

DOI: 10.5846/stxb201605190966

张振龙, 孙慧. 新疆区域水资源对产业生态系统与经济增长的动态关联——基于 VAR 模型. 生态学报, 2017, 37(16): 5273-5284.

Zhang Z L, Sun H. Research on the dynamic relationship between water-intensive industrial ecosystem and economic growth in Xinjiang based on VAR model. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(16): 5273-5284.

新疆区域水资源对产业生态系统与经济增长的动态关联 ——基于 VAR 模型

张振龙^{1,2}, 孙 慧^{1,2,*}

1 新疆大学新疆创新管理研究中心, 乌鲁木齐 830046

2 新疆大学经济与管理学院, 乌鲁木齐 830046

摘要:新疆正面临“五化同步”对水资源的需求不断增长与水资源开发利用过度的矛盾。水资源瓶颈制约已成为影响新疆经济可持续发展和长治久安的突出问题之一。运用 VAR 模型,通过 ADF 检验、脉冲响应函数和方差贡献度分解,对 2000—2014 年新疆耗水产业生态系统和经济增长的长期均衡关系进行实证分析。结果表明:(1)经济增长与总用水量、工业用水量和农业用水量之间均存在长期均衡关系;(2)经济发展对用水量产生负向冲击,工业用水量和农业用水量随着经济发展出现正向冲击效应。(3)新疆经济快速增长伴随着水资源的大力开发和过度利用。据此提出对策建议,通过实施严格的退地减水政策,明确用水总量控制和定额指标,加强跨区域调水工程建设,防止浪费等多途径维持新疆水资源可持续利用和耗水产业健康发展。

关键词:产业生态系统;经济增长;动态关系;VAR 模型;新疆

Research on the dynamic relationship between water-intensive industrial ecosystem and economic growth in Xinjiang based on VAR model

ZHANG Zhenlong^{1,2}, SUN Hui^{1,2,*}

1 Center for Innovation Management Research of Xinjiang University, Urumqi 830046, China

2 School of Economics and Management, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Abstract: Xinjiang is coping with the growing concern of increasing level of demand and overuse of water resources caused by 5-tion synchronization. Excessive utilization of water resources strongly influences local economic development and plays a vital role in accelerating ecological degradation. The bottleneck of water resources has become one of the outstanding issues that affects sustainable development and long-term stability of Xinjiang's economy. To address these concerns, the government should strengthen the construction of water infrastructure for improving water use efficiency, and thereby increasing the quantity and frequency of irrigation during an ecological recovery. The VAR model can deal with conditions when some random parameters or variables appear in the modeling formulation of a program. Such random parameters are expressed as probability density functions (PDFs). This implies that an ADF test technique can be employed when the quality of uncertain information is comprehensive. The results can be interpreted under different levels of probabilities (or risks). Previously, a number of stochastic programming methods were developed to support decision making for water resources planning and management. Among them, the VAR model proved effective for problems where analysis of policy scenarios is desired, and the right-hand-side of the coefficients are random with known probability distributions. Therefore, as an extension of previous works, the objective of this study is to present practical research on the long-term equilibrium

基金项目:国家自然科学基金项目(71463056,41461114);新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2016D01B054)

收稿日期:2016-05-19; **网络出版日期:**2017-03-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 18999921777@163.com

relationship between Xinjiang's utilization of water resources and economic growth using the VAR model, ADF test, and cointegration, accompanied by the decomposition of generalized impulse response and variance contribution degree. Firstly, the results show the existence of a long-run equilibrium relationship between economic growth and total water consumption, industrial water, and agricultural water. Secondly, rapid economic development has a negative impact on water use; yet, industrial and agricultural use of water has a positive impact. Finally, accompanied by the booming economy of Xinjiang, it carried the problem of over-exploitation and over-utilization of water resources. Based on the above factors, this article recommends several suggestions for the sustainable utilization of water resources and the robust development of Xinjiang's economy, including implementing strict policies on conserving the depleting land and water resources, clarifying the amount of water use, strengthening the construction of inter-basin water transfer projects, and preventing excessive consumption, among others. The results obtained will help local decision makers to formulate policies that mandate effective water exploitation and allocation, and thus facilitate the local agricultural sustainability.

Key Words: water-intensive industrial ecosystem; economic growth; dynamic relationship; VAR model; Xinjiang

生态系统,水资源无疑是其中重要的组成部分,也是维系生态系统正常运行的必要条件。对生态系统进行系统化分析,通过调研或者模拟,合理配置水资源成为当前研究的一个重要热点。新疆地区,以其特殊的自然环境、独特的绿洲经济以及重要的国家战略地位,决定了水资源合理配置是其其他战略资源开发利用的基础与前提^[1]。新疆地域辽阔、资源丰富,但远离海洋,“三山夹两盆”的地貌特征使其形成了典型的干旱气候,生态环境十分脆弱,水资源相对紧缺。2014 年全疆水资源总量 $726.93 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中,地表水资源量 $686.55 \times 10^8 \text{ m}^3$,地下水资源量 $443.93 \times 10^8 \text{ m}^3$,地表水与地下水之间重复量高达 $403.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。人均水资源量只有 $3130 \text{ m}^3/\text{人}$ 。全疆多年平均入境水量为 $90 \times 10^8 \text{ m}^3$,出境水量 $222 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。但是新疆水资源空间分布极不均衡,呈现出“北多南少,西多东少”的特征,主要体现在北疆面积占新疆的 27.7%,但年径流量则占到全疆的 50%,南疆面积占新疆的 72.3%,而年径流量仅占 50%,按单位面积径流来看,北疆为南疆的 3 倍多。农业用水比例偏大,工程性缺水问题突出,已成为制约新疆社会经济发展的主要因素之一。2014 年全疆用水总量 $581.82 \times 10^8 \text{ m}^3$,其中农业用水量 $550.99 \times 10^8 \text{ m}^3$,占全疆用水总量的 94.70%,是新疆最主要的耗水部门^[2]。在有限的水资源中,吐哈产业聚集区和天山南坡产业带的水资源开发利用率已超过或接近 100%。处理好经济发展与资源保护的关系,探索水资源可持续利用与主要耗水产业系统协调发展,是新疆社会各界高度重视的重大课题,也是探索生态与经济、人与自然协调发展新模式的重要方面。

学者们针对水资源利用与区域复杂系统中经济发展与生态环境的相关性问题开展了相对丰富的研究,其研究领域涵盖水资源供需均衡^[3-7]、水资源承载力^[8-9]、水资源配置^[10-13]、水资源持续利用^[14-16]、生态需水^[17-19]等方面。其中涉及到耗水产业生态系统与经济发展关系的研究主要集中在水资源承载力方面。但是,学者们关于水资源承载能力的研究多从承载力的内涵及外延^[20]、承载能力的衡量标准^[21]等方面着手开展,并广泛使用工程技术案例,而从生态经济、生态管理等角度的研究刚刚起步^[22],尤其是就新疆这一特殊区域水资源利用进行研究的文献偏少。而现有的研究中,有研究对新疆水资源利用与经济增长进行研究,主要就 GDP 总量与农业用水、工业用水、生活用水的相关性进行了分析^[23];也有早期的研究以干旱地区塔里木河下游尉犁地区为例,选取生态-生产-生活系统承载力的综合测度指标,综合评估了生态-生产-生活系统承载力的现状情势,进而预测未来 30 年塔里木河下游尉犁地区生态-生产-生活承载力变化的总体变化情景^[24]。而事实上,不同产业水资源利用方式和效果差异很大,将新疆地区生产总值这一宏观变量分别与各行业用水量进行关联性分析,容易忽略各产业的隐含信息,难以体现复杂生态巨系统各产业部门与水资源利用的微观实际,而多产业变量间的相互作用也成为研究的难点。

自从 Sims^[25]的开创性工作以来,矢量自回归 VAR (Vector Autoregressive) 模型已广泛应用于实证研究。VAR 模型相对于单方程模型 (Single Equation Models) 的优点是,可以通过脉冲响应分析几个变量之间的相互作用。VAR 模型已广泛用于时间序列的研究中,也有一些研究在面板数据上使用 VAR 模型,如基于工具变

量(IVs)的估计^[26]、偏差校正固定效应(FE)估计^[27]、准最大似然(QML)和矩阵的广义方法(GMM)估计^[28]。此外,有几个使用面板 VAR 模型的实证研究^[29-31]。现有研究分析针对全国水资源利用与经济增长关系的探讨较多,但对区域水资源利用与经济增长和产业生态系统的动态关系的研究相对较少。因此,本文将梳理新疆产业生态系统中不同组分与水资源利用之间的关联性,采用 VAR 模型,分别就用水总量与新疆产业生态系统的经济增长、农业用水量与农业经济增长、工业用水量与工业经济增长三方面的关系进行详细探讨,以期新疆进一步调整优化产业结构,实现水资源持续利用以及新疆经济可持续发展提供理论参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法——VAR 模型

向量自回归(VAR)模型,就是用所有当期变量对其若干滞后期变量进行回归,通常用来估计相互联系的时间序列系统以及分析随机扰动对变量系统的动态关系^[32],不需要提前设定任何约束条件。VAR 方法通过把系统中每一个内生变量作为系统中所有内生变量的滞后值的函数来构造模型,从而回避了结构化模型的需要。一个 VAR(p)模型的数学形式^[33]:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \cdots + A_p y_{t-p} + Bx_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

式中, y_t 是内生变量; $y_{t-1}, \cdots, y_{t-p}$ 表示 y_t 的滞后期; x_t 是外生变量; $A_1, \cdots, A_p$ 表示 y_t 的待估系数; B 是 x_t 待估系数; ε_t 是随机扰动项。VAR 模型转化为矩阵为:

$$\begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \\ \vdots \\ y_{kt} \end{bmatrix} = A_1 \begin{bmatrix} y_{1t-1} \\ y_{2t-1} \\ \vdots \\ y_{kt-1} \end{bmatrix} + A_2 \begin{bmatrix} y_{1t-2} \\ y_{2t-2} \\ \vdots \\ y_{kt-2} \end{bmatrix} + \cdots + Bx_t + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{kt} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $y_{1t}, \cdots, y_{kt}$ 作为内生变量,可以同期相关,而 $y_{1t-1}, \cdots, y_{kt-p}$ 作为滞后变量均在等号右边,因此不会出现同期相关问题,OLS 仍然是有效的。

1.2 指标选取与数据来源

本文主要考察区域产业巨系统中产业用水与经济增长的互动。在产业用水的指标选择中,我国水资源利用结构中通常将用水分为农业用水、工业用水、居民生活用水和生态环境用水^[34]。由于数据的支持情况,本研究将主要研究产业用水与经济增长的关系,故居民生活用水和生态环境用水将在后续研究进一步开展。因此,本研究将产业用水分解为 3 个指标,以用水总量($X1$)表示产业用水总量,以农业用水量($X2$)表示第一产业的用水总量,以工业用水量($X3$)表示第二产业的用水总量。在经济增长指标选择方面,由于 GDP 是用来衡量国家、地区经济活动总量的国际通用指标,因此,本研究采用 GDP 作为度量经济增长的指标,并将其分解为三个指标,以新疆 GDP 总量($Y1$)表示宏观经济增长,以农业产值($Y2$)衡量农业经济,以工业产值($Y3$)衡量工业经济。以用水总量和新疆 GDP 来考察产业用水与经济增长的总体关系;以农业用水量和农业产值来考察农业用水与农业经济的动态关系;以工业用水量和工业产值来考察工业用水与工业经济的动态关系。

由于我国自 1997 年才开始正式编制《中国水资源公报》,而新疆作为边远落后地区,水资源统计工作开始更晚,再考虑到数据的可得性和可靠性,本文将研究的样本区间确定为 2000—2014 年。模型所需的新疆历年 GDP、农业产值、工业产值、用水总量、农业用水量以及工业用水量均来源于《新疆统计年鉴》(2001—2015)。为避免数据的剧烈波动,消除可能存在的异方差,对各指标进行了对数化处理。

2 模型结果与分析

2.1 模型建立及基本检验

(1) 单位根检验

要想建立 VAR 模型,必须满足所有的序列都是平稳的,为了避免伪回归现象,保证结论的可靠性,首先对数据进行 ADF 检验(表 1)。

首先,对新疆 GDP (LOGY1) 和用水总量 (LOGX1) 进行检验时,均不显著,接受存在单位根的原假设,说明这两个变量的水平序列都是非平稳序列;将 LOGY1 变量进行一阶差分 (DLOGY1), LOGX1 变量进行二阶差分 (DDLOGX1), 检验结果显示均显著地拒绝原假设,认为两个变量均为平稳序列。但是,考虑到只有同阶平稳才能避免伪回归,因此这里对 LOGY1 进行二阶差分,得到平稳序列。由此可知,新疆 GDP 和用水总量均为二阶单整序列。

其次,对新疆农业产值 (LOGY2)、农业用水量 (LOGX2)、新疆工业产值 (LOGY3)、工业用水量 (LOGX3) 进行检验,4 个变量均不显著,都是非平稳序列;分别对 4 个变量的一阶差分进行检验,均显著地拒绝原假设,认为差分后的 4 个变量均为平稳序列。由此可知,新疆农业产值、农业用水量、工业产值、工业用水量均为一阶单整序列。

表 1 变量的 ADF 检验结果

Table 1 Test results of variable ADF

变量 Variables	ADF 统计值 ADF statistics	(c, t, k)	显著性 Significant	结论 Conclusions	变量 Variables	ADF 统计值 ADF statistics	(c, t, k)	显著性 Significant	结论 Conclusions
LOGX1	-0.16185	(c, 0, 0)	0.9234	不平稳	DLOGX1	-2.721577	(c, 0, 2)	0.1011	不平稳
DDLOGX1	-3.316693	(c, 0, 2)	0.0428	平稳	LOGX2	-0.573318	(c, 0, 0)	0.8474	不平稳
DLOGX2	-4.629969	(c, 0, 0)	0.0038	平稳	LOGX3	-2.384072	(c, 0, 3)	0.1666	不平稳
DLOGX3	-6.416955	(c, 0, 0)	0.0002	平稳	LOGY1	0.110952	(c, 0, 0)	0.9543	不平稳
DLOGY1	-3.925885	(c, 0, 0)	0.0126	平稳	DDLOGY1	-5.592737	(c, 0, 0)	0.001	平稳
LOGY2	-0.0523	(c, 0, 0)	0.9374	不平稳	DLOGY2	-4.943648	(c, 0, 0)	0.0023	平稳
LOGY3	-0.625163	(c, 0, 0)	0.8349	不平稳	DLOGY3	-3.687367	(c, 0, 0)	0.019	平稳

ADF: 单位根检验, Augmented Dickey-Fuller Test; LOGX1: 对 X1 求对数, $\log(x_1)$; LOGX2: 对 X2 求对数, $\log(x_2)$; LOGX3: 对 X3 求对数, $\log(x_3)$; LOGY1: 对 Y1 求对数, $\log(Y_1)$; LOGY2: 对 Y2 求对数, $\log(Y_2)$; LOGY3: 对 Y3 求对数, $\log(Y_3)$; DDLOGX1: 对 LOGX1 取二阶差分; DLOGX2: 对 LOGX2 取一阶差分; DLOGX3: 对 LOGX3 取一阶差分; DDLOGY1: 对 LOGY1 取二阶差分; DLOGY2: 对 LOGY2 取一阶差分; DLOGY3: 对 LOGY3 取一阶差分

(2) 滞后期的选择

滞后期的选择是 VAR 模型建立的重要前提,确定了滞后期,才能确定 VAR 模型形式。这里分别从新疆经济增长与用水总量、农业经济增长与农业用水量、工业经济增长与工业用水量 3 个方面分析滞后期。检验的依据是按照少数服从多数原则,根据 LogL、LR、FPE、AIC、SC、HQ 六种检验法则的结果进行综合判断。

总体来看,新疆经济增长与用水总量的最佳滞后期为 1;农业经济增长与农业用水量、工业经济增长与工业用水量 3 个 VAR 模型的最佳滞后期均为 3。

(3) VAR 模型的建立

根据前述单位根检验及滞后期选择结果,将检验过的平稳序列代入到模型中,利用最小二乘法估计模型中的参数,拟合出 VAR 模型的系数矩阵:

$$DLOGY1 = -0.80 \text{ DDLOGY1}(t-1) - 0.30 \text{ DDLOGX1}(t-1) - 0.001 C \quad (3)$$

$$DLOGY2 = -0.47 \text{ DLOGY2}(t-1) - 0.81 \text{ DLOGY2}(t-2) - 0.004 \text{ DLOGY2}(t-3) - 2.74 \text{ DLOGX2}(t-1) - 1.41 \text{ DLOGX2}(t-2) - 3.18 \text{ DLOGX2}(t-3) + 0.40 C \quad (4)$$

$$DLOGY3 = -0.27 \text{ DLOGY3}(t-1) - 0.16 \text{ DLOGY3}(t-2) - 0.13 \text{ DLOGY3}(t-3) + 0.18 \text{ DLOGX3}(t-1) - 0.05 \text{ DLOGX3}(t-2) - 0.33 \text{ DLOGX3}(t-3) + 0.25 C \quad (5)$$

上述模型中,式(3)代表经济增长与用水总量的 VAR 模型;式(4)代表农业产值与农业用水量的 VAR 模型;式(5)代表工业产值与工业用水量的 VAR 模型。

表 2 VAR 模型最佳滞后阶数检验结果

Table 2 VAR model best lag order test results

类别 Categories	滞后期 Lag phase	LogL 检验 LogL test	LR 检验 LR test	FPE 检验 FPE test	AIC 检验 AIC test	SC 检验 SC test	HQ 检验 HQ test
经济增长与用水总量 Economic growth and total water consumption	0	16.96881	NA	0.000172	-2.993762	-2.933245	-3.060149
	1	29.00854	16.85562 *	3.57×10^{-5} *	-4.601708 *	-4.420157 *	-4.800869 *
	2	31.34576	2.337223	5.84×10^{-5}	-4.269153	-3.966568	-4.601088
	3	33.11011	1.05861	0.000146	-3.822023	-3.398404	-4.286732
农业产值与农业用水量 Agricultural output and agricultural water consumption	0	37.01483	NA *	5.90×10^{-6}	-6.366333	-6.293988	-6.411936
	1	39.8095	4.064982	7.55×10^{-6}	-6.147183	-5.930149	-6.283992
	2	45.52459	6.234641	6.20×10^{-6}	-6.459017	-6.097294	-6.687032
	3	52.10783	4.787808	5.33×10^{-6} *	-6.928696 *	-6.422284 *	-7.247918 *
工业产值与工业用水量 Industrial output and industrial water consumption	0	20.01403	NA *	0.00013	-3.275279	-3.202934	-3.320882
	1	25.98987	8.692117	9.31×10^{-5}	-3.634521	-3.417487	-3.77133
	2	29.67121	4.016014	0.000111	-3.576584	-3.214861	-3.8046
	3	40.62015	7.962865	4.31×10^{-5} *	-4.840027 *	-4.333615 *	-5.159249 *

LR: 似然比, Likelihood Ratio; FPE: 最终预测误差准则, Final Prediction Error; AIC: 赤池信息准则, Akaike Information Criterion; SC: 施瓦茨准则, Schwarz Criterion; HQ: 汉南-奎因准则 Hannan-Quinn Criterion; NA: 不适用, Not Applicable; *: 表示对应检验的最佳滞后期选择

从表 3 可以看出, VAR 模型的 3 个单方程检验结果都比较显著, AIC 和 SC 值都很低, 拟合效果较好。

表 3 VAR 模型的整体检验结果

Table 3 Overall test results of VAR model

统计量 Statistics Value	式(3)取值 Eqn. 3 Results	式(4)取值 Eqn. 4 Results	式(5)取值 Eqn. 5 Results
残差协方差(加自由度) Residual covariance (+ degrees of freedom)	3.81×10^{-5}	1.99×10^{-6}	1.61×10^{-5}
残差协方差 Residual covariance	2.15×10^{-5}	2.63×10^{-7}	2.13×10^{-6}
对数似然估计 Log-Likelihood Estimation	30.44206	52.10783	40.62015
Akaike 信息准则 Akaike information criterion	-4.073676	-6.928696	-4.840027
施瓦茨准则 Schwarz criterion	-3.831223	-6.422284	-4.333615

(4) VAR 模型的稳定性检验

由表 4 可知所有根的模全部小于 1, 说明本研究建立的新疆经济增长与用水总量、农业产值与农业用水量、工业产值与工业用水量 3 个 VAR 模型是稳定的, 基于该 VAR 模型上的各种检验是有效的。

表 4 VAR 模型的稳定性检验结果

Table 4 Stability results of VAR model

式(3) Eqn 3		式(4) Eqn 4		式(5) Eqn 5	
根 Root	模 Module	根 Root	模 Module	根 Root	模 Module
-0.532920-0.545897i	0.762894	0.496872-0.884507i	0.914512	0.204933-0.759762i	0.786916
-0.532920 + 0.545897i	0.762894	0.496872 + 0.884507i	0.914512	0.204933 + 0.759762i	0.786916
—	—	-0.200299-0.958520i	0.979224	-0.785	0.785
—	—	-0.200299 + 0.958520i	0.979224	-0.454862-0.530207i	0.698584
—	—	-0.548867-0.209353i	0.587439	-0.454862 + 0.530207i	0.698584
—	—	-0.548867 + 0.209353i	0.587439	0.260217	0.260217

i: 表示虚根, Imaginary Root; -: 表示不含有数据

(5) Granger 因果检验

因果关系检验是用于检验经济变量之间的时间先后顺序, 并不表示这真正存在因果关系, 是否存在因果关系需要根据理论、经验和模型进行综合判断。为了分别考察经济增长与用水总量、农业产值与农业用水量、

工业产值与工业用水量之间的传导方向,对三组序列分别做 Granger 因果关系检验(表 5)。

通过 Granger 因果关系检验结果可知,从 DDLOGX1 对 DDLOGY1 的因果关系来看, P 值为 0.0174,小于 0.05, F 统计量落在拒绝域,拒绝原假设,接受备择假设,说明用 DDLOGX1 的平稳序列能够引起 DLOGY1 的平稳变换,用水总量是 GDP 的 Granger 原因,说明水资源的开发利用极大地推动了新疆 GDP 的快速增长。从 DDLOGY1 对 DDLOGX1 的因果关系来看, P 值为 0.0626,大于 0.05 而小于 0.1, F 统计量落在拒绝域,拒绝原假设,接受备择假设,说明 DDLOGY1 的平稳序列能够引起 DDLOGX1 的平稳变换,即 DDLOGY1 是 DDLOGX1 的 Granger 原因,说明 GDP 增长带动了新疆用水总量的不断增加,是造成新疆水资源消耗的重要原因。综上所述,GDP 和用水总量之间存在双向的因果关系,GDP 的变动会引起用水总量的变化。

表 5 Granger 因果关系检验结果
Table 5 Granger causality test results

原假设 Null hypothesis	样本 Samples	F	P	是或否 Yes/No
DDLOGX1 不是 DLOGY1 的格兰杰原因 DDLOGX1 is not a Granger cause of DLOGY1	12	8.4527	0.0174	否
DLOGY1 不是 DDLOGX1 的格兰杰原因 DLOGY1 is not a Granger cause of DDLOGX1		4.51226	0.0626	否
DLOGX2 不是 DLOGY2 的格兰杰原因 DLOGX2 is not a Granger cause of DLOGY2	11	1.32476	0.3834	是
DLOGY2 不是 DLOGX2 的格兰杰原因 DLOGY2 is not a Granger cause of DLOGX2		4.13127	0.1021	是
DLOGX3 不是 DLOGY3 的格兰杰原因 DLOGX3 is not a Granger cause of DLOGY3	11	0.1898	0.8983	是
DLOGY3 不是 DLOGX3 的格兰杰原因 DLOGY3 is not a Granger cause of DLOGX3		1.51987	0.3387	是

通过 Granger 因果关系检验结果可知,从 DLOGX2 对 DLOGY2 的因果关系来看, P 值为 0.3834,大于 0.1, F 统计量落在接受域,接受原假设,即 DLOGX2 的平稳序列不能够引起 DLOGY2 的平稳变换,说明农业用水不是农业产值的 Granger 原因。从 DLOGY2 对 DLOGX2 的因果关系来看, P 值为 0.1021,大于 0.1, F 统计量落在接受域,接受原假设,拒绝备择假设,说明 DLOGY2 的平稳序列不能够引起 DLOGX2 的平稳变换,即农业产值不是农业用水量的 Granger 原因。

从 DLOGX3 对 DLOGY3 的因果关系来看, P 值为 0.8983,大于 0.1, F 统计量落在接受域,接受原假设,说明 DLOGX3 的平稳序列不能够引起 DLOGY3 的平稳变换,即工业用水总量不是工业产值的 Granger 原因。从 DLOGY3 对 DLOGX3 的因果关系来看, P 值为 0.3387,大于 0.1, F 统计量落在接受域,接受原假设,拒绝备择假设,说明 DLOGY3 的平稳序列不是 DLOGX3 的平稳变换,即工业产值也不是工业用水总量的 Granger 原因。

2.2 脉冲响应分析

本部分采用脉冲响应函数来分析经济增长与用水量之间的引致关系。脉冲响应函数描述的是 VAR 模型中的一个内生变量的冲击给其他内生变量所带来的影响,是系统对某一变量扰动的一个冲击(或新息)所做出的动态反应,并由此判断各个变量间的时滞关系。

2.2.1 经济增长与用水总量的脉冲响应

图 1 表示了用水总量、GDP 两个指标对自身及其相互的冲击效应以及系统的动态影响。

从 DDLOGY1 对 DDLOGX1 的一个标准差新息的冲击,DDLOGX1 在第 1 期为 0,第 2 期为正值,第 3 期变为负值,第 4 期和第 5 期为正值,正负影响也是交替出现,但冲击的幅度越来越小,并最终区域收敛。说明随着时间的推移,新疆经济增长对水资源的依赖越来越弱。

从 DDLOGX1 对 DDLOGY1 的一个标准差新息的冲击,第 1 期就具有非常大的影响,接近 0.06,但第 2 期就变为负值,达-0.1,第 3 期为正值,第 4 期和 5 期又将为负值,呈现不规则的正负交替形态,但冲击响应的绝

对值越来越小,并最终收敛。说明伴随着经济的不断发展,水资源的进一步开发对经济增长带来的促进作用越来越弱。

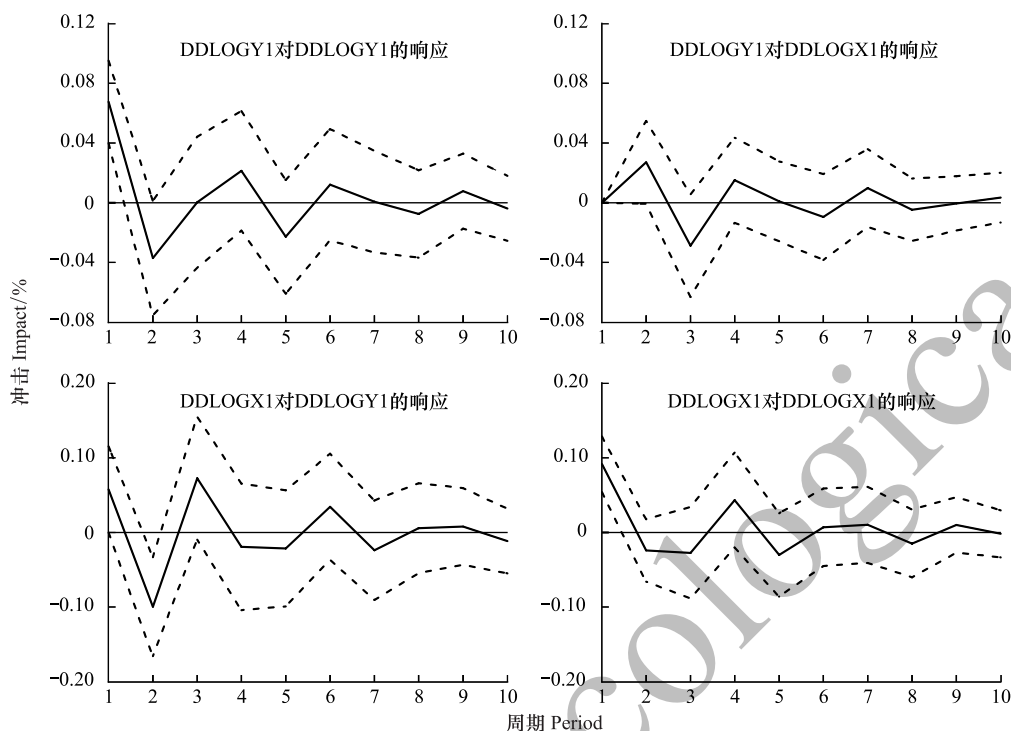


图1 DDLOGY1与DDLOGX1的脉冲响应函数图

Fig.1 DDLOGY1 and DDLOGX1 impulse response function diagram

2.2.2 农业产值与农业用水量的脉冲响应

由图2可知,DLOGY2对DLOGX2的一个标准差新息的冲击,初期影响为0,第2期就变为负值,且达到-0.04,第3期为0.001,第4期开始为正值,并持续到第6期,第7期开始又变为负影响,并持续到第9期,第10期重又呈正值。由此可见,DLOGY2对DLOGX2的影响不平稳,正负影响交替出现,呈现出“余弦型”波动特征,但影响趋于越大,表明农业增产增收目标驱动下,农业用水将不断得到强化。

DLOGX2对DLOGY2的一个标准差新息的冲击,第1期和第2期均为负值,也均为-0.01,第2期和第4期变为正值,第5—6期为负值,第7—8期又变为正值,正负影响交替出现,但影响逐渐缩小,最终表现为正值,表明随着农业现代化水平的提高,水资源对农业经济增长的作用呈减弱趋势。

由图3可知,DLOGY3对DLOGX3的一个标准差新息的冲击,初期影响为0,第2期为正值,为0.005,第3期变为负值,为-0.01,持续到第4期,第5期转变为正值,第6期开始又变为负值,交替出现至第10期,并最终表现为正影响。虽然DLOGY3对DLOGX3的影响呈现正负交替,但主要在零值附近波动,所产生的影响较小。表明工业产值的增加对工业用水量增加的带动作用较小,其原因可能同当前新疆工业用水量长期不足有关。

DLOGX3对DLOGY3一个标准差新息的冲击,第1期为正值,且为最大值0.03,第2期变为负值,为-0.02,之后交替正负影响至第4期,第5—7期均为正影响,第8期为负值,并交替至第10期,最终为负影响。总体来看,DLOGX3对DLOGY3在初期就具有较大的正向冲击,之后开始波动下降,并最终收敛。表明水资源开发对经济增长的影响在中短期较为强烈,长期来看,其影响呈减弱趋势,这可能同工业各行业的技术进步有关。

2.3 方差分解分析

方差分解是一种描述系统动态变化的方法,通过分析每一个结构冲击对内生变量变化的贡献度,通常以

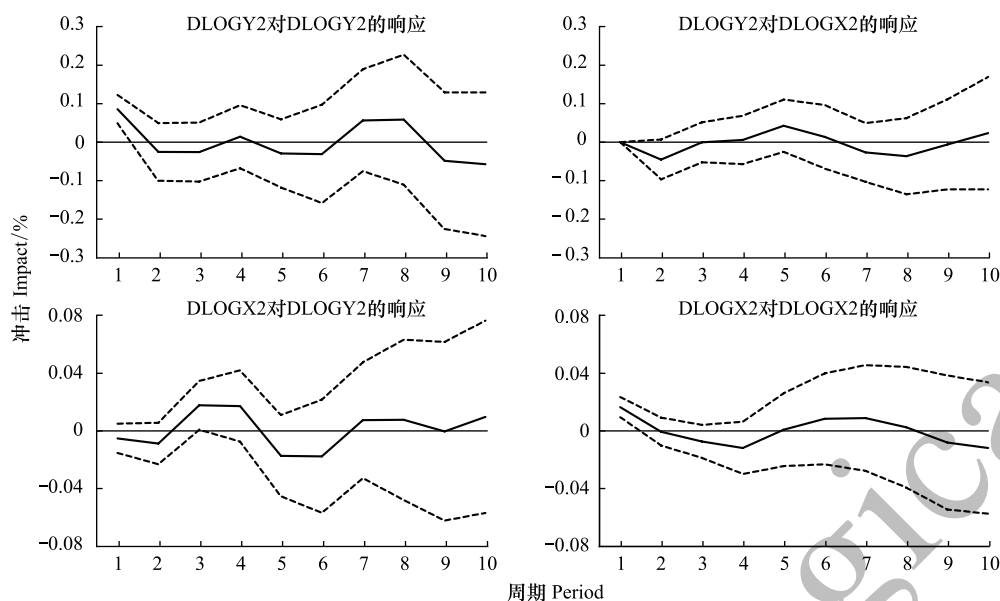


图2 DLOGY2 对 DLOGX2 的脉冲响应函数图

Fig.2 DLOGY2 on the DLOGX2 impulse response function diagram

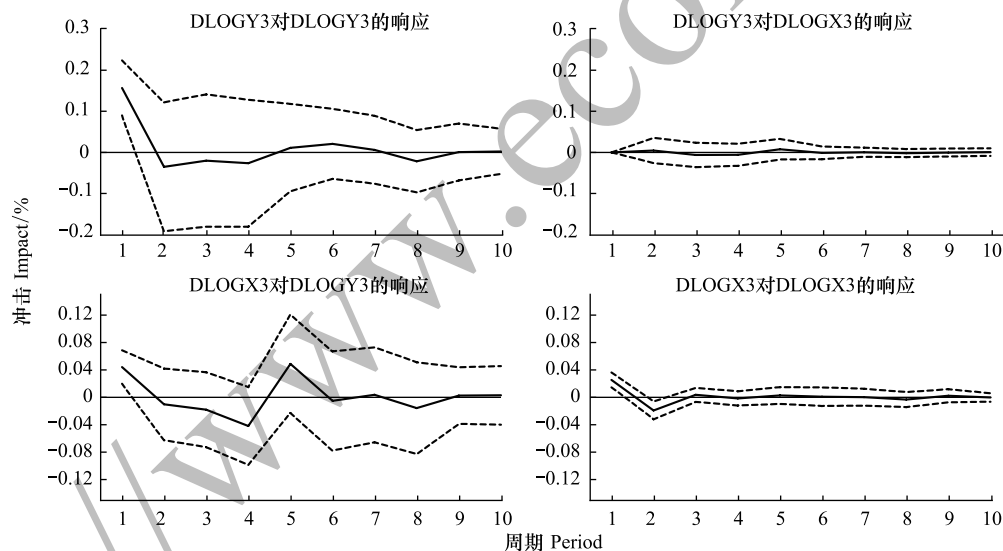


图3 DLOGY3 对 DLOGX3 的脉冲响应函数图

Fig.3 DLOGY3 on the DLOGX3 impulse response function diagram

方差来度量,进一步评价不同结构冲击的相对重要性。

2.3.1 经济增长与用水总量预期误差的方差分解

由表6可知,GDP对水资源利用的方差分解的贡献度较低,从首期来看,GDP对水资源利用方差分解的贡献度为0,但第2期就增加到10.98%,并继续增加,第3期开始保持在20%以上,并于第8期增至最大值21.93%。表明新疆经济快速增长的过程是对水资源的大力开发和过度利用的过程,这与新疆经济增长的现实是相符的。

水资源利用对GDP增长的方差分解贡献度很高,除前1期的贡献度低于30%外,第2期开始,水资源利用对GDP增长方差分解的贡献度高接近并超过60%,表明水资源利用对新疆经济增长起到较大促进作用。相对于我国其他省区经济增长的多样化因素而言,水资源对新疆经济可持续发展至关重要。

2.3.2 农业产值与农业用水量预期误差的方差分解

由表 7 可知,相较于农业用水对农业产值而言,农业产值对农业用水的方差分解的贡献度较低,但总体水平仍处于较高水平,自第 2 期开始,农业产值对农业用水方差分解贡献度均在 20%左右,即农业产值可以解释农业用水 20%以上的方差,且贡献度呈现波动变化趋势。一方面,伴随着新疆农业产值的快速提升,对前中期农业用水造成了大量的引致需求,农业用水不断增加;另一方面,随着新疆农业生产节水灌溉的广泛推广及农业现代化程度的提高,后期农业产值对农业用水的方差分解贡献度呈下降趋势。

表 6 经济增长与用水总量预期误差的方差分解结果

Table 6 Variance decomposition result of expected error between economic growth and total water consumption in Xinjiang

阶段 Stage	标准差 Standard deviation	DDLOGY1 对 DDLOGX1 贡献度 Contribution of DDLOG Y1 to DDLOG X1	标准差 Standard deviation	DDLOGX1 对 DDLOGY1 贡献度 Contribution of DDLOG X1 to DDLOG Y1
1	0.067589	0	0.107998	28.4049
2	0.081734	10.97703	0.148918	59.71945
3	0.08668	20.84727	0.167983	65.67081
4	0.090524	21.86109	0.174571	62.05594
5	0.093379	20.55206	0.178465	60.8331
6	0.094632	21.03906	0.181865	62.1373
7	0.095135	21.86838	0.183726	62.59533
8	0.095557	21.9294	0.184413	62.22353
9	0.095872	21.78894	0.184853	62.11376
10	0.096009	21.85115	0.185238	62.26008

表 7 农业产值与农业用水量预期误差的方差分解结果

Table 7 Variance decomposition result of expected error between agricultural output and agricultural water use in Xinjiang

阶段 Stage	标准差 Standard deviation	DLOGY2 对 DLOGX2 贡献度 Contribution of DLOGY2 to LOGX2	标准差 Standard deviation	DLOGX2 对 DLOGY2 贡献度 Contribution of DLOGX2 to DLOGY2
1	0.085924	0	0.017266	9.52518
2	0.100283	20.11943	0.019435	28.4863
3	0.103589	18.85833	0.027273	56.2471
4	0.10475	18.75635	0.034361	60.35166
5	0.116869	28.40789	0.038508	68.39605
6	0.12163	27.5187	0.043191	71.21356
7	0.136937	25.54852	0.044678	69.20509
8	0.153367	26.07904	0.045367	69.86609
9	0.160896	23.8433	0.046106	67.65283
10	0.172439	22.6493	0.048638	64.78494

水资源利用对农业产值增长的方差分解贡献度很高,除前 2 期的贡献度处于 30%以下外,第 3 期开始,水资源利用对 GDP 增长方差分解的贡献度不断提高,并于第 6 期达最大值,为 71.21%。可以看出,水资源利用对新疆农业的发展起到了至关重要的作用,水资源约束是主要的控制性因素,这与新疆干旱区绿洲农业的特色非常吻合。

2.3.3 工业产值与工业用水量预期误差的方差分解

由表 8 可知,相较于工业用水对工业产值而言,工业产值对工业用水的方差分解贡献度非常低,自首期至末期的影响均不到 1%,即工业产值所能解释的农业用水的方差还不到 1%。表明伴随着新疆工业产值的快速提升,并没有带动新疆工业用水量的大幅增加,水资源可能在未来成为制约新疆工业发展的主要因素。

工业用水对工业产值增长的方差分解贡献度很高,首期贡献度就高达 74.97%,此后虽有波动,但贡献度仍在 65%以上,且自第 4 期开始,贡献度一直在 80%以上并不断提高。由此可以看出,工业用水对新疆工业

产值的增加具有非常大的促进作用,其作用已经达到了 80% 以上,工业用水与工业产值具有长期稳定的均衡关系,这与当前新疆工业发展中的水资源利用现状是完全相符的。

表 8 工业产值与工业用水量预期误差的方差分解结果

Table 8 Variance decomposition result of expected error between industrial output and industrial water consumption in Xinjiang

阶段 Stage	标准差 Standard deviation	DLOGY3 对 DLOGX3 贡献度 Contribution of DLOGY3 to LOGX3	标准差 Standard deviation	DLOGX3 对 DLOGY3 贡献度 Contribution of DLOGX3 to DLOGY3
1	0.156954	0	0.051067	74.97241
2	0.160841	0.086313	0.055518	66.89309
3	0.162179	0.226049	0.058531	69.85005
4	0.164394	0.347624	0.072012	80.02689
5	0.16497	0.56822	0.087076	86.25252
6	0.166268	0.563062	0.087242	86.2953
7	0.166384	0.562717	0.087317	86.31867
8	0.167786	0.564543	0.088813	86.62767
9	0.167789	0.564975	0.088876	86.58023
10	0.16781	0.567539	0.088921	86.59215

3 结论及建议

本文基于 2000—2014 年新疆水资源利用与经济增长的关联视角,采用 VAR 模型,验证新疆大尺度产业生态系统中的用水与经济增长的协整关系,进一步利用脉冲响应和方差分解对新疆产业用水与经济增长的动态关系进行拟合,得到如下结论:

(1) 用水总量与经济增长存在稳定的协整关系,最佳滞后期为 1 期。格兰杰因果关系检验来看,GDP 的平稳序列能够引起用水总量的平稳变换,表明新疆经济增长过程中对用水量造成引致需求;但用水总量的平稳序列不能够引起 GDP 平稳变换,用水量对经济增长的单一推动效应并不强烈。就脉冲响应来看,经济增长对用水总量的冲击响应累计值为负值(-0.01),用水总量对经济增长的冲击响应累计值也为负值(-0.01)。GDP 对水资源利用的方差分解的贡献度较低,不到 4%,水资源利用对 GDP 增长的方差分解贡献度很高,超过 90%。由此可知,随着新疆经济的快速增长,对用水总量造成了巨大的引致需求,水资源消耗量不断增加。表明水资源利用对新疆经济增长起到了非常大的促进作用。相对于我国其他省区经济增长的多样化因素而言,水资源对新疆经济可持续发展至关重要。未来一段时期,全面建成小康社会过程中,各方主体将会再次推动新疆经济快速发展,这将对本就有限的水资源造成更大需求,水资源利用与经济增长之间的矛盾有可能进一步加剧。

(2) 农业生态系统用水量与农业产值存在稳定的协整关系,最佳滞后期为 3 期。两者的平稳序列均不能引起对方的平稳变换,可能与新疆农业用水在用水总量中的绝对地位导致其对农业产值的影响不显著。农业产值对农业用水量的冲击响应累计值为负值(-0.03),农业用水量对农业产值的冲击响应累计值为正值(0.01)。农业产值对农业用水的方差分解的贡献度较低,在 20% 以上;水资源利用对农业产值增长的方差分解贡献度很高,均在 60% 以上。可以看出,水资源对农业经济增长具有较大的正向促进作用,但农业产值的增加对水资源利用构成较大压力。作为我国重要的“粮、棉、果、畜和特色农业生产基地”,未来新疆农业生产的强度仍将进一步强化,这对水资源日益紧张的新疆影响重大,大力推行节水农业、强化产业生态系统综合用水平衡将是今后新疆农业科技甚至农业产业化的重点内容,也将成为新疆绿洲农业现代化的重要方向。

(3) 工业系统用水与工业产值存在稳定的协整关系,最佳滞后期为 3 期。两者的平稳序列均不能引起对方的平稳变换,这可能与新疆工业产业水资源供应不足且空间分布不协调有关。工业产值对工业用水量的冲击响应累计值为负值(-0.001),工业用水量对工业产值的冲击响应累计值为正值(0.02)。工业产值对工业

用水的方差分解贡献度非常低,首期至末期均不到 1%;工业用水对工业产值增长的方差分解贡献度很高,达 80%以上,可以看出,工业用水对工业产值的增加具有非常强的促进作用,但工业产值对水资源也带来了很大压力,主要工业城市的水资源开发利用程度已接近或超过 100%,地表水过度引用和地下水超采问题普遍存在^[35]。面对发展日趋活跃,规模逐渐攀升,结构更加完善的新疆工业体系,水资源条件与工业产业发展不匹配问题有可能成为未来新疆工业发展的重要瓶颈。

由以上结论可知,新疆目前水资源利用与经济增长存在较强的相关性及其动态关系。伴随着未来新疆经济的快速发展,用水需求将会继续增加,对水资源的可持续利用将会造成巨大障碍,如何实现经济增长与水资源利用增加的脱钩或弱化其强相关关系,是目前及未来新疆经济发展中要考虑的重要议题。要实现水依赖型区域生态系统的永续发展,从产业结构入手考量其对生态环境的维护功能尤为重要,需要从以下方面着手:一是实施严格的退地减水政策。目前新疆农业用水占比过高,大大超过用水总量的控制指标,如果不实施退地减水政策,生态用水将会继续被大量挤占,并且使得工业发展无水可用。二是明确用水总量控制和定额指标,严格控制用水量,提高用水效率。总体来看,目前新疆用水总量超标,主要由于用水效率偏低,应加快制定农业、工业用水效率标准,将用水效率作为项目核准和备案的依据。三是加强跨流域调水工程建设力度。新疆水资源区域分布不均衡是导致区域性缺水的重要原因之一,可以借鉴我国南水北调案例,加强跨流域调水,从而满足农业、工业生产用水。四是防止水资源浪费。新疆地处内陆,河流均为内陆河,工农业生产中所产生的污染物难以通过径流向外转移。因此需要加强水资源节约,加大治污和生态保护力度,维持新疆生态环境健康发展,并大力加强污水治理工作,防止因污水或其他水源浪费而造成的人为缺水问题。

参考文献 (References):

- [1] 罗兰,丁晓娟,马琴,代燕. 新疆地州市水资源与经济社会可持续协调发展研究. 中国城市经济, 2011, (30): 307-309.
- [2] 黄宝连,黄海平,王生贵. 新疆水资源及其产业间用水结构特征研究. 石河子大学学报: 哲学社会科学版, 2012, 26(5): 16-22.
- [3] 谢书玲,王铮,薛俊波. 中国经济发展中水土资源的“增长尾效”分析. 管理世界, 2005, (7): 22-25.
- [4] Liu K K, Li C H, Yang X L, Hu J, Xia X H. Water resources supply-consumption (demand) balance analyses in the Yellow River Basin in 2009. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 13: 1956-1965.
- [5] Guo Y, Shen Y J. Agricultural water supply/demand changes under projected future climate change in the arid region of northwestern China. *Journal of Hydrology*, 2016, 540: 257-273.
- [6] Shang Y Z, Lu S B, Li X F, Hei P F, Lei X H, Gong J G, Liu J H, Zhai J Q, Wang H. Balancing development of major coal bases with available water resources in China through 2020. *Applied Energy*, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.07.002.
- [7] Ji X B, Kang E S, Chen R S, Zhao W Z, Xiao S C, Jin B W. Analysis of water resources supply and demand and security of water resources development in irrigation regions of the middle reaches of the Heihe River Basin, Northwest China. *Agricultural Sciences in China*, 2006, 5(2): 130-140.
- [8] 龙腾锐,姜文超,何强. 水资源承载力内涵的新认识. 水利学报, 2004, 35(1): 38-45.
- [9] Ait-Aoudia M N, Berezowska-Azzag E. Water resources carrying capacity assessment: The case of Algeria's capital city. *Habitat International*, 2016, 58: 51-58.
- [10] 姚治君,王建华,江东,陈传友. 区域水资源承载力的研究进展及其理论探析. 水科学进展, 2002, 13(1): 111-115.
- [11] Davijani M H, Banihabib M E, Anvar A N, Hashemi S R. Optimization model for the allocation of water resources based on the maximization of employment in the agriculture and industry sectors. *Journal of Hydrology*, 533: 430-438.
- [12] Hu Z N, Chen Y Z, Yao L M, Wei C T, Li C Z. Optimal allocation of regional water resources: From a perspective of equity-efficiency tradeoff. *Resources, Conservation and Recycling*, 109: 102-113.
- [13] Mianabadi H, Mostert E, Zarghami M, Van De Giesen N. A new bankruptcy method for conflict resolution in water resources allocation. *Journal of Environmental Management*, 144: 152-159.
- [14] Varis O, Vakkilainen P. China's challenges to water resources management in the first quarter of the 21st Century. *Geomorphology*, 2001, 41(2-3): 93-104.
- [15] Cai Y P, Yue W C, Xu L Y, Yang Z F, Rong Q Q. Sustainable urban water resources management considering life-cycle environmental impacts of water utilization under uncertainty. *Resources, Conservation and Recycling*, 2016, 108: 21-40.

- [16] Kotir J H, Smith C, Brown G, Marshall N, Johnstone R. A system dynamics simulation model for sustainable water resources management and agricultural development in the Volta River Basin, Ghana. *Science of the Total Environment*, 573: 444-457.
- [17] 张华, 张兰, 赵传燕. 极端干旱区尾间湖生态需水估算——以东居延海为例. *生态学报*, 2014, 34(8): 2102-2108.
- [18] 孙栋元, 杨俊, 胡想全, 金彦兆, 张云亮. 基于生态保护目标的疏勒河中游绿洲生态环境需水研究. *生态学报*, 2017, 37(3).
- [19] Pan B Z, Wang H Z, Ban X, Yin X A. An exploratory analysis of ecological water requirements of macroinvertebrates in the Wuhan branch of the Yangtze River. *Quaternary International*, 2015, 380-381: 256-261.
- [20] 王薇, 雷学东, 余新晓, 陈丽华. 基于SD模型的水资源承载力计算理论研究——以青海共和盆地水资源承载力研究为例. *水资源与水利工程学报*, 2005, 16(3): 11-15.
- [21] Howe C W. Water resources and regional economic growth in the United States, 1950-1960. *Southern Economic Journal*, 1968, 34(4): 477-489.
- [22] 路宁, 周海光. 中国城市经济与水资源利用压力的关系研究. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(S2): 48-50.
- [23] 李青, 陈红梅, 王雅鹏. 基于面板VAR模型的新疆农业用水与农业经济增长的互动效应研究. *资源科学*, 2014, 36(8): 1679-1685.
- [24] 方创琳, 鲍超, 张传国. 干旱地区生态-生产-生活承载力变化情势与演变情景分析. *生态学报*, 2003, 23(9): 1915-1923.
- [25] Sim C A. Macroeconomics and reality. *Econometrica*, 1980, 48(1): 1-48.
- [26] Holtz-Eakin D, Newey W K, Rosen H S. Estimating vector autoregressions with panel data. *Econometrica*, 1988, 56(6): 1371-1395.
- [27] Hahn J, Kuersteiner G. Asymptotically unbiased inference for a dynamic panel model with fixed effects when both n and T are large. *Econometrica*, 2002, 70(4): 1639-1657.
- [28] Binder M, Hsiao C, Pesaran M H. Estimation and inference in short panel vector autoregressions with unit roots and cointegration. *Econometric Theory*, 2005, 21(4): 795-837.
- [29] Chong A, Gradstein M. Inequality and institutions. *The Review of Economics and Statistics*, 2007, 89(3): 454-465.
- [30] Aspachs O, Goodhart C A E, Tsomocos D P, Zicchino L. Towards a measure of financial fragility. *Annals Finance*, 2007, 3(1): 37-74.
- [31] Huang B N, Hwang M J, Yang C W. Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: A dynamic panel data approach. *Ecological Economics*, 2008, 67(1): 41-54.
- [32] 王舒健, 李钊. 中国地区经济增长互动关系的脉冲响应分析. *数理统计与管理*, 2007, 26(3): 385-390.
- [33] 孙雪莲, 邓峰. 干旱区水资源对经济增长的约束作用实证分析——以新疆为例. *新疆社会科学*, 2013, (2): 43-47.
- [34] 汪奎, 邵东国, 顾文权, 岑栋浩, 谭学智, 杨丰顺. 中国用水量与经济增长的脱钩分析. *灌溉排水学报*, 2011, 30(3): 34-38.
- [35] 邓朝晖, 刘洋, 薛惠锋. 基于VAR模型的水资源利用与经济增长动态关系研究. *中国人口·资源环境*, 2012, 22(6): 128-135.