

安卡红曲霉液态发酵豆渣、麦麸、梨渣制备可溶性膳食纤维

Preparation of soluble dietary fiber from okara, wheat bran and pear residue by liquid fermentation with *Monascus anka*

孙聪聪¹

李兴江^{1,2}

穆冬冬^{1,2}

陈小举³

SUN Cong-cong¹

LI Xing-jiang^{1,2}

MU Dong-dong^{1,2}

CHEN Xiao-ju³

刘淑芸¹

张旻^{1,2}

潘丽军^{1,2}

姜绍通^{1,2}

LIU Shu-yun¹

ZHANG Min^{1,2}

PAN Li-jun^{1,2}

JIANG Shao-tong^{1,2}

郑志^{1,2}

陈明鑫¹

吴学风^{1,2}

ZHENG Zhi^{1,2}

CHEN Ming-xin¹

WU Xue-feng^{1,2}

(1. 安徽省农产品精深加工重点实验室, 安徽 合肥 230009; 2. 合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230009; 3. 巢湖学院化学与材料工程学院, 安徽 巢湖 238000)

(1. Key Laboratory of Advanced Processing of Agricultural Products, Anhui Province, Hefei, Anhui 230009, China; 2. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China; 3. School of Chemistry and Material Engineering, Chaohu University, Chaohu, Anhui 238000, China)

摘要:以豆渣、麦麸、梨渣为原料,接种安卡红曲霉进行液态发酵,研究可溶性膳食纤维(SDF)的制备工艺及特性。结果表明,可溶性膳食纤维的最优发酵条件为豆渣发酵时间 7 d、料液比 1 : 15 (g/mL)、接种量 13%; 麦麸发酵时间 6 d、料液比 1 : 15 (g/mL)、接种量 14%; 梨渣发酵时间 6 d、料液比 1 : 20 (g/mL)、接种量 14%。发酵后 SDF 的溶解度、持水力及持油力均得到提高,功能特性得到改善。

关键词:安卡红曲霉;可溶性膳食纤维;豆渣;麦麸;梨渣

Abstract: The preparation process and characteristics of soluble dietary fiber (SDF) were investigated during the liquid fermentation with *Monascus Anka* 3.4811, when okara, wheat bran and pear residue were used as substrates. The optimal fermentation conditions were obtained as followed: okara fermentation time

was 7 d, solid-liquid ratio was 1 : 15 (g/mL), inoculum amount was 13%; wheat bran fermentation time was 6 d, ratio of material to liquid was 1 : 15 (g/mL), inoculum was 14%; pear residue fermentation time was 6 d, ratio of material to liquid was 1 : 20 (g/mL), inoculum was 14%. With the fermentation, the solubility, water holding capacity and oil holding capacity of SDF were improved, and the functional properties were improved.

Keywords: *Monascus anka*; soluble dietary fiber; okara; wheat bran; pear residue

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2018YFD0400404,2018YFD0400601);安徽省重大科技攻关项目(编号:18030701146, 18030701154, 201903a06020007, 201903a06020034,201904f06020019)

作者简介:孙聪聪,女,合肥工业大学在读硕士研究生。

通信作者:吴学风(1981—),女,合肥工业大学副教授,博士。

E-mail: wuxuefeng@hfut.edu.cn

收稿日期:2019-12-05

膳食纤维(dietary fiber, DF)对促进消化和排泄具有重要作用^[1]。DF 包括可溶性膳食纤维(SDF)和不溶性膳食纤维(IDF),其中 SDF 具有更优的功能特性^[2]。酸法、碱法、酶法、发酵法等是制备 SDF 的常见方法。酸法和碱法成本低,操作简单,但反应时间长,并会有大量化学残留;酶法制取效果好,可显著提高 SDF 含量,但成本高,条件严苛,难以实现规模化生产;发酵法是通过微生物对原料中植酸、大分子多糖、蛋白质等的发酵降解作用来改性 DF,制备的 SDF 品质好,且反应过程易于控制和调节,是一种前景良好的 SDF 制取方法^[3]。Chu 等^[4]采用纳豆芽孢杆菌(*Bacillus natto*)发酵小米糠,所得 SDF 与 IDF 的

比例从 3.1% 增加至 19.9%。Jia 等^[5]利用绿色木霉(*Trichoderma viride*)发酵脱脂米糠, SDF 产率从 10.5% 增加至 33.4%, 发酵后脱脂米糠的 SDF 具有更大的潜力, 可用作食品中的功能成分。

安卡红曲霉是红曲霉的一种, 在生长过程中能产生多种活性物质, 如 monacolin K、麦角固醇、红曲色素、酶等^[6]。红曲霉发酵会产生蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶和木聚糖酶等多种降解酶^[7], 发酵液中丰富的蛋白酶和淀粉酶会水解附着在多糖分子表面的蛋白质和淀粉上, 增加多糖分子与纤维素酶和木聚糖酶的接触位点, 从而增加底物中的膳食纤维含量。而发酵液中的纤维素酶和木聚糖酶活性较高, 可使膳食纤维中纤维素和半纤维素氢键断裂, 分子链减小, 寡糖含量增加^[8]。试验拟探索安卡红曲霉在液态发酵过程中代谢产物对豆渣、麦麸、梨渣 SDF 的得率和水合性能的影响, 为解决农产品废渣处理和制备高品质豆渣、麦麸、梨渣 SDF 提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 原料与试剂

豆渣、麦麸、梨渣: 每 100 g 豆渣的碳水化合物、粗蛋白、粗脂肪、灰分和水分含量分别为 61.00, 16.50, 11.22, 3.98, 7.30 g; 每 100 g 麸皮的碳水化合物、粗蛋白、粗脂肪、灰分和水分含量分别为 63.40, 16.19, 9.25, 4.16, 7.00 g; 每 100 g 梨渣的碳水化合物、粗蛋白、粗脂肪、灰分和水分含量分别为 62.40, 12.10, 13.85, 4.77, 6.88 g, 所有化学试剂均为国产分析纯。

1.1.2 菌种与培养基

安卡红曲霉(*Monascus anka*) 3.4811: 中国通用微生物菌种保藏中心, 保存于合肥工业大学安徽省农产品加工重点实验室;

活化培养基: PDA 培养基;

种子培养液: 3% 葡萄糖、1.5% 蛋白胨、0.1% 七水合硫酸镁、0.3% 磷酸氢二钾、100 mL 蒸馏水, pH 7.0, 121 °C 灭菌 20 min;

发酵培养液: 取麦麸、豆渣、梨渣粉 200 g, 葡萄糖 10 g, 硫酸铵 4 g, 用蒸馏水定容 1 000 mL, 250 mL 三角瓶分装 100 mL 发酵液, 115 °C 灭菌 20 min。

1.1.3 仪器与设备

超声波清洗仪: GT SONIC-P27 型, 广东固特超声股份有限公司;

冷冻高速离心机: 5804R 型, 德国 Eppendorf 公司;

恒温振荡培养箱: HNY-100Y 型, 恒立国际有限公司;

电热恒温水浴锅: HH2S4 型, 北京科伟永兴仪器有限公司;

分光光度计: 721 型, 上海菁华科技仪器有限公司;

电子天平: FA2004B 型, 上海仪电科学仪器股份有限公司。

1.2 方法

1.2.1 可溶性膳食纤维的制备

(1) 水提法: 分别称取 10 g 废渣粉, 加 100 mL 水, 摇匀后静置 90 min, 超声波处理 30 min, 8 000 r/min 离心 15 min, 收集上清液, 加入 4 倍体积 95% 乙醇, 4 °C 醇沉过夜, 离心(8 000 r/min, 15 min), 将沉淀复溶, 冷冻干燥得 SDF。

(2) 酶法: 根据文献^[9]略作修改, 分别称取 10 g 废渣粉, 加 100 mL 水进行水浴浸提, 95 °C 下加入耐高温 α -淀粉酶至上清液碘液测定不变蓝后, 冷却至 60 °C 加入适量糖化酶反应 30 min, 再向溶液中加入碱性蛋白酶继续反应 30 min, 继续加入纤维素酶和木聚糖酶分别于 45, 55 °C 下水浴 30 min, 反应结束后, 后续方法同水提法。

(3) 发酵法: 根据文献^[10]略作修改, 将发酵培养基高温灭菌后, 按一定比例接入红曲霉种子培养液, 于 28 °C、160 r/min 摇床中培养一定时间后, 8 000 r/min 离心 15 min, 后续方法同水提法, 分别得豆渣可溶性膳食纤维(OSDF)、麦麸可溶性膳食纤维(BSDF)、梨渣可溶性膳食纤维(PSDF)。

1.2.2 SDF 得率的计算 按式(1)计算 SDF 得率。

$$C = \frac{M_2 - M_1}{M} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

C——SDF 得率, %;

M_1 ——干燥培养皿质量, g;

M_2 ——醇沉后冻干的盛有 SDF 的培养皿质量, g;

M——底物的干质量, g。

1.2.3 单因素试验 以 SDF 得率为评价指标, 分别考察料液比[1:5~1:25 (g/mL)]、接种量(6%~14%)、发酵时间(3~7 d)对红曲霉发酵法制备 BSDF、OSDF、PSDF 的影响。

1.2.4 多因素优化试验 在单因素试验结果的基础上, 选择对试验指标影响显著的因素水平分别进行正交试验和响应面优化试验, 以确定较优的制备条件。

1.2.5 SDF 性质的测定 根据文献^[11-12]的方法分别测定 SDF 的持水性(WHC)和持油性(OHC)。将 0.1 g SDF 样品溶于试管中, 充分振荡摇匀, 490 nm 处测定其吸光度, 以观察 SDF 的透明度。

1.3 统计分析

所有试验重复 3 次, 使用 SPSS V19.0 软件进行统计分析。使用 Duncan 检验, $P < 0.05$ 表示统计学显著性。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 料液比对 SDF 得率的影响 由图 1 可知,料液比影响红曲霉发酵法制备 OSDF、BSDF、PSDF 的得率,对 OSDF 得率的影响大于 BSDF 和 PSDF 的。SDF 得率随料液比的增加先增大后趋于稳定。当料液比为 1:5 (g/mL)时,OSDF 得率最低,由于豆渣吸水性较高,当料液比较低时,溶液黏度大,不利于菌丝体的生长。当料液比为 1:15 (g/mL)之后,SDF 得率的增长趋势变缓。制备 SDF 需消耗大量的无水乙醇进行醇沉,为节约成本、降低乙醇回收处理量,确定豆渣、梨渣和麸皮的较佳料液比为 1:15 (g/mL)。

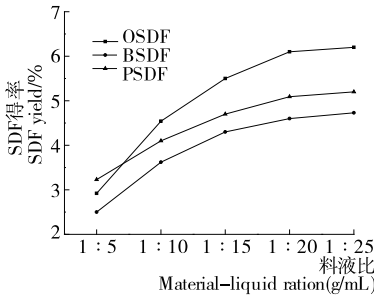


图 1 料液比对 SDF 得率的影响

Figure 1 Effect of material-liquid ratio on SDF extraction

2.1.2 接种量对 SDF 得率的影响 由图 2 可知,SDF 得率随接种量的增加先增加后有所降低,最后趋于稳定。接种量过少时,菌浓度太低,代谢产物少,SDF 得率较低;接种量继续增大时,安卡红曲霉菌体量过多,培养液黏度增加,供氧不足,后期红曲霉生长所需营养不足,SDF 得率有所降低^[13-14],故最佳接种量为 12%。

2.1.3 发酵时间对 SDF 得率的影响 由图 3 可知,发酵 5 d 时,BSDF 和 PSDF 得率最高;发酵 6 d 时,OSDF 得率最高。发酵初期,红曲霉对农产品废渣中的 IDF 进行降解,使 IDF 的糖苷键断裂,生成小分子糖转化为 SDF,更多的大分子物质得以分解;发酵一定时间后,SDF 得率下

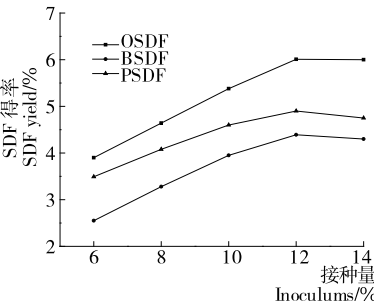


图 2 接种量对 SDF 得率的影响

Figure 2 Effect of inoculums on SDF extraction

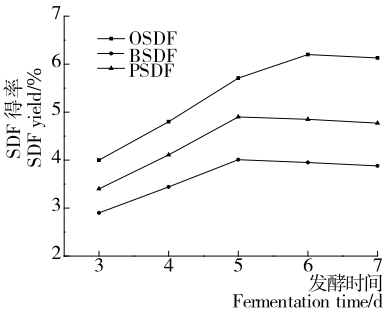


图 3 发酵时间对 SDF 得率的影响

Figure 3 Effect of fermentation time on SDF extraction

降,可能是发酵一段时间后,基质被消耗,无法提供红曲霉菌增殖所需的营养物质^[15],微生物开始利用小分子糖,SDF 被进一步分解为分子量更小的组分,不易提取。

2.2 多因素试验结果

2.2.1 BSDF 发酵条件优化 以料液比、接种量、发酵时间为因素,以 SDF 得率为考察指标设计正交试验,因素水平见表 1,试验结果及分析见表 2。

由表 2 可知,BSDF 制备工艺各因素的主次顺序是料

表 1 正交试验设计因素水平表

Table 1 Orthogonal test design factor level table

水平	A 料液比(g/mL)	B 接种量/%	C 发酵时间/h
1	1:10	10	5
2	1:15	12	6
3	1:20	14	7

表 2 BSDF 制备工艺正交试验设计及结果分析

Table 2 Orthogonal test designs and results analysis of BSDF preparation process

试验号	A	B	C	空列	SDF 得率/%
1	1	1	1	1	1.70
2	1	2	2	2	2.70
3	1	3	3	3	3.25
4	2	1	2	3	3.80
5	2	2	3	1	4.16
6	2	3	1	2	4.80
7	3	1	3	2	3.00
8	3	2	1	3	3.30
9	3	3	2	1	4.00
K ₁	7.65	8.50	9.80	9.86	
K ₂	12.76	10.16	10.50	10.50	
K ₃	10.30	12.05	10.41	10.35	
R	5.11	3.55	0.61	0.64	

液比>接种量>发酵时间,较优组合为 $A_2B_3C_2$ 。由表 3 可知,料液比和接种量对 BSDF 得率影响显著,发酵时间对其影响不显著,较优组合为 $A_2B_3C_1$ 。对上述两种组合进行验证实验($n=3$), $A_2B_3C_2$ 得率为 5.52%, $A_2B_3C_1$ 得率为 5.38%。因此红曲霉发酵制备 BSDF 较优条件为发酵时间 6 d,料液比为 1:15 (g/mL),接种量 14%。

2.2.2 PSDF 发酵条件优化 以料液比、接种量、发酵时间为因素,以 SDF 得率为考察指标设计正交试验,因素水平表见表 4,试验结果及分析见表 5。

由表 5 可知,PSDF 制备工艺各因素的主次顺序是发酵时间>料液比>接种量,较适组合为 $A_3B_3C_2$ 。由表 6 可知,发酵时间和料液比对 PSDF 得率影响显著,接种量对其影响不显著,较适组合为 $A_3B_3C_2$,对该组合进行验证实验($n=3$),SDF 得率为 5.42%。故红曲霉发酵制备 PSDF 较优条件为发酵时间 6 d,料液比 1:20 (g/mL),接种量 14%。

2.2.3 OSDF 发酵条件优化 以料液比、接种量、发酵时间为因素,以 SDF 得率为考察指标设计响应面试验,因素水平表见表 7,试验结果及分析见表 8。

采用 Box-Behnken 进行多元回归拟合分析,得二次多项回归方程:

$$Y = 8.03 - 0.26A + 0.18B + 0.29C + 0.12AB - 0.065AC + 0.43BC - 1.93A^2 - 0.52B^2 - 1.43C^2$$
 (2)

利用回归方程对制备 OSDF 的发酵条件进行优化,可预测 OSDF 得率的变化^[16]。由表 9 可知,回归模型极显著,表明与实际情况拟合度好;失拟项不显著,表明残

表 3 BSDF 制备工艺的方差分析
Table 3 Analysis of variance analysis of BSDF preparation process

差异源	平方和	df	均方	F 值	显著性
A	4.354	2	2.177	50.63	*
B	2.104	2	1.052	24.46	*
C	0.097	2	0.048		
误差	0.075	2	0.038		
总误差	0.172	4	0.043		
总计	6.628	8			

表 4 正交试验设计因素水平表
Table 4 Orthogonal test design factor level table

水平	A 料液比(g/mL)	B 接种量/%	C 发酵时间/h
1	1:10	10	5
2	1:15	12	6
3	1:20	14	7

表 5 PSDF 制备工艺正交试验设计及结果分析
Table 5 Orthogonal test design and results analysis of PSDF preparation process

试验号	A	B	C	空列	SDF 得率/%
1	1	1	1	1	3.00
2	1	2	2	2	4.44
3	1	3	3	3	3.58
4	2	1	2	3	4.85
5	2	2	3	1	4.39
6	2	3	1	2	4.00
7	3	1	3		4.20
8	3	2	1	3	3.80
9	3	3	2	1	5.40
K_1	11.02	12.05	10.80	12.79	
K_2	13.24	12.63	14.69	12.64	
K_3	13.40	12.98	12.17	12.23	
R	2.38	0.93	3.89	0.56	

差均由随机误差引起,对试验干扰小。3 个因素对 OSDF 得率的影响依次为发酵时间>料液比>接种量,制备 OSDF 的较优条件为料液比 1:14.67 (g/mL)、接种量 13%、发酵时间 6.83 d,根据实际情况修正为发酵时间 7 d、料液比 1:15 (g/mL)、接种量 13%,进行验证实验($n=3$)。OSDF 得率为 8.3%,接近预测值(8.03%~8.50%),说明采用响应面设计得到的工艺参数真实可信,有较好的指导意义。

2.3 SDF 成分及功能特性分析

由表 10 可知,发酵法和酶法能显著提高 SDF 得率,且 3 种底物发酵法 SDF 得率均大于酶法。发酵法与水提法相比,蛋白质与脂肪含量降低,即红曲霉在生长过程中利用底物营养成分,得到更高纯度的 SDF。经红曲霉发酵后提取的 OSDF、BSDF 和 PSDF 的透明度、持水力、持油力都有较明显提高。高透明度说明 SDF 溶解度高,高持水力和持油力是 SDF 功能特性的良好体现^[17]。由于发酵过程中红曲霉产生的纤维素酶、木聚糖酶等^[18]使聚合度高的豆渣、麦麸、梨渣中纤维部分降解成结构松散的小颗粒 SDF^[19],增加了溶液与 SDF 的接触面积,提高了 WHC 和 OHC^[20-21],SDF 溶于水后形成胶体。因此,SDF 纯度越高,含量越大,持水性越好;发酵过程中,脂肪含量减少,多糖细胞壁被破坏,膳食纤维空隙增多,有利于提高 OHC^[22]。故红曲霉发酵可有效提高豆渣、麦麸、梨渣 SDF 的理化性质,是改性豆渣、麦麸、梨渣 SDF 的有效途径。

表 6 PSDF 制备工艺的方差分析

Table 6 Analysis of variance analysis of PSDF preparation process

差异源	平方和	df	均方	F 值	显著性
A	1.180	2	0.590	21.07	*
B	0.147	2	0.074	2.64	
C	2.595	2	1.298	46.36	*
误差	0.056	2	0.028		
总计	3.978	8			

表 7 响应面试验设计因素水平编码表

Table 7 Response surface test design factor level coding table

水平	A 料液比(g/mL)	B 接种量/%	C 发酵时间/h
-1	1 : 10	10	5
0	1 : 15	12	6
1	1 : 20	14	7

表 8 OSDF 制备工艺 Box-Behnken 试验设计及结果分析

Table 8 Box-Behnken test design and result analysis of OSDF preparation process

试验号	A	B	C	SDF 得率/%
1	1	0	1	4.53
2	0	-1	-1	6.06
3	0	0	0	8.03
4	-1	0	1	5.45
5	1	0	-1	4.02
6	0	0	0	8.04
7	-1	1	0	5.75
8	0	0	0	8.03
9	0	0	0	8.03
10	0	0	0	8.03
11	-1	0	-1	4.68
12	0	1	1	6.96
13	1	1	0	5.74
14	1	-1	0	5.17
15	0	-1	1	5.72
16	-1	-1	0	5.67
17	0	1	-1	5.58

表 9 回归模型的方差分析及显著性检验[†]

Table 9 Variance analysis and significance test of regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	30.10	9	3.33	153.66	<0.000 1	* *
A	0.55	1	0.55	25.16	0.001 5	* *
B	0.25	1	0.25	11.45	0.011 7	*
C	0.67	1	0.67	31.00	0.000 8	* *
AB	0.06	1	0.06	2.77	0.140 2	
AC	0.02	1	0.02	0.78	0.406 8	
BC	0.74	1	0.74	34.08	0.000 6	* *
A ²	15.68	1	15.68	722.54	<0.000 1	* *
B ²	1.14	1	1.14	52.41	0.000 2	* *
C ²	8.64	1	8.64	398.02	<0.000 1	* *
残差	0.15	7	0.02			
失拟项	0.15	3	0.05	2 530.42	0.258 1	
纯误差	8.00×10 ⁻⁵	4	2.00×10 ⁻⁵			
总和	30.16	16				

† * * 极显著(P<0.01); * 显著(P<0.05)。

表 10 红曲霉发酵不同底物制备 SDF 的成分及性质[†]

Table 10 Comparison of SDF composition and properties of different substrates prepared by fermentation of *Monascus* (n=3)

SDF 来源	提取方法	透明度	持水力/(g·g ⁻¹)	持油力/(g·g ⁻¹)	蛋白质	脂肪/%	SDF 得率/%
豆渣	发酵法	0.25±0.03 ^c	2.10±0.06 ^a	5.60±0.07 ^a	0.50±0.01 ^b	8.43±0.51 ^b	8.30±0.12 ^a
	水提法	0.79±0.04 ^a	1.10±0.04 ^c	4.20±0.08 ^b	0.58±0.02 ^a	12.40±0.80 ^a	3.24±0.04 ^c
	酶法	0.73±0.05 ^b	1.30±0.06 ^b	2.45±0.05 ^c	0.44±0.02 ^c	2.67±0.49 ^c	4.58±0.01 ^b
麦麸	发酵法	0.32±0.02 ^b	2.96±0.14 ^a	3.30±0.06 ^a	0.23±0.01 ^b	5.20±0.21 ^b	5.52±0.10 ^a
	水提法	0.42±0.03 ^a	2.25±0.05 ^b	3.00±0.05 ^b	0.34±0.02 ^a	11.10±0.61 ^a	2.71±0.05 ^c
	酶法	0.43±0.02 ^a	2.11±0.08 ^c	2.80±0.04 ^c	0.17±0.01 ^c	1.90±0.12 ^c	3.55±0.05 ^b
梨渣	发酵法	0.30±0.02 ^b	3.54±0.07 ^a	9.50±0.05 ^a	0.30±0.03 ^b	6.10±0.30 ^b	5.42±0.06 ^a
	水提法	0.44±0.01 ^a	2.90±0.06 ^b	6.30±0.01 ^c	0.43±0.02 ^a	13.20±0.44 ^a	2.52±0.04 ^c
	酶法	0.43±0.04 ^a	2.70±0.06 ^c	8.70±0.01 ^b	0.23±0.01 ^c	2.70±0.16 ^c	3.24±0.04 ^b

† 同列小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

3 结论

采用安卡红曲霉 3.4811 对农产品废渣进行发酵,得到最优发酵条件:豆渣发酵时间 7 d、料液比 1:15 (g/mL)、接种量 13%;麦麸发酵时间 6 d、料液比 1:15 (g/mL)、接种量 14%;梨渣发酵时间 6 d、料液比 1:20 (g/mL)、接种量 14%。结果表明,红曲霉发酵可显著提高 SDF 得率。红曲霉发酵后,SDF 纯度更好,具有良好的溶解度、持水力和持油力。与其他方法制备 OSDF、BSDF 和 PSDF 相比,红曲霉发酵法优势明显,可广泛应用于食品工业。后续可对红曲霉发酵制备 SDF 的组分及结构特征进行深入研究,结合红曲霉代谢途径的调控策略研究,进一步提升红曲膳食纤维的品质,为其在食品中的应用提供基础。

参考文献

- [1] CHEN Bi-fen, CAI Yong-jian, LIU Tong-xun, et al. Improvements in physicochemical and emulsifying properties of insoluble soybean fiber by physical-chemical treatments[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 93(8): 167-175.
- [2] ZHANG Lu-lu, ZHU Meng-ting, SHI Ting, et al. Recovery of dietary fiber and polyphenol from grape juice pomace and evaluation of their functional properties and polyphenol compositions[J]. Food & Function, 2016, 8(1): 341-351.
- [3] NIU Yu-ge, LI Na, XIA Qi, et al. Comparisons of three modifications on structural, rheological and functional properties of soluble dietary fibers from tomato peels[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 88(2): 56-63.
- [4] CHU Jia-xi, ZHAO Hai-zhen, LU Zhao-lin, et al. Improved physicochemical and functional properties of dietary fiber from millet bran fermented by *Bacillus natto* [J]. Food Chemistry, 2019, 294(10): 79-86.
- [5] JIA Meng-yun, CHEN Jia-jun, LIU Xiao-zhen, et al. Structural characteristics and functional properties of soluble dietary fiber from defatted rice bran obtained through *Trichoderma viride* fermentation [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 94(9): 468-474.
- [6] 顾宗珠, 李静, 王瑶, 等. 碱性蛋白酶水解红曲霉菌体的研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 223-225.
- [7] 薛英丽. 红曲霉多糖降解酶的研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2011: 7-15.
- [8] HANDA C L, DE LIMA F S, GUELFI M F G, et al. Parameters of the fermentation of soybean flour by *Monascus purpureus* or *Aspergillus oryzae* on the production of bioactive compounds and antioxidant activity [J]. Food Chemistry, 2019, 271(1): 274-283.
- [9] MEYER A S, DAM B P, LARKE H N. Enzymatic solubilization of a pectinaceous dietary fiber fraction from potato pulp: Optimization of the fiber extraction process[J]. Biochemical Engineering Journal, 2009, 43(1): 106-112.
- [10] HUANG Zhi-bing, ZHANG Li-juan, WANG Yan-ling, et al. Effects of rutin and its derivatives on citrinin production by *Monascus aurantiacus* Li AS3. 4384 in liquid fermentation using different types of media[J]. Food Chemistry, 2019, 284(6): 205-212.
- [11] LI Bo, YANG Wei, NIE Yuan-yang, et al. Effect of steam explosion on dietary fiber, polysaccharide, protein and physicochemical properties of okara [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 94(9): 48-56.
- [12] 李梁, 聂成玲, 薛蓓, 等. 响应面法优化酶辅助提取苹果梨渣中可溶性膳食纤维工艺及品质分析[J]. 中国食品添加剂, 2017(1): 57-64.
- [13] HAACK M B, OLSSON L, HANSEN K, et al. Change in hyphal morphology of *Aspergillus oryzae* during fed-batch cultivation[J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2018, 70(4): 482-487.
- [14] 刘宏, 陈迪, 陈勉华, 等. 不同单色光对紫色红曲霉生长、色素和橘霉素合成的影响[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(2): 48-55.
- [15] LIM J Y, KIM J J, LEE D S. Physicochemical characteristics and production of whole soymilk from *Monascus* fermented soybeans [J]. Food Chemistry, 2010, 120(5): 255-260.
- [16] HUA Mei, LU Jia-xi, QU Di, et al. Structure, physicochemical properties and adsorption function of insoluble dietary fiber from ginseng residue: A potential functional ingredient[J]. Food Chemistry, 2019, 286(7): 522-529.
- [17] ZHAO Hui-min, GUO Xiao-na, ZHU Ke-xue. Impact of solid state fermentation on nutritional, physical and flavor properties of wheat bran[J]. Food Chemistry, 2017, 217(2): 28-36.
- [18] 蒋汶. 红曲霉发酵产多糖及其性质的初步研究[D]. 芜湖: 安徽工程大学, 2016: 30-12.
- [19] ZHANG Hui-juan, ZHANG Xiao-shuang, CAO Xin-ren, et al. Semi-solid state fermentation and enzymatic hydrolysis impeded the destroy of wheat bran on gluten polymerization[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 98(12): 306-313.
- [20] MOCZKOWSKA M, KARP S, NIU Y, et al. Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed-A physicochemical approach[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 90(5): 105-112.
- [21] WU Jia, JIN Shan-shan, WU Shan-shan, et al. Effect of filamentous fungi fermentation on the extractability and physicochemical properties of beta-glucan in oat bran[J]. Food Chemistry, 2018, 254(7): 122-128.
- [22] YAN Xiao-guang, YE Ran, CHEN Ye. Blasting extrusion processing: The increase of soluble dietary fiber content and extraction of soluble-fiber polysaccharides from wheat bran[J]. Food Chemistry, 2015, 180(8): 106-115.