

罗 冲,姜 博,张文琦,等. 黑龙江省灌溉用水效率时空差异及其节水潜力分析[J]. 江苏农业科学,2017,45(23):254-257.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.23.070

黑龙江省灌溉用水效率时空差异及其节水潜力分析

罗 冲¹,姜 博²,张文琦²,初楠臣²,李晓庆²,王玉迪²

(1. 东北农业大学经济管理学院,黑龙江哈尔滨 150000; 2. 东北农业大学资源与环境学院,黑龙江哈尔滨 150000)

摘要:提高灌溉用水利用效率是节约农业用水的关键。以黑龙江省 12 个地级行政区划单位为研究单元,利用数据包络分析方法(data envelopment analysis,简称 DEA)对 2005—2014 年黑龙江省灌溉用水效率进行测算,分析黑龙江省灌溉用水效率的演变态势,并进一步分析黑龙江省各市的节水潜力,以期为黑龙江省农业水资源高效利用提供科学指导。结果表明,2005—2014 年间,黑龙江省整体灌溉用水效率得分不高,多年平均值为 0.73,而且灌溉用水效率呈不断下降的趋势,包括灌溉用水纯技术效率和灌溉用水规模效率都有不同程度的下降;黑龙江省灌溉用水效率空间差异明显,伊春、牡丹江与黑河的灌溉用水综合效率较高;通过对黑龙江省各市灌溉用水节水潜力的评估发现,黑龙江省灌溉用水节水潜力巨大,其中齐齐哈尔是黑龙江省节水潜力最大的地区。

关键词:黑龙江;灌溉用水效率;节水潜力;时空差异;农业水资源

中图分类号: F323.213 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)23-0254-04

改革开放以来,随着我国的工业迅速发展,人民的生活水平迅速提高,工业用水和生活用水大量增加,农业用水占总用水量的比例也随之下降^[1]。水资源短缺问题的核心是效率问题,研究如何提高有限的农业水资源的利用效率是解决水资源短缺、发展农业生产和保障国家粮食安全的迫切需要^[2]。2015 年,我国农业用水量达到 3 870 亿 m³,其中农业用水占 63.5%。随着我国小康社会的全面建成,生活用水比例将大大增加,农业用水比例进一步减少^[3]。但为确保粮食安全,耕地的灌溉面积继续增加,这就需要更加科学地分配水资源。目前,黑龙江省耕地灌溉用水所占用的水资源占用水总量的 60% 以上,可见,解决黑龙江省水资源问题的关键是解决耕地灌溉用水问题^[4],这不但要加强农业生产中的工程节水、农艺节水措施,还需要进一步研究黑龙江省灌溉用水的时空差异,为合理解决用水矛盾提供理论参考。

关于灌溉用水效率,很多学者运用很多方法从不同的层面研究过此问题^[5-13],但对黑龙江省市域灌溉用水效率的研究较少。本研究拟全面评价黑龙江省水资源利用现状和农业水资源使用情况,剖析黑龙江省农业水资源短缺的严峻形势,对国内外水资源效率方面的研究进行梳理,在认识技术效率内涵、衡量其评价方法、确定其评价指标的基础上,将水资源投入作为和其他资源投入要素一样的内生变量,基于 2005—2014 年黑龙江省各市的农业生产投入产出数据,选取数据包络分析方法(data envelopment analysis,简称 DEA)分析各地

区的灌溉用水技术效率和灌溉用水规模效率,并估算各市的农业节水潜力,以期为今后制定相关政策提供依据。

1 材料与方法

1.1 黑龙江省水资源利用概况

对黑龙江省总用水量、农业用水量、工业用水量及生态用水量 4 个要素进行统计分析。在 2005—2014 年,黑龙江省农业用水量占总用水量的 70% 以上,并且还在增长,10 年间,农业用水量从 200 亿 m³ 增加到 300 亿 m³,增幅为 50%。所以实现农业用水可持续发展是黑龙江省实现可持续发展的重要一环,而农业用水大部分用于灌溉,所以研究黑龙江省灌溉用水效率是非常有意义的。

1.2 DEA 模型

DEA 方法的主要优点在于可以使用多个投入、产出指标,基于研究对象,使用 DEA 方法能更加全面地反映影响灌溉效率要素的多样性,并且可以对灌溉用水非效率的区域提出改善的方向^[14]。为反映农业生产过程中规模报酬可变的实际情况,选用规模报酬可变的 BCC 模型来分析黑龙江省的灌溉用水效率。

$$D_{\varepsilon} \begin{cases} \min \theta - \varepsilon [\hat{e}^T s^- + e^T s^+]; \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^k x_j \lambda_j + s^- = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^k y_j \lambda_j - s^+ = y_0, \lambda_j \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \\ \sum_{j=1}^k \lambda_j = 1, j = 1, 2, 3, \dots, k \end{cases}$$

并且, $\hat{e}^T = (1, 1, 1, \dots, 1) \in E_m$, $e^T = (1, 1, 1, \dots, 1) \in E_s$, ε 为阿基米德无穷小量。若线性规划(D_{ε})的最优解用 λ^0 、 s^{-0} 、 s^{+0} 、 θ^0 表示,则有:

(1) 若 $\theta^0 = 1$, 则决策单元 DMU_{j_0} 为弱 DEA 有效(BCC);

(2) 若 $\theta^0 = 1$, 并且 $s^{-0} = 0$, $s^{+0} = 0$, 则决策单元 DMU_{j_0} 为 DEA 有效(BCC)。

收稿日期:2016-07-13

基金项目:国家自然科学基金(编号:41101153、41571167);东北农业大学土地资源管理学科团队资助项目。

作者简介:罗 冲(1993—),男,河南驻马店人,博士研究生,主要从事农村区域发展与农业遥感研究。E-mail: 1480207130@qq.com。

通信作者:姜 博,博士,副教授,硕士生导师,主要从事城市与区域发展研究。E-mail: jiangbo_1979@163.com。

1.3 分向量效率模型

由于只考虑水资源投入的技术效率,而不考虑任何其他投入要素的技术效率,因此需要引入 Fare 提出的“分向量”技术效率^[15]。基于规模报酬可变模型(variable return scale,简称 VRS)的第 i 个投入的分向量技术效率由以下线性规划问题决定:

$$\begin{aligned} & \min_{\theta^k} \theta^k; \\ & -y_i + Y\lambda \geq 0; \\ & \theta^k X_i^k - X^k \lambda \geq 0; \\ & X_i^{n-k} - X^{n-k} \lambda \geq 0; \\ & N1'\lambda = 1; \\ & \lambda \geq 0. \end{aligned}$$

转换成

在 DEA 模型 Sub-Vector 形式中,第 1 项“ $-y_i + Y\lambda \geq 0$ ”和第 4 项“ $N1'\lambda = 1$ ”与 VRS 模型定义相同,第 2 项约束条件“ $\theta^k X_i^k - X^k \lambda \geq 0$ ”中 X_i^k 表示第 i 个生产决策单元第 k 项投入。在第 3 项约束条件“ $X_i^{n-k} - X^{n-k} \lambda \geq 0$ ”中, X_i^{n-k} 和 X^{n-k} 表示除

第 k 种投入之外,其他所有的投入要素之和。 θ^k 是第 i 个生产决策单元的第 k 种投入的分向量纯技术效率,它表示的是在保证现有产出水平不变的前提下,比起与其对应的最佳生产点可以减少灌溉水资源投入的比例。将式中约束条件“ $N1'\lambda = 1$ ”去掉,便可得到基于规模报酬不变模型(constant return scale,简称 CRS)的分向量总技术效率。

1.4 数据来源

所用数据来源于《黑龙江统计年鉴 2006—2015》《中国农村统计年鉴 2006—2015》《中国区域经济统计年鉴 2006—2015》。

2 结果与分析

2.1 黑龙江省灌溉用水纯技术效率

利用 Onfront 2.1 软件分析,通过 DEA 线性规划模型的运算得出规模报酬可变的黑龙江省灌溉用水效率(表 1)。规模报酬可变假设下的灌溉用水技术效率测算的是除去规模效率影响之后的纯技术效率。

表 1 规模报酬可变假设下黑龙江省灌溉用水纯技术效率

地区	纯技术效率										均值
	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	
哈尔滨	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
齐齐哈尔	0.90	0.86	0.73	0.84	0.79	0.61	0.57	0.56	0.47	0.45	0.65
鸡西	0.98	0.96	0.79	1.00	0.73	0.67	0.75	0.74	0.65	0.68	0.77
鹤岗	1.00	1.00	1.00	0.97	1.00	1.00	0.98	1.00	0.99	1.00	0.99
双鸭山	1.00	1.00	0.81	0.64	0.67	0.66	0.64	0.59	0.56	0.55	0.68
大庆	0.62	0.60	0.48	0.54	0.57	0.57	0.60	0.57	0.53	0.56	0.55
伊春	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
佳木斯	1.00	1.00	0.93	0.89	0.80	0.80	0.91	0.82	0.85	1.00	0.88
七台河	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
牡丹江	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
黑河	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
绥化	0.87	0.88	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98
均值	0.94	0.94	0.89	0.90	0.88	0.85	0.87	0.86	0.83	0.85	0.87

由表 1 可看出,在 2005 年到 2014 年,哈尔滨、鹤岗、伊春、七台河、牡丹江与黑河这 6 个地区的灌溉用水纯技术效率等于或接近 1.00,这表明黑龙江省有一半的地区灌溉效率处于生产前沿面,而且黑龙江省分布在各个方位,这表明灌溉效率值与该市所处的方位没有必然联系。通过比较 2005 年到 2014 年的灌溉用水纯技术效率,2014 年全省的灌溉效率要比 2005 年低 0.09。齐齐哈尔、鸡西、双鸭山、大庆与佳木斯的灌溉效率基本呈下降趋势,只有绥化的灌溉效率呈上升趋势,大庆一直是黑龙江省灌溉效率最低的地区,而且没有改善的趋势;2005 年绥化的灌溉效率为 0.87,到 2007 年及以后灌溉效率一直为 1.00,说明绥化的灌溉效率有明显改善。

从 2005 年到 2014 年黑龙江省各地区的平均值来看,黑龙江省各地区的灌溉效率还是存在明显差异的。其中哈尔滨、鹤岗、伊春、七台河、牡丹江、黑河与绥化处于农业生产可能性集的前沿面上,在灌溉用水纯技术效率方面实现灌溉用水的最佳使用,其他地区还处于灌溉用水效率相对低下的状态,其中大庆市的灌溉用水效率平均值最低,为 0.55,这意味着大庆市在现在农业产出水平下可以节约 45% 的灌溉用水。在 2005—2014 年,按照农业灌溉用水纯技术效率排序较靠前

的有哈尔滨、鹤岗、伊春、七台河、牡丹江、黑河、绥化,相对较靠后的有佳木斯、鸡西、双鸭山、齐齐哈尔、大庆。

2.2 黑龙江省灌溉用水规模效率

规模效率评价的是生产决策单元是否是在最佳规模状态下生产的。决策单元的效率值越高,越接近最佳规模生产状态。利用 Onfront 2.1 软件分析 DEA 的线性规划问题,可得出各市的规模效率情况(表 2)。

由表 2 可以看出,大庆、伊春、牡丹江、黑河的灌溉用水达到最佳规模,其他地区的灌溉用水均没有达到最佳规模。根据规模效率的原理,假如一个地区的规模效率小于 1,那么就需要调整这一区域的输水规模,使这一地区的输水规模达到最佳状态。鹤岗的灌溉用水规模效率最低,并且在波动中有下降趋势,2014 年鹤岗市的灌溉用水规模效率只有 0.43,说明要让鹤岗市的灌溉用水规模效率达到最高值,该地区的输水规模还需要提高 57%。2014 年,按农业灌溉用水规模排序由高到低的有伊春(牡丹江、黑河)、大庆、鸡西、双鸭山,这些地区的灌溉用水规模效率都大于 0.90,均处于较高水平,其次是齐齐哈尔、哈尔滨、绥化、佳木斯、七台河,这些地区的灌溉用水规模效率在 0.5~0.9,处于中等水平,最低的为鹤岗,

表 2 黑龙江省灌溉用水规模效率

地区	规模效率										均值
	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	
哈尔滨	1.00	1.00	0.90	0.83	0.93	0.85	0.87	0.76	0.78	0.78	0.85
齐齐哈尔	0.88	0.86	0.60	0.55	0.56	0.65	0.72	0.72	0.77	0.79	0.69
鸡西	0.98	0.96	0.99	1.00	0.90	0.94	0.91	0.93	0.94	0.94	0.94
鹤岗	0.79	0.77	0.52	0.50	0.46	0.43	0.48	0.46	0.40	0.43	0.49
双鸭山	0.98	0.96	0.96	1.00	0.98	0.98	0.98	0.97	0.95	0.93	0.96
大庆	0.95	0.94	1.00	1.00	0.97	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99	0.98
伊春	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
佳木斯	1.00	1.00	0.74	0.71	0.71	0.71	0.67	0.72	0.70	0.67	0.73
七台河	0.81	0.80	0.76	0.96	0.69	0.66	0.64	0.57	0.41	0.42	0.65
牡丹江	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
黑河	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99
绥化	0.96	0.94	0.81	0.78	0.74	0.76	0.85	0.77	0.70	0.67	0.78
均值	0.94	0.93	0.85	0.86	0.82	0.83	0.84	0.82	0.80	0.80	0.83

灌溉用水规模效率低于 0.5,处于最低水平。

2.3 黑龙江省灌溉用水综合技术效率

综合技术效率主要考察一个地区在农业生产过程中,每个投入要素的技术利用状况和各个要素资源的配置状况,一

个地区农业生产资源配置是否协调合理,最新技术是否应用于生产要素上,都能通过综合技术效率得分得到体现。利用 Onfront 2.1 软件分析,得出各市综合技术效率情况(表 3)。

表 3 黑龙江省灌溉用水综合技术效率

地区	综合技术效率										均值
	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	
哈尔滨	1.00	1.00	0.90	0.83	0.93	0.85	0.87	0.76	0.78	0.78	0.86
齐齐哈尔	0.76	0.74	0.44	0.47	0.45	0.40	0.41	0.41	0.36	0.35	0.45
鸡西	0.95	0.93	0.78	1.00	0.65	0.64	0.68	0.69	0.61	0.64	0.74
鹤岗	0.78	0.77	0.52	0.48	0.46	0.43	0.47	0.46	0.40	0.43	0.49
双鸭山	0.97	0.96	0.78	0.64	0.66	0.65	0.63	0.57	0.54	0.52	0.66
大庆	0.58	0.57	0.47	0.54	0.55	0.56	0.59	0.55	0.52	0.55	0.54
伊春	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
佳木斯	1.00	1.00	0.69	0.63	0.57	0.57	0.61	0.59	0.60	0.67	0.66
七台河	0.81	0.80	0.76	0.96	0.69	0.66	0.64	0.57	0.41	0.42	0.66
牡丹江	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
黑河	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99
绥化	0.84	0.83	0.81	0.78	0.74	0.76	0.85	0.77	0.70	0.67	0.76
均值	0.89	0.88	0.76	0.78	0.73	0.71	0.73	0.70	0.66	0.67	0.73

由表 3 可见,伊春、牡丹江和黑河这 3 个地区每年的灌溉用水综合技术效率整体等于或接近 1.00,证明这 3 个地区的灌溉用水是比较均衡的。除处于前沿面的伊春、牡丹江和黑河 3 个地区之外,其他地区的 DEA 基本小于 1.00。其中,鸡西、佳木斯、绥化、双鸭山与七台河是中等效率地区,灌溉用水综合技术效率处于 0.60~0.80 之间,而齐齐哈尔、鹤岗、大庆为低效率地区,灌溉用水综合技术效率低于 0.60。通过分析全省的均值发现,黑龙江省的综合技术效率呈下降趋势,灌溉用水综合技术效率从 2005 年的 0.89 下降到 2014 年的 0.67,下降了 0.22,说明与现有生产条件下可行的最小灌溉水投入量相比,黑龙江省农业生产浪费了将近 33% 的水资源。

2.4 黑龙江省各市节水潜力评估

由于技术效率测量的是实际灌溉用水量与在产出水平和其他要素投入水平都不变的情况下,最小可能灌溉用水投入之间的差距。由于资源总是流向效益更高的部门,而水资源可利用总量在一定时期内是不变的,随着工业的快速发展和人们生活水平的提高,工业用水和生活用水量增加,必定挤占

农业灌溉用水,灌溉用水占总用水量的比例已出现明显下降趋势。因此,有必要在计算出灌溉用水技术效率的基础上估算出各地区的农业生产节水潜力。设农业现状用水为 W ,灌溉用水技术效率为 $IWUTE$,那么技术无效度为 $1 - IWUTE$,农业最佳用水量 $W_1 = W \times IWUTE$,那么农业可节约用水量 $WS = W \times (1 - WTE)$ 。根据以上计算方法估计 2014 年节水潜力。

由表 4 可以看出,齐齐哈尔市的灌溉用水总量不是黑龙江省最多的,但其农业节水潜力是最高的,占全省可节约灌溉用水的 31.53%。其次为大庆、哈尔滨、绥化、佳木斯,最大可节约灌溉用水量都超过 12 亿 m^3 。伊春、牡丹江与黑河的灌溉用水在现有的技术条件下已经达到了合理利用,在保证农业产出确定的情况下没有减少灌溉用水量的潜力。这些地区如果要节约农业用水量,则需要提高资源配置效率,即通过优化水资源与其他资源投入比例来实现。总体来说,哈尔滨、大庆、齐齐哈尔等 3 市节水潜力约占全省节水潜力的 60%,说明哈尔滨、大庆、齐齐哈尔 3 市不仅是用水大户,而且也是节水大户。

表 4 2014 年黑龙江省各市节水潜力评估

地区	灌溉用水量 (亿 m ³)	最佳灌溉用水量 (亿 m ³)	可节约灌溉用水量 (亿 m ³)	占全省节水潜力比例 (%)
哈尔滨	62.723 207 55	48.924 101 890	13.799 105 660	12.864 101 0
齐齐哈尔	52.039 528 30	18.213 834 910	33.825 693 400	31.533 722 0
鸡西	13.744 528 30	8.796 498 113	4.948 030 189	4.612 760 1
鹤岗	12.397 924 53	5.331 107 547	7.066 816 981	6.587 981 5
双鸭山	7.517 547 17	3.909 124 528	3.608 422 642	3.363 922 1
大庆	36.818 490 57	20.250 169 810	16.568 320 750	15.445 679 0
伊春	4.276 698 11	4.276 698 113	0	0
佳木斯	39.295 188 68	26.327 776 420	12.967 412 260	12.088 762 0
七台河	1.633 584 91	0.686 105 660	0.947 479 245	0.883 279 6
牡丹江	7.145 660 38	7.145 660 377	0	0
黑河	5.656 415 09	5.656 415 094	0	0
绥化	41.021 320 75	27.484 284 910	13.537 035 850	12.619 789 0

3 结论

在借鉴前人研究的基础上,运用数据包络分析方法的 DEA-BCC 模型,对黑龙江省以及 12 个地级市的灌溉用水效率进行分析与评价,主要得到以下结论:

(1)2005—2014 年间,黑龙江省整体灌溉用水综合技术效率得分不高,多年平均值为 0.73,且整体呈下降的趋势,包括灌溉用水纯技术效率和灌溉用水规模效率都有不同程度的下降。从灌溉用水纯技术效率来看,黑龙江省的平均值从 2005 年的 0.94 下降到 2014 年的 0.85,10 年间下降 0.09,说明黑龙江省这些年的灌溉技术提高幅度跟不上农业生产的提高幅度。从灌溉用水规模效率来看,黑龙江省的平均值从 2005 年的 0.94 到 2014 年的 0.80,下降了 0.14,下降幅度比灌溉用水纯技术效率更大,表明黑龙江省灌溉用水规模从相对协调逐步走向失调。2005—2014 年,黑龙江省整体灌溉用水综合技术效率从 0.89 变为 0.67,下降 0.22,下降较为明显,说明黑龙江省灌溉用水效率的下降趋势非常明显,亟须遏制住其下降势头,提高整体灌溉用水效率。

(2)全省各市之间的灌溉用水效率也有明显的不同。其中,从灌溉用水综合技术效率来看,伊春、牡丹江与黑河这 3 个市的灌溉用水效率在这几年里或多数年份里一直处于有效或高效的地位,而这些灌溉用水效率较高的区域要么是降水比较多、水资源分布比较广的地区,要么是经济比较发达、农业水利设施比较完善的地区。从灌溉用水纯技术效率来看,在 2005—2014 年中,哈尔滨、鹤岗、伊春、七台河、牡丹江与黑河这 6 个地区整体得分为 1.00 或 0.99,说明这些地区能高效利用农业生产投入的水资源要素。从灌溉用水规模效率来看,大庆、伊春、牡丹江与黑河等地区的得分在大多数年份里为 1.00 或接近 1.00,说明这些地区的灌溉用水规模比较协调。通过对比分析各地方技术灌溉用水综合效率、纯技术效率和规模效率,可以发现,一些地区农业生产效率较低,主要是规模效率的作用,如绥芬河市;而其他一些地区,主要是纯技术效率低造成的,如同江市、富锦市、密山市。为此,要想提高灌溉水利用效率,就要根据不同地区的情况相应地提高其纯技术效率和规模效率。

(3)通过对黑龙江省各市灌溉用水节水潜力的评估可以发现,齐齐哈尔市是黑龙江省节水潜力最高的地区,节水潜力

占全省可节约灌溉用水的 31.53%。其他地区节水潜力由高到低为大庆、哈尔滨、绥化、佳木斯,最大可节约灌溉用水量均超过 12 亿 m³。哈尔滨、大庆、齐齐哈尔等 3 市节水潜力占全省节水潜力的 60%,可见这 3 市不仅是用水大户,而且也是节水大户。

参考文献:

- [1]马红侠. 试论灌溉渠道测量水技术推广应用[J]. 建材与装饰, 2015(20):241-242.
- [2]邹君,杨玉蓉,毛德华. 虚拟水战略背景下中国水资源安全形势与对策[J]. 人民黄河,2008,30(10):9-11.
- [3]周翠宁,刘武. 黑龙江省农业水资源可持续性分析[J]. 水利天地,2014(10):14-15.
- [4]高子清,朱玉芬. 黑龙江省农业水资源利用研究[J]. 经济研究导刊,2012(24):131-132.
- [5]王震,吴颖超,张娜娜,等. 我国粮食主产区农业水资源利用效率评价[J]. 水土保持通报,2015,35(2):292-296.
- [6]柳雪斌. 张掖市甘州区农业水资源利用效率研究[D]. 兰州:兰州财经大学,2015.
- [7]张慧,刘秋菊,史淑娟. 黄河流域农业水资源利用效率综合评价研究[J]. 气象与环境科学,2015,38(2):72-76.
- [8]张娜娜,王海涛,吴颖超,等. 基于数据包络分析模型的江苏省农业水资源利用效率评价[J]. 水土保持通报,2015,35(4):299-303.
- [9]李志杰. 阿拉善盟腰坝灌区农业水资源利用效率分析[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2015.
- [10]雷波. 政府干预与市场行为对实现节水农业的作用[J]. 节水灌溉,2004(2):36-38.
- [11]姚志春,姚永晋. 发展高效节水灌溉综合效率评价研究——以甘肃省为例[J]. 兰州财经大学学报,2015(5):94-99.
- [12]刘军,朱美玲. 农业用水效率评价指标体系研究[J]. 节水灌溉,2013(5):61-63.
- [13]周瑜. 基于层次分析法的农业水资源利用效率评价[J]. 地球,2014(9):453-458.
- [14]杨朔,李世平,罗列. 陕西省耕地利用效率及其影响因素研究[J]. 中国土地科学,2011,25(2):47-54.
- [15]Nony P, Boissel J P, Lievre M, et al. Evaluation of the effect of phosphodiesterase inhibitors on mortality in chronic heart failure patients[J]. European Journal of Clinical Pharmacology, 1994, 46(3):191-196.