

黑全麦粉品质分析及黑全麦面条的研制

姜丰¹, 龚盛祥², 王晨曦², 李霞³, 徐同成², 宗爱珍², 林冬梅^{1*}

(1. 河北工程大学 生命科学与食品工程学院, 河北 邯郸 056004; 2. 山东省农业科学院 农产品加工与营养研究所/山东省特殊医学用途配方食品工程技术研究中心/山东省农产品精深加工技术重点实验室/农业农村部 新食品资源加工重点实验室, 山东 济南 250100; 3. 滨城区杜店街道办事处 农业综合服务中心, 山东 滨州 256600)

摘要: 黑小麦是纯天然的黑色营养保健谷物, 该文将黑小麦麦麸与黑小麦面粉按一定比例复配成黑全麦粉, 探究不同麦麸添加量的全麦粉糊化特性、热力学特性、粉质特性和面筋特性等加工品质的变化规律, 进而通过配方优化, 开发出一款适合高血糖人群的黑全麦面条。研究发现, 黑小麦麦麸添加量在 5%~25% 时, 对全麦粉及其面团的品质影响较小, 进一步以面条的质构特性、蒸煮特性以及感官评分为指标, 通过单因素和正交试验, 系统评价水、麦麸、谷朊粉及高直链玉米淀粉的添加量对面条食用品质的影响, 明确黑全麦面条的最优配方。试验结果表明, 当添加 43% 水、15% 黑小麦麦麸、8% 谷朊粉、9% 高直链玉米淀粉时, 黑全麦面条外观呈棕色有光泽、表面光滑细密、口感爽滑筋道, 感官评分为 84.23, 血糖生成指数 (glycemic index, GI) 为 57.93, 比未添加麦麸的黑小麦面条降低 25.49%, 达到中 GI 食品要求。

关键词: 黑全麦粉; 粉质特性; 黑全麦面条; 蒸煮特性; 血糖生成指数

Quality Analysis of Black Whole Wheat Flour and Development of Black Whole Wheat Noodles

JIANG Feng¹, GONG Shengxiang², WANG Chenxi², LI Xia³, XU Tongcheng², ZONG Aizhen², LIN Dongmei^{1*}

(1. School of Life Sciences and Food Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056004, Hebei, China; 2. Institute of Agricultural Products Processing and Nutrition, Shandong Academy of Agricultural Sciences/Shandong Engineering and Technology Research Center of Formula Food for Special Medical Use/Shandong Key Laboratory of Deep Processing Technology of Agricultural Products/Key Laboratory of New Food Resources Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Jinan 250100, Shandong, China; 3. Agricultural Integrated Service Center, Bincheng District Dudian Sub-District Office, Binzhou 256600, Shandong, China)

Abstract: Black wheat is a pure natural black nutritional health cereal. In this study, black wheat bran and black wheat flour were combined in specific proportions to produce black whole wheat flour. The research aimed to investigate the changes in processing quality, such as gelatinization characteristics, thermodynamic characteristics, farinograph characteristics, and gluten characteristics of whole wheat flour with different additions of wheat bran. The goal was to develop a type of black whole wheat noodles suitable for individuals with high blood glucose through formula optimization. The results showed that adding black wheat bran in amounts ranging from 5% to 25% had minimal impact on the quality of the whole wheat flour and its dough. Further, using the texture characteristics, cooking characteristics, and sensory scores of the noodles as indicators, the optimal formula for black whole wheat noodles was determined. This was achieved by systematically evaluating the effects of water, wheat bran, gluten, and high-amylose corn starch on the eating quality of the noodles through single-factor and orthogonal experiments. The results indicated that when 43% water, 15% black wheat bran, 8% gluten, and 9% high-amylose corn starch were added, the developed black whole wheat noodles had a brown luster, a smooth and fine surface, and a smooth texture. The sensory score was 84.23, and the glycemic

基金项目: 山东省重点研发计划(重大科技创新工程)项目(2021CXGC010807、2021TZXD010); 山东省自然科学基金青年项目(ZR2022QC221); 2020年度山东省重点研发计划(泰山产业领军人才工程)战略性新兴产业创新类项目(2019TSCYCX-35)

作者简介: 姜丰(1999—), 女(汉), 硕士, 研究方向: 粮油加工。

*通信作者: 林冬梅(1970—), 女(汉), 教授, 研究方向: 功能性食品开发。

index (GI) was 57.93, which was 25.49% lower than that of black wheat noodles without wheat bran, meeting the requirements for medium GI food.

Key words: black whole wheat flour; farinograph characteristics; black whole wheat noodles; cooking characteristics; glycemic index (GI)

引文格式:

姜丰, 龚盛祥, 王晨曦, 等. 黑全麦粉品质分析及黑全麦面条的研制[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(2): 99-107.

JIANG Feng, GONG Shengxiang, WANG Chenxi, et al. Quality Analysis of Black Whole Wheat Flour and Development of Black Whole Wheat Noodles[J]. Food Research and Development, 2025, 46(2): 99-107.

随着我国经济发展水平不断提高, 富裕的生活改变了饮食习惯, 使人们的血糖普遍偏高, 伴随着高压的工作环境和无规律的生活习惯, 最终导致高血糖的亚健康状态^[1]。有研究表明, 对空腹血糖偏高的人群进行2年的跟踪随访, 其中22.9%发展为糖尿病患者, 而有53.7%转为正常血糖值, 因此, 早期发现高血糖并加以干预控制血糖至正常范围对于预防或延缓其发展成为糖尿病患者至关重要^[2-3]。注重日常饮食便成为其中的关键环节之一, 但目前针对该群体研发的产品较少, 尤其是主食类食品^[4]。面条作为中国传统主食, 其食用方法简单, 便于携带, 易于储存, 口味丰富, 深受消费者喜爱, 普通面条的制作原料大多采用精白小麦面粉, 营养价值较单一, 碳水化合物占比较大, 血糖生成指数(glycemic index, GI)较高^[5]。因此研究高血糖特色饮食、丰富中低升糖产品种类、开发一款适合高血糖人群食用的面条意义重大。

黑小麦是特用型的优质小麦新品种, 籽粒中含有丰富的天然黑色素, 具有独特的营养和保健功能。黑小麦与普通小麦相比, 蛋白质含量要高出10%~60%, 并且氨基酸种类更齐全, 配比更合理, 矿物质元素更丰富全面, 通过促进和发展黑色食品来改善居民的营养和健康状况更加符合未来食品市场的发展趋势^[6]。黑小麦麸皮是黑小麦加工过程中的副产物, 但多被用于加工动物饲料, 导致麸皮的附加值降低, 造成资源的极大浪费^[7]。黑小麦麸皮富含大量膳食纤维, 占其总质量的35%~50%^[8]。将麦麸作为原料添加至面条中, 膳食纤维含量的提高可降低人体对于碳水化合物的吸收, 减少对胰岛素的需求, 有利于血糖控制, 降低血脂水平^[9]。然而麦麸添加量过高会破坏面筋蛋白的空间结构, 对面团的加工性能产生不利影响, 使面制品的感官品质降低^[10]。因此, 在适宜的比例范围内添加麦麸, 可以提升面条的营养价值及品质, 也可提高麦麸的附加值。

本文研究黑小麦麦麸添加量对黑小麦面粉糊化特性、热力学特性、粉质特性和面筋特性等加工品质的影

响。基于黑全麦品质分析, 通过单因素试验探究水、麦麸、谷朊粉及高直链玉米淀粉的添加量对黑全麦面条质构特性、蒸煮特性以及感官评分的影响, 并在此基础上进行正交试验确定荞麦面条最优配方。此外, 对比最优配方下黑全麦面条与未添加麦麸的黑小麦面条GI的差异, 以期得到感官品质好、营养均衡、适合高血糖人群的面制品, 丰富高血糖人群的膳食选择, 为功能性主食研制提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

黑小麦面粉、黑小麦麦麸: 山东天宫航天育种科技有限公司; 谷朊粉: 河南密丹儿商贸有限公司; 高直链玉米淀粉: 河南新孚望新材料科技有限公司; 胃蛋白酶($\geq 10\ 000\ \text{U/g}$)、 α -淀粉酶($\geq 10\ 000\ \text{U/g}$)、葡萄糖淀粉酶($\geq 100\ 000\ \text{U/g}$): 北京华迈科科技有限公司; 氯化钠、氯化钾、磷酸盐、醋酸钠、氢氧化钠、十二水磷酸二氢钠(均为分析纯): 国药集团化学试剂有限公司; 无水乙醇、盐酸(均为分析纯): 太仓沪试试剂有限公司; 冰醋酸、磷酸二氢钾、3,5-二硝基水杨酸(3,5-dinitrosalicylic acid, DNS)(均为分析纯): 山东麦克林生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

JM-A30002 电子天平: 诸暨市超泽衡器设备有限公司; BJ-800A 多功能粉碎机: 德清拜杰电器有限公司; SHA-A 水浴恒温振荡器: 天津市赛得利实验分析仪器制造厂; RVA-Tec Master 快速黏度分析仪: 波通瑞华科学仪器有限公司; DSC250 差示扫描量热仪: 美国TA仪器沃特斯公司; BLD-1500 粉质仪: 北京布拉德科技有限公司; GM2200 面筋测定仪: 波通瑞华科学仪器有限公司; SM-168S 和面机: 深圳市牧人电器五金制品有限公司; FKM-180 电动压面机: 富康电器有限公司; YYG-40 面条机: 浙江时代马电器有限公司; SMS TA.XT Plus 质构仪: 北京微讯超技仪器技术有限公司; GZX-9030MSE 电热鼓风干燥箱: 北京海天友诚科技有

限公司;NIRS DS3 近红外快速谷物分析仪:福斯华(北京)科贸有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 麦麸添加量对小麦粉加工品质的影响

将黑小麦麦麸按添加量 5%、10%、15%、20%、25% 和 30% 与黑小麦粉复配成黑全麦粉,研究麦麸添加量对黑全麦粉糊化特性、热力学特性、粉质特性和面筋特性等加工品质的影响,为后续优化面条配方中麦麸添加量的范围选取提供依据。

1.3.1.1 糊化特性测定

采用快速黏度分析仪对黑全麦粉糊化特性进行测定^[11]。将 3 g 黑全麦粉和 25 mL 去离子水加入铝罐中,用搅拌器在样品筒中快速搅动,至未有面粉结块后上机试验。测试条件:50 °C平衡 1 min,以 12 °C/min 的速度升温至 95 °C,维持 2.5 min;以 12 °C/min 降温至 50 °C,平衡 2 min。前 10 s 浆速设置为 960 r/min,使面粉浆均匀分散,在后续剩余测试过程中浆速维持 160 r/min。样品重复测定 3 次。

1.3.1.2 热力学特性测定

采用差示扫描量热法对黑全麦粉热力学特性进行测定^[12]。取 4.0 mg 黑全麦粉和 12 μ L 水混合并密封在坩埚中,在 4 °C 下保存过夜,使水分分布均匀。使用差示扫描量热仪,以氮气为保护气体,以 10 °C/min 的加热速率从 20 °C 加热到 130 °C。样品重复测定 3 次。

1.3.1.3 粉质特性测定

采用 GB/T 14614—2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法》中的方法对黑全麦粉的粉质特性进行测定,根据面粉吸水率调整加水量,控制最大稠度为(500 \pm 30) Fu。

1.3.1.4 面筋特性测定

采用 GB/T 5506.2—2008《小麦和小麦粉 面筋含量 第 2 部分:仪器法测定湿面筋》中的方法对黑全麦粉的湿面筋含量进行测定;采用 GB/T 5506.4—2008《小麦和小麦粉 面筋含量 第 4 部分:快速干燥法测定干面筋》中的方法对黑全麦粉的干面筋含量进行测定;采用 LS/T 6102—1995《小麦粉湿面筋质量测定法 面筋指数法》中的方法对黑全麦粉的面筋指数进行测定。

1.3.2 黑全麦面条的研制

1.3.2.1 黑全麦面条的制备

将黑小麦粉、黑小麦麦麸粉、谷朊粉、高直链玉米淀粉及盐充分搅拌混匀,加入适当的水,和面 10 min,面团用保鲜膜密封,室温下静置 30 min 进行熟化。将面团置于压面机中反复压片,直至松散的面筋形成沿着碾压方向紧密排列的束状结构,最终压成厚度为 1 mm 表面光滑的面片,用面条机将面皮切成宽为 3 mm、长度为 20 cm 的面条,置于面条架上晾干,24 h 后装袋密封备用。

1.3.2.2 单因素试验

以面条质构特性、蒸煮特性以及感官评分为评价指标,考察水添加量、黑小麦麦麸添加量、谷朊粉添加量以及高直链玉米淀粉添加量对面条品质的影响。各因素水平见表 1。

表 1 黑全麦面条单因素试验因素水平

Table 1 Factors and levels of single factor test for black whole wheat noodles

水平	因素			
	A 水添加量/%	B 黑小麦麦麸添加量/%	C 谷朊粉添加量/%	D 高直链玉米淀粉添加量/%
1	40	5	2	3
2	43	10	4	6
3	46	15	6	9
4	49	20	8	12
5	52	25	10	15

1.3.2.3 正交试验

根据单因素试验结果,选择上述各因素对面条品质影响较大的 3 个水平,设计四因素三水平 $L_9(3^4)$ 正交试验。以感官评分为评价指标,利用极差分析法对面条的配方优化升级,确定各组分的最优配比。正交试验因素水平见表 2。

表 2 黑全麦面条正交试验因素与水平

Table 2 Factors and levels of orthogonal test for black whole wheat noodles

水平	因素			
	A 水添加量/%	B 黑小麦麦麸添加量/%	C 谷朊粉添加量/%	D 高直链玉米淀粉添加量/%
1	43	10	6	6
2	46	15	8	9
3	49	20	10	12

1.3.3 面条品质测定

1.3.3.1 质构特性

将面条煮制 5 min 后捞出,迅速过冰水冷却 30 s,沥干后立即使用质构仪进行全质构(texture profile analysis, TPA)测定。试验测试参数:P50 探头,测试前速率为 2 mm/s,测试速率为 1 mm/s,测试后速率为 5 mm/s,压缩率为 75%,触发力为 5 g^[13-14]。样品重复测定 5 次。

1.3.3.2 蒸煮特性

采用 GB/T 40636—2021《挂面》中的方法测定面条的蒸煮特性。

1) 断条率

取 20 根 20 cm 面条置于沸水中煮制 10 min 后,记录面条的断条量,重复 3 次,按照公式(1)计算面条断条率。

$$B = N_1/N_2 \times 100 \quad (1)$$

式中： B 为断条率，%； N_1 为断条数，根； N_2 为煮熟总根数，根。

2) 吸水率

将 5.0 g 面条置于 200 mL 沸水中烹煮 5 min，捞出沥干水后，用滤纸吸干面条表面水分，然后称重，重复 3 次，按照公式(2)计算面条吸水率。

$$W = (M_1 - M_2) / M_2 \times 100 \quad (2)$$

式中： W 为吸水率，%； M_1 为熟面条质量，g； M_2 为生面条质量，g。

3) 蒸煮损失率

取 5.0 g 面条放入 150 mL 沸水中，煮制 5 min 后将面条捞出，将面汤浓缩至约 50 mL 时，移入 100 mL 容量瓶中，定容至 100 mL。摇匀后吸取 10 mL 于铝盒中，105 °C 下烘干至恒重。重复 3 次，按照公式(3)计算面条蒸煮损失率。

$$L = (G_1 - G_2) \times 10 / G_3 \times 100 \quad (3)$$

式中： L 为蒸煮损失率，%； G_1 为带残留物烘干至恒重的铝盒质量，g； G_2 为空铝盒质量，g； G_3 为生面条质量，g。

1.3.3.3 感官评价

选 12 名具有感官评分经验的专业人员构成评分小组，对黑全麦面条进行感官评定，评分标准参考 GB/T 35875—2018《粮油检验 小麦粉面条加工品质评价》，具体评分标准见表 3。

表 3 黑全麦面条感官评分标准

Table 3 Sensory evaluation standard of black whole wheat noodles

项目	评价标准	得分
坚实度	咬断一根面条所需要的力度适中，软硬合适	8~10
	稍硬或稍软	5~<8
	很软或很硬	1~<5
弹性	面条咀嚼时有嚼劲并且富有弹性	18~25
	面条的嚼劲和弹性一般	10~<18
	面条的嚼劲差，弹性不足	1~<10
光滑性	面条咀嚼过程中光滑爽口，不粘牙	15~20
	面条在咀嚼的过程中较光滑爽口，稍粘牙	8~<15
	面条在咀嚼的过程中不爽口，粘牙	1~<8
食味	具有小麦的清香味	5
	基本无异味	4~<5
	有异味	1~<4
表面状态	面条表面光滑，结构细密，有明显透明质感	8~10
	面条表面较光滑，结构较细密，透明质感不明显	5~<8
	面条表面粗糙，明显膨胀，变形严重	1~<5
色泽	面条颜色呈棕色，亮度好	21~30
	面条颜色较暗，亮度一般	11~<21
	面条颜色灰暗，亮度差	1~<11

1.3.4 面条样品血糖生成指数测定

以白面包为参照，称取一定量煮熟的面条(使每份样品中可利用碳水量为 1 g)，在 50 mL 离心管中加入 20 mL 磷酸盐混合缓冲溶液(pH1.5)和 0.2 mL 胃蛋白酶溶液(115 U/mL)，37 °C 水浴 30 min 后冷却至室温。加入 1 mL α -淀粉酶溶液(110 U/mL)，用 pH 值为 6.9 的磷酸盐混合缓冲溶液补充至 45 mL，37 °C 恒温水浴振荡，分别在 30、60、90、120、150 min 和 180 min 时吸取 1 mL 溶液，100 °C 水浴灭酶，随后冷却至室温。再加入 3 mL 0.4 mol/L 的醋酸钠缓冲液(pH4.75)及 20 μ L 葡萄糖淀粉酶溶液(110 U/mL)，60 °C 恒温水浴振荡 30 min，获得淀粉酶解液，用 DNS 法测定葡萄糖含量^[15]。血糖生成指数按下列公式进行计算。

$$T = 100 - C_1 - C_2 - C_3 - C_4 - C_5 \quad (4)$$

$$S = Q_1/Q_2 \times 0.9 \times 100 \quad (5)$$

$$H = A_1/A_2 \times 100 \quad (6)$$

$$G = 0.549H + 39.71 \quad (7)$$

式中： T 为碳水化合物含量，%； C_1 为蛋白质含量，%； C_2 为膳食纤维含量，%； C_3 为脂肪含量，%； C_4 为灰分含量，%； C_5 为水分含量，%； S 为淀粉水解率，%； Q_1 为取样时间点葡萄糖释放量，mg； Q_2 为样品质量，mg； H 为水解指数(hydrolysis index, HI)，%； A_1 为样品水解曲线下的面积； A_2 为白面包水解曲线下的面积； G 为血糖生成指数。

1.4 数据处理与分析

试验数据利用 Excel 进行数据初步整理；运用 SPSS 22.0 进行单因素方差分析，并利用 Duncan 法对各组间平均数进行多重比较， $p < 0.05$ 表示差异显著。数据采用 Origin 2018 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 黑全麦粉的加工品质分析

2.1.1 黑全麦粉的糊化特性分析

黑小麦麦麸添加量对黑全麦糊化特性的影响如图 1 所示，具体的糊化参数变化见表 4。

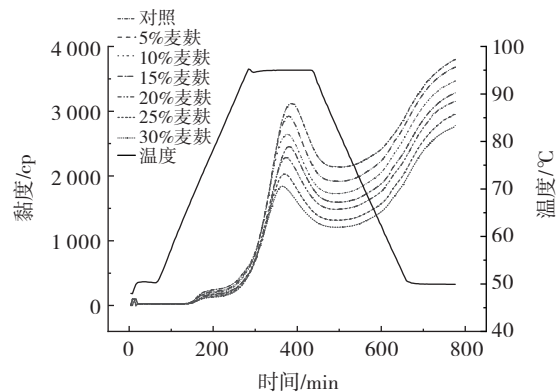


图 1 糊化特性曲线

Fig.1 Gelatinization characteristic curve diagram

表4 黑小麦麦麸添加量对黑全麦粉糊化特性的影响

Table 4 Effect of black wheat bran addition on gelatinization property of black whole wheat flour

黑小麦麦麸添加量/%	峰值黏度/cp	峰谷黏度/cp	衰减值/cp	最终黏度/cp	回生值/cp	峰值时间/min	糊化温度/°C
0	3 117.3±12.0 ^a	2 128.0±11.0 ^a	989.3±19.0 ^a	3 793.7±9.0 ^a	1 665.7±16.0 ^b	6.45±0.04 ^a	68.51±0.02 ^b
5	2 917.0±35.0 ^b	1 911.0±39.0 ^b	1 006.0±4.0 ^a	3 683.0±13.0 ^b	1 772.0±27.0 ^a	6.33±0.06 ^{bc}	68.51±0.02 ^b
10	2 676.7±54.0 ^c	1 782.3±56.0 ^c	894.3±18.0 ^b	3 476.7±37.0 ^c	1 694.3±40.0 ^b	6.38±0.10 ^{ab}	68.77±0.55 ^b
15	2 457.7±25.0 ^d	1 597.3±24.0 ^d	860.3±2.0 ^c	3 282.0±13.0 ^d	1 684.7±11.0 ^b	6.29±0.07 ^{bc}	68.56±0.05 ^b
20	2 270.7±27.0 ^e	1 487.0±16.0 ^e	783.7±15.0 ^d	3 147.3±14.0 ^e	1 660.3±5.0 ^b	6.25±0.04 ^{cd}	68.47±0.02 ^b
25	2 014.7±16.0 ^f	1 306.3±17.0 ^f	708.3±5.0 ^e	2 923.0±24.0 ^f	1 616.7±14.0 ^c	6.15±0.04 ^{de}	68.82±0.41 ^b
30	1 832.3±6.0 ^g	1 199.7±7.0 ^g	632.7±4.0 ^f	2 739.7±37.0 ^g	1 540.0±30.0 ^d	6.09±0.03 ^e	69.87±0.93 ^a

注:同列不同字母表示差异显著, $p<0.05$ 。

由图1和表4可知,随着黑小麦麦麸添加量的增加,黑全麦粉的峰值黏度、峰谷黏度和最终黏度不断降低并显著小于对照组($p<0.05$),而糊化温度整体略有上升。这可能是由于麦麸富含大量的膳食纤维,其吸水性高于淀粉,阻碍了淀粉与水的结合,同时吸水形成纤维状或球状结构的面筋蛋白与淀粉接触,影响淀粉糊化过程,使其糊化黏度下降,糊化温度升高^[16]。糊化温度在黑小麦麦麸添加量达到30%时显著高于黑小麦粉($p<0.05$),表明麦麸添加量过多会抑制淀粉糊化,对黑小麦粉的不利影响较大。黑全麦粉的衰减值与回生值随着黑小麦麦麸添加量的增加呈先增大后减小趋势,在黑小麦麦麸添加量为5%时达到最大值,之后不断减小,衰减值和回生值的降低表明黑全麦粉热稳定性增强^[17-18],说明添加麦麸有利于黑全麦粉的热稳定性。峰值时间在黑小麦麦麸添加量为10%时达到最大值,之后不断减小。

2.1.2 黑全麦粉的热力学特性分析

黑小麦麦麸添加量对黑全麦粉热力学特性的影响如表5所示。

表5 黑小麦麦麸添加量对黑全麦粉热力学特性的影响

Table 5 Effect of black wheat bran addition on the thermodynamic property of black whole wheat flour

黑小麦麦麸添加量/%	起始糊化温度/°C	终止糊化温度/°C	峰值温度/°C	糊化热焓/(J/g)
0	62.05±0.56 ^b	73.14±0.51 ^b	67.35±0.16 ^d	3.32±0.69 ^a
5	62.32±0.30 ^{ab}	73.74±0.65 ^{ab}	67.97±0.06 ^{bc}	3.19±0.11 ^a
10	62.56±0.41 ^{ab}	74.27±0.76 ^{ab}	67.76±0.03 ^{cd}	3.91±0.88 ^a
15	62.99±0.46 ^{ab}	74.49±0.45 ^{ab}	68.46±0.42 ^{ab}	3.79±1.03 ^a
20	62.89±0.72 ^{ab}	75.34±0.82 ^a	68.80±0.40 ^a	3.66±0.38 ^a
25	62.61±0.99 ^{ab}	74.19±0.94 ^{ab}	68.80±0.36 ^a	2.76±0.72 ^a
30	63.26±0.49 ^a	74.95±0.58 ^{ab}	68.97±0.46 ^a	3.25±0.39 ^a

注:同列不同字母表示差异显著, $p<0.05$ 。

由表5可知,不同黑小麦麦麸添加量制备的黑全麦粉起始糊化温度和终止糊化温度均高于黑小麦粉,而糊化热焓呈现出先上升后降低的趋势,但黑全麦粉的糊化热焓与黑小麦粉之间并没有显著差异($p>0.05$),这表明麦麸的添加并没有使小麦粉中淀粉的分子结构发

生显著变化^[19]。黑全麦粉的峰值温度随着麦麸添加,整体明显升高,可能是因为麦麸的加入对淀粉糊化产生不良作用,这与黑全麦粉糊化特性的变化是一致的。

2.1.3 黑全麦粉的粉质特性分析

小麦粉的粉质特性可以较为直观地反映出其在揉混过程中流变学特性的变化,从而预测面制品的品质^[20]。黑小麦麦麸添加量对黑全麦粉粉质特性的影响如表6所示。

表6 黑小麦麦麸添加量对黑全麦粉粉质特性的影响

Table 6 Effect of black wheat bran addition on farinograph property of black whole wheat flour

黑小麦麦麸添加量/%	面团形成时间/s	吸水率/%	稳定时间/s	弱化度/FU	粉质质量指数/mm
0	282	69.3	329	50	85
5	248	70.6	314	56	85
10	280	71.6	290	58	76
15	258	73.3	262	54	78
20	291	74.9	259	54	73
25	299	76.9	250	54	74
30	272	79.0	224	44	63

由表6可知,随着黑小麦麦麸添加量的增加,黑全麦粉吸水率不断增加,稳定时间、粉质质量指数总体呈现下降趋势,弱化度呈先增加后减小趋势,在麦麸添加量为10%时达到最大值。吸水率增加是由于黑全麦粉中膳食纤维含量增多所导致的,膳食纤维含有大量的羟基,可与水通过氢键结合,因此比蛋白质和淀粉具有更好的吸水性^[21]。稳定时间反映面粉在形成面团时对机械搅拌力的耐力,稳定时间逐渐缩短,说明对剪切力的抵抗能力逐渐减小,黑全麦粉筋力减弱,不利于面筋网络的形成^[22]。当麦麸添加量大于25%时,黑全麦粉的稳定时间、粉质质量指数明显降低,面团的加工品质受到的不利影响较大。

2.1.4 黑全麦粉的面筋特性分析

面筋主要由麦醇溶蛋白和麦谷蛋白组成,不仅影响馒头、面包等发酵食品的膨胀性,也会影响面条、饺子皮等非发酵食品的延展性和弹性,是决定食品品质的重要因素之一。黑小麦麦麸添加量对黑全麦粉面筋特性的影响如表7所示。

表7 黑小麦麦麸添加量对黑全麦粉面筋特性的影响

Table 7 Effect of black wheat bran addition on gluten property of black whole wheat flour

黑小麦麦麸添加量/%	湿面筋含量/%	干面筋含量/%	面筋指数
0	41.00±2.31 ^a	14.30±1.15 ^a	48.50±0.82 ^a
5	34.10±1.09 ^{bc}	11.60±0.05 ^{bc}	37.80±1.35 ^b
10	35.10±1.15 ^b	11.70±0.20 ^{bc}	31.40±8.58 ^b
15	35.00±1.35 ^b	11.80±0.21 ^b	34.30±8.99 ^b
20	34.10±1.86 ^{bc}	11.20±0.32 ^{bc}	33.20±5.57 ^b
25	32.90±0.58 ^{bc}	11.10±0.15 ^{bc}	28.10±5.17 ^b
30	32.00±0.95 ^c	10.80±0.15 ^c	15.70±2.57 ^c

注:同列不同字母表示差异显著, $p<0.05$ 。

由表7可知,添加黑小麦麦麸的黑全麦粉湿面筋含量、干面筋含量和面筋指数均明显低于对照组,当麦麸添加量大于25%时,面筋指数下降显著($p<0.05$),由

于麦麸加入过多,膳食纤维在黑全麦粉中的占比增加,干、湿面筋含量降低,严重影响面筋网络结构的形成,但有研究表明适当添加麦麸,其膳食纤维的高持水性有利于网络结构的稳定^[23]。

2.2 黑全麦面条的配方优化

2.2.1 单因素试验结果与分析

2.2.1.1 水添加量对黑全麦面条品质影响

根据 GB/T 35875—2018《粮油检验 小麦粉面条加工品质评价》中对加水量的指导,即每百克小麦粉加水按粉质吸水率的46%~48%计算,并结合预试验的结果做出适当调整,因此,选取水添加量分别为40%、43%、46%、49%、52%。固定麦麸添加量15%、谷朊粉添加量6%、高直链玉米淀粉添加量9%、食盐添加量2%,以蒸煮特性、质构特性以及感官评分考察水添加量对黑全麦面条品质的影响,结果见表8。

表8 水添加量对黑全麦面条品质影响

Table 8 Effect of water addition on the quality of black whole wheat noodles

水添加量/%	蒸煮损失率/%	断条率/%	吸水率/%	硬度/g	弹性	黏性	咀嚼性	感官评分
40	7.15±0.11 ^a	10.00±0.00 ^a	126.56±1.58 ^c	10 414.19±553.00 ^a	0.87±0.01 ^a	5 251.31±893.00 ^d	8 055.87±989.00 ^a	68.39
43	6.78±0.23 ^b	1.67±2.88 ^{bc}	121.15±2.96 ^d	10 874.02±524.00 ^a	0.93±0.02 ^a	5 640.94±510.00 ^{bc}	8 059.19±699.00 ^a	80.62
46	6.47±0.04 ^c	0.00±0.00 ^c	137.72±2.12 ^b	7 688.52±357.00 ^b	0.94±0.12 ^a	6 458.21±318.00 ^b	5 649.72±616.00 ^b	82.88
49	6.25±0.05 ^{cd}	3.33±2.89 ^{bc}	137.85±0.97 ^b	7 073.15±618.00 ^b	0.95±0.06 ^a	7 034.38±586.00 ^a	5 021.29±360.00 ^b	78.75
52	6.16±0.12 ^d	5.00±0.00 ^b	146.48±4.07 ^a	6 769.13±796.00 ^b	0.84±0.03 ^a	8 519.99±659.00 ^a	4 965.34±890.00 ^b	73.28

注:同列不同字母表示差异显著, $p<0.05$ 。

由表8可知,面条的感官评分在水添加量为46%时达到最高值,当水添加量为40%时所制作的面条颗粒感较强、光度低、色泽发白,并且干燥后面条容易断条,口感粗糙偏硬、韧性较差;水添加量43%~49%时制作面条表面光滑细密并具有麦麸特有色泽、有光泽,干燥后面条不易断,口感软硬度适中,韧性较好。当水添加量为52%时形成的面团偏软,在压片过程中容易出现黏连严重的情况,煮面时易造成断条,面条表面光滑、有光泽但口感上略微粘牙,弹性和韧性略有下降。随着水添加量的增多,蒸煮损失率明显降低;水添加量为46%时断条率达到最低值,可能是由于水添加量过多,会加快酶与蛋白质的相互作用,使面筋生成数降低^[24]。随着水添加量的增加,吸水率和黏性呈现上升趋势,硬度和咀嚼性整体逐渐降低,弹性没有显著变

化。因此,选择水添加量为43%、46%、49%进行正交试验。

2.2.1.2 黑小麦麦麸添加量对黑全麦面条品质影响

由黑小麦麦麸添加后黑全麦粉加工品质变化规律可以看出,添加麦麸会使黑小麦粉加工品质降低,但添加量为5%~25%时对黑全麦粉糊化特性、热力学特性、粉质特性及面筋特性影响较小,当添加量大于25%时,过量的麦麸使黑全麦粉中膳食纤维比例显著增大,淀粉含量显著降低,不利于淀粉糊化,抑制面筋网络结构的形成,严重影响面团加工品质。因此,固定水添加量46%、谷朊粉添加量为6%、高直链玉米淀粉添加量9%、食盐添加量2%,以蒸煮特性、质构特性以及感官评分考察黑小麦麦麸添加量(5%、10%、15%、20%、25%)对黑全麦面条品质的影响,试验结果见表9。

表9 黑小麦麦麸添加量对黑全麦面条品质影响

Table 9 Effect of black wheat bran addition on the quality of black whole wheat noodles

黑小麦麦麸添加量/%	蒸煮损失率/%	断条率/%	吸水率/%	硬度/g	弹性	黏性	咀嚼性	感官评分
5	6.20±0.07 ^d	0	161.54±2.37 ^a	8 256.74±902.00 ^b	0.91±0.04 ^{ab}	8 318.92±784.00 ^a	6 379.92±354.00 ^b	73.21
10	6.73±0.16 ^c	0	142.19±3.55 ^b	9 375.09±771.00 ^{ab}	0.92±0.03 ^{ab}	7 607.56±756.00 ^a	7 046.82±644.00 ^{ab}	80.16
15	6.97±0.18 ^c	0	131.56±3.87 ^c	9 336.19±782.00 ^{ab}	0.94±0.01 ^a	6 948.53±820.00 ^a	7 324.72±582.00 ^{ab}	85.61
20	7.75±0.10 ^b	0	127.68±2.14 ^c	9 656.45±734.00 ^{ab}	0.94±0.01 ^a	7 650.05±530.00 ^a	7 695.04±332.00 ^{ab}	83.44
25	8.07±0.14 ^a	0	106.57±3.84 ^d	10 135.11±706.00 ^a	0.88±0.03 ^b	7 783.52±651.00 ^a	7 857.75±481.00 ^a	69.33

注:同列不同字母表示差异显著, $p<0.05$ 。

由表9可知,当黑小麦麦麸添加量为15%时黑全麦面条的感官评分达到最高。当黑小麦麦麸添加量为5%时,面条的颜色呈现出淡黄色,不具有麦麸所有的棕色,具有较好光泽,口感偏软,略微粘牙;当黑小麦麦麸添加量为10%~20%时,面条明显呈现出麦麸棕色,具有光泽且表面光滑,软硬度适中,具有小麦清香味。当黑小麦麦麸添加量为25%时,面条呈现深棕色,表面发暗失去光泽,口感发硬、弹性较差。随着麦麸添加量的增多,面条的蒸煮损失率明显升高,虽断条率始终为零,但吸水率逐渐降低。质构分析表明,随着麦麸的添加,面条的硬度和咀嚼性整体逐渐升高,弹性在黑小

麦麦麸添加量为25%时明显降低,黏性无显著差异。这可能是由于黑小麦麦麸添加量较低时对黑全麦面条的品质影响较小,过多则会造成面筋指数的降低,硬度增大,弹性降低^[25]。因此,选择黑小麦麦麸添加量10%、15%、20%进行正交试验。

2.2.1.3 谷朊粉添加量对黑全麦面条品质影响

固定水添加量46%、黑小麦麦麸添加量为15%、高直链玉米淀粉添加量9%、食盐添加量2%,以蒸煮特性、质构特性以及感官评分考察谷朊粉添加量(2%、4%、6%、8%、10%)对黑全麦面条品质的影响,结果见表10。

表10 谷朊粉添加量对黑全麦面条品质影响

Table 10 Effect of gluten addition on the quality of black whole wheat noodles

谷朊粉添加量/%	蒸煮损失率/%	断条率/%	吸水率/%	硬度/g	弹性	黏性	咀嚼性	感官评分
2	6.59±0.30 ^a	12.67±2.52 ^a	127.79±4.35 ^a	9 241.05±418.00 ^b	0.87±0.03 ^a	7 313.13±635.00 ^b	6 070.08±408.00 ^a	71.04
4	6.40±0.29 ^{ab}	3.33±2.89 ^b	123.31±0.60 ^a	8 717.73±572.00 ^b	0.85±0.04 ^a	6 839.04±539.00 ^b	6 699.78±623.00 ^a	77.19
6	6.22±0.13 ^{ab}	0.00±0.00 ^b	124.61±1.33 ^a	9 665.73±624.00 ^{ab}	0.91±0.05 ^a	7 583.64±565.00 ^{ab}	6 784.59±783.00 ^a	81.27
8	6.14±0.10 ^b	0.00±0.00 ^b	125.62±2.69 ^a	9 483.71±521.00 ^b	0.90±0.01 ^a	7 498.53±726.00 ^b	6 770.69±637.00 ^a	83.91
10	6.35±0.19 ^{ab}	1.67±2.89 ^b	126.62±4.48 ^a	10 909.55±478.00 ^a	0.88±0.07 ^a	8 663.19±573.00 ^a	7 385.36±556.00 ^a	77.31

注:同列不同字母表示差异显著, $p<0.05$ 。

由表10可知,在谷朊粉添加量为8%时黑全麦面条的感官评分达到最高。当谷朊粉添加量为2%~4%时,面条的颜色呈麦麸棕色,具有较好光泽和光滑度,口感偏软,弹性和筋力偏弱。当谷朊粉添加量为6%~8%时,面条同样呈现出麦麸棕色,具有光泽且表面光滑,软硬度适中,弹性和筋力较好;当谷朊粉添加量为10%时,面条色泽略有偏白,表面光滑但光泽度降低,口感略硬,弹性和筋力下降。随着谷朊粉添加量的增多,面条的吸水率无显著变化;蒸煮损失率与断条率出现先降低后升高的现象,硬度和黏性在添加量为10%时明显增高,这是由于谷朊粉过多增加了麦醇溶蛋白

和麦谷蛋白的含量,从而形成规模更大、功能性较强的网络结构,导致硬度增加^[26]。弹性和咀嚼性无显著变化,表明适量添加谷朊粉能够有利于面条面筋结构的稳定,提高面条的弹性与咀嚼性,改善面条品质,但是过量添加会影响面条的质构特性,提高生产成本。因此,选择谷朊粉添加量6%、8%、10%进行正交试验。

2.2.1.4 高直链玉米淀粉添加量对黑全麦面条品质影响

固定水添加量46%、麦麸添加量为15%、谷朊粉添加量6%、食盐添加量2%,以蒸煮特性、质构特性以及感官评分考察高直链玉米淀粉添加量(3%、6%、9%、12%、15%)对黑全麦面条品质的影响,结果见表11。

表11 高直链玉米淀粉添加量对黑全麦面条品质影响

Table 11 Effect of high-amylose corn starch addition on the quality of black whole wheat noodles

高直链玉米淀粉添加量/%	蒸煮损失率/%	断条率/%	吸水率/%	硬度/g	弹性	黏性	咀嚼性	感官评分
3	6.66±0.08 ^d	3.89±2.09 ^b	127.58±1.76 ^a	9 642.62±703.00 ^a	0.91±0.03 ^a	7 818.16±847.00 ^{ab}	7 176.43±641.00 ^a	74.62
6	6.75±0.06 ^d	3.42±2.87 ^b	123.62±0.99 ^a	9 053.03±446.00 ^a	0.88±0.03 ^a	7 184.24±326.00 ^b	6 356.84±514.00 ^{ab}	80.93
9	7.54±0.07 ^e	3.45±1.72 ^b	123.47±1.33 ^a	9 425.24±842.00 ^a	0.88±0.01 ^a	7 452.87±696.00 ^{ab}	6 622.42±623.00 ^{ab}	84.65
12	8.10±0.11 ^b	4.67±2.88 ^b	112.01±2.68 ^b	9 348.88±611.00 ^a	0.81±0.01 ^b	7 266.58±729.00 ^{ab}	6 786.32±585.00 ^{ab}	79.89
15	8.90±0.12 ^a	11.87±5.51 ^a	108.66±4.42 ^b	10 408.07±641.00 ^a	0.82±0.06 ^b	8 285.71±553.00 ^a	5 899.38±662.00 ^b	63.56

注:同列不同字母表示差异显著, $p<0.05$ 。

由表11可知,面条的感官评分在高直链玉米淀粉添加量为9%时达到最高。高直链玉米淀粉添加量较高时,面条表面色泽发白,光泽度降低,口感偏硬,弹性和韧性降低。随着高直链玉米淀粉添加量的增加,黑全麦面条的蒸煮损失率、断条率整体逐渐增加,而吸水

率逐渐降低,这是因为高直链玉米淀粉的持水性较低,使得吸水率呈下降趋势^[27]。面条的物化特性方面,随着高直链玉米淀粉添加量的增加,弹性和咀嚼性整体逐渐降低,黏性在添加量为15%时最大,硬度无显著变化。因此,选择高直链玉米淀粉添加量6%、9%、

12% 进行正交试验。

2.2.2 正交试验结果与分析

黑全麦面条配方正交试验结果如表 12 所示。

表 12 正交试验结果
Table 12 Results of orthogonal test

试验号	因素				感官评分
	A 水添加量/%	B 黑小麦麦麸添加量/%	C 谷朊粉添加量/%	D 高直链玉米淀粉添加量/%	
1	43	10	6	6	74.92
2	43	15	8	9	84.23
3	43	20	10	12	64.89
4	46	10	8	12	72.30
5	46	15	10	6	75.48
6	46	20	6	9	72.36
7	49	10	10	9	72.83
8	49	15	6	12	71.05
9	49	20	8	6	72.56
k ₁	74.68	72.68	72.78	74.32	
k ₂	72.71	76.92	75.69	76.47	
k ₃	72.14	69.94	71.07	68.75	
R	2.533	6.983	4.630	7.726	
优化水平	A ₁	B ₂	C ₂	D ₂	
因素主次	D>B>C>A				

由表 12 可知,在试验选取的范围内,各添加物质对黑全麦面条感官品质的影响顺序为 D(高直链玉米淀粉添加量)>B(黑小麦麦麸添加量)>C(谷朊粉添加量)>A(水添加量),与试验所得的感官评分规律具有较高的一致性。根据 k 值,黑全麦面条的最优配方为 A₁B₂C₂D₂,该方案同时也是正交试验第 2 组,无需进行验证试验,其感官评分最高,为 84.23。通过极差 R 值可知,当水添加量 43%、黑小麦麦麸添加量 15%、谷朊粉添加量 8%、高直链玉米淀粉添加量 9% 时,黑全麦面条品质最优,表面光滑且有光泽,硬度适中,具有嚼劲和弹性,咀嚼时爽口不粘牙。

2.3 营养成分分析

由最优配方制作的黑全麦面条与未添加麦麸的黑小麦面条营养成分分析如表 13 所示。

由表 13 可知,除碳水化合物外,黑全麦面条的各类营养成分与普通小麦粉面条相比均有显著提升($p < 0.05$),蛋白质含量提高了 31%,膳食纤维含量提高了 279%,灰分含量提高了 90%,结果表明添加黑小麦麦麸对面条的营养品质有显著改善。有研究表明,高膳食纤维含量的食物可以辅助降血糖,增加饱腹感,促进肠道蠕动,改善肠道健康^[28]。

表 13 未添加麦麸的黑小麦面条与黑全麦面条营养成分比较

Table 13 Comparison of nutritional components between ordinary wheat flour noodles and black whole wheat noodles

样品	蛋白质含量/(g/100 g)	膳食纤维含量/(g/100 g)	灰分含量/(g/100 g)	脂肪含量/(g/100 g)	水分含量/(g/100 g)	碳水化合物含量/(g/100 g)	GI
黑小麦面条	12.50±0.00 ^b	2.71±0.10 ^b	1.42±0.02 ^b	1.22±0.01 ^b	2.62±0.08 ^b	79.53±0.21 ^a	77.75±1.26 ^a
黑全麦面条	16.43±0.00 ^a	10.26±0.55 ^a	2.70±0.02 ^a	1.62±0.01 ^a	3.10±0.12 ^a	65.89±0.7 ^b	57.93±1.52 ^b

注:同列不同字母表示差异显著, $p < 0.05$ 。

GI 是衡量食物引起餐后血糖反应的一项有效指标,根据国际食品 GI 分类,GI<55 为低升糖食品,55<GI<70 为中升糖食品,GI>70 为高升糖食品^[29]。以白面包为参照(GI 为 100),通过体外模拟消化测得黑全麦面条的 GI 为 57.93,属于中升糖食品。相比于普通黑小麦面条(GI 为 77.75),最优配方制作的黑全麦面条 GI 降低了 25.49%,适合作为高血糖人群的日常主食。黑全麦面条消化性降低可能是由于其高含量的膳食纤维进入胃肠道后会变黏稠,可以延迟小肠内碳水化合物的吸收利用时间,从而阻碍餐后血糖的升高^[30]。此外,谷朊粉也会在面条的制作过程中形成网络结构,包裹淀粉颗粒,从而抑制淀粉的糊化过程或阻止淀粉与淀粉酶接触,达到抑制淀粉消化的目的^[31]。

3 结论

本研究将黑小麦麦麸与黑小麦面粉按一定比例复配成黑全麦粉,通过探究不同麦麸添加量的全麦粉糊化特性、热力学特性、粉质特性和面筋特性等加工品质

的变化规律,得到黑小麦麦麸添加量在 5%~25% 时,对全麦粉及其面团的品质影响较小。进一步以面条的质构特性、蒸煮特性以及感官评分为指标,通过单因素和正交试验,明确了黑全麦面条的最优配方:水添加量 43%、黑小麦麦麸添加量 15%、谷朊粉添加量 8%、高直链玉米淀粉添加量 9%。此时黑全麦面条外观呈棕色有光泽、表面光滑细密、口感爽滑筋道、不粘牙,感官评分为 84.23,血糖生成指数为 57.93,达到中升糖食品要求。本研究为农业副产物资源的提质增值提供参考,同时也对适合高血糖人群食用的产品开发有积极的指导意义。

参考文献:

- [1] 本刊资料室. 如何预防高血糖性亚健康状态[J]. 兵团工运, 2018(6): 40.
Reference room of this journal. How to prevent hyperglycemic sub-health state[J]. The Corps Labour, 2018(6): 40.
- [2] 吴云涛,邢爱君,吴寿岭,等. 空腹血糖受损人群自然转归及其影响因素的观察[J]. 中国糖尿病杂志, 2013, 21(8): 728-730.
WU Yuntao, XING Aijun, WU Shouling, et al. Natural outcome and its correlated factors in patients with impaired fasting glucose

- [J]. Chinese Journal of Diabetes, 2013, 21(8): 728-730.
- [3] 潘磊磊, 游弋, 郭洁, 等. 辽宁省居民空腹血糖偏高检出率及影响因素分析[J]. 上海预防医学, 2021, 33(2): 163-167.
PAN Leilei, YOU Yi, GUO Jie, et al. Analysis of the prevalence and influencing factors of elevated FPG in Liaoning Province[J]. Shanghai Journal of Preventive Medicine, 2021, 33(2): 163-167.
- [4] 李莹丽, 郭圆圆, 张燕飞. 闭环式血糖管理对糖尿病患者围术期血糖控制及低血糖发生率的影响[J]. 河北医药, 2023, 45(14): 2237-2240.
LI Yingli, GUO Yuanyuan, ZHANG Yanfei. Effect of closed-loop blood glucose management on the perioperative blood glucose control and the incidence of hypoglycemia in patients with diabetes mellitus[J]. Hebei Medical Journal, 2023, 45(14): 2237-2240.
- [5] 张鑫, 任元元, 孟资宽, 等. 低GI藜麦面条挤压工艺及体外消化特性研究[J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(4): 57-62, 85.
ZHANG Xin, REN Yuanyuan, MENG Zikuan, et al. Study on extrusion technology and *in vitro* digestion characteristics of low GI quinoa noodles[J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2021, 57(4): 57-62, 85.
- [6] 王士苗, 张金霞, 刘骏, 等. 黑小麦的营养价值及其加工技术探究[J]. 农业科技通讯, 2018(5): 203-204.
WANG Shimiao, ZHANG Jinxia, LIU Jun, et al. Study on nutritional value and processing technology of black wheat[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2018(5): 203-204.
- [7] ZHU F. *Triticale*: Nutritional composition and food uses[J]. Food Chemistry, 2018, 241: 468-479.
- [8] 孙心怡. 蒸汽爆破预处理对黑小麦麦麸的品质改良及其应用研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2023.
SUN Xinyi. Study on quality improvement of black wheat bran by steam explosion pretreatment and its application[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2023.
- [9] 金慧敏, 党斌, 张文刚, 等. 低GI杂粮复合烤制馒头工艺配方优化及品质分析[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(3): 148-156.
JIN Huimin, DANG Bin, ZHANG Wengang, et al. Optimization of technological formula and quality analysis of bread compound steamed baked with miscellaneous grains with low GI[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(3): 148-156.
- [10] HAN W, MA S, LI L, et al. Application and development prospects of dietary fibers in flour products[J]. Journal of Chemistry, 2017, 2017: 2163218.
- [11] ZHANG W, LI L Y, SHU Z X, et al. Properties of flour from pearled wheat kernels as affected by ozone treatment[J]. Food Chemistry, 2021, 341: 128203.
- [12] GUO K, LIU T X, XU A H, et al. Structural and functional properties of starches from root tubers of white, yellow, and purple sweet potatoes[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 89: 829-836.
- [13] 蔡茜茜, 陈旭, 陈选, 等. 超微绿茶粉对面条品质特性的影响及绿茶面条配方优化[J]. 食品与机械, 2021, 37(9): 179-185.
CAI Xiqi, CHEN Xu, CHEN Xuan, et al. Effects of ultra-fine green tea powder on noodle quality and optimization of green tea noodle formula[J]. Food & Machinery, 2021, 37(9): 179-185.
- [14] MUDGIL D, BARAK S, KHATKAR B S. Optimization of textural properties of noodles with soluble fiber, dough mixing time and different water levels[J]. Journal of Cereal Science, 2016, 69: 104-110.
- [15] 王庆卫, 刘启玲. 藜麦粉对面条品质以及体外消化特性的影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(1): 31-34.
WANG Qingwei, LIU Qiling. Effects of quinoa powder on noodle quality and *in vitro* digestion characteristics[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(1): 31-34.
- [16] GUO L N, FANG F, ZHANG Y, et al. Effect of glutathione on gelatinization and retrogradation of wheat flour and starch[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 95: 103061.
- [17] 谭婉碧, 王琴飞, 张金泉, 等. 不同菌种发酵木薯粉品质和糊化特性比较分析[J]. 食品科学, 2023, 44(10): 56-63.
TAN Wanbi, WANG Qinfei, ZHANG Jinqian, et al. Comparative analysis on quality and gelatinization characteristics of cassava flour fermented by different strains[J]. Food Science, 2023, 44(10): 56-63.
- [18] 张兆丽, 石旺滨, 王洋, 等. 果蔬面条成分对面条质构特性和RVA特性的影响[J]. 食品工业, 2023, 44(4): 72-77.
ZHANG Zhaoli, SHI Wangbin, WANG Yang, et al. The effect of fruit and vegetable noodles ingredients on texture characteristics and RVA characteristics of noodle[J]. The Food Industry, 2023, 44(4): 72-77.
- [19] 胡月明. 过热蒸汽处理对小麦及小麦粉品质的影响研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2018.
HU Yueying. Effect of superheated steam treatment on the quality of wheat and wheat flour[D]. Beijing: China Agricultural University, 2018.
- [20] 韩畅. 苦荞麸皮粉对面团特性的影响及其馒头品质改良研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2022.
HAN Chang. Effect of tartary buckwheat bran powder on dough characteristics and improvement of steamed bread quality[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2022.
- [21] CHENG W, SUN Y J, FAN M C, et al. Wheat bran, as the resource of dietary fiber: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62(26): 7269-7281.
- [22] 李雪. 小麦麸皮水不溶性阿拉伯木聚糖对馒头品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012.
LI Xue. Effect of water-insoluble arabinoxylan from wheat bran on the quality of steamed bread[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2012.
- [23] 李超然. 小麦麸不溶性膳食纤维对面条品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
LI Chaoran. Effect of insoluble dietary fiber from wheat bran on noodle quality[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2014.
- [24] 罗红梅, 刘庆庆. 玉米面条加工工艺优化[J]. 粮食加工, 2021, 46(2): 64-67.
LUO Hongmei, LIU Qingqing. Optimization of corn noodle processing technology[J]. Grain Processing, 2021, 46(2): 64-67.
- [25] 安兆鹏, 王然, 赵文哲, 等. 小麦麸皮对面团及面筋蛋白特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(9): 11-17.
AN Zhaopeng, WANG Ran, ZHAO Wenzhe, et al. Effects of wheat bran on dough and gluten characteristics[J]. Food Research and Development, 2018, 39(9): 11-17.
- [26] 黄斐, 谷俊华. 谷朊粉对红薯泥面团特性及其面条品质的影响[J]. 吉林农业科技学院学报, 2022, 31(2): 6-9, 38.
HUANG Fei, GU Junhua. Effects of gluten on characteristics of sweet potato dough and noodle quality[J]. Journal of Jilin Agricultural Science and Technology University, 2022, 31(2): 6-9, 38.
- [27] 张钟, 李凤霞, 张惠英. 玉米抗性淀粉的添加对面条品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2014(1): 24-26, 29.
ZHANG Zhong, LI Fengxia, ZHANG Huiying. Effect of resistant corn starch on noodle's quality[J]. Cereal & Feed Industry, 2014(1): 24-26, 29.
- [28] GILL S K, ROSSI M, BAJKA B, et al. Dietary fibre in gastrointestinal health and disease[J]. Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology, 2021, 18(2): 101-116.
- [29] 杨燕, 陈好娟, 林燕云. 高纤维低血糖生成指数饮食管理在2型糖尿病患者中的应用研究[J]. 黑龙江医学, 2022, 46(14): 1791-1793.
YANG Yan, CHEN Haojuan, LIN Yanyun. Application of high-fiber and low glycemic index diet management in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. Heilongjiang Medical Journal, 2022, 46(14): 1791-1793.
- [30] OTLES S, OZGOZ S. Health effects of dietary fiber[J]. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 2014, 13(2): 191-202.
- [31] PARADA J, AGUILERA J M. Microstructure, mechanical properties, and starch digestibility of a cooked dough made with potato starch and wheat gluten[J]. LWT - Food Science and Technology, 2011, 44(8): 1739-1744.