



姬艺琳,陈文文,董吉林,等.青稞全谷营养型挂面与市售挂面的营养组分及理化特性研究[J].轻工学报,2023,38(5):51-58.
JI Y L, CHEN W W, DONG J L, et al. Nutrient components and physicochemical properties of barley whole-grain nutritive noodles and commercial noodles[J]. Journal of Light Industry, 2023, 38(5): 51-58.
DOI: 10.12187/2023.05.007

青稞全谷营养型挂面与市售挂面的 营养组分及理化特性研究

姬艺琳,陈文文,董吉林,申瑞玲

郑州轻工业大学 食品与生物工程学院,河南 郑州 450001

摘要:以青稞全粉为原料(未添加小麦面粉)制备青稞全谷营养型挂面(QN),并与市售小麦挂面(WN)和市售青稞挂面(QN-1、QN-2和QN-3)的营养组分和理化特性进行对比研究。结果表明:与市售挂面相比,QN的蛋白质和膳食纤维含量均较高,营养品质明显提升。与WN相比,QN-2、QN-3和QN的蒸煮损失率分别升高了74.97%、48.04%和65.77%,吸水率分别增加了2.19%、23.61%和7.34%;QN的峰值黏度、衰减值和回生值均增加,热糊稳定性降低,不适合长时间加工;QN的 ΔH 显著降低,其淀粉更易糊化,这与QN淀粉有序结构降低有关;QN的内部结构疏松,口感较差。与QN-2和QN-3相比,QN的面筋网络密度较大,结构较均匀致密,能更好保持在蒸煮过程中的硬度和弹性。5种挂面的体外淀粉消化率大小依次为WN(77.50%)>QN-1(72.81%)>QN-2(72.66%)>QN-3(63.88%)>QN(54.57%),即QN具有较低的淀粉消化率,更适合高血糖人群食用。

关键词:青稞挂面;全谷营养型;营养组分;理化特性;消化特性

中图分类号:TS201.4 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-1553(2023)05-0051-08

0 引言

挂面由于烹饪方便、耐储藏,目前已成为国内工业化生产量最高、种类最多的面食产品之一^[1]。精制小麦面粉是传统挂面的首选原料,但其血糖生成指数(Glycemic Index, GI)较高,存在营养不均衡、微量营养素缺失等问题^[2]。相较而言,全谷物富含膳食纤维、多酚等营养成分,在预防和改善多种慢性非传染性疾病方面具有重要作用,因而备受消费者青睐^[3]。

青稞是产自我国青藏高原的特色谷物,富含氨基酸、脂肪酸、 β -葡聚糖、多酚等营养功能性成分,具有高蛋白质、高膳食纤维、高维生素、低脂肪、低碳水化合物等特点^[4]。近年来,青稞全谷物食品受到广泛关注,其中青稞挂面是大众接受度最高的食品之一^[5]。然而,由于蛋白质组成的差异,青稞面团无法同小麦面粉一样形成面筋网络结构,因此在加工过程中往往需要添加较高比例的小麦面粉或品质改良剂^[6]以改善青稞挂面的食用品质。张智勇

收稿日期:2022-11-26;修回日期:2023-01-12;出版日期:2023-10-15

基金项目:国家重点研发计划项目(2020YFD1001400)

作者简介:姬艺琳(1998—),女,河南省郑县人,郑州轻工业大学硕士研究生,主要研究方向为谷物营养与加工。E-mail:420168037@qq.com

通信作者:申瑞玲(1967—),女,山西省灵石县人,郑州轻工业大学教授,博士,主要研究方向为谷物营养与加工。E-mail:shenrl1967@163.com

等^[7]研究发现,添加不同品种的小麦面粉和谷朊粉不仅可提高青稞挂面的营养,还可改善青稞挂面的蒸煮特性和感官特性;T. T. Hong 等^[8]研究发现,添加海藻酸钠能改善青稞挂面的质地和口感;J. C. Zhu 等^[9]研究发现,10%(如无特指,下文百分号均指质量分数)大豆蛋白与 1.5%谷氨酰胺转氨酶协同作用可促进青稞面团形成致密蛋白质网络结构并能紧密包裹淀粉颗粒,提高青稞面团的持水力和热稳定性,改善青稞挂面质构特性。杜艳等^[10]将 51%青稞全粉挂面用于人体试验,发现青稞全粉挂面属于低 *GI* 食物,可有效控制血糖平衡,适合高血糖人群食用。

目前,市售高青稞全粉添加比例的营养型青稞挂面还较少,大多仍以小麦面粉为主要原料配以不同比例青稞全粉制成,青稞全粉添加比例存在较大差异且普遍偏低,青稞挂面的口感虽较好,但青稞的营养价值难以体现。基于此,本文拟以青稞全粉为原料(未添加小麦面粉),制备一款适合高血糖人群食用的青稞全谷营养型挂面,研究其与市售挂面在营养成分及理化特性方面的差异,以期提高青稞全粉在挂面原料中的占比,为提升青稞挂面的品质提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

青稞籽粒(昆仑 15 号,粉碎过 100 目筛,即得青稞全粉),青海新丁香粮油有限责任公司;葛根粉,湖北多跃农业发展有限公司;谷朊粉,封丘县华丰粉业有限公司;洋车前子壳粉,亳州市华之堂生物科技有限公司;山药粉,集安市瑞泰土特产品销售有限公司;奇亚籽粉,上海今良食品技术有限公司;黄瓜粉,江苏华硕食品有限公司;抗性淀粉,广东华盛食品有限公司;TG 酶(100 g 型),河南万邦实业有限公司;市售小麦挂面(WN,普通小麦面粉配以辅料制成)、市售 15%青稞挂面(QN-1,普通小麦面粉中添加 15%青稞全粉,并配以辅料制成)、市售 51%青稞挂面(QN-2,普通小麦面粉中添加 51%青稞全粉,并配以辅料制成)、市售 70%青稞挂面(QN-3,普通小麦面粉中添加 70%青稞全粉,并配以辅料制成),郑州丹尼斯超市;总膳食纤维测定试剂盒,爱尔兰

Megazyme 公司;胃蛋白酶(50 g 型)、猪胆盐(100 g 型)、胰酶(Megazyme 总淀粉测定试剂盒),美国 Sigma 公司;3,5-二硝基水杨酸、罗丹明 B、异硫氰酸荧光素(FITC)、 Na_2HPO_4 、 NaH_2PO_4 ,上海源叶生物科技有限公司;NaOH、无水乙醇、KBr,西格玛奥德里奇贸易有限公司; CH_3COONa 、HCl,武汉普洛夫生物科技有限公司。以上试剂均为分析纯。

1.2 主要仪器与设备

XQ200克型多功能高速粉碎机,上海广沙工贸有限公司;FKM-150 型家用电动压面机,浙江俊媳厨具有限公司;HYP-3 型智能消化炉、KDN-103F 型定氮仪蒸馏装置,上海纤检仪器有限公司;SX-4-10 型箱式电阻炉(马弗炉),北京科伟永兴仪器有限公司;AQ-180E 型低温磨粉机,慈溪市耐欧电器有限公司;TGL-16 M 型台式高速冷冻离心机,上海卢湘仪离心机仪器有限公司;Multiskan GO 全波长酶标仪,赛默飞世尔科技(中国)有限公司;RVA 4500 型快速黏度分析仪,德国 Perten 有限公司;Q100 型差示扫描量热仪,美国 TA 公司;Vertex 70 型傅里叶变换红外光谱仪,德国布鲁克公司;JSM-6490 LV 型扫描电子显微镜(SEM),美国 FEI 公司;LSM 710 型激光扫描共聚焦显微镜(CLSM),德国 ZEISS 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 挂面及挂面粉制备 参考 G. G. Hou^[11] 的制作工艺,并稍加修改。不添加小麦面粉,以质量分数大于 70%的青稞全粉为基准,添加 14%谷朊粉、2.2%山药粉、4.7%葛根粉、1.5%洋车前子壳粉、1.44%奇亚籽粉、0.74%黄瓜粉、1.45%抗性淀粉和 0.59%TG 酶,经严格辊压 7 次制备青稞全谷营养型挂面(QN)。将 WN、QN-1、QN-2、QN-3、QN 分别用低温磨粉机磨制成挂面粉,过 100 目筛,密封,置于 4℃冰箱中,备用。

1.3.2 基本营养组分测定 挂面的蛋白质含量测定参考 GB 5009.5—2016^[12],脂肪含量测定参考 GB 5009.6—2016^[13],灰分含量测定参考 GB 5009.4—2016^[14],总淀粉含量测定参考 GB 5009.9—2016^[15];总膳食纤维含量测定参考 GB 5009.88—2014^[16]。

1.3.3 蒸煮特性测定 先进行预实验,以煮制挂面

横切面无发白为判断标准,筛选出挂面的最佳蒸煮时间用于后续实验。在质量恒定的烧杯(m_0)中加入 500 mL 水并煮沸;准确称取 10.0 g 挂面(m_1),于沸水中煮至最佳蒸煮时间时用筷子挑出,置于筛网上静置 5 min,称取熟挂面质量(m_2),计算吸水率;将剩余面汤置于 105 °C 烘箱中烘干至恒重(m_3),计算蒸煮损失率。

$$\text{吸水率} = (m_2 - m_1) / [m_1 \times (1 - w)] \times 100\%$$

$$\text{蒸煮损失率} = (m_3 - m_0) / [m_1 \times (1 - w)] \times 100\%$$

式中, w 为挂面水分含量/%^[17]。

1.3.4 糊化特性测定 参照 M. Majzoobi 等^[18]的方法,准确称取 3.00 g 挂面粉(按 14%水分含量进行校正),与 25.00 mL 去离子水混合并搅拌 10 s,使用快速黏度分析仪进行测定。测定参数为:25 °C 恒温保持 10 min,其中 0~10 s 内转速 960 r/min,之后整个测定过程中转速保持 160 r/min。

1.3.5 热特性测定 取 3.0 mg 挂面粉于铝盘中,加入 6 μ L 蒸馏水,压片。常温下平衡 24 h 后,以 10 °C/min 的速率从 40 °C 升温至 110 °C,使用差示扫描量热仪测定样品的热特性参数。

1.3.6 傅里叶红外光谱测定 将挂面粉和干燥的 KBr 以 1:100 的质量比混合,研磨均匀并压成圆形薄片,使用傅里叶变换红外光谱仪进行扫描。测定条件为:扫描范围 4000~400 cm^{-1} ,扫描次数 64 次。

1.3.7 微观结构测定 1) SEM。取适量挂面粉固定于样品台上,喷金后置于 SEM 上观察其微观结构。电压为 20 kV,放大倍数为 800 倍。

2) CLSM。参考 T. H. Mccann 等^[19]的方法,并稍作修改。将 1 g 挂面浸入 5 mL 去离子水中 4 h,取出后速冻,用冷冻切片机切成 20 μm 的切片后置于载玻片上,用 FITC (0.2 mg/mL) 和罗丹明 B (0.02 mg/mL) 混合溶液进行染色。在 1 min 内将所有样品置于黑暗条件中以避免荧光猝灭,并使用 ZEN imaging 软件分析所有图像。参数设置如下:FITC 的荧光激发波长为 488 nm,荧光发射波长为 450~540 nm;罗丹明 B 的荧光激发波长为 543 nm,荧光发射波长为 545~660 nm。

1.3.8 淀粉体外消化特性测定 参考 H. N. Englyst 等^[20]方法,将挂面粉(600 mg 淀粉当量)悬浮于

10 mL 去离子水中,再放入 50 mL 离心管中,沸水浴糊化 30 min(每 10 min 涡旋 1 次);将糊化后的样品于 37 °C、200 r/min 水浴振荡平衡 10 min;加入 10 mL 模拟胃液(将 50 mg 胃蛋白酶加入 10 mL 0.05 mol/L 的 HCl 溶液中),于 37 °C、200 r/min 条件下水浴振荡反应 30 min,用磷酸缓冲盐溶液调节 pH 值至 6.9;再加入 5 mL 模拟肠液(3 g 胰蛋白酶粉末悬浮于 20 mL 水中,4000 r/min 离心 5 min,取 15 mL 上清液与 1.1 mL 糖化酶混合),用去离子水定容至 50 mL,于 37 °C、200 r/min 条件下水浴振荡反应 3 h;在 0 min、10 min、20 min、30 min、60 min、90 min、120 min、150 min 和 180 min 时,分别取 500 μL 反应混合物于 4.5 mL 无水乙醇中,灭酶活性。采用 DNS(二硝基水杨酸)法分析葡萄糖含量。根据下式计算淀粉消化率和淀粉当量:

$$\text{淀粉消化率} = \frac{\text{反应液中葡萄糖释放量} \times 0.9}{\text{总干物质质量}} \times 100\%$$

$$\text{淀粉当量} = \frac{\text{待测样品淀粉含量} \times 100}{100 - w}$$

1.4 数据处理

采用 Origin 7.5 分析数据;利用 SPSS 22.0 软件对数据进行统计分析,并通过 Tukey 多重范围检验以评估实验平均值之间的显著差异($P < 0.05$),数据均表示为(平均值 \pm 标准差)。

2 结果与分析

2.1 青稞全谷营养型挂面与市售挂面基本营养成分对比分析

青稞全谷营养型挂面与市售挂面的基本营养成分含量见表 1。由表 1 可知,QN-1、QN-2 和 QN-3 的蛋白质含量、总膳食纤维含量和灰分含量均显著高于 WN($P < 0.05$)。QN 的蛋白质含量显著高于市售挂面($P < 0.05$),且高于标准挂面的推荐含量(8%)^[21];QN 的脂肪含量显著高于 WN($P < 0.05$),这可能会导致更高的能量值。QN-2、QN-3 和 QN 的总膳食纤维含量均较高,远超出欧盟标准(每 100 g 高纤维食品至少含有 6 g 膳食纤维)。综上所述,QN 的营养价值明显高于市售挂面,具有一定的产品优势。

表1 青稞全谷营养型挂面与市售挂面的基本营养组分含量
Table 1 The content of basic nutrient components of barley whole-grain nutritive noodles and commercial noodles

样品	蛋白质含量	总淀粉含量	脂肪含量	总膳食纤维含量	灰分含量
WN	10.45±0.28 ^a	70.14±0.12 ^e	1.55±0.07 ^c	7.13±0.06 ^a	1.31±0.03 ^a
QN-1	11.20±0.15 ^b	68.46±0.21 ^d	1.29±0.03 ^{ab}	9.13±0.03 ^b	1.73±0.04 ^b
QN-2	16.73±0.22 ^d	51.35±0.29 ^a	1.19±0.04 ^a	13.85±0.04 ^c	1.39±0.07 ^a
QN-3	11.75±0.13 ^c	57.20±0.26 ^d	1.36±0.03 ^b	22.12±0.03 ^c	1.91±0.04 ^c
QN	19.20±0.14 ^c	54.83±0.20 ^b	1.76±0.02 ^d	16.10±0.05 ^d	2.49±0.07 ^d

注:不同肩标小写字母表示同列组间差异显著($P<0.05$)。下同。

2.2 青稞全谷营养型挂面与市售挂面蒸煮特性分析

蒸煮损失率和吸水率是评价蒸煮过程中挂面品质的关键指标。青稞全谷营养型挂面与市售挂面的蒸煮损失率和吸水率如图1所示。由图1可知,QN的蒸煮损失率显著高于WN,升高了65.77%,这与K. Sunhee等^[22]的研究结果一致;QN-2和QN-3的蒸煮损失率也均显著高于WN,分别升高了74.97%和48.04%,其原因可能是这3种青稞挂面没有密集的面筋网络结构,导致淀粉在蒸煮过程中流失,A. Baiano等^[23]的研究也证实了这一点;QN-1的蒸煮损失率较WN低。QN和QN-3的吸水率与WN也存在明显差异。与WN相比,QN、QN-2和QN-3的吸水率分别增加了7.34%、2.19%和23.61%;QN-1的吸水率降低了1.64%。高吸水率会造成淀粉非晶区膨胀,使挂面缺少弹性和嚼劲,从而降低挂面的食用品质^[24]。综上所述,QN的吸水率较高,仅次于QN-3,导致其口感比WN、QN-1略差,还需进一步改善。

2.3 青稞全谷营养型挂面与市售挂面糊化特性分析

在糊化过程中,水分进入淀粉微晶束可分散淀粉分子并破坏它们之间的氢键。青稞全谷营养型挂面与市售挂面的糊化特性参数及糊化曲线见表2和图2。由表2和图2可知,与WN相比,QN的糊化温度较低,峰值黏度明显增加($P<0.05$),表明QN淀粉的增稠能力较强。QN的峰值时间虽与WN没有显著差异,但QN和QN-3在相对较长时间内达到峰值黏度,而QN-1和QN-2则在相对较短时间内达到峰值黏度,这可能是由于当峰值黏度发生在溶胀和聚合物浸出之间的平衡点时会导致黏度增加。S. Barak等^[25]研究发现,蛋白质含量较高的面

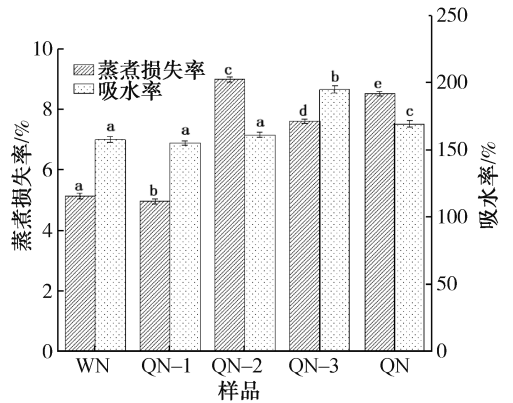


图1 青稞全谷营养型挂面与市售挂面的蒸煮损失率和吸水率

Fig. 1 Cooking loss and water absorption rate of barley whole-grain nutritive noodles and commercial noodles
粉需要较长时间达到峰值黏度,且峰值黏度与蛋白质含量呈负相关,这与本研究结果基本一致。与WN相比,QN和QN-3的衰减值、终值黏度和回生值均明显增加($P<0.05$),较易老化;QN-2衰减明显降低($P<0.05$),这可能是由于青稞全粉可降低挂面的热糊稳定性和冷糊稳定性^[26],适量添加青稞全粉可降低挂面的衰减、回生值和终值黏度,而QN和QN-3回升值和终值黏度的增加则可能与青稞全粉颗粒大小、结晶度及直链淀粉含量有关。综上所述,QN的加工时间不宜过长。

2.4 青稞全谷营养型挂面与市售挂面热特性分析

热焓值(ΔH)代表打破支链淀粉双螺旋结构所需的能量,可有效监测淀粉内部网络结构的变化。 ΔH 不仅与淀粉双螺旋结构的熔融相关,还与淀粉糊化的难易程度有关^[27]。青稞全谷营养型挂面与市售挂面的热特性参数及曲线见表3和图3。由表3和图3可知,与WN相比,青稞挂面的 ΔH 均有所降低,其中QN-3降低最多(2.41 J/g),QN降低了

表2 青稞全谷营养型挂面与市售挂面的糊化特性参数

Table 2 Gelatinization characteristic parameters of barley whole-grain nutritive noodles and commercial noodles

样品	糊化温度/°C	峰值时间/min	峰值黏度/(mPa·s)	谷值黏度/(mPa·s)	衰减值/(mPa·s)	终值黏度/(mPa·s)	回生值/(mPa·s)
WN	71.70±1.81 ^a	5.92±0.09 ^c	2 208.33±132.70 ^d	1 332.67±72.92 ^{cd}	803.00±17.52 ^b	2 740.33±36.00 ^c	1 318.00±13.11 ^c
QN-1	81.95±7.58 ^b	5.01±0.66 ^a	1 129.67±32.87 ^c	120.33±12.66 ^a	1 003.33±35.08 ^c	181.00±6.25 ^a	64.67±2.52 ^a
QN-2	93.07±3.16 ^c	5.62±0.13 ^b	748.33±38.68 ^b	307.67±25.54 ^b	428.67±16.01 ^a	723.33±25.11 ^b	404.00±7.94 ^b
QN-3	87.08±1.76 ^{bc}	5.88±0.04 ^c	2 552.33±23.59 ^a	1 288.67±44.77 ^c	1 319.67±35.36 ^c	3 962.00±63.66 ^c	2 623.00±18.68 ^c
QN	69.92±1.29 ^a	5.86±0.12 ^c	2 461.00±123.78 ^c	1 395.33±19.29 ^d	1 106.67±15.04 ^d	3 587.67±22.72 ^d	2 148.00±36.01 ^d

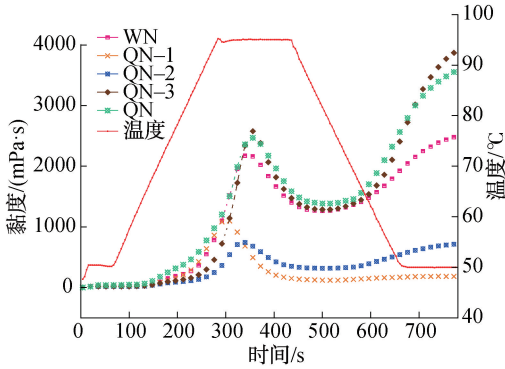


图2 青稞全谷营养型挂面和市售挂面的糊化曲线
Fig. 2 Gelatinization curve of barley whole-grain nutritive noodles and commercial noodles

1.59 J/g,表明破坏QN-3和QN致密结构所需的能量较少,即二者双螺旋结构较少,淀粉糊化更易发生;QN的起始温度(T_0)、糊化峰值温度(T_p)和终值温度(T_c)均较低,而糊化温度范围($T_0 \sim T_c$)可反映面筋蛋白结构的紧凑度^[28],QN的 $T_0 \sim T_c$ 显著窄于WN,表明其形成了稳定性较好的晶体结构,水分子更易与淀粉发生反应,这与糊化特性结果一致。

2.5 青稞全谷营养型挂面与市售挂面红外光谱分析

在 1047 cm^{-1} 处的吸收峰是淀粉结晶区域的结构特征,与淀粉中有序结构相对应;在 1022 cm^{-1} 处的吸收峰代表淀粉的非定形区域的结构特征,属于淀粉大分子的随机螺旋结构^[29]。淀粉中的有序结构可通过红外吸光度比值($1047 \text{ cm}^{-1}/1022 \text{ cm}^{-1}$ 和

表3 青稞全谷营养型挂面与市售挂面的热特性参数

Table 3 Heat characteristic parameters of barley whole-grain nutritive noodles and commercial noodles

样品	$T_0/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$\Delta H/(\text{J}\cdot\text{g}^{-1})$
WN	58.45±0.11 ^d	64.85±0.07 ^d	71.04±0.56 ^c	3.57±0.54 ^c
QN-1	56.88±0.01 ^b	63.11±0.05 ^b	69.76±0.03 ^a	2.98±0.31 ^c
QN-2	57.41±0.21 ^c	64.81±0.13 ^d	71.63±0.08 ^c	3.00±0.17 ^c
QN-3	56.62±0.04 ^a	64.12±0.22 ^c	70.08±0.03 ^b	1.16±0.25 ^a
QN	58.43±0.32 ^c	62.91±0.03 ^a	70.74±0.11 ^c	1.98±0.09 ^b

$1022 \text{ cm}^{-1}/995 \text{ cm}^{-1}$)来表征,其中 $1022 \text{ cm}^{-1}/995 \text{ cm}^{-1}$ 通常被用于分析淀粉的氢键强度^[30]。青稞全谷营养型挂面与市售挂面的红外光谱曲线及红外吸光度比值见表4和图4。由表4和图4可知,在 $3200 \sim 3600 \text{ cm}^{-1}$ 范围内有一较宽且较强的吸收峰,这是一OH的特征吸收峰。WN、QN-1、QN-2、QN-3和QN分别在 3415 cm^{-1} 、 3547 cm^{-1} 附近出现较强吸收峰,其中QN-3在 3547 cm^{-1} 附近出现较强吸收峰,QN仅次于QN-3。与WN相比,QN-1和QN-2的 $1047 \text{ cm}^{-1}/1022 \text{ cm}^{-1}$ 均显著增加($P < 0.05$)。与QN-1和QN-2相比,QN的 $1047 \text{ cm}^{-1}/1022 \text{ cm}^{-1}$ 显著降低($P < 0.05$),表明QN淀粉分子的短程顺序较低,这可能是QN淀粉分子中的双螺旋结构较少所致。

2.6 青稞全谷营养型挂面与市售挂面微观结构分析

青稞全谷营养型挂面与市售挂面的SEM图和CLSM图如图5所示,其中,图5a)中红色圈显示蛋白质表面淀粉颗粒的聚集状态,蓝色箭头显示蛋白质与蛋白质之间的缝隙;图5b)中黄色圈显示面筋蛋白网络结构与淀粉颗粒之间的密集程度,黑色孔状部分表示淀粉颗粒嵌入三维网络结构基质中。由图5a)可知,WN的蛋白质表面淀粉颗粒有聚集现

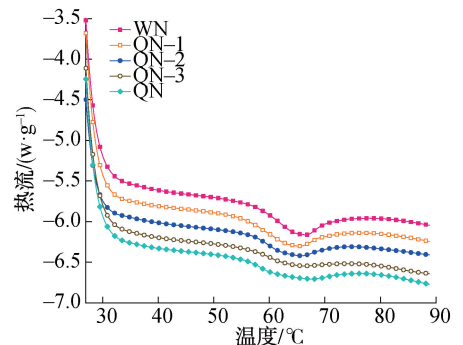


图3 青稞全谷营养型挂面与市售挂面的热特性曲线

Fig. 3 Thermal characteristic curve of barley whole-grain nutritive noodles and commercial noodles

象;QN-1 和 QN-2 的蛋白质表面淀粉颗粒较分散,呈小簇结构,这可能是由于青稞全粉中缺乏谷蛋白,当其与小麦面粉混合后会使得谷蛋白的相对含量减少且不足以包裹和结合淀粉;QN-3 的蛋白质表面淀粉颗粒较密集,这可能与其添加了活性小麦面筋粉有关;QN 的蛋白质表面淀粉颗粒较 WN 离散,但出现较多淀粉颗粒;与市售青稞挂面相比,QN 蛋白质

表 4 青稞全谷营养型挂面与市售挂面的红外吸光度比值

Table 4 The ratio of infrared absorbance of barley whole-grain nutritive noodles and commercial noodles

样品	1047 cm ⁻¹ /1022 cm ⁻¹	1022 cm ⁻¹ /995 cm ⁻¹
WN	0.986 8±0.000 4 ^c	0.972 3±0.002 0 ^c
QN-1	1.006 2±0.000 9 ^e	0.937 9±0.000 8 ^a
QN-2	0.992 6±0.001 1 ^d	0.967 0±0.000 7 ^b
QN-3	0.946 5±0.008 9 ^a	0.988 2±0.010 4 ^d
QN	0.974 5±0.013 2 ^b	0.967 7±0.000 3 ^b

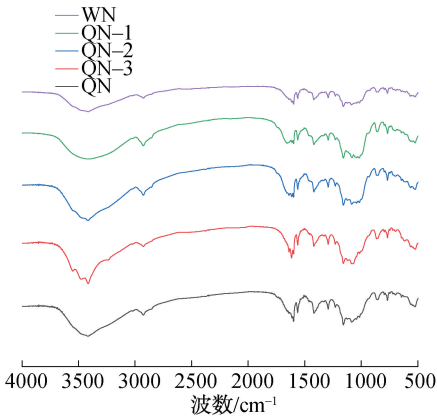


图 4 青稞全谷营养型挂面与市售挂面的红外光谱曲线

Fig. 4 Infrared spectrum curves of barley whole-grain nutritive noodles and commercial noodles

网络结构的交联程度增强,内部网络结构更紧凑。

由图 5b)可知,QN-2 和 QN-3 均有较多因淀粉颗粒积累而引起的大孔洞。与 QN-1 相比,QN 的面筋蛋白网络结构略呈无序状态;与 QN-3 相比,QN 的面筋蛋白网络结构与淀粉颗粒之间的密集程度更大,淀粉颗粒被填充在较紧凑的面筋蛋白网络结构中。面筋蛋白网络结构可抑制水分的侵入,降低蒸煮损失率,可更好地保持挂面在蒸煮过程中的硬度和弹性^[31]。与 WN 和 QN-1 相比,QN 缺少相对紧凑和完整的面筋蛋白网络结构;与 QN-2、QN-3 相比,QN 的面筋网络结构密度较大、较均匀,能在蒸煮过程中保持较好的硬度和弹性,品质较好,这与蒸煮特性分析结果基本一致。

2.7 青稞全谷营养型挂面与市售挂面淀粉体外消化特性分析

淀粉的体外消化率可在一定程度上反映其在体内被消化吸收的情况。青稞全谷营养型挂面与市售挂面的淀粉体外消化率变化如图 6 所示。由图 6 可知,所有样品的淀粉消化趋势基本一致,在体外消化前 20 min,淀粉体外消化率呈快速上升趋势,20 min 后,淀粉体外消化率逐渐变缓,这与 K. Srikaeo^[32] 等的研究结果基本一致。所测样品最终的体外消化率大小依次为:白面包(77.99%)>WN(77.50%)>QN-1(72.81%)>QN-2(72.66%)>QN-3(63.88%)>QN(54.57%);与 WN 相比,QN 淀粉的体外消化率较低,在降低餐后血糖及预防慢性疾病(如糖尿病和结肠癌)方面具有健康益处,更适合高血糖人群食用。研究^[33]表明,淀粉的体外消化率受多种因素

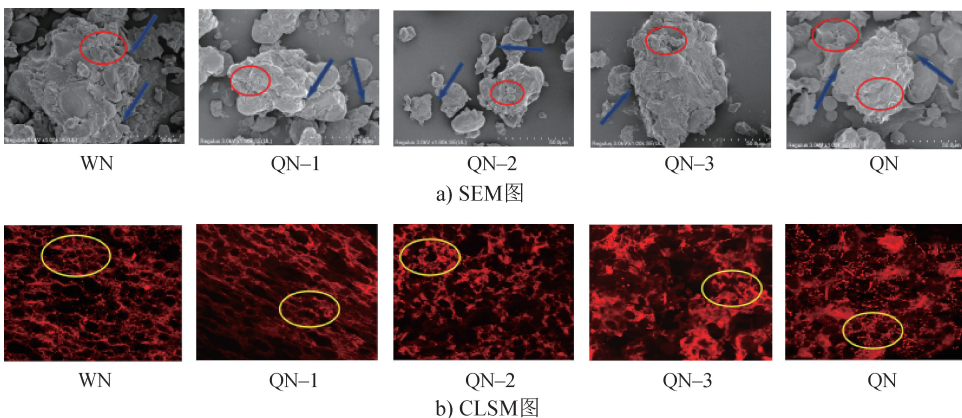


图 5 青稞全谷营养型挂面与市售挂面的 SEM 图和 CLSM 图

Fig. 5 The SEM and CLSM diagrams of barley whole-grain nutritive noodles and commercial noodles

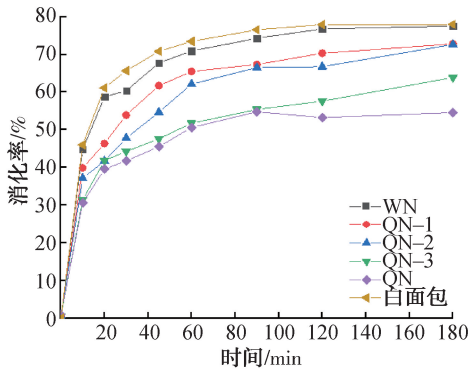


图6 青稞全谷营养型挂面与市售挂面的淀粉体外消化率变化

Fig. 6 Changes of starch digestibility in vitro of barley whole-grain nutritive noodles and commercial noodles

影响,其中,蛋白质含量的增加可阻碍淀粉的水解,从而降低面制品中淀粉的体外消化率。同时,膳食纤维在消化过程中存在水固定化作用,从而也会显著降低淀粉的体外消化率^[34]。

3 结论

本文以青稞全粉为原料(未添加小麦面粉)制备了一款青稞全谷营养型挂面(QN),并与市售小麦粉挂面(WN)和青稞挂面(QN-1、QN-2和QN-3)进行对比,研究它们在营养组分及理化特性方面的差异,得到如下结论:QN的优势较明显,与市售挂面相比,QN的营养价值较高,峰值黏度、衰减值和回生值均较高,较易老化,不适合长时间加工;蒸煮损失率和吸水率较高,口感略差; ΔH 较低,较易发生淀粉糊化;具有均匀紧凑的面筋蛋白网络结构,淀粉体外消化率最低(54.57%),更适合开发低GI食品。本研究通过调整青稞全粉在挂面配方中的占比,进一步改善了青稞挂面的营养品质和理化特性,为青稞挂面的品质提升提供了理论参考。

参考文献:

[1] HE L D, GUO X N, ZHU K X. Effect of soybean milk addition on the quality of frozen-cooked noodles[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 87: 187-193.

[2] NGUYEN T T L, GILBERT R G, GIDLEY M J, et al. The contribution of beta-glucan and starch fine structure to texture of oat-fortified wheat noodles[J]. Food Chemistry, 2020, 324, 126858.

[3] 张倩芳,李敏,栗红瑜,等.不同加工方式对青稞膳食

纤维组成及功能性质的影响[J].粮食与油脂,2020,33(2):91-94.

- [4] GUO T, CHEN L, ZHENG B. Understanding the nutrient composition and nutritional functions of highland barley (Qingke): A review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2020, 103: 109-117.
- [5] 吴昆仑,迟德钊.青海青稞产业发展及技术需求[J].西藏农业科技,2011,33(1):4-9.
- [6] CHAUDHARY N, DANGI P, KHATKAR B S. Evaluation of molecular weight distribution of unreduced wheat gluten proteins associated with noodle quality [J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 54(6): 2695-2704.
- [7] 张智勇,解树珍,杨园园,等.原料对高添加量青稞挂面品质的影响[J].粮食加工,2021,46(5):37-42.
- [8] HONG T T, ZHANG Y, XU D, et al. Effect of sodium alginate on the quality of highland barley fortified wheat noodles[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 140: 110719.
- [9] ZHU J C, LIU Z P, CHEN L, et al. Impact of protein network restructured with soy protein and transglutaminase on the structural and functional characteristics of whole-grain highland barley noodle [J]. Food Hydrocolloids, 2022, 133: 107909.
- [10] 杜艳,陈正行,郝静,等.高含量青稞全粉挂面升糖反应能力评价[J].食品科技,2020,45(11):143-148.
- [11] HOU G G, SAINI R, NG P K W. Relationship between physico chemical properties of wheat flour, wheat protein composition, and textural properties of cooked Chinese white salted noodles[J]. Cereal Chemistry, 2013, 90(5): 419-429.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中灰分的测定:GB 5009.4—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中淀粉的测定:GB 5009.9—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中膳食纤维的测定:GB 5009.88—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中水分的测定:GB 5009.3—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [18] MAJZOobi M, KAVEH Z, FARAHNAKY A. Effect of acetic acid on physical properties of pregelatinized wheat and corn starch gels[J]. Food Chemistry, 2016, 196: 720-725.
- [19] MCCANN T H, LEDER A, BUCKOW R, et al. Modification of structure and mixing properties of wheat flour

- through high-pressure processing [J]. Food Research International, 2013, 53(1): 352-361.
- [20] ENGLYST H N, KINGMAN S M, CUMMINGS J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992, 46(2): 33-50.
- [21] 陈玉峰. 小麦粉中蛋白质和淀粉含量对面条品质的影响[J]. 现代面粉工业, 2020, 34(2): 55.
- [22] SUNHEE K, JO-WON L, YEAN H, et al. Effect of pleurotus eryngii mushroom β -glucan on quality characteristics of common wheat pasta [J]. Journal of Food Science, 2016, 81(4): 835-840.
- [23] BAIANO A, CONTE A, NOBILE A D M. Influence of drying temperature on the spaghetti cooking quality [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 76(3): 341-347.
- [24] BILIADERIS C, MAURICE T, VOSE J. Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry [J]. Journal of Food Science, 1980, 45, 1669-1674.
- [25] BARAK S, MUDGIL D, KHATKAR B S. Relationship of gliadin and glutenin proteins with dough rheology, flour pasting and bread making performance of wheat varieties [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 51(1): 211-217.
- [26] 闫美姣. 高含量杂粮面条研制与开发 [D]. 太原: 山西大学, 2019.
- [27] TANG A, LI M, WANG R, et al. Manipulating raw noodle crystallinity to control the hardness of cooked noodle [J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 4: 4-7.
- [28] LI S, LIU Y, TONG J, et al. The overexpression of high-molecular-weight glutenin subunit Bx7 improves the dough rheological properties by altering secondary and microstructures of wheat gluten [J]. Food Research International, 2020, 130: 108914.
- [29] WANG S J, WANG S K, LIU L, et al. Structural orders of wheat starch do not determine the in vitro enzymatic digestibility [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(8): 1697-1706.
- [30] GEORGET D, BELTON P. Effects of temperature and water content on the secondary structure of wheat gluten studied by FTIR spectroscopy [J]. Biomacromolecules, 2006, 7(2): 469-475.
- [31] ZHANG M L, MA M, YANG T B, et al. Dynamic distribution and transition of gluten proteins during noodle processing [J]. Food Hydrocolloids, 2022, 123: 107114.
- [32] SRIKAEK K, SANGKHIAW J. Effects of amylose and resistant starch on glycaemic index of rice noodles [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 59(2): 1129-1135.
- [33] SISSONS M, CUTILLO S, MARCOTULI I, et al. Impact of durum wheat protein content on spaghetti in vitro starch digestion and technological properties [J]. Journal of Cereal Science, 2021, 98: 103156.
- [34] LIU T N, WANG K, XUE W, et al. In vitro starch digestibility, edible quality and microstructure of instant rice noodles enriched with rice bran insoluble dietary fiber [J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 142: 111008.

Nutrient components and physicochemical properties of barley whole-grain nutritive noodles and commercial noodles

Ji Yilin, CHEN Wenwen, DONG Jilin, SHEN Ruiling

College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China

Abstract: Using whole barley flour as raw material (without adding wheat flour), barley whole-grain nutritive noodles (QN) was prepared, and the nutrient components and physicochemical properties of QN were compared with those of commercial wheat noodles (WN) and commercial barley noodles (QN-1, QN-2 and QN-3). The results showed that compared with commercial noodles, QN had significantly higher protein and dietary fiber content, and nutritional quality was significantly improved. Compared with WN, the cooking loss of QN-2, QN-3 and QN increased by 74.97%, 48.04% and 65.77%, and the water absorption increased by 2.19%, 23.61% and 7.34%; The peak viscosity, attenuation value and recovery value of QN increased, and the hot paste stability decreased, therefore, QN was not suitable for long time processing; ΔH of QN decreased significantly, and starch was more gelatinized, which was related to the decrease in the ordered structure of QN starch; QN had loose internal structure and poor taste. Compared with QN-2 and QN-3, the gluten network density of QN was larger, the structure was more uniform and dense. QN could maintain the hardness and elasticity of noodles in the cooking process. Starch digestibility in vitro of 5 kinds of noodles was WN (77.50%) > QN-1 (72.81%) > QN-2 (72.66%) > QN-3 (63.88%) > QN (54.57%). QN had lower starch digestibility and was more suitable for people with high blood sugar.

Key words: barley noodles; whole-grain nutritive type; nutrient component; physicochemical property; digestive characteristics