



基于系统动力学的我国大豆价格预测分析

徐鑫洲, 马开平

(南京农业大学 工学院, 江苏 南京 210031)

摘要:大豆是我国传统的农作物,同时也是我国市场需求量较高的大宗农产品。合理地预测大豆价格对我国大豆市场具有重要的经济价值和现实意义。本文将大豆价格及其影响因素定义为非线性、高噪音、波动大的非时变系统,利用系统动力学的理论,绘制因果关系图研究大豆供给、需求、价格因素之间的因果反馈关系,并构造出一个系统动力学模型。系统模拟了人口因素、经济因素、大豆供给量、大豆消费量、其它油料作物价格等因素对大豆价格的影响,采用2006-2016年的大豆价格年度数据进行了仿真和实证,进而对2017-2020年的我国大豆价格年度数据进行预测。结果证明该模型具备有效的预测能力,预测精度较高。因具备系统动力学的特征,研究更加侧重反应大豆价格的未来趋势,进而为大豆从业者和我国农业经济政策提供参考。

关键词:大豆价格;系统动力学;预测

Prediction and Analysis of Soybean Price in China Based on System Dynamics

XU Xin-zhou, MA Kai-ping

(College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210032, China)

Abstract: Soybean is a traditional crop in China. It is also a large agricultural product with high demand in China. Reasonable prediction of soybean prices has important economic and practical significance for China's soybean market. This paper defines the price of soybean and its influencing factors as a non-time-varying system with nonlinear, high noise and large fluctuation, by using the theory of system dynamics. The causality diagram is drawn to study the causal feedback relationship between the soybean supply, demand and price factors, and construct a systematic dynamic model. The influence of factors such as population, economic factors, soybean supply, soybean consumption, soybean consumption, and other oil crop prices on the price of soybean was systematically simulated. The annual data of 2006-2016 soybean prices were simulated and proved, and then forecast annual soybean price data for 2017-2020 in China. The results showed that the model has effective prediction ability and high prediction accuracy. Due to the characteristics of system dynamics, it focuses more on the future trend of soybean prices, and then provides references for soybean practitioners and agricultural economic policies in China.

Keywords: Soybean price; System dynamics; Prediction

大豆是我国重要的农作物和我国农业供给侧改革的重点,随着结构矫正,大豆产业的现状有望不断改善,大豆价格的稳定是我国大豆产业平稳发展的前提,也是改善我国大豆在供给端和需求端不平衡的重要条件,近几年来,大豆价格不断上涨,波动起伏较大,对我国传统农业,特别是四大主粮的价格产生了较大的影响。因此,对大豆价格的精确预测对我国农业供给侧改革和农业健康发展具有重要的实际意义。

目前,关于大豆价格预测的相关研究比较广泛。周朋飞等^[1]采用APSO_SVR模型对国内大豆价格进行预测。方燕等^[2]基于神经网络及控制图理论对大豆价格进行了分析和预测,并为其设置了价格预警线。刘欢等^[3]采用分位数回归的方法对影响大豆价格的因素进行分析,得到世界大豆产量、中国消费者信心指数和中国货币供应量是影响

大豆价格的主要因素。此外,灰色预测模型、时间序列法、符号回归^[4]等也被运用于大豆价格的预测。以往大豆价格初始影响因素的选择大都借鉴前人研究结果,但均未从系统动态性角度研究问题。系统动力学(System Dynamics,SD)是由美国麻省理工学院Forrester教授在20世纪50年代早期创立的一门学科,并于1958年在《Harvard Business Review》上发表了奠基之作。经历了20世纪五六十年代的诞生,七八十年代的发展成熟,到90年代至今的广泛应用与传播阶段,系统动力学在一系列社会经济系统问题的研究中取得了令人瞩目的成果。系统动力学的自身特性决定了系统动力学适合处理长期性和周期性的问题、对数据不足的问题进行研究、处理要求不高的复杂的社会经济问题以及处理非线性和多重反馈的复杂时变系统,适合长期的、动态的、战略性的仿真分析与研究。系统动力

学认为系统的内在结构决定系统的行为,其本质是在多重信息因果反馈中,寻找系统的较优结构,进而获得较优的系统行为。作为一种研究动态性、多变性等方法,在预测、管理、优化与控制3个方面应用广泛。刘志斌等^[5]利用系统动力学的方法对石油价格进行了准确预测。王海燕等^[6]利用系统动力学和计量经济学的方法对粮食的供求状况进行了预测,并为政策仿真提供了数量依据。于晓勇等^[7]为煤炭投资需求建立了系统动力学预测模型。唐旭等^[8]利用系统动力学的基本原理构建了中国石油产量系统动力学模型,确定了剩余可采储量、采油速度等模型变量参数,对未来中国石油的产量进行预测。杨俊等^[9]基于系统动力学建立了三阶段短生命周期产品供应链模型,并利用模型比较了指数平滑法和BASS模型两种需求预测方法在供应链库存中产生的影响。

本文采用系统动力学方法构建出一个大豆价格系统的模型。在模型中加入了供给和消费量因素,对大豆的供求状况进行了分析,同时尽可能将外部影响因素量化,较好地反映了大豆逐年供求状况和价格的变化趋势,并对未来大豆价格做出合理预测。

1 中国大豆进口量预测

大豆进口量是大豆价格的重要影响因素。因此,本文在建立系统动力学模型预测大豆价格前,先对我国的大豆进口量进行了预测分析^[10-11]。

1.1 中国大豆进口量预测模型

大豆进口量包括季节调整前后我国大豆进口量为 $I_{CHN,1}$ 和 $I_{CHN,2}$;季节调整前后美国大豆出口量为 $E_{USA,1}$ 和 $E_{USA,2}$;季节调整前后美国大豆压榨量为 $P_{USA,1}$ 和 $P_{USA,2}$;三者存在内在关系。考虑到美国大豆出口量和大豆压榨量两个变量对我国大豆进口

量的影响,得出公式(1):

$$I_{CHN,1} = \alpha + \beta_1 E_{USA,1} + \beta_2 P_{USA,1} + \varepsilon \tag{1}$$

其中 β_i 为模型中第*i*个变量对其他变量的影响程度。增加考虑了库存量,引入了滞后期的变量,一般设置滞后期为3~9个月,得出公式(2);

$$I_{CHN,1} = \alpha + \beta_1 E_{USA,1} + \beta_2 P_{USA,1} + \beta_3 S_{s,1} + \beta_4 S_{M,1} + \beta_5 S_{O,1} + \beta_6 E_{USA,1}(-\theta) + \varepsilon \tag{2}$$

其中 $S_{M,1}$ 为美国豆粕库存量, $S_{s,1}$ 为美国大豆库存量, $S_{O,1}$ 为美国豆油库存量。使用带有时间窗的季节调整数据,得出公式(3):

$$I_{CHN,2} = \alpha + \beta_1 E_{USA,2} + \beta_2 P_{USA,2} + \varepsilon \tag{3}$$

式(1)和式(3),都只考虑美国大豆出口量和压榨量,在式(3)中加入了大豆及豆制品库存量的影响,得出式(4):

$$I_{CHN,2} = \alpha + \beta_1 E_{USA,2} + \beta_2 P_{USA,2} + \beta_3 S_{s,2} + \beta_4 S_{M,2} + \beta_5 S_{O,2} + \beta_6 E_{USA,2}(-1) + \beta_7 E_{USA,2}(-2) + \varepsilon \tag{4}$$

其中 θ 为滞后期。季节调整后的大豆出口量排除了季节性影响因素,因此 θ 的值会受到我国进出口贸易政策或者运输等因素的影响,选择1和2个月。在模型中导入2006-2016年大豆数据进行运算,由于式(1)和式(2)都易忽略我国国内大豆消费的消费情况,故不再考虑。而式(3)在具体实例中的表现不如式(4),因此,本文选取季节调整后美国大豆出口量和压榨量与中国大豆进口量之间的关系,即式(4)。

1.2 我国大豆进口量预测

引入2006-2016年的数据进行分析,使用式(4)对数据进行处理时,选择的滞后期 θ 为2个月。采用杜宾-沃森(D-W)对式(4)进行检验得到的值为1.8997, R^2 检验为0.458。根据式(4)可以得到中国大豆进口量的预测值。图1显示了根据式(4)得到的2006-2020年每年的大豆进口量总数。

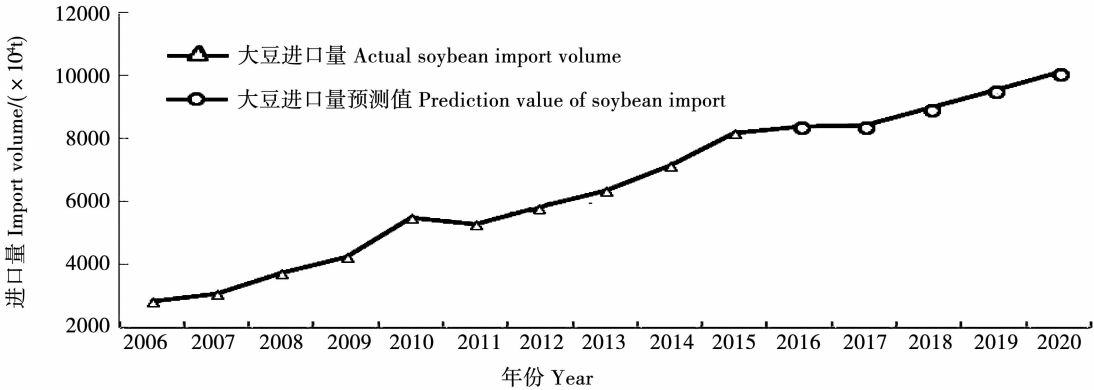


图1 大豆进口量预测
Fig.1 Soybean import forecast

2 大豆价格的系统动力学模型

2.1 确定系统边界

采用系统动力学研究问题,首先要确定系统的边界,即系统的结构。大豆价格系统包括大豆供给和大豆消费两部分。大豆供给包括国内大豆产量、大豆进口量和大豆期末库存量。大豆消费包括榨油消费量、工业消费量和大豆食品消费量,由于大豆出口量较小且增长率不大,故不再加入模型考虑。大豆价格受到多重因素的影响,主要概况为以下几个方面:大豆批发价、大豆消费价、进出口政策影响、期货市场投机、其它油料作物价格影响。杜蓉等^[12]对影响大豆价格因素研究的研究结果表明玉米油价格对大豆价格存在显著影响,并呈现明显的正相关关系。钟超等^[13]也利用 VAR 模型分析得出玉米价格与其它粮食价格之间存在明显的格兰杰因果关系。因此本文选取玉米价格作为其它油料作物价格的主变量。

本文利用工业生产者出厂价格(PPI)和中国居民消费价格指数(CPI)来描述大豆批发价和大豆消费价,利用中国居民消费信心指数(CCI)来模拟当年经济市场波动情况,量化政策影响因素。

2.2 构建因果关系图(CLD)

通过系统因素的分析,考虑到已收集到的数据,从各种因素中抽象出 20 个具有代表性的变量,来反映各种因素之间的关系,并建立系统变量集

合:大豆供给量(Quantity of supply)、国内大豆自产量(Self - yield of domestic)、国内大豆期末库存量(Final inventory)、不定因素(Uncertainty)、大豆进口量(Import)、大豆进口增量(Soybean imports increment)、替代作物油料影响(Replacement of oil plants)、大豆消费量(Total consumption)、大豆食品消费量(Food consumption)、工业消费量(Industrial consumption)、大豆榨油消费量(Oil consumption)、总人口(Total population)、人均消费量(Consumption per person)、大豆生产经营成本(Production and operation cost)、大豆价格(Soybean price)市场投机(Market speculation)、进出口政策(Import and export policy)、中国居民消费信心指数(Consumer confidence index,CCI)、中国居民消费价格指数(Consumer price index,CPI)、工业生产者出厂价格(Producer's price for manufactured products,PPI)。

根据确定的影响因素,可以构建系统的主要反馈回路:Quantity of supply \uparrow \rightarrow Production and operation cost \downarrow \rightarrow Expect soybean price \downarrow \rightarrow Consumption per person \downarrow \rightarrow Total consumption \downarrow \rightarrow Import \downarrow \rightarrow Quantity of supply \downarrow 。此回路表示当供给量提高,导致期望大豆价格的降低,从而影响大豆进口量的减少,进而导致下一时段大豆供给量的减少。该反馈回路为负反馈回路,负反馈回路具备寻的功能,可以有效地反映出对大豆价格系统的调控,提高模型的稳定性。因果关系图如图 2 所示。

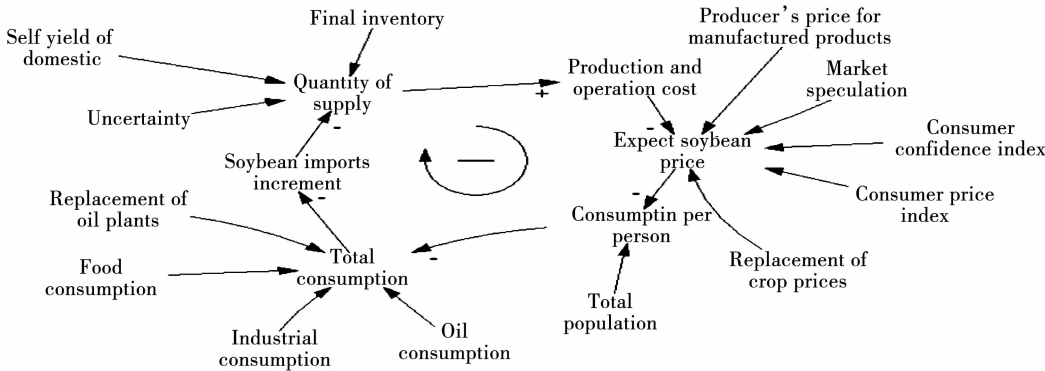


图 2 大豆价格系统因果关系图

Fig. 2 Soybean price system causality diagram

2.3 系统动力学模型(SD 流图)

因果关系图只能粗略地表达大豆价格系统各要素之间的联系,为了方便后续的计算以及定量的研究,将因果关系图改绘为系统动力学流图(图 3)。本文将大豆供给量、大豆消费量设置为水平变量,将大豆进口量增长速率和大豆消费量增速设置为速率变量。并量化了进出口政策等因素对我国大豆价格的影响。

利用 Vensim PLE 软件进行仿真,使用系统动力学的专用语言 DYNAMO 构造方程式,模型在运行前需要将相关因素量化表示,并动态仿真运行的参数。本文在查阅相关文献和专家系统分析法的基础上^[14-15],运用了柯布 - 道格拉斯生产函数、统计回归、表函数、方差计数等计量经济学方法量化参数,限于篇幅,省去其中具体过程,表 1 为模型中关键部分方程。

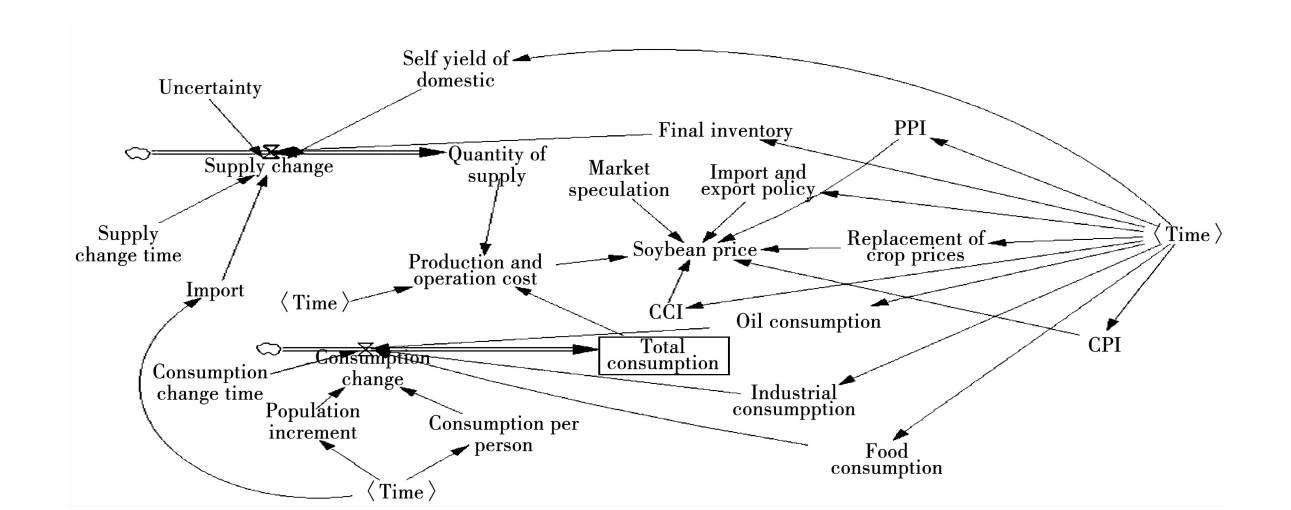


图3 大豆价格系统流程图

Fig.3 Soybean price system flow chart

表1 系统动力学仿真模型中的关键方程

Table 1 Key equations in the simulation model of system dynamics

变量 Variables	数学及逻辑关系表达式 Mathematical and logical relation expressions
供给量变化 Supply change/(× 10 ⁴ t)	Supply change = (Import + Self yield of domestic × Uncertainty + Final inventory) / Change time
大豆供给量 Quantity of supply/(× 10 ⁴ t)	Quantity Of supply = INTEG(+ Supply Change , IniQuantity Of supply)
大豆进口量 Import/(× 10 ⁴ t)	Import = WITH LOOKUP (Time , ([(2006 , 2824) - (2020 , 10099.10)] , (2006 , 2824) , ... (2011 , 5264) , ... (2016 , 8391) , ... (2020 , 10099.10)))
大豆生产经营成本 Production and operation cost/(yuan · t ⁻¹)	Production And Operation Cost = IF THEN ELSE (Supply change > Total consumption , ((Time - 2006) × 0.2 + 50) × 1.05 , (Time - 2006) × 0.16 + 50) × 0.7
大豆消费量变化 Consumption change/(× 10 ⁴ t)	Consumption change = (Population increment × Consumption per person + Food consumption + Food consumption + Oil consumption) / Consumption change time
大豆消费量 Total consumption/(× 10 ⁴ t)	Total Consumption = INTEG (+ Consumption Change , Ini Consumption)
不定因素 Uncertainty/Dmnl	Uncertainty = PULSE TRAIN (2006 , 1 , 3 , 2020)
大豆价格 Soybean price/(yuan · t ⁻¹)	Soybean price = (Replacement of crop prices × 1.231 + 1250) × Import and export policy + production and operation cost + CCI × 0.2 + CPI × 0.8 + PPI × 0.2
市场投机 Market Speculation/Dmnl	Market Speculation = STEP (3 , 2006)
进出口政策 Import and export policy/Dmnl	Import And Export Policy = WITH LOOKUP time , ([(2006 , 0.885) (2016 , 1.091)] , (2006 , 0.885) ... (2007 , 1.216) , ... (2008 , 1.12) (2011 , 5264) , ... (2016 , 1.091) ...)
INITIAL TIME = 2006	
FINAL TIME = 2020	
IME STEP = 1	
UNITS FOR TIME:	Year

Dmnl 表示为无量纲。
Dmnl is represented as dimensionless.

利用 Vensim PL 软件仿真 2017 - 2020 年大豆供给和消费变化趋势(图 4 和 5),不难发现,在未来几年中,我国大豆消费量保持稳定增长,进口量及供给和消费之间不平衡是导致价格波动的关键。图 6 为大豆价格系统模型预测出的价格曲线,为对

该模型的准确性和真实性进行评价,采用计算平均相对误差绝对值的方法,即 $MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right|$,选择 2006 - 2016 年的仿真数据进行分析。(n 代表样本个数, y_i 代表真实值, \hat{y}_i 代表预测值)(表 2)。

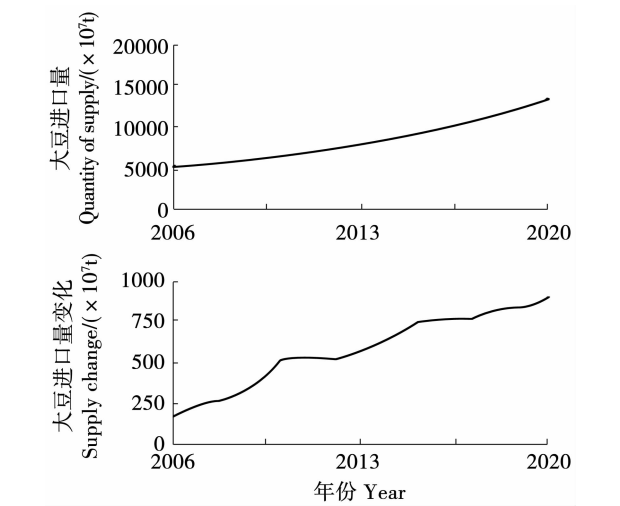


图 4 大豆供给状况仿真曲线

Fig. 4 Simulation curve of soybean supply

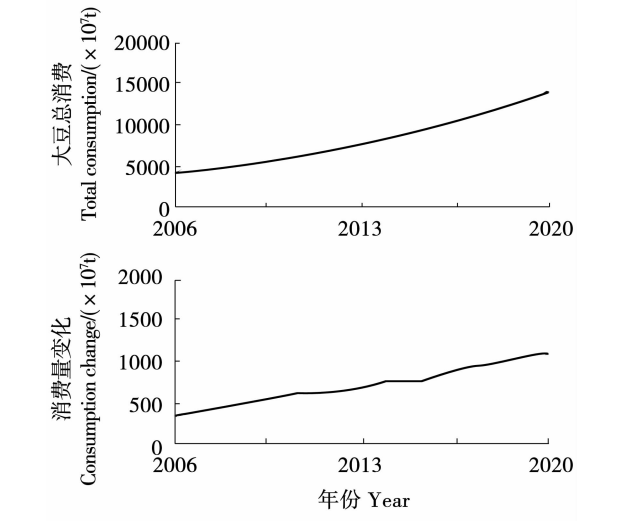


图 5 大豆消费状况仿真曲线

Fig. 5 Simulation curve of soybean consumption

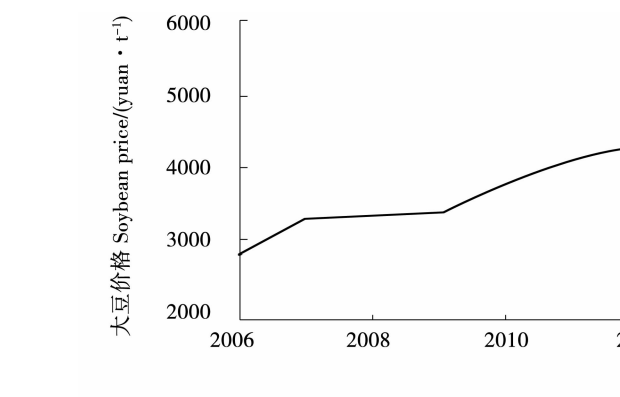


图 6 大豆价格状况仿真曲线

Fig. 6 Simulation curve of soybean price status

表 2 大豆价格真实值与预测值比较

Table 2 Comparison of real and predicted value of soybean

年份 Year	真实值 Real value /yuan·t ⁻¹	预测值 Predictive value /yuan·t ⁻¹	预测误差 Prediction error /%
2006	2574. 67	2761. 46	7. 2
2007	3273. 88	3366. 35	2. 8
2008	3504. 43	3415. 96	2. 5
2009	3490. 00	3426. 03	1. 8
2010	3704. 83	3803. 28	2. 6
2011	3896. 66	4005. 45	2. 7
2012	4310. 16	4331. 14	0. 4
2013	4484. 16	4298. 95	0. 4
2014	4419. 15	4348. 58	0. 1
2015	4064. 58	4188. 35	2. 9
2016	3768. 41	3751. 83	0. 4

采用系统动力学大豆模型进行预测,得到的真实值与预测值之间的平均相对误差的绝对值为 2. 60%,与运用 APSO_SVR 方法^[1]对大豆价格预测得到的数据进行对比,由 APSO_SVR 方法预测得到的 2015 年和 2016 年大豆价格预测值分别为 4079. 42 和 3776. 75,对比来看,2015 年得到的预测精度较之稍低,2016 年持平。现有相关研究考虑的因素较少,大都借鉴前人经验,而本文总共考虑了大豆进口量、大豆消费量、进出口政策、期货市场投机、其他油料作物价格影响等 20 个影响因素,显然更具有代表性和真实性,能够把握未来大豆价格的趋势变化。

运用大豆价格模型得到的 2017 - 2020 年价格预测值如表 3 所示:

表 3 2017 – 2020 年大豆价格预测值
Table 3 The prediction value of soybean price
from 2017 to 2020

年份 Year	预测值 Predictive value/(yuan·t ⁻¹)
2017	4054
2018	4177
2019	3730
2020	3820

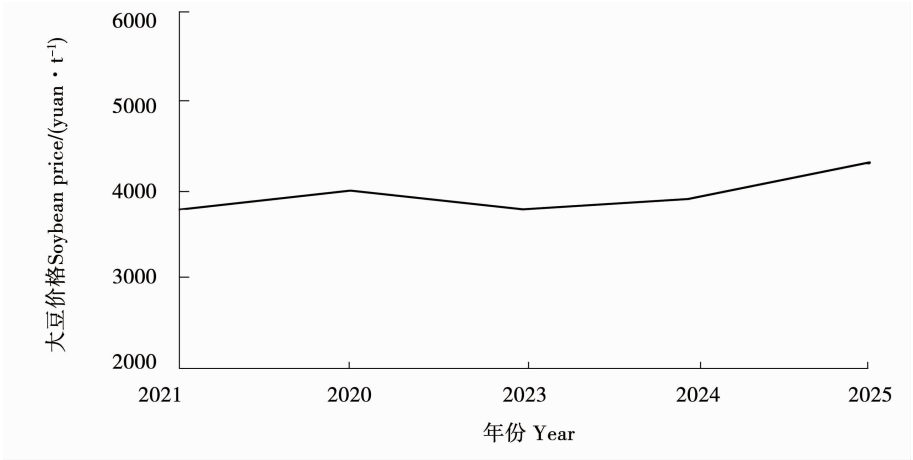


图 7 2021 – 2025 年大豆价格走势预测
Fig. 7 The prediction of soybean price trend from 2021 to 2025

3 讨 论

大豆价格的合理预测对豆农种植计划的制定有重要意义,因其价格波动程度高,需要考虑的因素较多且这些影响因素普遍具有很强的不确定性。本文运用系统动力学的知识和仿真方法,建立大豆价格的系统动力学模型,对未来大豆价格做出准确预测,并提供价格走势预测。从预测精度上看,采用系统动力学预测模型相对于其它典型预测模型,如:Q – RBF 神经网络或 APSO_SVR 模型,Q – RBF 神经网络平均相对误差为 1.79%,与本文模型类似,均略低于 APSO_SVR 模型得到的相对误差。但从 2006 – 2016 年大豆预测价格与真实价格的预测误差上不难看出,基于系统动力学建立的模型预测精度随数据样本的扩大,精度显著提高,若不考虑首年的误差,模型相对 Q – RBF 神经网络模型存在明显优势。依据 2006 – 2016 年的预测经验来看,较易出现预测结果比真实值高的情况,进而推测 2017 – 2020 年的预测结果可能较真实值偏高。

4 结 论

本文基于系统的角度,从大豆供给量和大豆消费量两个角度对大豆价格进行研究,定性和定量分

仿真模型是对现实问题的一种抽象化,由于许多参数无法量化,会导致预测结果的偏差,如 2006 年的预测结果偏差达到了 7.20%。此外,由于系统动力学的自身特性,更加关注的是对大豆价格的趋势预测,本文在图 7 中描述了对 2021 – 2025 年间的大豆价格走势预测,对豆农合理安排生产和进一步研究大豆价格具有长远的指导意义。

析了国内大豆自产量、大豆期末库存量、国内大豆进口量、大豆消费量、大豆生产经营成本等之间的逻辑关系,描述了各种变量间的关系并对其进行模拟和分析,构建出了系统动力学模型,量化多种指标因素。对 2017 – 2020 年的大豆价格和 2021 – 2025 年的大豆价格走势进行了预测。需要指出的是,模型中一些变量的取值及量化参数时有时包含主观因素,特别是分析多种要素交叉作用。此外,大豆的交货期、品质等都将对大豆价格产生重要的影响,这将是本文下一步研究的重点。

参考文献

[1] 何朋飞,李静,张冬青. APSO_SVR 模型在我国大豆价格预测的应用研究[J]. 大豆科学,2017,36(4):632 – 638. (He P F, Li J, Zhang D Q. Predicting chinese soybean price based on APSO_SVR[J]. Soybean Science, 2017,36(4):632 – 638.)

[2] 方燕,李磊. 我国主要粮食价格预测预警研究 – 基于神经网络及控制图理论分析[J]. 价格理论与实践,2017(5):77 – 80. (Fang Y, Li L. Research on prediction and early warning of major grain prices in China – theoretical analysis based on neural network and control chart[J]. Price: Theory & Practice,2017(5):77 – 80.)

[3] 刘欢,张冬青. 基于分位数回归的国产大豆价格影响因素分析[J]. 大豆科学,2014,33(5):759 – 763. (Liu H, Zhang D Q. Analysis on influencing factors of domestic soybean price based

on quantile regression[J]. Soybean Science,2014,33(5):759 – 763.)

[4] 高磊,张冬青,叶方如,等. 基于符号回归的国产大豆价格影响因素分析[J]. 大豆科学,2017,36(5):782 – 788. (Gao L, Zhang D Q, Ye F R, et al. Analysis on influencing factors of domestic soybean price based on symbolic egression[J]. Soybean Science, 2017,36(5):782 – 788.)

[5] 刘志斌,王君. 基于系统动力学的油价预测[J]. 工业技术经济,2009,28(5):98 – 101. (Liu Z B, Wang J. Oil price prediction based on system dynamics[J]. Journal of Industrial Technological Economics,2009,28(5):98 – 101.)

[6] 王海燕,刘鲁,杨方廷,等. 基于SD的粮食预测和政策仿真模型研究[J]. 系统仿真学报,2009,21(10):3079 – 3083. (Wang H Y, Liu L, Yang F T, et al. System dynamics modeling of China’s grain forecasting and policy simulation[J]. Journal of System Simulation,2009,21(10):3079 – 3083.)

[7] 于晓勇,张跃军,杨瑞广,等. 基于系统动力学方法预测中国的煤炭投资需求[J]. 北京理工大学学报,2011,31(4):489 – 493. (Yu X W, Zhang Y J, Yang R G, et al[J]. Forecasting the demand of coal investment in china based on system dynamics approach[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology,2011, 31(4):489 – 493.)

[8] 唐旭,张宝生,邓红梅,等. 基于系统动力学的中国石油产量预测分析[J]. 系统工程理论与实践,2010,30(2):207 – 212. (Tang X, Zhang B S, Deng H M, et al. Forecast and analysis of oil production in China based on system dynamics[J]. Systems Engineering – Theory & Practice,2010,30(2):207 – 212.)

[9] 杨俊,余乐安. 基于系统动力学的短生命周期产品需求预测方法比较研究[J]. 中国管理科学,2012,20(S1):55 – 60. (Yang J, Yu A L. Comparative study on demand forecasting methods for short life cycle products based on system dynamics[J]. Chinese Journal of Management Science,2012,20(S1):55 – 60.)

[10] 邹於娟,程杰,谭霖,等. 美国大豆加工贸易对我国大豆进口影响的实证分析 – 基于我国加入 WTO 以来的月度数据[J]. 中国农业大学学报,2009,14(5):145 – 150. (Zou Y J, Cheng J, Tan L, et al. Empirical analysis about effects of soybean processing and trade in USA on soybean import in China: Based on monthly data since China’s entry into WTO[J]. Journal of China Agricultural University,2009,14(5):145 – 150.)

[11] 高颖,田维明. 中国大豆进口需求分析[J]. 中国农村经济,2007(5):33 – 40. (Gao Y, Tian W M. Analysis of soybean import demand in China[J]. Chinese Rural Economy,2007(5):33 – 40.)

[12] 杜蓉,朱丽娟. 影响我国大豆价格变动的因素分析[J]. 中国油脂,2017,42(6):1 – 4,24. (Du R, Zhu L J. Analysis of factors affecting soybean price in China[J]. China Oils and Fats, 2017,42(6):1 – 4,24.)

[13] 钟超,祁春节. 玉米价格波动与小麦、稻谷、大豆价格波动的相关性研究[J]. 价格理论与实践,2017(2):81 – 84. (Zhong C, Qi C J. Study on the correlation between corn price fluctuation and wheat, rice and soybean price fluctuation[J]. Price: Theory & Practice,2017(2):81 – 84.)

[14] Ahumada H, Cornejo M. Forecasting food prices: The case of corn, soybeans and wheat[J]. International Journal of Forecasting,2016,32(3):838 – 848.

[15] 程广燕,喻闻,韩洁,等. 黑龙江省大豆生产者价格影响因素分析[J]. 农业技术经济,2009(4):87 – 92. (Cheng G Y, Yu W, Han J, et al. Analysis on the influencing factors of soybean producer price in Heilongjiang province[J]. Journal of Agrotechnical Economics,2009(4):87 – 92.)