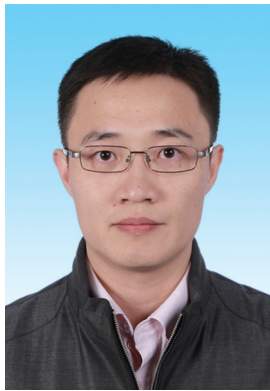


气候变化下的中国区域间 人口迁移及其影响*



孙 翊¹ 徐程瑾² 王 铮^{1,2**}

1 中国科学院科技战略咨询研究院 北京 100190

2 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室 上海 200241

摘要 气候变化引发的中国人口迁移不仅是科学问题,更是需要着重关注的重要政策问题。文章通过分析农业生产潜力的变化来估计气候变化引致的人口迁移规模。研究发现,在气候变化农业生产潜力改变的条件下,中国的环渤海地区、成熟工业化地区和新型工业化地区成为主要的人口迁出地区,将面临严重的劳动力短缺。利用动态多区域CGE模型,分析人口分布格局的改变对区域增长、区域差距及居民福利的影响。结果表明,人口迁入地经济增长速度加快,人口迁出地经济增长速度降低,且人口迁移规模越大对经济影响也越大;人口迁移扩大了区域内差距,缩小了区域间差距,总体区域差距有所缩小。未来中国的区域政策必须考虑这些影响。

关键词 气候变化,人口迁移,农业生产潜力,居民福利,区域差距

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.12.015

随着全球变化问题加剧,气候已成为影响人口迁移的一个关键因素。事实上,人类历史上的历次大规模人口迁移,无论其表现形式如何复杂,甚至充满戏剧性,其本质大多是气候和农业条件改变导致的资源再配置过程。不可否认,近现代以来的工业化和信息化,在一定程度上降低了人类居住选择因素中气候和农业条件的重要性,但粮食安全始终是人类生存的根本,农业(或农业生产潜力)对气候变化的响应,毫无疑问仍然是人类迁移决策的决定性因素之一。据估计,由于气候变化引起的热带飓风强度增长及暴雨洪水频率增加,土壤干旱导致农业生产力下降和冰层融化造成海平面上升等原因,全球迁移人口有可能达到数百万之多^[1,2],甚至有预测认为到2050年全球将有2亿人因为气候环境原因而迁移^[3]。

另一方面,就人口迁移的社会经济影响而言,虽然人们为了适应气候变化,离开环境恶化和农业不可持续地区是一种减缓环境压力的积极措施,但也不可避免地造成劳动力和资本的流失,阻碍了迁出地经济发展。同时,迁移人口不仅增加迁入地自然资源 and 环境的压力,也会对当

*资助项目:国家“973”重大科学研究计划项目(2012CB955800),国家自然科学基金项目(41271551、71201157)

**通讯作者

修改稿收到日期:2016年10月27日

地的经济增长方式、基础设施、医疗卫生等带来严重挑战，从而影响居民收入水平和福利状况^[4,5]。更为严重的是，国家尺度的大规模人口迁移很可能显著地改变区域生态状况和经济差距水平，破坏区域均衡，引发新的社会问题。

气候变化下中国人口迁移研究的方向之一是从气候变化对农业生产潜力的影响入手，通过气候-农业-粮食-人口的逻辑关系来分析人口的迁移及其社会经济影响。本文围绕这一逻辑，建立基于农业生产潜力的人口分布模型来计算气候变化对农业产量的冲击，从而估计未来人口分布格局，随后以动态多区域可计算一般均衡模型（Computable General Equilibrium, CGE）为政策模拟工具，进一步分析人口迁移对经济增长、居民福利和区域差距的影响。

1 气候变化对人口分布的冲击

气候变化主要通过温度、降水和光照等条件的改变来影响农业生态条件和生产潜力，进而影响农业产出。因此计算农业生产潜力，可以估计一个区域可能达到的期望农业产量，从而据此估计区域的人口承载能力。通过对比气候变化前后的区域人口承载能力，即可得到区域间人口分布状况和迁移规模。

1.1 气候变化下人口分布模型

1.1.1 区域划分

中国国土面积较大，地区之间受气候变化的影响不尽相同，为了更详细地分析气候变化对人口分布的影响，本文将全国30个省、市、自治区（由于数据原因，暂未考虑西藏和港澳台地区）按照产业发展特征划分为8个区域（表1）。

表1 研究区域划分

地区	省、市、自治区					
环渤海地区	北京	天津	河北	山东		
长三角地区	上海	江苏	浙江			
东南沿海地区	福建	广东	海南			
能源基地地区	山西	内蒙古	陕西	新疆		
经典工业基地地区	辽宁	吉林	黑龙江			
成熟工业基地地区	湖北	重庆	四川			
新型工业化地区	安徽	江西	河南	湖南		
环境脆弱地区	广西	贵州	云南	甘肃	青海	宁夏

1.1.2 农业生产潜力

黄秉维^[6]在中科院地理科学与资源所长期研究的基础上提出农业生产潜力满足下列关系：

$$P = F(Q) \cdot T \cdot W \cdot S \tag{1}$$

式中： P 表示农业生产潜力， $F(Q)$ 表示光合生产潜力，用干物质来表示（kg/ha）， Q 表示太阳总辐射（KJ/（cm²·a））， T 表示温度， W 表示水分， S 表示土壤有效系数。

计算生产潜力基础数据来自钟章奇等人^[7]，其研究结果显示气候变化后，几乎所有区域的农业生产潜力都有不同程度的增加。由于该数据是以地级市为单位，因此本文按照区域面积加权的方式计算了中国农业生产潜力。同时，考虑到气候变化是作用于时间序列而非时间点，因此选择2001—2012年作为基准年，2041—2060年作为目标年，以此估计未来中国农业生产潜力的改变。

1.1.3 农业生产潜力与粮食产量

虽然气候变化可以提高全国各个区域的农业生产潜力，但是各个区域提高的幅度却不相同。对于人口增长较快的区域，如果粮食产量的增长难以满足需求的快速增长，供需之间将产生较大缺口，导致粮食的供需产生不平衡。如果不考虑区域间粮食调动，必然出现人口的迁移。本文假设人口分布与粮食供应力保持一致，可以通过农业生产潜力来预测区域粮食的变化情况，进一步可预测未来中国的人口分布格局。

由于农业生产潜力是由温度、降水、蒸发和土壤系数决定的，其中温度、降水量及蒸发量受气候变化的影响很大，因此农业生产潜力受气候变化的影响也很大。农业生产潜力在一定意义上可以理解为理论上单位面积上的粮食产量，虽然这个值跟实际值有一定的偏差，但是农业生产潜力同实际的单位耕地面积粮食产量存在很强的相关性。本文采用2001—2012年和1990—2000年两个时间段的数据，计算了全国农业生产潜力与平均单位耕地粮食产量之间的相关性。结果显示两者具备很强相关性，相关系数达到了0.8以上。因此可以通过预测农业生产潜力来预

测未来粮食的产量。利用 2001—2012 年单位耕地面积粮食产量与同期农业生产潜力进行回归,得到单位耕地面积粮食产量与农业生产潜力之间的关系如下:

$$UCG = 0.228 APP \quad (2)$$

式(2)中, UCG 为单位耕地面积粮食产量, APP 为农业生产潜力。

1.1.4 粮食产量与区域承载人口

在粮食产量预测的基础上,假设维持各区域人均粮食供应结构不变,即目标年各地区人均粮食产量之比等于基准年各地区人均粮食产量之比,以此得到未来人口分布。需要指明的是,本文讨论的人口迁移的基础是农业可承载的最大可能人口。

基准年人口数据来源于《2013年中国统计年鉴》分地区年末人口数。目标年的初始总人口数据来源于《联合国人口展望—2010年修订版》中的中等增长方案。自然增长率是根据 2001—2012 年的中国人口数据,结合联合国预测的 2041—2060 年中国人口数据计算得来。2001—2012 年各地区粮食产量数据及耕地面积数据源于 2002—2013 年的《中国统计年鉴》。区域人口数据根据基准年各区域人口比例推算获得。模型如下^①:

$$P_{2,j}^{(1)} = P_{1,j} \cdot \mu \quad (3)$$

式(3)中 $P_{1,j}$ 为 j 地区 2001—2012 年的人口数, μ 为自然增长率。

$$P_{2,j} = P_{2,j}^{(1)} + P_{2,j}^{(2)} \quad (4)$$

式(4)中 $P_{2,j}$ 为 j 地区 2041—2060 年的人口数, $P_{2,j}^{(1)}$ 为 j 地区人口自然增长情况下 2041—2060 年的人口数, $P_{2,j}^{(2)}$ 为 j 地区人口 2041—2060 年的净迁移人口数。

$$tg_{1,j} = \frac{TG_{1,j}}{P_{1,j}} \quad (5)$$

$$tg_{2,j} = \frac{TG_{2,j}}{P_{2,j}} \quad (6)$$

式(5)和(6)中, $TG_{1,j}$ 为 2001—2012 年 j 地区粮食总产量, $TG_{2,j}$ 为 2041—2060 年 j 地区粮食总产量, $tg_{1,j}$ 为 2001—2012 年 j 地区人均粮食产量, $tg_{2,j}$ 为 2041—2060 年 j 地区人均粮食产量,且约定

$$tg_{1,1}:tg_{1,2}:\cdots:tg_{1,8}=tg_{2,1}:tg_{2,2}:\cdots:tg_{2,8} \quad (7)$$

式(7)表明,模型假定气候变化后,由于人口迁移原因,目标年各地区人均粮食产量之比等于基准年各地区人均粮食产量之比。该假定主要是考虑了生态原因:各个地区的对人口的支撑能力结构水平上保持不变,人类在农业生态条件上共进退。

1.2 气候变化下人口分布和迁移

根据 1.1 节人口分布模型,计算得到气候变化对区域人口分布冲击的估计结果(表 2)。可以发现,目标年由于气候变化冲击而发生的迁移总人口约为 1.9 亿,占全国总人口的 14% 左右。人口迁出地区有 4 个,分别是环渤海地区、长三角地区、成熟工业化地区和新型工业化地区。其中环渤海地区、成熟工业化地区和新型工业化地区是主要的人口迁出省,迁出人口占全国总迁出的 99%。其余 4 个区域为人口迁入地区,其中东南沿海地区、能源基地地区和环境脆弱地区是主要的人口迁入地,迁入人口占全国总迁入的 97%。从迁出迁入人口与区域人口的比例来看,东南沿海地区迁入的人口比例超过了本地区人口总量的 30%,而长三角地区和经典工业基地地区迁移的人口占本地区人口的比例很小,均不到 3%。其中长三角地区的比例最低,迁出人口只占到本地区人口的 0.37%。

需要指出的是,有观点认为粮食调动应优先于人口迁移,这在技术上也是方便处理的。然而必须注意到,这类研究的逻辑是建立在一般性稳定状态的假设条件下,时间尺度较短,气候不发生灾变,国际国内贸易环境不发生重大改变,排除了可能的极端社会环境变化等,其着眼点是短期现实情景。

^① 下标 1 表示基准年,2 表示目标年,下标 j 表示 j 地区

表2 气候变化下区域人口迁移

地区	基准年人口: 2001—2012年 (万人)	目标年人口: 2041—2060年 (万人)	目标年迁入人口 (万人)	目标年迁移后人口 (万人)	迁移比例 (%)
环渤海地区	19 133.48	18 940.15	-2 278.80	16 661.35	-12.03
长三角地区	14 802.82	14 653.25	-53.90	14 599.35	-0.37
东南沿海地区	14 063.85	13 921.74	4 272.90	18 194.64	30.69
能源基地地区	11 606.82	11 489.54	1 333.50	12 823.04	11.61
经典工业基地地区	10 832.01	10 722.55	249.30	10 971.85	2.33
成熟工业基地	16 678.36	16 509.83	-2 539.10	13 970.73	-15.38
新型工业化地区	26 453.28	26 185.98	-4 269.30	21 916.68	-16.30
环境脆弱地区	16 620.20	16 452.26	3 285.50	19 737.76	19.97

本文研究之所以暂时放弃粮食调动的机制，主要考虑到粮食安全是国家的命脉，即使在中长时间尺度的气候变化冲击下，也必须保证各个区域具备一定的自给能力，这是国家安全的基本要求。可以认为，本文研究给出了长期气候变化人口迁移的一个底线，意味着即使发生严重自然和社会危机，区域仍然能保证基本的粮食供给，从而在这个基础上再发生人口迁移。作为前瞻预警性的科学和政策研究，这种红线设计是具备合理性的。当然，我们完全赞同“在人口迁移中粮食调动很重要”的观点，但考虑到其短期现实性特征与本文国家长期预警目的的冲突，我们更愿意交由其他工作来探讨这种粮食调动机制。

2 气候变化人口迁移的影响

气候变化下大规模的人口迁移不可避免地会对经济增长、居民福利和区域差距造成显著影响。该问题关系到未来的区域政策调控，可以通过动态多区域 CGE 模型进行政策模拟。

本文多区域 CGE 模型采用层次结构的社会核算矩阵均衡建模方法，以社会核算矩阵（Social Accounting Matrix, SAM）表达的均衡关系为基本起点，首先建立经济系统的一般均衡关系，随后从均衡关系出发，描述经济过程。模型构建参考了文献 [8] 和 [9] 的工作，并在算法上进行了较大改进。模型求解采用的是面向欧氏范数和 Moore-Penrose 广义逆矩阵的改进型 Johansen-Euler 算法，系统运行基于气候变化经济分析的多区域政策模拟

云计算公共服务平台。模型中的数据主要来自刘卫东课题组编制的《中国 2007 年 30 省区市区域间投入产出表》^[10]，以及本课题组编制的多区域 SAM 表。考虑到本文主要集中于政策研究，对模型不再展开讨论。

2.1 政策情景

人口迁移分为劳动力迁移和非劳动力迁移两部分，但总体上中国当前人口迁移主要是以农民工为代表的劳动力迁移。根据一般规律，本文假定迁移人口中劳动力占比为 90%，这样就可以根据人口迁移量推断劳动力的迁移量。随后通过动态多区域 CGE 模型，进一步分析人口分布格局的改变对区域经济发展和区域差距的影响。

本文对人口迁移的情景设计如下：

基准情景（A0），人口及经济均按照发展惯性自然增长；

迁移情景（A1），各区域每个部门的劳动力每年按照第 1.2 节所述的人口迁移情景在研究期内线性增长（减少）；区域的迁移人口保持年度一致性，即每年新增的迁移人口是不变的；迁出人口按照迁出地区各行业劳动人口数量比例迁出，迁入人口是按照迁入地各行业劳动人口数量比例分配到各个行业中。人口的增长情况按照《联合国人口展望-2010年修订版》中的中等增长方案，劳动力的比例按照劳动力参与率计算，劳动力的比例根据上一年区域各行业劳动人口数量比例分配。

2.1.1 人口迁移的区域福利影响

从图 1 中全国 GDP 的年增长率可以看出，基准情景

下全国经济增长速度不断下降，至 2025 年降为 5.7% 左右，至 2040 年为 2.73%，每年增长率下降 0.1%—0.3% 左右。在考虑人口迁移的情景 A1 下，我们发现人口迁移从整体上进一步降低了经济增长的速度，但对经济的影响不是特别强烈。进一步观察可以发现，在模拟初期气候变化人口迁移对经济增长的影响最大，GDP 增长率比基准情景下降 0.3 个百分点，而末期 GDP 增长率为 2.7%，比基准情景低了 0.03 个百分点。由此可见，人口迁移对 GDP 的影响随着时间的推移，负面影响逐渐削弱。

考察气候变化人口迁移下各个区域的增长情况（表 3）可以发现，两种情景作用结果存在一些共同点：与全国平均增长率相比，东南沿海地区和新型工业化地区的 GDP 增长率高于全国平均增长率；环渤海地区、长三角地区、能源基地地区、经典工业基地地区、成熟工业基地 GDP 增长率均低于全国平均水平；环境脆弱地区的 GDP 增长率与全国平均水平基本持平。

表 4 为两种情景下人均 GDP 的情况。两种情景下人均 GDP 呈增长趋势，但是由于劳动力的迁移使得迁出地与迁入地的增长情况同基准情景有所不同。可以发现，4 个人口迁出地在基准情景下的人均 GDP 低于人口迁移

情景下的人均 GDP；而 4 个人口迁入地基准情景下的人均 GDP 高于人口迁移情景下的人均 GDP。虽然人口迁移可加快迁入地的经济发展速度，但是由于经济发展的加速依然低于人口迁移的速度，所以导致人均 GDP 低于基准情景模拟的结构。相反，人口迁出地虽然 GDP 发展速度减缓了，但是人口减少的幅度大于 GDP 增速的减缓幅度，所以人口迁出地的人均 GDP 反而增加了。这是一个与资源环境压力有关的值得关注的现象。

总而言之，气候变化引致的人口迁移减缓了全国经济发展速度。人口迁移对区域经济的影响与人口迁移方

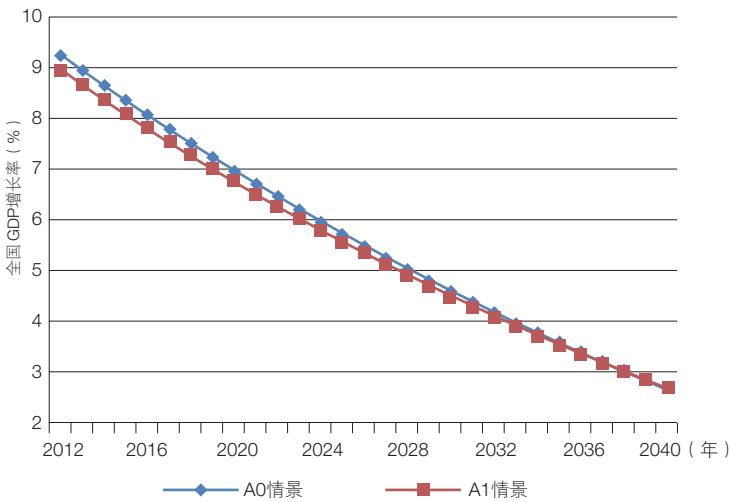


图 1 人口迁移下的全国 GDP 增长率

表 3 人口迁移下的区域 GDP 增长率

情景	区域	2012年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
A0	环渤海地区	0.0806	0.0642	0.0552	0.0447	0.0346	0.0262
	长三角地区	0.0801	0.0629	0.0539	0.0431	0.0333	0.0248
	东南沿海地区	0.1240	0.0862	0.0680	0.0540	0.0454	0.0381
	能源基地地区	0.0780	0.0614	0.0528	0.0425	0.0337	0.0245
	经典工业基地地区	0.0772	0.0617	0.0533	0.0435	0.0343	0.0255
	成熟工业基地	0.0738	0.0586	0.0510	0.0416	0.0334	0.0252
	新型工业化地区	0.0995	0.0717	0.0587	0.0492	0.0414	0.0350
	环境脆弱地区	0.0827	0.0649	0.0554	0.0460	0.0359	0.0269
A1	环渤海地区	0.0761	0.0600	0.0538	0.0421	0.0329	0.0251
	长三角地区	0.0789	0.0620	0.0525	0.0410	0.0327	0.0242
	东南沿海地区	0.1252	0.0875	0.0755	0.0608	0.0486	0.0374
	能源基地地区	0.0785	0.0622	0.0564	0.0446	0.0387	0.0265
	经典工业基地地区	0.0777	0.0622	0.0556	0.0446	0.0362	0.0264
	成熟工业基地	0.0679	0.0531	0.0491	0.0374	0.0300	0.0232
	新型工业化地区	0.0933	0.0694	0.0579	0.0463	0.0382	0.0271
	环境脆弱地区	0.0860	0.0664	0.0570	0.0465	0.0367	0.0272

向有关,人口迁移增加了人口迁入地的 GDP 增长速度,降低了迁出地的 GDP 增长速度。但是人均 GDP 的变化情况与此相反,人口迁移入地的人均 GDP 低于基准情景时的人均 GDP,人口迁出地的人均 GDP 高于基准情景下的人均 GDP。同时人口迁移规模越大,对区域经济影响也越大,但这种影响随时间推移逐渐减弱。

2.1.2 人口迁移的居民福利影响

表 5 为气候变化下各区域的居民人均收入增长率的变化情况。很明显,基准情景下人口迁出地居民的人均收入增长率高于人口迁移情景下模拟的结果,同时随着时间的推移,居民收入增长率是逐渐趋同的。人口迁入地居民收入增长率在基准情景下模拟的结果要低于人口

表 4 两种情景下的区域人均 GDP 单位:万元

情景	区域	2012年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
A0	环渤海地区	4.668	8.381	12.195	17.744	25.817	37.563
	长三角地区	4.738	8.587	12.556	18.361	26.848	39.260
	东南沿海地区	5.510	15.230	27.202	48.583	86.772	154.977
	能源基地地区	1.391	2.528	3.659	5.298	7.670	11.104
	经典工业基地地区	2.361	6.038	9.900	16.233	26.617	43.643
	成熟工业基地	1.883	3.256	4.620	6.557	9.304	13.204
	新型工业化地区	2.287	5.173	8.236	13.111	20.873	33.230
	环境脆弱地区	1.361	2.677	3.780	5.338	7.537	10.642
A1	环渤海地区	4.796	9.063	13.588	20.373	30.545	45.797
	长三角地区	4.741	8.584	12.552	18.354	26.839	39.247
	东南沿海地区	5.193	12.887	20.516	32.661	51.997	82.780
	能源基地地区	1.377	2.411	3.456	4.954	7.101	10.177
	经典工业基地地区	2.354	4.146	5.942	8.517	12.208	17.498
	成熟工业基地	1.925	3.562	5.055	7.174	10.180	14.446
	新型工业化地区	2.351	5.626	9.230	15.142	24.840	40.750
	环境脆弱地区	1.324	2.422	3.421	4.830	6.820	9.629

表 5 两种情景下的区域人均收入增长率

情景	区域	2012年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
A0	环渤海地区	0.0600	0.0478	0.0411	0.0333	0.0257	0.0195
	长三角地区	0.0596	0.0468	0.0401	0.0321	0.0248	0.0185
	东南沿海地区	0.0923	0.0641	0.0506	0.0402	0.0338	0.0284
	能源基地地区	0.0581	0.0457	0.0393	0.0316	0.0251	0.0183
	经典工业基地地区	0.0574	0.0459	0.0397	0.0324	0.0255	0.0190
	成熟工业基地	0.0549	0.0436	0.0379	0.0309	0.0248	0.0187
	新型工业化地区	0.0740	0.0533	0.0437	0.0366	0.0308	0.0260
	环境脆弱地区	0.0615	0.0475	0.0405	0.0335	0.0260	0.0193
A1	环渤海地区	0.0566	0.0447	0.0400	0.0314	0.0245	0.0187
	长三角地区	0.0587	0.0461	0.0391	0.0305	0.0243	0.0180
	东南沿海地区	0.0931	0.0651	0.0561	0.0452	0.0362	0.0278
	能源基地地区	0.0584	0.0463	0.0419	0.0332	0.0288	0.0197
	经典工业基地地区	0.0578	0.0462	0.0414	0.0332	0.0269	0.0197
	成熟工业基地	0.0505	0.0395	0.0366	0.0278	0.0223	0.0172
	新型工业化地区	0.0694	0.0517	0.0431	0.0344	0.0285	0.0202
	环境脆弱地区	0.0640	0.0494	0.0409	0.0316	0.0250	0.0199

迁移情景模拟的结果，人口的迁入降低了居民人均收入增加的幅度。此外，通过表 6 发现，居民人均消费变化的趋势以及特征同人均收入变化基本一致。

可见，气候变化导致的人口分布格局的改变，一定程度上降低了居民收入和消费增加的幅度。人口迁移的方向影响了居民收入和消费的变化，人口迁出地的消费和收入的增长率降低，而人口迁入地的消费和收入的增长率升高。当然，这些效应随着时间的推移逐渐减弱。

2.1.3 人口迁移的区域差距影响

气候变化人口迁移后必然导致区域差距的变化，而区域差距在中国是一个不可忽视的重要问题。本文采用 Theil 系数分析区域差距。式（8）中 $I_0(x)$ 是区域总体 Theil 系数，反映了区域的总体差距， x_i 是第 i 个区域的 GDP 总量， \bar{x} 是所有区域 GDP 的均值， n 是区域的数量^[11,12]。

$$I(x) = -\sum_{i=1}^n \ln \frac{x_i}{\bar{x}} \quad (8)$$

考察区域总体差距变化情况（图 2）可以发现，基准情景下区域总体差距是逐渐扩大的，由 2012 年的 0.109 到 2040 年的 0.145，区域差距扩大了 0.036。当人口迁移时，区域差距也是逐年增加的，但是增加的幅

度要比基准情景下小，区域差距从 2012 年到 2040 年增加了 0.016。可见人口迁移情景会降低区域差距的扩大速度。虽然两种情景下区域总体差距的差值是逐渐扩大的，但是扩大速度逐渐缩小。

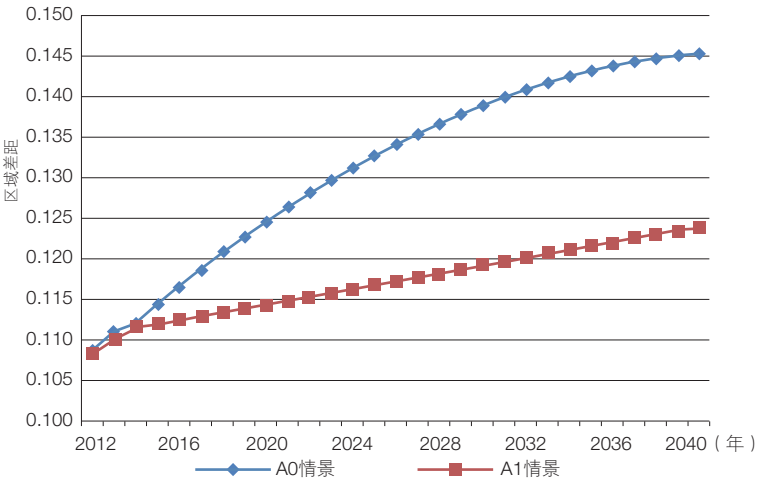


图 2 区域差距变化

进一步将区域差距细分为区域内差距和区域间差距。本文采用 Shorrocks^[16,17]提出的方法对总体 Theil 系数进行分解。式（9）等式左边是区域总体 Theil 系数，等式右边第一项是区域组内 Theil 系数，第二项是区域组间 Theil 系数。 K 是区域划分的组别数， P_k 是第 k 组人口在总人口中的份额， V_k 是第 k 组 GDP 在全国总 GDP 中的

表 6 两种情景下的区域人均消费增长情况

情景	区域	2012年	2020年	2025年	2030年	2035年	2040年
AO	环渤海地区	0.0581	0.0462	0.0397	0.0322	0.0249	0.0189
	长三角地区	0.0577	0.0453	0.0388	0.0311	0.0240	0.0179
	东南沿海地区	0.0893	0.0620	0.0490	0.0389	0.0327	0.0275
	能源基地地区	0.0562	0.0442	0.0380	0.0306	0.0243	0.0177
	经典工业基地地区	0.0556	0.0444	0.0384	0.0314	0.0247	0.0184
	成熟工业基地	0.0531	0.0422	0.0367	0.0299	0.0240	0.0181
	新型工业化地区	0.0716	0.0516	0.0422	0.0354	0.0298	0.0252
	环境脆弱地区	0.0595	0.0460	0.0392	0.0324	0.0252	0.0186
A1	环渤海地区	0.0548	0.0432	0.0387	0.0303	0.0237	0.0181
	长三角地区	0.0568	0.0446	0.0378	0.0296	0.0235	0.0174
	东南沿海地区	0.0901	0.0630	0.0543	0.0437	0.0350	0.0269
	能源基地地区	0.0565	0.0448	0.0406	0.0321	0.0279	0.0191
	经典工业基地地区	0.0560	0.0448	0.0401	0.0321	0.0261	0.0190
	成熟工业基地	0.0489	0.0382	0.0354	0.0269	0.0216	0.0167
	新型工业化地区	0.0672	0.0500	0.0417	0.0333	0.0275	0.0195
	环境脆弱地区	0.0619	0.0478	0.0396	0.0306	0.0242	0.0193

份额。

$$I_0(x) = \sum_{k=1}^K p_k I_0(x)_k + \sum_{k=1}^K p_k \ln\left(\frac{p_k}{v_k}\right) \quad (9)$$

从区域内差距的变化情况（图3）看出，无论是基准情景还是人口迁移的情景下，区域内的差距随着时间推移逐渐扩大。但是需要注意的是，人口迁移情景下的区域内差距要小于自然情景模拟的结果，与总体区域差距情况正好相反。基准情景下模拟末期，2040年区域内的差距扩大至0.0224，增加人口迁移后，2040年区域内的差距为0.0226，人口迁移情景下的区域内差距比基准情景下区域内差距高了0.9个百分点。

另一方面，区域间的差距走势同总体区域差距保持一致的（图4）。随着时间的推移区域间差距逐渐扩大，基准情景下的区域差距值要大于人口迁移情景下区域间差距值，两种情景下区域间差距的差值是逐渐扩大的，但是扩大速度逐渐缩小。将区域内差距与区域间差距结合起来看，人口的迁移缩小了区域间的差距，扩大了区域内的差距，两者对冲的结果是区域总体差距有所缩小。

3 总结与讨论

本文建立了一个气候变化经济学模型，分析了气候变化对农业生产潜力的影响，进而探讨其对人口分布和迁移的冲击，并通过动态多区域CGE模型，进一步研究了人口分布格局的改变对区域经济，区域差距及居民福利的影响。

模拟结果显示，气候变化导致农业生产潜力改变后，人口潜在迁出地主要是环渤海地区、成熟工业化地区、新型工业化地区和长三角地区。在这些地区，人口迁出和快速老龄化特征叠加，使得它们面临严重的劳动力短缺，从而影响经济发展。这些地区必须警惕，尽快制定鼓励和吸引人才的政策。

从人口迁移的影响来看，气候变化引致的人口迁移将增加人口迁入地GDP增速，而降低人口迁出地GDP增速。人口迁移规模越大，对区域经济的影响也越大，但

总体上将使全国增长速度放缓。气候变化导致人口格局再分布，整体上降低了居民收入和消费增加的幅度。值得注意的是，人口迁移会扩大各个区域内差距，但缩小区域间差距，不过两种差距效应的加总效果最终会有利于降低总体区域差距。

需要明确的是，本文分析的气候变化农业生产潜力改变下的人口迁移并不是对未来的一种预测，而仅在于提出应对气候变化的人口迁移可能性。事实上，考虑到交通条件改善和人口迁移粘性等因素，除非发生极端气候变化导致农业生产潜力灾变，一般而言跨区域粮食调动等方案是优先于人口迁移的选择。当然，这并不意味着气候变化对人口分布的冲击是可以忽视的。事实上，如果进一步复合气候变化通过经济体系施加的间接影

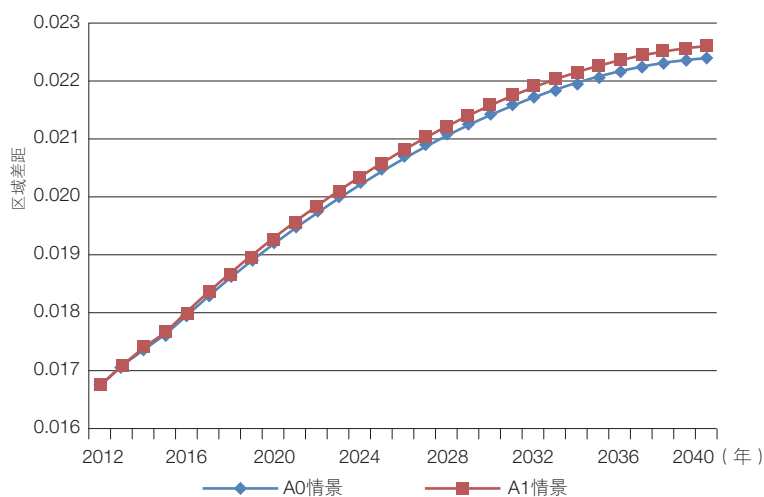


图3 区域内差距变化

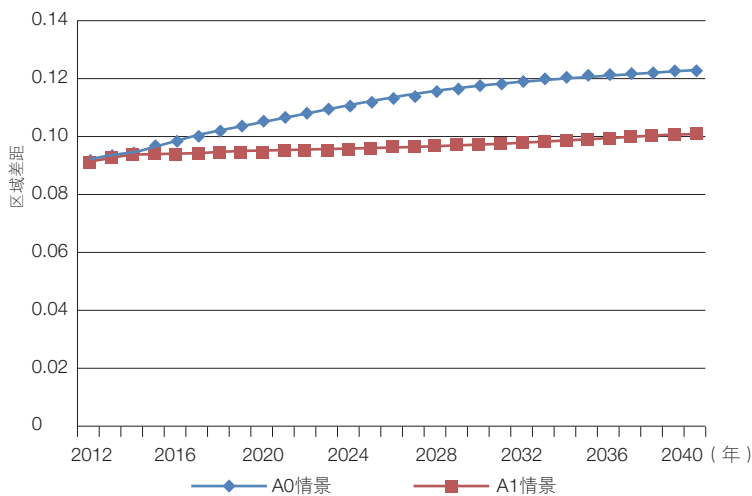


图4 区域间差距变化

响,那么未来大规模的中国人口迁移仍将成为不可避免的问题。

参考文献

- 1 IPCC. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment (1990). Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- 2 IPCC. Climate Change 2007: Working Group I: The physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- 3 Myers N. Environmental refugees. *Population and Environment*, 1997, 19(2): 167-182.
- 4 Warner K, Dun O, Stal M. Field observations and empirical research. *Forced Migration Review*, 2008, 31: 13-15.
- 5 Warner K, Ehrhart C, Sherbinin A, et al. In search of shelter: Mapping the effects of climate change on human migration and displacement, 2009.
- 6 黄秉维. 中国农业生产潜力—光合潜力. *地理集刊* (第17号). 北京: 科学出版社, 1985, 15-22.
- 7 钟章奇, 王铮, 夏海斌, 等. 全球气候变化下中国农业生产潜力的空间演变. *自然资源学报*, 2015, 30(12): 2018-2032.
- 8 孙翊. 基于 CGE 的中国宏观经济政策模拟系统开发及其应用. 北京: 博士学位论文, 2009.
- 9 孙翊, 钟章奇, 徐程瑾, 等. 中国生产控制型产业减排的居民福利和区域影响. *地理科学*, 2015, 35(9): 1069-1076.
- 10 刘卫东, 陈杰, 唐志鹏, 等. 中国2007年30省市区区域投入产出表编制理论与实践. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- 11 Shorrocks A F. The class of additively decomposable inequality measures. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1980, 48(3): 613-625.
- 12 Shorrocks A F. Inequality decomposition by population subgroups. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1984, 52(6): 1369-1385.

Population Migration and Its Social-Economic Impact of China: A Climate Change Perspective

Sun Yi¹ Xu Chengjin² Wang Zheng^{1,2}

(1 Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2 Key Laboratory of Geographic Information Science, East China Normal University, Ministry of Education, Shanghai 200241, China)

Abstract In this paper, the Potential Agriculture Production index is introduced to estimate the scale of population migration caused by climate change by analyzing the change of Potential Agriculture Production index. We found that, for the changes of Potential Agriculture Production caused by climate change, circum-Bohai-Sea region, mature industrialized region and the industrializing region as the main regions of emigrating population will face a severe labor shortage. In addition, this paper also constructs a multi-regional CGE model, and analyzes the impacts caused by the change of population distribution pattern on regional economy, regional gap and the residents' welfare. The results show that the economic growth rate of the population immigrating regions has been accelerated; correspondingly, the economic growth rate of the emigrating population region has been reduced, and the greater the population migration scale, the greater the impact on the economy; population migration expands the inner-regional gap, and narrows the inter-regional gap, however the overall regional gap is somewhat reduced.

Keywords climate change, population migration, potential agricultural productivity, regional gap, household welfare

孙 翊 中科院战略咨询院副研究员，主要从事政策模拟、多区域经济学和气候变化经济学研究。

E-mail: sunyi@casipm.ac.cn

Sun Yi Associate professor, Institutes of Science and Development, CAS. He is mainly engaged in policy modeling, multi-regional economics and climate change economics. E-mail: sunyi@casipm.ac.cn

王 铮 男，中科院战略咨询院研究员，“973”项目“气候变化经济过程复杂性”首席科学家。1954年出生，博士。主要从事气候变化的人文维和区域科学与管理研究。E-mail: wangzheng@casipm.ac.cn

Wang Zheng Male. Professor, Institutes of Science and Development, CAS, mainly engaged in theoretical geography, policy modeling, regional scientific research and regional governance. Wang is a member of Scientific Societies, China, Geographical Society, China, and Regional Science Association of International. E-mail: wangzheng@casipm.ac.cn