

定量研究地球轨道参数和温室气体浓度变化 对中全新世气候的影响

亢一博 杨海军[†]

复旦大学大气与海洋科学系, 上海 200438; [†] 通信作者, E-mail: yanghj@fudan.edu.cn

摘要 依据最新的古气候耦合模式比较计划(PMIP4)协议, 利用完全耦合的气候模式CESM1.0, 研究中全新世与工业革命前气候的差异, 量化地球轨道参数(ORB)和温室气体(GHG)对中全新世气候变化的影响。3个模拟试验结果表明, 与工业革命前相比, 中全新世北半球高纬度地区气候偏温, 全球其他地区气候偏冷, 北半球大部分地区更湿润, 南半球则较为干燥; ORB导致全球中高纬度地区升温, GHG在降低全球气温和减少中高纬度地区降水方面发挥作用; 这种差异引起大气和海洋环流的变化, 导致地球经向热量输送的差异; 就总经向热量输送的变化范围而言, ORB对气候的影响大约是GHG的5倍。研究结果对深入了解中全新世气候及其对不同外部强迫的响应有积极意义。

关键词 中全新世; 全球气候; 地球轨道参数; 温室气体; 经向热量输送

Quantifying the Influence of Changes in Earth's Orbital Parameters and Greenhouse Gases Concentrations on Mid-Holocene Climate

KANG Yibo, YANG Haijun[†]

Department of Atmospheric and Oceanic Sciences, Fudan University, Shanghai 200438;

[†] Corresponding author, E-mail: yanghj@fudan.edu.cn

Abstract According to the latest Paleoclimate Model Intercomparison Project (PMIP4) protocol, differences between the mid-Holocene and pre-industrial climates were investigated using the fully coupled climate model CESM1.0. The impact of the earth's orbital parameters (ORB) and greenhouse gases (GHG) on mid-Holocene climate change were quantified. Three simulation experiments showed that compared with the pre-industrial simulation, the simulated mid-Holocene was warmer in the high-latitude of the northern Hemisphere, colder in the rest of the world, wetter in most of the northern hemisphere, and drier in the southern hemisphere. The ORB led to warming in the mid-to-high latitudes globally, while GHG played a role in lowering global temperatures and reducing precipitation in the mid-to-high latitudes. These differences in turn induced changes in atmospheric and oceanic circulation, ultimately resulting in differences in the Earth's meridional heat transport. In terms of the variation in total meridional heat transport, ORB exerted approximately five times the climate impact compared with GHG. This study carried positive implications for deepening the understanding of the mid-Holocene climate and its response to various external forcings.

Key words mid-Holocene; global climate; earth's orbital parameter; greenhouse gases; meridional heat transport

模拟过去的气候有助于理解气候变化的机制, 更好地评估模式结果与古气候代用资料重建结果的差异, 增强对未来气候变化预测的信心^[1-3]。中全

新世(距今约6000年)是过去几千年中一个重要的气候时期^[4-6], 称为全新世大暖期^[7]。这一时期, 全球人类文明经历了巨大的变革^[8-10], 其研究有助于更

加深刻地理解气候变化对人类文明发展的影响。通过研究地球轨道参数和温室气体等外部因素对气候的影响,也可以更好地理解不同强迫因子在气候系统中的作用。

中全新世与现代最显著的区别在于地球轨道配置的差别,导致中全新世北半球夏季日照增加,南半球夏季日照减少^[11]。1991 年开始实施的 PMIP 计划对中全新世进行了大量数值模拟,如 Braconnot 等^[12]和 Joussaume 等^[13]均模拟出中全新世大尺度大气环流的变化,但早期的这些工作并没有很好地模拟出代用资料显示的东亚降水的增幅以及冬季陆地增暖现象,且由于不同模式之间参数化方案存在较大的差异,对海洋环流的模拟结果也有很大的区别^[14]。由于模型的改进,PMIP3 中这一情形发生好转,较好地模拟出中全新世的大尺度特征和高纬度地区温度变化的特征^[15-16],但由于试验中温室气体采用与现代相同的浓度,因此仅用来评估模型对地球轨道参数(earth's orbital parameters, ORB)变化的响应。PMIP4 对中全新世的边界条件进一步完善,采用更接近当时真实情形的温室气体(greenhouse gases, GHG)浓度^[2]。Brierley 等^[5]的研究结果表明,PMIP4 集合模拟中的气候变化与代用资料相对吻合,年平均气温呈现温和的变化,北半球夏季因日照增多而增温,冬季因日照减少而降温。Williams 等^[6]以及 Zhang 等^[17]也通过模拟得到类似的分布特征。Otto-Bliesner 等^[2]通过研究 PMIP4 与 PMIP3 之间的差异,发现温室气体浓度的改变将减少约 0.3 W/m² 的辐射强迫。Brierley 等^[5]的研究结果表明,PMIP4 与 PMIP3 之间试验方案的差异导致全球略微降温,其中亚洲大陆部分地区降幅达 1°C,尽管温度的差异较小,但 GHG 的作用不容忽视。

目前的大多数研究主要关注两个时期的总体差别,尚未单独考虑中全新世两种强迫因子的影响。

本文采用耦合模式 CESM1.0 进行多个平衡态试验来分离两种强迫因子,定量地研究它们对中全新世气候变化的影响,清楚地解释这一问题对理解中全新世气候和现代气候变暖的重要意义。同时,由于经向热量输送对维持地球气候系统的能量平衡非常重要,本文也将探究两种外部强迫因子对热量输送的影响。

1 模式和试验设计

本文采用美国大气研究中心开发的地球系统模型(CESM1.0)。该模型包括大气、海洋、陆地和海冰组件,其中大气模型垂直方向分为 26 层,采用 T31 水平分辨率(3.75°×3.75°);陆地模型的水平分辨率与大气模型相同;海洋模型垂直方向分为 60 层,水平分辨率为 gx3v7;海冰模型的水平分辨率与海洋模型相同。该模式对气候的模拟已经过广泛的应用与验证。

本文按照 PMIP4 协议,设置以下 3 组平衡态试验: MH 试验(采用中全新世时期的 ORB 和 GHG)、MH_ORB 试验(采用中全新世时期的 ORB 和现代的 GHG)和 PI 试验(采用现代的 ORB 和 GHG)。现代指工业革命前,即 1850 年。在所有模拟中,太阳常数都设置为 1360.75 W/m²。模拟试验的参数设置(表 1)参考 PMIP4^[2],3 个试验均积分 2000 年,所有试验均在天河一号超级计算机上完成。

全球年平均气温(离地面 2 m 温度)和 AMOC 的时间序列如图 1 所示。模式运行达到平衡状态的标准是全球平均气温变化趋势小于±0.05°C/100a 和稳定的 AMOC^[2],图 1 显示所有试验均达到平衡状态。本文利用模式模拟最后 500 年的年平均数据来表征大气和海洋的平均气候状态,用 MH_ORB 试验的结果减去 PI 试验的结果来表示 ORB 的作用,用 MH 试验的结果减去 MH_ORB 试验的结果来表

表 1 模拟试验中的外强迫因子参数设置及全球年平均气温、降水和 AMOC 指数
Table 1 External forcings and parameter settings in the simulation experiments and the global average annual temperature, precipitation and AMOC index

试验	轨道参数			温室气体浓度			全球年平均值		
	离心率	倾角/(°)	近日点经度/(°)	CO ₂ /ppm	CH ₄ /ppb	N ₂ O/ppb	气温/°C	降水量/(mm·d ⁻¹)	AMOC/Sv
MH	0.018682	24.105°	0.87	264.4	597.0	262.0	11.73	2.64	19.40
MH_ORB	0.018682	24.105°	0.87	264.4	597.0	262.0	12.20	2.66	19.50
PI	0.016764	23.459°	100.33	284.3	808.2	273.0	12.16	2.65	18.28

说明: 1 ppm = 1 μL/L, 1 ppb = 1 nL/L, 1 Sv = 10⁶ m³/s。

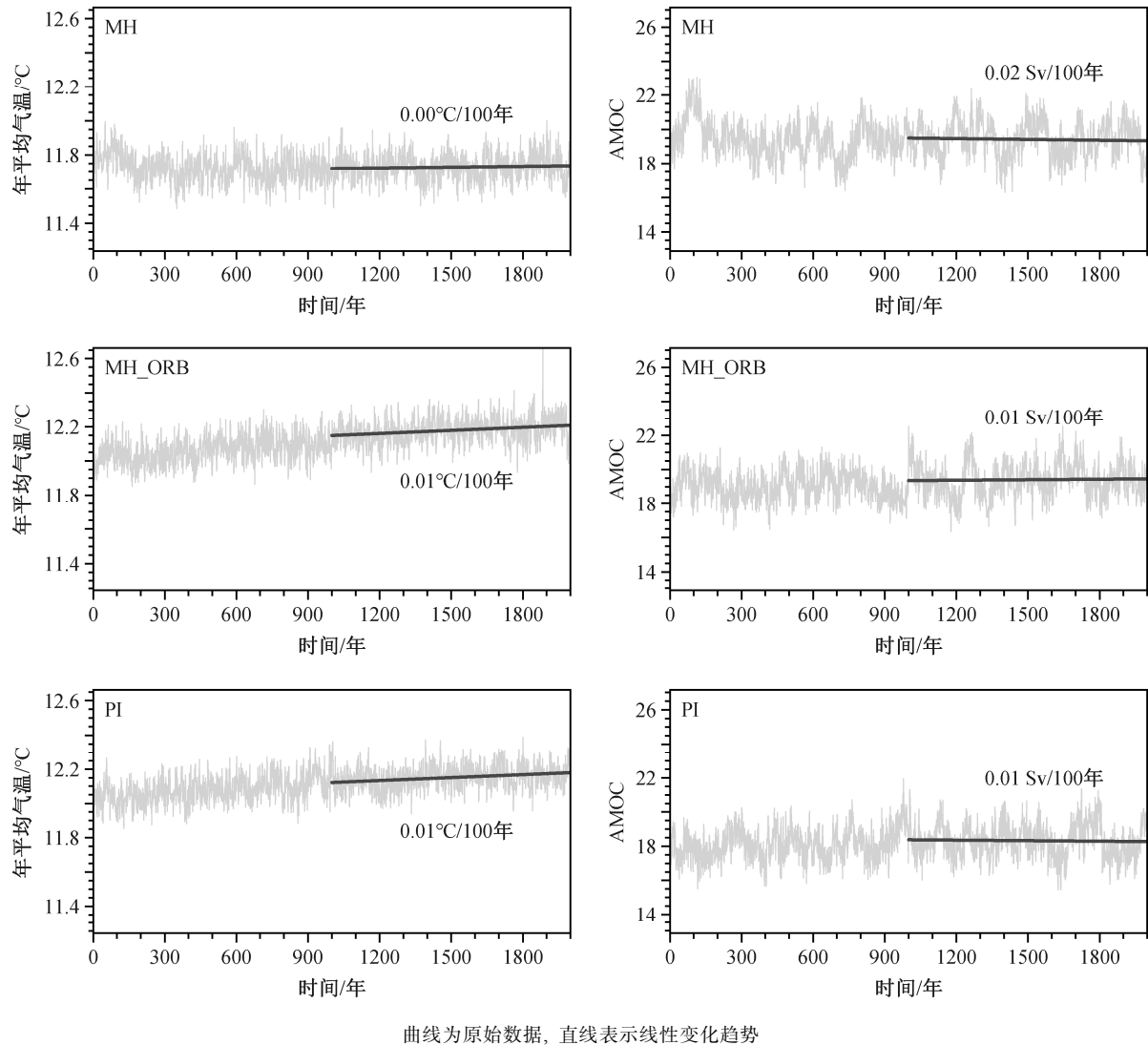


图 1 3 个模拟试验中全球年平均气温和 AMOC 随时间的变化

Fig. 1 Time series of global annual mean temperature and AMOC for three simulation experiments

示 GHG 的作用, 用 MH 试验的结果减去 PI 试验的结果来表示 ORB 和 GHG 的综合效应。

2 模拟试验结果

2.1 气温和降水

与 PI 试验相比, MH 试验中年平均气温在北半球高纬度地区上升, 比工业革命前更暖, 其中北大西洋的正异常中心升幅达 1.5°C , 全球其他地区则是气温降低, 比工业革命前更冷(图 2(a))。MH 试验中全球年平均气温为 11.7°C , 比 PI 试验低约 0.4°C (表 1), 这与 Otto-Bliesner 等^[18]模拟得到的中全新世全球年平均表面温度比 PI 试验低 0.1°C 结果类似, 本文更大的降温幅度与较低的温室气体浓度有关。ORB 的作用导致南北半球的中高纬度地区均升温,

并且升温范围和升温幅度都比 MH 试验大(图 2(b)), 其中北半球高纬度地区升温幅度最高达 2°C 。低纬度地区略有降温, 这是对太阳辐射的年平均纬度分布^[18]的直接反应。GHG 的作用则导致全球降温, 高纬度地区降温幅度普遍达到 1°C 。图 2 中温度和降水的计算结果都进行了 student-t 检验。

MH 和 MH_ORB 试验中, 降水在北半球均有所增加。从全球年平均值来看, 3 个模拟试验的差别不大(表 1), 但区域分布有较大的差别。降水量差异最大的区域集中在全球热带地区, 特别是印度北部和赤道非洲季风区, 季风增强导致降水增多, 增幅最高达到 2 mm/d , 也与 ITCZ (intertropical convergence zone, 热带辐合带) 的北移^[17]有关。赤道大西洋和太平洋附近明显干燥, 降水量增幅达到 -2 mm/

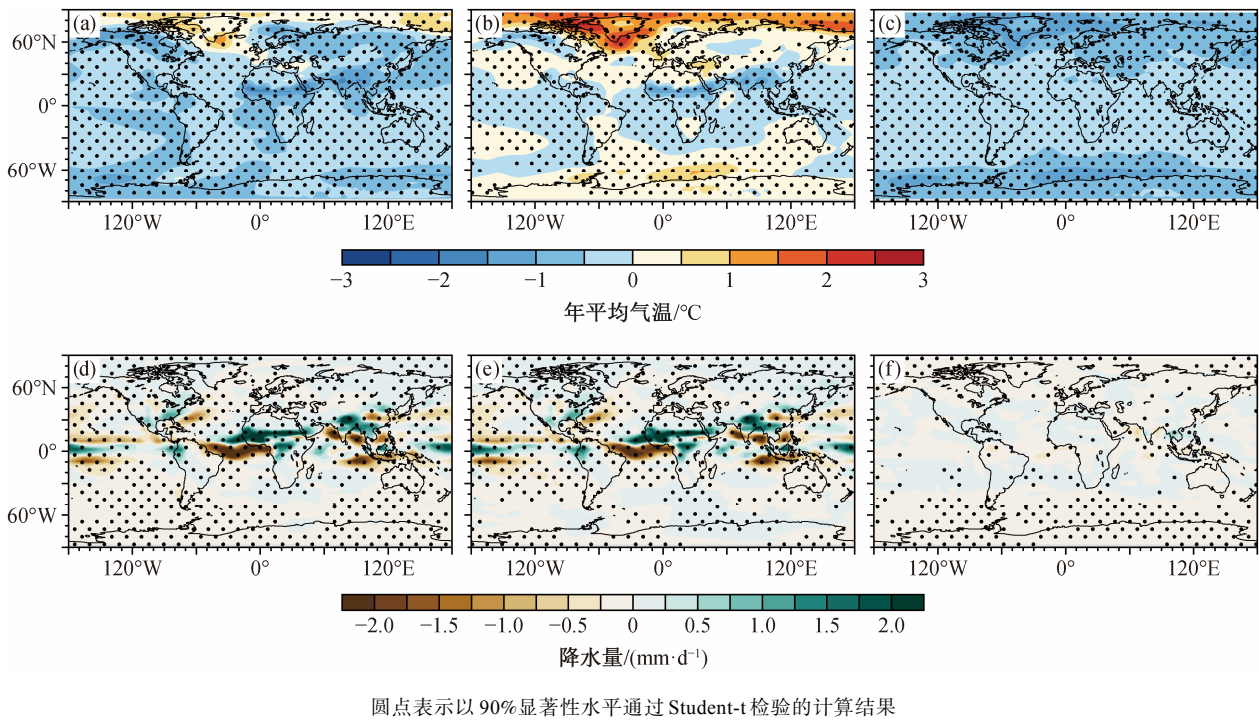


图 2 MH 试验中年平均气温(a)和降水量(d)相对于 PI 试验的变化以及 ORB ((b)和(e))和 GHG ((c)和(f))的贡献
Fig. 2 Changes in annual mean temperature (a) and precipitation (d) relative to the PI experiment in the MH experiment, as well as the contributions of ORB ((b) and (e)) and GHG ((c) and (f))

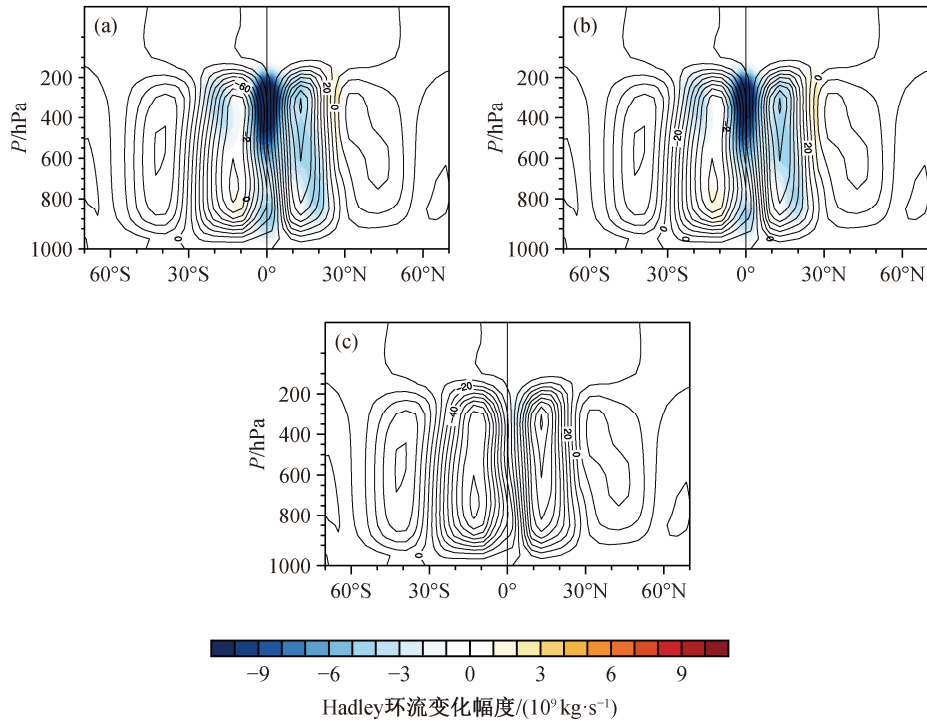


图 3 MH 试验中年平均 Hadley 环流(阴影)相对于 PI 试验的变化(a)以及 ORB (b)和 GHG (c)的贡献
Fig. 3 Changes in the annual mean Hadley circulation (shading) relative to the PI experiment in the MH experiment (a), as well as the contributions of ORB (b) and GHG (c)

d, 南半球高纬度地区的降水也普遍减少(图 2(d)和(e))。Williams 等^[6]使用 HadGEM3 进行模拟试验, 也发现这两个时期降水差异集中在季风区, 但幅度较小, 最大幅度只有 1 mm/d, 这可能是由于模式的差异。

从总体上看, ORB 主导全球气温和降水的变化, GHG 导致全球平均气温降低和降水减少, 且主要发生在高纬度地区(图 2(c)和(f)), 这与海冰的反馈^[6]有关。

2.2 大气与海洋环流

全球温度模态的变化会引起大气环流异常, 即 Hadley 环流异常, 它具有热带上升和亚热带下沉运动的特征, 其强度主要受经向温度梯度影响^[19-20]。MH 试验中年平均气温北半球高纬度地区增加, 低纬度地区减少, 这减小了大气经向温度梯度, 削弱了北半球的 Hadley 环流(图 3(a))。以 Hadley 环流减弱幅度最大的赤道地区为例, MH 试验中 1°N 附近 Hadley 环流减弱 40%, 其中 ORB 导致减弱 32%, GHG 导致减弱 8%。若从整体上(0—30°N)看, MH 试验中北半球 Hadley 环流相对于 PI 减弱 10% (图 3(a)), 这与 Zhang 等^[17]的研究结果类似, 均模拟出中全新世较弱的 Hadley 环流, 只是在减弱幅度上略有差别。其中, ORB 导致减弱约 8% (图 3(b)), GHG 导致减弱约 2% (图 3(c))。因此, MH 试验中较弱的 Hadley 环流主要由 ORB 导致, GHG 的效应可以忽略不计。这种较弱的 Hadley 环流也会导致从低纬度向高纬度的大气经向热输送减弱。

图 4 显示 MH 试验中 AMOC 的变化及不同强迫的贡献, 其中 AMOC 指数定义为 20°—70°N 大西洋 500~2000 m 深度流函数的最大值^[21-22]。3 个模拟试验 MH, PI 和 MH_ORB 中 AMOC 指数分别为 19.4, 18.3 和 19.5 Sv (表 1), 可以看到 MH 试验总 AMOC 变化最大的深度出现在 1000 m 附近, 相比 PI 试验略微增强(0.8 Sv, 图 4(a))。Brierley 等^[5]通过分析 PMIP4 的集合模拟结果, 也发现这两个时期 AMOC 强度变化很小。

虽然这两个时期 AMOC 强度总体差异不大, 但不同强迫因子造成的差异(图 4(b)和(c))不可忽略。ORB 导致中全新世的 AMOC 更强, 深层翻转环流在 45°N 以南显著增强(1.2 Sv), 在 45°N 以北略有减弱。这种差异可能是模型参数设置或分辨率的影响^[23]。与 ORB 相比, GHG 导致 AMOC 的强度略微减弱, 特别是在 1500 m 以上深度和 45°N 以南区域

(AMOC 强度减弱约 0.4 Sv)。从深度的最大值来看, MH 试验中 AMOC 强度增加约 4%, ORB 作用导致 AMOC 强度增加 6%, GHG 导致其减弱 2%, 强度的增加与减弱相互抵消, 使得 MH 试验中 AMOC 强度相比 PI 试验变化不大。

2.3 经向热量输送

经向热量传输在地球-大气系统的能量平衡中起着重要作用。图 5((a)和(d))显示不同试验中的年平均经向热量传输(meridional heat transport, MHT)。年平均 MHT 在赤道附近呈现反对称结构, 其峰值在 40°N 和 40°S 处约为 ± 5.5 PW (1 PW = 10^{15} W), 同时与海洋热量传输(ocean heat transport, OHT)相比, 大气热量传输(atmospheric heat transport, AHT)在大多数纬度地区占主导地位, 与前人的研究结果^[24-25]一致。

图 5((b)和(c))分别显示由 ORB 和 GHG 引起的 MHT 变化。ORB 导致北半球 OHT 增加, 5°N 处最大增幅约为 0.1 PW, 相比 PI 试验增加 10%, 这是对 AMOC 增强的直接响应, 也是北半球高纬度地区气温升高的主要原因。5°N 向北 AHT 减小, 最大变化幅度约为 0.12 PW, 对应减弱的年平均 Hadley 环流。AHT 的减小在赤道深处较好地抵消了 OHT 的增加, 维持了能量平衡, 而 AHT 在北半球非赤道处过度补偿了 OHT, 导致北半球其他纬度地区总的 MHT 减小(图 5(b))。

GHG 导致的 MHT 变化很小, 由于 Hadley 环流和 AMOC 的减弱, 北半球 AHT 和 OHT 均减小, 在 5°N 处最大的 MHT 变化幅度不超过 0.04 PW。从总经向热量输送的变化范围来看, ORB 导致其在 ± 0.1 PW 之间变化, GHG 导致其在 0~0.04 PW 之间变化, 约为 ORB 引起的 MHT 变化的 1/5 (图 5(c))。

AHT 的分解结果也表明, AHT 的减小主要是由于 ORB 导致干静力能(dry static energy, DSE)在赤道附近显著减小, 减幅达到 0.25 PW, 而湿静力能(latent heat energy, LE)补偿了部分 DSE 导致的减小。在 20°N 以北, DSE 与 LE 共同减小, 导致 AHT 向高纬输送的热量减少(图 5(e)), 其中 GHG 导致的 AHT 变化很小, 在 ± 0.05 PW 之间变化(图 5(f))。

3 结论与讨论

本文首次分开讨论中全新世的两种外部强迫因子, 利用耦合模型 CESM1.0 进行 3 个模拟试验, 包括控制试验 PI 和两个敏感性试验 MH 和 MH_ORB,

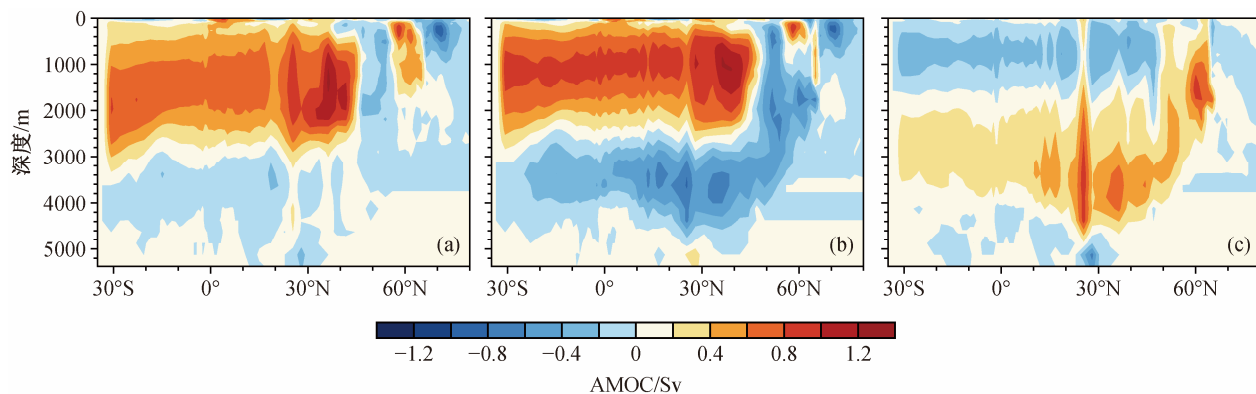
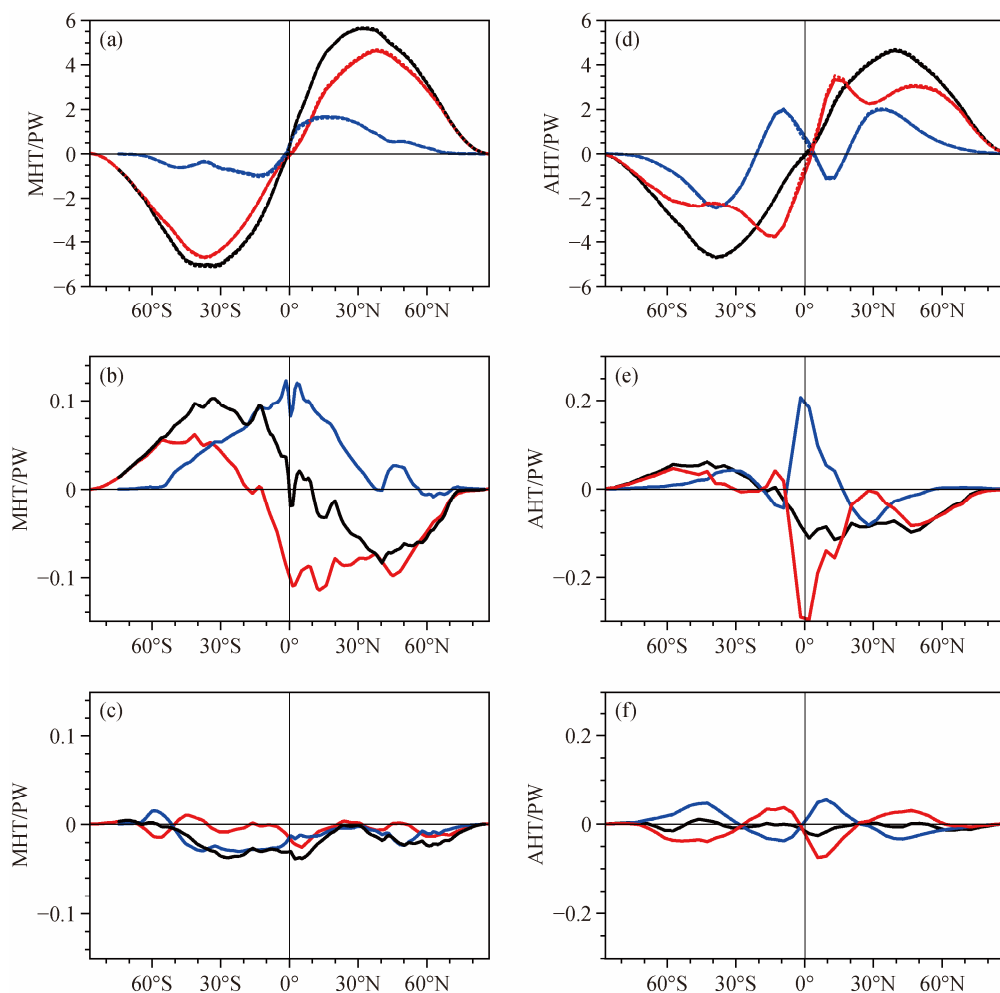


图 4 MH试验中AMOC相对于PI试验的变化(a)以及ORB (b)和GHG (c)的贡献

Fig. 4 Change of AMOC relative to the PI experiment in the MH experiment (a) and the contributions of ORB (b) and GHG (c)



(a) 年平均经向热量输送(MHT)及其分解, (b) ORB对MHT变化的贡献, (c) GHG对MHT变化的贡献, (a)~(c)中黑色、红色和蓝色曲线分别表示总MHT、大气热量输送(AHT)和海洋热量输送(OHT); (d) 大气热量传输(AHT)及其分解, (e) ORB对AHT变化的贡献, (f) GHG对AHT变化的贡献, (d)~(f)中黑色、红色和蓝色曲线分别表示总AHT、干静力能(DSE)和湿静力能(LE); (a)和(d)中实线、虚线和点线(3条同色曲线基本上重合)分别表示3个试验(MH, MH_ORB和PI)的模拟结果

图 5 各试验的MHT和AHT及其分解以及ORB和GHG对两时期MHT和AHT差异的贡献

Fig. 5 MHT and AHT and the decomposition in three experiments and the contributions of ORB and GHG to the difference in MHT and AHT between the two periods

量化了ORB和GHG对中全新世与现代气候差异的贡献,主要结论如下。

1) 与PI试验相比, MH试验中北半球高纬度地区气候更暖, 升温幅度达到1℃, 其他地区较为寒冷; 北半球总体上较为湿润, 亚非季风区降水明显增多, 南半球高纬度地区则较为干燥。ORB导致全球中高纬度地区年平均气温上升, 升温幅度最高达到2℃, 热带地区气温下降, 其中亚非季风区气温最大下降幅度为1.5℃。GHG导致全球变冷, 中高纬度地区的气温降低幅度更大, 达到1℃。ORB和GHG的综合效应使MH试验中北半球高纬度地区温暖, 其他地区寒冷。

2) 对于大气环流, 由于经向温度梯度减弱, MH试验中北半球Hadley环流减弱10%, 其中ORB作用导致减弱8%, 与ORB相比, GHG的作用微弱。对于海洋环流, MH试验中AMOC仅略微增强, 相比PI试验变化不大, ORB与GHG的作用相反, GHG抵消了部分ORB导致的AMOC增强。

3) 因ORB导致北半球Hadley环流减弱, AMOC增强, 所以赤道附近海洋经向热量输送显著增强, 而大气热量输送减弱, 两者相互抵消。GHG导致北半球大气与海洋环流均减弱, 大气与海洋热量输送均减小。对于总的经向热量输送, ORB造成的变化大约是GHG的5倍。

本文对中全新世气候的模拟结果与PMIP4集合模拟结果相似, 重点在于定量了两种强迫因子对中全新世气候的不同贡献, 尤其是对AMOC强度的相互抵消作用。未来需要进一步解释其机制, 并在瞬变试验中研究这种相互抵消作用是否一直存在。除ORB和GHG外, 中全新世还有植被和尘埃等外部强迫因子, 本文中模拟结果表明, 当仅考虑轨道参数和温室气体的变化时, 中全新世的全球年平均气温比工业革命前低, 并不能模拟出代用资料^[26]显示的中全新世高温状态, 因此未来需要进行更多的瞬态试验, 以便研究轨道参数、温室气体、太阳辐射和火山爆发等因素对全球气候变化的影响。本文主要分析年平均气候态的变化, 今后也需要着重分析不同季节下外强迫因子的作用。

参考文献

- [1] Jungclauss J H, Bard E, Baroni M, et al. The PMIP4 contribution to CMIP6 — part 3: the last millennium, scientific objective, and experimental design for the PMIP4 past 1000 simulations. *Geoscientific Model Development*, 2017, 10(11): 4005–4033
- [2] Otto-Bliesner B L, Braconnot P, Harrison S P, et al. The PMIP4 contribution to CMIP6 — part 2: two interglacials, scientific objective and experimental design for Holocene and Last Interglacial simulations. *Geoscientific Model Development*, 2017, 10(11): 3979–4003
- [3] Kageyama M, Braconnot P, Harrison S P, et al. The PMIP4 contribution to CMIP6 — part 1: overview and over-arching analysis plan. *Geoscientific Model Development*, 2018, 11(3): 1033–1057
- [4] Jiang D, Lang X, Tian Z, et al. Considerable model-data mismatch in temperature over China during the mid-Holocene: results of PMIP simulations. *J Climate*, 2012, 25(12): 4135–4153
- [5] Brierley C M, Zhao A, Harrison S P, et al. Large-scale features and evaluation of the PMIP4-CMIP6 mid-Holocene simulations. *Clim Past*, 2020, 16(5): 1847–1872
- [6] Williams C J R, Guarino M V, Capron E, et al. CMIP6/PMIP4 simulations of the mid-Holocene and Last Interglacial using HadGEM3: comparison to the pre-industrial era, previous model versions and proxy data. *Clim Past*, 2020, 16(4): 1429–1450
- [7] Chen C T A, Lan H C, Lou J Y, et al. The dry Holocene megathermal in Inner Mongolia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2003, 193(2): 181–200
- [8] Sandweiss D H, Maasch K A, Anderson D G. Transitions in the mid-Holocene. *Science*, 1999, 283: 499–500
- [9] Jin G. Mid-Holocene climate change in North China, and the effect on cultural development. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(5): 408–413
- [10] Warden L, Moros M, Neumann T, et al. Climate induced human demographic and cultural change in northern Europe during the mid-Holocene. *Scientific Reports*, 2017, 7(1): 15251
- [11] Berger A. Long-term variations of daily insolation and quaternary climatic changes. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1978, 35(12): 2362–2367
- [12] Braconnot P, Harrison S P, Joussaume S, et al. Evaluation of PMIP coupled ocean-atmosphere simulations of the mid-Holocene // Battarbee R W, Gasse F, Stickley C E. Past climate variability through Europe

- and Africa. *Developments in Paleoenvironmental Research*, 2004: doi: 10.1007/978-1-4020-2121-3_24
- [13] Joussaume S, Taylor K E, Braconnot P, et al. Monsoon changes for 6000 years ago: results of 18 simulations from the paleoclimate modeling intercomparison project (PMIP). *Geophysical Research Letters*, 1999, 26(7): 859–862
- [14] Braconnot P, Otto-Bliesner B, Harrison S, et al. Results of PMIP2 coupled simulations of the mid-Holocene and last glacial maximum — part 1: experiments and large-scale features. *Climate of the Past*, 2007, 3(2): 261–277
- [15] Zheng W, Wu B, He J, et al. The East Asian summer monsoon at mid-Holocene: results from PMIP3 simulations. *Climate of the Past*, 2013, 9(1): 453–266
- [16] Braconnot P, Harrison S P, Kageyama M, et al. Evaluation of climate models using palaeoclimatic data. *Nature Climate Change*, 2012, 2(6): 417–424
- [17] Zhang Q, Berntell E, Axelsson J, et al. Simulating the mid-Holocene, last interglacial and mid-Pliocene climate with EC-Earth3-LR. *Geoscientific Model Development*, 2021, 14(2): 1147–1169
- [18] Otto-Bliesner B L, Brady E C, Clauzet G, et al. Last Glacial maximum and Holocene climate in CCSM3. *J Climate*, 2006, 19(11): 2526–2544
- [19] Burls N J, Fedorov A V. Wetter subtropics in a warmer world: contrasting past and future hydrological cycles. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017, 114(49): 12888–12893
- [20] Corvec S, Fletcher C G. Changes to the tropical circulation in the mid-Pliocene and their implications for future climate. *Climate of the Past*, 2017, 13(2): 135–147
- [21] Jiang R, Yang H. Roles of the Rocky Mountains in the Atlantic and Pacific meridional overturning circulations. *Journal of Climate*, 2021: 1–41
- [22] Yang H, Wen Q. Investigating the role of the Tibetan Plateau in the formation of Atlantic meridional overturning circulation. *Journal of Climate*, 2020, 33(9): 3585–3601
- [23] Shi X, Lohmann G. Simulated response of the mid-Holocene Atlantic meridional overturning circulation in ECHAM6-FESOM/MPIOM. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2016, 121(8): 644465–644469
- [24] Trenberth K E, Caron J M. Estimates of meridional atmosphere and ocean heat transports. *J Climate*, 2001, 14(16): 3433–3443
- [25] Held I M. The Partitioning of the poleward energy transport between the tropical ocean and atmosphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2001, 58(8): 943–948
- [26] Wanner H, Beer J, Bütikofer J, et al. Mid- to late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 2008, 27(19/20): 1791–1828