

不同粒度青稞粉的品质特性

Quality characteristics of highland barley powder with different particle sizes

郭慧珍^{1,2} 杨希娟¹ 党斌¹ 梁峰² 马萍³

GUO Huizhen^{1,2} YANG Xijuan¹ DANG Bin¹ LIANG Feng² MA Ping³

(1. 青海大学农林科学院青海省青藏高原农产品加工重点实验室, 青海 西宁 810016;

2. 青海天佑德科技投资管理集团有限公司青海省青稞资源综合利用工程技术研究中心,

青海 西宁 810016; 3. 青海华实青稞生物科技开发有限公司, 青海 西宁 810016)

(1. Qinghai Key Laboratory of Qinghai-Tibet Plateau Agricultural Products Processing, Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Qinghai University, Xining, Qinghai 810016, China; 2. Qinghai Tianyoude Technology Investment Management Group Co., Ltd., Qinghai Engineering and Technology Research Center of Comprehensive Utilization of Highland Barley Resources, Xining, Qinghai 810016, China; 3. Qinghai Huashi Highland Barley Biotechnology Development Co., Ltd., Xining, Qinghai 810016, China)

摘要:目的:探究超微粉碎力度对青稞粉的影响。方法:通过超微粉碎制备不同粒度的青稞粉,探讨粒度对青稞粉的表现特性、营养品质、加工特性的影响。结果:随着超微粉碎目数的增加,青稞粉的粒度逐渐变小,青稞粉粗纤维、 β -葡聚糖、粗脂肪、灰分含量随着粒度的减小而降低,其中粗蛋白、破损淀粉随着青稞粉粒度的减小而增加。120目青稞粉矿物质总量最高(7 476.05 mg/100 g)。青稞粉中140目色泽最亮, L^* 值为86.96。60目青稞粉崩解值(272.00 mPa·s)、回生值(151.00 mPa·s)均最低,其具有较好耐剪切性、不易老化,面团不易流变。随着粒度的减小,青稞粉的持水性和持油性逐渐下降,溶解度更低、膨胀度更高。随着青稞粉粒度的减小,青稞粉休止角、滑角和堆积密度、振实密度、透光率逐渐增大,X-射线衍射峰的强度增大。140目青稞粉析水率最低(47.98%),最适宜加工冷冻食品。结论:不同粒度青稞粉的品质特性不同,在加工过程中应选择合适的粉碎力度。**关键词:**超微粉碎;粒度;青稞粉;营养品质;表现特性;加工特性

Abstract: Objective: This study aimed to explore the influence of

different ultramicro grinding intensity on highland barley powder. **Methods:** Using ultramicro grinding to prepare different granularity of highland barley powder. Exploring the influence of granularity on the apparent characteristics, nutritional quality. Processing characteristics of highland barley powder. **Results:** The particle size of highland barley powder gradually decreased with the increase of mesh number. The contents of crude fiber, β -glucan, crude fat and ash of highland barley powder decreased with the decrease of particle size. On the other hand, the crude protein and damaged starch increased with the decrease of particle size. 120 mesh highland barley powder had the highest total mineral content (7 476.05 mg/100 g). Among the barley powder, the color of 140 mesh is the brightest, with L^* value of 86.96. The disintegration value (272.00 mPa·s) and recovery value (151.00 mPa·s) of 60-mesh highland barley powder are the lowest. It has a good shear resistance, anti-aging, and anti-rheological. When particle size decreased, the water holding capacity and oil holding capacity of highland barley powder decreased as well. The solubility went lower and the expansion degree went higher. When the particle size of barley powder decreased, the angle of rest, the angle of slip, the density of packing, the density of vibration, the transmittance of barley powder, and the intensity of X-ray diffraction peak increased. Moreover, 140 mesh highland barley powder had the lowest (47.98%) water extraction rate, therefore, it was the most suitable for processing frozen food. **Conclusion:** The quality characteristics of young barley powder with different grain sizes

基金项目:青海省重大专项(编号:2021-NK-A3);西宁市科技局重点研发与转化项目(编号:2021-Y-11)

作者简介:郭慧珍,女,青海天佑德科技投资管理集团有限公司助理研究员,硕士。

通信作者:杨希娟(1980—),女,青海大学研究员,博士。

E-mail: 156044169@qq.com

收稿日期:2023-01-12 **改回日期:**2023-05-31

are different, so appropriate crushing strength should be selected in the production process.

Keywords: ultrafine grinding; particle size; highland barley powder; nutritional quality; apparent characteristics; processing characteristics

青稞属禾本科大麦属,又名裸大麦^[1],是具有营养保健功效的杂粮^[2]。目前市场上的青稞制品主要有青稞饼干、青稞面粉、青稞麦片等^[3]。研磨制粉是青稞籽粒进行食品加工的基础,在食品研发和精深加工中也是至关重要的前处理环节。不同的粉碎方式以及不同的粉碎粒度会对谷物的成分造成不同程度的损伤,进而影响其粉体理化特性^[4]。其中粒度反映粉体的加工精度,是影响谷物粉品质的重要指标^[5]。已有研究证明,粒度对小麦粉^[5]、糯米粉^[6]、马铃薯全粉^[7]的粉体品质特性及产品质量具有显著影响。但是关于粒度对青稞粉品质特性影响的研究鲜见报道。

超微粉碎技术是一种新型食品加工技术,加工后粉体有较佳的分散性和吸附性^[8]。前期研究已经明确了超微粉碎制备的青稞粉的品质特性^[9],但是缺乏超微粉碎技术制备的不同粒度青稞粉的品质差异研究,对于超微粉碎青稞粉的应用方面理论指导不足,进而限制了青稞粉在食品领域的应用。

研究拟以青稞籽粒为原料,通过超微粉碎处理制得5种不同粒度的脱皮青稞粉,对比分析不同粒度青稞粉中营养及理化特性的分布与差异,以期青稞粉在食品工业中的加工应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 试验材料

超微粉碎青稞粉:青海天佑德科技投资管理集团有限公司。制备方法如下:先将青稞籽粒清洗干净并去皮(脱皮机去除3层青稞表皮),然后采用超微粉碎机将青稞原料粉碎成青稞粉。粉碎参数:8~9 Hz,空分频率、风机变频器频率分别为30.5~7 Hz,温度 $\leq 35^{\circ}\text{C}$ 。采用粉碎机气流筛分粉料,成品主要是从出粉口流出的筛下料,筛上料在经过汇集后不断循环进行粉碎,直至由出粉口流出,最后再将成品过60,80,100,120,140目的筛筛分。得到了不同粒径范围的青稞粉。

1.1.2 主要试剂

石油醚、无水乙醇、硫酸、磷酸:分析纯,天津市富宇精细化工有限公司;

氢氧化钾、醋酸钠:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

α -淀粉酶:酶活 4.0×10^4 U/g,江苏瑞阳生物科技有限公司;

Total Starch 试剂盒、Mixed-Linkagebeta-Glucan 试剂盒:德国 Megazyme 公司。

1.2 仪器与设备

马弗炉:SRJX-4-9型,上海沪粤明科学仪器有限公司;

测色色差计:WSC-S型,上海精科仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:N4S型,上海仪电分析仪器有限公司;

扫描电子显微镜:JSM-6610LV型,日本电子株式会社;

X-射线衍射仪:XPert PRO型,荷兰帕纳科公司;

快速黏度分析仪:RVA-TCW 3型,澳大利亚 Macquarie Park 公司。

1.3 青稞粉体指标测定方法

1.3.1 青稞粉粒径测定 参照文献[10]。

1.3.2 营养成分测定

(1) 脂肪:参照 GB 5009.6—2016。

(2) 粗纤维:参照 GB/T 5009.88—2008。

(3) 灰分:参照 GB 5009.4—2016。

(4) 总淀粉:采用 Total Starch 试剂盒。

(5) β -葡聚糖:采用 Mixed-Linkagebeta-Glucan 试剂盒。

(6) 粗蛋白:采用半微量凯氏法。

(7) 破损淀粉:参照 GB/T 9826—2008。

(8) 矿物质:参照文献[11]并稍作修改。在微波消解仪中对样品进行消解至无黄烟冒出,溶液清澈透明。采用原子发射吸收法测定各矿物质元素含量。

1.3.3 青稞粉表观特性测定

(1) 色度:采用 WSC-S 色差计。

(2) 电子显微形态观察:参照文献[12]。

(3) X射线衍射:参照文献[13]。

1.3.4 青稞粉粉体特性测定

(1) 糊化特性:参照文献[14]。

(2) 粉质特性:参照 GB/T 14614—2006。

(3) 持水性、持油性:参照文献[15]。

(4) 滑角和休止角:参照文献[16]。

(5) 振实密度:参照 GB/T 5162—2006。

(6) 堆积密度:参照 GB/T 16913—2008。

(7) 膨胀度和溶解度:参照文献[17]。

(8) 冻融稳定性、透明度:参照文献[18]。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 和 DPS19.0 软件进行数据统计与分析。

2 结果与分析

2.1 青稞粉粒度及分布分析

由表 1 可知,青稞粉粒径随着目数的增大逐渐变小,其中,60 目平均粒径最大,在 D_{90} 水平上为 $248.30\ \mu\text{m}$,140 目平均粒径最小,在 D_{90} 水平上为 $110.80\ \mu\text{m}$ 。说明粉碎程度较大时可以使粉体更加精细匀称。

2.2 青稞粉营养品质分析

2.2.1 基本营养成分 由表 2 可知,青稞粉粗纤维、 β -葡聚糖、粗脂肪、灰分含量随着粒度的缩小而降低,部分物质在不同目数之间差别明显($P<0.05$),可能是筛分粉体时营养物质流失造成的^[19]。其中粗蛋白随着青稞粉粒度

的减小,其含量有增加的趋势,可能的原因^[20]是超微粉碎处理后,细胞组织破裂使孔隙率变大且以聚集状态存在于胚乳中的蛋白质等营养物质相互分开,变成了游离状态,从而含量呈增加的趋势,也较大限度地保留了粉体的营养物质。青稞粉破损淀粉均随粒度的减小而增加,有研究^[21]表明,延长粉碎时间会提高破损淀粉的含量,粉末越细,淀粉的破损程度越高,说明颗粒度小的粉破损淀粉含量高。总体看来,超微粉碎后粉体颗粒度的大小是影响其营养成分含量差异的主要因素,加工时可按照不同粒度青稞粉的营养物质情况进行适宜的应用。

2.2.2 矿物质含量 不同粒度青稞粉中重金属 Hg、Cd、As、Pb 均未检出,说明参试青稞粉均符合食品安全标准要求。由表 3 可知,青稞矿物质含量丰富,不同粒度青稞粉中矿物质总含量差异显著($P<0.05$),青稞粉矿物质总量在 140 目时最低,为 $4\ 442.16\ \text{mg}/100\ \text{g}$,这与 140 目青稞粉中灰分最低的结果一致(表 2)。120 目青稞粉矿物质总量最高,为 $7\ 476.05\ \text{mg}/100\ \text{g}$ 。相同目数条件下,不同矿物质元素在青稞粉中含量有差别,说明其在青稞谷粒结构中的分布有差别。同时可以看出青稞粉颗粒度并不是越细越能保留矿物质含量,适宜的加工程度才能实现对青稞粉中矿物质的最佳保留效果。不同矿物质之间含量比较可知,青稞粉中含量最高为钾,其次为镁、钙、钠,因此青稞可作为钾、钙、镁、钠等矿物质的补充来源。在青稞粉的开发利用中可选择适宜的加工程度,避免加工过程中的营养损失。

表 1 不同粒度青稞粉粒径分布[†]
Table 1 Particle size distribution of barley powder with different particle sizes

样品目数	粒径/ μm		
	D_{10}	D_{50}	D_{90}
60	$10.55\pm0.14^{\text{a}}$	$66.13\pm1.28^{\text{a}}$	$248.30\pm0.54^{\text{a}}$
80	$8.19\pm0.03^{\text{b}}$	$35.90\pm0.05^{\text{b}}$	$241.54\pm1.05^{\text{a}}$
100	$7.95\pm0.13^{\text{b}}$	$35.70\pm0.10^{\text{b}}$	$194.53\pm4.42^{\text{b}}$
120	$7.15\pm0.07^{\text{c}}$	$34.98\pm0.52^{\text{b}}$	$122.43\pm0.50^{\text{c}}$
140	$7.01\pm0.06^{\text{c}}$	$31.58\pm0.38^{\text{b}}$	$110.80\pm0.45^{\text{c}}$

† 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$); D_n 表示有 $n\%$ 的颗粒粒径小于该数值,该数值指表格中各个目数对应的颗粒数值。

表 2 不同粒度青稞粉的基本营养成分(干基)[†]
Table 2 Basic nutritional components of highland barley flour with different particle sizes (dry)

样品目数	粗蛋白/ $\%$	粗纤维/ $\%$	粗脂肪/ $\%$	灰分/ $\%$	总淀粉/ $\%$	β -葡聚糖/ $\%$	破损淀粉/ $\%$
60	$8.79\pm0.03^{\text{c}}$	$4.93\pm0.01^{\text{a}}$	$2.49\pm0.01^{\text{a}}$	$2.01\pm0.01^{\text{a}}$	$63.54\pm0.72^{\text{c}}$	3.42 ± 0.02	$21.65\pm0.03^{\text{d}}$
80	$8.55\pm0.01^{\text{d}}$	$3.17\pm0.02^{\text{b}}$	$2.31\pm0.11^{\text{ab}}$	$1.60\pm0.01^{\text{b}}$	$68.61\pm0.41^{\text{d}}$	3.36 ± 0.03	$22.14\pm0.03^{\text{cd}}$
100	$8.09\pm0.02^{\text{e}}$	$2.29\pm0.02^{\text{c}}$	$2.05\pm0.20^{\text{bc}}$	$1.55\pm0.01^{\text{b}}$	$71.40\pm0.39^{\text{cd}}$	3.31 ± 0.01	$22.63\pm0.13^{\text{c}}$
120	$10.22\pm0.00^{\text{a}}$	$1.76\pm0.01^{\text{d}}$	$1.79\pm0.01^{\text{cd}}$	$1.43\pm0.01^{\text{c}}$	$73.44\pm0.65^{\text{bc}}$	3.04 ± 0.02	$23.62\pm0.05^{\text{b}}$
140	$9.42\pm0.01^{\text{b}}$	$0.58\pm0.01^{\text{e}}$	$1.51\pm0.01^{\text{de}}$	$0.96\pm0.02^{\text{d}}$	$76.96\pm0.03^{\text{a}}$	3.00 ± 0.03	$24.74\pm0.02^{\text{a}}$
平均值	9.01	2.55	1.94	1.51	70.79	3.23	22.96

† 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 3 不同粒度青稞粉矿物质含量[†]
Table 3 Mineral content of highland barley powder with different particle sizes

样品目数	Ca/ ($10^{-2}\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Cu/ ($10^{-2}\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Fe/ ($10^{-2}\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	K/ ($10^{-2}\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Mg/ ($10^{-2}\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Mn/ ($10^{-2}\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Na/ ($10^{-2}\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	Zn/ ($10^{-2}\ \text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)
60	$319.63\pm5.11^{\text{c}}$	$4.77\pm0.13^{\text{cd}}$	$27.23\pm0.40^{\text{c}}$	$3\ 439.92\pm13.80^{\text{b}}$	$780.17\pm2.35^{\text{b}}$	$14.93\pm0.15^{\text{bc}}$	$363.25\pm0.30^{\text{bc}}$	$16.95\pm0.17^{\text{cd}}$
80	$294.87\pm3.48^{\text{d}}$	$11.85\pm0.79^{\text{a}}$	$22.72\pm0.48^{\text{c}}$	$3\ 247.75\pm15.62^{\text{c}}$	$700.33\pm2.33^{\text{d}}$	$13.87\pm0.16^{\text{bc}}$	$2\ 322.93\pm4.83^{\text{a}}$	$18.70\pm1.11^{\text{c}}$
100	$325.68\pm6.10^{\text{b}}$	$9.13\pm0.18^{\text{b}}$	$43.92\pm1.97^{\text{b}}$	$3\ 116.25\pm5.22^{\text{d}}$	$636.50\pm0.58^{\text{e}}$	$13.62\pm0.11^{\text{bc}}$	$1\ 242.93\pm4.60^{\text{ab}}$	$32.02\pm0.99^{\text{b}}$
120	$778.83\pm23.55^{\text{a}}$	$6.67\pm0.25^{\text{c}}$	$43.72\pm1.49^{\text{b}}$	$3\ 709.58\pm8.74^{\text{a}}$	$921.00\pm1.80^{\text{a}}$	$18.37\pm0.32^{\text{a}}$	$1\ 950.60\pm5.23^{\text{ab}}$	$47.28\pm0.89^{\text{a}}$
140	$270.48\pm4.62^{\text{e}}$	$3.07\pm0.42^{\text{d}}$	$83.93\pm1.40^{\text{a}}$	$3\ 064.63\pm12.43^{\text{d}}$	$722.55\pm24.18^{\text{c}}$	$12.32\pm0.23^{\text{c}}$	$272.30\pm2.35^{\text{bc}}$	$12.88\pm0.80^{\text{de}}$

† 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.3 青稞粉表观特性分析

2.3.1 色度 如表 4 所示,粉体粒度减小,青稞粉的颜色随之更加明亮,与 Wang 等^[22]的试验结论相符。其中 140 目青稞粉的色泽最亮, L^* 值为 86.96,说明粉体粉碎后粒度的大小会显著影响青稞粉的亮度($P<0.05$)。粉体的颜色对其加工产品的色泽有较大影响,粒度较小的青稞粉因其亮度较高可能更容易被消费者接受。

2.3.2 微观结构 如图 1 所示,不同粒度青稞粉体的颗粒大小和分布差异较小。青稞粉的颗粒多为比较规则的椭球状和圆饼状,少数表面有凹陷。其中 120 目和 140 目的青稞粉可以明显地观察到淀粉颗粒表面的凹陷,且其表面附着的破损颗粒多,团聚现象较严重。随着粉体粒度的减小,这种表面附着现象更加明显,不规则的淀粉颗粒也越来越多。这是因为粒度减小时粉体表面的吸附性提高,淀粉颗粒之间作用力变大,分子间易发生聚集^[23]。

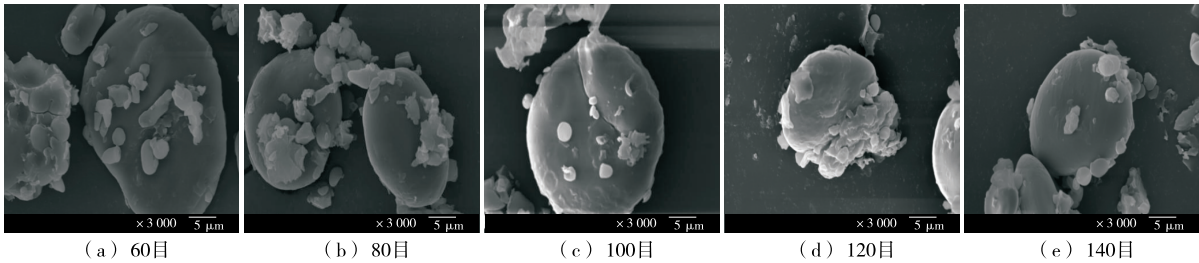


图 1 不同粒度青稞粉的电镜扫描图

Figure 1 Scanning electron microscope images of highland barley flour with different particle sizes ($\times 3\,000$)

2.3.3 X 射线衍射 如图 2 所示,超微粉碎后青稞粉在衍射角 2θ 为 $15.1^\circ, 17.0^\circ, 18.2^\circ, 22.8^\circ$ 处有较明显的结晶衍射峰,这是谷物典型的 A 型晶体衍射结构。不同粒度青稞粉衍射峰的强度有所变化,粒度越小,衍射峰的强度越大。粒度较大的粉体,在制粉过程中保留了大量的粗纤维、灰分,淀粉含量较少,因此峰型没有粒度较小的青稞粉明显^[24]。

2.4 青稞粉加工特性分析

2.4.1 糊化特性 由表 5 可知,随着目数的增加,青稞粉

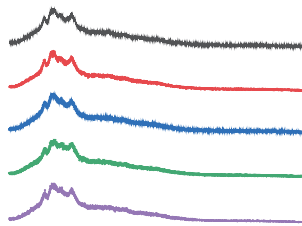


图 2 不同粒度青稞粉的 X-射线衍射图像

Figure 2 X-ray diffraction images of highland barley flour with different particle sizes

表 4 不同粒度青稞粉的色度[†]

Table 4 The chromaticity of highland barley flour with different particle sizes

样品 目数	L^*	a^*	b^*	ΔE
60	85.30 ± 0.02^e	0.04 ± 0.01^a	9.37 ± 0.01^a	9.90 ± 0.02^a
80	85.73 ± 0.03^d	-0.12 ± 0.00^b	8.65 ± 0.01^c	8.90 ± 0.01^c
100	86.49 ± 0.01^c	-0.33 ± 0.01^c	8.40 ± 0.00^d	8.33 ± 0.00^d
120	86.85 ± 0.01^b	-0.28 ± 0.01^c	8.79 ± 0.01^b	9.81 ± 0.01^b
140	86.96 ± 0.01^a	-0.62 ± 0.01^d	8.03 ± 0.01^e	8.11 ± 0.01^e

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

120 目青稞粉的这种聚集现象较为明显。随着粉碎程度的加深,青稞粉体的颗粒粒度持续减小,颗粒均匀度增加,140 目青稞粉的颗粒较为均匀。

的峰值、谷值、最终黏度和崩解值呈升高趋势。说明破损淀粉含量等因素会改变青稞粉的黏度,与 Blanchard 等^[25]的研究结果相似。60 目青稞粉峰值黏度、谷值黏度、最终黏度最低,这是由于其粒度较大,粉体结构紧实,不易吸收水分膨大因此不容易糊化,所以黏度较低^[26]。

不同粒度青稞粉糊化温度部分存在显著差异($P<0.05$),其糊化温度范围为 $84.25 \sim 88.15^\circ\text{C}$,青稞粉的糊化温度与其粒度呈正相关,随着青稞粉粒度的减小,糊化温度渐渐下降,其中 140 目青稞粉糊化温度最低(84.25°C),最易糊化。60 目青稞粉崩解值最低($272.00\text{ mPa}\cdot\text{s}$),说明其淀粉具有较好耐剪切性。青稞粉的回生值随着粒度的变小而提高,说明淀粉老化程度增加;这与 Kim 等^[27]的研究结果一致。其中 60 目青稞粉老化程度最低,不同的产品对粉体老化程度需求不同,生产中可进行针对性的选择。

2.4.2 粉质特性 由表 6 可知,随着目数的增大,青稞粉的吸水率呈增加的趋势,可能是在粒度较小的青稞粉中,含有较高的破损淀粉,破损淀粉的吸水性能较高,所以青稞粉有较高的吸水性。60 目青稞粉面团的弱化度最低,100 目青稞粉面团的弱化度最高。弱化度越低,青稞粉面对机械搅拌的承受能力越强。说明 60 目青稞粉不易

表 5 不同粒度青稞粉的糊化特性[†]

Table 5 Gelatinization characteristics of highland barley powder with different particle sizes

样品目数	峰值黏度/ (mPa·s)	谷值黏度/ (mPa·s)	糊化温度/ ℃	最终黏度/ (mPa·s)	崩解值/ (mPa·s)	回生值/ (mPa·s)
60	3 696.00±11.55 ^d	3 495.00±11.55 ^{ab}	88.15±1.73 ^a	3 646.00±16.17 ^b	272.00±11.55 ^d	151.00±4.04 ^e
80	3 948.33±16.75 ^c	3 654.00±31.18 ^a	86.10±1.15 ^{abc}	3 898.00±33.91 ^a	294.00±35.95 ^d	244.00±2.31 ^d
100	3 292.67±23.67 ^e	1 880.00±11.55 ^d	85.60±0.58 ^{abc}	2 133.00±13.87 ^d	1 412.67±57.74 ^e	253.00±1.73 ^c
120	5 007.33±31.47 ^b	3 048.33±16.75 ^c	85.00±1.73 ^{abc}	3 352.66±51.96 ^c	1 959.00±57.74 ^b	304.33±33.74 ^b
140	5 695.00±11.55 ^a	3 292.67±23.67 ^b	84.25±1.15 ^d	3 874.67±26.87 ^a	2 462.33±115.47 ^a	582.00±2.89 ^a

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 6 不同粒度青稞粉的粉质特性[†]

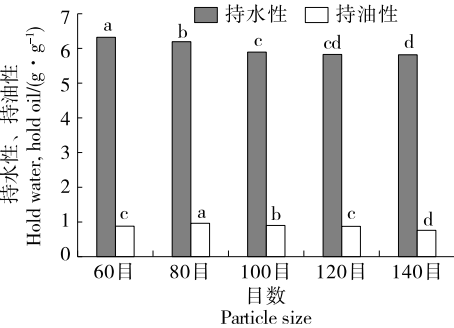
Table 6 Silty characteristics of highland barley flour with different particle sizes

样品目数	面团形成时 间/min	吸水量/ %	稳定时间/ min	弱化度/ FU
60	7.52±0.01 ^a	60.00±0.29 ^e	8.90±0.01 ^a	35.76±2.89 ^e
80	4.70±0.00 ^b	65.50±0.29 ^{cd}	5.60±0.01 ^b	83.82±2.31 ^d
100	1.90±0.01 ^e	66.90±0.52 ^{bc}	3.60±0.01 ^e	112.18±4.04 ^a
120	2.25±0.01 ^d	68.65±0.03 ^b	3.70±0.02 ^d	108.17±2.31 ^{ab}
140	3.01±0.01 ^c	72.00±0.29 ^a	4.80±0.01 ^c	100.62±2.89 ^{bc}

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

流变,对机械搅拌的承受能力强,这与 60 目青稞粉崩解值低、耐剪切的结论一致。60 目青稞粉的面团形成时间和稳定时间显著高于其他目数青稞粉的($P<0.05$)。面团形成及稳定时间越长,说明面团性能越佳^[28]。综合以上指标,60 目青稞粉面团较稳定、不易流变,100 目青稞粉面团稳定性较低。

2.4.3 持油性和持水性 如图 3 所示,随着粒度的减小青稞粉的持水性和持油性逐渐下降,部分差异显著($P<0.05$),其中 60 目青稞粉持水性最好,80 目青稞粉持油性最好,140 目青稞粉持油性、持水性均最差。这可能是因



同一指标字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图 3 不同粒度青稞粉的持水性、持油性

Figure 3 Water holding capacity, oil retention of highland barley flour with different particle sizes

为青稞粉体经历了机械剪切力、摩擦力等作用力,粉体粒度逐渐变小,破损淀粉含量增加,降低了粉体对水、油的束缚能力,因此持水性、持油性下降^[29]。

2.4.4 休止角、滑角、堆积密度和振实密度 由表 7 可知,不同粒度青稞粉的休止角为 46.00°~54.00°,而滑角为 51.50°~63.00°,部分粒度间的休止角和滑角差异显著($P<0.05$)。其中,青稞粉的休止角和滑角随着粒度的减小而扩大。说明大颗粒的青稞粉流动性更好,粉体越细流动性越差。青稞粉的堆积密度和振实密度分别为 0.36~0.42,0.49~0.65 g/mL。随着粒度的减小,青稞粉的堆积密度、振实密度逐渐增大,且部分差异显著($P<0.05$)。这可能与粒度小的粉末颗粒较均匀,颗粒间紧密接触有关^[30]。说明减小青稞粉颗粒的粒度能提高青稞粉的填充性。

表 7 不同粒度青稞粉的流动特性和填充性[†]

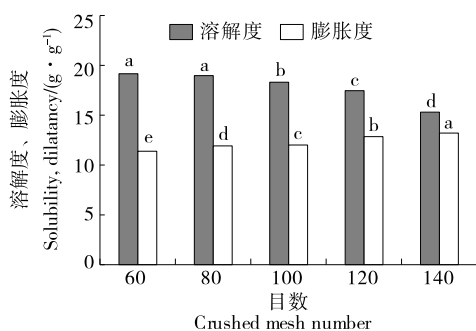
Table 7 Flow characteristics and filling properties of different particle size highland barley powder

样品目数	休止角/ (°)	滑角/ (°)	堆积密度/ (g·mL ⁻¹)	振实密度/ (g·mL ⁻¹)
60	46.50±0.06 ^{cd}	51.50±0.23 ^d	0.36±0.02 ^b	0.49±0.03 ^d
80	46.50±0.17 ^{cd}	52.00±0.23 ^{cd}	0.39±0.01 ^{ab}	0.56±0.00 ^c
100	47.50±0.29 ^{bc}	53.00±0.12 ^c	0.39±0.00 ^{ab}	0.57±0.02 ^c
120	53.50±0.23 ^a	54.50±0.23 ^b	0.42±0.01 ^a	0.63±0.01 ^b
140	54.00±0.46 ^a	63.00±0.35 ^a	0.42±0.02 ^a	0.65±0.02 ^a

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.4.5 溶解度和膨胀度 由图 4 可知,随着粒度的减小,青稞粉的溶解度逐渐降低,140 目青稞粉溶解度最低,预示着 140 目青稞粉的深加工产品在蒸煮过程中更容易糊汤。青稞粉的膨胀力随粒度的减小而增加,不同粒度间差异显著($P<0.05$)。说明粒度对青稞粉的溶解度和膨胀度有较大影响,粒度越细,溶解度越低、膨胀度越高,这可能是因为淀粉颗粒粒度越小,淀粉结构所受损坏越严重,所以溶解度更低、膨胀度更高^[31]。

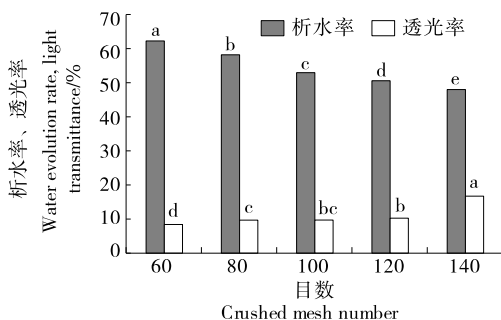
2.4.6 透光率和冻融稳定性 由图 5 可知,60 目青稞粉



同一指标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图4 不同粒度青稞粉的溶解度、膨胀度

Figure 4 Solubility, expansion of highland barley powder with different particle sizes



同一指标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图5 不同粒度青稞粉的透光率、冻融稳定性

Figure 5 Light transmittance, freeze-thaw stability of highland barley flour with different particle sizes

冻融稳定性最差,经过冷冻和解析后,析水率就超过60%,明显高于其他目数青稞粉的。140目青稞粉析水率最低(47.98%),说明140目青稞粉冻融稳定性最好。综合来看,粒度越小,青稞粉抗冻能力越差;140目的青稞粉最适宜加工冷冻食品。青稞粉体的透光性随着粒径的降低而逐步增大,且部分粒径之间差异明显($P < 0.05$)。

3 结论

试验研究了青稞粉的粒径对其营养成分及加工特性的影响。结果表明,粒度对青稞粉的营养成分含量及加工特性影响较大,对粉体表面结构影响较小。粒度较大的青稞粉能保留较多的青稞粗纤维、粗脂肪、 β -葡聚糖,破损淀粉含量较低,具有较高的持水性、持油性及溶解度,面团稳定性好,适合加工成馒头及烘焙类产品;粒度较小的青稞粉具有较高的膨胀度、透光率及较好的冻融稳定性,适合制作冷冻食品。青稞粉的粒径大小会对其粉体的加工特性产生明显影响,因此根据加工需求来合理调整加工精度,得到一定粒径范围的青稞粉,可在保证制品营养性的同时,提高其加工品质。不同粒径的青稞粉中麸皮和胚芽含量可能存在差异,这可能会对青稞粉的贮藏性等产生一定的影响,将在后续研究中进行深入探讨。

同时,试验仅分析了不同粒度青稞粉品质特性差异,今后的研究还应将不同粒度青稞粉应用到各类产品的加工中,探讨确定不同粒度青稞粉与加工产品的适宜性评价指标。

参考文献

- [1] 卢良恕. 中国大麦学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 16.
LU L S. Chinese barley [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996: 16.
- [2] 徐菲, 党斌, 杨希娟, 等. 不同青稞品种的营养品质评价[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(9): 1 249-1 257.
XU F, DANG B, YANG X J, et al. Evaluation of nutritional quality of different varieties of highland barley[J]. Journal of Wheat Crops, 2016, 36(9): 1 249-1 257.
- [3] 党斌, 杨希娟, 刘海棠. 青稞加工利用现状分析[J]. 粮食加工, 2009, 34(3): 69-71.
DANG B, YANG X J, LIU H T. Analysis of current situation of processing and utilization of highland barley[J]. Grain Processing, 2009, 34(3): 69-71.
- [4] 张玉荣, 高佳敏, 周显青, 等. 谷物磨粉工艺对其淀粉损伤及特性影响研究进展[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(3): 135-140.
ZHANG Y R, GAO J M, ZHOU X Q, et al. Research progress on effects of milling technology on starch damage and properties of grain[J]. Journal of China Cereals and Oils, 2017, 32(3): 135-140.
- [5] 刘梦, 温纪平, 周文卓. 粒度与小麦粉品质关系的研究[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(11): 49-55.
LIU M, WEN J P, ZHOU W Z. Study on the relationship between grain size and wheat flour quality [J]. Food Research and Development, 2022, 43(11): 49-55.
- [6] 蔺泽雪. 基于半干法磨粉的粒度及破损淀粉对糯米粉性质及汤圆品质的影响[D]. 西安: 陕西科技大学, 2021: 24-35.
LIN Z X. Effects of grain size and damaged starch on properties of glutinous rice flour and quality of Tangyuan based on semi-dry milling[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2021: 24-35.
- [7] 李叶贝, 任广跃, 屈展平, 等. 不同粒度马铃薯全粉对复合面条品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(19): 55-60.
LI Y B, REN G Y, QU Z P, et al. Effect of different grain size potato meal on quality of compound noodles[J]. Food Science, 2017, 38(19): 55-60.
- [8] ZHU K X, HUANG S, PENG W, et al. Effect of ultrafine grinding on hydration and antioxidant properties of wheat bran dietary fiber [J]. Food Research International, 2010, 43(4): 943-948.
- [9] 郭慧珍, 党斌, 杨希娟, 等. 不同磨粉方式对青稞粉品质特性的影响[J]. 核农学报, 2022, 36(5): 988-997.
GUO H Z, DANG B, YANG X J, et al. Effect of different grinding methods on quality characteristics of highland barley powder[J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2022, 36(5): 988-997.
- [10] 赵萌萌, 党斌, 杨希娟, 等. 超微粉碎对青稞麸皮粉微观结构及功能特性的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(8): 278-286.
ZHAO M M, DANG B, YANG X J, et al. Effects of ultra-fine

- grinding on microstructure and functional properties of highland barley bran powder[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(8): 278-286.
- [11] 王益民, 张莉莉, 张筱文, 等. 原子吸收法测定枸杞子矿物质元素的三种前处理方法比较[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(3): 914-918.
- WANG Y M, ZHANG L L, ZHANG X W, et al. Comparison of three pretreatment methods for determination of mineral elements in lycium barbarum fruit by atomic absorption spectrometry[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2017, 37(3): 914-918.
- [12] 景孝男, 党斌, 杨希娟, 等. 热处理对不同品种青稞全粉结构及理化特性的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(9): 44-52.
- JING X N, DANG B, YANG X J, et al. Effect of heat treatment on structure and physicochemical properties of different varieties of highland barley[J]. Food & Machinery, 201, 37(9): 44-52.
- [13] 曹龙奎, 康丽君, 寇芳. 改性前后小米糠膳食纤维结构分析及体外抑制 α -葡萄糖苷酶活性[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 46-52.
- CAO L K, KANG L J, KOU F. Structure analysis of millet bran dietary fiber before and after modification and its inhibition in vitro α -glucosidase activity[J]. Food Science, 2018, 39(11): 46-52.
- [14] CLEMENT A O, VASUDEVA S. Physico-chemical properties of the flours and starches of two cowpea varieties (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2008, 9(1): 92-100.
- [15] 舒阳, 杨晓萍. 不同粒度绿茶粉粉体表征与物理性质的研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 164-167.
- SHU Y, YANG X P. Study on the characterization and physical properties of green tea powder with different particle sizes[J]. Food Industry Science and Technology, 2016, 37(22): 164-167.
- [16] 易甜, 崔文文, 王明锐, 等. 锦橙皮渣膳食纤维微粉化及其功能特性分析[J]. 食品科学, 2019, 40(10): 8-14.
- YI T, CUI W W, WANG M R, et al. Micronization of dietary fiber from Jin orange peel residue and analysis of its functional characteristics[J]. Food Science, 2019, 40(10): 8-14.
- [17] 李晓月, 刘开昌, 陈利容, 等. 藕粉—小麦粉复合粉功能特性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(4): 157-163.
- LI X Y, LIU K C, CHEN L R, et al. Study on functional properties of lotus fulotus-wheat flour compound powder[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(4): 157-163.
- [18] 张玉玉. 青稞淀粉的提取及特性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2010: 42-43.
- ZHANG Y Y. Study on the extraction and characteristics of barley starch[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2010: 42-43.
- [20] 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 M, XUE Y, REN L, et al. Physicochemical properties of black seed powder of different grain sizes of Chinese prickly ash[J]. Food Science, 2018, 39(9): 47-52.
- [21] GHODKE S K, ANANTHANARYAN L, RODRIGUES L. Use of response surface methodology to investigate the effects of milling conditions on damaged starch, dough stickiness and chapatti quality[J]. Food Chemistry, 2009, 112(4): 1 010-1 015.
- [22] WANG Y H, QIONG Q, JIANG S H, et al. Effect of wheat flour particle size on the quality of fresh white salted noodles[J]. Food Processing and Preservation, 2020, 14: 1-10.
- [23] 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 W, CAO C L, WANG K, et al. Study on preparation of citrus peel powder by ultra-fine grinding[J]. Food Science, 2012, 33(24): 42-47.
- [24] 朱传锴. 裸燕麦制粉与粉路品质研究及传统面制品制作与评价[D]. 郑州: 河南工业大学, 2020: 18-20.
- ZHU C K. Study on the quality of naked oat flour making and flour road and the production and evaluation of traditional flour products[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2020: 18-20.
- [25] BLANCHARD C, LABOURE H, VEREL A, et al. Study of the impact of wheat flour type, flour particle size and protein content in a cake-like dough: Proton mobility and rheological properties assessment[J]. Journal of Cereal Science, 2012, 56(3): 691-698.
- [26] 周晚霞, 黎怡红, 陈炎, 等. 不同粒度小麦全粉的营养及加工特性比较[J]. 现代食品科技, 2020, 36(9): 172-180.
- ZHOU W X, LI Y H, CHEN Y, et al. Comparison of nutrition and processing characteristics of wheat flour with different grain sizes[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(9): 172-180.
- [27] KIM J M, SHIN M. Effects of particle size distributions of rice flour on the quality of gluten-free rice cupcakes[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 59(1): 526-532.
- [28] PUPPO M C, CALVELO A, ANON M C. Physicochemical and rheological characterization of wheat flour dough [J]. Cereal Chemistry, 2005, 82(2): 173-181.
- [29] 夏晚霞, 寇福兵, 薛艾莲, 等. 超微粉碎对枣粉理化性质、功能特性及结构特征的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(12): 37-45.
- XIA X X, KOU F B, XUE A L, et al. Effects of ultra-fine grinding on Physicochemical properties, functional properties and structural characteristics of jujube powder [J]. Food and Fermentation Industry, 202, 48(12): 37-45.
- [30] 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[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(6): 46-50.
- FU M R, CHEN Q M, LIU F, et al. Effects of ultra-fine grinding on Physicochemical properties and processing characteristics of glutinous rice[J]. Food and Nutrition of China, 2011, 17(6): 46-50.
- [31] 高晓旭, 佟立涛, 钟葵, 等. 不同磨粉工艺对大米粉质特性的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 194-199.
- GAO X X, TONG L T, ZHONG K, et al. Effects of different milling processes on the properties of rice flour[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(1): 194-199.