

真菌固态发酵制备麦麸可溶性膳食纤维的研究

凌阿静, 杨静, 李小平*, 张雪美, 刘柳, 胡新中 (陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西西安 710062)

摘要 [目的] 考察几种真菌在不同发酵时间对麦麸可溶性膳食纤维得率和抗氧化活性的影响。[方法] 以麦麸为原料, 利用真菌固态发酵制备麦麸可溶性膳食纤维。研究了3种不同真菌(黑曲霉、米曲霉、里氏木霉)在不同发酵时间(1、3、5、7、9 d)对麦麸可溶性膳食纤维得率和抗氧化活性的影响。[结果] 试验表明, 里氏木霉固态发酵7 d, 可显著提高麦麸可溶性膳食纤维的得率及其抗氧化活性。可见, 里氏木霉是制备麦麸可溶性膳食纤维的优良菌种, 且其固态发酵麦麸7 d时得率和抗氧化活性最高。[结论] 研究可为几种真菌在膳食纤维制备中的应用提供依据。

关键词 麦麸; 真菌; 固态发酵; 可溶性膳食纤维

中图分类号 S509.9; TS213 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)17-296-03

The Research of Solid Fermentation for Preparing Wheat Bran Soluble Dietary Fiber with Fungi

LING A-jing, YANG Jing, LI Xiao-ping* et al (College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062)

Abstract [Objective] To investigate effects of several fungi on yield of soluble wheat bran dietary fiber and antioxidant activity at different fermentation time. [Method] The preparation of soluble dietary fiber from wheat bran by fungal solid state fermentation were investigated with wheat bran as raw material. The yield and antioxidant activity of soluble wheat bran dietary fiber were evaluated in different fermentation time (1, 3, 5, 7, 9 d) with three different fungi (*Aspergillus niger*, *Aspergillus*, *Trichoderma reesei*). [Result] The results showed the yield and antioxidant activity of soluble wheat bran dietary fiber were significantly increased by solid state fermentation 7d with *Trichoderma reesei*. The result indicated that *Trichoderma reesei* was excellent strains for preparation of soluble wheat bran dietary fiber. The high yield and antioxidant activity can be obtained by solid state fermentation 7d with *Trichoderma reesei*. [Conclusion] The study can provide reference for application of several fungi strains in preparation of dietary fiber.

Key words Wheat bran; Fungi strains; Solid-state fermentation; Soluble dietary fiber

膳食纤维作为继淀粉、蛋白质、脂肪、维生素、矿物质和水之后的“第七大营养素”, 是目前国内外营养学研究的重点内容之一^[1]。膳食纤维主要来自于植物的细胞壁, 成分以纤维素、半纤维素、树脂、果胶及木质素为主, 一般不易被肠道消化酶降解、消化和吸收, 但其在保持消化系统健康上扮演着重要的角色^[2]。膳食纤维尤其是可溶性膳食纤维对肥胖症、高血压、冠状动脉粥样硬化、胆结石、糖尿病、结肠病、高血脂、心脏病及心脑血管疾病等有一定的预防作用, 可以防止腹泻、保护肝脏及提高免疫力^[3-5]。随着人们对膳食纤维与人体健康关系认识的不断深入, 一些高膳食纤维食品越来越受到青睐。

麦麸是制粉工业的主要副产品, 我国年产小麦1亿t左右, 主要用于加工面粉, 麦麸约占制粉加工量的20%, 因此, 我国年产麦麸2000万t左右, 资源非常丰富。麦麸营养丰富, 并含35%~50%的膳食纤维, 是制取膳食纤维的理想原料。然而, 麦麸中的膳食纤维主要为不溶性膳食纤维, 可溶性膳食纤维仅占2%^[6]。为此, 研究者采用了多种方法以提高麦麸膳食纤维的可溶性。报道比较多的方法有化学法^[7-9]、酶水解法^[10-13]和物理法^[14-17]。目前, 在提高可溶性膳食纤维含量的研究中, 生物发酵法因高效、低成本逐渐引起研究者的重视, 一些文献报道采用食用真菌发酵制备麦麸, 不仅可提高可溶性膳食纤维的含量, 且可改善麦麸膳食纤维的物理和生理功能^[18-20]。然而关于黑曲霉、米曲霉、里

氏木霉对麦麸膳食纤维的影响尚未见报道, 因此, 笔者研究了这3种真菌在不同发酵时间(1、3、5、7、9 d)对麦麸可溶性膳食纤维得率和抗氧化活性的影响, 为其在膳食纤维制备中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 麦麸。研究所用麦麸为陕西省面粉厂加工副产物, 经粉碎过筛备用。

1.1.2 试验菌种。黑曲霉(*Aspergillus niger*), 编号2169; 米曲霉疏展变种(*Aspergillus oryzae* var. *effuses*), 编号2083; 里氏木霉(*Trichoderma reesei*), 编号13052; 以上试验菌种均购自于中国工业微生物菌种保藏管理中心。

1.1.3 培养基。马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基: 新鲜去皮的马铃薯200 g, 加水1 L, 文火煮沸30 min, 冷却后纱布过滤, 滤液加20 g葡萄糖、15~20 g琼脂粉煮至溶解, 加水定容至1 L。

1.1.4 主要试剂。DPPH(1,1-二苯基-2-苦基肼), 美国Sigma公司; 其余试剂均为国产分析纯。

1.1.5 主要仪器。旋转蒸发器, 上海亚荣仪器厂; TAL-5-A离心机(飞鸽牌), 上海安亭科学仪器厂; 手提式高压蒸汽灭菌锅, 上海三申医疗器械有限公司; HGZ-250型光照培养箱, 上海慧泰仪器制造有限公司; 可见光分光光度计, 上海仪电分析仪器有限公司; BA200生物显微镜, 上海豫光仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 真菌发酵剂的制备。以黑曲霉、米曲霉、里氏木霉为菌种, 经马铃薯琼脂培养基3次传代培养后, 用10 ml生理盐

基金项目 西安市科技计划项目现代农业推进计划[NC1207(1)]; 中央高校基本科研业务费专项基金项目(GK201102021)。

作者简介 凌阿静(1988-), 女, 河南商丘人, 硕士研究生, 研究方向: 粮油与植物蛋白工程。*通讯作者。

收稿日期 2015-04-24

水洗出孢子,得孢子悬液,用血球计数板计数,调整孢子含量在 10^7 个/ml,以此作为发酵剂。

1.2.2 真菌固态发酵。麦麸粉碎,过 60 目筛,加入 60% 蒸馏水,混和均匀,高压蒸汽灭菌。接入 10% 的发酵剂,搅拌均匀,压实,封口,分别于各菌种最适培养温度恒温静置培养。当培养至 1、3、5、7 和 9 d 时,停止发酵,提取麦麸膳食纤维,每个试验 3 次重复。

1.2.3 麦麸可溶性膳食纤维的提取。停止发酵的麦麸样品中,加入原料麦麸 10 倍的蒸馏水搅拌均匀,80 °C 下水浴提取 1 h,4 000 r/min 离心 15 min,残渣重复提取 2 次,离心,合并滤液,真空浓缩,4 倍无水乙醇沉淀,真空干燥得可溶性膳食纤维。

1.2.4 可溶性膳食纤维含量。计算公式如下:

$$\text{可溶性膳食纤维含量} = \text{可溶性膳食纤维重量} / \text{麦麸重量} \times 100$$

1.2.5 可溶性膳食纤维抗氧化活性测定。

1.2.5.1 样品液的制备。将冷冻干燥后的可溶性膳食纤维研磨粉碎,过 60 目的筛。准确称取 0.1 g 可溶性膳食纤维于三角瓶中,加入 5 ml 蒸馏水,80 °C 恒温水浴锅中水浴 30 min 后,4 000 r/min 离心 10 min。上清液备用。

1.2.5.2 DPPH 自由基清除能力。准确称取各样品稀释液 200 μ l,加 1 mmol/L DPPH(80% 甲醇)溶液 3.8 ml,常温避光反应 30 min 后于 517 nm 波长处测定吸光度。以 80% 甲醇代替样品作对照,DPPH 自由基清除能力以其清除率表示。通过下式计算:

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = (1 - A_I/A_O) \times 100$$

式中, A_I 为样品组吸光度; A_O 为对照组吸光度。

1.2.5.3 总抗氧化能力的测定。取 1 ml 各样品液(适当稀释),加入 1 ml 0.2 mol/L 磷酸缓冲液(pH 6.6)及 1 ml 1% 铁氰化钾,混合均匀,于 50 °C 水浴反应 20 min 后,急速冷却,再加入 1.0 ml 10% 三氯乙酸,混合后离心(3 000 r/min,10 min)。取上清液 2.0 ml,加入 2.0 ml 蒸馏水和 0.4 ml 0.1% 三氯化铁溶液,混合均匀,室温下反应 10 min,测定其 700 nm 下吸光值。以吸光度大小表示总抗氧化能力。

2 结果与分析

2.1 3 种真菌固态发酵对麦麸总膳食纤维得率的影响 米曲霉、黑曲霉和里氏木霉分别以 10^6 个/g 麦麸的量接入灭菌麦麸,发酵 9 d,于发酵的 1、3、5、7、9 d 取样,测定其总膳食纤维的含量,结果如图 1 所示。

图 1 结果显示,3 种真菌均可影响麦麸中可溶性膳食纤维的得率。里氏木霉发酵过程中,麦麸中可溶性膳食纤维得率呈现上升趋势,发酵 7 d 时达到最大值,随后略有下降。米曲霉固态发酵麦麸,可溶性膳食纤维的得率亦呈上升趋势,第 5 天时达到最大值,随后变化不大。黑曲霉发酵,其可溶性膳食纤维得率在第 1 天时最高;后随发酵时间的延长出现不同程度的下降。其中,黑曲霉的下降程度在第 5~7 天时,下降更显著。就 3 种菌种对麦麸可溶性膳食纤维得率的影响而言,在发酵的前 7 d,里氏木霉 > 米曲霉 > 黑曲霉,这说

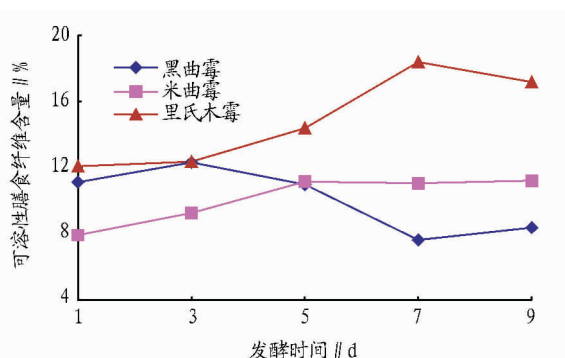


图1 真菌固态发酵对麦麸可溶性膳食纤维得率的影响

明这 3 种真菌对麦麸不溶性膳食纤维的降解释放,以及对可溶性膳食纤维的营养成分与降解产物的营养转化利用的能力不同。发酵 7 d 时,里氏木霉可获得更高的可溶性膳食纤维。

2.2 3 种菌种固态发酵对麦麸可溶性膳食纤维抗氧化活性的影响

2.2.1 3 种菌种固态发酵对麦麸可溶性膳食纤维清除 DPPH 自由基活性的影响。米曲霉、黑曲霉和里氏木霉分别以 10^6 个/g 麦麸的量接入灭菌麦麸,于发酵的不同天数提取可溶性膳食纤维,测定可溶性膳食纤维清除 DPPH 自由的能力。试验结果如图 2 所示。

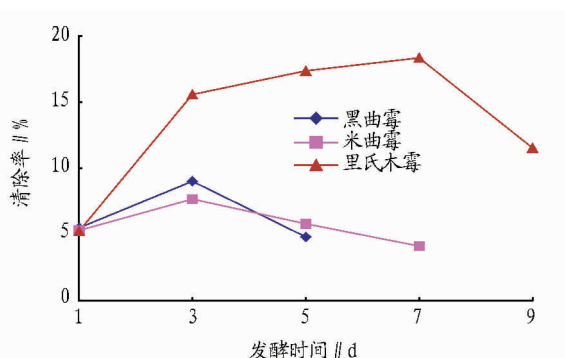


图2 真菌发酵对麦麸可溶性膳食纤维 DPPH 清除能力的影响

图 2 结果显示,3 种菌种均对麦麸可溶性膳食纤维清除 DPPH 自由基的活性有一定影响。随着发酵时间的延长,3 种真菌发酵制备的可溶性膳食纤维清除 DPPH 自由基的活性呈先上升后下降的趋势,里氏木霉在发酵 7 d 时达到最大值。黑曲霉和米曲霉发酵对麦麸可溶性膳食纤维清除 DPPH 自由基的活性的影响同里氏木霉,但二者均在第 3 天时达到最大值,随后显著下降,黑曲霉在发酵 7 d 天时,米曲霉在发酵第 9 天时,其清除 DPPH 自由基的能力已经非常低。3 种霉菌相比,里氏木霉发酵可显著提高麦麸可溶性膳食纤维清除 DPPH 自由基的活性。

2.2.2 3 种菌种固态发酵对麦麸可溶性膳食纤维总还原力的影响。米曲霉、黑曲霉和里氏木霉分别以 10^6 个/g 麦麸的量接入灭菌麦麸,于发酵的不同天数提取可溶性膳食纤维,测定可溶性膳食纤维总还原力,试验结果如图 3 所示。

图 3 结果显示,3 种菌种均对麦麸可溶性膳食纤维总还原力有一定影响。且影响趋势与可溶性膳食纤维对 DPPH

清除率相似,即先上升后下降。里氏木霉发酵 7 d 时,可溶性膳食纤维的总还原力达最大值,黑曲霉在发酵第 5 天时总还原力达最大值,随后下降,米曲霉也是在第 5 天时总还原力达到最大值,但在整个发酵过程中,其变化幅度比较小。

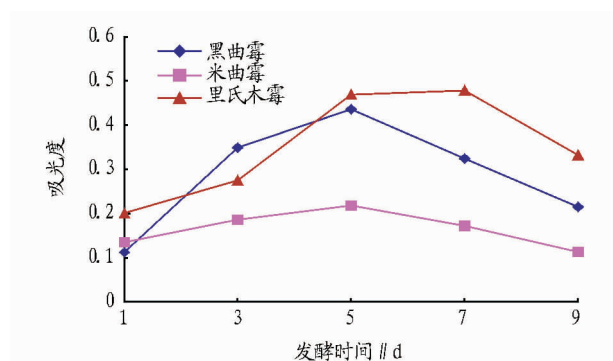


图3 真菌发酵对麦麸可溶性膳食纤维点还原力的影响

3 结论

黑曲霉、米曲霉和里氏木霉固态发酵麦麸,均可对麦麸可溶性膳食纤维的含量和抗氧化活性产生影响。其中,里氏木霉固态发酵麦麸 7 d 时,麦麸可溶性膳食纤维含量及其抗氧化活性达到最高。可见,里氏木霉是固态发酵麦麸制备麦麸可溶性膳食纤维的优良菌种。

参考文献

- [1] 李逸鹤. 膳食纤维研究现状及发展趋势[J]. 现代农业科技, 2010, 31(6): 349-350.
- [2] BURTON-FREEMAN B. Dietary fiber and energy regulation[J]. Journal of Nutrition, 2000, 130(2): 272-275.

- [3] KENDALL C W C, ESFAHANI A, JENKINS D J A. The link between dietary fibre and human health[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(1): 45-46.
- [4] SLAVIN J L. Dietary fiber and body weight[J]. Nutrition, 2005, 21(3): 411-418.
- [5] 郑建仙. 功能性膳食纤维[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 5.
- [6] 常宪辉. 多酶分步法生产小麦麸膳食纤维粉的研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2008.
- [7] 刘玉林, 吴光旭, 李庆龙. 麦麸膳食纤维的制备与改性研究[J]. 湖北农学院学报, 1998, 18(1): 42-47.
- [8] 黄纪念, 王长虹, 孙强, 等. 麦麸膳食纤维研究概况[J]. 农产品加工·创新版, 2010, 203(3): 20-23.
- [9] 王萍, 张蕾, 尹明姬. 小麦麸皮中水溶性膳食纤维的提取[J]. 粮食加工, 2006(1): 51-53.
- [10] 陶颜娟. 小麦麸皮膳食纤维的改性及应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 13-14.
- [11] 王丽, 李依若, 杨武. 纤维素酶法制备高品质麦麸膳食纤维条件的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2009(2): 24-25, 28.
- [12] SHIBA K, YAMADA H, HARA H, et al. Preparation and effect of cell-wall hydrolysate from wheat bran on mixing properties of dough[J]. Cereal Chemistry, 1994, 71(3): 279-282.
- [13] KAINUMA S, NAKAMURA N, YAMAMOTO M. Method of preparing water-soluble dietary fiber; US, 5622738[P]. 1997-04-22.
- [14] 李凤. UHP 处理对小麦膳食纤维的改性研究[J]. 食品科学, 2007, 28(9): 96-98.
- [15] 刘伟, 刘成梅, 黎冬明, 等. 瞬时高压作用对麦麸膳食纤维改性的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(11): 82-85.
- [16] 黄晟, 朱科学, 钱海, 等. 超微及冷冻粉碎对麦麸膳食纤维理化性质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(15): 40-44.
- [17] 李凤敏. 微生物发酵法生产高活性膳食纤维的研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2003.
- [18] 汤葆莎, 陈君琛, 李怡斌. 姬松茸固体发酵制备麦麸膳食纤维的技术效果[J]. 福建农业学报, 2009, 24(5): 471-473.
- [19] 吴学凤, 潘丽军, 姜绍通, 等. 发酵法制备小麦麸皮膳食纤维[J]. 食品科学, 2010(33): 169-173.
- [20] 金信江. 固态发酵法制取麦麸膳食纤维技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.

(上接第 287 页)

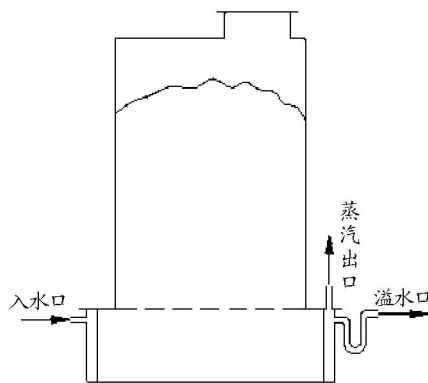


图5 余热蒸汽发生器

响,专门设计了余热利用装置产生蒸汽,同时加装可升降破穿孔装置,结构简单,效果明显,提高了气化炉运行稳定性与燃气品质。通过 8 h 连续运行测试,该气化炉点火 20 min 后开始产气,运行期间每隔 1 h 取气检测,通过 5 次检测,燃气热值平均达到 5.5 MJ/m^3 ,且期间运行平稳。该气化炉主要面向中小规模商业使用,相对于其他大型气化设备的投资运行成本高与小型设备产气量不足稳定性差等问题,该气化炉可以很好综合产气量与成本低的要求,适用于乡镇一级供气,对秸秆气化的推广有很好的推动作用。

参考文献

- [1] 中国电力科学研究院生物质能研究室. 生物质能及其发电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- [2] 袁振宏, 吴创之, 马隆龙, 等. 生物质能利用原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [3] 国家经贸委可再生能源发电与热利用研究项目组. 中国可再生能源技术评价[M]. 北京: 中国环境化学出版社, 1998.
- [4] 顾念祖, 嵇文娟. 秸秆气化炉的研究与探讨[J]. 工业锅炉, 2004(3): 21-23.
- [5] 宋秋, 崔亨哲, 刘正德, 等. 750 KW 生物质燃料下吸式气化炉的设计[J]. 能源研究与利用, 2002(1): 27-29.
- [6] 马隆龙, 吴创之, 孙立. 生物质气化技术及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [7] 刘作龙. 在不同气化剂条件下生物质气化模拟研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2011.
- [8] 曾科. 小型生物质气化炉气化系统的设计及性能试验研究[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2008.
- [9] 杨肖. 低焦油、高热值农村秸秆气化技术的开发与应用[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [10] 宋龙朝, 王科社, 索双富, 等. 新型下吸式生物质气化炉研制[J]. 机械工程师, 2013(2): 1-4.
- [11] 雷廷宙, 沈胜强, 催俊贞, 等. 固定床生物质气化机组主要技术性能试验研究[J]. 河南科学, 2006, 26(1): 118-121.
- [12] 王孟杰, 崔远勃, 张榕林, 等. NY/T443-2001 秸秆气化供气系统技术条件及验收规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [13] 李建芬. 生物质催化热解和气化的应用基础研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [14] 齐国利. 生物质热解及焦油热裂解的实验研究和数值模拟[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.