

牛蒡微粉加工工艺参数试验研究

宫元娟¹, 张本华¹, 李成华^{2*}

(1. 沈阳农业大学工程学院, 沈阳 110161; 2. 沈阳理工大学机械工程学院, 沈阳 110168)

摘 要: 在对牛蒡微粉加工中影响因素进行单因素试验及分析的基础上, 采用二次回归正交试验设计, 研究了球磨机转速、研磨时间、粉碎介质填充率和物料填充率等因素对粉体粒度、单位粉体耗能等指标的影响, 建立了各指标与试验因子间关系的回归数学模型。利用多目标非线性优化方法, 确定了优化指标的工艺参数组合为: 行星球磨机转速为 272 r/min, 研磨时间为 85 min, 介质填充率为 12%, 被粉碎物料填充率为 13%, 此时最低耗电量为 0.002 kW·h/g。研究所确立的牛蒡微粉加工优化工艺参数对牛蒡微粉加工具有指导意义。

关键词: 牛蒡; 微粉; 加工; 球磨机; 工艺参数; 试验研究

中图分类号: S631.6; S38

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2007)9-0256-04

宫元娟, 张本华, 李成华. 牛蒡微粉加工工艺参数试验研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 256-259.

Gong Yuanjuan, Zhang Benhua, Li Chenghua. Experimental study on technological parameters for burdock fine pulverizing[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 256-259. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

牛蒡营养丰富, 富含菊糖、纤维素、多酚类、咖啡碱、蛋白质、钙、磷、铁等矿物质和多种维生素以及人体所需的 17 种氨基酸, 其蛋白质和钙的含量是根茎类蔬菜之首^[1,2]。鲜牛蒡质地细嫩, 采收后鲜度迅速下降, 常温下易木质化, 影响其风味和营养价值, 故牛蒡不易贮存^[3]。目前超微粉碎技术在食品加工中得到广泛的应用, 超微粉碎植物花粉、茎、叶、果实及藻类植物等已进行过研究, 微粉加工使物料微细化, 比表面积增大, 有利于人体消化吸收^[4-7]。刘根凡在对根茎类中药材力学性能研究的基础上, 建立了其粉碎理论的数学模型^[8]; 苏艳丽对三七的超细粉碎研究表明, 利用高速离心剪切式超细粉碎可使其颗粒尺寸达到 50 nm, 且粉碎后其主要成分没有破坏^[9]。叶菁对中药材超细气流粉碎研究表明, 采用高速冲击和剪切摩擦强化复合粉碎, 可以更加有效地实现中药材的超细粉碎^[10]。曹龙奎对玉米花粉超微粉碎破壁技术进行试验研究, 实现良好的玉米花粉破壁效果^[11]。然而, 超微粉碎技术存在着生产效率低、能耗大等问题^[12]。本文试验研究牛蒡微粉碎规律, 寻求高效低耗生产牛蒡微粉的途径, 有着现实意义。

1 材料和方法

1.1 试验原料和设备

1.1.1 原料

收稿日期: 2006-09-14 修订日期: 2007-06-13

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目“牛蒡保健品精细加工技术的研究(20052122)”

作者简介: 宫元娟(1963-), 女, 辽宁瓦房店人, 教授, 主要从事农产品深加工研究。沈阳 沈阳农业大学工程学院, 110161。

Email: yuanjuangong@163.com

*通讯作者: 李成华(1958-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 从事机械设计及理论方面的教学与科研工作。沈阳 沈阳理工大学机械工程学院, 110168。Email: lch@mail.sylu.edu.cn

试验所用牛蒡为大长牛蒡, 根形细长, 其平均湿基含水率为 84.38%。

1.1.2 仪器与设备

FD-5 型真空冷冻干燥机(北京博医康技术公司); WD850B 格兰仕微波炉(广东顺德格兰仕集团); XQM-0.4L 型变频行星球磨机(南京科析实验仪器研究所); CP423S 电子天平(精度 0.001 g, 北京塞多利斯天平有限公司); 101-0A 型数显式电热恒温干燥箱(上海阳光实验仪器有限公司); DWF-1088 多功能食品加工机(扬州市文峰电器有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 牛蒡微粉加工单因素试验

1) 不同干燥方法对粉碎效果的影响

牛蒡微粉加工必须对其进行干燥。本研究选取真空冷冻干燥、热风干燥和微波干燥进行对比研究, 干燥后牛蒡含水率为 5%。真空冷冻干燥的条件是: 干燥室压力 100 Pa, 加热板温度 40℃; 热风干燥的条件是: 温度为 65℃; 微波干燥的条件是: 中火 20 min, 然后进行低火干燥。

干燥后用多功能食品加工机进行粗粉碎, 通过 80 目筛后, 用球磨机进行微粉碎。其设定参数为: 转速 230 r/min、物料填充率 20%、粉碎介质填充率 20%、粉碎时间 60 min, 按照微粉碎的粒度特征, 以通过 240 目标标准检验筛的粉体质量分数 M (能通过 240 目标标准检验筛的粉体颗粒质量占全部物料质量的百分比) 为评价指标。

2) 球磨机转速对粉体粒度的影响

将冷冻干燥后的牛蒡干片, 用多功能食品加工机进行粗粉碎, 通过 80 目筛后用球磨机进行微粉碎, 其设定参数为: 物料填充率 20%、介质填充率 20%、粉碎时间 60 min。转速设置为 50~260 r/min。

3) 粉碎时间对粉体粒度的影响

将冷冻干燥后的牛蒡干片, 用多功能食品加工机进行粗粉碎, 通过 80 目筛后用球磨机进行微粉碎, 其设定参数为: 转速 230 r/min、物料填充率 20%、介质填充率 20%。粉碎时间为 30

~ 100 min。

4) 物料填充率对粉体粒度的影响

物料填充率是欲微粉碎的牛蒡粗粉的体积占球磨罐容积的百分比。将冷冻干燥后的牛蒡干片,用多功能食品加工机进行粗粉碎,通过 80 目筛后用球磨机进行微粉碎,其设定参数为:转速 230 r/min、介质填充率 20%、粉碎时间 60 min,物料填充率为 10%~30%。

5) 粉碎介质填充率对粉体粒度的影响

粉碎介质填充率是磨球(材料为钢球,大球的球径为 5 mm,小球的球径为 2.5 mm,大小球的数量比为 1:3)的体积占球磨罐容积的百分比^[12]。将冷冻干燥后的牛蒡干片,用多功能食品加工机进行粗粉碎,通过 80 目筛后用球磨机进行微粉碎,其设定参数为:转速 230 r/min、物料填充率 20%、粉碎时间 60 min,粉碎介质填充率为 10%~30%。

1.2.2 牛蒡微粉加工二次回归正交试验

本试验选取真空冷冻干燥牛蒡,干燥室压力 100 Pa,加热板温度 40℃;干燥后牛蒡含水率为 5%。根据单因素试验结果,球磨机的转速、粉碎时间、介质的填充率和粉碎物料填充率这 4 个因素均对粉体粒度影响较大,是影响试验指标的主要因素,确定采用四因子二次回归正交试验获得各指标与各个因素间的量化关系。将各因素按其水平及取值范围进行编码,得其因素水平编码表,如表 1 所示,根据四因子二次回归正交试验设计理论,安排了 25 次试验^[13,14]。

表 1 试验因素水平编码表

Table 1 Codings of the factors and levels of experiment

| 因素 | 球磨机转速 /r·min ⁻¹ | 粉碎时间 /min | 介质填充 率/% | 物料填充 率/% |
|------------------|-------------------------------|--------------|-------------|-------------|
| 变量 | x_1 | x_2 | x_3 | x_4 |
| 零水平(0) | 230 | 60 | 18 | 15 |
| 变化区间(Δ) | 30 | 30 | 4.5 | 5 |
| 上水平(+1) | 260 | 90 | 22.5 | 20 |
| 下水平(-1) | 200 | 30 | 13.5 | 10 |
| 上星号臂(+1.414) | 272 | 102 | 24 | 22 |
| 下星号臂(-1.414) | 188 | 18 | 12 | 8 |

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果分析

1) 不同干燥方法对粉碎效果的影响

从图 1 可以看出,不同干燥方法对牛蒡微粉通过 240 目标筛的质量分数影响显著,真空冷冻干燥的粉碎效果明显好于微波干燥和热风干燥。

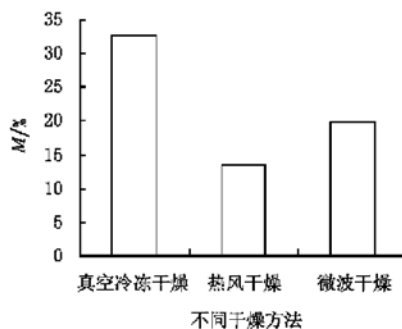
2) 球磨机转速对粉体粒度的影响

球磨机转速对通过 240 目筛粉体质量分数的影响见图 2,随着球磨机的转速从 50 r/min 增至 260 r/min,通过 240 目筛质量分数呈现先增长后下降的趋势。可以看出曲线的波峰在 230 r/min 位置。因此,确定行星式球磨机转速为 230 r/min 时,粉碎效果较好。

3) 粉碎时间对粉体粒度的影响

粉碎时间对通过 240 目筛粉体质量分数的影响见图 3,随着

粉碎时间从 30 min 增至 90 min,通过 240 目筛质量分数也是先增长后下降的。可以看出:在 60 min 附近,曲线到达波峰,因此,确定较佳的粉碎时间是 60 min。



注: M—牛蒡微粉通过 240 目标筛的质量分数,%;下同

图 1 不同干燥方法对粉碎效果的影响

Fig. 1 Effect of different drying methods on pulverizing quality

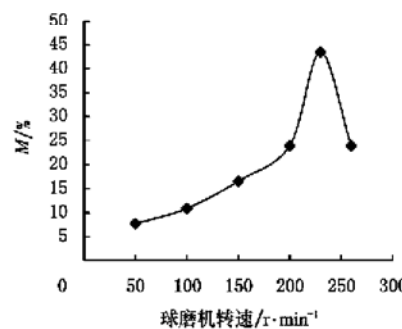


图 2 球磨机转速对粒度的影响

Fig. 2 Effect of ball mill rotation speed on granularity

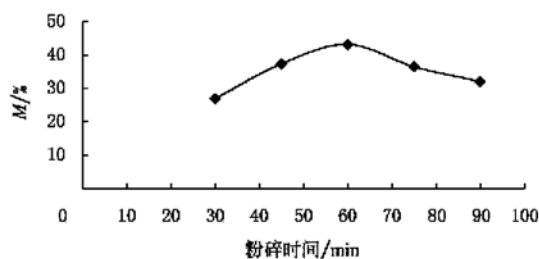


图 3 粉碎时间对粒度的影响

Fig. 3 Effect of pulverizing time on the granularity

4) 粉碎介质填充率对粉体粒度的影响

粉碎介质填充率对通过 240 目筛粉体质量分数的影响见图 4,由图中可以看出,通过 240 目筛粉体质量分数是随着粉碎介质填充率的增大呈现先增长后下降的趋势,曲线在 18% 附近到达波峰。因此,可以确定粉碎介质的填充率在 18% 较为适宜。

5) 物料填充率对粉体粒度的影响

被粉碎物料填充率对通过 240 目筛粉体质量分数的影响见图 5,由图中可以看出,被粉碎物料的填充率从 10% 增长到 30%,通过 240 目筛质量分数分布也是呈先增长后下降的趋势。可见,曲线的波峰出现在被粉碎物料的填充率为 20% 左右,此时

粉碎效果较好。

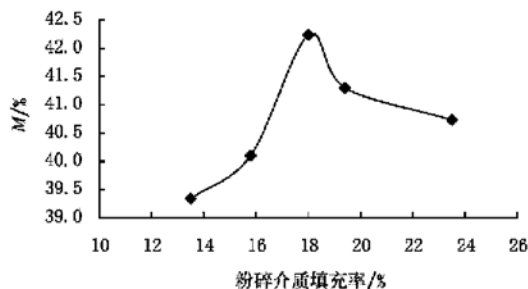


图4 粉碎介质填充率对粒度的影响

Fig. 4 Effect of pulverization medium filling rate on granularity

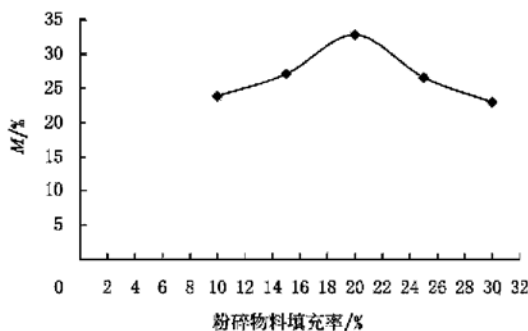


图5 物料填充率对粒度的影响

Fig. 5 Effect of material filling rate on granularity

2.2 二次回归正交试验结果分析

2.2.1 数学模型的建立

根据 25 次试验结果建立回归数学模型。得出通过 240 目筛粉体质量百分数的回归方程为:

$$y_1 = 45.463 - 1.6905x_1 - 3.91131x_2 - 1.12304x_3 - 5.10855x_4 + 0.63375x_1x_2 - 1.04x_1x_3 - 1.81x_1x_4 - 0.74x_2x_3 - 2.47x_2x_4 - 0.8125x_3x_4 - 1.2675x_1^2 - 3.5225x_2^2 + 0.9925x_3^2 - 8.0525x_4^2 \quad (1)$$

耗能回归方程为:

$$y_2 = 0.0175 - 0.00209x_1 - 0.00616x_2 + 0.00107933x_3 + 0.00398x_4 + 0.00081x_1x_2 + 0.00057x_1x_3 - 0.003x_1x_4 - 0.001x_2x_3 - 0.0009x_2x_4 - 0.00078x_3x_4 - 0.0005x_1^2 - 0.0015x_2^2 - 0.00102x_3^2 + 0.0019825x_4^2 \quad (2)$$

式中 y_1 ——通过 240 目筛粉体质量分数, %; y_2 ——单位粉体耗能, kW · h/g; x_1, x_2, x_3, x_4 ——均为编码值。

对回归数学模型的拟合情况进行分析, 结果表明: 建立的回归方程在各自的因子水平上是显著的, 试验数据与所建立的回归数学模型拟合性好。

从回归方程可以看出, 影响通过 240 目筛粉体质量分数的主次因素为: 被粉碎物料的填充率(x_4) > 粉碎时间(x_2) > 球磨机转速(x_1) > 粉碎介质填充率(x_3); 影响能耗的主次顺序为: 粉碎时间(x_2) > 被粉碎物料的填充率(x_4) > 球磨机转速(x_1) > 粉碎介质填充率(x_3)。

3.2 交互作用效应分析

从数学模型(1)可以看出, 交互作用对通过 240 目筛粉体质量分数影响情况为: 粉碎时间(x_2) 与被粉碎物料的填充率(x_4) 交互作用 > 球磨机转速(x_1) 与被粉碎物料的填充率(x_4) 交互作用 > 球磨机转速(x_1) 与粉碎介质填充率(x_3) 交互作用。

首先分析粉碎时间(x_2) 与被粉碎物料的填充率(x_4) 交互作用的影响。根据数学模型(1), 只考虑 x_2 与 x_4 两因子交互作用对通过 240 目筛粉体质量分数的影响, 把其余因子规定在零水平上, 即 $x_1 = x_3 = 0$, 则式(1)可化为

$$y_1 = 45.463 - 3.91131x_2 - 5.10855x_4 - 2.47x_2x_4 - 3.5225x_2^2 - 8.0525x_4^2 \quad (3)$$

利用 Excel 作 x_2x_4 交互作用对粒度的影响的曲面图, 如图 6 所示。

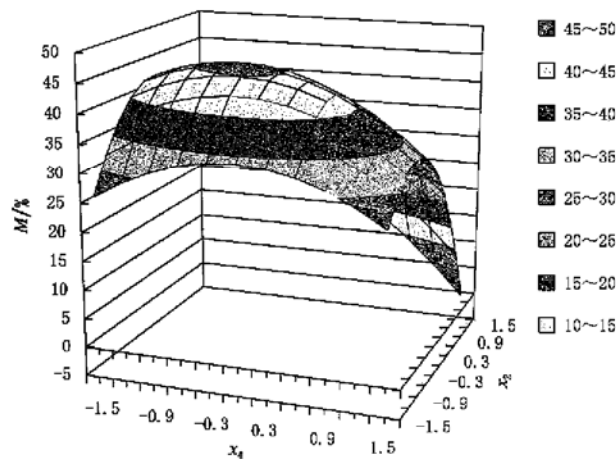


图6 x_2 与 x_4 交互作用对粒度的影响

Fig. 6 Effect of x_2 and x_4 interaction on granularity

从图 6 可以看出, 当粉碎时间(x_2) 编码值为 0.8, 实际值为 84 min, 被粉碎物料的填充率(x_4) 的编码值为 -0.4, 实际值为 13% 时, 粉碎后通过 240 目筛质量分数最大。用同样的方法可以分析其他因素的交互作用的影响结果。

2.3 工艺参数的优化

为了得到牛蒡微粉加工最优工艺参数, 利用多目标非线性优化理论与方法, 对所得的回归模型进行优化分析。

通过 240 目筛粉体质量分数(y_1) 在约束条件下达到最大值, 单位耗能(y_2) 达到最小值。根据已经建立的数学模型得出目标函数为:

$$\begin{aligned} y_1 &= f(x_1, x_2, x_3, x_4) \rightarrow \max \\ y_2 &= f(x_1, x_2, x_3, x_4) \rightarrow \min \end{aligned} \quad (4)$$

y_1 和 y_2 均应大于零, 各试验因素编码值应限制在试验设计的范围内取值, 得约束条件为

$$\begin{cases} y_j \geq 0 \\ -1.4 \leq x_i \leq 1.4 \end{cases} \quad (j = 1, 2; i = 1, 2, 3, 4) \quad (5)$$

利用规划求解方法, 对模型进行优化求解, 得出牛蒡微粉加工最优工艺参数为: 行星球磨机的转速为 272 r/min, 研磨时间是 85 min, 介质的填充率为 12%, 被粉碎物料的填充率为 13%, 此时最低耗电量为 0.002 kW · h/g, 通过 240 目筛粉体质量分

数为43.3%。

3 结 论

本文以食用和药用价值都非常高的牛蒡为原料,研究了利用行星式球磨机对其进行微粉加工的工艺参数。研究得出如下结论:

1) 在用行星式球磨机加工牛蒡微粉时,球磨机转速、研磨时间、介质填充率和物料填充率4个因素对粉碎效果的影响主次顺序为:被粉碎物料的填充率(x_4) > 粉碎时间(x_2) > 球磨机转速(x_1) > 粉碎介质填充率(x_3);对粉碎过程中能耗的影响的主次顺序为:粉碎时间(x_2) > 被粉碎物料的填充率(x_4) > 球磨机转速(x_1) > 粉碎介质填充率(x_3)。

2) 行星式球磨机加工牛蒡微粉的最佳工艺参数为:行星球磨机的转速为272 r/min,研磨时间是85 min,介质的填充率为12%,被粉碎物料的填充率为13%,此时最低耗电量为0.002 kW·h/g,通过240目粉体质量分数为43.3%。

[参 考 文 献]

- [1] 张晓伟,孙爱东,宫 玮.牛蒡的营养价值及其开发现状[J].中国食物与营养,2006,(1):25-27.
- [2] 赵 华,王 劲,杨松松.药用植物牛蒡化学成分和药理活性研究[J].辽宁中医学院学报,2005,(2):128-129.
- [3] 孟秀梅.牛蒡的加工利用现状[J].食品与药品,2006,(1):65-68.
- [4] 向智男,宁正祥.超微粉碎技术及其在食品工业中的应用[J].食品研究与开发[J],2006,(2):88-90,102.
- [5] 赵 巍,黎锡流,陈 玲,等.应用超细粉体技术开发可食性资源[J].现代食品科技,2005,(2):213-216.
- [6] 刘树立,王春艳,盛占武,等.超微粉碎技术在食品工业中的优势及应用研究现状[J].四川食品与发酵,2006,(6):5-7.
- [7] 郝征红,张炳文,岳凤丽.超微粉碎加工技术在农产资源开发中的应用[J].食品科技,2006,(7):24-27.
- [8] 刘根凡,王晓晨,舒朝晖,等.根茎类药材粉碎设备的实验研究[J].华西药学杂志,2005,20(5):378-379.
- [9] 苏艳丽,傅正义,张金咏,等.三七的超细粉碎研究[J].武汉理工大学学报,2005,27(1):22-24.
- [10] 叶 菁.一种新型中药材超细气流粉碎装置[J].中国粉体技术,2004,10(4):21-23.
- [11] 曹龙奎,黄 威,李成华,等.玉米花粉超微粉碎破壁技术的试验研究[J].农业工程学报,2003,19(6):209-211.
- [12] 李奉生,刘宏英,刘雪东,等.微纳米粉体自备与改性设备[M].北京:国防工业出版社,2004:48-66.
- [13] 李云雁,胡传荣.试验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2004:122-136.
- [14] 朱伟勇.最优设计理论与应用[M].沈阳:辽宁人民出版社,1981:146-243.

Experimental study on technological parameters for burdock fine pulverizing

Gong Yuanjuan¹, Zhang Benhua¹, Li Chenghua^{2*}

(1. College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2. College of Mechanical Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110168, China)

Abstract: Based on single factor experiment and results analysis of influences on burdock fine pulverizing, quadratic regression orthogonal experiment was carried out for studying effect of ball mill rotation speed, pulverizing time, medium filling rate and material filling rate on pulverizing criteria such as powder granularity and unit powder energy consumption, and regression mathematical models describing relations between experimental factors and pulverizing criteria were established. Using multi-goal non-linear optimizing method, optimal combination of technological parameters for burdock fine pulverizing was determined with ball mill rotation speed 272 r/min, pulverizing time 85 min, material filling rate 13% and medium filling rate 12%, which achieved minimum unit powder energy consumption 0.002 kW·h/g. The optimal technological parameters have an instructional significance for burdock fine pulverizing with ball mill.

Key words: burdock; fine powder; processing; ball mill; technological parameters; experimental study