

Scientific and Technical Innovation Efficiency Analysis of Shaanxi Universities: A DEA-Malmquist Analysis

Shiyang Wang, Jie Duan

Human and Economic Institute, Northwestern Polytechnical University, Xi'an
Email: 1252236065@qq.com

Received: Jul. 18th, 2014; revised: Aug. 10th, 2014; accepted: Aug. 14th, 2014

Copyright © 2014 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

This paper uses data envelopment analysis to examine the technical efficiency (TE) of universities in Shaanxi province in the period 2003-2012. It is concluded that the science and technology innovation performance of Shaanxi University is gradually increasing. We then use Malmquist index to distinguish between changes in relative efficiency brought about by movements towards or away from the efficiency frontier in a given year and shifts in this frontier over time. The analysis indicates that there is a substantial rise in TE and technology progress score, and a relatively slower rise in technical efficiency, pure technical efficiency and scale efficiency. The rising TE scores are largely attributed to the gains in congestion efficiency, with pure technical efficiency and scale efficiency playing minor roles. Therefore, the primary task of Shaanxi University is system and management innovation.

Keywords

DEA, University, Scientific and Technical Innovation, Innovation Efficiency

基于DEA和Malmquist指数法的高校科技创新效率评价——以陕西省为例

王诗洋, 段 婕

西北工业大学, 人文与经法学院, 西安
Email: 1252236065@qq.com

收稿日期: 2014年7月18日; 修回日期: 2014年8月10日; 录用日期: 2014年8月14日

摘要

基于2003~2012陕西省高校科技创新效率时间序列数据, 运用DEA方法对我国高校科技创新成果转化效率实证研究, 得出陕西省高校科技创新绩效逐步提高; 运用Malmquist指数法对高校科技创新绩效变化的影响因素进行分析, 研究发现, 陕西省高校技术进步和全要素生产率较高, 而技术效率、纯技术效率、规模效率变化不明显, 全要素生产率的提高主要是技术进步引起的, 且技术效率提高速度缓慢会延缓全要素生产率的提高速度, 因此陕西省高校科技创新的首要任务是进行创新领域的制度与管理调整。

关键词

DEA, 高校, 科技创新, 效率

1. 引言

随着科学技术的发展, 一国科技创新能力的高低已经成为衡量其国际竞争力的最重要因素。高校作为我国科学研究与技术开发的重要阵地, 是科技创新、特别是基础研究的主力军, 对我国科技发展、高新技术的产业化和原始性创新水平的提高做出了巨大贡献。据统计, 我国高校科研投入经费快速增加, 从2007年的315亿元增长到2012年的887.9亿元, 每年平均增长近24%。同时, 高校科研成果也在数量和质量上有了双重的飞跃, 仅2013年, 高校获得国家级科技成果奖近500项, 在全国科技成果获奖中所占比重最大。然而不容忽视的是, 我国高校的科技研究成果存在着转化效率低下的问题, 很难适应经济社会发展的需求, 科技“架空”于应用之上, 难以形成实际的生产力。陕西省作为我国西部经济发展的中心地区, 是众多优秀高校和科技创新资源的聚集地。研究陕西省高校科技创新绩效的现状, 发掘制约科技创新绩效提升的因素, 对于促进区域生产力水平发展, 科学、合理、高效地配置和运营有限的科技资源, 具有十分重要的意义。

2. 文献综述

在对科技成果转化效率进行评价时, 国内学者从评价指标体系的设计和评价方法的选择上进行了研究。刘家树等运用主成分方法测度各地区科技成果转化绩效[1]; 沈菊琴等比较了层次分析法和模糊评判法对农业科技成果转化路径的绩效评价过程中的优劣性[2]; 尹航认为可以用AHP-Entropy方法从转化成果的经济效益、社会效益、环境效益和扩散效应等四个方面对科技成果转化绩效进行评价[3]。但这些方法大多适用于单输出的情况, 对多输出的情况无法进行准确的分析。相比之下, DEA(Data Envelopment Analysis, DEA)方法在处理多输入多输出方面有着绝对的优势, 因此在评价科技成果转化效率方面有着广泛的应用。徐晨等对我国30多个区域的科技投入及科技成果转化绩效展开研究, 利用DEA方法探讨了评价对象所处的位置和某些区域评价对象非有效的原因[4]。陈伟构建了GEM-DEA评价模型对我国各省份高校科技成果转化关键指标进行识别, 并对其转化效率进行评价[5]。

然而, 传统的DEA分析模型存在一个不足, 即无法识别相对效率的变化是由前沿面下的决策单元向

前沿面的趋近所引起的,还是由技术进步带来的生产可能性边界向外移动所引起的。而且传统的 DEA 模型适用于截面数据,在挖掘历史数据的深层信息方面存在明显的不足。因此,本文在进行时间序列分析时,引入 Malmquist 指数分析,以期能够找到影响高校科技创新绩效随时间变化的影响因素。

3. 模型建立与数据选择

3.1. DEA-Malmquist 模型

数据包络分析(DEA)运用线性规划求解效率前沿面,对于多输入和多输出的效率评价尤为适用,DEA 方法无需事先对函数和分布的形式进行假设,也不用对多输入和多输出变量赋权,因而减少了主观判断对评价准确性的影响。DEA 方法最早由美国运筹学家 A. Charnes 等学者提出,并在应用与实践得到改进和完善。最常用的模型是 Charnes, Copper 和 Rhodes 的 C²R(规模报酬不变)模型和 Banker, Charnes 和 Copper 的 BC²(可变规模报酬),这二者的结合可以获得评价单元的纯技术效率和规模效率。

设共有 n 个决策单元 DMU _{j} ($1 \leq j \leq n$), 每个 DMU _{j} 有 m 个输入指标和 s 个输出指标, 则具有输入倾向的引入非阿基米德无穷小量 ε 的 C²R 模型为:

$$D_\varepsilon \begin{cases} \min [\theta - \varepsilon (\hat{e}^T s^- + e^T s^+)], \\ \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + s^- = \theta X_0, \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - s^+ = Y_0, \\ \lambda_j \geq 0, \quad s^- \geq 0, \quad s^+ \geq 0. \end{cases} \quad (1)$$

其中, s^+ , s^- 分别为输入、输出的松弛变量; θ 是投入 x 的可压缩比例[6]。若线性规划的最优解为 $\theta, \lambda, s^-, s^+$, 则当 $\theta = 1$, 且 $s^+ = 0, s^- = 0$ 时, DMU 为 DEA 有效, 其经济含义为决策单元同时达到了技术有效和规模有效; 否则为非 DEA 有效。

引入限制条件 $\sum_{r=1}^l \lambda_r = 1$, 可得到 BC² 模型。由于假设规模收益不变, 可以由 BC² 模型计算决策单元的纯技术效率(pure technical efficiency, PTE), 并通过技术效率(technical efficiency, TE)与纯技术效率的比值可求出规模效率(scale efficiency, SE), 从而将决策单元技术效率分解成纯技术效率和规模效率。规模效率越接近 1, 表示规模大小越合适, 也就越接近最佳规模; 如规模效率等于 1, 则表示处于固定规模收益的状态; 如规模效率小于 1, 则表示处于规模收益递增或者递减的规模无效率状态。

运用 C²R 模型可以分析规模收益情况。在式(1)中, 如果存在 λ_r 使得 $\sum_{r=1}^l \lambda_r / \theta = 1$, 则 DMU 为规模收益不变; 若 $\sum_{r=1}^l \lambda_r / \theta < 1$, 则 DMU 为规模收益递增; $\sum_{r=1}^l \lambda_r / \theta > 1$, 则 DMU 为规模收益递减。

为了判断高校科技创新随时间变动的影响因素, 本文进一步引入 Malmquist 生产率指数度量技术效率变化和技术进步分别对科技创新绩效变化的影响程度。Malmquist 生产率指数由 Malmquist 于 1953 年首先提出, 后由 Caves 等作为生产率指数予以使用[7]。

式(2)为产出距离函数:

$$D_0(x, y) = \inf \{ \theta(x, y/\theta) \in S \} \quad (2)$$

从 t 时期到 $t + 1$ 时期, 全要素生产率(total factor productivity, TFP)变动的 Malmquist 指数可以表示成:

$$M_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \sqrt{\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)}} \quad (3)$$

其中, (x^t, y^t) , (x^{t+1}, y^{t+1}) 分别表示第 t 和 $t + 1$ 期的投入产出向量, (D_0^t, D_0^t) , (D_0^{t+1}, D_0^{t+1}) 分别表示以 t 时期与 $t + 1$ 时期的技术 S_t 和 S_{t+1} 为参照的距离函数。式(3)可进一步分解为不变规模报酬假定下技术效率变化与技术变动的乘积:

$$M_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^t(x^t, y^t)} \sqrt{\frac{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{D_0^t(x^t, y^t)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t)}} \quad (4)$$

式中, 开方号外的项表示技术效率的变化, $TE > 1$ 表明前沿面下的决策单元向前沿面的趋近, 效率改善, 反之则表明效率退步; 开方号里的项表示技术变动(technical change, TC), 它是前沿面在区间 t 和 $t + 1$ 变化的几何平均值, $TC > 1$ 表示生产可能性边界的向外移动, 即技术进步, 反之则技术退步。

式(4)中, Malmquist 指数中技术效率变化部分可进一步的分解为变动规模报酬假定下纯技术效率变化和规模效率变化的乘积:

$$\frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}|C)}{D_0^t(x^t, y^t|C)} = \frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}|V)}{D_0^t(x^t, y^t|V)} \sqrt{\frac{D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}|C)}{D_0^{t+1}(x^t, y^t|C)} \frac{D_0^t(x^t, y^t|V)}{D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}|V)}} \quad (5)$$

式中, 第一项表示纯技术效率变化(PTEC), 第二项表示规模效率变化(SEC)。PTEC > 1 表明变动规模报酬下效率改善, 反之则效率退步; SEC > 1 表示相对于第 t 期, 第 $t + 1$ 期更接近固定规模报酬, SEC < 1 则远离固定规模报酬。

本文以 2003~2012 陕西省高等学校科技创新为研究对象, 采用由 Färe 等提出的 DEA-Malmquist 指数方法[8], 通过构造以 2012 年陕西省高校科技创新实践为最佳前沿来度量技术效率变化和技术进步状况。

3.2. 指标选择及解释

在应用 DEA 方法对决策单元进行评价时, 评价指标的不同, 评价结果也将不同[9]。因此, 在选择评价指标时, 除了遵循指标选取的系统性、规范性以及科学性等原则, 还应更加注重评价的目的以及投入、产出指标的代表性问题。陆根书等提出高校科技投入方面的指标主要包括科技经费和人力资源投入, 产出指标主要包括 R&D 课题、研究成果、科研获奖和技术转让[10]。而孙世敏认为高校科技产出应该是科技专著、学术论文、知识产权和成果转化[11]。王晓红等则将人力资源和科技经费项目视为投入指标, 将科技成果、科技交流和科技奖励效益视为产出指标[12]。

我们将这些相关研究的投入产出指标进行了梳理和汇总, 在咨询了有关专家之后确定了相应的评价指标。高校科技投入指标主要人力资源投入和经费投入两个方面; 高校科技产出指标主要包括论文、专利授予、技术转让、成果获奖等四个方面, 如表 1 所示。

3.3. 数据来源与数据处理

在充分考虑到高校科技创新研发到成果转化具有滞后期, 本文假设论文和成果获奖的时滞期为 1 年, 而专利授予和技术转让的时滞期为 2 年, 选取科技投入样本数据年份为 2001~2010 年, 科技成果产出样本年份为 2002~2011 年(论文、成果获奖)以及 2003~2012 年(专利、成果转化)。针对陕西省 2003~2012 年共 10 个年度的高校科技创新绩效及动态变化进行实证分析样本数据均来源于相关年份的《中国科技统计年鉴》、《高等学校科技统计资料汇编》、《中国教育经费统计年鉴》以及《陕西统计年鉴》。

由于各种指标的量纲不同,为了统一量纲,本文在进行模型运算前首先对原始数据进行归一化处理,得到归一化处理后的指标评价值 F_{ij} 。指标评价值 F_{ij} 的计算公式是:

$$F_{ij} = X_{ij} / \max X_j$$

4. 高校科技创新效率实证分析

4.1. 高校科技创新效率分析

利用 DEAP 2.1 计算 2003~2012 年陕西省高等学校科技创新综合效率 TE、规模效率 SE 以及纯技术效率 PTE, 输出结果如表 2 所示。

由表 2 可以看出, 2003~2012 年, 陕西省高校科技创新综合效率、纯技术效率和规模效率从总体上处于上升趋势。其中, 2011、2012 年综合效率、纯技术效率和规模效率都为 1, 说明这两年陕西省高校科技创新是 DEA 的有效单元。同时, 2004、2006、2007 和 2008 年具有不同程度的投入冗余与产出不足。其中在 2006、2007、2008 年存在 R&D 人员投入和 R&D 经费冗余; 2004 年存在学术论文产出不足; 2006~2008 年专利产出不足。

Table 1. Innovation efficiency evaluation variable system

表 1. 高等学校科技创新绩效指标体系

一级指标	二级指标	指标具体的含义
投入指标	科研人员	R&D 人数
	科技经费投入	R&D 经费(千元)
产出指标	学术论文	当年公开发表的学术论文数
	专利	被授予专利数
	技术转让	经过鉴定的技术转让合同数量
	获奖成果	国家级奖项获得数

Table 2. Innovation efficiency evaluation results of Shaanxi Universities

表 2. 陕西省高校创新效率评价结果

年份	TE	PTE	SE	规模收益 情况	DEA 有效	投入冗余		产出不足			
						S_1^-	S_2^-	S_1^+	S_2^+	S_3^+	S_4^+
2003	0.799	0.904	0.884	-	无效	0	0	0	0	0	0
2004	0.856	0.960	0.892	irs	无效	0	-15432.1	115.5	0	0	0
2005	0.841	0.964	0.873	-	无效	0	0	0	0	0	0
2006	0.951	0.984	0.967	irs	无效	-58	-21953.4	0	12.2	0	0
2007	0.946	0.995	0.951	irs	无效	-108	-13412.1	0	18.5	0	0
2008	0.969	0.987	0.982	irs	无效	-86	-22595.5	0	15.6	0	0
2009	0.979	0.998	0.981	-	无效	0	0	0	0	0	0
2010	0.990	1.000	0.990	-	无效	0	0	0	0	0	0
2011	1.000	1.000	1.000	-	有效	0	0	0	0	0	0
2012	1.000	1.000	1.000	-	有效	0	0	0	0	0	0

注: TE 为技术效率; PTE 为纯技术效率; SE 为规模效率; TE = PTE × SE。

4.2. 高校科技创新效率动态分析

为了分析陕西省高校科技创新绩效的动态变化及其根源，本文进一步使用 DEAP2.1 计算 2003~2012 年陕西省高校科技创新绩效动态及其分解，结果如表 3 所示：

由表 3 可以看出，Malmquist 各指数平均值来看，2012 年技术进步、全要素生产率均比 2003 年有所上升，说明陕西省高校科技创新效率总体上处于上升的趋势。其中高校科技创新全要素生产率年均增长率为 2.8%，要得益于高校技术效率年均增长率达到了 3.1%，说明技术进步在高校科技创新绩效时间序列的变化中起着主导地位；同时，高校科技创新技术效率出现了零增长，纯技术效率年均增长率为 0.1%，科技创新规模效率年均增长率为零，技术效率纯技术效率反映了在一定的条件下创新的产出水平。根据 2003~2012 高校科技创新纯技术效率变化指数 PECH 的分析显示，2003、2004、2005、2009 和 2012 年纯技术效率较高，说明在规模报酬可变的情况下高校科技创新效率有所改善，而纯技术效率较低的年份有 2006、2007、2008、2010 和 2011 年，说明这些年份的高校科技创新纯技术效率增长对全要素增长率的贡献是比较小的。

规模是否有效反映了所考察的系统是否值得发展，若规模收益递增，即输入量增加一个单位输出量的增量会大于一个单位，则可说明系统应该加大力度以产生更大的效用。反之，则应减少系统规模以提高资源的有效利用率。由 2003~2012 高校科技创新规模效率指数 SECH 得，不同年份高校科技创新规模效率虽有所变化，但变化差异不明显，且其值大多数年份小于 1，说明规模效应随着时间变化出现了下降。

从技术进步看，除 2003 和 2007 年外，其他年份技术进步指数 TCH 均大于 1，说明 2003~2012 年陕西省高校科技创新技术进步对其绩效的影响较大。其中 2009、2011 和 2012 年的 TECH 值为 1.032、1.036、1.051，说明这些年份技术进步水平得到了显著地提升。

全要素生产率是技术进步与技术效率的乘积，综合反映了高校创新在技术、管理方面的综合水平，2005 年以来，陕西省高校科技创新全要素生产率指数 TFPCH 值均大于 1，说明其创新成果产出水平处于逐年提升的状态。由于技术效率指数随时间变化不明显，而技术进步指数是递增的，说明全要素生产率指数的变化是由技术进步引起的。

Table 3. Indices illustrating annual changes in TECH and its component

表 3. 高校科技创新 Malmquist 指数变化及分解

年份	技术效率指数 TECH	技术进步指数 TCH	纯技术效率指数 PECH	规模效率指数 SECH	全要素生产率指数 TFPCH
2003	0.998	0.985	1.000	0.998	0.997
2004	1.001	1.013	1.000	1.001	0.965
2005	1.028	1.007	1.022	1.006	1.063
2006	0.992	1.022	0.983	1.009	1.031
2007	0.980	0.994	0.990	0.99	1.040
2008	0.987	1.008	0.994	0.993	1.043
2009	0.983	1.032	1.007	0.976	1.000
2010	0.994	1.014	0.999	0.995	1.000
2011	0.986	1.036	0.984	1.002	1.043
2012	1.026	1.051	1.019	1.007	1.071
平均值	0.998	1.016	0.999	0.997	1.025

5. 主要结论

本文利用 DEA 模型对 2003~2012 年陕西省高校科技创新相对效率进行评价, 结果表明 2003~2010 年陕西省高校科技创新是 DEA 无效的。本文进一步采用 Malmquist 指数法对 2003~2012 年期间陕西高校创新绩效进行了动态分析, 研究表明: 陕西省高校科技创新绩效总体上处于逐步改进的, 年平均创新绩效的提高主要得益于平均技术进步的提高, 而技术效率的提高在绩效提高的促进方面发挥作用较小; 纯技术效率指数和规模效率指数年平均增长率不明显是造成技术效率指数零增长的直接原因, 技术效率指数零增长使全要素生产率指数的变化小于技术进步指数; 规模效率指数增长缓慢且年平均增长率为零, 阻碍了全要素生产率的发展。

致 谢

作者感谢段婕博士对本文给出的宝贵建议。

基金项目

西北工业大学政策基金资助项目“提高高校科技创新能力的策略研究”(ZYY201225)

参考文献 (References)

- [1] 刘家树, 吴佩佩, 菅利荣 (2013) 基于 ECM 的区域科技成果转化绩效实证分析. *软科学*, **7**, 88-92.
- [2] 沈菊琴, 王伟, 卢小广, 熊珂 (2009) 基于 AHP-FCE 方法的农业科技成果转化路径综合绩效评价. *水利经济*, **3**, 49-52.
- [3] 尹航 (2007) 基于 AHP-Entropy 方法的科技成果转化绩效评. *运筹与管理*, **6**, 111-117.
- [4] 徐晨, 邵云飞 (2010) 基于 DEA 的科技成果转化绩效评价研究. *电子科技*, **7**, 58-61.
- [5] 陈伟, 康鑫, 冯志军, 田世海 (2011) 基于 GEM-DEA 模型的区域高技术企业科技成果转化效率评价研究. *软科学*, **4**, 23-26.
- [6] 陈红转, 舒亮亮 (2013) 基于 DEA 模型的我国高新技术产业园区投入产出效率评价. *科学学与科学技术管理*, **4**, 104-109.
- [7] Caves, et al. (1982) Multilateral comparisons of output, input and productivity using superlative index. *Economic Journal*, **86**, 73-86.
- [8] Färe, R., et al. (1994) *Production frontiers*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [9] 李红波, 翟益群 (2010) 基于 DEA 方法的中部六省科技创新绩效分析. *科技和产业*, **4**, 74-77.
- [10] 陆根书, 刘蕾 (2006) 不同地区教育部直属高校科研效率比较研究. *复旦教育论坛*, **2**, 55-59.
- [11] 孙世敏, 项华录, 兰博 (2007) 基于 DEA 的我国地区高校科研投入产出效率分析. *科学学与科学技术管理*, **7**, 18-21.
- [12] 王晓红, 陈浩 (2011) 1999-2006 年我国各省市高校科研效率的实证研究——基于科技成果指标变化的对比分析. *科研管理*, **4**, 94-101.