# 跨国供应风险对中国农产品进口贸易的级联性冲击影响

王　悦[1]，张琳琛[2]

（1. 华东理工大学 商学院，上海 200237；2. 山东理工大学 经济学院，山东淄博 255000）

**摘　要：**基于社会网络分析方法，构建了具有累积负荷阈值的影响力传导级联效应模型，仿真模拟网络结构下跨国供应风险对中国农产品进口贸易的级联性冲击影响，并进一步就中国上游进口来源贸易网络的结构演化展开理论与经验研究。结果显示，在跨国供应风险的级联性冲击下，中国农产品进口贸易会出现持续、累积的数量下降，这种下降不仅源于直接进口来源国的风险冲击，还与直接、间接进口来源国之间存在广泛的风险交织；由于不同核心出口国贸易量级和贸易流动偏好存在差异，不同国家发起的级联性风险冲击对中国造成的累积冲击强度和传导路径存在差异，在高阶级联传导下可能会令中国陷入不可调和的贸易需求赤字状态；中国谷物类和食用肉类农产品进口具备一定的抗风险能力，而中国大豆类农产品进口韧性较差；中国农产品上游进口来源的贸易网络结构具有中心偏好集聚效应和跨网络连通效应，这两种效应可能会增加贸易失败的风险，进而削弱中国农产品进口的韧性。相反，传递闭合效应和时态稳定效应则有助于增强中国农产品进口的韧性。

**关键词：**复杂网络结构；跨国供应风险；级联效应；供应链安全

**中图分类号：**F313；F752.61　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1672－0202(2025)01－0101－16

## 一、跨国供应风险传导现实与文献综述

效率驱动下国家间农业生产轨迹逐渐分化，贸易竞争实力差距不断扩大，使得全球农产品贸易网络格局演化愈发趋于由少数垄断优势国家为主导的中心收敛态势，这可能导致中国上游贸易供应来源趋于单一化且极大限制了外部拓展空间，严重削弱了中国农产品进口贸易韧性和抗风险能力。近年来，全球极端天气、暴力冲突以及疫情灾害等突发事件频发，再加之制度规则矛盾、国际垄断资本盛行，导致全球经济政策不确定指数持续上升，引发农产品跨境交易梗阻和粮价高位通胀等连锁反应，这使本就呈现脆弱性倾向的中国农产品进口贸易面临严峻挑战[1]。中国在农产品进口面临着进口来源国高度集中、运输路径单一以及国内外粮食价格倒挂等多重问题，这些问题加剧了其在应对国际市场供应链波动时的敏感性[2]。基于此，正确认识我国农产品供给侧进口端面临的风险敞口形势，准确把握贸易网络中跨国供应风险传导对中国农产品进口贸易的冲击影响特征，这对于确保国家更高水平的粮食安全以及开放型经济稳定十分关键。

鉴于全球农产品供应体系的不平衡以及经贸环境的复杂多变，跨国供应风险在国际农产品贸易网络中引发了破坏性的连锁反应，在极端情况下可能会造成贸易网络体系中国家节点及贸易关

**收稿日期：**2024－07－23　　**DOI：**10.7671/j.issn.1672－0202.2025.01.008

**基金项目：**国家社会科学基金青年项目(22CJY005)；山东省高等学校青创科技支持计划(2023RW035)

**作者简介：**王　悦(1993—)，女，山东淄博人，华东理工大学商学院博士研究生，主要研究方向为区域与国别经济。E-mail：wangyue_zzzz@163.com

联出现系统性瘫痪,使得中国不得不面对来自国际农产品供应链的级联性①风险冲击。全球主要农产品供应国在贸易网络中失效并级联性引起一系列国家陷入粮食安全危机的事件时有发生。例如,2011 年,由于极端干旱的影响,俄罗斯采取了全面禁止小麦出口的措施,这一举措随后引发了乌克兰、阿根廷等多个重要粮食供应国相继实施出口限制[3];新冠疫情大流行以及俄乌冲突期间全球 20 多个国家陆续对粮食贸易实施交易封锁和出口限制[4]。可见在经贸环境不稳定背景下,国际农产品贸易网络可能会成为跨国供应风险传导的"放大装置",通过国家间复杂、紧密的贸易关联,将局部区域供应危机扩散至全球,这种"推波助澜"式的风险传导可能会导致所有潜在相关国家卷入"断供"旋涡,而作为全球农产品进口贸易规模最大的国家,中国易遭受外部跨国供应风险的冲击进而威胁进口贸易稳定性。

国际贸易主流文献较少关注贸易网络中跨国供应风险的传导问题。已有文献大多基于社会网络分析,刻画复杂贸易关系和总体贸易格局中的优势,重点围绕贸易网络的宏观拓扑结构动态演化展开研究,探讨国家间复杂贸易网络关联特征[5]、网络内外生结构属性[6-7]等方面对贸易网络演化的影响。本文探讨的跨国供应风险传导问题是基于贸易网络结构性研究展开的,因而该类文献可为本文提供良好的研究基础。还有部分研究侧重于量化分析国际贸易网络的静态、动态脆弱性变化,通过统计学方法和计量经济手段检验了贸易摩擦[8]、新冠疫情[9]以及俄乌冲突[10]等事件对国际农产品供应链的冲击影响。其研究视角主要聚焦于直接贸易关联下国家进口贸易的结构性矛盾与贸易依赖程度所带来的供应链脆弱性,侧重于分析经贸环境不稳定对粮食安全的直接冲击后果。而忽视了高阶网络结构中国家间直接与间接供应风险并存的复杂交织特性,且未能有效揭示跨国供应风险在贸易网络中的传播机制,以及国家节点与贸易关系在应对外部冲击时的动态调整过程。网络结构视角下中国应对农产品进口端输入性供应风险的研究尚处于探索阶段,缺少有关输入性跨国供应风险的传导机制解析和影响力定量评估。

本文的研究贡献主要在于:其一,构建了具有累积负荷阈值的影响力传导级联效应模型,模拟跨国供应风险沿着贸易网络关联产生级联性扩散的全过程,揭示了国家间隐藏的贸易风险关联,有助于准确量化中国在应对不同国家出口下降或受限时的累积贸易需求缺口,并识别出输入性跨国供应风险的传导路径以及关键风险冲击来源国;其二,重点考察了与中国存在直接、间接风险关联的上游进口贸易网络的结构性动态演化,通过采用时态指数随机图模型(TERGM)以及其分离的形成模型和解除(或持续)模型(STERGM),定量评估上游进口贸易网络中心偏好集聚性、跨网络连通与传递闭合性以及时态稳定性的结构性影响,有助于厘清上游进口来源贸易网络的结构性演化机制。

## 二、贸易网络中跨国供应风险传导的仿真模型设计

### (一)跨国供应风险的传导机制建模

1. 跨国供应风险的级联传导机制

跨国供应风险的级联性传导指的是,在国际农产品贸易网络中,当某个或局部地区的国家节点遭受不可抗力环境压力导致出口贸易数量下降时,这一供应短缺风险通过国家间的复杂贸易关联发散传导至所有潜在的下游贸易进口国,这一过程呈现出"以点带面"的扩散效应,最终可能引发全局性的贸易流通障碍以及国家间的贸易需求赤字。这意味着,外生冲击下国际贸易网络中跨

① 级联性是指在一个系统中,当某个局部发生变化或受到冲击时,该变化会沿着系统的结构或路径逐步传导并引发连锁反应,进而影响整个系统或其他部分,这有助于理解贸易网络中跨国供应风险在国家节点间的关联逐步扩散的过程。

国供应风险的传导不只发生在存在直接贸易关联的国家之间,而是经由复杂贸易关联进行间接扩散,其传导路径形成类似“树形”的相互嵌套结构,这种网络结构下跨国供应风险的级联性传导现象在国际贸易市场中普遍存在。在影响力传导的级联效应下,国家农产品出口贸易的下降数量会在下游所有贸易网络关联边中重新分配,而“被分配”的下游国家面临产品进口数量下降且累计幅度可能会超过其本身的承载能力,进而陷入不可调整的外部供应短缺危机。据此,当某行业产品贸易网络遭遇足够强烈的外生冲击时,这种冲击会直接、间接地导致跨国供应风险的级联性传导,进而造成贸易网络中部分国家节点和贸易关联边出现不同程度的失效,严重时会导致这些国家退出全球市场。对于中国而言,无论是上游农产品直接进口来源国还是高阶间接进口来源国,以及复杂贸易关联中的任何一环,一旦出现贸易流通故障,由此导致的供应风险将沿着贸易链级联传导至我国,进而可能引发我国的贸易失衡问题。

2. 影响力传导级联效应模型构建

为真实反映跨国供应风险传导的级联效应,本文在参考已有研究基础上[11],构建了具备累积负荷阈值的影响力传导级联效应模型,仿真模拟国际农产品贸易网络面临跨国供应风险级联性冲击时的演化态势,识别和评估贸易网络中国家节点的抗压负荷能力、贸易关联边的风险承载强度以及风险传导路径。影响力传导级联效应模型主要聚焦于外生冲击下一国农产品出口贸易的传递衰减过程,以此为主导机制来分析跨国供应风险的传导。该模型旨在考察在当前贸易流动偏好权重分配的背景下,跨国供应风险对中国产生的级联性冲击影响,重点在于捕捉这些风险如何在复杂的贸易关联中引起农产品贸易流量的动态、非线性变化。因而该模型在构建时并未将国家间农产品生产水平、消费能力的变动以及市场价格指数等因素的变化纳入考虑①。

首先,设定国家节点的抗压负荷能力。在现实世界的贸易发展中,由于世界各国存在农产品生产能力和政策导向差异,产品异质性引发的多样化需求,以及利用再加工、中转贸易实现产品贸易增值目的等复杂情况,大多数国家并不是单一的纯出口国或纯进口国,而是会同时进、出口某一类农产品。基于此,贸易网络中世界各国家节点的农产品贸易供需状态可表示为②:

$$td_{ckt} = exp_{ckt} - imp_{ckt} + \underbrace{dem_{ckt} - prod_{ckt}}_{\alpha_{ck}} \tag{1}$$

(1)式中,$c$ 代表贸易网络中的某目标国家;$t$ 为离散时间;$td_{ckt}$ 代表 $c$ 国 $t$ 时的贸易需求状态;$imp_{ckt}$ 和 $exp_{ckt}$ 分别表示 $c$ 国 $k$ 产品的总进、出口贸易数量,即 $imp_{ckt} = \sum_{i=1}^{n} w_{ickt}$($i$ 为 $c$ 国进口来源国)、$exp_{ckt} = \sum_{j=1}^{m} w_{cjkt}$($j$ 为 $c$ 国出口对象国);$dem_{ckt}$ 和 $prod_{ckt}$ 分别代表 $c$ 国 $t$ 时农产品消费水平和生产水平。为排除产品供需结构变动的内生性困扰,本文假定国家农产品生产能力和市场消费等内生条件始终保持为固定水平,将其设定为固定常数 $\alpha_{ck}$。在初始状态 $t_0$ 时,本文假定贸易网络中世界各国农产品贸易供需 $td_{ckt}$ 处于均衡状态,即国家节点和贸易关联边均保持稳定,且并不存在国家节点失效和贸易流通梗阻。此时,$td_{ckt}$ 恒等于 0,且相应的 $imp_{ckt}$ 和 $exp_{ckt}$ 均保持稳态,即与 $c$ 国存在贸易关联的进口来源国 $i$ 和出口对象国 $j$ 以及其贸易权重均处于稳定状态。

在 $t+1$ 时,本文假设 $c$ 国遭受一定强度的跨国供应风险冲击 $shock_{ck,t+1}$,进而破坏了其原有的

① 价格要素是驱动已有贸易关联与权重形成的先决条件,已有贸易流动偏好很大程度上蕴含着国际市场价格条件以及国家购买力的导向结果[12]。即便受到国际市场价格的干扰,当前贸易关系权重很大程度上可以代表网络结构下国家农产品进口的贸易流动偏好。因此,本文模型中并没有纳入对于价格条件的考量。

② 需要说明的是,模型中没有考虑国家农产品储存变量。国家为保障食品供应弹性和粮食安全底线通常会储存固定数量农产品,但其储备数量并不会轻易下降,在面临外生冲击时会尽可能优先保持贸易平衡性以达到供需平衡的稳态。因此,本文模型关注的重点是贸易层面的平衡状态。

均衡状态。冲击国家贸易稳态的外生诱发因素丰富多样,例如自然灾害引发的生产危机、地缘冲突导致的货物运输中断、贸易保护主义加剧带来的出口限制性措施等,这些因素最终可能导致国家农产品供需的结构性失衡而陷入贸易需求赤字状态,即 $td_{ck,t+1}=shock_{ck,t+1}>0$。在现实世界贸易中,在遭遇不可抗力的环境变化时,国家为保障本国农产品供给安全和社会稳定,会通过实施出口限制性手段来弥补贸易需求赤字。跨国供应风险传导下国家 $c$ 基于其自身负载能力的临界阈值面临着两种境地:其一,自身负载能力高于冲击强度,可以通过实施与跨国供应风险冲击强度相适应的出口限制措施来抵消贸易需求赤字;其二,自身负载能力不足,此时则会完全停止 $k$ 产品出口贸易,但仍处于贸易需求缺口状态。则国家 $c$ 农产品出口贸易状态可设定为:

$$exp_{ck,t+1}=exp_{ckt}-min\{shock_{ck,t+1},exp_{ckt}\} \tag{2}$$

基于此,国家是否可以通过出口贸易调整来抵消外生冲击的负面影响,这决定了国家节点的负载能力大小。若国家抵御外生冲击的负载能力强,则国家节点将会在贸易网络中持续有效,反之国家节点会在贸易网络中失效。

其次,设定国家贸易关联边的风险承载强度。在贸易网络中,当上游国家农产品出口受阻时,由此引发的跨国供应短缺风险将会沿着复杂贸易网络关联边开始级联性传导,其每条网络边线承载的冲击强度与其本身权重大小成正比,进而导致下游贸易伙伴国出现不同程度的贸易需求赤字状态。为有效量化每条贸易关联边承载的冲击强度,本文假定国家间农产品贸易流动偏好条件在风险传导的离散时间内始终保持为固定水平,因而下游国家遭受的是相应贸易流动偏好权重下的冲击强度。假设国家 $c$ 遭遇的跨国供应风险冲击来自上游来源国 $i$,初始的贸易流动偏好状态可设定为 $\frac{w_{ick}(0)}{exp_{ik}(0)}=\eta_{ick}$($\eta_{ick}$为固定常数)。那么,在 $t+1$ 跨国供应风险传导下,国家 $c$ 面临的来自 $i$ 国跨国供应风险的冲击强度可计算为:

$$shock_{ick,t+1}=w_{ickt}-\eta_{ick}exp_{ik,t+1} \tag{3}$$

(3)式中,$exp_{ik,t+1}$为 $i$ 国在 $t+1$ 时贸易调整后的出口总量。需要说明的是,一国某产品进口通常会存在多个进口来源国。因此,国家 $c$ 遭受累积负荷的总跨国供应风险冲击强度计算为:

$$shock_{ck,t+1}=\sum_{i=1}^{n}shock_{ick,t+1} \tag{4}$$

最后,仿真模拟贸易网络中跨国供应风险的级联性传导。基于上述国家节点的抗压负荷能力以及风险传导冲击强度的设定,本文接下来就外生冲击嵌入国际农产品贸易网络所产生的级联性传导展开仿真分析。设定 $t=0$ 期的贸易网络 $Trade_Net_{k,t=0}$ 为初始稳态,此时贸易网络结构 $V(C_{k,t=0},R_{k,t=0})$ 和 $W_{k,t=0}$ 保持均衡,各国家节点的贸易需求状态 $td_{k,t=0}$ 恒定为 0。在 $t=1$ 期时,设置一定强度的外生冲击 $shock_{k,t=1}$ 嵌入贸易网络,并选定一个初始受冲击对象国 $q$,此时 $td_{qk,t=1}=shock_{k,t=1}>0$。国家节点 $q$ 被外生冲击激活后,为弥补贸易需求赤字会对 $k$ 产品实施出口限制措施,其出口贸易变化下降为 $exp_{qk,t=1}(0<exp_{qk,t=1}\leqslant exp_{qk,t=0})$。在 $t=2$ 期时,$q$ 国 $k$ 产品的出口贸易流量下降形成跨国供应短缺风险在国家贸易关联边线中进行分配,进而传导至所有直接从 $q$ 国进口 $k$ 产品的国家集合 $Z$,导致其陷入贸易需求赤字状态,形成了外生冲击下的一阶网络风险传导。此时,国家集合 $Z$ 作为风险传导节点被激活,其各国按自身固定贸易流动偏好条件所分配到的冲击强度则为 $td_{zk,t=2}=shock_{zk,t=2}$,那么各国出口贸易水平则会相应变化为 $exp_{zk,t=3}$。在 $t=3$ 期时,国家集合 $Z$ 出口数量下降进一步将跨国供应短缺风险传导至所有从其进口农产品 $k$ 的国家集合 $E$,激活其陷入贸易需求赤字状态并成为风险传导中间节点,形成了外生冲击下的二阶网络风险传导。此时,国家集合 $E$ 中各国所分配到的冲击强度则为 $td_{ek,t=3}=shock_{ek,t=3}=\sum_{z=1}^{n}shock_{zek,t=3}$。在 $t=4$ 期时,国家集合 $E$ 进一步实施出口限制性措施,将会影响所有从 $E$ 进口农产品 $k$ 的国家集合,并将供应风险沿贸易

网络关联边持续传导下去,进而形成了外生冲击下的高阶网络风险传导。需要注意的是,由于网络结构中国家贸易关联的复杂连通性,一国在级联效应下可能会同时遭受来自多个国家、多阶的跨国供应风险冲击,这使得其 $k$ 产品出口贸易会呈现出持续性的边际降低。若受级联效应传导影响的国家 $k$ 产品出口贸易活动完全停止,表明该国将陷入不可调和的贸易需求赤字状态,此时其作为风险传导中间节点失效,可能会继续承受来自上游国家的跨国供应风险冲击,但不再向下游国家传导供应风险。

在系统动力学的持续动态作用下,若无任何国家节点再次被跨国供应风险传导所激活,即国家贸易关联边线不再承载任何跨国供应风险,且不存在国家会进一步减少农产品出口数量的情况,则国际农产品贸易网络中跨国供应风险的级联性传导最终结束。此时,贸易网络中各国家节点承载的跨国供应风险冲击已达到最大化。国际贸易网络中跨国供应风险的级联性传导路径、阶数以及究竟会造成哪些国家陷入不可调整的贸易需求赤字状态,这主要取决于外生冲击强度、初始受冲击国贸易中心地位以及世界各国的风险累积负荷能力等。本文构建的影响力传导级联效应模型有助于动态追踪复杂贸易网络关联下跨国供应风险的传导路径,可将初始冲击发起国与末端受冲击影响国联系起来,准确量化各国在影响力级联传导下最终承受的冲击强度和贸易需求状态。

### (二)研究对象选取与数据来源

上述模型适用于具体某行业或某种类农产品的国际贸易行为,因而选取适合范围的产品类型十分关键。所选取的产品类型范围不宜过小,因为多种产品之间可能存在直接可替代性。例如,小麦、水稻等谷物类产品的每生产单位(吨)提供的热量值(千卡)大致相当,是人类膳食能量消耗的最普遍、经济的来源,这些谷物之间存在高度贸易可替代性,这一特性在全球粮食供应短缺的情况下尤为凸显发生。同样地,所选取的产品类型范围不宜过大,需保证其产品功能存在高度共性。基于上述条件,再考虑到中国农产品进口贸易国情,本文选取谷物类、食用肉类和大豆类三个行业产品贸易为研究对象。该三类农产品在国际贸易市场中的交易量巨大且覆盖国家范围广泛,常被作为国家实施粮食安全战略和贸易保护手段的重点关注对象。中国进口该三类农产品的贸易规模均位于世界第一位,且进口数量呈现连年增长趋势,尤其是大豆类产品存在进口依存度高和集中度高的“双高”态势[13]。

本文选用 CEPII-BACI 数据库①的全球贸易数据,所选取的谷物类、食用肉类和大豆类产品贸易样本具备分别涵盖了《商品名称及编码协调制度》(HS6)中第 10 章、第 2 章以及第 12 章中产品编码 120100(大豆:无论是否破损)。需要说明的是,本文仿真模拟分析是基于数据库中 233 个经济体的完整双边贸易数据展开。本文选取中国大陆贸易数据作为中国经济体的基准,未包含中国香港、中国澳门和中国台湾地区的贸易数据。另外,为了排除中美贸易摩擦和新冠肺炎疫情等突发事件的干扰,本文的模拟分析主要基于国际贸易网络结构相对稳定的 2017 年数据进行。

## 三、不同情景下跨国供应风险传导对中国农产品进口贸易的冲击模拟结果

在仿真模拟开始前,需要确定外生冲击嵌入国际贸易网络的初始受冲击目标国。国际贸易网络系统中的核心出口国贸易影响力较大,其贸易关联辐射影响的国家范围更为广泛[14]。基于此,

① 数据来源方面,CEPII-BACI 数据库提供了 HS 六位编码下全球农产品双边贸易数据,具备统一的统计口径、广泛的国家覆盖以及较高的时效性,这为国际贸易网络关联的动态分析提供了有力支持。

本文选择的初始受冲击目标国为各类农产品出口贸易数量全球排名前12的国家①,具体见表1-3。

**(一)比例损失冲击情景下的冲击模拟结果**

为识别不同贸易量级国家的级联性冲击影响力大小,本文通过直接损失初始目标国家各自出口贸易的固定比例数量来形成风险冲击,可有效识别不同贸易量级初始目标国发起的差别化供应风险强度对中国农产品进口贸易的级联性冲击影响。历史上,一国农产品生产和贸易下降幅度超过10%的情况时有发生。基于此,考虑到国家实施出口限制性措施可能存在的较高极限状态,本文将比例损失冲击的固定比例值设定为25%,即 $shock_{k,t=1}=0.25\times exp_{qk,t=0}$。

**表1 比例损失冲击情境下跨国供应风险传导对中国谷物类进口贸易的模拟冲击结果**

| 初始受冲目标国 | 目标国出口总规模(吨) | 初始贸易损失:供应风险强度(吨) | 一阶直接传导下中国进口贸易下降幅度(吨) | 供应风险的级联传导阶数 | 高阶级联传导下中国进口贸易下降幅度(吨) | 累积负荷风险是否可调和 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 美国 | 92582048 | 23145512 | 1992610 | 47 | 2118398 | 不可调和 |
| 俄罗斯 | 46602116 | 11650529 | 6080 | 47 | 213362 | 可调和 |
| 乌克兰 | 42865496 | 10716374 | 701851 | 39 | 774234 | 可调和 |
| 阿根廷 | 41582516 | 10395629 | 0 | 46 | 660016 | 可调和 |
| 巴西 | 30938692 | 7734673 | 4298 | 38 | 331518 | 可调和 |
| 澳大利亚 | 29625568 | 7406392 | 1543758 | 47 | 1853412 | 不可调和 |
| 加拿大 | 26564152 | 6641038 | 478137 | 41 | 737470 | 可调和 |
| 法国 | 25622834 | 6405709 | 55206 | 19 | 82720 | 可调和 |
| 印度 | 13293119 | 3323280 | 28 | 44 | 17166 | 可调和 |
| 泰国 | 12443293 | 3110823 | 301036 | 46 | 374254 | 可调和 |
| 罗马尼亚 | 12263599 | 3065900 | 0 | 47 | 41678 | 可调和 |
| 德国 | 11864181 | 2966045 | 20 | 49 | 19604 | 可调和 |

表1为谷物类贸易样本的仿真模拟结果。在目标国出口贸易数量下降25%的情景下,美国和澳大利亚发起的级联性跨国供应风险传导对中国进口贸易的冲击影响力最大,所累积的高阶风险传导强度分别为2118398吨和1853412吨,使得中国陷入了不可调和的贸易需求赤字状态。除该两国外,其余核心出口国在比例损失冲击情景下造成中国谷物类贸易需求赤字的状态均在可调和的范围内。可见,中国谷物类进口贸易具备一定的韧性。乌克兰、加拿大和阿根廷在高阶级联冲击下对中国进口贸易的冲击相对较高,而法国、印度、罗马尼亚和德国则相对较小,这主要与不同国家谷物类出口贸易量级以及贸易流通偏好差异有关。高阶级联性传导下中国进口贸易下降的幅度明显普遍高于一阶直接传导,但在不同初始受冲目标国之间存在差异。美国、澳大利亚、加拿大和泰国等核心国家主要通过一阶直接贸易关联路径对中国形成较高风险冲击。高阶级联性传导下累积的风险冲击不容忽视,特别是澳大利亚,虽然其在一阶风险冲击下并不会造成中国陷入不可调和的贸易需求赤字状态,但在二阶及以上阶数会造成中国谷物类进口持续下降309654吨,使得中国陷入贸易短缺危机。此外,部分国家对中国进口贸易的风险冲击主要通过高阶级联传导路径来实现。尤其是阿根廷,在一阶直接冲击传导下对中国谷物类进口贸易并没有造成干扰,但在高达46阶的级联性传导下会累积造成中国进口贸易下降660016吨。由此可见,贸易网络中跨

① 以2017年贸易数据为基准,谷物类和食用肉类贸易样本中筛选的12个核心国家出口贸易数量占世界总出口规模的比重分别达到79.8%和75%,而大豆类贸易样本的12个国家贸易规模总比重近乎100%。

国供应风险传导并不是传统认知的一次性、直接性的贸易关联冲击，而是沿着不同层级间的直接、间接贸易网络关联展开的级联性传导，使得受冲击国家会面临持续提高的贸易需求赤字。

表 2 为食用肉类贸易样本的仿真模拟结果。在目标国出口贸易数量下降 25% 的情景下，巴西所发起的级联性跨国供应风险传导对中国进口贸易的冲击影响最大，在 38 阶的累积风险传导强度为 331768 吨，使得中国陷入了不可调和的贸易需求赤字状态。其余核心出口国在比例损失冲击情景下对中国贸易需求赤字的冲击均在可调和范围内，这意味着中国食用肉类进口贸易具有相对较高的韧性。除巴西外，对中国食用肉类进口贸易冲击影响较大的依次为德国、荷兰、西班牙和美国。高阶级联传导对中国进口贸易的累积风险冲击强度是一阶传导的数倍，例如巴西为 2 倍、德国为 3.5 倍、荷兰为 5.3 倍、西班牙为 2.9 倍以及美国为 3.2 倍。可见，跨国供应风险对中国食用肉类进口贸易的级联性冲击影响主要来自于上游来源国的间接贸易关联路径。食用肉类贸易网络中国家间贸易关联更加多元化且关联权重均较高，使得跨国供应风险在贸易网络中的传导呈现出更为分散的状态，这很大程度上降低了跨国供应风险冲击的衰减程度，因而中国在多阶贸易风险关联下累积承载的输入性风险冲击强度相对更高。因此，对于食用肉类进口贸易而言，中国在维系好与直接进口来源国贸易关联稳定性的同时，更需要重点关注直接进口来源国之间以及不同层级贸易关联国之间的贸易边际动态变化，防范潜在进口端输入性供应风险冲击。

**表 2　比例损失冲击情境下跨国供应风险传导对中国食用肉类进口贸易的模拟冲击结果**

| 初始受冲目标国 | 目标国出口总规模（吨） | 初始贸易损失：供应风险强度（吨） | 一阶直接传导下中国进口贸易下降幅度（吨） | 供应风险的级联传导阶数 | 高阶级联传导下中国进口贸易下降幅度（吨） | 累积负荷风险是否可调和 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 美国 | 6995112 | 1748778 | 70277 | 50 | 222422 | 可调和 |
| 巴西 | 6233877 | 1558469 | 162935 | 48 | 331768 | 不可调和 |
| 德国 | 3561850 | 890463 | 87457 | 38 | 305811 | 可调和 |
| 荷兰 | 3383292 | 845823 | 49742 | 44 | 267558 | 可调和 |
| 西班牙 | 2382842 | 595711 | 81251 | 43 | 226015 | 可调和 |
| 波兰 | 2171904 | 542976 | 516 | 41 | 146424 | 可调和 |
| 澳大利亚 | 1786856 | 446714 | 59439 | 48 | 115567 | 可调和 |
| 加拿大 | 1740606 | 435152 | 78069 | 49 | 146746 | 可调和 |
| 比利时 | 1635981 | 408995 | 7151 | 51 | 134252 | 可调和 |
| 丹麦 | 1558593 | 389648 | 58794 | 53 | 176809 | 可调和 |
| 法国 | 1303339 | 325835 | 28879 | 49 | 116213 | 可调和 |
| 英国 | 930352 | 232588 | 18795 | 53 | 101929 | 可调和 |

表 3 为大豆类贸易样本的仿真模拟结果。在目标国出口贸易数量下降 25% 的假设情景下，中国与巴西、美国、阿根廷、巴拉圭、加拿大和乌拉圭的进口贸易中陷入了不可调和的贸易需求赤字状态，且级联传导阶数普遍较低，这充分反映中国大豆类进口贸易韧性极低，在应对外部跨国供应风险冲击时十分敏感。其中，巴西和美国两大出口国在比例冲击情景下对中国进口贸易的冲击影响均位于绝对高位，使得中国大豆类进口贸易分别下降了 13764208 吨和 8036960 吨，在两国初始出口贸易损失数量中占比分别为 80.8% 和 57.9%。阿根廷、巴拉圭、加拿大和乌拉圭的出口贸易量级虽然远不及巴西和美国，但同样对中国大豆贸易的供应偏好程度较高。其中，巴拉圭虽在一阶条件下没有对中国形成直接供应风险冲击，但在二阶条件下通过阿根廷和俄罗斯的间接传导路

径令中国大豆进口贸易分别下降303168吨和196915吨。其余国家中,乌克兰、瑞士、荷兰等国家虽具备一定的大豆类出口贸易规模,但由于其贸易流通方向与偏好并不直接或间接指向中国,因而在比例冲击情境下对中国大豆类进口贸易的冲击影响较小。

**表3 比例损失冲击情境下跨国供应风险传导对中国大豆类进口贸易的模拟冲击结果**

| 初始受冲目标国 | 目标国出口总规模(吨) | 初始贸易损失:供应风险强度(吨) | 一阶直接传导下中国进口贸易下降幅度(吨) | 供应风险的级联传导阶数 | 高阶级联传导下中国进口贸易下降幅度(吨) | 累积负荷风险是否可调和 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 巴西 | 68168736 | 17042184 | 13448680 | 22 | 13764208 | 不可调和 |
| 美国 | 55551760 | 13887940 | 7930264 | 23 | 8036960 | 不可调和 |
| 阿根廷 | 7634724 | 1908681 | 1650822 | 33 | 1698584 | 不可调和 |
| 巴拉圭 | 6134089 | 1533522 | 0 | 22 | 646816 | 不可调和 |
| 加拿大 | 4689518 | 1172380 | 491280 | 22 | 551368 | 不可调和 |
| 乌克兰 | 2920622 | 730156 | 3851 | 28 | 61088 | 可调和 |
| 乌拉圭 | 1796097 | 449024 | 340544 | 33 | 368656 | 不可调和 |
| 瑞士 | 1420052 | 355013 | 0 | 118 | 8 | 可调和 |
| 荷兰 | 1283058 | 320765 | 0 | 32 | 1160 | 可调和 |
| 俄罗斯 | 543072 | 135768 | 112832 | 41 | 124816 | 可调和 |
| 英国 | 305094 | 76274 | 6 | 140 | 224 | 可调和 |
| 印度 | 295760 | 73940 | 0 | 45 | 36064 | 可调和 |

### (二)同等损失冲击情景下的冲击模拟结果

为对比不同国家对中国进口贸易的风险冲击偏好,本文通过直接损失各初始目标国同等大小的出口贸易数量来形成风险冲击,模拟核心出口国遭受同等水平贸易损失时所形成的跨国供应风险传导对中国进口贸易的冲击影响力大小。将同等损失冲击的固定强度值设定为世界所有该类农产品净出口国①平均出口数量的25%,即 $shock_{k,t=1} = 0.25 \times average_exp^{all}_{k,t=0}$②。此处不展示风险级联传导的中间过程状态信息,重点统计中国承受的最终累积高阶风险冲击强度,并依据各类贸易样本最终状态的级联性冲击强度大小分别进行国家排序,最终结果如图1(a、b、c)所示。

图1(a)为谷物类贸易样本仿真模拟结果(各国贸易自损失强度均固定为2491897吨)。澳大利亚发起的级联性风险传导对中国的冲击影响最大,累积风险强度约占同等损失冲击强度的四分之一。对中国冲击影响较高的第二梯队主要为泰国、加拿大和美国,其分配传导到中国的累积风险强度均超过了20万吨,约占同等损失冲击强度的十分之一。第三梯队主要为乌克兰、阿根廷和巴西,其分配传导到中国的累积风险强度均超过了10万吨。除上述国家外,俄罗斯、法国和罗马尼亚等其余国家在同等损失冲击情景下分配传导到中国的累积风险冲击强度相对较低。由此可见,以澳大利亚为首的少数核心国家与中国的级联性风险关联较为紧密,表明该类国家对中国以及与中国存在不同层级贸易关联国家的贸易流动偏好相对较高,因而中国进口端对该类国家贸易

① 净出口国指的是农产品出口顺差国。该类国家通常农业生产水平较高且能够为国际市场提供"富裕"的农产品输出,因而其出口贸易是国际市场重要的供应来源。基于此,计算净出口国农产品平均出口贸易水平更具备参考标准价值。

② 需要说明的是,倘若初始受冲击目标国的贸易量级相对较低,其遭受同等损失冲击下可能会出现国家贸易需求赤字大于其出口贸易数量,那么会造成其完全的出口贸易停滞。考虑到该情况,同等损失冲击情景下目标国输出的供应风险强度为 $shock_{k,t=1} = \min(0.25 \times average_exp^{all}_{k,t=0}, exp_{qk,t=0})$。

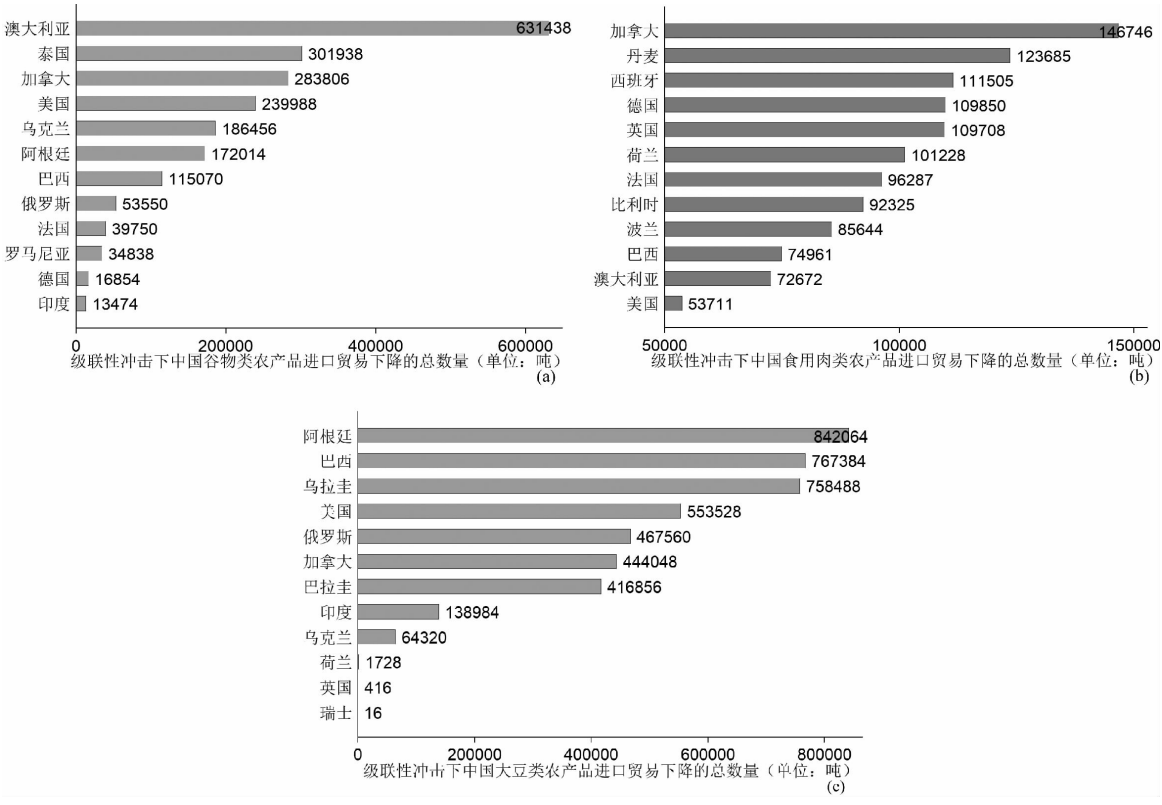



**图 1　同等损失冲击情景下跨国供应风险传导对中国进口贸易的模拟冲击结果**

（a 为谷物类贸易样本,b 为食用肉类贸易样本,c 为大豆类贸易样本）

供应变动更为敏感。其余大多数核心谷物类供应国对中国贸易网络关联的偏好则相对较低(不足十分之一),意味着该类外部供应国存在除中国外的多边供应风险传导的分配渠道,使得中国对该类国家贸易供应端变化的敏感性相对较低。

图 1(b)为食用肉类贸易样本仿真模拟结果(贸易自损失强度均固定为 255292 吨)。核心国分配到中国的级联性风险强度占比普遍较高,即使占比最低的美国也达到了两成,这凸显了中国在世界食用肉类进口市场的重要地位,其与世界核心出口供应国均存在多元化且关联权重较高的贸易关联。具体而言,加拿大所形成的级联性风险传导对中国的冲击影响最大,其分配传导至中国的累积供应风险强度约占同等损失冲击强度近六成。第二梯队主要为丹麦、西班牙、德国、英国和荷兰,其分配传导到中国的累计风险强度约占同等损失冲击强度的四至五成。法国、比利时和波兰等其余各国分配传导到中国的累积风险强度占同等损失冲击强度的比例则大致在二成与四成之间。由此可见,食用肉类贸易样本中各核心出口国普遍存在与中国十分紧密的级联性风险关联,这表明食用肉类产品外部核心供应国对中国以及与中国存在不同层级贸易关联国家的贸易偏好普遍较高,因而使得中国对各食用肉类核心出口国贸易供应动态的变动均较为敏感。

图 1(c)为大豆类贸易样本仿真模拟结果(各国贸易自损失强度均固定为 2329409 吨)。阿根廷、巴西和乌拉圭在同等冲击情景下对中国的级联性风险冲击影响最大,其自身出口贸易损失至少有八成会分配传导到中国进口贸易。对中国冲击影响较高的第二梯队主要为美国、俄罗斯、加拿大和巴拉圭,其分配传导到中国的累计风险强度占同等损失冲击强度的比例大致在四成到六成之间。第三梯队则为印度和乌克兰,其贸易损失冲击强度的一成左右会传导至中国。除上述国家

外,其余国家对中国的级联性风险冲击传导影响均较小。由此可见,中国大豆类进口贸易的风险关联国家范围十分集中且高度敏感,其中包括中国进口贸易来源高度集中的巴西和美国。

综合上述结果可知,不同行业类型贸易网络中不同国家与中国的级联性风险交织的紧密性存在异质性特征,这使得中国在不同行业类型农产品进口贸易中遭受单个或组合国家发起贸易供应短缺时的敏感程度存在差别。基于此,中国在应对潜在进口端输入性风险冲击时,需要综合考量不同行业类型、不同贸易量级目标国贸易损失强度以及其级联性风险传导分配的路径与偏好,才能更有效地实施针对性贸易风险管理手段纾解进口端的负面冲击。

**(三)令中国陷入不可调和贸易需求赤字的核心出口国贸易损失临界状态**

前文模拟情景设定无法考察不同程度冲击强度阈值设定下核心出口国贸易损失对中国级联性供应风险传导的影响力差别。对此,进一步设定动态冲击强度阈值,模拟评估核心出口国的出口贸易损失达到何种程度时,将可能导致中国陷入不可调和的贸易需求赤字,这一阈值代表中国农产品进口端韧性趋于断裂的临界水平。基于比例损失冲击情景的方法,本文依次设定不同核心出口国各自贸易损失的比例为1%、2%、3%、100%,并展开高阶的级联性跨国供应风险传导模拟,统计出刚好令中国陷入不可调和贸易需求赤字的临界比例值,结果如表4所示。

**表4 令中国陷入不可调和贸易需求赤字的核心出口国贸易损失临界值 (单位:吨)**

| 谷物类贸易样本 | | | 食用肉类贸易样本 | | | 大豆类贸易样本 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 国家 | 临界状态自身贸易损失比例 | 临界状态出口贸易下降数量 | 国家 | 临界状态损失比例 | 临界状态贸易下降数量 | 国家 | 临界状态自身贸易损失比例 | 临界状态出口贸易下降数量 |
| 美国 | ▽20% | 18516410 | 美国 | ▽41% | 2867996 | 巴西 | ▽0.3% | 204506 |
| 乌克兰 | ▽55% | 23576022 | 巴西 | ▽25% | 1558469 | 美国 | ▽0.4% | 222207 |
| 阿根廷 | ▽65% | 27028636 | 德国 | ▽27% | 961700 | 阿根廷 | ▽2% | 152694 |
| 澳大利亚 | ▽23% | 6813881 | 荷兰 | ▽32% | 1082653 | 巴拉圭 | ▽3% | 306704 |
| 加拿大 | ▽57% | 15141567 | 西班牙 | ▽39% | 929308 | 加拿大 | ▽6% | 281371 |
| 缅甸 | ▽98% | 3617727 | 波兰 | ▽72% | 1563771 | 乌拉圭 | ▽9% | 161649 |
| 越南 | ▽71% | 3829731 | 澳大利亚 | ▽83% | 1483090 | 俄罗斯 | ▽26% | 141200 |
| | | | 加拿大 | ▽62% | 1079176 | 印度 | ▽92% | 272099 |
| | | | 比利时 | ▽77% | 1259706 | | | |
| | | | 丹麦 | ▽51% | 794883 | | | |
| | | | 法国 | ▽88% | 1146939 | | | |
| | | | 新西兰 | ▽79% | 717275 | | | |

在谷物类贸易样本中,造成中国陷入不可调和贸易短缺危机的来源国主要包括7个国家,除前文提及的美国和澳大利亚外,还包括了乌克兰、阿根廷、加拿大三个全球核心贸易供应国以及与中国地理邻近的缅甸和越南。美国和澳大利亚令中国陷入不可调和贸易需求赤字状态的贸易损失比例并不大,分别为各自出口贸易规模的20%、23%,但美国出口贸易下降的幅度是澳大利亚的近三倍,足可见澳大利亚对中国级联性冲击传导的贸易偏好要远高于美国。虽然缅甸和越南的出口贸易量级远不如其他国家,但由于其对中国的贸易流通偏好较高,分别在98%和71%的高贸易损失情境下会严重影响中国谷物类贸易平衡。乌克兰和阿根廷对中国的贸易流通偏好并不高,但由于其出口贸易量级本身较高,再者对中国谷物类上游进口来源贸易市场的影响力较大,分别在55%和65%的贸易损失程度下所产生的直接、间接供应冲击会造成中国陷入无法调和的贸易需求赤字。

在食用肉类贸易样本中,造成中国陷入不可调和贸易短缺危机的来源国数量为 12 个,主要包括除英国外的前文 11 个核心出口国以及新西兰。全球食用肉类核心出口国倘若出现较大幅度的贸易损失情况,大多都会令中国陷入不可调和的贸易短缺危机。具体来看,德国、西班牙、丹麦和新西兰与中国贸易网络关联紧密度较高,达到临界状态时,这些国家与中国的贸易损失量均不超过 100 万吨。荷兰、巴西、波兰、澳大利亚、加拿大、比利时和法国与中国贸易网络关联紧密度次之,它们在临界状态下的贸易损失量均在 100 万吨 ~160 万吨。而当美国食用肉类出口贸易下降幅度达到超 280 万吨时,才会令中国陷入不可调和贸易需求赤字状态。对比可见,中国对美国食用肉类出口贸易供应波动的敏感程度相对较低。

在大豆类贸易样本中,造成中国陷入不可调和贸易短缺危机的来源国数量为 8 个,主要包括巴西、美国、阿根廷和巴拉圭等国家,该类国家不仅是全球大豆贸易市场的主要供应国,同时其贸易流通路径对中国方向的偏好程度较高。该 8 个国家大豆类出口贸易下降的幅度区间约在 14 万吨 ~30 万吨,除俄罗斯和印度外,其占临界状态自身贸易损失的比例普遍较小。例如,巴西和美国在临界状态损失比例不足 1%、阿根廷的 2%、巴拉圭的 3%。由此可见,中国在应对主要供应国发起外部供应风险冲击时的抵御能力极差。

## 四、上游进口来源贸易网络演化机制与经验分析

前文分析显示,上游核心国在遭遇外生冲击时的出口受阻会在贸易网络中形成发散、累积的级联式跨国供应风险传导,在不同程度上造成与之相关联的贸易参与国出现节点失效以及贸易关联断裂风险,最终威胁到中国农产品进口端供给安全。中国农产品进口韧性不仅与直接贸易关联国相关,还主要取决于上游整体进口来源贸易网络的结构性特征。若上游贸易网络结构表现为高稳态,则中国农产品进口贸易具有一定抗风险能力。反之,上游贸易网络结构表现为低稳态,则会极大增加跨国供应风险级联性传导的冲击频率,进而加剧中国农产品进口贸易的潜在风险。为此,下文重点探寻中国农产品上游进口来源贸易网络的结构性演化机制,并展开经验验证。

### (一)上游进口贸易网络结构性演化的机制分析

1. 中心偏好集聚效应

中心偏好集聚效应是贸易网络结构演化的重要内生机制之一,其阐释了贸易网络中会存在少部分中心国家节点具有较强的贸易市场吸引力。农业生产适应性强且贸易优势显著的国家,通常位于贸易网络的中心位置,掌控着贸易关系建立与解除的主导权。这不仅可能削弱其他国家建立、维护和关联贸易节点网络的能力,还可能导致那些与它们有贸易往来的外围劣势国家陷入被动的境地[15]。中心偏好集聚性对外围贸易国家并不友好,会极大收敛其贸易市场拓展或转移的改善空间,在贸易环境恶化时会增加贸易网络关联失败的概率[16]。因此,中心偏好集聚效应会加剧国家间贸易关联的结构性脆弱,这会对中国农产品进口韧性产生负面影响。

2. 跨网络连通效应

跨网络连通效应指的是贸易网络中两个国家节点会通过第三方多重国家路径形成间接性贸易关联传递。在国际农产品贸易中,许多国家或地区凭借转口贸易的便利性和加工优势,扮演着中间商的角色,展现出跨网络连接的间接贸易关联结构特征。跨网络连通效应有助于克服来自政治关系、港口拥堵等环境成本造成的直接贸易压力,提升贸易网络的连通效率。然而,跨网络连通所形成的间接贸易关联也会存在价格波动性高以及环境适应性差等特点,其往往是国际农产品市场供应链的薄弱环节[17]。尤其在遭遇经贸环境不确定性冲击时,国际农产品市场供应链优先考虑供应安全而并非是连通效率,这使得间接贸易关联的抵抗风险能力极差,容易出现供应链断裂危机。因此,跨网络连通效应一定程度上提高了贸易连通概率,但同样会增加贸易关系失败风险。

传递闭合效应指的是两个国家节点基于跨网络连通的间接贸易而建立起直接贸易关联,形成了多方国家传递闭合的社群模块化[18]。为降低市场开拓成本和不确定性风险,贸易国通常会倾向于借助第三方贸易伙伴国,进行商务环境学习和跨国市场信息传递,从而与新市场建立直接的贸易关联。传递闭合性在贸易网络结构中倾向于形成模块化的贸易关联社群结构,这有助于维持贸易网络社群结构内部的稳定性。因此,传递闭合效应能够强化贸易结构稳态和抗风险能力,这对于维护中国农产品进口韧性有积极作用。

3. 时态稳定效应

时态稳定性表现在已有贸易网络结构随时间变化的延续特征,即前一时间点存在的贸易关联在后一时间点会产生动态维持的倾向。国际农产品贸易网络结构形成与演化是历史渊源、地缘条件、贸易环境等内外生因素综合作用的结果,其在效率驱动下为贸易参与国带来贸易福利以确保贸易关联可持续。国家间已有的农产品贸易关联的突然断裂或贸易伙伴的转换,通常会伴随较大的额外成本,因而网络结构下农产品贸易关联通常具备一定的时态稳定性特征,尤其在短时间内倾向于贸易关联维持。因此,时态稳定效应有助于提高中国农产品进口韧性。

**(二)网络模型构建与指标体系度量**

贸易网络结构演化的理论机制可以采用时态指数图随机模型(TERGM)分析证明。不同于传统的线性回归模型,TERGM 模型并不遵循"独立性"假定,可以将网络结构的内、外生属性纳入到统一经验研究框架内,且同时兼顾考虑了贸易网络的时态演化特征,进而可以准确评估前文所述的贸易网络的内生演化机制[19]。网络统计建模如下:

$$\Pr(Net_t = y_t \mid Net_{t-1} = y_{t-1};\alpha) = \frac{1}{\kappa}\exp\sum_{1}^{g}\alpha_g\lambda_g(e,c,x,d) \tag{5}$$

(5)式中:$Net_t$ 和 $Net_{t-1}$分别为 $t$ 与 $t-1$ 期的中国上游农产品进口骨干贸易网络,将其网络结构设定为 $y_t$ 和 $y_{t-1}$。$Pr(Net_t = y_t \mid Net_{t-1} = y_{t-1};\alpha)$表示网络结构中贸易关联在 $t$ 期的存在性,若成立为1,反之则为0。$\kappa$ 为标准化常数,以确保概率分布恰当。$\lambda_g(e,c,x,d)$为网络配置统计量,主要包含影响贸易网络拓扑结构演化的内、外生网络结构属性。$\alpha_g$ 为网络配置统计量对应的待估参数值。$e$ 为贸易网络中关联边的数量,可间接反映出网络密度。$c$ 为网络内生结构变量,主要包括互惠性、中心偏好集聚性、跨网络连通性、传递闭合性、时态稳定性。其中,互惠性是贸易网络有向关联最基本的行动规范,将其作为内生控制变量。后四个内生网络结构变量则为核心解释变量,旨在验证前文贸易网络演化理论机制的有效性。$x$ 为贸易网络中国家节点的地区发展特征,包括贸易发送方和接收方的人均国内生产总值、人口数量、农业用地规模。$d$ 为国家间贸易发生的外部固定情景,选取了国家间地理距离、国家间是否有共同官方语言、国家间是否相邻三项。

为进一步检验贸易网络结构中新、旧网络关联的演化机制,本文进一步构建 STERGM 模型,对前文构建的 TERGM 模型进行分离,生成形成方程与解除(或持续)两个方程进行回归估计,提高模型参数估计的可解释性、灵活性[20]。形成模型和解除(或持续)模型分别设定如下:

$$\Pr(Net^+ = y^+ \mid Net_{t-1} = y_{t-1};\alpha^+) = \frac{1}{\kappa^+}\exp\sum_{1}^{g}\theta_g^+\lambda_g^+(e,c,x,d) \tag{6}$$

$$\Pr(Net^- = y^- \mid Net_{t-1} = y_{t-1};\alpha^-) = \frac{1}{\kappa^-}\exp\sum_{1}^{g}\theta_g^-\lambda_g^-(e,c,x,d) \tag{7}$$

其中,$\Pr(Net^+ = y^+ \mid Net_{t-1} = y_{t-1};\alpha^+)$表示新网络关联的形成,成立则为1,反之为0。同理,$\Pr(Net^- = y^- \mid Net_{t-1} = y_{t-1};\alpha^-)$表示旧网络关联的解除或持续,持续则为1,解除为0。$y^+$ 和 $y^-$ 分别网络结构随时态($t-1 \rightarrow t$)变化的中间状态,分别设定为:$y^+ = y_{t-1} \cup y_t$、$y^- = y_{t-1} \cap y_t$。

本文贸易数据选取的时间跨度为 2010—2021 年。对于经验研究中贸易网络结构的范围设定和骨干提取,本文根据“六度分隔”假说①,分别提取中国谷物类和食用肉类农产品上游 6 层的骨干贸易关联,可充分捕捉所有中国上游所有潜在的跨国供应风险传导的路径②。对于估计方法选择,本文利用伪极大似然估计法(MPLE)进行基准回归,其在大样本估计中运算效率、估计精度的优势更明显[21],进一步采用马尔科夫链蒙特卡罗极大似然估计法(MCMC MLE)展开稳健性检验。

**(三)网络模型实证估计结果**

1. TERGM 模型回归结果

表 5 汇报了三类农产品贸易样本 TERGM 模型的回归结果。在谷物类贸易样本中,中心偏好集聚性的系数显著为负,表明中国上游谷物类贸易网络的中心偏好集聚效应会增加贸易关联的失败概率。跨网络连通性的系数显著为负,而传递闭合性的系数显著为正,表明跨网络连通效应不利于中国上游进口来源贸易网络关联演化,但其趋于形成的传递闭合效应会有助于维护贸易关联稳态。时态稳定性的系数显著为正,表明中国上游谷物类贸易网络结构存在显著的时态稳定性。在食用肉类贸易样本中,除中心偏好集聚性外的各项内生网络结构变量均表现显著,且系数方向与谷物类贸易样本检验基本一致,即跨网络连通效应、传递闭合效应以及时态稳定效应均显著存在。中心偏好集聚性的非显著性意味着上游贸易网络并没有表现出集中化供应的收敛趋势,这表明中国食用肉类进口来源贸易网络体系的多元化程度高、脆弱程度较低,这显然有利于保障中国食用肉类进口韧性。在大豆类贸易样本中,仅时态稳定性表现出较高的正向显著性,而跨网络连通性为弱显著,表明中国上游大豆类贸易网络结构保持着时态稳定性特征,但其余网络内生演化机制并不十分显著,这意味着中国大豆上游贸易网络结构存在较高的贸易扭曲或失衡问题,易形成单方面垄断、贸易关联破裂的低韧性局面。

**表 5　TERGM 模型回归检验**

| 变量 | 谷物类贸易样本 | 食用肉类贸易样本 | 大豆类贸易样本 |
|---|---|---|---|
| 中心偏好集聚性 | -1.1774***(5.1597) | -0.5759(1.4432) | -0.3051(0.1370) |
| 跨网络连通性 | -0.2002***(10.4925) | -0.0965***(7.4625) | -0.0553(0.6126) |
| 传递闭合性 | 0.3892***(-4.8696) | 0.1714*(-2.5443) | 0.6007¤(-1.9289) |
| 时态稳定性 | 2.1730***(-41.1111) | 3.2597***(-46.1526) | 2.4448***(-16.7220) |
| 控制变量 | 已控制 | 已控制 | 已控制 |

**注:**①括号内为标准误。②***、**、*、¤分别为双尾统计性检验中 0.1%、1%、5% 和 10% 下的显著性水平。

2. 形成模型和解除(或持续)模型回归结果

表 6 汇报了三类农产品贸易样本的形成模型与解除(或持续)模型回归结果。需要说明的是,时态稳定效应在形成模型与解除(或持续)模型中的检验功能会存在较高的自选择偏误问题[22],

① 已有的研究表明,“六度分隔”假说在国际贸易领域内同样适用,即任何国家间建立起贸易关联的最长中间第三方国家路径约为 6 个,即存在典型“小世界”现象。

② 参考已有研究对于门槛阈值的设定,本文设定谷物类农产品贸易网络边的阈值为 10 万吨、食用肉类为 1 万吨、大豆类为 2 万吨,其足够捕捉三者各自国际贸易中前 10% 的重要贸易关联。在此基础上,本文进一步以中国节点为中心,筛选出与中国存在直接或间接贸易关联的六层级上游来源国节点。筛选原则为:一层国家节点为中国直接进口贸易来源国;二层国家为一层国家直接进口贸易来源国,其与中国的直接贸易关联权重相对较弱或不存在,但通过与一层国家的骨干贸易权重关联可构成对中国的间接贸易来源,以此类推进,筛选出完整六层级的国家节点。

因而在 SERTGM 模型估计中仅作为控制变量,不做具体解释作用。结果显示,谷物类和食用肉类贸易样本的检验结果表现出一致性特征。上游贸易网络的中心偏好集聚效应不仅降低了新贸易关联的形成概率,同时还提高了已有贸易关联的解除概率,这进一步说明了贸易网络的中心化收敛会加剧国际农产品供应链的脆弱性。上游贸易网络跨网络连通的间接贸易关联并不稳固,其倾向于形成传递闭合结构,进而推动新贸易关联的形成以及已有贸易关联的维持,这意味着传递闭合效应形成的社群模块化特征更有利于维护贸易结构的内部稳定性。大豆类贸易样本中各个网络内生结构变量相较于基准 TERGM 回归结果表现出一定显著特征,这归因于 TERGM 模型分离后网络内生结构演化机制的作用效果得以凸显。可见,中心偏好集聚阻碍了上游大豆类进口贸易网络中新关系形成和旧关系维持,而传递闭合状态则会发挥了一定的社群模块化维持稳态作用。

**表 6 形成模型与解除(或持续)模型的估计结果**

| 变量 | 谷物类贸易样本 | | 食用肉类贸易样本 | | 大豆类贸易样本 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Formation | Dissolution\| Persistence | Formation | Dissolution\| Persistence | Formation | Dissolution\| Persistence |
| 中心偏好集聚性 | -1.6158***(14.8458) | -1.5976***(10.7852) | -0.6519***(3.8769) | -1.9625***(8.8386) | -1.8497***(5.3773) | -1.6183***(4.2937) |
| 跨网络连通性 | -0.3131***(32.7566) | -0.3265***(29.5799) | -0.2010***(12.6690) | -0.1994***(15.3243) | -0.0692(1.2453) | -0.1506¤(1.6799) |
| 传递闭合性 | 0.9837***(-22.3569) | 1.0178***(-17.4205) | 0.7258***(-14.1714) | 0.7489***(-14.9525) | 0.6669***(-4.6421) | 0.4391**(-3.2369) |
| 时态稳定性 | 0.2105***(-4.5522) | 0.3767***(-8.3509) | 0.0089(-0.2536) | -0.0545(1.5618) | 0.9873***(-4.0723) | 0.9913***(-4.3315) |
| 控制变量 | 已控制 | 已控制 | 已控制 | 已控制 | 已控制 | 已控制 |

**注**:①括号内为标准误。②***、**、*、¤分别为双尾统计性检验中 0.1%、1%、5%和 10%下的显著性水平。

3. 稳健性检验

本文采用的 MPLE 估算的标准误是一个最优近似值,存在置信区间估计出现偏误的可能[23]。为此,本文进一步利用 MCMC MLE 方法进行稳健性检验。经检验结果可知,TERGM 模型以及分离的形成模型和解除(维持)模型估计结果与前文结果基本相吻合,网络模型的估计结果稳健。

## 五、结论与启示

基于社会网络分析方法,本文以谷物类、食用肉类和大豆类农产品贸易网络为研究对象,构建了具有累积负荷阈值的影响力传导级联效应模型,仿真模拟网络结构视角下跨国供应风险级联性对中国农产品进口贸易的级联性冲击影响,准确识别中国所承载的累积风险强度以及风险来源路径,并进一步就上游进口来源贸易网络的结构演化机制展开理论与经验验证。分析结果显示,在跨国供应风险的级联性冲击下,中国农产品进口贸易会出现持续、累积的数量下降状态,其不仅发生于直接进口来源国的风险冲击,而且广泛与直接、间接进口来源国存在潜在风险交织;由于不同核心出口国贸易量级和贸易流动偏好存在差异,不同国家发起的级联性风险传导对中国造成的累积冲击强度和传导路径存在差异,在高阶级联传导下可能会令中国陷入不可调和的贸易需求赤字;中国谷物类和食用肉类农产品进口韧性相对较高,二者在应对跨国供应风险冲击时具备一定的负荷能力,相比之下,中国大豆类农产品进口韧性极差,其对核心出口国贸易损失造成的跨国供应风险冲击十分敏感,进而极易引发贸易失衡;上游进口来源贸易网络结构的中心偏好集聚效应和跨网络连通效应会通过增加贸易失败风险来降低中国农产品进口韧性,而传递闭合效应、时态稳定效应则有助于维护贸易关联稳态,这提高了中国农产品进口韧性。

本文研究主要政策启示如下:其一,积极改善农产品进口端的外部来源空间,兼顾贸易效率与供应安全的协调统一,通过关税调整、财政支持、区域贸易协定等结构性贸易政策手段提升多边进

口来源的贸易连通性,切实加强与政经关系牢固、地缘优势进口来源市场的紧密农业合作,改变依赖于少数欧美国家农产品进口的单一化局面;其二,应建设高水平输入性供应风险评估的监控和预警体系,强化针对外部供应风险冲击强度的梯度量化、实时评级、传导路径溯源以及动态追踪机制,准确评估复杂网络结构下国际农产品供应链中直接、间接进口来源的级联性风险敞口形势,掌握供应链薄弱环节的安全隐患并及时扫清潜在的外部风险盲点,进而以统筹规划常态保障与应急保障相结合的联合保障体系最大化缓冲外部供应风险冲击;其三,提高全球贸易规则制定和粮食安全治理的参与程度,依托"一带一路"倡议、区域贸易协定以及相关国际组织等开放平台,积极推进国际农产品供应链安全治理的秩序化、协调化发展,通过贸易壁垒纾困、政策议题对话、投资合作谈判等方式持续扩大粮食安全合作的辐射范围,进而以多方国家利益的联结机制推动多边农产品贸易的可持续、稳定发展。

**参考文献:**


[1]陈志钢,詹悦,张玉梅,等. 新冠肺炎疫情对全球食物安全的影响及对策[J]. 中国农村经济,2020(5):2 - 12.

[2]朱晶,臧星月,李天祥. 新发展格局下中国粮食安全风险及其防范[J]. 中国农村经济,2021(9):2 - 21.

[3]D'AMOUR C B, WENZ L, KALKUHL M, et al. Teleconnected food supply shocks[J]. Environmental Research Letters, 2016(3): 1 - 11.

[4]FALKENDAL T, OTTO C, SCHEWE J, et al. Grain export restrictions during COVID-19 risk food insecurity in many low-and middle-income countries[J]. Nature Food, 2021(1): 11 - 14.

[5]韩冬,李光泗. 中国与"一带一路"沿线国家粮食贸易格局演变与影响机制——基于社会网络学视角[J]. 农业经济问题,2020(8):24 - 40.

[6]刘林青,闫小斐. 国际粮食贸易网络多核集聚格局的形成机制研究[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2021(4):47 - 59.

[7]GUTIÉRREZ-MOYA E, ADENSO-DÍAZ B, LOZANO S. Analysis and vulnerability of the international wheat trade network[J]. Food Security, 2021(1): 113 - 128.

[8]崔晓敏,熊婉婷,杨盼盼,等. 全球供应链脆弱性测度——基于贸易网络方法的分析[J]. 统计研究,2022(8): 38 - 52.

[9]MORTON J. On the susceptibility and vulnerability of agricultural value chains to COVID-19[J]. World Development, 2020(12): 105 - 132.

[10]LIU L, WANG W, YAN X, et al. The cascade influence of grain trade shocks on countries in the context of the Russia-Ukraine conflict[J]. Humanities and Social Sciences Communications, 2023(1):1 - 28.

[11]BURKHOLZ R, SCHWEITZER F. International crop trade networks: the impact of shocks and cascades[J]. Environmental Research Letters, 2019(11):1 - 28.

[12]李光泗,王莉,谢菁菁,等. 进口快速增长背景下国内外粮食价格波动传递效应实证研究[J]. 农业经济问题,2018(2):94 - 103.

[13]魏艳骄,张慧艳,朱晶. 新发展格局下中国大豆进口依赖性风险及市场布局优化分析[J]. 中国农村经济,2021(12):66 - 86.

[14]AGUIAR S, TEXEIRA M, GARIBALDI L A, et al. Global changes in crop diversity: Trade rather than production enriches supply[J]. Global Food Security, 2020(4): 1 - 29.

[15]张琳琛,王悦,董银果. 全球粮食生产集中化对粮食系统可持续性的影响[J]. 经济学家,2022(11):117 - 128.

[16]ARITA S, GRANT J, SYDOW S, et al. Has global agricultural trade been resilient under coronavirus (COVID-19)? Findings from an econometric assessment of 2020[J]. Food Policy, 2022(2):1 - 23.

[17]HELBING D. Globally networked risks and how to respond[J]. Nature, 2013(7447): 51 - 59.

[18]GIULIANI E. Network dynamics in regional clusters: Evidence from Chile[J]. Research Policy, 2013(8): 1406 -

1419.
[19]SMITH M, GORGONI S, CRONIN B. International production and trade in a high-tech industry: A multilevel network analysis[J]. Social Networks, 2019(4): 50 - 60.
[20]KRIVITSKY P N, HANDCOCK M S. A separable model for dynamic networks[J]. Journal of the Royal Statistical Society:Series B(Statistical Methodology), 2014(1): 29 - 46.
[21]LEIFELD P, CRANMER S J, DESMARAIS B A. Temporal exponential random graph models with btergm: Estimation and bootstrap confidence intervals[J]. Journal of Statistical Software, 2018(6): 1 - 36.
[22]唐晓彬,崔茂生."一带一路"货物贸易网络结构动态变化及其影响机制[J].财经研究,2020(7):138 - 153.
[23]ROBINS G, PATTISON P, KALISH Y, et al. An introduction to exponential random graph (p*) models for social networks[J]. Social Networks, 2007(2): 173 - 191.

# Cascade Impact of Cross-Border Supply Chain Risks on China's Agricultural Imports

WANG Yue[1], ZHANG Lin-chen[2]
(1. *School of Business*, *East China University of Science and Technology*, *Shanghai* 200237, *China*;
2. *School of Economics*, *Shandong University of Technology*, *Zibo* 255000, *China*)

**Abstract**: Using social network analysis, this study constructs a model of influence conduction cascade effect with cumulative load thredshold, simulating the cascading impacts of cross-border supply risks on China's agricultural import trade from a network structure perspective, theoretical and empirical researches have been made on the structural evolution of China's upstream import source trade network. The key findings are as follows: under the cascading impacts of cross-border supply risks,
China's agricultural imports face sustained and cumulative declines, not only due to direct risks from import source countries but also from widespread intertwined risks among direct and indirect sources. Due to differences in trade volumes and flow preferences among key exporting countries, the cumulative intensity and transmission paths of cascading risks initiated by different countries vary. Higher-order cascading effects could potentially drive China into an unresolvable trade deficit. While China's imports of grains and edible meats show a certain degree of risk resilience, soybean imports exhibit weaker resilience and are highly sensitive to reductions in supply from key exporters. The structural centralization and cross-network connectivity effects in China's upstream import trade network increase the risk of trade failures, thereby reducing the resilience of agricultural imports. Conversely, transmission closure effects and temporal stability effects contribute to enhancing China's agricultural import resilience.

**Key Words**: complex network structure; transnational supply risks; cascade effect; supply chain security