

山药对蒸煮、焙烤面制品品质的影响研究进展

李翠翠^{1,2}, 贾笑莉^{1,2}, 贾梦怡², 吴姿燕², 马艳莉², 吴史博^{3*}

(1. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 郑州 450002; 2. 南阳理工学院张仲景康养与食品学院, 南阳 473000;
3. 南阳市产品质量检验检测中心, 南阳 473000)

摘 要: 山药是一种常见的药食同源植物, 其含有大量多糖、皂苷、黄酮等活性成分, 具有提高免疫力、抗氧化、抗肿瘤、降血糖、降血脂等功效。随着人们对健康、营养食品的迫切需求, 山药在面制品中的应用越来越广泛, 已开发了山药挂面、山药饼干、山药面包等多种面制品。诸多研究表明, 山药加入面制品后会改变面团的结构和特性, 影响蛋白质、淀粉等化学组分之间的相互作用, 致使面制品的感官品质、营养成分、质构特性等发生变化, 而目前尚未见有关山药对蒸煮、焙烤面制品品质影响的系统论述。因此, 本文从山药对面团品质的影响入手, 系统综述了山药对蒸煮类面制品(如面条、馒头)、焙烤类面制品(如面包、饼干)品质的影响, 以期对山药资源的开发和利用、山药面制品的深度研究提供理论参考。

关键词: 山药; 面团; 面制品; 蒸煮; 焙烤; 品质影响

Research progress on the effect of yam on the quality of cooking and baking flour products

LI Cui-Cui^{1,2}, JIA Xiao-Li^{1,2}, JIA Meng-Yi², WU Zi-Yan², MA Yan-Li², WU Shi-Bo^{3*}

(1. School of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China;
2. Zhang Zhongjing School of Health and Food, Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473000, China;
3. Nanyang Product Quality Inspection and Testing Center, Nanyang 473000, China)

ABSTRACT: Yam is a common medicinal and edible plant. It contains a large number of polysaccharides, saponins, flavonoids and other active ingredients, and has the effects of improving immunity, anti-oxidation, anti-tumor, lowering blood sugar, blood lipids and so on. With the urgent demand for healthy and nutritious food from people, yam has become increasingly widely used in flour products. Various flour products such as yam noodles, yam biscuits, and yam bread have been developed. Many studies had shown that adding yam into flour products could alter the structure and properties of the dough, affected the interactions among protein, starch and other chemical components, resulted in changes in the sensory qualities, nutritional compositions, and texture characteristics of the flour products. However, there is currently no systematic discussion on the effect of yam on the qualities of cooking and baking flour products. Therefore, starting from the influence of yam on the qualities of dough, this paper systematically summarized the influence of yam on the qualities of cooking flour products (such as noodles, steamed bread) and baking flour products (such as bread, biscuits), with a view to providing theoretical reference for the

基金项目: 河南省高等教育重点科研项目(23A550017)、河南省科技攻关项目(212102110330)、南阳市协同创新重大专项(21XTCX12005)

Fund: Supported by the Key Research Project of Higher Education in Henan Province (23A550017), the Henan Province Science and Technology Research Project (212102110330), and the Nanyang City Collaborative Innovation Major (21XTCX12005)

*通信作者: 吴史博, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为农产品加工与检测。E-mail: 93618001@qq.com

*Corresponding author: WU Shi-Bo, Master, Senior Engineer, Nanyang Product Quality Inspection and Testing Center, Middle Section of Funiu Road, Wancheng District, Nanyang 473000, China. E-mail: 93618001@qq.com

development and utilization of yam resources and the in-depth research of yam flour products.

KEY WORDS: yam; dough; flour products; cooking; baking; impact of quality

0 引言

山药属于薯蓣科 1 年生或多年生缠绕性草本植物^[1], 其在我国栽培历史悠久, 种植范围广泛。根据我国著名医书《神农本草经》的记载, 山药入脾、肺、肾经, 能补脾养胃、生津益肺、补肾益精, 对于脾虚食少、久泻不止、肺虚喘咳、肾虚尿频和虚热消渴等症有较好的疗效^[2]。当代医学研究发现, 山药含有丰富的淀粉、蛋白质、膳食纤维、脂肪酸、微量元素等化学组分, 以及具有提高免疫力^[3]、抗氧化^[4]、抗肿瘤^[5]、降血糖^[6]、降血脂^[7]等功效的多糖、皂苷、黄酮等功能成分^[8], 是一种极具价值的药食两用植物。

目前, 对山药资源加以利用的主要形式有山药浆、山药全粉、山药淀粉、山药多糖等。研究表明, 经干燥、切片、粉碎得到的山药粉可部分取代淀粉质原料来加工食品, 山药淀粉具有良好的胶凝性和热稳定性^[9]。山药多糖通常含有葡萄糖、甘露糖、鼠李糖、木糖、核糖、阿拉伯糖等 7 种单糖和葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸两种糖醛酸, 但各单糖的含量和多糖化学结构因山药品种、生长环境、提取、纯化条件的不同而略有差异^[10]。

小麦是世界上最重要的粮食作物之一, 在全球范围内, 30%以上的人口将小麦作为主粮。我国是世界上最重要的小麦主产国之一, 2022 年, 我国小麦产量高达 1.38 亿 t, 占世界总产量的 18%^[11]。以小麦为主要原料加工的蒸煮面制品和焙烤面制品一直深受人们的喜爱, 前者通常指以小麦粉为主要原料, 通过蒸、煮等较低温度(100~200℃)的烹饪方式熟制而成, 如面条、馒头、饺子等^[12]; 后者通常是以小麦粉为基本原料, 通过焙烤加工工艺定型和熟制而成, 如饼干、面包等^[13]。近年来, 为了赋予这些面制品更高的营养价值, 人们试图将山药加入面粉并加工成面制品, 这使面制品的风味、质构发生改变, 但对面制品品质的变化规律和影响因素尚缺乏系统论述。因此, 本文综述了近年来国内外文献报道的山药对蒸煮、焙烤面制品品质影响的相关研究, 为山药在面团、面制品中的应用提供理论参考, 也为山药资源的开发利用提供思路。

1 山药对面团品质的影响

面制品的质量高低主要取决于面团品质的好坏, 而后者主要受面筋蛋白(由麦谷蛋白和麦醇溶蛋白构成)、淀粉等组分的影响。研究表明, 面筋蛋白具有独特的黏弹性、起泡性和持水性, 对面团的弹性、延展性起决定性作用, 以发酵的面团为例, 面粉中的麦谷蛋白和麦醇溶蛋白吸水膨胀, 面筋蛋白体积增大, 分散空间减少, 蛋白粒子接触

并形成三维面筋网络, 将淀粉颗粒包裹其中, 最终形成面团(图 1)^[14]。山药富含多糖、可溶性膳食纤维等组分, 带有大量亲水性基团, 将其加入面团中, 势必会影响面筋蛋白的网络结构, 山药淀粉等成分也会改变原体系中淀粉和蛋白质的比例, 进而改变面团的加工品质。

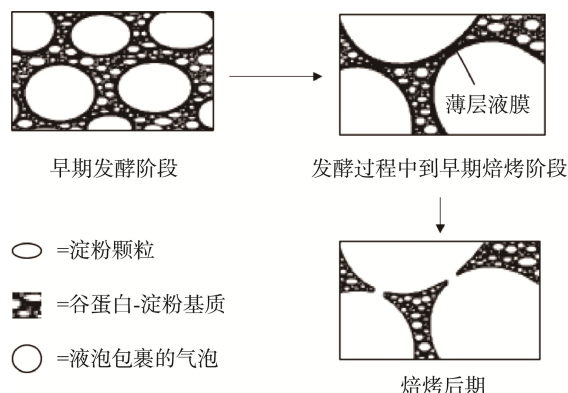


图1 面团发酵过程的内部结构

Fig.1 Internal structure of dough fermentation process

一方面, 添加山药可降低面团中面筋蛋白的百分含量, 阻碍面筋网络的形成^[15-16]。通常, 面团中面筋蛋白结构的变化可用 α -螺旋和 β -折叠来表征, 根据 LI 等^[17]的研究, 随着山药粉含量(0%~25%)的增加, 面包面团的网络结构逐渐被破坏, 面筋蛋白中 α -螺旋和 β -折叠的含量降低。

另一方面, 山药可改变面团的流变学特性, 但对不同面团体系的影响略有差异。如在韧性饼干面团中添加山药粉, 随着山药粉含量(0%~50%)的增大, 面团的形成时间、稳定时间和衰减值呈先增加后降低的趋势, 面团的弱化度不断降低^[18], 这可能是由于山药粉中含有 70%左右的淀粉和 10%左右的蛋白质, 山药淀粉和蛋白质中的极性基团可通过氢键、物理作用结合体系中的水分, 提高吸水率、面团形成时间和弹性, 然而, 过高含量(>40%)的山药粉也会与面粉竞争水分, 使面团结构遭到破坏, 导致面团的形成时间、衰减值等指标下降; 对面包面团而言, 随着山药粉含量(0%~25%)的增加, 面团的吸水率显著增加, 形成时间和稳定时间显著下降^[17], 说明添加了无面筋的山药粉, 降低了面团中的面筋含量和面筋网络强度。笔者分析认为, 饼干面团是以低筋小麦粉为原料, 蛋白质含量一般不超过 8.5%, 而制备面包所用的是高筋小麦粉, 蛋白质含量高达 11.5%~13.5%, 蛋白质含量与面粉的粉质特性呈极显著正相关^[19], 同时, 两种面团山药粉的含量也不同, 也会改变面团体系中蛋白质和淀粉的相对含量。因此, 添加山药粉对两种面团的粉质特性影响不同。

此外, 山药也会改变面团的水分分布。根据石松业等^[20]的研究, 当山药粉含量在 5%~20% 范围内逐渐增加时, 面团中水分迁移速度加快, 游离水的相对含量增加, 这可能是山药粉中含有的纤维素破坏了淀粉-蛋白网络结构, 降低了面团中的亲水性组分与水的结合能力, 从而析出更多的游离水。

2 山药对蒸煮面制品(面条、馒头)品质的影响

2.1 山药对面条品质的影响

面条是深受我国人民喜爱的主食之一, 向面条中添加山药及其活性成分是目前研究的热点之一^[21]。诸多研究发现, 山药粉可增加面条的营养价值和养生功效。张娟等^[22]将茯苓粉与山药粉加入面粉中开发出具有健脾养胃功效的茯苓山药面条。李园园等^[23]以山药糊、面粉为原料制备的鲜湿面条口感爽滑、营养丰富。与纯小麦面条相比, 山药面条中蛋白质、脂肪、膳食纤维、维生素 A 等含量相对更高^[24], 山药粉的添加还可减少面条的体外消化速度, 从而降低面条在机体中的血糖生成指数^[25]。

通过分析发现, 适量山药粉在赋予面条营养价值的同时不会导致其感官、食用品质下降。LI 等^[26]研究发现, 当山药粉添加量为 5%~15% 时, 与普通面条相比, 山药面条外观上呈自然的白色, 略带山药的特殊香气, 煮后食用品质良好、不断条, 若山药粉添加量提高到 20% 时, 面条的蒸煮损失率显著增加。SUN 等^[27]对山药粉添加小麦粉中制备面条的可行性研究后认为, 30% 的取代率可显著改善面条口感、流变学性质和营养价值。DJEUKU 等^[28]将不同比例的山药粉与硬粒小麦粉混合制备意大利面, 结果表明, 意面的体外淀粉消化率降低, 烹饪损失低于 8%, 含 30% 山药粉的意面感官品质可为大众接受。可见, 当山药粉添加量不超过 30% 时, 面条的大部分感官、食用品质指标基本保持稳定或略有下降, 面筋蛋白和淀粉形成的网络体系未被完全破坏, 而随着山药粉添加量的增加, 面筋网络结构破坏严重, 促使淀粉颗粒暴露, 面条食用品质显著下降。

山药粉对面条的质构品质影响较大。张贞贞^[29]考察了不同干燥方式的山药粉在 6%~30% 添加量范围内对面条质构品质的影响, 结果表明, 真空冷冻干燥的山药粉可显著提高面条硬度和黏聚性, 自然干燥的山药粉可赋予面条最高弹性值。根据孙恺浓^[30]的研究, 随着怀山药粉添加量的增大, 面条的硬度、弹性及内聚力表现为先升高、后降低、再升高的趋势, 当添加量为 40% 时, 拉伸距离和拉伸阻力下降显著, 刘存宏等^[31]则认为, 山药粉可提高挂面的硬度, 降低挂面的拉伸力和黏性, 并给出最适添加量不高于 9%。两位学者的研究结果差异较大, 这可能是一方面二者所用的山药品种不同, 山药中的淀粉、多糖等组分含量有较大区别, 另一方面实验所用的面条含水量不同, 导致面条内

部结构迥异。据报道, 植物多糖可提高面粉的粉质质量指数^[32], 加入面条中可作用于淀粉和面筋蛋白表面的极性基团, 吸引更多的深层结合水, 延缓鲜湿面的淀粉老化速率, 提高挂面的韧性和硬度^[33], 因此, 可推测所述山药粉对面条质构品质的影响可能主要归因于山药多糖的作用。

2.2 山药对馒头品质的影响

馒头是我国居民膳食中不可缺少的传统主食之一, 主要由精制小麦粉加工而成, 其主要成分是淀粉, 膳食纤维及其他营养元素的含量相对较低, 对患有糖尿病、肥胖症等慢性病的人群而言不宜长期大量食用^[34-35]。因此, 以小麦粉为主要原料, 添加各种含活性成分的辅料, 开发出一系列功能性馒头前景广阔。

在山药馒头研发方面, 关倩倩等^[36]以小麦粉、马铃薯淀粉和山药粉为原料开发的山药馒头具有较低的蛋白含量和升糖指数, 可作为糖尿病并发肾病的患者专用主食。将金针菇粉和山药粉以 1:3 (*m:m*) 的比例加入至面粉中也可制备出低升糖指数的馒头, 二者的最适总添加量为 5%^[37]。山药除了烘干研磨成粉添加外, 还可匀浆处理或提取活性成分后加入。如徐雪娣^[38]以山药泥(添加量为 23.75%)复配高粱粉制备的冷冻馒头基本保持了原有的感官和食用品质, 升糖指数仅为 54.98, 非常利于糖尿病患者血糖的调控。柳诚刚^[39]直接添加 4% 的山药多糖制备的馒头弹性大、咀嚼性高, 感官评分较高。

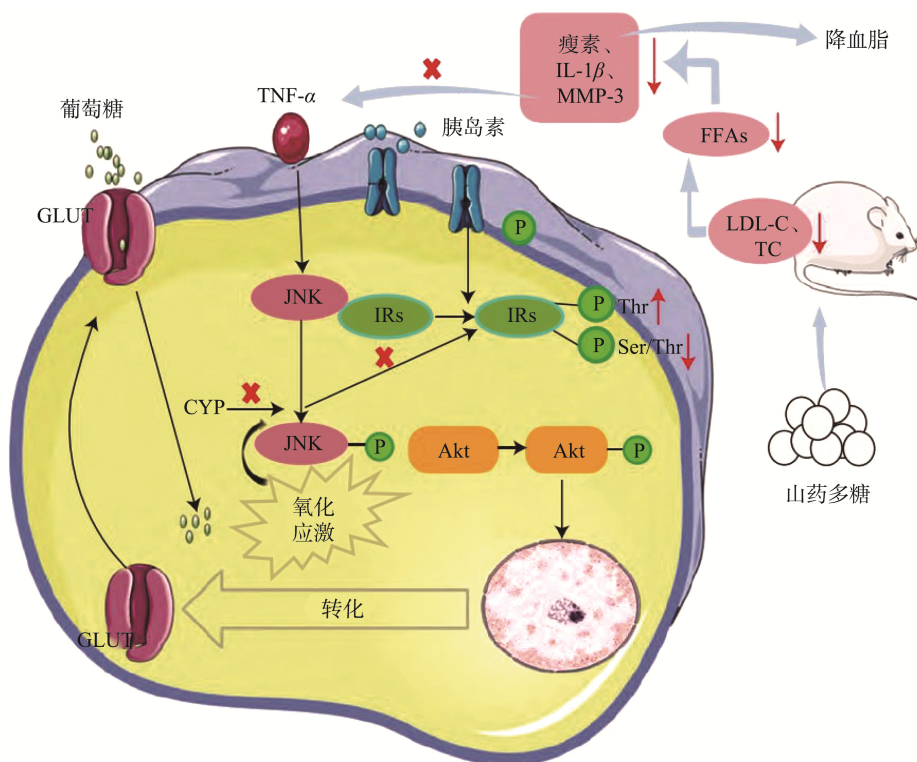
此外, 在山药馒头降糖机制方面也做了大量研究。焦钧^[40]采用高能球磨法制备纳米山药多糖并考察其对糖尿病大鼠模型糖代谢的作用, 研究发现, 纳米山药多糖可以显著调节大鼠的糖代谢和血脂水平, 进而改善糖尿病症状, 这可能是山药多糖不仅能提高人体内糖代谢关键酶的有效活性, 从而促进血糖的分解, 还可以改善胰岛素的抵抗机制(图 2)^[41], 同时, 山药多糖的抗衰老、调节免疫系统、抗氧化、抗疲劳、降血压、抗肿瘤等功效^[42-45], 也会提高机体的整体健康水平, 更利于血糖水平的稳定。

综上, 诸多学者主要从降低升糖指数的角度开发山药馒头, 山药添加量一般不超过 30%, 且多与其他辅料复配使用以取得最佳功效, 如其他淀粉类、杂粮类、杂豆类、食用菌类等, 且复配杂粮、杂豆、食用菌等纤维素含量高的辅料时, 馒头品质劣变程度更大, 如馒头更易老化、比容降低、硬度变大等。山药馒头可辅助降血糖与山药多糖的活性密切相关。

3 山药对焙烤面制品(面包、饼干)品质的影响

3.1 山药对面包品质的影响

面包通常是以五谷(一般是麦类)粉为主要原料, 以酵母、油脂、糖、盐等为辅料, 加水 and 面并制成面坯, 经分割、醒发、烘焙等工艺加工而成, 成品具有焦糖色外壳和



注: 葡萄糖转运体(glucose transporter, GLUT); c-Jun氨基末端激酶(c-Jun N-terminal kinase, JNK); 蛋白质(protein, P); 山药多糖(chinese yam polysaccharide, CYP); 胰岛素受体底物(IRS-insulin receptorsubstrate, IRS); 蛋白激酶B (protein kinase B, PKB/Akt); 苏氨酸(threonine, Thr); 丝氨酸(serine, Ser); 肿瘤坏死因子 α (tumour necrosis factor- α , TNF- α); 白细胞介素-1 β (interleukin-1 β , IL-1 β); 基质金属蛋白酶(matrix metalloproteinase, MMP-3); 游离脂肪酸(free fatty acids, FFAs); 低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C); 血清总胆固醇(serum total cholesterol, TC)。

图2 山药多糖改善胰岛素抵抗的机制

Fig.2 Mechanism of yam polysaccharides improving insulin resistance

蓬松多孔的内部结构^[46]。尽管与欧美国家相比,我国面包加工和消费起步较晚,但得益于我国丰富的植物资源和食品工业的飞速发展,近年来我国面包的种类越来越丰富,营养价值也有了较大提升^[47]。李来泉等^[48]研发的山药薏米面包色泽金黄、组织均匀、兼具山药和薏米的特殊风味,整体口感较好。以金荞麦粉、山药粉和小麦粉复配可加工出色泽均一、弹性适中、风味良好的保健面包^[49];更有学者以蒜薹、山药为辅料研发出具有抗氧化功效的面包^[50]。

分析发现,适量添加山药对面包感官品质影响较小,同时可提高消费者对面包的认可度,而过量添加则会降低面包的质构、感官品质。有研究表明,山药添加量为9%时,面包的感官评分及比容数值最高^[51],这可能是其中的山药多糖阻碍了淀粉老化,降低了面包硬度,从而使面包的发酵活力更强^[52],然而,山药中淀粉含量约为70%,山药占比过大势必会显著提高面团的总淀粉含量,降低面筋蛋白的相对比例,阻碍面团的发酵,导致面包口感有颗粒感,表面粗糙,内部气孔分布不均匀等问题,进而不易被消费者接受^[53]。AMANDIKWA等^[54]则认为,消费者可接受山药粉添加量为25%的面包,而当添加量超过50%时,面包

品质显著下降。

此外,山药面包的营养价值往往高于普通面包。据报道,山药粉可改变面包体系中的淀粉含量,提高抗酶解淀粉的含量,如添加70%的紫山药粉可使面包中的抗酶解淀粉含量从34.9%(纯小麦面包)增加到41.3%(山药面包),随着紫山药粉添加量的增加,快速消化淀粉含量降低,慢速消化淀粉含量升高,紫山药淀粉颗粒在焙烤过程中未被完全破坏, α -淀粉酶和淀粉糖苷酶的荧光强度下降,淀粉的消化率下降^[55],原因可能是紫山药淀粉颗粒相对完整,对消化酶产生了抑制作用^[56],这对于肥胖人群控制体重具有重要意义。与100%全麦面包相比,紫山药面包的蛋白质消化率、总酚含量、抗氧化性等指标也均有明显提高^[57]。

3.2 山药对饼干品质的影响

饼干主要以小麦粉为主料,加入油脂、糖及其他辅料,经调粉、成形、烘烤等工艺流程后得到的口感疏松或酥脆的食品,因其价格便宜、携带方便,广受全世界消费者的欢迎^[58]。近年来更以低脂、低糖及具有保健功能为关键词开展新品研发^[59]。如以紫山药、低筋面粉等为主要原料制

备紫山药酥性饼干^[60],将山药与红枣结合研发出山药红枣饼干^[61],以紫山药为辅料制备木糖醇山药饼干^[62]。通常,山药对饼干的感官品质影响较大。与普通饼干相比,山药饼干韧性降低,口感更酥脆,色泽加深,且色泽与山药添加量呈正比。

山药可赋予饼干更高的营养价值。袁贵英等^[63]以紫淮山泥、低筋粉和燕麦粉为主要原料制备出高蛋白、高纤维、低糖、低脂肪的饼干,其淀粉水解指数和预估血糖生成指数下降,更利于糖尿病患者食用。ADEYANJU 等^[64]研究发现,与空白对照饼干相比,山药饼干中蛋白质、黄酮、慢速消化淀粉和抗性淀粉含量显著提高,快速消化淀粉含量明显下降,其中膳食纤维、蛋白质、淀粉分别为空白对照饼干的 7.80、1.36、0.78 倍,具有高蛋白、高纤维、低脂肪的营养特性。快速消化淀粉含量下降,人体血糖增长率也将同步下降,慢速消化淀粉和抗性淀粉含量显著提高,人体平衡血糖能力提高,因此,山药饼干能更好地调节人体血糖平衡,对高血脂症状也有较好的缓解作用。此外,焙烤山药饼干中淀粉含量没有完全被损害,营养素的破坏也较小。

4 结束语

本文从山药对面团品质的影响入手,系统综述了山药对面条、馒头、面包和饼干 4 类面制品品质的影响。总的来说,添加形式以干燥山药粉居多,便于操作和计量;适量添加(不超过 50%)山药对面制品的质构和感官品质影响较小,过量添加则易导致面制品品质显著下降;山药可提高面制品的营养价值和养生功能,如抗氧化、降血糖、调节血脂等。然而,笔者认为,尽管国内外学者已做了大量探索,依然有如下几个问题需要继续探究:(1)目前,相关研究多从宏观上关注山药添加量对面制品品质的影响,对面制品品质的变化规律和影响机制缺乏深入探究;(2)对山药面制品的养生功效研究较浅,多以山药多糖、皂苷等活性成分对实验动物的生理指标影响为依据推测面制品的功效,缺乏山药面制品与动物指标之间的直接影响数据,山药面制品对人体健康指标的影响数据更少;(3)山药对四类面制品的品质影响结果差异较大且不易剖析,亟待从分子水平上解析山药具体组分(如山药淀粉、多糖、皂苷、黄酮等)与小麦组分(如淀粉、蛋白质、脂质等)的相互作用机制。

参考文献

- [1] 许兰杰,梁慧珍,余永亮,等.山药品种特征特性、适应性及栽培技术研究进展[J].山西农业科学,2022,50(6):909-916.
- [2] XU LJ, LIANG HZ, YU YL, et al. Research progress in characteristics, adaptability and cultivation technology of yam varieties [J]. Shanxi Agric Sci, 2022, 50(6): 909-916.
- [3] 董俊美,李锦超,孟义江,等.山药种质资源鉴定与品种选育研究进展[J].河南农业科学,2021,50(11):6-14.
- [4] DONG JM, LI JC, MENG YJ, et al. Research progress in germplasm resources evaluation and variety selection of yam [J]. Henan Agric Sci, 2021, 50(11): 6-14.
- [5] HUA SM, CHEN ZH, LI LH, et al. Differences in immunity between pathogen-resistant and susceptible yam cultivars reveal insights into disease prevention underlying ethylene supplementation [J]. J Plant Biochem Biotechnol, 2020, 30(2): 254-264.
- [6] ZHOU SY, HUANG GL, CHEN GY, et al. Extraction, structural analysis, derivatization and antioxidant activity of polysaccharide from Chinese yam [J]. Food Chem, 2021, 361(1): 1-14.
- [7] SHI YX, LIAN YU, ZHAI MF, et al. Effect of Chinese yam polysaccharide on four kinds of tumor cells [J]. Chin J Mod Appl Pharm, 2016, 33(8): 967-971.
- [8] LI Q, WEN ZL, QUN YG, et al. Hypoglycemic effect of Chinese yam (*Dioscorea opposita rhizoma*) polysaccharide in different structure and molecular weight [J]. J Food Sci, 2017, 82(10): 2487-2494.
- [9] SHAO Y, ZHENG CQ, LIU KK, et al. Extraction optimization, purification, and biological properties of polysaccharide from Chinese yam peel [J]. Food Biochem, 2022, 46(12): 1-13.
- [10] 牟文荣,张童童,裴莉昕,等.药食同源类中药开发应用探讨[J].中医学报,2023,38(3):673-678.
- [11] MOU WR, ZHANG TT, PEI LX, et al. Development and application of medicinal and edible homologous Chinese medicine [J]. J Tradit Chin Med, 2023, 38(3): 673-678.
- [12] 李晓柯,何传波,魏好程,等.仙草-山药粉凝胶性能研究[J].食品安全质量检测学报,2022,13(16):5187-5192.
- [13] LI XK, HE CB, WEI HC, et al. Study on the properties of *Mesona chinensis-Rhizoma dioscorea* gel [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(16): 5187-5192.
- [14] SERENA C, DOMINIQUE L, FRANCESCO D, et al. Functionalization of pasta through the incorporation of bioactive compounds from agri-food by-products: Fundamentals, opportunities, and drawbacks [J]. Trend Food Sci Technol, 2022, 122: 49-65.
- [15] 冯立坤,李喜贵.全球小麦供应、贸易及饲用形势[J].中国粮食经济,2021,33(10):40-44.
- [16] FENG LK, LI XG. Global wheat supply, trade, and feeding situation [J]. Chin Grain Econ, 2021, 33(10): 40-44.
- [17] 郭沫,王伟鹏.吸风粉指标分析及对蒸煮和油炸面制品品质的影响[J].粮食加工,2022,47(5):23-26.
- [18] GUO M, WANG WP. Analysis of air suction flour index and its effect on the quality of cooking and frying flour products [J]. Grain Proc, 2022, 47(5): 23-26.
- [19] 杨琳.福建省焙烤食品安全预警体系的建立[D].福州:福建农林大学,2012.
- [20] YANG L. Establishment of Fujian Province baking food safety early warning system [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012.
- [21] 马启昱,刘忠义,付满,等.油脂对面团特性及面制品品质影响研究进展[J].食品与机械,2021,37(10):235-240.
- [22] MA QY, LIU ZY, FU M, et al. Research progress on the effect of oil on dough properties and quality of dough product [J]. Food Mach, 2021, 37(10): 235-240.
- [23] CAIRANO MD, GALGANO F, TOLVE R, et al. Focus on gluten free biscuits: Ingredients and issues [J]. Trend Food Sci Technol, 2018, 81: 203-212.

- [16] MAHLOKO ML, SILUNGWE H, MASHAU EM, *et al.* Bioactive compounds, antioxidant activity and physical characteristics of wheat-prickly pear and banana biscuits [J]. *Heliyon*, 2019, 5(2): 479.
- [17] LI QM, LI Y, ZOU JH, *et al.* Influence of adding Chinese yam (*Dioscorea opposita* thunb) flour on dough rheology, gluten structure, baking performance, and antioxidant properties of bread [J]. *Foods*, 2020, 9(3): 256.
- [18] 王蕊, 胡予, 熊双丽. 山药粉对面团特性和韧性饼干品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(18): 193–198.
- WANG R, HU Y, XIONG SL. Effect of yam powder on the properties of dough and the quality characteristics of biscuits [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(18): 193–198.
- [19] YANG Z, XU D, ZHOU H, *et al.* New insight into the contribution of wheat starch and gluten to frozen dough bread quality [J]. *Food Biosci*, 2022, 48: 101777.
- [20] 石松业, 温纪平, 刘帅, 等. 山药粉添加量对芝麻饅头品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2022, 44(6): 7–12.
- SHI SY, WEN JP, LIU S, *et al.* Effect of yam powder addition on quality characteristics of sesame naan dough [J]. *Food Res Dev*, 2022, 44(6): 7–12.
- [21] AKINOSO R, OLATOYE KK, OGUNYELE O. Potentials of trifoliate yam (*Dioscorea dumetorum*) in noodles production [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 7(8): 1–6.
- [22] 张娟, 曹锐敏. 茯苓山药面条的工艺研究[J]. *农产品加工*, 2019, 17(6): 36–40.
- ZHANG J, CAO RM. Study on the technology of *Poria cocos* yam noodles [J]. *Agric Prod Proc*, 2019, 17(6): 36–40.
- [23] 李园园, 辛艳萍, 皇甫智燕, 等. 山药鲜湿面条工艺配方优化研究[J]. *农产品加工*, 2019, 17(9): 26–28.
- LI YY, XIN YP, HUANGFU ZY, *et al.* Study on optimization of fresh and wet noodles of Chinese yam [J]. *Farm Prod Process*, 2019, 17(9): 26–28.
- [24] EFFIONG BN, MADUKA NA, ESSIEEN G. Evaluation of wheat and orange-fleshed sweet potato composite flour fortified with African yam bean flour for instant noodle production [J]. *Arch Curr Res Int*, 2018, 15(4): 1–15.
- [25] 余梦玲. 杂粮(豆)面条的研制及其对糖尿病小鼠糖脂代谢的影响[D]. 成都: 西华大学, 2022.
- YU ML. Study on preparation of multigrain noodles and its effects on glucose and lipid metabolism in diabetic mice [D]. Chengdu: Xihua University, 2022.
- [26] LI PH, HUANG CC, YANG MY, *et al.* Textural and sensory properties of salted noodles containing purple yam flour [J]. *Food Res Int*, 2011, 47(2): 223–228.
- [27] SUN K, LIAO A, ZHANG F, *et al.* Microstructural, textural, sensory properties and quality of wheat-yam composite flour noodles [J]. *Foods*, 2019, 8(10): 519.
- [28] DJEUKEU W, ASONGNI G, LENG SM, *et al.* Effect of dried yam flour (*Dioscorea schimperiana*) on cooking quality, digestibility profile and antioxidant potential of wheat based pasta [J]. *Food Meas Charact*, 2017, 11(7): 1421–1429.
- [29] 张贞贞. 山药及主要组分对面粉特性及面条品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014.
- ZHANG ZZ. Effects of Chinese yam and main components on wheat flour properties and noodle quality [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2014.
- [30] 孙恺浓. 怀山药-小麦复合粉面条品质的调控及其机理的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020.
- SUN KN. The regulation of quality of noodles made of compound flour of yam and wheat and its mechanism [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2020.
- [31] 刘存宏, 王贾悦, 路静. 山药粉对小麦粉加工特性及挂面品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(19): 76–80.
- LIU CH, WANG JY, LU J. The effect of yam flour on wheat flour processing characteristics and dried noodle quality [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(19): 76–80.
- [32] 高维, 贺虹, 李小鹏, 等. 天然多糖对全麦面粉粉质特性及面条品质的影响[J]. *粮食与油脂*, 2022, 35(3): 67–71.
- GAO W, HE H, LI XP, *et al.* Effects of natural polysaccharides on flour properties and noodle quality of whole wheat flour [J]. *J Cere Oils*, 2022, 35(3): 67–71.
- [33] 胡志远, 刘翀, 郑学玲. 不同多糖对发酵空心挂面品质的影响[J]. *现代食品科技*, 2022, 38(5): 226–234.
- HU ZY, LIU C, ZHENG XL. Effect of different polysaccharides on the quality of fermented hollow dried noodles [J]. *Mod Food Technol*, 2022, 38(5): 226–234.
- [34] PUTRA MHC, ABDILLAH AA. Effect of kappa-carrageenan on physicochemical properties of Mantou (Chinese steamed bread) [J]. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, 2021, 679(1): 012035.
- [35] 符加珂, 李海峰, 胡双, 等. 功能性馒头研究进展[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(15): 352–356.
- FU JK, LI HF, HU S, *et al.* Research progress of functional steamed bread [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(15): 352–356.
- [36] 关倩倩, 张文龙, 李华, 等. 糖尿病并发肾病专用山药馒头配方改良[J]. *食品科技*, 2018, 43(5): 157–163.
- GUAN QQ, ZHANG WL, LI H, *et al.* Optimization formula on yam steamed bread for diabetes nephropathy patients [J]. *Food Sci Technol*, 2018, 43(5): 157–163.
- [37] 张鹏辉, 聂远洋, 李波. 添加金针菇粉和山药粉对馒头品质的影响[J]. *中国食用菌*, 2021, 40(5): 79–86.
- ZHANG PH, NIE YY, LI B. Effects of adding *Flammulina velutipes* powder and *Dioscorea oppositifolia* powder on the quality of steamed bread [J]. *Edible Fungi Chin*, 2021, 40(5): 79–86.
- [38] 徐雪娣. 糖尿病患者专用低升糖指数馒头制备技术的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- XU XD. Study on technology of special low glycemic index steamed bread preparation for diabetic patients [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2017.
- [39] 柳诚刚. 山药多糖对馒头品质的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2023, (1): 16–19.
- LIU CG. The effect of yam polysaccharides on the quality of steamed bread [J]. *Cere Feed Ind*, 2023, (1): 16–19.
- [40] 焦钧. 纳米山药多糖的制备及降血糖、降血脂活性的研究[D]. 佳木斯: 佳木斯大学, 2014.
- JIAO J. Study on the preparation of nano yam polysaccharide and its hypoglycemic and hypolipidemic activities [D]. Jiamusi: Jiamusi University, 2014.
- [41] 梁杉, 王琨, 刘佩瑶, 等. 山药多糖结构、生物活性及其机制研究进展[J]. *食品科学*, 2022, 43(23): 296–304.
- LIANG S, WANG K, LIU PY, *et al.* Research progress on the structure, biological activity, and mechanism of yam polysaccharides [J]. *Food Sci*, 2022, 43(23): 296–304.
- [42] WANG ZX, ZHAO XH. The barrier-enhancing function of soluble yam

- (*Dioscorea opposita* thunb.) polysaccharides in rat intestinal epithelial cells as affected by the covalent se conjugation [J]. *Nutr*, 2022, 14(19): 1.
- [43] DENG JH, ZHANG JZ, CHANG YD, *et al.* Effects of Chinese yam polysaccharides on the immune function and serum biochemical indexes of broilers [J]. *Front Vet Sci*, 2022, 9(1): 1–8.
- [44] 崔怡芳. 山药多糖DOTP-B对RAW264.7细胞的免疫调节作用研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2022.
- CUI YF. Immunomodulatory effect of *Dioscorea opposita* thunb polysaccharide DOTP-B on RAW264.7 cells [D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2022.
- [45] 孔晨先, 肖波, 柳全文, 等. 山药多糖对动物机体免疫调节作用的Meta分析[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(19): 206–213.
- KONG CX, XIAO B, LIU QW, *et al.* Meta-analysis of the immunomodulatory effect of Chinese yam (*Dioscorea opposita rhizoma*) polysaccharides on animals body [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(19): 206–213.
- [46] MELISSA AK, BEHIBLO NBK, KABLAN IJG, *et al.* Effect of incorporation of yam flour and moringa powder in wheat bread on glycemic response [J]. *Food Sci Nutr*, 2022, 13(9): 781–796.
- [47] 杨丹. 四种营养面包的工艺优化及特性研究[D]. 沈阳: 辽宁大学, 2021.
- YANG D. Study on process optimization and characteristics of 4 kinds of nutritional bread [D]. Shenyang: Liaoning University, 2021.
- [48] 李来泉, 张子茜. 山药薏米面包制备工艺研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2021, 43(6): 16–20.
- LI LQ, ZHANG ZX. Study on the processing technology of yam coix lacryma-jobi bread [J]. *Cere Feed Ind*, 2021, 43(6): 16–20.
- [49] 王佰灵, 郝新才, 汤哲伟, 等. 金荞麦山药保健面包的研制[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(6): 101–104.
- WANG BL, HAO XC, TANG ZW, *et al.* Development of golden buckwheat rhizome-Chinese yam health bread [J]. *J Cere Oils*, 2021, 34(6): 101–104.
- [50] 马荣琨, 张中义. 蒜薹山药复合营养面包的研制[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(13): 145–150.
- MA RK, ZHANG ZY. Development of composite nutrition bread with garlic scape and yam [J]. *Food Res Dev*, 2021, 42(13): 145–150.
- [51] 许俊齐, 王充, 谢春芹, 等. 山药面包加工工艺研究[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(6): 186–190.
- XU JQ, WANG C, XIE CQ, *et al.* Study on the processing technology of yam bread [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2019, 47(6): 186–190.
- [52] 刘博, 周永凤, 黄鑫, 等. 水不溶酵母多糖对小麦粉粉质、面团流变特性及其面包品质的影响[J]. *食品科技*, 2023, 48(7): 107–114.
- LIU B, ZHOU YF, HUANG X, *et al.* Effects of insoluble yeast polysaccharide on wheat flour farinograph properties, dough rheological properties and bread quality [J]. *Food Technol*, 2023, 48(7): 107–114.
- [53] 陆慧玲, 胡克静, 刘瑾瑾, 等. 苦瓜山药面包的加工工艺研究[J]. *现代食品*, 2021, (12): 94–97.
- LU HL, HU KJ, LIU JJ, *et al.* Study on the processing technology of balsam pear and yam bread [J]. *Mod Food*, 2021, (12): 94–97.
- [54] AMANDIKWA C, IWE M, UZOMAH A, *et al.* Physico-chemical properties of wheat-yam flour composite bread [J]. *Niger Food J*, 2015, 33(1): 12–17.
- [55] LIU X, LU K, YU JL, *et al.* Effect of purple yam flour substitution for wheat flour on *in vitro* starch digestibility of wheat bread [J]. *Food Chem*, 2019, 284(12): 118–124.
- [56] 刘霞, 王书军. 紫山药粉对小麦面包体外淀粉酶消化性的影响[C]. 中国食品科学技术学会第十五届年会, 2018.
- LIU X, WANG SJ. Effect of purple yam flour substitution for wheat flour on *in vitro* starch digestibility of wheat bread [C]. The 15th Annual Meeting of Chinese Society of Food Science and Technology, 2018.
- [57] TAMAROH S, SUDRAJAT A. Antioxidative characteristics and sensory acceptability of bread substituted with purple yam [J]. *Int J Food Sci Nutr*, 2021, 2021(1): 5586316.
- [58] RAKSHIT M, SRIVASTAV PP. Sensory evaluation and storage stability of fat reduced shortdough biscuit using hydrolysable tannin encapsulated double emulsion as fat replacer [J]. *LWT*, 2022, 154: 112816.
- [59] KOKOH AM, ELLEINGAND E, KOFFI E. Physico-chemical and sensory properties of breads produced from wheat and fermented yam composite flour fortified with moringa leaves powder [J]. *J Food Nutr Res Slov*, 2019, 7(11): 772–777.
- [60] 孙佳, 路红波, 贾金辉, 等. 紫山药酥性饼干的研制[J]. *粮食与油脂*, 2022, 35(9): 104–106.
- SUN J, LU HB, JIA JH, *et al.* Development of purple yam biscuit [J]. *J Cere Oils*, 2022, 35(9): 104–106.
- [61] 张远行, 张倬熙. 山药红枣饼干工艺研究[J]. *现代食品*, 2022, 28(7): 95–98.
- ZHANG YX, ZHANG ZX. Study on the technology of Chinese yam and jujube biscuit [J]. *Mod Food*, 2022, 28(7): 95–98.
- [62] 李俊华, 刘晓丽, 陈月英, 等. 木糖醇紫山药饼干的研制[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(21): 92–96.
- LI JH, LIU XL, CHEN YY, *et al.* Research on production technology of xylitol purple yam biscuits [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(21): 92–96.
- [63] 袁贵英, 王彦平, 姬长新, 等. 紫淮山与燕麦粉对酥性饼干品质及营养特性的影响[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(17): 100–106.
- YUAN GY, WANG YP, JI CX, *et al.* Effects of purple yam and oat flour on the quality and nutritional characteristics of crisp biscuits [J]. *Food Res Dev*, 2022, 43(17): 100–106.
- [64] ADEYANJU AJ, OGUNLAKIN OG, ABIOYE OA, *et al.* Assessment of biscuits produced from the blends of wheat, acha and germinated African yam bean flour [J]. *Food Sci Technol*, 2022, 5(2): 26–37.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



李翠翠, 博士, 副教授, 主要研究方向为面制品研发与理论研究。
E-mail: licui8@yeah.net



吴史博, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为农产品加工与检测。
E-mail: 93618001@qq.com