

超微粉碎对莲子理化性质和抗氧化活性的影响

代红飞, 傅茂润*, 曲清莉

(齐鲁工业大学食品科学与工程学院, 济南 250353)

摘要: **目的** 用超微粉碎技术加工莲子心, 对超微莲子心粉体的理化性质、抗氧化活性和相关物质进行研究, 以期改善莲子心粉的加工适应性。**方法** 检测不同粒径(D_{90} 分别为 302.5 μm 、175.0 μm 、75.2 μm 和 34.3 μm) 莲子心粉的溶解度、高温持水能力、抗氧化活性、酚类物质总黄酮含量。**结果** 随着莲子心粉粒径的减小, 粉体的溶解度逐渐增大, 高温持水能力得到显著改善。超微粉碎处理提高了莲子心提取液的抗氧化能力(还原能力、超氧阴离子清除能力、DPPH 自由基清除能力、羟自由基清除能力), 莲子心粉的粒径越小, 其提取液的抗氧化能力越高; 增加了相关抗氧化活性物质(总酚、总黄酮)的溶出量, 溶出量随粒径的减小而增加。**结论** 超微粉碎技术可以改善莲子心粉体的理化性质, 提高莲子心的抗氧化能力。

关键词: 超微粉碎; 莲子心; 理化性质; 加工特性; 抗氧化能力

Effects of superfine grinding on physicochemical characteristics and antioxidant activity of lotus plumule

DAI Hong-Fei, FU Mao-Run*, QU Qing-Li

(College of Food Science and Engineering, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China)

ABSTRACT: Objective To improve the processing properties and biological activity of lotus plumule, the physicochemical properties, antioxidant activity and involved compounds of lotus plumule powder were detected, after lotus plumule being processed by superfine grinding technology. **Methods** Solubility, water-holding capacity, antioxidant properties, total flavone and phenolic compounds content of different size of lotus plumule powder (D_{90} = 302.5, 175.0 μm , 75.2 μm , and 34.3 μm , respectively) were measured. **Results** With the decreasing of powder diameter, water solubility was enhanced, and high temperature water-binding capacity was improved after superfine grinding. In addition, antioxidant capacity of lotus germ powder was enhanced by superfine grinding, such as the reducing capacity, the $\text{O}_2^{\cdot-}$ scavenging, the DPPH radical scavenging, and the hydroxyl radical scavenging activities. The smaller particle was, the greater scavenging activities were obtained. Furthermore, the involved compounds, such as total phenolic content and total flavonoids content were enhanced after superfine grinding, which was similar to the antioxidant activity. **Conclusion** The superfine grinding technology can improve the physical-chemical characteristics and processing properties of lotus plumule, as well as the antioxidant capacities.

KEY WORDS: superfine grinding technology; lotus plumula; physicochemical characteristic; processing property; antioxidant capacity

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新项目(2013026)

Fund: Supported by the Major Project of Innovation Agricultural Applied Technology of Shandong Province (2013026)

*通讯作者: 傅茂润, 副教授, 主要研究方向为农产品加工技术。E-mail: skyfmr@163.com

*Corresponding author: FU Mao-Run, Associate Professor, College of Food Science and Engineering, Qilu University of Technology, Jinan 250353, China. E-mail: skyfmr@163.com

1 引言

莲子心(*lotus plumula*)为睡莲科植物莲成熟种子中的干燥幼叶和胚根,是我国一种历史悠久的天然保健品,它的保健作用早在《本草纲目》中就有记载^[1],具有清心安神、交通心肾、涩精止血之功效^[2]。药理研究表明,其具有较好的抗心律失常、降压、抗血小板聚集、抗心律失常、保护心肌等多种药用及保健功能^[3-5]。莲子心作为药食两用的佳品已有广泛应用,其主要含有生物碱类如莲心碱、异莲心碱和甲基莲心碱等功能性成分^[6]。

超微粉碎技术是使物料微细及超细化的机械加工方法,是提供超微粉体的重要手段之一^[7]。超微粉碎技术能有效改善粉体的颗粒粒度及结晶结构,颗粒的微细化导致物料表面积和空隙率增加,从而使超微粉体具有独特的物理和化学性质,如良好的分散性、吸附性、溶分散性和溶解性^[8]等。超微粉碎可使某些物料的加工过程或工艺产生革命性的变化,如许多可食动植物都可用超微粉碎技术加工成超微粉,甚至动植物的不可食部分也可通过超微化而被人体利用。超微细粉碎技术给传统工艺、配方的改进以及新产品的开发带来了推动力。

近年来,超微粉碎技术应用到了食品领域,改善了食品原料的加工特性,如蘑菇,使其更加适合制备速溶和方便食品^[9];改善了姜粉的持水性、流动性和蛋白溶解性^[10];绿茶超微粉可以作为天然添加剂加入到面条中,改善了面团的稳定性和黏弹性^[11];另外,超微粉碎还提高了绿茶^[12]和麦麸纤维^[13]的抗氧化能力。本课题组的研究也表明,超微粉碎技术改善了红米和糯米的加工特性^[14]。但是,关于超微粉碎对莲子心加工特性和抗氧化活性的研究尚未见报道。本研究利用高频振动式超微粉碎技术将莲子心粉碎成超微粉,对超微莲子心粉理化性质、加工特性和抗氧化能力等方面进行研究,以期对莲子心的营养价值的保持和产品拓展提供理论依据和技术指导。

2 材料与方法

2.1 材料与设备

莲子心,干品,购自济南建联中药店。V-1100D型可见分光光度计(上海美谱达仪器有限公司);101-3型电热鼓风干燥箱(天津市泰斯特仪器有限公司);

Anke TDL-4DB 低速台式离心机(上海安亭科学仪器厂);HZS-H 水浴振荡器(哈尔滨市东联电子技术开发有限公司);ZF-2 型三用紫外仪(上海市安亭电子仪器厂);Winner-2000 型激光粒度分析仪(济南微纳颗粒仪器股份有限公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 样品处理

按料液比 1:20(*w:v*)采用超声波辅助提取,提取溶剂为 70%的乙醇溶液,常温下超声波提取 30 min,抽滤后滤液定容至原体积,备用。

2.2.2 测定指标和方法

粒径分析:取适量的粉体置于激光粒度仪的容器内,用蒸馏水作分散剂,用超声波对粉体进行分散,测定粉体的粒径,以 D_{90} 来表示。

休止角的测定:按照文献^[15]的方法。将不同粒径的莲子心粉经玻璃漏斗垂直流至玻璃平板上,锥体的顶端达到漏斗的底部为限。漏斗尾端距玻璃平板垂直距离 3 cm(H),流下的莲子心粉在玻璃平板上形成圆锥体,锥体的直径为 $2R$,分别测定圆锥表面和水平面的夹角即为不同粒径范围莲子心粉的休止角。

滑角的测定:按照文献^[16]的方法。分别取 5 g 不同粒径的莲子心粉置于玻璃平板(长 13 cm)上,然后将平板倾斜至莲子心粉开始移动,测定平板和水平面的夹角即为不同粒径范围莲子心粉的滑角。

休止角 $\theta = \arctg(2R/H)$,其中: R 为锥体的半径, H 为漏斗尾端距玻璃平板的垂直距离;滑角 $\alpha = \arcsin(H/L)$,其中: H 为玻璃平板距平面的高度, L 为玻璃平板的长度。

溶解度的测定:采用陈全斌^[17]的方法。精确称取 1 g(以无水物计干基重量)不同粒径的莲子心粉,放入带塞有刻度的离心管中,称重 W_1 ,加纯水定容至 50 mL。为防止沉淀,在振荡器上分别在 60、70、80、90 °C 4 个温度下加热 30 min 后,3000 r/min 离心 20 min,将上清液倒掉,用水浴蒸干沉淀,于 105 °C 下继续烘干至恒重后称重 W_2 ,得到溶解莲子心粉的重量 $m(g) = W_2 - W_1$,计算其在不同温度下的溶解度,计算公式为: $S(\%) = m \times 100$ 。

测持水能力 WRC 的测定:采用祁国栋等^[18]的方法。将离心管称重 $A(g)$,准确称取 0.10 g 样品加入离心管中,加蒸馏水定容至 10 mL,分别加温到 70、80、90 °C 保温 15 min,同时摇动 5~10 min,然后 3000

r/min 离心 15 min, 弃去上清液, 称取此时的离心管重量 $B(g)$, 计算持水能力 WRC 。计算公式: $WRC=(B-A)/0.1$ 。

采用黄嘌呤氧化酶法测超氧阴离子清除能力; 采用 Villano 等^[19]的方法测定 DPPH 自由基清除能力; 采用王威等^[20]的方法测羟自由基清除能力; 采用福林试剂法测定总酚^[21]; 采用 Jia 等^[22]的方法测定总黄酮含量。

2.3 数据统计与分析

采用 Excel 进行数据计算和作图, 采用 SPSS one-way ANOVA 软件进行差异显著性分析。

3 结果与分析

3.1 莲子心粉粒径分布、休止角和滑角

休止角和滑角可以反映粉体流动性的变化, 休止角和滑角越大, 粉体的流动性越差, 反之, 则粉体的流动性越好。由表 1 可知, 不同粒径莲子心粉体的休止角在 50.53°~73.26°之间, 而滑角在 21.94°~40.62°之间, 不同粒径间的休止角和滑角均存在显著差异 ($P<0.05$)。根据休止角和滑角的标准描述, 超微粉碎加工的莲子心粉具有更好的流动性, 而且表面附着力也会更高。随着粉体粒径的减小, 莲子心粉的休止角和滑角也减小, 这与 Santomaso^[23]和 Zhao^[24]的研究结果一致。这可能是由于粉体微粒具有吸附和凝聚特性引起表面聚合力增大, 吸附性能增强所致, 这也使得莲子心粉体更加均一和难以分离。

表 1 不同粒径莲子心粉的休止角和滑角
Table 1 Dormant angle and sliding angle of different particle size of lotus plumule superfine powder

时间(min)	莲子心粉粒径(μm)	休止角(°)	滑角(°)
1	413.8	73.26±3.36	40.62±1.76
5	302.5	68.19±2.13	36.54±1.46
10	175.0	61.57±2.65	31.95±2.02
20	75.2	54.23±2.47	25.57±1.52
30	34.3	50.53±3.15	21.94±1.62

注: 所有数值均表示为平均值±SD ($n=3$)

3.2 莲子心粉的溶解度和高温持水能力

由图 1a 可知, 在同一温度下, 随着莲子心颗粒粒径的减小, 溶解度显著增加($P<0.05$); 同一粒径时, 随着温度的升高, 莲子心粉的溶解度也显著增加 ($P<0.05$)。莲子心粉体的溶解度在 60 °C、70 °C 和 80 °C 时分别为 1.01%、1.69%和 3.34%(413.8 μm); 2.17%、3.47%和 6.66% (302.5 μm); 3.89%、6.03%和 8.66% (175.0 μm); 4.57%、7.89%和 9.37%(75.2 μm); 6.66%、8.72%和 9.99%(34.3 μm)。

莲子心粉在常温下很难溶于水, 但在加热时, 淀粉分子结晶区氢键被切断, 结晶结构受到破坏, 使得游离水易于渗入淀粉分子内部, 因此温度越高, 其溶解度也愈高。在同一温度下, 颗粒粒径越小, 其溶解度越大, 溶解性能越好。说明超微处理改善了莲子心粉的分散性和溶解性。

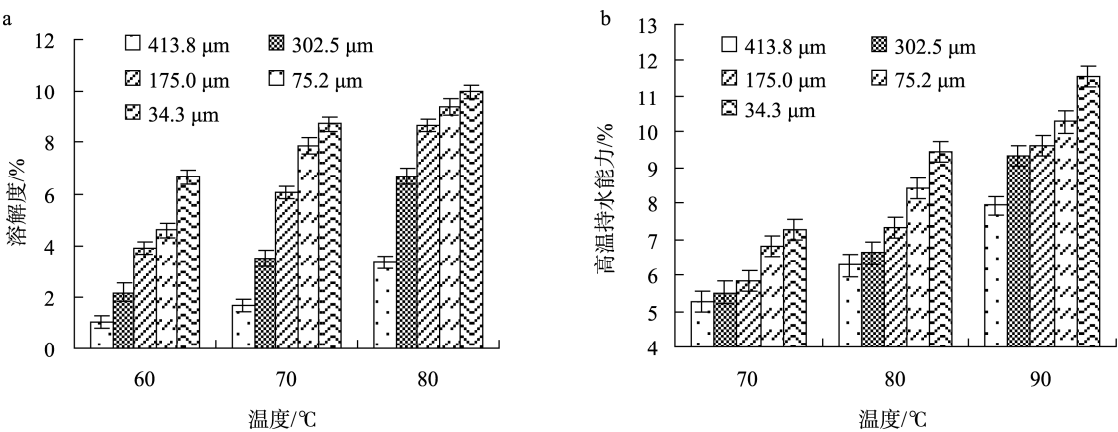


图 1 不同粒径和不同温度下莲子粉的溶解度(a)和高温持水能力(b)的变化

Fig. 1 Solubility and water-holding capacity of different size of lotus plumule powder and different temperatures

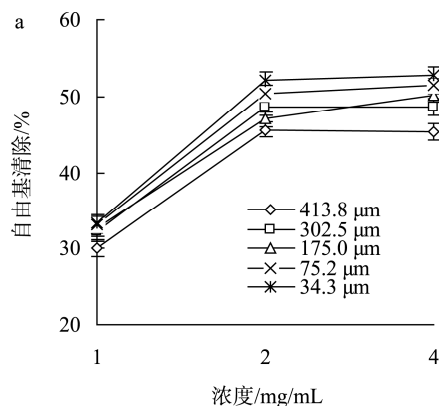
由图 1b 可知, 莲子心粉的高温持水力随着粒径的减小和温度的升高显著增加($P<0.05$)。这表明, 超微粉碎处理提高了莲子心粉的高温持水能力, 使之具有更好的亲水性, 防止水分散失能力也增强, 对莲子心粉产品的失水老化可以起到良好的延缓作用^[18]。

超微细粉碎过程中的机械力作用能使淀粉颗粒的形貌发生很大变化, 逐步粉碎成无数个粒度较小的颗粒, 导致表面能增加, 比表面积增大, 空隙率增加, 活性点增多, 同时粉碎过程也破坏了淀粉的晶格结构, 解离了淀粉的双螺旋结构, 这些机械力效应极大地促进了水分子和淀粉分子游离羟基的结合^[25]。结果表明, 莲子心粉的粒径越小, 粉体的溶解度和高温持水能力越大。

3.3 不同粒径的莲子心粉对抗氧化性的影响

3.3.1 莲子心粉 DPPH 自由基和羟自由基清除能力

活性氧自由基 (ROS) 包括过氧化物、氢过氧化物和次氯酸, 过氧化物、氢过氧化物可以和一些可跃迁的金属离子相互反应, 生成高活性氧-羟基自由基。抗氧化物质可以和稳定态的 DPPH 自由基 (深紫色) 反应, 转化为无色的 1,1-二苯基-2-三硝基苯胺^[26]。由图 2a 可以看出, 随着粉碎粒径的减小, 莲子心粉 DPPH 自由基清除能力逐渐加强。粒径为 413.8 μm 的超微粉清除率最低, 浓度为 1 mg/mL 时 DPPH 自由基清除能力为 29.95%, 粒径为 302.5 μm 、175.0 μm 、75.2 μm 和 34.3 μm 的莲子心粉 DPPH 自由基清除能力分别为 32.25%, 32.71%, 33.17%, 33.41%。它们之间差异不显著($P>0.05$)。而从 2 mg/mL 增加到 4 mg/mL 时, DPPH 自由基清除能力变化很小。结果表明, 超微粉碎处理提高了莲子心粉的 DPPH 自由基清除能力, 但在高浓度(4 mg/mL)时无增幅作用。



由图 2b 可以看出, 随着粒径的减小, 莲子心粉羟自由基清除能力逐渐加强。粒径为 413.5 μm 时羟自由基清除能力最低, 为 5.73%, 302.5 μm 、175.0 μm 、75.2 μm 和 34.3 μm 超微粉羟自由基清除能力分别为 7.96%、9.13%、11.10% 和 11.71%。它们之间有显著性的差异($P<0.05$)。结果表明, 超微粉碎处理提高了莲子心粉的羟自由基清除能力。

3.3.2 莲子心粉的还原力和超氧阴离子清除能力

由图 3a 可以看出, 浓度较低时, 各粒径的莲子心粉的还原能力没有显著性差异($P>0.05$)。浓度为 20 mg/mL 时, 随着粒径的减小, 莲子心粉的还原能力逐渐加强, 各粒径之间存在显著性的差异($P<0.05$)。结果表明, 超微粉碎处理提高了莲子心粉的还原能力。

超氧阴离子的去除对于防止早期氧化导致的损伤具有至关重要的保护作用。由图 3b 可以看出, 随着粒径的减小, 莲子心粉的超氧阴离子清除能力逐渐加强, 浓度为 20 mg/mL 时, 34.3 μm 处理的莲子心粉超氧阴离子清除能力为 14.6%, 与其他各粒径相比有显著性的差异($P<0.05$)。结果表明, 超微粉碎处理提高了莲子心粉的超氧阴离子清除能力。

3.3.3 总酚、总黄酮含量

酚类物质、黄酮类化合物不仅能清除氧化反应链反应引发阶段的自由基, 而且可以直接捕捉自由基反应链中的自由基, 阻断自由基链反应, 起到预防和断链的双重作用。另外还具有氧化还原能力, 可作为还原剂、氢受体和单线态氧淬灭剂。

由图 4 可以看出, 随着粉碎时间的延长, 莲子心粉中总酚和总黄酮的含量分别从 2.07 mg/g 上升至 2.62 mg/g, 4.97 mg/g 上升至 8.17 mg/g, 呈上升趋势。结果表明, 超微粉碎处理使莲子心中的抗氧化活性成分更加易于溶出。

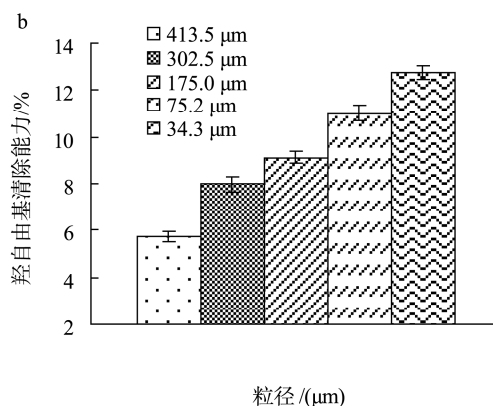


图 2 不同粒径莲子心粉的 DPPH 自由基(a)和羟自由基(b)清除能力

Fig. 2 DPPH scavenging activity and scavenge hydroxyl radical of different size of lotus plumule powder

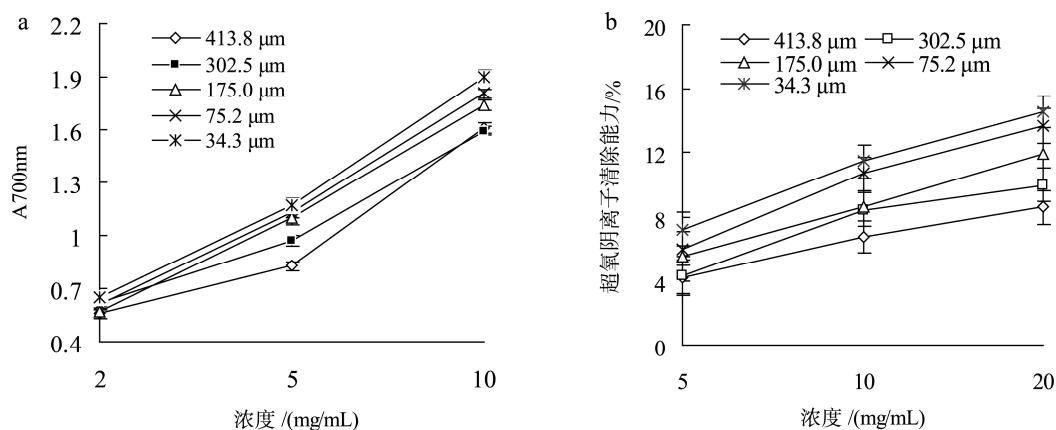


图 3 不同粒径莲子心粉的还原力(a)和超氧阴离子清除能力(b)

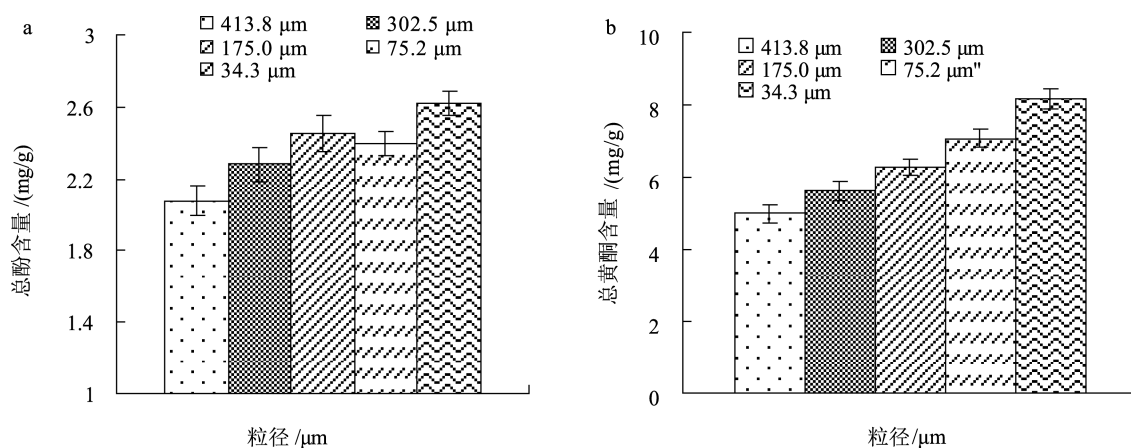
Fig. 3 Reducing power and O₂⁻ scavenging of different size of lotus plumule powder

图 4 不同粒径莲子心粉的总酚、总黄酮含量

Fig. 4 Total phenol and flavonoids content of different size of lotus plumule powder

莲子心粉的乙醇提取液具有很强的自由基清除能力, 这可能是因为其中含有生物碱, 大量文献表明, 莲子心中含有多种生物碱, 具有降压、抗心律失常等药理作用, 还具有较强的抗氧化自由基作用^[27]。张先洲等^[28]用 HPLC 测定了莲子心中莲心碱、异莲心碱和甲基莲心碱这三种生物碱的含量。王辉等^[29]研究表明异莲心碱对氧自由基有清除作用, 对脂质过氧化有抑制作用, 其活性与剂量呈正相关。莲子心中黄酮类化合物也是主要的抗氧化物质, 莲子心中总黄酮含量为 8.49 mg/g, 黄酮类化合物能通过血脑屏障, 吸收活性自由基, 具有很强的抗氧化性, 并可与催化氧化作用的金属离子络合, 具有抗氧化、抗衰老的作用^[30]。

4 结 论

本文主要研究了超微粉碎处理对莲子心的理化性质和加工特性的影响。结果表明, 随着莲子心粉粒径的减小, 粉体的休止角和滑角逐渐减小, 溶解度逐渐增大, 高温持水能力得到改善; 另外, 超微粉碎处理提高了莲子心粉提取液的抗氧化能力(还原能力、超氧阴离子清除能力、DPPH 自由基清除能力、羟自由基清除能力), 增加了相关抗氧化活性物质(总酚、总黄酮)的溶出量。因此, 超微粉碎处理改善了莲子心粉体的理化性质, 提高了其抗氧化功效及活性物质含量。超微粉碎技术在很好地保证其有效功效成分的同时, 也使莲子心的加工适用性产生了较大的变

化,改善了莲子心的理化性质,使莲子心及其制品更利于制作和保存,提高其自身抗氧化性能,在食品加工、运输和贮藏等环节中具有重要意义。

参考文献

- [1] 李文阳, 杨世平, 何平均, 等. 莲心保健茶的研制[J]. 湖南农业科学, 2003, 3: 56-58.
- Li WY, Yang SP, He PJ, *et al.* Research and developmnt of the lotus seed core (embryo) health protection tea [J]. Hunan Agric Sci, 2003, 3: 56-58.
- [2] 中国药典. 一部[S]. 2010: 256.
- Chinese pharmacopoeia. First Part [S]. 2010: 256.
- [3] 曾建伟, 吴锦忠, 张书娟. 莲子心药学研究进展[J]. 福建中医学院学报, 2005, 15: 40-42.
- Zeng JW, Wu JZ, Zhang SJ. Reaearch process on pharmaceutical activity of *Nelumbo nucifera* [J]. J Fujian College Trad Chin Med, 2005, 15: 40-42.
- [4] 张京梅, 李鹏跃, 王岚, 等. 莲子心总生物碱的提取分离及药效学初步研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2009, 15(6): 26-28.
- Zhang JM, Li PY, Wang L, *et al.* Extraction and separation of total alkaloids of *Nelumbo Nucifera* and its pharmaceutical activity [J]. Chin J Exper Trad Med Form, 2009, 15(6): 26-28.
- [5] 刘萍, 黄颖, 胡本容, 等. 甲基莲心碱对大鼠肝 CYP450 酶含量及 CYP2D1, CYP3A1, CYP2E1 mRNA 的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2010, 16(10): 161-165.
- Liu P, Huang Y, Hu BR, *et al.* Effect of neferine on CYP450 total enzyme and CYP3A1, CYP2D1, CYP2E1 mRNA in rats [J]. Chin J Exper Trad Med Form, 2010, 16(10): 161-165.
- [6] 宋金春, 李娟, 叶鹏. 正交试验法优选莲子心中甲基莲心碱提取工艺的研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2010, 16(16): 18-20.
- Song JC, Li J, Ye P. Separation of neferine from total alkaloids of *Nelumbo nucifera* [J]. Chin J Exper Trad Med Form, 2010, 16(16): 18-20.
- [7] 刘树立, 王华. 超微粉碎技术的优势及应用进展[J]. 干燥技术与设备, 2007, 5(1): 375-381.
- Liu SL, Wang H. Application and research of superfine grinding technique in food industry [J]. Dry Technol Equip, 2007, 5(1): 375-381.
- [8] Song LL, Fan BY, Jiang SZ. Probe into characteristics of taraxacum mongolicum ultramicro-power [J]. J Chin Chem Soc, 2002, 1: 12-15.
- [9] Zhang MC, Zhang J, Shrestha S. Study on the preparation technology of superfine ground powder of agrocybe chaxingu huang [J]. J Food Eng, 2005, 3: 333-337.
- [10] Zhao XY, Yang ZB, Gai GS, *et al.* Effect of superfine grinding on properties of ginger powder [J]. J Food Eng, 2009, 2: 217-222.
- [11] Li M, Zhang JH, Zhu KX, *et al.* Effect of superfine green tea powder on the thermodynamic, rheological and fresh noodle making properties of wheat flour [J]. Fuel Proc Technol, 2012, 1: 23-28.
- [12] Hu JH, Chen YQ, Ni DJ. Effect of superfine grinding on quality and antioxidant property of fine green tea powders [J]. LWT-Food Sci Technol, 2012, 45: 8-12.
- [13] Zhu K, Huang S, Peng W, *et al.* Effect of ultrafine grinding on hydration and antioxidant properties of wheat bran dietary fiber [J]. Food Res Int, 2010, 4: 943-948.
- [14] 傅茂润, 陈庆敏, 刘峰, 等. 超微粉碎对糯米理化性质和加工特性的影响. 中国食物与营养, 2011, 17(6): 46-50.
- Fu MR, Chen QM, Liu F, *et al.* Effects of superfine grinding on physical-chemical characteristics and processing properties of glutinous rice [J]. Food Nutr China, 2011, 17(6): 46-50.
- [15] Ileleji KE, Zhou B. The angle of repose of bulk corn stover particles [J]. Powder Technol, 2008, 187: 110-118.
- [16] Taser OF, Altuntas E, Ozgoz E. Physical properties of hungarian and common vetch seeds [J]. J Appl Polym Sci, 2005, 5(2): 323-326.
- [17] 陈全斌, 汤桂梅, 义祥辉. 罗汉果块根淀粉的提取及其性质研究[J]. 食品科学, 2002, 23(4): 37-41.
- Chen QB, Tang GM, Yi XH. Study on the extraction and purification process of starch of siaritia gorsvenoriis root [J]. Food Sci, 2002, 23(4): 37-41.
- [18] 祁国栋, 张炳文, 张桂香, 等. 超微细处理对糯玉米淀粉加工特性影响的研究[J]. 食品科技, 2010, 35(3): 249-252.
- Qi GD, Zhang BW, Zhang GX, *et al.* Effects of superfine grinding on process property of waxy corn starch [J]. Food Sci Technol, 2010, 35(3): 249-252.
- [19] Villano D, Fernandez-Pachon MS, Moya ML, *et al.* Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical [J]. Talanta, 2007, 71(1): 230-235.
- [20] 王威, 左双海, 程超. 贡水白柚柚皮乙醇提取物的体外抗氧化作用[J]. 食品科学, 2010, 31(15): 143-148.
- Wang W, Zuo SH, Cheng C. *In vitro* antioxidant effect of ethanol extract from Gongshui white pomelo peel [J]. Food Sci, 2010, 31(15): 143-148.
- [21] 王瑞新. 烟草化学品质分析法[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1998.
- Wang RX. Chemical quality analysis of tobacco [M]. Zhengzhou:

- Henan Science and Technology Publishers, 1998.
- [22] Jia ZS, Tang MC, Wu JM. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals [J]. Food Chem, 1999, 64(4): 555–559.
- [23] Santomaso A, Lazzaro P, Canu P. Powder flowability and density ratios: the impact of granules packing [J]. Chem Eng Sci, 2003, 58: 2857–2874.
- [24] Zhao XY, Yang AB, Gai GS, *et al.* Effect of superfine grinding on properties of ginger powder [J]. J Food Eng, 2009, 91: 217–222.
- [25] 潘思轶, 王可兴, 刘强. 不同粒度超微粉碎米粉理化特性研究 [J]. 食品科学, 2004, 25(5): 58–62.
- Pan SY, Wang KX, Liu Q. Study on physical and chemical properties of different sizes rice powder [J]. Food Sci, 2004, 25(5): 58–62.
- [26] Soares AA, De Souza CGM, Daniel FM, *et al.* Antioxidant activity and total phenolic content of *Agaricus brasiliensis* (*Agaricus blazei* Murrill) in two stages of maturity [J]. Food Chem, 2009, 112: 775–781.
- [27] Chen Y, Fan GR, Wu HL, *et al.* Separation, identification and rapid determination of liensine, isoliensinine and neferine from embryo of the seed of *Nelumbo Nucifera* GAERTN by liquid chromatography coupled to diode array detector and tandem mass spectrometry [J]. J Pharm Biomed Anal, 2007, 43(1): 99–104.
- [28] 张先洲, 蔡鸿生, 周延安, 等. 高效液相色谱法测定莲子心中 3 种生物碱的含量 [J]. 药物分析杂志, 1997, 17(2): 110–111.
- Zhang XZ, Cai HS, Zhou YA, *et al.* Determination of three alkaloids in embryo bud and embryo root of *Nelumbo nucifera* Gaertn by HPLC [J]. Chin J Pharm Anal, 1997, 17(2): 110–111.
- [29] 王辉, 孙春艳, 刘刚. 异莲心碱的体外抗氧化活性 [J]. 中国生化药物杂志, 2005, 26(1): 21–23.
- Wang H, Sun CY, Liu G. Antioxidative effect of isoliensinine *in vitro* [J]. Chin J Biochem Pharm, 2005, 26(1): 21–23.
- [30] Khlebnikov AI, Schepetkin IA, Domina NG, *et al.* Improved quantitative structure-activity relationship models to predict antioxidant activity of flavonoids in chemical, enzymatic, and cellular systems [J]. Bioorg Med Chem, 2007, 15(4): 1749–1770.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介

代红飞, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品加工技术。
E-mail: dhfly26@163.com



傅茂润, 博士, 副教授, 主要研究方向为农产品加工技术。
E-mail: skyfmr@163.com