

中国分省绿色全要素生产率 增长率研究^{*}

汪 锋 解 晋

【摘 要】文章使用 1997~2012 年省级面板数据,以超越对数生产函数为基础核算中国各省的绿色全要素生产率增长率,并对其影响因素进行了实证分析。结果显示:(1)中国 CO₂ 排放总量持续增加,环境承载压力逐渐增大,但 CO₂ 排放强度和能源强度正在逐渐下降,表明能源使用效率有所提升。(2)环境要素对产出增长表现出阻碍作用,且东部比中西部更为明显。(3)各地区绿色全要素生产率的增长率稳步上升,中国经济增长正逐渐由资本、劳动、能源和以 CO₂ 排放量为代表的环境容量等要素投入转变为可持续的绿色全要素生产率驱动。(4)教育投入、自主研发投入、产业结构优化和市场化改革对绿色全要素生产率的增长具有正向的推动作用,而外商投资的存在使中国成为实质上的“污染避难所”。

【关键词】绿色全要素生产率 能源消耗 CO₂ 排放

【作 者】汪 锋 重庆大学经济与工商管理学院,副教授;解 晋 重庆大学经济与工商管理学院,硕士研究生。

一、引 言

改革开放以来,伴随着经济的高速增长,中国迅速成为世界上最大的能源消费国和 CO₂ 排放国。以高能耗和高污染排放为特征的粗放型经济增长模式带来了严重的能源问题和环境危机。在能源供给和环境容量有限的背景下,一些学者在传统的全要素生产率分析中将能源消耗和环境容量作为新的投入要素纳入生产函数(Jorgenson 等,2000;Chen 等,2014;Färe 等,2007),研究经济系统的投入产出效率问题。部分学者将这类考虑了能源消耗和污染物排放的投入产出效率定义为绿色全要素生产率(Elsadig,2012;Chen 等,2014;李俊、徐

^{*} 本文为国家自然科学基金青年项目“基于非合作网络 DEA 和电力系统 CO₂ 排放转移的地区能源环境效率研究”(项目编号:71303270)的阶段性成果。

晋涛,2009),并认为传统的生产效率测算只考虑资本和劳动要素投入,忽略能源、环境容量投入很可能会高估实际的生产效率。

在现有文献中,对全要素生产率的测度主要有两种方法:一种是索洛残差法,通过估计总量生产函数,用产出增长率扣减各要素增长率的加权值,得到的残差值就是全要素生产率增长率(Young,2003;张军、施少华,2003;郭庆旺、贾俊雪,2005);另一种是使用非参数前沿生产函数,直接测算投入与产出的相对效率,使用 Malmquist 指数衡量全要素生产率(Färe等,1994;郑京海、胡鞍钢,2005)。

李俊、徐晋涛(2009)提出“绿色全要素生产率”概念,即在全要素生产率计算中加入反映环境变化的变量,并将其作为衡量经济发展质量的指标。胡晓珍、杨龙(2011)利用熵值法拟合环境污染综合指数,使用非参数 DEA 方法测算了 1995~2008 年中国各省的绿色 Malmquist 指数。李玲、陶锋(2012)将制造业部门分为重度、中度和轻度污染产业三类,并对这三类产业的环境规制与绿色全要素生产率关系进行了检验;殷宝庆(2012)利用 SBM 模型测算了 27 个制造行业的绿色全要素生产率,并检验了国际垂直专业化过程中环境规制对绿色全要素生产率的影响。杨文举、龙睿赟(2012)利用方向距离函数和跨期数据包络分析法,对中国地区工业绿色全要素生产率进行了测算,发现中国地区工业绿色全要素生产率增长存在明显的倒 U 形趋势和趋同性。然而,上述研究缺少对绿色全要素生产率增长率及其驱动因素的分析。鉴于此,本文将利用省级面板数据,测算考虑能源消耗和 CO₂ 排放的中国各省绿色全要素生产率增长率。

二、模型设定与数据来源

本文采用 Christensen 等(1973)提出的超越对数生产函数作为估计绿色全要素生产率增长率的基础,并将能源消耗和 CO₂ 排放作为投入要素纳入其中。超越对数生产函数引入投入要素之间,投入要素与时间变量之间的相互作用关系,可以揭示出经济系统内更多的内容(郑照宁、刘德顺,2004)。超越对数生产函数的模型形式为:

$$\ln Y_{it} = \beta_1 + \beta_i + \beta_t + \frac{1}{2} \beta_{tt} t^2 + \sum_{j=1}^4 \beta_j \ln X_{ij} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^4 \beta_{jk} \ln X_{ij} \ln X_{ik} + \sum_{j=1}^4 \beta_{jt} t \ln X_{ij} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中,下标 i 表示省份($i=1,2,\dots,29$); t 为时间趋势($t=1,2,\dots,16$)。 Y 为各省的产出,即国民生产总值。 X 表示物质资本存量(K)、劳动力(L)、能源消耗(E)和 CO₂ 排放(C)4 种投入要素,分别与 $j,k=1,2,3,4$ 对应。在生产函数估计的基础上,按照 Solow(1957)的方法,可以得到绿色全要素生产率(TFP)的增长率:

$$TFP = \dot{Y}_{it} - \alpha_K \dot{K}_{it} - \alpha_L \dot{L}_{it} - \alpha_E \dot{E}_{it} - \alpha_C \dot{C}_{it} \quad (2)$$

式(2)中, α_K 、 α_L 、 α_E 、 α_C 为各种投入要素的产出弹性,即各自的产出份额,也即扣减权重。绿色全要素生产率的增长率可以视为广义技术进步率。按超越对数生产函数设定,各投

入要素的产出弹性为式(1)计量估计系数的函数:

$$\alpha_{ji} = \frac{\partial \ln Y_{it}}{\partial \ln X_{jit}} = \beta_j + \sum_{k=1}^4 \beta_{jk} \ln X_{ik} + \beta_{jt} \quad (3)$$

本研究使用 1997~2012 年中国省级面板数据^①。其中,产出指标为各省 2000 年不变价国民生产总值 GDP;劳动力要素投入指标为各省全社会从业人员人数,能源要素投入指标为各省能源消耗总量(万吨标煤),上述变量数据均来自历年《中国统计年鉴》和各地区统计年鉴。两个投入要素变量 CO₂ 排放量和物质资本存量没有直接的统计数据来源,本文分别对其进行测算。

(一) CO₂ 排放量

根据 IPCC(2006)提出的计算 CO₂ 排放量的方法,CO₂ 排放主要来自化石能源燃烧和水泥生产。本文使用 7 种化石能源品种(煤炭、焦炭、汽油、煤油、燃料油、柴油、天然气)的消耗量和水泥产量来计算各省 CO₂ 排放量。计算公式为:

$$C_{it} = \sum_{l=1}^7 E_{itl} \times NCV_l \times CEF_l \times COF_l \times (44/12) + Q_{it} \times EF_{cement} \quad (4)$$

式(4)中, E 为各种能源消耗量, NCV 为相应中国能源的平均低位发热量, CEF 为 IPCC(2006)提供的碳排放系数,IPCC(2006)没有提供中国原煤的碳排放系数,本文沿用陈诗一(2009)的做法,使用烟煤和无烟煤碳排放系数的加权平均(80%和 20%)来代替。 COF 是碳化因子(原煤 0.99,其余能源种类为 1),44 和 12 分别为二氧化碳和碳的分子量。 Q_{it} 为水泥产量, EF_{cement} 为生产每吨水泥所产生的 CO₂,参照杜立民(2010)的数据 $EF_{cement}=0.527$ 。数据来自历年《中国能源统计年鉴》、《中国统计年鉴》和 IPCC 官方网站。

(二) 物质资本存量

各省物质资本存量采用永续盘存法进行测算:

$$K_{it} = I_{it} + (1 - \delta_{it}) \times K_{i,t-1} \quad (5)$$

式(5)中, K 为物质资本存量, I 为当年资本形成总额, δ 为折旧率, t 和 $t-1$ 分别代表当期和前期。各省资本形成总额来自历年《中国统计年鉴》,并使用分地区固定资产投资价格指数换算为 2000 年不变价。期初的物质资本存量和折旧率参考张军等(2004)给出的 2000 年分省物质资本存量数据和估算的 9.6%的折旧率。将 1997~2012 年各省 CO₂ 排放量加总可以得到全国 CO₂ 排放总量;相似的处理方式可以得到样本数据年间中国的能源强度指标和 CO₂ 排放强度指标(见表 1)。

表 1 显示,中国 CO₂ 排放总量从 1997 年的 29.2 亿吨上升到 2012 年的 100.2 亿吨,而能源强度、CO₂ 排放强度却大幅度下降。其中 CO₂ 排放强度由 1997 年的 3.88 吨/万元下降到 2012

① 由于没有用于推算物质资本存量的数据,实证研究数据不包括西藏自治区,并且将四川省和重庆市的数据进行了加总处理。

表 1 1997~2012 年中国 CO₂ 排放总量、
CO₂ 排放强度和能源强度

年份	CO ₂ 排放总量 (亿吨)	CO ₂ 排放强度 (吨 / 万元)	能源强度 (吨标煤 / 万元)
1997	29.24	3.88	1.82
1998	29.06	3.51	1.67
1999	29.55	3.28	1.56
2000	30.36	3.07	1.52
2001	32.65	3.01	1.43
2002	35.59	2.96	1.46
2003	40.92	3.03	1.48
2004	46.56	3.03	1.51
2005	54.43	3.13	1.51
2006	60.18	3.04	1.47
2007	65.90	2.91	1.41
2008	68.28	2.69	1.33
2009	73.33	2.59	1.26
2010	79.15	2.47	1.21
2011	88.64	2.48	1.16
2012	100.23	2.41	1.14

资料来源:历年《中国能源统计年鉴》、《中国统计年鉴》、各省统计年鉴和 IPCC 官方网站。

开有效提高了工业企业的生产效率。各地政府取缔、关停了 8.4 万家生产条件落后、高耗能、高排放、涵盖多类型的小型工业企业(中华人民共和国国务院新闻办公室,2006),因此,能源强度和 CO₂ 排放强度都显著下降。“十五”期间,尽管政府对于高污染低效率的小企业取缔关停的态度并未改变,但受城镇化基础设施建设中钢铁、水泥的刚性需求所带来的重工业的膨胀式发展的影响,该时期 CO₂ 排放量的增长率呈现上升趋势,张军等(2009)、陈诗一(2010)等学者也得出相似的结论。这些事实对 2002~2005 年中国能源强度和 CO₂ 排放强度忽然升高的现象有一定的解释力度。2007 年“国务院关于印发国家环境保护‘十一五’规划的通知”则明确提出建设环境友好型社会,要求地方各级政府把环境保护任务纳入本地区经济和社会发展规划,并分别对《规划》执行情况进行中期评估和终期考核,将结果纳入考核地方各级人民政府政绩的重要指标。这一系列的行政措施卓有成效,使中国 CO₂ 排放强度明显下降。实际上,中国单位 GDP 产出带来的 CO₂ 排放量从 1997 年的 3.88 吨 / 万元下降到 2012 年的 2.41 吨 / 万元,CO₂ 排放强度已经下降了 40%,2005 年以后下降速度更快,2005~2012 年 CO₂ 排放强度下降了 23%。随着中国经济转型的完成,有理由相信,2020 年中国政府可以实现 2009 年联合国气候大会上的承诺。

年的 2.41 吨 / 万元;能源强度从 1997 年的 1.82 吨标煤 / 万元下降至 2012 年的 1.14 吨标煤 / 万元。在经济总量快速增长和 CO₂ 排放总量不断攀升的背景下,这似乎可以作为过去一段时间内中国对能源使用效率的整体提升和增长方式逐步转型的证据,也印证了中国高能耗高排放的工业产业结构的调整和优化。尽管整体趋势降低,一个有些异常的现象是在经历了 1997~2001 年的持续下降后,无论是 CO₂ 排放强度还是能源强度均在 2002 年左右开始上升,并在 2005 年左右达到最高点,随后继续下降。由于本文所选时间段恰好涵盖了 3 个五年规划,不同时期政府主导的政策效应对节能减排可能有重要影响。“九五”期间国有工业企业改革,“抓大放小”、“三改一加强”、“节能减排和减员增效”相关工作的展

三、绿色全要素生产率增长率的分省核算

本文对 1997~2012 年中国各省超越对数生产函数模型的 Hausman 检验结果表明,在 1%的置信度水平上应选择固定效应模型(见表 2)。从表 2 估计结果来看,超越对数生产函数较好地拟合了 1997~2012 年中国各省的产出与要素投入之间的关系。回归方程总体上解释了绝大部分被解释变量的变异。复合误差项方差中个体效应的变异占全部变异的 71%,说明存在个体效应代表的省际差异需要使用面板数据模型。大多数解释变量和解释变量交叉项的系数在 10%的水平上显著,能够用于对绿色全要素生产率增长率的核算。

根据表 2 的估计结果,使用式(3)给出的各投入要素的产出弹性计算方法,即可得到物质资本、劳动力、能源消耗和 CO₂ 排放 4 种投入要素的产出弹性。即:

$$\begin{aligned}\alpha_{K_t} &= 0.0291 + 0.0219\ln L + 0.0436\ln E + 0.003\ln C - 0.0392\ln K + 0.0045t \\ \alpha_{L_t} &= 0.3323 + 0.0219\ln K - 0.1175\ln E + 0.0293\ln L \\ \alpha_{E_t} &= -0.839 + 0.0436\ln K - 0.1175\ln L - 0.0651\ln C + 0.2327\ln E - 0.012t \\ \alpha_{C_t} &= 0.003\ln K - 0.0651\ln E - 0.003t\end{aligned}\quad (6)$$

将式(6)求得要素弹性与该要素的增长率相乘就可以得到该要素在经济增长中所做贡献,即增长效应。这是考察过去一段时间内中国经济增长模式的重要依据。以能源消耗和 CO₂ 的排放为代表的环境要素的增长效应能在一定程度上反映中国经济增长方式是否可持续,因此是本研究关注的核心内容。表 3 给出了 1998~2012 年中国东、中、西部环境要素的贡献值。

从表 3 可知,在 1998~2012 年环境要素在中国各地区的贡献不同,而且环境要素在大部分时间段内有负向影响,即环境要素的投入实际上对经济增长有阻碍作用,这与陈诗一(2009)在工业分行业的研究中所得到的结论类似,同时本文的核算结果显示阻碍作用的整体趋势有所扩大。以东部地区为例,代表“绿

表 2 1997~2012 年中国各省超越对数生产函数固定效应模型估计结果

解释变量	系数	解释变量	系数
常数项	8.6619*** (0.9708)	$\ln L \times \ln E$	-0.1175** (0.0392)
t	0.1315*** (0.0275)	$\ln L \times \ln C$	0.0273 (0.0269)
$(1/2)t^2$	0.0033*** (0.0005)	$\ln E \times \ln C$	-0.0651** (0.0894)
$\ln K$	0.0291*** (0.1433)	$(1/2)\ln K^2$	-0.0392** (0.0261)
$\ln L$	0.3323*** (0.1321)	$(1/2)\ln L^2$	0.0293** (0.0201)
$\ln E$	-0.8390*** (0.2889)	$(1/2)\ln E^2$	0.2327** (0.1415)
$\ln C$	0.0228 (0.1529)	$(1/2)\ln C^2$	0.0430 (0.0544)
$\ln K \times \ln L$	0.0219*** (0.0156)	$t \times \ln K$	0.0045** (0.0025)
$\ln K \times \ln E$	0.0436*** (0.0291)	$t \times \ln L$	0.0015 (0.0020)
$\ln K \times \ln C$	0.0030*** (0.0186)	$t \times \ln E$	-0.0120** (0.0053)
$t \times \ln C$	-0.0030*** (0.0039)		

注:(1)拟合优度:组内 $R^2=0.9958$, $F(20, 415)=4919.64$, $\text{Prob}>F=0.0000$ 。(2)个体效应检验($H_0: \beta_1=\beta_2=\dots=\beta_{29}$): $F(28, 415)=660.71$, $\text{Prob}>F=0.0000$ 。(3)Hausman 检验: $\chi^2(20)=198$, $\text{Prob}>\chi^2=0.000$ 。(4)括号内数字为回归系数的标准误。(5)*、**、*** 分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著。

表3 1998~2012年中国东、中、西部环境要素贡献值

年份	东部	中部	西部
1998	0.0208	0.0021	-0.0075
1999	0.0097	0.0012	0.0011
2000	0.0002	-0.0202	-0.0225
2001	-0.0313	-0.0543	-0.0226
2002	0.0009	-0.0392	-0.0253
2003	-0.0170	-0.0212	-0.0039
2004	-0.0301	-0.0378	-0.0106
2005	-0.0392	-0.0250	-0.0194
2006	-0.0508	-0.0265	-0.0239
2007	-0.0396	-0.0046	-0.0292
2008	-0.0372	-0.0005	-0.0112
2009	-0.0146	-0.0124	-0.0200
2010	-0.0464	-0.0426	-0.0100
2011	-0.0481	-0.0396	-0.0266
2012	-0.0556	-0.0452	-0.0331

注:数据来自历年《中国能源统计年鉴》、《中国统计年鉴》、各地区统计年鉴和IPCC官方网站,由式(6)计算得出。

色”的环境要素增长效应从1998年的2%变为2012年的-4%,说明环境约束对经济增长的抑制在逐渐加强,环境要素对经济增长整体压力变得明显,中国以环境要素投入拉动产出的粗放型增长方式已不可持续。同时,本文的核算结果显示,整体上环境要素在西部地区的阻碍效应小于东部和中部地区,这说明西部地区能源消耗和CO₂为代表的环境要素约束效应较小。这可能是由于“西电东送”战略实际上是在自然资源丰富的西部地区燃烧煤炭发电后将产生的电能输送到东部,使东部地区使用清洁无污染的电能,而煤炭燃烧发电过程中产生的碳氧化物、硫氧化物等污染排放却留在了西部地区,这也使西部地区的环境要素增长效应更倾向于正向,即依靠环境要素的投入拉动经济增长。

在环境对增长的阻碍效应逐渐显现的情况下,中国经济依然以较快速度增长,这似乎暗示着绿色全要素生产率增长率在以更高的速度增长,因为只有这样才能在弥补环境要素阻碍作用的同时拉动产出的增加。为了核算中国各地区绿色全要素生产率增长率,我们将式(6)给出的要素产出弹性表达式代入式(2),得到中国各省历年的绿色全要素生产率的增长率(见图)。从图中可以看出,1998~2012年,中国各地区的绿色全要素生产率增长率虽然存在短期波动,但整体呈现上升趋势,反映出中国经济在经济结构优化和可持续发展方面取得了一定的成绩,包括能源、环境的各种要素投入的产出效率在不断提高。这说明中国经济增长正处于由要素投入驱动的粗放式增长模式向绿色全要素生产率驱动的集约模式转型的过程中。除了整体趋势之外,东、中、西部呈

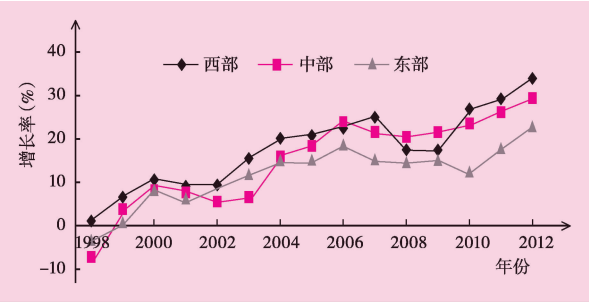


图 1998~2012年中国东、中、西部地区的绿色全要素生产率增长率

现出不同的增长态势。2000年以后,中、西部的绿色全要素生产率增长率显示出了比东部更为强劲的发展势头;对于这一现象,经济学中的“后发优势理论”似乎可以解释,即中、西部地区通过引进东部地区先进的生产技术和理念大幅提高了生产效率。同时,中国的中部崛起、西部大开发战略促进了要素流动和效率提升,也在一定程度上加快了西部

地区绿色全要素生产率的增长。但是,图中数据仅表示中国绿色全要素生产率的增长率,而非效率值,因此只能对经济增长质量的趋势进行判断,还不能由此得出中西部“绿色经济效率值”高于东部的结论。实际上,由于客观条件和历史政策等相关原因,东部地区的经济效率远高于中西部地区。

1998~2004年,煤炭价格的改革和非国有企业的快速发展促进了化石能源等相关资源的优化配置,同时通过关闭一大批技术落后、效率低下的小煤矿和火电厂,各省的绿色全要素生产率的增长率都得到明显提升,初步扭转了高能耗和高污染排放为特征的粗放型经济增长模式。这一改善趋势在2004年之后仍在持续,但各省绿色全要素生产率的增长逐步放缓,这与前面提到的“十五”期间中国重工业的快速发展密不可分。而2008年的全球性经济危机进一步减缓了各省绿色全要素生产率的增长,特别是对国际市场和进出口较为依赖的东部地区影响较大。从2009年开始,中国各省绿色全要素生产率的增长率呈现出恢复性增长的态势。这说明中国经济增长模式正由能源消耗和污染排放驱动的粗放型增长转为技术驱动的效率型增长。

四、绿色全要素生产率增长率的影响因素分析

本文对中国绿色全要素生产率增长率的影响因素分析从两方面展开:(1)技术进步对绿色全要素生产率增长率的影响。生产技术的改进会直接提高要素投入的产出效率,进而对绿色全要素生产率的增长带来积极的影响。技术进步的源泉可以分别从国内研发和国外引进两个维度进行考察。其中,国内依靠自身的技术进步源于人力资本的积累及自主研发经费的投入力度;国外技术来源则分为直接购买引进国外技术和贸易投资过程中先进技术及管理理念的交流渗透。本文在实证模型中考察居民平均受教育年限、研发投入、引进国外技术经费支出、实际利用外商直接投资额等变量代表的不同来源的技术进步是否会对绿色全要素生产率增长率带来影响。(2)制度优化对绿色全要素生产率增长率的影响。中国全面深化改革的重要内涵是要厘清政府与市场之间的关系,通过简政放权,使市场在资源配置中起到主导作用。制度优化不仅体现在生产经营、融资等方面企业拥有更大的自主权,也是企业治理结构与企业治理理念的转变,能够激发出各类企业更大的活力,从而提高要素的投入产出效率。资源配置中的制度优化可以从更高的市场化水平和更合理的产业结构上得到体现。本研究模型中选用非国有经济就业人数占城镇从业人员数的比例、第二产业产值占地区生产总值的比值两个变量考察制度优化是否对绿色全要素生产率增长率产生影响。

为了定量分析绿色全要素生产率增长率的影响因素,本文基于上述分析,构建以下模型:

$$\dot{TFP}_{it} = \beta_0 + \beta_1 Edu_{it} + \beta_2 \ln R\&D_{it} + \beta_3 \ln Ftech_{it} + \beta_4 FDI_{it} + \beta_5 MAR_{it} + \beta_6 SEC_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

式(7)中, Edu 为平均受教育年限; $R\&D$ 为研发投入; $Ftech$ 、 FDI 为与引进国外资金技术

相关的变量,分别表示“引进国外技术支出”的自然对数值和各省“实际利用外商直接投资额”与地区生产总值之比。这里 *FDI* 变量的引入不仅考察外商投资对中国本地先进生产技术和理念的渗透进而对东道国的生产效率产生影响,同时也将对“污染天堂”假说予以检验,即查看是否存在环境规制严格的发达国家以 *FDI* 的形式将污染密集产业转移至环境规制相对宽松的发展中国家的现象。*MAR* 代表非国有经济就业人数占城镇从业人员数的比例;*SEC* 代表第二产业产值占地区生产总值的比例。平均受教育年限数据来自历年《中国统计年鉴》中的“全国人口变动情况抽样调查样本数据”^①,以及 2000 年和 2010 年全国人口普查数据,根据中国的实际情况,假设小学的教育年限为 6 年,初中为 9 年,高中 12 年,大专及以上为 15 年,以此估算各地区居民平均受教育年限。《中国科技统计年鉴》提供了“各地区研究与开发机构 R&D 经费内部支出”和各地区规模以上工业企业“国外技术引进支出”,本文将上述两个变量的自然对数值分别用于衡量各省的研发投入和引进国外技术支出。模型中的其他变量数据来源于《新中国六十年统计资料汇编》、历年《中国统计年鉴》和各省统计年鉴。对式(7)的估计结果如表 4 所示。

表 4 显示,教育投入、自主研发投入和市场化改革对绿色全要素生产率的增长具有正向的推动作用。居民平均受教育年限是衡量人力资本水平的核心变量,通过对教育的投资,可以有效提高整个经济中劳动力对技术的学习和运用能力,进而促进绿色全要素生产率以更高的速率提升。生产函数中的技术进步来源于对研发活动的持续投入,本国立足自有资源开展的研发活动能有效促进绿色全要素生产率的增长。但将资金投入引进国外技术却无法带来类似的效果,改革开放初期存在的通过外商直接投资引进先进技术、提高生产效率的现象,已不复存在。而 *FDI* 变量对绿色全要素生产率的增长率没有显著影响,这可能

有两种解释:(1)随着中国的经济增长和自主研发能力的提高,1998~2012 年外商投资带来的技术和管理理念的溢出和渗透对中国生产效率的提高作用减弱;(2)外商投资为中国带来了先进生产技术和理念,提高了生产效率和产出,但同时带来了较高的污染排放,二者从相反的方向影响绿色全要素生产率增长率,作用

表 4 绿色全要素生产率增长率的影响因素固定效应模型估计结果

解释变量	系数	解释变量	系数
<i>Edu</i>	0.0828*** (0.0249)	<i>MAR</i>	0.1972*** (0.1231)
$\ln R\&D$	0.0483*** (0.0269)	<i>SEC</i>	-0.0335*** (0.1201)
$\ln Ftech$	-0.0034 (0.0045)	常数项	-0.0753 (0.2664)
<i>FDI</i>	0.2119 (0.5373)		

注:(1)拟合优度:组内 $R^2=0.3127$,模型总体显著性检验: $F(6,400)=8.3$, $Prob>F=0.0000$ 。(2)个体效应检验($H_0:\beta_1=\beta_2=\dots=\beta_{29}$): $F(28,400)=1.15$, $Prob>F=0.0010$ 。(3)Hausman 检验: $\chi^2(6)=16.71$, $Prob>\chi^2=0.0000$ 。(4)括号内为相关系数的标准误。(5)*、**、*** 分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

① 2011、2012 年全国人口变动情况抽样调查抽样比分别为 0.85%、0.831%。

抵消后导致整体效应不显著。然而,结合中国经济实际,无论是从拉动就业进而促进消费还是从贡献政府税收等角度 FDI 都显著提高了中国本地的经济增长。因此,后一种解释成立的可能性更大,即外商投资促进中国经济增长的同时也带来了大量的污染排放,支持“污染天堂”的假说。因此中国在引进外商投资的时候应当对高能耗和高排放的企业予以限制。同时,本文的实证结果表明现阶段推动中国绿色全要素生产率增长需要立足于教育和自主研发,通过加大对这两个关键领域的投入实现科教兴国的战略目标和内生可持续经济增长。与预期相一致,市场化领域的进展对绿色全要素生产率的增长具有显著的推动作用。市场化使各类生产要素向生产效率高的企业集中,通过制度的优化实现资源配置的效率的提高,同样能够带来绿色全要素生产率的更快增长。以工业为主体的第二产业对中国绿色全要素生产率的增长有显著的负向作用。中国尚处于工业化进程之中,粗放型的工业增长模式造成了大量能源消耗和污染排放,同时中国以煤炭为主的能源结构也阻碍了中国绿色全要素生产率的提高。这说明过去一段时间内中国的工业经济增长主要是依靠能源消耗、排放、资本和劳动等投入要素所驱动,增长方式亟待调整,产业升级势在必行。

五、结 语

本文通过将能源消耗和 CO₂ 排放纳入超越对数生产函数,核算了 1997~2012 年中国各省的绿色全要素生产率增长率。结果发现,中国 CO₂ 排放总量正持续增加,环境整体压力较大,但在经济持续增长的背景下,中国能源使用效率逐渐提高。中国各省绿色全要素生产率存在短期波动,但整体呈现上升趋势,反映出中国经济在经济结构优化和可持续发展方面取得了一定的成绩,包括能源、环境的各种要素投入的产出效率在不断提高,预示着从长期来看中国的经济增长方式转型及经济可持续发展是可以实现的。与东部地区相比,中、西部地区过去一段时间内经济增长仍主要源于能源和以 CO₂ 排放代表的环境容量等要素投入,随着绿色全要素增长率的上升,中国经济正在由数量规模型增长向质量效益型增长转型。

另外,教育投入、自主研发投入和市场化改革对绿色全要素生产率的增长具有正向的推动作用。教育和研发投入,特别是自主研发投入,能够有效促进生产技术的进步,进而提高各类企业的生产效率。经济活动主体分工合作越细,经济结构越优化,市场在资源配置中起的作用越充分,经济的整体运行效率也将越高。因此要实现中国经济可持续发展,提高绿色全要素生产率,就必须大力发展教育与科学研究,提高自主研发与创新能力,通过市场机制使资源向高效利用的产业和行业集中,政府在引进外商投资时,也应考虑限制高能耗、高排放企业的进入。

参考文献:

1. 陈诗一(2009):《能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展》,《经济研究》,第 4 期。
2. 陈诗一(2010):《中国的绿色工业革命:基于环境全要素生产率视角的解释(1980~2008)》,《经济研究》,第 11 期。

3. 杜立民(2010):《我国二氧化碳排放的影响因素:基于省级面板数据的研究》,《南方经济》,第11期。
4. 郭庆旺、贾俊雪(2005):《中国全要素生产率的估算:1979~2004》,《经济研究》,第6期。
5. 胡晓珍、杨龙(2011):《中国区域绿色全要素生产率增长差异及收敛分析》,《财经研究》,第4期。
6. 李俊、徐晋涛(2009):《省际绿色全要素生产率增长趋势的分析——一种非参数方法的应用》,《北京林业大学学报(社会科学版)》,第4期。
7. 李玲、陶锋(2012):《中国制造业最优环境规制强度的选择——基于绿色全要素生产率的视角》,《中国工业经济》,第5期。
8. 殷宝庆(2012):《环境规制与我国制造业绿色全要素生产率——基于国际垂直专业化视角的实证》,《中国人口·资源与环境》,第12期。
9. 杨文举、龙脊赟(2012):《中国地区工业绿色全要素生产率增长——基于方向性距离函数的经验分析》,《上海经济研究》,第7期。
10. 郑京海、胡鞍钢(2005):《中国改革时期省际生产率增长变化的实证分析(1979~2001年)》,《经济学(季刊)》,第1期。
11. 张军、施少华(2003):《中国经济全要素生产率变动:1952~1998》,《世界经济文汇》,第2期。
12. 张军等(2009):《结构改革与中国工业增长》,《经济研究》,第7期。
13. 郑照宁、刘德顺(2004):《考虑资本—能源—劳动投入的中国超越对数生产函数》,《系统工程理论与实践》,第5期。
14. 张军等(2004):《中国省际物质资本存量估算:1952~2000》,《经济研究》,第10期。
15. 中华人民共和国国务院办公厅(2006):《中国的环境保护(1996~2005)》(白皮书)。
16. Chen S. and Golley J.(2014), Green' Productivity Growth in China's Industrial Economy. *Energy Economics*. 44: 89-98.
17. Christensen L.R., Jorgenson D.W. and Lau L.J.(1973), Transcendental Logarithmic Production Frontiers. *Review of Economics and Statistics*. 55(1):28-45.
18. Elsadig M.A.(2012), Green TFP Intensity Impact on Sustainable East Asian Productivity Growth. *Economic Analysis and Policy*. 42(1):67-78.
19. Färe R., Grosskopf S. and Carl A.(2007), Environmental Production Functions and Environmental Directional Distance Functions. *Energy*. 32(7):1055-1066.
20. Färe R., Grosskopf S., Norris, M. and Zhang Z.(1994), Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. *American Economic Review*. 84(1):66-83.
21. Intergovernmental Panel on Climate Change(2006), Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Japan.
22. Jorgenson D.W. and Stirh K.J.(2000), U.S. Economic Growth at the Industry Level. *American Economic Review*. 90(2):161-167.
23. Managi S. and Kaneko S. (2004), Environmental Productivity in China. *Economics Bulletin*. 17(2):1-10.
24. Solow R.M.(1957), Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics*. 39(3):312-320.
25. Young, A.(2003), Gold into Base Metals: Productivity Growth in the People's Republic of China during the Reform Period. *Journal of Political Economy*. 111(6):1220-1242.

(责任编辑:李玉柱)