

马铃薯渣不溶性膳食纤维超微粉碎改性工艺优化

Study on process conditions of Superfine grinding modifying insoluble dietary fiber from potato pulp

张根生 葛英亮 聂志强

ZHANG Gen-sheng GE Ying-liang NIE Zhi-qiang

岳晓霞 韩冰 程健博

YUE Xiao-xia HAN Bing CHENG Jian-bo

(哈尔滨商业大学食品工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150076)

(College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150076, China)

摘要:以马铃薯渣不溶性膳食纤维为原料,通过胶体磨对马铃薯渣不溶性膳食纤维进行湿法超微粉碎改性,选取胶体磨齿间距、料液比、粉碎时间、胶体磨转速为试验因素,以溶解度为指标,通过单因素和正交试验确定马铃薯渣不溶性膳食纤维超微粉碎改性的最佳工艺条件,即胶体磨齿间距 $8.00\ \mu\text{m}$ 、胶体磨转速 $3\ 000\ \text{r/min}$ 、时间 $5\ \text{min}$ 、料液比 $1:60$ ($m:V$),在该条件下,溶解度达到 18.33% 。

关键词:马铃薯渣;膳食纤维;超微粉碎;工艺优化;溶解度

Abstract: Insoluble dietary fiber of potato slag was chosen to modify with superfine grinding using colloid mill. Inter-tooth space, of colloid mill, material-to-liquid ratio, treatment time are optimized by single-factor and orthogonal designed experiment and are defined with solubility process. Results shown optimum modified conditions of colloid mill: inter-tooth space $8.00\ \mu\text{m}$, $3\ 000\ \text{r/min}$ for $5\ \text{min}$, material-to-liquid ratio $1:60$. Under these conditions, the solubility is 18.33% .

Keywords: dietary fiber; potato slag; superfine grinding; solubility

当前膳食纤维已受到世界各国营养学家的关注,它对预防、治疗肠道和心血管系统疾病具有特殊的功效,被列为“第七大营养素”^[1-2]。按溶解性分,膳食纤维分为水溶性膳食纤维和水不溶性膳食纤维两大类^[3-5]。水不溶性膳食纤维主要作用于肠道产生机械蠕动作用,而水溶性膳食纤维则更多地发挥代谢功能,如影响可利用碳水化合物和脂类代谢^[6-7],而马铃薯渣含有大量膳食纤维,主要是水不溶性膳食纤维,水溶性膳食纤维含量很低,而且其口感粗糙,功能性

质较差,较难为消费者接受^[8]。因此,近年来许多学者一直致力于马铃薯不溶性膳食纤维改性研究,如魏春光^[9]利用双螺杆挤压法对马铃薯膳食纤维进行改性,改性后其可溶性膳食纤维含量达到 25.99% ;廖红梅等^[10]用碱法对马铃薯膳食纤维进行改性,碱处理后的马铃薯渣可溶性膳食纤维膨胀力及持水力有明显提高。

与传统改性方法如超高压法、双螺杆挤压法、碱法等相比^[11-13],本研究的创新点体现在,通过更简单便捷的湿法超微粉碎工艺对马铃薯渣不溶性膳食纤维进行改性,使其膳食纤维不再具有粗糙的颗粒感,功能特性显著增强^[14]。本试验以马铃薯渣不溶性膳食纤维为原料,采用湿法超微粉碎对其进行改性,并采用正交试验确定超微粉碎的最佳工艺条件,旨得到高品质的马铃薯膳食纤维,为产品的实际产业化生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

马铃薯渣不溶性膳食纤维:实验室自制。具体制备方法:准确称取马铃薯渣 $500\ \text{g}$,按固液比例加蒸馏水,混匀后,调节温度 $60\ ^\circ\text{C}$,糊化 $40\ \text{min}$;糊化完成后,升高温度到 $80\ ^\circ\text{C}$,调节 $\text{pH}=6$,加入 α -淀粉酶,水浴锅中边搅拌边酶解 $50\ \text{min}$; α -淀粉酶酶解完成后,降低温度到 $60\ ^\circ\text{C}$,调节 $\text{pH}=5$,加入糖化酶,水浴锅中边搅拌边酶解 $30\ \text{min}$;糖化酶酶解完成后,保持温度 $60\ ^\circ\text{C}$,调节 $\text{pH}=6$,加入木瓜蛋白酶,水浴锅中边搅拌边酶解 $30\ \text{min}$;去除反应后液体的上清液,沉淀物用布氏漏斗抽干水分后,蒸馏水洗涤,再用布氏漏斗抽干水分,反复 3 次,用丙酮溶液洗涤抽干 2 次,然后将沉淀物烘干;按固液比例加蒸馏水,调节 $\text{pH}=8$,温度 $70\ ^\circ\text{C}$,加入 H_2O_2 ,脱色 $5\ \text{h}$,最后蒸馏水洗涤、抽滤反复 3 次,烘干粉碎,得到马铃薯渣不溶性膳食纤维成品。

基金项目:黑龙江省教育厅科学技术研究项目(编号:12531158)

作者简介:张根生(1964—),男,哈尔滨商业大学教授,硕士。

E-mail: zhanggsh@163.com

收稿日期:2015-07-21

1.2 仪器与设备

胶体磨:JMS-240 型,廊坊通用机械制造有限公司;
精密天平:MS 型,梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;
低速离心机:SSD 型,张家港市拓邦机械有限公司;
数显电子恒温水浴锅:HH-4 型,国华电器有限公司;
电热鼓风干燥箱:101-1A 型,天津市泰斯特仪器有限公司;
高速万能粉碎机:FW80 型,上海伟业仪器厂。

1.3 方法

1.3.1 溶解度的测定 参照文献[15]并略作修改。称取水含量为 B 的样品 W g,在 $25\sim30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下用 38 mL 蒸馏水分数次将样品溶解于 50 mL 烧杯中,后移入 50 mL 离心管中,加塞,以 4 000 r/min 离心 10 min,倾去上清液并用棉栓擦净管壁。再加入 $25\sim30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的蒸馏水 38 mL,上下摇动 $5\sim10\text{ s}$,4 000 r/min 离心 10 min,倾去上清液并用棉栓擦净管壁,将上清液移入已知重量蒸发皿中,置于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱中干燥至恒重。按式(1)计算溶解度。

$$S = \left[1 - \frac{W_2 - W_1}{(1 - B\%) \times W} \right] \times 100\% \tag{1}$$

式中:
 S ——溶解度,%;
 W ——样品重量,g;
 W_1 ——称量皿重,g;
 W_2 ——称量皿重+不溶物重,g;
 B ——样品含水量,%。

1.3.2 单因素试验设计

(1) 胶体磨齿间距:称取制备好的膳食纤维粉样品 20 g,调节胶体磨齿间距分别为 6,8,10,12,14 μm ,加入 1 000 mL 蒸馏水,搅拌均匀后将液体样品倒入胶体磨中,胶体磨转速控制在 3 000 r/min,分别粉碎 5 min,最后测定超微粉碎后膳食纤维的溶解度变化,确定最佳齿间距。

(2) 料液比:称取制备好的膳食纤维粉样品 20 g,调节胶体磨齿间距 8 μm ,分别加入 200,600,1 000,1 400,1 800 mL 蒸馏水,搅拌均匀后将液体样品倒入胶体磨中,胶体磨转速控制在 3 000 r/min,粉碎 5 min,最后测定超微粉碎后膳食纤维的溶解度变化,确定最佳料液比。

(3) 胶体磨转速:称取制备好的膳食纤维粉样品 20 g,调节胶体磨齿间距 8 μm ,加入 1 000 mL 蒸馏水,搅拌均匀后将液体样品倒入胶体磨中,胶体磨转速控制 1 000,1 500,2 000,2 500,3 000 r/min,分别粉碎 5 min,最后测定超微粉碎后膳食纤维的溶解度变化,确定最佳粉碎时间。

(4) 粉碎时间:称取制备好的膳食纤维粉样品 20 g,调节胶体磨齿间距 8 μm ,加入 1 000 mL 蒸馏水,搅拌均匀后将液体样品倒入胶体磨中,胶体磨转速控制在 3 000 r/min,分别粉碎 1,2,3,4,5 min,最后测定超微粉碎后膳食纤维的溶解度变化,确定最佳粉碎时间。

1.3.3 正交试验方案 在单因素试验的基础上,选取 4 个

影响大的因素及交互因素,以马铃薯渣可溶性膳食纤维溶解度为指标,对其进行 $L_8(2^7)$ 交互正交试验,确定最佳工艺配方。

2 结果与讨论

2.1 单因素试验结果

2.1.1 齿间距对不溶性膳食纤维溶解度的影响 由图 1 可知,齿间距对马铃薯渣不溶性膳食纤维溶解度的影响显著($P<0.05$)。在 $14\sim10\text{ }\mu\text{m}$ 时,溶解度显著提高($P<0.05$),而在 $10\sim6\text{ }\mu\text{m}$ 时,膳食纤维的溶解度变化不显著($P>0.05$)。当胶体磨的齿间距减小时,剪切力、摩擦力增大,膳食纤维中细胞壁等成分被粉碎破裂,释放出可溶性成分,还有部分不溶性膳食纤维的键也发生了断裂,转化为可溶性成分;其次,纤维在湿状态下能够充分吸水伸展、膨胀,组织结构相对疏松、软脆,比干状态下更容易断裂[16],从而提高了膳食纤维的溶解度。当胶体磨的齿间距小于 10 μm 时,膳食纤维中的大部分可溶性物质都已被释放出来,所以再减小齿间距对马铃薯渣不溶性膳食纤维的溶解度影响不大。综合考虑,选择齿间距为 10 μm 。

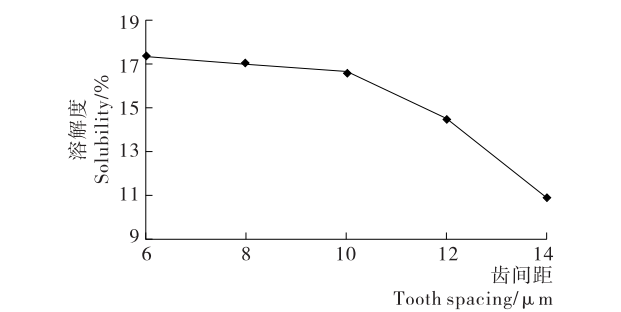


图 1 齿间距对膳食纤维溶解度的影响
Figure 1 Effect of tooth spacing on dietary fiber solubility

2.1.2 粉碎时间对不溶性膳食纤维溶解度的影响 由图 2 可知,粉碎时间对膳食纤维溶解度的影响显著($P<0.05$)。在 $1\sim4\text{ min}$ 时,溶解度显著提高($P<0.05$),而在 $4\sim5\text{ min}$ 时,膳食纤维的溶解度变化不显著($P>0.05$)。这是因为刚开始粉碎时,时间较短,膳食纤维不能被完全的粉碎,随着粉碎时间的增加,其被粉碎得更为彻底,故溶解度逐渐增大,当粉碎时间超过 4 min 时,膳食纤维绝大部分细胞壁已经被充分的粉碎,键已经充分断裂,所以继续粉碎溶解度变化也不再明显。综合考虑,选择粉碎时间为 4 min。

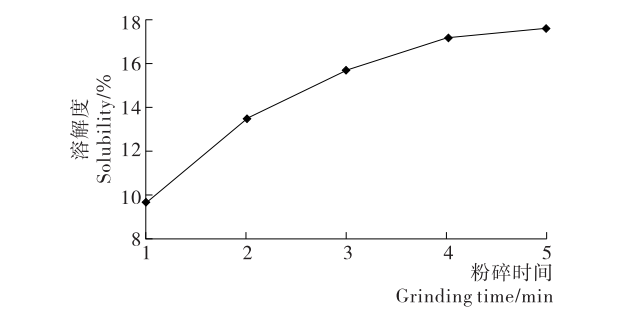


图 2 粉碎时间对膳食纤维溶解度的影响
Figure 2 Effect of different grinding time on dietary fiber solubility

2.1.3 胶体磨转速对不溶性膳食纤维溶解度的影响 由图 3 可知,胶体磨转速对膳食纤维溶解度的影响显著($P<0.05$)。在 1 000~2 500 r/min 时,溶解度显著提高($P<0.05$),这是由于随着转速的提高,胶体磨齿间的剪切力、摩擦力增大,释放出的可溶性成分增加。而在 2 500~3 000 r/min 时,膳食纤维的溶解度变化不显著($P>0.05$),这是因为转速较低时,还有部分不溶性膳食纤维的键没有断裂,随着转速的增加,其被粉碎得更为彻底,故溶解度逐渐增大,当转速超过 2 500 r/min 时,膳食纤维绝大部分细胞壁已经被充分的粉碎,键已经充分断裂,所以继续提高转速溶解度变化也不再明显。综合考虑,选择转速为 2 500 r/min。

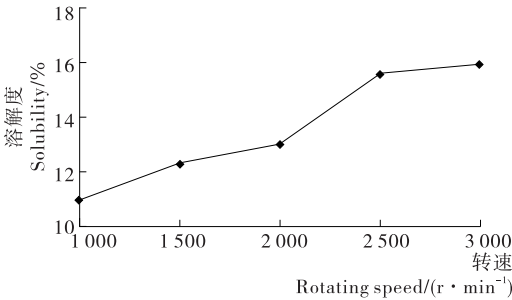


图 3 转速对膳食纤维溶解度的影响

Figure 3 Effect of different rotating speed on dietary fiber solubility

2.1.4 料液比对不溶性膳食纤维溶解度的影响 由图 4 可知,料液比对膳食纤维溶解度的影响显著($P<0.05$)。在 1:10~1:50($m:V$)时,溶解度显著提高($P<0.05$),而在 1:50~1:90 时,膳食纤维的溶解度变化不显著($P>0.05$)。因为当膳食纤维粉在蒸馏水中所占比例(1:10~1:50($m:V$))较大时,膳食纤维溶液的浓度高,颗粒间的空间小,黏度较大,不能被胶体磨充分粉碎。当膳食纤维粉在蒸馏水中所占比例(1:50~1:90($m:V$))较小时,即水处于过量的条件下,膳食纤维可完全分散在水中,浓度减小,颗粒空间变大,膳食纤维可充分被胶体磨粉碎,但是当膳食纤维被充分粉碎后即使料液比再增加对溶解度的变化也不再显著。综合考虑,选择料液比为 1:50($m:V$)。

2.2 正交试验结果

在单因素试验的基础上,确定齿间距、胶体磨转速、粉碎

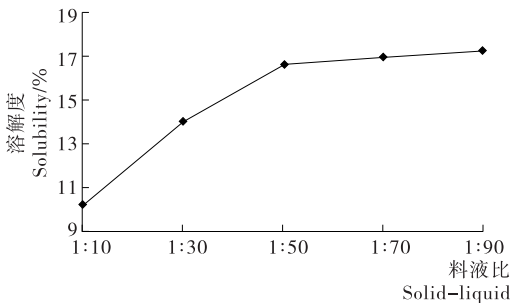


图 4 料液比对膳食纤维溶解度的影响

Figure 4 Effect of different solid-liquid ratio on dietary fiber solubility

时间及料液比为主要的影响因素。以马铃薯渣不溶性膳食纤维溶解度为指标,由于考虑到胶体磨齿间距与胶体磨转速有交互作用,胶体磨齿间距与粉碎时间有交互作用,故采用 $L_8(2^7)$ 交互正交试验选择最优的工艺条件,平行试验 2 次。设计的正交试验各因素水平范围见表 1。

表 1 正交试验各因素水平范围表

Table 1 Various levels of scope orthogonal table

水平	A 胶体磨齿 间距/ μm	B 胶体磨转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	C 粉碎时 间/min	D 料液比 ($m:V$)
1	8	2 500	4	1:50
2	10	3 000	5	1:60

以齿间距、胶体磨转速、粉碎时间、料液比、胶体磨齿间距与转速交互、胶体磨齿间距与粉碎时间交互为自变量(因素),以溶解度为指标,选用 $L_8(2^7)$ 正交表进行优化试验,正交方案及结果见表 2。

由表 2、3 可知,影响提取效果的主次因素为 $C>A\times C>A\times B>A>D>B$; $k_2^C>k_1^C$ 故 C_2 为优条件, $k_2^D>k_1^D$ 故 D_2 为优水平。有交互作用的因素,无法单独考虑,根据表 4、5,进行二元表比较后再选择对指标优先的水平。在考虑 $A\times C$ 交互作用时,由表 4 可知, A_1C_2 的平均溶解度最高达到 17.88%,故 A_1 为优水平;依次考虑 $A\times B$ 交互作用时,由表 5 可知, A_1B_2 的平均溶解度最高达到 17.44%,故 B_2 为优水平。即得到理论最优方案为 $A_1B_2C_2D_2$ 。

对理论最优方案进行多组平行验证实验,实验结果表明,在该方案下溶解度达到 18.33%,为最优指标,确定马铃薯渣不溶性膳食纤维的最优制备方案为 $A_1B_2C_2D_2$,即最佳制备工艺为胶体磨齿间距 8.00 μm 、胶体磨转速 3 000 r/min、时间 5 min、料液比 1:60 ($m:V$)。

表 2 $L_8(2^7)$ 正交试验结果

Table 2 Orthogonal experimental program and results and analysis

试验号	A	B	A×B	C	A×C	D	空列	溶解度/%
1	1	1	1	1	1	1	1	16.02
2	1	1	1	2	2	2	2	18.01
3	1	2	2	1	1	2	2	17.12
4	1	2	2	2	2	1	1	17.75
5	2	1	2	1	2	1	2	17.20
6	2	1	2	2	1	2	1	17.17
7	2	2	1	1	2	2	1	16.29
8	2	2	1	2	1	1	2	16.48
k_1	17.23	17.10	16.70	16.66	16.70	16.86	16.86	
k_2	16.79	16.91	17.31	17.35	17.32	17.15	17.20	
R	0.44	0.19	0.61	0.69	0.62	0.29	0.34	

表 3 溶解度方差分析表[†]
Table 3 Solubility analysis of variance

方差来源	方差平方和	自由度	均方	<i>F</i>	显著性
A	0.387	1	0.387	1.241	0.466**
B	0.072	1	0.072	0.231	0.715*
C	0.966	1	0.996	3.096	0.329***
D	0.162	1	0.162	0.521	0.602*
A×B	0.744	1	0.744	2.385	0.366***
A×C	0.756	1	0.756	2.424	0.363***
误差	0.312	1	0.312		
总计	2 316.761	8			
校正的总计	3.401	7			

† *表示因素影响比较显著；**表示因素影响显著；***表示因素影响非常显著。

表 4 A×C 二元交互表
Table 4 A×C binary interaction table

因素	%	
	A ₁	A ₂
C ₁	16.57	16.75
C ₂	17.88	16.83

表 5 A×B 二元交互表
Table 5 A×B binary interaction table

因素	%	
	A ₁	A ₂
B ₁	17.02	17.19
B ₂	17.44	16.39

3 结论

采用湿法超微粉碎对马铃薯渣不溶性膳食纤维进行改性(胶体磨齿间距 8.00 μm、胶体磨转速 3 000 r/min、时间 5 min、料液比 1:60(*m*:*V*)),改性后的膳食纤维溶解度增加到 18.33%,比改性前的溶解度明显提高。综上表明,与传统改性方法如超高压法、双螺杆挤压法、酶法等相比,湿法超微粉碎改性法确实具有良好的溶解性、分散性、吸附性,易消化吸收且该方法高效节能、原料利用率高,能够更好地被人体吸收利用。

(上接第 145 页)

15 孟岳成,孙明辉,房升,等.不同乳化剂对米粉糊化和流变性质的影响[J].中国粮油学报,2013,28(11):1~5,12.

16 张艳,阎俊,Yoshida H.中国面条的标准化实验室制作与评价方法研究[J].麦类作物学报,2007,27(1):158~165.

17 赵延伟,吕振磊,王坤,等.面条的质构与感官评价的相关性研究[J].食品与机械,2011,27(4):25~28,39.

18 牛猛,王莉,杨冰,等.大米淀粉老化特性的研究进展[J].中国粮油学报,2011,26(11):124~128.

19 曹立松,刘亚伟,刘洁,等.淀粉老化测定技术研究进展[J].粮食与饲料工业,2014(3):30~34.

20 王克钧.湿面的抗老化研究[D].无锡:江南大学,2009:29.

21 赵彦星.冷冻比萨面饼工艺优化与水分迁移控制的研究[D].天津:天津科技大学,2014:35.

22 谭永辉.水溶性大豆多糖的高效提取及改性研究[D].北京:中国农业科学院,2008:49.

参考文献

1 闵锐,丁全锋.一种新的膳食纤维——茭白壳的开发研究[J].中国粮油学报,2000,15(2):16~17.

2 周小理,钱韻芳,周一鸣.植物性膳食纤维抗氧化活性的研究与应用[J].食品与机械,2010,26(3):158~160.

3 赵二劳,王璐.膳食纤维的保健功能及其制备研究进展[J].食品与机械,2011,27(3):165~168.

4 P Chiarelli, W Brown, P McElduff. Constipation in australian women: prevalence and associated factors[J]. International Urogynecology Journal, 2000, 11(2): 71~78.

5 The definition of dietary fiber[J]. Cereal Foods World, 2001, 11(4): 21~22.

6 侯汉学,张锦丽.麦麸膳食纤维的挤压改性及其在面包中的应用研究[J].粮食与饲料工业,2003(5):36~38.

7 王文侠,张慧君,宋春丽,等.纤维素酶法制备高活性大豆膳食纤维工艺的研究[J].食品与机械,2010,26(2):118~122.

8 张炳文,宋永生,郝征红.植物性食品资源开发中的高新技术——超细粉碎技术[J].现代商贸工,2003(7):38~42.

9 魏春光.马铃薯高品质膳食纤维生产工艺的研究[D].长春:吉林农业大学,2013:42~43.

10 廖红梅,钟葵,赵俊杰,等.马铃薯膳食纤维碱法处理工艺优化[J].食品工业科技,2013,34(11):177~181.

11 Agnieszka Nawirska. Binding of heavy metals to pomace fibers [J]. Food Chemistry, 2005, 90(3): 395~400.

12 Esposito F, Arlotti G, Bonifati A M, et al. Antioxidant activity and dietary fiber in durum wheat bran by-products[J]. Food Research International, 2005, 38(10): 1 167~1 173.

13 Sangnark A, Noomhorm A. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fiber prepared from sugarcane bagasse[J]. Food Chemistry, 2003, 80(2): 221~229.

14 周坚,肖安红.功能性膳食纤维食品[M].北京:化学工业出版社,2005:1~50.

15 杨远通,钟海雁,潘曼,等.超微粉碎对猕猴桃渣膳食纤维功能性质的影响[J].食品与机械,2011,27(1):11~14,18.

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

23 郭洪娜.水溶性多糖对葛根淀粉特性的影响研究[D].合肥:合肥工业大学,2007:17.

24 滕晓焕,章银良,虎晓明,等.海藻糖及硬脂酰乳酸钠对面包品质的影响[J].食品科技,2015,40(1):172~177.

25 田耀旗.淀粉回生及其控制研究[D].无锡:江南大学,2011:68.

26 Gujral H S, Rosell C M. Modification of pasting properties of wheat starch by cyclodextrin glycosyltransferase[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(13):1 685~1 690.

27 Gunaratne A, Corke H. Influence of unmodified and modified cycloheptaamylose (β-cyclodextrin) on transition parameters of amylose-lipid complex and functional properties of starch[J]. Carbohydrate Polymers, 2007(68): 226~234.

28 王霞,周惠明.溴酸钾的替代以及面粉改良剂[J].面粉通讯,2007(5):38~43.