0.10	2.63 ± 0.16	2.85 ± 0.32	3.05 ± 0.12	3.32 ± 0.29	2.92 ± 0.11
GSH-Px * (U/mg)	82.68 ± 3.11 ^a	59.62 ± 2.57 ^c	62.82 ± 6.76 ^c	66.55 ± 1.87 ^{bc}	79.10 ± 1.00 ^{ab}	77.62 ± 1.86 ^{ab}
SOD(U/mg)	39.66 ± 1.26	34.90 ± 1.29	36.61 ± 1.02	36.96 ± 1.13	38.43 ± 1.10	36.41 ± 0.97
GSH * (umol/g)	0.49 ± 0.11 ^a	0.10 ± 0.01 ^b	0.11 ± 0.01 ^b	0.14 ± 0.01 ^b	0.42 ± 0.02 ^a	0.14 ± 0.01 ^b
MDA(nmol/mg)	0.36 ± 0.01 ^b	0.40 ± 0.01 ^a	0.37 ± 0.01 ^b	0.31 ± 0.01 ^c	0.36 ± 0.01 ^b	0.37 ± 0.01 ^b

显著 ($p > 0.05$), GSH 含量显著低于 CT 组 ($p < 0.05$); CL 组、CM 组、CH 组和 PC 组肝脏组织中 MDA 含量显著低于 NC 组 ($p < 0.05$), 其中 CL 组、CH 组和 PC 组与 CT 组差异不显著 ($p > 0.05$)。这表明灌胃发酵麸皮多糖可以缓解由敌草快引起的大鼠肝脏组织中抗氧化相关酶和 GSH 含量的降低, 抑制 MDA 水平的升高, 并且同样具有剂量依赖效应。

敌草快是二吡啶基除草剂, 它能利用分子氧产生超氧阴离子和过氧化氢, 继而产生其它自由基, 诱导机体产生氧化应激^[20]。本试验中, 敌草快攻毒后的大鼠血浆和肝脏组织中 T-AOC 水平、CAT、SOD 和 GSH-Px 活性以及 GSH 含量急剧下降 ($p < 0.05$), MDA 含量显著上升 ($p < 0.05$), 表明本试验氧化应激模型建立成功。灌服发酵麸皮多糖处理组大鼠血浆和肝脏组织中总抗氧化能力、抗氧化酶和 GSH 含量均高于敌草快攻毒组, MDA 水平低于敌草快攻毒组, 其中高剂量组大鼠的部分抗氧化指标恢复到正常组的水平, 并且作用效果优于灌胃 100 mg/kg 维生素 C。这一结果与 Higuchi 等^[3]、Wang 等^[21] 和王军等^[22] 对麸皮多糖抗氧化活性的研究结果一致。

3 结论

发酵麸皮多糖水提醇沉法试验结果表明, 在料水比 1:20 (w/v, g/mL), 温度 80 °C, 提取 30 min, 发酵麸皮多糖含量较高, 可达到 151.57 mg/g。获得的发酵麸皮多糖的单糖组成比例为甘露糖: 鼠李糖: 葡萄糖: 半乳糖: 木糖: 阿拉伯糖: 岩藻糖 2.70: 0.62: 100.20: 4.34: 7.80: 12.23: 35.17。灌胃发酵麸皮多糖对由敌草快诱导的大鼠氧化应激, 有一定的缓解作用, 可通过提高抗氧化酶和 GSH 含量, 降低脂质过氧化的发生。

参考文献

[1] 蔺艳君, 刘丽娅, 钟葵, 等. 不同来源小麦麸皮营养成分及酚类物质含量的比较[J]. 现代食品科技, 2014(12): 194-200.
[2] Maes C, Delcour J A. Structural characterisation of water-extractable and water-unextractable arabinoxylans in wheat bran[J]. Journal Cereal Science, 2002, 35: 315-326.
[3] Higuchi M, Oshida J, Orino K, et al. Wheat bran protects Fischer-344 rats from diquat-induced oxidative stress by activating antioxidant system; Selenium as an antioxidant[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2011, 75(3): 496-499.
[4] Shen T, Wang G C, You L, et al. Polysaccharide from wheat bran induces cytokine expression via the toll-like receptor 4-mediated p38 MAPK signaling pathway and prevents cyclophosphamide-induced immunosuppression in mice[J]. Food and Nutrition Research, 2017, 61: 1-11.
[5] Cao L, Liu X, Qian T, et al. Antitumor and immunomodulatory activity of arabinoxylans: A major constituent of wheat bran[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2011, 48(1): 160-164.
[6] Yang J, Maldonado-Gomez MX, Hutkins RW, et al. Production and *in vitro* fermentation of soluble, non-digestible,

feruloylated oligo- and polysaccharides from maize and wheat brans[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(1): 159-66.
[7] Zhao H M, Guo X N, Zhu K X, et al. Impact of solid state fermentation on nutritional, physical and flavor properties of wheat bran[J]. Food Chemistry, 2017, (217): 28-36.
[8] Manini F, Brasca M, Plumet-Ferrer C, et al. Study of the chemical changes and evolution of microbiota during sourdough-like fermentation of wheat bran[J]. Cereal Chemistry Journal, 2014, 91(4): 342-349.
[9] Katina K, Juvonen R, Laitila A, et al. Fermented wheat bran as a functional ingredient in baking[J]. Cereal Chemistry, 2012, 89(2): 126-134.
[10] Zhang L X, Cao W Y, Chen X T, et al. The effect of bioprocessing on the phenolic acid composition and antioxidant activity of wheat bran[J]. Cereal Chemistry, 2014, 91(3): 255-261.
[11] Coda R, Rizzello C G, Curiel J A, et al. Effect of bioprocessing and particle size on the nutritional properties of wheat bran fractions[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2014, 25: 19-27.
[12] 崔晨晓, 朱科学, 郭晓娜, 等. 酵母菌发酵对小麦麸皮成分的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(7): 25-29.
[13] 安晓萍, 王园, 齐景伟, 等. 基于响应面法分析菌比和辅料对发酵麸皮多糖含量的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(3): 122-126.
[14] 王园, 史俊祥, 段元宵, 等. 麸皮多糖微生物发酵工艺优化及其抗炎活性[J/OL]. 食品科学: 1-13[2018-05-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20171030.1432.136.html>.
[15] 程彦伟, 李魁, 赵江, 等. 麦麸多糖的提取工艺研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2006, 27(1): 47-49.
[16] 康波, 班金, 刘志雄. 麦麸多糖的提取工艺研究[J]. 粮食加工, 2009, 34(3): 58-60.
[17] Madhukumar M S, Muralikrishna G. Structural characterisation and determination of prebiotic activity of purified xylo-oligosaccharides obtained from Bengal gram husk (*Cicerarietinum* L.) and wheat bran (*Triticumaestivum*) [J]. Food Chemistry, 2010, 118(2): 215-223.
[18] 王忠合, 钟丽娟. 麦麸活性多糖的提取、组成及其抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2009(7): 115-119.
[19] 熊慧薇, 戴书浩, 闵华, 等. GC 分析大豆和麦麸膳食纤维中的单糖成分[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(2): 84-86.
[20] Tsokos-kuhn J O, Simth C V, Hughes H, et al. Liver membrane calcium transport in diquat-induced oxidative stress *in vivo*[J]. Molecular Pharmacology, 1998, 34: 209-214.
[21] Wang J, Cao Y, Wang C, et al. Wheat bran xylooligosaccharides improve blood lipid metabolism and antioxidant status in rats fed a high-fat diet[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 86(3): 1192-1197.
[22] 王军, 王忠合, 章斌, 等. 麦麸多糖理化特性与抗氧化性分析[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(7): 18-22.