

机收模式与机械质量如何影响粮食收获损失

——基于联合效应视角的实证分析

金怡恬 乔大宽 武拉平

摘要：发展农业社会化服务是保障国家粮食安全的关键路径。然而，服务供给规模的快速扩张并未有效带动收获环节减损成效的同步提升。本文在任务型生产与不完全契约理论框架下，利用2025年中国10个粮食主产省份2703份作物层面的微观调查数据以及多轮次田间试验证据，实证检验机收模式与机械质量对粮食收获损失的联合效应。研究发现，与自购机械相比，机收服务外包会增加粮食收获损失；先进技术和机械使用年限对粮食收获损失分别具有显著的负向和正向影响。同时，机收模式与机械质量在影响粮食收获损失的过程中存在显著联合效应：先进技术能够有效缓冲机收服务外包引发的粮食收获损失，而机械使用年限对粮食收获损失的增损效应在机收服务外包模式下会被放大。机制分析结果表明，由服务方机械选型与作业场景之间的要素适配性错位引致的硬件错配，是机收服务外包推高粮食收获损失的传导路径。研究还发现，机收服务外包对粮食收获损失的影响及其与机械使用年限的联合效应均存在基于农业收入占比的U形门槛特征；在任何门槛阶段，先进技术的减损效应均会被机收服务外包弱化。此外，在收获期高风险暴露和高土地宜机化水平情境下，机收服务外包对粮食收获损失的增损效应并未增强，反而有所减弱。研究结论为优化农机服务供需匹配、精准制定粮食机收减损干预策略提供了经验证据。

关键词：机收服务 粮食损失 机械质量 道德风险

中图分类号：F326.6；F326.11 **文献标识码：**A

〔资助项目〕 国家社会科学基金重大招标项目“粮食全链条节约减损行动方案及政策体系研究”（编号：22&ZD087）。

〔作者信息〕 金怡恬，中国农业大学经济管理学院，电子邮箱：jinyitian@cau.edu.cn；乔大宽，中国农业大学经济管理学院，电子邮箱：qiaodk@cau.edu.cn；武拉平（通讯作者），中国农业大学经济管理学院，电子邮箱：wulp@cau.edu.cn。

〔致谢〕 感谢中国林业科学研究院林业科技信息研究所张昆扬助理研究员和审稿专家对本文提出的有益建议，但文责自负。

一、引言

在增产与减损两端协同发力，是保障国家粮食安全的内在要求（陈锡文，2021）。实现这一战略目标，关键在于推进农业现代化，而以机械化为核心的技术装备升级则是关键抓手（李培林，2023；孙学涛和张丽娟，2025）。为推动先进装备融入“大国小农”的生产体系，国家持续强化政策引导，积极发展多元化、专业化的农业社会化服务体系（叶敬忠等，2018；青平等，2023）。党的二十届三中全会通过的《中共中央关于进一步全面深化改革 推进中国式现代化的决定》明确提出，要“健全便捷高效的农业社会化服务体系”。作为响应这一政策导向的组织形态创新，农业社会化服务实现了技术装备与分散经营的有效衔接。截至2025年，全国共有111.1万个经营性主体开展社会化服务，年服务面积超过22.9亿亩次^①，农作物耕种收综合机械化率达到76.7%^②。然而，服务供给规模的快速扩张并未有效带动收获环节减损成效的同步提升。中国粮食产后前端的损失态势依然严峻，仅三大主粮收获环节的平均损失率就高达4.09%（武拉平，2022）。服务供给规模与减损成效的非同步演进，已成为制约农业高质量发展的结构性矛盾（汪为和万广华，2025）。

学术界关于农业社会化服务的研究集中于其对生产效率、要素配置与家庭福利的影响，而对其在减轻收获损失方面的作用关注相对不足。现有主流研究通常沿“衔接赋能”的逻辑论证机收服务外包的积极效应。这不仅体现在通过缓解要素与技术约束，推动农地流转市场模式的转变（关晨等，2025），或催生新型经济组织以增强农民集体行动能力与农村公共治理水平（王亚华和宦梅丽，2023），更表现在对农业生产力的提升（李翠霞等，2021）。同时，也有研究关注服务交易内生的质量困境，指出信息不对称与高昂的监督成本易导致服务供给方的道德风险（董莹和穆月英，2019；周飞舟和何奇峰，2021；魏素豪和唐忠，2022）。为规避作业质量与时间的“双重不确定性”风险，农户往往需承担额外的交易成本。例如，农户可能溢价选择本地服务，以借助“熟人社会”的信任机制来保障服务质量与及时性（李佩和罗必良，2022）。在某些情境下，高昂的监督成本甚至会直接抑制服务需求。例如，家庭劳动力外出务工后，留守成员因难以有效监督灌溉作业而降低了服务购买意愿（张丽

① 资料来源：《农业社会化服务体系不断完善》，https://www.gov.cn/lianbo/202512/content_7052567.htm。

② 资料来源：《实录 | 国新办就加快农业农村现代化，扎实推进乡村全面振兴有关情况举行新闻发布会》，https://jhs.moa.gov.cn/jjyx/202601/t20260122_6480954.htm?f_link_type=f_linkinlinenote&flow_extra=eyJpbmxpbmVfZGlzeGxheV9wb3NpdGlvbil6MCwiZG9jX3Bvc2l0aW9uIjowLCJkb2NfaWQiOiIwOTM4ZmIwYmZhYmY1ZjI4LWYwNDdlNGQwYmI1NGQ2NTIifQ%3D%3D。

娟，2021)。尽管上述研究为理解农业社会化服务市场的复杂性提供了深刻洞见，但相对忽视了农业机械这一服务供给的物质载体，而其固有质量异质性对最终收获损失率可能具有决定性影响。

从粮食生产全过程来看，粮食收获损失的成因可归纳为生产基础条件、技术装备、自然禀赋与外部环境冲击四个方面（金怡恬等，2025）。首先，生产基础条件存在多重限制。在生产前期，种质资源退化与耕地地力下降构成了产出的“潜在损失”（崔宁波等，2023；孙学涛和张丽娟，2025），叠加粗放的田间管理则进一步放大了风险（朱俊峰和乔大宽，2024），从源头上限制了减损成效。其次，技术装备存在质量异质性与适用性瓶颈。农业机械优劣分化明显，高质量装备的作业损失率可控制在5%以内，而市场上大量的老旧或低质装备的作业损失率则远高于此（仇童伟等，2024）。再次，自然禀赋构成粮食减损的刚性约束。中国农业生产区地理条件复杂，尤其是在丘陵山区，主流机械适用性大幅降低，形成“无机可用”或“有机难用”的困境（樊鹏飞等，2022）。最后，外部环境冲击也是不可忽视的因素。频发的极端天气等自然灾害作为不可抗外部冲击，对成熟期的作物造成物理性损伤（赵敏娟等，2024）。在上述因素中，收获机械作为直接影响产出的可控变量，其技术属性与组织效率成为决定减损成效的关键（曹芳芳等，2018；崔宁波等，2023）。

已有研究为分析机械化收获损失奠定了基础，但仍有待深化。具体而言，现有研究主要从服务交易的实践层面揭示农机服务市场面临的三重现实约束。首先是市场结构转型引致的技术装备异质性。随着农机服务市场由跨区向本地化发展（李佩和罗必良，2022；魏素豪和唐忠，2022），服务主体投资能力分化。本地服务主体倾向于购置低价低质农机（袁鹏等，2024），使整体收获损失水平难以维持在理想状态（崔宁波等，2023；仇童伟等，2024）。其次是农时窗口的刚性约束。不可逆的季节性特征导致作业时间不确定（魏素豪和唐忠，2022），并在农忙时节加剧区域性服务资源短缺状况，削弱了农户在服务价格与质量上的议价能力（曹光乔和吴萍，2023）。最后是服务过程的监督困境。收获作业具有流动性强、作业进程快的特征，加之投入产出关系模糊，使农户难以对服务过程进行有效监督，从而形成作业质量风险（董莹和穆月英，2019；周飞舟和何奇峰，2021）。尽管已有研究从供需结构、农时约束和监督成本等交易维度剖析了农机服务市场的现实困境，但鲜有文献考察机收模式与机械质量对粮食收获损失的联合效应。

鉴于此，本文构建一个整合机收模式、机械质量与外部情境约束的分析框架，旨在回答三个核心问题：第一，机收模式及其所配置的机械质量对收获损失存在何种联合效应？第二，硬件错配是否构成机收模式影响收获损失的传导路径？第三，外部情境约束在多大程度上引致不同机收模式下最终损失程度的分化？本文的边际贡献主要

体现在三个层面：在理论层面，本文借鉴 Acemoglu and Autor（2011）的任务型分析框架，构建“技术效率—激励效率”权衡分析框架，以揭示机收服务外包与自购机械两种路径的内在矛盾，为理解农业社会化服务的效率边界提供新的视角；在实证层面，本文基于2025年全国10个粮食主产省份2703份作物层面的微观数据，结合多轮次、多地点的田间收获试验数据，为解释服务普及与减损效果分化现象提供微观证据；在政策层面，本文研究结论为推动政策重心从关注服务覆盖率的“量”，转向提升服务有效性的“质”，提供经验参考与决策支持。

二、理论分析与研究假说

（一）农业机械化的实现路径与机收模式的效率逻辑

农业经营方式的转型本质上是通过降低交易费用与提升要素配置效率实现的制度变迁过程（梁远和张越杰，2024；关晨等，2025）。尽管分工经济能够通过增加生产迂回度改善效率（杨小凯和黄有光，2018），但农业生产的时间和空间特征限制了其分工潜力和组织形式的选择（樊鹏飞等，2022；魏素豪和唐忠，2022）。在此背景下，农户在接入并部署机械资本时形成了差异化的要素获取方式和制度安排，即本文所探讨的机收模式。它是指在粮食收获环节，农户对机械化收割形式所作出的具体选择，表现为两种情形：一是通过市场获取的“机收服务外包”^①；二是通过内部化实现的“自购机械”。这两种模式并非单纯的技术选择，而是农户在特定交易费用约束下的理性博弈（樊鹏飞等，2022）。

机收服务外包的产生，是专业化分工深化的必然结果。Smith（1869）早已指出，分工的程度受限于市场范围。在农业生产中，原本一体化完成的作业流程被划分为多个生产环节，从而催生了专业化的服务市场（关晨等，2025）。作为专业化市场主体的农业社会化服务组织，通过专注于特定环节的“干中学”（Arrow，1962），积累了专用性的人力资本与技术。其经营规模使其能够跨越小农户难以承受的投资门槛，配置并应用搭载先进技术的机械装备（曹光乔和吴萍，2023）。对农户而言，购买服务相当于以“迂回投资”的方式，将新的要素与技术引入生产过程，从而突破自身要素禀赋的“天花板”（张丽娟，2021）。

然而，这种路径优势也会因所有权与使用权的分离而产生治理难题（董莹和穆月英，2019；魏素豪和唐忠，2022）。农机服务市场受双向资产专用性约束

^① 本文中的“机收服务外包”是指农户通过支付服务费用，将粮食收获环节委托给外部农机经营主体代为完成的市场化交易行为。

(Williamson, 2002)。一方面, 该过程受制于粮食生产的时间资产专用性 (魏素豪和唐忠, 2022)。极为紧迫的收获窗口严重压缩了农户的市场搜寻时间与选择空间 (王桂民等, 2016), 使其在签约阶段难以有效实施筛选机制 (Stiglitz, 1975)。这种事前信息不对称使农户对农机服务产生刚性依赖, 从而陷入“关系锁定”状态 (魏素豪和唐忠, 2022), 并处于易受机会主义行为侵害的弱势地位 (李佩和罗必良, 2022)。另一方面, 高昂的收割机投资成本迫使机手追求作业面积与作业速度, 以实现收益最大化 (曹光乔和吴萍, 2023; 仇童伟等, 2024)。这种内生冲突叠加农业生产不确定性和作业质量的隐蔽性, 进一步加剧了信息不对称 (魏素豪和唐忠, 2022; 董莹等, 2024)。作为委托人的农户面临高额监督成本, 这为机手的道德风险提供了空间, 从而可能引致潜在的效率损失 (梁远和张越杰, 2024; 朱俊峰和乔大宽, 2024)。

相对地, “自购机械”路径通过产权一体化降低交易费用, 使农户自身利益与机械高效使用目标相一致, 从而实现激励相容 (Williamson, 2002; 孙圣民和陈强, 2017), 并规避监督成本和机会主义风险 (魏素豪和唐忠, 2022; 王曙光等, 2025)。然而, 这种激励相容的实现往往以技术效率受限为代价。受经营规模约束, 单个农户难以承担高质量专用机械的投资成本, 因而面临规模不经济问题 (Williamson, 2002; 李佩和罗必良, 2022; 曹光乔和吴萍, 2023)。同时, 其资本禀赋通常呈现设备等级偏低、功能泛化程度较高的特征, 导致生产效率上限较低。此外, 在高机会成本驱动或刚性农时约束下, 自购机械农户仍可能不得不在精细化作业与作业进度之间作出妥协 (Kaufmann and Snell, 1997; 王桂民等, 2016)。由此, 两种路径的比较清晰揭示了农业机械化进程中的根本性权衡: 机收服务外包具有技术效率优势, 但伴随激励不相容引致的制度摩擦; 自购机械则具有激励相容优势, 却受制于资本禀赋约束下的技术效率瓶颈 (陈义媛, 2025)。因此, 厘清收获损失形成的内在机理, 关键在于考察机收模式的内在激励机制与其内嵌的机械质量如何协同作用, 并最终共同决定收获损失。

(二) 机收模式与机械质量对收获损失的联合效应

在农机服务市场中, 机械质量并非独立于机收模式之外的外生因素, 而是服务供给方资本禀赋的内生体现。农户购买机收服务, 实质上是达成了一项内嵌特定机械资本的服务契约, 二者在实践中构成不可分割的联合体。为揭示机收模式选择及其配套机械质量对粮食收获损失的作用, 本文构建了一个融合任务型生产理论与不完全契约理论的分析框架。传统生产函数难以刻画环境对机械作业的扰动, 也不足以解释机收服务外包情境下因机械质量难以量化而产生的作业速度与减损目标之间的冲突 (Holmstrom and Milgrom, 1991)。为此, 本文借鉴 Acemoglu and Autor (2011) 的任务型分析框架, 并结合不完全契约理论, 将收获过程视为受环境约束的连续任务集合。

在该框架下，粮食收获损失率被视为作业环境难度、机械资本属性与劳动要素投入三者共同作用的净结果^①。具体的损失生成函数设定如下：

$$L = D(\Omega) - [\phi m + \psi(e \cdot m^\gamma)] + [\omega t - \rho(e \cdot t)] + \varepsilon \quad (1)$$

(1) 式中： L 表示粮食收获损失率； $D(\Omega)$ 为作业环境难度系数，反映由自然禀赋 Ω 决定的潜在风险，包括作物倒伏、地形破碎等因素对收获损失的影响； m 表示先进技术， $m \geq 0$ ； t 表示机械使用年限（ $t \geq 0$ ），用以刻画机械老化程度； e 表示作业合规程度（ $e \in [0,1]$ ）。在不完全契约框架下，高昂的监督成本导致作业合规程度偏离其最优状态（ e^* ），从而产生机会主义行为。(1) 式刻画了机械质量影响收获损失的两个维度：一为先进技术的减损效应，由 $[\phi m + \psi(e \cdot m^\gamma)]$ 表示，其中 ϕ 和 ψ 均为正的技术减损系数， γ 为大于0的技术与劳动互补性参数。这表明，先进技术减损效应的实现依赖于作业合规程度的提升。二为机械老化的增损效应，由 $[\omega t - \rho(e \cdot t)]$ 表征，其中 ω 和 ρ 均为正的机械老化增损系数， ωt 表示机械使用年限增加带来的损耗增加， $-\rho(e \cdot t)$ 反映提升作业合规程度对机械老化所致增损的缓解。 ε 为服从零均值分布的随机扰动项。

农业生产实践中，减损往往需要以降低作业速度和提高操作精细度为代价，从而形成显著的时间机会成本。同时，田间落粒具有较强隐蔽性，减损行为带来的声誉收益也具有明显的滞后性与不确定性。因此，自购机械与机收服务外包两种模式的激励结构存在本质差异。在自购机械模式下，农户即机手，实现了机械所有权与使用权的统一。作为粮食产出的剩余索取者，农户的决策目标表现为最大化包含减损收益在内的净收益：

$$\max_e \Pi_{self} = P \cdot Y_0 \cdot (1 - L) - \frac{1}{2} k e^2 \quad (2)$$

(2) 式中： Π_{self} 表示自购机械模式下农户的净收益， P 为粮食价格， Y_0 为潜在产量， k 为提升作业合规程度的努力成本系数， e^2 刻画努力成本随减损精细度边际递增的特征，其余符号的含义同(1)式。产权一体化通过实现激励相容，驱动农户将作业合规程度提升至最优水平 e_{self}^* 。

相对地，在机收服务外包模式下，两权分离引致复杂的委托代理博弈。进入作业阶段后，由于服务质量难以完全观测且契约具有不完全性，机手往往转而追求包含服务费与声誉收益在内的自身效用最大化（董莹等，2024）：

$$\max_e U_{agent} = W - \frac{1}{2} k e^2 + R(e) \quad (3)$$

① 推导过程详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录A。

(3) 式中： U_{agent} 表示机收服务外包模式下机手的效用， W 为每亩计酬的服务费， $R(e) = \theta \cdot e$ 表示机手因提升作业合规程度而获得的边际声誉收益，其余符号的含义同(2)式。受作业市场流动性和信息不对称的影响，外部激励强度 θ 通常处于较低水平。对(3)式求解可得到机收服务外包模式下机手的均衡作业合规程度 e_{out}^* 。

基于上述行为主体的最优决策解，本文采用比较静态分析方法，着重推演不同机收模式下的激励差异，以及机收模式与机械质量的联合效应。自购机械与机收服务外包两种模式下的最优作业合规程度差异可表示为：

$$\Delta e = e_{self}^* - e_{out}^* = \frac{PY_0(\psi m^\gamma + \rho t) - \theta}{k} \quad (4)$$

(4)式表明，当前普遍采用的“每亩收费”契约模式，使机手收益最大化在很大程度上依赖于作业速度，而减损所蕴含的全部边际价值 $PY_0(\psi m^\gamma + \rho t)$ 通常远高于机手在单次作业中能够获得的边际声誉收益 θ 。由此可知， $\Delta e > 0$ ，即机收服务外包模式下的均衡作业合规程度显著低于自购模式下的最优作业合规程度。进一步对损失生成函数(1)式求关于 e 的偏导数，可得：

$$\frac{\partial L}{\partial e} = -[\psi m^\gamma + \rho t] < 0 \quad (5)$$

(5)式表明，收获损失率是作业合规程度的严格减函数。两权分离导致剩余索取权缺失，使代理人在外包契约中缺乏维持最优作业合规程度的激励。这种激励扭曲所造成的作业合规程度不足($e_{out}^* < e_{self}^*$)，将引致更高的均衡损失率。据此，本文提出假说H1。

H1：在其他条件（包含机械质量）相同的情况下，相较于自购机械，机收服务外包引致更高的收获损失率。

为考察要素配置的联合影响，本文分别求取收获损失率关于先进技术与机械使用年限的偏导数，并代入不同模式下的均衡作业合规程度 e^* ，以进行比较静态分析。对(1)式求关于 m 的偏导数，可得：

$$ME_m = \left| \frac{\partial L}{\partial m} \right| = \phi + \psi \gamma e \cdot m^{\gamma-1} \quad (6)$$

(6)式中： ME_m 表示先进技术的边际减损效应，即先进技术水平提升所带来的收获损失率边际下降幅度。先进技术的边际减损红利由两部分构成：一是独立于人的客观基础减损 ϕ ，二是依赖于作业合规程度的劳动互补减损 $\psi \gamma e \cdot m^{\gamma-1}$ 。进一步对(6)式求关于 e 的偏导数，可得：

$$\frac{\partial ME_m}{\partial e} = -\frac{\partial^2 L}{\partial m \partial e} = \psi \gamma m^{\gamma-1} > 0 \quad (7)$$

(7)式表明作业合规程度与先进技术具有互补性。将 e_{self}^* 与 e_{out}^* 分别代入(6)式并比较差值 ΔME_m ，可得：

$$\Delta ME_m = ME_{m,self} - ME_{m,out} = \psi\gamma m^{\gamma-1} (e_{self}^* - e_{out}^*) \quad (8)$$

(8) 式中：由于 $e_{self}^* > e_{out}^*$ ，所以 $\Delta ME_m > 0$ ，即 $ME_{m,self} > ME_{m,out}$ 。这表明，同样搭载先进技术的收割机，在自购机械模式下释放的减损红利大于机收服务外包模式下释放的减损红利。在自购机械模式下，产权一体化赋予农户充足的激励（高 e_{self}^* ），并与先进技术形成良性联合，从而最大化技术的物理潜能。而在机收服务外包模式下，机手追求作业速度而忽视质量（低 e_{out}^* ），这种内部激励扭曲抑制了先进技术的互补性减损功能。因此，脱离机收模式而单纯探讨先进技术的减损效应是不充分的，二者构成了不可分割的联合体。

再来考察机收模式与机械老化的联合增损效应。对 (1) 式求关于 t 的偏导数，可得：

$$MD_t = \frac{\partial L}{\partial t} = \omega - \rho e \quad (9)$$

(9) 式中： MD_t 表示机械使用年限的边际增损效应，即机械使用年限增加所引致的收获损失率边际上升幅度；该效应不仅取决于机械本体老化的基础增损系数 ω ，更取决于作业合规程度提升所提供的补偿性缓冲 ρe 。同样，对 (9) 式求关于 e 的偏导数，可得：

$$\frac{\partial MD_t}{\partial e} = \frac{\partial^2 L}{\partial t \partial e} = -\rho < 0 \quad (10)$$

(10) 式反映作业合规程度对机械老化的代偿效应。将不同机收模式下作业合规程度的均衡解代入 MD_t 并进行比较，可得：

$$\Delta MD_t = MD_{t,out} - MD_{t,self} = (\omega - \rho e_{out}^*) - (\omega - \rho e_{self}^*) = \rho(e_{self}^* - e_{out}^*) \quad (11)$$

(11) 式中：由于 $e_{self}^* > e_{out}^*$ ，所以 $\Delta MD_t > 0$ ，即 $MD_{t,out} > MD_{t,self}$ 。这揭示了机收模式和机械质量在影响粮食收获损失的过程中存在联合风险：同一台老旧收割机，在机收服务外包模式下造成的粮食损失大于其在自购机械模式下造成的损失。在激励相容的自购机械模式下，农户有充分动机通过补偿性操作（高 e_{self}^* ）弥补机械老化的负面效应（王曙光等，2025）。然而，在机收服务外包模式下，机手缺乏补偿性动机，导致作业合规程度不足（低 e_{out}^* ），这不仅加剧老旧机械引致的收获损失，甚至削弱先进机械应有的减损效益（崔宁波等，2023；陈义媛，2025）。上述推演表明，机收服务外包的减损劣势并非绝对，而是深受机械质量约束。据此，本文提出假说 H2。

H2：机收模式与机械质量在影响收获损失的过程中呈现显著的联合效应。其中，先进技术能够弥补机收服务外包引致的损失，而机械老化的增损风险则在机收服务外包模式下被进一步强化。

(三) 硬件错配的传导路径识别

受地形地貌与种植制度约束，各区域客观存在差异化的适宜机械动力阈值（樊鹏飞等，2022）。例如，在丘陵地区，盲目匹配大型机械易造成田角漏收与田埂碾压；

而在平原地区，匹配动力不足的小型机械则可能因作业稳定性较差而增加破碎率（袁鹏等，2024）。从资产投资视角来看，自购机械属于农户基于自家地块特征进行的“定制化”投资，能够实现机械质量与环境禀赋的最优匹配。相反，机收服务具有较强的资产通用性特征，服务主体通常倾向于购置标准化、大马力机械以最大化其适用范围。这种由机械动力标准化供给与农田空间差异化需求之间不匹配所导致的动力错配，构成一种独立于机手行为之外、制约减损成效的刚性约束（孙学涛和张丽娟，2025）。此类源于服务市场资产通用性倾向的前端机型错配，与机械本身的技术优劣并无必然联系。即使是搭载最先进技术的收割机，若其动力水平显著偏离区域适宜的技术区间，依然会发生错配。据此，本文提出假说H3。

H3：硬件错配是机收服务外包加剧收获损失的结构性机制。相较于自购机械，机收服务外包面临更严重的硬件错配风险，从而导致更大的收获损失。

（四）多重情境约束下的异质性分析

在不完全契约框架下，机收模式及其与机械质量结合的实际效果，深受农户生计模式、收获期风险暴露与土地宜机化水平等多重情境特征的制约，进而导致收获损失呈现异质性分布。

首先，农户生计禀赋约束决定了其在委托代理框架下的防范效能，而其监督投入取决于边际收益与边际成本的权衡（Alchian and Demsetz, 1972；张丽娟，2021）。不同农业收入占比农户的影子价格和要素配置逻辑存在异质性（李佩和罗必良，2022；董莹等，2024）。低农业收入占比农户因其时间影子价格较高，易陷入“理性疏忽”（Sims, 2003），倾向于减少田间监督。这种监督缺位放大了机收服务外包情形下机手的机会主义行为，使先进技术的优势被弱化，机械老化的物理损耗被放大。随着农业收入占比提高，农户监督意愿增强，机收服务外包模式下机手的机会主义行为受到抑制，从而有效降低服务外包带来的潜在损失。但高农业收入占比农户面临“管理幅度约束”（Williamson, 1967），当作业规模超出其有效管理半径时，监督边际效能减弱，机手的机会主义行为更难得到有效约束，使机收服务外包相较于自购机械的增损效应再次增强。同时，监督弱化还可能限制先进技术减损优势的充分发挥，并放大机械老化带来的增损风险。据此，本文提出假说H4。

H4：随着农业收入占比的提高，机收服务外包相较于自购机械的增损效应呈现先减弱后增强的U形变化特征；先进技术对机收服务外包增损效应的缓解作用呈现先增强后减弱的倒U形变化特征；机械老化对机收服务外包增损效应的强化作用呈现先减弱后增强的U形变化特征。

其次，收获期异常天气严重压缩适宜收获的时间窗口，强化农时要求的刚性特征，推高机收环节的潜在损失风险。在时间高度紧迫的抢收情境中，机手受赶工逐利驱使，

可能进一步加快机收速度，从而加大收获损失风险。同时，机收服务外包模式下先进技术的减损优势会因机手粗放作业而受到负向影响，导致其减损效应弱化；反之，若机手驾驶老旧机械进行高强度作业，机械老化带来的物理损耗将被加速放大。这意味着，在极端天气冲击下，机械质量优劣对收获损失的边际影响会进一步增强。

最后，高标准农田等宜机化建设在降低地块细碎所引致的基础性作业损耗的同时，也通过改善农机作业条件，从物理层面削弱了原本对机收服务外包模式下机手机会主义行为形成制约的客观条件。在平整开阔的作业环境中，机手高速抢收的动机极有可能被最大化释放。这意味着，在机械先进技术水平不变的情况下，受机手机会主义行为的影响，机收服务外包与先进技术对粮食收获损失的联合效应被弱化。同样，在此情境下，若机手驾驶老旧机械进行高速作业，则机收服务外包与机械使用年限在影响粮食收获损失时的负向联合效应越发凸显。据此，本文提出假说H5和H6。

H5：在收获期异常天气情境下，机收服务外包的增损效应会被强化，且先进技术在机收服务外包模式下的减损效应会被弱化，而机械使用年限的增损效应会被强化。

H6：在土地宜机化水平较高的情境下，机收服务外包的增损效应会被强化，且先进技术在机收服务外包模式下的减损效应会被弱化，而机械使用年限的增损效应会被强化。

（五）理论分析框架

综上所述，本文构建了一个用于分析机收模式与机械质量对粮食收获损失联合效应的理论框架，具体见图1。

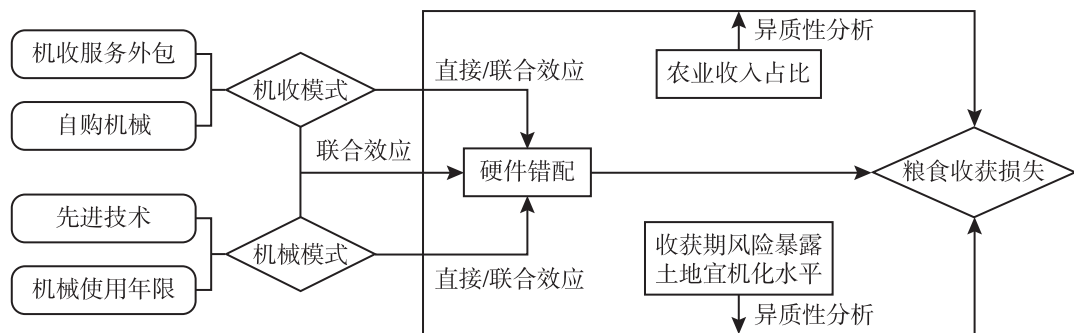


图1 理论分析框架

三、数据来源与模型设定

（一）数据来源

本文研究所用数据来源于2025年针对中国10个粮食主产省份（黑龙江、河南、湖南、江西、山东、江苏、吉林、四川、内蒙古和河北）开展的农户专项问卷调查。

为确保样本的代表性与覆盖范围，本次抽样采取多阶段典型抽样与随机抽样相结合的方法^①。鉴于本文研究聚焦机械化收获环节，进一步对样本进行筛选，仅保留在收获环节采用机械作业的样本。考虑到部分农户存在多作物种植情形，为构建作物层面的分析单元，本文遵循“一户一作物”原则对农户样本进行拆分，最终形成2703个作物层面的机收样本用于实证分析。

（二）变量设置

1. 被解释变量。本文的被解释变量为粮食收获损失率。借鉴相关研究（曹芳芳等，2018；武拉平，2022；朱俊峰和乔大宽，2024），并结合微观调研数据的可得性，本文将收获损失率定义为在田间收获全过程中，收获损失量与粮食潜在总产量的比值。在数据收集过程中，研究团队实施了严格的辅助校准程序^②。同时，本文结合研究团队长期积累的田间试验数据与多轮次全国专项调查数据，对样本进行了多维度交叉验证，以确保微观数据的分布特征符合中国粮食生产的客观实际。

2. 核心解释变量。解释变量体系刻画了农户的机收模式选择及其内嵌的机械质量属性。首先，本文设置机收模式变量：若农户采用机收服务外包，变量取值为1；若农户自购机械，取值为0。其次，考虑到不同机收模式下粮食收获损失受到所配置机械质量的影响，本文引入两项关键衡量指标：一为先进技术。该指标为收割机所配备的自动仿形、自动校准等10项自动化技术的加总数量^③，用于衡量机械的智能化与精密化水平（崔宁波等，2023）。鉴于机收服务外包场景下可能存在信息不对称问题，本文基于官方机械信息平台、田间实测等获取的技术参数，对样本数据进行系统比对与清洗^④。二为机械使用年限。该变量用于刻画收割机的老化程度与磨损水平（仇童伟等，2024）。最后，为考察机收模式与机械质量对粮食收获损失的联合效应，本文

① 首先，综合考虑粮食作物播种面积、粮食产量、地理分布以及主要作物结构（水稻、小麦、玉米和大豆），确定上述10个省份作为调查区域；其次，在各样本省份采用典型抽样方法抽取地级市和县（市、区）。需要说明的是，本次抽样并未刻意追求地理行政单元数量上的绝对数均衡，而是遵循农业禀赋代表性原则，根据各省份内部农业经济发展梯度，在每个省份选取1~3个典型地级市，并在各地级市选取1~3个核心产粮县（市、区）。对于部分农业生产条件高度同质化或单一县（市、区）粮食产量在全省占据主导地位的省份，课题组则集中抽取1个最具代表性的地级市及其下辖县（市、区）开展调研。再次，充分考虑各样本县（市、区）的行政区划规模与粮食生产集中度，在每个县（市、区）随机抽取1~4个样本乡镇。最后，根据村庄区位条件与人口规模，在每个乡镇随机抽取1~6个样本村，并在每个样本村随机访问8~30户农户。本次调查共获取农户问卷2000份。经数据审查与清理，剔除关键变量缺失和内部逻辑不一致的样本后，最终形成包含1808户农户的有效样本库，其中经营规模在50亩以下的小农户1006户，规模经营户802户。

② 详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录B。

③ 技术指标构成详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录C中的附表1。

④ 数据测度与校验过程详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录D。

分别引入机收模式与先进技术和机械使用年限的交乘项。

3. 机制变量。本文选取硬件错配作为机制变量^①，用以刻画机械选型在特定区域农业生产模式下的要素适配状况。当农户实际使用的机械动力显著偏离当地适宜配置标准时，判定为存在硬件错配，变量取值为1；否则，变量取值为0。

4. 控制变量。为更准确地识别核心解释变量的净效应，本文进一步控制了其他可能影响粮食收获损失的因素。借鉴已有研究（曹芳芳等，2018；崔宁波等，2023；张仁慧等，2023）的做法，本文从决策者特征、家庭特征和农业生产特征等层面引入一系列控制变量。

变量定义及描述性统计结果见表1。

表1 变量定义及描述性统计结果

变量名称	变量定义与赋值	均值	标准差
被解释变量			
粮食收获损失率	田间收获损失量与潜在总产量之比（%）	2.977	1.037
核心解释变量			
机收模式	机械收获模式：机收服务外包=1，自购机械=0	0.803	0.398
先进技术	收割机配备的自动化技术数量（个）	3.703	2.973
机械使用年限	收割机已使用年限（年）	4.294	3.016
机收模式×先进技术	机收模式与先进技术的交乘项	2.955	3.006
机收模式×机械使用年限	机收模式与机械使用年限的交乘项	3.363	3.129
机制变量			
硬件错配	机械动力显著偏离当地适宜配置标准：是=1，否=0	0.398	0.490
控制变量			
年龄	决策者年龄（岁）	56.275	10.351
受教育情况	决策者受教育年限（年）	8.418	3.223
健康状况较差	决策者是否健康状况较差（不健康或非常不健康）：是=1，否=0	0.070	0.254
健康状况一般	决策者是否健康状况一般：是=1，否=0	0.137	0.343
健康状况良好	决策者是否健康状况良好（健康或非常健康=1）：是=1，否=0	0.794	0.405
农业技术培训	决策者是否参加过农业技术培训：是=1，否=0	0.371	0.483
家庭总收入	家庭2024年全年总收入（万元）	30.975	76.961
机械动力	收割机动力大小（千瓦）	103.939	32.272
机手资历	机手从事收割作业的年限（年）	9.429	4.268

① 具体而言，本文依据各样本省份发布的2024—2026年农机购置与应用补贴相关指导文件，将各省份主流适宜机型的关键参数（如喂入量、作业行数等）统一折算为机械动力指标，并据此建立差异化的错配识别标准（各省份具体发布的文件名称、判定标准与依据详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录E）。需要说明的是，无论表现为动力不足导致的作业效率下降，还是动力过剩造成的碾压损耗，均被视为偏离适宜标准。

(续表)

变量名称	变量定义与赋值	均值	标准差
农业劳动力数量	家庭长期务农劳动力总人数(人)	1.961	0.777
土地经营规模	农户实际经营土地面积(公顷)	9.571	24.530
土地细碎程度	农户实际经营土地块数(块)	15.990	41.121
土地坡度	土地坡度是否大于15度 ^a : 是=1, 否=0	0.051	0.221
异常天气	收割前是否出现异常天气: 是=1, 否=0	0.222	0.416
作物成熟	作物是否完全成熟: 是=1, 否=0	0.968	0.176
作物过熟	作物是否过熟: 是=1, 否=0	0.056	0.230

注: a 参照《第三次全国国土调查技术规程》(TD/T 1055—2019), 以15度坡度作为划分标准, 以控制不同地块之间机械化作业条件的差异。针对同一作物对应农户多个种植地块的样本, 统一采用最大地块的坡度进行表征。

(三) 模型设定与识别策略

1. 基准回归模型。为系统考察机收模式与机械质量对粮食收获损失的联合效应, 本文构建如下基准计量模型:

$$Loss_i = \alpha_0 + \alpha_1 Service_i + Tech_i \alpha_2 + (Service_i \times Tech_i) \alpha_3 + X_i \theta_1 + \gamma_p + \delta_c + \varepsilon_{il} \quad (12)$$

(12) 式中: $Loss_i$ 表示样本 i 的粮食收获损失率; $Service_i$ 为表征机收模式的虚拟变量; $Tech_i$ 表示机械质量特征变量, 主要包括先进技术和机械使用年限两个维度; X_i 为控制变量集合; α_0 、 α_1 、 α_2 、 α_3 与 θ_1 为待估参数和参数向量; γ_p 和 δ_c 分别表示省份固定效应和作物类型固定效应; ε_{il} 为随机扰动项。

2. 内生性问题与识别策略。基准模型可能受到潜在内生性问题的影响, 从而导致估计结果出现偏误^①。为处理潜在的内生性问题, 本文采用两种方法。一是采用逆概率加权回归调整方法(inverse probability weighted regression adjustment, IPWRA)处理由可观测因素引致的选择性偏误。该方法基于潜在结果框架, 具有“双重稳健性”特征, 即只要机收模式选择模型或潜在结果模型中至少有一个得到正确设定, 即可保证估计结果的一致性(董莹等, 2024)^②。二是针对由不可观测因素引致的内生性偏误,

① 潜在的内生性问题主要来源于两个方面: 一是基于可观测因素的选择性偏误。农户的机收模式选择决策并非随机决定, 而是受其资源禀赋影响的“自我选择”行为(董莹等, 2024)。例如, 经营规模较大、生产管理相对粗放的农户, 更倾向于选择服务外包(梁伟, 2025)。二是基于不可观测因素的自选择与遗漏变量偏误。一方面, 模型难以完全捕捉农户经营能力等隐性特征, 而这些特征可能同时影响其机收模式选择偏好与最终减损效果(李佩和罗必良, 2022); 另一方面, 农户基于家庭劳动力配置对非农就业与农业生产进行“同时决策”的行为, 作为一种不可观测的经济动机, 也可能内生性地影响其服务外包决策(张丽娟, 2021)。

② IPWRA方法的推导过程详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录F部分(一)。

本文采用Lewbel异方差工具变量法进行识别（Lewbel，2012）^①。该方法利用模型异方差结构构造内部工具变量，有效缓解外部工具变量缺失的困境，并为识别包含交互项的复杂内生性模型提供稳健的统计学基础^②。

3. 门槛效应模型。考虑到机收模式及其所配置的机械质量对收获损失的影响可能随农户农业收入依赖程度的变化而呈现非线性特征，即存在潜在的门槛效应（梁伟，2025），本文采用Hansen（2000）提出的门槛回归模型进行检验，并以农业收入占比作为门槛变量。具体模型设定如下：

$$Loss_i = \beta_0 + Z_i\beta_1 \cdot I(q_i \leq \lambda) + Z_i\beta_2 \cdot I(q_i > \lambda) + X_i\theta_2 + \gamma_p + \delta_c + \varepsilon_{i2} \quad (13)$$

（13）式中： q_i 为门槛变量，即农业收入占比； λ 为待估计的内生门槛值； $I(\cdot)$ 为指示函数； Z_i 为门槛效应变量向量，包括 $Service_i$ 、 $Tech_i$ 及其交互项； β_0 、 β_1 、 β_2 与 θ_2 为待估参数和参数向量； ε_{i2} 为随机扰动项；其余符号的含义同（12）式。该模型能够识别农业收入占比分布中的“临界点”，并检验跨越该临界点后， β_1 和 β_2 是否存在统计上的显著差异，从而揭示情境约束下机收模式及其所配置的机械质量影响收获损失的异质性特征。

4. 机制检验模型。为验证硬件错配这一结构性传导路径，本文遵循江艇（2022）的机制分析框架，在基准模型的基础上构建如下中介效应方程：

$$Mismatch_i = \eta_0 + \eta_1 Service_i + X_i\theta_3 + \gamma_p + \delta_c + \varepsilon_{i3} \quad (14)$$

（14）式中： $Mismatch_i$ 为硬件错配， η_0 、 η_1 与 θ_3 为对应的待估参数和参数向量， ε_{i3} 为随机扰动项，其余符号的含义同（12）式。

四、实证分析结果

（一）机收模式及其所配置的机械质量对粮食收获损失的影响

表2报告了机收模式及其所配置的机械质量影响粮食收获损失率的基准回归结果。本文采取逐步回归策略，通过比较列间系数变化，考察在不同控制条件下机收模式、机械质量及其交互项对粮食收获损失的影响。从（1）~（3）列的估计结果可以看出，核心解释变量的系数大小与显著性水平均表现出较强的稳定性，表明机收模式与机械质量对粮食收获损失的联合效应具有较强的独立性。

表2（3）列作为包含所有控制变量的全模型估计结果，为本文提供了较为严密的

① 关于Lewbel异方差工具变量法的识别原理详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录F部分（二）。

② 为利用残差高阶矩构造内部工具变量，本文采用Baum and Schaffer（2012）开发的ivreg2h命令进行估计。

参数估计。机收模式的主效应结果表明，在平均机械质量水平下，相较于自购机械，采用机收服务外包会导致粮食收获损失率增加 0.433 个百分点。这初步验证了假说 H1。进一步观察（3）列结果可知，机收模式、先进技术、机械使用年限以及两个交互项均显著，表明机收模式与机械质量在影响收获损失过程中存在显著的联合效应。另外，先进技术的系数为负，而其与机收模式的交互项系数为正。这可能是由于外包机手的粗放操作削弱了先进技术发挥作用的条件，致使其减损效应在一定程度上被弱化^①。但在机收服务外包模式下，先进技术的整体边际净效应依然为负。这表明，高端机械的物理优越性依然能够在一定程度上弥补外部契约所引致的效率损失。同时，机械老化与机收服务外包形成了对粮食收获损失的增损效应叠加。机械使用年限及其与机收模式交互项的系数均为正，表明相较于自购机械农户能够通过精细操作减少机械老化的负面影响，机收服务外包模式下的粗放作业与老旧机械脆弱的物理性能形成了负向叠加效应，从而放大机械老化的增损效应^②。综上所述，机收模式和机械质量的联合效应共同决定了减损效应边界。至此，假说 H2 得到验证。

表 2 机收模式及其所配置的机械质量影响粮食收获损失率的回归结果

变量	粮食收获损失率					
	(1)		(2)		(3)	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
机收模式	0.432***	0.070	0.432**	0.070	0.433***	0.068
先进技术	-0.079***	0.014	-0.079***	0.014	-0.078***	0.014
机收模式×先进技术	0.061***	0.016	0.061***	0.016	0.062***	0.016
机械使用年限	0.040***	0.011	0.040***	0.011	0.039***	0.011
机收模式×机械使用年限	0.052***	0.013	0.051***	0.013	0.051***	0.013
年龄			-0.006	0.018	-0.004	0.017
受教育情况			-0.008	0.005	-0.007	0.005
健康状况一般			-0.019	0.075	-0.035	0.078
健康状况良好			-0.038	0.060	-0.045	0.061
农业技术培训			-0.014	0.039	-0.009	0.040
家庭总收入			-0.008	0.017	-0.001	0.020
机械动力					-0.001	0.001
机手资历					-0.006	0.005
农业劳动力数量					-0.002	0.024
土地经营规模					-0.001	0.001
土地细碎程度					0.001	0.000

① 机收模式和先进技术的联合效应图详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录 G 部分（一）。

② 机收模式和机械使用年限的联合效应图详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录 G 部分（一）。

(续表)

变量	粮食收获损失率					
	(1)		(2)		(3)	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
土地坡度					0.199**	0.078
异常天气					-0.038	0.048
作物成熟					-0.112	0.103
作物过熟					0.124*	0.074
常数项	2.635***	0.062	2.794***	0.166	3.026***	0.236
作物类型固定效应	已控制		已控制		已控制	
省份固定效应	已控制		已控制		已控制	
观测值	2703		2703		2703	
调整后的R ²	0.519		0.519		0.522	

注：①***、**和*分别表示在1%、5%和10%的统计水平上显著，标准误为村庄层面聚类稳健标准误。②为缓解多重共线性并增强主效应系数的经济解释力，在本文所有回归中，对先进技术和机械使用年限变量均进行了均值中心化处理。③为提高系数的可读性，表中及后续回归对家庭总收入取自然对数，并将年龄按十岁为单位进行折算。

(二) 内生性问题处理

1. 缓解自选择偏误。考虑到农户的机收模式决策并非随机分配，本文采用IPWRA方法纠正由此产生的自选择偏误，并估计平均处理效应（average treatment effect, ATE）。共同支撑假设检验结果表明，处理组与控制组的倾向得分分布存在较大重叠区域，满足IPWRA估计的前提条件^①。另外，本文对比了回归调整法（regression adjustment, RA）、逆概率加权法（inverse probability weighting, IPW）以及兼具双重稳健性的IPWRA方法的估计结果。结果表明，三种方法在系数方向与显著性水平上保持高度一致^②。根据更为稳健的IPWRA方法估计结果，在校正由可观测变量引致的自选择偏误后，机收服务外包会推高收获损失率的基准结论依然成立。

2. 基于Lewbel异方差工具变量法的回归结果。为缓解机收模式与机械质量可能存在的多重内生性偏误，本文进一步采用Lewbel异方差工具变量法进行估计^③。估计结果表明，Kleibergen-Paap rk LM统计量为77.957，且p值为0.071，拒绝了“工具变量识别不足”的原假设；Kleibergen-Paap rk Wald F统计量为13.329，高于Stock-Yogo临界值，说明工具变量具有较强的相关性；Hansen J统计量的p值为0.217，无法拒绝原假设，表明工具变量满足外生性要求。回归结果表明，在有效剥离内生性干扰后，机

① 检验结果详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录G中的附图2。

② 对比结果详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录G中的附表3。

③ 估计结果详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录G中的附表4。

收模式与两类机械质量特征对粮食收获损失的基准影响并未发生实质性改变，且相应交乘项依然显著。这进一步表明，在更为严格的内生性控制条件下，机收模式与机械质量对粮食收获损失的联合效应依然稳健。

（三）稳健性检验

为确保核心结论的可靠性，本文从四个方面开展稳健性检验：一是替换核心解释变量的度量方式，引入机械控制端智能化水平与故障时长等指标；二是针对潜在测量误差构建反事实情景，开展敏感性检验；三是调整样本范围，将研究对象限定为三大主粮作物样本；四是借鉴 Oster（2019）方法进行上界分析，以量化并排除不可观测遗漏变量对估计结果的潜在干扰。各项检验结果均与基准回归结论保持一致，进一步验证了本文研究结论的稳健性^①。

五、进一步分析

为进一步拓展研究视角并增强结论解释力，本文从三个方面开展拓展分析：第一，检验“硬件错配”这一竞争性假说；第二，从农户生计模式、收获期风险暴露与土地宜机化水平三个维度展开异质性分析；第三，引入田间试验数据，为本文结论提供来自不同研究场景的证据支撑。

（一）硬件错配假说的检验

前文的基准分析已表明，机收模式与机械质量在影响粮食收获损失时存在显著的交互作用，二者的联合效应不容忽视。那么，这一影响背后究竟存在怎样的传导路径？一个具有竞争性的解释是硬件错配，即粮食收获损失的增加不仅可能源于服务供给方的主观行为，还可能源于标准化机械与非标准化地块之间的客观不匹配。为检验这一机制，本文借鉴江艇（2022）的中介效应分析框架，考察硬件错配是否构成机收模式影响粮食收获损失的结构性传导路径。结果显示，机收模式对硬件错配具有显著的正向影响，但先进技术、机械使用年限及其与机收模式的交互项均不显著^②。这表明，硬件错配本质上是由机收服务外包这种作业模式引发的摩擦，与机械的先进技术和使用年限无明显关联。即便是搭载先进技术或较新的机械，在面临不适宜地形时，依然可能出现一定程度的物理错配。这也表明，服务供给方更倾向于使用标准化跨区作业机械，而此类机械难以充分适配农户异质化的地块条件，从而加剧了机械与作业环境之间的不匹配。至此，假说H3得以证实。

① 各项稳健性检验的具体方法与估计结果详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录H。

② 估计结果详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录I中的附表7。

（二）情境约束下的异质性分析

为进一步考察不同情境下机收模式与机械质量对粮食收获损失的联合效应差异，本文从农户生计模式、收获期风险暴露与土地宜机化水平三个维度展开异质性分析^①。研究发现：其一，机收服务外包的增损效应随农业收入占比提高呈现先减弱后增强的U形变化特征，但无论处于何种门槛阶段，机收服务外包与先进技术对粮食收获损失的联合效应始终为正。而面对机械老化劣势时，中等农业收入占比农户能够凭借有效监督弱化机收服务外包可能产生的道德风险，从而使机收服务外包与机械使用年限的联合效应呈现U形特征。因此，假说H4得到部分验证。其二，在收获期天气异常情况下，机收服务外包对粮食收获损失的增损效应有所减弱；在该机收模式下，先进技术的减损效应基本消失，而机械使用年限的增损效应有所增强。至此，假说H5得到部分验证。其三，在土地宜机化水平较高的情境下，机收服务外包对粮食收获损失的增损效应减弱；在该机收模式下，先进技术的减损效应略有增强，而机械使用年限的增损效应基本保持稳定。因此，假说H6未得到验证。

（三）田间试验的补充证据

前文实证分析表明，机收模式会显著影响粮食收获损失率，且机收模式与机械质量对粮食收获损失具有显著的联合效应。为进一步验证上述结论的可靠性，研究团队于2024—2025年在河南、河北、黑龙江和江西等粮食主产区，围绕小麦、玉米、水稻和大豆等主要作物开展了多轮田间对比试验。试验结果在真实生产场景下为本文核心结论提供有力的微观证据^②。总体来看，先进技术与机械使用年限是影响收获损失的关键因素，这与前文结果高度一致。一方面，技术更先进的机型普遍表现出显著的减损效果。例如，在黑龙江玉米收获试验中，采用先进约翰迪尔机型的损失率仅为1.67%，而采用当地标准牧神机型时，损失率高达6.57%，后者是前者的近4倍。另一方面，机械老化导致的性能衰减也是推高收获损失的重要原因。在河南新乡，役龄6年的雷沃谷神玉米收割机的损失率较役龄1年的同款新机高出近1个百分点；在江西宜春，役龄7年的雷沃80水稻收割机的损失率也显著高于役龄1年的新机。上述田间证据进一步印证了机械质量是影响收获作业绩效的核心因素。

田间试验不仅验证了机械质量的重要作用，还揭示了更深层次的“适配性”问题，为前文提出的“硬件错配”假说提供了直接证据。研究发现，更大尺寸或更高马力的机械并不必然对应更低的收获损失率，机械与作业环境之间的适配程度同样至关重要。例如，在河北涿州的小麦试验中，200马力的雷沃100大型机型的损失率反而

① 异质性分析的模型估计与详细检验结果详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录J。

② 田间试验设计、取样方法与主要结果详见《中国农村观察》网站或中国知网本文附录K。

高于175马力的雷沃80标准机型。这主要是由于大型机型在田块边缘转弯和掉头时灵活性较差，容易产生遗漏与碾压损失。同样，在河南新乡的小麦试验中，功率较小但机动性更强的沃德机型（100马力）的损失率也显著低于功率更大的雷沃谷神机型（160马力）。上述结果表明，在机收服务外包市场中，如果单纯追求作业效率而忽视地块条件与作业场景的异质性，盲目配置大马力机械反而可能因硬件错配而加剧粮食收获损失。

六、结论与政策启示

本文基于任务型生产与不完全契约理论框架，利用2025年中国10个粮食主产省份2703份作物层面调查数据与田间收获试验数据，实证检验了机收模式与机械质量对粮食收获损失的联合效应。研究发现：相较于自购机械，采用机收服务外包总体上显著推升了粮食收获损失率；先进技术有助于降低粮食收获损失，而机械老化则会推高损失水平。进一步看，先进技术能够在一定程度上缓解机收服务外包的增损效应，而机械使用年限则会与机收服务外包形成负向叠加效应，进一步增加粮食收获损失。机制分析发现，服务方机械选型与作业场景之间存在硬件错配，导致机械服务供给与实际作业需求之间出现客观不兼容，从而加剧粮食收获损失。机收服务外包的增损效应随农业收入占比提高呈现“两端高、中间低”的U形特征，且无论农户的农业收入占比处于何种阶段，机收服务外包产生的委托代理摩擦均会限制先进技术的减损效应。但在中等农业收入占比区间，农户具备与之匹配的管控精力进行监督，能够有效抑制机收服务外包和机械老化带来的负向联合效应。在收获期风险暴露较高以及土地宜机化水平较高的情境下，机收服务外包的增损效应均未增强，但该模式与机械质量对粮食收获损失的联合效应具有异质性。基于上述研究结论，本文得出如下政策启示。

首先，应借助国家大规模设备更新政策契机，实施以技术代差为导向的存量汰换与增量提质行动。一方面，建议在现有农机购置补贴体系基础上进行结构性优化，将减损技术指标纳入补贴分档标准；同时，细化联合收割机的分档参数，并将自动仿形、智能监测等减损技术设定为“优机优补”高档位的必要条件，以引导市场主动选择低损机型。另一方面，建议统筹利用“两新”政策资金与超长期特别国债，优先将役龄超期的收割机纳入强制或激励报废范围，逐步压减市场中的高损耗机具存量。

其次，应强化对农机服务主体的职业化培育与市场监管，缓解机收服务外包模式下潜在的委托代理摩擦。一方面，建立机手职业技能与职业道德双重培训体系。依托高素质农民培育计划增设减损专项课程，同步提升机手操作技能与职业操守，并逐步推行持证上岗与技能等级评价制度。另一方面，完善基于市场评价的监管机制。鼓励

地方建立农机服务“红黑名单”制度，畅通农户投诉渠道，依托信息化平台公开服务主体的作业质量评价记录，提高低质作业和机会主义行为的违约成本。

再次，应坚持“改地”与“改机”双轨并行，因地制宜破解硬件错配难题。在平原及浅丘地区，应在综合权衡改造成本与收益的基础上，有序推进农田“小并大、短并长”等宜机化改造，缓解标准化机械与非标准化农田之间的适配约束。在深丘山区，则应更加注重“适地化”农机装备的推广与匹配。建议由农业农村主管部门结合区域地形特征，筛选并发布适地化农机推荐目录，引导农户优先选择轻简灵活、爬坡能力较强的专用收割机，通过“以机适地”的方式降低通用机械与复杂地形之间的错配损失。

最后，应创新面向小农户的组织化服务机制，弥合由交易地位不对称导致的服务鸿沟。鉴于分散小农户在应对道德风险与机械不匹配问题时普遍处于弱势地位，有必要通过组织创新提升其市场议价能力与风险应对能力。一方面，推广统筹购买服务的集约化模式。支持村集体、合作社等组织发挥居间协调功能，将分散的机收需求打包，依托规模化、连片化作业优势与服务主体开展议价协商，从而推动优质服务主体脱颖而出，形成优胜劣汰的市场机制。另一方面，建立区域性农机应急调度体系。针对极端天气频发背景下可能出现的机收市场失灵问题，依托政府力量统筹调配优质机收资源，以公共干预弥补紧急状态下的服务供给缺口，切实保障粮食及时收获，守牢粮食安全底线。

参考文献

曹芳芳、黄东、朱俊峰、武拉平，2018：《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》第2期，第75-87页。

曹光乔、吴萍，2023：《如何把小农户“服务好”“带动好”——基于农机社会化服务视角》，《农业经济问题》第10期，第22-31页。

陈锡文，2021：《切实保障国家食物供给安全》，《农业经济问题》第6期，第4-7页。

陈义媛，2025：《农业生产规模化背景下的社会化服务模式转型：以农资销售模式的转型为例》，《中国农村观察》第1期，第107-124页。

崔宁波、刘紫薇、董晋，2023：《智慧农业助力粮食生产减损的内在逻辑与长效机制构建》，《农业经济问题》第10期，第116-128页。

董莹、穆月英，2019：《农户环境友好型技术采纳的路径选择与增效机制实证》，《中国农村观察》第2期，第34-48页。

董莹、王欢、黄采妮，2024：《农业社会化服务及其集成：破解农户秸秆还田困境的机理与实证》，《中国农村经济》第12期，第44-64页。

樊鹏飞、苏敏、刘洋、冯淑怡，2022：《面向农业现代化的公共政策选择——以农业经营方式转型为例》，《中国农村观察》第5期，第2-20页。

关晨、赵一夫、迟成媛、蔡键，2025：《农机社会化服务市场发育能否带动农地流转市场转型——基于流转交易半径的考察》，《中国农村经济》第4期，第106-125页。

江艇，2022：《因果推断经验研究中的中介效应与调节效应》，《中国工业经济》第5期，第100-120页。

金怡恬、罗屹、武拉平，2025：《反食物浪费的国际经验与借鉴》，《农业经济问题》第7期，第32-49页。

李翠霞、许佳彬、王洋，2021：《农业绿色生产社会化服务能提高农业绿色生产率吗》，《农业技术经济》第9期，第36-49页。

李培林，2023：《乡村振兴与中国式现代化：内生动力和路径选择》，《社会学研究》第6期，第1-17页。

李佩、罗必良，2022：《农机作业服务市场的“本地化”及其“价格悖论”》，《华中农业大学学报（社会科学版）》第3期，第47-57页。

梁伟，2025：《规模经营背景下的农业多元用工行为探析——基于鄂中涂家垸镇的案例考察》，《中国农村观察》第4期，第144-167页。

梁远、张越杰，2024：《农业产业组织模式的交易关系与治理机制——基于肉牛养殖企业的多案例分析》，《中国农业资源与区划》第1期，第94-105页。

青平、王敬斌、蔡炜炜，2023：《对农业强国建设中乡村产业振兴的几点思考》，《经济纵横》第9期，第21-28页。

仇童伟、章丹、罗必良，2024：《中国农机服务市场的转型机理及其政策选择》，《管理世界》第10期，第85-105页。

孙圣民、陈强，2017：《家庭联产承包责任制与中国农业增长的再考察——来自面板工具变量法的证据》，《经济学（季刊）》第2期，第815-832页。

孙学涛、张丽娟，2025：《高标准农田建设对智慧农业的影响研究》，《现代经济探讨》第3期，第111-122页。

汪为、万广华，2025：《完善强农惠农富农支持制度：理论基础、价值意涵与推进路径》，《农业经济与管理》第3期，第96-107页。

王桂民、易中懿、陈聪、曹光乔，2016：《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》第2期，第36-42页。

王曙光、刘杨婧卓、梁爽，2025：《农村集体产权制度改革与农业新质生产力发展》，《贵州社会科学》第2期，第134-145页。

王亚华、宦梅丽，2023：《农业社会化服务、农民集体行动与农村公共治理》，《广东社会科学》第2期，第15-26页。

魏素豪、唐忠，2022：《农机外包作业服务为什么由盛转衰——基于交易风险对农户农机采纳行为影响的解释》，《农业技术经济》第12期，第4-22页。

武拉平，2022：《我国粮食损失浪费现状与节粮减损潜力研究》，《农业经济问题》第11期，第34-41页。

杨小凯、黄有光，2018：《专业化与经济组织：一种新兴古典微观经济学框架》，张玉纲译，北京：社会科学文献出版社，第262-263页。

叶敬忠、豆书龙、张明皓，2018：《小农户和现代农业发展：如何有机衔接？》，《中国农村经济》第11期，第64-79页。

- 袁鹏、张宗毅、李洪波，2024：《农田宜机化水平与农户农机购置行为——基于全国丘陵山区10省4905户农户的数据》，《农业技术经济》第10期，第91-105页。
- 张丽娟，2021：《非农就业对农户是否选择购买地下水灌溉服务的影响——基于跨度16年5轮实地追踪调查数据的实证分析》，《中国农村经济》第5期，第124-144页。
- 张仁慧、朱玲、赵凯，2023：《邻里效应对农户粮食生产托管的影响——基于河南省周口市617户小麦种植户的经验证据》，《经济与管理研究》第5期，第75-92页。
- 赵敏娟、姚柳杨、赵明恩、赖煜，2024：《气候变化对中国粮食安全的影响：理论逻辑和应对措施》，《农业经济问题》第10期，第34-43页。
- 周飞舟、何奇峰，2021：《行动伦理：论农业生产组织的社会基础》，《北京大学学报（哲学社会科学版）》第6期，第88-97页。
- 朱俊峰、乔大宽，2024：《主体协同与合作减损：全链条粮食减损的内在逻辑和机制构建》，《社会科学辑刊》第5期，第178-187页。
- Acemoglu, D., and D. Autor, 2011, "Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings", *Handbook of Labor Economics*, 4: 1043-1171.
- Alchian, A. A., and H. Demsetz, 1972, "Production, Information Costs, and Economic Organization", *The American Economic Review*, 62(5): 777-795.
- Arrow, K. J., 1962, "The Economic Implications of Learning by Doing", *The Review of Economic Studies*, 29(3): 155-173.
- Hansen, B. E., 2000, "Sample Splitting and Threshold Estimation", *Econometrica*, 68(3): 575-603.
- Holmstrom, B., and P. Milgrom, 1991, "Multitask Principal-Agent Analyses: Incentive Contracts, Asset Ownership, and Job Design", *The Journal of Law, Economics, and Organization*, 7: 24-52.
- Kaufmann, R. K., and S. E. Snell, 1997, "A Biophysical Model of Corn Yield: Integrating Climatic and Social Determinants", *American Journal of Agricultural Economics*, 79(1): 178-190.
- Lewbel, A., 2012, "Using Heteroscedasticity to Identify and Estimate Mismeasured and Endogenous Regressor Models", *Journal of Business & Economic Statistics*, 30(1): 67-80.
- Oster, E., 2019, "Unobservable Selection and Coefficient Stability: Theory and Evidence", *Journal of Business & Economic Statistics*, 37(2): 187-204.
- Sims, C. A., 2003, "Implications of Rational Inattention", *Journal of Monetary Economics*, 50(3): 665-690.
- Smith, A., 1869, *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, Vol.1, Oxford: Clarendon Press, 18-22.
- Stiglitz, J. E., 1975, "The Theory of 'Screening,' Education, and the Distribution of Income", *The American Economic Review*, 65(3): 283-300.
- Williamson, O. E., 1967, "Hierarchical Control and Optimum Firm Size", *Journal of Political Economy*, 75(2): 123-138.
- Williamson, O. E., 2002, "The Theory of the Firm as Governance Structure: From Choice to Contract", *Journal of Economic Perspectives*, 16(3): 171-195.

How Do Mechanized Harvesting Modes and Machinery Quality Affect Grain Harvest Losses? Micro-Level Evidence on Their Joint Effects

JIN Yitian QIAO Dakuan WU Laping

(College of Economics and Management, China Agricultural University)

Summary: Developing agricultural socialized services is critical for national food security. However, rapid service expansion has not yielded synchronous improvements in harvest loss reduction. Drawing on task-based production and incomplete contract theories, this study investigates the joint effects of mechanized harvesting modes and machinery quality on grain harvest losses, using 2025 survey data from 2,703 crop-level observations across ten major grain-producing provinces, complemented by multi-round field experimental evidence.

The findings reveal that, compared to self-owned machinery, outsourcing harvesting services exacerbates grain harvest losses. Regarding machinery quality, advanced technology and machinery age exert significant negative and positive impacts on harvest losses, respectively. Furthermore, mechanized harvesting modes and machinery quality exhibit significant joint effects: while advanced technology effectively buffers the harvest losses induced by service outsourcing, the detrimental impacts of machinery aging are amplified under the outsourced service mode, collectively producing a significant positive joint effect on grain harvest loss levels. Mechanism analysis indicates that “hardware mismatch”—arising from the incompatibility between service providers’ machinery selection and operating scenarios—serves as a transmission channel through which outsourced harvesting drives up losses. Additionally, the impacts of the outsourced harvesting mode and its joint effect with machinery age on harvest losses demonstrate a U-shaped threshold pattern contingent upon the share of agricultural income; however, across all threshold stages, the loss-reducing effect of advanced technology is consistently weakened by the outsourced service mode. Moreover, under high harvest-period risk exposure and high land suitability for mechanization, the loss-increasing effect of outsourced harvesting services is weakened rather than strengthened. Ultimately, this study elucidates the joint effects of mechanized harvesting modes and machinery quality on grain harvest losses, providing empirical evidence for optimizing the supply-demand matching of agricultural machinery services and formulating targeted interventions for harvest loss reduction.

The marginal contribution of this study lies in transcending the conventional, singular focus on the scale expansion of agricultural services. Within an incomplete contract framework, it reveals the joint effects of mechanized harvesting modes and machinery quality on grain harvest losses, thereby unpacking the “black box” of how outsourced harvesting services exacerbate such losses. Based on these findings, this study proposes four targeted policy interventions: (1) accelerating the phase-out of obsolete machinery and promoting low-loss technologies through equipment renewal initiatives; (2) strengthening the market regulation of machinery service providers to mitigate contractual frictions; (3) synchronizing farmland suitability modifications with context-specific machinery allocation to resolve hardware mismatches; and (4) optimizing emergency dispatch and organized service mechanisms to bolster smallholders’ resilience against risks.

Keywords: Mechanized Harvesting Service; Grain Loss; Machinery Quality; Moral Hazard

JEL Classification: Q12; Q16; Q18

(责任编辑:张丽娟)