

周天娇、谢作威、布和朝鲁(国际气候与环境科学中心(ICCES))
陈志强(中国气象局沈阳大气环境研究所)、李尚锋和杨旭(吉林省气象科学研究所)

引言

- ✓ 东北地区为北半球切断低压比较频发的三个地区之一 (Nieto et al., 2005)。
- ✓ 东北冷涡的持续活动不仅能给东北地区带来低温冷害和暴雨洪涝, 还对华南前汛期和江淮梅雨期降水具有气候效应 (孙力等, 2000; 何金海等, 2006; 苗春生等, 2006)
- ✓ 东北冷涡与极涡、欧亚大陆阻塞高压、东亚大槽和西太平洋辅热到高压密切相关 (孙力, 1994; 刘刚等, 2015)。
- ✓ 来自上游阻塞环流异常的Rossby波能量是东北冷涡形成和维持的主要原因 (布和朝鲁等, 2008; 廉毅等, 2010; Nie et al., 2022)
- ✓ 大气模型比较方案 (AMIP) 旨在通过将模型结果与观测结果进行比较来确定模拟误差并改进模型, 包括遥相关、阻塞高压、切断低压等方面 (Gates 1992; 王会军, 1997; 安然等, 2019; 林书恒等, 2019)

科学问题:

- 模式对东北冷涡的时空分布和环流模拟能力如何? 偏差来源于哪里?
- 除了西风急流之外, 模式没有模拟好哪些动力学特征?

数据与方法

- 再分析资料和模式资料: JRA-55、JRA-55AMIP、BCC-CSM2-MR、CAS-ESM2、CESM2、CESM2-FV2、FGOALS-f3-L、FGOALS-g3; 1979–2012, 5–8月。
- 东北冷涡: 东北地区(110–145°E, 35–55°N) 500 hPa至少有一条闭合曲线, 维持三天及以上, 并配有冷槽或冷中心。
- K-means聚类分析方法
- LMP指数: $LMP \text{ index} = \frac{A^{-1} \int_A a^2 Z_{LMP} \cos \varphi d\lambda d\varphi}{A^{-1} \int_A a^2 (Z_{LMP})^2 \cos \varphi d\lambda d\varphi}$

东北冷涡时空分布模拟偏差

表1 再分析资料和模式资料自动识别的潜在东北冷涡(PNCCV)和东北冷涡(NCCV)天数

Data name	PNCCV days		NCCV days	
	number	percent of JRA-55	number	percent of JRA-55
JRA-55	1904	-	1477	-
JRA-55AMIP	1785	93.75%	1274	86.26%
FGOALS-f3-L	1587	83.35%	1076	72.85%
FGOALS-g3	1477	77.57%	1028	69.60%
CESM2	1370	71.95%	937	65.88%
CESM2-FV2	1113	58.46%	727	49.22%
ESM2	1065	54.90%	713	48.27%
BCC	1194	62.71%	701	47.46%

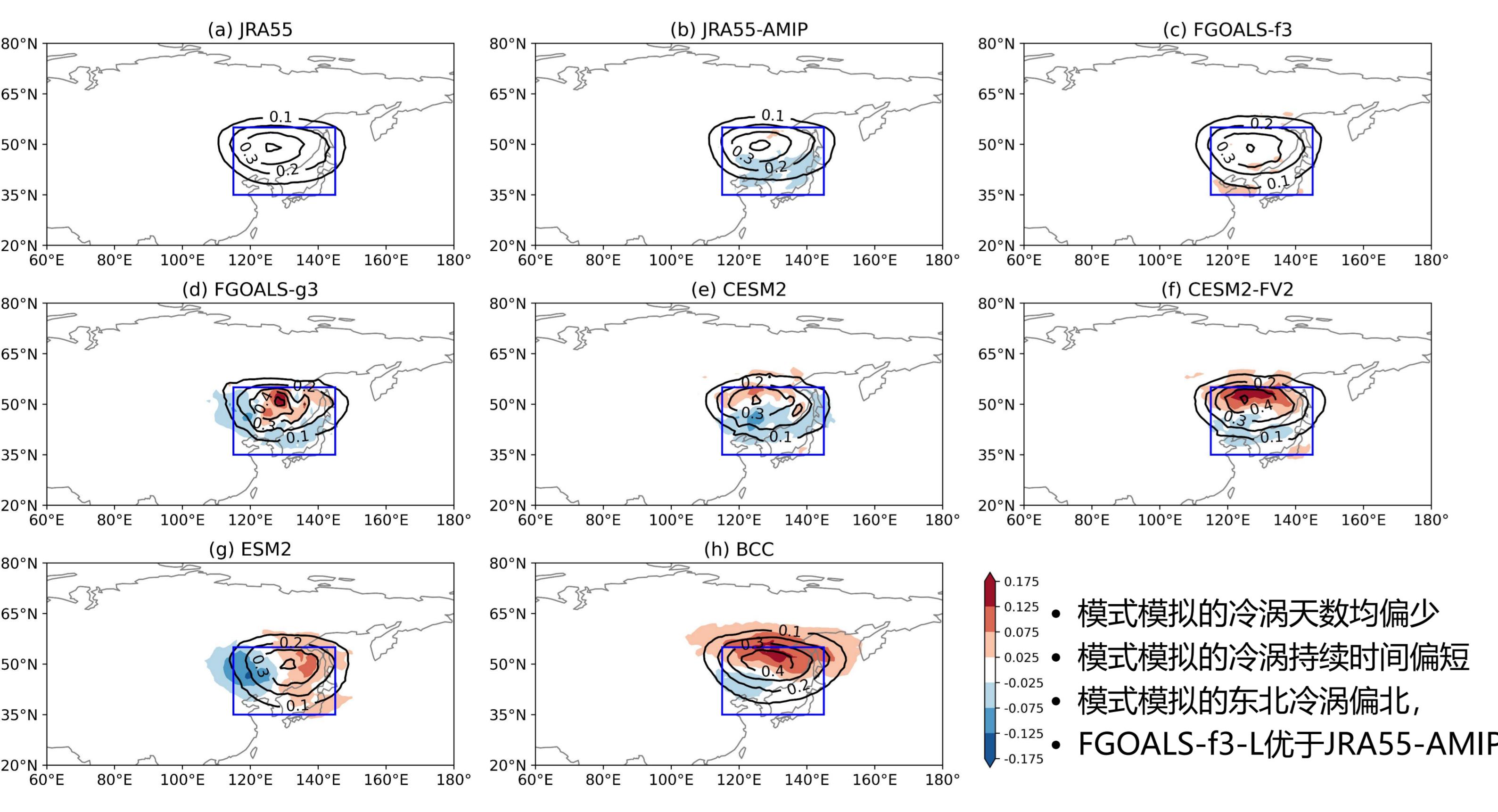
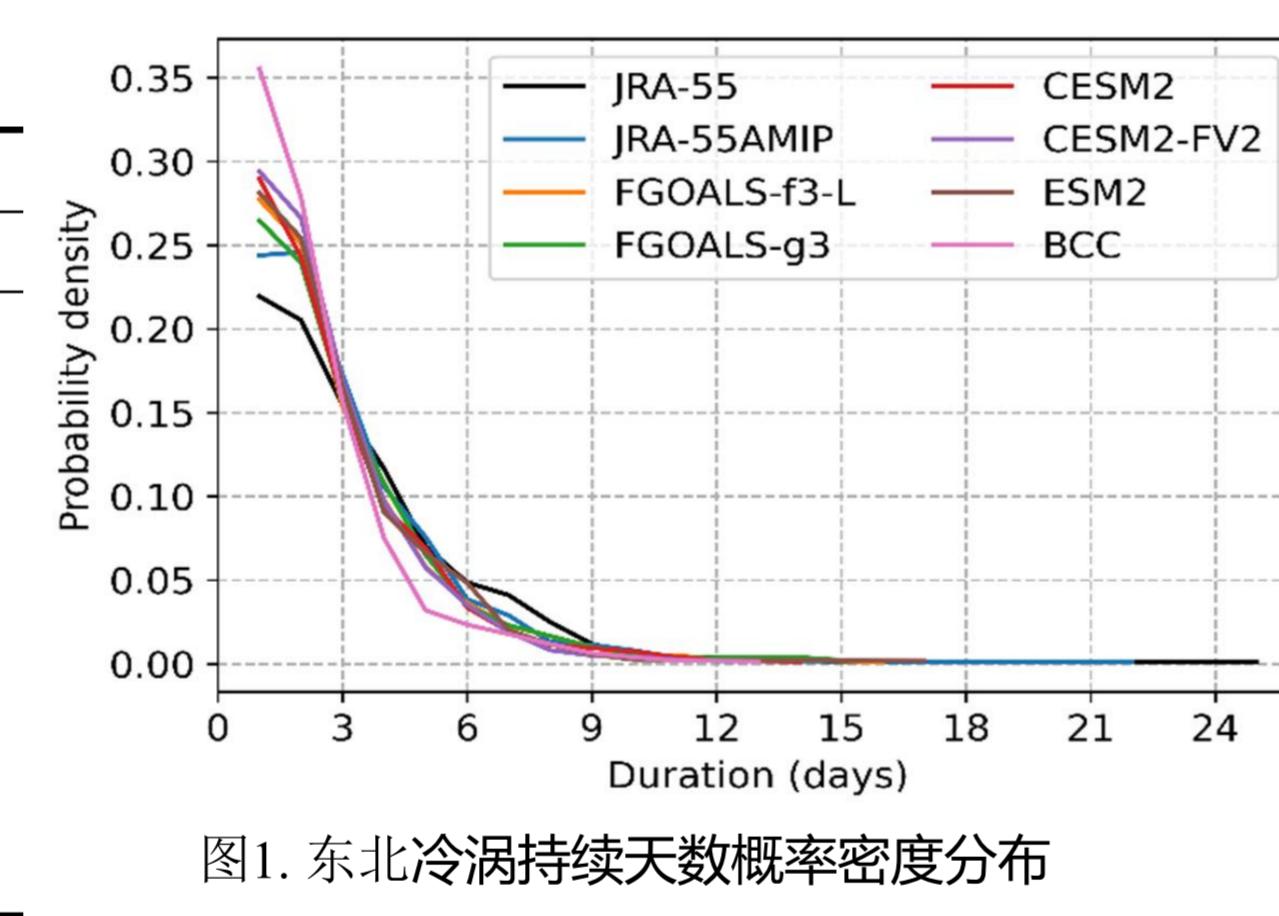


图2.东北冷涡范围概率密度分布(等值线)以及模式与JRA-55的差异(填色)。(a-h)分别为再分析和模式的结果。蓝色矩形表示中国东北地区, 红色三角形表示大兴安岭的位置

东北冷涡环流模拟偏差

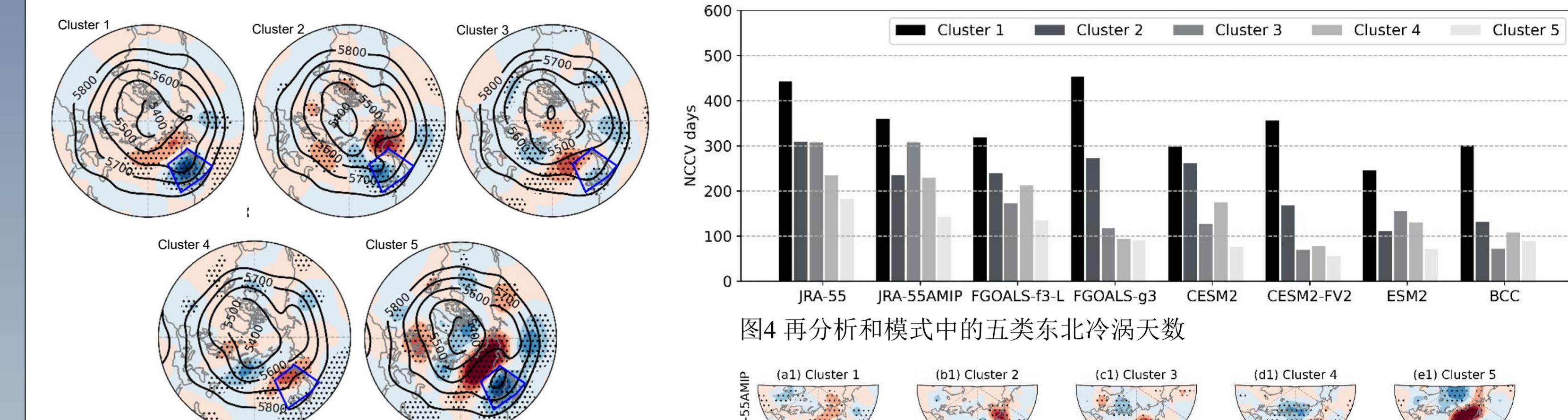


图4 再分析和模式中的五类东北冷涡天数

图3. 各类东北冷涡500hPa位势高度场(等值线)及其异常(填色)合成。用黑点标出置信度高于90%的地区, 蓝色矩形表示中国东北地区。

东北冷涡与欧亚大陆不同Rossby波列相联系

- Cluster 1: + -
- Cluster 3&4: - + -
- Cluster 2: + - +
- Cluster 5: + - + -

东北冷涡与东北亚高压脊相联系

- Clusters 1、2、5

- 模式易模拟出与较弱的东北亚高压相联系的东北冷涡(Cluster 1)
- 不易于模拟出有明显Rossby波列的类型, 特别与东北亚阻塞相联系的Cluster 5

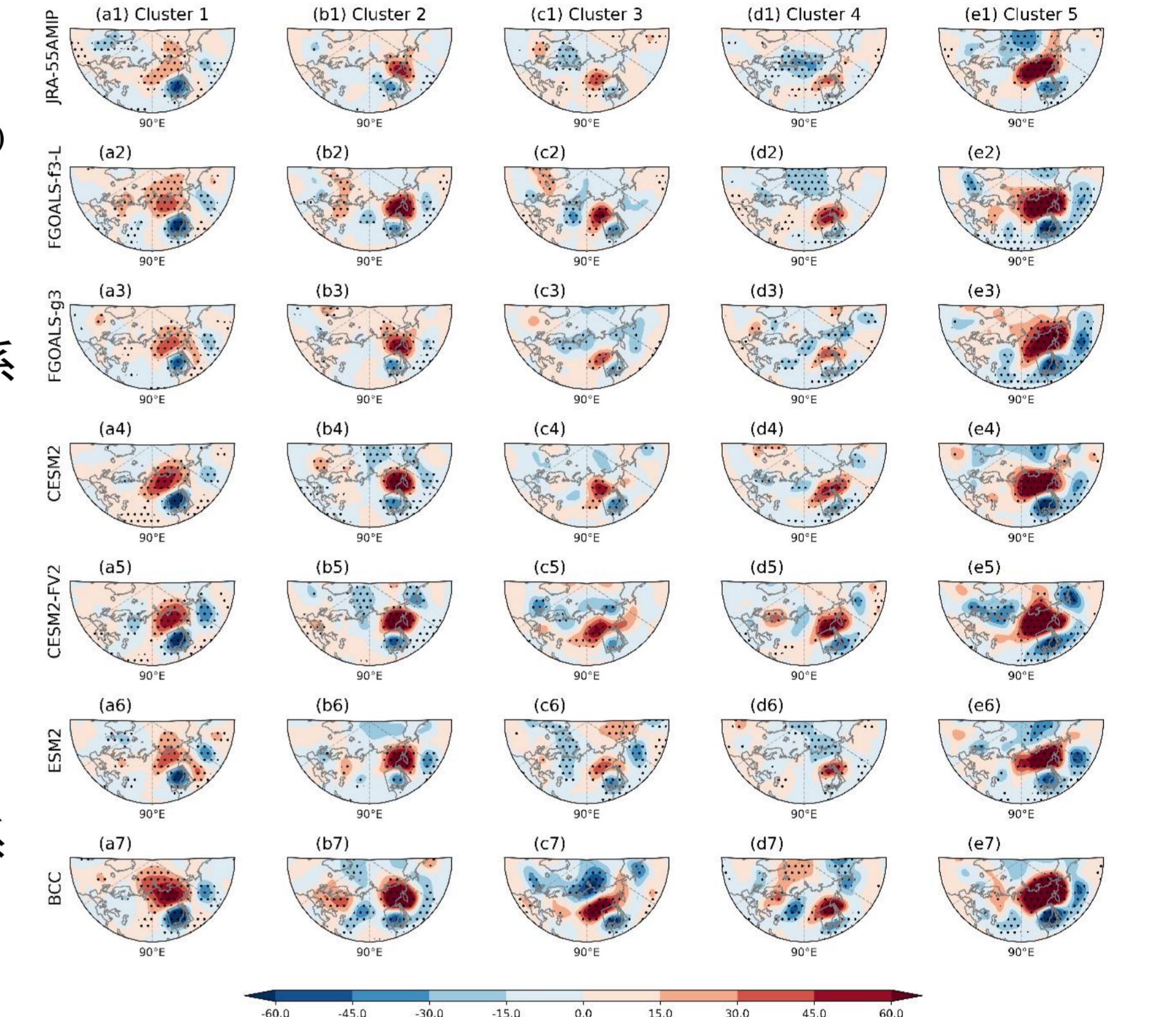


图5 模式中(a1-a7)第1类、(b1-b7)第2类、(c1-c7)第3类、(d1-d7)第4类和(e1-e7)第5类的东北冷涡的Z500异常合成(阴影)。灰色矩形表示中国东北地区。

模拟偏差分析

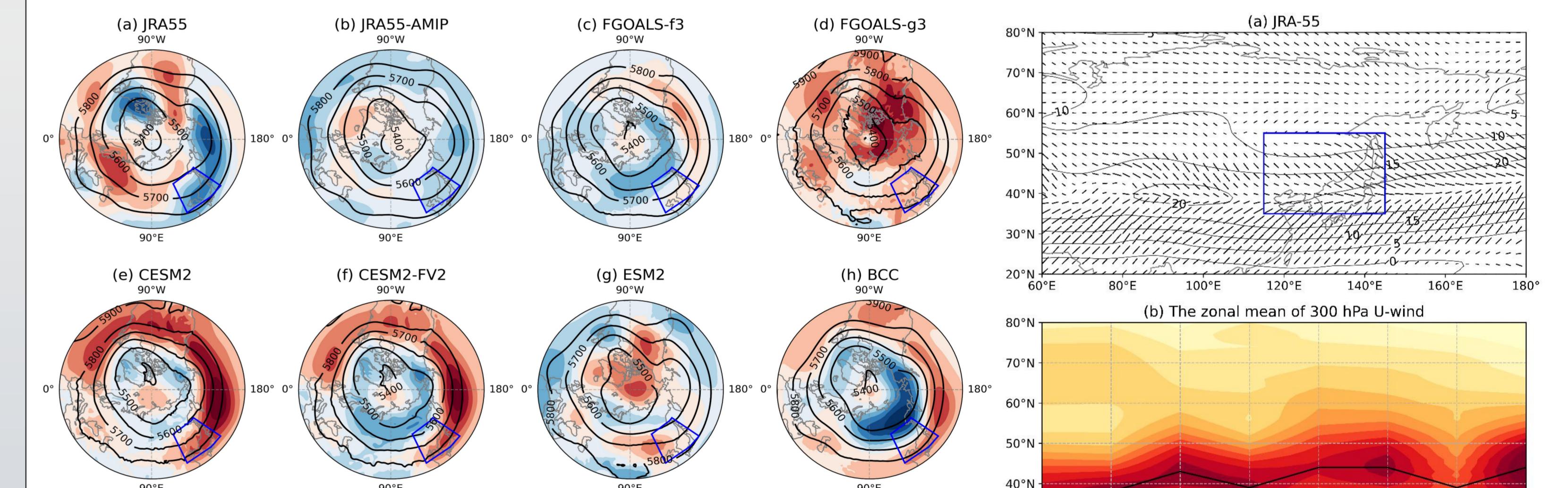


图6 1979–2012年夏季气候平均Z500(等值线)及其异常(阴影)。异常值是(a) JRA-55相对于区域平均值的纬度偏差和(b-h)模式与JRA-55之间的差异。蓝色矩形表示中国东北地区

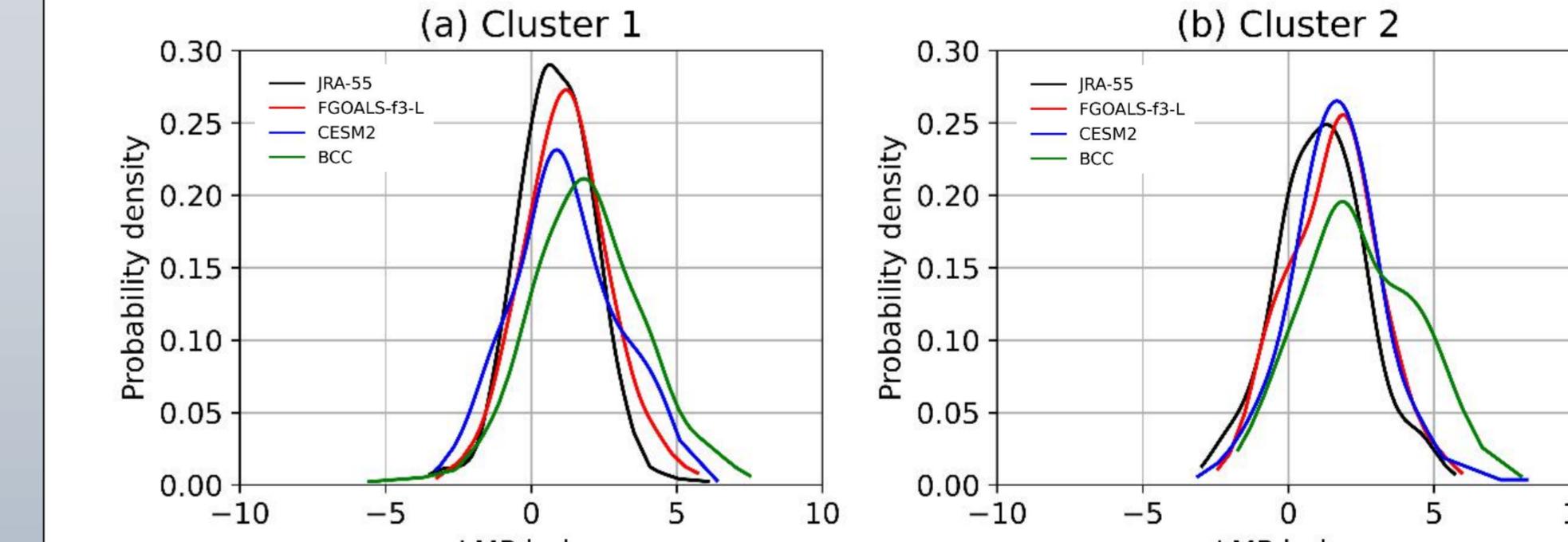


图7 (a) 1979–2012年夏季JRA-55的300 hPa纬向风气候平均值(等值线)和膨胀轴(线段)。(b) 115°–145°E之间300 hPa纬向风平均值(阴影)及其最大值(黑色曲线)。(a)中的蓝色矩形表示中国东北地区。

- 在副热带地区为正偏差, 中高纬为负偏差, 东北亚地区负偏差不利于高压脊的维持, 易造成1、2和5类偏少。
- 模式模拟的西风偏北、偏强, 导致东北冷涡分布偏北、持续时间偏短。
- 模式的LMP指数右偏, 代表更强的异常环流, 即需要更强Rossby波能量来克服强西风的平流作用。模式易于产生范围偏广和强度偏强的东北冷涡。
- 模式无法产生过多的强Rossby波列, 因此东北冷涡冷涡偏少。

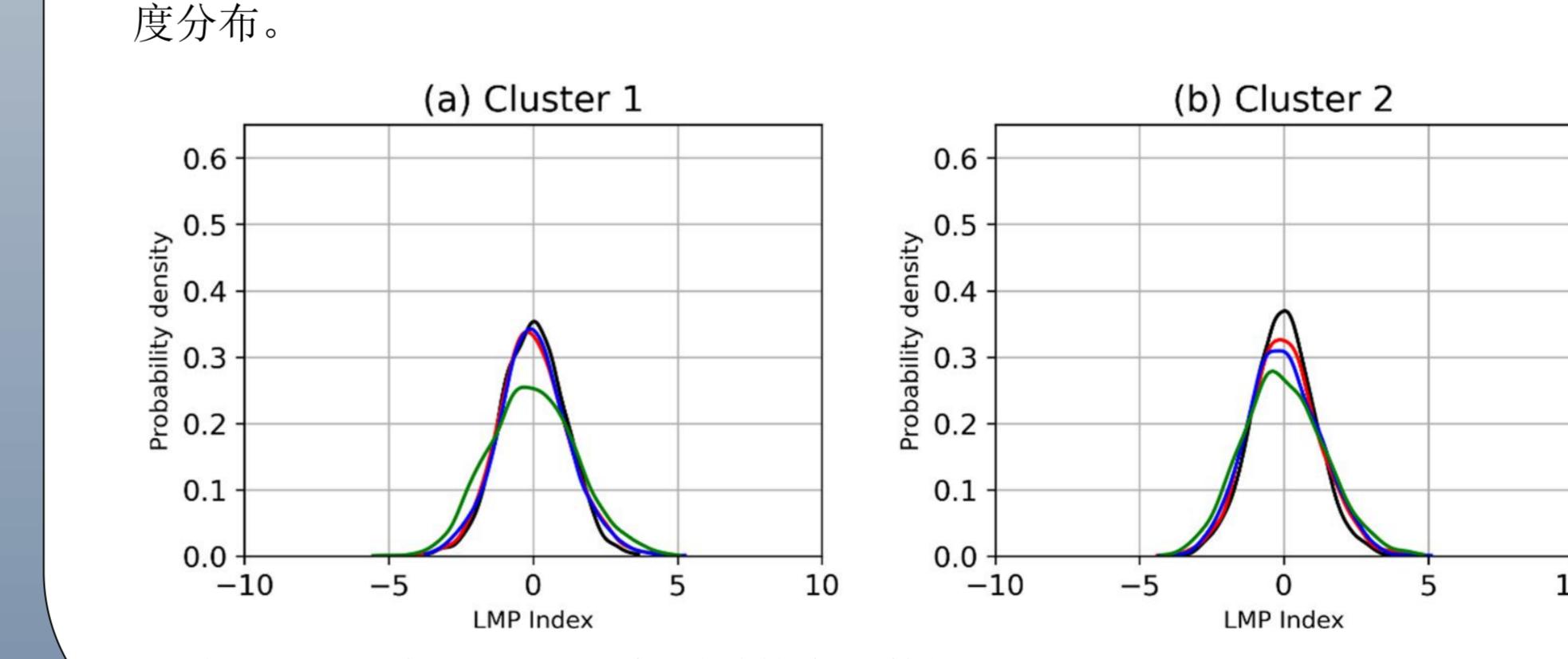


图8 1979–2012年夏季NCCV活动期间, JRA-55、FGOALS-f3-L、CESM2和BCC在25°–90°N、0°–360°区域内的(a)第1组、(b)第2组的LMP指数概率密度分布。

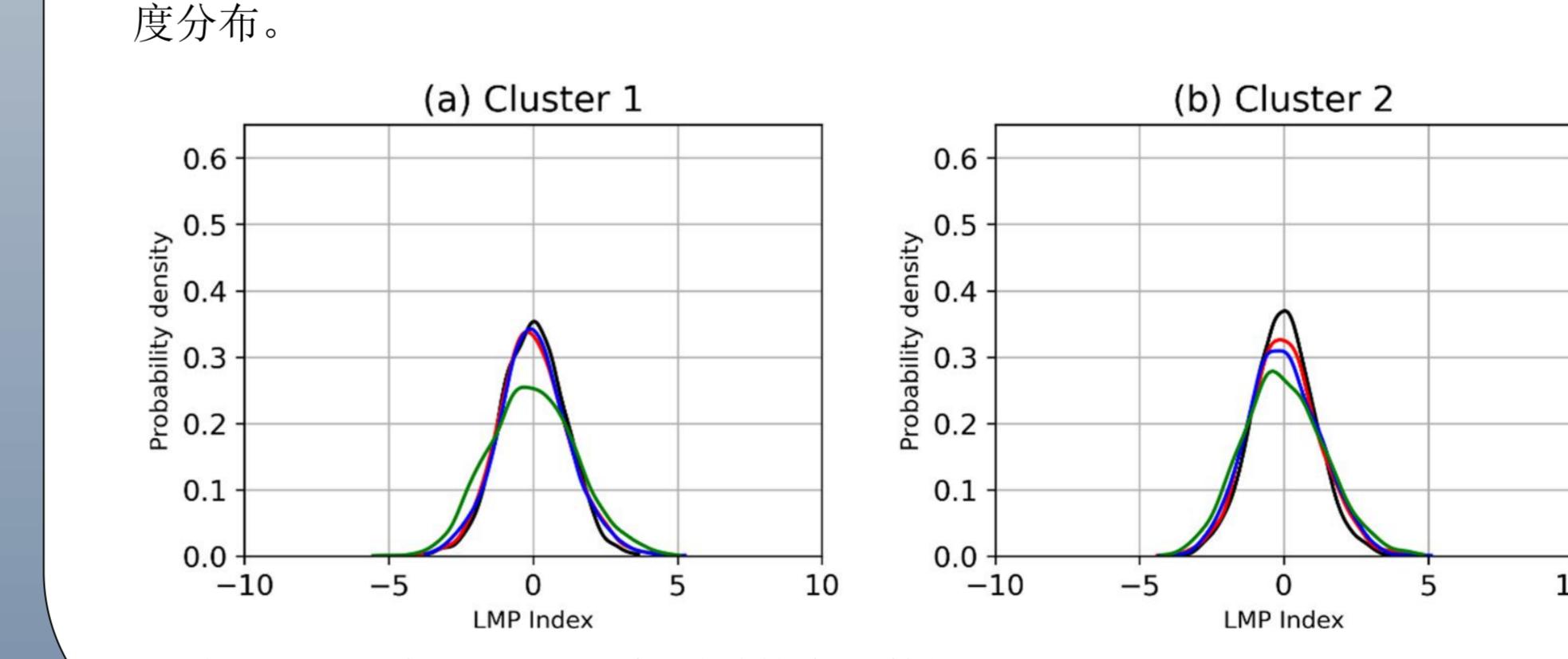


图9如图8, 但为1979–2012年夏季的全天数据。

结论

- ◆ CMIP6/AMIP低估了东北冷涡频次, 但高估了东北冷涡范围和强度。
- ◆ 模式模拟的500 hPa气候平均高度场在副热带地区为正偏差, 中高纬为负偏差, 不利于东北亚脊的发展, 易形成与偏弱东北亚脊相联系的东北冷涡。
- ◆ 急流偏北偏强, 一方面使得模拟的东北冷涡位置偏北, 另一方面对东北冷涡的平流较快, 不利于东北冷涡的维持。
- ◆ 模式需要偏强的Rossby波列来克服西风的平流作用, 但模式无法产生过多的偏强Rossby波列, 也导致模拟东北冷涡偏少。
- ◆ 总体来说, LASG的模式对东北冷涡模拟能力不错, 优于一些国际模式。