



论文

GlobeLand30 遥感制图创新与大数据分析专题

GlobeLand30 地表数据对北京气候中心气候模式的影响

史学丽^{①*}, 聂肃平^①, 居为民^②, 俞乐^{③④}

① 国家气候中心, 北京 100081;

② 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210093;

③ 清华大学地球系统科学研究中心, 地球系统数值模拟教育部重点实验室, 北京 100084;

④ 全球变化研究协同创新中心, 北京 100875

* E-mail: shixl@cma.gov.cn

收稿日期: 2015-09-28; 接受日期: 2016-04-21; 网络版发表日期: 2016-08-25

国家高技术研究发展计划重点项目(编号: 2009AA122005)、公益性行业(气象)科研专项项目(编号: 201106014, 201306048, 201506023)和国家自然科学基金项目(批准号: 41275076, 40905046)资助

摘要 地表覆盖是陆面及气候模式中的重要基础变量, 其数据质量对气候模式性能有显著影响. 本文基于一套中国自主研发的全球 30m 地表覆盖数据(GlobeLand30), 利用北京气候中心气候系统模式(Beijing Climate Center Climate System Model, BCC_CSM)中的陆面过程和大气环流分量模式, 开展 GlobeLand30 数据对气候模式性能影响的研究. 首先通过 GlobeLand30 和其他卫星遥感等辅助数据融合细化植被功能型(Plant Function Type, PFT)类型数据满足 BCC_CSM 模式需求, 然后利用基于面积比例的升尺度方法得到适合于全球模式的不同覆盖类型及其面积百分比数据. GlobeLand30 与模式原有覆盖数据都能合理描述全球地表覆盖基本分布特征, 但也存在一定差异, 其中植被 PFT 类型的差别最明显. 通过数值模拟试验全面评估 GlobeLand30 数据对模式结果的影响, 结果表明在 BCC_CSM 的陆面模式和大气模式中采用 GlobeLand30 数据可以合理再现陆面与大气的本气候特征; 更新植被 PFT 数据的气候效应大于更新冰川和水体类型, 综合更新所有覆盖类型数据对模拟结果的影响最大. 引入 GlobeLand30 数据可降低 BCC_CSM 大气模式对北半球中高纬地区降水的正偏差和南美亚马逊等地区模拟降水的负偏差, 以及南半球部分地区大气温度模拟的负偏差, 因此 GlobeLand30 数据适用于 BCC_CSM 分量模式并对改善模式性能有正贡献.

关键词 地表覆盖, 气候模式, 应用方案, 数值模拟, 大气温度, 降水

中文引用格式: 史学丽, 聂肃平, 居为民, 俞乐. 2016. GlobeLand30 地表数据对北京气候中心气候模式的影响. 中国科学: 地球科学, 46: 1197–1208, doi: 10.1360/N072015-00247

英文引用格式: Shi X L, Nie S P, Ju W M, Yu L. 2016. Climate effects of the GlobeLand30 land cover dataset on the Beijing Climate Center climate model simulations. Science China Earth Sciences, 59: 1754–1764, doi: 10.1007/s11430-016-5320-x

1 引言

地表覆盖(Land Cover, LC)作为气候、大气化学、陆面生态和水文等不同模式中的一个重要输入信息,在陆面-大气相互作用中占重要作用,它直接决定了模式地表覆盖类型分布以及与之相关的关键参数(如植被冠层高度、反照率和粗糙度、位移高度等大气动力阻抗参数),从而通过地表与大气之间的物质与能量交换影响陆面、大气和气候系统(Lawrence和Chase, 2010; Chen和Xie, 2009; 华文剑和陈海山, 2013; 高学杰等, 2007). 数值模式中许多参数都依赖于LC类型,因此准确的LC类型及其比例描述不仅对陆面生物地球物理和化学过程(Mahmood等, 2013; Sellers, 1997)的有效模拟至关重要,而且是通过陆-气耦合过程合理再现天气和气候复杂过程的关键(Lawrence和Chase, 2007; Gao和Jia, 2013).

陆面过程模式中通常根据不同的分类体系,如国际地圈生物圈计划(International Geosphere-Biosphere Program, IGBP)植被群落土地覆盖类型、植被功能类型(Plant Function Type, PFT)、联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)和土地覆盖分类系统(Land Cover Classification System, LCCS)等,将地表划分为不同类型并设定相关的一系列参数. 得益于卫星遥感及反演技术的不断发展(Bontemps等, 2012; Yang等, 2013; Loveland等, 2000),近30年来国外利用不同年份的卫星遥感数据、不同的分类体系和方法生成了多套全球LC数据,如美国地质调查局(US Geological Survey, USGS)的DISCover数据(Loveland等, 2000)、美国马里兰大学(University of Maryland, Hansen等, 2000)、美国波士顿大学(Boston University, Friedl等, 2002)、欧盟联合研究中心(EU Joint Research Center, JRC)的GLC2000数据(Fritz等, 2003)、欧洲太空局(European Space Agency, ESA)的GLOBCOVER数据(Bontemps等, 2010)以及国家制图组织的土地覆盖数据(The Global Land Cover by National Mapping Organizations, GLCNMO)(Tateishi等, 2011). 不同数据之间除了冰雪和裸地类型外,精度差异较大;而且即使依据相同的分类体系,不同数据产品间的一致性也较差;这些数据的空间分辨率最高为300m,将其升尺度到模型格点分辨率(如几十到几百公里)时

得到的不同LC类型面积比例可能会产生误差,会带来LC数据对全球气候和气候变化效应研究的不确定性. 中国在近几十年也进行过LC数据产品的研制工作,其中,国家高技术研究发展计划重点项目“全球地表覆盖遥感制图及关键技术研究”首次成功自主研发了多套30m分辨率的全球LC数据,如FROM-GLC(Finer Resolution Observation and Monitoring of Global Land Cover)系列数据(Gong等, 2013; Yu等, 2013)和全球30m地表覆盖数据GlobeLand30(Chen等, 2015; 廖安平等, 2014). GlobeLand30是采用同一分类体系方法生成的全球首套30m分辨率地表覆盖产品,该产品包含两个年度(2000年和2010年),总体精度高于80%,该数据为气候模式提供了新的高分辨率、高精度数据地表覆盖数据源.

全球LC数据改变如何影响全球气候是一个值得关注的问题,以往的相关研究大多基于国外的数据产品. 本文选用北京气候中心气候模式(Beijing Climate Center Climate System Model, BCC_CSM; 吴统文等, 2014)进行GlobeLand30数据对全球气候模拟影响的分析研究. 首先对比分析GlobeLand30和BCC_CSM模式的地表分类方式差异,确定地表类型转换与应用方案;然后通过数值试验,比较应用新数据与模式原覆盖数据模拟结果的差异来探讨全球地表覆盖变化的气候效应. 地表覆盖数据信息由陆面分量模式引入气候模式,通过陆面-大气耦合影响大气过程或通过耦合器影响整个气候系统. 本文首先进行GlobeLand30数据在BCC_CSM陆面分量模式中的应用研究,然后再通过大气环流模式试验研究地表覆盖变化的气候效应.

2 模式及地表覆盖数据简介

2.1 BCC_CSM 气候模式系统

中国气象局国家气候中心发展的BCC_CSM气候模式包含大气、陆面、海洋和海冰等分量模块,各模块之间通过耦合器实现通量信息的耦合和交换. BCC_CSM模式在气候变化和短期气候预测领域已得到广泛应用,该模式作为中国参加第五次气候模式比较计划(CMIP5)的五个模式系统之一,对全球降水、温度和碳循环等重要的气候现象都具有较好的模拟能力(Wu等, 2013).

北京气候中心大气-植被相互作用模式(Beijing Climate Center Atmosphere-Vegetation Interaction Model, BCC_AVIM)是BCC_CSM的陆面过程分量模式, 该模式是在美国NCAR/CLM3(Oleson等, 2004)和中国科学院大气物理研究所IAP/AVIM2模式(Ji, 1995; Ji等, 2008)基础上发展而来. BCC_AVIM可以描述陆地表面、土壤内部以及陆-气界面的物质、能量和通量等交换过程, 能较好地刻画植被、土壤和大气之间的热量和水分交换的生物物理过程, 植被生长的生态生理过程(光合作用、植被呼吸、光合同化物的分配和物候等)以及土壤碳分解等生物化学过程.

北京气候中心大气环流模式(Beijing Climate Center Atmosphere General Circulation Model, BCC_AGCM)是BCC_CSM的大气分量模式, 它基于NCAR/CAM3模式动力框架, 引入了独特的参考大气和参考地面气压对动力框架进行了改进, 同时考虑了新的云和积云参数化方案, 模式对全球基本气候状态有较好的刻画能力(Wu等, 2010).

2.2 地表覆盖数据

GlobeLand30是全球首套30m分辨率的地表覆盖类型数据, 包括2000年和2010年两期数据, 该产品在2014年10月的气候变化纽约峰会上由中国政府捐赠给联合国, 免费提供给全世界用户使用(Chen等, 2014). 该数据将全球地表覆盖类型分为10个大类, 分别为: 水体、湿地、人造地表、苔原、冰川和永久积雪、草地、裸土、耕地、灌木地和森林. 本研究中使用的为2000年度的数据产品.

BCC_AVIM模式的地表覆盖数据(简称AVIM_LC)中, 非植被类型数据包括冰川、湿地、湖泊和城市, 其中冰川资料取自IGBP DISCover(分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$; Loveland等, 2000), 湖泊和湿地资料源自全球 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的水文地理数据(Cogley, 1991). 植被数据根据植被功能类型(Plant Function Type, PFT)分为16类, 分别为: 0-裸土、1-温带针叶常绿林、2-寒带针叶常绿林、3-寒带针叶落叶林、4-热带阔叶常绿林、5-温带阔叶常绿林、6-热带阔叶落叶林、7-温带阔叶落叶林、8-寒带阔叶落叶林、9-温带阔叶常绿灌木、10-温带阔叶落叶灌木、11-寒带阔叶落叶灌木、12- C_3 极地草、13- C_3 草、14- C_4 草和15-耕地, PFT数据主要来自AVHRR数据生成的 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 全球数据(Bonan等,

2002).

GlobeLand30和AVIM_LC数据的地表覆盖分类差别主要在植被部分, 其中GlobeLand30数据对森林、灌木和草地等植被的分类类别数目比AVIM_LC少, 而GlobeLand30的苔原类型在AVIM_LC中没有单独定义.

3 GlobeLand30 与 BCC_CSM 分量模式的对接

3.1 地表覆盖数据与气候模式的对接方案

考虑陆面次网格过程的气候模式中不仅需要LC类型, 还需要不同LC类型的覆盖百分比信息, 因此新数据需要进行必要的处理才适合应用于BCC_CSM模式系统. GlobeLand30数据与气候模式的对接在BCC_AVIM陆面模式中完成, 主要包括地表覆盖类型的转换、扩充与融合, 以及数据空间尺度的转换等过程.

GlobeLand30中的非植被类型(冰川、湿地和湖泊等)可直接与BCC_AVIM中的相应分类数据对接, 其中 85°N 以北和 60°S 以南的多年冰川积雪区沿用原模式数据. BCC_AVIM模式暂没有单独描述城市过程的模块, GlobeLand30中的城市类型在对比实验中归为裸土类型. 由于GlobeLand30数据中的PFT类型少于AVIM_LC, 本文采用Lawrence和Chase(2007)的方法对新数据进行分类细化处理以满足BCC_AVIM模式的需求. 图1给出具体处理过程. 首先结合2010年MODIS地表覆盖分类产品(Friedl等, 2002)和GLC2000数据(Fritz等, 2003)将GlobeLand30中的森林类型细分为阔叶常绿林、阔叶落叶林、针叶常绿林和针叶落叶林, 同时把灌木细分为常绿和落叶两类; 然后采用英国东英吉利大学CRU气候资料(Obsorn和Jones, 2014)对全球进行热带、温带和寒带区域的划分, 并以 66.5°N 为界划分极区与非极区; 最后, 结合Still等(2003)的数据将GlobeLand30中的草地区分为 C_3 和 C_4 植物. 由于GlobeLand30中的苔原类型分别转换为灌木和草地. 经过以上处理, GlobeLand30数据的地表覆盖类型从原来的11类扩充到15类, 从LC类型上满足了BCC_CSM模式的需求.

由于GlobeLand30数据的空间分辨率(30m)远高于

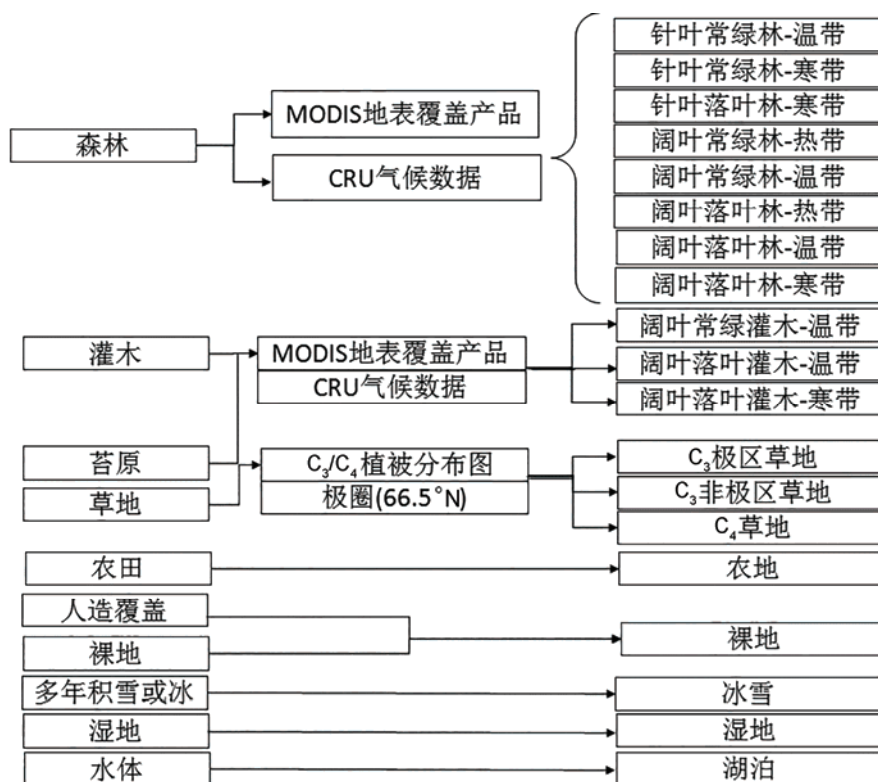


图1 GlobeLand30 地表覆盖类型向 BCC_AVIM 陆面模式地表覆盖类型转换的流程图

BCC_CSM模式(中等分辨率版本约 1.125°), 本文应用基于面积比例的升尺度方法(俞乐等, 2014)将该数据的空间分辨率转换到模式分辨率, 得到模式分辨率网格点内较为准确的各类地表覆盖类型数据及其在网格内的覆盖百分比数据. 为方便BCC_CSM模式不同试验的空间分辨率转换需求, 基于GlobLand30数据制作一个与AVIM_LC数据空间分辨率一致的原始数据(rawdata), 其中冰川积雪数据和植被PFT数据的分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, 水体(湖泊和湿地)为 $1^\circ \times 1^\circ$. 通过调用rawdata数据可得到BCC_CSM模式不同分辨率格点上的地表覆盖类型及各类型的覆盖百分比信息.

3.2 GlobeLand30 与 AVIM_LC 数据的比较

图2给出GlobeLand30与AVIM_LC数据中不同非植被类型覆盖百分比的空间分布. 可以看出两套数据中的冰川、积雪类型都主要局限于南极大陆、北半球高纬度格陵兰岛地区, 以及青藏高原等山地大地形区域(图2a和d); 湖泊类型主要位于北美中高纬的

五大湖区、北欧湖区、里海和南非等区域(图2b和e); 湿地类型覆盖比例较高的区域则主要位于北美和欧洲的主要水体区(图2c和f). 相比于AVIM_LC数据, GlobeLand30的冰川积雪面积比例在青藏高原和安第斯山等大地形区有约15%的小幅增加, 而在格陵兰岛周边地区则有所减少(图2g). GlobeLand30数据在欧亚(北美)地区的湖泊覆盖比例比AVIM_LC偏高(低)(图2h). GlobeLand30的湿地覆盖百分比除了北美和非洲中部比AVIM_LC数据有增加(约20%)外, 在其他地区都有减小, 并以亚马逊盆地和西西伯利亚平原以及中国东部沿海地区尤为明显(图2i), 这可能与两种数据对水体定义的差异以及所用资料年份的差异有关.

图3给出GlobeLand30与AVIM_LC数据中森林(BCC_AVIM中PFT第1~8类)、灌木(9~11类)、草地(12~14类)、耕地(15类)和裸土(0类)的空间分布. 可以看出, 两个数据中各种植被类型都具有较为一致的整体空间分布特征. 其中森林主要分布在南美、北美、中非、俄罗斯和东南亚等地区(图3a和f); 灌木

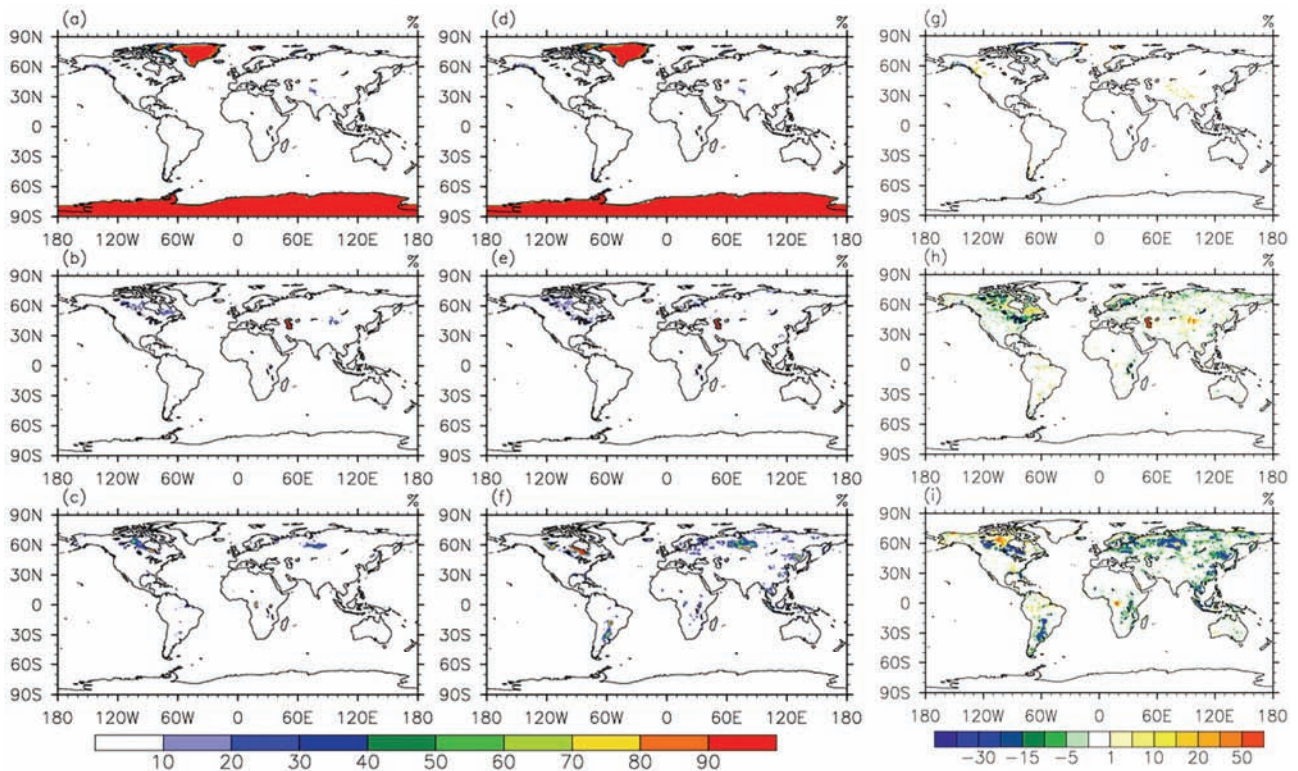


图2 GlobeLand30((a)~(c))与 AVIM_LC 数据((d)~(f))的非植被类型覆盖百分比及两者的差值((g)~(i))

(a), (d), (g) 冰川; (b), (e), (h) 湖泊; (c), (f), (i) 湿地. 冰川的分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 湖泊与湿地的分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. 经纬度单位: $^{\circ}$, 下同

主要分布于北半球欧亚大陆中纬度地区、俄罗斯远东地区、北美西部沿岸以及南半球的澳大利亚、南美和南非西南部地区(图3b和3g); 草地主要分布于北半球中高纬的干旱半干旱区、非洲、南美和澳大利亚等热带和温带地区(图3c和3h); 耕地主要分布在北美、欧亚大陆的中纬度地区, 以及南美洲东南沿岸的部分地区(图3d和3i); 裸土沙漠区除了两极地区外, 主要位于非洲北部到亚洲中部一带的沙漠地区和北美部分地区(图3e和3j). 相比AVIM_LC数据, GlobeLand30数据的森林覆盖比例在北半球中高纬地区、南亚和澳洲地区偏多, 而在南美和非洲中南部地区则偏少(图3k); 其灌木覆盖比例在东半球减少, 而西半球则多为增加(图3l). 两种数据中草地的覆盖比例差异显著, 表现为在美国西部和东北部、俄罗斯远东地区和南亚部分地区, GlobeLand30相比AVIM_LC的草地减幅最大可达30%, 而在欧洲中部、澳洲中西部等地的草地则约有20~30%的增加(图3m); GlobeLand30裸土比例在主要沙漠区比AVIM_LC数据增加10~40%, 而在北

美高纬度地区则略有减小(图3o); 两种数据耕地的面积比例差异没有其他类型的差异明显, 变化幅度多在20%以内(图3n).

4 GlobeLand30 数据对 BCC_CSM 分量模式的气候效应

4.1 地表覆盖数据对陆面模拟的影响

根据BCC_AVIM模式地表覆盖描述的结构特征, 设计了单一LC类型(冰雪、植被PFT)和多种LC类型综合(湿地和湖泊的水体类型组合, 冰川、湿地和湖泊的非植被类型组合, 及所有地表类型同时更新)的模拟试验, 探讨全球LC数据对陆面模式模拟的影响. 表1给出了具体的试验设计, 模式运行所需的大气强迫场来自普林斯顿大学(Sheffield等, 2006), 模拟时段为1980~2008年.

图4给出了BCC_AVIM应用不同LC数据模拟得到的陆表温度(land surface temperature, LST)差异空

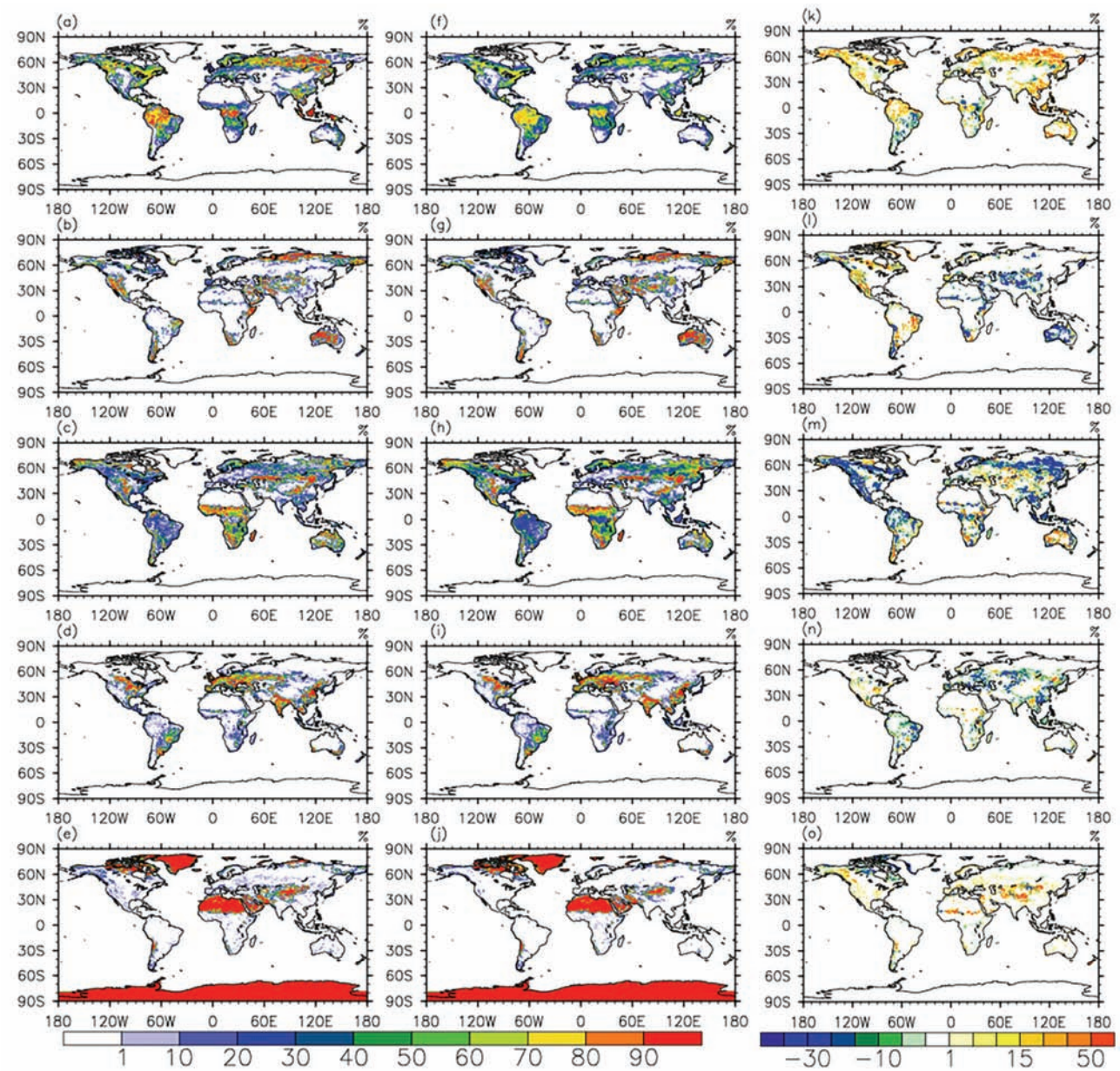


图3 GlobeLand30((a)~(e))与 AVIM_LC 数据((f)~(j))的不同植被和裸地的覆盖百分比及两者的差值((k)~(o))
(a), (f), (k)为林地; (b), (g), (l)为灌木; (c), (h), (m)为草地; (d), (i), (n)为作物; (e), (j), (o)为裸土

表 1 BCC_AVIM 模式中 LC 数据对比试验设计

试验名称	试验描述
CTL	地表覆盖数据采用AVIM_LC数据
glaNEW	冰川积雪覆盖数据采用GlobeLand30数据, 其他类型同CTL
pftNEW	植被PFT数据采用GlobeLand30数据, 其他类型同CTL
lanwatNEW	湿地和湖泊数据采用GlobeLand30数据, 其他同CTL
novegNEW	冰川、湿地和湖泊数据采用GlobeLand30数据, 其他同CTL
allNEW	全部地表覆盖数据采用GlobeLand30数据

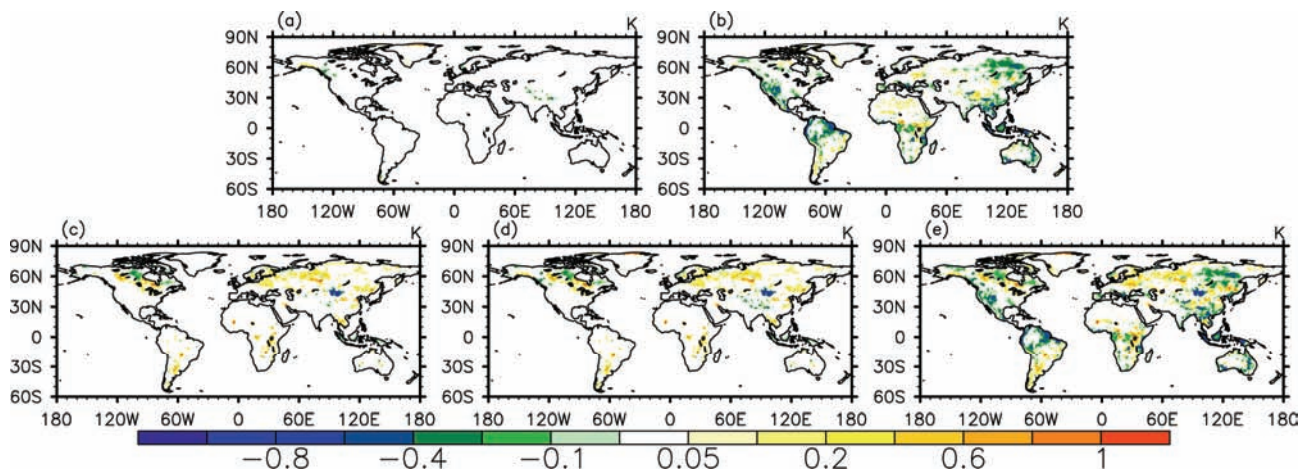


图4 BCC_AVIM 模拟的 GlobeLand30 不同地表覆盖类型更新与 CTL 试验的陆表温度差异分布图

(a) 冰川数据更新试验; (b) 植被 PFT 更新试验; (c) 湿地与湖泊更新试验; (d) 非植被类(冰川、湿地与湖泊)更新试验; (e) 所有 LC 数据更新试验

间分布. 可以看到, 在单一 LC 类型数据更新的试验中, 仅更新冰川积雪(glaNEW)时, LST 变化差异较小(图4a), 主要发生在格陵兰周边地区以及青藏高原、北美和南非大型山脉周边地区; pftNEW 更新试验中地面温度变化的区域较为广泛, 引入 GlobeLand30 数据之后全球大部分地区的 LST 都有降低, 而在中国中西部、欧洲西部、撒哈拉到中亚一带的沙漠区、南美中南部等地的 LST 则略有变高(图4b). 在不同 LC 类型组合更新的模拟试验中, lanwatNEW 试验引起的 LST 改变主要集中在湿地和湖泊的主分布区, 在覆盖百分比大(小)于 CTL 数据的区域, 模拟的 LST 相比 CTL 试验偏低(高)(图4c); 非植被类型数据更新试验(novegNEW)的 LST 差异比 lanwatNEW 试验更显著, 表明引入冰川数据可造成更大的 LST 差异. GlobeLand30 更新所有 LC 类型试验(allNEW)与 CTL 试验模拟的 LST 差异最大, 体现了不同 LC 类型更新产生的综合影响. 其中, PFT 类型数据更新产生的影响范围最大、水体次之, 冰川积雪类型的范围有限. 综合而言, BCC_AVIM 模拟的 LST 的差异随模式 LC 类型改变数目的增加而逐步增大.

图5给出了不同 LC 类型更新试验与 CTL 试验模拟的 LST 差值的时间变化. 可以看出, pftNEW 试验和 allNEW 试验具有较为一致的时间变化特征, 在暖季其 LST 差值相比 CTL 试验在全球、亚马逊、西伯利亚和北美中部地区都有明显减小, 最大变幅可达 0.5°C (出现在西伯利亚), 表明 PFT 覆盖比例的增加对全球

地表有显著的降温效应, 且在植被的主要生长季(4~9月)更为明显. 由于 GlobeLand30 数据中冰川、水体面积相比 AVIM_LC 数据有显著减小(图2c和f), 导致 novvegNEW 试验中模拟的 LST 比 CTL 试验有小幅升高, 其中水体数据的更新(图5a~d)是温度变化的主要影响因素. 青藏高原地区 LST 的变化与其他典型区不同, 其中只更新植被 PFT 数据后其 LST 有小幅升高, 而其他 LC 数据更新都导致 LST 降低(包括 allNEW), 表明非植被类型(尤其是水体)覆盖数据的改变对该地区的 LST 变化有显著影响(图5e).

4.2 地表覆盖数据对气候模拟的影响

利用耦合了 BCC_AVIM 的 BCC_AGCM 大气模式, 在给定海温和海冰分布以及太阳活动、气溶胶和温室气体等观测场驱动条件下进行气候模拟试验, 研究 LC 数据变化对全球气候模拟的影响. 耦合模式的水平分辨率约 $1.125^{\circ} \times 1.125^{\circ}$, 积分时段为 1970~2008 年, 其中前 9 年作为模式调整(spin-up)期, 分析时段为 1979~2008 年. 采用 AVIM_LC 数据的试验记为 CTL 试验, 用 GlobeLand30 植被 PFT 类型及其所有覆盖类型数据更新的模拟试验分别记为 PFT 试验和 ALL 试验.

大气温度和降水是表征全球气候状态最重要的物理变量, 也是评价气候模式性能的重要指标. 图6给出了 ALL 试验模拟的大气温度和降水的全球分布特征. 可以看出, 引入 GlobeLand30 数据后耦合模式

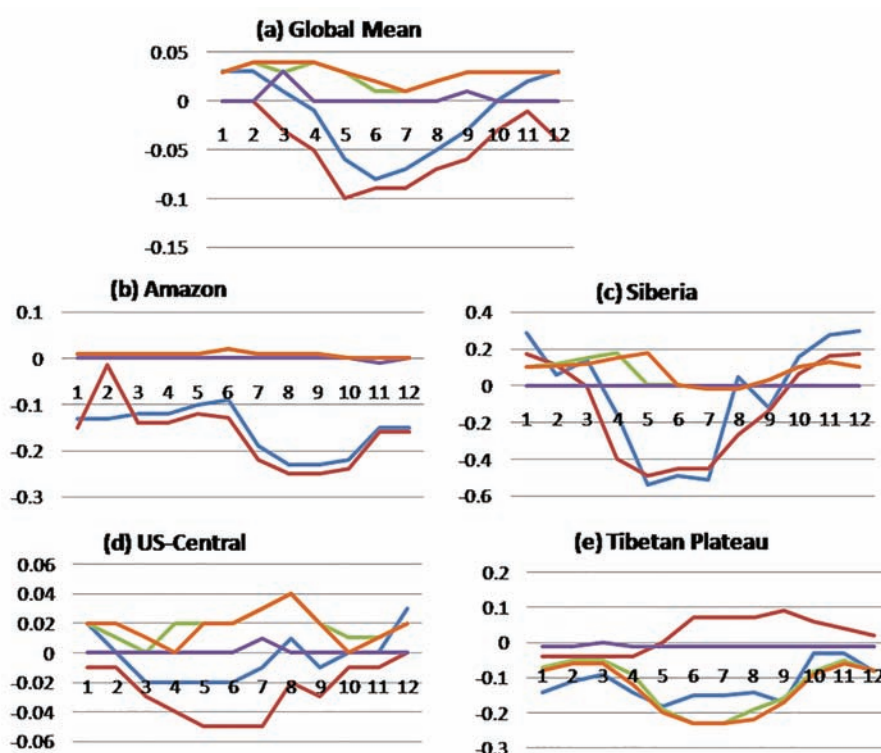


图5 BCC_AVIM 模拟的不同 LC 数据更新与 CTL 试验在全球和不同典型 LC 覆盖区内平均陆表温度差值的时间变化

蓝线: allNew-CTL 试验; 红线: pftNEW-CTL 试验; 橘黄线: novegNEW-CTL 试验; 绿线: lanwatNEW-CTL 试验; 紫线: glaNEW-CTL 试验. (a) 全球平均; (b) 亚马逊($10^{\circ}\sim 0^{\circ}\text{S}$, $70^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{W}$); (d) 西伯利亚($50^{\circ}\sim 66.5^{\circ}\text{N}$, $60^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$); (e) 美国中部($30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{W}$); (e) 青藏高原($30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$)的区域平均

可以合理再现全球气温和降水观测的基本分布特征. 降水大值区主要分布在热带海洋(尤其是印度、太平洋以及赤道大西洋地区)及受夏季风和台风等影响的美洲和亚洲大陆东岸地区, 而在沙漠干旱区、非洲和南北美洲大陆以西的副热带海洋区和极地地区的降水则偏少(图6a和b); 气温在热带低纬度地区最高, 除青藏高原等大地形区, 总体表现为随纬度的增加而逐渐降低(图6c和d).

图7给出了ALL与CTL试验模拟的降水和大气温度相比观测的差值分布. 两组试验相比观测的偏差呈现类似的空间分布特征, 其中, 模拟降水都表现为在热带西太平洋和印度洋地区以及青藏高原地区偏多(图7a和b); 模拟气温在青藏高原、格陵兰岛、南非南端和澳大利亚地区偏低, 而在中高纬欧亚大陆和北美地区偏高(图7d和e). ALL与CTL试验的差异分布体现了LC数据改变导致的气候效应(图7c和7f). 对降水而言, 采用GlobeLand30数据会导致 $40^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$ (包

括贝加尔湖以西、里海以北的欧洲大部和美国中东部)的降水减少, 最高减幅可达 -0.5mm/d , 并导致南美亚马逊部分地区的降水增加(增幅为 0.2mm/d). ALL试验中GlobeLand30数据的引入减少了这些地区CTL试验模拟降水的偏差, 但在中国东南部大部、印度洋-太平洋一带亚太地区和南美中东部等地, ALL试验模拟的降水相比CTL更加偏少. 对于气温模拟, GlobeLand30数据的影响在低纬度地区表现更为明显, 其中在南亚、南美亚马逊地区、非洲南部和澳大利亚东部地区会造成模拟气温的升高, 减少了CTL试验与观测的负偏差; 而在南美大部分地区、以及 60°N 以南大部分地区温度的升高则加大了与观测的正偏差(图7f). 整体而言, GlobeLand30数据对耦合模式的影响主要表现为北半球中高纬地区的降水减少、南美低纬地区降水增加, 南亚地区、非洲南部和澳大利亚东部地区的气温升高和南美低纬地区的气温降低, 新的LC数据的引入对减少耦合模式在上述地区

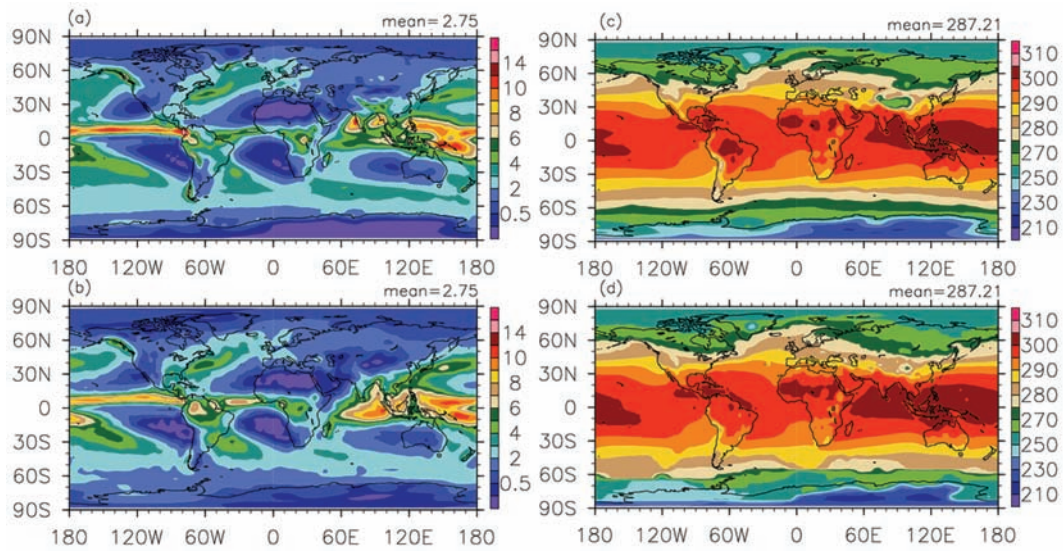


图 6 GlobeLand30 数据所有覆盖类型数据更新的模拟与观测的降水(单位: mm/d)与大气温度(单位: K)全球分布

(a), (c) ALL 试验模拟的降水与气温; (b), (d) 观测的降水与气温

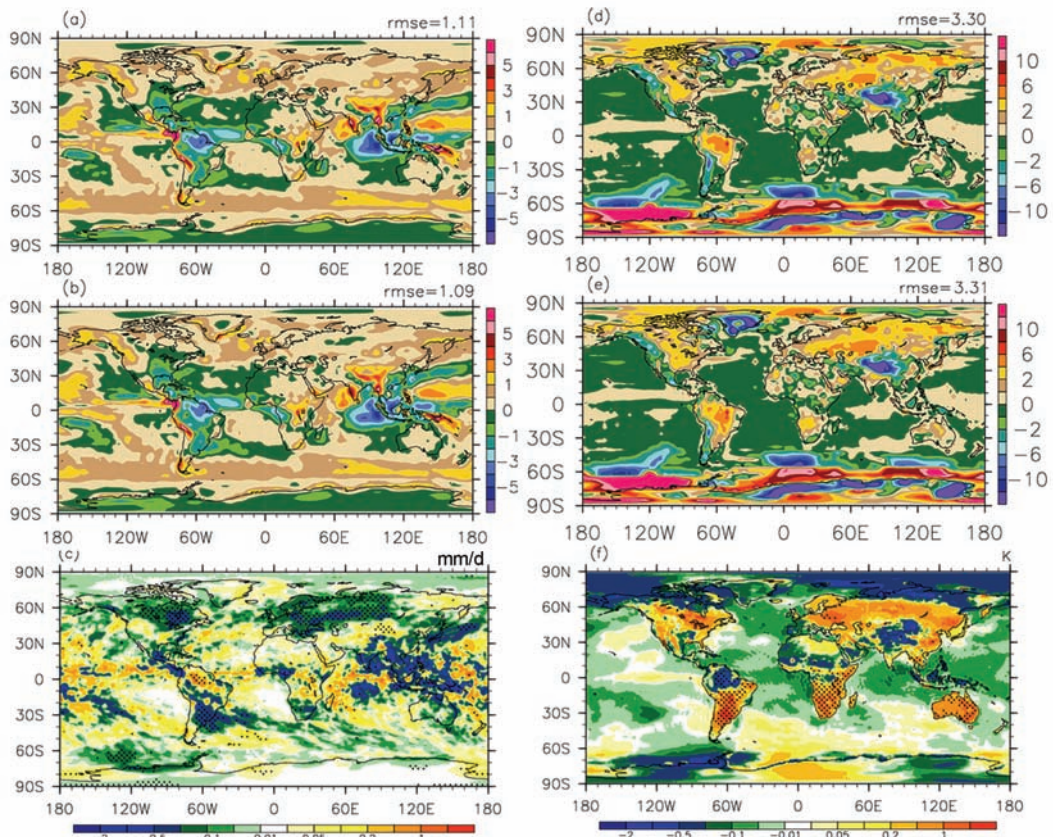


图 7 ALL 与 CTL 试验模拟的全球降水((a)~(c))和气温((d)~(f))与观测的差值以及两个试验之间差值的空间分布

(a)~(c)分别为 CTL 试验与观测、ALL 试验与观测、ALL 与 CTL 试验的降水差值; (d)~(f)分别为 CTL 与观测、ALL 与观测、ALL 与 CTL 试验的温度差值; (c), (f) 格点表示统计信度超过 90% 的区域

的降水和温度偏差有正效果。

图8给出了不同模拟试验与观测的年平均降水和2m气温沿纬度的分布。可以看出,用不同LC数据模拟得到的降水分布形势总体一致,都可以合理再现观测降水的分布特征,只是在赤道和中纬度地区存在差别(图8a)。与观测相比,CTL试验的降水在北半球有正偏差,最高可达0.5mm/d,采用GlobeLand30数据后,降水模拟偏差量值略有减小(图8b)。各试验模拟的气温与观测分布接近,主要偏差出现在南半球和北半球中纬度地区(图8c)。不同模拟试验与观测的差值结果表明,GlobeLand30数据可改善南半球中低纬地区的温度偏差,但在北半球中高纬的偏差则有增加(图8d)。BCC_AGCM大气模式中的气温变化与BCC_AVIM陆面模式中地面温度变化不完全相同,体现了气候模式对地表覆盖变化响应机制的复杂性。LC数据的改变不仅会影响陆面的局地陆表温度,还会通过与覆盖类型相关的系列参数和陆面物理生化过程改变陆面变量和通量,进而通过陆-气之间的耦合影响到大气内部动力和物理过程,从而对全球更大范围区域的大气温度和降水过程产生影响。

5 讨论与结论

本文通过开展中国自主研发的全球30m分辨率地表覆盖数据(GlobeLand30)在北京气候中心气候模式中的首次应用,研究了GlobeLand30数据对全球陆面过程和气候模拟的影响。这是气候、生态、测绘遥感和地理信息等不同学科之间合作的一次有益尝试,可为GlobeLand30数据在其他气候模式中的应用提供参考。通过敏感性试验分析,本文主要结论如下。

(1) 高分辨率GlobeLand30数据通过与其他数据结合、进行地表覆盖类型的扩展融合及尺度转换,可以得到满足BCC_CSM气候模式需要的地表覆盖类型和面积比例数据。

(2) 单独改变某种特定地表覆盖类型数据引起的陆面模式模拟结果的变化主要局限在其覆盖百分比变化较明显的地区,如冰川积雪数据更新导致的结果差异主要出现在高纬度格陵兰岛周边和青藏高原地区,水体(湿地、湖泊)数据的更新则主要影响北美、欧洲等地区。植被PFT类型对陆面模拟结果的影响在各LC类型中最大。综合更新所有LC类型数据对陆面模式模拟的影响大于单独更新任意一种类型的

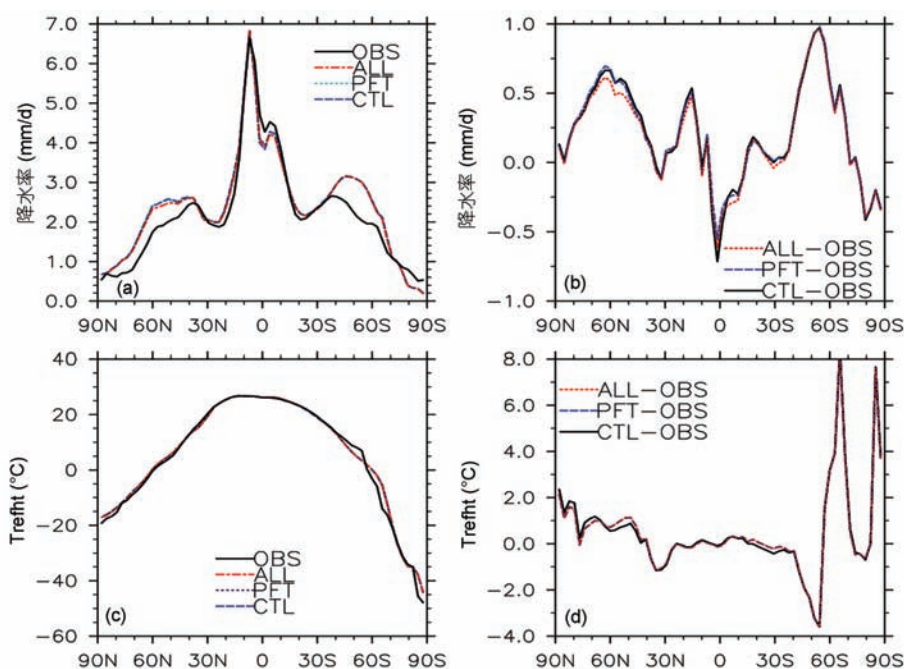


图8 不同模拟试验及观测年平均的降水和2m气温的纬度平均分布图

(a) 观测与不同试验模拟的降水; (b) 模拟与观测降水的差值; (c) 模拟与观测的2m气温差值; (d) 观测与模拟的2m气温

影响.

(3) 应用GlobeLand30数据之后, 陆-气耦合模式可以合理再现全球气温和降水基本的气候分布特征, 并对原模式在北半球中高纬地区降水偏多和南美亚马逊部分地区降水偏少、以及南半球中低纬地区温度偏低的现象起到一定改善作用.

未来我们将在现有模拟试验的基础上进一步分析研究GlobeLand30数据对陆面模式和气候模式在特定气候关键区的影响, 并利用两期数据开展地表覆盖变化的气候效应研究. 另外, 目前遥感数据在气候模式中应用主要是根据模式既定的分类方式将遥感数据处理为模式自身数据类型为主, 但是因为不同遥感数据产品间的一致性较差, 新数据的类型转换过程会在一定程度上影响遥感数据的使用效率. 在相同来源的地表覆盖及其他相关参数产品都具备的情况下, 未来我们将考虑以遥感数据的分类方式为主导, 改变模式中的分类结构来研究地表覆盖数据对气候及气候变化的全面影响. 最后, 目前气候模式中的地表覆盖信息大多不随时间变化(周天军等, 2014), 未来随着遥感数据的丰富和准确度的日益提高, 在发展动态植被模式的同时, 也可将真实变化的地表覆盖信息引入模式中来描述动态地表覆盖变化对气候的影响(刘纪远等, 2011; Lawrence等, 2011), 以更好地服务气候模式发展及全球气候变化的相关应用研究.

致谢 本工作得到了国家高技术研究发展计划项目“全球地表覆盖遥感数据产品与关键技术研究”第五课题“地表覆盖数据在地表过程模拟中的应用示范”全体成员和第一、三课题组成员在GlobeLand30数据提供和处理等方面的大力支持, 在此一并表示感谢. 同时感谢审稿人提出的有益意见和建议.

参考文献

高学杰, 张冬峰, 陈仲新, Pal J S, Giorgi F. 2007. 中国当代土地利用对区域气候影响的数值模拟. 中国科学D辑: 地球科学, 37: 397–404

华文剑, 陈海山. 2013. 全球变暖背景下土地利用/土地覆盖变化气候效应的新认识. 科学通报, 38: 2832–2839

廖安平, 陈利军, 陈军, 何超英, 曹鑫, 陈晋, 彭舒, 孙芳蒂, 宫鹏. 2014. 全球陆表水体高分辨率遥感制图. 中国科学: 地球科学, 44: 1634–1645

刘纪远, 邵全琴, 延晓冬, 樊江文, 邓祥征, 战金艳, 高学杰, 黄麟, 徐新良, 胡云峰, 王军邦, 匡文慧. 2011. 土地利用变化对全球气候影响的研究进展与方法初探. 地球科学进展, 26: 1015–1022

吴统文, 宋连春, 李伟平, 王在志, 张华, 辛晓歌, 张艳武, 张莉, 李江龙, 吴方华, 刘一鸣, 张芳, 史学丽, 储敏, 张洁, 房永杰, 汪方, 路屹雄, 刘向文, 魏敏, 刘茜霞, 周文艳, 董敏, 赵其庚, 季劲钧, Li L, 周明煜. 2014. 北京气候中心气候系统模式研发进展——在气候变化研究中的应用. 气象学报, 71: 12–29

俞乐, 王杰, 李雪草, 李丛丛, 赵圆圆, 宫鹏. 2014. 基于多源数据集成的多分辨率全球地表覆盖制图. 中国科学: 地球科学, 44: 1646–1660

周天军, 邹立维, 吴波, 金晨曦, 宋丰飞, 陈晓龙, 张丽霞. 2014. 中国地球气候系统模式研究进展: CMIP计划实施近20年回顾. 气象学报, 72: 892–907

Bonan G B, Levis S, Kergoat L, Oleson K W. 2002. Landscapes as patches of plant functional types: An integrating concept for climate and ecosystem models. Glob Biogeochem Cycle, 16: 5.1–5.23

Bontemps S, Defourny P, Bogaert E V, Arino O, Kalogirou V, Perez J R. 2010. Globcover2009 Products Description and Validation Report. http://due.esrin.esa.int/globcover/LandCover2009/GLOBCOVER2009_Validation_Report_2.2.pdf

Bontemps S, Herold M, Kooistra L, Groenestijn A, Hartley A, Arino O, Moreau I, Defourny P. 2012. Revisiting land cover observation to address the needs of the climate modeling community. Biogeosciences, 9: 2145–2157

Chen F, Xie Z H. 2009. A land cover dataset based on Chinese vegetation data and its impact on land surface simulation. Chin J Atmos Sci, 34: 681–697

Chen J, Ban Y F, Li S N. 2014. China: Open access to Earth land-cover map. Nature, 514: 434, doi: 10.1038/514434c

Chen J, Chen J, Cao X. 2015. Global land cover mapping at 30m resolution: A POK-based operational approach. ISPRS-J Photogramm Remote Sens, 103: 7–27

Cogley J G. 1991. GGHYDRO—global hydrographic data release of physical constants. Technical Report. Peterborough: Trent University Department of Geography. Trent Climate Note 91–1

Friedl M A, McIver D K, Hodges J C F, Zhang X Y, Muchoney D, Strahler A H, Woodcock C E, Gopal S, Schneider A, Cooper A, Baccini A, Gao F, Schaaf C. 2002. Global land cover mapping from modis: Algorithms and early results. Remote Sens Environ, 83: 287–302

Fritz S, Bartholome E, Belward A, Hartley A, Stibig H, Eva H, Mayaux P, Bartalev S, Latifovic R, Kolmert S, Roy P S, Agrawal S, Wu B F, Xu W T, Ledwith M, Pekel J F, Giri C, Mucher S, Badts E, Tateishi R, Champeaux J L, Defourny P. 2003. Harmonization, mosaicing, and production of the Global Land Cover 2000 Database. JRC Scientific and Technical Research Reports 2003. <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/>

- handle/JRC26168
- Gao H, Jia G S. 2013. Assessing disagreement and tolerance of misclassification of satellite-derived land cover products used in WRF model applications. *Adv Atmos Sci*, 30: 125–141
- Gong P, Wang J, Yu L, Zhao Y C, Zhao Y Y, Liang L, Niu Z G, Huang X M, Fu H H, Liu S, Li C C, Li X Y, Fu W, Liu C X, Xu Y, Wang X Y, Cheng Q, Hu L Y, Yao W B, Zhang H, Zhu P, Zhao Z Y, Zhang H Y, Zheng Y M, Ji L Y, Zhang Y W, Chen H, Yan A, Guo J H, Y L, Wang L, Liu X J, Shi T T, Zhu M H, Chen Y L, Yang G W, Tang P, Xu B, Giri C, Cliton N, Zhu Z L, Chen J, Chen J. 2013. Finer resolution observation and monitoring of global land cover: First mapping results with Landsat TM and ETM+ data. *Int J Remote Sens*, 34: 2607–2654
- Hansen M C, DeFries R S, Townshend J R G, Sohlberg R. 2000. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. *Int J Remote Sens*, 21: 1331–1364
- Ji J J. 1995. A climate-vegetation interaction model: Simulating physical and biological processes at the surface. *J Biogeogr*, 22: 2063–2069
- Ji J J, Huang M, Li K R. 2008. Prediction of carbon exchange between China terrestrial ecosystem and atmosphere in 21st Century. *Sci China Ser D-Earth Sci*, 51: 885–898
- Lawrence P J, Chase T N. 2007. Representing a new MODIS consistent land surface in the Community Land Model (CLM 3.0). *J Geophys Res*, 112: G01023, doi: 10.1029/2006JG000168
- Lawrence P J, Chase T N. 2010. Investigating the climate impacts of global land cover change in the community climate system model. *Int J Climatol*, 30: 2066–2087
- Lawrence D M, Oleson K W, Flanner M G, Fletcher C G, Lawrence P J, Levis S, Swenson S C, Bonan G B. 2011. The CCSM4 land simulations, 1850–2005: Assessment of surface climate and new capabilities. *J Clim*, 25: 2240–2260
- Loveland T R, Reed B C, Brown J F, Ohlen D O, Zhu Z, Yang Z, Merchant J W. 2000. Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR data. *Int J Remote Sens*, 21: 1303–1365
- Mahmood R, Pielke R A, Hubbard K G, Niyogi D, Dirmeyer P A, McAlpine C, Carleton A M, Hale R, Gameda S, Beltran-Przekurat A, Baker B, McNider R, Legates D R, Shepherd M, Du J Y, Blanken P D, Frauenfeld O W, Nair U S, Souleymane F. 2013. Land cover changes and their biogeophysical effects on climate. *Int J Climatol*, 34: 929–953
- Oleson K W, Dai Y J, Bonan G B, Bosilovich M, Dickinson R, Dirmeyer P, Hoffmand F, Houser P, Levis S, Niu G Y, Thornton P, Vertenstein M, Yang Z L, Zeng X B. 2004. Technical description of the community land model (CLM) NCAR technical. Note-461+STR. 173
- Osborn T J, Jones P D. 2014. The CRUTEM4 land-surface air temperature data set: Construction, previous versions and dissemination via Google Earth. *Earth Syst Sci Data*, 6: 61–68
- Sellers P J. 1997. Modeling the exchanges of energy, water and carbon between continents and the atmosphere. *Science*, 275: 502–509
- Sheffield J, Goteti G, Wood E F. 2006. Development of a 50-yr high-resolution global dataset of meteorological forcings for land surface modeling. *J Clim*, 19: 3088–3111
- Still C J, Berry J A, Collatz G J, DeFries R S. 2003. Global distribution of C3 and C4 vegetation: Carbon cycle implications. *Glob Biogeochem Cycle*, 17: 1006, doi: 10.1029/2001gb001807
- Tateishi R, Uriyangqai B, Al-BilbisiH, Ghar M A, Tsend-Ayush J, Kobayashi T, Kasimu A, Hoan N T, Shalaby A, Alsasideh B, Enkhzaya T, Gegentana, Sato H R. 2011. Production of global land cover data-GLCNMO. *Int J Digital Earth*, 4: 22–49
- Wu T W, Li W P, Ji J J, Xin X G, Li L, Wang Z Z, Zhang Y W, Li J L, Zhang F, Wei M, Shi X L, Wu F H, Zhang L, Chu M, Jie W H, Liu Y M, Wang F, Liu X W, Li Q P, Dong M, Liang X Y, Gao Y, Zhang J. 2013. Global carbon budgets simulated by Beijing Climate System Model for the last century. *J Geophys Res*, 118: 4326–4347
- Wu T W, Yu R C, Zhang F, Wang Z Z, Dong M, Wang L N, Jin X, Chen D L, Li L. 2010. The Beijing Climate Center atmospheric general circulation model: Description and its performance for the present-day climate. *Clim Dyn*, 34: 123–147
- Yang J, Gong P, Fu R, Zhang M H, Chen J M, Liang S L, Xu B, Shi J C, Dickinson R. 2013. The role of satellite remote sensing in climate change studies. *Nat Clim Change*, 3: 875–883
- Yu L, Wang J, Gong P. 2013. Improving 30 meter global land cover map FROM-GLC with time series MODIS and auxiliary datasets: A segmentation based approach. *Int J Remote Sens*, 34: 5851–5867