

全产业链减损对中国粮食安全的影响研究^{*}

——基于局部均衡模型的模拟分析

曹芳芳 (中国农业科学院农业经济与发展研究所 北京 100081)

武拉平 (中国农业大学经济管理学院 北京 100083)

摘要:我国三大主粮全产业链浪费和损失严重,全产业链减损能够有效增加粮食供给。本文利用局部均衡模型模拟预测表明,2025—2035年,水稻、小麦和玉米三大主粮全产业链减损潜力为2000万~9500万吨不等,总体来看,能够保障三大主粮实现100%自给。建议构建粮食全产业链减损部门协作机制和常态化监测评估机制,制定粮食减损的短期和中长期动态目标和工作方案;提高粮食供应端生产、存储和加工环节的减损技术和供给,实现减损于“技”;加大消费端爱粮节粮宣传,提高全民节粮减损认知,实现2030年联合国粮食减损的可持续发展目标。

关键词:全产业链减损;粮食安全;减损潜力;局部均衡模型

一、引言

2022年,中国粮食生产连续8年达到0.65万亿公斤,实现“十九连丰”,但与此同时,中国粮食全产业链损失与浪费严重(张宗利等,2022;武拉平,2022),这毫无疑问削弱了中国粮食的供给保障能力。2023年,习近平总书记指出:“当前,食物采收、储运、加工、销售、消费每个环节都有‘跑冒滴漏’,情况还相当严重。据有关机构估算,每年损失浪费的食物超过22.7%,约9200亿斤,若能挽回一半的损失,就够1.9亿人吃一年”^①。可见,推进粮食全链条节约减损,是新形势下保障粮食安全的必然要求,为新发展阶段全方位夯实粮食安全根基提出了新的实践路径(高鸣等,2022)。

从现实出发,近几年新冠肺炎疫情的持续反复冲击和国际政治地缘冲突的频发使得我国粮食进口风险不断上升(李先德等,2020;张宁宁等,2022;朱晶等,2023);同时受资源和环境的约束,我国未来粮食持续增产的压力日益加大(武拉平,2022;樊胜根等,2022;陈志钢等,2023)。因而在抓好生产和控制进口风险的同时,应特别强调“节流”,即推进全链条粮食减损。

目前,我国采取了多种措施推进全链条粮食减损,在法律和政策层面出台了《中华人民共和国反食品浪费法》《粮食节约行动方案》,要求各地区各部门结合实际认真贯彻落实。习近平总书记在2022年中央农村工作会议上强调,“保障粮食安全,要在增产和减损两端同时发力,持续深化食物节约各项行动”。2023年中央“一号文件”也指出,“深入开展粮食节约行动,推进全链条节约减损”。

* 项目来源:中国农业科学院科技创新工程项目(编号:10-IAED-QT-01-2023,10-IAED-04-2023),中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(编号:Y2023ZK04,1610052023022),国家社会科学基金重大项目“粮食全链条节约减损行动方案及政策体系研究”(编号:22ZD087),国家自然科学基金应急项目“粮食产后前端环节损失的常态化调查评估制度和节约减损政策支撑体系研究”(编号:72241009)。武拉平为本文通讯作者

① 习近平. 加快建设农业强国推进农业农村现代化.求是,http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2023-03/15/c_1129432282.htm

随着节粮减损措施的推进,我国全产业链条上的粮食损失和浪费将会得到一定程度的改善。从经济学视角出发,节粮减损就是增加粮食供给,粮食供给的增加必然会改变中国粮食供需曲线,进而对中国粮食市场产生影响。在此背景下,系统探究全产业链节粮减损对我国未来粮食安全的影响,对更好推进节粮减损、保障国家粮食供给具有重要的理论和现实意义。

已有研究主要关注粮食损失与浪费的测算评估、影响因素以及资源环境的影响,较少关注不同阶段粮食全产业链减损对我国未来中长期粮食安全的影响。本文以稻谷、小麦和玉米三大主粮为例,在评估我国三大主粮全产业链减损潜力基础上,利用中国农业科学院农业经济与发展研究所与国际食物政策研究所(IFPRI)共同开发的中国农业产业模型(China Agriculture Sector Model,CASM),进一步模拟预测不同阶段节粮减损潜力目标实现对中国粮食安全的中长期影响,为未来国家粮食安全政策制定和调整提供依据。

二、中国粮食全产业链浪费与损失现状

(一) 粮食全产业链损失与浪费的定义

粮食损失浪费可以细分为粮食损失和粮食浪费。其中,粮食损失(Food Loss)是指在整个粮食产业链上,自然或人为等因素导致的粮食不能及时收获或合理使用所引起的质量或数量损失,主要发生在粮食供应链前端(Parfitt等,2010;FAO,2014)。粮食浪费(Food Waste)是指粮食未能按照其原定用途得到合理使用(包括适当的降级使用)而被遗弃或抛弃,作为废物或垃圾处理所引起的损失,主要指粮食消费端的浪费(Gustavsson等,2011;高鸣等,2022)。随着学界对粮食损失浪费研究的深入,各个学者也对粮食全产业链不同环节进行了较为明确的区分,主要包括生产、收获、储藏、运输、加工、销售和消费环节(卢士军等,2019;武拉平,2022;赵霞等,2022),并对具体环节的粮食损耗内涵形成了较为一致的认知(见表1)。

表1 粮食全产业链各环节的粮食损耗内涵

产业链各环节	内涵	相关文献
生产	指从播种到粮食成熟待收获阶段的损耗,主要由种子遗漏或过量用种、干旱洪涝等自然气候、病虫害等引起	宋洪远等,2015;Xue等,2019;李轩复等,2019;武拉平,2022
收获	指从开始收获到入库前阶段的损耗,收获环节损耗包括收割、脱粒、清粮和田间运输等阶段的损失浪费	曹芳芳等,2018;Xue等,2019
储藏	从粮食入库到出库过程中出现的损失浪费,主要由于储藏条件或疏于管理等引起。	罗屹等,2020;武拉平,2022
运输	指在运输和中转过程中由于设备和环境等导致的损耗,主要由不合理的包装和运输方式、不健全的物流体系等造成	钱煜昊等,2022
加工	包括原粮经加工转化为成品的损耗,主要由粮油加工企业科技支撑能力不足、加工转化能力较低等造成	罗万纯,2020;廖小军等,2022;武拉平,2022
销售	在批发或零售过程中,由于储藏条件、经营环境等因素导致的粮食损失浪费	王灵恩等,2015;张敏等,2020
消费	在家庭消费、外出就餐、集团消费以及商业餐饮行业等消费过程中形成的粮食浪费,受经济状况、个体因素、消费观念、文化背景等影响	王灵恩等,2015;张盼盼等,2019;王灵恩等,2021

资料来源:根据现有研究文献整理得到

(二) 我国全产业链粮食损失浪费率研究

从现有粮食全产业链损耗水平的研究来看,主要研究对象为水稻、小麦和玉米三大主粮。从整体

结果看,三大主粮的全产业链损失从10%~30%不等,损失较为严重。根据研究包含的环节类型,大概分为两类。

一类是分品种粮食链上某个(或某几个)环节的损耗数据估算,各环节损失较为严重。曹芳芳等(2018a)和曹芳芳等(2018b)通过实地试验和农户调研估算的小麦收获环节损失率分别为3.92%和2.43%;黄东等(2018)估算的全国水稻收获环节的损失率为3.02%,罗屹等(2019)测算农户储粮的粳稻、籼稻、小麦、玉米的损失率分别为1.75%、2.00%、1.86%和2.41%。宋洪远等(2015)估算的农户层面小麦产后的损失率约为2.1%。吴林海等(2015)测算的中国水稻收获损失率小于或等于4%。周晓梅(2019)通过问卷调查测算得到全国小麦加工环节损失率约为0.93%。樊琦等(2015)研究表明稻谷加工过程中平均损失率达20%左右。江金启等(2018)估算中国2016年家庭消费和餐饮消费损失率不低于4.47%~5.2%。这类研究主要聚焦粮食供应链的某一环节或几个环节的损失率估算。

另一类是对粮食产业链环节总体损失率的估计,涉及较多环节。根据评估方法主要分为文献研究法和大量样本调研法。从文献研究法的相关研究来看,可能低估了粮食产业链损失和浪费。何安华等(2013)通过文献研究法测算的谷物类粮食综合产后损耗率为10.8%~14.5%。Liu等(2013)研究结果表明,中国整个粮食供应链的粮食损失率为19.0%±5.8%,而有学者认为在不包括消费端损失的稻谷产后损失应在17.9%~28.4%(Liu,2014)。高利伟等(2016)测算出2010年我国水稻、小麦、玉米三大粮食作物的产后损失率分别为6.9%、7.8%和9.0%。尹国彬(2017)通过文献研究法和公开权威数据评估了包括粮食产后仓储、运输、加工及消费环节在内的综合损失率为18.0%。朱聪等(2022)研究显示中国粮食全产业链损失约占粮食产量的11.9%。

从全国大规模调研数据来看,粮食产业链损失处于较高水平。在20世纪90年代,詹玉荣(1995)根据全国22省574个县1400个调查样本,估计出小麦、水稻、玉米以及其他粮食作物在收获、储藏、运输、加工、销售和消费等环节的总损失率分别为17.82%、18.69%、16.24%、19.76%。最新的研究表明我国粮食损失与浪费并没有减缓,反而更加严重。赵霞等(2022)采用物质流测算中国粮食产后综合损失率(不包括消费环节)为15.28%,水稻、小麦和玉米综合损失率分别为23.98%、9.74%和10.95%。武拉平(2022)通过全国大量样本调研数据测算的三大主粮全产业链损失浪费率(包括消费环节)为20.02%,水稻、小麦和玉米综合损失率分别为30.27%、13.38%和15.17%。农业农村部食物与营养发展研究所研究表明,小麦、水稻和玉米的损失率(不包括销售和消费环节)分别为7.51%、8.42%和4.88%(Lu等,2022)。还有研究表明,粮食全产业链损失高达27%(Xue等,2021)。

(三)我国粮食减损的资源环境效益影响研究

分环节分品种来看,粮食减损的环境经济效应十分显著。曹芳芳等(2018b)研究发现小麦收获环节损失率从2.43%下降到2.03%、1.54%和1.25%时,能够分别节约51.42万吨、114.41万吨和151.69万吨小麦,分别相当于节约了144.80万亩、322.19万亩和427.17万亩耕地。黄东等(2018)研究表明,当全国水稻收获环节的损失率从3.02%下降到2.76%,可节约稻谷54万吨,可供439万人消费1年,相当于节约耕地7.84万公顷,化肥2.61万吨(折纯)。国家粮食和物资储备局(2020)指出在农户储粮环节,正确使用农户科学储粮装具,粮食损失可降低至2%以下。罗屹等(2022)研究表明,如若将粮食收获和储备损失率分别降低至1%,相当于节约耕地5253.82万亩,降低种粮成本554.66亿元。

从粮食全产业链来看,粮食减损潜力可以通过高效的粮食供应链管理实现。Kummu等(2012)认为通过更高效的供应链可以预防大约一半的损失。高利伟(2019)通过评估最优情境下不包括消费和消费环节的三大主粮产后损失率均可下降到4%以下。武拉平(2022)通过样本最小损失率方法测算的粮食减损潜力为7.06%,即只要采取适当措施,三大粮食综合损失率可以降低为12.96%,这样可减少损失4292万吨。

三、理论框架、数据方法与模拟方案

(一) 理论框架分析

从粮食供需平衡表来看,粮食损耗是粮食去向(需求)的一个方面,因此,粮食全产业链减损主要通过影响粮食需求对粮食市场产生影响。从实际出发,由于各种原因,粮食损失和浪费在中国粮食总需求中占有较高的比例,当全产业链减损使得这个比例下降时,那么中国粮食的实际需求则相应下降,进而影响中国粮食供给平衡。

基于此,本文利用供需理论分析全产业链减损对国内粮食市场的影响机制。如图 1 所示, D_1 和 S_1 分别为均衡条件下的中国粮食需求曲线和供求曲线, Q_1 和 P_1 分别为均衡条件下的需求量和均衡价格。当实施全产业链减损时,粮食总需求中的损失和浪费下降,因此粮食总需求曲线从 D_1 移动到 D_2 , 此时国内总需求从 Q_1 变成 Q_2 , 根据供求平衡理论,总供给等于总需求,此时的总供给为 Q_2 。而总供给=国内产量+进口量-出口量,由于短期内国内粮食产量相对稳定,因此总供给的下降主要通过减少粮食进口量或者增加粮食出口量实现。换言之,当全产业链减损时,国内总需求的下降会导致粮食进出口的变化。只要将粮食损失和浪费降低到某个较低的水平,就有可能实现我国粮食的高度自给。

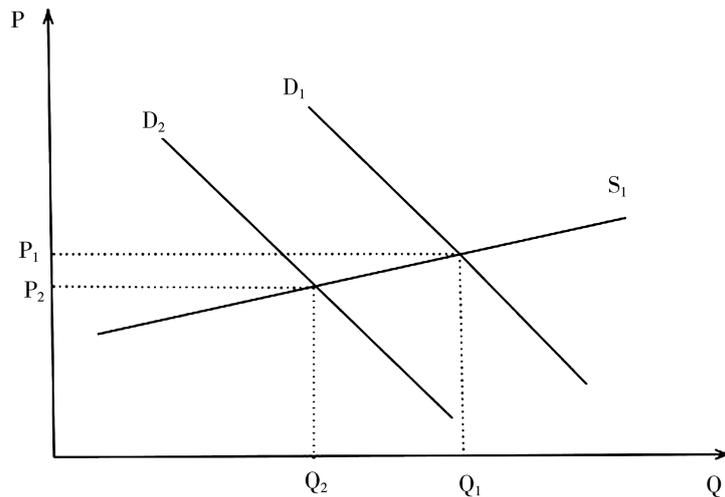


图 1 全产业链减损对中国粮食供求市场的影响

本文拟采用中国农业产业模型(CASM)模拟全产业链减损对中国未来三大主粮粮食安全的影响(见图 1)。CASM 模型是基于局部均衡理论构建的包含 31 种农产品生产、消费、贸易和价格等多市场的局部均衡模型,该模型包括需求模块、供给模块、库存模块、价格程、贸易方程和市场出清方程等构成,由 36 组方程组成,共 566 个单方程,23 组变量和 566 个内生变量以及若干外生变量构成,具体见中国农业产业发展报告(2022)^①。其中,在需求模块中,包含了食物损耗方程,不仅考虑了农产品生产环节的食物损耗,而且考虑了田间到餐桌整个环节的食物损失与浪费。该模型刻画了开放条件下农产品供求之间的相互关系,为本文分析不同阶段全产业链减损目标实现对中国中长期粮食供给、贸易的影响提供了有效工具。

在该模型中,达到均衡时的总需求(QDT)等于产量(QX)加上进口量(QM)减去出口量(QE),具

^① 中国农业科学院. 中国农业产业发展报告. 中国农业科学技术出版社,2022

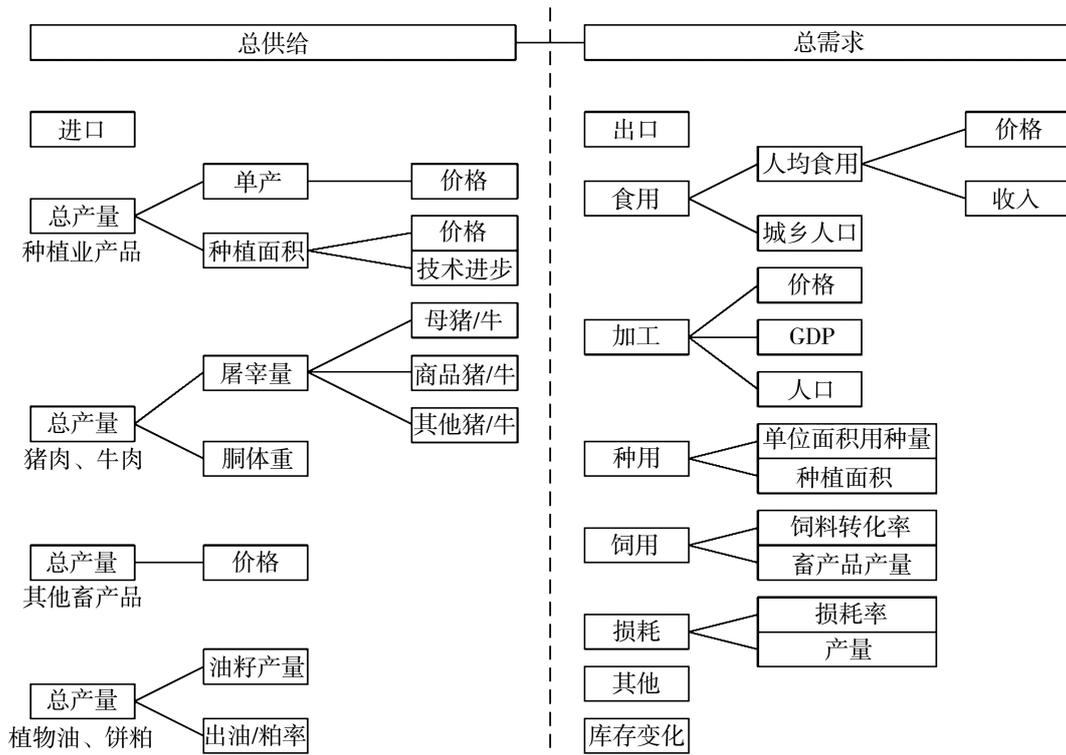


图2 中国农业产业模拟模型理论框架

体市场出清方程如下：

$$QX_{c,t} + QM_{c,t} - QE_{c,t} = QDT_{c,t} \tag{1}$$

其中,总需求量方程为：

$$QDT_{c,t} = QDF_{c,t} + QDL_{c,t} + QDS_{c,t} + QDP_{c,t} + QDO_{c,t} + QDW_{c,t} + STV_{c,t} \tag{2}$$

总需求=食物消费需求+饲料需求+种子需求+加工需求+其他需求+损耗+库存变化

(1)式中,损耗方程为：

$$QDW_{c,t} = IOXW_{c,t} \times QX_{c,t} \tag{3}$$

损耗量(QDW)由产量(QX)和损耗比例(IOXW)共同决定。

当模型中(3)式对三大主粮设定不同的全产业链减损目标损失率时,三大主粮的损耗比例(IOXW)降低,损耗量(QDW)也降低,因此,(2)式中的总需求(QDT)也随着下降,根据(1)式的均衡条件,总需求(QDT)=国内产量(QX)+进口量(QM)-出口量(QE)。此时,在粮食市场开放和国内产量(QX)相对稳定的条件下,相当于增加了国内有效供给,进而会导致进口(QM)减少,出口(QE)增加。据此,模型能够模拟出不同阶段的国内供给变化、粮食损耗变化量以及贸易变化,从而分析全产业链减损的潜力以及其对粮食自给及贸易的影响。

(二) 研究数据

本文以水稻、小麦和玉米三大主粮为研究对象。2022年,三者产量合计占中国粮食总产量的90.8%,对三大主粮减损潜力的模拟能基本反映中国粮食减损的经济社会影响;另外,从可行性角度出发,现有研究中关于这三大主粮全产业链各环节损失率的数据也最全面。目前已有研究多关注粮食三大主粮某个环节或某个品种的研究,对三大主粮全产业链损失率研究的较少。对于基期三大主粮全产业链损失率数据的选取,本文采用文献研究法整理三大主粮不同环节损失率(见表2、表3和

表4)。为防止极端值的影响,采用已有文献中各环节损失率的中位数来计算全产业链损失率,具体步骤为:首先计算已有研究中三大主粮各环节损失率的中位数,然后将各环节损失率中位数加总得到三大主粮各自的全产业链损失率,并将其作为2022年模拟的基期数据(见表5)。

表2 水稻全产业链损失率 (%)

项目	收获	农户储粮	企业储藏	干燥	运输	加工	销售	消费	综合	研究范围	研究时间
赵霞等(2022)	3.03	9.36	0.35	4.67	0.11	16.95	0.76	—	23.98	全国31省2万个样本	2016年
武拉平(2022)	2.95	2.20	0.35	4.91	0.10	16.79	0.75	3.83	30.27	全国大范围实地调研和测量数据	2016—2017年
詹玉荣(1995)	4.16	1.92	—	—	0.64	5.10	0.01	6.86	18.69	全国1400个调查样本	1995年
高利伟等(2016)	2.70	2.00	2.00	1.40	0.90	—	—	—	6.90	1979—2016年文献数据	2010年
Xue等(2019)	3.92	—	—	—	—	—	—	—	—	20个省份1032户农户	2016年
黄东等(2018)	3.02	—	—	—	—	—	—	—	—	5省6地开展田间实验	2016年
卢士军等(2019)	2.84	1.21	—	1.85	—	1.73	0.79	5.22	13.64	四省八县	2017年
罗屹等(2022)	3.55	2.20	—	—	—	—	—	—	—	28省3490户农户问卷	2016年
罗屹等(2019)	—	2.00	—	—	—	—	—	—	—	28省2296户	2016年
李轩复等(2019)	3.50	—	—	—	—	—	—	—	—	3251个农户	2016年
吕亚荣等(2022)	3.77	—	—	—	—	—	—	—	—	文献研究法	2022年
吴林海等(2015)	4.00	—	—	—	—	—	—	—	—	957户农户	2013年
樊琦等(2015)	—	—	—	—	—	20.00	—	—	—	9家国内重点稻谷加工企业	2015年
Lu等(2022)	4.69	1.21	—	—	—	1.73	0.79	—	8.42	12个省1809户农户	2017年
农业农村部(2022)	—	—	—	—	—	4.0~5.0	—	—	—	24个加工企业	2022年
中位数	3.53	2.00	0.35	3.26	0.11	10.95	0.76	5.22	26.17	—	—
最大值	4.69	2.76	2.00	4.91	0.90	20.00	0.79	6.86	42.91	—	—
最小值	2.84	2.76	0.35	1.40	0.10	1.73	0.01	3.83	13.02	—	—

注:其中中位数、最大值和最小值一栏综合损失率为各环节损失率加总得到,“-”无该环节统计数据

资料来源:由表格中文献整理获得

表3 小麦全产业链损失率 (%)

项目	收获	农户储粮	企业储藏	干燥	运输	加工	销售	消费	综合	研究范围	研究时间
赵霞等 (2022)	3.24	12.01	0.38	5.39	0.38	0.96	0.62	—	9.74	全国2万个样本	2016年
武拉平 (2022)	3.00	2.19	0.40	4.50	0.40	0.90	0.60	3.01	13.38	全国3490户问卷和田间实验	2016—2017年
詹玉荣 (1995)	6.82	2.10	—	—	0.70	3.45	0.34	4.41	17.82	全国1400个调查样本	1995年
高利伟等 (2016)	2.30	3.20	3.20	1.40	0.90	—	—	—	7.80	1979—2016年文献数据	2010年
曹芳芳等 (2018a)	4.72	—	—	—	—	—	—	—	—	16个省份1135户农户	2016年
曹芳芳等 (2018b)	2.43	—	—	—	—	—	—	—	—	4省5地实验数据	2016年
罗屹等 (2022)	4.41	2.19	—	—	—	—	—	—	—	28省3490户农户问卷	2016年
罗屹等 (2019)	—	1.86	—	—	—	—	—	—	—	28省2296户	2016年
李轩复等 (2019)	4.32	—	—	—	—	—	—	—	—	3251户农户	2016年
吕亚荣等 (2022)	3.77	—	—	—	—	—	—	—	—	文献研究法	2022年
宋洪远等 (2015)	2.10	—	—	—	—	—	—	—	—	900多个农户	2015年
周晓梅 (2019)	—	—	—	—	—	0.93	—	—	—	20省份的小麦加工企业	
Lu等 (2022)	3.87	0.58	—	—	—	2.27	0.79	—	7.51	12个省1809户农户	2017年
农业农村部 (2022) ^①	—	—	—	—	—	4.0~5.0	—	—	—	24个加工企业	2022年
中位数	3.77	2.19	0.40	4.50	0.55	0.96	0.61	3.71	16.69	—	—
最大值	6.82	12.01	0.40	5.39	0.90	3.45	0.79	4.41	34.17	—	—
最小值	2.10	0.58	0.38	1.40	0.38	0.90	0.34	3.01	9.09	—	—

注:其中中位数、最大值和最小值一栏综合损失率为各环节损失率加总得到

资料来源:由表格中文献整理获得。①农业农村部公布全国粮食加工环节减损增效典型案例, http://www.moa.gov.cn/xw/zwdt/202203/t20220307_6390765.htm

表4 玉米全产业链损失率 (%)

项目	收获	农户储粮	企业储藏	干燥	运输	加工	销售	消费	综合	研究范围	研究时间
赵霞等(2022)	6.57	7.28	0.39	5.69	0.35	—	0.55	—	10.95	全国2万个样本	2016年
武拉平(2022)	5.2	1.78	0.40	4.80	0.40	0.004	0.50	3.42	15.17	3491户农户与实验数据	2016—2017年
詹玉荣(1995)	3.53	2.97	—	—	0.34	1.44	0.68	7.28	16.24	全国1400个调查样本	1995年
高利伟等(2016)	2.30	4.50	4.50	1.40	0.90	—	—	—	9.00	1979—2016年文献数据	2010年
罗屹等(2021)	—	1.60~1.92	—	—	—	—	—	—	—	23省1196户农户	2016年
罗屹等(2022)	2.58	1.78	—	—	—	—	—	—	—	28省3490户农户问卷	2016年
罗屹等(2020)	—	2.75	—	—	—	—	—	—	—	23省1202户农户	2016年
罗屹等(2019)	—	2.41	—	—	—	—	—	—	—	28省2296户	2016年
李轩复等(2019)	3.11	—	—	—	—	—	—	—	—	3251个农户	2016年
吕亚荣等(2022)	2.92	—	—	—	—	—	—	—	—	文献研究法	2022年
Lu等(2022)	4.69	0.19	—	—	—	—	—	—	4.88	12个省1809户农户	2017年
中位数	3.32	2.58	0.40	4.80	0.38	0.72	0.55	5.35	18.10	—	—
最大值	6.57	7.28	0.40	5.69	0.90	1.44	0.68	7.28	30.24	—	—
最小值	2.30	0.19	0.39	1.40	0.34	0.00	0.50	3.42	8.54	—	—

注:其中中位数、最大值和最小值一栏综合损失率为该栏各环节损失率相加得到
资料来源:由表格中文献整理获得

根据表5,可以发现三大主粮现有中位数总损失率分别约为26.2%、16.7%和18.1%,三大主粮总体加权损失率约为20.7%,约占三大主粮总产量的1/5。其中,收获、储藏(包括农户和企业储藏)、加工和消费环节是损失率较高的环节,分别占到总损失的17%、31%、22%和24%。

表5 三种主要粮食品种产后各环节损失率情况 (%)

品种	收获	农户储粮	企业储藏	干燥	运输	加工	销售	消费	综合
水稻	3.53	2.00	3.26	0.35	0.11	10.95*	0.76	5.22	26.17
小麦	3.77	2.19	4.50	0.40	0.55	0.96	0.61	3.71	16.69
玉米	3.32	2.58	4.80	0.40	0.38	0.72	0.55	5.35	18.10
三大主粮合计	3.49	2.29	4.18	0.38	0.32	4.45	0.64	4.95	20.71

数据来源:表2、表3和表4中的中位数损失率。*加工环节水稻损失率是最高的,主要由于我国稻米行业过度加工较为严重。2020年,我国大米加工业的平均出米率为64.5%,而日本等先进国家的出米率水平一般为70%左右,因此加工环节总损失率较高。其中,三大主粮合计损失率则是根据2022年三大主粮产量占比进行加权计算得到

从粮食减损的实践来看,过去几年我国对粮食减损的重视程度不够,粮食减损更多的停留在书面法规法律文件中,最近几年粮食损失和浪费的水平较大可能并未出现明显改善。因此将已有中位数损失率作为2022年基期模拟数据具有可行性。

(三) 减损模拟方案的设定

三大主粮的全产业链减损不仅跟节粮减损的技术水平有关,更是跟全社会公众节粮减损观念有关,是一个长期且系统的工程。因此减损模拟方案的设定不仅要考虑到节粮减损技术水平的变化,还要考虑社会节粮减损观念的转变时间,同时考虑到中国要实现联合国可持续发展目中关于“零售和消费环节的食物浪费到2030年减半”的目标。本研究中,将三大主粮产业链分为供应链前端和供应链后端。其中,供应链前端包括收获、农户储粮、干燥、企业储藏、运输、加工环节,供应链后端包括销售和消费环节,并设置2025年、2030年和2035年三个关键时间点,从而设定减损的模拟方案。综合考虑,设定如下高中低三种减损方案。

1. 高方案:到2025年,节粮减损技术水平没有较大变化条件下,采用样本最小损失率方法,粮食综合损失率均下降到12.96%(武拉平,2022)。这样设定的依据为:由于模拟基期为2022年,到2025年也仅有3年时间,现有节粮减损的技术水平在短期内较难大幅度提升,社会的节粮减损观念短时间内也难有较大转变,因此将现有技术水平下样本中能达到的最小损失率作为短期内可行的减损目标是一种较为贴近现实的做法。到2030年,社会节粮减损观念大幅提升,供应链后端的损失率达到联合国可持续发展目中关于“零售和消费环节的食物浪费到2030年减半”的要求;同时节粮减损技术水平有所提升,供应链前端的损失率下降到发达国家6%的水平。根据已有研究,发达国家不包含销售和消费环节的粮食产后损失率为4%~6%(高利伟,2019年)。到2035年,供应链后端的损失率继续保持联合国可持续发展目中关于“零售和消费环节的食物浪费到2030年减半”的水准;同时节粮减损技术水平大幅提升,我国粮食损失率降到发达国家4%的低损失率水平。

2. 中方案:到2025年,假设样本损失率减少20%。到2030年,损失较2022年降低40%。在之前的基础上,到2035年,总体水平较基期下降了60%左右(Lu等,2022)。

3. 低方案:到2025年,假设样本损失率减少15%;到2030年,损失较2022年降低30%;在之前的基础上,到2035年,总体水平较基期下降了50%左右。

各阶段具体损失率目标及每年减损幅度如表6所示。

表6 三大主粮减损情景模拟方案 (%)

方案	品种	基础损失率	第一阶段 (2022—2025年)		第二阶段 (2025—2030年)		第三阶段 (2030—2035年)	
			目标损失率	每年下降比例	目标损失率	每年下降幅度	目标损失率	每年下降幅度
高方案	水稻	26.17	12.96	20.9	8.99	7.1	5.50	9.4
	小麦	16.69	12.96	8.1	8.16	8.8	5.08	9.0
	玉米	18.10	12.96	10.5	8.95	7.1	5.48	9.4
中方案	水稻	26.17	20.94	7.2	15.70	5.6	10.47	7.8
	小麦	16.69	13.35	7.2	10.01	5.6	6.68	7.8
	玉米	18.10	14.48	7.2	10.86	5.6	7.24	7.8
低方案	水稻	26.17	22.24	5.3	18.32	3.8	13.09	6.5
	小麦	16.69	14.19	5.3	11.68	3.8	8.35	6.5
	玉米	18.10	15.39	5.3	12.67	3.8	9.05	6.5

四、模拟结果分析

(一) 对三大粮食全产业链减损潜力的模拟估计

理论上,粮食全产业链减损的外部性较高,可能需要投入大量人力物力资本,而粮食单价不高,单纯从成本收益来看节粮减损的经济收益并不高。但是,由于保障粮食安全是保障国家战略安全的前提,节粮减损能够在粮食进口风险增加的情况下充分保障国家粮食安全,并且突破资源环境的约束,实现国家战略利益。

在本文的模拟方案中,暂时不考虑减损的成本,并假设三大主粮不同阶段的全产业链减损目标率能够顺利实现。根据模拟结果:2025—2030年,三大主粮全产业链减损潜力巨大,总减损潜力区间为2000万~9500万吨,能够有效提升我国三大主粮国内粮食供给保障能力。其中,水稻减损潜力最大,占到一半以上。根据低中高三种减损方案(见图3):2025年,三大主粮的全产业链损失量较基准方案总计损失分别可减少1929万吨、2570万吨和4698万吨;2030年,三大主粮较基准方案总损失分别减少3865万吨、5160万吨和7342万吨;2035年,三大主粮较基准方案总损失分别减少6485万吨、7793万吨和9552万吨。其中,水稻减损潜力最大,约为40%~60%,玉米次之,约为30%~40%,小麦最后,约为10%~20%。

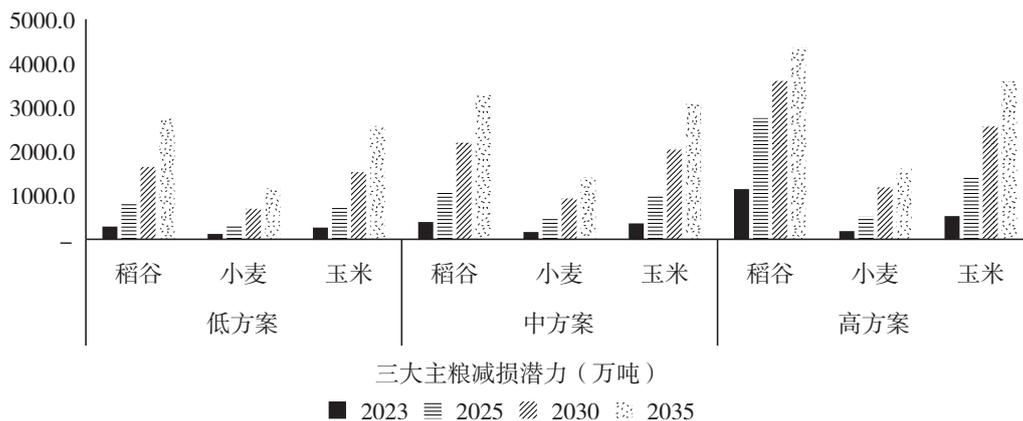


图3 2023—2035年三大主粮全产业链减损量变化趋势 (万吨)

(二) 全产业链减损对三大主粮自给率的影响

根据局部均衡理论模型,在其他条件不变的情况下,全产业链减损使三大主粮损失率下降,会导致总需求中的粮食损耗需求将下降,需求的下降导致粮食价格的下降,而粮价下降会导致农民种粮收益下降,进而减少粮食种植面积,导致国内粮食生产下降。但由于我国主粮生产有政策托市,国内粮食生产预期将保持相对稳定,因此市场粮价的下降对农民生产的影响较小,在开放条件下,市场粮价的下降会导致三大主粮进口需求减少。当损失率降低到一定水平时,节约的粮食会满足并超过国内需求的缺口。由于自给率=国内产量/(国内产量+进口-出口),因此粮食全产业链减损会对粮食自给率产生重要影响。

根据模拟结果:2023—2035年,全产业链减损保障了三大主粮将近100%的自给率,使得我国主粮的对外依存度接近零,极大地保障了我国的粮食安全。从稻谷来看,低中高三种减损方案使得稻谷分别于2024年、2024年和2023年就达到了100%的自给率。2025年,低中高减损方案的自给率较基准方案均高了2.6个百分点;2030年,则均高了3.2个百分点;2035年,则均高了3.8个百分点。从

小麦来看,低中高三种减损方案使得小麦分别于2033年、2031年和2028年就达到了100%的自给率。2025年,低中高减损方案的自给率较基准方案分别高了2.3、3.0和3.4个百分点;2030年,则分别高了4.6、6.2和6.8个百分点;2035年,则均高了6.1个百分点。从玉米来看,中高减损方案使得玉米分别于2035年和2033年就达到了100%的自给率,低减损方案使玉米2035年自给率提升到97.7%,接近100%。2025年,低中高减损方案的自给率较基准方案分别高了2.4、3.4和4.6个百分点;2030年,则分别高了4.8、7.1和8.2个百分点;2035年,则高了10.4、10.4和8.1个百分点(见表7)。

表7 全产业链减损对三大主粮自给率的影响 (%)

品种	方案	2023年	2025年	2030年	2035年	完全自给年份
水稻	基准方案	97.5	97.4	96.8	96.2	—
	高方案	100.0	100.0	100.0	100.0	2023年
	中方案	99.3	100.0	100.0	100.0	2024年
	低方案	98.8	100.0	100.0	100.0	2024年
小麦	基准方案	93.3	93.3	93.2	93.9	—
	高方案	94.5	96.7	100.0	100.0	2029年
	中方案	94.3	96.4	99.4	100.0	2031年
	低方案	94.0	95.6	97.8	100.0	2033年
玉米	基准方案	92.4	91.5	89.9	89.6	—
	高方案	94.1	96.1	98.1	100.0	2033年
	中方案	93.6	95.0	96.9	100.0	2035年
	低方案	93.2	93.9	94.7	97.7	—

注:“完全自给年份”指的是首次自给率达到100%的年份,“—”代表没有达到100%的年份

资料来源:根据GAMS模拟结果整理

(三) 全产业链减损对三大主粮进出口的影响

与全产业链减损对粮食自给率的影响分析一致,根据局部均衡理论模型,三大主粮损失率的下降将增加国内粮食的有效供给,这会导致中国三大主粮的国际进口需求减少,在实现完全自给的情况下,甚至还可以有一定的出口。从现实出发,全产业链减损对三大主粮贸易的影响存在差异。稻谷和小麦的进口本来就小,其进口更多是需求调剂,而玉米作为饲料粮,国内供给缺口较大,相应进口需求也较大,因此全产业链减损对稻谷和小麦的影响主要是更大程度上保证自给并有一定的出口,而对玉米的影响主要在于减少其进口规模。

根据模拟结果,2025—2035年,全产业链减损可以使我国稻谷和小麦从净进口国成为净出口国,玉米则基本实现自给(见表8)。从稻谷来看,高中低三种减损方案使得稻谷分别于2023年、2024年和2024年就成为净出口国,减少净进口500万~800万吨,净出口量约为1000万~3500万吨。从小麦来看,高中低三种减损方案使得小麦分别于2029年、2031年和2033年成为净出口国,减少净进口900万~1000万吨,净出口量约为270万~720万吨。从玉米来看,高、中两种减损方案使得玉米分别于2033年和2035年成为净出口国,减少净进口2200万~3300万吨,基本实现玉米完全自给。

表8 全产业链减损对三大主粮贸易的影响 (万吨)

品种	方案	2023年	2025年	2030年	2035年	净出口为正年份
水稻	基准方案	-532.8	-562.5	-684.3	-824.8	—
	高方案	607.8	2195.7	2914.9	3517.6	2023年
	中方案	-139.9	533.9	1509.5	2472.8	2024年
	低方案	-243.5	260.5	959.3	1920.1	2024年
小麦	基准方案	-994.5	-985.7	-1017.8	-901.8	—
	高方案	-807.5	-468.1	168.0	723.8	2029年
	中方案	-828.2	-521.1	-85.3	505.3	2031年
	低方案	-871.8	-636.3	-317.7	270.7	2033年
玉米	基准方案	-2288.5	-2576.3	-3168.3	-3307.7	—
	高方案	-1752.3	-1125.2	-550.1	356.4	2033年
	中方案	-1898.4	-1478.1	-893.6	163.0	2035年
	低方案	-2013.4	-1791.5	-1585.5	-659.3	—

注:表中数字为负代表净进口,数字为正代表为净出口;“净出口为正年份”指的是粮食从净进口转为净出口的年份,“—”代表模拟时间段内没有转为净出口

资料来源:根据 GAMS 模拟结果整理

五、主要结论与政策启示

推进节粮减损,是保障粮食安全有效供给的必要路径,也是新形势下全方位夯实粮食根基的必然要求,需要从粮食全产业链推进。本文在现有粮食全产业链损失和浪费研究基础上,运用中国农业产业模型(CASM),模拟预测分析不同减损目标条件下2025—2035年三大主粮全产业链减损潜力、自给率变化和进出口变化的影响,从定量角度为推进全产业链减损及相关政策制定执行提供依据和参考。

(一) 主要结论

第一,当前我国三大主粮全产业链损失浪费严重。水稻、小麦和玉米三大主粮的全产业链损失率的中位数分别为26.17%、16.69%和12.96%,目前损失约占三大主粮总产量的20.7%左右,全年损失近2700亿斤。三大主粮的收获、储藏(包括农户和企业储藏)、加工和消费环节损失率较高,分别占到总损失的17%、31%、22%和24%。

第二,三大主粮全产业链减损能够有效保障国内主粮安全。根据模拟结果,水稻全产业链减损的潜力是最高的,从减损潜力来看,水稻约占三大主粮的40%~60%,玉米次之,约为30%~40%,小麦最后,约为10%~20%。2025—2035年,三大主粮全产业链减损的模拟结果表明,水稻、小麦和玉米三大主粮全产业链减损潜力巨大,每年减损潜力最低为2000万吨,最高可达9500万吨;全产业链减损能够保障三大主粮将近100%的自给率,使得我国主粮的对外依存度基本降为零;全产业链减损使得我国稻谷和小麦从净进口国成为净出口国,玉米基本实现自给。

(二) 政策启示

尽管推进全产业链减损的经济效益十分可观,但全产业链节粮减损的外部性较强,涉及主体较多,链条复杂,因此政府必须积极作为,大力推进收获、储藏、加工和消费等关键环节的减损科技创新和制度供给,加快转变社会消费观念,调动全社会力量参与到节粮减损工作中,共同做好节粮减损工作。

第一,要加快构建粮食全产业链减损的常态化监测评估机制和中长期减损目标,完善相关政策。

在政策层面,一是需要继续完善粮食减损相关法律法规和政策,各级政府部门要坚决细化落实《中华人民共和国反食品浪费法》《粮食节约行动方案》等法律法规,严格约束产业链各主体行为。二是加强粮食各部门机构协调协作,节粮减损涉及国家发改委、农业农村部、国家粮食和物资储备局、统计局、市场监管总局、商务部等部门以及各级地方有关部门,因此需要从制度上明确各部门和地方职责,构建粮食减损的部门协作机制,共同推进粮食减损工作。三是要尽快构建粮食减损工作的常态化监测和评估机制,制定粮食减损的短期和中长期动态目标和工作方案,努力实现2030年联合国粮食减损的可持续发展目标。

第二,要加强粮食生产、存储和加工等供应端重点环节的减损技术和供给,实现减损于“技”。根据本文研究发现,粮食生产、存储和加工等环节是粮食产业链供给端损失较为严重的环节,未来减损主要重点从这些环节着手。总体来看,国家需要加大中长期节粮减损技术研发科技投入,依托国家战略科技力量,联合重点高校和领军型科技企业,组建协同攻关队伍和平台,明确节约粮食和降低损耗急需解决的瓶颈制约问题,加快实施粮食全产业链减损重大科技项目和工程,并加快促进粮食科技成果在节粮减损工作上的转化和推广应用。

第三,分环节来看,在生产和收获环节,推动“低损优良品种+高质量农机+熟练农机手+适时收获”,通过培育推广节种宜机低损等优良品种、研发推广低损农机农艺配套、加强农机手技能培训和自然天气预警,提高地方应急抢种抢收能力和供给。在储存环节,需要推动“及时干燥+先进储粮器具+科学储粮方法+降低储粮成本”,开展先进农用储粮器具推广示范应用和农户科学储粮技术培训服务,加大中小型农户粮食产后烘干服务供给,将粮食烘干成套机械纳入农机补贴试点范围,在用电和用地上进行政策倾斜,加快推进粮食仓储的信息化、自动化和智能化。在加工环节,损失率较高主要由于水稻过度加工造成,因此需要加快制定“全谷物加工+适度加工”国家级和行业强制性标准,加快修改完善水稻适度加工工艺和标准,对加工精度指标设置上限,提高我国稻米出米率,改变目前水稻加工行业过度追求精米的现象,推动适度加工,保存水稻营养物质,发展全谷物产业,在促进人民绿色健康消费的同时实现粮食加工环节减损。

第四,加大消费端爱粮节粮宣传,提高全民节粮减损认知。在消费环节,一是媒体和相关宣传机构要充分利用报纸、广播、电视、网络等渠道,广泛宣传当前全球粮食严峻形势、国家粮食政策法规、节约粮食和食品先进经验和典型事例,加强爱粮节粮宣传,中小学教育机构要加强对青少年节粮爱粮教育,在全社会形成爱粮节粮共识,提高消费者节粮意识;二是对于学校、机关集体食堂以及社会餐饮机构,要完善相关制度,加强餐饮浪费监督管理,并尽快建立预防、循环、回收、填埋四个层级的食物再分配和利用体系标准和信息共享机制,细化落实奖励和惩罚机制;三是加强公众营养健康膳食理念宣传,鼓励家庭和个人按需购买食品,吃得“适量、营养和健康”。另外,积极推进厨余垃圾资源化利用。

参 考 文 献

1. FAO. Food Losses and Waste in the Context of Sustainable Food Systems, 2014
2. Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., et al. Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention. The Swedish Institute for Food and Biotechnology Working Paper, 2011
3. Kummu, M., de Moel, H., Porkka, M., et al. Lost food, Wasted Resources: Global Food Supply Chain Losses and Their Impacts on Freshwater, Cropland, and Fertiliser Use. *Science of The Total Environment*, 2012, 438: 477~489
4. Lu, S., Cheng, G., Li, T., et al. Quantifying Supply Chain Food Loss in China with Primary Data: A Large-scale, Field-survey Based Analysis for Staple Food, Vegetables, and Fruits. *Resources, Conservation and Recycling*, 2022, 177: 106006
5. Parfitt, J., Barthel, M., Macnaughton, S. Food Waste within Food Supply Chains: Quantification and Potential for Change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2010(365): 3065~3081

6. Xue, L., Liu, X., Lu, S., et al. China's Food Loss and Waste Embodies Increasing Environmental Impacts. *Nature Food*, 2021(2): 519~528
7. Xue, Q., Huang, D., Cao, F., et al. Has Machine Harvest Reduced the Rice Harvest Losses. *Journal of China Agricultural University*. 2019(3): 165~172
8. Liu, J., Lundqvist, J., Weinberg, J., et al. Food Losses and Waste in China and Their Implication for Water and Land. *Environmental Science & Technology*, 2013(18): 10137~10144
9. 曹芳芳, 黄东, 朱俊峰, 武拉平. 小麦收获损失及其主要影响因素——基于1135户小麦种植户的实证分析. *中国农村观察*, 2018a(2): 75~87
10. 曹芳芳, 朱俊峰, 郭焱, 武拉平. 中国小麦收获环节损失有多高——基于4省5地的实验调研. *干旱区资源与环境*, 2018b(7): 7~14
11. 陈志钢, 徐孟. 大食物观引领下低碳减排与粮食安全的协同发展: 现状、挑战与对策. *农业经济问题*, 2023(6): 77~85
12. 樊琦, 刘梦芸, 祁华清. 我国稻谷加工粮食损失与治理对策研究. *粮油食品科技*, 2015(5): 117~120
13. 樊胜根, 龙文进, 冯晓龙, 司伟, 盛誉. 联合国食物系统峰会的中国方案. *农业经济问题*, 2022(3): 4~1610
14. 高利伟, 许世卫, 李哲敏, 成升魁, 喻闻, 张永恩, 李灯华, 王禹, 吴晨. 中国主要粮食作物产后损失特征及减损潜力研究. *农业工程学报*, 2016(23): 1~11
15. 高利伟. 中国主要粮食作物供应链损失和浪费特征及其减损潜力研究. 中国农业科学院博士学位论文, 2019(3): 165~172
16. 高鸣, 江帆. 推进全链条粮食减损: 理论逻辑、现实困境与路径优化. *中州学刊*, 2022(12): 57~65
17. 国家粮食和物资储备局. 国家粮食和物资储备局: 推动全链条减少粮食产后损失. *粮食科技与经济*, 2020(8): 1
18. 何安华, 刘同山, 张云华. 我国粮食产后损耗及其对粮食安全的影响. *中国物价*, 2013(6): 79~82
19. 黄东, 姚灵, 武拉平, 朱欣岷. 中国水稻收获环节的损失有多高——基于5省6地的实验调查. *自然资源学报*, 2018(8): 1427~1438
20. 江金启, Yu, T. Edward, 黄琬真, 王振华. 中国家庭食物浪费的规模估算及决定因素分析. *农业技术经济*, 2018(9): 88~99
21. 李先德, 孙致陆, 贾伟, 曹芳芳, 陈秧分, 袁龙江. 新冠肺炎疫情对全球农产品市场与贸易的影响及对策建议. *农业经济问题*, 2020(8): 4~11
22. 李轩复, 黄东, 武拉平. 不同规模农户粮食收获环节损失研究——基于全国28省份3251个农户的实证分析. *中国软科学*, 2019(8): 184~192
23. 廖小军, 赵婧, 饶雷, 吴晓蒙, 季俊夫, 徐贞贞. 未来食品: 热点领域分析与展望. *食品科学技术学报*, 2022(2): 1~14
24. 卢士军, 刘晓洁, 薛莉, 唐振闯, 刘刚, 程广燕. 我国水稻全产业链损耗和浪费量的估算及对应策略. *中国农业科学*, 2019(18): 3134~3144
25. 吕亚荣, 王立娇. 消费前端粮食损失数量和环境足迹的评估. *农业现代化研究*, 2022(1): 29~37
26. 罗万纯. 中国粮食安全治理: 发展趋势、挑战及改进. *中国农村经济*, 2020(12): 56~66
27. 罗屹, 黄东, 黄汉权, 韩静波, 武拉平. 中国粮食产后损失及其隐性成本解密. *农业经济*, 2022(11): 17~19
28. 罗屹, 苗海民, 黄东, 武拉平. 农户仓类设施采纳及其对玉米储存数量和损失的影响. *资源科学*, 2020(9): 1777~1787
29. 罗屹, 严晓平, 吴芳, 武拉平. 中国农户储粮损失有多高——基于28省2296户的农户调查. *干旱区资源与环境*, 2019(11): 55~61
30. 钱煜昊, 王晨, 王金秋. 中国粮食物流体系现代化建设策略. *西北农林科技大学学报(社会科学版)*, 2022(2): 27~35
31. 宋洪远, 张恒春, 李婕, 武志刚. 中国粮食产后损失问题研究——以河南省小麦为例. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2015(4): 1~6
32. 王灵恩, 成升魁, 刘刚, 刘晓洁, 白军飞, 张丹, 高利伟, 曹晓昌, 刘尧. 中国食物浪费研究的理论与方法探析. *自然资源学报*, 2015(5): 715~724
33. 王灵恩, 倪笑雯, 李云云, 成升魁. 中国消费端食物浪费规模及其资源环境效应测算. *自然资源学报*, 2021(6): 1455~1468
34. 吴林海, 胡其鹏, 朱淀, 王建华. 水稻收获损失主要影响因素的实证分析——基于有序多分类Logistic模型. *中国农村观察*, 2015(6): 22~33
35. 武拉平. 我国粮食损失浪费现状与节粮减损潜力研究. *农业经济问题*, 2022(11): 34~41
36. 尹国彬. 近年我国粮食产后损失评估及减损对策. *粮食与饲料工业*, 2017(3): 1~3
37. 詹玉荣. 全国粮食产后损失抽样调查及分析. *中国粮食经济*, 1995(4): 44~47
38. 张敏, 程广燕. 中国食物损耗研究现状及未来研究方向. *农业展望*, 2020(4): 72~77

39. 张宁宁,李 雪,吕新业,袁龙江. 百年变局、世纪疫情背景下世界及中国粮食安全面临的风险挑战及应对策略. 农业经济问题,2022(12):136~141
40. 张盼盼,白军飞,刘晓洁,成升魁. 消费端食物浪费:影响与行动. 自然资源学报,2019(2):437~450
41. 赵 霞,陶亚萍,曹宝明. 中国粮食产后损失评估分析. 干旱区资源与环境,2022(6):1~7
42. 周晓梅. 小麦加工环节损失及影响因素的实证研究. 武汉轻工大学硕士学位论文,2019
43. 朱 聪,曲春红,王永春,王静怡. 中国粮食全产业链的损失与浪费研究. 农业展望,2022(8):76~83
44. 朱 晶,王容博,徐 亮,刘星宇. 大食物观下的农产品贸易与中国粮食安全. 农业经济问题,2023(5):36~48

The Impact of Reducing Losses and Waste at the Whole Supply Chain on Food Security in China: Simulation Analysis Based on the Partial Equilibrium Model

CAO Fangfang, LI Xiande, WU Laping

Abstract: There is a serious food losses and waste during the food supply chain in China's major staple crops, including wheat, maize, and rice. Reducing losses and waste of the whole food supply chain can effectively increase food supply. This paper explores the potential reduction in food losses and waste within the supply chain with the Partial Equilibrium Model. The results show that the potential reduction in losses for rice, wheat and maize ranges from 20 million to 95 million tons in 2025–2035, which can guarantee the nearly 100% self-sufficiency rate of grains. We suggest: firstly, the government should establish multi-sector collaboration mechanism, and making short and medium term dynamic goals and work programs for food loss reduction. Secondly, the government should improve service and technology to reduce the losses and waste of the production, storage and processing in food supply chain. Thirdly, raising public awareness of food conservation is very important for achieving the UN Sustainable Development Goal of food conservation by 2030.

Keywords: Reducing food losses and waste; Food security; Food loss reduction potential; The Partial Equilibrium Model

责任编辑:赵 倩