

# 发酵法从西番莲果渣中制备膳食纤维的研究

毛慧君<sup>1</sup>, 文良娟<sup>1\*</sup>, 李英军<sup>1</sup>, 张元春<sup>1</sup>, 梁 瑜<sup>2</sup>, 李庚凤<sup>2</sup>

(1. 广西大学轻工与食品工程学院, 广 西 南 宁 530004; 2. 南宁中科药业有限责任公司, 广 西 南 宁 530003)

**摘 要:** 以生产西番莲果汁的副产物为原料, 保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌混合菌种为发酵菌种, 探讨微生物发酵法从西番莲果渣中提取膳食纤维的工艺, 同时对膳食纤维的物化性质进行研究。结果表明发酵法制备西番莲果渣膳食纤维的最佳工艺条件为: 接种量 5%、固液比 1:10、33℃发酵 21h。在此条件下制备的西番莲果渣膳食纤维中可溶性膳食纤维的含量为 $(29.01 \pm 0.41)\%$ , 高于采用化学法制备的可溶性膳食纤维的含量。发酵法制备的西番莲果渣膳食纤维的持水力优于化学法, 但溶胀性变化不明显。

**关键词:** 西番莲果渣; 发酵; 膳食纤维

## Fermentation of Passion Fruit Pomace for Dietary Fiber Preparation

MAO Hui-jun<sup>1</sup>, WEN Liang-juan<sup>1\*</sup>, LI Ying-jun<sup>1</sup>, ZHANG Yuan-chun<sup>1</sup>, LIANG Yu<sup>2</sup>, LI Geng-feng<sup>2</sup>

(1. Institute of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Nanning Sino-Tech(Zhongke)Pharmaceutical Co. Ltd., Nanning 530003, China)

**Abstract:** Passion fruit pomace, a by-product from passion fruit juice processing, was fermented with a mixed strain of *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* to prepare dietary fiber. To maximize soluble to total dietary fibre ratio (SDF/TDF ratio), the optimal fermentation process of passion fruit pomace was investigated using single factor method combined with orthogonal array design. In addition, the physico-chemical properties of dietary fiber obtained were analyzed. Results showed that the optimal fermentation conditions were determined as follows: 5% mixture of *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*, 1:10 of solid/liquid ratio, 33 °C of fermentation temperature and 21 h of fermentation time. The soluble dietary fiber (SDF) content was up to  $(29.01 \pm 0.41)\%$  under the optimal fermentation conditions, which was higher than that obtained by chemical methods. Therefore, this fermentation method yields passion fruit dietary fibre with better water-holding capacity compared with chemical methods, but there is no obvious difference in expansion capacity.

**Key words:** passion fruit residue; fermentation; dietary fiber

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2010)03-0193-05

膳食纤维(dietary fiber, DF)是一种功能性食品基料, 作为人类的“第七大营养素”, 它是一类不能被人体小肠消化吸收的、而在人体大肠能部分或全部发酵的、可食用的植物性成分, 即碳水化合物及相类似物质的总和, 包括多糖、寡糖、木质素以及相关的植物物质<sup>[1]</sup>。膳食纤维虽不能被人体消化吸收利用, 但在人体起着非常重要的功能作用<sup>[2]</sup>, 近年来越来越受到营养学家的关注。

西番莲(Passion fruit)俗称鸡蛋果、百香果, 是我国的主要热带水果之一, 产量较大, 果皮渣作为压榨果汁后的副产物除少量用于果胶提取外, 一般作为废料

处理<sup>[3]</sup>, 既浪费又造成环境污染。西番莲果皮渣中粗纤维、果胶<sup>[4]</sup>等碳水化合物含量很高, 是一种优良的膳食纤维资源。微生物发酵是膳食纤维改性<sup>[5]</sup>常用的方法之一, 发酵处理能改善膳食纤维的理化特性, 更有利于发挥膳食纤维的生理功能<sup>[6-7]</sup>。本实验对西番莲果渣膳食纤维的发酵法制备工艺进行研究, 旨在为西番莲果渣的综合利用提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、菌种与试剂

西番莲果渣, 由广西柳州明朝饮料有限公司提供

收稿日期: 2009-03-26

基金项目: 广西研究生教育创新计划资助项目

作者简介: 毛慧君(1983—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品化学及农产品加工技术。E-mail: maomao8326@163.com

\* 通信作者: 文良娟(1958—), 女, 教授, 研究方向为水果蔬菜中的天然化合物功能。E-mail: wenlijuan@gxu.edu.cn

(果皮为紫红色), 清洗、干燥、烘干、粉碎后备用。

保加利亚乳杆菌(*Lactobacillus bulgaricus*) GIM1.189、嗜热链球菌(*Streptococcus thermophilus*) GIM1.83, 购于广东省微生物菌种保藏中心。

脱脂奶粉 内蒙古伊利实业集团股份有限公司; 试剂均为分析纯。

## 1.2 仪器与设备

恒温恒湿培养箱 广东韶关科力实验仪器有限公司; PB303-N 电子天平 梅特勒-托利多公司; 电热式蒸汽消毒器 山东新华医疗器械厂; TDZ5-WS 型离心机 湘仪离心机有限公司; DF206 型电热鼓风干燥箱、GSY-11 型电热恒温水浴锅 北京市医疗设备厂; 超净工作台 苏州净化设备有限公司。

## 1.3 方法

### 1.3.1 菌种活化和驯化

由于保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌的适宜培养基是牛乳和脱脂牛乳, 为使其适应西番莲果渣培养基, 必须对其进行驯化, 将西番莲果渣汁(烘干粉碎后的西番莲果渣加水后打浆, 过滤取滤液)逐步添加到脱脂乳中, 驯化方法如下:

菌种(保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌混合体积比为1:2), →10%的脱脂乳中37℃活化2次→脱脂乳西番莲果渣汁混合液20mL(10%脱脂乳与西番莲果渣汁的体积比为1:1)37℃培养至凝乳(2次)→脱脂乳西番莲果渣汁混合液100mL(10%脱脂乳:西番莲果渣汁=1:9, V/V)37℃培养至凝乳→发酵剂。

### 1.3.2 膳食纤维的制备

#### 1.3.2.1 发酵法

准确称取西番莲果渣于锥形瓶中, 按一定比例加水于干果渣中, 加入干果渣质量8%的脱脂奶粉, 混合均匀后灭菌, 冷却到室温后接入一定量发酵剂, 在一定温度下发酵一定时间, 发酵结束后, 60℃烘干即得成品。同时在相同条件下, 不接种发酵剂作为样品对照。

#### 1.3.2.2 化学法

准确称取西番莲果渣于烧杯中, 按1:30(m/V)比例加水于干果渣中, 加入HCl调pH2.0, 于80℃恒温水浴锅中酸解90min, 过滤, 过滤所得的上清液浓缩后按1:4(m/V)加入无水乙醇沉析, 过滤得到的残渣按1:4(m/V)的比例加水, 用NaOH调pH值为12.0, 置于80℃恒温水浴保温30min后, 漂洗滤渣至中性, 过滤, 得到的残渣按1:4(m/V)的比例加水, 用HCl调pH值为2.0, 置于60℃恒温水浴保温45min后, 漂洗滤渣至中性, 过滤, 得到的残渣与乙醇沉析所得的沉淀合并, 60℃烘干即得成品。

### 1.3.3 膳食纤维指标的测定

灰分含量的测定: 采用GB/T5009.4—2003《食品中灰分的测定》灼烧称量法; 粗蛋白含量的测定: 采用GB/T5009.5—2003《食品中蛋白质的测定》凯氏定氮法<sup>[8]</sup>; 可溶性膳食纤维及总膳食纤维含量的测定: 采用AOAC991.43酶-重量法<sup>[9]</sup>。

### 1.3.4 可溶性膳食纤维的计算方法

$$\text{SDF/TDF/\%} = \frac{\text{可溶性膳食纤维含量}}{\text{总膳食纤维的含量}} \times 100 \quad (1)$$

### 1.3.5 溶胀性的测定<sup>[10]</sup>

准确称取1.00g膳食纤维于100mL量筒中, 加入100mL水混合后于20℃静置24h, 读取不同时间段膳食纤维溶胀后的体积, 与溶胀前的体积进行比较, 其溶胀性按式(2)计算。

$$\text{溶胀性} = \frac{\text{溶胀后体积(mL)} - \text{溶胀前体积(mL)}}{\text{样品质量(g)}} \quad (2)$$

### 1.3.6 持水力的测定<sup>[10]</sup>

准确称取1.00g膳食纤维放入烧杯中, 加入足够的水摇匀, 在20℃温度下浸泡1h, 将吸饱水的纤维倒入滤纸漏斗上过滤, 待水滴干后, 把结合了水的纤维全部转移到表面皿中称质量, 其持水力按式(3)计算。

$$\text{持水力} = \frac{\text{样品湿质量(g)} - \text{样品干质量(g)}}{\text{样品干质量(g)}} \quad (3)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 脱脂奶粉添加量对可溶性膳食纤维含量的影响

准确称取西番莲果渣10.00g于250mL锥形瓶中, 分别按果渣干质量的2%、4%、6%、8%、10%的比例加入脱脂奶粉, 混合后按照1:10的比例(m/V)加水混匀, 121℃灭菌30min后按照5%的接种量接入发酵剂, 置于37℃恒温培养箱培养24h, 60℃烘干后, 测定其可溶性膳食纤维(SDF)和总膳食纤维(TDF)的含量, 测定结果见图1。

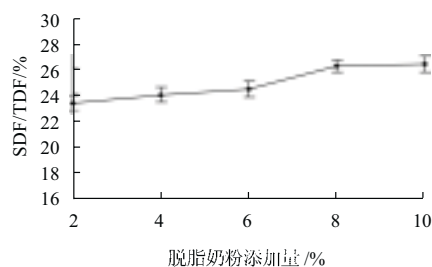


图1 脱脂奶粉添加量对可溶性膳食纤维含量的影响

Fig.1 Effect of non-fat milk powder amount on SDF/TDF ratio

由图1可以看出,西番莲果渣膳食纤维中可溶性膳食纤维的含量随着脱脂奶粉添加量的增加而增加,添加量达到8%时,增长趋于平缓。乳酸菌混合菌种对西番莲果渣膳食纤维中可溶性膳食纤维含量的影响机理为:乳酸菌发酵不断产生乳酸等代谢产物,使西番莲果渣较长时间处于酸性条件,在酸性条件下纤维素的糖苷键断裂,产生新的还原性末端,西番莲果渣膳食纤维的大分子聚合度也不断下降,部分转化成非消化性可溶多糖(可溶性膳食纤维)<sup>[11]</sup>,从而提高可溶性膳食纤维的含量。实验中脱脂奶粉添加量过少时,不能完全满足乳酸菌发酵所需的营养物质,从而影响代谢产物的生成;添加量达到8%时已经能够充分提供乳酸菌发酵所需营养物质,过多的脱脂乳添加量对可溶性膳食纤维含量的影响不明显。

## 2.2 接种量对可溶性膳食纤维含量的影响

准确称取西番莲果渣 10.00g 于 250mL 锥形瓶中,加入 0.8g 脱脂奶粉,混合后按照 1:10 的比例(*m/V*)加水混匀,121℃灭菌 30min 后,分别按照 1%、3%、5%、7%、9% 的接种量接入发酵剂,置于 37℃ 恒温培养箱培养 24h,60℃ 烘干后,测定结果见图 2。

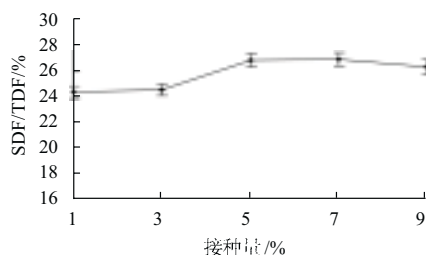


图2 接种量对可溶性膳食纤维含量的影响

Fig.2 Effect of inoculation amount on SDF/TDF ratio

由图2可以看出,随着接种量的增加,西番莲果渣膳食纤维中可溶性膳食纤维的含量也随之增加,当接种量超过5%时,可溶性膳食纤维的含量不再显著变化。接种量过少时,发酵剂所提供的乳酸菌活菌数不足以完成西番莲果渣的发酵,影响乳酸等代谢产物的生成,从而导致可溶性膳食纤维转化量的减少;接种量过多时,发酵结束后过量的乳酸菌体留在果渣中,对西番莲果渣可溶性膳食纤维的含量也会造成一定的影响。

## 2.3 固液比对可溶性膳食纤维含量的影响

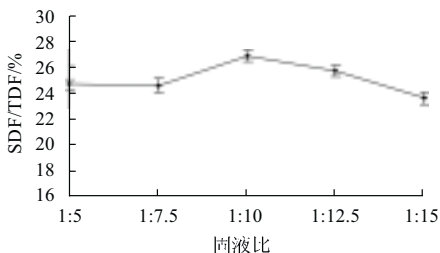


图3 固液比对可溶性膳食纤维含量的影响

Fig.3 Effect of solid/liquid ratio on SDF/TDF ratio

准确称取西番莲果渣 10.00g 于 250mL 锥形瓶中,加入 0.8g 脱脂奶粉,混合后分别按照 1:5、1:7.5、1:10、1:12.5、1:15 的比例(*m/V*)加水混匀,121℃灭菌 30min 后按照 5% 的接种量接入发酵剂,置于 37℃ 恒温培养箱培养 24h,60℃ 烘干后,测定结果见图 3。

由图3可以看出,固液比对西番莲果渣膳食纤维中可溶性膳食纤维含量的影响显著。当固液比为 1:10 时,所得的可溶性膳食纤维的含量最高,为(26.79 ± 0.45)%。过少或过多的加水量都不利于乳酸菌在西番莲果渣培养基中生长,影响乳酸等代谢产物的生成,从而影响可溶性膳食纤维含量的增加。

## 2.4 发酵时间对可溶性膳食纤维含量的影响

准确称取西番莲果渣 10.00g 于 250mL 锥形瓶中,加入 0.8g 脱脂奶粉,混合后按照 1:10 的比例(*m/V*)加水混匀,121℃灭菌 30min 后按照 5% 的接种量接入发酵剂,置于 37℃ 恒温培养箱分别培养 18、21、24、27、30h,60℃ 烘干后,测定结果见图 4。

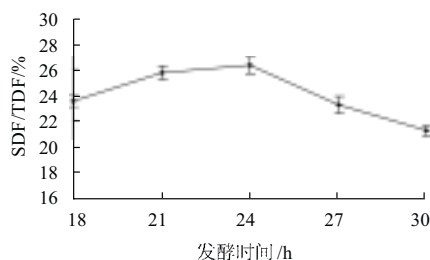


图4 发酵时间对可溶性膳食纤维含量的影响

Fig.4 Effect of fermentation time on SDF/TDF ratio

由图4可以看出,随着发酵时间的增加,西番莲果渣膳食纤维中可溶性膳食纤维的含量也有所增加,当发酵时间超过24h时,可溶性膳食纤维的含量又显著降低。发酵时间过短,乳酸菌发酵不完全,乳酸等代谢产物的生成较少,同时西番莲果渣与乳酸等代谢产物发生生化反应的时间较短,影响可溶性膳食纤维的转化量;但发酵时间过长,乳酸菌活力迅速降低,活菌数减少,失活后的菌体留在果渣中,影响其可溶性膳食纤维的含量。

## 2.5 发酵温度对可溶性膳食纤维含量的影响

准确称取西番莲果渣 10.00g 于 250mL 锥形瓶中,加入 0.8g 脱脂奶粉,混合后按照 1:10 的比例(*m/V*)加水混匀,121℃灭菌 30min 后按照 5% 的接种量接入发酵剂,分别置于 29、33、37、41、45℃ 恒温培养箱培养 24h,60℃ 烘干后,测定结果见图 5。

由图5可以看出,发酵温度对西番莲果渣膳食纤维中可溶性膳食纤维的含量影响不大,主要是因为乳酸菌的适宜生长温度较广,只要发酵时间适宜均可达到较好

的发酵效果,对可溶性膳食纤维的转化影响不明显。

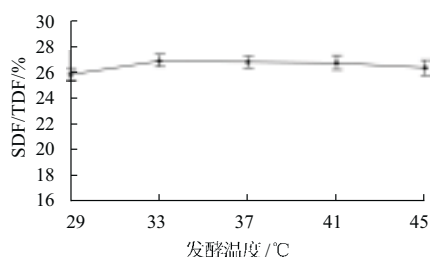


图5 发酵温度对可溶性膳食纤维含量的影响

Fig.5 Effect of fermentation temperature on SDF/TDF ratio

## 2.6 发酵工艺条件的优化

由于发酵法制备西番莲果渣膳食纤维实际上是受固液比、接种量、发酵时间和发酵温度4个因素交叉影响,为了进一步优化发酵工艺条件,以各单因素试验的结果为依据,设计 $L_9(3^4)$ 正交试验<sup>[12]</sup>,以可溶性膳食纤维的含量为考察指标,研究这4个因素对可溶性膳食纤维含量的影响。正交试验的因素和水平见表1,结果见表2。

表1 因素水平表  
Table 1 Factors and levels in orthogonal array design

水平	因素			
	A 接种量/%	B 固液比	C 发酵温度/℃	D 发酵时间/h
1	5	1:8	33	21
2	7	1:10	37	24
3	9	1:12	41	27

表2 正交试验结果  
Table 2 Results of orthogonal array design

试验号	A	B	C	D	SDF/TDF/%
1	1	1	1	1	26.29
2	1	2	2	2	26.44
3	1	3	3	3	25.68
4	2	1	2	3	25.72
5	2	2	3	1	28.00
6	2	3	1	2	24.77
7	3	1	3	2	24.84
8	3	2	1	3	28.63
9	3	3	2	1	25.91
$K_1$	78.41	76.85	79.69	80.20	
$K_2$	78.49	83.07	78.07	76.05	
$K_3$	79.38	76.36	78.52	80.03	
R	0.323	2.237	0.540	1.383	

由表2正交试验直观分析可以看出,固液比因素的极差最大为2.237,是影响可溶性膳食纤维最主要的因素。各因素对乳酸菌发酵制备西番莲果渣膳食纤维含量的影响次序为 $B > D > C > A$ ,即固液比>发酵时间>

发酵温度>接种量。由于接种量因素的极差较小,所以将此列作为方差分析的误差列<sup>[13]</sup>。

表3 正交试验结果的方差分析  
Table 3 Variance analysis for SDF/TDF ratio with various fermentation conditions

方差来源	均方	自由度	F	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$	显著性
B	9.33	2	48.33	19.00	99.00	*
C	0.47	2	2.42	19.00	99.00	
D	3.68	2	19.05	19.00	99.00	*
误差	0.19	2				

注:\*,对可溶性膳食纤维的影响显著。

由表3方差分析可以看出,固液比和发酵时间对可溶性膳食纤维的影响显著,发酵温度和接种量对其影响不显著。正交试验的结果显示,最佳工艺条件为 $A_3B_2C_1D_1$ ,即接种量9%、固液比1:10、发酵温度33℃、发酵时间21h。由于接种量在5%~9%之间对可溶性膳食纤维的影响不显著,从实际生产考虑,选择较低的接种量,即最佳的工艺条件为:接种量5%、固液比1:10、发酵温度33℃、发酵时间21h。在此条件下做验证实验,表4结果表明制备出的膳食纤维中可溶性膳食纤维的含量可达到 $(29.01 \pm 0.41)\%$ 。

## 2.7 发酵后膳食纤维理化性质的比较

按照优化后的工艺条件对西番莲果渣进行发酵处理,所得的样品与原果渣、对照样品以及化学法制备的样品进行比较,结果见表4。

表4 不同处理方法制备的膳食纤维理化性质的比较  
Table 4 Physico-chemical properties of passion fruit pomace and dietary fibers prepared from it by different preparation methods

理化性质	果渣	样品对照	化学法	发酵法
SDF/TDF/%	$20.02 \pm 0.29$	$23.15 \pm 0.28$	$24.34 \pm 0.33$	$29.01 \pm 0.41$
溶胀性/(mL/g)	$5.25 \pm 0.08$	$5.35 \pm 0.05$	$5.75 \pm 0.07$	$5.05 \pm 0.09$
持水力/(g/g)	$5.47 \pm 0.13$	$5.53 \pm 0.09$	$5.64 \pm 0.11$	$6.33 \pm 0.14$

溶胀性和持水力<sup>[14]</sup>是衡量膳食纤维品质的两个重要指标。由表4可以看出,在溶胀性和持水力方面,发酵样品与果渣原料、对照样品和化学法样品相比有不同程度的变化。其中发酵法制备的膳食纤维持水力明显高于果渣原料、对照样品和化学法样品,但溶胀性变化不明显。溶胀性和持水力均高于西方国家常用的小麦麸皮膳食纤维标准<sup>[15]</sup>(持水力4g/g和溶胀性4mL/g)。

## 3 结论

西番莲果渣是一种质优价廉的膳食纤维资源,通过正交试验选出的乳酸菌发酵制备西番莲果渣膳食纤维的最佳条件为:接种量5%、固液比为1:10、33℃发酵

21h, 制备出膳食纤维中可溶性膳食纤维的含量可达到 $(29.01 \pm 0.41)\%$ , 且溶胀性和持水力均高于西方国家常用的小麦麸皮膳食纤维标准。利用乳酸菌发酵制备西番莲果渣膳食纤维, 能改善其膳食纤维的理化特性, 有利于发挥其膳食纤维的生理功能, 更易于实现其在食品中的应用。

#### 参考文献:

- [1] AACC report. The definition of dietary fiber[J]. Cereal Foods World, 2001, 46(3): 112-126.
- [2] 郑建仙. 功能性膳食纤维[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 14-24.
- [3] 陈智毅, 李升峰, 吴继军. 西番莲的加工利用研究[J]. 现代食品科技, 2006, 22(1): 186-189.
- [4] 黄永春, 何仁, 马飞月, 等. 微波辅助提取西番莲果皮中果胶的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(9): 161-164.
- [5] 李丽, 王自鹏, 罗仓学, 等. 膳食纤维的改性研究[J]. 中国果菜, 2007(3): 47-48.
- [6] 涂宗财, 李金林, 阮榕生, 等. 利用豆渣生产高活性膳食纤维的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(7): 144-147.
- [7] 李安平, 胡春水, 谢碧霞, 等. 乳酸菌发酵制备竹笋膳食纤维的研究[J]. 食品工业科技, 1999, 20(1): 38-39.
- [8] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009—2003 食品卫生检验方法: 理化部分[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004: 28-37.
- [9] LEE S C, PROSKY L, de VRIES J W. Determination of total, soluble and insoluble dietary fiber in foods-enzymatic-gravimetric methods, MES-TRIS buffer collaborative study[J]. Journal of AOAC International, 1992, 75(3): 395-416.
- [10] 陈培基, 李来好, 李刘冬, 等. 高活性麒麟菜膳食纤维的提取[J]. 食品科学, 2007, 28(2): 114-117.
- [11] 王岸娜, 朱海兰, 吴立根, 等. 膳食纤维的功能、改性及应用[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2009, 30(2): 89-94.
- [12] 王钦德, 杨坚. 食品试验设计与统计分析[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 110-286.
- [13] 王凌云, 丁晨旭, 王洪伦, 等. 唐古特白刺果实多糖的提取工艺研究[J]. 食品科学, 2008, 29(3): 233-236.
- [14] 杨锋, 段玉峰. 火棘膳食纤维的制备、性质及其应用[J]. 食品科技, 2007(5): 79-81.
- [15] 王遂, 刘芳. 高活性玉米膳食纤维的制备、性质与应用[J]. 食品科学, 2000, 21(7): 22-24.