

超微粉碎对苹果全粉物化性质的影响

陈如, 何玲*

(西北农林科技大学园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 以苹果为原料, 经粗粉碎后超微粉碎不同时间(1、3、5、10、20、30 min), 共得到苹果粗粉和6种不同粒径苹果全粉, 通过测定其物化性质, 并且利用激光粒度仪和扫描电子显微镜对不同的苹果全粉进行粒径测定和结构观察, 探究不同时间的超微粉碎对苹果全粉物化性质及微观结构的影响。结果表明: 超微粉碎后, 粉体粒径逐渐减小, 粒径分布越来越均匀。与粗粉碎苹果全粉相比, 不同时间超微粉碎后苹果粉体的溶胀性、水溶性、持水力、阳离子交换能力均增大, 容积密度减小($P < 0.05$); 随着超微粉碎时间的延长, 持水力逐渐增大($P < 0.05$), 容积密度、溶胀性未发生显著变化($P > 0.05$); 各处理组间水溶性、阳离子交换能力先增大后未发生显著变化。本实验为苹果深加工提供了参考依据。

关键词: 苹果全粉; 超微粉碎; 粗粉碎; 粒径; 物化性质

Effect of Superfine Grinding on Physicochemical Properties of Apple Powder

CHEN Ru, HE Ling*

(College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Superfine grinding of dried apple slices was conducted for different times (1, 3, 5, 10, 20 and 30 min) after rough grinding. The effect of superfine grinding time on physicochemical properties and microstructure of apple powder was determined. For this purpose, the particle size and structure of apple powder were determined by laser particle size analyzer and scanning electron microscope. The results showed that after superfine grinding, the particle size of apple powder became smaller, and the size distribution became more uniform. Compared with rough grinding, the swelling capacity, water solubility, water-holding capacity and cation exchange capacity of superfine apple powder increased, and the bulk density decreased ($P < 0.05$). With the increase in superfine grinding time, the water-holding capacity increased gradually ($P < 0.05$), the bulk density and swelling capacity did not significantly change ($P > 0.05$), and the water solubility and cation exchange capacity first increased and then remained almost unchanged. This experiment may provide useful data for the utilization and deep processing of apple.

Key words: apple powder; superfine grinding; coarse grinding; particle size; physicochemical properties

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201713025

中图分类号: TS255.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2017)13-0150-05

引文格式:

陈如, 何玲. 超微粉碎对苹果全粉物化性质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(13): 150-154. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201713025. <http://www.spkx.net.cn>

CHEN Ru, HE Ling. Effect of superfine grinding on physicochemical properties of apple powder[J]. Food Science, 2017, 38(13): 150-154. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201713025. <http://www.spkx.net.cn>

苹果 (*Malus pumila* Mill.) 为蔷薇科苹果属果树。苹果含有丰富的营养物质, 是饮食类黄酮和抗氧化剂的主要来源, 富含VC和各种酚类化合物, 苹果具有降低心血管疾病、哮喘、糖尿病发病率, 降低脂质氧化、胆固醇含量等多种保健功效^[1-4]。苹果是我国第一水果, 栽培

面积和产量均居世界第一。目前我国苹果加工产品以浓缩果汁为主, 产能过剩, 严重制约中国苹果加工产业的健康发展^[5-8]。因此, 需要大力开展苹果深加工的应用与推广。苹果加工成粉可以较好地保留苹果原有的营养成分, 不仅可以减少贮藏、运输的空间和能耗, 还可以应

收稿日期: 2016-06-17

基金项目: 西北农林科技大学2015年度试验示范站(基地)科技成果推广专项(Z222021528)

作者简介: 陈如(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为园艺产品贮藏与加工。E-mail: 1556081550@qq.com

*通信作者: 何玲(1965—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为园艺产品贮藏与加工。E-mail: heliurui@nwsuaf.edu.cn

用到食品加工的许多领域,有助于丰富产品类型、提高产品的营养成分、改善产品的风味色泽^[9-10]。

超微粉碎技术是指利用机器或流体动力的途径将物料颗粒粉碎至微米级甚至纳米级的过程^[11],相比较于传统的常规粗粉碎,能够有效改善物料的物理化学性质,从而使物料具有较高的溶解性、持水性、保水力、流动性等多方面有利的新特性,能最大限度地保留粉体的生物活性及各种营养成分,减少有效成分的损失,有利于高品质产品的开发和制备^[12-14]。因此,将超微粉碎技术应用到苹果粉加工中是极具前景的。本实验将干燥后的苹果经粗粉碎后,在不同粉碎时间(1、3、5、10、20、30 min)条件下经冷冻机械式超微粉碎机粉碎,得到苹果粗粉和6种不同粒径分布的苹果超微粉,探讨不同粒径苹果全粉的物理化学特性,以期对苹果的深加工利用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

苹果选用澳洲青苹,购于陕西恒通农业科技发展有限公司。以无病虫害及机械损伤、腐烂的原料作为实验材料。

NaOH、NaCl、HCl、乙醇、95%酚酞等均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

2000型激光粒度分析仪 英国马尔文仪器有限公司; S-4800场发射扫描电子显微镜 日立高新技术公司; 高速万能粉碎机 天津泰斯特仪器有限公司; LWF6型贝利微粉机 济南龙微制药设备有限公司; 3K15型高速冷冻离心机 美国Sigma公司。

1.3 方法

1.3.1 苹果全粉的制备

新鲜苹果清洗切片,100℃条件下进行热烫护色4 min,60℃条件下热风干燥10 h,用高速万能粉碎机进行粗粉碎40 s后过50目筛获得苹果粗粉,以苹果粗粉为对照(CK),然后利用低温超微粉碎机将过筛后的苹果粗粉进行不同时间的超微粉碎,分别设定粉碎时间为1、3、5、10、20、30 min,获得苹果粗粉和6种不同粒径分布的苹果超微粉,密封保存备用,然后分别测定7种粉体的物化指标,实验重复3次。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 粒径测定

用2000型激光粒度分析仪测定粉体的粒径及其粒径分布。

1.3.2.2 扫描电子显微镜观察

将待测样品进行固定,再用离子溅射仪对样品表面进行镀金,将其置于扫描电子显微镜下放大200倍观测全粉形态。

1.3.2.3 容积密度的测定

各样品分别被填充在10 mL的量筒(m_1/g)中,称样品和量筒质量(m_2/g)。容积密度如式(1)计算。

$$\text{容积密度}/(\text{g/mL}) = \frac{m_2 - m_1}{10} \quad (1)$$

1.3.2.4 溶胀性的测定

准确称取1.00 g(m)样品,放入带有刻度的试管中,记录体积 V_1/mL ,加入10 mL蒸馏水,振荡摇匀静置24 h后,记录体积 V_2/mL 。溶胀性如式(2)计算。

$$\text{溶胀性}/(\text{mL/g}) = \frac{V_2 - V_1}{m} \quad (2)$$

1.3.2.5 水溶性的测定

各样品称质量 m_1/g ,然后将样品和水以0.02:1的质量比混合,放在80℃水浴锅中水浴30 min,取出冷却、离心(10 min、6 000 r/min),取其上清液在105℃条件下烘干、称质量 m_2/g 。水溶性如式(3)计算。

$$\text{水溶性}/\% = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

1.3.2.6 持水力的测定

持水力的测定参照文献[15]。称取离心管质量 m/g 和各样品质量 m_1/g ,然后样品和水以0.02:1的质量比混合,放在60℃水浴锅中水浴30 min,取出冷却、离心(20 min、5 000 r/min),倾去上清液,称质量 m_2/g 。持水力如式(4)计算。

$$\text{持水力}/\% = \frac{m_1}{m_2 - m} \times 100 \quad (4)$$

1.3.2.7 阳离子交换能力的测定

阳离子交换能力的测定参照文献[16]。称取0.5 g样品,加0.1 mol/L盐酸10 mL,摇匀,室温条件下放置24 h后用滤纸过滤,用蒸馏水反复清洗除去多余的盐酸,将残渣转移到三角瓶中,加入100 mL 15% NaCl溶液,磁力搅拌30 min,0.5%酚酞乙醇溶液为指示剂,用0.1 mol/L NaOH溶液进行滴定。用蒸馏水代替HCl,测定空白消耗的NaOH的量。

1.4 数据统计与分析

采用Excel软件进行数据计算和作图,采用SPSS软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 苹果粉体的粒径分布

由表1可以看出,粗粉和超微粉体的平均粒径有显著性差异($P < 0.05$),并且随着粉碎时间的延长,粉体平均粒径显著减小($P < 0.05$);粗粉粒径68.92%集中分布在大于100 μm ,超微粉碎后随着粉碎时间的延长,小于100 μm 的颗粒体积分布逐渐减少,粉体粒径分布趋向于

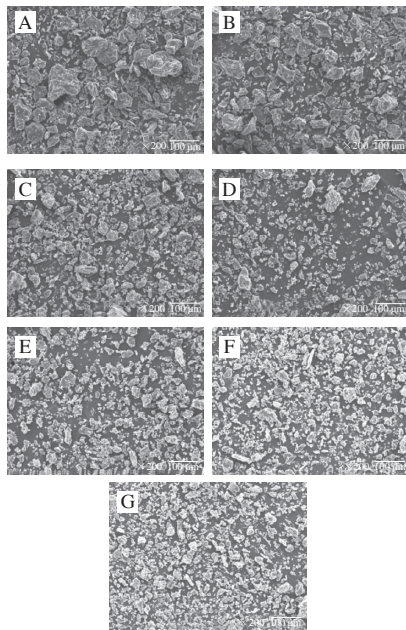
粒径更小的方向。超微粉碎时间为1、3、5 min时, 粒径主要集中在小于100 μm 的区域, 随着超微粉碎处理时间延长, 粒径在小于100 μm 的分布区域逐渐增大, 超微粉碎时间为10、20、30 min时, 粒径主要集中在小于50 μm 的区域, 随着超微粉碎处理时间延长, 粒径在小于50 μm 的分布区域逐渐增大。说明超微粉碎可以显著改善粉体的粒径分布, 有效提高苹果粉体的粉碎程度, 得到更为细腻的粉体。

表1 不同粉碎时间的苹果粉体的粒径分布
Table 1 Particle size distribution of apple powder subjected to superfine grinding for different times

粉碎时间/min	平均粒径/ μm	<20 μm 比例/%	20~50 μm 比例/%	50~100 μm 比例/%	100~200 μm 比例/%	>200 μm 比例/%
对照组	278.016 \pm 0.001 ^a	8.03 \pm 0.01 ^e	10.31 \pm 0.01 ^e	12.74 \pm 0.00 ^b	19.50 \pm 0.00 ^b	49.42 \pm 0.00 ^a
1	122.752 \pm 0.002 ^b	17.32 \pm 0.01 ^f	13.94 \pm 0.01 ^f	23.35 \pm 0.01 ^c	26.20 \pm 0.01 ^a	19.19 \pm 0.00 ^b
3	65.742 \pm 0.001 ^c	22.08 \pm 0.02 ^c	29.96 \pm 0.02 ^c	27.67 \pm 0.03 ^b	16.34 \pm 0.03 ^c	3.95 \pm 0.00 ^c
5	52.963 \pm 0.003 ^d	24.91 \pm 0.01 ^d	34.07 \pm 0.01 ^d	27.87 \pm 0.01 ^a	11.91 \pm 0.01 ^d	1.24 \pm 0.00 ^d
10	42.009 \pm 0.002 ^e	35.44 \pm 0.00 ^e	36.26 \pm 0.00 ^e	21.43 \pm 0.00 ^d	6.85 \pm 0.00 ^e	0.02 \pm 0.00 ^e
20	32.033 \pm 0.003 ^f	35.75 \pm 0.01 ^b	46.57 \pm 0.00 ^b	16.33 \pm 0.02 ^e	1.35 \pm 0.00 ^f	0.00 \pm 0.00 ^e
30	31.297 \pm 0.001 ^g	35.94 \pm 0.00 ^a	48.20 \pm 0.01 ^a	14.91 \pm 0.00 ^f	0.95 \pm 0.01 ^g	0.00 \pm 0.00 ^e

注: 同列肩标小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 苹果粉体的扫描电子显微镜观察



A. 苹果粗粉; B~G. 苹果粉超微粉碎时间分别为1、3、5、10、20、30 min。

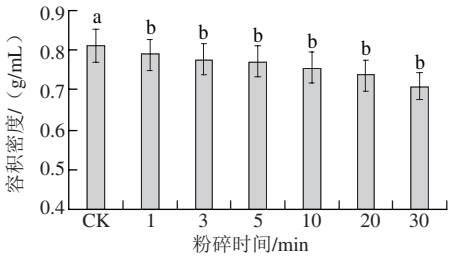
图1 不同超微粉碎时间的苹果粉体微观结构扫描电子显微镜图

Fig. 1 Scanning electron microscopic images of apple powder subjected to superfine grinding for different times

由图1可以看出, 苹果粗粉的颗粒粒径较大、不均匀, 形状不规则。经过超微粉碎后, 粉体的粒径减小, 粒径分布较为均匀, 但是超微粉碎10 min, 粉体开始出现团聚现象, 超微粉碎时间越长, 团聚现象越严重, 呈现出表面粒径增大的现象。这是因为粉体粒径减小至一定程度

后, 粉体表面的吸附性增强, 相互之间的作用力加大, 更容易发生分子间聚集^[17-18], 呈现出分布密集的现象。

2.3 苹果粉体的容积密度



小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图2 不同超微粉碎时间苹果粉体的容积密度

Fig. 2 Bulk density of apple powder subjected to superfine grinding for different times

容积密度是反映粉体充填物性的重要指标之一, 粉体容积密度越大, 说明粉体充填物性越好。由图2可知, 粗粉对照组的容积密度显著大于不同超微粉碎时间的粉体 ($P < 0.05$), 超微粉碎不同处理之间随着粉碎时间的延长, 苹果粉体的容积密度下降, 各处理之间差异不显著 ($P > 0.05$)。超微粉碎1 min后, 苹果粉体的容积密度从粗粉的0.81 g/mL降低至0.78 g/mL, 超微粉碎30 min时降低至0.70 g/mL, 超微粉碎降低了苹果粉体的容积密度, 这与杨磊^[19]、王萍^[20]等的实验结果一致, 但是与范明月等^[21]的实验结果相反, 这可能是因为粉末的容积密度不仅取决于颗粒大小, 也与颗粒彼此之间的黏附趋势有关, 实验材料不同, 不同粉体颗粒之间的引力和黏附趋势有区别, 所以会影响其容积密度值。超微粉碎后, 苹果粉体颗粒变小, 颗粒比表面积增大, 表面聚合能增加, 颗粒流动性变差, 更容易团聚成假的大颗粒使得粉体之间空隙率增大^[20], 从而导致容积密度减小。

2.4 苹果粉体的溶胀性

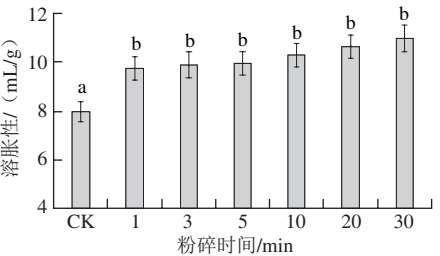


图3 不同超微粉碎时间苹果粉体的溶胀性

Fig. 3 Swelling capacity of apple powder subjected to superfine grinding for different times

溶胀性是反映粉体水结合能力的重要指标之一, 溶胀性值越高, 粉体溶于水后的悬浮性、稳定性越好。由图3可知, 粗粉对照组的溶胀性显著小于不同超微粉碎时间的粉体 ($P < 0.05$), 超微粉碎不同处理之间随着粉碎时间的延长, 粉体溶胀性逐渐上升, 各处理之间差异不

显著 ($P>0.05$)。苹果粗粉对照组经超微粉碎1 min后, 溶胀性从7.99 mL/g上升至9.72 mL/g, 说明超微粉碎可明显改善粉体的溶胀性。超微粉碎后粉体粒径减小, 相同条件下颗粒数目相对增多, 更多亲水基团暴露出来, 颗粒与水的接触面积和接触部位增多, 溶于水后各自膨胀伸展产生更大的容积, 从而提高其溶胀性^[22]。

2.5 苹果粉体的水溶性

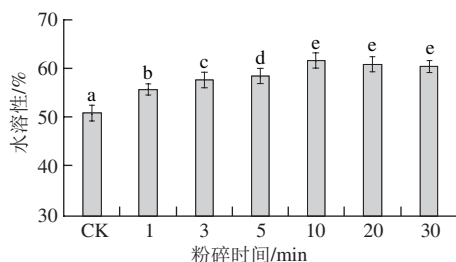


图4 不同超微粉碎时间苹果粉体的水溶性

Fig. 4 Water solubility of apple powder subjected to superfine grinding for different times

由图4可以看出, 粗粉对照组的水溶性显著小于不同超微粉碎时间的粉体 ($P<0.05$), 超微粉碎不同处理之间随着粉碎时间的延长, 苹果粉体的水溶性先增大后未发生显著变化。超微粉碎使得更多细胞被破碎, 粉体粒径减小, 亲水性基团暴露增多, 颗粒与水的接触面积和接触点增多, 水溶性增大。苹果粉体超微粉碎时间为1、3、5、10 min时, 各组水溶性值差异显著 ($P<0.05$), 超微粉碎20、30 min, 与超微粉碎10 min相比水溶性有轻微下降但差异不显著 ($P>0.05$)。这与王萍^[20]、范明月^[21]等的研究中超微粉水溶性逐渐上升的现象有差异, 但贾牛群等^[23]的研究中超微粉也呈现出水溶性下降的现象, 这可能是因为, 粒径的减小使得粉体与水的结合力增大, 但同时粉体之间分子的相互作用力也增大, 分子之间团聚现象严重, 造成水溶性下降。

2.6 苹果粉体的持水力

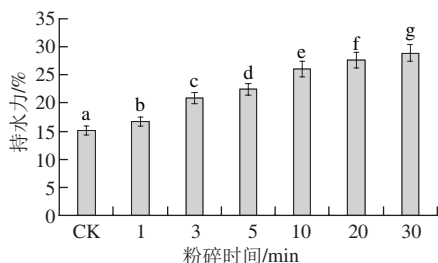


图5 不同超微粉碎时间苹果粉体的持水力

Fig. 5 Water holding capacity of apple powder subjected to superfine grinding for different times

持水力是粉体亲水性能的重要指标之一, 超微粉碎过程中的机械力增加了粉体颗粒的表面能, 空隙率增加, 活性点增多, 可极大促进颗粒表面的羟基等基团与水分子的结合。由图5可知, 粗粉对照组的持水

力显著小于不同超微粉碎时间的粉体 ($P<0.05$), 超微粉碎不同处理之间随着粉碎时间的延长, 苹果粉体的持水力逐渐增大, 各处理之间差异显著 ($P<0.05$)。这和Zhao Xiaoyan^[24]、代红飞^[25]等的实验结果一致, 和Arpathsra^[26]、张珍林^[27]等的结果完全相反, Arpathsra^[26]、张珍林^[27]等研究中出现持水力下降的现象可能是因为搅拌磨碎等机械行为都容易改变粉体膳食纤维的物理结构构型, 致密结构遭强剪切力破坏, 即使比表面积增大也无法抵消其破坏作用引起的持水力下降, 并且与实验材料、实验条件等有着密切关系。

2.7 苹果粉体的阳离子交换能力

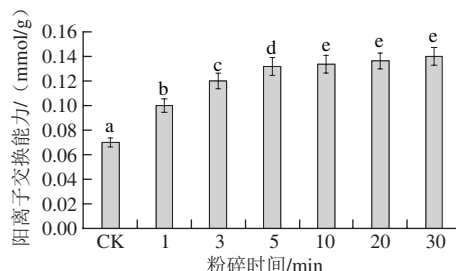


图6 不同超微粉碎时间苹果粉体的阳离子交换能力

Fig. 6 Cation exchange capacity of apple powder subjected to superfine grinding for different times

粉体的阳离子交换能力越高, 说明其营养价值越高, 粉体与胃肠道中的阳离子 Na^+ 、 K^+ 进行交换, 降低血液中的 Na^+/K^+ 比值, 从而产生降血压等作用^[28-30]。由图6可以看出, 粗粉对照组的阳离子交换能力显著小于不同超微粉碎时间的粉体 ($P<0.05$), 超微粉碎不同处理之间随着粉碎时间的延长, 阳离子交换能力先增大后未发生显著变化。超微粉碎时间为1、3、5 min时, 粉体之间的阳离子交换能力显著增加 ($P<0.05$), 超微粉碎10 min以后, 粉体之间的阳离子交换能力差异不显著 ($P>0.05$)。苹果粉体结构中包含一些羧基和羟基侧链基团, 这些基团具有弱酸性阳离子交换的能力。超微粉碎后, 粉体粒径减小, 比表面积增大, 分子中的羧基和羟基侧链基团的暴露率增大, 所以呈现出阳离子交换能力增大的现象。

3 结论

超微粉碎可显著改善粉体粒径大小, 颗粒更加细小均匀, 但通过扫描电子显微镜观察, 超微粉碎10 min后开始出现团聚现象, 超微粉碎时间越长, 团聚现象越严重。超微粉碎对苹果全粉的理化性质产生较大影响, 可明显改善粉体的理化性质。超微粉碎可使粉体的溶胀性、水溶性、持水力、阳离子交换能力显著优于粗粉。综合各项物化指标, 超微粉碎10 min的粉体总体效果最好。

参考文献:

- [1] 孙娇娇, 郭玉蓉. 苹果营养化全果利用技术创新及产品开发[J]. 农业工程技术(农产品加工业), 2014(4): 23-26.
- [2] 付成程, 郭玉蓉, 董守利, 等. 苹果渣膳食纤维面包的研制及其质构特性的测定[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(5): 97-100.
- [3] 聂继云. 苹果的营养与功能[J]. 保鲜与加工, 2013, 13(6): 56-59. DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2013.06.013.
- [4] 王皎, 李赫宇, 刘岱琳, 等. 苹果的营养成分及保健功效研究进展[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(1): 164-169. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2011.01.047.
- [5] 刘素稳, 李军, 赵玉华, 等. 干法超微粉碎对苹果渣纤维物性的影响[J]. 河北科技师范学院学报, 2012, 26(1): 19-25. DOI:10.3969/j.issn.1672-7983.2012.01.005.
- [6] 史红兵, 宋纪蓉, 黄洁, 等. 苹果渣制备可溶性膳食纤维的工艺研究[J]. 西北大学学报, 2002, 32(2): 148-150; 156. DOI:10.3321/j.issn:1000-274X.2002.02.012.
- [7] 王永涛, 廖小军. 苹果加工副产物综合利用问题亟待解决[J]. 农业工程技术(农产品加工业), 2014(10): 33.
- [8] 张春美, 李勇, 孙文森, 等. 苹果粉制备工艺研究[J]. 江苏食品与发酵, 2007(2): 29-31.
- [9] 马超, 葛邦国, 吴茂玉, 等. 苹果粉的加工现状及展望[J]. 食品工业, 2013, 34(12): 199-202.
- [10] 许春英, 乔长晟, 贾士儒, 等. 天然苹果粉生产工艺及关键技术的研究[C]// 2006中国科协年会论文集, 北京: 中国科学技术协会, 2006: 296-301.
- [11] 王丽宏, 张延, 张宝彤, 等. 超微粉碎技术的特点及应用概况[J]. 饲料博览, 2013(10): 13-16. DOI:10.3969/j.issn.1001-0084.2013.10.004.
- [12] 郭武汉, 关二旗, 卞科. 超微粉碎技术应用研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2015(5): 38-40. DOI:10.7633/j.issn.1003-6202.2015.05.010.
- [13] 岳贤田, 杨继亮. 超微粉碎技术在天然产物提取中的应用[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(11): 150-152. DOI:10.3969/j.issn.1005-6521.2015.11.037.
- [14] DU Bin, ZHU Fengmei, XU Baojun. Physicochemical and antioxidant properties of dietary fibers from Qingke (hull-less barley) our as affected by ultrafine grinding[J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2014, 4(2): 170-175. DOI:10.1016/j.bcdf.2014.09.003.
- [15] ZHAO Xiaoyan, YANG Zaibin, GAI Guosheng, et al. Effect of superfine grinding on properties of ginger powder[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91(2): 217-222. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2008.08.024.
- [16] 金晖, 孟怡璠, 陈萍, 等. 不同颗粒度南瓜不溶性膳食纤维的功能性质研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(9): 15-21.
- [17] ZHANG Min, WANG Fang, LIU Rui, et al. Effects of superfine grinding on physicochemical and antioxidant properties of *Lycium barbarum* polysaccharides[J]. Food Science and Technology, 2014, 58(2): 594-601. DOI:10.1016/j.lwt.2014.04.020.
- [18] 王伟, 曹长靓, 王坤, 等. 超微粉碎制备蜜柑果皮全粉研究[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 42-47.
- [19] 杨磊磊, 王然, 吴昊, 等. 不同粒度西兰花冻干粉的物化特性及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2013, 34(3): 90-92.
- [20] 王萍, 陈芹芹, 毕金峰, 等. 超微粉碎对菠萝蜜超微全粉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(1): 144-148. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2015.01.022.
- [21] 范明月, 吴昊, 张宏斌, 等. 超微南瓜粉物化特性及抗氧化活性的研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2): 67-71.
- [22] 梁琪, 毕阳, 米兰, 等. 沙枣细粉超微粉碎后对物化特性的影响研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(11): 76-82. DOI:10.3969/j.issn.1004-874X.2012.12.033.
- [23] 贾牛群, 张名位, 唐小俊, 等. 低温超微粉碎对龙眼果肉全粉物理性质的影响[J]. 广东农业科学, 2012(12): 96-100. DOI:10.3969/j.issn.1004-874X.2012.12.033.
- [24] ZHAO Xiaoyan, ZHU Haitao, ZHANG Guixiang, et al. Effect of superfine grinding on the physicochemical properties and antioxidant activity of red grape pomace powders[J]. Powder Technology, 2015, 286: 838-844. DOI:10.1016/j.powtec.2015.09.025.
- [25] 代红飞, 傅茂润, 邵秀芝. 超微粉碎石榴皮粉的理化性质和抗氧化活性[J]. 中国果菜, 2015, 35(6): 21-25. DOI:10.3969/j.issn.1008-1038.2015.06.005.
- [26] ARPATHSRA S, ATHAPOL N. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse[J]. Food Chemistry, 2003, 80(2): 221-229. DOI:10.1016/s0308-8146(02)00257-1.
- [27] 张珍林, 殷智超, 袁威. 南瓜籽壳超微粉特性研究[J]. 农产品加工, 2015(1): 1-3; 7. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646(X).2015.01.001.
- [28] 肖安红, 邝艳梅, 孙秀发. 超微粉碎对大豆皮膳食纤维性质影响的研究[J]. 食品工业科技, 2008, 29(10): 99-103.
- [29] 武瑞玲. 膳食纤维理化功能性质的研究进展[J]. 农产品加工, 2014(12): 82-83.
- [30] 陈菊红. 改性马铃薯渣的功能特性研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(1): 130-133.