

# 全谷物加工工艺及其营养成分对疾病的预防作用研究进展

程滢辉<sup>1,2</sup>, 刘 玮<sup>2</sup>, 李 莹<sup>1</sup>, 刘 霞<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>大连海洋大学食品科学与工程学院, 辽宁大连 116023;

<sup>2</sup>山东省农业科学院农产品加工与营养研究所, 济南 250000)

**摘要:** 目的: 全谷物是保留了完整颖果结构的谷物籽粒, 因此富含更多的膳食纤维、维生素、矿物质、抗氧化剂, 目前在功能食品研究领域备受关注。方法: 利用中国知网 (CNKI) 和 Science Direct 数据库分别检索全谷物营养成分、不同加工技术对全谷物营养成分的影响、以及全谷物与疾病预防相关性。结果: 总结了全谷物营养价值, 明确了全谷物中预防疾病的活性成分, 为进一步开发全谷物食品提供理论依据。结论: 全谷物食品营养丰富、不同加工技术对全谷物营养成分产生影响, 多食用全谷物食品可以预防心血管、糖尿病等慢性疾病。

**关键词:** 全谷物; 营养成分; 加工技术; 疾病预防

全谷物是一种富含植物化学物质、膳食纤维、复杂碳水化合物、蛋白质、矿物质、脂质和维生素的重要食物来源。这些成分不仅提供了基本的营养和能量, 还具有包括促进消化系统健康、降低系统性慢性炎症、增强免疫系统功能、降低慢性疾病风险等多种健康功效。《中国居民膳食指南 (2022)》<sup>[1]</sup> 强调了全谷物的重要性, 提出每天摄入全谷物、杂豆类食物 50~150 g。《中国居民膳食指南科学研究报告 (2021)》指出, 我国居民谷物摄入以精制米面为主, 全谷物及杂粮摄入仍有不足, 只有 20% 左右的成人能达到日均 50 g 以上, 品种多为小米和玉米, 还需更为丰富的种类摄入<sup>[2]</sup>。由于我国居民对于全谷物的认识存在误区以及现有谷物产品结构不适应消费者需求的情况较为突出, 全谷物食品市场仍面临着营养功能损失较大、食品安全相关标准缺失、货架期较短、加工精度低等问题, 与发达国家全谷物食品市场平均水平仍有一定差距。随着健康意识的提高, 消费者对增加全谷物食品的摄入量表现出了越来越强烈的意愿。为增加全谷物食品在膳食结构中所占比例, 有必要在全谷物的营养价值、健康功效以及加工方式等方面进行深入研究。

## 1 全谷物简介

全谷物是指未经过精细化加工, 或虽经过加工处理但仍保留与完整谷粒中比例一致的胚乳、胚芽、麸皮

及其天然营养成分的谷物<sup>[3]</sup>。常见的全谷物包括糙米、燕麦、小米、荞麦等, 而我们主要食用的面粉、精米则属于去除谷物外壳的精制谷物。从结构上看, 全谷物由麸皮、胚乳以及胚芽组成。麸皮作为谷物外皮, 具有保护胚乳和胚芽免受自然灾害的作用, 主要含有膳食纤维、B 族维生素、矿物质元素以及主要的抗氧化剂; 胚乳是全谷物中最大的组成部分, 大约占整个谷粒的 80%~85%, 含有碳水化合物、蛋白质、维生素以及少量的脂质和矿物质, 负责为其他部位提供能量; 胚芽占谷物重量的 2%~3%, 主要由脂类、蛋白质、氨基酸以及各种各样的维生素构成<sup>[4]</sup>。与全谷物不同, 精制谷物通常经过碾磨、粉碎、压片等处理, 仅保留了胚乳部分, 损失了胚芽、麸皮。而生物活性物质在谷物颗粒中的分布并不均匀, 例如, 麸质和胚芽部分约含有 63% 的纤维成分, 含量显著高于胚乳, 而精制谷物在去除胚芽和麸皮的过程中丢失了大部分的膳食纤维。除膳食纤维外, 与精制谷物相比, 全谷物在某些维生素和矿物质, 以及多酚类化合物的含量方面也具有较大的优势。

## 2 全谷物加工工艺研究

不同的加工方式对谷物营养价值影响不同, 全谷物常见的加工方式有蒸煮、挤压膨化、超微粉碎、发芽、发酵等<sup>[5]</sup>。

基金项目: 2022 年度山东重点扶持区域引进急需紧缺人才项目 “基于小麦精深加工关键技术的糖尿病患者专用食品研究开发”。

作者简介: 程滢辉 (1999—), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 营养感知与食品创制创新。

通信作者: 刘 霞 (1983—), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 营养感知与食品创制创新。

## 2.1 蒸煮

蒸煮是指在常压或高压条件下,利用水作为传质介质,根据淀粉糊化原理将谷物熟化。全谷物的外皮层结构较为密实,纤维含量较高,因此吸水性较低,使得胚乳中的淀粉不易糊化,从而导致口感较差且消化性较低<sup>[6]</sup>。蒸煮温度和压力会影响全谷物的口感和营养物质含量。Batista等<sup>[7]</sup>利用巴西种植的两种主要水稻基因型,评估了烹饪温度(72、80、88℃)对快速烹饪糙米质量的影响,发现预熟糙米的蒸煮时间从原来的23.0~23.6 min缩短至5.5~5.9 min,经过这3个温度的预熟处理后,糙米的结构都变得更加完整。高压蒸煮不仅能够显著降低蒸煮糙米饭的硬度,还能使全谷物的细胞壁结构破裂和纤维多糖水解,释放出结合的酚类化合物,提高全谷物中酚类的含量和抗氧化活性<sup>[8]</sup>。例如,燕麦经过蒸煮后,由于羟基肉桂酸和纤维之间的断裂导致其香豆酸和阿魏酸的含量增加<sup>[9]</sup>。

## 2.2 挤压膨化

挤压膨化是一种高温、高压的瞬时加工过程,主要通过水分、热能、机械剪切和压力等综合作用对食品进行膨化<sup>[10]</sup>。该技术具有原料利用率高、生产种类丰富、营养素损失少且易于吸收、产品有利于长期储存等特点。目前挤压膨化技术已被广泛应用于谷物食品加工行业,多用于糙米、玉米、燕麦和大豆等谷物食品的加工处理<sup>[11]</sup>。挤压膨化过程中,原料的质构与品质产生有利变化,同时还伴随着大分子物质的降解,使其消化率大大提高<sup>[12]</sup>。例如,由于热能、压力和强剪切作用,破坏了蛋白质的三级和四级结构,使原本卷曲折叠的肽链变为没有空间结构的直线状。变性后蛋白质肽链的直线状结构,更易与蛋白酶结合,使消化率提高<sup>[10]</sup>。另外,挤压膨化在保留了原料中膳食纤维的同时,使可溶性膳食纤维的含量显著增加,纤维细化,能有效改善全谷物食品的适口性<sup>[13]</sup>。

## 2.3 超微粉碎

超微粉碎利用机械或流体动力的方法克服固体内部凝聚力使之破碎,从而将3 mm左右的物料颗粒粉碎至10~25 μm<sup>[14]</sup>,是近20年快速发展起来的一种高新工业技术。与传统加工方法相比,超微粉碎可以提高原料的物理化学性质,如较高的水化特性、流动性、生物利用度、较强的自由基清除活性、较低的界面张力和更好的风味等。食品超微粉碎可分为干法和湿法,谷物加工中通常采用干法。研究表明,超细磨削的强力剪切、冲击和碰撞会破坏淀粉颗粒结构,减小淀粉颗粒尺寸。人们将食品原料破碎,然后加工成粉末。一些学者研究了超细磨对小米淀粉性能的影响,证明超细磨可以破坏淀

粉颗粒的结构,减小淀粉颗粒的尺寸<sup>[15-16]</sup>。通过超微粉碎后,谷物中生物活性物质溶出率可以显著提高,全谷物食品质地粗糙而影响口感的瓶颈问题也得到了改善<sup>[17]</sup>。

## 2.4 萌芽

萌发是用来提高全谷物营养价值和消化率的传统加工技术。可以提高谷物的营养利用率。通过这种体内生物转化过程,水解酶急剧增强,从而提高蛋白质、碳水化合物、维生素和矿物质的生物利用度<sup>[18]</sup>,这主要与初级代谢和次级代谢的协调变化有关,这些代谢物在植物细胞中具有多种基本功能,并对人体具有潜在的健康益处<sup>[19]</sup>;种子的萌发从水分的吸收开始,随着胚根的出现而完成<sup>[20]</sup>。

## 2.5 发酵

谷物发酵是指将谷物作为基础原料,在微生物的作用下进行发酵过程。在发酵过程中,谷物中的淀粉、蛋白质和其他营养物质被微生物转化为有益的代谢产物,如有机酸、气体、酒精、酶和其他活性物质。动物源性食品或乳制品相比,天然谷物具有特定氨基酸缺乏、蛋白质含量较低、存在抗营养物质等缺陷,而这些缺陷可以通过微生物发酵进行改良<sup>[8]</sup>,与WANG等<sup>[21]</sup>利用枯草芽孢杆菌和植物乳杆菌固态发酵全谷物,发现与未发酵谷物相比,谷物经过益生菌的固态发酵,蛋白质,纤维素、酶和有机酸的含量显著提高,粗蛋白增加了11.29%。XIE等<sup>[22]</sup>通过采用丙酸杆菌和短乳杆菌共同发酵麦麸,同时控制发酵液pH值,在3 d后维生素B<sub>12</sub>含量增至(332±44) ng/g干物质。THOMPSON等<sup>[23]</sup>通过利用不同菌株的植物乳杆菌发酵白豆,维生素B<sub>12</sub>的含量显著增加了66%。XU等<sup>[24]</sup>通过研究证实将双孢蘑菇菌、多洼马鞍菌、嗜蓝孢孔菌分别接种到小麦、水稻、燕麦、玉米、小米、藜麦、荞麦、大豆、豌豆和高粱当中,发现发酵谷物的总酚含量随发酵时间和发酵剂种类的不同而变化,分别提高了1.38~1.6倍。除此之外,作为植物基质,发酵谷物产品适合乳糖不耐受、牛奶过敏或遵循低脂或纯素食饮食模式的人。它们也被认为是新型的益生菌传递载体和潜在的功能食品。发酵还可以通过改变质地和风味来提高谷物的适口性,从而减少了对调味料或其他添加剂的需要<sup>[25]</sup>。

## 3 全谷物对健康的影响

与精制谷物相比,全谷物富含膳食纤维、多酚、天然色素等多种生物活性物质,具有显著的健康功效。全谷物产品的摄入可有效降低包括心血管疾病、癌症、胃肠道疾病和2型糖尿病等在内的非传染性疾病

(NCD) 的风险。

### 3.1 全谷物与心血管疾病预防

动脉粥样硬化性心血管疾病 (ASCVD) 是多数国家最常见的死亡原因之一。营养因素是导致 ASCVD 的高风险的重要因素, 饮食的有利改变可以降低 ASCVD 的9个主要危险因素中的6个, 即高血脂低密度脂蛋白-胆固醇水平、高空腹血清三酰基甘油水平、低高密度脂蛋白-胆固醇水平、高血压、糖尿病和肥胖<sup>[26]</sup>。流行病学研究表明, 全谷物摄入量水平较高的个体患 ASCVD 的风险比全谷物摄入量水平较低的个体低29%。全谷物燕麦产品和全麦大麦产品可有效降低血清低密度脂蛋白胆固醇浓度<sup>[27]</sup>。全谷物中的其他成分, 包括n-3不饱和脂肪酸和某些矿物质, 也可能有助于其对冠心病的保护作用。

### 3.2 全谷物与癌症预防

癌症的一个主要特征是肿瘤细胞的失调和侵袭性增殖。在正常和健康的细胞中, 增殖是通过生长和反生长信号之间的平衡来精确调节的。然而, 癌细胞发展出一种不受控制的生长能力, 从而产生它们自己的生长信号, 并对抗生长信号变得不敏感<sup>[28]</sup>。世界癌症研究基金会指出, 饮食习惯对肿瘤的预防和治疗有重要作用, 从膳食层次进行干预已逐渐成为预防和辅助治疗癌症的重要途径<sup>[29]</sup>。全谷物活性成分预防和治疗癌症的研究热点之一是膳食纤维。研究表明, 高膳食纤维摄入量可以降低结直肠癌 (CRC) 的风险, HE等<sup>[30]</sup>根据亚位点和分子标记, 对总膳食纤维摄入量、不同纤维来源和全谷物与总体CRC风险和不同CRC亚型的关系进行了综合评估。结果表明, 较高的谷物纤维和全谷物摄入量与男性较低的CRC风险相关。除此之外, 膳食纤维摄入量与乳腺癌风险呈负相关, 并且在剂量反应分析中, 随着膳食纤维含量的增加, 患乳腺癌的风险呈剂量依赖性下降<sup>[31]</sup>。

### 3.3 全谷物与2型糖尿病预防

全谷物可能降低2型糖尿病 (T2DM) 发病率的作

用机制, 全谷物中不溶性纤维含量可能会延迟胃排空, 降低葡萄糖吸收率, 从而有利于提高餐后葡萄糖和胰岛素反应<sup>[32]</sup>。全谷物的其他成分, 如镁和铬是胰岛素受体激酶和色素调素的辅助因子, 有助于维持正常的葡萄糖和胰岛素代谢。研究者通过Meta分析合并当前公开发表的前瞻性队列研究, 观察全谷物、精白米、镁、谷物纤维摄入与T2DM发病风险的关系<sup>[33]</sup>。分析结果显示, 全谷物、镁、谷物纤维摄入与T2DM发病呈显著负相关, 而精白米摄入与T2DM发病呈显著正相关。最高与最低摄入量相比, 全谷物降低29% T2DM发病风险,

镁降低22% 发病风险, 谷物纤维降低24% 发病风险, 而精白米增加33% 发病风险。剂量反应关系分析进一步支持这些关联, 每增加50 g/d的全谷物摄入降低19% T2DM 发病风险, 每增加100 mg/d的镁摄入降低6% 发病风险, 每增加10 g/d的谷物纤维摄入降低21% 发病风险, 而每增加50 g/d的精白米摄入增加7%发病风险<sup>[34]</sup>。

## 4 结论与展望

谷类食物一直是人类膳食最重要的组成部分, 是人类主要的能量、蛋白质、矿物质、维生素来源。随着社会经济发展以及人们健康意识的增强, 全谷物食品被广泛关注, 全谷物与精制谷物相比保留了麸皮、胚芽等结构, 但麸皮赋予全谷物丰富营养的同时也带入了高含量的纤维类成分, 纤维含量越高, 食物适口性就越差, 而适口性被认为是全谷物食品发展中要解决的首要问题, 因此蒸煮、挤压膨化、超微粉碎、发芽、发酵等加工方式, 不仅可以解决全谷物适口性差的问题, 也可以改善其营养价值。全谷物食品在保持人体所需营养成分的同时, 能够显著提高其食用安全性和营养价值; 与其他膳食纤维相比, 全谷物膳食纤维可降低血糖水平并维持肠道菌群生态平衡。因此, 全谷类食物是一种很好的新型功能性膳食纤维来源, 具有良好的应用前景, 对促进我国膳食结构优化升级具有重要意义。增加全谷物的摄入更有利于人体健康, 如降低心血管疾病、糖尿病及某些癌症等慢性疾病发生的风险。

全谷物是一种营养丰富的食物, 具有多种健康功效。为了促进全谷物食品的发展和消费, 需要加强对全谷物的认知, 改善谷物产品的结构和质量, 并在加工过程中选择适宜的方法来提高全谷物的营养价值和口感。

## 参考文献

- [1] 杨晓光, 王晓黎. 中国居民膳食指南2022|准则一 食物多样 合理搭配[J]. 中国食物与营养, 2022, 28(8): 封二.
- [2] 王雨薇, 卢晨曦, 修雪燕, 等. 大学生全谷物知识、态度、行为现状调查及分析[J]. 中国食物与营养, 2024, 30(5): 12-19.
- [3] Jonnalagadda Satya S, Harnack Lisa, LIU Ruihai, et al. Putting the whole grain puzzle together: health benefits associated with whole grains--summary of American Society for Nutrition 2010 Satellite Symposium[J]. The Journal of Nutrition, 2011, 141(5).
- [4] XIE M, LIU J, TSAO R, et al. Whole grain consumption for the prevention and treatment of breast cancer [J]. Nutrients, 2019, 11(8): 1769.



- [5] Seal C J, Courtin C M, Venema K, et al. Health benefits of whole grain: Effects on dietary carbohydrate quality, the gut microbiome, and consequences of processing [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021, 20(3): 2742-2768.
- [6] 刘艳香,关丽娜,孙莹,等.易煮全谷物糙米加工技术研究进展[J].食品科学技术学报,2021,39(4):139-147,162.
- [7] de Souza Batista C, Dos Santos J P, Dittgen C L, et al. Impact of cooking temperature on the quality of quick cooking brown rice[J]. Food Chemistry, 2019, 286: 98-105.
- [8] 张慧芸,陈俊亮,康怀彬.发酵对几种谷物提取物总酚及抗氧化活性的影响[J].食品科学,2014,35(11):195-199.
- [9] Bryngelsson S, Dimberg L H, Kamal-Eldin A. Effects of commercial processing on levels of antioxidants in oats (*Avena sativa* L.) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(7): 1890-1896.
- [10] 王庆,张光,杨春华,等.挤压膨化对大米粉糊化度及蛋白质体外消化率的影响[J].食品工业科技,2017,38(7):230-234.
- [11] Comettant-Rabanal R, Carvalho C W P, Ascheri J L R, et al. Extruded whole grain flours and sprout millet as functional ingredients for gluten-free bread [J]. LWT, 2021, 150: 112042.
- [12] Pessanha K L F, de Menezes J P, dos Anjos Silva A, et al. Impact of whole millet extruded flour on the physicochemical properties and antihyperglycemic activity of gluten free bread[J]. LWT, 2021, 147: 111495.
- [13] Kamau E H, Nkhata S G, Ayua E O. Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(4): 1753-1765.
- [14] 韩雪,郭祯祥.超微粉碎技术在谷物加工中的应用[J].粮食与饲料工业,2016(3):13-16.
- [15] HAN W, MA S, LI L, et al. Impact of wheat bran dietary fiber on gluten and gluten-starch microstructure formation in dough[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 95: 292-297.
- [16] YANG T, MA S, LIU J, et al. Influences of four processing methods on main nutritional components of foxtail millet: A review[J]. Grain & Oil Science and Technology, 2022.
- [17] 刘颖,高帅,张云亮,张智,李云辉,窦博鑫.超微粉碎对大豆、玉米、发芽糙米物化特性影响[J].食品科技,2020,45(9):168-173.
- [18] Subba Rao M, Muralikrishna G. Evaluation of the antioxidant properties of free and bound phenolic acids from native and malted finger millet (Ragi, Eleusine coracana Indaf-15) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(4): 889-892.
- [19] Saithalavi K M, Bhasin A, Yaqoob M. Impact of sprouting on physicochemical and nutritional properties of sorghum: a review [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021, 15(5): 4190-4204.
- [20] YI C, LI Y, PING J. Germination of sorghum grain results in significant changes in paste and texture properties [J]. Journal of Texture Studies, 2017, 48(5): 386-391.
- [21] WANG C, SU W, ZHANG Y, et al. Solid-state fermentation of distilled dried grain with solubles with probiotics for degrading lignocellulose and upgrading nutrient utilization [J]. Amb Express, 2018, 8: 1-13.
- [22] Xie C, Coda R, Chamlagain B, et al. Co-fermentation of *Propionibacterium freudenreichii* and *Lactobacillus brevis* in Wheat Bran for in situ Production of Vitamin B12 [J]. Frontiers in Microbiology, 2019, 10: 1541.
- [23] Perlman D, Perlman K L, Bodanszky M, et al. Microbial production of vitamin B12 antimetabolites: II. 2-Amino-4-keto-3-methylpentanoic acids from *Bacillus cereus* 439 [J]. Bioorganic Chemistry, 1977, 6(3): 263-271.
- [24] Xu L N, Guo S, Zhang S. Effects of solid-state fermentation with three higher fungi on the total phenol contents and antioxidant properties of diverse cereal grains [J]. FEMS Microbiology Letters, 2018, 365(16): fny163.
- [25] Adebo O A, Njobeh P B, Kayitesi E. Fermentation by *Lactobacillus fermentum* strains (singly and in combination) enhances the properties of ting from two whole grain sorghum types [J]. Journal of Cereal Science, 2018, 82: 49-56.
- [26] Jacobs Jr D R, Gallaher D D. Whole grain intake and cardiovascular disease: a review [J]. Current Atherosclerosis Reports, 2004, 6(6): 415-423.
- [27] 鲍会梅.燕麦发芽过程中营养成分变化[J].粮食与油脂,2016,29(9):23-26.
- [28] Li Y, Go V L W, Sarkar F H. The role of nutraceuticals in pancreatic cancer prevention and therapy: targeting cellular signaling, miRNAs and epigenome [J]. Pancreas, 2015, 44(1): 1.

- [29] Tullio V, Gasperi V, Catani M V, et al. The impact of whole grain intake on gastrointestinal tumors: A focus on colorectal, gastric, and esophageal cancers[J]. *Nutrients*, 2020, 13(1): 81.
- [30] HE X, WU K, ZHANG X, et al. Dietary intake of fiber, whole grains and risk of colorectal cancer: An updated analysis according to food sources, tumor location and molecular subtypes in two large US cohorts [J]. *International Journal of Cancer*, 2019, 145(11): 3040-3051.
- [31] 赵丽, 李倩, 朱丹实, 等. 膳食纤维的研究现状与展望[J]. *食品与发酵科技*, 2014, 50(5): 76-82, 86.
- [32] KANG R, KIM M, CHAE J S, et al. Consumption of whole grains and legumes modulates the genetic effect of the APOA5-1131C variant on changes in triglyceride and apolipoprotein AV concentrations in patients with impaired fasting glucose or newly diagnosed type 2 diabetes[J]. *Trials*, 2014, 15: 1-9.
- [33] DONG J Y, ZHANG L, ZHANG Y H, et al. Dietary glycaemic index and glycaemic load in relation to the risk of type 2 diabetes: a meta-analysis of prospective cohort studies[J]. *British Journal of Nutrition*, 2011, 106(11): 1649-1654.
- [34] 董加毅. 全谷物、精白米摄入与2型糖尿病发病风险: Meta分析[D]. 江苏苏州: 苏州大学, 2012.

## Research Advancements on Processing Techniques of Whole Grains and Preventive Effects of Their Nutritional Components on Diseases

CHENG Ying-hui<sup>1,2</sup>, LIU Wei<sup>2</sup>, LI Ying<sup>1</sup>, LIU Xia<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>*School of Food Science and Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;*

<sup>2</sup>*Institute of Food & Nutrition Science and Technology, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250000, China)*

**Abstract:** 【Objective】Whole grains are grain kernels that retain their intact gluten structure and are therefore richer in dietary fiber, vitamins, minerals, and antioxidants. Whole grains are currently receiving much attention in the field of functional food research for the prevention and adjunctive treatment of many diseases. 【Method】The nutritional composition of whole grains, the effects of different processing techniques on the nutritional composition of whole grains, and the relevance of whole grains to disease prevention were searched using the China Knowledge Network (CNKI) and Science Direct databases, respectively. 【Result】The nutritional value of whole grains was summarized, and the active ingredients in whole grains for disease prevention were clarified to provide a theoretical basis for the further development of whole grain foods. 【Conclusion】Whole grain foods are nutrient-rich, different processing techniques influence the nutritional composition of whole grains, and more consumption of whole grain foods can prevent chronic diseases such as cardiovascular and diabetes.

**Keywords:** whole grain; nutrient composition; processing technique; disease prevention