

# 发酵麸皮多糖酶辅助提取工艺优化及其生物活性研究

李 暄<sup>1</sup>, 王 园<sup>1</sup>, 王瑞芳<sup>1</sup>, 陈秋燕<sup>1</sup>, 郭俊清<sup>2</sup>, 冯 霞<sup>2</sup>, 郑 鑫<sup>2</sup>, 安晓萍<sup>1\*</sup>, 齐景伟<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>内蒙古农业大学动物科学学院, 呼和浩特 010018; <sup>2</sup>内蒙古优牧特农牧科技股份有限公司, 呼和浩特 010010

**摘要:**通过响应面法优化提取发酵麸皮多糖的工艺, 并评价其体外益生和抗氧化活性。以发酵麸皮多糖的得率为响应值, 采用纤维素酶酶解与水浴浸提相结合的方法提取发酵麸皮多糖, 以纤维素酶添加量、料液比、水浴浸提温度、水浴浸提时间为试验因素建立数学模型, 筛选最佳提取工艺条件。通过测定还原力、DPPH 和 ·OH 自由基的清除能力对比发酵和未发酵麸皮多糖的体外抗氧化活性, 并通过测定嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌、两歧双歧杆菌的生长对比发酵和未发酵麸皮多糖的体外益生活性。结果表明, 发酵麸皮多糖最佳提取工艺为: 料液比 1:16 (w/v), 酶添加量 1000 U/g, 水浴浸提温度 90 °C, 水浴浸提时间 60 min, 在此条件下发酵麸皮多糖的得率实测值为 73.35%。发酵麸皮多糖具有较强的 DPPH 和 ·OH 自由基的清除能力, 可促进嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌和两歧双歧杆菌的生长。

**关键词:**发酵麸皮多糖; 响应面; 提取工艺; 抗氧化活性; 益生活性

中图分类号: TS209

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2019)1-0155-08

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2019.1.024

## Enzyme-assisted extraction of fermented wheat bran polysaccharides and its biological activity analysis

LI Xuan<sup>1</sup>, WANG Yuan<sup>1</sup>, WANG Rui-fang<sup>1</sup>, CHEN Qiu-yan<sup>1</sup>,  
GUO Jun-qing<sup>2</sup>, FENG Xia<sup>2</sup>, ZHENG Xin<sup>2</sup>, AN Xiao-ping<sup>1\*</sup>, QI Jing-wei<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>College of Animal Sciences, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

<sup>2</sup>Youmute Farming Co., Ltd. Hohhot 010010, China

**Abstract:** This study was conducted to optimize enzyme-assisted extraction conditions for wheat bran polysaccharides using response surface methodology and subsequently investigated prebiotic properties and antioxidant activity of this product *in vitro*. A Box-Behnken design was carried out for the optimization of enzyme addition level, extraction temperature, extraction time and solid-liquid ratio. The reducing force and DPPH and ·OH radical scavenging ability of fermented wheat bran polysaccharide was compared with wheat bran polysaccharide. The effects of fermented wheat bran polysaccharide on *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum* and *Bifidobacterium bifidum* was also compared with wheat bran polysaccharide. Optimum enzyme-assisted extraction conditions for production of wheat bran polysaccharides were: enzyme addition level, 1000 U/g; extraction time, 60 min; solid-liquid ratio, 1:16. The ultimate wheat bran polysaccharides yield using the optimized enzyme-assisted extraction conditions reached 73.35%. The results demonstrate that the obtained wheat bran polysaccharides could scavenge DPPH and ·OH radical and promote the proliferation of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum* and *Bifidobacterium bifidum*.

**Key words:** fermented wheat bran polysaccharides; response surface; enzymatic extraction; antioxidant activity; prebiotic properties.

多糖是一类天然产物聚合物, 具有抗肿瘤、抗氧化、免疫调节、益生等生物活性, 越来越受到研究者

的重视<sup>[1-3]</sup>, 如从中冬枣<sup>[4]</sup>、生姜皮<sup>[5]</sup>、枇杷核<sup>[6]</sup>、桂花<sup>[7]</sup>、金蝉花<sup>[8]</sup>等植物中提取多糖。小麦营养丰富, 是人们日常生活中所必需的主要粮食之一<sup>[9]</sup>, 我国是小麦生产大国, 小麦加工产生的副产品麸皮可高达 2000 多万 t, 是一项很大的资源<sup>[10]</sup>。但由于其粗纤维及不溶性膳食纤维含量高, 抗营养因子高,

收稿日期: 2018-04-09 接受日期: 2018-08-23

基金项目: 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; 内蒙古农业大学引进人才科研启动项目 (YJ2015-1)

\* 通信作者 E-mail: qijingwei\_66@126.com, xiaopingan@163.com

口感粗糙,限制了其在食品及饲料领域的产业化应用。有研究表明,麸皮经微生物发酵处理后,其纤维结构可得到改变,可溶性多糖等活性物质明显增加,抗氧化功能更强<sup>[11-15]</sup>。本课题组前期已优化了枯草芽孢杆菌和酿酒酵母菌固态发酵小麦麸皮制备多糖的生产工艺参数,并发现发酵麸皮多糖含量可达 130.21 mg/g,是未发酵麸皮多糖含量的 3.8 倍。灌胃该发酵麸皮多糖粗制品可提高敌草快诱导氧化应激大鼠血浆和肝脏组织中抗氧化酶活性和 GSH 含量,降低脂质过氧化产物 MDA 水平;显著降低其血浆和肝脏组织中 TNF- $\alpha$ 、IL-6、IL-2 和 IL-1 $\beta$  炎症因子水平,表明该发酵麸皮多糖粗制品抗氧化和抗炎活性<sup>[16]</sup>。鉴于此,为了进一步提高该发酵麸皮多糖产量,本文采用在单因素试验基础上,进行响应面优化发酵麸皮多糖的提取工艺条件,并评价其体外抗氧化和益生活性,以期将发酵麸皮多糖应用于动物生产,改善其健康状况、促进生长提供理论支撑和方法的指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

麸皮、豆粕粉和玉米粉(均购于市场);植物乳杆菌 P8、嗜酸乳杆菌和双歧杆菌(动物科学学院水产实验室保存);纤维素酶(20 000 U/g)(济南诺能生物有限公司,中国);DPPH(1-二苯基-2-三硝基苯肼)、D-无水葡萄糖、丁基羟基茴香醚(BHA)(Sigma,美国)其它均为分析纯。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 麸皮的发酵

麸皮发酵方法参照史俊祥<sup>[16]</sup>,以麸皮为主料,豆粕粉和玉米粉为辅料,其配比为麸皮 80.46%、豆粕粉 9.32% 和玉米粉 10.22%。以酿酒酵母菌和枯草芽孢杆菌作为发酵菌种,接种比例为 6.7:3.3,接种量为 10.4%,料水比为 1:1.16,36 °C 发酵 47 h。发酵结束后,45 °C 烘干 48 h,烘干后的发酵麸皮粉碎备用。

#### 1.2.2 发酵麸皮多糖的提取

称取发酵麸皮粉末 1 g,添加一定量纤维素酶 50 °C 预处理 30 min 后,按一定的时间、温度、料液比进行水浴浸提,离心,上清液浓缩,加 85% 体积的无水乙醇,于 4 °C 下醇沉过夜。次日离心,冻干,得发酵麸皮粗多糖,备用。

#### 1.2.3 单因素试验

以酶解温度为 50 °C,酶解时间 30 min 不变,分

别考察不同的酶添加量(0、100、200、400、800、1 600 和 3 200 U/g)、水浴浸提时间(20、40、60、80 min)、水浴浸提温度(30、45、60、75、90、100 °C)以及水浴浸提不同料液比(1:10、1:15、1:20、1:25、1:30 w/v)对发酵麸皮多糖得率的影响。

#### 1.2.4 响应面优化设计

依据单因素实验结果,选择纤维

素酶添加量(D)、水浴浸提时间(B)、水浴浸提温度(A)、料液比(C)为自变量,发酵麸皮多糖得率(Y)为响应值,进行四因素三水平的响应面优化分析。

#### 1.2.5 多糖含量测定

采用苯酚-硫酸法测定多糖含量<sup>[17]</sup>,利用葡萄糖线性回归方程  $y = 37.917x + 0.2477$  计算样品中的多糖含量。葡萄糖浓度质量线性范围 1.75 ~ 9.65  $\mu\text{g/mL}$  的有效范围内, $R^2$  为 0.9971。

#### 1.2.6 发酵麸皮多糖体外抗氧化活性

##### 1.2.6.1 DPPH 自由基清除能力测定

DPPH 自由基清除能力测定参照 Zhang 等<sup>[18]</sup>,取 2 mL 不同浓度的发酵麸皮多糖溶液和 2 mL DPPH 溶液(0.2 mM,95% 乙醇溶液)混匀,室温黑暗反应 30 min,517 nm 测定吸光度。以 BHA 作为对照。

##### 1.2.6.2 还原力测定

还原力测定参照 Jia<sup>[19]</sup>,取不同浓度的发酵麸皮多糖样品 0.75 mL,加入 0.75 mL 磷酸盐缓冲液(pH6.6,200 mmol/L)和 0.75 mL 1% 六氰合铁酸钾,50 °C 反应 20 min,加入 0.75 mL 10% 的三氯乙酸终止反应,取 1.5 mL 上清液,加入 1.5 mL 蒸馏水和 400  $\mu\text{L}$  0.1%  $\text{FeCl}_3$ ,室温反应 10 min,以 BHA 作为对照,700 nm 测定吸光度。

##### 1.2.6.3 $\cdot\text{OH}$ 自由基的清除能力测定

$\cdot\text{OH}$  自由基的清除能力测定参照 Zhang 等<sup>[18]</sup>方法,取不同浓度的发酵麸皮多糖样品溶液 0.5 mL,加入 0.5 mL  $\text{FeSO}_4$  溶液(9 mmol/L)和 0.5 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液(8.8 mmol/L),室温反应 10 min,加入 0.5 mL 水杨酸乙醇溶液(9 mmol/L),室温反应 30 min,以 BHA 作为对照,510 nm 测定吸光度。

#### 1.2.7 发酵麸皮多糖体外益生活性<sup>[20]</sup>

将嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌和两歧双歧杆菌分别接入 MRS 液体培养基,37 °C 厌氧培养 24 h,之后经两次转管复壮后备用。配制 MRS 液体培养基,以 4 g 发酵麸皮多糖或麸皮多糖等量替代葡萄糖,调节 pH 至 6.8。以葡萄糖 MRS 培养基作为对照组,每

种培养基做三组平行。将培养基 121 °C 灭菌 20 min,冷却后接入 5% 复壮好的菌种,37 °C 厌氧培养,每隔 4 h 测一次 OD 值,绘制 0 ~ 48 h 菌种的生长曲线。

### 1.3 统计分析

采用 Design Expert 8.06 软件进行响应面试验设计及结果分析;结果以平均值 ± 标准偏差 (Mean ± SD) 表示。采用 SAS 8.1 统计软件 ANOVA 模型进行单因素方差分析,用 Duncan's 检验进行多重比较, $P < 0.05$  为差异显著; $P < 0.01$  为差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果

#### 2.1.1 酶添加量对发酵麸皮多糖得率的影响

酶的添加量对发酵麸皮多糖得率的影响见图 1。由图 1 可知,发酵麸皮多糖得率随着纤维素酶添加量的升高而升高,当酶添加量超过 800 U/g 后,随着酶添加量的增加多糖得率已趋于平缓,酶添加量已达到饱和,因此选择最适合的纤维素酶添加量为 800 U/g。

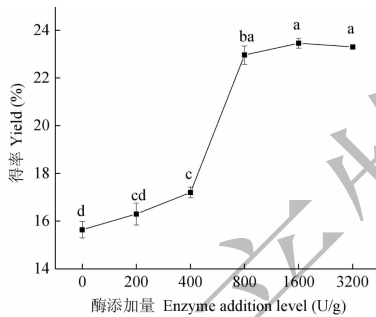


图 1 酶添加量对发酵麸皮多糖得率的影响

Fig. 1 Effect of enzyme addition level on fermented wheat bran polysaccharides yield

#### 2.1.2 水浴浸提温度对发酵麸皮多糖得率的影响

水浴浸提温度对发酵麸皮多糖得率的影响见图 2。发酵麸皮多糖得率随着浸提温度的升高而提高,温度达到 90 °C 时,发酵麸皮多糖得率为 42.4%,之后上升缓慢,为了节省生产成本,因此选择 90 °C 为最适浸提温度。

#### 2.1.3 水浴浸提时间对发酵麸皮多糖得率的影响

水浴浸提时间对发酵麸皮多糖得率的影响见图 3。由图 3 可知,发酵麸皮多糖的得率随着水浴浸提时间的增加而增加,当浸提时间超过 40 min 时,随着时间的增加多糖得率增加不显著,因此选择 40 min 最适水浴浸提时间。

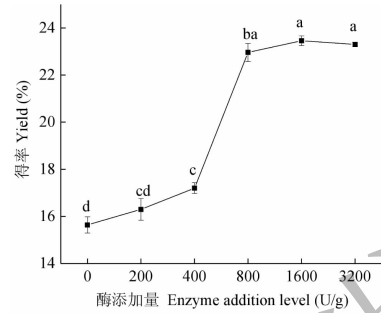


图 2 水浴浸提温度对发酵麸皮多糖得率的影响

Fig. 2 Effect of extraction temperature on fermented wheat bran polysaccharides yield

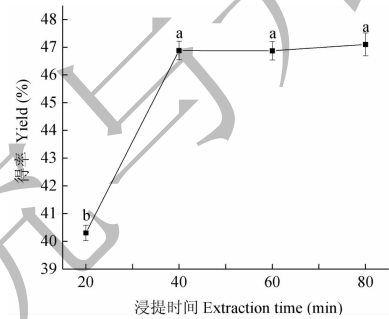


图 3 浸提时间对发酵麸皮多糖得率的影响

Fig. 3 Effect of extraction time on fermented wheat bran polysaccharides yield

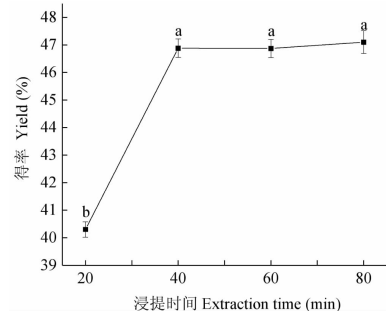


图 4 料液比对发酵麸皮多糖得率的影响

Fig. 4 Effect of solid-liquid ratio on fermented wheat bran polysaccharides yield

#### 2.1.4 料液比对发酵麸皮多糖得率的影响

料液比对发酵麸皮多糖得率的影响见图 4。由图 4 可知,多糖得率随着料液比的增加呈现先增大后减小的趋势。料液比在 1:10 ~ 1:20 (w/v) 时,发酵麸皮多糖的得率呈上升趋势,料液比增加到 1:20 (w/v) 多糖得率达到 60.4%,之后,发酵麸皮多糖得率量呈现下降趋势。适当的增加溶剂有利于提升发酵麸皮多糖的得率,当发酵麸皮多糖充分溶出后,继

续增加溶剂使其得率下降。因此最优料液比为 1:20(w/v)。

基于上述单因素筛选结果,采用纤维素酶添加量 800 U/g,浸提温度 90 ℃,浸提时间 40 min,料液比 1:20(w/v)水浴浸提条件,对其进行 5 次验证,发酵麸皮多糖的得率约达 62%。

## 2.2 响应面试验结果

表 1 响应面分析试验因素与水平

Table 1 Factors and levels used in response surface analysis

因素 Factors	水平 Level			
	-1		0	1
(A) 水浴浸提温度 Extraction temperature(℃)	80		90	100
(B) 水浴浸提时间 Extraction time(min)	20		40	60
(C) 酶添加量 Enzyme addition level(U/g)	600		800	1000
(D) 料液比 Solid-liquid ratio(w/v)	1:15	1:15	1:20	1:25

表 2 Box-Behnken 响应面优化试验设计及结果

Table 2 Experimental design and results for Box-Behnken

试验号 No.	A	B	C	D	得率 Yield(%)	试验号 No.	A	B	C	D	得率 Yield(%)
1	0	1	0	1	86.62	16	0	0	-1	1	68.88
2	0	0	-1	-1	59.38	17	-1	0	0	-1	69.68
3	1	0	0	-1	70.22	18	0	-1	1	0	43.67
4	0	0	1	1	49.76	19	0	0	0	0	74.78
5	0	-1	0	-1	61.30	20	1	0	1	0	45.27
6	0	1	0	-1	54.93	21	1	0	0	1	79.88
7	0	0	0	0	55.29	22	0	1	1	0	46.34
8	1	-1	0	0	67.49	23	-1	1	0	0	73.69
9	0	-1	-1	0	66.49	24	-1	0	0	1	77.05
10	1	0	-1	0	67.44	25	0	0	0	0	79.51
11	0	1	-1	0	81.38	26	0	0	0	0	72.14
12	0	0	1	-1	35.45	27	0	0	0	0	63.49
13	0	-1	0	1	60.39	28	1	1	0	0	59.12
14	-1	0	-1	0	48.72	29	-1	0	1	0	44.82
15	-1	-1	0	0	54.11						

### 2.2.3 回归方程的建立与显著性检验

利用 Design Expert 8.06 软件,通过对多项式回归分析,得到的拟合全变量二次回归方程模型为: $Y = 69.04 + 1.78A + 4.05B - 10.58C + 5.97D - 6.99AB - 4.56AC + 0.57AD - 3.05BC + 8.15BD + 1.20CD - 1.17A^2 - 1.42B^2 - 13.65C^2 + 0.84D^2$ 。

### 2.2.1 响应面优化设计

根据单因素试验结果确定响应面分析试验的因素和水平如表 1。利用统计软件 Design Expert8.06 设计试验方案,并对数据进行分析。

### 2.2.2 Box-Behnken 试验设计与结果分析

根据单因素试验结果,对 2.1 节中 4 个单因素进行响应面优化设计,结果见表 2。

对该模型进行方差分析,由表 3 可知,该模型  $P$  值为 0.0064,小于 0.01 表明回归模型极显著,失拟项  $P$  值为 0.7516 大于 0.05,模拟的失拟项不显著,试验误差小,由此说明用该模型对发酵麸皮多糖提取工艺进行优化是可行的。由表 3 还可知,纤维素酶提取发酵麸皮多糖的工艺中参数中,影响发酵麸

皮多糖得率的因素按主次顺序排列:液料比(C) > 酶添加量(D) > 水浴浸提时间(B) > 水浴浸提温度(A),其中一次项料液比极显著、酶添加量显著,二

次项料液比极显著,而各因素的交互作用对发酵麸皮多糖得率的影响不显著。

表3 回归模型方差分析结果

Table 3 Analysis of variance for the fitted regression model

误差源 Source	平方和 Sum of square	自由度 df	均方 Mean square	F 值 F Value	P 值 P value	显著性 Significance
模型	3889.88	14	277.85	4.08	0.0064	**
A	38.02	1	38.02	0.56	0.4672	
B	197.07	1	197.07	2.90	0.1109	
C	1343.45	1	1343.45	19.74	0.0006	**
D	427.45	1	427.45	6.28	0.0252	*
AB	195.44	1	195.44	2.87	0.1123	
AC	83.36	1	83.36	1.22	0.2871	
AD	1.30	1	1.30	0.019	0.8921	
BC	37.33	1	37.33	0.55	0.4712	
BD	265.85	1	265.85	3.91	0.0682	
CD	5.78	1	5.78	0.085	0.7749	
A <sup>2</sup>	8.88	1	8.88	0.13	0.7234	
B <sup>2</sup>	13.01	1	13.01	0.19	0.6687	
C <sup>2</sup>	1209.21	1	1209.21	17.77	0.0009	**
D <sup>2</sup>	4.52	1	4.52	0.066	0.8003	
残差 Residual	952.89	14	68.06			
失拟误差 Lack of fit	580.80	10	58.08	0.62	0.7516	
纯误差 Pure error	372.09	4	93.02			
总离差 Cor total	4842.78	28				

注: \* 差异显著( $P < 0.05$ ); \*\* 差异极显著( $P < 0.01$ )。

Note: \* Significant difference ( $P < 0.05$ ); extremely significant difference ( $P < 0.01$ ).

#### 2.2.4 响应面分析

纤维素酶法提取发酵麸皮多糖工艺中酶添加量、液料比、水浴浸提温度和水浴浸提时间4个因素之间交互作用对多糖得率的影响如图5所示,对模型的方差分析表明,各因素之间的交互作用并不明显,由图5(A)可以看出多糖的得率随着水提时间和水提温度增加而增加,由图5(B)可以看出料液比对多糖的得率的影响是先增大后减小的趋势,在工艺中适当的增加料液比可以增加多糖的产量,由5(C)可以看出随着酶添加量和提取温度的同时增加多糖产量增大,高温有利于增加发酵麸皮多糖的浸出。

通过回归模型求解方程并考虑实际操作的可行性修正得出发酵麸皮多糖的最佳提取工艺料液比1:16(W/V),酶添加量1000 U/g,水浴浸提温度90

℃,水浴浸提时间60 min,在此条件下多糖的最大得率为69%。为检验响应面优化发酵麸皮多糖提取工艺的可靠性,在上述最佳提取条件下,进行5组平行试验所得多糖得率的平均值约为73.35%,而回归方程所得的多糖得率理论预测值为69.75%,实际值与理论值不存在显著性差异,说明运用响应面法优化得到的模型参数准确可靠,能真实地反应各因素对发酵麸皮多糖得率的影响。同时,响应面优化后发酵麸皮多糖得率较单因素提高了11.35%。

#### 2.3 发酵麸皮多糖的益生活性

发酵麸皮多糖对嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌和两歧双歧杆菌的生长的影响结果见图6。由图可知,随着培养时间的增加,三种有益菌培养液的OD值呈上升的趋势,培养24 h后,培养液的OD值达到最大。与MRS基础培养基相比,在相同培养时间下,

添加发酵麸皮多糖和麸皮多糖可促进三种有益菌的生长。其中,发酵麸皮多糖的益生作用优于麸皮多

糖。另外,发酵麸皮多糖对两歧双歧杆菌的促生长作用效果优于嗜酸乳杆菌和植物乳杆菌。

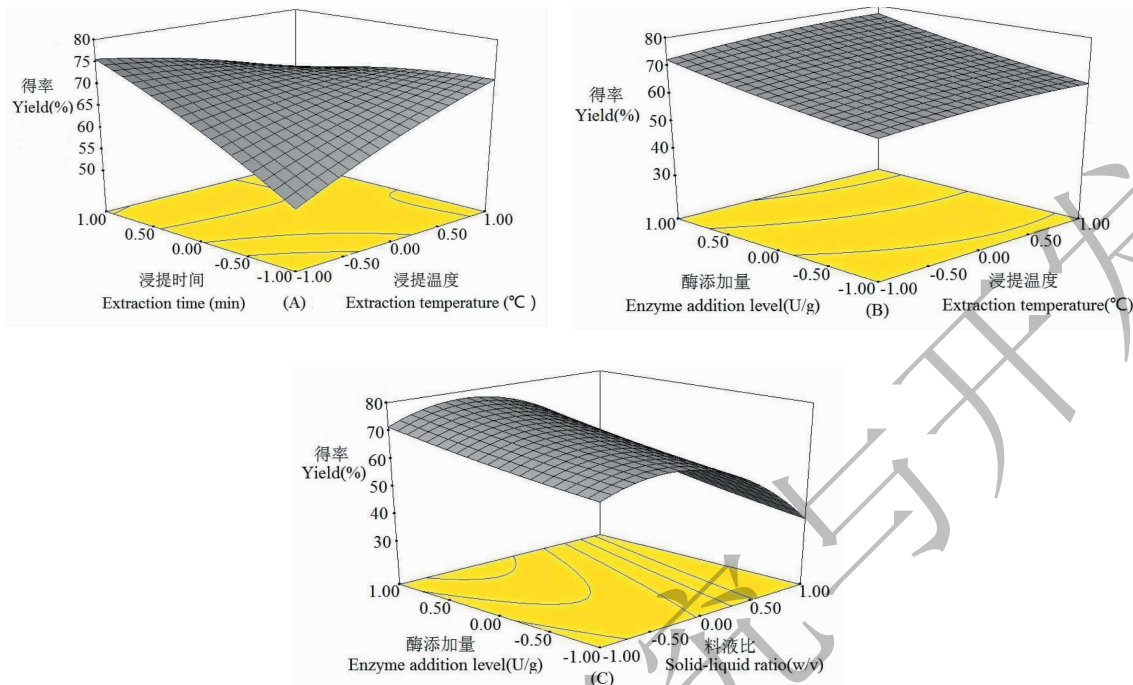


图5 以发酵麸皮多糖得率为指标的响应曲面图

Fig. 5 Response surface plots of fermented wheat bran polysaccharides yield

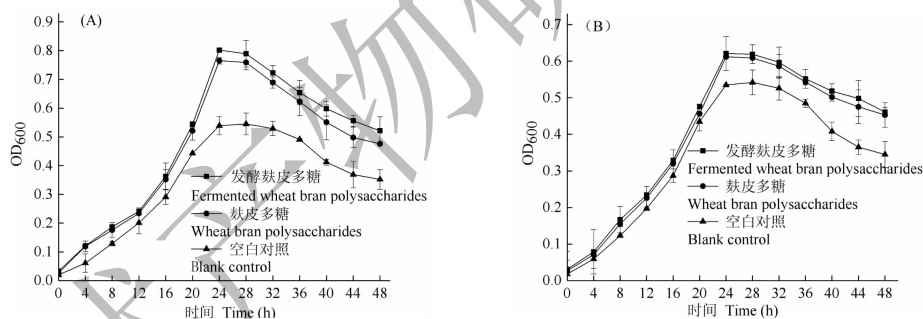


图6 发酵麸皮多糖对嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌和两歧双歧杆菌生长的影响

Fig. 6 Effects of fermented wheat bran polysaccharides on the growth of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum* and *Bifidobacterium*

注:(A)发酵麸皮多糖对嗜酸乳杆菌生长的影响;(B)发酵麸皮多糖对植物乳杆菌生长的影响;(C)发酵麸皮多糖对两歧双歧杆菌生长的影响。

Note: (A) Effects of fermented wheat bran polysaccharides on the growth of *Lactobacillus acidophilus*; (B) Effects of fermented wheat bran polysaccharides on the growth of *Lactobacillus plantarum*; (C) Effects of fermented wheat bran polysaccharides on the growth of *Bifidobacterium bifidum*.

## 2.4 发酵麸皮多糖体外抗氧化活性

### 2.4.1 还原力测定结果

由图7可知,随着发酵麸皮多糖浓度的增加,对还原力的作用逐渐增强当浓度达到4 mg/mL时,发酵麸皮多糖的还原力达到1.03,明显高于未发酵麸皮多糖,BHA质量浓度在0~1 mg/mL范围内,还原力的增加较快,当浓度大于1 mg/mL时还原力增加

缓慢,当浓度在4 mg/mL时,还原力达到1.80。因此发酵麸皮多糖与BHA相比还原力较弱。

### 2.4.2 对DPPH自由基的清除作用

由图8可知,随着多糖和BHA浓度的增加,DPPH自由基的清除率逐渐增强,在4 mg/mL时,发酵麸皮多糖、未发酵麸皮多糖和BHA对DPPH自由基的清除率依次为90.25%、77.6%、94.5%,表现为

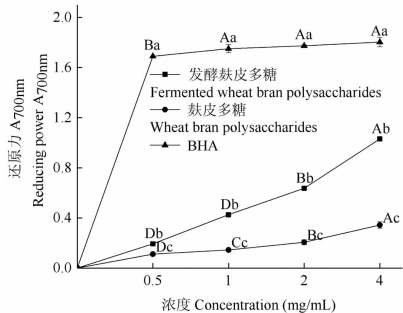


图7 发酵麸皮多糖的还原力测定

Fig. 7 Reducing power of fermented wheat bran polysaccharides

注:不同大写字母代表不同样品浓度的还原力差异显著,不同小写字母代表不同样品的还原力差异显著。下同。

Note: Means with different upper case letters are significantly different with 0.5 mg/mL level. Means with different lower case letters are significantly different with BHA. The same as below.

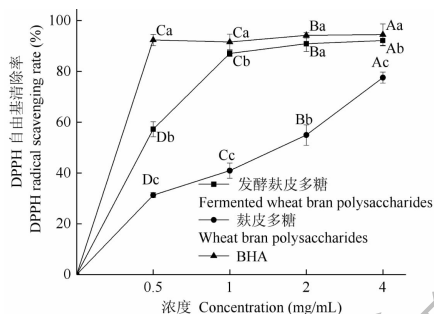


图8 发酵麸皮多糖对DPPH自由基清除作用

Fig. 8 DPPH radical scavenging capacity of fermented wheat bran polysaccharides

较高的DPPH清除能力。

2.4.3 对羟基自由基清除率测定结果

由图9可知,随着麸皮多糖的浓度增加,对羟基自由基的清除能力逐渐增强,当麸皮多糖的浓度达到4 mg/mL时,发酵麸皮多糖对羟基自由基的清除

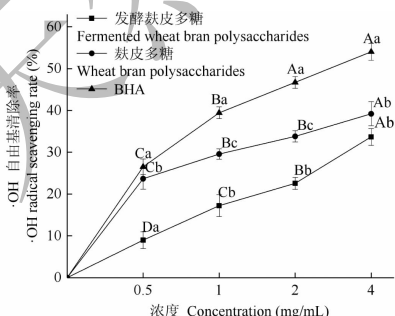


图9 发酵麸皮多糖对·OH自由基的清除作用

Fig. 9 ·OH radical scavenging capacity of fermented wheat bran polysaccharides

率达到39.2%,未发酵麸皮多糖对羟基自由基的清除率达到54.03%,BHA对羟基自由基的清除率达到33.7%,由此可知未发酵麸皮多糖对羟基自由基的清除率是明显高于发酵麸皮多糖并且高于对照品BHA,产生这个结果可能是由于发酵后改变了多糖的结构,因此发酵后与未发酵麸皮多糖对比对羟基自由基的清除率下降。

3 结论

发酵麸皮多糖的最佳提取工艺条件为:在酶解温度为50℃的条件下,料液比1:16,酶添加量1000 U/g,提取温度90℃,提取时间60 min,发酵麸皮多糖的得率达73.35%。活性分析结果显示,发酵麸皮多糖和麸皮多糖均可有效促进嗜酸乳杆菌、植物乳杆菌和两歧双歧杆菌的生长,其中发酵麸皮多糖的益生活性优于麸皮多糖;同时,发酵麸皮多糖对DPPH自由基和·OH自由基具有清除作用。发酵麸皮多在4 mg/mL时,发酵麸皮多糖的还原力(1.03)和DPPH自由基清除率(93%)高于麸皮多糖的还原力(0.69)和DPPH自由基清除率(15.5%),具有明显的体外抗氧化活性。

参考文献

- Li JP, Zhu GH, Yuan Y, et al. Anti-tumor and immune function regulation effects of radix isatidis polysaccharides *in vivo* [J]. Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发), 2017, 29: 2010-2016.
- Wang J, Lu HD, et al. Ultrasound-assisted extraction of polysaccharides from artemisia selengensis turcz and its antioxidant and anticancer activities [J]. Food Sci Technol, 2016, 53:1025-1034.
- Li HY, Wang YX, et al. Extraction, selenylation modification and antitumor activity of the glucan from Castanea mollissima Blume [J]. Glycoconj J, 2017, 34:207-217.
- Pan Y, Xu JW. Isolation, purification and antioxidant activity of polysaccharides from zizyphus jujube cv. dongzao [J]. Food Sci(食品科学), 2016, 37(13):89-94.
- Feng X, Xia Y, Chen GT. Purification and structural analysis of polysaccharides from ginger peels [J]. Food Sci(食品科学), 2017, 38:185-190.
- Wu ZQ, Huang Q, Yu J. Optimization of extraction conditions of polysaccharide from loquat core by response surface methodology [J]. Sci Tech Food Ind(食品工业技术), 2013, 34: 242-246.
- Jiang DQ, Huang LM, Wang Y, et al. Optimization of enzymatic extraction technology of polysaccharide from osmanthus

- fragrans using response surface methodology and investigation on its antioxidant activity[J]. *Sci Tech of Food Ind(食品工业科技)*, 2015, 36:271-275.
- 8 Song JM, Wang HF, Sun M, et al. Optimization of extraction and antioxidant activity of polysaccharides from cordyceps cicadae by response surface methodology[J]. *Food Sci(食品科学)*, 2018, 39:275-281.
  - 9 Zhu CL. Optimization of the extraction of wheat bran polysaccharide by response surface analysis[J]. *Jiangsu Agric Sci(江苏农业科学)*, 2017, 45:169-172.
  - 10 Lin L. On the nutrient components and its utilization of wheat bran[J]. *Agric Sci & Tech & equip(农业科技与装备)*, 2010, 198(3):41-42.
  - 11 Cui CX. Fermented modification of wheat bran and its application in steamed bread[D]. Jiangnan; Jiangnan University(江南大学), 2015.
  - 12 Sun YQ. Effects of solid-state fermentation on the antioxidant properties of purple wheat bran[D]. Shandong; Shandong Agricultural University(山东农业大学), 2014.
  - 13 Liu J. Research on fermentation preparation and physicochemical properties of dietary fiber from wheat bran[D]. Tianjin; Tianjin University of Science and Technology(天津科技大学), 2015.
  - 14 Cui CX, Zhu KX, Guo XN, et al. Effects of yeast fermentation on the composition of wheat bran[J]. *J Chi Cereals & Oil Ass(中国粮油学报)*, 2016, 31(7):25-29.
  - 15 Xia CD, AI Q. Function of fermented bran and its application in animal feed[J]. *China Jnl of Anim Husb(中国畜牧杂志)*, 2017, 53(12):17-21.
  - 16 Shi JX. Study on preparation and antioxidant activity of wheat bran polysaccharides by microbial fermentation[D]. Inner Mongolia; Inner Mongolia Agricultural University(内蒙古农业大学), 2017.
  - 17 He YC, Liu YM, Zhu YH, et al. Content determination of total polysaccharides in roasted Licorice decoction by phenol-sulfuric acid method[J]. *J Chi Med(中医学报)*, 2013, 28:547-549.
  - 18 Zhang ZS, Wang XM, et al. Potential antioxidant activities in vitro of polysaccharides extracted from ginger (*Zingiber officinale*) [J]. *Carbohyd Polym*, 2011, 86:448-452.
  - 19 Jia XJ, Ding CB, Yuan S, et al. Extraction, purification and characterization of polysaccharides from hawk tea[J]. *Carbohyd Poly*, 2014, 99:319-324.
  - 20 Zhang JH, Yao Z, Sun Y, et al. Optimization, characterization, prebiotic properties and *in vitro* antioxidant activities of polysaccharides from mulberry fungus[J]. *Mdn Food Sci & Tech(现代食品科技)*, 2018, 34:143-149.
- 
- (上接第 134 页)
- 9 Oh HK, Jeon SJ, Lee S, et al. Swertisin ameliorates pre-pulse inhibition deficits and cognitive impairment induced by MK-801 in mice[J]. *J Psychopharmacol*, 2017, 31:250-259.
  - 10 Lee HE, Jeon SJ, Ryu B, et al. Swertisin, a C-glucosylflavone, ameliorates scopolamine-induced memory impairment in mice with its adenosine A1 receptor antagonistic property[J]. *Behav Brain Res*, 2016, 306:137-45.
  - 11 Amos S, Kolawole E, Akah P, et al. Behavioral effects of the aqueous extract of *Guierasenegalensis* in mice and rats[J]. *Phytomed*, 2001, 8:356-361.
  - 12 Cryan JF, Mombereau C, Vassout A. The tail suspension test as a model for assessing antidepressant activity Review of pharmacological and genetic studies in mice [J]. *Neurosci-Biobehav Rev*, 2005, 29:571.
  - 13 Zhang YQ, Deng KH, Yang Y, et al. Anti-depression effect of frankincense essential oil[J]. *Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发)*, 2015, 27:31-34.
  - 14 Goodwin GM, Green AR, Johnson P. 5-HT2 receptor characteristics in frontal cortex and mediated head-twitch behaviour following antidepressant treatment to mice [J]. *Br Pharmacol*, 1984, 83:235-242.
  - 15 Xu SY. Experimental methodology of pharmacology(药理学实验方法学)[M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2001:810.
  - 16 Joop SG, Henk VR, Hemmie HG, et al. A set of behavioural tests predicting antidepressant activity[J]. *Drug Develop Res*, 1985, 5:291-301.
  - 17 Chen WX, Liu LP, Li L, et al. Antidepressant action of curcumin and its mechanism[J]. *Tradit Chin Drug Res Pharmacol(中药新药与临床药理)*, 2006, 17:317-320.
  - 18 Nutt DJ. Relationship of neurotransmitters to the symptoms of major depressive disorder[J]. *J Clin Psychiat*, 2008, 69:4-7.
  - 19 Delgado PL. Depression: the case for a monoamine deficiency [J]. *J Clin Psychiat*, 2000, 61:7-11.
  - 20 Elhwuegi AS. Central monoamines and their role in major depression [J]. *Prog Neuro-psychoph*, 2004, 28:435-451.