DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2023.05.009

脱皮制粉对黑、白青稞粉营养卫生品质及加工特性的影响

李婧[1],谭迎奥[2],景明菊[2],王树林[2*],韩舜愈[1*]
(1. 甘肃农业大学 食品科学与工程学院,甘肃 兰州 730070;2. 青海大学 农牧学院,青海 西宁 810016)

摘　要:该文探究脱皮程度对黑、白青稞粉营养品质、卫生质量、糊化特性和面团粉质特性的影响。结果表明:随着脱皮率的增加,黑、白青稞粉的蛋白质、总酚、灰分含量均呈总体下降趋势,而 β-葡聚糖、淀粉含量则表现出不同程度上升。黑、白青稞麸皮粉中蛋白质含量分别为 17.10%和 14.20%,灰分含量分别为 5.60%和 4.70%,β-葡聚糖含量分别为未检出和 0.07%,总酚含量分别为 1.39 mg/g 和 1.97 mg/g;青稞粉和麸皮粉中均未检出黄曲霉毒素 B_1;脱皮率为 5%的白青稞粉破损淀粉含量为 21.07 UCD,白度为 57.57%,且其糊化特性和面团粉质特性均较未脱皮白青稞粉有所提升。

关键词:黑青稞;白青稞;脱皮率;营养成分;卫生质量;糊化特性;粉质特性

Effect of Dehulling and Making Flour on the Nutritional and Hygienic Quality and Processing Characteristics of Black and White Highland Barley Flour

LI Jing[1], TAN Ying-ao[2], JING Ming-ju[2], WANG Shu-lin[2*], HAN Shun-yu[1*]
(1. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China;
2. College of Agriculture and Animal Husbandry, Qinghai University, Xining 810016, Qinghai, China)

Abstract: The effects of different degrees of dehulling on the nutritional quality, hygienic quality, pasting characteristics and farinographic characteristics of black and white highland barley flours were investigated. The results showed that the protein, total phenol, and ash content of black and white highland barley flours showed a decreasing trend with the increase in the dehulling rate, while the β-glucan and starch content showed an increasing trend. In black and white highland barley flours, the content of protein was 17.10% and 14.20%, the content of ash was 5.60% and 4.70%, the content of β-glucan was undetected and 0.07%, and the content of total phenol was 1.39 mg/g and 1.97 mg/g, respectively. Aflatoxin B_1 was not detected in the highland barley flour and bran powder. The broken starch content of the white highland barley flour with 5% dehulling rate was 21.07 UCD, and the whiteness was 57.57%. In addition, its pasting characteristics and farinographical characteristics were all improved compared with those of unhulled white highland barley flour.

Key words: black highland barley; white highland barley; dehulling rate; nutritional quality; hygienic quality; pasting properties; farinographical properties

引文格式:
李婧,谭迎奥,景明菊,等. 脱皮制粉对黑、白青稞粉营养卫生品质及加工特性的影响[J].食品研究与开发,2023,44(5):57-61.
LI Jing, TAN Yingao, JING Mingju, et al. Effect of Dehulling and Making Flour on the Nutritional and Hygienic Quality and Processing Characteristics of Black and White Highland Barley Flour[J]. Food Research and Development,2023,44(5):57-61.

青稞(*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook.f.)是我国青藏高原地区最主要的农作物,属于禾本科小麦族大麦属大麦的变种之一[1]。青稞按其棱数可分为二棱裸大麦、四棱裸大麦和六棱裸大麦[2];按其颜色来分,

基金项目:“科技助力经济 2020”重点专项(SQ2020YFF0420513)
作者简介:李婧(1992—),女(汉),硕士研究生,研究方向:食品加工与安全。
*通信作者:王树林(1970—),男(汉),教授,研究方向:食品加工;韩舜愈(1963—),男(汉),教授,研究方向:食品加工与安全。

常见的有黑老鸦青稞（呈黑色）、白浪散青稞（呈浅黄白色）、瓦蓝青稞（呈墨绿色）和肚里黄青稞（呈浅黄色）4种[3]。研究发现，不同地区、不同粒色青稞品种的营养成分含量及组成有所差异。青海青稞普遍具有高蛋白质（12.34%）、高 β-葡聚糖（5.09%）、高脂肪（1.91%）的优势，其中黑色品种青稞的蛋白质、直链淀粉和纤维含量较高，脂肪含量较低，白色品种青稞总淀粉含量较低[4]。青藏高原人民自古种植和食用青稞，但因青稞蛋白特性（不能形成面筋）限制了其单独作为食品原料的使用范围[5]。青海省是我国青稞的第二大主产区，但青稞深加工的研究和发展却相对滞后，青稞制粉存在产品品质差、营养损失大等问题[6]。近年来，国内对青稞粉产品的研究大多是在面粉中添加部分青稞粉或青稞全粉制作馒头、面条、饼干、面包等食品[7-10]。而在国外研究中，通过石磨制粉工艺制备具有不同营养素和生物活性化合物的功能性裸大麦粉，并将其加入到烘焙产品中以提高功能和健康特性，或利用裸大麦的全粉或麸皮开发青稞产品[11-12]。此外，青稞麸皮作为青稞脱皮的副产品也可以被单独开发利用[13]。在小麦的脱皮制粉过程中，脱皮可以改善小麦粉的品质，其作用主要表现在降低农药残留的污染、降低细菌数以及致毒毒素含量、强化小麦粉营养等 3 个方面[14]。但是目前青稞脱皮制粉对青稞粉加工特性影响的研究较少。本文以黑、白青稞为原料，研究脱皮制粉对黑、白青稞粉主要营养成分、卫生质量、糊化特性和面团粉质特性的影响，以期能够为青稞高端产品的开发与生产提供依据，提升青稞精深加工的应用价值。

1 材料与方法

1.1 试剂与材料

黑青稞、白青稞：青海新丁香粮油有限公司；β-葡聚糖标准品（纯度 99%）：北京索莱宝科技有限公司；没食子酸标准品（纯度 98%）：北京奥博星生物技术有限责任公司；淀粉试剂盒：北京智微科技有限公司；福林酚试剂：上海展云化工有限公司；乙醇、无水乙醇（均为分析纯）：天津市富宇精细化工有限公司；无水乙酸钠、冰乙酸、浓硫酸、苯酚、钨酸钠、铁氰化钾、无水碳酸钠、淀粉-碘化钾、硫代硫酸钠、氯化钾、氢氧化钠（均为分析纯）：天津市河东区红岩试剂厂；硫酸锌、碘化钾、四硼酸钠、石油醚（均为分析纯）：天津市百世化工有限公司。

1.2 主要仪器与设备

TM05 试验用碾米机：佐竹机械（苏州）有限公司；UV-1780 型紫外-可见分光光度计：岛津仪器（苏州）有限公司；H/T16MM 型台式高速离心机：湖南赫西仪器装备有限公司；LC-20/40D 3C 液相色谱系统：岛津企业管理（中国）有限公司；1906032 白度计：上海昕瑞仪器仪表有限公司；RVA 快速黏度仪：瑞典 Perten 公司；FZD-300 粉质仪：广州瑞丰实验设备有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 青稞粉的制备

将青稞籽粒清洗除杂后浸麦调质，放入碾米机对其进行脱皮处理，得到脱皮率为 0%、5%、10%、15%和20%的籽粒，干燥磨粉后过 80 目筛备用。

用万能粉碎机对青稞麸皮进行粗粉碎，过 80 目筛得到青稞麸皮粉。

1.3.2 青稞粉主要营养及活性成分的测定

蛋白质含量参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法测定；淀粉含量采用淀粉试剂盒进行测定。

青稞 β-葡聚糖采用苯酚-硫酸法进行测定。标准曲线方程为 $y=11.199\,0x+0.416\,1$，$R^2=0.991\,1$。其中 y 表示吸光度，x 表示葡萄糖浓度（mg/mL）。

总酚含量参考 Singleton 等[15]的 Folin-Ciocalteu 法并作修改。标准曲线方程为 $y = 0.011\,9x + 0.0878$，$R^2 = 0.998\,7$。其中 y 表示吸光度，x 表示没食子酸标准溶液浓度（mg/mL）。总酚含量的计算公式如下。

$$W=\frac{c\times v\times n}{M}$$

式中：W 为多酚含量，mg/g；c 为多酚质量浓度，mg/mL；v 为提取液体积，mL；n 为稀释倍数；M 为样品质量，g。

1.3.3 青稞粉卫生指标的测定

灰分参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》中的灼烧质量法进行测定；霉菌参照 GB 4789.16—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 常见产毒霉菌的形态学鉴定》和 GB 4789.15—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》进行测定；黄曲霉毒素 B_1 参照 GB 5009.22—2016《食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素 B 族和 G 族的测定》的高效液相色谱-柱前衍生法进行测定。

1.3.4 青稞粉破损淀粉含量的测定

参照 GB/T 9826—2008《粮油检验 小麦粉破损淀粉测定 α-淀粉酶法》进行。

1.3.5 青稞粉感官及粉质特性的测定

采用白度计测定青稞粉白度；参照 GB/T 24853—2010《小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定 快速粘度仪法》，采用黏度仪测定青稞粉糊化特性；参照 GB/T 14614—2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法》，采用粉质仪测定青稞粉粉质特性。

1.4 数据分析

使用 Excel 2020、SPSS 20 软件进行数据统计分析，每组试验均平行测定 3 次，试验结果以平均值±标

准差表示，且精确到小数点后两位。

2 结果与讨论

2.1 脱皮程度对青稞粉营养成分的影响

脱皮程度对青稞粉营养成分含量的影响见表 1。

表 1 脱皮制粉对黑、白青稞粉营养成分含量的影响

Table 1 Effect of dehulling on the nutritional composition of black and white barley flour

种类	脱皮率/%	蛋白质/%	淀粉/%	β-葡聚糖/%	总酚/(mg/g)
黑青稞	0	12.70±0.13[a]	48.30± 0.72[b]	3.89±0.16[a]	6.19±0.06[a]
	5	12.20±0.08[b]	49.55±1.36[b]	4.58±0.23[a]	5.29±0.19[b]
	10	12.10±0.22[b]	52.78±1.00[a]	4.05±0.43[a]	3.46±0.49[c]
	15	11.70±0.14[c]	53.26±1.97[a]	4.60±0.53[a]	3.65±0.09[c]
	20	10.90±0.21[d]	53.83±1.31[a]	4.14±0.29[a]	1.66±0.19[d]
白青稞	0	10.30±0.14[a]	49.15±1.39[c]	4.86±0.15[b]	5.08±0.36[a]
	5	10.20±0.09[a]	50.40±0.62[b]	6.07±0.12[a]	5.65±0.20[a]
	10	8.45±0.11[d]	52.40±1.41[ab]	6.32±0.19[a]	5.06±0.54[a]
	15	9.22±0.10[b]	52.85±0.74[ab]	4.97±0.27[b]	4.03±0.28[b]
	20	8.90±0.16[c]	54.36±1.86[a]	5.30±0.24[b]	3.23±0.19[c]

注：同列中不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。

由表 1 可知，随着脱皮率的增加，黑、白青稞粉中蛋白质含量总体呈下降趋势，这是由于青稞籽粒中蛋白质主要分布在表层[16]；黑青稞粉的蛋白质含量从未脱皮的 12.70%下降到 10.90%（脱皮率为 20%），脱皮率 10%的白青稞粉蛋白质含量最低，为 8.45%。黑、白青稞粉总酚含量随脱皮程度增加呈现下降趋势，黑青稞粉总酚含量下降明显，脱皮率 20%时总酚含量仅为 1.66 mg/g，白青稞在脱皮程度较低时（脱皮率 0%~10%）总酚含量无显著变化（$P>0.05$），当脱皮率为 20%时，含量下降了 1.85 mg/g，这是因为相同品种青稞中，多酚含量在青稞籽粒中由外向内呈现逐渐递减的趋势[16]。2 种青稞粉的 β-葡聚糖含量呈先上升后平缓下降的趋势，这是因为随着脱皮率的增加，青稞籽粒的糊粉层及部分胚乳混入青稞粉中，而青稞中 β-葡聚糖主要分布于青稞籽粒胚乳细胞壁和糊粉层细胞壁[16]；淀粉含量均有增加，因为淀粉在籽粒内部含量较高[16]，这与张龑等[17]的研究结果一致。

2.2 脱皮程度对青稞粉卫生质量的影响

脱皮程度对青稞粉卫生质量的影响见表 2。

表 2 脱皮制粉对黑、白青稞粉卫生质量的影响

Table 2 Effect of dehulling on the hygienic quality of black and white barley flour

种类	脱皮率/%	灰分/%	黄曲霉毒素 B_1/(μg/kg)	霉菌/(CFU/g)
黑青稞	0	2.00±0.10[a]	未检出	45.00±1.78
	5	1.80±0.11[b]	未检出	<10.00
	10	1.60±0.03[c]	未检出	<10.00
	15	1.40±0.04[d]	未检出	<10.00
	20	1.10±0.08[e]	未检出	95.00±0.98
白青稞	0	1.60±0.03[a]	未检出	<10.00
	5	1.50±0.06[a]	未检出	60.00±1.68
	10	1.30±0.06[b]	未检出	180.00±0.92
	15	1.10±0.10[c]	未检出	70.00±1.53
	20	0.88±0.05[d]	未检出	950.00±2.82

注：同列中不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。

由表 2 可知，2 种青稞粉均未检出黄曲霉毒素 B_1，但霉菌含量总体呈先下降后上升趋势，可能是由于部分青稞籽粒表面的霉菌经过磨粉机的辊压后混入到粉中，从而造成交叉污染和残留或润麦工序不当导致霉菌大量繁殖[18]。随着脱皮程度的增加，脱皮青稞粉灰分含量明显下降，脱皮率为 20%时，黑、白青稞粉灰分含量最低，分别为 1.10%和 0.88%，这是由于灰分主要来自于青稞表面附着的灰尘以及青稞的皮层和糊粉层[16]，因此，适度脱皮有助于减少青稞粉灰分和来源于表皮的污染物含量。

2.3 脱皮制粉对青稞麸皮粉营养成分和卫生质量的影响

脱皮青稞麸皮的营养成分及卫生指标的测定结果见表 3。

表 3 脱皮制粉对青稞麸皮粉营养成分和卫生质量的影响

Table 3 Effect of dehulling on the nutritional composition and hygienic quality of barley bran flour

种类	营养指标			卫生指标		
	蛋白质/%	β-葡聚糖/%	总酚/(mg/g)	灰分/%	黄曲霉毒素 B_1/(μg/kg)	霉菌/(CFU/g)
黑青稞麸皮	17.10±0.31[a]	未检出	1.39±0.04[a]	5.60±0.04[a]	未检出	950.00±2.78[a]
白青稞麸皮	14.20±0.25[b]	0.07±0.03	1.97±0.06[b]	4.70±0.02[b]	未检出	500.00±3.89[b]

注：同列中不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。

由表 3 可知，黑、白青稞麸皮粉中蛋白质含量较高，分别为 17.10%和 14.20%，这可能是青稞糊粉层在脱皮过程中进入麸皮所致[16]。黑青稞麸皮中未检出 β-葡聚糖，且 2 种青稞粉中总酚含量较低，在脱皮过程中几乎没有损失。青稞麸皮灰分含量明显高于青稞粉。黑、白青稞麸皮中虽不含有黄曲霉毒素 B_1，但霉菌含量高达 950.00 CFU/g 和 500.00 CFU/g。由此可见，脱皮处理对去除籽粒表面微生物污染有效果，有利于提升青稞粉的卫生质量。

由以上结果得出，脱皮率为 5%的白青稞更适宜加

工青稞粉。

2.4 脱皮制粉工艺对白青稞粉淀粉损伤特性和白度的影响

脱皮制粉工艺对白青稞粉淀粉损伤和白度的影响见图 1。

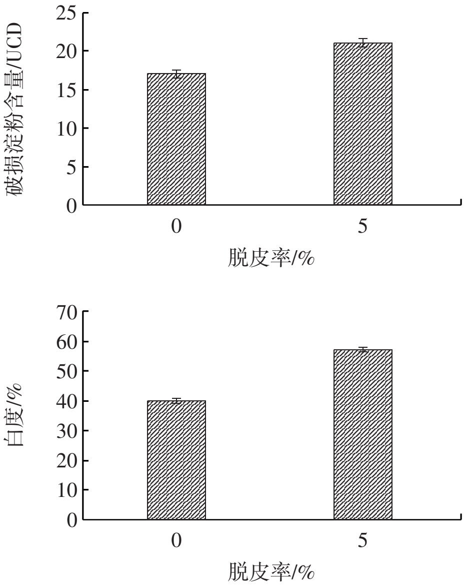

图 1 脱皮制粉工艺对白青稞粉淀粉损伤特性和白度的影响

Fig.1 Effect of dehulling on starch damage characteristics and whiteness of white barley flour

由图 1 可知，脱皮率为 5%的白青稞粉淀粉损伤程度较未脱皮提高了 4.10 UCD，这可能与青稞籽粒在加工成粉过程中受到磨粉设备的机械力作用有关，胚乳中的淀粉颗粒会受到不同程度的机械力而破损，从而影响面粉的品质特性[19]，王鹏林等[20]通过对比不同破损淀粉含量的面粉所制馒头的品质发现：破损淀粉含量在 20.00 UCD~25.00 UCD 时品质最佳。白度是反映青稞粉感官品质的重要指标，脱皮率为 5%的白度（57.57%）明显高于未脱皮组（40.13%），因此，可通过适度脱皮来调控青稞粉的产品感官品质。

2.5 脱皮制粉工艺对白青稞粉糊化特性的影响

脱皮制粉工艺对白青稞粉糊化特性的影响见表 4。

由表 4 可知，脱皮率为 5%的青稞粉糊化特性指标均高于未脱皮的青稞粉，其中峰值黏度、衰减值和回生值增加较为明显，分别上升了 11 857.00、10 648.20、5 629.68 mPa·s，可能与脱皮青稞粉中蛋白质含量较高有关[21]。此外，青稞脱皮制粉工艺除去部分皮层，淀粉含量相对增加，减少了麸皮对糊化体系的影响，因此峰值黏度、谷值黏度和最终黏度均有所增加。

张雪娇[22]通过分析小麦淀粉及流变学特性对饺子皮品质的影响发现，淀粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、回生值和峰值时间与饺子皮感官特性的很多指标呈正相关；Konik 等[23]研究分析小麦粉的黏度性状参数与其制成的面条品质参数间的关系发现，高峰黏度和低谷黏度与面条软度呈高度正相关；而 Huang 等[24]的研究表明，小麦粉的高峰黏度与馒头体积呈正相关。结合已有研究结果及本研究结果，推测5%脱皮率的青稞粉具有较好的加工品质。

表 4 脱皮制粉对白青稞粉糊化特性的影响

Table 4 Effect of peeling and on the pasting characteristics of white barley flour

脱皮率/%	峰值黏度/（mPa·s）	谷值黏度/（mPa·s）	最终黏度/（mPa·s）	糊化温度/℃	衰减值/（mPa·s）	回生值/（mPa·s）
0	12 833.70±0.97[a]	1 243.70±0.58[a]	2 843.30±0.35[a]	84.20±1.16[a]	11 590.00±0.20[a]	5 837.12±0.26[a]
5	24 690.70±1.32[b]	2 452.40±0.91[b]	5 110.67±0.94[b]	695.40±1.42[b]	22 238.20±0.27[b]	11 466.80±0.56[b]

注：同列中不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。

2.6 脱皮制粉工艺对青稞粉面团粉质特性的影响

脱皮制粉工艺对青稞粉面团粉质特性的影响见表 5。

表 5 脱皮制粉对白青稞粉粉质特性的影响

Table 5 Effect of peeling and on the powder quality characteristics of white barley flour

脱皮率/%	吸水率/%	面团形成时间/min	稳定性时间/min	弱化度/FU
0	64.00±0.82[a]	2.66±0.06[a]	1.50±0.02[a]	91.04±0.27[a]
5	70.00±0.82[b]	2.77±0.10[a]	4.10±0.12[b]	78.95±0.54[b]

注：同列中不同字母表示差异显著（$P<0.05$）。

由表 5 可知，脱皮白青稞粉的吸水率比未脱皮青稞粉高 6%，这与曾维鹏等[25]的研究结论一致；稳定时间是衡量面粉筋力强度的一个重要指标，稳定时间越长，说明面团的耐搅拌性越强；弱化度表明面团在搅拌过程中的破坏速率即机械搅拌的承受力，也代表面团的强度[26-27]。脱皮后的白青稞面团形成时间增加 0.11 min，稳定性时间增加 2.6 min，而弱化度降低了 12.09 FU，表明脱皮后白青稞粉的面团面筋强度更好、韧性变好、易成型，不会在短时间内因缺水而出现龟裂等现象。

3 结论

适度脱皮虽然会导致营养成分的损失，但可以保证青稞粉的卫生质量，同时有助于改善青稞粉的糊化特性和面团粉质特性，且青稞的脱皮率在 5%左右较适宜。

参考文献:

[1] ZENG X Q, GUO Y, XU Q J, et al. Origin and evolution of Qingke barley in Tibet[J]. Nature Communications, 2018, 9: 5433.

[2] 唐琳, 张永德, 罗学刚, 等. 青海青稞制品发展现状与展望[J]. 现代食品, 2020(16): 49–54.
TANG Lin, ZHANG Yongde, LUO Xuegang, et al. The development progress and prospect of barley products in Qinghai[J]. Modern Food, 2020(16): 49–54.

[3] 车富红, 冯声宝, 李善文, 等. 几个青稞主产区不同青稞品种的微量成分差异分析[J]. 酿酒科技, 2019(11): 113–118.
CHE Fuhong, FENG Shengbao, LI Shanwen, et al. Differences in trace components of highland barley of different varieties from different regions[J]. Liquor–Making Science & Technology, 2019(11): 113–118.

[4] 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): 1249–1257.
XU Fei, DANG Bin, YANG Xijuan, et al. Evaluation of nutritional quality of different hulless barleys[J]. Journal of Triticeae Crops, 2016, 36(9): 1249–1257.

[5] 刘立品. 青稞蛋白质结构与功能特性的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
LIU Lipin. The studies on structural and functional properties of the hulless barley protein[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2015.

[6] SULLIVAN P, ARENDT E, GALLAGHER E. The increasing use of barley and barley by–products in the production of healthier baked goods[J]. Trends in Food Science & Technology, 2013, 29(2): 124–134.

[7] 胡云峰, 王晓彬, 路敏. 高膳食纤维青稞馒头的研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(5): 43–47.
HU Yunfeng, WANG Xiaobin, LU Min. Study on highland barley steamed bread with rich dietary fiber[J]. Cereals & Oils, 2019, 32(5): 43–47.

[8] 党斌, 安海梅, 杨希娟. 青稞面包加工配方优化[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(2): 17–20.
DANG Bin, AN Haimei, YANG Xijuan. Optimization of the formula of hulless barely bread[J]. Cereals & Oils, 2015, 28(2): 17–20.

[9] 贾斌, 姚亚静, 关文强, 等. 青稞粉添加量对面条加工特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(9): 8–12.
JIA Bin, YAO Yajing, GUAN Wenqiang, et al. Effects of hulless barley flour/wheat flour ratio on physical properties of noodles[J]. Food Research and Development, 2019, 40(9): 8–12.

[10] 邓晓青, 潘志芬, 李俏, 等. 青稞全麦粉与面粉及其饼干的品质研究[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(1): 120–126.
DENG Xiaoqing, PAN Zhifen, LI Qiao, et al. Quality characterization of wholegrain, flour and cookies from hulless barley[J]. Journal of Triticeae Crops, 2019, 39(1): 120–126.

[11] CAJZEK F, BERTONCELJ J, KREFT I, et al. Preparation of β–glucan and antioxidant–rich fractions by stone milling of hull–less barley[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(2): 681–689.

[12] MEHFOOZ T, MOHSIN ALI T, ARIF S, et al. Effect of barley husk addition on rheological, textural, thermal and sensory characteristics of traditional flat bread (chapatti)[J]. Journal of Cereal Science, 2018, 79: 376–382.

[13] 向卓亚, 夏陈, 杨开俊, 等. 青稞麸皮营养成分及提取物抗氧化活性研究[J].食品与机械, 2019, 35(12): 163–168.
XIANG Zhuoya, XIA Chen, YANG Kaijun, et al. Study on the nutrient composition and antioxidant activity of highland barley bran[J]. Food&Machinery, 2019, 35(12): 163–168.

[14] 李浪. 小麦的脱皮制粉对其品质的影响[J]. 农产品加工, 2012(3): 6–7.
LI Lang. The Effect of dehulling wheat flour on its quality[J]. Farm Products Processing, 2012(3): 6–7.

[15] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA–RAVENTÓS R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin–ciocalteu reagent[J]. Methods in Enzymology, 1999, 299: 152–178.

[16] 杜艳, 李娟, 陈正行, 等. 不同品种青稞籽粒不同部位粉营养价值综合评价[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(10): 50–56.
DU Yan, LI Juan, CHEN Zhengxing, et al. Comprehensive evaluation of nutritional value of various parts of flour of different highland barley varieties[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(10): 50–56.

[17] 张襲, 龚号迪, 陈志成. 脱皮率对青稞粉的品质及面团特性的影响[J].食品与发酵工业, 2021, 47(5): 133–137.
ZHANG Yan, GONG Haodi, CHEN Zhicheng. The effect of peeling rate on the quality of highland barley powder and the characteristics of dough[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(5): 133–137.

[18] 王焕国. 制粉生产线中菌落和霉菌变化及影响因素研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2018.
WANG Huanguo. Study on the change of colony and mold distribution in the wheat flour production line and the influence factors[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2018.

[19] 王晓曦, 王忠诚, 曹维让, 等. 小麦破损淀粉含量与面团流变学特性及降落数值的关系[J]. 郑州工程学院学报, 2001, 22(3): 53–57.
WANG Xiaoxi, WANG Zhongcheng, CAO Weirang, et al. The relationship between damage starch content in wheat flour and rheological properties and falling number[J]. Journal of Zhengzhou Grain College, 2001, 22(3): 53–57.

[20] 王鹏林, 韩艳芳, 谭兴亮. 浅谈面粉破损淀粉含量对馒头的影响[J]. 现代面粉工业, 2016, 30(6): 17–19.
WANG Penglin, HAN Yanfang, TAN Xingliang. Effect of broken starch content of flour on steamed bread[J]. Modern Flour Milling Industry, 2016, 30(6): 17–19.

[21] JUNG H, CHO S J, PAN C H, et al. Rheological and microstructural properties of noodle dough with purple–fleshed potato (*Solanum tuberosum* L.) flours: Grinding kinetics and effects of particle size[J]. CyTA – Journal of Food, 2018, 16(1): 165–171.

[22] 张雪娇. 小麦淀粉及流变学特性对饺子皮品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012.
ZHANG Xuejiao. Effect of wheat starch and rheological properties on the quality of dumpling skin[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2012.

[23] KONIK C M, MISKELLY D M, GRAS P W. Contribution of starch and non–starch parameters to the eating quality of Japanese white salted noodles[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1992, 58(3): 403–406.

[24] HUANG L Q, WAN J J, HUANG W N, et al. Effects of glycerol on water properties and steaming performance of prefermented frozen dough[J]. Journal of Cereal Science, 2011, 53(1): 19–24.

[25] 曾维鹏, 赵仁勇, 任国宝, 等. 麸皮粒度及添加量对全麦粉品质影响[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(4): 76–79.
ZENG Weipeng, ZHAO Renyong, REN Guobao, et al. Influence of particle size and addition of bran on the quality of whole wheat flour[J]. Cereals & Oils, 2017, 30(4): 76–79.

[26] 陈芳芳, 于文滔, 刘少伟, 等. 紫薯粉对面团粉质特性和质构特性的影响[J].食品工业, 2014, 35(5): 170–174.
CHEN Fangfang, YU Wentao, LIU Shaowei, et al. Influence of purple potato powder on the farinograph and texture properties of dough[J]. The Food Industry, 2014, 35(5): 170–174.

[27] 张守文. 面包科学与加工工艺[M].北京: 中国轻工业出版社, 1996.
ZHANG Shouwen. Bread science and processing technology[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1996.

加工编辑: 冯娜
收稿日期: 2022–01–04