

# 农业绿色增长视角的要素贡献率再检验

黄莉, 王定祥

(西南大学 经济管理学院, 重庆 400715)

**摘要:** 基于 1990—2019 年中国农业省际面板数据, 构建农业多要素超越对数生产函数, 重新核算农业绿色产出下的要素贡献率, 并从技术进步和要素替代关系调节着手, 进一步探析农业绿色增长视角的要素贡献率改进路径。研究表明: 在农业绿色产出下, 劳动力、机械、土地、农药要素均以正向贡献率为主, 其中劳动力贡献率逐渐上升, 但机械和农药贡献率呈现下降趋势, 而化肥贡献率始终为负值。基于此, 农业绿色增长视角的要素贡献率改进关键在于提升农药和化肥的绿色技术进步, 改善劳动力与机械、化肥要素的过度替代。

**关键词:** 要素替代弹性; 要素产出弹性; 要素贡献率; 农业绿色增长

中图分类号: F323

文献标志码: A

文章编号: 1009-2013(2021)02-0009-09

## Re-testing the factor contribution rate under the perspective of agricultural green growth

HUANG Li, WANG Dingxiang

(College of Economics and Management, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Based on the panel data of China's agricultural provinces from 1990 to 2019, the translog production function of many agricultural factors has been constructed, the factor contribution rate under the perspective of agricultural green output has been recalculated, and the method of improving contribution rate of the factors has been explored through technological progress and adjustment of factor substitution relationship. The research shows that for the green output in agriculture, such factors as labor force, machinery, agricultural land and pesticide mostly make a positive contribution. The contribution rate of labor force rises gradually, but the contribution rate of machinery and pesticides shows a downward trend and the contribution rate of chemical fertilizer is always negative. The key to improving the factor contribution rate from the perspective of agricultural green growth is to enhance the green technological growth of pesticides and chemical fertilizers, and refine the excessive substitution of labor force, machinery and chemical fertilizer.

**Keywords:** elasticity of factor substitution; factor output elasticity; contribution rate of factor; agricultural green growth

### 一、问题的提出

改革开放以来, 依靠农业机械、化肥、农药的投入扩张和升级, 通过农业技术革新, 中国农业突破了土地和劳动力要素禀赋的约束, 实现了农业经济的持续增长<sup>[1-4]</sup>。然而, 农业生产中远超国际标准的化肥和农药施用量, 造成了严重的环境破坏和农产品安全问题<sup>[5-8]</sup>, 中国急需改变以环境污染为代价的农业经济增长, 实现农业绿色增长。为遏制农业

生产中化肥和农药滥用所引起的土地面源污染的持续加重, 原农业部于 2015 年出台了《到 2020 年化肥施用量零增长行动方案》和《到 2020 年农药施用量零增长行动方案》, 力争农药和化肥施用量的过快增长得到有效控制。“绿色农业”发展要义是推动农业生产模式向绿色化、现代化、科技化、规模化转型, 其任务实施不单单是污染物投入规模的减少, 更是以实现各要素对农业绿色产出贡献的持续正向增长为目标, 推动农业生产要素投入方式的规范化和合理化, 即农业生产中有机肥、测土配方肥、无污染生物农药等与资本和劳动力有效匹配。那么, 现阶段, 我国农业生产要素投入是否符合农业绿色增长的要求呢? 这一问题的解答, 对于

收稿日期: 2021 - 01 - 07

作者简介: 黄莉 (1990—), 女, 重庆涪陵人, 博士研究生, 主要研究方向为农业经济、农村金融与财政。

加速农业绿色发展至关重要。

根据诱致性技术变迁理论,农业生产要素对经济增长的贡献程度一方面取决于要素产出弹性变动,另一方面受制于价格诱导下的要素替代弹性的变化<sup>[9]</sup>。围绕这两条驱动路径,虽然有学者对大豆生产进行研究认为土地的产出弹性过低<sup>[10]</sup>,聚焦油菜生产发现化肥和机械产出弹性持续下降<sup>[11]</sup>,认为玉米生产中的化肥产出弹性亟待提高<sup>[12]</sup>,但应瑞瑶、杨宇、钟甫宁等<sup>[13-15]</sup>实证验证了农业生产各要素之间存在不同程度的替代关系,以致农业经济增长并未因劳动力流失而受到损失。根据笔者统计,从要素相对价格来看,以1978年为基期的稻谷、小麦、玉米三种粮食的单位耕地平均劳动力、土地、农药、化肥、机械成本可比价显示,农业生产中劳动力价格最为昂贵,其次依次为化肥、土地、机械、农药,且劳动力价格增幅最大,而农药和机械的价格基本保持不变,其他要素对相对昂贵的劳动力要素呈逐渐替代趋势。正是这种要素替代关系的不断加深,使得农业经济获得持续增长。

综上,已有研究从要素产出弹性或要素替代着手,探讨了农业各生产要素对农业经济增长的贡献程度,为本文的研究提供了思路。但是,这些研究均以农业经济增长作为产出变量,多集中探讨要素对劳动力或土地的单一替代关系,对要素贡献率的核算无法满足农业绿色发展需求,且缺乏农业绿色增长目标下技术进步和要素替代关系的转型驱动分析。因此,本文拟通过构建替代弹性条件下的农业多要素超越对数生产函数,对农业绿色产出的要素贡献率、要素产出弹性、替代弹性进行重新估算,并对比分析农业绿色产出和传统产出下的要素贡献差距,旨在探析农业绿色转型视角下各要素贡献率的优化路径。

## 二、研究方法和数据来源

### 1. 研究方法

考虑到传统C-D生产函数,无法识别要素边际产出对价格的敏感程度,孔祥智等<sup>[3]</sup>聚焦农业生产的劳动力、土地、机械、化肥等,构建了要素替代弹性可变假设条件下的四要素农业超越对数生产函数。但是从农业绿色发展视角看,农药在农业生产中具有不可或缺的地位,其施用量大小是决定农业生态环境改善的关键,且与土地和劳动力要素的替

代弹性会对其他要素贡献率产生重要影响。因此,本文将农药纳入农业生产函数,将农业传统产出下的超越对数生产函数扩展为五要素,公式如下:

$$\ln Y_{it} = \alpha_0 + \sum_{j=1}^5 \alpha_j \ln X_{jit} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^5 \alpha_{jj} (\ln X_{jit})^2 + \sum_{k=1}^5 \sum_{j=1}^5 \alpha_{jk} \ln X_{jit} \ln X_{kit} + \mu_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

将式(1)命名为模型I。其中, $Y_{it}$ 为农业传统产出。 $X_j$ 包括农业生产的土地(LAND)、劳动力(LABOR)、机械(MACH)、化肥(FERT)、农药(PEST)等要素。根据孔祥智等<sup>[3]</sup>的公式推导,农业传统产出的要素贡献率核算公式如下:

$$\eta_i = \varepsilon_i \times \left( \frac{\Delta X_i}{X_i} \right) / \left( \frac{\Delta Y_{ij}}{Y_{ij}} \right) \quad (2)$$

其中, $\varepsilon_i$ 为农业传统产出下的要素产出弹性, $\frac{\Delta X_i}{X_i}$ 为要素投入增长率, $\frac{\Delta Y_{ij}}{Y_{ij}}$ 为农业传统产出增长率。若要素产出弹性为正,要素投入增长会推动农业产出增长,此时产值增量贡献率为正;若要素产出弹性为负,要素投入增长仍可能会推动农业产出增长,仅当要素投入增长超过最优生产点右端时,产值增量贡献率由正转负。基于此核算方式,为探析农业绿色产出下的要素贡献率,构建农业绿色产出的超越对数生产函数,公式为:

$$\ln GY_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^5 \beta_j \ln X_{jit} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^5 \beta_{jj} (\ln X_{jit})^2 + \sum_{k=1}^5 \sum_{j=1}^5 \beta_{jk} \ln X_{jit} \ln X_{kit} + \mu_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

将式(3)命名为模型II。根据Odum H T对农业生态系统的框架设定,农业生态的投入系统分为不可更新环境资源、不可更新工业辅助能、可更新环境资源、可更新有机能四大部分<sup>[16]</sup>,其中仅可更新环境资源和可更新有机能的能值投入能够实现农业生态环境的良性循环,推动农业绿色产出增长;农业生态系统的不可更新环境资源和不可更新工业辅助能的能值投入将造成农业生态环境破坏,而可更新能值投入和不可更新能值投入的产出总和正是农业传统产出。参照公式(2),农业绿色产出的要素贡献率核算公式如下:

$$g\eta_i = g\varepsilon_i \times \left( \frac{\Delta X_i}{X_i} \right) / \left( \frac{\Delta GY_{ij}}{GY_{ij}} \right) \quad (4)$$

其中, $g\varepsilon_i$ 为农业传统产出下的要素产出弹性,

$\frac{\Delta X_i}{X_i}$  为要素投入增长率,  $\frac{\Delta GY_{ij}}{GY_{ij}}$  为农业绿色产出增长率。在绿色转型视角下, 当  $g\eta_i > \eta_i$  时, 要素绿色产出的贡献率高于传统产出的贡献率, 意味着农业要素投入在农业生态环境承载的规范化和合理化区间, 有助于农业绿色产出和农业传统产出差距的缩小, 从而推动农业绿色发展; 当  $g\eta_i < \eta_i$  时, 要素绿色产出的贡献率不及传统产出的贡献率, 说明农业生产模式仍以环境为代价, 获取超额经济效益, 致使农业绿色产出和农业传统产出差距的进一步扩大, 进而阻碍农业绿色发展。

结合农业要素贡献率核算公式来看, 要素产出弹性所代表的技术进步是提升农业要素贡献效率的关键。再根据诱致性技术变迁理论, 经济增长总是伴随着要素替代弹性的提升<sup>[17]</sup>。那么, 在农业绿色增长视角下, 调节农业绿色产出下的要素产出弹性和要素替代程度, 是改进各要素对农业绿色产出贡献率的两条重要路径。

(1) 要素技术进步转型。在主要追求经济效益的传统目标下, 农业生产较少考虑环境因素, 多采用过量的农药、化肥搭配资本、土地、劳动力的要素配置结构; 而在农业绿色产出目标下, 纳入环境、品质和健康因素, 农业生产强调有机肥、测土配方肥、无污染生物农药等与资本、劳动力的搭配, 追求绿色技术进步, 这反映在公式 (4) 中要素产出弹性的改变。在超越对数生产函数中, 农业传统产出下的要素产出弹性核算公式为:

$$\varepsilon_i = \frac{\partial \ln Y_{ij}}{\partial \ln X_i} = \beta_i + \sum_{i=1}^5 \beta_{ik} \ln X_k \quad (5)$$

式 (5) 反映的是单一要素的产出弹性受到自身产出边际和其他要素边际替代弹性的共同影响。基于此, 农业绿色产出下的要素产出弹性公式为:

$$g\varepsilon_i = \frac{\partial \ln GY_{ij}}{\partial \ln X_i} = \beta_i + \sum_{i=1}^5 \beta_{ik} \ln X_k \quad (6)$$

能值法中的农业生态系统框架, 决定农业绿色产出增长始终低于农业传统产出增长, 但这并不意味着农业传统产出下的要素产出弹性始终高于绿色产出下的弹性值。具体而言, 若  $g\varepsilon_i > \varepsilon_i$ , 且  $g\varepsilon_i > 0$ , 农业绿色产出下的要素产出弹性超过农业传统产出下的要素产出弹性, 要素绿色技术进步更为突出, 此时要素投入增长有利于绿色产出的要素贡献率提升; 若  $\varepsilon_i > g\varepsilon_i$ , 且  $\varepsilon_i > 0$ , 农业绿色产出下的

要素产出弹性不及农业传统产出下的要素产出弹性, 要素绿色技术进步滞后, 此时要素投入增长既推动传统产出的要素贡献率提升, 又促进绿色产出的要素贡献率增长, 但并不利于农业绿色转型; 若  $g\varepsilon_i < \varepsilon_i$ , 且  $\varepsilon_i > 0$ , 农业绿色产出下和农业传统产出下的要素产出弹性均为负值, 要素技术进步未得到有效增长, 此时无论两种产出下要素贡献效率差异如何, 均无法驱动农业绿色转型。综上所述, 农业绿色产出背景下的要素技术进步是要素贡献率提升的重要路径, 仅当要素投入增长使得要素绿色技术进步加速时, 才能推动农业绿色增长。

(2) 要素替代弹性调节。在要素替代弹性作用下, 要素技术进步能够实现对昂贵要素的节约, 从而推动农业经济持续增长, 这一过程满足德拉格兰德维尔假说<sup>[17]</sup>, 即要素替代弹性的增长有助于经济增长。在此过程中, 一方面, 面对相对价格的微小变化, 生产主体能够迅速对技术成熟的生产要素做出较优调整, 从而有利于经济增长; 另一方面, 生产主体通过要素报酬积累以参与农业生产再投入, 从而调节和优化要素配置结构<sup>[18]</sup>。总之, 要素替代弹性影响农业要素贡献率和总产出增长。那么, 在超越对数生产函数中, 农业传统产出下的要素替代弹性核算公式为:

$$\varepsilon_{ik} = \left( 1 + \frac{2\beta_{ik} \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_k} \beta_{kk} \frac{\varepsilon_k}{\varepsilon_i} \beta_{ii}}{\varepsilon_i + \varepsilon_k} \right)^{-1} \quad (7)$$

其中,  $\varepsilon_{ik}$  反映的是两要素的替代弹性关系, 包括农业机械、化肥、农药对劳动力和土地的替代弹性系数;  $\varepsilon_i$ 、 $\varepsilon_k$  表示为各要素产出弹性;  $\beta_{ik}$ 、 $\beta_{kk}$ 、 $\beta_{ii}$  系数值由实证回归估计结果获取。在此基础上, 农业绿色产出下的要素替代弹性核算公式为:

$$g\varepsilon_{ik} = \left( 1 + \frac{2\beta_{ik} \frac{g\varepsilon_i}{g\varepsilon_k} \beta_{kk} \frac{g\varepsilon_k}{g\varepsilon_i} \beta_{ii}}{g\varepsilon_i + g\varepsilon_k} \right)^{-1} \quad (8)$$

在农业绿色产出目标下, 要素间对农药、化肥等要素的依赖度降低, 对自然禀赋的需求增加, 必然导致要素间相互关系和替代程度发生转变<sup>[19]</sup>, 而提升农业绿色产出下的要素替代程度, 突破对稀缺资源的约束, 将提升要素对绿色产出增长的贡献率。具体而言, 在对农业劳动力的替代中, 农业机械、农业化肥、农药具有显著的价格优势。为节约劳动力投入, 农业生产中的技术进步离不开机械、

农药、化肥等要素的投入增长。在对土地的替代中，尽管土地价格存在一定程度的比较优势，但不考虑环境代价的农业机械、化肥、农药的生产技术更为成熟。为消除土地要素的制度束缚，农业机械、化肥、农药同样会形成对土地的显著替代。然而，在农业绿色转型目标下，有机肥、测土配方施肥、无污染生物农药等绿色技术要素存在市场稀缺性，不再具备价格优势，其对劳动力和土地的可替代性降低，必然使得农业绿色技术要素投入减少，将一定程度上阻碍农业绿色产出增长。在此过程中，调节要素间替代弹性，提升高绿色技术含量的机械、化肥、农药要素对劳动力和土地要素的可替代性，能够有效提升农业各要素的绿色技术进步速度及其对绿色产出的贡献效率，从而加速推动农业生产向绿色和高质量增长转型。

2. 指标选择和数据来源

本文选择农业绿色 GDP 和农业传统 GDP 作为产出变量，同时选择土地面积、劳动力、机械、化肥、农药作为投入变量，其中农业绿色 GDP 核算主要借鉴 Odum H T 的能值法。沿用该方法，蓝盛芳、李兆亮等<sup>[20,21]</sup>设立农业生态能值系统综合指标，通过“能值/货币比率”，将能流量转换为货币流以度量农业绿色经济增长的货币价值。农业绿色

GDP 核算步骤为：①构建不可更新环境资源、不可更新工业辅助能、可更新环境资源、可更新有机能的农业生态能量系统，其中农业系统可更新环境资源能值采用地区总能值乘以农业用地面积占地区土地总面积比折算；②通过公式：能值=原始数据×能量折算系数×太阳能值转换率，核算各个部分的能值投入；③计算可比价的农业真实 GDP，即是本文的农业传统 GDP；④采用不可更新能值与总能值之比再除以真实 GDP，以核算不可更新能值的货币价值；⑤总能值货币价值与不可更新能值货币价值的差额正是农业绿色 GDP。

关于农业绿色 GDP 核算，各能量折算系数、太阳能值转换率参照蓝盛芳<sup>[20]</sup>的《生态经济系统能值分析》和《农业技术经济手册》，农业要素成本价格数据来源于《全国农产品成本收益资料汇编》（1990—2020 年），本文其他数据来源于《中国农村统计年鉴》（1991—2020 年）、《中国人口和就业统计年鉴》（1991—2020 年）统计数据以及《新中国 60 年统计资料汇编》，其中重庆地区数据纳入四川省进行统计。图 1 具体展示了 1990 年以来，我国东、中、西部地区农业绿色 GDP 及其在传统 GDP 的占比。

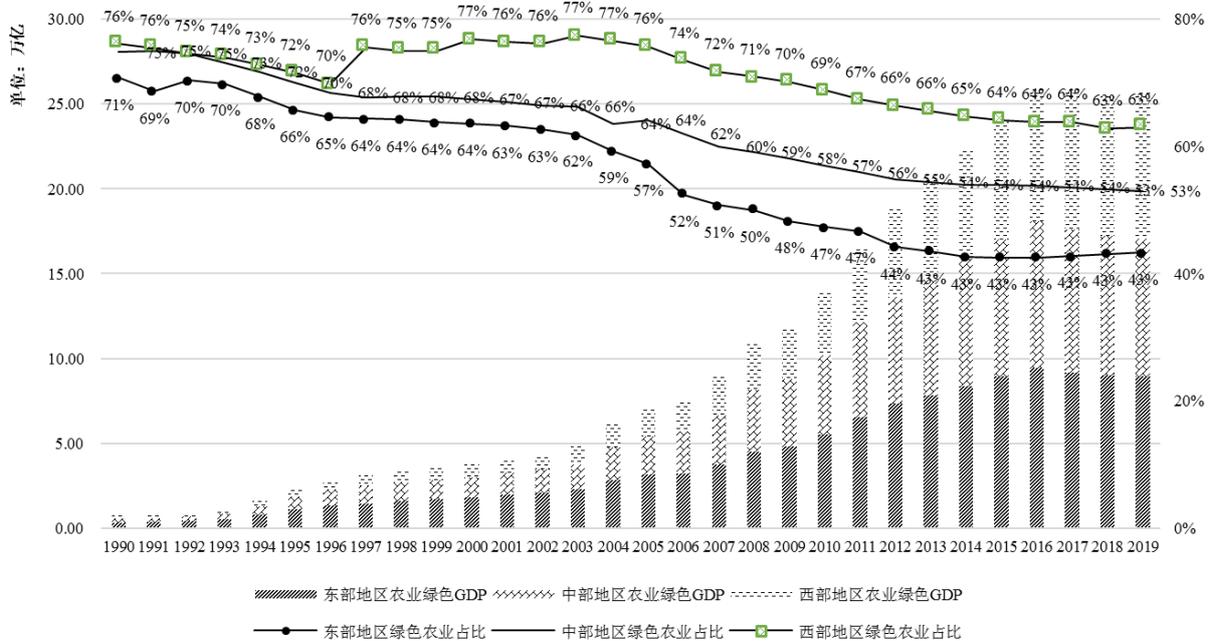


图 1 1990—2019 年区域农业绿色 GDP 变动趋势

据图 1 所示，整体上我国农业绿色 GDP 呈现高速增长趋势，2016 年后有所下降，而农业绿色 GDP

占传统 GDP 比重持续下降。显示出在中央办公厅和国务院办公厅 2014 年印发《关于引导农村土地

经营权有序流转发展农业适度规模经营的意见》，原农业部 2015 年出台《到 2020 年化肥施用量零增长行动方案》《到 2020 年农药施用量零增长行动方案》等一系列农业政策后，农业生产要素投入规模和方式发生重大转变，虽然一定程度上控制了农业传统产出增长速度，但也对农业绿色产出增长产生抑制作用。从区域层面来看，西部地区尽管农业绿色 GDP 绝对值偏低，但绿色 GDP 占传统 GDP 比重较高，意味着西部地区农业绿色转型压力相对较小，而东部地区最为严重。农业绿色 GDP 和传统

GDP 的统计结果差异决定农业绿色转型视角下生产要素贡献率重新核算的必要性。

### 三、计量结果分析

本文采用固定效应 (Hausman 检验) 估计方法对农业多要素超越对数生产函数进行估计，参数估计结果如表 1 所示，其中交互项和平方项大部分在 1% 的水平下显著，说明生产函数构建合理。表 1 分别展示了农业绿色 GDP 和农业传统 GDP 产出下的两种回归估计结果。

表 1 超越对数生产函数回归结果

变量	农业绿色产出			农业传统产出		
	系数估计值	标准误	t 值	系数估计值	标准误	t 值
LAND	0.508 6	1.318 0	0.39	0.233 9	1.354 2	0.17
LABOR	-3.652 5***	1.007 2	-3.63	-4.822 3***	1.034 9	-4.66
MACH	2.239 8**	0.913 5	2.35	3.752 4***	0.938 6	4.00
FERT	-6.716 1***	1.218 9	-5.57	-8.348 8***	1.252 3	-6.70
PEST	3.850 9***	0.429 4	9.02	3.304 4***	0.441 2	7.52
LAND <sup>2</sup>	-0.402 2**	0.192 1	-2.02	-0.580 8***	0.197 4	-2.94
LABOR <sup>2</sup>	-0.180 8**	0.092 0	-2.09	-0.208 3**	0.094 5	-2.20
MACH <sup>2</sup>	0.131 3**	0.065 8	1.98	0.029 2	0.067 6	0.42
FERT <sup>2</sup>	-0.714 1***	0.154 8	-4.70	-0.736 6***	0.159 1	-4.68
PEST <sup>2</sup>	0.001 8	0.009 9	0.13	0.001 8	0.010 1	0.16
LAND×LABOR	0.701 0***	0.237 9	3.02	1.025 9***	0.244 5	4.24
LAND×MACH	0.687 0***	0.185 9	3.69	0.552 8***	0.191 0	2.89
LAND×FERT	0.264 8	0.289 6	0.91	0.491 8**	0.297 5	1.65
LAND×PEST	-0.663 7***	0.129 6	-5.12	-0.577 2***	0.133 2	-4.33
LABOR×MACH	-0.619 5***	0.119 2	-5.20	-0.764 1***	0.122 4	-6.24
LABOR×FERT	0.002 3	0.213 8	0.01	0.053 5	0.219 8	0.24
LABOR×PEST	0.392 4***	0.097 4	4.03	0.319 7***	0.100 1	3.19
MACH×FERT	0.451 7**	0.199 6	2.26	0.631 0***	0.205 2	3.07
MACH×PEST	-0.654 4***	0.074 9	-8.78	-0.523 0***	0.076 9	-6.82
FERT×PEST	0.914 9***	0.107 6	8.58	0.765 2***	0.110 6	6.96
R <sup>2</sup>	0.900 7			0.914 0		
Hausman 检验	332.40***			389.49***		

注：\*\*\*、\*\*、\*分别代表显著性水平为 1%、5%和 10%。

#### 1. 农业绿色产出的要素贡献率测算结果分析

根据公式 (2) 和公式 (4)，结合表 1 的回归系数值，农业传统产出和绿色产出下各生产要素贡献率如表 2 所示。两种产出下要素贡献率存在的显著差异印证了农业绿色产出下要素贡献率再检验的意义所在。据表 2 所示，对农业绿色产出增长具有正向贡献率的生产要素依次为劳动力、机械、土地、农药，其中机械和农药贡献率呈现下降趋势，劳动力贡献率逐渐升高，而化肥贡献率始终为负值。具

体而言，农业绿色产出下的劳动力贡献率大致呈现先降后升的变动趋势，2004 年以后，其值大多高于农业传统产出下的劳动力贡献率。不难发现，2004 年以后，随着农业劳动力素质和绿色发展理念的日益提高，劳动力在推进农业向绿色转型方面的能动作用逐步凸显，劳动力投入增长有助于农业绿色转型。关于土地贡献率，其波动始终呈现较为平稳的状态，原因在于农业生产的土地投入规模相对恒定，而土地对农业绿色发展和环境的作用路径更多来源

于农药和化肥投入的隐性影响。从表2可以看出,两种产出下土地贡献率的差距较小。关于机械贡献率,在2015年以前,其值为正,且显著优于农业传统产出下的值,两者差距显示农业机械有助于农业绿色增长;2015年以后,农业机械对农业绿色产出

贡献优势逐渐消失,贡献率不及农业传统产出下的值,两者差距显示农业机械会抑制农业绿色增长。化肥贡献率始终为负,意味着我国农业生产长期存在化肥投入过度的客观事实,极不利于农业绿色增长,再次印证了农业化肥零增长行动的必要性。

表2 农业生产要素贡献率测度结果

%

年份	农业绿色产出					农业传统产出				
	LABOR	LAND	MACH	FERT	PEST	LABOR	LAND	MACH	FERT	PEST
1991	-1.53	3.88	83.01	-26.41	12.53	-0.67	3.25	56.90	-16.00	8.45
1992	1.58	-0.87	21.39	-16.69	6.97	0.78	-0.82	16.45	-11.35	5.27
1993	2.22	-1.04	19.83	-14.55	5.41	1.23	-1.09	17.04	-11.04	4.56
1994	1.35	0.24	8.00	-10.50	7.73	0.73	0.24	6.68	-7.71	6.32
1995	1.66	0.88	14.60	-13.28	6.47	1.00	1.01	13.75	-10.96	5.96
1996	1.78	2.14	18.46	-20.96	4.65	1.05	2.38	16.89	-16.77	4.15
1997	-0.10	2.60	21.79	-53.73	8.54	-0.10	5.07	34.98	-75.18	13.39
1998	-2.26	3.78	18.81	-60.05	7.16	-1.92	5.83	23.88	-66.34	8.89
1999	-11.56	4.20	20.93	-90.37	47.48	-9.17	5.93	24.22	-90.93	53.88
2000	-2.92	-0.25	6.09	-89.16	-10.75	-2.87	-0.43	8.48	-97.49	-14.71
2001	-2.82	-1.54	21.83	-44.72	-0.80	-1.63	-1.51	17.62	-31.28	-0.63
2002	-1.78	-2.62	15.77	-42.01	6.97	-1.26	-3.12	15.34	-35.36	6.68
2003	2.53	-4.31	10.20	-27.85	2.00	2.31	-6.51	12.58	-29.72	2.44
2004	3.25	0.90	12.68	-15.97	3.43	1.76	0.80	9.25	-10.05	2.47
2005	6.48	2.88	13.30	-34.25	7.49	5.91	4.27	16.31	-36.08	9.03
2006	17.86	-11.93	39.24	-73.35	17.98	5.44	-5.83	15.90	-25.47	7.16
2007	4.58	-1.93	12.83	-20.60	5.72	2.44	-1.64	9.03	-12.40	3.95
2008	2.82	3.26	8.04	-23.72	2.69	1.67	3.02	6.24	-15.68	2.05
2009	11.37	5.62	30.40	-63.92	5.84	6.80	5.24	23.85	-42.57	4.49
2010	4.43	1.41	11.39	-24.13	3.10	2.59	1.27	8.70	-15.59	2.32
2011	5.80	3.26	9.19	-19.39	1.45	3.36	2.90	6.98	-12.41	1.07
2012	5.23	2.85	11.89	-25.01	1.47	3.20	2.67	9.54	-16.87	1.15
2013	16.59	3.66	10.11	-10.61	-0.45	7.58	2.55	6.12	-5.39	-0.27
2014	15.70	3.46	11.94	-33.26	0.57	9.19	3.07	9.29	-21.65	0.43
2015	11.73	4.70	4.20	-31.54	-2.93	7.13	4.30	3.40	-21.28	-2.30
2016	9.06	0.39	-2.90	-60.37	-0.84	8.06	0.37	-2.41	-37.16	-0.76
2017	12.26	-2.19	-24.45	-12.54	-1.48	11.05	-2.09	-20.56	-7.79	-1.38
2018	13.02	-2.38	-15.93	-6.29	-2.34	10.75	-3.28	-16.45	-4.13	-1.58
2019	13.88	-2.39	-10.66	-3.28	-2.96	9.75	-4.99	-13.89	-3.14	-1.88

关于农药贡献率,其变动趋势分为两个阶段。2013年以前,农业绿色产出下的农药贡献率为正,且高于农业传统产出下的农药贡献率,此时农药投入增长有利于农业绿色增长;2013年以后,农业绿色产出下的农药贡献率为负数,且低于农业传统产出下的值,此时农药投入增长对农业绿色增长不利,说明尽管农药在农作物生产过程中具有必要的防治病虫害功能,其施用过度同样会抑制农业绿色产出的增长。因此,《到2020年农药施用量零增长行动

方案》实施核心要义并非指农药投入负增长,而是控制农药施用在农业绿色产出增长的合理区间。综上所述,自1991年以来,农业生产中的劳动力、机械、农药对农业绿色增长均以正向贡献为主,但各要素贡献力度却持续下降。并且,2016年以后,农业机械和农药都由正向促进作用转为抑制作用,显示出各要素对农业绿色增长的持续驱动力不足。

2. 农业绿色增长视角下的要素产出弹性分析  
针对现阶段农业绿色增长中,各要素对农业绿

色产出贡献较低的客观事实，有必要进一步核算农业绿色产出和传统产出下的各要素产出弹性，以探析农业绿色增长的技术进步速度。表 3 展示了农业绿色产出和传统产出下的各要素产出弹性。

表 3 农业生产要素产出弹性测度结果

%

年份	农业绿色产出					农业传统产出				
	LABOR	LAND	MACH	FERT	PEST	LABOR	LAND	MACH	FERT	PEST
1991	11.20	31.29	66.67	53.29	21.72	21.54	31.10	54.21	74.14	17.38
1992	11.27	31.28	66.70	53.44	21.91	21.54	31.17	54.33	74.24	17.54
1993	11.38	31.28	66.86	53.80	22.21	21.56	31.27	54.66	74.55	17.81
1994	11.21	30.67	66.52	53.10	22.16	21.25	30.70	54.51	73.71	17.79
1995	11.10	30.33	66.63	53.03	22.27	21.05	30.42	54.79	73.58	17.90
1996	11.15	30.35	67.00	53.11	22.24	21.07	30.41	55.22	73.71	17.88
1997	11.53	30.66	67.17	52.74	21.97	21.34	30.69	55.32	73.44	17.68
1998	11.91	31.01	67.29	52.37	21.69	21.63	31.02	55.36	73.18	17.46
1999	12.32	31.22	67.02	51.46	21.29	21.90	31.24	55.00	72.32	17.14
2000	12.99	31.98	67.38	51.33	20.91	22.49	31.92	55.18	72.36	16.84
2001	13.44	32.50	67.56	51.44	20.89	22.85	32.47	55.29	72.55	16.83
2002	13.81	32.80	67.50	51.24	20.83	23.12	32.82	55.20	72.37	16.79
2003	14.18	33.08	67.59	51.22	20.75	23.39	33.12	55.28	72.37	16.75
2004	14.22	32.99	67.96	51.23	20.63	23.38	32.94	55.74	72.40	16.66
2005	14.25	32.79	68.26	50.80	20.21	23.35	32.58	56.06	72.01	16.33
2006	14.54	32.78	68.36	50.66	20.10	23.49	32.55	56.26	71.82	16.26
2007	14.73	32.71	68.47	50.52	20.00	23.56	32.45	56.47	71.63	16.19
2008	14.83	32.71	68.89	50.13	19.53	23.63	32.27	56.83	71.36	15.81
2009	14.95	32.73	69.35	50.00	19.19	23.71	32.14	57.29	71.31	15.54
2010	15.07	32.72	69.71	49.82	18.89	23.78	32.01	57.65	71.19	15.30
2011	15.00	32.55	70.30	49.69	18.46	23.73	31.60	58.25	71.14	14.96
2012	15.06	32.55	70.73	49.61	18.16	23.78	31.46	58.67	71.14	14.72
2013	14.80	32.15	71.31	49.72	17.87	23.57	30.83	59.32	71.27	14.48
2014	14.74	31.96	71.88	49.66	17.46	23.52	30.39	59.91	71.26	14.15
2015	14.76	31.92	72.40	49.59	17.05	23.56	30.14	60.39	71.28	13.82
2016	31.34	46.91	78.35	36.20	12.79	37.07	42.09	61.92	61.88	12.41
2017	31.56	47.13	78.75	36.15	12.38	37.30	42.12	62.21	61.93	12.08
2018	31.69	48.23	79.02	35.02	11.29	37.62	43.01	63.13	62.29	12.34
2019	31.77	48.52	79.55	34.19	10.19	38.01	43.88	63.52	62.18	12.53

在农业绿色产出下，机械产出弹性最大，显示出机械对农业绿色产出增长的最优边际贡献，其次依次是化肥、土地、农药和劳动力。自 1991 年以来，农业机械产出弹性整体呈现持续上升趋势，从最初的 66.67% 增长至 2019 年的 79.55%，说明要增加农业绿色产出，农业机械投入增长至关重要。相较于农药、土地和劳动力，化肥的绿色产出弹性具有明显优势，但其变动趋势与机械产出弹性相反，最高值为 1991 年的 53.29%，最低值为 2019 年的 34.19%，说明化肥对农业绿色产出的驱动作用逐步减弱。而土地的绿色产出弹性稳定在 30% 左右，原因可能在于受土地保护政策的制度约束，土地禀赋

相对恒定，从而使得土地对农业绿色产出增长的驱动作用有限。

相较于农业传统产出的要素产出弹性，农业绿色产出下的机械和农药产出弹性具有明显优势，但两者的优势均逐渐减弱。尤其是《到 2020 年农药施用量零增长行动方案》实施后，农药对农业绿色产出增长的正向驱动消失，这与《到 2020 年农药施用量零增长行动方案》的绿色发展目标相悖，反映出农药作为防治病虫害及调节植物生长的化学药剂，其施用量的减少会弱化农业绿色产出的增长。不同于机械和农药，劳动力和化肥的产出弹性在农业传统产出下更高，说明劳动力和化肥投入增

长伴随着更多的污染产出,其中化肥的高产出弹性,表明化肥是农业污染产出的主要来源,劳动力次之,但劳动力在绿色产出下的产出弹性是逐年递增的,说明劳动力对农业绿色产出增长的驱动作用正得到逐步改善。土地在两种产出下的产出弹性差距不大,但在化肥和农药零增长行动后,土地对农业绿色产出增长的驱动作用显著增强,反映出当农药、化肥要素投入受到约束时,农业产出对自然禀赋的依赖度增强,此时土地规模和质量的保护尤为重要。总之,从要素产出弹性来看,在农业绿色产出增长目标下,机械具有绝对优势,劳动力和土地投入增长对农业绿色产出增长的驱动作用逐步增强,而化肥增长则是农业污染产出增长的主要来源,农药投入增长对绿色产出的驱动作用有限。显然,在农业绿色增长视角下的要素贡献率改进中,提升农药和化肥的绿色技术进步是当务之急。

### 3. 农业绿色增长视角下的要素替代弹性分析

如前文所述,调节要素间替代弹性,能够有效改善各要素对农业绿色产出的贡献率。基于此,本文进一步分析要素替代弹性与农业绿色增长的情况。具体到农业生产实际中,本文重点讨论农业机械、化肥、农药对土地和劳动力的替代程度。

图2展示了1991—2019年,农业绿色产出和传统产出下机械、化肥、农药与劳动力和土地的要 素替代弹性。在土地替代层面,农业绿色产出下土地与机械替代弹性始终保持在0.76~0.86,此时机械与土地为互补关系。而且农业绿色产出下的要素替代弹性显著高于传统产出下的值,显示出农业生产中的土地与机械关系更有利于绿色产出,这与机械产出弹性在农业绿色产出下具有突出优势的结论相符。同样,化肥与土地的替代弹性在农业绿色产出下始终小于1,且呈现缓慢下降趋势,这不利于农业绿色增长。在化肥零增长行动实施后,化肥与土地的替代弹性值骤降,结合表2和表3发现化肥产出弹性同样大幅降低,但农业绿色产出下化肥的负向贡献率有明显改善,说明控制化肥投入增长能够一定程度上缓解对农业绿色增长的抑制作用,而推动农业化肥有机化、绿色化、科学化转型才能提升化肥绿色产出弹性,从而实现农业绿色产出下化

肥贡献率的由负转正。显然,在农业绿色增长视角下,农业化肥有机化、绿色化、科学化转型势在必行。不同于机械、化肥与土地的互补关系,土地和农药的要素替代弹性始终大于1,且在农业传统产出和绿色产出下的要素替代弹性差距不大,其差距符合农业绿色增长需求。

在劳动力替代层面,机械、化肥与劳动力在农业绿色产出下始终为替代关系,而农药与劳动力先为互补关系,后为替代关系。其中,机械与劳动力的替代关系最为突出,显示出农业生产中机械投入增长对劳动流失的高替代,但替代程度呈下降趋势。对比农业传统产出下机械和劳动力替代弹性,同样发现在机械对劳动力的高替代过程中,由于柴油、汽油、电力等能源使用所带来的环境污染远超过传统农业人力生产造成的生态环境破坏,农业机械投入增长伴随着一定程度的环境问题。在农业绿色产出下化肥与劳动力要素为替代关系,且替代程度逐步减弱,再次印证了化肥对农业绿色产出增长的贡献有限。整体上,农业绿色产出下农药和劳动力替代弹性波动较大,部分年度受到政策冲击,呈现阶段性上升趋势。而且,农药和劳动力替代弹性在农业传统产出和绿色产出下呈现巨大差异,这一方面是因为农药施用量在农业生产中存在基准值和增长阈值,一旦农药投入不足,将无法满 足农作物生产的刚性需求;另一方面在于农药的过度施用会削弱土壤肥力,进而阻碍农业产出的持续增长。

综上所述,机械、农药与土地的要 素替代弹性有利于农业绿色产出增长,但更倾向于促进农业传统产出增长;化肥与土地替代弹性变动趋势与农业经济高速增长不符,尤其是与农业绿色经济增长不符。而各要素与劳动力替代弹性均呈显著下降趋势,既不利于农业传统增长,也不利于农业绿色增长。所以,在农业绿色增长目标下,从对土地的替代弹性来看,关键是降低化肥配置比例,提升化肥绿色产出弹性,改善化肥对土地可替代性;从对劳动力的替代弹性来看,则需要加大劳动力配置,注意控制机械、化肥、农药对劳动力的过度替代,以此实现各要素对农业绿色产出贡献率的合理增长。

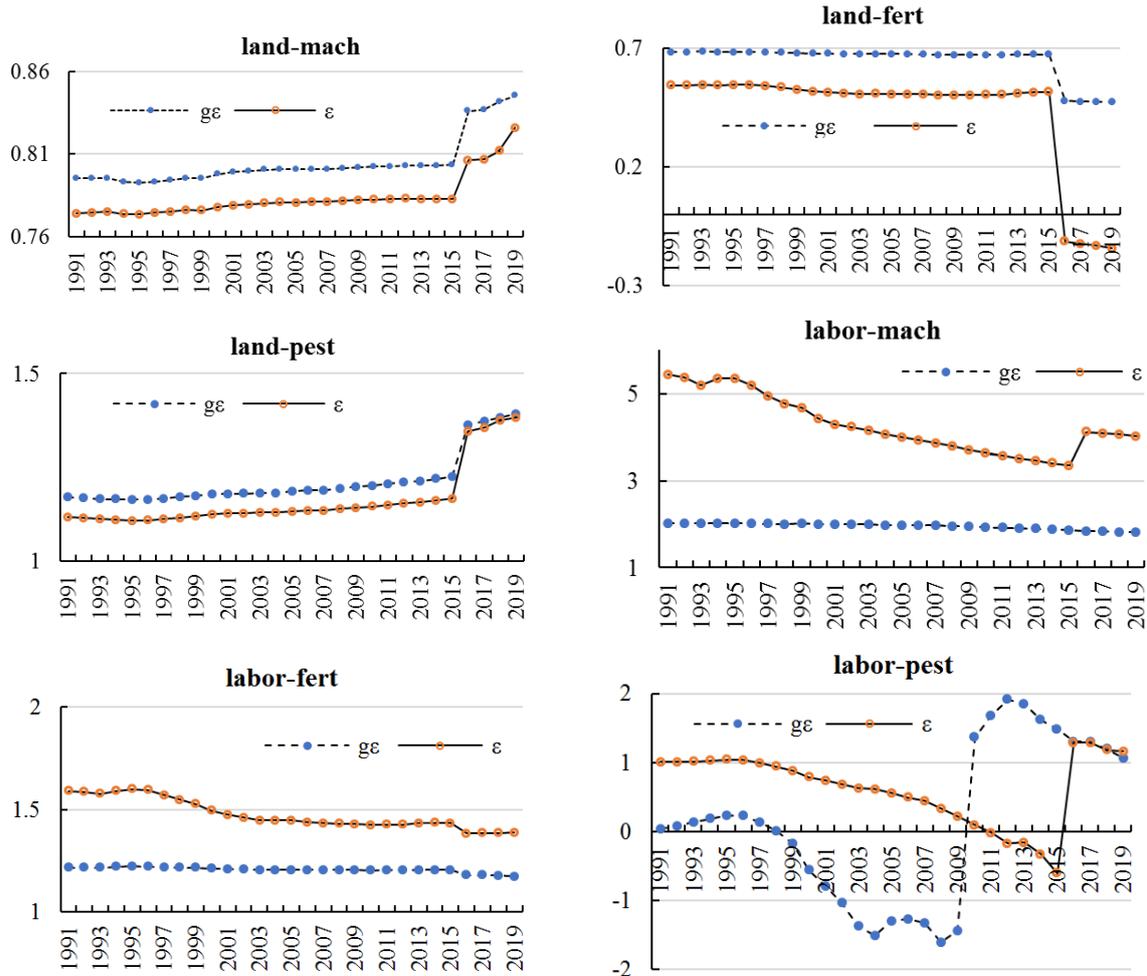


图 2 1991—2019 年农业绿色产出和传统产出下要素替代弹性变动趋势

#### 四、结论及其启示

上述研究表明：第一，农业绿色产出下的劳动力、机械、土地、农药贡献率大部分为正值，但机械和农药贡献率呈现下降趋势，而化肥贡献率始终为负。2016 年后，只有劳动力对农业绿色产出的贡献率为正，其他要素投入增长均不利于农业绿色增长。第二，在农业绿色产出下的要素产出弹性中，机械、劳动力、土地产出弹性均呈现持续增长趋势，显著促进农业绿色产出增长，其中机械具有绝对优势。而农药投入增长对农业绿色产出的驱动作用有限，化肥投入增长则是农业污染产出的主要来源。第三，从农业绿色产出下的要素替代弹性来看，机械、农药、化肥与劳动力替代弹性，以及化肥与农地的替代弹性均呈下降趋势，与农业绿色增长目标不符。机械、农药与农地的要素替代弹性呈上升趋势，但更倾向于农业传统产出增长。总之，在农业绿色增长视角下，要素调节重点在于充分发挥农业

机械对绿色产出的驱动优势，扭转农业化肥对绿色产出的负向贡献，改善机械、农药、化肥与劳动力要素的过度替代。

结合我国农业生产要素投入增长逐步放缓的事实特征和农业绿色增长驱动受限的现实背景，上述结论对于推动农业绿色增长具有以下启示：第一，应加强秸秆气化、太阳能、风能等清洁能源设施设备建设，扩大小水电代燃料工程实施规模和范围，稳步推进农业机械覆盖面积，注重柴油、汽油、电力的高效使用，尽可能地减轻农业机械使用所带来的环境污染；第二，深入开展农药化肥减量增效行动，注重稳步投入和绿色发展同步实施，提升绿色、环保、高效的生物有机肥施用普及率，积极落实农业绿色生产技术全覆盖，严格农药、化肥监督管理；第三、加强劳动力的绿色农业生产技能培训，鼓励绿色生产技术和经营管理模式融入现代农业产业链，升级农业绿色生产和劳动回报率以撬动劳动力回流。

(下转第 25 页)