

# 京津冀地区农业全要素用水效率及影响因素分析

赵姜 孟鹤 龚晶\*

(北京市农林科学院 农业科技信息研究所,北京 100097)

**摘要** 本研究运用超效率 SBM-DEA 模型,估算了 2000—2013 年京津冀地区农业全要素用水效率,并在此基础上采用面板 Tobit 模型检验了自然条件、水利设施、农业生产状况和社会经济条件等因素对农业全要素用水效率的影响。结果表明:京津冀地区农业全要素用水效率虽然整体高于全国水平,但仍存在提升空间,其中河北省的农业节水潜力最大,未来应加强三地农业水资源的保护协作和节水技术共享;地下水占供水结构比例和农业生产资料价格指数对京津冀农业全要素用水效率有显著的正向影响,水库容量、牧渔业占农业总产值比例、户均耕地面积、农村家庭人均纯收入和农村劳动力素质对京津冀农业全要素用水效率有显著的负向影响。

**关键词** 京津冀地区;农业全要素用水效率;影响因素

中图分类号 F323.3

文章编号 1007-4333(2017)03-0076-09

文献标志码 A

## Measurement of total factor agricultural water efficiency and analysis of influential factors in Jing-Jin-Ji area

ZHAO Jiang, MENG He, GONG Jing\*

(Institute of Agricultural Sciencetech Information, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing, 100097, China)

**Abstract** The problem of water shortage is very serious in Jing-Jin-Ji area. Improvement of agricultural water use efficiency has great significance to realize the coordinated and sustainable development of Jing-Jin-Ji area. Super SBM-DEA model is used to measure the total factor agricultural water efficiency (TFAWE) of Jing-Jin-Ji area from 2000 to 2013. Panel Tobit model is then adopted to examine the effects of natural conditions, water conservancy facilities, agricultural production and social and economic conditions on TFAWE. The results show that although the TFAWE of Jing-Jin-Ji area is higher than the national level, there is still room to improve. Among the Jing-Jin-Ji area, Hebei province has the biggest potential of agricultural water-saving. The cooperative protection of agricultural water and the sharing of water-saving technology sharing in Beijing, Tianjin and Hebei should be strengthened in the future. The proportion of underground water in water structure and price index of agricultural means of production display a significant positive impact on TFAWE, while the reservoir capacity, the proportion of animal husbandry and fishery in gross agricultural output value, the average cultivated land area, per capita annual net income of rural households and rural labor force quality show a significant negative impact on TFAWE in Jing-Jin-Ji area.

**Keywords** Jing-Jin-Ji area; total factor agricultural water efficiency; influential factors

京津冀地区属于典型的资源型缺水地区,以不到 2.3% 的国土面积和 0.7% 的水资源承载了全国 8% 的人口和 11% 的经济总量<sup>[1]</sup>。当前,京津冀地区人均占有水资源仅为 197 m<sup>3</sup>,低于全国平均水平

的 1/10,世界平均水平的 1/40,是我国水资源环境严重超载的区域。随着经济社会发展,水资源需求仍将不断增加<sup>[2]</sup>,"水危机"已成为制约京津冀协同发展的首要瓶颈,如何解决水资源的有效利用是京

收稿日期:2016-07-01

基金项目:北京市社会科学基金项目(15JGB133);国家自然科学基金青年项目(71603030);北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJ CX20160502);北京市农林科学院所属科技创新团队(JNKST201601)

第一作者:赵姜,助理研究员,主要从事农业技术研究,E-mail:zhaojiang821@163.com

通讯作者:龚晶,副研究员,主要从事农村发展研究,E-mail:gongj@agri.ac.cn

京津冀地区实现可持续发展面临最大的挑战。十八大以来,我国政府高度重视水资源高效利用问题,明确提出要转变水资源利用方式,提高水资源利用效率,并出台最严格的水资源管理制度,制定了“用水效率控制红线”,由此可见,大力提升用水效率已成为现阶段缓解京津冀地区缺水困境的重要战略举措。

农业是京津冀地区的第一用水大户,占整个区域用水量的60%以上,其中河北的农业用水甚至高达70%,这与高收入国家43%的平均水平存在较大差距<sup>[3]</sup>。值得关注的是,虽然近年来政府积极推进京津冀地区节水农业的发展,但农业用水方式粗放、管理混乱、效率低下等现象还没有得到根本性扭转,水资源短缺与浪费并存进一步加剧了区域农业用水的严峻形势。在水资源水环境承载力的“刚性约束”下,除了积极保护现有水资源之外,更亟需改变农业用水的传统观念,提高农业用水效率。

以往对农业用水效率的研究多集中在农学和生态学领域,采用水分生产率<sup>[4-5]</sup>、灌溉水利用系数<sup>[6-8]</sup>、生态足迹<sup>[9-10]</sup>等田间实验指标来衡量单位水资源的产出数量或收益,更关注于自然科学层面上的农业科学技术改进或农田水利基础设施建设<sup>[3]</sup>。随着农业用水比例的逐年减少,水资源的稀缺性和价值愈发凸显,越来越多的专家学者开始考虑如何在既定的农业产出下实现最少的用水投入,本质上就是衡量农业用水的技术效率,于是出现了大量在经济学意义上的农业用水效率的研究。在农业经济学领域,关于农业用水效率的研究主要从2个层面展开:一是基于微观农户调查数据的农业用水效率研究<sup>[11-14]</sup>;二是基于全国或省级农业生产数据的用水效率研究<sup>[15-17]</sup>。已有的文献对京津冀地区农业用水效率的研究较少,要么只是单独对北京<sup>[18]</sup>、天津<sup>[19]</sup>和河北<sup>[20]</sup>三地的农业用水现状、存在的问题进行概述,要么是单要素框架下对单位水资源的农业经济产出进行分析<sup>[21]</sup>,忽略了劳动力、其他物质投入等多重因素的综合影响。

2016年中央农村工作会议提出要着力加强农业供给侧结构性改革,提高农业供给体系质量和效率,提高全要素生产率。在推动京津冀协同发展的大背景下,有必要对京津冀地区的农业全要素用水效率进行科学测算,明晰农业全要素用水效率的空间分布格局和变动趋势特征,厘清其主要影响因素。鉴于此,本研究构建超效率SBM-DEA模型,从经济研究的角度将水资源纳入经济变量,在全要素生产

框架下测算2000—2013年京津冀地区的农业用水效率,并借助面板Tobit模型检验自然禀赋、水利设施、人力资本以及农业规模等因素对农业用水效率的影响,找出提升京津冀地区农业全要素用水效率的方向和对策,以期京津冀地区进一步加强农业用水管理、提升农业用水效率提供参考依据,有助于纾解京津冀地区严重缺水 and 粗放用水的主要矛盾。

## 1 京津冀地区农业全要素用水效率测定

### 1.1 模型设定与分析方法

学术界根据生产前沿理论测算生产效率的方法主要有2类:一类是以数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)为代表的非参数方法;另一类是以随机前沿生产函数分析(Stochastic Frontier Analysis, SFA)为代表的参数方法。根据李双杰等<sup>[22]</sup>的研究,对于面板数据,SFA是根据所有周期的数据仅构造出一个统一的生产前沿,而DEA是每个周期各构造一个生产前沿,因此SFA更适合大样本微观数据计算,而DEA则适合小样本宏观数据估计。本研究的数据都来源于宏观统计,并且重点关注北京、天津和河北这3个地区样本,适宜采用DEA方法。

传统的DEA模型存在效率得分不大于1的约束条件,导致评价结果不能反映出效率值等于1的多个相对有效决策单元的差别,无法将所有的决策单元效率进行排列,造成评价结果的不准确。超效率DEA则进一步优化了效率评价的方法,消除了效率值 $\leq 1$ 的约束,从而可以区分原来效率值等于1的决策单元。在农业用水效率评价方面,佟金萍等<sup>[15-16]</sup>运用超效率DEA分别对全国30个省份和长江流域10个省份的农业用水效率进行了研究,但采用的都是以径向测算(radial measure)为基础的Super CCR模型,即均是基于投入产出的比值来进行效率评价,忽视了松弛变量对评价结果的影响,度量的效率值可能是有偏的。Tone<sup>[23]</sup>于2002年提出了非径向的基于松弛变量的超效率SBM-DEA模型(super Slacks-Based Measure DEA),规避了投入要素同比例缩减的假设条件,并将松弛变量加入目标函数中,同时考虑投入和产出两个方面,消除了因径向和角度选择差异所带来的偏差和影响,将其应用于技术效率测算比较合理。

基于上述原因,考虑到本研究所关注的农业用水是作为农业生产的一种基本投入要素,因此采用

基于松弛变量的、且能对相对有效决策单元进行排序的超效率 SBM-DEA 模型进行农业用水效率评价。

超效率 SBM-DEA 模型可表示为式(1),式中  $m$  为投入指标总数,  $q$  为产出指标总数;  $x_{ik}$  为第  $k$  个单元的第  $i$  种投入指标的投入量,  $y_{rk}$  为第  $k$  个单元的第  $r$  种产出指标的产出量;  $s_i^-$ 、 $s_r^+$  分别为投入、产出的松弛量,  $\lambda_j$  为权重向量。

$$\min \rho_{SE} = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{ik}}{1 - \frac{1}{q} \sum_{r=1}^q s_r^+ / y_{rk}}$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j + s_r^+ \leq y_{rk} \\ \lambda, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \\ i = 1, 2, \dots, m; \\ r = 1, 2, \dots, q; \\ j = 1, 2, \dots, n (j \neq k) \end{cases} \quad (1)$$

$\rho_{SE}$  为效率值,当目标函数  $\rho_{SE} \geq 1$  时,被评价的决策单元相对有效;当  $\rho_{SE} < 1$  时,被评价的决策单元相对无效,需要对投入产出进行改进。

## 1.2 农业全要素用水效率

本研究借鉴 Hu 等<sup>[24]</sup>提出的全要素投入效率概念,结合农业生产的特点,将农业全要素用水效率(Total Factor Agricultural Water Efficiency, TFAWE)定义为决策单元达到最优技术效率所需的潜在农业用水投入(Target Agricultural Water Input, TAWI)与实际农业用水投入(Actual Agricultural Water Input, AAWI)的比值,如式(2)所示。

$$\text{TFAWE}_{i,t} = \frac{\text{TAWI}_{i,t}}{\text{AAWI}_{i,t}} = \frac{\text{AAWI}_{i,t} - \text{EAWI}_{i,t}}{\text{AAWI}_{i,t}} = 1 - \frac{\text{EAWI}_{i,t}}{\text{AAWI}_{i,t}} \quad (2)$$

其中,  $\text{TFAWE}_{i,t}$  表示第  $i$  省(市)在时间的农业全要素用水效率;  $\text{AAWI}_{i,t}$  表示实际的农业用水投入数量;  $\text{EAWI}_{i,t}$  表示超额的农业用水投入数量;  $\text{TAWI}_{i,t}$  表示潜在的农业用水投入数量,即在目前农业生产技术水平下,为实现一定农业产出所需要的最优或最少的水资源投入数量。相对于传统的农业用水生产率指标,农业全要素用水效率是在综合

考虑水资源投入和其他生产要素投入的全要素生产框架下,衡量当前农业用水投入与最优可实现农业用水投入之间关系的一个相对更优的指标。

## 1.3 变量选取与数据处理

京津冀地区包括北京市、天津市和河北省的 11 个地级市,为了进一步比较京津冀地区与全国平均水平的农业用水效率,本研究选取北京、天津、河北、京津冀地区和全国作为 5 个决策单元,并建立起 2000—2013 年 5 个单元的面板数据。由于 DEA 方法是通过构建生产前沿面来进行投入产出的相对有效性评价,考虑到省(市)、区域、全国三者间数量级相差较大,本研究的投入和产出变量都采用单位面积数据,不仅可以消除决策单元的性质差异性,而且将农业生产中的可变投入要素与土地资源独立开来,能够更为准确地反映用水效率。

具体在变量选取方面,本研究涉及的农业用水投入为农林牧渔业用水总投入,为保持统计口径的统一,因而将农林牧渔总产值作为农业产出变量,并以 2000 年为不变价格进行折算。农业投入变量包括每公顷播种面积的化肥使用量、农业机械总动力、农林牧渔业的就业人数和农业用水量。

## 1.4 实证结果分析

由于本研究关注的是在农业全要素生产框架下,如何保持农业产出不变,实现农业用水最优投入的问题,因此利用 MAXDEA 软件,采用投入导向型且规模报酬不变的超效率 SBM-DEA 对京津冀地区及全国的农业全要素用水效率进行测算,结果如下:

从表 1 可以看出,2000—2013 年间京津冀地区 TFAWE 整体维持在 0.7 左右,明显高于全国水平。就京津冀地区来看,北京和天津的 TFAWE 值一直高于区域总体水平,而河北的 TFAWE 值则一直低于区域总体水平。其中,北京的 TFAWE 值均高于 1,保持在农业用水前沿面,远远领先于其他省份,表明北京的农业节水技术水平较高。天津的 TFAWE 则呈现下降趋势,2000—2002 年天津的 TFAWE 值  $> 1$  且高于北京,2003 年后天津的 TFAWE 持续降低,虽然 2010 年升高至 0.92,但一直落后于北京。

由图 1 可知,北京和天津的 TFAWE 方差较大,说明这 2 个地方的 TFAWE 值在 2000—2013 年不稳定,各年之间差距较大,结合前文分析结果得出近 14 年来,北京农业全要素用水效率提升较快,而天津农业全要素用水效率下降较快。全国的 TFAWE

表 1 京津冀地区及全国农业全要素用水效率  
Table 1 The TFAWE of Jing-Jin-Ji area and the nation

年份 Year	决策单元 Decision making units				
	北京 Beijing	天津 Tianjin	河北 Hebei	京津冀地区 Jing-Jin-Ji area	全国 The nation
2000	1.00	1.09	0.81	0.84	0.56
2001	1.00	1.40	0.84	0.88	0.56
2002	1.00	1.11	0.77	0.81	0.48
2003	1.04	0.96	0.69	0.73	0.47
2004	1.13	0.89	0.70	0.74	0.45
2005	1.26	0.80	0.71	0.74	0.47
2006	1.28	0.78	0.70	0.72	0.45
2007	1.34	0.74	0.70	0.72	0.46
2008	1.27	0.79	0.75	0.77	0.46
2009	1.28	0.78	0.73	0.75	0.45
2010	1.09	0.92	0.73	0.76	0.46
2011	1.18	0.85	0.73	0.75	0.44
2012	1.30	0.77	0.66	0.69	0.39
2013	1.39	0.72	0.68	0.70	0.39

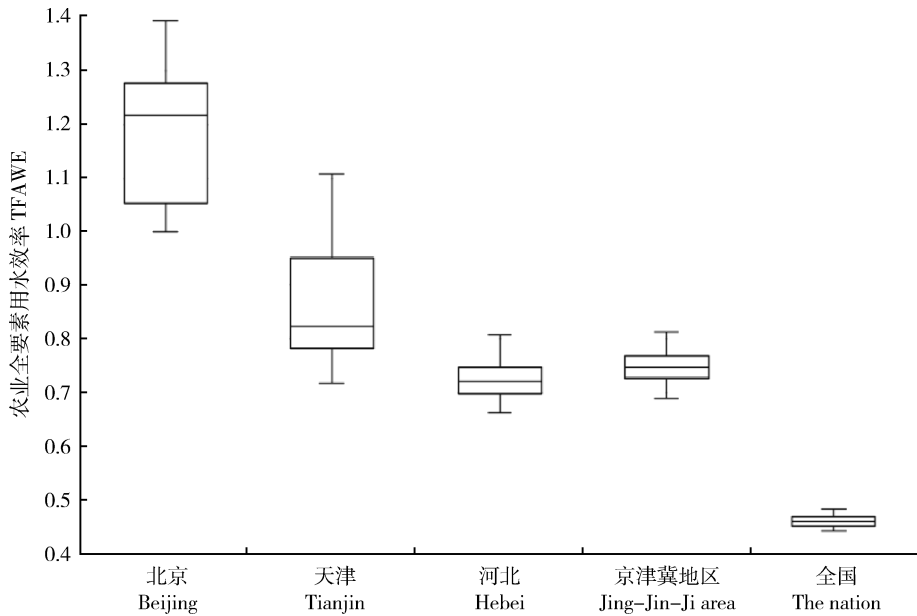


图 1 京津冀地区及全国农业全要素用水效率箱图  
Fig. 1 Box plot of the TFAWE in Jing-Jin-Ji area and the nation

方差很小但是效率值很低,说明我国整体的农业用水效率提升缓慢,农业节水存在较大潜力。从分位

数上看,北京的分位数居首,其次是天津,随后是京津冀地区和河北,全国的分位数最低,其中效率值最

高的北京(14年均值为1.18)比全国平均水平(14年均值为0.46)高出2.5倍,TFawe值存在较大差异。

## 2 京津冀地区农业全要素用水效率影响因素分析

上述研究利用超效率SBM-DEA计算了京津冀地区2000—2013年的农业全要素用水效率,并分析了省区间差异及年际间趋势,在宏观层面上了解了京津冀地区农业水资源实际利用状态与有效配置理想状态之间的差距。为了进一步摸清这种差距存在的原因及影响因素,本研究基于前人研究和数据的可获得性,系统考察了自然条件、水利设施、农业生

产状况、社会经济条件等具体因素对北京、天津和河北三地农业全要素用水效率的影响程度。

### 2.1 影响因素变量的选择与说明

在自然条件方面,本研究选取人均水资源量、年降水量和地下水占供水总量的比例这3个指标来反映北京、天津和河北三地的水资源状况;在水利设施方面,选取水库总容量、节水灌溉面积与有效灌溉面积的比值作为2个影响变量;在农业生产状况方面,选取3个代表变量,分别是粮食蔬菜面积比值、牧渔业占农业总产值比重及户均耕地面积;在社会经济条件方面,选取农村劳动力素质、农业生产资料价格指数和农村居民家庭人均纯收入3个指标来代表(表2)<sup>①</sup>。

表2 相关影响因素及效应假定

Table 2 Relevant influential factors and effect assumptions

变量代码 Code	变量名称及含义 Variable and description	数据来源 Data source	效应假设 Effect assumptions
LN(PW)	人均水资源量/(m <sup>3</sup> /人)	各年份《中国统计年鉴》	—
LN(YW)	年降水量/亿 m <sup>3</sup>	各年份《中国水资源公报》	不确定
GW	地下水占供水总量的比例:地下水与供水总量的比值	各年份《中国统计年鉴》	+
LN(RE)	水库总库容量/亿 m <sup>3</sup>	各年份《中国统计年鉴》	—
WS	节水灌溉面积与有效灌溉面积比值:用于衡量各地区农业节水技术应用情况	各年份《中国农业年鉴》、《中国水利年鉴》	+
FV	粮食蔬菜面积比:粮食作物播种面积与蔬菜播种面积的比值	各年份《中国统计年鉴》	不确定
SF	牧渔业占农业总产值比重:牧业、渔业总产值之和与农林牧渔业总产值的比值	各年份《中国统计年鉴》	—
PL	户均耕地面积/(hm <sup>2</sup> /户):耕地面积与乡村户数的比值	各年份《北京农村统计资料》、《天津统计年鉴》、《河北农村统计年鉴》	+
HR	农村劳动力素质:根据各地区农村居民家庭劳动力文化状况计算得出	各年份《中国农村统计年鉴》	+
R	农业生产资料价格指数:以2000为基期进行折算(2000年=1)	各年份《北京农村统计资料》、《天津统计年鉴》、《中国统计年鉴》	+
LN(INC)	农村居民家庭人均纯收入/元:以2000年为基期进行折算	各年份《中国农村统计年鉴》	—

注:效应假设中“+”表示该指标与农业全要素用水效率正相关,“-”表示该指标与其负相关。

Note: In effect hypothesis, + indicates that the index is positively correlated with the TFAWE and - indicates that the index is negatively correlated with the TFAWE.

① 需要指出的是,由于人均水资源量、年降水量、水库总容量和农村居民家庭人均纯收入这4个变量的数值较大,与其他解释变量的数值之间存在较大差异,为使得各变量在同一数量层次,便于估计结果的解释和书写,因此对这4个变量做对数化处理。

需要指出的是,本研究农村劳动力素质根据 Hall 等<sup>[25]</sup>的方法计算得出:假定第  $i$  个省份在  $t$  时期的农业从业人员的平均受教育年限为  $Y_{it}$ ,则劳动力素质可以表示为  $L_{it} = e^{\varphi(Y_{it})}$ ,其中  $\varphi(Y_{it})$  为明瑟收入方程中的教育回报率。按照我国当前的统计口径,农村居民家庭劳动力文化状况可以划分为不识字或识字很少、小学、初中、高中、中专、大专及以上,另外根据 Psacharopoulos 等<sup>[26]</sup>的数据表明,中国教育回报率在小学教育阶段为 0.180,中学教育阶段为 0.134,高等教育阶段为 0.151,在此基础上结合我国学制实际情况,设  $\varphi(Y_{it})$  为分段线性函数,将平均受教育年限在 0~6 年、7~12 年、12 年以上的系数分别确定为 0.180,0.434 和 0.151。平均受教育年限通过每百个劳动力文化状况加权平均计算而得。

在影响变量的效应假设中,张小力等<sup>[27]</sup>发现资源禀赋与资源利用效率之间存在负相关关系,因此假设人均水资源量影响效应为负;年降水量充足一方面可能导致农户节水意识差,另一方面也有利于减少灌溉用水,故影响效应不确定;佟金萍等<sup>[16]</sup>认为地下水灌溉可以减少输水时间和输水损失,提高灌溉效益,因此假设供水总量中地下水所占比例与农业用水效率正相关;水库作为储水设施,其容量扩大可能会改变人们的用水预期,所以假设水库容量对用水效率的影响效应为负;一般认为节水灌溉面积的增加可以促进水资源的有效利用,因此假设节水灌溉面积与有效灌溉面积的比值对农业用水效率的影响效应为正;另外,通常耗水种养比例越高,用水效率就越低,由于京津冀地区粮食和蔬菜各自的耗水量难以准确估算,因此种植结构对农业用水效率的影响方向不确定,而牧渔业所占比重的影响效应则假设为负;农业生产规模扩大可能有助于推广节水灌溉设施,文化程度高的农户更可能具备节水意识和掌握节水技术,而受成本限制,农业生产投入要素价格的提高在一定程度上会刺激生产者的节水积极性,但是收入较高的生产者则可能不会对农业节水投入过多精力,因此假设户均耕地面积、农村劳动力素质和农业生产资料价格指数的影响效应都为正,农村居民家庭人均纯收入的影响效应为负。

## 2.2 模型设定与结果分析

由于基于超效率 DEA 测算的农业用水效率是一个  $>0$  的受限变量,最小二乘回归方法会产生有偏和不一致的估计结果,因此本文采用处理受限变

量的 Tobit 模型分析农业全要素用水效率和影响因素之间的关系:

$$\begin{aligned} \text{TFAWE}_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \text{LN}(\text{PW}_{it}) + \beta_2 \text{LN}(\text{YW}_{it}) + \\ & \beta_3 \text{GW}_{it} + \beta_4 \text{LN}(\text{RE}_{it}) + \beta_5 \text{WS}_{it} + \beta_6 \text{FV}_{it} + \\ & \beta_7 \text{SF}_{it} + \beta_8 \text{PL}_{it} + \beta_9 \text{HR}_{it} + \beta_{10} \text{PR}_{it} + \\ & \beta_{11} \text{LN}(\text{INC})_{it} + \epsilon_{it} \end{aligned}$$

其中,  $\text{TFAWE}_{it}$  表示第  $t$  年第  $i$  地区的农业全要素用水效率,  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_{11}$  为待估参数,  $\epsilon_{it}$  为随机误差。利用 STATA 14.0 采用面板 Tobit 模型进行运算,结果见表 3。

模型的似然比检验和 Wald 检验都拒绝了原假设,拟合优度在 99% 以上,回归效果较好。具体对各因素的影响效应讨论如下:

1) 在自然条件方面,人均水资源量与农业全要素用水效率负相关,这与前文判断的预期方向一致,虽然其在统计上并不显著,但印证了佟金萍等<sup>[16]</sup>的研究发现;年降水量影响效果不显著,这可能是由于京津冀三地属于同一地理单元的关系;供水结构中地下水比例对农业全要素用水效率有显著正向作用,这也与诸多学者的研究结论一致<sup>[11,15,17]</sup>。

2) 在水利设施方面,水库容量与农业全要素用水效率呈显著的负向关系,这与王学渊等<sup>[17]</sup>的研究结果一致,表明水资源贮存力的提高可能会降低农民节约用水的积极性;节水灌溉面积与农业全要素用水效率虽然存在正相关关系,但十分不显著,在一定程度上反映出节水灌溉面积并不能代表节水技术的真正应用情况。

3) 在农业生产状况方面,粮食蔬菜面积比与农业全要素用水效率呈正向关系,但并不显著;牧渔业占农业总产值的比重与农业全要素用水效率呈显著的反向关系,这与预期方向一致;户均耕地面积与农业全要素用水效率存在显著的负相关,不仅与预期方向相反,也与刘七军等<sup>[12]</sup>基于内陆干旱区农户的微观调查结果相反,这可能是由于北京、天津的城市化率较高,耕地资源十分稀缺,虽然户均规模普遍较小,但农业生产管理精细化程度较高。

4) 在社会经济条件方面,农业生产资料价格指数和农村家庭人均纯收入对农业全要素用水效率的影响符合前文预期,分别存在显著的正相关关系和负相关关系;然而,农村劳动力素质与农业全要素用水效率却存在显著的负相关关系,这与先前的预期方向不一致,分析原因可能是京津冀地区教育水平较高的农户更倾向于把精力投入到具有更高投资回

表3 京津冀 TFAWE 影响因素的面板 Tobit 模型估计结果

Table 3 Estimation results of influential factors of TFAWE by panel Tobit model

影响因素	系数	Z 值	P 值
Influential factor	Coefficient	Z value	P value
LN(PW)	-0.087	-1.172	0.241
LN(YW)	0.0351	0.329	0.742
GW	2.032***	3.591	0.000
LN(RE)	-0.677***	-4.197	0.000
WS	0.0486	0.48	0.631
FV	0.0254	1.272	0.203
SF	-1.407**	-2.259	0.024
PL	-4.733***	-4.123	0.000
HR	-0.313*	-1.873	0.061
PR	0.484**	2.021	0.043
LN(INC)	-0.735***	-2.68	0.007
Constant	11.98***	4.456	0.000
Log likelihood	44.098 82		
Wald chi <sup>2</sup>	267.45***	/	0.000

注：\*、\*\*和\*\*\*分别表示在10%、5%和1%的水平上显著。

Note: \*, \*\* and \*\*\* represent the significance at the level of 10%, 5% and 1%.

报率的非农产业,节水意识缺失,导致其农业用水方式比较粗放,用水效率得不到提高,也间接验证了前人研究的非农收入与资源利用效率存在负相关关系的观点<sup>[28]</sup>。

### 3 主要结论与启示

本研究基于经济学视角,运用投入导向型且规模报酬不变的超效率 SBM-DEA 模型,对 2000—2013 年的京津冀地区农业全要素用水效率进行评价,并进一步采用受限面板 Tobit 模型研究了京津冀三地农业全要素用水效率的影响因素,得出以下主要结论与启示:

1)在区域层面,近年来京津冀地区整体的农业全要素用水效率约为 0.7,虽然明显高于全国平均水平,但在产出、技术及其他投入要素保持不变的情况下,达到当前农业产出仍可减少 30%的农业用水量,京津冀农业全要素用水效率存在一定的提升空间。

2)京津冀三地中,北京的农业全要素用水效率呈现上升趋势,并且基本上都处于生产前沿面;天津的农业全要素用水效率虽然有所下降,但仍高于京津冀区域平均水平;河北的农业全要素用水效率明

显低于北京和天津,从而拉低了京津冀区域整体的农业用水效率水平。河北作为京津冀地区农业节水最具潜力的省份,应尽快提高农业用水效率,缩小地区差异,同时要加强对三地农业水资源保护协作,开展农业节水技术的区域推广和应用。

3)根据 Tobit 模型对京津冀农业全要素用水效率影响因素的研究结果,需要特别指出的是:第一,尽管供水结构中地下水比例对农业全要素用水效率有显著的正向影响,但在地下水严重超采的现实条件下,绝不能通过使用更多地下水来提高农业用水效率,而应利用相关节水技术手段来减少输水和用水损失;第二,节水灌溉面积虽然能在一定程度上说明节水设施的推广普及情况,但不能反映节水技术的实际应用状况,因此在提高节水灌溉技术水平的时候更要关注农户在农业生产中是否真正使用了节水设施和采用了节水技术;第三,农村家庭人均纯收入与农村劳动力素质都对农业全要素用水效率有显著的负向影响,在未来京津冀地区推进城镇化的过程中,应注重节水宣传,从微观层面加强对农户用水行为的科学引导,让农户充分意识水资源的紧缺现状,从根本上提高农户自主节水的积极性。

4)本研究主要是基于宏观统计数据,未来应进

一步在京津冀地区开展入户调研,通过实地一手数据了解微观农户实际的生产用水情况,对该区域农业全要素用水效率及农户个人特征、家庭特征、农民用水者协会等其他影响因素进行微观层面的验证和分析。另外,由于农业水价的不确定性和复杂性,本文试图通过农业生产资料价格指数来反映农业水价对农户用水行为的影响,虽然研究结果表明农业生产资料价格指数与农业全要素用水效率呈现显著的正相关关系,但是以此证明农业水价越高、农业用水效率越高并不甚合理,因此在实地调研中如何科学的衡量农业水价对农业用水效率的作用?国家正在推进的农业水价综合改革效果如何?这些问题还有待深入研究。

## 参考文献 References

- [1] 杜芳. 三地互动,共护一泓清水:京津冀协同治水调研[N]. 经济日报,2014-09-26(15)  
Du F. Research on the protection of water resources in Jing-Jin-Ji area[N]. *Economic Daily News*, 2014-09-26(15) (in Chinese)
- [2] 王金霞,徐志刚,黄季焜,Rozelle S. 水资源管理制度改革、农业生产与反贫困[J]. 经济学(季刊),2005,5(1):189-202  
Wang J X, Xu Z G, Huang J K, Rozelle S. Water management reform, agricultural production, and poverty reduction [J]. *China Economic Quarterly*, 2005, 5(1):189-202 (in Chinese)
- [3] 佟丽萍,马剑锋,王慧敏,秦腾,刘高峰. 农业用水效率与技术进步:基于中国农业面板数据的实证研究[J]. 资源科学,2014,36(9):1765-1772  
Tong L P, Ma J F, Wang H M, Qin T, Liu G F. Agricultural water use efficiency and technical progress in China based on agricultural panel data [J]. *Resources Science*, 2014, 36(9):1765-1772 (in Chinese)
- [4] 郑捷,李光永,韩振中. 中美主要农作物灌溉水分生产率分析[J]. 农业工程学报,2008,24(11):46-50  
Zheng J, Li G Y, Han Z Z. Sino-US irrigation water use efficiencies of main crops [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(11):46-50 (in Chinese)
- [5] 李全起,沈加印,赵丹丹. 灌溉频率对冬小麦产量及叶片水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(3):33-36  
Li Q Q, Shen J Y, Zhao D D. Effect of irrigation frequency on yield and leaf water use efficiency of winter wheat [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(3):33-36 (in Chinese)
- [6] Wang Z, Zerihun D, Feyen J. General irrigation efficiency for field water management[J]. *Agricultural Water Management*, 1996, 30(2):123-132
- [7] Ali M H, Shui L T, Yan K C, Eloubaidy A F, Foong K C. Modeling water balance components and irrigation efficiencies in relation to water requirement for double-cropping system [J]. *Agricultural Water Management*, 2000, 46(2):167-182 (in Chinese)
- [8] 李睿冉,刘旭. 国内外灌溉水利用系数研究进展[J]. 节水灌溉,2011(11):56-58  
Li R R, Liu X. Advanced of research on utilization coefficient of irrigation water [J]. *Water Saving Irrigation*, 2011(11):56-58 (in Chinese)
- [9] 周悦,谢屹. 基于生态足迹模型的辽宁省水资源可持续利用分析[J]. 生态学杂志,2014,33(11):3157-3163  
Zhou Y, Xie Y. Analysis of sustainable utilization of water resource in Liaoning Province based on ecological footprint model [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(11):3157-3163 (in Chinese)
- [10] 黄林楠,张伟新,姜翠玲,范晓秋. 水资源生态足迹计算方法[J]. 生态学报,2008,28(3):1279-1286  
Huang L N, Zhang W X, Jiang C L, Fan X Q. Ecological footprint method in water resources assessment [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(3):1279-1286 (in Chinese)
- [11] 徐朗,黄莺. 农业灌溉用水效率及其影响因素分析:基于安徽省蒙城县的实地调查[J]. 资源科学,2012,34(1):105-113  
Xu L, Huang Y. Measurement of irrigation water efficiency and analysis of influential factors: An empirical study of Mengcheng Country in Anhui Province [J]. *Resource Science*, 2012, 34(1):105-113 (in Chinese)
- [12] 刘七军,李昭楠. 不同规模农户生产技术效率及灌溉用水效率差异研究[J]. 中国生态农业学报,2012,20(10):1375-1381  
Liu Q J, Li Z N. Differences in famers' production technical efficiency and irrigation water use efficiency from household micro-data in northwest inland arid regions of China [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(10):1375-1381 (in Chinese)
- [13] 魏玲玲,李万明. 新疆农业用水效率及影响因素分析[J]. 新疆大学学报,2014,42(1):7-10  
Wei L L, Li W M. Agricultural water use efficiency and influencing factors in Xinjiang [J]. *Journal of Xinjiang University*, 2014, 42(1):7-10 (in Chinese)
- [14] 赵连阁,王学渊. 农户灌溉用水的效率差异:基于甘肃、内蒙古两个典型灌区实地调查的比较分析[J]. 农业经济问题,2010(3):71-78  
Zhao L G, Wang X Y. Famers' irrigation water use efficiency variance: A comparative analysis based on field survey of two typical irrigated areas in Gansu and Inner Mongolia [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2010(3):71-78 (in Chinese)
- [15] 佟金萍,马剑锋,王慧敏,秦腾,王倩. 中国农业全要素用水效率及其影响因素分析[J]. 经济问题,2014(6):101-106  
Tong J P, Ma J F, Wang H M, Qin T, Wang Q. Research on agricultural total-factor water use efficiency and ins influencing factors in China [J]. *On Economic Problems*, 2014(6):101-106



- (in Chinese)
- [16] 佟金萍, 马剑锋, 王圣, 秦腾, 王倩. 长江流域农业用水效率研究: 基于超效率 DEA 和 Tobit 模型[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(4): 603-608
- Tong J P, Ma J F, Wang S, Qin T, Wang Q. Research on agricultural water use efficiency in Yangtze River: Based on super-efficiency DEA and tobit model [J]. *Resource and Environment in the Yangtze Basin*, 2015, 24(4): 603-608 (in Chinese)
- [17] 王学渊, 赵连阁. 中国农业用水效率及影响因素: 基于 1997~2006 年省区面板数据的 SFA 分析[J]. 农业经济问题, 2008(3): 10-18
- Wang X Y, Zhao L G. Agricultural water use efficiency and its influencing factors in China: Base on SFA analysis of provincial panel data from 1997 to 2006 [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2008(3): 10-18 (in Chinese)
- [18] 黄晶, 宋振伟, 陈阜. 北京市水足迹及农业用水结构变化特征[J]. 生态学报, 2010, 30(23): 6546-6554
- Huang J, Song Z W, Chen F. Characteristic of water footprint and agricultural water structure in Beijing[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6546-6554 (in Chinese)
- [19] 祁葳, 张东, 宫晓婧. 天津水资源现状和农业用水问题研究[J]. 天津农业科学, 2009, 15(6): 17-19
- Qin W, Zhang D, Gong X J. Present situation of water resource in Tianjin and research on problems and countermeasures of agricultural water resource[J]. *Tianjin Agricultural Sciences*, 2009, 15(6): 17-19 (in Chinese)
- [20] 陈志国, 刘婷婷, 卢艳领. 环首都地区农业用水利用现状及增效研究: 基于河北省的调研分析[J]. 首都经济贸易大学学报, 2015, 17(4): 27-31
- Chen Z G, Liu T T, Hu Y L. Current situation and improvement of agricultural water resource utilization of ring capital area: Based on the survey of Hebei Province [J]. *Journal of Capital University of Economics and Business*, 2015, 17(4): 27-31 (in Chinese)
- [21] 王梦然, 马振兴. 华北地区农业用水效率分析[J]. 南方农业, 2014, 8(27): 78-80
- Wang M R, Ma Z X. Analysis on agricultural water use efficiency in North China[J]. *South China Agriculture*, 2014, 8(27): 78-80 (in Chinese)
- [22] 李双杰, 范超. 随机前沿分析与数据包络分析方法的评析与比较[J]. 统计与决策, 2009(7): 25-28
- Li S J, Fan C. Analysis and comparison on stochastic frontier analysis and data envelopment analysis [J]. *Statistics & Decision*, 2009(7): 25-28 (in Chinese)
- [23] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1): 32-41
- [24] Hu J L, Wang S C. Total-factor energy efficiency of regions in China[J]. *Energy Policy*, 2006, 34(17): 3206-3217
- [25] Hall R E, Jones C I. Why do some countries so much more output per worker than others? [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1999, 114(1): 83-116
- [26] Psacharopoulos G, Patrinos H A. Returns to investment in education: A further update[J]. *Education Economics*, 2004, 12(2): 111-134
- [27] 张力小, 梁竞. 区域资源禀赋对资源利用效率影响研究[J]. 自然资源学报, 2010(8): 1237-1247
- Zhang L X, Liang J. Effect of the regional resource endowment on resource utilization efficiency [J]. *Journal of Natural Resources*, 2010(8): 1237-1247 (in Chinese)
- [28] 刘玉海, 武鹏. 转型时期中国农业全要素耕地利用效率及其影响因素分析[J]. 金融研究, 2011(7): 124-127
- Liu Y H, Wu P. Total-factor cultivated land-use efficiency and its influencing factors in China' agriculture during the transitional period[J]. *Journal of Financial Research*, 2011(7): 124-127 (in Chinese)

责任编辑: 王岩