

粉碎细度对桑叶粉功能成分溶出的影响

Effect of crushing fineness on the chemical properties of mulberry leaves powder

李玲¹ 丁晓雯² 赵威¹ 张高军¹ 黄先智³

LI Ling¹ DING Xiao-wen² ZHAO Wei¹ ZHANG Gao-jun¹ HUANG Xian-zhi³

(1. 西南大学生物技术学院, 重庆 400715; 2. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715;

3. 西南大学蚕学与生物系统研究所, 重庆 400715)

(1. College of Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China;

3. State Key Laboratory of Silk-worm Genomic Biology, Chongqing 400715, China)

摘要:对3种细度(细粉、微粉和超微粉)的桑叶粉进行了粒径、显微结构与功能成分溶出的测定。结果表明:与桑叶粗粉相比,桑叶微粉和超微粉的平均粒径分别减小86.82%, 91.39%。桑叶粉中主要功能成分的最大溶出量变化为:DNJ(1-脱氧野尻霉素)分别增大107.86%, 118.75% ($P < 0.01$); 黄酮分别增大28.47%, 31.86% ($P < 0.05$); 总酚分别增大0.40%, 4.91%; 多糖分别增大18.86%, 36.57% ($P < 0.05$); 氨基酸态氮分别增大20.00%, 45.00% ($P < 0.05$); 可溶性膳食纤维分别增大3 998.31%, 6 809.12% ($P < 0.01$); 总膳食纤维分别增大324.84%, 554.92% ($P < 0.01$); 不溶性膳食纤维分别减小53.31%, 86.59% ($P < 0.01$)。粉碎有利于桑叶粉功能成分的溶出。

关键词:桑叶; 细度; 功能成分

Abstract: The particle size, microstructure and dissolution of functional components of mulberry leaf powder with different fineness were measured. The three kinds of mulberry leaf powder were obtained, fine powder, micro powder, and superfine powder. Compared with fine mulberry leaf powder, the average particle size of micro mulberry leaf powder and superfine powder decreased by 86.82% and 91.39% respectively. The content of DNJ (1-deoxynojirimycin) increased by 107.86% and 118.75% ($P < 0.01$), and the content of total phenolics increased by 0.40% and 4.91%. Moreover, the

content of polysaccharides increased by 18.86% and 36.57% ($P < 0.01$), and the content of flavonoids increased by 28.47% and 31.86% ($P < 0.05$), with the contents of amino acid nitrogen increased by 20.00% and 45.00%. The Soluble dietary and total dietary fiber increased by 3 998.31% and 6 809.12%, 324.84% and 554.92% ($P < 0.01$). Insoluble dietary fiber decreased by 53.31% and 86.59% ($P < 0.01$). Therefore, the fine pulverization increases the amount of the functional properties dissolution.

Keywords: mulberry leaf; physical properties; functional components

桑叶为桑科植物桑(*Morus alba* L.)的叶,现代药理研究^[1]证明,桑叶含有黄酮、多酚、多糖、氨基酸、DNJ、膳食纤维等活性物质,有降血糖、降血脂、降血压、抗氧化、抗菌和抗病毒等多种药理活性。目前中国的桑叶类保健产品主要是桑叶茶、桑叶咀嚼片、桑叶干粉、桑叶挂面等,不为大众所熟知^[2],桑叶开发尚有巨大的发展空间。

桑叶的细胞壁结构使桑叶中的活性成分要经过浸润、溶胀、渗透和扩散等几个步骤才可以溶出^[3],限制了桑叶有效成分的利用率,将桑叶粉碎是提高其溶出率的有效途径^[4]。超微粉碎是指将物料粉碎至10~25 μm大小颗粒的新技术,可以加快功能成分溶出效率^[5]。研究^[6-7]表明,超微粉碎可以显著降低桑叶粉粒径,增加蛋白质、多糖与钙溶解性,但对其他有效成分的研究较少。

本试验通过研究3种细度桑叶粉的DNJ、黄酮、总酚、多糖、氨基酸和膳食纤维的溶出情况,为其大规模开发利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验原料

桑叶粉:3种细度的胜利大叶桑叶粉,由西南大学家蚕

基金项目:国家现代农业(蚕桑)产业技术体系建设专项(编号: CARS-22-ZJ0503)

作者简介:李玲,女,西南大学在读硕士研究生。

通信作者:张高军(1963—),男,西南大学生物技术学院副教授,硕士生导师,学士。E-mail: czh005@swu.edu.cn

黄先智(1965—),男,西南大学蚕学与生物系统研究所副教授,博士。E-mail: popo1166@126.com

收稿日期:2018-01-03

基因组生物学重点实验室提供。

1.2 试验试剂与仪器

DNJ 标准品、芦丁标准品、没食子酸标准品:北京世纪奥科生物技术有限公司;

高效液相色谱仪:LC-20A 型,日本岛津公司;

全自动凯氏定氮仪:UDK132 型,意大利 VELP 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 粒径分布与显微结构的测定 取 0.01 g 桑叶粉样品置于载玻片上,滴 1 滴稀甘油分散,使用显微镜法测量粒径并观察纤维特征^[8]。

1.3.2 DNJ 的测定

(1) 配制 1-DNJ 标准溶液:0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 $\mu\text{g/mL}$ 。

(2) 制备待测样品:每个待测样本称取 6 份,每份 0.5 g,分别加入 35 mL 超纯水,80 $^{\circ}\text{C}$ 水浴浸提 20,40,60,80,100,120 min(每 20 min 振摇 1 次),使用 10~15 μm 孔径的慢速定性滤纸抽滤,滤渣再加 15 mL 超纯水重复提取 1 次,合并 2 次滤液用超纯水定容至 50 mL。DNJ 测定方法参考文献^[9]。

1.3.3 黄酮的测定

(1) 配置芦丁标准溶液:0, 50, 150, 250, 350, 450 $\mu\text{g/mL}$ 。

(2) 制备待测样品:每个待测样本称取 6 份,每份 1.0 g,加入 30 mL 甲醇,60 $^{\circ}\text{C}$ 水浴条件下分别浸提 10,20,30,40,50,60 min,10~15 μm 孔径的慢速定性滤纸抽滤,滤渣再重复提取 2 次,合并滤液,以甲醇定容至 100 mL。黄酮测定方法参考文献^[10]。

1.3.4 总酚的测定

(1) 配置没食子酸标准溶液:0.00,0.02,0.04,0.06,0.08,0.10,0.12,0.14,0.16 mg/mL 。

(2) 制备待测样品:每个桑叶样品准确称取 6 份,每份 1.0 g,加入 100 mL 纯水摇匀,室温分别浸提 0.5,1.0,1.5,2.0,2.5,3.0 h,10~15 μm 孔径的慢速定性滤纸抽滤,纯水定容至 100 mL。总酚测定方法参考文献^[11]。

1.3.5 多糖的测定

(1) 配制葡萄糖标准溶液:1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 $\mu\text{g/mL}$ 。

(2) 制备待测样品:每个样称取 6 份,每份 0.25 g,加入 25 mL 的沸纯水,80 $^{\circ}\text{C}$ 水浴提取 20,40,60,90,120,180 min,10~15 μm 孔径的慢速定性滤纸抽滤,取滤液用纯水定容至 25 mL。取 1.0 mL 滤液于 50 mL 容量瓶中,用纯水定容。多糖测定方法参考文献^[12]。

1.3.6 氨基酸态氮的测定 按 GB/T 5009.235—2016 执行。

1.3.7 膳食纤维的测定 按 GB 5009.88—2014 执行。

1.4 数据分析

试验结果用 $\bar{X} \pm S$ 表示,所得数据用 Excel 2013 和 SPSS 19.0 进行统计分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同细度桑叶粉的粒径与显微形态

2.1.1 粒径 粉碎可以分为粗粉碎、细粉碎、微粉碎、超微粉碎,其成品粒度分别为 5~10 mm、0.1~5.0 mm、<100 μm 、10~25 μm ^[13]。本试验所用桑叶粉的粒径分布见表 1。

表 1 桑叶粉的粒径

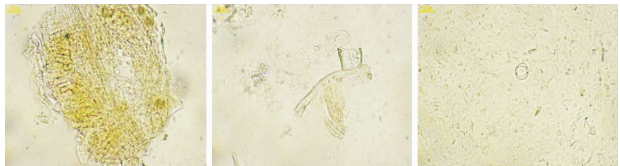
Table 1 The particle size of mulberry leaves

编号	D10%/ μm	D50%/ μm	D90%/ μm	峰度	全距/ μm
1	15.73	101.00	326.40	1.78	595.00
2	6.56	13.31	34.27	2.90	67.00
3	4.37	8.70	18.70	5.05	41.00

根据粒径分析的结果,细粉、微粉和超微粉的 D50% 分别为 101.00,13.31,8.70 μm ,3 种桑叶粉分别符合细粉碎、微粉碎和超微粉碎的成品粒度级别,可以将桑叶粉 1 号归为细粉、2 号归为微粉,3 号归为超微粉。

与细粉比较,微粉、超微粉的粒径分别减小 58.30%,72.22%;微粉和超微粉的峰度分别增大 62.92%,183.71%,峰度增大表示粉碎后粉体粒径分布更集中。粉碎后微粉与超微粉粒径的全距分别减小 88.74%,93.11%,表示粉碎后粉体粒径的分布范围更狭窄,粉体更均匀。

2.1.2 显微形态 图 1 显示,在显微镜下桑叶细粉中可见较大的组织块,这些组织块由很多结构完整的细胞组成,表示细粉的粉碎未达到使细胞破碎的程度;微粉中偶见多细胞的组织残片,少量的细胞碎片散布周围,达到部分细胞破碎的程度;而超微粉中未见细胞群,只有散落的细胞残片,没有完整的细胞结构存在,达到了细胞破碎级别。



(a) 桑叶细粉 (b) 桑叶微粉 (c) 桑叶超微粉

图 1 3 种桑叶粉的显微形态

Figure 1 Microscopic morphology of three kinds of mulberry leaf ($\times 200$)

2.2 不同细度桑叶粉的化学成分溶出量

2.2.1 DNJ 溶出量 DNJ 是在桑树中发现的一种生物碱,已被证明可以通过抑制 α -葡萄糖苷酶、己糖激酶、葡萄糖醛酸酶和糖原磷酸酶等糖代谢酶,显著延缓多糖的降解过程^[14],有降血糖、抗病毒和抗肿瘤转移的作用^[15]。测定了 3 个不同细度桑叶粉的 DNJ 溶出量,进行了 3 次重复,结果见图 2 与表 2。

如图 2 所示,在各个提取时间,超微粉和微粉的 DNJ 溶出量都高于细粉。表 2 显示,与桑叶细粉相比,微粉、超微粉的 DNJ 平均溶出量与最大溶出量均极显著增大($P < 0.01$);与微粉相比,超微粉的最大溶出量显著增大($P < 0.05$),但二者的平均溶出量无显著性差异($P > 0.05$)。表明粉碎可以提

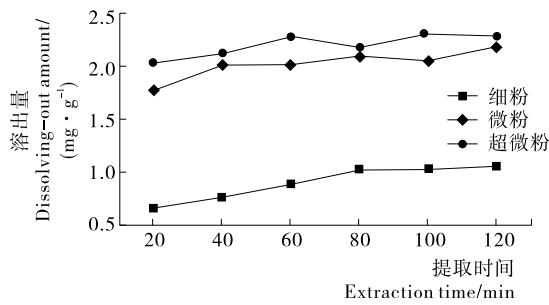


图 2 不同细度桑叶粉 DNJ 的溶出量

Figure 2 Contents of DNJ in different fineness mulberry leaf

表 2 不同细度桑叶粉 DNJ 溶出数据统计[†]

Table 2 The data statistics of DNJ dissolves

分组	平均溶出量/ (mg · g ⁻¹)	最大溶出量/ (mg · g ⁻¹)	与提取时间 相关系数	相关显著 性(P 值)
细粉	0.90±0.15 ^A	1.06±0.01 ^A	0.952	0.000
微粉	2.02±0.73 ^B	2.18±0.03 ^{Ba}	0.526	0.025
超微粉	2.20±0.16 ^B	2.28±0.04 ^{Bb}	0.104	0.682

[†] 同列不同大写字母表示差异极显著(P<0.01),不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

高桑叶粉的 DNJ 溶出量。

图 2 显示,随着提取时间的延长,细粉的 DNJ 溶出呈现先增加后趋于平缓的趋势,微粉和超微粉的 DNJ 溶出初始阶段增幅比细粉小,提取时间的延长对 DNJ 溶出影响不大。表 2 显示,细粉中的 DNJ 溶出与提取时间极显著相关,相关系数为 0.952,微粉的 DNJ 溶出与提取时间极显著相关,相关系数比细粉小,为 0.526,超微粉的 DNJ 溶出与提取时间没有显著性相关关系。表明粉碎可以使桑叶粉的 DNJ 在较短时间内达到溶出峰值。

2.2.2 黄酮溶出量 黄酮类物质是桑叶的主要活性成分之一,被证明具有明显的降血脂、降血糖、降血压、抗氧化作用^[16],对于高脂血症诱导的糖尿病及心血管系统疾病有一定防治作用^[17]。测定了 3 个不同细度桑叶粉的黄酮溶出量,进行了 3 次重复,结果见图 3 与表 3。

图 3 显示,在不同提取时间,桑叶细粉、微粉、超微粉的黄酮溶出量始终呈现出细粉<微粉<超微粉,超微粉的黄酮溶出量始终大约是细粉的 2 倍。由表 3 可知,3 种细度的桑叶粉的黄酮平均溶出量在各提取时间内的均值均有极显著性差异(P<0.01);微粉和超微粉的黄酮最大溶出量都极显著大于细粉的(P<0.01),但二者之间无显著性差异(P>0.05)。表明粉碎可以提高桑叶粉的黄酮溶出量。由图 3 可知,随着提取时间的延长,3 种细度桑叶粉的黄酮溶出量均呈现出先增加后趋于平缓的趋势,提取时间在 40 min 后,3 种桑叶粉的黄酮溶出量稳定在了最大值。微粉的黄酮溶出量在提取时间为 30 min 内与细粉接近,40 min 后与超微粉接近。表 3 还可以看到,三者的黄酮溶出量与提取时间都极显著相关(P<0.01),但细粉的相关系数大于微粉和超微粉的。表明粉碎可以提高桑叶粉中黄酮的溶出效率。

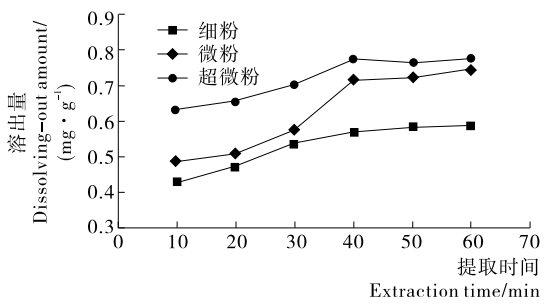


图 3 不同细度桑叶粉的黄酮溶出量

Figure 3 Contents of flavone in different fineness mulberry leaf

表 3 不同细度桑叶粉黄酮溶出数据统计[†]

Table 3 The data statistics of flavone dissolves in different fineness mulberry leaf

分组	平均溶出量/ (mg · g ⁻¹)	最大溶出量/ (mg · g ⁻¹)	与提取时间 相关系数	相关显著 性(P 值)
细粉	0.53±0.07 ^A	0.59±0.03 ^A	0.924	0.000
微粉	0.63±0.11 ^B	0.75±0.02 ^B	0.876	0.000
超微粉	0.72±0.07 ^C	0.78±0.03 ^B	0.831	0.000

[†] 同列不同大写字母表示差异极显著(P<0.01),不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

2.2.3 总酚溶出量 桑叶中的多酚类化合物可以清除体内过剩的自由基,防止细胞组织受到氧化伤害,达到抗衰老、抗辐射、防治肿瘤及增加机体免疫力等效果^[18]。测定了 3 个不同细度桑叶粉的总酚溶出量,进行了 3 次重复,结果见图 4 与表 4。

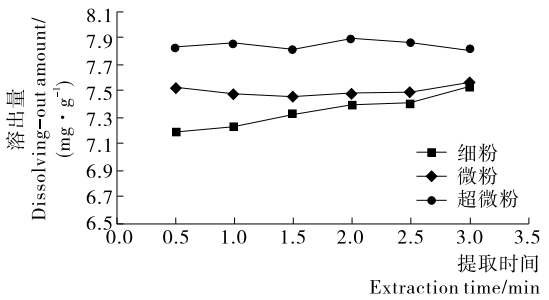


图 4 不同细度桑叶粉的总酚溶出量

Figure 4 Contents of total phenols in different fineness mulberry leaf

表 4 不同细度桑叶粉总酚溶出数据统计[†]

Table 4 The data statistics of total phenols dissolves in different fineness mulberry leaf

分组	平均溶出量/ (mg · g ⁻¹)	最大溶出量/ (mg · g ⁻¹)	与提取时间 相关系数	相关显著 性(P 值)
细粉	7.35±0.16 ^A	7.53±0.07 ^a	0.709	0.001
微粉	7.50±0.09 ^B	7.57±0.12	0.161	0.523
超微粉	7.84±0.09 ^C	7.80±0.14 ^b	0.024	0.923

[†] 同列不同大写字母表示差异极显著(P<0.01),不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

由图4可知,在不同的提取时间下,桑叶粉的总酚溶出始终遵循细粉<微粉<超微粉的规律。表4显示,3种细度的桑叶粉总酚的平均溶出均有极显著性差异($P<0.01$);超微粉的总酚最大溶出量显著高于细粉($P<0.05$)的。表明粉碎可以增大桑叶粉中的总酚在各提取时间内的平均溶出量,对其最大溶出量影响较小。

图4与表4显示,细粉的总酚溶出量与提取时间极显著相关($P<0.01$),提取时间越长总酚溶出量越大;而微粉和超微粉的总酚溶出量与提取时间没有显著相关关系($P>0.05$),在初始提取时间(0.5 h)即可达到溶出峰值。因此,粉碎可以使桑叶总酚在较短时间达到最大溶出量,提高溶出效率。

2.2.4 多糖溶出量 桑叶多糖具有显著的调节糖代谢、降血糖和抑制血脂升高的作用^[19],而且具有抗氧化性,对DPPH·和OH·具有显著清除作用^[20]。测定了3个不同细度桑叶粉的多糖溶出量,进行了3次重复,结果见图5与表5。

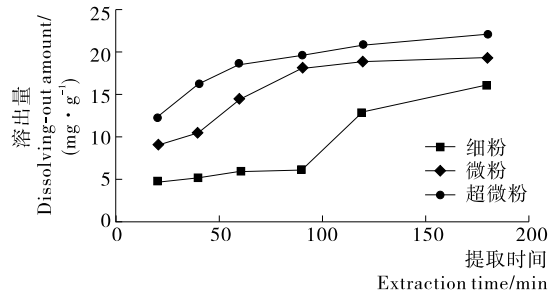


图5 不同细度桑叶粉的多糖溶出量

Figure 5 Contents of polysaccharide in different fineness mulberry leaf

表5 不同细度桑叶粉多糖溶出数据统计[†]

Table 5 The data statistics of polysaccharide dissolves in different fineness mulberry leaf

分组	平均溶出量/ (mg·g ⁻¹)	最大溶出量/ (mg·g ⁻¹)	与提取时间 相关系数	相关显著 性(P值)
细粉	8.55±4.54 ^A	16.17±0.53 ^A	0.893	0.000
微粉	15.09±4.19 ^{Ba}	19.21±0.42 ^{Ba}	0.950	0.000
超微粉	18.27±3.44 ^{Bb}	22.08±0.94 ^{Bb}	0.939	0.000

[†] 同列不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图5显示,粒度越小,桑叶粉中的多糖溶出量越多,呈现细粉<微粉<超微粉的规律。从表5中可以看到,微粉和超微粉的多糖平均溶出量与最大溶出量均极显著大于细粉($P<0.01$),超微粉的多糖平均溶出量与最大溶出量均显著大于微粉($P<0.05$)。表明粉碎可以提高桑叶粉中多糖的溶出量。

随着提取时间的延长,各细度桑叶粉的多糖溶出量均有不同程度上升,细粉的多糖溶出量在提取时间终点180 min时趋于平衡,而微粉、超微粉分别在90,60 min时趋于平衡,因此达到平衡所需要的时间细粉>微粉>超微粉,显示粉碎可以加快多糖溶出速率。

DNJ、黄酮、总酚、多糖的溶出量经过粉体提高的原因可能是:①小颗粒与溶剂的接触面积较大,在相同的时间内可以溶出更多的有效成分;②桑叶粉中的有效成分在溶出的过程中,首先需要吸水溶胀,然后通过简单扩散的方式逐步扩散到浓度较低的外层细胞,若颗粒较大,则其中的有效成分需要经过几十层的“障碍”才可以溶出至溶剂,简单扩散的速度依赖于各级细胞间的浓度差,达到溶出最大值时简单扩散不再发生,溶剂与各级细胞间浓度差消失,细胞内的有效成分浓度等于溶剂内的有效成分浓度,过滤后,滤渣中残留的有效成分会损失。超微粉碎使细胞破碎,这些破碎的细胞没有胞内浓度差,在溶出终点过滤的时候不会截留有效成分。因此增大了DNJ、黄酮、总酚、多糖的最大溶出量。

2.2.5 氨基酸态氮溶出量 桑叶中含有丰富的氨基酸,干物质中的含量约为21%~27%^[21]。测定了3个不同细度桑叶粉的氨基酸态氮溶出量,进行了3次重复,结果见表6。

表6 不同细度桑叶粉的氨基酸态氮溶出量[†]

Table 6 Contents of amino acid nitrogen in different fineness mulberry leaf

分组	氨基酸态氮溶出/(10 ⁻² g·g ⁻¹)
细粉	0.20±0.00 ^A
微粉	0.24±0.00 ^B
超微粉	0.29±0.01 ^C

[†] 同列不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

由表6可知,3种细度桑叶粉的氨基酸态氮溶出均有极显著性差异($P<0.01$),粉碎提高了桑叶粉的氨基酸态氮溶出量。桑叶中大部分的氨基酸以蛋白质大分子的形式存在,游离的氨基酸比较少,经过粉碎后部分大分子的蛋白质结构遭到破坏,释放出了游离氨基酸,有利于动物对于氨基酸的吸收。

2.2.6 膳食纤维含量 测定了3个不同细度桑叶粉的膳食纤维含量,进行了3次重复,结果见表7。

表7 不同细度桑叶粉的膳食纤维含量[†]

Table 7 Dietary fiber content of different fineness mulberry leaf powder

分组	可溶性膳食纤维	不可溶性膳食纤维	总膳食纤维
细粉	5.74±0.27 ^A	0.59±0.06 ^A	6.32±0.33 ^A
微粉	2.68±0.23 ^B	24.18±1.31 ^B	26.85±1.53 ^B
超微粉	0.77±0.08 ^C	40.65±0.84 ^C	41.42±0.93 ^C

[†] 同列不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表7显示,随着桑叶粉细度的减小,总膳食纤维(DF),可溶性膳食纤维(SDF)含量增大,不溶性膳食纤维(IDF)含量减小,三者均具有极显著性差异($P<0.01$)。显示粉碎可以增加膳食纤维与可溶性膳食纤维含量,减少不溶性膳食纤维含量。

原因可能是不溶的大分子IDF结构在粉碎过程中遭到

破坏,转变为可溶的小分子 SDF,因此 IDF 含量减少,而 SDF 含量增大;还可能是粉碎破坏了植物细胞结构,使得 SDF 更容易在膳食纤维测定中的酶解过程解离出来,造成 SDF 含量增加。

3 结论

粉碎可以使桑叶粉中 DNJ、黄酮、总酚、多糖的溶出量显著增大($P<0.05$),氨基酸态氮、可溶性膳食纤维、总膳食纤维含量显著增大($P<0.05$),不溶性膳食纤维含量减小($P<0.05$)。综上,粉碎有利于桑叶粉的有效成分溶出,提高桑叶粉利用率。但是,本研究中不同成分溶出情况是在该成分的最佳提取试剂中测定的,在人体胃肠道中溶出的情况还需要进一步探讨。

参考文献

- [1] 高欣妍,王海英,刘志明.桑叶化学成分及药用功效研究进展[J].广东化工,2017,44(6):82-83.
- [2] 李林,苏小军,李清明,等.桑叶在食品中的应用研究[J].食品研究与开发,2017,38(13):217-220.
- [3] HUANG Fang, GUO Li-wei, YUAN Hong-yu, et al. Effect of ultrafine powder technique on absorption and distribution of er-miao pill [J]. Journal of Nanjing University of Traditional Chinese Medicine, 2002, 8(4): 216-218.
- [4] VINCENT R, ROBERTS A M, PERKINS A C, et al. Effect of bran particle size on gastric emptying and small bowel transit in humans: a scintigraphic study[J]. Gut, 1995, 37(2): 216-219.
- [5] ZHAO Xiao-yan, YANG Zai-bin, GAI Guo-sheng, et al. Effect of superfine grinding on properties of ginger powder[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91(2): 217-222.
- [6] CHEN Guang-jin, WANG Li-sha, ZHANG Fu-sheng, et al. Effect of superfine grinding on physicochemical properties of mulberry leaf powder[J]. Transactions of the Chinese Society of

Agricultural Engineering, 2015, 31(24): 307-314.

- [7] 李翠玲.冬桑叶超微粉的制备及其性质的研究[D].重庆:西南大学,2012:38-46.
- [8] 郑雪花.桑叶超微粉的粒度检测与质量评价[D].长沙:湖南中医学院,2005:6-7.
- [9] 秦樱瑞,曾艺涛,杨娟,等.干燥方式对桑叶降糖活性成分含量的影响[J].食品科学,2015,36(17):71-76.
- [10] 黄健,闵星,陆春燕.主要桑品种桑叶黄酮化合物含量的比较分析[J].江苏蚕业,2013,35(2):12-14.
- [11] 张亮亮,汪咏梅,徐曼,等.不同品种桑叶多酚和黄酮含量变化规律研究[J].时珍国医国药,2013,24(5):1064-1066.
- [12] 赵东晓,董亚茹,杜建勋,等.桑叶多糖的含量影响因素与提取检测方法[J].北方蚕业,2016,37(2):1-5.
- [13] 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].食品与发酵科技,2006,42(6):5-7.
- [14] 李有贵,钟石,吕志强,等.桑叶 1-脱氧野尻霉素(DNJ)对 α -蔗糖酶的抑制动力学研究[J].蚕业科学,2010,36(6):885-888.
- [15] 邹湘月,李飞鸣,邵元元,等.桑叶中 1-脱氧野尻霉素(DNJ)研究进展[J].安徽农业科学,2015(23):6-8.
- [16] 李明聪,杨丹,郭英,等.桑叶中黄酮类化学成分及药理作用研究进展[J].辽宁中医杂志,2012(2):377-380.
- [17] 江正菊,宁林玲,胡霞敏,等.桑叶总黄酮对高脂诱导大鼠高血脂及高血糖的影响[J].中药材,2011,34(1):108-111.
- [18] 赵洁.桑叶多酚类物质的提取及桑色素的急性毒性和辐射损伤防护作用的研究[D].北京:北京协和医学院中国医学科学院,北京协和医学院,中国医学科学院,清华大学医学部,2015:37-40.
- [19] 陈建国,步文磊,来伟旗,等.桑叶多糖降血糖作用及其机制研究[J].中草药,2011,42(3):515-520.
- [20] 王世宽,张代芳,陈欲云.桑叶多糖提取及抑菌实验研究[J].四川理工学院学报:自科版,2016,29(6):1-5.
- [21] 王芳,乔璐,张庆庆,等.桑叶蛋白氨基酸组成分析及营养价值评价[J].食品科学,2015,36(1):225-228.

(上接第 133 页)

4 结论

本研究将苹果投影面积以及周长的最小外接圆面积比值作为圆形度,避免了圆形度判断的不确定性,改进粒子群算法通过广义钟形分布隶属函数对惯性权重控制、Z 形隶属函数对粒子位置自适应调节,对获取的苹果数据计算和仿真,相比基本粒子群算法获得圆形度最佳值的迭代次数减少许多,苹果圆形度检测正确率有所提高,能通过该方法进行苹果圆形度机器检测,研究中如何使得粒子群寻优迭代与检测正确率建立动态适应关系有待进一步改进,未来可通过苹果圆形度模型予以解决。

参考文献

- [1] 王丹丹,宋怀波,何东健.苹果分级机器人视觉系统研究进展[J].农业工程学报,2017,33(10):59-69.
- [2] 张健,张莉华.基于改进二进制粒子群算法的苹果多特征提取分级研究[J].浙江农业学报,2016,28(9):1609-1615.

- [3] 袁金丽,吉海彦,郭志涛.基于计算机视觉的苹果表面缺陷识别方法[J].农业网络信息,2005(6):10-13.
- [4] 陈乾辉,吴德刚.一种新型苹果果实特征提取算法[J].食品与机械,2018,34(2):124-128.
- [5] 冯斌,汪愈华.基于计算机视觉的水果大小检测方法[J].农业机械学报,2003,34(1):73-75.
- [6] 殷蓉,高珏,孟国飞,等.一种应用圆形度的番茄形状分级方法[J].常熟理工学院学报,2013,27(4):100-103.
- [7] 李卓,杨子敬,郝建唯,等.苹果幼果图像的分割与识别算法研究[J].沈阳理工大学学报,2015,34(1):34-39.
- [8] 李思广.基于计算机视觉的杨梅自动检测分级[J].农机化研究,2018(9):39-42.
- [9] 朱蓓.苹果全表面图像信息获取方法的研究[D].杭州:浙江大学,2013:20-40.
- [10] 王福杰.运动水果的形状描述方法与在线检测技术[D].杭州:浙江大学,2013:35-45.
- [11] 薛爱军,王晓丹.基于子类划分和粒子群优化的自适应编码多类分类方法[J].控制与决策,2018,33(2):211-218.