

国家自主减排贡献与实现 2°C 温控目标的差异性分析

郝志新^{1,2}, 李侠祥^{1,2}, 郑景云^{1,2}, 王芳¹, 葛全胜^{1,2*}

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049

* 联系人, E-mail: geqs@igsrr.ac.cn

2015年12月联合国气候变化框架公约(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)第21次缔约方气候变化大会通过了《巴黎协定》^[1], 将过去自上而下的减排模式, 转变为以国家自主贡献为核心的自下而上的减排模式^[2]. 会议召开前后, 各国依据自身国情提交了国家自主贡献预案(intended nationally determined contributions, INDCs), 并提出了“将本世纪全球平均温度相对于工业革命之前的温升幅度控制在 2°C 以内, 并尽力争取控制在 1.5°C 以内”的目标. 该目标的达成意味着该气候变化水平处于各国政府的可应对范围之内, 且能够保证可持续的粮食生产和经济发展^[3]. 截至 2019 年 3 月, 全球 195 个国家和组织共提交了 183 份 INDCs, 承诺了 2030 年之前的减排预案. INDCs 涉及了全球绝大部分国家和组织, 涵盖了全球 98% 的温室气体排放国^[4], 极有可能代表了全球 2030 年的温室气体排放水平, 这为全球温室气体排放量及未来气候变化的预测提供了基础情景数据.

目前, 国际组织和学者基于 INDCs 预估了 2030 年全球温室气体排放水平, 并分析了当前 INDCs 对实现 2 及 1.5°C 温控目标的可行性^[5~13], 为充分认识国家自主贡献政策对减缓全球气候变暖的贡献提供了科学依据. 虽然绝大部分研究一致认为当前的 INDCs 对实现 2°C 温控目标尚缺乏力度, 但是, 不同研究基于 INDCs 估算的 2030 年全球温室气体排放量以及基于 INDCs 预估的 2100 年温升幅度仍存在较大的差异. 本研究梳理了部分研究结果并列于表 1. 在当前 INDCs 全部实现的情况下(有条件与无条件的 INDCs 均兑现), 不同研究预估的 2030 年全球温室气体排放量约介于 47.1~66.5 GtCO₂ 当量之间, 最高值与最低值之间相差高达 19.4 GtCO₂ 当量; 若不考虑其他因素的影响, 将此差异累积至 21 世纪末, 则全球累积 CO₂ 当量排放量将产生高达 1377 GtCO₂ 当量(375.5 GtC 当量)的差异. 根据“累积碳排放的瞬时气候效应”(TCRE), 即全球累积碳排放每增加 1000 GtC, 全球平均温度升高 0.8~2.5°C^[14], 二者对全球温升幅度的估计将相差 0.30~0.94°C. 同时, 各研究基于 INDCs 预估的 2100 年全球平均温升幅度最低为 2.4°C^[15], 最高为 4.0°C^[16]之间(表 1), 二者之差高达 1.6°C. 这无疑为能否实现 2 和 1.5°C 目标的评估带来较大困难, 也不利于



葛全胜 中国科学院地理科学与资源研究所研究员、博士生导师、国家杰出青年科学基金获得者. 主要从事全球变化研究. 先后主持中国科学院方向群项目、国家支撑计划、国家自然科学基金重点项目、国家重点基础研究发展计划等. 曾获国家自然科学基金二等奖.

精确评估当前 INDCs 对减缓全球变暖的贡献.

尽管 Rogelj 等人^[10]梳理并阐述了已有评估结果不一致的主要原因, 但未深入分析各研究基于 INDCs 预估的 2100 年全球平均温升幅度之间存在差异的原因. 随着各国及国际组织对提案的重视, 基于不同方法和数据, 一些学者针对当前 INDCs 能否实现至 21 世纪末温控目标陆续开展了评估. 为了尽可能准确评估 INDCs 对减缓全球变暖的贡献, 本研究从对 INDCs 减排目标的解读、对历史时期温室气体估算差异、对土地利用及土地利用变化与林业(简称 LULUCF)相关的温室气体排放与吸收量的估算差异, 以及采用不同的全球增温潜能标准 4 个方面, 归纳了各研究核算 2030 年全球碳排放量存在差异的原因. 进而, 从研究方法的角度归纳了各研究基于当前 INDCs 预估的 2100 年温升幅度存在差异的原因.

1 2030 年全球温室气体排放量估算差异的原因

1.1 对 INDCs 减排目标解读的差异

各国提出的 INDCs 减排目标可分为四类(表 2). 第一类为绝对减排目标, 它对 2020、2025 或 2030 年温室气体排放量进行了定量化估算或者明确了相对历史某年的减排量. 提交该类减排目标的国家主要为经济发展相对成熟的发达国家、部分小岛屿联盟国家和部分非洲国家^[25], 该类目标约占 INDCs 总数的 32%^[26]. 第二类为相对基准情景

表 1 基于 INDCs 估计 2030 年全球温室气体排放量及 2100 年全球升温幅度^{a)}

Table 1 Partial studies of estimated global greenhouse gas emissions by 2030 and increase in global average temperature by 2100 based on INDCs

2030 年排放量 GtCO ₂ 当量	2100 年升温 幅度(°C)	预估升温 的方法	基准年及其温室气 体量(GtCO ₂ 当量)	温室气体数据来源	全球增温潜能 的来源	采用 INDCs 数目	文献
53.9(51.8~56)	-	-	2012, ~48	WRI, UNFCCC	IPCC SAR	119	DEA ^[17]
52.8	-	-	1990, 41.2; 2005, 47.2; 2010, 49.8	Enerdata, UNFCCC, IEA, WRI	IPCC SAR	154	Boyd 等人 ^[18]
56.9~59.1	-	-	1990, 33.6; 2005, 41.4; 2010, 44.4	Enerdata, UNFCCC, WRI	IPCC SAR	46	Boyd 等人 ^[19]
53.4(51.7~54.3)	-	-	-	IEA, CDIAC	IPCC AR4	73	Fawcett 等人 ^[9]
56.7(53.1~58.6)	-	-	1990, 38.8; 2000, 40.5; 2010, 48.1	IEA, EDGAR	IPCC AR4 AR5 SAR	119	UNFCCC ^[1]
52(51~56)	-	-	2010, 47.8	UNFCCC, FAO	-	105	Elzen 等人 ^[11]
57	3.1~4.0	MAGICC	-	EDGAR	IPCC AR4	-	Fujimori 等人 ^[16]
53(52~54)	2.6~3.1	统计方法	2010, 48(46~50)	UNFCCC, EDGAR	IPCC SAR	160	Rogelj 等人 ^[10]
56.2(52~59.3)	-	-	1990, 38.8; 2000, 40.5; 2010, 48.1	IEA, EDGAR	IPCC AR4 AR5 SAR	161	UNFCCC ^[5]
~52	-	-	2005, 37.8	UNFCCC, FAO, EDGAR	IPCC SAR	-	Vandeyck 等人 ^[12]
52.8(49.5~54.2)	2.7~3.2	统计方法	2016, 51.9	EDGAR, IEA, FAO, UNFCCC	IPCC SAR	168	UNEP ^[7]
51	2.5~3.2	MAGICC	2015, 47.6	UNFCCC, EDGAR, FAO	IPCC SAR	-	Kitous 等人 ^[20]
52.3(47.1~62.9)	-	-	2010, ~51	PRIMAPHIST, WRI, EDGAR	IPCC AR4	-	Rogelj 等人 ^[13]
52.07	2.8(2.4~3.7)	统计方法	2010, 47.42	UNFCCC	IPCC AR5	124	Wang 等人 ^[21]
61.7(56.8~66.5)	-	-	2010, 50.6	EDGAR, BLUE	-	103	Benveniste 等人 ^[22]
54~57	2.4~3.8	MAGICC	2015, 51	PRIMAP	IPCC SAR	-	CAT ^[15]
53(49~55)	2.7~3.2	统计方法	2017, 53.5	EDGAR, IEA, FAO, UNFCCC	IPCC SAR	-	UNEP ^[8]
53.7(48.8~56.6)	-	-	2010, ~49	EDGAR, UNFCCC, WRI, PRIMAP	-	68	Vrontisi 等人 ^[4]

a) “-”表示文献未给出对应信息

表 2 温室气体数据集概况

Table 2 Overview of international greenhouse gas databases

开发机构	包含的温室气体类型	数据来源	采用的计算方法
EIA	石油、天然气、煤炭消耗排放的 CO ₂ 量	各国统计报告、会议和机构报告、公开出版物等	IPCC 指南的基准方法 ^[23]
WRI	CO ₂ 排放总量(分为包括土地利用和不包括土地利用两类)	CDIAC, IEA, EIA	IPCC 指南的基准方法 ^[23]
CDIAC	气体、固体、液体燃料消耗, 水泥生产、废弃燃烧排放的 CO ₂ 量	1950 年之前来源于世界能源产量统计数据和国际历史统计数据, 1950 年之后主要来自联合国和各国官方资料	Boden 等人 ^[24]
UNFCCC	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs, PFCs, SF ₆ 以及源汇平衡后的温室气体清单	各国的温室气体排放清单	IPCC 指南的基准方法 ^[23]
IEA	不同部门来源的 CO ₂ 排放量	政府、企业等公共资源	IPCC 指南的基准方法 ^[23]
EDGAR	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, HFCs, PFCs, SF ₆	土地利用排放数据来自 FAO, 能源排放数据来自 IEA	IPCC 指南的基准方法 ^[23]

的减排目标, 它以无气候政策下未来温室气体的排放量作为基准发展情景, 并承诺了相对基准情景到 2020、2025 或 2030 年温室气体的减排量, 约占总数的 45%^[26]. 但部分国家未对基准情景进行详细描述, 甚至未提及基准情景. 提出该减排目标的国家主要为 77 国集团. Keohane 和 Victor^[27]认为量化该类减排目标引起的估算结果误差相对

绝对减排目标偏大. 第三类为指标量化型目标, 它未承诺未来的温室气体排放量或减排量, 而是承诺碳强度(碳排放量除以国内生产总值(GDP))、人均碳排放等指标在 2020、2025 或者 2030 年到达某一水平, 约占总数的 6%^[26]. 提出该类目标的国家多数为迫切需要发展但又需减少经济发展带来环境影响的新兴经济体, 例如中国、印度、南

非、阿根廷、津巴布韦等国。第四类为难以量化的行动目标,既未承诺未来温室气体减排量,也未承诺未来相对某种基准情景的减排量,仅说明了未来减排将采取的行动,约占总数的21%^[26]。该类目标主要由部分OPEC成员国(科威特、卡塔尔、沙特阿拉伯和阿拉伯联合酋长国等,高碳含量的化石燃料出口是这部分国家的经济支柱,这可能是其未能明确承诺减排的原因之一)、部分小岛屿联盟国和部分撒哈拉以南的非洲国家(这些国家的总排放量对全球的贡献很小且减排成本高)和一些碳汇国家(如圭亚那、纽埃和苏里南)提出^[25]。

由于各国提出的INDCs减排目标形式多样,对减排目标的量化造成较大困难。一般来说,除绝对目标和大部分设定了基准情景的减排目标外,其他类型的减排目标在量化之前均需设定假设条件。比如,对于将碳强度下降作为减排目标的INDCs,需要先假定目标年份的GDP总量,而将人均碳排放量下降作为减排目标的INDCs则需要先假定目标年份的人口总数。然而,不同研究采用了不同的假设条件,导致核算结果存在明显差异。如Benveniste等人^[22]在核算以碳强度下降为减排目标的INDCs之前,先基于公式预估了目标年份的GDP;Peters等人^[28]则直接采用了OECD(Organization for Economic Co-operation and Development)提供的GDP预估数据。印度的INDC承诺2030年碳排放强度比2005年降低33%~45%。Boyd等人^[18]根据国际货币基金组织(IMF)预估的2005~2030年印度GDP增长率估算的2030年温室气体排放量约为6.5~6.7 GtCO₂当量;而据印度官方提供的2005~2013年GDP增长率估算2030年温室气体排放量约为9.0~9.3 GtCO₂当量。中国提交的INDC同样涵盖了碳强度下降的减排目标:承诺2030年碳强度比2005年下降60%~65%。基于此,Boyd等人^[19]采用IMF提供的中国2005~2030年GDP增长率预估2030年温室气体排放量为12.8~14.3 GtCO₂当量,而根据中国官方提供的GDP增长率估算2030年温室气体排放量为13.5~16.3 GtCO₂当量。综上所述,INDCs减排目标量化过程中的假设条件是造成对其解读产生差异的直接原因。然而,归根结底是由于《巴黎协定》对各国家(组织)提交的INDCs缺乏引导和要求,未规定减排应涉及的范围和可量化的减排目标等^[13]。随着官方对各国(组织)未来提交的减排目标格式做出了统一要求,这种影响将会减小^[10]。此外,绝大部分国家(组织)提交的INDCs将减排目标设定为一个范围而不是一个确定数值,各研究选取温室气体排放量的低值或高值,进而使得估算结果间也产生较大差异。

INDCs尚未覆盖全部的国家 and 部门是导致各研究对减排目标解读存在差异的另一个原因。一方面,部分研究尚未提交INDC,且部分INDCs未涵盖非CO₂温室气体以及LULUCF相关的温室气体减排目标;另一方面,国际航空、航海运输等部门未包括在减排之列。而这部分排放量约占全球总排放量的9%~10%^[10],其中尚未提交INDC的

国家约占1%~2%,因此忽视该部分排放量的研究结果也存在较大误差^[10,12,22]。中国是未提交非CO₂温室气体减排目标的国家,在温室气体排放量的估算过程中虽大部分研究将其考虑在内^[9,11,22,29],但估算方式各有差异。如Benveniste等人^[22]在估算未来CO₂排放量的基础上,基于中国历史时期CO₂当量与CO₂排放量的比值,将CO₂排放量换算成了CO₂当量,间接考虑了非CO₂排放量。虽然该方法操作简单且应用广泛,但随着CO₂不断减排,CO₂排放量占CO₂当量的比值将不断减小,将其设为定值可能高估非CO₂温室气体排放量;Elzen等人^[11]则采用了能源模型和土地利用模型模拟的结果,这虽然优于直接采用比值转化的方法,但不同模型的模拟结果间却存在较大差异。此外,也有研究因模型的局限性或重点研究CO₂等原因忽视了非CO₂温室气体排放量^[30,31]。然而,对于国际航空、航海运输部门2030年的排放量,仅少量研究参考了国际民航组织(ICAO)和国际海事组织(IMO)发布的数据,2030年分别为0.91~1.20 GtCO₂当量(ICAO)和0.94~1.20 GtCO₂当量(IMO)^[11,22,32],大部分研究未将此排放量考虑在内^[21,29,33,34]。

另外,不同研究采用了不同数量的INDCs也是导致预估结果存在差异的原因之一。各国未同时提交INDCs,早期研究往往受限于已提交INDCs的数量。如Boyd等人^[18,19]先后采用46和154个国家提交的INDCs估计了2030年全球温室气体排放量,结果发现二者存在明显差异(表1)。不同研究根据INDCs估算温室气体排放量时采用了不同的数据集,如可提供温室气体排放量数据的机构或组织有美国能源信息管理局(EIA)和美国橡树岭国家实验室(CDIAC)等;可提供GDP数据的有世界银行(World Bank)和国际货币基金组织(IMF)等。各数据集的完整性和质量不同,部分国家的INDCs迫于数据的质量问题未被采用。如Rogelj等人^[10]未将部分小岛屿国家提出的INDCs纳入研究范畴之内,如塞舌尔、格林纳达、多米尼加、格陵兰岛等。研究目的不同也是造成各研究采用不同数量INDCs的因素之一。一些研究仅对全球排放相对较高的国家进行分析,如Van Soest等人^[35]仅分析了全球11个主要排放国(组织)的排放路径;而一些研究旨在分析全球尺度上温室气体排放量^[22]。值得一提的是,美国是碳排放量大国之一,并于2019年11月4日正式启动了退出《巴黎协定》的程序,但部分研究仍将美国的INDC考虑在内。

1.2 对历史时期温室气体估算差异

不同研究对历史时期全球温室气体排放量的估计各不相同。如表1所示,各研究估计的2010年全球温室气体排放量介于44.4~51.0 GtCO₂当量之间,这为全球温室气体排放量的预估带来了较大难度。根本原因是各研究采用了不同的历史温室气体排放数据集。目前研究中被广泛采用的历史时期温室气体排放数据集主要来自(表3):美国

表3 2010年不同数据集的燃料燃烧CO₂排放量对比^{a)}Table 3 Contrast of CO₂ emissions from fuel combustion in 2010

数据来源	CO ₂ 排放量(Gt)					各数据集CO ₂ 排放量相对多个数据集平均的偏差(%)				
	全球	中国	印度	哈萨克斯坦	孟加拉国	全球	中国	印度	哈萨克斯坦	孟加拉国
EIA	34.669	8.779	1.614	0.267	0.058	5.22	2.86	5.36	10.89	3.07
WRI	32.339	8.160	1.861	0.224	0.055	1.85	4.39	9.11	6.87	2.28
CDIAC	33.472	8.776	1.720	0.249	0.060	1.59	2.83	0.84	3.23	6.51
IEA	30.334	7.834	1.581	0.221	0.050	7.93	8.21	7.32	8.17	11.33
EDGAR	33.924	9.125	1.752	0.243	0.059	2.96	6.92	2.73	0.91	4.03
平均值	32.948	8.535	1.705	0.241	0.056	3.91	5.04	5.07	6.01	5.44

a) 因 UNFCCC 中仅涵盖了印度和哈萨克斯坦, 故未统计

能源信息管理局(EIA)、联合国气候变化框架公约(UNFCCC)、全球大气排放和研究数据库(EDGAR)、美国橡树岭国家实验室二氧化碳信息分析中心(CDIAC)、国际能源署(IEA)和世界资源研究所(WRI)等。

不同数据库估算的温室气体种类、方法和数据来源均不相同^[36], 因此估算结果存在明显差异。上述数据库中, 除 UNFCCC 和 EDGAR 数据集中涵盖了《京都议定书》限定的6种温室气体外, 其他数据库仅包括了CO₂的排放量; 除 WRI 涵盖了土地利用CO₂排放量外, 其他各数据库均未包括此项。各数据库的数据来源各不相同, 其中 EIA 数据主要来源于各国的统计报告、会议和机构报告、公开出版物等, 如亚太经合组织(APEC)论坛、国际货币基金组织(IMF)等, 以及产业报告、学术研究、贸易性出版物等。IEA 采用的数据则主要来自公共可用资源, 通常为经济合作和发展组织成员国的官方机构从公司、政府机构和企业组织收集。CDIAC 数据来源分为两类, 其中1950年以前的数据来源于世界能源产量统计数据^[37]和国际历史统计数据^[24]; 1950年后的数据主要来自联合国统计办公室发布的年度调查问卷汇编而成的能源统计数据、各国官方统计出版物、美国地质调查局以及美国能源信息管理局(EIA)。UNFCCC 数据则来源于各国政府以及相关机构, 其附件 I 所列温室气体排放量数据来自各国提交的国家温室气体排放清单; 非附件 I 所列缔约方温室气体排放数据来自国家清单报告。而 WRI 和 EDGAR 则来源于其他官方数据库, 其中 WRI 数据主要来源于 CDIAC、IEA 和 EIA; EDGAR 数据主要来源于世界粮农组织(FAO)和 IEA。从统计方法上看, 除 CDIAC, 多数数据集采用 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)的建议^[23]。

为了对比各数据集的差异, 本研究搜集了高排放国家(中国、印度)和中、低排放国家(哈萨克斯坦、孟加拉国)燃料燃烧CO₂的排放量, 并对比了各数据集相对多套数据平均的偏离程度。由表3可知, 各数据集估算的2010年全球CO₂排放量介于30.3~34.7 Gt之间, 中国的CO₂排放量介于7.8~9.2 Gt之间, 印度的CO₂排放量介于1.5~1.9 Gt

之间, 哈萨克斯坦和孟加拉国的CO₂排放量均小于0.5 Gt。从各数据集偏离程度的平均值上看, 各数据集偏离程度随着估算对象碳排放总量的减少而逐渐增大。具体而言, 全球碳排放总量在各数据集间的平均偏差最小, 仅为3.91%; 其次为中国和印度, 平均偏差为5.04%和5.07%; 而哈萨克斯坦和孟加拉国各数据集间的平均偏差最大, 分别为6.01%和5.44%。

从不同研究尺度看, 各数据集估算结果的偏离程度各不相同。在全球尺度上, CDIAC 数据集估算的2010年燃料燃烧CO₂排放量相对多套数据平均的差距最小, 仅为1.59%; 其次为 WRI 数据集, 偏差为1.85%; 而后依次为 EDGAR 和 EIA, 偏差分别为2.96%、5.22%, IEA 偏差最大, 为7.93%。而在国家尺度上, 如高排放国家中国和印度, CDIAC 的偏离程度最小, 为1.83%(中国、印度平均值; 下同); EIA、EDGAR 次之, 分别为4.11%和4.82%; WRI 和 IEA 的偏差最大, 分别为6.75%和7.76%。对于中、低排放国家(哈萨克斯坦和孟加拉国), EDGAR 的偏离程度最小, 为2.50%(哈萨克斯坦、孟加拉国平均; 下同); 其次为 WRI 和 CDIAC, 偏差分别为4.57%和4.87%, EIA 和 IEA 的偏差最大, 分别为6.98%和9.75%。

1.3 与土地利用、土地利用变化和林业相关的温室气体排放和吸收量的估算差异

气候行动跟踪计划(Climate Action Tracker)统计显示, 与土地利用、土地利用变化与林业(LULUCF)相关温室气体净排放量约占温室气体排放总量的7%^[38]。但综合各 INDCs 减排目标来看, LULUCF 相关减排量约占2030年总减排目标的25%^[39]。因此减小LULUCF相关温室气体核算的误差, 对精确估算全球温室气体排放量十分必要。各研究基于 INDCs 核算的与 LULUCF 相关的温室气体减排量存在差异的原因主要来源于两个方面: 其一, 部分 INDCs 中与 LULUCF 相关减排目标的量化困难; 其二, 各研究对 INDCs 的量化采用了不同方法(或数据)。

Forsell 等人^[40]对160个 INDCs 中与 LULUCF 相关的

温室气体减排目标进行了详细剖析。研究发现,虽然 106 个 INDCs 中明确说明将与 LULUCF 相关温室气体减排纳入减排目标,但仅 38 个 INDCs 详尽表述了参考情景和减排情景下的 LULUCF 相关排放量,这些国家约占 2010 年全球净土地利用排放量的 76%,剩余 68 个 INDCs 未提供可量化的减排目标,约占全球净土地利用排放量的 25.6%。此外,对 LULUCF 减排目标详尽表述的 INDCs 又采用了不同的相关温室气体核算准则^[40],进而为相关温室气体减排量的核算造成了较大困难。因此,大部分研究并未以 INDCs 提供的 LULUCF 减排目标为依据,而是采用了 IAMs(integrated assessment models)或 GCMs(global carbon models)的估计量进行替代^[8]。但 Grassi 等人^[39]研究表明,基于 INDCs 减排目标估计与模型模拟的人造森林的碳汇量存在较大差异。表 4 为 Rogelj 等人^[10]整理的部分关于 2010 年土地利用相关温室气体排放量的研究。由表 4 可知,不同研究估算的 2010 年土地利用相关温室气体排放量差距较大,估计量在 0.8~6.9 GtCO₂ 当量之间,且据温室气体排放清单估计的排放量整体低于模拟估计的排放量。需要指出的是,据 IAMs 或 GCM 估算的 LULUCF 相关温室气体排放量虽然更易开展量化分析,但与缔约国的减排目标相差较大;而当前部分 INDCs 对 LULUCF 相关温室气体减排的表述尽管难以量化,但该目标更贴合各国家(组织)减排的初衷。

1.4 全球增温潜能标准差异

百年全球增温潜能(GWP100)是比较不同温室气体对气候变化影响的主要标准之一。依据 GWP100 可将非 CO₂ 温室气体转化为具有相同气候影响能力的 CO₂^[42]。但随着科学界对不同温室气体生命周期、能量吸收能力的认识加深,以及大气温室气体浓度的改变,GWP100 调整多次。目前,各研究采用的 GWP100 主要来自 IPCC SAR、AR4 和 AR5(表 1)。而根据 UNFCCC 评估报告的结果^[5],采用

SAR、AR4 和 AR5 将导致基于 INDCs 估计 2030 年温室气体排放量存在 1.0~2.0 GtCO₂ 当量的差异。同时,根据 Gütschow 等人^[43]研究,采用 AR4 的 GWP100 估算的 2014 年全球温室气体排放量要比采用 SAR 估计值偏高 3%,在国家层面上该差异更明显。通过对比 SAR、AR4、AR5 公布的《京都议定书》中限定的 6 种温室气体 GWP100 的差异,发现 IPCC AR4 和 AR5 中的 GWP100 相对 SAR 偏大,但涵盖的温室气体种类较为全面,例如 IPCC SAR 中缺少了对 HFC-152、HFC-161 等温室气体 GWP100 的计算。

2 基于当前 INDCs 预估 21 世纪末温升幅度存在差异的原因

虽然当前多数研究认为,至 21 世纪末全球温升幅度远高于 2°C(表 1),但不同研究预估的温升幅度不尽相同。例如 Fujimori 等人^[16]认为 INDCs 减排情景下,2100 年全球温升幅度为 3.1~4.0°C;而 Rogelj 等人^[10]则得到 2100 年全球温升幅度为 2.6~3.1°C 的结果。其差异的主要原因有:不同研究估算的 2030 年温室气体排放量存在差异(如第一部分所述)、各研究外推温室气体排放量的方法不同、基于统计方法和模型估算的温升幅度存在差异。目前,各研究外推温室气体排放量的方法主要有 3 种:一是维持 2030 年的碳价净现值不变外推温室气体排放量至 2100 年^[44];二是维持历史时期某一段时间的脱碳率保持不变外推温室气体排放量至 2100 年^[9];三是从 IPCC AR5 情景数据库中匹配与当前 INDCs 减排情景最接近的减排情景,并将匹配的减排情景作为当前 INDCs 减排情景^[10]。固定碳价格外推温室气体排放的研究通常以引入碳价机制的综合评估模型为工具预估未来碳排放路径,而通过固定脱碳率外推温室气体的研究仅为温室气体排放的趋势外推,两种方法虽相对简单,但均未将技术进步以及边际减排成本递增等因素的影响考虑在内。而从 IPCC AR5 情景数据库中匹配合适

表 4 2010 年土地利用相关温室气体排放量对比

Table 4 Comparison of greenhouse gas emissions related to land use in 2010

研究机构	2010 年土地利用相关的温室气体排放量(GtCO ₂ 当量)	资料来源
气候行动追踪组织 ^[38]	~3.0	优先采用温室气体排放清单
联合研究中心 ^[12,20]	~1.0	温室气体排放清单与 FAO 协调使用
国际能源署 ^[41]	~0.8	FAO 中的国家估计值
伦敦政治经济学院 ^[18,19]	- ^{a)}	GLOBIOM 模型
国际应用系统分析研究所 ^[13]	6.9	GLOBIOM 模型
国立环境研究所 ^[4]	5.5	AIM/CGE 模式
波茨坦气候影响研究所 ^[4]	6.9	REMIND 模型
皮埃尔和玛丽居里大学 ^[22]	6.3	IAMs
埃尼恩里科·马特艾基金会 ^[4]	2.6	IIASA GLOBIOM 模型

a)“-”表示文献未给出对应信息

情景可最大程度确保长期目标(至 2100 年)与短期目标(至 2030 年)的一致性^[15]。

基于统计方法或模型模拟方法是评估 INDCs 对 21 世纪末温升影响的主要途径。据气候(地球)系统模式研究显示,在两个非线性过程的综合作用下,即 CO_2 产生辐射强迫的能力随着其浓度增加不断减弱,碳汇对 CO_2 的吸收能力随着 CO_2 浓度升高不断减弱,累积 CO_2 排放与温升之间具有近乎线性的关系^[45-48],称为“累积碳排放的瞬时气候响应”(TCRE)。这种线性关系为将 CO_2 排放量直接转化为温升幅度提供了统计基础,并被应用到预估 INDCs 对 21 世纪温升影响的研究中。例如, Wang 等人^[21]根据 14 个 CMIP5 地球系统模式模拟的累积碳排放瞬时气候响应,预估了以当前 INDCs 力度减排持续至 2100 年时的全球温升幅度。结果显示,当 INDCs 中所有承诺均兑现的情况下,2030 年全球升温幅度为 1.4°C ($1.3\sim 1.7^\circ\text{C}$),2100 年全球升温幅度为 2.8°C ($2.4\sim 3.7^\circ\text{C}$)。Rogelj 等人^[10]根据筛选的 IPCC AR5 情景数据统计了累积 CO_2 排放量与温升幅度的关系,并预估了基于当前 INDCs 到 2100 年全球平均温升幅度,结果显示,根据当前 INDCs 至 2100 年全球平均温度约升高 $2.6\sim 3.1^\circ\text{C}$ 。虽然基于 TCRE 可直接将碳排放量转为温升幅度,但存在较大的不确定性,比如 Tian 等人^[49]研究认为,累积排放相同的两个情景可产生不同的升温率,进而导致不同的气候效应。TCRE 在不同的累积排放水平下差异较大,在全球累积碳排放量小于 2000 GtC 时,通常认为每排放 1000 GtC 可导致全球平均温度升高 $0.8\sim 2.5^\circ\text{C}$ ^[14],但 Wang 等人^[50]基于 12 个地球系统模式和 MAGICC(model for the assessment of greenhouse-gas induced climate change)模型评估发现累积排放小于 600 GtC 的情况下,TCRE 却达到 $1.63\sim 2.59^\circ\text{C}/1000\text{ GtC}$ ($5\%\sim 95\%$),与 IPCC 报告的结果差异较大。

简化的气候模型可依据复杂气候(地球)系统模式(参考模式)的模拟结果调整参数,进而快速重现参考模式的模拟结果,对计算多个不确定性情景的温度变化具有明显优势。例如, Fujimori 等人^[16]在核算了 2030 年全球碳排放量后,以碳价不变为前提将碳排放量外推至 21 世纪末,进而据 MAGICC 模型预估 2100 年全球平均温升幅度约为 $3.1\sim 4^\circ\text{C}$ 。Fawcett 等人^[9]在分析了 INDCs 对碳减排的影响后,利用 MAGICC 模型建立了 600 个试验(通过调整气候和辐射强迫参数),进一步分析了 INDCs 对温升的影响。Sanderson 等人^[51]则利用 ISAM(integrated science assessment model)建立了 1000 个扰动试验,并最终筛选出 67 个可用试验,从概率学角度评估了实现 2°C 温控目标的最优路径。然而,简化气候模式仍存在较大的局限性,例如,在调整参数过程中引入了参考模式的不确定性,使得模拟性能受限于参考模式的模拟能力;在参数化过程中采取近似处理的方法也引入了新的不确定性因素^[46];同时,简化

气候模式在反映极端气候事件、温度变化的区域差异、季节差异等方面也存在不足^[52]。

3 展望

通过梳理不同学者或组织对各国 INDCs 减排力度的评估结果,发现按照当前各国提交的 INDCs 中的减排力度,距离实现“将 21 世纪末全球平均温度相对于工业革命之前的上升幅度控制在 2°C 以内,并努力将温升幅度控制在 1.5°C 以内”的目标仍差距较大,且评估结果间仍存在较大差异。因此加大减排力度势在必行。然而由于 2019 年 11 月 4 日美国正式启动了退出《巴黎协定》的程序,并将于一年后正式生效,这使得国际减排形势更为复杂。虽然美国的退出不能改变国际低碳技术的发展和全球气候治理机制的转型趋势^[53],但这无疑增加了国际社会完成减排目标的难度^[54]。 $2/1.5^\circ\text{C}$ 温控目标的确定意味着人类可以排放的 CO_2 总量被固定;而美国退出意味着其他国家的减排负担将增加^[53,55]。根据 Dai 等人^[56]的研究,在美国退出且尚能实现减排目标 50%的情景下,即 2025 年碳排放相对 2005 年下降 13.5%(实际目标为 27%),中国、欧洲联盟和日本 2030 年的碳排放空间将相对美国不退出情景分别减少 1.6%、1.8% 和 1.8%,GDP 将分别下降约 100 亿美元、70 亿美元和 20 亿美元,而美国碳排放空间将增加 27.7%,GDP 将增加 600 亿美元。这种退出“红利”可能降低其他国家的减排积极性,甚至导致其他国家效仿美国的行为^[56-58]。在 2019 年 12 月召开的马德里 COP25 峰会上,中国已明确表示将坚定不移落实《巴黎协定》,积极应对全球气候变化。

此外,改进自主贡献目标申报也势在必行。根据本研究归纳的评估结果差异原因,未来 INDCs 预案的提交和评估工作可在以下几个方面加强。首先,各国尽量按照统一格式提交 INDCs 目标,首推绝对减排目标,其次为相对减排目标,且应该避免出现指标量化型减排目标和不可量化的减排目标。对于以某一历史年份为参考的绝对减排目标,应明确参考年份的碳排放量及其核算方法、数据来源、涵盖的温室气体类型、部门来源等详细信息;对于以基准情景为参考的相对减排目标应该提供基准情景的排放量和计算方法等详细信息。其次,权威机构在对当前已有历史温室气体排放数据进行科学评估的同时,推荐一套最适合用以研究 INDCs 减排目标的数据集,包括能源消耗、工业生产方面的温室气体排放量。对于将 LULUCF 相关排放量纳入减排目标的 INDCs 应详细说明 LULUCF 相关温室气体的核算方法,使其可量化,同时应鼓励后续研究尽量采用 INDCs 提出的 LULUCF 减排目标而不是基于 IAMs 或 GCM 估算。第三,应该指定一个百年全球增温潜能标准,避免各研究因采用不同 GWP100 造成的估算差异。第四,虽然基于统计手段预估温室气体排放对温升的影响相对方便快捷,但因统计方法带来的结果不确定性相对较大,

因此应尽量采用模式模拟手段预估全球温室气体排放对升温的影响;而利用简单气候模式预估温室气体排放对升温影响时,应尽可能多地建立模拟情景,从而给出不同升温幅度的概率,减小因模型简化带来的不确定性。

致谢 感谢国家重点研发计划(2016YFA0602704)和中国科学院 A 类战略性先导科技专项(XDA19040101)资助。

推荐阅读文献

- 1 United Nations Framework Convention on Climate Change. Synthesis Report on the Aggregate Effect of the Intended Nationally Determined Contribution. Paris, 2015
- 2 Gao X. Paris Agreement and the transformation of international climate mitigation cooperation (in Chinese). *Adv Clim Change Res*, 2016, 12: 83–91 [高翔.《巴黎协定》与国际减缓气候变化合作模式的变迁. *气候变化研究进展*, 2016, 12: 83–91]
- 3 Knutti R, Rogelj J, Sedlaek J, et al. A scientific critique of the two-degree climate change target. *Nat Geosci*, 2015, 9: 13–18
- 4 Vrontisi Z, Luderer G, Saveyn B, et al. Enhancing global climate policy ambition towards a 1.5°C stabilization: A short-term multi-model assessment. *Environ Res Lett*, 2018, 13: 044039
- 5 United Nations Framework Convention on Climate Change. Aggregate Effect of the Intended Nationally Determined Contributions: An Update. Marrakech, 2016
- 6 Olhoff A, Christensen J M, Burgon P, et al. The Emissions Gap Report 2015: A UNEP Synthesis Report. 2015
- 7 United Nations Environment Programme (UNEP). The Emissions Gap Report 2017. Nairobi: UNEP, 2017
- 8 United Nations Environment Programme (UNEP). The Emissions Gap Report 2018. Nairobi: UNEP, 2018
- 9 Fawcett A, Iyer G C, Clarke L E, et al. Can Paris pledges avert severe climate change? *Science*, 2015, 350: 1168–1169
- 10 Rogelj J, den Elzen M, Hohne N, et al. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2°C. *Nature*, 2016, 534: 631–639
- 11 Elzen M, Admiraal A, Roelfsema M, et al. Contribution of the G20 economies to the global impact of the Paris agreement climate proposals. *Clim Change*, 2016, 137: 655–665
- 12 Vandyck T, Keramidas K, Saveyn B, et al. A global stock takes of the Paris pledges: Implications for energy systems and economy. *Glob Environ Chang*, 2016, 41: 46–63
- 13 Rogelj J, Fricko O, Meinshausen M, et al. Understanding the origin of Paris Agreement emission uncertainties. *Nat Commun*, 2017, 8: 15748
- 14 Pachauri R K, Allen M R, Barros V R, et al. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, 2014
- 15 Climate Action Tracker (CAT). Some Progress since Paris, but Not Enough, as Governments Amble Towards 3°C of Warming. Climate Action Tracker, 2018
- 16 Fujimori S, Su X, Liu J Y, et al. Implication of Paris Agreement in the context of long-term climate mitigation goals. *Springer Plus*, 2016, 5: 1620
- 17 Danish Energy Agency (DEA). Analyzing the 2030 Emissions Gap, Draft Version. Center for Climate and Energy Economics, 2015
- 18 Boyd R, Turner J, Ward B. Intended Nationally Determined Contributions: What are the Implications for Greenhouse Gas Emissions in 2030? Centre for Climate Change Economics and Policy and Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. 2015
- 19 Boyd R, Turner J C, Ward B. Tracking intended Nationally Determined Contributions: What are the Implications for Greenhouse Gas Emissions in 2030? Centre for Climate Change Economics and Policy and Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment. 2015
- 20 Kitous A, Keramidas K, Vandyck T, et al. Global Energy and Climate Outlook 2017: How Climate Policies Improve Air Quality-global Energy Trends and Ancillary Benefits of the Paris Agreement. Publications Office of the European Union, Joint Research Centre, 2017
- 21 Wang F, Ge Q, Chen D, et al. Global and regional climate responses to national-committed emission reductions under the Paris agreement. *Geogr Ann Ser A Phys Geogr*, 2018, 100: 240–253
- 22 Benveniste H, Boucher O, Guivarch C, et al. Impacts of nationally determined contributions on 2030 global greenhouse gas emissions: Uncertainty analysis and distribution of emissions. *Environ Res Lett*, 2018, 13: 014022
- 23 Eggleston S. Estimation of Emissions from CO₂ Capture and Storage: The 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Presentation at the UNFCCC Workshop on Carbon Dioxide Capture and Storage, 2006
- 24 Boden T A, Marland G, Andres R J. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO₂ Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, 2010

- 25 Tobin P, Schmidt N M, Tosun J, et al. Mapping states' Paris climate pledges: Analyzing targets and groups at COP 21. *Glob Environ Chang*, 2018, 48: 11–21
- 26 United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Aggregate Effect of the Intended Nationally Determined Contributions: An Update-Synthesis Report by the Secretariat. United Nations Framework Convention on Climate Change, 2016
- 27 Keohane R O, Victor D G. Cooperation and discord in global climate policy. *Nat Clim Change*, 2016, 6: 570
- 28 Peters G P, Andrew R M, Solomon S, et al. Measuring a fair and ambitious climate agreement using cumulative emissions. *Environ Res Lett*, 2015, 10: 105004
- 29 Rose S K, Richels R, Blanford G, et al. The Paris Agreement and next steps in limiting global warming. *Clim Change*, 2017, 142: 255–270
- 30 Wang L N, Yang L, Chen W Y, et al. Assessment of carbon reduction effect of the nationally determined contributions (in Chinese). *Clim Change Res*, 2018, 14: 613–620 [王利宁, 杨雷, 陈文颖, 等. 国家自主决定贡献的减排力度评价. *气候变化研究进展*, 2018, 14: 613–620]
- 31 Fragkos P, Kouvaritakis N. Model-based analysis of intended nationally determined contributions and 2°C pathways for major economies. *Energy*, 2018, 160: 965–978
- 32 Ekholm T, Lindroos T. An Analysis of Countries' Climate Change Mitigation Contributions Towards the Paris Agreement. VVT Tecjmocal Research Centre of Finland, 2015
- 33 du Pont Y R, Meinshausen M. Warming assessment of the bottom-up Paris Agreement emissions pledges. *Nat Commun*, 2018, 9: 4810
- 34 Sanderson B M, Xu Y, Tebaldi C, et al. Community climate simulations to assess avoided impacts in 1.5 and 2°C futures. *Earth Syst Dynam*, 2017, 8: 827–847
- 35 Van Soest H L, Reis L A, Drouet L, et al. Low-emission pathways in 11 major economies: Comparison of cost-optimal pathways and Paris climate proposals. *Clim Change*, 2017, 142: 491–504
- 36 Qu J S, Zeng J J, Zhang Z Q. Review of the international main greenhouse gases emission databases (in Chinese). *And Earth Sci*, 2008, 23: 47–54 [曲建升, 曾静静, 张志强. 国际主要温室气体排放数据集比较分析研究. *地球科学进展*, 2008, 23: 47–54]
- 37 Etemad B, Luciani J, Bairoch P, et al. *World Energy Production, 1800–1985*. Switzerland: Droz, 1991
- 38 Climate Action Tracker. Improvement in Warming Outlook as India and China Move Ahead, but Paris Agreement gap Still Looms Large. Climate Action Tracker, 2017
- 39 Grassi G, House J, Dentener F, et al. The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nat Clim Change*, 2017, 7: 220–226
- 40 Forsell N, Turkovska O, Gusti M, et al. Assessing the INDCs' land use, land use change, and forest emission projections. *Carbon Bal Manage*, 2016, 11: 26
- 41 International Energy Agency. *World Energy Outlook 2016*. International Energy Agency, 2016
- 42 Sarofim M C, Giordano M R. A quantitative approach to evaluating the GWP timescale through implicit discount rates. *Earth Syst Dynam*, 2018, 9: 1013–1024
- 43 Gütschow J, Jeffery M L, Gieseke R, et al. The PRIMAP-hist national historical emissions time series. *Earth Syst Sci Data*, 2016, 8: 571–603
- 44 Kriegl E, Riahi K, Bauer N, et al. Making or breaking climate targets: The AMPERE study on staged accession scenarios for climate policy. *Technol Forecast Soc Change*, 2015, 90: 24–44
- 45 Van Vuuren D P, Edmonds J, Kainuma M, et al. The representative concentration pathways: An overview. *Clim Change*, 2011, 109: 5
- 46 Meinshausen M, Raper S C B, Wigley T M L. Emulating coupled atmosphere-ocean and carbon cycle models with a simpler model, MAGICC6–Part 1: Model description and calibration. *Atmos Chem Phys*, 2011, 11: 1417–1456
- 47 Allen M R, Frame D J, Huntingford C, et al. Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne. *Nature*, 2009, 458: 1163
- 48 Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In: Stocker T F, Qin D, Plattner G K, et al., eds. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 1535
- 49 Tian D, Dong W, Yan X, et al. Climate system responses to a common emission budget of carbon dioxide. *J Clim*, 2016, 29: 2433–2442
- 50 Wang F, Tokarska K B, Zhang J, et al. Climate warming in response to emission reductions consistent with the Paris Agreement. *Adv Meteorol*, 2018, 2018: 1–9
- 51 Sanderson B M, O'Neill B C, Tebaldi C. What would it take to achieve the Paris temperature targets? *Geophys Res Lett*, 2016, 43: 7133–7142
- 52 Dong W J, Yuan W P, Teng F. Coupling earth system model and integrated assessment model (in Chinese). *Adv Earth Sci*, 2016, 31: 1215–1219 [董文杰, 袁文平, 滕飞. 地球系统模式与综合评估模型的双向耦合及应用. *地球科学进展*, 2016, 31: 1215–1219]

-
- 53 Zhang Y X, Chao Q C, Zheng Q H, et al. The withdrawal of the US from the Paris Agreement and its impact on global climate change governance. *Adv Clim Change Res*, 2017, 8: 213–219
- 54 Pickering J, McGee J S, Stephens T, et al. The impact of the US retreat from the Paris Agreement: Kyoto revisited? *Clim Policy*, 2018, 18: 818–827
- 55 Sanderson B M, Knutti R. Delays in US mitigation could rule out Paris targets. *Nat Clim Change*, 2016, 7: 92–94
- 56 Dai H C, Zhang H B, Wang W T. The impacts of US withdrawal from the Paris Agreement on the carbon emission space and mitigation cost of China, EU, and Japan under the constraints of the global carbon emission space. *Adv Clim Change Res*, 2017, 8: 226–234
- 57 Chou J M, Dai R F, Dong W J, et al. Future CO₂ emissions projection of China based on U.S. new climate policy (in Chinese). *Adv Clim Change Res*, 2018, 14: 95–105 [丑洁明, 代如锋, 董文杰, 等. 美国气候新政背景下的中国未来 CO₂ 排放情景预测. *气候变化研究进展*, 2018, 14: 95–105]
- 58 Huang L, Zhang Y X, Chao Q C, et al. Suggestions on China's capacity building in response to climate change in the "Post-Paris" era (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2020, 65: 373–379 [黄磊, 张永香, 巢清尘, 等. “后巴黎”时代中国应对气候变化能力建设方向. *科学通报*, 2020, 65: 373–379]

Summary for “国家自主减排贡献与实现 2°C 温控目标的差异性分析”

Difference analysis of intended nationally determined contributions pledge and 2°C target

Zhixin Hao^{1,2}, Xiaxiang Li^{1,2}, Jingyun Zheng^{1,2}, Fang Wang^{1,2} & Quansheng Ge^{1,2*}

¹ Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

² College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

* Corresponding author, E-mail: geqs@igsrr.ac.cn

Intended nationally determined contributions (INDCs) are a new strategy for mitigating climate change. Many international organizations and scholars have assessed the possibility of holding the increase in global average temperature to well below 2°C based on INDCs. Although the conclusions of these assessments are consistent, there are still large differences among the assessment results. For example, the global greenhouse gas emissions in 2030 estimated by INDCs are between 47.1–66.5 GtCO₂ eq, and the temperature increase at the end of the 21st century estimated by INDCs is between 2.4–4.0°C; the inconsistency represented by these ranges is not conducive to an accurate assessment of the contributions of the current INDCs to global warming mitigation or to the further development of emissions reduction programs. By summarizing the existing studies, we found that the main reasons for the differences in estimates of global greenhouse gas emissions in 2030 made using INDCs are as follows: (1) The studies interpreted INDCs differently, which is attributable to three reasons: The studies (a) made different assumptions for the unquantifiable INDCs; (b) ignored or used different methods to estimate the emissions not covered by INDCs; and (c) used different amounts of INDCs because the studies were performed at different times. (2) The studies used different databases that include different greenhouse gases, accounting methods and data sources to estimate historical greenhouse gas emissions. (3) The studies used different methods for estimating greenhouse gas emissions and removals related to land use, land-use change and forestry (LULUCF). (4) The studies used different values of the global warming potential. Additionally, the main reasons for the differences in the predictions of the temperature increase at the end of the 21st century based on INDCs are as follows: (1) Differences in the estimations of greenhouse gas emissions in 2030 based on INDCs and (2) different methods of extrapolating global greenhouse gas emissions to 2100. There are three main extrapolation methods: one is to maintain the net present value of the carbon price in 2030 and then extrapolate the greenhouse gas emissions to 2100; another is to maintain the decarbonization rate of a certain period of history and then extrapolate the greenhouse gas emissions to 2100; the third is to match the emissions reduction scenario with the current INDC emissions reduction scenario from the IPCC AR5 scenario database and then use the matching emissions reduction scenario as the current INDC emissions reduction scenario. The use of different methods of extrapolating carbon emissions is one of the main reasons for the differences in the prediction results. (3) Differences in the methods for predicting the effects of greenhouse gas emissions on temperature. Statistical methods and simulation methods are the two main prediction methods; they use different calculation methods, which led to the difference in the prediction results. Therefore, the following points are worth noting: (1) Most importantly, to the extent possible, countries should submit absolute emissions reduction targets as much as possible; nonquantifiable INDCs without detailed methods descriptions and data introductions should not be submitted; (2) authorities should recommend certain data sets that are the most suitable for INDC accounting; (3) a global warming potential should be designated to avoid differences in greenhouse gas estimates due to the use of different criteria; and (4) to the extent possible, future research should adopt simulation methods for predicting the impact of global greenhouse gas emissions on temperature.

intended nationally determined contributions, carbon-emission reduction, 2°C warming target, feasibility assessment

doi: 10.1360/TB-2019-0778