DOI: 10.5846/stxb201405291107
吴胜男,李岩泉,于大炮,周莉,周旺明,郭焱,王晓雨,代力民.基于 VAR 模型的森林植被碳储量影响因素分析——以陕西省为例.生态学报,2015,35(1):0196-0203.
Wu S N, Li Y Q, Yu D P, Zhou L, Zhou W M, Guo Y, Wang X Y, Dai L M.Analysis of factors that influence forest vegetation carbon storage by using the VAR model: a case study in Shanxi Province.Acta Ecologica Sinica,2015,35(1):0196-0203.

基于 VAR 模型的森林植被碳储量影响因素分析
——以陕西省为例

吴胜男[1,2],李岩泉[3],于大炮[1],周 莉[1],周旺明[1],郭 焱[1,2],王晓雨[1,2],代力民[1,*]

1 中国科学院沈阳应用生态研究所,森林与土壤生态国家重点实验室,沈阳 110016
2 中国科学院大学,北京 100049
3 中国林业科学研究院,北京 100091

摘要:森林作为陆地生态系统最大的碳库,对现在及未来的气候变化、碳平衡都具有重要影响。而对影响森林植被碳库的自然和非自然因素进行研究更是对增强森林的碳汇作用,继而改善生态环境状况意义重大。现有的森林动态模型虽然可以很好的模拟碳储量各影响因子之间的联系,但研究往往集中于小尺度从单一影响因素着手,且由于确定模型输入变量和参数的复杂性,使得这些模型在区域甚至更大尺度上的应用存在着一些困难。因此,运用 VAR 模型,以陕西省为例,构建森林植被碳储量与病虫害发生面积、木材产量、森林火灾面积、森林抚育面积、人工更新造林面积、降水和温度之间的动态关系,来验证该模型在省级尺度条件下的区域森林植被碳储量影响因素分析中的可行性。结果表明:各变量在 5%的显著性水平下呈一阶单整序列并具有长期稳定的均衡关系,VAR 模型也通过了平稳性检验满足运行的前提条件。通过脉冲响应和方差分解分析可知,森林病虫害、木材产量对陕西省森林植被碳储量呈现出很明显的负作用,并且贡献度很高,分别为 5.61%和 4.52%;森林抚育、人工更新造林对碳储量的影响存在一定的滞后期;火灾、温度和降水的冲击给碳储量带来的影响均不明显。模型较好的模拟了各影响因素对陕西省碳储量的影响,且具有一定的现实意义,因此,该模型可应用于省级尺度条件下的区域森林植被碳储量影响因素分析。

关键词:植被碳储量;影响因素;VAR 模型;脉冲响应;方差分解

Analysis of factors that influence forest vegetation carbon storage by using the VAR model: a case study in Shanxi Province

WU Shengnan[1,2], LI Yanquan[3], YU Dapao[1], ZHOU Li[1], ZHOU Wangming[1], GUO Yan[1,2], WANG Xiaoyu[1,2], DAI Limin[1,*]

1 *Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Shenyang* 110164, *China*
2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*
3 *Chinese Academy of Forestry, Beijing* 100091, *China*

Abstract: Forest vegetation carbon dynamics are widely considered as basic indicators of the capacity of a forest ecosystem for carbon sequestration and carbon exchange with the atmosphere and the ability of the forest ecosystem to function as a carbon sink or source. Forest management practices such as harvesting, afforestation, and reforestation are the most important factors that influence forest carbon dynamics. Therefore, elucidation of the effects of human silvicultural activities on forest ecosystem dynamics will provide a valuable insight into ways of expanding the size of the carbon pool and improving

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(XDA05060200);国家科技支撑计划资助项目(2012BAD22B04)
收稿日期:2014-05-29; **修订日期**:2014-10-31

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: lmdai@iae.ac.cn

the ecological environment of China. Previous studies have attempted to identify the factors that affect forest carbon sequestration; however, most of these investigations focused on a single factor and did not consider the interactions occurring between multiple factors. In addition, most previous studies were conducted on a small scale, and no investigations conducted at a regional or larger scale examined the influence of interactions occurring between multiple factors on forest carbon sequestration. Forest dynamic models represent a valuable tool for resolving this problem; however, existing models do not adequately reflect the interactive effects of multiple factors such as forest management practices, climate change, and other human-induced disturbances on forest carbon storage. In the present study, we used a vector autoregression (VAR) model that included seven parameters (factors) (timber output, forest-tending area, area affected by forest diseases and/or pests, fire-affected area, reforestation area, annual total precipitation, and annual average temperature) to simulate forest carbon storage dynamics in Shanxi Province. The results of variable stationary and cointegration analyses revealed that the investigated variables exhibited a single whole-sequence order at the 5% significance level; in addition, they showed long-term stable equilibrium. Hence, we applied each variable to the VAR model and used the model stationary test to show that all the characteristic roots of the VAR model were <1, i.e., these roots fell within the unit circle. Our results indicate that the VAR model system is stable and meets the prerequisites for identifying the effects of multiple factors on forest vegetation carbon storage dynamics. Finally, we used impulse response and variance decomposition analyses to show that forest pests and timber output had significant negative impacts on carbon storage and contributed to a high degree of 5.61% and 4.52%, respectively. Forest tending and artificial reforestation had weakly negative effects on carbon storage, whereas forest fires, precipitation, and temperature had no significant effects on carbon storage. Taken together, our findings verify the suitability of the VAR model for identifying the effects of multiple factors on forest ecosystem carbon storage dynamics. Therefore, in future studies, this model can be used to analyze factors that influence forest vegetation carbon storage at a provincial scale.

Key Words: forest vegetation carbon storage; influencing factor; VAR model; impulse response; variance decomposition

森林作为陆地生态系统最大的碳库,含有地上植被碳库的 80%和地下土壤碳库的 40%,在全球碳循环中扮演着源/汇的作用,其碳蓄积量的增减,直接影响到大气二氧化碳浓度的变化[1-3],对现在及未来的气候变化、碳平衡都具有重要影响[4]。

有关森林碳汇、陆地碳循环的众多研究中,模型方法已成为一种不可代替的手段,弥补了人们无法直接测量生态系统碳收支的不足[5]。目前,有很多研究利用陆地生态系统碳循环模型[6-11]系统地模拟了生态系统从一种平衡态到另一种平衡态的碳贮量及其通量变化[5,12],但割裂了生态系统结构和功能之间的相互关系和相互影响。虽然也有综合反映陆地生态系统结构和功能与全球变化和人类活动影响之间关系的模型[13-16],但由于确定模型输入变量和参数的复杂性,使得这些模型在区域甚至更大尺度上的应用仍存在着一些困难[5]。

VAR 模型(向量自回归模型)是预测相互联系的时间序列系统及分析随机扰动对变量系统的动态冲击,从而解释各个冲击所带来的影响的模型[17-18]。它很好的弥补了现有一些生态系统模型的不足,不仅可以很好的模拟生态系统结构和功能之间的相互关系和相互影响,也具有变量确定简单的优势。

基于此,本文从森林资源清查数据入手计算森林植被碳储量,以对森林资源有重要影响的自然和非自然因素为变量,运用 VAR 模型,选取降水、温度、森林病虫害、木材产量、森林火灾、森林抚育和人工更新造林为碳储量的影响因素进行定量分析[19-21]。并以陕西省为例,着重探讨 VAR 模型是否可应用于省级尺度条件下的区域森林植被碳储量影响因素分析。

1　模型与方法

VAR 模型是把系统中每一个内生变量作为系统中所有内生变量滞后值的函数来构造模型,从而将单变

量自回归模型推广到由多元时间序列变量组成的“向量”自回归模型[17-18,22]。

其数学表达式是：

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \ldots + A_p y_{t-p} + Bx_t + \varepsilon_t \qquad t = 1,2,\cdots,T \tag{1}$$

式中，y_t 是 h 维的内生变量向量，x_t 是 k 维的外生变量向量，p 是滞后阶数，T 是样本个数，h × h 维矩阵 $A_1,\cdots,A_p$ 和 $h * k$ 维矩阵 B 是被估计的系数矩阵，ε_t 是 k 维的扰动向量，他们之间可以同期相关，但不与自己的滞后值相关及不育等式右边的变量相关[23-26]。该模型不关心方程回归系数是否显著，检验重点是模型整体的稳定性水平，只有在 VAR 系统稳定的基础上，才能利用脉冲响应和方差分解来研究随机扰动对变量系统的动态冲击[27-28]。

在本研究中，常数项为模型外生变量，7 个碳储量影响因素为式(1)右边的内生变量，各变量具体信息及相关处理见表 1。本文之所以选择降水、温度、病虫害发生、木材产量、森林火灾、森林抚育和人工更新造林作为碳储量影响因素进行定量分析，首先，森林生态系统中的碳动态是研究森林生态系统固碳能力、碳源/汇以及与大气间碳交换的基本参数，而人工更新造林、森林抚育、采伐等人类经营活动又是森林生态系统碳动态的重要因素之一[29]。其次，随着这些非自然因素对碳储量的影响越来越大，研究人类营林活动对碳储量的影响，对增强我国森林的碳汇作用，继而改善我国生态环境状况有重大的意义[21,28-29]。

表 1 各变量相关信息

Table 1 information of each variable

变量 Variable	变量性质 Variable nature	变量代号 Variable code	量纲 Dimension	时间步长/a Time step	数据范围 Data range	数据来源 Data sources	数据处理 Data processing
碳储量	内生变量	tan	万 t	1	1980—2010 年	1977—1981、1984—1988、1989—1993、1994—1998、1999—2003、2004—2008 年的 6 次森林清查资料	根据各优势树种面积和蓄积量计算陕西省生物量，并与 0.5 的含碳系数相乘求得陕西省森林植被碳储量[30]
病虫害发生面积	内生变量	chong	hm^2	1	1980—2010 年	《全国林业统计资料汇编》	
木材产量	内生变量	mu	m^3	1	1980—2010	(1949—1987)、《全国林业统	
森林火灾面积	内生变量	huo	hm^2	1	1980—2010	计资料》(1987—1996)、《中	
森林抚育面积	内生变量	fu	hm^2	1	1980—2010	国林业统计资料》(1997)《中	
人工造林面积	内生变量	zao	hm^2	1	1980—2010	国林业统计年鉴》(1998—2010)	
年均温度	内生变量	wen	℃	1	1980—2010	中国气象科学数据网	以陕西省 22 个台站的年均降水量和温度为基础数据，
年均降水	内生变量	shui	mm	1	1980—2010		分别取平均值作为陕西省的年平均降水量和温度

最后，为了消除各个变量之间可能存在的异方差问题，本文选用归一化方法中常用于时间序列里的取自然对数的方法，对各原始变量均取自然对数后建模，并在这些变量前加字母“ln”表示其自然对数，分别为 ln(chong)、ln(mu)、ln(huo)、ln(fu)、ln(zao)、ln(shui)、ln(wen)、ln(tan)。

2 模型验证

模型所选变量是否合理，各变量是否是平稳序列，他们之间是否存在长期稳定的均衡关系，以及各变量构成的模型整体能否平稳运行是运用 VAR 模型进行分析的前提条件。因此，在运用模型进行相关分析和预测之前，首先对模型的可行性进行检验。

2.1 变量平稳性检验

由于森林抚育面积序列存在单位根，即为非平稳序列，故我们在估计过程之前要对其进行差分处理。d 算子是用于差分的，在设定一阶差分时，只需在 d 后加入序列名称。如 dln(fu)设定了森林抚育面积的一阶差分，即 dln(fu)= log(fu)- log(fu(-1))，即文中的 dln(fu)。随后，继续对各个变量的一阶差分序列做单位根

检验。

将表 2 中各一阶差分序列的 ADF 统计结果与 1%(-2.647120)、5%(-1.952910)、10%(-1.610011)3 个检验水平下的临界值相比较,ln(tan)一阶差分的统计量即 dln(tan)的统计量-1.994832 小于 5%显著水平下的-1.952910,其余变量均小于 1%显著水平下的-2.647120。由此可判断,各一阶差分序列是在 5%显著性水平下的一阶单整序列,因此,在以下分析中,均使用以上变量的差分序列进行研究,并在这些变量前加字母“d”表示一阶差分序列[31]。

2.2　滞后阶数检验

在进行时间系列分析时,传统上要求所用的时间系列必须是平稳的,即没有随机趋势或确定趋势,否则会产生“伪回归”问题。但是,在现实中的时间序列通常是非平稳的,可以对它进行差分把它变平稳(如之前对各数据进行的一阶差分的处理),但这样会失去总量的长期信息,而这些信息对分析问题来说又是必要的,所以用协整来解决此问题,最终达到确定各个变量之间的长期稳定的均衡关系[32]。

表 2　各变量一阶差分的 ADF 检验结果

Table 2　ADF test results of first-order differential variables

序列 Sequence	单位根检验统计量 ADF statistics	*P*
dln(fu)	-3.971987	0.0003
dln(chong)	-8.497637	0.0000
dln(huo)	-3.412722	0.0015
dln(mu)	-4.582064	0.0001
dln(shui)	-12.12492	0.0000
dln(tan)	-1.994832	0.0457
dln(wen)	-7.316767	0.0000
dln(zao)	-5.155128	0.0000

在做协整性检验时,要注意滞后期的选择,因为协整检验的最优滞后一般为 VAR 的最优滞后减去 1,所以,先来确定 VAR 模型的最大滞后阶数。

表 3　滞后阶数判断结果

Table 3　Judgment result of the lag order

滞后期 Lag	对数似然函数值 LogL	对数似然比检验 LR	最终预测误差 FPE	赤池信息量准则 AIC	施瓦茨信息准则 SC	汉南-奎因信息准则 HQ
0	-43.10133	NA	5.32×10^{-9}	3.650095	4.030725	3.766457
1	61.43921	141.8764	3.55×10^{-10}	0.754342	4.180011	1.801603
2	180.5346	93.57492*	2.72×10^{-11}*	-3.181041*	3.289667*	-1.202881*

表 3 中给出了 0—2 阶 VAR 模型的 5 个评价统计指标:LR,FPE,AIC,SC 和 HQ 的值,并以“*”标记出了各评价指标给出的最小滞后期,如果出现检验结果不一致时,便根据多数原则来确定 VAR 的滞后阶数。可以看到,本文的 5 个准则选择出来的滞后阶数都为 2,所以,便将 VAR 模型的滞后阶数定义为 2 阶,确定建立 VAR(2)模型,并且,协整检验的最优滞后为 1。

2.3　协整性检验

为了检验 dln(tan)与 dln(chong)、dln(mu)、dln(zao)、dln(fu)、dln(shui)、dln(wen)和 dln(huo)之间是否存在长期稳定的均衡关系,采用 Johansen 协整检验。

表 4　Johansen 协整检验结果

Table 4　Results of Johansen cointegration test

虚拟的协整方程数 Hypothesized No. of CE(s)	特征值 Eigenvalue	迹统计量 Trace Statistic	0.05 的临界值 0.05 Critical Value	概率 Prob.**
None*	0.982276	316.6887	159.5297	0.0000
At most 1*	0.895717	203.7688	125.6154	0.0000
At most 2*	0.824959	140.4708	95.75366	0.0000
At most 3*	0.688188	91.67419	69.81889	0.0004
At most 4*	0.627254	59.04429	47.85613	0.0032
At most 5*	0.537189	31.41223	29.79707	0.0323
At most 6	0.203182	9.839999	15.49471	0.2932
At most 7	0.116885	3.480397	3.841466	0.0621

根据迹统计量(Trace Statistic)结果,以检验水平 0.05 来看,有 316.6887>159.5297,203.7688>125.6154,140.4708>95.75366,91.67419>69.81889,59.04429>47.85613,31.41223>29.79707。因此,在 5%的显著水平下 dln(tan)与 dln(chong)、dln(mu)、dln(zao)、dln(fu)、dln(shui)、dln(wen)和 dln(huo)之间存在协整关系,并有 6 个协整方程。

随后便可以建立并运行 VAR 模型。但是为了达到分析各变量之间关系的目的,还必须先对整个模型进行平稳性检验。只有检验结果是平稳的,才可进行脉冲响应及方差分解分析。

2.4 模型平稳性检验

VAR 模型的全部特征根均小于 1,即全部落在单位圆内(图 1),这就说明,该 VAR 模型系统是稳定的,可以进行后续的分析,并且后续分析结果是合理的。

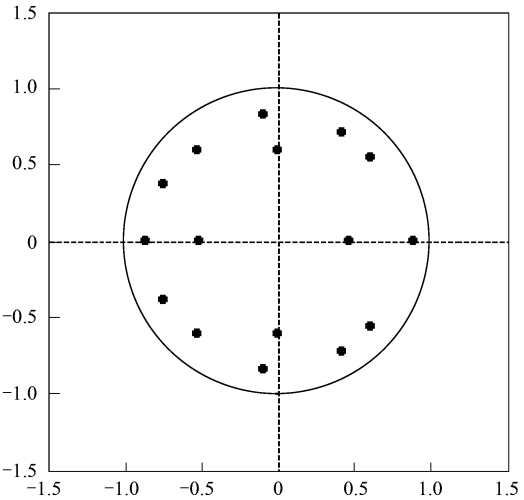

图 1 VAR 特征根图

Fig.1 Figure of VAR characteristic roots

3 碳储量影响因素分析

经模型检验,运用 VAR 模型进行分析的前提条件得以满足,但它能否很好的模拟出所选变量对碳储量动态影响及持续的时间,还需进行脉冲响应和方差分解分析,来验证其是否具有一定的现实意义,并且能否将该模型应用在区域、特别是省级尺度范围下森林植被碳储量影响因素分析的研究中。

3.1 脉冲响应

脉冲响应是 VAR 模型系统动态特征的一个重要方面,它刻画每个变量的变动或冲击对它自己及所有其他变量产生影响的轨迹,并通过脉冲响应图来展现每个影响因素的影响过程及影响的正负[25,28]。

经检验后,模型整体呈稳定状态,所以可以断定运用 VAR 模型进行相关问题分析的前提条件得以满足。随后,给选定的碳储量的影响因素分别施加一个冲击,得到碳储量对各影响因素冲击的响应结果(表 5)。根据样本数据容量,本文将冲击响应期设定为 10 期,绘制出碳储量的脉冲响应曲线(图 2),分析碳储量变化的轨迹,确定不同影响因素对碳储量的影响。其中,“期”是“滞后期”的意思,在向量自回归模型中,每个回归式中都需要用滞后的解释变量对被解释变量的当期值进行回归,因此只有时间序列才有滞后期的概念,为便于理解,可以简单的将它理解为年。

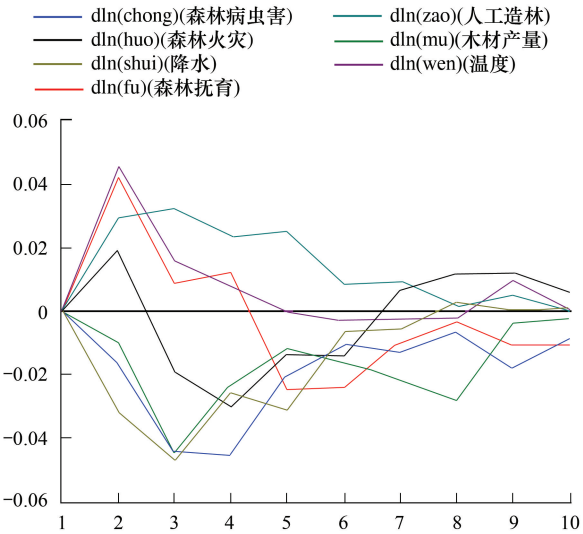

图 2 dln(tan)脉冲响应图

Fig.2 Figure of impulse response

横轴表示冲击作用的滞后期间数,纵轴表示碳储量(dln(tan))的变动值,不同颜色的曲线代表碳储量受不同因素影响的轨迹,横坐标以上的部分为碳储量受各个影响因素作用后产生的正向反应,即各影响因素对碳储量产生了正向作用,横坐标以下的部分则表明各影响因素对碳储量产生了负向作用

曲线 dln(chong)为碳储量受森林病虫害冲击的脉冲响应轨迹,当给森林病虫害一个正的标准差新息的冲击后,森林碳储量在当期没有发生反应,但第 2 期起开始有了较为明显的负向反应并且逐渐达到负向最大。虽然从第四期开始这个负向反应有所减弱,但其仍在 0 轴下方波动。即表明,森林病虫害不利于碳储量的增长。

曲线 dln(fu)表示碳储量受森林抚育冲击的脉冲响应轨迹,森林抚育面积对碳储量的冲击也是呈上下波动

趋势。当给森林抚育面积一个正的标准差新息的冲击后,森林碳储量在当期没有发生反应,但从第 2 期开始便有了较为明显的正向反应,并达到正向最大值。从第 5 期开始产生负向反应,且持续时间较长,对然负向作用在不断减少,但仍在 0 轴下方波动。这表明,森林抚育在一开始能够对碳储量产生促进作用,但仍需将此工作持之以恒以避免其给碳储量的增长带来的负作用。

表 5　dln(tan)脉冲响应函数结果

Table 5　Results of dln(tan)'s impulse response function

预测期 Period	森林病虫害 dln(chong)	森林抚育 dln(fu)	温度 dln(mu)	森林火灾 dln(huo)	人工造林 dln(zao)	温度 ln(wen)	降水 dln(shui)
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	−0.016685	0.042229	−0.010429	0.018918	0.029210	0.045831	−0.031781
3	−0.044237	0.008660	−0.044799	−0.019224	0.031916	0.015369	−0.047146
4	−0.045401	0.011993	−0.023444	−0.030100	0.023023	0.006949	−0.026328
5	−0.020398	−0.024742	−0.011858	−0.013770	0.024908	−0.000328	−0.031456
6	−0.011170	−0.024369	−0.016973	−0.014662	0.008576	−0.003091	−0.006651
7	−0.013314	−0.009881	−0.021604	0.006024	0.009176	−0.002621	−0.006263
8	−0.006552	−0.004091	−0.028574	0.011756	0.001753	−0.002650	0.002872
9	−0.018549	−0.010810	−0.004077	0.012012	0.005093	0.009963	0.000318
10	−0.008250	−0.010835	−0.002782	0.005776	−0.000458	−0.000321	0.001142

曲线 dln(mu)表示碳储量受木材产量冲击的脉冲响应轨迹,木材产量对森林碳储量的冲击都是负向冲击,对然从第 9 期开始慢慢向 0 轴逼近,但始终未有正向反应出现。这与人们所理解到的“木材产量的增长会对森林碳储量的减少起到一定影响”是相一致的。

曲线 dln(huo)、曲线 dln(wen)、曲线 dln(shui)分别表示碳储量受火灾、温度和降水冲击的脉冲响应轨迹,三者的冲击给碳储量带来的波动仅在 0 轴线上下波动,影响有限。

曲线 dln(zao)表示碳储量受人工更新造林冲击的脉冲响应轨迹,人工更新造林面积对森林碳储量的冲击作用不大,从第 3 期的正向最大逐渐减弱,但总体呈正向反应。

3.2　方差分解

从脉冲响应函数来看,各个影响因素对森林碳储量的影响冲击有正也有负。但从总体上来看,冲击过后形成的碳储量的变化的曲线都是比较平坦的,这也说明,各个影响因素对碳储量的影响并不强烈。为了进一步定量的分析在长期森林碳储量变动过程中,各个影响因素贡献程度的大小,还要对森林碳储量(dln(tan))进行方差分解。

表 6　dln(tan)方差分解结果

Table 6　Results of dln(tan)'s variance decomposition

预测期 Period	变量预测误差 S.E.	碳储量 dln(tan)	森林病虫害 dln(chong)	森林病虫害 dln(fu)	木材产量 dln(mu)	森林火灾 dln(huo)	人工造林 dln(zao)	温度 ln(wen)	降水 dln(shui)
1	0.122380	100.0000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.182716	80.55405	0.833856	5.341563	0.325778	1.071952	2.555672	6.291674	3.025457
3	0.241416	75.33005	3.835345	3.188449	3.630150	1.248161	3.211714	4.009273	5.546859
4	0.278643	75.12909	5.533792	2.578639	3.432882	2.103799	3.093564	3.071745	5.056490
5	0.292615	73.98068	5.503886	3.053194	3.277088	2.129126	3.529777	2.785530	5.740721
6	0.300269	73.79396	5.365279	3.558165	3.431684	2.260400	3.433702	2.655942	5.500865
7	0.304199	73.48529	5.419098	3.572313	3.847971	2.241589	3.436535	2.595179	5.402022
8	0.307026	72.87570	5.365325	3.524594	4.643616	2.347120	3.376812	2.555063	5.311765
9	0.309794	72.57993	5.628334	3.583623	4.578301	2.455693	3.343753	2.613016	5.217346
10	0.312215	72.76933	5.611228	3.648704	4.515535	2.451995	3.292328	2.572768	5.138109

森林碳储量增长的变化受自身冲击的影响呈逐步递减的趋势,从初始的 100%递减到 72.77%。而其他因素对碳储量的影响从初始到第 10 期期间虽然有小幅的波动,但整体上都呈增长的趋势(表 6)。从长期来看,陕西省森林植被碳储量变化除 72.77%受其本身决定之外,所受到的影响程度从高到低分别为:5.61%受森林病虫害面积的影响,5.14%受降水的影响,4.52%受木材产量的影响,3.65%受森林抚育面积的影响,3.29%受人工更新造林面积的影响,2.57%受温度的影响,2.45%受森林过火面积的影响。

4 结论

(1)通过变量平稳性检验和协整性检验得出,各变量在 5%的显著性水平下呈一阶单整序列并具有长期稳定的均衡关系,故可将各变量应用于 VAR 模型。

(2)通过模型平稳性检验得出,VAR 模型的全部特征根均小于 1,即全部落在单位圆内,这就说明,该 VAR 模型系统是稳定的,满足运行的前提条件,可以用来进行后续分析并且后续分析结果是合理的。

(3)通过经脉冲响应和方差分解分析得出,森林病虫害、木材产量对陕西省森林植被碳储量呈现出很明显的负作用,并且贡献度很高,分别为 5.61%和 4.52%;森林抚育、人工更新造林对碳储量的影响存在一定的滞后期;火灾、温度和降水的冲击给碳储量带来的影响均不明显。模型较好的模拟了各影响因素对陕西省碳储量的影响,且具有一定的现实意义,因此,可将该模型应用于省级尺度条件下的区域森林植被碳储量影响因素分析。

参考文献(References):

[1] 徐小锋,田汉勤,万师强.气候变暖对陆地生态系统碳循环的影响.植物生态学报, 2007, 31(2): 175-188.

[2] Sedjo R, Sohngen B. Carbon sequestration in forests and soils. Annual Review of Resource Economics, 2012, 4: 127-144.

[3] Crow S E, Lajtha K, Filley T R, Swanston C W, Bowden R D, Caldwell B A. Sources of plant-derived carbon and stability of organic matter in soil: implications for global change. Global Change Biology, 2009, 15(8): 2003-2019.

[4] 何英. 森林固碳估算方法综述. 世界林业研究, 2005, 18(1): 22-27.

[5] 延晓冬, 赵俊芳. 基于个体的中国森林生态系统碳收支模型 FORCCHN 及模型验证. 生态学报, 2007, 27(7): 2684-2694.

[6] 毛留喜,孙艳玲,延晓冬.陆地生态系统碳循环研究模型概述.应用生态学报, 2006, 17(11): 2189-2195.

[7] 彭守章,赵传燕,许仲琳,王超,柳逸月.黑河上游祁连山区青海云杉生长状况及其潜在分布区的模拟.植物生态学报, 2011, 35(6): 605-614.

[8] Neilson R P, King G A, Koerper G. Toward a rule-based biome model. Landscape Ecology, 1992, 7(1): 27-43.

[9] Zhou G S, Wang Y H. Global change and climate-vegetation classification. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(7): 577-585.

[10] 倪健. BIOME 系列模型: 主要原理与应用. 植物生态学报, 2002, 26(4): 481-488.

[11] Raich J W, Rastetter E B, Melillo J M, Kicklighter D W, Steudler P A, Peterson B J, Grace A L, Moore B III, Vörösmarty C J. Potential net primary productivity in South America: application of a global model. Ecological Applications, 1991, 1(4): 399-429.

[12] 陶波,葛全胜,李克让,邵雪梅.陆地生态系统碳循环研究进展.地理研究,2001,20(5):564-575.

[13] 彭少麟,张桂莲,柳新伟.生态系统模拟模型的研究进展. 热带亚热带植物学报,2005,13(1): 85-94.

[14] 刘平, 马履一, 段劼. 森林动态计算机模拟模型研究. 世界林业研究, 2007, 20(3): 45-50.

[15] Yan X D, Zhao S D. Simulating the response of Changbai Mt. forest to potential climate change. Journal of Environmental Science, 1996, 8(3): 354-366.

[16] 延晓冬,赵士洞,于振良.中国东北森林生长演替模拟模型及其在全球变化研究中的应用. 植物生态学报,2000,24(1):1-8.

[17] 高铁梅. 计量经济分析方法与建模: Eviews 应用及实例. 北京: 清华大学出版社, 2006: 250-301.

[18] 于丹, 李颖, 田广才. 基于向量自回归模型的人民币汇率实证分析. 现代商贸工业, 2011, 23(3): 161.

[19] 国务院新闻办新闻发布会.国新办介绍中国森林资源状况等方面情况.[2009-11-17].http://www.xinhuanet.com/zhibo/20091117a/wz.htm.

[20] 林业局.我国森林植被总碳储量 78 亿吨.[2009-11-19].http://www.cma.gov.cn/2011xwzx/2011xqhbh/2011xqhbhyhy/201110/t20111027-130092.html.

[21] 吕超群,孙书存.陆地生态系统碳密度格局研究概述.植物生态学报,2004,28(5): 692-703.

[22] Allen P G, Morzuch B J. Twenty-five years of progress, problems, and conflicting evidence in econometric forecasting. What about the next 25

years? International Journal of Forecasting, 2006, 22(3): 475-492.
[23] 续珊珊. 中国森林碳汇问题研究——以黑龙江省森工国有林区为例. 北京: 经济科学出版社, 2011: 113-114.
[24] 樊重俊. 贝叶斯向量自回归分析方法及其应用. 数理统计与管理, 2010, 29(6): 1060-1066.
[25] 朱慧明,韩玉启,郑进城.基于正态-Gamma 共轭先验分布的贝叶斯 AR(p)预测模型.统计与决策,2005,(2):8-9.
[26] 张延群.向量自回归(VAR)模型中的识别问题-分析框架和文献综述.数理统计与管理,2012,31(5):805-812.
[27] 成艳. 开放经济下中国物价波动影响因素研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2009.
[28] 朱慧明, 刘智伟. 时间序列向量自回归模型的贝叶斯推断理论. 统计与决策, 2004, (1): 11-12.
[29] 杨晓菲,鲁绍伟,饶良懿,耿绍波,曹晓霞,高东.中国森林生态系统碳储量及其影响因素研究进展.西北林学院学报 2011,26(3): 73-78.
[30] 周玉荣,于振良,赵士洞.我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡.植物生态学报,2000,4(5):518-522.
[31] 吴振信,薛冰,王书平.基于 VAR 模型的油价波动对我国经济影响分析.中国管理科学,2011,19(1)21-27.
[32] Fan C J, Yao S. Bayesian approach for ARMA process and its application. International Business Research, 2008, 1(4): 49-55.