

西安市农业灌溉水效益分摊系数及 效益的时间变化研究

成波, 李怀恩, 徐梅梅

(西安理工大学 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 陕西 西安 710048)

摘要: 基于2000-2014年西安市统计年鉴、陕西省水资源公报以及陕西省水利统计年鉴等相关资料,采用能值分析基本理论分析计算了西安市2000-2014年的灌溉效益分摊系数以及灌溉用水产生的效益值,以此为基础分析了灌溉水效益分摊系数以及效益值的时间变化过程,同时,采用回归分析法分析了效益分摊系数的影响因素。结果表明:近15年来西安市的农业灌溉效益分摊系数多年平均值为0.34,并且在时间上总体呈下降趋势;单方灌溉水效益随着时间变化持续增大,总效益的变化趋势与单方灌溉水效益基本一致;灌溉用水、降水、人力投入、农药化肥施用、机械动力投入等是影响西安市灌溉用水效益分摊系数的主要因素,人力投入及灌溉用水与灌溉效益分摊系数存在着正相关关系,其他因子却与农业灌溉分摊系数有负相关关系。

关键词: 灌溉效益分摊系数; 能值分析法; 时间变化; 单方灌溉水效益; 效益分析

中图分类号: TV93; S274

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)01-0244-05

Study on the temporal variations of benefit sharing coefficient and benefit of agricultural irrigation water in Xi'an

CHENG Bo, LI Huaen, XU Meimei

(Xi'an University of Technology State Key Laboratory of Ecohydraulic Engineering in Cultivation Base, Shaanxi Xi'an 710048)

Abstract: According to some related materials such as the Statistical Yearbook of Xi'an, Water Resources Bulletin of Shaanxi Province and Statistical Yearbook of Shaanxi Province Water Conservancy, the basic theory of energy value analysis was used in this paper to calculate the irrigation benefit sharing coefficient and the benefit value of irrigation water of Xi'an from 2000 to 2014 as well as their temporal variations. Meanwhile, the regression analysis was applied to analyze the influence factors of the benefit sharing coefficient. The results showed that, the multi-year average value of annual agricultural irrigation benefit sharing coefficient in Xi'an was 0.34 in the past 15 years and gradually decreased with time. The unilateral irrigation water benefit increased continuously with the time change, the change of total benefit was basically consistent with the benefit of unilateral irrigation water benefit. Irrigation water, precipitation, human input, pesticide and fertilizer application, mechanical power input were the main factors that affected the irrigation benefit sharing coefficient of irrigation water in Xi'an, of which, there was a positive correlation between human input and irrigation benefit sharing coefficient, and there were had negative correlations between the other factors and it.

Key words: irrigation benefit sharing coefficient; energy value analysis method; time variation; unilateral irrigation water benefit; benefit analysis

灌溉效益分摊系数是指将由于灌溉增产的效益在综合措施(水利、植保、种子等措施)下进行效益分摊。农作物生产过程中,难以看出灌溉对作物产量的影响,而且灌溉是作物生产过程中必不可少的环节。在干

旱和半干旱地区,水资源量比较匮乏,且一般的灌溉形式存在严重浪费水资源的问题,为了解决这些问题,研究农作物灌溉水效益,从而定量分析水资源对作物产生的效益是非常必要的。根据现有的计算方法,通常

收稿日期:2016-08-11; 修回日期:2016-11-23

基金项目:国家自然科学基金项目(51479262)

作者简介:成波(1989-),男,陕西渭南人,硕士研究生,研究方向:生态水文和水资源保护

通讯作者:李怀恩(1960-),男,陕西商南人,教授,博士生导师,主要从事水资源保护研究。

确定灌溉水效益的途径是分摊系数法,分摊系数的确定是该种计算方法的核心^[1]。近年来,学者进行了灌溉效益分摊系数的理论和试验研究。如张和喜等^[2]根据黔中地区不同典型水文年的不同农作物生产试验,分析研究确定了主要农作物灌溉效益分摊系数;杜贞栋等^[3]根据当地情况研究了长把梨、苹果、黄杏 3 种主要果树的灌溉效益分摊系数;梁亚伟^[4]运用灌溉效益分摊系数法计算了坪地水库灌区不同水文年型的灌溉效益;袁再健等^[5]采用能值分析法计算了河北省的灌溉效益分摊系数的时空变化;罗乾等^[6]采用能值理论初步分析了连云港市灌溉效益分摊系数。由于计算灌溉效益分摊系数一般方法存在局限性,蔡守华等^[1]提出了 3 种新型的计算方法来计算灌溉效益分摊系数,如水分生产函数。目前对灌溉用水效益分摊系数的研究大多在某一农作物(或某一灌区),时间上多为某年或多年平均值,而且研究方法多样,计算结果同样存在一定的差异,也缺少对其影响因素的深入探讨。

西安市是陕西省的主要产粮区域之一,也是我国缺水最为严重的地区之一。西安市农业用水量占用水总量的 45% 左右,地下水的严重超采导致地下水位持续下降进而引起该地区大面积沉降。本研究基于能值法,从时间尺度上分析西安市近年来的灌溉效益分摊系数,可以看出由于现代化农业的发展对灌溉水效益分摊系数的影响,也可以为发展节水高效农业提供科学依据;同时,计算农业灌溉用水产生的效益值和单方灌溉水效益计算,这样可以看出水对农业产值的贡献和水价的不合理性(偏低),提高人们对水资源的重视程度,减少水资源的严重浪费,也能提供用水决策(和其他部门用水产生效益值作比较),用以进行产业优化配置以及用水合理性配置优化,从而达到经济发展的最大潜力。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

西安市地处陕西省的关中地区,其地理坐标为:

107°40' ~ 109°49' (东经) 和 33°39' ~ 34°45' (北纬)。西安市东以零河和灞源山地为界;西与太白县、眉县为界;南以柞水县、宁陕县以及佛坪县为边界;北侧以渭河为界,总面积为 9 983 km²。西安市地区属于大陆性季风性气候,四个季节分明。冬季相对寒冷,且少雨雪、多雾;春季相对温暖、气候比较多变;夏季较热,而且降雨较多,雷雨大风也比较多;秋季气温下降速度比较快,秋淋相对明显。西安市多年降水量大概在 522.4 ~ 719.5 mm 之间,从北向南降雨量逐渐增大,其中 7 月、9 月两个月份为两个明显降水旺季。年日照时数通常在 1 646.1 到 2 114.9 h 之间。西安市区域内农业相对发达,农作物种类繁多,主要包括小麦、玉米、棉花、油料、蔬菜和水果等。

1.2 研究方法

1.2.1 投入元素的能值的确定 根据农作物的生产系统投入元素以及 Odum^[7]“能量系统语言”,绘制该地区的能值流动图^[8],见图 1。

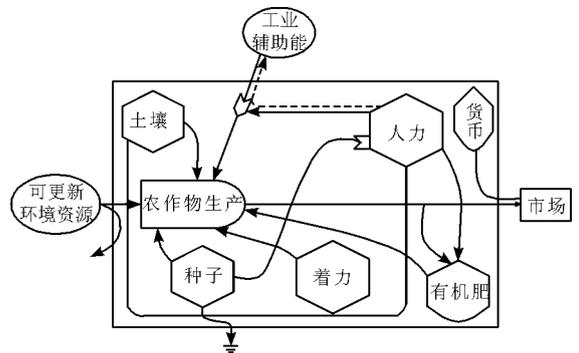


图 1 西安市农业生产系统能值流动简图^[9]

建立能值分析表就是为了将数据资料的单位转换为能值单位统一衡量与分析,以便进行能值计算。能值计算采用以下公式(1)^[10]:

$$EM = \tau \cdot B \tag{1}$$

式中:EM 是转化的能值,sej; τ 是能量或物质质量的能值转化率(如下表 1 所示),sej/J 或 sej/g; B 为能量或物质的质量,J 或 g。

表 1 农业生产系统能值转换率

sej/J, sej/t

太阳能/ J	雨水势能/ J	雨水化学 能/J	表土损失/ J	农业机械/ J	柴油/J	氮肥/t	灌溉水/ J	磷肥/ t	钾肥/ t	小麦/ J	玉米/ J
1	1.54 × 10 ⁴	1	6.25 × 10 ⁴	7.50 × 10 ⁷	6.60 × 10 ⁴	4.62 × 10 ¹⁵	2.90 × 10 ⁴	1.78 × 10 ¹⁶	2.69 × 10 ¹⁵	6.80 × 10 ⁴	8.52 × 10 ⁴
农药/ t	薄膜/ t	复合肥/ t	油料/ J	劳力/ J	有机肥/ J	种子/ J	蔬菜/ J	棉花/ J	稻谷/ J	水果/ J	
1.62 × 10 ¹⁵	3.80 × 10 ¹⁴	2.80 × 10 ¹⁵	6.90 × 10 ⁵	3.80 × 10 ⁵	2.70 × 10 ⁴	2.00 × 10 ⁵	2.70 × 10 ⁴	8.00 × 10 ⁵	8.30 × 10 ⁴	5.30 × 10 ⁴	

注:本文转换率来自文献[7,8,11-13]。

1.2.2 灌溉效益分摊系数 农业生产系统能值分析是以能值作为量纲去研究农业系统生产过程中投入以及产品产出过程中的能值流,综合地分析能量流和物质流的动态流动过程以及它们之间的相互关系,在此基础上,农业生产过程中的灌溉用水能值投入量和总能值投入量之比定义为灌溉效益分摊系数^[9]。基于2000-2014年西安市统计年鉴和陕西省水资源公报以及陕西省水利统计年鉴等相关资料,应用能值分析基本理论计算西安市的灌溉效益分摊系数。具体公式如下:

$$\text{灌溉效益分摊系数} = \frac{\text{农业灌溉总投入总能值}}{\text{农作物生产系统投入总能值}} \quad (2)$$

1.2.3 经济效益计算 西安市农业效益等于灌溉效益分摊系数乘以西安市农业的总产值,而单方灌溉水效益则是用农业总效益除以用水量,如下式所示:

$$\text{灌溉用水产生效益} = \text{农业灌溉效益分摊系数} \times \text{农业系统输出总产值} \quad (3)$$

$$\text{单方灌溉水效益} = \frac{\text{灌溉用水产生的效益}}{\text{灌溉用水量}} \quad (4)$$

2 结果分析

2.1 能值流计算

利用公式(1)计算可以得到2000-2014年西安市的农业生产系统能值,如表2所示。

表2 西安市2000-2014年农业生产系统能值投入及总产出能

年份	太阳能/ 10 ¹⁹	雨水化学能/ 10 ¹⁵	雨水势能/ 10 ²⁰	地心旋 转能/ 10 ¹⁹	灌溉用 水能值/ 10 ²¹	表土 损失/ 10 ¹⁹	农用总 动力/ 10 ²⁰	氮肥/ 10 ²⁰	磷肥/ 10 ²⁰	钾肥/ 10 ¹⁹	复合 肥/ 10 ²⁰	柴油/ 10 ²⁰	薄膜/ 10 ¹⁷	农药/ 10 ¹⁸	劳力/ 10 ²⁰	种子/ 10 ²⁰	总能 值/ 10 ²¹	总产 出能/ 10 ²¹
2000	1.67	7.87	2.64	2.63	1.64	1.09	5.34	4.76	3.32	2.77	1.10	1.60	5.93	2.53	3.53	3.58	4.27	2.92
2001	1.63	5.77	1.94	2.56	1.66	1.06	5.38	4.80	3.20	2.67	1.22	1.71	7.50	3.20	3.48	3.48	4.22	2.82
2002	1.60	5.68	1.91	2.52	1.56	1.04	5.46	4.86	3.11	2.71	1.35	1.28	6.25	2.67	3.43	3.43	4.09	2.78
2003	1.56	12.04	4.05	2.45	1.52	1.01	5.54	4.93	3.15	2.83	1.39	1.40	5.53	2.36	3.51	3.36	4.30	2.52
2004	1.53	6.84	2.30	2.40	1.40	0.99	5.70	5.41	3.26	2.31	1.46	1.36	5.91	2.52	3.42	3.44	4.07	2.79
2005	1.51	7.18	2.41	2.37	1.28	0.98	5.96	4.97	3.45	2.97	1.60	1.54	6.13	3.01	3.29	3.46	3.99	3.03
2006	1.49	7.32	2.46	2.35	1.26	0.97	6.06	5.09	3.52	2.73	1.67	1.51	6.16	3.13	3.26	3.51	4.01	2.89
2007	1.48	9.01	3.03	2.32	1.24	0.96	6.25	5.06	3.44	2.98	1.75	1.52	7.97	2.34	3.22	3.48	4.06	2.84
2008	1.47	6.76	2.27	2.32	1.20	0.96	7.22	5.17	3.36	2.97	1.85	1.55	8.06	2.37	3.09	3.45	4.04	3.08
2009	1.46	8.44	2.83	2.30	1.30	0.95	6.97	5.19	3.29	2.88	1.99	1.56	8.14	2.15	2.95	3.46	4.16	3.13
2010	1.44	6.37	2.14	2.27	1.26	0.94	7.13	5.03	3.26	3.13	2.21	1.88	9.31	2.01	2.83	3.43	4.09	3.34
2011	1.42	9.10	3.06	2.23	1.17	0.92	7.70	5.10	3.21	3.15	2.29	1.87	9.63	2.01	2.92	3.21	4.15	2.84
2012	1.39	5.20	1.75	2.19	1.20	0.91	7.94	5.25	3.21	3.70	2.53	1.75	10.20	2.03	2.77	3.20	4.09	2.93
2013	1.38	6.00	2.02	2.17	1.16	0.90	8.28	5.06	3.21	3.30	2.61	1.90	10.18	1.96	2.67	3.19	4.09	2.84
2014	1.36	7.84	2.64	2.14	1.21	0.88	8.53	5.36	3.29	3.50	2.70	2.28	10.10	1.98	2.54	3.13	4.30	2.78

注:(1)表中原始数据来自《西安市统计年鉴》;(2)总能值为雨水势能、雨水化学能、太阳能三者之中的最大值和其他投入元素能值之和。

2.2 灌溉效益分摊系数的时间变化

根据表2中的计算结果以及公式(2),得到西安市的灌溉效益分摊系数计算结果,西安市2000-2014年灌溉水效益分摊系数变化的趋势如图2所示。从图2的趋势线变化过程可以看出,西安市灌溉水效益分摊系数逐步减少,灌溉水效益分摊系数从2000年的0.38减少到2014年的0.28。与罗乾等^[6]计算的灌溉水效益分摊系数比较接近,同时与袁再建等^[5]计算的河北灌溉水效益分摊系数随时间减少的趋势是一致的,西安市的灌溉水效益分摊系数多年平均值为0.34。

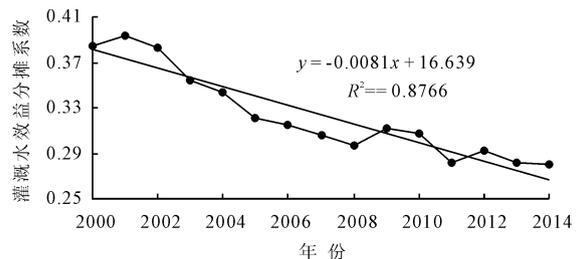


图2 2000-2014年西安市灌溉水效益分摊系数变化趋势

2.3 效益分摊系数变化过程原因分析

影响作物生长的因子主要有:灌溉、化肥、农机、人力及降雨等,为了能够看出各影响因子在作物生

产过程中所能起到的作用值大小,将 2000 - 2014 年各个影响因子影响作物产量能值占总能值的比例变化过程绘制于图 3。

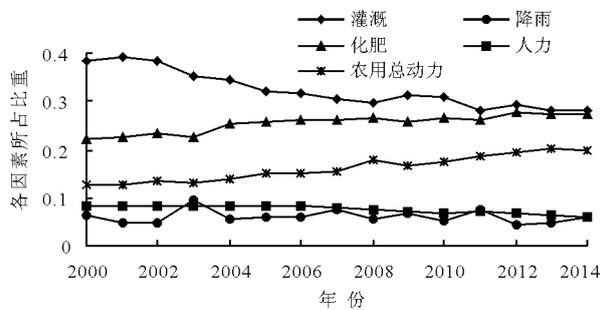


图 3 各影响因素在农业生产过程中的贡献率

从图 3 可以看出,影响作物产量的主要影响因子在西安市种植业产量贡献排名:灌溉 > 化肥 > 农机 > 人力 > 降雨,其中,灌溉水在种植业生产过程中起的作用占主导地位,但随着时间的变化过程,其贡献值持续地减少;降雨和人力在作物生产过程中所起的作用基本持平,变化幅度不大;相反,化肥和农用总动力所起的作用却在不断的增加。而灌溉水在农业产值中起的作用逐渐减少,在研究时段初期,灌溉水比化肥起的作用大很多,而随着时间的推移和现代农业化的发展,化肥用量与灌溉水在农业生产中所起的作用逐渐接近,到了 2013、2014 年两者所起的作用已基本持平。

灌溉对西安市农业生产极为重要,因灌溉增加的效益占总效益的 35% 左右,这与罗乾等^[6]计算的连云港市农业灌溉效益分摊系数计算结果接近,其值为 38.5%。从时间上来看,西安市的灌溉效益分摊系数呈下降趋势(见图 3),表明灌溉在粮食产量中的贡献有所下降,一方面是由于现代化节水技术的实施(如作物节水品种的选用及灌溉条件的改善等),另一方面由于化肥、机械等贡献率有所上升(比如化肥的贡献率上升了 11%),但灌溉对作物产量的贡献还是主要的。

2.4 单方灌溉水效益和总效益值的计算

根据公式(3),采用西安市 2000 - 2014 年的农业生产总值(西安市统计年鉴)以及计算出来的灌溉水效益分摊系数计算出 2000 - 2014 年西安市由灌溉水产生的效益值以及单方灌溉水效益值,如表 3 所示。

从表 3 可以看出:单方灌溉水效益值随着时间逐渐的增加,从 2000 年的 1.93 元/m³ 增加到 2014 年的 9.23 元/m³,在这 15 a 间单方灌溉水效益增加了 7.3 元/m³,总效益值也是随着时间在不断增加。

用水量随着时间的推移呈持续减小状态,但是用水效益确是在不断地增加,计算结果与现代化农业发展状况一致(节水技术等一系列的节水措施),符合农业发展的情况。通过测算陕西省关中地区宝鸡市的水资源价值,在生产利润最大与水资源消费支出最小条件下,水资源价值为 11.65 元/m³,而本文计算的效益值正在其计算范围内^[14]。

表 3 西安市 2000 - 2014 年单方灌溉水效益和总效益表

年份	总效益值/10 ⁸ 元	单方灌溉水效益/元
2000	17.16	1.93
2001	18.04	2.01
2002	18.28	2.16
2003	17.96	2.18
2004	20.72	2.74
2005	21.2	3.06
2006	22.19	3.25
2007	25.25	3.76
2008	30.73	4.74
2009	34.47	4.90
2010	43.05	6.33
2011	48.85	7.72
2012	57.28	8.85
2013	56.61	9.06
2014	60.18	9.23

注:农业生产总值数值来源于《西安市统计年鉴》。

根据文献[15 - 16]可以看出,陕西省各大灌区的水价为 0.31 元/m³,以及陕西省各大灌溉管理局网站查到 2010 年水价征收统计表,其中水价为 0.21 元/m³,然而 2000 - 2014 年平均单方灌溉水增加的效益值为 4.8 元/m³,说明单方灌溉水在农业生产过程中给人们带来的效益远远大于水价(单方灌溉水效益大约是单方水价的 23 倍),所以应当适当地提高西安市农业用水的价格,用以引起人们对水资源的重要性的肯定,同时也能够让人们意识到水资源在生产过程中的巨大贡献。

西安市用水矛盾比较突出,地下水严重超采^[17],农业用水量难以满足,尤其是干旱年,更是与其他部门用水存在着严重的用水矛盾,计算农业用水单方灌溉水效益可以了解到水在农业灌溉部门的产值对国民经济的贡献,这样可以与其他用水部门对国民经济的贡献进行比对,进行产业结构优化,以达到理想的且可以实现的产业结构,实现用水的合理性且对国民经济贡献度最优的状态。

2.5 灌溉水效益分摊系数影响因素分析

从上文可以看出,影响作物产量的影响因子同

时也在影响着作物灌溉用水量,进而影响着灌溉用水效益分摊系数。本研究重点分析降水、化肥施用、机械动力、灌溉用水、农药、人力投入等对灌溉效益分摊系数的影响,建立回归模型如下:

$$Y = -0.229X_1 - 0.031X_2 - 0.034X_3 + 0.306X_4 + 0.041X_5 - 0.037X_6 + 0.187 \quad (5)$$

对方程进行拟合度检验, $R^2 = 0.998$,证明此方程有效。

式中: X_1 为农用总动力, 10^7 kW; X_2 为化肥, 10^6 t; X_3 为农药, 10^4 t; X_4 为灌溉水, 10^9 m³; X_5 为人力, 10^7 人; X_6 为年降水量, 10^3 mm。由此可见,以上6个因子对西安市灌溉效益分摊系数都存在着不同程度的影响,而且除了灌溉用水和人力投入之外,其他影响因子对灌溉效益分摊系数存在负面影响。这与文献[5]的研究结论基本一致,即在干旱、半干旱地区水是作物增产的决定因素,降水量与灌溉效益分摊系数呈极显著的直线负相关,灌溉效益分摊系数与灌水量呈直线正相关。

3 结 论

(1)在2000-2014年的15 a间,西安市的灌溉用水效益分摊系数在0.28~0.39之间,总体上随着时间呈现下降趋势,且西安市灌溉水效益分摊系数的多年平均值为0.34,同时,西安市农药、化肥以及农业机械动力的使用在农业增产中所占的比重越来越大,但灌溉对作物产量的贡献要大于化肥、机械及其他项目。

(2)西安市单方灌溉水效益从2000年的1.93元/m³到2014年的9.23元/m³,从时间尺度的变化上来看,其值呈现增加趋势;灌溉用水产生的效益和单方灌溉水效益变化趋势基本一致。

(3)在灌溉水效益分摊系数的主要影响因子中,各因子影响程度存在一定的差异,其中灌溉和降水影响最显著,并且灌溉和人力与灌溉水效益分摊系数是正相关关系,而其余影响因子呈负相关关系,且该计算公式的拟合度比较高,可以用于计算该区域的灌溉水效益分摊系数。

由于缺少西安市各县以及区的资料,所以灌溉水效益分摊系数的空间变化未得以计算,有待在今后收集相关资料进行计算与分析。

参考文献:

- [1] 蔡守华,张展羽. 灌溉效益分摊系数计算的研究现状与新方法[J]. 节水灌溉,2008(2):25-27.
- [2] 张和喜,迟道才,王群,等. 黔中地区主要农作物灌溉效益分摊系数试验研究[J]. 灌溉排水学报,2009,28(6):133-135.
- [3] 杜贞栋,姜守禄,张士民,等. 胶东水库灌区果树灌溉效益分摊系数试验研究[J]. 灌溉排水学报,2003,22(4):22-24.
- [4] 梁亚伟. 灌溉效益分摊系数法及其在坪地水库灌区的运用[J]. 水利科技,2008(3):35-36+40.
- [5] 袁再健,谢焱乐,沈彦俊. 河北省灌溉效益分摊系数时空变化与影响因素研究[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版),2015,43(3):93-97.
- [6] 罗乾,魏广平. 能值法计算农业灌溉效益分摊系数[J]. 水利科技与经济,2011,17(6):61-63.
- [7] Odum H T. Environmental accounting: Energy and environmental decision making[M]. New York: John Wiley & Sons, 1996:57-58,85-86.
- [8] 蓝盛芳,钦佩,陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
- [9] 罗乾,方国华,黄显峰,等. 基于能值理论分析方法的农业灌溉效益研究[J]. 水电能源科学,2011,29(6):137-139.
- [10] 唐建荣. 生态经济学[M]. 化学工业出版社,2005.
- [11] 严茂超,李海涛,程鸿,等. 中国农林牧渔业主要产品的能值分析与评估[J]. 北京林业大学学报,2001,23(6):66-69.
- [12] 隋春花,蓝盛芳. 广州城市生态系统能值分析研究[J]. 重庆环境科学,2001,23(5):4-6+23.
- [13] Buenfill AA. Energy evaluation of water[D]. Gainesville, US: Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, 2001.
- [14] 赵娟. 陕西省宝鸡市水资源价值研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [15] 王昕. 宝鸡峡礼泉灌区农民水价承受能力分析[J]. 陕西水利,2012(5):160-161.
- [16] 王密侠,汪志农,尚虎君,等. 关中九大灌区农业水价与农户承载力调查研究[J]. 灌溉排水学报,2005,24(3):1-4.
- [17] 贺乐荣. 陕西省沿渭主要城市超采区地下水位变化动态分析[J]. 地下水,2011,33(5):55-58.