

全球粮食贸易网络演变及其驱动因素解析

管靖^{1,2}, 宋周莺^{1,2*}, 刘卫东^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要:论文基于全球238个国家和地区的面板数据,研究1988—2018年全球粮食贸易网络的空间格局演变,并引入零膨胀负二项回归构建粮食贸易的引力模型以解析其影响因素,以期揭示全球粮食贸易的驱动因素。结果表明:①全球粮食贸易规模在波动中呈快速上升态势,贸易增速年际波动较大;贸易商品结构不断多元化,但仍以小麦、玉米和大麦为主。②全球粮食贸易网络密度不断增强,局部核心节点存在极化现象,但整体贸易网络多元化趋势不断增强。在国家尺度,粮食贸易网络结构由“东西轴线”转向“多点放射”,逐渐从极化转向多元;其中,粮食出口网络核心节点不断增加,但区域粮食出口网络仍受几个核心国家主导;进口网络的集中特征逐渐弱化且更加均衡。③土地资源禀赋、农业产业结构、对外开放程度是各个国家和地区参与全球粮食贸易的核心驱动因素,价格差异水平、语言邻近性、空间物理距离、社会治理水平对各个国家和地区参与全球粮食贸易有一定影响,其他因素的影响作用较小。该研究能丰富贸易地理相关研究,提升对全球粮食贸易的科学认知,并为保障中国粮食安全提供支撑。

关键词:全球粮食贸易;网络演化;引力模型;零膨胀负二项

粮食一直是影响社会和谐稳定和经济持续发展的核心因素,也是世界各个国家和地区生存与发展的战略保障资源。农产品贸易既是全球贸易网络的重要组成部分,也为全球食物安全和资源可持续利用提供了保障,更是构建人类命运共同体的重要途径之一^[1]。对中国来说,随着经济社会快速发展,粮食需求持续提升、消费结构不断升级,构建良好的粮食进出口贸易网络是关乎国家安全、社会稳定及民生福祉的重大议题。

目前,基于“流空间”视角的粮食贸易网络研究正处于快速发展之中。在研究对象上,已有研究主要涉及实体农产品和虚拟产品2大类。其中,实体农产品相关研究包括对整体农产品的贸易网络研究^[2],以及对谷物、蔬菜、禽畜、经济作物等某类特定

产品的贸易网络分析^[3-7];虚拟产品相关研究主要涉及农产品贸易网络中的价值量、虚拟水、虚拟耕地、虚拟化肥/农药、隐含能源等虚拟要素流动^[8-11]。王祥等^[2]通过实物量和价值量2种贸易网络对比加权研究,发现2类农产品贸易网络具有一定属性差异,但其所反映的主要贸易关系逐步趋同。在研究尺度上,已有研究涉及国家层面的农产品贸易网络分析^[12-13]、中观尺度的“一带一路”沿线、欧盟等区域的粮食贸易网络分析^[14-15],以及宏观尺度的全球农产品贸易网络研究^[16-18]。虽然不同尺度的农产品贸易研究日益丰富,但不同尺度之间的对比分析还相对较少。在研究方法上,已有研究常采用显示性比较优势指数、贸易互补指数、贸易结合度指数、贸易专业化指数等指标^[12,19],也开始应用社会网络分析法、

收稿日期:2021-10-21;修订日期:2022-01-17。

基金项目:国家自然科学基金项目(41871120);中国科学院战略性先导科技专项(XDA20010102)。[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. 41871120; Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences, No. XDA20010102.]

第一作者简介:管靖(1998—),男,广东中山人,博士生,研究方向为经济地理与区域贸易等。E-mail: guan.j20b@igsnrr.ac.cn

*通信作者简介:宋周莺(1983—),女,浙江缙云人,博士,研究员,研究方向为经济地理与区域贸易等。

E-mail: songzy@igsnrr.ac.cn

引用格式: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[J]. 地理科学进展, 2022, 41(5): 755-769. [Guan Jing, Song Zhouying, Liu Weidong. Change of the global grain trade network and its driving factors. Progress in Geography, 2022, 41(5): 755-769.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2022.05.002

引力模型、QAP回归等方法^[20-24]。但这些方法存在一定缺陷,例如传统引力模型在包含大量零值或缺失值的贸易数据运用中会产生有偏估计^[25],QAP回归由于其随机置换不变性的假设以及单一统计量的检验而受到不同质疑^[26-27];随机图模型一定程度上无法反映贸易加权后的网络关系^[28]、易造成信息损失^[29]。也有不少研究开始探讨全球农产品贸易的影响因素。现有研究主要从经济、政治、文化、资源等不同维度入手,重点分析了GDP、贸易水平、关税税率、外交关系、殖民历史、语言文化、自然禀赋、地理距离等不同因素对全球粮食贸易的影响^[22,30-32]。

总体来看,目前对不同尺度全球粮食贸易网络的对比分析仍处于发展之中,而全球粮食贸易网络驱动因素的定量分析还较少。在此背景下,本文基于全球粮食作物的贸易数据,应用社会网络分析法,采用弦图、流程图等可视化形式,深入分析全球238个国家和地区1988—2018年的粮食贸易网络演变态势。为了解决数据中较多零值所导致的有偏估计问题、同时能刻画驱动因素对加权网络的影响程度,本文引入了零膨胀模型的方法,并基于最小二乘、双向固定效应、零膨胀负二项等方法构造引力模型,以揭示1998—2018年全球粮食贸易网络的影响因素,以期为全球粮食贸易发展及中国粮食安全提供一定的科学参考。

1 数据来源和研究方法

1.1 研究对象与数据来源

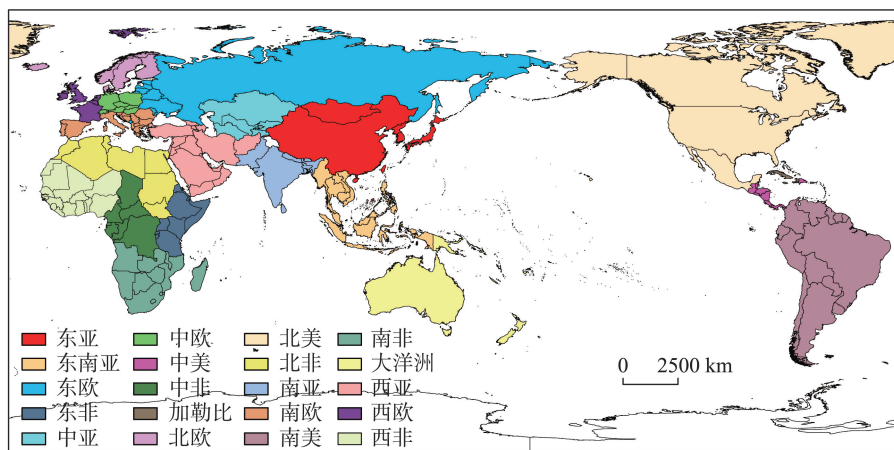
基于联合国粮农组织生产年鉴中对谷物(cere-

als total)的定义,本文选取粮食作物作为研究对象,包括小麦、稻谷、大麦、玉米、黑麦、燕麦、小米、高粱、荞麦、藜麦、黑小麦、根茎类作物、金丝雀藜草、杂粮共14种作物。本文的粮食贸易数据来源于联合国粮农组织,各个国家和地区的经济、自然、社会、文化、制度等数据来源于世界银行数据库、联合国数据库、法国前景研究与国际中心、苏黎世联邦理工学院等。鉴于数据可获性,全球粮食贸易网络演变研究的时间序列为1988—2018年;由于研究时序较长,本文在具体分析中以10 a为间隔进行阶段性分析。网络分析范围为全球238个国家和地区,并根据联合国地理方案将这238个国家和地区划分为20个地理亚区(图1)。由于时间跨度较大,部分国家和地区的边界和版图有较大变化,在研究中以2018年为基准进行统一分析。

1.2 研究方法

1.2.1 社会网络分析法

社会网络分析法(SNA)是基于社会网络理论而量化分析网络中能动者之间关系的有效工具^[33],SNA主要指标、定义、含义及公式见表1。在SNA框架中,国际粮食贸易可以视为由各节点及其间连线所构成的网络系统 $G=(V,E,W)$ 。其中,网络节点 $V=\{1,2,\dots,n\}$ 代表出口地和进口地,节点间连接关系 E 和权重 W 代表两地间的贸易流向和流量。在数量上,可通过联系数量、网络密度等衡量网络关系的紧密程度。在结构上,可利用“中心度”测量某个节点在网络中的“权力”,而通过“中心势”度量网络整体围绕某节点而建构的程度。



注:本图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1665号的标准地图制作,底图无修改,下同。

图1 地理亚区分类

Fig.1 Map of geographical subregions

表1 SNA主要指标、定义、含义及公式

Tab.1 Indicators of SNA and their definitions, meanings and formulas

指标	定义	含义	公式
网络密度	网络实际存在的与理论上限存在的联系总数之比	各节点间联系的紧密程度	$D = \frac{l}{n(n-1)}$
度数中心度	与某一节点直接相连的其他节点个数	节点占据网络核心地位的程度	$C_{i,in} = \sum_{j \in n} a_{ij,in}; C_{i,out} = \sum_{j \in n} a_{ij,out}$
度数中心势	度数中心度最大值与其他节点的度数中心度的差值的总和,与理论上限的差值总和之比	网络整体的中心性程度,即网络向某点集中趋势的程度	$C = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{i,max} - C_i)}{n^2 - 3n + 2}$
中间中心势	中间中心度最大值与其他节点的中间中心度的差值的总和,与理论上限的差值总和之比	特定节点出现于其他点对间最短路径的次数,反映能动者控制网络资源的能力	$C_B = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{AB,max} - C_{AB,i})}{n^3 - 4n^2 + 5n - 2}$
特征向量中心势	与节点及其邻近节点的数量和特征向量中心度的总和成正比	网络向重要节点核心集中的程度	$EC(i) = m^{-1} \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j$

注:表中, l 为网络中实际存在的贸易联系数, n 为网络中节点的数量; $C_{i,in}$ 、 $C_{i,out}$ 分别为点入度和点出度, $a_{ij,in}$ 、 $a_{ij,out}$ 分别表示*i*地从*j*地进口、*i*地出口至*j*地的贸易规模; $C_{i,max}$ 为度数中心度的最大数值,其可替换为点出度或点入度而得到出度中心势或入度中心势,当规模为*n*的网络呈星形网络时,“理论上限的差值总和”为 n^2-3n+2 ; $C_{AB,i}$ 为点*i*的绝对中间中心度,即点*i*相应于网络中全部点对的中间度之和, $C_{AB,max}$ 为其中最大的绝对中间中心度,在规模为*n*的星形网络中,其“差值总和”才能达到“理论上限”,即 n^3-4n^2+5n-2 ; m 为网络*G*对应的邻接矩阵*A*的特征值, a_{ij} 为邻接矩阵*A*中第*i*行*j*列的元素, x_j 为邻接矩阵*A*的特征向量*x*中的第*j*个元素。

1.2.2 引力模型

引力模型最早由 Tinbergen 等学者应用于国际贸易领域,并指出两国的双边贸易规模与各自的经济总量成正比、与它们之间的距离成反比^[34]。本文在引力模型基础上,假设双边粮食贸易流量规模与各国的粮食生产存量成正比、与其间的距离成反比,再引入经济、自然、社会、文化、制度等指标;同时,借鉴随机图模型,将贸易网络视为概率网络^[35],将两节点间是否建立联系视为概率事件的发生与否,将联系规模视为概率事件的累积分布。即在一定时间段内,O地(origin)和D地(destination)间贸易规模*w*可以理解为泊松分布的累积分布函数。但本文贸易流量的方差远大于均值且显著性检验小于0.01,说明二者差异非常显著,不符合泊松分布的前提,应采用负二项分布,即某O和D地间贸易流规模为*r*时,网络具有的全部贸易规模*W*。进而通过概率分布构建拓扑网络与计量模型的衔接基

础,在一定程度上阐释了负二项模型在贸易网络中的适用性。泊松分布、负二项分布的定义及意义见表2。

1.2.3 零膨胀模型

零膨胀模型是一种针对数据零值较多且符合泊松或负二项分布的复合模型^[36-39],其主要原理是运用2类函数处理2个过程^[40-42]。第一类函数为Logit或Probit二元选择模型,主要负责拟合结构零部分,即事件本身从未可能发生而导致零膨胀的额外零数据;同时负责刻画变量对事件发生与否的影响。第二类函数为泊松或负二项模型,可生成抽样零部分,即事件在泊松或负二项分布下而没有发生的零数据;同时负责拟合各变量对事件发生频次的影响。

本文粮食贸易网络的零值占比为48.17%,存在明显零膨胀现象。零膨胀模型能弥补在解析过多零值数据时的不足,使估计结果更有效与无偏^[36],

表2 泊松分布、负二项分布的定义及意义

Tab.2 Definitions and meanings of Poisson distribution and negative binomial distribution

分布	定义	累积分布函数	意义
泊松分布 $X \sim P(p)$	$P(X=w) = \frac{p^w}{w!} e^{-p}$	$P(X \leq w) = \begin{cases} \sum_{i=0}^w \frac{p^i}{i!} e^{-p} & (w \geq 0) \\ 0 & (w < 0) \end{cases}$	在一段固定长度的时间中,O地和D地间发生的贸易规模为 <i>w</i>
负二项分布 $X \sim NB(r,p)$	$P(X=W) = \binom{W-1}{r-1} p^r (1-p)^{W-r}$	$P(X \leq W) = \begin{cases} \sum_{i=0}^W \binom{i-1}{r-1} p^r (1-p)^{i-r} & (W \geq r) \\ 0 & (W < r) \end{cases}$	O和D地间存在一定贸易规模 <i>r</i> 时,网络全部贸易规模为 <i>W</i>

注: $r \leq W \in \{1, 2, 3, \dots\}$, $p \in [0, 1]$ 为网络 $G=(V, E, W)$ 中节点 V 之间发生连接关系 E 的概率。

其混合概率分布为^[43]:

$$\Pr(Y=y) \begin{cases} p + (1-p)(1 + \frac{\lambda}{\tau})^{-\tau} & (y=0) \\ (1-p) \frac{\Gamma(y+\tau)}{y! \Gamma(\tau)} (1 + \frac{\lambda}{\tau})^{-\tau} (1 + \frac{\tau}{\lambda})^{-y} & (y>0) \end{cases} \quad (1)$$

式中: p 为结构零的比例^[41]; τ 为模糊参数, 表示过度离散数。而模型的均值和方差分别为:

$$\begin{aligned} E(Y) &= (1-p)\lambda \\ \text{Var}(Y) &= (1-p)\lambda(1 + p\lambda + \frac{\lambda}{\tau}) \end{aligned} \quad (2)$$

式中: p 和 λ 分别取决于协变量 x_i 和 z_i , 表达式为:

$$\begin{aligned} \ln(\lambda_i) &= x_i' \beta, \\ \text{logit}(p_i) &= \ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = z_i' \gamma \quad (i=1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (3)$$

式中: x_i 和 z_i 分别为一定尺度的特征向量, 在此表示第 i 个协变量; β 和 γ 则为回归方程协相关系数的特征向量^[43]。

2 全球粮食贸易网络的空间演变态势

2.1 全球粮食贸易发展历程

1988—2018年, 全球粮食贸易在波动中呈快速上升态势, 贸易商品结构不断多元化, 但仍以小麦、玉米和大麦为主。如图2所示, 1988—2018年, 全球粮食贸易规模从 187.71×10^6 t 增至 414.46×10^6 t, 年均增速达2.68%。从贸易增速看, 2000年前全球粮食贸易有所波动但整体呈平稳增长态势, 年均增

速为1.88%; 2001—2008年全球粮食贸易在剧烈波动中逐渐增长, 年均增速达2.94%; 2008年后全球粮食贸易开始逐年平稳快速增长。2008—2018年全球粮食贸易规模的年均增速达4.24%, 是1988—1998年贸易年均增速(0.97%)的4.37倍, 全球粮食贸易增速呈上升趋势。从贸易商品结构看, 1988—2018年, 全球粮食贸易商品结构逐渐多元化, 但小麦一直是全球粮食贸易中的主要作物, 其次为玉米、大麦等。特别是2000年之后, 随着发展中国家农业自产水平不断提高, 粮食贸易的需求结构逐渐多元化, 导致小麦在全球粮食贸易中的比重略有下降, 而玉米、大麦的比重有所上升。目前, 全球粮食贸易商品结构仍以小麦和玉米2大核心粮食为主。

2.2 全球粮食贸易网络演变态势

1988—2018年, 全球粮食贸易网络的联系不断增强, 贸易网络的多元化趋势不断增强。首先, 1988—2018年, 全球粮食贸易网络中各节点间的联系数量大幅上升, 说明参与全球粮食贸易的国家和地区数量显著增加。同期, 全球粮食贸易网络的网络密度不断提高, 可见, 全球粮食贸易网络联系愈加紧密, 农业要素在全球的流动规模和配置空间上逐步扩展和深化。其次, 全球粮食贸易网络的集中度有所波动, 但整体较低。如表3所示, 全球粮食贸易网络的出度和入度中心势均较小, 说明全球粮食贸易网络的中心性不明显。1988—2018年, 全球粮食贸易网络的出度中心势均大于入度中心势, 说明

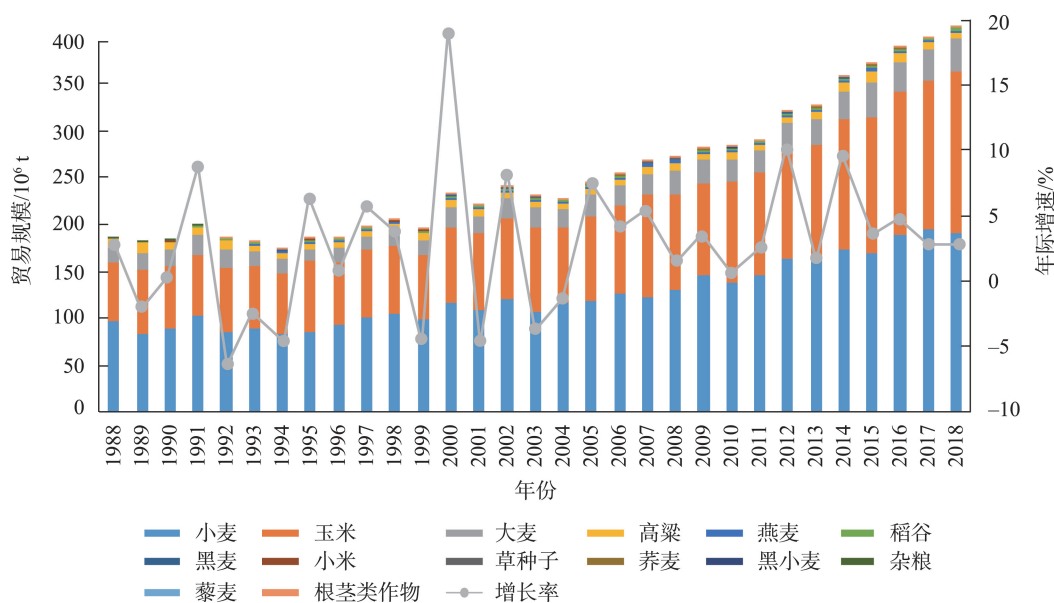


图2 1988—2018年全球粮食贸易量及增速

Fig.2 Volume and growth rate of global grain trade during 1988–2018

粮食出口更大程度上集中于少部分国家和地区,反映全球粮食贸易网络受粮食出口节点的影响更强。同期,粮食贸易网络的入度中心势逐渐下降,说明全球粮食进口的集中特征逐渐弱化,反映全球粮食

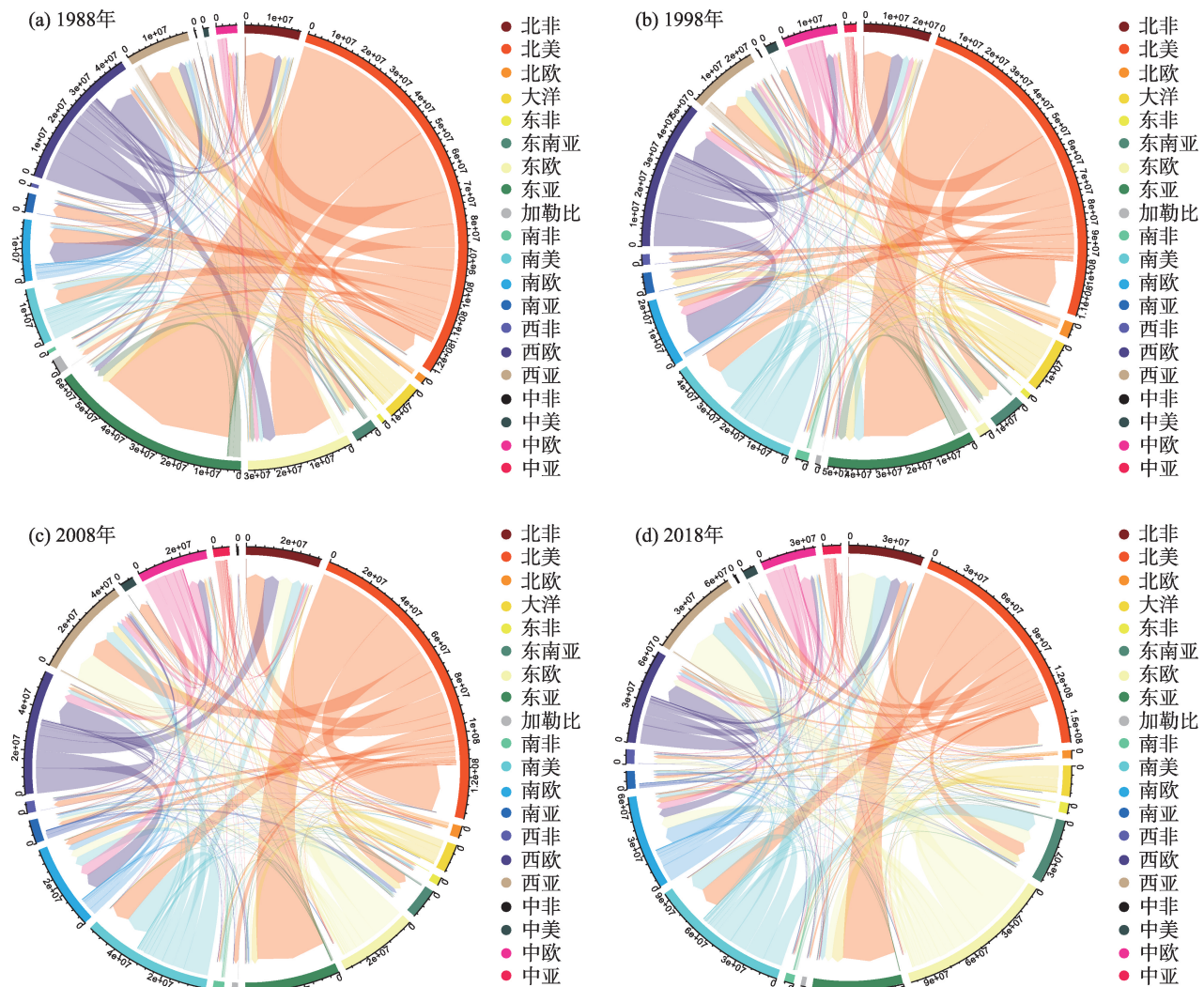
进口国家和地区更趋多元化、网络渐趋均衡。第三,尽管全球粮食贸易网络渐趋多元化,但存在局部集聚的特征。1988—2018年,全球粮食贸易网络的特征向量中心势总体呈波动上升趋势,说明全球粮食贸易网络的集聚核心渐趋多元化;同期,全球粮食贸易网络的中间中心势也呈整体上升态势,说明贸易网络中核心节点的作用逐渐增强,即贸易网络局部渐趋集中。可见,全球粮食贸易网络的节点不断增加,贸易网络渐趋多元化;但也存在局部核心节点主导的极化现象,且其主导能力呈增强态势。

从不同区域看,1988—2018年,全球粮食贸易网络变化明显,北美、西欧、东亚的地位有所下降,而东欧、南美相对上升(图3)。1988年,北美、西欧是全球主要的粮食输出基地,北美粮食出口主要流

表3 1988—2018年全球粮食贸易社会网络分析指标

Tab.3 SNA indicators of the global grain trade network during 1988–2018

指标	1988年	1998年	2008年	2018年
联系数量	1032	1728	2476	3155
网络密度	0.0183	0.0306	0.0439	0.0559
出度中心势/%	1.991	1.684	1.946	1.997
入度中心势/%	0.630	0.557	0.475	0.446
中间中心势/%	4.51	8.54	9.47	8.57
特征向量中心势/%	82.08	102.28	103.69	101.32



注:图中数据为贸易规模(t)。

图3 1988—2018年各大洲粮食贸易网络弦图

Fig.3 The chord diagram of continental grain trade network during 1988–2018

向东亚、东欧;东亚、东欧是主要粮食进口地。这几个区域之间的粮食贸易流是当时粮食贸易网络的主导结构。1998年,北美、东亚、东欧的粮食贸易占比有所下降,而中欧、南美有所上升。北美出口至东亚的粮食贸易占比有所下降,但仍占据主导地位;北美、南美、西欧等洲内粮食贸易仍是国际粮食贸易的重要组成部分。2008年,东亚在全球粮食贸易网络中占比进一步缩小,中欧占比进一步增加;同时,随着东欧粮食贸易规模上升,东欧出口至西亚的贸易流成为仅次于北美至东亚的洲际粮食贸易流。2018年,全球粮食贸易格局更趋多元复杂。北美、东亚的占比进一步下降,东欧进一步增加;北美至东亚的贸易占比再次下降,东欧至西亚不断加强,而南美至东南亚、东欧至北非等贸易流不断成为洲际粮食贸易的重要组成部分。

2.3 国家尺度的粮食贸易网络演变

如图4所示,1988—2018年,各个国家和地区间的粮食贸易联系不断增强,粮食贸易网络从极化转向多元,从“东西轴线”转向“多点放射”。

1988年,全球粮食贸易网络有明显“长尾”特征,其贸易格局显著极化。其中,美国为粮食出口核心国家,占全球粮食出口总量的49.74%;苏联、日本等为粮食进口大国,分别占粮食进口总量的

16.02%和14.38%。在全球粮食贸易网络中(图4a),最核心的“东西轴线”结构主要包括美国至日本(占总贸易流的10.50%)、苏联(8.51%)、中国(6.21%)、韩国(3.22%)、埃及(1.95%)、阿尔及利亚(1.66%)、西班牙(1.37%),及加拿大至中国(3.91%)、苏联(2.31%)等贸易流。同时,以法国为核心出口至意大利、荷兰、苏联等的贸易流也是贸易网络中的重要流向。

1998年,全球粮食贸易网络的极化特征有所减弱,但“东西轴线”结构特征仍较明显。其中,美国、日本仍是全球最主要的粮食出口、进口国家,分别占全球粮食出口、进口总量的36.47%、12.35%。同时,中国成为粮食净出口国家,中国从加拿大(占总贸易流的0.63%)、美国(0.33%)进口的粮食规模大幅下降,并向韩国(1.24%)等出口。另外,由于东欧剧变、苏联解体等国际事件影响,美国至俄罗斯的粮食贸易流快速下跌。1994年正式生效的北美自由贸易协定促使美、加、墨三国间的粮食贸易快速发展。1998年,美国从加拿大(1.97%)进口大量粮食、并大规模出口墨西哥(5.16%),逐渐成为全球粮食贸易网络中的重要贸易流。同期,美国出口至日本(9.07%)、埃及(3.02%)、韩国(2.86%)的贸易流也具有较大规模。此外,阿根廷出口至巴西(3.73%)、日本(1.21%)等的贸易流也达到一定规模,这也是阿根廷

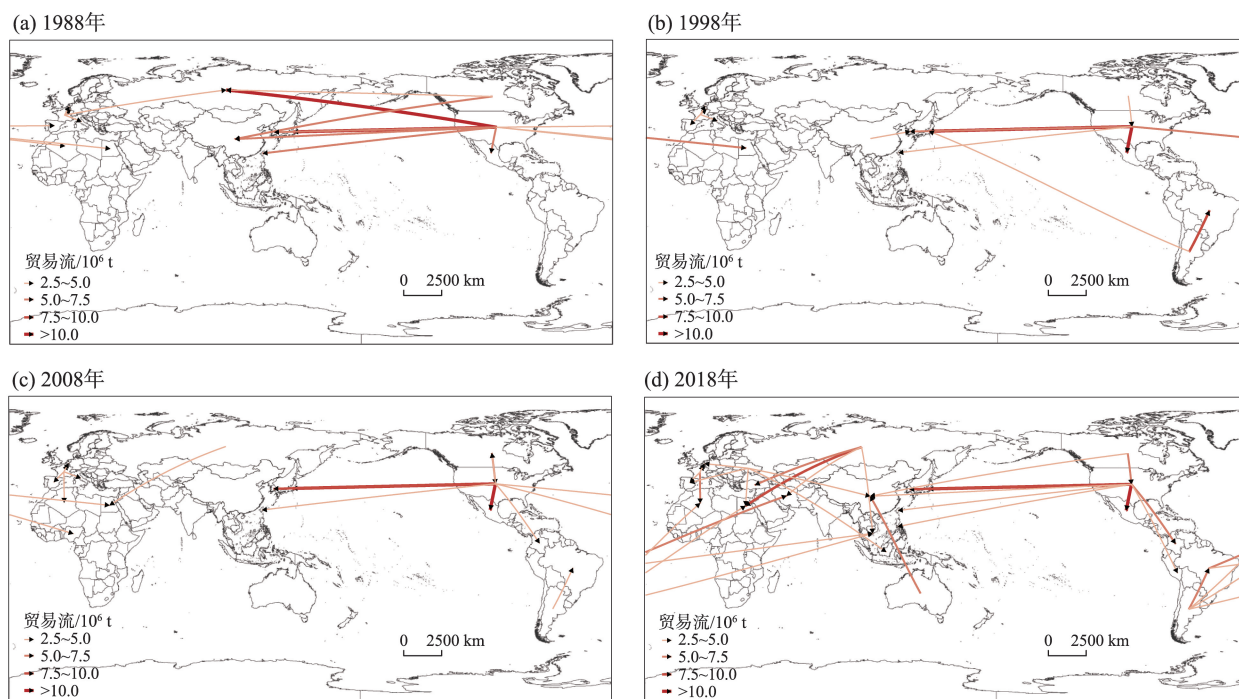


图4 1988—2018年全球粮食贸易流

Fig.4 Global grain trade flows during 1988–2018

获取外汇和缓解债务危机极其重要的途径之一。

2008年,全球粮食贸易网络的极化特征持续减弱,“首位集中”趋势有所缓解。首先,随着俄罗斯、乌克兰等粮食出口规模的增长,美国在全球粮食出口占比降至33.54%;随着日本粮食进口规模的下降及其他国家进口规模的上升,日本在粮食进口贸易网络中的地位也持续下降,占比为8.49%,但仍与墨西哥(5.51%)、埃及(4.52%)位列前三。其次,全球粮食贸易网络逐渐具有转向“多点放射”的趋势。全球粮食贸易网络的核心节点不断增多,主要有美国、阿根廷、法国、俄罗斯、澳大利亚等。如图4c所示,在全球贸易网络中,主要贸易流向包括以美国为核心出口至日本(7.21%)、墨西哥(5.28%)、韩国(3.41%)、埃及(1.68%)、哥伦比亚(1.30%)、加拿大(1.03%)等;以阿根廷为核心出口至巴西(1.66%)、西班牙(0.88%)等;以法国为核心出口至荷兰(1.56%)、阿尔及利亚(1.32%)、比利时(1.19%)、西班牙(1.04%)、意大利(1.04%)等;以俄罗斯为核心出口至埃及(1.16%)、土耳其(0.57%)等。

2018年,全球粮食贸易网络结构及核心节点均发生较大变化,粮食出口网络的“首位集中”进一步削弱,粮食进口网络相对较稳定。首先,俄罗斯、乌克兰、阿根廷等的粮食出口规模快速上升,与美国、法国共同跻身成为全球粮食出口大国,分别占全球粮食出口的13.20%、10.06%、9.11%、23.70%、7.35%;日本仍是最大粮食进口国,中国、越南不断上升成为主要粮食进口国,其分别占全球粮食进口的5.62%、4.14%、3.60%。其次,如图4d所示,美国、加拿大、法国等在粮食贸易网络中依然具有重要地位,俄罗斯、乌克兰、巴西、阿根廷、澳大利亚等也不断成为新的贸易核心,全球贸易网络的核心节点不断多元化。

可见,1988—2018年,全球粮食贸易网络整体由“东西轴线”向“多点放射”发展。其中,粮食出口网络核心节点不断增加但区域出口网络仍受几个核心国家主导,粮食进口国不断增加且更多元,反映全球粮食贸易网络是多元化和极化并存的复杂网络。此外,净出口、净进口国家相对较为稳定,美国、加拿大、阿根廷、澳大利亚、法国等社会经济发达或农业比较优势明显的国家长期为粮食净出口国家,而大部分非洲等欠发达地区长期为粮食净进口国。其中,随着中国粮食产量不断提升、工业化和城镇化的快速发展,中国先从净进口演变为净出

口,再演变为粮食净进口国且对外依赖程度逐渐加剧。

3 全球粮食贸易网络演变的驱动因素

3.1 主要影响因素和模型设定

基于已有文献及前文分析可知,经济发展水平、社会政治稳定、国际组织与自由贸易协定等均可能影响全球粮食贸易网络^[22,31]。粮食不仅是商品,也是生存必需品和国家战略物资,它具有社会、文化、政治、制度等属性,因此,社会水平、文化差异、国际关系等也是影响粮食贸易的重要因素。本文综合考虑上述因素,从经济、自然、社会、文化、制度等方面来分析全球粮食贸易网络演变的驱动因素(表4)。

(1) 经济类因素

已有研究表明,国际贸易与各地经济水平、产业结构、市场规模、开放程度、价格差异等关系密切^[44-49]。综合考虑粮食贸易的特殊性,本文选取人均GDP、农业占比、市场规模、全球化指数、价格水平指数共5个经济指标。其中,人均GDP(perGDP)是衡量国家和地区经济发展水平的最常用指标,预计对粮食贸易具有正向影响。农业增加值占比(Ind)反映农业在当地产业结构中的地位,预计农业增加值占比越大,对外粮食出口越有优势,反之粮食进口额越大。市场规模(POP)可以通过人口数量的消费需求作用于农产品的供需关系,进而影响农产品的进出口贸易,预计市场规模越大,粮食进口需求越大。全球化指数(KOF)综合衡量某个地区参与全球化的水平,能比较准确地反映开放程度在国际贸易中所发挥的影响程度。全球化指数由瑞士苏黎世理工学院经济研究所发布^[50],由经济全球化、社会全球化、政治全球化3个一级指标加权平均而得。价格水平指数(PLI)为购买力平价与汇价之比,用来衡量不同国家之间价格水平的差异程度,体现该地货币与美元之间的比价关系的变动情况,可用于比较农产品价格在各国的高低程度^[49]。本文采用价格水平指数以考虑货币汇价等国际金融因素对价值量刻画粮食进出口量的影响,预计价格水平指数越高,粮食出口额越大而进口额越小。

(2) 自然类因素

根据比较优势理论和要素禀赋理论,本文选取

土地资源禀赋和水资源禀赋共2个自然指标^[24]。其中,土地资源禀赋(Land)以人均耕地面积表示,预计人均耕地面积越大、越具有粮食生产和出口的比较优势,反之,粮食进口额越大。水资源禀赋(Water)以人均可再生内陆淡水资源表示,预计人均可再生内陆淡水资源与粮食出口额呈正相关,与粮食进口额呈负相关。

(3) 社会类因素

粮食生产具有一定的周期性和滞后性,其贸易需要稳定的社会环境支撑,因此,本文选取全球治理指数刻画社会因素的影响。全球治理指数(WGI)由世界银行提出,由话语权与责任、政治稳定、政府效能、监管质量、法律规则、控制腐败共6项指标构成,能较好地刻画社会治理水平对粮食贸易的影响,本文对6项指标使用熵权法求其综合指数。预计WGI综合指数越高的国家和地区,其的粮食出口贸易越发达,反之,则粮食进口需求越大。

(4) 文化、制度类因素

已有研究表明,相近的语言有利于商业沟通和贸易交流;同时,语言文化相近的地区往往具有相似的价值取向和消费观念,有利于促进贸易发展^[51-53]。因此,本文选取语言邻近度(Lan)衡量国家和地区间文化相似度。大量研究表明,国际组织、区域自由贸易协定等在产品市场竞合、贸易壁垒消除、地缘关系稳定等方面也扮演着重要角色^[32,54-56]。因此,本文设置国际组织(FTA)虚拟变量以反映国际贸易的

制度影响。基于全球贸易便利化及自由贸易协定的发展,选取亚太经济合作组织(APEC)、上海合作组织(SCO)、阿拉伯联盟(LAS)、南亚区域合作联盟(SAARC)、欧洲联盟(EU)、东南亚国家联盟(ASEAN)、跨太平洋伙伴关系协定(TPP)、一带一路(BRI)、非洲联盟(AU)、石油输出国组织(OPEC)作为国际组织虚拟变量的划分基准,若贸易两地同属于某一国际组织或倡议,则该虚拟变量为1,若均不属于则为0。

(5) 模型基础因素

根据经典国际贸易理论以及粮食产品的特殊性,选取空间距离(Dis)和粮食作物生产总量(Pro)作为引力模型的基础变量,并预计国际粮食贸易额与空间距离成反比,与粮食作物生产总量成正比。其中,距离通过 ArcGIS 计算各个国家和地区内部重心之间的物理距离。

对各变量进行对数处理以减小异方差的影响,且平均VIF为3.15,整体不存在多重共线性,最终得到指标体系如表4所示。

3.2 引力模型回归与结果分析

由于数据的可获性,本部分仅选取其中201个国家和地区进行分析。为更好地规避不同粮食属性对驱动因素的分析差异以及统一量纲,选取了1998、2003、2008、2013、2018年的粮食贸易价值量,并通过最小二乘OLS(模型1)、双向固定效应(模型2)、零膨胀负二项(模型3)构造引力模型。

表4 全球粮食贸易网络演变驱动因素的指标体系

Tab.4 Indicator system of driving factors for the change of the global grain trade network

因素层	要素层	指标名称	变量简称	预期作用	
				出口地	进口地
经济因素	经济水平	人均GDP(现价美元) ^a	$\ln O_perGDP/\ln D_perGDP$	+	+
	产业结构	农业增加值占GDP比重(^{%)^b}	$\ln O_Ind/\ln D_Ind$	+	-
	市场规模	人口总数(人) ^a	$\ln O_POP/\ln D_POP$		+
	开放程度	全球化指数KOF ^c	$\ln O_KOF/\ln D_KOF$	+	+
	价格差异	价格水平指数 ^a	$\ln O_PLI/\ln D_PLI$	+	-
自然因素	土地资源禀赋	人均耕地面积(hm ² /人) ^b	$\ln O_Land/\ln D_Land$	+	-
	水资源禀赋	人均可再生内陆淡水资源(m ³) ^b	$\ln O_Water/\ln D_Water$	+	-
社会因素	社会治理水平	全球治理指标WGI ^d	$\ln O_WGI/\ln D_WGI$	+	-
文化因素	文化相近性	语言邻近度 ^e	$\ln Lan$		+
制度因素	国际组织	10大贸易自由协定区域	$\ln FTA$		+
模型基础因素	距离	重心间距离(100 km)	$\ln Dis$		-
	存量	14种粮食作物生产总量(t) ^b	$\ln O_Pro/\ln D_Pro$	+	+

注:表中a、b、c、d、e表示数据来源。a.联合国数据库;b.联合国粮农组织;c.苏黎世联邦理工学院;d.世界银行数据库[57];e.法国前景研究与国际中心数据库。变量中O表示出口地,D表示进口地。

模型1结果显示,模型1整体通过显著性检验,较多系数显著且符合预期。进一步根据豪斯曼检验可知,应选择固定效应面板模型。同时,为了通过固定效应消除部分内生性的同时进一步控制年度效应的影响,采用双向固定效应模型(模型2)。结果显示,模型2整体通过显著性检验且 R^2 有所提升,但显著且符合预期的系数有所减少。由于因变量存在较多的零数据,尝试零膨胀负二项回归(模型3)。结果显示, α 的95%置信区间为(0.06,0.07),故可在5%的显著性水平上拒绝“ $\alpha=0$ ”的原假设,即再次验证应使用负二项回归。Vuong 检验显著性 $Pr>z=0$,拒绝原假设,说明采用零膨胀负二项回归比标准负二项回归更好。此外,由AIC和BIC信息准则可知,模型3的AIC和BIC远小于模型2,说明

模型整体得到了显著的优化。因此,本文采用模型3的回归结果进一步分析。

回归结果显示(表5),土地资源禀赋(Land)、农业产业结构(Ind)、对外开放程度(KOF)是影响各个国家和地区参与全球粮食贸易的核心驱动因素;价格差异水平(PLI)、语言邻近性(Lan)、空间物理距离(Dis)、社会治理水平(WGI)对各个国家和地区参与全球粮食贸易也有一定影响;而其他因素的影响作用则相对较小。

(1) 经济类因素

各国经济发展水平(perGDP)对国际粮食贸易额的影响较小。进口地人均GDP每增加1%,则粮食贸易额增加0.018%。可见,若某个国家的经济发展水平越高,国内粮食需求越大,越需要更大规模

表5 模型回归结果
Tab.5 Regression results of the models

变量	模型1:OLS		模型2:双向固定效应		模型3:零膨胀负二项	
	回归系数	z值	回归系数	z值	回归系数	z值
ln O_perGDP	0.257***	9.04	0.352***	7.95	-0.076***	-7.67
ln D_perGDP	0.181***	6.80	0.153***	3.58	0.018**	2.34
ln O_Ind	-0.438	-1.12	3.143***	5.79	-1.064***	-7.48
ln D_Ind	-0.412	-1.27	0.436	0.96	-0.260***	-2.62
ln O_POP	0.588***	41.22	-0.451***	-4.69	0.101***	31.15
ln D_POP	0.354***	25.97	0.269***	2.99	0.099***	31.49
ln O_KOF	0.883***	6.31	0.842***	4.20	0.809***	16.83
ln D_KOF	0.347***	2.77	-0.114	-0.64	-0.010	-0.25
ln O_PLI	0.210***	2.77	0.236***	2.67	0.223***	7.61
ln D_PLI	-0.064	-0.77	-0.220**	-2.19	0.069**	2.34
ln O_Land	4.712***	42.24	3.178***	9.57	1.070***	55.26
ln D_Land	-0.692***	-5.50	0.157	0.45	-0.341***	-13.50
ln O_Water	0.101***	8.05	0.139*	1.81	0.027***	9.47
ln D_Water	0.005	0.47	0.201***	3.54	-0.009***	-3.97
ln O_WGI	0.669***	7.25	0.476***	3.39	0.033	1.18
ln D_WGI	0.413***	4.96	0.418***	3.48	-0.146***	-6.04
ln Lan	2.608***	8.99	0	—	0.219***	4.97
ln FTA	0.739***	15.83	0.685***	12.07	0.046***	3.82
ln Dis	-0.986***	-39.44	0	—	-0.191***	-41.13
ln O_Pro	-0.004	-1.12	0.009**	2.29	0.003*	1.72
ln D_Pro	0.011***	2.83	0.015***	3.81	-0.001	-0.88
常数	-22.400***	-37.44	-8.151***	-2.82	-4.132***	-20.36
N	53797		53797		53797	
R ²	0.0501		0.0600			
AIC			213182.60		79755.85	
BIC			213396.00		79978.17	

注: *、**、***分别代表 $P<0.10$ 、 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 。

的粮食进口。这侧面反映了随着经济水平的提高,产业结构逐渐升级,更需进口粮食以补充国内供给和满足需求,较为符合配第一克拉克定理的理论假设。而出口地人均GDP对国际粮食贸易流具有显著负影响,其每下降1%,粮食贸易额规模将上升0.076%,与预期作用方向不符。当国家发展水平较低时,由于缺乏资金、技术、人才等高级生产要素,更依赖于通过农产品参与国际贸易以支持其他产业的发展,因而人均GDP越低而粮食贸易越高。

产业结构(Ind)是影响全球粮食贸易网络的重要经济因素之一。进口地农业增加值占GDP比重每下降1%,国际粮食贸易额将增加0.260%。可见,某个国家的农业在产业结构中的地位越弱,越需要从国际市场进口粮食以弥补自身农业供给的不足,符合前文假设。但出口地农业增加值占比每下降1%,国际粮食贸易额将增加1.064%,则与预期不符。随着社会经济的演进,部分国家非农产业高速发展、农业增加值占比相对降低,且其对外出口能力逐渐提升,因而形成农业增加值占比越低而对外农产品出口越高的局面。但这种猜想仍需进一步研究。

市场规模(POP)与国际粮食贸易额呈较小正相关。人口数量每增加1%,进口额将增加0.099%。可见,某国的人口数量越多,其农产品市场需求规模越大,使粮食进口额增加。而人口数量每增加1%,粮食出口额将增加0.101%。在一定范围内,人口数量使更多劳动力可投入农业生产,有利于增加农产品数量和质量并带动出口发展。

对外开放程度(KOF)对全球粮食贸易网络具有较大影响。出口地的开放程度每增加1%,粮食贸易流增加0.809%。可见,若某国在经济、政治、文化等方面参与全球化的对外开放程度越大,越有机会和能力进行国际贸易,越可能拥有更大规模的粮食出口额。而进口地开放程度不具有统计学意义上的显著性。

价格差异水平(PLI)对国际粮食贸易也具有一定影响。出口地价格水平指数每增加1%,粮食贸易增加0.223%。可见,若某国价格指数越高,其货币实际购买力越低,即在美国价值1美元的产品等价于在该地价值越多于1美元的产品,越有利于出口贸易,进而倾向于更大规模的粮食出口。但进口地价格水平指数每增加1%,粮食贸易增加0.069%,与预期作用方向不符。

(2) 自然类因素

土地资源禀赋(Land)是全球粮食出口网络的最大影响因素。出口地人均耕地面积每增加1%,粮食贸易额上升1.070%。可见,若某国耕地资源越大,粮食生产的比较优势越大,进而倾向于更大规模的粮食出口。进口地人均耕地面积每下降1%,粮食贸易上升0.341%。可见,若某国缺乏耕地资源,农产品供给缺口越大,越可能进口更大规模的粮食作物。这在一定程度上验证了国家生产并出口具有比较优势的农产品并进口具有比较劣势的农产品的整体趋势,也反映了比较优势理论在全球粮食贸易中具有一定解释力。

水资源禀赋(Water)在全球粮食贸易网络中的影响较小。如表5所示,出口地人均可再生内陆淡水资源每增加1%,国际粮食出口额增加0.027%。进口地人均可再生内陆淡水资源每下降1%,国际粮食进口额增加0.009%。这在一定程度上验证了前文比较优势理论对国际粮食贸易进出口的预期,反映了国际粮食贸易从水资源禀赋较高流向水资源禀赋较低的整体趋势。

这验证了比较优势理论和要素禀赋理论对国际粮食贸易的解析。农业资源禀赋相对丰富的国家在农业生产和出口具有更大的比较优势,而农业资源禀赋相对匮乏的国家和地区倾向于更大规模农产品进口额。此外,出口地自然资源禀赋对粮食贸易额增长的“推力”要显著大于进口地的“拉力”作用,侧面反映自然资源禀赋更大程度上是通过供给端的比较优势而影响国际粮食市场。

(3) 社会类因素

社会治理水平(WGI)对全球粮食贸易网络具有一定的影响。进口地WGI与国际粮食贸易呈显著负相关,其每下降1%,粮食贸易增加0.146%。可见,若某国社会治理水平越低,社会发展和政治环境越动乱,进口粮食以保障民生的需求越大,越促进粮食进口额的增长。而出口地WGI与国际粮食贸易呈正相关但不显著,其每增加1%,粮食贸易将增加0.033%。出口地社会治理水平越高,越有利于进一步促进生产力解放、生产效率提升,提升粮食生产和出口规模。这在一定程度上反映了国际粮食贸易从社会治理较好地区流向社会治理欠佳地区的整体趋势,符合前文假设。

(4) 文化制度类因素

语言(Lan)对全球粮食贸易具有一定影响。语

言邻近度每增加1%,粮食贸易额上升0.219%。可见,若国家之间的语言越接近,贸易交流成本越低,国际粮食贸易规模越大。这在某种程度上反映在全球化深入发展中,语言等文化作用依然发挥着重要作用,验证了前文假设。

制度因素(FTA)对全球粮食贸易网络的影响较小。相比于隶属不同国际组织或协议倡议,同属于某一国际组织或协议倡议国家的粮食贸易额将增加0.046%。可见,若各国共同参与的国际组织或协议倡议越多,贸易平台和协商机制越完善,制度障碍越小,国际贸易规模越大。说明国际组织或协议倡议在降低成员国贸易壁垒、协调贸易关系、畅通农业要素流动等方面仍起到一定作用。

(5) 模型基础因素

空间物理距离(Dis)对国际粮食贸易仍有一定负影响。国家距离每增加1%,粮食贸易规模将下降0.191%。可见,在国际粮食贸易中,随着交通设施的完善和通讯技术的普及,地理距离并未成为首要影响因素,但其空间阻力的作用仍然存在。

粮食作物的生产总量(Pro)对国际粮食贸易的影响整体较弱。国家粮食总量每增加1%,粮食进口额的变化不显著,粮食出口额将增加0.003%。这在一定程度上符合粮食存量越大而贸易流量越大的模型假设和常识预期,但其极小的影响系数也侧面反映了粮食生产格局和粮食贸易格局的分离。

4 结论与建议

4.1 主要结论

本文综合刻画了全球粮食贸易网络的空间格局演变,并引入零膨胀负二项回归定量解析其影响因素。研究发现:① 1988—2018年,全球粮食贸易规模在波动中呈快速上升态势,贸易增速年际波动较大;贸易商品结构不断多元化,但仍以小麦、玉米和大麦为主。② 全球粮食贸易网络联系不断增强,局部核心节点存在极化现象的同时,整体贸易网络多元化趋势不断增强。其中,北美、西欧、东亚等在网络中的地位下降,而东欧、南美等成为新兴粮食贸易出口地而地位有所上升。在国家尺度,各个国家和地区间粮食贸易的相互作用整体增强,粮食贸易网络逐渐从极化转向多元、从“东西轴线”转向“多点放射”,具有多元和局部极化的复杂特征。其中,粮食出口网络核心节点不断增加,但区域粮食

出口网络仍受几个核心国家的主导而具有较强的局部极化现象;进口网络的集中特征逐渐弱化且更加均衡。③ 土地资源禀赋(Land)、农业产业结构(Ind)、对外开放程度(KOF)是影响各个国家和地区参与全球粮食贸易的核心驱动因素;价格差异水平(PLI)、语言邻近性(Lan)、空间物理距离(Dis)、社会治理水平(WGI)对各个国家和地区参与全球粮食贸易也有一定影响;而其他因素的影响作用则相对较小。

4.2 政策建议

基于上述结论,为保障中国粮食贸易安全、促进中国在全球粮食贸易网络中发挥更关键作用,中国应积极利用国内国际两个市场、两种资源,对外建立合作共赢、多元稳定、有序竞争、协商议价的粮食贸易合作网络,对内提高对自然资源禀赋的利用效率,在产业结构转型升级的基础上注重农业的高质量绿色发展,继续提升对外开放水平和层次。

首先,应进一步加强与核心粮食出口国家和地区建立合作共赢和多元稳定的粮食供应网络。可借助“一带一路”、WTO等平台,与美国、俄罗斯、乌克兰、阿根廷等主要出口国构建合作共赢和良好稳定的农贸关系和相关协议,降低贸易壁垒,减少贸易摩擦,以保障粮食供应网络的高效运行;同时要避免美国等少数出口地的“一家独大”,以抵御粮食制裁和垄断溢价。其次,积极研究与核心粮食进口国家和地区建立有序竞争和协商议价的粮食需求网络。在粮食进口网络中,尽管其极化特征逐渐削弱、更加均衡,但中国仍可能面临与日本、墨西哥、埃及等进口大国的粮食竞价。建议依托多边国际组织和规则,构建粮食进口协商机制和议价联盟,打破信息垄断,形成议价合力,以促进粮食需求网络的有序竞争和合理发展,以避免卖方市场的恶性抬价、抵御粮食危机。第三,在国内需要大力支持农业科技的创新研究和推广应用,提高对自然资源禀赋的开发能力和利用效率,延长农产品上下游产业链条,增加农产品附加值,保障合理、高效、绿色、可持续的农业产业结构。同时,进一步提升对外开放水平和层次,增强应对金融、文化、地缘等复杂国际环境能力。第四,通过促进多元文化交流、完善国际物流运输系统、提升社会治理能力,促进粮食贸易的优势要素集聚,推动粮食贸易市场平稳运行,使农业生产和贸易具备良好的国内运行环境和社会支持系统。

参考文献(References)

- [1] 王祥, 强文丽, 牛叔文, 等. 全球农产品贸易网络及其演化分析[J]. 自然资源学报, 2018, 33(6): 940-953. [Wang Xiang, Qiang Wenli, Niu Shuwen, et al. Analysis on global agricultural trade network and its evolution. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(6): 940-953.]
- [2] 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[J]. 经济地理, 2019, 39(4): 164-173. [Wang Xiang, Niu Shuwen, Qiang Wenli, et al. Trade network of global agricultural products weighted by physical and value quantity. *Economic Geography*, 2019, 39(4): 164-173.]
- [3] 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[J]. 自然资源学报, 2020, 35(5): 1055-1067. [Zhou Mozhu, Wang Jieyong. Implications from pattern and evolution of global rice trade: A complex network analysis. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(5): 1055-1067.]
- [4] 董超. 气候变化背景下国际小麦贸易网络动态演化研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2018. [Dong Chao. The research on dynamic evolution of global wheat trade network under climate change. Beijing, China: Beijing Institute of Technology, 2018.]
- [5] 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[J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1557-1572. [Li Tianxiang, Liu Xingyu, Wang Rongbo, 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.]
- [6] 冯梅. 世界棉花贸易网络演变特征及影响因素研究: 基于复杂网络方法与模型[D]. 石河子: 石河子大学, 2017. [Feng Mei. Evolution characteristics and influence factor of the world cotton trade network: Based on the complex network method and model. Shihezi, China: Shihezi University, 2017.]
- [7] Singh S. South Asian agrifood trade networks in India: A case study of onion exports[J]. *Millennial Asia*, 2013, 4(2): 159-184.
- [8] Dalin C, Konar M, Hanasaki N, et al. Evolution of the global virtual water trade network[J]. *PNAS*, 2012, 109(16): 5989-5994.
- [9] 汪艺晗, 杨谨, 刘其芸, 等. “一带一路”国家粮食贸易下虚拟水和隐含能源流动[J]. 资源科学, 2021, 43(5): 974-986. [Wang Yihan, Yang Jin, Liu Qiyun, et al. Virtual water and embodied energy transfer in grain trade across the countries along the "Belt and Road". *Resources Science*, 2021, 43(5): 974-986.]
- [10] 韩雪, 梁璇, 王倩. 中国主要农产品虚拟要素贸易网络结构特征分析[J]. 生态学报, 2020, 40(11): 3851-3865. [Han Xue, Liang Xuan, Wang Qian. Analysis on the structure characteristics of virtual elements trading network in major crops trade of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(11): 3851-3865.]
- [11] 朱智铭, 李秀琴, 黄永春. “一带一路”沿线国家粮食虚拟水贸易网络研究[J]. 资源与产业, 2020, 22(3): 31-42. [Zhu Zhiming, Li Xiuqin, Huang Yongchun. Provision-virtualized water trading network along "the Belt and Road". *Resources & Industries*, 2020, 22(3): 31-42.]
- [12] 李旻晶, 陈洋洋. 中美粮食贸易结构分析与建议[J]. 农业经济, 2020(6): 124-126. [Li Minjing, Chen Yangyang. Analysis and recommendations on the structure of grain trade between China and the United States. *Agricultural Economy*, 2020(6): 124-126.]
- [13] 于晓华, 刘畅, 张国政. 国际粮食贸易背景下的市场整合与虚拟资源流动: 以中国巴基斯坦大米市场为例[J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1505-1520. [Yu Xiaohua, Liu Chang, Zhang Guozheng. Market integration and virtual flow of resources under the background of international food trade: Evidence from China-Pakistan rice market. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1505-1520.]
- [14] 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, 41(8): 24-40. [Han Dong, Li Guangsi. Research on the evolution and the influence mechanism of grain trade pattern between China and countries along "the Belt and Road": From the perspective of social network. *Issues in Agricultural Economy*, 2020, 41(8): 24-40.]
- [15] 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[J]. 经济地理, 2019, 39(9): 198-206. [Wang Lu, Liu Shuguang, Duan Peili, et al. Network structure of agricultural product trade in countries of the Silk Road economic belt. *Economic Geography*, 2019, 39(9): 198-206.]
- [16] 马述忠, 任婉婉, 吴国杰. 一国农产品贸易网络特征及其对全球价值链分工的影响: 基于社会网络分析视角[J]. 管理世界, 2016(3): 60-72. [Ma Shuzhong, Ren Wanwan, Wu Guojie. The characteristics of agricultural trade network and its effects on the global value chain division: A study based on social network analysis. *Management World*, 2016(3): 60-72.]
- [17] 聂常乐, 姜海宁, 段健. 21世纪以来全球粮食贸易网络空间格局演化[J]. 经济地理, 2021, 41(7): 119-127. [Nie Changle, Jiang Haining, Duan Jian. Spatial pattern

- evolution of global grain trade network since the 21st Century. *Economic Geography*, 2021, 41(7): 119-127.]
- [18] 和聪贤, 李秀香. 世界粮食贸易网络结构特征与中国地位变迁研究 [J]. 世界农业, 2021(5): 64-78. [He Congxian, Li Xiuxiang. Study on the structural characteristics of world grain trade network and the transition of China's status. *World Agriculture*, 2021(5): 64-78.]
- [19] 别诗杰. 中国与“一带一路”国家农产品贸易网络结构及其影响因素分析 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2019. [Bie Shijie. Analysis on trade network structure of agricultural products between China and countries along "the Belt and Road" and its influencing factors. Wuhan, China: Huazhong Agricultural University, 2019.]
- [20] 谢涛. 中国与“一带一路”沿线国家农产品出口贸易影响因素研究 [J]. 世界农业, 2017(3): 132-138. [Xie Tao. Study on the factors influencing the export trade of agricultural products of China and the countries along "the Belt and Road". *World Agriculture*, 2017(3): 132-138.]
- [21] Vollrath T L, Hallahan C B, Gehlhar M J. Consumer demand and cost factors shape the global trade network in commodity and manufactured foods [J]. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 2006, 54(4): 497-511.
- [22] 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 [J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1545-1556. [Wang Jieyong, Dai Chun, Zhou Mozhu, et al. Research on global grain trade network pattern and its influencing factors. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1545-1556.]
- [23] 韩冬, 李光泗, 钟钰. “一带一路”沿线国家粮食贸易网络核心结构演变及中国的粮食政策响应 [J]. 农村经济, 2021(5): 11-21. [Han Dong, Li Guangsi, Zhong Yu. The evolution of the core network structure of the grain trade in the countries along the "One Belt and One Road" and China's response on grain policy. *Rural Economy*, 2021(5): 11-21.]
- [24] 魏素豪. 中国与“一带一路”国家农产品贸易: 网络结构、关联特征与策略选择 [J]. 农业经济问题, 2018, 39(11): 101-113. [Wei Suhao. Agricultural products trade between China and "the Belt and Road" countries: Network structure, correlation characteristics and strategy selection. *Issues in Agricultural Economy*, 2018, 39(11): 101-113.]
- [25] Haq Z U, Meilke K, Cranfield J. Selection bias in a gravity model of agrifood trade [J]. *European Review of Agricultural Economics*, 2013, 40(2): 331-360.
- [26] Anderson M J, Legendre P. An empirical comparison of permutation methods for tests of partial regression coefficients in a linear model [J]. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 1999, 62(3): 271-303.
- [27] Dekker D, Krackhardt D, Snijders T A B. Sensitivity of MRQAP tests to collinearity and autocorrelation conditions [J]. *Psychometrika*, 2007, 72(4): 563-581.
- [28] 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, 179-180. [Liu linqing, Yan Xiaofei. Research on the formation mechanism of clustered structure with multi-hubs of the international cereal trade network. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2021(4): 47-59, 179-180.]
- [29] 苗文. 中国人口流动网络现状与形成机制研究: 基于指数随机图模型的分析 [D]. 临汾: 山西师范大学, 2019. [Miao Wen. A research on the current situation and formation mechanism of China's population mobility network: Based on ERGMs. Linfen, China: Shanxi Normal University, 2019.]
- [30] 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 [J]. 地理科学进展, 2019, 38(10): 1643-1654. [Chen Yiwen, Li Erling. Spatial pattern and evolution of cereal trade networks among the Belt and Road countries. *Progress in Geography*, 2019, 38(10): 1643-1654.]
- [31] 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 [D]. 北京: 北京工商大学, 2019. [Cao Canran. Research on the characteristics, evolution and influencing factors of agricultural products trade network among the "One Belt, One Road" countries. Beijing, China: Beijing Technology and Business University, 2019.]
- [32] 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 [D]. 开封: 河南大学, 2020. [Chen Yiwen. Study on the evolution characteristics and influencing factors of one belt and one road national cereal trade network. Kaifeng, China: Henan University, 2020.]
- [33] 虞洋, 宋周莺, 史坤博. 基于百度指数的中国省域间信息联系网络格局及其动力机制 [J]. 经济地理, 2019, 39(9): 147-155. [Yu Yang, Song Zhouying, Shi Kunbo. Network pattern of inter-provincial information connection and its dynamic mechanism in China: Based on Baidu index. *Economic Geography*, 2019, 39(9): 147-155.]
- [34] Leibenstein H. Shaping the world economy: Suggestions for an international economic policy [J]. *The Economic Journal*, 1966, 76: 92-95.
- [35] 许和连, 孙天阳, 成丽红. “一带一路”高端制造业贸易格局及影响因素研究: 基于复杂网络的指数随机图分析 [J]. 财贸经济, 2015(12): 74-88. [Xu Helian, Sun Tianyang, Cheng Lihong. Trade patterns and influence factors of high-end manufacturing on "one belt and one

- road": A study based on the exponential random graph models. *Finance & Trade Economics*, 2015(12): 74-88.]
- [36] 王存同. 零膨胀模型在社会科学实证研究中的应用: 以中国人工流产影响因素的分析为例 [J]. *社会学研究*, 2010, 25(5): 130-148, 245. [Wang Cuntong. Zero-inflated Poisson/Negative Binomial Modeling for Sociologists: Based on the analysis of induced abortion in China. *Sociological Studies*, 2010, 25(5): 130-148, 245.]
- [37] Mullahy J. Specification and testing of some modified count data models [J]. *Journal of Econometrics*, 1986, 33 (3): 341-365.
- [38] Lambert D. Zero-inflated Poisson regression, with an application to defects in manufacturing [J]. *Technometrics*, 1992, 34(1): 1-14.
- [39] Greene W H. Accounting for excess zeros and sample selection in poisson and negative binomial regression models [R]. New York University Working Paper, No. EC-94-10. New York, USA: New York University, 1994.
- [40] 雷渊才, 张雄清. 长白落叶松林分进界模型的研究 [J]. *林业科学研究*, 2013, 26(5): 554-561. [Lei Yuancan, Zhang Xiongqing. Tree recruitment model of *larix olgensis*. *Forest Research*, 2013, 26(5): 554-561.]
- [41] 徐昕, 袁卫, 孟生旺. 零膨胀负二项回归模型的推广与费率厘定 [J]. *系统工程理论与实践*, 2012, 32(1): 127-133. [Xu Xin, Yuan Wei, Meng Shengwang. Generalization of zero-inflated negative binomial regression model and ratemaking. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2012, 32(1): 127-133.]
- [42] 曹臻, 罗剑朝. 农户对农地经营权抵押贷款响应及其影响因素: 基于零膨胀负二项模型的微观实证分析 [J]. *中国农村经济*, 2015(12): 31-48. [Cao Li, Luo Jianchao. Farmers' response to mortgage loan of agricultural land management right and its influencing factors: A micro empirical analysis based on zero inflation negative binomial model. *Chinese Rural Economy*, 2015(12): 31-48.]
- [43] 郭福涛, 胡海清, 金森, 等. 基于负二项和零膨胀负二项回归模型的大兴安岭地区雷击火与气象因素的关系 [J]. *植物生态学报*, 2010, 34(5): 571-577. [Guo Futao, Hu Haiqing, Jin Sen, et al. Relationship between forest lighting fire occurrence and weather factors in Daxing'an Mountains based on negative binomial model and zero-inflated negative binomial models. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(5): 571-577.]
- [44] 戴卓. 国际贸易网络结构的决定因素及特征研究: 以中国东盟自由贸易区为例 [J]. *国际贸易问题*, 2012(12): 72-83. [Dai Zhuo. Determinants and characteristics of international trade network structure: An example about China-ASEAN free trade area. *Journal of International Trade*, 2012(12): 72-83.]
- [45] 曾寅初, 吴金炎, 夏薇. 农产品国际贸易争端及其影响因素的实证研究 [J]. *世界经济研究*, 2007(3): 50-54, 88. [Ceng Yanchu, Wu Yan, Xia Wei. What makes for international agricultural trade disputes? An empirical study. *World Economy Studies*, 2007(3): 50-54, 88.]
- [46] 洪俊杰, 商辉. 国际贸易网络枢纽地位的决定机制研究 [J]. *国际贸易问题*, 2019(10): 1-16. [Hong Junjie, Shang Hui. The determination mechanism of centrality in international trade networks. *Journal of International Trade*, 2019(10): 1-16.]
- [47] Henderson V, Squires T, Storeygard A, et al. The global distribution of economic activity: Nature, history, and the role of trade [J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2018, 133(1): 357-406.
- [48] Dal Bianco A, Boatto V L, Caracciolo F, et al. Tariffs and non-tariff frictions in the world wine trade [J]. *European Review of Agricultural Economics*, 2016, 43(1): 31-57.
- [49] 宋海英. 中国—拉美农产品贸易的影响因素: 基于引力模型的实证分析 [J]. *农业经济问题*, 2013, 34(3): 74-78, 112. [Song Haiying. An empirical analysis of influence factors of China's agricultural trade with Latin America: Based on gravity model. *Issues in Agricultural Economy*, 2013, 34(3): 74-78, 112.]
- [50] Gygli S, Haelg F, Potrafke N, et al. The KOF globalisation index: Revisited [J]. *The Review of International Organizations*, 2019, 14(3): 543-574.
- [51] 苏剑, 葛加国. “一带一路”倡议背景下双边贸易的语言效应: 抑制还是促进 [J]. *学术月刊*, 2018, 50(9): 74-80, 55. [Su Jian, Ge Jiaguo. The effect of the language for one Belt and Road initiative strategy: Barrier or promotion. *Academic Monthly*, 2018, 50(9): 74-80, 55.]
- [52] Isphording I E, Otten S. The costs of Babylon—linguistic distance in applied economics [J]. *Review of International Economics*, 2013, 21(2): 354-369.
- [53] Lohmann J. Do language barriers affect trade? [J]. *Economics Letters*, 2011, 110(2): 159-162.
- [54] 齐欣, 孙凤洋. WTO深度发展与国际贸易: 基于政府采购协定视角的经验分析 [J]. *经济社会体制比较*, 2020 (3): 141-152. [Qi Xin, Sun Fengyang. The depth development of WTO and international trade: A study based on the perspective of government procurement agreement. *Comparative Economic & Social Systems*, 2020(3): 141-152.]
- [55] Subramanian A, Wei S J. The WTO promotes trade, strongly but unevenly [J]. *Journal of International Economics*, 2007, 72(1): 151-175.
- [56] Dutt P, Mihov I, van Zandt T. The effect of WTO on the

- extensive and the intensive margins of trade [J]. *Journal of International Economics*, 2013, 91(2): 204-219.
- [57] Kraay A, Kaufmann D, Mastruzzi M. The worldwide governance indicators: Methodology and analytical issues [R]. World Bank policy research working paper No. 5430. World Bank, 2010. doi: 10.1596/1813-9450-5430.

Change of the global grain trade network and its driving factors

GUAN Jing^{1,2}, SONG Zhouying^{1,2*}, LIU Weidong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on the panel data of 238 countries and regions, this study examined the change of the spatial pattern of the global grain trade network at different scales from 1988 to 2018. The zero-inflated negative binomial was introduced to construct the gravity model for analyzing the driving factors of the global grain trade network. The results show that: 1) The scale of the global grain trade showed a rapid fluctuating rising trend, while the growth rate of trade fluctuated greatly between years. The structure of trade commodities was constantly diversified but is still dominated by wheat, corn, and barley. 2) The density of the global grain trade network is increasing, with polarization of some core nodes and increasing diversification of the overall trade network. For example, the position of North America, Western Europe, East Asia, and so on, in the grain trade network is relatively declining, while the position of Eastern Europe, South America, and so on, has increased. On the national scale, the interaction of grain trade among countries and regions has enhanced, as the structure of the grain trade network has changed from an "east-west axis" to "multi-point radiation" with a gradual shift from polarization to pluralism. Although the number of core nodes in the grain export network is increasing, regional grain export networks are still dominated by only several key countries and show a strong local polarization phenomenon, while the centralized characteristics of import networks are gradually weakened and more balanced. 3) Natural endowment of land resources, the structure of agriculture, and the degree of opening up to the outside world are the core driving factors for countries and regions to participate in the global grain trade network. The levels of price differences, language proximity, spatial distance, and societal governance also have a certain impact on the participation of countries and regions in the global grain trade network. The influence of other factors is relatively small.

Keywords: global grain trade; spatial change of trade network; gravity model; zero-inflated negative binomial