

面粉特性对燕麦挂面品质的影响

高 凤, 郭晓娜*, 朱科学

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 为了探究面粉特性对燕麦挂面品质的影响,测定了7种小麦粉的粉质特性、拉伸特性、麦谷蛋白大聚体(GMP)干质量、面筋蛋白及其亚基组成,用其制作燕麦挂面,并通过相关性分析研究面粉特性对燕麦挂面品质的影响。结果表明,面粉的吸水率与燕麦挂面的硬度、适口性、韧性和感官总分呈正相关;拉伸能量、延伸度、最大拉伸阻力与燕麦挂面的拉断距离呈正相关;GMP干质量与燕麦挂面的硬度、黏附性、拉断力和适口性呈正相关;高相对分子质量麦谷蛋白亚基(HMW-GS)与燕麦挂面的硬度、咀嚼性、拉断力和适口性均呈正相关。麦谷蛋白与面筋蛋白比值与燕麦挂面的硬度、拉断力和适口性呈正相关。因此,吸水率高、GMP干质量大、HMW-GS相对含量高、麦谷蛋白与面筋蛋白比值大、拉伸特性好的面粉适合加工燕麦挂面。

关键词: 面粉;流变学特性;亚基组成;麦谷蛋白大聚体;燕麦挂面;品质

中图分类号:TS 213.2 文章编号:1673-1689(2021)03-0046-09 DOI:10.3969/j.issn. 1673-1689.2021.03.006

Effects of Wheat Flour Characteristics on Quality of Oat Noodles

GAO Feng, GUO Xiaona*, ZHU Kexue

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: To investigate the effect of wheat flour characteristics on the quality of oat noodles, the farinograph characteristics, extensograph characteristics, dry weight of glutenin macropolymer(GMP), gluten composition and its subunits of seven wheat flours were determined. Oat noodles were prepared to study the effects of wheat flour characteristics on the quality of oat noodles through correlation analysis. The results showed that the water absorption of wheat flour had a positive correlation with the hardness, palatability, toughness and sensory total score of oat noodles. The extension energy, extensibility and maximum resistance to extension exhibited a positive correlation with the tensile distance of oat noodles. The dry weight of GMP had a positive correlation with the hardness, adhesiveness, tensile force and palatability of oat noodles. High molecular weight glutenin subunits (HMW-GS) had a positive correlation with the hardness, chewiness, tensile force and palatability of oat noodles. The ratio of glutenin/gluten had a positive correlation with the hardness, tensile force and palatability of oat noodles. Therefore, the wheat flour with high water absorption, high dry weight of GMP, high HMW-GS content, high ratio of glutenin/gluten and good extensograph properties was suitable for oat noodles processing.

Keywords: wheat flour, rheological properties, composition of gluten subunits, glutenin macropolymer, oat noodles, quality

收稿日期: 2020-04-10

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划项目(2018YFD0401003);江苏省“六大人才高峰”高层次人才资助项目(NY-009)。

* 通信作者: 郭晓娜(1978—),女,博士,副教授,硕士研究生导师,主要从事主食及方便食品方向研究。E-mail: xiaonaguo@jiangnan.edu.cn

挂面是中国的传统主食,因易于储存、食用方便等优点而深受人们喜爱,是中国传统主食工业化生产的典型代表^[1]。传统挂面以精细化加工的面粉为原料,而精细化加工会造成膳食纤维等营养物质的损失,长期食用会导致糖尿病、肥胖症、高血脂等疾病^[2]。传统挂面满足不了人们对营养和健康的需求,高营养价值挂面的研发已成为研究热点。燕麦含有丰富的可溶性膳食纤维、不饱和脂肪酸、蛋白质和矿物质等营养成分^[3]。其中的水溶性多糖 β -葡聚糖具有降低血液胆固醇含量^[4]、抑制血糖升高^[5]等功效。因此将燕麦粉添加到小麦粉中制备燕麦挂面,可提高挂面的营养价值。与小麦蛋白质相比,燕麦中蛋白质主要为球蛋白,醇溶蛋白和谷蛋白含量较低^[6],不能像小麦蛋白质一样形成具有黏弹性的网络结构^[7],从而限制了其在面条加工中的应用。添加燕麦粉会破坏面筋网络结构,研究发现^[8],随着燕麦粉添加量的增大,面条的蒸煮损失变大,表观状态和咀嚼性变差,且高添加量的燕麦面条难以成型。目前研究主要集中于利用外源性改良剂如谷朊粉^[9]、黄原胶^[10]等对燕麦面条进行品质改良,但小麦面粉特性如何影响燕麦挂面品质尚未有研究。

本研究中把燕麦粉以 50% 的质量分数添加于小麦粉中,制作燕麦挂面。燕麦中不含有面筋蛋白,小麦面粉中面筋蛋白的特性(含量与品质)对燕麦挂面的品质有着至关重要的影响。本实验中选用了 7 种适合做面条的中高筋面粉,对其理化特性(粉质特性、拉伸特性、麦谷蛋白大聚体(GMP)干质量、面筋蛋白亚基组成及蛋白质组分含量)进行分析,同时测定燕麦面条的品质特性(蒸煮、质构和感官品质),研究面粉特性对燕麦挂面品质的影响,通过相关性分析探究影响燕麦挂面品质的主要理化指标,以为燕麦挂面专用粉的生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

燕麦(水分质量分数 13.03%,蛋白质质量分数(以干基计)13.86%):吉林市金贞熙农产品加工有限公司产品。燕麦磨粉过 80 目筛备用。

7 种小麦粉分别为:

1 号面粉香雪雪花粉(水分质量分数 13.34%,蛋白质质量分数(以干基计)13.50%,干面筋质量分数 10.66%):中粮厦门海嘉面粉有限公司产品。

2 号面粉金沙河富强高筋小麦粉(水分质量分数 13.23%,蛋白质质量分数(以干基计)13.27%,干面筋质量分数 11.16%):河北金沙河面业集团有限责任公司产品。

3 号面粉蓝匙小麦粉 5 号专用粉(水分质量分数 13.79%,蛋白质质量分数(以干基计)12.95%,干面筋质量分数 9.89%):益海嘉里(昆山)食品工业有限公司产品。

4 号面粉香满园特级雪晶小麦粉(水分质量分数 13.13%,蛋白质质量分数(以干基计)12.82%,干面筋质量分数 10.32%):益海嘉里粮油工业有限公司产品。

5 号面粉恒丰河套雪花粉(水分质量分数 13.54%,蛋白质质量分数(以干基计)12.38%,干面筋质量分数 9.88%):内蒙古恒丰食品工业(集团)股份有限公司产品。

6 号面粉五得利六星切面王面条专用小麦粉(水分质量分数 13.59%,蛋白质质量分数(以干基计)12.24%,干面筋质量分数 10.88%):五得利集团面粉有限公司产品。

7 号面粉金龙鱼澳大利亚麦芯小麦粉(水分质量分数 13.97%,蛋白质质量分数(以干基计)11.75%,干面筋质量分数 8.64%):益海嘉里(昆山)食品工业有限公司产品。

1.2 设备与仪器

JHMZ-200 和面机:北京东孚久恒仪器技术有限公司产品;JMTD-168/140 压面机:北京东孚久恒仪器技术有限公司产品;Farinograph-E 型电子粉质仪、Extensograph-E 型电子拉伸仪:德国 Brabender 公司产品;TA.XT plus 型物性测试仪:英国 Stable Micro Systems 公司产品;LC-20AT 高效液相色谱仪:日本岛津公司产品;SYT-030 型智能挂面干燥实验台:中国包装和食品机械有限公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 面粉粉质特性的测定 参照 GB/T 14614—2006^[11]测定面粉粉质特性。

1.3.2 面粉拉伸特性的测定 参照 GB/T 14615—2006^[12]测定面粉拉伸特性。

1.3.3 面粉中麦谷蛋白大聚体(GMP)干质量的测定 参照 Don 等^[13]的方法并稍做改动,称取 1.4 g 面粉,加入 28 mL 质量浓度 15 g/L 的 SDS 缓冲液,15 000 g 离心 20 min,弃去上清液,重复提取 3 次,

刮出上层胶状物质并烘干称质量,即为 GMP 干质量。

1.3.4 面筋蛋白及其亚基组成的测定 参照 Bruneel 等^[14]的方法并进行适当调整,称取含有 50 mg 干基蛋白质的面粉样品,先加入 1.5 mL 磷酸盐缓冲液(浓度为 0.05 mol/L, pH 7.6, 含有 0.4 mol/L 的 NaCl)提取 2 次并弃去上清液;再用 1.5 mL 去离子水提取 1 次;用 1.5 mL 体积分数 60% 的乙醇对沉淀物进行提取,重复 3 次,离心并收集上清液即为麦醇溶蛋白提取液;继续用 1.5 mL Tris-HCl 缓冲液(浓度为 0.05 mol/L, pH 7.5, 含有体积分数为 50% 的异丙醇、2.0 mol/L 的尿素、10 g/L 的 DTT)对沉淀物进行提取,重复 3 次并收集上清液即为麦谷蛋白提取液。上清液经 0.45 μm 的微孔滤膜过滤至 2 mL 液相样品瓶中。选用 Nucleosil 300-5 C8 色谱柱,流动相包括水(A 液)和乙腈(B 液),均含有体积分数 0.1% 的三氟乙酸,洗脱液中 B 从体积分数 24.0% 梯度升高到体积分数 56.0%, 总流量为 1 mL/min, 柱温为 50 ℃,检测波长为 214 nm,进样量 100 μL。每个样品独立重复测试 3 次。以各亚基对应的洗脱曲线的峰面积占总面积(包括麦醇溶蛋白和麦谷蛋白)的比例表示其相对含量(质量分数)。

1.3.5 燕麦挂面的制备方法 面筋蛋白的制备:参照 GB/T 5506.1—2008 制备面筋蛋白并稍做改动,取适量的水加入到面粉中,使其形成面团,并静置 30 min,将面团在去离子水中反复搓洗,去除淀粉和麸皮微粒,直至洗面团的水变得澄清,并用碘化钾溶液对面筋表面的水进行检测,若溶液颜色变蓝,则继续冲洗,至溶液颜色无变化为止。将洗出的面筋冻干后磨粉,过 100 目筛备用。

燕麦挂面的制备:燕麦粉与小麦粉按照质量比为 1:1 的比例混匀,并回添各自面粉中的面筋蛋白使原料粉中干面筋的质量分数达到 11.16%,加入适量的水,用和面机混合 5 min,置于 25 ℃ 恒温恒湿箱中熟化 30 min;在 2.0、1.6、1.2、0.8、0.6 mm 辊间距处各压延 3 次,并切成 2.0 mm 宽的长条,置于智能挂面干燥实验台中进行干燥,干燥程序分 5 个阶段(第 1 阶段:时间 45 min,温度 35 ℃,湿度 80%;第 2 阶段:时间 45 min,温度 40 ℃,湿度 70%;第 3 阶段:时间 90 min,温度 45 ℃,湿度 60%;第 4 阶段:时间 25 min,温度 40 ℃,湿度 60%;第 5 阶段:时间 20 min,温度 30 ℃,湿度 60%)。用该程序烘干后的燕麦挂面最终水分质量分数在 11% 左右。

1.3.6 燕麦挂面蒸煮特性的测定

1) 燕麦挂面吸水率的测定 称取约 10 g(m_0)样品,放入 500 mL 沸腾的水中煮至最佳蒸煮时间,捞出后用去离子水淋洗 30 s,用滤纸吸干表面的水分并称质量(m_1)。吸水率计算公式如下:

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{(m_1 - m_0)}{m_0} \times 100\%$$

上式中: m_0 为煮前燕麦挂面的质量, g; m_1 为煮后燕麦挂面的质量, g。

2) 燕麦挂面蒸煮损失的测定 参照 LS/T 3212—2014^[15]测定挂面的蒸煮损失,将 1) 中的面汤冷却后转移至 500 mL 容量瓶中并定容,取 100 mL 面汤于质量恒定的 250 mL 容量瓶中,在红外炉上将大部分水分蒸发后放入 105 ℃ 烘箱中至质量恒定,并计算蒸煮损失。

1.3.7 燕麦挂面熟制品质构特性的测定 将挂面煮至最佳蒸煮时间后捞出,冷水淋洗 30 s,用滤纸吸干表面的水分进行测量。质构特性的测定采用 A/LKB-F 型号探头,测试前、中、后速度分别为 1.00、0.17、10.00 mm/s,校准距离 10 mm,形变量 70%。燕麦挂面拉伸特性的测定采用 A/SPR 型号探头,测试前、中、后速度分别为 1.00、2.00、10.00 mm/s,校准距离 30 mm,拉伸距离 100 mm,触发力 5 g。为保证结果准确性,每个样品至少测定 10 次。

1.3.8 燕麦挂面熟制品的感官评价 参照 LS/T 3202—1993^[16]中面条评分标准,结合燕麦挂面的特性对感官评价表进行适当调整,主要从色泽(10 分)、表观状态(10 分)、适口性(20 分)、韧性(25 分)、黏性(25 分)、光滑性(5 分)、食味(5 分)7 个方面对燕麦挂面进行感官评定。感官评定小组由 10 名训练有素的感官评定员组成。

1.3.9 数据统计与分析 所得数据均来自 3 次以上独立实验结果的平均值,数据表示为平均值±标准方差;采用 SPSS16.0 对数据进行处理,并选取 Duncan 分析,在 $P < 0.05$ 检验水平上对数据进行显著性分析;并用 SPSS16.0 进行相关性分析,采用 Origin2016 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 不同面粉的粉质特性

粉质特性是反映面团流变学特性的重要指标,

与面条的品质密切相关^[17]。7种面粉的粉质特性如表1所示。吸水率是指面团的最大稠度值达到500 BU时所需要的加水量,与面粉中蛋白质和破损淀粉有关。表中7种面粉的吸水率范围为58.40%~68.23%。形成时间是指从开始加水到面团达到最大稠度值所需要的时间,是反映面团弹性的指标;稳定时间是指粉质曲线的上边缘首次到达和离开500 BU标线所需的时间,与面团耐搅拌能力有关。通常情况下,形成时间和稳定时间越长,小麦粉的筋力越强。弱化度与面团在搅拌过程中的破坏速率有关,弱化度越大,筋力越弱。其中,3号面粉的形成时间和稳定时间最长,弱化度最低,筋力强,而4号面粉的形成时间和稳定时间最短,弱化度最大,粉质特性差。

表1 不同面粉的粉质特性

Table 1 Farinograph characteristics of different wheat flour

面粉编号	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/FU	粉质质量指数
1	68.23±0.06 ^a	2.35±0.24 ^b	17.70±1.13 ^c	35.50±2.12 ^d	58.50±3.54 ^b
2	59.63±0.13 ^b	4.63±0.12 ^d	11.00±0.14 ^c	28.00±2.31 ^c	129.33±2.89 ^d
3	64.90±0.00 ^c	28.67±0.15 ^f	41.47±0.80 ^e	7.00±1.00 ^a	450.33±6.81 ^e
4	63.43±0.06 ^d	1.73±0.25 ^a	3.20±0.56 ^a	69.00±1.41 ^f	36.00±3.46 ^a
5	60.70±0.10 ^c	2.17±0.15 ^b	13.30±0.89 ^d	23.50±0.71 ^c	158.33±7.51 ^c
6	58.40±0.10 ^a	3.73±0.25 ^c	5.60±0.52 ^b	41.67±5.51 ^e	71.33±6.43 ^c
7	65.85±0.06 ^f	24.57±0.12 ^e	28.53±0.28 ^f	13.00±0.00 ^b	346.67±2.89 ^f

注:同列中不同上标字母表示数值在 $P<0.05$ 水平上存在显著性差异。

表2 不同面粉的拉伸特性

Table 2 Extensograph properties of different wheat flour

面粉编号	拉伸能量/cm ²	拉伸阻力/BU	延伸度/mm	最大拉伸阻力/BU	拉伸比值
1	98.67±3.90 ^b	312.33±7.77 ^{cd}	163.33±1.15 ^b	455.67±12.50 ^c	1.93±0.06 ^b
2	77.67±1.15 ^a	233.00±2.65 ^a	173.67±2.08 ^c	319.33±2.08 ^a	1.37±0.06 ^a
3	165.67±10.26 ^d	420.67±24.68 ^f	181.00±1.00 ^{cd}	705.00±39.96 ^e	2.33±0.15 ^c
4	128.00±5.66 ^c	356.00±8.49 ^e	175.00±6.56 ^c	538.67±67.28 ^d	1.93±0.31 ^b
5	86.00±4.36 ^a	312.00±75.94 ^b	162.67±6.81 ^b	390.00±13.89 ^b	1.73±0.15 ^b
6	79.67±6.35 ^a	295.00±11.00 ^{bc}	148.67±9.02 ^a	398.33±14.36 ^{bc}	2.00±0.17 ^d
7	138.00±1.41 ^c	326.00±22.65 ^d	187.67±1.15 ^d	553.50±7.78 ^d	1.73±0.15 ^b

注:同列中不同上标字母表示数值在 $P<0.05$ 水平上存在显著性差异。

2.3 不同面粉麦谷蛋白大聚体(GMP)干质量

麦谷蛋白大聚体(GMP)是指不溶于 SDS 溶液的相对分子质量较大的麦谷蛋白,是预测面团加工性能的重要指标^[13]。GMP 由球形的麦谷蛋白颗粒组成,在醒面过程中部分解开的麦谷蛋白大聚体重新聚合,粒径分布发生改变,形成连续的蛋白质网络结构,因此麦谷蛋白大聚体与面团的流变学特性密

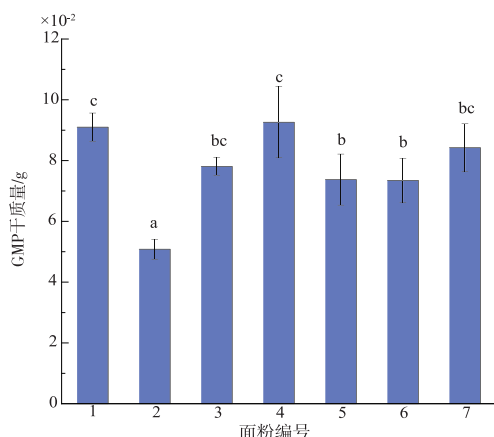
2.2 不同面粉的拉伸特性

拉伸特性反映了面团的强度和延伸性,拉伸能量是指面团从开始拉伸到拉断所需要的总能量,拉伸能量越大,面团筋力越强。拉伸阻力反映了面团的纵向弹性,拉伸阻力越大,面团弹性越强。延伸度体现了面团的横向延展性,对挂面品质有积极影响^[17],延伸度越大,延展性越好。拉伸阻力与延伸度的比值称为拉伸比值,表示面团强度与延展性的平衡关系^[18],值越大则表示面团的筋力大于延伸度,值越小则表示面团的拉伸阻力和筋力较差,延伸度较好。由表2可知,3号面粉的拉伸能量和拉伸阻力最大,延伸度也较大,拉伸特性好。相比于其他面粉,2号面粉拉伸能量和拉伸阻力最小,弹性差;6号面粉的延伸度最小,横向延展性较差。

切相关^[19]。通常认为 GMP 是赋予面团弹性的重要成分^[20]。由图1可知,1、4、7号面粉的 GMP 干质量较大,2号面粉的 GMP 干质量最小。

2.4 不同面粉面筋蛋白的亚基组成及蛋白质组分相对含量

面筋蛋白包括麦谷蛋白和麦醇溶蛋白,其组分含量与比例与面团的加工特性密切相关^[21]。麦谷蛋



不同上标字母表示组别间有显著差异 ($P < 0.05$)。

图1 不同面粉的 GMP 干质量

Fig. 1 Dry weight of GMP of different wheat flour

白是不均质的大分子聚合物,按照相对分子质量的大小可分为高相对分子质量麦谷蛋白亚基 (HMW-GS)和低相对分子质量麦谷蛋白亚基(LMW-GS),麦谷蛋白肽链间的二硫键和极性氨基酸与面团的弹性有关。因此,麦谷蛋白含量越高,面条越筋道。

表3 不同面粉面筋蛋白亚基相对含量

Table 3 Proportion (mass fraction) of gluten protein subunits in different wheat flour

面粉编号	麦谷蛋白与面筋蛋白比值	麦谷蛋白相对含量/%			麦醇溶蛋白与面筋蛋白比值	麦醇溶蛋白相对含量/%			麦醇溶蛋白与麦谷蛋白比值
		ω_b 亚基	HMW-GS	LMW-GS		ω 亚基	α 亚基	γ 亚基	
1	40.29±0.77 ^c	0.10±0.00 ^{cd}	13.62±0.26 ^d	26.57±0.53 ^{bcd}	59.71±0.77 ^a	7.05±0.22 ^{ab}	24.99±0.12 ^c	27.66±0.47 ^b	1.48±0.05 ^a
2	36.32±0.93 ^a	0.08±0.00 ^b	11.61±0.29 ^a	24.63±0.68 ^a	63.68±0.93 ^c	9.57±0.29 ^d	25.29±0.66 ^{cd}	28.51±0.39 ^c	1.75±0.07 ^c
3	41.02±1.22 ^c	0.10±0.01 ^d	12.09±0.19 ^b	28.82±1.09 ^c	58.98±1.22 ^a	6.81±0.20 ^{ab}	23.37±0.34 ^b	29.29±0.18 ^d	1.44±0.07 ^a
4	40.26±0.30 ^c	0.09±0.00 ^{cd}	12.69±0.22 ^c	27.48±0.08 ^d	59.74±0.30 ^a	6.83±0.29 ^{ab}	26.44±0.36 ^c	26.46±0.44 ^a	1.48±0.02 ^a
5	37.81±0.35 ^b	0.15±0.01 ^e	11.89±0.23 ^{ab}	25.78±0.10 ^b	62.19±0.35 ^b	6.50±0.04 ^a	26.43±0.02 ^c	29.26±0.41 ^d	1.64±0.02 ^b
6	38.81±0.41 ^b	0.05±0.00 ^a	12.72±0.15 ^c	26.03±0.42 ^{bc}	61.19±0.41 ^b	7.92±0.73 ^c	25.73±0.31 ^{bc}	27.54±0.40 ^b	1.58±0.03 ^b
7	40.31±0.28 ^c	0.09±0.00 ^c	13.25±0.11 ^d	26.98±0.29 ^{cd}	59.69±0.28 ^a	7.32±0.28 ^{bc}	22.57±0.26 ^a	29.80±0.06 ^d	1.48±0.02 ^a

注:同列中不同上标字母表示数值在 $P < 0.05$ 水平上存在显著性差异;以上数值均以面筋蛋白峰面积以 100%计。

表4 不同面粉中麦谷蛋白和麦醇溶蛋白质量分数

Table 4 Content (mass fraction) of glutenin and gliadin in different wheat flour

面粉编号	麦谷蛋白质量分数/%	麦醇溶蛋白质量分数/%
1	4.29±0.08 ^d	6.37±0.08 ^d
2	4.05±0.10 ^c	7.11±0.10 ^f
3	4.06±0.12 ^c	5.83±0.12 ^b
4	4.16±0.03 ^{cd}	6.16±0.03 ^c
5	3.65±0.16 ^b	6.23±0.16 ^{cd}
6	4.22±0.05 ^{cd}	6.66±0.05 ^e
7	3.48±0.02 ^a	5.16±0.02 ^a

注:同列中不同上标字母表示数值在 $P < 0.05$ 水平上存在显著性差异。

麦醇溶蛋白以单体形式存在,可分为 ω 、 α 、 γ -醇溶蛋白亚基,其中 α 、 γ 亚基都可形成分子内二硫键^[22],与面团的黏性和延展性有关。 γ -醇溶蛋白亚基能够通过二硫键与麦谷蛋白结合^[23]。 ω_b 亚基也是一种与麦谷蛋白结合的麦醇溶蛋白。麦谷蛋白与麦醇溶蛋白共同作用,赋予面团独特的黏弹性。由表 3 可以得出,不同面粉中的面筋蛋白亚基相对含量存在显著性差异。其中 5 号面粉的 ω_b 亚基相对含量最高,1 号和 7 号面粉高相对分子质量亚基的相对含量较高,2 号面粉中高相对分子质量亚基相对含量最低,3 号和 4 号面粉中低相对分子质量亚基相对含量较高,2 号面粉中 ω 亚基相对含量最高,4 号和 5 号面粉中 α 亚基相对含量较高,3、5、7 号面粉中 γ 亚基相对含量较高。1、3、4、7 号面粉中麦谷蛋白与面筋蛋白的比值较高,2 号面粉中麦醇溶蛋白与面筋蛋白的比值最高、麦醇溶蛋白和麦谷蛋白的比值最高。从表 4 中可以看出,1、4、6 号面粉中麦谷蛋白的相对含量较高,2 号面粉中麦醇溶蛋白的相对含量最高。

2.5 不同面粉对燕麦挂面蒸煮品质的影响

蒸煮损失和吸水率是评价面条蒸煮品质的重要指标。蒸煮损失是指面汤中所含有的固形物的总量,与直链淀粉和可溶性蛋白质的溶出有关。蒸煮损失越大,面条的品质越差^[24]。由图 2 可知,2 号面粉制备的燕麦挂面蒸煮损失最小,1、4、5、7 号面粉制备的挂面蒸煮损失较大,一方面可能与面筋蛋白形成网络结构的能力有关,另一方面可能与其最佳蒸煮时间的长短有关。吸水率主要与淀粉的糊化和面筋蛋白吸水变性有关。一般来说,吸水率过高会导致面条弹性不足,黏性增大。2、6 号面粉制备的燕麦挂面吸水率较高,1 号面粉制备的燕麦挂面吸水

率最低。这可能是由于 1 号面粉制备的燕麦挂面形成了较为致密的网络结构,限制了淀粉的膨胀,从而导致其吸水率下降。

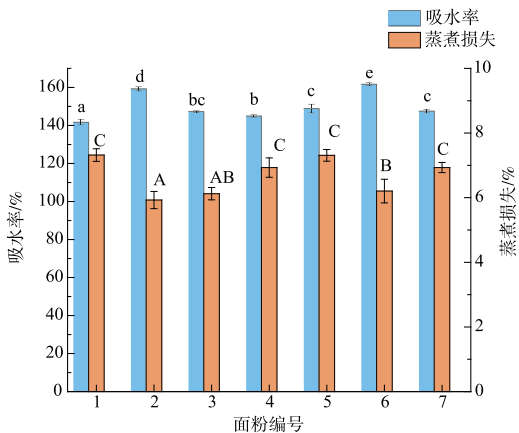


图 2 不同面粉对燕麦挂面蒸煮品质的影响

Fig. 2 Effect of different wheat flour on cooking quality of oat noodles

2.6 不同面粉对燕麦挂面质构品质的影响

质构特性会影响消费者的感官评价,是评价面

条品质的重要指标^[25]。由表 5 可以看出,不同面粉对燕麦挂面的质构品质有显著($P<0.05$)影响。其中 1、4、7 号面粉制备的燕麦挂面硬度较大,咀嚼性也较高,可能是因为 1、4、7 号面粉的 GMP 干质量较大。麦醇溶蛋白和麦谷蛋白在加热的过程中发生聚集变性,与面条的硬度密切相关^[26]。选用的 7 种面粉中,1、4、7 号面粉中麦醇溶蛋白与麦谷蛋白的比值较低,推测燕麦挂面的硬度和咀嚼性还可能与面粉中麦醇溶蛋白/麦谷蛋白的比值有关。2 号和 5 号面粉制备的燕麦挂面硬度和咀嚼性较差,这可能是 2 号面粉和 5 号面粉的 GMP 干质量低且面粉的拉伸能量较低所致。7 种面粉制备的燕麦挂面拉伸特性也存在显著性差异,其中 7 号面粉的制备的燕麦挂面拉断力和拉断距离较大,面条的拉伸特性较好。2、5、6 号面粉制备的燕麦挂面拉断力较小,拉伸距离较短,这可能与面团本身的拉伸特性有关。麦谷蛋白与面条的抗延伸性密切相关,而麦醇溶蛋白与面条的延伸性密切相关^[26],不同面粉中麦谷蛋白和麦醇溶蛋白含量的差异可能会影响燕麦挂面的拉伸特性。

表 5 不同面粉对燕麦挂面质构品质的影响

Table 5 Effect of different wheat flour on texture quality of oat noodles

面粉编号	硬度/g	咀嚼性/(g·s)	黏附性/(g·s)	拉断力/g	拉断距离/mm
1	207.31±5.14 ^c	445.43±14.28 ^c	1.01±0.17 ^b	24.18±1.06 ^{cd}	66.81±7.29 ^{cd}
2	180.50±5.20 ^a	351.32±10.68 ^a	0.79±0.18 ^a	20.18±1.15 ^a	64.22±4.51 ^{bc}
3	199.66±5.56 ^d	413.97±10.51 ^c	0.84±0.16 ^a	23.70±1.19 ^c	74.11±7.34 ^c
4	207.33±5.70 ^e	440.78±15.55 ^{de}	1.14±0.25 ^c	24.88±0.66 ^{de}	71.81±5.09 ^{de}
5	185.24±3.46 ^b	393.22±8.68 ^b	0.82±0.10 ^a	20.55±1.70 ^a	61.05±7.35 ^{ab}
6	195.63±4.57 ^c	470.28±16.00 ^f	0.85±1.56 ^a	22.31±1.14 ^b	56.28±8.84 ^a
7	212.27±5.20 ^f	435.23±13.03 ^d	1.17±0.13 ^c	25.40±1.18 ^e	72.20±4.44 ^{de}

注:同列中不同上标字母表示数值在 $P<0.05$ 水平上存在显著性差异。

2.7 不同面粉对燕麦挂面感官品质影响

燕麦挂面的感官评价结果如表 6 所示,不同面粉对燕麦挂面的适口性、韧性、黏性和光滑性具有显著($P<0.05$)影响。其中 1 号面粉制备的燕麦挂面总分最高,适口性、韧性明显优于其他面粉。3、4、7 号面粉制备的燕麦挂面也具有较好的适口性和韧性。结合表 2 可知,1、3、4、7 号面粉的拉伸阻力较高,推测其可能与面团的拉伸阻力有关。唐建卫等^[27]研究表明,高相对分子质量亚基的含量与面团的流变学特性及面包的品质密切相关,且 1、3、4、7 号面粉中高相对分子质量亚基的相对含量较高,推测燕麦挂面的适口性和韧性可能还与面粉中高相对分

子质量亚基的含量有关。2 号和 6 号面粉制备的燕麦挂面适口性和韧性较差,具有较低的感官得分,这可能是其拉伸能量和拉伸阻力较低导致的。同时 2 号和 6 号面粉中 GMP 干质量也比较低,可能会对燕麦挂面的适口性和韧性产生不利影响。

2.8 面粉特性与燕麦挂面品质相关性分析

面粉特性和燕麦挂面品质之间的相关性如表 7 所示,面粉的吸水率与燕麦挂面的韧性和感官总分呈极显著正相关($P<0.01$),与硬度、适口性呈显著正相关($P<0.05$),与燕麦挂面的吸水率呈极显著负相关($P<0.01$)。面粉的拉伸特性中的拉伸能量和延伸度与燕麦挂面的拉断距离呈极显著正相关($P<0.01$),

表 6 不同面粉对燕麦挂面感官品质的影响

Table 6 Effect of different wheat flour on the sensory quality of oat noodles

面粉编号	色泽	表观状态	适口性	韧性	黏性	光滑性	食味	总分
1	7.6±0.6 ^a	8.2±0.3 ^a	18.2±1.1 ^c	22.0±2.0 ^b	21.3±1.7 ^b	4.3±0.2 ^{ab}	4.3±0.2 ^a	84.7±3.6 ^b
2	8.4±0.6 ^a	8.4±0.5 ^a	14.4±2.5 ^a	17.6±3.4 ^a	20.1±2.6 ^{ab}	4.3±0.2 ^{ab}	4.3±0.2 ^a	78.9±6.0 ^a
3	7.8±0.8 ^a	8.5±0.4 ^a	17.1±1.5 ^{bc}	21.4±2.2 ^b	21.3±1.2 ^b	4.2±0.2 ^{ab}	4.3±0.3 ^a	82.5±4.7 ^{ab}
4	7.9±0.6 ^a	8.3±0.5 ^a	17.1±1.0 ^{bc}	20.6±2.3 ^b	20.1±1.9 ^{ab}	4.0±0.7 ^a	4.3±0.2 ^a	80.4±5.8 ^{ab}
5	7.8±1.0 ^a	8.5±0.6 ^a	16.2±1.1 ^b	20.2±2.6 ^b	21.9±0.9 ^b	4.3±0.2 ^b	4.4±0.3 ^a	81.4±4.3 ^{ab}
6	8.1±0.5 ^a	8.5±0.4 ^a	16.1±1.6 ^b	17.3±3.3 ^a	19.2±2.8 ^a	4.3±0.2 ^{ab}	4.4±0.3 ^a	79.9±5.9 ^{ab}
7	7.9±1.1 ^a	8.4±0.6 ^a	17.3±1.0 ^{bc}	20.9±1.8 ^b	20.1±1.7 ^{ab}	4.2±0.2 ^{ab}	4.4±0.3 ^a	82.2±2.8 ^{ab}

注: 同列中不同上标字母表示数值在 $P<0.05$ 水平上存在显著性差异。

表 7 面粉特性与燕麦挂面品质相关性分析

Table 7 Correlation analysis between wheat flour characteristics and oat noodle qualities

面粉特征	挂面吸水率	蒸煮损失	硬度	咀嚼性	粘附性	拉伸力	拉伸距离	色泽	表观状态	适口性	韧性	黏性	光滑性	食味	总分
吸水率	-0.878**	0.509	0.763*	0.278	0.611	0.753	0.722	-0.740	-0.494	0.842*	0.911**	0.425	-0.237	-0.695	0.882**
形成时间	-0.183	-0.285	0.359	0.003	0.141	0.430	0.650	-0.185	0.336	0.252	0.368	0.094	-0.143	-0.115	0.280
稳定时间	-0.358	-0.130	0.270	-0.096	-0.016	0.319	0.617	-0.396	0.290	0.350	0.555	0.437	0.040	-0.199	0.537
弱化度	-0.015	0.191	0.151	0.353	0.336	0.142	-0.177	0.113	-0.467	0.042	-0.191	-0.406	-0.540	-0.220	-0.304
粉质质量指数	-0.159	-0.264	0.156	-0.175	-0.042	0.227	0.568	-0.177	0.499	0.139	0.353	0.273	-0.007	-0.007	0.250
拉伸能量	-0.560	-0.025	0.618	0.189	0.433	0.709	0.893**	-0.434	0.125	0.545	0.656	0.190	-0.622	-0.464	0.391
拉伸阻力	-0.586	0.110	0.535	0.365	0.253	0.599	0.658	-0.646	0.301	0.643	0.670	0.351	-0.619	-0.282	0.461
延伸度	-0.431	-0.042	0.357	-0.322	0.460	0.456	0.891**	-0.027	-0.086	0.154	0.478	0.138	-0.361	-0.542	0.144
最大拉伸阻力	-0.559	-0.010	0.636	0.317	0.372	0.714	0.810*	-0.533	0.165	0.622	0.664	0.214	-0.617	-0.407	0.458
拉伸比值	-0.353	-0.011	0.479	0.610	0.059	0.502	0.312	-0.630	0.261	0.634	0.450	0.181	-0.469	-0.110	0.461
GMP干质量	-0.788*	0.677	0.878**	0.744	0.756*	0.846*	0.449	-0.816*	-0.308	0.942**	0.742	0.165	-0.563	-0.378	0.660
ω 亚基	0.743	-0.685	-0.513	-0.475	-0.359	-0.491	-0.327	0.890**	-0.243	-0.778*	-0.751	-0.555	0.360	0.042	-0.616
α 亚基	0.194	0.190	-0.460	-0.053	-0.269	-0.493	-0.589	0.174	-0.026	-0.310	-0.368	-0.005	-0.043	0.199	-0.408
γ 亚基	0.003	-0.057	-0.168	-0.414	-0.218	-0.159	0.173	-0.061	0.531	-0.101	0.169	0.389	0.516	0.314	0.189
ω_b 亚基	-0.561	0.627	-0.180	-0.391	-0.082	-0.193	0.157	-0.489	0.303	0.175	0.551	0.896**	0.181	0.013	0.367
HMW-GS	-0.491	0.532	0.858*	0.777*	0.730	0.775*	0.193	-0.582	-0.594	0.807*	0.471	-0.142	-0.155	-0.287	0.656
LMW-GS	-0.590	0.064	0.661	0.438	0.374	0.727	0.732	-0.614	0.146	0.693	0.673	0.221	-0.674	-0.393	0.484
麦醇溶蛋白与面筋蛋白比值	0.687	-0.290	-0.890**	-0.676	-0.608	-0.906**	-0.664	0.744	0.136	-0.899**	-0.744	-0.128	0.597	0.434	-0.672
麦谷蛋白与面筋蛋白比值	-0.687	0.290	0.890**	0.676	0.608	0.906**	0.664	-0.744	-0.136	0.899**	0.744	0.128	-0.597	-0.434	0.672

续表 7

面粉特征	挂面吸水率	蒸煮损失	硬度	咀嚼性	粘附性	拉断力	拉断距离	色泽	表观状态	适口性	韧性	黏性	光滑性	食味	总分
麦醇溶蛋白与麦谷蛋白比值	0.684	-0.309	-0.894**	-0.698	-0.614	-0.906**	-0.642	0.754	0.130	-0.907**	-0.738	-0.122	0.593	0.411	-0.671
麦谷蛋白质量分数	0.101	-0.285	0.000	0.273	-0.201	0.001	-0.171	0.035	-0.439	0.054	-0.155	-0.206	-0.248	-0.363	0.003
麦醇溶蛋白质量分数	0.583	-0.390	-0.718	-0.347	-0.643	-0.732	-0.652	0.569	-0.163	-0.654	-0.665	-0.186	0.304	0.105	-0.503

注:*,在 $P<0.05$ 水平上显著相关;**在 $P<0.01$ 水平上显著相关。

最大拉伸阻力与拉断距离呈显著正相关 ($P<0.05$)。岳凤玲等^[28]研究发现,冷冻熟面的拉断力与面团的拉伸能量、拉伸阻力和拉伸比值密切相关。Liu 等^[17]研究发现,挂面的适口性、弹性和黏性与面粉的延展性、拉伸阻力、拉伸能量呈显著正相关。面粉中的 GMP 干质量与燕麦挂面的硬度和适口性呈极显著正相关 ($P<0.01$),与燕麦挂面的拉断力呈显著正相关 ($P<0.05$)。这可能与麦谷蛋白大聚体之间主要通过分子间二硫键连接,能增强面筋的弹性有关。Ong 等^[20]研究了面条加工过程中 GMP 湿质量和凝胶流变学特性的变化趋势,发现 GMP 湿质量越低,面团的强度越差,增强 GMP 的凝胶强度可以提高面条的硬度。有研究表明^[29],GMP 含量与面包的体积密切相关。但 GMP 对杂粮挂面品质的影响还鲜有报道。同时 GMP 干质量与黏附性呈显著正相关 ($P<0.05$),与燕麦挂面的吸水率和色泽呈显著负相关 ($P<0.05$)。 ω 亚基与燕麦挂面的色泽呈极显著正相关 ($P<0.01$),与燕麦挂面的适口性呈显著负相关 ($P<0.05$), ω_b 亚基与燕麦挂面的黏性呈极显著正相关 ($P<0.01$),即 ω_b 亚基含量越高,燕麦挂面越爽口。高相对分子质量麦谷蛋白亚基(HMW-GS)与燕麦挂面的硬度、咀嚼性、拉断力和适口性均呈显著正相关 ($P<0.05$)。邓志英等^[30]研究发现 HMW-GS 的表达量与面包的体积密切相关,提高 HMW-GS 的表达量可增强面包的硬度。麦谷蛋白与面筋蛋白比值与燕麦挂面的硬度、拉断力和适口性呈极显著正相关 ($P<0.01$)。麦醇溶蛋白与面筋蛋白、麦醇溶蛋白与麦谷蛋白的比值均与燕麦挂面的硬度、拉断力、适

口性呈极显著负相关 ($P<0.01$)。因此麦醇溶蛋白与面筋蛋白比值低的面粉制备的燕麦挂面品质较好。

3 结 语

本实验中探究了 7 种面条专用粉的特性(粉质特性、拉伸特性、GMP 干质量、面筋蛋白及其亚基组成)对燕麦挂面品质(蒸煮、质构和感官品质)的影响。面粉的吸水率与燕麦挂面的韧性和感官总分呈极显著正相关 ($P<0.01$),与硬度和适口性呈显著正相关 ($P<0.05$),与燕麦挂面的吸水率呈极显著负相关 ($P<0.01$);面粉的拉伸能量和延伸度与燕麦挂面的拉断距离呈极显著正相关 ($P<0.01$),最大拉伸阻力与燕麦挂面的拉断距离呈显著正相关 ($P<0.05$);GMP 干质量可影响燕麦挂面的蒸煮、质构和感官品质,与燕麦挂面的硬度和适口性呈极显著正相关 ($P<0.01$),与拉断力和黏附性呈显著正相关 ($P<0.05$),与燕麦挂面的吸水率和色泽呈显著负相关 ($P<0.05$);面筋蛋白亚基组成结果显示,高相对分子质量麦谷蛋白亚基(HMW-GS)与燕麦挂面的硬度、咀嚼性、拉断力和适口性均呈显著正相关 ($P<0.05$)。麦谷蛋白与面筋蛋白比值与燕麦挂面的硬度、拉断力和适口性呈极显著正相关 ($P<0.01$)。麦醇溶蛋白与面筋蛋白、麦醇溶蛋白与麦谷蛋白比值均与燕麦挂面的硬度、拉断力、适口性呈极显著负相关 ($P<0.01$)。因此,制备燕麦挂面应选用吸水率高、GMP 干质量大、高相对分子质量麦谷蛋白亚基含量高、麦谷蛋白与面筋蛋白比值较高且拉伸特性较好的面粉。

参考文献:

- [1] 郑开迪,梁杉,张敏,等.添加马铃薯全粉对面条挥发性风味化合物的影响[J].食品科学,2020,41(6):239-245.
- [2] 张成东,杨立娜,吴昊桐,等.杂粮面条和馒头的研究进展[J].食品研究与开发,2019,40(10):212-216.
- [3] FLANDER L,ROUAU X,MOREL M H,et al. Effects of laccase and xylanase on the chemical and rheological properties of oat and wheat doughs[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008,56(14):5732-5742.
- [4] OTHMAN R A,MOGHADASI M H,JONES P J H. Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan[J]. *Nutrition Reviews*, 2011, 69(6):299-309.
- [5] TOSH S M. Review of human studies investigating the post-prandial blood-glucose lowering ability of oat and barley food products [J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2013, 67(4):310.
- [6] 刘淑一. 预糊化对燕麦全粉性质及高含量燕麦挂面品质的影响[D]. 镇江:江苏大学,2017.
- [7] FLANDER L,SALMENKALLIO-MARTTILA M,SUORTTI T,et al. Optimization of ingredients and baking process for improved whole meal oat bread quality[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2007, 40(5):860-870.
- [8] AYDIN E,GOCMEN D. Cooking quality and sensorial properties of noodle supplemented with oat flour[J]. *Food Science and Biotechnology*, 2011, 20(2):507-511.
- [9] ZHOU B L,ZHU F,SHAN F,et al. Gluten enhances cooking, textural, and sensory properties of oat noodles[J]. *Cereal Chemistry*, 2011, 88(3):228-233.
- [10] SANDHU G K,SIMSEK S,MANTHEY F A. Effect of xanthan gum on processing and cooking quality of nontraditional pasta[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2015, 50(8):1922-1932.
- [11] 中华人民共和国国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 14614-2006 小麦粉 面团的物理特性 吸水性和流变学特性的测定 粉质仪法[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [12] 中华人民共和国国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 14615-2006 小麦粉 面团的物理特性 流变学特性的测定 拉伸仪法[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [13] DON C,LICHTENDONK W,PLIJTER J J,et al. Gluteninmacropolymer:a gel formed by gluteninparticles[J]. *Journal of Cereal Science*, 2003, 37(1):1-7.
- [14] BRUNEEL C,LAGRAIN B,BRIJS K,et al. Redox agents and N-ethylmaleimide affect the extractability of gluten proteins during fresh pasta processing[J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(3):905-911.
- [15] 国家粮食和物资储备局. LS/T 3212-2014 挂面[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [16] 商业部谷物油脂化学研究所. LS/T 3202-1993 面条用小麦粉[S]. 北京:中华人民共和国商业部,1993.
- [17] LIU J J,HE Z H,ZHAO Z D,et al. Wheat quality traits and quality parameters of cooked dry white Chinese noodles [J]. *Euphytica*, 2003, 131(2):147-154.
- [18] 朱玉萍. 小麦面粉对陕西 Biangbiang 面加工品质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [19] DON C,LICHTENDONK W J,PLIJTER J J,et al. The effect of mixing on glutenin particle properties;aggregation factors thataffect gluten function in dough[J]. *Journal of Cereal Science*, 2005, 41(1):69-83.
- [20] ONG Y L,ROSS A S,ENGLE D A. Gluteninmacropolymer in salted and alkaline noodle doughs[J]. *Cereal Chemistry*, 2010, 87(1):79-85.
- [21] KHATKAR B S,BELL A E,SCHOFIELD J D. The dynamic rheological properties of gluteins and gluten sub-fractions from wheats of good and poor bread making quality[J]. *Journal of Cereal Science*, 1995, 22(1):29-44.
- [22] LAGRAIN B,THEWISSEN B G,BRIJS K,et al. Mechanism of gliadin-glutenin cross-linking during hydrothermal treatment[J]. *Food Chemistry*, 2008, 107(2):753-760.
- [23] KECK B,KOHLER P,WIESER H. Disulphide bonds in wheat gluten:cystine peptides derived from gluten proteins following peptic and thermolytic digestion[J]. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 1995, 200(6):432-439.
- [24] SOZER N,DALGIC A C,KAYA A. Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 81(2):476-484.
- [25] ROMERO H M,SANTRA D,ROSE D,et al. Dough rheological properties and texture of gluten-free pasta based on proso millet flour[J]. *Journal of Cereal Science*, 2017, 74:238-243.
- [26] 师俊玲. 蛋白质和淀粉对挂面及方便面品质影响机理研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2001.
- [27] 唐建卫,刘建军,张平平,等. 贮藏蛋白组分对小麦面团流变学特性和食品加工品质的影响[J]. 中国农业科学, 2008(10): 2937-2946.
- [28] 岳凤玲. 面粉特性及组成对冷冻熟面品质影响的研究[D]. 无锡:江南大学,2017.
- [29] SAPIRSTEIN H D,SUCHY J. SDS-protein gel test for prediction of bread loaf volume[J]. *Cereal Chemistry*, 1999, 76(1):164-172.
- [30] 邓志英. 小麦高分子量谷蛋白亚基表达量及其对加工品质的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2005.