

剥皮率对藏青 27 青稞粉营养成分、抗氧化能力及面条品质的影响

The effect of peeling rate on the nutrimental composition, antioxidant capacity and noodle quality of Tibetan No. 27 highland barley flour

阎莹莹

孟胜亚

张文会

YAN Ying-ying MENG Sheng-ya ZHANG Wen-hui

(西藏自治区农牧科学院农产品开发与食品科学研究所, 西藏 拉萨 850000)

(Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences,

Food Science Institute, Lasa, Tibet 850000, China)

摘要:目的:探究剥皮率对藏青 27 青稞粉营养活性物质含量、抗氧化能力及面条品质的影响。方法:通过控制剥皮时间获得不同剥皮率下的藏青 27 青稞粉。采用相关食品安全国家标准与 Megzyme 试剂盒法检测脂肪、蛋白、矿物质、各膳食纤维及 β -葡聚糖等含量。比较不同剥皮率藏青 27 青稞粉的消化特性、抗氧化活性及面条蒸煮特性和质构特性。结果:① 4% 剥皮率对由藏青 27 磨制的青稞粉营养价值保留与提升的效果较好,适合做酥性食物。② 总糖和 β -葡聚糖在外皮层含量较少。③ 必需氨基酸主要集中在胚和胚乳中。④ 不可溶性膳食纤维对淀粉水解和血糖控制起主要作用。⑤ 总黄酮主要集中在藏青 27 的外皮层,对总抗氧化能力和 DPPH 自由基清除起主要作用。⑥ 总酚对 ABTS 自由基和 O_2^- 自由基的清除效果较好。⑦ 8% 剥皮率磨制的藏青 27 青稞粉适合做压制面条。结论:剥皮率对藏青 27 青稞粉营养活性物质影响较大,当剥皮率为 4% 时,制得的青稞粉营养价值较高,适合做酥性食品;当剥皮率为 8% 时,制得的青稞面条口感较好。

关键词:藏青 27 青稞;剥皮率;营养活性物质;抗氧化能力;面条品质

Abstract: Objective: To explore the effect of peeling rate on the

content of different nutrient active substances, antioxidant capacity, noodle quality and texture characteristics in Tibetan No. 27 highland barley flour. **Methods:** By controlling the peeling time, Tibetan No. 27 highland barley flour with different peeling rates could be obtained. The “National Food Safety Standard” and Megzyme kit were used to detect the content of fat, protein, minerals, dietary fiber and β -glucan and so on. Compared the effects of different peeling rates on the digestibility, antioxidant activity, noodle quality, and texture characteristics of Tibetan No. 27 highland barley flour. **Results:** ① The peeling rate of 4% had a good effect on retaining and enhancing the nutritional value of Tibetan No. 27 highland barley flour, which was suitable for making crispy food. ② The content of total sugar and β -glucan in the outer cortex of Tibetan No. 27 highland barley were less. ③ Non-essential amino acids were mainly concentrated in the embryo and endosperm of Tibetan No. 27 highland barley. ④ The insoluble dietary fiber of Tibetan No. 27 highland barley played a major role in starch hydrolysis and blood sugar control. ⑤ The total flavonoids were mainly concentrated in the outer cortex of Tibetan No. 27 highland barley, which played a major role in total antioxidant capacity and DPPH⁺ clearance. ⑥ Total phenols had a better scavenging effect on ABTS⁺ and O_2^- . ⑦ Tibetan No. 27 highland barley flour milled with a peeling rate 8% was suitable for pressed noodles. **Conclusion:** The peeling rate had a greater impact on the nutrient and active substances of Tibetan No. 27 highland barley flour. When the peeling rate was 4%, the prepared highland barley flour had higher nutritional value and was suitable for crisp food. When the peeling rate was 8%, the prepared highland barley noodles tasted better.

Keywords: Tibetan No. 27 highland barley; peeling rate; nutrient active substances; antioxidant capacity; noodles quality

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设项目(编号:CARS-05);西藏自治区财政预算类项目(编号:XZNKYSPS-2021-C-045)

作者简介:阎莹莹,女,西藏自治区农牧科学院农产品开发与食品科学研究所研究实习生,硕士。

通信作者:张文会(1979—),男,西藏自治区农牧科学院农产品开发与食品科学研究所研究员,硕士。

E-mail: zhhf08@163.com

收稿日期:2021-04-21

青稞富含蛋白、多酚、纤维素及 β -葡聚糖等多种有益物质,并具有低糖、低脂肪的特点^[1-4]。青稞的许多活性物质在预防肠道癌^[5-6]、糖尿病^[7-8]、高血压^[9]、高血脂^[10]、肥胖^[11]等疾病方面效果显著,亦可通过调节氧化酶活性起到抗氧化作用^[12-13]。青稞中许多活性物质主要集中在由外皮层和糊粉层构成的皮层中^[14],剥皮后磨粉可提高面粉口感但同时也会降低面粉的营养价值,而有关剥皮后磨粉对青稞粉质的影响尚未见报道。因此,文章拟通过控制剥皮时间得到不同剥皮率的青稞粉,检测各青稞粉中营养物质含量和抗氧化能力及不同剥皮率的青稞粉制成的面条品质和质构特性,判断适合藏青 27 青稞制粉的剥皮率,以期为青稞剥皮制粉提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

藏青 27 青稞籽粒:细度为 80 目,西藏自治区农牧科学院农业所;

芦丁标准品:美国 Sigma 公司;

试剂盒:美国 Megazyme 公司;

氢氧化钠、碘化钾、乙醇、甲醇、乙酸钾及石油醚:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-1AB 型,天津市泰斯特仪器有限公司;

消化炉:Sxl-1008 型,上海精宏仪器设备有限公司;

紫外分光光度计:N6000 型,上海佑科仪器仪表有限公司;

离心机:TDL-5-A 型,上海安亨科学仪器厂;

凯氏定氮仪:KT200 型,瑞典富斯一特卡托公司;

恒温振荡器:THZ-82 型,常州国华电器有限公司;

和面机:HF-20L-013 型,上海弘惜机械制造有限公司;

面条机:240 型,永康市英润厨具有限公司;

物性测定仪:TA.XT Plus 型,英国 Stable Micro systems 公司。

1.2 方法

1.2.1 青稞剥皮处理 参照于爽等^[14]的方法。以剥皮时间 10 s 为记,称取各时间下的青稞籽粒重,并计算剥皮率,获得 4%,8%,12%剥皮率的青稞籽。

1.2.2 面条制作 称取 100 g 复配粉,其中 $m_{\text{青稞粉}} : m_{\text{谷朮粉}} : m_{\text{食盐}} = 100 : 5 : 3$,充分混合均匀后放入和面机中,加入 45 °C 温水,直至面团含水量为 70%,使用和面机慢速搅拌 15 min,使其充分混合均匀,手工和成面团,选择厚度为 3.5 mm 底片,均匀用力,用压面机将面团压成薄片,并切成面条,蒸煮。蒸煮后用冷水冲 30 s,于保鲜膜上沥水 5 min,待测。

1.2.3 营养物质含量测定

(1) 脂肪含量:按 GB 5009.6—2016 中的索氏抽提法执行。

(2) 蛋白质含量:按 GB 5009.5—2016 中的凯氏定氮法执行。

(3) 总膳食纤维含量:准备 2 份 1.0 g 样品和 40 mL MES-TRIS 缓冲液(pH 8.2),分别置于烧杯中进行磁力搅拌,直至混合均匀。同时制备 2 份空白样。各组均加入 50 μL α -淀粉酶溶液(热稳定),加盖铝箔,95~100 °C 恒温振荡 35 min,冷却至 60 °C,将各组胶状样品刮出,用 10 mL 蒸馏水冲洗杯壁和刮勺。分别加入 100 μL 蛋白酶溶液,加盖铝箔,于 60 °C 恒温水浴中振荡 30 min。分别加入 5 mL 0.561 mol/L 盐酸,并用 1 mol/L 氢氧化钠溶液调节 pH(4.1~4.8)。各组酶解液与 60 °C 95%乙醇按体积 1:4 在烧杯中混合后盖上铝箔,4 °C 下过夜沉淀。在各组钳锅(70 °C 下真空干燥至恒重)中分别加入 1.0 g 硅藻土(平铺)、15 mL 78%乙醇(浸湿硅藻土)和各组酶解液(缓慢转移)进行抽滤。分别用 15 mL 78%乙醇、95%乙醇和丙酮洗涤残渣各 2 次,抽滤。将钳锅和残渣于 105 °C 下烘干(2~4 h),冷却 1 h,称重,计算残渣质量(减去钳锅和硅藻土质量)。按式(1)计算空白样蛋白质质量。按式(2)计算总膳食纤维含量。

$$B = \frac{B_{R_1} + B_{R_2}}{2} - B_P - B_A, \quad (1)$$

式中:

B ——空白样蛋白质质量,mg;

B_{R_1} ——第一份空白样残渣质量,mg;

B_{R_2} ——第二份空白样残渣质量,mg;

B_P ——空白样蛋白质质量,mg;

B_A ——空白样灰分质量,mg。

$$D_F = \frac{2(R_1 + R_2 - P - A - B)}{m_1 + m_2} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

D_F ——样品中膳食纤维含量,%;

R_1 ——第一份残渣质量,mg;

R_2 ——第二份残渣质量,mg;

m_1 ——第一份样品质量,mg;

m_2 ——第二份样品质量,mg;

A ——灰分质量,mg;

P ——蛋白质质量,mg;

B ——空白样蛋白质质量,mg。

(4) β -葡聚糖含量:0.5 g 样品(已知含水量)加 1.0 mL 50%乙酸、5.0 mL 20 mmol/L 磷酸钠缓冲液(pH 6.5),涡旋混匀后沸水浴孵育 2 min。再涡旋混匀,沸水浴孵育 3 min(2 min 时再混匀 1 次,防止凝胶块形成)。冷却至 40 °C,加入 0.2 mL 10 U 地衣聚糖酶,混匀。40 °C 孵育 1 h。定容至 30.0 mL 后用 Whatman No. 41 过

滤圈过滤。取 3 份 0.1 mL 滤液,其中 1 份加入 0.1 mL 50 mmol/L 醋酸钠缓冲液(pH 4.0)为空白组,另外 2 份分别加 0.1 mL 溶于 0.2 U β -葡萄糖苷酶的 50 mmol/L 醋酸钠缓冲液(pH 4.0)为反应组,各组于 40 ℃ 孵育 15 min 后分别加入 3.0 mL GOPOD 试剂,40 ℃ 孵育 20 min。510 nm 处测定各组吸光度值。按式(3)计算样品中 β -葡聚糖含量。

$$C = \Delta A \times F \times 300 \times \frac{1}{1\,000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180}, \quad (3)$$

式中:

C —— β -葡聚糖质量分数,%;

ΔA —— β -葡萄糖苷酶反应组吸光度值与空白组吸光度值的差值;

F ——吸光度值转换成葡萄糖(μg)的转换因子;

W ——样品干重,mg。

(5) 矿物质元素含量:按 GB/T 14609—2008 执行。

(6) 氨基酸含量:按 GB/T 5009.124—2003 执行。

1.2.4 消化特性测定 根据文献[15]修改如下:吸取 50 mg 面条样液(一定量的熟面条加水均质),加入 10 mL HCl-KCl 缓冲液(pH 1.5)、0.2 mL 0.1 g/mL 胃蛋白酶溶液,混匀。于 40 ℃ 水浴振荡 1 h。再加入 0.5 mol/L 乙酸钠缓冲液(pH 6.9),补至体积 25 mL,混匀。加入 5 mL 2.6 IU α -淀粉酶,混匀,于 37 ℃ 水浴振荡水解。在水解时间为 0,30,60,90,120,150,180 min 时,分别取 1 mL 消化样液于 100 ℃ 水浴灭酶 5 min。

1.2.5 抗氧化活性测定 参照邢玉晓[16]的方法。

1.2.6 质构测定(TPA) P6 型号探头,测前、测试、测后速度均为 1 mm/s,压缩比例为 50%,触发力为 5 g。以上测定至少做 3 次重复试验。

1.3 数据处理

用 SPSS 20.0 软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 对营养成分含量的影响

剥皮率对藏青 27 青稞粉营养组分的影响见表 1。脂肪平均含量 1.71%,变异系数 21.57。由于脂肪主要集中在胚部,在种皮中含量较少[17],因此,当大部分种皮被磨

除时,脂肪含量最高。随剥皮率增加,胚部被逐渐碾削掉,脂肪含量逐渐降低,故脂肪含量先升高后降低。蛋白平均含量 10.44%,变异系数 2.96。蛋白在糊粉层中含量最高,在种皮中含量较低[18],因此,当大部分种皮被磨除时,蛋白含量最高,而随剥皮率增加,糊粉层被逐渐碾削掉,蛋白含量逐渐降低,故蛋白含量亦先升高后降低。总膳食纤维平均含量 19.05%,变异系数 16.91。由于含有大量膳食纤维的皮层和含有较多膳食纤维的糊粉层随剥皮率增加被逐渐剥离,总膳食纤维含量显著下降[19]。所以,总膳食纤维含量随剥皮率增加呈下降趋势,且可溶性膳食纤维和不溶性膳食纤维的含量变化趋势均与总膳食纤维含量变化趋势一致。 β -葡聚糖平均含量 4.32%,变异系数 14.87。由于剥皮率增加使麸皮被逐渐剥除,导致麸皮中 β -葡萄糖大量损失[20],故 β -葡聚糖含量亦随剥皮率增加呈下降趋势。综上,当藏青 27 剥皮率为 8% 时,青稞籽粒糊粉层被磨除;当剥皮率为 12% 时,青稞籽粒部分胚部被磨除;总糖和 β -葡聚糖在外皮层中含量较少。

剥皮率对藏青 27 青稞粉矿物质含量的影响见表 2。钙平均含量 414.5 mg/kg,变异系数 8.78;铜平均含量 4.15 mg/kg,变异系数 6.99;铁平均含量 37.25 mg/kg,变异系数 23.16,说明剥皮率对铁含量影响较大;锌平均含量 16.28 mg/kg,变异系数 8.22。由于矿物质在糊粉层含量最高[18],故当藏青 27 剥皮率为 4% 时,糊粉层部分裸露出来。

剥皮率对藏青 27 青稞粉氨基酸含量的影响见表 3。共检测了 16 种氨基酸,其中成人必需氨基酸以亮氨酸和苯丙氨酸为主,并含有婴幼儿必需的组氨酸与早产儿必需的酪氨酸和精氨酸;非必需氨基酸以谷氨酸和脯氨酸为主,与姚豪颖叶等[20]的研究结果一致。虽然不同剥皮率对藏青 27 青稞粉各氨基酸含量的影响均有所差异,但从总氨基酸含量变化情况来,氨基酸整体含量随剥皮率增加呈下降趋势。总氨基酸平均含量 10.06 g/100 g,变异系数 4.96。但非必需氨基酸总量变化差异不显著,故非必需氨基酸主要集中在胚和胚乳中。

2.2 对消化特性的影响

剥皮率对藏青 27 青稞粉消化特性的影响见表 4。快

表 1 不同剥皮率下藏青 27 青稞粉的营养组分[†]

Table 1 Nutrient components of Tibetan No. 27 highland barley flour with different peeling rates %							
剥皮率	脂肪	蛋白	总糖	β -葡聚糖	总膳食纤维	可溶性纤维	不可溶性纤维
0	1.77±0.11 ^{ab}	10.55±0.64 ^a	1.99±0.09 ^{cde}	4.95±0.09 ^{ab}	23.10±2.71 ^a	7.12±1.00 ^{bc}	14.22±0.79 ^a
4	1.92±0.32 ^{ab}	10.74±0.09 ^{ab}	2.56±0.71 ^{abc}	4.71±0.08 ^b	19.72±1.20 ^{bcd}	7.52±0.71 ^{abc}	12.55±0.43 ^{bc}
8	1.97±0.31 ^{ab}	10.46±0.02 ^{bc}	2.18±0.18 ^{bcd}	4.10±0.02 ^{cd}	17.96±0.55 ^{de}	6.67±0.41 ^{bc}	11.30±0.40 ^{cd}
12	1.17±0.05 ^b	10.01±0.26 ^{cd}	1.88±0.07 ^e	3.52±0.34 ^e	15.43±0.38 ^e	6.11±0.15 ^c	9.58±0.04 ^{ef}

[†] 同列字母不同代表差异显著($P<0.05$),所得含量均为样品干基含量。

表 2 不同剥皮率下藏青 27 青稞粉的矿物质元素含量[†]

Table 2 Mineral elements of Tibetan No. 27 highland barley flour with different peeling rates mg/kg

剥皮率/%	钙	铜	铁	锌
0	450±6 ^c	4.34±0.31 ^a	49.2±1.1 ^c	16.9±2.1 ^{abc}
4	439±1 ^{cd}	4.44±0.26 ^a	37.9±1.1 ^c	17.7±4.8 ^{abc}
8	397±4 ^e	4.02±0.09 ^{abc}	31.5±1.7 ^f	15.9±0.8 ^{abc}
12	372±6 ^f	3.81±0.23 ^c	30.4±0.8 ^f	14.6±1.2 ^{bc}

† 同列字母不同代表差异显著($P<0.05$),所得含量均为样品干基含量。

消化淀粉(RDS)平均含量 65.9%,变异系数 30.25。由于碾磨挤压破坏了淀粉的结晶结构,使水解酶更容易进入淀粉颗粒内部,造成快消化淀粉含量明显增加^[21]。故快消化淀粉含量随剥皮率增大而增加。慢消化淀粉(SDS)含量和抗性淀粉(RS)含量变化随剥皮率增加均无显著性差异,其平均含量分别为 62.19%,70.41%。水解指数(HI)平均值 62.55,变异系数 6.64。血糖指数(EGI)平均值 74.05,变异系数 3.08。虽然快消化淀粉含量随剥皮率增加而呈显著增加趋势,但水解指数和血糖指数的变化趋势与快消化淀粉含量呈负相关,可能是因为膳食纤维能够降低消化酶的敏感性,从而起到延缓淀粉消化水解

的效果^[22]。结合表 1 中可溶性膳食纤维含量与不可溶性膳食纤维含量的变化趋势,推测不可溶性膳食纤维对淀粉消化水解起“缓释作用”控制血糖,导致水解指数和血糖指数均因剥皮率增加而呈降低趋势。

2.3 对抗氧化能力的影响

剥皮率对藏青 27 青稞粉抗氧化物质含量和抗氧化能力的影响见表 5。总黄酮平均含量 1.61 mg/100 g,变异系数 41.85;总酚平均含量 175.37 mg/g,变异系数 19.45;总抗氧化能力平均值 0.20 U/mg,变异系数 73.59;DPPH 自由基平均清除率 61.65%,变异系数 32.38;ABTS 自由基平均清除率 17.86%,变异系数 16.49;O₂⁻ 自由基平均清除率 7.86%,变异系数 53.64。所测抗氧化物质含量与抗氧化能力整体均呈显著下降趋势。由于青稞碾磨剥皮处理过程中,大量富含黄酮和多酚等物质的麸皮被去掉,故总黄酮和总酚含量随剥皮率增加而显著降低,总抗氧化能力亦降低^[23-24]。由表 1 和表 5 可知,① 总黄酮主要集中在外皮层;② 由于总黄酮含量变化情况同总抗氧化能力和 DPPH 自由基清除率变化趋势一致,总黄酮可能对总抗氧化能力和 DPPH 自由基清除起主要作用;③ 由于总酚含量变化情况与 ABTS 自由基清除率和 O₂⁻ 自由基清除率变化趋势一致,故总酚可能对这

表 3 不同剥皮率下藏青 27 青稞粉的氨基酸组分[†]

Table 3 Amino acid composition of TibetanNo. 27 highland barley flour with different peeling rates g/100 g

氨基酸	剥皮率/%				氨基酸	剥皮率/%			
	0	4	8	12		0	4	8	12
组氨酸*	0.23	0.16	0.14	0.14	丝氨酸	0.37	0.38	0.38	0.37
赖氨酸*	0.33	0.39	0.35	0.37	甘氨酸	0.38	0.38	0.38	0.34
异亮氨酸*	0.44	0.30	0.33	0.27	蛋氨酸	0.17	0.09	0.13	0.10
亮氨酸*	0.79	0.61	0.65	0.57	精氨酸	0.42	0.48	0.44	0.53
苯丙氨酸*	0.67	0.58	0.59	0.56	丙氨酸	0.41	0.39	0.40	0.38
苏氨酸*	0.33	0.36	0.35	0.33	脯氨酸	2.20	1.92	2.13	2.19
缬氨酸*	0.48	0.43	0.48	0.44	TAA	10.75	9.67	10.11	9.72
谷氨酸	2.26	2.28	2.35	2.28	EAA	3.89	3.11	3.32	2.96
酪氨酸	0.54	0.24	0.29	0.20	NEAA	6.86	6.56	6.79	6.76
天冬氨酸	0.59	0.57	0.57	0.53	EAA/NEAA	56.71	47.41	48.90	43.79

† * 必需氨基酸,TAA 总氨基酸,EAA 总必需氨基酸,NEAA 非必需氨基酸总量。

表 4 不同剥皮率下藏青 27 青稞粉的消化特性[†]

Table 4 Digestion characteristics of Tibetan No. 27 highland barley flour with different peeling rates

剥皮率/%	RDS/%	SDS/%	RS/%	HI	EGI
0	37.83±1.39 ^a	62.49±0.19 ^a	71.22±1.19 ^{abc}	68.16±1.66 ^{bcde}	77.13±0.91 ^{bcde}
4	65.55±0.72 ^d	62.22±0.16 ^a	70.15±0.59 ^{abc}	63.24±0.05 ^{cdef}	74.43±0.03 ^{cdef}
8	79.67±0.30 ^b	62.20±0.28 ^a	69.87±0.78 ^{bc}	59.38±4.96 ^{ef}	72.31±2.72 ^{ef}
12	80.56±1.97 ^b	61.84±0.13 ^a	70.44±0.35 ^{abc}	59.43±4.39 ^{ef}	72.34±2.41 ^{ef}

† 字母不同代表差异显著($P<0.05$)。

两种自由基清除起主要作用。

2.4 对面条品质及质构特性影响

不同剥皮率下藏青 27 青稞面条品质见表 6。剥皮率对藏青 27 青稞面条的吸水率、蒸煮损失率和最佳蒸煮时间的影响均不显著,平均值分别为 58.77%,5.27%和 3.20 min。断条率因剥皮率不同而变化极显著,平均值为 31.56%,变异系数高达 93.22,表明皮层的存在对面条形成的面筋网络结构有较大影响,且当藏青 27 青稞籽粒剥

皮率为 8%时,所制面条形成的面筋网络结构最好。

不同剥皮率下的藏青 27 青稞面条质构特性见表 7。硬度平均值 385.97 g,变异系数 12.45,且剥皮率与藏青 27 青稞面条硬度呈负相关。剥皮率对藏青 27 青稞面条黏附性和弹性无显著影响,平均值分别为-7.12 和 0.61。咀嚼性平均值 62.32,变异系数 47.93,表明皮层的存在对制面条咀嚼性的影响较大,且咀嚼性与弹性呈正相关。回复性平均值 0.08,变异系数 9.98,且回复性与硬度呈负相关。

表 5 不同剥皮率下藏青 27 青稞粉的抗氧化物质含量及抗氧化能力[†]

Table 5 Antioxidant substances and antioxidant capacity of Tibetan No. 27 highland barley powder with different peeling rates

剥皮率/%	总黄酮/ (10 ⁻² mg·g ⁻¹)	总酚/ (mg·g ⁻¹)	总抗氧化能力/ (U·mg ⁻¹)	DPPH 自由基 清除率/%	ABTS 自由基 清除率/%	O ₂ ⁻ 自由基 清除率/%
0	2.50±0.00 ^a	212.22±4.29 ^a	0.412±0.026 ^a	84.93±1.14 ^a	21.23±0.47 ^e	13.07±0.46 ^{cd}
4	1.64±0.16 ^b	194.86±1.89 ^b	0.136±0.156 ^{cd}	63.50±0.47 ^d	18.77±0.33 ^{fg}	9.28±0.64 ^{def}
8	1.42±0.14 ^c	156.31±2.21 ^c	0.141±0.009 ^{cd}	62.01±0.40 ^{de}	14.19±0.42 ^h	5.59±2.20 ^{ef}
12	0.88±0.08 ^{de}	138.10±5.25 ^{de}	0.098±0.035 ^d	36.16±0.92 ^h	17.25±0.51 ^g	3.50±1.66 ^f

[†] 字母不同代表差异显著(P<0.05)。

表 6 不同剥皮率下藏青 27 青稞面条的品质[†]

Table 6 The quality of noodles made from Tibetan No. 27 highland barley with different peeling rates

剥皮率/%	吸水率/%	蒸煮损失/%	断条率/%	最佳蒸煮时间/min
0	63.33±0.01 ^a	6.21±0.00 ^a	53.33±0.05 ^{ab}	3.45±0.07 ^{ab}
4	52.35±0.00 ^a	5.05±0.03 ^a	60.00±0.09 ^a	3.20±0.00 ^{ab}
8	63.32±0.01 ^a	3.52±0.03 ^a	1.25±0.02 ^d	3.18±0.00 ^a
12	56.07±0.03 ^a	6.07±0.02 ^a	11.67±0.07 ^d	3.15±0.07 ^{ab}

[†] 字母不同代表差异显著(P<0.05)。

表 7 不同剥皮率下藏青 27 青稞面条的质构特性[†]

Table 7 Textural properties of Tibetan No. 27 highland barley noodles with different peeling rates

剥皮率/%	硬度/g	黏附性/(g·s)	弹性	咀嚼性	回复性
0	453.20±22.90 ^{bc}	-9.139±1.670 ^a	0.562±0.139 ^a	40.10±6.92 ^{cd}	0.073±0.002 ^d
4	387.01±10.67 ^{bcd}	-8.390±5.110 ^a	0.444±0.054 ^a	35.81±7.41 ^{cd}	0.079±0.006 ^{bcd}
8	358.10±33.10 ^{def}	-4.862±0.526 ^a	0.743±0.063 ^a	98.78±9.09 ^a	0.088±0.002 ^{abc}
12	345.58±2.55 ^{ef}	-6.107±1.002 ^a	0.678±0.183 ^a	74.60±19.40 ^{ab}	0.091±0.001 ^{ab}

[†] 字母不同代表差异显著(P<0.05)。

3 结论

检测不同剥皮率下制粉的藏青 27 青稞的各营养物质含量、水解指数、血糖指数及抗氧化指标,并用各剥皮率下的青稞粉与胚谷粉等混合压制成面条,检测面条品质与质构特性。由于总糖和 β-葡聚糖在外皮层含量较少、非必需氨基酸主要集中在胚和胚乳中,而总黄酮主要集中在外皮层,对控制血糖起主要作用的不可溶性膳食纤维含量随剥皮率增加而减少、总酚含量亦随剥皮率增加而减少,因此,适当的去皮磨粉可保留青稞粉的高营养

值,并提升青稞粉口感。综合考虑得出:4%剥皮率对藏青 27 青稞粉营养价值保留与提升的效果较好,适合做酥性食物,8%剥皮率磨制的藏青 27 青稞粉适合压制面条。西藏地区食用青稞粉通常以糌粑为主,后续可将保留营养活性物质较好的 4%剥皮率藏青 27 青稞粉制成糌粑,并深入研究其理化性质及货架期等问题。

参考文献

[1] 侯殿志, 沈群. 我国 29 种青稞的营养及功能组分分析[J]. 中国食品学报, 2020, 20(2): 289-298.

- HOU Dian-zhi, SHEN Qun. Analysis of nutritional and functional components of 29 kinds of highland barley in China[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(2): 289-298.
- [2] ZHU Yong, LI Tong, FU Xiong, et al. Phenolics content, antioxidant and antiproliferative activities of dehulled highland barley (*Hordeum vulgare* L.)[J]. Journal of Functional Foods, 2015, 19: 439-450.
- [3] XU Fei-fei, BAO Jin-song, KIM T S, et al. Genome-wide association mapping of polyphenol contents and antioxidant capacity in whole-grain rice[J]. J Agric Food Chem, 2016, 64(22): 4 695-4 703.
- [4] 刘慧琳, 王玉珍, 于新雨, 等. 青稞全谷及麸皮对饼干品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(9): 62-67.
- LIU Hui-lin, WANG Yu-zhen, YU Xin-yu, et al. Effect of highland barley whole grain and bran on biscuits quality[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(9): 62-67.
- [5] CHENG Dai, ZHANG Xin-yu, MENG Meng, et al. Inhibitory effect on HT-29 colon cancer cells of a water-soluble polysaccharide obtained from highland barley[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 92: 88-95.
- [6] 王倩倩, 李明泽, 陆红佳, 等. 不同加工方式对青稞降脂益肠功效的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(13): 276-280.
- WANG Qian-qian, LI Ming-ze, LU Hong-jia, et al. Influence of different processing methods on the effect of hullless barley on improving intestinal health and lowering serum lipid levels[J]. Food Science, 2014, 35(13): 276-280.
- [7] DENG Na, ZHENG Bi-sheng, LI Tong, et al. Assessment of the phenolic profiles, hypoglycemic activity, and molecular mechanism of different highland barley (*Hordeum vulgare* L.) varieties[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2020, 21(4): 1 175.
- [8] JAYANTH B, SENTHIL K T, MANOJ S K, et al. Comparison of phytochemicals, antioxidant and hypoglycemic activity of four different Brown rice varieties[J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2019, 21: 101351.
- [9] MOZHDEH Y, NEDA S, HOSSEI H, et al. The natural phenolic compounds as modulators of NADPH oxidases in hypertension[J]. Phytomedicine, 2019, 55: 200-213.
- [10] 钟少文. 青稞粉消化性能的调控及其在面条应用的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2018: 6.
- ZHONG Shao-wen. Digestibility control of highland barley flour and its application to noodle processing[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2018: 6.
- [11] LILLIOJA S, NEAL A L, TAPSELL L, et al. Whole grains, type 2 diabetes, coronary heart disease, and hypertension: Links to the aleurone preferred over indigestible fiber[J]. Biofactors, 2013, 39(3): 242-258.
- [12] XIAO Xiao, TAN Cui, SUN Xin-juan, et al. Effects of fermentation on structural characteristics and in vitro physiological activities of barley β -glucan[J]. Carbohydrate Polymers, 2020, 231: 115685.
- [13] HULLINGS A G, RASHMI S, LIAO L M, et al. Whole grain and dietary fiber intake and risk of colorectal cancer in the NIH-AARP diet and health study cohort[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2020, 112(3): 603-612.
- [14] 于爽, 夏玉琳, 朱恩俊. 不同剥皮程度对小麦粉烷基间苯二酚和 B 族维生素含量的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(06): 162-166.
- YU Shuang, XIA Yu-lin, ZHU En-jun. Effect of different peeling degree on ARs and vitamins B contents in wheat nutrition powder[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(6): 162-166.
- [15] 许美娟. 反复/连续初化处理对谷类、薯类和豆类淀粉结构、理化及功能性质的影响[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2018: 10-13.
- XU Mei-juan. The effects of repeated versus continuous annealing on structural, physicochemical, and digestibility properties of cereals, tubers and beans starch[D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2018: 10-13.
- [16] 邢玉晓. 不同品种青稞的抗氧化活性及抗氧化作用的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017: 21-23.
- XING Xiao-yu. Study on Antioxidant activity and antioxidant effect of different varieties of hull-less barley[D]. Chongqing: Southwest University, 2017: 21-23.
- [17] 王才才, 王崇崇, 王晓曦, 等. 剥皮制粉方法对馒头品质及风味的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2016, 37(6): 39-46.
- WANG Cai-cai, WANG Chong-chong, WANG Xiao-xi, et al. Effect of polished-graded on the quality and flavor of wheat steamed bread[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2016, 37(6): 39-46.
- [18] 于爽, 夏玉琳, 朱恩俊. 剥皮小麦营养粉质量与全麦粉行业标准对比[J]. 食品科技, 2017, 42(5): 142-146.
- YU Shuang, XIA Yu-lin, ZHU En-jun. The contrast between the quantity of peeling wheat nutrition powder and whole wheat flour industry standards[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(5): 142-146.
- [19] LIMBERGER-BAYER V M, FRANCISCO A D, CHAN A, et al. Barley β -glucans extraction and partial characterization[J]. Food Chemistry, 2014, 154: 84-89.
- [20] 姚豪颖叶, 聂少平, 鄢为唯, 等. 不同产地青稞原料中的营养成分分析[J]. 南昌大学学报(工科版), 2015, 37(1): 11-15.
- YAO Hao-ying-ye, NIE Shao-ping, YAN Wei-wei, et al. Analysis on nutrient ingredients in Hullless barley from different producing areas[J]. Journal of Nanchang University (Engineering & Technology Edition), 2015, 37(1): 11-15.
- [21] 戚明明, 彭慧慧, 宋佳琳, 等. 挤压和酶解对豌豆淀粉体外消化率、蛋白质结构和流变特性的影响[J/OL]. 食品科学. [2021-08-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210205.1756.085.html>.
- QI Ming-ming, PENG Hui-hui, SONG Jia-lin, et al. Effects of extrusion and enzymatic hydrolysis on the in vitro starch digestibility, protein structure and rheological properties of pea flour[J/OL]. Food Science. [2021-08-06]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210205.1756.085.html>.

(下转第 118 页)

- 析, 2019, 39(4): 1 323-1 328.
- BAI Tie-cheng, WANG Tao, CHEN You-qi, et al. Comparison of near-infrared spectrum pretreatment methods for jujube leaf moisture content detection in the sand and dust area of southern Xinjiang[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2019, 39(4): 1 323-1 328.
- [15] 陈杰, 姚娜, 吕海芳, 等. 近红外光谱在小尾寒羊羊肉水分预测中的应用[J]. 食品科技, 2021, 46(1): 134-138.
- CHEN Jie, YAO Na, LU Hai-fang, et al. Application of near Infrared spectroscopy in water prediction of small-tail han sheep[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(1): 134-138.
- [16] 宋相中, 唐果, 张录达, 等. 近红外光谱分析中的变量选择算法研究进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(4): 1 048-1 052.
- SONG Xiang-zhong, TANG Guo, ZHANG Lu-da, et al. Research advance of variable selection algorithms in near infrared spectroscopy analysis[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2017, 37(4): 1 048-1 052.
- [17] LI Ying, GUO Ya-jing, LIU Chang, et al. SPA combined with swarm intelligence optimization algorithms for wavelength variable selection to rapidly discriminate the adulteration of apple juice[J]. Food Analytical Methods, 2017, 10(6): 1 965-1 971.
- [18] WU Yuan, LI Ling-ling, LIU Li, et al. Nondestructive measurement of internal quality attributes of apple fruit by using NIR spectroscopy[J]. Multimedia Tools and Applications, 2019, 78(4): 4 179-4 195.
- [19] 陈媛媛, 王志斌, 王召巴. 基于无信息变量消除法与岭极限学习机的新型变量选择方法: 以 CO 气体浓度反演为例(英文)[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(1): 299-305.
- CHEN Yuan-yuan, WANG Zhi-bin, WANG Zhao-ba. Novel variable selection method based on uninformative variable elimination and ridge extreme learning machine: CO gas concentration retrieval trial[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2017, 37(1): 299-305.
- [20] 孙晶京, 杨武德, 冯美臣, 等. 基于随机蛙跳和支持向量机的冬小麦叶面积指数估算[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2020, 40(5): 120-128.
- SUN Jing-jing, YANG Wu-de, FENG Mei-chen, et al. Estimation of winter wheat leaf area index based on random leapfrog and support vector regression approach[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition), 2020, 40(5): 120-128.
- [21] 成甜甜, 王克俭, 韩宪忠, 等. 基于 PSO-LSSVM 和特征波长提取的羊肉掺假检测方法[J]. 食品与机械, 2020, 36(11): 46-50.
- CHENG Tian-tian, WANG Ke-qin, HAN Xian-zhong, et al. Detection method of mutton adulteration based on PSO-LSSVM and characteristic wavelengths extraction[J]. Food & Machinery, 2020, 36(11): 46-50.
- [22] 程介虹, 陈争光. 改进的联合区间随机蛙跳算法的近红外光谱波长选择[J]. 光谱学与光谱分析, 2020, 40(11): 3 451-3 456.
- CHENG Jie-hong, CHEN Zheng-guang. Wavelength selection of near-infrared spectra based on improved SiPLS-Random frog algorithm[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2020, 40(11): 3 451-3 456.
- [23] 袁凯, 张志勇, 席前, 等. 3 步混合变量选择策略在鸡肉近红外水分检测中的应用[J]. 食品与机械, 2020, 36(9): 72-76, 81.
- YUAN Kai, ZHANG Zhi-yong, XI Qian, et al. Research on the application of three-step hybrid variable selection strategy in chicken moisture detection by near infrared[J]. Food & Machinery, 2020, 36(9): 72-76, 81.
- [24] 方明明, 刘静. 基于回归卷积神经网络的近红外光谱苹果脆片品质评价方法研究[J]. 食品科技, 2020, 45(7): 303-308, 316.
- FANG Ming-ming, LIU Jing. Evaluation method of apple chips quality by near infrared spectroscopy based on regressive convolutional neural network[J]. Food Science and Technology, 2020, 45(7): 303-308, 316.
- [25] 李盛芳, 贾敏智, 董大明. 随机森林算法的水果糖分近红外光谱测量[J]. 光谱学与光谱分析, 2018, 38(6): 1 766-1 771.
- LI Sheng-fang, JIA Min-zhi, DONG Da-ming. Fast measurement of sugar in fruits using near infrared spectroscopy combined with random forest algorithm[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2018, 38(6): 1 766-1 771.
- [26] 徐焕良, 周冰清, 王浩云, 等. 基于模型迁移的苹果光学特征参数反演[J]. 农业机械学报, 2020, 51(11): 264-271.
- XU Huan-ling, ZHOU Bing-qing, WANG Hao-yun, et al. Inversion of apple optical feature parameters based on model migration[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2020, 51(11): 264-271.
- [27] 张立欣, 李文华, 王顺, 等. 基 ELM 算法的羊肉水分含量的快速无损检测[J]. 数学的实践与认识, 2020, 50(8): 94-102.
- ZHANG Li-xin, LI Wen-hua, WANG Shun, et al. Fast nondestructive detection of moisture content in mutton based on ELM algorithm[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2020, 50(8): 94-102.
- (上接第 55 页)
- [22] 李继伟, 李琳, 周雪婷, 等. 柑橘皮膳食纤维面包的开发及其体外消化特性的研究[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(3): 85-90.
- LI Ji-wei, LI Lin, ZHOU Xue-ting, et al. Development of citrus Peel dietary fiber-enriched bread and its in vitro digestion characteristics[J]. Storage and Process, 2021, 21(3): 85-90.
- [23] 龚凌霄, 曹文燕, 张英, 等. 青稞麸皮提取物抑制 α -葡萄糖苷酶活性研究及成分分析[J]. 食品科学, 2017, 38(6): 179-184.
- GONG Ling-xiao, CAO Wen-yan, ZHANG Ying, et al. Anti- α -glucosidase activities and bioactive components of Tibetan Hullless barley bran extracts[J]. Food Science, 2017, 38(6): 179-184.
- [24] 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 Zhuo-ya, XIA Chen, YANG Kai-jun, et al. Study on the nutrient composition and antioxidant activity of highland barley bran[J]. Food & Machinery, 2019, 35(12): 163-168.