

# 纤维素酶解提高红薯水溶性膳食纤维含量的研究

李小平<sup>1</sup> 魏朝明<sup>2\*</sup> 张 薇<sup>3</sup> 应琼琼<sup>2</sup>

(1.陕西师范大学食品工程与营养科学学院,陕西西安 710062;

2.陕西师范大学生命科学学院,陕西西安 710062;

3.陕西省科技厅,陕西西安 710003)

**摘要:**采用纤维素酶解法对经过淀粉酶、蛋白酶处理得到的红薯膳食纤维进行生物改性处理,提高水溶性膳食纤维(SDF)的含量,以提高其活性。探讨了改性过程中酶添加量、溶液 pH、酶解温度及时间对改性的影响,采用正交法对制备工艺进行优化,得出最佳工艺条件:纤维素酶添加量为 1.00%,溶液的 pH 为 4.8,酶解温度为 50℃,时间为 1.5h,此条件下 SDF 的含量为 15.33%;酶解后,红薯渣膳食纤维的持水力提高了 48.35%。

**关键词:**红薯,纤维素酶,可溶性膳食纤维,持水力

## Study on preparation of soluble dietary fiber of sweet potato with cellulase

LI Xiao-ping<sup>1</sup>, WEI Zhao-ming<sup>2\*</sup>, ZHANG Wei<sup>3</sup>, YING Qiong-qiong<sup>2</sup>

(1.College of Food Engineering and Nutritional Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2.College of Life Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

3.Shaanxi Provincial Department of Science & Technology, Xi'an 710003, China)

**Abstract:** To obtain the soluble dietary fiber of sweet potato, cellulase was used to modify the residues of sweet potato which was pretreated by amylase and protease before. The effects of cellulase amount, pH value, enzymolysis time and temperature on the yield of soluble dietary fiber were studied respectively. Based on the results, the orthogonal experiment was designed to obtain the optimum process conditions of extracting soluble dietary fiber. The optimum enzymolysis conditions were: cellulase addition amount 1.00%, pH 4.8, enzymolysis temperature 50℃ and enzymolysis time 1.5h. The maximum yield of soluble dietary fiber reached 15.33%. After the enzymolysis, the water holding capacity of soluble dietary fiber increased 48.35%.

**Key words:** sweet potato; cellulase; soluble dietary fiber; water holding capacity

中图分类号:TS201.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2011)11-0198-04

膳食纤维(Dietary Fiber,简称DF)作为第七大营养素,对人体健康有重要作用<sup>[1-3]</sup>。按溶解性,DF可分为水溶性膳食纤维(Soluble Dietary Fiber,SDF)和水不溶性膳食纤维(Insoluble Dietary Fiber,IDF)。不同形式和来源的DF具有不同的生理功能,其可溶性成分的比例是影响DF功能的一个重要因素。研究指出,DF组成中SDF含量占10%以上才能称为高品质的DF,否则只能被称作填充料型DF。通常天然纤维中SDF的含量远低于这个数值,因此对DF进行改性,提高其中的SDF含量已成为DF制备技术主要的研究方向<sup>[4]</sup>。我国红薯产量位居世界前列,但红薯的

利用却不充分,提取完淀粉的薯渣常被丢弃,既浪费又污染环境。研究表明,薯渣中含有大量DF,因此可以以薯渣为原料制备DF,变废为宝,减少环境污染<sup>[5-7]</sup>,并且通过改性提高DF中的SDF的含量,从而可提高产品的生物活性和功能。用于对DF进行改性的方法有物理法、化学法和生物法,其中,生物酶解法由于具有快速、高效、无化学品污染、设备相对简单等特点而引起重视。因此,本文采用酶解法对来源于红薯的DF进行生物改性处理,以提高其中的SDF含量及持水力。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

新鲜红薯 采购于超市;α-淀粉酶、中性蛋白酶、纤维素酶 安徽合肥博美生物科技有限公司;无水乙醇、NaOH、HCl 均为分析纯。

HH-2 型恒温水浴锅 北京科伟永兴仪器有限公司;GF-300 型电子天平 A&D 有限公司;101A-2

收稿日期:2011-08-01 \* 通讯联系人

作者简介:李小平(1972-),女,博士,讲师,研究方向:食品科学与工程。

基金项目:陕西省农业攻关项目(2008K01-13);陕西师范大学中央高校基本科研业务费项目(GK201002033)。

型电热鼓风干燥箱 上海实验仪器厂有限公司。

## 1.2 红薯渣膳食纤维的制备

### 1.2.1 工艺流程

红薯 → 洗净 → 切块 → 打浆 → 过滤 → 烘干 → 粉碎 → 红薯渣 →  
 $\alpha$ -淀粉酶除淀粉 → 中性蛋白酶除蛋白质 → 纤维素酶酶解 →  
 过滤 → 滤液 → 醇析 → 沉淀物 → 烘干 → SDF  
 ↓  
 滤渣 → 水洗 → 烘干 → IDF

### 1.2.2 操作要点

1.2.2.1 薯渣制备 新鲜红薯,洗净切分后,置于打浆机中,加入适量水,打浆结束后加水过滤去汁,此时大部分淀粉已除去。滤渣经 80℃ 烘干后粉碎,制得薯渣。

1.2.2.2 脱淀粉处理<sup>[6]</sup> 取一定量薯渣粉,按料液比(g:mL) 1:10 的比例加水,加热至糊状后,冷却至 65℃,调节 pH 至 6.5,加入 1.0% 的  $\alpha$ -淀粉酶,水浴锅中 65℃ 保温液化水解 90min,水解结束后迅速升温灭酶,冷却后用 200 目滤布过滤,滤渣漂洗 2~3 次,拧干。

1.2.2.3 脱蛋白处理<sup>[7]</sup> 将除去淀粉的薯渣按 1:10 加入水,加热糊化,冷却至 45℃ 后调节 pH 为 7.0,加入 0.5% 的中性蛋白酶,45℃ 保温水解 120min,水解结束后迅速升温灭酶,冷却后用 200 目滤布过滤,滤渣漂洗 2~3 次,拧干。电热鼓风干燥箱 80℃ 烘干后粉碎得粗纤维。

1.2.2.4 纤维素酶水解 粗纤维在一定条件下加入纤维素酶水解,水解后的物料冷却后过滤,滤液浓缩后以四倍体积的无水乙醇醇析,静置一段时间,过滤,将沉淀物烘干,得 SDF。滤渣水洗烘干,得 IDF,二者之和即为 TDF。

## 1.3 纤维素酶酶解条件的确定

1.3.1 单因素实验 称取一定量粗纤维,以 1:15 的料液比加入蒸馏水,搅拌均匀,加热糊化后冷却,研究溶液 pH、纤维素酶添加量、酶解时间以及酶解温度 4 个因素对 TDF 中 SDF 含量的影响,确定范围。

1.3.2 正交实验 根据单因素实验结果,采用  $L_9(3^4)$  正交设计,以 SDF 含量为指标,确定酶解最佳工艺。因素水平见表 1。

表 1 正交实验因素水平表

水平	因素			
	A 纤维素酶添加量 (%)	B 溶液 pH	C 酶解温度 (°C)	D 酶解时间 (h)
1	0.80	4.4	40	1.5
2	1.00	4.8	45	2
3	1.20	5.2	50	2.5

## 1.4 SDF 含量的计算公式

$$\text{SDF 含量}(\%) = \frac{\text{SDF 干重}}{\text{IDF 干重} + \text{SDF 干重}} \times 100\%$$

## 1.5 持水力的测定<sup>[8-9]</sup>

持水力是指在无外力作用下,纤维结合水的质量。准确称取 1.000g 膳食纤维置于 50mL 烧杯中,加蒸馏水 25mL,于室温下放置 1h,用滤纸沥干后转移到表面皿中称重,持水力的计算公式如下:

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

## 2 结果与讨论

### 2.1 单因素实验结果与分析

2.1.1 纤维素酶添加量对 SDF 含量的影响 称取 3g 粗纤维,添加占其质量 0.60%、0.80%、1.00%、1.20%、1.40% 的纤维素酶,在 45℃、pH4.8 的条件下酶解 2h,研究酶用量对 SDF 含量的影响,结果见图 1。

由图 1 可知,当酶添加量 < 1.00% 时,随着加酶量的增加,SDF 含量逐渐增加;当酶添加量 > 1.00% 时,SDF 含量稍有降低。分析其中原因,添加适量的纤维素酶,可使薯渣中的纤维素发生降解,分子链被切断,使分子量降低,溶解度发生改变,一部分 IDF 变成 SDF,从而增加 SDF 含量;随着纤维素酶添加量的增加,IDF 降解为较低分子量的多糖、低聚糖或单糖,在用乙醇沉淀时,由于分子量较小而不能被沉淀,导致 SDF 含量稍有下降。因此,选择 0.80%、1.00% 和 1.20% 作为纤维素酶添加量的因素水平。

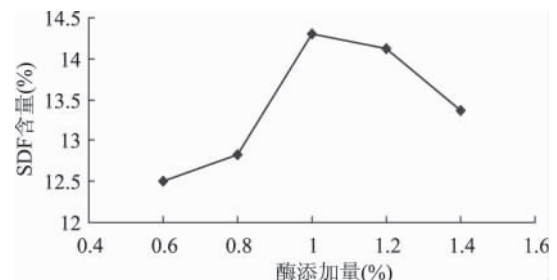


图 1 酶添加量对 SDF 含量的影响

2.1.2 溶液 pH 对 SDF 含量的影响 称取 3g 粗纤维,添加占其质量 1.00% 的纤维素酶,在 45℃,pH4.0、4.4、4.8、5.2、5.6 的条件下酶解 2h,研究溶液 pH 对 SDF 含量的影响,结果见图 2。

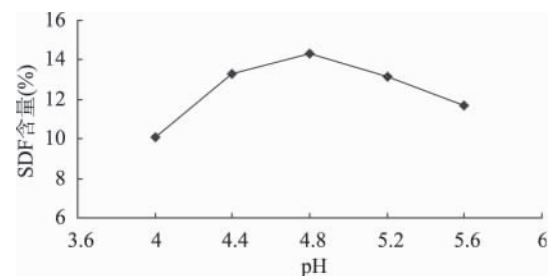


图 2 溶液 pH 对 SDF 含量的影响

由图 2 可看出,当 pH < 4.8 时,SDF 含量随着 pH 的增加而增加;当 pH > 4.8 时,SDF 含量逐渐下降。纤维素酶适用 pH 的范围为 4.0~5.5,但其有一个最适的 pH,且这个最适 pH 会因具体底物的不同而有差别。当反应条件远离该最适值时,酶活性中心的构象甚至整个酶分子的结构会发生改变,导致酶蛋白变性失活。因此选择 pH4.4、4.8、5.2 作为溶液 pH 的因素水平。

2.1.3 酶解时间对 SDF 含量的影响 称取 3g 粗纤维,添加占其质量 1.00% 的纤维素酶,在 45℃、pH4.8 的条件下酶解 1、1.5、2、2.5、3h,研究酶解时间对 SDF 含量的影响,结果见图 3。

由图 3 可看出,随着酶解时间的延长,SDF 含量

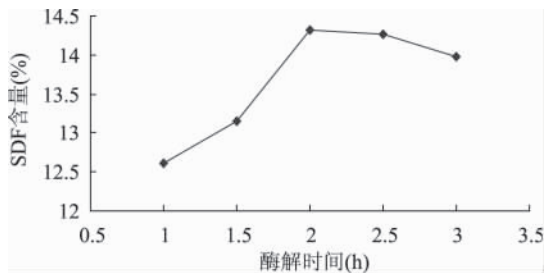


图3 酶解时间对 SDF 含量的影响

显著增加;当酶解时间 > 2h 时, SDF 含量保持平稳, 没有显著增加。这是因为刚开始时, 底物并没有全部被酶解, 随着时间延长, SDF 逐渐增多; 当溶液中底物浓度显著降低, 酶解基本完成, SDF 不会再有明显的增加, 同时溶液中产物浓度对酶解反应速度产生一定的抑制作用。用较短的时间获得较高的含量, 因此我们选择 1.5、2、2.5h 作为酶解时间的因素水平。

2.1.4 酶解温度对 SDF 含量的影响 称取 3g 粗纤维, 添加占其质量 1.00% 的纤维素酶, 在 35、40、45、50、55℃, pH4.8 的条件下酶解 2h, 研究酶解温度对 SDF 含量的影响, 结果见图 4。

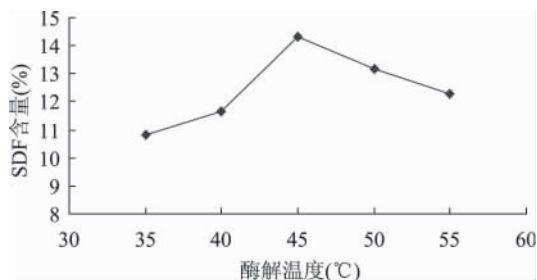


图4 酶解温度对 SDF 含量的影响

由图 4 可看出, 当温度 < 45℃, SDF 含量随温度上升而上升; 当温度 > 45℃ 后, 含量呈下降趋势。这是由于在温度较低时, 随着温度的升高, 分子运动加剧, 加快了酶与底物间的结合机率, 水解作用提高; 当温度达到变性温度区域后, 分子运动剧烈, 足以打断酶稳定的一级、二级和三级结构键, 从而导致蛋白质聚集使酶活性下降甚至失活<sup>[7]</sup>。纤维素酶的适宜温度在 40~60℃ 之间, 但最适温度会随底物及反应条件不同而有所差别。综合各种条件, 我们选择 40、45、50℃ 作为酶解温度的因素水平。

## 2.2 正交实验结果

表 2 结果显示, 各因素对红薯可溶性膳食纤维含量影响的先后次序为 A > B > C > D, 即酶添加量 > 溶液 pH > 酶解温度 > 酶解时间。正交实验得出纤维素酶酶解最佳工艺条件为: A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>D<sub>1</sub>, 即酶添加量 1.00%, 溶液 pH 4.8, 酶解温度 50℃, 酶解时间 1.5h。此最佳条件刚好包括在已做过的 9 组实验中, 在该条件下, SDF 的含量为 15.33%。

## 2.3 酶解前后薯渣膳食纤维持水力的变化

用于酶解改性实验的粗纤维, 在除去淀粉和蛋白质之后经过了充分的浸泡洗涤, 其烘干粉碎后的成品中 SDF 含量很低, 经纤维素酶水解改性之后, 薯渣膳食纤维中 SDF 的含量为 15.33%。

经测定, 酶解改性前, 粗纤维的持水力为 6.860g/g; 酶解改性后的膳食纤维, 持水力为

10.177g/g, 比原来提高了 48.35%。持水力提高的主要原因可能是由于膳食纤维是以单糖为基本单位聚合而成的有机化合物及其衍生物, 在其主链和支链结构上, 存在着许多羟基和其他活泼官能团, 是聚合度较高的多糖。在生物改性过程中通过酶的作用使部分糖苷键断裂, 使 DF 部分降解, 降低其聚合度, 增加羟基的数目, 提高 DF 的亲水性, 从而获得高持水力的改性产品<sup>[10]</sup>。

表2 酶解工艺正交实验结果

实验号	A	B	C	D	SDF 含量 (%)
1	1	1	1	1	11.67
2	1	2	2	3	12.07
3	1	3	3	2	12.80
4	2	1	2	2	14.03
5	2	2	3	1	15.33
6	2	3	1	3	14.40
7	3	1	3	3	13.40
8	3	2	1	2	13.93
9	3	3	2	1	14.00
K <sub>1</sub>	36.54	39.10	40.00	41.00	
K <sub>2</sub>	43.76	41.33	40.10	40.76	
K <sub>3</sub>	41.33	41.20	41.53	39.87	
k <sub>1</sub>	12.18	13.03	13.33	13.67	
k <sub>2</sub>	14.59	13.78	13.37	13.59	
k <sub>3</sub>	13.78	13.73	13.84	13.29	
R	2.41	0.75	0.51	0.38	
优水平	A <sub>2</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	D <sub>1</sub>	

## 3 结论

纤维素酶解法改性提高红薯膳食纤维中 SDF 含量的最佳工艺条件为: 酶添加量 1.00%, pH 4.8, 酶解温度 50℃, 酶解时间 1.5h, 此时, SDF 的含量为 15.33%。

制备得到的红薯膳食纤维持水力为 10.177g/g, 提高了 48.35%。

## 参考文献

- [1]曹媛媛, 木泰华. 红薯膳食纤维的开发[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(9): 12-14.
- [2]郑建仙. 功能性食品[M]. 第二卷. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 421-422.
- [3]刘成梅, 李资玲, 梁瑞红, 等. 膳食纤维的生理功能与应用现状[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(1): 122-125.
- [4]杜崇旭, 牛铭山, 刘雪娇. 膳食纤维改性与应用的研究进展[J]. 大连民族学院学报, 2005, 7(5): 18-21.
- [5]韩俊娟, 木泰华. 10 种甘薯渣及其筛分制备的膳食纤维主要成分分析[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(1): 40-43.
- [6]李小平, 魏朝明, 邓红, 等. 甘薯渣膳食纤维制备工艺的研究[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(9): 100-103.
- [7]刘达玉, 左勇. 酶解法提取薯渣膳食纤维的研究[J]. 食品工业科技, 2005(5): 90-92.
- [8]Raghavendra S N, Ramachandra S R, Swamy, et al. Grinding characteristics and hydration properties of coconut residue: a source of dietary fiber [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 72: 281-286.



# 肠膜明串珠菌肠膜亚种 $Z_{25}$ 在苹果酒中发酵特性的研究

张佳涛 漆叶琼 潘向辉 张柏林\*  
(河北农业大学食品科技学院 河北保定 071000)

**摘要:**从发酵温度、接种量、酒精度、起始苹果酸浓度等方面研究了肠膜明串珠菌肠膜亚种  $Z_{25}$  的苹果酸乳酸发酵 (MLF) 能力, 确定了肠膜明串珠菌 MLF 适宜条件为温度 20℃、接种量 6%、酒精度 10% (v/v) 以及起始苹果酸浓度 4.0g/L。按此工艺酿制, 发酵时间 12d 后苹果酒中的乳酸含量由 0.99g/L 提高到了 3.5g/L, 苹果酸含量从 4g/L 下降到 0.25g/L, 且苹果酸降解发生在菌株  $Z_{25}$  的对数生长阶段。显然, 辅助肠膜明串珠菌肠膜亚种  $Z_{25}$  到苹果酸乳酸发酵中, 可以改善苹果酒的品质。

**关键词:** 苹果酒 苹果酸乳酸发酵 (MLF) 肠膜明串珠菌肠膜亚种  $Z_{25}$

## Utilization of *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *mesenteroides* $Z_{25}$ to start malolactic fermentation in cider-making

ZHANG Jia-tao, QI Ye-qiong, PAN Xiang-hui, ZHANG Bo-lin\*

(College of Food Science & Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

**Abstract:** Using *L. mesenteroides* subsp. *mesenteroides*  $Z_{25}$  as an adjunct culture to start malolactic fermentation (MLF) of cider. Fermentation temperature, inoculum concentration, ethanol concentration, and initial level of malic acid in cider were main factors affecting the apple MLF of strain  $Z_{25}$ . The optimum parameters for MLF started by strain  $Z_{25}$  were fermentation temperature at 20℃, 6% of inoculum, 10% of ethanol concentration (v/v), and malic acid of 4g/L in cider. All ciders made with this technology showed better aromatic and taste properties than the cider samples that no malolactic fermentation existed due to no addition of strain  $Z_{25}$ . The content of malic acid decreased from 4g/L to 0.25g/L, whereas that of lactic acid grew from 0.99g/L to 3.50g/L during a 12-day MLF in the presence of strain  $Z_{25}$ . The degradation of malic acid depended mainly upon the growth phase of strain  $Z_{25}$ . Obviously, use of strain  $Z_{25}$  as an adjunct culture would be promising in improving the final flavor and quality of cider products due to the starting of malolactic fermentation.

**Key words:** cider; malolactic fermentation; *L. mesenteroides* subsp. *mesenteroides*  $Z_{25}$

中图分类号: TS201.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2011)11-0201-05

苹果酸-乳酸发酵 (Malolactic fermentation, 简称 MLF) 是葡萄酒、苹果酒等果酒酿造中非常重要的二次发酵过程。苹果酒酿造过程中, 苹果酸度较高, 酿造的苹果酒口感较酸涩, 需要进行苹果酸-乳酸发酵来改善其风味。苹果酸-乳酸发酵是乳酸菌以 L-苹果酸为底物, 在苹果酸-乳酸酶催化下转变成 L-乳酸和 CO<sub>2</sub> 的过程。二元酸向一元酸的转化可以使果酒总酸下降, 酸涩感降低, 同时因乳酸在感官上比较

柔和圆润, 所以苹果酒的口感会明显得到改善<sup>[1]</sup>。另外, 乳酸菌自身还能够产生芳香活性化合物, 改善果酒的最终香气和风味, 因此苹果酸乳酸发酵是苹果酒生产中不可忽视的一个工艺环节。在 MLF 中, 优良的乳酸菌可以启动 MLF, 为苹果酒带来良好风味。然而, 若乳酸菌种选择不当, 如片球菌的出现则会影响 MLF 发酵过程, 败坏最终苹果酒的质量<sup>[2]</sup>。显然, 发酵菌种的选择是影响苹果酒质量的重要因素之一。目前, 能启动 MLF 过程的乳酸菌包括酒球菌 (*Oenococcus*)、明串珠菌 (*Leuconostoc*)、乳杆菌 (*Lactobacillus*)、片球菌 (*Pediococcus*) 和链球菌 (*Streptococcus*) 等<sup>[3]</sup>。国内外关于采用酒球菌来启动

收稿日期: 2010-11-30 \* 通讯联系人

作者简介: 张佳涛 (1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品微生物。

基金项目: 国家林业局 948 项目 (2008-4-79)。

[9] 钟振声, 王伊沂. 酶解法改善不溶性大豆膳食纤维维持水力的研究[J]. 中国油脂, 2008, 33(6): 57-60.

[10] 徐广超, 姚惠源. 豆渣水溶性膳食纤维制备工艺的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2005, 26(1): 54-57.