

胡祖恒,徐忠峰,马柱国,2017. 北半球温室气体和土地利用/覆盖变化对地面气温日较差的影响[J]. 气象,43(12):1453-1460.

北半球温室气体和土地利用/覆盖变化 对地面气温日较差的影响^{*}

胡祖恒^{1,2} 徐忠峰¹ 马柱国¹

1 中国科学院东亚区域气候-环境重点实验室,中国科学院大气物理研究所,北京 100029

2 中国科学院大学,北京 100049

提 要: 为了探究温室气体(greenhouse gas, GHG)和土地利用/覆盖变化(land use and land cover change, LULCC)对于地面气温日较差(diurnal temperature range, DTR)的影响及相对贡献作用,本文采用耦合地球系统模式(Community Earth System Model)进行了模拟研究。模拟结果表明:GHG 浓度的增加导致北半球中高纬度地区年平均 DTR 显著降低,但 GHG 引起 DTR 变化存在显著的季节差异,在暖季和冷季,北美地区和西伯利亚地区呈现出相反的变化特征,GHG 增加对于中高纬度地区年平均 DTR 的降低作用主要是由冷季贡献的。LULCC 通过影响叶面积指数和地面反照率显著降低东亚、南亚、欧洲和北美东部地区的 DTR。通过创建一种新的分析方式,本文研究了 GHG 和 LULCC 对 DTR 的相对贡献作用,在北半球高纬度地区,GHG 在 DTR 的变化中扮演着主导作用,但在中纬度地区和南亚地区,无论是 DTR 变化数值的正负符号还是大小, LULCC 都起着显著的影响作用。

关键词: 气候模拟,人类强迫,气温日较差,土地利用/覆盖变化

中图分类号: P46, X16

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.12.001

Impact of Increased Greenhouse Gas Concentration and Land Use/Land Cover Changes on Diurnal Temperature Range in Northern Hemisphere

HU Zuheng^{1,2} XU Zhongfeng¹ MA Zhuguo¹

1 Key Laboratory of Regional Climate-Environment for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract: To investigate the impact of increased greenhouse gas (GHG) concentration and land use and land cover change (LULCC) on diurnal temperature range (DTR), several numerical experiments were performed using the fully coupled Community Earth System Model (CESM). The results of the model simulation show that the increased GHG concentration has led to significant decrease in DTR over mid- and high-latitudes of the Northern Hemisphere. However, GHG-induced changes in DTR have the significant differences in different seasons. During the warm and cold seasons, there is an opposite change character in the North America and the Siberia Region. The reduction of annual DTR induced by the increased GHG over mid-high-latitudes is mainly contributed by the cold season. LULCC caused a weakening of the DTR in Eastern Asia, Southern Asia, Europe, and Eastern North America. We visualize the LULCC- and

^{*} 国家科技攻关计划(2016YFA0600403)、国家自然科学基金项目(41675080 和 91637103)及国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2012CB956203)共同资助

2016 年 11 月 25 日收稿; 2017 年 8 月 10 日收修定稿

第一作者:胡祖恒,主要从事气候变化与气候模拟研究. Email: huzh@tea. ac. cn

通信作者:马柱国,主要从事全球变化、干旱化和陆面过程研究. Email: mazg@tea. ac. cn

GHG-induced changes to the DTR in both magnitude and sign by the aid of coordinate axis. GHG plays a more important role in changing DTR in Southern Asia and Europe and in high-latitudes of the Northern Hemisphere. In contrast, LULCC plays a dominant role in determining changes in DTR in the mid-latitudes of the Northern Hemisphere and Southern Asia, whether in the magnitude or value of the changes in DTR.

Key words: climate modeling, anthropogenic forcing, diurnal temperature range, land use and land cover change (LULCC)

引 言

地面气温是表征当前气候以及未来气候的一个重要物理量,其无论在模式结果分析和观测事实揭示方面都有很多研究(IPCC,2013)。但是,实际上地面气温往往并不能全面衡量气候变化,日最高气温、最低气温以及它们所决定的日较差(diurnal temperature range,DTR)也是非常重要的参数,相较于地面气温,DTR能为研究气候变化提供更多信息(汪凯等,2010;华文剑和陈海山,2013)。

以往的观测和模拟研究表明,影响DTR变化的因素有很多。比如,云辐射作用通过降低日间到达地面的太阳辐射和增加夜间的大气逆辐射(丁守国等,2004;Lewis and Karoly,2013)从而降低DTR;大气水汽含量的增加也是导致DTR降低的可能原因(翟盘茂和任福民,1997;汪凯等,2010);温室气体(greenhouse gas,GHG)增加能增加大气逆辐射,导致日最高气温和日最低气温升高(黄金龙等,2016),但日最低气温的增加大于日最高气温(Lewis and Karoly,2013)。大量研究揭示,DTR降低的一个重要原因是日最低气温的增加幅度远远大于日最高气温的增加幅度(唐红玉等,2005;Vose et al,2005;Wild,2009)。

值得注意的是,近年来有研究指出,CMIP5模式结果中,与只考虑GHG强迫的全球陆地平均DTR变化相比,只考虑气溶胶驱动的DTR变化作用很小(Lewis and Karoly,2013),并且气溶胶对于DTR的影响作用仍存在不确定性(翟盘茂和任福民,1997)。与之相比,城市化作用对DTR的影响比较明显,前人研究指出城市化进程主要作用为导致DTR减小(华丽娟等,2006;杨鹏等,2013;刘伟东等,2014;白莹莹等,2015;黄宏涛等,2016)。然而土地利用/覆盖变化(land use and land cover change,LULCC)的作用如何?研究指出,LULCC能通过许多途径显著影响DTR,如地面反照率可以

通过增加或减少太阳辐射的吸收来影响DTR,LULCC对DTR的影响与区域紧密相关,在中纬度地区LULCC引起DTR减小的原因主要是日最高气温降低;在印度半岛,DTR减小原因主要是由于最低气温的升高(华文剑和陈海山,2013;陈海山等,2015;Xu et al,2015),也有研究指出在中国北方半干旱地区LULCC导致日最低气温减小,使得DTR增大(王明娜等,2016)。

研究者针对GHG和LULCC对地面气温、日最高气温和日最低气温的影响作用已有很多研究,并得到了很多重要的发现(Cai and Kalnay,2004;Lewis and Karoly,2013;Xu et al,2015)。但目前在评估两者对DTR变化的相对贡献方面的工作较少;另外,两者对DTR的影响在不同季节有何差异,这在以往的研究中涉及也较少,这些问题都还有待进一步评估分析。本文将针对上述问题展开研究,以期能得到一些有意义的结论。

1 模式和资料

1.1 模式介绍

本文研究所用模式为耦合地球系统模式(Community Earth System Model,CESM)(Gent et al,2011)。CESM模式由四个独立的模式组成,分别是大气系统模式、陆面模式、海洋模式和海冰模式。大气模式为CAM模式(Community Atmosphere Model),空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 1.875^{\circ}$;陆面模式采取CLM 4.0模式(Community Land Model),陆面状况被分为15种类型(包括树木、灌木、草地、农田和裸土及其细分类型,每种类型都有与其对应的叶面积指数);海洋过程和海冰过程分别由海洋模式(Parallel Ocean Program version2)和海冰模式(Community Sea Ice Code)进行模拟。CESM和其前身通用气候系统模式(Community Climate System Model,CCSM),已被广泛用于研究气候系统对

于外部强迫(比如 GHG 和 LULCC) 的响应(Li and Mölder, 2008; Marsh et al, 2013; Xu et al, 2015)。研究表明 CESM 模式可以较好地模拟中纬度和热带地区地面气温的日变化特征(Lindvall et al, 2013), 因此用 CESM 模拟 DTR 是合理的。前人研究也证实, 相对于其前身 CCSM, CESM 能显著减少 DTR 的模拟误差, 从而比较准确地模拟 DTR 的变化(Subin et al, 2012)。

1.2 试验设计

为了研究 GHG 和 LULCC 在北半球 DTR 的影响及两者在其中的相对贡献作用, 设计了如下几种试验方案: (1) 潜在植被(potential land cover, 即受人类活动影响之前的植被状态)和 2000 年 GHG 浓度水平(以下简称为 P2); (2) 当前植被(current land cover)和 1850 年 GHG 浓度水平(以下简称为 C1); (3) 当前植被(current land cover)和 2000 年 GHG 浓度水平(以下简称为 C2)。几种模拟方案均积分 140 年, 取前 50 年为 spin-up 期。用 C2 模拟方案减去 C1 模拟方案(C2-C1)和 C2 模拟方案减去 P2 方案(C2-P2)分别表示 GHG 浓度和 LULCC 的强迫; 这样, 即可采取 C2 方案为参照试验与其余两种试验方案进行对比分析, 从而探究 GHG 和 LULCC 分别在年平均、暖季(5—9 月)和冷季(11 月至次年 3 月)DTR 中的相对贡献作用。需要指出的是, 对于深层海洋而言, 50 年的 spin-up 期也不足以让其达到平衡状态, 但对于陆面和浅层海洋而言, 已足够使其达到一个较好的平衡状态(Xu et al, 2015)。

1.3 数据资料

文章所用的降水资料来自于英国东安格利亚大学(University of East Anglia)气候研究中心(Climatic Research Unit, CRU), 其时间覆盖为 1901—

2009 年(Harris et al, 2014), 采用 CRU 降水资料, 定义年降水量 $0 \sim 200 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 为干旱区, 年降水量 $200 \sim 500 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 为半干旱区, 年降水量 $500 \sim 800 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 为半湿润区, 年降水量在 $800 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ 以上为湿润区。试验所用 GHG 资料为混合 GHG (well-mixed greenhouse gases), 由二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、一氧化二氮(N_2O)、氯氟烃(CFC-11 和 CFC-12)构成。相对于 1850 年, 2000 年各类 GHG 浓度水平都有显著的升高, 其中广受关注的 CO_2 浓度水平由 1850 年的约 287 ppmv($1 \text{ ppm} = 10^{-6}$)上升至 2000 年的约 375 ppmv, CH_4 浓度水平由 1850 年的约 791 ppbv($1 \text{ ppb} = 10^{-9}$)上升至 2000 年的约 1755 ppbv, N_2O 浓度水平由 1850 年的约 275 ppbv 上升至 2000 年的约 319 ppbv(http://www.cesm.ucar.edu/CMIP5/forcing_information/)。当前植被覆盖资料来源于 2000 年的 MODIS 卫星资料, 潜在植被资料为在当前植被资料的基础上消除人为活动影响所得(Ramankutty and Foley, 1999; Lawrence and Chase, 2010)。相对于潜在植被状况, 当前植被状况下叶面积指数和地面反照率的变化如图 1 所示。由图可见, 叶面积指数减小的区域主要在东亚地区、南亚地区、欧洲地区和北美东部区域。与此同时, 上述区域的地面反照率也随之增加。

2 模式输出结果分析

2.1 温室气体和土地利用/覆盖变化对日较差的影响

本文除分析 GHG(C2-C1)和 LULCC(C2-P2)对年平均 DTR 的影响结果, 也评估了 DTR 在暖季(5—9 月)和冷季(11 月至次年 3 月)的变化, 从图 2a 可见, 对于年平均 DTR 而言, GHG 增加导致

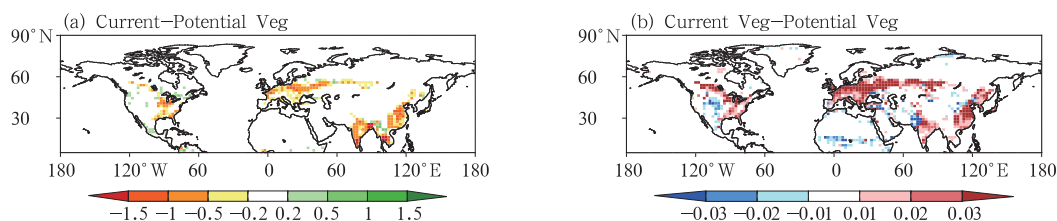


图 1 相对于潜在植被状况, 变为当前植被状况后的叶面积指数(a)和地面反照率(b)变化

Fig. 1 Changes in annual leaf area index (a) and surface albedo (b) between experiments with potential and current vegetation

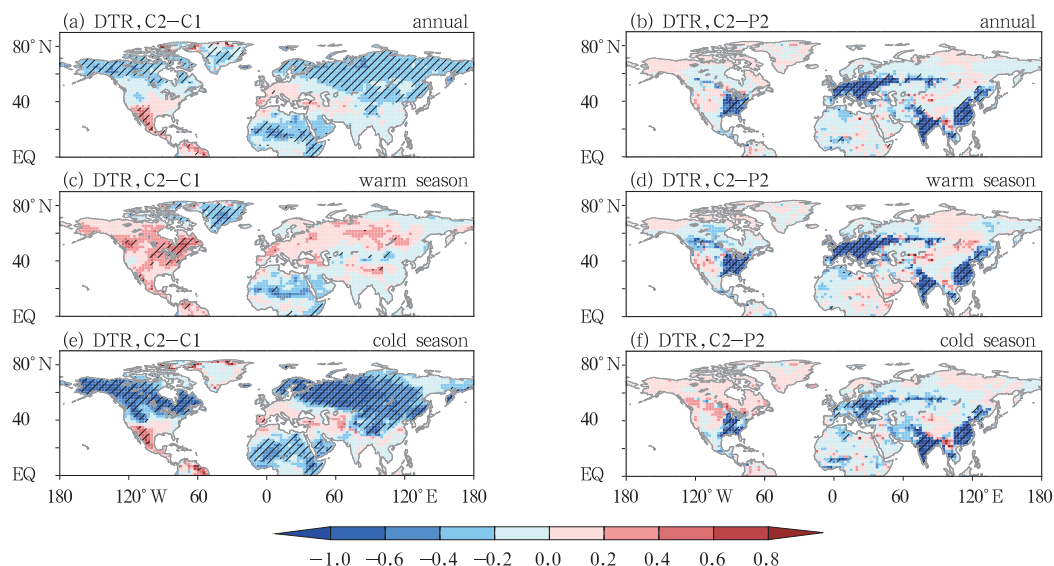


图 2 GHG(C2—C1; a, c, e)和 LULCC(C2—P2; b, d, f)对年平均(a, b)、暖季(5—9 月; c, d)和冷季(11 月至次年 3 月; e, f)多年平均 DTR 的影响(单位: $^{\circ}\text{C}$)

(画斜线处表示变化通过 0.05 显著性水平检验)

Fig. 2 GHG-induced (C2—C1; a, c, e) and LULCC-induced (C2—P2; b, d, f) changes in DTR (unit: $^{\circ}\text{C}$) in annual (a, b), warm (May—September; c, d) and cold seasons (November—March; e, f)

(Areas with slashes are where GHG and LULCC-induced changes have passed the significance test at 0.05 level)

北半球高纬度和北非地区 DTR 显著降低,而在中美洲地区导致 DTR 升高。这样的结论和(Lindvall et al, 2013)相似。但值得注意的是, DTR 在暖季和冷季的表现大不相同,而这在以往的研究中较少被提及。从图 2c 和 2e 可以看出,在暖季, DTR 在中高纬度反而是以增加为主,其在北美地区表现为显著增加;而在冷季,除格陵兰岛之外,北半球中高纬度地区(北美和东北欧区域减小幅度达 1°C 以上)和北非地区($0.2\sim 0.6^{\circ}\text{C}$)均表现为显著降低的特征。综上可知, GHG 增加导致中高纬度年平均 DTR 的降低主要是冷季的强作用导致。再来看看 LULCC 对年平均 DTR 的影响(图 2b),在北美地区东部、欧洲、东亚和南亚地区年平均 DTR 显著减小,减小幅度达到 1°C 以上。与 GHG 的影响不同的是, LULCC 对于年平均 DTR 影响作用在暖季和冷季的差别较小(图 2d 和 2f)。那么, GHG 和 LULCC 对 DTR 的影响机制如何,为探究这个问题做了进一步分析。

2.2 日较差变化原因分析

首先分析 GHG 导致 DTR 变化的原因,从年平均最高气温和最低气温可见(图 3a 和 3b), $T_{\max}$ 和 $T_{\min}$ 都是显著增加的,但在加拿大、东欧至西伯利

亚,以及北非地区,日最低气温的增加幅度大于日最高气温,这是上述地区 DTR 减少的直接原因。而在暖季,情况则相反,北美地区中部、东欧以及西伯利亚,日最高气温的增加幅度大于日最低温(图 3c 和 3d),因此在暖季, DTR 在中高纬度是以增加为主, DTR 在北美地区表现为显著增加(图 2c)。在冷季,可以清楚看到,在除格陵兰岛和欧洲以外的北半球中高纬度地区和北非地区,日最低气温的增加幅度显著大于日最高气温(图 3e 和 3f)。这是北半球中高纬度地区和北非地区 DTR 在冷季显著降低的重要原因。

LULCC 影响 DTR 的机制和 GHG 大为不同。从图 4 可以看出,无论是年平均还是暖季,日最高气温在美国东部、欧洲、东亚和南亚地区都是显著减少的,而日最低气温在上述区域均为显著增加。冷季的最高气温和最低气温也有类似的变化特征,但在欧洲和北美地区变化不显著(图 4e 和 4f)。LULCC 导致地面反照率增加和叶面积指数减少,日最高气温变化的机制在于:土地覆盖状况变化后,北美、欧洲、东亚和南亚地区的地面反照率增大(图 1b),对太阳短波辐射的反射作用增大,地面吸收的太阳辐射减少,从而导致温度降低,因此地面反照率增加导致温度降低。当然,土地覆盖状况变化后上述区域

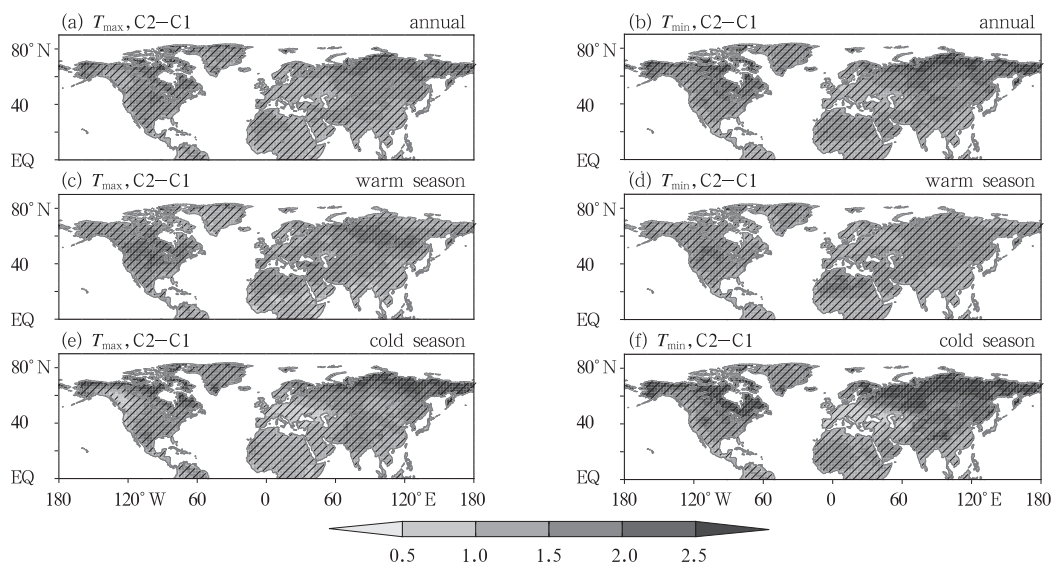


图 3 GHG(C2-C1)对年平均(a, b)、暖季(c, d)和冷季(e, f)日最高气温(a, c, e)和日最低气温(b, d, f)的影响(单位: $^{\circ}\text{C}$)

(画斜线处表示变化通过 0.05 显著性水平检验)

Fig. 3 GHG-induced (C2-C1) changes in $T_{\max}$ (a, c, e) and $T_{\min}$ (unit: $^{\circ}\text{C}$) in annual (a, b), warm (May-September; c, d) and cold seasons (November-March; e, f)

(Areas with slashes are where GHG-induced changes have passed the significance test at 0.05 level)

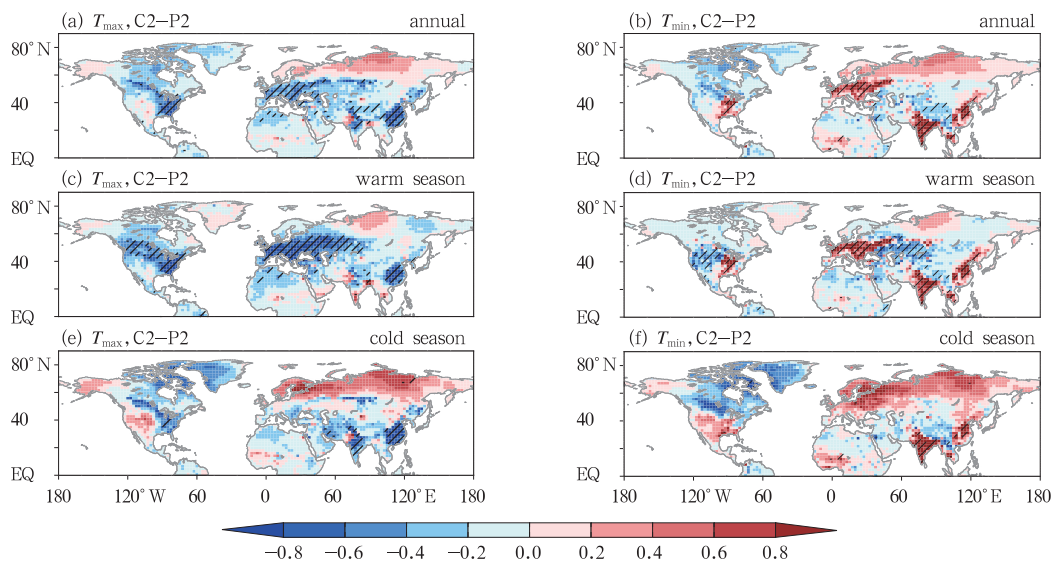


图 4 同图 3, 但为 LULCC(C2-P2)的影响

Fig. 4 Same as Fig. 3, but for LULCC-induced (C2-P2)

的叶面积指数减少(图 1a), 叶面积指数的减少表明植被的蒸散发一系列活动减弱, 蒸散发所带来的降温作用减弱, 从而导致温度升高。但是, 叶面积指数减少引起的增温作用不足以抵消地面反照率增加带来的降温作用。因此, 总体来说, 日最高气温是降低的。华文剑和陈海山(2013)也证实, LULCC 导致地表反照率增加和叶面积指数减少, 在较低纬度, 叶

面积指数带来的蒸散发作用较大, 而在中高纬度, 地面反照率引起的降温作用显著, 日最高气温在北美地区、南美地区、欧亚大陆及东亚地区都是减少的, 唯有印度半岛地区表现为微弱增加(0.01°C)。在夜间的时候, 上述地区叶面积指数减少, 随之植被蒸发和蒸腾作用降低, 地面蒸散发减少, 而蒸散发所带来的降温作用也随之降低, 这是导致温度升高的原因

(图略)。还有研究指出,LULCC 导致夜间地表热通量表现为由地下向地面输送,这也是导致温度升高的可能原因 (Xu et al,2015)。

2.3 温室气体和土地利用/覆盖变化的相对贡献作用

过往的研究中评估 GHG 和 LULCC 对于 DTR 的相对贡献时,大多仅采用定量评估给出区域平均数值的结果,这对于直观地理解两者的相对贡献仍是不足够的。因此,为了形象地评估 GHG 和 LULCC 的相对贡献作用,本文除给出定量的对比结果之外,还创建了一种新的表现方式,即用矢量场的方式进行表征,本文将 LULCC 导致的 DTR 变化值作为矢量场的 X 分量(自西向东),将 GHG 导致的 DTR 变化值作为矢量场的 Y 分量(自南向北)(如图 5 所示)。如箭头处于在第一象限,则表明两者对于 DTR 都起着增加的作用;如箭头在第二象限,则表明 GHG 的作用是使 DTR 增加,而 LULCC 的作用是使 DTR 减少。蓝色箭头表示在 DTR 的变化中,LULCC 的影响占主导作用;而红色箭头则表示在 DTR 的变化中,GHG 的作用占主导地位。这样,就能从变化数值的正负符号和大小两方面来对 GHG 和 LULCC 的相对贡献作用进行全面评估。

从图 5 可以看出,在 60°N 以北的高纬度地区,无论在哪个季节,特别是年平均和冷季的 DTR 变化,都由 GHG 起主导作用,并且 LULCC 基本对数值变化没有贡献作用。然而,在广大的中纬度地区($30^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$),还有南亚地区和中南半岛,LULCC 起着显著的主导作用,基本均为导致 DTR 降低。特别是在暖季(图 5b),可以看出,除在加拿大和格陵兰岛之外,基本上均由 LULCC 起主导作用。对于 LULCC 和 GHG 均显著变化的区域(图中粗箭头所示),年平均 DTR 和暖季 DTR 的变化基本由 LULCC 主导,而在冷季,DTR 的变化主要由 GHG 主导,分布在北美东部、东欧和东亚地区。

选取东亚区域($20^{\circ}\sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $105^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$)、南亚区域($10^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 、 $70^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{E}$)、欧洲区域($40^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$ 、 $0^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{E}$)、北美区域($30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 、 $75^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{W}$),以及北半球($0^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{N}$ 、 $180^{\circ}\text{W}\sim 180^{\circ}\text{E}$)进行区域平均分析。由表 1 可进一步得知,东亚和南

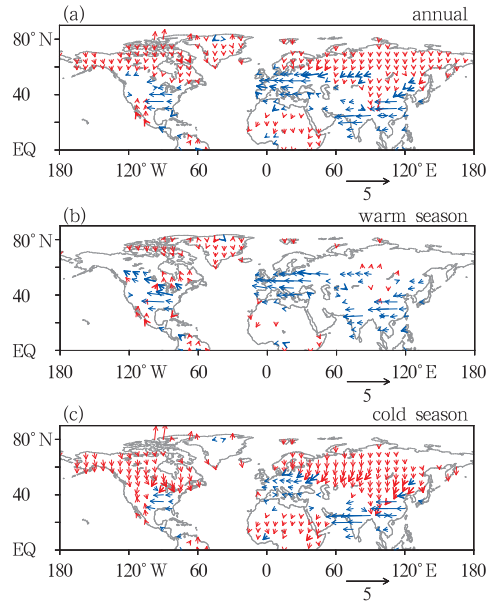


图 5 GHG 和 LULCC 对 DTR 的影响(单位: $^{\circ}\text{C}$)

(a) 多年平均, (b) 暖季, (c) 冷季

[蓝色箭头表示在 DTR 的变化中,LULCC 的影响占主导作用,而红色箭头则表示在 DTR 的变化中,GHG 的作用占主导地位;图中仅绘制 LULCC 和/或 GHG 导致的变化为显著区域的箭头(通过 0.05 显著性水平检验),加粗箭头为 LULCC 和 GHG 均导致显著变化的区域(通过 0.05 显著性水平检验)]

Fig. 5 Changes of the DTR in response to LULCC and increased GHG concentrations (unit: $^{\circ}\text{C}$)

(a) annual mean, (b) warm season, (c) cold season

[Blue (red) arrows denote the LULCC-induced change is larger (smaller) than GHG-induced change in the DTR, vectors are shown in the areas where LULCC-induced or/and GHG-induced changes have passed the significance test at 0.05 level, and the thicker vectors are shown only in the areas where LULCC-induced and GHG-induced changes have passed the significance test at 0.05 level]

表 1 年平均、暖季和冷季 DTR 的变化(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Table 1 Changes of DTR in annual mean, warm season, and cold season

强迫因子	东亚地区		南亚		欧洲		北美		北半球	
	LULCC	GHG	LULCC	GHG	LULCC	GHG	LULCC	GHG	LULCC	GHG
年平均 DTR	<u>-0.83</u>	-0.11	<u>-1.3</u>	-0.09	<u>-0.79</u>	0.02	<u>-0.61</u>	0.01	<u>-0.16</u>	<u>-0.24</u>
暖季 DTR	<u>-0.82</u>	-0.05	<u>-0.67</u>	-0.04	<u>-1.21</u>	0.12	<u>-0.81</u>	<u>0.24</u>	<u>-0.21</u>	-0.01
冷季 DTR	<u>-0.86</u>	<u>-0.16</u>	<u>-1.84</u>	-0.06	<u>-0.36</u>	-0.06	<u>-0.38</u>	<u>-0.18</u>	<u>-0.20</u>	<u>-0.13</u>

注:下划线表示该变化通过 0.05 显著性水平检验。

Note: The underlined number indicates that the difference has passed the significance test at 0.05 level.

亚区域,无论是年平均、暖季还是冷季的 DTR 变化,GHG 和 LULCC 都使得 DTR 降低,但其中 LULCC 占据了主导作用。而在欧洲和北美区域,LULCC 也占据了主导作用并使得 DTR 显著减少,但 GHG 的影响比较复杂,对于年平均 DTR 而言,GHG 的作用很小,但分为暖季和冷季来看,GHG 在暖季使 DTR 增加,在冷季使 DTR 减小。对于北半球而言,土地利用使得 DTR 显著减少。

北半球 $10^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 是全球人口主要居住的区域,也是主要的经济活动区域。本文采用 1901—2009 多年平均 CRU 降水资料,按降水值分布对北半球 $10^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 划分气候区,探寻 DTR 在此区域的变化特征。可以看出,在暖季,除在干旱半干旱区不显著之外,LULCC 都是显著的降低 DTR,而 GHG 则在 $400\sim 1100\text{ mm}$ 区域使 DTR 增加,虽然变化仍然显著,但在数值上无法与 LULCC 的作用相比(图 6a)。在冷季,除了 $1200\sim 1500\text{ mm}$ 区域,GHG 使 DTR 显著降低;而 LULCC 则显著降低除干旱半干旱区之外区域的 DTR(图 6b)。

3 结论和讨论

本文采用 CESM 模式,分析了 GHG 和 LULCC 对北半球 DTR 的影响及相对贡献作用,得到以下结论:

(1) GHG 导致日最高气温和日最低气温均升高,那么显然 DTR 的变化就取决于最高气温和最低气温两者谁升高得更多。GHG 引起的 DTR 变化存在显著的季节差异,在暖季和冷季,北美地区和西伯利亚地区呈现出相反的变化特征。GHG 对于中高纬度地区年平均 DTR 的降低作用主要是由冷季贡献的;而 LULCC 对于 DTR 影响作用的季节差异较小。

(2) 对于两者的相对贡献作用而言,GHG 在北半球高纬度地区占绝对的主导作用,但在中纬度地区,LULCC 的作用十分显著,在欧洲,东亚,南亚和北美东部地区,DTR 在数值上的变化基本由 LULCC 所贡献。在北半球 $10^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$,暖季 GHG 在半湿润区和湿润区使 DTR 显著增加,但 LULCC 在这一区域使 DTR 显著降低且数值上远大于 GHG。冷季,两者对 DTR 都是负的贡献作用,差别在于 LULCC 在其他区域,特别是湿润区则占有绝对的主导地位,这与 LULCC 主要发生在湿润半湿润区紧密相关。

值得指出的是,过往研究表明 LULCC 资料以及潜在植被数据的获取方法会带来一定的不确定性;而不同气候模式,也会带来不同的结果,各气候模式之间存在一定的不一致性(Pitman et al, 2009)。在未来的研究中应尽量采取多模式集合结果,以获得更加全面的认识。

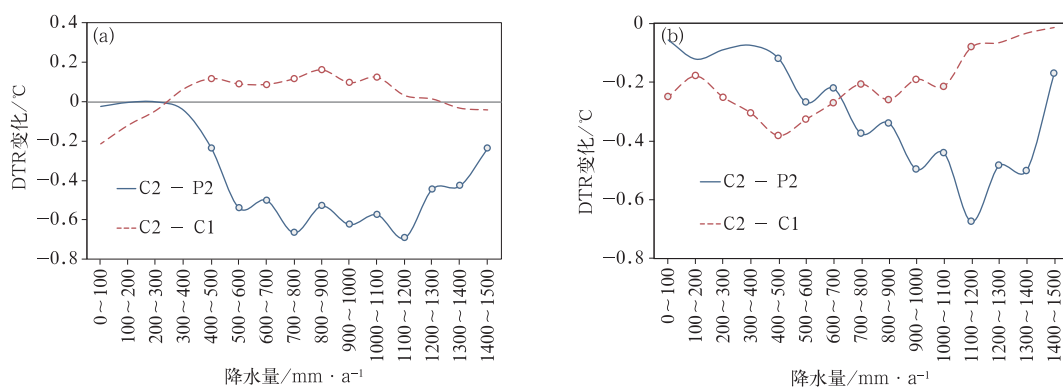


图 6 GHG 和 LULCC 对暖季(a)和冷季(b)北半球 $10^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ DTR 的影响

(空心圆圈表明 DTR 的变化通过 0.05 显著性水平检验)

Fig. 6 Changes in DTR in response to LULCC (C2-P2) and increased GHG (C2-C1) during (a) warm (May-September) and (b) cold (November-March) seasons over land area of $10^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ in Northern Hemisphere

(Open circles indicate changes that have passed the significance test at 0.05 level)

参考文献

- 白莹莹,程炳岩,王勇,等,2015.城市化进程对重庆夏季高温炎热天气的影响[J].气象,41(3):319-327.
- 陈海山,李兴,华文剑,2015.近20年中国土地利用变化影响区域气候的数值模拟[J].大气科学,39(2):357-369.
- 丁守国,石广玉,赵春生,2004.利用ISCCPD2资料分析近20年全球不同云类云量的变化及其对气候可能的影响[J].科学通报,49(11):1105-1111.
- 华丽娟,马柱国,曾昭美,2006.中国东部地区大城市和小城镇极端温度及日较差变化对比分析[J].大气科学,30(1):80-92.
- 华文剑,陈海山,2013.区域尺度土地利用/土地覆盖变化对气温日较差的影响[J].气候变化研究进展,9(2):117-122.
- 黄宏涛,吴荣军,王晓云,等,2016.城市化对珠三角地区气温及日较差的可能影响[J].气象,42(7):847-856.
- 黄金龙,王艳君,苏布达,等,2016. RCP4.5情景下长江上游流域未来气候变化及其对径流的影响[J].气象,42(5):614-620.
- 刘伟东,张本志,尤焕苓,等,2014.1978—2008年城市化对北京地区气温变化影响的初步分析[J].气象,40(1):94-100.
- 唐红玉,翟盘茂,王振宇,2005.1951—2002年中国平均最高、最低气温及日较差变化[J].气候与环境研究,10(4):728-735.
- 汪凯,叶红,唐立娜,等,2010.气温日较差研究进展:变化趋势及其影响因素[J].气候变化研究进展,6(6):417-423.
- 王明娜,韩哲,张庆云,2016.21世纪初中国北方半干旱区土地利用变化对地表温度的影响[J].气候与环境研究,21(1):65-77.
- 杨鹏,陈静,侯晓玮,等,2013.基于多源数据的城市热岛效应研究——以石家庄地区为例[J].气象,39(10):1304-1313.
- 翟盘茂,任福民,1997.中国近四十年最高最低温度变化[J].气象学报,55(4):418-429.
- Cai Ming, Kalnay E, 2004. Climate (communication arising): impact of land-use change on climate[J]. Nature, 427(6971): 214.
- Gent P R, Danabasoglu G, Donner L J, et al, 2011. The community climate system model version 4[J]. J Climate, 24(19): 4973-4991.
- Harris I, Jones P D, Osborn T J, et al, 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations-the CRU TS3.10 Dataset [J]. Int J Climatol, 34(3): 623-642.
- IPCC, 2013. Summary for policymakers[C]// Stocker T F, Qin D, Plattner G K, et al. Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lawrence P J, Chase T N, 2010. Investigating the climate impacts of global land cover change in the community climate system model [J]. Int J Climatol, 30(13): 2066-2087. DOI: 10.1002/joc.2061.
- Lewis S C, Karoly D J, 2013. Evaluation of historical diurnal temperature range trends in CMIP5 models[J]. J Climate, 26(22): 9077-9089. DOI: 10.1175/JCLI-D-13-00032.1.
- Li Zhao, Mölders N, 2008. Interaction of impacts of doubling CO₂ and changing regional land-cover on evaporation, precipitation, and runoff at global and regional scales[J]. Int J Climatol, 28(12): 1653-1679.
- Lindvall J, Svensson G, Hannay C, 2013. Evaluation of near-surface parameters in the two versions of the atmospheric model in CESM1 using flux station observations[J]. J Climate, 26(1): 26-44. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00020.1.
- Marsh D R, Mills M J, Kinnison D E, et al, 2013. Climate Change from 1850 to 2005 Simulated in CESM1 (WACCM) [J]. J Climate, 26(19): 7372-7391. DOI: 10.1175/JCLI-D-12-00558.1.
- Pitman A J, Noblet-Ducoudré N, Cruz F T, et al, 2009. Uncertainties in climate responses to past land cover change: first results from the LUCID intercomparison study [J]. Geophys Res Lett, 36(14): L14814. DOI: 10.1029/2009GL039076.
- Ramankutty N, Foley J A, 1999. Estimating historical changes in global land cover: croplands from 1700 to 1992 [J]. Glob Biogeochem Cycl, 13(4): 997-1027.
- Subin Z M, Murphy L N, Li Fuyu, 2012. Boreal lakes moderate seasonal and diurnal temperature variation and perturb atmospheric circulation: analyses in the community earth system model 1 (CESM1) [J]. Tellus A, 64(1): 15639. DOI: 10.3402/tellusa.v64i0.15639.
- Vose R S, Easterling D R, Gleason B, 2005. Maximum and minimum temperature trends for the globe: an update through 2004 [J]. Geophys Res Lett, 32(23): L23822. DOI: 10.1029/2005GL024379.
- Wild M, 2009. How well do IPCC-AR4/CMIP3 climate models simulate global dimming/brightening and twentieth-century daytime and nighttime warming? [J]. J Geophys Res, 114(D10): D00D11. DOI: 10.1029/2008JD011372.
- Xu Zhongfeng, Mahmood R, Yang Zongliang, et al, 2015. Investigating diurnal and seasonal climatic response to land use and land cover change over monsoon Asia with the community earth system model [J]. J Geophys Res Atmos, 120(3): 1137-1152. DOI: 10.1002/2014JD022479.