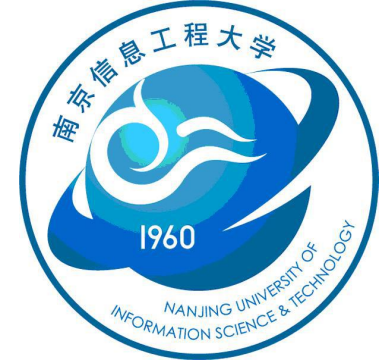




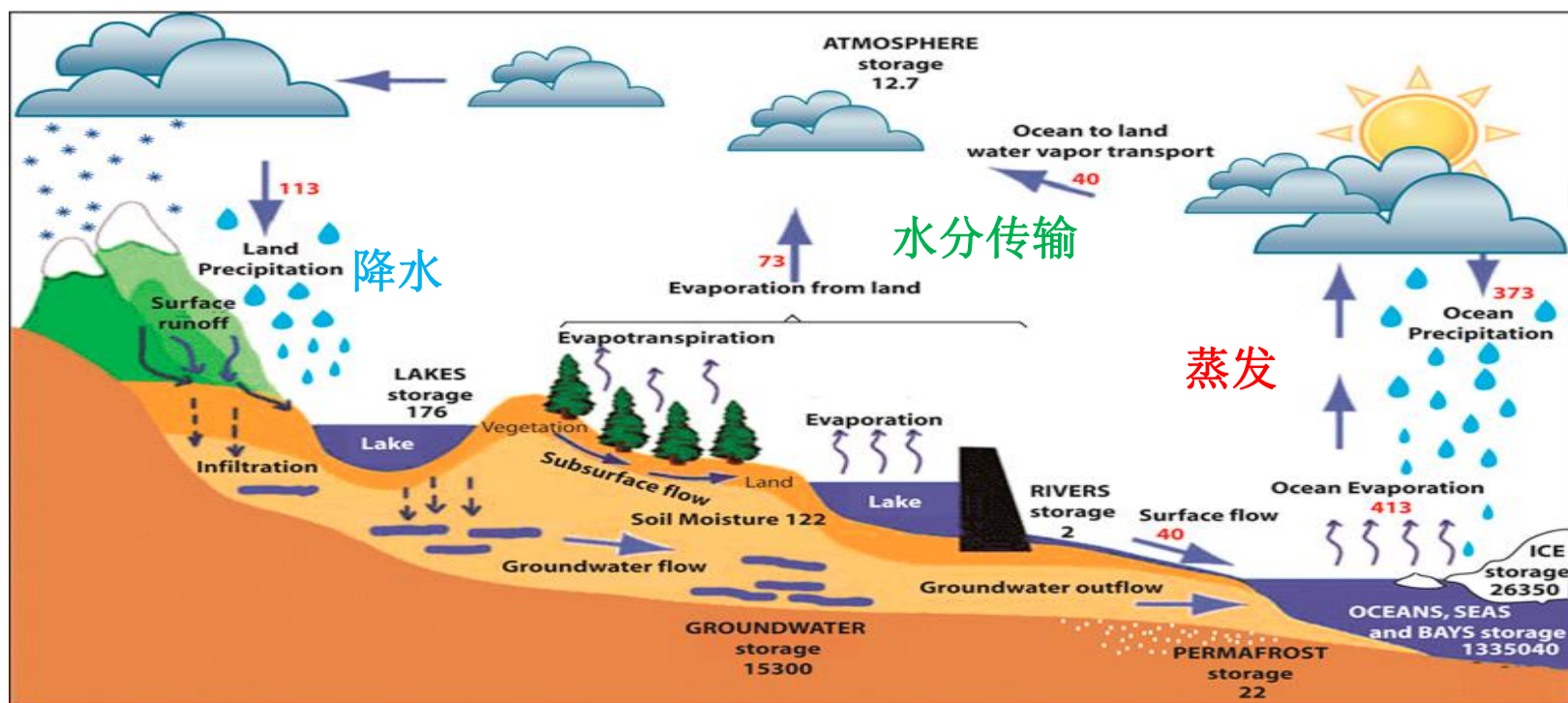
基于全球化学气候模式在线源追踪方法研发及其在东亚地区大气水成物的源解析中的应用

报告人：潘晨

导师：朱彬（教授）

研究目的和意义

水循环在地球气候系统中起着至关重要的作用。通常可以将水循环看成水分蒸发、水汽传输以及降水三个环节构成。



——Trenberth et al., 2007

当前的水循环研究中，大气水分来源的识别是一个重要的主题。对水分来源的加深理解，将有利于长期预报、灾害预警以及水资源分配。

研究进展

◆水分源解析方法

◆东亚地区水分来源的研究

◆青藏高原的水分来源

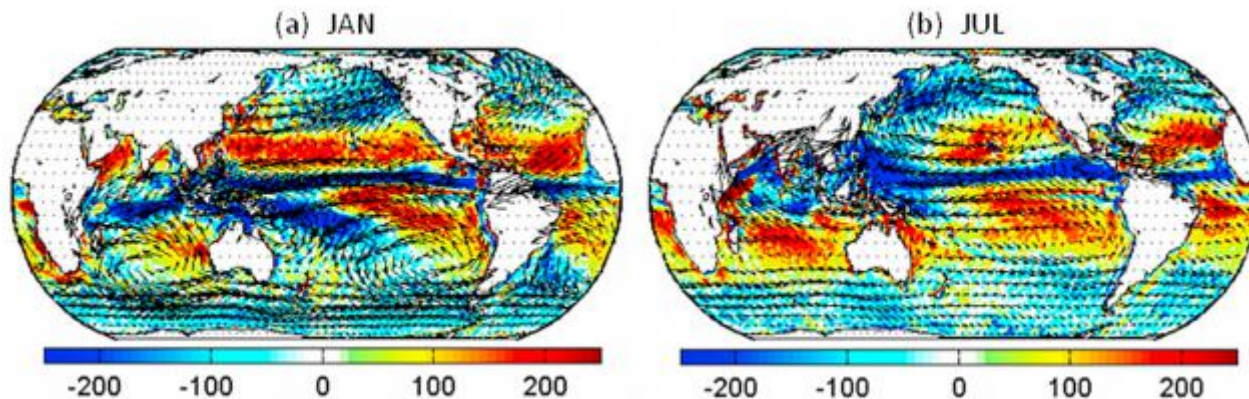
水分源解析方法——解析模型

所有的解析模型都是从大气水汽平衡方程的垂直积分式推导而来，表达式如下所示：

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot \Theta = E - P$$

其中 $W = \frac{1}{g} \int_0^{P_s} q dp$; $\Theta = \frac{1}{g} \int_0^{P_s} q \vec{V} dp$; $\vec{V}$ 为水平风矢量; q 为比湿; P_s 为地表气压; p 为气压; E 为蒸发量; P 为降水量; g 为重力加速度。

解析模型往往必须要**基于一定的假设**，且一般只能应用于**月平均或者更长的时间尺度**（Brubaker et al., 1993; Eltahir and Bras, 1996; Burde and Zangvil, 2001a, 2001b; Savenije, 1995）。



时间尺度较长时， $\nabla \cdot \Theta \approx E - P$

——Xie et al., 2008

水分源解析方法——同位素

水的同位素有这样的一种特性：

较轻的同位素倾向于**蒸发**，而**较重**的同位素倾向于**凝结**。

HDO和**H₂¹⁸O**是水的两种同位素，它们在水汽和降水中可以稳定存在。大量的研究采用水汽和降水中的同位素资料研究了它们和大气过程的关系（Dansgaard, 1964; Craig and Gordon, 1965; Ehhalt, 1974; Jouzel, 1986; Gedzelman and Arnold, 1994; Webster and Heymsfield, 2003; Yoshimura et al., 2003, 2004; Worden et al., 2007）。

站点数据：

国际原子能组织（IEAE）和世界气象组织（WMO）自1961年成立了全球降水同位素观测网（GNIP），已有53个国家的183个站点。

卫星数据：

IMG (Interferometric Monitor for Greenhouse gases sensor)

TES (Tropospheric Emission Spectrometer)

MIPAS (Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding)

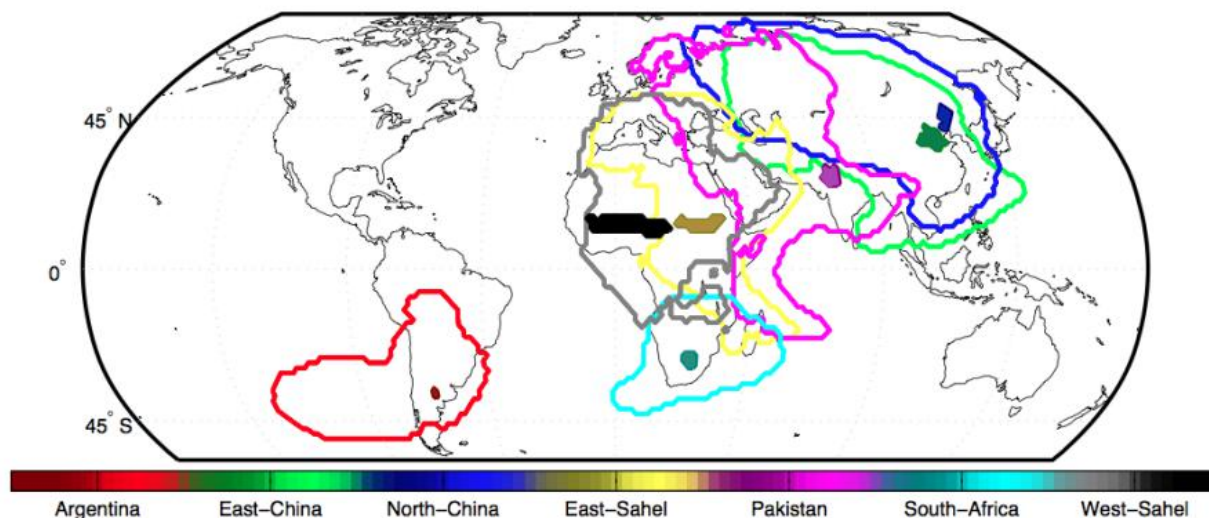
SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Chartography)

水分源解析方法——拉格朗日法

最初，该方法是通过降水区域进行简单的后向轨迹计算，进而推测出气块的来源（D'Abreton and Tyson, 1995）。

Massacand et al. (1998) 通过计算轨迹上的比湿的减少量来确定降水率，然后诊断出降水的水分来源地。

Key et al. (2012) 采用后向轨迹法计算了7个陆地上降水区所对应的降水贡献达到70%的区域范围。



水分源解析方法——欧拉方法

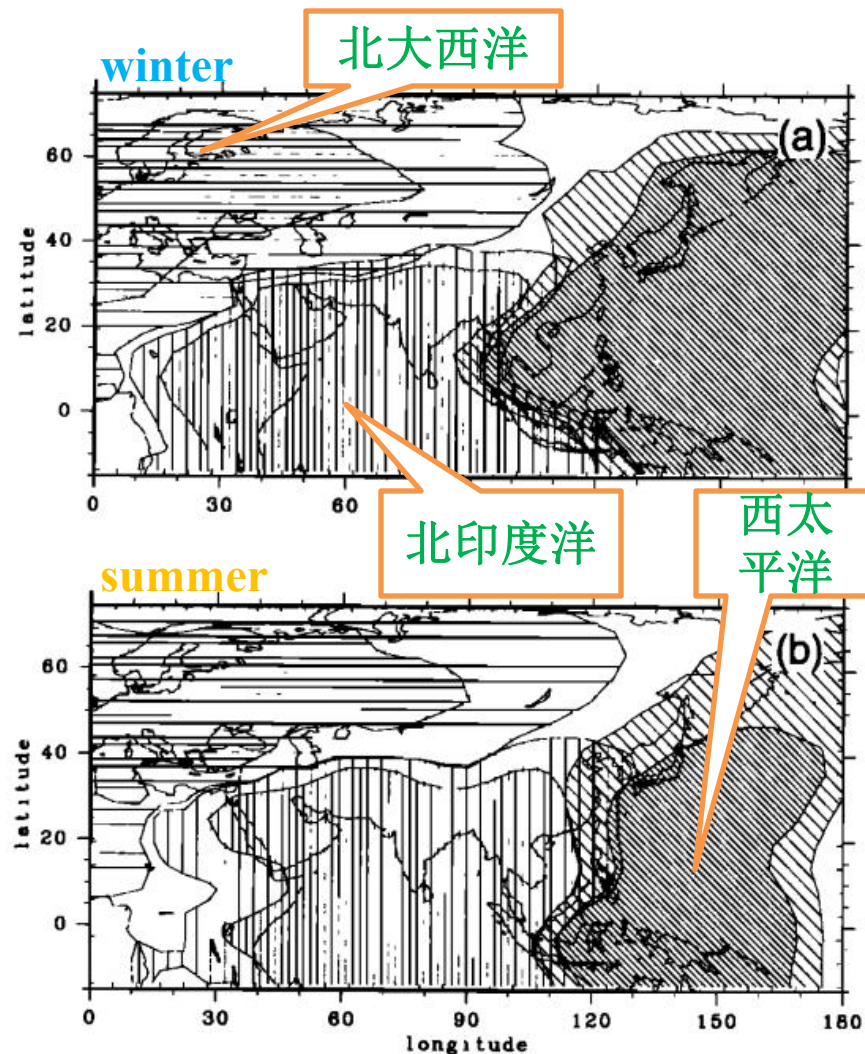
将水分示踪物加入到大气环流模式中并经历和模式中原水分物质相同的一系列过程。进而，可以通过数值模拟的结果来分析大气中的水分是如何传输和转化的。

Koster et al. (1986) 首先在全球环流模式中应用。

Druyan and Koster (1989), Bosilovich and Schubert (2002) 分别对撒哈拉沙漠、美国中西部和印度地区的降水来源进行了研究。

Numaguti (1999) 采用水物质示踪物方法重点考察了欧亚大陆地区的降水来源贡献。

Knoche and Kunstmann (2013) 将水物质示踪物方法应用到了MM5，并考察了沃尔特河的蒸发量对西非地区降水的贡献。



——Numaguti, 1999

水分源解析方法——优缺点

方法类型	优点	缺点
解析模型	简单，参数少	忽略边界上的过程； 需要一定假设（well mixed）； 月或更长时间有效
同位素法	简单易用	同位素信号敏感性；数据可得性
拉格朗日法	高的空间分辨率；计算高效；信息丰富	所有的拉格朗日方法都缺少云物理过程参数化
敏感性试验	简单	非线性
欧拉方法	基于详细的物理参数化过程，能够反映真实的水分传播过程中的物理变化特征	受到模式的性能的影响，且运用开发也较为复杂

研究进展

◆水分源解析方法

◆东亚地区水分来源的研究

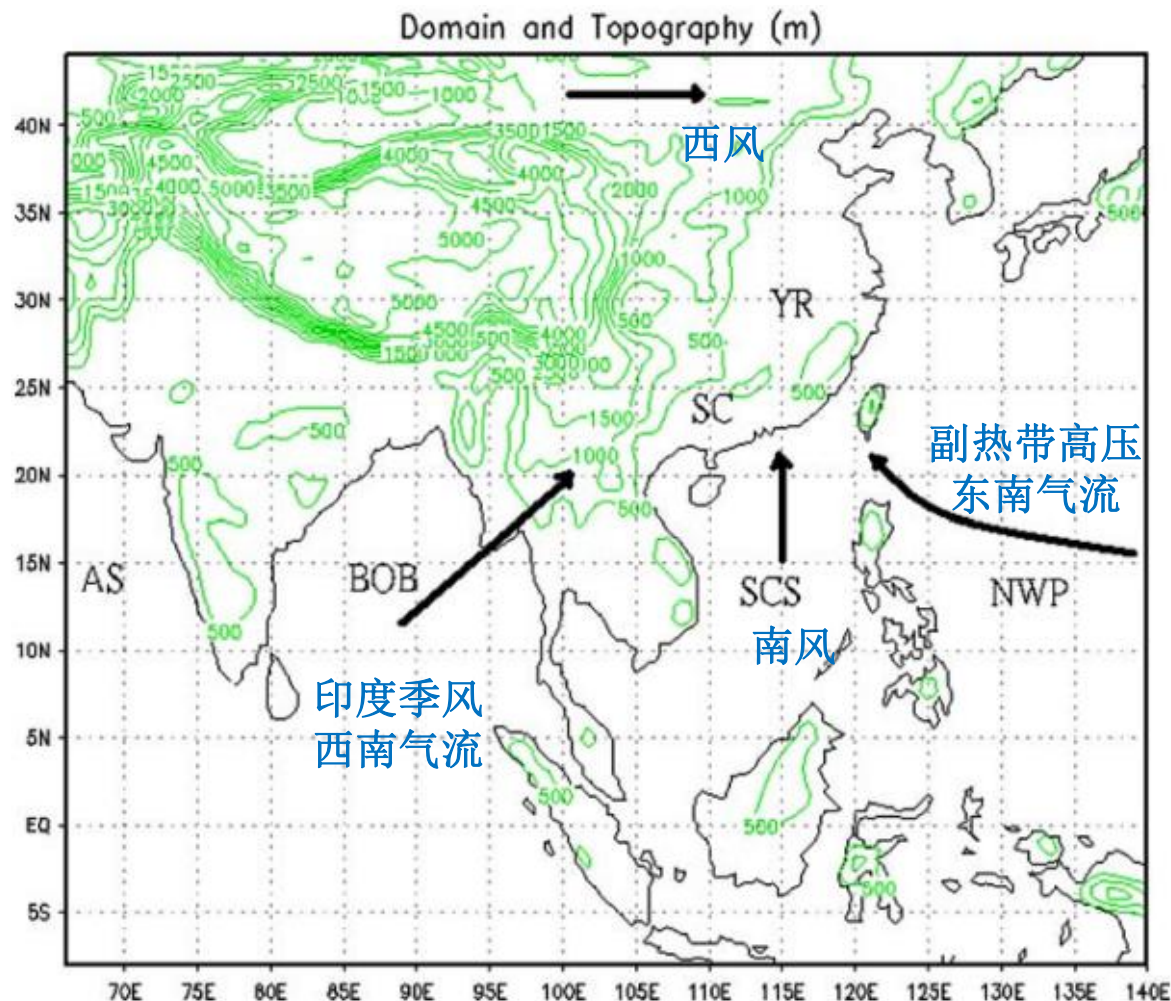
◆青藏高原的水分来源

东亚地区水分来源研究

Huang et al. (1998), Simmonds et al. (1999), 田红等 (2004) 的研究表明, 低空主要有三支季风环流向中国地区传输水汽。

此外, 中纬度地区的西风气流也会引起微弱的水汽传输。

Ding et al. (2008), Huang et al. (2004), Zhou et al. (2008), Chen and Huang (2008) 也都指出中国东部的降水的变化和季风引起的水汽传输的变化有着直接关系。



夏季，孟加拉湾、南海以及西北太平洋三个地区上蒸发的水汽都会通过这些季风环流传输到东亚地区，进而影响东亚乃至整个亚洲大陆的水分循环。但研究发现这些源区的贡献仍**存在一些变性和不确定性**。

Lau et al. (2002) 认为南海是1998年6月出现在长江流域的强降水的水分来源。

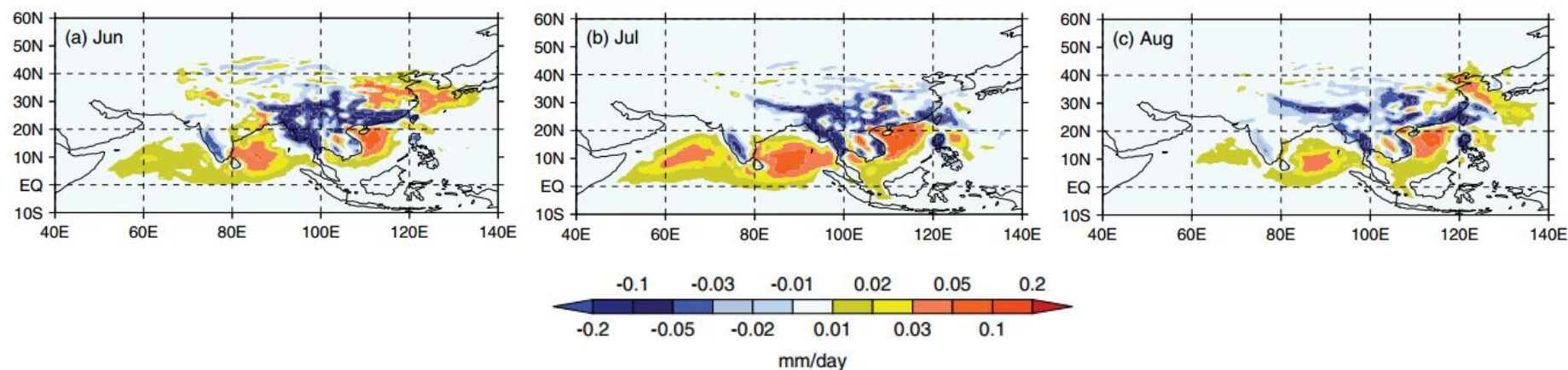
田红等 (2004) 也发现华南的夏季降水量和南海上空的水分传输存在明显的关联性。

Simmonds et al. (1999) 发现在中国的干、湿年份，南海上空的水分传输存在明显的差异。

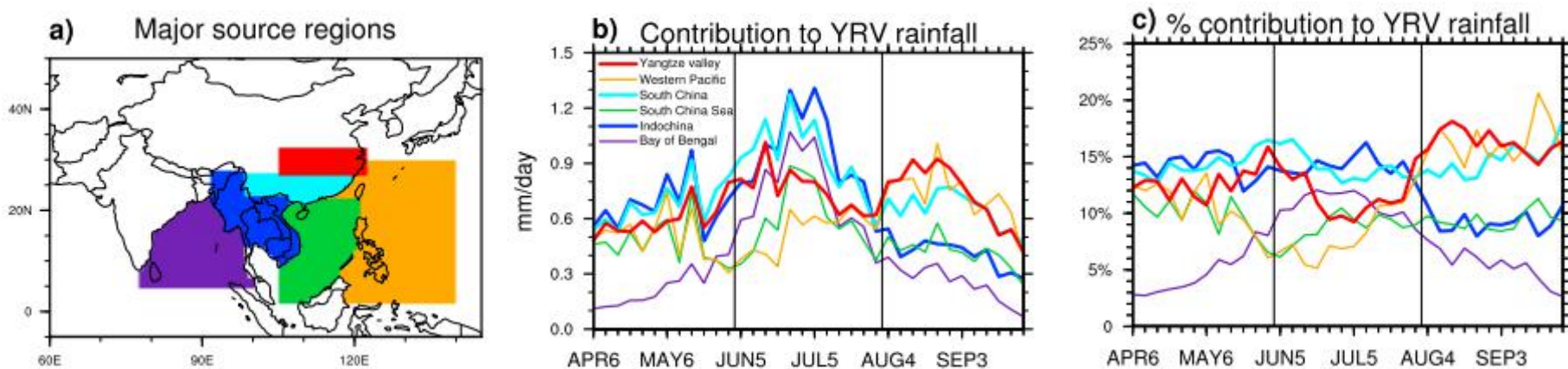
Chen (1994), Li (1999), Xu et al. (2003), Qian et al. (2004) 等研究指出来自孟加拉湾的西向气流是中国夏季降水的主要水汽通道。

Ding (2004) 研究指出从南海输送到中国的水汽要受到孟加拉湾上空的西南气流和西北太平洋副热带高压南部边缘的东南气流这两个气流的影响。

Chen et al. (2012) 采用FLEXPART模式研究发现，东海（17.5%）、南海（26.6%）、印度半岛—孟加拉湾（20.5%）、阿拉伯海（13.6%）是长江流域夏季水汽的四个主导源区。



Wei et al. (2012) 采用FLEXPART模式研究发现，长江流域的水分传输通道出现在陆地上空而非海洋上。



Numaguti (1999) 采用水汽示踪物方法研究也发现欧亚大陆内陆地区的夏季降水中超过80%源自陆地的蒸发，而冬季降水中来源于陆地蒸发的贡献量则不到40%。

winter

summer

孟加拉湾 vs. 南海 vs. 西北太平洋

海洋源 vs. 陆地源

阴影稀疏区为陆地源贡献超过40%，密集区为陆地源贡献超过80%。

研究进展

◆水分源解析方法

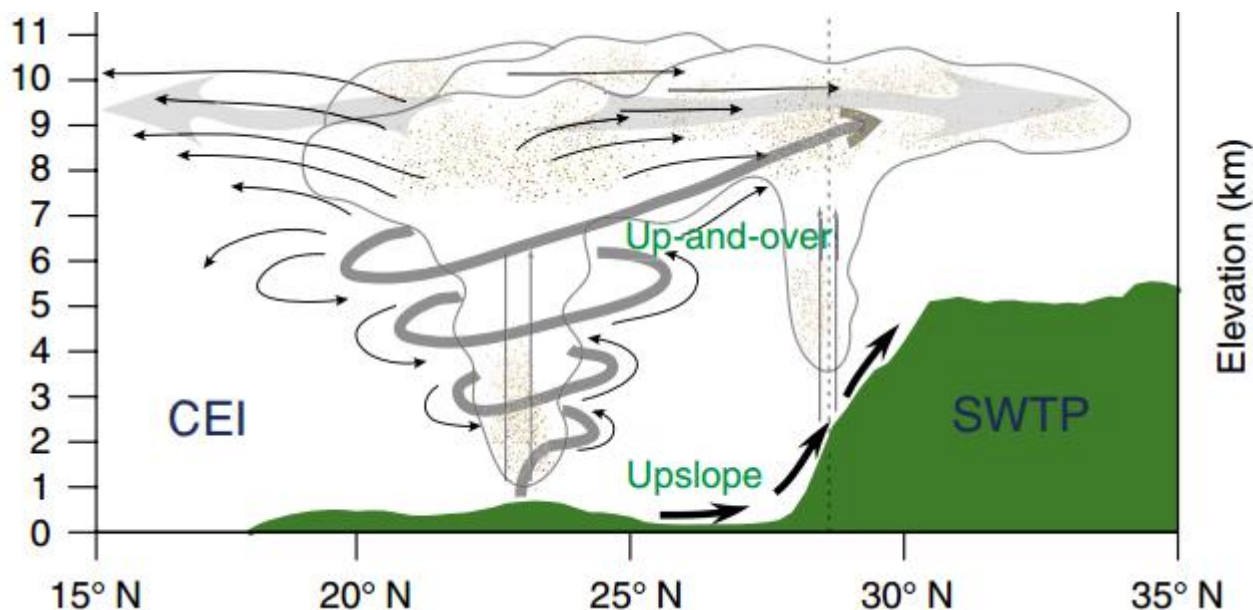
◆东亚地区水分来源的研究

◆青藏高原的水分来源

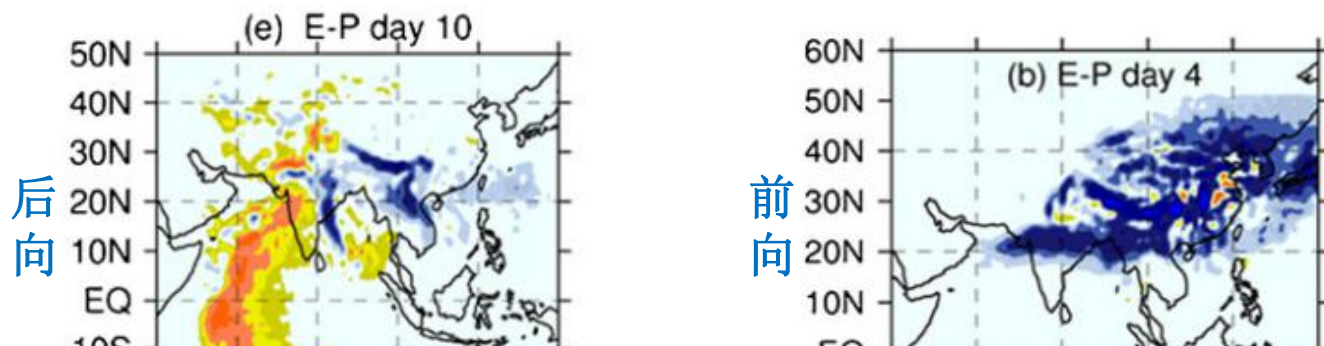
青藏高原的水分来源

青藏高原是世界上最高和最大的高原，对地球气候系统的水循环有着深远的影响（Xu et al., 2008），是影响其局地 and 下游地区的水资源分配的关键区域（Curio et al., 2015）。近年来，很多研究关注于高原大气水分来源的识别：

Dong et al. (2016) 提出了一种新的水分传输通道：水分在印度中-东部被对流抬升，再由中对流层的环流将其传输至青藏高原的西南地区。并指出由此通道传输而来的水分为高原的西南地区贡献了大约一半的降水。



Chen et al. (2012) 采用FLEXPART模式研究发现，阿拉伯海-南半球印度洋之间的一个狭长带区是青藏高原（TP）地区的一个主要的水汽源区。这些水汽又会很快地从TP离开向东亚地区传输。



外部传输 vs. 局地水循环

Curio et al. (2015) 通过计算水汽通量，指出高原地区降水的40%来自外部地区，而余下的60%源于局地水分循环。

Yang et al. (2006) 通过估算 $\delta^{18}\text{O}$ 资料，认为高原的中-北部地区的夏季降水主要由局地蒸发提供。

问题的提出和研究工作

- a) 基于全球气候模式，开发大气水物质在线源解析方法。
- b) 东亚地区降水和水汽含量的最主要源区有哪些？亚洲夏季风期间，南海对于东亚地区的降水和水汽含量担当一种什么样的角色？主导源or传输通道？
- c) 青藏高原的主要水分来源有哪些？

资料与方法

资料与方法——模式

CAM5.1模式由NCAR开发，目前作为地球系统模式CESM的大气模块。

水平分辨率： $1.9^\circ \times 2.5^\circ$

垂直范围：地表至4 hPa高度（~40 km）

模拟时间：1990~2011年

化学机制：MOZART-4（水分在化学过程中无变化）

涉及水物质变化的相关物理过程：

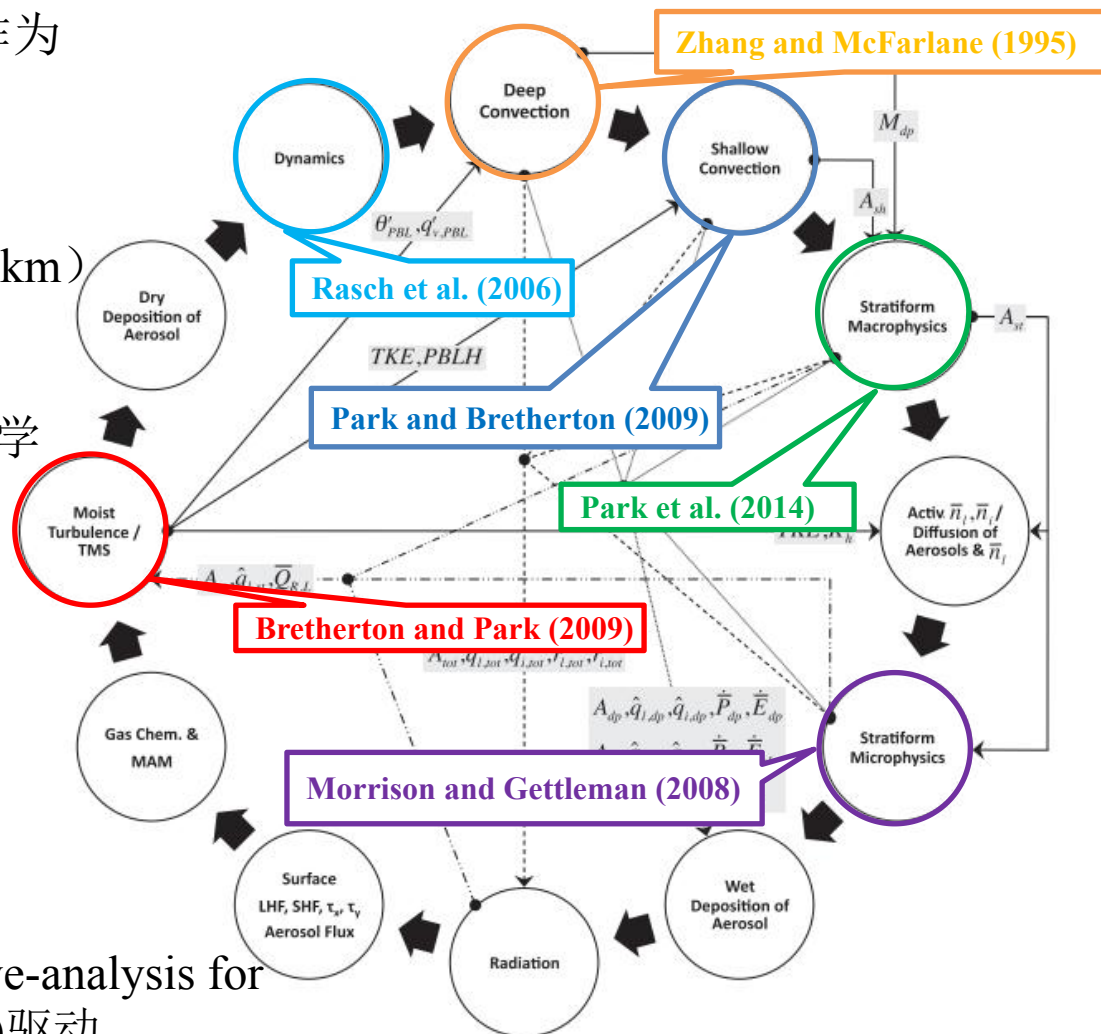
对流过程（deep + shallow）；

云宏观、云微观；

平流过程；

垂直扩散。

气象场采用Modern Era Retrospective-analysis for Research and Applications (MERRA)驱动。



——Park et al. (2014)

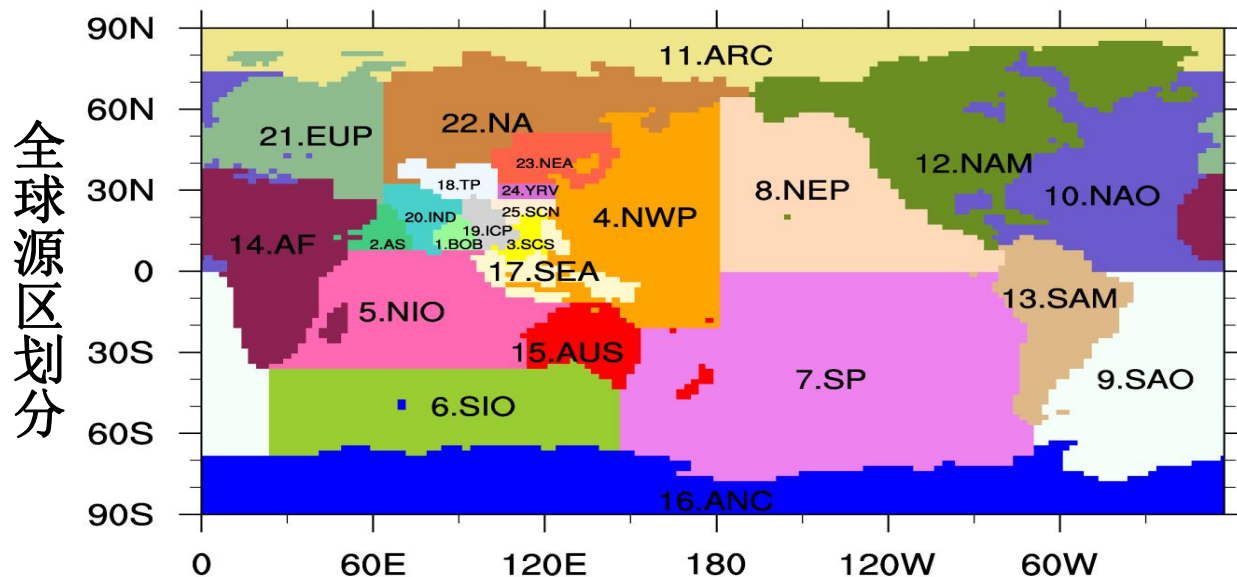
资料和方法——大气水物质示踪物方法

大气水物质示踪物法的基本思想：

首先，根据地理位置，将全球划分成若干个源区，每个源区对应5种被动的水物质（水汽、云滴、冰晶、降雨和降雪）示踪物。源区内部，其水汽示踪物的地表排放等于原始水汽的地表蒸发；源区外部，其水汽示踪物的地表排放为零。

然后，让这些水物质示踪物在CAM5.1模式中经历和原始水物质相同的一系列物理过程。

最终，从模拟结果中得到各个源区对于空间任意点上的大气水物质含量的贡献。



海洋性：源区1~11

陆地性：源区12~25

注意：

当标记的降水从地表再蒸发，它就被当做其再蒸发区域的新水分示踪物。

所有示踪物和原水物质都是相互独立的，且对动力和热力场无反馈作用。

Geosci. Model Dev., 10, 673–688, 2017
www.geosci-model-dev.net/10/673/2017/
doi:10.5194/gmd-10-673-2017
© Author(s) 2017. CC Attribution 3.0 License.



Source apportionment of atmospheric water over East Asia – a source tracer study in CAM5.1

Chen Pan^{1,2,3,4}, Bin Zhu^{1,2,3,4}, Jinhui Gao^{1,2,3,4}, and Hanqing Kang^{1,2,3,4}

¹Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, China

²Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, China

³Key Laboratory of Meteorological Disaster, Ministry of Education (KLME), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, China

⁴Joint International Research Laboratory of Climate and Environment Change (ILCEC), Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, China

Correspondence to: Bin Zhu (binzhu@nuist.edu.cn)

Received: 29 September 2016 – Discussion started: 30 September 2016

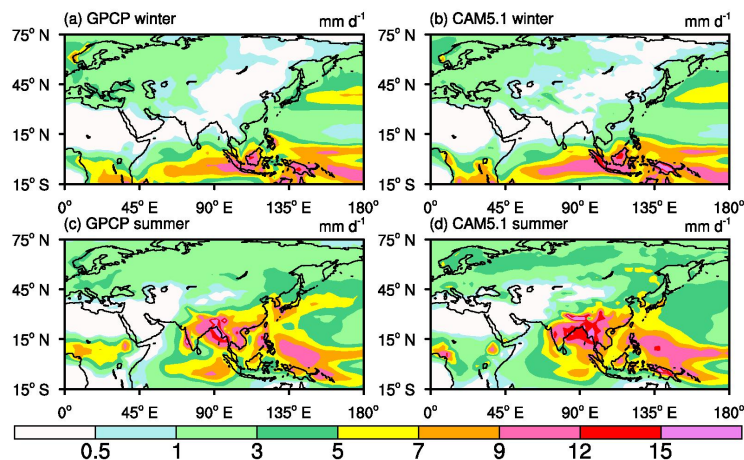
Revised: 30 December 2016 – Accepted: 17 January 2017 – Published: 13 February 2017

结果与讨论

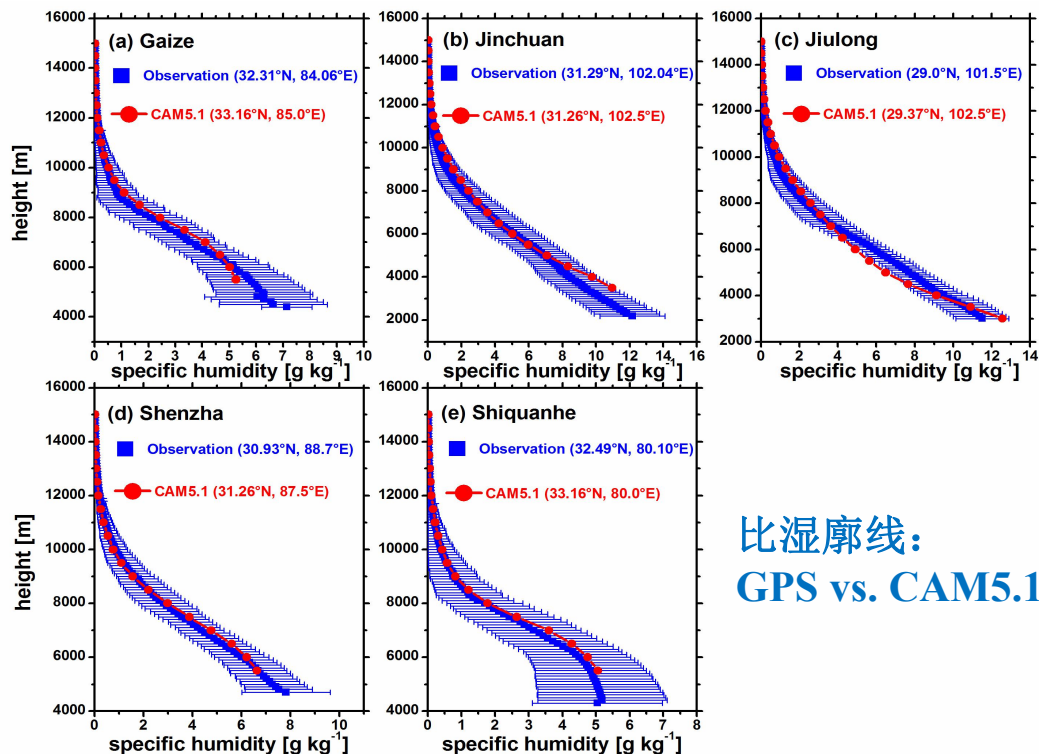
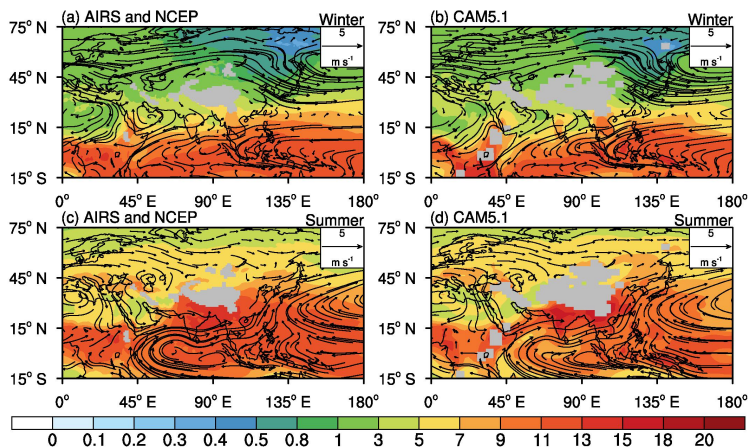
(I) 检验

模式性能

降水量: 1991~2011 GPCP vs. CAM5.1



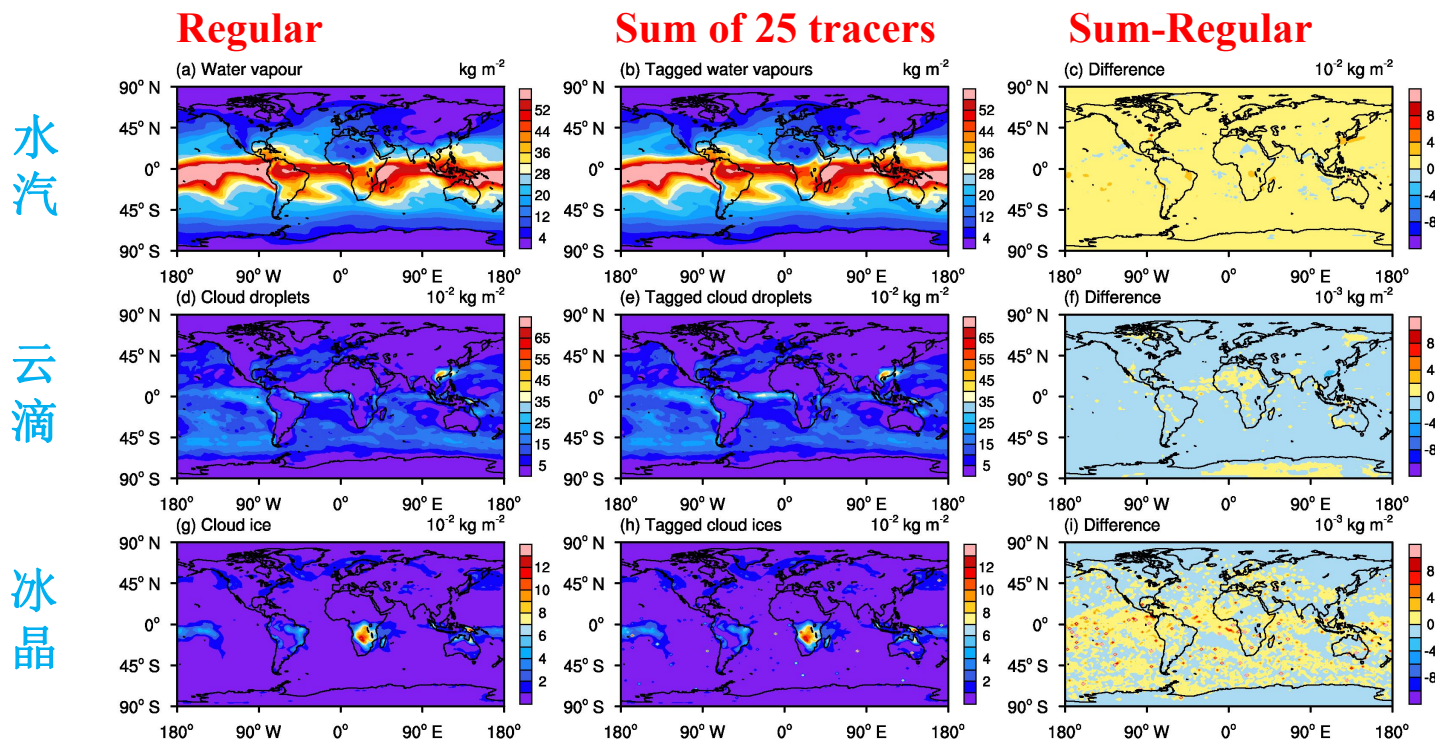
水汽含量: 2003~2011 AIRS vs. CAM5.1



比湿廓线:
GPS vs. CAM5.1

CAM5.1整体能够模拟出东亚及其周边地区的降水、水汽含量的分布情况。

收敛性



理想状态下，应该满足质量守恒。但在少量格点上，仍存在明显的差异。

增加额外的准则：

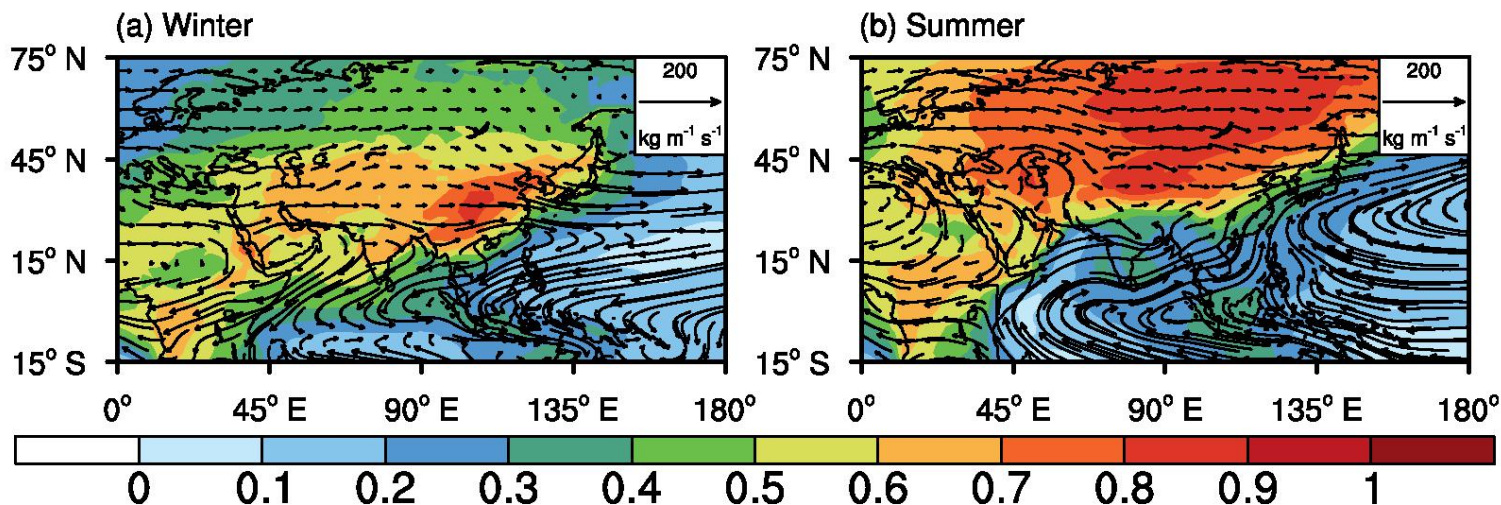
各个相关物理过程中，各示踪物的变化率之和=原始水物质的变化率，且符号要相同。

结果与讨论

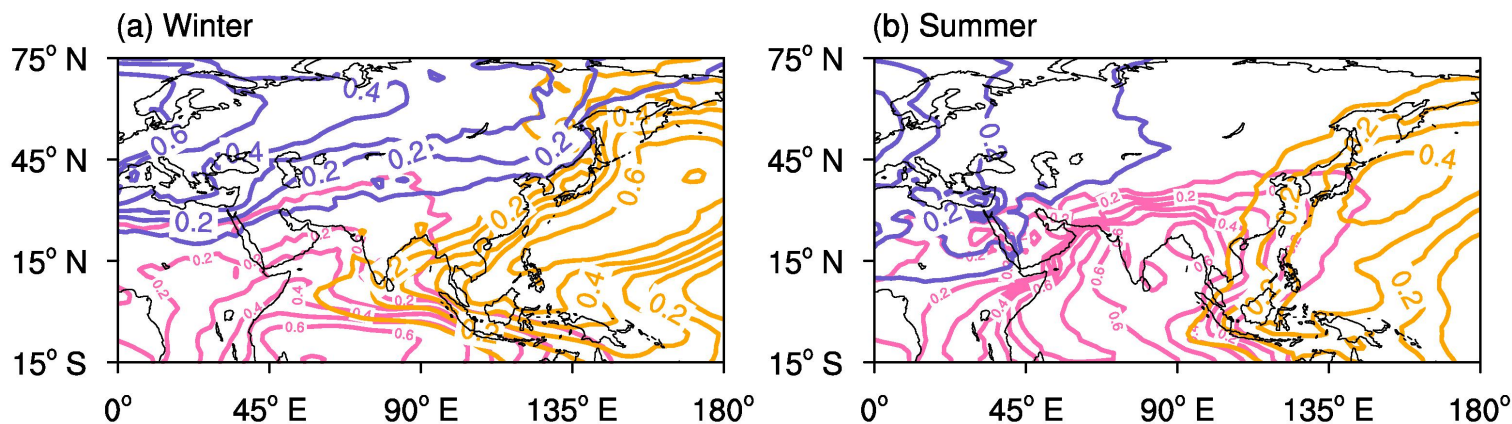
(II) 东亚

陆地和海洋源贡献

陆地源贡献

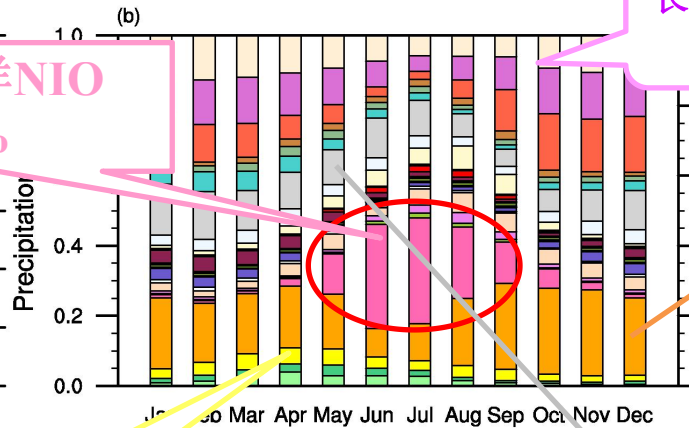
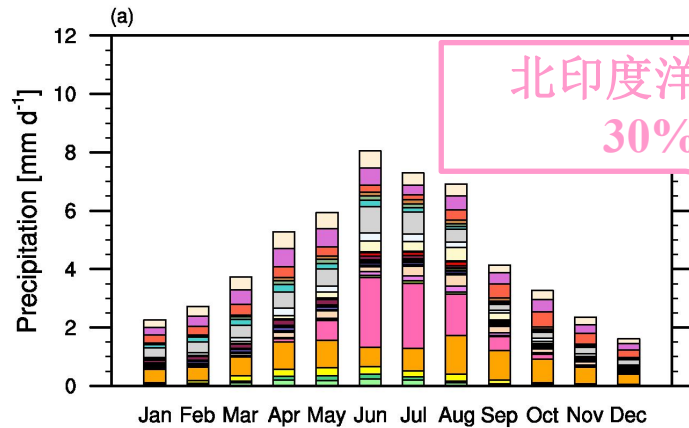


海洋源贡献

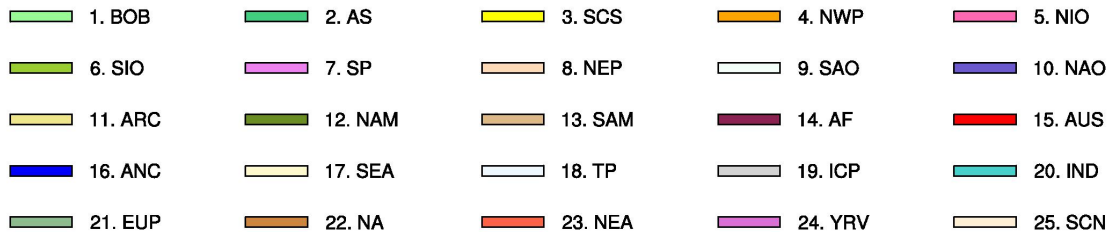
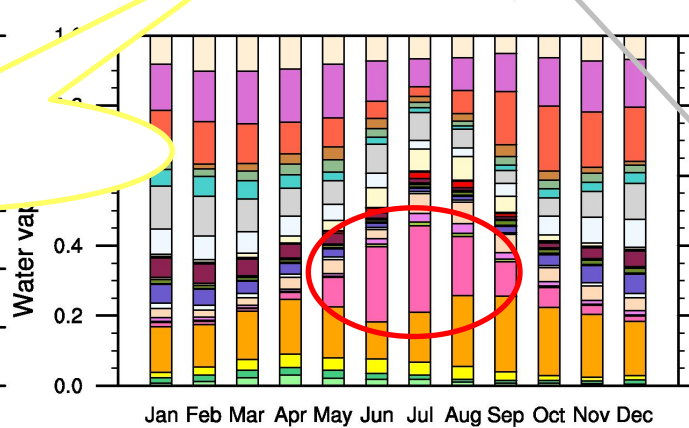
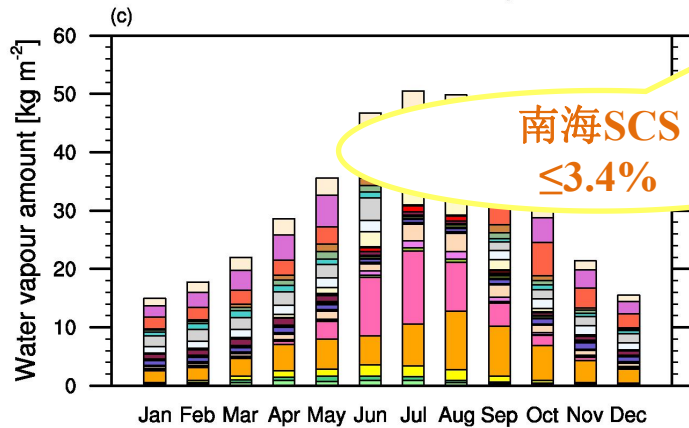


长江流域YRV

降水

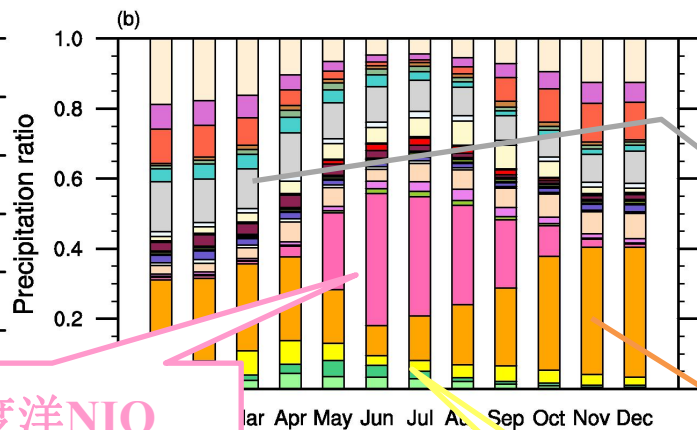
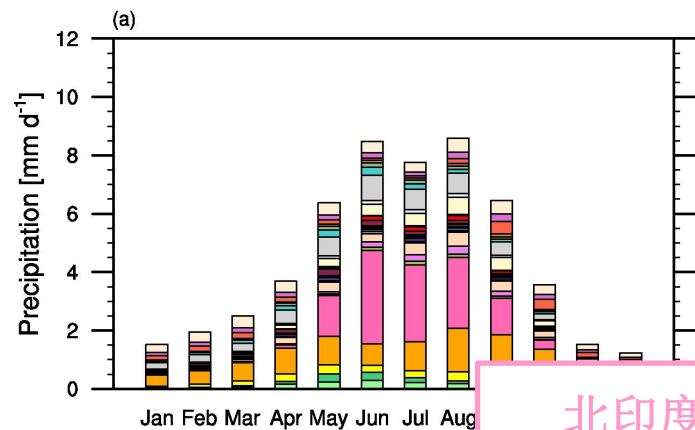


水汽



华南SCN

降水



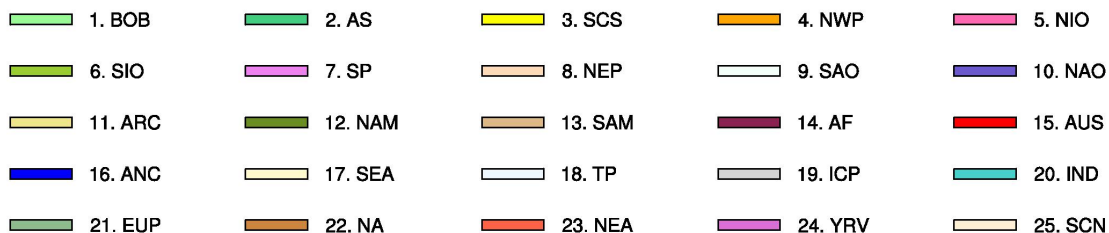
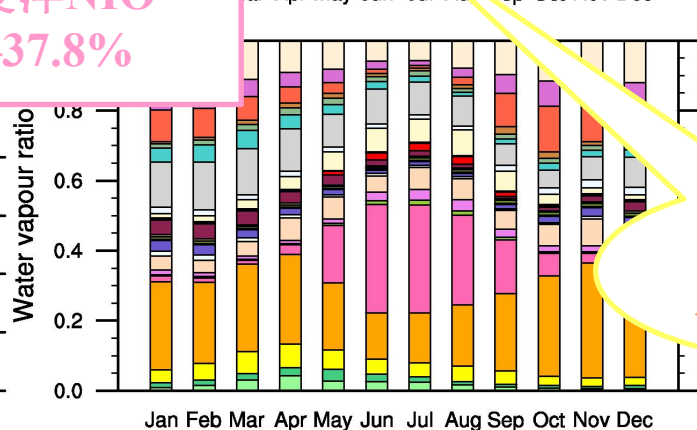
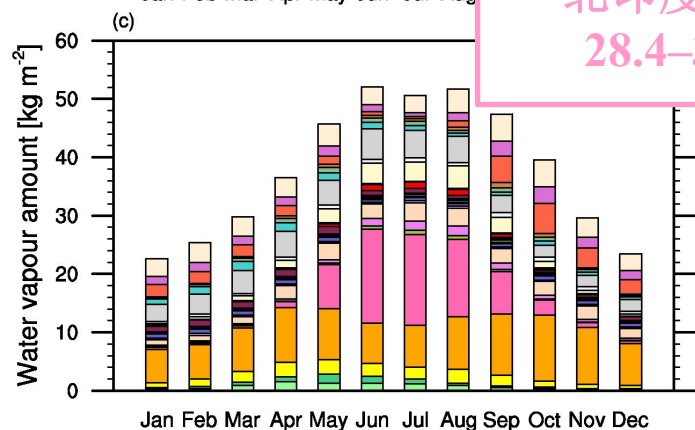
中南半岛ICP
~10%

西北太平洋
NWP
15.3–37.1%

北印度洋NIO
28.4–37.8%

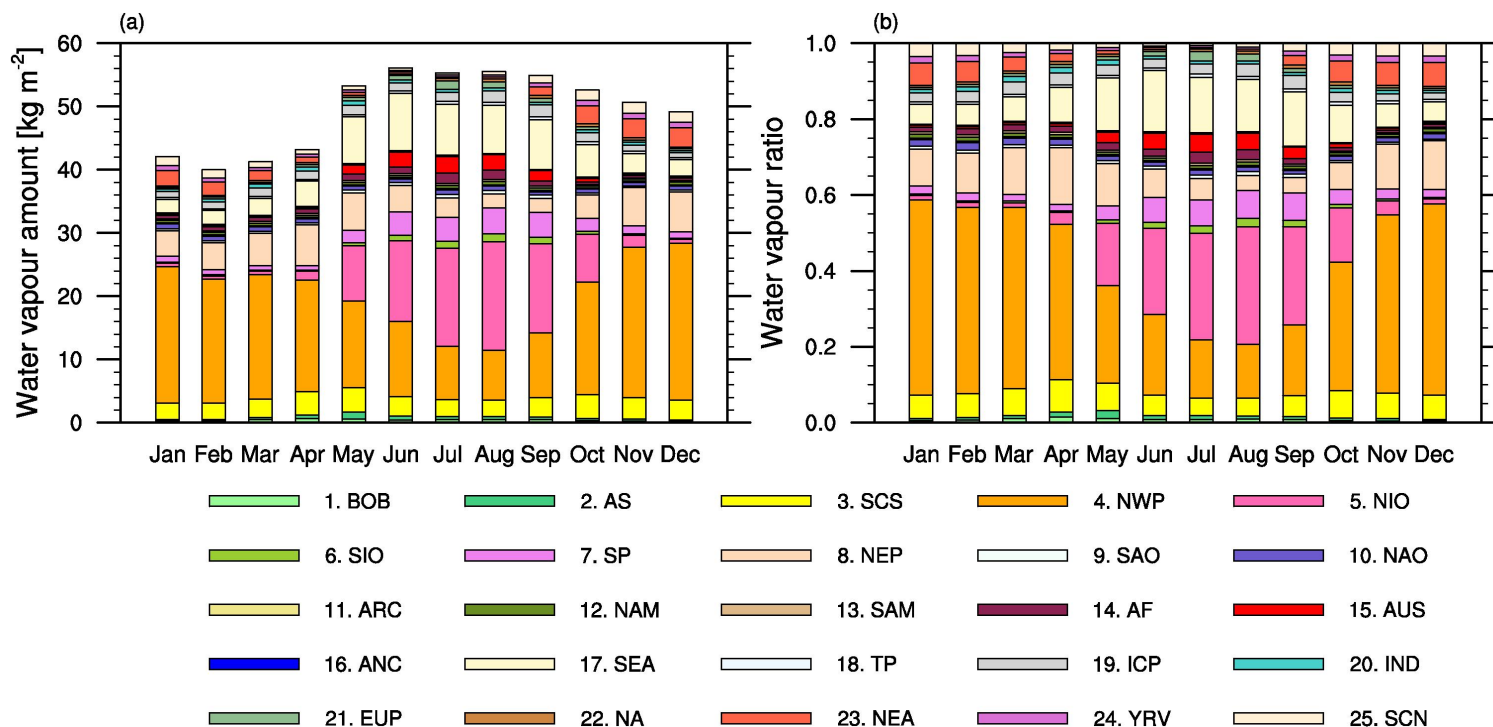
南海SCS
夏季2.7–3.7%

水汽



南海SCS

水汽



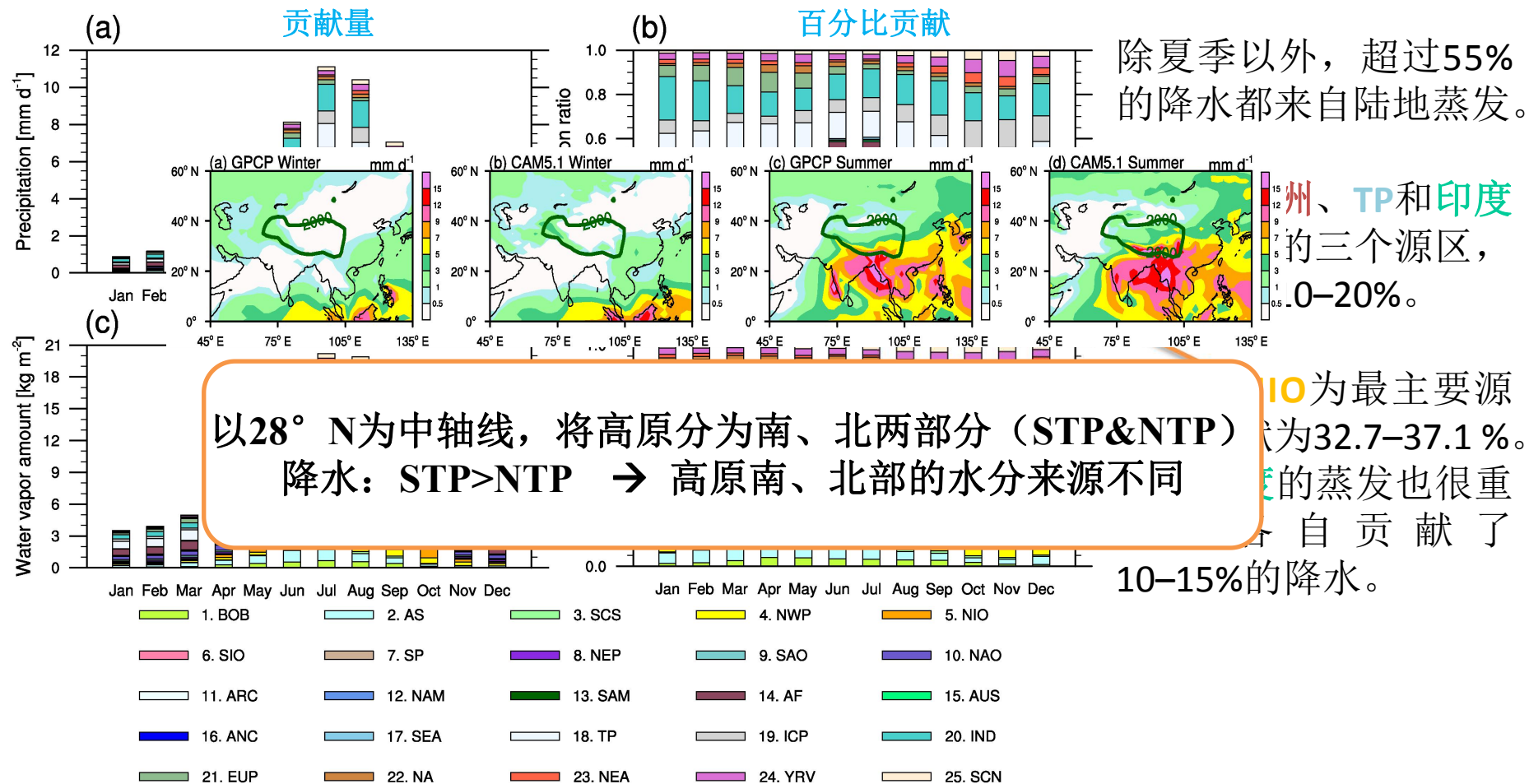
6—9月，NIO为主导源区（22.7–31%），其他月份则有NWP主导（25.7–51.3%）。
 夏季，SCS的局地贡献仅为~4.7–5.5%

SCS的蒸发量对SCS、SCN和YRV夏季水汽含量贡献很低，表明**SCS仅仅是一个水汽传输通道而非主要源区**。

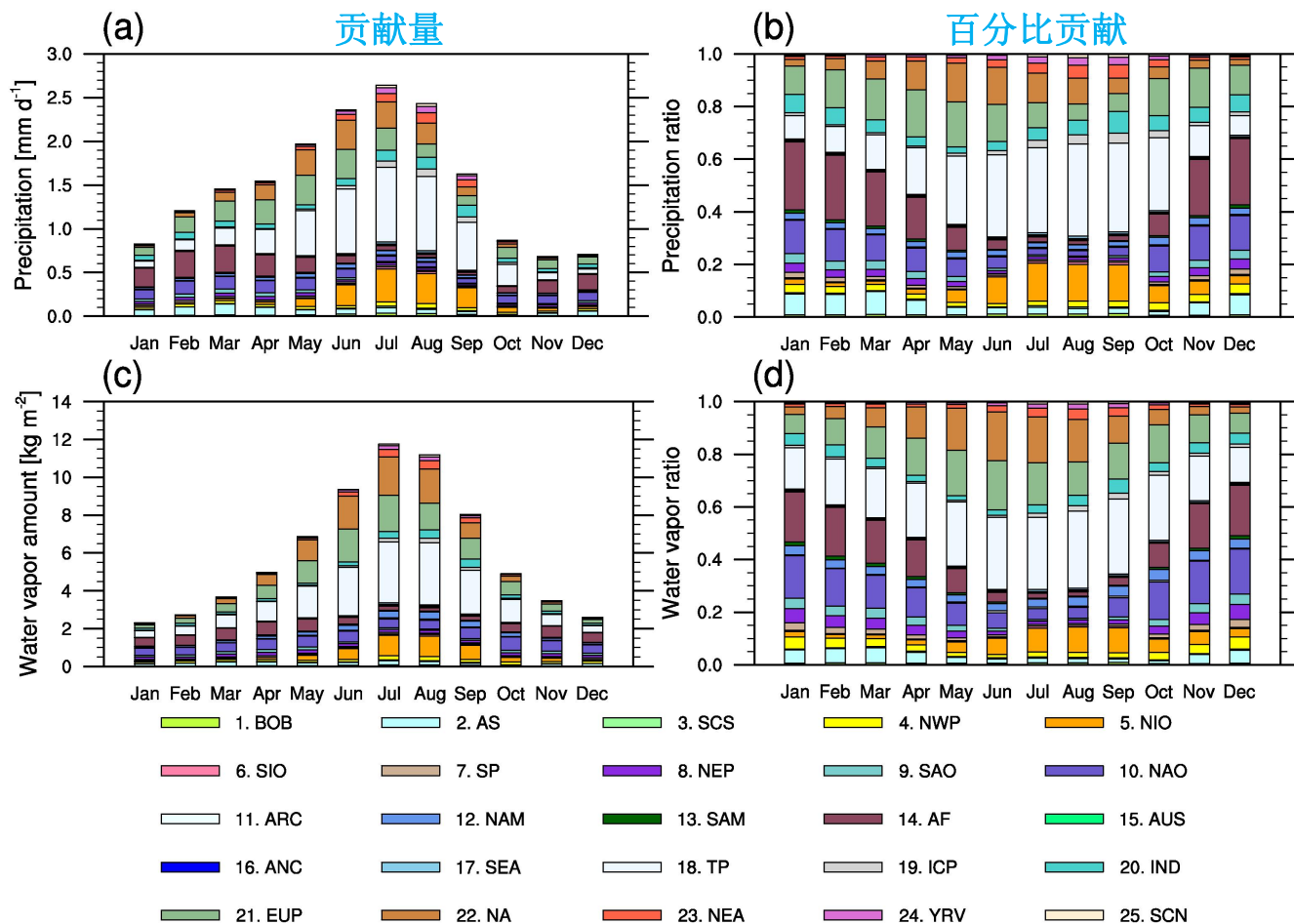
结果与讨论

(III) 青藏高原

高原南部STP



高原北部NTP



全年，降水超过60%来自于陆地源区。并且百分比贡献夏季较大，冬季较小。

冬季，**非洲**为最主导源区，供应了25%的降水。

夏季，**TP**最重要的源区，供应了~1/3的降水

结论

1. 北印度洋（NIO）是长江流域和华南夏季降水的最主要源区；而在其他季节西北太平洋（NWP）主导这两个区域的降水。在这两个区域，各个源区对水汽含量的相对贡献和降水的贡献类似。
2. 夏季，南海对其局地、华南和长江流域的水汽含量的贡献 $\leq 5.5\%$ 。再者，NIO和NWP也是南海上空水汽含量的最重要的两个源区。这些结果表明，南海在夏季主要充当水汽传输通道，来自于NIO和NWP的水分交汇在此处交汇。
3. TP南部，冬季降水最主要的源区是非洲、青藏高原和印度；而夏季降水中 $\sim 32.7\text{--}37.1\%$ 来自于北印度洋的蒸发，它是TP南部夏季降水的最主要源区。TP北部，非洲是其上冬季降水的最主要源区，贡献比率达到了25%；夏季降水的最主要源区是TP，供应了 $\sim 1/3$ 的降水。

谢谢
请大家批评指正