

3 种青稞糌粑分级粉性质差异及相关性分析

Differences of the properties in three kinds of Zanba powder by
layered grinding and its correlation analysis

马洁^{1,2} 周洋^{1,2} 陈璐瑶^{1,2} 彭锡钰^{1,2} 吕莹^{1,2} 郭顺堂^{3,4}

MA Jie^{1,2} ZHOU Yang^{1,2} CHEN Lu-yao^{1,2} PENG Xi-yu^{1,2} LU Ying^{1,2} GUO Shun-tang^{3,4}

(1. 北京农学院食品科学与工程学院, 北京 102206; 2. 食品质量与安全北京市实验室, 北京 102206;

3. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083; 4. 植物蛋白与谷物加工北京市重点实验室, 北京 100083)

(1. College of Food Science and Engineering, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China;

2. Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, Beijing 102206, China;

3. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

4. Beijing Key Laboratory of Plant Protein and Cereal Processing, Beijing 100083, China)

摘要:以3种不同品种的青稞为原料,炒制后采用分层磨粉的方法分别获得由青稞籽粒外层至内层的糌粑分级粉I~VI,探究各分级粉的 β -葡聚糖含量、糊化特性及风味特征,分析不同糌粑分级粉之间的差异和相关性。结果表明:随着获得的糌粑分级粉道次由外层至内层变化,藏青320、藏青2000和勾芒最外层糌粑分级粉的 β -葡聚糖含量均显著低于最内层的,初始及最终黏度增大。采用气相色谱法研究不同糌粑粉的风味特征,发现各品种糌粑分级粉由外层至内层出现峰面积减少、风味减弱的趋势,同时紫皮青稞勾芒糌粑粉的皮层呈现出比藏青320和藏青2000更好的风味特征。研究表明,藏青320、藏青2000和勾芒3品种的糌粑分级粉之间 β -葡聚糖含量、黏度及风味物质的差异较为显著。

关键词:糌粑粉;黏度; β -葡聚糖含量;风味

Abstract: With three different varieties of highland barley (Zangqing 320, Zangqing 2000, Goumang) as raw material, investigated the β -glucan content, pasting properties and aroma characteristics of cooked highland barley (Zanba) obtained from layered milling method. The results showed that, from outer to inner layer (Zanba powder I ~ VI), the samples were exhibited with increasing β -glucan content, as well as improved initial and final viscosity values for the three highland barleys. Furthermore, the total peak area and the flavor in gas chromatography showed a decreasing tendency, which indicated the flavor characteristics of outer layer Zanba powder were better than that of the inner layer for all samples. Also, the outer

layer of Goumang Zanba powder was presented with stronger flavor characteristics than that of Zangqing 320 and Zangqing 2000. This study provides fundamental basis for the processing of Zanba.

Keywords: Zanba; viscosity; β -glucan content; flavor

青稞俗称裸大麦,主要分布在西藏、青海、甘肃等地区,具有高蛋白、低脂肪、高 β -葡聚糖的特点^[1-3]。裸大麦按其棱数来分,可分为二棱裸大麦、四棱裸大麦和六棱裸大麦^[4]。不同棱的裸大麦其性质也略有不同,如西藏六棱裸大麦蛋白质含量平均值为9.3%,赖氨酸为0.36%,淀粉为55.97%;而青海四棱裸大麦蛋白质含量平均值为13.08%,赖氨酸为0.469%,淀粉为51.15%^[5]。另外,青稞籽粒颜色因品种而异,通常被分为白、黄、黑、紫、墨绿青稞等类型^[6]。任嘉嘉等^[7]将不同品种大麦籽粒磨制成粉研究其理化特性,研究表明不同种皮颜色的青稞性质差异较大,紫青稞的容重、粗脂肪、粗纤维和灰分含量均大于黄青稞。

青稞籽粒经炒制、磨粉而成的炒面即糌粑。糌粑营养丰富、适口性好,具有降血脂、提高免疫力等保健作用^[8-9],是藏族牧民传统主食之一^[10]。青稞同普通大麦结构一样,其籽粒是由外皮层包被的糊粉层、淀粉化的胚乳和胚芽组成。其中外皮层主要由纤维素和半纤维素组成,且脂肪含量高;糊粉层和胚乳层均含有 β -葡聚糖,且胚乳中淀粉含量高^[11]。同时,青稞籽粒在整粒炒制过程中,不同层受热程度也不同。因此,青稞籽粒皮层、糊粉层和胚乳层在炒制过程中可能发生不同的变化,从而导致不同层粉存在营养成分及风味上的差异。因此,有必要对熟青稞籽粒进行分层碾磨并考察各层分级糌粑粉的性质。

目前,传统糌粑加工主要是将炒熟的青稞籽粒直接研磨

基金项目:科技重大专项(编号:ZD20170014)

作者简介:马洁,女,北京农学院在读硕士研究生。

通信作者:吕莹(1976—),女,北京农学院副教授,博士。

E-mail:lvying826@gmail.com

收稿日期:2018-02-18

成全粉。丁捷等^[3]研究了不同品种青稞全粉的基本特性,而未有研究不同品种糌粑分级粉的差异及相关性。因此,本试验选取西藏地区常见的青稞品种,藏青 320、藏青 2000(均为西藏青稞的杂交品种,属于四棱裸大麦,籽粒为黄白色或黄色)和勾芒(紫皮青稞)进行实验室炒制,并以工厂熟制青稞为对照,先分层碾磨后,分别收集由外层到内层的糌粑粉,考察其糊化特性及风味特征的差异,分析不同品种糌粑粉之间以及分级糌粑粉之间的差异性和相关性,为糌粑的加工提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

工厂熟制青稞:青稞为藏青 2000,西藏康桑农产品发展有限公司;

生青稞:藏青 320、藏青 2000、勾芒,西藏自治区农牧科学院;

β -葡聚糖试剂盒:爱尔兰 Megazyme 公司;

乙醇等其他化学试剂:分析纯;

水:去离子水。

1.2 仪器与设备

气相色谱检测仪:GC-2014 型,日本岛津公司;

SPME 手动进样柄:PK1-57330-U 型,美国 Supelco 公司;

固相微萃取头:50/30 μ m DVB/CAR/PDMS 型,美国 Supelco 公司;

石英毛细管柱(30 m, 0.25 mm ID, 0.25 μ m):RTX-WAX 型,美国 Restek Corporation 公司;

恒温水浴锅:EWK-100 型,日本 Edobori Nishiku 公司;

鲜米机:HM-3200 型,哈尔滨浩迈农业科技发展有限公司;

电子天平:ME3002E/02 型,梅特勒-托利多仪器有限公司;

流变仪:DHR-1 型,美国 TA 公司;

可见分光光度计:WFJ2100 型,尤尼柯(上海)仪器有限公司;

pH 计:PHS-3C 型,镇江市华成电子器材有限公司;

高速万能粉碎机:FW80 型,天津市泰斯特仪器有限公司。

1.3 糌粑分级粉制备

参考传统青稞炒制工艺,用炒锅将沙子加热到 180~220 $^{\circ}$ C,将适量的生青稞(藏青 2000、藏青 320 和勾芒)堆放在炒锅的沙子上,用木勺炒制 14~16 min。经几次颠炒之后,迅速将炒熟的青稞冷却并将沙子分离,即可制得实验室自制的熟青稞。

取上述熟青稞及工厂熟制青稞(炒制工艺:用沙粒炒制青稞,沙粒的温度控制在 250 $^{\circ}$ C 的熟化温度,熟化时间为 25~30 s,炒制至青稞爆腰率达到 85%,熟化率达到 95%)各 500 g,分别放入鲜米机分层研磨,按时间收集,每道碾磨时间 10 s,连续 6 次收集由外层至内层的糌粑粉,分别命名为

分级粉 I~VI。为了减少组间差距,将每批得到的糌粑分级粉及糌粑全粉统一收集,过 40 目筛后备用。

1.4 β -葡聚糖测定

按 β -葡聚糖试剂盒说明操作。

1.5 黏度测定

称取 1 g 样品,加 5 mL 去离子水,搅拌均匀。取适量样品放在流变仪的测定平台上,选取直径为 25 mm 的锥板模具和黏度测试程序,启动仪器,刮去多余样品,加盖防止水分挥发。黏度测试程序:初始温度 25 $^{\circ}$ C;终止温度 95 $^{\circ}$ C;升温 5 $^{\circ}$ C/min;剪切速率 10 s⁻¹。

1.6 气相色谱法

1.6.1 风味物质萃取 称取 1 g 样品于 15 mL 顶空样品瓶中,加入 5 mL 水均匀混合后密封,在 70 $^{\circ}$ C 水浴下平衡 20 min,插入萃取头,距离液面 0.5~1.0 cm 处,萃取 40 min 后,将萃取头插入气相色谱检测仪中解析 9 min。

1.6.2 色谱条件 采用 RTX-WAX 石英毛细管柱;FID 检测器;升温程序:柱始温 40 $^{\circ}$ C,保持 3 min;以 4 $^{\circ}$ C/min 程序升温至 180 $^{\circ}$ C,保持 5 min;再以 20 $^{\circ}$ C/min 升温至 250 $^{\circ}$ C,保持 5 min;进样口温度 250 $^{\circ}$ C;载气(99.999% N₂)流量 1.17 mL/min;分流比 50:1。

1.7 感官分析

参考即食糌粑感官评价的评价方法^[10],由 6 位具有一定专业知识的技术人员从糌粑粉风味方面进行感官评分,取平均值。具体感官评定标准见表 1。

表 1 糌粑粉感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation criteria of Zanba powder

评分标准	评分
糌粑风味浓郁,无不良异味	8~10
糌粑风味适中	4~7
糌粑风味很淡或无风味	0~3

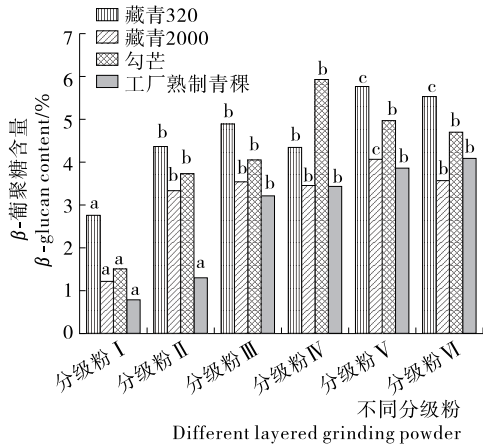
1.8 数据分析

所有的试验结果均以平均数士标准差形式表示,以方差分析 ANOVA 来检测平均值之间的差异,以 P<0.05 为差异显著。统计分析使用 SPSS 18.0 统计分析软件。

2 结果与分析

2.1 糌粑分级粉 β -葡聚糖含量分析

研究^[12]表明,青稞含有较高的 β -葡聚糖。 β -葡聚糖是青稞籽粒中胚乳和糊粉层细胞壁的主要成分,胚乳细胞壁含 75% β -葡聚糖,而糊粉层细胞壁含约 26% β -葡聚糖^[13]。由图 1 可以看出,藏青 320、藏青 2000、勾芒和工厂熟制青稞的各道次分级糌粑粉均含有 β -葡聚糖,且糌粑分级粉 I 的 β -葡聚糖含量显著低于分级粉 VI 的。张峰^[14]将生青稞籽粒磨粉后分成麸皮和谷粉两部分,经测定 β -葡聚糖在麸皮中含量较高(5.78%),而在谷粉中含量较低(2.21%),即生青稞麸皮的 β -葡聚糖含量显著高于谷粉的。与本研究结论相反,可能是生青稞籽粒在炒制过程中处于高温加热环境,麸皮温度高且



同一青稞品种不同处理间,不同小写字母为统计学上差异显著($P < 0.05$)

图 1 糌粑分级粉 β -葡聚糖含量

Figure 1 The β -glucan content of Zanba powder by layered grinding ($n=2$)

远大于籽粒内部谷粉层的温度,有研究^[15]表明, β -葡聚糖受热易分解。因此导致麸皮中的 β -葡聚糖质量损失严重;而内芯中的 β -葡聚糖受到影响较小,从而出现熟青稞分层磨制成粉后内芯粉中的 β -葡聚糖含量远高于麸皮的现象。

2.2 糌粑分级粉黏度特性差异

由图 2 可知,藏青 320、藏青 2000、勾芒和工厂熟制青稞制得的各糌粑分级粉的黏度随着温度升高均有所下降(其中工厂熟制青稞最为突出),当温度上升至 55 $^{\circ}\text{C}$ 左右时黏度呈

增加趋势,至 90 $^{\circ}\text{C}$ 左右达到最大值后下降。同时,比较同一品种各道次分级糌粑粉发现,由外层(分级粉 I)至内层(分级粉 VI),初始黏度及最终黏度呈现增加的趋势。淀粉是青稞中最主要的组成成分,约占籽粒的 60%~70%^[16]。淀粉含量对青稞的糊化特性影响显著,邹奕星等^[17]发现青藏高原品种青稞的总淀粉含量和峰值黏度之间呈显著正相关。青稞外皮层主要由纤维素和半纤维素组成^[11],淀粉含量较低,初始及最终黏度较低;淀粉多存在于青稞籽粒内部,内层分级粉纤维含量较低,而淀粉含量较高,初始及最终黏度都相应较高,黏度变化幅度较大。

此外,工厂熟制青稞的初始黏度值和最终黏度值均比其他 3 个品种青稞的同级黏度值高。这主要是工厂熟制青稞由西藏糌粑加工厂提供,其炒制过程中受热均匀,粉的糊化程度好,因此其黏度值整体较高。

2.3 不同品种糌粑分级粉的风味特征

2.3.1 不同糌粑全粉风味感官评价 炒制的糌粑粉带有青稞特有的香味^[10]。从表 2 可以看出,4 种糌粑全粉的风味评分在统计学上无明显差异且风味浓郁。从数值上看,工厂熟制青稞的风味评分最高,与工厂熟制青稞为同一品种的藏青 2000 的风味评分次之,藏青 320 和勾芒的风味评分一致且较低,即工厂熟制青稞糌粑全粉的风味最浓郁。

2.3.2 不同糌粑全粉总峰面积比较 气相色谱总峰面积的大小常用来表示样品风味物质的多少。由图 3 可知,工厂熟制青稞糌粑全粉的总峰面积最大,勾芒次之,藏青 320 和藏青 2000 糌粑全粉的总峰面积基本一致且最小。工厂熟制青

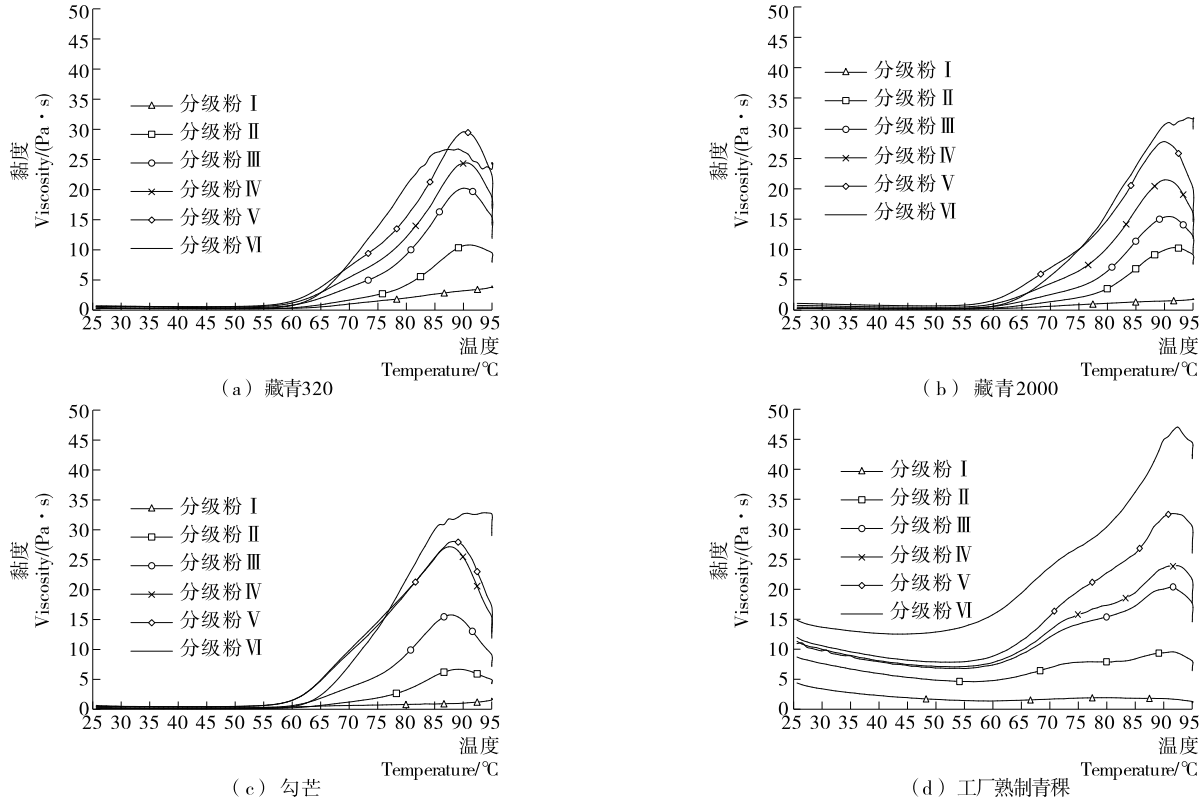


图 2 糌粑分级粉黏度

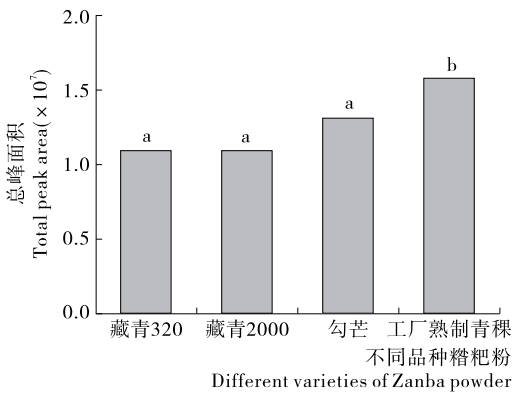
Figure 2 The viscosity of Zanba powder by layered grinding ($n=2$)

稞与藏青 2000 为同一品种青稞,但是工厂熟制青稞的总峰面积远大于实验室炒制的藏青 2000,结合表 2,工厂熟制青稞的感官评分值也大于藏青 2000,即工厂熟制青稞糌粑全粉的风味更浓郁。这主要是工厂熟制青稞是由西藏糌粑粉加工厂提供,其采用传统青稞炒制工艺,炒制过程中青稞受热均匀,

表 2 糌粑全粉风味感官评价

Table 2 Flavor sensory evaluation of Zanba powder (n=6)

样品	风味评分
藏青 320	7.67±0.52
藏青 2000	8.50±0.55
勾芒	7.67±0.60
工厂熟制青稞	8.67±0.82



不同小写字母为统计学上差异显著(P<0.05)

图 3 糌粑全粉气相色谱总峰面积

Figure 3 Gas chromatography peak area of Zanba powder (n=2)

成品效果好,而实验室炒制的藏青 2000,在炒制过程中局部温度过高或受热不均匀,使得两种糌粑全粉的风味不一致。

2.3.3 不同糌粑分级粉风味感官评价 由表 3 可知,4 种糌粑粉的分级粉 I 风味评分均最高,分级粉 II~V 风味评分居中,分级粉 VI 风味评分最低。随着碾磨程度的递进,分级粉风味的得分降低。比对 4 种糌粑分级粉的风味,勾芒分级粉 I~V 的风味得分值均高于其他品种糌粑粉的,藏青 2000 和工厂熟制青稞各级分级粉风味的得分值大致相同且居中,藏青 320 较低。

2.3.4 不同糌粑分级粉气相色谱峰面积比较 进一步研究不同品种糌粑分级粉的气相色谱峰面积。由表 4 可以看出,4 种糌粑分级粉 I 的峰面积均为最大值。青稞籽粒结构中皮层和胚含有较多的脂肪和蛋白质,且脂肪酸种类丰富,以不饱和脂肪酸为主^[7]。研究^[18-19]表明高温热处理过程中发生的不饱和脂肪酸的氧化分解以及还原糖与氨基酸、蛋白质之间的美拉德反应是加工食品风味物质的主要来源。结合表 3,4 种糌粑分级粉 I 的感官风味评分值均为最高。因此,青稞外皮层中脂肪和蛋白质的含量较高可能是 4 种糌粑粉中分级粉 I 的峰面积和风味得分值均为最高的原因。另外,4 种糌粑分级粉由外层至内层均出现峰面积减少的趋势,且感官风味也呈现相同的趋势。脂肪酸的氧化分解和美拉德反应也与温度有关,青稞籽粒炒制过程中传热由外至内,温度逐渐降低。因此。除了不同层糌粑粉化学组成上的差异外,温度差异也可能是导致这一趋势形成的原因。

比较同一种皮颜色的工厂熟制青稞、藏青 320 和藏青 2000,工厂熟制青稞的各道次糌粑分级粉气相色谱峰面积均高于相同道次的其他几种实验室炒制的糌粑分级粉,可能与工厂采用的传统糌粑加工工艺中青稞籽粒受热均匀有关,即

表 3 不同糌粑分级粉风味感官评价[†]

Table 3 Flavor sensory evaluation of different Zanba powder by layered grinding (n=6)

分级粉	藏青 320	藏青 2000	勾芒	工厂熟制青稞
I	7.67±1.51 ^a	8.67±1.03 ^a	8.83±0.41 ^a	8.00±0.89 ^a
II	6.67±1.51 ^{ab}	7.17±1.33 ^{ab}	7.50±0.55 ^b	7.17±1.17 ^a
III	6.17±1.72 ^{ab}	6.17±2.04 ^{bc}	6.67±0.82 ^{bc}	6.33±1.51 ^{ab}
IV	5.00±1.55 ^{bc}	4.83±1.94 ^c	6.33±1.21 ^{bc}	5.33±1.21 ^{bc}
V	4.00±1.10 ^c	4.33±2.34 ^c	5.67±1.21 ^c	4.17±1.94 ^c
VI	3.83±0.75 ^c	4.00±1.26 ^c	3.83±1.33 ^d	4.67±1.51 ^{bc}

[†] 同列不同小写字母为统计学上差异显著(P<0.05)。

表 4 不同糌粑分级粉气相色谱峰面积[†]

Table 4 Gas chromatography peak area of different Zanba powder by layered grinding (n=2)

分级粉	藏青 320	藏青 2000	勾芒	工厂熟制青稞
I	24.48±5.07 ^b	22.98±7.08 ^b	40.05±2.35 ^c	33.22±0.89 ^c
II	20.29±0.82 ^{ab}	16.40±1.76 ^{ab}	21.94±0.29 ^b	30.11±3.57 ^{bc}
III	16.32±0.77 ^a	21.57±4.68 ^b	18.09±0.14 ^b	25.34±2.50 ^{ab}
IV	18.43±1.68 ^{ab}	21.42±3.79 ^{ab}	21.47±2.55 ^b	22.09±1.26 ^a
V	15.89±2.30 ^a	16.40±1.64 ^{ab}	18.40±0.90 ^b	22.74±2.01 ^a
VI	14.05±4.92 ^a	10.88±2.91 ^a	11.59±9.26 ^a	24.27±2.59 ^{ab}

[†] 同列不同小写字母为统计学上差异显著(P<0.05)。

使是最内层的分级粉其风味也比较浓郁。结合图 3 中工厂熟制青稞糌粑粉的总峰面积最大,表 3 中工厂熟制青稞糌粑分级粉Ⅲ、Ⅳ、Ⅵ的风味评分大于藏青 320 和藏青 2000,由此可得出工厂熟制青稞的糌粑粉成品效果好,香气比较浓郁。

另外,表 3、4 显示了勾芒糌粑分级粉Ⅰ的峰面积值为 4 种糌粑分级粉中的最大值。有研究^[7]表明紫皮青稞的粗脂肪、粗纤维含量均大于黄青稞,勾芒属于紫皮青稞,而工厂熟制青稞、藏青 320 和藏青 2000 均属于黄皮品种青稞。在炒制过程中,皮层脂肪酸发生氧化分解反应,产生大量的风味物质^[20]。因此,紫皮品种青稞比黄皮品种青稞的糌粑粉皮层风味大可能与其脂肪含量的差异有关。

3 结论

本研究探讨了不同品种糌粑分级粉的 β -葡聚糖含量、黏度特性及风味物质差异。随着糌粑分级粉道次由外层(分级粉Ⅰ)至内层(分级粉Ⅵ)变化,藏青 320、藏青 2000、勾芒和工厂熟制青稞最外层糌粑分级粉的 β -葡聚糖含量显著低于最内层的。同时,各分级糌粑粉黏度均随着温度的升高缓慢下降,当温度上升至 55 ℃左右时,黏度呈增加趋势,至 90 ℃左右达到最大值后下降。气相色谱和感官评价的结果表明,工厂熟制糌粑全粉的风味最浓郁,不同品种糌粑分级粉均呈现由外层至内层风味减弱的趋势,且紫皮青稞勾芒糌粑粉的皮层表现出比藏青 320 和藏青 2000 更好的风味特征,说明糌粑粉的风味可能与受热程度和脂肪含量有关。本试验研究的藏青 320、藏青 2000 和勾芒 3 品种青稞的糌粑分级粉之间 β -葡聚糖含量、黏度特性及风味物质的差异,由于青稞品种数量较少,仅可为青稞的加工提供参考。

参考文献

- [1] YANG Ping, LIU Xian-jun, LIU Xin-chun, et al. Diversity analysis of the developed qingke (hulless barley) cultivars representing different growing regions of the Qinghai-Tibet Plateau in China using sequencerelated amplified polymorphism (SRAP) markers[J]. African Journal of Biotechnology, 2010, 9(50): 8 530-8 538.
- [2] 甘济升, 贾素贤, 叶坚. 青稞加工工艺研究[J]. 现代食品, 2016

(12): 124-126.

- [3] 丁捷, 郑丁蕊, 黄益前, 等. 川西产区不同品种青稞全粉基本特性研究[J]. 食品科技, 2016(9): 171-177.
- [4] 拾方坚, 田玉山, 郭孝, 等. 我国裸大麦品种蛋白质、赖氨酸含量的分析[J]. 作物杂志, 1992(2): 36-37.
- [5] 楼惠新. 青藏高原青稞生产发展与对策[J]. 柴达木开发研究, 2000(2): 28-31.
- [6] 朱睦元, 张京. 大麦(青稞)营养分析及其食品加工[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2015: 5.
- [7] 任嘉嘉, 孟少华, 曹永政, 等. 大麦品种籽粒、制粉和黏度特性研究[J]. 粮油加工, 2014(6): 50-56.
- [8] 次顿. 糌粑加工质量控制研究进展[J]. 西藏科技, 2016(6): 3-5.
- [9] 党斌, 杨希娟, 肖明, 等. 青稞加工利用综述[J]. 青海农林科技, 2009(1): 25-27.
- [10] 杨希娟. 青稞糌粑加工工艺研究[J]. 食品工业, 2016(8): 78-81.
- [11] 郑学玲, 张玉玉, 张杰. 青稞淀粉理化特性的研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(4): 30-36.
- [12] 张峰, 杨勇, 赵国华. 青稞 β -葡聚糖研究进展[J]. 粮食与油脂, 2003(12): 3-5.
- [13] 曲良冉. 青稞中非淀粉多糖—— β -葡聚糖研究进展[J]. 粮油加工, 2009(2): 77-81.
- [14] 张峰. 青稞 β -葡聚糖的分离纯化及其理化性质研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005: 25-26.
- [15] 董磊. 青稞 β -葡聚糖理化性质、流变性质以及在化妆品中应用[D]. 上海: 上海应用技术学院, 2015: 26-38.
- [16] BELOBRAJDIC D P, JOBLING S A, MORELL M K, et al. Wholegrain barley arglucan fermentation does not improve glucose tolerance in rats fed a high-fat diet[J]. Nutrition Research, 2015, 35(2): 162-168.
- [17] 邹弈星, 潘志芬, 邓光兵, 等. 青藏高原青稞的淀粉特性[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(1): 74-79.
- [18] 项惠丹, 许时婴, 王璋. 蛋白质与还原糖美拉德反应产物的抗氧化活性[J]. 食品科学, 2008, 29(7): 52-57.
- [19] 蔡妙颜, 肖凯军, 袁向华. 美拉德反应与食品工业[J]. 食品工业科技, 2003, 24(7): 90-93.
- [20] 张晓磊, 李春扬, 张世满, 等. 同时蒸馏萃取技术分析酿酒原料青稞中挥发性化合物的研究[J]. 酿酒科技, 2012(7): 115-118.
- Cereal Chemistry Journal, 2001, 78(5): 564-571.
- [24] 王立, 杨炜, 钱海峰, 等. 麦麸非淀粉多糖对烘焙品质的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 248-255.
- [25] DICKINSON E. Mixed biopolymers at interfaces: Competitive adsorption and multilayer structures[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(8): 1 966-1 983.
- [26] 徐冬梅, 蒋晓敏, 韩晓强, 等. 用泡沫扫描分析仪考察泡沫剂的性能[J]. 石油化工, 2010, 39(11): 1 285-1 288.
- [27] VEMULAPALLI V, HOSENEY R C. Glucose oxidase effects on gluten and water solubles[J]. Cereal Chemistry, 1998, 75(6): 859-862.
- [28] 齐平. 叶啉 LB 膜的制备和性能研究[D]. 长春: 吉林大学, 2013: 38-39.
- [29] 杨炜. 酶制剂在全麦馒头品质改良中的应用及其机理研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 16-19.

(上接第 43 页)

- [20] GAN Zeng, ANGOLD R E, WILLIAMS M R, et al. The microstructure and gas retention of bread dough[J]. Journal of Cereal Science, 1990, 12(1): 15-24.
- [21] PAULY A, PAREYT B, FIERENS E, et al. Fermentation affects the composition and foaming properties of the aqueous phase of dough from soft wheat flour[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 37(3): 221-228.
- [22] TURBIN-ORGER A, DELLA VALLE G, DOUBLIER J L, et al. Foaming and rheological properties of the liquid phase extracted from wheat flour dough[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 43: 114-124.
- [23] COURTIN C M, GELDERS G G, DELCOUR J A. Use of two endoxylanases with different substrate selectivity for understanding arabinoxylan functionality in wheat flour breadmaking[J].