

中国农业生态全要素生产率增长： 经验事实、区域差异与动态演进*

尹朝静^{1,2} 杨坤¹ 田云³

摘要：基于2005—2021年30个省份的面板数据，本文科学估算中国农业生态价值，进而将其作为一种合意产出纳入全要素生产率测算体系，并构建EBM-GML模型测算和分解中国农业生态全要素生产率，然后采用Dagum基尼系数、收敛模型、核密度估计、马尔可夫链等方法，考察中国农业生态全要素生产率增长的时空演进特征。研究表明：第一，2005—2021年，中国农业生态价值呈波动式上升趋势，且形成“西高、中次、东低”的空间分布格局。第二，中国农业生态全要素生产率年均增长3.08%，表现出阶段性的波动式增长和明显的空间非均衡性特征，中国农业生态全要素生产率增长主要由农业生态技术进步驱动。第三，农业生态全要素生产率增长的总体差异明显扩大，这种差异主要来源于区域间差异。此外，全国和三大区域农业生态全要素生产率不存在 σ 收敛和绝对 β 收敛，但存在条件 β 收敛。第四，农业生态全要素生产率增长的地区差距明显扩大，分布形态呈现由“单极化”向“两极化”和“多极化”演进的趋势，且分布动态的内部流动性较弱。

关键词：农业生态价值 全要素生产率 EBM-GML模型 动态演进

中图分类号：F323.2 **文献标识码：**A

一、引言

“农，天下之本，务莫大焉。”农业是国民经济的基础，经济高质量发展离不开农业的高质量发展。中国农业增长长期依赖资源要素投入，在取得巨大成就的同时，也付出了沉重的生态环境代价。因此，要实现农业高质量发展必须坚持质量兴农、绿色兴农、科技兴农，加快转变农业发展方式。党的二十大报告指出，推动经济社会发展绿色化、低碳化是实现高质量发展的关键环节，并强调着力提

*本文研究得到国家自然科学基金项目“气候变化对我国农业生产的经济影响评估：基于全要素生产率视角”（编号：71903162）、中央高校基本科研业务费专项资金项目“中国农业高质量发展的测度、动态演进及其影响因素研究”（编号：SWU2109213）和中央高校基本科研业务费专项资金项目“环境政策工具对农业绿色转型的影响机制与政策优化研究”（编号：SWU2209081）的资助。感谢匿名审稿专家的宝贵意见，当然，文责自负。本文通讯作者：杨坤。

高全要素生产率，推动高质量发展^①。绿色是农业的底色，生态是农业的底盘。那么，在资源趋紧、污染加重、生态退化的现状下，农业高质量发展的动力源泉在哪里？提高农业生态全要素生产率（ecological total factor productivity，简称 ETFP）成为破解农业“资源—能源—环境—生态—经济”协调发展问题、促进中国农业高质量发展和建设中国式现代化农业强国的重要手段。而农业 ETFP 的内涵是什么？中国农业 ETFP 增长的时空演进特征如何？如何提高农业 ETFP？深入探讨上述问题，对于促进生态文明建设和推动农业高质量发展具有重要的理论价值和现实意义。

综观国内外已有文献，对农业 ETFP 增长问题展开直接探讨的研究并不多见，已有相关研究主要围绕农业生态价值评估、传统农业全要素生产率（total factor productivity，简称 TFP）和农业绿色全要素生产率（green total factor productivity，简称 GTFP）进行测算，并探讨了其时空分异等方面的问题，这为本研究提供了理论支撑和方法指导。早期农业生态价值评估相关研究主要采用由 Costanza et al.（1997）提出、谢高地等（2003）不断完善当量因子法对农业生态价值进行评估。例如，孙能利等（2011）和易小燕等（2019）分别测算了山东省和福建省的农业生态价值。然而，这些研究多采用静态当量评估模型测算农业生态价值，评估结果难以反映农业生态价值的时序空间差异。一些研究开始尝试采用动态当量因子法对农业生态价值进行测算。例如，杨文杰等（2019）采用不同时段的社会发展系数对理论农业生态价值进行修正，但他们并未对当量因子做相应的空间修正。张俊等（2023）基于植被净初级生产力（net primary productivity，简称 NPP）、降水因子、土壤保持因子、生物多样性因子和文化服务调节因子对当量因子进行修正，进而测算了中国农业生态系统服务价值。

在传统农业 TFP 测算方面，已有文献中，学者们主要使用数据包络分析（data envelopment analysis，简称 DEA）和随机前沿分析（stochastic frontier analysis，简称 SFA）等方法展开研究（例如陈卫平，2006；张乐和曹静，2013）。其中，DEA 模型能够处理多产出多投入等问题，且无需设定生产函数形式，因此被广泛应用。例如，李谷成等（2015）采用传统径向 DEA 模型测算了农业 TFP。然而，传统 DEA 模型容易存在线性规划无解、“技术退步”等问题。随着 DEA 方法的不断发展和改进，学者们采用全局 DEA、序列 DEA 等生产率指数方法对农业 TFP 进行测算，能够有效解决“技术退步”、线性规划无解等问题（尹朝静等，2016；尹朝静和高雪，2022）。

传统农业 TFP 研究几乎未涉及环境因素，这并不符合农业生产的实际情况，难以准确衡量农业经济增长的质量（郭海红和刘新民，2021）。为了弥补传统农业 TFP 研究的不足，学者们将环境因素纳入 TFP 框架，对农业 GTFP 进行测算和分析。例如，葛鹏飞等（2018）采用非径向非角度的、基于松弛值测算的模型（slack based measure，简称 SBM）测算了农业 GTFP 增长。然而，径向 DEA 模型和 SBM 模型均不能处理同时存在径向和非径向关系的情形，而基于 epsilon 测算的模型（epsilon based measure，简称 EBM）可以对此进行处理，有少数文献探讨了 EBM 模型（Tone and Tsutsui，2010）。还有学者结合全局的 malmquist-luenberger（global malmquist-luenberger，简称 GML）指数对农业 GTFP

^①习近平，2022：《高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告》，北京：人民出版社，第 28 页、第 50 页。

进行了测算和分解，并对其区域差异和收敛性展开了分析（郭海红和刘新民，2021）。随着生态文明理念深入人心，少数学者逐渐将生态因素纳入 GTFP 测算体系，进而对生态全要素生产率增长进行研究（杨万平和李冬，2020）。然而，专门针对农业 ETFP 增长的研究还很少见，仅李自强等（2022）将粮食种植生态价值纳入粮食 ETFP 分析框架，并对粮食 ETFP 增长进行测算。

综上所述，已有相关研究进行了有益探索，但仍存在扩展空间：一是对农业生态价值的评估存在不足。既有研究对标准当量的核算方式未达成一致，难以准确量化。鲜有文献对基础当量因子进行动态修正的同时，结合社会发展阶段系数修正理论上的农业生态价值。二是农业 TFP 的测算指标体系存在不合理之处。既有研究在选取投入指标时仅考虑资本、劳动力等传统投入而忽视了农业生产所必需的水资源、能源等投入，在选取期望产出指标时仅考虑经济价值而忽视了农业系统蕴含着的生态价值，这种价值核算标准存在局限和不足。三是现有研究对农业 ETFP 问题关注不够，未能全面考察农业 ETFP 增长的区域差异及其动态演进特征。既有研究多聚焦于传统农业 TFP 或农业 GTFP，鲜有文献专门将生态价值纳入农业 ETFP 分析框架，对农业 ETFP 增长进行准确测算与深入探究。

基于此，本文拟从以下几个方面做进一步的研究和探讨：第一，本文构建动态当量调节因子模型，并结合社会阶段发展系数，全面和客观地评估中国和省域层面农业生态价值。第二，本文尝试在界定农业 ETFP 理论内涵的基础上，充分考虑资源、能源与环境约束，并将农业生态价值视为合意产出，纳入农业 TFP 核算框架，构建一套科学、全面的农业 ETFP 测算指标体系。第三，本文构建 EBM-GML 模型测算和分解中国农业 ETFP，使用 Dagum 基尼系数、收敛模型、核密度估计、马尔可夫链等方法，对中国农业 ETFP 增长的区域差异与动态演进特征进行全景式的探析。

二、农业生态全要素生产率的理论探讨和指标体系构建

（一）农业生态全要素生产率的理论探讨

党的十九大报告作出“我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段”的重大判断，提出提高全要素生产率的要求^①。党的二十大报告进一步强调，要着力提高全要素生产率，并将其置于推动高质量发展的重要位置^②。由此可见，党中央对全要素生产率的重视程度上升到了前所未有的高度。学术界对全要素生产率的相关问题也一直保持着较高的关注度，特别是对全要素生产率理论的探讨。从演进历程来看，全要素生产率理论完成了由传统向绿色的演变，并逐渐转向生态。

新古典增长理论将经济增长的源泉从要素投入的增加过渡到全要素生产率的增长，并开创性地实现对 TFP 的量化测度（Solow，1956）。TFP 增长是指产出增长超出要素投入增长的部分，能够反映国家或地区经济增长的质量和效率。然而，传统全要素生产率测度只基于资本和劳动要素，忽视了资

^①习近平，2017：《决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利——在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告》，北京：人民出版社，第 30 页。

^②习近平，2022：《高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告》，北京：人民出版社，第 28 页。

源环境因素，导致生产率度量的准确性受到质疑。现代经济增长理论把资源环境约束纳入内生经济增长的框架，寻找经济长期可持续发展的动力（Becker, 1982）。随后，有学者开始将资源环境容量约束纳入经典 TFP 框架，并将其定义为绿色全要素生产率（Chung et al., 1997）。事实上，资源和环境因素对农业产出的影响巨大，中国农业增长长期依赖于高投入、高能耗、高污染的粗放式发展模式。显然，没有充分考虑资源、能源消耗和环境污染等因素的中国农业 TFP 核算是存在明显缺陷的。由此，本文定义的农业 GTFP 是指在传统农业 TFP 测算框架体系中充分考虑资源、能源消耗与环境污染等约束变量测算得到的全要素生产率。

随着生态文明建设的深入开展，“绿水青山就是金山银山”理念成为全社会共识。开始有学者在 TFP 框架中纳入更全面的生态环境要素，进而对 ETFP 展开系统研究（杨万平和李冬，2020）。农业既会对环境产生有利影响，比如气体调节、增加生物多样性方面的影响，也会产生不利影响，比如农药化肥污染、牲畜排泄物污染等。农业对生态环境的影响逐渐成为影响人民美好生活的重要因素，如何增大其正面作用、减少其负面作用，成为农业发展的重要取向之一（何秀荣，2023）。农业的价值不仅包括由生产功能带来的经济价值，还包括生态服务功能蕴含的生态价值。易小燕等（2019）对 2015 年福建省农业资源价值的测算表明，农业的生态价值是其经济价值的 3.4 倍。因此，在农业 TFP 测算框架中，如果仅考虑农业污染排放，而忽视农业具有的巨大生态价值，可能会造成对农业发展质量评价的扭曲。鉴于此，本文尝试把资源、能源、碳排放和生态价值等因素纳入农业 TFP 的分析框架，并将考虑了资源约束、能源强度、环境容量和生态价值等因素的投入产出效率定义为农业 ETFP。

农业 ETFP 是一个全面的、多维度的、具有发展性的概念。农业 ETFP 既区别于传统农业 TFP，也区别于农业 GTFP。传统农业 TFP 考察的是资源节约与产出增长的关系，忽视了农业生产中的能源消耗和环境污染；农业 GTFP 将环境因素纳入 TFP 分析框架，但它也只考察了农业生态功能的负面作用（环境污染），忽视了农业生态功能的正面作用（生态价值）；而农业 ETFP 综合考察了资源约束、能源强度、环境容量、生态效益与农业发展之间的关系，突破了农业 GTFP 分析框架未考虑生态价值的不足，能够在统一分析框架内清晰刻画资源能源、生态环境与农业经济增长之间的逻辑关系。

综上，本文认为农业 ETFP 框架在考察农业经济发展的同时，可以兼顾对资源能源合理消耗、对减少环境污染以及对增大生态价值的考量。因此，农业 ETFP 的理论内涵主要包括三个方面：从资源能源角度，实现农业生产要素合理配置，降低资源能源损耗；从经济角度，注重资源环境约束下农业经济价值和生态价值的最大化；从生态环境角度，强调生态环境与农业经济之间的协调发展。

（二）农业生态全要素生产率测算指标体系构建

农业 ETFP 旨在消耗最少的资本、劳动等要素投入，期望获得最优的经济产出、谋取最大的生态价值和最小的环境污染，这正好符合 EBM-DEA 方法对投入、期望产出和非期望产出指标的要求。学术界关于农业 TFP 测算已有丰硕的研究成果，但其中指标体系的不同可能会导致测算结果存在较大差异，甚至得到截然相反的结论。农业生产在带来农产品等经济产出的同时，蕴含着无穷的生态价值，而资源、能源的使用也是必不可少的，如果忽视关键的投入或产出变量，就会导致农业生产效率出现偏误。因此，科学合理地构建农业 ETFP 测算指标体系显得急迫而意义重大。

在界定农业 ETFP 内涵的基础上，参考郭海红和刘新民（2021）等的研究，经过深度思考与系统分析，并结合农业生产实际和数据可获取性，本文构建了农业 ETFP 测算指标体系^①，如表 1 所示。

表 1 农业 ETFP 测算指标体系

指标	分项指标	基础指标	具体评价指标	单位	
投入	劳动	劳动力投入	农林牧渔业从业人员数	万人	
	资本	资本投入	农业物质资本存量	亿元	
	土地	土地投入	农作物总播种面积	万公顷	
			水产养殖面积	万公顷	
	中间投入品		化肥投入	农用化肥折纯施用量	万吨
			农膜投入	农用塑料薄膜使用量	吨
			农药投入	农药使用量	吨
水资源投入			农业用水总量	亿立方米	
		能源投入	农业能源消耗总量	万吨标准煤	
产出	期望产出	经济价值	农林牧渔业总产值	亿元	
		生态价值	农业生态价值	亿元	
	非期望产出	农业碳排放	农业碳排放总量	万吨	

投入方面，借鉴 Gong（2018）、Ayerst et al.（2020）等的研究，本文选取劳动、资本、土地和中间投入品四大要素作为投入指标。其中：劳动力投入^②通过第一产业从业人员数间接计算得到（刘亦文等，2021）；农业资本投入以物质资本存量替代（李谷成等，2014）；土地投入采用农作物总播种面积与水产养殖面积之和衡量（郭海红和刘新民，2021）；中间投入包括化肥、农膜、农药、农业水资源和农业能源投入。需要说明的是，已有研究主要考虑人力、土地、机械动力、化肥等投入，而水、能源等自然资源却常被忽视，本文将这些投入要素纳入农业 ETFP 测算体系。其中：水资源投入采用农业用水总量衡量（郭海红和刘新民，2021）；能源投入采用农业能源消耗总量衡量，具体做法是将各种能源消耗折算成万吨标准煤进行加总^③（杨万平和李冬，2020）。

产出方面，主要包括期望产出和非期望产出。对于期望产出，农业生产不仅有食物供给等经济价值，还具有水土保持、气候调节、生物多样性保护等功能的生态价值（孙能利等，2011）。但由于农业生态价值的评估难度较高，鲜有文献将其纳入 GTFP 测算体系，农业生态价值长期处于被忽略的状态。因此，本文采用农林牧渔业总产值和农业生态价值衡量期望产出。其中，农业生态价值采用动态当量调节因子模型测算得到。对于非期望产出，已有研究主要采用农业碳排放和农业面源污染来衡量（刘亦文等，2021）。考虑到测算农业面源污染的高难度性和争议性，将农业生产过程中的碳排放作

^①区别于狭义上仅包括种植业的农业，本文研究的是广义上的农业，即包括农业、林业、牧业和渔业。

^②劳动力投入=第一产业从业人员数×（农林牧渔业总产值/第一产业产值）。其中，第一产业产值指的是农业、林业、牧业和渔业产值之和。农林牧渔业总产值在 2003 年及以前指第一产业产值，此后则包含了农林牧渔服务业产值。

^③能源品种包括农用原煤、洗精煤、其他洗煤、型煤、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、润滑油、液化石油气、天然气、热力、电力和其他能源。

为非期望产出这一做法在学术界的认可度不断提升（葛鹏飞等，2018）。因此，本文采用农业碳排放总量衡量非期望产出，具体测算方法借鉴田云和尹恣昊（2022）的做法。

三、研究方法与数据来源

（一）研究方法

1. 农业生态价值动态评估方法的构建。参考谢高地等（2003）、杨文杰等（2019）的研究，本文将农业生态服务功能分为3种一级功能和7种二级功能^①。基于此，本文构建动态当量调节因子模型对不同年份省域的农业生态价值进行测算。

首先，为体现农业生态价值在空间和时间维度的差异，本文借鉴薛明皋等（2018）的做法，选取NPP、降水因子、土壤保持因子和可达性因子，对7种服务功能的当量因子进行修正，计算公式为：

$$AESV_{j,it} = \begin{cases} V_{n1} \times W_{1,it}, & W_{1,it} = B_{it} / \bar{B} \\ V_{n2} \times W_{2,it}, & W_{2,it} = P_{it} / \bar{P} \\ V_{n3} \times W_{3,it}, & W_{3,it} = R_{it} / \bar{R} \\ V_{n4} \times W_{4,it}, & W_{4,it} = S_{it} / \bar{S} \end{cases} \quad (1)$$

（1）式中： $AESV_{j,it}$ 表示 t 年在 i 省份第 j 类服务功能单位面积生态服务价值当量因子； $W_{1,it}$ 表示NPP时空调节因子，用于修正气体调节、气候调节、废物处理和维持生物多样性的服务功能； $W_{2,it}$ 表示降水调节因子，用于修正水文调节服务功能； $W_{3,it}$ 表示可达性调节因子，用于修正提供美学景观服务功能； $W_{4,it}$ 表示土壤保持调节因子，用于修正保持土壤服务功能； V_n 表示该类生态系统的第 n 种生态服务价值当量因子， $n1$ 表示与NPP相关的服务功能， $n2$ 表示与降水相关的服务功能， $n3$ 表示文化服务功能， $n4$ 表示土壤保持服务功能； B_{it} 表示 i 省份 t 年NPP， \bar{B} 表示全国年均NPP； P_{it} 表示 i 省份 t 年降水量； \bar{P} 表示全国年均降水量； R_{it} 表示 i 省份 t 年平均道路密度， \bar{R} 表示全国平均道路密度； S_{it} 表示 i 省份 t 年水土保持率， \bar{S} 表示全国平均水土保持率。

其次，本文借鉴邓元杰等（2022）的做法，确定1公顷农田粮食生产的平均净利润作为1个标准当量因子的生态价值量。区别于张俊等（2023）的研究，本文以2005—2021年全国单位面积水稻、

^①一级功能包括调节服务、支持服务和文化服务；二级功能包括气体调节、气候调节、水文调节、废物处理、保持土壤、维持生物多样性和提供美学景观。本文评估的农业生态价值并未包括供给服务功能（食物生产、原材料生产），主要原因有两点：一是，农业生产的价值既包括由生产功能带来的经济价值，也包括农业生态功能具有的生态价值（孙能利等，2011）。而农业生态系统的供给服务是指农业能够提供粮食、油料等农产品，是生产功能带来的经济价值。二是，在后文测算农业ETFP指标体系中，期望产出变量有两个，即农林牧渔业总产值和农业生态价值。其中，农林牧渔业总产值指以货币表现的农、林、牧、渔业全部产品和对农林牧渔业生产活动各种支持性服务活动的价值总量，已经包括了食物生产、原材料生产带来的农副产品的价值。

小麦、玉米、大豆和马铃薯五种粮食作物的平均净利润核算 1 个标准当量的价值量^①，计算公式为：

$$D = \frac{1}{17} \sum_{t=2005}^{2021} (S_t^r \times F_t^r + S_t^w \times F_t^w + S_t^c \times F_t^c + S_t^b \times F_t^b + S_t^p \times F_t^p) \quad (2)$$

(2) 式中： D 表示 1 个标准当量因子的生态系统服务价值量（元/公顷）； S_t^r 、 S_t^w 、 S_t^c 、 S_t^b 和 S_t^p 分别表示 t 年水稻、小麦、玉米、大豆和马铃薯的播种面积占五种作物总播种面积的百分比（%）； F_t^r 、 F_t^w 、 F_t^c 、 F_t^b 和 F_t^p 分别表示 t 年全国水稻、小麦、玉米、大豆和马铃薯的单位面积平均净利润（元/公顷），采用农产品价格指数折价到 2005 年。

然后，测算省际农业生态价值，计算公式为：

$$ESV_{it} = \sum_{f=1}^4 \sum_{j=1}^7 A_{f,it} \times AESV_{j,it} \times D \quad (3)$$

(3) 式中： ESV_{it} 表示 i 省份 t 年农业生态价值总量（元）； $A_{f,it}$ 表示 i 省份 t 年第 f 种土地利用类型的面积（公顷）； $AESV_{j,it}$ 和 D 与 (1) 式和 (2) 式中相同。需要注意的是，如此测算得到的农业生态价值是理论值，并未考虑消费者的心理和财务承受能力，难以体现不同社会经济发展阶段的现实贡献（杨文杰等，2019）。

最后，本文采用表征支付意愿相对水平的社会发展阶段系数对理论生态价值量进行修正（杨文杰等，2019），得到农业生态价值的现实量，计算公式为：

$$ESV_{it}^r = ESV_{it} \times y_{it} = ESV_{it} \times \left[1 / (1 + e^{-(1/E_{it}-3)}) \right] \quad (4)$$

(4) 式中： ESV_{it}^r 表示现实农业生态价值量； ESV_{it} 表示理论农业生态价值量； y_{it} 表示社会对生态效益的支付意愿，且取值范围为 $y_{it} \in (0,1)$ ； E_{it} 表示恩格尔系数； e 表示自然对数的底。

2.EBM-GML 模型。本文将农业生态价值作为期望产出纳入农业 ETFP 增长测算模型。农业生产过程中能耗和碳排放是径向关系，而资本、劳动力等投入和碳排放是非径向关系，故本文采用 EBM 模型^②对农业生态效率进行测算。Oh (2010) 提出的 GML 指数具有传递性、规避无可行解等优点。因此，本文将 EBM 混合距离函数与 GML 指数^③结合，构建 EBM-GML 模型对农业 ETFP 进行测算及分解，表达式如下：

$$GML^{t,t+1} = ETEC^{t,t+1} \times ETC^{t,t+1} \quad (5)$$

^①2013 年小麦的单位面积净利润为负，此后年份中也有粮食作物单位面积净利润为负的情况。为解决这一问题，本文在净利润计算上做出了两点改进：一是增加了粮食作物的种类。在三种主粮作物的基础上增加了大豆和马铃薯。二是扩大了年平均净利润的计算区间。本文计算了 2005—2021 年所有年份的平均净利润。最终，本文采用 2005—2021 年全国水稻、小麦、玉米、大豆和马铃薯单位面积平均净利润核算 1 个标准当量，计算得到 1 个标准当量的价值量为 1163.81 元/公顷。

^②EBM 模型具体表达式详见 Tone and Tsutsui (2010)。

^③GML 指数分解公式详见杜江等 (2016)。

(5) 式中： t 表示年份； GML 、 $ETEC$ 和 ETC 分别表示 $ETFP$ 指数、农业生态技术效率指数和农业生态技术进步指数。如果 $GML^{t,t+1} > 1$ ，表示农业 $ETFP$ 提高；如果 $GML^{t,t+1} < 1$ ，表示农业 $ETFP$ 下降。 $ETEC$ 和 ETC 同理。

3. Dagum 基尼系数及其分解。本文使用 Dagum 基尼系数测度中国三大区域^①农业 $ETFP$ 增长的组内差距与组间差距，并揭示农业 $ETFP$ 增长的区域差异来源。根据 Dagum (1997) 的做法，总体基尼系数 G 可分解为三部分^②，可表示为：

$$G = G_w + G_{nb} + G_t \quad (6)$$

(6) 式中： G_w 为区域内（组内）差异； G_{nb} 为区域间（组间）净差异； G_t 为组间超变密度^③。

4. 收敛模型。本文采用收敛模型考察中国及不同区域农业 $ETFP$ 的离散程度及动态变化趋势。

① σ 收敛。本文采用 σ 系数和变异系数检验农业 $ETFP$ 水平的离散程度，计算公式为：

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\ln ETFP_{it} - \overline{\ln ETFP_t})^2} \quad (7)$$

$$CV_t = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (ETFP_{it} - \overline{ETFP_t})^2} / \overline{ETFP_t} \quad (8)$$

(7) 式和 (8) 式中： σ_t 表示 t 年农业 $ETFP$ 对数值的标准差； CV_t 表示 t 年农业 $ETFP$ 的变异系数； N 表示省份的数量； $ETFP_{it}$ 表示 t 年第 i 个省份的农业 $ETFP$ ， $\overline{\ln ETFP_t}$ 表示 t 年所有省份农业 $ETFP$ 对数值的均值； $\overline{ETFP_t}$ 表示 t 年所有省份农业 $ETFP$ 的均值。

② 绝对 β 收敛。绝对 β 收敛是指各省份的农业 $ETFP$ 水平呈现相同的稳态增长，农业 $ETFP$ 水平较低省份的增长速度快于农业 $ETFP$ 水平较高的省份。绝对 β 收敛模型计算公式为：

$$(\ln ETFP_{ie} - \ln ETFP_{i0})/T = \alpha + \beta \ln ETFP_{i0} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

(9) 式中： T 表示样本时间长度； $ETFP_{ie}$ 表示最终年份第 i 个省份的农业 $ETFP$ ； $ETFP_{i0}$ 表示初始年份第 i 个省份的农业 $ETFP$ ； α 和 β 表示待估计系数， β 方向为负表明存在收敛，方向为正则表明存在发散； ε_{it} 表示随机误差项。

③ 条件 β 收敛。条件 β 收敛是指不同省份经济发展水平等条件不同，各自的稳态水平有差异，长期来看，各省份农业 $ETFP$ 将向各自的稳态水平趋近。对条件 β 收敛的检验有两种方式：一种是面板固定效应模型；另一种是在回归模型中适当加入控制变量，再进行检验。参考郭海红和刘新民 (2021)

^① 本文研究区域为中国 30 个省（区、市），可划分为三大区域：东部地区包括北京、天津、山东、广东、海南、上海、江苏、浙江、福建、河北和辽宁 11 个省份，中部地区包括湖北、湖南、山西、吉林、黑龙江、安徽、江西和河南 8 个省份，西部地区包括内蒙古、广西、四川、重庆、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆 11 个省份。

^② Dagum 基尼系数及其分解的具体计算公式详见 Dagum (1997)。

^③ 组间超变密度是指因组间交叉重叠所引致的基尼系数。

的研究，本文采用第二种方式进行检验，选取经济发展水平、农业产业结构、农村人力资本、财政支农力度、城镇化、环境规制强度和受灾率作为控制变量。条件 β 收敛模型计算公式为：

$$\ln ETFP_{i,t} - \ln ETFP_{i,t-1} = \alpha + \beta \ln ETFP_{i,t-1} + \gamma X_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (10)$$

(10) 式中： $X_{i,t}$ 代表控制变量； γ 表示待估计系数； α 和 $\varepsilon_{i,t}$ 分别表示常数项和随机误差项。

5. 农业 ETFP 增长的分布动态演进分析。①核密度估计。核密度估计作为一种非参数估计方法，在探究动态分布问题时该方法得到了广泛应用。本文采用核密度考察农业 ETFP 增长的整体形状分布，探究农业 ETFP 增长分布的演进特征。具体地，农业 ETFP 增长的核密度曲线描述如下：

$$f(ETFP) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K \left(\frac{ETFP_i - \overline{ETFP}}{h} \right) \quad (11)$$

(11) 式中： $ETFP_i$ 表示独立同分布的观测值，即农业 ETFP 指数； \overline{ETFP} 表示农业 ETFP 的均值； $K(\bullet)$ 为高斯核密度函数； h 为使用“拇指法”计算的最优带宽。

②空间马尔可夫链。传统马尔可夫链忽略了区域间的空间相互作用，本文采用空间马尔可夫链考察邻近区域对本区域农业 ETFP 增长分布动态演进的影响。具体地，本文将农业 ETFP 离散为 k 种类型，将传统 $N \times N$ 阶马尔可夫矩阵分解为 k 个 $N \times N$ 阶转移概率矩阵形式，刻画不同邻近区域条件下农业 ETFP 向上或者向下转移的可能性。本文使用 $m_{uv}(k)$ 表示某一区域在邻接空间滞后类型为 k 时，由 t 年的 u 类型转移到 $t+1$ 年的 v 类型的概率，进而考察空间效应对区域农业 ETFP 演变的影响。

(二) 数据来源与处理

本文选取中国 30 个省（区、市）2005—2021 年的面板数据进行测算分析^①。在测算农业 ETFP 以及收敛分析中，所涉及的数据均来自《中国农村统计年鉴》（2006—2022 年，历年）和《中国统计年鉴》（2006—2022 年，历年）。农业固定资产投资额数据来自《中国固定资产投资年鉴》（2006—2022 年，历年）。能源数据和能源折标准煤系数来自《中国能源统计年鉴》（2006—2022 年，历年）。粮食作物净利润数据来自《全国农产品成本收益汇编》（2006—2022 年，历年）。在农业生态价值测算中，土地覆盖数据来自 Yang and Huang（2021）开发的土地覆盖数据集，空间分辨率为 30 米×30 米，时间分辨率为年。NPP 数据来自美国国家航空航天局 MODIS 产品数据，空间分辨率为 500 米×500 米，时间分辨率为年^②。本文使用 R 软件将栅格形式的土地覆盖数据和 NPP 数据在省级层面进行汇总处理。降水数据来自欧洲中期天气预报中心等组织发布的 ERA5-Land 数据集^③。道路里程包括公路、

^①本文选择以 2005 年为研究数据的起始年份，主要原因在于：一是 2005 年前农业能源碳排放数据缺失值和异常值较多，二是中国碳减排目标以 2005 年作为基准年。

^②资料来源：NASA EARTHDATA, [https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C1373412034-LPDAAC_ECS&pg\[0\]\[v\]=f&pg\[0\]\[gsk\]=start_date&g=G2823063887-LPDAAC_ECS](https://search.earthdata.nasa.gov/search/granules?p=C1373412034-LPDAAC_ECS&pg[0][v]=f&pg[0][gsk]=start_date&g=G2823063887-LPDAAC_ECS)。

^③资料来源：哥白尼气候变化服务数据平台, <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=overview>。

铁路和内河航道里程，数据来自《中国统计年鉴》（2006—2022年，历年）。水土保持率通过水土流失率间接得到，水土流失率数据来自《中国水土保持公报》（2012—2021年，历年），缺失数据用邻近年份相应数据替代。

四、中国农业生态全要素生产率增长的经验事实

（一）农业生态价值时空变化

本文使用动态当量调节因子模型测算得出中国及不同区域的农业生态价值^①。图1展示了2005—2021年全国和三大区域农业生态价值和地均农业生态价值的变化情况。

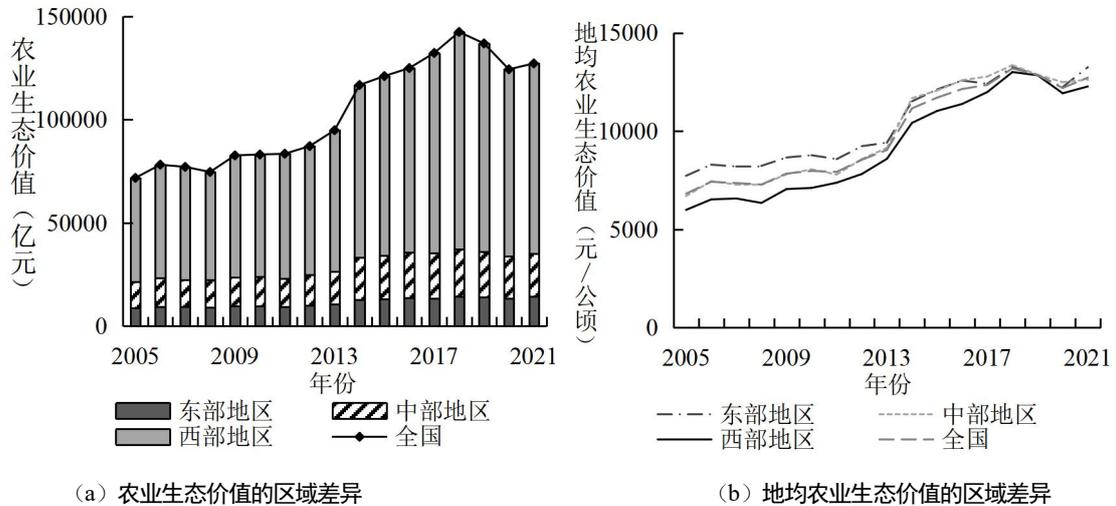


图1 2005—2021年农业生态价值和地均农业生态价值的区域差异

由图1(a)可知，2005—2021年，中国农业生态价值整体上呈波动上升趋势，年均增长3.64%^②。具体而言，中国农业生态价值由2005年的71783.83亿元增加到2006年的78196.80亿元，2007—2008年略微下降，2009—2018年逐渐增加，到2018年达到峰值，为142483.33亿元，2019—2021年出现回落。分区域来看，农业生态价值总量最多的是西部地区，中部地区次之，最后为东部地区。主要原因是，西部地区农业生态面积广阔，明显多于东部和中部地区。

由图1(b)可知，2005—2021年，中国地均农业生态价值呈现波动上升的趋势，地均农业生态价值从2005年的6818.17元逐渐上升到2021年的12728.92元，年均增长3.98%。分区域来看，东部地区的地均农业生态价值最大，中部地区次之，而西部地区最小。主要原因可能在于东部地区大部分属于季风气候，雨热同期，有助于植被生长，而西部地区主要以高原、山地、盆地为主，水土条件相对较差，生态系统十分脆弱。具体到省份来看，地均农业生态价值高值区域主要集中在云南、贵州、浙

^①囿于篇幅，并且因历年分省和不同生态系统及服务类型的农业生态价值并非本文研究重点，本文未展示相关数据结果。

^②年均增长率的计算公式为： $rate = \left(\sqrt[T]{ESV_e^r / ESV_0^r} - 1 \right) \times 100\%$ ， ESV_e^r 为最终年份的农业生态价值， ESV_0^r 为初始年份的农业生态价值， T 表示样本时间长度。

江、福建、广东、湖南等地区，例如，浙江省 2021 年地均农业生态价值达到 22587.68 元。主要原因可能是，上述省份均是森林、灌木茂盛的地区，且浙江、福建和广东等地经济发展水平较高，对生态效益的支付意愿比较强。而地均农业生态价值低值区域主要集中在新疆、宁夏、青海等地区，例如新疆 2021 年的地均农业生态价值仅为 1778.43 元。这些省份均是气候较为干旱的地区，土地贫瘠、降水稀少、生态脆弱，因此，地区单位面积农业生态价值较低。

（二）不同情形下的中国农业 TFP 比较

本文使用拓展的 EBM 模型分别测算了中国 2006—2021 年三种情形下的农业 TFP 指数，分别为传统农业 TFP 指数、农业 GTFP 指数和农业 ETFP 指数^①。其中，传统农业 TFP 指数仅考虑经济价值作为期望产出，未将农业碳排放作为非期望产出；农业 GTFP 指数将农业碳排放作为非期望产出，未将生态价值作为期望产出；农业 ETFP 指数将经济价值和生态价值同时作为期望产出，并将农业碳排放作为非期望产出，充分考虑了生态环境因素。

2006—2021 年中国传统农业 TFP 年均指数为 1.0438，表示该时期中国 30 个省（区、市）农业 TFP 年均增长率为 4.38%。同时，2006—2021 年中国农业 GTFP 年均指数为 1.0325，意味着该时期中国农业 GTFP 年均增长率为 3.25%，明显低于传统农业 TFP 年均增长率。这一研究发现与刘亦文等（2021）研究相似，表明忽视能源消耗所产生的碳排放可能导致测算的农业 TFP 偏高。

此外，2006—2021 年中国农业 ETFP 年均指数为 1.0308，表明 2006—2021 年中国农业 ETFP 年均增长率为 3.08%。对比三种情形测算结果发现，农业 ETFP 年均增长率略低于农业 GTFP 增长率，减少约 0.2 个百分点，并且远低于传统农业 TFP 增长率，减少 1.3 个百分点。这意味着，三种农业 TFP 指数的测算结果存在显著差异，也表明是否纳入农业生态价值对农业 TFP 的测算结果有明显影响。三种情形下的农业技术效率年均增长率分别为-0.35%、-0.17%和-0.51%，农业技术进步年均增长率分别为 4.75%、3.42%和 3.61%。可见，三种情形下，农业 TFP 分解项也存在明显差异。三种不同的情形下，农业技术进步均是 TFP 增长的主要驱动力，而技术效率对 TFP 增长的作用有限。农业技术效率都是下降的，反映了中国农业技术效率存在恶化趋势，“技术落后者”与“最佳实践者”的差距逐渐拉大。由此可见，将农业生态价值纳入农业 GTFP 的测算结果是合理且可行的。因此，后文将只分析农业 ETFP 的变化情况。

（三）中国农业 ETFP 增长的时空分异分析

1. 农业 ETFP 增长的时间趋势特征。图 2 反映了中国农业 ETFP 累积指数及其源泉的变化。从时间趋势看，农业 ETFP 增长呈现明显的阶段性波动增长趋势。农业 ETC 累积指数呈增长趋势，但农业 ETEC 累积指数呈不断下降趋势，表明农业生态技术效率存在恶化趋势。这一研究结果与杨万平和李冬（2020）对生态全要素生产率的研究结论一致。由图 2 可知，农业 ETFP 的变化趋势与农业 ETC 的变化趋势一致，而与农业 ETEC 的变化趋势相反。这表明，中国农业 ETFP 的增长，农业生态技术进步是其主要驱动力，而农业生态技术效率的贡献有限。

^①囿于篇幅，三种情形下的农业 TFP 指数的估计结果可登录本刊网站查看本文附录。

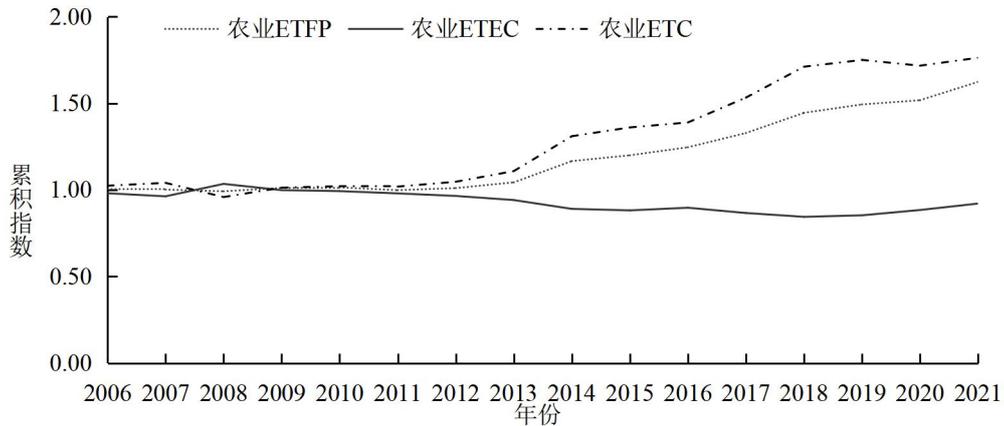


图2 中国农业 ETEP 累积指数及其源泉变化示意图 (2006—2021 年)

根据农业 ETEP 增长的时间变化趋势，大致可以划分为三个阶段：2006—2012 年、2013—2016 年和 2017—2021 年（见图 2），不同阶段农业 ETEP 增长的速度和模式存在一定差异。在第一个阶段，农业 ETEP 增长速度十分缓慢，年均增长 0.15%，表现为生态技术进步速度较慢（0.66%），而农业生态技术效率恶化（-0.51%），反映出这一时期环境污染形势严峻、生态系统退化、资源利用效率低、农业生态功能开发滞后等问题凸显，对生态文明理念的认识不足。在第二阶段，党的十八大提出要大力推进生态文明建设，强化了生态保护红线和环境质量底线，相继发布《水污染防治行动计划》等政策文件以及实施退耕还林还草、天然林资源保护等生态修复工程，中国农业 ETEP 迎来了高速增长期，年均增长 5.39%，主要由前沿技术进步贡献（7.33%），但农业生态技术效率仍是恶化的（-1.81%），仍是一种典型的技术推进型“单驱动”增长模式。在第三阶段，党的十九大强调要加强农业面源污染防治、加大生态系统保护力度，人们生态文明意识明显增强，农业 ETEP 持续高速增长，年均增长 5.44%，表现为农业生态技术进步增长迅速（4.88%），农业生态技术效率改善（0.53%），转变为由技术进步与技术效率改善共同推进的“双驱动”模式。

2. 农业 ETEP 增长的空间分异特征。图 3 展示了中国 and 不同区域农业 ETEP 累积指数变化情况。从图 3 可知，中国农业 ETEP 增长呈现“东部地区—中部地区—西部地区”的梯度增长。

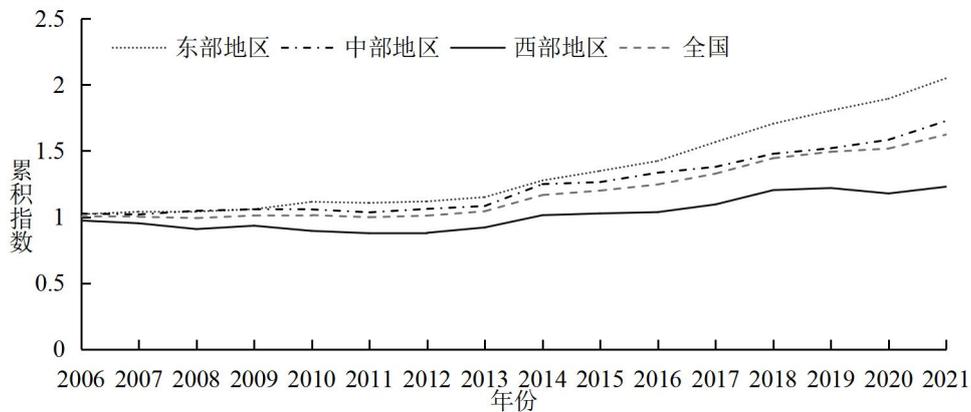


图3 中国及不同区域农业 ETEP 累积指数 (2006—2021 年)

表2展示了中国农业ETFP指数及其分解情况。通过分析表2可知，2006—2021年，东部地区年均农业ETFP增长率最高，达到4.59%，成为“领头羊”；中部地区年均农业ETFP增长率（3.48%）与全国农业ETFP增长率均值（3.08%）非常接近；而西部地区最低，仅为1.30%，只略高于全国农业ETFP增长率均值的1/3。这可能与东部地区单位面积农业生态价值较高有着密切关系，同时东部地区经济发展水平高，对生态文明的科普宣传力度和资金投入比西部地区更多，能更好地研发和应用农业新产品、新技术、新品种。

表2 中国农业ETFP指数及其分解情况

省份或地区	ETEC	ETC	ETFP	省份或地区	ETEC	ETC	ETFP
北京	1.0000	1.0587	1.0587	河南	1.0024	1.0353	1.0378
天津	1.0000	1.0638	1.0638	湖北	1.0287	1.0148	1.0439
河北	1.0136	1.0387	1.0529	湖南	1.0159	1.0320	1.0484
辽宁	0.9858	1.0551	1.0401	中部地区	1.0004	1.0344	1.0348
上海	0.9624	1.0991	1.0578	内蒙古	0.9845	1.0554	1.0390
江苏	1.0040	1.0336	1.0377	广西	1.0000	0.9888	0.9888
浙江	1.0248	1.0338	1.0594	重庆	0.9555	1.0487	1.0020
福建	1.0173	1.0297	1.0476	四川	0.9862	1.0452	1.0308
山东	1.0156	1.0427	1.0590	贵州	1.0000	1.0246	1.0246
广东	1.0111	1.0123	1.0236	云南	1.0000	1.0356	1.0356
海南	0.9775	1.0291	1.0059	陕西	0.9822	1.0294	1.0111
东部地区	1.0009	1.0449	1.0459	甘肃	0.9823	1.0432	1.0247
山西	0.9708	1.0433	1.0128	青海	1.0000	1.0000	1.0000
吉林	0.9904	1.0392	1.0293	宁夏	0.9547	1.0050	0.9595
黑龙江	0.9811	1.0543	1.0344	新疆	0.9900	1.0401	1.0297
安徽	1.0011	1.0204	1.0215	西部地区	0.9849	1.0285	1.0130
江西	1.0136	1.0364	1.0505	全国	0.9949	1.0361	1.0308

注：表格中的数值为几何平均值。

此外，不同时期东部地区和中部地区农业ETFP增长波动幅度较小，生产率竞争优势明显，而西部地区农业ETFP增长出现了“下滑—增长—下滑”的阶段性波动，主要原因可能是西部大多数省份生态脆弱、经济相对落后，农业生态技术的创新能力不高，技术推广和应用能力也较差。

从省份层面来看，2006—2021年中国省际农业ETFP增长存在两个明显特征：一是省份间农业ETFP增长差异显著。除宁夏和广西外，各省份农业ETFP均实现了正增长。其中，增速最快的5个省份依次为天津、浙江、山东、北京和上海，分别达6.38%、5.94%、5.90%、5.87%和5.78%（见表2）。这些省份多位于东部地区，经济发展水平较高，对生态文明建设的人、财、物投入较高，研发、应用生态环境友好型农业投入品，以及生态循环技术、产品与装备的能力较强。增速最慢的5个省份依次为宁夏、广西、青海、重庆和海南，分别为-4.05%、-1.12%、0.00%、0.20%和0.59%（见表2）。这些省份多位于西部地区，经济发展水平较低，受限于较差的农业资源禀赋及脆弱的生态环境，先进农

业技术成果推广工作开展得并不理想。

二是各省份的农业 ETFP 增长的驱动模式存在差异。从表 2 可知，技术进步最明显的 5 个省份依次为上海、天津、北京、内蒙古和辽宁；效率改善最明显的 5 个省份依次为湖北、浙江、福建、湖南和山东。在全国 30 个省（区、市）中，上海、北京、天津、黑龙江、四川、甘肃等 16 个省份主要依靠技术进步单轮驱动农业 ETFP 增长；浙江、山东、河北、江西等 11 个省份依靠效率改善和技术进步双轮驱动农业 ETFP 增长。此外，宁夏、广西和青海 3 个西部省份出现技术效率和技术进步“双低”的现象，严重制约了农业 ETFP 的提高。

五、中国农业 ETFP 增长的区域差异分析

在考察农业 ETFP 增长时空变化特征的基础上，本文进一步探究中国农业 ETFP 增长的区域差异及其来源，以及分析区域差异是否具有趋同性。

（一）Dagum 基尼系数的结果分析

1. 中国农业 ETFP 增长的总体差异及其来源。通过图 4 可知，从总体基尼系数^①来看，中国农业 ETFP 增长的差异整体上呈现明显的上升趋势，总体基尼系数由 2006 年的 0.0531 增加到 2021 年的 0.1789，年均增长 8.43%。这意味着，中国农业 ETFP 增长的总体差距不断扩大，不存在收敛趋势。主要原因可能是，大多数省份特别是农业 ETFP 较低省份的农业生态技术推广效果并不是很好，诸多前沿技术成果可能被束之高阁，导致农业 ETFP 较低省份与农业 ETFP 较高省份的生产率增长差距不断扩大。同时，本文将农业 ETFP 增长的总体差异分解为区域内差异、区域间净差异和组间超变密度。从区域内差异来看，东部地区的内部差异总体呈现波动上升的趋势。从演化趋势来看，可以分为两个阶段：2006—2009 年是剧烈波动阶段，该阶段东部地区的内部差异经历了“缩小—扩大”的过程，波动十分明显；2010—2021 年是平稳期，东部地区的内部差异虽然略微加大，但波动明显减小，东部地区的基尼系数稳定在 0.10~0.13 之间。中部地区的内部差异总体呈扁平的 N 型变化特征。从演化趋势来看，将其划分为两个阶段：2006—2014 年是波动上升阶段，且呈倒 U 型变化趋势，基尼系数由 2006 年的 0.0304 增加至 2014 年的 0.0470；2015—2021 年是快速上升阶段，除个别年份区域内差异略有下降，总体上呈现明显上升的态势。西部地区的内部差异总体呈明显上升趋势，且在各区域中处于最高水平。从演化趋势来看，可以划分为两个阶段：2006—2014 年是波动上升阶段，该阶段西部地区的内部差异明显增大，而且波动较大；2015—2021 年是快速上升阶段，该阶段西部地区的内部差异表现出明显的上升趋势。由此可见，农业 ETFP 的区域内差异存在“西部地区—东部地区—中部地区”依次递减的分布格局，而且区域内差异逐渐增大，表明不同区域内农业 ETFP 增长均没有收敛趋势。主要原因可能是：在各区域内部，相较于农业 ETFP 较低的省份，农业 ETFP 较高的省份具有更强的科技创新能力。同时，农业 ETFP 较低的省份对生态友好型农业生产技术的推广应用效果不好，致使它们与农业 ETFP 较高省份的差距不断扩大。

^①囿于篇幅，农业 ETFP 增长的基尼系数及其分解结果可登录本刊网站查看本文附录。

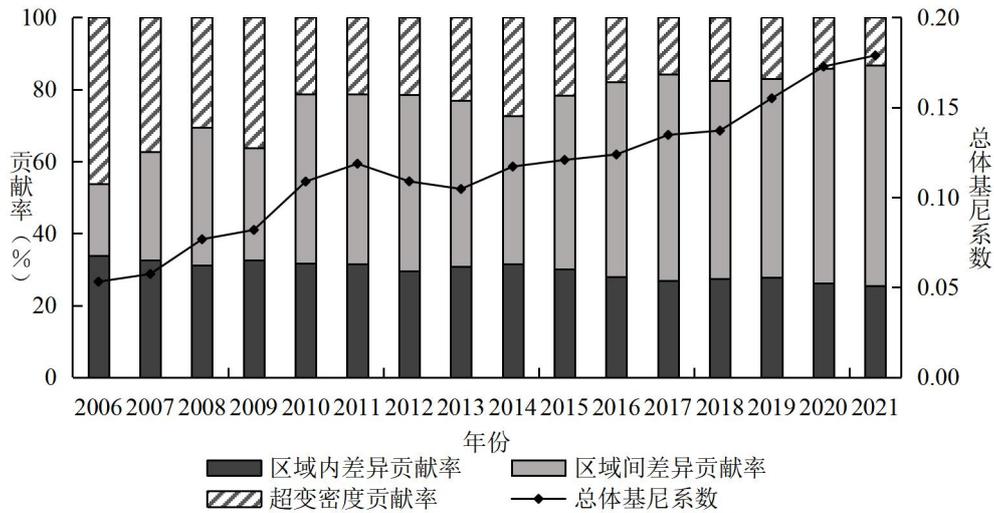


图4 中国农业ETFP增长的总体差异及其来源

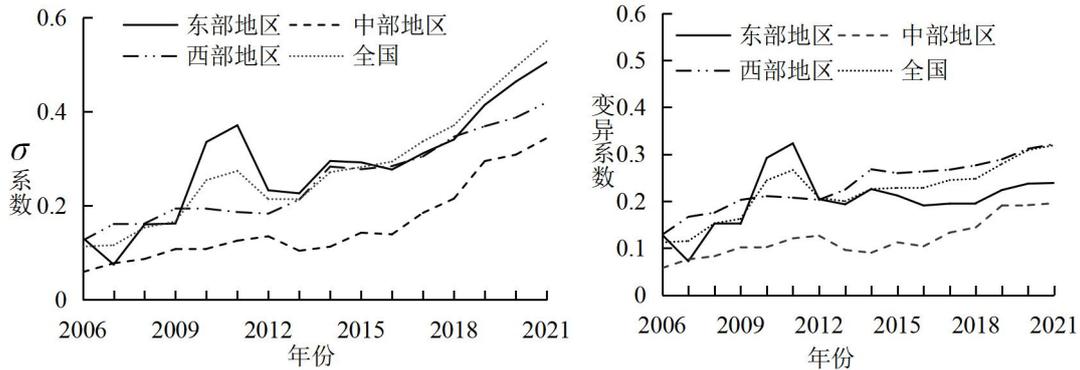
从区域间净差异来看，“东部地区—中部地区”差异、“东部地区—西部地区”差异和“中部地区—西部地区”差异在总体上均呈现波动上升的趋势，且三组区域间差异的演变趋势也较为一致。从演化趋势来看，可以划分为两个阶段：2006—2013年是波动上升阶段，呈现倒U型变化趋势；2014—2021年是持续上升阶段，该阶段三组区域间差异持续增大。同时，对比三组区域间差异不难发现，“东部地区—西部地区”差异明显高于“东部地区—中部地区”差异和“中部地区—西部地区”差异。由此可见，农业ETFP存在阶段性波动特征，区域间差距较大，仍未形成区域协调发展的空间格局。特别是东部地区与西部地区之间的差距较大且呈逐渐拉大的趋势。主要原因可能是：以北京、浙江、广东等为代表的东部地区，不再单纯以资源、环境为代价推动农业增长，而是依靠科技创新促进农业发展；而以宁夏、甘肃、青海、陕西等为代表的西部地区，自然条件艰苦、生态环境脆弱，农业生产过多依赖地膜以及化肥、农药等化学投入品，制约了农业可持续发展。从组间超变密度来看，超变密度的基尼系数在考察期内的波动非常平缓，围绕均值0.0247上下波动，未呈现明显的上升或下降趋势，意味着考察期内子样本之间交叉重叠的情况没有明显变化。

2. 中国农业ETFP增长差异来源的贡献率。从贡献率来看，区域间净差异对中国农业ETFP增长区域差异的贡献最大，贡献率均值达到46.33%，变动区间为20.06%~61.18%；其次是区域内差异，贡献率均值为29.77%，变动区间为25.49%~33.75%；组间超变密度的贡献最小，贡献率均值为23.90%，变动区间为13.34%~46.19%（见图4）。因此，中国农业ETFP区域差异主要来源于区域间净差异，其次是区域内差异，最后是超变密度。这也表明，要解决农业ETFP增长的区域差异问题，应着力缩小区域间净差异，尤其是东西差异。从具体演变趋势来看，在考察期内区域内差异贡献率变化不明显，组间超变密度贡献率呈明显下降趋势，而区域间净差异贡献率呈明显上升趋势（见图4）。结合区域间净差异贡献率大小及演变趋势，可以划分为两个明显的阶段：2006—2009年区域间差异贡献率的变化区间为20.06%~38.28%，呈现倒V型变化趋势；2010—2021年贡献率的变化区间为41.19%~61.18%，呈现V型变化趋势。

(二) 中国农业 ETFP 增长的收敛特征分析

在考察中国农业 ETFP 增长的区域差异及其来源的基础上，进一步采用收敛模型检验农业 ETFP 增长的区域差异趋于收敛还是发散，以探求区域差异的演变趋势。

1. 农业 ETFP 增长的 σ 收敛分析。图 5 报告了 2006—2021 年全国和三大区域农业 ETFP 增长的 σ 系数和变异系数的变动情况。由图 5 可知，全国和三大区域农业 ETFP 增长的 σ 系数和变异系数均大致呈现“先增后降再增”的变化特征。



(a) 全国和三大区域农业 ETFP 增长的 σ 系数演变 (b) 全国和三大区域农业 ETFP 增长的变异系数演变

图 5 全国和三大区域农业 ETFP 增长的 σ 系数演变和变异系数演变

以 2013 年为节点，可分为两个阶段：2006—2013 年和 2014—2021 年。2006—2013 年，除西部地区外，全国、东部地区和中部地区农业 ETFP 增长的 σ 系数和变异系数呈现“长升短降”的趋势，其中，2011—2013 年农业 ETFP 增长差异呈现明显下降趋势。可能的解释是：党的十八大强调把生态文明建设放在突出地位，推动了农业 ETFP 较低省份与农业 ETFP 较高省份的区域合作，有助于农业 ETFP 较低的省份进一步快速发展。2014—2021 年，东部地区农业 ETFP 增长的 σ 系数和变异系数呈 U 型变化趋势，全国、中部地区和西部地区农业 ETFP 增长的 σ 系数和变异系数呈明显增大的趋势。由此，全国和三大区域农业 ETFP 增长均不存在明显的 σ 收敛。主要原因可能是：中国农业生态环境保护的科技创新支撑力和储备依然不足，对新技术、新成果的推广应用缓慢，农业 ETFP 较低水平的省份很难对较高水平省份实现快速赶超。

2. 农业 ETFP 增长的 β 收敛分析。表 3 报告了全国和三大区域农业 ETFP 增长的绝对 β 收敛和条件 β 收敛的检验结果。其中，(1) 列、(3) 列、(5) 列和 (7) 列为绝对 β 收敛检验的检验结果，(2) 列、(4) 列、(6) 列和 (8) 列为条件 β 收敛的检验结果。从绝对 β 收敛结果看，全国、东部地区、中部地区和西部地区的 β 系数方向为正，且在 1% 的统计水平上显著，表明全国、东部地区、中部地区和西部地区均不存在绝对 β 收敛。这意味着，不考虑其他条件，农业 ETFP 较低省份对农业 ETFP 较高省份的“追赶效应”不存在。可能的原因是，先进适用农业技术的推广应用效果不理想。从条件 β 收敛结果看，全国、东部地区、中部地区和西部地区的 β 系数均为负值且在 1% 的统计水平上显著，表明全国、东部地区、中部地区和西部地区均存在显著的条件 β 收敛。这意味着，在考虑经济发展水平、农业产业结构、受灾率等因素后，长期来看，全国和三大区域农业 ETFP 增长收敛于各

自稳态水平的趋势是存在的。

表3 全国和三大区域农业 ETFP 增长的绝对 β 收敛和条件 β 收敛检验结果

变量	全国		东部地区		中部地区		西部地区	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
β	0.084*** (0.006)	-0.196*** (0.034)	0.105*** (0.012)	-0.206*** (0.066)	0.112*** (0.005)	-0.314*** (0.071)	0.055*** (0.009)	-0.245*** (0.056)
α	0.007* (0.004)	0.319 (0.196)	-0.003 (0.009)	0.691* (0.408)	-0.013*** (0.003)	0.012 (0.425)	0.010** (0.004)	-0.143 (0.314)
控制变量	未控制	已控制	未控制	已控制	未控制	已控制	未控制	已控制
R ²	0.870	0.304	0.897	0.266	0.990	0.510	0.824	0.490
F 统计量	186.97***	7.92***	78.29***	2.18***	593.18***	4.26***	42.08***	5.77***

注：括号中内数值为稳健标准误；*、**和***分别表示回归系数在 10%、5%和 1%的统计水平上显著。

六、中国农业 ETFP 增长的分布动态演进

收敛模型主要围绕 TFP 增长分布一阶矩和二阶矩展开，不能充分解决收敛问题（Quah, 1993），应进一步采用增长分布动态演进的方法考察中国 and 不同区域农业 ETFP 增长的动态演进特征。

（一）全国和不同区域农业 ETFP 增长的时序演变特征

本文采用核密度估计进一步揭示农业 ETFP 增长的时序动态演进特征。图 6 展示了中国和三大区域农业 ETFP 增长的核密度估计分布情况。

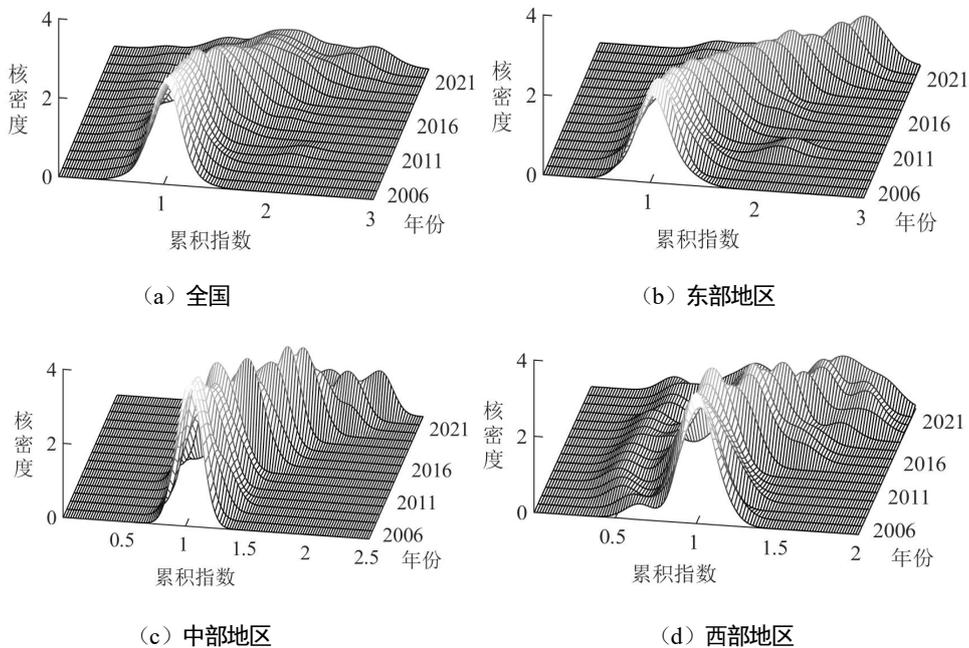


图6 中国和三大区域农业 ETFP 增长的核密度估计分布

1.全国农业 ETFP 增长的核密度估计。由图 6 (a) 可知, 2006—2021 年, 在曲线位置变化方面, 核密度函数中心和曲线整体明显向右移动, 反映出中国农业 ETFP 经历了增长过程。在峰值变化方面, 波峰峰值经历波动下降的过程, 变化区间明显扩大, 表明中国省域间农业 ETFP 的差异存在逐渐增大趋势。在曲线形态上, 2006—2009 年, 呈明显的单峰分布。2010—2011 年, 波峰从单峰演变为“一主一小”双峰格局。2012—2017 年, 波峰从双峰再次变为单峰分布。2018—2021 年, 波峰经历由“一主一次”双峰到“一主二小”三峰分布的过程, 且这种分布形态逐渐稳定。这表明, 在考察期内, 中国农业 ETFP 增长明显, 但省际差距持续扩大, 出现多极分化现象。可能的原因是: 经济发展水平、社会发展阶段的不同使得不同省份对生态环境的重视程度、对环境舒适性的需求存在差异, 影响各省份对生态环保先进农业技术的研发和推广应用, 从而加大了农业 ETFP 增长的省际差距。

2.三大区域农业 ETFP 增长的核密度估计。由图 6 (b) 可知, 2006—2021 年, 在曲线位置变化方面, 核密度函数中心和曲线整体明显向右移动, 反映出东部地区农业 ETFP 经历了增长过程。在峰值变化方面, 波峰峰值呈明显的下降趋势, 变化区间呈扩大趋势, 表明东部地区各省份之间农业 ETFP 的差距存在逐渐扩大趋势。在曲线形态上, 2006—2009 年, 呈明显的单峰分布。2010—2011 年, 波峰从单峰演变为“一主一小”双峰格局。2012—2021 年, 波峰从双峰再次变为单峰分布。这表明, 在考察期内中国东部地区农业 ETFP 增长的省际差距出现了先扩大后缩小的趋势。可能的原因是: 随着经济发展水平提高, 东部各省份对生态价值的重视程度增强, 在财政支农、环境规制等方面逐渐趋于一致, 从而客观上促进了东部地区农业 ETFP 增长省际差距的缩小。

由图 6 (c) 可知, 2006—2021 年, 在曲线位置变化方面, 核密度函数中心和曲线整体明显向右移动, 反映出中部地区农业 ETFP 经历了增长过程。在波峰变化方面, 波峰峰值呈下降趋势, 变化区间呈扩大趋势, 表明中部地区省份间农业 ETFP 的差距存在逐渐扩大趋势。在曲线形态上, 2006—2018 年, 呈明显的单峰分布。2019—2021 年, 双峰分布逐渐显现。这表明, 中国中部地区省份间农业 ETFP 增长的差距持续扩大, 极化现象开始显现。

由图 6 (d) 可知, 2006—2021 年, 在曲线位置变化方面, 核密度函数中心和曲线整体明显向右移动, 反映出西部地区农业 ETFP 经历了增长过程。在峰值变化方面, 波峰峰值呈明显的下降趋势, 变化区间呈扩大趋势, 表明西部地区各省份之间农业 ETFP 的差距存在逐渐扩大趋势。在曲线形态上, 2006—2013 年, 呈明显“一大一小”双峰分布。2014—2021 年, 波峰从双峰分布演变为“一主两小”多峰格局。这表明, 中国西部地区省份间农业 ETFP 增长的差距持续扩大, 出现多极分化现象。可见, 中部地区和西部地区省份间农业 ETFP 增长差距均呈扩大趋势。可能的原因是: 中部地区和西部地区内部省份间的经济发展水平差距较大, 在生态文明建设上人、财、物的投入力度不同, 进而使得农业技术成果推广应用的效果存在差异, 从而导致中部地区和西部地区农业 ETFP 增长省际差距的扩大。

（二）中国农业 ETFP 增长的空间演变特征

在有效把握中国农业 ETFP 增长演进规律的基础上，本文进一步采用传统马尔可夫链和空间马尔可夫链刻画其随空间变化的演进规律。本文使用四分位数方法，将农业 ETFP 指数累积值划分为低水平组、中低水平组、中高水平组和高水平组。

1. 农业 ETFP 增长的传统马尔可夫链分析。由表 4 可知，在未考虑地理空间因素下农业 ETFP 增长的动态演进特征如下：第一，农业 ETFP 增长分布的内部流动性较弱。低水平组、中低水平组、中高水平组和高水平组的转移概率矩阵在对角线上的数值均大于非对角线上的数值，对角线上的数值分别为 0.7778、0.6441、0.7265 和 0.9796，表明低水平组、中低水平组、中高水平组和高水平组“俱乐部趋同”特征均具有很强的稳定性，即一个地区随着时间变化农业 ETFP 类型变化的概率非常小，存在很强的“路径依赖”与“自身锁定”效应。第二，农业 ETFP 增长转型多发生在相邻分组之间递次转移，跨越组别转移的可能性非常小。低水平组向中低水平组转变的概率为 0.1880，中高水平组向高水平组转变的概率为 0.2051，任何组别越级转移的最大概率为 0.0342（低水平组向中高水平组转变的概率），表明农业 ETFP 增长跨越转移很难发生。第三，农业 ETFP 增长的动态演进过程中存在一定程度的“马太效应”。高水平组和低水平组保持原有状态的概率分别为 0.9796 和 0.7778，明显高于中高水平组和中低水平组保持原有状态的概率 0.7265 和 0.6441。也就是说，高水平组地区很容易保持领先状态，但低水平组地区却很难摆脱落后状态，出现两极分化现象。主要原因可能是：与高水平组地区相比，低水平组地区一般经济发展水平较低，生态保护意识较为薄弱，农业生产更多依赖于资源消耗，造成生态环境的破坏，进而难以实现农业 ETFP 跨越式增长。

表 4 传统马尔可夫链转移概率矩阵

类型	频数	低水平	中低水平	中高水平	高水平
低水平	117	0.7778	0.1880	0.0342	0.0000
中低水平	118	0.1271	0.6441	0.2288	0.0000
中高水平	117	0.0085	0.0598	0.7265	0.2051
高水平	98	0.0000	0.0000	0.0204	0.9796

2. 农业 ETFP 增长的空间马尔可夫链分析。由表 4 和表 5 可知，与传统马尔可夫链相比，空间马尔可夫链的转移概率发生了较为明显的变化。例如，当不考虑邻近区域时，低水平组转为中低水平组的概率为 0.1880；而当低水平组与低水平组、中低水平组、中高水平组和高水平组地区相邻时，低水平组转移为中低水平组的概率分别为 0.1667、0.1765、0.2632 和 0.2000。可见，是否考虑空间因素，农业 ETFP 的转移概率存在显著差异。具体地：对于低水平组地区，当其与低水平组、中低水平组、中高水平组和高水平组地区相邻时，它们向上转移的概率分别为 0.1905、0.2353、0.2632 和 0.2000，表明低水平组地区与中低水平组和中高水平组地区为邻时，低水平组地区向上转移的潜力更大。对于中低水平组地区，当其与低水平组、中低水平组、中高水平组和高水平组地区相邻时，它们保持自身不变的概率分别为 0.5714、0.6935、0.6667 和 0.4286，向上转移的概率分别为 0.2857、0.1935、0.2381

和 0.2857，向下转移的概率分别为 0.1429、0.1129、0.0952 和 0.2857，表明考虑空间因素后，中低水平组保持自身状态的概率明显大于向上转移或向下转移的概率，说明内部流动性较弱，存在一定程度的“俱乐部趋同”特征。对于中高水平组地区，当其分别与低水平组、中低水平组、中高水平组和高水平组相邻时，它们向上转移的概率分别为 0.0909、0.1111、0.2632 和 0.3077。可以看出，随着空间滞后类型升级，农业 ETFP 向上转移的概率逐渐上升，表明当与农业 ETFP 水平较高的地区相邻时，本地区更容易提升农业 ETFP，存在“与邻为善”现象。对于高水平组地区，与中低水平组、中高水平组和高水平组地区相邻时，它们保持自身状态不变的概率分别为 0.8333、0.9744 和 1，向下转移的概率分别为 0.1667、0.0256 和 0，而不考虑空间因素时，高水平组地区向下转移的概率为 0.0204。可见，当高水平组地区与高水平组地区相邻时，地区间可能存在合作或良性竞争，导致这些地区向下转移的概率减小。主要原因可能是：高水平地区生态保护意识较强，通过技术创新和与周边地区开展技术合作交流，能够发挥示范带动作用，有利于促进这些地区农业 ETFP 增长。

表 5 空间马尔可夫链转移概率矩阵

空间滞后	类型	频数	低水平	中低水平	中高水平	高水平
低水平	低水平	42	0.8095	0.1667	0.0238	0.0000
	中低水平	28	0.1429	0.5714	0.2857	0.0000
	中高水平	11	0.0000	0.2727	0.6364	0.0909
	高水平	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
中低水平	低水平	51	0.7647	0.1765	0.0588	0.0000
	中低水平	62	0.1129	0.6935	0.1935	0.0000
	中高水平	36	0.0278	0.0278	0.8333	0.1111
	高水平	6	0.0000	0.0000	0.1667	0.8333
中高水平	低水平	19	0.7368	0.2632	0.0000	0.0000
	中低水平	21	0.0952	0.6667	0.2381	0.0000
	中高水平	57	0.0000	0.0175	0.7193	0.2632
	高水平	39	0.0000	0.0000	0.0256	0.9744
高水平	低水平	5	0.8000	0.2000	0.0000	0.0000
	中低水平	7	0.2857	0.4286	0.2857	0.0000
	中高水平	13	0.0000	0.1538	0.5385	0.3077
	高水平	53	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

七、结论与启示

本文采用动态当量调节因子模型估算了 2005—2021 年中国 30 个省（区、市）的农业生态价值，进而构建农业生态全要素生产率的投入产出指标体系，并使用 EBM-GML 模型测度中国农业生态全要素生产率、技术进步和技术效率。在此基础上，本文通过综合使用 Dagum 基尼系数、核密度估计、马尔可夫链等方法揭示了中国农业 ETFP 增长的基本特征、区域差异及其来源与动态演进特征。主要研

究结论如下：

第一，从经验事实来看，2005—2021年中国ETFP增长主要由生态技术进步驱动，生态技术效率的贡献有限，且具有阶段性的波动式增长和明显的空间非均衡性特征。在时序变化方面，中国农业ETFP呈阶段性的波动增长趋势。在空间差异方面，中国农业ETFP增长呈现“东部地区—中部地区—西部地区”的梯度增长，省际农业ETFP增长同样存在明显差异。

第二，从区域差异来看，ETFP总体差异呈现扩大趋势，而且主要来自区域间差异。在区域内差异方面，东部地区、中部地区和西部地区三大区域的基尼系数均呈上升趋势，其中上升最快的区域是西部地区。在区域间差异方面，中国农业ETFP的区域间差异较大，其中最大的是“东部地区—中部地区”间差异。在贡献率方面，区域间差异对中国农业ETFP整体区域差异的贡献最大。在收敛特征方面，全国和三大区域的农业ETFP增长均不存在 σ 收敛和绝对 β 收敛，但是存在条件 β 收敛。

第三，从动态演进特征来看，ETFP增长的分布形态呈现由单峰向两极化和多极化演进趋势，分布动态呈现低流动性和强持久性特征。在分布形态方面，全国整体农业ETFP在考察期内持续增长，但地区差距不断扩大。东部地区、中部地区和西部地区的农业ETFP演变趋势与全国类似，呈现增长趋势，地区各省份之间的差距逐渐扩大。与全国地区、中部地区和西部地区不同，东部地区并未呈现两极化或多极化特征。在分布动态方面，中国农业ETFP增长类型转移具有“路径依赖”与“自身锁定”效应，跨越组别转移的概率非常小，且存在一定程度的“马太效应”。空间因素在农业ETFP增长的动态变化过程中起着重要作用。

提高ETFP是推进生态文明建设和实现农业高质量发展的核心驱动力，是转变农业发展方式、培育农业增长新动能的关键举措，更是缩小区域发展差距、推进农业经济与生态环境协调发展的政策着力点。基于上述研究结论，本文得到如下政策启示：

第一，增强生态意识，完善ETFP的测度体系。现有的农业ETFP测算指标选取尚不统一，期望产出指标多以单一的经济价值为主。随着生态经济理论的发展和社会各界对生态文明的广泛关注，学术界和政府部门应充分重视农业系统所蕴藏的生态价值，在测算农业全要素生产率过程中，有必要将生态价值指标纳入考虑，从而更加科学准确地分析农业经济增长的质量和可持续性，为推动生态文明建设和农业高质量发展提供科学依据。

第二，加强技术研发和成果转化应用，增强技术进步和效率改善对农业生态全要素生产率提升的驱动力。一方面，要加大对农业生态技术创新的政策支持、资金保障力度，推进人力资本和创新资源的培育，持续推进生态技术创新，充分发挥生态技术创新对农业ETFP提升的重要驱动力。另一方面，要推进农业生态技术成果转化应用，开展农业生态技术交流服务，加强农业技术普及和推广应用，提高农户应用新技术的积极性，推动农业ETFP实现“双驱动”增长模式。

第三，因地制宜地制定差异化的ETFP提升策略。对于东部地区，应发挥资金、技术和人才等方面的先发优势，强化农业科技创新和制度创新，充分发挥辐射带动作用。对于中部地区，应立足禀赋

资源和农业发展实际，引进先进适用的农业技术和成果。对于西部地区，应强化农业生态保护和环境治理，推动农业生态技术应用和推广。同时，东部地区、中部地区和西部地区应加强交流与合作，促进资金、技术和人才等要素在地区间的充分流动，协同提升农业 ETFP。

参考文献

- 1.陈卫平, 2006: 《中国农业生产率增长、技术进步与效率变化: 1990—2003年》, 《中国农村观察》第1期, 第18-23页。
- 2.邓元杰、侯孟阳、贾磊、汪亚琴、张晓、姚顺波, 2022: 《基于生态系统服务价值评估的长征沿线革命老区生态补偿策略》, 《应用生态学报》第1期, 第159-168页。
- 3.杜江、王锐、王新华, 2016: 《环境全要素生产率与农业增长: 基于DEA-GML指数与面板Tobit模型的两阶段分析》, 《中国农村经济》第3期, 第65-81页。
- 4.葛鹏飞、王颂吉、黄秀路, 2018: 《中国农业绿色全要素生产率测算》, 《中国人口·资源与环境》第5期, 第66-74页。
- 5.郭海红、刘新民, 2021: 《中国农业绿色全要素生产率的时空分异及收敛性》, 《数量经济技术经济研究》第10期, 第65-84页。
- 6.何秀荣, 2023: 《农业强国若干问题辨析》, 《中国农村经济》第9期, 第21-35页。
- 7.李谷成、范丽霞、冯中朝, 2014: 《资本积累、制度变迁与农业增长——对1978—2011年中国农业增长与资本存量的实证估计》, 《管理世界》第5期, 第67-79页。
- 8.李谷成、尹朝静、吴清华, 2015: 《农村基础设施建设与农业全要素生产率》, 《中南财经政法大学学报》第1期, 第141-147页。
- 9.李自强、叶伟娇、梅冬、郑茨文, 2022: 《环境规制视角下农业基础设施对粮食生态全要素生产率的影响》, 《中国生态农业学报(中英文)》第11期, 第1862-1876页。
- 10.刘亦文、欧阳莹、蔡宏宇, 2021: 《中国农业绿色全要素生产率测度及时空演化特征研究》, 《数量经济技术经济研究》第5期, 第39-56页。
- 11.孙能利、巩前文、张俊飏, 2011: 《山东省农业生态价值测算及其贡献》, 《中国人口·资源与环境》第7期, 第128-132页。
- 12.田云、尹忝昊, 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。
- 13.谢高地、鲁春霞、冷允法、郑度、李双成, 2003: 《青藏高原生态资产的价值评估》, 《自然资源学报》第2期, 第189-196页。
- 14.薛明皋、邢路、王晓艳, 2018: 《中国土地生态系统服务当量因子空间修正及价值评估》, 《中国土地科学》第9期, 第81-88页。

- 15.杨万平、李冬, 2020: 《中国生态全要素生产率的区域差异与空间收敛》, 《数量经济技术经济研究》第9期, 第80-99页。
- 16.杨文杰、刘丹、巩前文, 2019: 《2001—2016年耕地非农化过程中农业生态服务价值损失估算及其省域差异》, 《经济地理》第3期, 第201-209页。
- 17.易小燕、黄显雷、尹昌斌、王恒, 2019: 《福建省农业资源价值测算及生态价值实现路径分析》, 《中国工程科学》第5期, 第137-143页。
- 18.尹朝静、高雪, 2022: 《纳入气候因素的中国农业全要素生产率再测算》, 《中南财经政法大学学报》第1期, 第110-122页。
- 19.尹朝静、李谷成、范丽霞、高雪, 2016: 《气候变化、科技存量与农业生产率增长》, 《中国农村经济》第5期, 第16-28页。
- 20.张俊、汪辉、冯越珺, 2023: 《农业生态系统服务价值评价及其驱动因素：基于动态调节当量的实证考察》, 《财贸研究》第4期, 第33-46页。
- 21.张乐、曹静, 2013: 《中国农业全要素生产率增长：配置效率变化的引入——基于随机前沿生产函数法的实证分析》, 《中国农村经济》第3期, 第4-15页。
- 22.Ayerst, S., L. Brandt, and D. Restuccia, 2020, "Market Constraints, Misallocation, and Productivity in Vietnam Agriculture", *Food Policy*, Vol.94, 101840.
- 23.Becker, R. A., 1982, "Intergenerational Equity: The Capital-Environment Trade-Off", *Journal of Environmental Economics and Management*, 9(2): 165-185.
- 24.Chung, Y. H., R. Färe, and S. Grosskopf, 1997, "Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach", *Journal of Environmental Management*, 51(3): 229-240.
- 25.Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, and M. V. D. Belt, 1997, "The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital", *Nature*, Vol. 387: 253-260.
- 26.Dagum, C., 1997, "A New Approach to the Decomposition of the Gini Income Inequality Ratio", *Empirical Economics*, Vol. 22: 515-531.
- 27.Gong, B., 2018, "Agricultural Reforms and Production in China: Changes in Provincial Production Function and Productivity in 1978–2015", *Journal of Development Economics*, Vol. 132: 18-31.
- 28.Oh, D., 2010, "A Global Malmquist-Luenberger Productivity Index", *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 34: 183-197.
- 29.Quah, D., 1993, "Empirical Cross-Section Dynamics in Economic Growth", *European Economic Review*, 37(2-3): 426-434.
- 30.Solow, R. M., 1956, "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1): 65-94.
- 31.Tone, K., and M. Tsutsui, 2010, "An Epsilon-Based Measure of Efficiency in DEA-A Third Pole of Technical Efficiency", *European Journal of Operational Research*, 207(3): 1554-1563.

32. Yang, J., and X. Huang, 2021, "The 30 M Annual Land Cover Dataset and Its Dynamics in China From 1990 to 2019", *Earth System Science Data*, 13(8): 3907-3925.

(作者单位：¹西南大学经济管理学院；
²西南大学农村经济与管理研究中心；
³中南财经政法大学工商管理学院)
(责任编辑：柳 荻)

China's Agricultural Ecological Total Factor Productivity Growth in: Empirical Facts, Regional Differences, and Dynamic Evolution

YIN Chaojing YANG Kun TIAN Yun

Abstract: Based on panel data of 30 provinces in China from 2005 to 2021, this paper firstly estimates the agricultural ecological value scientifically, then incorporates it as a desirable output into the total factor productivity measurement system, and constructs the EBM-GML model to measure and decompose the growth of agricultural ecological total factor productivity in China. It also analyzes the spatial-temporal evolution characteristics of agricultural ecological total factor productivity growth by using Dagum's Gini coefficient, convergence model, kernel density estimation and Markov chain. The findings are as follows. Firstly, from 2005 to 2021, China's agricultural ecological value showed a fluctuating upward trend and the spatial distribution pattern was "the highest in the west, lower in the middle, and the lowest in the east". Secondly, the average annual growth rate of China's agricultural ecological total factor productivity was 3.08%, showing periodic fluctuating growth and obvious spatial non-equilibrium characteristics. Its growth was mainly driven by ecological technology progress. Thirdly, the overall difference in the growth of agricultural ecological total factor productivity showed a significant expansion trend, mainly due to inter-regional differences. In addition, there was no σ convergence and unconditional β convergence for both the whole country and the three major agricultural regions, but there is conditional β convergence. Lastly, the regional gap in the growth of agricultural ecological total factor productivity had widened significantly, and the distribution pattern had a tendency to evolve from "single polarization" to "polarization" and "multi-polarization", and the internal mobility of distribution dynamics was weak.

Keywords: Agricultural Ecological Value; Total Factor Productivity; EBM-GML Model; Dynamic Evolution