

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2025.03.025

姜平, 袁子涵, 刘明, 等. 我国稻谷、小麦精准适度加工技术产业化的思考[J]. 粮油食品科技, 2025, 33(3): 235-239.

JIANG P, YUAN Z H, LIU M, et al. Thoughts on the industrialization of precision and moderate processing technology for rice and wheat in china[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2025, 33(3): 235-239.

我国稻谷、小麦精准适度加工 技术产业化的思考

姜平, 袁子涵, 刘明✉, 叶金, 王松雪

(国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037)

摘要: 开展稻谷、小麦精准适度加工研究是节粮减损保障粮食供给安全、端牢“中国饭碗”以及推进“健康中国 2030”的有效途径。而目前稻谷、小麦精准适度加工技术仍存在口感、营养及安全性难以协调的突出矛盾问题, 产业化发展受到适度加工精度与市场需求之间的矛盾、适度加工产品保质期与消费者购买体验之间的矛盾、产品出品率与企业投入设备成本之间平衡关系的矛盾等方面的制约。建议加强相关核心技术及装备的研发力度, 深入开展科普与消费倡导, 完善财政补偿政策, 多端共同发力, 提质量降成本增效益, 提振消费动力及企业积极性, 在增量、增质、增健康三个方面提高粮食资源的利用效率, 助力节粮减损, 促进产业升级。

关键词: 稻谷; 小麦; 精准适度加工; 营养健康; 粮食安全; 节粮减损

中图分类号: TS210.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2025)03-0235-05

网络首发时间: 2025-04-16 12:22:06

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20250416.1107.002>

Thoughts on the Industrialization of Precision and Moderate Processing Technology for Rice and Wheat in China

JIANG Ping, YUAN Zi-han, LIU Ming✉, YE Jin, WANG Song-xue

(Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

Abstract: Research on precision and moderate processing of rice and wheat is an effective approach to grain saving and loss reduction, ensure food supply security, safeguard "China's rice bowl" and promote "Healthy China 2030". At present, the precision and moderate processing technology of rice and wheat still faces challenges in balancing taste, nutrition and safety. The development of industrialization is restricted by the conflict between the moderate processing accuracy and market demand, the contradiction between the shelf life of moderately processed products and the purchasing experience of consumers, and the conflict between

收稿日期: 2024-09-05; 修回日期: 2024-10-31; 录用日期: 2024-11-01

基金项目: “十四五”国家重点研发计划“大宗粮油食品适度加工全过程安全防控技术集成与示范”(2023YFF1104605)

Supported by: National Key Research and Development Project of the 14th Five-year Plan, China "Integration and Demonstration of Safety Prevention and Control Technology in the Whole Process of Moderate Processing of Bulk Grain and Oil" (No. 2023YFF1104605)

第一作者: 姜平, 女, 1987 年出生, 硕士, 副研究员, 研究方向为粮食加工利用, E-mail: jp@ags.ac.cn

通信作者: 刘明, 男, 1980 年出生, 博士, 研究员, 研究方向为功能性方便食品加工技术与装备开发, E-mail: lm@ags.ac.cn

the balance relationship of the product yield and the cost of enterprise input equipment. Therefore, it is recommended to strengthen the research and development of relevant core technologies and equipment, in-depth science popularization and consumption advocacy, improve the financial compensation policy. Through these multi-end joint efforts, it is possible to improve quality, reduce cost and increase efficiency, enhance consumption drive and enterprise enthusiasm, significantly improve the utilization efficiency of grain resources in the three aspects of quantity, quality and health, facilitate grain saving and loss reduction, and promote industrial upgrading.

Key words: rice; wheat; precision and moderate processing; nutrition and health; food security; grain saving and loss reduction

作为粮食生产与消费大国,我国高度重视粮食安全。习近平总书记指出:“保障粮食安全,要在增产和减损两端同时发力。”粮食安全关乎消费者的生命健康,影响粮食加工产业的发展和国家战略储备粮的收购。自古以来,就有“农稳社稷,粮安天下”的说法,农业,特别是粮食生产,是国家安全稳定和社会经济发展的重要基础^[1]。

我国自古推崇五谷为养,主食是我国传统食品的重要组成部分,稻谷和小麦作为我国最主要的口粮,为人的生命活动提供重要的能源物质。据国家统计局数据显示,2023年我国稻谷和小麦播种面积分别为28 949.1千ha和23 627.2千ha,总产量分别为20 660.3万t和13 659.0万t,然而,我国每年在稻麦储藏、加工等环节因干燥不当、过度加工等造成了粮食的很大损失。在精米、白面的加工过程中,去除了外层的麸皮和胚芽部分后,会丢失60%~90%的膳食纤维、B族维生素、微量营养素以及多种生物活性物质等^[2],长期食用精制加工的大米、面粉的饮食习惯也进一步增加了消费者糖尿病、冠心病、高血压等系列慢性疾病的患病风险。稻谷、小麦过度加工已成为粮食资源浪费和营养物质流失的主要原因。因此,开展稻谷、小麦精准适度加工研究是节粮减损保障粮食供给安全、端牢“中国饭碗”以及推进“健康中国2030”的有效途径。

目前,越来越多的营养专家和学者们都开始大力推荐将全谷物或适度加工谷物作为消费主食^[3],许多企业也陆续推出了全麦粉、糙米、适度碾磨大米、发芽糙米等主粮及全麦馒头、全麦面包、即食糙米饭等相应加工制品,但消费者多认为这些产品“不好吃、不好看、不易储、不安全”,使其

处于“叫好不叫座”、甚至是“赔本赚吆喝”的尴尬境地。这映射出我国稻谷、小麦精准适度加工技术产业化发展仍存在口感、营养及安全性难以协调的突出矛盾问题,因此,以立足新发展阶段、贯彻新发展理念、构建新发展格局的战略方向,应进一步系统化阐明稻谷、小麦精准适度加工过程中营养品质、加工品质及污染物的变化规律及关系,以期全方位构建稻谷、小麦适度加工的安全品质、营养品质、加工品质三维综合品质评价体系;建立稻谷、小麦适度加工产业化模型;系统化集成适度加工技术、安全防控关键技术与工艺装备,提升粮食适度加工柔性化、绿色智能化与规模化发展水平,实现实用性示范,在增量、增质、增健康三个方面显著提高粮食资源的利用效率,具有现实意义和战略意义。

1 我国稻谷、小麦的数量安全情况

粮食安全是全球共同面临的重要挑战之一,全球可耕地面积已达理论极限(见图1)^[4],2050年全球人口将达到98亿,人均耕地面积从0.45 ha降至0.21 ha,减少了1/2。2023年我国粮食产量达到6 950亿kg,连续9年稳定在6 500亿kg以上,粮食生产实现“二十连丰”。口粮自给率在100%以上,谷物自给率在95%以上,人均粮食占有量大概480 kg,高于国际公认的400 kg粮食安全线,做到了谷物基本自给、口粮绝对安全。但同时应当看到,今后一个时期我国粮食需求还将持续增加,粮食供求紧平衡的格局没有彻底改变,必须毫不放松地抓好粮食生产,深入实施藏粮于地、藏粮于技战略,努力构建更高层次、更高质量、更有效率、更可持续的粮食安全保障体系^[5]。

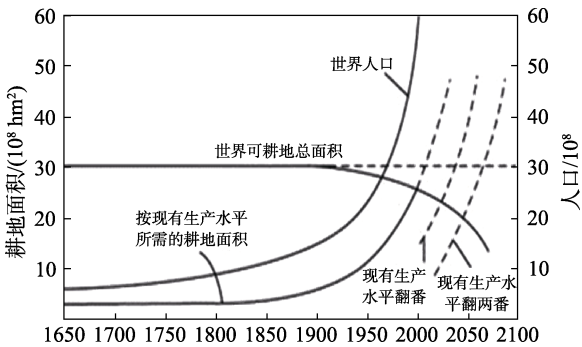


图 1 联合国预测世界人口和可耕地总面积
Fig.1 World population and total arable land projected by the United Nations

而当前，我国三大主粮全产业链浪费和损失相对严重，损失率较高的环节主要是收获、储藏、加工和消费环节。而从水稻到大米的加工，28道工序包含多次抛光，每抛光一次就会增加一次损耗；小麦加工制粉的传统工艺包括研磨系统（皮磨、心磨、渣磨、尾磨）和筛理系统，通常使用清粉机进行分级提纯，去除糊粉层、皮层、胚，从而获得更高精度的小麦粉，因而造成了小麦营养物质的严重损失和粮食资源的浪费。另外，稻米、小麦等谷物的过度加工还导致其膳食纤维与B族维生素等营养素的大量损失，长期食用过度加工的大米和面粉会造成“隐形饥饿”发生，继而引发系列慢性疾病的患病风险^[6]。由此可见，倡导并实施“适度加工”，提高粮食加工产品的出品率和粮食资源的可食化利用率，对节粮减损、保障国家粮食安全具有重要的意义。

2 我国稻谷、小麦的质量安全情况

近年来，真菌毒素、重金属污染的粮食安全问题尤其突出。据联合国粮农组织统计，世界上每年大约有 25% 的农作物污染真菌毒素，其中约有 2% 的农作物因受到严重污染从而失去营养价值，并造成经济损失^[7]。我国每年大约有 3 100 万 t（约占粮食年总产量 6.2%）的粮食，在生产、储存、加工、运输过程中被真菌毒素污染^[8]，远超我国每年粮食的新增产量。在小麦生产中，由于小麦赤霉病不仅造成了小麦的减产，其产量损失达 50%~70%^[9]，而且小麦赤霉病的发生还会导致呕吐毒素（Deoxynivalenol, DON）、玉米赤霉烯酮（Zearalenone, ZEN）等严重危害人类和动物健

康的有害次生代谢物的产生^[10]。因此，世界各国和地区制定了食品中 DON 毒素和 ZEN 的限量标准，见表 1 和表 2。

表 1 不同国家或地区对 DON 的限量标准^[11]
Table 1 Limit standards of DON at different countries and regions^[11]

国家/地区	适用产品	限量/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
欧盟	未经加工的硬质小麦和燕麦、湿磨法处理的玉米	1 750
	除硬质小麦、燕麦、玉米外的未经加工谷物	1 250
	直接食用谷物加工食品、 $\leq 500 \mu\text{g}$ 的玉米研磨碎片	750
	面包、点心、甜点及早餐谷物	500
中国	婴幼儿谷物食品	200
	谷物及其制品	1 000
美国	食用磨粉用小麦	2 000
	食用的小麦最终产品	1 000
加拿大	国内未清洁的软质小麦	2 000
	软质小麦面粉（成人食品）	1 200
	软质小麦面粉（婴儿食品）	600
亚美尼亚	小麦	700
	大麦	1 000
古巴	进口谷物	300
塞尔维亚	未加工玉米	1 750
保加利亚	直接食用或作为加工食品配料的谷物及其加工产品	1 000
	在直接食用或作为加工食品配料之前，拟贮藏或进行其它物理处理的谷物	2 000
	玉米及其加工产品	1 000

表 2 不同国家和地区对 ZEN 的限量标准^[12]
Table 2 Limit standards of ZEN at different countries and regions^[12]

国家/地区	适用产品	限量/($\mu\text{g}/\text{kg}$)
中国	谷物及其制品	60
欧盟	玉米油	400
法国	谷物，植物油	200
俄罗斯	硬质小麦，面粉	10 000
澳大利亚	谷物	50
意大利	谷物及其制品	100
加拿大	猪饲料	30 000
奥地利	小麦	60
乌拉圭	玉米，大麦	200

从表 1 可以看出，我国对于谷物及其制品中呕吐毒素 DON 的限量标准是十分严格的，限量指标为 1 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ；而欧盟对未经加工的硬质小麦 DON 限量标准设定为 1 750 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ；美国将食用磨粉用小麦的 DON 限量标准设定为 2 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，将食用的小麦最终产品 DON 限量标准设定为

1 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 加拿大将未清洁的软质小麦的 DON 限量标准设定为 2 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。而从表 2 中可以看出,不同国家和地区对 ZEN 的限量标准不一,我国和奥地利设定谷物及其制品中 ZEN 的限量标准为 60 $\mu\text{g}/\text{kg}$,而俄罗斯对硬质小麦和面粉中 ZEN 的限量标准设定值为 10 000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。基于此背景,为了进一步充分挖掘“无形粮田”潜力,十分有必要开展 DON 毒素和 ZEN 的限量标准研究。

近年来,随着城市化的快速发展、土地利用模式的转变以及工业化进程的推进,土壤和水体中累积的重金属在环境中的持久性和难降解的特性,使得食品安全受到了严重威胁。世界卫生组织报告指出,重金属(如铅、镉和汞)污染导致每年全球大约有 100 万人遭遇慢性中毒^[13]。中国、欧盟和世界卫生组织分别设定了 Pb (0.2、0.2、0.2 mg/kg) 和 Cd (0.2、0.1、0.4 mg/kg) 的最大允许限量^[14]。

为深入贯彻落实习近平总书记对于实施国家粮食安全战略的指示精神,国家和有关部门相继发布了一系列粮食质量安全监管有关政策办法,其中《粮食质量安全监管办法》中明确指出“按照粮食资源合理化利用、节粮减损等原则,对重金属、真菌毒素、农药残留等污染物质以及其他危害人体健康的物质含量超过食品安全标准限量的粮食,能够进行无害化处理的,鼓励粮食收储企业进行无害化处理,并按规定利用”^[15]。

目前研究粮食中真菌毒素、重金属的脱除、降解技术主要采用两种途径,一是对作物生长环境、生长过程进行干预污染物蓄积;二是作用于粮食本身去除污染物,分别有物理法、化学法、生物法三大类,但由于化学法和物理法存在成本高、效率低、安全性不足等缺点,而生物法因其作用温和、高效、污染小等优势,是目前国内外的研究热点,但面临实际推广效果不理想^[16]的现状。有研究表明,碾磨是一种降低重金属的重要物理手段^[17],提高加工精度可以减少稻谷中的重金属污染,但其重金属元素(砷、镉、铅)的去除率存在一定的差异^[18]。有研究学者探究了柔性刮擦机对小麦中真菌毒素的消减作用,发现小麦柔性刮擦机可以有效清除小麦表层及腹沟中的呕吐毒素^[19]。因此,如果通过适宜的加工处理,将被真菌毒素、重金属污染的粮食进行安全化、合

理化利用,也是践行“节粮减损”的一个重要举措。目前我国在适度加工技术对粮食污染物安全监控方面的研究还鲜有报道,与传统加工方法相比,针对不同风险等级的粮食其加工适宜性到底如何都有待进行深入系统性地研究。

3 发展稻谷、小麦精准适度加工存在的问题

“十三五”期间,我国粮食行业工作者围绕适度加工对稻谷和小麦的营养组分保留、制品品质及关键装备做了很多研究工作,研究成果为粮食加工产业升级提供了内生动力,并为营养健康提供了技术保障,而注重粮油产品创新、加工技术升级、工艺和设备改造、特色产品的开发等方面还存在着一定的短板,因此,推进加工技术和装备能耗向清洁低碳发展,数字技术、高效智能、精准适度成为“十四五”粮食加工装备发展的方向之一^[20]。另外,针对稻谷、小麦适度加工过程中有害重金属和真菌毒素 DON 风险的智能管控关键技术仍需要系统集成和创制。

目前,笔者认为精准适度加工技术和产业化之间仍存在以下问题:一是精准适度加工关键安全风险点的监控,集成适度加工、风险物在线分析及装备;二是适度加工精度与市场需求间的矛盾,消费者对于低加工精度的米、面及其制品的口感和色泽外观的接受度不高,导致其市场受限,因此反向传导至粮食加工企业降低产能;三是适度加工在保留了更多营养物质的同时,也保留了糊粉层、麸皮及胚芽等易发生水解型酸败的不稳定成分,从而导致产品的保质期缩短,影响消费者的购买体验,使得企业市场意愿降低;四是产品出品率与投入设备成本之间的平衡关系,目前企业通过采用先进的低温升碾米机、柔性碾米机等顶级加工设备可提升出品率 3%~5%,但这与企业巨大的设备投入资金相比,收益率较低。因此广大粮食科研工作者应在以下几方面持续发力,一是建立“原粮-在制品-产品”全链条风险物智能管控关键技术;二是深入开展科普与消费倡导,提升消费者购买动力;三是加强研发力度,有效解决重点、难点的技术瓶颈问题,开发出更多营养健康美味的产品品类;四是推进设备工艺研发,降低投入成本,增加粮食加工的经济收益;五是完善财政补偿政策,提高企业适度加工的积极性。

4 展望

开展稻谷、小麦精准适度加工技术产业化研究是保障粮食供给安全、端牢“中国饭碗”的有效途径。因此,针对目前我国稻米、小麦适度加工存在口感、营养及安全性难以协调的突出问题,应从精准适度加工的“度”入手,以营养品质、感官品质、安全品质的“质”为抓手,全方位构建稻米、小麦精准适度加工安全品质、营养品质、加工品质三维综合品质评价体系;建立稻米、小麦精准适度加工产业化模型;系统化集成适度加工技术、安全防控关键技术与工艺装备,提升粮食适度加工柔性化、绿色智能化与规模化发展水平,实现实用性示范,在增量、增质、增健康三个方面显著提高粮食资源的利用效率,科技赋能助力节粮减损,科技进步促进产业升级,具有现实意义和战略意义。

参考文献:

- [1] 李旭辉, 王娟. 新发展理念下国家粮食安全发展战略优化研究[J]. 辽宁农业职业技术学院学报, 2023, 25(5): 8-12.
LI X H, WANG J. Research on the optimization of the national food security development strategy under the new development concept [J]. Journal of Liaoning Agricultural Vocational and Technical College, 2023, 25(5): 8-12.
- [2] 杨佳宁, 赵凤奇, 张颖, 等. 一种适度加工面粉的营养及品质特性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(4): 146-151.
YANG J N, ZHAO F Q, ZHANG Y, et al. Study on the nutrition and quality characteristics of moderately processed flour [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(4): 146-151.
- [3] 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+13.
TAN B, ZHAI X T. The development background, current situation and future of China's whole grain industry [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(1): 1-11+13.
- [4] World Population Prospects 2024. <https://population.un.org/wpp/>.
- [5] 心怡, 丛亮, 卢景波, 等. 牢牢掌握粮食安全的主动权确保中国人的饭碗端在自己手中——国新办就“保障粮食安全, 端牢中国饭碗”有关情况举行发布会[J]. 中国食品, 2023(11): 24-33.
XIN Y, CONG L, LU J B, et al. Firmly grasp the initiative of food security to ensure that the Chinese people's food bowl is held in their own hands - the information office of the State Council held a press conference on the situation related to "ensuring food security and holding firm the Chinese food bowl" [J]. China Food, 2023(11): 24-33.
- [6] 吴少堂, 吴娜娜, 吴非霏. 我国稻谷加工业的现状问题、发展路径及对策建议——对41家粮食企业的调查报告[J]. 中国粮食经济, 2023, (9): 45-49.
WU S T, WU N N, WU F F. The current situation, development path and countermeasures and suggestions of China's rice processing industry-investigation report on 41 grain enterprises[J]. China Grain Economy, 2023, (9): 45-49.
- [7] 闫兆凤. 中国主粮中真菌毒素污染现状[J]. 卫生研究, 2022, 51(4): 685-691.
YAN Z F. The current situation of mycotoxin contamination in China's staple grains[J]. Journal of Hygiene Research, 2022, 51(4): 685-691.
- [8] 贺烨宇, 杨华, 杨伟康, 等. 谷物及其制品中真菌毒素污染和管控策略研究[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(1): 1-8.
HE Y Y, YANG H, YANG W K, et al. Research on mycotoxin contamination and control strategies in grains and their products[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2023, 64(1): 1-8.
- [9] MIAO J, ZHANG G P, ZHANG S J, et al. The orange wheat blossom midge promotes fusarium head blight disease, posing a risk to wheat production in northern China[J]. Acta Ecol Sin, 2023, 43(1): 112-116.
- [10] DRAKOPOULOS D, KAGI A, SIX J, et al. The agronomic and economic viability of innovative cropping systems to reduce fusarium head blight and related mycotoxins in wheat[J]. Agric Syst, 2021, 192: 103198.
- [11] 祭芳, 徐学万, 李华峰, 等. 镰刀菌毒素限量及检测方法标准现状研究[J]. 农产品质量与安全, 2018, (4): 59-65.
JI F, XU X W, LI H F, et al. Status quo of fusarium toxin limits and testing methods: a review[J]. Quality and Safety of Agro-Products, 2018, (4): 59-65.
- [12] 董宇涵, 吴正宗, 李子松, 等. 玉米赤霉烯酮的性质与脱除技术研究进展[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(12): 10-14.
DONG Y H, WU Z Z, LI Z S, et al. Research progress on properties and removal technology of zearalenone[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(12): 10-14.
- [13] 庞淑婷, 刘颖. 中外谷物及其制品中污染物限量要求分析[J]. 标准科学, 2021(3): 70-76.
PANG S T, LIU Y. Analysis of the limit requirements for contaminants in grains and their products at home and abroad [J]. Standard Science, 2021(3): 70-76.
- [14] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. CERCLA priority list of hazardous substances. 2019. Available online: <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/index.html> (accessed on 20 June 2022).
- [15] 粮食质量安全监管办法[S]. 中华人民共和国国务院公报, 2023(27): 10-17.
Measures for the supervision and administration of grain quality and safety[S]. Gazette of the State Council of the People's Republic of China, 2023(27): 10-17.
- [16] HAQUE M A, WANG Y H, SHEN Z Q, et al. Mycotoxin contamination and control strategy in human, domestic animal and poultry: a review[J]. Microbial Pathogenesis, 2020, 142: 104095.
- [17] CHEN X H, CHEN F M, SUN S, et al. Effect of polishing on lead and cadmium bioavailability in rice and its health implications[J]. Foods, 2022, 11(17): 2718.
- [18] HUANG D, FAN Y, HU B, et al. Assessment and genetic analysis of heavy metal content in rice grain using an *Oryza sativa* × *O. rufipogon* backcross inbred line population[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(4): 1339-1345.
- [19] 刘晓萌, 王寿南, 张涛, 等. 柔性刮擦机对小麦中真菌毒素的脱除效果研究[J]. 食品安全导刊, 2023, (19): 112-114.
LIU X M, WANG S N, ZHANG T, et al. Study on the removal effect of flexible scraping machine on mycotoxins in wheat[J]. China Food Safety Magazine, 2023, (19): 112-114.
- [20] 姚磊. 粮食加工技术研发布局及发展思考[J]. 中国粮食经济, 2022, (6): 29-30.
YAO L. Research and deployment and development consideration of grain processing technology[J]. China Grain Economy, 2022, (6): 29-30.