



中国科学院大气物理研究所建所95周年
IAP 95th Anniversary

基于耦合区域气候模式的长江流域水资源和水汽输送评估

The assessment of water resources and water-vapor transportation analysis based on coupled regional climate model

郑子彦 马柱国 杨庆 段亚雯 陈亮

Ziyan Zheng Zhuguo Ma Qing Yang Yawen Duan Liang Chen
中国科学院大气物理研究所, 中国科学院东亚区域气候-环境重点实验室



研究背景和意义

- 全球变化背景下区域尺度的气候-生态环境发生了前所未有的变化，已成为人类社会可持续发展所面临的一大挑战；
- 水资源是基础自然资源、战略性经济资源，是生态环境的控制性因素之一；
- 发展适用于长江流域气候-水资源的区域耦合模式系统，制作高分辨率的大气-陆面耦合模拟数据集，为长江大保护提供气候和水资源演变科技支撑具有重要意义；
- 通过对长江流域的高分辨率历史区域气候模拟数值试验，并结合历史区域气候、水文过程的观测和再分析资料，揭示气候变化背景下发生的水循环关键要素变化特征，评估水资源和水汽输送格局。

依托项目

本研究依托于以下项目支撑：

中国科学院战略性科技先导专项（A类）

“美丽中国生态文明建设科技工程”

项目4“长江经济带干流水环境水生态综合治理与应用”之课题5：

“长江经济带干流水系统综合模拟与调控平台”之子课题1：

“长江水系统模拟的陆气耦合模型研究(XDA23040501)”（负责人：马柱国）

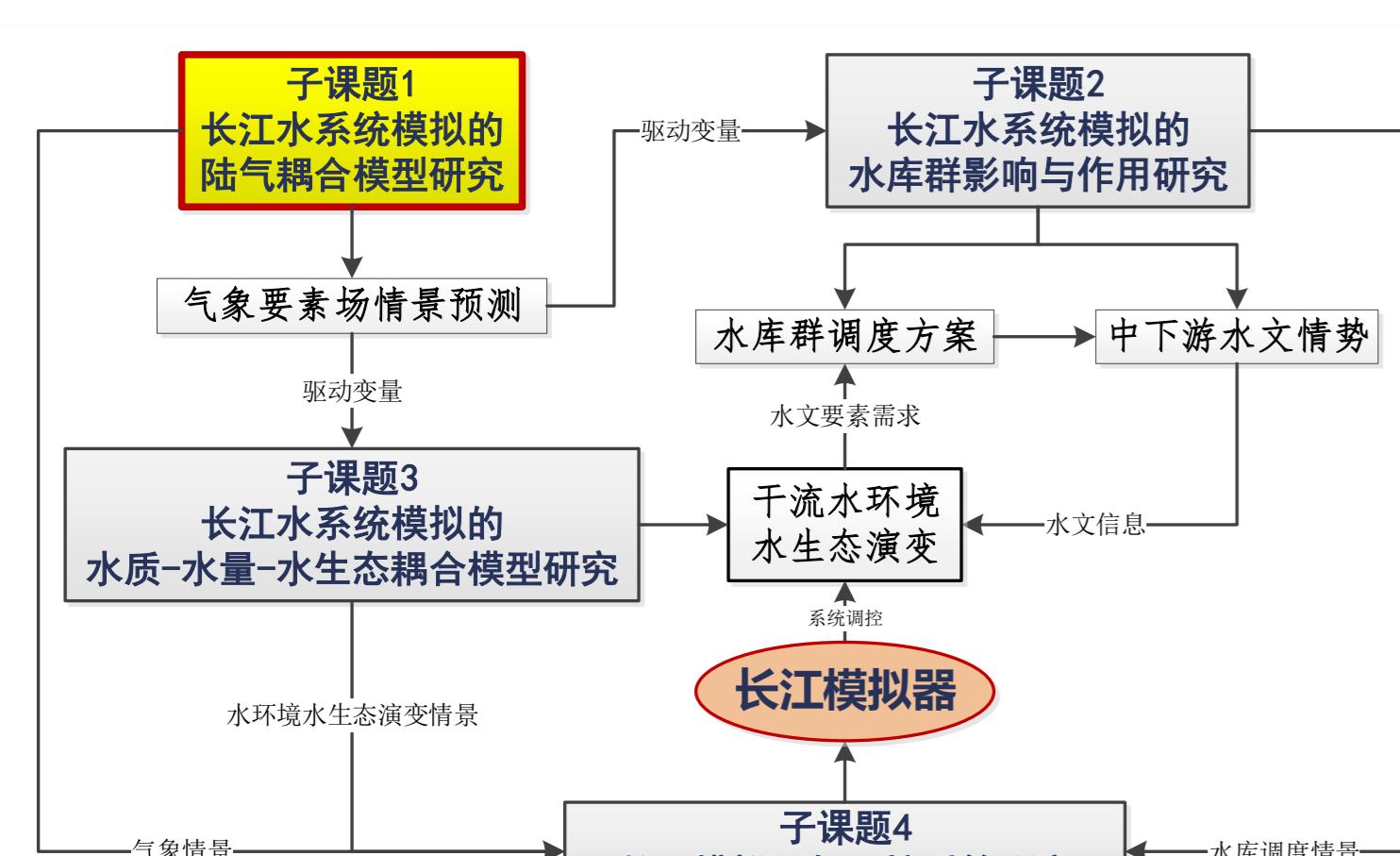


图1 子课题在研究中的定位

实验设计

基于成熟的陆气耦合区域模式WRF，利用生成的ERA-Interim气象驱动场，结合粗分辨率初始场土壤温湿度、海温、海冰、高分辨率的地形与土地利用，以及6小时分辨率的侧边界条件风、压、温、湿。模拟区域包含整个长江流域，模拟时间段为1980.1.1至2018.12.31，研究方案如表1。

表1 模拟研究方案选择

物理方案	方案选取
陆面过程	Noah-MP
微物理方案	Thompson scheme
长波方案	rrtmg scheme
短波方案	rrtmg scheme
边界层	Mellor-Yamada-Janjic TKE scheme

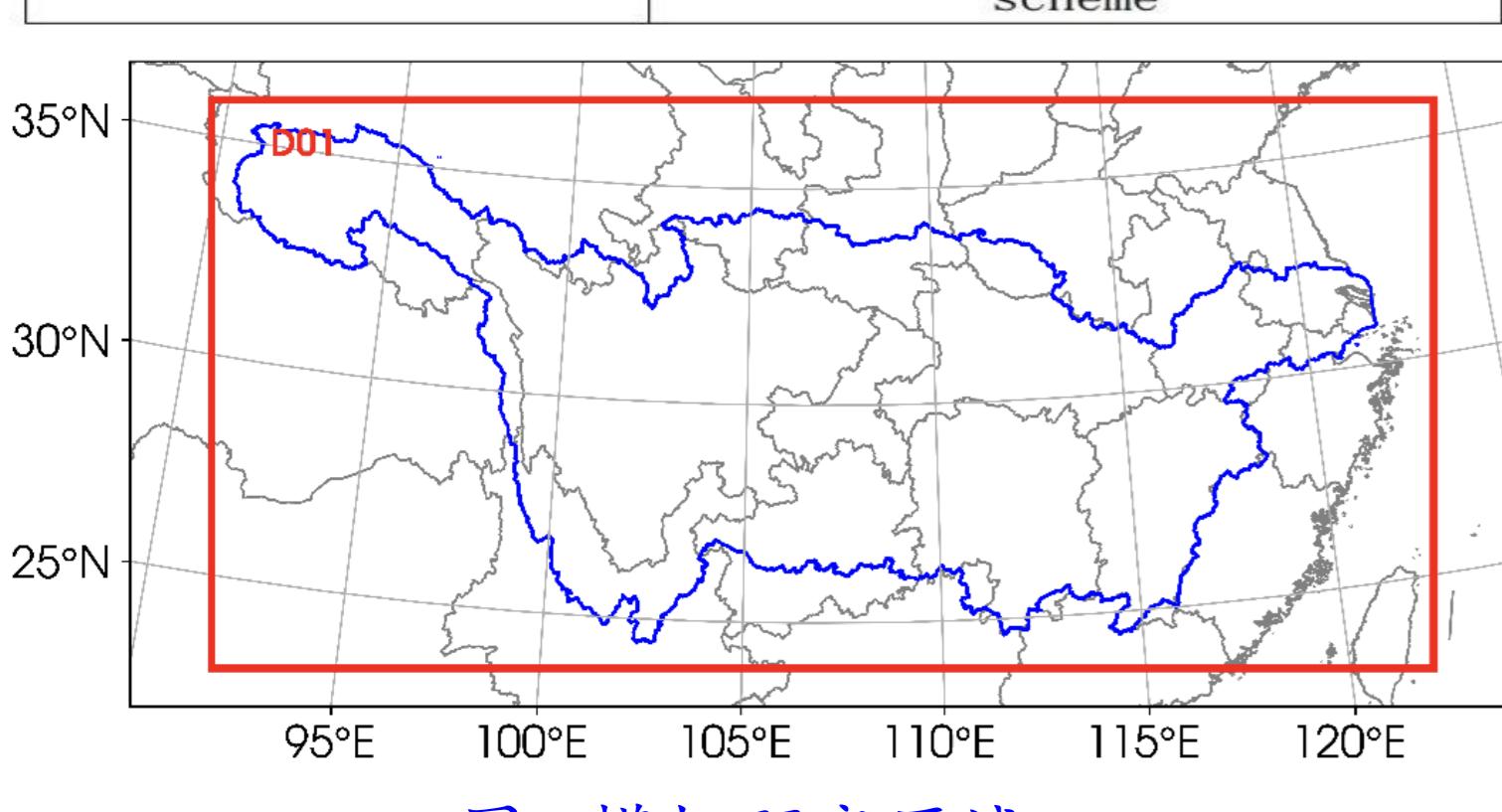


图2 模拟研究区域

长江流域水循环模拟结果分析

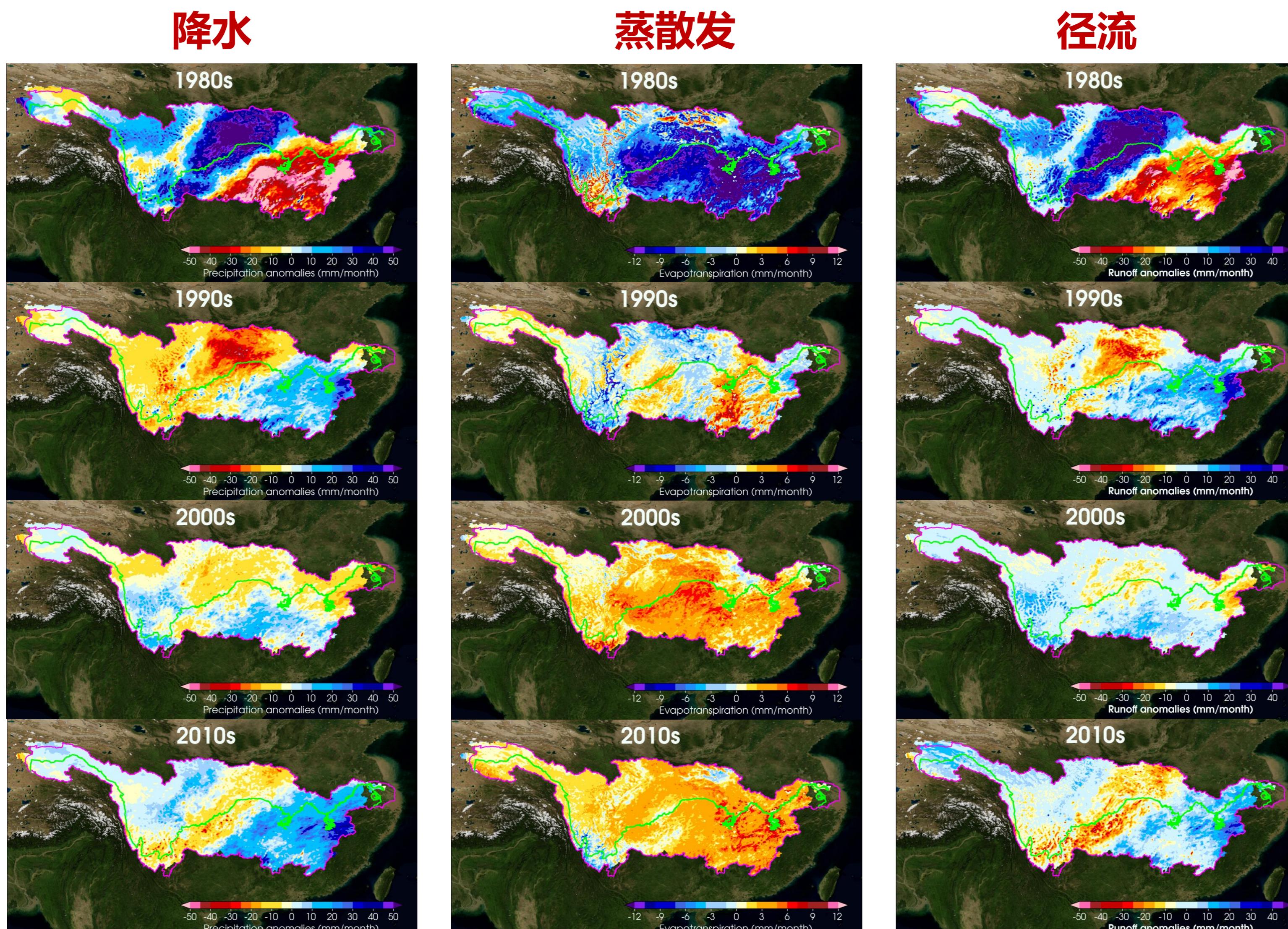


图3 长江流域水循环变量年代际变化

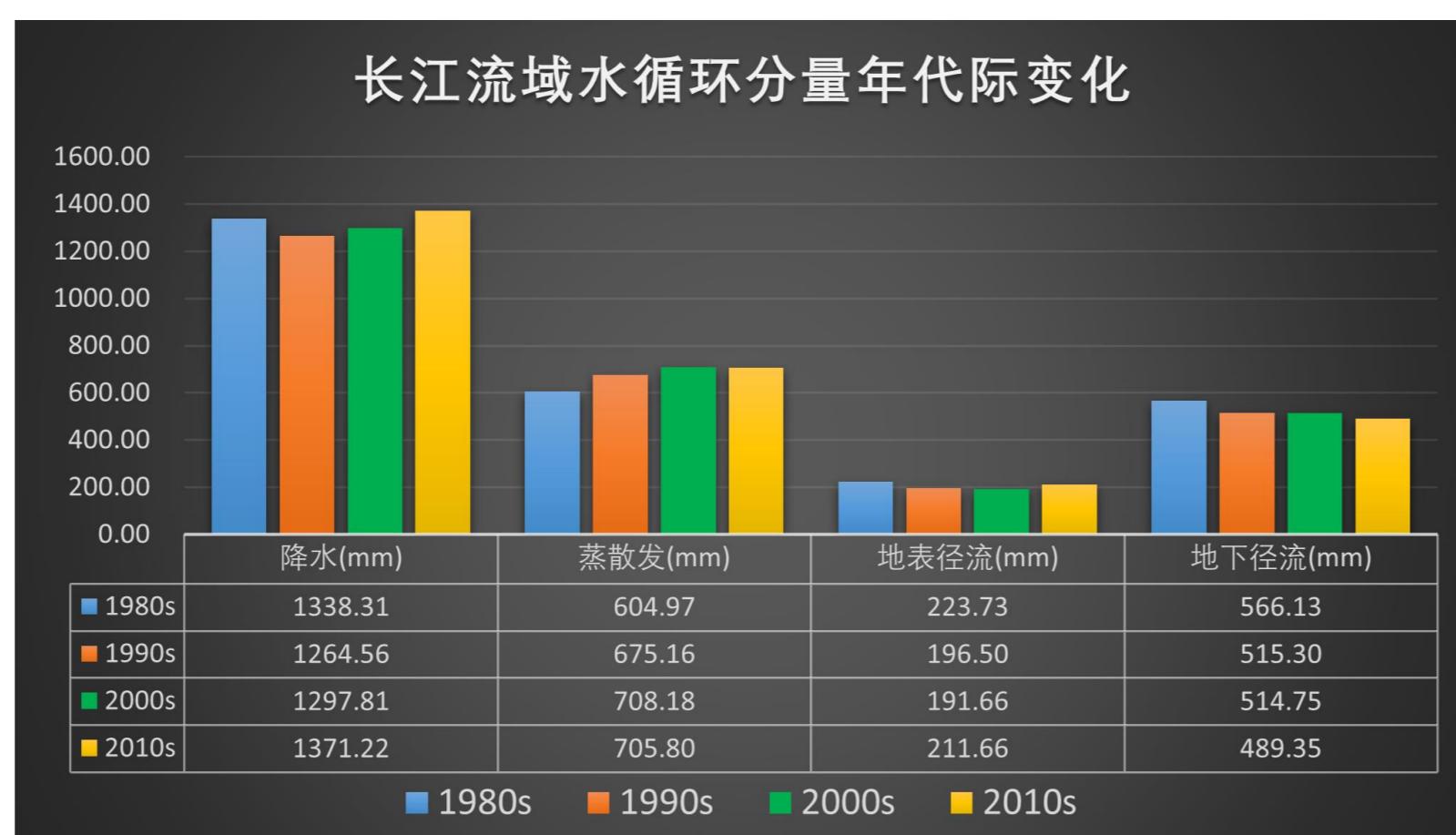


图4 长江流域水循环变量年代际变化统计

- 长江流域降水的空间分布自80年代以来变化较大，上下游旱涝格局在90年代时发生的转变最为显著；
- 在10年代，长江下游地区降水偏多；
- 流域蒸散发则受气温升高的影响，自80年代以来不断增大，特别是洞庭湖和鄱阳湖所在的中下游地区；
- 径流和土壤湿度格局主要受降水因素的主导，与降水分布基本一致。

- 从水循环的角度来看，自80年代以来，受气候变暖的影响，长江流域水循环正在增强并变得剧烈，蒸散发增大，地下径流减少，降水和地表径流则呈现出年代际的波动，这也是导致流域旱涝格局的变化，引发极端旱涝事件不断增多的原因之一。

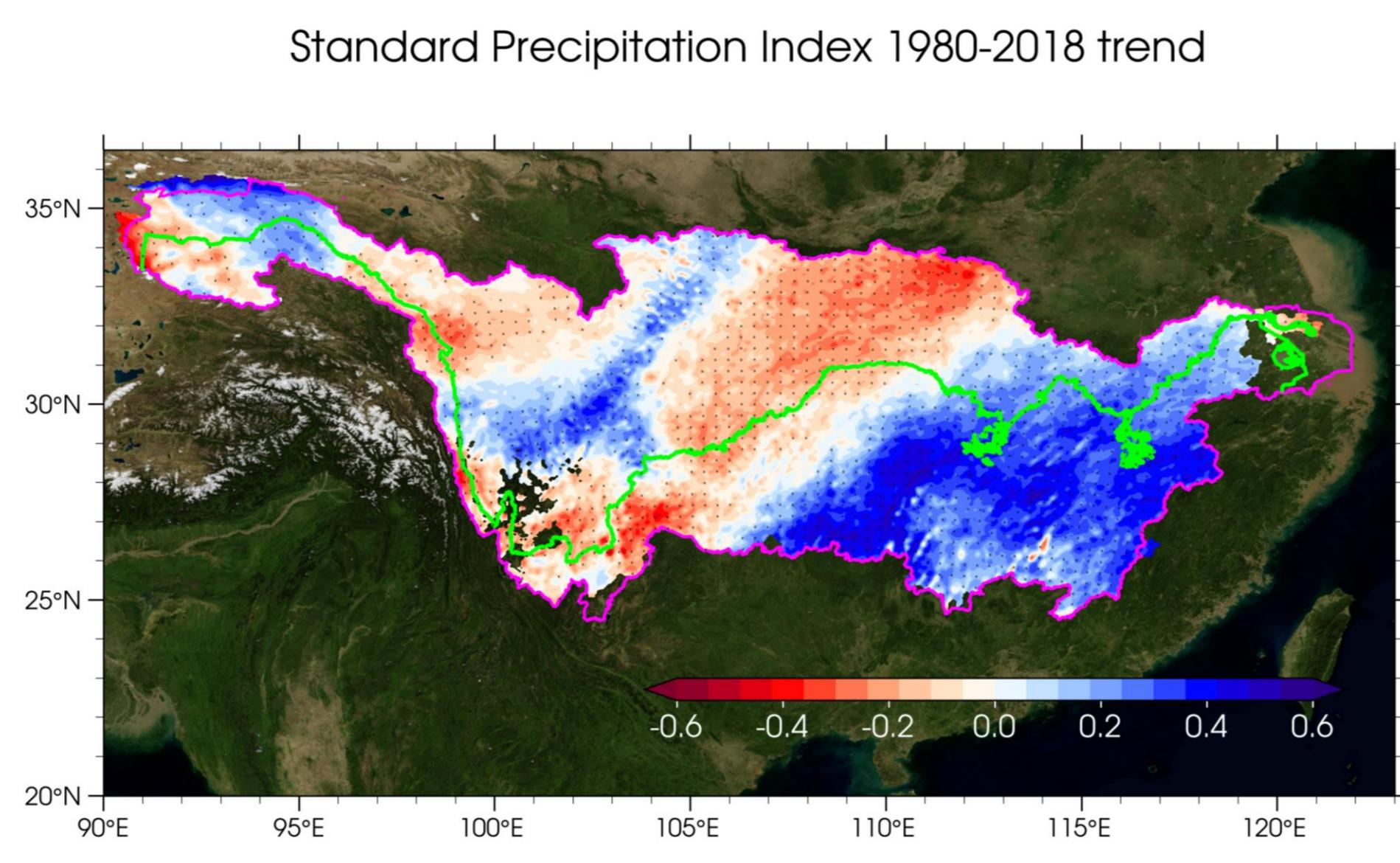


图5 长江流域1980-2018标准化降水指数(SPI)变化趋势

- 根据标准化降水指数，长江流域旱涝格局在1980-2018年间变化趋势呈现出显著的区域性特征，变干趋势主要发生在上游地区，集中在嘉陵江流域、汉江上游和金沙江地区；变湿的趋势则集中在中下游地区。这使得流域在降水总体变化不大的前提下，旱涝的区域分化进一步加剧，导致极端旱涝事件不断增多。

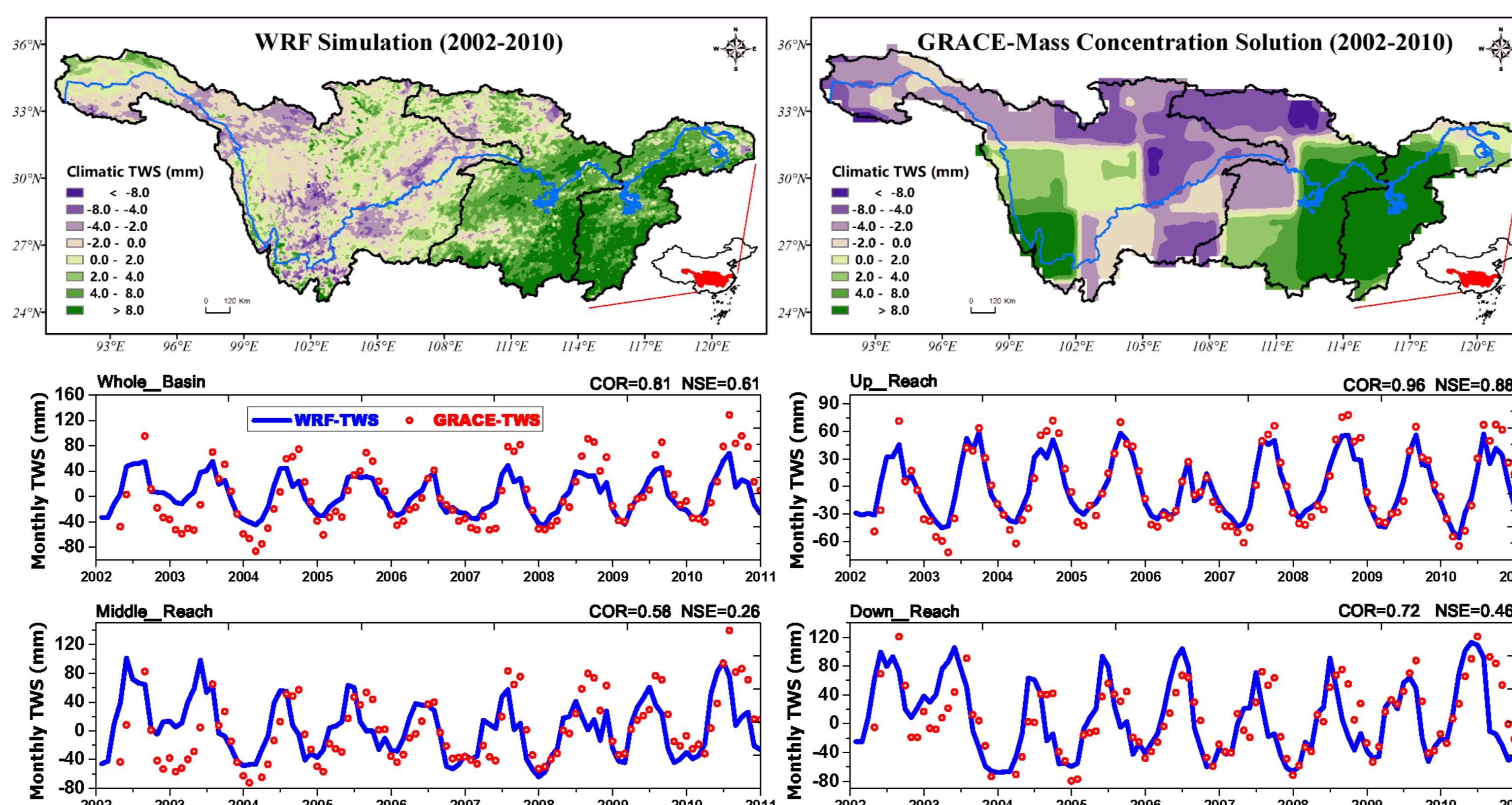


图6 长江流域陆地水储量模拟结果与GRACE产品的对比

- 模式对于陆地水储量气候态的空间分布模拟较好，全流域相关系数可达0.81，NSE为0.61；主要差异发生在2006年三峡水库开始蓄水后；上游最佳，下游次之，中游由于未能考虑三峡水库的调度，效果不佳，NSE仅为0.26。

流域水汽输送分析

基于ERA5数据1959年以来的逐月产品，分析了长江流域水汽输送的年代尺度特征。在1951-2020年总共70年的时间段中，长江流域的主要水汽来源于南侧边界，以经向输送为主，全流域呈现出“西南进、东北出”的基本格局。

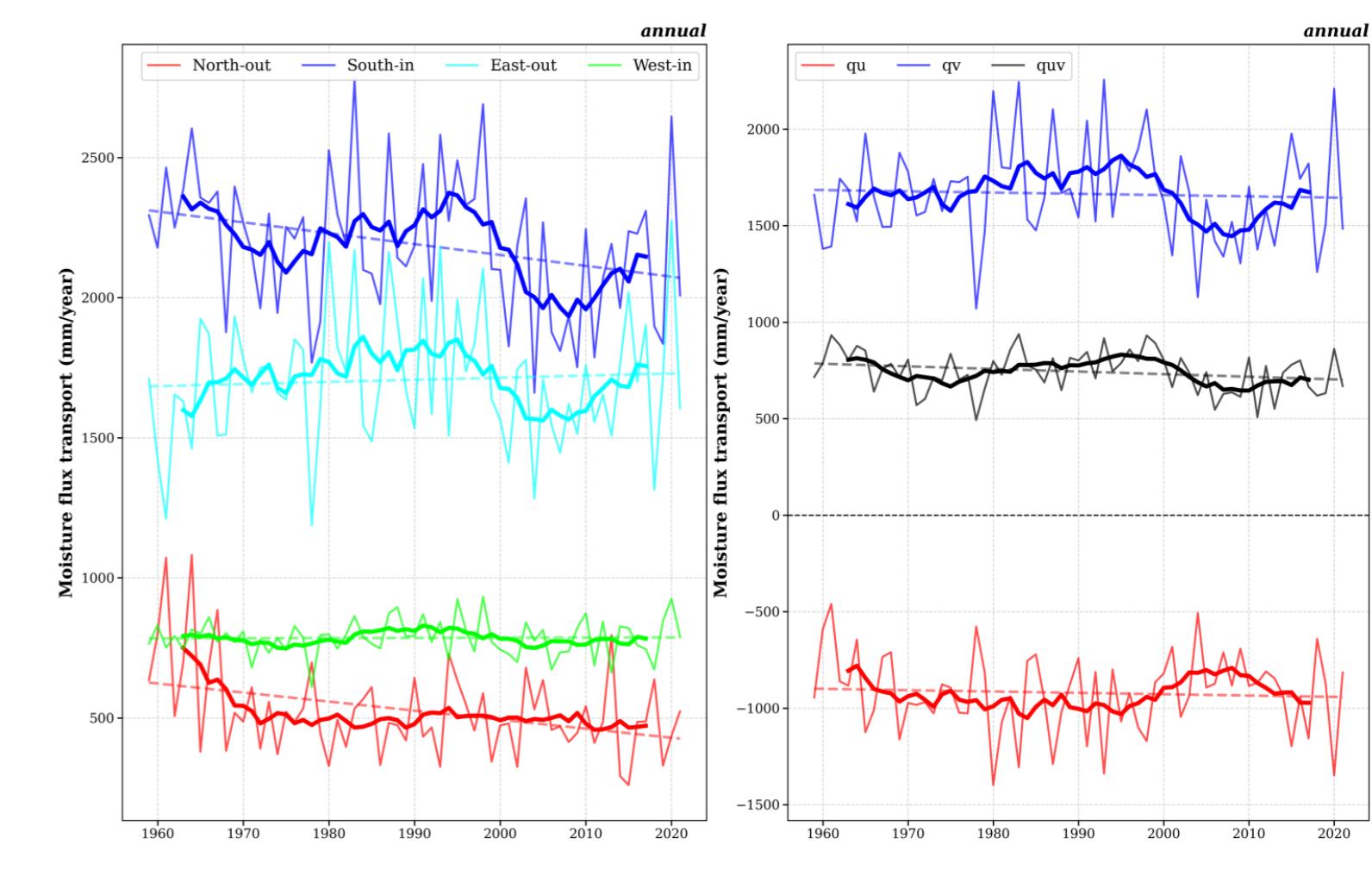


图7 长江流域1959-2021年水汽输送趋势变化

表2 长江流域1959-2021年水汽输送统计

水汽输送	均值 (mm)	趋势 (mm/10yr)
North-out	526.1	-32.3*
South-in	2191.0	-38.8*
East-out	1706.7	7.5
West-in	785.7	0.6
纬向(qu)	-921.0	-7.0
经向(qv)	1664.9	-6.5
总和(quv)	744.0	-13.5

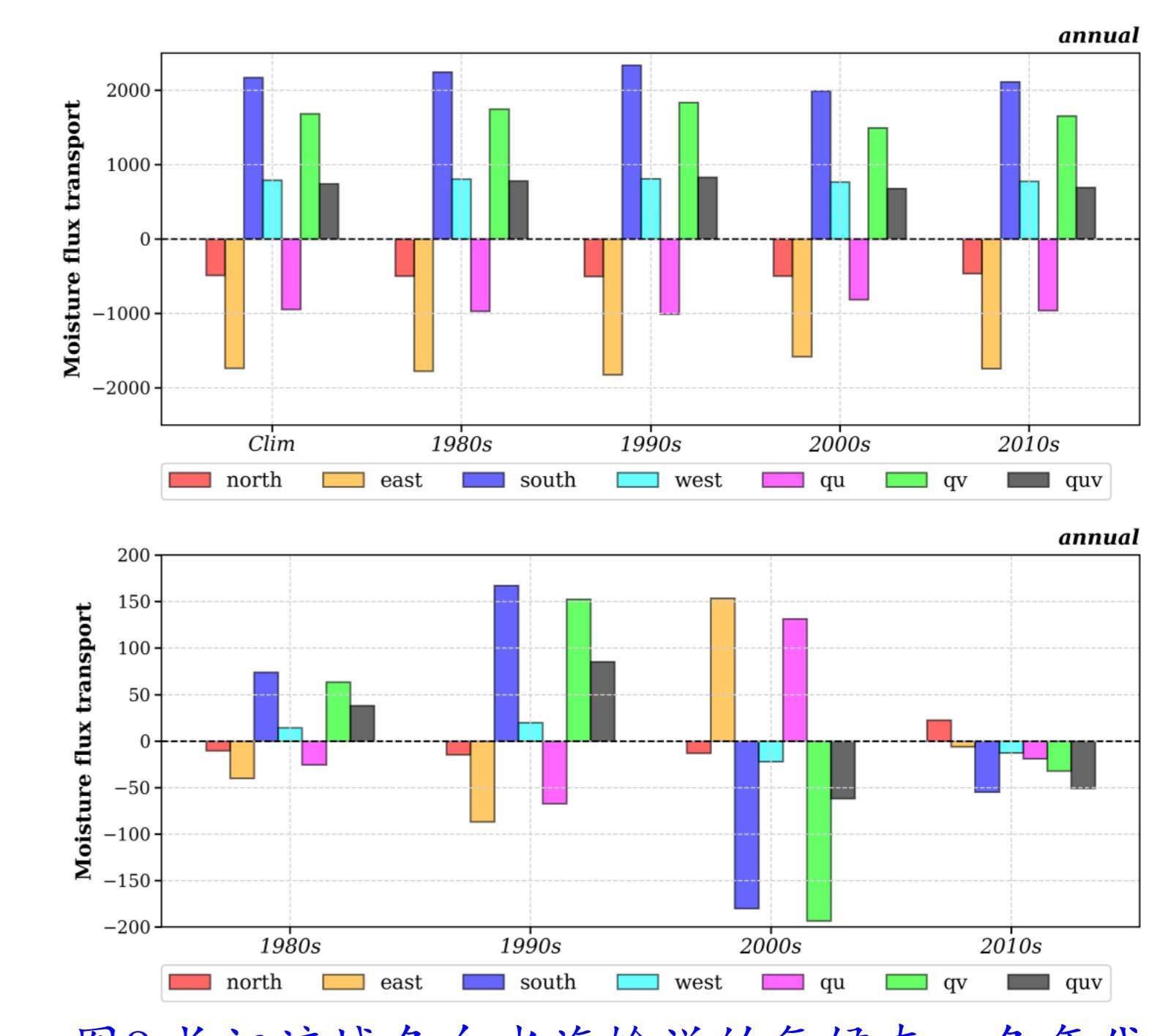


图8 长江流域各向水汽输送的气候态、各年代均值及年代际距平值

- 长江流域总水汽输送呈显著的减少趋势，主要源于南方输入水汽的大幅减少；
- 长江流域各方向水汽输送的年代际波动明显，其中在2000s南方输入水汽显著减少；
- 1959-2021年长江流域总水汽输送呈不显著的下降趋势；
- 其中，南方输入水汽和北方输出水汽均显著减少；
- 流域水汽输送的减弱的原因与太平洋年代际振荡PDO在90年代末以后由正位相转为负位相有关。当PDO处于负位相时，其海温异常可通过海气相互作用引起东亚中纬度地区高空西风减弱，影响东亚上空西风急流的位置并引起西风急流的次级环流发生变化，导致长江流域水汽辐散异常、黄淮流域水汽辐合异常。

联系人

□ 郑子彦: zhengzy@tea.ac.cn

□ 杨庆: yangqing@tea.ac.cn

□ 陈亮: chenliang@tea.ac.cn