文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4740 /（中图刊号）：715GL012

气候变化下四川粮食供应链韧性动态研究
——2005—2022 年 VAR 实证

何冰铃　尚宇馨　段苏玲*
成都信息工程大学统计学院
DOI:10.32629/eep.v9i8.3291

[摘　要] 在全球气候变暖加剧、极端天气事件频发背景下,粮食供应链韧性成为保障区域粮食安全的核心命题。本文以四川省为研究区域,从抵抗力、适应力与变革力三个维度构建粮食供应链韧性评价体系,基于2005至2022年相关数据,采用向量自回归模型实证考察气候变化对区域粮食供应链韧性的动态影响。研究表明,气候风险指数与粮食供应链三维韧性均存在显著格兰杰因果关系,气候风险冲击短期内推动抵抗力快速提升、引致适应力短暂下降,变革力存在明显滞后响应。此外,各韧性维度波动主要受自身惯性驱动,气候因素的解释力度随时间推移逐步增强。研究结论可为提升区域粮食供应链气候适应能力提供经验证据与政策参考。
[关键词] 气候变化；粮食供应链韧性；VAR模型；脉冲响应；四川省
中图分类号：F762.1　文献标识码：A

Dynamic Research on the Resilience of Sichuan's Food Supply Chain under Climate Change: A VAR Empirical Study from 2005 to 2022

Bingling He　Yuxin Shang　Suling Duan*
School of Statistics, Chengdu University of Information Technology

[Abstract] Against the backdrop of intensifying global warming and frequent extreme weather events, the resilience of grain supply chains has become a core issue for ensuring regional food security. Taking Sichuan Province as the research area, this paper constructs an evaluation system for grain supply chain resilience from three dimensions: resistance, adaptability and transformability. Based on climate and socio-economic statistical data from 2005 to 2022, it empirically investigates the dynamic impact of climate change on regional grain supply chain resilience using the Vector Autoregression (VAR) model. The results show that the climate risk index has significant Granger causal relationships with the resistance, adaptability and transformability of the grain supply chain. The impulse response analysis indicates that climate risk shocks promote a rapid rise in resistance and a temporary decline in adaptability in the short term, while transformability shows a significant lagged response and adjusts gradually. The variance decomposition reveals that the fluctuations of each resilience dimension are mainly driven by their own inertia, and the explanatory power of climate factors gradually increases over time. The conclusions provide empirical evidence and policy references for improving the climate adaptability of regional grain supply chains and strengthening food security.
[Key words] climate change; grain supply chain resilience; VAR model; impulse response; Sichuan Province

1 引言

IPCC第六次评估报告指出,2001至2020年全球地表平均气温较1850至1900年升高约0.99℃,陆地升温幅度显著高于海洋。《中国气候公报2024》数据显示,2024年我国平均气温创历史新高,高温、暴雨等极端天气事件频发,对农业生产、粮食流通与储备构成持续冲击。粮食供应链是保障民生与经济稳定的基础系统,其运行稳定性直接关系国家粮食安全战略全局。

我国区域间气候禀赋、地形地貌与农业生产模式差异显著,粮食供应链面临的气候风险具有明显的区域异质性。四川省作为我国西南地区重要的粮食主产区和长江上游生态屏障,地貌

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

涵盖平原、丘陵、山地与高原,气候类型复杂多样。近年来,四川省气温波动加剧、降水时空分布不均、极端天气事件频次增加,给当地粮食生产、仓储、运输、销售等全供应链环节带来诸多不确定性,高温干旱导致减产,暴雨洪涝损毁设施,持续冲击整个粮食供应链的稳定运行。在此背景下,系统探究气候变化对区域粮食供应链韧性的影响机制,具有重要的现实意义与学术价值。

粮食供应链韧性是指系统面临自然灾害、市场波动等扰动时,维持自身结构与功能相对稳定、快速适应环境变化,并实现恢复升级的综合能力[1]。学界普遍将其解构为抵抗、适应与变革三个核心维度,分别对应冲击发生时的稳定能力、冲击后的恢复能力与长期的转型能力。

围绕气候变化与粮食供应链的关联,学界已开展多维度探索。影响机制方面,相关研究指出气候变化通过供应、获取、利用与稳定性四个维度作用于粮食安全,对气候冲击的认知偏差可能导致供应链运行效率下降甚至失效[1-2]。评价体系方面,有学者从水、能源、食物、环境耦合视角构建综合指数评估供应链可持续性[3],也有研究从抵抗、适应与创新维度搭建韧性量化框架[4]。提升路径方面,普遍认为农食系统转型是应对多重风险的核心方向,科技赋能的作用日益凸显,需在数量安全、运行效率与包容性间实现动态平衡,强化新质生产力的支撑作用[5-8]。

总体来看,现有研究在韧性理论内涵与评价方法上已取得进展,但仍存在局限。一方面研究多聚焦粮食生产单一环节[9],对全链条韧性的综合考察不足,未能系统揭示气候冲击的传导机制。另一方面鲜有采用时间序列模型刻画二者动态交互效应的研究,尤其缺乏省域层面的长期量化实证[10]。向量自回归模型基于数据统计性质构建,能够有效捕捉变量间动态关联与冲击传导效应[11]。基于此,本文以四川省为样本构建VAR模型,实证检验气候变化对粮食供应链韧性的动态影响,为区域粮食安全保障提供决策参考。

2 研究设计与数据来源

2.1数据与指标。(1)粮食供应链韧性指数。本文基于抵抗力、适应力与变革力三维框架构建评价体系。抵抗力反映冲击下生产供应稳定能力,选取粮食单位面积产量、有效灌溉率、农业机械化水平三项指标。适应力反映冲击后恢复调整能力,选取农业保险深度、农村居民人均可支配收入、粮食储备水平三项指标。变革力反映主动创新转型能力,选取农业科技投入强度、智慧农业覆盖率、低碳农业普及率三项指标。各维度经极值标准化无量纲处理后,等权重加权合成。(2)气候风险指数。选取平均气温距平、降水量变异系数、日照时数变化率三项气候要素,经极值标准化后等权重加权合成气候风险指数,表征区域气候变化综合风险程度,指数越高表明气候波动越剧烈、风险越高。(3)数据来源与预处理。本文以2005至2022年四川省为研究样本,共18个年度观测值。数据来源于《四川统计年鉴》《中国农村统计年鉴》、四川省气象局公开数据及历年国民经济和社会发展统计公报。为消除异方差并使系数具备弹性含义,对所有变量进行自然对数处理。

2.2模型设定。考虑到气候变化与粮食供应链韧性之间存在双向动态交互关系,本文构建VAR(p)模型形式如下

$$Y_t=A_1Y_{t-1}+A_2Y_{t-2}+\cdots+A_pY_{t-p}+\varepsilon_t$$

其中,Y_t为包含气候风险指数、抵抗力、适应力和变革力的四维内生变量向量；A_i为待估系数矩阵；p为滞后阶数；ε_t为随机扰动项向量。

本文依次通过ADF单位根检验验证序列平稳性,依据信息准则确定最优滞后阶数,通过格兰杰因果检验识别传导方向,采用AR单位根检验验证模型稳定性,最后开展脉冲响应分析与方差分解,刻画气候风险冲击的动态影响轨迹与贡献程度。

3 实证结果与分析

3.1描述性统计。表1报告了各变量对数化后的描述性统计结果。样本期内四川省粮食供应链抵抗力与适应力均值较高,整体基础较好。变革力标准差最大,说明农业科技创新与产业转型年际差异明显。气候风险指数与抵抗力波动幅度较小,数据相对稳定。对数转换有效降低了序列异方差性,满足建模要求。

表1 描述性统计

变量	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
气候风险指数	18	3.792	0.092	3.639	3.991
抵抗力	18	8.390	0.085	8.262	8.516
适应力	18	8.939	0.274	8.545	9.369
变革力	18	5.823	0.800	4.440	6.945

3.2平稳性检验。采用ADF单位根检验验证序列平稳性,结果如表2所示。气候风险指数、抵抗力与适应力均在1%的显著性水平下拒绝存在单位根的原假设,变革力在10%的显著性水平下拒绝原假设,所有变量均为平稳序列,符合VAR模型对数据平稳性的要求。

表2 面板单位根检验(ADF)结果

变量	统计量	1%临界值	5%临界值	10%临界值	P 值	平稳性
气候风险指数	-7.155	-3.750	-3.000	-2.630	0.0000	平稳
抵抗力	-4.465	-3.750	-3.000	-2.630	0.0002	平稳
适应力	-4.013	-3.750	-3.000	-2.630	0.0013	平稳
变革力	-2.847	-3.750	-3.000	-2.630	0.0518	平稳

3.3滞后阶数选择。综合采用AIC、HQIC与SBIC三种信息准则确定最优滞后阶数,结果如表3所示。滞后阶数过少易导致残差自相关,过多则损失自由度。当滞后阶数为3时三类信息准则均取最小值,因此确定构建VAR(3)模型。

3.4格兰杰因果检验。格兰杰因果检验结果如表4所示。1%显著性水平下,气候风险指数是抵抗力、适应力与变革力的格兰杰原因,说明气候波动对供应链各韧性维度具有显著预测能力,存在单向传导效应。抵抗力是气候风险指数、适应力与变革力的格兰杰原因,其变动既能传导至供应链内部各环节,也能通过

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

生产系统调整反作用于气候风险。适应力仅对内部的抵抗力和变革力存在传导效应，对气候风险无显著预测作用。10%显著性水平下，变革力是气候风险指数的格兰杰原因，说明供应链创新变革可通过绿色转型间接影响区域气候水平。

表3 滞后阶数选取

滞后阶数	AIC 值	HQIC 值	SBIC 值
0	-15.0514	-15.0871	-14.8775
1	-13.6421	-13.8208	-12.7730
2	-18.4500	-18.7716	-16.8855
3	-281.222	-281.686	-278.962
4	-280.479	-280.943	-278.219

表4 格兰杰因果检验结果

零假设	卡方统计量	P 值
气候风险指数→抵抗力	92.619	0.000
气候风险指数→适应力	125.510	0.000
气候风险指数→变革力	15.531	0.001
抵抗力→气候风险指数	36.896	0.000
抵抗力→适应力	720.330	0.000
抵抗力→变革力	332.730	0.000
适应力→气候风险指数	2.282	0.516
适应力→抵抗力	43.629	0.000
适应力→变革力	59.917	0.000
变革力→气候风险指数	6.960	0.073
变革力→抵抗力	3.847	0.278
变革力→适应力	4.124	0.248

注：显著性标记依次表示在10%、5%、1%水平下显著。

3.5模型稳定性检验。采用AR单位根检验对VAR(3)模型进行稳定性检验，结果见图1。所有特征根的模均小于1，全部落在单位圆内，表明模型稳定性良好，后续脉冲响应与方差分解结果可靠。

3.6脉冲响应分析。基于稳定的VAR(3)模型，构建正交化脉冲响应函数，设定响应期数为10期，刻画气候风险指数一个标准差正向冲击下，各韧性维度的动态响应轨迹，结果见图2。

气候风险冲击下，抵抗力呈现快速上升后波动调整的特征，第1期迅速升至峰值，随后波动下降并交替振荡，说明短期气候风险会触发预防性防御机制，但单一防御难以持续应对累积效应。适应力呈现先降后升特征，冲击初期明显下降，第1—2期降至谷底后逐步回升，说明短期冲击会快速消耗缓冲资源，后续供应链通过优化库存、调整渠道逐步修复适应能力。变革力存在显著滞后性，冲击初期基本无明显响应，第3期开始下降，第4期触底后逐步回升，说明系统性变革存在决策时滞与实施周期，中期气候压力累积才会倒逼创新调整。

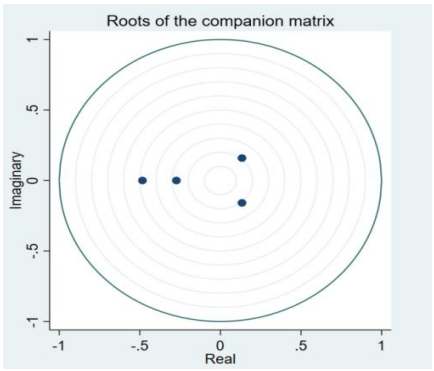


图1 VAR模型AR单位根检验图

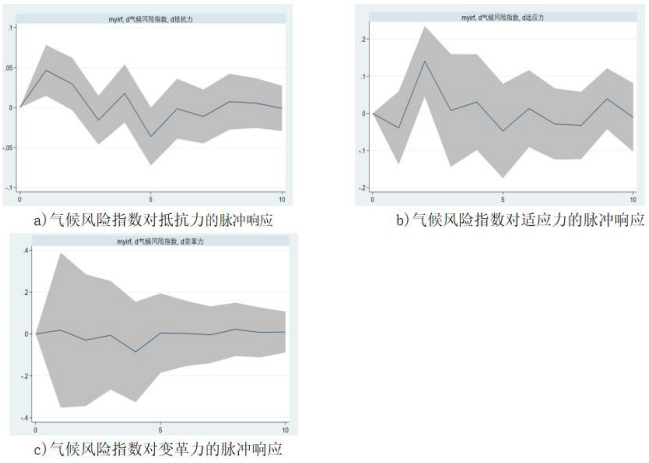

a）气候风险指数对抵抗力的脉冲响应
b）气候风险指数对适应力的脉冲响应
c）气候风险指数对变革力的脉冲响应

图2 气候风险冲击下各韧性维度的脉冲响应函数

总体而言，气候风险冲击对各韧性维度的影响路径与响应模式存在明显异质性，反映出粮食供应链应对气候变化是**多维度、多阶段的动态调整过程**。

3.7方差分解。为进一步量化各变量的贡献程度，对系统进行预测误差方差分解，选取第1、3、5、7、10期的分解结果进行展示，具体见表5。

表5 各韧性维度预测误差方差分解

预测期	抵抗力方差分解		适应力方差分解		变革力方差分解	
	自身贡献	气候风险贡献	自身贡献	气候风险贡献	自身贡献	气候风险贡献
1	94.23	5.77	89.65	10.35	98.12	1.88
3	88.76	11.24	82.31	17.69	92.47	7.53
5	85.19	14.81	78.64	21.36	87.25	12.75
7	83.07	16.93	76.82	23.18	83.91	16.09
10	81.64	18.36	75.73	24.27	81.58	18.42

注：表中数值为各因素对预测误差方差的贡献占比，单位为%；结果保留两位小数。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

方差分解结果显示，各韧性维度对自身预测误差方差的贡献度在初期接近100%，随后缓慢下降并趋于稳定，表明各维度波动主要受自身惯性驱动，系统独立性较强。其中，抵抗力对自身方差的贡献度始终维持在较高水平，受外部气候冲击的短期影响相对较小；变革力与适应力的波动短期内几乎完全由自身因素解释，气候风险的解释力随预测期延长逐步增强，但总体贡献度有限。

总体来看，四川省粮食供应链韧性提升仍主要依赖自身能力建设，气候风险的影响是渐进累积的过程，其解释力度会随时间推移逐步显现。

4 结论与政策建议

4.1研究结论。本文基于2005至2022年四川省数据，从抵抗力、适应力与变革力三个维度测度粮食供应链韧性，运用VAR模型实证考察气候变化对区域粮食供应链韧性的动态影响，得出以下主要结论。

第一，气候变化与粮食供应链韧性存在显著因果关联。气候风险指数是粮食供应链抵抗力、适应力与变革力的单向格兰杰原因，气温异常、降水波动等气候变化确实会显著影响供应链抵御冲击、适应调整与创新变革的能力。

第二，气候风险冲击的影响路径存在维度异质性。气候风险冲击会推动抵抗力短期内快速提升后波动调整，引致适应力初期下降后逐步恢复，对变革力的影响则存在明显滞后效应，中期才会逐步显现调整效果。

第三，各韧性维度波动具有较强自身惯性。抵抗力、适应力与变革力的波动均主要受自身惯性驱动，气候因素的解释力度随预测期延长逐步增强，但总体贡献度相对有限，供应链韧性提升的核心仍在于自身能力建设。

4.2政策建议。基于上述结论，结合四川省粮食供应链发展实际，提出以下政策建议。

第一，实施差异化韧性提升策略。针对粮食主产区，重点夯实生产端抵抗力，大力推广生态农业、循环农业模式，因地制宜构建多元生态循环系统，从源头保障粮食供给稳定；针对粮食主销区与物流节点，重点提升流通端适应力，依托区域性粮食调度平台，加强产销衔接与流通通道建设，完善供需实时监测机制，提升供应链整体协同效能。

第二，强化农业科技与种业创新。设立气候适应型农业技术研发专项，支持科研院所与种业企业协同攻关，加快培育抗逆作物新品种；推广智能灌溉、精准施肥等现代农业技术，推动粮食生产数智化转型；升级改造仓储设施，配置温控、防潮与智能监测设备，提升储备粮精细化管理水平。

第三，补齐农业基础设施短板。加大农田水利设施投入，在川西高原等易旱区域推广高效节水灌溉技术，提升干旱应对能力；加强农村公路网络建设与养护，保障粮食收获期运输畅通；结合四川湿润气候特征，建设防潮防霉的现代化粮仓体系，完善粮食产后储运保障。

4.3研究展望。本文仍存在一定局限。样本时间跨度有限，部分供应链微观环节数据难以获取，指标精细度有待提升，VAR模型主要刻画线性动态关系，对非线性效应、门槛效应的刻画存在不足。未来可拓展样本范围与指标维度，对比不同粮食功能区的韧性差异，并引入非线性模型进一步揭示气候影响的异质性特征。

[基金项目]

四川省自然科学基金(2024NSFSC1070)；四川省哲学社会科学规划项目四川统计发展专项(SC24TJ020)；四川省海聚计划高端人才引进项目(2025HJRC0001)。

[参考文献]

[1]TCHONKOUANG D R, ONYEAKA H, NKOUTCHOU H.Assessing the vulnerability of food supply chains to climate change-induced disruptions[J].*Science of the Total Environment*,2024,920:171047.

[2]EL-BILALI H.Climate change-food security nexus in Burkina Faso[J].*CAB Reviews*,2021,16(009):1-15.

[3]MIRZAEI A, AZARM H,NOSHAD M. Designing sustainability comprehensive indicator for the food supply chain under climate change[J].*Ecological Indicators*,2024,159:111722.

[4]戴媛媛.中国粮食产业链供应链韧性分布动态与区域差距[J].统计与决策,2024,40(18):114-119.

[5]樊胜根,高海秀,冯晓龙,等.农食系统转型与乡村振兴[J].华南农业大学学报(社会科学版),2022,21(1):1-8.

[6]王娟娟,曲健.粮食供应链韧性提高与产销空间布局优化[J].开发研究,2024(6):47-58.

[7]詹琳,蒋和平,蒋黎.强化我国粮食供应链韧性的管理权衡与协同[J].中国流通经济,2024,38(11):26-37.

[8]徐亚纯,卫雅祺.新质生产力对粮食供应链韧性的影响研究[J].云南农业大学学报(社会科学),2025,19(2):34-42.

[9]张一文.气候变化背景下中国主要粮食作物生产安全影响因素研究[D].上海:华东政法大学,2023.

[10]李丽菲.提升我国粮食供应链韧性的机制与路径研究[J].当代经济,2024,41(9):55-61.

[11]周正.基于VAR模型的气候变化对水资源的影响研究[J].黑龙江环境通报,2024,37(8):47-49.

作者简介：

何冰铃(2007--),女,汉族,四川广元人,本科,研究方向：粮食贸易。

尚宇馨(2006--),女,汉族,四川人,本科,研究方向：粮食贸易。

***通讯作者：**

段苏玲(1987--),女,汉族,北京人,博士研究生,讲师,研究方向：智能决策与优化。

Copyright © This work is licensed under a Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.