中国农业大学学报 2026,31(11):373-385
Journal of China Agricultural University http://zgnydxxb.ijournals.cn

陶思佳,陶建平. 生猪市场极端价格风险动态溢出效应及影响机制——基于复杂网络视角[J]. 中国农业大学学报,2026,31(11):373-385.
TAO Sijia,TAO Jianping. Dynamic spillover effects and impact mechanisms of extreme price risks in the live hog market: Based on a complex network approach [J]. *Journal of China Agricultural University*,2026,31(11):373-385.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.11.28

生猪市场极端价格风险动态溢出效应及影响机制——基于复杂网络视角

陶思佳[1,2] 陶建平[1*]
(1. 华中农业大学 经济管理学院,武汉 430070;
2. 湖北农村发展研究中心,武汉 430070)

摘 要 为识别动物疫情等极端事件冲击下生猪市场价格风险的跨区域传导特征,利用2005—2022年省际生猪价格月度数据,采用LASSO-VAR-DY溢出网络、DCC-GARCH研究方法,对生猪价格极端风险的空间溢出结构及其驱动机制进行了分析。结果表明:1)生猪市场风险传染具有明显的事件驱动特征,极端冲击阶段网络关联性明显增强,网络密度、聚类系数等拓扑结构指标同步上升;2)价格风险溢出呈现时变性与空间异质性,2018年非洲猪瘟冲击后主产区风险源效应突出,区域联动程度明显提升,部分区位相对独立地区则保持相对稳定的风险水平;3)网络结构紧密性与养殖资本化水平对风险溢出强度具有显著正向影响,风险关联网络越紧密、资本化程度越高,区域间风险传导效应越强,而生猪疫情指数则存在非线性阈值效应,仅在高疫情状态下显著加剧市场极端风险外溢。本研究揭示了生猪极端价格风险的动态演化特征、空间传导路径及关键影响因素,丰富了农产品市场极端风险防控的理论研究,可为相关部门完善跨区域风险调控机制、稳定生猪市场运行提供经验证据。

关键词 生猪市场;极端风险;价格联动;溢出网络;风险外溢因子
中图分类号 F326.3 **文章编号** 1007-4333(2026)11-0373-13 **文献标志码** A

Dynamic spillover effects and impact mechanisms of extreme price risks in the live hog market: Based on a complex network approach

TAO Sijia[1,2], TAO Jianping[1*]
(1. College of Economics and Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. Hubei Rural Development Research Center, Wuhan 430070, China)

Abstract To identify the cross-regional transmission characteristics of live hog market price risks under the impact of extreme events such as animal epidemics, this study utilized monthly interprovincial swine price data from 2005 to 2022. Employing the LASSO-VAR-DY spillover network and DCC-GARCH methodologies, this study analyzed the spatial spillover structure and driving mechanisms of extreme price risks in the live hog market. The results indicate that: 1) The transmission of risks in the live hog market exhibits distinct event-driven characteristics. During periods of extreme shocks, network connectivity increases significantly, and topological indicators such as network density and the clustering coefficient rise in tandem. 2) Price risk spillovers display time-varying and spatially heterogeneous patterns; following the 2018 African swine fever outbreak, the source

收稿日期:2025-11-02;接受日期:2026-05-06
基金项目:国家自然科学基金面上项目(71773033);中央高校基本科研项目(2662020JGPYD02)
第一作者:陶思佳(ORCID:0000-0001-6816-6048),博士研究生,E-mail:taosijia005@163.com
通讯作者:陶建平(ORCID:0000-0002-1063-1733),教授,主要从事农业风险管理与农业保险研究,E-mail:jptao@mail.hzau.edu.cn

effect of major production areas became prominent, regional interdependence increased markedly, while some relatively isolated regions maintained relatively stable risk levels. 3) The compactness of the network structure and the level of capitalization in live hog farming have a significant positive impact on the intensity of risk spillover; the more compact the risk-linked network and the higher the level of capitalization, the stronger the inter-regional risk transmission effect. The swine epidemic index exerts a non-linear impact on market risks. Its impact only emerges once the epidemic develops to a severe stage, and such pandemic disturbances significantly amplify cross-provincial extreme risk spillover effects. This study tracks the time-varying characteristics, spatial transmission routes and driving factors of extreme price risks within China's hog market. It clarifies the propagation logic of regional price risks amid severe market shocks. The conclusions drawn in this research can provide practical references for optimizing interregional monitoring and early warning mechanisms for the hog sector.

Keywords live hog market; extreme risk; price interconnection; spillover network; risk spillover factors

生猪产业是我国农业产业经济的重要支柱,占畜牧业总产值的40%以上[1]。近年来,非洲猪瘟等重大疫情频发,使生猪价格在短期内剧烈波动。根据国家统计局及布瑞克农业监测数据,2022年生猪价格同比波动幅度达到近10年来较高水平,较2015年前的常态波动水平扩大近3倍①。这不仅严重影响养殖户补栏、出栏和市场消费预期,也会通过跨区域调运等环节影响产业链稳定。因此,识别生猪市场极端价格风险的空间传导特征,揭示区域间风险溢出路径,对于完善生猪市场风险监测具有现实意义。

围绕农产品价格波动及其风险传导问题,现有研究主要从产业链纵向传导和区域横向联动2个维度展开。针对生猪市场,传统研究多采用协整、向量自回归及格兰杰因果检验等方法分析"猪周期"与价格传导特征[2-3],也有研究从产业链层面探讨生猪、猪肉与饲料价格的纵向传导机制[4-5]。从区域视角来看,受地理位置、运输成本与信息传播效率等因素影响,不同地区的价格波动存在显著的空间关联与跨区域溢出效应[6-7]。部分文献进一步运用空间计量模型揭示了价格波动的空间关联与集聚特征[8-9]。随着生猪产业产销分离程度的加深,区域市场之间的价格联动日益增强,叠加防疫政策与冷链物流水平的发展,风险跨区域传导可能更为频繁且扩散特征显著改变,增加了风险防控的空间维度复杂性[10-11]。同时,农产品价格波动普遍具有典型的厚尾分布特征[12-13]。研究表明重大疫情、政策突变等极端冲击会显著抬升波动水平并通过市场联动加剧系统性风险[14-16],若仅从均值或常规波动层面分析已难以刻画极端情境下的真实传导结构。为此,已有研究采用条件在险价值(CoVaR)[17]、边际期望损失(MES)[18]等尾部风险指标与DCC-GARCH模型[19]刻画系统性风险的时变特征,网络分析方法尤其是Diebold-Yilmaz溢出指数框架[20],也被广泛用于识别风险关联强度与动态演化路径,并在玉米等农产品风险传导研究中得到应用[21]。刘映琳等[22]将CoVaR与网络拓扑指标结合,系统考察外部冲击下的多市场风险传染机制,为进一步探究生猪市场复杂系统中的风险传播提供了有益参考。

综上所述,国内外针对农产品风险溢出的研究已积累了较为丰富的成果,但现有研究仍存在改进空间:第一,关于极端风险传染效应的研究主要集中在金融、房地产领域,针对农产品尤其是生猪市场极端风险溢出的研究相对匮乏,传统的"猪周期"分析框架已难以解释重大冲击频发引起的新特征。第二,已有研究多依赖均值或常规波动分析方法,对极端事件下价格波动的厚尾特征、非对称性及方向性刻画不足,难以准确识别风险溢出的强度与路径。第三,现有研究在分析范围上多限于产业链纵向联动或单一市场框架,尚未构建多区域子市场的整体网络分析框架,对区域间风险溢出的传导路径、动态变化及外部影响因素缺乏综合考察。鉴于此,本研究基于LASSO-VAR-DY模型构建网络分析框架,结合CoVaR和MES指标分析区域子市场的系统性风险贡献度,深入探究极端风险溢出的驱动因素,以期为完善生猪市场风险防控体系提供依据。

①数据来自国家统计局及布瑞克农业大数据,https://www.stats.gov.cn/,http://www.agdata.cn/

1　理论分析与研究方法

1.1　影响机理分析

本研究基于供需理论、价格联动理论与网络传导理论，探讨生猪市场极端风险外溢的驱动因素，主要从动物疫情冲击、网络结构特征及养殖资本化率3个维度展开分析，各影响机制如下：

首先，价格波动源于供求关系变化。外部冲击会改变市场供给或需求状况，并通过区域间价格联动形成风险传导。在供给侧层面，疫情会直接影响生猪存栏和出栏：一方面，疫情暴发可能造成生猪染病死亡，养殖户也会出于防疫考虑提前出栏，部分地区还会采取强制扑杀等措施，由此导致短期供给收缩；另一方面，跨区域禁运等防疫措施也会削弱地区间生猪流通能力，进一步影响区域性供需失衡[23]。需求端层面，疫情引发的舆情会放大消费者恐慌情绪，短期抑制猪肉消费并形成替代效应；长期则通过价格信号改变市场预期，引发跨区域需求波动[24-25]。供求端的共同变化加剧了价格风险的溢出效应。

其次，不同地区的生猪市场通过贸易往来形成了紧密的网络结构。在该网络中，各省份可视为网络节点，节点中心度反映其在市场联系中的相对重要性，节点间连接权重则反映省际生猪贸易联系的紧密程度。当核心省份价格持续上涨时，周边或关联地区可能会根据价格信号调整采购、补栏和销售行为，即“羊群效应”，从而增强区域间风险传导强度[26]。从网络传导角度看，高中心度省份通常与多个地区保持较强联系。疫情冲击下可能使风险沿原有贸易联系向外扩散，进而放大整体价格波动[27]。同时，疫情冲击还可能改变省际联系强度和网络枢纽结构，使风险传导不再局限于传统产区到销区的单向路径，而更多表现为主产区、加工集散地和消费市场之间的多向互动，最终影响生猪市场的供需平衡与价格形成机制[28-29]。

最后，养殖资本化密度是反映养殖规模化与集中度的重要结构变量，通过改变供给弹性与价格传导机制影响风险溢出强度。依据供需理论，高资本化密度地区的规模化主体具备更强的风险抵御与成本调节能力，能够平抑疫情冲击下的存栏波动，缓解价格剧烈波动[30]；但在产能高度集中的地区，疫情冲击可能引发更大范围供给收缩，放大供需失衡与价格波动[11]。此外，资本投入水平较高的地区往往具有较强的信息获取优势和议价能力，其价格变化可能通过贸易往来传导至其他地区。对于生产或流通功能较强的核心省份，自身的经营规模调整更易改变区域间风险传导强度[31]。

1.2　研究方法

1.2.1　基于LASSO-VAR模型的溢出网络构建方法

考虑到本研究涉及30个省域子市场，变量之间可能存在较为复杂的相互影响关系[32]，因此采用LASSO-VAR模型对参数进行收缩估计，并结合广义方差分解方法构建区域风险关联网络，刻画不同省域生猪市场之间的风险传导关系。

1）LASSO-VAR基础模型。将各区域子市场的生猪价格收益率作为内生变量，构建p阶VAR模型：

$$Y_t=\boldsymbol{\nu}+\sum_{k=1}^{p}\boldsymbol{\Phi}_k Y_{t-k}+\varepsilon_t,t=1,2,\cdots,T \quad (1)$$

式中：t为时间期数；Y_t为30个子市场的生猪价格在t周期内的收益率；$\boldsymbol{\nu}$为30×1维截距列向量，$\boldsymbol{\Phi}_k$为30×30维系数矩阵；p为VAR模型的滞后阶数；k为滞后阶数索引；ε_t为独立同分布扰动项；T为样本总期数。

为提高高维数据的估计稳定性，本研究借鉴Nicholson等[33]的方法，引入LASSO惩罚项对VAR系数进行参数收缩估计，目标函数为：

$$\min\sum_{t=1}^{T}\left\|Y_t-\boldsymbol{\nu}-\sum_{k=1}^{p}\boldsymbol{\Phi}_k Y_{t-k}\right\|_F^2+\lambda_k\|\boldsymbol{\Phi}_k\|_1 \quad (2)$$

式中：λ_k为惩罚参数，并通过滚动交叉验证法[34]确定最优λ_k；$\|\cdot\|_F^2$为Frobenius范数。

2）DY溢出指数构建。在LASSO-VAR模型估计结果基础上，本研究借鉴Diebold等[20]提出的广义预测误差方差分解方法，测度各区域之间的动态风险溢出关系。变量j对变量i在H步预测误差方差中的贡献定义为：

$$d_{ij}(H)=\frac{\sigma_{jj}^{-1}\sum_{h=0}^{H-1}(\boldsymbol{\varphi}_i'\boldsymbol{A}_h\Sigma\boldsymbol{\varphi}_j)^2}{\sum_{h=0}^{H-1}(\boldsymbol{\varphi}_i'\boldsymbol{A}_h\Sigma\boldsymbol{A}_h'\boldsymbol{\varphi}_i)} \quad (3)$$

式中：$d_{ij}(H)$为风险溢出水平；i和j分别为不同节点的编号；H为预测周期；h为移动平均展开的期数；σ_{jj}为节点j扰动项的方差；$\boldsymbol{\varphi}_i$和$\boldsymbol{\varphi}_j$分别为节点i和节点j的选择向量；$\boldsymbol{A}_h$为第h期移动平均系数矩阵。

由于方差分解矩阵中每行元素相加不等于1，需进一步标准化处理：

$$\hat{d}_{ij}(H)=\frac{d_{ij}(H)}{\sum_{j=1}^{N}d_{ij}(H)} \tag{4}$$

在此基础上，可构建风险溢出矩阵：

$$\boldsymbol{D}_{ij}(H)=\begin{pmatrix}\hat{d}_{11} & \cdots & \hat{d}_{1N}\\ \vdots & \ddots & \vdots\\ \hat{d}_{N1} & \cdots & \hat{d}_{NN}\end{pmatrix} \tag{5}$$

式中：N为变量个数；矩阵的非对角线元素为节点i和j之间的风险溢出水平；对角元素为变量自身冲击对预测误差方差的贡献。

为识别网络中的关键节点，本研究进一步引入特征向量中心性（EC）指标[35]对节点的重要性进行测度，其表达式为：

$$\mathrm{EC}_{it}=\frac{1}{\rho}\sum_{j=1}^{N}A_{ijt}\mathrm{EC}_{jt} \tag{6}$$

式中：EC_{it}为在时期t节点i的中心性水平；ρ为特征值；A_{ijt}为邻接矩阵元素。该指标综合考虑节点自身连接程度及其相邻节点的重要性，可用于衡量节点在风险传导网络中的系统影响力。

1.2.2 生猪价格极端风险指标体系

为刻画生猪价格波动的极值风险特征，本研究选取CoVaR、条件在险价值差（ΔCoVaR）和MES 3个指标进行测度。

1）CoVaR与ΔCoVaR。参照系统性风险测度的主流研究[36-37]，CoVaR用于度量危机状态下生猪价格系统面临的整体风险，ΔCoVaR定义为极端状态与正常状态下CoVaR的差值，用于衡量单个市场对系统的边际风险溢出效应，绝对值越大代表风险贡献度越高。具体计算公式如下：

$$\Delta\mathrm{CoVaR}^{q}{}_{m|i,t}=\mathrm{CoVaR}^{q}{}_{m|i,t}-\mathrm{CoVaR}^{0.5}{}_{m|i,t} \tag{7}$$

式中：m为生猪价格系统；$\Delta\mathrm{CoVaR}^{q}{}_{m|i,t}$为第$t$期节点$i$对生猪价格系统$m$的条件风险价值差；$q$为分位数水平。

2）MES。参考Acharya等[18]和Scaillet[38]的相关研究，MES可表示为系统预期损失（ES）对权值的一阶导数，其表达式如下：

$$\mathrm{MES}=\frac{\partial\mathrm{ES}_{m,t-1}}{\partial w_i}=E_{t-1}(R_{it}\,|\,R_{mt}<q) \tag{8}$$

式中：MES为边际期望损失；∂为偏导数符号；$\mathrm{ES}_{m,t-1}$为生猪价格系统在q分位水平下的预期损失；w_i为第i个节点在生猪价格系统的权重；E_{t-1}为基于第$t-1$期信息集计算的条件期望；R_{it}为第i个节点在第t期的收益率；R_{mt}为生猪价格系统在第t期的收益率。MES度量了损失分布的q分位数外的全部损失，反映子市场抵御市场风险的能力。

为刻画省际子市场间的非线性风险关联与时变特征，本研究采用AR-GARCH-DCC模型框架测算上述指标。首先利用AR(1)-GARCH(1,1)模型刻画价格波动特征，再基于标准化残差构建动态条件相关系数矩阵，最终测算各子市场的系统性风险贡献。

1.2.3 模型设定和变量说明

1）回归模型构建。为探究生猪价格区域风险溢出的机理，考察区域价格风险关联网络对个体风险水平的影响。参考宫晓莉等[39]的做法，本研究将ΔCoVaR、MES作为风险外溢的有效代理变量，结合宏观层面因素以及各区域生猪子市场网络拓扑指标，建立以下基准回归模型：

$$\begin{aligned}\Delta\mathrm{CoVaR}_{it}=&\beta_0+\beta_1\mathrm{EI}_{it}+\beta_2\mathrm{EC}_{it}+\\&\beta_3\mathrm{CR}_{it}+\gamma X_{it}+\alpha_i+\mu_t+\theta_{it}\end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}\mathrm{MES}_{it}=&\beta_0+\beta_1\mathrm{EI}_{it}+\beta_2\mathrm{EC}_{it}+\beta_3\mathrm{CR}_{it}+\\&\gamma X_{it}+\alpha_i+\mu_t+\theta_{it}\end{aligned} \tag{10}$$

式中：被解释变量为系统性风险贡献度（$\Delta\mathrm{CoVaR}_{it}$、$\mathrm{MES}_{it}$）；核心解释变量为生猪疫情指数$\mathrm{EI}_{it}$、网络关联度$\mathrm{EC}_{it}$和养殖资本化率$\mathrm{CR}_{it}$；$\beta_0$为常数项；$\beta_1$、$\beta_2$和$\beta_3$分别为核心解释变量的估计系数；$\gamma$为控制变量$X_{it}$的系数；$\alpha_i$和$\mu_t$分别为个体和时间固定效应；$\theta_{it}$为随机扰动项。

2）变量说明。EI_{it}用于衡量生猪重大疫情冲击程度。疫情统计范围包括非洲猪瘟、猪瘟、高致病性猪蓝耳病、猪肺疫和猪丹毒5类重大疫病。相关数据来源于历年《中国兽医公报》分省份统计资料，主要包括生猪重大疫病死亡数和强制扑杀数量。为提高不同省份之间的可比性，本研究对疫情冲击进行规模标准化处理，以各省生猪重大疫病死亡数与强制扑杀数量之和占生猪出栏量的比重构建疫情指数。此外，本研究将生猪价格风险溢出网络的特征向量中心度作为网络关联度（EC_{it}）的衡量指标。CR_{it}反映生猪养殖的资本投入强度与资本深化水平。考虑到规模养殖通常伴随较高的固定资产投入，借鉴王刚毅等[30]的研究方法，以年出栏500头及以上规模养殖场数量占总养殖场数量的比重作为资本化程度的代理指标。为检验结论的稳健性，后续用固定资产投入密度作为养殖资本化率的替

代指标。

参考已有文献[40-42]，本研究选取仔猪价格、玉米价格、鸡肉价格、生猪产业集聚度、生猪存栏量、人口密度、居民可支配收入、经济发展水平作为控制变量。其中，生猪产业集聚度计算公式为：（各省份生猪产业产值/全国生猪总产值）/（该省份畜牧业产值/全国畜牧业总产值）；采用插值法将GDP季度数据转换为月度数据。

1.3　数据选取及说明

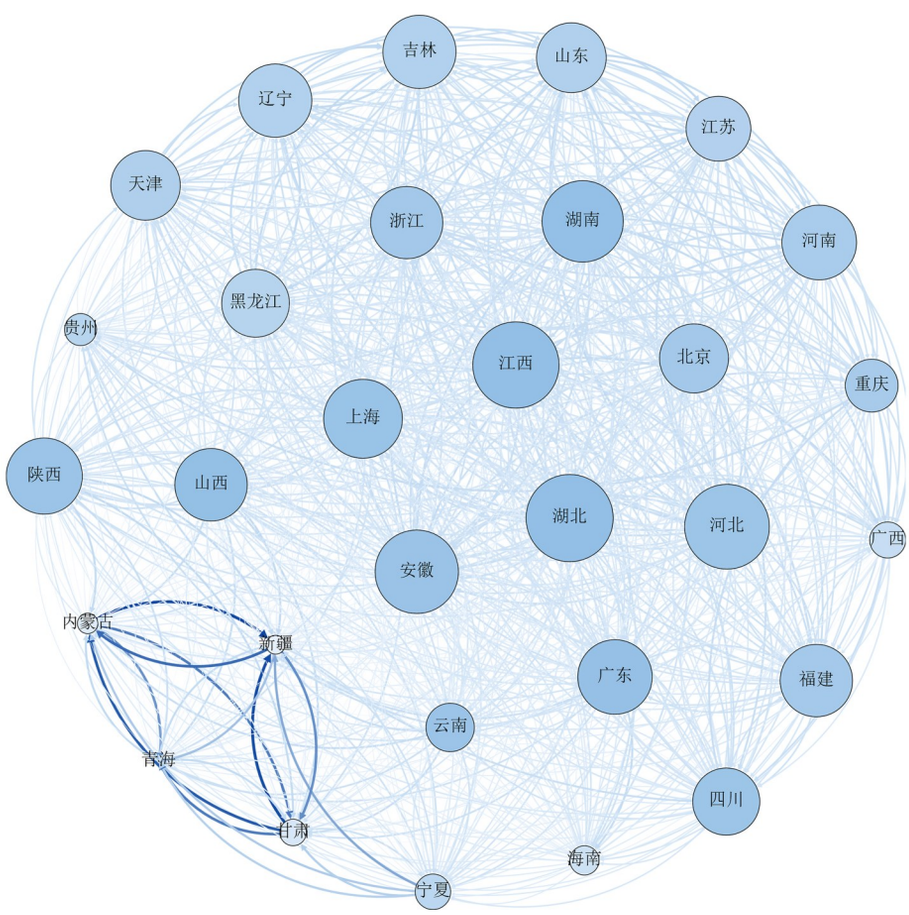
本研究使用中国30个省份（统计数据未包含西藏及港澳台地区，下同）的月度生猪价格数据，原始数据来源于《中国畜牧兽医年鉴》[43]。由于省级月度生猪集市价格数据目前更新至2022年12月，本研究将样本区间确定为2005年1月—2022年12月。为减少通货膨胀对价格水平的影响，以2005年1月为基期通过居民消费价格指数（CPI）对生猪价格进行平减处理，并采用Census X-13方法剔除季节性因素。随后，对季节调整后的价格序列进行对数差分，得到各省份生猪价格收益率，用以衡量区域生猪市场的价格波动。

结合农业农村部政策文件及国家统计局分省产销数据，主产区为辽宁、吉林、黑龙江、河北、安徽、河南、山东、江西、湖南、湖北和广西；主销区为北京、天津、上海、江苏、浙江、福建和广东。

2　生猪价格波动溢出网络特征分析

2.1　总体网络特征分析

根据LASSO-VAR-DY模型估计得到的省际溢出关系，本研究在此基础上构建有向加权网络。由图1可知，样本期内30个省份存在较为紧密的联



统计数据未包含西藏及港澳台地区。下同。网络中的节点为各省份生猪子市场，节点大小依据加权出度绘制；有向边表示风险传导方向，边的粗细表示区域间风险溢出强度。

Statistical data do not include Xizang and Hong Kong, Macao and Taiwan regions. The same applies below. Nodes represent provincial live hog submarkets, and node size is determined by weighted out-degree. Directed edges indicate the direction of risk transmission, while edge thickness represents the intensity of interregional risk spillovers.

图1　2005—2022年各省份生猪市场波动溢出网络

Fig. 1　Risk spillover network of live hog market across Chinese provinces from 2005 to 2022

系;河北、安徽和江西等地区的节点面积较大,多位于网络中心位置,表明这些地区在区域联动中更为活跃,可能承担关键的风险传递者角色。鉴于生猪网络连边的复杂性,参考宫晓莉等[39]的研究方法设定所有溢出水平的0.4分位数为阈值标准,对于通过预测误差方差分解矩阵计算得到的溢出水平,若其数值高于该阈值,则保留对应边;若低于该阈值,则将该边并记为0。

2.2 动态网络关联指标测度

1)整体网络结构指标分析。本研究将各省份视为复杂网络节点,基于滚动窗口方法构建2005—2022年的生猪价格风险动态网络,并分别计算各时期的整体网络结构指标。由表1可知,我国生猪价格风险溢出网络结构变迁呈现明显的非线性特征,在极端事件发生的年份,网络统计指标发生了较大变化。基于苏贵芳等[24]提出的生猪产品外部冲击与价格波动时滞性规律,2006年蓝耳病、2011年口蹄疫、2018年末非洲猪瘟等重大疫情,以及2015年畜禽环保政策趋严等关键节点,均在网络统计指标中形成特征性"异动信号":平均度和加权平均度在2011年分别攀升至16.657和67.787,在2019年分别攀升至13.700和67.311,网络密度和聚类系数同步升高,反映出生猪供给紧张背景下跨区域产销联动程度的骤然提升。而2015年畜禽环保政策收紧后,网络直径由常规年份的4.000增至9.000,网络密度降至0.159。结合中小养殖户退出的背景,区域间的供需联系被削弱,风险传导路径被拉长,网络由原先联系较紧密的状态变得相对分散。

表1 生猪市场整体动态溢出网络指标

Table 1 Overall dynamic spillover network indicators of the live hog market

年份 Year	平均度 Average degree	加权平均度 Weighted average degree	网络直径 Network diameter	网络密度 Network density	平均聚类系数 Average clustering coefficient	平均路径长度 Average path length
2005	11.133	70.587	4.000	0.384	0.530	1.867
2006	12.167	73.748	4.000	0.420	0.616	1.764
2007	11.700	69.463	4.000	0.403	0.488	1.748
2008	15.100	67.950	4.000	0.521	0.663	1.468
2009	12.067	61.883	3.000	0.416	0.508	1.612
2010	10.800	61.374	4.000	0.372	0.458	1.794
2011	16.657	67.787	4.000	0.571	0.730	1.236
2012	12.133	61.566	5.000	0.418	0.612	1.657
2013	10.733	60.175	4.000	0.370	0.513	1.851
2014	12.933	52.722	4.000	0.446	0.613	1.518
2015	4.600	17.888	9.000	0.159	0.439	2.736
2016	15.767	71.480	3.000	0.544	0.671	1.375
2017	12.400	64.221	4.000	0.428	0.582	1.653
2018	12.333	63.735	4.000	0.425	0.542	1.748
2019	13.700	67.311	5.000	0.472	0.615	1.838
2020	14.000	58.461	2.000	0.483	0.641	1.181
2021	10.133	51.717	4.000	0.349	0.603	1.871
2022	6.000	27.976	4.000	0.207	0.600	1.809

2)个体网络结构指标分析。参考隋建利等[44]的研究,从18个时期网络中选取2006年、2011年、2016年和2019年4个代表性网络进行分析。鉴于上述年份我国生猪市场分别受到动物疫情和政策调整等外生冲击影响,本研究进一步计算各时期市场节点的个体网络结构指标,以刻画生猪子市场在风险溢出网络中的传导地位及其演变特征。由表2可知,2006年上海、河南和浙江等子市场加权入度较高,受其他子市场风险溢出影响显著,属于风险冲击易受型市场;2019年湖南、广西和山西等地区仍保持较高的风险接收水平,其中江苏子市场呈现明显波动,2011年回升至75.90,2019年大幅回落至55.27,直观反映其风险接收强度的动态变化。从加权出度分析,不同年份风险输出核心存在异质

表 2　各省份个体动态溢出网络指标

Table 2　Dynamic spillover network indicators for each province

省份 Region	2006年		2011年		2016年		2019年	
	入度 In-degree	出度 Out-degree	入度 In-degree	出度 Out-degree	入度 In-degree	出度 Out-degree	入度 In-degree	出度 Out-degree
北京 Beijing	61.74	36.28	69.47	72.26	71.66	133.27	69.31	12.61
天津 Tianjin	75.78	34.45	51.04	66.25	70.15	143.76	69.20	90.96
河北 Hebei	67.35	71.65	81.57	115.33	68.46	142.96	69.14	100.15
山西 Shanxi	78.68	98.74	73.00	108.88	68.61	140.54	68.77	91.96
内蒙古 Inner Mongolia	80.27	104.92	53.34	4.52	70.30	4.18	50.14	47.33
辽宁 Liaoning	58.13	4.90	83.24	110.77	77.79	148.20	68.86	60.08
吉林 Jilin	52.17	46.44	83.18	111.23	71.66	71.54	68.51	51.25
黑龙江 Heilongjiang	66.12	8.70	84.57	89.87	69.17	40.61	77.33	45.83
上海 Shanghai	81.46	78.91	77.98	97.69	71.97	132.82	83.20	109.17
江苏 Jiangsu	74.28	108.69	75.90	68.73	71.92	130.18	55.27	76.42
浙江 Zhejiang	82.90	95.01	78.99	89.39	67.73	49.04	73.63	98.68
安徽 Anhui	76.34	78.93	81.84	116.13	72.38	139.76	67.62	113.41
福建 Fujian	63.14	43.30	76.42	99.84	70.51	3.91	70.60	78.08
江西 Jiangxi	76.86	72.75	76.98	120.80	72.51	108.12	75.61	105.04
山东 Shandong	67.47	115.26	77.12	115.97	75.57	123.43	68.39	120.36
河南 Henan	68.32	95.46	72.77	119.95	72.91	143.63	73.34	106.76
湖北 Hubei	85.70	77.22	77.77	96.83	68.19	102.67	65.25	76.29
湖南 Hunan	79.14	87.90	75.77	110.16	68.22	89.39	68.41	75.73
广东 Guangdong	74.89	101.84	63.79	108.42	75.88	16.78	65.50	71.27
广西 Guangxi	76.46	106.48	68.84	104.96	72.66	58.14	71.05	37.90
海南 Hainan	83.24	79.31	47.32	12.18	70.21	0.00	69.04	30.39
重庆 Chongqing	61.27	30.01	46.44	4.47	72.17	0.00	68.36	98.78
四川 Sichuan	75.75	3.96	55.64	3.97	67.23	0.00	69.97	73.73
贵州 Guizhou	63.44	30.79	68.56	0.00	68.33	0.00	63.39	0.00
云南 Yunnan	80.31	102.67	44.11	4.45	74.48	0.00	64.74	3.98
陕西 Shaanxi	80.49	93.86	70.16	67.62	72.87	145.54	73.62	94.90
甘肃 Gansu	78.42	113.82	66.70	0.00	72.60	59.96	50.66	23.95
青海 Qinghai	84.55	105.03	51.43	4.70	72.82	0.00	49.11	24.91
宁夏 Ningxia	78.44	82.53	37.10	5.25	71.23	15.97	65.05	44.39
新疆 Xinjiang	79.33	102.63	59.58	0.00	74.21	0.00	66.26	55.02

注：入度与出度均为加权度中心性指标。

Note: In-degree and out-degree are weighted measures of network centrality.

性：2011年江西和安徽等地区风险传导力较强；2019年广西和湖南等地区对外风险传染能力突出；部分地区如广西长期保持高加权出度，持续充当风险溢出的关键节点，而吉林地区加权出度从2006年46.44先升至2011年111.23，再降至2019年51.25，呈现风险输出能力的阶段性调整特征。

3　生猪市场系统性风险关联分析

3.1　总体风险水平分析

由图2可知，生猪市场总体风险水平呈现明显的阶段性特征。2005—2014年，市场风险波动较为频繁，但整体幅度相对稳定，多数时间集中在

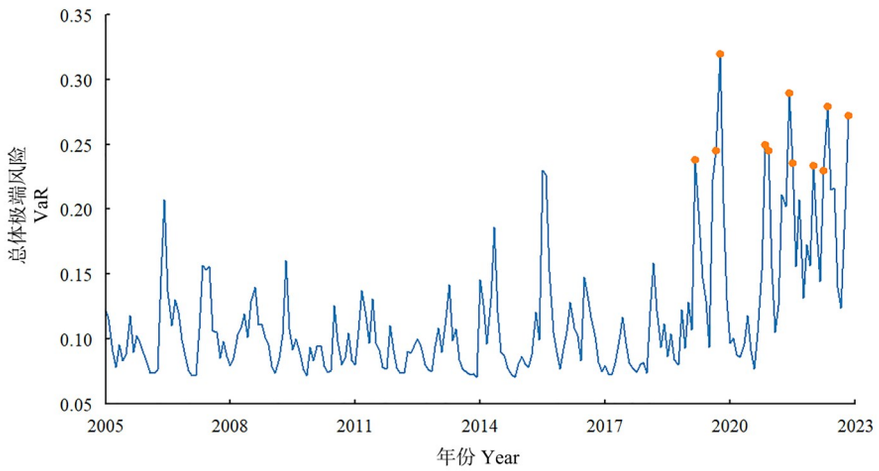


图 2 生猪市场总体极端风险水平

Fig. 2 Overall extreme risk level in the hog market

0.10～0.18，未出现显著极端峰值，反映市场风险主要处于常规周期性波动阶段。2014—2018 年，风险波动幅度有所扩大，个别时期接近 0.20，表明市场风险开始呈现阶段性抬升趋势，但尚未形成持续性的高风险状态。2018—2022 年，风险水平明显上升，0.20 以上的风险值出现频率显著提高，部分时期接近 0.30，且高风险状态持续时间延长，显示此阶段非洲猪瘟对生猪市场的风险冲击非常剧烈，极端风险事件发生频率和强度明显增加。然而，VaR 指标侧重于反映总体风险水平，考虑到市场一体化背景下各区域生猪子市场之间存在较强的价格联动和贸易联系，后续将结合系统性风险指标进一步分析各子市场的风险贡献度及其网络角色。

3.2 极端风险溢出指标分析

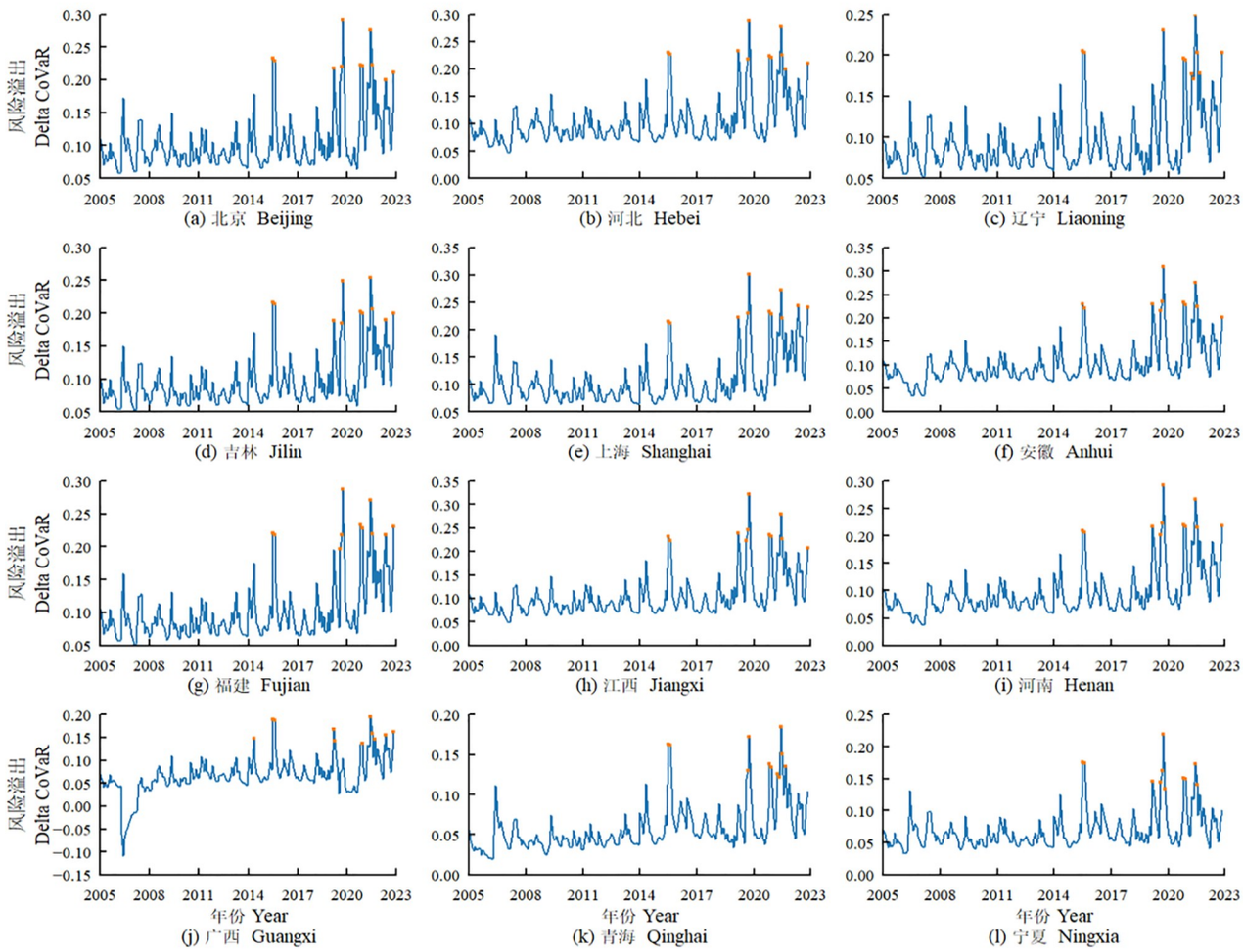
为进一步探究区域子市场对生猪价格系统的尾部风险外溢影响，本研究计算了 30 个省份的条件在险价值差（ΔCoVaR）和边际期望损失（MES）指标，并选取部分代表性区域展示，结果分别见图 3 和图 4。从时间序列演变趋势看，2005—2014 年，ΔCoVaR 整体处于较低水平，MES 波动幅度有限，表明子市场间极端风险传导强度较弱，跨区域联动尚未显著增强。2014—2018 年，河北和辽宁等地的 ΔCoVaR 有所抬升，MES 波动也随之扩大。这一变化可能与产业规模化推进、区域流通加强以及环保政策调整等因素有关，表明部分核心区域在价格风险传导中的作用开始增强。2018—2022 年，多个区域子市场的 ΔCoVaR 高于前期水平，MES 数值也出现同步变化。以江西为例，MES 在 2019 年 9 月达 0.022，为样本后期的峰值。结合非洲猪瘟冲击发生的时点，疫情破坏了部分地区原有的供需关系，多个区域的价格风险联动性增强。

不同区域的风险外溢表现也存在明显差异。河北、辽宁和河南等地区的 ΔCoVaR 和 MES 波动数值较高；上海和北京等主销区因本地供给能力有限，消费需求又较为集中，价格风险容易在这些地区放大。青海和宁夏等西北地区指标水平整体偏低，波动较为平缓。安徽、福建和广西等区域呈现双向联动特征，在部分时期既接受外部冲击，也可能通过区域联动传递风险。总体上，ΔCoVaR 与 MES 指标在极端冲击时期的变化趋势较为相近，有效地验证了生猪市场系统性风险的时变性、区域溢出特征。

4 风险外溢驱动因素分析

4.1 基准回归结果

为进一步探讨各变量对极值风险溢出效应的敏感程度，本研究构建回归模型进行实证分析。被解释变量为极值风险外溢指标 ΔCoVaR 与 MES 指标，表 3 展示了疫情冲击、网络关联以及养殖资本化率对生猪价格极值风险溢出的影响结果。由疫情指数估计结果可知，整体样本区间内生猪疫情对极值风险溢出的影响在 10% 统计水平上不显著；但在高疫情状态下，疫情指数对极值风险溢出在 5% 显著性水平上呈现正向影响，表明疫情冲击具有明显



图中为部分代表性区域展示。图 4 同。

The figure presents selected representative regions. The same applies to Fig. 4.

图 3　生猪市场极端风险溢出 ΔCoVaR 指标

Fig. 3　Extreme risk spillover ΔCoVaR indicator for the live hog market

的状态依赖特征。当疫情指数处于较低水平时，疾病的传播范围具有局限性，地方防控措施仍能在一定程度上控制疫情扩散，市场供需关系也未发生明显失衡。进入高疫情状态后，生猪染病、死亡和扑杀数量上升，市场供给严重不足。当供给短期难以恢复时，价格波动加剧，极端风险溢出效应也会增强。此外，随着防控措施的加强，消费者信心逐步恢复，在供给偏紧的情况下，需求恢复会进一步推高价格波动，并传导至生猪产业链上下游环节，从而加重风险外溢。

由网络拓扑结构中特征向量中心度的估计结果可见，风险溢出网络中生猪子市场的风险传染强度越高，其对其他区域子市场的影响范围越广，网络关联越紧密，进而提升整体风险外溢水平。养殖资本化率与风险外溢指标呈显著正向关系，说明资本投入强度较高地区的生猪市场风险集中程度更高，在冲击发生时更容易形成系统性风险放大效应。

4.2　稳健性检验

1）更换样本区间。2019 年底暴发的新冠疫情给全球经济带来巨大冲击，对生猪市场也造成了负面影响。为了避免新冠疫情对生猪价格风险溢出的可能干扰，本研究剔除了 2020 年的样本，再次检验生猪疫情指数对价格风险溢出的影响。结果表明，核心解释变量的作用方向与显著性水平均未发生实质性变化。

2）替换变量。本研究参考林紫藤等[45]和杨承达等[46]的做法，考虑用固定资产投入密度替换养殖

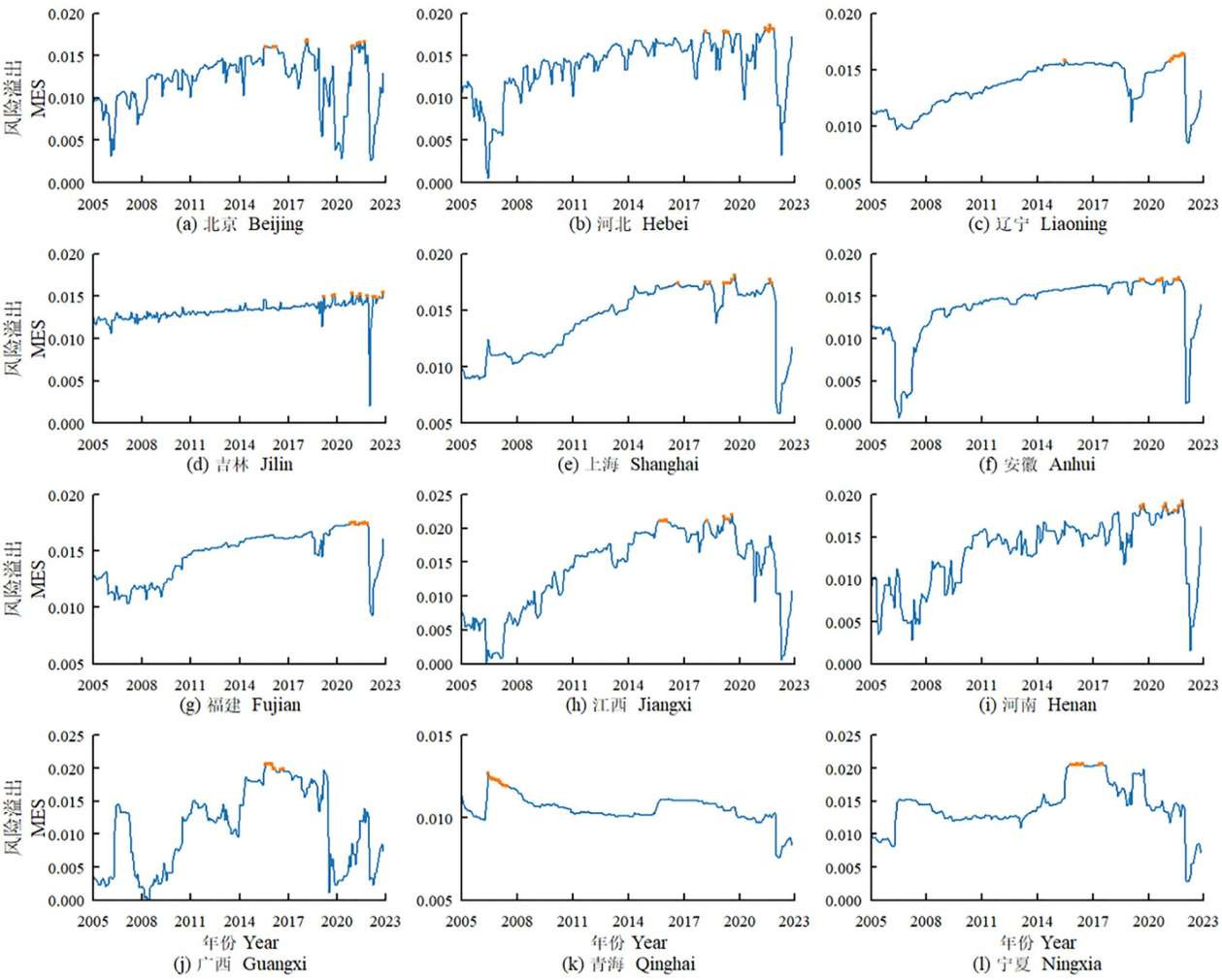


图 4 生猪市场极端风险溢出 MES 指标

Fig. 4 Extreme risk spillover MES indicator for the live hog market

资本化率指标，该指标由各省畜牧业固定投资与出栏量的比值衡量。此外，本研究进一步将风险溢出衡量指标替换为 CoVaR 指标，所得结果与基准回归结果一致，再次验证了疫情冲击、网络关联、养殖资本化率对生猪价格极值风险溢出的影响关系。

3）增加控制变量。考虑到冷链物流可能影响价格波动扩散，本研究在稳健性检验中增加冷链物流水平变量。参考刘华军等[47]和周欢等[48]的研究方法，以各省冷链物流固定资产投资作为衡量冷链物流发展水平的代理变量，并将其纳入回归模型进行估计。在控制冷链物流水平后，疫情冲击、网络关联程度及养殖资本化率对极值风险溢出的影响方向与显著性水平与基准回归结果保持一致，进一步验证了本研究结论的稳健性。

5 结论与政策启示

5.1 结论

本研究基于 LASSO-VAR-DY 和 DCC-GARCH 模型，结合滚动窗口方法，构建了生猪市场风险溢出的有向加权网络，探究了风险动态传染路径，测算了各子市场的系统性风险指标，量化了风险溢出强度与风险贡献度，主要研究结论如下：

第一，生猪市场风险传染呈现显著的事件驱动特征。极端事件冲击下，风险溢出网络结构发生明显突变，表现为溢出关联增多、网络密度与聚类系数同步上升，网络关联性增强显著加速了区域间风险传染与扩散。

第二，生猪市场系统性风险具有时变性及区域

表 3　风险外溢驱动因素回归结果

Table 3　Regression results for risk spillover drivers

变量 Variable	模型（1）：风险溢出 ΔCoVaR Model（1）：Risk spillover ΔCoVaR				模型（2）：风险溢出 MES Model（2）：Risk spillover MES			
疫情指数 EI	0.000 5 （0.659）				0.000 5 （0.246）			
高疫情状态 EI>P95		0.003 1** （2.113）				0.003 （1.319）		
网络关联度 EC			0.007** （2.535）				0.002*** （3.117）	
养殖资本化率 CR				0.016*** （3.019）				−0.000 4 （−0.284）
控制变量 Controls	是	是	是	是	是	是	是	是
个体固定效应 Individual fixed effects	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定效应 Time fixed effects	是	是	是	是	是	是	是	是
N	6 090	285	6 090	6 090	6 090	279	6 090	6 090

注：括号内为稳健 *t* 统计量；***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上显著。

Note: Robust *t*-statistics are reported in parentheses. ***, ** and * indicate significance at the 1%, 5% and 10% levels, respectively.

差异性。样本早期各区域子市场联动程度较弱，跨区域极端风险外溢并不突出。随着市场一体化及产业结构调整，河北和辽宁等区域逐渐成为风险传递的关键枢纽。叠加 2018 年非洲猪瘟冲击，多个子市场的风险外溢指标水平大幅上升；而青海和宁夏等区位相对独立的省份，风险溢出水平波动较为平缓。

第三，对生猪市场极值风险溢出驱动因素分析发现，疫情指数在整体样本期内影响不显著，但在高疫情状态下显著增强极值风险溢出，呈现阈值效应；网络拓扑结构越紧密，整体风险外溢水平越高；养殖资本化程度越高，系统性风险放大效应越明显。

5.2　政策启示

基于以上研究结论，提出如下政策启示：

第一，健全各类突发冲击的应急管理机制，充分发挥猪肉储备的双向调节作用。基于主产区在极端冲击期间易向外扩散风险的特征，相关部门应完善生猪监测预警平台，及时向养殖户传递市场供需信号；当监测指标接近风险临界值时，可灵活采取收储、市场投放等调控手段，减缓极端事件下风险的跨区域传染。对于风险集中的生猪生产省份，需持续完善区域动物疫病防控设施，结合各地产业基础制定分层应急处理方案，提升应对重大疫病的响应效率。

第二，推行差异化生猪调运管控方案，增强生猪产业抗风险能力。本研究发现，各区域间的市场关联程度越高，风险相互传导的效应越突出。对此，风险核心区域需完善本地屠宰加工设施，适当减少对单一调运线路或核心中转市场的过度依赖；风险平稳区域需完善本地冷链物流和储备设施，降低外部市场波动带来的输入型风险冲击，提升市场整体稳定性。

参考文献　References

[1] 刘刚，罗千峰，张利庠. 畜牧业改革开放40周年：成就、挑战与对策[J]. 中国农村经济，2018(12)：19-36
Liu G, Luo Q F, Zhang L X. The development of animal husbandry since 40 years of reform and opening-up: Achievements, challenges and countermeasures[J]. *Chinese Rural Economy*, 2018(12): 19-36 (in Chinese)

[2] Chow W W, Fung M K, Cheng A C S. Convergence and spillover of house prices in Chinese cities[J]. *Applied Economics*, 2016, 48(51): 4922-4941

[3] 陈昱帆，花俊国，张俊华. 生猪疫情变动对猪肉价格的冲击效应与溢出效应研究[J]. 农业技术经济，2022(7)：48-63
Chen Y F, Hua J G, Zhang J H. Research on the impact effect and spillover effect of pig epidemic on pork price[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2022(7): 48-63 (in Chinese)

[4] Baur D G. Stock-bond co-movements and cross-country linkages[J]. *International Journal of Banking, Accounting and Finance*, 2010, 2(2): 111-129

[5] 谭莹，张俊艳. 国际饲料粮期货市场对国内猪价动态传递效应研究[J]. 金融

经济学研究，2021，36(3)：142-160
Tan Y，Zhang J Y. The dynamic transmission effect of international feed grain futures markets on domestic hog prices[J]. *Journal of Financial Economics*，2021，36(3)：142-160(in Chinese)

[6] 张敏，柳思维，刘凤根. 中国猪肉价格变动的时空效应[J]. 经济地理，2018，38(12)：135-142
Zhang M，Liu S W，Liu F G. Spatial-temporal effects of pork price changes in China[J]. *Economic Geography*，2018，38(12)：135-142(in Chinese)

[7] 王刚毅，王孝华，李洪姝. 中国生猪价格空间溢出效应研究:基于同步系数矩阵的空间计量分析[J]. 农业现代化研究，2018，39(1)：105-112
Wang G Y，Wang X H，Li H S. The spatial spillover effect of China's hog price：The spatial econometric analysis based on a synchronous coefficient matrix[J]. *Research of Agricultural Modernization*，2018，39(1)：105-112(in Chinese)

[8] 李坚飞，唐昆，沈炀. 价格"同频共振"与产业链安全稳定：基于价格模态耗散的生猪产业链稳定状态预测[J]. 中国管理科学，2023，31(12)：290-300
Li J F，Tang K，Shen Y. Price resonance and the security and stability of hog industry chain：A prediction based on price mode dissipation[J]. *Chinese Journal of Management Science*，2023，31(12)：290-300(in Chinese)

[9] 丁存振，肖海峰. 中国畜禽产品市场价格动态溢出效应研究：基于产品间横向及产业链纵向价格溢出视角分析[J]. 农业经济问题，2022(9)：129-143
Ding C Z，Xiao H F. Study on the dynamic spillover effect of market price of livestock and poultry products in china：Based on the perspective of horizontal spillover between products and vertical spillover of industrial chain[J]. *Issues in Agricultural Economy*，2022(9)：129-143(in Chinese)

[10] 付莲莲，袁冬宇，滕佳敏. 中国中部生猪市场间的价格网络联动及溢出效应：基于非对称时变视角[J]. 农业现代化研究，2024，45(1)：137-149
Fu L L，Yuan D Y，Teng J M. The price network linkage and the spillover effects among hog markets in central China：Based on asymmetric and time varying perspectives[J]. *Research of Agricultural Modernization*，2024，45(1)：137-149(in Chinese)

[11] Ma M L，Delgado M S，Wang H H. Risk，arbitrage，and spatial price relationships：Insights from China's hog market under the African Swine Fever[J]. *Journal of Development Economics*，2024，166：103200

[12] Marimoutou V，Raggad B，Trabelsi A. Extreme value theory and value at risk：Application to oil market[J]. *Energy Economics*，2009，31(4)：519-530

[13] van Oordt M R C，Stork P A，de Vries C G. On agricultural commodities' extreme price risk[J]. *Extremes*，2021，24(3)：531-563

[14] Li H S，Hu C P，Lü Z，Li M Q，Guo X Z. African swine fever and meat prices fluctuation：An empirical study in China based on TVP-VAR model[J]. *Journal of Integrative Agriculture*，2021，20(8)：2289-2301

[15] Glasserman P，Young H P. Contagion in financial networks[J]. *Journal of Economic Literature*，2016，54(3)：779-831

[16] Nyman R，Kapadia S，Tuckett D，Gregory D，Ormerod P，Smith R. News and narratives in financial systems：Exploiting big data for systemic risk assessment[J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*，2021，127：104119

[17] Adrian T，Brunnermeier M K. CoVaR[J]. *American Economic Review*，2016，106(7)：1705-1741

[18] Acharya V，Engle R，Richardson M. Capital shortfall：A new approach to ranking and regulating systemic risks[J]. *The American Economic Review*，2012，102(3)：59-64

[19] 王周伟，吕思聪，茆训诚. 基于风险溢出关联特征的CoVaR计算方法有效性比较及应用[J]. 经济评论，2014(4)：148-160
Wang Z W，Lv S C，Mao X C. A study on effectiveness of CoVaR calculation methods based on risk spillover features[J]. *Economic Review*，2014(4)：148-160(in Chinese)

[20] Diebold F X，Yilmaz K. On the network topology of variance decompositions：Measuring the connectedness of financial firms[J]. *Journal of Econometrics*，2014，182(1)：119-134

[21] 丁存振，徐宣国. 基于社会网络视角的我国粮食市场风险空间溢出研究：基于玉米市场的风险测度与实证分析[J]. 统计研究，2023，40(1)：106-120
Ding C Z，Xu X G. Research on the spatial spillover of China's grain market risk based on the perspective of social network：Based on the risk measurement and empirical analysis of corn market[J]. *Statistical Research*，2023，40(1)：106-120(in Chinese)

[22] 刘映琳，方艳，杨金强. 我国粮食与能源的跨市场风险传染及外部冲击[J]. 中国管理科学，2024，32(11)：103-114
Liu Y L，Fang Y，Yang J Q. Cross-Market Risk contagion and external shocks of China's food energy[J]. *Chinese Journal of Management Science*，2024，32(11)：103-114(in Chinese)

[23] Delgado M，Ma M L，Wang H H. Exploring spatial price relationships：The case of African swine fever in China[J]. *NBER Working Paper*，2021

[24] 苏贵芳，花俊国，孙文珊，李柯逾. 生猪疫情对猪肉价格非线性冲击的形成机理与检验[J]. 中国农村经济，2021(11)：107-124
Su G F，Hua J G，Sun W S，Li K Y. The formation mechanism and test of the non-linear impact of pig epidemics on pork prices[J]. *Chinese Rural Economy*，2021(11)：107-124(in Chinese)

[25] Qiao Y Y，Ahn B I. Impacts of African swine fever on structural change in China's meat demand[J]. *Korean Agricultural Economics Association*，2022，63(3)：169-191

[26] Jia Y Y，Fang Y，Jing Z B，Lin F Q. Price connectedness and input－output linkages：Evidence from China[J]. *Economic Modelling*，2022，116：105997

[27] Guo K，Kang Y X，Ma D D，Lei L. How do climate risks impact the contagion in China's energy market[J]. *Energy Economics*，2024，133：107450

[28] Zheng Y N，An H，Yang M，Qiu F. The impact of COVID-19 on price transmission and price volatility in the Canadian beef supply chain[J]. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue Canadienne D'agroeconomie*，2024，72(3)：389-406

[29] Song S H，Tappia E，Song G，Shi X L，Cheng T C E. Fostering supply chain resilience for omni-channel retailers：A two-phase approach for supplier selection and demand allocation under disruption risks[J]. *Expert Systems with Applications*，2024，239：122368

[30] 王刚毅，王孝华，李翠霞. 养殖资本化对生猪价格波动的稳定效应研究：基于中国面板数据的经验分析[J]. 中国农村经济，2018(6)：55-66
Wang G Y，Wang X H，Li C X. The stabilization effect of farming capitalization on hog price fluctuation：An empirical analysis based on China panel data[J]. *Chinese Rural Economy*，2018(6)：55-66(in Chinese)

[31] Dong Q L，Zhao Y Z，Ma X J，Zhou Y N. Risk spillover between carbon markets and stock markets from a progressive perspective：Measurements，spillover networks，and driving factors[J]. *Energy Economics*，2024，129：107228

[32] Chan J C C. Large Bayesian VARs：A flexible kronecker error covariance structure[J]. *Journal of Business & Economic Statistics*，2020，38(1)：68-79

[33] Nicholson W B，Matteson D S，Bien J. VARX-L：Structured regularization for large vector autoregressions with exogenous variables[J]. *International Journal of Forecasting*，2017，33(3)：627-651

[34] Friedman J H，Hastie T，Tibshirani R. Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent[J]. *Journal of Statistical Software*，2010，33(1)：1-22

[35] 张伟平，庄新田，王健. 中国股市跨行业系统性风险空间溢出关联及风险预测分析：基于尾部风险网络模型[J]. 中国管理科学，2021，29(12)：15-28
Zhang W P，Zhuang X T，Wang J. Systematic risk spatial spillover correlation and risk prediction analysis of cross-industry in China' stock market：Based on the tail risk network model[J]. *Chinese Journal of Management Science*，2021，29(12)：15-28(in Chinese)

[36] Härdle W K, Wang W N, Yu L N. TENET: Tail-Event driven NETwork risk[J]. *Journal of Econometrics*, 2016, 192(2): 499-513

[37] Girardi G, Ergün A T. Systemic risk measurement: Multivariate GARCH estimation of CoVaR[J]. *Journal of Banking & Finance*, 2013, 37(8): 3169-3180

[38] Scaillet O. Nonparametric estimation and sensitivity analysis of expected shortfall[J]. *Mathematical Finance*, 2004, 14(1): 115-129

[39] 宫晓莉，熊熊，张维. 我国金融机构系统性风险度量与外溢效应研究[J]. 管理世界，2020，36(8)：65-83
Gong X L, Xiong X, Zhang W. Research on systemic risk measurement and spillover effect of financial institutions in China[J]. *Management World*, 2020, 36(8): 65-83 (in Chinese)

[40] 曾雅婷，霍昊然，王晓睿. 生猪价格波动对养殖规模调整的非对称影响分析[J]. 湖南农业大学学报：社会科学，2024，25(3)：17-29，78
Zeng Y T, Huo H R, Wang X R. Analysis of the asymmetric influence of hog price fluctuation on the adjustment of breeding scale[J]. *Journal of Hunan Agricultural University: Social Sciences*, 2024, 25(3): 17-29, 78 (in Chinese)

[41] 张利庠，张喜才. 外部冲击对我国农产品价格波动的影响研究：基于农业产业链视角[J]. 管理世界，2011，27(1)：71-81
Zhang L X, Zhang X C. A study on the impact of emergencies on the fluctuation of the agricultural produce prices[J]. *Management World*, 2011, 27(1): 71-81 (in Chinese)

[42] 杨秀玉，乔翠霞. 农业产业集聚对农业碳生产率的空间溢出效应：基于财政分权的调节作用[J]. 中国人口·资源与环境，2023，33(2)：92-101
Yang X Y, Qiao C X. Spatial spillover effects of agricultural industry agglomeration on agricultural carbon productivity: Based on the regulatory role of fiscal decentralization [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2023, 33(2): 92-101 (in Chinese)

[43] 中国畜牧兽医年鉴编辑委员会. 中国畜牧兽医年鉴[M]. 北京：中国农业出版社，2005—2023
Editorial Committee of China Animal Husbandry and Veterinary Yearbook. *China Animal Husbandry and Veterinary Yearbook*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005-2023 (in Chinese)

[44] 隋建利，杨庆伟，刘金全. 极端事件冲击下的价格联动、风险传染与风险溯源：来自国际原油市场与中美金融市场的新发现[J]. 世界经济研究，2022(4)：47-62，136
Sui J L, Yang Q W, Liu J Q. Price co-movement, risk contagion and risk traceability under the impact of extreme events: New discoveries from the international crude oil market and Sino-US financial market[J]. *World Economy Studies*, 2022(4): 47-62, 136 (in Chinese)

[45] 林紫藤，张艳荣. 我国畜牧业绿色全要素生产率时空差异及影响因素研究[J]. 生态与农村环境学报，2023，39(9)：1144-1157
Lin Z T, Zhang Y R. Temporal and spatial differences and influencing factors of green total factor productivity of animal husband-dry in China[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2023, 39(9): 1144-1157 (in Chinese)

[46] 杨承达，起建凌，杨天杭，张灵静. 我国数字乡村建设与畜牧业绿色转型耦合协调的空间关联网络及驱动机制[J]. 农业现代化研究，2026，47(1)：14-25
Yang C D, Qi J L, Yang T H, Zhang L J. Spatial correlation network and driving mechanism of the coupling coordination between digital rural construction and green transformation of animal husbandry in China[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2026, 47(1): 14-25 (in Chinese)

[47] 刘华军，郭立祥，乔列成，石印. 中国物流业效率的时空格局及动态演进[J]. 数量经济技术经济研究，2021，38(5)：57-74
Liu H J, Guo L X, Qiao L C, Shi Y. Spatial-temporal pattern and dynamic evolution of logistics efficiency in China [J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2021, 38(5): 57-74 (in Chinese)

[48] 周欢，彭文，邹筱. 生鲜农产品冷链物流绿色发展水平与区域差异研究[J]. 北京交通大学学报：社会科学版，2025，24(2)：62-73
Zhou H, Peng W, Zou X. On the green development level and regional differences of cold chain logistics for fresh agricultural products[J]. *Journal of Beijing Jiaotong University: Social Sciences Edition*, 2025, 24(2): 62-73 (in Chinese)

责任编辑：申青苗



第一作者简介：陶思佳，华中农业大学经济管理学院博士研究生。在校期间获得研究生学业奖学金3次，参与国家自然科学基金、国家社会科学基金等科研项目2项。



通讯作者简介：陶建平，华中农业大学经济管理学院教授，博士生导师。主要从事农业经济理论与政策、农业风险管理与保险等领域研究。近年来主持国家自然科学基金面上项目4项、国家社科基金重点项目1项以及其他省部级课题5项，发表学术论文80余篇，曾获湖北省社会科学优秀成果奖三等奖1项、中国高校科学技术奖二等奖1项。