

谭斌研究员主持“全谷物科技创新与产业发展”特约专栏文章之一

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.01.001

谭斌, 翟小童. 我国全谷物产业发展背景、现状与未来[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(1): 1-11.

TAN B, ZHAI X T. The background, development status and its prospect of the industry of whole grain in China[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(1): 1-11.

我国全谷物产业发展背景、 现状与未来

谭斌^{1,2}, 翟小童¹

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮油加工研究所, 北京 100037;

2. 中原食品实验室, 河南 漯河 462300)

摘要: 我国发展全谷物产业, 既能够提高粮食资源的可食化利用率, 有效节约粮食; 又可以减少食物中 B 族维生素等微量营养素、生物活性成分及膳食纤维等天然营养物质的损失, 改善我国居民“隐性饥饿”问题, 降低慢病患病风险; 是贯彻落实《中华人民共和国反食品浪费法》与“健康中国”战略, 践行大食物观, 推动乡村振兴战略实施的重要举措。当前, 我国全谷物产业已初步形成了学界、产业界、政府、媒体和消费者等多方共同关注与联动的势头, 但全谷物消费占比仍然极低。未来拟通过全产业链条设计与多维度布局, 从科普与消费倡导、科技协同创新、标准标识认证体系、产业示范及典型场景推广等全方位推动, 多举措合力, 加快支持推动国家全谷物行动计划的落地实施, 引导全民更合理的膳食及科学健康生活方式, 保障国家粮食安全。

关键词: 全谷物; 营养健康; 粮食节约; 粮食安全; 重要进展; 未来展望

中图分类号: TS201.4; S-1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)01-0001-11

网络首发时间: 2023-12-27 16:05:48

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.ts.20231226.1859.016>

The Background, Development Status and its Prospect of the Industry of Whole Grain in China

TAN Bin^{1,2}, ZHAI Xiao-tong¹

(1. Institute of Cereal and Oil Science and Technology, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China; 2. Food Laboratory of Zhongyuan, Luohe, Henan 462300, China)

Abstract: The development of whole grain industry in China, can not only improve the efficiency of edible utilization of grain resources and reduce food loss, but also minimize the natural micronutrient loss including B vitamins, bioactive compounds and dietary fibers, thus help to solve the hidden hunger problems among Chinese residents, as well as reduce the risk of suffering from the chronic diseases. It is one of the important

收稿日期: 2023-11-13

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2022YFF1100500; 2022YFF1100504)

Supported by: National Key Research and Development Project of China (No. 2022YFF1100500; 2022YFF1100504)

作者简介: 谭斌, 男, 1972 年出生, 博士, 首席研究员, 研究方向为健康谷物 (全谷物) 食品的营养与加工。E-mail: tb@ags.ac.cn. 本专栏背景及作者详细介绍见 PC13-16

measures to implement the "Anti-food Waste Law of the People's Republic of China", the "Healthy China" strategy and the "Rural Revitalization" strategy, as well as practice the concept of all-encompassing approach to food. At present, Chinese whole grain industry has already demonstrated a trend of joint attention and linkage among academia, industry, government, media and consumers, however, the total whole grain consumption remains extremely low. In the near future, in order to guide the scientific diet and healthy lifestyle of Chinese citizen, ensure the national food security, a comprehensive multi-dimensional layout of the entire industry chain is necessary for promoting the organization and implementation of the National Whole Grain Action Plan. The various measures include science popularization and consumption advocacy, collaborative technological innovation, standard identification and certification system development, as well as industrial production and typical application scenario promotion.

Key words: whole grain; nutrition and health; save food; food security; important advance; prospect

粮食安全是“国之大者”。解决好人民群众的吃饭问题，始终是我国治国理政的头等大事。习近平总书记强调：“中国人的饭碗任何时候都要牢牢端在自己手中。”党的二十大报告指出，确保粮食安全是国家安全战略的重要组成部分。当前，我国正处于第一个百年目标与第二个百年目标发展的交汇期，也是百年未有之大变局的深度调整期。全球粮食产业链供应链不确定风险增加，我国粮食系统面临的外部风险不断加大，资源环境保护需求、居民营养健康需求日益突出、粮食浪费等社会问题的存在都对我国的粮食安全保障提出新的挑战^[1-2]。新形势背景下，习近平总书记关于“大食物观”的提出，拓展了我国粮食安全战略的边界，赋予其更深层次的内涵，即从仅关注粮食供应数量安全拓展至同时考虑环境可持续、营养健康、主权与产业安全等多维度目标^[3]。

全谷物是谷物或假谷物仅去除外壳等不可食用的部分后保留的完整颖果籽粒，拥有完整的胚乳、胚和种皮，最大限度地保留了谷物或假谷物中天然的膳食纤维、微量营养素及生物活性物质等^[4-5]。全谷物实现了粮食资源可食化利用的最大化及营养损失的最少化。“五谷为养”是我们中华民族最古老的膳食养生智慧^[6]。过去 30 多年间国内外的研究充分表明：增加全谷物的摄入可以有效降低慢性疾病的患病风险，这已形成广泛科学共识。《Lancet（柳叶刀）2019》报道：依据国际 GBD（全球疾病负担）研究统计的来自 195 个国家、自 1990 年至 2017 年的数据表明：全谷物摄

入不足导致的慢病死亡与失能残疾调整寿命年大于水果、坚果、蔬菜、omega-3 脂肪酸、膳食纤维、多不饱和脂肪、杂豆类等的摄入不足所造成的慢病死亡与失能残疾调整寿命年，全谷物摄入量不足成为慢病导致失能残疾与死亡的首要膳食风险因素，全球超过四分之一的 II 型糖尿病病例归因于全谷物摄入量低^[7-10]。大力发展全谷物，不仅可极大的节约粮食资源，提高粮食安全保障水平；同时推动我国慢病防控关口前移，是实施健康中国战略的重要举措。本文从“食品-环境-健康”关系角度，系统剖析了全谷物发展的宏观背景与底层逻辑；概述了国内外全谷物的发展历程、现状与重要进展，并基于此展望了我国全谷物发展的未来趋势，以期助力推动与引领我国全谷物领域的科技创新与产业发展。

1 全谷物发展的宏观背景

1.1 可持续膳食

食物系统是人类赖以生存的根基，与生产生活 and 生态系统紧密关联。环境退化已是当前全球面临的一大发展挑战^[11]，食物系统的温室气体排放量约占全球总量的 1/3，其中 39% 来源于农业生产；牛、羊肉等动物性食物生产的温室气体排放系数是谷物的 20~30 倍，是蔬菜的 50 倍以上；食物在生产、加工、运输、储存、烹饪、食用等整个消费过程中的损失和浪费也增加了温室气体的排放^[7,12-14]。随着世界人口从 2022 年的约 80 亿攀升至 2050 年的近 100 亿（《联合国环境规划署 2019

年》)的预期,城市化及工业化水平不断提高,预计全球总体食物需求将增长 50%以上,对动物性食物的需求将增长近 70%^[7,15]。温室气体的增加可能导致全球气候变暖,进而对大多数小麦、水稻和玉米的种植生产产生不利影响,环境温度每上升 1 °C,全球小麦产量估计下降 6%^[16]。人类活动、食物生产与资源环境之间的动态平衡将面临更为严峻的挑战。食物系统的可持续转型是实现联合国 2030 年可持续发展目标的重要基础,世界粮食安全委员会已于 2014 年将可持续性引入食物系统^[17-18]。研究表明,如果在标准的美国膳食模式中减少红肉、加工肉类和精制谷物的食用,相应增加豆类、全谷物、水果和蔬菜的食用,人均年温室气体排放将减少 222~826 kg 二氧化碳当量,总减排量相当于完成美国气候行动计划目标的 6%~23%^[19]。可持续膳食可被描述为:以素食为主的、多样化的饮食结构,既满足当代人的营养与健康需求,又不损害后代人的饮食需求,同时可减少温室气体的排放,保护生态环境和自然资源的膳食模式^[7]。2019 年提出的 EAT-Lancet 膳食模式,首次定量描述了可持续膳食的基本构成:蔬菜和水果合计占膳食的 50%,全谷物、植物蛋白、不饱和植物油、适量的动物蛋白等合计占另外的 50%^[20]。

1.2 健康膳食

人均收入提高、城市化与食品加工技术进步使得世界各地的人群膳食习惯正逐渐向西方膳食模式靠拢,选择粗粮、蔬菜等植物性食物的膳食行为被选择精制碳水化合物、添加糖、脂肪、油脂和动物性食物的膳食行为所替代,这导致了全球肥胖及高血压、II 型糖尿病、心血管疾病等慢性非传染性疾病患病率的增加^[7,9]。根据 2022 年 WHO 的统计数据,全球每年约有 4 100 万人死于非传染性疾病,约占全球总死亡人数的 74%,其中心血管疾病为“头号杀手”^[21]。美国农业部《2015—2020 美国居民膳食指南》从过去仅关注单一营养物质或食物转变到对健康膳食模式的关注,一种膳食模式的不同组成部分间可能通过协同作用,更加全面的影响人类整体健康状况和疾

病风险。该膳食指南指出健康膳食模式应包括各种蔬菜(深绿色、红色和橙色等)、水果(尤其是水果全果)、谷物(谷物中至少一半应是全谷物)、无脂或低脂乳制品、多种蛋白质食物和油。同时明确指出,健康膳食包括全谷物,限制精制谷物和用精制谷物制成的产品的摄入,特别是饱和脂肪、糖和/或钠含量较高的饼干、蛋糕等^[22]。世界各地食物资源、文化与信仰存在差异,目前暂无固定统一的健康膳食模板,但通常,平衡膳食、地中海膳食、DASH 膳食、EAT-Lancet 膳食等统称为健康膳食模式,这些膳食中均鼓励摄入更多的全谷物^[23-24]。研究表明,如果在标准的美国膳食模式中减少红肉、加工肉类和精制谷物的食用,相应地,增加豆类、全谷物、水果和蔬菜的食用,可使心脏病、结直肠癌和 II 型糖尿病的患病风险减少 20%~45%,每年可节约医疗开支 770~930 亿美元^[19]。

1.3 谷物加工方式的发展与谷物营养认知的演变

谷物及其食品加工是人类文明变迁与发展的重要组成部分,四次技术革命定义了当今全球人口的膳食构成及谷物基本生产系统^[25]。第一次农业革命(First Agricultural Revolution,新石器时代)中出现的石磨盘、石磨棒与杵臼可能是最原始的谷物加工工具,标志着人类从狩猎采集者向农业和人类社区的出现过渡。随着历朝历代的发展与演变,逐步出现了臼舂、圆石磨、水磨等,使谷物加工从仅能脱壳粒食,发展到粒食、粉食并存,主食品类得到极大丰富^[26]。这段时期经过初级加工后的谷物原料,很大程度的保留了谷物麸皮与胚的营养成分。17 世纪中期至 19 世纪晚期,第二次农业革命(Second Agricultural Revolution,被称为“英国农业革命”)和工业革命(Industrial Revolution)推动手工劳动向动力机器生产转变,提高了粮食的产量和货架稳定性,磨粉机和碾米机更加复杂的碾磨和分离系统使谷物初级加工的精度大幅提升。通过小麦经典的制粉分离工艺通常可以获得 70%~75%的精白面粉,剩余的麸糠部分主要由约占小麦籽粒 18%左右的麸皮和胚组成。由于麸糠的口感粗糙,一般受微生物污染较

为严重,通常被当作低值副产物,用作饲料。20 世纪 40 年代以来持续的绿色革命 (Green Revolution) 成功地提高了玉米、小麦和水稻三大作物产量、可获得性和可负担性,改善了全球粮食数量安全。至二十一世纪初,谷物加工总体上不断追求精细化,人们“吃饱”、“好吃”的需求得到满足,但精制加工会减少谷物中大约 1/4 的蛋白质,1/2~2/3 甚至更多的营养活性物质,使谷物从原本营养丰富、具有保护性的食物变成了营养物质较为单一的食物,进而导致慢性代谢性疾病的发生和发展,生物多样性、饮食多样性和资源系统复原力损失严重^[26]。在谷物麸糠中含有的膳食纤维、B 族维生素等营养物质对维持人体肠道健康的重要作用被发现后,许多国家的政府建议或要求在精制谷物中进行营养强化,这种营养强化能够补充 6 种左右的营养物质^[7,25]。二十世纪九十年代至今,全谷物引发关注,为满足人们吃得健康、环境可持续的需求,生产既好吃又营养的米面产品、新型制粉、碾米技术与装备成为当前行业研发的重点方向^[7]。

1.4 全谷物的营养健康作用及其物质基础

全谷物主要是从谷物籽粒的解剖学结构组成角度来定义的,与精制谷物相比,除约占籽粒重量 80%~85%的胚乳外,还保留了种皮和胚(约占籽粒重量的 9%~17%)。胚乳的主要成分为淀粉、蛋白质和少量纤维、少量 B 族维生素。种皮是可食用籽粒的多层外皮,富含阿拉伯木聚糖、 β -葡聚糖等膳食纤维、B 族维生素、矿物质、酚酸、黄酮类化合物、植物甾醇、甾烷醇及其衍生物、生育酚、叶酸及其衍生物以及一些还没有被鉴定的未知化合物等。胚含有许多 B 族维生素、一些蛋白质、矿物质和健康脂肪等。20 世纪中后期至今,研究人员发现全谷物中各类营养物质所构成的“营养包”可能通过单个组分或相互结合或协同增效的作用来起到各种保健作用,比单个营养素更加有利于人体健康^[5,7]。对于全谷物与慢性代谢性疾病的研究主要从流行病学研究、临床干预评价、动物试验及体外模拟试验表征几个层面展开。大量结果表明,膳食中碳水化合物的质量(指全谷物和低血糖指数的食物)比其数量(主

要来自于精制谷物和糖)更为重要^[27];全谷物对成年人、儿童、婴幼儿等人群均表现出积极的营养健康作用^[25]。与精制谷物相比,全谷物膳食可为机体提供更多的微量营养素和生物活性物质^[28];有效提高纤维摄入量,对肠道微生物产生有益影响^[29];饱腹感更强,有利于控制体重、降低体质指数,减小超重和肥胖的可能性^[30-31];通过改善餐后血糖反应、提高机体胰岛素敏感性,降低 II 型糖尿病的患病风险^[32-35];改善脂质代谢、降低胆固醇水平,抑制动脉粥样硬化的形成,进而减少心血管疾病的发生^[36-39];减少炎症,降低部分代谢相关的癌症的患病率^[39-42],同时根据剂量反应曲线,较高的膳食纤维/全谷物摄入量更有利于心血管疾病、II 型糖尿病、结直肠癌和乳腺癌的预防^[9]。此外,全谷物膳食还有助于减缓衰老认知衰退^[43]、改善年轻人抑郁症^[44]等。在有效提供机体所需能量的前提下,全谷物和全谷物食品在营养健康方面的作用远远优于精制谷物食品,这一点已逐步达成国际共识。

2 我国发展全谷物产业的底层逻辑

2.1 全谷物与粮食安全战略

改革开放以来,我国在粮食数量安全保障方面取得了瞩目的成就,为粮食供给提供了有效保障。但从中长期看,我国依然存在人口基数庞大、人均土地和水资源短缺、国内粮食需求持续增长、结构性矛盾较为突出等潜在风险,加之极端气候频发、国际环境不确定风险增加,我国粮食供求仍将处于紧平衡态势^[7]。同时,我国粮食从田间到餐桌全产业链中主要环节的损失与浪费现象严重。三大主粮产后的综合损失浪费率约为 20%,其中加工环节最大(约为 6%)、储藏运输和销售环节较低(约为 1%以内);从品种看,小麦综合损失率最小(约为 13%),水稻综合损失率最大(约为 30%)^[45]。大力发展全谷物是提高粮食资源可食化利用率、节约粮食资源的重要途径之一。根据国家粮食和物资储备局统计资料,2020 年我国年处理稻谷 11 401.6 万 t,平均出米率 63%;年处理小麦 10 054.8 万 t,平均出粉率为 73%。如将 30%的稻谷、小麦加工成全谷物,按照 98%的出

品率计算, 出品率可分别提高 35%、25%。出品率增量即为粮食节约数量, 按此标准测算, 可节约粮食 1 951 万 t; 连同杂粮加工, 每年综合节约粮食预计可达 2 000 万 t 以上。

2.2 全谷物与健康中国战略

随着经济社会的快速发展, 我国食物的生产供给能力显著提升, 我国居民的食物消费总体呈现能量够但结构不合理的现状^[46]。根据联合国粮农组织统计数据, 近 30 年, 我国居民膳食中动物性产品供能比由 8.05% 增长至 22.57%, 隐性饥饿人口约达 3 亿^[47]。当前, 我国人均每日膳食纤维的摄入量仅为 10.2 g, 约为推荐摄入量的三分之一, 维生素 B₁ 的摄入量仅为 0.8 mg, 约为推荐摄入量的二分之一^[48]。根据《中国居民膳食指南科学研究报告》, 精制谷物是我国谷物消费的主要类型且消费量趋于稳定, 全谷物消费量低、杂粮消费量减少^[23]。与此同时, 我国面临人口老龄化与代谢危险因素流行的双重压力, 慢病危机日趋严重。当前我国心血管疾病患病人数约 3.3 亿, 居我国居民总死亡原因的首位, 分别占农村和城市死亡构成的 48.00% 和 45.86%^[48]。高血压、糖尿病、血脂异常、超重和肥胖等是心血管疾病发病的重要危险因素, 而我国目前有超过一半的成年居民超重或肥胖, 高血压患者 2.45 亿, 糖尿病患者 1.41 亿, 其中 II 型糖尿病为主要类型^[49]。由慢病造成的疾病负担已占我国总疾病负担的 70% 以上, 成为影响我国经济社会发展的重大公共卫生问题。2016 年, 中共中央、国务院发布了《“健康中国 2030”规划纲要》, 明确提出“预防为主、关口前移, 推行健康生活方式, 减少疾病发生, 促进资源下沉, 实现可负担、可持续的发展”, 倡导注重不健康膳食和身体活动不足等上游危险因素的控制, 从源头上预防慢性疾病的发生。因此, 推行以全谷物逐步代替精制谷物的膳食模式与健康生活方式, 对健康中国的实施具有重要的战略意义。

2.3 全谷物与资源安全和双碳战略

粮食生产与加工产业是资源和劳动密集型产业, 生产路径十分依赖土地和淡水资源的开发与利用。我国人均耕地面积仅约 1.36 亩, 相当于美

国的 1/400, 不足日本韩国的 1/4; 人均水资源量仅为 2 100 m³, 不足世界人均占有量的 1/3^[45]。我国食物增产与水土资源减少的矛盾日益突出。研究表明, 到 2030 年, 我国食物消费总量将呈现刚性增长, 其中粮食消费量将超过 18 亿 t, 与 2021 年相比将增加 4% 以上^[50]; 农业食物生产所造成的资源环境影响将远超安全的环境界限^[51]。我国农业系统 2020 年碳排放总量为 1.864×10⁹ t, 较 1990 年增长了 58%; 带来的甲烷 (CH₄) 排放量占中国相应总量的 40%^[52]。消费端减排是指通过改变消费者偏好和行为来减少温室气体密集型产品的消费和浪费, 膳食结构的调整是消费端减排的主要措施之一^[53]。可通过普及农业生产管理技术、减少食物浪费、调整膳食结构等策略削减我国农业食物生产产生的水资源消耗、土地利用及温室气体排放等资源环境影响。其中, 尽量避免食物加工及消费环节中的损失和浪费可减少 9%~11% 的环境影响。接近中国居民膳食指南中推荐的平衡膳食模式, 增加植物性食物的摄入, 多吃蔬果、奶类、全谷物、大豆等, 适量摄入肉类, 可减少 7%~12% 的环境影响^[51], 使城镇和乡村的食物碳足迹分别降低 13.6% 和 14.7%^[54]。作为良好的全谷物来源, 荞麦、燕麦等杂粮大多属于耐旱型作物, 它们较少依赖与加速气候变化有关的化学肥料, 可通过轮作多种谷物作物调整优化种植结构, 恢复土壤肥力, 以减少粮食生产对环境的影响^[7]。

2.4 我国发展全谷物产业的现实紧迫性

全谷物是 B 族维生素、膳食纤维等营养物质的优质天然食物来源。我国发展全谷物产业的底层逻辑, 一是提高粮食可食化利用效率, 减少资源浪费; 二是减少食物中天然营养物质的损失, 改善我国居民隐性饥饿等健康问题, 降低慢病患病风险。大力发展全谷物产业, 是贯彻落实我国《中华人民共和国反食品浪费法》与“健康中国”战略, 践行大食物观, 推动乡村振兴战略实施的重要举措。欧美及新加坡、日本等亚洲国家早在二十一世纪初就意识到全谷物的重要性, 并致力于采取措施鼓励人们增加全谷物的摄入, 目前荷兰等欧洲国家已出现了专门的健康谷物超市, 当

中所售谷物产品均为全谷物食品或高纤维谷物食品, 美国等发达国家的谷物摄入总量中, 全谷物摄入量的占比已达近 20%。而我国长期以来的谷物消费形式基本都是精制谷物, 当前全谷物的消费占谷物消费总量的比例极低, 仅为 1% 左右, 与发达国家全谷物的消费水平相距甚远。全谷物“不好吃、不好存、不好做、不方便”, 是制约全谷物产业发展的重要难题。从消费端看, 我国全谷物产业面临消费者因为对全谷物健康益处不了解及长期的精制谷物消费惯性而不愿意购买全谷物食品的瓶颈。从供给端看, 当前我国全谷物食品标准标识尚不完善, 生产企业面临因为市场卖不动导致创新动力不足及不愿生产全谷物食品的窘境。因此, 我国的全谷物产业发展兼具战略重要性与现实紧迫性, 亟待通过科技创新, 增加全谷物的生产与消费, 以推动我国目前的膳食结构向更健康膳食结构的转变, 有效节约粮食资源, 为我国乃至世界的资源环境可持续发展作出贡献。

3 国际全谷物产业发展的态势

3.1 政府出台政策支持全谷物产业发展

美国农业部 (United States Department of Agriculture, USDA) 于 2007 年首次将全谷物纳入《美国妇女、婴儿和儿童营养补充计划》。后于 2012 年发布《国家学校午餐和早餐计划》, 明确“自计划实施日起, 每周供应谷物的 50% 应为全谷物; 实施两年后, 每周供应的谷物应全部为全谷物”。2022 年更新发布的《国家学校午餐和早餐计划》中对上述要求进行了更新, 要求“每周供应的谷物中, 80% 必须富含全谷物”(“富含全谷物”指至少含有 50% 全谷物粉和/或面粉的食物)。《美国居民膳食指南 (2015—2020)》推荐的膳食模式中均将全谷物作为强调内容, 英国、瑞士、挪威、法国、西班牙等欧洲国家先后提出了各国的全谷物推荐摄入量。新加坡政府于 2017 年推出了“全政府健康餐饮”政策, 要求所有政府采购实体在提供餐饮的政府组织的活动中为员工和公众提供全谷物等健康的食品和饮料选择。新加坡政府的健康促进委员会正在通过补贴超市推出商品折扣、应用科学技术改善全谷物食品的可

及性和可用性等措施, 提高全谷物食品的可获得性和食用便利性, 鼓励形成消费新习惯, 以推动该国白米和精制谷物面条的消费习惯向消费全谷物转变。目前, 丹麦是全球全谷物推广最好的国家, 赢得了全谷物消费的“世界杯”, 据有关报道, 在过去的 15 年里, 丹麦人的平均每日全谷物摄入量从 36 g 增加到了 82 g。

3.2 学术或行业机构多举措推动全谷物产业发展

上世纪九十年代至二十一世纪初期, 美国、欧洲等发达国家及地区相继成立了美国全谷物理事会 (Whole Grains Council, WGC)、欧盟健康谷物论坛 (HEALTHGRAIN Forum) 等专门的全谷物推动机构, 通过专题会议、项目组织、推广活动、推出全谷物食品标识及健康声称等方式联合食物产业链各相关方共同努力推动全谷物科技及产业发展^[7]。WGC 于 2004—2005 年间提出了全谷物和全谷物食品的定义并发布了全谷物食品标识 (Whole Grain Stamp); 2017 年, 全球范围内有 56 个国家和地区在产品上使用 WGC 推出的全谷物食品标识, 用以明确和区分全谷物的含量, 产品总数约 11 000 种; 至 2023 年 10 月, 该标识被用于 65 个国家和地区的超过 13 000 种不同的产品上, 其中有 33% 的产品分布在美国以外的地区; 使用频次较多的食品品类包括面包类 (18%)、冷食谷物类 (18%) 和饼干等零食 (15%) 等; 使用 100% 全谷物标识的产品约占 40%, 50% 全谷物标识的产品约占 38%, 基本标识 (25% 全谷物) 的产品占比 22%。2017 年在由国际谷物科学技术协会 (International Association Cereal Science and Technology, ICC) 于奥地利组召开的第六届国际全谷物峰会 (6th International Whole Grain Summit) 上, 来自 35 个国家/地区的 200 多位知名专家及相关领导共同发起了全球维也纳全谷物宣言, 以共同促进全谷物消费目标的实现, 为全人类谋求健康和幸福生活。在此次会议成果的基础上, ICC 于 2018 年发起了全谷物倡议工作组 (Whole Grain Initiative), 旨在搭建科技、信息和资源共享合作平台, 推动全谷物消费。2021 年, WGI 发布了《全谷物 (用作食品原料) 与全谷物食品的全球定义共识》^[4], 并于 2022 年启动 ISO 全谷物国际标准

的制定工作，目前该标准即将进入送审阶段。

4 我国全谷物产业的发展现状与重要进展

4.1 我国全谷物科技和产业顶层设计的顶层

总体上，我国全谷物发展仍然处于引起关注与兴趣阶段，产业发展只是处于起步阶段。要改变已经经历了上百年的精制谷物消费理念与方式所形成的强大的惯性力量，并非易事，可能需要一个漫长的过程。全谷物的发展并不是一个纯粹的科学技术问题，政府与相关机构的政策引领、企业的产品研发与生产、高校与科研院所对全谷物营养健康与加工技术核心关键问题的协同攻关、以及媒体宣传与消费者的科普认知程度，均与推动全谷物的发展密切相关。重塑我国健康谷物食品加工与消费新生态，包括但不限于基于我国居民特点的全谷物与主要慢病危害参数间的效应关系、全谷物品种相关基础数据库的构建、全谷物配料的制造解决方案、全谷物食品技术与规范体系的重构、大宗/特色全谷物食品体系的系统构架等。这既是一项系统工程，也是一项民生工程，需要通过粮食加工全产业链的内外协同联动，以增加全谷物消费为最终目标，从产业政策、平台搭建、科普宣传、标准体系建设、科技攻关、产业化开发、国际交流与合作等多维度进行顶层设计与系统整体推动。

4.2 在政策建议、平台搭建及科普宣传等方面的进展

《粮食加工业发展规划（2011—2020年）》明确提出“推进全谷物健康食品的开发”、“鼓励增加全谷物营养健康食品的摄入，促进粮食科学健康消费”。在国务院办公厅 78 号文件《关于加快推进农业供给侧结构性改革大力发展粮食产业经济的意见》中指出“推广大米、小麦粉和食用植物油适度加工，大力发展全谷物等新型营养健康食品”。2020 年，朱蓓薇、孙宝国、吴清平等四位院士与笔者共同提交的《关于大力发展全谷物食品的对策建议》的院士建议通过中国工程院报送至科技部、农业农村部、国家发改委、国家粮食局、工信部、财政部、国家卫健委、民政部和科协共 9 个部委。2021 年，由中办、国办印

发的《粮食节约行动方案（2021 年）》中明确指出“发展全谷物产业，启动国家全谷物行动计划”；包括中国疾病预防控制中心营养与健康所、国家粮食和物资储备局科学研究院在内的 8 家专业机构共同发布了《全谷物与健康的科学共识（2021）》，以帮助我国消费者了解全谷物与健康的关系，促进公众养成食用全谷物的习惯。同年 10 月，中国食品科学技术学会全谷物分会成立，通过聚集行业与科研力量，开展学术交流、科学普及、产学研融合、国际合作等工作，促进我国全谷物科技与产业发展。2023 年，国家粮食产业（全谷物）技术创新中心获得国家粮食和物资储备局授牌，旨在搭建全谷物品质改良与品种选育、全谷物食品加工、全谷物与健康研究及全谷物综合基础数据共享平台。同年，笔者通过国家粮食和物资储备局科学研究院上报的关于“大力发展全谷物产业打造‘无形良田’建设‘健康中国’”的建议被中办采纳；人民日报健康客户端“全谷物频道”正式上线；《国家全谷物行动计划方案》草案正在抓紧制定当中。全谷物领域在我国获得高度关注，迎来了前所未有的发展机遇。

4.3 在全谷物标准体系建设方面的进展

在国际全谷物标准差异大、多元化的背景下，构建并完善我国全谷物标准体系是规范全谷物市场、推动全谷物行业健康发展的重要基础。2015 年 7 月，我国首个全谷物标准——《全麦粉（LS/T 3244—2015）》行业标准发布并实施，该标准率先在国际上采用烷基间苯二酚作为全麦粉的特征指标，为全麦粉及其产品的发展奠定了良好的基础。此外，《发芽糙米（GB/T 42173—2022）》国家标准已发布并实施；“全谷物与全谷物食品通则”、“全麦挂面”、“易煮全谷物”等行业标准已提交报批稿；“全麦馒头”等行业标准已获批立项。同时，一些团体标准的制定与发布也为我国全谷物标准体系的建设做出了有益的探索，如现已发布实施的中国焙烤食品糖制品工业协会团标“全谷物冲调谷物制品（T/CABCI 004—2018）”、“全谷物焙烤食品（T/CABCI 002—2018）”，以及中国食品科学技术学会刚刚启动制定的团标《预包装全谷物与全谷物食品的标示规范》等。相关标准

的制定将为我国全谷物食品的定义、判定、标识、标签、声称、检测方法等提供统一的规范。此外,笔者等作为 ISO 食品技术委员会谷物与豆类分委员会全谷物工作组中方提名专家,参与到由 WGI 推动的全谷物国际标准的制定工作中,作为中国代表在国际全谷物标准制定领域发声。

4.4 在全谷物技术体系构建与创新实践方面的进展

我国对全谷物的关注始于 2009 年,“十一五”期间自杂粮起步,通过系统开展主要杂粮加工品质评价及加工适用性研究,在杂粮加工领域完成了“摸家底”研究,获得了不同杂粮品种营养物质含量的基础数据,为后续研究奠定了良好基础^[55-57]。“十二五”期间,重点围绕杂粮食用不方便、不含面筋、在主食应用中严重受限的技术难题与瓶颈,以让优质杂粮资源“上餐桌”为目标开展杂粮食用品质改良及深度加工关键技术研究,并进行产业化示范。通过物理改性、粒度适度控制及预混合粉制备等技术的集成,实现了杂粮在挂面产品中的高含量添加,最高添加量可达 100%^[58-62]。相关技术成功实现产业化推广,“一种杂粮豆挂面的加工方法”获中国专利优秀奖,相关成果获中国食品科学技术学会技术进步一等奖。“十三五”期间布局全谷物领域,针对糙米、全麦等全谷物原料营养丰富,但口感差、烹煮时间长、货架期短等问题,开展了全谷物糙米制品营养保全及品质改良关键技术、基于挤压重组等物理改性技术的方便杂粮主食品加工关键技术研发及产业化示范。集成应用全谷物物理稳定化加工技术、速食营养粥粥胚物理塑形造粒等技术^[63-66],生产的全谷物食品具有更高的膳食纤维、维生素、酚类物质等生物活性成分含量,较精米白面制品营养健康特性显著改善^[67]。“稳定化全麦粉及全麦主食品加工技术”、“糙米米线加工技术”及“全谷物方便速食粥加工技术”等成果通过成果鉴定。2021 年,我国首部全谷物学术专著《全谷物营养健康与加工》出版^[7],该专著基于“十一五”至“十三五”期间笔者团队全谷物相关研究成果,充分结合国内外全谷物的研究基础与进展,阶段性系统梳理总结了在全谷物领域的实践经验与思考。

“十四五”期间,“全谷物营养健康食品创制”项目在科技部“重点研发计划”重点专项中立项,将着力我国全谷物食品加工技术发展,在全谷物生物加工技术、原配料及全谷物食品创制与在不同人群、不同场景下的应用与示范等方面开展深入研究^[68]。

5 我国全谷物产业的未来展望

5.1 开展科普与消费倡导,提升消费者购买动力

强化全谷物营养健康科学共识,是提升认知及科普交流的基础。在构建和完善具有中国特色的全谷物发展科学理论架构的基础上,不断完善并更新发布我国居民全谷物膳食推荐摄入量。对接全谷物营养健康国际科学共识,联合相关慢病防控与健康组织发布全谷物健康声称与消费倡导建议。开展全谷物科普行动。构建规范的健康科普知识发布和传播机制,建立并完善全谷物科普专家库和资源库,组织专业人员编写全谷物科普材料,教育媒体科学宣传全谷物。一方面,充分发挥主流官媒及新兴自媒体的作用,提升全民全谷物认知和消费者购买动力;另一方面,引导生产企业关注全谷物,增加全谷物科技投入,开发消费者喜欢的多样化全谷物食品;形成全谷物消费与生产的良性循环。

5.2 全产业链协同科技创新,构建符合我国膳食习惯的全谷物加工技术体系

探索建立跨学科、多学科研究体系,开展基础及应用基础研究。加大功能性育种攻关力度,研发富含活性物质组分、食用感官品质与加工品质更加优良的全谷物食品加工适用、专用品种。目前我国谷物原配料的加工主要基于精致谷物的加工技术体系,传统的制粉技术装备粉路长、效率低,需要开发新型全谷物粉的制粉专用装备。同时,开展全谷物原配料加工生物辅助新技术,开发系列化、专用化、稳定化全谷物原/配料产品,初步构建我国基础的、大宗的全谷物原/配料加工技术解决方案,为全谷物食品的创制与推广提供有效保障。针对全谷物食品口感、货架期、活性及其健康效应提升等关键科技问题,采用物理、生物加工等现代加工技术手段,研究高纤维质下

全谷物食品加工共性关键技术。针对我国的膳食结构与饮食模式、人群体质等,深入研究全谷物膳食与慢病防控的关系及其调控机制、全谷物消费与医疗负担之间的关系;开展全谷物膳食在慢病防控中的临床实践与长期追踪研究,积极论证和探索开展以全谷物膳食干预为主要内容的公共卫生干预;为形成更优化的全谷物最佳推荐摄入量共识提供科技支撑。

5.3 完善标准标识认证体系,规范市场良性发展

立足我国实际,并充分考虑与国际标准接轨,构建全谷物配料与食品加工的产品与技术标准体系,逐步优化完善我国的全谷物标准体系。加快推进全谷物相关行标及国标的出台与宣贯,鼓励各种产品团体标准的制定与推广。加快建立适用于我国实际的、权威的、统一的全谷物产品认证体系;依托专业性、公益性与权威性的行业机构制定全谷物产品认证的认证依据、认证标识,并建立产品标签追溯系统;加快全谷物认证标示规范等标准的制定与推广,以增强全谷物产品的辨识度,进一步有效规范市场,保障消费者权益。此外,应积极参与国际全谷物与全谷物食品的定义等标准制定工作,基于我国国情充分发表意见建议,分享推广自身标准制定发展经验,在国际全谷物标准体系建设中贡献中国智慧,提升我国国际市场影响力。

5.4 凝聚产业力量,构建多样化全谷物产品体系

以全麦、糙米、全谷物杂粮等为重点,加快培育一批已初具规模的全谷物粉、全谷物米等原配料加工企业,开发系列化原配料产品,推动提高我国全谷物原配料产能,增强原料保障能力。开发大宗的全谷物馒头、面条、米饭等主食产品,全谷物饼干、饮料等全谷物即食方便食品,研究构建适用不同人群与场景的多元化全谷物食品供给体系;支持全谷物食品加工企业改造或新建全谷物食品加工生产线、配置新型全谷物加工装备、优化产品配方及工艺流程,提升全谷物食品供给与需求适配性。积极推动科研院所、企业与学校、军队、机关食堂、餐饮酒店、医院及康养机构的合作与联系,鼓励选择一些全谷物食品部分替代

精制谷物食品,在上述典型场景中进行应用与示范,进而发展为常态化推广。此外,支持全谷物生产加工优势企业深挖产品特性内涵,培育产品和企业品牌,提升全谷物食品的市场认知度和接受度,以多方位优化重塑我国谷物食品生态。

经过 10 余年的努力,我国全谷物产业已初步形成了学界、产业界、政府、媒体和消费者等多方共同关注与联动的势头。为加快推动全谷物消费增长和产业健康发展,聚焦当前和今后一段时间内制约全谷物产业发展的重要因素和关键问题,重点从全谷物品种选育、储藏、加工、消费等全链条布局,从科普与消费倡导、科技协同创新、标准标识认证体系及产业示范推广等全方位推动,多措并举聚合力,加快支持推动国家全谷物行动计划的组织实施,引导全民科学健康生活方式,助力我国粮食产业高质量发展。力争到 2035 年,大幅提升我国全谷物消费占比,完成发达国家 30 年完成的目标,让全谷物消费常态化,改善国民膳食结构,在更高质量、更高水平上保障国家粮食安全,让百姓吃出健康,让军人吃出战斗力,让孩子吃出未来。

参考文献:

- [1] 韩杨. 中国粮食安全战略的理论逻辑、历史逻辑与实践逻辑[J]. 改革, 2022, 1: 43-56.
- [2] 颜波. 准确把握战略定位、战略举措、战略保障 牢牢守住粮食安全主动权——深入学习领会习近平总书记关于国家粮食安全重要论述[J]. 中国粮食经济, 2023, 5: 12-15.
- [3] 谭光万, 王秀东, 王济民, 等. 新形势下国家食物安全战略研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(4): 1-13.
- [4] van der KAMP J W, JONES J M, MILLER K B, et al. Consensus, global definitions of whole grain as a food ingredient and of whole-grain foods presented on behalf of the Whole Grain Initiative[J]. Nutrients, 2022, 14: 138.
- [5] JACOBS Jr D R. The whole cereal grain is more informative than cereal fibre[J]. Nature Reviews Endocrinology, 2015, 11: 389-390.
- [6] 林燕, 李高申. 黄帝内经素问白话解[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2016.
- [7] 谭斌. 全谷物营养健康与加工[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [8] GBD 2017 Diet Collaborators. Health effects of dietary risks in 195 countries, 1990-2017: a systematic analysis for the global burden of disease study 2017[J]. Lancet, 2019, 393: 1958-1972.
- [9] REYNOLDS A, MANN J, CUMMING J, et al. Carbohydrate

- quality and human health: a series of systematic reviews and meta-analyses[J]. *Lancet*, 2019, 393(10170): 434-445.
- [10] O'HEARN M, LARA-CASTOR L, CUDHEA F, et al. Incident type 2 diabetes attributable to suboptimal diet in 184 countries[J]. *Nature Medicine*, 2023, 29: 982-995.
- [11] 夏佳钰, 樊胜根, 丁心悦, 等. 中国可持续健康膳食发展思考[J]. *中国工程科学*, 2023, 25(4): 120-127.
- [12] CRIPPA M, SOLAZZO E, GUIZZARDI D, et al. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions[J]. *Nature Food*, 2021, 2(3): 198-209.
- [13] FAO. The State of food security and nutrition in the world 2021: Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets[R]. Rome, Italy, 2021.
- [14] FAO, WHO. Sustainable healthy diets-Guiding principles[R]. Rome, Italy, 2019.
- [15] FAO, IFAD, WFP. The state of food insecurity in the world: Meeting the 2015 international hunger targets: Taking stock of uneven progress[R]. Rome, Italy, 2015.
- [16] ASSWNG S, EWART F, MARTRE P, et al. Rising temperatures reduce global wheat production[J]. *Nature Climate Change*, 2015, 5: 143-147.
- [17] 刘晓洁, 贺思琪, 陈伟强, 等. 可持续发展目标视野下中国食物系统转型的战略思考[J]. *中国科学院院刊*, 2023, 38(1): 112-122.
- [18] HLPE. Nutrition and food systems[R]. Rome, Italy, 2017.
- [19] HALLSTROM E, GEE Q, SCARBOROUGH P, et al. A healthier US diet could reduce greenhouse gas emissions from both the food and health care systems[J]. *Climatic Change*, 2017, 142(1-2): 199-212.
- [20] WILLETT W, ROCKSTROM J, LOKEN B, et al. Food in the anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems[J]. *Lancet*, 2019, 393(10170): 447-492.
- [21] WHO. Noncommunicable diseases. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>[EB/OL]. [2023-10-5].
- [22] USDA. Dietary Guidelines: for Americans, 2015-2020 (eighth edition)[R]. Washington, United States, 2015.
- [23] 中国居民膳食指南科学报告工作组. 中国居民膳食指南科学研究报告[R]. 北京, 2021.
- [24] HU F B. Nutrient supplementation no substitute for healthy diets[J]. *Nature Reviews Cardiology*, 2019, 16(2): 77-79.
- [25] MILANI P, TORRES-AGUILAR P, HAMAKER B, et al. The whole grain manifesto: From green revolution to grain evolution [J]. *Global Food Security*, 2022, 34: 100649.
- [26] 徐海荣. 中国饮食史. 卷二[M]. 杭州: 杭州出版社, 2014.
- [27] LUDWIG D S, WILLETT W C, VOLEK J S, et al. Dietary fat: From foe to friend?[J]. *Science*, 2018, 362(6416): 764-770.
- [28] GANI A, WADI S M, MASOODI F A, et al. Whole-grain cereal bioactive compounds and their health benefits: a review[J]. *Journal of Food Processing and Technology*, 2012, 3: 1000146.
- [29] CRONIN P, JOYCE S A, O'TOOLE P W, et al. Dietary fibre modulates the gut microbiota[J]. *Nutrients*, 2021, 13: 051655.
- [30] QUATELA A, CALLISTER R, PATTERSON A J, et al. Breakfast cereal consumption and obesity risk amongst the mid-age cohort of the Australian longitudinal study on women's health[J]. *Healthcare*, 2017, 5(3): 49-60.
- [31] ARAKI R, USHIO R, FUJIE K, et al. Effect of partially-abraded brown rice consumption on body weight and the indicators of glucose and lipid metabolism in pre-diabetic adults: a randomized controlled trial[J]. *Clinical Nutrition ESPEN*, 2017, 19: 9-15.
- [32] SEAL C J, BROWNLEE I A. Whole-grain foods and chronic disease: evidence from epidemiological and intervention studies[J]. *Proceedings of the Nutrition Society*, 2015, 74: 313-319.
- [33] LI X, CAI X X, MA X T, et al. Short- and long-term effects of wholegrain oat intake on weight management and glucolipid metabolism in overweight type-2 diabetics: a randomized control trial[J]. *Nutrients*, 2016, 8: 549.
- [34] HU Y, DING M, SAMPSON L, et al. Intake of whole grain foods and the risk of type 2 diabetes[J]. *British Medical Journal*. 2020, 370: 2206.
- [35] PLETSCHE A, HAYES A M R, CHEGENI M, et al. Matched whole grain wheat and refined wheat milled products do not differ in glycemic response or gastric emptying in a randomized, crossover trial[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2022, 115: 1013-1026.
- [36] SIAVIN J. Whole grains and cardiovascular disease. In: MARQUART L, JACOBS Jr D R, MCLINTOSH G H, et al. Whole grains and health[M]. Oxford: Blackwell Publishing, 2007.
- [37] FANG L Q, LI W, ZHANG W, et al. Association between whole grain intake and stroke risk: evidence from a meta-analysis[J]. *International Journal of Clinical Experimental Medicine*, 2015, 8(9): 16978-16983.
- [38] WANG C, SUN Y, JIANG D, et al. Risk-attributable burden of ischemic heart disease in 137 low-and middle-income countries from 2000 to 2019[J]. *Journal of the American Heart Association*, 2021, 10: 021024.
- [39] ZHANG B, ZHAO Q, GUO W, et al. Association of whole grain intake with all-cause, cardiovascular, and cancer mortality: a systematic review and dose-response meta-analysis from prospective cohort studies[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2018, 72: 57-65.
- [40] WEI H L, GAO Z, LIANG R, et al. Whole-grain consumption and the risk of all-cause, CVD and cancer mortality: a meta-analysis of prospective cohort studies[J]. *British Journal of Nutrition*, 2016, 116(3): 514-525.
- [41] HAJIHASHEMI P, HAGHIGHATDOOST F. Effects of whole-grain consumption on selected biomarkers of systematic inflammation: A systematic review and meta-analysis of

- randomized controlled trials[J]. *Journal of the American College of Nutrition*, 2019, 38(3): 275-285.
- [42] MEHTA R S, NISHIHARA R, CAO Y, et al. Association of dietary patterns with risk of colorectal cancer subtypes classified by *Fusobacterium nucleatum* in tumor tissue[J]. *JAMA Oncology*, 2017, 3(7): 921-927.
- [43] FOSCOLOU A, KOLOVEROU E, MATALAS A, et al. Decomposition of Mediterranean Dietary Pattern on successful aging, among older adults: A combined analysis of two epidemiological studies[J]. *Journal of Aging and Health*, 31(9): 1549-1567.
- [44] FRANCIS H M, STEVENSON R J, CHAMBERS J R, et al. A brief diet intervention can reduce symptoms of depression in young adults-A randomised controlled trial[J]. *PLoS One*, 2019, 15(10): e0222768.
- [45] 武拉平. 我国粮食损失浪费现状与节粮减损潜力研究[J]. *农业经济问题*, 2022, 11: 34-41.
- [46] 陈萌山, 秦朗, 程广燕. 践行大食物观: 中国食物系统转型的挑战、目标与路径[J]. *农业经济问题*, 2023, 5: 4-10.
- [47] FAO. Food and agriculture data. <https://www.fao.org/faostat/en> [EB/OL]. [2023-10-5].
- [48] 国家卫生健康委疾病预防控制局. 中国居民营养与慢性病状况报告(2020年)[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2021.
- [49] 《中国心血管健康与疾病报告 2022》编写组. 中国心血管健康与疾病报告 2022[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2023.
- [50] 农业农村部市场预警专家委员会. 中国农业展望报告(2022-2031)[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2022.
- [51] HU Y C, SU M R, WANG Y F, et al. Food production in China requires intensified measures to be consistent with national and provincial environmental boundaries[J]. *Nature Food*, 2020, 1: 572-582.
- [52] 中华人民共和国生态环境部. 中国气候变化第二次两年更新报告 2018[R]. 北京, 2018.
- [53] 华而实, 陈敏鹏, 崔焱绒. 健康膳食对农业甲烷排放的影响分析[J]. *气候变化研究进展*, 2023, 19(5): 559-572.
- [54] 窦羽星, 刘秀丽. 居民食物消费变化引致的环境足迹测算[J]. *中国环境科学*, 2023, 43(1): 446-455.
- [55] 田晓红, 谭斌, 谭洪卓, 等. 我国主产区高粱的理化性质分析[J]. *粮食与饲料工业*, 2009, 4: 10-13.
- [56] 刘艳香, 谭斌, 张敏, 等. 几种高粱粉挤压特性的研究[J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(10): 46-53.
- [57] 刘明, 刘艳香, 张敏, 等. 双螺杆挤压工艺参数对磨头压力及白高粱粉挤压产品品质特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(6): 95-102.
- [58] 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.
- [59] 汪丽萍, 田晓红, 刘明, 等. 苦荞超微粉对苦荞小麦混合粉及其挂面品质的影响[J]. *粮油食品科技*, 2015, 23(1): 1-4.
- [60] 田晓红, 汪丽萍, 谭斌, 等. 小米粉含量对小米小麦混合粉及其挂面品质特性的影响研究[J]. *中国粮油学报*, 2014, 29(8): 17-22.
- [61] 汪丽萍, 蔡亭, 刘明, 等. 苦荞挂面加工过程中黄酮含量及抗氧化活性变化研究[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(6): 119-123.
- [62] WU N, TIAN X, LIU Y, et al. Cooking quality, texture and antioxidant properties of dried noodles enhanced with tartary buckwheat flour[J]. *Food Science and Technology Research*, 2017, 23(6): 783-792.
- [63] GAO K, LIU Y, TAN B, et al. An insight into the rheology and texture assessment: The influence of sprouting treatment on the whole wheat flour[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021.
- [64] LIU Y, GUAN L, MENG N, et al. Evaluation of quality deterioration of dried whole-wheat noodles with extrusion-stabilized bran and germ during storage[J]. *Journal of Cereal Science*, 2021.
- [65] 刘艳香, 汪丽萍, 谭斌, 等. 麸胚挤压稳定化处理对全麦挂面品质特性的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(19): 156-163.
- [66] 刘明, 岳崇慧, 朱运恒, 等. 糙米复配粉中淀粉直/支比对挤压速食粥品质与结构的影响[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(1): 73-78.
- [67] MA Z, ZHAI X, ZHANG N, et al. Effects of germination, fermentation and extrusion on the nutritional, cooking and sensory properties of brown rice products: A comparative study[J]. *Foods*, 2023, 12(7): 1542.
- [68] 谭斌, 翟小童. 国粮院粮食加工领域近 30 年发展与展望[J]. *粮油食品科技*, 2023, 31(5): 61-72. 