

引用格式: 罗屹, 苗海民, 黄东, 等. 农户仓类设施采纳及其对玉米储存数量和损失的影响[J]. 资源科学, 2020, 42(9): 1777-1787. [Luo Y, Miao H M, Huang D, et al. Household decisions on adoption of advanced storage facilities and impacts on maize storage volume and losses in China[J]. Resources Science, 2020, 42(9): 1777-1787.] DOI: 10.18402/resci.2020.09.12

# 农户仓类设施采纳及其对玉米储存数量和损失的影响

罗屹, 苗海民, 黄东, 武拉平, 朱俊峰

(中国农业大学经济管理学院, 北京 100083)

**摘要:**近年来,粮食增产难度提升,减少粮食损失成为保障国家粮食安全的重要内容。中国政府通过实施科学储粮工程,鼓励农户采用更为先进的设施储粮,改善储粮设施和储藏条件,减少损失。本文基于中国23省(区、市)1202户农户调查数据,使用倾向性得分匹配法评估仓类设施采纳对农户玉米储存规模、储存时间、储存损失和鼠害程度的影响。结果表明:①采用仓类设施显著提升农户玉米储存数量,使农户平均玉米储存规模达4655.30 kg,比没有采用的农户高1188.77~1368.55 kg,并延长农户玉米储存时间0.2个季度;②采用仓类设施显著减轻玉米储存过程中的鼠害,使玉米储存损失数量降低60%,减少的损失使农民平均节约玉米28~33 kg,玉米储存损失率由2.75%下降到0.87%。因此,国家应继续实施科学储粮工程,鼓励更多的农户采用科学储粮设施,降低储粮损失。

**关键词:**农户储粮;储粮设施;粮食损失;倾向性得分匹配;粮食安全;中国

DOI: 10.18402/resci.2020.09.12

## 1 引言

中国人口众多,但耕地资源相对稀缺,人均耕地面积不足世界平均水平的一半。因此,如何利用有限的耕地资源保障国家粮食安全始终是政府施策的焦点<sup>[1]</sup>。习近平总书记多次强调:“粮食安全是国家安全的重要基础,任何时候都不能放松,中国人要把饭碗端在自己手上。”随着城镇化加速推进、食品消费结构不断升级,中国对粮食需求刚性增长的趋势不可逆<sup>[2]</sup>。但是,受资源束缚,在农业科技没有取得突破的情况下,中国粮食增产难度较大<sup>[3]</sup>。在此情形下,中国粮食安全将面临巨大挑战<sup>[4]</sup>。据预测,如果未来粮食综合生产能力维持在目前规划设计的5.5亿t,2030年中国粮食供需缺口将达到7800万~8500万t,缺口率为12.5%~13.3%<sup>[5]</sup>。

一般而言,增加粮食有效供给主要有两条途径:一是增产,即依赖投入增加、技术提升等,提高

粮食产量;二是减损,即采取各种手段减少粮食生产、流通、消费等环节的损失和浪费。近年来,随着粮食增产难度的提升,越来越多的学者将减少粮食损失作为保障国家粮食安全的一项重要内容<sup>[3]</sup>。另外,减少损失不仅能直接增加粮食供给数量,还能节约资源<sup>[6]</sup>。

粮食产后系统分为收获、干燥、农户储粮、储藏、运输、加工、销售和消费等环节<sup>[7]</sup>。其中,农户储粮是核心环节。特别是在中国,农户大多通过自产自储方式保障家庭粮食需求,农户家庭层面储粮数量较大,农户储备依然是中国粮食储备体系的重要一环。根据国家粮食局公布的数据显示,中国农户家庭粮食储量占当年中国粮食总产量的50%左右。相关研究也证实中国农户储粮数量占当年产量的比重为40%~50%<sup>[8]</sup>。然而,中国大多数小农户缺乏先进的储粮设施和科学的储粮技术,储粮损失

收稿日期:2019-10-28 修订日期:2020-08-29

基金项目:2015年度粮食行业公益性科研专项(201513004-2);国家自然科学基金项目(71973137)。

作者简介:罗屹,男,江西宜春人,博士研究生,研究方向为粮食经济。E-mail: luoyi@cau.edu.cn

通讯作者:武拉平,男,山西文水人,教授,博士,博士生导师,研究方向为粮食经济。E-mail: wulp@cau.edu.cn

较大。研究表明,传统的储粮设施容易使谷物遭受鼠害、虫害,并且为虫鼠等动物的繁衍以及有害微生物的扩散提供良好环境,从而导致严重的储粮损失<sup>[9]</sup>。“十一五”期间,中国农户储粮损失率约为8%,相当于每年损失粮食2000万t,浪费411万hm<sup>2</sup>土地<sup>[10]</sup>。

为了解决农户储粮设施落后的问题,中国政府实施农户科学储粮工程,通过政府补贴,鼓励农户采用科学的储粮装具,如金属仓等,改善农户储粮条件,减少农户储粮损失。但是,截至目前,国内鲜见关于先进储粮装具的效果评估研究,大多数只是描述性分析或比较分析;并且,大多数研究都是基于小样本的案例调查,结果能否从局部推广至全国层面有待商榷。同时,也缺乏通过建立计量经济学模型评估科学储粮设施效果的实证研究。因此,本文基于全国范围的农户调研数据,使用倾向得分匹配法(PSM)评估科学储粮设施对农户玉米储存数量和储存损失的影响。既丰富了现有研究,也为政府政策优化提供实证支持,对更好地保障国家粮食安全具有重要的现实意义。

## 2 相关概念和文献综述

粮食产后损失是指粮食产后系统各环节可测量粮食的减少,包括数量、质量和经济损失<sup>[11-14]</sup>。本文研究的储粮损失是粮食产后损失的一部分,是指在粮食储存环节由于霉变、虫害或鼠害等原因造成的数量损失。

由于储粮环节的重要性,许多学者对储粮损失进行了估计。国外研究多集中于经济落后、粮食供给不足的发展中国家(地区),如非洲、南亚。据估计,非洲玉米整个产后环节损失为14%~36%,其中农户储存损失为4%~10%<sup>[15]</sup>。Rembold等<sup>[16]</sup>根据以往的调查数据和研究成果,认为2007年非洲东部和南部的玉米储存数量损失为17.5%,价值达9.2亿美元。Bala<sup>[17]</sup>通过对孟加拉国944个农户进行调查,得出农户层面的玉米储存损失为2.5%。Kimenju等<sup>[18]</sup>采用计数称重法(Count and Weigh Method)测量出肯尼亚农户玉米储存6个月后的平均损失率为7.05%。国内关于储粮损失的研究大部分出现在20世纪末,近年来又出现少量成果。詹玉荣<sup>[19]</sup>采用问卷调查法,利用574县1400个调查样本估计农户玉米储存损失率为2.97%。曹宝明等<sup>[20]</sup>利用江苏省3县342户农户的问卷调研结果,发现1993—1994年

江苏省农村粮食产后环节中损失率最高的是储藏环节,损失率达8.5%。宋洪远等<sup>[21]</sup>利用农村固定观察点数据估计河南省农户小麦储存损失率(扣除水分损失)约为0.3%。高利伟等<sup>[10]</sup>利用联合国粮农组织(FAO)的物质流分析法得出2010年中国玉米储藏环节损失为4.5%。可见,虽然研究人员进行了大量工作,但由于估计方法、研究对象和调查地点不同,估计结果相差较大。

许多研究人员不仅关注储粮损失水平,也关注造成储粮损失的因素。通常,可将造成储粮损失的因素分为两类:一是害虫、鼠类等生物因素;二是温度、湿度等非生物因素<sup>[21]</sup>。Abass等<sup>[22]</sup>对坦桑尼亚部分地区的玉米产后损失进行调查,发现虫害是造成当地储粮损失最主要因素。另外,Boxall<sup>[23]</sup>的调查发现,虫害不仅造成了储粮数量损失,也使得粮食销售价格降低5%~10%,造成农户经济损失。除害虫外,真菌污染也是造成储粮损失的一个重要因素,被真菌污染的粮食不仅不能被人类食用也不适合做饲料<sup>[24]</sup>。并且,部分真菌污染导致的质量损失难以通过肉眼观测,此种粮食若被人食用,危害极大<sup>[25]</sup>。例如,2004—2005年,非洲部分国家爆发大规模黄曲霉毒素中毒事件,中毒千余人,死亡125人。

针对上述原因,研究人员也提出了一些切实可行的措施。蔡静平等<sup>[26]</sup>进行小麦储存实验发现,利用新型储粮技术可使损失低于1%。Kaminski等<sup>[27]</sup>利用农户调研数据发现,改进储存技术显著降低非洲部分地区的储粮损失。Ngamo等<sup>[28]</sup>的研究表明,非洲部分农户利用杀虫剂能够使储粮时间延长到48个月而不出现重大损失。除上述措施外,目前大部分研究集中于改进储存设施。Murdock等<sup>[29]</sup>研究发现,如果将谷物保存在3层密封袋中不仅能减少虫害造成的储粮损失,也能降低黄曲霉毒素含量;并且,密封袋价格低廉,适合小农使用。Gitonga等<sup>[11]</sup>利用肯尼亚农户数据评估金属筒仓的减损效果,发现金属筒仓几乎完全避免了虫害损失,平均每户减少储粮损失150~200 kg。

综上所述,已有研究成果较多关注储存损失数量估计和减损方法探讨,但缺乏减损措施实际效果的评估。研究仍能从以下几个方面进行拓展,第一,时效性。目前关于储粮损失的研究主要集中于

2020年9月

国外落后国家,国内相关研究大多完成于20世纪末,对近期农业技术水平下的粮食损失研究比较缺乏。第二,从研究方法上看,国内外学者对减损效果的评估大多为描述性统计分析,采用定量工具进行的研究较少。对此,本文在现有文献的基础上,利用23省(区)1202户调研数据,采用倾向性得分匹配法(PSM)评估科学储粮设施对玉米储存环节的影响。

### 3 调查设计与样本分析

#### 3.1 调查设计

目前,中国农户玉米储存设施主要包括仓类、框袋、柜罐及其他4类。从现有研究来看,金属仓、砖混仓和金属网仓等仓类设施储存效果较好,储粮损失率较低<sup>[30]</sup>。因此,结合中国实际情况,本文定义科学储存设备即为金属仓等仓类设施。本文选取的作物是玉米。玉米是中国重要的粮食作物,产量连续多年位居各粮食作物首位,2018年播种面积42129千hm<sup>2</sup>,产量25733万t,占粮食总产量的39.11%。

2016年,本文研究团队与农业农村部全国农村固定观察点办公室合作,对北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、安徽、山东、河南、湖北、湖南、广西、云南、贵州、四川、重庆、陕西、甘肃、宁夏、新疆共23省(区、市)的玉米储存损失情况进行调查。本次调查覆盖了中国三大玉米优势区(北方春玉米优势区、黄淮海夏玉米优势区、西南玉米优势区),涵盖中国绝大部分玉米种植省份,被调查地区2015年玉米产量占全国玉米总产量的84.15%,在空间分布上具有良好的代表性。在进行调研时,根据中国玉米种植分布将调研区域划分为北方玉米优势区、黄淮海玉米优势区、西南玉米优

势区和南方丘陵区4类。随后,根据区域玉米产量占中国玉米总产量的比重设置调研权重,比重高的区域调研权重高,即调研地点和调研问卷数量更多。最后,根据调研权重确定各区域的调研问卷数量,并在区域内随机选择调研地点和农户进行调研。此次调研收集样本1202份,其中利用仓类设施进行玉米储存的农户415户(表1)。

在调研过程中,由农户家庭决策者(Decision Maker)对其家庭一年的玉米储存量、储存时间、鼠害情况和储存损失进行估计,并提供家庭用于储存玉米的设施信息。需要说明的是,由于采用问卷调查法获取数据,可能存在误差,但在大样本情况下是随机的,能够比较准确地反映真实的情况;并且,粮食产后各环节涉及到的工序纷繁复杂,实地测量的成本过高,而农户的务农经验丰富,能够从实操层面提供相对准确的反馈,其汇报结果具备可信度<sup>[27]</sup>。调研的其他指标包括决策者的性别、年龄、受教育年限和宗教信仰情况等决策者特征;家庭特征包括家庭人口数、家庭年收入和家庭存款情况等指标;生产经营指标包括是否参与农技培训、耕地总面积、玉米种植面积和玉米产量等信息;其他指标包括交通(距最近城镇的距离)和节约意识等。

#### 3.2 样本分析

##### 3.2.1 家庭经济特征

表2为仓类设施采用者和非采用者的家庭经济特征。可见,大多数家庭决策者或户主都为男性,采用者和非采用者的平均受教育年限均在7年左右(采用者:7.12年,非采用者:7.03年)。相较于非采用者,采用仓类设施的农户平均年龄更大(采用者:54.70岁,非采用者:53.42岁)。另外,尽管绝大多数农户都没有宗教信仰,但是非采用者比采用者的宗

表1 调研地理分布及设施采用情况

Table 1 Sample distribution and the types of adopted facilities

玉米种植区域		调研省份	仓类设施/户	其他设施/户
玉米优势区	北方玉米优势区	黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、新疆、甘肃、宁夏	148	309
	黄淮海玉米优势区	北京、天津、河北、河南、山东、山西、陕西、江苏、安徽	126	343
	西南玉米优势区	四川、重庆、云南、贵州	92	102
其他地区	南方丘陵区	广西、湖南、湖北	49	33
合计			415	787

注:区域划分依据为《全国优势农产品区域布局规划(2008—2015)》<sup>[31]</sup>。

表2 先进储粮设施采用者和非采用者的家庭经济特征

Table 2 Household characteristics of adopters and non-adopters of advanced storage facilities

特征指标	变量	变量赋值	非采用者(N=787)		采用者(N=415)		t-test
			均值	标准差	均值	标准差	均值差异
决策者/户主特征	性别	男=1;女=2	1.18	0.38	1.15	0.36	0.03
	年龄	决策者/户主年龄/年	53.42	10.93	54.70	11.12	-1.29*
	教育年限	决策者/户主受教育年限/年	7.12	2.63	7.03	2.49	0.09
	宗教信仰	是否信教。是=1;否=2	1.95	0.21	1.99	0.08	-0.04***
家庭经济特征	家庭人口数	家庭人口总数/人	3.73	1.69	3.86	1.53	-0.13
	家庭收入水平	家庭年收入(元)的对数	10.66	0.78	10.83	0.63	-0.17***
	家庭存款情况	家庭是否有存款。是=1;否=0	0.46	0.50	0.52	0.50	-0.06*
生产经营特征	农技培训	是否参与农技培训。是=1;否=2	1.90	0.30	1.94	0.28	-0.04**
	土地面积	耕地总面积/亩	12.03	17.83	15.40	22.60	-3.37***
	玉米种植面积	玉米种植面积/亩	8.46	13.30	11.92	18.71	-3.45***
	玉米产量	玉米产量/kg	4889.33	8997.67	6774.55	11596.31	-1885.22***
其他指标	距城镇远近	距最近城镇距离/km	5.98	5.83	4.96	4.89	1.02***
	节约意识	是否参与减损实验。是=1;否=2	1.62	0.49	1.60	0.49	0.02

注:\* $p<0.1$ ,\*\* $p<0.05$ ,\*\*\* $p<0.01$ ,下同。

教信仰情况更为普遍(非采用者:1.95,采用者:1.99)。

在家庭特征方面,非采用者和采用者家庭人口数差异不大,非采用者家庭人口3.73人,采用者家庭人口为3.86人。但是,与非采用者相比,采用者的收入水平略高(采用者:10.83,非采用者:10.66),存款情况更为普遍(采用者:0.52,非采用者:0.46)。

从生产经营特征来看,非采用者比采用者接受农业技术培训的情况更为普遍。从其他指标看,采用先进储粮设施的农户比非采用者有着更多的耕地(采用者:15.40亩,非采用者:12.03亩),玉米种植面积更大(采用者:11.92亩,非采用者:8.46亩),玉米产量也更高(采用者:6774.55 kg,非采用者:4889.33 kg)。

此外,在节约意识指标上,非采用者与采用者

较为一致。另外,采用者比非采用者距离城镇更近(采用者:4.96 km,非采用者:5.98 km)。采用者和非采用者之间可观察到的特征均值差异可能会影响农户采用仓类设施,这表明存在潜在的偏差,需要进行匹配和选择性偏差测试。当然,是否采用和农户所在的区域特征也可能有关系,包括传统、气候等,在具体估计时,我们对区域进行了控制。

### 3.2.2 玉米储存行为与损失

表3为农户玉米储存行为与损失的结果。和预期一致,非采用者和采用者的玉米储存行为和损失结果存在很大差异。仓类设施采用者比非采用者的玉米储存数量多1062.15 kg(采用者:4655.30 kg,非采用者:3593.15 kg)、储存时长多0.35季度(采用者:2.02季度,非采用者:1.67季度),也就是一个月左右;采用者与非采用者遭受鼠害的严重程度也不

表3 农户玉米储存行为与损失

Table 3 Household maize storage behavior and losses

变量	变量赋值	非采用者(N=787)		采用者(N=415)		t-test
		均值	标准差	均值	标准差	均值差异
玉米储存规模	玉米储存数量/kg	3593.15	198.31	4655.30	413.31	1062.15***
玉米储存时长	储存时间/季度	1.67	1.44	2.02	1.47	-0.35***
鼠害严重程度	无=1;轻=2;中=3;严重=4	2.27	0.86	1.84	0.88	0.44***
玉米储存损失	玉米储存损失/kg	53.02	151.34	20.05	36.37	32.97***
储存损失率	loss=损失/储存规模/%	2.26	3.78	0.87	1.17	1.39***

2020年9月

同,采用者在玉米储存过程中受到鼠害袭扰的程度比非采用者更轻(采用者:1.84,非采用者:2.27);从损失数量上看,仓类设施的确能降低玉米储存过程中的损失,采用者比非采用者的玉米储存损失更小(采用者:20.05 kg,非采用者:53.02 kg)。同时,采用者比非采用者的损失率低1.39个百分点(采用者:0.87%,非采用者:2.26%)。

## 4 理论框架与研究方法

### 4.1 农户先进储存设备采用模型

根据效用最大化理论,农户决定是否采用先进的储存设备取决于预期从中获得的效用。如果采用设备的预期效用( $U_a$ )大于不采用设备的预期效用( $U_n$ ),即: $U_a > U_n$ ,此时,农户将会采用先进设备<sup>[32]</sup>。

随机效用模型假定农户使用先进储存设备得到的效用 $U_a$ 是由可观测的特征集 $Z_i$ 和未被观测的随机误差项 $e$ 组成,即:

$$T_i = \beta Z_i + e \quad (1)$$

式中: $T_i$ 是二元指示变量,如果农户 $i$ 采用先进储存设备,则取值为1,否则为0; $\beta$ 是要待估参数; $Z_i$ 是解释变量向量; $e$ 是误差项。由于存在误差项,导致没有足够的信息来预测个人的选择,但可以基于可观察到的家庭特征等信息使用二元或多元选择模型估计农户采用先进储存技术的概率,即:

$$Pr(T_i = 1) = pr(T_i > 0) = 1 - F(-\beta Z_i) \quad (2)$$

式中: $F$ 是误差项 $e$ 的累积分布函数,假定其满足正态分布或logistic分布。根据经济理论和以往的研究,可能影响农户采用仓类设施的因素包括决策者(户主)特征、家庭经济特征和生产经营指标等。进入模型的决策者(户主)特征包括年龄、性别、受教育年限和宗教信仰状况。家庭经济特征包括家庭规模、家庭年收入及存款情况。生产经营指标包括是否接受农技培训、家庭耕地面积、玉米种植面积和玉米产量。其他因素包括距城镇的距离和农户节约意识。

### 4.2 政策影响评估与选择性偏误

在政策影响评估中的挑战是产生反事实(Counterfactual)的同时解决选择性偏误。因为采用者和非采用者之间的特征,包括可观测和不可观测的特征,可能存在系统性差异,如果直接比较采用者和非采用者之间的差异可能会产生错误。同时,

使用虚拟变量作为控制变量的回归模型无法解决因农户之间的特征差异造成的选择性偏误<sup>[33]</sup>。

研究人员提出了多种方法解决该问题,其中一种是随机分配法,即使用随机化的方法,如投硬币,将参与者分配到不同组别中,这确保了每个参与者有平等的机会被安置在任何组中<sup>[34]</sup>,但是该方法不适用于事后研究。当然,使用具有家庭固定效应的面板数据进行估计是另一种选择<sup>[35]</sup>,但是在此次研究中,获取农户的面板数据难度较大。另外,赫克曼矫正法(Heckman Correction,又称两步法)和工具变量法(IV)也是解决选择性偏误的方法<sup>[36,37]</sup>。但是,这些方法加强了分布和方程形式假设,这对许多实证研究来说是一个挑战<sup>[38]</sup>。在非实验框架中处理选择性偏误的另一种计量经济学方法是倾向性得分匹配法(PSM),它没有对分布状态和方程形式作出假设,也没有要求协变量的外生性,因此运用广泛<sup>[39]</sup>。

### 4.3 倾向性得分匹配法(PSM)

倾向性得分匹配法通过将每个实验组中农户与一个或多个具有类似可观察特征的控制组农户进行匹配来消除样本选择性偏误。本质上,匹配模型是模拟采用者和非采用者被随机分配的实验条件,从而识别技术采纳和结果之间的因果关系<sup>[40]</sup>。

本文使用倾向性得分匹配法评估仓类设施对农户玉米储存行为和储存损失的影响,其效应估计分为以下几个阶段进行。首先,使用logit模型,即方程(2)估计农户使用仓类设施的条件概率并计算倾向得分;而后,使用3种不同的匹配法(最近邻匹配、核匹配和半径匹配)对采用和不采用仓类设施的农户进行匹配。最近邻匹配基于倾向得分的差异大小,在控制组中找到与实验组农户倾向得分差异最小的农户作为比较对象。核匹配是构造一个虚拟对象来匹配实验组,构造的原则是对现有的控制变量作权重平均,得分更接近的人赋予的权重更大。半径匹配是事先设定半径范围,将实验组中倾向得分与控制组倾向得分的差异在半径范围内的样本进行匹配<sup>[41]</sup>。最后,检查匹配效果并计算平均处理效应(ATT)。

倾向性得分匹配的主要目的是使观察到的协变量分布保持一致,匹配后实验组和控制组之间的协变量分布应该没有系统差异<sup>[42]</sup>。因此,可以使用

多种协变量平衡测试来检验匹配结果<sup>[43]</sup>。在本文中,我们使用双样本 $t$ 检验检查匹配后实验组和控制组中观察到的特征平均值是否存在显著差异。另外,可以通过比较准 $R^2$  (pseudo  $R^2$ )和似然比检验的 $p$ 值检验匹配效果。同时,使用倾向得分图来检查是否满足共同支撑条件。此外,Rosenbaum等<sup>[43]</sup>建议使用采用者和非采用者的平均绝对标准误(MASB)检验平衡性,如果标准化差异超过20%就意味着匹配失败。

本文在估计仓类设施对农户玉米储存和储存损失的影响时,主要考虑以下几个方面:玉米储存数量、玉米储存损失、储存损失水平、玉米储存时长和鼠害情况。假设采用仓类设施将扩大农户玉米储存规模、减少玉米储存损失并减轻鼠害,同时延长农户储粮时间。

## 5 结果与分析

### 5.1 影响农户采用先进储粮设施的因素

在倾向性得分匹配的第一步,使用logit模型估计农户采用仓类设施的影响因素。结果显示(表4),家庭决策者性别和农户家庭距离城镇距离与农户是否采用仓类设施显著负相关,家庭决策者年龄、宗教信仰、家庭收入水平、农技培训和玉米种植面积与农户是否采用仓类设施显著正相关。其中,家庭决策者(户主)是男性的家庭更有可能采用仓类设施,可能的原因是农村的男性比女性社会关系网络更广、获取信息的能力更强,且更为理性,更了解并愿意购买先进技术。家庭决策者(户主)年龄更大也更有可能采用仓类设施,相比于年龄较小的农户,大龄农户经历过贫穷、艰苦的年代,更具有爱粮、惜粮和节粮观念。另外,没有宗教信仰的家庭决策者(户主)更有可能采用仓类设施。

从家庭经济特征指标看,收入水平高的家庭更有可能采用仓类设施,收入水平高则可支配的财富相对更多,能够承担购买仓类设施的开支,因此更有可能采用仓类设施。从生产经营指标看,没有农技培训经历的农户更可能采用仓类设施,可能的原因是,农技培训中包含了控制储粮损失的内容,农户对于自己的技术水平和管理能力更为自信,因此购买仓类设施的意愿相对较低。玉米种植面积大的农户更可能采用仓类设施,玉米种植面积大,玉

表4 农户先进储粮设施采用logit模型估计结果

特征指标	变量	系数	标准差
决策者/户主特征	性别	-0.32*	0.18
	年龄	0.02***	0.01
	教育年限	0.00	0.03
	宗教信仰	1.89***	0.30
家庭经济特征	家庭人口数	-0.04	0.61
	家庭收入水平	0.30***	0.11
	家庭存款情况	0.18	0.13
生产经营特征	农技培训	0.85***	0.26
	土地面积	-0.01	0.01
	玉米种植面积	0.04***	0.01
	玉米产量	-0.00	0.00
其他指标	距城镇远近	-0.02**	0.01
	节约意识	0.16	0.18
	cons	-8.80***	1.86
	地区虚拟变量	已控制	
	样本量	1202	
	LR $\chi^2(17)$	136.32	
	Prob> $\chi^2$	0.00	
	Pseudo $R^2$	0.09	
	Log likelihood	-706.49	

米储存数量可能更多,因此为了避免虫害、鼠害等爆发造成重大损失,农户更可能购买仓类设施。

从其他指标看,距离城镇近的农户更可能采用仓类设施,可能的原因是距离城镇更近,农户接触到的信息更多,农户更加了解仓类设施的优点;并且距离城镇近,仓类设施的安装和售后保障等工作更为便利,因此农户更有意愿采用仓类设施。

### 5.2 倾向性得分匹配结果及相关检验

倾向得分匹配的第二步,对采用者和非采用者使用3种不同的匹配方法进行匹配,并检验匹配过程是否能够使实验组和控制组中相关协变量分布一致。平衡性检验(pstest)显示匹配后偏误显著减少;并且,匹配后,实验组和控制组各变量均值之间不存在显著差异(表5)。

匹配过程降低了logit模型的准 $R^2$ (匹配前:0.087,匹配后分别为0.007,0.003和0.004)。似然比检验的 $p$ 值在匹配后不显著,表明匹配后采用者和非采用者之间的协变量分布没有系统性差异。平均偏差和中位偏差在匹配后均低于要求的20%,甚至低于5%,表明这次匹配是成功的(表6)。

表5 匹配平衡检验结果

Table 5 Tests for selection bias after matching

特征指标	变量	变量赋值	实验组 (N=415)	控制组 (N=786)	标准偏误 /%	误差消减 /%	t-test (p值)
决策者/户主特征	性别	男=1;女=2	1.15	1.15	-1.10	84.20	0.87
	年龄	决策者/户主年龄/年	54.70	54.83	-1.20	90.00	0.86
	教育年限	决策者/户主受教育年限/年	7.03	7.10	-2.40	29.5	0.73
	宗教信仰	是否信教。是=1;否=2	1.99	1.99	1.30	94.60	0.73
家庭经济特征	家庭人口数	家庭人口总数/人	3.86	3.92	-3.80	50.40	0.59
	家庭收入水平	家庭年收入/元,取对数	10.83	10.86	-3.80	83.60	0.56
	家庭存款情况	家庭是否有存款。是=1;否=0	0.52	0.53	-1.80	83.70	0.79
生产经营特征	农技培训	是否参与农技培训。是=1;否=2	1.94	1.94	-1.20	91.80	0.85
	土地面积	耕地总面积/亩	15.40	13.87	7.50	54.70	0.31
	玉米种植面积	玉米种植面积/亩	11.92	10.43	9.20	56.90	0.23
	玉米产量	玉米产量/kg	6774.60	5660.80	10.70	40.90	0.15
其他指标	距城镇远近	距最近城镇距离/km	4.96	4.84	2.30	87.70	0.70
	节约意识	是否参与减损实验。是=1;否=2	1.86	1.86	-0.20	97.60	0.97

注:在倾向得分匹配过程中,缺乏合适匹配对象的农户被剔除。

表6 匹配统计检验

Table 6 Statistical tests to evaluate the matching

匹配方法	Pseudo-R <sup>2</sup>	LR统计量	P值	Mean Bias	Median Bias
匹配前	0.087	134.74	0.000	15.4	14.4
近邻匹配	0.007	8.30	0.939	5.0	4.0
半径匹配	0.003	4.01	0.999	3.0	1.6
核匹配	0.004	4.12	0.999	3.2	2.1

另外,为了保证匹配质量,需要进一步观察对照组与实验组的共同支撑区域(图1)。共同支撑域的检验结果表明,实验组与对照组样本的倾向得分区间具有大范围的重叠,尤其是在[0.1, 0.8]的范围

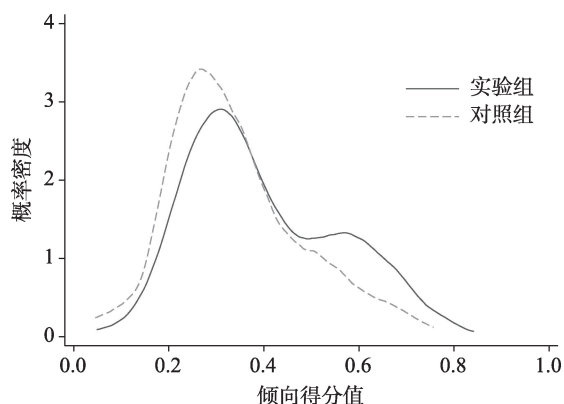


图1 倾向得分的共同取值范围

Figure 1 Distribution of the propensity scores and common support for propensity score estimation for advanced storage facility adopters and non-adopters

内重叠明显,所以本文共同支撑域条件较好。并且,绝大多数观测值均在共同取值范围内,在匹配过程中仅损失少量样本。

为了评估仓类设施的影响,匹配后,计算平均处理效应(ATT)(表7)。结果表明,3种匹配方法的结果相对一致,采用仓类设施显著增加了农户玉米储存规模、延长了玉米储存时间,减少了农户玉米储存损失、降低玉米储存损失率并减轻了鼠类危害。

首先,采用仓类设施的农户平均玉米储存规模达4655.30 kg,比没有采用仓类设施的农户高1188.77~1368.55 kg。同时,从储粮时间看,采用仓类设施的农户平均玉米储存时间长达半年(2.02季度),而不采用的农户玉米储存时间在1.83~1.87季度。这表明,使用仓类设施增强了农户的储粮能力、延长了农户的存粮时间,提升了农户对抗潜在风险的能力,更好地发挥了农户家庭储备作为国家粮食储备体系“蓄水池”和“稳定器”的作用。

表7 采用先进储粮设施的影响

Table 7 Impact of advanced storage facility adoption on storage losses

结果变量	匹配方法	实验组	控制组	平均处理效应(ATT)	标准差	t-stat
玉米储存规模/kg	近邻匹配	4655.30	3286.75	1368.55	536.83	2.55
	半径匹配	4655.30	3466.53	1188.77	493.17	2.41
	核匹配	4655.30	3455.64	1199.66	494.88	2.42
玉米储存时长/季度	近邻匹配	2.02	1.87	0.15	0.11	1.28
	半径匹配	2.02	1.83	0.19	0.10	1.87
	核匹配	2.02	1.83	0.19	0.10	1.90
储存损失/kg	近邻匹配	20.05	47.88	-27.83	9.60	-2.90
	半径匹配	20.05	53.15	-33.10	7.53	-4.43
	核匹配	20.05	52.84	-32.79	7.62	-4.31
储存损失率/%	近邻匹配	0.87	2.58	-1.71	0.25	-6.91
	半径匹配	0.87	2.75	-1.88	0.19	-9.81
	核匹配	0.87	2.75	-1.88	0.19	-9.72
鼠害程度	近邻匹配	1.84	2.31	-0.48	0.07	-7.03
	半径匹配	1.84	2.31	-0.48	0.06	-7.95
	核匹配	1.84	2.31	-0.48	0.06	-7.93

其次,采用仓类设施的农户比不采用的农户遭受鼠害的情况显著降低;采用仓类设施的农户平均玉米储存损失仅为20.05 kg,而不采用的农户平均玉米储存损失47.88~53.15 kg;从储存损失率看,采用仓类设施的农户平均玉米储存损失率为0.87%,而不采用的农户玉米储存损失率为2.58%~2.75%。这意味着仓类设施给农户带来了更为优秀的粮食保护能力,降低农户储粮过程中遭受严重风险的可能性。

第三,使用仓类设施的潜在收益也非常可观。一是农户能够锁定粮食价格波动带来的收益。比如,2017年辽宁玉米收获期(10—12月)价格为1.70元/kg,而几个月后上涨至1.91元/kg,价差加上减少的损失使采用者比非采用者的平均收入增加312.86~350.62元。二是降低农户玉米储存环节损失水平也为国家粮食安全和资源节约提供支撑。根据本次研究结果,采用仓类设施能够降低农户玉米储存损失率1.88%,相当于增加粮食供应193.51万t,增加的粮食可满足430.02万人1年的食物消费,节约耕地31.78万hm<sup>2</sup>、化肥(折纯)11.84万t和

水16.06亿t,并减少碳排放23.23万t<sup>①</sup>。

## 6 结论

本文基于23省1202户农户调查数据,使用倾向性得分匹配法,评估仓类设施对农户家庭玉米储存规模、储存损失、储存损失率、储存时间和鼠害程度的影响。在匹配之前,采用者和非采用者之间存在实质性差异。在倾向性得分匹配后,这些差异不再显著。因此,匹配后,采用者和非采用者的结果差异可以被认为是采用仓类设施所致。研究主要结论如下:

(1)家庭决策者(户主)的性别、年龄和宗教信仰、家庭收入水平、农技培训经历、玉米种植面积以及家庭距离城镇远近等变量对农户采用仓类设施产生了显著影响。其中,家庭决策者(户主)是男性、家庭决策者(户主)年龄更大、家庭收入水平高、玉米种植面积大、距离城镇近的家庭更有可能采用仓类设施。

(2)仓类设施显著增加了中国农户玉米储存规模、延长农户玉米储存时间。采用仓类设施能够使农户玉米储存规模扩大1188.77~1368.55 kg,比未采

① 结合近年数据,设定农户储粮数量为当年产量的40%。其他数据来源:粮食产量数据来源于国家统计局;当前,中国居民每年的粮食消费量相当于450 kg原粮,粮食与原粮的比例设为1:1<sup>[44]</sup>。土地和化肥转换系数来源于《全国农产品成本收益资料汇编2016》;碳排放转换系数来自“Carbon footprint of crop production in China: an analysis of National Statistics data”;水资源转换系数来自《中国主要粮食作物的生产水足迹量化及评价》<sup>[45-47]</sup>。



2020年9月

用的农户提升34%~41%;同时,采用仓类设施也造成了农户玉米储存时间的变化,采用仓类设施农户的玉米储存时间比非采用者平均长0.2个季度。

(3)仓类设施显著降低减轻农户储存损失、降低储存损失率并减轻储存过程中的鼠类危害。采用仓类设施使农户玉米储存损失数量降低60%左右,减少的损失使农民平均节约玉米28~33 kg,玉米储存损失率由2.75%下降到0.87%,达到发达国家水平<sup>[48]</sup>。现有研究认为鼠害是造成农户玉米储存损失的主要因素,而本次的研究结果表明,采用仓类设施显著减轻了玉米储存过程中的鼠害,从源头上控制了农户遭受储存损失的风险<sup>[49,50]</sup>。

然而,仓类设施的成本较高,不利于小农户的广泛采用。因此,政府应继续实施科学储粮工程,为农户购买先进的储粮设施提供补贴,或者为农户提供低息的储粮设施信贷,刺激农户使用先进技术。同时,可以通过农技推广部门为农户提供先进的技术信息,强化农民的技术使用意识,推动农户采用先进的储粮设施,实现藏粮于技、藏粮于民。

### 参考文献(References):

- [1] 汪慧玲, 卢锦培. 环境约束下粮食安全与经济可持续发展的实证研究[J]. 资源科学, 2014, 36(10): 2149-2156. [Wang H L, Lu J P. Food Security and sustainable economic development under environmental constraints[J]. Resources Science, 2014, 36(10): 2149-2156.]
- [2] 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[J]. 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: A case study of wheat in Henan Province[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2015, (4): 1-6.]
- [3] 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[J]. 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: Based on experiment and survey in five provinces [J]. Journal of Natural Resources, 2018, 33(8): 1427-1438.]
- [4] 辛良杰, 王佳月, 王立新. 基于居民膳食结构演变的中国粮食需求量研究[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1347-1356. [Xin L J, Wang J Y, Wang L X. Prospect of per capita grain demand driven by dietary structure change in China[J]. Resources Science, 2015, 37(7): 1347-1356.]
- [5] 程杰, 杨舸, 向品. 全面二孩政策对中国中长期粮食安全形势的影响[J]. 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[J]. Issues in Agricultural Economy, 2017, 38(12): 8-16.]
- [6] Sheahan M, Barrett C B. Review: Food loss and waste in Sub-Saharan Africa[J]. Food Policy, 2017, 70: 1-12
- [7] 赵霞, 曹宝明, 赵莲莲. 粮食产后损失浪费评价指标体系研究[J]. 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[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2015, 40(3): 6-9.]
- [8] 吕新业, 刘华. 农户粮食储备规模及行为影响因素分析: 基于四省不同粮食品种的调查[J]. 农业技术经济, 2012, 41(12): 22-30. [Lv X Y, Liu H. Analysis of farmers' grain reserve scale and behavior influencing factors: Based on investigation of different grain varieties in four provinces[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2012, 41(12): 22-30.]
- [9] Kumar D, Kalita P. Reducing postharvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries[J]. Foods, 2017, DOI: 10.3390/foods6010008.
- [10] 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[J]. 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[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(23): 1-11.]
- [11] Gitonga Z M, De Groot 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[J]. Food Policy, 2013, 43: 44-55.
- [12] Parfitt J, Barthel M, Macnaughton S. Food waste within food supply chains: Quantification and potential for change to 2050[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 2010, 365(1554): 3065-3081.
- [13] Bellemare M F, Cakir M, Peterson H H, et al. On the measurement of food waste[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2017, 99(5): 1148-1158.
- [14] 张健, 傅泽田, 李道亮. 粮食损失的形成和我国粮食损失现状[J]. 中国农业大学社会科学学报, 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[J]. Journal of China Agricultural University Social Sciences, 1998, (4): 59-63.]
- [15] Tefera T. Post-harvest losses in African maize in the face of increasing food shortage[J]. Food Security, 2012, 4(2): 267-277.
- [16] Rembold F, Hodges R, Bernard M, et al. The African Postharvest Losses information system (APHLIS) [R]. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011.
- [17] Bala B K. Post-harvest Loss and Technical Efficiency of Rice, Wheat and Maize Production System: Assessment and Measures

- for Strengthening Food Security[R]. Bangladesh: Bangladesh Agricultural University, 2010.
- [18] Kimenju S C, De Groot H. Economic Analysis of Alternative Maize Storage Technologies in Kenya[R]. Cape Town: African Association of Agricultural Economists (AAAE), 2010.
- [19] 詹玉荣. 全国粮食产后损失抽样调查及分析[J]. 中国粮食经济, 1995, (4): 44-47. [Zhan Y R. Sampling survey and analysis of national grain postharvest losses[J]. China Grain Economy, 1995, (4): 44-47.]
- [20] 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[J]. 南京经济学院学报, 1999, (1): 21-27. [Cao B M, Jiang D B. The situation, causes and countermeasures of grain loss postharvest in Jiangsu Province[J]. Journal of Nanjing Institute of Economics, 1999, (1): 21-27.]
- [21] Abedin M Z, Rahman M Z, Mia M I A, et al. In-store losses of rice and ways of reducing such losses at farmers' level: An assessment in selected regions of Bangladesh[J]. Journal of the Bangladesh Agricultural University, 2012, 10(1): 133-144.
- [22] 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[J]. Journal of Stored Products Research, 2014, 57: 49-57.
- [23] Boxall R A. Damage and loss caused by the larger grain borer *Prostephanus truncatus*[J]. Integrated Pest Management Reviews, 2002, 7(2): 105-121.
- [24] 吴芳, 朱延光, 严晓平, 等. 发展中国家农户储粮减损研究现状[J]. 粮食储藏, 2018, 47(6): 15-24. [Wu F, Zhu Y G, Yan X P, et al. A review of reducing grain storage losses of farmers in developing countries[J]. Grain Storage, 2018, 47(6): 15-24.]
- [25] Kumar R, Mishra A K, Dubey N K, et al. Evaluation of chenopodium ambrosioides oil as a potential source of antifungal, antilactogenic and antioxidant activity[J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 115(2): 159-164.
- [26] 蔡静平, 白旭光, 黄淑霞, 等. 减少农户储粮损失技术的研究[J]. 粮食储藏, 2001, (5): 32-36. [Cai J P, Bai X G, Huang S X, et al. Study on the techniques of decreasing the loss wheat storage in farmer[J]. Main Contents, 2001, 30(5): 32-36.]
- [27] Kaminski J, Christiaensen L. Post-harvest loss in sub-Saharan Africa: What do farmers say?[J]. Global Food Security, 2014, 3(3-4): 149-158.
- [28] Ngamo T S L, Ngassoum M B, Mapongmestsem P M. Current post harvest practices to avoid insect attacks on stored grains in Northern Cameroon[J]. Agricultural Journal, 2007, 2(2): 242-247.
- [29] Murdock L L, Baoua I B. On Purdue Improved Cowpea Storage (PICS) technology: Background, mode of action, future prospects [J]. Journal of Stored Products Research, 2014, 58: 3-11.
- [30] Tefera T, Kanampiu F, Groot H D, et al. The metal silo: An effective grain storage technology for reducing post-harvest insect and pathogen losses in maize while improving smallholder farmers' food security in developing countries in developing countries[J]. Crop Protection, 2011, 30(3): 240-245.
- [31] 农业部. 全国优势农产品区域布局规划(2008-2015年)[EB/OL]. (2008-09-12) [2020-08-04]. [http://jiuban.moa.gov.cn/zwlml/zwdt/200809/t20080912\\_1132619.htm](http://jiuban.moa.gov.cn/zwlml/zwdt/200809/t20080912_1132619.htm). [Ministry of Agriculture. Region Distribution for Agricultural Products (2008-2015)[EB/OL]. (2008-09-12) [2020-08-04]. [http://jiuban.moa.gov.cn/zwlml/zwdt/200809/t20080912\\_1132619.htm](http://jiuban.moa.gov.cn/zwlml/zwdt/200809/t20080912_1132619.htm).]
- [32] Kassie M, Shiferaw B, Muricho G. Agricultural technology, crop income, and poverty alleviation in Uganda[J]. World Development, 2011, 39(10): 1784-1795.
- [33] Heckman J J. Sample selection bias as a specification error[J]. Econometrica, 1979, 47(1): 153-161.
- [34] De Janvry A, Dustan A, Sadoulet E. Recent Advances in Impact Analysis Methods for Expost Impact Assessments of Agricultural Technology: Options for the CGIAR[R]. Berkeley: University of California, 2011.
- [35] Wooldridge J M. Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data[M]. Cambridge: MIT Press, 2010.
- [36] Heckman J J, Ichimura H, Todd P E. Matching as an econometric evaluation estimator: Evidence from evaluating a job training programme[J]. The Review of Economic Studies, 1997, 64(4): 605-654.
- [37] Khandker S R, Koolwal G B, Samad H A. Handbook on Impact Evaluation: Quantitative Methods and Practices[M]. Washington: World Bank Publications, 2010.
- [38] Jalan J, Ravallion M. Does piped water reduce diarrhea for children in rural India?[J]. Journal of Econometrics, 2003, 112(1): 153-173.
- [39] Diagne A, Demont M. Taking a new look at empirical models of adoption: Average treatment effect estimation of adoption rates and their determinants[J]. Agricultural Economics, 2007, 37(2-3): 201-210.
- [40] Becker S O, Ichino A. Estimation of average treatment effects based on propensity scores[J]. Stata Journal, 2002, 2(4): 358-377.
- [41] Caliendo M, Kopeinig S. Some practical guidance for the implementation of propensity score matching[J]. Journal of Economic Surveys, 2008, 22(1): 31-72.
- [42] Lee W S. Propensity score matching and variations on the balancing test[J]. Empirical Economics, 2013, 44(1): 47-80.
- [43] Rosenbaum P R, Rubin D B. Constructing a control group using multivariate matched sampling methods that incorporate the propensity score[J]. American Statistician, 1985, 39(1): 33-38.
- [44] 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[J]. 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: based on experiments and surveys in 5 cities of 4 provinces[J].

- Journal of Arid Land Resources and Environment. 2018, 32(7): 7–14.]
- [45] 国家发展和改革委员会. 全国农产品成本收益资料汇编[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016. [National Development and Reform Commission. National Agricultural product Cost–Benefit data Compilation[M]. Beijing: China Statistics Press, 2016.]
- [46] Cheng K, Yan M, Nayak D, et al. Carbon footprint of crop production in china: an analysis of national statistics data[J]. The Journal of Agricultural Science, 2015, 153(3): 422–431.
- [47] 孙世坤, 王玉宝, 刘静, 等. 中国主要粮食作物的生产水足迹量化及评价[J]. 水利学报, 2016, 47(9): 1115–1124. [Sun S K, Wang Y B, Liu J, et al. Quantification and evaluation of water footprint of major grain crops in China[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(9): 1115–1124.]
- [48] Hodges R J, Buzby J C, Bennett B. Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: Opportunities to improve resource use[J]. The Journal of Agricultural Science, 2011, 149 (S1): 37–45.
- [49] Brown P R, McWilliam A, Khamphoukeo K. Post-harvest damage to stored grain by rodents in village environments in Laos[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2013, 82: 104–109.
- [50] Yonas M, Welegerima K, Deckers S, et al. Farmers' perspectives of rodent damage and management from the highlands of Tigray, Northern Ethiopian[J]. Crop Protection, 2010, 29(6): 532–539.

## Household decisions on adoption of advanced storage facilities and impacts on maize storage volume and losses in China

LUO Yi, MIAO Haimin, HUANG Dong, WU Laping, ZHU Junfeng

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

**Abstract:** Limited by the capacity of growth of agricultural production in China in recent years, reducing postharvest losses has become an important measure to increase the food supply. For a long time, farmers store grains in their households in China for household food security, but compared with developed countries, their storage skills and facilities are limited. In order to solve this problem, the Chinese government has implemented the Scientific Grain Storage Project to improve farmers' home storage conditions and reduce the storage losses. Based on the survey data of 1202 households in 23 provinces in China, this study used the propensity score matching method to assess the impact of adopting silos and warehouses on households' maize storage volume and storage losses. The result shows that the silos and warehouses significantly increased the households' maize storage, and the average maize storage reached 4655.30 kg, which is 1188.87~1368.55 kg higher than non-adopters, and it also extended the period of maize storage for 0.2 quarter. The advanced storage facilities also reduced the degree of rodent damage in the maize storage, reducing maize storage losses by 60%, and allowing farmers to save 28 to 33 kg of maize. Adopting the advanced facilities reduced the maize storage loss rate from 2.75% to 0.87%. From the policy perspective, the government should continue to implement scientific grain storage projects and encourage farmers to adopt advanced grain storage facilities.

**Key words:** on-farm storage; grain storage facilities; storage loss; propensity score matching; food security; China