

# 球磨微细化处理 在植物性原料微粉制备中的应用研究

秦军伟<sup>1</sup>,李成华<sup>2</sup>,宫元娟<sup>1</sup>

(1.沈阳农业大学工程学院,辽宁沈阳 110866; 2.沈阳理工大学机械工程学院,辽宁沈阳 110159)

**摘要:**球磨微细化处理在植物性原料微粉制备中的研究和应用日益广泛。介绍了球磨微细化处理对植物性原料微粉品质特性的影响,以及微粉制备过程中工艺参数的优化。研究颗粒形貌变化与粒径大小、粒度分布的关系以及形貌的变化,对能耗的影响具有重要意义;采用前期剪切粉碎后期球磨处理的组合方式,可缩短原料的球磨时间,降低能耗。  
**关键词:**球磨,微细化处理,植物性原料,理化性质,工艺参数

## Application of ball-milling micronizing treatment in micro-powder preparation from floristic materials

QIN Jun-wei<sup>1</sup>, LI Cheng-hua<sup>2</sup>, GONG Yuan-juan<sup>1</sup>

(1.College of Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2.School of Mechanical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

**Abstract:** The ball-milling micronizing treatment technology on the micro-powder preparation of floristic materials was investigated and applied widely. The effect of the ball-milling micronizing treatment on the floristic material powder, the technological parameters optimization of the micro-powder preparation by the ball milling was introduced. Considered that, it was important to discuss the relationship of particle size and particle size distribution between the granule morphology, and to analyze the influence of the granule morphology changing on the energy consumption. It could shorten the milling time, reduce the energy consumption by a combined grinding method of the shearing grinding in the former stage and the ball-milling in the last stage.

**Key words:** ball-milling; micronization treatment; floristic material; physical and chemical characteristic; technological parameter

中图分类号: TS255.36

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2012)05-0418-04

球磨微细化处理是一种机械力化学技术,能够对原料进行粉碎和混合处理,具有卓越的均质特性和良好的工作效率<sup>[1]</sup>,多应用于矿物质的微粉碎<sup>[2-3]</sup>、化工材料的改性<sup>[4]</sup>等方面。目前,随着球磨粉碎技术及设备的完善,其在植物性原料超微粉碎加工中的研究和应用日益广泛。通过球磨微细化处理,对植物性原料的食用特性、功能特性和理化特性产生显著影响,不仅能最大程度地保留植物性原料的营养成分,还能提高有效成分的生物活性和溶出特性,从而扩大原料的应用范围,提高利用率。本文主要从品质特性、工艺参数等研究方向介绍球磨微细化处理技术在植物性原料微粉制备中的应用现状,并对其后续的研究进行探讨。

### 1 球磨微细化处理对理化性质影响的研究现状

研究证明,通过球磨法粉碎的机械力化学效应,植物性原料的某些物理化学性质会发生本质的改变,所以理化性质是衡量植物性原料球磨微细化处理效果的重要指标,也是目前球磨微细化处理的研究内容之一。

Kim等利用球磨机对马铃薯淀粉进行微细化处理,并对其热焓松弛、玻璃态-高弹态转变规律进行了研究。结果表明,在合适温度下,球磨处理可将原淀粉转化为松弛的玻璃态,即实现玻璃态-高弹态的转变,同时促进了淀粉的热焓松弛<sup>[5]</sup>。Kim等同时研究了球磨处理对马铃薯淀粉吸水特性的影响,结果表明,延长球磨时间能够降低淀粉的吸水能力<sup>[6]</sup>。而Mayumi等对球磨微细化处理后的马铃薯淀粉微粉的热焓松弛与吸水特性之间的关系进行了研究,结果表明,随球磨时间的增加,热焓值增加而吸水能力降低,且两者具有线性关系<sup>[7]</sup>。

郑慧等采用行星式球磨机对苦荞麸皮进行超微

收稿日期: 2011-04-29

作者简介: 秦军伟(1979-),男,硕士,讲师,研究方向:农产品深加工。

粉碎,并对其功能成分的溶出特性、有毒有害物质的清除能力及抗氧化特性的变化规律进行了研究。结果表明,球磨超微粉碎处理能提高苦荞麸中的总黄酮等功能成分的溶出率,增强对胆酸钠、重金属离子的吸附能力以及对 $\text{NO}_2^-$ 、2-联苯-1-三硝基苯胍(DPPH)的清除力。但由于苦荞麸皮是膳食纤维、蛋白质、淀粉、脂肪、生物类黄酮、灰分和其它物质的混合物,在重金属吸附过程中主要是由膳食纤维发挥作用,或者是其中的多个因素共同参与发挥作用还有待进一步的研究确定<sup>[8-11]</sup>。

陈玲等利用球磨机对绿豆淀粉进行机械力化学改性,探讨在机械力场作用下绿豆淀粉糊表观粘度的变化,分析球磨方法对绿豆淀粉颗粒结晶结构的影响,建立绿豆淀粉糊在不同浓度和温度下的流变特性模型。结果表明,机械球磨法能改变绿豆淀粉糊的表观粘度,具有“高浓低粘”的性质;球磨机械力场作用导致了淀粉链及结构的改变;球磨机械力化学效应导致绿豆淀粉糊的流变特性有趋向于牛顿流体的趋势<sup>[12-13]</sup>。熊兴耀等对马铃薯淀粉的球磨法微细化处理的研究也表明,机械球磨法可导致表观粘度降低,可使马铃薯淀粉糊的流变特性接近于牛顿流体<sup>[14]</sup>。

任广跃以无水乙醇为介质对木薯淀粉进行微细化处理,对因粒度效应引起的糊化特性、冻融性、溶解度的改变进行表征。结果表明:木薯淀粉经球磨微细化处理后,黏度变化和冻融稳定性与原淀粉基本相同,黏度热稳定性和冷稳定性提高,溶解度随淀粉粒度降低而增大,膨胀率则呈现先升后降的趋势<sup>[15]</sup>。Huang等利用振动球磨机对木薯淀粉进行机械活化处理,结果表明,球磨机械活化处理降低了木薯淀粉的胶凝温度、胶凝焓值、表观粘度和剪切稀化性,增加了冷水溶解度<sup>[16]</sup>。

徐中岳等以无水乙醇为介质对木薯淀粉进行球磨微细化处理,研究湿法超微粉碎对木薯淀粉理化性质的影响。结果表明:机械球磨法降低了淀粉的黏度,同时破坏了结晶结构,使之变为非晶态<sup>[17]</sup>。而Huang的研究表明球磨的非晶化作用使淀粉结晶结构受到破坏,结晶性下降,增加了淀粉微粒的非晶区而减弱并降低了淀粉微粒的晶体区<sup>[18]</sup>。

张威等研究了玉米淀粉球磨微细化处理对成糊温度和峰值黏度的影响。结果表明:淀粉的成糊温度和峰值黏度随淀粉量的增加而升高,随球磨速度的增加和球磨时间的延长而下降;球磨后淀粉的结晶性下降,导致了成糊温度和峰值黏度的变化<sup>[19]</sup>。Tamaki等对马铃薯淀粉和玉米淀粉的球磨微细化处理的研究也发现,球磨时间越长,磨球对淀粉粒所做的机械功越多,淀粉的结晶区破坏程度也越大,导致成糊温度下降<sup>[20-21]</sup>。

张威等研究了以水为介质湿法球磨后玉米淀粉的结晶性、糊化特性、粒度分布,分析了不同反应体系中球磨淀粉的反应效率。结果表明,湿法球磨后,淀粉结晶性随球磨转速的增加而减弱,淀粉的糊化温度下降,淀粉平均粒径增加;在NaOH溶液和 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液两种体系中,淀粉的交联效率较低,球磨淀粉交

联后含磷量相对交联原淀粉略低;在NaCl和 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 混合体系中,淀粉的交联效果较好,球磨淀粉交联后含磷量要高于交联原淀粉<sup>[22]</sup>。

Benchaporn等采用球磨微细化预处理、酶水解和发酵的综合方法,从甘蔗渣中提取乙醇。研究表明,球磨预处理一定的时间,能够降低颗粒的粒度和纤维素的结晶度,促进酶水解和发酵过程,提高了乙醇的产量<sup>[23]</sup>。

## 2 球磨微细化处理工艺参数的研究现状

通过分析球磨微细化处理过程中工艺参数对指标的影响规律,并利用实验设计方法对工艺参数进行优化处理,可使球磨微细化处理获得较小粒度的粉体,或者提高了球磨处理后有效成分的提取效果。

李成华采用振动球磨机粉碎黑木耳,研究工艺参数对粉体的粒度及粒度分布的影响,通过实验设计优化,确定了最优工艺参数为:进料粒径120目、粉碎时间1.75h、磨介质充填率53%、球料比4.5,得到的黑木耳超微粉粒径 $D_{50}$ 为 $4.6\mu\text{m}$ <sup>[24]</sup>。宫元娟等以牛蒡为原料,以通过240目筛的质量百分数为指标,考察球磨条件对粉体粒度的影响,确定主次顺序为物料填充率>粉碎时间>球磨转速>粉碎介质填充率;通过二次回归正交设计实验,获得粉体粒度和粉碎能耗的数学模型,并利用多目标非线性优化理论,确定最佳工艺参数为:球磨机转速272r/min、研磨时间85min、介质填充率12%、物料填充率13%,此时最低耗电量为 $0.002\text{kW}\cdot\text{h/g}$ ,通过240目筛粉体质量分数为43.3%<sup>[25]</sup>。曹龙奎等对玉米花粉进行球磨破壁处理,利用二次回归正交旋转组合设计,建立了球磨转速、粉碎时间、球料比和花粉含水率与花粉破壁率之间的数学模型。通过优化,确定玉米花粉超微化破壁的最佳工艺参数为:转速476r/min、粉碎时间为1.2h、球料比为7:1、花粉含水率低于5%,此时花粉粒径小于 $8\mu\text{m}$ ,破壁率达100%,并且粒度分布均匀<sup>[26]</sup>。而余勃、刘彩兵等的研究表明,通过工艺参数的优化处理,植物性原料的球磨微细化处理能够达到较小的粒度<sup>[27-29]</sup>。

林增祥等研究了玉米秸秆水解过程中球磨预处理工艺的优化,采用Plackett-Burman实验设计和均匀实验设计法,筛选出了球磨预处理过程中的主要影响因素,通过分析原料粒径、球磨转速、原料填充量、研磨介质、交替时间等因素对酶解效率的影响,确定球磨粉碎玉米秸秆的最佳工艺参数为:原料粒径0.5mm、转速340r/min、原料填充量3.4g、装球量15个、交替运行时间5min,此时糖浓度可以达到 $9.805\text{g/L}$ <sup>[30]</sup>。高珊等利用球磨机对大豆浓缩蛋白(SPC)进行处理,考察球磨工艺参数对球磨处理后大豆浓缩蛋白乳化性的影响规律,发现各因素对SPC乳化性的影响基本呈现先增后减的趋势。在球磨机转速80r/min、SPC填充量10g、球磨机处理时间1h、SPC含湿量85%、pH11的条件下,所得改性大豆浓缩蛋白的EAI为 $114.893\text{m}^2/\text{g}$ ,同比提高了120%<sup>[31]</sup>。胡莉莉等通过工艺参数的优化设计,提高了球磨粉碎大米淀粉的溶解率和还原糖含量<sup>[32]</sup>。

### 3 球磨微细化处理对颗粒形貌特征影响的研究现状

粉碎过程中, 粉体的微观形貌特征的变化不仅影响到粉体的粒度及粒度分布, 而且还与粉体特性的变化密切相关, 因此是一个重要的特征参数。目前, 扫描隧道显微镜、原子力显微镜等显微装置的发展, 为粉体的微观形貌特征的观察提供了必要条件。

徐中岳等对木薯淀粉的球磨机械活化处理表明, 淀粉颗粒在冲击、摩擦、剪切等机械应力作用下, 大的、不规则的碎片从颗粒脱落, 逐渐被冲压成扁平片状体, 从半球形变成片状形; 随着粉碎时间的延长, 许多细微颗粒粘连在一起, 产生团聚现象, 说明粉碎过程产生“逆研磨效应”<sup>[33]</sup>。陈玲等对绿豆淀粉的球磨微细化处理研究也表明, 粉体团聚与微观形貌之间存在一定的联系<sup>[12]</sup>。

未粉碎的蜂胶粗粉的颗粒体积较大, 形状不规则, 粒径不均匀, 颗粒表面较粗糙, 有鳞片状; 粉碎后的蜂胶颗粒体积较小, 形状较规则, 粒径也较均匀, 且粉体的碎片较多, 表面较为光滑, 颗粒棱角少, 比较光滑。说明粉碎后的蜂胶均匀性好, 且由于粉碎后颗粒表面的光滑程度, 使其微粉的流动性增强<sup>[14]</sup>。

刘迎对传统中药材黄芪和淫羊藿的振动球磨法粉碎研究表明, 普通粗粉在显微镜下, 组织块清晰可见, 且形状不规则, 粒径分布不均匀, 组织细胞仍然完整; 而在电镜下观察超微粉, 难以看到完整的细胞形态, 只能看到细胞碎片, 说明球磨微细化处理能显著提高细胞的破壁率<sup>[35]</sup>。

## 4 讨论

### 4.1 颗粒形貌特征与能耗关系的研究

物料从大颗粒粉碎为微粉或超微粉的过程中, 其形貌特征变化不仅影响最终的粒度和粒度分布, 影响到有效成分的提取效果, 而且对能量消耗也有较大影响。以气流粉碎过程中颗粒形貌特征的变化为出发点, 判断生物材料的粉碎过程是体积粉碎、表面粉碎, 还是均一粉碎, 分析形貌特征变化对能耗的影响规律, 为粉碎过程能耗数学模型的选择提供依据。

### 4.2 预处理在球磨粉碎中的研究

与脆性较大的矿物质、化工材料不同的是, 植物性原料大多含有丰富的纤维组织, 纤维性强, 韧性较大, 导致粉碎困难, 能量消耗加剧。采用组合粉碎的方式, 前期利用剪切粉碎预处理, 将长纤维制成短纤维, 后期采用球磨粉碎方式, 将粗纤维研磨成微粉或超微粉, 既能降低能耗, 又可提高粉碎效率。

### 参考文献

[1] Sarah Trimpin, Max L, Deinzer. Solvent-free MALDI-MS for the analysis of biological samples via a mini-ball mill approach [J]. *J Am Soc Mass Spectrom*, 2005, 16: 542-547.  
 [2] Alice Baron, Jean Martinez, Frédéric Lamaty. Solvent-free synthesis of unsaturated amino esters in a ball-mill[J]. *Tetrahedron Letters*, 2010(51): 6246-6249.  
 [3] Evelina Colacino, Pierrick Nun, Francesco Maria Colacino, et

al. Solvent-free synthesis of nitrones in a ball-mill[J]. *Tetrahedron*, 2008(64): 5569-5576.

[4] Rong Chen, Chuanbin Yi, Hong Wu, et al. Degradation kinetics and molecular structure development of hydroxyethyl cellulose under the solid state mechanochemical treatment[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2010(81): 188-195.

[5] Kim YJ, Suzuki T, Hagiwara T, et al. Enthalpy relaxation and glass to rubber transition of amorphous potato starch formed by ball-milling[J]. *Carbohydrate Polymer*, 2001(46): 1-6.

[6] Kim YJ, Suzuki T, Matsui Y, et al. Water sorption for amorphous starch and structural relaxation by ball milling[J]. *Journal of Food Engineering*, 2001(3): 121-125.

[7] Mayumi Anzai, Tomoaki Hagiwara, Manabu Watanabe, et al. Relationship between enthalpy relaxation and water sorption of ball-milled potato starch[J]. *Journal of Food Engineering*, 2011(104): 43-48.

[8] 郑慧, 王敏, 吴丹. 超微处理对苦荞麸理化及功能特性影响的研究[J]. *食品与发酵工业*, 2006, 32(8): 5-9.

[9] 郑慧. 苦荞麸皮超微粉碎及其粉体特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.

[10] 郑慧, 王敏, 于智峰, 等. 超微粉碎对苦荞麸功能特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(12): 258-264.

[11] 郑慧, 王敏, 孙新涛. 苦荞麸皮微粉对 $Pb^{2+}$ 、 $Cd^{2+}$ 、 $Hg^{2+}$ 的吸附特性研究[J]. *中国粮油学报*, 2008, 23(1): 44-48.

[12] 陈玲, 庞艳生, 李冰, 等. 利用球磨改变绿豆淀粉颗粒形貌及糊表观粘度研究[J]. *食品工业科技*, 2004, 25(12): 49-52.

[13] 陈玲, 庞艳生, 李晓奎, 等. 球磨对绿豆淀粉结晶结构和糊流变特性的影响[J]. *食品科学*, 2005, 26(6): 126-130.

[14] 熊兴耀, 李晓文. 微细化马铃薯淀粉糊流变特性的研究[J]. *中国粮油学报*, 2008, 23(6): 116-119.

[15] 任广跃, 毛志怀, 李栋, 等. 微细化木薯淀粉糊特性研究[J]. *中国农业大学学报*, 2006, 11(2): 88-92.

[16] Zu-Qiang Huang, Jian-Ping Lu, Xuan-Hai Li, et al. Effect of mechanical activation on physico-chemical properties and structure of cassava starch[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2007(68): 128-135.

[17] 徐中岳, 罗志刚, 何小维. 湿法超微粉碎对木薯淀粉理化性质的影响[J]. *中国粉体技术*, 2009, 15(6): 26-30.

[18] Huang Zuqiang, Xie Xinling, Chen Yuan, et al. Ball-milling treatment effect on physicochemical properties and features for cassava and maize starches[J]. *C R Chimie*, 2008(11): 73-79.

[19] 张威, 顾正彪, 洪雁. 响应面法分析球磨处理对玉米淀粉成糊温度和峰值黏度的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2009, 35(6): 109-115.

[20] Shinji Tamaki, Makoto Hisamatsu, Katsunori Teranishi, et al. Structural change of potato starch granules by ball-milling treatment[J]. *Starch/Starke*, 1997(49): 431-438.

[21] Shinji Tamaki, Makoto Hisamatsu, Katsunori Teranishi, et al. Structural change of maize starch granules by ball-milling treatment[J]. *Starch/Starke*, 1998, 50: 342-348.

[22] 张威. 球磨-交联改性玉米淀粉的制备及载药性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.

[23] Benchaporn Buaban, Hiroyuki Inoue, Shinichi Yano, et al.

(下转第424页)

- [3] 朱恩俊,安莉,华从伶. 大米蛋白提取研究进展[J]. 粮食与食品工业,2010,17(1):15-18.
- [4] 郭兴凤,张娟娟. 大米蛋白功能性研究进展[J]. 粮食与油脂,2008(3):1-3.
- [5] 金融,赵金,陈莎莎,等. 大米蛋白的研究与利用[J]. 食品工业科技,2007,28(1):231-233.
- [6] 熊尉杰,吴卫国. 大米蛋白研究进展[J]. 粮食与油脂,2009(4):7-9.
- [7] 杨林,陈家厚,张兰威,等. 大米蛋白调控生长期幼鼠及成熟期大鼠肝脏脂类水平的研究[J]. 中华疾病控制杂志,2008,12(5):459-461.
- [8] Yang L,Kumagai T,Kawamura H,et al. Effects of rice proteins from two cultivars,koshihikari and shunyo,on cholesterol and triglyceride metabolism in growing and adult rats[J]. Biosci Biotechnol Biochem,2007,71(3):694-703.
- [9] 杨林,陈家厚,张兰威,等. 大米蛋白对幼鼠血清胆固醇水平的调控效果及作用机制的研究[J]. 现代预防医学,2009,36(6):1051-1054.
- [10] 杨林,张兰威,蒙琦,等. “春阳”大米蛋白对大鼠胆固醇代谢的调控作用[J]. 华中农业大学学报,2009,28(3):326-329.
- [11] 杨林,王士磊,张兰威,等. 大米蛋白水平对成熟期大鼠体重及体脂水平的影响[J]. 华中农业大学学报,2010,29(6):587-591.
- [12] Morita T,Ohhashi A,Kasaoka S,et al. Rice protein isolates produced by the two different methods lower serum cholesterol concentration in rats compared with casein[J]. Sci Food Agric,1996,71(2):415-424.
- [13] 汪维,童坦君. 胆固醇合成途径的关键酶:HMG辅酶A还原酶和疾病[J]. 生理科学进展,1999,30(1):5-9.
- [14] 姚晓敏,宋保亮,王灿华,等. 胆固醇平衡调控中的SREBP途径[J]. 上海交通大学学报:农业科学版,2006,24(3):311-320.
- [15] Ascencio C, Torres N, Isoard-Acosta F, et al. Soy protein affects serum insulin and hepatic SREBP21 mRNA and reduces fatty liver in rats[J]. Nutrition,2004,134(3):522-529.
- [16] Madani S,Lopez S,Blond JP,et al. Highly purified soybean protein is not Hypocholesterolemic in rats but stimulates Cholesterol Synthesis and excretion and reduces polyunsaturated fatty acid biosynthesis[J]. Nutrition,1998,128:1084-1091.
- [17] Hui DY,Howles PN. Molecular mechanisms of cholesterol absorption and transport in the intestine[J]. Seminars in Cell & Developmental Biology,2005,16(1):183-192.
- [18] Cohen DE. Balancing cholesterol synthesis and absorption in the gastrointestinal tract[J]. Clin Lipidol,2008,2(2):S1-S3.
- [19] Yang L,Kadowaki M. Effects of rice protein from two cultivars, Koshihikari and Shunyo,on hepatic cholesterol secretion by isolated perfused livers of rats fed cholesterol-enriched diets[J]. Nutrition and Metabolism,2009,54:283-290.
- [20] Erdmann K,Cheung BWY,Schroder H. The possible roles of food-derived bioactive peptides in reducing the risk of cardiovascular disease[J]. Nutritional Biochemistry,2008:1-12.
- [21] Martini C, Pallottini V. Cholesterol:from feeding to gene regeulation[J]. Genes Nutr,2007(2):181-193.
- [22] Adams M,Anthony MS,Chen H,et al. Replacement of dietary soy protein isolate with concentrates of soy 7S or 11S globulin has minimal or no effects on plasma lipoprotein profiles and biomarkers of coronary risk in monkeys[J]. Atherosclerosis,2008,196(1):76-80.
- [23] Yang L,Kadowaki M. Addition of methionine to rice protein affects hepatic cholesterol output inducing hypocholesterolemia in rats fed cholesterol-free diets[J]. Medicinal Food,2011,14(5):1-9.
- [24] Lee RG, Kelley KL, Sawyer JK, et al. Plasma cholesteryl esters provided by Lecithin:cholesterol acyltransferase and Acyl-Coenzyme A:Cholesterol Acyltransferase 2 have opposite atherosclerotic potential[J]. American Heart Association,2004,95:998-1004.
- [25] Oda H. Function of sulfur-containing amino acids in lipid metabolism[J]. Nutrition,2006,136:1666S-1669S.

(上接第420页)

- Bioethanol production from ball milled bagasse using an on-site produced fungal enzyme cocktail and xylose-fermenting *Pichia stipitis*[J]. Journal of Bioscience and Bioengineering,2010,110(1):18-25.
- [24] 李成华,曹龙奎. 振动磨超微粉碎木耳的实验研究[J]. 农业工程学报,2008,24(4):246-250.
- [25] 宫元娟,张本华,李成华. 牛蒡微粉加工工艺参数实验研究[J]. 农业工程学报,2007,23(9):256-259.
- [26] 曹龙奎,黄威,王景会,等. 玉米花粉超微粉碎破壁技术的实验研究[J]. 农业工程学报,2003,19(6):209-211.
- [27] 余勃,陆豫,郑颖洁. 茶花粉超微粉碎破壁工艺优化[J]. 食品科学,2009,30(22):88-91.
- [28] 刘彩兵,盛勇,涂铭旌. 小麦麸的超微细化研究[J]. 食品科技,2003(11):86-88.
- [29] 刘彩兵,盛勇,涂铭旌. 米糠超微细化的正交实验研究[J]. 食品科技,2003(5):97-98,101.
- [30] 林增祥,黄和,张红漫,等. 球磨处理玉米秸秆纤维素原料的工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2009,25(3):202-204.
- [31] 高珊,江连洲,宋宏哲,等. 利用球磨机提高大豆浓缩蛋白乳化性的研究[J]. 食品工业科技,2010,31(8):102-104,107.
- [32] 胡莉莉,张正茂,郭蕾,等. 球磨条件对水溶性大米淀粉理化特性的影响[J]. 食品科技,2007(8):94-97.
- [33] 徐中岳,罗志刚,何小熊. 逆研磨对木薯淀粉理化性质的影响[J]. 食品工业科技,2010,31(5):144-147.
- [34] 王娜. 超高压提取蜂胶黄酮与蜂胶微粉功能特性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [35] 刘迎. 超微粉碎对中药“促免散”粉体特性及药理作用的影响[D]. 石家庄:河北农业大学,2006.