

# 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

曹芳芳 黄东 朱俊峰 武拉平

**摘要:** 减少粮食产后损失是节约资源、增加粮食供给的重要手段,但是,已有研究对粮食田间收获环节的损失问题关注不足。对此,本文基于全国 16 个省份 1135 户农户调查数据,利用分位数回归方法研究不同地区小麦收获损失情况及其主要影响因素。结果表明:第一,全国小麦平均收获损失率为 4.715%,但不同省份之间损失率差异较大。其中,陕西、青海和新疆等西部省份的损失率远高于全国平均水平。第二,中国小麦收获损失较高。50.57%的农户小麦收获损失率低于 3%,20.79%的农户损失率在 3%~5%之间,28.64%的农户损失率大于 5%。第三,异常天气、虫害、赶种下茬作物以及过晚收获对小麦收获损失有显著的正向影响,小麦种植面积、品种和机械收获对小麦收获损失有显著的负向影响;另外,农户更精细的收获作业和较高的粮食损失认知水平能够显著降低小麦收获损失。

**关键词:** 小麦收获损失 分位数回归模型 粮食安全

**中图分类号:** F322 **文献标识码:** A

### 一、引言

中国以世界 7.75%的耕地和 5.19%的可再生水资源,养活了 19.16%的人口<sup>①</sup>。多年来,中国粮食经济面临产量增加的约束性和需求增长的刚性。在传统的粮食生产中,为了追求粮食产量,人们大量使用化肥和农药,导致了环境污染、耕地退化和水土流失等一系列问题(倪国华、郑风田,2012)。然而,中国的粮食需求却随着人口的增加、城镇化的发展和居民收入的提高在不断增长。长期来看,中国现有的粮食供给模式将不可持续,粮食供给面临紧平衡趋势(黎东升、曾靖,2015;倪国华、郑风田,2012)。因此,对于中国而言,粮食安全在相当长的时期内仍然是一个十分重要的问题。

一般而言,保障粮食安全主要有两方面的措施:“开源”和“节流”。“开源”即提高粮食产量,

---

\*本文研究受到中央高校基本科研业务费专项资金项目(项目编号:2012QT025)、国家自然科学基金项目“粮食市场化改革以来农户粮食经营行为对粮食市场的影响研究”(项目编号:71273262)、2015年度粮食行业公益性科研专项“粮食产后损失浪费调查及评估技术研究——粮食收获环节损失浪费调查评估研究”(项目编号:201513004-2)的资助。

<sup>①</sup>资料来源:FAO 土地和水资源数据库, <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>。

增加粮食进口；“节流”即减少粮食的产后损失和浪费。然而，受资源和环境的约束，中国粮食进一步增产的难度越来越大，因而在抓好生产的同时，应特别强调“节流”。但是，近些年来，随着人民生活水平的不断提高，全社会对粮食的损失和浪费有所忽视。2016年中科院的一项报告指出，中国人餐桌上一年浪费的粮食可以养活2亿人。中国三大主粮（水稻、玉米、小麦）的平均产后损失率高达7.9%，远高于发达国家和世界3%~5%的平均水平（高利伟等，2016）。胡越等（2013）的研究显示，2009年，中国食物浪费量达到1.2亿吨，占国内食物产量的8.5%，相当于浪费了2.76亿亩播种面积、458.9万吨化肥和316.1亿立方米农业用水。可以看出，粮食产后损失和浪费进一步加剧了中国水土资源紧张和环境污染的状况。因此，减少粮食产后损失和浪费不仅可以增加粮食供给，还可以节约耕地和水资源，是保障中国粮食安全的一种重要的“绿色”手段（高利伟等，2015；Kummu et al., 2012）。

从整个粮食产业链来看，粮食产后损失和浪费来源于收获、干燥、储藏、运输、加工、销售和消费等环节（赵霞等，2015）。田间收获是粮食产后系统的首个环节，控制该环节上的损失对减少粮食产后损失和浪费意义重大。然而，有关粮食损失和浪费及减损措施的研究主要集中在消费环节，对田间收获环节损失的关注严重不足（吴林海等，2015）。在收获环节，广大农民对粮食的珍惜程度也没有过去那么强烈，其爱粮节粮意识逐渐淡漠。本文研究调查发现，只有33.19%的农户进行粮食收获后的田间捡拾。因此，对粮食田间收获损失及其成因进行研究，具有重要的现实意义。

为了掌握中国目前粮食产后损失的程度及其主要影响因素，2016年，本文研究团队与农业部农村固定观察点办公室合作，对中国28个省份4170个农户八大类粮油作物（包括小麦、水稻、玉米、大豆等）的产后损失情况进行了调查。基于以上调查，本文选择小麦田间收获损失进行重点研究。小麦是中国重要的口粮作物，其产量在粮食总产量中占有较大比例，2006~2014年一直保持在20%左右<sup>①</sup>。因此，本文以小麦为例，利用调查获得的16个省份1135户农户小麦收获损失的一手数据，定量分析中国小麦收获损失的程度及其主要影响因素。

本文结构安排如下：第一部分为引言，第二部分为文献综述与概念界定，第三部分是理论模型与研究设计，第四部分是变量选取与描述性统计，第五部分为回归结果与分析，第六部分是结论与启示。

## 二、文献综述与概念界定

粮食产后损失和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（FAO, 2014; Parfitt et al., 2011）。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（Gustavsson et al., 2011）。在日常生活中，通常把粮食消费环节的损失称为粮食浪费（或食物浪费），主要指餐桌上的浪费（王禹等，2016; Parfitt et al., 2011; Liu et al., 2013）。也有研究指出，浪费属于道德范畴，并不属于经济和技术范畴（宋洪远等，2015）。根据以上定义，本文研究的是小麦田间收获损失。当前中国小

<sup>①</sup>根据《中国统计年鉴》（2007~2015年，历年，国家统计局编，中国统计出版社出版）数据计算获得。

麦机收率已达到 95%<sup>①</sup>，以联合收获方式为主，基本是收割、脱粒和清粮一次性完成，无法细分各环节损失。因此，本文界定小麦收获损失为：从收获开始至收获结束过程中的损失，包括收割、脱粒、清粮和田间运输 4 个环节中的自然掉落损失、机械损失、收获遗漏损失等。粮食损失通常用损失率来衡量，即损失量与产量之比（Bellemare et al., 2017）。本文在分析时也同样采用损失率这一指标。

由于不同学者界定的小麦收获损失范围不同，因此，所估算的损失率从 1.6% 到 10% 不等，差异较大。廖少廉（1990）认为，中国小麦产后的总损失率约为 10%。吴春山（1994）研究发现，1992 年，浙江小麦收割、脱粒和晾晒环节的加总损失率为 3.5%。詹玉荣（1995）根据 1995 年全国 22 省 1400 份农户调查数据估计出小麦收获环节的综合损失率为 6.82%。曹宝明、姜德波（1999）研究表明，江苏省 1989~1991 年粮食收获和脱粒环节的损失率为 4%。高利伟等（2016）利用 FAO 物质流分析方法估算的小麦收获、干燥、储藏等多个环节的加总损失率为 7.8%。值得一提的是，宋洪远等（2015）测算出河南省小麦问卷调查的收割损失率为 2.1%，田间试验的收割损失率为 1.6%~6.5%。

相关研究还进一步分析了小麦收获损失的主要影响因素，包括天气、气候等自然条件，收获时机、收获方式及技术水平、节粮意识等因素，还包括一些社会经济因素。

多数研究都表明，天气和气候等自然因素会影响小麦收获损失。异常天气的发生提高了小麦收获损失（曹宝明、姜德波，1999）。尤其在南方小麦种植地区，收获时期的梅雨天气加重了小麦收获损失（郭燕枝等，2014）。Basavaraja et al.（2007）研究认为，反常天气的持续加大了印度小麦收获损失。对巴西小麦产后损失的研究也表明了异常天气的负面影响（Martins et al., 2014）。Kiaya（2014）在反饥饿组织会议上讲到：小麦收获期的异常天气不仅会造成直接损失，而且会加大人工或机械操作的难度，导致间接损失。在当前气候恶化的背景下，频繁出现的极端气候也会增加小麦收获损失（黄佳琦、聂凤英，2016；Hodges and Maritime, 2012）。

收获期间的田间管理也是影响收获损失的重要原因。田间试验表明，小麦含水率处于 25% 左右是最佳收割时机（宋洪远等，2015）。过早收获会导致小麦减产，而过晚收获则会造成自然脱粒增加，导致损失（Parfitt et al., 2011；FAO, 2014；Kiaya, 2014）。此外，收获方式、作业态度和人手富裕度也会对损失产生显著影响。詹玉荣（1995）研究指出，机械收割的损失率比手工收割要高 2 个百分点；并且，收割机手的作业水平和设备质量直接关系到小麦收获损失，熟练的机手和质量好的收获机械均能有效降低损失。吴春山（1994）认为，收获作业粗放是中国三大主粮产后损失的主要原因，操作的精细程度直接影响损失。而在粮食收获期间，人手不足会加大收获损失（吴林海等，2015）。

还有学者认为，一些社会经济因素也是影响小麦收获环节损失的重要原因。Bala et al.（2010）认为，经济技术条件不仅影响收割效率，还影响先进收获技术的采用。例如，农户由于没有参加技术培训，收获作业的操作水平不高，也无法使用先进设备和技术，导致收获损失较大。Ratinger（2014）指出，人力资本和物质资本、农场规模、风险态度、劳动力的可获得性、信贷约束、土地和其他财产的

<sup>①</sup>根据《中国农业机械工业年鉴 2015》（中国机械工业年鉴编辑委员会、中国农业机械工业协会编，机械工业出版社出版，2015 年）和《中国统计年鉴 2015》（国家统计局编，中国统计出版社出版，2015 年）数据计算得到。

产权状况和制度等因素都会影响粮食产后损失。Hodges et al. (2011) 认为, 农民较低的受教育水平、落后的基础设施以及缺乏信贷和技术支持等因素, 是欠发达国家小麦收获损失的共同原因。

通过对现有研究的梳理, 关于小麦收获损失的研究可以在以下三个方面拓展: ①时效性。已有测算小麦收获损失的研究主要完成于 20 世纪 90 年代, 时间较为久远, 对现有农业技术条件下小麦损失率的估算研究比较缺乏。②全面性。由于中国幅员辽阔, 小麦生产条件南北差异较大, 而前人的研究主要涉及局部地区, 代表性不足。③对影响因素的实证检验。对小麦收获损失的影响因素进行计量检验的研究较少。鉴于以上不足, 本文将做如下改进: 第一, 本文研究利用全国 16 个省份 1135 户农户小麦收获损失的一手调查数据, 全面考察中国不同地区当前的小麦收获损失程度。第二, 利用分位数回归方法, 实证分析新的生产和收获技术条件下小麦收获损失的主要影响因素。

### 三、理论模型与研究设计

#### (一) 小麦收获损失的理论模型

在实际生产和生活中, 损失 (loss) 存在于各个领域。针对损失问题, 很多学科都提出了相应的理论或模型。在激光物理学中有激光的往返损失 (round-trip loss), 在经济学中有纯经济损失 (pure economic loss)。在数学优化、统计学、计量经济学和决策学等学科中, 损失函数是将一个或多个变量的事件或值映射到一个真实的数字上, 一般利用最小化或最大化的目标函数求出估计量, 例如成本最小化函数或效用最大化函数等 (Wald, 1950)。对于统计数据, 典型的损失函数用于估计最优值与观察值之间的差异程度; 而对于事件, 则是估算数据实例的估计值和真实值之间的差, 经济学中通常指经济成本或损失 (Berger, 1985)。损失函数有多种形式, 由不同学科的特点所决定。在经济学背景下, 其函数形式一般可以表达为:

$$R(X, \theta) = E_{X \in \Theta} [L(X, \theta)] = \int_{X \in \Theta} L(X; \theta) dF(X) \quad (1)$$

(1) 式中,  $R(X, \theta)$  表示目标函数;  $E$  为数学期望符号;  $L$  为损失函数;  $X$  是实数集  $\Theta$  的一个子集, 即解释变量;  $\theta$  表示分布参数;  $F(X)$  为  $X$  的分布函数。根据上述损失函数的相关理论, 假设小麦收获损失分布函数是线性的, 则:

$$L_i = F(X_i, \mu_i) = X_i' \beta + \mu_i \quad (2)$$

(2) 式中,  $L_i$  表示种植户  $i$  的小麦收获损失,  $X_i$  为小麦实际收获损失的影响因素向量,  $\mu_i$  为随机扰动项,  $F$  为  $X_i$  的概率分布函数。

如果采用普通最小二乘法 (OLS), 只能估计各因素对损失率平均值的影响, 而无法全面观察各因素对不同分布下收获损失的影响。与 OLS 回归相比, “分位数回归”方法 (quantile regression) 能够描述解释变量对不同分位数上被解释变量的影响, 并不要求误差项为正态分布。分位数回归结果不易受极端值的影响, 因而更加稳健 (Koenker and Bassett, 1978)。因此, 本文选择分位数回归方法分析小麦收获损失的影响因素。分位数回归的基本思想为: 对于不同的权重  $\tau$ , 使用残差绝对值的加权总和

作为目标函数, 通过求解最小化目标函数得到相应的参数估计量, 因此, 能够更全面地描述不同条件期望  $E(Y|X)$  的分布 (Koenker and Bassett, 1978)。在此基础上, 由 (2) 式可以得到:

$$Y = F(y) = \text{Prob}(Y < y) \quad (3)$$

(3) 式中,  $Y$  为小麦收获损失,  $F(y)$  为小麦收获损失的概率分布函数。则:

$$Q(\tau) = \inf \{y: F(y) \geq \tau\} \quad (4)$$

(4) 式中,  $Q(\tau)$  为  $Y$  的  $\tau$  ( $0 < \tau < 1$ ) 分位数,  $Q(\tau)$  满足  $F(y) \geq \tau$  的最小  $y$  值。由 (2) 式可知, 小麦收获损失的条件均值函数  $E(Y|X)$  是线性的, 也即  $E(L_i) = E(F(X_i, \mu_i))$  是线性的, 则小麦收获损失函数的期望值为:

$$E(Y_i | X_i = x) = E(L_i) = E(F(X_i, \mu_i)) = X_i' \beta \quad (5)$$

(5) 式中,  $X_i$  为小麦收获损失的解释变量向量,  $\beta$  为回归系数向量。当对分位点  $\tau$  的样本数据回归时, 根据分位数回归的思想, 其目标是使  $\tau$  分位点函数的加权残差绝对值之和最小, 即:

$$\min \left\{ \sum_{Y_i \geq X_i' \beta} \tau |Y_i - X_i' \beta| + \sum_{Y_i < X_i' \beta} (1-\tau) |Y_i - X_i' \beta| \right\} \quad (6)$$

对 (6) 式求解得到参数估计值:

$$\hat{\beta}_\tau = \arg \min \left\{ \sum_{Y_i \geq X_i' \beta} \tau |Y_i - X_i' \beta| + \sum_{Y_i < X_i' \beta} (1-\tau) |Y_i - X_i' \beta| \right\} \quad (7)$$

(7) 式中,  $\hat{\beta}_\tau$  为被估计参数, 其数值的大小表示  $\tau$  分位点上影响因素对小麦收获损失的影响程度。当  $\tau$  取  $0 \sim 1$  之间不同值时, 模型可以刻画相应条件分布下  $Y_i$  的分布轨迹。因此, 利用分位数回归方法可以全面探究不同损失程度下各因素对小麦收获环节损失的影响。

## (二) 调查设计与数据来源

根据农业部农村固定观察点调查系统全国小麦种植分布数据, 本文研究团队于 2016 年 5~7 月份, 对天津、河北、山西、内蒙古、江苏、安徽、山东、河南、湖北、四川、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆共 16 个省 (区、市) 进行了 2015 年小麦收获环节损失情况专项调查。由表 1 可知, 本次调查涵盖黄淮海地区、长江中下游地区、西南地区、西北地区和东北地区五大小麦优势种植区, 包括了全国绝大部分麦种植区域。调查省份 2015 年小麦产量之和占全国小麦总产量的比重达到了 98.37%<sup>①</sup>, 足以保证数据的地区代表性。本次调查共发放 1200 份问卷, 回收 1164 份; 进入模型的有效样本 1135 个, 样本有效率为 97.51%。

<sup>①</sup>数据来源: 国家统计局, 2015: 《中国统计年鉴 2015》, 中国统计出版社。

表1 小麦优势区划分及样本省份

小麦优势区	包含省份	样本省份
黄淮海地区	河北、山东、北京、天津全部，河南中北部，江苏和安徽北部，山西中南部，陕西关中地区，336个重点县	河北、天津、山西、山东、河南、江苏、安徽、陕西
长江中下游地区	江苏、安徽两省淮河以南，湖北北部，河南南部，73个重点县	江苏、安徽、湖北、河南
西南地区	四川、重庆、云南、贵州等省（市），59个重点县	四川、云南
西北地区	甘肃、宁夏、青海、新疆全部，陕西北部，内蒙古河套土默川地区，74个重点县	甘肃、青海、宁夏、新疆、陕西和内蒙古
东北地区	黑龙江、吉林、辽宁全部，内蒙古东部，16个重点县	内蒙古

注：①本表根据农业部《全国优势农产品区域布局规划（2008~2015年）》整理获得；②不同于小麦种植优势区的划分，上述调查代表地区是以省份划分的，因此，有些省份有重复的地方。

### （三）样本分析

表2为各省份小麦平均收获损失率和有效样本量。其中，各省份平均损失率通过计算该地区调查样本损失率的算术平均值获得。由表2可知：第一，不同省份平均小麦收获损失率差异较大。例如，云南和宁夏的损失率不到2%，而青海和新疆的损失率大于10%。第二，各个地区的样本数量基本遵循小麦种植分布。例如，河南、山东、安徽等小麦种植面积比较大的地区，样本量比较大；而宁夏、青海和内蒙古等小麦种植面积比较少的地区，样本量也比较少。

本文按照损失率的高低将其分为4个区间：3%以下为较低损失率区间，3%~5%为中等损失率区间，5%~10%为较高损失率区间，而10%以上为高损失率区间。根据表2可知：云南、宁夏、天津和安徽处于较低损失率区间；山东、山西、河北、江苏、内蒙古和河南处在中等损失率区间；湖北、四川、甘肃和陕西处于较高损失率区间；新疆和青海处于高损失率区间。可以发现，西北地区小麦收获损失率比东部和中部地区高得多，可能有两点原因：一是西部地区社会经济条件比较落后，先进小麦收获机械的采用比较滞后；二是与中东部地区以平原为主的地形不同，西部地区地形复杂，丘陵和梯田较多，不利于收获作业失。另外，统计结果表明，50.57%的样本农户小麦收获损失率低于3%，20.79%的农户处于3%~5%之间，17.44%的农户处于5%~10%之间，而11.20%的农户大于10%。而全部样本的平均损失率为4.715%，这意味着中国仅小麦收获环节的损失率就超过了世界粮食产后所有环节3%~5%（高利伟等，2016）的损失水平，小麦收获损失比较严重。

表2 各省份小麦平均收获损失率和有效样本量分布

省份	平均损失率（%）	样本量（个）	省份	平均损失率（%）	样本量（个）
云南	1.040	24	内蒙古	3.994	15
宁夏	1.543	7	河南	4.650	258
天津	2.034	19	湖北	5.292	75
安徽	2.755	96	四川	5.430	54
山东	3.016	127	甘肃	5.773	44
山西	3.075	24	陕西	8.196	116

(续表 2)

河北	3.229	96	青海	11.645	18
江苏	3.736	134	新疆	13.593	28

#### 四、变量设定与描述性统计

本文选取“小麦收获损失率”作为被解释变量，即亩损失量/(亩损失量+亩产量)。对于解释变量，根据已有研究和本次调查实践，本文设置农户特征、收获特征和损失认知三类变量，作为小麦收获环节损失的影响因素。同时，设置了省份虚拟变量控制了不同地区的影响。

第一，农户特征变量。主要包括户主性别、年龄、受教育程度和家庭年纯收入。性别、年龄和受教育程度直接影响农户小麦田间收获的管理和安排，从而影响小麦收获损失。家庭年纯收入则可反映其机械服务费的支付能力或收获机械的购买能力等，从而影响到收获损失，预期其影响方向为正。

第二，小麦收获特征变量。①种植规模。小麦种植面积会直接影响收获期间的损失，预期影响方向不确定。②品种。小麦品种的抗倒伏及其他抗逆性特征会直接影响小麦收获损失。一般而言，大宗粮食作物亩产比较高。因此，本文利用小麦亩产来粗略表示品种的优良程度，预期其影响方向为负。③是否赶种下茬作物。如果农户在小麦收获期急着赶种下一季作物，可能会导致损失增加。因此，预期其影响方向为正。④天气。收获期间的异常天气会增加小麦收获损失，所以，预期影响方向为正。⑤虫害。收获期间虫害程度越严重，小麦收获损失越大。所以，预期其影响方向为正。⑥收获成熟度。以小麦成熟时收获为对照组，小麦未成熟时收获和小麦过熟时收获均可能会加大小麦收获损失。所以，预期其影响方向为正。⑦收获方式。农户采用手工收割、分段收割或机械联合收割等不同收获方式，其损失程度也可能不一样。因此，以手工收割为对照组，分段收获和机械联合收割的预期影响方向为负。⑧作业精细程度。收获作业的精细程度也会影响收获损失。作业越精细，损失越低。所以，该变量的预期影响方向为负。

第三，粮食损失认知变量。该变量主要用以考察农户粮食损失认知水平对小麦收获损失的影响。如果农户认为当前本地区小麦收获损失过高，就可能会采取减损措施；相反，如果觉得损失较低或损失一般，就可能不会采取减损措施。这可能间接影响小麦收获损失，因此，预期其影响方向为负。

表 3 为变量的具体含义、赋值及描述性统计结果。从户主特征来看，男性户主占 95.9%，户主平均年龄为 57.104 岁，平均受教育年限为 7.332 年。另外，农户小麦平均播种面积为 4.523 亩。这与当前中国农业劳动力“老龄化”“低人力资本”和“小规模种植”的特征相一致。

表 3 模型变量名称、含义及描述性统计

变量分类	变量名称	变量含义及赋值	均值	标准差	预期方向
被解释变量	收获损失率	小麦亩损失量/(亩损失量+亩产量)(%)	4.715	6.332	—
户主特征	性别	户主的性别。女性=0；男性=1	0.959	0.197	?
	年龄	户主年龄(年)	57.104	10.287	?
	受教育年限	户主受教育年限(年)	7.332	2.451	-

小麦收获损失及其主要影响因素

	家庭收入	家庭年纯收入(万元)的对数	10.781	0.742	+
	种植规模	家庭小麦播种面积(亩)	4.523	5.237	?
	品种	小麦亩产(公斤/亩)	454.308	168.602	-
	赶种	是否赶种下茬作物? 是=1; 否=0	0.811	0.391	+
收获特征	天气	天气是否异常? 异常=1; 正常=0	0.097	0.296	+
	收获成熟度	成熟=1; 未完全成熟=2; 过熟=3	2.012	0.281	+
	虫害程度	虫害很少或没有=1; 虫害一般=2; 虫害严重=3	1.235	0.468	+
	收获方式	手工收割=1; 分段收割=2; 联合收割=3	2.720	0.628	-
	收获精细程度	粗糙=1; 一般=2; 精细=3	2.109	0.556	-
粮食损失认知	收获损失认知	现有的粮食收获损失多吗? 少=1; 一般=2; 多=3	1.759	0.592	-

注: ①“预期方向”中,“-”表示负向,“+”表示正向,“?”表示不确定; ②“异常天气”指的是大风、下雨、冰雹或者下雪等天气;“分段收割”指的是手工收割和机械收割混合的模式。③以“收获成熟度1”即“成熟”为对照组,设置“不完全成熟时收获”为“收割成熟度2”。同理,设置下面几个“虚拟变量”。

## 五、模型估计结果与讨论

### (一) 模型估计结果

表4为OLS回归和分位数回归的结果。为了对比,第2列为稳健标准误条件下的OLS回归结果,第3~第7列分别为0.10、0.25、0.50、0.75、0.90分位点上的分位数回归结果。在分位数回归中选择上述几个分位点,可以观察相关因素对不同分位点上损失率的影响程度,从而更准确地分析不同因素的影响及作用点。回归中本文利用省份虚拟变量控制了不同地区的影响,因变量较多,故其结果未在表4中列出。农户特征、收获特征和粮食损失认知三类变量的影响具体见表4。

表4 小麦收获环节损失率的影响因素回归结果

变量	OLS回归	分位数回归				
		0.10	0.25	0.50	0.75	0.90
性别	1.867** (0.879)	0.106 (0.346)	0.360 (0.387)	0.859 (0.541)	1.028 (1.018)	2.576 (1.867)
年龄	0.005 (0.018)	-0.004 (0.007)	0.001 (0.008)	0.008 (0.011)	0.008 (0.021)	0.006 (0.038)
受教育年限	0.016 (0.074)	0.020 (0.029)	0.029 (0.033)	0.041 (0.046)	0.006 (0.086)	0.007 (0.158)
家庭收入	0.001 (0.252)	-0.017 (0.099)	-0.179 (0.111)	-0.129 (0.155)	-0.241 (0.292)	-0.554 (0.536)
种植规模	-0.018 (0.037)	-0.033** (0.015)	-0.027 (0.016)	-0.024 (0.023)	-0.026 (0.043)	-0.029 (0.079)
品种	-0.006***	-0.001***	-0.002***	-0.001	-0.003**	-0.006**

小麦收获损失及其主要影响因素

	(0.001)	(0.000)	(0.001)	(0.001)	(0.001)	(0.003)
赶种	-0.510	0.396	0.549**	0.625	-0.102	-0.566
	(0.630)	(0.248)	(0.278)	(0.388)	(0.730)	(1.340)
天气	2.891***	0.228	0.431	0.463	1.848**	8.014***
	(0.635)	(0.250)	(0.279)	(0.391)	(0.735)	(1.349)
收获成熟度2	-1.162	0.268	0.102	0.088	-0.244	0.067
	(1.011)	(0.398)	(0.445)	(0.622)	(1.171)	(2.148)
收获成熟度3	1.908	0.181	0.830	1.155	6.940***	4.258
	(1.278)	(0.503)	(0.563)	(0.787)	(1.480)	(2.716)
虫害程度2	1.984***	0.162	0.647***	1.428***	2.456***	2.661***
	(0.459)	(0.180)	(0.202)	(0.283)	(0.531)	(0.975)
虫害程度3	2.128	-0.565	1.498**	1.636**	3.034**	2.784
	(1.331)	(0.524)	(0.586)	(0.820)	(1.542)	(2.829)
收获方式2	-0.489	-0.317	-1.228***	-1.733***	0.316	1.211
	(0.972)	(0.382)	(0.428)	(0.599)	(1.126)	(2.066)
收获方式3	-0.828	-0.351	-1.116***	-1.451***	-0.067	0.777
	(0.814)	(0.320)	(0.358)	(0.501)	(0.943)	(1.730)
收获精细程度2	0.285	-0.510**	-0.617**	-0.619*	-0.819	-0.171
	(0.602)	(0.237)	(0.265)	(0.371)	(0.698)	(1.280)
收获精细程度3	-0.030	-0.781***	-0.972***	-0.863*	-0.741	-0.268
	(0.747)	(0.294)	(0.329)	(0.460)	(0.865)	(1.588)
收获损失认知2	1.335*	1.085***	1.018***	1.723***	1.726**	0.237
	(0.731)	(0.287)	(0.322)	(0.450)	(0.846)	(1.553)
收获损失认知3	-0.672	-0.072	-0.079	0.005	-0.307	-2.479*
	(0.630)	(0.248)	(0.277)	(0.388)	(0.730)	(1.339)
常数项	5.947	1.503	4.101**	2.549	5.697	13.473*
	(3.813)	(1.500)	(1.679)	(2.348)	(4.416)	(8.102)
省级虚拟变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
R <sup>2</sup>	0.195	—	—	—	—	—
Pseudo R <sup>2</sup>	—	0.117	0.148	0.171	0.236	0.283
样本量	1135	1135	1135	1135	1135	1135

注：①\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5%和 10%的统计水平上显著，括号内数字为（稳健）标准误；② OLS 回归的 F 值为 9.317。

## （二）结果讨论

根据表 4，可以发现，多元线性回归与分位数回归模型的拟合程度都比较良好，但两者的回归结果相差较大。这可能是因为 OLS 回归结果显示了不同因素的平均影响，忽视了其不同条件下的真实影响，导致相关因素在不同回归中的影响存在差异。OLS 回归结果显示，“性别”的显著性水平为 0.05，“天气”、“品种”和“虫害程度一般”在 1%的统计水平上显著，“收获损失认知一般”在 10%的统计

水平上显著。其中，“品种”的估计系数符号为负，其他因素的估计系数符号均为正。这表明，小麦品种越优良，收获损失越低。而“户主性别为男性”“天气异常”“虫害程度一般”“收获损失认知一般”对小麦收获损失有显著的正向影响，且“收获损失认知一般”的影响方向与预期不一致。以上是不同因素对小麦收获平均损失率的影响。为了考察在不同损失率分布上各影响因素的作用，以下从农户特征、收获特征和粮食损失认知三个方面来分析分位数回归结果。

1.农户特征的影响。在0.10分位点上，“种植规模”在5%的统计水平上显著，估计系数符号为负。这表明农户小麦种植规模对其小麦收获损失存在显著的负向影响。可能的原因是，小麦播种面积越大，地块面积越大，越有利于提高收获效率，从而降低了收获损失。

2.收获特征的影响。第一，品种。在0.10和0.25低分位点上，“品种”在1%的统计水平上显著；在0.75和0.90高分位点上，“品种”在5%的统计水平上显著，而且估计系数符号均为负，与预期方向相符。这表明，小麦品种越优良，其收获损失率越低。这与前文的猜测一致，即亩产高的小麦优良品种能够从源头上降低损失。并且本文观察到，分位点越高，“品种”的估计系数绝对值越大。这意味着小麦收获损失率越高，优良品种降低小麦收获损失的作用就越明显。

第二，赶种。在0.25分位点上，“赶种”在5%的统计水平上显著，估计系数符号为正，与预期方向相符，表明赶种下茬作物会导致小麦收获损失的增加。可能的原因是，农户为赶时间加快了收获速度，收获操作比较粗糙，从而增加了损失。

第三，收获成熟度。以“小麦成熟时收获”为参照组，在0.75分位点上，小麦“过熟时收获”在1%的统计水平上显著，系数为负，符合预期。可能的原因是，小麦未成熟收获时掉落的麦粒较少，损失主要来源于产量的减少，而通常这些不可见的损失不会被农户计入收获损失的范围，所以，过早收获的影响不显著。而在过熟时收获，麦粒及麦穗掉落较多，这些可见的损失会被农户计算到损失中，因而其影响就较为显著。这意味着，适时收获能够降低收获损失，而过晚收获会加大损失。这与宋洪远等（2015）和 Parfitt et al.（2011）的研究结果一致。

第四，天气和虫害程度。在0.75和0.90分位点上，“天气”分别在5%和1%的统计水平上显著，并且估计系数符号为正。这表明，小麦收获期出现异常天气会加大收获损失。以“虫害很少或没有”为对照组，在0.25、0.50、0.75和0.90分位点上，“虫害一般”均在1%的统计水平上显著；在0.25、0.50、0.75分位点上，“虫害严重”在5%的统计水平上显著。两者的估计系数符号均为正，与预期相符，并且后者的估计系数绝对值大于前者。这表明，收获期间的虫害越严重，小麦收获损失越大。

第五，收获方式和收获精细程度。从收获方式来看，相对于“手工收割”，在0.25和0.50分位点上，“分段收割”和“联合收割”均在1%的统计水平上显著，估计系数符号为负，与预期相符。这说明，分段收割和机械联合收割能够显著降低小麦收获损失。而这与20世纪90年代詹玉荣（1995）的研究结果相反，其原因可能是小麦收获机械技术的进步降低了收获损失。从收获作业精细程度来看，相对于“收获精细程度粗糙”而言，“收获精细程度一般”和“收获精细程度精细”在0.10、0.25、0.50分位点上有显著的负向影响，符合预期，并且后者的回归系数绝对值大于前者。这表明，收获者作业越精细，越能够降低小麦收获损失。这与吴林海等（2015）的研究结论一致。

3.粮食损失认知的影响。以认为粮食“收获损失少”为参照组,在0.10、0.25、0.50和0.75分位点上,认为粮食“收获损失一般”的影响为正,与预期不符;在0.90分位点上,认为粮食“收获损失严重”的影响为负,与预期相符。这可能是因为与认为“收获损失较少或者一般”的农户相比,认为“收获损失多”的农户减损的意识更强,更有动机去采取减少小麦收获环节损失的措施。

## 六、结论和启示

本文基于全国16个省份1135户农户小麦收获损失的调查数据,利用分位数回归方法考察了不同因素对小麦收获损失的影响。研究发现:第一,全国小麦平均收获损失率为4.715%,但不同省份之间差异较大。相对于全国平均水平而言,西部省份小麦收获损失率偏高,新疆和青海超过了10%。第二,中国小麦收获损失较高。调查显示,50.57%的农户小麦损失率低于3%,20.79%的农户损失率在3%~5%之间,28.64%的农户损失率超过了5%。这意味着中国仅小麦收获环节的损失率就超过了世界粮食产后所有环节3%~5%的加总损失率。第三,实证分析结果表明,收获期间的异常天气、虫害程度、赶种下茬作物以及过晚收获都对小麦收获损失有显著的正向影响;小麦播种面积和品种、机械化收获方式、农户精细的收获作业以及农户较高的粮食损失认知水平对小麦收获损失有显著的负向作用。

根据实证分析结果,本文就如何减少小麦收获损失提出了以下思路:第一,农户应选取性状优良的小麦品种,这是减少收获损失的重要前期工作。尤其是一些具有抗旱或抗倒伏等优良性状的小麦品种,不仅产量高,而且可以减少因天气或气候异常造成的损失。第二,农户要注意小麦收获期间的管理安排。要重点关注收获期间的天气和虫害情况,准确把握小麦收获的最佳时期,尽早预防,及时收获,避免不必要的损失。如果存在轮作的情况,需要安排好小麦收获时间和下茬作物的播种时间,以免因赶种造成额外损失。第三,积极推广机械化收获,加强对收割机手的培训。根据研究不难发现,机械收获有利于减少小麦收获损失。中国目前小麦机收率已经较高。因此,对于机械化收获,一方面,农机部门要合理安排收获期间的机械收获作业,保证机械化收割服务的可获得性;另一方面,需要加强对收割机手的培训,提高其作业水平。第四,要提高农户的节粮减损意识。加强农户的节粮减损意识不仅能够直接降低小麦田间的收获损失,而且能够减少收获后干燥、储藏和消费等环节的损失。因此,政府需要加大对“节粮爱粮”意识的宣传,提高广大农民的节粮减损意识。

### 参考文献

- 1.曹宝明、姜德波,1999:《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》第1期。
- 2.高利伟、成升魁、曹晓昌、张丹、刘晓洁、秦奇、刘尧、王灵恩,2015:《食物损失和浪费研究综述及展望》,《自然资源学报》第3期。
- 3.高利伟、许世卫、李哲敏、成升魁、喻闻、张永恩、李灯华、王禹、吴晨,2016:《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》第23期。
- 4.郭燕枝、陈晓、郭静利,2014:《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》第1期。
- 5.胡越、周应恒、韩一军、徐锐钊,2013:《减少食物浪费的资源及经济效应分析》,《中国人口·资源与环境》第

12 期。

- 6.黄佳琦、聂凤英, 2016:《食物损失与浪费研究综述》,《中国食物与营养》第 10 期。
- 7.黎东升、曾靖, 2015:《经济新常态下我国粮食安全面临的挑战》,《农业经济问题》第 5 期。
- 8.廖少廉, 1990:《发展中国家粮食作物的产后损失》,《世界农业》第 5 期。
- 9.倪国华、郑风田, 2012:《粮食安全背景下的生态安全与食品安全》,《中国农村观察》第 4 期。
- 10.宋洪远、张恒春、李婕、武志刚, 2015:《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)》第 4 期。
- 11.王禹、许世卫、李哲敏、喻闻、高利伟, 2016:《关于食物浪费、食物损耗与食物损失的界定研究》,《中国食物与营养》第 12 期。
- 12.吴春山, 1994:《粮食浪费现象不能忽视》,《民主与科学》第 4 期。
- 13.吴林海、胡其鹏、朱淀、王建华, 2015:《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》第 6 期。
- 14.詹玉荣, 1995:《全国粮食产后损失抽样调查及分析》,《中国粮食经济》第 4 期。
- 15.赵霞、曹宝明、赵莲莲, 2015:《粮食产后损失浪费评价指标体系研究》,《粮食科技与经济》第 3 期。
- 16.Bala, B. K., M. A. Haque, and Md. Hossain, 2010, “Post Harvest Loss and Technical Efficiency of Rice, Wheat and Maize Production System: Assessment and Measures for Strengthening Food Security”, Bangladesh Agricultural University Working Paper CF#6/08, <http://www.sciepub.com/reference/35841>.
- 17.Basavaraja, H., S. B. Mahajanashetti, and N. C. Udagatti, 2007, “Economic Analysis of Post-harvest Losses in Food Grains in India: A Case Study of Karnataka”, *Agricultural Economics Research Review*, 20(1): 117-126.
- 18.Berger, J. O., 1985, *Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis (2nd ed.)*, New York: Springer.
- 19.Bellemare, M. F., M. Cakir, H. H. Peterson, L. Novak, and J. Rudi, 2017, “On the Measurement of Food Waste”, *American Journal of Agricultural Economics*, 99(5): 1148-1158.
- 20.Gustavsson, J., C. Cederberg, U. Sonesson, R. Van Ottenrdijk, and A. Meybeck, 2011, “Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention”, The Swedish Institute for Food and Biotechnology Working Paper, <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2013001423>.
- 21.FAO, 2014, “Food Losses and Waste in the Context of Sustainable Food Systems”, The High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition Working Paper 8, <http://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe/>.
- 22.Hodges, R. J., and C. Maritime, 2012, “Postharvest Weight Losses of Cereal Grains in Sub-Saharan Africa”, APHLIS Working Paper, <https://www.aphlis.net>.
- 23.Hodges, R. J., J. C. Buzby, and B. Bennett, 2011, “Postharvest Losses and Waste in Developed and Less Developed Countries: Opportunities to Improve Resource Use”, *Journal of Agricultural Science*, 149(S1): 37-45.
- 24.Kiaya, V., 2014, “Post-harvest Losses and Strategies to Reduce Them”, Action Contre la Faim Conference Paper, <http://www.actionagainsthunger.org>.
- 25.Koenker, R., and G. Bassett, 1978, “Regression Quantiles”, *Econometrica*, 46(1): 33-50.

26.Kummu, M., H. De Moel, M. Porkka, S. Siebert, O. Varis, and P. J. Ward, 2012, “Lost Food, Wasted Resources: Global Food Supply Chain Losses and Their Impacts on Fresh Water, Cropland, and Fertiliser Use”, *Science of the Total Environment*, 438(2012): 477-489.

27.Liu, J., J. Lundqvist, J. Weinberg, and J. Gustafsson, 2013, “Food Losses and Waste in China and Their Implication for Water and Land”, *Environmental Science & Technology*, 47(18): 10137-10151.

28.Martins, A. G, P. Goldsmith, and A. Moura, 2014, “Managerial Factors Affecting Post-harvest Loss: The Case of Mato Grosso Brazil”, *International Journal of Agricultural Management*, 3(4): 200-209.

29.Parfitt, J., M. Barthel, and S. Macnaughton, 2010, “Food Waste within Food Supply Chains: Quantification and Potential for Change to 2050”, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 365(1554): 3065-3081.

30.Ratnger, T., 2014, “Food Losses in the Selected Food Supply Chains”, European Association of Agricultural Economists Conference Paper, <http://purl.umh.edu/163345>.

31.Wald, A., 1950, *Statistical Decision Functions*, Hoboken: Wiley.

(作者单位: 中国农业大学经济管理学院)

(责任编辑: 高 鸣)

## **The Wheat Harvest Loss and its Main Determinants in China: An Empirical Analysis Based on Survey Data from 1135 Households**

Cao Fangfang Huang Dong Zhu Junfeng Wu Laping

**Abstract:** Reducing harvest loss of grain is an important method to save resources and increase food supply. Based on survey data from 1135 households in 16 provinces of China, this article analyzes the wheat harvest loss and its main determinants, using a quantile regression model. The results show, first of all, that the average rate of wheat harvest loss nationwide is 4.715%, differing significantly among provinces. In particular, the loss rate of western regions such as Shaanxi, Qinghai and Xinjiang provinces appears much higher than the average. Secondly, the wheat harvest loss for Chinese farmers is high, given that the wheat harvest loss for only 50.57% of households is at a rate lower than 3%, the loss for 20.79% of households being at a rate between 3% and 5%, and the loss for 28.64% of them being at a rate more than 5%. Thirdly, the results indicate that abnormal weather, insect infestation, crop rotation and later harvest have significant positive impacts on wheat harvest loss, while factors such as wheat sown area, yield and machine usage have significant negative effects on wheat harvest loss. Moreover, farmers' more careful attitude and higher awareness of avoiding the loss could significantly reduce wheat harvest loss.

**Key Words:** Wheat Harvest Loss; Quantile Regression Model; Food Security