

# 基于 Malmquist 指数法的我国农业 科技创新效率实证分析

张 静,张宝文

(西北农林科技大学 经济管理学院,陕西 杨凌 712100)

**摘要:**采用非参数 DEA 的曼奎斯特(Malmquist)指数法,对 1990—2008 年我国农业科技创新效率进行了测算,并对 2006—2008 年我国 30 个省、直辖市和自治区的农业科技创新效率进行了区域比较。研究表明,1990—2008 年,我国农业科技创新效率年平均增长率和累积增长率分别为 3%和 154.5%。其中,农业技术进步年平均增长率和累积增长率分别为 2.4%和 143.9%,农业技术效率年平均增长率和累积增长率分别仅为 0.1%和 102.1%。从区域结构看,辽、闽、鲁、晋、吉、赣、豫、蒙、滇、陕、甘 11 个省区的农业科技创新效率呈现负增长,其余的 19 个省份的农业科技创新效率均呈现正增长,区域农业科技创新效率存在着显著差异。

**关键词:**农业科技;创新效率;技术进步;Malmquist 指数

**DOI:**10.3969/j.issn.1001-7348.2011.07.018

**中图分类号:**F323.3

**文献标识码:**A

**文章编号:**1001-7348(2011)07-0084-05

## 0 引言

科技创新能力是现代经济社会衡量国家核心竞争力高低的重要尺度,也是提升一个国家国际竞争力的根本保障,农业的发展无疑也离不开科技创新的支撑。在我国农业科技创新能力较弱、科技在农业生产中发挥的作用越来越突出的情况下,研究农业科技创新效率问题,对促进我国农业科技创新能力的提升,增强农业竞争力,具有重大的战略意义。

国内外学术界采用 DEA 方法研究科技创新效率问题进行了有益的尝试,Nasierowski 和 Arcelus<sup>[1]</sup>运用两阶段 DEA 方法对世界上 45 个国家的创新效率进行了测算和分析。研究表明,生产率的变化主要受到技术创新规模和资源配置的影响。Shekhar Jayanthi 和 Vikram Singh<sup>[2]</sup>运用同样的方法,对美国光伏产业的技术创新效率进行了测算,结果表明行业竞争程度和项目规模是影响技术创新效率的主要因素。鲍红梅<sup>[3]</sup>和贺德方<sup>[4]</sup>分别运用 DEA 方法,测算并比较了我国不同时期科技创新的相对效率。白俊红等<sup>[5]</sup>运用 DEA-To-bit 两阶段模型,分析了我国省际创新效率及其影响因素,得出劳动者素质对区域创新效率具有显著正向影

响的结论。石峰<sup>[6]</sup>测度了 2003—2007 年我国 30 个省市自治区的区域创新效率,同时对我国区域创新效率的总体趋势与东中西部创新效率的差异进行了验证。此外,也有学者采用 DEA 方法对我国区域技术创新效率进行了测度<sup>[7-8]</sup>。雷彦斌、李徽和欧国立<sup>[9]</sup>测算了 2008 年我国 17 个行业中央级转制科研机构的效率。研究表明,综合效率有效、技术效率有效和规模效率有效的转制科研机构分别为 8 个、12 个和 9 个行业。徐小钦、黄馨和梁彭勇<sup>[10]</sup>运用 DEA 方法结合 Malmquist 指数法,对 2003—2007 年重庆市大中型企业、科研院所和高校的科技创新效率进行了评价。研究表明,技术进步是引起重庆市全要素生产率提高的主要途径。然而,研究农业科技创新效率方面的成果相对欠缺。农业是国民经济发展的基础产业,研究农业科技创新效率对于促进农业科技进步、促进农业经济增长、开辟我国农业发展的广阔前景、实现农业可持续发展等,具有重要决策参考价值。因此,本文采用非参数 DEA 的曼奎斯特(Malmquist)指数法,对 1990—2008 年我国农业科技创新效率进行测算,并对 2006—2008 年我国除西藏之外的 30 个省份的农业科技创新效率进行区域比较。

**收稿日期:**2011-02-15

**作者简介:**张静(1983—),女,陕西扶风人,西北农林科技大学经济管理学院博士研究生,研究方向为农业经济管理;张宝文(1946—),男,陕西兴平人,西北农林科技大学博士生导师,研究方向为农业经济管理。

# 1 模型设定与前提假设

## 1.1 模型设定

在目前有关生产率研究方面,Malmquist 生产率指数是非参数 DEA 方法中应用最为广泛的一种测算效率的方法<sup>[11]</sup>。1953 年,Malmquist 首次在消费分析过程中提出 Malmquist 生产率指数(Malmquist,1953)。该指数方法于 1982 年首先被 Caves、Christensen 和 Diewert 3 位学者用于测算生产率变化<sup>[12]</sup>。1994 年,Fare 等人<sup>[13]</sup>将 Malmquist 生产率指数与 Charnes 等提出的 DEA 方法相融和,建立了一种非参数的线性规划测算法,这使得 Malmquist 生产率指数的应用日益广泛。

设向量  $X=(X_1, X_2, \dots, X_t)$  为投入向量, $Y=(Y_1, Y_2, \dots, Y_t)$  为产出向量, $D_0^t$  是以  $t$  时期的技术  $T^t$  为参照,时期  $t$  的距离函数,则以  $t$  时期的技术  $T^t$  与  $t+1$  时期的技术  $T^{t+1}$  为参照的基于产出角度的 Malmquist 生产率指数可以分别表示为:

$$M_0^t(X_{t+1}, Y_{t+1}; X_t, Y_t) = D_0^t(X_{t+1}, Y_{t+1}) / D_0^t(X_t, Y_t) \quad (1)$$

$$M_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1}; X_t, Y_t) = D_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1}) / D_0^{t+1}(X_t, Y_t) \quad (2)$$

Malmquist 生产率指数是通过不同时期生产点距离的几何平均值来计算的,因此,为了避免由于时期选择上的随意性可能出现的差异,Caves 等学者在 1982 年模仿 Fisher 理想指数的构造方法,将式(1)与式(2)的几何平均值作为衡量从时期  $t$  到  $t+1$  时期全要素生产率(TFP)变化的 Malmquist 生产率指数,即

$$M_0(X_{t+1}, Y_{t+1}; X_t, Y_t) = \frac{D_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_0^t(X_t, Y_t)} \left[ \frac{D_0^t(X_{t+1}, Y_{t+1})}{D_0^{t+1}(X_{t+1}, Y_{t+1})} \times \frac{D_0^t(X_t, Y_t)}{D_0^{t+1}(X_t, Y_t)} \right]^+ \quad (3)$$

在规模报酬不变的情况下,式(3)可以表示为技术效率变化指数(Ech)与技术变化指数(即技术进步指数, Tch)的乘积,即

$$M_0(X_{t+1}, Y_{t+1}; X_t, Y_t) = Ech \times Tch \quad (4)$$

在规模报酬可变的情况下,由于技术效率(Ech)可以进一步分解为纯技术效率(Pech)与规模效率(Sech),此时,式(3)可以表示为纯技术效率变化指数(Pech)、规模效率变化指数(Sech)与技术变化指数(即技术进步指数, Tch)的乘积,即:

$$M_0(X_{t+1}, Y_{t+1}; X_t, Y_t) = Pech \times Sech \times Tch \quad (5)$$

## 1.2 前提假设

为了满足 Malmquist 生产率指数模型本身所具有的前提假设条件,也为了更好地运用该模型得到更为准确的结论,本文在此提出两个前提假设条件:①被评价单元数目必须不少于投入与产出指标数量之和的两倍,以避免对效率值的高估;②投入指标与产出指标之间必须具有较强的相关性。

# 2 数据来源与指标选择

本文研究的基础数据来源于《我国科技统计年鉴》(1991—2009)、《我国统计年鉴》(1991—2009)、《我国农村统计年鉴》(1991—2009)和《我国农业统计年鉴》(1991—2009)。本研究选取的数据满足了上述所提出的第一个前提假设条件。借鉴前人的相关研究成果,本文研究选择了投入与产出两大类指标。投入指标包括农业科技活动经费内部支出( $X_1$ )、研究与实验发展(R&D)经费支出( $X_2$ )、从事农业科技活动人员( $X_3$ )和研究与实验发展(R&D)人员全时当量( $X_4$ );产出指标包括专利申请授权量( $Y_1$ )、国外主要检索工具收录我国农业科技论文总数( $Y_2$ )、技术市场成交额( $Y_3$ )和土地生产率( $Y_4$ )。指标的描述性统计见表 1。

表 1 变量描述性统计

变量	指标	最小值	最大值	均值	均值标准误	标准差	峰度	偏度
资本投入	$X_1$	340.5	8 510.6	2 533.945	558.915 5	2 436.256	1.282	0.753
	$X_2$	125.4	4 616	1 255.69	302.914	1 320.372	1.386	1.132
人力投入	$X_3$	213.8	496.7	314.026	17.709 7	77.194 8	0.969	0.521
	$X_4$	65.9	196.5	100.938	8.699 2	37.919	1.376	1.135
产出	$Y_1$	22 588	411 982	129 590.1	26 052.69	113 561	1.307	1.007
	$Y_2$	11 783	207 410	72 721.11	14 872.15	64 826.19	1.073	-0.192
	$Y_3$	75.1	2 665.2	822.864	175.767	766.150 7	1.172	0.494
	$Y_4$	5 183.5	15 106.6	7 902.605	557.612	2 430.574	1.694	3.449

此外,表 2 给出了各投入指标与产出指标之间的相关系数矩阵。各投入指标与产出指标之间的相关系数均较高,均在 0.9 以上,呈现出高度正相关关系,这

就印证了第二个前提假设条件,即投入指标与产出指标之间具有较强的相关性。

表2 投入指标与产出指标之间的相关系数

相关系数	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
Y <sub>1</sub>	1.000	0.982	0.995	0.973	0.993	0.993	0.974	0.989
Y <sub>2</sub>	0.982	1.000	0.992	0.938	0.991	0.988	0.971	0.986
Y <sub>3</sub>	0.995	0.992	1.000	0.970	0.998	0.997	0.982	0.993
Y <sub>4</sub>	0.973	0.938	0.970	1.000	0.969	0.973	0.973	0.973
X <sub>1</sub>	0.993	0.991	0.998	0.969	1.000	0.999	0.980	0.996
X <sub>2</sub>	0.993	0.988	0.997	0.973	0.999	1.000	0.978	0.997
X <sub>3</sub>	0.974	0.971	0.982	0.973	0.980	0.978	1.000	0.983
X <sub>4</sub>	0.989	0.986	0.993	0.973	0.996	0.997	0.983	1.000

### 3 实证分析

#### 3.1 我国农业科技创新 Malmquist 生产率指数及其分解分析

本文利用 DEAP2.1 软件<sup>[14]</sup>对 1991—2008 年我国农业科技创新的 Malmquist 生产率指数进行了测算和分解,从而揭示农业科技创新效率的变化情况;在空间分布上,对 2006—2008 年我国除西藏之外的 30 个省份的农业科技创新效率进行区域比较(如表 3 所示)。

表3 1990—2008 年我国农业科技创新 Malmquist 生产率指数及其分解

年份	技术效率变化 指数 Ech	纯技术效率变化指 数 Pech	规模效率变化 指数 Sech	技术进步 指数 Tch	Malmquist 生产率 指数 TFP
1990—1991	0.922	0.952	0.968	1.063	0.980
1991—1992	1.065	1.012	1.052	1.085	1.156
1992—1993	1.078	1.009	1.068	1.148	1.237
1993—1994	1.059	1.107	0.957	0.798	0.845
1994—1995	0.981	0.992	0.989	0.916	0.899
1995—1996	0.931	0.931	1.000	1.006	0.937
1996—1997	0.972	0.962	1.010	1.058	1.028
1997—1998	1.123	1.057	1.062	1.014	1.139
1998—1999	0.969	0.937	1.034	1.125	1.090
1999—2000	0.930	0.954	0.975	0.916	0.953
2000—2001	0.903	0.989	0.913	1.203	1.086
2001—2002	0.989	1.067	0.927	0.996	0.985
2002—2003	1.004	0.968	1.037	1.092	1.096
2003—2004	1.032	0.979	1.054	0.945	0.975
2004—2005	1.013	1.022	0.991	1.016	1.029
2005—2006	0.980	0.959	1.022	1.009	0.989
2006—2007	1.023	1.017	1.006	1.034	1.058
2007—2008	1.047	0.941	1.113	1.015	1.063
平均值	1.001	0.992	1.010	1.024	1.030

从表 3 表明,1991—2008 年,我国农业科技创新效率年平均增长率为 3%,其中部分年份(44.4%)出现了下降。我国农业科技创新效率 FTP 增长呈现出明显的波动性特征,整体呈现“U”型演进轨迹(如图 1 所示),即先降后升。其中,下降的年份段有 1990—1991 年、1993—1994 年、1994—1995 年、1995—1996 年、1999—2000 年、2001—2002 年、2003—2004 年和 2005—2006 年,这些年份我国农业科技创新效率分别下降了 2%、15.5%、10.1%、6.3%、4.7%、1.5%、2.5% 和 11%,其余年份均处于增长状态,这主要是得益于我国“以工哺

农、以城带乡”战略方针的实施;在技术进步方面,除 1993—1994 年、1994—1995 年、1999—2000 年、2001—2002 年和 2003—2004 年的技术进步率出现下降之外,其它年份均呈现出逐渐增长的趋势,年均增长率为 2.4%;而技术效率的变化幅度很小,部分年份也出现下降趋势,年平均仅增长 0.1%,其中,纯技术效率出现下降,年均下降 0.8%,规模效率年均增长 1%。

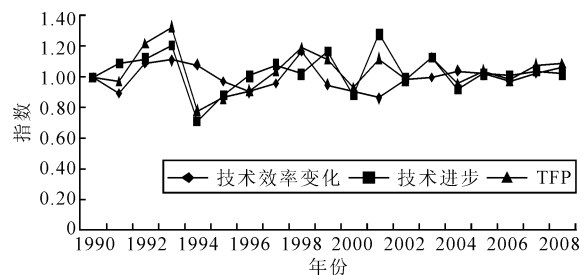


图1 我国农业科技创新 Malmquist 生产率指数及其分解趋势

理论上,农业科技创新效率的增长是由技术效率提升与技术进步共同作用的结果,而事实并非如此。从 Malmquist 生产率指数分解结果来看,我国农业科技创新效率的增长主要是由技术进步所引起的,并非得益于技术效率的改善。在我国农业科技创新效率 TFP 增长的 3 个百分点中,技术进步贡献了 2.4 个百分点,其对农业生产发展的贡献为 23.76%。另外,我国农业科技创新效率的增长主要是依靠技术进步实现的(如图 2 所示)。1990—2008 年累积的农业科技创新效率增长率为 154.5%,其中,农业技术进步累积增长率为 143.9%,农业技术效率累积增长率为 102.1%。由此可见,技术进步是我国农业科技创新效率提高的主要推动力,也是我国农业生产发展的主要动力;而技术效率的作用并不是很明显,技术效率年均增长率仅为 0.1%。这主要是由纯技术效率的下降所引起的,纯技术效率年均下降 0.8%,技术效率之所以呈增长趋势主要是依靠规模效率的增长来支撑的。规模效率年均增长 1%,这说明我国农业生产的规模经济性较高,但技术的使用效率较低,我国农业适度规模经营的推行速度还较为缓慢。规模效率增长率高于纯技术效率增长率主要是得益于我国政府将大量的财政支农资金、农业信贷资金、农业综合开发资金直接用于农业生产、农业科技创新、农业基础设施建设等方面。

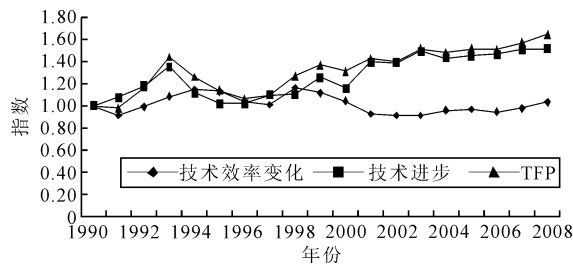


图2 我国农业科技创新累积 Malmquist 生产率指数及其分解趋势

### 3.2 各省份农业科技创新 Malmquist 生产率指数及其分解分析

由于平均意义上的分析不能全面反映我国区域农业科技创新效率的差异,需要在空间上继续对各省份的农业科技创新效率变化的差异情况作出比较。本文将我国除西藏之外的30个省份分成东、中、西三大地区,其区域农业科技创新效率的 Malmquist 生产率指数及其分解的结果见表4。

表4 2006—2008年各省份农业科技创新 Malmquist 生产率指数及其分解

地区	技术效率变化 指数 Ech	纯技术效率 率变化指 数 Pech	规模效 率变化 指数 Sech	技术进步 指数 Tch	Malmquist 生产率指 数 TFP
京	1.098	1.075	1.021	1.565	1.718
津	1.000	1.000	1.000	1.531	1.531
冀	1.000	1.000	1.000	1.031	1.031
辽	0.994	1.000	0.994	0.854	0.849
沪	1.099	1.131	0.972	1.082	1.190
苏	1.053	1.133	0.929	1.347	1.418
浙	1.142	1.184	0.965	1.214	1.387
闽	0.765	0.803	0.953	1.158	0.886
鲁	0.835	0.839	0.995	1.019	0.851
粤	1.070	1.076	0.994	1.122	1.201
琼	1.013	1.000	1.013	1.014	1.027
东部地区	<b>1.006 3</b>	<b>1.021 9</b>	<b>0.985 1</b>	<b>1.176 1</b>	<b>1.189 9</b>
晋	0.964	0.968	0.995	0.951	0.916
吉	0.776	0.773	1.003	1.152	0.893
黑	0.959	0.984	0.974	1.073	1.029
徽	1.306	1.331	0.981	1.284	1.677
赣	0.816	0.833	0.979	1.049	0.856
豫	0.908	0.874	1.040	0.992	0.901
鄂	1.085	1.048	1.035	1.009	1.094
湘	1.099	1.060	1.036	0.969	1.065
中部地区	<b>0.989 1</b>	<b>0.983 9</b>	<b>1.005 4</b>	<b>1.059 9</b>	<b>1.053 9</b>
蒙	1.001	1.000	1.001	0.981	0.982
桂	1.000	1.000	1.000	1.008	1.008
川	0.775	1.000	0.775	1.527	1.184
渝	0.715	1.020	0.701	1.711	1.224
黔	1.000	1.000	1.000	1.328	1.328
滇	0.743	0.980	0.758	1.115	0.829
陕	0.689	0.865	0.797	1.004	0.692
甘	0.639	0.775	0.825	1.029	0.657
青	1.258	1.256	1.001	1.535	1.931
宁	1.179	1.180	0.999	1.627	1.918
疆	1.000	1.000	1.000	1.458	1.458
西部地区	<b>0.909 0</b>	<b>1.006 9</b>	<b>0.896 1</b>	<b>1.302 1</b>	<b>1.201 0</b>
全国	<b>0.951</b>	<b>0.998</b>	<b>0.953</b>	<b>1.169</b>	<b>1.112</b>

由表4可知,2006—2008年全国农业科技创新效率的平均增长率为11.2%,远高于1990—2008年3%的增长水平。农业技术进步的平均增长率为16.9%,而农业技术效率的增长率为-4.9%,这主要是由纯技术效率和规模效率的下降所引起的(纯技术效率和规模效率的平均增长率分别为-0.2%和-4.7%)。这表明我国区域农业科技创新无论在科技创新资源要素配置方面,还是在科技创新资源投入要素的使用效率方面均未达到最优状态。若按照东、中、西三大地区来看,推动农业科技创新 FTP 增长的动力源泉与全国保持一致,均依靠技术进步的提高。具体而言,三大地区的农业科技创新的 FTP 增长率均实现了正增长,但是存在着显著的区域差异,其中西部地区的增长速度最快(20.1%),东部地区次之(18.99%),中部地区最慢(5.39%)。西部地区的农业科技创新的 FTP 增长速度之所以最快,与国家近些年国家出台的一系列支农惠农政策有关。

从区域整体情况来看,2006—2008年,我国除西藏之外的30个省份中有辽、闽、鲁、晋、吉、赣、豫、蒙、滇、陕、甘11个省份的农业科技创新效率呈现负增长,其余的19个省份的农业科技创新效率均呈现正增长。从农业科技创新效率增长速度来看,我国各省份之间的差异很明显,增长速度较快的省份有京、津、苏、浙、皖、黔、青、宁、疆,其中东部和西部地区各有4个省份,中部地区仅有安徽省。青海省的农业科技创新效率增长最快(93.1%),宁夏回族自治区次之(91.8%),分别比北京(71.8%)高了21.3和20个百分点,这主要得益于国家及该省份出台的一系列支农惠农政策。而陕西的农业科技创新效率增长位于全国较低的水平,年均增长率为-30.8%,这与陕西省拥有科技人力资源和科技投入方面具有的独特优势不太相符;但是又与其经济发展水平相符,即较低的经济水平具有较低的农业科技创新效率增长水平。从农业科技创新效率增长的区域特征来看,中部地区农业科技创新效率增长却最慢,且远远低于东部和西部地区的增长速度,这势必会影响到我国粮油棉的产出效率,最终会影响到粮油棉基本必需品的有效供给与国家粮食安全。与此同时,这也从侧面反映出中部地区处于“塌陷”地位。

从2006—2008年农业科技创新 Malmquist 生产率指数的分解来看,部分省份具有农业技术进步和农业技术效率损失并存的现象,只有津、冀、桂、黔、疆的农业技术效率保持不变,即农业技术效率变化指数  $Ech=1$ 。依靠技术效率与技术进步共同促进区域农业科技创新效率增长的省份有京、沪、苏、浙、粤、琼、徽、鄂、青、宁,主要位于东部地区;主要依赖于技术进步促进区域农业科技创新效率增长的省份有津、冀、闽、鲁、吉、黑、赣、桂、川、渝、黔、滇、陕、甘、疆,主要位于西部地区;主要依赖于技术效率促进区域农业科技创新效率增长的省份有湖南和内蒙古;技术效率和技术进步

均阻碍区域农业科技创新效率增长的省份有宁、晋、豫。

#### 4 研究结论

本文采用非参数 DEA 的 Malmquist 指数法,对我国 1990—2008 年农业科技创新效率进行了测算,并对 2006—2008 年我国除西藏之外的 30 个省份的农业科技创新效率进行了区域比较,主要得到以下结论:

(1)1990—2008 年,我国农业科技创新效率处于适度增长的态势,年平均增长率为 3%,向我国农业总产值的增长率贡献了 29.7%。从不同时期来看,我国农业科技创新效率 FTP 增长呈现出明显的波动性特征,整体呈现“U”型演进轨迹。具体而言,1990—1993 年,我国农业科技创新效率 FTP 增长最快,年均增长率为 12.4%;1993—2000 年,我国农业科技创新效率 FTP 增长很慢,年均负增长率为 1.6%;20 世纪 90 年代,我国农业科技创新效率在 1991 年、1994—1996 年和 2000 年 5 个年份出现了负增长;2000—2008 年,我国农业科技创新效率得以迅速恢复,年均增长率为 3.5%。

(2)农业科技创新 Malmquist 生产率指数的分解来看,我国农业科技创新效率的增长主要是由技术进步所引起的,而不是得益于技术效率的改善。1990—2008 年,农业技术进步年均增长率为 2.4%,而农业技术效率年均增长率仅为 0.1%;同时,农业科技创新效率累积增长率为 154.5%,其中,农业技术进步累积增长率为 143.9%,农业技术效率累积增长率为 102.1%。由此可见,技术进步是我国农业科技创新效率提高的主要推动力,也是我国农业生产发展的主要动力。在整个我国农业科技创新过程中,农业技术进步和农业技术效率损失的现象并存。

(3)从区域层面来看,2006—2008 年,东、中、西部三大地区的农业科技创新的 FTP 增长率均实现了正增长,但是存在着显著的区域差异,其中西部地区的增长速度最快,东部地区次之,中部地区最慢。辽、闽、鲁、晋、吉、赣、豫、蒙、滇、陕、甘 11 个省份的农业科技创新效率呈现负增长,其余的 19 个省份的农业科技创新效率均呈现正增长。津、冀、桂、黔、疆等的农业技术效率保持不变,辽、晋和豫三省的技术效率和技术进步均阻碍区域农业科技创新效率增长。

#### 参考文献:

- [1] NASIEROW SKIW, ARCELUS F J. Interrelationships among the elements of national innovation systems: a statistical evaluation[J]. *European Journal of Operational Research*, 1999(119): 235-253.
- [2] SHEKHAR J, VIKRAM S. Evaluation of potential of innovations: a DEA-based application to U. S. photovoltaic industry[J]. *Ieee Transactions on Engineering Management*, 2009(9): 478-493.
- [3] 鲍红梅. 基于 DEA 的科技创新效率分析[J]. *长春师范学院学报: 自然科学版*, 2009(5): 9-11.
- [4] 贺德方. 我国科技投入的效率、效果评价研究[J]. *情报学报*, 2006(6): 740-748.
- [5] 白俊红, 江可申, 李靖, 等. 区域创新效率的环境影响因素分析——基于 DEA-Tobit 两步法的实证检验[J]. *研究与发展管理*, 2009(2): 96-101.
- [6] 石峰. 基于省际面板数据及 DEA 的区域创新效率研究[J]. *技术经济*, 2010, 29(5): 42-47.
- [7] 官建成, 何颖. 基于 DEA 方法的区域创新系统的评价[J]. *科学学研究*, 2005(2): 265-271.
- [8] 龙如银, 李仲贵. 基于 SE-DEA 的我国省域技术创新效率评价[J]. *科技管理研究*, 2009(1): 73-75.
- [9] 雷彦斌, 李徽, 欧国立. 基于政府科技投入的我国转制科研机构效率评价与研究[J]. *科学学与科学技术管理*, 2010(7): 34-37.
- [10] 徐小钦, 黄馨, 梁彭勇. 基于 DEA 与 Malmquist 指数法的区域科技创新效率评价——以重庆市为例[J]. *数理统计与管理*, 2009, 28(6): 974-985.
- [11] MALMQUIST S. Index numbers and indifference surfaces[J]. *Trabajos de Estadística*, 1953 (4): 209-242.
- [12] CAVES D W, CHRISTENSEN L R, DIEWERT W E. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity[J]. *Econometrica*, 1982, 50(6): 1 393-1 414.
- [13] FARE R, GROSSKOPF S, LOVELL C A K. *Production frontiers*[M]. London: Cambridge University Press, 1994.
- [14] COELLI T. A guide to deap version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program[J]. *CEPA Working Paper*, 1996(8): 1-23.

(责任编辑: 陈晓峰)