

引用格式: 强文丽, 张翠玲, 刘爱民, 等. 全球农产品贸易的虚拟耕地资源流动演变及影响因素[J]. 资源科学, 2020, 42(9): 1704-1714. [Qiang W L, Zhang C L, Liu A M, et al. Evolution of global virtual land flow related to agricultural trade and driving factors [J]. Resources Science, 2020, 42(9): 1704-1714.] DOI: 10.18402/resci.2020.09.06

全球农产品贸易的虚拟耕地资源流动演变及影响因素

强文丽¹, 张翠玲¹, 刘爱民², 成升魁², 王祥¹, 李凡¹

(1. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:为定量探讨农产品贸易的耕地资源效应, 本文在核算1986—2016年全球农产品贸易隐含耕地资源量的基础上, 揭示了全球虚拟耕地资源流动演变特征; 采用贸易引力模型, 分析了影响全球虚拟耕地流动演变的因素。结果表明: ①1986—2016年全球农产品贸易导致的虚拟耕地资源流动量增长1.74倍, 虚拟耕地输出国(地区)主要集中在耕地资源充裕国家(地区), 且输出量迅速增加, 虚拟耕地输入国(地区)则主要为人均耕地资源较低或经济发展迅速的国家(地区)。②从社会经济、资源禀赋及区域关联选取相应指标对虚拟耕地流动演变的影响因素分析表明, 人口规模、人均收入、贸易协定对虚拟耕地流动具有显著促进作用, 其中, 人均收入增长对经济发展程度不同的国家(地区)影响具有显著差异; 输入国(地区)土地和水资源禀赋对其虚拟耕地流动具有显著的负效应, 贸易国(地区)之间的地理距离对虚拟耕地流动具有显著的负效应。中国自2004年开始成为全球最大的虚拟耕地净输入国, 作为耕地资源绝对稀缺国家, 随着中国人均收入的提高、人均农业资源短缺的加剧, 虚拟耕地资源输入量将持续增加, 应采取相应措施, 保障虚拟耕地的可持续供给。

关键词: 演变; 影响因素; 虚拟耕地资源; 农产品贸易; 贸易引力模型; 全球

DOI: 10.18402/resci.2020.09.06

1 引言

在人口增加、饮食结构变化、生物燃料发展等因素的推动下, 全球农产品需求量持续增加。但是, 过去40年, 大多数国家的食物自给率未发生显著变化, 依靠贸易实现农产品供求平衡的国家不断增加^[1-3]。在全球耕地资源稀缺程度加剧的背景下, 农产品贸易逐渐成为耕地资源重新分配的主要途径^[4], 也是世界范围内农业扩张和生产分布变化的主要驱动力^[5]。尤其随着发展中国家的经济发展、城市化进程加快和饮食结构变化, 由贸易引发的全球范围内土地资源利用的空间错位现象进一步增大^[5], 大规模农产品贸易背后的资源环境效应日益受到关注^[6-8]。

近年来, 全球范围内农产品贸易隐含的耕地资

源流动量正快速增加^[8]。1987—2008年, 全球贸易隐含的耕地资源量由1.78亿 hm^2 增至2.72亿 hm^2 , 占全球耕地面积比重由15.2%增加为20.1%^[9], 其中, 食物贸易隐含的土地资源约占全球耕地和草地面积的13%, 耕地资源丰富的国家, 如阿根廷、加拿大及澳大利亚每年出口农产品隐含的土地面积占其作物种植面积的70%~83%^[10]; 耕地稀缺国家通过进口农产品缓解其耕地压力, 如芬兰每年耕地供给量的41%来自于进口^[11], 1960—2003年菲律宾的耕地对外依存度由10%增加为30%^[12]。由于消费结构的升级, 中国也已经由耕地净出口国转变为净进口国, 2016年中国作物类农产品进口隐含的耕地资源量占总供给量的比重达30%^[13]。

收稿日期: 2019-10-11; 修订日期: 2020-5-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFC0704701); 国家自然科学基金项目(41801192); 中国科学院重点部署项目(ZDBS-SSW-DQC)。

作者简介: 强文丽, 女, 甘肃白银人, 博士, 副教授, 研究方向为自然资源流动及效应评估。E-mail: qiangwl@lzu.edu.cn

通讯作者: 刘爱民, 男, 山东临邑人, 博士, 副研究员, 研究方向为农业资源管理。E-mail: liuam@igsrr.ac.cn

2020年9月

关于农产品贸易影响因素的相关研究主要侧重于两个视角。一是以贸易额或贸易量为因变量,从经济发展、市场规模、距离及贸易畅通性等社会经济因素揭示全球或区域间农产品贸易的影响因素^[14-16],但这类研究一般未考虑资源禀赋的影响。二是从虚拟资源流动视角,以农产品贸易隐含的资源量作为因变量,反映贸易背后的资源价值,但此类研究多集中于对农产品贸易隐含的水资源流动的驱动因素分析^[17-20],对耕地跨区域配置影响因素的研究主要以定性分析为主^[5,21,22]。实证研究中,也仅考虑了人均收入、人均生物量生产面积及国土面积等变量的影响^[23]。已有研究为反映农产品贸易的内在机制和水资源管理等方面提供了理论依据,但难以全面反映农产品背后的资源效应。尤其是耕地资源的不可更新和实体上的不可移动等属性,使得以虚拟耕地资源流动的视角分析农产品贸易背后驱动机制的必要性凸显。

因此,为定量揭示全球农产品贸易隐含的虚拟耕地资源量变化及影响因素,本文在对1986—2016年全球农产品贸易隐含耕地资源贸易特征进行分析的基础上,从社会经济、资源禀赋及区域关联等方面,对全球各国(地区)间农产品贸易隐含的虚拟耕地流动演变的驱动因素进行定量分析。

2 研究方法、变量选取与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 耕地资源核算

由于农产品贸易既包括初级产品(小麦、玉米),也包括加工制品(植物油、糖等)(表1)。本文参照强文丽等^[8]的测算方法,对初级产品直接使用贸易量及单位产品量隐含的耕地资源量来测算,而加工制品采用热量当量法和产品树法进行测算。

单位农产品的生产土地面积需求量因作物种类和生产地的不同而存在较大差异。目前的量化方法主要包括生产者视角和消费者视角两种^[8],前者可以反映贸易过程中隐含的实际耕地资源量,后者能够得出进口国采用进口替代所能节约的耕地资源量。为反映农产品贸易实际耕地量的跨区域配置,本文采用生产者视角,即出口国生产该产品所需要的耕地资源量。测算公式如下:

表1 全球农产品贸易主要类别及其对应初级农产品种类

Table 1 Product categories and primary products of global agricultural trade	
农产品类别	农产品种类
谷物	小麦、玉米、稻米、小米、大麦、荞麦、高粱、燕麦、黑麦
油料	大豆、油棕榈、花生、向日葵、亚麻籽、油菜籽、芝麻、油橄榄
纤维	皮棉、黄麻、剑麻、苧麻、亚麻
糖料	甘蔗、甜菜
薯类	木薯、马铃薯、甜薯、山药、根和块茎
果蔬	苹果、菠萝、草莓、桃子、西瓜、香蕉、樱桃、梨、芒果、猕猴桃、木瓜、柠檬、葡萄、杏子、牛油果、蓝莓、无花果、橙子、李子、大蒜、洋葱、西红柿、萝卜、西兰花、黄瓜、茴芹、生姜、卷心菜、辣椒、竹笋、生菜、茄子、豆类
嗜好类	茶叶、咖啡、可可
畜禽类	猪肉、牛肉、羊肉、鸡肉、牛奶及其制品

$$VLT = C_p \sum_{h=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{E_{h,i,j}}{Y_{h,i}} \quad (1)$$

式中: VLT 表示由国家(地区) i 流动到国家(地区) j 的虚拟耕地资源量; C_p 为贸易产品转换为初级产品的转换因子,对初级产品而言,该值为1,对于加工制品而言,该值基于热量当量法(食物类)及产品树法(非食物类)进行取值; m 为贸易产品的数量,取值为1~291; n 为贸易参与国家或地区,取值为1~254; $E_{h,i,j}$ 为出口国(地区) i 到进口国(地区) j 的产品 h 的贸易量,单位为 t ; $Y_{h,i}$ 为出口国(地区) i 生产单位产品 h 所需的耕地资源量,单位为 hm^2/t 。对于畜禽产品,本文参照Hoekstra^[24]的方法进行测算;对于进口原材料、深加工后再出口的产品(巧克力、可可脂等),由于该类产品的原料产地较难追溯且在贸易中所占比重较小,为避免重复计算,该产品未列入计算。此外,对畜禽产品,本文仅考虑种植相应的饲料作物所需的耕地面积。

2.1.2 引力模型

引力模型已被广泛应用于国际贸易的驱动因素分析研究^[19,20,25],但以往研究多采用截面数据,为提高模型的估计准确性及消除变量间的相关性,本文综合采用面板数据及引力模型分析农产品贸易隐含耕地资源流动量变化的影响因素。同时,由于双边贸易数据中存在大量的零值,使用传统的OLS方法会出现参数偏差,因此,本文采用泊松伪极大似然估计法(PPML)进行参数估计^[26]。本文使用的

引力模型形式如下：

$$\begin{aligned}
VLT_{ijt} = & \beta_1 \ln(Pop_{it}) + \beta_2 \ln(Pop_{jt}) + \beta_3 \ln(Gdp_{it}) + \\
& \beta_4 \ln(Gdp_{jt}) + \beta_5 \ln(Dis) + \beta_6 Con + \beta_7 RTA + \\
& \beta_8 \ln(Land_{it}) + \beta_9 \ln(Land_{jt}) + \beta_{10} \ln(Water_{it}) + \\
& \beta_{11} \ln(Water_{jt}) + \alpha_i + \alpha_j + \delta_i + \mu_t
\end{aligned}
\tag{2}$$

式中： i 与 j 分别表示出口国(地区)及进口国(地区)； t 表示年份；因变量 VLT_{ijt} 表示年份 t 由输出国(地区) i 流动到输入国(地区) j 的耕地资源量； Pop 表示人口数量， Gdp 代表人均GDP； Dis 表示贸易国(地区)之间的地理距离，使用各国(地区)首都距离测度； Con 表示两国(地区)之间是否相邻； RTA 代表贸易国(地区)是否加入同一区域贸易协定； $Land$ 表示农用地面积； $Water$ 代表人均可更新淡水资源量。

2.2 变量选取

(1) 人口和经济发展

人口数量代表了贸易国家(地区)的消费规模，而人均GDP则可以反映一个国家(地区)的消费水平。人口增长会引起农产品需求总量的增加，造成贸易国(地区)耕地输出量的减少和输入量的增加。经济增长及收入增加会导致食物消费结构的变化，尤其对发展中国家而言，收入增长对脂肪类

和蛋白类食物消费量的增加具有显著的促进作用。已有研究表明，人均收入增加一倍，土地资源面积需求量增长1/3^[23]。同时，一个国家(地区)的经济实力也代表了其进口农产品实现耕地账户平衡的能力^[27]。因此，为定量测度人口和经济发展对耕地跨区域流动的影响，本文引入变量人口数量(Pop)和人均GDP(Gdp)。

(2) 农业资源禀赋

充裕的水土资源禀赋是虚拟耕地资源输出的基本条件。对于空间上不可移动的耕地资源而言，其跨区域配置必须通过农产品贸易实现。从贸易结构上来看，耕地资源或水资源紧缺的国家(地区)更倾向于缩减其耕地密集型及水资源密集型农产品的种植面积，通过进口满足需求；而对水土资源充裕国家而言，出口水土资源效率高的农产品可以使其在贸易中获利^[28]。由图1可以看出，人均耕地资源和人均可更新淡水资源量高于世界平均水平的国家通常是耕地净输出国，如2016年耕地净输出量位居前5位的巴西、美国、阿根廷、加拿大、澳大利亚。同样，绝大部分耕地净输入国(地区)的人均耕地资源和淡水资源都低于世界平均水平。本文选取农用地面积($Land$)和人均可更新淡水资源量($Water$)作为表征贸易国农业资源禀赋指标。

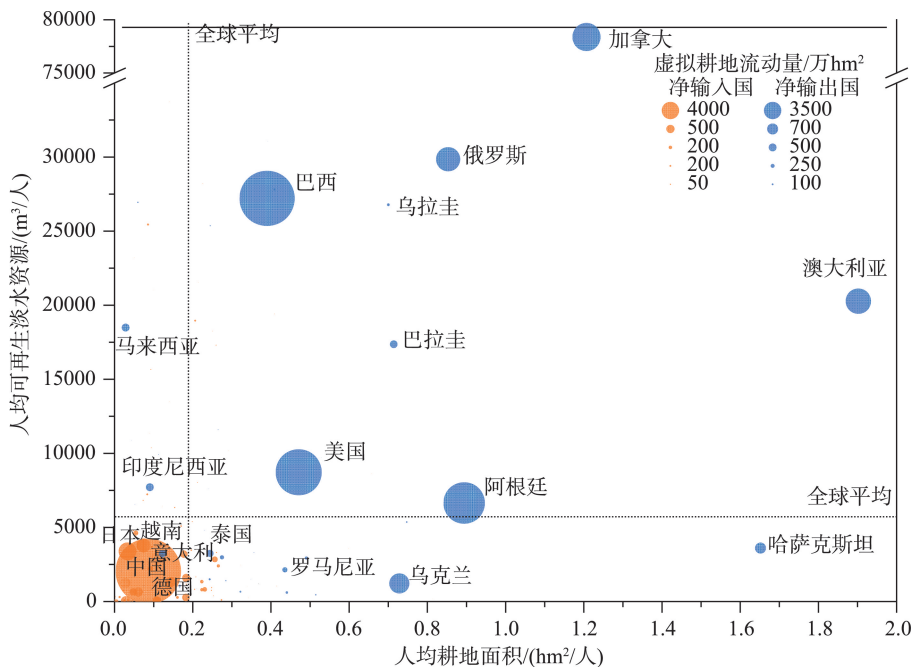


图1 2016年全球主要国家农业资源禀赋与耕地资源贸易量

Figure 1 Land, water resources, and virtual land trade of selected countries, 2016

2020年9月

(3) 地理距离

地理距离远近代表了运输成本的高低,也在一定程度上反映了农产品竞争力的大小。但是,在全球一体化背景下,运输成本不断降低,地理距离是否仍是影响耕地资源跨区配置的主要因素?为定量测度这一影响,本文引入贸易距离(*Dis*)表示贸易国(地区)之间的地理距离,并引入虚拟变量相邻指数(*Con*)表示两国(地区)之间是否相邻,相邻取1,不相邻取0。

(4) 贸易协定

由于区域贸易协定更关注深层次的贸易和经济一体化规定制定,全球贸易中按照双边和区域协定进行的比重不断增加。尤其是农产品贸易中,动植物卫生措施和贸易技术壁垒在决定贸易的实际市场准入方面发挥着主要作用,统一和简化此类措施将有助于大幅推动区域内贸易。1986年以来,国家间贸易协定签订总数量由614个增加为6173个(2016年)。例如欧盟与美国之间的“跨大西洋贸易与投资伙伴关系协定”(TTIP)、“跨太平洋伙伴关系协定”(TPP)以及将东盟与其他区域伙伴联系起来的“区域全面经济伙伴关系”(RECP),占全球经济总量的2/3以上,占全球贸易量的2/3以上^[29]。本文引入虚拟变量*RTA*表示两国(地区)是否加入同一区域贸易协定,若两国(地区)加入同一区域贸易协定,则*RTA*取1,反之为0。

影响因素中各变量选取及预期假设如表2所示。

2.3 数据来源

选取联合国粮农组织贸易数据库中1986—2016年全球农产品贸易数据(包括254个国家(地

区)的291种农产品初级产品及加工制品),按照联合国粮农组织及相关文献分类,将农产品分为谷物、油料、果蔬、糖料、纤维、嗜好类、薯类和畜禽八大类(表1)。研究所需数据和来源分别为:

(1)全球各国(地区)农产品贸易矩阵数据、贸易双边国(地区)农产品生产的耕地资源消耗强度数据、农产品加工制品的当量换算数据(热值当量、产品份额):来自联合国粮农组织数据。

(2)各贸易国(地区)的收入分组数据、人口、GDP、人均耕地资源量、人均可更新淡水资源量:来源于世界银行数据库,其中,人均GDP基于2010年不变价折算。贸易国(地区)之间的距离、是否相邻及是否加入同一区域贸易协定等数据来源于法国世界经济研究所数据库。

3 结果与分析

3.1 全球农产品贸易的虚拟耕地流动演变

3.1.1 虚拟耕地流量变化

1986—2016年,全球农产品贸易隐含的虚拟耕地资源流动量呈逐渐增加趋势,虚拟耕地流动主体由谷物转变为油料(图2)。流动量由1986年的1.28亿 hm^2 增加为2016年的3.50亿 hm^2 ,增加了1.7倍。其中,谷物贸易隐含的耕地资源量所占比重由49.1%减少为32.6%,油料占比由26.5%增加为42.6%,其他各类别所占比重变化较小。研究期内,果蔬类和畜禽类年均所占比重分别为7.4%和7.0%,嗜好类及纤维年均所占比重分别为4.6%和3.7%,薯类和糖料年均所占比重分别为1.8%和0.7%。从增长幅度来看,油料增幅最大,31年间由3380万 hm^2 增至1.47亿 hm^2 ,增加了3.4倍,其次为果蔬类、畜禽类和嗜好类,分别由850万、812万、560万 hm^2 增加

表2 变量选取及预期假设

Table 2 Variables and the expected direction of trade

变量名称	变量选取	数据来源	预期系数符号
人均GDP	1986—2016年虚拟耕地输入国与输出人均GDP	世界银行(https://data.worldbank.org/)	输入国:+ 输出国:-
人口数量	1986—2016年虚拟耕地输入国与输出国人口数量	世界银行(https://data.worldbank.org/)	输入国:+ 输出国:-
农用地面积	1986—2016年虚拟耕地输入国与输出国农用地面积	世界银行(https://data.worldbank.org/)	输入国:- 输出国:+
可更新淡水资源量	1986—2016年虚拟耕地输入国与输出人均可更新淡水资源量	世界银行(https://data.worldbank.org/)	输入国:- 输出国:+
国家距离	输入国与输出国首都(首府)间距离	法国CEPII数据库(http://www.cepii.fr/)	-
相邻关系	输入国与输出国是否相邻	法国CEPII数据库(http://www.cepii.fr/)	+
贸易协定	输入国与输出国是否加入同一区域贸易协定	法国CEPII数据库(http://www.cepii.fr/)	+

注:表中的国均指国家(地区)。

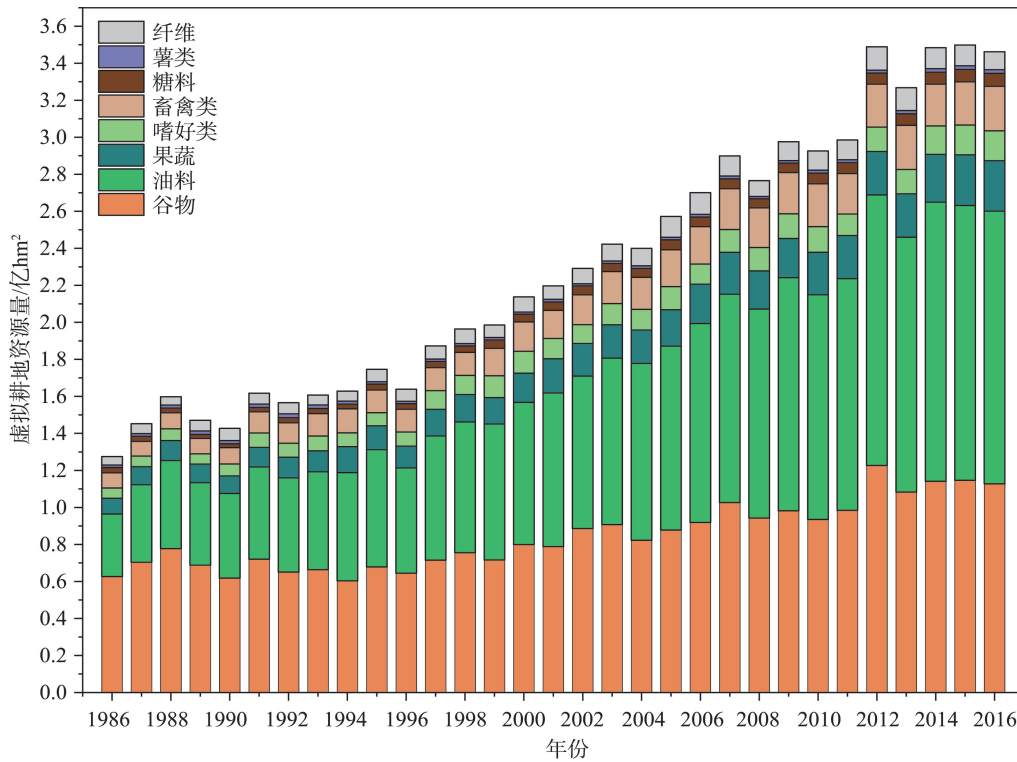


图2 1986—2016年全球农产品贸易隐含耕地资源量变化

Figure 2 Trend of change of global virtual land trade, 1986-2016

到2724万、2404万、1616万 hm^2 ，分别增长了2.2、2.0和1.9倍。谷物和薯类增幅较小，分别增长0.8、0.5倍。

3.1.2 虚拟耕地流向变化

1986—2016年，经济发展较快的发展中国家在虚拟耕地资源流动中的作用日益凸显(图3)。1986年，全球虚拟耕地资源净输入量前3位的国家分别为日本、前苏联和荷兰，主要的虚拟耕地净输出国是美国、澳大利亚和加拿大。2016年最大的虚拟耕地净输入国转变为中国、日本和越南，最大虚拟耕地净输出国转变为巴西、阿根廷和美国。

从虚拟耕地流动量变化来看，主要输入国中，中国、越南、阿尔及利亚、墨西哥、孟加拉等国的输入量增幅较大，输入量分别由1986年的462.3万、3.7万、220.0万、124.9万、74.0万 hm^2 增至2016年的4117.8万、875.2万、468.4万、452.8万、447.1万 hm^2 ，其中中国自2004年开始超过日本，成为全球最大的虚拟耕地输入国。而日本、荷兰、韩国、德国、意大利等国虚拟耕地输入量变化较小。此外，研究期内，印度、土耳其及菲律宾由净输出国转变为净输

入国，2016年其净输入量分别为388.0万、348.7万、301.6万 hm^2 。

虚拟耕地的主要输出国中增幅较大的国家是巴西、阿根廷、马来西亚和巴拉圭，净输出量分别由1986年的249.8万、999.9万、76.9万、88.2万 hm^2 增加为3479.3万、2607.0万、484.1万、476.0万 hm^2 ，此外，俄罗斯、乌克兰、哈萨克斯坦和印度尼西亚由净输入国转变为净输出国，2016年净输出量分别为1521.1万、1256.8万、678.1万 hm^2 、487.1万 hm^2 。

不同收入分组国家的虚拟耕地流动也发生了显著变化，中-高收入国家所占比重增幅较大，高收入国家的主体地位逐步下降(图4)。1986年，高收入国家在农产品贸易隐含的耕地输入和输出中均占据主导地位，占比分别为64.6%、48.5%，而2016年这一比重则下降为41.2%、38.9%。中-高收入国家和中-低收入国家在虚拟耕地输出及输入所占的比重则呈逐渐增加趋势，1986—2016年，这两组国家在虚拟耕地输出中所占比重分别由15.1%、15.2%增加为41.0%、17.0%，在虚拟耕地输入中所占比重也由18.0%、14.6%增加为33.0%、22.3%。这一转变

2020年9月

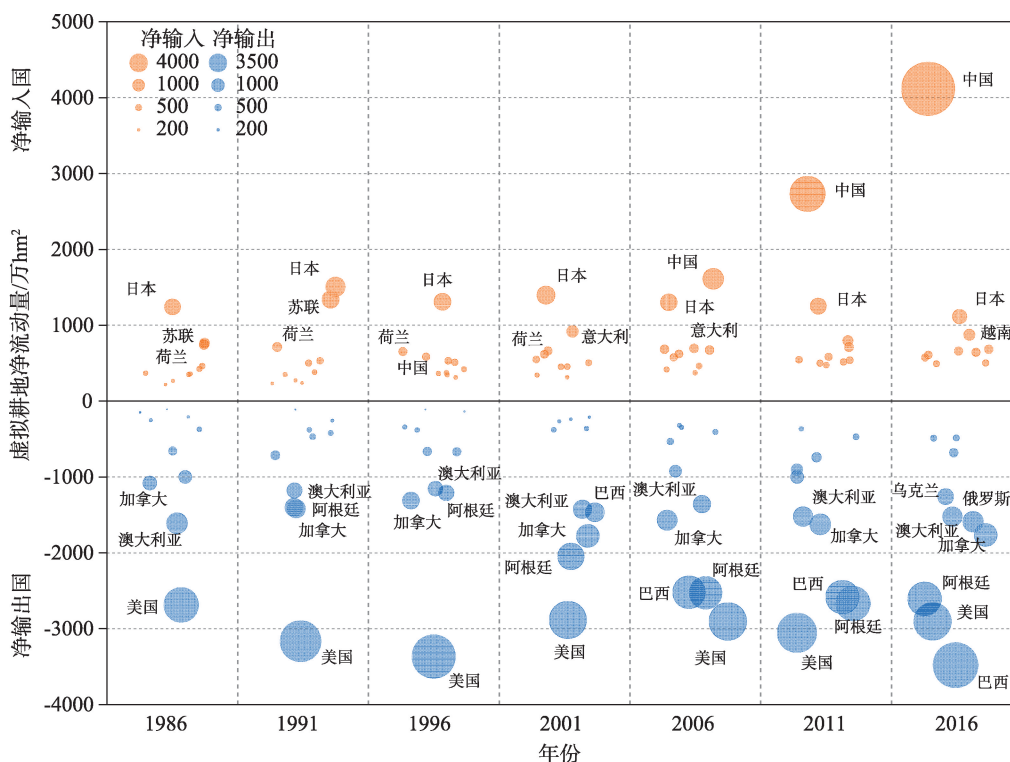


图3 1986—2016年全球主要虚拟耕地资源净输出和净输入国及其贸易量变化

Figure 3 Virtual land trade volumes of main export/import countries, 1986-2016

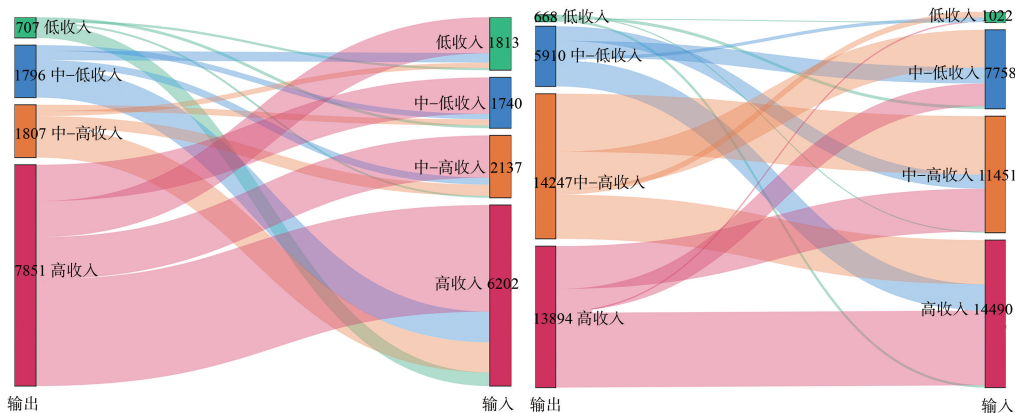


图4 1986—2016年各收入分组国家之间耕地贸易流动变化

Figure 4 Virtual land flow between different economic groups of countries, 1986-2016

主要由巴西、阿根廷等国农产品出口的大幅增长和中国虚拟耕地输入量的大幅增长所推动。值得关注的是,低收入国家在虚拟耕地流动中的参与度呈下降趋势,其占总输出和总输入的比重分别由1986年的5.9%、15.2%下降为1.9%、2.9%,这一变化主要是由于低收入国家受经济发展水平的限制,其农业技术改进程度不高,农业生产过程难以摆脱自然资

源的约束,因此31年来其农产品贸易结构和贸易量变化不大。

3.2 虚拟耕地流动的影响因素分析

由以上分析可以看出,全球农产品贸易隐含的耕地资源流量呈逐年增加趋势,且其贸易格局也处于变化之中。因此,为进一步探究农产品贸易隐含耕地资源量变化的驱动因素,本文采用基于面板

数据的引力模型,分析了1986—2016年间参与全球农产品贸易的各个国家(地区)之间耕地资源量变化的影响因素,使用泊松伪极大似然估计法(PPML)进行参数估计的结果如表3所示,其中,为验证各指标计量结果的稳健性,模型(1)只考虑了社会经济和区域关联的相关指标、模型(2)在模型(1)的基础上加入了资源禀赋中的土地资源、模型(3)加入了全部指标。为进一步分析各因素的影响,将驱动因素分为社会经济、资源禀赋及区域关联3个方面阐述。

3.2.1 社会经济

通过不同模型结果可以看出,在全球尺度来

表3 全球虚拟耕地流动引力模型参数估计结果

Table 3 Results of gravity regression for the whole sample

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)
出口国人均GDP(Gdp_e)	0.403*** (0.0103)	0.329*** (0.00894)	0.277*** (0.00938)
进口国人均GDP(Gdp_i)	0.362*** (0.00806)	0.342*** (0.00713)	0.372*** (0.00719)
出口国人口数量(Pop_e)	0.623*** (0.00789)	0.102*** (0.00957)	0.158*** (0.0110)
进口国人口数量(Pop_i)	0.635*** (0.00941)	0.839*** (0.0114)	0.788*** (0.0121)
出口国农用地面积($Land_e$)		0.606*** (0.00802)	0.573*** (0.00873)
进口国农用地面积($Land_i$)		-0.169*** (0.00568)	-0.112*** (0.00743)
出口国人均可更新淡水资源量($Water_e$)			0.165*** (0.00806)
进口国人均可更新淡水资源量($Water_i$)			-0.138*** (0.00640)
地理距离(Dis)	-0.227*** (0.0167)	-0.479*** (0.0151)	-0.506*** (0.0150)
是否相邻($Conti$)	1.024*** (0.0373)	0.613*** (0.0365)	0.580*** (0.0386)
是否签订贸易协定(RTA)	0.283*** (0.0301)	0.370*** (0.0285)	0.440*** (0.0289)
常数项($Constant$)	-23.55*** (0.421)	-20.59*** (0.382)	-20.88*** (0.404)
样本数($Observations$)	216491	211908	202212
R^2	0.215	0.312	0.324

注:***、**和*分别表示1%、5%和10%的显著性水平;表中的国均指国家(地区)。

看,出口国(地区)和进口国(地区)的人均GDP的增长及人口规模对虚拟耕地贸易流动量均具有极显著的正相关关系,表明经济增长和人口规模扩大对全球农产品贸易具有促进作用,进而引起虚拟耕地贸易量的提高。其中,出口国(地区)人均收入的提高和人口数量的增加对虚拟耕地流动量的影响与预期结果相反,表明在其他要素一定的情况下,大部分出口国(地区)经济发展将有助于其农业生产水平的提高和生产规模的扩大,从而增加了虚拟耕地输出量。输入国(地区)人均收入的提高和人口数量的增加对两国(地区)间虚拟耕地流动量的促进作用更大,主要由于收入水平的提高和人口规模的扩大均会导致对农产品消费总量的增加和消费结构的升级,从而引起虚拟耕地进口量的增加。通过模型参数估计可以得出,进口国(地区)人均GDP增加1%,其虚拟耕地进口量增加0.4%。Duarte等^[20]对虚拟水贸易影响因素的研究同样发现,虚拟水资源输入国人均GDP增加1%,其虚拟水输入量增加0.5%。表明人均收入的提高将导致耕地和水资源密集型农产品贸易量的增加。

经济增长对发展中国家虚拟耕地流动量的促进作用更大。由经济增长而导致耕地资源输入量迅速增加的国家包括中国、越南、伊朗、阿尔及利亚、印度、墨西哥、土耳其、菲律宾等国;由于经济增长而导致虚拟耕地输出量增加的国家包括东南亚的马来西亚、印度尼西亚,南美洲的巴拉圭,非洲的科特迪瓦、乌干达等国。不同国家的经济水平差异,导致其进口农产品的结构也不同:在一些发展中国家,如中国、越南、伊朗、孟加拉国和墨西哥,谷物和油料作物在进口中占较大比例;而在日本、意大利、德国和荷兰等发达国家,畜牧产品占进口的比例(10%~20%)高于发展中国家。

3.2.2 资源禀赋

从表3可以看出,出口国(地区)农用地面积和人均可更新淡水资源量与其虚拟耕地资源流动量具有极显著的正相关关系,与预期结果一致。农用地面积反映了出口国(地区)可用于输出耕地资源的能力,由模型(3)估计结果,出口国(地区)农用地面积增加1%,耕地资源输出量将增加0.6%,人均可更新淡水资源量增加1%,耕地输出量将提高0.2%。而进口国(地区)耕地资源输入量与这两个

2020年9月

指标均呈极显著的负相关关系,也与预期结果一致。从参数估计结果来看,进口国(地区)农用地面积降低1%,其虚拟耕地贸易量增加约为0.1%,低于农用地面积的增加对出口促进程度,这一差别主要是由于对于大部分耕地资源稀缺国家(地区)而言,其农业集约化程度相对较高,这些国家通常采用高投入的方式提高耕地生产效率,从而在一定程度上降低了耕地资源的对外依赖性,例如中国和部分欧洲国家。相比较而言,人均可更新淡水资源量对出口国(地区)和进口国(地区)的影响程度相当,表明淡水资源的丰缺程度也是影响耕地资源跨区域配置的重要因素之一。

由于各国农业生产技术的差异,虚拟耕地净输入国可分为耕地资源绝对稀缺国家和相对稀缺国家。耕地绝对稀缺国家主要包括人均耕地资源低于全球平均水平,但耕地生产力高于全球平均水平的国家和地区,如中国、日本及部分欧洲国家(荷兰、德国、英国等)。由于单位耕地面积的增产潜力有限,这些国家农业生产的边际成本较高,因此,必须通过进口虚拟耕地以满足其消费需求。耕地资源相对稀缺的国家的特点是人均耕地资源量和耕地生产力均低于全球平均水平。这类国家包括墨西哥、菲律宾、伊朗和一些非洲国家(如阿尔及利亚、南非、安哥拉、莫桑比克),由于受到技术限制,包括缺乏灌溉、优良品种和农业机械等,这些国家的农业生产力水平较低;此外,由于缺乏运输和市场基础设施导致其生产成本过高,因此该类国家具有较大的增产潜力。通过采用先进技术提高土壤肥力,对低产国家的自给自足能力的提升至关重要。从长远来看,耕地绝对稀缺的国家在保证国内生产食物供给安全方面的困难要大于耕地相对稀缺的国家^[17]。

3.2.3 区域关联

(1)地理距离。贸易国(地区)之间的距离对耕地资源的跨区域转移具有极显著的负效应,与预期结果一致。表明尽管运输成本的不断下降为全球远距离国家间的贸易提供了可能性,但全球大部分的虚拟耕地资源流动仍集中在较短距离国家之间。自1986年以来,全球虚拟耕地资源流动量呈增加的趋势,但是其流动的平均距离由1986年的7083 km缩短至6842 km。2016年,全球68%的虚拟

耕地贸易的地理距离集中在10000 km范围内(图5)。但同时,贸易量较大的连线中,巴西—中国、美国—中国、加拿大—中国、阿根廷—中国、美国—日本的地理距离超过了10000 km,而俄罗斯—土耳其、荷兰—德国、俄罗斯—埃及、加拿大—美国、美国—墨西哥连线的距离均小于3000 km。说明从整体来看,地理距离的增加将导致虚拟耕地流动的可能性变小,但对于一些贸易量大的国家如中国及日本等而言,由于虚拟耕地流动量大以及进口农产品的生产较为集中,贸易距离仍会在较大距离范围内进行。

(2)是否相邻。贸易国(地区)的相邻关系对虚拟耕地资源流动量具有极显著的正效应,与预期结果一致。说明具有相邻边界的国家间共同的饮食文化和语言文化等因素,能够促进其相互之间的农产品贸易。此外,由于全球价值链的兴起和纵向联合的不断发展,使得相邻国家间的产业内贸易不断增加,利用贸易互通有无和交换高价值产品成为虚拟耕地流动的主体^[20]。

(4)贸易协定。由于农产品贸易更易受到贸易保护及贸易壁垒等的影响,因此,贸易协定对国家(地区)间的耕地资源跨区域配置也具有显著促进作用,与预期结果一致。如欧盟国家之间的虚拟耕地流动量明显高于其他国家,北美贸易协定对美国和墨西哥之间的虚拟耕地流动量也具有显著促进作用。

值得关注的是,全球主要农产品进口国中,贸

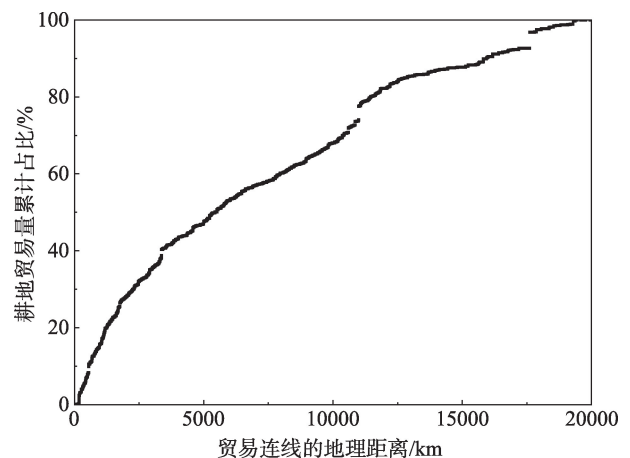


图5 2016年全球耕地贸易连线距离及其贸易量占比

Figure 5 Distance of trade links and the cumulative proportion of their trade, 2016

易协定签订数量与其耕地进口量的相关关系并不显著,例如中国是农产品进口量最大的国家,但其贸易协定签订数量远低于德国、荷兰和法国等国,主要是由于其进口主要为大豆等大宗农产品且进口来源国较为集中。同样,美国在全球虚拟耕地贸易中居于核心地位,但是其贸易协定签订数量也相对较少。

4 结论与讨论

4.1 结论

通过定量核算 1986—2016 年全球农产品贸易隐含的耕地资源量,分析了全球虚拟耕地资源流量和流向的变化,并对其影响因素及其影响机制进行了测度,得出的结论如下:

(1)31 年来,全球农产品贸易隐含的耕地资源流量增长了 1.74 倍,虚拟耕地贸易的主体已由谷物转变为油料,增幅较大的类别还包括果蔬类、畜禽类及嗜好类等农产品。这一转变的主要原因是包括中国在内的发展中国家收入水平的提高,导致其对农产品的需求已由温饱型向改善型转变,从而促进了全球植物油、水果蔬菜、肉蛋奶、咖啡、可可等农产品贸易量的增加。尤其是中国由温饱型向改善型消费转变中,促进了大豆进口量的增加,改变了全球大豆的生产和贸易格局。这一变化也导致全球虚拟耕地资源的主要出口国(地区)和进口国(地区)发生着显著变化:耕地资源充裕国家(地区)的虚拟耕地出口量迅速增加,虚拟耕地进口国(地区)则主要为人均耕地资源较低或经济水平发展迅速的国家(地区)。

(2)人口和经济增长对虚拟耕地进口具有稳健的促进效应,但经济增长对不同收入国家耕地进口量的影响不同。在研究期内,发达国家如日本等国的食物需求结构和需求量已趋于稳定,因此虚拟耕地输入量受经济增长的影响不显著。对于中国、印度、土耳其等发展中国家而言,其虚拟耕地输入量随经济增长呈快速增加趋势。对虚拟耕地输出国而言,人均 GDP 的增长有助于促进收入较低的国家农业生产水平的提高,从而提高了耕地资源输出量,例如东南亚的印度尼西亚、马来西亚,非洲的科特迪瓦和乌干达等国。

(3)农用地面积和人均可更新淡水资源量在各

模型中均显著,表明水土资源稀缺的各经济体均需通过贸易实现供需平衡。但同时,由于各个国家农业生产技术水平的差异,耕地相对稀缺的国家,如东南亚和非洲国家,可通过提高农业投入等方式提高农业产出,从而在一定程度上减轻耕地对外依存程度;而对耕地绝对稀缺国家而言,其耕地生产能力提高的空间非常有限,耕地需求量必须通过虚拟耕地贸易满足,例如部分欧洲国家及东亚的中国、日本等国。

(4)地理距离仍是全球虚拟耕地流动的重要影响因素。距离增加会引起运输成本的提高,使得远距离农产品的竞争优势减小,从而显著地降低耕地资源的跨区域配置量。而全球最大耕地进口国的中国和日本,其耕地贸易的地理距离均超过了平均值,一方面由于中国进口的主要产品类别是大豆,而大豆在全球的生产非常集中,另一方面表明虚拟耕地跨区域配置的国家既有共性特征也有复杂的个体特征,核心参与者的特征突出。

4.2 讨论

全球经济一体化使得耕地资源的跨区域配置成为可能,但农产品隐含的虚拟耕地流动不仅受各国经济发展水平、人口规模等基础因素的影响以及自然资源禀赋的驱动,还与贸易协定及贸易距离等因素密切相关。随着全球人口数量的增加和人均收入水平的提高,尤其是经济发展较快的发展中国家,对耕地资源的需求量仍将持续增加。

近 31 年来,中国已由低收入国家过渡到中-高收入国家,随着中国经济发展水平的提高和水土资源稀缺程度的加剧,对耕地密集型农产品的需求量和虚拟耕地进口量将进一步增加。因此,在通过虚拟耕地输入的方式平衡国内耕地资源供给的基础上,还应从需求角度调控食物消费对耕地资源需求的增加。

尽管全球农产品贸易网络日益复杂,但全球农产品出口逐步集中,而进口相对较为分散的贸易格局,意味着单个出口国家或区域遭受气候变化等减产因素或者采取相应的政策措施,都会对全球供应和市场价格产生巨大的溢出效应,从而对进口国的粮食安全造成巨大威胁:如 2008 年因干旱、生物燃料的发展及其他因素导致的粮食价格上涨,导致主要粮食出口国的贸易禁运及引发粮食进口国的粮

2020年9月

食安全问题^[2,30]。因此,在适度依赖虚拟耕地缓解资源压力的同时,中国必须通过保障国内耕地资源数量、提高耕地质量和产出水平、减少食物浪费等措施保障农产品供给安全。

由于不同类别农产品属性的差异,其虚拟耕地流动的影响因素也不相同。不同经济发展水平国家的虚拟耕地流动特征及驱动机制也具有差异性。因此,进一步研究中,应将这两类因素分别进行考虑,从而得出更为详细的结论。

参考文献(References):

- [1] Puma M J. Resilience of the global food system[J]. *Nature Sustainability*, 2019, 2: 260–261.
- [2] D'Odorico P, Carr J A, Laio F, et al. Feeding humanity through global food trade[J]. *Earth's Future*, 2014, 2(9): 458–469.
- [3] Kinnunen P, Guillaume J H, Taka M, et al. Local food crop production can fulfil demand for less than one-third of the population[J]. *Nature Food*, 2020, 1: 229–237.
- [4] D'Amour C B, Reitsma F, Baiocchi G, et al. Future urban land expansion and implications for global croplands[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017, 114(34): 8939–8944.
- [5] Taherzadeh O, Caro D. Drivers of water and land use embodied in international soybean trade[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 223: 83–93.
- [6] Sun J, Mooney H, Wu W B, et al. Importing food damages domestic environment: Evidence from global soybean trade[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018, 115(21): 5415–5419.
- [7] Pendrill F, Persson U M, Godar J, et al. Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions[J]. *Global Environmental Change*, 2019, 56: 1–10.
- [8] 强文丽,刘爱民,成升魁,等.中国农产品贸易的虚拟土地资源量化研究[J].*自然资源学报*, 2013, 28(8): 1289–1297. [Qiang W L, Liu A M, Cheng S K, et al. Quantification of virtual land resources in China's crop trade[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(8): 1289–1297.]
- [9] Thomas K, Karl-Heinz E, Helmut H. Rapid growth in agricultural trade: Effects on global area efficiency and the role of management [J]. *Environmental Research Letters*, 2014, DOI: 10.1088/1748-9326/9/3/034015.
- [10] MacDonald G K, Brauman K A, Sun S, et al. Rethinking agricultural trade relationships in an era of globalization[J]. *BioScience*, 2015, 65(3): 275–289.
- [11] Sandström V, Kauppi P E, Scherer L, et al. Linking country level food supply to global land and water use and biodiversity impacts: The case of Finland[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 575: 33–40.
- [12] Kastner T, Nonhebel S. Changes in land requirements for food in the Philippines: A historical analysis[J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(3): 853–863.
- [13] 刘爱民,薛莉,成升魁,等.我国大宗农产品贸易格局及对外依存度研究:基于虚拟耕地资源的分析和评价[J].*自然资源学报*, 2017, 32(6): 915–926. [Liu A M, Xue L, Cheng S K, et al. A study on the trade and external dependence of agricultural products in China: Analysis and evaluation based on virtual land resources[J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(6): 915–926.]
- [14] 李浩然,穆月英.中国小麦进口贸易格局及其影响因素研究:基于贸易引力模型[J].*中国农学通报*, 2020, 36(6): 132–141. [Li H R, Mu Y Y. Wheat import trade pattern and its influencing factors in China: Based on the trade gravity model[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(6): 132–141.]
- [15] 高晨.“一带一路”下基于贸易引力模型的中国与东盟十国贸易流量影响因素比较研究[J].*农村经济与科技*, 2020, 31(1): 199–200. [Gao C. A comparative study on the factors influencing trade flows between China and asean countries based on the trade gravity model under the belt and road initiative[J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2020, 31(1): 199–200.]
- [16] 任慧.基于引力模型“一带一路”背景下中国与中亚五国蔬菜出口贸易潜力研究[J].*北方园艺*, 2020, DOI: 10.11937/bfy.20191050. [Ren H. Study on the potential of vegetable export trade between China and five central Asian countries under the background of “Belt and Road”: Based on gravity model[J]. *Northern Horticulture*, 2020, DOI: 10.11937/bfy.20191050.]
- [17] 马超,许长新,田贵良.中国农产品国际贸易中的虚拟水流动分析[J].*资源科学*, 2011, 33(4): 729–735. [Ma C, Xu C X, Tian G L. The virtual water flow in China's foreign trade of agricultural products[J]. *Resources Science*, 2011, 33(4): 729–735.]
- [18] Taikan O, Shinjiro Y, Naota H. Economic aspects of virtual water trade[J]. *Environmental Research Letters*, 2017, DOI: 10.1088/1748-9326/aa625f.
- [19] Tamea S, Carr J A, Laio F, et al. Drivers of the virtual water trade [J]. *Water Resources Research*, 2014, 50(1): 17–28.
- [20] Duarte R, Pinilla V, Serrano A. Long term drivers of global virtual water trade: A trade gravity approach for 1965–2010[J]. *Ecological Economics*, 2019, 156: 318–326.
- [21] Meyfroidt P, Lambin E F, Erb K H, et al. Globalization of land use: Distant drivers of land change and geographic displacement of land use[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2013, 5(5): 438–444.
- [22] Qiang W L, Niu S W, Liu A M, et al. Trends in global virtual land trade in relation to agricultural products[J]. *Land Use Policy*,

- 2020, DOI: 10. 1016/j. landusepol. 2019. 104439.
- [23] Weinzettel J, Hertwich E G, Peters G P, et al. Affluence drives the global displacement of land use[J]. *Global Environmental Change*, 2013, 23(2): 433-441.
- [24] Hoekstra A. Virtual Water Flows between Nations In Relation to Trade in Livestock and Livestock Products[R]. Delft: UNESCO-IHE, 2003.
- [25] 许阳贵, 刘云刚. 中国与“一带一路”沿线国家贸易及其影响因素[J]. *热带地理*, 2019, 39(6): 855-868. [Xu Y G, Liu Y G. Foreign trade and its influencing factors between China and countries along “the Belt and Road” route[J]. *Tropical Geography*, 2019, 39(6): 855-868.]
- [26] Silva J, Tenreiro S. The log of gravity[J]. *The Review of Economics and Statistics*, 2006, 88(4): 641-658.
- [27] 马超, 许长新, 田贵良. 农产品贸易中虚拟水流的驱动因素研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(1): 155-160. [Ma C, Xu C X, Tian G L. A research on the driving factors of virtual water flow in agricultural products trade[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(1): 155-160.]
- [28] Qiang W L, Liu A M, Cheng S K, et al. Agricultural trade and virtual land use: The case of China’s crop trade[J]. *Land Use Policy*, 2013, 33: 141-150.
- [29] 联合国粮农组织. 2015-2016农产品市场状况: 贸易与粮食安全-更好的平衡重点国家与集体利益[R]. 罗马: 联合国粮农组织, 2015. [FAO. The State of Agricultural Commodity Markets 2015-2016: Trade and food security—achieving a better balance between national priorities and the collective good.]
- [30] Godfray H C, Beddington J R, Crute I R, et al. Food security: The challenge of feeding 9 billion people[J]. *Science*, 2010, 327(5967): 812-818.

Evolution of global virtual land flow related to agricultural trade and driving factors

QIANG Wenli¹, ZHANG Cuiling¹, LIU Aimin², CHENG Shengkui², WANG Xiang¹, LI Fan¹

(1. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstracts: In order to explore the effects of agricultural trade on land resources, this study analyzes the evolution of virtual land trade in relation to global agricultural trade, and reveals the driven factors behind the change trend by the trade gravity equation at the basis of virtual land calculation during 1986 to 2016. The results show that: the volume of global virtual land trade has increased by 1.74 times during 1986 to 2016, oil crops substitute the cereals and became the major categories of land exchange. The volume of virtual land exports increased rapidly in countries with abundant land resources, and countries with scarce land resources and rapid economic development became land importers. Population size, per capita income and trade agreements had a significant promoting effect on virtual land flow, but the impact of income varied in different economic development countries. The land and water resource endowment of the importers had a significant negative effect on the flow of virtual land, and the geographical distance between trading countries had a significant negative effect on the flow of virtual land. China has become the world’s largest importer of virtual land since 2004, and the volume of its virtual land import will continue to increase with the increase of income and shortage of agricultural resources. Thus China should take corresponding measures to ensure the sustainable supply of virtual land.

Key words: evolution; driving factors; virtual land resources; agricultural trade; trade gravity model; global