

引用格式:张进,王诺,卢毅可,等.世界粮食供需与流动格局的演变特征[J].资源科学,2018,40(10):1915-1930. [Zhang J, Wang N, Lu Y K, et al. The evolution characteristics of world grain supply-demand and flow pattern[J]. *Resources Science*, 2018, 40(10):1915-1930.] DOI :10.18402/resci.2018.10.02

世界粮食供需与流动格局的演变特征

张进,王诺,卢毅可,林婉妮

(大连海事大学交通运输工程学院,大连 116026)

摘要:基于1962—2016年的统计数据,采用复杂网络理论的基本概念对世界主要国家和地区粮食流动的空间网络形态进行了探讨。结果显示:1962—2016年,世界粮食产量增加了17.56亿t,年均增长2.09%,世界粮食消费量增加17.03亿t,年均增长2.07%;世界粮食输出量增加了3.45亿t,年均增长3.02%,其中美国、阿根廷和乌克兰等是主要输出地,中国、欧盟和日本等是主要输入地;在粮食贸易格局的演变趋势上,贸易网络的出度和入度均有所增加,表明世界粮食输出地与输入地的分布趋于分散化;粮食贸易主要国家和地区的节点强度和标准权重熵等特征值差异明显。研究发现:虽然美国粮食贸易的出度值最大,但是输出空间结构的均质性最弱,粮食出口国家十分集中,因而是其软肋;中国标准权重熵值较高,从各国进口粮食的比例相差相对较小,输入结构均质性较好,表明中国应对粮食危机和国际贸易争端的能力较强。本文研究成果揭示了世界粮食供需与流动格局的演变趋势,对于中国科学制定农业发展规划和粮食贸易政策,应对国际事态变化具有重要的借鉴价值。

关键词:粮食;供需;流动;格局;演变

DOI :10.18402/resci.2018.10.02

1 引言

粮食一般指供给人类食用的谷物、豆类和薯类的统称,是人类得以生存和发展的基础^[1]。依据美国农业部的统计口径^[2],粮食主要包括大麦、玉米、小米、杂粮、燕麦、稻米、黑麦、高粱和小麦等品种。联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations)调查显示^[3],全球粮食不足人口估计数已由2015年的7.77亿增至2016年的8.15亿,粮食不足发生率再次出现上升,达到11%。其中非洲和亚洲的粮食不足发生率分别高达20%和11.7%,而北美洲和欧洲则低于2.5%,由此可见,全球粮食供需分布极不平衡,粮食安全问题依然严峻。中国是世界上最大的发展中国家,虽然粮食生产基本上可保持自给,但近年来粮食也出现大量进口,2016年粮食进口量高达2576万t,居世界首位。在个别大国挑动事端,以损害中国利益为目的

发动贸易战的当下,从全球粮食供需和贸易角度出发,探索半个世纪以来粮食流动空间格局的变化,对于洞察全球粮食的流动态势,及时调整中国粮食的贸易政策,应对国际事态变化,维护国家利益具有重要的现实意义。

有关粮食问题的研究,相关部门和众多学者主要集中在对粮食的生产流通、贸易和安全问题上进行探讨。在生产流通方面,学者们从全球视角分析了粮食生产格局的演变^[4]以及产量大幅增长^[5]的原因,对发达国家粮食生产和流通领域的发展趋势进行了探讨^[6,7],同时分析了影响中国粮食生产的相关因素^[8,9],给出了如何解决中国粮食生产和流通问题的相关建议^[10]。在贸易方面,学者们主要对粮食贸易格局的演变趋势进行了研究^[11,12],也对未来的贸易趋势进行了预测^[13-17]。在粮食安全方面,有的学者对粮食安全的现状和趋势进行了探讨^[18,19],针对中国粮

收稿日期:2018-01-11,修订日期:2018-09-11

基金项目:国家海洋软科学项目(JJYX201612-1)。

作者简介:张进,男,四川资阳人,硕士生,研究方向为交通运输规划与管理。E-mail: zhangjindimu@163.com

通讯作者:王诺, E-mail: wangnuodl@126.com

粮食安全存在的问题相应地提出了解决办法^[20-23]等。

分析发现,尽管对粮食的研究已有一些研究成果,但大部分主要运用数理统计等方法进行分析,缺少对粮食流动格局的演变研究。针对以上问题,本文以1962—2016年为研究时段,从世界粮食的生产、消费和贸易状况入手,对世界粮食的供需与流动格局进行整体研究,主要工作是:①采用流动比方法划分世界主要国家和地区粮食的流动形态,进而分析粮食的流动格局;②引入复杂网络概念,对世界主要国家和地区粮食的流动空间网络进行讨论;③分析了研究期内粮食海上运输航线的变化。本文成果可为中国有关部门科学制定粮食政策提供技术支持。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

粮食的品种较多,为便于数据之间的比较和分析,本文所述粮食采用美国农业部的统计数据^[2],时间跨度为1962—2016年。

2.2 研究方法

2.2.1 流动比

通过对世界各国和地区粮食的输入和输出情况分析,可以定量描绘粮食流动的空间格局。为揭示粮食的流动形态,将粮食输出量与输入量的比值定义为流动比,以 R 表示,其表达式^[24,25]为:

$$R_i = \frac{O_i}{I_i} \quad (1)$$

式中 R_i 为区域 i 在某一时间段粮食的输出量和输入量的比值; O_i 和 I_i 分别表示区域 i 在该时段粮食的输出量和输入量。

通过公式(1),可以反映出粮食的流动状况,如 R_i 值大于1,则表示粮食的输出大于输入, R_i 值越大,说明该区域粮食的流动形态越倾向于输出;同样,如 R_i 值小于1,表示粮食的输入大于输出, R_i 值越小,说明该区域粮食的流动形态越倾向于输入。

2.2.2 空间网络特征

在以粮食贸易国家为拓扑节点,以粮食流动方向为边构成的网络模型中,设 N 代表在某一时段从事粮食贸易国家的数量, w_{ij} 表示从国家 i 向国家 j 出口粮食的量,即边的权重。当 $w_{ij}=0$ 时,表示国家 i 和国家 j 之间不存在粮食贸易关系,反之当 $w_{ij} \neq 0$ 时,表

示国家 i 和国家 j 之间存在粮食贸易关系。粮食的贸易方向与边的指向相同,则该网络可以用拓扑邻接矩阵 $A=a_{ij}$ ^[26]表示,满足:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & w_{ij} \neq 0 \\ 0 & w_{ij} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

(1)节点的出度与入度。所谓网络节点的出度,即粮食输出到其他各节点边的数量和,设为 K_i^{out} ,代表输出国 i 在某一时段建立的出口联系的数量,其表达式为^[26]:

$$K_i^{out} = \sum_{j=1}^N a_{ij} \quad (3)$$

所谓网络节点的入度,即接受输入粮食到某一节点边的数量和,设为 K_i^{in} ,代表输入国 i 在某一时段建立的进口联系的数量,其表达式为:

$$K_i^{in} = \sum_{j=1}^N a_{ji} \quad (4)$$

根据对网络节点出度和入度的分析,可以看出各粮食贸易国的贸易关系建立情况,并通过时间序列的描述还可以揭示各粮食贸易国之间贸易联系的演进状况。

(2)节点强度。由于节点的入度和出度仅考虑了粮食贸易所建立的流动关系,没有反映出粮食贸易流量的规模,当前国际粮食流动格局中的流量规模极不均衡,少数节点间的流量规模巨大,而绝大多数节点间的流量规模却很小。因此,仅通过节点度的分析不能全面地描述粮食流动空间格局的结构特征,所以引入节点强度来描述节点流动能力的强度特征。

设 W_i^{out} 、 W_i^{in} 分别表示输出、输入节点强度,代表输出或输入国 i 在某一时段输出或输入的粮食总量,其表达式为^[26]:

$$W_i^{out} = \sum_{j=1}^N a_{ij} \cdot w_{ij} \quad (5)$$

$$W_i^{in} = \sum_{j=1}^N a_{ji} \cdot w_{ji} \quad (6)$$

(3)标准权重熵。在社会科学中,熵用来描述、表征系统的混乱程度。系统的熵值越小,表明系统越有序,空间结构越不均匀;反之系统越无序,空间结构越均匀。为刻画粮食贸易空间结构中节点 i 的贸易均匀程度,本文引入权重熵^[27]的概念。

2018年10月

设 J_i^{out} 为粮食流动网络中输出国 i 输出结构的均质性,其表达式为^[26]:

$$J_i^{out} = - \sum_{j=1}^N \varphi_{ij} \cdot \ln \varphi_{ij} \quad (7)$$

式中 φ_{ij} 为权重要度,表示出口国 i 与进口国 j 之间的粮食流量 w_{ij} 在出口国 i 的总流出量中所占的重要程度,其表达式为:

$$\varphi_{ij} = w_{ij} / \sum_{j=1}^N w_{ij} \quad (8)$$

同理,设 J_i^{in} 为粮食流动网络中输入国 i 输入结构的均质性,其表达式为:

$$J_i^{in} = - \sum_{j=1}^N \varphi_{ji} \cdot \ln \varphi_{ji} \quad (9)$$

式中 φ_{ji} 为权重要度,表示进口国 i 与出口国 j 之间的粮食流量 w_{ji} 在进口国 i 的总流入量中所占的重要程度,其表达式为:

$$\varphi_{ji} = w_{ji} / \sum_{j=1}^N w_{ji} \quad (10)$$

根据熵的含义,熵刻画了系统的均质程度,当系统完全均质时,即 $\varphi_{ij} = 1/K_i^{out}$ (或 $\varphi_{ji} = 1/K_i^{in}$),权重熵最大,即: $J_i^{max} = \ln K_i$;当流动空间结构强度集中于一个国家时,空间结构最不均匀,即 $K=1$, $\varphi_{ij}=1$ (或 $\varphi_{ji}=1$),权重熵取最小值 $J_i^{min}=0$ 。为了消除不同节点度值不同给权重熵比较的影响,对空间结构权重熵进行归一化处理,得到标准权重熵 J_i^s ,其表达式为:

$$J_i^s = (J_i - J_i^{min}) / (J_i^{max} - J_i^{min}) \quad (11)$$

3 结果及分析

3.1 供需格局

3.1.1 生产格局

研究期内,世界粮食生产总体上呈波动增长趋势,由 8.50 亿 t 增加到 26.06 亿 t,总计增长 17.56 亿 t,年均增长 2.09% (图 1a)。

从粮食生产情况来看,各作物有增有长,速度有快有慢。例如:研究期内,玉米产量增长较快,由 2.07 亿 t 增加到 10.75 亿 t,增长 8.68 亿 t,年均增长 3.09%,自 1994 年产量超过小麦后,除个别年份外,玉米产量一直稳居第一,现已占粮食总产量的 41.25%;小麦产量波动增长,但增速较缓,由 2.47 亿 t 增加到 7.54 亿 t,增长 5.07 亿 t,年均增长 2.08%,目前占粮食生产总量的 28.93%;稻米产量平稳增长,由 1.55 亿 t 增加到 4.87 亿 t,增长 3.32 亿 t,年均增长 2.13%,产量低于玉米和小麦,处于第三位,占粮食总产的比重由 18.24% 增至 18.67%;其他作物如大麦、小米和高粱等产量略有增长,由 2.41 亿 t 增加到 2.91 亿 t,仅增加 0.5 亿 t,年均增长 0.34%。

从粮食主要产地及其结构来看(图 1b、表 1),世界粮食生产主要集中在中国、美国、欧盟¹⁾、印度、巴西和前苏联(1991 年解体之后为俄罗斯、乌克兰和哈萨克斯坦等)等国家和地区,上述国家和地区半个世纪以来年均粮食产量高达 12.33 亿 t,占世界粮食生产总量的 74.68%,其中中国粮食增长较快,粮食产量由 1 亿 t 增至 5.01 亿 t,增幅达 4.01 倍,占世

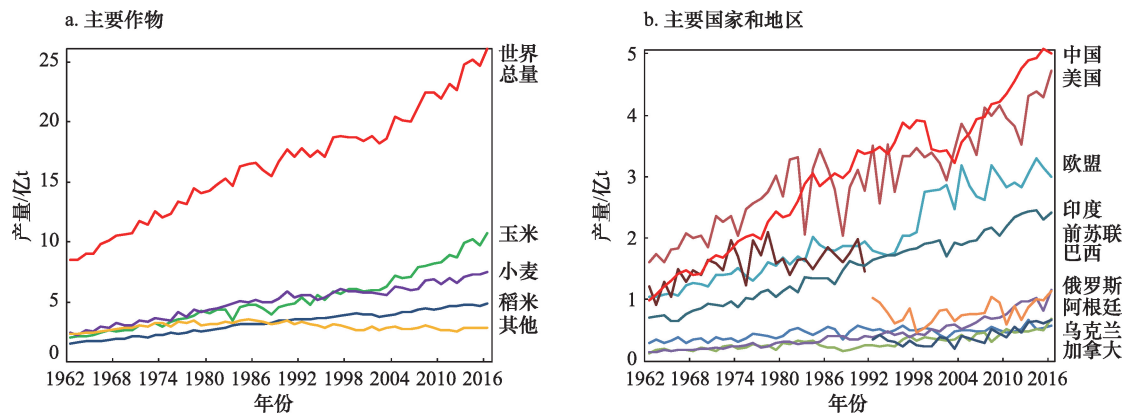


图1 1962—2016年世界粮食生产情况

Figure 1 Grain production in the world from 1962 to 2016

1) 根据美国农业部统计的方法,本文将欧盟及欧盟成立之前的国家统称为欧盟。

表1 1962年和2016年主要国家和地区粮食生产结构变化对比

Table 1 Comparison of changes in grain production structure in major countries and regions in 1962 and 2016

(%)

国家或地区	1962年				2016年			
	玉米	稻米	小麦	其他	玉米	稻米	小麦	其他
加拿大	2.90	0	52.62	44.48	22.95	0	55.11	21.94
美国	56.74	1.32	18.40	23.54	81.42	1.51	13.30	3.77
阿根廷	35.52	0.94	46.42	17.12	60.44	1.27	27.13	11.16
巴西	71.26	26.54	1.74	0.46	84.57	7.20	5.78	2.45
欧盟	6.81	0.92	43.39	48.88	20.38	0.69	48.53	30.40
俄罗斯	-	-	-	-	13.43	0.62	63.62	22.33
乌克兰	-	-	-	-	42.36	0.06	40.55	17.03
前苏联	12.66	0.13	53.79	33.42	-	-	-	-
中国	20.98	44.29	16.74	17.99	43.81	28.91	25.71	1.57
印度	6.53	47.00	17.09	29.38	10.87	45.61	36.02	7.50

注:“-”表示当年无数据。

界总量的比重由11.71%增至19.23%,位居世界首位,主要粮食作物品种为玉米、稻米和小麦;美国粮食生产波动增长,由1.61亿t增加到4.73亿t,历年粮食平均产量约占世界的1/5左右,2016年粮食产量占世界粮食总产的比重降为18.14%,居于中国之后,主要粮食作物品种为玉米;欧盟粮食产量由1.04亿t增加到3亿t,增幅达1.88倍,占世界比重略微降低,由12.25%降至11.5%,居第三位,主要粮食作物品种为小麦和玉米;印度粮食生产平稳增长,波动较小,由0.71亿t增加到2.42亿t,增幅达2.4倍,占世界比重由8.31%增加到9.27%,主要粮食作物品种为稻米和小麦;苏联未解体前,粮食产量一度高达2.1亿t,年均产量高达1.56亿t,占世界比重为11.94%,主要粮食作物品种为小麦;其余国家历年产量大部分在0.5亿~1亿t之间,占世界的比重为18.15%。

总的来看,玉米、小麦和稻米是世界主要的粮食作物品种,其他作物产量的比重降至11.15%,其原因主要是三大作物的增量较大,而小米、杂粮和高粱等增长乏力,燕麦和黑麦等出现减产。从粮食主产国家和地区来看,中国、美国、欧盟和印度是最主要的粮食产地。中国粮食生产的增长主要有三方面的原因。一是出台了一系列惠农政策,建立健全了对“三农”投入稳定增长的机制,完善了对农业生产各类补贴的政策,加大了国家对农业生产的财政转移支付,加快建立了国家以及粮食主销区对粮食主产区的利益补偿机制,提高了农民收入,促进

了粮食产量的提升;二是生物科技的突破和应用优化了粮食品种,提升了粮食单产水平和粮食生产的抗风险能力;其三,快速工业化和城市化导致了粮食消费结构的变化,促使了粮食需求的快速增长,导致粮食生产资源的潜力得以提升。美国和欧盟农业发达,2016年粮食产量位居世界第二、第三位,两地农业生产的主要特点是机械化水平高,加上大规模使用生物技术,使得其单位面积的产量较高。印度粮食产量增加的主要原因是由于20世纪60年代推行的“绿色革命”,改进了粮食的生产技术。

3.1.2 消费格局

研究期内,世界粮食消费呈平稳增长的趋势,由8.38亿t增加到25.41亿t¹⁾,增长17.03亿t,年均增长2.07%(图2a)。

从粮食消费情况来看,主要粮食作物的消费量普遍增加,而有的却呈下降趋势。其中,玉米消费量增长明显,由2.15亿t增加到10.36亿t,增长8.21亿t,年均增长2.95%,1998年起全球玉米消费量超越小麦,成为最主要的粮食消费品种,目前玉米占全球粮食消费的比重高达40.75%。小麦消费量增长较慢,由2.38亿t增加到7.36亿t,增长4.98亿t,年均增长2.11%,研究期内小麦年均消费量高达4.95亿t,占粮食消费总量的30.27%,2016年降为28.96%。稻米消费增长较缓,由1.50亿t增加到4.77亿t,增长3.27亿t,年均增长2.16%,占世界消费比重有所上升,由17.91%提升至18.76%。其他作物

1) 世界粮食生产和消费的差异主要是由于运输中撒漏及统计误差等原因造成。

2018年10月

如大麦、小米和高粱等的消费量也有所提升,由2.35亿t提高到2.93亿t,但占世界比重明显下降,由28.08%降至11.53%。

从粮食主要消费地及其结构来看(图2b、表2),世界粮食消费主要集中在美国、中国、欧盟、印度、前苏联(1991年之后为俄罗斯)和巴西等国家和地区。上述国家和地区年均粮食消费量高达11.43亿t,占世界粮食消费总量的69.91%,主要原因是这些国家和地区人口稠密,因而粮食消费数量庞大。中国粮食消费增长明显,研究期内粮食消费量由0.98亿t增至5.13亿t,增幅高达4.23倍,从1974年起一直位居世界首位,并且与第二位保持较大差距,如今占世界的比重为20.18%,主要消费作物为玉米、稻米和小麦。美国粮食消费波动上升,由1.39亿t

增加到3.63亿t,增幅达1.61倍,但占世界比重却由16.57%降至14.30%,位居第二位,主要消费作物为玉米。欧盟粮食消费起伏较大,总体呈增长趋势,由1.26亿t增至2.93亿t,增加1.32倍,占世界的比重由15%降至11.51%,居第三位,主要消费作物为玉米和小麦;印度粮食消费平稳增长,由0.73亿t增加到2.37亿t,增幅为2.24倍,占世界的比重由8.7%增至9.33%,主要消费作物为稻米和小麦;1992年之前,前苏联年均消费粮食高达1.73亿t,占世界比重为13.33%,主要消费作物为小麦;除俄罗斯粮食消费大幅下降外,其余国家粮食消费普遍呈增长趋势,但增量较小,如今粮食消费占世界的比重为14.07%。

整体来看,玉米、小麦和稻米是最主要的粮食

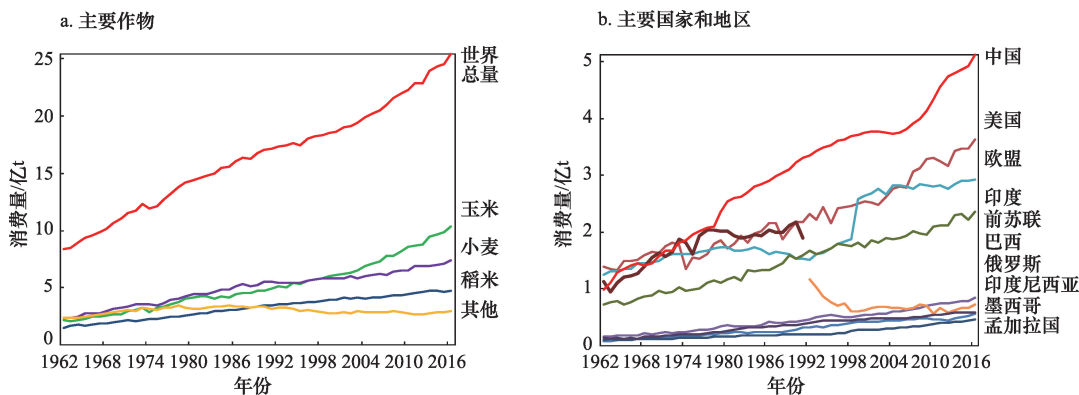


图2 1962—2016年世界粮食消费情况

Figure 2 Grain consumption in the world from 1962 to 2016

表2 1962年和2016年主要国家和地区粮食消费结构变化对比

Table 2 Comparison of changes in grain consumption structure in major countries and regions in 1962 and 2016 (%)

国家或地区	1962年				2016年			
	玉米	稻米	小麦	其他	玉米	稻米	小麦	其他
墨西哥	70.99	2.43	17.87	8.71	72.52	1.63	14.19	11.66
美国	64.04	0.68	11.75	23.53	86.36	1.15	8.74	3.75
巴西	60.58	23.84	14.85	0.73	71.95	9.51	14.51	4.03
欧盟	16.03	1.01	38.91	44.05	25.12	1.25	43.90	29.73
俄罗斯	—	—	—	—	13.29	1.02	54.82	30.87
前苏联	13.04	0.30	52.72	33.94	—	—	—	—
孟加拉国	0	99.37	0.43	0.20	7.89	76.66	15.33	0.12
中国	21.72	40.23	19.67	18.38	45.24	27.56	23.12	4.08
印度	6.42	46.27	20.34	26.97	10.55	40.92	40.98	7.55
印度尼西亚	22.40	77.43	0.17	0	20.71	63.3	15.99	0

注:“—”表示当年无数据。

消费作物。国际玉米消费量的增多主要体现在玉米工业深加工消费的增速加快,稻米和小麦的消费增多主要是由中国和印度庞大的人口基数驱动的。

3.2 流动格局

3.2.1 粮食输出

研究期内,世界粮食的输出总体上呈增长趋势。粮食输出量由0.86亿t增长到4.31亿t,增加3.45亿t,年均增长3.02%(图3a)。

从粮食的输出作物来看,小麦和玉米输出量处于前两位,其中小麦输出量由0.46亿t增长到1.83亿t,增加1.37亿t,年均增长2.57%;玉米输出量增长较快,由0.2亿t增长到1.64亿t,增加1.44亿t,年均增长3.96%;稻米输出量由0.07亿t增长到0.45亿t,增加0.38亿t,年均增长3.47%;其他作物如大麦、小米和杂粮等由0.13亿t增长到0.39亿t,仅增加0.26亿t。

从粮食主要输出地及其结构来看(图3b、表3),世界粮食输出主要集中在美国、乌克兰、阿根廷、欧盟和俄罗斯等国家和地区,上述国家或地区年均输出粮食1.87亿t,占世界输出总量的88.63%。美国是世界上最大的粮食输出国,研究期内粮食输出由0.34亿t增加到0.97亿t,年均输出粮食0.78亿t,输出量最高可达1.14亿t,如今占世界的比重高达22.49%,主要输出作物为玉米和小麦。苏联解体后,乌克兰、俄罗斯和哈萨克斯坦的粮食输出在世界上也占有重要地位,2016年上述3国粮食输出量分别为0.45亿t、0.36亿t和0.08亿t,占世界的比重为20.81%,主要输出作物为玉米和小麦。阿根廷和巴西等南美国家粮食输出量也较大,如今粮食输出量分别为0.42亿t和0.37亿t,二者输出量占世界输出总量的18.51%,主要输出作物为玉米。欧盟的粮

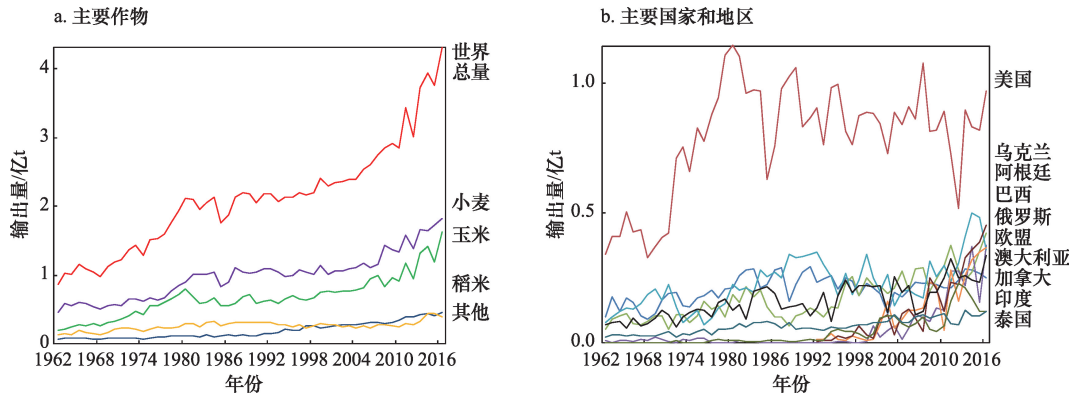


图3 1962—2016年世界粮食输出情况

Figure 3 Grain output in the world from 1962 to 2016

表3 1962年和2016年主要国家和地区粮食输出结构变化对比

Table 3 Comparison of changes in grain output structure in major countries and regions in 1962 and 2016 (%)

国家或地区	1962年				2016年			
	玉米	稻米	小麦	其他	玉米	稻米	小麦	其他
加拿大	0.01	0	91.68	8.31	6.08	0	80.81	13.11
美国	29.50	3.28	51.76	15.46	60.09	3.82	29.63	6.46
阿根廷	50.36	0.27	34.62	14.75	60.17	1.12	31.38	7.33
巴西	98.59	0	0	1.41	96.24	1.87	1.87	0.02
欧盟	7.29	3.29	58.66	30.76	5.63	0.90	76.87	16.60
俄罗斯	—	—	—	—	15.09	0.49	76.27	8.15
乌克兰	—	—	—	—	47.36	0	40.26	12.38
澳大利亚	0	0.82	90.15	9.03	0.22	0.66	67.71	31.41
印度	0	100.00	0	0	4.15	91.31	4.28	0.26
泰国	33.74	66.26	0	0	6.09	91.85	2.02	0.04

注:“—”表示当年无数据。

2018年10月

食输出量由0.08亿t增加到0.36亿t,但占世界的比重由9.07%降至8.24%,主要输出作物为小麦。澳大利亚、印度和泰国等亚太国家粮食输出也较多,其中澳大利亚最多,2016年粮食输出0.33亿t,占世界比重为7.76%,主要输出作物为小麦。

整体来看,小麦和玉米是全球最主要的粮食输出作物,研究期内年均输出量1.66亿t,占世界比重高达78.7%。美国、乌克兰、阿根廷、欧盟和俄罗斯等是主要的输出地,如今粮食输出占世界的90%以上。

3.2.2 粮食输入

研究期内,世界粮食的输入量波动增长。粮食输入量由0.81亿t增长到3.96¹⁾亿t,增加3.15亿t,年均增长2.97%(图4a)。

从粮食主要输入地及其结构来看(图4b、表4),世界粮食输入地主要集中在中国、日本、欧盟、墨西哥、埃及和印度尼西亚等国家和地区,上述国家和地区年均输入粮食1.06亿t,占世界输入总量的52.14%。如今中国是最大的粮食输入国,粮食输入由0.05亿t增长到0.26亿t,增幅达3.8倍,占世界比重为6.51%,主要输入作物由小麦转为其他类作物,表明中国粮食输入结构呈多样化发展。日本人多地少,对粮食的需求较高,输入量由0.06亿t增长到0.24亿t,增幅为3倍,占世界比重为5.96%,主要输入作物为玉米和小麦。欧盟粮食输入量呈下降趋势,由0.33亿t降至0.23亿t,占世界比重由40.39%降至5.68%,主要输入作物为玉米和小麦。墨西哥粮食输入量增幅较大,由0.01亿t增加到0.21亿t,增长了20倍,如今占世界比重为5.4%,主要输入作物为玉米和小麦。阿尔及利亚和埃及等非洲国家输入量也较大,2016年分别输入粮食0.13亿t和0.20亿

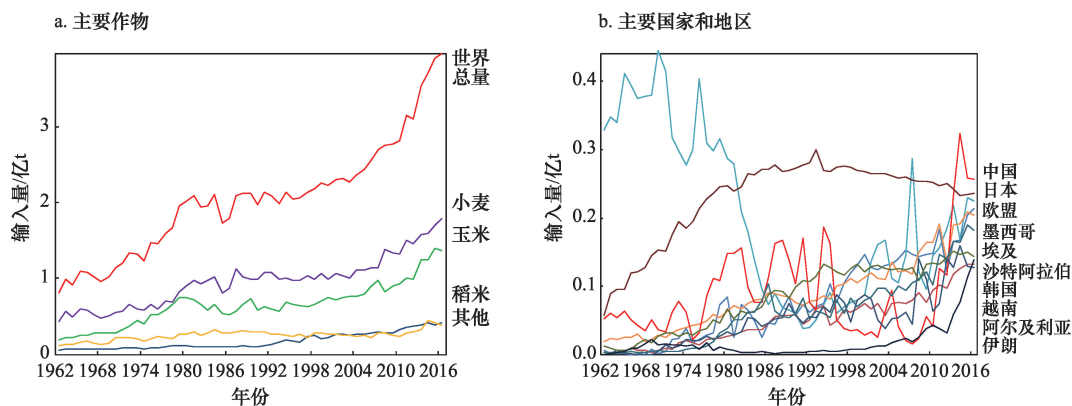


图4 1962—2016年世界粮食输入情况

Figure 4 Grain input in the world from 1962 to 2016

表4 1962年和2016年主要国家和地区粮食输入结构变化对比

Table 4 Comparison of changes in grain input structure in major countries and regions in 1962 and 2016

(%)

国家或地区	1962年				2016年			
	玉米	稻米	小麦	其他	玉米	稻米	小麦	其他
墨西哥	65.69	0.29	5.26	28.76	67.76	4.01	25.09	3.14
欧盟	40.36	1.70	32.92	25.01	65.75	8.22	23.43	2.60
阿尔及利亚	0.31	0.31	95.65	3.73	30.87	0.98	63.21	4.94
埃及	9.54	0	90.10	0.36	43.99	0.73	54.92	0.36
中国	5.05	0	93.52	1.43	9.56	20.57	17.12	52.75
伊朗	0	0.90	99.10	0	66.40	12.50	9.38	11.72
日本	41.40	3.06	45.99	9.55	64.30	2.90	25.05	7.75
韩国	1.43	9.26	72.29	17.02	64.24	2.85	32.48	0.43
沙特阿拉伯	0	37.17	41.36	21.47	19.32	7.73	20.50	52.45
越南	85.07	14.93	0	0	58.07	2.15	39.78	0

1) 粮食输出量与输入量之间存在差异原因主要是运输撒漏和统计误差等。

t,占世界比重分别为3.36%和5.17%,主要输入作物为玉米和小麦。其余如伊朗、韩国和沙特阿拉伯等国粮食输入量也呈不同程度的增长。

整体来看,小麦和玉米是最主要的粮食输入作物,年均输入量1.61亿t,占世界比重高达79.07%。中国、日本、欧盟、墨西哥和埃及等地区和国家是主要的粮食输入地,上述国家和地区2016年输入粮食达2.07亿t,占世界比重为52.19%。

3.2.3 粮食流动形态

通过对粮食供需状况分析,可以反映出粮食流动的总空间格局。但是有些地区和国家的粮食以输出为主,有的以输入为主,有的则有进有出,难以确定其功能类型,为清楚地显示粮食输出和输入的变化过程,本文将粮食流动形态分为输出型和输入型(表5)。由公式(1)的计算可以发现,加拿大、美国、阿根廷、乌克兰、澳大利亚和泰国的流动比大

表5 1962—2016年主要国家和地区粮食流动比

Table 5 The Grain flow ratio in major countries and regions from 1962 to 2016

国家或地区	流量/亿t	1962年	1970年	1980年	1990年	2000年	2010年	2016年
加拿大	输出量/输入量	0.10/0.01	0.16/0	0.21/0.02	0.27/0.01	0.21/0.03	0.21/0.02	0.25/0.02
	流动比	10.00	*	10.50	27.00	7.00	10.50	12.50
墨西哥	输出量/输入量	0/0.01	0.01/0	0/0.08	0/0.06	0.01/0.15	0.01/0.15	0.03/0.21
	流动比	0	*	0	0	0.06	0.06	0.14
美国	输出量/输入量	0.34/0	0.40/0	1.14/0	0.83/0.03	0.88/0.06	0.89/0.06	0.97/0.07
	流动比	*	*	*	27.66	14.66	14.83	13.00
阿根廷	输出量/输入量	0.05/0	0.10/0	0.18/0	0.11/0	0.22/0	0.30/0	0.42/0
	流动比	*	*	*	*	*	*	*
巴西	输出量/输入量	0.01/0.02	0.01/0.02	0/0.04	0/0.06	0.06/0.08	0.12/0.08	0.37/0.09
	流动比	0.50	0.50	0	0	0.75	1.50	4.11
欧盟	输出量/输入量	0.08/0.33	0.16/0.44	0.22/0.29	0.33/0.06	0.25/0.09	0.30/0.15	0.36/0.23
	流动比	0.24	0.36	0.75	5.50	2.77	2.00	1.56
俄罗斯	输出量/输入量	-	-	-	-	0.01/0.03	0.04/0.01	0.36/0.01
	流动比	-	-	-	-	0.33	4.00	36.00
乌克兰	输出量/输入量	-	-	-	-	0.02/0.01	0.12/0	0.45/0
	流动比	-	-	-	-	2.00	*	*
阿尔及利亚	输出量/输入量	0/0	0/0.01	0/0.03	0/0.06	0/0.08	0/0.09	0/0.13
	流动比	-	0	0	0	0	0	0
埃及	输出量/输入量	0/0.02	0.01/0.03	0/0.06	0/0.08	0.01/0.11	0/0.16	0.01/0.2
	流动比	0	0.33	0	0	0.09	0	0.05
澳大利亚	输出量/输入量	0.07/0	0.12/0	0.12/0	0.15/0	0.21/0	0.25/0	0.33/0
	流动比	*	*	*	*	*	*	*
中国	输出量/输入量	0.01/0.05	0.01/0.04	0.01/0.15	0.08/0.1	0.10/0.03	0.02/0.04	0.02/0.26
	流动比	0.20	0.25	0.06	0.80	3.33	0.50	0.07
印度	输出量/输入量	0/0.04	0/0.03	0.01/0	0.01/0	0.03/0	0.06/0	0.12/0.06
	流动比	0	0	*	*	*	*	2.00
伊朗	输出量/输入量	0/0.01	0/0.01	0/0.03	0/0.06	0/0.09	0.01/0.06	0/0.13
	流动比	0	0	0	0	0	0.16	0
日本	输出量/输入量	0/0.06	0.01/0.15	0.01/0.25	0/0.27	0.01/0.27	0/0.25	0/0.24
	流动比	0	0.06	0.04	0	0.03	0	0
韩国	输出量/输入量	0/0.01	0/0.03	0/0.07	0/0.10	0/0.12	0/0.13	0/0.14
	流动比	0	0.06	0	0	0	0	0
泰国	输出量/输入量	0.02/0	0.03/0	0.05/0	0.05/0	0.08/0.01	0.11/0.03	0.12/0.05
	流动比	*	*	*	*	8.00	3.66	2.40
越南	输出量/输入量	0/0.01	0/0.01	0/0.01	0.01/0	0.04/0.01	0.07/0.04	0.07/0.14
	流动比	0	0	0	*	4.00	1.75	0.50

注:“*”表示流动比较大,“-”表示当年无数据。

2018年10月

于1,为粮食输出型国家。阿尔及利亚、埃及、中国、伊朗、日本和韩国的流动比小于1,为粮食输入型国家;巴西、欧盟、俄罗斯和印度由流入型转为流出型。墨西哥和越南主要表现为流入型。

3.3 粮食流动网络的特征分析

3.3.1 出度、入度与流动联系

由公式(2)—公式(4),可以得到世界粮食主要贸易节点的出度和入度(表6、表7)。

从出度来看,世界粮食输出网络关系较多的主要有欧盟、美国、加拿大和泰国等地区和国家。如

今欧盟的粮食输出的节点度为194个,为粮食输出贸易关系最多的地区,处于粮食流动地位的核心位置;美国历年来粮食输出最多,其出度也由120个增至169个,如今处于次席;其余国家如加拿大、泰国、阿根廷和印度等随着粮食输出量的增长,与其建立贸易关系的国家也日益增多,其中增长最明显的是印度,由20个增加到157个。总的来看,世界主要粮食输出国家的贸易合作伙伴都在不同程度上有所增加,表明输出贸易联系日趋分散。

从入度来看,世界粮食输入网络关系较多的主

表6 1962—2016年主要国家和地区粮食主要输出节点及其出度、强度和平均强度变化

Table 6 Change of the main out-nodes, out-degree, intensity and average intensity of the grain output in major countries and regions from 1962 to 2016

节点		1962年	1970年	1980年	1990年	2000年	2010年	2016年
欧盟	强度/万t	781	1 624	2 236	3 291	2 500	2 953	3 553
	出度/个	151	155	184	189	172	176	194
	平均强度/万t	5	10	12	17	15	17	18
美国	强度/万t	3 412	4 024	11 441	8 296	8 811	8 923	9 692
	出度/个	120	135	150	156	172	171	169
	平均强度/万t	28	30	76	53	51	52	57
加拿大	强度/万t	984	1 612	2 105	2 726	2 101	2 105	2 497
	出度/个	95	112	113	92	97	109	117
	平均强度/万t	10	14	19	30	22	19	21
泰国	强度/万t	214	332	545	531	789	1 111	1 198
	出度/个	52	47	79	106	134	165	158
	平均强度/万t	4	7	7	5	6	7	8
澳大利亚	强度/万t	682	1 223	1 241	1 521	2 127	2 478	3 344
	出度/个	42	70	71	51	96	88	72
	平均强度/万t	16	17	17	30	22	28	46
阿根廷	强度/万t	519	1 015	1 829	1 109	2 205	2 987	4 238
	出度/个	40	63	53	60	89	123	131
	平均强度/万t	13	16	35	18	25	24	32
印度	强度/万t	1	3	97	90	335	641	1 205
	出度/个	20	42	57	54	94	124	157
	平均强度/万t	0	0	2	2	4	5	8
巴西	强度/万t	71	110	7	0	637	1 243	3 741
	出度/个	12	26	11	13	28	90	94
	平均强度/万t	6	4	0	0	23	14	40
乌克兰	强度/万t	—	—	—	—	153	1 218	4 498
	出度/个	—	—	—	—	42	97	88
	平均强度/万t	—	—	—	—	4	13	51
俄罗斯	强度/万t	—	—	—	—	128	445	3 646
	出度/个	—	—	—	—	36	67	109
	平均强度/万t	—	—	—	—	4	7	33

注:“—”表示当年无数据。

要有欧盟、韩国、沙特阿拉伯、阿尔及利亚和日本等地区和国家。由于欧盟内部国家较多,所以入度一直处于首位;韩国的输入节点度增加了49个,如今位居世界次席;沙特、阿尔及利亚、伊朗、埃及、中国和墨西哥等国的节点度增加较大,增幅在20~30个之间;日本和巴西的节点度增加数量为个位数。总的来看,主要国家和地区の入度都有不同程度的增长,但较出度相比增幅较小。

3.3.2 节点强度与流动联系程度

衡量各国家或地区粮食流动联系程度主要依

据其节点强度与节点平均强度指标。由公式(5)和公式(6)的计算可以看出主要输出国流动的联系程度相差较为悬殊,而主要输入国的流动联系程度则相差不大(表6、表7)。

从输出结构看,流动联系程度最高的为美国,节点强度值达9692,其次为乌克兰和阿根廷,节点强度值分别为4498和4238;而平均流动联系程度最高的为乌克兰,节点平均强度值为51,其次为澳大利亚和巴西,节点平均强度值依次为46和40。从时间序列来看,印度、巴西、乌克兰和俄罗斯为输出联

表7 1962—2016年主要国家和地区粮食主要输入节点及其入度、强度和平均强度变化

Table 7 Change of the main in-nodes, in-degree, intensity and average intensity of the grain input in major countries and regions from 1962 to 2016

节点	1962年	1970年	1980年	1990年	2000年	2010年	2016年
日本	强度/万t	579	1 532	2 478	2 724	2 680	2 359
	入度/个	33	41	44	28	31	41
	平均强度/万t	18	37	56	97	86	58
欧盟	强度/万t	3 281	4 448	2 870	603	883	1 454
	入度/个	64	57	72	103	116	117
	平均强度/万t	51	78	40	6	8	12
中国	强度/万t	523	367	1 480	1 039	288	416
	入度/个	13	6	16	29	29	35
	平均强度/万t	40	61	93	36	10	12
埃及	强度/万t	192	291	641	774	1 137	1 648
	入度/个	12	17	22	29	27	40
	平均强度/万t	16	17	29	27	42	41
韩国	强度/万t	126	264	677	984	1 210	1 333
	入度/个	10	13	20	21	25	50
	平均强度/万t	13	20	34	47	48	27
墨西哥	强度/万t	69	20	850	576	1 472	1 485
	入度/个	12	12	25	14	18	38
	平均强度/万t	6	2	34	41	82	39
沙特阿拉伯	强度/万t	38	59	383	606	791	1 024
	入度/个	30	35	50	30	35	42
	平均强度/万t	1	2	8	20	23	24
巴西	强度/万t	224	177	405	627	845	844
	入度/个	19	23	31	15	21	21
	平均强度/万t	12	8	13	42	40	40
伊朗	强度/万t	33	54	343	583	873	645
	入度/个	13	25	25	24	28	34
	平均强度/万t	3	2	14	24	31	19
阿尔及利亚	强度/万t	32	67	266	583	756	948
	入度/个	18	17	25	26	34	32
	平均强度/万t	2	4	11	22	22	30

2018年10月

系程度增长较快的国家。

从输入结构来看,流动联系程度最高的为中国,强度值达2577,其次为日本和欧盟,强度值分别为2359和2251;平均流动联系程度最高的也是中国,为64,其次为埃及和墨西哥,依次为62和58。从时间序列来看,粮食输入流动联系程度增长较快的国家依次为沙特阿拉伯、阿尔及利亚和伊朗。

3.3.3 标准权重熵与空间结构的均质性

本文采用标准权重熵测度流动空间结构的均质性(表8、表9)。由公式(7)—公式(11)计算来看,粮食输出空间结构的均质性强于输入结构。

从输出结构来看,美国的标准权重熵值最小,空间结构的均质性最弱,虽然美国的出度值最大,但是其粮食的流向较为集中。例如,2016年美国出

口的粮食有22%流向日本,16%流向海地,主要粮食种类为稻米,其余50%以上的粮食仅流向少数国家,表明美国的粮食流出有序性较强。加拿大的标准权重熵值最高,空间结构均质性最强,虽然其出度值远低于美国,但粮食出口较为均匀地流向各主要国家,例如,2016年加拿大50%的粮食流向9个国家,流出结构较为无序。此外,一些国家在特殊年份出现了权重熵值突变的情况,如加拿大2000年标准权重熵仅为0.16,主要是由于当年90%以上的粮食流向了美国;巴西1980年和1990年标准权重熵出现大幅下降,主要是由于其出口流向的国家数量大幅下降,出度仅为11和13,表明仅向少数国家均匀的输出粮食,因而出现有序性突然上升的情况。

从输入结构看,墨西哥的标准权重熵值最小,

表8 1962—2016年主要国家和地区粮食主要输出节点的标准权重熵变化

Table 8 Change of standard weight entropy in main out-nodes in major countries and regions from 1962 to 2016

地区	1962年	1970年	1980年	1990年	2000年	2010年	2016年
阿根廷	0.63	0.56	0.47	—	0.63	0.61	0.64
澳大利亚	—	0.59	0.60	0.60	0.27	0.64	0.63
巴西	0.80	0.52	0.37	0.36	0.62	0.66	0.57
加拿大	0.59	0.71	0.62	0.63	0.16	0.67	0.71
印度	—	—	0.72	0.47	0.47	0.50	0.63
俄罗斯	—	—	—	—	0.65	0.59	0.69
泰国	0.67	0.62	0.74	0.73	0.66	0.66	0.63
乌克兰	—	—	—	—	0.70	0.64	—
美国	0.68	0.65	0.69	0.67	0.58	0.61	0.54
欧盟	0.65	0.66	0.66	0.60	0.66	0.68	0.68

注:“—”表示当年无数据。

表9 1962—2016年主要国家和地区粮食主要输入节点的标准权重熵变化

Table 9 Change of standard weight entropy in main in-nodes in major countries and regions from 1962 to 2016

地区	1962年	1970年	1980年	1990年	2000年	2010年	2016年
阿尔及利亚	—	0.47	0.63	0.62	0.57	0.40	0.60
巴西	0.42	0.39	0.48	0.54	0.33	0.51	0.53
中国	—	—	—	0.24	0.48	0.51	0.58
埃及	—	0.67	0.81	—	0.40	0.55	0.56
伊朗	—	0.57	—	—	0.65	0.67	—
日本	0.59	0.57	0.50	0.41	0.40	0.39	0.40
墨西哥	0.29	0.33	0.23	0.32	0.42	0.33	0.31
韩国	0.72	0.43	0.42	0.37	0.43	0.40	0.46
沙特阿拉伯	—	—	0.57	0.69	0.63	0.65	0.66
欧盟	0.70	0.66	0.61	0.55	0.63	0.67	0.68

注:“—”表示当年无数据。

空间结构均质性最弱,这是由于墨西哥粮食主要是从美国流入导致的,除1970年外,其余各主要年份均有90%左右的粮食由美国进口。欧盟的标准权重熵值最高,空间结构均质性最强,主要原因是欧盟对粮食的需求多样,粮食输入的来源较多。在亚洲3个主要的粮食输入国家中,日本和韩国的标准权重熵远低于中国,主要是由于进口国家相对集中造成的,例如2016年日本65%的粮食进口来自美国,巴西的玉米,18%来自美国和加拿大的大麦,其余各主要年份中均有60%以上的粮食由美国进口;2016年韩国有57%的粮食为从美国、巴西和阿根廷进口的玉米,2000年49%的粮食为从中国进口的玉米,其余各年份均有60%以上的粮食从美国进口。

中国的粮食主要从美国、澳大利亚、乌克兰和越南等国进口,且从各国进口粮食的比例相差相对较小,因此均质性较强。

3.4 粮食流动的海上通道分析

分析发现,世界各地的粮食供需显著不对称,因而造成粮食大规模地流动,而实现流动最主要的方式为海上运输。本文选取研究期首尾年份作为时间点,依据各主要粮食流动节点的流量及流向(表10、表11),给出不同时期海运航线的演变以体现世界粮食流动迹线及权重的变化(图5)。

从图5可以清楚地显示,1962年欧盟是主要的粮食输入地区,北美是主要的粮食输出地区,主要海上运输航线有北美东(美、加)—西欧航线、北美

表10 1962年和2016年主要国家和地区粮食主要输出节点及其输出流向变化对比

Table 10 Comparison of the main out-nodes of grain and the change of output flow direction in major countries and regions in 1962 and 2016

输出地	1962年		2016年	
	输出量/亿t	输出流向	输出量/亿t	输出流向
欧盟	0.08	主要为内部流通	0.36	欧盟内部、北非
美国	0.34	西欧、印度、日本、巴西	0.97	墨西哥、日本、中国、韩国
加拿大	0.10	西欧、中国、日本	0.25	西欧、美国、日本、中国
泰国	0.02	中国香港、印尼、日本、新加坡	0.12	贝宁、中国
阿根廷	0.05	西欧	0.42	巴西、越南、埃及、阿尔及利亚
印度	<0.01	-	0.12	阿联酋、尼泊尔、沙特
巴西	0.01	古巴	0.37	伊朗、越南、日本、马来西亚
乌克兰	-	-	0.45	西欧、埃及、中国、印尼
俄罗斯	-	-	0.36	埃及、土耳其、孟加拉国、伊朗
澳大利亚	0.07	西欧	0.33	中国、印尼、日本、韩国

注:“-”表示当年无数据。

表11 1962年和2016年主要国家和地区粮食主要输入节点及其输入来源变化对比

Table 11 Comparison of the main in-nodes of grain and the change of input sources in major countries and regions in 1962 and 2016

输入地	1962年		2016年	
	输入量/亿t	输入来源	输入量/亿t	输入来源
欧盟	0.33	美国、加拿大、澳大利亚	0.23	加拿大、乌克兰
日本	0.06	美国、加拿大	0.24	美国、加拿大、巴西
沙特阿拉伯	<0.01	-	0.18	印度、苏丹
巴西	0.02	美国	0.09	阿根廷
阿尔及利亚	<0.01	-	0.13	欧盟、阿根廷
中国	0.05	加拿大	0.26	美国、澳大利亚、乌克兰、越南
伊朗	<0.01	-	0.13	巴西、印度、俄罗斯
埃及	0.02	美国	0.20	俄罗斯、阿根廷
墨西哥	0.01	美国	0.21	美国
韩国	0.01	美国	0.14	美国、澳大利亚

注:“-”表示当年无数据或数据较小可忽略。

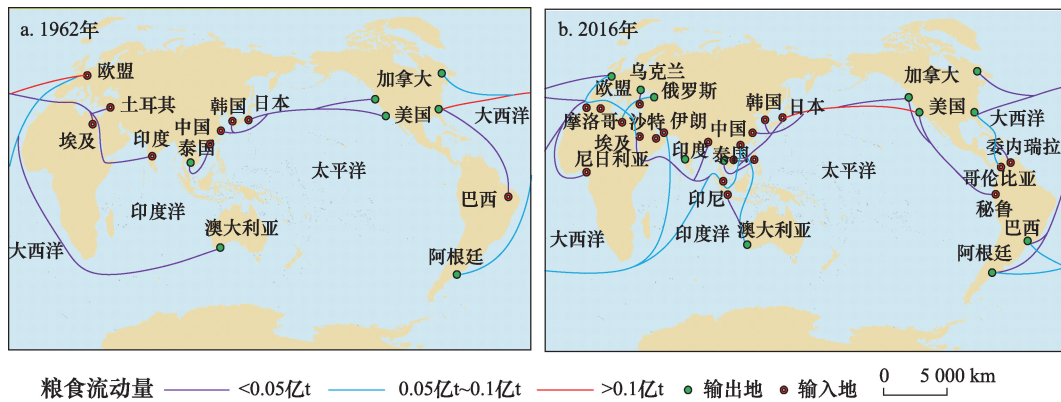


图5 1962年和2016年主要国家和地区粮食海运航线的演变

Figure 5 Evolution of grain shipping routes in major countries and regions in 1962 and 2016

注:基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1561号的标准地图制作,底图无修改。

东(美、加)—巴西/土耳其/埃及/印度航线、北美西(美、加)—东亚(中、日、韩)航线、澳大利亚—西欧航线和阿根廷—西欧航线。随着全球人口增长,越来越多国家加入到粮食的贸易网络之中,使得世界粮食贸易格局发生重大变化,从2016年世界粮食海运航线的分布可以看到,除1962年主要的输入输出地区外,东亚、东南亚、北非和南美洲北部成为了主要的粮食输入地区,南美洲南部、南亚和大洋洲等成为了主要的粮食输出地区,因此新增多条海运干线,分别有北美—南美(哥伦比亚、秘鲁、委内瑞拉)航线、乌克兰/俄罗斯—北非/东亚/东南亚航线、澳大利亚—印尼/东亚(中、日、韩)航线、欧洲—北非(摩洛哥、阿尔及利亚、埃及)航线和南美东—中东/北非(摩洛哥、阿尔及利亚、埃及)/东亚(中、日、韩)/东南亚(越、菲、马)航线等。

4 结论与讨论

本文基于1962—2016年粮食生产、消费和贸易数据,分析了世界粮食供需与流动格局的时空演变,利用复杂网络理论分析了粮食流动的状态及特征,并对世界粮食流动的海上通道进行了分析。主要研究结果及认识如下:

(1)研究期内,世界粮食产量已由8.5亿t增加到26.06亿t,增长17.56亿t,年均增长达2.09%,其中玉米、小麦和稻米的占比最高,2016年三者产量分别占粮食总产的比重为41.25%、28.93%和18.67%。世界粮食产量连年稳步提升的根本原因是生物科技的突破优化了粮食品种,农业科技的进步提高了

粮食生产的抗灾减灾能力。在消费方面,世界粮食消费量由8.38亿t增加到25.41亿t,增长17.03亿t,年均增长达2.07%,其中玉米、小麦和稻米2016年的消费量占粮食消费总量的比重分别为40.75%、28.96%和18.76%,其他作物消费占粮食消费的比重由28.08%降至11.53%,表明世界粮食消费结构越来越单一。中国、美国、欧盟和印度由于人口众多,是主要的粮食消费地,2016年粮食消费量高达14.06亿t,占世界粮食消费总量的55.31%。除了人口基数增大外,快速工业化和城市化也导致了粮食消费结构的变化,促使了粮食需求的快速增长,最为明显的是玉米工业深加工的增速加快,被广泛用于作为燃料的乙醇以及生产果葡糖浆、葡萄糖和食用酒精等消费。粮食未来的这种消费趋势将存在巨大的价值增长空间,值得中国高度关注。

(2)研究期内,世界粮食贸易在输出上由0.86亿t增长到4.31亿t,增加3.45亿t,年均增长3.02%,小麦、玉米和稻米是主要粮食输出作物,2016年三者输出量占粮食输出总量的比重分别为42.43%、37.97%和10.52%。美国、乌克兰、阿根廷、欧盟和俄罗斯等具备丰富的土地资源、发达的农业技术、相对较少的人口以及完善的农业营销体制等优势,粮食输出占世界比重高达90.8%,显示世界粮食输出的集中化程度极高,意味着国际粮食采购的空间较小。在输入方面,中国、日本、欧盟、墨西哥和埃及是主要的粮食输入地,2016年输入粮食1.14亿t,占世界的比重为28.71%。尽管中国对农业的大力扶

持以及科技进步使得粮食生产水平稳步提升,但在社会的快速发展和粮食消费结构变化的影响下,导致对粮食的需求快于粮食生产的增长,不得不通过加大粮食的输入进行弥补。

(3)粮食贸易网络节点的出度和入度普遍增长,表明世界粮食的输出与输入国家的分布趋于分散化。通过对网络节点出入度的分析可以看出,除个别年份外,欧盟粮食输出的出度最大,与其发生贸易的国家最多,达194个;美国位居次席。在入度方面,欧盟粮食输入的入度最大;中国粮食输入的入度由13个增至40个,增幅较大,但不及日本的41个。从同一时点的出度和入度来看,部分地区和国家出现粮食贸易双向增强的趋势,最为明显的是欧盟和巴西,不仅是重要的输出节点,也是重要的输入节点,主要原因是调换粮食品种,互通有无,提高粮食的消费质量,这是世界粮食资源流动不断增加的重要原因之一。

(4)输出流动联系程度最大的国家为美国,而平均流动联系程度最高的为乌克兰;输入流动联系程度最高的为中国,平均流动联系程度最高的也为中国。由此可见,虽然美国粮食贸易的出度值最大,但是输出结构的均质性最弱,粮食出口国家十分集中,这或是其软肋,可以说相对而言经不起粮食的贸易战。虽然加拿大的出度值远低于美国,但是粮食输出较为均匀,输出结构的均质性最强,转换的弹性最高。从输入结构来看,墨西哥的粮食主要是来自美国,输入结构的均质性最弱,其弱点显现无遗;而欧盟粮食的需求多样化,粮食输入的来源较多,输入结构的均质性最强,应对粮食危机的能力较高。在亚洲3个主要粮食输入国家中,中国标准权重熵值远高于日本和韩国,而且从各国进口粮食的比例相差相对较小,因而输入结构的均质性较强,表明中国应对粮食危机和国际贸易争端具有较强的抗争能力。

(5)世界各地粮食产需的显著不对称,促进了粮食大规模地流动,而实现流动最主要的方式为海上运输,故而海上通道的畅通性成为粮食流动最为关键的一环。随着粮食贸易范围的扩大,2016年粮食海上运输航线在数量上较1962年有了明显增长,其中最重要的航线为美洲—东亚航线,导致通过马

六甲海峡的粮食流量较大,成为世界粮食运输的咽喉之一。鉴于中国已成为世界上最大的粮食输入国,这一流动格局的变化意味着中国粮食进口对海上运输具有较强的依赖性,显然不利于中国国家的经济安全和社会稳定。

以上研究表明,当前世界粮食资源流动的规模已日益扩大化,流动的特征也更加复杂多样,同时也暴露出各种弊端和脆弱环节。中国政府虽然通过一系列优惠政策激发农民种粮的积极性,加大了科技投入,实现了粮食连续增产,但由于人口众多,需求不断扩大,粮食的供应形势依然严峻。为保障粮食供应的稳定和运输安全,中国应继续坚持立足于国内粮食的生产,维持稳定的种植面积,逐步减少对国外粮食的依赖;依靠市场机制调节粮食的供需平衡,增加粮食储备,提高其调控能力,降低粮食供应的风险;同时,加强粮食运输船队建设,确保粮食进口运输的连续性、稳定性和控制力;进一步拓宽粮食进口的国际市场渠道,寻求粮食来源多元化,以应对国际形势的变化;利用建设21世纪海上丝绸之路的历史契机,在粮食运输密集经过的马六甲海峡以及南海等重要海上通道构建安全保障体系,确保运输通道的安全和畅通。

本文揭示了1962—2016年以来世界粮食资源供需及流动的空间特征和演变情况,但随着世界各国粮食储备量的增加,在一定程度上会对粮食的供需及流动发挥稳定和平衡作用,如何综合考虑这一因素的影响,是下一步需要继续研究的内容。

参考文献(References):

- [1] 刘影,肖池伟,李鹏,等. 1978—2013年中国粮食主产区“粮—经”关系分析[J]. 资源科学, 2015, 37(10): 1891—1901. [Liu Y, Xiao C W, Li P, et al. Relationship of grain output and economic development from 1978 to 2013 in the major grain producing area of China [J]. *Resources Science*, 2015, 37(10): 1891—1901.]
- [2] 美国农业部. 粮食[EB/OL]. (2018-01-03)[2018-01-14]. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>. [United States Department of Agriculture. Grains [EB/OL]. (2018-01-03) [2018-01-14]. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/advQuery>.]
- [3] 联合国粮食及农业组织. 世界粮食安全和营养状况[EB/OL]. (2018-01-03)[2018-01-14]. <http://www.fao.org/publications/so>

2018年10月

- fi/zh/. [Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Food Security and Nutritional Status [EB/OL]. (2018-01-03)[2018-01-14]. <http://www.fao.org/publications/sofi/zh/>.]
- [4] 赵霞, 封志明, 杨艳昭. 1961年至2007年全球粮食生产的时空演变特征与地域格局 [J]. 资源科学, 2010, 32(5): 907-916. [Zhao X, Feng Z M, Yang Y Z. An evaluation of world cereals production in recent 50 years from a view of spatial-temporal patterns and regional differences [J]. *Resources Science*, 2010, 32(5): 907-916.]
- [5] Neumann K, Verburg P H, Stehfest E, et al. The yield gap of global grain production: a spatial analysis [J]. *Agricultural Systems*, 2010, 103(5): 316-326.
- [6] 王晟, 符大海. 美国粮食生产与流通的实践与启示 [J]. 贵州财经学院学报, 2004, (2): 84-86. [Wang S, Fu D H. The practice of and inspiration from US grain production and circulation [J]. *Journal of Guizhou College of Finance and Economics*, 2004, (2): 84-86.]
- [7] 谢颜, 李文明. 澳大利亚粮食生产流通的发展趋势及启示借鉴 [J]. 世界农业, 2010, (7): 69-72. [Xie Y, Li W M. The development trend of grain production and circulation in Australia and its enlightenment [J]. *World Agriculture*, 2010, (7): 69-72.]
- [8] 覃志豪, 唐华俊, 李文娟. 气候变化对我国粮食生产系统影响的研究前沿 [J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(1): 1-8. [Qin Z H, Tang H J, Li W J. Front issues in studying the impacts of climate change on grain farming system in China [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2015, 36(1): 1-8.]
- [9] 王欧, 杨进. 农业补贴对中国农户粮食生产的影响 [J]. 中国农村经济, 2014, (5): 20-28. [Wang O, Yang J. Impacts of agricultural subsidy on grain production in China [J]. *Chinese Rural Economy*, 2014, (5): 20-28.]
- [10] 刘玢泽, 王曙光, 张宽, 等. 供给侧改革视角下我国粮食生产、流通的思考建议 [J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(6): 112-116. [Liu X Z, Wang S G, Zhang K, et al. Analysis and recommendations of the production and circulation of grain in China at the angle of supply-side reform [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2016, 32(6): 112-116.]
- [11] 封志明, 肖池伟, 李鹏. 中国-东盟自由贸易区粮食生产与贸易的时空格局演变 [J]. 自然资源学报, 2017, 32(6): 937-950. [Feng Z M, Xiao C W, Li P. Spatial-temporal pattern changes of cereal production and trade in China-ASEAN free trade area [J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(6): 937-950.]
- [12] 封志明, 赵霞, 杨艳昭. 近50年全球粮食贸易的时空格局与地域差异 [J]. 资源科学, 2010, 32(1): 2-10. [Feng Z M, Zhao X, Yang Y Z. Evolutionary trends of world cereal trade in recent 50 years from a view of spatial-temporal patterns and regional differences [J]. *Resources Science*, 2010, 32(1): 2-10.]
- [13] 王溶花, 曾福生. 世界粮食贸易格局的演变及发展趋势分析 [J]. 世界农业, 2015, (2): 94-98. [Wang R H, Zeng F S. Analysis on the evolution and development trend of world grain trade pattern [J]. *World Agriculture*, 2015, (2): 94-98.]
- [14] 杨晓智. 世界粮食贸易格局及趋势研究 [J]. 国际贸易问题, 2009, (12): 9-15. [Yang X Z. Study on trade structure and tendency in world grain market [J]. *Journal of International Trade*, 2009, (12): 9-15.]
- [15] Balan E. World grain trade [J]. *Revista De Economie Mondiala*, 2017, 9(1): 66-74.
- [16] 李艳君. 我国粮食贸易特点和发展趋势 [J]. 农业展望, 2012, 8(2): 46-50. [Li Y J. The characteristics and development trend of grain trade in China [J]. *Agricultural Outlook*, 2012, 8(2): 46-50.]
- [17] 郑少华, 吴琼. 我国粮食贸易的现状分析及其发展趋势 [J]. 企业家天地, 2009, (7): 18-20. [Zheng S H, Wu Q. The current situation analysis and development trend of China's grain trade [J]. *Enterpriser World*, 2009, (7): 18-20.]
- [18] 李录堂, 薛继亮. 世界粮食安全变化趋势和预测 [J]. 上海大学学报(社会科学版), 2009, 16(3): 29-36. [Li L T, Xue J L. Change trend and forecast of world food security [J]. *Journal of Shanghai University (Social Sciences Edition)*, 2009, 16(3): 29-36.]
- [19] 信乃诤. 世界粮食安全面临新的严峻挑战 [J]. 农业科技管理, 2009, 28(3): 4-7. [Xin N Q. World food security is facing new and harsh challenges [J]. *Management of Agricultural Science and Technology*, 2009, 28(3): 4-7.]
- [20] 张元红, 刘长全, 国鲁来. 中国粮食安全状况评价与战略思考 [J]. 中国农村观察, 2015, (1): 2-14. [Zhang Y H, Liu C Q, Guo L L. Evaluation of China's food security situation and strategic thinking [J]. *China Rural Survey*, 2015, (1): 2-14.]
- [21] 吕新业, 冀县卿. 关于中国粮食安全问题的再思考 [J]. 农业经济问题, 2013, 34(9): 15-24. [Lv X Y, Ji X Q. Reconsideration on the issue of food security in China [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2013, 34(9): 15-24.]
- [22] 王明利. 有效破解粮食安全问题的新思路: 着力发展牧草产业 [J]. 中国农村经济, 2015, (12): 63-74. [Wang M L. New ideas to effectively solve the problem of food security: focus on the development of forage industry [J]. *Chinese Rural Economy*, 2015, (12): 63-74.]
- [23] 胡岳岷, 刘元胜. 中国粮食安全: 价值维度与战略选择 [J]. 经济学家, 2013, (5): 50-56. [Hu Y M, Liu Y S. China food security: value dimensions and strategic choice [J]. *Economist*, 2013, (5): 50-56.]
- [24] Hirata H. Method of flow-based modelling for large-scale systems: the basic idea [J]. *International Journal of Systems Science*, 1988, 19(2): 351-363.
- [25] Maric I. Flow measurement system model with distributed resources [J]. *Flow Measurement and Instrumentation*, 2001, 12(4): 283-289.
- [26] 程淑佳, 赵映慧, 李秀敏. 基于复杂网络理论的原油贸易空间格局差异分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(8): 20-25.

[Cheng S J, Zhao Y H, Li X M. Difference in spatial pattern of main nations' crude oil trade on complicated network theory [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(8): 20–25.]

[27] 汪小帆, 李翔, 陈关荣. 网络科学导论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2012. [Wang X F, Li X, Chen G R. Introduction to Network Science [M]. Beijing: Higher Education Press, 2012.]

The evolution characteristics of world grain supply–demand and flow pattern

ZHANG Jin, WANG Nuo, LU Yike, LIN Wanni

(Transportation Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China)

Abstract: Based on the statistical data from 1962 to 2016, this study implemented the basic concepts of complex network theory to discuss the spatial network forms of grain flow in major countries and regions in the world. The results showed that: (1) For a half century, the world's grain production has increased by 1.756 billion tons with an average annual increase of 2.09%. The world's grain consumption has increased by 1.703 billion tons with an average annual increase of 2.07%. (2) The world's grain output has increased by 345 million tons with an average annual increase of 3.02%. Among them, the United States, Argentina, and Ukraine are the main exporters, and China, the EU, and Japan are the main importers. (3) On the trend of the pattern of grain trade, the out- degrees and in- degrees of trade networks both have increased, indicating that the distribution of the world's grain output and input tends to be decentralized. (4) There is a significant difference in the node intensity and standard weight entropy in major countries and regions of grain trade. (5) The study found that although the out-degrees value of the United States grain trade is the largest, the homogeneity of the output spatial structure is the weakest and the grain output countries are very concentrated. Therefore, it is the weakness of the United States in grain trade. (6) China's standard weight entropy is higher, the proportion of input grain from countries is relatively small, and the homogeneity of the input structure is better, indicating that China has a stronger ability to cope with grain crisis and international trade disputes. The findings of this study reveal the evolution trend of the world's grain supply- demand, and flow pattern. It will provide a solid important reference for China's scientific formulation of agricultural development plans, grain trade policies, and responding to international changes.

Key words: grain; supply-demand; flow; pattern; evolution