

# 不同收获方式对粮食损失的影响

## ——基于全国3251个农户粮食收获的实地调研

李轩复, 黄东, 屈雪, 朱俊峰

(中国农业大学经济管理学院, 北京 100083)

**摘要:**使用全国3251个农户的数据,通过两步法,比较不同收获方式和社会化服务(购买农机服务)对小麦、水稻、玉米三种主要粮食作物收获环节损失的影响。结果表明:相较于全人工收获方式,全程机械化收获总体上提高了收获环节损失。分品种而言,增加了水稻损失,但降低了小麦损失;半机械化收获显著降低了玉米的收获损失。深入研究发现:购买农机服务能够显著减少小麦的收获损失,稳健性检验反映结论仍然保持一致。基于此,对于小麦要进一步推动全程机械化,对于水稻和玉米,要研发适合农户规模的小型农机和专业农机,短期内进一步推进分段机械化。

**关键词:**收获方式;农机服务;粮食收获;损失

粮食安全关系我国经济发展、社会稳定和国家安全。粮食需求是全球气候变化的主要驱动力,粮食生产要素的重新配置加剧了全球气候变化<sup>[1]</sup>。长期来看,中国仍是一个人多地少的国家,减少粮食产后损失,是节约资源、保障粮食安全的重要途径。据有关方面调研测算,我国农户粮食损失率达7%~11%,降低了粮食供给及农户收入水平<sup>[2]</sup>。收获环节与干燥、消费等环节构成了粮食产后系统<sup>[3]</sup>。食物浪费问题贯穿于我国粮食产业链的各环节,日益严重<sup>[4]</sup>。在其中,收获是第一个环节,也是损失最严重的环节之一<sup>[5,6]</sup>。特别是在发展中国家,粮食产后损失的三成以上发生在收获环节<sup>[7]</sup>。其中,非洲和南亚国家的粮食收获环节损失率为1%~12%。而我国损失率大约在5%左右<sup>[10,11]</sup>,并且随着机械装备和生产管理水平的提高,部分学者估计损失率已降到2.5%<sup>[12,13]</sup>,但部分粮食大省如河南,小麦收割损失率在1.6%~6.5%<sup>[14]</sup>,差异和波动较大。

是何种因素影响了收获环节粮食损失?当前研究主要围绕两方面:第一,社会和经济因素。部分学者认为,农户的受教育程度与收获环节粮食损失显著正相关<sup>[6]</sup>,但也有研究结论显示不显著<sup>[15]</sup>。此外,技术培训的匮乏和农户收获作业方式的不科学,会增加损失<sup>[16,17]</sup>。第二,生产和收获特征因素,有种植规模、作业态度以及自然条件因素。研究表明,种植规模越大,收获越粗糙,损失率越高<sup>[9,18]</sup>。收获时机也是重要的影响因素,过晚收获会导致籽粒更容易脱落,过早收获会导致产量下降而增大损失率<sup>[14,19]</sup>。劳动力的充裕程度是不可忽略的因素,青壮年劳动力短缺,会增加粮食收获损失<sup>[20]</sup>。同时,农户作业态度也影响收获损失,如为了赶种下一季,提高了收割机作业速度,从而容易造成漏收、

收稿日期: 2019-04-11; 修订日期: 2019-09-16

基金项目: 粮食公益性行业科研专项(201513004-2)

作者简介: 李轩复(1986-),男,辽宁鞍山人,博士研究生,主要从事农产品市场与政策研究。

E-mail: lxf\_cau@163.com

通讯作者: 朱俊峰(1969-),男,河南项城人,博士,教授,主要从事农业经济理论与政策研究。

E-mail: zhujunf501@sina.com

籽粒破损等情况<sup>[21,22]</sup>。此外,当前研究较一致认为,异常天气和虫害等因素会增加粮食收获损失<sup>[15]</sup>。

水稻人工收获主要利用镰刀等工具进行人工收割,通过脚踏打稻机或打稻桶进行人工脱粒,使用木风车、竹筛和木风车、竹床等器械人工清粮<sup>[23]</sup>。除人工收获外,根据机械化程度不同,收获方式还可分为全程机械化和半机械化。如黑龙江的粮食收获方式就包括人工割捆机脱的半机械化收获方式和半喂入式收获机直收、全喂入式联合收割机直收为代表的全程机械化收获方式<sup>[24]</sup>。从品种看,目前小麦的收获方式主要分为在大部分平原地区采用的联合收获和在少数山区或丘陵采用的分段收获<sup>[25]</sup>。郭银巧等<sup>[26]</sup>将玉米收获方式分为人工收获、机械收穗、机械收粒。不同的收获方式,对于粮食损失的影响也不同。根据詹玉荣<sup>[11]</sup>对全国22省的调查,机械收割的损失率要比手工收割高出2%左右。冯刚等<sup>[27]</sup>的研究表明采用联合收割机收获的损失率远高于分段收获。但是,Appiah<sup>[8]</sup>的田间实验对比了水稻机械收获和手工收获的损失情况发现,机械收割的技术更先进,其收获的损失率明显降低。吴林海等<sup>[28]</sup>的实证研究也表明,随着收获作业的机械化程度提高,水稻收获环节的损失率显著降低。曹芳芳等<sup>[29]</sup>通过实证研究发现,相对于手工收割,机械化收获(分段收割和联合收割)显著降低了小麦损失。

随着我国劳动力人口减少,粮食需求压力仍然较大,规模化、机械化将是大势所趋,也是未来粮食生产的发展方向。《乡村振兴战略规划(2018—2022年)》中明确指出要“促进农机农艺融合,积极推进作物品种、栽培技术和机械装备集成配套,加快主要作物生产全程机械化,提高农机装备智能化水平”。随着农业机械化程度的不断提高,粮食收获方式也发生了较大变化。一个明显的趋势是,以联合收割机为主的全程机械化收获逐渐替代传统的依靠人力为主的分段收获(人工收获和半机械化收获)。截至2016年底,全国农机总动力达到9.7亿kW,联合收割机保有量达到190.2万台<sup>[30]</sup>。鉴于此,一些研究也关注了机械化对粮食收获环节损失的影响,但并未达成共识。

在粮食收获环节的损失情况和影响因素方面已有许多探讨,但在收获方式快速转变的背景下,仍有几个问题亟待研究:第一,全人工、半机械化和全程机械化的不同收获方式对粮食收获环节损失的影响如何?第二,在机械化收获中,自有机收获和购买社会服务(农机服务)对粮食收获环节损失的影响效应如何?基于此,本文利用全国3251个农户数据,从理论和实证角度分析和检验收获方式、农机服务对粮食收获环节损失的影响。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 理论基础与分析框架

#### 1.1.1 概念界定

对于粮食损失的定义,FAO将其界定为改变粮食特性或质量,从而减少粮食对人的价值的情况统称为粮食损失<sup>[31]</sup>。因此,粮食损失主要涉及人类可食用部分。为此,本文将收获环节粮食损失界定为,收获过程中,因自然条件、生产决策和机械装备等因素造成的粮食可食用数量的减少。

对于收获方式,本文将收割、脱粒和清粮环节均不采用机械设备的情况定义为全人工收获;将均采用机械的情况定义为全程机械化收获;其余则为半机械化收获。同时,我们将全程机械化收获和半机械化收获统称为机械化收获。根据调研发现,当前,中国

小麦和水稻的主要收获方式为全程机械化收获，而玉米的主要收获方式为半机械化收获，形式以“人工摘穗—机械脱粒”为主的收获方式。

### 1.1.2 理论分析

在收获环节，农户需要选择采用何种收获方式，是否采用全程机械化？从利润最大化的角度出发，农户会采取相应措施尽量减少损失，直至减损的边际成本（采取减损措施）与边际收益（减少损失）相等。而随着城镇化的快速发展和劳动力价格的持续提高，机械收获的成本变得相对较低，机械投入将更多地替代劳动成为一个必然的趋势<sup>[32,33]</sup>。传统的半机械化收获主要通过人工收割，过程缓慢但精细，损失较少。而后由人力、畜力或小型柴油机带动的简易装置进行脱粒，但限于技术条件，脱粒不完全，损失较大<sup>[22]</sup>。清粮时，则主要通过人工扬场的方式除杂，损失较小。采用机械收获（主要是联合收割机），收割过程快速但粗糙，需要根据地块的实际情况调整割台高度和运行速度，容易漏割、斜割而造成严重的损失<sup>[34]</sup>。而专门的脱粒清选装置需要对滚筒设定合理的转速，容易脱粒不净、籽粒破碎而增大损失。另外在田间运输方面的损失较小，各种收获方式都采用编织袋等装袋，通过三轮车、拖拉机等简易动力装备等进行运输。

如图1所示，收获方式对粮食损失的影响机制主要表现为三个方面：（1）机械化程度越高，效率越高，可以更好地规避极端天气带来的不利影响，这会对收获损失有负向影响（即有助于减少损失）；（2）相较于全人工收获，机械收获有一定的适应性问题，比如由于不能很好地适应地形和作物品种整齐度等情况，从而可能出现漏收，导致损失增加，这对收获损失有正向影响（即增加损失）；（3）一些研究表明，农机的功率大小、收获的精细度等对收获损失影响较大。大型农机、机手精心收获会减少损失，相反亦然。那么，究竟不同的收获方式对粮食损耗的净效果如何？需要进行实证研究。

为了深入分析不同收获方式的影响，我们采取“两步法”的方式，第一步分析全人工收获、半机械化收获和全程机械化收获对粮食收获环节损耗的影响，总体考察机械化

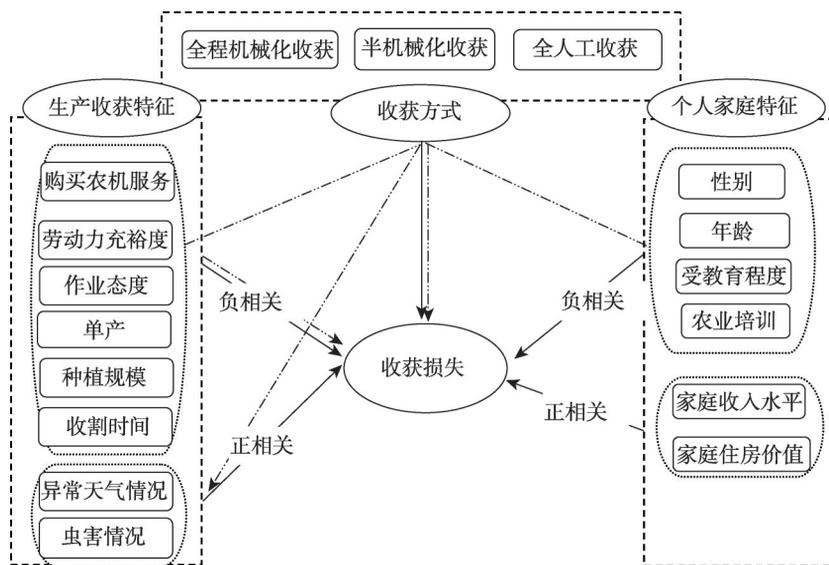


图1 收获方式等因素对粮食收获环节损失的影响

Fig. 1 Effects of harvesting methods and other factors on the loss of grain harvesting links

是否有助于减少收获损失。对于采用机械收获的农户，也有两种选择：自有农机或购买农机服务。一般认为，一方面，在市场专业分工的作用下，农机作业服务组织通常有着更先进的装备水平和更高的作业效率，并且具备更成熟的操作技术和管理经验<sup>[35]</sup>，能够有效降低收获环节损失；另一方面，自己给自家收获时会比较细心，而给其他农户收获时相对追求快，导致收获精细程度下降，损失增加。因此，第二步，对于实施机械收获的农户（包括半机械化和全程机械化收获），进一步分析“购买农机服务”对粮食收获环节损失的影响情况，农机服务主要是与“自购农机”相对应。

综上所述，本文将建立计量模型分析如下两点：“不同收获方式对粮食收获环节损失的影响”和“购买农机服务对粮食收获环节损失的影响”。在分析时，即考虑了小麦、水稻和玉米分品种的情况，同时也考虑了三种主粮总体的情况。

## 1.2 模型、数据与描述性分析

### 1.2.1 模型设定

本文采用两步法构建农户粮食收获环节损失的决定因素模型。第一步，针对全部样本考虑机械化对粮食收获环节损失的影响，参考前人研究<sup>[14,29]</sup>，本文设定模型如下：

$$hlr_{in} = \alpha + \beta_1 hmeth2_{in} + \beta_2 hmeth3_{in} + \gamma Z_{in} + \mu_n + \varepsilon \quad (1)$$

式中： $\alpha$ 是截距项； $hlr_{in}$ 表示收获环节粮食损失率，是被解释变量； $hmeth2_{in}$ 和 $hmeth3_{in}$ 是核心解释变量，指是否半机械化收获和是否全程机械化收获，通过系数 $\beta_1$ 和 $\beta_2$ 判断不同程度的机械化收获对粮食收获环节损失的影响，根据假说1， $\beta_1$ 和 $\beta_2$ 的方向预期为正；为了最大限度减小遗漏变量造成的影响，本文基于前人的研究加入了一组控制变量 $Z_{in}$ ，粮食种植面积、品种（由单产替代）、收割时间、劳动力充裕程度、作业态度、天气和虫害等生产和收获特征变量，以及农户决策者性别、年龄、受教育程度、是否参加过农业培训、家庭收入水平、家庭住房价值等个人和家庭特征变量； $\gamma$ 是控制变量对应的待估计系数； $\mu_n$ 是粮食品种虚拟变量，用来控制不同粮食品种之间的差别； $\varepsilon$ 为扰动项。

在此还需说明一点，本文所使用的的损失率数据来源于问卷调查，为农户记忆的经验值。理论上，实地实验测量的损失值能更好地反映损失情况。但是，Kaminski等<sup>[7]</sup>的研究指出，收获环节工序繁杂，涉及范围广，实地测量成本过高，难度太大。而农户的务农经验丰富，能够从实操层面提供相对精确的反馈，其通过问卷调查的方式获取的数据，其结果也具备较高的可信度。Megan等<sup>[36]</sup>的研究也认为，尽管农户的估计也可能存在衡量偏误，但在大样本情况下是随机的，能够比较准确地反映收获环节的损失情况。

由于越是老年人越爱惜粮食，考虑到年龄和损失率之间可能存在的非线性关系，模型中也加入了年龄变量的平方项。另外，以往的研究通常忽略区域效应的影响。一旦区域效应与农户的收获方式和粮食收获损失情况同时相关时，可能会造成核心解释变量的参数估计有偏。一般在同一个种植区域的农户种植习惯、自然条件禀赋等相近。本文根据农业部《全国优势农产品区域布局规划（2008—2015年）》，加入种植优势区域虚拟变量，以控制不可观测的地区之间的差异。

第二步，针对采用机械收获的样本，本文用 $serv_{in}$ 表示收获环节中是否购买农机服务，考虑机械收获中，购买农机服务对粮食收获环节损失的影响，模型形式如下：

$$hlr_{in} = \alpha + \beta_3 serv_{in} + \gamma Z_{in} + \mu_n + \varepsilon \quad (2)$$

### 1.2.2 数据来源与描述分析

本文数据依托农业农村部固定观察点, 根据小麦、水稻和玉米三大主粮的播种面积, 按比例随机抽样, 覆盖全国28个省, 并于2016年5-7月开展专项调研, 共获得有效样本农户3251户。其中种植小麦、水稻、玉米的分别有1160户、1680户、2189户。总体来看, 三种粮食收获环节的损失率为3.52%。

在所有样本中, 采用全人工收获方式的农户占15.35%、半机械化收获方式的农户占37.62%、全程选择机械收获方式的农户占47.03%。分品种看, 小麦种植户中, 全人工收获方式、半机械化收获方式、全程机械化收获方式分别占3.36%、18.62%、78.02%, 水稻种植户分别为12.02%、29.94%、58.04%, 玉米种植户分别为24.26%、53.59%、22.16%。小麦的机械收获方式(半机械化收获和全程机械化收获)比例高, 玉米的机械化收获, 特别是全程机械化收获方式比例较低。根据2020年发展预期<sup>[37]</sup>, 小麦生产过程机械化程度要达到90%以上, 水稻和玉米全程机械化收获分别占比85%和50%左右, 可见水稻和玉米的全程机械化水平还需进一步提高。此外, 购买农机服务的农户占66.91%, 表明中国农机服务市场已经取得了较好的发展, 但仍有提升空间。具体的变量和统计特征如表1所示。

表2给出了东、中、西部地区三个粮食品种损失率的计算结果。从全国来看, 小麦收获环节的损失率最高, 平均达到了4.27%; 水稻收获环节的损失率次之, 达到了3.53%; 而玉米收获环节的损失率最低, 为3.10%。分区域来看, 粮食收获环节的损失率总体呈现东部低、西部高的态势, 这与吴林海等<sup>[28]</sup>的研究结果一致。

按照不同的收获方式进行分组比较(图2), 可以发现, 总体上, 半机械化收获损失率最低, 全人工收获次之, 全程机械化收获损失率最高。三种粮食品种总体看, 全程机械化收获损失率(3.88%)高于全人工收获的损失率(3.51%), 水稻的全程机械化收获损失率(3.78%)高于全人工收获损失率(2.84%), 玉米的全程机械化收获损失率(3.66%)高于全人工收获损失率(3.6%); 但小麦的手工收获损失率为5.87%, 高于半机械化收获损失率(4.67%)和全程机械化收获的损失率(4.11%), 水稻的全人工收获损失率(2.84%)低于半机械化收获的损失率(3.33%)。

在采用机械收获(半机械化和全程机械化收获)的农户中, 选择购买农机服务的损失率更低(表3)。其中, 小麦、水稻、玉米购买农机服务收获的损失率分别为4.08%、3.52%和2.89%, 均低于未采用农机服务的损失率。

## 2 结果分析

### 2.1 收获方式与粮食收获环节的损失率

首先, 不同程度机械化收获对粮食收获环节损失率的影响如表4所示, 模型(1)~模型(3)分别对小麦、水稻、玉米进行了分样本检验。在控制了生产和收获特征变量、个人和家庭特征变量以及种植优势区的区域效应后, 结果表明, 采用半机械化收获使得玉米收获环节损失降低了0.55%, 且在5%的水平下显著, 但对小麦、水稻的影响不显著, 这主要是因为小麦、水稻机械化起步早、发展快, 其机械收获技术已经达到较高水准。全程机械化收获使得水稻收获环节的损失率提高了1.11%, 且在1%的水平下显著。但对小麦收获环节的损失率降低了1.29%, 在10%的水平下显著。随后, 我们控制粮食

表1 变量定义和描述统计

Table 1 Variable definition and descriptive statistics

变量名称	变量代码	变量定义	全部样本	小麦	水稻	玉米
被解释变量						
收获损失率	<i>hlr</i>	损失量/(产量+损失量)%	3.52	4.27	3.53	3.1
核心解释变量						
收获方式	<i>hmeth1</i>	收获时为全人工收获: 是=1, 否=0	0.15	0.03	0.12	0.24
	<i>hmeth2</i>	收获时为半机械化收获: 是=1, 否=0	0.38	0.19	0.3	0.54
	<i>hmeth3</i>	收获时为全程机械化收获: 是=1, 否=0	0.47	0.78	0.58	0.22
生产和收获特征						
购买农机服务	<i>serv</i>	收获时是否购买了农机服 务: 是=1, 否=0	0.68	0.86	0.69	0.58
单产	<i>yeild</i>	每亩产量/kg	490.75	403.9	514.06	518.88
种植规模	<i>area</i>	播种面积/亩	8.47	4.88	7.98	10.75
收割时间	<i>hdays</i>	完成收割所用时间/天	4.11	2.23	3.3	5.74
劳动力充裕度	<i>labor</i>	收获时劳动力充裕程度: 不足=1, 一般=2, 充足=3	1.94	2	1.92	1.92
作业态度	<i>caut</i>	收获时作业态度: 粗糙=1, 一般=2, 精细=3	2.21	2.11	2.12	2.33
大风天气	<i>wind</i>	收获时有大风天气: 是=1, 否=0	0.07	0.04	0.09	0.06
暴雨天气	<i>rain</i>	收获时有暴雨天气: 是=1, 否=0	0.05	0.06	0.06	0.04
其他异常天气	<i>other</i>	收获时有其他异常天气: 是=1, 否=0	0.05	0.04	0.08	0.03
虫害情况	<i>pest</i>	收获时的虫害情况: 较少或 没有=1, 一般=2, 严重=3	1.24	1.23	1.26	1.24
个人和家庭特征						
性别	<i>gender</i>	决策者性别: 男=1, 女=0	0.82	0.83	0.82	0.81
年龄	<i>age</i>	决策者年龄/岁	53.94	54.93	53.57	53.7
受教育程度	<i>edu</i>	决策者在校时间/年	7.17	7.3	6.99	7.24
农业培训	<i>train</i>	决策者是否参加过农业培 训, 是=1, 否=0	0.12	0.11	0.1	0.15
家庭收入水平	<i>tinc</i>	家庭年纯收入/万元	6.43	6.25	7.3	5.86
家庭住房价值	<i>vhouse</i>	家庭居住房屋价值/万元	7.54	7.72	8.51	6.71

品种的差异, 并控制生产和收获特征、个人和家庭特征及种植优势区的区域效应, 用模型(4)对三种粮食总体进行回归。结果表明, 采用机械收获对粮食收获环节的损失率有显著正向影响, 采用全程机械化收获使粮食收获环节的损失率增加了0.50%。

其余控制变量对粮食收获环节损

表2 东、中、西部粮食收获环节的损失率

Table 2 Loss rates of grain harvesting links in the eastern, central and western regions of China (%)

区域	小麦	水稻	玉米	三种粮食平均
东部	3.58	3.35	2.79	3.16
中部	2.12	4.23	3.43	3.89
西部	6.73	3.71	3.93	4.47
全国	4.27	3.53	3.10	3.52

注: 根据对应区域内样本农户的平均值计算得到。

失的影响也多符合理论预期。从生产和收获特征来看,随着单产提高,粮食收获环节损失率显著降低,这与曹芳芳等<sup>[29]</sup>的研究结论一致。收割时间越紧促,收获环节的损失率越高<sup>[19]</sup>;作业态度越精细,收获环节的损失率越低;而收获时期遇到大风、暴雨及其他异常天气都会显著提高损失率;虫害程度越严重,收获环节的损失率也会显著提高。从个人和家庭特征来看,年龄越大,粮食收获环节的损失率越高。这和我们的预期不同,主要原因可能是由于在收获季节,机械手都比较忙,为了赶时间可能倾向于加快收获进度,而年龄大的户主可能出于对粮食的爱惜会倾向于提醒或责怪机手,反而增加了机手的反感或紧张情绪;而随着家庭财富水平(家庭住房价值)的提高,农户节粮意识会减弱,增加了收获环节粮食损失。

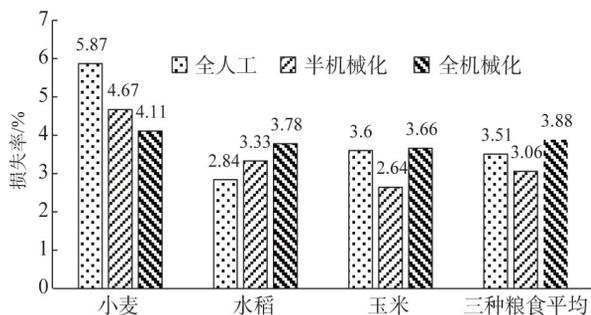
## 2.2 农机服务与粮食收获环节的损失率

在上述研究基础上,针对采用机械收获(全程机械化收获和半机械化收获)的样本农户,考察农机的所有制(即购买农机服务还是自有机械)对粮食收获损失的影响。由于政府在不断推进农机社会化服务,因此这里选择“是否购买农机服务”为重点变量进行分析,与此相对应的是“农户自有农机”,如表5所示,模型(5)~模型(7)分别考察了农机服务对小麦、水稻、玉米收获环节损失率的影响。结果表明,购买农机服务使小麦收获环节的损失率降低。但其对水稻和玉米收获环节损失率的影响不显著。可能的原因是,相较于水稻和玉米,小麦的农机服务组织的专业化水平、装备水平相对较高,减损效果好。此外,从精心角度也可以看出,农机服务相较于“自有农机”,产生的粮食损失并未显著增加。

模型(8)是对三种粮食的回归。结果显示,相对于选择自有农机收获,购买农机服务对粮食收获环节的损失率影响并不显著,说明粮食生产中自有机械和社会化服务机械的使用差异不大,也说明大力发展农机社会化服务不会对粮食收获损失产生负面影响。

## 2.3 稳健性检验

本文从两方面对研究结果进行稳健性检验:一是改变模型形式。由于被解释变量收获环节的损失率存在部分零值,参考Kaminski等<sup>[7]</sup>的方法,采用Tobit模型进行估计。二是替换被解释变量。借鉴Basavaraja等<sup>[9]</sup>的做法,将被解释变量用农户估计的损失量来替代。如表6所示,模型(9)的结果表明,相较于全人工收获,选择全程机械化收获对粮食收获环节的损失率仍为正向影响,且在1%的水平下显著。这与前文保持一致,表明本文的结果比较稳健。



注:根据样本数据计算得出。

图2 不同收获方式的粮食收获环节损失率

Fig. 2 Loss rate of grain harvesting links in different harvesting ways

表3 不同农机服务方式的粮食收获环节损失率

Table 3 Loss rates of grain harvesting links in different agricultural machinery service modes (%)

机械收获方式	小麦	水稻	玉米	三种粮食平均
未采用农机服务	5.28	4.01	3.08	3.74
采用农机服务	4.08	3.52	2.89	3.46

注:根据样本数据计算得出。

表4 机械化程度对粮食收获环节的损失率的影响

Table 4 Effect of mechanization on loss rate of grain harvesting

变量	小麦	水稻	玉米	三种粮食
	模型 (1)	模型 (2)	模型 (3)	模型 (4)
<i>hmeth2</i>	-1.0037	0.4552	-0.5540**	-0.2767
半机械化收获	(-1.2913)	(1.6389)	(-2.2056)	(-1.5199)
<i>hmeth3</i>	-1.2888*	1.1077***	0.4447	0.5031**
全程机械化收获	(-1.6665)	(4.0571)	(1.3770)	(2.5298)
<i>yeild</i>	-0.0099***	-0.0013*	-0.0036***	-0.0041***
单产	(-7.6639)	(-1.7111)	(-6.6445)	(-10.4037)
<i>area</i>	0.0342	-0.0124**	-0.0019	-0.0050
种植规模	(1.3303)	(-2.4943)	(-0.4445)	(-1.5426)
<i>hdays</i>	0.0536	-0.0514**	0.0063	-0.0024
收割时间	(0.8816)	(-2.1517)	(0.3873)	(-0.1813)
<i>labor2</i>	0.2984	-0.1366	0.1625	0.0650
劳动力充裕度:一般	(0.9033)	(-0.7239)	(0.7535)	(0.4744)
<i>labor3</i>	-0.4606	-0.0347	-0.1800	-0.2106
劳动力充裕度:充足	(-1.1482)	(-0.1412)	(-0.6580)	(-1.2101)
<i>caut2</i>	-1.5928***	-1.1190***	-0.2203	-0.8527***
作业态度:一般	(-3.7183)	(-4.0889)	(-0.6777)	(-4.3532)
<i>caut3</i>	-2.1681***	-1.1967***	-0.8721***	-1.3525***
作业态度:认真	(-4.3620)	(-3.8154)	(-2.6372)	(-6.3962)
<i>weather2</i>	-2.6277***	0.3039	1.7308***	0.5039**
大风天气	(-3.5063)	(1.0020)	(4.3964)	(2.0723)
<i>weather3</i>	0.9349	0.5601	2.4956***	1.4495***
暴雨天气	(1.5017)	(1.5537)	(4.5877)	(5.2672)
<i>weather4</i>	8.3214***	0.6196*	0.5322	1.9062***
其他极端天气	(12.2233)	(1.8989)	(1.0520)	(7.0407)
<i>pest2</i>	1.7951***	0.9818***	1.7438***	1.4305***
虫害情况:一般	(5.5903)	(5.0773)	(7.5476)	(10.1192)
<i>hmeth2</i>	2.0898**	5.9080***	4.6158***	4.3627***
虫害情况:严重	(2.2462)	(8.5584)	(7.9868)	(10.7924)
<i>hmeth3</i>	-0.0647	0.5767***	-0.1008	0.0803
性别	(-0.1894)	(2.6825)	(-0.4362)	(0.5375)
<i>serv</i>	-0.0339	0.1425***	0.0048	0.0752*
决策者年龄	(-0.3624)	(2.6094)	(0.0711)	(1.8311)
<i>age<sup>2</sup></i>	0.0006	-0.0012**	0.0000	-0.0005
决策者年龄平方	(0.6836)	(-2.1734)	(0.0361)	(-1.3380)
<i>edu</i>	0.0328	0.0329	0.1077***	0.0786***
受教育程度	(0.6281)	(0.9920)	(2.7617)	(3.2868)
<i>train</i>	0.7667	-0.3900	-0.1700	0.0456
农业培训	(1.6413)	(-1.3794)	(-0.6410)	(0.2525)
<i>tinc</i>	-0.0392*	0.0391***	-0.0249	-0.0090
家庭收入水平	(-1.7834)	(2.6703)	(-1.3192)	(-0.8511)
<i>vhouse</i>	0.0226*	-0.0002	0.0139	0.0151**
家庭住房价值	(1.6734)	(-0.0196)	(1.2700)	(2.4403)
粮食品种	—	—	—	已控制
区域效应	已控制	已控制	已控制	已控制
样本量/个	1160	1680	2189	5029
调整的R <sup>2</sup>	0.2812	0.1328	0.1656	0.1559

注: 括号内为*t*值, \*\*、\*、\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著, 下同。

表5 分品种估计结果  
Table 5 Variety estimation results

变量	小麦	水稻	玉米	三种粮食
	模型 (5)	模型 (6)	模型 (7)	模型 (8)
<i>serv</i>	-0.8234*	0.1292	0.1149	0.0217
农机服务	(-1.8548)	(0.5204)	(0.4893)	(0.1327)
生产和收获特征	已控制	已控制	已控制	已控制
个人和家庭特征	已控制	已控制	已控制	已控制
粮食品种	—	—	—	已控制
优势区域	已控制	已控制	已控制	已控制
调整的R <sup>2</sup>	0.2670	0.1298	0.1963	0.1659
样本量/个	1121	1478	1658	4257

注：模型中均引入了一系列的控制变量，限于篇幅未报告控制变量的具体结果，下同。

### 3 结论与讨论

随着农业机械化的不断推进，粮食收获环节的损失变化是一个需要关注的问题。本文利用全国28省（市、区）3251个农户数据，实证研究了不同收获方式对粮食收获环节损失的影响。结果表明，相较于全人工收获，全程机械化收获增加了粮食收获环节损失，但程度较小（系数为0.50%），与替代劳动力短缺的益处<sup>[32,33]</sup>相比微不足道。购买农机服务减损作用不显著。具体来看，选择全程机械化收获使粮食收获环节的损失率显著增加了0.50%，半机械化收获和农机服务的影响不显著。

分品种来看，机械化程度和农机服务对各品种的影响存在差异。选择全程机械化收获使水稻收获环节的损失率显著增加1.11%，使小麦收获环节的损失率降低1.29%，但对玉米收获环节的损失率没有显著影响，这与高利伟等<sup>[13]</sup>的研究部分一致。虽然水稻和小麦同样在机械化发展中取得了长足的进步，但近年来水稻的脱粒环节损失受到联合收割机风门的影响，损失相对较大，这部分损失导致了水稻全机械化收获的整体损失偏高<sup>[38]</sup>。玉米机械化技术仍在不断完善中，市场上普遍的籽粒收获和机械摘穗方式导致的损失仍然较高<sup>[39]</sup>。在机械收获（全程机械化收获和半机械化收获）中相较于采用自有农机，购买农机服务使小麦收获环节的损失率降低了0.82%，但对水稻和玉米没有显著影响。在进行了一系列稳健性检验后，结果仍保持一致。

2018年全国农作物耕种收综合机械化率超过67%，有300多个示范县率先基本实现全程机械化，水稻机插

表6 稳健性检验结果  
Table 6 Robustness test results

解释变量	改变模型形式：Tobit模型	
	模型 (9)	模型 (10)
<i>hmeth2</i>	-0.2940	
半机械收获	(-1.5403)	
<i>hmeth3</i>	0.5712***	
全程机械化收获	(2.7513)	
<i>serv</i>		0.1051
		(0.6224)
生产和收获特征	已控制	已控制
个人和家庭特征	已控制	已控制
粮食品种	已控制	已控制
优势区域	已控制	已控制
伪R <sup>2</sup> /调整的R <sup>2</sup>	0.0317	0.0346
样本量/个	5029	4257

(播)率超过48%，玉米机收率接近70%。未来随着粮食作物全程机械化的不断推进，农业机械不断升级，智能化程度不断提高，操作者作业态度也会不断改善。从模型结果来看，这些都有助于降低机械收获的损失率。同时，由于购买农机服务和自有农机对粮食损耗没有显著差异，这也反映政府支持农机社会化服务组织发展的政策是科学的，未来需要进一步推进相关工作，从而不断提高农业生产效率，降低收获损失。针对不同品种而言，特提出如下几点建议：

(1) 小麦。由于小麦的全程机械化收获比例已经较高，社会化服务程度也较高，未来减损的主要工作是对于机手的培训和机械质量的提升，同时进一步协调好收获季节的跨区作业，有序推进小麦的机械化收获。对于全人工和半机械收获，主要在一些丘陵区或地块面积很小的区域，需要因地制宜，包括加强节粮爱粮意识等。

(2) 水稻。目前全程机械化收获比例还有进一步提升空间。通过有针对性地提高农机设备精细化水平，加强机手培训，增强操作认真度，并注意天气预报和病虫害防止，将会进一步降低收获环节粮食损耗。

(3) 玉米。目前玉米的全程机械化收获比例较低，主要是半机械化收获，通过人工摘穗，以玉米穗（玉米棒）的方式先进行储藏，再用机械进行脱粒。通过研发与品种相匹配的收割机械和脱粒机械，提高机械的精准度，将低损耗；同时，加强玉米农机社会服务的供给，提高社会服务的比例，可以节约更多劳动力，提高效率。

总体来看，机械化发展对农业生产带来的益处是多方面的，可以替代劳动力、降低劳动强度、提高效率，而且农机服务也能够保证机械收获的质量，粮食收获损失也可以控制在较小范围内。未来机械收获（特别是全程机械化收获）将得到更快发展，而农机收获的社会化服务也将得到进一步推进。

### 参考文献(References):

- [1] 刘立涛, 刘晓洁, 伦飞, 等. 全球气候变化下的中国粮食安全问题研究. 自然资源学报, 2018, 33(6): 927-939. [LIU L T, LIU X J, LUN F, et al. Study on food security in China under global climate change. Journal of Natural Resources, 2018, 33(6): 927-939.]
- [2] 农业部关于加强粮食加工减损工作的通知. 2014. [http://jiuban.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tz/201407/t20140710\\_3964759.htm](http://jiuban.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tz/201407/t20140710_3964759.htm). [Circular of the Ministry of Agriculture on Strengthening the Reduction of Grain Processing, 2004. [http://jiuban.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tz/201407/t20140710\\_3964759.htm](http://jiuban.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tz/201407/t20140710_3964759.htm).]
- [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 post-harvest loss and waste of grain. Grain Science and Technology and Economy, 2015, 40(3): 6-9.]
- [4] 成升魁, 李云云, 刘晓洁, 等. 关于新时代我国粮食安全观的思考. 自然资源学报, 2018, 33(6): 911-926. [CHENG S K, LI Y Y, LIU X J, et al. Reflections on the view of food security in China in the New Era. Journal of Natural Resources, 2018, 33(6): 911-926.]
- [5] AFFOGNON H, MUTUNGI C, SANGINGA P, et al. Unpacking postharvest losses in sub-Saharan Africa: A Meta-Analysis. World Development, 2015, 66: 49-68.
- [6] HODGES R J, BUZBY J C, BENNETT B. Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: Opportunities to improve resource use. The Journal of Agricultural Science, 2011, 149(s1): 37-45.
- [7] KAMINSKI J, CHRISTIAENSEN L. Post-harvest loss in Sub-Saharan Africa: What do farmers say?. Global Food Security, 2014, 3(3-4): 149-158.
- [8] APPIAH F, GUISSÉ R, DARTEY P K A. Post harvest losses of rice from harvesting to milling in Ghana. Journal of Stored Products and Postharvest Research, 2011, 4(2): 64-71.
- [9] BASAVARAJA H, MAHAJANASHETTI S B, UDAGATTI N C. Economic analysis of post-harvest losses in food grains in India: A case study of Karnataka. Agricultural Economics Research Review, 2007, 20(1): 117-126.

- [10] 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. Situation, reasons and countermeasures of post-harvest loss of grain in Jiangsu province. Journal of Nanjing University of Finance and Economics, 1999, (1): 21-27.]
- [11] 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 investigation and analysis of postpartum grain loss in China. China Grain Economy, 1995, (4): 44-47.]
- [12] 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. [HE A H, LIU T S, ZHANG Y H. Postpartum grain loss and its impact on food security in China. China Price, 2013, (6): 79-82.]
- [13] 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. Postpartum loss of grain and its impact on food security in China. Transactions of the CSAE, 2016, 32(23): 1-11.]
- [14] 宋洪远, 张恒春, 李婕, 等. 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. [SONG H Y, ZHANG H C, LI J, et al. Study on post-harvest loss of grain in China: A case study of wheat in Henan province. Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition, 2015, (4): 1-6.]
- [15] KONG S, NANSEKI T, CHOMEI Y. Farmers' perception of loss in post-harvest of rice yield in Cambodia. Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University, 2015, 60(2): 569-576.
- [16] ABASS A B, NDUNGURU G, MAMIRO P, et al. Post-harvest food losses in a maize-based farming system of semi-arid Savannah area of Tanzania. Journal of Stored Products Research, 2014, 57: 49-57.
- [17] MAJUMDER S, BALA B K, ARSHAD F M, et al. Food security through increasing technical efficiency and reducing postharvest losses of rice production systems in Bangladesh. Food Security, 2016, 8(2): 361-374.
- [18] MARTINS A G, GOLDSMITH P, MOURA A. Managerial factors affecting post-harvest loss: The case of Mato Grosso Brazil. International Journal of Agricultural Management, 2014, 3(4): 200-209.
- [19] 王桂民, 易中懿, 陈聪, 等. 收获时期对稻麦轮作水稻机收损失构成的影响. 农业工程学报, 2016, 32(2): 36-42. [WANG G M, YI Z Y, CHEN C, et al. Effects of harvest period on the loss composition of rice machine harvest in rice-wheat rotation system. Transactions of the CSAE, 2016, 32(2): 36-42.]
- [20] 郭燕枝, 陈晓, 郭静利. 我国粮食从“田间到餐桌”全产业链损耗分析及对策. 农业经济, 2014, (1): 23-24. [GUO Y Z, CHEN R, GUO J L. Analysis and countermeasure of grain loss from field to table in China's whole industry chain. Agricultural Economy, 2014, (1): 23-24.]
- [21] GOLDSMITH P D, MARTINS A G, MOURA A D. The economics of post-harvest loss: A case study of the new large soybean-maize producers in tropical Brazil. Food Security, 2015, 7(4): 875-888.
- [22] RATINGER T. Food Losses in the Selected Food Supply Chains. The 140th EAAE Seminar, Perugia, 2013.
- [23] 李植芬, 夏培焜, 汪彰辉, 等. 粮食产后损失的构成分析及防止对策. 浙江农业大学学报, 1991, (4): 52-58. [LI Z F, XIA P K, WANG Z H, et al. Composition analysis and preventive measures of grain postpartum loss. Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences, 1991, (4): 52-58.]
- [24] 张明俊, 张令, 王国臣, 等. 对水稻不同收获方式的调查分析. 现代化农业, 2004, (4): 33-34. [ZHANG M J, ZHANG L, WANG G C, et al. Investigation and analysis on different harvesting ways of rice. Modern Agriculture, 2004, (4): 33-34.]
- [25] 曹芳芳, 朱俊峰, 郭焱, 等. 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, 2018, 32(7): 7-14. [CAO F F, ZHU J F, GUO Y, et al. How high is the loss of wheat harvesting link in China?: Based on the experimental investigation in 4 provinces and 5 places. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 32(7): 7-14.]
- [26] 郭银巧, 柴宗文, 王克如, 等. 玉米收获方式及其效益分析. 农学学报, 2017, 7(12): 8-11. [GUO Y Q, CHAI Z W, WANG K R, et al. Corn harvesting mode and benefit analysis. Journal of Agriculture, 2017, 7(12): 8-11.]
- [27] 冯刚, 孙聪聪. 水稻割晒拾禾分段收获技术. 农村科技, 2014, (4): 10-11. [FENG G, SUN C C. Segmented harvesting technology of rice harvesting, sun-drying and picking up grains. Rural Science & Technology, 2014, (4): 10-11.]
- [28] 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: 基于有序多分类 Logistic 模型. 中国农村观察, 2015, (6): 22-33. [WU H L, HU Q P, ZHU D, et al. Empirical analysis of main influencing factors of rice harvest loss based on ordered multi-classification Logistic model. China Rural Survey, 2015, (6): 22-33.]
- [29] 曹芳芳, 黄东, 朱俊峰, 等. 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, 2018, (2): 75-87. [CAO F F, HUANG D, ZHU J F, et al. Harvest loss of wheat and its main influencing factors: An empirical analysis based on 1135 wheat growers. China Rural Survey, 2018, (2): 75-87.]
- [30] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴2017. 北京: 中国统计出版社, 2017. [Rural Social Economic Investigation Department of National Bureau of Statistics. China Rural Statistical Yearbook 2017. Beijing: China Statistical Publishing House, 2017.]

- [31] FAO. Global food losses and food waste. Rome, 2011.
- [32] 钟甫宁, 陆五一, 徐志刚. 农村劳动力外出务工不利于粮食生产吗?: 对农户要素替代与种植结构调整行为及约束条件的解析. 中国农村经济, 2016, (7): 36-47. [ZHONG F N, LU W Y, XU Z G. Is it unfavorable for grain production for rural laborers to go out to work?: An analysis of factors substitution of farmers and adjustment of planting structure and constraints. Chinese Rural Economy, 2016, (7): 36-47.]
- [33] 郑旭媛, 徐志刚. 资源禀赋约束、要素替代与诱致性技术变迁: 以中国粮食生产的机械化为例. 经济学季刊, 2017, 16(1): 45-66. [ZHENG X Y, XU Z G. Resource endowment constraints, factor substitution and induced technological change: A case study of mechanization of grain production in China. China Economic Quarterly, 2017, 16(1): 45-66.]
- [34] 黄小红, 刘开顺. 减少机械收获谷粒损失的技术措施. 现代农机, 2017, (6): 55-56. [HUANG X H, LIU K S. Technical measures for reducing grain loss in mechanical harvesting. Modern Agricultural Machinery, 2017, (6): 55-56.]
- [35] 洪炜杰, 朱文珏, 胡新艳. 自购农机还是服务外包: 基于新结构经济学的分析视角. 新疆农垦经济, 2017, (2): 13-18. [HONG W J, ZHU W J, HU X Y. Self-purchase of agricultural machinery or service outsourcing: From the perspective of new structural economics. Xinjiang State Farms Economy, 2017, (2): 13-18.]
- [36] MEGAN S, BARRETT C B. Review: Food loss and waste in sub-Saharan Africa. Food Policy, 2017, 70: 1-12.
- [37] 国务院关于促进农业机械化 and 农机工业又好又快发展的意见. 2010. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2010-07/09/content\\_3009.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2010-07/09/content_3009.htm). [Opinions of the State Council on promoting good and rapid development of agricultural mechanization and agricultural machinery industry. 2010. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2010-07/09/content\\_3009.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2010-07/09/content_3009.htm).]
- [38] 黄东, 姚灵, 武拉平, 等. 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, 33(8): 1427-1438. [HUANG D, YAO L, WU L P, et al. How high is the loss of rice harvesting link in China: An experimental investigation based on five provinces and six places. Journal of Natural Resources, 2018, 33(8): 1427-1438.]
- [39] 郭焱, 占鹏, 李轩复, 等. 我国玉米收获损失研究: 基于5省5县的调查. 玉米科学, 2018, 26(5): 130-136. [GUO Y, ZHAN P, LI X F, et al. Study on maize harvest loss in China: Based on the survey of 5 provinces and 5 counties. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(5): 130-136.]

## Effects of different harvesting ways on grain loss: Based on the field survey of 3251 rural households in China

LI Xuan-fu, HUANG Dong, QU Xue, ZHU Jun-feng

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

**Abstract:** Based on the data of 3251 rural households in China, this paper compares the effects of different harvesting ways and social services (purchase of agricultural machinery services) on the loss of harvesting links of wheat, rice and maize. The results showed that compared with manual harvesting, the whole mechanized harvesting generally increased grain losses of the harvesting link, and in terms of varieties, increased rice losses, but it reduced wheat losses, and the semi-mechanized harvesting significantly reduced corn losses. In-depth study found that the purchase of agricultural machinery services can significantly reduce wheat losses in harvesting link. The results of robustness test are consistent. Based on this, this paper believes that, for wheat, we should promote the whole process of mechanization, while for rice and corn, we must develop small-scale and professional agricultural machinery suitable for farmers, so as to advance the mechanization of segments in the short term.

**Keywords:** harvesting ways; agricultural machinery services; grain harvest; loss