

不同粒径黑果枸杞粉体的理化性质分析

刘文静¹, 雷菁清¹, 崔明明², 孙小凤², 肖明^{1,2}

(1. 青海大学农牧学院, 青海西宁 810016)

(2. 青海省农林科学院农村农林部农产品质量安全风险评估实验室, 青海西宁 810016)

摘要: 试验研究分析不同粒径和粉碎时间的黑果枸杞粉体的物化特性以及多糖、总酚和花色苷含量的变化, 并结合粒度和扫描电子显微镜分析进行直观说明。使用高速粉碎机将干黑果枸杞粉碎, 通过标准筛得到不同粒径的黑果枸杞粉体进行物化性质研究。结果表明, 黑果枸杞经过粉碎处理后, 色度、粉体流动性、复水比、持水性和松密度随粒径减小而降低; 复水比和持水性随粉碎时间的延长而升高。随着粒径的减小, 水分与膳食纤维含量逐渐降低, 蛋白质和灰分含量逐渐升高, 粗脂肪含量于 120~200 筛目间达到最大值为 8.56%, 随后含量降低; 粉体中多糖含量逐渐增加, 花色苷含量先增加后减小, 于 120~200 筛目间达到最大值为 24.30 mg/L。随着粉碎时间的延长, 蛋白质含量与灰分逐渐降低, 膳食纤维与粗脂肪含量逐渐升高, 差异性显著 ($p < 0.05$); 粉碎时间在 60 s 时, 200 目筛下物多糖含量最高为 152.47 mg/mL; 花色苷含量逐渐下降; 不同粒径和粉碎时间对粉体中总酚含量变化影响不显著 ($p > 0.05$)。对黑果枸杞进行粉碎处理得到不同粒径的粉体, 其具有不同的物化性质, 为黑果枸杞深加工产品的开发提供数据依据。

关键词: 黑果枸杞; 粉体; 不同粒度; 物化性质

文章编号: 1673-9078(2020)10-108-117

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.10.0392

Physicochemical Properties of *Lycium rathenicum* Murr. Powder with Different Particle Sizes

LIU Wen-zhuo¹, LEI Jing-qing¹, CUI Ming-ming², SUN Xiao-feng², XIAO Ming^{1,2}

(1. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, China)

(2. Agricultural Product Quality and Safety Risk Assessment Laboratory of Rural Ministry of Agriculture and Forestry, Qinghai Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Xining 810016, China)

Abstract: In this research, the physicochemical characteristics of *Lycium rathenicum* Murr. powder with different particle sizes and subjected to different crushing times, as well as the changes in the contents of polysaccharide, total phenol and anthocyanins were analyzed. The particle size analysis and scanning electron microscopy examination allowed direct explanations. A high-speed pulverizer was used to grind the dried *Lycium rathenicum* Murr., and *Lycium rathenicum* Murr. powders with different particle sizes were obtained through standard sieves for the study of their physicochemical properties. The results showed that after grinding, the colour, powder fluidity, rehydration ratio, water-holding capacity and bulk density of *Lycium rathenicum* Murr. powder decreased with the reduction of particle size. The rehydration ratio and water-holding capacity increased with the extension of the grinding time. As the particle size decreased, the moisture and dietary fibre contents gradually decreased, the protein and ash contents gradually increased, and the crude fat content increased first and then decreased (with a maximum value of 8.56% between 120 and 200 meshes). The polysaccharide content gradually increased, while the anthocyanin content increased first then decreased (with a maximum value of 24.30 mg/L also between 120 and 200 meshes). With the

引文格式:

刘文静, 雷菁清, 崔明明, 等. 不同粒径黑果枸杞粉体的理化性质分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(10): 108-117

LIU Wen-zhuo, LEI Jing-qing, CUI Ming-ming, et al. Physicochemical properties of *Lycium rathenicum* Murr. powder with different particle sizes [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(10): 108-117

收稿日期: 2020-04-28

基金项目: 国家农产品质量安全风险评估 (GJFP2019020); 青海省海西州重点研发与转化计划 (206110522106109)

作者简介: 刘文静 (1996-), 女, 在读硕士, 研究方向: 食品加工与安全方面的研究

通讯作者: 肖明 (1971-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 与农产品质量安全有关的资源环境信息研究

extension of grinding, both the protein content and ash content decreased significantly, whilst the dietary fibre and crude fat contents gradually increased significantly ($p < 0.05$). When the grinding time was 60 s, the polysaccharide content of the powder under 200 mesh was the highest (152.47 mg/mL); the anthocyanin content gradually decreased; the differences in the particle size and grinding time had no significant effect on the total phenol content of the powder ($p > 0.05$). The grinding of *Lycium ruthenicum* Murr. to obtain powders with different particle sizes enabled the powders to have different physicochemical properties. The research provide a database for the development of deep-processed *Lycium ruthenicum* Murr. products.

Key words: *Lycium ruthenicum* Murr.; powder; particle size; physical characteristics

黑果枸杞 (*Lycium ruthenicum* Murr.) 是茄科 (Solanceae) 枸杞属 (*Lycium* L.) 植物, 多年生耐盐、抗旱植物, 分布于我国西北地区。青海柴达木盆地黑果枸杞品质较好, 其成熟浆果富含花色苷类、多糖类和黄酮类等多种生理活性成分。通过国内外学者的研究, 发现黑果枸杞花色苷在一定程度上能够降低血脂, 同时具有抗衰老、耐缺氧^[1]等生理功能; 多糖类物质具有降低血糖含量^[2]与抗氧化^[3]的作用。黑果枸杞中富含的黄酮类物质具有降血脂以及增强小鼠血清的抗活性氧能力^[4]。不同地区海拔、温度、光照、水分和土壤等环境因素对其生物学指标以及营养成分的影响具有较大的差异^[5]。黑果枸杞不仅具有较高的医学和营养价值, 还因其耐旱和盐胁迫能力以及改善盐碱地的能力, 为人工种植带来了巨大的潜力^[6], 被称为“软黄金”。黑果枸杞被用来研究在植物学上的遗传变异和与其他物种的关系以及使用分子生物学和药理学的方法研究其活性物质^[7], 应用于产品方面的研究甚少。

对于黑果枸杞产品方面的研究, 国内外现有黑果枸杞速溶粉^[8]以及黑果枸杞压片^[9]的研究, 都是将其超微粉碎后再加工, 并未讨论不同粒径下, 其营养物质的变化及影响。物化特性作为影响食用品质的重要因素, 其变化是影响粉体加工以及产品货架期的重要指标。探讨不同粒径黑果枸杞粉体的物化性质, 开发黑果枸杞新产品, 加大其作为食品资源的开发利用, 对其产业发展具有重要的意义。

本实验旨在对黑果枸杞粉体的破壁情况进行考察, 对粉碎后不同粒径粉体以及不同粉碎时间的流动性、松密度以及营养成分等指标进行测定和比较分析, 以期改善粉体的物化性质, 最大限度保留黑果枸杞原有的营养成分和生物活性, 为黑果枸杞粉在深加工及保健产品方面的研制提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

黑果枸杞干果采自青海省诺木洪地区。

1.1.2 主要试剂

无水乙醇、苯酚、浓硫酸、盐酸、石油醚、葡萄糖、无水碳酸钠、等均为分析纯试剂, 购自国药集团化学试剂有限公司; 考马斯亮蓝、福林酚等分析纯试剂及牛血清蛋白、没食子酸等标品, 购自 Solarbio 公司。

1.2 仪器与设备

XS104 分析天平, 瑞士梅特勒-托利多公司; FLBP-200 型万能高速粉碎机, 上海菲力博食品机械有限公司; 723N 型分光光度计, 上海仪电分析仪器有限公司; Milli-Q 纯水超纯水机, 法国默克密理博公司; WSC-S 型测色色差计, 上海精密仪器仪表有限公司; SX₂-型箱式电阻炉, 沈阳市节能电炉厂; DGG-9146A 型电热鼓风干燥箱, 上海齐欣科学仪器有限公司; H1850R 型离心机, 长沙高新技术产业开发区湘仪离心机仪器有限公司; YCHH0301 型电动振筛机, 宜宾市夷陵区华恒设备制造厂; GB/T 6003-1997 分样筛, 建华筛具总场; Fibretherm®费伯森全自动快速纤维检测系统, 德国格哈特分析仪器有限公司; Soxtherm 索克森全自动索氏快速脂肪测定仪; JSM-6610LV 型扫描电子显微镜, 日本电子株式会社。

1.3 方法

1.3.1 黑果枸杞粉制备

将黑果枸杞放入粉碎机中粉碎, 分别通过 60 目、120 目、200 目的标准筛, 黑果枸杞粉按照粒度大小分为四个等级: 60 目筛上物 (Above the powder on 60 mesh sieve, 60 AP)、60~120、120~200、200 筛下物 (Under the powder on 200 mesh sieve, 200 UP)。同时, 将一定量的黑果枸杞粉碎, 通过 60、120、200 目后, 分别称重, 得到混合粉 (Mixed powder, MP)。将黑果枸杞按不同的粉碎时间: 30、60、90 s, 通过 200 目的标准筛, 分别得到 200 目筛上物 (200 AP)、200 目筛下物 (200 UP)。粉体通过不同目数的标准筛, 所对应得到不同粒径的黑果枸杞粉 (表 1), 密封避光 4 °C 保存供试验备用。

表1 标准筛粒径

Table 1 The size of standard sieve

不同黑果枸杞粉样品	粒径/ μm
60 AP	>300
60~120	125~300
120~200	75~125
200UP	<75

1.3.2 扫描电子显微镜观察

黑果枸杞粉的扫描电子显微镜观察粉体的形貌特征：电镜扫描观察。将样品进行真空干燥处理后，采用直接分散法使颗粒均匀落在载物台上，开始加高电压，在低倍镜下找出要观察的样品的像，选择好视野之后，放大到实验方案要求的倍数，聚焦后观察不同粉体的细胞结构及表面形态。

1.3.3 色泽测定

采用自动型测色色差计进行检测^[10]，同一样品测定3次取平均值。以仪器白板为标准，测量黑果枸杞粉的白度指数L*值以及彩色指数a*、b*值。

1.3.4 流动性测定

采用黄梅华等的方法^[11]，对黑果枸杞粉体的休止角和滑角进行测定，比较其流动性。

1.3.4.1 休止角测定

将漏斗尖嘴距水平桌面5 cm固定于铁架台上，正下方放置一块光滑玻璃板，使漏斗保持垂直，将50 g粉体从漏斗中自然落下，粉末在玻璃平板上形成圆锥体，测量粉体所形成圆锥底面圆直径2r和高度h，计算休止角。

$$\arctan \alpha = h/r$$

式中：h为圆锥的高度；r为圆锥底面圆半径。

1.3.4.2 滑角测定

在水平桌面放置一块干净光滑的玻璃板，称取50 g黑果枸杞粉，放置在玻璃板的一端，缓慢抬高玻璃板的这一端，玻璃板上的粉体剩余约10%时，记下玻璃板和水平桌面所构成的锐角的大小。此锐角就是粉体的滑角。

1.3.5 复水比测定

准确称取1 g黑果枸杞粉于离心管中，加入20 mL纯水，并置于25℃条件下静置60 min，然后将其置于高速离心机中于10000 r/min离心10 min。将上清液倒掉，称取沉淀物的质量作为复水粉的质量。将复水比作为复水性的评价指标^[12]。

$$\text{复水比} = \frac{m_2}{m_1}$$

式中：m₁为复水前粉体的质量，g；m₂为复水后粉体的质量，g。

1.3.6 松密度的测定

称取黑果枸杞粉5.00 g(m)，将其缓慢散落到具有刻度的10 mL试管中在倾倒过程中应不断地用手指敲打试管使粉体颗粒之间不留空隙，在最后时粉体体积不发生变化，记下此时的粉体的体积V^[13]。

$$\text{松密度}/(\text{g/mL}) = \frac{m}{V}$$

式中：m为粉体的质量，g；V为粉体的体积，mL。

1.3.7 持水性测定

称取黑果枸杞粉0.5 g(m₁)，置于50 mL离心管中，加纯水50 mL，震荡摇匀，4000 r/min离心20 min，弃去上清液，称量沉淀质量(m₂)^[14]。

$$\text{持水性}/\% = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\%$$

式中：m₁为粉体量，g；m₂为沉淀质量，g。

1.3.8 基本成分测定

1.3.8.1 水分含量测定

黑果枸杞粉水分含量参照GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中直接干燥法测定^[15]。

1.3.8.2 粗脂肪含量测定

黑果枸杞粉脂肪含量参照GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》进行测定^[16]。

1.3.8.3 粗纤维含量测定

黑果枸杞粉粗纤维含量参照GB 5515-2008《粮油检验 粮食中粗纤维素含量测定 介质过滤法》进行测定^[17]。

1.3.8.4 灰分含量测定

灰分含量参照GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》进行测定^[18]。

1.3.8.5 可溶性蛋白含量测定

采用考马斯亮蓝染色法进行对可溶性蛋白含量进行测定^[19]。制备牛血清蛋白标准曲线，于波长490 nm处测定系列标准溶液的吸光度，通过标准曲线得回归方程，y=0.0835x+0.8612(R²=0.997)。

样品处理：将不同粒径黑果枸杞粉与纯水按1:50混合，利用超声波以相同的条件提取粉体中的可溶性蛋白质，每个样品取三个平行，测定粗提液中可溶性蛋白质含量。

可溶性蛋白质含量的测定：取样品溶液1.0 mL，其他步骤同标准溶液测定方法，根据上述标准曲线计算相应的可溶性蛋白质含量。

1.3.9 粗多糖和总酚含量测定

1.3.9.1 粗多糖含量测定

采用苯酚-硫酸法进行测定^[20]。制备葡萄糖标准曲

线,使用 0.5 mL 6%的苯酚试剂,摇匀后添加 5 mL 浓硫酸,振荡摇匀,待其试管冷却至室温下,于波长 490 nm 处测定系列标准溶液的吸光度,通过标准曲线得回归方程, $y=1.2333x+0.043$ ($R^2=0.9919$)。

样品处理:将不同粒径黑果枸杞粉与纯水按 1:10 混合,利用超声波以相同的条件提取粉体中的粗多糖,每个样品取三个平行,测定粗提液中多糖含量。

粗多糖含量测定:取样品溶液 1.0 mL,其他步骤同标准溶液测定方法,根据上述标准曲线计算相应的粗多糖含量。

1.3.9.2 总酚含量测定

采用福林-酚法测定总酚的含量^[21-23]。绘制没食子酸标准曲线,使用福林-酚试剂 500 μ L (原液稀释 10 倍)、7.5%碳酸钠溶液 400 μ L,混匀,置于 37 $^{\circ}$ C 培养 1 h 后,在 765 nm 波长处测定系列标准溶液的吸光度,通过标准曲线得回归方程, $Y=0.1568X-0.0026$ ($R^2=0.9997$)。

样品处理:称取黑果枸杞粉 1.0 g,加无水乙醇 25 mL,于 45 $^{\circ}$ C 超声 (工作频率 40 kHz,功率 250 W) 30 min,12000 r/min 离心 10 min,过滤,上清液置 50 mL 容量瓶中,残渣每次加 10 mL 70%体积分数的乙醇重复前述操作再提取 2 次,过滤,合并滤液,定容至 50 mL,即得总酚提取物溶液。

总酚含量的测定:取样品溶液 1.0 mL,其他步骤同标准溶液测定方法,根据上述标准曲线计算相应的总酚含量。

1.3.10 花色苷含量测定

样品处理:将不同粒径黑果枸杞粉与 pH 为 3 的 60%酸化乙醇按 1:5 混合,利用超声波以相同的条件提取粉体中的花色苷,每个样品取三个平行,测定粗提液中花色苷含量。

采用 pH 示差法,取待测液,暗处理后于 525 nm、700 nm 处测量吸光度值 $A_{\lambda\max}$,按相关公式计算总花色苷含量 (mg/L)^[24]。

$$C = \frac{\Delta A \times MW \times DF \times 10^3}{\varepsilon \times l}$$

式中: C 为花色苷质量浓度, mg/L; ΔA 为 ($A_{525}-A_{700}$) $pH_{1.0}-(A_{525}-A_{700}) pH_{4.5}$; MW 为分子量,以矢车菊素葡萄糖苷计,取 449.2 (g/mol); DF 为稀释倍数; l 为光路长度, cm; ε 为摩尔消光系数,以矢车菊素葡萄糖苷计,取 29600 L/(mol·cm)。

1.4 数据处理与分析

采用 SPSS Statistics 22.0 软件进行数据处理及 ANOVA-Duncan 差异性显著分析, Origin 2018 软件绘

图。每组试验重复 3 次,试验结果以平均值 $\pm$ 标准偏差表示。

2 结果与讨论

2.1 扫描电子显微镜图像分析

扫描电子显微镜直观反映黑果枸杞粉不同粒径的微观结构^[25],如图 1 所示,MP 和 60 AP 粉体颗粒不均匀,形状不规则。粒径较小的粉体,组织结构和细胞壁被破坏,有轻微的团聚现象。随着粒径的减小,粉体均匀度、细胞破碎程度逐渐增加。这是因为粒径减小到一定程度,粉体表面的吸附性逐渐增强,相互之间的作用力变大,容易发生分子间聚集^[26],呈现出分布密集的现象。

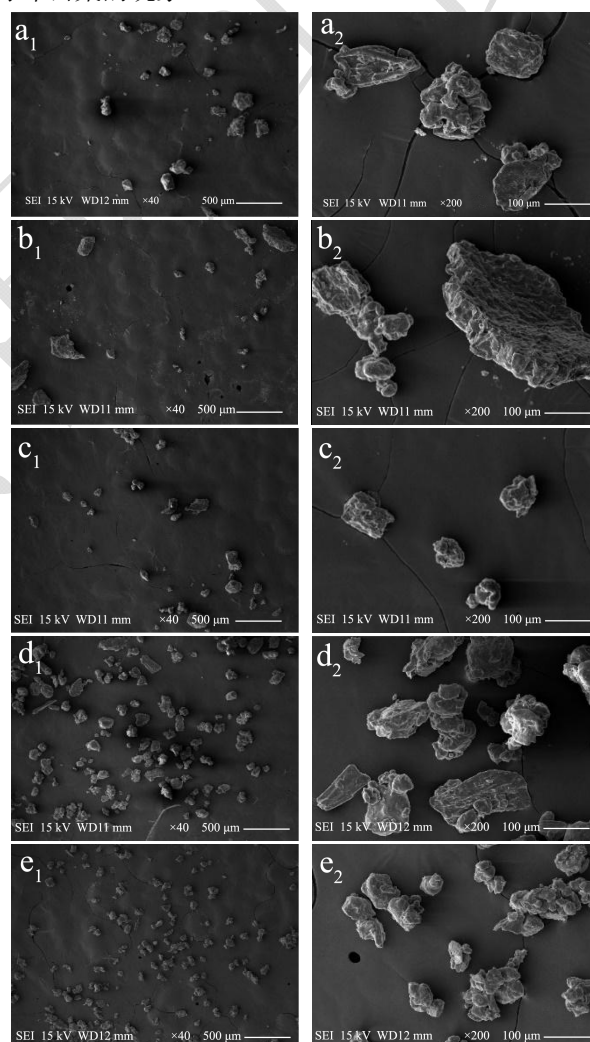


图 1 黑果枸杞粉体扫描电子显微镜图

Fig.1 Scanning electron micrographs of *Lycium Rathanicum*

Murr. Powder

注: a、b、c、d、e 分别为黑果枸杞 MP、60 AP、60~120、120~200、200 UP 粉体扫描电子显微镜图;下标 1、2 分别为放大 40、200 倍。

2.2 不同粒径黑果枸杞粉色泽分析

对黑果枸杞进行粉碎处理,可以显著改变其色度。对于 MP 粉体和其它不同粒径粉体,60 AP 和 60~120 粒径的粉体 L^* 差异不显著 ($p>0.05$) 且与其他粒径粉体差异显著 ($p<0.05$),随着粒径的减小,其 L^* 值不断降低。MP 粉体与 200 UP 的 a^* 值较接近,与其组粒径的 a^* 值差异显著 ($p<0.05$), b^* 值随着粒径的减小而显著减小, ΔE 值*随着粒径的减小而增大。

表 2 不同粒径对黑果枸杞粉色度的影响

Table 2 Effect of different particle sizes on chrominance

不同粒径大小	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
MP	27.91±0.03 ^c	-5.71±0.01 ^b	4.50±0.03 ^c	65.27±0.03 ^a
60 AP	29.47±0.19 ^a	-5.50±0.16 ^a	5.24±0.16 ^a	63.72±0.19 ^c
60~120	29.43±0.04 ^a	-6.39±0.06 ^c	5.16±0.02 ^{ab}	63.79±0.04 ^c
120~200	29.23±0.15 ^b	-7.17±0.10 ^d	4.96±0.04 ^c	64.10±0.03 ^b
200 UP	27.83±0.02 ^c	-5.76±0.06 ^b	4.51±0.01 ^{de}	65.36±0.02 ^a

注:同行不同小写字母表示差异显著 ($p<0.05$) (经Duncan's法检验),下同。

表 3 不同粒径的粉碎时间对黑果枸杞粉色度的影响

Table 3 Effect of pulverizing time of different particle size on chrominance

不同粉碎时间/s		L*	a*	b*	ΔE*
30	200 AP	28.37±0.00 ^b	-7.26±0.08 ^e	5.45±0.04 ^a	64.89±0.01 ^d
	200 UP	28.61±0.00 ^a	-5.76±0.09 ^a	4.64±0.08 ^d	64.58±0.01 ^e
60	200 AP	28.38±0.02 ^b	-6.58±0.03 ^d	5.08±0.06 ^b	64.84±0.02 ^d
	200 UP	27.06±0.00 ^d	-6.26±0.08 ^c	4.61±0.10 ^{de}	66.14±0.01 ^b
90	200 AP	27.23±0.03 ^c	-6.01±0.07 ^b	4.81±0.03 ^c	65.95±0.02 ^c
	200 UP	26.49±0.02 ^e	-5.94±0.07 ^b	4.52±0.01 ^{de}	66.70±0.02 ^a

2.3 不同粒径黑果枸杞粉物理性质分析

2.3.1 流动性比较

通过测定休止角和滑角对粉体流动性进行比较分析,休止角和滑角越小,流动性越好。黑果枸杞粉体的休止角与滑角变化趋势如图 2a 所示,其流动性随着粒径的减小而增加,MP 粉体的流动性介于 60 AP 与 60~120 粉体之间,MP 粉体中的部分大颗粒能改善其流动性。随着粉碎时间的增加,200 UP 粉体的滑角和休止角变化程度不大。粉碎程度增加,粉体间具有吸

造成粉体整体颜色随其目数增大而降低的原因推断可能是由于粒径的减小,黑果枸杞粉细胞结构被破坏,其花色苷类显色物质因粉碎强度增加而损失。MP 粉体整体颜色介于 120~200 粉体与 200 UP 粉体之间。通过粉碎时间对黑果枸杞粉体色度的研究发现,粉体 L^* 、 a^* 和 b^* 值随着粉碎时间的延长整体呈下降的趋势, ΔE^* 值随着粉碎时间的增加而增加。因此,为避免黑果枸杞粉体中花色苷类显色物质的损失,粉碎时间不宜过长。

附和凝聚特性,从而引起表面聚合力 and 吸附性能增大,流动性减小^[27]。

2.3.2 复水比、持水性、松密度

不同粒径的黑果枸杞粉体复水比于表 4、5 所示,复水比随着粒径的减小而减小 ($p<0.05$),MP 粉体的复水比值介于 60~120 和 120~200 粉体之间。随着粉碎时间的变化,复水比呈整体增加的趋势。复水比的结果受到多种因素的影响,如:孔隙度、无定形结晶状态、干燥度以及纯水的 pH 值等^[28]。

表 4 不同粒径对黑果枸杞粉物理性质的影响

Table 4 Effect of different particle sizes on physical properties

不同粒径大小	复水比	持水性/%	松密度/(g/mL)
MP	1.49±0.09 ^b	46.01±3.56 ^c	0.65±0.00 ^c
60 AP	1.91±0.03 ^a	90.80±0.33 ^a	0.70±0.02 ^a
60~120	1.60±0.15 ^b	59.50±1.48 ^b	0.68±0.02 ^b
120~200	1.34±0.03 ^{cd}	33.51±3.09 ^d	0.55±0.00 ^d
200 UP	1.27±0.03 ^d	26.81±2.79 ^e	0.55±0.01 ^d

表5 粉碎时间对黑果枸杞粉物理性质的影响

Table 5 Effect of pulverizing time of different particle size on physical properties

不同粉碎时间/s	复水比	持水性/%	松密度/(g/mL)
30	200 AP	1.40±0.04 ^{bcd}	39.99±3.69 ^c
	200 UP	1.29±0.01 ^d	29.13±1.36 ^d
60	200 AP	1.45±0.01 ^{bc}	44.92±1.24 ^b
	200 UP	1.36±0.07 ^{bcd}	25.88±1.14 ^d
90	200 AP	1.61±0.03 ^a	61.05±3.25 ^a
	200 UP	1.34±0.04 ^{cd}	40.28±3.27 ^c

持水性反映样品与水的结合能力,单位质量的样品前后质量增加大则持水性强,不同粒径由于表观性质的变化,其持水性也会发生改变。由表4可知,随着粒径的减小,持水性降低,差异性显著($p<0.05$),MP粉体持水性介于60~120和120~200粉体之间。随着粉体粒径的减小,细小的粉体对水分束缚能力变小,导致持水性下降^[29];另外颗粒粒径越小,细胞破碎程度越大,可溶性物质更易溶出,也会导致持水性下降^[30]。随着粉碎时间的变化,持水性呈整体升高的现象,但当粒径减小到一定程度时,颗粒表面容易黏在一起,一定程度上阻止了水分向粉体内部迁移,从而粉体持水性随着粉碎时间的增加而升高。

密度如表4、5所示。不同粉碎粒径下,随着粉碎程度的增加,松密度逐渐降低,120~200粉体与200UP粉体差异不显著($p>0.05$)。随着粉碎时间变化,黑果枸杞粉松密度变化趋势不明显。粉体粒径减小,总间隙增大,导致松密度减小。

因此,黑果枸杞经过粉碎处理后,当粉体粒径减小时,比表面积增大,颗粒间的摩擦力、吸附及凝聚特性增加,使其粉体流动性、复水比、持水性和松密度逐渐降低,导致粉体物理特性上的差异,然而复水比和持水性会随粉碎时间的延长而升高。

2.4 不同粒径黑果枸杞粉基本营养成分分析

将不同粒径与不同粉碎时间的黑果枸杞粉体进行基本营养成分研究,以水分含量、蛋白质、粗脂肪、灰分和膳食纤维为指标,变化趋势如表6、7所示。黑果枸杞粉中蛋白质含量和灰分含量随粒径减小而增加^[31],各粉体之间差异性显著($p<0.05$)。MP粉体的蛋白质含量最低,灰分含量介于60AP与60~120粉体之间。随着黑果枸杞粉粒径的减小,细胞结构被破坏,细胞破碎率升高,细胞内容物蛋白质释放量增多。随着粒径的减小,粗脂肪含量在120~200处达到最大值为8.56%,当粒径继续减小,粗脂肪含量也随之降低。纤维素强度大、不易被打碎、粒粗,因此膳食纤维的含量随粒径的减小逐渐降低。随着粉碎时间的增加,水分含量、蛋白质含量与灰分逐渐降低,膳食纤维与粗脂肪含量逐渐升高,差异显著($p<0.05$)。

黑果枸杞干果进行粉碎处理,使以聚集状态存在的营养物质相互分开,变成游离状态,可以最大限度的保留粉体的营养成分^[32]。不同粒径的粉体营养成分不同,高强度的粉碎会破坏细胞与组织,影响粉体内在营养成分,比如200UP粉体的膳食纤维含量反而最低,粉体的膳食纤维含量从60AP~200AP逐渐下降,但均高于200UP粉体。因此,根据对黑果枸杞粉不同的营养需求,需要选择不同粉体粒径和粉碎时间。

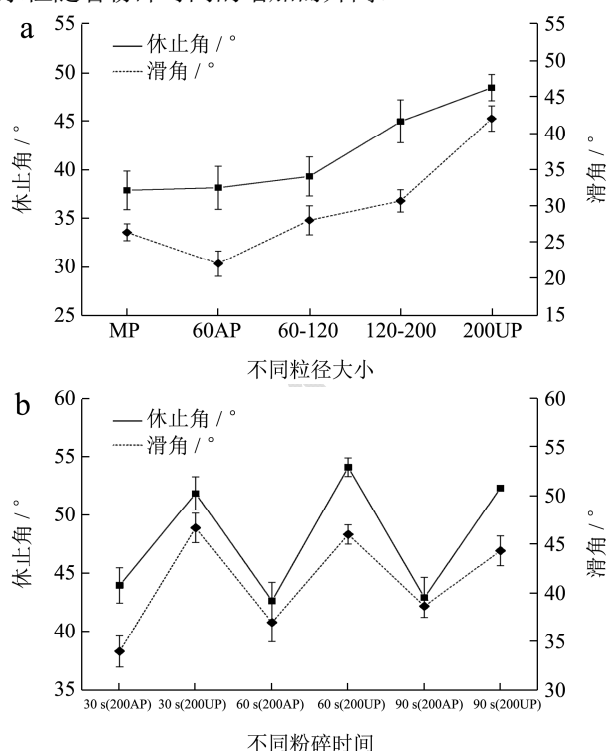


图2 不同粒径与粉碎时间对黑果枸杞粉流动性的影响

Fig.2 Effect of different particle size and pulverizing time on fluidity

粉末的松密度主要取决于颗粒的大小、形状、彼此间的黏附趋势、孔隙率等,黑果枸杞不同粉体的松

表6 不同粒径对黑果枸杞粉中基本营养成分的影响

Table 6 Effect of different particle sizes on nutritional components

不同粒径大小	含水量/%	蛋白质/(mg/mL)	粗脂肪/%	灰分/%	膳食纤维/%
MP	6.73±0.29 ^{ab}	0.82±0.17 ^d	3.60±0.01 ^c	0.72±0.00 ^e	10.92±0.01 ^c
60 AP	5.72±0.19 ^{cd}	0.98±0.24 ^d	3.45±0.0 ^c	0.31±0.00 ^d	12.99±0.01 ^a
60~120	5.27±0.77 ^d	1.97±0.36 ^c	4.02±0.01 ^b	0.82±0.01 ^c	12.59±0.01 ^b
120~200	5.14±0.37 ^d	2.11±0.65 ^{bc}	8.56±0.03 ^a	1.33±0.01 ^b	10.08±0.01 ^d
200 UP	5.08±0.06 ^d	2.71±0.62 ^{ab}	3.61±0.01 ^c	1.76±0.01 ^a	5.59±0.01 ^e

表7 粉碎时间对黑果枸杞粉中基本营养成分的影响

Table 7 Effect of pulverizing time of different particle size on nutritional components

不同粉碎时间/s		含水量/%	蛋白质/(mg/mL)	粗脂肪/%	灰分/%	膳食纤维/%
30	200 AP	7.16±0.43 ^a	1.84±0.19 ^{cd}	3.71±0.01 ^{cde}	1.43±0.01 ^b	10.33±0.01 ^c
	200 UP	6.58±0.09 ^{ab}	2.96±0.38 ^a	4.11±0.01 ^{ab}	2.14±0.01 ^a	5.41±0.01 ^d
60	200 AP	5.54±0.53 ^{cd}	2.14±0.15 ^{bc}	4.00±0.02 ^{bc}	0.70±0.00 ^e	12.05±0.02 ^b
	200 UP	5.44±0.39 ^{cd}	2.91±0.23 ^a	3.69±0.01 ^{de}	1.21±0.01 ^c	4.59±0.01 ^f
90	200 AP	6.04±0.26 ^{bc}	1.26±0.36 ^e	4.35±0.00 ^a	0.55±0.00 ^f	13.79±0.03 ^a
	200 UP	4.91±0.76 ^d	1.73±0.30 ^{cd}	3.77±0.01 ^{cde}	0.96±0.01 ^d	5.22±0.01 ^e

2.5 不同粒径黑果枸杞粉功能性成分分析

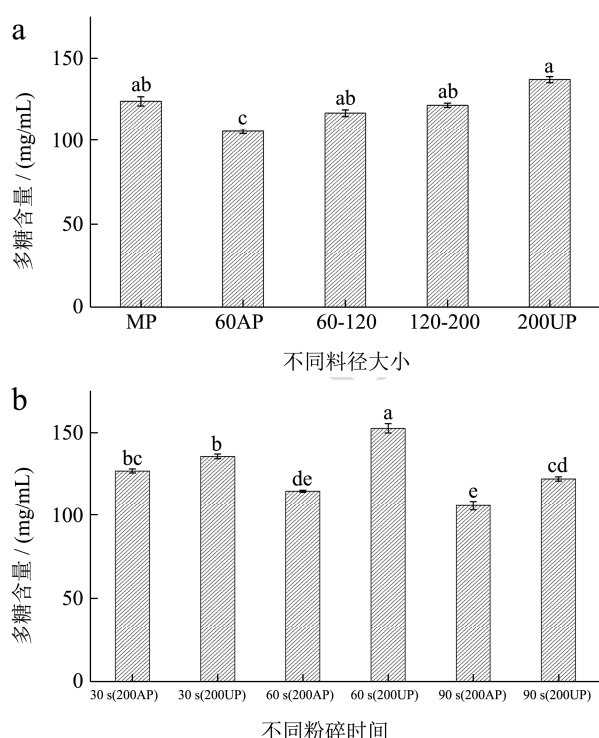


图3 不同粒径与粉碎时间对黑果枸杞粉中多糖含量的影响

Fig.3 Effect of different particle size and pulverizing time on polysaccharides

黑果枸杞中含有丰富的多糖类和酚类物质以及花色苷,具有很好的抗氧化抗衰老的作用,国内学者

研制黑果枸杞速溶粉测得的多糖与花色苷含量为6.88%和1.44%,具有较强的还原能力和良好的体外抗氧化活性^[8]。经过粉碎后得到的不同粒径的黑果枸杞粉体的多糖范围在10.62%~15.25%,因提取方法的不同,多糖含量有所差异,多糖含量的多少受其粒径大小的影响。不同黑果枸杞粉体的功能性成分含量如图3~5所示。随粉体粒径减小,细胞破碎程度加大,可溶性物质更易溶出,多糖含量逐渐增加,MP粉体多糖含量位于60~120和120~200目数之间。随着粉碎时间的增加,200 AP粉体多糖含量逐渐降低,200 UP粉体在60 s时多糖含量最高为152.47 mg/mL。

总酚是一类具有抗氧化和清除自由基功能的活性物质,在治疗心脑血管疾病、预防癌症以及抗衰老等方面具有显著功效^[33,34]。如图4所示,随着黑果枸杞粉体粒径的减小,其总酚含量变化不显著($p>0.05$)。国内学者对苹果果皮、果肉多酚含量测定进行了研究^[35,36],结果表明含有纤维组织多的果皮的总酚含量远高于果肉,由此可知,出现图4a趋势可能是因为黑果枸杞中的果皮纤维组织总酚含量较高,在粉碎的过程中,纤维组织硬度大,不易被打碎,因此呈现出总酚含量随粒度的减小变化不显著的趋势;另一方面,黑果枸杞粉中多糖含量较高,形成黏性团状物,干燥和粉碎过程组织中的多糖类物质大量溶出,使得总酚含量下降。随着粉碎时间的增加,总酚含量变化不显著($p>0.05$) (图4b)。

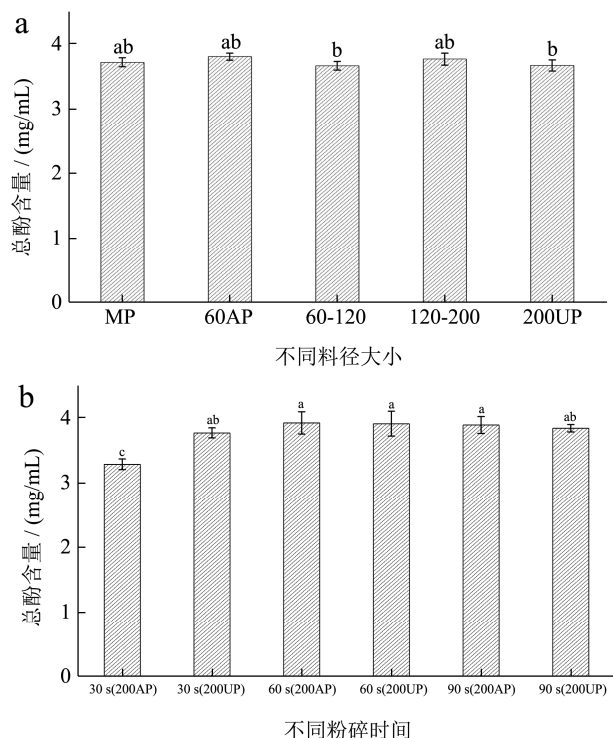


图4 不同粒径与粉碎时间对黑果枸杞粉中总酚含量的影响

Fig.4 Effect of different particle size and pulverizing time on total phenols

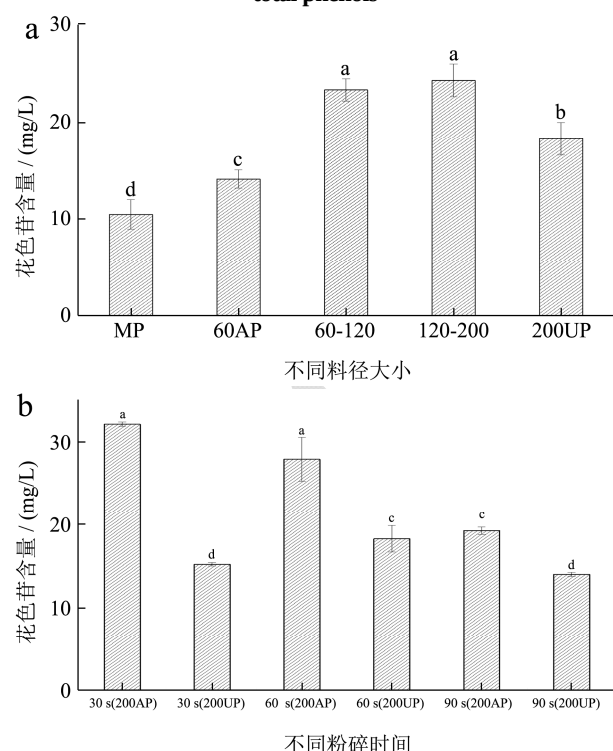


图5 不同粒径与粉碎时间对黑果枸杞粉中花色苷含量的影响

Fig.5 Effect of different particle size and pulverizing time on anthocyanidians

从图5可见,随着粒径的减小,黑果枸杞粉体的花色苷含量在120~200目数时粉体达到最大值,之后花色苷含量下降。随着时间的延长,200 AP粉体的花

色苷含量整体逐渐下降。在粉碎过程中,因氧气、pH、温度和水分等因素对黑果枸杞粉体中花色苷含量的影响,粉碎时间对粉碎结果具有显著性差异结果($p<0.05$)。在试验过程中,MP粉体出现少许结块,影响其所提取的花色苷含量。

3 结论

3.1 本试验研究了不同粒径以及粉碎时间对黑果枸杞粉的物化特性的影响,黑果枸杞经过粉碎处理后,随着粒径的减小,粉体均匀度、细胞破碎程度逐渐增加。当粉体粒径减小时,粉体流动性、复水比、持水性和松密度逐渐降低;水分与膳食纤维含量逐渐降低,蛋白质和灰分含量逐渐升高;粗脂肪含量先升高后降低,于120~200目数间达到最大值为8.56%。复水比和持水性随粉碎时间的延长而升高,蛋白质与灰分含量逐渐降低,膳食纤维与粗脂肪含量逐渐升高,差异性显著($p<0.05$)。

3.2 粉体中多糖含量随粒径减小而逐渐增加,花色苷含量先增加后减小,于120~200筛目间达到最大值为24.30 mg/L;粉碎时间在60 s时,200目筛下物多糖含量最高为152.47 mg/mL,200目筛上物花色苷含量逐渐下降;不同粒径和粉碎时间对粉体中总酚含量变化影响不显著($p>0.05$)。

3.3 综上所述,不同粉碎状态粉体特性不同,选取最适粉体粒径以及粉碎时间,为黑果枸杞深加工产品的开发提供数据依据,为其在深加工及保健产品方面的研制提供参考。

参考文献

- [1] ZHENG Jie, DING Chen-xu, WANG Liang-sheng, et al. Anthocyanins composition and antioxidant activity of wild *Lycium ruthenicum* Murr. from Qinghai-Tibet Plateau [J]. Food Chemistry, 2011, 126(3): 859-865
- [2] 汪建红,陈晓琴,张蔚佼.黑果枸杞果实多糖降血糖生物功效及其机制研究[J].食品科学,2009,30(5):244-248
WANG Jian-hong, CHEN Xiao-qin, ZHANG Wei-jiao. Study on hypoglycemic function of polysaccharides from *Lycium ruthenicum* Murr. fruit and its mechanism [J]. Food Science, 2009, 30(5): 244-248
- [3] WANG Yu-wei, LUAN Guang-xiang, ZHOU Wu, et al. Subcritical water extraction, UPLC-Triple-TOF/MS analysis and antioxidant activity of anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr. [J]. Food Chemistry, 2018: 249(30): 119-126
- [4] CHEN Sha-sha, ZENG Zhi, HU Na, et al. Simultaneous

- optimization of the ultrasound-assisted extraction for phenolic compounds content and antioxidant activity of *Lycium ruthenicum* Murr. fruit using response surface methodology [J]. Food Chemistry, 2018, 242: 1-8
- [5] 杨冬彦.黑果枸杞速溶粉的制备及其品质评价[D].北京:中国科学院大学(中国科学院过程工程研究所),2018
YANG Dong-yan. Preparation of *Lycium ruthenicum* Murr. powder and the quality evaluation [D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2018
- [6] LUO Jun, HUANG Cui-hua, PENG Fei, et al. Effect of salt stress on photosynthesis and related physiological characteristics of *Lycium ruthenicum* Murr. [J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science, 2017, 67(8): 1-13
- [7] WANG Han-qing, LI Jiao-ning, TAO Wei-wei, et al. *Lycium ruthenicum* studies: molecular biology, phytochemistry and pharmacology [J]. Food Chemistry, 2018, 240(feb.1): 759-766
- [8] 杨冬彦,赵庆生,赵兵,等.黑果枸杞速溶粉营养成分分析及抗氧化活性研究[J].食品工业,2019,40(1):196-200
YANG Dong-yan, ZHAO Qing-sheng, ZHAO Bing, et al. The nutritive compositions and antioxidant activity of *Lycium ruthenicum* Murr. instant powder [J]. The Food Industry, 2019, 40(1): 196-200
- [9] 邓楷,丁晨旭,索有瑞.黑果枸杞超微粉全粉压片工艺优化[J].食品与机械,2018,34(5):204-209
DENG Kai, DING Chen-xu, SUO You-rui. Study on the optimization on direct compression of *Lycium ruthenicum* Murr. submicron powder [J]. Food & Machinery, 2018, 34(5): 204-209
- [10] Drakos A, Kyriakakis G, Evageliou V, et al. Influence of jet milling and particle size on the composition, physicochemical and mechanical properties of barley and rye flours [J]. Food Chemistry, 2017, 215(Jan.15): 326-332
- [11] 黄梅华,吴儒华,何全光,等.不同粒径金花茶花粉体物理特性[J].食品科学,2018,39(3):76-82
HUANG Hai-hua, WU Ru-hua, HE Quan-guang, et al. Study on physical characteristics of different particle size of *Camellia chrysantha* (Hu) Tuyama powder [J]. Food Science, 2018, 39(3): 76-82
- [12] Kim S H, Choi Y J, Lee H, et al. Physicochemical properties of jujube powder from air, vacuum, and freeze drying and their correlations [J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2012, 55(2): 271-279
- [13] 何运,范子玮,吴雨,等.不同粒度桑叶粉的物化特性和黄酮体外溶出规律的研究[J].食品科学,2016,37(9):123-128
HE Yun, FAN Zi-wei, WU Yu, et al. Comparative study on physicochemical characteristics and flavone dissolution properties of mulberry leaf powder with different particle sizes [J]. Food Science, 2016, 37(9): 123-128
- [14] Sangnark A, Noomhorm A. Effect of particles sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse [J]. Food Chemistry, 2003, 80(2): 221-229
- [15] GB 5009.3-2016,食品安全国家标准 食品中水分的测定[S]
GB 5009.3-2016, National food safety standard-determination of moisture in food [S]
- [16] GB 5009.6-2016,食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S]
GB 5009.6-2016, National food safety standard-determination of fat in foods [S]
- [17] GB/T 5515-2008,粮油检验 粮食中粗纤维素含量测定 介质过滤法[S]
GB/T 5515-2008, Inspection of grain and oils - Determination of crude fibre content in grain - Method with intermediate filtration [S]
- [18] GB 5009.4-2016,食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S]
GB 5009.4-2016, National food safety standard-Determination of ash content in foodstuffs [S]
- [19] 胡立玉.超微粉碎对南瓜营养成分提取率及抗氧化能力的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2013
HU Li-yu. Effects of superfine grinding on the nutrients rate and antioxidant activity of pumpkin powder [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2013
- [20] 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(22): 594-601
- [21] 张迅,罗嘉妮,钟耕.不同粒度密本南瓜粉的物化特性及抗氧化性[J].食品科学,2017,38(21):132-137
ZHANG Xun, LUO Jia-ni, ZHONG Geng. Physicochemical properties and antioxidant activity of *Cucurbita moschata* Duch. powder with different particle sizes [J]. Food Science, 2017, 38(21): 132-137
- [22] Ardestani A, Yazdanparast R. Inhibitory effects of ethyl acetate extract of *Teucrium polium* on *in vitro* protein glycoxidation [J]. Food and Chemical Toxicology, 2007, 45(12): 2402-2411
- [23] Deetae P, Parichanon P, Trakunleewatthana P, et al. Antioxidant and anti-glycation properties of Thai herbal teas in comparison with conventional teas [J]. Food Chemistry, 2012, 133(3): 953-959

- [24] 闫亚美,冉林武,曹有龙,等.黑果枸杞花色苷含量测定方法研究[J].食品工业,2012,33(6):145-147
YAN Ya-mei, RAN Lin-wu, CAO You-long, et al. Determine the total anthocyanins in *Lycium ruthenicum* Murr. by different methods [J]. The Food Industry, 2012, 33(6): 145-147
- [25] 张阳,肖卫华,纪冠亚,等.机械超微粉碎与不同粒度常规粉碎对红茶理化特性的影响[J].农业工程学报,2016,32(11): 295-301
ZHANG Yang, XIAO Wei-hua, JI Guan-ya, et al. Effects on physicochemical properties of black tea by mechanical superfine and general grinding [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(11): 295-301
- [26] 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
WANG Wei, CAO Chang-liang, WANG Kun, et al. Preparation of sweet orange peel powder by ultrafine grinding [J]. Food Science, 2012, 33(24): 42-47
- [27] 傅茂润,赵双,曲清莉,等.超微粉碎对红米理化性质和加工特性的影响 [J].食品与发酵工业,2013,39(4):96-100
FU Mao-run, ZHAO Shuang, QU Qing-li, et al. Effects of superfine grinding on physical-chemical characteristics and processing properties of red brown rice [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(4): 96-100
- [28] ZHANG Li-hua, XU Huai-de, LI Shun-feng. Effects of micronization on properties of *Chaenomeles sinensis* (Thouin) Koehne fruit powder [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(4): 637
- [29] 赵晓燕,杨连威,杨玉芬,等.超微粉碎对当归物理化学特性影响的研究[J].世界科学技术-中医药现代化,2010,12(3): 418-422
ZHAO Xiao-yan, YANG Lian-wei, YANG Yu-fen, et al. Physical and chemical properties of different sized angelica powder [J]. World Science and Technology (Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica), 2010, 12(3): 418-422
- [30] 李安平,谢碧霞,钟秋平,等.不同粒度竹笋膳食纤维功能特性研究[J].食品工业科技,2008,29(3):83-85
LI An-ping, XIE Bi-xia, ZHONG Qiu-ping, et al. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fiber prepared from bamboo shoots [J]. Science and Technology of Food Industry, 2008, 29(3): 83-85
- [31] 杨沫,薛媛,任璐,等.不同粒度花椒籽黑种皮粉理化特性[J].食品科学,2018,39(9):47-52
YANG Mo, XUE Yuan, REN Lu, et al. Physicochemical characteristics of black seed coat powders with different particle sizes of pepper (*Zanthoxylum bungeanum*) [J]. Food Science, 2018, 39(9): 47-52
- [32] 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
ZHENG Hui. Superfine comminution of tartary buckwheat bran and its property of micropowder [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2007
- [33] 邱涛涛,王华,毛世红.石榴叶总酚测定及提取工艺研究[J].食品科学,2009,30(10):131-134
QIU Tao-tao, WANG Hua, MAO Shi-hong. Study on determination and extraction of total polyphenols from leaves of *Punica granatum* L [J]. Food Science, 2009, 30(10): 131-134
- [34] 宁德生,李典鹏,黄胜,等.七种紫珠属植物水提物中总黄酮、总酚酸及其抗氧化活性的测定[J].广西植物,2012,32(6): 845-848
NING De-sheng, LI Dian-peng, HUANG Sheng, et al. Determination of total flavonoids, total phenols and antioxidant activity in aqueous extract of seven *Callicarpa* species [J]. Guihaia, 2012, 32(6): 845-848
- [35] 王岩,裴世春,王存堂,等.苹果果皮、果肉多酚含量测定及抗氧化能力研究[J].食品研究与开发,2015,36(15):1-3;27
WANG Yan, PEI Shi-chun, WANG Cun-tang, et al. Study on polyphenol contents and antioxidant capacity of apple peel and pulp from different varieties [J]. Food Research and Development, 2015, 36(15): 1-3; 27
- [36] 刘春丽,颜小捷,杨子明,等.龙眼果皮及果核中植物多酚含量的测定及抗氧化能力研究[J].食品科技,2014,39(11):203-206,211
LIU Chun-li, YAN Xiao-jie, YANG Zi-ming, et al. Antioxidant capacity and contents of polyphenols in pericarps and stones of *Dimocarpus longan* [J]. Food Science and Technology, 2014, 39(11): 203-206, 211