

麦麸膳食纤维对发酵挂面品质的影响

宁恒, 马森, 李力

Study on the Effects of Wheat Bran Dietary Fiber on Quality of Fermented Dried Noodles

NING Heng, MA Sen, and LI Li

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022120118>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

麦麸膳食纤维对小麦粉糊化及凝胶质构特性的影响

Effect of wheat bran dietary fiber on pasting and gel textural properties of wheat flour

食品工业科技. 2018, 39(8): 1-5,12 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.08.001>

发酵麦麸对面包膳食纤维组成及烘焙特性的影响

Effect of Fermented Wheat Bran on Dietary Fiber Composition and Baking Characteristics of Bread

食品工业科技. 2019, 40(5): 1-6,11 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.05.001>

绿茶、洋葱皮水提物对面团粉质特性、面条保鲜效果、蒸煮特性及抗氧化性能的影响

Effect of aqueous extract of green tea and onion peel on farinograph properties of dough and preservation, cooking characteristics and antioxidant capacities of noodles

食品工业科技. 2018, 39(2): 61-64,69 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.02.012>

麦麸添加量和粒度对饺子皮品质的影响

Effects of the Addition Level and Particle Size of Wheat Bran on the Quality of Dumpling Wrapper

食品工业科技. 2019, 40(11): 28-32 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.11.006>

不同干燥工艺对挂面品质的影响

Effect of Different Drying Parameters on the Quality of Fine Dried Noodles

食品工业科技. 2021, 42(2): 26-31 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020030294>

竹笋膳食纤维对面粉粉质特征及面团质构特性的影响

Effect of bamboo shoot dietary fiber on farinograph properties and texture properties of wheat flour dough

食品工业科技. 2017(08): 82-86 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.08.008>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

宁恒, 马森, 李力. 麦麸膳食纤维对发酵挂面品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(18): 115–122. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022120118

NING Heng, MA Sen, LI Li. Study on the Effects of Wheat Bran Dietary Fiber on Quality of Fermented Dried Noodles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(18): 115–122. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022120118

· 研究与探讨 ·

麦麸膳食纤维对发酵挂面品质的影响

宁 恒, 马 森*, 李 力*

(河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001)

摘要: 发酵挂面是近年来市场上盛行的新型营养面制食品, 麦麸膳食纤维的添加可以提高发酵挂面的营养价值, 但也会对其品质特性造成影响。本文通过单因素实验, 研究了不同麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面蒸煮特性、质构特性以及孔隙率的影响, 并对麦麸膳食纤维添加量和发酵挂面品质进行了相关性分析。结果表明: 随着麦麸膳食纤维添加量增加, 挂面的孔隙率、抗断裂强度、吸水率、最佳蒸煮时间、内聚性、回复性、拉伸距离显著降低 ($P<0.05$), 柔韧性、蒸煮损失率、硬度、胶黏性、咀嚼性、拉伸阻力显著提高 ($P<0.05$), 感官评价得分下降。在添加量为 2% 的情况下, 麦麸膳食纤维对发酵挂面的蒸煮和质构特性, 及感官评价得分影响较小。本文为提高发酵挂面品质的相关研究提供了理论指导。

关键词: 发酵挂面, 麦麸膳食纤维, 质构特性, 蒸煮特性, 孔隙率

中图分类号: TS213.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)18-0115-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022120118

本文网刊:



Study on the Effects of Wheat Bran Dietary Fiber on Quality of Fermented Dried Noodles

NING Heng, MA Sen*, LI Li*

(College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Fermented dried noodles are a popular nutritional noodle flour product in current market. Wheat bran dietary fiber (WBDF) can improve the nutritional value of fermented dried noodles, but also affect the quality characteristics of fermented dried noodles. In this paper, the effects of WBDF content on the cooking characteristics, texture characteristics and porosity of fermented dried noodles were investigated by single factor experiments, and the correlation analysis for WBDF content and the quality characteristics of fermented dried noodles was taken. The results showed that the porosity, breaking strength, water absorption, optimal cooking time, cohesiveness, resilience and tensile distance decreased significantly with the increase of bran dietary fiber addition ($P<0.05$), while the flexibility, rate of cooking loss, hardness, adhesiveness, chewiness and tensile resistance increased significantly ($P<0.05$) and the sensory evaluation score decreased. Adding 2% wheat bran dietary fiber had weaker influence on the cooking characteristics, texture characteristics and sensory evaluation score of fermented dried noodles. The research could lay a theoretic basis for the investigation of dietary fiber fermented dried noodles.

Key words: fermented dried noodles; wheat bran dietary fiber; texture characteristics; cooking characteristics; porosity

发酵挂面又名空心挂面, 其拥有悠久的历史, 外观平滑无凹陷, 内部有诸多细孔、味皆可入面, 老少皆宜, 营养价值极其丰富, 在我国具有巨大的市场潜力^[1]。目前, 市场上采用酵母发酵工艺来制作发酵挂

面, 酵母在发酵过程中会产生诸多气体, 从而使面条内部呈现多孔的结构, 同时, 通过发酵可以降低面条中植酸的含量, 提高人体中矿物质的利用率^[2-3]。在发酵挂面中添加适量的麦麸膳食纤维可以促进机体

收稿日期: 2022-12-14

基金项目: “十四五”国家重点研发计划 (2021YFD21009003); 国家自然科学基金面上项目 (32272249); 河南省高校科技创新人才项目 (23HASTIT033)。

作者简介: 宁恒 (1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: 929391384@qq.com。

* 通信作者: 马森 (1983-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: masen@haut.edu.cn。

李力 (1983-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: lili@haut.edu.cn。

新陈代谢,增强胃肠道免疫能力,减少各种慢性代谢疾病的患病风险,改善我国居民面临的过精细化饮食和营养失衡的现状^[4-5],但是,麦麸中的不溶性膳食纤维会大量破坏发酵面制品的网络结构^[6],从而影响其品质特性。

研究表明添加膳食纤维对面条的品质产生了不同的影响。孙小凡等^[7]研究了不同添加量的豆渣膳食纤维对面条品质的影响,发现添加适量的豆渣膳食纤维可以降低面条的蒸煮损失率,提高面条的吸水率,改善面条的品质。张灿等^[8]研究了不同粒径的刺梨果渣膳食纤维对面条品质的影响,发现添加一定粒径的果渣膳食纤维可以提高面条的吸水率、硬度、弹性、咀嚼性。蔡为荣等^[9]研究了不同添加量麦麸膳食纤维对面条吸水率、抗拉断应力和蠕变性的影响,发现添加量为 3%~5% 时,麦麸膳食纤维对面条吸水率、抗拉断应力、蠕变和蠕变恢复影响最小,麦麸膳食纤维面条品质最佳。Aravind 等^[10]研究了不同添加量的不溶性膳食纤维对意大利面的影响,发现膳食纤维添加量为 10% 时,对意大利面的品质影响最小且抗氧化值提高。以上研究主要集中于膳食纤维对传统面条和挂面品质特性的作用,而对于发酵挂面品质影响,相关研究较少。

本文通过研究不同添加量的麦麸膳食纤维对发酵挂面蒸煮特性、质构特性以及孔隙率的影响,并对麦麸发酵挂面不同的品质特性进行相关性分析,为膳食纤维强化发酵挂面品质的相关研究提供支持。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

五得利普通粉 五得利集团新乡面粉有限公司;小麦麸皮 益海嘉里(郑州)食品有限公司;加碘精纯盐 河南省盐业总公司;酵母粉 安琪酵母股份有限公司;食品级自封袋 河南新丰化验器材有限公司;耐高温 α -淀粉酶(40 kU/g)、碱性蛋白酶(50 kU/g) 北京索莱宝科技有限公司;HCl、NaOH

开封市芳晶化学试剂有限公司;I2、KI 天津市致远化学试剂有限公司;所有试剂均为分析纯;实验用水均为蒸馏水。

JHMZ-200 型针式和面机 北京东方孚德技术有限公司;SP-18S 醒发箱 江苏三麦食品机械有限公司;JMTD-168/140 实验压片机 北京东孚久恒仪器技术有限公司;SYT-030 智能挂面干燥实验台 中国包装和食品机械有限公司;LG-02 高速超细粉碎机 浙江瑞安市百信制药机械有限公司;TA.XT 2i 物性测试仪 英国 Stable Micro Systems 公司;JM-F50 立式胶体磨 温州麦特隆机械有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 麦麸膳食纤维的制备 参照雷梦续^[11]的方法并稍作修改,采用酶-化学法提取麦麸膳食纤维,取预处理后的粗麦麸,在胶体磨中将麦麸以 1:10(m:v)加蒸馏水混合粉碎 20 min,过 150 目筛,去除杂质,

干燥粉碎。将粉碎后的麦麸与蒸馏水以 1:10(m:v)比例混合,在 95 ℃ 加热 30 min,用 HCl 溶液,调节 pH 至 5.6,加入 1.5%(w:w)耐高温-淀粉酶,搅拌 30 min,用碘液检测淀粉是否完全酶解。用 NaOH 溶液调节 pH 至蛋白酶酶解最适 pH9.0,加入 3%(w:w)碱性蛋白酶,搅拌 120 min,用清水缓洗过 150 目筛至洗涤液不浑浊,将筛上物烘干,完全粉碎过 100 目筛即得麦麸膳食纤维,密封保存。

1.2.2 发酵挂面的制备 参考王婷等^[12]的方法并稍作修改,按面粉质量计,添加 0.83% 的酵母、0.64% 的食盐、33.67% 的蒸馏水。将 200 g 小麦粉和一定量的酵母以及麦麸膳食纤维(以 0%、2%、4%、6%、8% 的添加量替代部分面粉)制成混合粉,倒进针式和面机搅拌 2 min,再加入盐水搅拌 7 min 制成面絮。将面絮倒入自封袋在 30 ℃ 培养箱中醒发 30 min,经 3.0 mm 轮距进行 4 次复合压延,经过从 2.0 mm 递减 0.2 mm 的轮距,将面片压成厚度为 1.0 mm 的面片,切成宽 3.0 mm、厚 1.0 mm 的面条。置于智能挂面干燥实验台进行干燥,共分四个阶段:第一阶段:温度:35 ℃,相对湿度:85%;干燥 1.75 h。第二阶段:温度:40 ℃,相对湿度:75%;干燥 2.75 h。第三阶段:温度:40 ℃,湿度:68%;干燥 1.25 h。第四阶段:温度:32 ℃,湿度:65%;干燥 1.25 h。

1.2.3 力学特性的测定 参照刘书航等^[13]的方法并稍作修改,随机选取平直均匀的挂面于 TA.XT 2i 质构仪上,用 A/SFR 探头进行干面条的力学特性测定实验,可以得到挂面的抗弯折强度和柔韧性。力学特性测试参数为:测前速度:1.0 mm/s;测试速度:1.0 mm/s;测后速度:5.0 mm/s;应变位移:50.0 mm;引发类型:自动;引发力:5.0 g。每个样品做 5 次平行实验,舍去最大值和最小值,求算术平均值。

1.2.4 蒸煮特性的测定 参照王家胜等^[14]并稍作改动,取约为 10 g 的挂面,放入 500 mL 沸水,电磁炉调至 1400 W,使水始终保持微沸,用计时器计时。从 2 min 起每间隔 20 s,捞取一根面条,用玻璃板挤压后,观察面条,直至面条白芯刚好消失,此时间即为挂面的最佳蒸煮时间。将煮至最佳蒸煮时间的面条夹出,放入 300 mL 蒸馏水中冷却 30 s,用滤纸吸去面条表面水分,包裹面条静置 5 min,去除滤纸称重,记为 m_1 。发酵挂面的吸水率(CAR)经公式(1)计算得出。

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

$$m_2 = m - (m \times w) \quad (2)$$

式中: m_1 为挂面煮后的重量(g); m_2 为挂面的干重(g); m 为实验中称取的挂面质量(g); w 为干挂面的水分含量(%),参照 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》,直接干燥测得。

将锅中的面汤移入 500 mL 容量瓶定容至 500 mL,

室温冷却, 铝盒干燥至恒重, 称取记录铝盒重量, 记 m_3 。取 20 mL 的面汤移至小铝盒中, 将加样后的铝盒放进干燥箱, 105 ℃ 温度下烘干 4 h, 铝盒等待冷却恒重后称重, 记 m_4 。根据公式(3)计算出蒸煮损失率(CLR)。

$$CLR(\%) = \frac{25 \times (m_4 - m_3)}{m \times (1 - W)} \times 100 \quad \text{式 (3)}$$

式中: m_3 为加样前干燥至恒重铝盒重量(g); m_4 为加样后干燥至恒重铝盒重量(g); m 为实验中称取的挂面质量(g); W 为干挂面的水分含量(%)。

1.2.5 孔隙率的计算 参考李娟等^[15]的方法并稍作改动, 从所制得不同麦麸膳食纤维含量的发酵挂面中每组随机选择 50 根, 用光学方法取代核磁成像设备拍摄横截面照片, 用于孔隙率的计算, 求算术平均值。

1.2.6 质构特性的测定 参考李阳等^[16]的实验方法, 取 20 根挂面置于盛有 500 g 沸水的锅中, 煮至最佳蒸煮时间时, 捞出面条转移入盛有蒸馏水的烧杯中, 冷却 30 s, 用筷子夹出面条放入浅盘中, 湿纱布覆盖保持水分。

质构曲线分析(TPA)实验选择 HDP/PFS 探头型号; 测试前、中、后速度均设置为 0.8 mm/s; 压缩程度为 75%, 负载类型设为 Auto-5 g; 两次压缩间的间隔时间设置为 2 s。

拉伸测试选择 A/SPR 探头型号, 测试模式为 Extension 模式, 实验参数为: 测前速度: 3.0 mm/s; 测试速度: 3.0 mm/s; 测后速度: 11 mm/s; 测试距离为 100 mm; 触发力为 5.0 g。每组样品 7 次平行实验后, 舍去其中最大值和最小值, 取平均值。

1.2.7 感官评价 由 5 名感官评价人员对发酵挂面进行感官评价, 评价方法参考 GB/T 35875-2018 并

表 1 发酵挂面感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation criteria of fermented dried noodles

项目	满	评分标准	得分(分)
色泽	10	面条颜色白、乳黄色, 光亮	8~10
		面条色泽普通, 亮度一般	5~7
		颜色灰暗, 亮度较差	1~4
		表面结构均匀、光滑	8~10
表观状况	10	表面结构平整稍有破损, 较光滑	5~7
		表面粗糙、变性严重, 不光滑	1~4
软硬度	20	咬断用力适中	16~20
		略微偏硬或偏软	11~15
		过硬或过软	1~10
粘弹性	30	不粘牙、有咬劲、有弹性	24~30
		微粘牙, 弹性稍差	18~23
		不爽口、粘牙、嚼劲差	1~17
爽滑性	20	口感爽滑	16~20
		比较爽滑	11~15
		爽滑性差	1~10
食味	10	具有发酵的清香味	8~10
		基本无异味	5~7
		有异味	1~4

稍作改动, 具体评定标准见表 1, 评分结果取平均值。

1.3 数据处理

采用 SPSS 26.0 软件对实验数据进行单因素方差分析(ANOVA)和显著性差异检验(Duncan, $P < 0.05$), 所有的图像分析均采用 Origin 8.5 进行处理。

2 结果与分析

2.1 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面力学特性的影响

抗弯折强度表示挂面在弯曲时所能承受的最大力, 抗弯折强度越大, 表示干挂面越不易断裂。如图 1 所示, 发酵挂面的抗弯折强度随麦麸膳食纤维添加量的增加而降低, 主要原因是麦麸膳食纤维的加入会稀释面筋蛋白, 弱化面筋网络的强度^[17], 发酵挂面的抗弯能力下降, 断裂应力降低。另一方面可能与干挂面的内部结构有关, 加入麦麸膳食纤维影响面条发酵过程, 面条的孔隙和面体厚度不均匀, 横截面积变小, 同压力作用下受到的压强增大, 使干挂面断裂应力明显减小。

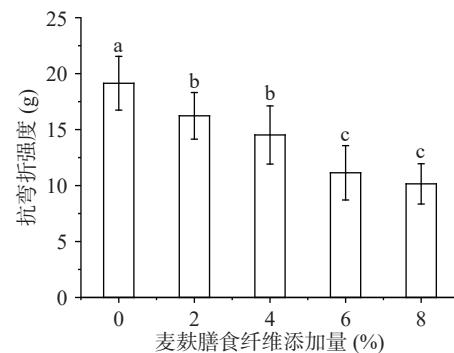


图 1 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面抗弯折强度的影响

Fig.1 Effect of addition of wheat bran dietary fiber on the flexural strength of fermented dried noodles

注: 不同小写字母表示存在显著差异($P < 0.05$); 图 2~图 5、图 7 同。

柔韧性表示挂面在承受最大断裂力时弯曲的距离。如图 2 所示, 发酵挂面的柔韧性随麦麸膳食纤维添加量的增加而增加, 是由于麦麸膳食纤维的高持水性, 亲水基团大量与水结合, 增加面筋基质的连续

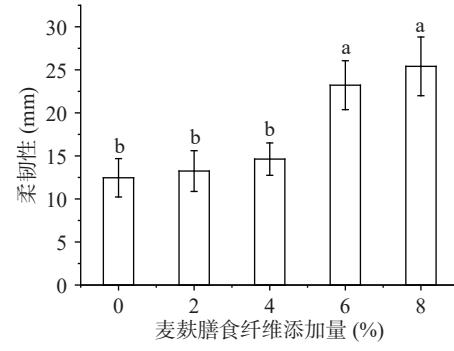


图 2 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面柔韧性的影响

Fig.2 Effect of addition of wheat bran dietary fiber on the flexibility of fermented dried noodles

性^[18], 在干挂面断裂时增加其柔韧性。

2.2 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面蒸煮特性的影响

最佳蒸煮时间是指面条蒸煮过程中面条白芯完全消失的时间, 反映了面条易煮性^[19-20]。如图 3 所示, 随着麦麸膳食纤维添加量的增加, 发酵挂面的最佳蒸煮时间降低, 这与发酵挂面中的淀粉含量有关, 麦麸膳食纤维的添加稀释了发酵挂面体系中的淀粉含量, 而淀粉含量的减少使得糊化温度不断降低^[21], 从而最佳蒸煮时间变短。

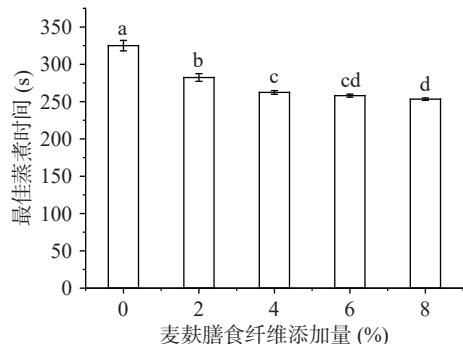


图 3 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面最佳蒸煮时间的影响

Fig.3 Effect of addition of wheat bran dietary fiber on the optimal steaming time of fermented dried noodles

挂面的蒸煮损失率是指蒸煮过程中溶解和脱落到煮面水中的固形物的质量分数^[22], 是衡量面条蒸煮特性的另一重要指标。图 4 所示, 发酵挂面的蒸煮损失率随麦麸膳食纤维的添加量增加, 整体呈现增大的趋势。随着添加量的不断增加, 麦麸膳食纤维与淀粉颗粒竞争水分, 干扰原本稳定的面筋网络结构, 面团中存在大量的淀粉颗粒没有被均匀包裹进面筋网络, 导致蒸煮过程中网络结构中的淀粉不断脱落溶于面汤, 面条的蒸煮损失率不断增加^[23]。

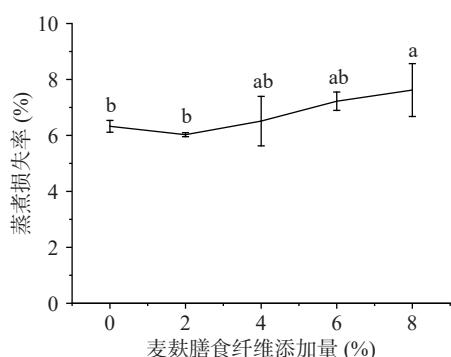


图 4 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面蒸煮损失率的影响

Fig.4 Effect of addition of wheat bran dietary fiber on cooking loss rate of fermented dried noodles

挂面的吸水率是指单位干物质的吸水量, 是表征面条蒸煮特性的重要参数之一, 挂面吸水率大, 挂面品质相对更好, 出品率越高^[24]。如图 5 所示, 随着麦麸膳食纤维添加量的增加, 发酵挂面的吸水率整体呈下降趋势, 是因为发酵挂面最佳蒸煮时间逐渐变短, 导致淀粉糊化过程中吸水逐渐变少; 另一方面, 尽管麦麸膳食纤维吸水能力较强, 但在发酵挂面蒸煮过

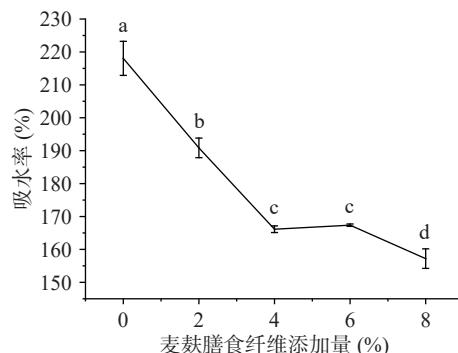


图 5 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面吸水率的影响

Fig.5 Effect of addition of wheat bran dietary fiber on water absorption of fermented dried noodles

程中, 麦麸膳食纤维和淀粉会脱落溶于面汤, 导致发酵挂面吸水率降低^[25]。

2.3 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面孔隙率的影响

孔隙率是指发酵挂面其横截面积上孔隙面积与横截总面积之比, 可以用来客观评价发酵挂面内部的结构特性^[15], 不同麦麸膳食纤维添加量的发酵挂面截面图如图 6 所示。在面絮的发酵过程中, 酵母会利用面团之中的淀粉酶把糖分解为乙醇和 CO₂ 以及其他相关物质, 包裹在面筋网络中的 CO₂^[26], 会使得面

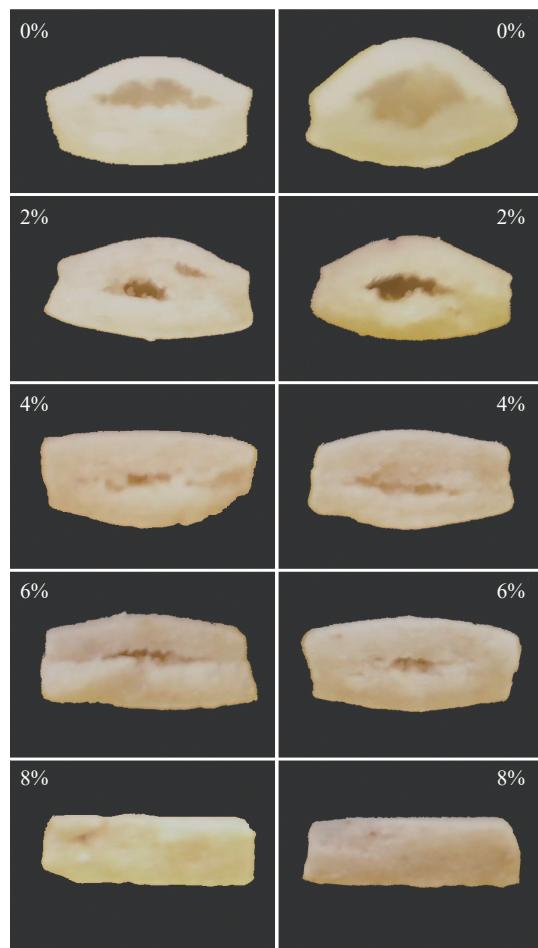


图 6 不同添加量麦麸膳食纤维发酵挂面截面图

Fig.6 Cross-sectional view of fermented dried noodles with different amounts of wheat bran dietary fiber

条结构疏松, 出现孔隙状结构, 而将麦麸膳食纤维加入后, 发酵挂面的面筋网络结构会被破坏^[27], 造成CO₂逸出面筋网络, 使得发酵挂面孔隙率减少。如图7所示, 添加了麦麸膳食纤维的发酵挂面, 其孔隙率随麦麸膳食纤维添加量的增加而减少, 二者呈线性规律变化。

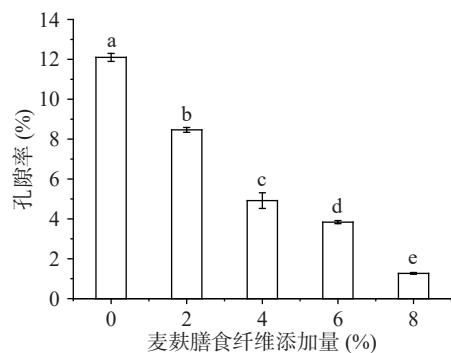


图7 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面孔隙率的影响
Fig.7 Effect of addition of wheat bran dietary fiber on porosity of fermented dried noodles

2.4 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面质构特性的影响

2.4.1 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面TPA特性的影响 采用质构仪中TPA模式测定熟面条的硬度、粘性、咀嚼性等质构特性是模拟人类咀嚼食物的机械过程, 其科学性与准确性都较高, 可以较客观反映熟面条的品质^[28]。如表2所示, 麦麸膳食纤维在面条中的含量对面条的TPA特性具有显著性影响。在麦麸膳食纤维添加量较低时($\leq 4\%$), 发酵挂面硬度、粘性、胶黏性、咀嚼性都明显增大; 麦麸膳食纤维添加量较高时($>4\%$), 硬度、粘性、胶黏性、咀嚼性会在麦麸膳食纤维添加量为6%处下降, 然后再增加。因为面絮的发酵过程使面条内部疏松多孔, 麦麸膳食纤

维颗粒能更好地填充面筋网络, 经蒸煮处理后, 膳食纤维颗粒吸水膨胀, 使得面条的硬度和咀嚼性增大^[29]。膳食纤维添加量为6%时, 面条硬度、粘性、胶黏性、咀嚼性下降, 是因为蒸煮过程中, 由于麦麸膳食纤维自身的吸水性和膨胀性吸收到足够的水分, 弱化了面筋蛋白网络结构, 此时面条硬度减低, 但随着添加量的进一步增加, 膳食纤维取代了硬度较低的淀粉颗粒, 导致面条的硬度和咀嚼性进一步增大^[6]。在面条的蒸煮特性实验中也揭示了这一点, 相较添加量为4%的面条, 添加量增加至6%后, 吸水率有明显的增加趋势。发酵挂面的弹性、内聚性和回复性均随麦麸膳食纤维添加量的增加而降低, 是因为麦麸膳食纤维其粗糙的结构破坏了面筋网络结构^[27]。

2.4.2 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面拉伸特性的影响 拉伸阻力表示面条被拉断时的最大拉伸阻力, 拉伸阻力越大, 表明面条筋力越大, 抗拉伸性更好^[30]。拉伸距离表示面条被拉断时的距离, 拉伸距离越大, 表明面条延展性更好^[31]。如表3所示, 随着麦麸膳食纤维添加量的增加, 煮至最佳蒸煮时间的发酵挂面拉伸阻力增大, 拉伸距离变短。拉伸阻力随麦麸膳食纤维添加量的增加而增加, 是由于随着麦麸膳食纤维的增加, 发酵挂面的均匀性变得更加优良, 孔隙结构减少, 面筋蛋白与淀粉颗粒之间的空隙被麦麸膳食纤维填充^[32]; 也可能是质构坚硬的麦麸膳食纤维增强了发酵挂面体系的强度, 使其在外力下更难以发生形变^[6]。拉伸距离随着麦麸膳食纤维添加量的增加而减小, 因为麦麸膳食纤维其粗糙的表面结构会破坏面筋网络, 造成拉伸距离变短^[11]。

2.5 麦麸膳食纤维对发酵挂面感官评价的影响

如表4所示, 发酵挂面的感官品质与麦麸膳食纤维添加量之间有显著相关性。随着麦麸膳食纤维

表2 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面TPA特性的影响

Table 2 Effect of addition of wheat bran dietary fiber on TPA of fermented dried noodles

添加量(%)	硬度(g)	粘性(g·mm)	弹性(%)	内聚性	胶黏性	咀嚼性	回复性(%)
0	4206.72±160.36 ^d	106.41±44.82 ^c	93.25±1.12 ^a	0.77±0.02 ^a	3231.60±123.37 ^e	3014.12±136.14 ^d	53.45±1.93 ^a
2	4635.68±215.38 ^c	116.83±41.47 ^c	90.86±3.28 ^{ab}	0.75±0.01 ^b	3457.43±137.08 ^d	3142.55±191.70 ^d	51.35±1.81 ^a
4	7283.50±179.91 ^a	287.35±74.53 ^a	89.55±2.60 ^{bc}	0.71±0.01 ^c	5200.13±131.48 ^a	4655.97±147.25 ^a	46.07±0.98 ^b
6	6196.97±177.14 ^b	137.09±24.73 ^c	87.61±1.70 ^c	0.69±0.02 ^d	4249.57±170.50 ^c	3724.00±185.47 ^c	43.30±2.97 ^c
8	7210.15±98.08 ^a	210.24±29.66 ^b	88.53±3.17 ^{bc}	0.66±0.02 ^e	4760.43±114.05 ^b	4216.07±222.97 ^b	40.68±0.70 ^d

注: 同列不同小写字母表示存在显著差异($P<0.05$); 表3~表4同。

表3 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面拉伸特性的影响

Table 3 Effect of addition of wheat bran dietary fiber on tensile properties of fermented dried noodles

添加量(%)	拉伸阻力(g)	拉伸距离(mm)
0	30.54±3.28 ^c	31.94±9.62 ^a
2	33.30±4.85 ^{bc}	27.38±8.02 ^{ab}
4	33.74±4.76 ^{bc}	22.69±11.60 ^{bc}
6	34.46±5.12 ^{ab}	17.76±3.09 ^c
8	37.89±3.46 ^a	19.53±3.67 ^c

表4 麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面感官评价的影响(分)

Table 4 Effects of addition of wheat bran dietary fiber on sensory evaluation of fermented dried noodles (scores)

添加量 (%)	色泽	表观状态	软硬度	粘弹性	爽滑性	食味	总分
0	9.2±0.2 ^a	9.2±0.7 ^a	17.7±0.7 ^a	27.2±0.2 ^a	17.5±0.3 ^a	9.1±0.5 ^a	89.9±1.4 ^a
2	8.6±0.2 ^b	8.4±0.5 ^b	15.1±0.6 ^b	24.7±0.8 ^b	17.2±0.4 ^a	8.4±0.3 ^b	82.4±0.3 ^b
4	7.0±0.1 ^b	7.5±0.3 ^c	14.9±0.3 ^b	22.5±0.7 ^{bc}	16.8±0.2 ^b	7.6±0.1 ^c	76.3±2.4 ^c
6	6.7±0.2 ^c	6.1±0.9 ^d	13.6±0.6 ^c	21.1±0.1 ^c	16.4±0.1 ^b	7.0±0.2 ^d	70.9±0.3 ^d
8	6.0±0.4 ^c	5.4±0.4 ^c	13.1±0.2 ^c	20.4±0.6 ^c	16.0±0.6 ^b	6.3±0.1 ^c	67.2±0.6 ^c

添加量的增加,发酵挂面的各项感官评分均出现下降,其爽滑性、粘弹性与发酵挂面的力学特性、质构特性的结果相符。麦麸膳食纤维呈黄褐色,其添加量越大,会导致发酵挂面色泽变黄、变暗,而消费者普遍更喜欢亮白色面条^[33],同时,由于麦麸具有苦涩味以及加工过程不够精细等问题^[34],麦麸膳食纤维的添加会使发酵挂面的感官评价得分较低。

2.6 麦麸膳食纤维添加量与发酵挂面品质特性的相关性分析

由相关性分析结果(图8)可知,膳食纤维添加量与干挂面特性的相关性大于其与蒸煮、拉伸和质构特性的相关性,说明麦麸膳食纤维对挂面品质的影响在低水分状态下更为显著;在发酵挂面的蒸煮特性

中,膳食纤维的添加量与蒸煮损失率相关性仅为0.70,这与雷梦续^[11]的麦麸纤维挂面的强相关性结果不同,可能是因为挂面在发酵过程中形成的气室结构对淀粉颗粒形成了更好的包裹作用,降低了蒸煮过程中因膳食纤维对面筋网络的稀释导致的淀粉溶出;所有的指标中,膳食纤维添加量与弹性相关性最弱,与回复性则呈强相关性,回复性与弹性皆可以反映面条的弹性,结果表明,相比于弹性,回复性更利于区分膳食纤维添加对发酵面条弹性特征的影响^[14];与其他指标相比,孔隙率与膳食纤维添加量的相关性最高,同时,除了弹性外,孔隙率与发酵挂面其他品质均有较强的相关性,说明孔隙率可以反映发酵挂面的品质,作为评价挂面品质的主要指标。

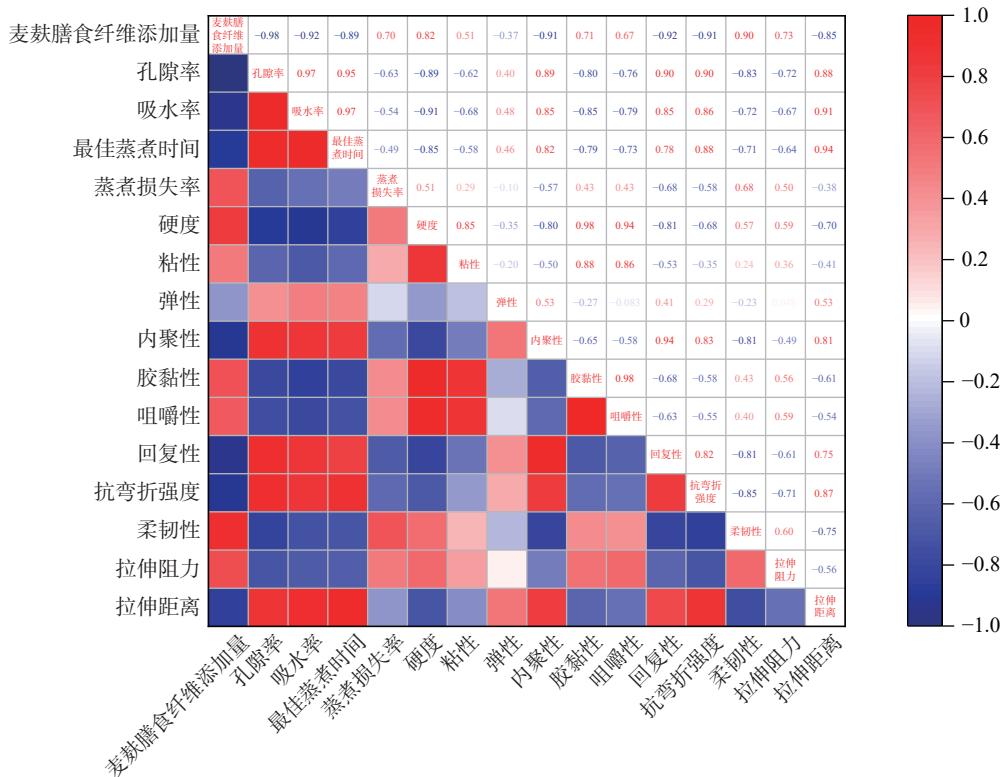


图8 麦麸膳食纤维添加量与发酵挂面品质相关性分析

Fig.8 Correlation analysis between addition of wheat bran dietary fiber and quality of fermented dried noodles

3 结论

本文探究了麦麸膳食纤维添加量对发酵挂面品质的影响,麦麸膳食纤维通过与面筋网络及淀粉互相作用,进而影响发酵挂面品质。随着麦麸膳食纤维添加量的增加,发酵挂面的孔隙率、力学特性、蒸煮特性、拉伸特性、TPA 测定值、感官评价均有所变化。随着麦麸膳食纤维添加量的增加,孔隙率下降到 1.19%,抗弯折强度下降到 10.15 g,柔韧性增加到 25.40 mm,最佳蒸煮时间缩短为 253 s,蒸煮损失率呈上升趋势(添加量为 2% 时,略有下降),吸水率呈下降趋势(添加量为 6% 时,略有上升),拉伸阻力呈上升趋势,拉伸距离呈下降趋势,面条硬度、粘性、胶

黏性、咀嚼性整体呈增加趋势(在添加量为 6% 时,略有下降),面条弹性、内聚性、回复性呈下降趋势,感官评价得分均出现下降。结果表明,在麦麸膳食纤维添加量为 2% 的情况下,麦麸膳食纤维对发酵挂面的蒸煮和质构特性及感官评价得分影响较小。本文的研究结果对优质发酵挂面的研发具有指导意义。

参考文献

- [1] 林娟. 空心面加工技术的研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2013. [LIN J. Studies on the processing technology of Kongxin noodle[D]. Xi'an: Shaanxi University of Science and Technology, 2013.]
- [2] 于小磊. 发酵荞麦面条制备工艺研究[J]. 食品科技, 2011, 36(12): 144-146. [YU X L. Preparation of fermented buckwheat no-

- odles[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(12): 144–146.]
- [3] 满久露, 封晨伊, 李再贵. 加工工艺对空心面型非油炸荞麦方便面品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(5): 21–25. [MANJL, FENG C Y, LI Z G. Effect of processing technology on the quality of macaroni non-fried buckwheat instant noodles[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2019, 27(5): 21–25.]
- [4] 王斌, 赵吉顺, 张自阳, 等. 麦麸膳食纤维对小麦面团粉质特性的影响[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2020, 48(5): 5–9. [WANG B, ZHAO J S, ZHANG Z Y, et al. Effects of wheat bran dietary fiber on dough farinograph characters of wheat flour[J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology (Natural Science Edition), 2020, 48(5): 5–9.]
- [5] 张松, 苏永平, 李涛, 等. 膳食纤维的功能特性及在食品领域的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(17): 214–218. [ZHANG S, SU Y P, LI T, et al. Functional characteristics of dietary fiber and research progress in food field[J]. Food Research and Development, 2018, 39(17): 214–218.]
- [6] 王超, 王岸娜, 吴立根, 等. 膳食纤维在面制品中应用研究进展[J]. 粮食与油脂, 2012, 25(10): 49–51. [WANG C, WANG A N, WU L G, et al. Research progress on application of dietary fiber in flour products[J]. Cereals & Oils, 2012, 25(10): 49–51.]
- [7] 孙小凡, 杨依红. 豆渣膳食纤维保健面条烹煮品质特性研究[J]. 粮食加工, 2010, 35(1): 57–59. [SUN X F, YANG Y H. Research of cooking quality of noodles made with dietary fiber from soybean dregs[J]. Grain Processing, 2010, 35(1): 57–59.]
- [8] 张灿, 郭依萍, 田艾, 等. 刺梨果渣及其膳食纤维提取物对面条品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(8): 105–112. [ZHANG C, GUO Y P, TIAN A, et al. Effects of *Rosa roxburghii* Tarr pomace and the dietary fiber extract on noodle quality[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(8): 105–112.]
- [9] 蔡为荣, 张虹, 李清华, 等. 麦麸膳食纤维的提取及其添加量对面条面团黏弹性的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(12): 7398–7401. [CAI W R, ZHANG H, LI Q H, et al. Extraction of dietary fiber from wheat bran and effect on viscosity-elasticity of noodle dough with added the extracts[J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2012, 40(12): 7398–7401.]
- [10] ARAVIND N, SISSONS M, EGAN N, et al. Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti[J]. Food Chemistry, 2011, 130(2): 299–309.
- [11] 雷梦续. 麦麸膳食纤维对面条品质影响规律的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021. [LEI M X. Study on the effects of wheat bran dietary fiber on noodle quality[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2021.]
- [12] 王婷, 刘翀, 郑学玲. 发酵空心挂面的配方优化[J]. 食品工业科技, 2022, 43(12): 231–239. [WANG T, LIU C, ZHENG X L. Formula optimization of fermented hollow noodles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(12): 231–239.]
- [13] 刘书航, 陈洁, 韩锐. 预糊化玉米粉对面条品质的影响研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2019, 40(3): 26–32. [LIU S H, CHEN J, HAN R. Study on the effect of pre-gelatinized corn flour on the quality of dry noodles[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2019, 40(3): 26–32.]
- [14] 王家胜, 刘翀, 王婷, 等. 天然马铃薯、木薯和玉米淀粉添加对发酵挂面品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(9): 40–47. [WANG J S, LIU C, WANG T, et al. Effect of native potato, cassava and corn starches supplement on the quality of dried fermented noodles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(9): 40–47.]
- [15] 李娟, 王韧, 王莉, 等. 全麦粉粒度对全麦面包品质影响的 MRI 研究[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2012, 33(6): 654–658. [LI J, WANG R, WANG L, et al. Particle effect size of whole wheat flour on whole wheat bread quality based on magnetic resonance imaging technique[J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2012, 33(6): 654–658.]
- [16] 李阳, 孙君庚, 王充, 等. 预糊化对荞麦挂面品质的影响[J]. 农产品加工, 2020(14): 50–53. [LI Y, SUN J G, WANG C, et al. Effect of pre-gelatinization on the quality of buckwheat noodles[J]. Farm Products Processing, 2020(14): 50–53.]
- [17] FAN L, MA S, WANG X, et al. Improvement of Chinese noodle quality by supplementation with arabinoxylans from wheat bran[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2016, 51(3): 602–608.
- [18] 李秀玲, 姜小苓, 于红彩, 等. 核磁共振技术研究膳食纤维对面条内部水分的影响[J]. 现代面粉工业, 2018, 32(6): 24–29. [LI X L, JIANG X L, YU H C, et al. Study of the effect of dietary fibre on the internal moisture of buns by nuclear magnetic resonance[J]. Modern Flour Milling Industry, 2018, 32(6): 24–29.]
- [19] PARK C S, BAIK B K. Cooking time of white salted noodles and its relationship with protein and amylose contents of wheat[J]. Cereal Chemistry, 2004, 81(2): 165–171.
- [20] YE X, SUI Z. Physicochemical properties and starch digestibility of Chinese noodles in relation to optimal cooking time[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 84: 428–433.
- [21] 谢新华, 曹芳芳, 仵心军, 等. 小麦纤维对小麦淀粉热力学及流变学特性的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(2): 20–24. [XIE X H, CAO F F, WU X J, et al. Research on effect of wheat fiber on thermodynamic and rheological properties of wheat starch[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(2): 20–24.]
- [22] 田晓红, 谭斌, 吴娜娜, 等. 马铃薯泥对面挂面品质的影响[J]. 中国食品学报, 2021(8): 193–199. [TIAN X H, TAN B, WU N N, et al. Effect of cooked mashed potato on dry noodle quality[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021(8): 193–199.]
- [23] FOSCHIA M, PERESSINI D, SENSIDONI A, et al. How combinations of dietary fibres can affect physicochemical characteristics of pasta[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 61(1): 41–46.
- [24] 陈姿含, 管晓. 大豆膳食纤维对面团流变学特性及面制品品质影响的研究进展[J]. 大豆科学, 2011, 30(5): 869–873. [CHEN Z H, GUAN X. Research advance of effects of soybean dietary fiber on the rheological properties of dough and qualities of flour products[J]. Soybean Science, 2011, 30(5): 869–873.]
- [25] 薛淑静, 关健, 周明, 等. 南瓜粉对面挂面品质的影响[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(6): 46–50. [XUE S J, GUAN J, ZHOU M, et al. Effects of pumpkin powder in flour on quality of dried noodles[J]. Journal of Food Science and Technology, 2013, 31(6): 46–50.]
- [26] 韩丹丹. 面食用酵母发酵特性对比研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014. [HAN D D. The research of comparison of fermentative properties of industrial baker's yeast[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2014.]
- [27] ZHOU Y J, LI M Q, LI C R, et al. Effects on noodle quality by the SDF or IDF of wheat bran and SEM graphs[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(6): 128–133.
- [28] LI M, DHITAL S, WEI Y. Multilevel structure of wheat

- starch and its relationship to noodle eating qualities[J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2017, 16(5): 1042–1055.
- [29] 周玉瑾, 李梦琴, 李超然, 等. 麦麸水溶性膳食纤维和水不溶性膳食纤维对面条性状指标的影响及其扫描电镜的观察[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(6): 128–133. [ZHOU Y J, LI M Q, LI C R, et al. Effects on noodle quality by the SDF or IDF of wheat bran and SEM graphs[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(6): 128–133.]
- [30] 杜巍, 魏益民, 张国权. 拉伸特性与面条品质关系的研究[J]. 西部粮油科技, 2001(2): 21–23. [DU W, WEI Y M, ZHANG G Q. Study on the relation of extensograms and noodle quality[J]. Western Grain and Oil Science and Technology, 2001(2): 21–23.]
- [31] ES A, EP B, FM C, et al. Sensory and physicochemical properties of whole wheat salted noodles under different preparations of bran[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 96.
- [32] FU B X. Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing[J]. Food Research International, 2008, 41(9): 888–902.
- [33] 严璟瑶, 王晓曦, 黄继红, 等. 麦麸膳食纤维在面条加工中的研究进展[J]. 粮食加工, 2021, 46(2): 14–19. [YAN J Y, WANG X X, HUANG J H, et al. The application of dietary fiber from wheat bran on noodle processing[J]. Grain Processing, 2021, 46(2): 14–19.]
- [34] HEMDANE S, JACOBS P J, DORNEZ E, et al. Wheat (*Triticum aestivum* L.) bran in bread making: A critical review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety, 2016, 15(1): 28–42.