

# 土地转入规模、土地经营规模与全生命周期作物种植碳排放\*

——基于中国农村发展调查的证据

徐湘博<sup>1,2</sup> 李 畅<sup>1,3</sup> 郭建兵<sup>4</sup> 张林秀<sup>1,2</sup>

**摘要：**本文基于中国5省100村795户农户的农业生产微观调查数据，运用生命周期评价法核算农户作物种植碳排放量，探讨农户土地转入规模、土地经营规模与作物种植碳排放强度之间的关系。研究发现，2018年，中国农户作物种植碳排放强度为334.12千克二氧化碳当量/亩，且区域差异明显；农户土地经营规模扩大能促进作物种植碳排放强度降低，但土地转入规模扩大会对土地经营规模扩大的减碳效应产生抑制。异质性分析表明，农户家庭成员平均受教育程度越高、对农业依赖性越低，土地转入规模对土地经营规模减碳效应的抑制就越弱；土地经营规模扩大的减碳效应和土地转入规模扩大对减碳效应的抑制作用主要发生在土地经营规模较小的农户群体中；从是否支付土地租金来看，支付土地租金的农户群体，其土地转入规模对作物种植碳排放的影响在统计意义上不显著；从不同作物种类来看，土地经营规模扩大的减碳效应和土地转入规模扩大对减碳效应的抑制作用主要发生在水稻种植上。机制分析表明，土地转入规模扩大主要通过增加化肥投入和促进种植结构主粮化抑制土地经营规模扩大的减碳效应。基于研究结论，本文提出应进一步重视土地经营规模扩大的减碳效应，但要关注土地转入规模扩大对减碳效应的抑制作用，引导科学施肥与合理调整种植结构，并将作物种植碳减排的政策重点放在小规模经营农户群体上。

**关键词：**土地转入规模 土地经营规模 生命周期评价法 作物种植碳排放 农户

**中图分类号：**F323.2 **文献标识码：**A

## 一、引言

气候变化导致极端天气多发、生物多样性遭受破坏，成为人类社会面临的重要挑战之一（田云和尹恣昊，2022）。人类活动碳排放是气候变化的重要诱因之一。根据联合国环境规划署发布的《2020

\*本文研究受国家自然科学基金青年基金项目“乡村振兴背景下农业系统环境反弹效应机制及适应对策研究”（编号：41901255）的资助。本文通讯作者：郭建兵。

年排放差距报告》，2019 年中国温室气体排放量为 140 亿吨二氧化碳当量，占全球总排放量的 26.72%<sup>①</sup>。

《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》显示，2014 年中国农业温室气体排放量为 8.30 亿吨二氧化碳当量<sup>②</sup>，占全国总排放量的 7.42%。如果从全生命周期视角将农资生产、农产品消费等环节纳入农业碳排放核算框架，全球农业部门碳排放量占全球总碳排放量的比例约为 21%~37%（Rosenzweig et al., 2020），农业部门对总碳排放量的“贡献”不容小觑。为积极应对气候变化，中国在第 75 届联合国大会上提出“双碳”目标，并将其上升为国家战略。在农业减排方面，《“十四五”推进农业农村现代化规划》明确提出要“推动农业农村减排固碳”<sup>③</sup>。2021 年中美在联合国气候变化格拉斯哥大会期间联合发布了《中美关于在 21 世纪 20 年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言》，该宣言关注了碳排放重要来源之一的甲烷排放，并提出加强甲烷排放的测量和促进甲烷减排<sup>④</sup>。纵观中国甲烷排放现状，农业系统产生的甲烷排放占比高达 40.23%<sup>⑤</sup>，农业在甲烷减排中责无旁贷。因此，如何促进农业减排固碳将会是未来农业绿色发展的重要内容之一。

根据《省级温室气体清单编制指南（试行）》的农业碳排放核算框架，农业碳排放来源包括水稻种植、动物肠道发酵、动物粪便管理、农用地管理、农业废弃物田间焚烧 5 个方面<sup>⑥</sup>。但从全生命周期视角来看，农业碳排放核算的系统边界还应包括投入农资和能源等物质的生产、运输和废弃物处理等环节。总体上，农业碳排放主要来自种植业和畜牧业（田云和尹恣昊，2022）。本文在探讨土地转入与农业碳排放之间的关系时，主要关注与土地要素直接相关的作物种植。目前，作物种植碳排放量的核算方法有排放因子法和生命周期评价法等（黄祖辉和米松华，2011）。排放因子法是参照碳排放清单列表，根据作物种植过程中的化肥、农药、农膜和机械等投入的碳排放源赋值碳排放因子核算碳排放量，操作简便，但如果研究者获取排放因子的来源不同，可能会造成碳排放量核算结果的差异。并且，排放因子法仅可用于作物种植环节单个部门本身的碳排放量核算，不涉及种植业的上下游部门。而生命周期评价法把作物种植中农资和能源直接或间接产生的碳排放也纳入作物种植碳排放核算框架，不仅可以实现作物种植全链条碳排放量核算，还可以分析作物种植不同环节碳排放量的特征，在作物种植碳排放核算研究中被广泛应用（徐湘博等，2021）。聚焦农业经营主体的碳排放研究有助于促进作物种植精准减排。小农户在中国农业经营主体中的占比高达 98%，经营着中国约 70% 的耕地（Hou et al., 2021），是中国农业生产经营的重要主体。以小农户为研究对象，有助于在明确主

<sup>①</sup>数据来源：UNEP 官方网站，<https://www.unep.org/emissions-gap-report-2020>。

<sup>②</sup>数据来源：《中华人民共和国气候变化第二次两年更新报告》，<https://www.mee.gov.cn/ywgz/ydqhbh/wsqtkz/201907/P020190701765971866571.pdf>。

<sup>③</sup>参见《“十四五”推进农业农村现代化规划》，[https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjjzxgh/202203/t20220325\\_1320217.htm](https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjjzxgh/202203/t20220325_1320217.htm)?

<sup>④</sup>参见《中美关于在 21 世纪 20 年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言》，[http://www.gov.cn/xinwen/2021-11/11/content\\_650318.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2021-11/11/content_650318.htm)。

<sup>⑤</sup>资料来源：<http://www.cbcsd.org.cn/sjk/nengyuan/standard/home/20140113/download/shengjiwenshiqiti.pdf>。

体的基础上探索如何实现中国作物种植碳减排。关于农业碳排放影响因素的研究，已有文献从宏观视角出发，关注了经济发展（李波等，2011；吴金凤和王秀红，2017）、农业财政支出（胡川等，2018）、环境规制（田云和尹恣昊，2022）和农业技术进步（高鸣和宋洪远，2015）等对农业碳排放的影响。研究发现，经济增长与农业碳排放的关系符合环境库兹涅兹曲线（EKC）。在经济发展初期，农业碳排放量与经济水平同步增长；但在经济发展后期，农业碳排放量随着经济增长而下降。此外，农业财政支出增加和环境规制加强均对农业碳排放量有负向影响，而提升农业技术水平可以降低农业碳排放强度、提高农业碳减排绩效。

随着农村劳动力大量外出与土地流转不断推进，农业生产要素投入结构发生了变化。在此背景下，相关研究开始关注土地要素对作物种植碳排放的影响，土地经营规模与作物种植碳减排之间的关系成为当前研究的重点。耕地集约化程度与作物种植碳排放存在耦合关系（王剑等，2019），土地经营规模扩大影响农业生产要素投入，也影响作物种植碳排放量（刘琼和肖海峰，2020）。化肥是作物种植碳排放的主要来源之一，土地经营规模经济效应有利于提高化肥施用效率、降低化肥使用强度（Wu et al., 2018），并且规模经营农户有能力采用先进的低碳农业技术，从而推动作物种植碳减排。已有土地经营规模与作物种植碳排放关系的研究，大多基于宏观统计数据，使用排放因子法核算作物种植碳排放量，而较少从全生命周期视角开展。土地流转是扩大土地经营规模的关键。Ranjan et al.（2019）发现，农户在转入土地上会追求短期产量，忽视耕地肥力保护，缺乏对土地保护的长期性投资，土地流转引起的农地污染问题时有发生。然而，目前鲜有研究关注土地流转与作物种植碳排放量之间的关系。随着土地流转不断推进，土地经营规模扩大，有必要把土地经营规模和土地转入规模放入同一分析框架中，在探讨土地经营规模对作物种植碳排放量影响的基础上，明晰土地转入规模对作物种植碳排放量的影响。土地转入规模影响作物种植碳排放量的作用机制的相关研究较少，其影响路径尚不清晰。但有研究指出，土地转入规模会影响化肥施用强度、机械投入水平和种植结构等（Ju et al., 2016；毕雪昊等，2020），这为开展土地转入规模影响作物种植碳排放机制的研究提供了潜在分析框架。

鉴于此，本文将重点关注农户层面作物种植全生命周期碳排放，以期提供微观经验证据。首先，本文在文献梳理的基础上，明晰已有研究存在的不足，从理论上分析土地转入规模、土地经营规模对作物种植碳排放的影响，并提出研究假说，阐释其影响的内在逻辑关系。其次，本文基于具有全国代表性的5省100村795户农户2018年农业生产数据，运用生命周期评价法核算农户作物种植碳排放量和碳排放强度。再次，本文以农户层面的作物种植碳排放强度为核心指标，检验土地转入规模、土地经营规模对作物种植碳排放量的影响。最后，本文基于理论分析框架，解析土地转入规模对作物种植碳排放强度的影响机制，为促进中国作物种植碳减排提供决策参考。

## 二、理论分析与研究假说

### （一）理论分析

1. 产权激励理论。Besley（1955）提出，不稳定的土地经营权相当于对农户随机征税，未来土地被收走的可能性增加会降低农户长期投资的积极性。稳定的土地经营权则有利于推动农户扩大土地经营

规模,提高生产效率(杨广亮和王军辉,2022)。由于农户自有土地与转入土地的产权属性存在差异,所以,农户对自有土地和转入土地经营权稳定性预期不同,他们在农业生产中的肥料施用和长期投资行为存在差异(郜亮亮等,2011)。

2.规模报酬理论。土地经营的规模效应来源于同比例生产要素的投入变动或土地经营规模扩大,但对于农户,同比例生产要素投入变动的可能性较低,土地经营的规模效应需要依靠土地经营规模扩大(卢华等,2016)。根据“马克西-西尔伯斯通曲线”,农户土地经营规模增加会促使农业生产技术改进、农业生产要素配置效率提高(仇焕广等,2017),边际生产成本降低,平均生产成本下降。随着土地经营规模扩大,化肥农药等投入呈现减量化特征。

## (二) 研究假说

1.土地转入规模与作物种植碳排放。随着农村劳动力大量外出,土地流转在中国越来越普遍。农业农村部数据显示,截至2020年底,全国家庭承包耕地经营权流转面积超过5.32亿亩,占家庭承包经营耕地总面积约40%<sup>①</sup>。对于流转的土地,转出方和转入方的环境责任界定不清晰,农户倾向于在转入土地上追求收益最大化,增加化肥农药等农业生产要素的投入量而忽视对耕地资源的保护,导致土壤肥力退化(俞海等,2003)。郜亮亮等(2011)也发现农户在转入土地上长期投资的概率显著低于自有土地。Deaton et al.(2018)的研究表明,即便农户短期内会在转入土地上采用保护性耕作技术,但长期来看,受租赁时间不确定性的影响,农户仍不会采取长期性的耕地保护措施。农户土地转入行为虽能扩大农户土地经营规模,却不一定扩大地块面积,这仍不利于化肥减量化(梁志会等,2020)。土地流转后农户施肥行为受到土地经营规模和流转期限的影响,小农户的化肥使用强度相对更高(邹伟等,2020)。受到土地租金约束,为确保获得更高的经济效应,农户可能会增加化肥等投入强度而降低环境效率(李博伟,2019)。基于以上分析,本文提出假说1。

H1: 对于小农户,土地转入规模扩大会提高作物种植碳排放强度。

2.土地经营规模与作物种植碳排放。化肥、农药等农资生产和使用过程中的碳排放,是作物种植碳排放的重要来源。一般地,化肥对作物种植碳排放的“贡献”较大,占比超过作物种植碳排放总量的一半(Liu et al., 2021)。Ju et al.(2016)研究发现降低化肥使用强度的关键在于增加土地经营规模,增加土地经营规模能发挥土地经营的规模报酬效应,规模经营农户也拥有较好的施肥技术和较高的机械化水平,有利于提升化肥使用效率和降低化肥使用强度。Wu et al.(2018)发现土地经营规模每增加1%,单位面积的化肥使用量会减少0.3%。同时,土地经营规模扩大会降低单位面积的生产成本,激励农户采用保护性耕作技术,提高资源利用效率,有利于作物种植碳减排(Cillis et al., 2018)。基于以上分析,本文提出假说2。

H2: 土地经营规模扩大可以促进作物种植碳排放强度降低。

3.土地转入规模影响作物种植碳排放强度。基于产权激励理论,随着土地转入规模增加,产权不

<sup>①</sup>数据来源:《关于政协第十三届全国委员会第四次会议第5041号(农业水利类473号)提案答复的函》, [http://www.moa.gov.cn/govpublic/zcgg/202110/t20211009\\_6378982.htm](http://www.moa.gov.cn/govpublic/zcgg/202110/t20211009_6378982.htm)。

稳定性会导致农户施肥行为发生变化 (Lu et al., 2019) 从而影响作物种植碳排放。土地转入规模较大的农户更倾向于增加机械投入。这一方面会提高作物种植的能源消耗, 增加作物种植碳排放; 另一方面会提高农业集约化程度并提升化肥农药等农业生产要素的使用效率, 有可能降低作物种植碳排放 (刘琼和肖海峰, 2020)。因此, 土地转入规模可能通过机械投入强度影响作物种植碳排放。还有研究表明, 当土地经营规模较小时, 农户为满足自身口粮需求而种植粮食作物, 土地经营规模扩大后, 农户为追求经济利润, 会提高经济作物的种植比例, 使种植结构呈现“去粮化”趋势。但当土地经营规模超过一定范围, 所需劳动力超过家庭拥有劳动力数量时, 农户会选择提高粮食作物种植比例, 种植结构呈现“趋粮化”趋势 (毕雪昊等, 2020)。但总体上看, 土地转入规模增加会促使种植结构发生变化 (张建等, 2020), 而不同作物类型的种植特征导致其碳排放强度呈现差异 (Gan et al., 2014)。基于以上分析, 本文提出假说 3。

H3: 土地转入会通过化肥投入、机械投入和种植结构调整影响作物种植碳排放强度。

### 三、数据来源与研究方法

#### (一) 数据来源

本文使用的数据来自笔者所在课题组建立的中国农村发展调查 (China Rural Development Survey, CRDS) 数据库。2019 年, 课题组采用分层随机抽样方法调查了中国 5 省 25 县 100 村 2000 户农户。根据农业生态条件和社会经济发展特征, 课题组将中国省份划分为五大农业区域, 包括东北地区、东部沿海发达地区、西南地区、西北黄土高原地区、中部和北部地区, 然后在每个地区随机抽取 1 个省份作为样本省, 5 个样本省分别是吉林省、江苏省、四川省、陕西省和河北省。基于分层随机抽样方法, 课题组在每个样本省按照人均工业总产值将省内所有县降序排列, 然后使用等距抽样法抽取 5 个样本县。在每个样本县, 课题组随机抽取 2 个样本乡镇, 并在每个样本乡镇随机抽取 2 个样本村, 最后根据村民花名册在每个样本村随机抽取 20 户农户, 形成共计 2000 户农户样本的数据集。

调查收集了样本农户 2018 年的家庭基本情况, 包括人口学基本信息、家庭劳动力情况和健康状况等。为调查样本农户详细的农业投入产出情况, 课题组在每个样本村随机抽取部分样本农户 (共 1015 户) 做了更深入的农业种植情况调查, 了解农户种植的作物类型与相应的农业生产要素投入等情况。该部分调研均在农户种植的作物层面展开。首先, 课题组调查了样本农户在观测期内种植每类作物的种子、机械和雇工等投入。其次, 考虑到农资商品品类繁多, 有效成分含量存在差异, 为获得农户所用农资商品有效成分的准确配比, 前站调查员于正式调查前在样本村的农资店开展调查, 登记农资店在售所有种类的化肥、农药与农膜商品相关信息, 建立该村的农资商品信息数据库 (下文简称“农资信息库”)。如果样本村无农资店或农资店较少, 调查员会调查乡镇其他离该村最近的农资店, 以确保每个样本村至少对应 3 家农资店的农资商品信息。农户在接受调查时, 在农资信息库中根据化肥、农药与农膜的商品图片准确选择其使用的农资商品种类。同时, 调查员把农户在生产经营中的农资投入量记录在调查问卷中。如果农户在农资信息库中找不到其使用的农资商品种类, 调查员则单独详细记录农户选用的农资商品配方、规格和投入量。最后, 笔者将农户调查获得的信息与农资信息库匹配

并计算，获得每类作物的有效化肥营养元素、有效农药化合物与农膜的使用量数据。

样本农户 2018 年共种植了水稻、小麦和玉米等 128 种作物种类，使用了 159 种农药商品和 105 种化肥商品。在土地特征方面，样本农户户均土地经营面积为 14.45 亩，低于世界银行的小农户土地经营规模标准（30 亩），土地经营面积高于 30 亩的样本农户仅占样本总体的 10.06%。23.90%的样本农户有土地转入行为，18.74%的样本农户有土地转出行为。在家庭特征方面，92.83%的样本农户户主性别为男性，52.45%的样本农户户主年龄为 40~59 岁。在种植特征方面，795 户样本农户有作物种植行为，542 户农户种植了 2 种及以上作物。本文在实证分析中仅关注有作物种植行为的农户，样本量为 795 户。

## （二）研究方法

1. 作物种植全生命周期碳排放量核算<sup>①</sup>。农业生命周期评价法被广泛应用于农业碳排放量核算，该方法不仅关注农业系统本身，还关注由自然系统与工业系统进入农业系统和由农业系统排出的能量与物质，农业生命周期评价框架如图 1 所示。根据国际标准与理论框架（ISO14040），生命周期评价分为明确功能单位与系统边界、构建投入与排放清单、影响评价、结果解释 4 个步骤。

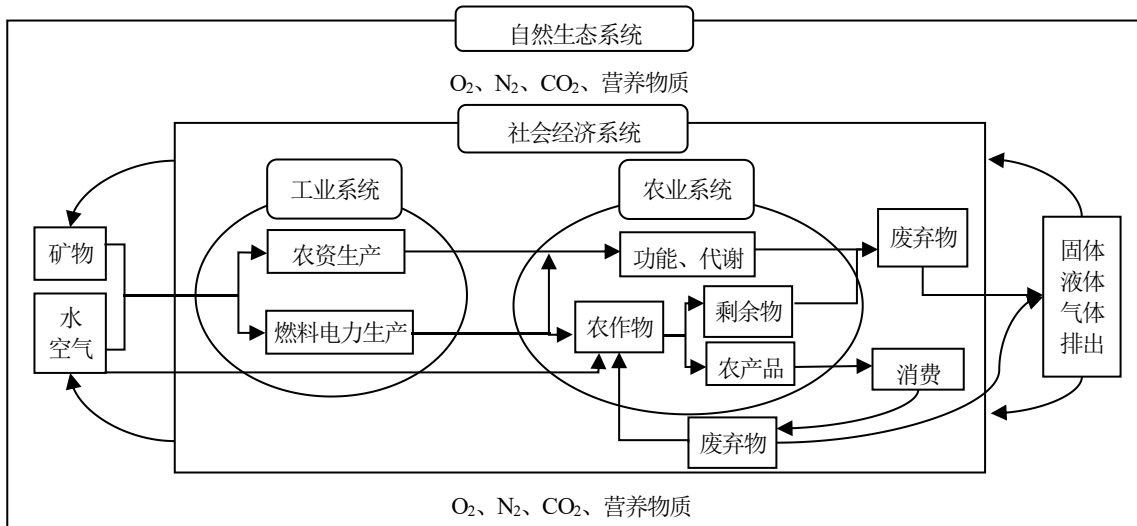


图 1 农业生命周期评价框架

（1）明确功能单位与系统边界。本文根据研究问题将功能单位定义为 1 亩耕地上的碳排放量。碳排放系统边界采取从“摇篮”到“门”的界定方法，包括原材料的开采与提炼、农资与燃料和电力等的生产、作物种植田间管理和各个运输环节（见图 2），具体包含实际投入作物种植的农资（种子、化肥、农药、农膜等）生产过程中的温室气体排放、农事操作（翻耕、播种、灌溉、收获等）过程中电力与燃油等能源消耗所造成的温室气体排放、货物（农资、农产品等）运输过程产生的温室气体排放、作物种植田间管理（化肥农药施用等）过程中的温室气体排放。

<sup>①</sup>本文作者团队构建了中国农业生命周期评价数据库，主要包括使用生命周期评价法测算农业碳排放的详细参数。由于文章篇幅限制，不能在文中详细展示，如感兴趣请邮件联系作者。

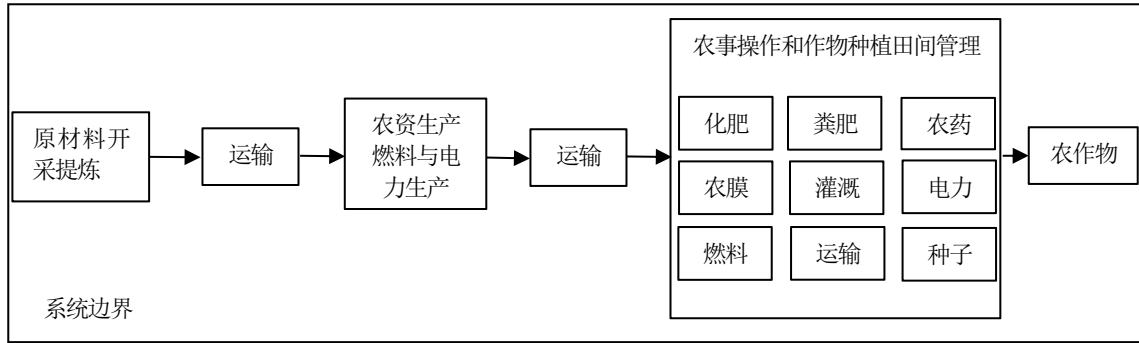


图2 全生命周期作物种植碳排放量核算的系统边界

(2) 构建投入与排放清单。构建作物种植投入与排放清单需要集成 Eco-invent 数据库的数据、环境归趋参数库的数据和作物种植投入数据。其中，Eco-invent 数据库的数据指的是农资生产过程的温室气体排放、农资货物运输和农事操作过程中电力与燃油等能源生产排放的温室气体数据<sup>①</sup>。环境归趋参数数据库由本文使用文献调查数据构建，在数据库构建过程中，笔者充分考虑中国不同地区气候环境差异、作物类型差异与数据可得性等因素，最终形成以“秦岭—淮河”为界的南北方关于水稻、蔬菜和其他旱地作物 3 类作物 6 类环境归趋参数库。环境归趋参数库主要包含农家肥、有机肥、化肥、农药等碳排放来源向大气排放的 CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、NH<sub>3</sub>、NO、NO<sub>x</sub>、重金属和各种农药中的有效化合物成分，向水体排放的硝酸盐、磷酸盐、重金属离子和各种农药中的有效化合物成分，向土壤排放的重金属元素和各种农药中的有效化合物成分。作物种植投入数据主要包括种子、化肥、农药、农膜等农资的投入量，灌溉用水量，农事操作电力和燃油用量与农产品运输距离等，化肥用量精确到氮、磷、钾等元素层面，农药用量精确到农药有效成分的化合物层面，全部数据均通过 CRDS 数据库获得。需要说明的是，本文遵照物质平衡原理构建了农业全生命周期投入与排放清单。作物种植碳排放量核算遵守碳中和原则，CO<sub>2</sub> 不纳入作物种植碳排放量核算框架。

(3) 影响评价与结果解释。农业生命周期评价可实现全球变暖、水消耗、土地利用等 18 类环境影响的评估，本文仅关注全球变暖这一环境影响类别，采用归因生命周期评价 ReCiPe 影响评估方法<sup>②</sup>中的中点评估。作物种植碳排放源涉及 CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O 等，在结果解释中，其核算标准均转化为千克二氧化碳当量。作物种植碳排放量核算依托 SimaPro 9.1.0.8 软件开展。

据此，全生命周期作物种植碳排放量核算概念公式如下：

$$E_p = E_{RM} + E_{IP} + E_{FM} + E_{Trans} \quad (1)$$

(1) 式中， $E_p$  表示作物种植碳排放量； $E_{RM}$ 、 $E_{IP}$ 、 $E_{FM}$  和  $E_{Trans}$  分别代表作物种植投入品的

<sup>①</sup>Ecoinvent 数据库内嵌于 SimaPro 软件当中。资料来源：SimaPro 软件官方网站，<https://simapro.com/>。

<sup>②</sup>ReCiPe 影响评估方法是生命周期评价法中的一种影响评估方法，通过表征因子将排放和资源开采转化为环境影响评分。ReCiPe 影响评估方法包含 18 个中点指标和 3 个终点指标，其中本文仅涉及中点指标中的全球变暖指标。资料来源：荷兰国家公共卫生和环境研究所官方网站，<https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>。

原材料开采和提炼等过程的碳排放量、作物种植投入品（化肥、农药、农膜等农资，电力和燃油等能源）生产过程的碳排放量、作物种植田间管理过程产生的碳排放量和作物种植田间管理过程以外的其他运输环节的碳排放量。其中， $E_{RM}$ 、 $E_{IP}$ 和 $E_{Trans}$ 可通过生命周期评价软件 SimaPro 9.1.0.8 集成的前端数据库和调查收集的农户作物种植生产投入数据计算得到， $E_{FM}$ 即作物种植田间管理碳排放核算公式如下：

$$E_{FM} = \sum_1^k (I_{mn} \times \sigma_{mn}) \quad (2)$$

(2) 式中， $k$ 表示农户种植的作物种类总数； $I_{mn}$ 表示 $m$ 投入品（化肥氮元素、农家肥氮元素、有机肥氮元素、电力和燃油等投入品等） $n$ 环境特征下（例如，南方和北方的不同环境、水田和旱地的不同环境等）的用量； $\sigma_{mn}$ 表示 $m$ 投入品 $n$ 环境特征下向环境中排放 $CO_2$ 、 $CH_4$ 、 $N_2O$ 的排放系数并转换成二氧化碳当量形式。

2.模型设定和变量说明。根据理论分析与研究假说，土地转入规模、土地经营规模是实证模型中的核心变量。同时加入影响农户作物种植碳排放量的控制变量，建立如下模型：

$$Y_i = \alpha_0 + \alpha_1 Transfer_i + \alpha_2 Size_i + \beta_i X_i + D_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

(3) 式中， $Y_i$ 表示第 $i$ 个农户的作物种植碳排放强度， $Transfer_i$ 表示第 $i$ 个农户的土地转入规模， $Size_i$ 表示第 $i$ 个农户的土地经营规模， $X_i$ 表示第 $i$ 个农户的控制变量， $D_i$ 表示省份固定效应。 $\alpha_0$ 、 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 和 $\beta_i$ 为待估计参数， $\varepsilon_i$ 为随机误差项。

模型中的变量说明如下：①被解释变量。被解释变量为农户作物种植碳排放强度，即农户单位经营面积的作物种植碳排放量。如表1所示，农户作物种植碳排放强度的均值为334.12千克二氧化碳当量/亩，碳排放总量的均值为4347.14千克二氧化碳当量/户。②核心解释变量。土地转入规模和土地经营规模为核心解释变量。土地转入规模以2018年农户土地转入面积为测度指标。对于土地经营规模，基于2018年农户土地经营总面积测度，对于没有土地流转行为的农户，其土地经营规模为农户家庭承包耕地的面积；对于有土地流转行为的农户，其土地经营规模为承包耕地面积与净转入耕地面积之和。③控制变量。借鉴以往相关研究（Carnegie et al., 2020; Li et al., 2021; 李波等, 2011），本文选择如下控制变量：户主性别、户主年龄、家庭成员平均受教育程度、家中是否有村干部、农业劳动力数量、外出劳动力占比、非农收入和家庭承包面积占比。户主性别影响农业生产行为决策（Carnegie et al., 2020），进而影响碳排放。田云等（2015）发现年龄大的户主更加思想保守、风险厌恶，倾向于“高投入、高产出”的农业生产方式；但李波和梅倩（2017）发现年龄大的户主有“较丰富”的务农经验，对生产要素的投入更加精准，有利于减少其作物种植碳排放。农户家庭成员平均受教育程度越高，越愿意采用环境友好的农业生产技术（Zhang et al., 2017），进而降低碳排放强度。村干部在农村生产生活中有示范作用，有家庭成员担任村干部的农户一般更愿意采纳绿色生产技术（Li et al., 2021）从而降低碳排放强度。家庭农业劳动力是重要的农业生产要素，也会影响到作物种植碳排放。当农户外出劳动力占比和非农收入增加时，农户会降低对农业的重视程度，减少农业投资，降低作物种植碳排放（李波等, 2011）。土地产权影响农户生产行为（Cao et al., 2020），家庭承包耕



地面积占比衡量了农户在事实层面的土地经营权的稳定性，当农户土地经营权越稳定，农户更加重视耕地质量保护，可以降低作物种植碳排放强度。变量定义与描述性统计见表 1。

表 1 变量定义与描述性统计

变量类别	变量名称	变量定义	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	作物种植碳排放强度	农户作物种植碳排放总量/土地经营规模（千克二氧化碳当量/亩）	334.12	310.39	0.09	3668.88
	作物种植碳排放总量	农户作物种植碳排放总量（千克二氧化碳当量）	4347.14	8429.42	0.02	137759.20
核心解释变量	土地转入规模	农户转入土地面积（亩）	3.03	15.03	0	282.50
	土地经营规模	农户土地经营总面积（亩）	14.45	22.70	0.14	294.70
控制变量	户主性别	户主性别（男=1，女=0）	0.93	0.26	0	1
	户主年龄	户主年龄（岁）	57.91	10.16	24	86
	家庭成员平均受教育程度	农户家庭成员平均受教育年限（年）	7.05	2.82	0	15.33
	家中是否有村干部	家庭成员中是否有村干部（是=1，否=0）	0.11	0.32	0	1
	农业劳动力数量	农户家庭农业劳动力数量（人）	1.85	0.73	0	5
	外出劳动力占比	农户家庭外出劳动力数量/农户家庭总劳动力数量	0.33	0.42	0	1
	非农收入	非农就业收入（万元）	4.23	5.21	0	39.84
机制分析变量	家庭承包面积占比	承包耕地面积/土地经营规模	0.86	0.28	0	1
	化肥投入强度	亩均氮元素投入（千克）	17.57	16.65	0	210
	机械投入强度	亩均机械投入（元）	79.51	95.91	0	903.60
	种植结构	三大主粮面积/总种植面积	0.71	0.37	0	1

#### 四、模型估计结果与分析

##### （一）农户作物种植碳排放强度特征分析

图 3 展示了 2018 年样本总体和各样本省农户作物种植碳排放强度和均值。由图 3 可知，2018 年农户作物种植碳排放强度为 334.12 千克二氧化碳当量/亩，数据分布呈“水滴型”，约 62.14% 的农户作物种植碳排放强度低于样本均值。从省际差异看，农户作物种植碳排放强度差异明显，碳排放强度最低的是河北省，其碳排放强度为 231.23 千克二氧化碳当量/亩；碳排放强度最高的是江苏省，其碳排放强度为 490.18 千克二氧化碳当量/亩。包括作物熟制、种植结构在内的种植制度差异和化肥施用强度差异是中国作物种植碳排放强度区域差异的主要来源。图 4 报告了样本总体作物种植碳排放的主要来源及其碳排放量占比。其中，最主要来源是田间管理过程释放的  $CH_4$  和  $N_2O$ ，占比为 42.98%；第二和第三大碳排放来源分别是非尿素来源的氮肥生产和尿素生产，二者合计比例达到 45.91%；如果再加上磷肥生产、钾肥生产和田间管理氮肥来源的碳排放量，化肥的碳排放量比例超过 80%，是农户作物种植碳排放的最主要来源。再者，种子生产包括小麦种子、花生种子、玉米种子、水稻种子、番

茄种子、马铃薯种子和黄豆种子，合计碳排放量比例为2.30%。另外，电力、有机肥生产、农膜生产、燃油、热能碳排放量所占比例分别为1.64%、0.63%、0.62%、0.35%、0.28%。

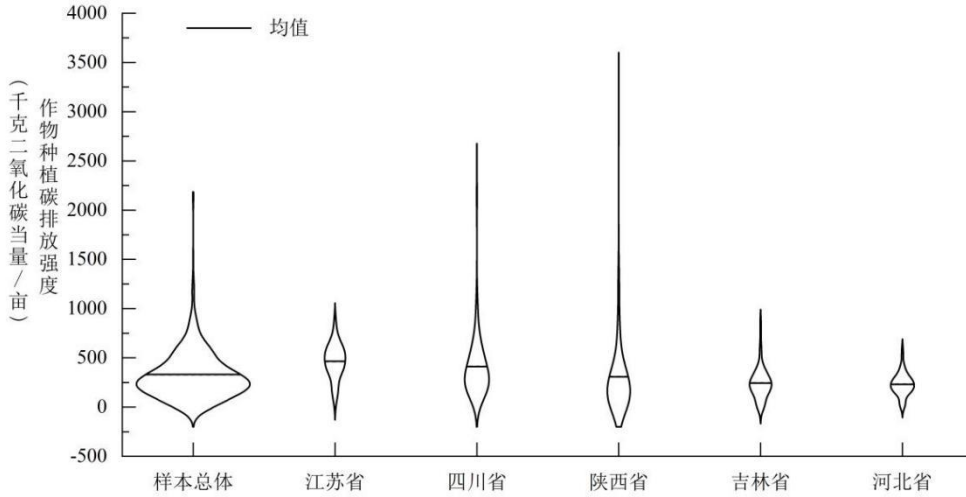


图3 样本总体与各样本省农户作物种植碳排放强度散点分布

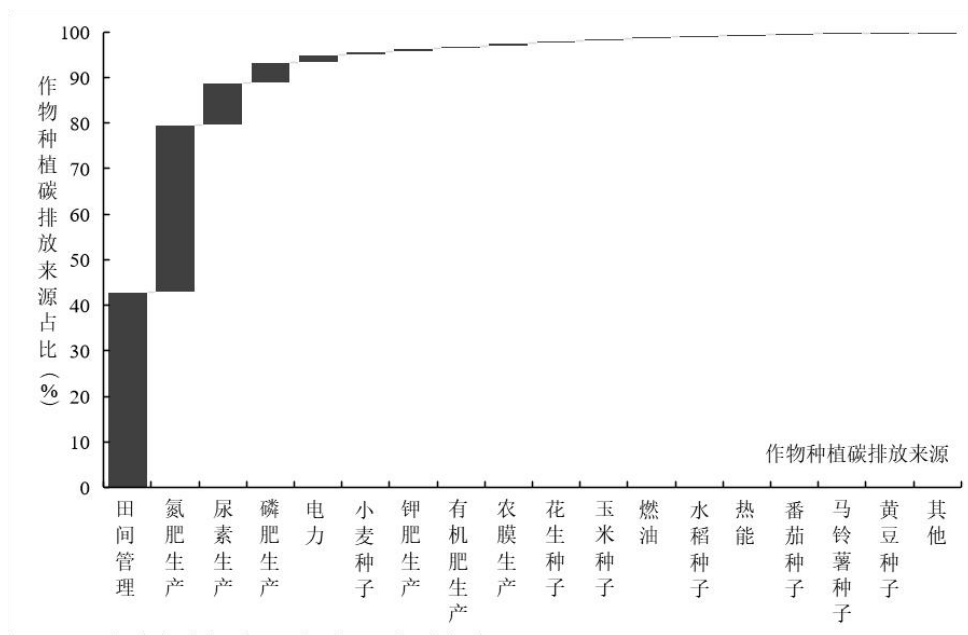


图4 样本农户作物种植碳排放来源占比

注：图中柱的高度表示作物种植不同碳排放来源的碳排放量占比；“氮肥生产”表示“非尿素来源的氮肥生产”。

## (二) 基准回归结果

表2 报告了土地转入规模、土地经营规模对作物种植碳排放影响的基准回归结果。首先，(1) 列和(2) 列汇报了土地转入规模、土地经营规模对农户作物种植碳排放强度的影响。(1) 列只包含土地转入规模、土地经营规模两个核心解释变量，结果表明，土地转入规模对作物种植碳排放强度具有

显著的正向影响，土地经营规模对作物种植碳排放强度具有显著的负向影响。（2）列中加入所有控制变量，土地转入规模的显著正向影响和土地经营规模的显著负向影响再次得到验证。（3）列和（4）列汇报了土地转入规模、土地经营规模对农户作物种植碳排放总量的影响。（3）列只包含了两个核心解释变量，（4）列包含了所有控制变量，估计结果均表明土地转入规模、土地经营规模对农户作物种植碳排放总量有显著的正向影响。上述结果表明，土地经营规模增加能促使农户作物种植碳排放强度降低，土地转入规模增加会导致农户作物种植碳排放强度、碳排放总量提高。综上所述，H1 和 H2 得到验证。

表2 基准模型估计结果

变量	(1)		(2)		(3)		(4)	
	作物种植碳排放强度		作物种植碳排放强度		作物种植碳排放总量		作物种植碳排放总量	
	系数	稳健标准误	系数	稳健标准误	系数	稳健标准误	系数	稳健标准误
土地转入规模	2.202**	0.860	2.742***	0.959	369.859***	78.699	375.012***	80.361
土地经营规模	-2.273***	0.517	-2.446***	0.575	52.898**	24.229	50.221**	22.696
户主性别			24.887	37.424			377.827	390.251
户主年龄			-3.356***	1.065			-55.949***	19.548
家庭成员平均受教育程度			-2.533	4.055			9.471	56.781
家中是否有村干部			-7.310	31.167			289.717	650.060
农业劳动力数量			43.129***	14.448			699.336***	216.558
外出劳动力占比			29.535	25.250			244.593	407.159
非农收入			-2.226	2.242			-66.615*	36.021
家庭承包面积占比			90.575**	35.907			1212.826	817.191
常数项	285.051***	19.467	315.595***	96.397	2842.863***	669.060	3375.652*	1892.792
省份固定效应	已控制		已控制		已控制		已控制	
观测值数	795		795		795		795	
R <sup>2</sup>	0.224		0.248		0.655		0.667	

注：\*\*\*、\*\*和\*分别表示 1%、5%和 10%的显著性水平。

（三）稳健性检验和内生性问题

本文使用更换变量和更换计量模型的方法做稳健性检验，并利用工具变量法解决潜在的内生性问题，回归结果见表 3。

表3 稳健性检验和工具变量法回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	低碳化 (均值)	低碳化 (中位数)	单位种植面积作 物种植碳排放量	作物种植碳排放 强度 (OLS)	作物种植碳排放 强度 (PSM)	作物种植碳排放强 度 (工具变量法)
土地转入规模	-0.026*** (0.010)	-0.031*** (0.010)	1.527** (0.756)			22.798** (11.569)

(续表 3)

是否转入土地				62.196**	126.043***	
				(24.456)	(30.542)	
土地经营规模	0.023***	0.026***	-1.378***	-1.255***	-1.108***	-11.908**
	(0.007)	(0.007)	(0.388)	(0.300)	(0.256)	(5.445)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
省份固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
观测值数	795	795	795	795	745	793
R <sup>2</sup>	0.042	0.036	0.117	0.247	0.745	0.517

注：①\*\*\*和\*\*分别表示 1%和 5%的显著性水平；②括号内为稳健标准误；③控制变量与表 2 相同；④（1）列和（2）列为采用 Logit 模型回归的估计结果，相应的 R<sup>2</sup> 为伪 R<sup>2</sup>。

1. 更换被解释变量。本文构建“低碳化”这一被解释变量做稳健性检验。考虑到同一省份农户碳排放情况具有相似性，若农户作物种植碳排放强度低于同省份农户作物种植碳排放强度的均值或中位数，即定义为低碳化并取值为 1，否则取值为 0。基于 Logit 模型，表 3（1）列以作物种植碳排放强度是否高于同省农户的均值作为被解释变量，发现土地转入规模增加对作物种植低碳化有负向影响，土地经营规模增加有利于农户作物种植碳减排，表 3（2）列以作物种植碳排放强度是否低于同省农户作物种植碳排放强度的中位数度量，上述结果依然稳健。

2. 更换被解释变量测度方式。本文更换被解释变量为农户单位种植面积的作物种植碳排放量，并采用最小二乘法（OLS）估计。在表 3（3）列中，土地转入规模对农户作物种植碳排放强度具有显著的正向影响，土地经营规模对农户作物种植碳排放强度具有显著的负向影响，与前述结果基本一致。

3. 更换解释变量。本文将解释变量土地转入规模更换为是否转入土地，若农户有土地转入行为赋值为 1，否则赋值为 0，表 3（4）列为基于最小二乘法（OLS）的回归结果，结果表明土地转入行为对作物种植碳排放强度有显著正向影响，土地经营规模对作物种植碳排放强度有显著负向影响。土地转入行为与土地转入规模对作物种植碳排放强度的影响一致，均具有显著的正向影响。

4. 使用倾向得分匹配法处理选择性偏差问题。农户是否转入土地是一种非随机的决策行为，样本可能存在选择性偏差。本文使用的倾向得分匹配法（PSM）可以确保在其他条件尽可能一致的情况下，得到是否转入土地的净效应，减少样本选择性偏差（陈飞和翟伟娟，2015）。本文使用的具体匹配方法为近邻匹配法，表 3（5）列报告了基于倾向得分法的估计结果。结果表明，农户的土地转入行为对作物种植碳排放强度具有显著的正向影响，土地经营规模对作物种植碳排放强度具有显著的负向影响。

5. 使用工具变量法处理内生性问题。在部分地区农业生产中，化肥、农药、机械等农业生产要素投入量大，表现出高碳排放特征，但高投入成本会推动农户转出土地，土地转入和作物种植碳排放可能存在反向因果关系，同时模型可能存在遗漏变量的问题，如遗漏农户生产经营能力和农业绿色发展政策等。因此，本文需要进一步解决可能的反向因果关系和遗漏变量导致的内生性问题。农户所在村庄的土地流转面积越大，农户越倾向于流转土地，因此村庄土地流转面积与农户土地转入规模有明显的相关性，但又不会直接影响农户作物种植碳排放强度，符合工具变量的外生性条件。因此，本文选

择村庄土地流转面积作为农户土地转入规模的工具变量。为确保工具变量的有效性，本文做了弱工具变量检验和工具变量不可识别检验。弱工具变量检验结果显示，F 值为 12.66，大于临界值 10，说明不存在弱工具变量问题。工具变量不可识别检验结果显示 p 值为 0.0004，小于 0.01，说明不存在工具变量不可识别问题。表 3（6）列报告了基于工具变量法的估计结果，表明土地转入规模对作物种植碳排放强度的正向影响和土地经营规模对作物种植碳排放强度的负向影响仍得到验证。

#### （四）异质性分析

为了探讨上述影响的异质性，表 4 分别汇报了核心解释变量对不同农户家庭成员平均受教育程度、不同农业劳动力占比、不同土地经营规模、有无支付土地租金和种植不同作物种类农户群体的作物种植碳排放强度的影响。

1. 家庭成员平均受教育程度。根据家庭成员平均受教育程度对样本农户分组，若农户家庭成员平均受教育程度为初中及以上，划归“高受教育程度”组，否则划归“低受教育程度”组。表 4（1）列和（2）列结果显示，在家庭成员平均受教育程度较低的样本农户中，土地转入规模、土地经营规模对作物种植碳排放强度的影响更大。

2. 农业劳动力占比。农户农业劳动力占比表征其对农业生产的依赖程度，若样本农户农业劳动力占比不低于全部样本农业劳动力占比均值，划归“高农业劳动力占比”组，否则划归“低农业劳动力占比”组。表 4（3）列和（4）列结果显示，土地转入规模对“低农业劳动力占比”组农户作物种植碳排放强度的影响相对更小，表明对农业生产依赖低的农户，土地转入规模对土地经营规模减碳效应的抑制作用越弱。

3. 土地经营规模。根据农户土地经营规模对样本农户分组，若农户土地经营规模不低于全部样本土地经营规模均值，划归“大经营规模”组，否则划归“小经营规模”组。表 4（5）列和（6）列结果表明，相对于小经营规模农户群体，土地转入规模、土地经营规模对其作物种植碳排放强度的影响程度明显大于对大经营规模农户群体的影响。

4. 有无支付土地租金。根据农户转入土地是否支付土地租金划分样本农户，若其支付土地租金，划归“支付土地租金”组，否则划归“未支付土地租金”组。表 4（7）列和（8）列结果表明，对于支付土地租金的农户群体，土地转入规模对其作物种植碳排放强度的影响在统计意义上不显著，而对于未支付土地租金的农户群体，土地转入规模对其作物种植碳排放强度有显著的正向影响。

5. 不同作物种类。基于作物层面的数据，表 4（9）～（11）列分别汇报了土地转入规模、土地经营规模对水稻、小麦和玉米三大主粮和其他作物（水稻、小麦和玉米之外的作物）种植碳排放强度的回归结果。结果显示，土地转入规模对水稻种植碳排放强度具有显著的正向影响，而土地经营规模对作物种植碳排放强度的负向影响只在水稻和玉米种植中被发现，土地转入规模、土地经营规模对其他作物种植碳排放强度均无统计意义上的显著影响。

变量	被解释变量：作物种植碳排放强度			
	(1) 高受教育程度	(2) 低受教育程度	(3) 高农业劳动力占比	(4) 低农业劳动力占比
土地转入规模	2.562** (1.069)	4.909*** (1.749)	4.226** (1.807)	3.450*** (1.033)
土地经营规模	-2.283*** (0.743)	-2.894*** (0.826)	-2.041** (0.858)	-3.158*** (0.833)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制
省份固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制
观测值数	518	277	436	359
R <sup>2</sup>	0.227	0.336	0.309	0.209
	(5) 大经营规模	(6) 小经营规模	(7) 支付土地租金	(8) 未支付土地租金
	土地转入规模	1.512* (0.805)	58.62*** (10.401)	0.507 (0.967)
土地经营规模	-1.335*** (0.483)	-14.52*** (5.164)	-1.203** (0.607)	-6.947 (8.969)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制
省份固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制
观测值数	207	588	124	68
R <sup>2</sup>	0.328	0.239	0.548	0.425
	(9) 水稻	(10) 小麦	(11) 玉米	(12) 其他作物
	土地转入规模	10.852** (4.793)	0.021 (1.764)	0.477 (0.520)
土地经营规模	-11.027** (4.480)	-0.388 (1.68)	-0.919** (0.384)	2.854 (3.464)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制
省份固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制
观测值数	265	269	537	569
R <sup>2</sup>	0.128	0.074	0.072	0.020

注：①\*\*\*、\*\*和\*分别表示 1%、5%和 10%的显著性水平；②括号内为稳健标准误；③所有回归中控制变量与表 2 相同；④表中是基于相应分组子样本的回归结果，所以观测值数有变动。

#### (五) 机制分析

参考江艇（2022）的中介效应方法，表 5 汇报了土地转入规模对农户作物种植碳排放强度影响的机制分析回归结果。中介效应的检验步骤如下：首先，检验核心解释变量对被解释变量的影响，若该

影响显著，则总效应显著；然后，检验核心解释变量对中介变量的影响，只有该影响显著，才能继续后续检验步骤；最后，将核心解释变量和中介变量一同放入回归模型，若中介变量的系数显著性得到验证，说明中介效应存在；若此时核心解释变量的系数同样显著，说明直接效应显著，即存在部分中介效应。土地转入规模对农户作物种植碳排放强度的影响在基准回归结果中已经得到验证，因此下文着重汇报了中介变量的估计结果。（1）列结果表明土地转入规模对化肥投入强度有显著的正向影响，（2）列中化肥投入强度对作物种植碳排放强度有显著的正向影响。因此，土地转入规模能够通过化肥投入强度影响作物种植碳排放强度。（3）列和（4）列结果表明，土地转入规模对机械投入强度的影响在统计意义上不显著，所以土地转入规模通过机械投入强度影响作物种植碳排放强度的机制未得到验证。（5）列回归结果证实了土地转入规模对种植结构有显著的正向影响，这表明随着土地转入规模增加，农户更倾向于种植主粮作物，（6）列回归结果表明种植结构对作物种植碳排放强度有显著的正向影响。因此，土地转入规模能通过种植结构影响作物种植碳排放强度。本文关注对象为小农户，因主粮作物相对更易于种植和管理（毕雪昊等，2020），所以小农户更多在转入的土地上种植主粮作物，样本农户三大主粮作物的种植面积占比高达71%。样本农户非主粮作物的种植面积均较少，例如，蔬菜的户均种植面积仅为0.14亩。与刘琼和肖海峰（2020）等基于统计数据得出的结论不同，本文发现主粮种植比例提升反而增加了作物种植碳排放强度，这可能是本文研究对象的特殊性导致的。小农户种植的非主粮作物多用于自己消费，施用的化肥农药较少，样本中非主粮作物种植的平均碳排放强度较主粮作物低25.37%。综上所述，H3中土地转入规模通过化肥投入强度和种植结构影响种植业碳排放强度的机制得到了验证。

表5 机制分析回归结果

变量	(1) 化肥投入 强度	(2) 作物种植 碳排放强度	(3) 机械投入 强度	(4) 作物种植 碳排放强度	(5) 种植结构	(6) 作物种植 碳排放强度
土地转入规模	0.082** (0.035)	1.845** (0.819)	0.452 (0.287)	2.417*** (0.876)	0.002** (0.001)	2.265** (0.979)
化肥投入强度		10.998*** (2.547)				
机械投入强度				0.719*** (0.177)		
种植结构						226.615*** (41.367)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
省份固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
观测值数	795	795	795	795	795	795
R <sup>2</sup>	0.100	0.475	0.405	0.269	0.260	0.288

注：①\*\*\*和\*\*分别表示1%和5%的显著性水平；②括号内为稳健标准误；③所有回归均控制了土地经营规模变量，其余控制变量与表2相同。

## 五、结论与政策启示

推动作物种植碳减排是实现中国“双碳”目标和生态文明建设的必然要求。本文基于微观农户农业生产调查数据，运用生命周期评价法核算了农户作物种植碳排放量，探究了土地转入规模、土地经营规模与农户作物种植碳排放之间的关系，并分析了土地转入对农户作物种植碳排放影响的内在机制。结果表明：首先，2018年中国农户作物种植碳排放强度为334.12千克二氧化碳当量/亩，区域差异明显；其次，农户土地经营规模扩大能促进作物种植碳排放强度降低，但土地转入规模扩大会对土地经营规模的减碳效应产生抑制作用；再次，土地转入规模、土地经营规模对农户作物种植碳排放强度的影响主要体现在小经营规模、未支付土地租金和水稻种植的农户群体中，农户家庭成员平均受教育程度越高及农业劳动力占比越低，土地转入规模对土地经营规模减碳效应的抑制作用越弱；最后，土地转入规模扩大主要通过促进化肥投入增加和种植结构主粮化的机制抑制土地经营规模的减碳效应。

本文结论可为推进中国农户作物种植碳减排提供以下两点政策启示：

第一，重视土地经营规模扩大在作物种植碳减排中的作用，但要警惕土地转入规模对土地经营规模减碳效应的抑制作用。土地转入是扩大土地经营规模的重要手段，但土地转入规模和土地经营规模对作物种植碳减排的影响背道而驰。因此，应加强对有土地转入行为的作物种植经营主体的农业技术和农业绿色发展理念等方面的培训，尤其是引导农户科学施肥与种植结构。

第二，聚焦主要政策实施群体，提高作物种植碳减排政策实施效果。随着土地经营规模和土地转入规模扩大，土地经营规模扩大的减碳效应和土地转入规模产生的减碳抑制作用将同步大幅下降。因此，为了提高作物种植碳减排政策实施效果，在政策制定和实施过程中应主要针对较小经营规模的农户，并且提高农村地区土地转入合同的规范性。另外，应根据种植作物种类的碳排放特征细化作物种植碳减排政策内容。

### 参考文献

- 1.毕雪昊、周佳宁、邹伟，2020：《家庭劳动力约束下经营规模对农户种植结构选择的影响》，《中国土地科学》第12期，第68-77页。
- 2.陈飞、翟伟娟，2015：《农户行为视角下农地流转诱因及其福利效应研究》，《经济研究》第10期，第163-177页。
- 3.高鸣、宋洪远，2015：《中国农业碳排放绩效的空间收敛与分异——基于Malmquist-luenberger指数与空间计量的实证分析》，《经济地理》第4期，第142-148页、第185页。
- 4.郜亮亮、黄季焜、Rozelle Scott、徐志刚，2011：《中国农地流转市场的发展及其对农户投资的影响》，《经济学（季刊）》第4期，第1499-1514页。
- 5.胡川、韦院英、胡威，2018：《农业政策、技术创新与农业碳排放的关系研究》，《农业经济问题》第9期，第66-75页。
- 6.黄祖辉、米松华，2011：《农业碳足迹研究——以浙江省为例》，《农业经济问题》第11期，第40-47页、第111页。
- 7.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。



- 8.李波、梅倩, 2017: 《农业生产碳行为方式及其影响因素研究——基于湖北省典型农村的农户调查》, 《华中农业大学学报(社会科学版)》第6期, 第51-58页、第150页。
- 9.李波、张俊飏、李海鹏, 2011: 《中国农业碳排放时空特征及影响因素分解》, 《中国人口·资源与环境》第8期, 第80-86页。
- 10.梁志会、张露、张俊飏, 2020: 《土地转入、地块规模与化肥减量——基于湖北省水稻主产区的实证分析》, 《中国农村观察》第5期, 第73-92页。
- 11.李博伟, 2019: 《土地流转契约稳定性对转入土地农户化肥施用强度和环境效率的影响》, 《自然资源学报》第11期, 第2317-2332页。
- 12.刘琼、肖海峰, 2020: 《农地经营规模与财政支农政策对农业碳排放的影响》, 《资源科学》第6期, 第1063-1073页。
- 13.卢华、胡浩、耿献辉, 2016: 《土地细碎化、地块规模与农业生产效益——基于江苏省调研数据的经验分析》, 《华中科技大学学报(社会科学版)》第4期, 第81-90页。
- 14.仇焕广、刘乐、李登旺、张崇尚, 2017: 《经营规模、地权稳定性与土地生产率——基于全国4省地块层面调查数据的实证分析》, 《中国农村经济》第6期, 第30-43页。
- 15.田云、尹恣昊, 2022: 《中国农业碳排放再测算: 基本现状、动态演进及空间溢出效应》, 《中国农村经济》第3期, 第104-127页。
- 16.田云、张俊飏、何可、丰军辉, 2015: 《农户农业低碳生产行为及其影响因素分析——以化肥施用和农药使用为例》, 《中国农村观察》第4期, 第61-70页。
- 17.王剑、薛东前、马蓓蓓、宋永永, 2019: 《西北5省耕地集约利用与农业碳排放时空耦合关系研究》, 《环境科学与技术》第1期, 第211-217页。
- 18.吴金凤、王秀红, 2017: 《不同农业经济发展水平下的碳排放对比分析——以盐池县和平度市为例》, 《资源科学》第10期, 第1909-1917页。
- 19.徐湘博、孙明星、张林秀, 2021: 《农业生命周期评价研究进展》, 《生态学报》第1期, 第422-433页。
- 20.杨广亮、王军辉, 2022: 《新一轮农地确权、农地流转与规模经营——来自CHFS的证据》, 《经济学(季刊)》第1期, 第129-152页。
- 21.俞海、黄季焜、Scott Rozelle、Loren Brandt、张林秀, 2003: 《地权稳定性、土地流转与农地资源持续利用》, 《经济研究》第9期, 第82-91页、第95页。
- 22.张建、杨子、诸培新、李效顺, 2020: 《农地流转与农户生计策略联合决策研究》, 《中国人口·资源与环境》第2期, 第21-31页。
- 23.邹伟、崔益邻、周佳宁, 2020: 《农地流转的化肥减量效应——基于地权流动性与稳定性的分析》, 《中国土地科学》第9期, 第48-57页。
- 24.Besley, T., 1955, "Property Rights and Investment Incentives: Theory and Evidence from Ghana", *Journal of Political Economy*, 103(5): 903-937.
- 25.Cao, Y., Y. Bai, and L. Zhang, 2020, "The Impact of Farmland Property Rights Security on the Farmland Investment in Rural China", *Land Use Policy*, 97, 104736.

- 26.Cillis, D., B. Maestrini, A. Pezzuolo, F. Marinello, and L. Sartori, 2018, "Modeling Soil Organic Carbon and Carbon Dioxide Emissions in Different Tillage Systems Supported by Precision Agriculture Technologies under Current Climatic Conditions", *Soil and Tillage Research*, 183: 51-59.
- 27.Carnegie, M., P. S. Cornish, K. K. Htwe, and N. N. Htwe, 2020, "Gender, Decision-making and Farm Practice Change: An Action Learning Intervention in Myanmar", *Journal of Rural Study*, 78(4): 503-515.
- 28.Deaton, B. J., C. Lawley, and K. Nadella, 2018, "Renters, Landlords, and Farmland Stewardship", *Agricultural Economics*, 49(4): 521-531.
- 29.Hou, Y., O. Oenema, and F. Zhang, 2021, "Integrating Crop and Livestock Production Systems: Towards Agricultural Green Development", *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 8(1): 1-14.
- 30.Gan, Y., C. Liang, Q. Chai, R. L. Lemke, C. A. Campbell, and R. P. Zentner, 2014, "Improving Farming Practices Reduces the Carbon Footprint of Spring Wheat Production", *Nature Communications*, 5(1): 1-13.
- 31.Ju, X., B. Gu, Y. Wu, and J. N. Galloway, 2016, "Reducing China's Fertilizer Use by Increasing Farm Size", *Global Environmental Change*, 41: 26-32.
- 32.Li, C., M. Sun, X. Xu, and L. Zhang, 2021, "Characteristics and Influencing Factors of Mulch Film Use for Pollution Control in China: Microcosmic Evidence from Smallholder Farmers", *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105222.
- 33.Liu, D., X. Zhu, and Y. Wang, 2021, "China's Agricultural Green Total Factor Productivity Based on Carbon Emission: An Analysis of Evolution Trend and Influencing Factors", *Journal of Cleaner Production*, 278, 123692.
- 34.Lu, H., P. Zhang, H. Hu, H. Xie, Z. Yu, and S. Chen, 2019, "Effect of the Grain-growing Purpose and Farm Size on the Ability of Stable Land Property Rights to Encourage Farmers to Apply Organic Fertilizers", *Journal of Environmental Management*, 251, 109621.
- 35.Ranjan, P., C. B. Wardropper, F. R. Eanes, S. Reddy, S. C. Harden, Y. J. Masuda, and L. S. Prokopy, 2019, "Understanding Barriers and Opportunities for Adoption of Conservation Practices on Rented Farmland in the US", *Land Use Policy*, 80(c): 214-223.
- 36.Rosenzweig, C., C. Mbow, L. G. Barioni, T. G. Benton, and J. Portugal-Pereira, 2020, "Climate Change Responses Benefit from a Global Food System Approach", *Nature Food*, 1(2): 94-97.
- 37.Wu, Y., X. Xi, X. Tang, D. Luo, B. Gu, S. K. Lam, P. M. Vitousek, and D. Chen, 2018, "Policy Distortions, Farm Size, and the Overuse of Agricultural Chemicals in China", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(27): 7010-7015.
- 38.Zhang, J., G. Manske, P. Zhou, B. Tischbein, M. Becker, and Z. Li, 2017, "Factors Influencing Farmers' Decisions on Nitrogen Fertilizer Application in the Liangzihu Lake Basin, Central China", *Environment, Development and Sustainability*, 19(3): 791-805.

(作者单位: <sup>1</sup>中国科学院地理科学与资源研究所;  
<sup>2</sup>联合国环境规划署国际生态系统管理伙伴计划;  
<sup>3</sup>中国科学院大学;  
<sup>4</sup>中国人民大学农业与农村发展学院)  
(责任编辑: 柳 荻)

## **Land Transfer-in Scale, Land Operation Scale and Carbon Emissions from Crop Planting Throughout the Life Cycle: Evidence from China Rural Development Survey**

XU Xiangbo LI Chang GUO Jianbing ZHANG Linxiu

**Abstract:** Based on the micro-survey data of agricultural production of 795 farmers in 100 villages of five provinces of China, this article uses life cycle assessment method to calculate the carbon emissions of farmers' crop planting, and explores the relationship between the scale of farmers' land transfer-in, land operation scale and the carbon emissions intensity of crop planting. The results show that in 2018, the carbon emission intensity of Chinese farmers' crop planting was 334.12kg CO<sub>2</sub>-eq/mu, with obvious regional differences. The expansion of farmers' land operation scale has generated carbon reduction effect, but it has been inhibited by land transfer-in scale. The heterogeneity analysis shows that the higher the average education level of household members and the lower their dependence on agriculture, the weaker the inhibition effect of land transfer-in scale on carbon reduction effect of land operation scale. The carbon reduction effect of the expansion of land operation scale and the inhibition effect of the expansion of land transfer-in scale mainly occurred in farmer groups with smaller land operation scale. From the perspective of whether to pay land rent, the impact of land transfer-in scale on carbon emissions of crop planting is not statistically significant for farmers who pay land rent. In terms of different crops, the carbon reduction effect of the expansion of land operation scale and the inhibition of the expansion of land transfer scale on the carbon reduction effect mainly occur in rice planting. The mechanism analysis shows that the expansion of land transfer-in scale mainly suppresses the carbon reduction effect of the expansion of land operation scale by increasing fertilizer inputs and adjusting planting structure. Based on the conclusions, the study proposes the necessity to pay more attention to the inhibition of the carbon reduction effect of the expansion of land transfer-in scale, guide scientific fertilization and rational adjustment of planting structure, and focus planting carbon emission reduction policies on smallholders.

**Key Words:** Land Transfer-in Scale; Land Operation Scale; Life Cycle Assessment; Carbon Emission from Crop Planting; Smallholder