

谷物代餐粉的要素及开发趋势分析

Analysis of the elements and development trends of cereal meal replacement powder

杨瑞芳^{1,2,3}白建江^{1,2,3}汤剑豪^{1,2,3}YANG Ruifang^{1,2,3}BAI Jianjiang^{1,2,3}TANG Jianhao^{1,2,3}朴钟泽^{1,2,3}万常照^{1,2,3}徐伟琴⁴PIAO Zhongze^{1,2,3}WAN Changzhao^{1,2,3}XU Weiqin⁴

(1. 上海市农业科学院作物育种栽培研究所, 上海 201403; 2. 上海农产品保鲜加工工程技术研究中心, 上海 201403; 3. 农业农村部粮油作物种质创新与遗传改良重点实验室[部省共建], 上海 201403; 4. 上海市金山区亭林镇农业农村服务中心, 上海 201505)

(1. *Crop Breeding and Cultivation Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China*; 2. *Agri-food Storage and Processing Engineering Technology Research Center, Shanghai 201403, China*; 3. *Key Laboratory of Germplasm Innovation and Genetic Improvement of Grain and Oil Crops [Co-construction by Ministry and Province], Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201403, China*; 4. *Shanghai Jinshan District Tinglin Town Agricultural and Rural Service Center, Shanghai 201505, China*)

摘要:谷物富含有益人体健康的多种营养物质,谷物代餐粉干预可以减轻体重、改善血脂、调节餐后血糖、辅助治疗和预防糖尿病等,具有广阔的应用和发展前景。文章系统地概述了谷物代餐粉的加工原料、功效、消化特性、加工工艺以及代餐食品相关执行标准,并对谷物代餐开发前景进行了展望。

关键词:谷物;代餐粉;糖尿病;肥胖

Abstract: Cereals are enriched with many nutrients that are good for human health. Cereal meal replacement powder interventions can reduce weight, improve blood lipids, regulate postprandial glucose, adjuvant treatment and prevention of diabetes, and have a wide range of applications and development prospects. In this review, the processing materials, efficacy, formulation optimization methods, digestive properties, processing techniques, and related implementation standards for meal replacements are summarized, and the development of meal replacements is prospected.

Keywords: cereal; meal replacement powder; diabetes; obesity

近年来,随着代餐食品行业的发展,主打降糖减脂、清理肠道的代餐食品受到众多减肥减脂以及亚健康人群的欢迎。越来越多的企业投身于开发以全谷物粗粮、杂粮为主料的营养健康谷物代餐粉,如发芽糙米全谷物代餐粉^[1]、紫薯代餐粉^[2]、杂粮代餐粉^[3]、蚕豆代餐粉^[4]、青麦仁代餐粉^[5]、黑豆代餐粉^[6]等。在谷物代餐粉中适当增加一些具有重要生理功能的成分,可以为健康人群及糖尿病等慢性疾病人群提供更多的代餐选择^[3,7]。功能稻米作为一类具有特殊功能的水稻产品,除了具有一般稻米的基本营养成分外,还含有对人体健康有益的生理活性物质,能够调节人体生理功能、平衡人体营养、预防疾病等^[8]。

文章总结了谷物代餐粉的原料、功效、消化特性、加工工艺、代餐食品相关执行标准,并对其未来发展方向进行了展望,旨在为以功能稻为主要原料的谷物代餐粉的开发提供依据。

1 谷物代餐粉原料

1.1 主料

谷物是以禾本科植物为主的粮食作物,谷类代餐粉原料主要有稻谷、小麦、玉米、大豆和薯类五大作物以及高粱、荞麦、燕麦等杂粮,是碳水化合物的主要来源,除了

基金项目:上海市科委成果转化应用项目(编号:22N51900800);上海市水稻产业技术体系建设(编号:沪农科产字[2023]第3号);上海市科技兴农重点攻关项目(编号:2022-02-08-00-12-F01126)

作者简介:杨瑞芳,女,上海市农业科学院副研究员,博士。

通信作者:白建江(1984—),男,上海市农业科学院副研究员,硕士。E-mail: baijiangjiang1984@163.com

收稿日期:2022-11-08 **改回日期:**2023-04-24

提供能量和营养外,还具有增强健康的能力。谷物代餐粉是以谷类为主要原料经过简单的熟化、研磨和调配形成的单一或复合型的粉状冲调产品^[9]。通过搭配不同谷物,可以开发适合不同特殊人群的膳食代餐粉制品。

水稻是中国的主要粮食作物,可以提供碳水化合物、蛋白质、维生素、膳食纤维、矿物质元素等,将大米干燥、粉碎制备成大米粉,可以作为代餐加工的主要原料^[10]。但是精白米由于过度加工,其营养损失严重,不适合大部分亚健康人群食用。巨胚米、有色米、高抗性淀粉大米、低谷蛋白大米、发芽糙米以及富含矿物质元素的功能性大米能够有效改善以大米为主食的亚健康人群的健康情况^[8,11],可成为营养健康谷物代餐的主要原料。

除了水稻、小麦、玉米等大宗作物外,青稞、藜麦、荞麦、燕麦等营养丰富的杂粮也可作为谷物代餐粉的主要原料。青稞是一种营养价值较高的地方资源谷物,富含 γ -氨基丁酸(GABA)和 β -葡聚糖^[12-13]。藜麦是一种具有特殊营养特性的谷物,与普通谷物相比,藜麦蛋白属于优质蛋白,还含有多种维生素、矿物质等微量元素,有研究^[14-15]表明,食用藜麦可以补充营养,降糖降血脂,并具有清理肠道的作用。燕麦是一种低糖、高营养、低热量的高能食品,具有很好的减肥降脂、降糖及抗氧化功效,是市面上常见的降糖代餐原料之一。荞麦营养素含量高,含有大量的黄酮类物质,尤其富含芦丁,具有多种保健作用,对预防糖尿病等慢性疾病有显著功效^[4]。

1.2 辅料

谷类物质中碳水化合物含量为 75%~80%,蛋白质含量为 8%~10%,其功能因子含量较低。药食同源类资源通常含有多种活性成分,如生物碱、多糖、黄酮以及微量元素等,以药食同源类物质为原料开发代餐食品也备受关注^[16]。谷物代餐粉除了谷物主料外,还可以辅加如芝麻、绿豆、莲子、山楂、核桃、薏米仁、山药、猴头菇等药食同源物质以及调味剂(代糖、香精、色素、防腐剂等),通过复配优化获得针对不同人群的健康营养谷物代餐粉。

2 谷物代餐粉的功效

2.1 增加饱腹感、预防肥胖

随着生活水平的提高,肥胖已成为了社会关注的热点问题。肥胖会引起糖脂代谢被抑制,导致胰岛素抵抗,从而引发糖耐量异常和糖尿病^[8,17-19]。超重和肥胖是心脑血管疾病、糖尿病、高血压等慢性疾病的重要危险因素^[20-21]。刘芳等^[20]研究了以大豆、燕麦、亚麻籽为主的混合谷物代餐对肥胖患者血脂变化的影响,发现混合谷物膳食纤维可降低肥胖患者的体重和血脂。田文静等^[22]以红小豆粉、燕麦粉、红枣粉、紫薯粉等为主要原料,通过复配优化代餐粉配方,获得了香气浓郁、口感细腻,可增强饱腹感,具有减肥瘦身效果的代餐粉。戴增辉等^[23]以小麦麸皮和马铃薯全粉为原料,调配出营养全面的低脂

代餐粉。

2.2 调节血糖、降血脂

2011—2021 年,中国糖尿病患者人数从 9 000 万增至 14 000 万,因此,开发具有调节餐后血糖功能的代餐食品具有重要意义^[24]。任向楠等^[25]研究发现,摄入燕麦代餐粉 4 h 后的饱腹感明显高于空腹和提供同等能量的大米粉,且餐后血糖和胰岛素应答更加平稳。赵娇娇等^[26]以莜麦粉、苦荞粉为主要原料,开发出了感官品质佳、冲调性好、风味独特且具有降糖作用的代餐粉。张少波等^[27]以姜薯粉、黑豆粉、魔芋粉等为主要原料,复配出低 GI,适合糖尿病患者、减脂人群食用的代餐粉。李晓月等^[28]研究发现,玉米全谷物代餐粉可有效降低大鼠血糖血脂水平,提高抗氧化能力和减少肝损伤。宗敏等^[29]研发了具有较高的饱腹感指数,适合肥胖症、糖尿病、冠心病、高血压等慢性病患者食用的低 GI 营养代餐粉(配料包括黑苦荞、青稞、亚麻籽),是健康良好的耐饥食品。

抗性淀粉在人体小肠中不能被酶解转化为葡萄糖,需在大肠中发酵降解,具有防治肠道疾病、控制血糖、改善血脂以及促进矿物质吸收等功能。李铁梅等^[30]以制备的高抗性淀粉马铃薯全粉为主要原料,开发了适合糖代谢异常人群食用的低 GI 代餐粉。将抗性淀粉作为功能成分加入代餐粉中,有助于调节血糖血脂,起到预防和控制糖尿病以及肠道疾病等功能^[31]。日常食用的稻米被认为是高 GI 食物,市售优质大米的抗性淀粉含量仅为 0.1%~0.5%。高抗性淀粉稻米的抗性淀粉含量相对较高,目前市面上常见的高抗性淀粉功能稻米有“优糖稻”“适糖米”“宜糖米”“稳糖米”等,但是以高抗性淀粉功能水稻为主,开发低 GI 代餐粉的研究尚未见报道。

2.3 其他保健功能

代餐粉除了具有减肥、调节血糖、降血脂等功效外,还具有提高免疫力、抗氧化、抗衰老、抗过敏等保健功能。硒是人体必需的微量元素,富硒功能性代餐食品不但能增强人体免疫力,还可以有效预防肝病、肿瘤等疾病^[32-33]。任昱灿等^[34]将苦荞叶粉、荷叶粉、山药粉、木糖醇、脱脂奶粉混合调配,研制出苦荞叶荷叶排毒保健代餐粉。郑文雄等^[35]研制的金花天然抗氧化五谷代餐粉,具有美容养颜效果。廖传仙等^[36]研制的黑木耳桑葚魔芋代餐粉,具有良好的抗氧化活性。张李等^[37]开发的富含膳食纤维和不饱和脂肪酸的复方海带代餐粉,具有润肠通便的作用。

3 谷物代餐粉的消化特性评价

谷物是中国居民的主要膳食来源,与人体健康密切相关。淀粉是谷物中碳水化合物的最主要组成部分,食物中淀粉的消化程度和消化速率是影响食物餐后血糖应答的主要因素。根据消化吸收速度不同,淀粉主要可以分为快消化淀粉(RDS)、慢消化淀粉(SDS)和抗性淀粉

(RS),食物餐后血糖反应与食物中淀粉的消化速度高度相关^[38]。食物的消化特性不仅与碳水化合物的来源、含量有关,还与碳水化合物的类型、化学结构、加工方式、贮存条件等有关^[39]。慢消化淀粉食物能够减少人体餐后血糖应答与胰岛素反应,对维持血糖平稳,控制糖尿病病情有利。谷物代餐粉的消化特性评价非常重要,是开发减肥代餐、降糖代餐等的重要参考指标。消化特性评价主要分体外消化特性分析和体内消化特性分析,体外消化特性分析主要通过模拟人体胃肠道环境,测定食物的体外消化速度,相较于体内消化特性分析,其成本更低,体外消化特性分析可以为人体试验提供更多的参考。

4 谷物代餐粉的加工工艺

4.1 熟化

谷物原料的熟化主要包括普通的焙炒熟化、蒸煮熟化、微波熟化、滚筒熟化和挤压熟化等。焙炒是代餐粉加工过程中的一道重要工序,普通炒制使得谷物淀粉、蛋白质等大分子物质降解,促进美拉德和焦糖化反应的发生,形成不同香味的挥发性风味物质,能够有效改善原料的营养价值和风味^[40]。蒸煮熟化后需要增加脱水操作环节,工艺流程相对复杂、较为耗时和耗能。挤压膨化技术是集物料的混合、搅拌、破碎、加热、蒸煮、杀菌、膨化及成型为一体的加工技术^[9],通过高温、高剪切力的作用使物料蓬松多孔。食品原料经挤压加工后,所含的大分子营养物质在一定程度上被降解成小分子,可改善其冲调特性^[14,41]。高抗性淀粉功能大米优糖稻米经不同的熟化加工方式,可不同程度地改变其结构稳定性,且高压蒸煮、挤压膨化会导致功能成分抗性淀粉的损失^[42]。因此,不同的熟化方式对产品品质影响不同,在代餐加工过程中,需根据目标人群及代餐粉加工原料本身特性选择有针对性的熟化方式。

4.2 复配

代餐粉是由一种或多种原辅料,按一定比例混合复配而成的冲调类产品,所得产品具有较好的冲调特性且口感优良^[8]。代餐粉的复配一般是指原料成分按照一定比例混合复配,使得各原料的活性成分互相结合、取长补短,且不同谷物的风味得以互相掩蔽、优化和增强,健康功效远远超过单一原料的代餐粉,更加有利于人体健康。

4.3 其他加工工艺

谷物代餐粉的加工工艺还包括微波加热技术、超高压技术、电离辐射、真空冷冻干燥技术等。微波加热工艺能够通过微波加热中的水分振荡达到灭菌、干燥的目的,较传统加热工艺速度快、效率高,但是在谷物代餐粉加工过程中容易造成碳水化合物的淀粉糊化等,对物料品质的影响较传统工艺大^[43]。超高压技术是一种新型、用于灭活食源性病原菌和腐败微生物的非热食品保存技术,主要是利用压力使食品中的酶、蛋白质、淀粉等高分子物

质失活,具有突出的灭菌效果,拥有广阔的市场应用前景^[44-46]。真空冷冻干燥技术可以最大限度地保持原有物料的结构和形态,符合绿色、方便和营养需求,被广泛应用于食品行业^[47]。

5 代餐食品的相关标准

目前,代餐食品行业市场规模呈逐年递增趋势,但暂未见有关中国代餐粉食品生产的国家标准。代餐食品行业存在产品营养不均衡、配方不合理、夸大宣传问题,在代餐行业缺乏监管的情况下,势必会影响代餐食品行业的健康发展。由中国营养学会营养健康研究所牵头制定了关于代餐的团体标准“代餐食品营养标准”(T/CNSS 002-2018),自2020年1月1日起正式实施。该标准对代餐粉食品的定义、营养标准、标签规范等方面有了明确要求,营养标准包括代餐的能量、蛋白质、脂肪、膳食纤维等营养成分。该标准规定每餐代餐食品所提供的能量应该大于等于835 kJ,不高于1 670 kJ,代餐食品中的蛋白质能量需占总能量的25%~30%,代餐食品中脂肪能量不应该超过总能量的30%。该团体标准的建立对代餐食品产品开发起到了指导作用,但是团体标准是由市场自主定制的标准,属于自愿采用的标准,不作为强制执行标准。随着消费水平的不断提高,为使中国代餐粉在市场上占据主导地位,扩大代餐粉企业规模,未来也急需各方共同努力,推动相关国家代餐食品标准的立项和研制工作来进一步规范和完善市场,全面促进代餐食品行业的创新发展。

6 结束语

现代人生活节奏不断加快,亚健康问题也越来越严重,营养健康的代餐食品受到广大消费者的青睐,经过多种谷物原料复配加工生产的谷物代餐粉具有广阔的市场应用前景。谷物代餐粉中含有丰富的营养物质和膳食纤维,食用价值高,但其口感较粗糙、适口性差,其主食化加工受到了限制。因此,通过加工工艺参数优化原料配比、研制出营养丰富且适口性、冲调性好的全谷物复合代餐粉成为重要研究方向。

近年来,富含抗性淀粉的低GI值大米成为了育种学家和营养学家关注的热点,国内外水稻育种专家已获得了一系列高抗性淀粉水稻品种并已商品化生产^[48-51]。利用如高抗性淀粉含量等功能稻米作为主要原料开发新型的谷物代餐粉具有广阔的市场应用前景。上海市农业科学院选育的具有自主知识产权的高抗性淀粉功能水稻“优糖稻”,其抗性淀粉含量是普通水稻的20倍以上^[49]。该团队^[52]探索开发了一种优糖稻加工食用方法,开发出口感风味更容易被消费者接受的高抗性淀粉含量加工产品优糖米熟粉,其抗性淀粉质量分数超过20%,优糖米熟粉可以作为主要原料,配成低GI的高抗性淀粉稻米代餐粉。将具有调节餐后血糖功能的高抗性淀粉含量稻米、

适合肾脏病患者食用的低谷蛋白稻米等功能稻米作为主要加工原料应用到谷物代餐粉加工中,研制出色泽、口感及风味都符合大多数人群食用的功能性代餐粉,创制出适合不同人群需求的代餐新产品并实现产业化是代餐食品的发展方向,对提高稻米的附加值,延长产业链具有重要意义。

参考文献

- [1] 赵艳博, 刘子迈, 王永辉. 发芽糙米全谷物营养代餐粉的研制[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(12): 90-94.
ZHAO Y B, LIU Z M, WANG Y H, et al. Development of whole grain nutritional meal substitute powder of sprouted brown rice[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(12): 90-94.
- [2] 王也田, 黄婉茹, 雷君, 等. 紫薯代餐粉的研制及其冲调性研究[J]. 现代食品, 2017(22): 103-107, 115.
WANG M T, HUANG W R, LEI J, et al. Study on the preparation of purple sweet potato meal and its tonality[J]. Modern Food, 2017(22): 103-107, 115.
- [3] 赵立春, 钟余特, 李俊秀, 等. 青钱柳杂粮代餐粉的研制[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 141-143.
ZHAO L C, ZHONG Y T, LI J X, et al. The preparation of cyclocarya paliurus and grains meal replacement powder[J]. The Food Industry, 2019, 40(12): 141-143.
- [4] 丁秋霞. 低能量蚕豆营养代餐粉工艺优化及其活性功能研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2020: 3.
DING Q X. Study on the process optimization and the active function of low-energy broad bean nutritional meal substitute powder[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2020: 3.
- [5] 张康逸, 何梦影, 康志敏, 等. 青麦仁代餐粉的配方优化[J]. 现代食品科技, 2020, 36(1): 184-191.
ZHANG K Y, HE M Y, KANG Z M, et al. Optimization of green wheat berry meal replacement powder formula[J]. Modern Food Science & Technology, 2020, 36(1): 184-191.
- [6] 朱莹莹, 张丽, 李敬楠. 黑豆复合代餐粉配方研制[J]. 食品工业, 2021, 42(11): 343-346.
ZHU Y Y, ZHANG L, LI Y N, et al. Optimization of the formula of black bean composite meal powder[J]. The Food Industry, 2021, 42(11): 343-346.
- [7] ROBERTO V, BISAN A, FABRIZIO P, et al. Replacement meal: Effectiveness of a soluble powder rich in fibers and at low glycemic index in overweight but not in obese patients[J]. Food and Nutrition Sciences, 2017, 8(6): 591-597.
- [8] 胡时开, 胡培松. 功能稻米研究现状与展望[J]. 中国水稻科学, 2021, 35(4): 311-325.
HU S K, HU P S. Research progress and prospect of functional rice[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2021, 35(4): 311-325.
- [9] 费永涛, 郑文雄, 陈燕清, 等. 代餐粉特性及加工生产的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(9): 3 557-3 564.
FEI Y T, ZHENG W X, CHEN Y Q, et al. Research progress on characteristics and processing of meal replacement powder[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2021, 12(9): 3 557-3 564.
- [10] 王勇, 应剑, 董志忠, 等. 低升糖指数大米研究进展[J]. 生物产业技术, 2017(4): 41-47.
WANG Y, YING J, DONG Z Z, et al. Recent development of research on low glycemic index rice[J]. Biotechnology & Business, 2017(4): 41-47.
- [11] 苏宁, 万向元, 翟虎渠, 等. 功能型水稻研究现状和发展趋向[J]. 中国农业科学, 2007, 40(3): 433-439.
SU N, WAN X Y, QU H L, et al. Progress and prospect of functional rice researches[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(3): 433-439.
- [12] 李婷玉, 杜艳, 陈正行, 等. 发芽青稞辅助降血糖和降血脂功效研究[J]. 中国食品学报, 2022, 22(9): 114-122.
LI T Y, DU Y, CHEN Z X, et al. Hypoglycemic and hypolipidemic effect of germinated highland barley[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(9): 114-122.
- [13] WU D, YU L, GUO L, et al. Effect of highland barley on rheological properties, textural properties and starch digestibility of Chinese steamed bread[J]. Foods, 2022, 11(8): 1 091.
- [14] 彭明军, 朱莹莹, 董吉林, 等. 藜麦绿茶营养代餐粉的研制及工艺优化[J]. 轻工学报, 2021, 36(5): 24-33.
PENG M J, ZHU Y Y, DONG J L, et al. Preparation and process optimization of quinoa green tea nutritional meal replacement powder[J]. Journal of Light Industry, 2021, 36(5): 24-33.
- [15] HUSSAIN M I, FAROOQ M, SYED Q A, et al. Botany, nutritional value, phytochemical composition and biological activities of quinoa[J]. Plants, 2021, 10(11): 2 258.
- [16] 陈丽华, 单雅慧, 管咏梅, 等. 药食同源物质改善胃肠道功能作用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(4): 480-487.
CHEN L H, CHAN Y H, GUAN Y M, et al. Research progress on the effect of medicinal and edible substances on improving gastrointestinal tract function[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(4): 480-487.
- [17] 张晓彤, 吴澎. 代餐食品的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(12): 342-347.
ZHANG X T, WU P. Research progress on meal replacement food[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(12): 342-347.
- [18] 王艳霞, 华玲, 胡月衡, 等. 代餐粉研究进展综述[J]. 四川农业科技, 2021(3): 83-85.
WANG Y X, HUA L, HU Y H, et al. Review on research progress of meal substitute powder[J]. Sichuan Agricultural Science and Technology, 2021(3): 83-85.
- [19] DHARMALINGAM M, DAS R, JAIN S, et al. Impact of partial meal replacement on glycemic levels and body weight in Indian patients with type 2 diabetes (pride): A randomized controlled study[J]. Diabetes Therapy, 2022, 13(9): 1 599-1 619.
- [20] 刘芳, 蒋一倩, 马志红, 等. 混合谷物粉代餐对肥胖患者血脂变化的影响[J]. 海南医学, 2015, 26(4): 501-504.

- LIU F, JIANG Y Q, MA Z H, et al. Effect of meal with mixed grain cereal on serum lipid of obese patients[J]. Hainan Medical Journal, 2015, 26(4): 501-504.
- [21] NUIJTEN M, DAINELLI L, RASOULI B, et al. A meal replacement program for the treatment of obesity: A cost-effectiveness analysis from the Swiss payer's perspective [J]. Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity, 2021, 14: 3 147-3 160.
- [22] 田文静, 赵东瑞, 张彤, 等. 复合杂粮代餐粉的研制[J]. 食品工业, 2021, 42(9): 27-32.
- TIAN W J, ZHAO D R, ZHANG T, et al. Development of multi-grain meal replacement powder [J]. The Food Industry, 2021, 42(9): 27-32.
- [23] 戴增辉, 庞文录, 傅靖哈, 等. 低脂代餐粉配方的优化研究[J]. 农业科技与装备, 2021(6): 53-55, 58.
- DAI Z H, PANG W L, FU J H, et al. Study on optimization of lowfat meal replacement powder [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2021(6): 53-55, 58.
- [24] 朱运平, 任斐. 降血糖食品的研究进展[J]. 中国酿造, 2022, 41(9): 1-7.
- ZHU Y P, REN F. Research progress of hypoglycemic foods[J]. China Brewing, 2022, 41(9): 1-7.
- [25] 任向楠, 周瑾, 何梅, 等. 燕麦配方代餐粉对成人的饱腹感影响研究[J]. 营养学报, 2020, 42(2): 115-121, 129.
- REN X N, ZHOU J, HE M, et al. Study on the satiety of oat-based meal replacement in healthy adults [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2020, 42(2): 115-121, 129.
- [26] 赵娇娇, 刘丹, 陈若瑀, 等. 苜蓿苦荞高纤维杂粮降糖代餐粉的研制[J]. 粮食加工, 2020, 45(5): 44-48.
- ZHAO J J, LIU D, CHEN R Y, et al. Development of naked oats tartary buckwheat high fiber grain hypoglycated meal substitute powder[J]. Grain Processing, 2020, 45(5): 44-48.
- [27] 张少波, 张小松, 梁兰兰. 姜薯复配代餐粉的配方优化与血糖生成指数评价[J]. 广州城市职业学院学报, 2022, 16(1): 82-85, 91.
- ZHANG S B, ZHANG X S, LIANG L L. Research on formulation optimization and glycemic index vivo test of *Dioscorea alata* L. meal replacement[J]. Journal of Guangzhou City Polytechnic, 2022, 16(1): 82-85, 91.
- [28] 李晓月, 郭玉秋, 孙琳琳, 等. 玉米全谷物代餐粉对大鼠糖脂代谢的影响[J]. 中国食物与营养, 2021, 27(8): 33-37.
- LI X Y, GUO Y Q, SUN L L, et al. Effects of corn whole grain meal on glycolipid metabolism in diabetic rats [J]. Food and Nutrition in China, 2021, 27(8): 33-37.
- [29] 宗敏, 陈艳秋, 李士捷, 等. 营养代餐粉和营养米粉的血糖生成指数与饱腹感指数研究[J]. 中国糖尿病杂志, 2020, 28(2): 116-119.
- ZONG M, CHEN Y Q, LI S J, et al. Glycemic and satiety indexes of nutritional meal replacement powder and rice flour and its influencing factor analysis[J]. Chinese Journal of Diabetes, 2020, 28(2): 116-119.
- [30] 李铁梅, 王玺, 刘美玉, 等. 低血糖生成指数马铃薯代餐粉的配方优化研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(7): 2 066-2 074.
- LI T M, WANG X, LIU M Y, et al. Study on the formulation optimization of low glycemic index potato meal replacement powder[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(7): 2 066-2 074.
- [31] 郭亦庄, 高昕瑜, 邢璐奕, 等. 抗性淀粉的功能特性及其应用研究进展[J/OL]. 中国粮油学报. (2022-06-17) [2023-04-24]. <http://kns-cnki-net.vpn.saas.sh.cn: 8118/kcms/detail/11. 2864. TS. 20220617.1013.002.html>.
- GUO Y Z, GAO X Y, XING L Y, et al. Research progress on functional characteristics and application of resistant starch[J/OL]. Journal of the Chinese Cereal and Oils Association. (2022-06-17) [2023-04-24]. <http://kns-cnki-net.vpn.saas.sh.cn: 8118/kcms/detail/11.2864.TS.20220617.1013.002.html>.
- [32] 杨碧颖, 周琼. 富硒黑米代餐粉的研发[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(6): 66-71.
- YANG B Y, ZHOU Q. Research and development of selenium-enriched black rice meal replacement powder [J]. Storage and Process, 2021, 21(6): 66-71.
- [33] 周葵, 洪雁, 梁尚云, 等. 富硒大米粉预糊化及其复配代餐粉的研制[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(1): 186-192.
- ZHOU K, HONG Y, LIANG S Y, et al. Exploration on meal replacement powder using Se-rich rice flour with different pregelatinization[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(1): 186-192.
- [34] 任昱灿, 姚波, 郭雨, 等. 苦荞叶荷叶排毒保健代餐粉的研究及工艺优化[J]. 农产品加工, 2017(4): 25-28.
- REN Y C, YAO B, GUO Y, et al. Study on the formulation and process optimization of the buckwheat leaf and lotus leaf detoxification health care meal replacement powder [J]. Farm Products Processing, 2017(4): 25-28.
- [35] 郑文雄, 麦晓怡, 张宇翠, 等. 金花茶天然抗氧化五谷代餐粉加工工艺[J]. 食品工业, 2021, 42(2): 87-91.
- ZHENG W X, MAI X Y, ZHANG Y C, et al. The processing technology of natural antioxidant grains meal substitute for golden scented tea[J]. The Food Industry, 2021, 42(2): 87-91.
- [36] 廖传仙, 黄建国, 陆萍, 等. 黑木耳桑葚魔芋代餐粉复合多糖的抗氧化活性研究[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(16): 162-164, 253.
- LIAO C X, HUANG J G, LU P, et al. Study on the antioxidant activities of mixed polysaccharide from a compound meal powder [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(16): 162-164, 253.
- [37] 张李, 聂诗明, 陈运中, 等. 复方海带代餐粉的辅助降血脂作用[J]. 食品与机械, 2021, 37(11): 178-182.
- ZHANG L, NIE S M, CHEN Y Z, et al. Auxiliary hypolipidemic effect of compound kelp meal substitute powder [J]. Food & Machinery, 2021, 37(11): 178-182.

- [38] 丁长河, 周林秀, 李晓林. 不同大米米饭碳水化合物消化速度的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2012, 33(5): 57-62.
- DING C H, ZHOU L X, LI X L, et al. Study on carbohydrate digestion rate of different rice[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2012, 33(5): 57-62.
- [39] 王竹, 杨月欣, 王国栋, 等. 淀粉的消化特性与血糖生成指数[J]. 卫生研究, 2003(6): 622-624.
- WANG Z, YANG Y X, WANG G D, et al. Starch digestion and glycemic indexes[J]. Journal of Hygiene Research, 2003(6): 622-624.
- [40] 赵阿丹, 胡志全, 刘友明, 等. 米茶焙炒挥发性气味的形成与特征研究[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(3): 1-6.
- ZHANG A D, HU Z G, LIU Y P, et al. The formation and characteristics of volatile odor in roasted rice tea[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(3): 1-6.
- [41] 王霞, 刘永吉, 董莹, 等. 杂粮代餐粉的配方设计和工艺优化[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(2): 75-82.
- WANG X, LIU Y J, DONG Y, et al. Formulation design and process optimization of meal powder substitute for cereals[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(2): 75-82.
- [42] 孙志敏, 白建江, 朱辉明, 等. 混配比例及加工方式对“降糖稻 1 号”稻米产品抗性淀粉含量的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(2): 318-323.
- SUN Z M, BAI J J, ZHU H M, et al. Effect of mixing ratio and processing methods on resistant starch content of products of rice 'Jiangtangdao 1'[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2012, 26(2): 318-323.
- [43] 黄定强, 贺清辉, 王红刚. 食品加工工艺流程的优化策略探讨[J]. 现代食品, 2022, 28(5): 70-72.
- HUANG D Q, HE Q H, WANG H G. Discussion on the optimization strategy of food processing process[J]. Modern Food, 2022, 28(5): 70-72.
- [44] 芦荣华, 郭志芳. 食品加工工艺优化及应用探讨[J]. 食品安全导刊, 2021(12): 148-149.
- LU R H, GUO Z F. Optimization and application of food processing technology[J]. China Food Safety Magazine, 2021(12): 148-149.
- [45] 张雪颖. 食品加工过程中的超高压灭菌技术[J]. 食品安全导刊, 2022(8): 179-182.
- ZHANG X Y. Autoclave technology in the food processing process[J]. China Food Safety Magazine, 2022(8): 179-182.
- [46] 徐圣捷, 赵东, 高祥, 等. 超高压食品加工设备现状及发展趋势[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 222-225.
- XU S J, ZHAO D, GAO X, et al. Application research of ultrahigh pressure food processing equipment in food industry[J]. The Food Industry, 2019, 40(12): 222-225.
- [47] 胡玉华, 王晓培, 石勇, 等. 真空冷冻干燥技术在方便食品中的应用[J]. 农产品加工, 2017(22): 48-50.
- HU Y H, WANG X P, SHI Y, et al. Application of vacuum freeze-dried technology in instant food[J]. Farm Products Processing, 2017(22): 48-50.
- [48] 方长云, 胡贤巧, 卢林, 等. 稻米抗性淀粉的研究进展[J]. 核农学报, 2015, 29(3): 513-520.
- FANG C Y, HU X Q, LU L, et al. Advances in study on rice resistant starch[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(3): 513-520.
- [49] 杨瑞芳, 白建江, 方军, 等. 分子标记辅助选择选育高抗性淀粉水稻新品种[J]. 核农学报, 2015, 29(12): 2 259-2 267.
- YANG R F, BAI J J, FANG J, et al. Establishment of marker-assisted selection system for breeding rice varieties with high resistant starch content[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(12): 2 259-2 267.
- [50] 周新桥, 陈达刚, 郭洁, 等. 高抗性淀粉水稻研究现状与展望[J]. 核农学报, 2020, 34(3): 515-520.
- ZHOU X Q, CHEN D G, GUO J, et al. Research progresses and prospects on high resistant starch in rice[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(3): 515-520.
- [51] 杨瑞芳, 汤剑豪, 朴钟泽, 等. 高抗性淀粉功能水稻研究现状及发展趋势[J]. 作物研究, 2021, 35(5): 504-508.
- YANG R F, TANG J H, PIAO Z Z, et al. Research status and development trend of functional rice with high resistant starch[J]. Crop Research, 2021, 35(5): 504-508.
- [52] 杨瑞芳, 朴钟泽, 万常照, 等. 以优糯米为原料的初加工产品开发研究[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(1): 148-154.
- YANG R F, PIAO Z Z, WAN C Z, et al. Development of primary processing products with "Youtang Rice" as raw material[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(1): 148-154.
-
- (上接第 220 页)
- [67] 揭良, 苏米亚. 特殊医学用途配方食品的研究进展[J]. 食品工业, 2022, 43(1): 259-262.
- JIE L, SU M Y. Research progress of special medical use formula[J]. Food Industry, 2022, 43(1): 259-262.
- [68] 李侠, 杨宏, 刘学波. 特医全营养配方食品配方组成分析[J]. 中国食物与营养, 2021, 27(12): 22-27.
- LI X, YANG H, LIU X B. Analysis of the formulation composition of special medical whole nutrition formula[J]. China Food and Nutrition, 2021, 27(12): 22-27.
- [69] 鲁晨辉, 何永熙, 魏皓东, 等. 关于苯丙酮尿症特殊医学用途配方食品研发与应用进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(16): 413-420.
- LU C H, HE Y X, WEI H D, et al. Progress on the development and application of special medical use formulae for phenylketonuria[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(16): 413-420.