

杨春娇, 肖富彤, 李俏, 赵天怡, 张智慧, 除多, 张玉红, 潘志芬. 3个青稞品种不同粒度面粉和面条的品质差异[J]. 应用与环境生物学报, 2024, 30 (6): 1198-1206

Yang CJ, Xiao FT, Li Q, Zhao TY, Zhang ZH, Chuduo, Zhang YH, Pan ZF. Effect of flour particle size on quality of barley flour and noodles: assessment of three highland varieties [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2024, 30 (6): 1198-1206

3个青稞品种不同粒度面粉和面条的品质差异

杨春娇¹ 肖富彤¹ 李俏¹ 赵天怡^{1,2} 张智慧^{1,3} 除多⁴ 张玉红⁵ 潘志芬¹✉

¹中国科学院成都生物研究所 成都 610213

²中国科学院大学 北京 100049

³四川农业大学 成都 611130

⁴西藏旺达青稞食品有限责任公司 日喀则 857399

⁵西藏自治区农牧科学院农产品开发与食品科学研究所 拉萨 850000

摘要 粉碎粒度是影响面粉及其制品品质的重要因素. 研究糯青稞藏青18和普通青稞藏青2000、藏青3000的90、100、110、120目4种粒度面粉及其面条的品质差异. 结果显示: 不同粒度青稞面粉的营养品质存在显著差异, 总淀粉和直链淀粉含量随着粒度减小而升高, 120目粉总淀粉和直链淀粉含量比90目粉升高15%-18%; 蛋白质和 β -葡聚糖含量随粒度减小而降低, 120目粉的蛋白质含量比90目粉降低15%-20%, β -葡聚糖含量降低约50%, 不同粒度面粉中的总黄酮含量都低于全麦粉, 而且100目粉的总黄酮含量最低, 仅有其他粒度面粉的一半左右; 总酚含量在两个普通品种中随着面粉粒度减小而逐渐下降, 分别从90目粉的100.17、122.20 mg/100 g降低至120目粉的74.43、91.77 mg/100 g, 但在糯青稞中100目面粉的总酚含量最低为160.47 mg/100 g, 仍高于普通青稞全部面粉. 青稞面条的 β -葡聚糖含量随着面粉粒度减小显著减少, 120目粉制作的面条的 β -葡聚糖含量只有90目粉面条的一半甚至更低, 但总黄酮和总酚则呈现相反的趋势. 两个普通青稞品种的面条的最佳蒸煮时间随面粉粒度减小而增加, 而蒸煮损失率的变化相反, 糯青稞藏青18制作的面条不适合蒸煮. 面条质构的硬度、回复力、胶着性、咀嚼性随面粉粒度减小而增强, 与面粉粒度具有显著相关性, 感官评价中色泽、光滑性和总评分与面粉粒度具有显著相关性, 随粒度减小评分升高. 本研究表明面粉粒度对面粉营养品质和相应面条的营养、蒸煮、质构和感官品质有显著影响, 面粉粒度越小, 营养物质损失越多, 但面条的蒸煮品质、质构特性和感官品质较好. (图6表3参38)

关键词 青稞; 面粉粒度; 面粉品质; 面条; 蒸煮品质

Effect of flour particle size on quality of barley flour and noodles: assessment of three highland varieties

YANG Chunjiao¹, XIAO Futong¹, LI Qiao¹, ZHAO Tianyi^{1,2}, ZHANG Zhihui^{1,3}, Chuduo⁴, ZHANG Yuhong⁵ & PAN Zhifen¹✉

¹ Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610213, China

² University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

³ Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

⁴ Xizang Wangda Highland Barley Food Co., Ltd., Shigatse 857399, China

⁵ Institute of Food Sciences and Technology, Xizang Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850000, China

Abstract Flour particle size is an important factor affecting the quality of flour and its products. However, few studies have been conducted on highland barley flour and its products. Here we investigated differences in quality of flour and noodles with four based on flour particle size: 90-, 100-, 110-, and 120-mesh. The barley varieties tested were waxy barley variety Zangqing 18 and two normal varieties, Zangqing 2000 and Zangqing 3000. There were significant differences in the nutritional quality of barley flours with different flour particle sizes. The total starch and amylose contents increased with decreasing flour particle size, whereas the total starch and amylose content of 120-mesh flour increased by 15%–18% compared to 90-mesh flour. Protein and β -glucan contents decreased with the decreasing flour particle size, and the protein content of 120-mesh flour decreased by 15%–20% compared to 90-mesh flour, β -glucan decreased by approximately 50%. The total flavonoid content

收稿日期 Received: 2024-01-29 接受日期 Accepted: 2024-04-03

四川省区域创新合作任务项目(2021YFQ0019)、第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK0303)、西藏科技厅项目(XZ202201ZD0001N)和日喀则市科技项目(RKZ2021KJ11)资助 Supported by the Sichuan Provincial Region Innovation Cooperation Project (2021YFQ0019), Second Tibetan Plateau Scientific Expedition and Research Program (2019QZKK0303), Project of the Science and Technology Department of Xizang Autonomous Region (XZ202201ZD0001N), and Project of Science and Technology of Shigatse (RKZ2021KJ11)

✉通信作者 Corresponding author (E-mail: panzf@cib.ac.cn)

in flour with different particle sizes was lower than that in whole-grain flour, and the total flavonoid content in flour with 100-mesh size was the lowest, only approximately half of that in flour of other particle sizes. The total phenolic content gradually decreased with decreasing flour particle size in the two normal barley varieties, decreasing from 100.17 and 122.20 mg/100 g in 90-mesh flour to 74.43 and 91.77 mg/100 g in 120-mesh flour, respectively. However, phenolic content was lowest in the 100-mesh flour of waxy barley at 160.47 mg/100 g, although this value was higher than that of normal barley flour. The β -glucan content of noodles significantly decreased with the decreasing flour particle size, and the β -glucan content of the noodle made with 120-mesh flour is only half or even lower than that of 90-mesh noodles, but total flavonoids and total phenols showed the opposite trend. The optimal cooking time for normal barley noodles increased with decreasing flour particle size, whereas the cooking loss rate decreased. However, noodles made from waxy barley Zangqing18 are not suitable for steaming. The hardness, resilience, gumminess, and chewiness of noodle texture increased with decreasing flour particle size and were significantly correlated with flour particle size. In the sensory evaluation, color, smoothness, and total score were significantly correlated with the flour particle size, and the score increased with decreasing particle size. In summary, the results of this study indicate that flour particle size has a significant impact on the nutritional quality of flour and its corresponding noodles, such as nutritional, cooking, textural, and sensory qualities. The smaller the flour particle size, the more nutrients were lost, but the better the cooking quality, textural characteristics, and sensory quality of noodles.

Keywords highland barley; flour particle size; flour quality; noodle; cooking quality

青稞 (*Hordeum vulgare* var. *nudum*) 属于禾本科 (Poaceae) 小麦族大麦属 (*Hordeum*)，是我国藏区富有特色的高原谷类作物，是藏族同胞的主要粮食和食品加工原料^[1]。青藏高原特殊的生长环境赋予了青稞丰富的营养价值，其富含 β -葡聚糖、多酚和黄酮等多种功能活性物质^[2]，在健康食品、功能食品开发领域备受关注^[3]。青稞食品越来越受到消费者青睐，但目前市面上大多数青稞产品中只是将青稞作为少量的辅助添加成分，并没有充分发挥青稞本身的营养和保健功能。这与青稞的现代加工业发展较晚，加工性能不明确及加工技术落后密切相关。加快青稞加工性能及加工技术研究，对促进青稞加工产业及青稞全产业链的发展具有重要意义。

粉碎粒度是影响面粉及其制品品质的重要因素。不同粒度小麦粉的营养成分、糊化特性都有显著差异。当小麦粉粒度减小时，总淀粉含量降低，直链淀粉含量增多^[4]，小麦粉糊化黏度、衰减值、回生值整体呈现下降趋势^[5-6]。米粉的粒度大小也显著影响功能特性和淀粉特性，粒度较小的米粉的蛋白质含量较低^[7]。粒度减小会降低大麦粉的保水能力，可能碾磨破坏了细胞结构，导致细胞壁基质的崩溃^[8]。面粉粒度不同造成基本组分及物化特性的变化，进一步导致终端产品的品质出现较大差异，而且粒度对不同谷物及不同产品的影响可能不同。小麦馒头的硬度和咀嚼性随着小麦粉粒度的减小逐渐降低^[9]，而用细面粉制作的面包的硬度和黏结性显著升高^[10]。因此，青稞面粉的粒度大小也可能对青稞面粉及其制品的营养品质和加工品质造成不同的影响，而青稞在这方面的研究还较少。利用青稞为原料制作面包、馒头、饼干、面条等各种产品正在蓬勃发展，如果粒度对青稞面粉及其制品的品质也存在影响，那么粒度将成为青稞制粉和加工的考虑因素之一，因此研究粒度对青稞面粉及其产品品质的影响将促进青稞的加工和利用。

面条是我国居民的主食之一，由于其具有健康、营养及便捷等特点深受消费者喜爱。近年来市面上出现了以青稞粉为主要原料，通过挤压制作成可浸泡或煮制的青稞面条，其具有非油炸和食用方便等优势。为了探究粒度对青稞面粉和面条品

质的影响，我们选择西藏特色和主栽青稞品种藏青18、藏青2000和藏青3000为研究对象，分析不同粒度面粉及面条的营养成分含量、糊化特性、面条质构、蒸煮特性以及感官品质的差异，以期明确粒度对不同青稞品种的面粉和面条的品质影响，为青稞制粉及面条加工提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

西藏特色糯青稞藏青18和主栽青稞品种藏青2000、藏青3000，由西藏农牧科学院农业研究所提供。

1.2 试验方法

1.2.1 面粉制备 由西藏日喀则市白朗县旺达食品厂以其全自动配套磨粉装置进行磨粉，包括比重分级去石机（型号60，安阳市滑县鑫丰粮机厂）、分级筛（安阳市滑县鑫丰粮机厂）、刷麸机（型号40 × 80，安阳市滑县鑫丰粮机厂）等。首先将青稞洗净润麦36 h后加入1号钢磨机中进行初磨，然后进入分级筛进行皮磨和芯磨，每个品种均磨出90目、100目、110目、120目四种粒度的青稞面粉（目数越多，面粉粒度越小）。市面上大多数面粉粒径均在这个范围内，企业生产线的制粉设备也设置为磨制这4种粒度的面粉。90目粉为皮磨所得，100-120目粉为芯磨所得，90-120目分别编号为FP1、FP2、FP3、FP4，全麦粉为各品种青稞完整籽粒通过粉碎机（RT-02B）碾磨获得，编号为FA。所有面粉放置于塑封袋中密封冷藏保存，以用于营养组分含量、面粉糊化特性测定及面条制作。

1.2.2 面粉糊化特性的测定 糊化特性的测定参考Li等的方法^[11]使用RVA 4500旋转黏度仪（瑞典Perten公司）测定，量取24.5 mL蒸馏水于黏度仪的测量杯中，加入0.5 mL 10% AgNO₃，称取3.5 g青稞面粉悬浮于其上并充分搅拌均匀后放入黏度仪测定；从50 °C开始升温，升温速率为12.5 °C/min，到95 °C保温2.5 min，然后以11.8 °C/min的速度降温至50 °C，保温2 min，转速为160 r/min。

1.2.3 面条制作 面条制作在西藏日喀则市白朗县旺达食品

厂的生产线上完成,其工艺流程为青稞→青稞粉→称取配料→和面→挤压→定量切割→灭菌→冷却→检验→包装。青稞粉和水按2:1的比例混合,辅料为面筋、弹劲王和盐,其占比分别为2.5%、0.1%、1.25%,和面5 min,经高温(75-85℃)和低温(低于40℃)挤压成型,切割后制作出青稞面条。

1.2.4 营养成分检测 面条营养成分的测定为将面条于50℃烘箱烘8 h后再磨成粉末后测定(采用粉碎机(RT-02B)碾磨)。β-葡聚糖、总淀粉和直链淀粉的测定参考谢容等的方法^[12],β-葡聚糖含量使用MIXED-LINKAGE BETA-GLUCAN试剂盒测定,总淀粉含量的测定参考AOAC Method 996.11, AACC Method 76-13.01和ICC Standard Method No.168方法,使用TOTAL STARCH试剂盒测定,直链淀粉含量使用AMYLOSE/AMYOPECTIN试剂盒测定,这些试剂盒均来自爱尔兰Megazyme公司。蛋白质参考GB/T 5009.5-2016采用凯氏定氮法测定。

黄酮含量的测定:参考曾亚文等人的方法^[13],称取0.5 g样品于10 mL带盖离心管中,加入5 mL 50%乙醇后振荡1 h(250 r/min),再离心3 min(4 500 r/min)。取1 mL上清液于25 mL容量瓶中,加入0.6 mL 15%的NaNO₂,混匀后静置5 min,再加入0.6 mL 10%的Al(NO₃)₃,混匀后静置6 min,接着加入4 mL 15%的NaOH,混匀后静置10 min,最后用dH₂O定容至25 mL,500 nm处测定吸光度。

总酚含量的测定:参考陶虹等人的方法^[14],称取0.25 g样品于10 mL带盖离心管中,加入10 mL 80%乙醇,60℃超声提取30 min后离心(4 000 r/min)10 min。提取0.8 mL上清液于10 mL离心管中,加入0.2 mL纯水和1.25 mL福林酚(0.2 mol/L),静置5 min后再加入2 mL 7.5%的Na₂CO₃溶液,用dH₂O定容至10 mL,760 nm处测定吸光度。

1.2.5 面条蒸煮特性的测定 面条蒸煮特性的测定参考张淑仪^[15]和胡云峰^[16]等人的方法并略有改动。取300 mL水倒入已称重M₁的容器中烧开,放入20根面条进行煮制,从2 min开始计时,每隔10 s取出1根面条在玻璃板上挤压,观察面条中的白芯是否消失,将白芯消失时间记为最佳蒸煮时间。准确称取质量为m₁的20根长度约为15 cm的面条,煮至最佳蒸煮时间将面条迅速捞出,置于凉水中浸泡30 s再捞出置于漏网中沥水5 min,称量此时面条的质量m₂,计数未断条根数N。将面汤继续煮沸蒸发掉大部分水分,放入105℃烘箱中烘干至恒重,称量容器和干物质的重量M₂。按如下公式(公式1-3)计算面条

吸水率、断条率、蒸煮损失率。

$$\text{吸水率} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{断条率} = \frac{20 - N}{20} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{蒸煮损失率} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\% \quad (3)$$

1.2.6 面条质构特性的测定 将面条煮至最佳蒸煮时间,凉水浸泡30 s,沥干水分,室温冷却后测定面条质构特性。质构参数的设定参考翟会生等的方法^[17]并略有改动。使用TA-XT2i质构分析仪,选用N673035探头进行压缩试验,参数设置为测试前速度1.0 mm/s,测试速度1.5 mm/s,测试后速度5 mm/s,压缩程度50%,测试感应力5 g,两次压缩的时间间隔为1 s。载物台上保持干净平整,对每个样品做3次平行实验,每次放置4根面条。

1.2.7 面条感官评价 面条的感官评价参考GB/T 25005—2010和胡云峰等人的方法^[16],并略有改动,请5位以上经过培训的品评人员对面条各项指标进行感官评定打分,面条感官评分规则见表1。

1.3 数据分析

试验数据采用Excel进行整理汇总,用SPSS Statistics 26.0进行ANOVA单因素方差分析和Duncan多重比较,用Origin作图和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 粒度对面粉的影响

2.1.1 不同粒度面粉的营养品质差异 藏青18全麦粉的总淀粉含量显著低于藏青2000,其β-葡聚糖、总黄酮和总酚含量都显著高于普通青稞藏青2000和藏青3000。藏青18为糯青稞,其直链淀粉含量仅为5%左右,远远低于两个普通青稞品种,其蛋白质含量显著高于藏青2000,低于藏青3000。不同粒度面粉的营养成分差异显著(P < 0.05),总淀粉和直链淀粉含量随面粉粒度减小而增加,蛋白质含量随面粉粒度减小整体呈降低趋势。β-葡聚糖含量随面粉粒度减小而降低,藏青18、藏青2000和藏青3000的120目(FP4)粉相比90目(FP1)粉分别降低了53%、50%、44%。总黄酮含量随粒度的变化趋势呈先减少后增加的趋势,90-120目(FP1-FP4)粉的总黄酮

表1 青稞面条感官评分表

Table 1 The sensory evaluation for barley noodles

评价指标 Evaluating indicator	分值 Score	评分标准 Grading standard
色泽 Color	15	颜色均匀,为原料自然色:12.1-15分;颜色不均匀:9.1-12分;颜色发暗无光泽:4-9分 The color is even, showing the natural color of raw materials: 12.1-15 points; the color is uneven: 9.1-12 points; the color is dull and lacks luster: 4-9 points
表观状态 External appearance	10	表面结构细密光滑:8.1-10分;表面有起泡或分层:6.1-8分;表面粗糙、变形:4-6分 The surface structure is fine and smooth: 8.1-10 points; the surface is bubbly or layered: 6.1-8 points; the surface is rough and deformed: 4-6 points
软硬度 Softness and hardness	20	适中无硬芯:17.1-20分;稍偏硬或偏软:10.1-17分;太硬或太软:4-10分 Moderate without hard core: 17.1-20 points; slightly hard or soft: 10.1-17 points; too hard or too soft: 4-10 points
黏弹性 Viscoelasticity	30	不黏牙、有嚼劲富有弹性:25.1-30分;稍黏牙、弹性一般:20.1-25分;黏牙、无嚼劲:15-20分 Non sticky, chewy, and elastic: 25.1-30 points; slightly sticky, moderate elasticity: 20.1-25 points; sticky, not chewy enough: 15-20 points
光滑性 Smoothness	15	质地光滑:12.1-15分;不光滑:9.1-12分;粗糙:4-9分 Smooth texture: 12.1-15 points; unsmooth: 9.1-12 points; roughness: 4-9 points
食味 Taste	10	具有明显麦香味:8.1-10;无麦香味也无异味:6.1-8分;有异味:4-6分 Has a distinct wheat aroma: 8.1-10; no wheat aroma or odor: 6.1-8 points; odor: 4-6 points

含量显著低于全麦粉, 3个品种均为100目(FP2)粉的总黄酮含量最低. 藏青18总酚含量随面粉粒度变小先减少后增加, 藏青2000和藏青3000总酚含量随面粉粒度减小而降低, 90-120目粉的总酚含量均显著低于相应的全麦粉(图1).

2.1.2 不同粒度青稞粉的糊化特性差异 藏青18面粉的所有糊化特性参数在不同粒度面粉中具有显著差异($P < 0.05$), 其中峰值时间、峰值温度、最低黏度、最终黏度和回生值随粒度较小逐渐降低, 峰值黏度和崩解值随粒度减小先降低后升高($P < 0.05$). 藏青2000和藏青3000面粉糊化特性随粒度的变化趋势相似, 峰值时间随粒度减小呈N字型波动变化, 峰值温度在不同粒度间无显著差异($P > 0.05$), 峰值黏度、最低黏度、最终黏度、崩解值和回生值随粒度减小整体呈降低或先降低后升高趋势. 3种青稞相比, 糯青稞藏青18面粉的崩解值显著高于两个普通青稞品种, 其他参数显著低于普通青稞

(表2).

2.2 粒度对面条的影响

2.2.1 不同粒度面粉的面条品质差异 面粉粒度对面条营养成分含量具有不同影响, 面条的总淀粉和直链淀粉含量受粒度的影响不明显, 藏青18面条的蛋白质含量随粒度减小有所增加, 而藏青2000和藏青3000面条的蛋白质含量随粒度减小有所降低. 面粉粒度越小面条的 β -葡聚糖含量越低, 与面粉 β -葡聚糖含量的变化一致. 总黄酮和总酚含量总体上呈现出随面粉粒度减小整体升高的趋势(图2).

2.2.2 不同粒度面粉的面条蒸煮品质的差异 最佳煮制时间、蒸煮吸水率、蒸煮断条率、蒸煮损失率是评价面条蒸煮特性的主要指标. 藏青18面条放入沸水中稍微煮制即黏成团状面糊, 失去面条原有表现形貌(图3), 说明藏青18制作的面条不适合煮制, 故此处不再对藏青18面条做蒸煮品质评价. 藏青

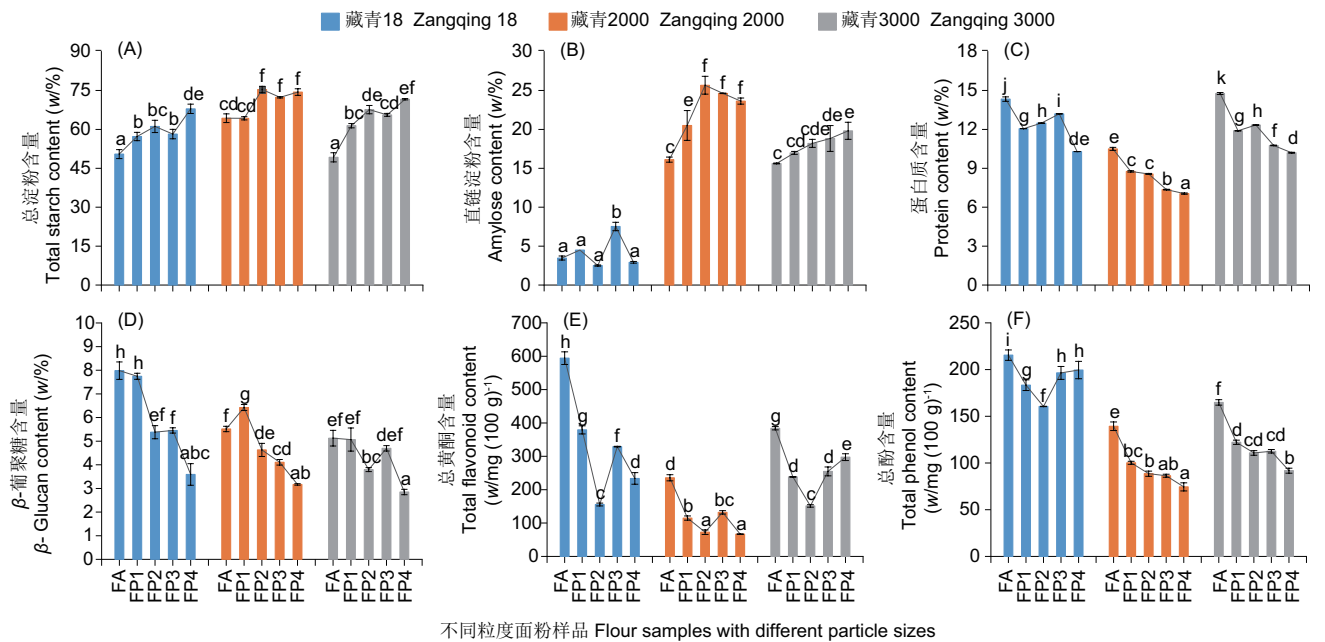


图1 不同粒度青稞面粉的营养组分含量. 图中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$).
Fig. 1 The contents of nutrients in hull-less barley flour with different particle sizes. Different lowercase letters in the figure indicate significant differences ($P < 0.05$).

表2 不同粒度面粉的糊化特性
Table 2 Pasting properties of hull-less barley flour with different particle sizes

材料 Material	样品 Sample	峰值时间 Peak time (t/min)	峰值温度 Peak temperature ($\theta/^{\circ}\text{C}$)	峰值黏度 Peak viscosity (μcP)	最低黏度 Trough viscosity (μcP)	最终黏度 Final viscosity (μcP)	崩解值 Breakdown value (μcP)	回生值 Setback (μcP)
藏青18 Zangqing 18	FP1	3.97 $\pm$ 0.04c	85.38 $\pm$ 0.03d	4514.50 $\pm$ 10.50bc	2064.50 $\pm$ 17.50c	3295.50 $\pm$ 8.50d	2450.00 $\pm$ 28.00de	1231.00 $\pm$ 26.00d
	FP2	3.84 $\pm$ 0.04b	84.33 $\pm$ 0.38c	4493.50 $\pm$ 13.50b	1758.00 $\pm$ 12.00ab	2526.00 $\pm$ 16.00b	2735.50 $\pm$ 1.50f	768.00 $\pm$ 4.00b
	FP3	3.73 $\pm$ 0.00a	83.10 $\pm$ 0.05a	4000.50 $\pm$ 4.50a	1807.00 $\pm$ 7.00b	2672.50 $\pm$ 2.50c	2193.50 $\pm$ 11.50c	865.50 $\pm$ 9.50c
	FP4	3.80 $\pm$ 0.00ab	83.90 $\pm$ 0.00b	4694.50 $\pm$ 41.50d	1665.50 $\pm$ 25.50a	2344.00 $\pm$ 15.00a	3029.00 $\pm$ 16.00g	678.50 $\pm$ 10.50a
藏青2000 Zangqing 2000	FP1	6.37 $\pm$ 0.04e	95.03 $\pm$ 0.03d	5258.00 $\pm$ 3.00f	2953.50 $\pm$ 9.50i	5126.50 $\pm$ 1.50h	2304.50 $\pm$ 12.50c	2173.00 $\pm$ 8.00h
	FP2	6.50 $\pm$ 0.03f	95.05 $\pm$ 0.00d	4643.00 $\pm$ 29.00cd	2793.00 $\pm$ 2.00h	4566.00 $\pm$ 20.00f	1850.00 $\pm$ 27.00a	1773.00 $\pm$ 18.00e
	FP3	6.27 $\pm$ 0.00d	95.03 $\pm$ 0.03d	4716.50 $\pm$ 19.50d	2674.00 $\pm$ 30.00g	4544.00 $\pm$ 65.00f	2042.50 $\pm$ 49.50b	1870.00 $\pm$ 35.00f
	FP4	6.37 $\pm$ 0.04e	95.03 $\pm$ 0.03d	4707.00 $\pm$ 8.00d	2788.50 $\pm$ 55.50h	4507.00 $\pm$ 20.00f	1918.50 $\pm$ 63.50ab	1718.50 $\pm$ 35.50e
藏青3000 Zangqing 3000	FP1	6.37 $\pm$ 0.04e	95.05 $\pm$ 0.00d	4954.00 $\pm$ 30.00e	2621.50 $\pm$ 54.50fg	4916.00 $\pm$ 55.00g	2332.50 $\pm$ 24.5cd	2294.50 $\pm$ 0.50i
	FP2	6.50 $\pm$ 0.03f	95.03 $\pm$ 0.03d	4603.00 $\pm$ 76.00bcd	2411.50 $\pm$ 26.50d	4309.00 $\pm$ 6.00e	2191.50 $\pm$ 102.50c	1897.50 $\pm$ 20.50f
	FP3	6.40 $\pm$ 0.00e	95.05 $\pm$ 0.00d	5020.50 $\pm$ 94.50e	2546.50 $\pm$ 37.50ef	4560.50 $\pm$ 6.50f	2474.00 $\pm$ 57.00e	2014.00 $\pm$ 44.00g
	FP4	6.57 $\pm$ 0.04f	95.05 $\pm$ 0.00d	4731.00 $\pm$ 33.00d	2501.00 $\pm$ 38.00de	4486.00 $\pm$ 12.00f	2230.00 $\pm$ 5.00c	1985.00 $\pm$ 50.00g

表中同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$).
Different lowercase letters in the same column in the table indicate significant differences ($P < 0.05$).

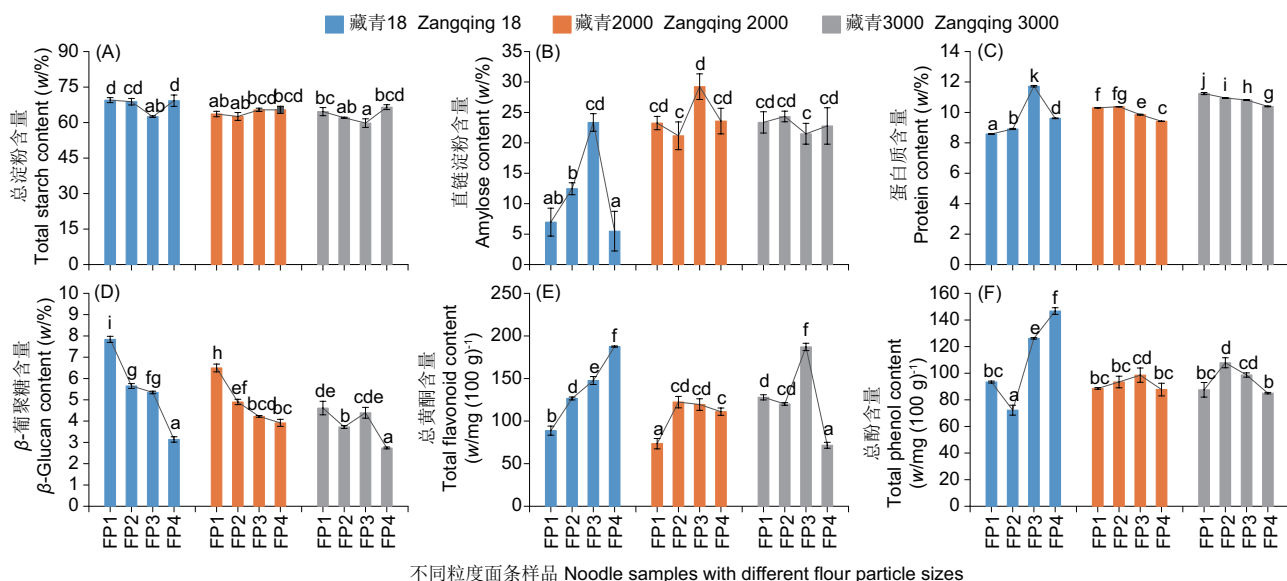


图2 不同粒度面粉的面条营养成分含量. 图中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$).

Fig. 2 The contents of nutrients in hull-less barley noodles with different particle sizes of flour. Different lowercase letters in the figure indicate significant differences ($P < 0.05$).



图3 3种青稞面条表现形貌.

Fig. 3 The apparent morphology of three types of barley noodles.

2000面条的最佳蒸煮时间和蒸煮吸水率显著低于藏青3000, 两者最佳蒸煮时间随面粉粒度减小逐渐增加 ($P < 0.05$), 蒸煮吸水率在不同粒度间无显著差异 ($P > 0.05$). 藏青2000面条蒸煮断条率随面粉粒度减小逐渐降低, 最高为23.33%, 最低为6.67%, 平均断条率14.38%, 藏青3000的90目 (FP1) 粉制作的面条蒸煮断条率最低为0, 但其平均断条率 (15.83%) 高于藏青2000. 蒸煮损失率随粒度减小有降低趋势, 藏青

3000 (6.18%) 蒸煮损失率比藏青2000 (5.58%) 略高 (图4).

2.2.3 不同粒度面粉的面条质构特性的差异 面粉粒度对面条部分质构指标的影响显著 ($P < 0.05$), 120目 (FP4) 面粉制作的面条硬度、胶着性和咀嚼性显著高于其他面条, 而弹性、黏聚性和回复力在不同粒度面粉的面条间差异不显著 ($P > 0.05$). 两种青稞面条相比较, 藏青3000面条的黏着性、黏聚性和回复力均显著高于藏青2000, 硬度、胶着性和咀嚼性也整体高于藏青2000 (表3).

2.2.4 不同粒度对面条感官评价的影响 藏青2000和藏青3000的面条感官评价差异不显著, 均在80分左右. 而不同粒度面粉制作的面条仅藏青3000面条的色泽存在显著差异, 表明粒度对面条的感官品质影响较小 (图5).

2.3 粒度与青稞面粉及面条品质的相关性

面粉品质与面粉粒度的相关性分析表明, 面粉的总淀粉含量与面粉粒度具有显著正相关关系, 蛋白质、β-葡聚糖含量和回生值与面粉粒度具有显著负相关关系 ($P < 0.05$), 其他面粉品质指标与面粉粒度的相关性不显著 ($P > 0.05$). 面条品质与面粉粒度的相关性分析表明, 面条的总黄酮、总酚含量、最佳蒸煮时间、硬度、回复力、胶着性、咀嚼性、色泽、光滑性和感官总评分与面粉粒度具有显著正相关关系 ($P <$

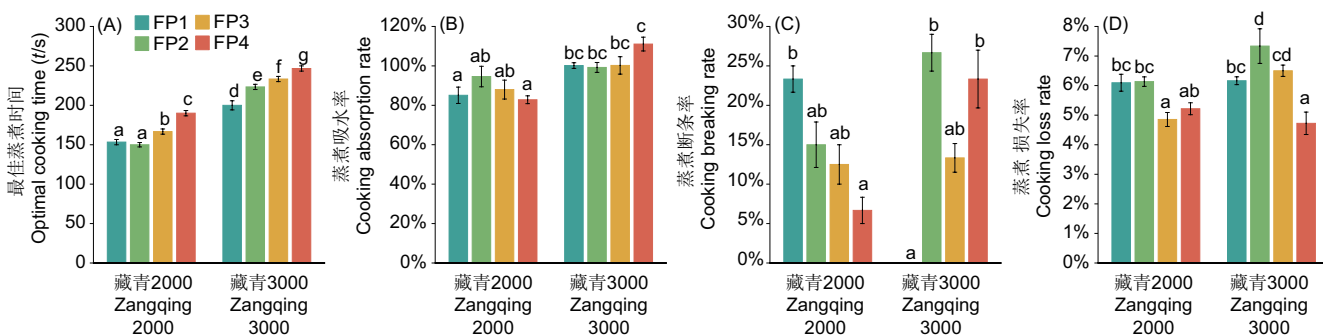


图4 面条蒸煮品质随面粉粒度的变化. 图中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$).

Fig. 4 The variation of noodle cooking quality with different particle sizes of flour. Different lowercase letters in the figure indicate significant differences ($P < 0.05$).

表3 不同粒度面粉的面条质构特性
Table 3 The texture characteristics of noodles with different particle sizes of flour

材料 Material	样品 Sample	硬度 Hardness	黏着性 Adhesiveness	弹性 Springiness	黏聚性 Cohesiveness	回复力 Resilience	胶着性 Gumminess	咀嚼性 Chewiness
藏青2000 Zangqing 2000	FP1	1263.00 ± 54.00a	-2.02 ± 0.09d	0.98 ± 0.02a	0.80 ± 0.02abc	0.37 ± 0.02a	1009.32 ± 17.94a	985.55 ± 36.18a
	FP2	2504.00 ± 84.00de	-5.04 ± 0.25c	0.98 ± 0.01a	0.73 ± 0.01a	0.45 ± 0.04a	1827.08 ± 36.28bc	1786.36 ± 8.63bc
	FP3	1991.50 ± 139.50b	-5.68 ± 0.48c	0.97 ± 0.01a	0.77 ± 0.02a	0.50 ± 0.02a	1521.41 ± 76.85b	1476.71 ± 53.90b
	FP4	2710.00 ± 107.00e	-2.34 ± 0.14d	0.99 ± 0.01a	0.80 ± 0.01ab	0.49 ± 0.02a	2154.99 ± 98.62cd	2134.01 ± 110.99de
藏青3000 Zangqing 3000	FP1	2185.00 ± 20.00bc	-24.15 ± 0.71a	0.95 ± 0.04a	0.90 ± 0.03d	0.69 ± 0.10b	1955.08 ± 36.73c	1850.47 ± 105.33cd
	FP2	2126.50 ± 5.50b	-17.42 ± 0.06b	0.95 ± 0.03a	0.89 ± 0.00cd	0.68 ± 0.02b	1892.59 ± 4.90c	1788.94 ± 69.31bc
	FP3	2077.00 ± 128.00b	-24.02 ± 0.27a	0.94 ± 0.03a	0.89 ± 0.04bcd	0.71 ± 0.09b	1842.63 ± 185.98c	1721.10 ± 122.31bc
	FP4	2426.67 ± 18.68cd	-23.96 ± 0.73a	0.98 ± 0.01a	0.97 ± 0.04d	0.83 ± 0.04b	2346.50 ± 105.61d	2300.55 ± 114.75e

表中同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Different lowercase letters in the same column in the table indicate significant differences ($P < 0.05$).

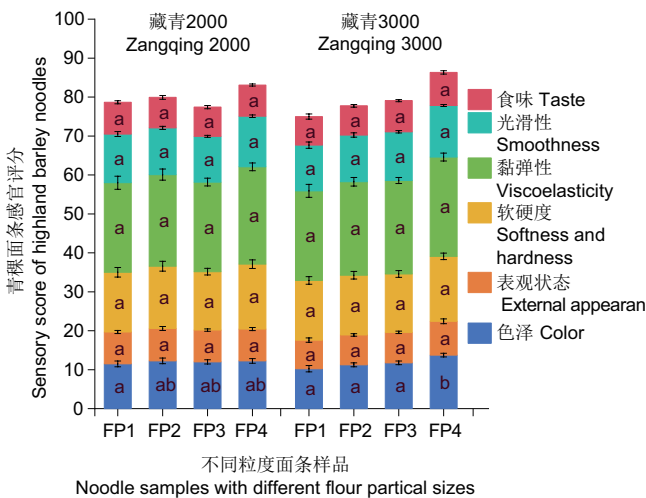


图5 青稞面条的感官评价。图中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Fig. 5 Sensory evaluation of hull-less barley noodles. Different lowercase letters in the figure indicate significant differences ($P < 0.05$).

0.05), β -葡聚糖含量和蒸煮损失率与面粉粒度具有显著负相关关系, 其他品质指标与面粉粒度的相关性不显著 ($P > 0.05$) (图6)。

3 讨论

磨粉是利用机械力作用将谷物籽粒研磨成粉的过程, 在制粉过程中因籽粒硬度和所受机械作用力的不同, 导致磨出的面粉呈现不同的粒度, 进而影响面粉及其制品的营养和加工品质。本研究发现青稞面粉粒度越小, 面粉的总淀粉和直链淀粉含量逐渐升高, 蛋白质含量逐渐降低, β -葡聚糖、总黄酮和总酚含量随面粉粒度减小呈现降低或先降低后升高的趋势 (图1), 其中总淀粉、蛋白质和 β -葡聚糖含量与面粉粒度具有显著相关性 (图6)。这些营养组分的变化与其在籽粒中的不均匀分布以及辊式磨粉机的磨粉方式有关, 在辊式磨粉机的制粉过程中, 挤压作用使颗粒破裂产生裂缝, 由裂缝处破碎形成粒度较大的中间颗粒, 进一步的研磨使中间颗粒逐渐磨碎, 皮层、糊粉层、细胞壁等较厚较坚韧的结构被剥刮呈片状脱落形成粒度较大的颗粒, 淀粉溶出形成粒度较小的胚乳颗粒粉^[18]。淀粉主要存在于谷物的胚乳中^[19], 粒度较小的面粉几乎是胚乳颗粒粉, 而粒度较大的面粉中含有的皮层、细胞壁等片状大颗粒相对较多, 所以淀粉含量随粒度减小而增加。蛋白质主要分布在籽粒的皮层部分^[20], β -葡聚糖主要分布于籽

粒的胚乳细胞壁中^[21-22], 黄酮类化合物主要集中在谷物籽粒的糊粉层和麸皮中^[23-24], 有学者研究证明多酚含量在青稞籽粒中由外向内呈现逐渐递减的趋势, 即主要存在与谷物籽粒的外皮层中^[25], 所以这些物质在粒度较大的面粉中含量更高。面条的总淀粉和直链淀粉含量随面粉粒度减小没有明显的变化趋势, 但面条直链淀粉含量比面粉有所增加 (图2), 这可能是因为支链淀粉中靠近分支点的 α -(1 $\rightarrow$ 4)或 α -(1 $\rightarrow$ 6)糖苷键比直链淀粉中的更容易断裂, 从而使得支链淀粉在挤压加工过程中大大减少^[26], 挤压处理降解的支链淀粉分子多于直链淀粉分子, 使得面条中直链淀粉相对含量增加。面条的 β -葡聚糖含量随粒度的变化与面粉一致, 且与面粉相比仅有略微损失。黄酮和总酚含量总体上呈现出随面粉粒度减小逐渐升高的趋势, 但整体含量比面粉降低了20%-70%, 损失量较大 (图2), 这一方面可能是因为和面时部分黄酮和酚类化合物溶解于水中^[27], 另一方面可能是因为面条加工过程中的挤压和热处理导致黄酮和酚类化合物被氧化分解^[28]。

糊化特性是面粉加工特性的重要参考指标, 不同粒度面粉的糊化特性具有显著差异 (表2), 但仅回生值与面粉粒度具有显著相关性 (图6)。随粒度减小回生值逐渐降低, 这可能是因为 β -葡聚糖对面粉糊化特性产生的影响, 有研究表明 β -葡聚糖会促进淀粉的短回生, 使回生值增大, 并且随着 β -葡聚糖浓度的增加, 这种影响更加明显^[29]。本研究中, 面粉的 β -葡聚糖含量随粒度降低逐渐减少 (图1), 对面粉糊化特性的影响降低, 所以回生值也逐渐降低。回生值反映淀粉糊化后分子重新结晶的程度, 回生值越大淀粉越容易老化^[30], 3个青稞品种面粉回生值随着粒度减小呈下降趋势, 说明粒度越小淀粉结构越稳定, 越不容易老化, 粒度越大越容易老化, 然而这与Kim对不同粒度米粉糊化特性的研究结果^[31]却是相反的, 这也体现了粒度对面粉糊化特性的影响还具有品种差异性。有较多研究认为高峰值黏度及崩解值的面粉能够做出品质好的面条^[32-34], 糯青稞藏青18的120目粉的峰值黏度和崩解值在4种粒度面粉中最高, 而普通青稞藏青2000和藏青3000的90目粉的峰值黏度和崩解值在4种粒度面粉中最高, 这与Blanchard等人对小麦粉糊化特性的研究显示较大粒度的面粉峰值黏度相对较高的结果^[35]一致, 而藏青18相反, 这可能与藏青18的直链淀粉含量低有关。3个品种相比, 藏青18面粉崩解值略高于藏青2000和藏青3000, 但其峰值黏度显著低于藏青2000和藏青3000, 其做出的面条蒸煮品质明显欠佳 (图3)。

除营养品质外, 口感是面条的另一重要品质, 面条蒸煮品质、质构特性和感官评价最能体现面条的口感。不同粒度面粉的面条蒸煮品质和质构特性具有显著差异 (图4、表3), 其中

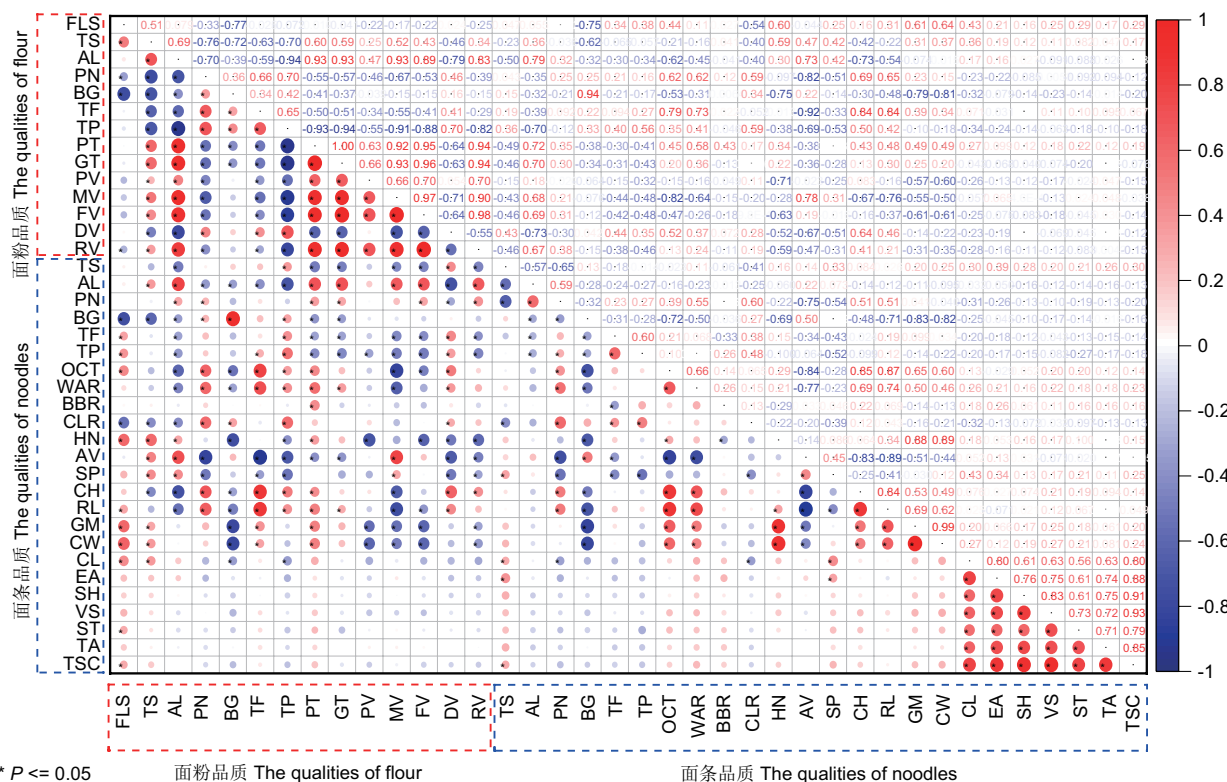


图6 面条品质与面粉粒度的相关性。FLS: 面粉粒度; TS: 总淀粉; AL: 直链淀粉; PN: 蛋白质; BG: β -葡聚糖; TF: 总黄酮; TP: 总酚; PT: 峰值时间; GT: 峰值温度; PV: 峰值黏度; MV: 最低黏度; FV: 最终黏度; DV: 崩解值; RV: 回生值; OCT: 最佳蒸煮时间; WAR: 蒸煮吸水率; BBR: 蒸煮断条率; CLR: 蒸煮损失率; HN: 硬度; AV: 黏着性; SP: 弹性; CH: 黏聚性; RL: 回复力; GM: 胶着性; CW: 咀嚼性; CL: 色泽; EA: 表观状态; SH: 软硬度; VS: 黏弹性; ST: 光滑性; TA: 食味; TSC: 总分。

Fig. 6 The correlation between noodle quality and flour particle size. FLS: Flour particle size; TS: Total starch; AL: Amylose; PN: Protein; BG: β -glucan; TF: Total flavonoids; TP: Total phenols; PT: Peak time; GT: Peak temperature; PV: Peak viscosity; MV: Trough viscosity; FV: Final viscosity; DV: Breakdown value; RV: Setback; OCT: Optional cooking time; WAR: Water absorption rate; BBR: Broken breaking rate; CLR: Cooking loss rate; HN: Hardness; AV: Adhesiveness; SP: Springiness; CH: Cohesiveness; RL: Resilience; GM: Gumminess; CW: Chewiness; CL: Color; EA: External appearance; SH: Softness and hardness; VS: Viscoelasticity; ST: Smoothness; TA: Taste; TSC: Total score.

最佳蒸煮时间、蒸煮损失率、硬度、回复力、胶着性、咀嚼性与面粉粒度具有显著相关性,同时蒸煮品质和质构特性间表现出显著的相关性,但两者与感官评价没有显著相关性(图6)。藏青2000和藏青3000面条最佳蒸煮时间随面粉粒度减小逐渐升高(图4),这可能是由于粒度小的面粉制作的面条结构更加紧实,且质构分析中面条硬度随粒度减小也呈现增大趋势(表3),与最佳蒸煮时间呈显著正相关关系,所以更耐煮,从而也导致面条的胶着性和咀嚼性更大。藏青2000面条蒸煮断条率随粒度减小而降低,这可能是由于粒度小的面粉相对表面积更大,吸水时接触面大,所需润胀时间短,面团成形快,面筋网络结构较好,断条率降低^[36]。蒸煮损失率随粒度减小整体呈降低趋势,这可能是由于粒度小的面粉制作的面条蛋白质含量低(图2),从面条中溶出的物质较少,这与澎湃等人在研究中提到的煮制过程中直链淀粉和水溶性蛋白质容易从面条中溶出的观点^[37]一致。感官评价在不同粒度面粉的面条间仅藏青3000面条色泽具有显著差异(图5),而色泽、光滑性和总评分与面粉粒度具有显著相关性(图6),粒度较小的面粉制作的面条色泽、光滑性和总评分均较高。这是因为粒度较小的面粉几乎都是胚乳颗粒碾磨而来,含有的皮层结构很少,颜色较白,制作的面条更加细腻顺滑,而粒度较大的面粉含有的皮层等结构较多,颜色较暗,口感较为粗糙。颜色在消费者对面条本身的接受度中起着重要作用^[38]。综上所述,粒

度较小的面粉制作的面条更耐煮,且蒸煮断条率和损失率较低,咀嚼性、色泽和光滑性也较好,综合感官品质较好。

4 结论

3个青稞品种的对比分析表明,不同青稞品种的营养品质和加工特性具有显著差异。糯青稞藏青18全麦粉在 β -葡聚糖、总黄酮和总酚这3种营养成分上的优势明显,但其面粉糊化峰值时间短、峰值温度低,面粉糊化快,面条不耐煮,黏度大,口感黏牙,面条品质不好;普通青稞藏青2000全麦粉在总淀粉和直链淀粉含量上的优势明显,藏青3000全麦粉在蛋白质含量上优势明显,两者面粉糊化较糯青稞慢,面条蒸煮性好,黏性低,弹性和咀嚼性好。不同粒度面粉及其面条的品质也存在显著差异,随着粒度减小,面粉的营养物质损失较大,但粒度小的面粉制作的面条色泽、光滑性和总评分均较高,口感更好且更耐煮,所以粒度较大的面粉制作的面条营养品质较高,粒度较小的面粉制作的面条蒸煮品质和感官品质更好。本研究明确了糯青稞和普通青稞在面条加工应用上的差异,糯青稞不适合加工面条,普通青稞可成为面条加工应用的新材料。不同粒度面粉和面条品质存在量的差异,但没有形成质的影响,在面条加工时是否需要考虑粒度因素还需要结合加工成本、资源利用等方面综合考虑。

参考文献 [References]

- 1 Zeng XQ, Guo Y, Xu QJ, Mascher M, Guo GG, Li SC, Mao LK, Liu QF, Xia ZF, Zhou JH, Yuan HJ, Tai SS, Wang YL, Wei ZX, Song L, Zha S, Li SM, Tang YW, Bai LJ, Zhuang ZH, He WM, Zhao SC, Fang XD, Gao Q, Yin Y, Wang J, Yang HM, Zhang J, Henry RJ, Stein N, Tashi N. Origin and evolution of qingke barley in Tibet [J]. *Nat Commun*, 2018, **9** (1): 5433
- 2 冯朵, 王靖, 季晓娇, 闫文杰. 青稞功效成分和保健功能研究进展[J]. 食品科技, 2020, **45** (9): 57-61 [Feng D, Wang J, Ji XJ, Yan WJ. Recent progress in research on nutritional qualities and health benefits of highland barley [J]. *Food Sci Technol*, 2020, **45** (9): 57-61]
- 3 阚建全, 洪晴悦. 青稞生物活性成分及其生理功能研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2020, **38** (6): 11-20 [Kan JQ, Hong QY. Research progress of bioactive ingredients and physiological functions in qingke [J]. *J Food Sci Technol*, 2020, **38** (6): 11-20]
- 4 姬翔, 陆启玉. 不同粉碎粒度的全麦粉对面粉及面条品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, **40** (6): 26-32 [Ji X, Lu QY. Effect of whole wheat flour with different grinding sizes on the quality of flour and noodles [J]. *J H Univ Technol (Nat Sci Ed)*, 2019, **40** (6): 26-32]
- 5 林江涛, 孙灵, 岳清华. 不同粒度小麦淀粉的理化特性分析[J]. 现代食品科技, 2022, **38** (8): 193-198 [Lin JT, Sun LL, Yue QH. Analysis of physicochemical properties of wheat flour starch with different particle sizes [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2022, **38** (8): 193-198]
- 6 刘梦, 温纪平, 刘帅, 黄梦凡, 王静. 小麦粉粒度对淀粉性质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, **49** (5): 194-199 [Liu M, Wen JP, Liu S, Huang MF, Wang J. Effect of granularity of wheat flour on properties of starch [J]. *Food Ferment Ind*, 2023, **49** (5): 194-199]
- 7 Hera EDL, Gomez M, Rosell CM. Particle size distribution of rice flour affecting the starch enzymatic hydrolysis and hydration properties [J]. *Carbohydr Polym*, 2013, **98** (1): 421-427
- 8 Anguita M, Gasa J, Martín-Orúe SM, Pérez JF. Study of the effect of technological processes on starch hydrolysis, non-starch polysaccharides solubilization and physicochemical properties of different ingredients using a two-step in vitro system [J]. *An Feed Sci Technol*, 2006, **129** (1-2): 99-115
- 9 王远辉, 余晓宇, 王皎洁. 不同粒度小麦粉对面团及馒头品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, **44** (10): 204-211 [Wang YH, Yu XY, Wang JJ. Effect of different particle size of wheat flour on the quality of steamed bread and its dough [J]. *Food Ferment Ind*, 2018, **44** (10): 204-211]
- 10 Hera EDL, Rosell CM, Gomez M. Effect of water content and flour particle size on gluten-free bread quality and digestibility [J]. *Food Chem*, 2014, **151** (15): 526-531
- 11 Li Q, Liu J, Zhai HS, Zhang ZH, Xie R, Xiao FT, Zeng XQ, Zhang YH, Li ZY, Pan ZF. Extraction and characterization of waxy and normal barley β -glucans and their effects on waxy and normal barley starch pasting and degradation properties and mash filtration rate [J]. *Carbohydr Polym*, 2023, **302**: 120405
- 12 谢容, 李俏, 张云书, 张跃雁, 肖富彤, 张玉红, 潘志芬. 不同剥皮次数对青稞米品质的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2022, **28** (4): 971-981 [Xie R, Li Q, Zhang YS, Zhang YY, Xiao FT, Zhang YH, Pan ZF. Effect of different pearling times on the quality of hull-less barley rice [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2022, **28** (4): 971-981]
- 13 曾亚文, 杨涛, 普晓英, 杜娟, 杨树明, 张晓燕. 大麦籽粒中 γ -氨基丁酸、总黄酮和生物碱含量在发芽过程中的变化[J]. 麦类作物学报, 2012, **32** (1): 135-139 [Zeng YW, Yang T, Pu XY, Yang SM, Zhang XY. Transformation of γ -aminobutyric acid and total flavones and alkaloids content in barley grains during germination process [J]. *J Trit Crops*, 2012, **32** (1): 135-139]
- 14 陶虹, 夏强, 李云飞. 超声波与超高压处理对全谷物糙米蒸煮品质和抗氧化活性的影响比较[J]. 食品工业科技, 2017, **38** (10): 91-95 [Tao H, Xia Q, Li YF. Comparative effects of ultrasound and high hydrostatic pressure treatments on cooking properties and antioxidant activity of brown rice [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, **38** (10): 91-95]
- 15 张淑仪, 许祥, 张林华, 孟令晗, 汤晓智. 高直链玉米淀粉添加对挤压荞麦面条结构、蒸煮品质及消化特性的影响[J]. 食品科学, 2023, **44** (6): 116-124 [Zhang SY, Xu X, Zhang LH, Meng LH, Tang XZ. Effect of high amylose corn starch on the structure, cooking quality and starch digestibility of extruded buckwheat noodles [J]. *Food Sci*, 2023, **44** (6): 116-124]
- 16 胡云峰, 王奎超, 陈媛媛. 不同加水量对生鲜面条品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, **38** (24): 88-92 [Hu YF, Wang KC, Chen YY. Effect of different water addition on quality of fresh noodle [J]. *Food Res Dev*, 2017, **38** (24): 88-92]
- 17 翟会生, 李俏, 刘廷辉, 除多, 肖富彤, 谢容, 杨开俊, 潘志芬. 青稞蒸蛋糕与小麦蒸蛋糕的品质差异[J]. 应用与环境生物学报, 2022, **28** (4): 982-988 [Zhai HS, Li Q, Liu TH, Chu D, Xiao FT, Xie R, Yang KJ, Pan ZF. Differences in the quality of steamed hull-less barley and wheat cakes [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2022, **28** (4): 982-988]
- 18 马思雨. 不同制粉方式小麦胚乳颗粒粉破碎情况及消化性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2022 [Ma SY. Study on broken condition and *in vitro* digestibility of wheat flour particles by different milling methods [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2022]
- 19 冯婕, 温纪平, 张弘. 不同精度对小麦粉品质及其面团特性的研究[J]. 食品科技, 2021, **46** (2): 118-123 [Feng J, Wen JP, Zhang H. Effect of the different processing precision on the flour quality and dough properties [J]. *Food Sci Technol*, 2021, **46** (2): 118-123]
- 20 代美瑶, 巩艳菲, 李芳, 张波. 小麦籽粒不同部位蛋白质理化特性研究进展[J]. 中国粮油学报, 2019, **34** (7): 132-138 [Dai MY, Gong YF, Li F, Zhang B. A review on the physicochemical properties of the different fractions of wheat kernel [J]. *J Chin Cereal Oils Assoc*, 2019, **34** (7): 132-138]
- 21 Fincher GB. Morphology and chemical composition of barley endosperm cell walls [J]. *J Ins Brew*, 1975, **81** (2): 116-122
- 22 Gangopadhyay N, Hossain MB, Rai DK, Brunton NP. A review of extraction and analysis of bioactives in oat and barley and scope for use of novel food processing technologies [J]. *Molecules*, 2015, **20** (6): 10884-10909
- 23 刘艺. 脱皮程度与制粉方式对小麦粉及面条品质的影响[D]. 青岛: 山东农业大学, 2021 [Liu Y. Effects of peeling degree and milling methods on the quality of wheat flour and noodles [D]. Qingdao: Shandong Agricultural University, 2021]
- 24 王秋月, 林美柔. 酶解处理提升谷物麸皮营养价值与功能的研究进展[J]. 食品科技, 2022, **47** (7): 155-159 [Wang QY, Lin MR. Research progress on enzymatic hydrolysis to improve the nutritional value and function of grain bran [J]. *Food Sci Technol*, 2022, **47** (7): 155-159]
- 25 杜艳, 李娟, 陈正行, 周文菊, 杨艳, 刘煜, 郝静, 马萍. 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 Y, Li J, Chen ZX, Zhou WJ, Yang Y, Liu Y, Hao J, Ma

- P. Comprehensive evaluation of nutritional value of various parts of flour of different highland barley varieties [J]. *J Chin Cereal Oils Assoc*, 2021, **36** (10): 50-56]
- 26 Li Y, Jiao AQ, Li JP, Xu EB, Sun Y, Wu WQ, Xu XM, Jin ZY. Effect of extrusion pretreatment on the physical and chemical properties of broad bean and its relationship to koji preparation [J]. *Food Chem*, 2019, **286**: 38-42
- 27 杨洋, 范蓓, 李杨, 佟立涛, 包奇军, 王丽丽, 刘丽娅, 孙晶, 王凤忠. 不同加工方式对青稞中酚类物质的影响[J]. 食品工业科技, 2023, **44** (1): 11-18 [Yang Y, Fan B, Li Y, Tong LT, Bao QJ, Wang LL, Liu LY, Sun J, Wang FZ. Influence of different processing methods on phenols in hullless barley [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2023, **44** (1): 11-18]
- 28 Hong QY, Chen GJ, Wang ZR, Chen XH, Kan JQ. Effects of different thermal processing methods on bioactive components, phenolic compounds, and antioxidant activities of Qingke (highland hull-less barley) [J]. *Food Sci Hum Welln*, 2023, **12** (1): 119-129
- 29 Li Y, Zhu KX, Guo XN, Peng W, Zhou HM. Interaction of barley beta-d-glucan with wheat starch: effect on the pasting and rheological properties [J]. *Int J Biol Macromol*, 2016, **92**: 70-76
- 30 Chen L, Ren F, Zhang ZP, Tong QY, Rashed MMA. Effect of pullulan on the short-term and long-term retrogradation of rice starch [J]. *Carbohydr Polym*, 2015, **115**: 415-421
- 31 Kim JM, Shin M. Effects of particle size distributions of rice flour on the quality of gluten-free rice cupcakes [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2014, **59** (1): 526-532
- 32 张国权, 魏益民, 郭波莉, 欧阳韶晖. 小麦面粉粘度特性与面条品质关系的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002 (S1): 15-19 [Zhang GQ, Wei YM, Guo BL, OuYang SH. Relationship between paste viscosity of wheat flour and noodle quality [J]. *J NW A&F Univ (Nat Sci Ed)*, 2002 (S1): 15-19]
- 33 赵登登, 周文化. 面粉的糊化特性与鲜湿面条品质的关系[J]. 食品与机械, 2013, **29** (6): 26-29 [Zhao DD, Zhou WH. Relationship between pasting properties of flour and quality of fresh wet noodle [J]. *Food Mach*, 2013, **29** (6): 26-29]
- 34 王育红, 远兵强, 潘治利. 小麦粉糊化特性与冷冻熟制面条品质相关性研究[J]. 粮食与油脂, 2023, **36** (1): 43-47 [Wang YH, Yuan BQ, Pan ZL. Study on the correlation between gelatinization properties of wheat flour and quality of frozen cooked noodles [J]. *Cereal Oils*, 2023, **36** (1): 43-47]
- 35 Blanchard C, Labouré H, Verel A, Champion D. 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]. *J Cereal Sci*, 2012, **56** (3): 691-698
- 36 周文卓. 小麦粉粒度对鲜湿面条品质的影响研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021 [Zhou WZ. Study on the effect of wheat flour particle size on the quality of fresh wet noodles [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2021]
- 37 彭湃, 王晓龙, 马兰, 邹晓阳, 马倩莹, 张心语, 李小平, 胡新中. 燕麦麸粉和苦荞皮粉的添加对小麦面条结构、蒸煮品质及消化特性的影响[J]. 中国农业科学, 2023, **56** (20): 4102-4114 [Peng P, Wang XL, Ma L, Zou XY, Ma QY, Zhang XY, Li XP, Hu XZ. Effects of oat bran flour and tartary buckwheat bran flour on structure, cooking quality and digestive characteristics of wheat noodles [J]. *Sci Agric Sin*, 2023, **56** (20): 4102-4114]
- 38 Hu, JW, Li XP, Jing YC, Hu XZ, Ma Z, Liu R, Song GH, Zhang DY. Effect of gaseous ozone treatment on the microbial and physicochemical properties of buckwheat-based composite flour and shelf-life extension of fresh noodles [J]. *J Cereal Sci*, 2020, **95**: 103055