

DOI: 10.20103/j.stxb.202403240604

张红亮, 杨子涵, 吴健. 中国农业生产力对森林覆盖率的影响实证分析. 生态学报, 2025, 45(5): 2364-2373.

Zhang H L, Yang Z H, Wu J. The impact of agricultural productivity on forest cover in China. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(5): 2364-2373.

中国农业生产力对森林覆盖率的影响实证分析

张红亮, 杨子涵, 吴 健*

中国人民大学生态环境学院, 北京 100872

摘要: 发展中国家的土地利用面临生态保护与农业生产的两难抉择, 尽管提升农业生产力有可能实现二者的双赢, 但在理论和实践中仍存在争议。研究围绕着“农业生产力提升是减缓还是加剧森林破坏”这一研究问题, 基于 2001—2015 年中国 1200 个区县单元的数据, 采用索洛残差与随机前沿法测算区县农业全要素生产率 (TFP) 以表征农业生产力, 并使用面板固定效应回归方法, 估计农业生产力对森林覆盖率的影响。研究结果表明: ①样本区县总体呈现出农业生产力与森林覆盖率的同步提升; ②农业生产力提升对森林覆盖率有一定负面影响, 农业 TFP 每提升 1%, 森林覆盖率将降低 0.012%; 估计 2001—2015 年间农业生产力提升导致森林覆盖率下降 0.14%—0.25%, 但与我国同时期的森林覆盖率整体水平和变化趋势相比, 负面影响十分有限; ③农业生产力的提升促进了农业部门内部的结构调整, 提高了畜牧业和渔业产值的贡献比重, 同时增加了种植业的耕地利用强度, 从而缓解了农业发展对森林覆盖的不利影响。可见, 样本区县以较小的森林保护代价, 实现了农业生产力的快速提升, 并在生态保护项目的有力支持下, 获得了森林保护与农业生产的同步发展。

关键词: 农业生产力; 全要素生产率; 森林覆盖; 森林破坏

The impact of agricultural productivity on forest cover in China

ZHANG Hongliang, YANG Zihan, WU Jian*

School of Ecology & Environment, Renmin University of China, Beijing 100872, China

Abstract: Land use in developing countries often faces a conflict between ecological protection and agricultural production. Boosting agricultural productivity could potentially achieve a win-win situation for both ecological protection and agricultural production, but it remains a subject of debate in both theory and practice. This study addresses the research question of whether the increase in agricultural productivity mitigates or exacerbates deforestation. Based on data from 1,200 counties in China from 2001 to 2015, the study employs the Solow residual and the stochastic frontier analysis methods to measure county-level agricultural total factor productivity (TFP) as an indicator of agricultural productivity. By applying panel data fixed-effects methods, this study estimates the impact of agricultural productivity on forest cover. The results indicate that: ①The sample counties generally show a simultaneous increase in both agricultural productivity and forest cover. ②The rise in agricultural productivity has a certain negative impact on forest cover, with a 1% increase in agricultural TFP leading to a 0.012% decrease in forest cover. It is estimated that the increase in agricultural productivity from 2001 to 2015 resulted in a 0.14% to 0.25% decline in forest cover. However, compared to the overall level and trend of forest cover in China during the same period, this negative impact is quite limited. ③Increased agricultural TFP has driven structural changes within the agricultural sector, increasing the output of livestock and fisheries, while has intensified the land use for crop production. These changes have mitigated the negative effect of agricultural development on forest cover. Thus, the sample counties have achieved rapid agricultural productivity growth at a small cost of forest protection, and have attained simultaneous

基金项目: 国家自然科学基金 (72103198)

收稿日期: 2024-03-24; 网络出版日期: 2024-11-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jianwu@ruc.edu.cn

限于数据的可获取性, 本研究尚未含中国港澳台统计数据。

development in both forest protection and agricultural production with the strong support of ecological protection projects.

Key Words: agricultural productivity; total factor productivity (TFP); forest cover; deforestation

人类社会的可持续发展离不开生态系统和农业系统的平衡。一方面,生态系统为农业生产提供了不可或缺的生态系统服务,如授粉、保持水土等,还可以缓解气候变化对粮食生产造成的损害。另一方面,农业系统为人类提供了生存所必须的食物,但是农业生产往往会给生态系统带来负面影响,如土壤质量退化、水污染和栖息地丧失等。特别是森林生态系统为地球上 80% 的两栖动物、75% 的鸟类和 68% 的脊椎动物提供了栖息地,是最主要的陆地生物多样性承载系统,然而长期以来农业开垦和轮耕是全球森林破坏的主要驱动因素^[1]。伴随着农产品的市场化和国际化,发展中国家的农业生产活动为生态保护带来的压力与日俱增,对全球生物多样性和气候稳定的威胁也愈发凸显^[2-3]。为了降低生态系统面临的压力,许多国家采取了鼓励保护性耕作、退耕还林和建立自然保护区等农业和生态政策,但是这些政策的实施可能会导致粮食产量下降,进而威胁到粮食安全和农业发展,因此发展中国家的土地资源往往面临用于生态保护还是农业发展的两难抉择^[4]。

提升农业生产力具备实现生态保护与农业发展双赢的潜力。农业生产力的提升,即农业全要素生产率 (Total factor productivity, TFP) 的提高,意味着在农业生产要素投入不变的情况下,大幅度提高粮食单位面积产量,从而减少了农业生产对于土地的需求,因此能够在保障粮食安全和农业发展^[5]的同时减轻森林生态破坏的压力。这正是基于人口的布罗格假说 (Borlaug hypothesis) 的核心观点,即农业生产力的提升有利于生态保护^[6]。此外,提升农业生产力还能够减少化肥、农药和灌溉用水等农业生产要素投入,降低农业生产对土壤质量和水质水量的负面影响^[7]。然而,基于市场的理论给出了相反的推论。具体来说,农业生产力的提高有利于农业产出和利润的提升,从而使得农民更有动力砍伐森林、开发边际土地,将林地开垦为农用地,导致更多森林遭到破坏,形成杰文斯悖论 (Jevon's paradox),即农业生产力的提升会加剧森林破坏。对比基于人口的布罗格假说和基于市场的杰文斯悖论,Angelson^[8]认为两种理论的差异在于:前者假设生存行为和有限市场一体化,强调贫困、人口增长等驱动因素;而后者假设要素市场或产品市场对于农地扩张不构成限制,强调价格、市场可及性等市场驱动因素。因此,在理论上,农业生产力的提升究竟是减缓还是加剧森林破坏存在不确定性。

实证研究文献也尚未给出明确的答案。早期关注区域、国家等宏观层面对比^[9]以及微观主体伐木开垦决策的研究^[10-13]都认为耕地、牧草地扩张是森林减少的重要因素之一,但就此结论远未达成共识^[14-15]。后得益于遥感技术的提升,学者们结合微观数据和卫星数据,开展更大空间尺度、更长时间跨度的研究。例如,Abman 与 Carney^[16]利用卫星数据,发现马拉维的种子和化肥补贴项目提高了当地的农业生产力,短期内降低了农村家庭对森林的依赖,从而减缓了当地的森林破坏。然而,也有研究发现促进农业生产力提升的项目增加了当地的森林砍伐,如西非的农业补贴^[17]和巴西的转基因大豆推广^[18]。这些农业生产力提升项目对森林破坏的影响差异可能是其对农业生产力的影响机制不同,如劳动力替代型的技术进步会释放农业劳动力,从而推动农地扩张、加速森林破坏,而相对中性的或劳动力密集型的技术进步则会缓解森林破坏压力^[19]。

回顾现有研究,国际研究多从具体农业政策项目出发并集中于热带地区的发展中国家,研究结果并未得出一致的结论。国内相关研究则多为宏观描述森林覆盖率驱动因素^[20-22]或土地利用转变情况^[23-25],以及分析自然保护区、退耕还林等生态保护政策实施的影响^[26-32],尚缺乏关于农业生产力对森林覆盖率影响的实证研究。针对该研究空白,本文利用中国共 1200 个区县单元 2001—2015 年间的农业数据与森林覆盖率数据,采用索洛残差 (Solow residual, SLW) 和随机前沿方法 (Stochastic frontier analysis, SFA) 测算区县农业全要素生产率以直接衡量农业生产力,并利用面板固定效应模型量化农业生产力对森林覆盖率的影响。研究结果能够为“农业生产力提升是减缓还是加剧森林破坏”这一世界问题提供来自中国的经验证据,也为协调我国生态

保护与农业发展提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 数据

本文利用中国 2001—2015 年的区县数据,探究农业生产力对森林覆盖的影响。农业数据整理自省市统计年鉴,其中包含了区县单元的农业产值、耕地面积、农业投入等信息。样本区县包含了中国胡焕庸线以东的 20 个省份,这些省份的农林牧渔总产值与农业生产总投入占全国的 80% 以上。由于各省的年际间和省内不同市县的数据公布情况有别,因此农业数据为非平衡面板数据;同一省份内部分市县数据存在重要变量缺失或者统计口径变更而无法用于分析,所以最终样本共包含 1200 个区县。研究区间内存在行政区划变动,本文将所有农业生产数据统一到 2000 年区县单元。产值等价格信息基于生产者物价指数 (Producer Price Index, PPI) 平减为 1980 年价格。

森林覆盖数据来自美国航空航天局的 MEaSUREs 植被连续值 (Vegetation Continuous Fields) 数据集。该数据集利用气象卫星 AVHRR 传感器,形成了 1982—2016 年的全球植被覆盖栅格数据,数据精度为 0.05° (约 5.6km)。该数据集包含了森林覆盖、非林植被覆盖、无植被覆盖三个波段,本文通过汇总森林覆盖波段数据得到各区县单元逐年的森林覆盖率。该数据与全国土地调查所得林地覆盖率之间的相关系数在 0.9 以上并在 1% 水平上显著,因此能够很好地反映我国森林覆盖的状况。

样本区县及其 2001—2015 年间的平均森林覆盖率如图 1 所示。主要变量的描述性统计情况如表 1 所示。表 1 中森林覆盖率、年均气温、年累积降水为样本区县在 15 年间的平均情况。

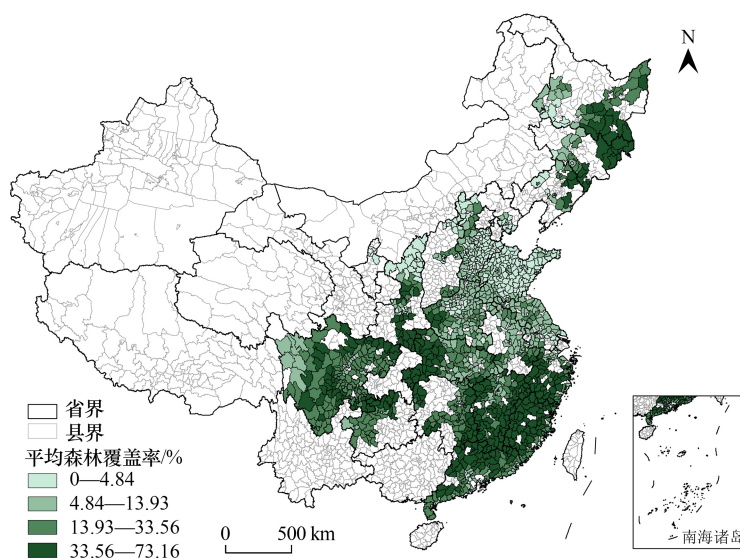


图 1 样本区县及其 2001—2015 年平均森林覆盖率

Fig.1 Sample counties and average forest cover during 2001—2015

1.2 研究方法

1.2.1 农业 TFP 估计

本文采用两种常用的生产函数估计农业 TFP^[33]。首先假设农业生产符合柯布-道格拉斯 (Cobb-Douglas, CD) 生产函数,据此计算各区县的农业 TFP:

$$\ln y_{it} = \beta_1 \ln l_{it} + \beta_2 \ln m_{it} + \beta_3 \ln f_{it} + \alpha_i + \lambda_t + \xi_{it} \quad (1)$$

其中 $\ln y_{it}$ 表示区县 i 在 t 年的单位耕地面积产值的自然对数, $\ln l_{it}$ 、 $\ln m_{it}$ 与 $\ln f_{it}$ 分别代表单位耕地面积劳

表 1 描述性统计
Table 1 Summary Statistics

变量 Variables	变量定义(单位) Variable definition(Unit)	样本量 Observations	均值 Mean	标准差 Standard deviation	最小值 Minimum	最大值 Maximum
lnYield	单位面积产值的自然对数/(万元/hm ²)	10361	0.298	0.778	-3.505	12.903
lnLabor	单位面积劳动力投入的自然对数/(人/hm ²)	10361	1.330	0.751	-4.721	10.554
lnMachinery	单位面积机械投入的自然对数/(kWh/hm ²)	10361	2.117	0.921	-3.836	14.094
lnFertilizer	单位面积化肥投入的自然对数/(t/hm ²)	10361	-0.700	0.982	-7.543	7.696
ForestCover	森林覆盖率/%	18000	21.243	18.981	0.000	84.401
Temp	年均气温/℃	18000	15.838	4.213	0.829	25.617
Prec	年累积降水/m	18000	1.152	0.533	0.107	3.042

产值、劳动力、机械、化肥是基于 2001—2015 年统计年鉴的非平衡面板数据;森林覆盖率、年均气温、累积降水是基于 2001—2015 年卫星观测和气象观测的平衡面板数据;产值通过生产者物价指数平减至 1980 年价格水平

动力、机械与化肥投入的自然对数。 α_i 为区县固定效应,表示区县不随时间变化的特征,如地形地貌等; λ_t 为年份固定效应,表示所有区县共同面临的冲击,如国际农产品和投入品价格波动以及中性的技术改变^[34]; ξ_{it} 表示其他不可观测的影响因素。农业 TFP 的计算方式为:

$$TFP_{it} = \exp(\alpha_i + \lambda_t + \xi_{it}) \quad (2)$$

本文也基于超越对数(Transcendental Logarithmic, TL)生产函数对农业 TFP 进行估计:

$$\ln y_{it} = \beta_1 \ln l_{it} + \beta_2 \ln m_{it} + \beta_3 \ln f_{it} + \beta_4 \ln l_{it}^2 + \beta_5 \ln m_{it}^2 + \beta_6 \ln f_{it}^2 + \beta_7 \ln l_{it} \ln m_{it} + \beta_8 \ln l_{it} \ln f_{it} + \beta_9 \ln m_{it} \ln f_{it} + \alpha_i + \lambda_t + \xi_{it} \quad (3)$$

其中各项含义与式(1)中保持一致。TL 生产函数放松了 CD 生产函数中的常弹性假设,对于生产过程的描述更灵活^[35]。

在估计方法方面,本文采用两种方法计算农业 TFP。第一种是索洛残差方法,即利用面板固定效应模型对式(1)和(3)进行估计,该方法不考虑技术非效率的存在,在规模报酬不变的假设下,农业 TFP 变化就代表了技术变化^[36]。第二种是随机前沿方法,对式(1)和(3)采用 Battese 与 Coelli^[37]的随机效应模型进行回归,其假设 $\alpha_i = \alpha$,同时假设:

$$\xi_{it} = -u_{it} + v_{it} \quad (4)$$

其中, u_{it} 是时变技术非效率(technical inefficiency)。相比于传统的索洛残差方法,随机前沿方法考虑了生产技术上的非效率,放松了传统方法中对所有生产者均充分技术有效的假定,更符合现实情况,计算出的 TFP 代表了技术变化和技术效率变化共同作用的结果^[36,38]。

除了以上的参数估计方法外,还有一些研究使用以数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)为代表的非参数估计方法来测算农业生产率^[39—40]。但是 DEA 方法假定了投入与产出之间的确定性关系,无法区分统计误差与生产率,容易受到随机因素的影响,还可能存在角度选择的任意性以及不同角度结果不可比性。因此本文采用参数估计方法来计算农业 TFP,将基于 CD 生产函数、利用索洛残差法得到的农业 TFP(CD-SLW)用作基准回归分析,将其他三种农业 TFP(CD-SFA、TL-SLW、TL-SFA)用作稳健性检验。

1.2.2 农业 TFP 对森林覆盖率的影响估计

为定量评估农业生产力对区县森林覆盖率的影响,本文构建面板回归方程如下:

$$\text{ForestCover}_{it} = \gamma + \delta \ln TFP_{i,t-m} + X_{it} \zeta_t + \theta_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

其中, ForestCover_{it} 表示区县 i 在 t 年的森林覆盖率(%), $\ln TFP_{i,t-m}$ 表示区县 i 在 $t-m$ 年的农业全要素生产率的自然对数($m \in [0, 5]$)。由于农业生产是一个长期性的活动,农业生产的决策往往依赖于过往的农业生产情况,因此本文分别考虑当期以及滞后 1—5 年的农业生产力作为核心自变量。 X_{it} 表示可能影响森林覆盖率的气象因素,包括年均气温与年累积降水; ζ_t 与 θ_i 分别表示年份固定效应与区县固定效应, ε_{it} 为估计误差项。参数 δ 即表示农业生产力对森林覆盖率的影响。

对于农业生产力潜在的内生性,本文采用两种方法来缓解。一是在面板回归中加入区县固定效应,控制区县内部无法观测的、不随时间变化、可能同时影响农业 TFP 和森林覆盖率的因素,如土壤质量等,并加入年份固定效应,控制影响所有区县的随时间变化的因素,如国际木材价格等。二是采用滞后项,缓解核心自变量与因变量之间的反向因果关系。为保证回归结果的稳健性,本文进一步采用改变控制变量的方式进行稳健性检验。

2 结果与分析

2.1 农业 TFP 计算结果

基于式(1)—(4)估计得到 2001—2015 年各区县农业生产方程如表 2 所示。其中,前两列展示了基于 CD 生产函数的估计结果,后两列展示了基于 TL 生产函数模型的估计结果,均采用了 SLW 和 SFA 两种方法进行分别估计。四种农业 TFP 之间具有极高的相关性,相关系数均在 0.9 以上并在 1%水平上显著。

表 2 农业生产方程估计结果
Table 2 Regression results of agricultural production function

解释变量 Explanatory variables	因变量:单位面积产值对数 Dependent variable: lnYield			
	CD		TL	
	SLW (1)	SFA (2)	SLW (3)	SFA (4)
lnLabor	0.303 *** (34.933)	0.248 *** (34.973)	0.124 *** (6.930)	0.058 *** (4.555)
lnMachinery	0.238 *** (42.575)	0.248 *** (53.047)	0.240 *** (19.826)	0.177 *** (15.703)
lnFertilizer	0.348 *** (47.988)	0.347 *** (56.821)	0.467 *** (28.036)	0.455 *** (33.325)
lnLabor squared			0.011 *** (2.836)	-0.002 (-0.629)
lnMachinery squared			-0.010 *** (-6.642)	-0.001 (-0.722)
lnFertilizer squared			0.045 *** (12.648)	0.022 *** (11.106)
lnLabor × lnMachinery			0.043 *** (7.200)	0.051 *** (13.167)
lnLabor × lnFertilizer			-0.112 *** (-15.712)	-0.098 *** (-22.117)
lnMachinery × lnFertilizer			0.011 *** (3.791)	0.014 *** (6.701)
年份固定效应 Year fixed effects	是	是	是	是
区县固定效应 County fixed effects	是	是	是	是
加权 Weighted	是	是	是	是
样本量 Observations	10361	10361	10361	10361

列(1)与(3)的括号内为 *t* 统计量,列(2)与(4)括号内为 *z* 统计量;权重为区县年末平均耕地面积,误差项聚类在区县层面;*** $P<0.01$, ** $P<0.05$, * $P<0.1$;CD:指柯布-道格拉斯(Cobb-douglas)生产函数,TL:指超越对数(Transcendental logarithmic)生产函数,SLW:指索洛残差法(Solow residual),SFA:指随机前沿法(Stochastic frontier analysis)

2.2 农业 TFP 对森林覆盖率的影响

表 3 展示了农业 TFP 对森林覆盖率影响的回归结果,其中列(1)表示农业 TFP 对森林覆盖率的当期影响回归结果,列(2)—(6)分别表示滞后 1—5 年的农业 TFP 对森林覆盖率的影响回归结果,列(7)表示滞后 5 年移动平均农业 TFP 的影响,其中的因变量为 2006—2015 年的森林覆盖率(2005 年及以前的观测值不存在

滞后 1—5 年平均,故不进入回归)。由于农业数据为非平衡面板,因此不同滞后年数的回归方程中样本量有所不同。所有回归均控制了年均气温与年累积降水,以及年份固定效应和区县固定效应,标准误在区县层面进行聚类。

表 3 农业 TFP 对森林覆盖率的影响

Table 3 The impact of agricultural TFP on forest cover

解释变量 Explanatory variables	因变量:森林覆盖率 Dependent variable: Forest Cover/%						
	(1) lag0	(2) lag1	(3) lag2	(4) lag3	(5) lag4	(6) lag5	(7) lag5avg
lnTFP	0.134 (0.725)	-0.068 (-0.358)	-0.739 *** (-3.639)	-0.284 (-1.397)	-0.623 *** (-3.130)	-0.781 *** (-3.716)	-1.156 *** (-3.824)
控制变量 Controls	是	是	是	是	是	是	是
年份固定效应 Year fixed effects	是	是	是	是	是	是	是
区县固定效应 County fixed effects	是	是	是	是	是	是	是
聚类 Cluster	县	县	县	县	县	县	县
样本量 Observations	10054	9695	9369	9002	8479	7990	9644
拟合优度 R-squared	0.971	0.969	0.970	0.970	0.974	0.978	0.978

控制变量包括年均气温与累积降水;括号内为稳健的 t 统计量;*** $P<0.01$, ** $P<0.05$, * $P<0.1$;TFP:指全要素生产率(Total Factor Productivity);lag0—lag5 分别指滞后 0 期(即当期)至滞后 5 期的全要素生产率,lag5avg 指滞后 5 年移动平均的全要素生产率

回归结果表明农业 TFP 提升对区县的森林覆盖率存在滞后的负向影响,但是影响幅度有限。其他条件不变,农业 TFP 每提升 1%,未来 2—5 年内的森林覆盖率年均将降低 0.006%—0.008%(即百分点,非相对变化);农业 TFP 的自然对数提升 1 个标准差(0.514),即 TFP 提升 0.7 倍($=\exp(0.514)-1$),年均森林覆盖率将降低 0.3%—0.4%,以平均森林覆盖率(21.243%)为基准相当于下降了 1.5%—1.9%。以列(7)的回归系数来看,5 年移动平均的 TFP 每提升 1%,森林覆盖率将降低 0.012%;5 年移动平均 TFP 自然对数提升一个标准差(0.504)将导致森林覆盖率降低 0.6%,以平均森林覆盖率为基准相当于下降了 2.7%。该回归结果表明农业生产力的提升导致森林覆盖率略有减少且影响存在滞后性,负面影响在两年后开始显现,这可能是因为农民在生产过程中会基于过去多年的农业生产状况而做出决定。对农业 TFP 自然对数进行多年移动平均能够更好地描述区县在近 5 年的农业发展整体状况,缓解局域外部冲击(如自然灾害、病虫害等)下 TFP 剧烈变动导致的回归结果不准确,因此本文以列(7)的回归结果作为主要回归结果。

2.3 稳健性检验

本文采取以下三种方法进行稳健性检验。一是改变农业 TFP 计算方法,采用其他三种方式计算得到的 TFP 作为自变量(均进行 5 年移动平均处理)进行回归,结果如表 4 的列(1)—(3)所示,回归系数均与基准回归结果相似且均在 1%水平上显著,表明农业 TFP 计算方法的选择对于本文主要结论没有影响。二是考虑农业 TFP 极端值的潜在影响,将测算出的 TFP 自然对数进行 1%—99%的缩尾处理后,再进一步计算其 5 年移动平均,回归结果如列(4)所示,回归系数及其显著性仍保持稳定,表明极端值的存在对回归结果的影响不大。三是改变回归分析模型设定,列(5)表明删除控制变量后,回归系数与基准回归结果相差不大;列(6)用省级线性时间趋势替代年份固定效应,以控制影响森林覆盖率时间变化趋势的因素,回归系数绝对值相对于基准回归有所减小,但系数仍在 5%水平上显著为负;列(7)表明当标准误在省级层面进行聚类,回归系数仍在 10%水平上显著。稳健性检验结果证明了本文基准回归结果和主要结论的稳健性。

3 讨论

2001—2015 年间,样本区县的总体农业 TFP 从 0.606 上升至 0.741(如图 2),增幅达 22%。结合本文实证结果进行估计,农业生产力提升导致的样本区县内森林覆盖率下降幅度约为 0.14%—0.25%(依据表 3 列(3)—(7)估计结果)。同时期内,样本区县的总体森林覆盖率从 23.9%增加至 31.1%(如图 2),提升了 7.2%,

表明样本区县实现了农业生产力与森林覆盖率的同步提升,农业生产力提升对森林覆盖率的负面影响十分有限。然而在巴西、刚果、印度尼西亚等热带地区的发展中国家,其森林覆盖自 21 世纪以来持续减少,其中最主要的驱动因素是畜牧、油棕榈种植等农业生产活动^[41],中国则走出了截然不同的发展路径,以较小的代价,实现了森林保护与农业生产的同步提升。本部分从农业部门结构、耕地集约利用和生态保护项目三方面对此展开讨论。

表 4 稳健性检验

Table 4 Robustness checks

解释变量 Explanatory variables	因变量: 森林覆盖率 Dependent variable: forest cover/%						
	TFP				控制变量	时间趋势	聚类
	CD-SFA	TL-SLW	TL-SFA	CD-SLW_w	Controls	Time trends	Cluster
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
lnTFP	-1.108 *** (-3.688)	-1.162 *** (-3.825)	-1.196 *** (-3.805)	-1.278 *** (-3.891)	-1.020 *** (-3.406)	-0.667 ** (-2.15)	-1.156 * (-1.765)
控制变量 Controls	是	是	是	是	否	是	是
年份固定效应 Year fixed effects	是	是	是	是	是	否	是
区县固定效应 County fixed effects	是	是	是	是	是	是	是
时间趋势 Time trends	否	否	否	否	否	是	否
聚类 Cluster	县	县	县	县	县	县	省
样本量 Observations	9644	9644	9644	9644	9644	9644	9644
拟合优度 R-squared	0.978	0.978	0.978	0.978	0.978	0.977	0.978

CD:指柯布-道格拉斯(Cobb-Douglas)生产函数,TL:指超越对数(Transcendental Logarithmic)生产函数,SLW:指索罗残差法(Solow Residual),SFA:指随机前沿法(Stochastic Frontier Analysis)控制变量包括年均气温与累积降水;括号内为稳健的 t 统计量;*** $P<0.01$, ** $P<0.05$, * $P<0.1$

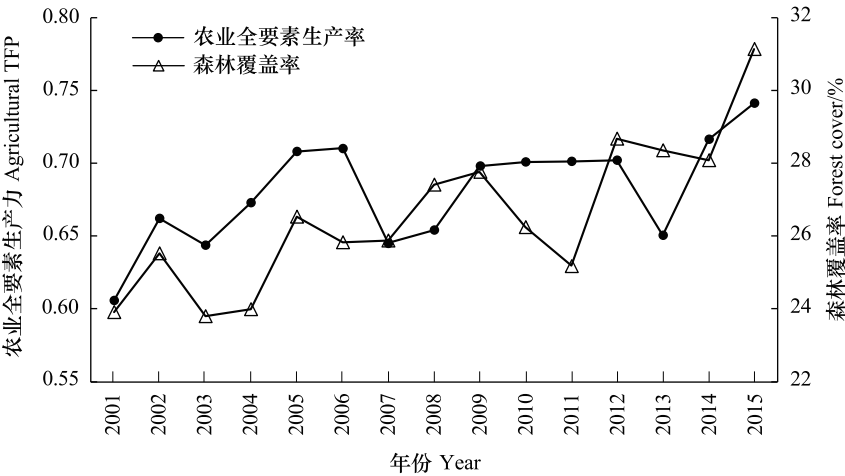


图 2 2001—2015 年样本区县总体平均农业全要素生产率与森林覆盖率年际变化情况年样本区县总体平均农业 TFP 与森林覆盖率年际变化情况

Fig.2 Changes of average agricultural TFP and average forest cover in sample counties during 2001—20155

总体平均农业全要素生产率的计算以区县年末耕地面积为权重,总体平均森林覆盖率的计算以区县面积为权重;;TFP 指全要素生产率

3.1 农业部门结构调整

农业整体 TFP 的提升可能导致种植业、林业、畜牧业、渔业等农业细分部门的结构变化,同时不同部门的单位面积产值、土地利用情况等存在差异,因此可能会改变农用地和森林的利用状况。为检验这一可能性,将

农业总产值的自然对数以及种植业、林业、畜牧业、渔业四个分部门产值的自然对数作为因变量(在 1%—99% 区间进行缩尾处理),5 年移动平均农业 TFP 自然对数作为自变量进行回归分析,同时控制变量、固定效应以及聚类等设定与基准模型保持一致。受分部门数据可得性的限制,本部分将回归分析限制在分部门数据完整的观测样本中,实际观测值为 7715 个,回归结果如表 5 列(1)—(5)所示。

表 5 机制检验

Table 5 Mechanism analysis

解释变量 Explanatory variables	因变量:总产值 Dependent variable: ln of total production value					因变量:耕地利用强度 Dependent variable: Intensity of cropland use
	农业 Agriculture	种植业 Farming	林业 Forestry	畜牧业 Animal husbandry	渔业 Fishery	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
lnTFP	0.122 *** (2.806)	0.041 (0.825)	-0.019 (-0.227)	0.209 *** (4.181)	0.140 * (1.777)	0.254 ** (2.300)
控制变量 Controls	是	是	是	是	是	是
年份固定效应 Year fixed effects	是	是	是	是	是	是
区县固定效应 County fixed effects	是	是	是	是	是	是
聚类 Cluster	县	县	县	县	县	县
样本量 Observations	7715	7715	7715	7715	7715	5359
拟合优度 R-squared	0.973	0.964	0.916	0.964	0.979	0.717

控制变量包括年均气温与累积降水;括号内为稳健的 t 统计量;*** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$, * $P < 0.1$;TFP 指全要素生产率

结果表明,农业 TFP 的提升促进了农业总产值的增加,但是对于不同细分部门的影响有所不同,对畜牧业和渔业部门产值的影响更大。农业 TFP 自然对数提升 1 个标准差(限制样本后为 0.498)或 TFP 提升 0.6 倍($=\exp(0.498)-1$),农业总产值将提升 6.3%($=\exp(0.498 \times 0.122)-1$)。其中,农业 TFP 提升对种植业和林业产值的影响并不显著,但是对畜牧业和渔业的产值都带来了显著的正向影响,其回归系数分别为 0.209(1% 水平上显著)和 0.140(10% 水平上显著)。根据回归系数,农业 TFP 自然对数提升 1 个标准差将带来畜牧业和渔业总产值分别提升 10.0%($=\exp(0.498 \times 0.209)-1$)和 7.2%($=\exp(0.498 \times 0.140)-1$)。

对比四个细分农业部门可知,农业整体生产力的提升带动了农业内部结构的转变,促使畜牧业和渔业的产值及其在农业经济中所占比重有所提升,同时种植业和林业产值在农业经济中的比重有所下降。农业部门的结构调整可能是因为随着生活水平的提升,人们对于肉、蛋、奶等动物蛋白的需求扩张为畜牧业和渔业的发展创造了极大的市场,同时畜牧业、渔业的单位投入产值更高,农业整体 TFP 的提升为畜牧业和渔业的发展提供了更加充足的动力。与种植业和林业相比,畜牧业与渔业对土地的利用更加集约,因此在一定程度上缓解了农业生产力提升对森林覆盖率的负面影响。

3.2 耕地集约利用

农业生产活动对森林覆盖率的最直接影响来自于农用地扩张对森林的侵占,因此本部分将耕地利用强度作为因变量,5 年移动平均农业 TFP 自然对数作为自变量,其它设定与基准模型保持一致,以检验农业生产力对耕地利用强度的影响,从而为“农业生产力提升是减缓还是加剧森林破坏”提供更加直接的证据。其中,耕地利用强度为农作物播种面积与年末耕地面积的比值,在 1%—99% 区间进行缩尾处理以避免异常值的影响。农作物播种面积是进行实际播种的总面积,播种一次统计一次,是对土地利用强度和广度的综合性统计指标,而年末耕地面积是种植农作物土地的存量指标,因此二者的比值能够表示区县内平均每单位面积耕地上的播种次数,从而衡量耕地的利用强度。由于存在数据缺失,本部分将样本进一步限制在土地变量完整的观测样本中,实际观测值为 5359 个,回归结果如表 5 列(6)所示。

回归结果表明,农业 TFP 的提升带来了耕地利用强度的增加。农业 TFP 对耕地利用强度的影响系数为 0.254 且在 5% 水平上显著,表明农业 TFP 自然对数提升 1 个标准差(在缩小后的样本中为 0.495)或农业 TFP

提升 0.6 倍 ($=\exp(0.495)-1$), 单位耕地面积的平均播种次数提升 0.126 次 ($=0.495 \times 0.254$), 以平均利用强度 (1.948 次) 为基准相当于增加了 6.5%, 即耕地利用更加集约。由于数据限制, 本文仅能探究耕地的利用情况, 无法讨论其他农用地的利用情况, 如牧草地、鱼塘等; 但是在样本区县所在的地区, 种植业对土地的需求最高、占用最多, 因此对耕地利用强度进行的分析一定程度上能够反映农业生产力提升对农用地和森林覆盖的影响。整体来看, 农业生产力的提升促进了耕地集约化利用, 减轻了农业生产力提升带来的林地占用和森林破坏压力。

3.3 生态保护项目

除了农业结构调整和耕地集约利用外, 森林覆盖率的提升很大程度上得益于我国自 20 世纪 90 年代末以来开展的一系列生态系统保护工作, 如天然林保护工程 (“天保”工程)、退耕还林工程等, 以及自 1956 年开始的自然保护区建设工作。从空间分布上来看, “天保”工程和退耕还林工程覆盖了我国除 5 个东部沿海省份之外的其他所有省份 (未包含港澳台地区), 有力地保护了森林资源, 产生了巨大的生态效益^[42]。与此同时, 自然保护区的建设也有利于减少人类活动对森林的干扰、维持区内森林覆盖^[43]。

综上, 研究区间内样本区县农业生产力提升显著, 但是农业生产力提升对森林覆盖率的影响十分有限, 这-一方面是因为农业内部的结构调整与耕地集约化利用降低了农业生产力提升带来的农业土地需求增加, 另一方面是因为生态保护工作有力地保护了森林生态, 推动着森林覆盖率稳步提升。因此, 农业现代化发展与生态保护并不互斥; 特别是在农业高质量发展的现代化要求下, 以生态优先为前提、绿色发展为底色的新发展模式更是将农业与生态的协同作为内在要求, 推广新的农业技术, 减少农业生产对自然资源的依赖以及对自然环境的负面影响, 通过高质量发展推动高水平保护, 能够为我国的农业现代化和生态保护提供关键驱动力。

4 结论与展望

样本区县总体呈现出农业生产力与森林覆盖率的同步提升; 农业 TFP 的提升对区县森林覆盖率有一定的负面影响, 农业 TFP 每提升 1% 将导致森林覆盖率降低约 0.012%, 估计 15 年间由农业 TFP 提升导致的森林覆盖减少幅度约为 0.14%—0.25%, 但与样本区县内森林覆盖率的整体水平和变化趋势相比, 农业生产力提升对森林覆盖的负面影响十分有限; 这一定程度上是因为样本区县内农业生产力的提升推动了农业经济结构的转变和耕地的集约利用, 加之有力的生态保护政策施行, 从而实现了农业生产力与生态保护的同步提升。研究结果为农业发展的潜在生态环境影响提供了来自中国区县层面的实证证据, 也为发展中国家的农业发展提供了来自中国的经验参考。建议在未来农业发展和粮食安全的相关政策制定中, 持续关注农业系统与生态系统的互动影响, 以推动农业发展与生态保护的互促共赢。

本研究为了揭示农业生产力对森林覆盖率影响的因果效应, 在处理核心自变量潜在的内生性方面, 采取了面板回归和滞后项等方法进行缓解, 并用替代方程回归检验来保证主要结论的稳健性。但是受限于数据质量、估计假设和模型设定等因素, 研究仍未能完全避免内生性带来的估计偏误, 可能会影响估计值的准确性。此外, 受限于农业数据的可得性, 样本区域未完全覆盖所有重要森林保护地 (如云南), 也未覆盖以草原畜牧业为主的重要农产区 (如内蒙古), 这可能会影响研究结论的外部有效性。未来的研究可通过优化估计方法等, 进一步提高估计结果的准确性, 并扩大农业数据的覆盖范围, 提升研究结论的有效性, 更好的指导生态和农业政策制定。

参考文献 (References):

- [1] Curtis P G, Slay C M, Harris N L, Tyukavina A, Hansen M C. Classifying drivers of global forest loss. *Science*, 2018, 361(6407): 1108-1111.
- [2] Gao T, Hedblom M, Emilsson T, Nielsen A B. The role of forest stand structure as biodiversity indicator. *Forest Ecology and Management*, 2014, 330: 82-93.
- [3] Vargas Zepetello L R, Parsons L A, Spector J T, Naylor R L, Battisti D S, Masuda Y J, Wolff N H. Large scale tropical deforestation drives extreme warming. *Environmental Research Letters*, 2020, 15(8): 084012.
- [4] Smith P, Gregory P J, van Vuuren D, Obersteiner M, Havlik P, Rounsevell M, Woods J, Stehfest E, Bellarby J. Competition for land.

- Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences, 2010, 365(1554): 2941-2957.
- [5] 龚斌磊, 张启正. 以提升农业全要素生产率助力农业强国建设的路径. 经济纵横, 2023(9): 29-37.
- [6] Borlaug N. Feeding a hungry world. Science, 2007, 318(5849): 359.
- [7] Li H Y, Zhu J. Property rights and land quality. American Journal of Agricultural Economics, 2023: 1619-1647.
- [8] Angelsen A. Agricultural expansion and deforestation: modelling the impact of population, market forces and property rights. Journal of Development Economics, 1999, 58(1): 185-218.
- [9] Allen J C, Barnes D F. The causes of deforestation in developing countries. Annals of the Association of American Geographers, 1985, 75(2): 163-184.
- [10] Panayotou T, Sungsuwan S. An econometric analysis of the causes of tropical deforestation: the case of Northeast Thailand. The Causes of Tropical Deforestation. London: Routledge, 2023: 192-210.
- [11] Barbier E B, Burgess J C. Economic analysis of deforestation in Mexico. Environment and Development Economics, 1996, 1(2): 203-239.
- [12] Chomitz K M, Gray D A. Roads, land use, and deforestation: a spatial model applied to Belize. The World Bank Economic Review, 1996, 10(3): 487-512.
- [13] Mendelsohn R. Property rights and tropical deforestation. Oxford Economic Papers, 1994, 46(Supplement_1): 750-756.
- [14] Kaimowitz D, Angelsen A. Economic models of tropical deforestation: a review. Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 1998.
- [15] Barbier E B, Burgess J C. The economics of tropical deforestation. Journal of Economic Surveys, 2001, 15(3): 413-433.
- [16] Abman R, Carney C. Agricultural productivity and deforestation: Evidence from input subsidies and ethnic favoritism in Malawi. Journal of Environmental Economics and Management, 2020, 103: 102342.
- [17] Heß S, Jaimovich D, Schündeln M. Environmental effects of development programs: Experimental evidence from West African dryland forests. Journal of Development Economics, 2021, 153: 102737.
- [18] Carreira I, Costa F, Pessoa J P. The deforestation effects of trade and agricultural productivity in Brazil. Journal of Development Economics, 2024, 167: 103217.
- [19] Angelsen A, Kaimowitz D. Agricultural technologies and tropical deforestation. Wallingford: CABI Pub., 2001.
- [20] 赵佩, 陈琼, 刘林山, 刘峰贵, 周强. 柯西河流域森林覆盖度的空间分布及变化分析. 生态科学, 2020, 39(4): 89-98.
- [21] 李沁玲, 阎建忠, 程先, 王涛. 2001—2018 年华北平原森林面积变化及影响因素分析. 西南大学学报: 自然科学版, 2023, 45(2): 107-124.
- [22] Liu J J, Coomes D A, Gibson L, Hu G, Liu J L, Luo Y Q, Wu C P, Yu M J. Forest fragmentation in China and its effect on biodiversity. Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society, 2019, 94(5): 1636-1657.
- [23] 张国平, 刘纪远, 张增祥. 基于遥感和 GIS 的中国 20 世纪 90 年代毁林开荒状况分析. 地理研究, 2003, 22(2): 221-226.
- [24] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 徐新良, 秦元伟, 宁佳, 周万村, 张树文, 李仁东. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. 地理学报, 2014, 69(1): 3-14.
- [25] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2014, 34(12): 3311-3319.
- [26] 任红燕, 李惠, 邢虹娟, 马慧敏. 农户视角下的退耕还林政策实施效果评价——基于吕梁市和临汾市农户调查. 环境与可持续发展, 2019, 44(1): 72-75.
- [27] 吴乐, 庞洁, 靳乐山. 少数民族贫困地区退耕还林农户复耕意愿研究——基于云南省两县的调查数据. 干旱区资源与环境, 2020, 34(3): 7-13.
- [28] 陈琛, 王立群. 巩固退耕还林成果: 农户意愿与行为研究进展及对策建议. 世界林业研究, 2023, 36(2): 95-101.
- [29] 杨喆, 吴健. 中国自然保护区空间分布的驱动因素. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(5): 144-155.
- [30] 韦志忠, 覃英梅. 西林县自治区级自然保护区森林资源管护存在问题及对策. 乡村科技, 2023, 14(9): 133-135.
- [31] 郑姚闽, 张海英, 牛振国, 宫鹏. 中国国家级湿地自然保护区保护成效初步评估. 科学通报, 2012, 57(4): 207-230.
- [32] 黄麟, 邵全琴, 刘纪远, 邵景安, 匡文慧. 基于样带农户调查的江西省山江湖林业工程生态成效分析. 生态学报, 2010, 30(19): 5346-5354.
- [33] Chen S, Gong B L. Response and adaptation of agriculture to climate change: Evidence from China. Journal of Development Economics, 2021, 148: 102557.
- [34] Dhawan R, Gerdes G. Estimating technological change using a stochastic frontier production function framework: evidence from U.S. firm-level data. Journal of Productivity Analysis, 1997, 8(4): 431-446.
- [35] 段文斌, 尹向飞. 中国全要素生产率研究评述. 南开经济研究, 2009(2): 130-140.
- [36] 全炯振. 中国农业全要素生产率增长的实证分析: 1978—2007 年——基于随机前沿分析(SFA)方法. 中国农村经济, 2009(9): 36-47.
- [37] Battese G E, Coelli T J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to paddy farmers in India. Journal of Productivity Analysis, 1992, 3(1): 153-169.
- [38] 史丹, 吴利学, 傅晓霞, 吴滨. 中国能源效率地区差异及其成因研究——基于随机前沿生产函数的方差分解. 管理世界, 2008(2): 35-43.
- [39] 江激宇, 李静, 孟令杰. 中国农业生产率的生长趋势: 1978—2002. 南京农业大学学报, 2005, 28(3): 113-118.
- [40] 黄利军, 胡同泽. 基于数据包络法(DEA)的中国西部地区农业生产效率分析. 农业现代化研究, 2006, 27(6): 420-423.
- [41] Balboni C, Berman A, Burgess R, Olken B A. The economics of tropical deforestation. Annual Review of Economics, 2023, 15: 723-754.
- [42] Liu J G, Li S X, Ouyang Z Y, Tam C, Chen X D. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2008, 105(28): 9477-9482.
- [43] Cheng A T, Sims K R E, Yi Y Y. Economic development and conservation impacts of China's nature reserves. Journal of Environmental Economics and Management, 2023, 121: 102848.