

发酵法制取刺梨果渣膳食纤维 工艺优化及其特性分析

丁小娟, 孟 满, 赵泽伟, 顾苑婷, 丁筑红*
(贵州大学酿酒与食品工程学院, 贵州贵阳 550025)

摘要: 目的: 通过混合菌种发酵刺梨果渣, 提高总膳食纤维(TDF)含量, 改善其理化特性, 为刺梨果渣 TDF 的产业化生产与产品开发提供参考。方法: 在单因素实验基础上, 根据 Box-Behnken 实验设计以膳食纤维得率为响应值优化最佳工艺。结果: 制取刺梨果渣可溶性膳食纤维最佳工艺为: 混合菌种嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*) GIM.1.208、戊糖乳杆菌(*Lactobacillus pentosus*) CICC.22210 和生香酵母(Aroma-producing yeast) 比例 1:2:1、料液比 1:5、接种量 10%、发酵温度 30℃、发酵时间 52 h, 此条件下 SDF 得率达 11.590%, 较原果渣提高 76.53%, 发酵法得到总膳食纤维(TDF) 膨胀力、持水力和持油力均比原果渣有所提高。结论: 微生物发酵法制备膳食纤维的同时能有效提高其品质指标, 是一种简便的高品质膳食纤维制备方法。

关键词: 刺梨果渣, 膳食纤维, 发酵法, 响应面法

Optimization of fermentation of roxburgh rose pomace for dietary fiber preparation and quality indexes analysis

DING Xiao-juan, MENG Man, ZHAO Ze-wei, GU Yuan-ting, DING Zhu-hong*

(College of Food and Wine Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Objective: Mixed strains was used to ferment roxburghii rose pomace for improving the content of soluble dietary fiber (SDF) in the pomace dietary fiber. It would provides a reference for the industrialized production and product development of SDF in roxburghii rose pomace. Methods: Based on single-factor experiments, the optimum process was optimized on the basis of the Box-Behnken test design using dietary fiber yields as response values. Results: The optimum conditions for preparing the soluble dietary fiber of roxburghii rose pomace were as follows: The ratio of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus pentosus* and *Saccharomyces cerevisiae* were 1:2:1. The ratio of material to liquid was 1:5. The amount of inoculum was 10%. The temperature and time of fermentation were 30℃ and 52 h, respectively. Under these conditions, the yield of SDF reached 11.590%, which was 76.53% higher than that of original fruit pomace. The total dietary fiber obtained by the fermentation method had higher swelling force, water holding capacity and oil holding capacity than the original pomace. Conclusion: Microbial fermentation preparation of dietary fiber can effectively improve its quality indicators. That's a simple and high-quality method of dietary fiber.

Key words: roxburgh rose pomace; dietary fiber; fermentation method; response surface methodology

中图分类号: TS255

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)07-0097-07

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.07.019

引文格式: 丁小娟, 孟满, 赵泽伟, 等. 发酵法制取刺梨果渣膳食纤维工艺优化及其特性分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 97-103

刺梨(*Rosa roxburghii* Tratt.) 系蔷薇科蔷薇属落叶灌木, 因其果形似梨且表面密生小肉刺, 故称刺梨, 原产于我国西南部^[1]。以刺梨为原料的产品有饮料^[2]、果醋^[3]、保健品^[4-5]、药品^[6-7]等。膳食纤维具有抗癌、抗氧化、降低胆固醇、改善胃肠健康、预防心血管疾病等作用^[8-11]。刺梨加工利用方面多以生产刺

梨果汁为主, 而其花、叶、果肉、籽的营养及药用价值综合利用率低, 刺梨果榨汁产生 40%~50% 的皮渣资源被严重浪费^[12]。

目前, 对刺梨营养成分及加工利用的研究报道较多, 而利用混合菌种发酵刺梨果渣制备膳食纤维方面的研究鲜有报道。已被报道的混合发酵菌种有

收稿日期: 2017-06-01

作者简介: 丁小娟(1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学, E-mail: dxj102168@163.com。

* 通讯作者: 丁筑红(1966-), 女, 硕士, 教授, 主要从事农产品加工教学科研方面的研究, E-mail: gzdxzh@163.com。

基金项目: 贵州省科技重大专项(黔科合重大专项字[2013]6006); 贵州省教育厅自然科学研究项目(黔教教 KY 字[2015]366)。

乳杆菌和双歧杆菌^[3]、黑曲霉和枯草芽孢杆菌^[4]、乳酸菌和绿色木霉^[5]、米根霉、里氏木霉和黑曲霉^[6]、保加利亚乳杆菌(*Lactobacillus bulgaricus*)和嗜热链球菌(*Streptococcus thermophilus*)^[7]等。本实验以刺梨果渣为原料,利用前期筛选的嗜酸乳杆菌(GIM.1.208)、戊糖乳杆菌(CICC.22210)和生香酵母(Aroma-producing yeast)混合发酵,以期提高刺梨果渣总膳食纤维(TDF)含量,从而提高刺梨果渣膳食纤维利用率,为制备刺梨果渣SDF的工业化生产提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

刺梨果渣 贵州龙里所提供的刺梨(贵农5号品种),榨汁后去汁留渣,装入保鲜袋中密封保存于4℃的冰箱,备用;嗜酸乳杆菌(*Lactobacillus acidophilus*) GIM.1.208、戊糖乳杆菌(*Lactobacillus pentosus*) CICC.22210 贵州轻工中心;生香活性干酵母 安琪酵母股份有限公司;α-淀粉酶、蛋白酶、葡萄糖苷酶 Megazyme International Ireland, Bray Business Park;2-(N-吗啡啉)乙磺酸/MES 上海源叶生物科技有限公司;TRIS 北京索莱宝科技有限公司。

MRS培养基 蛋白胨 10.0 g,牛肉膏 10.0 g,酵母粉 5.0 g,葡萄糖 5.0 g,乙酸钠 5.0 g,柠檬酸钠 0.05 g,吐温 80 1.0 mL, K₂HPO₄ 2.0 g, MgSO₄·7H₂O 0.2 g, MnSO₄·7H₂O 0.05 g, 碳酸钙 20.0 g, 琼脂(1.5 g/100 mL),蒸馏水 1000 mL,自然 pH,121℃,0.1 MPa 灭菌 30 min,置于37℃培养24~48 h,用于乳酸菌扩大及斜面菌种培养。

立式压力蒸汽灭菌锅 江阴滨江医疗设备有限公司;SPX-150B III型生化培养箱 天津市泰斯特仪器有限公司;SW-CJ-2FD型双人单面净化工作台 苏州净化设备有限公司;GDE+CSF6 膳食纤维测定仪 意大利VELP SCIENTIFICA公司。

1.2 实验方法

1.2.1 工艺流程 刺梨鲜渣→按料液比加水→灭菌→接种菌种→发酵培养→烘干(60℃)→粉碎(过60目筛)→膳食纤维测定

500 mL三角瓶中添加50 g刺梨果渣,按料液比1:5 g/mL加入蒸馏水,用棉塞塞紧瓶口,煮沸灭菌10 min,待其冷却后于无菌操作台分别接入活化酵母菌与乳酸菌扩大培养的种子液,在自然pH条件下,将发酵液置于生化培养箱动态观察测定相关理化指标。

1.2.2 菌种的培养 生香酵母菌活化参照文献[8]并改进如下:在酵母菌中按质量比1:20的量加入30℃蒸馏水,使其均匀分散,加入5%蔗糖,同时使水温保持在35~40℃,活化20~30 min。取出后待菌液降至室温进行接种。乳酸菌活化: MRS活化培养液121℃,0.1 MPa 灭菌30 min,分别接入嗜酸乳杆菌 GIM.1.208、戊糖乳杆菌 CICC.22210 乳酸菌的保藏培养物,37℃静止培养24~48 h 备用。

1.2.3 单菌种发酵 嗜酸乳杆菌 GIM.1.208、戊糖乳杆菌 CICC.22210: 发酵温度37℃;生香酵母: 发酵温

度28℃;分别以接种量10%、料液比1:5、发酵48 h,分析膳食纤维组成含量。

1.2.4 混合菌种发酵 GIM.1.208/CICC.22210/生香酵母=1:2:1、1:1:2、2:2:1、2:1:2,接种量10%,发酵温度30℃和料液比1:5 g/mL,分别用以上混合后的菌种发酵48 h,分析膳食纤维组成含量。

1.2.4.1 发酵温度对刺梨果渣膳食纤维的影响 称取25 g刺梨果渣置于250 mL三角瓶中,按料液比1:5 g/mL,混菌比例1:2:1接种菌(接种量10%),控制发酵温度分别为28、30、32、34、36℃,发酵48 h,测定膳食纤维组分含量。

1.2.4.2 发酵时间对刺梨果渣膳食纤维的影响 称取25 g刺梨果渣置于250 mL三角瓶中,按料液比1:5 g/mL,混菌比例1:2:1接种菌(接种量10%),发酵时间分别为12、24、36、48、60 h,发酵温度30℃,测定膳食纤维组分含量。

1.2.4.3 料液比对刺梨果渣膳食纤维的影响 称取25 g刺梨果渣置于250 mL三角瓶中,料液比分别为1:2、1:3、1:4、1:5、1:6 g/mL,混菌比例1:2:1接种菌(接种量10%),温度30℃,发酵48 h,测定膳食纤维组分含量。

1.2.4.4 接种量对刺梨果渣膳食纤维的影响 分别称取相同质量的刺梨果渣置于三角瓶中,按料液比1:5 g/mL,按混菌比例1:2:1分别接种6%、7%、8%、9%、10%,30℃发酵48 h,测定膳食纤维组分含量。

1.2.5 Box-Behnken 中心组合实验设计 在单因素实验的基础上,每个因素选取三个对膳食纤维得率影响较大的水平,建立四因素三水平的Box-Behnken中心组合实验,以膳食纤维得率为响应值,各因素的三个水平采用-1、0、1进行编码,见表1。

表1 Box-Behnken 实验设计因素水平表

Table 1 Factors and levels of Box-Behnken design

因素	水平		
	-1	0	1
A 料液比(mL/g)	1:4	1:5	1:6
B 接种量(%)	8	10	12
C 发酵温度(℃)	28	30	32
D 发酵时间(h)	36	48	60

1.2.6 测定方法

1.2.6.1 膳食纤维的测定 总膳食纤维(TDF)的测定: 参照 GB5009.88-2014; 不可溶性膳食纤维(IDF)的测定: 参照 GB5009.88-2014; 可溶性膳食纤维(SDF): SDF=(TDF-IDF)×100,其中100表示100 g样品中膳食纤维的百分含量。

1.2.6.2 膨胀力的测定 称取样品1.0000 g(m_1),置于20 mL量筒中记录体积(V_1),加入10.00 mL蒸馏水(移液枪准确吸取)。充分摇匀后静置(24 h),记录膳食纤维膨胀增长后的体积(V_2),膨胀力(mL/g)= $(V_2-V_1)/m_1$ 。

1.2.6.3 持水力的测定 称取样品1.0000 g(n_1),置于100 mL烧杯中,加蒸馏水75 mL,在(25±2)℃下

搅拌 24 h, 转移至离心杯中, 设置 1000 r/min, 离心 30 min, 倾掉上清液, 沉淀称重 (n_2 : 精确到 0.0001), 持水力 (g/g) = $(n_2 - n_1) / n_1$ 。

1.2.6.4 持油力的测定 参考 Sangnark^[9] 的方法, 称取样品 1 g (h_1 : 精确到 0.0001), 置于离心管中, 加入适量豆油, 室温下静置 1 h。用已知重量的尼龙网/布 (h_2 : 精确到 0.0001) 过滤收集沉淀, 称取沉淀湿重 (h_3 : 精确到 0.0001), 持油力 (g/g) = $(h_3 - h_2 - h_1) / h_1$ 。

1.3 数据处理

数据以 $\bar{x} \pm SD$ 表示, 利用 Design-Expert 8.06 软件进行方差分析, 以 $p < 0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结果与分析

2.1 不同菌种发酵对刺梨果渣膳食纤维的影响

由图 1 可知, 嗜酸乳杆菌 1.208 SDF 得率较高, 达 11.00%。与单一菌种相比, 混合菌种 A:2B:C 发酵后果渣中 SDF 含量有所提高, 不同比例混合菌种发酵果渣中 SDF 与 TDF 的得率显著不同 ($p < 0.05$)。结果显示刺梨果渣 SDF 得率发酵结果由大到小为: 混菌比例 1:2:1 > 嗜酸乳杆菌 1.208 > 混菌比例 2:2:1 > 混菌比例 2:1:2 > 混菌比例 1:1:2 > 戊糖乳杆菌 22210 > 生香活性干酵母。虽然嗜酸乳杆菌 1.208 与混菌 1:2:1 差异不显著, 但研究发现嗜酸乳杆菌与戊糖乳杆菌在特定条件下可产 β -葡萄糖苷酶系, 对膳食纤维有一定的降解作用。因此确定最优菌种为 1:2:1, 在此条件下, 发酵效果最佳, 果渣培养物中 TDF、IDF 及 SDF 的得率分别为 52.80%、41.34% 和 11.46%。

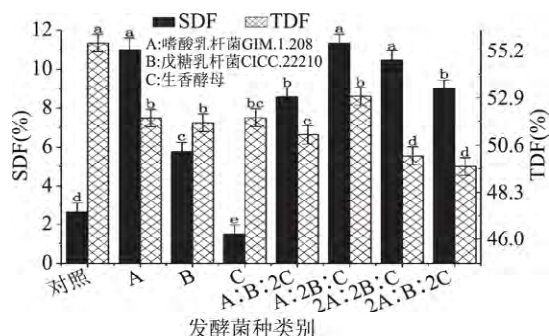


图 1 不同菌种对膳食纤维的影响

Fig.1 Influence of different strains on dietary fiber

注: 不同字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

相关研究表明, 嗜酸乳杆菌与戊糖乳杆菌在特定发酵条件下有产 β -葡萄糖苷酶系的功能, 对膳食纤维有一定的降解作用^[9]。菌株生长时利用原料中的淀粉、蛋白质, 提高 DF 纯度, 其产生的有机酸可断裂纤维素类大分子的糖苷键, 降低纤维的聚合度, 将部分 IDF 转化成可溶性多糖, 提高 SDF 含量和产品的生理活性^[9]。生香酵母具有独特产香特性^[22-23]。因此, 确定混菌 (GIM.1.208: CICC.22210: 生香酵母) 比例 1:2:1 为发酵菌种。

2.2 混合菌种发酵条件的研究

2.2.1 不同发酵温度对刺梨果渣膳食纤维的影响

由图 2 可知, 30 °C 时 TDF 得率最高达 11.43%, 当温度超过 32 °C 时, TDF 制取率随温度升高而减小; SDF 得率在 30 °C 时达到最大值, 36 °C 时达到最小值, 可能是处理时间过长会造成 SDF 结构的改变, 被分解成更小的结构, 造成部分 SDF 损失^[24]; 温度超过菌体最适生长温度, 抑制菌种生长, 不利于发酵的充分进行^[24]。因此, 确定最佳发酵温度为 30 °C。

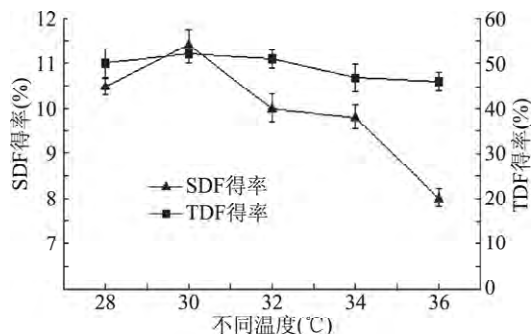


图 2 发酵温度对膳食纤维的影响

Fig.2 Influence of fermentation temperature on dietary fiber

2.2.2 不同发酵时间对刺梨果渣膳食纤维的影响

由图 3 可知, 12~24 h 时 TDF 得率呈下降趋势, 24 h 后呈上升趋势, 48 h 达最大; 随着发酵时间的延长, SDF 得率呈上升趋势, 48 h 达最大, 48 h 后 SDF 得率显著下降。可能是由于随时间增加使果胶裂解, 并在水中被氢离子水解^[24]; 后期由于菌种增长使发酵产物不断积累, 体系 pH 持续下降, 抑制菌体自身生长或产生菌体自溶, 使菌体产酶效果下降进而导致发酵动力下降^[26-27]。周笑犁等^[28]用发酵法制备刺梨 SDF 最佳发酵时间为 48 h, 与本实验结果一致。因此, 确定最佳发酵时间为 48 h。

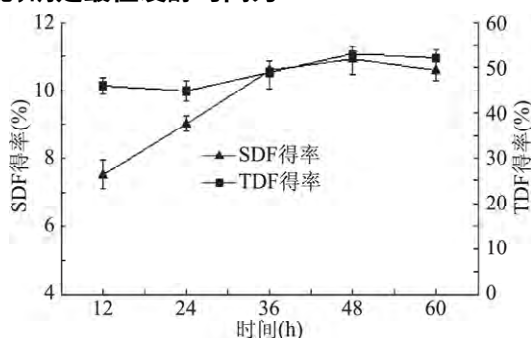


图 3 发酵时间对膳食纤维的影响

Fig.3 Influence of fermentation time on dietary fiber

2.2.3 不同料液比对刺梨果渣膳食纤维的影响

由图 4 可知, TDF 得率无明显变化; 而随着料液比的增加, SDF 得率在料液比为 1:5 (g/mL) 时, SDF 得率达到最大, 之后 SDF 得率呈下降趋势。料液比过大或过小都不利于乳酸菌与酵母混合菌体产酶代谢, 进而影响 SDF 得率及刺梨果渣培养物的品质。因此, 确定最佳料液比为 1:5 (g/mL)。

2.2.4 不同接种量对刺梨果渣发酵膳食纤维的影响

由图 5 可知, 接种量为 10% 时, TDF 得率较高, SDF 得率有最大值, 之后逐渐下降。原因可能是接种量过大会使菌种数量增多, 消化分解快速结束, 导

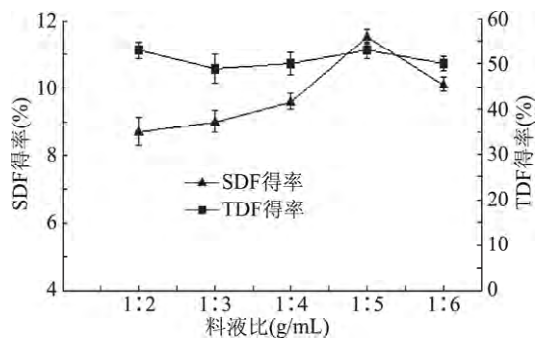


图4 不同料液比对膳食纤维的影响

Fig.4 Influence of different material liquid ratio on dietary fiber

致后期发酵动力不足, SDF 得率下降^[9]。因此, 确定 10% 接种量较适宜。

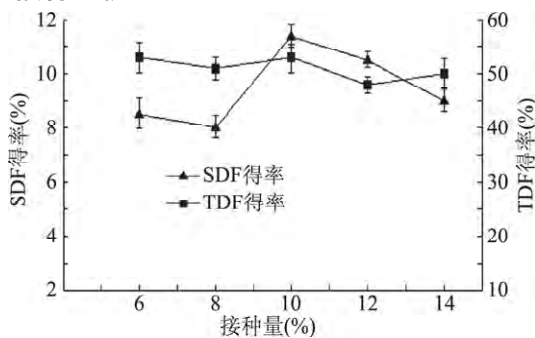


图5 不同接种量对膳食纤维的影响

Fig.5 Influence of different inoculation quantity on dietary fiber

2.3 可溶性膳食纤维提取工艺回归模型的建立及方差分析

响应面法优化刺梨果渣中 SDF 提取的结果见表 2。采用 Design Expert 8.06 软件, 选用 Box-Behnken 模型, 对表 2 中的数据进行回归分析, 得到回归方程:

$$Y = 11.52 + 0.026A + 0.27B + 0.25C + 0.15D + 0.29AB + 0.030AC - 0.27AD - 0.12BC + 0.085BD + 0.25CD - 0.75A^2 - 0.78B^2 - 0.56C^2 - 0.36D^2$$

模型的方差分析结果见表 3。模型 $p < 0.0001$, 模型极为显著, 所选模型可靠。失拟项 $p = 0.0852 > 0.05$, 差异不显著, 方程对实验拟合程度较好。模型相关系数是 0.9414, 说明该模型能揭示 94.14% 的响应值变化。对回归方程系数进行显著性检验(表 3), 表明一次项 B、C 及二次项 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 因素各水平间均对 SDF 得率有极显著影响($p < 0.01$); 一次项 D 及交互项 AB、AD、CD 对 SDF 得率有显著影响($p < 0.05$), 其余对 SDF 得率影响不显著($p > 0.05$)。

2.4 响应面分析与优化

考察交互项对提取率的影响, 由图 6~图 11 可知, 当温度和时间一定时, 随料液比的增大, SDF 得率先增大后减小; 随接种量的增大, SDF 得率先增大后减小; 两因素之间的交互作用对 SDF 得率的影响显著。当接种量和时间一定时, 随温度的升高, SDF 得率逐渐增大; 随料液比的增大, SDF 得率先增大后

表 2 Box-Behnken 实验方案与结果

Table 2 Box-Behnken experimental design and result

实验号	A	B	C	D	SDF 得率 (%)
1	-1	-1	0	0	9.98
2	1	-1	0	0	9.44
3	-1	1	0	0	9.87
4	1	1	0	0	10.49
5	0	0	-1	-1	10.34
6	0	0	1	-1	10.53
7	0	0	-1	1	10.07
8	0	0	1	1	11.27
9	-1	0	0	-1	10.01
10	1	0	0	-1	10.48
11	-1	0	0	1	10.89
12	1	0	0	1	10.29
13	0	-1	-1	0	9.91
14	0	1	-1	0	10.38
15	0	-1	1	0	10.22
16	0	1	1	0	10.21
17	-1	0	-1	0	9.82
18	1	0	-1	0	9.94
19	-1	0	1	0	10.47
20	1	0	1	0	10.71
21	0	-1	0	-1	9.87
22	0	1	0	-1	10.62
23	0	-1	0	1	10.02
24	0	1	0	1	11.11
25	0	0	0	0	11.45
26	0	0	0	0	11.51
27	0	0	0	0	11.68
28	0	0	0	0	11.57
29	0	0	0	0	11.38

减小; 两因素间的交互作用不显著。当温度和接种量一定时, 随料液比的增大, SDF 得率逐渐增大; 随时间的增加, SDF 得率逐渐增大; 两因素间的交互作用对 SDF 得率影响显著。当时间和料液比一定时, 随温度的降低, SDF 得率先增大后减小; 随接种量的增大, SDF 得率先增大后减小; 两因素间交互作用不显著。当料液比和温度一定时, 随接种量的增加, SDF 得率先增大后减小; 随时间的增加, SDF 得率先增大后缓慢减小; 两因素间的交互作用不显著。当料液比和接种量一定时, 随温度的升高, SDF 得率先增大后减小; 随时间的延长, SDF 得率先增大后减小; 两因素间交互作用显著。该结果与方差分析结果一致。

经 Design-Expert 8.06 软件分析优化, 得到发酵法制取刺梨果渣 SDF 最佳工艺参数为混合菌种(嗜酸乳杆菌 GIM.1.208: 戊糖乳杆菌 CICC22210: 生香酵母) 比例 1:2:1、料液比 1:5 (g/mL)、接种量 10.34%、温度 30.55 °C、时间 51.89 h, 此条件下 SDF 得率理论上是 11.599%。根据实际将发酵条件调整为: 料液比

表 3 响应面分析实验方差分析结果

Table 3 Box-Behnken experimental design and results for response surface analysis

方差来源	平方和	df	均方	F 值	p 值	显著性
模型	10.00	14	0.71	16.05	<0.0001	**
A	0.0080	1	0.0080	0.18	0.6779	
B	0.87	1	0.87	19.65	0.0006	**
C	0.73	1	0.73	16.29	0.0012	**
D	0.27	1	0.27	6.07	0.0274	*
AB	0.34	1	0.34	7.56	0.0157	*
AC	0.0036	1	0.0036	0.081	0.7803	
AD	0.29	1	0.29	6.43	0.0238	*
BC	0.058	1	0.058	1.29	0.2744	
BD	0.029	1	0.029	0.65	0.4339	
CD	0.26	1	0.26	5.73	0.0312	*
A ²	3.64	1	3.64	81.84	<0.0001	**
B ²	3.98	1	3.98	89.38	<0.0001	**
C ²	2.07	1	2.07	46.42	<0.0001	**
D ²	0.84	1	0.84	18.96	0.0007	**
残差	0.62	14	0.045			
失拟项	0.57	10	0.057	4.33	0.0852	
误差	0.053	4	0.013			
总和	10.63	28				

注: ** 表示影响极显著($p < 0.01$), * 表示影响显著($p < 0.05$)。

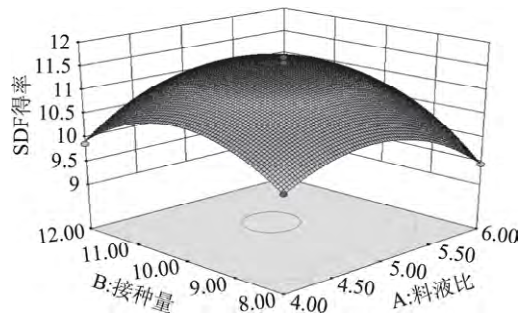


图 6 料液比和接种量对 SDF 得率的影响

Fig.6 Influence of material liquid ratio and inoculation quantity on SDF yield

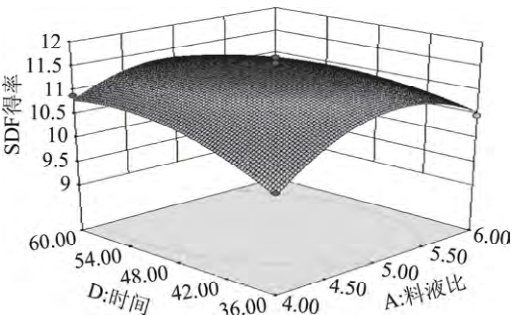


图 8 料液比和发酵时间对 SDF 得率的影响

Fig.8 Influence of material liquid ratio and time on SDF yield

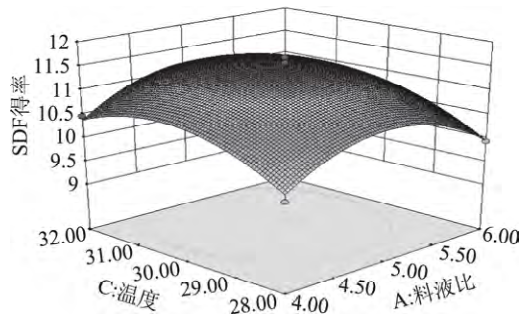


图 7 料液比和发酵温度对 SDF 得率的影响

Fig.7 Influence of material liquid ratio and fermentation time on SDF yield

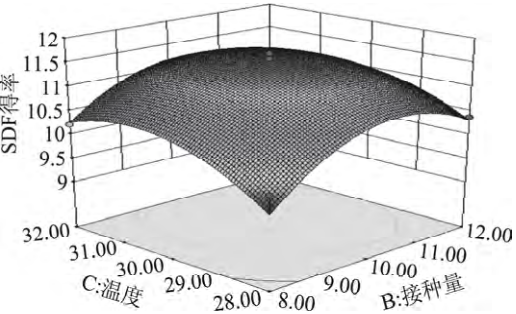


图 9 接种量和发酵温度对 SDF 得率的影响

Fig.9 Influence of inoculation quantity and temperature on SDF yield

1:5 (g/mL)、接种量 10%、温度 30℃、时间 52 h,所得结果为 11.590%,与理论值相差 0.009,相对误差 0.08%,实测值与理论值相差不显著,说明实验结果与模型拟合较好,建立此模型能够真实的反映各因素对 SDF 得率的影响,通过该模型优化能有效提高

SDF 得率。

2.5 发酵前后果渣特性分析

由表 4 可知,新鲜刺梨果渣中 TDF 含量达 55.46%,SDF 含量约为 2.72%,可见刺梨果渣是获取膳食纤维的良好资源。发酵后刺梨果渣中 SDF 较原果渣高,其中 SDF 含量达 11.59%,较原果渣提高

表4 发酵前后果渣特性分析

Table 4 Comparison of character analysis before and after fermentation of pomace

果渣类别	膨胀力(mL/g)	持水力(g/g)	持油力(g/g)		TDF(%)	SDF(%)
			不饱和脂肪	饱和脂肪		
新鲜果渣	10.09 ± 0.06 ^a	10.09 ± 0.05 ^a	1.12 ± 0.01 ^a	0.80 ± 0.01 ^a	55.46 ± 0.32 ^a	2.72 ± 0.02 ^a
发酵果渣	14.65 ± 0.03 ^b	16.71 ± 0.11 ^b	4.54 ± 0.10 ^b	2.12 ± 0.02 ^b	52.80 ± 0.48 ^b	11.59 ± 0.29 ^b

注: 同列不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。

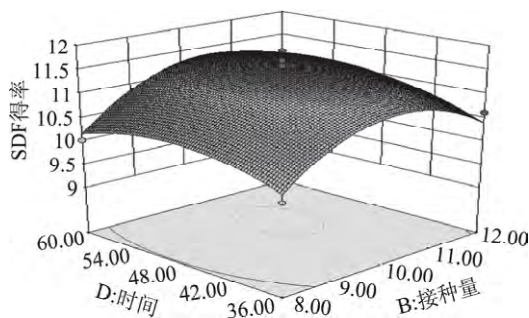


图10 接种量和发酵时间对 SDF 得率的影响

Fig.10 The influence of inoculation quantity and fermentation time on SDF yield

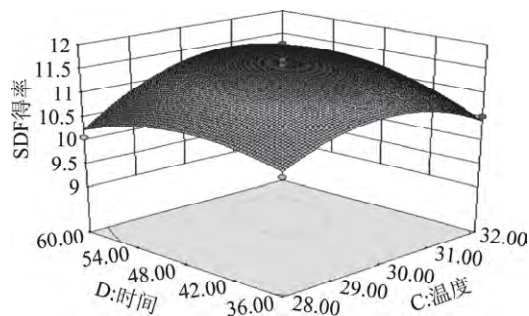


图11 发酵温度和发酵时间对 SDF 得率的影响

Fig.11 The influence of fermentation time and temperature on SDF yield

76.53%。表明由于微生物的消化分解作用,消耗大部分营养物质,促使膳食纤维的含量显著提高^[4]。乳酸菌是人类肠道中的益生菌^[5],生香酵母具有独特的产香特性^[6],经发酵处理后刺梨果渣膳食纤维理化性质得到改善,膨胀力和持水力分别为 14.65 mL/g 和 16.71 g/g,不饱和脂肪和饱和脂肪持油力分别为 4.54 g/g 和 2.12 g/g。蒋丽^[3]采用乳酸菌和绿色木霉菌混合菌种为发酵剂,从柠檬果渣中提取膳食纤维膨胀力和持水力分别为 13.21 mL/g 和 9.15 g/g,杨雪^[4]发酵柑橘皮渣制备膳食纤维的持水力为 7.21 g/g,膨胀力为 9.65 mL/g,本研究结果均优于上述报道结果,表明发酵法处理果渣对膳食纤维理化特性中膨胀力、持水力和持油力的影响显著。

3 结论

采用响应面法对刺梨果渣膳食纤维提取条件进行优化,建立膳食纤维得率的回归模型,由该模型优化的膳食纤维提取条件为:混合菌种嗜酸乳杆菌(GIM.1.208)、戊糖乳杆菌(CICC.22210)和生香酵母(Aroma-producing yeast)比例 1:2:1、料液比 1:5、接种量 10%、发酵温度 30 °C、发酵时间 52 h,此条件下,刺梨果渣膳食纤维的平均得率为 11.590%。高品

质膳食纤维持水力不小于 7 g/g,膨胀力应大于 10 mL/g^[4],本实验制备的水溶性膳食纤维持水力和膨胀力分别达到 16.71 g/g、14.65 mL/g,符合高质量膳食纤维的要求。

刺梨果渣作为一种质优价廉的膳食纤维资源,利用混合菌种发酵不仅提高了 SDF 得率,而且可改善膳食纤维特性。且该法发酵时间短,操作简便,为推动刺梨果渣资源的充分利用,开发新型膳食纤维产品提供了实验基础。

参考文献

- [1] 刘航,邵丽.刺梨的开发价值及栽培技术要点[J].现代园艺,2013,74(23):121.
- [2] Xing J H, Bo H, Zhang H J, et al. Study on technology and formula of walnut - roxburgh rose beverage [J]. Agricultural Science & Technology, 2013, 5(3): 503-506.
- [3] 严晓月,刘星,李永福,等.无籽刺梨酸奶含片工艺研究[J].食品与机械,2015,52(1):226-230.
- [4] He J Y, Zhang Y H, Ma N, et al. Comparative analysis of multiple ingredients in *Rosa roxburghii* and *R. sterilis* fruits and their antioxidant activities [J]. Journal of Functional Foods, 2016 (27): 29-41.
- [5] Zeng F F, Ge Z W, Li L, et al. Antioxidant and tyrosinase inhibitory activity of *Rosa roxburghii* fruit and identification of main bioactive phytochemicals by UPLC - Triple-TOF/MS [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2017, 52 (13353): 897-905.
- [6] An H M, Yang M, Fan W G, et al. Analysis of main organic acid compositions in *Rosa roxburghii* Tratt [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(10): 2094-2100.
- [7] Prasad P D, Gurav A, Zhu H, et al. Dietary fiber for the prevention of cardiovascular disease [M]. Rodney A Samaan, 2017: 73-90.
- [8] Goff H D, Nikolay R, Hrvoje F, et al. Dietary fibre for glycaemia control: Towards a mechanistic understanding [R]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, Available online 12 July 2017.
- [9] Marija L, Marijana M S, Ivana R, et al. Knowledge about dietary fibre and its health benefits: A cross-sectional survey of 2536 residents from across Croatia [J]. Medical Hypotheses, 2017 (105): 25-31.
- [10] Iain A B, Peter I C, Jeff P P, et al. Dietary fibre and weight loss: Where are we now? [J]. Food Hydrocolloids, 2017 (68): 186-191.
- [11] PCK, Cheung. Mini-review on edible mushrooms as source of

dietary fiber: Preparation and health benefits [J]. Food Science and Human Wellness, 2013, 2(3-4): 162-166.

[2] 张瑜. 刺梨果渣高纤粉加工及品质特性研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2016.

[3] Ying X, Gong J, Goff H D, et al. Effects of pig colonic digesta and dietary fibres on *in vitro* microbial fermentation profiles [J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2013, 1(2): 120-130.

[4] 孙婕, 尹国友, 王超, 等. 混合发酵法制备非籽粕水溶性膳食纤维 [J]. 食品研究与开发, 2017(11): 95-99.

[5] 蒋丽, 雷激. 发酵法从柠檬果渣中制备膳食纤维的研究 [J]. 中国酿造, 2016, 35(3): 133-136.

[6] 吴学风, 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, 2012, 33(17): 169-173.

[7] 李璐, 徐灵芝, 黄亮, 等. 发酵法制备雷竹笋膳食纤维的工艺研究 [J]. 中国酿造, 2016(4): 176-180.

[8] 戚晓舟, 宋晨光, 凌飞, 等. 不同菌株发酵沙棘果渣、沙棘叶、沙棘籽渣营养成分变化的研究 [J]. 饲料工业, 2016, 7(6): 22-27.

[19] Sangnark A, Nookhom A. Effect of particle size on functional properties of dietary fiber prepared from sugarcane bagasse [J]. Food Chemistry, 2003(80): 221.

[20] 李志华. 产 β -葡萄糖苷酶乳酸菌菌株的特性研究 [D]. 延安: 延安大学, 2014.

[21] 裘纪董, 陈蕾蕾, 王未名, 等. 发酵法制备高品质膳食纤维的研究进展 [J]. 中国食物与营养, 2010(6): 24-27.

[22] Li X, Kang Y J, Yu C, et al. Exponential feeding strategy of high-density cultivation of a salt-tolerant aroma-producing yeast

Zygosaccharomyces rouxii in stirred fermenter [J]. Biochemical Engineering Journal, 2016, 18(2): 18-23.

[23] Wilkowska A, Pogorzelski E. Aroma enhancement of cherry juice and wine using exogenous glycosidases from mould, yeast and lactic acid bacteria [J]. Food Chemistry, 2017(237): 282-289.

[24] 肖盾, 牛广财, 朱丹, 等. 发酵法制取沙果渣可溶性膳食纤维的研究 [J]. 中国酿造, 2010(3): 166-170.

[25] 王庆玲, 朱莉, 孟春棉, 等. 微生物发酵法制备番茄皮渣膳食纤维工艺优化 [J]. 粮食与油脂, 2014, 27(9): 52-55.

[26] 孙平, 刘杰, 郭苗苗, 等. 发酵法提取小麦麸皮可溶性膳食纤维工艺研究 [J]. 食品科技, 2014, 39(10): 170-175.

[27] 王静, 何晓玲. 发酵法制取苹果渣中的可溶性膳食纤维 [J]. 江苏农业科学, 2013, 41(3): 255-258.

[28] 周笑犁, 谢国芳, 何劲, 等. 发酵法制备刺梨果渣可溶膳食纤维的工艺优化 [J]. 食品工业科技, 2008(1): 102-106.

[29] 令博, 田云波, 吴洪斌, 等. 微生物发酵法制取葡萄皮渣膳食纤维的工艺优化 [J]. 食品科学, 2012, 33(15): 178-182.

[30] 杨雪. 发酵法提高柑橘皮渣可溶性膳食纤维含量及产物性能的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2015.

[31] Hymes J P, Johnson B R, Barrangou R, et al. Functional analysis of an s-layer-associated fibronectin-binding protein in *Lactobacillus acidophilus* ncfm [J]. Applied & Environmental Microbiology, 2016, 82(9): 2676-2685.

[32] Amparo G, Raquel Q, Marizeth G, et al. High-throughput screening of a large collection of non-conventional yeasts reveals their potential for aroma formation in food fermentation [J]. Food Microbiology, 2016(60): 147-159.

全国中文核心期刊
轻工行业优秀期刊