

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240705001

彩麦全麦粉特性及其对饼干品质的影响

高恩红¹, 常逍柯¹, 田潇凌¹, 林顺顺¹, 胡悦¹, 李梦琴^{1,2*}

(1. 河南农业大学食品科学技术学院, 郑州 450000;
2. 农业农村部大宗粮食加工重点实验室, 郑州 450000)

摘要: **目的** 探究彩麦全麦粉的理化特性及其对饼干品质的影响。**方法** 通过全粉碎法和回添法制得彩麦全麦粉记作豫州 1 号回添粉(YZ1-HF)、豫州 2 号回添粉(YZ2-HF)、豫州 1 号全粉碎粉(YZ1-QF)、豫州 2 号全粉碎粉(YZ2-QF)。对其营养成分、损伤淀粉含量等指标进行了研究, 并将两种彩麦全麦粉以不同的比例与普通小麦粉复配制备饼干, 探究其对饼干色泽、质构、风味及感官评分的影响。**结果** 营养成分中 YZ1-HF、YZ2-HF 灰分含量降低, 不溶性膳食纤维比例提高; YZ1-HF、YZ2-HF 的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、回升值、衰减值都有所提升; 彩色小麦全麦粉比例在 50%、75%时饼干质构硬度与脆性较低; 电子鼻主成分分析中彩色小麦全麦粉比例为 50%时, 在主成分 2 良好表现。**结论** 彩麦全麦粉具有较高的营养价值, 适量的彩麦全麦添加到饼干中可以改善饼干的品质。本研究可为彩麦全麦粉应用到饼干以及面制品中的开发提供理论基础。

关键词: 彩麦全麦粉; 制粉方式; 全麦粉; 饼干品质

Characteristics of color wheat whole wheat flour and its influence on biscuit quality

GAO En-Hong¹, CHANG Xiao-Ke¹, TIAN Xiao-Ling¹, LIN Shun-Shun¹,
HU Yue¹, LI Meng-Qin^{1,2*}

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450000, China;
2. Key Laboratory of Bulk Grain Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhengzhou 450000, China)

ABSTRACT: Objective To explore the physical and chemical characteristics of color wheat whole wheat flour and its influence on the quality of biscuits. **Methods** The whole wheat flour made by the full milling method and the re-adding method recorded as Yuzhou No.1 re-adding powder (YZ1-HF), Yuzhou No.2 re-adding powder (YZ2-HF), Yuzhou No.1 total crushing powder (YZ1-QF), Yuzhou No.2 total crushing powder (YZ2-QF). The nutritional composition, damaged starch content and other indexes were studied, and the two kinds of whole wheat flour were mixed with ordinary wheat flour in different proportions to explore the influence on the color, texture, flavor and sensory score. **Results** The ash content of YZ1-HF and YZ2-HF in nutrients decreased, the proportion of insoluble dietary fiber increased, the peak viscosity of YZ1-HF and YZ2-HF, grain viscosity, final viscosity, appreciation, and decay values increased; when the proportion of colored wheat wholemeal flour was 50% or 75%, the hardness and

基金项目: 2023 年食品加工产业科技特派团项目(30802960)

Fund: Supported by the 2023 Food Processing Industry Science and Technology Mission Project (30802960)

*通信作者: 李梦琴, 教授, 主要研究方向为谷物化学与精深加工。E-mail: lmqfood@163.com

*Corresponding author: LI Meng-Qin, Professor, Henan Agricultural University, College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450000, China. E-mail: lmqfood@163.com

brittleness of the biscuits were lower. In the principal component analysis of electronic nose for colored wheat wholemeal flour proportion of 50%, it had a good performance in principal component 2. **Conclusion** Color wheat whole wheat flour has a high nutritional value, the right amount of color wheat whole wheat added to the biscuits can improve the quality of biscuits. This study can provide a theoretical basis for the development of wheat wheat in biscuits and flour products.

KEY WORDS: color wheat whole wheat flour; powder making way; whole wheat flour; biscuit quality

0 引 言

彩色小麦因其具有丰富的营养价值, 广受人们关注。因其籽粒呈现多种颜色, 有别于普通小麦, 故将这类小麦命名为彩色小麦^[1]。许多研究证实彩色小麦富含蛋白质、赖氨酸, 且其微量元素含量比普通小麦高, 因此彩色小麦有较高的应用价值及营养价值^[2]。全麦粉是指以整粒小麦为原料, 经制粉工艺制成, 且小麦的胚乳、麸皮与胚芽的相对比例与天然完整颖果基本一致的小麦全粉^[3]。全麦粉中所含的膳食纤维、维生素、微量元素等生物活性物质对人的功能器官具有调节作用, 并且可以预防结肠癌等疾病^[4]。

目前彩麦全麦大多都是成粉后直接销售, 没有将彩麦全麦进行深加工处理。随着消费者对健康的关注, 彩麦全麦应该向复合营养型的健康功能性食品方向发展^[5], 从而提高彩麦全麦所含的附加价值。为了满足消费者对健康功能性食品的需求, 本研究以彩麦全麦为原料, 通过全粉碎和回添法制备彩麦全麦粉^[6], 测定其营养成分、湿面筋含量、损伤淀粉含量及糊化特性等指标。并将彩麦全粉以不同比例与普通小麦粉复配制备饼干, 探究其对饼干色泽、质构、感官及风味的影响。这样不仅利用了彩麦全麦的营养价值, 还可以增加饼干产品的独特风味, 十分符合当前市场需求, 为彩麦全麦饼干及其他彩麦全麦产品的研发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

彩麦豫州黑麦 1 号(YZ1)、彩麦豫州黑麦 2 号(YZ2)、普通小麦粉济麦 22(J22)由河南农业大学提供。

十二烷基硫酸钠(sodium dodecyl sulfate, SDS)、氢氧化钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 无水乙醇、石油醚(分析纯, 天津市富宇精细化工有限公司); 甲基红(分析纯, 天津市致远化学试剂有限公司); 浓硫酸(色谱纯, 天津市科密欧化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

JGMJ8098 精米机(上海嘉定粮油仪器有限公司); JXFM110 锤式旋风磨(杭州大吉光电仪器有限公司); JMLB-50 胶体磨(杭州惠合机械设备有限公司); Y41 损伤

淀粉仪(北京天翔飞域科技有限公司); NR110 色差仪[简测实业(上海)有限公司]; JHMZ 200 和面机(北京东孚久恒仪器技术有限公司); YXD-Z202 烤箱(广州三鼎金属制品有限公司); TA-XT plus 物性测试仪(英国 Stable Micro System 公司); RVA-4500 快速黏度分析仪(北京波通瑞华科学仪器有限公司); PEN3 型电子鼻(德国 AIRSENSE 公司); FA3204C 电子天平精度(精度 0.0001 g, 上海天美天平仪器有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备

参照文献[7]的方法对小麦剥皮工艺优化: 润麦至小麦水分含量为 16%, 润麦后籽粒备用。

全粉碎法制备全麦粉: 使用锤式旋风磨将 YZ1、YZ2 粉碎后全部过 80 目筛, 得全粉碎全粉, 分别标记为 YZ1-QF、YZ2-QF, 封存备用。

回添法制备全麦粉: YZ1、YZ2 采用精米机剥去 2% 皮层, 得到皮层与剥皮籽粒。采用胶体磨将皮层粉碎后烘干, 为皮层粉过 80 目筛; 使用锤式旋风磨将剥皮后的籽粒全部粉碎, 全部过 80 目筛, 为剥皮籽粒粉。将皮层粉全部回添进剥皮籽粒粉进行混合, 将其分别标记为 YZ1-HF、YZ2-HF, 封存备用。

其中普通小麦粉济麦 22 (J22)采用全粉碎制备全麦粉, 将其标记为 J22-QF。

1.3.2 理化指标测定

分别参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》、GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》、GB 5009.88—2014《食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定》、GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》、GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》对 1.3.1 中全麦粉蛋白质、淀粉、水分、膳食纤维、脂肪、灰分进行测定。

1.3.3 损伤淀粉、湿面筋、麦谷蛋白大聚体含量与蛋白组成测定

损伤淀粉含量参照 GB/T 31577—2015《小麦粉损伤淀粉测定 安培计法》进行测定。

湿面筋含量参照 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》进行测定。

麦谷蛋白大聚体(glutenin macropolymer, GMP)含量参照文献[8]方法,称取彩麦全麦粉 1 g(精确至 0.0001 g),加入 25 mL 1.5%十二烷基硫酸钠(sodium dodecyl sulfate, SDS)溶液,在室温下 200 r/min 振荡提取 1 h, 5000 r/min 离心 20 min, 弃去上清液,留沉淀继续试验。向沉淀中加入 1.5% SDS 溶液,提取两次,测定最后所得沉淀中凝胶状物质蛋白质含量,即为 GMP 含量。

蛋白组成参照文献[9-10]的方法,提取醇溶蛋白、球蛋白、麦谷蛋白、清蛋白分别使用 70%乙醇、2%氯化钠溶液、0.5%氢氧化钠溶液、蒸馏水溶液提取。提取条件:温度 30 ℃,振荡速度为 200 r/min、振荡提取 30 min,采用离心机 5000 r/min,离心 5 min,重复提取 3 次,将每次得到上清液倒入试剂瓶中,最后合并上清液,采用考马斯亮蓝法进行测定。

1.3.4 糊化特性测定

糊化特性参照 GB/T 24853—2010《小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定 快速粘度仪法》进行测定。

1.3.5 不同比例彩麦粉饼干制备

将 1.3.1 中 YZ1-QF、YZ2-QF、YZ1-HF、YZ2-HF 按照 0%、25%、50%、75%、100%的比例与普通小麦粉济麦 J22-QF 混合复配,制备彩麦全麦粉饼干。

饼干的制作参考常道柯等^[11]的方法并稍加修改。以普通全麦粉质量计,加入 15%大豆油、10%白砂糖、1%盐、0.9%

小苏打。和成面团,静置后用压面机将面团压至 2.8 mm 厚,切割得到饼干胚。第 1 阶段:上火 150 ℃、下火 150 ℃烤制 7 min;第 2 阶段:上火 180 ℃、下火 170 ℃烤制 9 min。待冷却后进行包装即可。

1.3.6 色泽测定

采用精密色差仪测定彩色小麦全粉饼干色泽,参照何四云^[12]的方法测定。

1.3.7 质构特性测定

采用 TA-XT Plus 物性测定仪对彩色小麦全粉饼干进行测定。参照李梦琴等^[13]的方法测定。参数设定为:全质构分析(texture profile analysis, TPA)压缩模式,圆柱形 P50 探头,在测试前的速度调整为 2.0 mm/s,测试中的速度调整为 1.0 mm/s,测试后速度调整为 2.0 mm/s,其中感应力 5.0 g,压缩量 60%。

1.3.8 感官评定标准

参照文献[10]方法,由评价小组(10 位品评人员)分别对全麦饼干的色泽、风味、口感、形态以及组织进行评价(表 1)。

1.3.9 电子鼻风味测定

彩麦全麦粉饼干风味采集方法参照文献[14-15]的方法并进行了优化:称取 5 g 彩麦全麦粉饼干将其放置于 20 mL 顶空瓶中,加热温度为 60 ℃,持续 30 min,达到顶空平衡后,进行样品检测。每个样品需要做 3 个平行。电子鼻测定条件:仪器预热 30 min,用清洁空气清洗电子鼻传感器

表 1 全麦饼干感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation criteria of whole wheat crackers

项目	评分标准	评分
形态	外形完整,厚薄均匀,不收缩,不起泡,少或无凹底产生	17~20
	外形基本完整,厚薄均匀,收缩小,起泡少,凹底较多	13~16
	外形不完整,厚薄不均匀,破损严重,起泡多,凹底很多	8~12
	外形不完整,薄厚度不均匀,收缩、起泡、现象十分严重,凹底很多	8 分以下
风味	全麦香味适宜,无焦糊味或苦味	17~20
	全麦香味稍淡或稍重,稍有无焦糊味或苦味	13~16
	全麦香味过淡或过重,焦糊味或苦味重	8~12
	无全麦香味,焦糊味或苦味严重	8 分以下
色泽	色泽分布均匀,表面有光泽,无白粉,不应有过焦、过白的现象	17~20
	色泽分布比较均匀,表面光泽略显,出现极少量白粉,出现极少量过焦、过白现象	13~16
	色泽分布不太均匀,表面光泽略显,出现较少量白粉,出现较少量过焦、过白现象	8~12
	色泽分布不均匀,表面无光泽感、有大量白粉产生,出现大量过焦、过白现象	8 分以下
口感	口感松脆、细腻,不粘牙	17~20
	口感不太松脆、细腻,略有粘牙现象	13~16
	口感不太松脆、细腻,略有粘牙现象	8~12
	口感不松脆、细腻,粘牙	8 分以下
组织	断面结构有层次或呈多孔状。十分细密,无大空洞产生	17~20
	断面呈现多孔状但较不均匀,比较细密,出现少量小空洞	13~16
	断面呈多孔状但不均匀,且不细密,出现大空洞	8~12
	断面结构基本无多孔状	8 分以下

系统, 至传感器信号归一化。样品采集的时间为 60 s, 其中传感器的清洗时间为 100 s, 调零的时间 10 s, 进样准备的时间 5 s, 进样的流量 400 mL/min。只取平稳状态数据进行分析。

1.4 数据处理

数据采用 3 次重复结果的平均值和标准偏差表示, 应用 Origin 2022 软件绘制图表, 采用 SPSS 2022 数据软件进行统计差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同制粉方式对彩麦全麦粉品质的影响

2.1.1 理化指标分析

由表 2 可知, 彩麦全麦粉相比 J22-QF 粗蛋白、总膳食纤维含量高、淀粉含量低。回添法制粉会使彩麦全麦粉中可溶性膳食纤维的比例降低。由于采用胶体磨湿法粉碎小麦籽粒外果皮层, 使果皮上附着的杂质与水溶性盐在粉碎时损失, 因此 YZ1-HF、YZ2-HF 中灰分含量显著下降。纤维素是小麦籽粒果皮层中的主要成分, 胶体磨湿法粉碎可破坏不溶性膳食纤维的糖苷键, 提高膳食纤维水溶性^[16]。湿法粉碎过程会使水溶性膳食纤维损失。

2.1.2 湿面筋、损伤淀粉、水溶性指数与吸水性指数及蛋白组成分析

小麦粉研磨次数越多, 被粉碎的越彻底, 淀粉颗粒被破坏的程度越大、损伤淀粉含量就会越高^[17]。由表 3 可知, YZ1-QF、YZ2-QF 中的损伤淀粉含量分别显著高于 YZ1-HF、YZ2-HF。这是因为小麦籽粒经剥皮后, 粉碎难

度减小, 籽粒强度降低, 将其粉碎至相同粒度时, 损伤淀粉含量减少^[18]。

湿面筋含量在一定程度上决定小麦粉的揉混特性和面团流变学性质^[19]。彩麦全粉湿面筋含量均高于 J22-QF, 可能因为彩麦中的蛋白质含量高于普通小麦。不同制粉方式彩麦全粉湿面筋含量在同一显著区间, YZ1-HF 较 YZ1-QF、YZ2-HF 较 YZ2-QF 都有不同程度提高, 可能是部分的皮层粒径降低, 从而促进湿面筋的形成。

GMP 含量与面团的加工品质有极高的相关性^[20]。YZ1-QF、YZ2-QF 与 YZ1-HF 和 YZ2-HF 相比 GMP 含量有所下降, 原因可能是彩麦皮层中多酚类物质(如阿魏酸)使较高分子量蛋白亚基发生解聚, 大粒径 GMP 体积分数减少^[21]。

根据溶解性可把小麦蛋白分为球蛋白、清蛋白、以及醇溶蛋白和麦谷蛋白^[22]。由图 1 可知, J22-QF 中球蛋白含量高于清蛋白含量, 彩色小麦中则是相反, J22-QF 球蛋白与醇溶蛋白含量占比高于彩麦全麦粉。彩麦全粉中麦谷蛋白含量最高, 醇溶蛋白次之。

2.1.3 糊化特性分析

由表 4 可知, J22-QF 峰值黏度、衰减值最低、回升值最高。J22-QF 淀粉溶胀程度较低、易老化、热稳定性好, 原因可能是 J22-QF 中不溶性膳食纤维、多酚等物质含量最低。除糊化温度外, YZ1-HF 与 YZ1-QF、YZ2-HF 与 YZ2-QF 相比其他糊化特性指标都显著增加。可能是由于回添全麦粉相比于全粉碎全麦粉, 不溶性膳食纤维含量增加, 多酚(阿魏酸)等物质减少^[23]。淀粉糊化过程中不溶性膳食纤维会破坏直链淀粉结构, 增加淀粉的溶胀程度, 使淀粉糊化黏度升高, 还会导致淀粉热稳定降低^[24-25]。

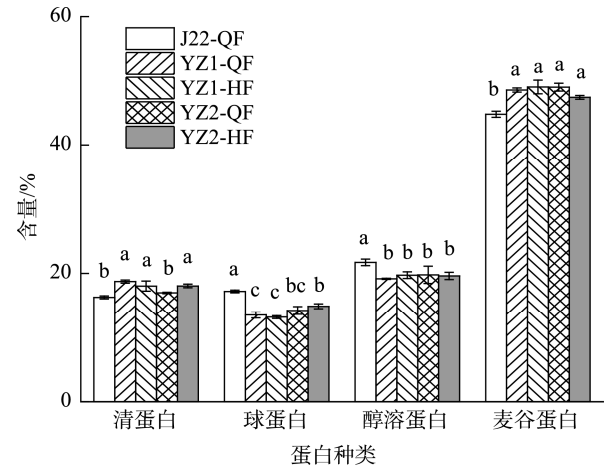
表 2 彩麦全麦粉营养成分
Table 2 Nutrition content of colored wheat whole wheat flour

指标	J22-QF	YZ1-QF	YZ1-HF	YZ2-QF	YZ2-HF
水分/%	10.97±0.06 ^d	10.45±0.12 ^b	11.16±0.11 ^d	11.49±0.19 ^a	11.33±0.27 ^c
粗蛋白/%	13.63±0.38 ^b	15.53±0.42 ^a	15.48±0.40 ^a	15.45±0.93 ^a	15.34±0.26 ^a
淀粉/%	59.60±1.38 ^a	54.90±0.42 ^{bc}	54.00±0.89 ^c	56.42±0.48 ^b	55.70±1.00 ^{bc}
灰分/%	1.49±0.02 ^d	1.56±0.02 ^b	1.49±0.01 ^d	1.57±0.01 ^a	1.52±0.01 ^c
脂肪/%	1.87±0.07 ^b	1.70±0.03 ^c	1.64±0.07 ^c	1.94±0.02 ^{ab}	1.98±0.03 ^a
总膳食纤维/%	11.68±0.31 ^c	12.50±0.07 ^a	12.40±0.09 ^{ab}	12.00±0.05 ^{bc}	12.09±0.03 ^b
不溶性膳食纤维/%	10.07±0.18 ^d	10.55±0.21 ^{ab}	10.80±0.07 ^a	10.12±0.03 ^{cd}	10.44±0.06 ^{bc}
可溶性膳食纤维/%	1.67±0.11 ^{ab}	1.85±0.02 ^a	1.55±0.06 ^b	1.78±0.09 ^{ab}	1.60±0.18 ^{ab}

注: 同行字母不同表示差异显著(P<0.05), 下同。

表 3 彩麦全麦粉损伤淀粉、湿面筋与 GMP 含量
Table 3 Content of damages starch, wet gluten and GMP in color wheat whole wheat flour

指标	J22-QF	YZ1-QF	YZ1-HF	YZ2-QF	YZ2-HF
损伤淀粉/%	20.65±0.10 ^c	22.94±0.18 ^a	21.78±0.16 ^b	21.29±0.33 ^b	19.87±0.17 ^d
湿面筋/%	32.53±0.82 ^b	35.69±1.04 ^a	36.99±0.92 ^a	33.79±0.70 ^b	33.96±0.38 ^b
GMP/%	4.12±0.11 ^c	4.65±0.02 ^{ab}	4.76±0.08 ^a	4.61±0.03 ^b	4.62±0.02 ^b



注：同一种类，字母不同表示差异显著($P<0.05$)，下同。

图1 彩麦全麦粉蛋白组成

Fig.1 Protein composition of color wheat whole wheat flour

2.2 不同比例彩麦全麦粉对饼干品质的影响

2.2.1 不同比例彩麦全粉饼干色泽分析

色泽对饼干的感官有重要影响，金黄色饼干更能吸

引消费者^[26]。 L^* 代表亮度， a^* 代表红绿色度， b^* 代表着黄蓝色度^[27]。由表 5 可知，随着彩麦全麦粉比例提高， L^* 、 b^* 显著降低，说明彩麦比例对饼干的 L^* 、 b^* 有直接影响。可观察到随着彩麦全麦粉比例提高，饼干表面颜色明显变暗。YZ1-H、YZ2-H 饼干 L^* 、 b^* 在同一比例时大部分高于 YZ1-Q、YZ2-Q 饼干。 a^* 在彩色小麦全麦粉占比为 0%时最高，在占比为 25%时， a^* 最低，随着占比不断提升， a^* 也有所提高。结合饼干感官评分可知，彩色小麦粉比例超过 50%，感官人员对饼干色泽评分下降，说明彩色小麦全麦粉占比过高对饼干色泽接受度有负面作用。

2.2.2 不同比例彩麦全麦粉饼干质构分析

由图 2 可知，彩麦全麦粉占比 0%时饼干硬度与脆性最低。可能是未添加彩麦全麦粉时，饼干粉中蛋白质的含量最低^[28]，因此饼干的硬度与脆性最低。彩麦全麦粉比例为 25%与 100%时，4 种彩麦全粉饼干的硬度与脆性都有所增加。YZ1-H、YZ2-H 饼干相比 YZ1-Q、YZ2-Q 饼干硬度与脆性都有一定程度降低，可能是 YZ1-H、YZ2-H 饼干原料粉中部分皮层粒度降低，一定程度上强化面筋蛋白网络结构，使面筋网络延展性提升，内部气体空间增大，饼干硬度与脆性减小。

表 4 彩麦全麦粉糊化特性
Table 4 Gelatinizing properties of color wheat whole wheat flour

指标	J22-QF	YZ1-QF	YZ1-HF	YZ2-QF	YZ2-HF
峰值黏度/cp	2451.50±6.36 ^d	2771.00±38.18 ^c	2988.50±26.16 ^b	2766.00±8.49 ^c	3045.00±4.24 ^a
谷值黏度/cp	1896.50±10.61 ^c	1933.00±1.41 ^b	2018.00±7.07 ^a	1827.00±9.90 ^d	2034.50±2.12 ^a
最终黏度/cp	3238.00±14.14 ^c	3176.50±13.44 ^d	3467.00±21.21 ^b	3128.50±14.85 ^c	3518.00±2.83 ^a
衰减值/cp	555.00±4.24 ^d	838.00±39.60 ^c	970.50±33.23 ^{ab}	939.00±18.38 ^b	1010.50±2.12 ^a
回升值/cp	786.50±20.51 ^a	405.50±24.75 ^c	478.50±4.95 ^b	362.50±6.36 ^d	473.00±7.07 ^b
糊化温度/℃	76.34±0.07 ^a	70.10±0.02 ^b	69.95±0.01 ^b	70.10±0.03 ^b	70.03±0.11 ^b

表 5 不同比例彩麦全麦粉饼干色泽分析
Table 5 Color analysis of different proportions of color wheat whole wheat flour biscuits

样品种类	不同参数	不同比例彩麦				
		0%	25%	50%	75%	100%
YZ1-Q	L^*	66.42±0.39 ^a	62.92±0.46 ^b	60.30±0.63 ^b	56.46±0.21 ^c	54.37±0.52 ^d
	a^*	7.22±0.11 ^a	6.04±0.19 ^c	6.11±0.23 ^c	6.21±0.12 ^b	6.33±0.27 ^b
	b^*	24.47±0.18 ^a	20.54±0.26 ^b	18.47±0.60 ^b	17.13±0.27 ^c	15.80±0.51 ^d
YZ1-H	L^*	66.42±0.39 ^a	62.73±0.21 ^b	61.34±0.31 ^b	57.29±0.26 ^c	55.59±0.83 ^d
	a^*	7.22±0.11 ^a	6.07±0.15 ^c	6.14±0.28 ^c	6.12±0.16 ^c	6.27±0.15 ^b
	b^*	24.47±0.18 ^a	21.69±0.42 ^b	18.55±0.39 ^b	17.70±0.53 ^c	16.07±0.35 ^d
YZ2-Q	L^*	66.42±0.39 ^a	63.04±0.38 ^b	60.88±0.24 ^b	57.45±0.24 ^c	53.86±0.95 ^d
	a^*	7.22±0.11 ^a	6.23±0.14 ^c	6.49±0.21 ^c	6.64±0.23 ^b	6.81±0.17 ^b
	b^*	24.47±0.18 ^a	22.37±0.38 ^b	20.67±0.29 ^b	19.45±0.18 ^c	16.65±0.42 ^d
YZ2-H	L^*	66.42±0.39 ^a	62.53±0.24 ^b	61.72±0.37 ^b	59.27±0.15 ^c	55.16±0.77 ^d
	a^*	7.22±0.11 ^a	6.14±0.19 ^c	6.28±0.13 ^c	6.30±0.26 ^b	6.40±0.43 ^b
	b^*	24.47±0.18 ^a	22.92±0.46 ^b	21.08±0.26 ^b	19.71±0.19 ^c	17.74±0.08 ^d

2.2.3 不同比例彩麦全麦粉饼干感官评分分析

由图 3 可知, 不同彩麦全麦粉比例对饼干感官评分影响较大。从形态评分来看, 饼干原料粉中含有彩麦全麦粉会导致形态评分不同程度下降。结合饼干质构与口感评分分析, 全麦硬度与脆性低时评分较高。组织评分变化较小,

不同比例彩麦全麦粉对组织影响低于其他 4 种感官评分。从风味评分来看, 未使用彩麦全麦粉时评分最低, 而彩麦全麦粉占比超过 25%时都有较好的表现; 从色泽评分可知, 彩麦全麦粉占比为 0%时, 色泽评分较高, 当占比超过 50% 时, 色泽评分下降较多。

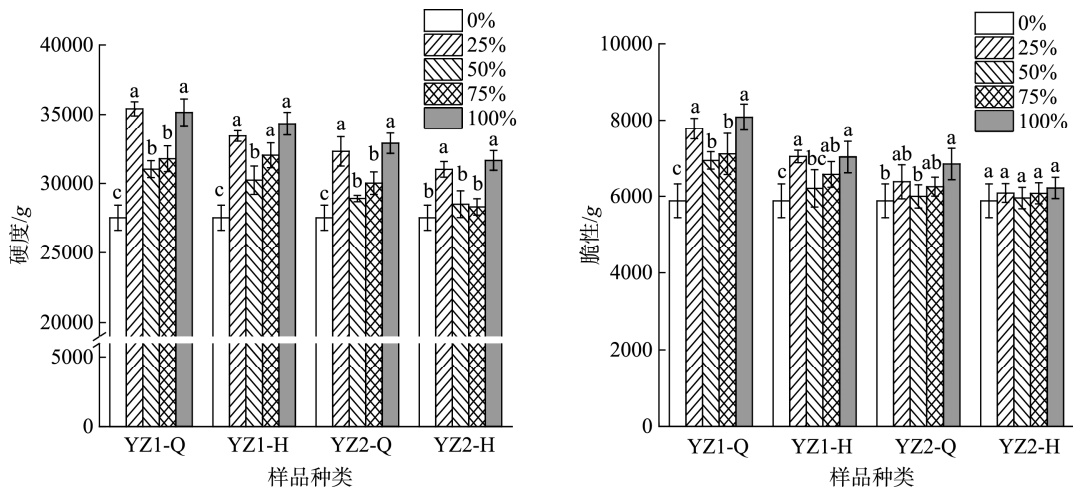


图2 不同比例彩麦全麦粉饼干质构分析
Fig.2 Analysis of biscuit texture of whole wheat flour with different proportions

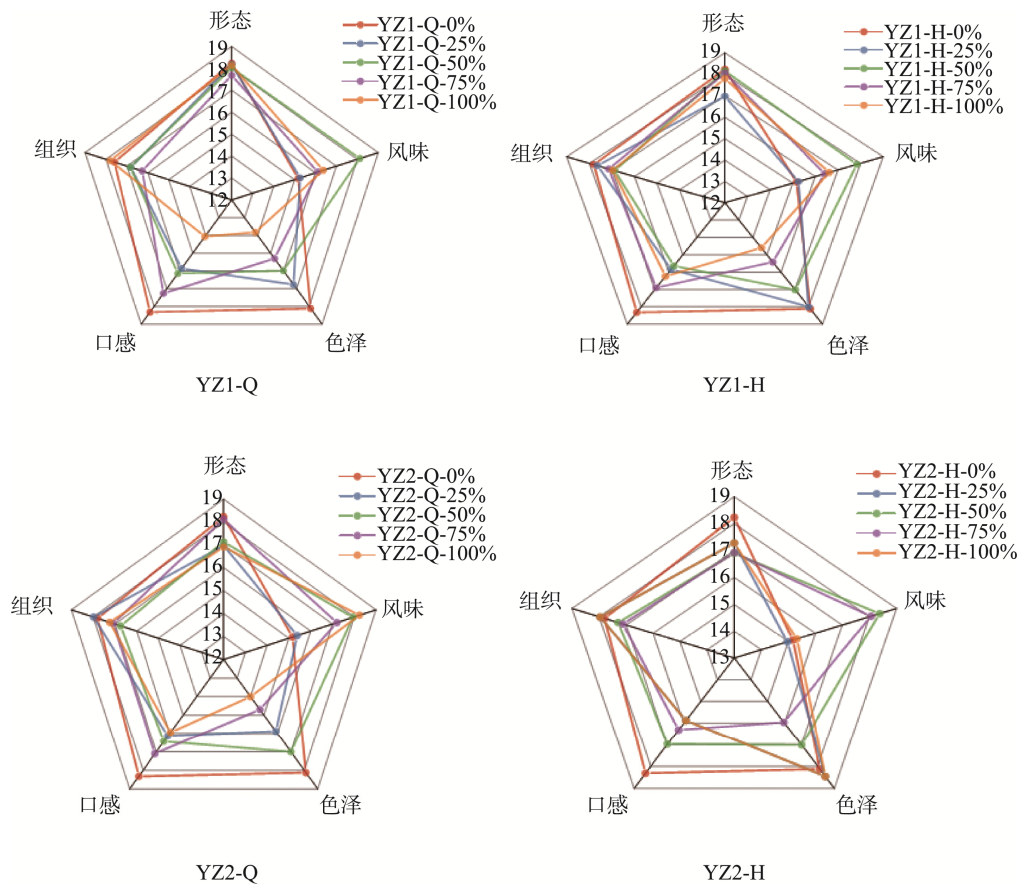


图3 不同比例彩麦全麦粉饼干感官雷达图
Fig.3 Sensory radar map of whole wheat flour biscuits in different proportions

2.2.4 不同比例彩麦全麦粉饼干电子鼻分析

由图 4 可知, 4 种彩麦全粉饼干电子鼻主成分分析(principal components analysis, PCA)图的两个主成分贡献值在 93%~97%, 对样品电子鼻主要信息代表性好。不同比例彩麦全粉饼干样品间数据点分布于不同区域、无交叉、无重叠, 说明各个样品相互独立且能进行较好的区分, 表明不同比例彩麦全麦粉饼干的风味物质区别较大, 彩麦全麦粉比例可改变饼干的香气成分含量^[29]。彩麦全麦粉占比

为 0% 时, 挥发性物质都处于较低水平, 随着彩麦全麦粉占比提升, 挥发性物质也有一定的提升。响应值反应挥发性物质浓度, 无挥发性物质时响应值为 1 或者接近 1, 挥发性物质浓度越高响应值越大^[30]。彩麦全麦粉占比为 100% 时, 在主成分 1 方向居于最右, 有优势; 在占比为 50% 时在主成分 2 方向居于最上。彩麦全麦粉占比为 75% 时, YZ1-Q、YZ1-H 饼干风味在主成分 1 方向有优势, 而 YZ1-Q、YZ1-H 饼干则在主成分 2 有优势。

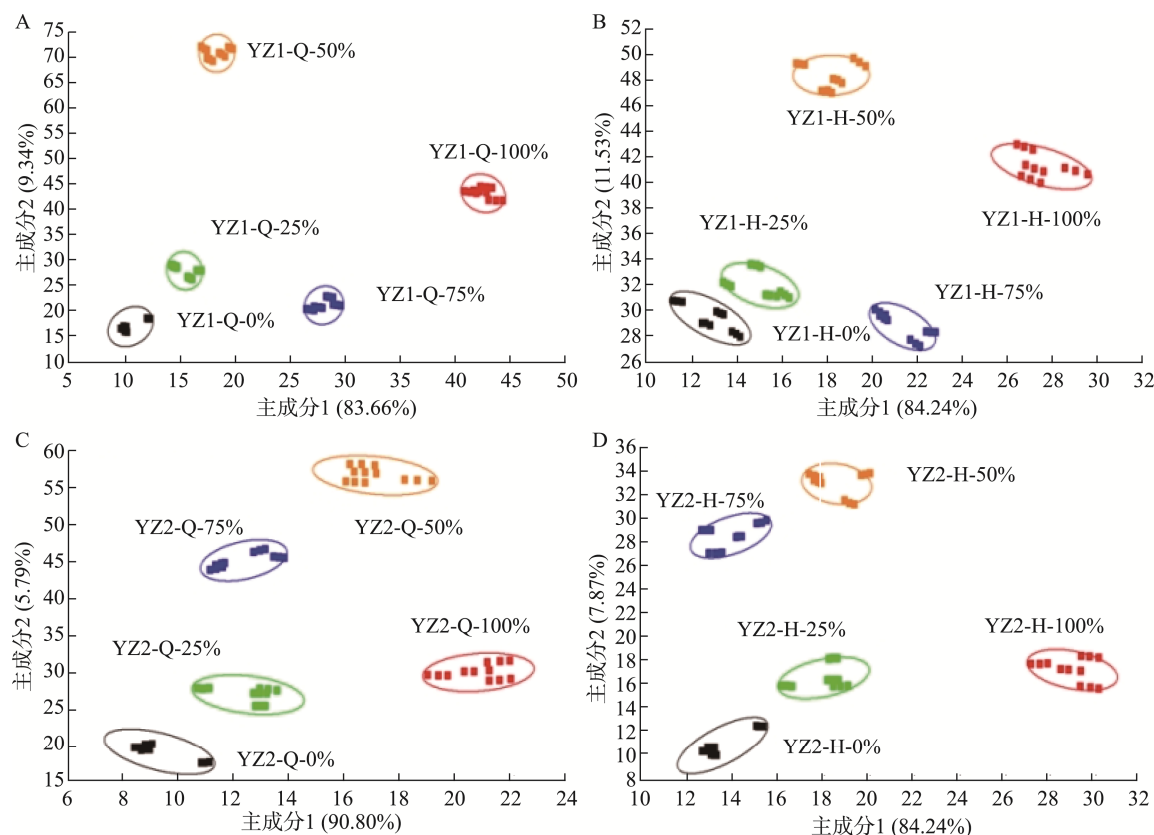


图4 不同比例彩麦全麦饼干电子鼻PCA图

Fig.4 PCA diagram of electronic nose of colored wheat whole wheat biscuits in different proportions

3 结 论

本研究通过全粉碎法与回添法制得彩麦全麦粉, 营养成分中蛋白质、淀粉、脂肪无显著变化, 灰分含量降低, 不溶性膳食纤维比例提高; 回添全麦粉中损伤淀粉降低, 湿面筋、GMP 含量, 蛋白组分、水溶性指数无显著变化; 糊化特性中回添全麦粉峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、回升值、衰减值得有所提升。

对不同比例彩麦全麦粉饼干品质进行分析。结果如下: 彩麦全麦粉比例在 50%、75% 质构表现较好; 彩麦全麦粉比例提升饼干色度中 L^* 下降明显; 电子鼻 PCA 分析彩麦全麦粉比例为 100% 时, 在主成分 1 上有良好表现, 比例为 50% 时, 在主成分 2 良好表现。

参考文献

- [1] 许凯. 彩色小麦保健型挂面研发[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2018.
XU K. Research and development of colored wheat health care noodles [D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2018.
- [2] IQBAL S, TIRPANALAN-STABEN Ö, FRANKE K. Modification of dietary fibers to valorize the by-products of cereal, fruit and vegetable industry-a review on treatment methods [J]. Plants, 2022, 11(24): 3466.
- [3] BORRELLI GM, MENGA V, GIOVANNIELLO V, et al. Antioxidants and phenolic acid composition of wholemeal and refined-flour, and related biscuits in old and modern cultivars belonging to three cereal species [J]. Foods, 2023, 12(13): 2551.
- [4] 李静. 全麦粉加工及稳定化研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2022, 29(3): 6-9.

- LI J. Progress in the processing and stabilization of whole wheat flour [J]. Food Food Ind, 2022, 29(3): 6–9.
- [5] 赵艳玲. 彩麦杂粮配方粉的研制及降糖、降脂减肥功效研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2023.
- ZHAO YL. Development of color wheat coarse grain formula powder and research on the efficacy of lowering sugar and fat and weight loss [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2023.
- [6] 郑静洁, 孙月, 侯汉学. 全麦粉和全麦食品研究进展[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(3): 219–224.
- ZHENG JJ, SUN Y, HOU HX. Progress in whole wheat flour and whole grain food [J]. Food Res Dev, 2024, 45(3): 219–224.
- [7] 刘慧琳, 王玉珍, 于新雨, 等. 青稞全谷及麸皮对饼干品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(9): 62–67.
- LIU HL, WANG YZ, YU XY, *et al.* Effect of highland barley whole grain and bran on biscuit quality [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(9): 62–67.
- [8] 熊菲洋. 适度剥皮对小麦粉营养及储藏稳定性影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023.
- XIONG FY. Study on the influence of moderate peeling on the nutrition and storage stability of wheat flour [D]. Yanglin: Northwest Agriculture & Forestry University, 2023.
- [9] 张文学. 彩麦全麦馒头和彩麦面条品质改良研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.
- ZHANG WX. Study on quality improvement of whole wheat steamed bread and color wheat noodles [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2013.
- [10] 岳媛媛, 刘效谦, 母梦羽, 等. 新收获小麦后熟过程中麦谷蛋白大聚体二级结构变化与面团流变学特性的关系研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2021, 42(5): 39–46.
- YUE YY, LIU XQ, MU MY, *et al.* Relationship between secondary structure changes of wheat gluten macromers and rheological properties of dough during after ripening of newly harvested wheat [J]. J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed), 2021, 42(5): 39–46.
- [11] 常道柯, 田潇波, 林顺顺, 等. 不同制粉方式对黑小麦全麦粉及饼干品质影响 [J]. 食品与发酵工业, 1–9. [2024-06-24]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.037969>
- CHANG XK, TIAN XL, LIN SS, *et al.* Impact of different pulverizing methods on the quality of whole wheat flour and biscuits of black wheat [J]. Food Ferment Ind, 1–9. [2024-06-24]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.037969>
- [12] 何四云. 甜杏仁粉对酥性饼干品质的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(10): 224–228.
- HE SY. Effect of sweet almond powder on the quality of crisp biscuits [J]. Food Technol, 2018, 43(10): 224–228.
- [13] 李梦琴, 赵龙珂, 程冰, 等. 圆苞车前子壳粉全麦酥性饼干研制及品质分析[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(21): 67–73.
- LI MQ, ZHAO LK, CHENG B, *et al.* Development and quality analysis of the whole wheat crisp biscuit [J]. Food Res Dev, 2022, 43(21): 67–73.
- [14] 邓婷, 党斌, 张文刚, 等. 青稞不同组分蛋白提取方法比较研究[J]. 农产品加工, 2022, (19): 51–57.
- DENG T, DANG B, ZHANG WG, *et al.* Comparative study on extraction methods of proteins from different components of highland barley [J]. Farm Prod Process, 2022, (19): 51–57.
- [15] DAN T, DANG B, ZHANG WG, *et al.* Comparative study on protein extraction methods of different components of highland barley [J]. Process Agric Prod, 2022(19): 51–57.
- [16] 张润, 舒逸凡, 陈贵杰, 等. 一种黑木耳多糖曲奇饼干的研制[J]. 食品工业, 2022, 43(5): 81–86.
- ZHANG R, SHU YF, CHEN GJ, *et al.* Development of a black fungus polysaccharide cookies cookies [J]. Food Ind, 2022, 43(5): 81–86.
- [17] 蔡文雅. 柔性剥皮对小麦籽粒及面粉品质的影响研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021.
- CAI WY. The effect of flexible peeling on wheat grain and flour quality [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2021.
- [18] 余静, 李水梅, 徐清宇, 等. 稻米蛋白组分提取与测定[J]. 农产品质量与安全, 2023(2): 10–14.
- YU J, LI SM, XU QY, *et al.* Extraction and determination of rice protein components [J]. Qual Saf Agric Prod, 2023(2): 10–14.
- [19] 郭意明, 丛爽, 邓惠馨, 等. 鱼糜和马铃薯粉对饼干质构和风味的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(20): 96–102.
- GUO YM, CONG S, DENG HX, *et al.* Effect of fish millet and potato powder on biscuit texture and flavor [J]. Food Sci, 2017, 38(20): 96–102.
- [20] 程冰, 李梦琴, 赵龙珂, 等. 马铃薯抗性淀粉对韧性饼干品质及消化性能的控制[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(12): 3746–3753.
- CHENG B, LI MQ, ZHAO LK, *et al.* Control of the quality and digestive performance of potato resistant starch [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(12): 3746–3753.
- [21] 吴海玉, 龚林玲, 杨万根. 猕猴桃皮膳食纤维胶体磨湿法改性工艺优化[J]. 食品与机械, 2020, 36(5): 182–186.
- WU HY, GONG LL, YANG WG. Optimization of the modification process of kiwi peel dietary fiber [J]. Food Mach, 2020, 36(5): 182–186.
- [22] 田晓红, 吴娜娜, 张维清, 等. 浸泡对稻米粉体应用品质的影响[J]. 中国食品学报, 2023, 23(1): 184–193.
- TIAN XH, WU NN, ZHANG WQ, *et al.* Effect of soaking on the applied quality of rice flour [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2023, 23(1): 184–193.
- [23] 邹恩坤. 剥皮对小麦面粉理化特性影响[J]. 粮食与食品工业, 2022, 29(6): 10–14.
- ZOU ENK. Effect of peeling on the physical and chemical properties of wheat flour [J]. Cere Food Ind, 2022, 29(6): 10–14.
- [24] 苏婷, 刘鸿飞, 李芳, 等. 综述小麦面团制造中麦谷蛋白大聚体的变化[J]. 中国食品学报, 2023, 23(4): 481–489.
- SU T, LIU HF, LI F, *et al.* Review the changes of wheat gluten macromers in wheat dough manufacturing [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2023, 23(4): 481–489.
- [25] 冯钰琳, 张慧娟, 王静. 膳食纤维和阿魏酸对面团醒发过程中麦谷蛋白大聚体聚集态的影响及其分子间相互作用[J]. 中国食品学报, 2023, 23(6): 92–102.
- FENG YL, ZHANG HJ, WANG J. Effect of dietary fiber and ferulic acid on the aggregation state of wheat gluten macromers during dough awakening and its intermolecular interactions [J]. J Chin Inst Food Sci

- Technol, 2023, 23(6): 92–102.
- [26] 高文川, 马猛, 王爱娜, 等. 不同品质类型小麦籽粒麦谷蛋白亚基及谷蛋白聚合体形成和累积动态[J]. 作物学报, 2010, 36(10): 1769–1776.
- GAO WC, MA M, WANG AIN, *et al.* Formation and cumulative dynamics of wheat gluten subunits and gluten aggregate in wheat grains of different quality types [J]. J Crop Sci, 2010, 36(10): 1769–1776.
- [27] 苏键, 李振玉. 几种不同来源淀粉的水合特性和糊化特性研究[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(8): 43–46.
- SU J, LI ZY. Hydration and gelatinization properties of several starch from different sources [J]. Cere Oils, 2022, 35(8): 43–46.
- [28] 李浩, 张浩, 赵城彬, 等. 纤维素和聚葡萄糖对玉米淀粉凝胶糊化及流变特性的影响[J]. 食品工业, 2018, 39(8): 59–64.
- LI H, ZHANG H, ZHANG CB, *et al.* Effect of cellulose and polyglucose on gelatinization and rheological properties of maize starch [J]. Food Ind, 2018, 39(8): 59–64.
- [29] 任顺成, 肖遥. 几种食源多酚对玉米淀粉理化特性的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2018, 39(4): 8–13.
- REN SC, XIAO Y. Effects of several food-derived polyphenols on the physicochemical properties of maize starch [J]. J Henan Univ Technol (Nat Sci Ed), 2018, 39(4): 8–13.
- [30] 江伟, 张晓, 刘大同, 等. 小麦品质性状相关性主成分分析[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(16): 43–48.
- JIANG W, ZHANG X, LIU DT, *et al.* Correlation of wheat quality traits and principal component analysis [J]. J iangsu Agric Sci, 2023, 51(16): 43–48.
- [31] 张静, 赵元元, 李小定, 等. 原料特性对曲奇饼干品质和丙烯酰胺生成的影响[J]. 现代食品科技, 2020, 36(6): 190–197.
- ZHANG J, ZHAO YY, LI XD, *et al.* Effect of raw material characteristics on cookies' dry quality and acrylamide production [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(6): 190–197.

(责任编辑: 韩晓红 蔡世佳)

作者简介



高恩红, 硕士, 主要研究方向为谷物精深加工。
E-mail: 973627469@qq.com



李梦琴, 教授, 主要研究方向为谷物化学与精深加工。
E-mail: lmqfood@163.com