

挤压膨化技术在杂粮加工业的应用研究

孟如君¹, 刘静¹, 沈汪洋^{1,2}, 李芳^{1,2*}

(1. 武汉轻工大学 食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430023;

2. 大宗粮油精深加工工部共建教育部重点实验室, 湖北 武汉 430023)

摘要:挤压膨化技术具有改变物料性质、生产耗时短、连续性高等优点,在食品研发、加工过程中具有很高的应用价值。尤其是在杂粮加工领域,该技术不仅可以较好地保留杂粮中的营养物质,还可以提高产品风味、口感等感官体验,具有广阔的前景。该文系统地介绍了杂粮挤压处理后营养物质的变化以及挤压膨化技术在杂粮加工中的应用研究,分析挤压膨化技术在杂粮加工中的应用前景,旨在丰富杂粮食品研发的品种,并为其理论基础研究提供参考。

关键词:杂粮;挤压膨化;加工;营养物质;应用

Research on the Application of Extrusion Technology in the Processing of Multigrain

MENG Ru-jun¹, LIU Jing¹, SHEN Wang-yang^{1,2}, LI Fang^{1,2*}

(1. College of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, Hubei, China;

2. Key Laboratory for Deep Processing of Major Grain and Oil, Ministry of Education, Wuhan 430023, Hubei, China)

Abstract: Extrusion technology has the advantages of changing material properties, short production time and high continuity. It has extremely high application value in the process of food research and processing. Especially in the field of multigrain processing, this technology can not only retain nutrients well, but also improve the sensory experience of product flavor and taste, and which has a very broad prospect. This article was purposed to systematically introduce the changes of nutrients after extrusion processing of multigrain and the application research of extrusion technology in multigrain processing, and simultaneously analyze the application prospects of extrusion technology in multigrain processing. It took aim at enriching the varieties of multigrain research and development, and providing reference for its theoretical basic research.

Key words: multigrain; extrusion; process; nutrients; application

引文格式:

孟如君, 刘静, 沈汪洋, 等. 挤压膨化技术在杂粮加工业的应用研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(7): 189-193.

MENG Rujun, LIU Jing, SHEN Wangyang, et al. Research on the Application of Extrusion Technology in the Processing of Multigrain[J]. Food Research and Development, 2021, 42(7): 189-193.

日趋理性的消费行为和现代健康膳食理念的普及,使得新型杂粮营养食品越来越受到消费者的喜爱。杂粮通常是指除水稻、小麦、玉米、大豆和薯类五大作物外的其它粮豆作物。同细粮相比,杂粮的某些

微量元素含量更加丰富,如铁、镁、硒等,一些生物活性物质如酚类、黄酮类物质的含量也更为丰富^[1]。现代营养学研究结果表明,常吃杂粮可以防治包括高血压、高血脂、高血糖、心脑血管疾病在内的一些慢性病^[2]。杂粮营养丰富且具有一些保健功效,但存在不易烹飪、口感不佳等问题,而且现代消费者注重更多的是食物的色、香、味、形,为了能在日常饮食中推广杂粮,研究人员及食品企业还需对杂粮的加工方式等进行

基金项目:“十三五”国家重点研发计划(2017YFD0401204-3)

作者简介:孟如君(1997—),女(汉),硕士研究生,研究方向:谷物资源开发及应用。

* 通信作者:李芳(1979—),女(汉),讲师,博士,研究方向:粮食工程。

深入研究。

在目前已有的杂粮加工工艺中,无论是生产便利性、产品丰富性或者产品营养保持率,挤压膨化工艺均能达到较高水平。挤压膨化工艺在食品加工应用中的开发可以追溯到20世纪30年代——第一台用于食品加工的单螺杆挤压机问世^[3]。随着应用领域的拓展开发,单螺杆挤压机的物料局限性促进了双螺杆挤压机的开发,且双螺杆挤压机在食品工业中的应用越来越多,目前在食品工业中最常用的挤压机是双螺杆、同向、完全齿合的梯形螺纹双螺杆挤压机^[4]。因其在食品开发、生产中具有很高的价值,至20世纪70年代,欧美市场中方便食品已有30%采用挤压膨化技术^[5],同期我国开始引入并研究挤压膨化工艺,该项技术在国内也得到了迅速的发展与推广。目前在食品工业的应用领域中除了方便食品、休闲零食、食品添加剂等,该项技术在杂粮加工领域的应用开发也得到了越来越多的关注。

本文综述了杂粮在挤压前后营养物质的变化情况,以及挤压膨化技术在杂粮加工中的应用,以期对未来食品工业发展过程中挤压工艺的应用与发展提供参考。

1 挤压膨化工艺原理及特征

挤压膨化将搅拌、混匀、加热、挤压、杀菌、膨化结合起来对物料进行处理,实现系列单元连续操作^[5]。原料由喂料装置进入挤压机喂料口,同时向喂料口送入一定量的水,经调质装置进入挤压机机筒内,由螺杆裹挟着向出料口输送。在机筒内运输期间,物料与物料、螺杆和机筒内壁产生巨大的摩擦力,螺杆同时对物料进行剪切,机筒内的物料处于高温、高压、高剪切力环境中,其理化性质、营养物质等均发生了一系列不同程度的物理和化学变化。随着物料被挤出挤压机模具口(即出口),温度、压力、水分含量均发生骤降,产品由此定型。

螺杆挤压机可得到膨化和非膨化食品,二者的差异主要在挤压机机筒温度的设定方面。单纯对物料进行挤压则设定机筒温度变化区间为先增后降,即两端温度低,中间温度高;膨化则是设置机筒温度逐步升高,使物料在出料口因压力骤减、温度骤降与水分汽化而膨胀,形成多孔结构。无论是否膨化,经挤压处理后物料的形状、微观结构及理化性质均发生了改变^[6]。挤压膨化属于食品质构调整技术^[7],食品原料经挤压膨化处理后,其内含的大分子营养物质在一定程度上被降解为更小的分子,故更易消化吸收,同时挤压膨

化食品理化性质的改变也对食品品质的提高、货架期的延长等具有一定的积极作用^[8-9]。

挤压过程中的高温高压环境,可使产品的消化率、速食性、灭霉率等趋向最大。除此之外,挤压膨化设备生产能力高,连续性好,占地面积小,最终产品种类多、质量好,在合理计算物料投入量及规范操作的前提下,生产过程中甚至无废弃物排出。

2 杂粮挤压处理后主要营养物质的变化

杂粮具有很高的营养价值,所有种类的杂粮均含有碳水化合物、蛋白质和脂肪,不同杂粮中主要营养物质的差异是含量不同,因此经挤压处理后,杂粮中主要营养物质的性质变化和原理大致相同。

2.1 碳水化合物

2.1.1 淀粉

杂粮中的主要营养物质为淀粉,由直链淀粉和支链淀粉组成,各种杂粮中两种淀粉比例均不同,故口感、糊化特性、老化时间等也有所差异。据研究,挤压膨化处理会使支链淀粉发生断裂、降解,转化成直链淀粉和糊精等小分子物质,这是因为在挤压机机筒内的高温高压和高剪切力的作用下, α -1,6-糖苷键比 α -1,4-糖苷键更易断裂,故在挤压过程中,支链淀粉的降解效果更明显,徐晓茹等^[10]的研究结果表明经挤压后直链淀粉含量提高。同时,淀粉颗粒的大小、形态等也会发生变化,变化的共同特征为淀粉颗粒被不同程度破碎、分布更加紧密等,这都对淀粉的消化特性、复水性、口感等产生影响^[11]。

在挤压膨化过程中,淀粉的糊化是一个很重要的变化。由目前已知的研究表明,淀粉糊化是由分子间氢键的断裂造成的,加工中伴随的高温高压状态会使淀粉颗粒由固体状迅速转化为熔融态,同时氢键发生断裂,产生糊化结果。淀粉的糊化程度,与机筒温度设定、水分含量和螺杆转速均有关。冯玉红^[12]将带胚玉米作为原料进行处理,发现产品的糊化度与机筒出口部分温度呈正相关,而与挤压机螺杆转速呈负相关。可知在温度不变条件下,挤压机的螺杆转速在允许范围内越慢,淀粉的糊化度越高。杨铭铎^[13]的研究发现,相比惯常使用的烹煮处理,挤压膨化处理得到的淀粉糊化度更高。

2.1.2 膳食纤维

挤压膨化技术在膳食纤维改性方面具有良好的前景。根据相关研究^[14-15],小麦麸及燕麦麸经挤压处理后,可溶性膳食纤维的含量均有所上升。经处理的膳食纤维持水力和膨胀力有所增加,这两项指标均是评价

膳食纤维生理活性和加工应用特性的重要指标^[16-17]。可溶性膳食纤维可以被人体吸收帮助代谢脂类化合物,而不溶性膳食纤维虽不能被人体吸收,但能够帮助维持肠道中的菌落平衡,并且促进肠道蠕动,有效防治便秘及一些胃肠疾病。

2.2 蛋白质

挤压膨化过程中的高温、高压、高剪切力的综合作用会弱化蛋白质结构间的结合力,破坏三、四级结构。在蛋白质分子结构伸展、重组的过程中,表面电荷重新排布,氢键、二硫键发生部分断裂,导致蛋白质变性^[18]。有研究表明^[19],蛋白质变性程度与螺杆挤压机的参数设定有密切关系:当挤压温度低、水分高、螺杆转速快时,蛋白质的变性程度低,同时挤出产品的溶解性好;反之则蛋白质变性程度高,但组织化程度好。在压力和蒸汽的作用下,变性的蛋白质保留多孔结构,更易与酶结合,提高了蛋白质的消化率。同时挤压膨化过程中,蛋白质发生降解产生小分子肽和氨基酸。降解过程中产生的氨基酸与物料中原本存在的氨基酸一同,与物料中原本存在的或淀粉降解后产生的还原糖和其它羰基化合物发生美拉德反应,造成氨基酸损失,产品中总的蛋白质(总氮)含量因此降低。ILO等^[20]研究发现 Lys、Arg、Cys 和 Met 4 种氨基酸是不稳定的氨基酸,在处理过程中遵照一级反应进行。由此可见,挤压膨化过程中氨基酸的损失并不是所有种类等量进行的,为了保证挤出物中蛋白质质量,并设法减少 Lys 等不稳定氨基酸在处理过程中的损失率,在采用合适加工条件的同时,应加强氨基酸强化技术和方法的探究,从而获得高质量的产品。

2.3 脂肪

物料在挤压机机筒内进行处理时,脂肪酶在环境升温过程中会加速甘油三酯的水解,产生单甘油和游离脂肪酸。但是目前已知的研究结果显示,脂肪酶在 70℃ 时就已经被破坏,不具备生物活性,而挤压机由喂料口至机筒加温区间距短,且物料一直被螺杆向前输送,故物料温度低于 70℃ 的相对时间短。在这一过程中脂肪被水解产生的游离脂肪酸是微量的。而且当温度达到 110℃ 时,脂肪便不再进行非酶氧化^[21-22]。所以与其它处理方式相比,挤压膨化处理得到的产品货架期更长,脂肪氧化问题发生程度更低,因此可在一定程度上减少食品品质下降和产生不良风味等脂肪氧化问题。

在挤压膨化过程中,脂肪及其降解产物会与淀粉及蛋白质形成络合物,影响膨化效果。但这种络合物组织细密、不易氧化水解,有利于保护脂肪免受氧气

等刺激氧化酸败的不利因素影响,从而延长了产品的货架期。刘通通等^[23]对淀粉脂肪挤压体系进行了研究,结果表明:挤压处理所得产品中的淀粉脂肪复合物具有较高的热稳定性和酶解抗性,这些性质使所得产品在食品加工和保藏过程中能较好地保持自身结构。

2.4 其它

多数维生素为热敏性物质,挤压膨化工艺不可避免地会对维生素的影响较大。但实际上,挤压膨化处理过程是一种高温短时过程,故相较于其它处理工艺,挤压膨化的产品中维生素损失率更低,有研究表明处理时温度、时间和维生素种类的差异,使得产品中维生素留存率可达 70%~80%。在挤压膨化过程中,热敏性维生素 V_A、V_{B₁}、V_C、V_E 和叶酸对处理敏感,而其它 B 族维生素和泛酸等在处理前后的含量变化不明显^[9]。

一些其它的热敏性生物活性物质,在挤压膨化处理中都易被破坏。以酚类物质为例,当加工温度超过 80℃ 时^[22,24],其自然结构便会遭到破坏,生物活性因此丧失。多酚为一类酚羟基结构的化合物,具有清除自由基、抗氧化、抗肿瘤、降血脂及调节人体免疫力等多种功能活性^[25]。因此,加工过程中酚类物质的损失也会使最终产品的抗氧化性降低,对营养造成了一些损失。

挤压膨化处理过程中也伴随着美拉德反应的发生,这不仅使产品产生独特的香气,对色泽、抗氧化性也有积极影响。

3 挤压膨化处理在杂粮加工中的应用

考虑到杂粮的不易烹煮、口感较差与家庭加工食用方法的单一性,挤压膨化处理是目前杂粮预加工的重要方法,正因为此种方法可简化淀粉预糊化及营养物质改性过程并使效率提高,越来越多的学者开始研究挤压膨化技术在食品加工工业中的应用。其应用方面主要有如下几种。

3.1 膨化杂粮粉

经挤压膨化处理过的杂粮粉不仅可以单独作为原料生产即食食品,也可以与其它谷物粉复配生产复配粉,或以复配粉为原料的其它食品,不仅可以满足既定的营养需求,也可以在风味、口感上满足消费者的多样化要求。韩玲玉等^[1]对青稞、藜麦、燕麦、薏苡、小米、绿豆、豌豆这 7 种杂粮的抗氧化活性及其挤压粉的体外消化特性和估计血糖生成指数(expected glycemic index, eGI)进行了研究,最终结果表明 7 种杂粮的抗氧化活性存在显著性差异,其中青稞清除 DPPH·、ABTS· 能力和总抗氧化能力最强, eGI 值最高为小米(82.49),归为高血糖生成指数食品,其余杂粮均为中

血糖生成指数食品(61.96~73.24)。公丽艳等^[26]以薏米、小米、高粱、黑米、荞麦为原料研制五谷杂粮养生糊,将粉碎过筛后的杂粮粉进行挤压膨化等一系列处理最终得到成品,以感官评价、膨化度和吸水指数为参照指标,所得最佳的工艺参数为:物料粒径 80 目、物料加水量 20%、挤压温度 130 ℃、螺杆转速 170 r/min。薛朕钰等^[27]将裸燕麦粉与玉米淀粉混合进行挤压膨化处理,以膨化率、吸水指数、水溶性指数、质构及感官评价 5 项指标进行综合评价,最终确定的试验参数为:物料加水量 4%、IV 区膨化温度 180 ℃、螺杆转速 25 Hz、喂料速度 40 g/min,此时膨化率及物性效果较好。

3.2 杂粮重组米

杂粮重组米,顾名思义是指通过杂粮复配后重新加工得到的“杂粮米”,也称工程米、复合米。这种重组米以碎米、杂粮等为原料,将粉碎后的原料进行调质后送入挤压机进行挤压处理,通过调整挤压机出口刀头使挤出物呈米粒形状,最后对其进行干燥得到成品^[28]。通过对各种杂粮进行复配,其所含营养物质的种类及量的优劣势可以相互发挥与补足,例如燕麦所含的 β -葡聚糖量较高,且经高温处理其含量变化不显著^[29];大部分谷物的限制性氨基酸为 Lys,而杂豆类的 Lys 含量是谷物的两倍以上。对重组米而言,血糖生成指数、营养组成、吸水指数、稳定性、口感等都是评判其质量的重要标准。魏再鸿等^[30]以谷物杂粮为原料探究挤压参数对重组米吸水指数的影响,发现物料在高剪切力、高温高压及水分条件作用下产生了致密的微孔结构,使得重组米的吸水指数较大,同时所得成品的综合食用品质与市售的优质东北香大米十分接近。刘成梅等^[31]对重组米的血糖生成指数进行了相关研究,通过向粳米中添加高直链玉米淀粉降低重组米的血糖生成指数,添加燕麦膳食纤维和大米蛋白降低成品蒸煮后的硬度,同时这 3 种原料的添加不会改变成品米蒸煮后的黏度,最终制得的成品因其较低的血糖生成指数,既可作为高血糖人群的大米替代物,也可作为普通人日常食用的健康食品。相关研究^[32]报道的一种营养均衡、稳定的杂粮复合米,先将主要原料杂豆进行处理(包括粉碎、调制、挤压膨化、细微化粉碎),将处理完成得到的杂豆粉与谷物粉混合进行二次膨化,与小麦胚芽粉复配后经过一系列步骤最终得到成品,对杂豆粉先进行一次膨化的目的是预先混合各种豆粉并使豆类中不易消化的大分子降解,增加水溶性成分,使之易于消化。

3.3 早餐谷物

魏学明等^[9]研究了挤压膨化技术对膨化谷物营养

的影响,发现高温高压过程破坏了一些谷物中的有害因子,使淀粉糊化、脂肪含量降低、蛋白质降解,有效提高谷物的消化吸收率,但挤压膨化也使谷物中的维生素产生大量损失。林雅丽等^[33]通过向固定杂粮配比的原料中添加质构改良剂探究其对谷物早餐脆性的影响,结果表明乳化剂对产品脆性影响不明显,而添加的羧甲基纤维素钠(carboxymethyl cellulose, CMC)在挤压过程中形成了凝胶,保护部分淀粉晶型,同时凝胶与糊化淀粉紧密结合形成膜壁,阻碍水分渗透,从而提高产品保脆性。

3.4 特种食品

随着生活水平的提升,更多的消费者开始注重“以食养生”,一些针对特殊人群如老年人、婴幼儿、肥胖症及糖尿病患者的特种食品也越来越多。杂粮中含有多种生物活性物质,如黄酮、皂苷、植物甾醇等,均可对人体产生积极影响。薛朕钰等^[34]将苦荞黄酮提取物添入裸燕麦粉与玉米淀粉的混合物中,通过挤压膨化进行处理,所得产物的抗氧化能力和改善糖脂代谢紊乱能力都有较好地提高,对生产抗氧化食品及调节血脂食品均有积极意义。

4 结语

杂粮相较于精细粮来说,虽然在价格、烹饪难度、口感等方面均有差距,但随着人们生活水平的提高和均衡营养意识的完善,杂粮在营养成分、生物活性物质方面受到了越来越多的关注。而且任何年龄段消费者均适宜食用,在增强机体功能、修复体质、调节免疫和内分泌、提高机体应激能力、预防疾病、抗癌、减肥、辅助治疗等方面也都有非常好的效果。挤压膨化技术在我国仍处于起步阶段,将杂粮与挤压膨化技术结合起来,不仅能粗粮细做,更好利用低价粗原料,更先进的、生产能力大的挤压膨化设备也会被同步研发。而且目前食品工业中杂粮食品的种类还比较少,这意味着未来无论杂粮食品或是挤压膨化技术的开发前景均十分广阔,这也需要国内研究人员向产品开发领域投入更多精力。

从营养物质方面看,一方面挤压膨化处理可以使产品中的淀粉、蛋白质初步水解,提高消化率,延长货架期,保证食品品质;另一方面,高温高压的环境虽然使一些热敏性营养物质丧失生物活性,如:维生素、多酚类物质等,但考虑到通过控制挤压膨化处理过程中的变量参数,或者开发与营养强化相关的加工工艺,目前这些面临的问题都可以得到较好地解决。何况与其它处理工艺相比,挤压膨化处理在物性改造与保藏

性提升方面均有较大的优势。

相比较国外对食品挤压膨化技术的研究、应用程度,国内相应的研究和应用在未来还有很大的发展空间。此外,杂粮食品的品类在消费市场中仍相对单一,例如针对糖尿病患者的低血糖生成指数食品、针对麸质过敏人群的“无麸质”食品等特种食品仍处于研究阶段,市场投放量少,大部分消费者未认识到该种食品的价值。相信随着人们健康观念的强化以及营养知识的普及,挤压膨化杂粮食品会得到越来越多消费者的认可,针对其在食品工业中应用的研究也会越来越多并日趋完善。

参考文献:

- [1] 韩玲玉,汪丽萍,谭斌,等.7种杂粮抗氧化活性及其挤压杂粮粉体外消化特性研究[J].中国粮油学报,2019,34(6):45-52.
- [2] 沙敏,武拉平.杂粮研究现状与趋势[J].农业展望,2015,11(2):53-56,60.
- [3] 朱国洪,彭超英,尹国.食品挤压技术及最新研究进展[J].食品与发酵工业,2000,26(4):59-62.
- [4] 刘红武.食品挤压技术[J].食品科学,2000,21(12):184-187.
- [5] 叶琼娟,杨公明,张全凯,等.挤压膨化技术及其最新应用进展[J].食品安全质量检测学报,2013,4(5):1329-1334.
- [6] KOWALSK, RYAN J, MURPHY, et al. Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla [J]. Journal of Cereal Science, 2016, 70: 91-98.
- [7] 陈可,朱立学,韦鸿钰,等.挤压膨化技术在植物复合粉体食品加工中的应用[J].仲恺农业工程学院学报,2016,29(2):62-66.
- [8] 高珊,董琦,曹龙奎.膨化杂粮粉对饼干预混粉品质的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2015,27(5):139-145.
- [9] 魏学明,张光,刘琳琳,等.挤压膨化技术对早餐谷物营养的影响[J].农产品加工,2016,15(7):55-57,60.
- [10] 徐晓茹,周坚,吕庆云,等.挤压前、后大米淀粉理化性质的变化[J].中国食品学报,2019,19(12):187-194.
- [11] 王盼,汪丽萍,田晓红,等.挤压加工与淀粉理化性质关系的研究进展[J].粮油食品科技,2016,24(6):13-17.
- [12] 冯玉红.挤压膨化带胚玉米作啤酒辅料的试验研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2000.
- [13] 杨铭铎.谷物膨化机理的研究[J].食品与发酵工业,1988,14(4):7-16.
- [14] ZHANG M, BAI X, ZHANG Z S. Extrusion process improves the functionality of soluble dietary fiber in oat bran [J]. Journal of Cereal Science, 2011, 54: 98-103.
- [15] 侯汉学,张锦丽,董海洲,等.麦麸膳食纤维的挤压改性及其在面包中的应用研究[J].粮食与饲料工业,2003,32(5):36-38.
- [16] 谢碧霞,李安平.膳食纤维[M].北京:科学出版社,2006:5,109-112.
- [17] 房岩强,杨海莺,谢天,等.膳食纤维挤压改性研究进展[J].中国粮油学报,2016,31(2):141-146.
- [18] 杜双奎,魏益民,张波.挤压膨化过程中物料组分的变化分析[J].中国粮油学报,2005,20(3):39-43,47.
- [19] MERCIER C, FEILLET P. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products[J]. Cereal Chem, 1975, 52(3): 283-297.
- [20] ILO S, BERGHOFER E. Kinetics of lysine and other amino acids loss during extrusion cooking of maize grits [J]. Food Sci, 2003, 68(2): 496-502.
- [21] LAMPI A M, DAMERAU A, LI J, et al. Changes in lipids and volatile compounds of oat flours and extrudates during processing and storage [J]. Journal of Cereal Science, 2015, 62: 102-109.
- [22] 刘鹏,王世让,刘艳秋,等.挤压加工对食品中营养物质的影响研究进展[J].中国粮油学报,2018,33(6):127-132.
- [23] 刘通通,张晖.淀粉脂肪挤压体系的研究 [J]. 中国粮油学报, 2019, 34(10): 49-56.
- [24] SHARMA P, GUJRAL H S. Effect of sand roasting and microwave cooking on antioxidant activity of barley [J]. Food Research International, 2011, 44(1): 235-240.
- [25] 赵二芳,杨洁,闫唯,等.藜麦中多酚提取纯化工艺及其功能活性研究现状[J].粮食与油脂,2019,32(11):83-84.
- [26] 公丽艳,许青,杨平,等.五谷杂粮养生糊的研制[J].农业科技与装备,2018,34(5):51-53.
- [27] 薛朕钰,刘金福,薛森,等.裸燕麦与玉米淀粉混合挤压膨化技术研究[J].食品研究与开发,2018,39(2):137-142.
- [28] 何忠源,马天文,王庆峰,等.双螺杆挤压工艺对杂粮重组米感官品质影响研究[J].农业科技与装备,2017,35(9):63-68.
- [29] SCHLORMANN W, ZETZMANN S, WIEGE B, et al. Impact of different roasting conditions on sensory properties and health-related compounds of oat products [J]. Food Chemistry, 2019, 307: 125548.
- [30] 魏再鸿,周洋,王丹晖,等.双螺杆挤压机参数对挤压工程米吸水指数的影响[J].食品科学,2013,34(12):99-103.
- [31] 刘成梅,方冲,刘云飞,等.不同添加物对挤压重组米血糖生成指数和理化性质的影响[J].中国食品学报,2020,20(3):96-102.
- [32] 安徽秋果食品有限公司.一种营养均衡、稳定的杂粮复合米及其加工方法:CN201811399308.2[P].2019-02-19.
- [33] 林雅丽,张才科,张晖,等.质构改良剂对谷物早餐保脆性的影响[J].中国食品学报,2016,16(11):162-167.
- [34] 薛朕钰,薛森,王雪,等.添加苦荞黄酮提取物的裸燕麦挤压膨化产品抗氧化及降血脂功效研究[J].食品研究与开发,2019,40(12): 33-38.

加工编辑:王艳

收稿日期:2020-07-06