

# 粮食损失研究进展和展望

罗屹, 李轩复, 黄东, 武拉平

(中国农业大学经济管理学院, 北京 100083)

**摘要:**我国人多地少, 粮食安全事关国家安全。因此, 在重视增产的同时, 需要不断关注粮食损失问题。通过回顾现有粮食损失的研究, 总结文献中提出的重要问题, 展望未来可能的研究方向。分析表明, 现有研究主要集中在: (1) 减少粮食损失的目的和效果的研究。包括增加粮食供给、保障国家安全, 减少不必要的资源浪费、减轻环境压力, 保障粮食质量、保证食品安全, 以及增加粮食价值链参与者的利润等。(2) 粮食产后各环节损失水平估计及其影响因素研究。(3) 减少粮食损失的方法研究, 包括品种改良、教育培训、改进储存设施等。在对现有研究综述的基础上, 提出了几点展望: 未来的研究应向粮食价值链下游环节拓展, 对粮食质量损失程度进行定量分析, 并关注粮食的最优损失水平。

**关键词:** 粮食损失; 粮食安全; 食品安全; 研究综述

从古到今, 治国理政的首要之务是粮食安全。粮食安全事关国家安全。党中央明确指出口粮必须“绝对安全”、谷物应“基本自给”, 并提出“以我为主、立足国内、确保产能、适度进口、科技支撑”的国家粮食安全战略。2015年7月1日, 新颁布的《中华人民共和国国家安全法》又将粮食安全纳入国家安全体系。习近平总书记也多次强调“中国人的饭碗一定要端在自己手里”“中国碗装中国粮”<sup>[1]</sup>。

中国人口众多, 资源相对匮乏, 需要以全球7%的耕地和5%的内陆水资源养活占全球20%的人口。农户人均耕地规模仅为0.5 hm<sup>2</sup>, 粮食的重要性不言而喻。随着中国经济发展, 城市规模不断扩大, 可用耕地逐渐减少, 中国粮食产需将长期处于紧平衡。预计2029—2030年, 中国粮食供需缺口将达到7800万~8500万t<sup>[2]</sup>。因此, 在增产受限的情况下, 开始寻找提升粮食供给量的其他方式, 其中包括减少粮食各环节损失。

2015年9月, 联合国在其可持续发展目标议程中加入了“到2030年全球粮食浪费减半, 损失大幅减少”的目标。该行为使得减少粮食系统中的损失和浪费议题重归大众视野, 并吸引了学者的关注。同年, 国家粮食局启动粮食公益性行业科研专项——粮食产后损失浪费调查及评估技术研究, 专门针对粮食收获、干燥、农户储粮、运输、仓储、加工、销售和消费等8个环节进行损失调查, 建立粮食产后损失浪费评价指标体系<sup>[3]</sup>。

由于减少粮食损失并不容易, 因此需要总结现有研究, 发现仍未解决的重要问题。本文后续结构将分为以下几个部分: 首先, 简要概括粮食减损的目的; 其次, 总结粮食损失水平及其影响因素; 再次, 介绍几种减少粮食损失的方法; 最后, 总结与展望。

收稿日期: 2019-02-20; 修订日期: 2019-04-11

基金项目: 粮食公益性行业科研专项 (201513004-2)

作者简介: 罗屹 (1993-), 男, 江西宜春人, 博士研究生, 研究方向为农业经济理论与政策。E-mail: luoyi@cau.edu.cn

通讯作者: 武拉平 (1969-), 男, 山西文水人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为粮食经济等。

E-mail: wulp@cau.edu.cn

## 1 减少粮食损失的目的

根据联合国粮农组织（FAO）对粮食损失的定义，粮食损失是指任何改变粮食的可利用性、可食性、有益于健康的特性或质量，从而减少其价值的后果<sup>[4]</sup>。因此，从定义上看，粮食损失并不包括在加工等环节剔除的不可食用部分。另外，部分学者认为粮食损失不同于粮食浪费。粮食损失是指生产或分配中丢失的部分，而粮食浪费是在消费者层面上丢失的部分，粮食浪费属道德范畴，是“有意为之”的结果<sup>[5]</sup>。近年，部分研究人员利用粮食生命周期系统地研究粮食损失和浪费，这相对以往研究是一个拓展<sup>[6]</sup>。从研究目的来看，明确区分粮食损失和粮食浪费并无实际意义，在研究各环节粮食损失时，“损失”和“浪费”可互换使用<sup>[7]</sup>。因此，本文认为粮食损失是整个粮食价值链（包括生产、流通、消费等环节）丢失的、原本应该使用而由于种种原因没有使用的那部分粮食。

粮食安全和营养问题高级别专家组（High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition）认为，迄今为止的大多数研究只是单纯估计粮食损失水平，不深究该粮食损失水平的意义及后果<sup>[8]</sup>，研究也缺乏全面性，没有明确的目标导向。比如减少粮食损失可以提升生产者收入，但未能考虑到通过减少粮食损失而获益其他群体，如中间商、消费者等<sup>[7]</sup>。结合中国现状，本文认为目前减少粮食损失的目的主要包括两个方面：一是增加粮食供给，保障国家安全；二是减少不必要的资源浪费，减轻环境压力。此外，减少粮食损失还能保障粮食质量、保证食品安全，直接增加粮食价值链参与者的利润。

### 1.1 增加粮食供给,保障国家安全

从1974年至今，FAO对粮食安全定义不断深化、拓展。目前主要包括四个维度：数量安全、质量安全、稳定性、可得性<sup>[9]</sup>。减少粮食损失能直接增加粮食供给数量，从而减少粮食进口量和农户家庭粮食购买量。另外，根据供需定理，在需求固定时，供给量增加会导致价格下降。这意味着粮食供应量增加会降低消费者购买价格，提升粮食可得性。因此，在2008年和2011年爆发全球性粮食危机时，人们对减少粮食各环节损失给予极大关注并非偶然。前人研究也表明，打折销售被淘汰的低质产品可使穷人受益<sup>[10]</sup>。根据测算，中国已成为玉米、小麦净进口国家；并且是世界上最大的稻米进口国，从2012年的350万t增加到2016年的500万t，稻米进口量年均增长8.57%。中国粮食贸易格局变化给国家粮食安全带来了挑战<sup>[11]</sup>。如能通过各种减损措施，减少中国粮食各环节损失，将损失变成“供给”，对于保障国家安全大有裨益。

### 1.2 减少资源浪费,减轻环境压力

减少粮食损失也意味着减少不必要的资源浪费。这些资源以生产粮食的各种必要投入物的形式出现，包括水、肥料、杀虫剂、劳动力和土地等。研究表明，过度使用肥料或农药会对环境或人类健康造成不利后果<sup>[12]</sup>。目前，中国农作物生产化肥施用量已超最优施用量，无论是玉米、水稻还是小麦均存在过量施肥的现象<sup>[13]</sup>。部分水稻种植户为防止损失，出现过量施药现象<sup>[14]</sup>。这些行为造成农村环境污染问题日益严重<sup>[15]</sup>。党的十六届五中全会明确提出建设资源节约型和环境友好型社会。习近平总书记多次强调“绿水青山就是金山银山”“宁要绿水青山，不要金山银山”。减少粮食损失等于是在既定的生产资料投入水平下获得更大的产出，也可以理解为用更少的投入生产等量的粮食。通过测算，如中国水稻收获环节的损失率下降到2.76%，等于新增稻谷54万t，能供439万人消费1年，相当于节省7.84万hm<sup>2</sup>耕地和2.61万t化肥<sup>[16]</sup>。另外，降低粮食损失水平也可

以减少运输过程中的燃料使用和加工过程中的能源消耗等,从而减轻污染。不仅使环境或人类健康受益,还降低了农民、加工商和粮食价值链中其他参与者的成本,从而提升企业利润,降低消费者购买价格。

### 1.3 增加粮食价值链参与者的利润

粮食流通体制改革后,粮食购销实行市场化<sup>[17]</sup>。这就使得包括农户在内的私营部门在中国的粮食供给中发挥着重要作用,并且建立了一条从生产者到消费者的完整供应链。根据经济学理论,逐利是经济理性人的自然目标。减少损失在一定程度上能降低成本,这对粮食价值链中的参与者具有天然吸引力。损失减少意味着农户和企业的利润增加。这相当于给粮食价值链参与者一个强烈的物质激励,促使其采取一些措施降低粮食损失水平以实现利润最大化<sup>[7]</sup>。因此,减少粮食损失意味着某一环节或多个环节的粮食价值链参与者能够分配更多的粮食,从微观层面上看,假定价格不变,数量增加就意味着利润增加。

### 1.4 保障粮食质量、保证食品安全

因质量恶化超出可食用范围导致生产、流通、销售各环节都有部分粮食被去除,这是正常现象。但有些时候粮食或食物的腐败、污染是人类感官无法察觉的。如果这部分粮食未被发现而被人食用,会对健康造成不良影响。变质粮食中可能存在一些毒素,例如黄曲霉毒素,会诱发食道癌和肝癌<sup>[18]</sup>。世界范围内曾发生多起黄曲霉毒素急性中毒事件,如非洲的霉木薯饼中毒和印度的霉玉米中毒等。2004年肯尼亚暴发了大规模黄曲霉毒素急性中毒事件,中毒千余人,死亡125人<sup>[19]</sup>。从这方面来看,由真菌或病毒引起的粮食安全问题对人类健康影响巨大。2016年发布的《“健康中国2030”规划纲要》中明确提出保障人民群众食品质量安全,人民群众对美好生活的向往也包括食品安全。特别是中国经济进入新的历史时期,农业供给侧改革步入关键期,社会主要矛盾也已转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。因此,减少粮食损失目的也应包括减少粮食质量损失,提升供应质量,让人民群众吃得安全、吃得放心。

## 2 粮食损失水平及其影响因素

从田间地头到消费者食用各环节(收获、干燥、去杂、储存、加工、运输、零售以及消费者购买后的家庭储存、食物制作和食用等)都会发生粮食损失,但损失水平因作物、地区而异,并且成因也有所不同。因此,应根据所处环境的具体情况计算粮食损失水平,考虑相关影响因素。

### 2.1 粮食损失水平测算

粮食损失包括数量损失和质量损失。数量损失是指粮食在各环节出现重量或卡路里量减少,粮食数量损失是目前研究的重点。质量损失是指粮食在生产、储备、加工等环节发生营养流失、霉变污染等情况而导致粮食质量下降;质量损失因情况多样且难以检测,可能直接造成人类健康受损,因此其危害比数量损失更大<sup>[20]</sup>。

目前,部分国际机构和一些国家政府会不时地发布关于粮食损失水平的研究报告。FAO估计全世界粮食损失或浪费的数量大约为总产量的三分之一<sup>[21]</sup>。如将粮农组织报告中的重量转化为卡路里,则全球粮食损失水平约为24%<sup>[22]</sup>。世界银行估计撒哈拉以南非洲粮食损失的价值约为每年40亿美元<sup>[23]</sup>。中国农业部估计,每年因产后处置不当,

农户损失粮食7%~11%;每年因过度加工,损失粮食75亿kg以上<sup>[24]</sup>。由于采用的估计方法、信息采集地点等不同,部分机构估计出来的粮食损失水平存在差距。以非洲地区为例,非洲产后损失信息系统(APHLIS)估计出的损失范围在14%~18%之间,但粮农组织估计出的数值为20%。

大多数研究人员对粮食损失水平的兴趣源起全球粮食危机。相比各机构的大范围、系统性估计,研究人员估计粮食损失水平较多采用实验法、问卷调查法(表1)。通过印度农户调查,发现印度水稻从收割到运输环节(包括收割、脱粒、清粮、运输)的损失率为1.62%<sup>[25]</sup>。孟加拉国的农户数据表明,该国水稻收割环节损失率为1.60%~1.91%<sup>[26]</sup>。在非洲,通过问卷访谈法获得农户层面数据,测得乌干达等国农民玉米的损失量为总产量的1.4%~5.9%<sup>[27]</sup>。在中国,研究人员利用问卷访谈收集了22省574县1400个调查点的资料,计算出中国粮食综合损失率为18.13%<sup>[28]</sup>。另外,研究人员对中国生产、产后、消费整个链条进行数据采集,估计中国粮食损失和浪费率为25%~32%<sup>[5]</sup>。部分研究也将损失水平的测算精确到各个省市,比如通过江苏3县342个农户调查发现,江苏省粮食产后损失率为16.2%<sup>[29]</sup>。近年来,随着社会经济水平发展,中国的粮食产后损失水平发生了新变化。比如,在2015年,研究人员对中国25个省2186个玉米种植户进行实地调查,计算出玉米收获环节的损失率为2.74%<sup>[30]</sup>。

从方法上讲,问卷调查法实施成本较小,但可能会由于农户记忆偏差而造成数据误差。相比之下,实验法似乎准确性更佳;但是,实验法只能准确计算实验地的损失水平,在推算大范围损失数值时,实验点的选择就显得异常重要。比如,2015年部分研究人员运用田间实验法分别推算出中国水稻、小麦收获环节的损失率为3.02%和2.43%<sup>[16,31]</sup>。另外,由于问卷调查法和实验法各有优劣,也有学者采用问卷调查法和案例研究相结合的方式估计粮食损失水平。在加纳,研究人员采取问卷调查与田间试验法相结合的方法,测算出加纳水稻的田间损失率为4.07%~12.05%<sup>[32]</sup>。在中国,也有研究人员采用案例研究法与问卷调查法相结合的方式,测算出中国农户层面小麦产后损失率为2.1%,其中收割环节损失率为1.6%<sup>[33]</sup>。值得一提的是,部分研究人员基于物质流分析方法,考虑农产品流动特征,建立粮食产后损失计算模型,测算出2010年中国水稻、小麦和玉米产后损失率分别为6.9%、7.8%和9.0%,平均损失率7.9%<sup>[34]</sup>。

另外,关于粮食消费环节损失的研究多见于欧美等发达国家。通过对芬兰家庭进行问卷调查发现,芬兰每年人均浪费食物达23 kg,每个家庭每年浪费的食物总量为63 kg<sup>[35]</sup>。在美国,利用美国农业部的官方调查数据对美国食物消费层面的损失量和损失值进行估计,发现2008年美国人均食物浪费量为124 kg,相当于390美元<sup>[36]</sup>。通过中国营养与健康调查(CHNS)数据进行推算发现,2016年中国全年家庭食物浪费总量达1055.60万~1501.55万t,占全年粮食总产量5%左右<sup>[37]</sup>。

## 2.2 造成粮食损失的主要因素

造成粮食损失的因素有很多,现有研究从各个角度分析了影响粮食损失水平的因素。造成粮食损失的因素可分为主观因素(个体决策等)和客观因素(自然条件、机械设备等)<sup>[38]</sup>。粮食产后损失浪费评价体系涵盖了粮食收获、干燥、农户储粮、运输、仓储、加工、销售和消费等8个环节,每个环节都可能出现粮食损失,且影响各环节粮食损失水平的因素也不尽相同<sup>[3]</sup>。

在收获环节,收获时机、天气状况、机械设备、机手熟练度、田间管理、作物品

表1 各研究人员粮食损失测算方法及结果

Table 1 Food loss estimation methods and results

地区及品种	环节	水平	方法	研究者
印度水稻	收割、脱粒、清粮、运输	1.62%	农户调查	Basavaraja 等 <sup>[25]</sup>
孟加拉国水稻	收割	1.60%~1.91%	农户调查	Bala <sup>[26]</sup>
乌干达玉米	农户层面	1.4%~5.9%	问卷访谈	Kaminski 等 <sup>[27]</sup>
中国粮食	产后各环节	18.13%	问卷访谈	詹玉荣 <sup>[28]</sup>
中国粮食	生产、产后、消费	25%~32%	问卷调查	张健等 <sup>[5]</sup>
江苏粮食	产后各环节	16.2%	农户调查	曹宝明等 <sup>[29]</sup>
中国玉米	收获	2.74%	实地调查	郭焱等 <sup>[30]</sup>
中国水稻	收获	3.02%	田间实验	黄东等 <sup>[16]</sup>
中国小麦	收获	2.43%	田间实验	曹芳芳等 <sup>[31]</sup>
加纳水稻	田间损失	4.07%~12.05%	问卷调查与田间试验	Appiah 等 <sup>[32]</sup>
河南小麦	产后各环节	2.1%	案例研究与问卷调查	宋洪远等 <sup>[33]</sup>
中国粮食	产后各环节	7.9%	物质流分析	高利伟等 <sup>[34]</sup>
芬兰粮食	消费	人均23 kg	问卷调查	Silvennoinen 等 <sup>[35]</sup>
美国粮食	消费	人均124 kg	问卷调查	Buzby 等 <sup>[36]</sup>

种、种植规模、虫害程度、是否赶种等都会影响粮食损失水平<sup>[33,39-41]</sup>。另外,还有学者认为一些社会经济因素也会造成粮食收获环节损失,比如经济技术条件、风险态度、信贷约束、土地产权、人力资本等<sup>[42,43]</sup>。

在储藏环节,影响粮食损失水平的主要因素有作物品种、储藏量、入仓湿度、储藏装置、储藏技术和防鼠防虫情况等,并且与各地的环境、气候和降水量等因素密切相关<sup>[44,45]</sup>。此外,作物品种、进仓处理方式、各地的气候和湿度以及储藏装置、防虫防鼠情况等会影响储藏中的粮食质量,处置不当会造成霉变<sup>[46]</sup>。

在运输过程中,包装方式、装卸次数、运输次数、运输方式等均会影响粮食损失水平<sup>[47,48]</sup>。在加工过程中,设备条件、加工工艺、企业规模、加工标准、消费观念等均会影响粮食损失水平<sup>[49,50]</sup>。在消费环节,影响粮食损失水平的主要因素有家庭规模、经济条件、户主年龄、文化观念、就餐原因等<sup>[51-55]</sup>。

### 3 减少粮食损失的措施

粮食是人们进行生产生活的必备要素,特别是对于人口大国和饥饿地区而言,粮食问题更加重要。减少粮食损失能直接带来粮食供应量的增长。因此,世界范围内的研究者已经进行大量粮食减损研究,并提出相应措施。由于大部分学者认为粮食损失多发于农场端。所以,大多数减损措施针对农场环节,而较少关注粮食供应链的中下游。

#### 3.1 品种改良

不少研究人员认为,与其大费周章进行收获时或收获后的减损管理,不如从收获前就开始进行干预。一个可行的方法是从品种选择、品种优化上入手,开发抗病虫害、抗倒伏品种,或许更加有效<sup>[56]</sup>。从现有研究来看,品种也能影响收获时或收获后的损失水平。比如在水稻和小麦收获环节,优良品种的损失率均低于普通品种<sup>[16,36]</sup>。部分品种虽然

产量较高，但成熟后易脱落，造成较大损失。有些品种在储藏环节更易变质、腐烂，损失率较高<sup>[16]</sup>。目前有关品种开发存在的问题，多数研究仅停留在实验室层面，难以与现实环境接轨而且绝大多数研究未能与减损相联系<sup>[57]</sup>。如能因地制宜、按需开发，研制出具有高产、抗虫害、易储存、防霉变等优良特性的作物品种，不仅能减少粮食数量损失，防止霉菌等毒素污染粮食，提升粮食质量水平，还能减少人工减损管理投入，降低成本。

### 3.2 教育培训

对农户和相关人员进行教育和培训是另一行之有效的办法，并且见效快，成本低。研究人员发现，在收获过程中，收割机机手操作机械的熟练程度会影响粮食损失水平，熟练机手能够降低收获环节的损失率<sup>[36]</sup>。另外，收获时良好的作业态度也可减少损失<sup>[43]</sup>。FAO关于粮食储存的一个好建议、好方法，即对粮食进行分选：分离出有问题的谷物，保证高质量储存<sup>[58]</sup>。联合国粮食计划署（World Food Programme）也将减损纳入农户培训。由此可见，收获时和收获后的技能培训对减少粮食损失尤为重要。

### 3.3 储存环节减损方法

储存环节是粮食价值链的核心环节，也是出现粮食数量损失较多的一环；并且，如若储存措施不当，有可能造成营养流失、污染和霉变，导致粮食质量损失。现有研究也较多地关注如何减少储存环节的损失，如虫害防治、仓储技术等。

#### 3.3.1 杀虫剂等药物防治

杀虫剂等药剂防治是储存环节减损的主要方式，操作非常简单，效果明显。不少地区的农户在粮食储存环节使用过杀虫剂<sup>[27,59]</sup>。在中国的粮食储备中，杀虫剂也是害虫防治的主要工具<sup>[60]</sup>。目前，市场上能够买到的杀虫剂种类繁多，可以针对不同的虫害情况，但杀虫剂使用效果取决于多种因素，如施用技术和虫害情况等。另外，在现有研究中也提到，由于长期使用杀虫剂可能会造成害虫抗药性<sup>[61]</sup>，并且可能对环境 and 人类健康产生负面影响<sup>[62]</sup>。基于上述原因，杀虫剂可能只是一种减少粮食损失的短期策略，推动杀虫剂在储存环节中的广泛使用应慎之又慎。

#### 3.3.2 改良储存设备

迄今为止，减少储存环节粮食损失措施中最受推崇的方法是改进储存设备。比如，利用筒仓等科学储粮装具进行密封保管。密封通过降低氧气水平，从而限制害虫、霉菌生存<sup>[63]</sup>。目前，世界上有相当多的机构和企业推广密封储存技术，包括联合国粮食计划署、粮农组织、GrainPro公司等，它们通过提供密封袋和其他设施帮助农户减少粮食储存环节的损失。许多研究人员对密封设备的减损能力进行了测试，对密封袋在玉米和豇豆储存中的作用进行评估发现，密封袋确实能够降低损失水平<sup>[64,65]</sup>；通过实验也表明密封储存能够在一定程度上防止真菌对谷物的侵染，是一种有效的低成本减损方法，适用于发展中国家农村地区<sup>[66]</sup>，且对农户而言，密封袋在经济上优于化学药剂<sup>[67]</sup>。值得注意的是，农户使用金属筒仓的回报很高，并且随着筒仓尺寸的增大而增加，推广更大的筒仓对农民来说更具效益<sup>[68]</sup>。通过倾向得分匹配法也证实金属筒仓可以有效减少玉米贮藏时由于虫害所造成的损失，并对农户福利和粮食安全造成影响<sup>[44]</sup>。从现有研究来看，使用密封筒仓等先进储存设备能够有效减少粮食储存环节的数量损失，同时也能在一定程度上防止真菌侵染谷物。因此，推广更为先进的储存设备不失为减少粮食储存环节损失的一个好办法，但目前未见密封或其他储存技术与谷物营养水平关系的研究。

### 3.3.3 综合害虫管理

综合害虫管理 (IPM) 也可称为综合害虫控制 (Integrated Pest Control, IPC), 旨在考虑所有可用的害虫防治手段, 并根据具体情况选择经济合理的措施, 阻止害虫发展<sup>[69]</sup>。综合虫害管理的主要原则包括: 预防、监测、控制 (包括机械和生物控制)、减少农药使用、评估等<sup>[70]</sup>。虽然目前综合害虫管理多见于作物生长环节, 但其在储存环节仍然有效。特别是当储存环节爆发大规模虫害, 如若过度使用化学药剂, 可能会对环境和人类健康造成影响, 应鼓励通过综合害虫管理进行防治<sup>[71]</sup>。研究人员在农场进行储存环节综合害虫管理试验发现, 综合害虫管理在减少谷物损失方面与化学药剂一样有效, 并且明显优于一般的储存方法<sup>[72]</sup>。目前, 在多数国家推广综合害虫管理面临很多困难, 其中最主要的是缺乏研究和新技术, 并且还需考虑成本问题<sup>[73]</sup>。未来, 综合害虫管理应该能在减少粮食损失方面做出更大的贡献。

### 3.4 其他方法

下面几种方法虽不能像上述方式一样能够直观地减少粮食损失, 但却能产生类似效果。比如, 改善基础设施, 如电力、路网等, 可能会减少粮食损失。研究发现, 道路网、铁路运输和电力等基础设施建设对粮食减损贡献巨大<sup>[74]</sup>。另外, 建设更加先进的仓库并进行良好的管理也能减少储存环节的损失<sup>[75]</sup>。在此基础上, 通过建立仓单系统 (Warehouse Receipt Systems) 将仓库开放给小农使用, 既降低储存损失, 又让小农参与金融市场, 解决流动性问题, 一举多得<sup>[76]</sup>。前文提到, 昂贵的价格是阻止小农改进储存设备的一个障碍。那么, 发展农村金融, 为农户提供信贷支持可能是减少粮食损失的间接途径之一。如今, 粮食价值链正在发生变化, 生产者、批发商和零售商垂直一体化加快<sup>[77]</sup>。如此, 人们对物流系统的要求越来越高, 而高效率物流能够降低运输过程中的损失。通过建立一套监测管理系统, 实现信息快速传递、线路动态优化, 避免无序运输, 减少损失。

## 4 总结与展望

随着中国粮食供需缺口扩大、粮食自给率下降, 粮食安全面临较大挑战<sup>[78]</sup>。在增产难度不断加大的情况下, 减少粮食损失成为必然。本文系统回顾现有粮食损失研究, 总结其中要点, 提出迄今还未解决的重要问题, 发现未来可能的研究方向。

### 4.1 现有研究不足

现有研究在粮食损失数量上存在差异, 但共识是大多数粮食损失发生在收获和储存环节。这与生鲜农产品不同, 它们 (如肉类和海鲜) 的损失主要集中于加工、包装和分销环节<sup>[4]</sup>。分析显示, 超过80%的研究都关注收获和储藏环节的损失<sup>[57]</sup>, 但是, 随着城市化和消费者收入的增长, 情况可能会有所变化。因此, 研究应进一步向粮食价值链的其他环节拓展, 以准确衡量各环节的粮食损失水平。另外, 由于研究的作物品种、农业生态环境 (包括季节和地理位置)、规模等存在差异, 难以对各研究结果进行比较, 并且部分研究所采用的方法也不尽如人意, 许多方法在使用时都有相应的前提条件, 很容易被误用和误解。关于价值链损失估计, 大多数研究采用案例研究法, 缺乏统计代表性。

尽管研究人员对粮食质量损失, 尤其是储藏和加工环节的霉变和营养流失有很大兴趣, 但目前并没有关于营养流失、霉变等引起的粮食质量损失程度的定量分析。这方面

的研究集中在霉菌毒素污染高爆发地区,但在没有人类死亡报告的地区,如肯尼亚西部,黄曲霉毒素污染也超过了规定限值<sup>[79]</sup>。这些调查结果说明,对粮食质量损失的定量估计迫在眉睫。但由于缺乏良好的数据,许多研究只能半途而废<sup>[80]</sup>。估计营养流失和毒素所造成的质量损失可能非常困难,但异常重要,特别是一些贫困地区仍在消费营养质量较低的食物。

目前有关粮食损失研究的另一个不足之处在于缺少对最优损失水平的关注<sup>[7]</sup>。根据理性人假设,从私人角度而言,现有损失水平就是最优损失水平。因为个人追求的是利润最大化而不是粮食数量最大化。正如一些研究人员发现,如果农户出现抢种,就会增加收获环节损失<sup>[81]</sup>。即使利用最先进的技术和最严苛的管理手段,也不可能消除各环节损失,并且成本极高<sup>[72]</sup>。加之农产品的自然特性,变质和腐败不可避免,为提高产品质量必然造成一定数量损失。另外,在调查过程中发现,小农户由于担心储粮损失,收获后并不储存多余粮食,导致粮食不能在价格高点出售,从而造成收入损失。虽然农户减少了数量损失,但是由于价差造成的收入损失可能更大<sup>[82]</sup>。那么,从私人角度而言,是否存在一个利润最大化的最优损失率,当下的损失水平是否超过最优损失率,在什么时候干预能取得最好的效果,这些问题都值得探讨。如若从社会角度看,私人决策很少考虑外部性,很多时候私人最优和社会最优存在分歧。以中国为例,随着生活水平提高人们更加关注食品安全问题,大部分被污染或有毒的粮食被丢弃,这可能造成更大的不安全或低质粮食损失。如此,出现一个相当矛盾的事实,即因质量要求提高而导致粮食损失水平较高,但目标又是减少各环节粮食损失。这就要求研究人员进行更深层次的考虑,以找到一个最优平衡点。

#### 4.2 研究展望

目前,研究人员对各环节粮食损失水平进行了大量估计,但由于方法、环境等因素不同,并未得出一致结论。现有研究更多关注粮食价值链前端(如收获、储存环节)和后端(如餐桌上的浪费),对粮食流通等中间环节的损失未进行大量研究。另外,有关营养流失、霉菌毒素所造成的粮食质量损失研究尚处空白,也缺少对最优损失水平的研究。粮食损失的研究在中国刚刚兴起,虽然部分研究人员进行了大量工作,但任重道远。比如,储存环节损失研究极为缺乏。

另外,目前大部分研究集中于粮食价值链前端,研究人员所提减损措施也基本围绕收获、储存环节。关于这些措施的减损效果虽有大量实验,但并未基于此进行更加深入的研究。比如,减少损失对农户收入水平、储蓄行为、消费投资等会产生何种影响,对未进行减损干预的农户和价值链下游参与者有何影响,对粮食供应和市场价格有何影响,这些问题都值得关注。

最后,减少粮食损失的成本可能很高,许多减损措施的成本收益仍然未知。在一些情况下,减少粮食损失并非实现前文所提目标最经济的选择,或许通过其他方法也能实现相同目标,如增加收入等减少贫困的方法可能比减少粮食损失水平的措施能更直接地实现粮食安全,而且收入的增长会使人们追求更高质量的食物,从而提升粮食质量安全。

通过本文系统总结发现粮食损失研究中许多问题尚未得到解决,但最重要的问题仍然是:粮食损失是什么原因导致的,应采取什么补救措施。另外,保证粮食质量安全时会产生粮食数量损失。那么,在施策时就需结合具体情况进行综合考虑。



**参考文献 (References):**

- [1] 瞿长福, 乔金亮. 把饭碗牢牢端在自己手上. 人民日报, 2016-03-01(06). [QU C F, QIAO J L. Putting the rice bowl in own hands. People's Daily, 2016-03-01(06).]
- [2] 程杰, 杨舸, 向晶. 全面二孩政策对中国中长期粮食安全形势的影响. 农业经济问题, 2017, 38(12): 8-16. [CHENG J, YANG K, XIANG J. The impact of the universal two child policy on China's medium and long term food security. Issues in Agricultural Economy, 2017, 38(12): 8-16.]
- [3] 赵霞, 曹宝明, 赵莲莲. 粮食产后损失浪费评价指标体系研究. 粮食科技与经济, 2015, 40(3): 6-9. [ZHAO X, CAO B M, ZHAO L L. Study on evaluation index system of postharvest loss and waste. Grain Science, Technology and Economy, 2015, 40(3): 6-9.]
- [4] FAO. Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention. <http://www.fao.org/3/mb060e/mb060e00.pdf>, 2018-12-15.
- [5] 张健, 傅泽田, 李道亮. 粮食损失的形成和我国粮食损失现状. 中国农业大学学报: 社会科学版, 1998, (4): 59-63. [ZHANG J, FU Z T, LI D L. The formation of food loss and the current situation of food loss in China. China Agricultural University Journal of Social Sciences Edition, 1998, (4): 59-63.]
- [6] BELLEMARE M F, CAKIR M, PETERSON H H, et al. On the measurement of food waste. American Journal of Agricultural Economics, 2017, 99(5): 1148-1158.
- [7] SHEAHAN M, BARRETT C B. Review: Food loss and waste in sub Saharan Africa. Food Policy, 2017, 70: 1-12.
- [8] HLPE. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/hlpe/hlpe\\_documents/CFS41/HLPE\\_08\\_-\\_CFS41\\_-\\_Official\\_Presentation\\_-\\_13\\_Oct\\_2014.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/hlpe/hlpe_documents/CFS41/HLPE_08_-_CFS41_-_Official_Presentation_-_13_Oct_2014.pdf), 2018-11-15.
- [9] FAO. An introduction to the basic concepts of food security. <http://www.fao.org/3/a-al936e.pdf>, 2018-10-23.
- [10] KADJO D, RICKER G J, ALEXANDER C. Estimating price discounts for low quality maize in sub Saharan Africa: Evidence from Benin. World Development, 2016, 77: 115-128.
- [11] 张瑞娟, 李国祥. 全球化视角下中国粮食贸易格局与国家粮食安全. 国际贸易, 2016, (12): 10-15. [ZHANG R J, LI G X. China's grain trade pattern and national food security under the perspective of globalization. Intertrade, 2016, (12): 10-15.]
- [12] SHEAHAN M, BARRETT C B, GOLDALE C. Human health and pesticide use in sub Saharan Africa. Agricultural Economics, 2017, 48(1): 27-41.
- [13] 史常亮, 郭焱, 朱俊峰. 中国粮食生产中化肥过量施用评价及影响因素研究. 农业现代化研究, 2016, 37(4): 671-679. [SHI C L, GUO Y, ZHU J F. Evaluation of over fertilization in China and its influencing factors. Research of Agricultural Modernization, 2016, 37(4): 671-679.]
- [14] 朱淀, 孔霞, 顾建平. 农户过量施用农药的非理性均衡. 中国农村经济, 2014, (8): 17-29. [ZHU D, KONG X, GU J P. Irrational equilibrium of excessive application of pesticides. Chinese Rural Economy, 2014, (8): 17-29.]
- [15] 唐丽霞, 左停. 中国农村污染状况调查与分析. 中国农村观察, 2008, (1): 31-38. [TANG L X, ZUO T. Survey and analysis of pollution status in rural China. China Rural Survey, 2008, (1): 31-38.]
- [16] 黄东, 姚灵, 武拉平, 等. 中国水稻收获环节的损失有多高. 自然资源学报, 2018, 33(8): 1427-1438. [HUANG D, YAO L, WU L P, et al. Measuring rice loss during harvest in China. Journal of Natural Resources, 2018, 33(8): 1427-1438.]
- [17] 颜波, 陈玉中. 粮食流通体制改革30年. 中国粮食经济, 2009, (3): 18-25. [YAN B, CHEN Y Z. 30 years of reform of grain circulation system. China Grain Economy, 2009, (3): 18-25.]
- [18] 王清兰, 陶艳艳, 刘成海. 黄曲霉毒素体内吸收与代谢的干预措施研究进展. 肿瘤, 2007, (5): 415-418. [WANG Q L, TAO Y Y, LIU C H. Advances in interventions for absorption and metabolism of aflatoxin. Tumor, 2007, (5): 415-418.]
- [19] 施晓娟. 权威专家解读黄曲霉毒素. [http://www.xinhuanet.com/food/2015-05/22/c\\_127830640.htm](http://www.xinhuanet.com/food/2015-05/22/c_127830640.htm), 2015-08-09. [SHI X J. Authoritative experts interpret aflatoxins. [http://www.xinhuanet.com/food/2015-05/22/c\\_127830640.htm](http://www.xinhuanet.com/food/2015-05/22/c_127830640.htm), 2015-08-09.]
- [20] BARRETT C B, BEVIS L E M. The micronutrient deficiencies challenge in African food systems. <http://barrett.dyson.cornell.edu/files/papers/FetschriftPaperAugust2014.pdf>, 2017-12-12.
- [21] FAO. Food wastage footprint: Impacts on natural resources. <http://www.fao.org/3/i3347e/i3347e.pdf>, 2020-04-23.

- [22] LIPINSKI B, HANSON C, LOMAX J. Reducing food loss and waste. [https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public-reducing\\_food\\_loss\\_and\\_waste.pdf?\\_ga=2.59225898.601402728.1553762229-1368169049.1553762229](https://wriorg.s3.amazonaws.com/s3fs-public-reducing_food_loss_and_waste.pdf?_ga=2.59225898.601402728.1553762229-1368169049.1553762229), 2017-01-12.
- [23] IBRD. Missing food: The case of postharvest grain losses in sub Saharan African. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2824>, 2017-12-10.
- [24] 农业部. 关于加强粮食加工减损工作的通知. [http://www.gov.cn/xinwen/2014-07/08/content\\_2714362.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2014-07/08/content_2714362.htm), 2016-10-14. [MOA. Notice on strengthening the work of degradation of grain processing. [http://www.gov.cn/xinwen/2014-07/08/content\\_2714362.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2014-07/08/content_2714362.htm), 2016-10-14.]
- [25] BASAVARAJA H, MAHAJANASHETTI S B, UDAGATTI N C. Economic analysis of postharvest losses in food grains in India: A case study of Karnataka. *Agricultural Economics Research Review*, 2007, 20(1): 581-593.
- [26] BALA B K. Postharvest loss and technical efficiency of rice, wheat and maize production system: Assessment and measures for strengthening food security. [http://fpmu.gov.bd/agridrupal/sites/default/files/CF-6\\_of\\_08\\_B\\_K\\_Bala.pdf](http://fpmu.gov.bd/agridrupal/sites/default/files/CF-6_of_08_B_K_Bala.pdf), 2015-10-19.
- [27] KAMINSKI J, CHRISTIAENSEN L. Postharvest loss in sub Saharan Africa: What do farmers say. *Global Food Security*, 2014, 3(3): 149-158.
- [28] 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. [ZHAN Y R. Sampling survey and analysis of national grain postharvest losses. *China Grain Economy*, 1995, (4): 44-47.]
- [29] 曹宝明, 姜德波. 江苏省粮食产后损失的状况、原因及对策措施. *南京经济学院学报*, 1999, (1): 21-27. [CAO B M, JIANG D B. The situation, causes and countermeasures of postharvest loss in Jiangsu province. *Journal of Nanjing Institute of Economics*, 1999, (1): 21-27.]
- [30] 郭焱, 张益, 占鹏, 等. 农户玉米收获环节损失影响因素分析. *玉米科学*, 2019, 27(1): 164-168. [GUO Y, ZHANG Y, ZHAN P, et al. Analysis of the influence factors of loss in maize harvest. *Journal of Maize Sciences*, 2019, 27(1): 164-168.]
- [31] 曹芳芳, 朱俊峰, 郭焱, 等. 中国小麦收获环节损失有多高. *干旱区资源与环境*, 2018, 32(7): 7-14. [CAO F F, ZHU J F, GUO Y, et al. Wheat harvest loss in China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2018, 32(7): 7-14.]
- [32] APPIAH F, GUISSSE R, DARTEY P K. Postharvest losses of rice from harvesting to milling in Ghana. *Journal of Stored Products and Postharvest Research*, 2011, 2(4): 64-71.
- [33] 宋洪远, 张恒春, 李婕, 等. 中国粮食产后损失问题研究. *华中农业大学学报: 社会科学版*, 2015, (4): 1-6. [SONG H Y, ZHANG H C, LI J, et al. Loss of harvest of China's grain. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2015, (4): 1-6.]
- [34] 高利伟, 许世卫, 李哲敏, 等. 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, 32(23): 1-11. [GAO L W, XU S W, LI Z M, et al. Main grain crop postharvest losses and its reducing potential in China. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(23): 1-11.]
- [35] SILVENNOINEN K, KATAJAJUURI J M, HARTIKAINEN H, et al. Food waste volume and composition in Finnish households. *British Food Journal*, 2014, 116(6): 1058-1068.
- [36] BUZBY J C, HYMAN J. Total and per capita value of food loss in the United States. *Food Policy*, 2012, 37: 561-570.
- [37] 江金启, YU T E, 黄琬真, 等. 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. [JIANG J Q, YU T E, HUANG W Z, et al. Home food waste in China and the associated determinants. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2018, (9): 88-99.]
- [38] AULAKH J, REGMI A. Postharvest food losses estimation-development of consistent methodology. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/documents/meetings\\_and\\_workshops/GS\\_SAC\\_2013/Improving\\_methods\\_for\\_estimating\\_post\\_harvest\\_losses/Final\\_PHLs\\_Estimation\\_6-13-13.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/ess/documents/meetings_and_workshops/GS_SAC_2013/Improving_methods_for_estimating_post_harvest_losses/Final_PHLs_Estimation_6-13-13.pdf), 2017-01-05.
- [39] 曹芳芳, 黄东, 朱俊峰, 等. 小麦收获损失及其主要影响因素. *中国农村观察*, 2018, (2): 75-87. [CAO F F, HUANG D, ZHU J F, et al. The wheat harvest loss and its main determinants in China. *China Rural Survey*, 2018, (2): 75-87.]
- [40] MARTINS A G, GOLDSMITH P, MOURA A. Managerial factors affecting postharvest loss: The case of Mato Grosso Brazil. *International Journal of Agricultural Management*, 2014, 3(4): 200-209.
- [41] KIAYA V. Post-harvest losses and strategies to reduce them. [http://dd0jh6c2fb2ci.cloudfront.net/sites/default/files/publications/ACF\\_Technical\\_Paper\\_Post\\_Harvest\\_Losses\\_Jan\\_2014.pdf](http://dd0jh6c2fb2ci.cloudfront.net/sites/default/files/publications/ACF_Technical_Paper_Post_Harvest_Losses_Jan_2014.pdf), 2017-06-09.

- [42] RATINGER T. Food loses in the selected food supply chains. [https://ageconsearch.umn.edu/record/163345/files/Paper\\_FoodLosses\\_TR.pdf](https://ageconsearch.umn.edu/record/163345/files/Paper_FoodLosses_TR.pdf), 2017-09-20.
- [43] 吴林海, 胡其鹏, 朱淀, 等. 水稻收获损失主要影响因素的实证分析. 中国农村观察, 2015, (6): 22-33. [WU L H, HU Q P, ZHU D, et al. Empirical analysis of main factors influencing harvest rice losses. China Rural Survey, 2015, (6): 22-33.]
- [44] GITONGA Z M, DE GROOTE H, KASSIE M, et al. Impact of metal silos on households' maize storage, storage losses and food security: An application of a propensity score matching. Food Policy, 2013, 43: 44-55.
- [45] KUMAR D, KALITA P. Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries. Foods, 2017, 6(1): 8.
- [46] 胡耀华, 陈康乐, 刘聪, 等. 西北五省农户储藏小麦情况调查研究. 农机化研究, 2013, 35(10): 150-153. [HU Y H, CHEN K L, LIU C, et al. Investigation on the storage of wheat by farmers in five northwest provinces. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(10): 150-153.]
- [47] 肖铁. 改善我省粮食运输管理的探索. 重庆商学院学报, 1996, (1): 6-9. [XIAO T. Exploring the improvement of grain transportation management in our province. West Forum, 1996, (1): 6-9.]
- [48] 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. [YIN G B. Evaluation and countermeasures of grain loss after production in recent years in China. Cereal and Feed Industry, 2017, (3): 1-3.]
- [49] AKKERMAN R, DONK D P. Development and application of a decision support tool for reduction of product losses in the food processing industry. Journal of Cleaner Production, 2008, 16(3): 335-342.
- [50] 樊琦, 黑文静, 祁华清, 等. 湖北省粮油加工环节损失浪费研究. 粮油食品科技, 2017, 25(6): 78-83. [FAN Q, HEI W J, QI H Q, et al. Study on loss and waste during grain and oil processing in Hubei province. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2017, 25(6): 78-83.]
- [51] 张盼盼, 白军飞, 刘晓洁, 等. 消费端食物浪费: 影响与行动. 自然资源学报, 2019, 34(2): 437-450. [ZHANG P P, BAI J F, LIU X J, et al. Food waste at the consumer segment: Impact and action. Journal of Natural Resources, 2019, 34(2): 437-450.]
- [52] 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 of London, 2010, 365(1554): 3065-3081.
- [53] SCHNEIDER F. Wasting food: An insistent behavior. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?sessionid=BE72865CFA68224700A7B98F9839BE1B?doi=10.1.1.536.5170&rep=rep1&type=pdf>, 2018-04-12.
- [54] 成升魁, 白军飞, 金钟浩, 等. 笔谈: 食物浪费. 自然资源学报, 2017, 32(4): 529-538. [CHENG S K, BAI J F, JIN Z H, et al. Reducing food loss and food waste: Some personal reflections. Journal of Natural Resources, 2017, 32(4): 529-538.]
- [55] 张盼盼, 王灵恩, 白军飞, 等. 旅游城市餐饮消费者食物浪费行为研究. 资源科学, 2018, 40(6): 1186-1195. [ZHANG P P, WANG L E, BAI J F, et al. The food waste behavior of catering consumers from a tourism perspective. Resources Science, 2018, 40(6): 1186-1195.]
- [56] JOHN A. Rodent outbreaks and rice pre-harvest losses in Southeast Asia. Food Security, 2014, 6(2): 249-260.
- [57] AFFOGNON H, MUTUNGI C, SANGINGA P, et al. Unpacking postharvest losses in sub Saharan Africa: A meta-analysis. World Development, 2015, 66: 49-68.
- [58] GOLOB P. On farm postharvest management of food grains: A manual for extension workers with special reference to Africa. <http://ilo.org/public/libdoc/nonigo/2009/456716.pdf>, 2018-11-25.
- [59] MINARDI A, TABAGLIO V, NDEREYIMANA A, et al. Rural development plays a central role in food wastage reduction in developing countries. <http://booksdl.org/get.php?md5=6f72371d9ed228a085db07ed94fa9b74>, 2018-10-14.
- [60] 王晶磊, 肖雅斌, 徐威, 等. 粮库储粮害虫防治存在问题及前景展望. 粮食与食品工业, 2014, 21(3): 82-85. [WANG J L, XIAO Y B, XU W, et al. Problems and prospects of pest control of grain storage in grain depot. Cereal and Food Industry, 2014, 21(3): 82-85.]
- [61] BOYER S, ZHANG H, LEMPÉRIÈRE G. A review of control methods and resistance mechanisms in stored product insects. Bulletin of Entomological Research, 2012, 102(2): 213-229.
- [62] AKTAR M W, SENGUPTA D, CHOWDHURY A. Impact of pesticides use in agriculture: Their benefits and hazards.

- Interdisciplinary Toxicology, 2009, 2(1): 1-12.
- [63] MURDOCK L L, MARGAM V, BAOUA I, et al. Death by desiccation: Effects of hermetic storage on cowpea bruchids. *Journal of Stored Products Research*, 2012, 49: 166-170.
- [64] BAOUA I B, AMADOU L, MARGAM V, et al. Comparative evaluation of six storage methods for postharvest preservation of cowpea grain. *Journal of Stored Products Research*, 2012, 49: 171-175.
- [65] DE GROOTE H, KIMENJU S C, LIKHAYO P, et al. Effectiveness of hermetic systems in controlling maize storage pests in Kenya. *Journal of Stored Products Research*, 2013, 53: 27-36.
- [66] QUEZADA M Y, MORENO J, MARIO E, et al. Hermetic storage system preventing the proliferation of *prostephanus truncatus* horn and storage fungi in maize with different moisture contents. *Postharvest Biology and Technology*, 2006, 39(3): 321-326.
- [67] JONES M, ALEXANDER C, LOWENBERG D J. A simple methodology for measuring profitability of on farm storage pest management in developing countries. *Journal of Stored Products Research*, 2014, 58: 67-76.
- [68] KIMENJU S C, DE GROOTE H. Economic analysis of alternative maize storage technologies in Kenya. <https://ageconsearch.umn.edu/record/96419/files/169.%20Economic%20Analysis%20of%20Alternative%20Maize%20Storage%20Technologies%20in%20Kenya.pdf>, 2018-12-12.
- [69] FAO. Integrated pest management. <http://www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/pests/ipm/en/>, 2018-10-31.
- [70] BARZMAN M, BÀRBERI P, BIRCH A N E, et al. Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development*, 2015, 35(4): 1199-1215.
- [71] PHILLIPS T W, THRONE J E. Biorational approaches to managing stored product insects. *Annual Review of Entomology*, 2010, 55(1): 375-397.
- [72] WATERFIELD G, ZILBERMAN D. Pest management in food systems: An economic perspective. *Social Science Electronic Publishing*, 2012, 37(1): 223-245.
- [73] NARANJO S E, ELLSWORTH P C, FRISVOLD G B. Economic value of biological control in integrated pest management of managed plant systems. *Annual Review of Entomology*, 2015, 60(1): 621-625.
- [74] ROSEGRANT M, EDUARDO M, ROWENA A V S, et al. Returns to investment in reducing postharvest food losses and increasing agricultural productivity growth. <https://ageconsearch.umn.edu/record/235879/files/Rosegrant%20et%20al-AAEA2016-PHL%20paper-draft-clean%20version-05-25-2016.pdf>, 2017-12-13.
- [75] HERTOGE M, UYSAL I, MCCARTHY U, et al. Shelf life modelling for first expired first out warehouse management. <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rsta.2013.0306>, 2017-12-14.
- [76] SUTOPO W, BAHAGIA S N, CAKRAVASTIA A, et al. A buffer stock model to ensure price stabilization and availability of seasonal staple food by empowering producer using warehouse receipt system. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6117926>, 2017-12-14.
- [77] SWINNEN J F M, MAERTENS M. Globalization, privatization and vertical coordination in food value chains in developing and transition countries. *Agricultural Economics*, 2007, 37(s1): 89-102.
- [78] 王大为, 蒋和平. 基于农业供给侧结构改革下对我国粮食安全的若干思考. *经济学家*, 2017, (6): 78-87. [WANG D W, JIANG H P. Thoughts on China's food security based on the reform of agricultural supply side structure. *Economist*, 2017, (6): 78-87.]
- [79] MUTIGA S K, HOFFMANN V, HARVEY J, et al. Assessment of aflatoxin and fumonisin contamination of maize in Western Kenya. *Phytopathology*, 2015, 105(9): 1250-1261.
- [80] WU F, NARROD C, MARITES M, et al. The health economics of aflatoxin: Global burden of disease. <http://ebrary.ifpri.org/utils/getfile/collection/p15738coll2/id/124848/filename/124849.pdf>, 2017-12-19.
- [81] GOLDSMITH P D, MARTINS A G, DE MOURA A D. The economics of post-harvest loss: A case study of the new large soybean. *Food Security*, 2015, 7(4): 875-888.
- [82] 张瑞娟, 孙顶强, 武拉平, 等. 农户存粮行为及其影响因素. *中国农村经济*, 2014, (11): 17-27. [ZHANG R J, SUN D Q, WU L P, et al. Farmers' grain saving behavior and its influencing factors. *Chinese Rural Economy*, 2014, (11): 17-27.]

## The progress and prospects of research on food loss and waste

LUO Yi, LI Xuan-fu, HUANG Dong, WU La-ping

(College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Concerns about food insecurity have grown in China due to growing population and food consumption structure improvement. The research and development practitioner has begun to focus on food loss and waste, often referred to as post-harvest losses (PHL), in China. PHL reduction has been identified as a key component to complement efforts to address food security challenges and increase farmers' incomes, especially for the rural poor. This article reviews the current state of the literature on PHL mitigation. First, we identify explicitly the varied objectives underlying efforts to reduce PHL levels. There are four main objectives of reducing post-harvest loss: (1) Improve food security and protect social stability. Reducing food loss increases the quantity of food, which can reduce the need to supplement availability through transfer programs (at household level) or via commercial imports or food aid donations. (2) Reduce unnecessary resource use and protect the environment. These resources come in the form of on-farm inputs, including water, chemical fertilizer, agrochemicals, labor, and land. (3) Improve food safety. Sometimes spoilage or contamination is not perceptible to the human senses and goes undetected, leading to adverse health effects when food is consumed. These food safety concerns have major disease and global health implications. (4) Increase profits for food value chain actors. The private sector, including smallholder farmers, plays a crucial role in making food available to consumers. Second, we summarize the estimated magnitudes of losses, evaluate the methodologies used to generate those estimates. Losses and waste can be measured in quantity and quality terms, and the commonly used loss estimation methods are case study, experimental method and questionnaire survey. So it is difficult to compare values due to differences in methods, especially the methodologies employed are often unsatisfactory. Third, we synthesize and critique the impact evaluation literature around on-farm and off-farm interventions expected to deliver PHL reduction. They include: (1) Improved varieties. Because of the compounding effects of pests and deterioration accumulated before harvest, interventions that aim to reduce PHL while crops are still in the field is arguably more effective than deploying strategies that only start after harvest. (2) Education on best practices in harvest and post-harvest handling. Interventions also occur around education for best practices in harvest and post-harvest handling, generally in the form of extension messaging. (3) Chemical sprays in storage. Many farmers use some form of chemical or natural spray during home-based storage as a means of keeping pests and insects away from food, but it may lead to negative environment or health effects. (4) Improved storage of grains through advanced technologies. The most widespread intervention strategy is the use of improved storage devices such as metal silos. (5) Integrated pest management in storage. The integrated pest management paradigm is generally discussed with respect to the prevalence of pests pre-harvest, but IPM can also be useful during storage. (6) Other methods include improving infrastructures and developing rural finance. Finally, we conclude with a summary of main points.

**Keywords:** food loss; food security; food safety; review