

改性膳食纤维在面制品中的应用研究进展

Applications of modified dietary fibers in flour products

裴丽娜¹ 罗登林^{1,2} 李佩艳^{1,2} 岳崇慧^{1,2} 白周亚^{1,2}

PEI Lina¹ LUO Denglin^{1,2} LI Peiyan^{1,2} YUE Chonghui^{1,2} BAI Zhouya^{1,2}

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023;

2. 河南省食品原料工程技术研究中心, 河南 洛阳 471023)

(1. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China; 2. Henan Engineering Research Center of Food Material, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China)

摘要:面粉在精加工过程中会损失大量膳食纤维(DF),而 DF 被认为是健康饮食中的重要组成成分,具有多种生理活性。文章介绍了 DF 常见的改性方法,总结归纳了 DF 经改性后在理化性质和生理活性方面的变化规律及原因,综述了其在面团、饼干、面条、面包、馒头和蛋糕等方面的应用现状,并指出了目前存在的一些问题及今后的发展方向。

关键词:改性膳食纤维;理化性质;功能特性;面制品

Abstract: Flour loses a large amount of dietary fiber (DF) during precision processing, which is considered an important component of a healthy diet and has various physiological activities. This review introduces the common modification methods of DF and summarizes the change rules and reasons of physical and chemical properties and physiological activities of DF after modification. Additionally, the applications of DF in dough, biscuits, noodles, bread, steamed bread and cakes are discussed. The current issues and potential future development paths are also highlighted.

Keywords: modified dietary fiber; physicochemical properties; functional properties; flour products

膳食纤维(DF)又称“益生元”,被认为是健康饮食中不可缺少的重要组成成分,在预防心脑血管疾病、糖尿病、高血压和高血脂症等方面发挥着重要作用。根据世界卫生组织建议,每人每天 DF 的摄入量应在 25~35 g,

但实际上绝大多数国家(包括中国)都未达到甚至远低于这一水平,这与 DF 性质有着密切关系。天然 DF 的溶胀性、持水性、持油性、流变性、凝聚性等性能较差,严重阻碍了其在食品中的应用,因为即使少量添加也会导致产品口感粗糙、外观接受度差、品质显著劣变等突出问题^[1]。

通过对 DF 进行科学合理的改性,不仅能有效提高 DF 中可溶性膳食纤维(SDF)含量,还能明显改善其理化性质,提高其生理活性和健康效应,满足其在食品中的应用需求。面制品在其精加工过程中会损失大量 DF,若能以面制品为载体实现 DF 的大量应用,将有助于缓解人们饮食结构与健康之间的矛盾。文章拟重点介绍近年来国内外关于改性膳食纤维(MDF)的理化性质、功能特性及其在面制品中的应用现状,并对其今后发展方向进行展望,以期推动相关产业的发展。

1 MDF 的理化性质与功能特性

1.1 理化性质

衡量 MDF 理化性质的 3 个重要指标分别为持水力、持油力和膨胀力。通常这 3 项指标值越高,MDF 越易与食品中其他组分相结合,同时也意味着其生理活性可能越高^[2]。由表 1 可知,常见的 DF 改性方法包括物理法(高温高压法、超声法、超微粉碎法、挤压法、高速剪切法)、化学法(酸碱法)、生物法(酶法、发酵法)和联合法(物理—生物法)等。DF 经改性后表现出粒径减小,孔隙率和比表面积增大,在持水力、持油力和膨胀力方面均有显著增加。与化学法相比,物理法和生物法处理条件相对温和,污染少,能有效保留物料中原有的营养成分。改性后的 MDF 被广泛应用于油炸脆片、年糕、饼干、面包、面条和馒头中,既增加了产品的营养价值,还改善了产品品质。

基金项目:河南省重大科技专项计划(编号:201300110300);许昌学院“揭榜挂帅”课题(编号:2022JBGS03)

作者简介:裴丽娜,女,河南科技大学在读硕士研究生。

通信作者:罗登林(1976—),男,河南科技大学教授,博士。

E-mail:luodenglin@163.com

收稿日期:2023-07-05 **改回日期:**2023-11-22

表 1 改性方法对 DF 理化性质和功能特性的影响

Table 1 Effects of different modification methods on the physicochemical and functional properties of DF

原料	改性方法	结果	原因	优点	食品加工中的应用	文献
小米 SDF	高温高压、蒸煮、超声	与未改性的相比,经高温高压、蒸煮、超声改性处理后,小米 SDF 的持水力、持水力、持油力升高;超声改性后的效果最佳	高温高压处理后粒径减小,孔隙率增大,比表面积增大;超声使 SDF 的亲水基团暴露,水的结合点增多,水合面积增多	高温高压处理时间短,产品纯度高;蒸煮处理营养损失少,口感好;超声设备简单,成本低廉,操作简便	高纤维油炸脆片、年糕	[3]
山药皮	碱性过氧化氢处理	SDF 含量提高了 30% 左右;持水力、持油力和膨胀力升高	碱性处理后结构松散,比表面积增大,极性基团和氢键暴露	设备简单,成本低廉,操作简便	面条	[4]
竹笋	酶法、酶解和动态高压微流态化	SDF 含量提高了 60% 左右;持水力、持油力和膨胀力升高;酶解和动态高压微流态化处理后效果更佳	酶法处理后粒径减小,孔隙率增加,比表面积增大,酶解和动态高压微流态化联合处理后导致亲水亲油基团暴露,水合面积增大	酶处理条件温和,高速快效、无污染;联合改性可以使各种方法的优势最大化,多种方法结合起来效果更好	饼干	[5—6]
麸皮	发酵改性、挤压改性	SDF 含量可提高 20%~35%;吸附葡萄糖能力、吸附胆固醇能力和 DPPH 自由基清除能力提高;与挤压改性相比,发酵改性应用比较广泛	发酵改性和挤压改性处理后比表面积增大,表面结构疏松,极性基团与水形成更多的氢键	发酵改性可以显著增强其营养特性,成本不高,易于实现工业化;挤压改性可以提高 SDF 含量,使 DF 的功能特性得到改善	面条、面包和馒头	[7]
豆渣	高速剪切、复合酶解、高速剪切协同酶解	改性效果:高速剪切<复合酶解<高速剪切协同酶解;SDF 含量提高了 300%~600%;持水力、持油力和膨胀力升高	改性后粒径减小,表面结构疏松,比表面积变大,活性基团暴露	3 种改性方法均能有效增加豆渣中的可溶性组分含量;复合酶处理更能显著提高 SDF 含量	面条、馒头和面包	[8]
米糠	酸碱处理、发酵改性、酶法改性	SDF 含量提高了 600% 左右;吸附葡萄糖能力和吸附胆固醇能力提高,发酵改性后的效果最佳	酸碱处理结构松散,比表面积增大;发酵处理后多糖链断裂,暴露出更多官能团	酸碱处理设备简单,成本低廉,操作简便;发酵处理成本不高,易于实现工业化;酶处理条件温和,效率高,无污染	作为食品添加剂添加到食品中	[9—10]
刺梨渣	蒸汽爆破法、羧甲基化处理	SDF 含量提高了 200% 左右;膨胀力、持水力、持油力、吸湿性、阳离子交换力、亚硝酸盐吸附力和葡萄糖吸附力均显著增大	粒径变小,比表面积增大,暴露出更多的极性基团、糖醛酸基团	蒸汽爆破是一种物理—化学相结合的改性方法,绿色、低成本;羧甲基化处理可有效改善 DF 的生物活性	果酱和饮料	[11]
绿豆皮	挤出改性、酶解改性、挤出一酶解复合改性	膨胀力、持水力、持油力、葡萄糖吸附能力、胆固醇吸附能力和阳离子交换能力均提高	3 种改性方法处理后结构疏松,出现多孔性结构,比表面积增大,亲水亲油基团暴露,联合改性效果最佳	挤出一酶解复合改性使 DF 的功能特性得到显著改善	糕点和饼干	[12]

1.2 功能特性

DF 具有吸收胆固醇、清除自由基、与阳离子交换和抗氧化等功能。DF 经改性后 SDF 含量均有显著提高(10%~600%),而 SDF 含量是评价 DF 品质的重要指标,当其含量 $\geq 10\%$ 才被认为属于优质 DF。此外,改性后的 MDF 在吸附胆固醇、葡萄糖和亚硝酸盐等方面的能力均有明显提高,同时也表现出更强的自由基清除能力。

2 MDF 在面制品中的应用

2.1 面团

在面团中添加 MDF 能与面筋蛋白、淀粉和水分等组分发生相互作用,增强面筋网络的致密性和弹性,提高其保水能力和乳化性,进而改善面团的流变特性和加工性能。Jiang 等^[13]研究表明,改性魔芋粉具有改善质地,减少水分流动性,并能抑制贮藏过程中冷冻面团的劣变等特性。改性魔芋粉的添加则有助于增加冷冻面团中紧密结合水含量,减弱冷冻过程对面团网络结构的损伤^[14]。经酶法改性后的麦麸也具有增强面团的弹性和筋力的作用,可能归因于其增强了面团的乳化能力,提高了蛋白质、淀粉与水分间的水合作用,从而能获得更加均匀的面筋网络结构^[15]。将经超声改性后的红薯渣部分替代小麦粉应用于未发酵面团中,则有助于淀粉颗粒均匀地填充到面筋基质中,制得的面团连续性更好、网络结构更加致密^[16]。当在小麦粉中加入 10% 的经发酵改性后的麦麸时,发酵面团中总酚、阿拉伯木聚糖和水溶性膳食纤维含量均显著提高,可能与麦麸在发酵改性过程中酵母代谢产生的解聚酶有关,因为这些酶能破坏酚酸(阿魏酸等)与阿拉伯木聚糖相结合的酯键^[17]。而经挤压改性后的麦麸(添加量 6%)则能改善高筋粉面团的形成时间、稳定时间、拉伸阻力和拉伸比数等指标^[18]。

2.2 饼干

2.2.1 酥性饼干 酥性饼干是以低筋面粉为主要原料烘烤而成的,口感酥脆,深受消费者青睐。改性后的 MDF 由于具有疏松多孔的结构,能改善酥性饼干的脆性;此外,MDF 中含有的不溶性膳食纤维则可在一定程度上阻碍和面过程中面筋蛋白的形成,有利于获得蓬松的质地。研究发现,经高温蒸煮改性的蕨菜膳食纤维能改善酥性饼干的松脆性,因为改性蕨菜 DF 的加入弱化了面筋网络结构的强度,使得饼干更加酥脆^[19];而经微流态化改性的亚麻籽粉则有助于改善酥性饼干的持油性、持水力、膨胀力和营养价值,可能归因于改性后的亚麻籽粉粒径变小,表面积增大,有利于酚类物质的释放^[20]。当用酶法改性的银杏壳部分替代小麦粉(9%)时,能使酥性饼干的脆性增加,感官品质和总体接受度均较高,但当 MDF 添加量超过 10% 时,饼干口感变差,感官品质下降^[21]。因此,在实际应用中需注意 MDF 的添加量。

2.2.2 韧性饼干 韧性饼干以高筋面粉为主要原料烘烤而成,其表面光滑,耐咀嚼,外形美观。经改性后的 MDF 由于具有更好的亲水性和亲油性,有助于和面过程中蛋白质、淀粉、油脂与水分的水合过程,即形成的面团具有更好的均一性网络结构,制得的韧性饼干脆性更好。韩冉等^[22]将经超声改性后的奇亚籽粕可溶性膳食纤维添加至小麦粉中制作成韧性饼干,当添加量为 3.2% 时,饼干具有良好的持水性和持油性,网络结构更加致密,硬度和脆度增加,饼干的品质最佳。蒸汽爆破改性的菠萝皮渣 DF 则能增加面团的流变性能,表现出弹性流体特性,饼干的硬度、脆性和咀嚼性均有所提高,总体接受度也较好^[23]。而经发酵改性的脱脂米糠 SDF 能增加韧性饼干的咀嚼性,降低餐后血糖水平,延长产品货架期,可能归因于改性脱脂米糠 SDF 能降低饼干烘烤过程中的水分损失^[24]。总的来说,将 MDF 添加到韧性饼干中,能改善其咀嚼性和脆度,提高饼干的营养价值和口感,且总体接受度较好。

2.3 面条

面条通常是用中筋面粉制得的一种非发酵面制品,是一种传统主食。虽然市场上面条的种类繁多,但真正富含膳食纤维的面条较少,是因为常见 DF 的添加会导致面条的弹性和耐煮性下降,口感粗糙,消费者接受程度低。但通过对 DF 进行改性后再添加到面条中,则可很好地解决这一矛盾。当在面粉中添加 5% 经发酵改性的麦麸后,面团的水分活度降低,热稳定性增加,峰值黏度和最终黏度增加,面条的质地优于未添加的,且淀粉消化速率变慢,这有利于稳定餐后血糖水平^[25]。即使添加较高发酵改性豆渣(10%),所制得的面条仍外表光滑,色泽和口感良好^[26]。发酵改性后的麦麸还能降低面条的硬度和蒸煮损失,增加耐咀嚼性,这与改性麦麸与面筋蛋白的结合有关^[27]。此外,经酶解和超声联合改性后的青稞膳食纤维能提高面条的吸水率,降低蒸煮损失率和硬度,口感良好,且不易断裂,是因为蒸煮过程中,改性青稞膳食纤维与糊化的淀粉发生相互作用,提高了淀粉分子链间的交联程度,改善了面条的结构特性^[28]。

2.4 面包

面包是用高筋面粉制得的一种发酵面制品,由于要求面团的弹性和延伸性好,因此通常对所使用的高筋面粉的要求精度更高,这会导致麦麸的损失更大,因此更易缺乏 DF,显著降低了面包的营养价值。显然,许多 DF 的添加会破坏面筋网络结构,导致很难获得松软、连续、致密的面包瓤结构。Li 等^[29-30]发现在高筋粉中添加酶解—高压湿热改性的小麦麸皮可提高面包体积和可消化淀粉含量,改善其质地和消化特性。在面团中加入经微波和超声联合改性的柚子皮则可使面包的孔洞数量更加

丰富,结构更加稳定,还能赋予面包更长久的货架期、特殊的香气、更好的口感和更高的接受程度,这可能是面包烘焙过程中产生更多的美拉德反应产物,从而赋予面包良好的外观色泽和风味^[31]。与改性前相比,经发酵改性后的麦麸可以强化面筋蛋白的网络结构,增强面团的持气能力,从而增加面包的比体积、气孔密度和弹性,在一定程度上改善面包品质^[32]。Yao 等^[33]研究表明,添加超声改性的杏核皮有助于改善面包的纹理特性和保质期,这归因于超声改性后的杏核皮微粒变得均匀细腻,比表面积增大,质地分布更加均匀,具有较高的保湿能力,从而延缓了面包的老化。

2.5 馒头

馒头主要由中筋面粉、酵母和水通过发酵蒸制而成,是一种传统的发酵面制品。DF 的添加会导致面团的拉伸阻力降低,硬度和黏着性明显升高,发酵受阻,持气能力和膨胀度下降,生产出的馒头比容减小、硬度增加、弹性下降、颜色变暗、口感粗糙、咀嚼性差等明显缺陷,而改性后的 MDF 则能减弱这些不良影响甚至还能改善产品品质,使馒头质地柔软有弹性,保水性增加,延缓贮藏过程中的老化进程。研究^[34-35]显示,当用挤压改性的紫薯粉部分替代面粉时,所制得的馒头比容增大,硬度减小,咀嚼性增加;与未改性组相比,改性的紫薯粉馒头总酚含量和抗氧化活性显著提高。此外,改性紫薯粉的加入可以减缓馒头在贮藏过程中硬度增加速率,具有延长馒头货架期的作用。与未改性的麦麸相比,经酶法联合挤压改性后的麦麸能使馒头的气孔细小均匀、体积增大、保水性好且能延缓淀粉的糊化。一方面可能是因为麦麸经改性处理后,增加了阿拉伯木聚糖含量,强化了面筋网状结构;另一方面,经改性处理形成的酸性环境可以软化麦麸,减弱麦麸对面筋蛋白的破坏作用,制得的馒头体积大,组织结构更加细腻^[36]。

2.6 蛋糕

蛋糕是由低筋小麦粉、鸡蛋、糖、油脂、牛奶等原料混合成面糊经烘烤而成,具有质地柔软、致密多孔的海绵状结构,但富含蛋白质、油脂、糖等成分,不符合人们对健康食品的诉求。传统的 DF 具有颗粒粒径大、水溶性差等缺点,若用来取代蛋糕中部分油脂或糖则会导致在面糊搅打过程中破坏蛋白网络结构,难以形成均匀的乳化体系,使蛋糕口感粗糙、组织松散。而经改性后的 MDF 由于在持水力、持油力和膨胀力等方面均有显著提高,且颗粒粒径变小,因此非常适合于取代油脂或糖类原料,以达到降低能量和赋予产品高 DF 含量的目的。研究发现,经羧甲基化、羟丙基化和双酶水解联合改性的椰子粉不仅能提高蛋糕的保水性、乳液稳定性、总酚和水溶性膳食纤维含量,还能增强蛋糕的持油能力和对胆固醇、亚硝酸盐离子

的吸附能力,适合制作低能量和降胆固醇的食品^[37];而经挤压改性的麒麟菜粉可改善蛋糕的颜色和质地,显著提高其 DF 含量,降低能量^[38]。此外,经发酵改性的黑加仑果渣能使蛋糕的质地更加细腻,赋予蛋糕特殊的香气和更好的质地与口感^[39],添加 10% 的改性大豆 DF 则能提高蛋糕糊的泡沫稳定性和保水性,提升蛋糕的品质和延长其货架期,这归因于改性大豆 DF 能增强蛋糕的保湿能力^[40]。

3 结论与展望

面制品作为中国主食之一,由于精加工技术导致大量膳食纤维流失,而当前提出的适度加工技术并不能完全解决这方面存在的问题,探索如何在保证面制品加工性能和品质的前提下,提高其膳食纤维含量是当前面临的难题。中国作为粮食作物和果蔬生产大国,每年有大量富含膳食纤维的副产品不能得到有效利用,究其原因主要是其食品加工性能差,产品附加值不高,应用领域十分有限。因此,对膳食纤维进行科学合理的改性,使其大量适用于面制品行业中,这对提高主食的营养健康水平具有十分重要的意义。建议未来需要重点在以下方面对改性膳食纤维展开研究:① 科学高效的改性方法,由于膳食纤维的来源和种类不同,导致其单糖组成、分子构型、相对分子质量、可溶性膳食纤维含量和食品加工性能等差异性巨大,针对不同膳食纤维的结构特点和应用对象确定科学、经济和高效的改性方法是一项挑战;② 改性膳食纤维对面团加工性能和面制品品质的影响规律,由于制作面制品的原料面粉包括低筋、中筋和高筋 3 种,制作面团工艺分为发酵、非发酵,面制品加工方法包括蒸煮、焙烤、油炸等,而改性膳食纤维种类繁多,因此,需要深入了解不同改性方法的改性膳食纤维在各种面制品加工中的性能表现和影响强弱,建立改性方法—改性膳食纤维性质—面团加工性能—面制品品质间的关联,为具体实际生产提供更具针对性的科学决策依据;③ 改性膳食纤维与面制品中主要组分间的互作关系及其健康效应,经改性后的改性膳食纤维由于亲水性和亲油性均发生了显著变化,其与面团中蛋白质、淀粉和水分间的作用会随之而发生改变,同时也会影响改性膳食纤维的消化吸收和代谢途径,目前这方面的研究较少,需要更深入的探究。

参考文献

- [1] GUO Y T, LIU W, WU B G, et al. Modification of garlic skin dietary fiber with twin-screw extrusion process and in vivo evaluation of Pb binding[J]. Food Chemistry, 2018, 268: 550-557.
- [2] MA Q, MA Z, WANG W, et al. The effects of enzymatic modification on the functional ingredient: Dietary fiber extracted from potato residue [J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 153: 112511.

- [3] 魏春红, 曾明霞, 武云娇, 等. 物理改性处理对小米水溶性膳食纤维理化性质及结构的影响[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(5): 56-62.
WEI C H, ZENG M X, WU Y J, et al. Effect of physical modification treatment on the physicochemical properties and structure of water-soluble dietary fiber of millet[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(5): 56-62.
- [4] WANG H, LIU S, ZHOU X, et al. Treatment with hydrogen peroxide improves the physicochemical properties of dietary fibres from Chinese yam peel[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(3): 1 289-1 297.
- [5] LUO X, WANG Q, FANG D, et al. Modification of insoluble dietary fibers from bamboo shoot shell: Structural characterization and functional properties [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 120: 1 461-1 467.
- [6] WANG C H, MA Y L, ZHU D Y, et al. Physicochemical and functional properties of dietary fiber from Bamboo Shoots (*Phyllostachys praecox*) [J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2017, 29(7): 509-517.
- [7] LI Y, NIU L, GUO Q, et al. Effects of fermentation with lactic bacteria on the structural characteristics and physicochemical and functional properties of soluble dietary fiber from prosomillet bran [J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 154: 112609.
- [8] 尹立晨, 童群义. 改性豆渣膳食纤维的理化性质、结构及其益生活性研究[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(3): 141-148.
YIN L C, TONG Q Y. Physicochemical properties, structure and prebiotic activity of modified okara dietary fiber [J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(3): 141-148.
- [9] ZHU Y, HE C, FAN H, et al. Modification of foxtail millet (*Setaria italica*) bran dietary fiber by xylanase-catalyzed hydrolysis improves its cholesterol-binding capacity [J]. LWT, 2019, 101: 463-468.
- [10] CHU J, ZHAO H, LU Z, et al. Improved physicochemical and functional properties of dietary fiber from millet bran fermented by *Bacillus natto*[J]. Food Chemistry, 2019, 294: 79-86.
- [11] 苏靖程, 李晗, 范方宇, 等. 无籽刺梨渣膳食纤维的羧甲基化改性及性质[J]. 食品工业科技, 2022, 43(14): 34-42.
SU J C, LI H, FAN F Y, et al. Carboxymethylation modification and properties of dietary fiber from seedless prickly pear pomace [J]. Food Industry Technology, 2022, 43(14): 34-42.
- [12] 刘鸿铖, 樊红秀, 赵鑫, 等. 改性处理对绿豆皮膳食纤维结构及功能特性的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(9): 82-91.
LIU H C, FAN H X, ZHAO X, et al. Effect of modification treatment on the structure and functional properties of dietary fiber of mung bean peel[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(9): 82-91.
- [13] JIANG Y, ZHAO Y, ZHU Y, et al. Effect of dietary fiber-rich fractions on texture, thermal, water distribution, and gluten properties of frozen dough during storage [J]. Food Chemistry, 2019, 297: 124902.
- [14] HE Y, GUO J, REN G, et al. Effects of konjac glucomannan on the water distribution of frozen dough and corresponding steamed bread quality[J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127243.
- [15] 郭艳艳, 李华, 朱宣宣, 等. 酶法改性麦麸及其对面粉质特性和面团拉伸特性的影响[J]. 轻工学报, 2022, 37(3): 43-49, 57.
GUO Y Y, LI H, ZHU X X, et al. Enzymatic modification of wheat bran and its effect on flour quality characteristics and dough tensile properties[J]. Journal of Light Industry, 2022, 37(3): 43-49, 57.
- [16] ZHANG M, SUO W, DENG Y, et al. Effect of ultrasound-assisted dough fermentation on the quality of dough and steamed bread with 50% sweet potato pulp[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2022, 82: 105912.
- [17] 雷雅男, 谢东东, 谢岩黎, 等. 麦麸改性后营养成分变化及对发酵面团品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2020, 41(2): 50-57.
LEI Y N, XIE D D, XIE Y L, et al. Changes in nutrient composition of modified wheat bran and its effect on the quality of fermented dough[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 41(2): 50-57.
- [18] 陶春生, 陈存社, 王克俭, 等. 挤压改性麦麸膳食纤维对面条品质的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(9): 132-136.
TAO C S, CHEN C S, WANG K J, et al. Effect of extruded modified wheat bran dietary fiber on noodle quality [J]. Food Technology, 2017, 42(9): 132-136.
- [19] 李曼, 雷霞, 陶丽芬, 等. 改性蕨菜膳食纤维对面团质构及酥性饼干品质的影响[J]. 农产品加工, 2017(17): 1-4, 10.
LI M, LEI X, TAO L F, et al. Effect of modified fern dietary fiber on dough texture and quality of crisp cookies [J]. Agricultural Products Processing, 2017(17): 1-4, 10.
- [20] KARAKURT G, ÖZKAYA B, SAKA I, et al. Chemical composition and quality characteristics of cookies enriched with microfluidized flaxseed flour [J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 154: 112773.
- [21] 李梦梦. 改性银杏壳膳食纤维的理化性质与应用研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2016: 41-46.
LI M M. Physicochemical properties and applications of modified ginkgo shell dietary fiber [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2016: 41-46.
- [22] 韩冉, 余倩倩, 孔宇, 等. 改性奇亚籽粕可溶性膳食纤维对韧性饼干品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(9): 131-137.
HAN R, YU Q Q, KONG Y, et al. Effect of modified chia seed meal soluble dietary fiber on the quality of tough cookies[J]. Food Research and Development, 2021, 42(9): 131-137.
- [23] 林丽静, 姜永超, 龚霄, 等. 改性菠萝皮渣膳食纤维添加对饼干品质的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(2): 135-138.
LIN L J, JIANG Y C, GONG X, et al. Effect of modified pineapple peel residue dietary fiber addition on cookie quality [J]. Food

- Industry, 2021, 42(2): 135-138.
- [24] JIA M, YU Q, CHEN J, et al. Physical quality and in vitro starch digestibility of biscuits as affected by addition of soluble dietary fiber from defatted rice bran [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 99: 105349.
- [25] 赵云蛟, 张巍毅, 李乐铨, 等. 固体发酵麦麸对小麦粉和面条品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(22): 45-52.
- ZHAO Y J, ZHANG W Y, LI L C, et al. Effect of solid fermented wheat bran on the quality of wheat flour and noodles[J]. Food Science, 2021, 42(22): 45-52.
- [26] 黄现青, 郭沛强, 赵秋艳, 等. 发酵豆渣对面团性质和面条品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2019, 53(6): 959-965.
- HUANG X Q, GUO P Q, ZHAO Q Y, et al. Effect of fermented soybean residue on dough properties and noodle quality[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2019, 53(6): 959-965.
- [27] FAN L, LI L, XU A, et al. Impact of fermented wheat bran dietary fiber addition on dough rheological properties and noodles quality [J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 1 423.
- [28] 王彪. 青稞膳食纤维的改性及其应用研究[D]. 安徽: 安徽工程大学, 2019: 42-43.
- WANG B. Study on the modification of dietary fiber of barley and its application[D]. Anhui: Anhui University of Engineering, 2019: 42-43.
- [29] LI D, ZHAO Y, FEI T, et al. Effects of streptococcus thermophilus GtfB enzyme on dough rheology, bread quality and starch digestibility[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 96: 134-139.
- [30] 肖志刚, 李芮芷, 罗志刚, 等. 添加改性麸皮对含麸皮面包结构及消化特性的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(6): 39-45.
- XIAO Z G, LI R Z, LUO Z G, et al. Effect of adding modified bran on the structure and digestive characteristics of bread containing bran[J]. Food Science, 2021, 42(6): 39-45.
- [31] 甘佳攀. 微波联合改性制备柚子皮可溶性膳食纤维及其添加对面包品质的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2021: 34-40.
- GAN J P. Preparation of soluble dietary fiber from grapefruit peel by combined microwave modification and the effect of its addition on the quality of bread[D]. Nanchang: Nanchang University, 2021: 34-40.
- [32] 张逢温, 杨文丹, 张宾乐, 等. 发酵麦麸对面包膳食纤维组成及烘焙特性的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 1-6.
- ZHANG F W, YANG W D, ZHANG B L, et al. Effect of fermented wheat bran on dietary fiber composition and baking characteristics of bread[J]. Food Industry Technology, 2019, 40(5): 1-6.
- [33] YAO J L, ZHANG Q A, LIU M J, et al. Utilization of apricot kernel skins by ultrasonic treatment of the dough to produce a bread with better flavor and good shelf life[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 145: 111545.
- [34] LIU X, YANG L, ZHAO S, et al. Characterization of the dough rheological and steamed bread fortified with extruded purple sweet potato flour[J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23 (1): 765-776.
- [35] ZHU F, SUN J. Physicochemical and sensory properties of steamed bread fortified with purple sweet potato flour[J]. Food Bioscience, 2019, 30: 100411.
- [36] 王太军. 麸皮乳酸菌发酵改性及其在馒头中的应用[D]. 郑州: 河南工业大学, 2017: 36-40.
- WANG T J. Modification of bran lactic acid bacteria fermentation and its application in steamed buns [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2017: 36-40.
- [37] ZHENG Y, TIAN H, LI Y, et al. Effects of carboxymethylation, hydroxypropylation and dual enzyme hydrolysis combination with heating on physicochemical and functional properties and antioxidant activity of coconut cake dietary fibre [J]. Food Chemistry, 2021, 336: 127688.
- [38] HUANG M, YANG H. Eucheuma powder as a partial flour replacement and its effect on the properties of sponge cake[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 110: 262-268.
- [39] DIEZ-SANCHEZ E, LLORCA E, TARREGA A, et al. Changing chemical leavening to improve the structural, textural and sensory properties of functional cakes with blackcurrant pomace[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 127: 109378.
- [40] 魏楠, 赵世航. 大豆膳食纤维改性及在烘焙食品中的应用研究[J]. 现代食品, 2022, 28(1): 32-34.
- WEI N, ZHAO S H. Soybean dietary fiber modification and application in baked goods[J]. Modern Food, 2022, 28(1): 32-34.

(上接第 103 页)

- [20] 赵镭, 刘文, 汪厚银. 食品感官评价指标体系建立的一般原则与方法[J]. 中国食品学报, 2008(3): 121-124.
- ZHAO L, LIU W, WANG H Y. General guidance and methods for establishing index system of food sensory evaluation[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2008(3): 121-124.
- [21] HU S Y, HU M J, ZHANG W Y. Design and experiment of flexible clamping device for pepper plug seedlings [J]. Advances in Mechanical Engineering, 2022, 14(6): 2-6.
- [22] ZHANG Y H, XU D F, LI J J, et al. Mechanical properties and clamping behaviors of snow crab claw [J]. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 2021, 124: 3-5.
- [23] 万鹏, 郭三琴, 杨俊, 等. 淡水鱼水平往复振动头尾定向输送方法[J]. 农业工程学报, 2021, 37(4): 40-48.
- WAN P, GUO S Q, YANG J, et al. Horizontal reciprocating vibration method for head-to-tail directional transportation of fresh water fish[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2021, 37(4): 40-48.
- [24] 胡中伟, 张璧. 生物软组织切割过程建模[J]. 中国机械工程, 2011, 22(17): 2 043-2 047.
- HU Z W, ZHANG B. Modeling of soft tissue cutting process[J]. China Mechanical Engineering, 2011, 22(17): 2 043-2 047.