



四川农业大学学报  
*Journal of Sichuan Agricultural University*  
ISSN 1000-2650, CN 51-1281/S

## 《四川农业大学学报》网络首发论文

题目: 农地流转对种植业低碳化发展水平的影响机制研究  
作者: 安勇, 侯苗, 邹玉友  
DOI: 10.16036/j.issn.1000-2650.202309371  
收稿日期: 2023-09-05  
网络首发日期: 2024-06-05  
引用格式: 安勇, 侯苗, 邹玉友. 农地流转对种植业低碳化发展水平的影响机制研究  
[J/OL]. 四川农业大学学报. <https://doi.org/10.16036/j.issn.1000-2650.202309371>



**网络首发:** 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式 (包括网络呈现版式) 排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认:** 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊 (光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊 (网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊 (网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物 (ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

10.16036/j.issn.1000-2650.202309371

## 农地流转对种植业低碳化发展水平的影响机制研究

安 勇<sup>1</sup>, 侯 苗<sup>2</sup>, 邹玉友<sup>2\*</sup>

(1.东北林业大学本科生院, 哈尔滨 150040; 2.东北林业大学经济管理学院, 哈尔滨, 150040)

**摘要:**【目的】研究农地流转对种植业低碳化发展水平的影响机制及效应, 为尽早实现农业“双碳”目标以及推进农业全面绿色转型提供经验借鉴。【方法】基于 2005—2020 年 30 个省级面板数据, 从碳源减控和产业发展二元视角构建种植业低碳发展水平评价指标体系, 运用熵权—TOPSIS 模型测度种植业低碳化发展水平, 并采用双固定效应、中介效应及工具变量模型探究农地流转对种植业低碳化发展水平的影响机制。【结果】国内种植业低碳化发展水平不高, 种植业低碳化发展水平排名前 5 位的省份为山东、河南、广东、江苏和福建, 排名后 5 位省份为安徽、青海、吉林、江西和内蒙古; 农地流转正向驱动种植业低碳化发展水平提升; 种植业化学化水平与机械化水平在农地流转影响种植业低碳化发展过程中有中介效应。【结论】通过持续推进农地制度改革、提升种植业化学物资利用效率和机械化水平、实施差异化配套政策以提升种植业低碳化发展潜力, 推进中国式农业现代化绿色高效发展。

**关键词:** 农地流转; 低碳化发展水平; 中介效应; 双固定效应; 工具变量

中图分类号: F321.1

文献标志码: A

### Research on the Impact Mechanism of Rural Land Transfer on the Low Carbon Development Level in Plantation Industry in China

AN Yong<sup>1</sup>, HOU Miao<sup>2</sup>, ZOU Yuyou<sup>2\*</sup>

(1. School of Undergraduate, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. College of Economics and Management, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** 【Objective】 To study the impact mechanism and effect of agricultural land transfer on the low-carbon development level of plantation industry, so as to provide experience and reference for achieving the "double carbon" goal of agriculture as soon as possible and promoting the comprehensive green transformation of agriculture.

【Method】 Based on 30 provincial panel data from 2005 to 2020, a low-carbon development level evaluation index system for the plantation industry was constructed from the dual perspective of carbon source reduction and industrial development. The entropy weight-TOPSIS model was used to measure the low-carbon development level of the plantation industry, and the double fixed effect, intermediary effect, and instrumental variable model were used to explore the impact mechanism of agricultural land transfer on the low-carbon development level of the plantation industry. 【Result】 The low-carbon development level of China's planting industry was not high. The top five provinces in terms of low-carbon development level of plantation industry were Shandong, Henan, Guangdong, Jiangsu, and Fujian, while the bottom five provinces were Anhui, Qinghai, Jilin, Jiangxi, and Inner Mongolia; Agricultural land transfer positively drives the low-carbon development of the plantation industry; The level of chemical and mechanical transformation of planting industry has a mediating effect on the process of agricultural land transfer affecting low-carbon development of the plantation industry. 【Conclusion】 By continuously promoting the reform of the agricultural land system, improving the utilization efficiency and

收稿日期: 2023-09-05

基金项目: 国家社会科学基金(22BGL175); 中国博士后科学基金(2021M700737); 黑龙江省自然科学基金(YQ2021G001); 中央高校基本科研业务费专项资金(2572022DE05, 2572021DF09, HFW230600022); 黑龙江省教育科学研究规划项目(GJE1422064)。

作者简介: 安勇, 博士, 研究员, 硕士生导师, 主要从事公共管理研究, E-mail: anyong@nefu.edu.cn. \*责任作者: 邹玉友, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事农林经济管理研究, E-mail: yuyouzou@163.com。

mechanization level of chemical material in the planting industry, implementing differentiated supporting policies to enhance the low-carbon development potential of the plantation industry, so as to promote the green and efficient development of Chinese agricultural modernization.

**Keywords:** agricultural land transfer; low-carbon development level; mediation effect; double fixed effect; instrumental variable

## 1 引言

农业低碳化是中国自觉承担减排增汇责任、追求可持续发展目标以及实现农业农村现代化的鲜明底色<sup>[1]</sup>。根据联合国政府间气候变化专门委员会统计数据表明,农业温室气体排放约占净人为温室气体排放的 1/4,2050 年农业产业或将成为最大碳排放源之一。种植业作为保障粮食等重要农产品有效供给的战略产业,既是重要的温室气体排放源,又具备着巨大的固碳增汇潜力<sup>[2]</sup>,其碳排放量占农业产业碳排放总量的 50%<sup>[3]</sup>。因而,推进种植业低碳化发展对农业减排固碳目标实现有着至关重要的作用<sup>[4]</sup>,尤其是在绿色发展理念的驱动下,农地流转作为种植业产业结构调整以及规模化经营的实践举措,以农地流转的规模化经营效果推动种植业低碳化发展是实现农业全方位绿色转型的关键途径,揭示农地流转影响种植业低碳化发展水平的内在机制,对推进农地流转增质提效、助力种植业全面减排以及尽早实现农业领域“双碳”目标具有重要的理论价值和现实意义。

学界围绕农地流转与种植业低碳化关系展开前瞻研究,部分学者从碳排放强度和结构视角开展了农业产业碳排放量核算,运用 TAPIO 脱钩模型和 LMDI 模型揭示种植业碳排放的时空特征和关联网络<sup>[5]</sup>,吴昊玥等<sup>[6]</sup>测算发现我国种植业碳排放量尚处于平台期,未来种植业碳排放量将明显下降,其与农业产值长期表现为弱脱钩关系;针对学界种植业“碳源”还是“碳汇”的认知差异,高旺盛等<sup>[7]</sup>主张通过建立标准统一的农田碳核算测算方法体系,并基于农用物质投入和粮食作物生产过程来考察种植业减排增汇的变化态势。也有学者剖析农地流转与种植业低碳化发展关系但却得到不一致的研究结论,龙云和任力<sup>[8]</sup>利用农户微观调研数据实证发现农地流转导致农业碳排放量增加,农户兼业收入占比和受教育程度越高其农业碳排放量越少;而吉雪强等<sup>[9]</sup>利用统计数据研究发现农地流转会抑制农业碳排放强度,农地流转面积的增加为农业大规模机械化运用提供了可能并由此产生遮掩效应降低了农业碳排放强度,推进传统农业向智能农业转型是我国实现农业碳中和目标的应然选择<sup>[10]</sup>。综上所述,中国种植业低碳化发展测度研究十分丰富,既为我国农业绿色发展提供了理论指导和实测方法,也为本文研究夯实基础。但现有研究在分析农业低碳化发展过程中更多考虑种植业“碳源”单一作用而鲜有关关注“碳源减排”与“产业发展”双重功能,也忽视了种植业结构调整带来的规模化经营引致种植业低碳化发展水平变化过程,尚未就农地流转带来的机械化水平和化学化水平对种植业低碳化发展影响的内在机理开展探索。可见,农地流转对种植业低碳化发展水平的影响研究有待拓展,其内在影响理论机制和作用效应还需进一步探索。

鉴于此,本文利用 2005—2020 年 30 个省份面板数据在以下方面进行拓展和延伸:一是构建基于资源技术投入以及规模化经营产出表现农地流转影响种植业低碳化发展水平的理论分析框架,识别内在影响机制及作用逻辑,更全面、深刻地剖析农地流转的低碳化影响效应;二是从碳源减控与产业发展二元角度构建种植业低碳化发展水平评价指标体系,运用熵权—TOPSIS 模型刻画不同省份种植业低碳化发展水平的变化特征;三是综合运用双固定效应、中介效应及工具变量模型,就农地流转对种植业低碳化发展水平的影响机制及其作用效应进行实证研究,保证检验结果的科学性与有效性,为实现种植业“双碳”目标的政策制定提供理论参考与有效支持。

## 2 理论分析与研究假设

### 2.1 农地流转对种植业低碳化发展水平的影响

种植业低碳化发展是指通过采取弱化化肥施用强度、降低农药和农膜使用量等策略减少温室气体排放过程,以实现“低耗能、低污染、低排放”的种植业生产经营目标<sup>[11]</sup>。就农地流转影响种植业

低碳化发展过程而言，农地流转至部分规模大户或经济组织后，出于“理性经济人”考量的流入方往往会合理运用种植业生产物资，以提高资源利用效率带来的种植业降碳效应<sup>[12]</sup>；同时农地流转通过扩大农地转入规模以及农作物经营面积，获得种植业规模经营效应，为先进农业技术和机械装备运用至种植业领域提供可能性，提高了种植业生产效率并有效推进种植业低碳化发展程度；加之农地流转以确权方式稳定了农地产权，流转后的规模经营主体为获取长期的投资收益，更愿意采用能有效提高土地墒情的绿色技术，降低种植业生产经营过程的碳排放量产出。基于此，农地流转通过效率提升、技术革新以及稳定产权三元路径推进种植业低碳化发展的深度和广度，倒逼种植业低碳化发展水平提升。基于此，提出本文研究假说 1：

H1：农地流转正向影响种植业低碳化发展水平。

## 2.2 种植业化学化水平与机械化水平的中介效应

以新发展理念赋能农业现代化亟须提升农业绿色产出水平，取决于化学化水平和机械化水平的量化投入<sup>[13]</sup>。化学化物资投入作为种植业碳排放的主要来源，其对种植业碳排放的“贡献”超过种植业碳排放总量的半数，是种植业减排指标之一<sup>[14-15]</sup>。农地流转通过土地细碎化改进效应、边际产出拉平效应与规模经济效益倒逼农地流入经营规模主体<sup>[16]</sup>，这些主体不仅会有效整合农地面积而加大测土施肥技术的应用强度，提高种植业绿色化学物资使用频率，还会为获得稳固的产权而进行农地长期性投资，进而减少农药投入强度以及有害化学物资使用次数。基于此，提出本文研究假说 2：

H2：种植业化学化水平在农地流转影响种植业低碳化发展水平过程中发挥中介效应。

农地流转通过使用农业机械设备实现适度规模经营<sup>[17]</sup>。资金支持与农地规模经营作为提升机械化水平的内在动力，不仅为购买与租赁机械设备提供必要前提，而且为最大化利用机械设备提供保障。农地转入的规模经营主体拥有更多的资金和更强烈意愿运用农业机械设备以提升种植业生产力；加之，农地流转降低了农地细碎化程度，使机械设备实现规模化作业，降低单位面积碳排放量对碳排放总量产生正向影响<sup>[18]</sup>。基于此，提出本文研究假说 3：

H3：种植业机械化水平在农地流转影响种植业低碳化发展水平过程中发挥中介效应。

## 3 实证研究设计

### 3.1 研究模型

#### 3.1.1 种植业低碳化发展水平评价模型

本文运用熵权法与 TOPSIS 模型相结合<sup>[19]</sup>开展种植业低碳化发展水平评价。熵权法是根据评价指标信息量以及变异程度确定评价指标权重的一种赋权方法，因其不涉及个体主观假设，故而得到的评价指标权重更具客观性和合理性；TOPSIS 模型通过计算评价指标与优劣解间相对贴近度对有限个体评分以确定最优方案，其获得的评价结果更加接近客观世界。熵权—TOPSIS 模型具体处理步骤为先运用熵值法确定每个评价指标的权重，计算得到标准化权重矩阵  $T$ ，然后确定  $T$  中每一列的最大值和最小值及其最优解  $R^+$  和最劣解  $R^-$ ，接着计算各目标值  $T_{ij}$  到最优解的欧式距离  $(d_j^+)$  和到最劣解的欧式距离  $(d_j^-)$ ，最后计算得到各省份种植业低碳化发展水平，即相对贴近度  $(C_j)$ ：

$$C_j = \frac{d_j^-}{d_j^+ + d_j^-} \quad \left( \begin{matrix} i=1,2,3, \dots, n \\ j=1,2,3, \dots, m \end{matrix} \right) \quad (1)$$

#### 3.1.2 直接效应模型

为提高回归结果科学性与可信度，参考已有研究<sup>[9]</sup>，在基准回归分析中运用省份效应与年份效应的双固定效应模型估计农地流转对种植业低碳化发展水平直接影响效应，具体公式：

$$C_{it} = a_1 + a_2 x_{it} + \sum b_l m_{it} + \beta_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中， $i$  为省份， $t$  为时间， $C_{it}$  为种植业低碳化发展水平， $x_{it}$  为农地流转， $m_{it}$  为控制变量， $a_1$  为截距项， $a_2$  为农地流转的系数， $b_l$  为控制变量的系数， $\beta_i$  为地区固定效应， $\mu_t$  为时间固定效应， $\varepsilon_{it}$  为随机误差项。

#### 3.1.3 中介效应模型



为进一步探讨农地流转对种植业低碳化发展水平影响的内生机制，采用两步回归系数法对中介效应进行检验，从而验证种植业化学化水平与种植业低碳化水平在农地流转影响种植业低碳化发展水平中起到的中介作用，具体公式：

$$M_{it}=e_1+f_1x_{it}+\sum b_1m_{it}+\beta_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$C_{it}=a_3+a_4x_{it}+dM_{it}+\sum b_1m_{it}+\beta_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中， $M_{it}$ 为中介变量， $e_1$ 和 $a_3$ 为截距项， $f_1$ 、 $a_4$ 为农地流转的系数， $d$ 为中介变量系数。

3.1.4 工具变量模型

在运用双固定效应模型进行回归时，结果可能会受到农地流转与种植业低碳化发展水平间反向因果关系以及随时间推移部分特征被遗漏风险带来的内生性问题干扰。为此，选用工具变量模型进行实证检验并解决直接效应计量模型中的内生性问题，具体公式：

$$\bar{x}_{it}=a_5+a_6IV_{it}+\sum b_1m_{it}+\beta_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$C_{it}=a_7+\bar{a}_2\bar{x}_{it}+\sum b_1m_{it}+\beta_i+\mu_t+\varepsilon_{it} \quad (6)$$

其中， $\bar{x}_{it}$ 为基于工具变量拟合的农地流转， $IV_{it}$ 为工具变量， $a_5$ 和 $a_7$ 为截距项， $a_6$ 和 $\bar{a}_2$ 为工具变量系数。

3.2 变量选择

3.2.1 被解释变量

种植业低碳化发展水平（LCDLPI）。考虑到种植业碳排放包含种植业直接或间接产生的温室气体碳排放碳源效应<sup>[20]</sup>以及农地土壤固碳能力和农作物产出效应<sup>[21]</sup>，从碳源减控和产业发展两大维度构建了种植业低碳化发展水平评价的指标体系：首先，选择化肥、农药、农膜、柴油、翻耕和灌溉等6个碳源指标以及种植业发展水平、种植业总产值、种植业增长率、种植业生产效率、种植业产业结构、农地产出率和农业全要素生产率等7个产业发展指标，按照已有文献<sup>[22]</sup>调整指标系数；其次，运用熵权法计算种植业低碳化发展水平评价指标权重值并核算不同年份各省域种植业低碳化发展水平，指标体系及权重（表1）。

表 1 种植业低碳化发展水平评价指标体系及权重  
Table 1 Evaluation index system and weight of LCDLPI

一级指标 Primary indicator	二级指标 Secondary indicator	核算公式 Accounting formula	信息效用		
			信息熵值 Information entropy	值 Informatio nutility value	权重 Weight
碳源减控	化肥	$(6.44+0.08+5.33) \times \text{总使用量}$	0.992 9	0.007 1	0.033 7
	农药	$(4.4+4.6+4.8) \times \text{总使用量}$	0.988 3	0.011 7	0.055 4
	农膜	$(0.4+4.6+4.8) \times \text{总使用量}$	0.993 8	0.006 2	0.029 4
	柴油	柴油使用量 $\times 2.73\text{kgL}^{-1}/0.84\text{kgL}^{-1}$	0.997 6	0.002 4	0.011 2
	翻耕	耕地面积 $\times 892.07\text{kg}(\text{hm}^2)^{-1}\text{a}^{-1}$	0.985 6	0.014 4	0.068 2
	灌溉	灌溉面积 $\times 25.00\text{kg}(\text{hm}^2)^{-1}\text{a}^{-1}$	0.986 0	0.014 0	0.066 0
产业发展	种植业发展水平	种植业总产值/乡村人口	0.997 7	0.002 3	0.011 1
	种植业总产值	粮食、谷物、蔬菜、水果和中药材等 产业总值	0.951 2	0.048 8	0.230 9
	种植业增长率	种植业产值增量/上年种植业产值总量	0.996 3	0.003 7	0.017 4
	种植业生产效率	种植业碳排放总量/种植业总产值	0.979 8	0.020 2	0.095 3
	种植业产业结构	种植业总产值/农林牧渔业总产值	0.983 1	0.016 9	0.079 7
	农地产出率	种植业总产值/播种总面积	0.959 1	0.040 9	0.193 4
	农业全要素生产率	农业总产出/农业总投入	0.977 1	0.022 9	0.108 3

3.2.2 解释变量

农地流转（ALT）。以农业农村部公布的各省份家庭承包耕地流转面积作为农地流转的衡量指标。其中，家庭承包耕地流转面积包含农户间耕地的互换面积、转让面积、转包面积、入股面积、出租面积及其他形式的流转面积等。

3.2.3 中介变量

种植业化学化水平（CLPI）与种植业机械化水平（MLPI）。根据前文理论分析与研究假设，以种植业生产所需的化肥、农药、农膜的使用量加总的总量与种植业总产值的比值作为种植业化学化水平衡量指标；种植业机械化水平用农业机械总动力与种植业总产值的比值来衡量。

3.2.4 工具变量

家庭承包耕地面积（HCALA）。鉴于种植业长期以自给自足、分散经营的“小农户”为主，户均耕地面积少、农地零散细碎，当家庭拥有的耕地面积越多时，其消耗在种植业的时间和精力越高，农户家庭在经济利益驱使下往往选择从事二、三产业经营活动而诱发农地流转。

3.2.5 控制变量

为更好地揭示农地流转对种植业低碳化发展水平影响规律，借鉴相关学者<sup>[9,13]</sup>研究，选取第一产业就业占比（PEMI）、农村居民消费水平（CLRR）、农村社会救济（RSR）、自然保护区面积（NRA）、受灾面积（AA）、种植业增加值（PAV）和作物播种面积（CSA）和粮食播种面积（GSA）等变量作为控制变量。

3.3 数据来源

本文以我国 30 个省份为研究样本，研究时段为 2005—2020 年。其中，港澳台和西藏地区由于种植业产业特征与其余省份有较大差异，故未纳入研究。研究数据来源于《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国农业年鉴》《中国农业统计资料》和各省级的相关统计年鉴，农地流转数据来自农业农村部官方网站。为保证研究数据的完整性与可行性，对于农户承包耕地面积、第一产业就业占比、农村居民消费水平、农村社会救济、自然保护区面积、受灾面积和种植业增加值的个别年份缺失值采用插值法和类推法进行补齐。样本数据的描述性分析（表 2）。

表 2 描述性统计  
Table 2 Descriptive statistics

变量类型 Variable type	变量名称 Variable name	计量单位 Measurement unit	均值 Mean	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum
被解释变量	种植业低碳化发展水平 /LCDLPI	——	3.957	2.638	0.095	10.608
解释变量	农地流转/ALT	百万 hm <sup>2</sup>	0.690	0.824	0.006	4.598
中介变量	种植业化学化水平/CLPI	千吨/元	1.476	0.671	0.303	3.884
	种植业机械化水平/MLPI	千吨/元	0.562	0.451	0.039	3.641
工具变量	农户承包耕地面积 /HCALA	百万 hm <sup>2</sup>	2.959	2.065	0.112	8.666
控制变量	第一产业就业占比/PEMI	%	37.980	13.990	3.906	68.701
	农村居民消费水平/CLRR	万元/人	0.816	0.499	0.156	2.676
	农村社会救济/RSR	十亿元	2.620	2.413	0.002	9.992
	自然保护区面积/NRA	千万 hm <sup>2</sup>	0.361	0.562	0.009	2.182
	受灾面积/AA	百万 hm <sup>2</sup>	0.509	0.525	0	3.187
	种植业增加值/PAV	千亿元	0.974	0.774	0.023	3.422
	作物播种面积/CSA	千万 hm <sup>2</sup>	0.539	0.370	0.009	1.491
	粮食播种面积/GSA	千万 hm <sup>2</sup>	0.372	0.292	0.005	1.444

4 实证结果分析

4.1 种植业低碳化发展水平评价

通过对 2005—2020 年 30 个省份种植业低碳化发展水平相对接近度  $C$  的平均值排名（表 3）发现：我国种植业低碳化发展水平还不高，省域种植业低碳化发展水平最高的省份为山东（0.441），其次是河南（0.422）、广东（0.411）、江苏（0.397）和福建（0.394）4 个省份，排名前 5 位省份均为种植业大省，由于农作物产量增加以及种植业快速发展，种植业碳排放强度期初偏高，但随着碳达峰碳中和纳入国家顶层设计，各地区、各行业明确提出了碳达峰碳中和目标，并设计具体实施路线图，制订低碳发展评价指标考核制度、产业准入负面清单制度，倒逼传统种植业低碳转型以及产业结构优化，从而推动了种植业低碳化快速发展；省域种植业低碳化发展水平较低的后 5 位省份分别为安徽（0.310）、青海（0.310）、吉林（0.306）、江西（0.301）和内蒙古（0.306），这 5 个省份的第二、三产业发展相对于东部地区缓慢，产业链条受阻，种植业过度依赖种植初级农产品诱发种植业碳排放强度高，且各地区种植业产业低碳化发展具有明显地域差异，例如：安徽省机械化、农药、薄膜、化肥等要素需求仍然强烈，种植业碳排放强度较高且未得到妥善碳中和抵消，导致种植业碳排放尚未充分发挥碳减排作用；青海地广人稀、地形崎岖且气候恶劣，种植业规模小、碳汇产出低，严重制约青海种植业低碳化高质量发展；由于农业技术效率低，吉林省种植业低碳水平不佳；江西省农地集中规模化难度大且利用强度大导致种植业碳排放量居高不下；内蒙古属高碳排放区域且种植业低碳技术推广慢，致使种植业低碳化发展处于较低水平<sup>[23]</sup>。

表 3 基于熵权—TOPSIS 法计算各省种植业低碳化发展水平  $C$  值及排名  
Table 3 Calculate  $C$  value and ranking of LCDLPI in each province based on entropy weight-TOPSIS method

省份	$C$ 值	排名	省份	$C$ 值	排名	省份	$C$ 值	排名
Province	$C$ -value	Ranking	Province	$C$ -value	Ranking	Province	$C$ -value	Ranking
山东	0.441	1	浙江	0.381	11	重庆	0.338	21
河南	0.422	2	新疆	0.369	12	辽宁	0.335	22
广东	0.411	3	湖北	0.361	13	宁夏	0.334	23
江苏	0.397	4	广西	0.357	14	云南	0.332	24
福建	0.394	5	湖南	0.349	15	山西	0.330	25
北京	0.386	6	上海	0.347	16	安徽	0.310	26
河北	0.385	7	贵州	0.347	16	青海	0.310	26
陕西	0.384	8	天津	0.346	18	吉林	0.306	28
四川	0.382	9	黑龙江	0.344	19	江西	0.301	29
海南	0.382	9	甘肃	0.340	20	内蒙古	0.301	29

4.2 直接效应检验结果分析

基于前文研究设计，先分析农地流转对种植业低碳化发展水平的直接影响效应。表 4 汇报了农地流转对种植业低碳化发展水平的直接影响效应检验结果，表 4 模型（1）为未添加控制变量的结果，模型（2）为加入控制变量后的回归结果。由表中数据可知，农地流转在两组模型中均为正，表明考察期内农地流转显著促进了种植业低碳化发展水平提升，假说 1 得到证实。这说明农地流转通过扩大农地转入规模及增加农作物播种面积对农地、劳动力两大生产要素进行合理配置，各省积极响应国家培育新型种植业经营主体号召，引导种植业经营主体积极采用绿色农业技术降低碳排放，多措并举确保种植业经济提质增效，从而提高种植业生产效率，推动种植业经营主体更为理性决策<sup>[24-25]</sup>，有利于提高种植业降碳增汇能力。

表 4 基准回归结果

**Table 4 Benchmark regression results**

变量	(1)	(2)
Variable	LCDLPI	LCDLPI
ALT	0.249*** (0.033)	0.263*** (0.036)
PEMI		0.079*** (0.029)
CLRR		-0.083*** (0.016)
RSR		-0.005 (0.004)
NRA		-0.107** (0.048)
AA		-0.013 (0.010)
PAV		-0.051*** (0.019)
CSA		0.081*** (0.015)
GSA		-0.018*** (0.020)
常数项	0.200** (0.084)	-0.026 (0.038)
样本量	480.000	480.000
$R^2$	0.991	0.999
时间固定效应	控制	控制
地区固定效应	控制	控制

注：\*\*\*、\*\*、\*分别表示在 1%、5%、10% 的统计水平上显著；括号内为变量回归系数相应标准误差。下同。

Note: \*\*\*, \*\*, \* indicate significant at the 1%, 5%, 10% statistical levels, respectively; the corresponding standard errors of the regression coefficients of the variables are in parentheses. The same as below.

就控制变量而言，第一产业就业占比和作物播种面积均在 1% 的显著性统计水平上呈现正向作用，即第一产业就业占比和作物播种面积显著提升种植业低碳化发展水平，这说明农业从业人员的增多为提高绿色环保意识、低碳技术储备能力及应用实践能力提供了可能，生产者为实现粮食增产与经济利益，将高投入的化学生产技术转变为高产出的绿色低碳种植业生产技术，其全方位考量、理性抉择以提升物资利用水平，促使其从心理意愿与主体行动两方面推动种植业低碳化发展，并通过提高土壤的固碳能力，减少温室效应，促进种植业减排固碳；农村居民消费水平、种植业增加值和粮食播种面积均在 1% 的显著性统计水平上呈现负向作用，这表明农村居民消费水平提升以及种植业增加值和粮食播种面积增加会显著抑制种植业低碳化发展水平提升，这说明生活水平的提升拉动农户向非农就业转移，闲置的农地为农地流转带来可能，面对着“谁来种地，如何种地”的现实困境，种植业经营主体会增加化肥、农药、农膜与机械柴油的投入强度，导致柴油、耗电量等方面的不必要支出，不利于种植业低碳化发展。令人疑惑的是，自然保护区面积对种植业低碳化发展水平在 5% 的统计水平上产生负向影响，表明自然保护区面积增加尚未发挥其生态福祉外溢效应，带来的减碳固碳能力也很微弱，亟须通过改善生态系统功能与质量，加强种植业生态系统的固碳能力。

#### 4.3 中介效应检验结果分析

以种植业化学化水平和种植业机械化水平作为中介变量揭示农地流转对种植业低碳化发展水平的间接影响过程，得到结果(表 5)。由表 5 模型 (1) 可知农地流转对种植业化学化水平的影响在 5% 的统计水平上系数为-0.106，即增加农地流转面积会显著降低种植业化学化水平，且由模型

(3) 可知种植业化学化水平对种植业低碳化的影响在 10% 的统计水平上系数为-0.035，表明降低种植业化学化水平利于提升种植业低碳化水平，即农地流转能通过降低种植业化学化水平而促进种植业低碳化发展水平提高，研究假说 2 成立。进一步地，由表 5 模型 (2) 可知农地流转对种植业机械化水平的影响在 5% 的统计水平上系数为 0.091，即增加农地流转面积会显著增加种植业机械化水



平，且模型（4）表明种植业机械化水平对种植业低碳化的影响在 10%的统计水平上系数为 0.014，可见种植业机械化水平的提升会增强种植业低碳化水平，说明种植业机械化水平在农地流转影响种植业低碳化发展水平过程中发挥中介作用，研究假说 3 成立。

表 5 中介效应模型回归结果

Table 5 Mediation effect model regression results				
变量	(1)	(2)	(3)	(4)
Variable	CLPI	MLPI	LCDLPI	LCDLPI
ALT	-0.106**(0.042)	0.091**(0.044)	0.059*** (0.016)	0.061*** (0.016)
CLPI			-0.035*(0.018)	
MLPI				0.014*0.017)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	1.439*** (0.099)	1.399*** (0.105)	-0.076* (0.046)	-0.026 (0.038)
样本量	480.000	480.000	480.000	480.000
R <sup>2</sup>	0.935	0.838	0.999	0.999
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制	控制

4.4 工具变量内生性检验结果分析

运用工具变量就农地流转影响种植业低碳化发展水平效应进行内生性检验得到回归结果如表 6 所示，模型（1）和（2）分别为工具变量法第一阶段和第二阶段的回归结果，研究发现处置了内生性的农地流转拟合值对种植业低碳化发展水平的影响系数为 0.178，依然为正，且农地流转工具变量的 LM 值在 1%的统计水平为 23.921 且 F 统计量远大于 1%偏误的临界值为 47.489，与基准分析结果作用方向一致，说明工具变量不是弱工具变量且通过了不可识别检验。

表 6 工具变量法回归结果

Table 6 Instrumental variable regression results		
变量	(1)	(2)
Variable	ALT	LCDLPI
HCALA	0.167*** (0.027)	
HCALA 拟合值		0.178*** (0.055)
常数项	0.096 (0.110)	-0.035 (0.038)
样本量	480.000	480.000
R <sup>2</sup>	0.946	0.999
控制变量	控制	控制
时间固定效应	控制	控制
地区固定效应	控制	控制

4.5 稳健性检验结果分析

为验证结果稳健性，分别采取替换研究模型和调整研究区域两种方式进行模型稳健性检验，得到研究结果(表 7)。表 7 中的模型（1）和（2）分别为用 OLS 回归替换研究模型和剔除 4 个直辖市后的稳健性检验结果，结果显示，农地流转与种植业低碳化发展水平在 1%的显著性下依然为正相关关系，说明基准回归结果可信，研究回归结果稳健性效果良好。

表 7 稳健性检验

Table 7 Robustness test

变量 Variable	(1) LCDLPI	(2) LCDLPI
ALT	0.063*** (0.016)	0.137*** (0.039)
常数项	-0.112 (0.123)	4.544*** (0.075)
样本量	480.000	416.000
$R^2$	0.954	0.992
控制变量	控制	控制
时间固定效应	控制	控制
地区固定效应	控制	控制

## 4.6 异质性检验结果分析

考虑到地区间存在的异质性，进一步开展了农地流转对种植业低碳化发展水平的区域异质性分析（表 8），研究发现各地区农地流转对种植业低碳化发展水平均产生了正向影响作用。从作用系数来看，西部地区>东北地区>中部地区>东部地区，这可能是由于西部与东北地区拥有较为丰富的农地资源，为农地流转提供规模化经营条件的同时，也降低了不必要的农用物资消耗，厚植生态环境优势，充分落实“绿水青山就是金山银山”的低碳绿色发展理念。而中东部地区由于农地细碎化严重及经济高质量发展弱化了农业低碳化发展动力，因此农地流转对种植业低碳化发展水平的促进作用相对较小。

表 8 异质性检验  
Table 8 Heterogeneity test

变量及统计 参数 Variable and parameter	东北地区 Northeastern area	东部地区 Eastern area	中部地区 Central area	西部地区 Western area
ALT	0.399*** (0.142)	0.055* (0.029)	0.075* (0.044)	0.438*** (0.093)
$N$	48.000	160.000	96.000	176.000
$R^2$	0.986	1.000	1.000	0.983
控制变量	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
地区固定效应	控制	控制	控制	控制

## 5 结论及启示

### 5.1 研究结论

统筹农地流转和种植业低碳化发展的“双赢”目标是推进农业高质量发展的应有之义。本文运用熵权—TOPSIS 法对我国 30 个省份 2005—2020 年的种植业低碳化发展水平进行评价，并运用双固定效应模型、中介效应模型及工具变量模型对农地流转影响种植业低碳化发展水平影响效应及内在机制进行深入研究。结论如下：①从碳源减控和产业发展二元视角构建种植业低碳化发展水平评价指标体系具有合理性，且种植业低碳化发展水平评价表明我国省域种植业低碳化发展水平不高，其中种植业低碳化发展水平较高的地区依次是山东、河南、广东、江苏和福建，而种植业低碳化发展水平较低的地区为安徽、青海、吉林、江西与内蒙古。②农地流转通过提高农地利用效率、推进技术创新以及稳定农地产权三元路径正向促进种植业低碳化发展，农地流转面积扩大会提高种植业低碳化发展水平。③种植业化学化水平与机械化水平在农地流转显著影响种植业低碳化发展过程中有中介作用，验证了“农地流转→种植业化学化水平下降/种植业机械化水平提升→助力种植业低碳化水平提升”传导机制的有效性。

本文结论具有以下政策启示：①健全农地制度改革机制推进农地流转。完备的法律法规能有效规范农户农地利用行为，《民法典》明确了土地承包经营权的身份属性和物权属性，夯实了集体所有权、农户承包权和土地经营权分置的农地制度，提高了农地流转的发生率，降低农地流转间接制度成本，下一步既要稳步推进落实农户承包权有偿退出政策，提高农地流转的意愿，还要夯实农地流转机制，规范流转合同，解决农地流转带给农户缺乏法律保障的后顾之忧，提供种植业低碳化发展的农地资源保障。②提升种植业化学物资的使用效率与机械化水平。种植业化学物资利用效率与机械作业作为种植业低碳化的关键支撑，能有效缓解农地流转过程中可能带来的种植业碳排放加剧问题，为此，要加快构建种植业产学研用体系，引导农地经营主体采用先进的生态技术实现高效精准施肥，科学配比种植业化学品投入，建立低碳高效的种植业化学品投入体系；还要加大研发与升级新能源机械设备，充分实现种植生产的智能化、信息化、现代化<sup>[26]</sup>，结合数字技术赋能提高农业机械的工作效率，达到种植业增产作用。③实施差异化政策支撑助力种植业绿色低碳转型发展。鉴于我国各地区农地资源禀赋条件、种植业生产结构的差异性使得种植业碳排放量不同，需因地制宜采取差异化政策推进区域低碳协同发展，充分利用优势地区低碳创新技术和减排关键技术外溢效应，引导省级农业部门联席交流带动技术与经验的共建共治共享，助力农业现代化背景下种植业绿色低碳高质量发展的目标尽早实现。

## 参考文献：

- [1] 邹玉友, 马天一, 田国双. 制度同构压力、企业生命周期与碳信息披露质量[J].统计与信息论坛,2022,37(12):78-88.
- [2] 戴小文, 杨雨欣. 2007—2016 年中国省域种植业碳排放测算、驱动效应与时空特征[J].四川农业大学学报,2020,38(2):241-250.
- [3] 曾贤刚, 余畅, 孙雅琪. 中国农业农村碳排放结构与碳达峰分析[J].中国环境科学,2023,43(4):1906-1918.
- [4] 龚钰, 陆建飞, 罗云建, 等. 江苏省县域种植业碳源/汇测算与农业园区空间相关性分析[J].生态与农村环境学报,2023,39(8):963-972.
- [5] 宁静, 王震, 杜国明, 等. 东北地区农业碳排放特征与农业经济的脱钩状态分析[J].经济地理,2023,43(11):173-180.
- [6] 吴昊玥, 周蕾, 何艳秋, 等. 中国种植业碳排放达峰进程初判及脱钩分析[J].中国生态农业学报(中英文),2023,31(8):1275-1286.
- [7] 高旺盛, 陈源泉, 王小龙, 等. 中国种植业碳中和技术路径探讨与对策建议[J].农业现代化研究,2022,43(6):941-947.
- [8] 龙云, 任力. 农地流转对碳排放的影响: 基于田野的实证调查[J].东南学术,2016(5):140-147.
- [9] 吉雪强, 刘慧敏, 张跃松. 中国农地流转对农业碳排放强度的影响及作用机制研究[J].中国土地科学,2023,37(2):51-61.
- [10] 周启星, 王琦, 郑泽其, 等. 农业粮食生产中的碳中和与生态修复[J].农业环境科学学报,2023,42(1):1-10.
- [11] 蒋琳莉, 张露, 张俊飏, 等. 稻农低碳生产行为的影响机理研究: 基于湖北省 102 户稻农的深度访谈[J].中国农村观察, 2018(4):86-101.
- [12] 李文明, 罗丹, 陈洁, 等. 农业适度规模经营: 规模效益、产出水平与生产成本: 基于 1 552 个水稻种植户的调查数据[J].中国农村经济,2015(3):4-17, 43.
- [13] 丁宝根, 赵玉, 邓俊红. 中国种植业碳排放的测度、脱钩特征及驱动因素研究[J].中国农业资源与区划, 2022,43(5):1-11.
- [14] 高晶晶, 史清华. 中国农业生产方式的变迁探究: 基于微观农户要素投入视角[J]. 管理世

界,2021,37(12):124-134.

- [15] LIU D, ZHU X, WANG Y. China's agricultural green total factor productivity based on carbon emission: an analysis of evolution trend and influencing factors[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 278:123692.
- [16] 邹伟, 崔益邻, 周佳宁. 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[J]. 中国土地科学, 2020, 34(9): 48-57.
- [17] 匡远配, 彭鼎. 要素结构配置的阶段变化与农业机械化发展探讨[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2021, 22(4): 24-31.
- [18] 王翌秋, 徐丽, 曹蕾. “双碳”目标下农业机械化与农业绿色发展: 基于绿色全要素生产率的视角[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2023(6): 56-69.
- [19] 兰勇, 周艺珮, 蒋弼. 家庭农场与农业企业利益联结机制综合评价研究[J]. 农业现代化研究, 2021, 42(5): 805-814.
- [20] 田云, 张俊飏, 丰军辉, 等. 中国种植业碳排放与其产业发展关系的研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(6): 781-791.
- [21] 尚杰, 杨滨键. 种植业碳源、碳汇测算与净碳汇影响因素动态分析: 山东例证[J]. 改革, 2019(6): 123-134.
- [22] 李铜山, 王艳蕊. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域农业碳中和能力评价研究[J]. 区域经济评论, 2022(3): 92-98.
- [23] 李洁, 修长百, 闫晔. 内蒙古农业科技进步贡献率、农业总产值与农业碳排放关系研究[J]. 科学管理研究, 2019, 37(4): 131-136.
- [24] 张帆, 宣鑫, 金贵, 等. 农业源非二氧化碳温室气体排放及情景模拟[J]. 地理学报, 2023, 78(1): 35-53.
- [25] 魏梦升, 颜廷武, 罗斯炫. 规模经营与技术进步对农业绿色低碳发展的影响: 基于设立粮食主产区的准自然实验[J]. 中国农村经济, 2023(2): 41-65.
- [26] 李睿, 侯彦杰. 信息学视域下提升中国生态文明国际话语权的路径探索[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2024, 37(2): 63-68.