

Future Changes in East Asian Summer Monsoon Circulation and Precipitation Under 1.5 to 5°C of Warming

Zhibo Li, Ying Sun, Tim Li, Yihui Ding and Ting Hu

2020.06.28

Email: 327602190@qq.com

个人简介

教育背景

- **2012.09 - 2016.06** 南京信息工程大学 大气科学（学士）
- **2016.09 - 2019.06** 南京信息工程大学 气象学（硕士）
研究方向：全球变暖下季风预估、海气相互作用
指导老师：李天明教授、孙颖研究员
- **2019.08 - 2020.07** 中科院大气所 - 季风系统研究中心 科研助理
指导老师：陈文研究员、孙颖研究员
- **2020.09 -** 北京大学 物理海洋学（博士）
研究方向：大陆演化与季风系统演变
指导老师：胡永云教授

已发表论文

1. **Li Zhibo**, Jia Liu, Tim Li*, Ying Sun. **(2019)** Relative roles of dynamic and thermodynamic processes in causing positive and negative global mean SST trends during the past 100 years. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 86(c), 18-32.
2. **Li Zhibo**, Ying Sun*, Tim Li, Yihui Ding, Ting Hu. **(2019)** Future changes in East Asian summer monsoon circulation and precipitation under 1.5 to 5°C of warming. *Earth's Future*, 7.

1

简单介绍亚澳夏季风

2

定义EASM环流和降水指数

3

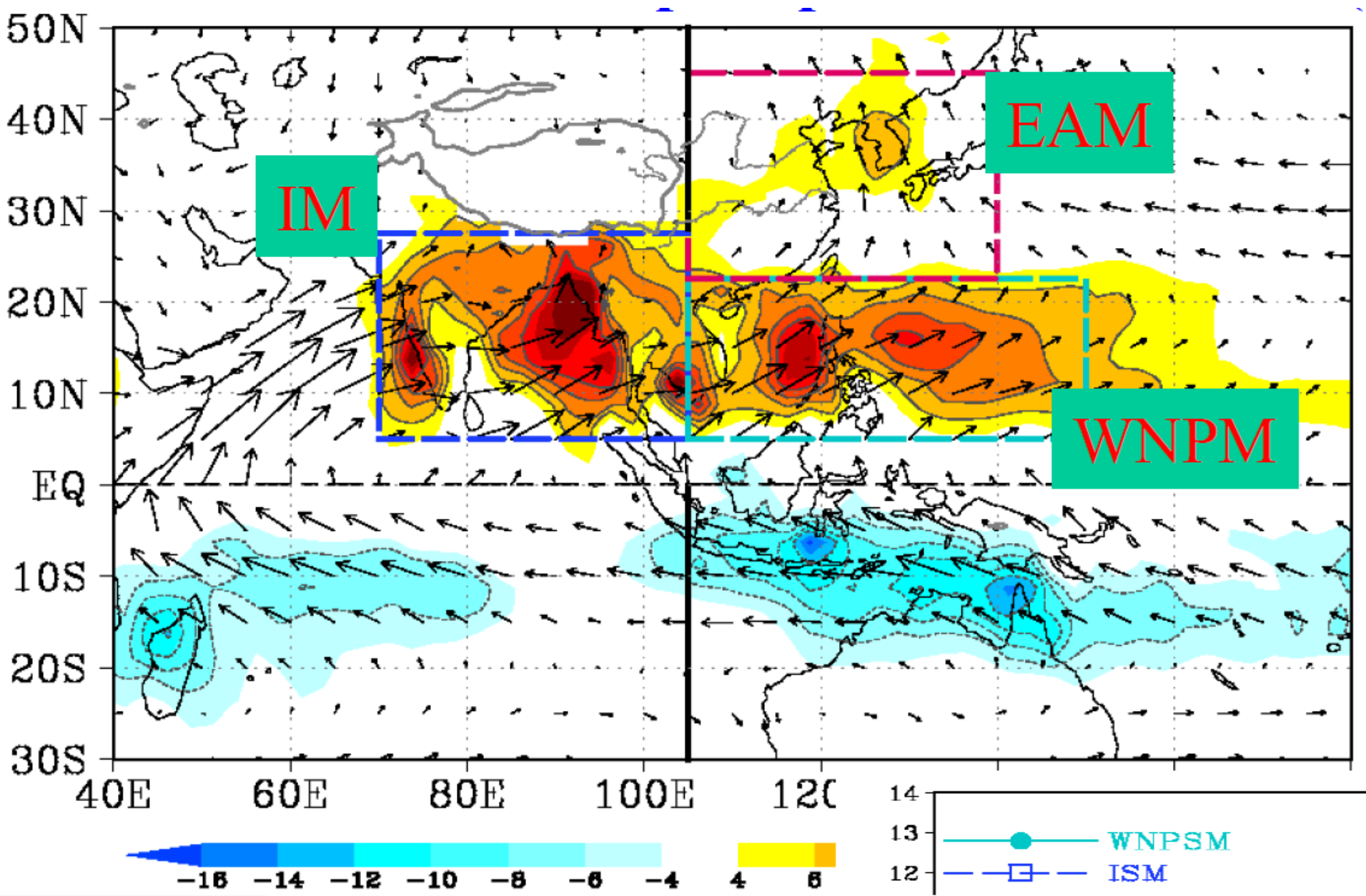
基于CanESM2大样本模式预估EASM变化

4

机理解释

5

结论



1

简单介绍亚澳夏季风

2

定义EASM环流和降水指数

3

基于CanESM2大样本模式预估EASM变化

4

机理解释

5

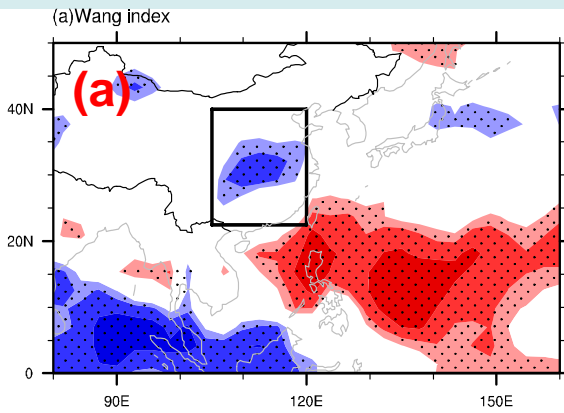
结论

繁多的EASM环流指数

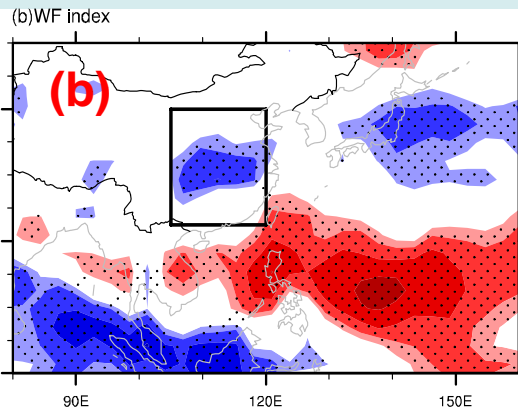
Index	Reference	Defining variable(s), level (hPa), and regions	Correlation with PC1 and PC2		Combined skill (%)
			PC1	PC2	
I_{GOY}	Guo (1983)	SLP gradient, (10°–50°N, 110°–160°E)	–0.34	0.49	12.6
I_{SZ}	Shi and Zhu (1996)	SLP gradient, (20°–50°N, 110°–160°E)	0.02	0.70	8.3
I_{PSN}	Peng et al. (2000)	Φ gradient, 500, (10°–50°N, 110°–150°E)	0.25	0.63	12.2
I_{ZZ}	Zhao and Zhou (2005)	SLP gradient, (30°–50°N, 110°–160°E)	–0.01	0.78	8.9
I_{WY}	Webster and Yan (1999)	u , 850–200, (10°–40°N, 110°–140°E)	–0.57	–0.40	16.6
I_{WDJ}	Wang et al. (1998)	u , 850–200, (5°–15°N, 90°–130°E)	–0.86	–0.15	20.0
I_{ZHW}	Zhu et al. (2000)	u , 850–200, (0°–10°N, 100°–130°E); SLP	–0.55	–0.51	17.4
I_{HSX}	He et al. (2001)	u , 850–200, (0°–10°N, 100°–130°E)	–0.89	0.04	19.3
I_{WF}	Wang and Fan (1999)	vorticity, 850, (5°–32.5°N, 90°–140°E)	–0.97	0.06	21.1
I_{ZTC}	Zhang et al. (2003)	vorticity, 850, (10°–35°N, 100°–150°E)	–0.93	–0.03	20.1
I_{LKY}	Lau and Yang (2000)	vorticity, 200, (20°–50°N, 110°–150°E)	–0.38	–0.39	12.3
I_{HY}	Huang and Yan (1999)	vorticity, 500, (20°–60°N, 125°E)	–0.38	–0.08	8.9
I_{LZ}	Li and Zeng (2002)	v , 850, (10°–40°N, 110°–140°E)	0.93	0.03	20.0
I_{WHI}	Wang (2002)	u , v , 850, (20°–40°N, 110°–125°E)	0.70	–0.14	16.3
I_{QCZ}	Qiao et al. (2002)	u , v , 850, (20°–40°N, 110°–140°E)	0.81	–0.20	14.0
I_{JOC}	Ju et al. (2005)	u , v , 850, (22°–32°N, 112°–135°E); OLR	0.59	0.14	14.0
I_{WN}	Wu and Ni (1997)	v , 850, (20°–30°N, 110°–130°E)	0.56	–0.02	12.2
I_{WWO}	Y. F. Wang et al. (2001)	v , 850, (20°–40°N, 110°–140°E)	0.69	0.28	17.8
I_{LZh}	Li and Zhang (1999)	u , v , 850, (7.5°–17.5°N, 105°–125°E)	–0.44	0.05	9.8
I_{LWY}	Liang et al. (1999)	u , v , 850, (5°–20°N, 105°–120°E); OLR	–0.89	0.10	19.8
I_{WL}	Wu and Liang (2001)	u , v , 850, (5°–20°N, 105°–120°E); OLR	–0.35	0.23	10.0
I_{ZLY}	Zhang et al. (2002)	u , v , 850, (5°–20°N, 105°–120°E); OLR	–0.57	0.21	14.5
I_{DXZ}	Dai et al. (2000)	u , v , 850, (5°–20°N, 105°–120°E)	–0.93	0.07	20.7
I_{LC}	Lu and Chan (1999)	v , 1000, (7.5°–20°N, 107.5°–120°E)	–0.51	0.12	12.1
I_{YO}	Yao and Qian (2001)	Moisture PV, 850, (10°–20°N, 105°–120°E)	0.06	–0.42	12.7

不同的EASM指数及其与JJA降水的相关系数

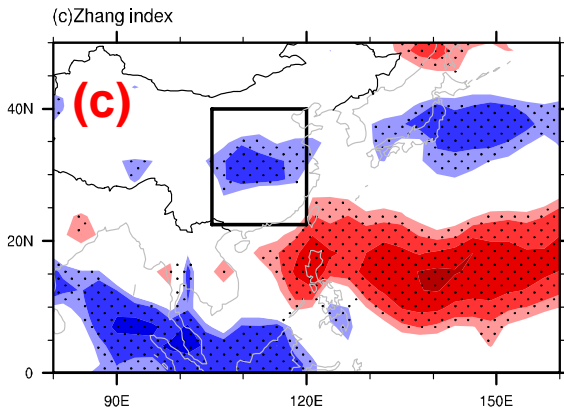
Wang et al.
1998



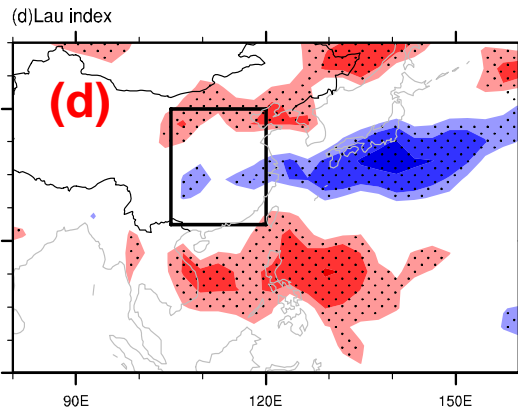
Wang and Fan
1998



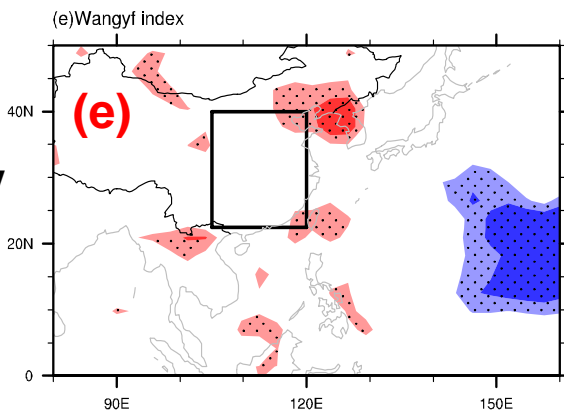
Zhang et al.
2003



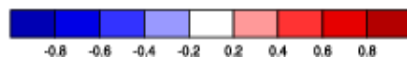
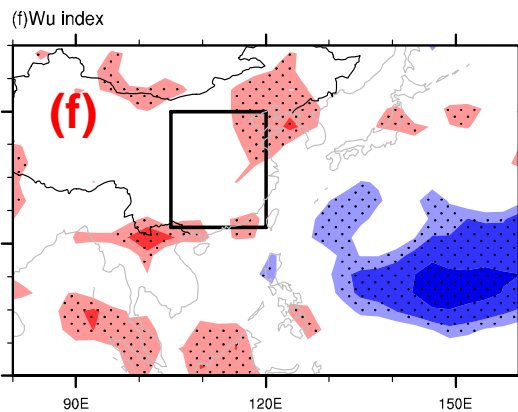
Lau and Yang
2000



Wangyf 850V
(20-40N,110-125E)



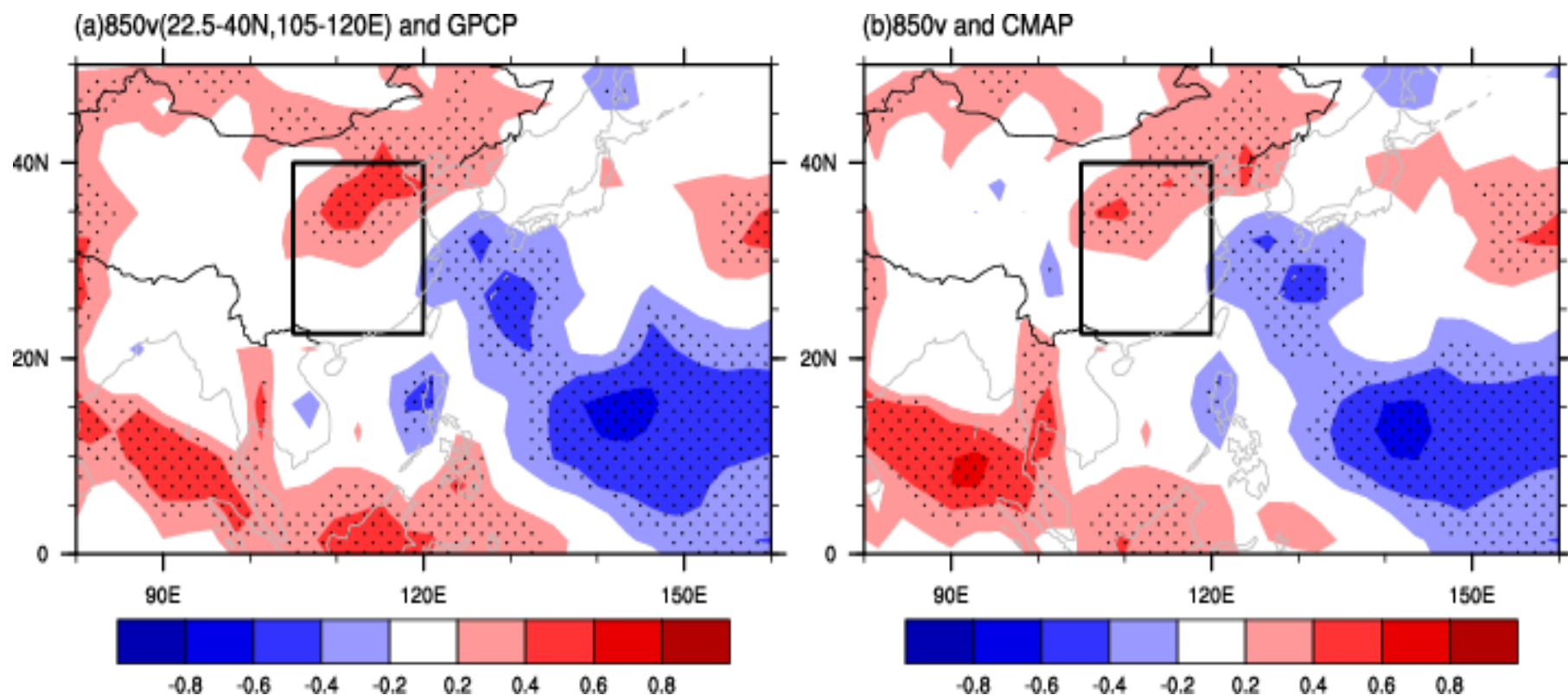
Wu 850V (20-30N,110-130E)



本工作用到的EASM指数

环流指数: JJA区域平均(22.5 - 40N, 105 - 120E) 850hPa经向风
(e. g. Wang 2001; Zhou et al. 2009; He et al. 2019)

降水指数: JJA区域平均(22.5 - 40N, 105 - 120E)降水



1

简单介绍亚澳夏季风

2

定义EASM环流和降水指数

3

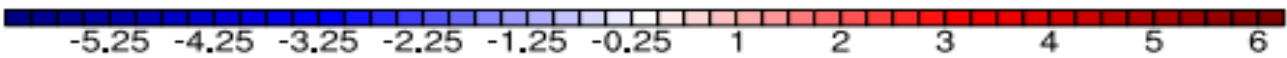
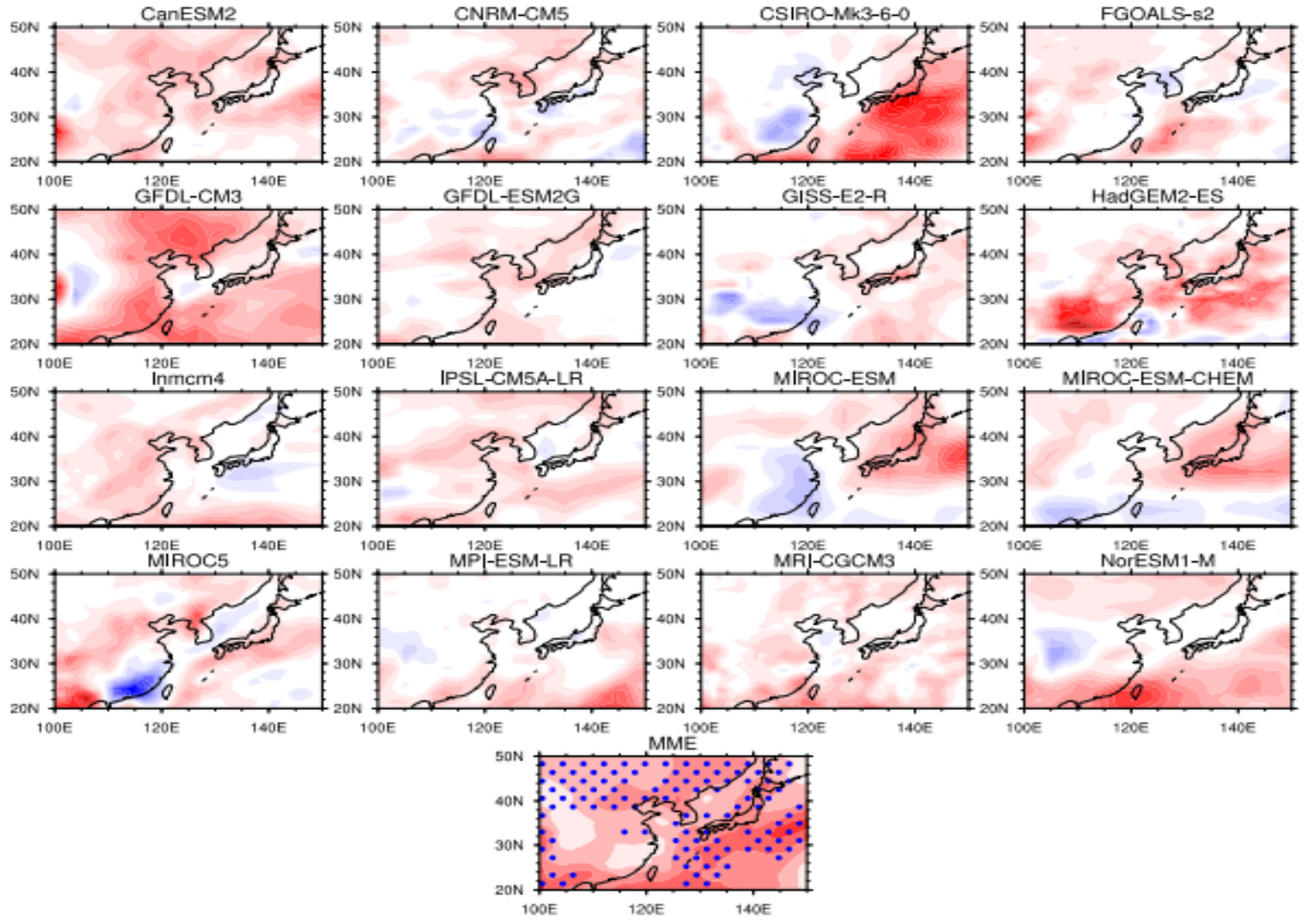
基于CanESM2大样本模式预估EASM变化

4

机理解释

5

结论



资料:

ERA-interim	1979-2016	NCEP1	1979-2016
GPCP	1979-2016	CMAP	1979-2016
CanESM2 Large Ensemble (50 members)			
Historical	1950-2005	RCP8.5	2006-2100

多模式集合平均的缺点: 将不同的增暖信号杂糅在一起

本工作的研究亮点:

预估未来**特定增暖水平下**, 东亚夏季风系统的**线性/非线性变化**

相对工业化前的特定增暖水平:

1.0度: 1995-2004年(Current Climate)	1.5度: 2007-2016年
2.0度: 2021-2030年	3.0度: 2042-2051年
4.0度: 2061-2070年	5.0度: 2079-2088年

评估模式时, CanESM2时间为1977-2006, 观测为1986-2015 (增暖0.7度)

模式集合平均和观测的空间相关系数(20S-70N, 40E-180E)

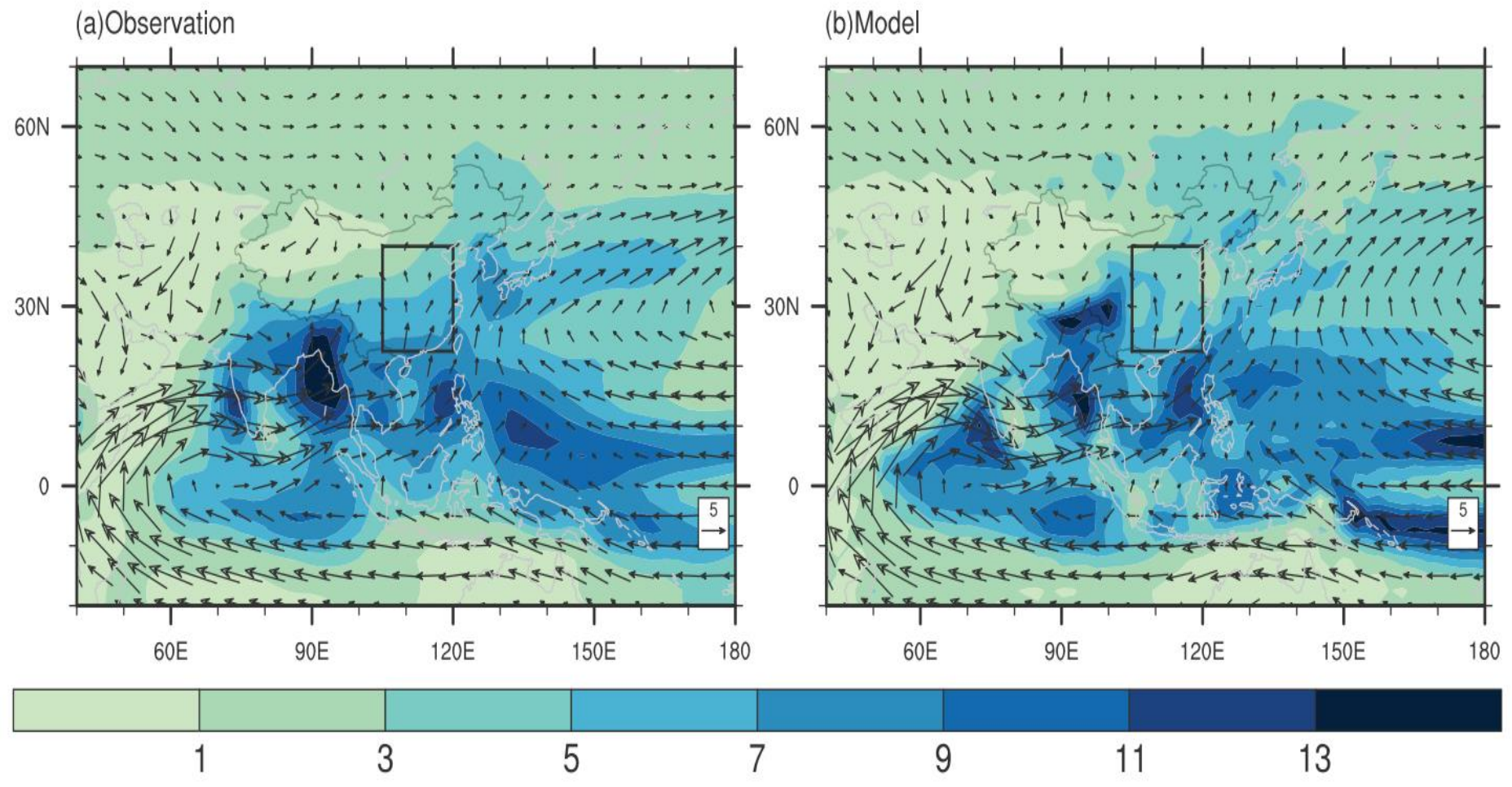
First annual cycle: 夏季(JJA)减冬季(DJF)降水

Second annual cycle : 春季(MAM) 减秋季(SON)降水

PCC	ERA-interim/GPCP	NCEP1/ CMAP
V-850hPa	0.90	0.93
Precipitation	0.78	0.83
Q-1000~300hPa	0.94	0.84
Omega-500hPa	0.72	0.70
First annual cycle	0.79	0.81
Second annual cycle	0.85	0.86

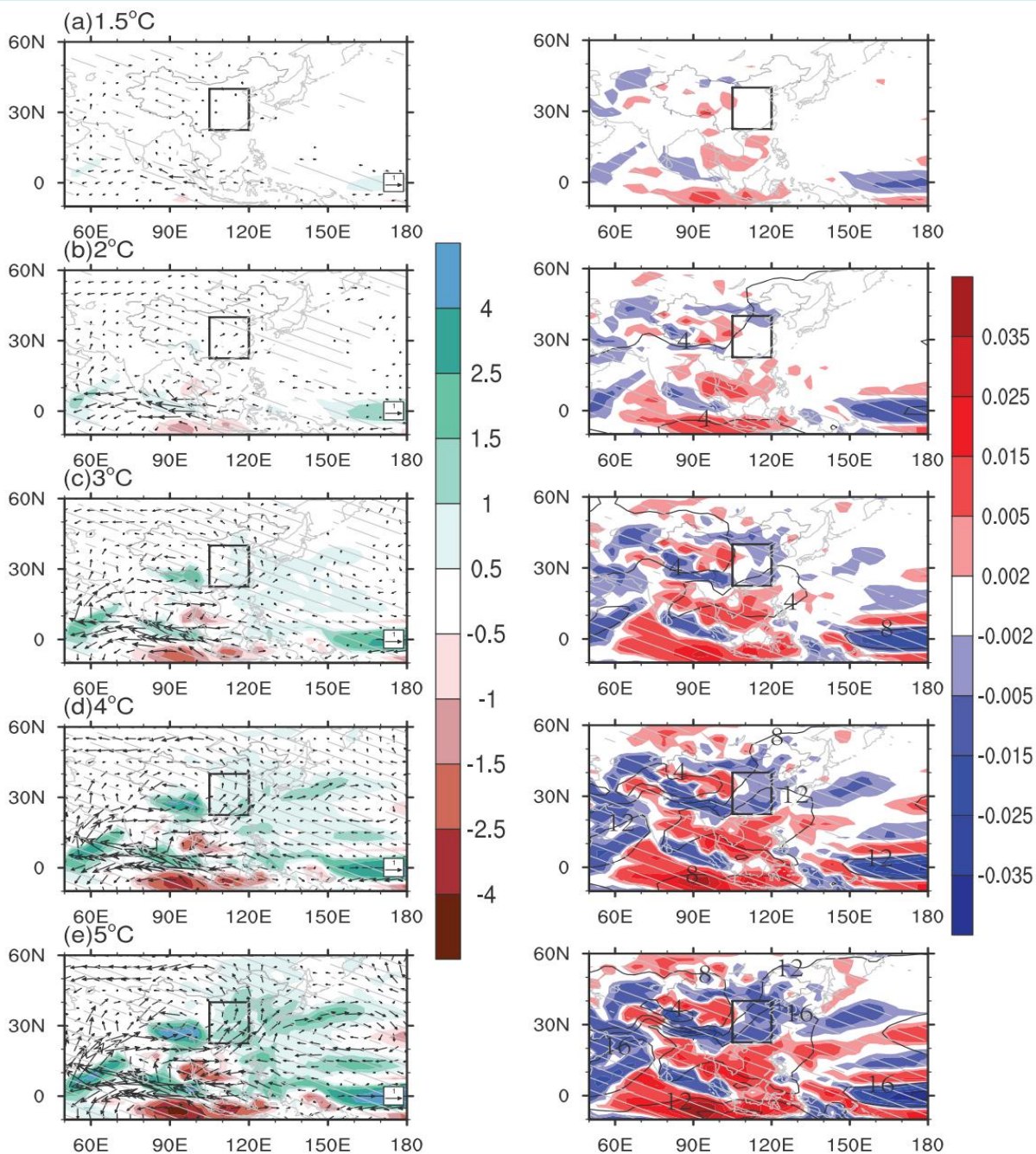
EASM关键区内模式(50-run的中位数)和观测的标准差，括号内代表模式5%-95%的范围

STD	Model	ERA-interim/GPCP	NCEP1/ CMAP
V-850hPa	0.59(0.44-0.71)	0.52	0.49
Precipitation	0.51(0.41-0.61)	0.51	0.44
Q-1000~300hPa	0.25(0.17-0.32)	0.21	0.19
Omega-500hPa	0.0059(0.005-0.008)	0.0069	0.0057



阴影：
降水

箭头：
850hPa风场

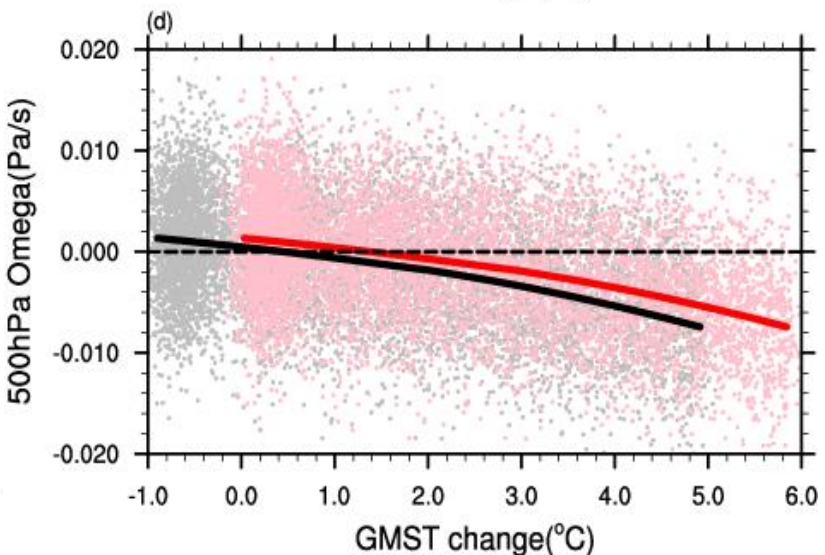
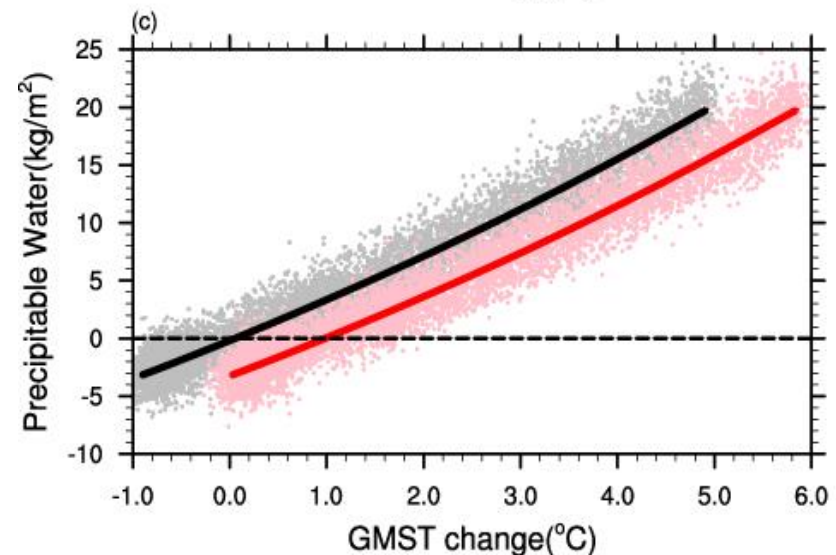
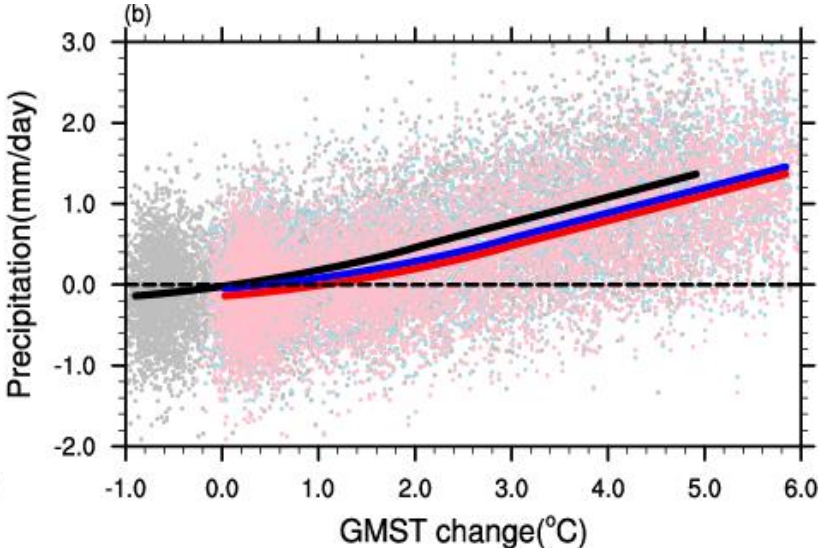
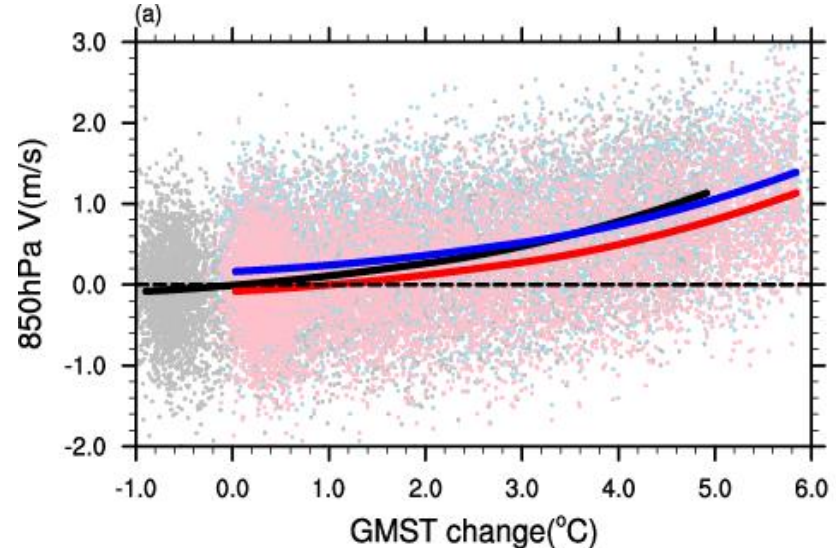


阴影：
500hPa垂直
速度(omega)

等值线：
可降水量

环流指数

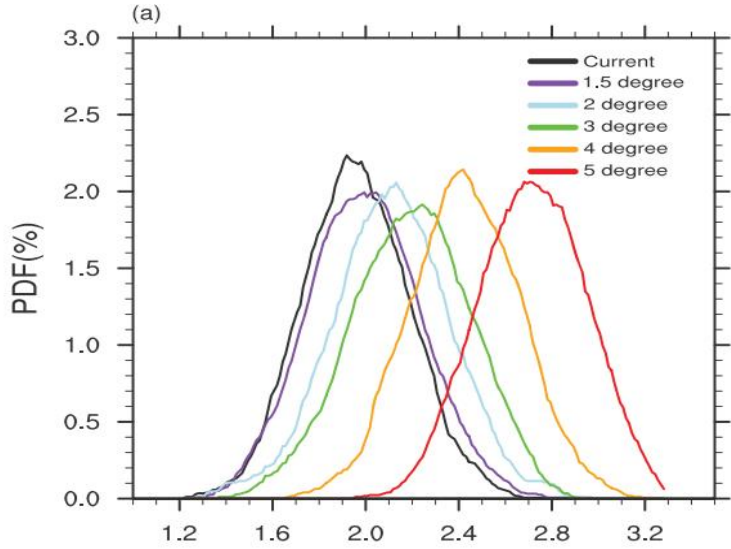
降水指数



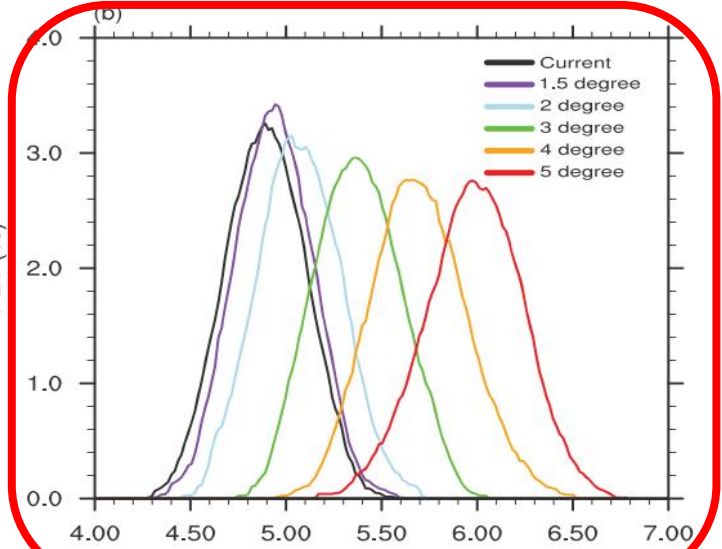
可降水量

500hPa垂直速度(omega)

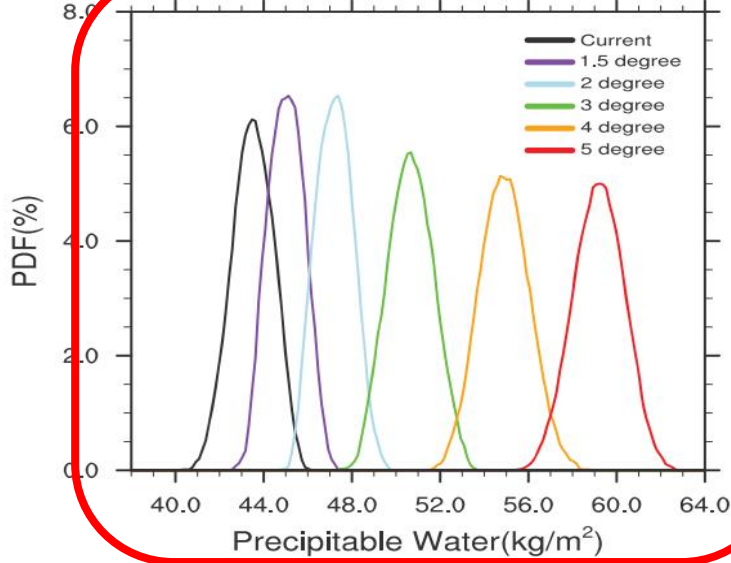
环流指数



降水指数

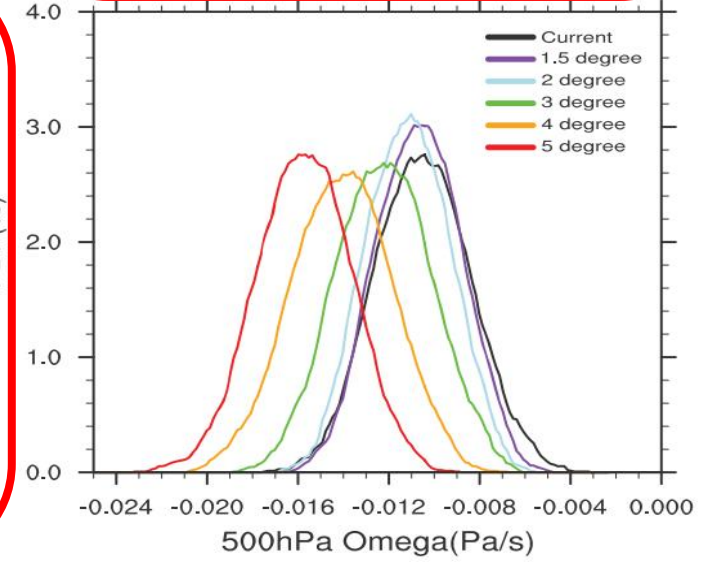


850hPa V(m/s)



可降水量

Precipitation(mm/day)



500hPa垂直速度(omega)

每度增暖时各物理量变化百分比

	2° C	3° C	4° C	5° C
EASM-可降水量	7.8	8.5	8.5	8.1
EASM-降水	3.5	6.0	6.1	5.0
EASM-850 hPa经向风	4.2	6.9	9.9	14.8
EASM-500 hPa垂直速度	3.1	9.6	14.1	12.4
EASM-静力稳定度	2.2	2.4	2.1	1.9
Global-可降水量	7.1	7.2	7.1	6.8
Global-降水	1.6	1.3	1.1	1.1
Global-500 hPa垂直速度	-11.6	-15.0	-5.1	-2.1
Global-静力稳定度	2.3	2.2	2.1	1.9

静力稳定度：400~300hPa位温 - 1000~850hPa位温

科学问题

1. 为什么东亚夏季风环流和降水随全球变暖呈非线性变化？
2. 是否可以定量诊断热力和动力过程对降水变化的相对贡献？

1

简单介绍亚澳夏季风

2

定义EASM环流和降水指数

3

基于CanESM2大样本模式预估EASM变化

4

机理解释

5

结论

东西向海陆热力对比与850hPa经向风的关系

EASM低层南风主要受大尺度东西向海陆热力对比调控（海陆热容量不同）

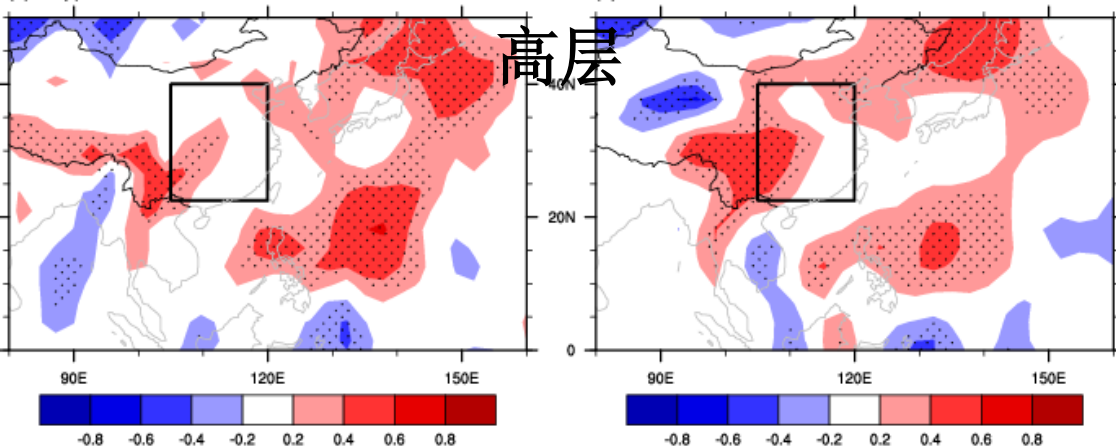
东西向(TE_{upper} ; TE_{lower}) 的海陆热力对比(区域平均的厚度场):

$TE_{upper} \approx (200 - 500 \text{ hPa}) Z (100 - 115\text{E}, 22.5 - 40\text{N}) - Z (135 - 150\text{E}, 22.5 - 40\text{N})$

$TE_{lower} \approx (500 - 850 \text{ hPa}) Z (100 - 115\text{E}, 22.5 - 40\text{N}) - Z (135 - 150\text{E}, 22.5 - 40\text{N})$

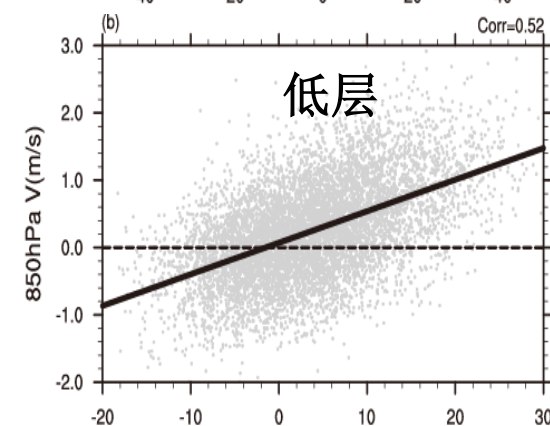
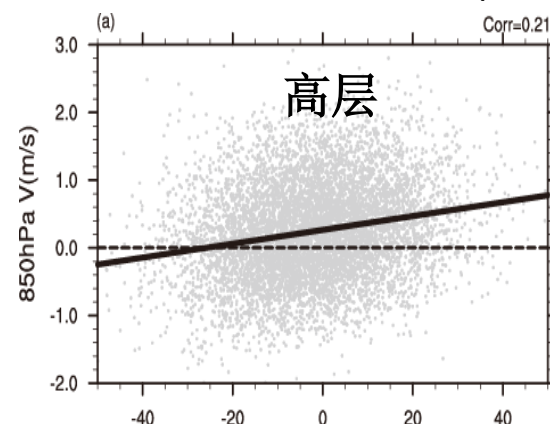
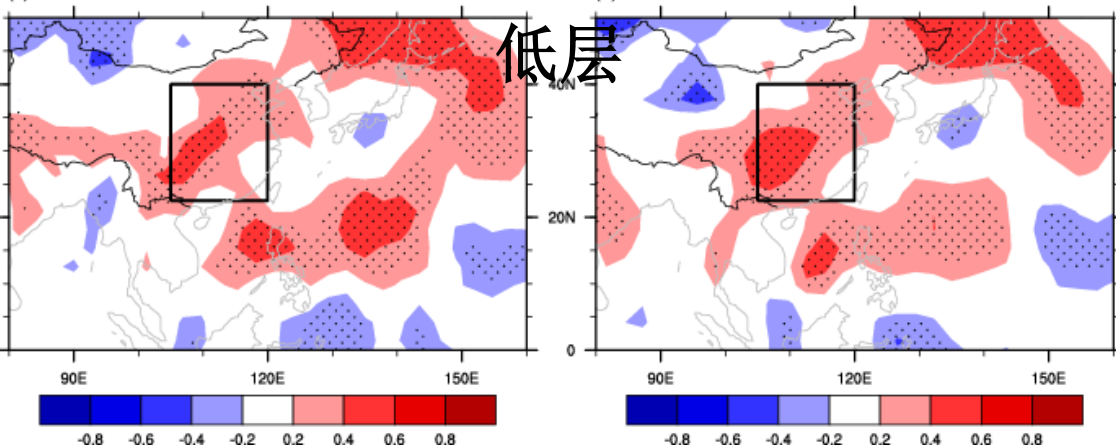
(a) $TE_{upper}-850V$

(b)



(c) $TE_{lower}-850V$

(d)



模式中热力对比与850hPa-V的关系

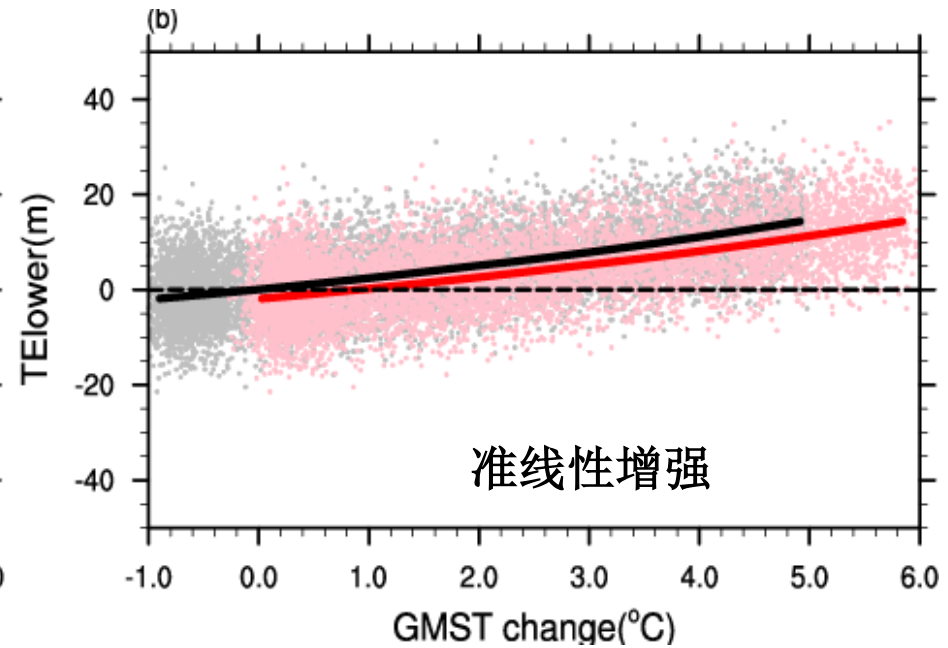
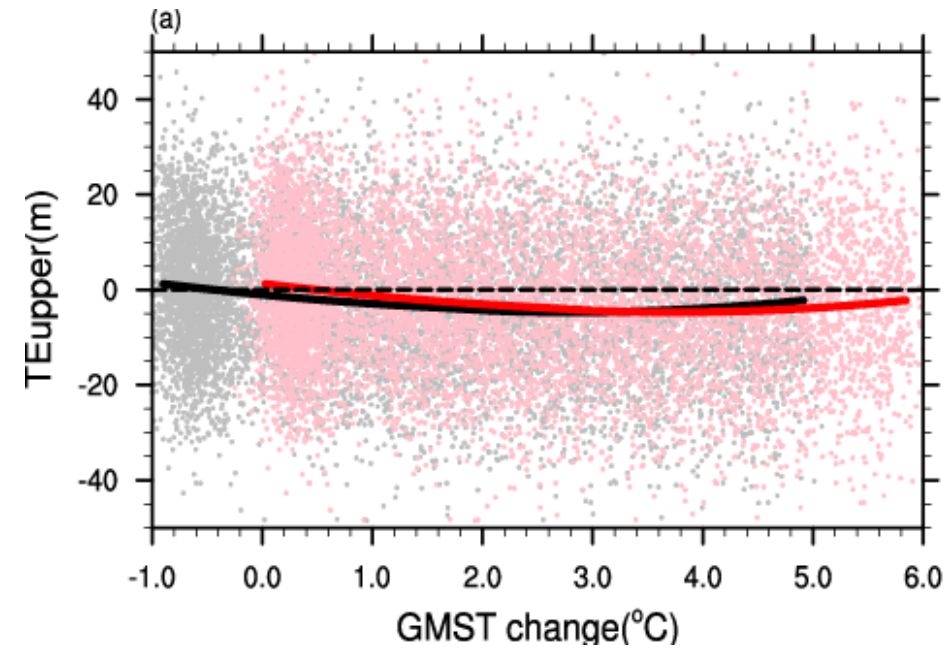
观测中热力对比与850hPa-V的相关系数

对流层低层东西向海陆热力对比越大，EASM低层南风越强

全球变暖下东亚夏季风局地正反馈机制

500-200hPa东西向热力对比

850-500hPa东西向热力对比



为何低层海陆热力对比的准线性增强会导致低层经向风非线性变化???

全球变暖下局地降水增强释放非绝热加热，进一步增强局地海陆热力对比，导致更强（非线性）的局地南风、降水、上升运动。

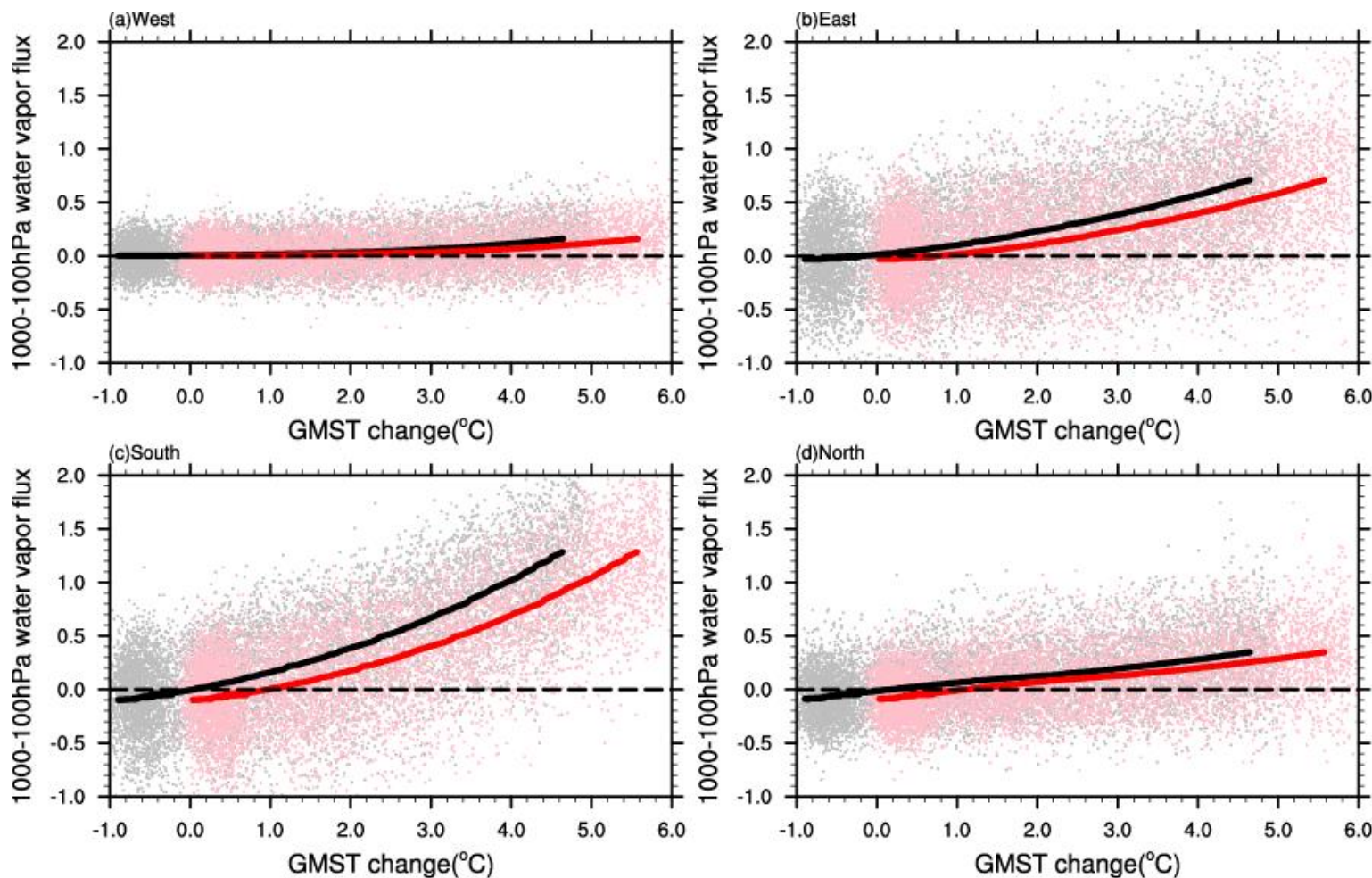
大尺度（线性）+ 局地小尺度（非线性） \longrightarrow 非线性

西边界
净流入

东边界
净流出

北边界
净流出

南边界
净流入



$$\langle \Delta(q \cdot \vec{V}) \rangle \approx \langle \vec{V} \cdot \Delta q \rangle + \langle \bar{q} \cdot \Delta \vec{V} \rangle$$

南边界	2° C	3° C	4° C	5° C
热力	6.8	6.8	6.8	5.9
动力	3.7	5.4	9.6	10.9

热力和动力项对南边界水汽流入均为正贡献，热力项呈准线性增强，动力项呈非线性增强

不同增暖水平下降水方程诊断

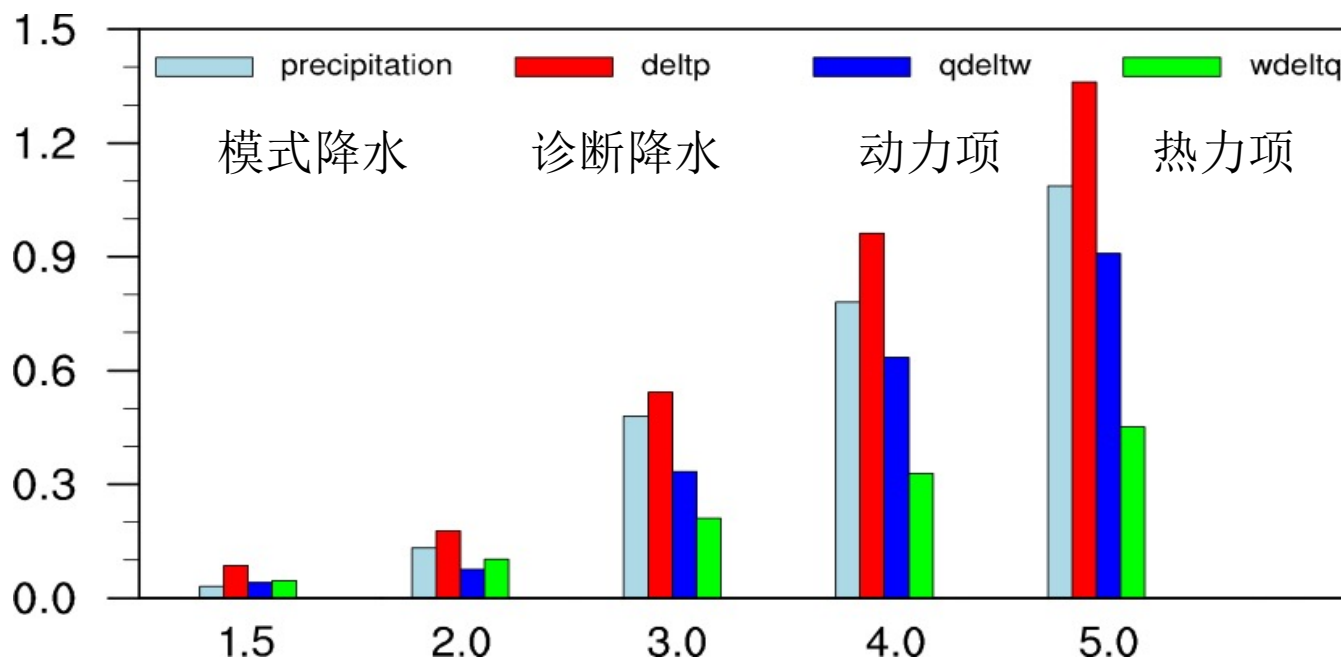
采用 **Huang et al. (2013)** 的简化水汽方程:

$$\Delta P = -\frac{1}{\rho g} (\Delta \omega \cdot \bar{q} + \bar{\omega} \cdot \Delta q)$$

降水 动力 热力

q 表面比湿 ω 500hPa垂直速度

	2° C	3° C	4° C	5° C
动力	3.2	9.7	14.5	13.2
热力	6.0	6.3	6.1	5.7



1. 动力项与热力项均对降水增加起**正贡献**作用
2. 增暖3度前，动力项与热力项的正贡献作用相当
3. 增暖3度后，**动力项**的正贡献作用逐渐占主导

1

简单介绍亚澳夏季风

2

定义EASM环流和降水指数

3

基于CanESM2大样本模式预估EASM变化

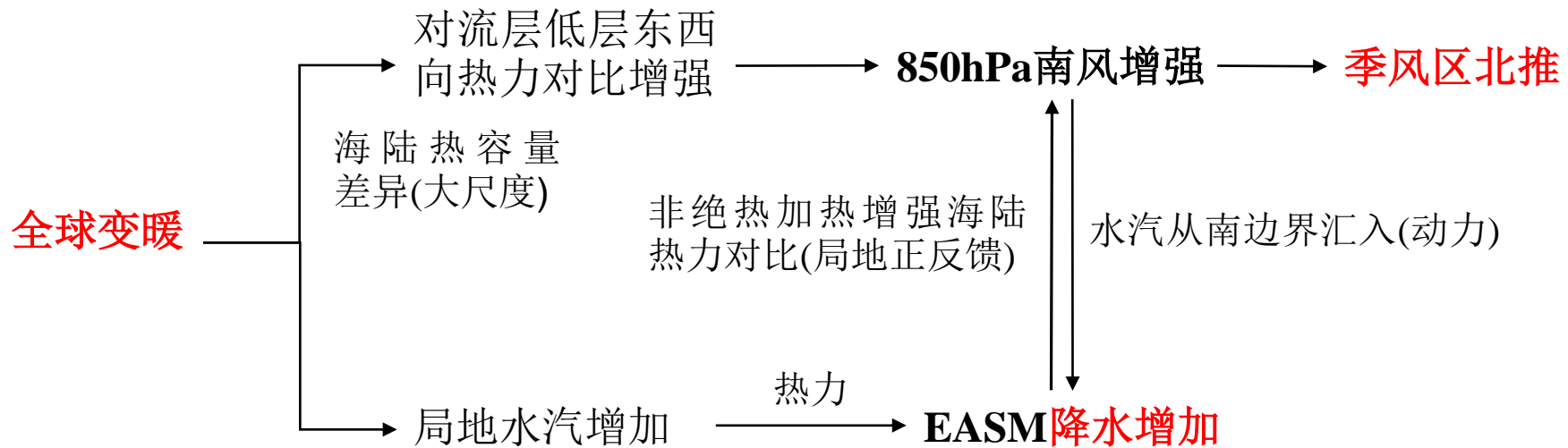
4

机理解释

5

结论

- EASM降水、850hPa经向风和500hPa垂直上升速度随全球变暖**非线性增强**，可降水量随全球变暖准线性增强，**夏季风区向中国北方推进**
- EASM环流增强主要是由于对流层**低层海陆热力对比增强**
- EASM关键区**南边界**向北的水汽输送是季风区水汽增加的主要贡献因子(蒸发项贡献很小，未展示)
- 当全球增暖小于2度时，动力项和热力项对EASM降水增加的正贡献相当，进一步增暖后，**动力项**逐渐成为主导



**谢谢！
欢迎交流学习！**

Email: 327602190@qq.com