

# 全球人口与粮食的空间错位演变及影响因素分析

罗秀丽<sup>1</sup>, 杨忍<sup>1</sup>, 徐茜<sup>2</sup>

(1. 中山大学地理科学与规划学院/中国区域协调发展与乡村建设研究院, 广州 510275;

2. 广东财经大学公共管理学院, 广州 510320)

**摘要:** 基于重心模型和空间错位指数方法, 系统分析了1990—2017年全球人口与粮食的时空格局、空间错位特征及影响因素等。结果表明: (1) 近30年来, 全球人口与粮食均呈增长态势, 两者的时序变化特征存在明显差异, 全球人均粮食产量的区域差异特征显著, 多数国家的“人粮关系”矛盾突出。(2) 在全球尺度, 人口与粮食重心存在显著的空间错位特征, 两者在空间分布上呈现反向错位发展的态势。(3) 在国家尺度, 人口与粮食的空间错位格局呈现由南至北依次为“正错位区—负错位区—正错位区”。负向高错位区稳定在印度、日本等国家, 正向高错位区稳定在美国、加拿大等国家。(4) 全球各大洲人口与粮食的空间错位格局基本稳定, 空间错位指数发生转向的国家分布在亚洲、欧洲、南美洲和非洲。(5) 自然环境、国际环境、农业发展、社会环境等多种因素综合作用致使人口规模和粮食产量在空间分布上存在区域差异, 促成全球人口与粮食的空间错位格局。政策启示: 中国有必要加快农业供给侧结构性改革, 增强农业竞争力和粮食自给率, 合理统筹配置两种资源 and 处理两个市场之间的关系, 建立规避世界粮食贸易波动和不确定性风险的应对策略, 构建中国农业生态安全和粮食安全的保障体系。

**关键词:** 粮食安全; 人口增长; 粮食生产; 空间错位; 全球

自18世纪马尔萨斯提出人口增长理论以来, 农业支持人口增长的能力一直是国际政策和科学研究的重点领域, 在未来50年或更长远时段, 粮食安全仍是全球重点关注的核心议题之一<sup>[1,2]</sup>。当前, 全球人口增长和粮食问题仍很突出, 全球气候变化对农业活动产生一定影响。近30年来, 世界一些地区的农作物产量停滞不前甚至持续下降<sup>[3,4]</sup>。《2020年世界粮食安全和营养状况》指出, 全球饥饿人口数自2014年起持续上升, 至2019年全球超过6.9亿人处于饥饿状态。然而, 全球人口总量仍保持高速增长, 据联合国经济和社会事务部人口司预测, 世界人口将从2019年的77亿增长到2100年的109亿。出于世界人口总量持续增长和粮食产量增长滞缓的综合研判, 实现联合国可持续发展的消除贫穷、实现平等、战胜饥饿等预期目标, 面临着极大的挑战。农业系统问题的严重性根源于不平等和人口需求增长<sup>[5]</sup>, 为了满足未来30年人类发展需求, 粮食总产量至少需要提高70%<sup>[6]</sup>, 因此, 系统认知全球人口规模和粮食生产的新趋势与新格局迫在眉睫。

国内外学者针对全球粮食问题的研究, 主要利用复杂网络理论<sup>[7]</sup>、情景分析<sup>[8]</sup>、时空序列分析<sup>[9]</sup>、综合评价体系构建<sup>[10,11]</sup>等研究方法分析全球粮食系统<sup>[12,13]</sup>、粮食安全<sup>[8,14]</sup>、

收稿日期: 2020-05-18; 修订日期: 2020-07-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41871177, 41801088); 广东省重点领域研发计划项目 (2020B0202010002); 广州市科技计划项目 (201707010097)

作者简介: 罗秀丽 (1994-), 女, 福建三明人, 硕士, 主要从事乡村发展与土地利用研究。

E-mail: luoxiuli66@163.com

通讯作者: 杨忍 (1984-), 男, 贵州毕节人, 博士, 副教授, 博士生导师, 主要从事乡村地理、城乡发展与土地利用研究。E-mail: yangren0514@163.com

粮食贸易<sup>[15,16]</sup>和粮食供应<sup>[17]</sup>等方面,尤其注重研究粮食安全的评价体系<sup>[18,19]</sup>和影响因素分析<sup>[20-22]</sup>。近年来,随着人口需求快速增长、生态环境恶化和资源短缺等全球性问题出现,以及联合国可持续发展目标的提出,全球粮食系统优化和转型领域的研究得以深化<sup>[23,24]</sup>,粮食系统向更可持续、健康、文化合适和充足营养的系统转型迫在眉睫,需要更多新科学来完成和支撑<sup>[5]</sup>。针对全球人口问题的研究,主要利用空间自相关<sup>[25]</sup>、地理空间数据建模<sup>[26]</sup>、队列要素法<sup>[27]</sup>、内生增长模型<sup>[28]</sup>等方法,围绕人口增长模式<sup>[29]</sup>、人口网络<sup>[26]</sup>、人口预测<sup>[27,30]</sup>以及人口对环境的影响<sup>[25,28,31]</sup>等议题进行多方位研究。研究发现,在过去50年里,全球人口格局变化比人类历史上任何时期都更加迅速和普遍,与粮食需求增长、农业用地扩张、自然环境恶化和社会经济发展等密切相关。纵观国内外全球粮食和人口的研究,主要侧重于单方面分析全球粮食和人口问题,整体分析两者的研究相对偏少,忽略了人口和粮食是相互关联且相互制衡的两个要素。尽管部分学者尝试以人均粮食产量指标表征人口与粮食的胁迫关系<sup>[32,33]</sup>,但对人口与粮食的空间关系研究稍显不足。空间错位理论主要用于揭示相互关联的要素在空间分布上的匹配现象,20世纪60年代由Kain<sup>[34]</sup>提出,最初用于揭示美国大都市地区黑人群体居住地和就业机会在空间上的分离程度。目前,空间错位理论被应用到生态环境、旅游发展、老龄化发展等领域<sup>[35-37]</sup>。由于全球范围内自然地理、资源禀赋与社会经济等方面存在较大差异,全球人口增长与粮食生产在空间上的变化具有差异性和不确定性,空间错位现象普遍存在,引入空间错位理论综合考虑全球人口和粮食要素对研究全球“人粮关系”是有益的探索。

鉴于此,本文运用空间错位理论和空间重心模型,利用联合国粮食及农业组织(FAO)提供的全球统计数据,分别从全球和国家两个尺度上定量分析近30年来全球人口与粮食空间错位的时空格局、演化过程及影响因素,试图揭示全球不同区域人口与粮食空间错位程度和分异性特征,并重点分析典型国家人口与粮食的空间错位特征,尝试从学理层面梳理和总结全球人口与粮食空间错位演化的影响因素。在联合国可持续发展目标、未来地球计划、巴黎气候协议等重大全球战略框架下,以期为综合认知世界粮食安全形势和区域差异,提供科学依据和基础研究支撑。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 空间重心模型

从几何学的角度看,空间错位是指空间中两个紧密相连的生产要素几何重心出现分离的现象<sup>[38]</sup>,运用重心模型从宏观层面分析全球人口和粮食重心的空间分布格局和演变过程,用其衡量全球尺度上粮食和人口的空间错位情况。

重心基本模型如下<sup>[39]</sup>:

$$G_c(x_c, y_c) = \frac{\sum [c_i \times M(x_i, y_i)]}{\sum c_i} \quad (1)$$

$$G_p(x_p, y_p) = \frac{\sum [p_i \times M(x_i, y_i)]}{\sum p_i} \quad (2)$$

式中:  $G_c$  和  $G_p$  分别为全球粮食和全球人口重心 [角标  $c$  和  $p$  分别表示粮食 (kg) 和人口 (人), 下同];  $c_i$  和  $p_i$  分别为第  $i$  个国家的粮食产量 (kg) 和人口数量 (人);  $M(x_i, y_i)$

为各国家的地理中心坐标。以人口重心为例, 设第  $k$ 、 $k+m$  年全球人口重心坐标分别为  $G_k(x_k, y_k)$ 、 $G_{k+m}(x_{k+m}, y_{k+m})$ , 那么, 人口重心  $G_k$  向  $G_{k+m}$  移动的距离模型:

$$D_m = R\sqrt{(x_{k+m} - x_k)^2 + (y_{k+m} - y_k)^2} \quad (3)$$

式中:  $D_m$  表示两个不同年际间人口重心移动的距离 (km);  $R$  为常数, 取 111.111, 是把地理坐标单位 (经纬度) 转化为平面距离 (km) 的系数。

## 1.2 空间重心重叠性

空间重心重叠性是以静态视角衡量全球人口和粮食重心的分离程度, 可以反映全球宏观尺度上人口和粮食空间错位距离。重心重叠性的计算公式如下<sup>[39]</sup>:

$$S = d(G_c, G_p) = R\sqrt{(x_c - x_p)^2 + (y_c - y_p)^2} \quad (4)$$

式中:  $S$  表示全球人口重心与粮食重心的空间距离 (km)。  $S$  距离越大, 空间重叠性越小, 则人口和粮食重心空间错位程度越高, 反之, 则空间错位程度越低; 若  $S=0$ , 则二者重心重叠, 表示人口和粮食重心空间分布一致, 不存在错位情况。利用人口和粮食重心重叠性的时序变化, 可以了解全球宏观尺度上人口与粮食空间错位的演变过程。

## 1.3 空间重心变动一致性

全球人口重心和粮食重心的区位随着年际变化而变化, 变动一致性是以动态视角衡量人口和粮食重心变动轨迹的一致性程度, 以两者重心较上一时间点产生位移的矢量交角  $\theta$  来体现,  $\theta$  越小则两者重心变动越一致。由于  $\theta$  取值为  $0 \sim 180^\circ$ , 故其余弦值可作为变动一致性指数 ( $C$ ), 取值为  $[-1, 1]$ , 该指数越大, 人口与粮食两者重心变动越一致。若  $C=1$ , 则人口和粮食重心区位变动完全同向, 若  $C=-1$ , 则人口和粮食重心区位变动完全反向。设重心较上一时间点经度与纬度变化量分别为  $\Delta x$  和  $\Delta y$ , 根据余弦定理<sup>[39]</sup>:

$$\begin{aligned} C = \cos \theta &= \frac{(\Delta x_c^2 + \Delta y_c^2) + (\Delta x_p^2 + \Delta y_p^2) - [(\Delta x_c - \Delta x_p)^2 + (\Delta y_c - \Delta y_p)^2]}{2\sqrt{(\Delta x_c^2 + \Delta y_c^2)(\Delta x_p^2 + \Delta y_p^2)}} \\ &= \frac{\Delta x_c \Delta x_p + \Delta y_c \Delta y_p}{\sqrt{(\Delta x_c^2 + \Delta y_c^2)(\Delta x_p^2 + \Delta y_p^2)}} \end{aligned} \quad (5)$$

## 1.4 空间错位模型

全球人口与粮食空间错位是反映国家尺度上粮食产量和人口数量空间分布匹配的结果, 使用 Martin<sup>[40]</sup>提出的空间错位指数 (Spatial Mismatch Index, SMI), 借鉴曾通刚等<sup>[36]</sup>的研究成果, 计算全球人口与粮食空间错位指数, 公式如下:

$$SMI_i = \frac{1}{p} \left( \frac{c_i}{c} p - p_i \right) \times 100 \quad (6)$$

式中:  $SMI_i$  值的绝对值大小可反映人口与粮食空间错位强度, 绝对值越大说明人口与粮食空间错位现象越明显, 人口与粮食空间分布相似度低; 绝对值越小说明人口与粮食关系空间错位现象越不明显, 人口与粮食空间分布相似度高。  $SMI_i$  正向表明  $i$  国家粮食与人口正向错位, 即粮食生产相对于人口增长超前发展, 粮食产量能够满足人口需求;  $SMI_i$  负向表明  $i$  国家粮食与人口负向错位, 即粮食生产相对于人口增长滞后发展, 粮食产量无法满足人口需求。

## 1.5 数据来源与处理

为了便于国际比较和数据收集, 全球各国的粮食和人口数据来源于 FAO 数据库中的

谷物 (Production-Crops) 和人口 (Population-Annual Population) 条目。粮食数据选取粮食产量 (Production Quantity) 中的所有谷物总和 (Cereals Total) 作为指标, 包括稻谷、玉米、小麦、高粱、小米、荞麦、藜麦、大麦、黑麦、燕麦、黑小麦、草种子、杂粮、根茎类作物和其他等 15 种粮食, 人口数据选择人口总量 (Total Population Both Sexs) 作为指标, 研究数据对应的时段为 1990—2017 年, 国家范围选择 FAO 中的所有国家。特别说明, 研究时段起始于 20 世纪 90 年代, 主要原因为东欧国家的数据是在苏联解体后才有比较完整的统计。为确保研究时间连续性和数据完整性、准确性, 以阶段均值作为分析对象, 以反映各国在各个时间段内人口和粮食发展状况。以 5 年为时段统计的切片, 将 1990—2017 年分为 6 个研究阶段, 分别为 1990—1994 年 (第 1 阶段)、1995—1999 年 (第 2 阶段)、2000—2004 年 (第 3 阶段)、2005—2009 年 (第 4 阶段)、2010—2014 年 (第 5 阶段)、2015 年—2017 年 (第 6 阶段), 每个时段的人口和粮食数据采用时段内多年平均方式处理。涉及到人口和粮食空间重心和空间错位指数计算, 按照国家测绘地理信息提供的审图号为 GS(2016)1663 号标准地图的国家行政单元进行数据筛选, 剔除数据不连续和不完整的国家和地区, 最终得到有效粮食数据为 182 个国家和地区, 有效人口数据为 216 个国家和地区。在计算人均粮食产量和空间错位指数时, 由于人口和粮食数据的国家单元个数需统一, 因此对数据进行取舍, 筛选出 182 个国家和地区作为分析对象。

## 2 结果分析

### 2.1 全球人口与粮食关系的总体特征

#### 2.1.1 全球人口规模与粮食总产量的时序变化特征

1990—2017 年, 全球人口数量和粮食产量总体均呈增长趋势, 但两者的时序变化特征差异明显 (图 1)。全球人口总量呈“直线式”持续匀速增长态势, 从 1990 年的  $5.3 \times 10^9$  人增至 2017 年的  $7.5 \times 10^9$  人, 年均增长  $8.2 \times 10^7$  人。全球粮食总产量呈 8 个阶段下降和 8 个阶段上升的“阶梯式”波动增长态势。其中 1990—1996 年, 粮食总产量极不稳定, 处于“增减交替”的阶段; 1996—2003 年, 粮食总产呈现微小波动, 属低速增长阶段; 2003—2013 年, 粮食总产呈现“增—减反复式”波动阶段, 但粮食产量增长快速, 年均增长了  $0.7 \times 10^8$  t, 其中 2003—2004 年、2007—2008 年、2010—2011 年和 2012—2013 年这 4 个阶段, 粮食增产量均超过  $1.0 \times 10^8$  t; 2013—2017 年, 粮食总产量呈“直线式”持续增长特征, 属稳定增长阶段, 年均增长  $5.3 \times 10^7$  t。全球人口增长和粮食产量的变化不具有完全的协同一致性, 人口与粮食关系演化和空间耦合存在一定的复杂性。

#### 2.1.2 全球人均粮食产量空间分布特征

人均粮食产量能够表征全球各国和地区的“人粮关系”特征。研究期前后, 全球人

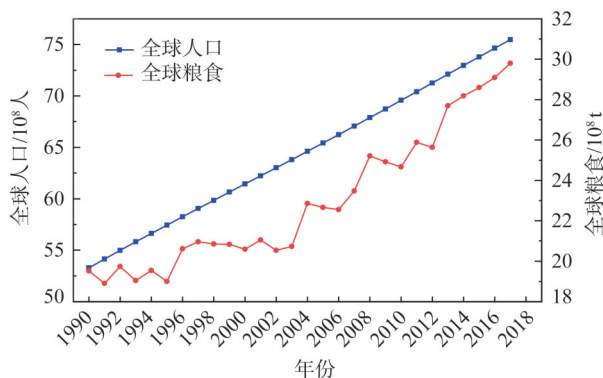
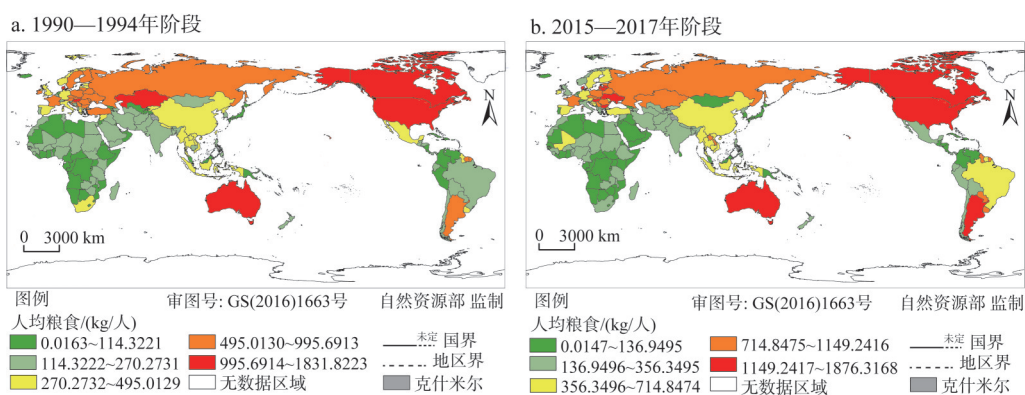


图1 1990—2017年全球粮食和人口变化趋势

Fig. 1 Global food and population changing trends in 1990-2017



均粮食产量有所增加,空间分布具有明显的异质性特征(图2),高人均粮食产量主要分布在发达国家,低人均粮食产量主要分布在发展中国家和贫困国家,地区间人均粮食产量存在明显的“贫富差距”。其中,全球人均粮食产量的平均值由研究初期的350.44 kg/人增长至研究期末的391.38 kg/人;人均粮食产量低于全球平均值的国家占比较大,研究期初和期末分别为79.12%和76.92%,主要分布在非洲、亚洲中西部以及南美洲的部分地区;各地区间人均粮食产量差异悬殊,2015—2017年阶段,40.11%的国家和地区人均粮食产量低于100 kg/人,仅7.14%的国家和地区人均粮食产量高于1000 kg/人。综合比较全球各地区人均粮食产量,全球“人粮关系”空间差异明显,多数国家“人粮关系”紧张。



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, 下同。

图2 全球人均粮食产量空间分布特征

Fig. 2 Distribution of per capita cereals production of global countries

## 2.2 全球尺度人口与粮食空间错位特征

### 2.2.1 全球人口与粮食重心移动轨迹

在全球尺度上,全球人口重心和粮食重心同时段的空间位置错位特征明显,人口总量和粮食总产量的分布呈现出明显的空间错位和不同步性(表1、图3)。1990—2017年,全球人口重心轨迹路线呈现近“直线”型,经过波斯湾、卡塔尔和沙特阿拉伯,重心经纬度在 $50.14^{\circ}\sim 51.71^{\circ}\text{E}$ 和 $24.35^{\circ}\sim 26.62^{\circ}\text{N}$ 之间变动,6个阶段之间重心移动方向和移动距离大致相同,移动方向均为西南方向,移动距离在53.11~68.34 km之间,累计移动距离为309.71 km,移动速率为12.90 km/a。全球粮食重心的轨迹路线经过地中海和埃及,重心经纬度在 $27.69^{\circ}\sim 30.13^{\circ}\text{E}$ 和 $29.89^{\circ}\sim 33.47^{\circ}\text{N}$ 之间变动,粮食重心累计移动距离为662.52 km,移动速率为27.60 km/a。粮食重心在6个阶段之间的移动距离和移动方向变化特征明显,但整体向东南方向移动。分阶段来看,第1阶段至第2阶段,粮食重心向东南方向移动,移动距离为170.18 km,移动速率为34.04 km/a;第2阶段至第3阶段,粮食重心向西南方向移动,移动距离和移动速率分别为164.92 km和32.98 km/a;第3阶段至第4阶段,粮食重心向东南方向移动,移动距离和移动速率降为54.93 km和10.99 km/a;第4阶段至第5阶段,粮食重心继续向东南方向移动,移动距离和移动速率急剧上升为

表1 1990—2017年全球人口与粮食重心计算结果

Table 1 The result of spatial center of gravity of global population and food in 1990-2017

时间段	人口重心			粮食重心		
	距离/km	方向	偏转角度/(°)	距离/km	方向	偏转角度/(°)
第1阶段→第2阶段	61.02	西南	-112.13	170.18	东南	-86.79
第2阶段→第3阶段	66.67	西南	-116.36	164.92	西南	-151.92
第3阶段→第4阶段	68.34	西南	-127.50	54.93	东南	-23.45
第4阶段→第5阶段	53.11	西南	-133.73	254.30	东南	-30.13
第5阶段→第6阶段	60.57	西南	-134.02	18.19	西北	114.37

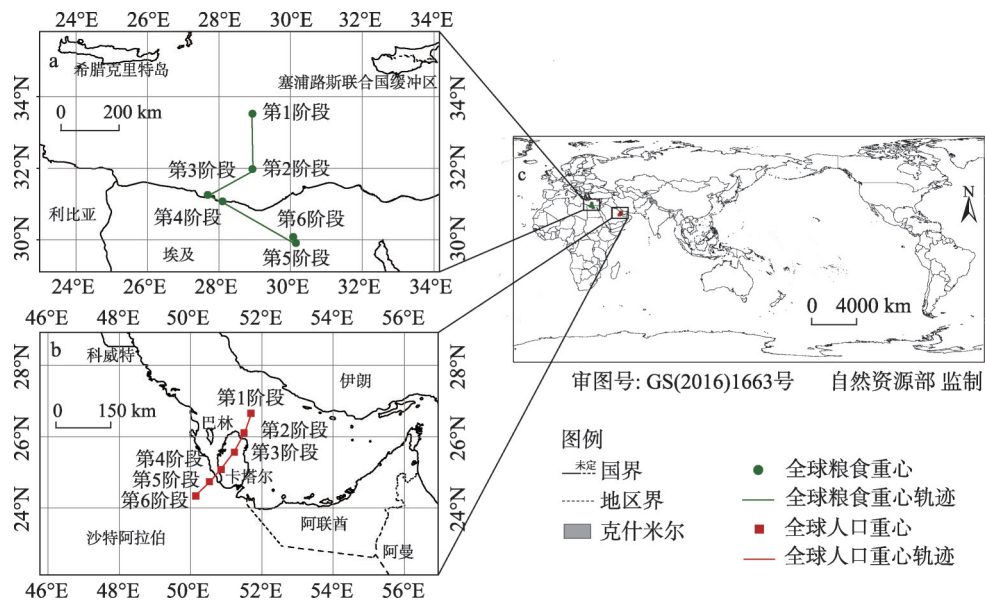


图3 1990—2017年全球人口与粮食重心轨迹路径

Fig. 3 The trajectory of the spatial center of gravity of global population and food in 1990-2017

254.30 km和50.86 km/a；第5阶段至第6阶段，粮食重心转向西北方向移动，移动距离和移动速率分别持续下降至18.19 km和4.55 km/a。全球粮食重心和人口重心的移动方向完全相反，粮食重心向东南方向移动，而人口重心向西南方向移动，粮食重心累计移动距离是人口重心的2.14倍，各个分时段之间的重心变化存在较大差异。

2.2.2 全球人口与粮食重心重叠性及一致性

1990—2017年，全球粮食生产和人口空间分布存在显著的空间错位现象，两者在空间分布上有反向错位的发展趋势。从全球人口与粮食重心之间的距离来看，全球人口与粮食的重心错位距离在2322.22~2688.78 km之间变动，呈现出“减—增—减”的波动变化过程。20世纪90年代，全球人口与粮食重心距离呈逐渐增加态势，全球人口与粮食的空间错位程度持续加大。21世纪以来，全球人口与粮食重心距离逐渐缩短，全球人口与粮食空间错位程度有减小趋势，但空间错位距离依然较大，两者之间的空间错位特征长期存在。从全球人口与粮食重心变动方向来看，两者重心变动的方向相反，表明全球人口与粮食分布格局存在显著的空间错位特征。重心变动一致性可以较好地反映同上一阶

段相比,全球人口和粮食的重心变动方向是否具有同步性。从图4可以看出,20世纪90年代,全球人口与粮食重心变动一致性指数在0.80以上,且方向相同,表明此阶段全球人口与粮食的重心变动方向趋于同步。21世纪以来,两者重心变动一致性指数转为负值,全球人口和粮食的重心方向变动具有不同步性,人口规模和粮食总产量发展变化出现反向的特征。在第3阶段至第4阶段,变动一致性指数急剧下降至负值,变化量为1.06,但之后的重心一致性波动变缓,在-0.24~-0.37之间波动,表明全球人口与粮食在空间分布上依旧保持着反向错位发展的态势。

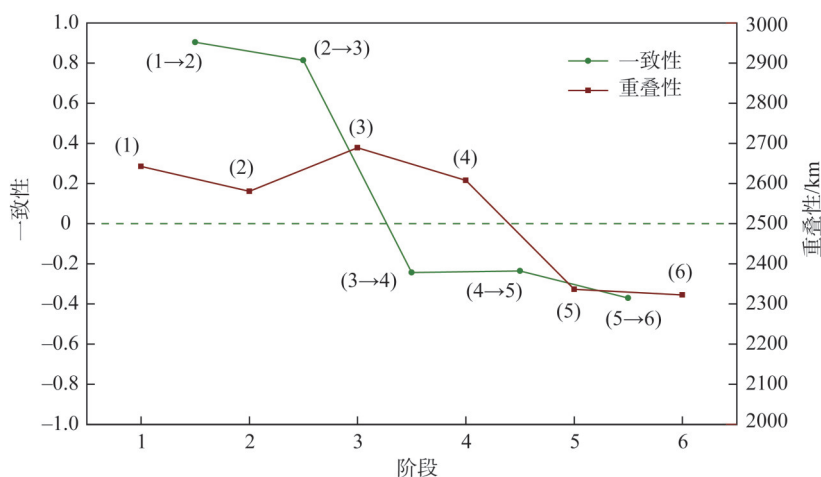


图4 1990—2017年全球人口与粮食重心重叠性和一致性

Fig. 4 The space-overlaps and consistency of global population and food gravity center in 1990-2017

## 2.3 国家尺度人口与粮食空间错位特征

### 2.3.1 人口与粮食空间错位时空分布及演变

重心分析只是从全球宏观尺度上揭示人口数量和粮食产量的空间位置错位现象,无法解释两者在局部上空间错位的分布模式和演变特征。鉴于此,利用式(6)计算基于国家尺度的空间错位指数( $SMI$ ),进一步揭示全球各国人口与粮食空间错位程度。根据前人的研究成果和分区方法<sup>[36,37]</sup>,空间错位指数大于1,则表示要素之间存在较为严重的空间错位现象,故将本文的全球人口与粮食空间错位指数划分为6个类型区(图5),分别为负向高错位区( $SMI \leq -1$ )、负向中错位区( $-1 < SMI \leq -0.2$ )、负向低错位区( $-0.2 < SMI < 0$ )、正向低错位区( $0 < SMI \leq 0.2$ )、正向中错位区( $0.2 < SMI \leq 1$ )、正向高错位区( $SMI > 1$ )。负向错位区表示该区域粮食总产水平滞后于人口增长水平,区域粮食生产无法满足人口增长需求,“人粮关系”矛盾突出;正向错位区表示该区域粮食总产水平超前于人口增长水平,“人粮关系”相对协调发展。

1990—2017年,全球人口与粮食空间错位格局由南至北大致呈现出“正错位区—负错位区—正错位区”的分布特征。全球各国人口与粮食空间错位以负向为主导,负向错位的国家数量占比皆超过75%,即全球大多数国家均处于粮食发展滞后于人口增长的状态,人口增长与粮食产出的空间协同一致性差(图5)。具体来看,非洲以负向错位国家为主导,除马里由负向错位区转变为正向错位区外,尼日利亚、摩洛哥、南非、马达加斯加等国家负向错位程度进一步加剧。欧洲以正向错位国家为主导,俄罗斯一直位居正

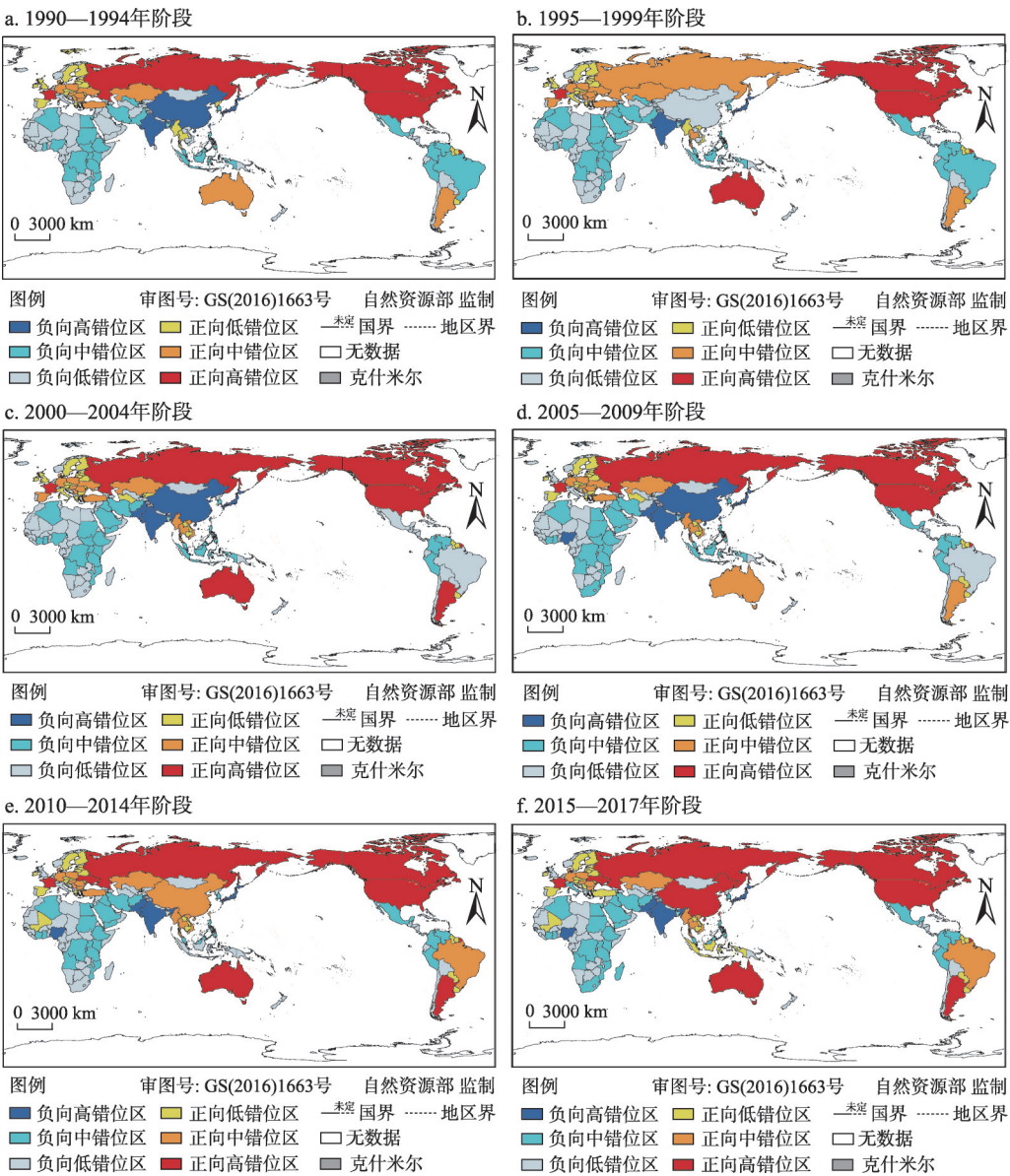


图5 1990—2017年全球人口与粮食空间错位时空格局

Fig. 5 Spatio-temporal pattern of spatial mismatch between global population and food during 1990-2017

向高错位区, 错位指数均值为1.44, 意大利、英国、希腊等发达国家的人口与粮食空间错位指数变为负值, 塞尔维亚、乌克兰等发展中国家向正向错位高值区迈进。亚洲各国空间错位指数变化相对较为复杂, 中东地区和南亚国家的人口与粮食空间错位指数普遍出现负值, 且向负向错位高值区演变, 其中巴基斯坦在进入21世纪后便转为负向高错位区, 错位指数均值为-1.12; 东南亚国家整体向正向高错位区发展; 东亚中国的空间错位变化最为复杂, 沿着“负向高错位—负向中错位—负向高错位—正向中错位—正向高错位”路径发展, 研究期末错位指数高达1.87, 期间错位指数的变幅为3.84。北美洲空间错位格局处于稳定状态, 美国一直处于正向高错位区, 错位指数均值为11.33; 北美洲南



部国家大多为负向错位区，除墨西哥偶有波动外，其他国家均处于稳定状态。南美洲空间错位指数发生变化的国家主要集中于东部和南部，巴西、巴拉圭、阿根廷的人口与粮食空间错位指数逐渐向正向高错位区发展。大洋洲除澳大利亚在正向高错位区和正向中错位区之间波动外，其他国家持续为负向错位区，空间错位指数无明显变化。

### 2.3.2 人口与粮食空间高度错位的国家分析

将人口与粮食存在显著空间错位（ $|SMI| > 1$ ）的国家进行整理（表2），结合人均粮食产量分析各国的“人粮关系”。负向高错位区主要是印度、日本、巴基斯坦和尼日利亚等四个国家，这些国家粮食发展水平远远滞后于人口增长水平，人均粮食产量均低于全球人均生产水平，“人粮关系”矛盾突出。其中印度和日本在研究期间一直处于负向高错位区，印度的人粮矛盾尤为突出，研究期末空间错位指数达到了-7.54。日本“人粮关系”逐渐恶化，人均粮食产量逐渐下降，研究期末人均粮食产量仅为86.51 kg。巴基斯坦和尼日利亚自2005年后稳定于负向高错位区，这两个国家自21世纪以来，人口保持高速稳定增长，2005年之后，巴基斯坦和尼日利亚的人口一直位居世界第六位和第七位，粮食产量虽处于增长但远远滞后于人口增长速度，致使负向空间错位指数逐渐增大，人口和粮食关系逐渐恶化。

表2 1990—2017年全球人口和粮食高错位国家

Table 2 Countries with high spatial mismatch index between global population and food during 1990-2017

阶段	1990—1994年	1995—1999年	2000—2004年	2005—2009年	2010—2014年	2015—2017年
负向高错位区	印度（-6.01）	印度（-6.00）	印度（-6.43）	印度（-6.97）	印度（-6.89）	印度（-7.54）
	日本（-1.56）	日本（-1.50）	中国（-2.34）	日本（-1.40）	日本（-1.37）	日本（-1.34）
	中国（-1.51）		日本（-1.45）	中国（-1.09）	尼日利亚（-1.51）	尼日利亚（-1.52）
			巴基斯坦（-1.01）	尼日利亚（-1.05）	巴基斯坦（-1.17）	巴基斯坦（-1.27）
				巴基斯坦（-1.01）		
正向高错位区	美国（11.43）	美国（11.30）	美国（11.47）	美国（11.83）	美国（10.88）	美国（11.07）
	加拿大（2.15）	澳大利亚（1.27）	法国（2.08）	法国（1.82）	法国（1.67）	俄罗斯（2.07）
	俄罗斯（2.11）	加拿大（2.04）	加拿大（1.67）	加拿大（1.64）	加拿大（1.50）	中国（1.87）
	法国（1.90）	法国（2.04）	澳大利亚（1.27）	俄罗斯（1.52）	乌克兰（1.38）	阿根廷（1.63）
			俄罗斯（1.22）		阿根廷（1.23）	加拿大（1.55）
			阿根廷（1.06）		澳大利亚（1.12）	乌克兰（1.52）
					俄罗斯（1.11）	法国（1.34）
						澳大利亚（1.07）

粮食正向高错位区主要由经济较发达的国家组成，这些国家粮食发展水平远远领先于人口增长水平，人均粮食产量均超过全球人均水平，“人粮关系”协调发展。其中美国、加拿大、法国、澳大利亚、俄罗斯等五个国家一直属于正向高错位区，除俄罗斯外，其他国家人均粮食产量均超过1000 kg。这些国家经济发展水平高，拥有丰富的土地资源和高水平的现代化农业技术，人口数量相对适中，农业发展速度领先于人口增长速度。尤其是美国，一直以来是全球最大的粮食出口国，“人粮关系”以粮食富足为主，多年来错位指数皆大于10。法国、加拿大和澳大利亚的错位指数有明显下降趋势，人均粮食产量呈下降趋势。阿根廷、乌克兰和中国三个国家的人口与粮食空间错位指数不断上升，人均粮食产量不断增加。21世纪后，阿根廷和乌克兰进入正向高错位区，人均粮食

产量水平平均超过 1000 kg。中国虽至研究期末年才进入正向高错位区，但空间错位指数较高，仅次于美国和俄罗斯。

2.3.3 人口与粮食空间错位根本性转变的国家分析

1990—2017 年，全球人口与粮食空间错位指数发生根本性转变的国家有 15 个，主要分布在亚洲、欧洲、南美洲和非洲，其中亚洲国家占多数（表 3）。空间错位指数发生根本性转变的国家可分为三种类型：第一种类型是空间错位指数由负值转为正值，人口与粮食的关系由粮食发展相对滞后转变为粮食发展相对超前，共计 8 个国家，主要分布在亚洲、南美洲和非洲的发展中国家，这些国家人口增长和粮食增长相对较为协同，人口和粮食的矛盾逐渐缓解。巴西和中国的人口和粮食的空间错位指数动态变化值均大于 1，其中中国从研究期初的负向高错位区到期末转变为正向高错位区，人口与粮食关系转变为协调。第二种类型是空间错位指数由正值转为负值，人口与粮食的关系由粮食发展相对超前转变为粮食发展相对滞后，共计 4 个国家，分别是英国、希腊、黑山和朝鲜，人口与粮食由协调发展状态转变为抗拮矛盾状态。第三种类型是空间错位指数波动转变的国家，转变模式呈现“负向→正向→负向”，包括土库曼斯、吉尔吉斯斯坦和意大利，其中土库曼斯和吉尔吉斯斯坦的人口处于稳定增长，但粮食处于“增—减—增”的波动式增长状态，致使错位指数波动变化。意大利的人口总量虽属于波动状态，但人口总体趋势处于增长，而粮食总体趋势处于下降，因此空间错位指数负向增加到-0.2182，呈现出“人粮关系”紧张态势。

表 3 1990—2017 年全球人口和粮食空间错位根本性转变国家

Table 3 Countries with fundamental change in spatial mismatch index between global population and food during 1990-2017

国家	所属洲	空间错位指数						方向变化
		1990—1994 年	1995—1999 年	2000—2004 年	2005—2009 年	2010—2014 年	2015—2017 年	
中国	亚洲	-1.5111	-0.0248	-2.3394	-1.0925	0.3514	1.8736	负→正
印度尼西亚	亚洲	-0.6350	-0.5362	-0.5080	-0.4128	-0.1897	0.0023	负→正
柬埔寨	亚洲	-0.0500	-0.0138	0.0066	0.1027	0.1627	0.1479	负→正
朝鲜	亚洲	0.0356	-0.2044	-0.1810	-0.1714	-0.1607	-0.1647	正→负
老挝	亚洲	-0.0056	-0.0006	0.0314	0.0612	0.0829	0.0973	负→正
土库曼斯	亚洲	-0.0232	-0.0221	0.0353	0.0126	-0.0184	-0.0233	负→正→负
越南	亚洲	-0.1363	0.1355	0.4349	0.4628	0.5540	0.4192	负→正
吉尔吉斯斯坦	亚洲	-0.0090	-0.0105	0.0003	-0.0113	-0.0227	-0.0217	负→正→负
英国	欧洲	0.0620	0.1338	0.0920	-0.0160	-0.1002	-0.0931	正→负
希腊	欧洲	0.0776	0.0490	0.0538	0.0465	0.0263	-0.0128	正→负
意大利	欧洲	-0.0478	0.0362	0.0649	-0.0212	-0.1285	-0.2182	负→正→负
黑山	欧洲	0.2043	0.2544	0.2005	-0.0090	-0.0086	-0.0082	正→负
巴西	南美洲	-0.7016	-0.6237	-0.1436	-0.0098	0.5675	0.7531	负→正
巴拉圭	南美洲	-0.0377	-0.0225	-0.0113	0.0264	0.1119	0.1555	负→正
马里	非洲	-0.0501	-0.0535	-0.0551	-0.0194	0.0149	0.0534	负→正

2.4 全球人口与粮食空间错位影响因素解析

全球人口和粮食空间错位最直接的表现是人口规模和粮食产量在同一地理单元上空间分布不一致，其根本原因是全球各国粮食生产和人口规模分布具有空间差异性，影响

粮食生产和人口规模的因素共同促成全球人口与粮食的空间错位格局。基于前人研究基础<sup>[2,12,21]</sup>，构建全球人口与粮食生产空间错位影响机制分析框架（图6），通过重点关注自然环境、国际环境、农业发展、社会环境等方面初步探讨人口和粮食空间错位形成机制。

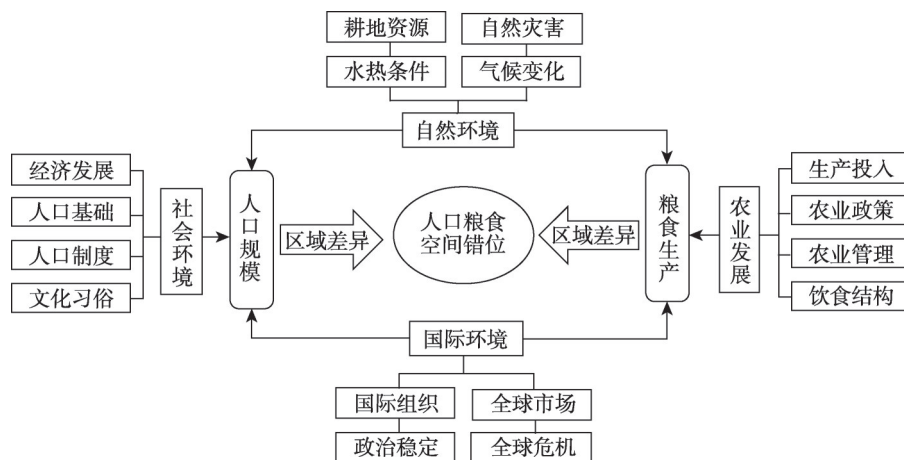


图6 全球人口和粮食空间错位影响机制分析框架

Fig. 6 The framework of influence mechanism analysis of spatial mismatch between global population and food

（1）自然环境是人类生存和粮食生产的基础因素，人口需求的快速增长会加大对粮食系统的压力，进而影响自然环境。耕地资源是粮食生产的主要载体，是粮食系统中能量输入和输出的基地，是各国粮食生产和人类生存的基本保障，耕地数量和质量决定耕地生产力，是确保粮食稳产的关键。水热条件是农业生产的重要基础，影响地区作物类型和种植熟制，耕地资源与水热条件的匹配状态影响全球粮食生产格局差异。气候变化对农业生产构成重大威胁，主要通过改变全球降水的时空分布、农业积温条件、二氧化碳浓度、生物多样性以及土地资源可用性等方面影响农业系统和粮食安全<sup>[41]</sup>。气候变化对全球的影响具有地域分异性，相对于高纬度地区，大多数热带地区的粮食生产易受到严重的负面影响<sup>[21,42]</sup>。虽然气候变化带来的较高积温、大气碳浓度以及降水的增加有利于提高作物复种指数，在一定程度上提高粮食产量<sup>[11,13]</sup>，但整体上，气候变化导致世界上大部分地区的作物生产力下降，特别是适应能力低的贫穷国家<sup>[21,43]</sup>。此外，气候变化增加了高温、干旱、洪水、热带风暴等自然灾害发生的概率<sup>[42]</sup>，自然灾害频繁直接恶化粮食生产条件，破坏农业基础设施，增加农作物受灾面积，导致粮食产量下降<sup>[44]</sup>。例如，气候变化对非洲各国的粮食安全构成长期威胁，造成部分国家饥荒人数上升，引发严重的粮食危机<sup>[41,45]</sup>。

（2）国际环境作为外部性环境，对各国人口增长和粮食发展的内部空间造成重要影响。国际组织通过制定国际政策、全球发展计划、国际市场规则、粮食质量监督体系以及提供农业援助等方式，引导和约束各国农业发展，重组和整合全球粮食资源，最大限度保障全球粮食安全。譬如，世界贸易组织制定贸易协定要求成员国降低进口关税和非关税壁垒，减少出口补贴和减少国内农业支持来开放市场，促进全球市场一体化<sup>[16]</sup>。全球市场对粮食生产和再分布起到重要作用，粮食贸易能够平衡地区间的粮食供需<sup>[12]</sup>，由全球市场需求所导致的粮食价格变动对粮食再生产具有重要影响。全球危机亦是引发人

口和粮食空间错位的重要驱动力。譬如,能源危机对粮食生产造成不利影响,高油价使生物燃料成为众多国家发展新型能源的目标,传统上用于粮食生产的水土资源转移至生物燃料作物上,直接引发粮食产量下降,而谷物、糖和棕榈油等食物越来越多地用于生产乙醇和生物柴油,进一步加剧粮食危机<sup>[41,44]</sup>;全球性疫情亦是严重的全球危机事件,各国停工停业致使全球经济萧条,粮食产业停滞或延迟生产,部分国家为保护国内粮食安全限制粮食出口,导致全球粮食贸易系统失衡,对于一些应对疫情能力低的贫困国家,易导致人口贫困、饥饿和死亡。《2020年全球粮食危机报告》指出冲突和不安全仍是粮食危机的主要驱动因素,政治冲突会扰乱正常的农业生产,摧毁农田、农作物和农业基础设施,造成国际市场的剧烈波动<sup>[1]</sup>,政治冲突造成的人员伤亡致使人口数量下降,可见政治稳定对人口和粮食稳定发展具有重要意义。

(3) 农业发展水平直接决定粮食产出能力,各国农业政策、农业生产投入、农业管理方式、饮食结构等是影响农业发展的国内因素。劳动力、资金、生产技术等生产要素投入是粮食生产的物质基础,尤其是农业技术投入,能够提高劳动生产率,对粮食增产起到助推的作用。譬如,全球绿色革命政策通过培育和推广高产粮食品种,加强农业灌溉和管理,促进农业机械化和现代化,增加了粮食总产量,阻止了“人口爆炸超过粮食增长”的发生<sup>[13]</sup>。农业政策对粮食生产具有指导和协调作用,政府主要通过制定财政支农、粮食补贴、农产品价格保护、农业发展规划、耕地保护等政策对农业发展进行宏观指导和调控,为粮食增产、提高农业收入以及平衡国内农产品供需等方面提供制度保障。虽然众多农业政策和技术改革为农业发展和粮食增产起到了促进作用,但科学的农业管理方式决定粮食生产系统能否可持续发展,集约化种植、生态农业推广、农业研究投入等措施能够提高水土资源、基础设施和生产要素之间的利用效率,构建良好的农业生态环境,促进粮食系统向可持续健康发展<sup>[1]</sup>。另外,社会饮食结构直接影响农业种植结构,随着发展中国家在国际市场上粮食购买能力的增强,人们饮食结构趋向于增加肉、鱼、蛋和乳制品等高能食物的消费,这种结构转换导致许多国家的粮田用于动物饲料生产和牲畜养殖<sup>[12,44]</sup>,增加了原本用于农业生产的土地资源和水资源压力,对粮食生产系统产生不利影响。

(4) 各国人口规模的差异受到多方因素影响,除了自然环境和国际环境外,人口基础、人口制度、经济发展、文化习俗等社会环境因素综合作用于人口增长。人口基础因素主要涉及人口基数、人口结构、生育率和死亡率等。其中人口基数决定人口新增数量,生育率和死亡率决定人口自然增长量。人口结构决定人口长期发展的趋势,年轻的年龄结构是决定生育率的重要因素,例如欧洲部分发达国家人口老龄化严重,人口生育率为零或负增长;而人口年龄结构趋于年轻的非洲和西亚大部分地区生育率居高不下<sup>[30]</sup>。人口制度对人口增长具有调控作用,例如生育政策、移民政策、户籍制度等是根据国内人口形势做出的应对举措,是协调社会发展与人口增长矛盾的重要制度。例如中国自20世纪80年代将计划生育写入基本国策,从源头上控制人口的快速膨胀;澳大利亚、加拿大、美国等国家通过移民政策调控国内人口规模。经济发展通过提高科技水平、受教育程度、医疗卫生条件、社会保障制度等方面改善人的生存条件、提高社会生活水平、促进人的生育观念转变,进而影响人口再生产水平。不同地区的文化习俗是影响生育观念和生育行为的重要因素,尤其是妇女的社会地位、当地风俗习惯、多子多福等传统观



念。例如非洲马里的穆斯林认为孩子是上帝的礼物，反对利用避孕方法节制生育，导致人口增长快速；印度妇女社会地位低，早婚早育现象普遍，重男轻女等思想导致多产成习惯，人口过度增长难以控制。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 结论

(1) 近30年来，全球人口数量和粮食总产呈现增长趋势，人口以“直线式”持续增长，全球粮食以“阶梯式”波动增长，增长模式呈现明显的阶段性差异。全球人均粮食产量具有明显的空间异质性特征，地区间人均粮食产量存在明显差距，多数国家“人粮关系”矛盾突出。

(2) 在全球尺度上，全球人口和粮食分布的空间一致性较差，人口与粮食重心存在显著的空间错位，两者在空间分布上有反向错位发展的趋势。全球人口重心在沙特阿拉伯附近，重心轨迹路线呈现近“直线”型，整体向西南方向移动，粮食重心在埃及附近，重心轨迹路线较为“迂回曲折”，整体向东南方向移动。

(3) 在国家尺度上，各大洲的人口与粮食空间错位格局基本稳定，从南至北呈“正错位区—负错位区—正错位区”的空间格局。75%以上的国家粮食发展水平滞后于人口增长水平，负向错位区主要集中在非洲、亚洲和南美洲，负向高错位区稳定在印度、日本、巴基斯坦和尼日利亚等4个国家。正向错位区主要集中在欧洲、北美洲、大洋洲以及南美洲的部分国家，正向高错位区主要稳定在美国、加拿大等发达国家。空间错位指数发生转向的国家主要分布在亚洲、欧洲、南美洲和非洲。

(4) 全球人口与粮食空间错位格局的形成是国内和国际多重因素共同作用的结果。粮食生产和人口规模的区域差异直接导致人口与粮食空间错位格局的形成。自然环境和国际环境是影响粮食生产和人类生存的基础因素和外部因素，是空间错位形成的主要驱动力。生产投入、农业政策等农业发展因素决定了粮食生产的内在环境，经济发展、人口制度等社会环境因素是影响人口规模的重要因素。

#### 3.2 讨论

近30年来，中国人口数量与粮食生产的空间错位关系经历了“负向高错位区→负向中错位区→负向高错位区→正向中错位区→正向高错位区”的路径转变，中国的人口总量与粮食生产的空间错位关系发生了根本性转变，即我国“人粮关系”由矛盾转向协调发展。尽管中国人口以低增长率慢速增长，但基于人口再生产的惯性，仍将面临巨大的人口压力，未来仍需生产大量粮食以养活不断增长的人口。本文对中国粮食安全的启示有：

(1) 中国人口总量与粮食生产的空间错位指数由负转正，在巨大的人口增长压力下，“人粮关系”能够转向协调发展得益于近年来农业快速持续发展，但同时给生态系统带来了沉重压力。未来农业发展需加强对粮食系统与生态系统互反馈作用的研究。一方面，深入剖析农业生态系统所造成的环境问题，增强对农业生态系统治理，解决农业面源污染，提高农业系统可持续生产能力；另一方面，加快传统农业向现代高效生态农业转型，构建农业生态补偿机制，设立农业资源红线，推进农业科技创新，充分利用替代性非常规水土资源以缓解农业水土资源需求压力<sup>[46]</sup>。

(2) 目前中国“人粮关系”协调发展的局面来之不易, 维持和提高中国人口与粮食正向错位发展至关重要。一方面, 随着经济发展和居民生活水平的提高, 中国膳食结构发生了改变, 应重视粮食消费结构和供给的综合研究, 加快农业供给侧结构性改革, 保障粮食有效供给, 强化农业生产多样性、农业种植结构调整、动物饲料生产供给等方面的研究; 另一方面, 保障全国粮食安全必须重视区域粮食安全状况, 中国东、中、西部人口规模与粮食生产存在较大区域差异, 人口与粮食空间错位情况复杂, 需加强区域性“人粮关系”耦合和脱钩机制的综合研究, 实行国内粮食生产区再平衡战略。

(3) 中国人口与粮食空间错位指数虽为正数, 但与美国、俄罗斯等粮食主产国相比, 空间错位指数较低, 粮食生产水平尚存在巨大差距。人均耕地资源不足决定中国必须通过国外的市场和资源补足粮食内需, 但过度依赖国外资源和市场隐藏巨大风险。2020年初, 因新冠肺炎在全球多地暴发, 越南、俄罗斯、埃及、柬埔寨等多国采取保护主义实行粮食出口禁令, 警示提高粮食自给率的重要性。因此, 保障中国粮食安全应充分统筹国内外农业生产资源和处理好两个市场的关系, 以粮食自给为主, 结构性外援贸易调整为辅, 科学合理规避过度依赖国外资源和市场隐藏的风险。注重对国外农业技术、国外资本和高级人才的引入, 加大对国内农业发展的支持力度, 切实提高国内粮食生产能力, 确保粮食安全的基本底线。另外, “一带一路”倡议为我国粮食贸易创造了更宽松的环境, 加强与“一带一路”沿线国家粮食贸易合作和农业资源的开发和利用<sup>[7,15]</sup>, 同时, 强化对贸易合作国农业发展的监测和预警, 增强应对贸易风险的能力。

最后, 需要说明的是, 目前的研究结果能够在一定程度上揭示全球人口与粮食的匹配和错位特征, 对全球粮食安全形势做出初步研判, 但研究也存在一些不足。如研究时序较长, 本文在数据上将谷物产量近似定义为粮食产量, 忽略了其他重要的作物, 未来研究需进一步考虑粮食指标的多维结构, 对全球人口与粮食的空间错位研究更具有现实意义。此外, 本文忽略粮食贸易因素, 将具有主权的国家当作相对独立和封闭系统单元, 测算的空间错位指数仅可反映区域自给情况下的粮食安全状况, 全球人口与粮食空间错位如何结合粮食贸易这一动态指标进行分析值得进一步探索。

## 参考文献(References):

- [1] ROSEGRANT M W, CLINE S A. Global food security: Challenges and policies. *Science*, 2003, 302(5652): 1917-1919.
- [2] SKAF L, BUONOCORE E, DUMONTET S, et al. Applying network analysis to explore the global scientific literature on food security. *Ecological Informatics*, 2020, 56: 101062.
- [3] MOFFAT A S. Does global change threaten the world food supply?. *Science*, 1992, 256(5060): 1140-1142.
- [4] RAY D K, RAMANKUTTY N, MUELLER N D, et al. Recent patterns of crop yield growth and stagnation. *Nature Communications*, 2012, 3: 1293.
- [5] FEARS R, TER MEULEN V, VON BRAUN J. Global food and nutrition security needs more and new science. *Science Advances*, 2019, 5(12): eaba2946, Doi: 10.1126/sciadv.aba2946.
- [6] TESTER M, LANGRIDGE P. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*, 2010, 327(5967): 818-822.
- [7] 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.]
- [8] VAN DIJK M, GRAMBERGER M, LABORDE D, et al. Stakeholder-designed scenarios for global food security assessments. *Global Food Security*, 2020, 24: 100352.

- [9] 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. 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. Resources Science, 2010, 32(1): 2-10.]
- [10] BÉNÉ C, PRAGER S D, ACHICANOY H A E, et al. Global map and indicators of food system sustainability. Scientific Data, 2019, 6(1): 1-15.
- [11] 马恩朴, 蔡建明, 林静, 等. 2000—2014 年全球粮食安全格局的时空演化及影响因素. 地理学报, 2020, 75(2): 332-347. [MA E P, CAI J M, LIN J, et al. Spatio-temporal evolution of global food security pattern and its influencing factors in 2000-2014. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(2): 332-347.]
- [12] GODFRAY H C J, CRUTE I R, HADDAD L, et al. The future of the global food system. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2010, 365(1554): 2769-2777.
- [13] ROCKSTRÖM J, EDENHOFER O, GAERTNER J, et al. Planet-proofing the global food system. Nature Food, 2020, 1: 3-5.
- [14] GODFRAY H C J, BEDDINGTON J R, CRUTE I R, et al. Food security: The challenge of feeding 9 billion people. Science, 2010, 327(5967): 812-818.
- [15] 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.]
- [16] FRIEL S, SCHRAM A, TOWNSEND B. The nexus between international trade, food systems, malnutrition and climate change. Nature Food, 2020, 1(1): 51-58.
- [17] BENTHAM J, SINGH G M, DANAEI G, et al. Multidimensional characterization of global food supply from 1961 to 2013. Nature Food, 2020, 1(1): 70-75.
- [18] 吴文斌, 唐华俊, 杨鹏, 等. 基于空间模型的全球粮食安全评价. 地理学报, 2010, 65(8): 907-918. [WU W B, TANG H J, YANG P, et al. Model-based assessment of food security at a global scale. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(8): 907-918.]
- [19] CACCAVALE O M, GIUFFRIDA V. The proteus composite index: Towards a better metric for global food security. World Development, 2020, 126: 104709.
- [20] 李忠佩, 李德成, 张桃林. 土地退化对全球粮食安全的威胁及防治对策. 水土保持通报, 2001, 21(4): 65-69. [LI Z P, LI D C, ZHANG T L. Threat and strategies of soil degradation to food security. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21(4): 65-69.]
- [21] WHEELER T, VON BRAUN J. Climate change impacts on global food security. Science, 2013, 341(6145): 508-513.
- [22] TAI A P K, MARTIN M V, HEALD C L. Threat to future global food security from climate change and ozone air pollution. Nature Climate Change, 2014, 4(9): 817-821.
- [23] HOPFENBERG R. Population density and redistribution of food resources. Encyclopedia of Food Security and Sustainability, 2019, 1: 26-30.
- [24] GERTEN D, HECK V, JÄGERMEYER J, et al. Feeding ten billion people is possible within four terrestrial planetary boundaries. Nature Sustainability, 2020, 3: 200-208.
- [25] 曾永明, 张利国. 新经济地理学框架下人口分布对经济增长的影响效应: 全球 126 个国家空间面板数据的证据: 1992—2012. 经济地理, 2017, 37(10): 17-26. [ZENG Y M, ZHANG L G. Economic growth effect by population distribution based on new economic geography-evidence from 126 counties with spatial panel data model: 1992-2012. Economic Geography, 2017, 37(10): 17-26.]
- [26] FREIRE S, MACMANUS K, PESARESI M, et al. Development of new open and free multi-temporal global population grids at 250 m resolution. In: Proceedings of the 19th AGILE conference on geographic information science. Finland: Helsinki, 2016.
- [27] O'NEILL B C, BALK D, BRICKMAN M, et al. A guide to global population projections. Demographic Research, 2001, 4: 203-288.
- [28] LANZ B, DIETZ S, SWANSON T. Global population growth, technology, and Malthusian constraints: A quantitative growth theoretic perspective. International Economic Review, 2017, 58(3): 973-1006.

- [29] EZEHA A C, BONGAARTS J, MBERU B. Global population trends and policy options. *The Lancet*, 2012, 380(9837): 142-148.
- [30] LUTZ W, KC S. Dimensions of global population projections: What do we know about future population trends and structures?. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, 365(1554): 2779-2791.
- [31] CRIST E, MORA C, ENGELMAN R. The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. *Science*, 2017, 356(6335): 260-264.
- [32] 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. *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. *Resources Science*, 2010, 32(5): 907-916.]
- [33] 贾琨, 杨艳昭, 封志明. “一带一路”沿线国家粮食生产的时空格局分析. *自然资源学报*, 2019, 34(6): 1135-1145. [JIA K, YANG Y Z, FENG Z M. An evaluation of the Belt and Road cereals production from a view of spatial-temporal patterns. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(6): 1135-1145.]
- [34] KAIN J F. Housing segregation, negro employment, and metropolitan decentralization. *Quarterly Journal of Economics*, 1968, 82(2): 175-197.
- [35] 刘敏, 张芙蓉, 解智涵. 山西省A级景区与旅游收入的空间错位分析. *地域研究与开发*, 2020, 39(2): 82-87, 93. [LIU M, ZHANG F R, XIE Z H. Analysis of spatial dislocation of class A tourist spots and tourism income in Shanxi province. *Areal Research and Development*, 2020, 39(2): 82-87, 93.]
- [36] 曾通刚, 赵媛. 中国老龄事业发展水平时空演化及其与经济发展水平的空间匹配. *地理研究*, 2019, 38(6): 1497-1511. [ZENG T G, ZHAO Y. Spatial and temporal evolution of the undertakings for the elderly and spatial mismatch of economy in China. *Geographical Research*, 2019, 38(6): 1497-1511.]
- [37] 李名升, 张建辉, 罗海江, 等. 经济发展与污染排放的空间错位分析. *生态环境学报*, 2013, 22(9): 1620-1624. [LI M S, ZHANG J H, LUO H J, et al. Spatial mismatch between economic development and pollution emission. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22(9): 1620-1624.]
- [38] 王美红, 孙根年, 康国栋. 我国自然资本、人力资本与经济资本的空间错位分析. *科学学研究*, 2009, 27(1): 59-65. [WANG M H, SUN G N, KANG G D. A spatial dislocation analysis of natural capital, human capital and economic capital in the mainland China. *Studies in Science of Science*, 2009, 27(1): 59-65.]
- [39] 樊杰, 陶岸君, 吕晨. 中国经济与人口重心的耦合态势及其对区域发展的影响. *地理科学进展*, 2010, 29(1): 87-95. [FAN J, TAO A J, LYU C. The coupling mechanism of the centroids of economic gravity and population gravity and its effect on the regional gap in China. *Progress in Geography*, 2010, 29(1): 87-95.]
- [40] MARTIN R W. Spatial mismatch and the structure of American metropolitan areas, 1970-2000. *Journal of Regional Science*, 2004, 44(3): 467-488.
- [41] HANJRA M A, QURESHI M E. Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Food Policy*, 2010, 35(5): 365-377.
- [42] GORNALL J, BETTS R, BURKE E, et al. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2010, 365(1554): 2973-2989.
- [43] KURUKULASURIYA P, MENDELSON R, HASSAN R, et al. Will African agriculture survive climate change?. *The World Bank Economic Review*, 2006, 20(3): 367-388.
- [44] 袁平. 国际粮食市场演变趋势及其对中国粮食进出口政策选择的启示. *南京农业大学学报: 社会科学版*, 2013, 13(1): 46-55. [YUAN P. The evolutionary trend of world grain market and its policy implications for China's grain import and export trade. *Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2013, 13(1): 46-55.]
- [45] 樊胜根, 张玉梅, 陈志钢. 逆全球化和全球粮食安全思考. *农业经济问题*, 2019, (3): 4-10. [FAN S G, ZHANG Y M, CHEN Z G. Antiglobalism and global food security. *Issues in Agricultural Economy*, 2019, (3): 4-10.]
- [46] 李文华, 成升魁, 梅旭荣, 等. 中国农业资源与环境可持续发展战略研究. *中国工程科学*, 2016, 18(1): 56-64. [LI W H, CHENG S K, MEI X R, et al. Study on strategies for the sustainable development of China's agricultural resources and environment. *Engineering Sciences*, 2016, 18(1): 56-64.]



## Spatial mismatch evolution of global population and food and its influencing factors

LUO Xiu-li<sup>1</sup>, YANG Ren<sup>1</sup>, XU Qian<sup>2</sup>

(1. School of Geography and Planning, China Regional Coordinated Development and Rural Construction Institute, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China; 2. School of Public Administration, Guangdong University of Finance & Economics, Guangzhou 510320, China)

**Abstract:** In this paper, the spatial center of gravity model and spatial mismatch index method was applied to systematically analyze the spatio-temporal pattern, spatial mismatch characteristics, and influencing factors of global population and food in 1990-2017. The results showed that: (1) In the past 30 years, the global population and food has showed a growth trend, but their change characteristics are obviously different in temporal distribution. The per capita food production has obvious spatial differences in the world, and the contradiction between population and food in most countries is serious. (2) On the global scale, there is an obvious spatial mismatch between the center of gravity of population and food, which shows a trend of reverse mismatch in spatial distribution. (3) On the national scale, the regional difference of spatial mismatch between population and food is obvious, showing a spatial pattern of "positive mismatch area - negative mismatch area - positive mismatch area" from south to north. Negative high mismatch regions are stable in countries such as India and Japan, and positive high mismatch regions are stable in countries such as the United States and Canada. (4) The spatial mismatch pattern of population and food on all continents is basically stable, and the countries whose spatial mismatch index changes direction are distributed in Asia, Europe, South America and Africa. (5) The combined effect of natural environment, international environment, agricultural development and social factors has obvious regional differences in the spatial distribution of population and food, thus forming a spatial mismatch pattern between global population and food. It is necessary to accelerate the structural reform of agricultural supply side, enhance agricultural competitiveness and food self-sufficiency rate, reasonably allocate and deal with both domestic and international markets and resources, construct countermeasures to avoid fluctuations and uncertainties in world grain trade, and build a guarantee system for China's agricultural ecological security and food security.

**Keywords:** food security; population growth; food production; spatial mismatch; global scale