



姜彤¹ 王艳君¹ 苏布达^{2,3} 翟建青² 陶辉³
景丞^{3,4} 黄金龙¹ 温珊珊¹ 潘金玉¹

全球气候变化中的人类活动视角： 社会经济情景的演变



作者简介:姜彤,男,二级教授,南京信息工程大学地理科学学院和灾害风险管理研究院院长。IPCC AR5 和 IPCC AR6 第二工作组报告《气候变化:影响、适应和脆弱性》行业和区域关键风险评估的主要作者。“未来地球计划”中国国家委员会委员。Atmospheric Research、Climate Service 等国际杂志副主编。在 Nature Communication、PNAS、GOC、ERL 等发表 SCI 论文 120 篇,成果被 Nature、Nature Climate Change 等多次引用,他引共计 12 000 余次,出版专著 20 余部(篇)。曾荣获 2014 年度江苏省科学技术进步二等奖,2017 年度湖北省科学技术进步二等奖和长江水利委员会科学技术进步一等奖,2018 年度大气科学基础研究成果奖二等奖。

E-mail:jiangtong@nuist.edu.cn

摘要

社会经济情景的设定是全球气候变化研究的基础,也是气候变化影响评估的关键环节。本文回顾了社会经济情景的发展过程,阐述了共享社会经济路径的主要特点和最新发展趋势,介绍了区域社会经济情景的构建及在灾害风险领域中的应用,最后对共享社会经济路径的发展进行了展望。

关键词

社会经济情景;共享社会经济路径;区域情景构建;灾害风险

中图分类号 P467

文献标志码 A

0 引言

情景是对未来世界如何发展的可能性描述^[1]。预估全球和区域气候变化需要构建未来社会经济变化和温室气体排放等一系列情景。这些情景涉及未来社会、经济、技术的方方面面,需要对各种可能的发展状况加以定性或定量的描述。对未来温室气体和气溶胶等排放状况的描述,在气候变化研究中通常称之为排放情景。对一系列影响温室气体排放的社会经济驱动因子(包括未来人口增长、经济发展、技术进步、环境条件、全球化、公平原则等)的假设,则组成了社会经济发展情景。1990 年以来,政府间气候变化专门委员会(IPCC)先后提出了 SA90 情景(SA90)、IS92 情景(IS92)、排放情景特别报告(SRES)、典型浓度路径(RCPs)等温室气体排放情景。上述情景虽然对未来的社会经济发展有一定的考虑,但相对简单。为了加强对未来全球社会经济发展的认识,IPCC 于 2010 年提出了共享社会经济路径(SSPs)以描述全球社会经济发展情景^[2-4]。经过广泛地征求意见和多次会议讨论,SSPs 的主要组成要素和 5 个基础框架已经初步确定,基于 SSPs 的区域社会经济情景数据产品也逐步发展,并在区域/领域的气候变化影响、适应与减缓研究中得到应用。本文综述了社会经济情景的演变过程、共享社会经济路径的最新发展及应用,并分析了其未来发展面临的挑战。

1 社会经济情景演变概述

社会经济情景的设定是气候变化影响研究的重要环节。在历次

收稿日期 2019-10-21

基金项目 南京信息工程大学灾害风险管理研究院运行经费和院长基金;中国气象局气候变化专项(CCSF201924)

1 南京信息工程大学 地理科学学院/灾害风险管理研究院,南京,210044

2 中国气象局国家气候中心,北京,100081

3 中国科学院新疆生态与地理研究所 荒漠与绿洲生态国家重点实验室,乌鲁木齐,830011

4 中国科学院大学,北京,100049

IPCC 报告中,气候情景历经了不断的更新与发展,由最初的维持社会经济状况不变到改变人口、经济等要素再到 IS92 中简单设定高、中、低 3 种变化模式,并考虑能源、土地利用等相关的温室气体排放,直到最新的 SSPs 情景的提出,IPCC 的气候变化情景由简单描述走向了量化的评估,将原有的社会经济假设上升到情景的高度(表 1),反映了温室气体排放与社会经济发展的关联,也将统一气候模型(CM)、综合评估模型(IAM)及气候变化影响、适应与脆弱性(IAV)研究中关于人口、经济和能源消费的不同预测和设定,更好地满足气候变化影响、适应与减缓研究的需要^[4-7]。

2 共享社会经济路径

2.1 共享社会经济路径的设定

共享社会经济路径的设定既包含了人口、经济、技术水平等定量元素,又包含了社会发展方向、速度、水平等定性的元素,以反映辐射强迫和社会经济发展之间的关联^[7]。不同的 SSPs 表现不同的社会发展模式,当前 SSPs 的指标体系主要涵盖 7 方面的内容^[6]:1)人口和人力资源,包括人口的出生率、死亡

率、迁移率、增长率、性别与年龄结构、空间分布、城市化和教育水平;2)经济发展:人均收入的增长率、国际收入分配、国内收入分配、经济结构、就业状况、国际贸易、全球化;3)人类发展:贫困情况、能源可用性、食物安全、公共医疗和健康服务能力、公平和社会凝聚力、人类发展指数;4)技术:研发投入、技术生产率、基础设施状况、能源领域的供应部门的技术发展方向、能源强度、碳强度、技术转化率、技术可用性;5)生活方式:消费类型、食物结构、价值观;6)环境和自然资源:化石能源利用、自然资源利用、土地利用、农业生产率、环境污染、水资源可用性、土壤肥力;7)政策和机构:国际合作、国际地位、环境政策取向、机构效率、政府管理质量、保险可用性。

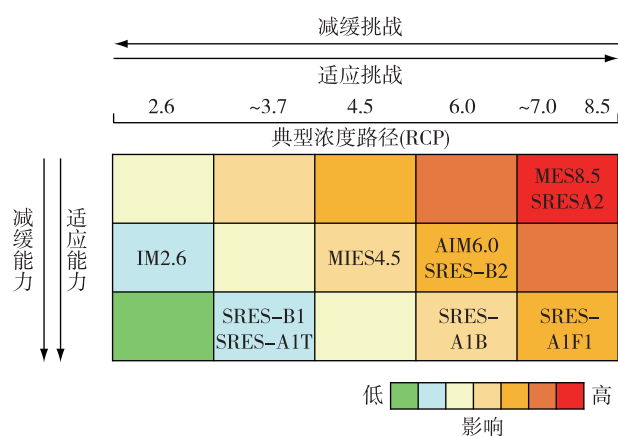
SSPs 的设定能够完全涵盖过去已有情景中的已有假设,如 SRES 情景族中的 B1 情景设定人口快速增长后趋于平缓或逐步减少,经济快速发展,同时社会、环境、人居等方面水平稳步发展,全球化水平提高;或 A2 情景设定的未来世界以区域竞争为主,各地区间差异显著,全球化水平较低,社会经济发展缓慢的情景,都能在 SSPs 中得到体现。同时,SSPs 能够与不同的气候情景进行组合,形成综合情景矩阵。

表 1 IPCC 气候变化情景的发展阶段与应用^[8]

Table 1 Development and applications of climate change scenarios^[5]

阶段	排放情景概述	相应的社会经济情景	特点/变化	应用情况
SA90 情景及之前	考虑 CO ₂ 倍增或递增,特别是 CO ₂ 加倍试验,SA90 情景包括 A、B、C、D 4 种情景	所有的社会经济情景的人口和经济增长假设相同,只有能源消费不同	最早使用的全球情景,简单的温室气体浓度变化的描述和假设	第一次评估及之前的气候模拟
IS92 系列情景	包含 6 种不同排放情景(IS92a 到 IS92f),a、b、c、d、e 和 f 6 种排放情景中考虑了单位能源的排放强度	分别考虑了高、中、低的人口和经济增长及不同的排放预测,代表未来世界不同的社会、经济和环境条件	考虑了与能源、土地利用等相关的 CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O 和 S 排放,预测未来温室气体和硫化物气溶胶排放的情况	IS92a 构成了第二次评估的基础,用于第二次评估及气候模式预测
SRES 情景	主要由 A1、A2、B1、B2 共 4 个情景“家族”组成,包含 6 组解释型情景(B1、A1T、B2、A1B、A2 和 A1F1),共计 40 个温室气体排放参考情景	建立了 4 种可能的社会经济发展框架,考虑人口、经济、技术、公平原则、环境等驱动因子。其中 A1 和 A2 强调经济发展,但在经济和社会发程度有所不同;B1 和 B2 强调可持续发展,但在发展程度上存在不同	温室气体排放预测与社会经济发展相联系。出现情景族,表示有着相似的人口统计、社会、经济、技术变化的情景的多个情景组合	主要用于第三次和第四次评估,得到科学团体和决策团体的广泛应用,成为气候变化领域的“标准情景”
RCPs/SSPs 情景	以典型浓度路径(RCPs)描述辐射强迫,包括 RCP8.5、RCP6、RCP4.5 和 RCP3-PD(通常取 2.6)4 种典型路径,每一个 RCP 代表一大类温室气体排放和 CO ₂ 浓度的情景,其中 RCP8.5 为持续上涨的路径,RCP6 和 RCP4.5 为没有超过目标水平达到稳定的 2 种不同路径,RCP3-PD 为先升后降达到稳定的路径	基于 RCPs 定义社会经济情景(SSPs),可以包括人口增长、经济发展、技术进步、环境条件、公平原则、政府管理、全球化等影响因素。使用 RCPs 与 SSPs 组成矩阵的方式描述,体现辐射强迫和社会经济情景的结合,更好分析气候情景与社会经济的联系和影响	改变了过去先根据社会经济情景设定排放情景,然后在模式评估中应用排放情景的模式。不仅包括全球特征,还可以根据实际情况和需要进行设定区域特征,可以设定人为减排因素,为评估气候政策的效果提供了可能	用于第五次评估,为更好地分析评估人为减排等气候政策影响,为选择适应与减缓技术和政策提供了研究平台

通过情景矩阵,可以评估不同情景组合下气候变化的影响、适应和减缓的后果(图1).矩阵中的每一网格都可以认为是一种气候情景和一种社会经济情景的组合结果;在同一排放水平下(同一列),不同的社会发展道路的选取能够改变人口、经济发展政策、能源结构、环境政策等,从而具备不同的发展(减缓与适应)能力,控制气候变化带来的影响;在同一社会经济发展指标下(同一行),通过采取不同的气候政策,控制温室气体排放,能够使得社会经济达到不同的发展状态.RCPs和SSPs的矩阵组合有助于社会经济发展的不确定性研究,在减缓和适应政策的成本与风险分析研究方面也有很大的现实意义^[7-8].



注: B1、A1T、B2、A1B、A2和A1F1为SRES情景的6种解释性标志情景, MES8.5、AIM6.0、MES4.5、IM2.6分别为典型浓度路径

图1 基于RCPs的SSPs框架中SRES情景与减缓和适应关系^[7]

Fig. 1 SRES scenarios in the framework of SSPs based on RCPs^[7]

2.2 5个基础SSPs的主要特征

当前IPCC已经确定了5个基础SSPs的主要特

征,综合考虑了人口增长、经济发展、技术进步、环境条件、公平原则、政府管理、全球化等发展特点和影响因素,以及经济发展方式、国际贸易、区域关系的关键特征,同时,将SSPs框架与之前的SERS情景、联合国千年发展目标、联合国环境规划署全球环境展望的情景和早期全球情景组有关情景进行了逻辑比较.通过对已有全球发展框架特征的综合研究,给出了经济优化、市场改革、可持续发展、区域竞争、常规商业等不同的发展导向下,经济发展速度、人口增长率、技术进步、环境技术发展、主要目标、环境保护、贸易、政策与机构和脆弱性等的方向和趋势,涵盖了千年生态系统评估、SRES、全球环境展望和国际农业可持续技术发展评估中的全球发展框架^[4](表2).

5个基础SSPs的主要特征如下^[7]:

1) SSP1为可持续路径,是充分考虑可持续发展和千年发展目标的路径.这一路径与SRES的B1/A1T情景类似,描述一个实现可持续发展的世界,具有低的气候变化减缓与适应挑战.在这一路径下全球重视科技、教育的发展,高度的开放与全球化;国家之间差距逐步减小,低收入国家快速发展,贫困线以下的人口急剧减少;重视清洁能源的使用,消费也趋向低的材料消耗和能源损耗,各国都向环境友好型社会发展;人口生育率和死亡率都很低,但教育水平很高;医疗水平、公共卫生、人类福祉等方面都得到快速的发展;政府与机构致力于发展目标的实现.

2) SSP2是中间路径,对应SRES的B2情景,全球维持当前的发展态势继续发展,面临中等的气候变化减缓与适应挑战.这一路径下各国都取得了一定的发展,发展中国家和发达国家之间的差距慢慢缩小;全球对于化石燃料的需求在逐步降低,资源和能源强度也在降低;大部分国家发展较为稳定,但在

表2 全球发展框架的特征^[4]

Table 2 Characteristics of the global development framework^[4]

发展框架	主要特征					
	经济发展速度	人口增长率	技术进步	环境技术发展	主要目标	环境保护
经济优化	非常快	低	快	快	经济增长	被动的
市场改革	快	低	快	快	多种目标	既主动也被动
全球可持续发展	由慢到快	低	由慢到快	快	全球可持续	积极主动
区域可持续发展	中速	中	由慢到快	由中到快	区域可持续	主动地
区域竞争	慢	高	慢	满	安全	被动的
常规商业	中速	中速	中	中	未定义	既主动也被动
贸易	全球化	全球化	全球化	贸易壁垒	贸易壁垒	减弱的全球化
政策与机构	政策促进市场开放	政府主导,市场失效	强的全球管理	地方为主	强的国家管理	混合
脆弱性	中~高	低	低	可能偏低	混合	中

部分低收入国家发展不平衡;全球化处于中等水平,全球性机构数量有限;大部分地区收入有一定的改善,人口一般处于上升趋势,但教育的发展慢于人口的增长速度;有一部分人无法获得安全的饮用水与卫生和医疗服务;全球在实现发展目标方面取得了一些进展,但仍有很大不足。

3)SSP3 是区域竞争路径,对应 SRES 的 A2 情景,描述一个缺乏协调、区域分化明显的世界,面临高的气候变化减缓与适应挑战。这一路径下发展水平较低,依赖化石能源,从而难以缓解环境和污染问题;去全球化趋势严重,全球各国之间缺乏国际合作、国际贸易受阻,使得全球经济发展缓慢;对技术、教育的投资较少;人口生育率和死亡率都偏高,资源消耗大,能源技术变革缓慢,使得碳排放较高;国家只专注于自身的能源与食品安全,缺乏合作与协商,国家与机构管理松散。这一路径下难以实现发展目标。

4)SSP4 为不均衡路径,类似于 A2 情景。该路径设想国际和国内都高度不均衡发展的世界,面临高的气候变化适应挑战和低的气候变化减缓挑战。这一路径下各国发展差异较大,财富主要集中于少数群体,这些群体产生了大部分的排放量,但总体上这一路径较好地控制了温室气体的排放。各国都有大量的贫困群体且易受到气候变化的影响。少数的高技术水平群体通过一定的研发投入来应对潜在的资源短缺或气候政策,管理和全球化被少数人控制,贫穷人口的受教育程度有限。政府管理效率低,面临很高的适应挑战。

5)SSP5 是以传统化石燃料为主的发展路径,类似于 SRES 的 A1FI 情景。这一路径通过大量化石燃料的燃烧实现经济的快速发展,面临高的气候变化减缓挑战和低的气候变化适应挑战。这一路径强调传统的经济发展导向,通过经济的快速发展来解决社会问题;对于环境问题、能源结构调整的努力较低,产生大量的温室气体排放。但强劲的经济增长使得基础设施、医疗卫生水平等都能够得到满足,能够实现发展目标。

SSPs 内部逻辑及其与 SRES 情景、气候变化适应和减缓相互关系如图 2 所示。

3 区域社会经济情景的构建

SSPs 设定方法的益处在于人们可以根据当前某个国家或区域的实际情况,以及发展规划,利用

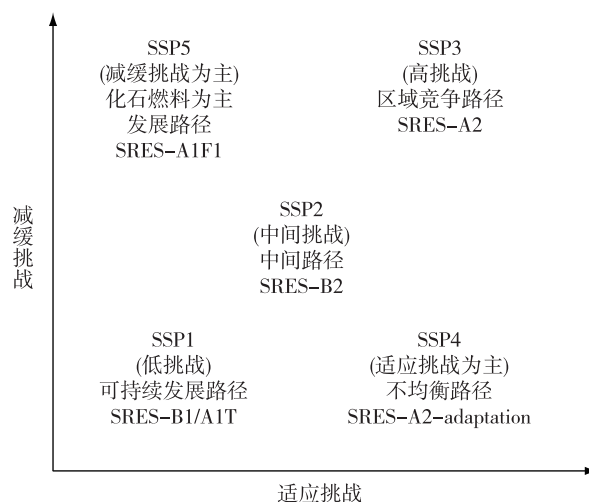


图 2 考虑气候变化适应和减缓挑战的 SSPs 示意图^[7]

Fig. 2 The challenges space to be spanned by SSPs^[7]

SSPs 的指标体系来设定具体社会经济发展情景,不仅可以用于全球、区域,还可以应用在具体的部门(如能源、农业等)。目前,国际应用系统分析研究所(IASA)、德国波茨坦气候影响研究所(PIK)及经济合作与发展组织(OECD)3个机构以2000年的人口和经济为初始数据预估了21世纪全球及各国的人口和国内生产总值(GDP,由购买力平价PPP计算)^[9-14]。国内姜彤等^[15-17]、王艳君等^[18]、景丞等^[19]在SSPs的全球框架下,考虑了中国的人口政策,以2010年的人口为初始数据,本地化人口经济预估模型,对“一带一路”沿线国家、中国大陆及31个省(区/市)的人口和经济进行了预估(香港及澳门地区、台湾省的相关数据未包含在本文中国及分省市的统计中)。

3.1 中国人口经济预估

3.1.1 中国人口变化

未来5种SSPs路径下中国人口总数都将先增加后减少(图3),各路径下人口在2025—2035年达到峰值。其中SSP3路径下人口最多,峰值约14.3亿人,到2050年人口下降至14.1亿人,到2100年为12.9亿人;SSP2路径下人口处于中间水平,峰值约14.1亿人,到2050年人口下降至13.7亿人,2100年仅为9.7亿人;SSP1和SSP5路径下人口非常相近,两路径下峰值人口约13.9亿人,到2050年约13.3亿,到2100年为7.9亿人;SSP4路径下人口最少,其峰值人口、2050年人口和2100年人口分别为13.9亿、12.9亿和7.0亿人。

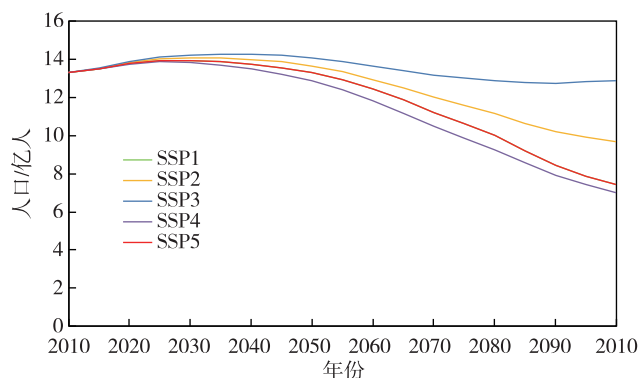


图3 2010—2100年 SSPs 路径下中国人口总数变化

Fig. 3 Total population in China from 2010 to 2100 under SSPs

在5种 SSPs 路径下,2010—2050年中国城市人口都有所增加(图4左).各路径下到2030年中国城市人口分别达到9.6、9.9、9.2、9.6和10.3亿人,到2050年达到10.6、11.1、9.9、10.3和11.4亿人,较2010年增加3.2亿~4.7亿人.SSP5路径遵循经济发展为主的发展模式,城市人口增加最快;其次是SSP2路径;SSP1和SSP4路径下最初增长趋势相似,到2035年之后逐渐拉开差距,SSP1路径城市人口略高;SSP3路径发展水平最低,导致城市人口增长速度最为缓慢。

农村人口的变化则呈现出与城市人口变化不同的态势(图4右),各路径下中国农村人口都有所减少,到2030年中国农村人口分别为4.3、4.3、5.3、4.2和3.6亿人,之后各路径间差距进一步拉大,到2050年分别为2.7、2.9、4.9、2.6和1.9亿人.其中SSP3路径下生育率较高而迁移率偏低,农村人口下降速度最慢,2010—2050年间减少约1.8亿人,SSP1、SSP2和SSP4路径下农村人口变化较为相似,减少3.7亿~4.0亿人,SSP5路径下由于生育率低,

同时大量人口向城市迁移,农村人口下降速度最快,到2050年较2010年农村人口减少约70%(4.7亿人).

各路径下未来2050和2100年中国人口的年龄结构如图5所示,SSP1和SSP5路径下中国人口参数设定相同,因而人口的结构特征一致.到2050年时,不同路径下人口的年龄结构差异不大,人口最多的年龄段均为60~64岁.各路径间的差异主要体现在新生人口数上,SSP3路径下新生人口最多,0~4岁人口能够达到近0.8亿人,SSP1和SSP5路径下则新生人口较少,不足SSP3路径的一半.到2100年,各路径下的年龄结构呈现明显的差异,SSP1、SSP4和SSP5路径均呈现“倒三角”型的分布,新生人口逐年减少,老龄人口不断增加,社会呈现严重的老龄化趋势.SSP2路径年龄结构较为健康,新生人口处于适中水平,老龄人口比重较当前有一定程度的增加,但小于SSP1、SSP4和SSP5路径.SSP3路径下人口呈现“金字塔”型,新生人口较多,随着年龄的增长人口越来越少。

各路径下教育水平也有一定差异,SSP1和SSP5路径是教育水平最高的路径,到2100年已经基本消除了文盲和小学文凭,大部分人口都有大学及以上学历;SSP2和SSP4路径下略低于SSP1和SSP5路径,但基本都能够达到中学以上学历;SSP3路径下教育发展水平低,受教育程度也相对较低,到2100年仍有一部分小学学历人口,但与当前相比已经有了很大的改善。

5种 SSPs 路径下,中国各省的人口变化差异显著(图6).2100年,SSP1、SSP2、SSP4和SSP5路径下广东省是中国人口最多的省份,尤其在SSP5路径下人口可以达到1.3亿人,远远高于其他省份,第二名

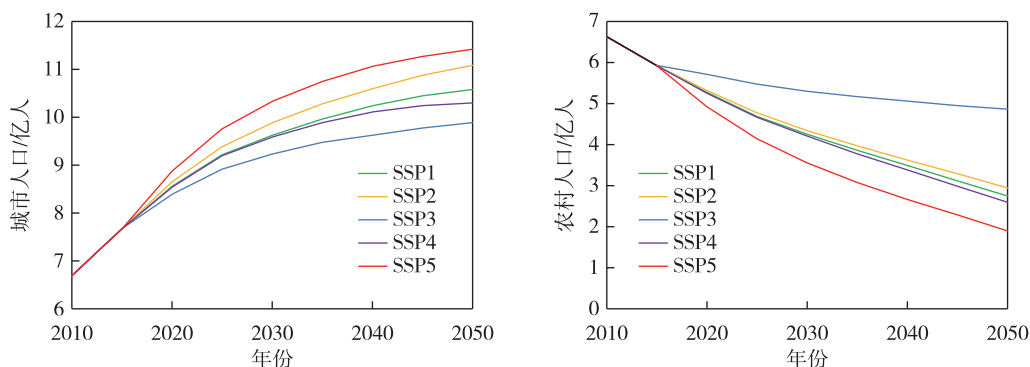


图4 2010—2050年 SSPs 路径下中国城(左)乡(右)人口

Fig. 4 Urban (left) and rural (right) population in China from 2010 to 2150 under SSPs

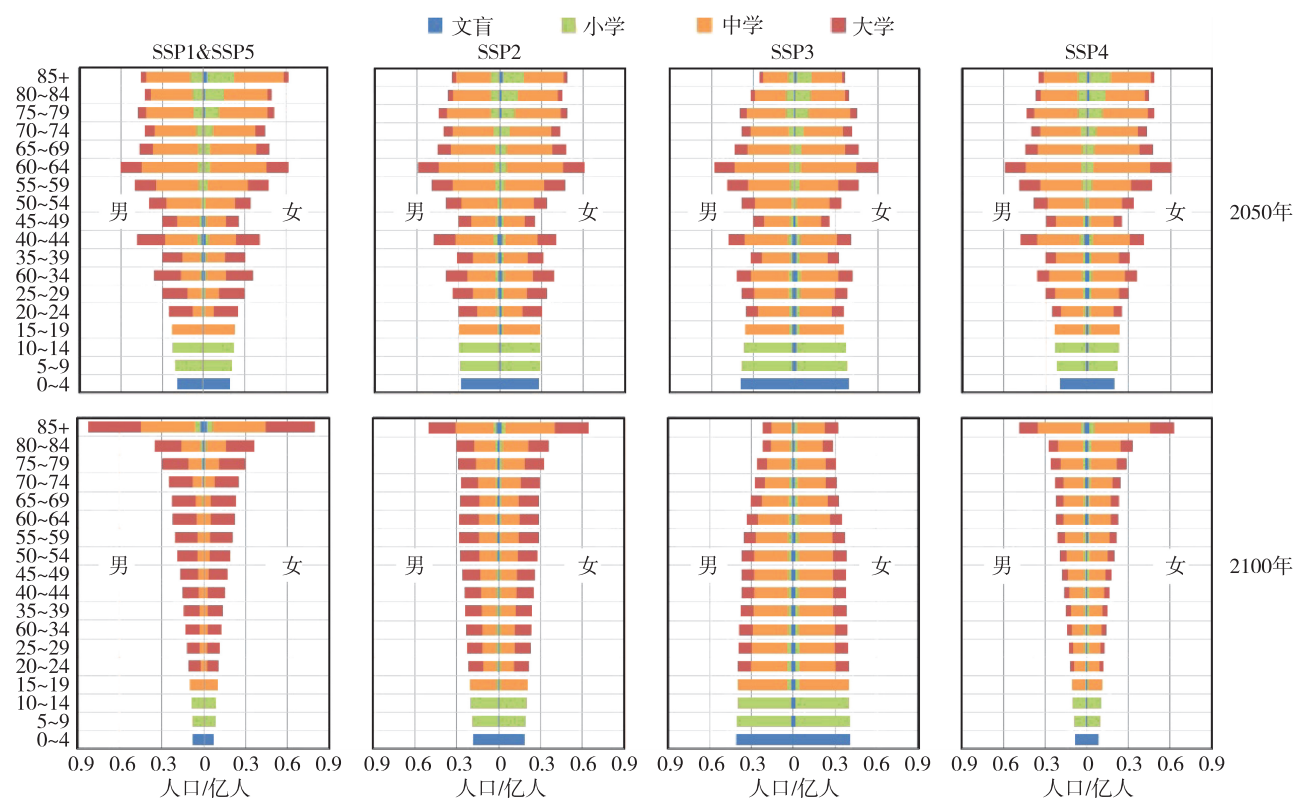


图5 2050年和2100年SSPs路径下中国不同年龄段、性别和教育水平的人口结构

Fig. 5 China's population patterns by age,sex and educational attainment under SSPs for 2050 and 2100

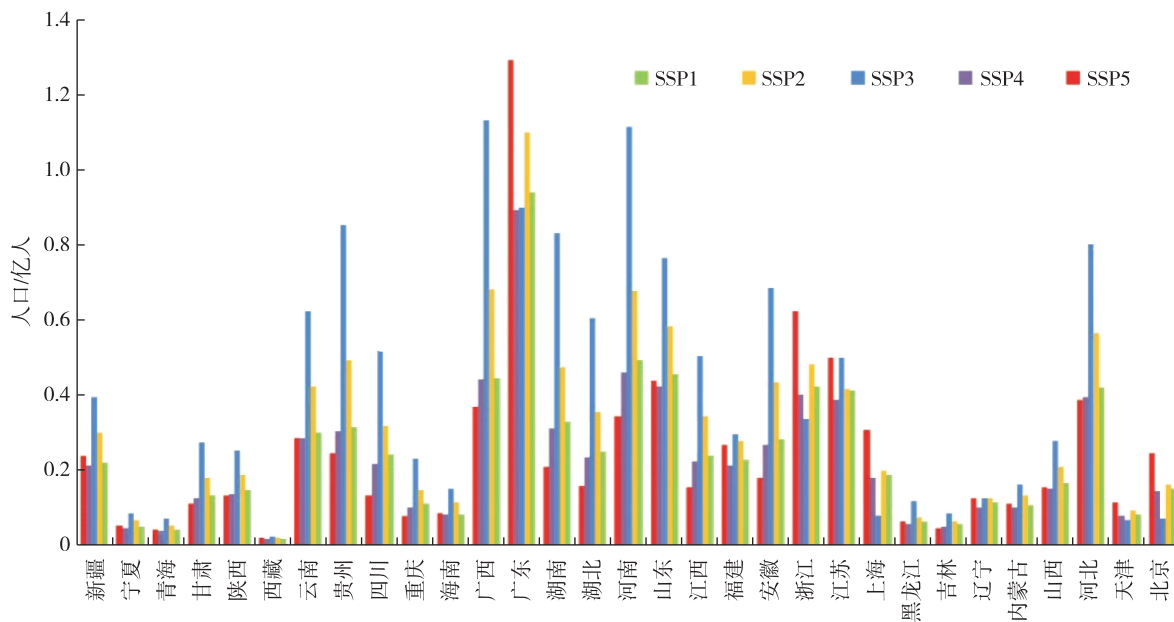


图6 2100年SSPs路径下中国31个省(区/市)人口总数

Fig. 6 Provincial population of mainland China under SSPs in 2100

的浙江省人口仅为广东省的一半约0.63亿人.而在发展水平较低的SSP3路径下,广西人口有可能超越广东省,成为人口最多的省份,达到约1.13亿人.经济发展水平较高的省份如广东、浙江、江苏、上海、北

京、天津等在SSP5路径下能够吸引人口由经济水平较低的省份迁入,使得人口快速增长,在这一路径下人口数量将高于其他路径.而在发展水平相对较低的省份,SSP3路径下的高生育率将带来更多的新生

人口,使得人口总数高于其他路径。

3.1.2 中国经济变化

不同 SSPs 路径下,中国的 GDP 均呈上升趋势,增速从 9% 降至一稳定水平(图 7)。SSP1 和 SSP4 路径下, GDP 增加至 2070s 和 2060s 后逐渐放缓,到 21 世纪末期分别达到 318.9 万亿元和 248.1 万亿元; SSP2、SSP3 和 SSP5 路径下, GDP 持续增加,但 SSP2

和 SSP3 路径在 21 世纪中期后增速放缓, SSP5 路径下则保持较快增速, 2100 年分别达 371.7 万亿元、267.8 万亿元和 515.8 万亿元。总之, 5 种路径下中国 GDP 在 21 世纪前期差异不显著, 中后期差异逐渐显现。到 21 世纪末期, GDP 总量最大的 SSP5 与最少的 SSP4 相差约为 250 万亿元。

21 世纪中国分产业产值预测结果如图 8 所示。

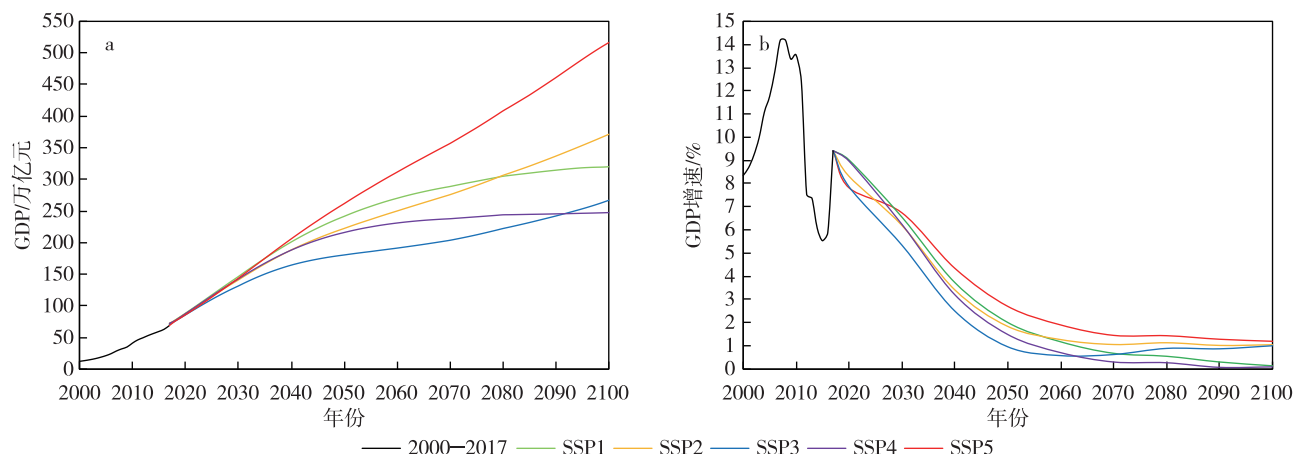


图 7 2000—2100 年 SSPs 路径下中国 GDP 总量(a)和增速(b)变化

Fig. 7 GDP (a) and GDP growth rate (b) in China for 2000–2100 under SSPs

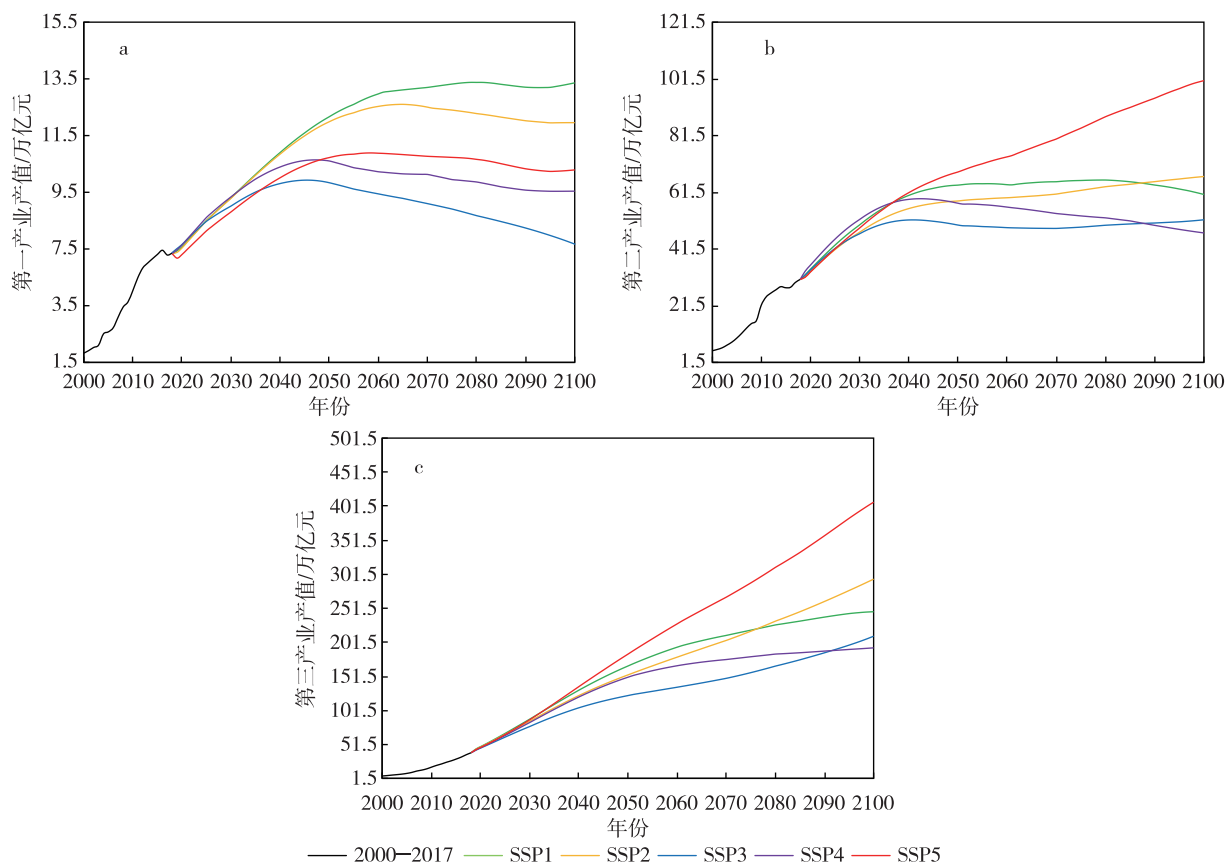


图 8 2000—2100 年 SSPs 路径下中国第一、第二和第三产业产值变化

Fig. 8 Output values of three industries in China for 2000–2100 under SSPs, (a) primary industry, (b) secondary industry, and (c) tertiary industry

第一产业产值在5个路径下呈先增加再缓慢减少的趋势,达峰时间存在差异.SSP1、SSP2和SSP5路径分别在2080s、2060s和2050s达到最高产值,约分别为11.4万亿元、10.6万亿元和8.9万亿元;SSP3、SSP4路径则在2040s达到峰值,分别为7.9万亿元和8.6万亿元(图8a).

第二产业产值在SSP1和SSP4路径下呈先增后减的趋势,分别在2080s和2040s达到峰值66.1万亿元和59.4万亿元;SSP2和SSP5路径下,第二产业产值均呈现持续增加的趋势,到21世纪中叶SSP5路径产值增长远远超过SSP2路径,2100年将分别达到67.1万亿元和101万亿元;SSP3路径下,产值增加至2040年后几乎保持不变,到21世纪末期产值为52.1万亿元(图8b).

第三产业产值在5个路径下均持续增加,但在SSP1和SSP4路径下2070年后增速逐渐放缓,2100年将分别达到246.1万亿元和193.2万亿元;SSP2、SSP3和SSP5路径下则仍保持持续增长态势,且SSP5路径下相对最快,SSP3相对缓慢,21世纪末期产值分别为294.6万亿元、210万亿元和406.6万亿元

元(图8c).

总而言之,不同的社会经济发展政策下,三种产业产值到21世纪中后期后差异逐渐显著.到2100年,第一产业产值在可持续路径(SSP1路径)下产值最大,区域竞争路径(SSP3路径)下最小,两者相差为5.7万亿元;第二、第三产业均以不均衡路径(SSP4路径)和化石燃料为主发展路径(SSP5路径)之间差异最大,第二产业相差可达54万亿元,第三产业差值高于200万亿元.

3.2 “一带一路”沿线国家人口经济预估

未来各路径下“一带一路”沿线国家人口总数和GDP总量都将有所增加,人口占全球总量的比重在持续减小,GDP占全球总量的比重在有一定增长后逐渐放缓(图9).5种路径下2020—2060年人口增长2.8亿~16.4亿人,到2060年达到全球人口比重的56%~61%.其中SSP3路径下人口增长最快,到2060年达到64.7亿人,SSP5路径下人口增长最为缓慢,到2060年达到约49.7亿人.2020—2060年“一带一路”沿线国家GDP增长较人口增长更为迅速,各路径下增长1.3~3.7倍,到2060年达到全球

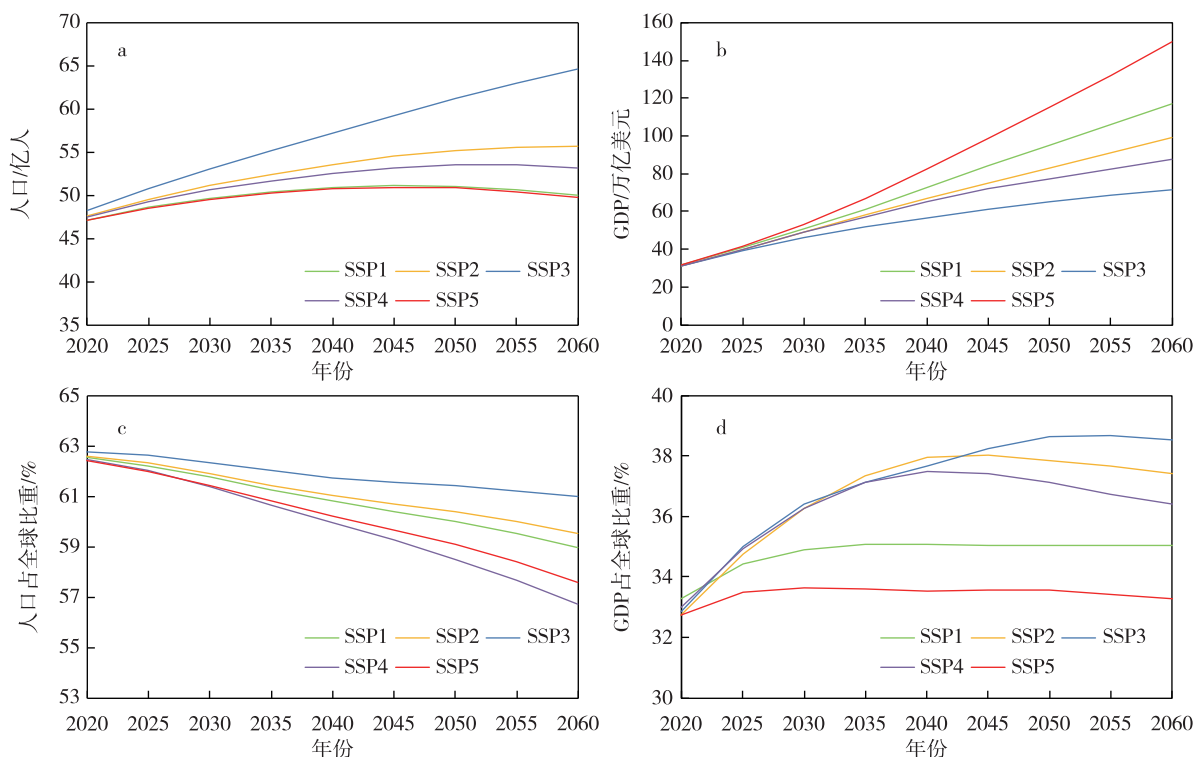


图9 2020—2060年SSPs路径下“一带一路”沿线国家人口和经济变化趋势

(a:总人口;b:GDP总量;c:人口占全球比重;d:GDP占全球比重)

Fig. 9 Population and economy under SSPs in the Belt and Road countries for 2020–2060,
(a) total population, (b) total GDP, (c) share of world population, and (d) share of global GDP

GDP 总量比重的 33%~39%.其中 SSP5 路径下 GDP 增长最快,到 2060 年达到 150 万亿美元,SSP3 路径下 GDP 增长则最为缓慢,到 2060 年达到约 71 万亿美元.

21 世纪中期(2051—2060 年),“一带一路”沿线国家人口空间分布显示(图 10 左):区域平均每平

方千米为 95 人;东亚、南亚、东南亚、中东等地区人口稠密,大部分地区能够达到 500 人/ km^2 ,这些地区也多位于“21 世纪海上丝绸之路”沿线.中亚、欧洲等地区人口相对稀疏,大部分地区每平方千米不足 50 人,这也是“丝绸之路经济带”主要经过的地区.未来印度将成为“一带一路”沿线人口最多的国家,

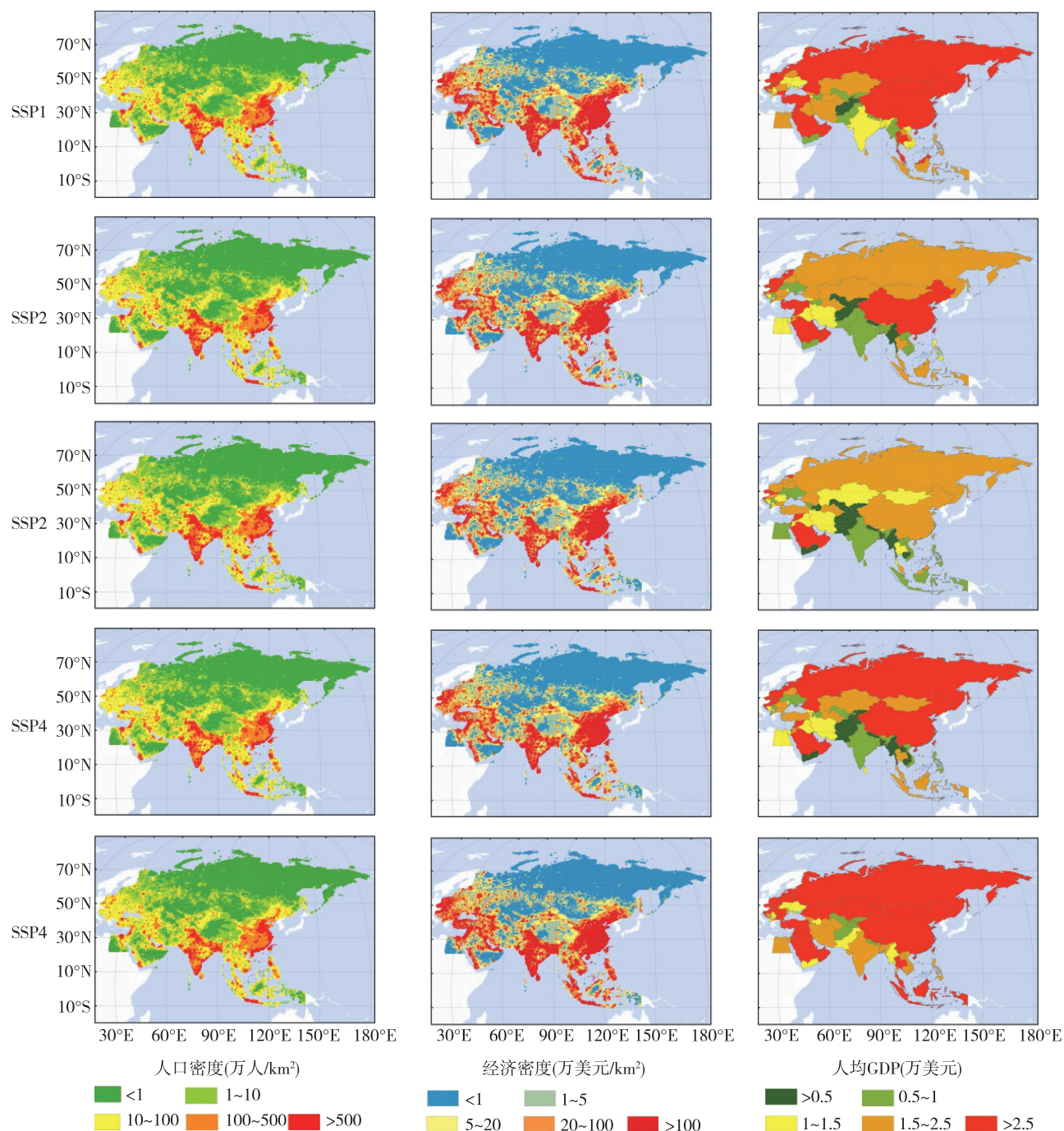


图 10 2051—2060 年 SSPs 路径下“一带一路”沿线国家人口、GDP 和人均 GDP 空间分布

Fig. 10 Spatial distribution of population, GDP and GDP per capita in the Belt and Road countries in the mid-21st century (2051–2060) under SSPs

不同路径下其人口总量可以达到 15.2 亿~20.7 亿人。

“一带一路”沿线 GDP 产值到 21 世纪中期平均每平方千米为 164 万美元,经济密度较高的地区与人口密度较大的区域基本重合,主要位于东亚、南亚、东南亚和欧洲地区(图 10 中)。不同路径下差异显著,SSP5 路径下经济发展迅速,这一路径下“一带一路”沿线国家 GDP 总量可以达到约 142 万亿美元,而 SSP3 路径下经济发展缓慢,GDP 总量仅为 SSP5 路径的一半。未来中东、东南亚以及东亚地区东部经济增长速度明显,SSP5 路径下部分地区最多能够达到 2016 年水平的 15.9 倍。SSP1、SSP2、SSP4 路径下经济水平较为相似,“一带一路”沿线经济总量分别达到 118 万亿、99 万亿和 90 万亿美元。

根据预估的人口和经济数据计算未来“一带一路”沿线国家人均 GDP 水平,国家尺度上的分析结果显示(图 10 右):SSP5 路径下,人均 GDP 最高,可以达到约 2.8 万美元,其中中东地区部分国家人均 GDP 能够超过 10 万美元;SSP1 路径和 SSP4 路径结果较为相似,21 世纪中期“一带一路”沿线国家人均 GDP 分别为 2.3 万和 1.7 万美元,中国、俄罗斯等国家经济发展迅速,南亚、西亚等地则发展相对缓慢;SSP2 路径下大部分国家人均 GDP 在 1 万~2 万美元之间,中国、中欧和中东地区相对发展水平较高,人均 GDP 可达 2.5 万美元以上;SSP3 路径下经济发展缓慢,“一带一路”沿线国家人均 GDP 平均为 1.2 万美元。

3.3 共享社会经济路径下人口和经济数据库

截止到 2019 年 10 月,笔者团队已经完成并公开发布共享社会经济路径下的人口和经济数据库,数据范围包括中国、“一带一路”国家和全球,空间尺度为省级、国家级和格点尺度,格点尺度数据空间分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$,具体的社会经济指标如表 3 所示,数据均可免费为国内外科研人员使用。

4 社会经济情景的应用

共享社会经济路径已经广泛应用于 IPCC 评估报告、气候模式和影响模式比较计划、综合评估模型(IAM)、水资源、能源、农业、人体健康和灾害风险等领域研究。本文重点阐述 SSPs 在灾害风险领域的应用。

4.1 干旱损失风险中的应用

1984—2017 年全球干旱每年直接经济损失超过

表 3 共享社会经济路径下人口和经济数据库

Table 3 Population and economic databases under SSPs

范围	人口	经济
中国	总人口(分省/格点)	GDP 总量以及 三种产业 GDP(分省/格点)
	城乡人口(分省/格点)	
	分性别人口(分省/格点)	
	分年龄人口(分省/格点)	
	分教育人口(分省/格点)	
“一带一路” 国家	总人口(国别/格点)	GDP 总量以及三种产业
	城乡人口(国别/格点)	GDP(国别/格点)
全球	总人口(国别/格点)	GDP 总量以及三种产业
	城乡人口(国别/格点)	GDP(国别/格点)

了 1 155 亿元人民币,约占气象灾害总损失的 13%。1984—2017 年,中国干旱灾害每年的直接经济损失也超过 444 亿元,约占气象灾害总损失的 20%。在气候变暖背景下,未来全球和中国将可能面临更严重的干旱事件。Su 等^[20]创建“强度-面积-持续时间”三维极端事件辨识方法,运用 22 个 GCMs 计算模拟了 SPEI、PDSI 和 SPI 等多种干旱指数,辨识了中国干旱事件的强度、暴露面积和事件持续时间。在共享社会经济路径框架下预测中国 GDP 的变化,充分考虑社会经济发展适应能力的提升,构建了中国 31 个省(区/市)干旱强度-损失脆弱性曲线,并在 SSP1—5 路径下,科学评估了全球升温 1.5℃和 2.0℃干旱带来的经济损失及损失占年度 GDP 比重情况^[20]。

研究发现:全球升温 1.5℃,SSP1(可持续发展)路径下干旱灾害损失将达到现状(2006—2015 年)的 3 倍。全球升温 2.0℃时 SSP5(传统化石燃料为主发展)路径的干旱灾害损失更高,为全球升温 1.5℃时损失的 2 倍(图 11a)。未来损失大幅度增加不仅是干旱事件的强度、暴露面积和事件持续时间的增加所造成的,更是社会经济干旱暴露度和脆弱性增加的后果。

随着经济社会发展,干旱损失占当年度的 GDP 比重从 1986—2005 年的 0.23%下降为 2006—2015 年的 0.16%。未来气候变暖和社会经济持续发展,干旱损失占 GDP 的比重减少趋势将发生逆转。全球升温 2.0℃,各路径干旱损失占 GDP 的比重将可能回到 1986—2005 年的水平(图 11b)。因此,把全球温升控制在 1.5℃,将会减少人民币数千亿元的经济损失。

4.2 高温热浪风险中的应用

21 世纪以来,全球高温热浪事件强度不断增大、持续时间不断延长,预计这种趋势在未来更加严

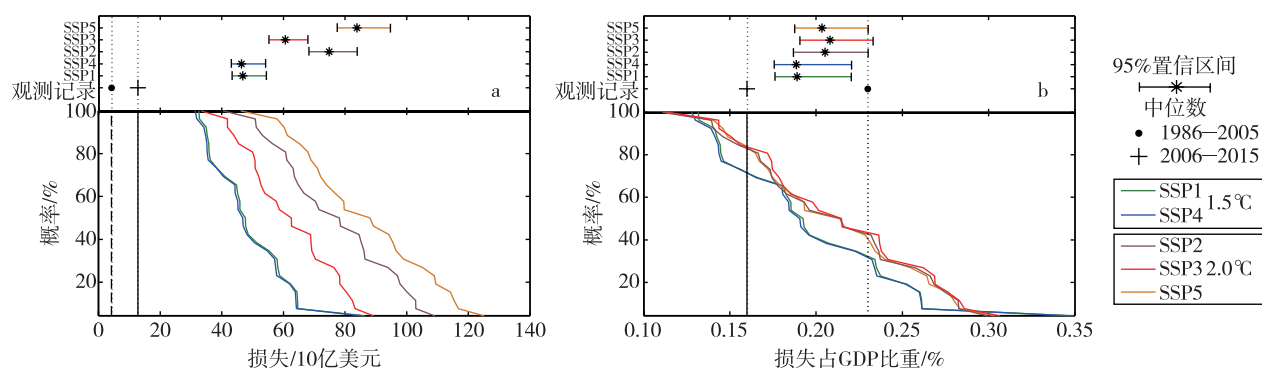


图 11 全球升温 1.5 °C、2.0 °C,干旱灾害损失(a)和损失占 GDP 的比重(b)

(图中虚线表示分别相对于 1986—2005 和 2006—2015 年平均损失和损失占 GDP 比重变化)

Fig. 11 Drought losses (a) and their share of GDP (b) at the global warming 1.5 °C and 2.0 °C levels under SSPs in China
(Dotted black lines denote the recorded annual mean losses and their share of GDP in reference period and current status)

重.如何科学评估全球升温背景下高温热浪对于人体健康的影响是全球变化研究亟待解决的问题.

Wang 等^[21]运用 31 个全球气候模式输出结果、5 种共享社会经济路径下的人口性别年龄结构,采用分布滞后非线性模型,从致灾因子、暴露度和脆弱性三方面系统评估了高温的人口死亡风险,并在风险的评估中特别考虑了未来适应能力的发展,评估了全球升温 1.5 °C 和 2.0 °C 情景中国城市人口面临的高温影响.研究发现:相较于全球升温 2.0 °C,全球温升 1.5 °C 中国城市每年将会减少数万人的高温死亡数.如果不考虑适应能力的提高,全球升温 1.5 °C

情景下,中国城市每百万人因高温引起的死亡数为 104~130 人,全球升温 2.0 °C 情景,这一数字将上升至 137~170 人.考虑适应能力的提高,全球升温 1.5 °C 和 2.0 °C 情景,中国城市每百万人口因高温造成的死亡数分别为 49~67 人和 59~81 人(图 12).同时,老龄化程度的不断加剧,使得非劳动力人口(年龄小于 15 以及大于 64 岁)因高温而死亡人数较当前将有大幅上升,而劳动力人口的高温死亡比例较当前会有所下降.未来,尽管女性高温死亡人数依然大于男性,但随着性别比的缩小,高温死亡人口中性别差距将不断变小.

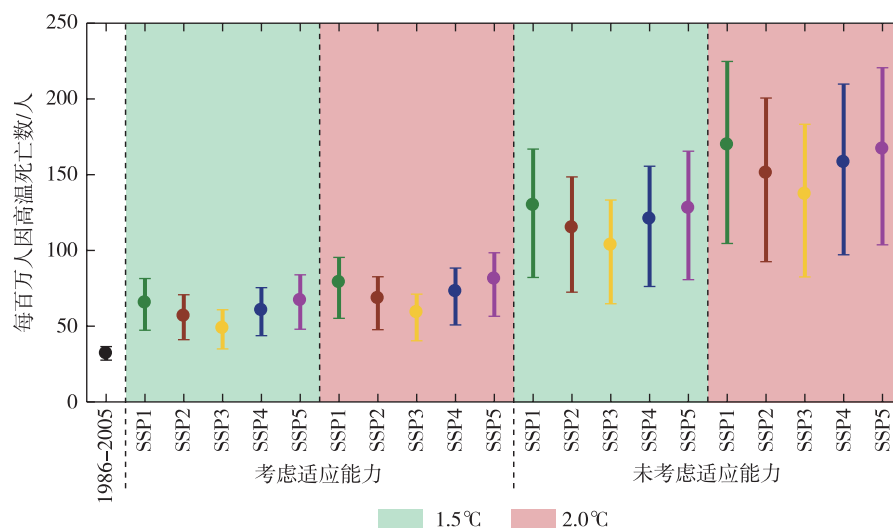


图 12 1986—2005 年、全球升温 1.5 °C 与 2.0 °C 情景下与热有关的死亡率

(图中点与直线分别表示多模式均值与变化范围)

Fig. 12 Comparison of annual heat-related mortality at 1.5 °C and 2.0 °C global warming and the reference period (1986—2005) (Dots and straight lines denote the ensemble mean and range of mortality estimated by multiple GCMs)

5 总结和展望

社会经济情景从最初的维持当前发展模式不变,到基于 RCPs 发展的共享社会经济路径(SSPs),将原有的社会经济假设上升到情景的高度,反映了温室气体排放与社会经济发展的关联.SSPs 与以往的社会经济假设相比,有着显著的特点:1) SSPs 不是固定局限于某个或某几个特定的模式,而是可以根据实际情况和本地特色进行设定,以满足不同区域的不同发展状况.尺度上也不局限于某一区域,全球以及不同部门均能适用.2) SSPs 可以进行定量数据的设定,也可以进行定性的描述,设定的步骤非常具有弹性,可繁可简,并且可以在已有的基本 SSPs 基础上添加不同的要素扩展至新的 SSPs,可详细或动态描述社会经济发展与气候政策的关联.3) 通过 RCPs/SSPs 的矩阵,可以更为有效地评估气候变化与社会经济影响.通过固定一行或者一列,既可以分析不同气候政策的成本,也可以评价同一种气候情景下,不同发展模式所带来的不同影响.综合情景矩阵可用于发现适应和减缓气候变化情况下的社会经济发展的不确定性,为分析不同气候政策、社会经济发展模式的成本和风险提供可能.

目前,SSPs 在 IPCC 评估报告、气候模式和影响模式比较计划、综合评估模型(IAM)、能源、水资源、农业等领域和区域的气候变化影响与风险评估中得到广泛应用.2012 年以来,已有数百篇与 SSPs 相关的研究论文发表.在 AR5 中,通过 RCPs/SSPs 组合,将 WG1 对温度的预估与 WGIII 对排放值的认识统一起来,这是 IPCC AR5 取得的最重要的进展之一.通过 RCPs/SSPs 组合,已经开展了对关键因子的研究.例如:确认能源消耗的消减是减缓核心策略.当前进行的第六次国际耦合模式比较计划(CMIP6),正在开展 SSP1-1.9、SSP1-2.6、SSP2-4.5、SSP3-7.0、SSP4-6.0、SSP4-3.4、SSP5-3.4、SSP5-8.5 等 RCPs 和 SSPs 基础上的新情景的数值模拟科学试验,利用综合评估模型(IAM)开展不同领域的综合研究和特定强迫的影响研究,量化预估不确定性.但是,通过将社会经济路径(SSPs)输入到综合评估模型仍存在很大的不确定性,定量评估研究成果较少,同政策目标建立联系之间还有薄弱环节,WGIII 主要考虑的是中间道路情景,但仍没有系统地评估该情景对社会经济综合影响的不确定性.

在气候变化情景应用中,需要加强的研究包括:不同气候情景下的气候变化综合影响和选择性减排

关系;在气候变化研究中包括不同影响和花费的闭合研究;协同与权衡的选择,以及未来的共赢和可持续发展目标的研究;行业精细化研究与宏观经济结合的研究在综合政策工具评估中的应用;IPCC WGI 的 RCPs 与 WGIII 约 1 200 个情景的融合研究.这需要在未来 IPCC 评估工作中,在最初规划阶段就促成不同工作组合作,共同设计相关研究和评估框架,促成部分专家跨工作组开展工作,更好地融合三个工作组的研究成果.IPCC AR6 中希望将包含气候变化科学、影响、风险、适应和减缓的研究闭合环路仍然面临巨大挑战.

参考文献

References

- [1] 秦大河.气候变化科学概论[M].北京:科学出版社,2018
QIN Dahe.Introduction to science of climate change[M]. Beijing:Science Press,2018
- [2] Riahi K,Vuuren D P,Kriegler E,et al.The shared socio-economic pathways and their energy,land use,and greenhouse gas emissions implications:an overview[J].Global Environmental Change,2017,42:153-168
- [3] Kriegler E,Edmonds J,Hallegatte S,et al.A new scenario framework for climate change research:the concept of shared climate policy assumptions[J].Climatic Change,2014,122(3):401-414
- [4] van Vuuren D P,Riahi K,Moss R,et al.A proposal for a new scenario framework to support research and assessment in different climate research communities[J].Global Environmental Change,2012,22(1):21-35
- [5] 曹丽格,方玉,姜彤,等.IPCC 影响评估中的社会经济新情景(SSPs)进展[J].气候变化研究进展,2012,8(1):74-78
CAO Lige,FANG Yu,JIANG Tong,et al.Advances in shared socio-economic pathways for climate change research and assessment[J].Climate Change Research,2012,8(1):74-78
- [6] 张杰,曹丽格,李修仓,等.IPCC AR5 中社会经济新情景(SSPs)研究的最新进展[J].气候变化研究进展,2013,9(3):225-228
ZHANG Jie,CAO Lige,LI Xiucang,et al.Advances in shared socio-economic pathways in IPCC AR5 [J]. Climate Change Research,2013,9(3):225-228
- [7] O'Neill B C,Kriegler E,Riahi K,et al.A new scenario framework for climate change research:the concept of shared socioeconomic pathways [J].Climatic Change,2014,122(3):387-400
- [8] van Vuuren D P,Kriegler E,O'Neill B C,et al.A new scenario framework for climate change research:scenario matrix architecture[J].Climatic Change,2014,122(3):373-386
- [9] Jiang L W. Internal consistency of demographic assumptions in the Shared socioeconomic pathways[J].

- Population and Environment, 2014, 35(3): 261-285
- [10] Crespo-Cuaresma J. Income projections for climate change research: a framework based on human capital dynamics [J]. Global Environmental Change, 2017, 42: 226-236
- [11] Leimbach M, Kriegler E, Roming N, et al. Future growth patterns of world regions: a GDP scenario approach [J]. Global Environmental Change, 2017, 42: 215-225
- [12] Dellink R, Chateau J, Lanzi E, et al. Long-term economic growth projections in the shared socioeconomic pathways [J]. Global Environmental Change, 2017, 42: 200-214
- [13] O'Neill B C, Kriegler E, Ebi K L, et al. The roads ahead: narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century [J]. Global Environmental Change, 2017, 42: 169-180
- [14] Kc S, Lutz W. The human core of the shared socioeconomic pathways: population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100 [J]. Global Environmental Change, 2017, 42: 181-192
- [15] 姜彤, 赵晶, 景丞, 等. IPCC 共享社会经济路径下中国和分省人口变化预估 [J]. 气候变化研究进展, 2017, 13(2): 128-137
JIANG Tong, ZHAO Jing, JING Cheng, et al. National and provincial population projected to 2100 under the shared socioeconomic pathways in China [J]. Climate Change Research, 2017, 13(2): 128-137
- [16] 姜彤, 赵晶, 曹丽格, 等. 共享社会经济路径下中国及分省经济变化预测 [J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(1): 50-58
JIANG Tong, ZHAO Jing, CAO Lige, et al. Projection of national and provincial economy under the shared socioeconomic pathways in China [J]. Climate Change Research, 2018, 14(1): 50-58
- [17] 姜彤, 王艳君, 袁佳双, 等. “一带一路”沿线国家 2020—2060 年人口经济发展情景预测 [J]. 气候变化研究进展, 2018, 14(2): 155-164
JIANG Tong, WANG Yanjun, YUAN Jiashuang, et al. Projection of population and economy in the Belt and Road countries (2020–2060) [J]. Climate Change Research, 2018, 14(2): 155-164
- [18] 王艳君, 景丞, 曹丽格, 等. 全球升温控制在 1.5 °C 和 2.0 °C 时中国分省人口格局 [J]. 气候变化研究进展, 2017, 13(4): 327-336
WANG Yanjun, JING Cheng, CAO Lige, et al. The population patterns over China under the 1.5 °C and 2.0 °C warming targets [J]. Climate Change Research, 2017, 13(4): 327-336
- [19] 景丞, 苏布达, 巢清尘, 等. 基于共享社会经济路径的“一带一路”沿线国家城市化水平与经济预测研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(1): 21-31
JING Cheng, SU Buda, CHAO Qingchen, et al. Projection of urbanization and economy in the ‘Belt and Road’ countries based on the shared socioeconomic pathways [J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(1): 21-31
- [20] Su B D, Huang J L, Fischer T, et al. Drought losses in China might double between the 1.5 °C and 2.0 °C warming [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2018, 115(42): 10600-10605
- [21] Wang Y J, Wang A Q, Zhai J Q, et al. Tens of thousands additional deaths annually in cities of China between 1.5 °C and 2.0 °C warming [J]. Nature Communications, 2019, 10: 3376

Perspectives of human activities in global climate change: evolution of socio-economic scenarios

JIANG Tong¹ WANG Yanjun¹ SU Buda^{2,3} ZHAI Jianqing²
TAO Hui³ JING Cheng^{3,4} HUANG Jinlong¹ WEN Shanshan¹ PAN Jinyu¹

1 Institute for Disaster Risk Management/School of Geographic Sciences, Nanjing University
of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

3 State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography,
Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011

4 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract The setting of socio-economic scenarios is the basis of climate change research and the key point of climate change impact assessment. In this paper, we review the development process of socio-economic scenarios, provide the description of the main characteristics and the latest development trend of shared socio-economic pathways, and introduce the construction of regional socio-economic scenarios and its applications in the field of disaster risk. Finally the prospects for shared socio-economic pathways are discussed.

Key words socio-economic scenarios; shared socio-economic pathways (SSPs); development of regional scenarios; disaster risk