

基于 DEA 的六安市农业生产效率分析

李蓉, 孟祺, 尹云松 (1. 成都信息工程学院管理学院, 四川成都610225; 2. 南京农业大学经济管理学院, 江苏南京210095)

摘要 该文利用DEA方法分析了六安市县域层面上农业生产的效率, 包括规模效率和技术效率的变化; 并分析了规模效率、技术效率与农业可持续性的关系。该文认为目前六安市农业技术整体水平较低, 并且在不同的地区表现不一致, 在六安市区和霍山等地技术效率和规模效率都较高, 而在霍邱及寿县表现的都比较差。另外, 笔者还发现, 六安市各县区都存在过度投入的问题, 这将导致农业效率的下降, 不利于与农业的可持续发展。

关键词 农业生产效率; DEA; 过度投入

中图分类号 F304.7 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)05-02278-03

Analysis of the Agricultural Production Efficiency in Luan City Based on DEA

LI Rong et al (Management College, Chengdu University of Information Technology, Chengdu, Sichuan 610225)

Abstract The agricultural production efficiency of Luan City at county level, including the changes of the scale efficiency and technical efficiency, was analyzed by using DEA method. The correlation among the scale efficiency, technical efficiency and agricultural sustainability was analyzed. It was thought that the agricultural technology level of Luan City was lower and had different performance in various regions. The technical efficiency and scale efficiency in the urban district and Huoshan County of Luan City were higher and that in Huoqiu County and Shouxian County was worse. There was an excessive input problem in each county (district) of Luan City. This would lead to the decrease of agricultural efficiency, which was unfavorable for the sustainable development of agriculture.

Key words Agricultural production efficiency; DEA; Excessive input

农业的长期增长取决于其生产能力的长期增长, 而生产能力的增长可通过生产要素投入的增加或生产率提高来实现。目前, 大部分西方国家的农业增长主要依赖于生产率的提高, 这也是我国农业增长方式的目标。托马斯·G·罗斯基(1993)指出, 生产率主要指3种, 即配置效率、技术效率和动态效率。经济学家 Farrell 在其论文《生产效率度量》中把一般意义上的经济效率分解为技术效率和配置效率两部分。技术效率反映技术的生产效能得以发挥的程度, 可折射出生产领域中技术更新速度的快慢和技术推广的有效程度^[1]。

国内外对农业部门技术效率开展了不少的研究, R. D. Banker、A. Charnes 和 W. W. Cooper 等对印度 Punjab 地区300个小麦种植农场1981~1982年和1982~1983年的配置效率和技术效率进行了分析, 结果发现, 大型农场在技术效率和配置效率上均明显高出小型农场^[2]; 孟令杰用DEA模型对我国1980~1995年间的农业技术效率进行测算, 分析了变化趋势及其产生的原因^[3]; 刘璨采用前沿生产函数方法, 利用安徽省金寨县93个样本农户1978~1997年的资料, 计量了样本农户的技术进步、技术效率、纯效率和规模经济效率、制度变迁的贡献等生产力发展指标, 并分析了影响因素^[4]; 韩晓燕、翟印礼和陈卫平用随机前沿生产函数模型对我国农业生产进行了分析^[5-6]。

综上所述, 我国关于农业技术效率的研究主要集中在对某些种类农作物的技术效率研究与分析上, 而对农业产业技术效率的地区内部差异研究较少。在研究方法上利用参数和非参数的方法在其固有的局限分析上存在一定限制。因此, 笔者采用最新的研究方法, 研究了六安市各个区县农业生产效率的变化和差异, 这对于主要依赖于农业生产实现经济增长的革命老区而言, 具有重要意义。

1 六安市概况

六安市位于安徽省西部, 大别山北麓, 俗称“皖西”, 现辖

金安、裕安2区和寿县、霍邱、金寨、霍山、舒城5县, 以及省级六安经济技术开发区和叶集改革发展试验区。按可比价格, 2006年六安市GDP为253.1亿元, 其中第一产业80.03亿元、第二产业87.73亿元、第三产业85.34亿元。第一产业占六安市国内生产总值的31.6%, 比全国平均水平高出17.1个百分点, 比安徽省高出12.2个百分点。2006年六安市粮食总产量343.51万t, 占全省的9.3%。由此可见, 六安市是典型的农业大市。

2 研究方法

A. Charnes 和 W. W. Cooper 等提出了随机前沿生产函数, 该方法允许技术无效的存在, 并将TFP的变化分解为生产可能性边界的移动和技术效率的变化, 能够将影响TFP的因素从TFP的变化率中分离出来, 从而能更加深入地研究经济增长的根源^[7]。Caves, D. W. 等利用随机前沿生产函数法对技术效率及TFP和产出的影响做了大量实证研究, 使得这一方法日渐充实和完善^[8]。运用随机前沿生产函数方法, 产出的增长大体上可以分解为投入要素的增长、技术效率的变化和技术进步的变化等几个部分(图1)。

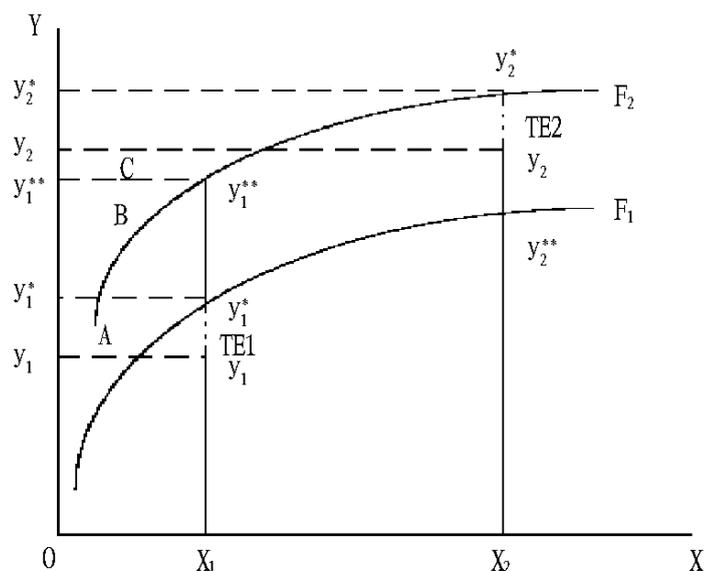


图1 产出增长的分解

Fig.1 The decomposition of the output growth

基于Farrell效率测度思想的CCR和BCC模型是同属于径向和线性分段形式的度量理论。这种度量思想造成了投

基金项目 国家自然科学基金(70673038)。

作者简介 李蓉(1979-), 女, 四川成都人, 硕士, 讲师, 从事农业管理和公共事业管理研究。

收稿日期 2008-11-24

入要素的“拥挤”(congestion)或“松弛”(slacks)。为了解决这个问题, Khodabakhshi 提出一个基于投入松弛测度的解决模型, 被称为SBM(slacks-based measure)模型^[9]。这个DEA模型便很好地解决了传统模型存在的缺陷。

然而, 这个DEA模型存在着1个问题, 即往往有效率(等于1)的决策单元不只是1个, 即存在着1个以上的有效率单元。因此进一步区分这些有效率的生产单元成为研究人员必须面对的问题, 即有效单元的排序问题。许多研究者曾进行过有益的尝试, 如Artorio Alvarez (2004)和A.P.Barnes等区分这些有效单元的办法就是允许它们的效率值大于或等于1, 而不再限制等于1, 因此称为“超效率”(super efficiency)问题^[10-11]。从超效率的研究进展来看, 能够较成功地解决此类问题的主要有两类方法, 一是基于径向效率的概念发展的超效率模型(简称AP超效率), 另一类是在SBM模型的基础上提出的SBM超效率模型。

SBM超效率模型应满足以下两个基本性质: 其最优解*无量纲; SBM超效率模型的效率值=SBM效率值, 即允许SBM的效率值可以大于1, 这样就鉴别了具有充分效率的SBM模型的排序及差别程度。

Malmquist生产率指数可以分解成生产效率的变化和技术进行两个基本部分。同样, 在投入角度上, Malmquist生产率指数的分解仍然相类似(下标I, 表示投入角度), 即:

$$M_I(X_S, Y_S, X_I, Y_I) = \frac{D_I^S(X_I, Y_I)}{D_I^S(X_S, Y_S)} \times \frac{D_I^S(X_I, Y_I)}{D_I^S(X_I, Y_I)} \times \frac{D_I^S(X_S, Y_S)}{D_I^S(X_S, Y_S)}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

= 技术效率变化(EQ) × 技术进步(TP)

其中: 技术效率变化 = $\frac{D_I^S(X_I, Y_I)}{D_I^S(X_S, Y_S)}$, 技术进步 =

$$\frac{D_I^S(X_I, Y_I)}{D_I^S(X_I, Y_I)} \times \frac{D_I^S(X_S, Y_S)}{D_I^S(X_S, Y_S)}^{\frac{1}{2}}$$

测度农业生产率的增长及变化, 必须求解上述4个不同的距离函数 $D_I^S(X_S, Y_S)$ 、 $D_I^S(X_I, Y_I)$ 、 $D_I^S(X_I, Y_I)$ 和 $D_I^S(X_S, Y_S)$ 。由于距离函数的定义与DEA对效率的定义与测度原理是一致的, 基于投入角度定义的距离函数的值正是DEA的效率值(产出角度与此成倒数关系)。Coelli(1996)认为, 导向方法的不同对结论的影响微不足道, 所以笔者亦采用投入角度的DEA模型测度这些距离函数。另外, 根据CRS与VRS效率测度的关系, 在CRS条件下的技术效率值称为总技术效率或综合技术效率, 而在VRS条件下的技术效率则称为纯技术效率, 两者间的差别, 即由生产规模造成的效率偏差, 称为规模效率。因此, 上述Malmquist生产率指数可以由3个部分的变化指数构成, 即

$$M_I(X_S, Y_S, X_I, Y_I) = Pech \times Sech \times TP \quad (2)$$

= 纯技术效率变化 × 规模效率变化 × 技术进步

为了避免传统DEA模型在测度距离函数方面的严重不足, 根据SBM模型与传统CCR和BCC模型的分析, 笔者采用非径向的SBM模型测度县区的效率变化和技术进步状况。具体而言, 笔者首先采用SBM模型求解4个基本的距离函数值 $D_I^S(X_S, Y_S)$ 、 $D_I^S(X_I, Y_I)$ 、 $D_I^S(X_I, Y_I)$ 和 $D_I^S(X_S, Y_S)$ 。

在测度距离函数值时, 如果遇到SBM的效率值为1时, 可以再利用SBM超效率模型进一步测度这些SBM有效的省份的超效率, 最后求解出Malmquist全要素生产率指数。

在该研究中笔者采用非径向SBM超效率模型研究了六安市农业生产率增长及构成(技术效率及技术进步的增长), 考察了六安市农业生产率增长状况及各县增长的差异及来源。

表1 六安市农业投入产出指标

Table 1 The agricultural input-output indices in Luan City

县区 County (District)	投入 Input			产出 Output	
	化肥使用量 Used amount of chemical fertilizers 万/t	农机总动力 Total power of agricult- ural machinery 万 kW·h	耕种 面积 Cultivation area 万 hm ²	劳动力 Labour force 万人	农业总产值 Total output value of agriculture 万元
市区 Urban district	78 560	891 470	12 617.7	92.3	295 340
寿县 Shouxian	98 568	996 512	15 022.2	103.6	198 542
霍邱 Huoqiu	68 423	222 352	19 910.3	135.5	284 551
舒城 Shucheng	24 855	563 326	6 374.9	65.3	16 850
金寨 Jinzhai	19 568	146 659	2 561.1	56.4	79 655
霍山 Hushan	7 635	145 862	1 762.4	31.0	43 200

注: 数据来源于六安市统计年鉴(2006)。

Note: The data are from Luan Statistical Yearbook(2006).

表2 1985~2006年六安市各县区平均技术效率

Table 2 The average technical efficiency in each county(district) of Luan City during 1985-2006

县区 County (District)	技术效率 Technical efficiency	纯技术效率 Pure technical efficiency	规模效率 Scale efficiency
市区 Urban district	0.941 4	0.952 6	0.988 0
寿县 Shouxian	0.884 6	0.898 4	0.984 7
霍邱 Huoqiu	0.909 0	0.923 8	0.984 1
舒城 Shucheng	0.915 8	0.926 6	0.988 4
金寨 Jinzhai	0.903 9	0.917 3	0.985 4
霍山 Hushan	0.912 3	0.931 1	0.979 9
平均 Mean	0.911 2	0.925 0	0.985 1

注: 数据主要根据《1985~1999年分县统计资料汇编》和《六安统计年鉴》(1985~2006年)计算所得。

Note: The data are calculated according to Statistical Data Assembly of Each County during 1985-1999 and Luan Statistical Yearbook (1985-2006).

3 数据选择与来源

该研究选择的效率分析指标分为两类, 一是产出指标, 二是投入指标。产出指标选择了农林牧渔业总产值; 投入指标包括: 化肥施用量(折纯量)、耕地面积、农业机械总动力和农林牧渔业劳动力。

样本包括六安市以及市辖霍邱县、霍山县、金寨县、舒城县和寿县。

第一产业劳动力, 采用的是第一产业劳动力的数量。实际计算过程中, 对于劳动投入量来说, 是以从事农林牧渔业

总就业人数来衡量。

农业机械总动力,是指用于农林牧渔业机械的总动力,用万 kW·h 时表示。

农作物播种面积,指实际播种或移植农作物的面积。因遭受灾害而重新播种的面积也包括在内。

农业产值作为一项基本的输出指标可以反映某个区域的农业规模和总量,是常用的评价指标。另外,农业增加值反映农业部门在一定时期内生产经营活动和服务活动的最终成果。

数据主要来源于《1985~1999年分县统计资料汇编》、《六安统计年鉴》(1985~2006年),还有一部分数据通过查阅相关省统计资料获得。

4 结果分析

从表2的计算结果可见,各地区的技术效率值有明显的差异。六安市区的技术效率值最高,表明该地区的农业投入产出效率很高。其主要原因是市区附近的农业基础较好,加上靠近城市,使得生产的附加值高的农产品也多,另外在水稻的灌溉条件和农业技术推广方面也比其他地区好。相比之下,其余地区的技术效率值相对较差。舒城县的技术效率值为0.9158,虽然低于六安市,但在规模效率上好于六安市区,这可能是其较靠近合肥市的缘故;寿县的表现最差,这与其历史上农业不发达有关。各地区的技术效率与规模效率表现各异。六安市区的技术效率值最高,为0.9526,表明该市区利用现有技术的水平很高,寿县的技术效率和规模效率都最差,说明其利用现有技术的水平很低,也就是说,要提高这些地区的农业总体效率,最有效的方法是加快技术更新速度,进行有效的技术推广,从而提高该地区的技术效率。另外还要适当扩大农业生产规模,提高规模效率。

从农业生产效率上看,为促进农业增效、农民增收和粮食丰产,必须要提高农业生产要素的配置效率。虽然六安市区农业生产要素配置效率比较高,但仍然存在过度投入的问题。

从整体调整上看,为促进农业增效、农民增收和粮食丰产,不仅需要缩减农作物播种面积尤其是粮食作物播种面积,还要防止农业机械和化肥的投入过度。现代技术进步是农业高速增长的基础,我国粮食生产的巨大发展主要来源于农业技术进步的贡献。所以,加强农业技术推广,适当优化农业耕地种植结构,合理配置农业生产投入要素,提高生产效率,则可实现粮食增产和农民增收的双赢。

从资源利用上看,要达到最优配置,即生产要素投入要达到生产函数前沿面上,在调整投入要素中,对劳动力、农用化肥和农业机械总动力投入过多会增加农民负担,不利于农民增收,而且会将农民的收入通过投入的物质要素转移到农业之外。另外,过多的要素投入也不利于粮食安全。过量使用化肥会削弱农作物生产能力,减弱农作物抗病虫能力,而增加消灭病虫害的农药用量,直接威胁了食品的安全性。过多施用化肥,易形成农业水源污染、造成水体富营养化,导致藻类滋生,继而破坏水环境,甚至使得地下水硝酸盐含量增加,同时也浪费了大量紧缺资源。过多的机械投入增加了农村能源的消费,增加了国家能源消费压力。因此,要合理施

用化肥,调整化肥品种结构,调整重氮、轻磷和少钾的现象,加大施用复合肥的普及率,逐步完善测土配方施肥;还要合理安排农业机械总动力的投入,优化机械耕整、播栽和收获比例,以提高农业机械的利用效率。

5 结论与建议

该研究运用DEA模型对安徽省六安地区的农业生产的规模效率变化和技术效率变化等进行分析,得出如下结论:

六安市为农业大市而非是农业强市,农业生产效率非常低;农业生产依靠外界投入发展的持续性在减弱。这一结果可以归结为农业生产要素投入的匹配不合理以及有效产出的不足两大方面。农业生产要素投入的匹配不合理表现在不同地区在有效灌溉面积、农业机械总动力、化肥施用量和农作物总播种面积等某一方面或几方面存在严重溢出,从而影响了农业生产效率。因此,应该采取积极有效的对策以尽快提升六安市农业生产效率。为此,提出以下建议:

(1) 调整农业人力资源配置。六安市是农业大市,农村地区存在着大量剩余劳动力。根据上述分析六安市从业人数冗余严重,即农村从事农业生产的实际人数已经超过农业生产活动的最佳人力资源需求,这就意味着需要部分农业从业人员离开土地转入非农行业。

(2) 建立科技导向型农业。六安市农业生产主要靠的是化肥等方面的投入。近年来,化肥、农药、除草剂和地膜的用量大幅度增长,造成了严重的环境污染,笔者的实证研究也恰恰说明了这一问题。因此,针对有效灌溉面积、农业机械总动力和化肥施用量等方面冗余严重的现状,应尽快将农业投入结构从传统的土地或资源投入增长型转向技术投入增长型,农业增长要更多地体现技术增值的特征,更多地依托农业技术与知识创新。所以,必须要提高农村的科技水平,用科学的方法指导农业生产,提高农膜、化肥和农药的使用效率。通过广泛宣传 and 普及农业科技知识以提高土地的生产效率。另外还应鼓励节水灌溉,六安市的自然地理条件决定了农业生产在相当程度上依赖于灌溉。因此,大力发展节水农业,广泛推广节水灌溉技术也是提高农业生产效率的重要举措。

(3) 提高耕地的利用效率。根据上述投入产出分析表明,六安市农业的改进应以提高纯技术效率为主。最有效的方法是加快技术更新速度,进行有效的技术推广,提高耕地的利用效率,从而提高该地区的农业生产技术效率。另外,还要适当扩大农业生产规模,提高六安市农业生产的规模效率。

参考文献

- [1] FARRELL MJ. The measurement of production efficiency[J]. Journal of Royal Statistical Society, Series A, General, 1957, 120(3): 253-281.
- [2] BANKER R D, CHARNES A, COOPER W W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1984, 30: 1078-1092.
- [3] 孟令杰. 中国农业产出技术效率动态研究[J]. 农业技术经济, 2000(5): 1-4.
- [4] 刘璨. 金寨县样本农户效率与消除贫困分析—数据包络分析(DEA) 方法[J]. 数量经济技术经济研究, 2003(12): 102-106.
- [5] 韩晓燕, 翟印礼. 中国农业生产率的地区差异与收敛性研究[J]. 农业技术经济, 2005(6): 52-57.
- [6] 陈卫平. 中国农业生产率增长、技术进步与效率变化: 1990-2003年[J].

效应而逐步得到发展,这样才有可能突破资源的“瓶颈”,最终达到西部县域经济的发展。

2.2 西部县域经济发展的不完整性、自然资源的差异性,客观要求通过“发展极”来扬长避短 西部县域经济发展的不完整性是指县域经济结构相对于整个国民经济体系而言,由于自然资源与技术资源不足以支撑,难以建立完整的国民经济体系。自然资源的差异性是指由于历史和区位的原因,其所拥有的自然资源存在着相当大的差异。有的县域旅游资源丰富,可以通过培育旅游景点,使其成为内引外联的地方支柱产业;有的县域矿产资源较为丰富,以矿业开采、加工为主的矿业经济成为该县经济的主要支柱产业;有的县域水资源较为丰富,可以发展以水资源开发为主的养殖业等。正是由于县域经济的不完整性和自然资源的差异性,在发展县域经济时没有固定模式,而应针对具体情况,培育不同的产业,再通过它们聚合相关产业而形成“发展极”。

2.3 培育西部县域经济“发展极”是缩小与东部县域经济发展差距的最佳选择 我国县域经济发展总体不平衡,差距逐渐扩大。差距的扩大显然与我国共同富裕的目标相背离,而要缩小这种差距,只有在西部县域经济内部依据地方特色建立和培育“发展极”,通过“发展极”的“磁场”效应来逐步发展西部县域经济。通过发展极培育在西部县域经济内形成适度的发展势差,不仅有利于西部地区比较优势的发挥,还有利于其后发优势效应的发挥^[3]。

2.4 培育西部县域经济“发展极”是突破二元经济结构、实现城乡一体化发展的有效途径 “关键产业”(Key industry)的发展,可以通过辐射影响而集聚相关产业,形成地域上集中的“发展极”。“发展极”作为县域经济内工商业、科技、信息的中心,它一方面能就地转移农村的剩余劳动力,增加农民的收入;另一方面,它能有效地辐射周边农村,通过“关键产业”的“后向联系”(Backward linkage)和“前向联系”(Forward linkage),形成工农之间的良性循环,共同促进,从而达到突破二元经济结构,实现城乡一体发展的目标。

3 培育西部县域经济发展极应注意的几个问题

3.1 正确处理发展极培育与城市(镇)建设之间的关系 从发展极理论中可知,以一个具较强外部经济的产业作为突破口,经济有了一定发展之后,应再发展具有比较优势和扩散效应的产业或产业群。而无论从产业含义还是从空间含义来看,城市(镇)都是这些产业或产业群的天然载体,城市(镇)化对于区域经济的发展具有重要作用。因此,应重视城市化,加快城镇体系建设,充分发挥中心城市的极化效应和扩散效应。同时,应将发展极的培育与城市(镇)建设结合起来,共同促进、协调发展。一方面,城市(镇)相对便利的基础设施和相对丰富的人力资源,为发展极的发展壮大创造条

件;另一方面,发展极的发展又为城市(镇)的进一步发展和完善拓展空间。

3.2 正确处理发展极培育中政府与市场的关系 根据发展极理论,一个发展极的形成主要有2种途径:一种是市场机制的自发调节引导企业或行业在某些大城市与经济发达地区聚集发展而自动形成发展极;一种是由政府通过经济计划和重点建设而培养提升为发展极。这种政策倾斜对于经济欠发达地区发展极建设初期也是必要的,但随着发展极的不断发展,应正确处理政府与市场之间的关系。

一方面,政府既要积极参与收入增量的合理重新分配和发展极的选择,又要善于借助市场信号提高政策效益;另一方面,从长期看,生产要素的自由流动和利益的自动分配机制必然促使地区发展趋向均衡。政府应致力于建设柔性的、可调节的经济结构和商品、生产要素都可完全自由流动、价格机制能充分发挥作用的发达的市场。总之,政府和市场的紧密配合将携手提高发展极建设效益。在市场尚不完善时,政府既要积极干预经济,又要精心培育市场。当市场渐渐趋完善后,政府应充分尊重市场的作用,但还应适度干预市场失灵的领域。一般在发展极建设初期,政府作用更明显,随着市场体系的逐步健全,市场的作用将渐趋显著,这时就应该尊重市场规律,避免过多的行政干预。

3.3 正确处理发展极与其他地区间的关系 任何一个经济区域都是由经济中心、经济腹地、经济网络三要素构成的。这里的“经济中心”实际上就是发展极,而“经济腹地”就是发展极的周边(外围)地区。发展极是基于增长有潜力原则培养起来的,它有诸如产品、市场、组成以主导产业为核心并与周围地区产业高度相关的产业综合体等方面的突出优势,但如何发扬其优势来带动辐射周边地区?这里就涉及到一个适度投资“中心”的问题。如果以过度牺牲其他地区的正常发展为代价的发展极建设将充满利益冲突,可能导致地区间经济藩篱的设置,形成“诸侯经济”,甚至造成地区分裂。同时,将建设发展极与保护其他地区的经济发展潜力同步,也是扩散效应实现的前提条件。否则,不仅不可能使发展极成为“经济飞地”,甚至将妨碍整个区域有效需求的扩大,影响发展极的持续发展。因此,构建发展极应注意保护其他地区的适度发展,应着力培育其自我发展能力,创造包括成熟产业体系在内的必要条件,避免“两极分化”,同时也有利于未来“中心”扩散效应的发挥。

参考文献

(上接第2280页)

中国农村观察,2006(1):18-23.

[7] CHARNES A, COOPER W W, RODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2: 429-444.

[8] CAVES D W, CHRISTENSEN L R, DEWERT W E. The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity[J]. Econometrica, 1982, 50(6): 1393-1414.

[1] 弗朗索瓦·佩鲁. 新发展观[M]. 张宁,译. 北京: 华夏出版社, 1987.

[2] 彭熠. 农业产业化龙头企业建设——一个发展极理论视野中的观点[J]. 浙江大学学报: 人文社会科学版, 2005(6): 97-103.

[3] 沈培平. 在发展的势差和比较优势中求发展——论西部地区县域经济的发展思路[J]. 经济问题探索, 2003(11): 10-15.

[9] Khodabakhshi M. A super-efficiency model based on improved outputs in data envelopment analysis[J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 184: 695-703.

[10] ANTONIO ALVAREZ, CARLOS ARIAS. Technical efficiency and farm size: a conditional analysis[J]. Agricultural Economics, 2004, 30: 241-250.

[11] BARNES A P. Does multi-functionality affect technical efficiency? A non-parametric analysis of the Scottish dairy industry[J]. Journal of Environmental Management, 2006, 80(4): 287-294.