

农业水资源利用效率分析*

——全要素水资源调整目标比率的应用

刘 渝¹,王 岷²

(1. 武汉工程大学 管理学院,湖北 武汉 430073;2. 湖北工业大学 计算机学院,湖北 武汉 430068)

摘要 从分析水资源生产率与水资源利用效率两者的差异入手,探讨现行学术界普遍使用的农业水资源利用效率评价方法之间的优劣,采用全要素水资源调整目标比率测算方法,选择中国29个省(市、自治区)1999—2006年的平衡面板数据,运用DEA方法对中国农业水资源利用效率进行实证分析,结果表明:东部地区农业水资源效率最高,中部次之,西部最低;省际农业水资源利用效率水平之间的距离较大;总结农业用水效率的时间演变规律,效率较高的这些省份随着时间发展效率水平不断提高,而效率较低的省份的效率水平在研究期间内变化幅度较小。

关键词 农业水资源;利用效率;全要素生产率;技术效率;水资源调整目标比率

中图分类号:F 323.2 **文献标识码**:A **文章编号**:1008-3456(2012)06-0026-05

水资源利用是联结生态安全与农业安全的重要纽带,提高农业水资源利用效率是协同实现双重安全的保障。目前,中国农业水资源利用效率处于什么水平?对生态安全与农业安全的保障程度如何?现有研究大多是基于水资源消耗强度比较,即产出与投入指标的比值,如靳京等阐述了比值法在农业水资源利用效率评价中的应用^[1],于法稳、刘渝采用比值法评价了农业水资源的利用效率^[2-3]。这些研究都是一种单要素的水资源生产率测算方法,没有考虑到水资源与资本、劳动、土地等要素之间的替代性,产出增长是各种要素之间相互配置发生作用的结果,为了弥补这一缺陷,本研究将基于全要素方法来测算水资源效率,对我国目前的农业水资源利用效率进行实证分析。

一、水资源生产率与水资源利用效率

首先需要对生产率和效率的概念加以辨识。生产率是指生产过程中产出和投入之间的比值,根据投入要素的种类分类,生产率又可分为单要素生产率和全要素生产率^[4]。以3种投入要素的生产函数为例:

$$Y = Af(X_i) = Af(K, L, E)$$

参数Y表示生产产出, X_i 代表投入要素(K为资本要素,L为劳动力要素,E为水资源要素),产出

与任意一种投入要素之间的比值是单要素生产率(Y/X_i);而多要素生产率反映的是投入与产出之间的比值,是基于按权重加总后的投入得到的,可以用式(1)表示:

$$Y/X = Y / \sum W_i x_i \quad (1)$$

其中: W_i 表示权重, x_i 表示投入要素^[5]。

全要素生产率(TFP)可以被分解开来^[6]。根据Kumbhakar、Lovell等人的思路,可以将TFP的变化分解为四大块:技术进步、技术效率、配置效率、规模经济性^[7-8]。本文所测算的水资源利用效率由水资源技术效率、配置效率、规模经济性来表征。

通过比较发现,生产率和效率2个概念之间的内涵相差很大,可以推断据其计算的指标值及其所表达的意义会完全不同。因为生产率测算时涉及不同量纲的投入和产出之间的比较,易于产生误差,所以本文要计算的是技术效率,即当前各种资源投入组合下的最优生产边界。

二、研究方法的选择

1. 参数法和非参数法比较

生产函数法、数据包络分析法、随机前沿法等是目前学术界用来测算技术效率的几种常用方法,这些方法分别属于参数法和非参数法两大分支,其适

收稿日期:2011-10-10

*教育部人文社会科学青年项目“基于虚拟水的中国农业水资源配置研究”(10YJC790178);武汉工程大学科学研究基金项目“生态安全与农业安全目标下的农业水资源管理研究”(17107032)。

作者简介:刘 渝(1981-),女,副教授,博士;研究方向:农业经济理论与政策。E-mail:lyu429@163.com

用范围有明显的区别。参数法有严格的经济学理论模型支撑,计算前沿生产函数模型中各个投入变量的系数,再依据估计结果计算出实际产出和最优产出之间的距离,例如随机前沿法(stochastic frontier analysis, SFA)属于参数法,大型样本容量的微观调研模型使用参数法更为切合。非参数法没有严格的理论模型作为基础,利用线性规划方法来寻找最优解。而数据包络分析法(data envelopment analysis, DEA)属于典型的非参数法,先确定成本前沿,再寻找“前沿曲线上最优能源投入”,宏观数据模型常常使用非参数方法^[7]。

由于本文采用的数据样本是宏观统计数据,如果利用随机前沿法等参数法,生产率的投入要素指标繁多,指标的归类有难度,不易找到合适的经济学理论函数,计量估计过程常常产生多重共线性问题。而非参数法是将实际生产值和生产最优前沿曲线值求比值来计算效率水平,生产前沿曲线在理论上存在,该曲线可通过构造非参数的线段凸面计算出来^[8]。因此,本文的研究数据更适合采用非参数法。本文将采用非参数法中的 DEA 方法,并借鉴 Hu 等的“全要素水资源调整目标比率”^[9]对 DEA 方法作改进,构建投入法下的水资源效率指数计算模型来测算全国各省及直辖市的农业水资源全要素生产率。

2. 投入法下的水资源效率指数计算模型构建

最早是 Hu 等用全要素生产率模型计算水资源效率,在 DEA 方法的基础上界定了一个全新的水资源效率计算方法,即“全要素水资源调整目标比率”^[9]。DEA 方法是将实际生产值和生产最优前沿曲线值求比值,而“全要素水资源调整目标比率”以 DEA 方法为基础并作改进,将 DEA 模型结果中的最优值作为目标水平,侧重衡量实际值与目标值之间的距离,即无效损失,其结果能更直观地从节水潜力的角度反映利用效率,该方法已应用到居民用水和生产用水的实证分析中。该方法的原理如下:

利用规模报酬不变(CRS)假设下基于投入的 DEA 模型(如图 1 所示),可以看出产量作标准化处理后,在图 1 中是等产量线 SS' ,投入要素包括农业用水、资本、人力资本、土地, C 、 D 点位于生产前沿曲线上,是最优效率水平, A 、 B 点相对于 C 、 D 点生产同等量的产出所投入的资源量更多。根据 Farrell 的解释, DMU_A 和 DMU_B 的效率值是 $V_{OA'}/V_{OA}$ 和 $V_{OB'}/V_{OB}$, A 点的最优参照水平是 C 点,在 A 点,投入要素无效率的损失来源于技术无效和配置无

效,技术无效率使得 DMU_A 的资源投入过量,无效投入量水平相当于图 1 中 AA' 部分的距离,配置无效率产生了的松弛向量 $A'C$, $AC=AA'+A'C$,此距离为最优效率水平和无效率水平之间的差距,意味着生产中可以节约的水资源量, AC 的距离越大,表示产出既定水平下,能节约出更多的水资源,同时表示水资源的效率水平越低。

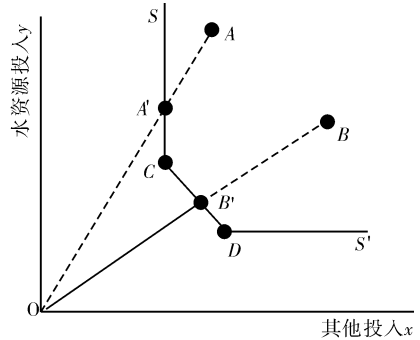


图 1 基于投入的 CRS 模型

全要素水资源调整目标比率的公式如式(2):

$$V_{WR,t} = \frac{S_{AWI_{i,t}} - S_{WRT_{i,t}}}{S_{AWI_{i,t}}} = 1 - V_{WATR,t} = \frac{S_{TWI_{i,t}}}{S_{AWI_{i,t}}} \quad (2)$$

式(2)中, i 表示省份, t 表示年份, V_{WR} 表示农业水资源效率, S_{AWI} 表示实际的农业用水量, S_{WRT} 表示损失的农用水资源投入数量, V_{WATR} 表示水资源调整目标比率, S_{TWI} 表示目标农业水资源投入。

水资源调整目标比率表示的是节水潜力,该比率值越高,意味着农业水资源的无效投入越多,区域内农业生产用水中有较大的节水空间。

三、数据来源

对于极端值,DEA 方法敏感度较高,为了方便统计,将重庆市纳入四川省;西藏自治区由于许多指标数据缺失无法进行分析。在此基础上,对我国 29 个省、直辖市及自治区在 1999—2006 年的面板数据进行分析。

测算农业水资源全要素生产率和技术效率时,产出指标定义为农林牧渔业增加值,而投入指标包括以下:农业用水量、土地、农业机械、农林牧渔业人力资本、化肥,固定资本存量数据一直以来都是农业经济增长实证模型估量中的难点,也很少有现存的二手数据可直接利用,因此本文以农业机械、化肥指标来替代资本投入。各投入和产出序列指标解释如下。

(1)农林牧渔业增加值。29 个省市区各年的按当年价格计算的农林牧渔业增加值和农林牧渔业增

加值指数来自于《中国农村统计年鉴》(2000—2007年),利用价格指数将农林牧渔业增加值(当年价格)换算成 1999 年可比价格。

(2)土地。农业生产中必不可少的投入变量之一,中国农业生产中普遍存在复种、休耕或弃耕现象,采用农作物总播种面积(km^2)代表土地投入要素相比耕地面积更能反映土地的实际利用率,该项原始数据来自于《中国农村统计年鉴》(2000—2007年)。

(3)农林牧渔业人力资本。29个省市区各年农村居民家庭劳动力文化状况来自于《中国农村统计年鉴》(2000—2007年),农林牧渔业从业人员年底数来自于《中国统计年鉴》(2000—2007年)。

农林牧渔业从业人数 =

$$\frac{\text{当年年末就业人数} + \text{上一年年末就业人数}}{2}$$

该指标仅反映从业人员总量,没有表现出人力资本的内涵,当前学术界通常用已接受学校教育的年限代表劳动力的素质。本文借用《中国农村统计年鉴》上的 6 种分类标准,各类受教育的时间界定如下,小学(6年)、不识字或识字很少(4年)、初中(9年)、高中和中专(12年)、大专以上(16年以上)。

29个省市区各年农林牧渔业从业人员的平均受教育年限及人力资本总量计算如式(3)、式(4):

$$H = (4 \times H_1 + 6 \times H_2 + 9 \times H_3 + 12 \times H_4 + 12 \times H_5 + 16 \times H_6) / N \quad (3)$$

$$N = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 \quad (4)$$

其中, H 为农林牧渔业从业人员的平均受教育年限; $H_{i(i=1, \dots, 6)}$ 中 i 代表 6 类受教育程度的从业人数, N 为年人力资本的总量。

(4)农业用水量。29个省市区各年的农业用水量(亿 m^3)数据来自《中国统计年鉴》(2003—2007年)和《中国水资源公报》(1999—2001年)。

(5)农业机械。指主要用于农、林、牧、渔业的各种动力机械的动力总和(万 KW),包括耕作、排灌、农用运输等,数据来自于《中国农村统计年鉴》(2000—2007年)。

(6)化肥。将年内实际使用的氮、磷、钾和复合肥按折吨量折算。单位是万 t,数据来自《中国农村统计年鉴》。

四、实证结果

在 Deap2.1 软件中进行计算得到结果如表 1。

1999—2006 年,分析我国农业水资源效率的综

合情况,农业用水无效的损失比较大,全国大部分地区的效率指标数值都在 0.750 以下,位于前沿曲线的下方。生产函数中,效率水平的提高依赖各投入要素之间的相互配置,北京、辽宁、天津、山东、上海、河南、海南、浙江、四川、福建等 10 个省市的部分年份位于最优效率的前沿上,这些省份组成的高效率组基本上位于东部发达地区,属于资本较为丰富的地区。中效率组中,大多数是以农业产业为主导产业的省份,农业耗水比重较高,农业水资源效率略低于全国平均水平。甘肃、青海、宁夏和新疆被纳入低效率组,该组的用水效率在 29 个省中是最低的,都在 0.400 以下。这 4 个位于西北地区的省份光照充沛,水土蒸发情况显著,易于造成水资源利用率低。西北地区以高原、沙漠、戈壁地貌为主,水资源量非常匮乏,若任由当前的水资源利用效率进一步恶化,脆弱的生态环境势必会雪上加霜。

五、结 论

基于非参数的 DEA 方法,本文创建了农业水资源技术效率指标,并计算了我国 29 个省市区 1999—2006 年间的农业用水效率。水资源的利用是否有效率,还受到许多具体环境的影响和约束,本文的结论主要是基于全要素目标调整比率得到。

首先,省级农业用水效率的计算表明,29 个省市区中,海南和四川省相对其他地区是最有效率的;山西、安徽、江西、湖北和湖南等地区是我国的农业主产区 and 粮仓,这些地区的农业用水效率水平偏低,提高农业用水效率将大幅降低农业水资源的使用量;西北地区的农业水资源效率在全国范围内是最低的。如果沿用常用的东中西区域分类标准,由东至西农业水资源的效率水平呈现出明显的地区级差,提高西部地区的农业用水效率水平是目前我国农业水资源管理中的关键问题。

其次,不同省份间农业水资源利用效率的差距显著,效率水平最高的福建和四川省效率水平为 1,是宁夏水资源利用效率的 5 倍,各省之间的大幅差距表明低效率省份可以挖掘节水潜力向高效率省份靠拢。

再次,剖析不同效率组效率水平的动态演变趋势可知,高效率省份的效率水平随着时间变化逐步增加,而低效率省份从 1999—2006 年之间没有明显变化,水资源效率变动趋势平缓。不同效率组间的差距呈发散型扩大状态,低效率组对高效率组的“追赶”所产生的“收敛效应”非常有限^[10]。

表2 1999—2006年中国大陆部分省市农业用水效率

分组	地区	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	平均
高效率组	北京	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.845	0.981
	天津	0.995	1.000	1.000	1.000	1.000	0.990	0.917	0.894	0.974
	辽宁	1.000	0.964	0.984	0.967	0.984	1.000	1.000	1.000	0.987
	吉林	0.982	0.776	0.809	0.727	0.946	0.954	0.983	0.933	0.889
	上海	0.924	0.936	1.000	1.000	0.899	0.700	0.590	0.545	0.824
	浙江	0.965	0.980	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.993
	福建	1.000	1.000	1.000	0.933	1.000	1.000	0.954	0.956	0.980
	山东	1.000	1.000	0.944	0.898	1.000	1.000	1.000	1.000	0.980
	河南	0.960	1.000	0.913	0.930	1.000	1.000	1.000	1.000	0.975
	海南	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
中效率组	四川	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	平均	0.984	0.969	0.968	0.950	0.984	0.968	0.949	0.925	0.962
	安徽	0.814	0.839	0.765	0.709	0.795	0.698	0.689	0.621	0.741
	河北	0.776	0.773	0.737	0.733	0.824	0.892	0.893	0.897	0.816
	江西	0.619	0.568	0.576	0.609	0.714	0.698	0.641	0.639	0.633
	江苏	0.680	0.636	0.616	0.550	0.667	0.797	0.850	0.609	0.676
	湖北	0.751	0.709	0.662	0.721	0.795	0.885	0.799	0.770	0.762
	湖南	0.641	0.601	0.615	0.621	0.638	0.740	0.715	0.696	0.658
	广东	0.730	0.643	0.669	0.635	0.670	0.709	0.738	0.743	0.692
	贵州	0.828	0.770	0.733	0.679	0.686	0.671	0.648	0.637	0.707
低效率组	云南	0.677	0.634	0.618	0.587	0.591	0.621	0.615	0.644	0.623
	山西	0.632	0.662	0.558	0.609	0.666	0.660	0.575	0.572	0.617
	陕西	0.667	0.663	0.639	0.619	0.632	0.627	0.635	0.653	0.642
	平均	0.710	0.681	0.653	0.642	0.698	0.727	0.709	0.680	0.688
	内蒙古	0.479	0.401	0.400	0.361	0.407	0.445	0.744	0.487	0.465
	广西	0.513	0.427	0.442	0.410	0.478	0.524	0.478	0.497	0.471
	黑龙江	0.405	0.343	0.382	0.400	0.447	0.421	0.632	0.378	0.426
	甘肃	0.393	0.355	0.365	0.353	0.372	0.384	0.387	0.383	0.374
	青海	0.399	0.324	0.352	0.358	0.369	1.000	0.371	0.349	0.440
	宁夏	0.112	0.103	0.114	0.109	0.142	0.123	0.331	0.118	0.144
全国	新疆	0.121	0.115	0.111	0.107	1.000	1.000	1.000	0.120	0.447
	平均	0.346	0.295	0.309	0.300	0.459	0.557	0.563	0.333	0.395
	东部	0.915	0.903	0.905	0.883	0.913	0.917	0.904	0.863	—
	中部	0.726	0.687	0.660	0.666	0.750	0.757	0.754	0.701	—
西部	0.519	0.479	0.477	0.458	0.568	0.640	0.621	0.489	—	
全国	0.726	0.697	0.690	0.677	0.749	0.777	0.765	0.689	0.721	

注:按照普通的划分方法,先将中国大陆分为东、中、西3个部分,东部地区包括11个省市区;中部地区包括8个省市区;西部地区包括10个省市区。

参 考 文 献

- [1] 靳京,吴绍洪,戴尔阜. 农业资源利用效率评价方法及其比较[J]. 资源科学,2005(1):146-152.
- [2] 于法稳. 西部地区农业资源利用效率分析及政策建议[J]. 中国人口资源与环境,2005(6):35-39.
- [3] 刘渝. 湖北省农业水资源利用效率评价[J]. 中国人口资源与环境,2007(6):60-65.
- [4] 李琼. 世界经济大辞典[M]. 北京:经济科学出版社,2000.
- [5] COELLI T. Technical efficiency of european railways: a distance function approach[J]. Applied Economics,1996(32):1967-1976.
- [6] SOLOW R. Technical change and the aggregate production function[J]. Review of Economics and Statistics,1957(39):312-320.
- [7] KUMBHAKAR C, KNOX A. Stochastic frontier analysis [M]. Cambridge: Cambridge University Press,2000.
- [8] LOVELL C. Applying efficiency measurement techniques to the measurement of productivity change[J]. Journal of Productivity Analysis,1996(7):329-340.

- [9] HU J, WANG S, YEH F. Total-factor water efficiency of regions in China[J]. *Resources Policy*, 2006(31): 217-230.
- [10] 刘渝. 基于生态安全与农业安全目标下的农业水资源利用与管理研究[D]. 武汉: 华中农业大学经济管理学院, 2009: 79-81.

Analysis on Utilization Efficiency of Agricultural Water Resources

——Based on Water Adjustment Target Ratio

LIU Yu¹, WANG Ji²

(1. *School of Management, Wuhan Institute of Technology, Wuhan, Hubei, 430073;*

2. College of Computer, Hubei University of Technology, Wuhan, Hubei, 430068)

Abstract Based on differences between productivity and efficiency of water resources, this paper discusses the advantages and disadvantages of agricultural water resource utilization efficiency. Water adjustment target ratio is chosen as the empirical index. Water resource utilization efficiency is tested by DEA on the basis of balanced panel data in China from 1999 to 2006. The result shows that agricultural water resource utilization in the eastern part of China has the highest efficiency, followed by central area and it has the lowest efficiency in the western area. The gap of utilization efficiency among provinces is big. This paper summarizes the rules of temporal evolution for water utilization efficiency, that is, provinces with higher efficiency have made great improvements gradually, while provinces with lower efficiency have made small changes.

Key words agricultural water resources; utilization efficiency; total-factor productivity; technical efficiency; water adjustment target ratio

(责任编辑:陈万红)