

“全谷物食品的营养与健康” 特约专栏文章之二

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.02.002

牛猛, Gary G. Hou. 全麦粉及制品: 营养组成、健康功效与品质改良[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(2): 8-15.

NIU M, HOU G G. Whole-wheat flour and its products: nutritional compositions, health benefits and quality improvement[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(2): 8-15.

全麦粉及制品: 营养组成、 健康功效与品质改良

牛 猛¹, Gary G. Hou²✉

(1. 华中农业大学 食品科技学院, 湖北 武汉 430070;

2. SPC 集团, 首尔 06737, 韩国)

摘要: 谷物碾磨技术的发展促进了粮食加工的精细化进程, 但长期精白面制品的摄入造成了营养不均衡, 高血压、糖尿病和心脑血管疾病的发病率逐年增加。全麦粉含有小麦籽粒中的所有组分, 富含膳食纤维、维生素和矿物质等生理活性物质, 具有降低血糖、抗氧化、清除自由基和增强免疫力等功效, 因此以全麦粉为原料制成的全麦食品是改变膳食结构, 改善健康水平的理想选择。对比了全麦粉与精白面粉的营养组成差异, 总结了全麦粉的特征营养素如膳食纤维、酚酸、不饱和脂肪酸、植物甾醇、木脂素等, 从减重、预防Ⅱ型糖尿病和干预心脑血管疾病等三个方面综述了全麦食品的健康功效, 还对全麦烘焙类、蒸煮类和油炸类食品的品质改良方法进行了总结, 以期在全麦食品的继续开发和推广提供理论和实践参考。

关键词: 全麦; 麸皮; 制品; 营养组成; 健康功效; 品质改良

中图分类号: TS213.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)02-0008-08

网络首发时间: 2022-02-18 09:03:25

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20220217.1807.004.html>

Whole-wheat Flour and its Products: Nutritional Compositions, Health Benefits and Quality Improvement

NIU Meng¹, HOU Gary G.²✉

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070, China; 2. SPC Group, Seoul 06737, South Korea)

Abstract: The development of grain milling techniques promotes the progress of fine grain processing. However, long-term intake of refined flour products induces nutritional imbalance the incidence rate of hypertension, diabetes, and increasing cardiovascular diseases by years. Whole-wheat flour includes all compounds in wheat kernels, being rich in dietary fiber, vitamins, and minerals. These substances have the function of lowering hypertension, oxidation resistance, radicals scavenging, and immunity strengthening. Therefore, whole-wheat food, made from whole-wheat flour, is an ideal choice in modifying dietary pattern

收稿日期: 2021-12-22

作者简介: 牛猛, 男, 1985 年出生, 副教授, 研究方向为谷物科学。E-mail: nmjay@mail.hzau.edu.cn.

通讯作者: Gary G. Hou, 男, 1966 年出生, 博士, 事业部总监, 研究方向为谷物加工。E-mail: houpdx@msn.com.

and improving health condition of people. This review compared the differences in the nutritional compositions between whole-wheat flour and refined flour, summarized the specific nutrients such as dietary fiber, polyphenols, unsaturated fatty acid, phytosterol, and lignans in whole-wheat flour, reviewed their health benefits from the perspectives of weight loss, preventing type-2 diabetes, and intervening cardiovascular, and introduced the quality improvement techniques of whole-wheat baked, steamed, and fried products. The review is expected to provide important reference for the development and expansion of whole-wheat products.

Key words: whole-wheat; wheat bran; products; nutritional compositions; health benefits; quality improvement

近年来随着国民生活水平的提高,健康膳食越来越受到关注,消费者对富含膳食纤维但口感粗糙的燕麦、荞麦等杂粮的接受度日渐增加。小麦是我国重要的粮食作物之一,常用于制作馒头、面条、面包、蛋糕及其他烘焙产品,是居民的主要淀粉和能量来源^[1]。目前,我国小麦加工仍然以精白面粉为主,面制品的色泽和口感能够满足大众要求,但随着碾磨过程中麸皮和胚芽的去除,小麦中含有的大部分膳食纤维、维生素和矿物质也被去除^[2]。将整个小麦颗粒粉碎或将麸皮和胚芽重新碾磨后回添到精白面粉中制成全麦粉,能够保存麸皮和胚芽中的膳食纤维和微量生理活性物质,这些营养素可以改善肠道健康或具有抗氧化和抗炎功效,有助于糖尿病和慢性心血管疾病的预防,同时,全麦粉保留了麸皮和胚芽,提高了小麦的利用率,增加了经济和社会效益。以小麦为原料的主食类食品消耗量大,其营养密度对于改变居民膳食结构,改善健康状况意义重大。因此,大力开发全麦食品,不断改良其外观和口感品质,提高消费者接受度,对于促进全麦食品的推广及其营养价值的利用至关重要^[3-4]。

1 全麦粉的营养组成

全麦粉包含麸皮、胚和胚乳等小麦颗粒的所有组成,麸皮中含有膳食纤维、矿物质、酚酸和 β -葡聚糖等营养组分,胚中含有维生素、不饱和脂肪酸、甾醇和木质素等,胚乳中主要含有淀粉和蛋白质。相对于精白面粉,小麦中的膳食纤维、维生素和矿物质在全麦粉中得到最大程度的保留^[5]。表1为全麦粉与精白面粉的营养组成对比表^[6]。

表1 全麦粉与精白面粉的营养组成^a

Table 1 The nutritional compositions of whole-wheat and refined wheat flour

营养成分	全麦粉	精白面粉
蛋白质/g	14.5	10.6
脂肪/g	1.8	0.4
碳水化合物/g	81.9	86.0
膳食纤维/g	14.0	3.1
维生素		
硫胺素(B ₁)/mg	0.4	0.1
核黄素(B ₂)/mg	0.1	0.0
吡哆醇(B ₆)/mg	0.4	0.1
生育酚(E)/mg	1.2	0.1
维生素 K/ μ g	2.2	0.1
矿物质		
钙/mg	33.4	14.7
铁/mg	3.7	1.1
锌/mg	3.1	0.7
酚酸类/mg	70~1 459	2~438

^a 营养成分含量以 100 g 全麦粉/精白面粉(干基)计。

^a The data based on 100 g whole-wheat/refined wheat flour (dry basis).

1.1 膳食纤维

小麦麸皮主要由非淀粉多糖组成,包括纤维素、阿拉伯木聚糖和 β -葡聚糖,其中阿拉伯木聚糖和 β -葡聚糖作为膳食纤维,在小麦麸皮中的含量高于40%以上^[7]。其中阿拉伯木聚糖属于半纤维素,它可以促进人体肠道双歧杆菌、乳杆菌等益生菌的生长,增加短链脂肪酸和乳酸的产生,同时减少肠道有害蛋白水解产物^[8];另外,阿拉伯木聚糖还可以改善免疫调节能力和促进肠道蠕动^[9]。 β -葡聚糖在小麦中的含量稍低于燕麦和大麦,具有降低血糖、胆固醇和低密度脂蛋白的生理活性,还可以预防II型糖尿病^[10]。

1.2 矿物质

小麦籽粒中的矿物质集中在糊粉层,主要矿

质元素为钙、铁、锌、镁和硒等。如表 1 所示，钙和铁作为人体内的必需微量元素，在全麦粉中含量是精白面粉中的 2~3 倍，它们对于维持机体神经、肌肉和心脏正常运转具有重要作用^[11]；锌、镁、硒是人体重要的酶激活剂，可以增强免疫力和促进生长发育，另外，锌和硒是调节胰岛素敏感性的关键营养素，其在血清中的含量与血糖水平密切相关，从而影响胰岛素的分泌^[12]。

1.3 维生素

如表 1 所示，全麦粉中维生素 B₁、B₂、B₆、E 和 K 含量显著高于精白面粉，其中维生素 E 和 K 高出 10~20 倍。维生素 E 又称为生育酚，包括生育三烯酚、 α -生育酚、 γ -生育酚、 β -生育酚和 δ -生育酚等 5 种异构体，小麦胚中的维生素 E 含量可达到 160 mg/kg^[13]。维生素 E 具有抗氧化活性，可以抑制不饱和脂肪酸的氧化并能够清除自由基^[14]。另外，维生素 E 还具有抗炎、预防神经系统和心脑血管疾病等生理活性^[15]。维生素 K 又名凝血维生素，天然维生素 K 为脂溶性，在机体内参与 γ -羧基谷氨酸合成和骨骼代谢，具有促进血液凝固和防止新生儿出血疾病等生理活性^[16]。

1.4 酚酸

小麦中的酚酸类物质包括阿魏酸和丁香酸等，肠道微生物可以促进麸皮中酚酸类物质的释放，被吸收后进入血液中对机体起到抗氧化和保护作用。阿魏酸是麸皮中含量最高的酚酸，大多数阿魏酸以结合态存在，具有较高的抗氧化活性和自由基清除能力^[17]。酚酸可以通过降低肠道内葡萄糖转运蛋白和消化酶的活性从而抑制机体对葡萄糖的摄取，进而影响餐后血糖^[18]。烷基间苯二酚是一种主要存在于小麦麸皮中的酚类类脂，常被作为全谷物消费的生物标记物，可以被小肠利用和吸收，同样具有较强的抗氧化活性和自由基清除能力^[19]。

1.5 不饱和脂肪酸

脂肪酸的含量及组成是评价其营养价值的重要指标，尤其不饱和脂肪酸中的亚油酸和亚麻酸，是人体不可缺少的营养物质。全麦粉中不饱和脂肪酸主要包括油酸、亚油酸、二十碳烯酸和亚麻酸，其中不饱和脂肪酸占总脂肪酸的含量大于

70%，亚油酸在不饱和脂肪酸中占比最高，可达到 60%以上^[20]。研究表明不饱和脂肪酸不仅可以调节人体电解质平衡，维持机体正常代谢，还具有降低血脂和胆固醇，预防心血管疾病等功效^[21]。

1.6 植物甾醇

谷物是除植物油及其加工产品外的植物甾醇第二大来源，全麦粉中总甾醇的含量可达到 670~960 mg，主要分布在小麦胚芽中。植物甾醇具有良好的抗氧化性，其抗氧化活性与自身分子结构有关；它可以通过清除自由基，解除慢性氧化应激，从而减少机体氧化损伤。植物甾醇可以通过增加蛋白激酶的磷酸化，降低相关转移酶的活性从而调节糖脂代谢；还有研究表明植物甾醇可以通过消除胆酸诱导结肠细胞的增殖，从而抑制和预防结肠癌的发生^[22-23]。

1.7 木脂素

木脂素是一类由两分子苯丙素衍生物聚合而成的天然植物雌激素，多数呈游离状态，少数与糖结合成苷。小麦麸皮中最重要的木脂素是亚麻木脂素，其代谢物可以作为抗氧化剂和自由基清除剂，以减少癌症发生的风险^[24]；木脂素可以调控蛋白的表达，从而促进胃癌细胞的凋亡^[25]；木脂素还具有磷酸二酯酶抑制活性，能够增强免疫和促进蛋白质和糖原的合成^[26]。

2 全麦粉及制品的健康功效

2.1 减重

随着食品物资的日渐丰富和生活水平的逐渐提高，一些与饮食相关的慢性疾病发病率也在增加，肥胖症就是其中之一。肥胖是一种危害人类健康的代谢紊乱疾病，主要由摄入能量大于消耗造成。WHO 统计数据显示 18 岁以上成年人有接近 40% 超重，15% 左右为肥胖。相对欧美国家，我国居民膳食结构更加合理但尚不完善，由于脂肪摄入较少，超重与肥胖率稍低，但成年人超重和肥胖率仍超过了 30% 和 10%^[27]。长期肥胖会导致脂肪肝、心脑血管疾病、糖尿病和心脏病的发生，当脂肪细胞肥大到一定程度会造成细胞缺血、缺氧以及坏死，从而影响细胞自身代谢功能；另外肥大的脂肪细胞会分泌炎症因子，严重时会导致机体的系统性炎症^[28]。因此预防和治疗肥胖症

对于改善居民健康状况,提高国民身体素质具有重要意义。

全麦食品中膳食纤维和微量元素含量高,能量密度低,是肥胖人群的理想选择。木海热姆·杰力力等研究了全麦粉替代部分主食对肥胖者体重的影响,并结合胰岛素抵抗和炎症反应探讨全麦粉的减肥机制,对比全麦干预组、肥胖对照组和正常对照组的指标,发现全麦干预组体重、腰围、体质指数及腰臀比降低,C反应蛋白(CRP)下降,机体炎症状态降低^[29]。Hajihashemi等发现6周全麦食物干预可以降低肥胖儿童的血压和甘油三酯含量,促进高密度脂蛋白的升高^[30]。由此可见,在膳食中增加全麦食品的摄入比例可以有效改善体重状况和机体健康指标。

2.2 预防Ⅱ型糖尿病

Ⅱ型糖尿病,又称非胰岛素依赖型糖尿病,是由机体内血糖代谢紊乱造成的一种慢性代谢疾病,症状为高血糖、缺乏胰岛素和胰岛素抵抗等。糖尿病往往伴随着超重和肥胖,长期的并发症包括中风、视网膜病变和心脏病等。全麦食品中膳食纤维含量高,可以影响肠道内微生物从而降低能量的吸收。Gil等发现增加全麦食品的比例如全麦面包等可以减少Ⅱ型糖尿病发病率20%~30%,主要与全麦食品中富含膳食纤维和生理活性物质相关^[31]。李秋月等通过高糖高脂饮食及腹腔注射链脉佐菌素的方法建立糖尿病大鼠模型,进行12周全麦粉干预后发现空腹血糖、糖化血红蛋白、总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白胆固醇的含量显著降低,超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和糖耐受能力显著升高,肝脏损伤程度减少,结果表明全麦粉可以有效降低血脂水平,缓解糖尿病症状^[32]。Huang等发现全麦中与阿魏酸结合的低聚糖也可以降低小鼠餐后血糖的升高^[33]。全麦中的酚酸类物质如没食子酸、丁香酸、咖啡酸、对香豆酸和肉桂酸等,在预防和缓解糖尿病症状方面同样发挥着重要作用^[34]。

2.3 干预心脑血管疾病

心脑血管疾病是心脏血管和脑血管疾病的统称,主要指由高脂血症、血液黏稠、动脉粥样硬化、高血压等所导致的心脏、大脑及全身组织发

生的缺血性或出血性疾病。心脑血管疾病严重影响人类健康,由心脑血管疾病造成的死亡占世界总死亡率的三分之一。Adam等研究认为增加全麦食品的摄入可以降低血浆胆固醇的含量^[35]。Costabile等采用3周全麦早餐食品进行膳食干预,发现机体内血清胆固醇含量可以显著降低^[36]。Bruce等对12位高血脂患者进行全麦膳食干预,发现4周后患者的血清胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇降低,结肠功能得到改善^[37]。还有研究报道全麦中阿拉伯木聚糖也具有降低血清胆固醇、总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇的功效^[38]。

3 常见的全麦食品及品质改良方法

随着消费者健康意识的增强,对全谷物食品接受程度也在增加。由全麦粉制成的全麦食品不但营养价值高,而且具有麦香等独特的风味。以小麦粉为原料制成的面制品都可以采用全麦粉全部替代或部分替代的方法制成全麦食品,根据生产工艺的不同可以将全麦食品分成烘焙类、蒸煮类和油炸类等三种。由于麦麸组分的加入,相对于精制面制品,全麦食品的外观颜色变深,面筋蛋白网络结构受到干扰,存在外观和口感品质下降等问题。针对这些问题,相关学者和从业人员已进行了大量的研究,以提高全麦食品的食用品质,促进全麦食品的推广。

3.1 烘焙类产品

烘焙类产品是目前全麦食品的主要种类,产品主要有全麦面包和全麦饼干等。全麦粉的色泽比精白面粉深,烘焙工艺可以促使美拉德反应的发生,使食品表面颜色加深,因此将全麦粉用于烘焙类产品比用于其他类产品更容易让消费者接受。由于麦麸颗粒会干扰面筋蛋白之间的交联,全麦面包往往具有较低的膨胀体积,偏硬和粗糙的口感,以及较短的保质期。目前针对于全麦面包品质提升的方法主要有改变碾磨工艺、添加酶、乳化剂等食品添加剂等。Protonotariou等采用气流粉碎机将全麦粉粒度降低到17~84 μm之间,由微细化全麦粉制成的全麦面包弹性和韧性增加,孔隙率减小^[39]。Jiang等采用木聚糖酶水解麦麸中的非淀粉多糖,减少其吸水性,促使面筋蛋白充分吸水从而降低面包的硬度,提高面包的膨胀体

积,改善面包的口感,减少老化程度^[40]。Li 等通过添加谷朊粉和阿拉伯胶等可以显著改善全麦饼干的厚度、体积和抗断强度^[41]。Wang 等通过增加碾磨强度的方法将全麦粉的平均粒径降低到 90~95 μm ,发现粒径的下降增加了饼干面团的拉伸性,改善了全麦饼干的厚度和外观品质^[42]。Nikinmma 等添加蛋白酶和木聚糖到饼干面团中,发现面团的网络结构得到增强,全麦饼干的厚度增加,抗断强度和适口性升高^[43]。

3.2 蒸煮类产品

中式面制品主要为蒸煮类产品,因此采用全麦粉制成馒头和面条并针对外观、口感等问题进行改良,对于改变我国居民膳食结构,提高主食营养品质具有重要意义。Ma 等采用烘烤、挤压膨化和高温高压蒸煮等方法预处理麦麸,将处理后的麦麸回添到馒头面团中发现馒头的膨胀体积、表面光滑性和孔隙结构等到显著改善,其中挤压膨化方法改善效果最显著^[44]。Li 等筛选了一种可以降解植酸的酵母菌菌株,加入到面团中参与发酵,结果表明面团的网络结构得到改善,馒头的光泽度和膨胀体积增加,蛋白质消化率升高^[45]。Wang 等通过碾磨将全麦粉的平均粒径降低到 100 μm ,发现较小粒径全麦粉形成的面团具有较高的稳定时间,制作成全麦馒头后膨胀体积和孔隙结构得到改善^[46]。Niu 等研究了不同全麦粉制粉工艺和添加剂等对全麦面条的品质改善效果,发现较小麦麸颗粒比较大麦麸颗粒更有利于面条中面筋网络的形成,磷酸盐、谷氨酰胺转移酶和硬脂酰乳酸钠等可以通过影响面筋蛋白的交联和淀粉的糊化,改善面条的弹性和口感^[47-49]。Xu 等采用酿酒曲和酵母对麦麸进行发酵预处理,将处理后的麦麸回添到全麦面条中发现蒸煮损失减少,外观和质构品质得到改善^[50]。Sim 等采用湿热与高压等方式处理麦麸,其中膨化可以提高全麦面团的感官品质^[51]。Li 等采用微波预处理麦麸,发现含有处理后麦麸的全麦面团具有较高的稳定性和拉伸性,制成的全麦面条微生物生长率和褐变速率显著降低,保质期延长^[52]。此外,卷饼(tortillas)是墨西哥等美洲国家受欢迎的主要面制品之一,通过和面、整形、压制和烘烤等工艺制成。Liu 等采用发芽全麦粉取代未发芽全麦

粉,发现发芽全麦粉添加后卷饼的比容和光泽度增加,适口性和保质稳定性增强^[53]。Liu 还对比了不同化学发酵剂对全麦卷饼透明度和抗断强度的影响,发现磷酸铝钠对透明度的改善作用显著高于焦磷酸钠和硫酸铝钠,相对于其他两种发酵剂,经硫酸铝钠发酵的全麦卷饼抗断强度最高^[54]。

3.3 油炸类产品

目前全麦油炸类产品主要有方便面、油条和沙琪玛等。虽然受到其他类型产品的冲击,方便面仍是目前旅行常备食品之一。曹新蕾等研究发现添加全麦粉后方便面的硬度降低,咀嚼性及回弹性下降,粘度增加,色泽变暗,复水时间延长;当全麦粉添加比例从 60%提高到 80%时,复水时间从 390 s 增加到 600 s;综合各指标,全麦粉添加比例为 60%最为合适^[55]。油条是中国传统早餐美食,风味口感独特,受到消费者的广泛欢迎,但是油条的脂肪含量较高,长期食用不利于身体健康。李玲等研究发现采用全麦粉取代精制面粉可以降低油条的含油量,当全部取代时油条的含油量可以降低 40%以上,而且油条的外观和口感均可被接受^[56]。沙琪玛是我国的一种传统零食,具有 500 多年的历史,配方中包含面粉、鸡蛋、发酵剂和水等,经过和面、整形和油炸等工艺制得。邓璐璐等研究发现不同全麦粉取代率的沙琪玛在油炸过程中水分和油脂的传质曲线均能较好地拟合一级动力学方程,全麦粉中的膳食纤维提高了沙琪玛的持水能力,阻碍水分蒸发,从而降低了对油脂的吸收;另外添加全麦粉后沙琪玛的膨化度降低,表面结构变致密,也会降低油脂的渗入^[57]。

4 结语

全麦粉作为一种良好的天然谷物原料,富含膳食纤维、酚酸等生理活性物质,能够起到减重、预防糖尿病和干预心脑血管疾病等功效,目前已有烘焙类、蒸煮类和油炸类等全麦食品,但外观与口感品质仍需要提升,以达到消费者的感官和营养需求。

参考文献:

[1] 赵清华,张瑞.小麦麸皮营养的研究与利用[J].内蒙古农业

- 科技, 2006(7): 93-94.
- ZHAO Q H, ZHANG R. Research and utilization of wheat bran nutrition[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2006(7): 93-94.
- [2] 谭斌, 谭洪卓, 刘明, 等. 粮食(全谷物)的营养与健康[J]. 中国粮油学报, 2010(4): 100-107.
- TAN B, TAN H Z, LIU M, et al. The grain, the wholegrain: nutrition and health benefits[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010(4): 100-107.
- [3] SEAL C J, JONES A R, WHITNEY A D. Whole grains uncovered[J]. Nutrition Bulletin, 2006, 31(2): 129-137.
- [4] ADOM K K, LIU R H. Antioxidant activity of grains[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(21): 6182-6187.
- [5] 谭斌, 谭洪卓, 刘明, 等. 我国全谷物食品发展的必要性与挑战[J]. 粮食与食品工业, 2009, 16(4): 4-8.
- TAN B, TAN H Z, LIU M, et al. Significance and challenges of development of wholegrain foods in China[J]. Cereal & Food Industry, 2009, 16(4): 4-8.
- [6] NIU M, HOU G G. Whole wheat noodle: processing, quality improvement, and nutritional and health benefits[J]. Cereal Chemistry, 2019, 96(1): 23-33.
- [7] 蔺艳君, 刘丽娅, 钟葵, 等. 不同来源小麦麸皮营养成分及酚类物质含量的比较[J]. 现代食品科技, 2014, 30(12): 194-200.
- LIN Y J, LIU L Y, ZHONG K, et al. Comparison of nutritional and phenolic content of wheat bran obtained from different sources[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(12): 194-200.
- [8] 赵萌菲, 王琳琳, 袁艳枝, 等. 小麦阿拉伯木聚糖的益生功能及对肠道微生态的调节[J]. 中国食物与营养, 2019, 25(4): 12-16.
- ZHAO M F, WANG L Y, YUAN Y Z, et al. The probiotic function of wheat arabinoxylan and its regulation of intestinal microecology[J]. Food and Nutrition in China, 2019, 25(4): 12-16.
- [9] TONG L T, ZHONG K, LIU L, et al. Effects of dietary wheat bran arabinoxylans on cholesterol metabolism of hypercholesterolemic hamsters[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 112, 1-5.
- [10] XU S, GONG Y, RAFIQUE H, et al. Effect of oat β -glucan addition on the staling properties of wheat-oat blended flour Chinese steamed bread[J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2021, 26.
- [11] CANDIA V, RÍOS-CASTILLO I, CARRERA-GIL F, et al. Effect of various calcium salts on non-heme iron bioavailability in fasted women of childbearing age[J]. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 2018, 49: 8-12.
- [12] 杜任生, 庾永基, 肖伟明. 2型糖尿病患者血清锌、硒、铬、铜与血糖水平的相关性研究[J]. 国际检验医学杂志, 2017, 38(8): 1059-1060+1063.
- DU R S, YU Y J, XIAO W M. Correlation between serum zinc, selenium, chromium, copper and blood glucose levels in type 2 diabetes patients[J]. International Journal of Laboratory Medicine, 2017, 38(8): 1059-1060+1063.
- [13] 潘卫东, 李晓峰, 陈双燕, 等. 植物维生素E合成相关酶基因的克隆及其在体内功能研究进展[J]. 植物学通报, 2006(1): 68-77.
- PAN W D, LI X F, CHEN S Y, et al. Progress in vitamin E synthesis-related enzyme genes and *in vivo* functions in plants[J]. Chinese Bulletin of Botany, 2006(1): 68-77.
- [14] 邢旭光, 王永芹, 陈德富, 等. 生育三烯酚的生理功能及合成代谢调控[J]. 生物技术通讯, 2009, 20(5): 719-722.
- XING X G, WANG Y Q, CHEN D F, et al. Tocotrienols' role in health and its metabolic synthesis engineering[J]. Letters in Biotechnology, 2009, 20(5): 719-722.
- [15] SHIN T S, GODBER J S, MARTIN D E, et al. Hydrolytic stability and changes in E vitamers and oryzanol of extruded rice bran during storage [J]. Journal of Food Science, 1997, 62(4): 704-728.
- [16] TAN Y B, MCCLEMENTS D J. Improving the bioavailability of oil-soluble vitamins by optimizing food matrix effects: A review[J]. Food Chemistry, 2021, 348(prepublish): 129148-129148.
- [17] VITAGLIONE P, MENNELLA I, FERRACANE R, et al. Whole-grain wheat consumption reduces inflammation in a randomized controlled trial on overweight and obese subjects with unhealthy dietary and lifestyle behaviors: role of polyphenols bound to cereal dietary fiber[J]. The American journal of clinical nutrition, 2015, 101(2): 251-61.
- [18] SHAMLOO M, JONES P J H, ECK P K. Inhibition of intestinal cellular glucose uptake by phenolics extracted from whole wheat grown at different locations[J]. Journal of nutrition and metabolism, 2018, 2018: 5421714.
- [19] ROSS A B, SHEPHERD M J, SCHÜPPHAUS M, et al. Alkylresorcinols in cereals and cereal products[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2003, 51(14): 4111-4118.
- [20] 刘存卫, 康荣荣, 郭蓉, 等. 不同加工精度对面粉中脂肪酸含量影响的分析[J]. 营养学报, 2019, 41(5): 489-493.
- LIU C W, KANG R R, GUO R, et al. Investigation on the effect of processing accuracy on fatty acid content in flours[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2019, 41(5): 489-493.
- [21] 刘小梦, 张小华, 张义荣, 等. 不同小麦品种籽粒中脂肪酸组分含量及其相关性研究[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(3): 578-583.
- LIU X M, ZHANG X H, ZHANG Y R, et al. Distribution of grain fatty acid contents and their correlation in common wheat cultivars (lines)[J]. Journal of Triticeae Crops, 2013, 33(3): 578-583.

- [22] LAMPI A M, NURMI T, OLLILAINEN V, et al. Tocopherols and tocotrienols in wheat genotypes in the HEALTHGRAIN Diversity Screen. [J]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2008, 56(21): 9716-9721.
- [23] 吕双双, 李书国. 植物甾醇性质、功能、安全性及其食品的研究进展[J]. *粮食加工*, 2014, 39(4): 40-44+47.
LV S S, LI S G. Research progress on properties, functions, safety and food of Phytosterols[J]. *Grain Processing*, 2014, 39(4): 40-44+47.
- [24] DAVIES M J, BOWEY E A, ADLERCREUTZ H, et al. Effects of soy or rye supplementation of high-fat diets on colon tumour development in azoxymethane-treated rats [J]. *Carcinogenesis*, 1999, 20(6): 927-931.
- [25] 李红国, 刘双萍, 崔银姬, 等. 木脂素促进人胃癌 MGC-803 细胞凋亡[J]. *基础医学与临床*, 2014, 34(5): 704-706.
LI H G, LIU S P, CUI Y J, et al. Lignans promote apoptosis of human gastric cancer MGC-803 cells[J]. *Basic & Clinical Medicine*, 2014, 34(5): 704-706.
- [26] 韩粉丽, 韩飞, 范柳萍. 全麦糙米营养成分及其与慢性病关系的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(8): 3022-3028.
HAN F L, HAN F, FAN L P. Research progress of nutrient compositions of whole wheat and brown rice and their relationship with chronic diseases[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2017, 8(8): 3022-3028.
- [27] World Health Statistics 2017: Monitor health for the SDGs. WHO, 17 May 2017.
- [28] KATHARINA N, STEFAN K, TOBIAS P. Diagnosis of obesity and use of obesity biomarkers in science and clinical medicine[J]. *Metabolism*, 2018, 92: 61-70.
- [29] 木海热姆·杰力力. 全小麦粉对肥胖者的减肥效果评价[D]. 新疆医科大学, 2020.
MUHAIREM J L L. Evaluation of weight loss effect of whole wheat flour on obese people[D]. Xinjiang medical university, 2020.
- [30] HAJIHASHEMI P, AZADBAKHT L, HASHEMIPOR M, et al. Whole-grain intake favorably affects markers of systemic inflammation in obese children: a randomized controlled crossover clinical trial[J]. *Molecular nutrition & food research*, 2014, 58(6): 1301-1308.
- [31] GIL A, ORTEGA R M, MALDONADO J. Wholegrain cereals and bread: a duet of the Mediterranean diet for the prevention of chronic diseases[J]. *Public Health Nutrition*, 2011, 14(12A): 2316-2322.
- [32] 李晓月, 郭玉秋, 陈利容, 等. 全麦粉对糖尿病大鼠糖脂代谢影响的研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(12): 54-59.
LI X Y, GUO Y Q, CHEN L R, et al. Effect of whole wheat flour on glucose and lipid metabolism in diabetic rats[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(12): 54-59.
- [33] HUANG J, WANG X, TAO G, et al. Feruloylated oligosaccharides from maize bran alleviate the symptoms of diabetes in streptozotocin-induced type 2 diabetic rats. [J]. *Food & function*, 2018, 9(3): 1779-1789.
- [34] TIAN S, SUN Y, CHEN Z, et al. Functional properties of polyphenols in grains and effects of physicochemical processing on polyphenols[J]. *Journal of Food Quality*, 2019, 2019: 1-8.
- [35] ADAM A, LOPEZ H W, LEUILLET M, et al. Whole wheat flour exerts cholesterol-lowering in rats in its native form and after use in bread-making[J]. *Food Chemistry*, 2003, 80(3): 337-344.
- [36] COSTABILE A, KLINDER A, FAVA F, et al. Whole-grain wheat breakfast cereal has a prebiotic effect on the human gut microbiota: a double-blind, placebo-controlled, crossover study[J]. *British Journal of Nutrition*, 2008, 99(1): 110-120.
- [37] BRUCE B, SPILLER G L, GALLAGHER S. A diet high in whole and unrefined foods favorably alters lipids, antioxidant defenses, and colon function[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2000, 19(1): 61-67
- [38] CHEN Z Y, LI S S, FU Y F, et al. Arabinoxylan structural characteristics, interaction with gut microbiota and potential health functions[J]. *Journal of Functional Foods*, 2019, 54: 536-551.
- [39] PROTONOTARIOU S, STERGIOU P, CHRISTAKI M, et al. Physical properties and sensory evaluation of bread containing micronized whole wheat flour[J]. *Food Chemistry*, 2020, 318, 126497.
- [40] JIANG Z Q, LI X T, YANG S Q, et al. Improvement of the breadmaking quality of wheat flour by the hyperthermophilic xylanase B from *Thermotoga maritima*[J]. *Food Research International*, 2004, 38(1): 37-43.
- [41] LI J, HOU G G, CHEN Z, et al. Effects of endoxylanases, vital wheat gluten, and gum Arabic on the rheological properties, water mobility, and baking quality of whole-wheat saltine cracker dough[J]. *Journal of Cereal Science*, 58(3): 437-445.
- [42] WANG N, HOU G G, KWEON M, et al. Effects of particle size on the properties of whole-grain soft wheat flour and its cracker baking performance[J]. *Journal of Cereal Science*, 2016, 69, 187-193.
- [43] NIKINMAA M, MATTILA O, HOLOPAINEN-MANTILA U, et al. Impact of lactic acid bacteria starter cultures and hydrolytic enzymes on the characteristics of wholegrain crackers[J]. *Journal of Cereal Science*, 2019, 88: 1-8.
- [44] MA F Y, LEE Y Y, PARK E, et al. Influences of hydrothermal and pressure treatments of wheat bran on the quality and sensory attributes of whole wheat Chinese steamed bread and pancakes[J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 102.
- [45] LI Z J, ZHOU M M, CUI M Y, et al. Improvement of whole

- wheat dough fermentation for steamed bread making using selected phytate-degrading *Wickerhamomyces anomalus* P4[J]. *Journal of Cereal Science*, 2021, 100.
- [46] WANG N F, HOU G G, DUBAT A. Effects of flour particle size on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and Chinese southern-type steamed bread[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2017, 82: 147-153.
- [47] NIU M, HOU G G, LEE B, et al. Effects of fine grinding of millfeeds on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and its raw noodle products[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2014, 57(1): 58-64.
- [48] NIU M, LI X D, WANG L, et al. Effects of inorganic phosphates on the thermodynamic, pasting, and asian noodle-making properties of whole wheat flour[J]. *Cereal Chemistry*, 2014, 91(1): 1-7.
- [49] NIU M, HOU G G, KINDELSPIRE J, et al. Microstructural, textural, and sensory properties of whole-wheat noodle modified by enzymes and emulsifiers[J]. *Food Chemistry*, 2017, 223: 16-24.
- [50] XU C Y, GUO X N, ZHU K X. Effect of pre-treated wheat bran on semi-dried whole wheat noodles for extending shelf-life and improving quality characteristics[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2021, 146.
- [51] SIM E, PARK E, MA F, et al. Sensory and physicochemical properties of whole wheat salted noodles under different preparations of bran[J]. *Journal of Cereal Science*, 2020, 96, 103112.
- [52] LI M, SUN Q J, ZHU K X. Delineating the quality and component changes of whole-wheat flour and storage stability of fresh noodles induced by microwave treatment[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2017, 84: 378-384.
- [53] LIU T, HOU G G, CARDIN M, et al. Quality attributes of whole-wheat flour tortillas with sprouted whole-wheat flour substitution[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2017, 77: 1-7.
- [54] LIU T, HOU G G, BOOK S L, et al. Effects of chemical leavening system and processing conditions on the opacity and other quality characteristics of whole-wheat flour tortillas[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 73, 123-130.
- [55] 曹新蕾, 王立, 钱海峰, 等. 全麦粉对油炸方便面品质的影响[J]. *食品与机械*, 2016, 32(3): 193-197.
- CAO X L, WANG L, QIAN H F, et al. Effect of whole wheat flour on quality of Instant fried noodles[J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(3): 193-197.
- [56] 李玲, 王立, 钱海峰, 等. 全麦粉对油条面团和油条质量的影响[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(1): 242-249.
- LI L, WANG L, QIAN H F, et al. Effect of whole wheat flour on the qualities of youtiao dough and youtiao product[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2016, 32(1): 242-249.
- [57] 邓璐璐, 王立, 钱海峰, 等. 全麦粉对沙琪玛油炸条在油炸过程中传质动力学的影响[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(5): 49-54.
- DENG L L, WANG L, QIAN H F, et al. Effect of whole wheat flour on the mass transfer kinetics of fried sachima sticks during frying[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(5): 49-54. 