

文章编号: 1673-1719 (2009) 04-0220-06

基于 ECHAM5 模式预估 2050 年前 中国旱涝格局趋势

翟建青^{1,3}, 曾小凡^{1,3}, 苏布达², 姜彤²

(1 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008; 2 中国气象局国家气候中心, 北京 100081; 3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用 ECHAM5/MPI-OM 气候模式输出的 2001—2050 年逐月降水量资料, 考虑 IPCC 采用的 3 种排放情景 (A2: 温室气体高排放情景; A1B: 温室气体中排放情景; B1: 温室气体低排放情景), 计算其标准化降水指数, 分析了中国 2050 年前 3 种排放情景下的旱涝格局。结果表明: 3 种情景下旱涝趋势空间分布不同, 其中 A2 情景下旱涝格局同 1961—2000 年观测到的旱涝格局相似, 均存在一条由东北向西南的干旱带; 而 A1B 和 B1 情景下旱涝格局则发生了很大的变化, 尤其 B1 情景下出现了“北涝南旱”的格局。未来 50 a 干旱面积在 A2 情景下呈略增加趋势; A1B 和 B1 情景下为减少趋势。3 种情景下干旱频率的空间分布也各不相同。

关键词: 旱涝格局; 标准化降水指数 (SPI); ECHAM5/MPI-OM 气候模式; 排放情景; 中国

中图分类号: P467 **文献标识码:** A

引言

IPCC第四次评估报告指出, 气候系统变暖是毋庸置疑的。在1900—2005年, 已在许多大区域观测到降水方面的变化; 受降水量变化的影响, 自20世纪70年代以来, 全球受干旱影响的面积可能已经扩大^[1]。另有研究^[2]表明, 全球气候变暖加速了地球系统的水循环, 全球总降水量在过去100 a有所增加, 但在干旱与半干旱地区则呈减少趋势, 并伴有酷热、干旱和洪涝等极端气候事件的增多。

中国位于亚欧大陆东部, 纬度跨度约50°, 区内地形复杂, 气候类型多样。受蒙古—西伯利亚高压和北太平洋夏威夷高压控制, 年内降雨丰富但空间差异大, 从东南沿海的年降水量2000 mm以上向西

北内陆递减至50 mm以下。北方少雨干旱, 南方多雨易发生洪涝灾害。全球气候变暖必将导致降水量的时空分布变化, 从而对水资源、生态系统状况和社会经济发展等产生深刻影响^[3]。我国学者早已开展利用全球海气耦合模式预估我国未来气候变化特征的研究, 结果表明: 模式基本上能模拟出东亚季风降水的空间分布特征, 但模式的模拟能力有限, 还需要进一步改进^[4-5]。此外, 我国学者对模式模拟结果的应用也作了一些有益的探索, 如刘吉峰等^[6]基于德国ECHAM5气候模式输出结果预估了青海湖水位的变化, 取得了一定的成果。1951—2003年, 我国干旱面积在气候变暖背景下总体上趋于增加, 但变化趋势不显著, 干旱变化的区域差异较大, 且降水量是我国干旱变化的最主要因素^[7]。由全球气

收稿日期: 2008-12-01; 修订日期: 2009-01-12

基金项目: 国家自然科学基金 (40771040, 40601017, 40701028); 淮河流域气象开放研究基金 (HRM200702); 水利部公益性行业科研专项经费 (200801001) 资助

作者简介: 翟建青 (1980—), 男, 博士研究生, 主要从事气候变化与旱涝灾害研究。E-mail: jianqing9801@163.com

候变化引起的区域内温度升高和降水空间布局的变化已是不容置疑的事实，由此导致的旱涝分布格局的改变将对我国未来水资源管理及南水北调等重大工程的合理利用产生一定影响。本文采用德国马普气象研究所 ECHAM5/MPI-OM 模式输出的逐月降水数据，分析了 IPCC SRES A2、A1B、B1 情景^①下 21 世纪前 50 a 中国旱涝变化特征。

1 资料与方法

考虑到数据时间序列的一致性，本研究选取了中国气象局国家气象信息中心提供的 483 个气象站月降水数据（1961 年 1 月至 2000 年 12 月），并且对所选气象站的实测数据进行了均一性检验。

未来情景研究采用了德国马普气象研究所提供的 ECHAM5/MPI-OM 模式输出中国降水量月数据（1961 年 1 月至 2050 年 12 月），该大气海洋环流模式同时耦合海冰和陆面过程模式，采用较高的模式分辨率对地球系统未来的气候进行预估，其中大气模式采用 T63 的网格，水平网格分辨率为 $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$ ，垂直分 31 层。新模式更新了可预报的气溶胶模块，对云覆盖重新进行了参数化过程，同时对云里面的冰和水进行了不同的过程处理，大大提高了对降水过程的模拟^[8]。刘绿柳等^[9]比较了 ECHAM5 模式及多模式集合模拟结果，认为 ECHAM5 模式更好地把握了降水量的年际变率且对降水量的季节内分配模拟较好。考虑到未来旱涝格局受降水量年际变率的影响较大，故本文选取了 ECHAM5 模式输出的降水量为基础数据。

首先对比分析模式输出试验期（1961—2000 年）降水量与同期 483 个气象站实际观测降水量空间分布特征；其次根据 1961—2000 年观测降水量计算其标准化降水指数（SPI）^[10]，并计算了模式模拟期（2001—2050 年）每个格点 A2、A1B、B1 情景下的 SPI 指数（时间步长为 12 个月），并在此基础上计算其气候倾向率，采用 IDW 反距离加权插值法插值成

图以预估未来 50 a 中国旱涝趋势；通过计算逐月呈干旱状态格点（月 SPI < -1）占总格点数的百分比得出 2050 年前 3 种情景下中国干旱面积变化特征；最后计算每个格点 588 个月中（2002 年 1 月至 2050 年 12 月）呈现干旱状态的月份总数并插值成空间分布图来分析干旱频率空间分布特征。

2 实测与模拟降水量

我国已经开展了 ECHAM5 模型验证研究，并对其输出结果进行了应用及分析^[11-14]。对比分析 1961—2000 年实际观测年降水量（图 1a）及 ECHAM5 模式试验期年降水量（图 1b），结果表明：ECHAM5 模式能够模拟中国地区降水由东南向西北逐渐减少的空间格局，对中国松花江、辽河、海河、黄河及

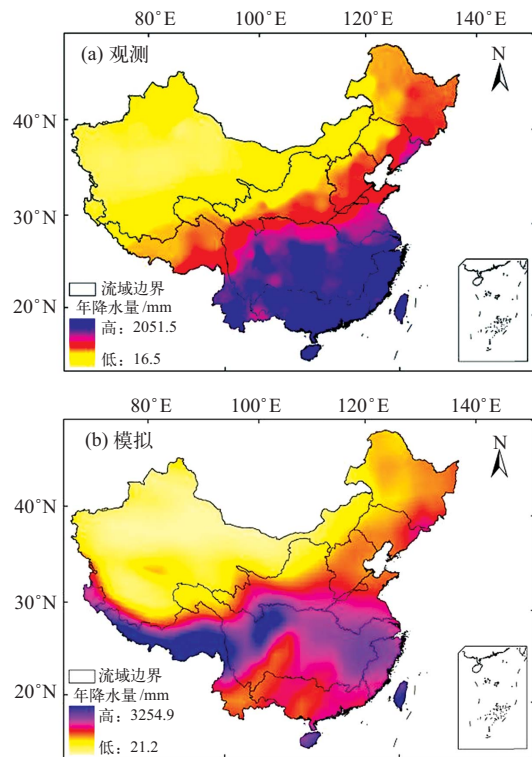


图 1 中国年降水量空间分布

Fig. 1 Spatial distributions of observed (a) and simulated (b) annual precipitation over China during 1961–2000

① A2 情景，全球经济、人口快速增长，温室气体快速增加；A1B 情景，经济、人口迅速发展，温室气体浓度增加有所减弱；B1 情景，温室气体浓度增加缓慢并趋于稳定

西北内陆河流域年降水量模拟较好。但模式模拟年降水量普遍高于实际观测年降水量,且对我国南方地区降水量分布格局模拟较差,这主要是由于模式对陡峭上坡一线及亚洲夏季风导致的降水估计过高^[15],因此模式输出的年降水量最大值位于青藏高原南坡及受西南季风影响的区域。

3 未来旱涝空间格局

3.1 未来旱涝趋势空间分布

分析 1961—2000 年观测到的旱涝空间格局可知:这一时期存在一条由东北向西南延伸的干旱趋势带,包括松花江、辽河、海河和黄河流域南部、淮河流域北部、长江流域中部及珠江流域西部。干旱倾向率高值区集中在海河、黄河流域南部、淮河流域北部及长江流域中部大片地区,气候倾向率可达 $-0.45/10a$ (图 2a)。

A2 情景下 (图 2b), 中国 2050 年前旱涝格局同

1961—2000 年观测到的旱涝格局相似,也存在一条由东北延伸到西南的干旱趋势带,包括了松花江流域南部,辽河、海河流域全部及黄河北部广大地区,并延伸到长江流域内的金沙江流域、珠江流域西部及东南诸河流域,这条干旱趋势带与 1961—2000 年的观测格局相似,不同之处在于倾向率高值区主要位于松花江流域南部、黄河流域北部、金沙江流域及珠江流域西部,气候倾向率为 $-0.2/10a$ 。A1B 情景下 (图 2c), 中国未来 50 a 有一贯穿中部及南方沿海一带的湿润趋势带,气候倾向率为 $0.3/10a$,而干旱化趋势则主要发生在辽河流域、长江上游、洞庭湖流域及长江三角洲地带、西南诸河流域大部与西北内陆河流域西南部,气候倾向率高值区集中在西北内陆河流域、长江流域和西南诸河流域交汇区域,中心值可达 $-0.2/10a$;这一结果与 IPCC 第四次评估报告中对亚洲地区降水量空间格局的描述有一定的相似性^[16]。B1 情景下 (图 2d), 旱涝格局表现为“北涝南旱”,长江干流南部,长江、黄河、西南诸河及

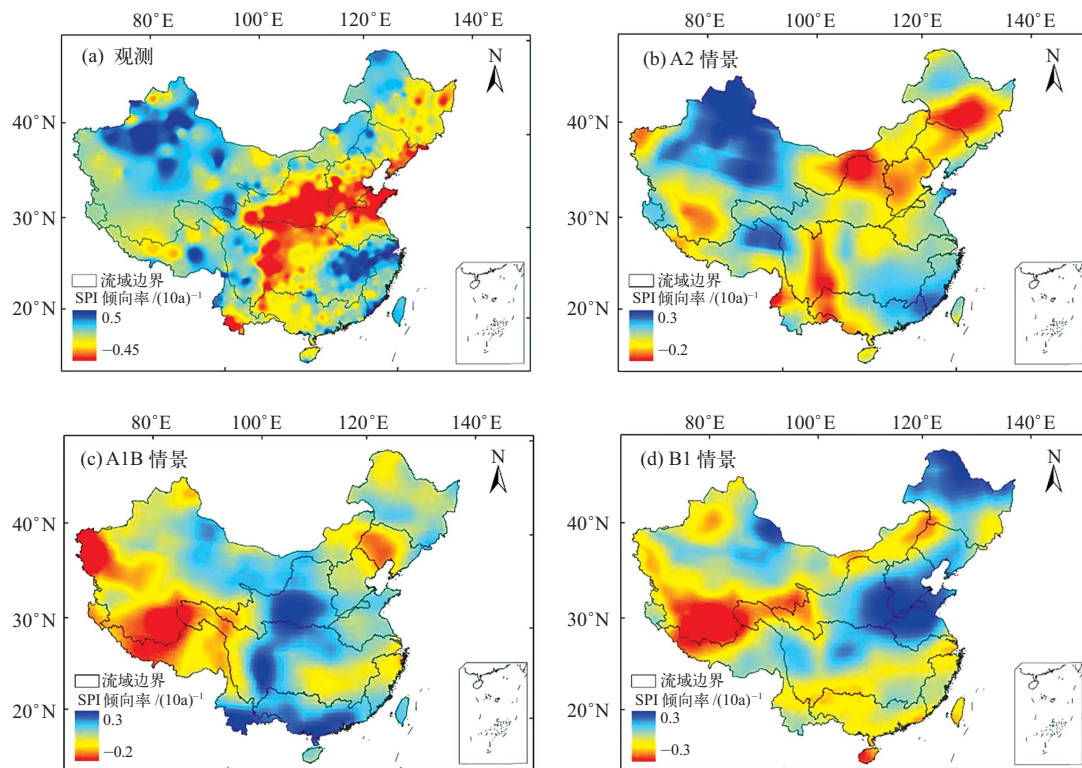


图2 观测及3种排放情景下未来50a中国旱涝格局

Fig. 2 Observed (a) and the future 50 years projected (by the ECHAM5 model) dryness/wetness patterns under the SRES A2 (b), A1B (c) and B1 (d) scenarios in China

西北内陆河流域交汇区域为干旱化趋势，其中心区域气候倾向率也可达 $-0.3/10a$ ，而松花江流域北部和黄淮海平原则表现为明显湿润化趋势。

3.2 未来 50 a 干旱面积变化

A2 情景下 (图 3a) 干旱面积在未来 50 a 略微上升，干旱面积的增长率为 $0.10\%/10a$ ，在 2010 年左右和 2020—2025 年，干旱面积处于比较小的时期；而 A1B 和 B1 情景下干旱面积则为下降趋势，且 A1B 情景 (图 3b) 下降趋势比较明显，干旱面积的下降率为 $0.95\%/10a$ ，B1 情景下 (图 3c) 干旱面积的下降率为 $0.48\%/10a$ 。

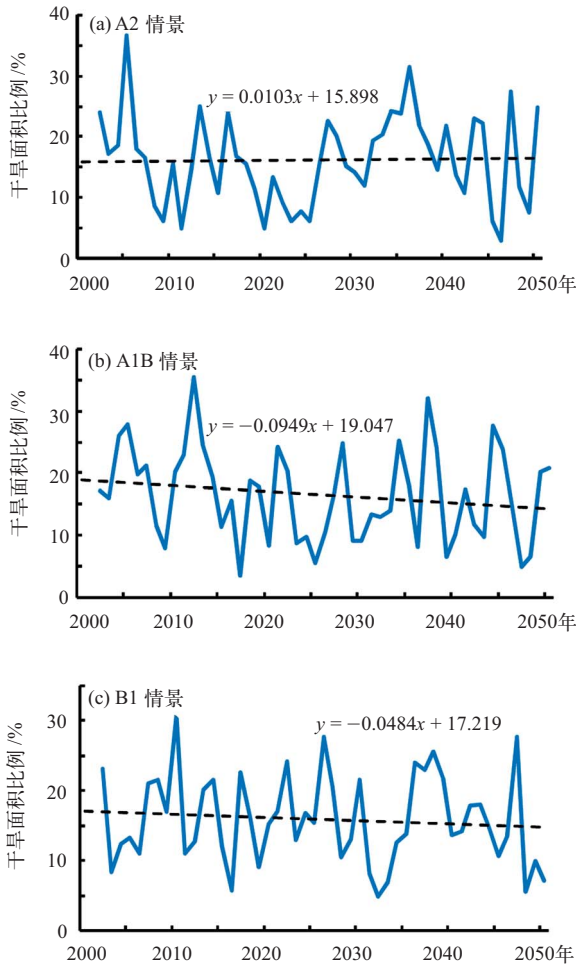


图 3 不同排放情景下未来 50 a 中国干旱面积比例 (虚线为线性趋势线)

Fig. 3 Areas of drought in the future 50 years under the SRES A2 (a), A1B (b) and B1 (c) scenarios in China (dash line: linear trend)

3.3 干旱频率空间分布特征

A2 情景下，干旱频率较高的区域集中在松花江流域中部，辽河、黄河同西北内陆河流域交汇区域，金沙江流域，汉江流域及淮河流域东南部 (图 4a)；A1B 情景下，干旱频率较高的地区则主要集中在松花江流域中部，黄河流域南部，西北内陆河流域，长江、西南诸河流域交汇区域及南方沿海部分区域 (图 4b)；B1 情景下，干旱频率较高的区域集中在海河流域及东南诸河流域 (图 4c)。

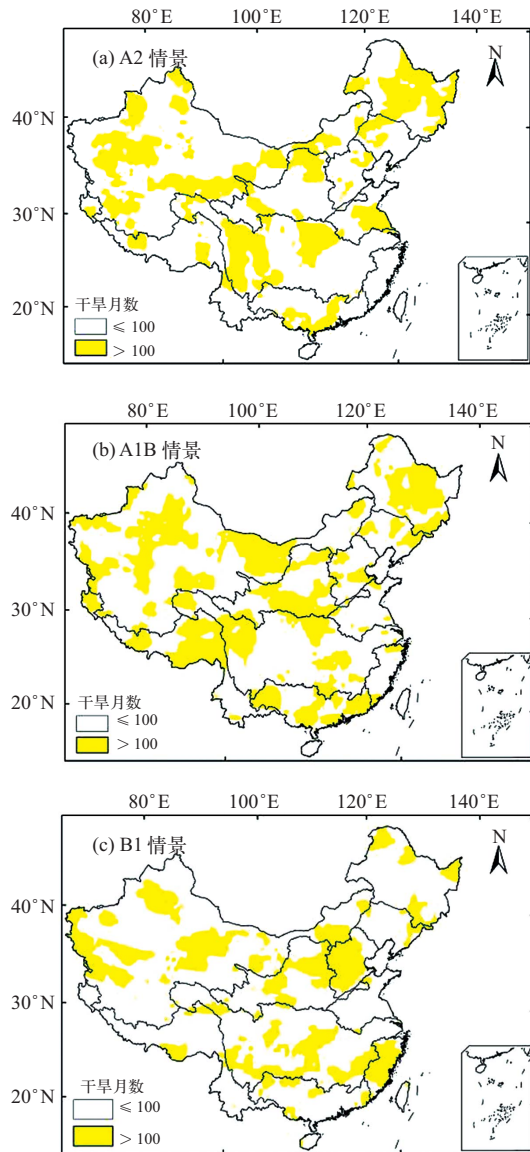


图 4 不同排放情景下未来 50 a 干旱月数空间分布 Fig. 4 Months of drought in the future 50 years under the SRES A2 (a), A1B (b) and B1 (c) scenarios in China

4 结论与讨论

依据ECHAM5模型模拟的未来50 a中国月降水量来计算SPI指数,分析未来中国旱涝格局,可以得出以下结论:

(1) 1961—2000年观测到的旱涝格局为“北旱南涝”,干旱倾向率高值区主要集中在海河、黄河流域,淮河流域北部及长江流域中部。

(2) 未来50 a,中国干旱趋势空间格局3种情景下各不相同,其中A2情景下旱涝格局同过去40 a来观测到的格局相似,不同之处在于倾向率高值区主要集中在松花江流域南部,辽河、海河流域及黄河流域北部;A1B情景下旱涝格局则表现为中部及南方沿海涝,其他区域旱;B1情景下旱涝格局大致表现为“北涝南旱”。

(3) 2050年前,中国干旱面积在A2情景下有缓慢增加趋势,而在A1B和B1情景下干旱面积有减少趋势,且A1B情景下下降趋势比较明显。

(4) 未来3种排放情景下,中国旱涝格局在A2情景与A1B和B1情景下存在一定的差异,这主要因为高排放(A2)与中低排放(A1B和B1)情景下降水量变化存在区域差异。

目前采用的大气环流模式存在局限性,如用来建模的各种物理因素存在很大的不确定性;另外,空间尺度大,而环流模型输出分辨率却比较低。所以,气候变化的预估存在很大的不确定性^[17]。本文采用德国马普气象研究所提供的ECHAM5模式输出的降水资料预估2050年前中国旱涝格局也存在很大的局限性,文中讨论的ECHAM5气候模式对青藏高原南坡一线及西南地区降水量存在高估的现象,导致这一地区的旱涝预估不确定性也比较大。

未来情景预估目前主要有两种方法,多模式集成分析与单模式分析,本文选取了后者,通过与多模式集成分析研究结果^[18]对比分析,发现结果具有一定的相似性。

本文分析了未来3种排放情景下中国旱涝格局变化,这对中国更好地适应气候变化及未来水资源的合理利用与调配具有一定意义。 ■

参考文献

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The AR4 Synthesis Report [M]. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007
- [2] Folland C K, Karl T R, Christy J R, *et al.* Climate Change 2001: The Scientific Basis [M]. Cambridge UK: Cambridge University Press, 2001: 99–181
- [3] 王英,曹明奎,陶波,等. 全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征 [J]. 地理研究, 2006, 25 (6): 1031–1040
- [4] 孙颖,丁一汇. IPCC AR4 气候模式对东亚夏季风年代际变化的模拟性能评估 [J]. 气象学报, 2008, 66 (5): 765–780
- [5] 张莉,丁一汇,孙颖. 全球海气耦合模式对东亚季风降水模拟的检验 [J]. 大气科学, 2008, 32 (2): 261–276
- [6] 刘吉峰,李世杰,丁裕国. 基于气候模式统计降尺度技术的未来青海湖水位变化预估 [J]. 水科学进展, 2008, 19 (2): 184–191
- [7] 翟盘茂,邹旭恺. 1951—2003年中国气温和降水变化及其对干旱的影响 [J]. 气候变化研究进展, 2005, 1 (1): 16–18
- [8] 牟林,吴德星,陈学恩,等. 温室气体浓度增加情景下全球海洋变化主要特征分析 [J]. 科学通报, 2006, 51 (19): 2304–2308
- [9] 刘绿柳,姜彤,原峰. 珠江流域1961—2007年气候变化及2011—2060年预估分析 [J]. 气候变化研究进展, 2009, 5 (4): 209–214
- [10] Mckee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales [C] // Eighth Conference on Applied Climatology, 1993: 17–22
- [11] 曾小凡,苏布达,姜彤,等. 21世纪前半叶长江流域气候趋势的一种预估 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3 (5): 293–298
- [12] 刘波,姜彤,任国玉,等. 2050年前长江流域地表水资源变化趋势 [J]. 气候变化研究进展, 2008, 4 (3): 145–150
- [13] 张增信, Fraedrich K, 姜彤,等. 2050年前长江流域极端降水预估 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3 (6): 340–344
- [14] 苏布达, Gemmer M, 姜彤,等. 1960—2005年长江流域降水极值概率分布特征 [J]. 气候变化研究进展, 2007, 3 (4): 208–213
- [15] Stefan H, Klaus A, Erich R. Evaluation of the hydrological cycle in the ECHAM5 model [J]. Journal of Climate, 2006, 19 (16): 3810–3827
- [16] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 1997

[17] 郭华, 殷国强, 姜彤. 未来 50 年鄱阳湖流域气候变化预估 [J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17 (1): 73–78

[18] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变 (上卷): 气候与环境的演变及预测 [M]. 北京: 科学出版社, 2005: 520–535

Patterns of Dryness/Wetness in China Before 2050 Projected by the ECHAM5 Model

Zhai Jianqing^{1,3}, Zeng Xiaofan^{1,3}, Su Buda², Jiang Tong²

(1 State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 3 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: This study investigated future spatial distribution of dryness/wetness in China during the first 50 years of 21st century according to standardized precipitation index (SPI) which was calculated from the monthly precipitation data projected by the ECHAM5/MPI-OM climate model under the SRES-A2 (high emission), SRES-A1B (mediate emission) and SRES-B1 (low emission) scenarios of anthropogenic greenhouse gas emissions. The results show that the projected dryness/wetness pattern in the future 50 years under the SRES-A2 scenario is similar to the observed one in 1961–2000, i.e. there is a SW–NE oriented drought belt from Southwest China to Northeast China; but the projected patterns under the SRES-A1B and SRES-B1 scenarios are different, especially under the SRES-B1 scenario, a north-wetness–south-dryness pattern was projected. The area of drought was projected to weakly increase under the SRES-A2 scenario but to decline under the SRES-A1B and SRES-B1 scenarios. Spatial distributions of the frequency of droughts were also projected to be different from each other.

Key words: dryness/wetness pattern; standardized precipitation index (SPI); ECHAM5/MPI-OM climate model; emission scenario; China

消息

建立共同的气候语言

为了改善气候领域的科学家与决策者和公众之间的信息交流, 提高各利益相关者的决策能力, 美国国家研究委员会建议科学家和科技期刊编辑建立、使用共同的气候语言。其中包括: 1) 对大气中所有长生命期的温室气体浓度都使用 CO₂ 当量来衡量; 2) 以工业化前的温度为统一的基准线, 来衡量全球变暖的程度; 3) 将各种可能的科学评价

翻译成便于科学家以外的人理解和使用的术语。最重要的是要解释从温室气体浓度、全球温度及气候影响来看, 人类正处于什么样的风险中。例如, 多种模式 B1 方案的平均结果比工业化前升温 3 °C, 似乎排除了超过 3 °C 的升温。但是, 模式之间的变化范围是 2~4 °C, 这就是说有 50% 的可能超过 3 °C。这样的信息是十分必要的。

苗秋菊编译自《Science》, 2009-04-03

王绍武校对