

远程耦合视角下国际大豆贸易网络的 时空演化及影响因素

叶玮怡^{1,2}, 马恩朴^{1,2}, 廖柳文³, 于正松⁴

(1. 湖南师范大学地理科学学院, 长沙 410081; 2. 湖南师范大学城乡转型过程与效应重点实验室, 长沙 410081; 3. 长沙学院经济与管理学院, 长沙 410022; 4. 安阳师范学院资源环境与旅游学院, 安阳 455000)

摘要: 基于1995—2020年6个时间断面的国际大豆贸易关系矩阵, 从远程耦合视角出发, 借助社会网络分析法识别大豆贸易远程耦合系统及其贸易流向与强度, 分析国际大豆贸易网络的时空演化特征及影响因素。结果表明: (1) 国际大豆贸易的远程耦合联系愈加广泛, 但整体处于弱联结状态, 网络凝聚性、连通性不断提高, 具有一定的小世界结构特性; (2) 大豆发送系统集中于少数美洲国家, 大豆接收系统数量众多, 主要分布于东半球, 印度、南非等发展中国家作为贸易中介点外溢效应显著; 以中国、巴西、美国为绝对核心, 国际大豆贸易网络呈现明显的极化结构; (3) 大豆贸易凝聚子群在空间上呈现出由碎片化小片区集合向地缘性大片区集聚的结构演变; (4) 地理距离、制造业发展水平、大豆生产面积是大豆贸易网络演化的核心驱动因素, 大豆生产面积对贸易量正向影响显著, 地理距离对贸易关系负向作用明显, 但在加权网中地理距离影响为正, 意味着存在互补性的远距离系统之间耦合作用更强; (5) 部分贸易国的大豆扩张面积与森林减少面积之间存在正向关系, 尤其在巴西、巴拉圭、玻利维亚等南美洲出口国表现突出, 大豆贸易将资源环境压力由众多亚欧进口国向少数南美出口国转移。

关键词: 远程耦合; 大豆贸易网络; 社会网络分析; 系统; 贸易流; 时空演化; 影响因素

进入“人类世”以来, 科技的日益革新推动着能源供应、交通运输、信息通讯等联系通道的构建, 极大地削弱了要素禀赋限制与时空距离障碍, 人类活动的远距离互动愈发频繁。随着以人口流、资源流、资金流、信息流为基本运行机制的全球化进程不断加深, 以人口、土地非农化和要素集聚扩散为主要过程的城市化转型不断扩展, 以及可持续发展目标驱动下对自然系统远程连接的关注日益密切^[1], 要素流动引发的跨时空交互和远端响应成为常态, 人地系统近远程耦合的“复杂性”已成为新时代地理学的新特征^[2]。在此背景下, 单一学科领域和固定区位视角的传统研究范式将难以适应人地关系理论创新和社会经济实践的需要^[2], 迫切要求超越本土思维模式, 向全球网络化思维转型^[3], 在多尺度、多层次、多要素框架下深入理解人类与自然耦合系统, 以应对日趋严峻的可持续性挑战。

为响应“新动因”提出的学科研究新要求, Liu等^[4]于2013年创新性地提出“远程耦合”(Telecoupling)综合研究框架, 旨在通过识别系统(发送、接收和外溢系统)、流、

收稿日期: 2022-08-16; 修订日期: 2023-03-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(42101267, 42101198)

作者简介: 叶玮怡(1999-), 女, 浙江台州人, 硕士, 研究方向为食物系统与土地利用转型。

E-mail: yeweiye@126.com

通讯作者: 马恩朴(1989-), 男, 贵州毕节人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 研究方向为人地系统耦合、食物系统与城乡可持续发展。E-mail: maenpu2015@sina.com

代理、原因和影响等5个组成部分及其之间的多重反馈,解释远距离社会经济和环境在系统层次间和层次内的相互作用,进而通过内化区外因素,集成相互关联的多个系统来提高可持续发展决策能力。远程耦合框架提供了一个跨越多个时空尺度、横贯多个学科部门的更加广泛的分析方法,逐渐发展成为学界关注的前沿和热点之一。国外研究多涉及国际贸易^[5,6]、土地利用/覆被变化^[7,8]、城市化^[9]、生物多样性保护^[10,11]、跨区域调水^[12]等领域。研究方法上,多区域投入产出分析(MRIO)^[5,6]、网络分析^[13]、物质流分析(MFA)^[14]等成熟的定量方法得到初步应用,也有学者尝试开发专门的集成工具箱和Web-GIS应用程序^[15,16],以实现远程耦合组件的有效识别与多重反馈回路的地理可视化。但囿于大尺度复杂系统数据资料获取的不便,基于定性描述的因果分析仍占据了较大比例^[17]。相比于国外案例的迅速积累,国内远程耦合相关研究还处于理论整合阶段,内容包括研究进展综述^[1]、框架规范化应用^[18]、“耦合魔方(CHNC)”新概念提出^[19]以及理论框架探讨^[20,21]等。总体来看,国外相关研究在可持续性领域成果颇丰,而国内在远程耦合框架的实证应用方面存在较大空白。

农产品贸易事关食物安全和资源可持续利用,是社会经济系统的重要内容。依赖水土等资源产出的特性使农产品在贸易过程中也隐含着环境资产在生产端和消费端之间的转移过程,引发自然资源和环境压力的空间再配置,因而又与自然生态系统密切相关。依托市场供需关系和各种流的作用,农产品贸易将远距离的多个人类与自然耦合系统连接起来,是远程耦合研究的典型领域和重要实践。目前,国内农产品贸易网络研究主要运用复杂网络分析、社会网络分析等方法^[22,23],通过实物量 and 价值量加权来刻画贸易流^[24],从全球宏观层面、“一带一路”沿线等区域性中观层面等尺度出发^[25,26],探讨整体农产品、特定农产品贸易网络的时空格局和演化特征^[27,28]。发现不同的农产品贸易网络均表现出小世界性、幂律分布、出口集中而进口分散等相似的结构特征,但对于农产品贸易蕴含的人地系统远程耦合关注较少。与此相反,国外远程耦合视角下的农产品贸易案例研究颇丰,尤其关注国际大豆贸易。已有研究主要集中于两个方面:一是大豆贸易的社会经济和生态环境影响,包括接收系统氮污染增加^[29]、发送系统农业生产体系重塑^[30]、外溢系统大豆生产扩张^[31]以及多系统土地利用格局演变^[32]等。二是大豆贸易远程耦合系统的因果关系研究,例如经济驱动因素对大豆贸易的远程贡献率^[33],大豆贸易代理行为对生物多样性损失的作用^[34],消费市场差异、大豆供应链结构、生态认证能力与大豆贸易以及大豆生产相关的土地利用变化之间的耦合与反馈^[35]。然而相关研究大多都强调了一个高度集中的大豆贸易网络,尽管也有学者开始关注大豆贸易对除巴西以外的南美国家之间的近程耦合作用^[36]和对非洲干旱草原区的大豆生产溢出效应^[31],但很少有研究超越中国、巴西、美国之间的大规模大豆流动,从整体网络视角出发,考察全球尺度下不同体量贸易国之间的贸易格局。就全球大豆贸易而言,除核心贸易国外,其他大豆贸易国在远程耦合网络中扮演何种角色,远距离社会经济与环境的相互作用是否也同样在其他大豆贸易国间显现,需要进一步探索。

基于此,本文尝试从远程耦合视角出发,利用1995—2020年6个时间断面177个国家的大豆贸易数据,运用社会网络分析法定量刻画国际大豆贸易网络的时空动态演化特征,探讨国际大豆贸易网络演化的影响因素,为丰富国内远程耦合实证研究、弥补全球大豆贸易网络定量研究的不足,把握国际大豆贸易的总体形势、评估外贸结构合理性,

更好地调控贸易资源、优化贸易结构、保障粮食和重要农产品稳定安全供给提供科学依据与政策启示。

1 研究方法与数据来源

1.1 数据来源

本文涉及的国际大豆贸易数据来源于联合国粮农组织统计数据库 (FAOSTAT)。为真实反映长时间序列的国际大豆贸易网络演化过程, 排除不同年份大豆价格和货币汇率变动对统计结果造成的可能影响, 选取 1995—2020 年 6 个时间断面的大豆出口贸易量数据 (单位: t), 建立加权贸易矩阵和无权贸易矩阵。在国家节点处理上, 将中国香港、澳门、台湾地区的大豆贸易流量合并计入中国, 将无独立主权政府的海外属地并入宗主国, 贸易数据囊括相应年份所有参与大豆贸易的国家, 共涉及 177 个国家。

1.2 研究方法

社会网络分析 (Social Network Analysis, SNA) 是一种基于数学图论的社会关系量化研究方法, 有助于刻画社会系统中的微观个体关系和宏观整体结构, 广泛应用于贸易网络研究。远程耦合强调多系统之间基于“流”的相互作用, 具有明显的网络结构特征, 而社会网络分析可用于量化远程系统之间的功能连接, 在识别远程耦合组件、模拟其时间演化过程和空间跨尺度动态、分析远距离反馈机制和溢出效应等方面优势显著^[13]。

因此, 本文运用社会网络分析法, 构建全球大豆贸易远程耦合网络模型 $G=(N, E, W, T)$, 测算网络拓扑结构指标, 识别大豆贸易的发送系统、接收系统、外溢系统及贸易流向与强度, 分析大豆贸易网络演化特征。其中 N 为贸易网络国家节点 (系统) 的集合, E 为国家间进出口贸易关系的边 (流) 的集合, W 为任意两国之间进出口贸易量的边权重集合, T 为所有年份贸易网络的集合。基于以上数据集, 建立表示两个国家间有无贸易联系 (若两国间存在贸易联系, 则矩阵元素取值为 1, 反之为 0) 的无权矩阵以及表示两国间贸易强度 (矩阵元素取值为两国间大豆贸易量) 的加权矩阵, 将其导入 UCINET 6 软件进行指标计算。具体指标说明与计算公式如下。

1.2.1 整体结构特征指标

(1) 网络密度是指网络实际连边数与理论最大可能连边数之比, 衡量网络中节点间联系的紧密程度。网络密度越大, 相联结的节点数越多, 国家间的贸易往来越频繁。网络密度 D 的计算公式为:

$$D = \frac{2m}{n(n-1)} \quad (1)$$

式中: m 为实际关系数 (条); n 为节点总数 (个)。

(2) 聚类系数表示与某节点存在联系的邻接点间的实际连边数占最大可能连边数的比值, 描述网络中紧邻节点之间的集聚程度。所有节点聚类系数的平均值称为平均聚类系数, 平均聚类系数 C_i 的计算公式为:

$$C_i = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{2m_i}{k_i(k_i-1)} \quad (2)$$

式中: k_i 为与点 i 存在联系的邻接点个数 (个); m_i 为点 i 的邻接点间存在的实际连边数 (条)。

(3) 平均路径长度表示网络中所有节点对间最短路径经过边数的平均值, 即离散节

点相连所需中介点最小数目的均值, 反映节点间的连通效率 L 。计算公式为:

$$L = \frac{\sum_{ij} d_{ij}}{n(n-1)} \quad (3)$$

式中: d_{ij} 表示点 i 和点 j 之间最短路径的距离 (条)。

(4) 凝聚子群是具有相对较直接、较紧密、较频繁的积极关系的行动者子集合, 用于刻画网络内部的子结构状态^[28]。本文使用 Ucinet 6 软件的 CONCOR 程序进行凝聚子群分析, 将贸易网络中的国家节点按其贸易关系属性划分为不同子群, 以此刻画贸易国间的关系及紧密程度。

(5) 二次指派程序 (Quadratic Assignment Procedure, QAP) 分析法是一种基于随机置换方式来计算矩阵间相关系数的非参数估计方法, 能够有效解决传统计量方法在不完全独立的关系型数据处理上存在的多重共线性及虚假相关问题^[36]。本文采用 QAP 回归分析检验解释变量的科学性, 并阐释大豆贸易远程耦合网络演化的驱动机制。

1.2.2 个体结构特征指标

(1) 点强度是指某节点与其他关联节点之间的联系强度, 通过计算某个国家与其他国家间进出口贸易量所占的权重, 反映该国在网络中的贸易强度和重要性。点强度 S 的计算公式为:

$$S_i = \sum_j a_{ij} w_{ij} \quad (4)$$

式中: a_{ij} 表示点 i 和点 j 之间是否相连; w_{ij} 为点 i 和点 j 之间的边权重, 即 i 国和 j 国之间的贸易规模。

(2) 度数中心度 (Degree Centrality) 指网络中与某节点直接相连的点的个数。度数中心度越大, 说明该点发展关系的能力越强, 越接近网络的中心位置, 网络重要性和影响力越大。相对度数中心度 C_D 的计算公式为:

$$C_D(i) = \frac{\sum_j a_{ij}}{n-1} \quad (5)$$

式中: $\sum_j a_{ij}$ 表示网络中与点 i 相连的点的个数 (个), 即点 i 的绝对度数中心度。

(3) 中介中心度 (Betweenness Centrality) 指所有节点对间最短路径经过某节点的数量占最短路径总数的比例, 描述该节点对其他行动者和资源的控制能力, 反映其在网络中的桥梁作用。绝对中介中心度 C_B 的计算公式为:

$$C_B(i) = \sum_j \sum_k^n \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}} \quad (6)$$

式中: g_{jk} 表示点 j 和点 k 之间的捷径数目 (条); $g_{jk}(i)$ 表示点 j 和点 k 之间的捷径经过点 i 的数目 (条)。

(4) 接近中心度 (Closeness Centrality) 指某节点与其他所有节点之间的最短距离之和, 度量的是网络中该点不受其他节点控制的能力及其与其他节点的接近程度。相对接近中心度 C_C 的计算公式为:

$$C_C(i) = \frac{\sum_j d_{ij}}{n-1} \quad (7)$$

式中: d_{ij} 表示点 i 和点 j 之间最短路径的距离 (条)。

2 远程耦合视角下国际大豆贸易网络的时空演化特征

2.1 网络整体演化特征

从网络连通性指标测算结果来看(图1),1995—2020年国际大豆贸易网络密度稳步提升但整体水平明显偏低,表明大豆贸易远程连接愈加广泛,但国家间大豆贸易联系始终较为分散,网络整体上处于弱联结状态。其次,大豆贸易网络具有较大的平均聚类系数和较小的平均路径长度,且内部集聚性和连接效率呈上升趋势,呈现明显的组团化趋势。网络连通性和集聚性的提高意味着节点间的相互作用和相互依赖性不断增加,即大豆生产、流通、消费受到远距离系统的影响加深,远程耦合程度加大。

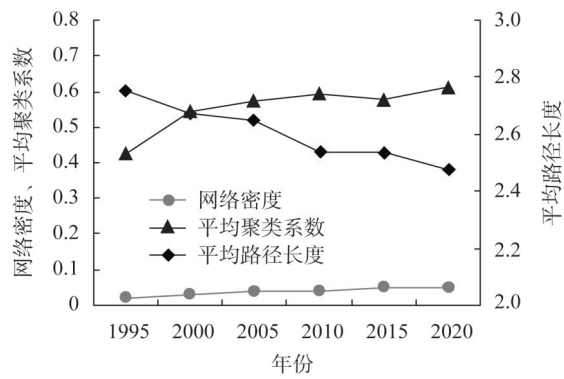


图1 1995—2020年国际大豆贸易网络整体结构特征
Fig. 1 Overall structure characteristics of international soybean trade network from 1995 to 2020

2.2 点强度分析

1995—2020年国际大豆贸易量不断攀升,由1995年的0.30亿t升至2020年的1.72亿t,增长了5.76倍,但总体贸易量的扩张很大程度上是由少数国家大豆产能提升和大豆消费需求增长引起的。表1显示,点强度小于0.0001的国家占总数的55.37%~64.41%,而大于

表1 1995—2020年国家节点的点强度特征

Table 1 Point strength characteristic of country nodes from 1995 to 2020

| 年份 | 点强度区间包含的国家数/个 | | | | 点强度>0.01 的国家 (按排名, 前五位标注具体的点强度数值) |
|------|---------------|------------|--------------|---------|---|
| | >0.01 | 0.01~0.001 | 0.001~0.0001 | <0.0001 | |
| 1995 | 17 | 18 | 28 | 114 | 美国 (0.3598)、荷兰 (0.1176)、日本 (0.0765)、巴西 (0.0691)、中国 (0.0543)、阿根廷、西班牙、墨西哥、德国、韩国、巴拉圭、比利时、法国、马来西亚、加拿大、意大利、葡萄牙 |
| 2000 | 15 | 22 | 29 | 111 | 美国 (0.3031)、巴西 (0.1428)、中国 (0.1096)、荷兰 (0.0901)、日本 (0.0525)、墨西哥、德国、西班牙、巴拉圭、韩国、阿根廷、泰国、加拿大、印度尼西亚、比利时 |
| 2005 | 16 | 23 | 26 | 112 | 中国 (0.2106)、美国 (0.1995)、巴西 (0.1789)、阿根廷 (0.0783)、荷兰 (0.0583)、日本、墨西哥、德国、西班牙、巴拉圭、乌拉圭、加拿大、泰国、意大利、印度尼西亚、韩国 |
| 2010 | 13 | 25 | 34 | 105 | 中国 (0.2959)、美国 (0.2299)、巴西 (0.1789)、阿根廷 (0.0730)、巴拉圭 (0.0254)、荷兰、墨西哥、日本、德国、西班牙、加拿大、印度尼西亚、意大利 |
| 2015 | 12 | 27 | 36 | 102 | 中国 (0.3182)、巴西 (0.2104)、美国 (0.1851)、阿根廷 (0.0462)、巴拉圭 (0.0180)、加拿大、德国、荷兰、西班牙、墨西哥、日本、俄罗斯 |
| 2020 | 11 | 25 | 43 | 98 | 中国 (0.3064)、巴西 (0.2436)、美国 (0.1886)、阿根廷 (0.0343)、荷兰 (0.0228)、巴拉圭、墨西哥、埃及、加拿大、泰国、西班牙 |

0.0001的国家数量较少,且随数值增高,各个点强度区间包含的国家数量梯度递减,国际大豆贸易网络具有明显的异质性。从国家尺度来看,中国、巴西、美国三足鼎立的大豆贸易格局逐渐稳定,阿根廷、巴拉圭、加拿大、墨西哥、荷兰、西班牙、德国、日本等国家的点强度排名稳居前列,是网络中主要的远程耦合系统。中国点强度由0.0543提升至0.3064,排名从1995年的第5位到2005年超过美国成为第1位,发挥着无可替代的外贸影响力。美国的点强度由0.3598降至0.1886,对应排名由第1逐渐降至第3,大豆贸易中心地位有所下降;巴西点强度波动上升,2020年达到0.2436,在贸易网络中居第2位。自2005年以来,中巴美三国的点强度进一步拉开与第4名阿根廷的差距,2020年三国大豆贸易量占全球大豆贸易总量的比例已达73.86%。大豆贸易网络呈现出以中巴美为绝对核心、少数国家承担大部分贸易量、其他国家梯度环绕的极化结构。

从具体的贸易流向和进出口强度看(图2),1995年大豆发送系统主要为美国、巴西、阿根廷、巴拉圭等美洲国家,其中美国以0.7149的出口强度居于大豆出口垄断地位,荷兰、日本、中国、西班牙、墨西哥等主要接收系统的大豆贸易流多来自于美国。随后,巴西通过土地开发、种植技术改进、物流基础设施建设等手段提振大豆产量和生产率,并以低廉的价格迅速抢占国际市场,2020年以0.4820的出口强度超越美国的0.3752,成为规模最大的大豆发送系统。同时,中国则因耕地资源和大豆种植技术制约,大豆生产成本居高不下,加之国民膳食转型带来的大豆消费需求增长,国内大豆产能无法满足庞大的需求^[37],从而逐渐成长为最大的大豆接收系统,2020年进口强度为0.6124,大豆进口量达1.05亿t。总体来看,大豆发送系统集中于少数生产大国,而大豆接收系统众多;2020年相比于1995年,大豆发送系统由美国出口垄断演化为巴西、美国出口竞争,大豆接收系统由多国均衡向着中国集中的进口态势演化。

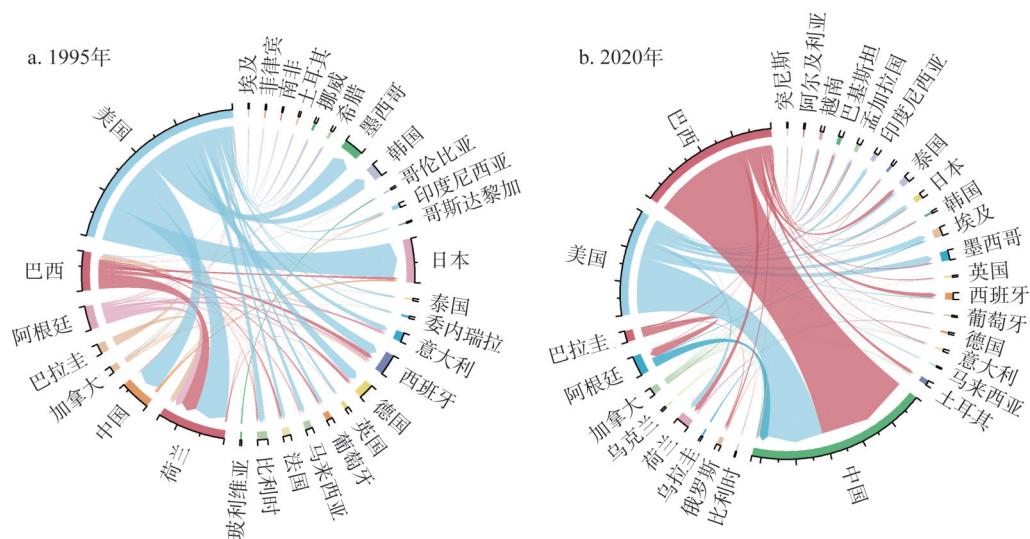


图2 1995年和2020年点强度排名前30位的国家的贸易流向及强度

Fig. 2 Trade flows and intensities of the top 30 countries according to node strength in 1995 and 2020

2.3 中心度分析

贸易邻接矩阵经由Ucinet 6软件的网络中心度模块测算,得到1995—2020年三项中

心度排名前10的国家(表2)。从度数中心度来看,美国、加拿大、中国、巴西、德国、法国、荷兰等国发展外贸关系的能力最强。美国凭借其高产能和高产量,积极发展大豆出口贸易,拥有最多的贸易伙伴数量,在网络中处于核心支配地位。中国以2010—2015年为转折期,度数中心度先上升后下降。欧洲地区法国的大豆贸易地位趋于上升,荷兰的

表2 1995—2020年中心度排名前10位的国家

Table 2 Top 10 countries of degree centrality from 1995 to 2020

| 指标 | 年份 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 度 数 中 心 度 | 1995 | 美国 | 荷兰 | 加拿大 | 阿根廷 | 英国 | 德国 | 中国 | 巴西 | 意大利 | 法国 |
| | | 32.370 | 17.341 | 16.763 | 16.763 | 15.029 | 15.029 | 13.295 | 11.561 | 10.405 | 9.827 |
| | 2000 | 美国 | 加拿大 | 巴西 | 阿根廷 | 荷兰 | 中国 | 德国 | 法国 | 比利时 | 意大利 |
| | | 32.759 | 22.414 | 20.115 | 18.966 | 17.816 | 16.667 | 16.667 | 14.943 | 13.793 | 13.218 |
| | 2005 | 美国 | 加拿大 | 中国 | 巴西 | 荷兰 | 印度 | 法国 | 阿根廷 | 德国 | 英国 |
| | | 34.483 | 32.759 | 25.862 | 24.713 | 22.989 | 20.690 | 17.816 | 17.816 | 17.816 | 17.816 |
| | 2010 | 美国 | 中国 | 加拿大 | 巴西 | 法国 | 阿根廷 | 德国 | 印度 | 英国 | 意大利 |
| | | 36.000 | 30.286 | 30.286 | 26.286 | 21.714 | 21.143 | 21.143 | 19.429 | 18.268 | 18.268 |
| | 2015 | 美国 | 加拿大 | 中国 | 意大利 | 巴西 | 法国 | 印度 | 乌克兰 | 德国 | 荷兰 |
| | | 38.068 | 36.932 | 28.977 | 26.136 | 25.000 | 25.000 | 24.432 | 23.864 | 23.864 | 21.159 |
| | 2020 | 美国 | 加拿大 | 法国 | 巴西 | 中国 | 荷兰 | 德国 | 乌克兰 | 英国 | 奥地利 |
| | | 42.614 | 38.068 | 26.705 | 26.136 | 26.136 | 25.568 | 25.000 | 24.432 | 22.159 | 21.023 |
| 接 近 中 心 度 | 1995 | 美国 | 阿根廷 | 荷兰 | 加拿大 | 英国 | 德国 | 巴西 | 法国 | 中国 | 意大利 |
| | | 1.442 | 1.438 | 1.437 | 1.437 | 1.437 | 1.437 | 1.436 | 1.436 | 1.435 | 1.435 |
| | 2000 | 美国 | 加拿大 | 巴西 | 荷兰 | 阿根廷 | 中国 | 法国 | 德国 | 意大利 | 比利时 |
| | | 2.107 | 2.100 | 2.098 | 2.098 | 2.097 | 2.097 | 2.096 | 2.096 | 2.094 | 2.093 |
| | 2005 | 美国 | 加拿大 | 中国 | 巴西 | 荷兰 | 印度 | 法国 | 英国 | 德国 | 阿根廷 |
| | | 3.384 | 3.377 | 3.369 | 3.364 | 3.363 | 3.360 | 3.357 | 3.357 | 3.357 | 3.353 |
| | 2010 | 美国 | 中国 | 加拿大 | 巴西 | 阿根廷 | 德国 | 英国 | 法国 | 印度 | 比利时 |
| | | 3.078 | 3.069 | 3.068 | 3.063 | 3.058 | 3.058 | 3.057 | 3.057 | 3.053 | 3.052 |
| | 2015 | 美国 | 加拿大 | 中国 | 法国 | 荷兰 | 巴西 | 德国 | 意大利 | 英国 | 乌克兰 |
| | | 6.421 | 6.386 | 6.370 | 6.356 | 6.340 | 6.338 | 6.331 | 6.329 | 6.326 | 6.317 |
| | 2020 | 美国 | 加拿大 | 法国 | 中国 | 巴西 | 德国 | 荷兰 | 英国 | 印度 | 乌克兰 |
| | | 4.440 | 4.433 | 4.417 | 4.410 | 4.402 | 4.400 | 4.396 | 4.396 | 4.392 | 4.390 |
| 中 介 中 心 度 | 1995 | 美国 | 阿根廷 | 荷兰 | 英国 | 加拿大 | 肯尼亚 | 中国 | 印度 | 新加坡 | 乌干达 |
| | | 16.693 | 4.760 | 3.494 | 3.262 | 2.919 | 2.853 | 2.590 | 2.483 | 2.017 | 1.419 |
| | 2000 | 美国 | 加拿大 | 中国 | 巴西 | 南非 | 德国 | 阿根廷 | 比利时 | 荷兰 | 印度 |
| | | 17.239 | 8.331 | 5.815 | 4.443 | 4.014 | 3.655 | 3.472 | 3.319 | 2.964 | 2.846 |
| | 2005 | 美国 | 加拿大 | 印度 | 中国 | 英国 | 巴西 | 泰国 | 南非 | 新加坡 | 乌克兰 |
| | | 14.986 | 12.045 | 8.978 | 7.214 | 5.526 | 4.991 | 3.955 | 3.851 | 3.507 | 3.385 |
| | 2010 | 美国 | 中国 | 印度 | 加拿大 | 巴西 | 伊朗 | 法国 | 英国 | 乌克兰 | 阿根廷 |
| | | 17.124 | 14.157 | 7.176 | 6.954 | 6.768 | 3.957 | 3.881 | 3.433 | 3.383 | 2.827 |
| | 2015 | 美国 | 加拿大 | 中国 | 印度 | 南非 | 巴西 | 法国 | 乌克兰 | 意大利 | 英国 |
| | | 18.768 | 11.209 | 9.357 | 8.371 | 8.000 | 6.210 | 5.250 | 5.240 | 4.865 | 3.616 |
| | 2020 | 美国 | 加拿大 | 印度 | 中国 | 南非 | 巴西 | 法国 | 乌克兰 | 阿拉伯 | 荷兰 |
| | | 21.005 | 11.237 | 7.676 | 6.369 | 6.193 | 5.643 | 4.745 | 4.667 | 4.007 | 3.593 |

地位则有所下降;南美洲地区,巴西排名整体上升,阿根廷排名下降,直至退出世界前10。此外,1995年美国度数中心度为32.37,明显拉开与其他国家的差距;而2020年排名前10位的国家度数中心度均超过20,排名第二的加拿大中心度值与美国仅相差4.47,差距明显缩小,表明随着运输条件改善和贸易环境变化,国际大豆贸易形成的远程耦合系统在个体关系建立上向着合作对象多样化、数量差异均衡化的态势发展。接近中心度刻画了网络中某国与其他国家贸易关系距离的远近,是该国贸易独立性的体现。总体来看,接近中心度波动上升,各国间贸易关系距离不断拉近。接近中心度的排名变动与度数中心度有着高度相似性,排名前10的国家以美国、加拿大、法国、德国、英国、荷兰等欧美发达国家为主,中国、巴西分别作为大豆进口和出口大国也有着较高排名,以上国家在贸易网络中建立的直接联系较为广泛,具有较强的不受他国控制的能力。

在远程耦合系统中,外溢系统作为中间站、通道或通过其他方式的相互作用将发送系统和接收系统连接起来^[4]。由于中介中心度能够反映个体在社会网络中的桥梁作用,因此是识别远程耦合外溢系统的有效方式。表2显示,美国的中介中心度排名稳居第1且远超其他国家,加拿大、中国稳居前5,发挥着显著的中间人和桥梁作用,是大豆贸易网络中的主要外溢系统。巴西、印度、南非等亚非拉发展中国家中介中心度较高,具有突出的中介能力和资源支配能力。欧洲国家排名变化较大,荷兰、英国排名下降,法国、乌克兰近10年排名靠前,反映了欧洲国家大豆贸易枢纽地位的更替。总体来看,欧洲大豆贸易外溢效应整体下降,取而代之的是亚非拉发展中国家的壮大,日益在网络中承担着重要的中介点角色,发挥着较大的外溢影响力。

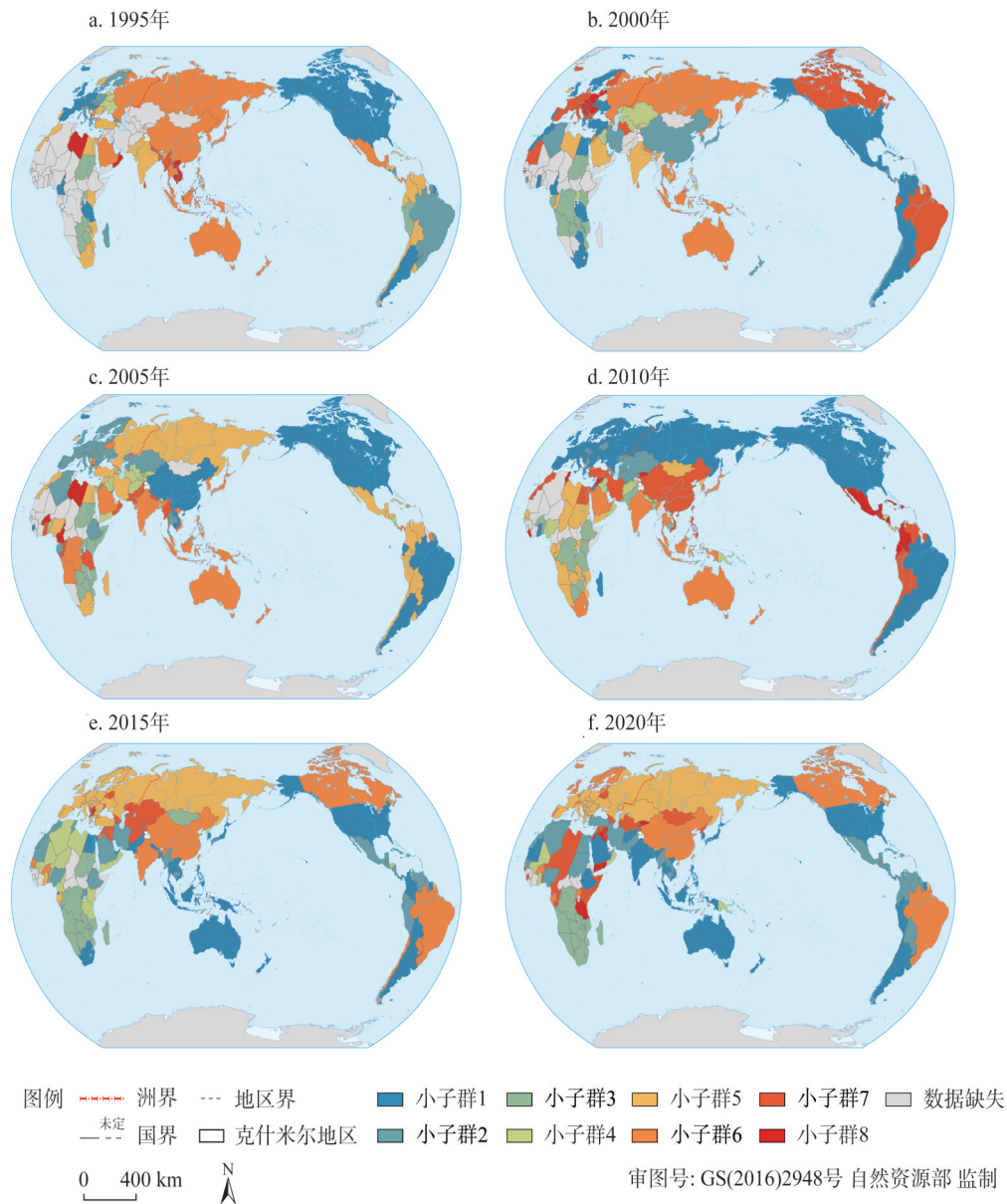
2.4 凝聚子群分析

运用Ucinet 6软件的CONCOR模块进行凝聚子群分析,得到国际大豆贸易网络的4个大子群、8个小子群,表明远程耦合网络内部存在碎片化群体集聚的特点,且随着时间推移,各贸易国群体关系变动较大(图3)。

具体来看,1995年各小子群成员数量较为均衡,美国、巴西、阿根廷等大豆发送系统同属一个大子群,与欧洲市场建立起较为密切的远程耦合联系,中国与俄罗斯、澳大利亚及大部分东南亚国家关系紧密。2000年网络内部的碎片化趋势显现,中美大豆贸易联系加强,巴西、加拿大与多数欧洲国家构成成员数量最多的子群,非洲国家之间的贸易联系较为分散。2005年中国、巴西、美国的远距离相互作用加强,欧洲内部凝聚力提高,非洲国家间的大豆贸易联系仍然较弱。2010年第一大子群涵盖大部分美洲、欧洲国家,中国同美国、巴西的贸易联系有所疏远而与中美洲国家联系加强。2020年大豆贸易远程耦合网络结构与2015年相比变动不大,欧洲国家凝聚性强,非洲内部区分为南北两个组块,显示出基于地缘关系的集团化结构;与美国贸易关系紧密的国家空间分布更加广泛,包括大部分美洲、东南亚、西亚和北非国家,构成成员数量最多的子群。另外,2015年和2020年中国与巴西的贸易关系日益紧密,尤其2018年以来,受中美贸易摩擦影响,源自美国的大豆进口量大幅减少,转而增加源自巴西的大豆进口,使得近期巴西与中国同属于一个凝聚子群。

3 远程耦合视角下国际大豆贸易网络的影响因素

原因识别、因果关系评估是远程耦合的重要研究内容。全球尺度下大豆贸易系统间



注：本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作，底图无修改。

图3 国际大豆贸易网络凝聚子群时空演变

Fig. 3 The spatio-temporal evolution of cohesive subgroups in international soybean trade network

远程耦合关系的建立与演变受到多重因素影响，本文运用社会网络 QAP 分析，测度选定变量对大豆贸易网络的影响效应，分析远程耦合关系产生及变化的驱动机制。

3.1 变量选取

基于相关文献分析可知^[38-40]，比较优势理论、要素禀赋理论以及新贸易理论能够解释国际贸易的产业间贸易和产业内贸易。水土等自然资源禀赋决定了农产品贸易的初始分布格局，以经济实力为基础的农业机械化、现代化凸显规模效益，促进了农业集聚和农业内部贸易，贸易政策、制度管理等政治因素和饮食偏好等文化因素对贸易格局的偏转

作用愈发明显, 逐渐奠定最终的农产品贸易网络格局^[40]。与其他解释框架不同, 远程耦合理论强调远距离社会经济和环境系统的相互作用。因此, 远程耦合视角下的贸易网络分析不仅需要考虑资源禀赋、经济规模等基于贸易论引入的因素, 还应从空间相互作用理论出发, 从区域系统之间的互补性、可达性、干扰机会等维度来刻画贸易网络的演化机制。基于此, 本文主要从互补性和可达性两个方面, 以及需求、供给、交通、制度4个维度, 选取国际大豆贸易网络的影响因素。具体解释如下:

第一, 互补性。互补性指区域系统之间对某种贸易产品的供求关系, 是系统间发生耦合作用的基础条件。根据互补性的概念内涵, 本文选取经济水平、市场规模和大豆生产面积、制造业发展水平4个指标, 分别代表系统互补的需求因素和供给因素。(1) 经济水平 (GDP): 以国内生产总值表示, 经济发展水平不同的国家处于不同的供应链分工环节, 对特定产品的生产消费结构也会存在差异, 两国间的经济水平差异是影响贸易关系的重要因素, 预计对大豆贸易具有正向作用。(2) 市场规模 (POP): 以人口数量表示, 贸易产品最终会进入消费端, 预计人口数量越多、市场规模越大, 对特定产品的消费需求越大、贸易需求也越大。(3) 大豆生产面积 (AREA): 以大豆收获面积占耕地总面积的比例表示, 反映大豆生产的耕地资源禀赋条件及其在农业种植结构中的重要程度。比例越大, 则大豆为该国优势农作物的可能性越大, 相对于其他国家和其他农产品, 拥有更大的种植面积和更多的资本投入, 进而具有更高的产量和产能, 这意味着该国的大豆产出更容易满足本国需求而寻求出口。(4) 制造业发展水平 (MFG): 以制造业增加值表示。制造业尤其机械制造业的发展水平对农业机械化程度有较大影响, 农业机械化程度越高, 越具有较高的农业生产率、较低的农业生产成本和较大的农产品国际竞争优势。因此, 制造业发展水平也是影响农产品贸易的重要因素。

第二, 可达性。可达性是指区域之间进行贸易产品流通的基本条件和基础设施, 是系统间发生耦合作用的关键因素。可达性又受到区域之间的时空间距离、交通联系、政治文化障碍等方面因素的影响, 故本文选取地理距离、WTO邻近、KOF全球化指数3个指标, 代表制约区域可达性的距离因素和制度因素。(1) 地理距离 (DIST): 以国家首都间的球面距离表示, 距离远近是影响交通物流成本和贸易便利程度的重要因素, 一般来说空间距离与贸易量和贸易关系的建立成反比。(2) WTO邻近 (WTO): 世界贸易组织在开展贸易协商、消除贸易壁垒、协调贸易政策等方面发挥着积极作用, 预计若两国同为WTO成员, 将享受到同样的制度便利, 更有利于拉近两国贸易关系。(3) KOF全球化指数 (KOF): 全球化指数从经济、社会、政治三个层面综合衡量一国全球化水平, 是衡量国家对外开放程度的重要指标, 对外开放是进行国际贸易的前提条件, 因而是影响贸易关系的重要制度因素, 预计全球化指数越高的国家, 其对外开放水平越高, 对外贸易也越发达。

3.2 模型构建

基于前文理论分析, 构建国际大豆贸易网络的QAP多元回归模型:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 GDP + \beta_2 POP + \beta_3 AREA + \beta_4 MFG + \beta_5 DIST + \beta_6 WTO + \beta_7 KOF + \mu \quad (8)$$

式中: Y 为被解释变量, 采用国际大豆贸易网络无权矩阵和加权矩阵表示; β_0 为截距项; $\beta_1 \sim \beta_7$ 为待估参数; μ 为误差项; GDP 为国内生产总值差值矩阵; POP 为人口数量差值矩阵; $AREA$ 为大豆收获面积占比差值矩阵; MFG 为制造业增加值差值矩阵; $DIST$

为国家首都球面距离多值矩阵；*WTO*为WTO成员二值矩阵，同为WTO成员的国家记为1，反之为0；*KOF*为全球化指数差值矩阵。各解释变量的名称、含义、矩阵处理方式、预期作用和数据来源详见表3。

表3 解释变量基本信息

Table 3 Basic information of explanatory variables

| 准则层 | 要素层 | 变量名称 | 变量含义 | 矩阵处理 | 预期作用 | 数据来源 |
|-----|------|------------------------|-----------------|------|------|-------------|
| 互补性 | 需求因素 | 经济水平 (<i>GDP</i>) | 国内生产总值 | 差值矩阵 | + | 世界银行数据库 |
| | | 市场规模 (<i>POP</i>) | 人口数量 | 差值矩阵 | + | 世界银行数据库 |
| | 供给因素 | 大豆生产面积 (<i>AREA</i>) | 大豆收获面积占耕地总面积的比例 | 差值矩阵 | + | FAOSTAT数据库 |
| | | 制造业发展水平 (<i>MFG</i>) | 制造业增加值 | 差值矩阵 | + | 世界银行数据库 |
| 可达性 | 距离因素 | 地理距离 (<i>DIST</i>) | 国家首都间球面距离 | 多值矩阵 | - | CEPII数据库 |
| | 制度因素 | WTO邻近 (<i>WTO</i>) | 是否为WTO成员 | 二值矩阵 | + | WTO官网 |
| | | 全球化指数 (<i>KOF</i>) | KOF全球化指数 | 差值矩阵 | + | KOF瑞士经济学会官网 |

数据处理上，考虑到大豆收获面积占比和KOF全球化指数两类数据只更新到2019年，因此本文用2019年数据替换2020年数据进行QAP分析。此外，上述变量存在特定年份个别国家数据缺失的情况，采用该国相邻年份数据代替缺失数据，而针对多个年份或多个变量数据严重缺失的情况，则选择在矩阵中删除该样本节点。最后，为消除量纲影响，利用Ucinet 6软件的数据标准化功能对各解释变量差值和多值矩阵进行标准化处理。

3.3 QAP回归分析

QAP回归结果显示（表4、表5），供给因素和距离因素是影响国际大豆贸易网络演化的核心驱动力，需求因素和制度因素对贸易网络有一定影响，但作用程度偏弱。对比表4、表5，各解释变量在无权贸易网络中的相关系数值和显著性水平均优于加权贸易网络，主要由于贸易关系的建立先于贸易强度的变化，各解释变量矩阵对无权贸易关系矩阵的影响效应高于加权贸易强度矩阵。具体分析如下：

表4 无权贸易网络QAP回归结果

Table 4 QAP regression results of unauthorized trade network

| 变量 | 1995年 | 2000年 | 2005年 | 2010年 | 2015年 | 2020年 |
|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <i>GDP</i> | 0.0311*(0.079) | 0.0669*** (0.000) | 0.0424** (0.014) | 0.0103*(0.070) | 0.0536*** (0.000) | 0.0386** (0.023) |
| <i>POP</i> | 0.0046(0.213) | 0.0348** (0.033) | 0.0731*** (0.001) | 0.0447*** (0.003) | 0.0558*** (0.000) | 0.0287** (0.013) |
| <i>AREA</i> | 0.1103** (0.013) | 0.1080*** (0.000) | 0.0722*** (0.005) | 0.1135*** (0.000) | 0.1055*** (0.000) | 0.0357** (0.034) |
| <i>MFG</i> | 0.0368** (0.017) | 0.1354*** (0.000) | 0.1102*** (0.000) | 0.1200*** (0.000) | 0.1018*** (0.000) | 0.1001*** (0.000) |
| <i>DIST</i> | -0.2281*** (0.000) | -0.1964*** (0.000) | -0.1619*** (0.000) | -0.1618*** (0.000) | -0.1731*** (0.000) | -0.2063*** (0.000) |
| <i>WTO</i> | 0.1151*** (0.000) | 0.1238*** (0.000) | 0.0886*** (0.002) | 0.0755*** (0.010) | 0.0649(0.130) | 0.0659** (0.017) |
| <i>KOF</i> | -0.0087(0.275) | 0.0016(0.456) | 0.0166** (0.049) | 0.0436*** (0.000) | 0.0177** (0.017) | 0.0289** (0.011) |
| <i>R</i> ² | 0.137 | 0.080 | 0.132 | 0.121 | 0.115 | 0.154 |
| Adj- <i>R</i> ² | 0.136 | 0.080 | 0.132 | 0.121 | 0.115 | 0.153 |

注：数值为标准化回归系数，括号内数据为显著性水平；*、**、***分别表示在0.1、0.05、0.01的统计水平上显著；常数项均为0。下同。

表5 加权贸易网络QAP回归结果

Table 5 QAP regression results of weighted trade network

| 变量 | 1995年 | 2000年 | 2005年 | 2010年 | 2015年 | 2020年 |
|--------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| GDP | -0.0012(0.636) | 0.0037 ^{***} (0.033) | 0.0161 ^{***} (0.033) | 0.0025 ^{***} (0.013) | 0.0019 ^{***} (0.037) | -0.0039 ^{***} (0.035) |
| POP | 0.0016(0.156) | 0.0111 [*] (0.051) | 0.0094 ^{***} (0.043) | 0.0051 ^{***} (0.046) | -0.0004(0.472) | -0.0017 [*] (0.072) |
| AREA | 0.1667 ^{***} (0.001) | 0.1540 ^{***} (0.001) | 0.1096 ^{***} (0.003) | 0.1546 ^{***} (0.000) | 0.1474 ^{***} (0.000) | 0.0069 [*] (0.056) |
| MFG | -0.0004(0.558) | 0.0558 ^{***} (0.016) | 0.0054(0.117) | 0.0041 [*] (0.085) | 0.0032 [*] (0.073) | 0.0189 ^{***} (0.014) |
| DIST | 0.0231 [*] (0.079) | 0.0040(0.344) | 0.0189 [*] (0.057) | 0.0178 ^{***} (0.047) | 0.0155 ^{***} (0.045) | 0.0156 ^{***} (0.049) |
| WTO | 0.0256 [*] (0.091) | 0.0143(0.291) | 0.0088(0.366) | 0.0064(0.341) | 0.0040(0.508) | 0.0028(0.694) |
| KOF | -0.0028(0.357) | 0.0125 [*] (0.089) | 0.0146 ^{***} (0.032) | 0.0039 [*] (0.051) | 0.0044 ^{***} (0.041) | 0.0080 [*] (0.059) |
| R ² | 0.014 | 0.007 | 0.012 | 0.012 | 0.010 | 0.016 |
| Adj-R ² | 0.014 | 0.007 | 0.012 | 0.011 | 0.010 | 0.015 |

(1) 需求因素。经济水平变量和市场规模变量对大豆贸易网络总体影响为正，但在无权网和加权网中的回归系数均较小。经济规模差异较大的国家之间产业结构有所区别，对特定农产品的供求结构也会不同。经济发展水平较高的国家由于国民膳食结构转型，对富含蛋白质的大豆制品以及基于豆粕饲养的畜牧产品形成更高的消费需求，更需要进口大豆以满足国内需求；而经济发展水平较低的国家受到产业结构限制，依赖出口初级农产品来获取支持社会经济转型发展所需的资金，因此更倾向于出口大豆等初级农产品。考虑到网络整体情况，大豆进口国中欧洲发达国家占很大比例、大豆出口国多为南美发展中国家的事实在一定程度上能够佐证上述观点。然而，大豆贸易网络具有突出的极化结构，美国作为出口大国影响力显著，因而降低了经济水平差异变量的解释力度，使其在加权网络情形下的7个变量中整体贡献度最小。此外，基于人口数量的市场规模差异对国际大豆贸易有一定促进作用，但市场规模因素的作用并不绝对，其本身是否产生影响以及影响的大小还与各国的饮食偏好密切相关。

(2) 供给因素。大豆生产面积变量和制造业发展水平变量在无权贸易网络中的回归系数多次超过0.1，在加权贸易网络中的回归系数值也较高，正向影响显著。大豆收获面积占比越高的国家，投入大豆生产的耕地资源越多，大豆在其农业结构中越重要；同时，制造业增加值越高，通常投入于农业生产的机械设备保障越充足，农业机械化程度也倾向于更高。耕地资源禀赋和机械化带来的生产率提高，使得这类国家在大豆生产上易于实现规模效应、形成比较优势，进而易于同大豆种植面积小或大豆生产率低而需求旺盛、供给缺口大的国家建立贸易远程联系，进行更大规模的大豆贸易。值得注意的是，大豆生产面积变量在无权网中的回归系数明显小于地理距离变量，而在加权贸易网中却成为最大的影响因素。在所选变量对加权网的解释力普遍不如无权网的情况下，该变量在加权网中仍保有较高的显著性水平和更高的回归系数，说明其对贸易量的影响高于对贸易关系形成的影响。与之相反，制造业发展水平变量在加权网中的作用除个别年份外并不显著，这更突显出土地资源投入对于大豆生产和国际贸易量的重要作用。

(3) 距离因素。无权贸易网中，地理距离变量为最大的影响因素且回归系数在1%的统计水平上显著为负；但在加权贸易网中却与大豆贸易量呈正相关，与预期结果相反。原因在于：若不考虑贸易强度，只考虑贸易联系建立与否，则地理邻近有利于降低运输成本、提高贸易便利程度，各国更易于与地理距离较近的国家建立贸易关系，地理邻近

性在无权贸易网中具有较好的解释力。但大豆贸易网络由少数出口国主导,受主要生产国区位的影响集中于美洲,2020年美国、巴西、阿根廷、巴拉圭等美洲国家贡献了90%以上的大豆出口量,而进口国分布广泛且距出口国远。因此,从加权网络整体看,地理距离远的国家,反而大豆贸易量大,意味着相对集中的产地分布和特殊的大陆格局使得全球大豆贸易在一定程度上突破了距离衰减规律,表现为存在互补性的远距离系统之间耦合作用更强。

(4) 制度因素。WTO邻近变量和全球化指数变量在无权网和加权网中影响为正,相比于其他变量作用程度偏弱。世界贸易组织有利于协调贸易关系、减少制度障碍,对国家间大豆贸易远程联系有一定积极作用。但在加权网中不具有统计学意义上的显著性,随时间推移其回归系数值逐渐减小,原因在于:越来越多的国家成为了WTO成员,由WTO带来的贸易制度差距日益缩小,WTO邻近变量的边际效应逐渐减弱。此外,全球化指数越高,该国在经济、社会、政治上的对外开放程度越大,给予对外贸易的优惠政策越多,从而加强了该国与全球大豆贸易网络的连通程度,更易于与他国建立大豆贸易的远程耦合关系。

以上分析表明,大豆贸易关系受到远距离经济与人口增长、土地利用变化、产业设施发展、对外贸易政策等多方面因素的影响。接收系统的经济发展和人口增长使得大豆及其副产品的需求市场愈加广阔,促使发送系统的土地利用结构和相关产业设施向着提升大豆产能的方向发展,依托开放性贸易制度和便利化交通物流构筑的贸易通道,接收系统与发送系统之间形成大豆供需反馈回路,并建立远程耦合联系。例如,中国的大豆需求主要是由宏观经济增长带来的肉类消费能力提升驱动的,经济的快速发展和庞大的人口规模使其跃升为最大的大豆接收系统。面对世界及中国庞大的大豆市场,巴西通过增加大豆种植面积、推动农业技术革新、扩大生产及加工设施投资等方式,提振了大豆的产量及出口量。但各变量在无权网络和加权网络中的作用程度不尽相同,尤其是大豆生产面积变量对贸易强度的影响显著于对贸易联系形成的影响,国际大豆贸易背后隐含着不可见的土地资源流动;地理距离变量对贸易联系的形成负向影响显著,而对贸易强度影响为正。以上对比分析契合远程耦合理论中的“远距离”和“社会经济与环境相互作用”等重要关键词,为该理论的实际应用提供了例证。

3.4 大豆贸易的远程耦合影响

加权贸易网中,大豆生产面积作为核心驱动因素,在一定程度上揭示了当地土地利用变化及生态环境与远距离社会经济系统的相互作用。毋庸置疑,建立在比较优势基础之上的大豆贸易对于保障进口国粮食安全和促进出口国经济发展均意义重大,但同时也应当注意到贸易对进出口双方社会—生态系统的复杂影响。图4显示,1995—2020年间部分贸易国的大豆扩张面积与森林减少面积之间存在一定正向关系。尤其对于巴西、巴拉圭、玻利维亚等靠近赤道和回归线的南美洲出口国而言,与亚欧大豆消费市场的贸易量增加对其自然生态系统造成了一定压力,大豆种植用地扩张是亚马逊、赛拉多等地森林生态系统退化的成因之一。而对于另一个南美洲出口国阿根廷,以及加拿大、南非等其他地区的贸易国而言,大豆种植面积扩张并不是其森林减少的显著因素。由此可见,大豆贸易隐含的间接土地利用和环境资产流动及其生态影响存在区域差异,尽管需求因素在一定程度上促进了大豆贸易远程耦合关系的建立,但最终是否导致森林向大豆种植

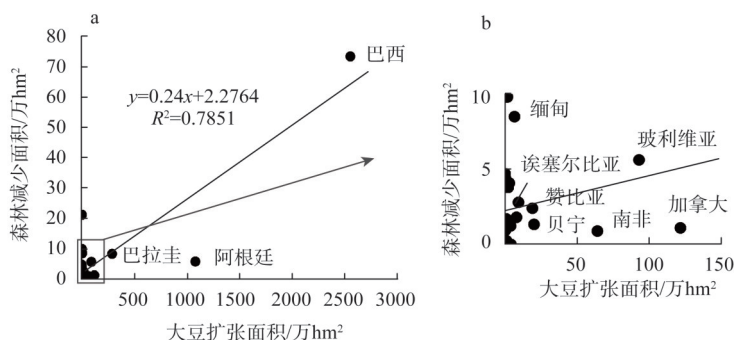


图4 1995—2020年部分贸易国大豆扩张面积与森林减少面积间的关系

Fig. 4 Relationship between soybean expansion area and forest loss area in some soybean trading countries from 1995 to 2020

用地转变仍取决于出口国的国内环境规制政策。另一方面，大豆贸易对进口国社会经济和生态环境的影响同样值得关注。例如，进口大豆的市场挤出效应反向推动了进口国的耕地利用转型，导致进口国的农业源氮排放增加^[29]；同时竞争冲击也导致进口国的大豆种植农面临突出的生存压力^[33]。可见，大豆贸易具有双向反馈的复杂影响，非固定区位视角或单一系统视角所能解释，而远程耦合框架则通过地理空间网络化思维，为透视该类议题提供了有益的视角。

4 结论与讨论

4.1 结论

基于1995—2020年6个时间断面177个样本国之间的大豆贸易关系矩阵，本文借助社会网络分析法，从远程耦合视角出发，通过测算个体层面和整体层面的网络拓扑结构指标，识别大豆贸易远程耦合系统、贸易流向与强度，分析国际大豆贸易远程耦合网络的时空演化特征及其影响因素。主要结论如下：

(1) 国际大豆贸易的远程耦合联系愈加广泛，网络凝聚性、连通性不断提高，意味着大豆生产、流通、消费受到远距离系统的耦合程度加大；但整体处于弱联结状态，存在较大的贸易拓展空间。

(2) 中国、美国、巴西、加拿大、荷兰、法国、德国、阿根廷等国是大豆贸易网络中的重要远程耦合系统，不仅贸易伙伴数量众多、贸易体量大，还具有突出的中介能力和贸易独立性；其中，大豆发送系统集中于美国、巴西、阿根廷等少数美洲国家，大豆接收系统数量众多，主要分布于东半球，巴西、印度、南非等发展中国家作为贸易中介点外溢效应突出，而荷兰、英国等欧洲发达国家的远程耦合外溢效应整体下降。总体上，中国成长为第一大接收系统，巴西出口竞争优势持续扩大，美国贸易影响力最为突出，大豆贸易网络呈现出以中巴美为绝对核心、少数国家系统承担大部分贸易量、其他国家梯度环绕的极化结构。但远程耦合的大豆案例研究也应超越传统核心大国的影响，将中国以外的另一大进口集团欧盟以及初步显现出大豆生产潜力的非洲国家纳入研究十分必要。

(3) 大豆贸易凝聚子群的成员构成普遍具有远距离联系的特征，在空间上呈现出由碎片化小片区集合向地缘性大片区集聚的结构演变；受中美贸易摩擦影响，近年来中国

与巴西同属一个小子群,远程耦合联系更为紧密。

(4) 基于远程耦合的特性,从互补性、可达性等空间相互作用理论出发来识别影响因素。大豆生产面积、制造业发展水平、地理距离是大豆贸易网络演化的核心驱动因素。其中大豆生产面积是加权网的主导因素,对贸易量正向影响显著;地理距离是无权网的主导因素,对贸易关系负向作用明显,但在加权网中,地理距离影响为正。表明在产地相对集中和特殊大陆格局的影响下,大豆贸易量更多受互补性的影响而非地理邻近性,具有强互补性的国家之间在贸易合作框架和交通运输技术的支持下能够克服距离摩擦,形成贸易远程联系。WTO邻近因素的边际效应逐渐减弱,经济水平、市场规模、全球化指数对贸易关系形成和大豆贸易强度有一定促进作用,但整体贡献度偏低。

(5) 1995—2020年间部分贸易国的大豆扩张面积与森林减少面积之间存在一定正向关系,市场需求导向下森林和其他农作物种植用地向大豆生产调整,尤其在巴西、巴拉圭、玻利维亚等靠近赤道和回归线的南美洲出口国表现突出,大豆贸易的远程耦合联系使资源环境压力从亚欧进口国向南美出口国转移。

4.2 讨论

根据研究结果,国家间贸易联系和贸易强度上的不均衡,预示着国际大豆贸易网络存在一定的脆弱性与不稳定性,需推动大豆贸易网络向均衡化方向发展,提高抵御风险冲击的能力。大豆贸易关键国家应发挥带动作用,践行“共同、综合、合作”的跨系统思维观,建立更为密切的远程耦合联系:出口国应通过技术转让、直接投资等方式帮助大豆资源开发潜力大的亚洲和非洲国家建立可持续的大豆生产体系;进口国应通过绿色技术支持、鼓励绿色消费等方式激励出口国转变大豆生产方式,提高可持续性。此外,中国作为网络中重要的接收系统,在国内大豆需求旺盛而资源禀赋条件有限,对外贸易依赖性增强而国际环境复杂多变、不确定性增加的背景下,大豆贸易风险同样不容忽视。对此,中国对内应加快优质、高产大豆品种研发,扎实推进大豆玉米带状复合种植,完善大豆生产者补贴,多措并举深入推进大豆产能提升工程;同时应对外开拓多元大豆进口渠道、提升大豆供应链韧性及贸易影响力。

面对聚焦于中国、巴西、美国间大规模大豆贸易流的远程耦合案例研究现状,本文超越了固定研究对象的限制,对国际大豆贸易整体网络的演化特征和影响因素进行了研究。不同体量贸易国及其之间的贸易流构成一个巨大的远程耦合系统,社会网络分析法能够有效识别主要的大豆发送系统、接收系统、外溢系统及其之间不同强度的有向贸易流。实际上,也有国内学者关注到了大豆这一特定农产品的网络格局演化^[41,42],并将豆油、豆粕等大豆下游加工品也纳入网络分析中^[42],考虑了中美贸易摩擦^[43]以及自组织结构、行动者属性、外生网络等机制^[44]对大豆贸易网络演变的影响作用。作为大豆贸易的既定事实,本文得出的网络演化特征与相关文献的研究结果一致。但在中介性分析上,鲜少有文献指出巴西、印度、南非等发展中国家作为中介点的外溢效应提高,也鲜少基于远程耦合特性,从空间相互作用理论出发识别大豆贸易网络演化的影响因素。回归结果显示了依托开放性贸易制度和便利化交通物流构筑的贸易通道,接收系统大豆需求扩张和发送系统大豆供给响应之间形成远程反馈回路。而大豆生产面积因素在加权网中正向影响显著,贸易量更多受互补性的影响而非地理邻近性,在一定程度上揭示了当地土地利用与远距离社会经济环境的相互影响,南美洲出口国大豆扩张面积与森林减少面积

之间的正向关系则更进一步验证了大豆贸易与生态资源变动的耦合性。

远程耦合是一个远距离、多区域之间社会经济和环境相互作用的总体概念。虽然有些研究涉及到远程因素,但通常都把它们视为外在变量,而未看作更大系统的内在反馈。农产品贸易本身属于社会经济范畴,加上农业生产依赖水土资源和生态环境条件,其不仅反映了社会经济因素影响下的市场供求关系变动,还暗含着环境资产流动和资源压力转移。因此,农产品贸易是远程耦合研究的重要内容。远程耦合提供的是一个研究视角而非研究方法,其价值在于助推学术界转变固定区位视角的传统观念,将远程因素纳入研究框架,关注人类与自然耦合系统之间跨越空间距离的相互作用。本文以国际大豆贸易网络为研究对象,对远程耦合框架进行了初步应用。但囿于数据的有限性,选取的影响因素难以很好地与膳食结构转型、跨国粮商市场开拓、转基因和非转基因大豆市场竞争等大豆贸易远程耦合背后的深层次原因衔接。对大豆扩张的生态影响分析也较为粗浅,今后还需在远程耦合的理论逻辑、案例应用以及因果变量设置的科学性等方面进一步深入探索。面对大豆贸易网络中日益广泛和紧密的远程耦合联系,人地关系受远距离系统的影响越来越强烈,如何深入刻画系统和流之间的结构与时空动态,量化贸易流和环境资产流之间的作用关系,定量评估远程耦合影响和外溢效应;以及如何应对这些关系给进出口双方带来的复杂影响,建立“共同、综合、合作”的跨系统思维观来更好地调控远程耦合,实现远程耦合系统的可持续发展,是未来研究的主要拓展方向。

参考文献(References):

- [1] 马恩朴,蔡建明,韩燕,等. 人地系统远程耦合的研究进展与展望. 地理科学进展, 2020, 39(2): 310-326. [MA E P, CAI J M, HAN Y, et al. Research progress and prospect of telecoupling of Human-Earth system. Progress in Geography, 2020, 39(2): 310-326.]
- [2] 宋长青,程昌秀,史培军. 新时代地理复杂性的内涵. 地理学报, 2018, 73(7): 1204-1213. [SONG C Q, CHENG C X, SHI P J. Geography complexity: New connotations of geography in the New Era. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(7): 1204-1213.]
- [3] 谈明洪,李秀彬. 从本土到全球网络化的人地关系思维范式转型. 地理学报, 2021, 76(10): 2333-2342. [TAN M H, LI X B. Paradigm transformation in the study of man-land relations: From local thinking to global network thinking modes. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(10): 2333-2342.]
- [4] LIU J G, HULL V, BATISTELLA M, et al. Framing sustainability in a telecoupled world. Ecology and Society, 2013, 18 (2): 26, <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05873-180226>.
- [5] XIONG H, MILLINGTON J D A, XU W. Trade in the telecoupling framework: Evidence from the metals industry. Ecology and Society, 2018, 23(1): 11, <https://doi.org/10.5751/ES-09864-230111>.
- [6] PRELL C, SUN L X, FENG K S, et al. Uncovering the spatially distant feedback loops of global trade: A network and input-output approach. Science of the Total Environment, 2017, 586: 401-408.
- [7] DOU Y, MILLINGTON J D A, BICUDO DA SILVA R F, et al. Land-use changes across distant places: Design of a telecoupled agent-based model. Journal of Land Use Science, 2019, 14(3): 191-209.
- [8] VERBURG P H, CROSSMAN N, ELLIS E C, et al. Land system science and sustainable development of the earth system: A global land project perspective. Anthropocene, 2015, 12: 29-41.
- [9] 方创琳,任宇飞. 京津冀城市群地区城镇化与生态环境近远程耦合能值代谢效率及环境压力分析. 中国科学: 地球科学, 2017, 47(7): 833-846. [FANG C L, REN Y F. Analysis of emergy-based metabolic efficiency and environmental pressure on the local coupling and telecoupling between urbanization and the eco-environment in the Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. Scientia Sinica: Terrae, 2017, 47(7): 833-846.]
- [10] CARRASCO L R, CHAN J, MCGRATH F L, et al. Biodiversity conservation in a telecoupled world. Ecology and Society, 2017, 22(3): 24, <https://doi.org/10.5751/ES-09448-220324>.

- [11] GREEN J M H, CROFT S A, DURAN A P, et al. Linking global drivers of agricultural trade to on-the-ground impacts on biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2019, 116(51): 26085-26086.
- [12] QUAN Y, WANG C X, YAN Y, et al. Impact of inter-basin water transfer projects on regional ecological security from a telecoupling perspective. *Sustainability*, 2016, 8(2): 162, Doi: 10.3390/su8020162.
- [13] SCHAFFER-SMITH D, TONSCHA S A, JARVIS K J, et al. Network analysis as a tool for quantifying the dynamics of metacoupled systems: An example using global soybean trade. *Ecology and Society*, 2018, 23(4): 3, <https://doi.org/10.5751/ES-10460-230403>.
- [14] BRUCKNER M, FISCHER G, TRAMBEREND S, et al. Measuring telecouplings in the global land system: A review and comparative evaluation of land footprint accounting methods. *Ecological Economics*, 2015, 114: 11-21.
- [15] TONINI F, LIU J G. Telecoupling Toolbox: Spatially explicit tools for studying telecoupled human and natural systems. *Ecology and Society*, 2017, 22(4): 11, <https://doi.org/10.5751/ES-09696-220411>.
- [16] MCCORD P, TONINI F, LIU J G. The telecoupling GeoApp: A Web-GIS application to systematically analyze telecouplings and sustainable development. *Applied Geography*, 2018, 96: 16-28.
- [17] CARLSON A K, ZAEHRINGER J G, GARRETT R D, et al. Toward rigorous telecoupling causal attribution: A systematic review and typology. *Sustainability*, 2018, 10(12): 4426, Doi: 10.3390/su10124426.
- [18] 孙晶, 刘建国, 杨新军, 等. 人类世可持续发展背景下的远程耦合框架及其应用. *地理学报*, 2020, 75(11): 2408-2416. [SUN J, LIU J G, YANG X J, et al. Sustainability in the Anthropocene: Telecoupling framework and its applications. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(11): 2408-2416.]
- [19] 刘海猛, 方创琳, 李咏红. 城镇化与生态环境“耦合魔方”的基本概念及框架. *地理学报*, 2019, 74(8): 1489-1507. [LIU H M, FANG C L, LI Y H. The coupled human and natural cube: A conceptual framework for analyzing urbanization and eco-environment interactions. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(8): 1489-1507.]
- [20] 方创琳, 周成虎, 顾朝林, 等. 特大城市群地区城镇化与生态环境交互耦合效应解析的理论框架及技术路径. *地理学报*, 2016, 71(4): 531-550. [FANG C L, ZHOU C H, GU C L, et al. Theoretical analysis of interactive coupled effects between urbanization and eco-environment in mega-urban agglomerations. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(4): 531-550.]
- [21] 马恩朴, 蔡建明, 郭华, 等. 城市化背景下食物系统耦合研究的理论框架及优先方向. *地理学报*, 2021, 76(10): 2343-2359. [MA E P, CAI J M, GUO H, et al. Theoretical framework and research priorities on food system couplings in an urbanization context. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(10): 2343-2359.]
- [22] 周墨竹, 王介勇. 基于复杂网络的全球稻米贸易格局演化及其启示. *自然资源学报*, 2020, 35(5): 1055-1067. [ZHOU M Z, WANG J Y. Implications from pattern and evolution of global rice trade: A complex network analysis. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(5): 1055-1067.]
- [23] 王祥, 强文丽, 牛叔文, 等. 全球农产品贸易网络及其演化分析. *自然资源学报*, 2018, 33(6): 940-953. [WANG X, QIANG W L, NIU S W, et al. Analysis on global agricultural trade network and its evolution. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(6): 940-953.]
- [24] 王祥, 牛叔文, 强文丽, 等. 实物量与价值量加权的全球农产品贸易网络分析. *经济地理*, 2019, 39(4): 164-173. [WANG X, NIU S W, QIANG W L, et al. Trade network of global agricultural products weighted by physical and value quantity. *Economic Geography*, 2019, 39(4): 164-173.]
- [25] 陈艺文. “一带一路”国家粮食贸易网络演化特征及影响因素研究. 开封: 河南大学, 2020. [CHEN Y W. Study on the evolution characteristics and influencing factors of One Belt and One Road national cereal trade network. Kaifeng: Henan University, 2020.]
- [26] 王介勇, 戴纯, 周墨竹, 等. 全球粮食贸易网络格局及其影响因素. *自然资源学报*, 2021, 36(6): 1545-1556. [WANG J Y, DAI C, ZHOU M Z, et al. Research on global grain trade network pattern and its influencing factors. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1545-1556.]
- [27] 李天祥, 刘星宇, 王容博, 等. 2000—2019年全球猪肉贸易格局演变及其对中国的启示: 基于复杂贸易网络分析视角. *自然资源学报*, 2021, 36(6): 1557-1572. [LI T X, LIU X Y, WANG R B, et al. Dynamics of global pork trade networks during 2000-2019 and its implications for China: A complex network analysis. *Journal of Natural Resources*,

- 2021, 36(6): 1557-1572.]
- [28] 王璐, 刘曙光, 段佩利, 等. 丝绸之路经济带沿线国家农产品贸易网络结构特征. 经济地理, 2019, 39(9): 198-206. [WANG L, LIU S G, DUAN P L, et al. Network structure of agricultural product trade in countries of the Silk Road Economic Belt. *Economic Geography*, 2019, 39(9): 198-206.]
- [29] SUN J, MOONEY H, WU W B, et al. Importing food damages domestic environment: Evidence from global soybean trade. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(21): 5415-5419.
- [30] BICUDO DA SILVA R F, BATISTELLA M, DOU Y, et al. The Sino-Brazilian telecoupled soybean system and cascading effects for the exporting country. *Land*, 2017, 6(3): 53, Doi: 10.3390/land6030053.
- [31] GASPARRI N I, KUEMMERLE T, MEYFROIDT P, et al. The emerging soybean production frontier in Southern Africa: Conservation challenges and the role of South-South telecouplings. *Conservation Letters*, 2016, 9(1): 21-31.
- [32] SUN J, TONG Y X, LIU J G. Telecoupled land-use changes in distant countries. *Journal of Integrative Agriculture*, 2017, 16(2): 368-376.
- [33] YAO G L, HERTEL T W, TAHERIPOUR F. Economic drivers of telecoupling and terrestrial carbon fluxes in the global soybean complex. *Global Environmental Change*, 2018, 50: 190-200.
- [34] GARRETT R D, RUEDA X, LAMBIN E F. Globalization's unexpected impact on soybean production in South America: Linkages between preferences for non-genetically modified crops, eco-certifications, and land use. *Environmental Research Letters*, 2013, 8(4), Doi: 10.1088/1748-9326/8/4/044055.
- [35] HERZBERGER A, CHUNG M G, KAPSAR K, et al. Telecoupled food trade affects pericoupled trade and intracoupled production. *Sustainability*, 2019, 11(10): 2908, Doi:10.3390/su11102908.
- [36] 曹粲然. “一带一路”农产品贸易网络的特征、演化与影响因素研究. 北京: 北京工商大学, 2019. [CAO C R. Research on the characteristics, evolution and influencing factors of agricultural products trade network among the "One Belt, One Road" countries. Beijing: Beijing Technology and Business University, 2019.]
- [37] 杨辉, 林嘉柏, 林佳. 外生冲击下中国大豆产业安全: 现状、挑战与机遇. 大豆科学, 2022, 41(3): 352-357. [YANG H, LIN J B, LIN J. Analysis of China's soybean industry safety under exogenous impact: Current situation, challenges and opportunities. *Soybean Science*, 2022, 41(3): 352-357.]
- [38] 丛海彬, 邹德玲, 高博, 等. “一带一路”沿线国家新能源汽车贸易网络格局及其影响因素. 经济地理, 2021, 41(7): 109-118. [CONG H B, ZOU D L, GAO B, et al. Network patterns and influence factors of new energy vehicle trade along the countries of the Belt and Road. *Economic Geography*, 2021, 41(7): 109-118.]
- [39] 管靖, 宋周莺, 刘卫东. 全球粮食贸易网络演变及其驱动因素解析. 地理科学进展, 2022, 41(5): 755-769. [GUAN J, SONG Z Y, LIU W D. Change of the global grain trade network and its driving factors. *Progress in Geography*, 2022, 41(5): 755-769.]
- [40] 陈艺文, 李二玲. “一带一路”国家粮食贸易网络空间格局及其演化机制. 地理科学进展, 2019, 38(10): 1643-1654. [CHEN Y W, LI E L. Spatial pattern and evolution of cereal trade networks among the Belt and Road countries. *Progress in Geography*, 2019, 38(10): 1643-1654.]
- [41] 谭丹, 马顺甜. 大豆国际贸易格局演化与中国对策. 经济地理, 2022, 42(9): 110-119. [TAN D, MA S T. Evolution of soybean international trade pattern and China's countermeasures. *Economic Geography*, 2022, 42(9): 110-119.]
- [42] 卢昱嘉, 陈秧分, 韩一军. 全球大豆贸易网络演化特征与政策启示. 农业现代化研究, 2019, 40(4): 674-682. [LU Y J, CHEN Y F, HAN Y J. Evolution characteristics and policy implications of the global soybean trade network. *Research of Agricultural Modernization*, 2019, 40(4): 674-682.]
- [43] 刘嗣明, 胡伟博, 涂玮. 中美贸易摩擦对中国大豆进口贸易格局演变的影响. 宁夏社会科学, 2021, (2): 73-81. [LIU S M, HU W B, TU W. Impact of Sino-US trade friction on the evolution of China's soybean import trade pattern. *Ningxia Social Sciences*, 2021, (2): 73-81.]
- [44] 和聪贤. 世界大豆贸易网络格局演变及影响机制研究. 世界农业, 2022, (8): 27-40. [HE C X. Research on pattern evolution and influence mechanism of global soybean trade network. *World Agriculture*, 2022, (8): 27-40.]

Spatio-temporal evolution and influencing factors of international soybean trade network from a telecoupling perspective

YE Wei-yi^{1,2}, MA En-pu^{1,2}, LIAO Liu-wen³, YU Zheng-song⁴

(1. School of Geographical Sciences, Hunan Normal University, Changsha 410081, China; 2. Key Laboratory of Process and Effect of Urban-Rural Transition, Hunan Normal University, Changsha 410081, China; 3. College of Economics and Management, Changsha University, Changsha 410022, China; 4. School of Environment Resources and Tourism Management, Anyang Normal University, Anyang 455000, Henan, China)

Abstract: Based on the international soybean trade relationship matrix for six time sections from 1995 to 2020, this paper identified the telecoupling system of soybean trade and the direction and the intensity of trade flow with the help of social network analysis from the perspective of telecoupling, and analyzed the spatio-temporal evolution characteristics and influencing factors of the international soybean trade network. The results show that: (1) The international soybean trade is becoming more and more widely linked by telecoupling, but the whole is in a weakly connected state. And the network cohesiveness and connectivity are increasing with certain characteristics of a small-world structure. (2) Soybean sending systems are concentrated in a few American countries, soybean receiving systems are numerous and mainly distributed in the Eastern Hemisphere, and developing countries such as India and South Africa have prominent spillover effects as trade intermediary points. With China, Brazil and the United States as the absolute core, the international soybean trade network shows an obvious polarized structure. (3) The cohesive subgroups of the soybean trade network show a spatial evolution of structure from a fragmented collection of small areas to a geopolitical agglomeration of large areas. (4) Geographical distance, manufacturing development level and soybean production area are the core driving factors of soybean trade network evolution. Soybean production area has a significant positive effect on trade volume, and geographical distance has a significant negative effect on trade relationship. However, in the weighted network, the influence of geographical distance is positive, which means that the coupling effect between long-distance systems with complementarity is stronger. (5) There is a positive relationship between soybean expansion area and forest loss area in some trading countries, especially in South American exporters such as Brazil, Paraguay and Bolivia. Soybean trade transfers the pressure of resources and environment from many importers in Asia and Europe to a few exporters in South America.

Keywords: telecoupling; soybean trade network; social network analysis; system; trade flows; spatio-temporal evolution; influencing factors