

doi: 10.3969/j.issn.1671-7775.2021.05.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



江苏省现代农业物流系统动力学建模及优化

何美玲, 安勇峰, 蒲俊

(江苏大学汽车与交通工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘要: 为了确定江苏省现代农业物流系统中农业物流需求、供给、农业生产产值和地区人口之间的相互作用关系, 以及物流信息技术使用对农业物流系统产生的影响, 对江苏省现代农业物流系统进行建模及优化。首先采用定性分析的方法, 选取 13 个评价变量, 根据各个变量之间的关系, 利用 Vensim PLE 软件绘制因果关系图; 其次采用定量分析的方法, 在因果关系图的基础上绘制系统流图, 并利用江苏省统计年鉴、中国交通运输发展公报和 SPSS 数据分析软件, 建立各个变量的系统动力学方程; 最后对模型进行检验以及仿真分析。结果表明, 将物流信息技术投资比例分别增加 1、2 和 3 倍时, 江苏省农业物流供给量平均提升 2.25%、4.49% 和 6.73%, 农业物流成本平均下降 0.63%、1.22% 和 1.82%。这表明在农业物流活动中推广使用现代信息技术能够对整个物流系统产生积极影响。

关键词: 农业物流系统; 因果关系图; 系统流图; 动力学方程; 现代信息技术

中图分类号: N941.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-7775(2021)05-0562-07

引文格式: 何美玲, 安勇峰, 蒲俊. 江苏省现代农业物流系统动力学建模及优化[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2021, 42(5): 562-568.

Modeling and optimization of modern agricultural logistics system in Jiangsu province based on system dynamics

HE Meiling, AN Yongfeng, PU Jun

(School of Automotive and Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

Abstract: To determine the interaction among agricultural logistics demand, logistics supply, agricultural GDP and regional population in the modern agricultural logistics system of Jiangsu province, and analyze the impact of logistics information technology on the agricultural logistics system, the model of modern agricultural logistics system was constructed and optimized. The method of qualitative analysis was used with 13 evaluation variables, and the Vensim PLE software was used to draw the cause and effect diagram according to the relationship between each variable. The method of quantitative analysis was used to draw the system flow diagram according to the cause and effect diagram, and the system dynamics equation of each variable was established by Jiangsu statistical yearbook, China transportation development bulletin and SPSS data analysis software. The model was checked and simulated. The results show that when the proportions of investment in logistics information technology are increased by one, two and three times, the agricultural logistics supply quantities in Jiangsu province are increased by respective 2.25%, 4.49% and 6.73% on average, while the costs of agricultural logistics are decreased by respective 0.63%, 1.22% and 1.82% on average. Using modern information technology in agricultural logistics

收稿日期: 2020-08-02

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金资助项目(16YJCZH027); 镇江市社科应用研究课题项目(2021YBL009)

作者简介: 何美玲(1982—), 女, 江苏江都人, 副教授(hemeiling@ujs.edu.cn), 主要从事物流系统规划与优化等研究。

安勇峰(1996—), 男, 新疆石河子人, 硕士研究生(AYFAYF@126.com), 主要从事农产品物流资源整合研究。

activities can make a positive impact on the entire logistics system.

Key words: agricultural logistics system; cause and effect diagram; system flow diagram; dynamic equation; modern information technology

现代农业物流是以顾客需求为中心,利用现代化技术,将农产品和农业生产资料等实体货物以及信息从产地发往销地的经济活动过程。但目前,我国农业物流现代化建设尚不完善,以信息化水平为例,普遍存在信息共享程度低、信息流通不畅、信息发布与更新不及时等问题。

针对信息技术在农业物流中的应用问题,国内外有众多学者进行了研究。潘娅媚^[1]和李道亮等^[2]提出在农业物流中运用物联网技术,实现农产品生产、包装、仓储和运输等环节的信息实时更新与共享。G. MIRABELLI 等^[3]和 M. P. CARO 等^[4]认为当前大多数物联网应用方案仍依赖于高度集中的云基础架构,存在安全隐患,因而将去中心化的区块链技术^[5]引入农业物流供应链中,实现农产品的可追溯性,保证食品安全。TIAN F.^[6]将物联网中的 RFID 技术与区块链技术共同应用于农产品物流供应链中,在提升供应链管理效率的同时,确保农产品物流信息的可靠性。N. N. MISRA 等^[7]则对物联网和大数据技术在农产品物流供应链管理和农产品溯源方面的应用进行讨论,指出大数据与物联网技术的应用将明显改善食品安全问题。

此外,对农业物流系统进行研究时,可采用系统动力学的知识,国内外也有学者进行了相关研究。刘岩等^[8]和 J. TIPMONTIAN 等^[9]分别对中国和泰国的农业物流系统进行研究。其中,刘岩等^[8]在建模时考虑农业经济子系统、农业物流需求子系统和农业物流供给子系统;而 J. TIPMONTIAN 等^[9]则在模型中加入区块链相关指标,以研究区块链技术的应用对泰国农业物流系统产生的影响。杨月锋等^[10]与刘岩等^[8]的研究范围不同,其仅研究福建省的粮食物流系统,并考虑粮食生产子系统、粮食运输子系统和粮食储存子系统,但未对模型进行仿真分析。M. R. APRILLYA 等^[11]和 XIE R. H. 等^[12]与杨月锋等^[10]类似,仅针对

农业物流中的粮食物流和生鲜农产品物流进行研究。其中 M. R. APRILLYA 等^[11]以印度尼西亚的粮食安全问题为出发点,研究地区经济、稻田面积、粮食物流需求量和供给量之间的关系;而 XIE R. H. 等^[12]则以提升中国城市生鲜农产品的供应稳定性和流通效率为目的,建立生鲜农产品区域流通动力学模型,并结合模拟结果给出发展策略。

综上所述,国内外学者对信息技术在农业物流中的应用问题和基于系统动力学的农业物流系统研究上,均有大量成果,但鲜有人利用系统动力学研究信息技术的使用对农业物流系统产生的影响。因此,文中拟利用系统动力学的相关知识,以江苏省为案例,借助 Vensim PLE 软件,建立现代农业物流系统动力学模型,以研究信息技术的使用对农业物流系统中相关要素产生的影响,并结合模拟结果,为政府管理部门提供发展建议。

1 模型构建

1.1 建模基本步骤

系统动力学建模是首先通过对系统内部的各个指标进行定性分析,建立因果关系图;其次进行定量分析,建立系统流图和各个指标的动力学方程;最后应用计算机软件对模型进行仿真,不断调整相关参数,对模型进行优化,得出相应结论的过程。具体步骤如下:

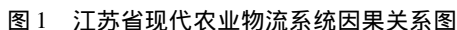
1) 明确建模目的,确定系统边界。农业物流系统是一个复杂的社会经济系统,需要明确系统内部各个因素之间的相互作用关系,并确定系统的边界范围。在确保模型精确度的同时,又避免加入大量无关指标,增加工作量。文中结合江苏省现代农业物流的特点,将经济、政策、需求、供给以及人口因素纳入模型系统边界,具体如表 1 所示。

表 1 模型系统边界

因素	主要变量
经济发展水平	江苏省农业生产总值、江苏省 GDP 等
政策	江苏省公路固定资产投资额、江苏省农业物流信息技术投资额、高学历公路物流从业人员比例等
农业物流需求	江苏省农业物流需求量、江苏省农业物流需求系数等
农业物流供给	江苏省农业物流供给量、农业物流供给能力增长量等
就业人口	江苏省交通运输、仓储和邮政业就业人数、江苏省公路物流就业人数等

5) 仿真结果分析. 模型检验通过后, 根据实际研究问题, 通过调整系统相关参数, 观察系统内部各个指标的变化情况, 为政府管理部门提供参考意见.

因果关系分析是构建系统动力学模型的关键阶段,能够反映研究对象的演化动力机制.文中基于对相关因素的定性分析,结合江苏省现代农业物流发展状况,构建了江苏省现代农业物流系统因果关系图,如图1所示.



回路 6: 江苏省农业物流需求量 $\rightarrow$ (+) 农业物流成本 $\rightarrow$ (-) 江苏省农业物流需求量. 回路 6 是负反馈回路, 江苏省农业物流需求量持续增加会加大

农业物流供需缺口,导致农业物流成本上升,而农业物流成本上升会导致农产品和农业生产资料需求量的下降,抑制江苏省农业物流需求量的增加。

1.3 建立系统流图

在因果关系图的基础上,绘制江苏省现代农业物流系统流图,如图 2 所示。

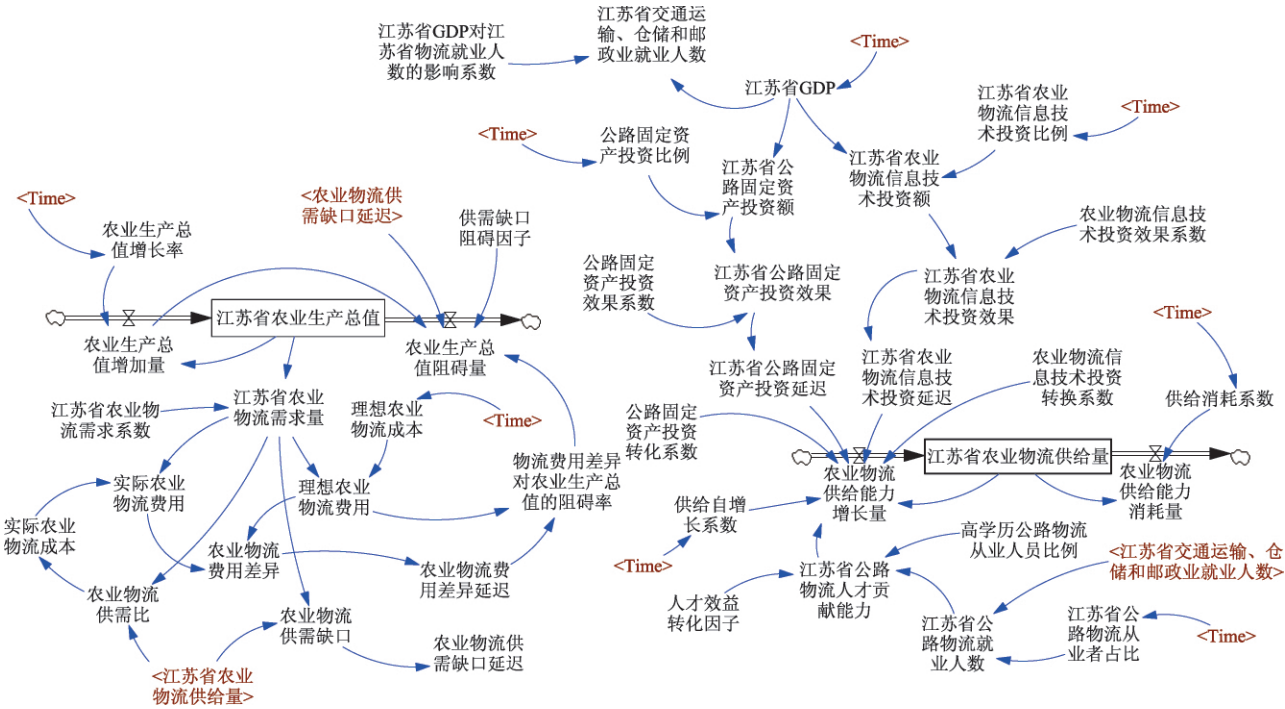


图 2 江苏省现代农业物流系统流图

2 数据处理

2.1 数据获取

文中选取的数据部分来自于 2011—2020 年的

江苏省统计年鉴,如表 2 所示。其中,江苏省农业生产总值包括农、林、畜、渔业和农林牧渔服务业的数据;江苏省农业物流需求量包括农、林、牧、渔业的数据;江苏省物流行业就业人数即江苏省交通运输、仓储和邮政业就业人数。

表 2 江苏省 2010—2019 年经济、物流需求以及就业人口统计数据

年份	农业生产总值/亿元	农业物流需求量/万 t	物流行业就业人数/万人	江苏省 GDP/亿元	公路物流就业人数/万人
2010	4 283. 21	4 767. 56	30. 43	41 962. 18	8. 12
2011	5 216. 99	4 887. 02	30. 61	49 788. 20	9. 35
2012	5 781. 50	5 012. 82	30. 61	54 870. 91	13. 85
2013	6 124. 25	5 016. 74	48. 41	60 690. 44	23. 96
2014	6 402. 75	5 119. 34	49. 78	66 123. 71	25. 34
2015	6 980. 37	5 164. 61	49. 23	71 255. 93	25. 38
2016	7 178. 96	5 067. 71	49. 64	77 350. 85	25. 90
2017	7 161. 21	5 107. 54	48. 13	85 869. 76	25. 19
2018	7 192. 46	5 104. 69	46. 04	92 595. 40	24. 67
2019	7 503. 15	5 166. 76	48. 34	99 631. 52	23. 36

本模型设置的模拟时间段为 2010—2030 年,时间步长为 1 年,针对 2020—2030 年的未知数据,利用 SPSS 25 里的时间序列预测模型进行预测,预测方法为专家建模法。此外,由于数据获取问题,文中假设全国公路固定资产投资比例与江苏省公路固定资产投资比例相同;江苏省农业物流信息技术投资比例与江苏省信息传输、软件和信息技术服务业投资额占江苏

省 GDP 的比例相同;江苏省高学历公路物流从业人员比例与全国高学历公路物流从业人员比例相同。

2.2 建立方程

模型中主要变量的动力学方程如表 3 所示,其中 $INTEG$ 是积分函数, ABS 是绝对值函数, $DELAY3$ 是时间延迟函数,这 3 者为系统动力学软件内置的通用函数。

表3 主要变量的动力学方程及单位

变量名称	动力学方程	单位
江苏省农业生产总值	$INTEG(\text{农业生产总值增加量} - \text{农业生产总值阻碍量}, 283.21)$	亿元
江苏省农业物流供给量	$INTEG(\text{农业物流供给能力增长量} - \text{农业物流供给能力消耗量}, 1200)$	万t
江苏省农业物流需求量	江苏省农业生产总值 $\times$ 江苏省农业物流需求系数 $+ 4306.27$	万t
江苏省公路物流就业人数	江苏省交通运输、仓储和邮政业就业人数 $\times$ 江苏省公路物流从业者占比	万人
实际农业物流费用	江苏省农业物流需求量 $\times$ 实际农业物流成本	亿元
理想农业物流费用	江苏省农业物流需求量 $\times$ 理想农业物流成本	亿元
农业物流费用差异	$ABS(\text{实际农业物流费用} - \text{理想农业物流费用})$	亿元
农业物流供需比	江苏省农业物流供给量 / 江苏省农业物流需求量	1
农业物流费用差异延迟	$DELAY3(\text{农业物流费用差异}, 3)$	亿元
江苏省公路固定资产投资额	江苏省GDP $\times$ 公路固定资产投资比例	亿元
江苏省公路固定资产投资效果	江苏省公路固定资产投资额 $\times$ 公路固定资产投资效果系数	亿元
江苏省农业物流信息技术投资额	江苏省GDP $\times$ 江苏省农业物流信息技术投资比例	亿元
江苏省农业物流信息技术投资效果	江苏省农业物流信息技术投资额 $\times$ 农业物流信息技术投资效果系数	亿元

3 仿真分析

3.1 模型检验

3.1.1 历史数据检验

将2010—2019年江苏省农业生产总值和农业

物流需求量的真实数据与模型的仿真数据进行比较,结果见表4。由表4可见,江苏省农业生产总值和农业物流需求量的仿真数据与真实数据的误差均在 $\pm 10\%$ 之内,表明模型的准确性较高,所描述的系统行为与实际情况相符合,可用来进行政策模拟试验。

表4 模型部分变量仿真结果与真实数据的对比

年份	江苏省农业生产总值			江苏省农业物流需求量		
	仿真值/亿元	真实值/亿元	误差/%	仿真值/万t	真实值/万t	误差/%
2010	4 283.21	4 283.21	0	4 798.84	4 767.56	0.66
2011	4 761.38	5 216.99	-8.73	4 853.83	4 887.02	-0.68
2012	5 742.99	5 781.50	-0.67	4 966.72	5 012.82	-0.92
2013	6 317.58	6 124.25	3.16	5 032.79	5 016.74	0.32
2014	6 651.54	6 402.75	3.89	5 071.20	5 119.34	-0.94
2015	6 917.54	6 980.37	-0.90	5 101.79	5 164.61	-1.22
2016	7 500.78	7 178.96	4.48	5 168.86	5 067.71	1.99
2017	7 686.61	7 161.21	7.34	5 191.15	5 107.54	1.64
2018	7 650.05	7 192.46	6.36	5 186.03	5 104.69	1.59
2019	7 670.00	7 503.15	2.22	5 188.32	5 166.76	0.42

3.1.2 稳定性检验

江苏省现代农业物流系统属于一个稳定的系统,当系统内部某个参数发生小幅度改变时,系统的行为变化趋势不应发生改变。对模型的仿真时间步长进行调整,分别为12、6、3个月,以江苏省农业生产总值为研究对象,运行结果如图3所示。

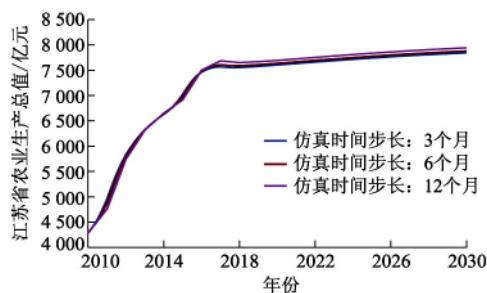


图3 不同仿真步长下的农业生产总值变化情况

由图3可见,在不同的仿真时间步长下,江苏省农业生产总值的变化趋势相同,表明模型处于稳定状态,对参数变化的敏感程度较低,通过了稳定性检验。

3.2 模型仿真

江苏省农业物流系统发展水平受到江苏省农业物流信息技术投资政策的影响。文中主要研究现代信息技术的应用对江苏省农业物流系统产生的影响,将江苏省农业物流信息技术投资比例在原有基础上分别增加1、2、3倍,研究其对江苏省农业物流供给量、农业物流供需比、实际农业物流成本、农业物流费用差异和江苏省农业生产总值带来的影响,仿真结果如图4~8所示。

江苏省农业物流信息技术投资比例提升,会对江苏省农业物流信息化水平产生积极影响,而农业

物流信息化水平的提升有助于提高江苏省农业物流效率和现有农业物流资源的利用率,使得江苏省农业物流供给量得到提高。

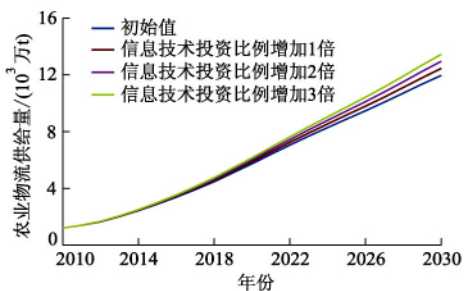


图4 信息技术投资比例对农业物流供给量的影响

根据仿真结果,江苏省农业物流信息技术投资比例在原有基础上增加1、2和3倍时,江苏省农业物流供给量平均提高2.25%、4.49%和6.73%。

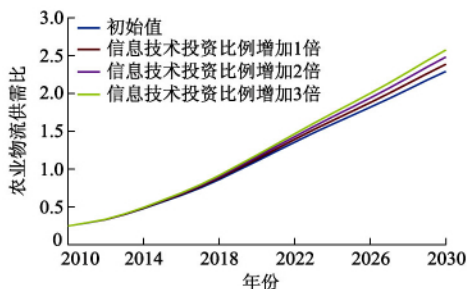


图5 信息技术投资比例对农业物流供需比的影响

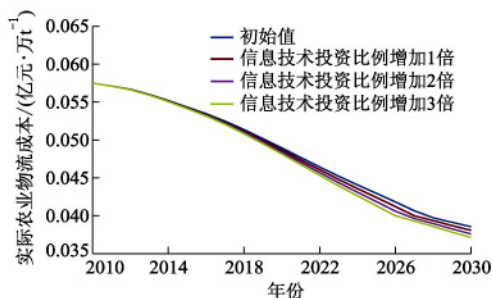


图6 信息技术投资比例对实际农业物流成本的影响

江苏省农业物流供给量提升的幅度大于江苏省农业物流需求量时,江苏省农业物流供需比会逐渐增加,而江苏省实际农业物流成本则会呈下降趋势。根据仿真结果,当江苏省农业物流信息技术投资比例在原有基础上增加1、2和3倍时,农业物流供需比将平均提高2.24%、4.48%和6.72%,而实际农业物流成本将平均降低0.63%、1.22%和1.82%。

农业物流供需比增加,表明江苏省农业物流供给量的增幅大于江苏省农业物流需求量的增幅,实际农业物流成本将呈下降趋势,实际农业物流费用

与理想农业物流费用的差异将会缩小。

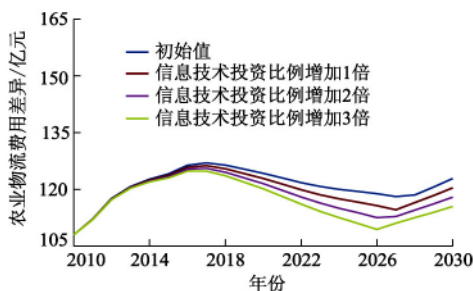


图7 信息技术投资比例对农业物流费用差异的影响

根据仿真结果,当江苏省农业物流信息技术投资比例在原有基础上增加1、2和3倍时,农业物流费用的差异将平均缩减1.18%、2.29%和3.40%。

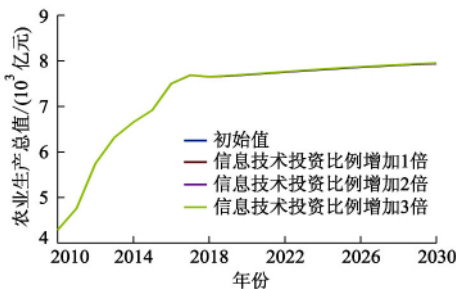


图8 信息技术投资比例对农业生产总值的影响

实际农业物流成本与农业生产总值之间具有负反馈关系。当实际农业物流成本下降时,会引起农产品和农业生产资料需求量的增加,进而促使江苏省农业生产总值增加。根据仿真结果,当江苏省农业物流信息技术投资比例在原有基础上增加1、2和3倍时,江苏省农业生产总值的平均增幅为0.05%、0.09%和0.14%。

4 结 论

1) 通过对模型进行历史数据检验和稳定性检验,验证了模型的有效性和稳定性。

2) 通过对江苏省农业物流信息技术投资比例的调整,验证其与江苏省农业物流供给量、农业物流供需比和江苏省农业生产总值之间具有正反馈关系;与农业物流费用差异和实际农业物流成本之间具有负反馈关系。

3) 结合仿真结果,表明在农业物流活动中推广使用现代信息技术,有助于提高农业物流效率和农业物流资源利用率,促进江苏省农业经济的发展。

4) 由于模型中部分数据难以获取,部分指标参数借鉴相关文献中的设置方法,可能对模型的精确

性产生影响,未来需要对此进一步优化.

参考文献(References)

- [1] 潘娅媚. 信息技术在农业物流发展中的应用[J]. 广东蚕业, 2020, 54(5): 81–82.
PAN Y M. Application of information technology in the development of agricultural logistics [J]. Guangdong Canye, 2020, 54(5): 81–82. (in Chinese)
- [2] 李道亮, 杨昊. 农业物联网技术研究进展与发展趋势分析[J]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 1–20.
LI D L, YANG H. State-of-the-art review for internet of things in agriculture [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(1): 1–20. (in Chinese)
- [3] MIRABELLI G, SOLINA V. Blockchain and agricultural supply chains traceability: research trends and future challenges [J]. Procedia Manufacturing, 2020, 42: 414–421.
- [4] CARO M P, ALI M S, VECCHIO M, et al. Blockchain-based traceability in agri-food supply chain management: a practical implementation [C]//Proceedings of the 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture. Piscataway: IEEE, doi: 10.1109/IOT-TUSCA-NY.2018.8373021.
- [5] 曹宾, 林亮, 李云, 等. 区块链研究综述[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2020, 32(1): 1–14.
CAO B, LIN L, LI Y, et al. Review of blockchain research [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2020, 32(1): 1–14. (in Chinese)
- [6] TIAN F. An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology [C]//Proceedings of the 2016 13th International Conference on Service Systems and Service Management. Piscataway: IEEE, doi: 10.1109/ICSSSM.2016.7538424.
- [7] MISRA N N, DIXIT Y, AL-MALLAHI A, et al. IoT, big data and artificial intelligence in agriculture and food industry [J]. IEEE Internet of Things Journal, doi: 10.1109/JIOT.2020.2998584.
- [8] 刘岩, 田强, 侣坦. 基于系统动力学的农业与物流业互动发展研究[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(5): 222–228.
LIU Y, TIAN Q, SI D. Research on the interactive development of agriculture and logistics industry based on system dynamics [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(5): 222–228. (in Chinese)
- [9] TIPMONTIAN J, ALCOVER J C, RAJMOHAN M. Impact of blockchain adoption for safe food supply chain management through system dynamics approach from management perspectives in Thailand [J]. Proceedings, doi: 10.3390/proceedings2019039014.
- [10] 杨月锋, 张园园, 潘静静. 基于系统动力学的福建粮食物流系统优化研究[J]. 中国物流与采购, 2019(22): 74–80.
YANG Y F, ZHANG Y Y, PAN J J. Research on the optimization of Fujian food logistics system based on system dynamics [J]. China Logistics & Purchasing, 2019(22): 74–80. (in Chinese)
- [11] APRILLYA M R, SURYANI E, DZULKARNAIN A. System dynamics simulation model to increase paddy production for food security [J]. Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence, 2019, 5(1): 67–75.
- [12] XIE R H, HAN S S, JIANG Y H, et al. Comparison and optimization of circulation modes of fresh agricultural products based on system dynamics—the case of China [J]. Journal of Service Science and Management, 2018, 11(3): 297–322.

(责任编辑 梁家峰)

(上接第561页)

- [10] BEN-COHEN A, MECHREZ R, YEDIDIA N, et al. Improving CNN training using disentanglement for liver lesion classification in CT [C]//Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. [S. l.]: IEEE, 2019: 886–889.
- [11] LIANG D, LIN L F, HU H J, et al. Residual convolutional neural networks with global and local pathways for classification of focal liver lesions [C]//Proceedings of the 15th Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence. Heidelberg: Springer Verlag, doi: 10.1007/978-3-319-97304-3_47.
- [12] CHEN X, LIN L F, LIANG D, et al. A dual-attention dilated residual network for liver lesion classification and localization on CT images [C]//Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Image Processing. Piscataway: IEEE Computer Society, 2019: 235–239.

(责任编辑 梁家峰)