

The Analysis on Distribution Characteristics of Water Vapor and Its Variation Trend in Yangtze-Huaihe Area

Qiongjie Wang

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: wangjiongjiecuit@outlook.com

Received: Nov. 19th, 2019; accepted: Dec. 2nd, 2019; published: Dec. 9th, 2019

Abstract

Water vapor is the material base of cloud and precipitation, which is closely related to the global water cycle and energy balance, and has important influence on climate and weather. This study based on NCEP/NCAR from 1948 to 2015, a total of 68 years mean reanalysis data of grid points (2.5×2.5 degrees), analysis of the Yangtze-Huaihe region ($114^{\circ}\text{E} - 122^{\circ}$, $28^{\circ}\text{N} - 34^{\circ}\text{N}$) of water vapor in air of temporal and spatial distribution characteristics and water vapor transport characteristics; preliminary results showed that: 1) The vertical distribution of water vapor was in the air perennial stability, mainly in 600 hPa moisture and below. 2) Seasonal average of 68 years of data shows that in summer (June to August), the moisture content is significantly higher than the other three quarters, and July poses the most adequate moisture. In contrast, the minimum amount appears in winter, spring and autumn approximation, between summer and winter. 3) Annual change in the average moisture content during the rainy season showed a slight fluctuation maxima appeared in 1961, the minimum appeared in 2004, the largest annual range appeared in the 1991 to 1992. 4) The water vapor of Yangtze-Huaihe area and even the most part of East China, mainly from the South China Sea (April) and the Bay of Bengal (July), and the moisture content is affected by the East Asian monsoon, seasonal differences are significant, especially in winter and summer.

Keywords

Yangtze-Huaihe Area, Distribution of Water Vapor, Variation Trend, Water Flux, Mei-Yu Period

江淮地区空中水汽分布特征及其变化趋势分析

王琼洁

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都
Email: wangjiongjiecuit@outlook.com

收稿日期：2019年11月19日；录用日期：2019年12月2日；发布日期：2019年12月9日

摘要

空中水汽是形成云和降水的物质基础，与全球水分循环和能量平衡密切相关，对气候和天气具有重要影响。本研究基于NCEP/NCAR 1948~2015年共68年月平均再分析网格点(2.5° × 2.5°)资料，分析了江淮地区(114°E~122°，28°N~34°N)空中水汽含量的时空分布特征和水汽输送特征，结果初步表明：1) 空中水汽的垂直分布特征常年稳定，水汽主要集中在600 hpa及以下；2) 68年的四季平均数据可见夏季(6~8月)的水汽含量明显高于其它季节，且以7月份的水汽最为充分。与之相对，最小值出现在冬季，春秋两季近似，介于夏冬之间；3) 梅雨期间平均水汽含量的年际变化呈现小幅波动，极大值出现在1961年，极小值则出现于2004年，最大的年较差出现在1991~1992年；4) 江淮地区乃至华东大部上空的水汽主要来自南海(4月)和孟湾(7月)，且水汽含量受东亚季风影响，季节差异明显，尤以冬夏两季最为显著。

关键词

江淮地区，水汽分布，变化趋势，水汽通量，梅雨期

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

大气中的水汽是产生云和降水的基本物质条件，同时也是大气中最活跃多变的成分。它不仅影响着大气辐射和吸收以及全球热量的输送，还影响着全球水分循环和能量平衡[1] [2] [3]。空中水汽含量的多寡直接影响对应地面的降水情况，一个地区上空水汽的多少和输送的过程一方面与大气整体的环流形势密切相关，一方面也在能量及水分循环中有着不可替代的地位。不同的空中水汽分布特征对应不同的水分平衡机制，同时又通过多年呈现的气候特征反映出来。另外，水汽分布特征年代际变化的趋势又与气候过程息息相关，分析这一演变特征有助于把握近几年江淮地区的降水情况，为该区域内的降水及气候特征提供解释和说明[4] [5]。

俞亚勋等[6]则指出水汽输送最直接的动力因子是对流层的风。Murakami [7]早年就指出我国夏季降水的两个水汽来源：一是太平洋高压南部以偏南风进入我国大陆，二是印度低压的东南方以西南风进入我国西南地区。1959年，谢义柄等[8]就指出了黄淮地区强降水与水汽输送过程密切相关。康志明[9]着重研究了2003年淮河流域梅雨期的持续性强暴雨的环流形势和水汽输送状况，发现这一强降雨过程的水汽源地为南海和孟湾，水汽的辐合也集中在850 hPa高度层及以下。徐祥德等[10] [11] [12]在对我国大陆地区的水汽输送研究中指出，阿拉伯海和南海两条水汽输送带是东亚季风区夏季主要的水汽来源。

虽然江淮地区与西北大部分相比降水丰沛，但近年来厄尔尼诺现象频发，夏季高温等极端天气越来越多，人工增雨活动也将应用于江淮地区的降温消暑中去[13] [14] [15]。与之相对的，大范围、持久性的洪涝天气出现的原因虽有很多方面，但其中一个不可忽视的因子就是大气的环流异常，空中水汽输送又是大气环流过程的关键一环，此时空中水汽分布状况就成了合理利用空中水资源的重要保障。所以研究江淮地区空中水汽分布特征及其变化趋势对气候演变分析有着不言而喻的意义。

2. 资料与方法

2.1. 资料

利用 1948~2015 年 NCEP/NCAR 月平均再分析格点资料, 分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, 通过计算大气水汽含量和水汽通量等特征量, 对江淮地区($114^\circ\text{E}\sim 122^\circ\text{E}$, $28^\circ\text{N}\sim 34^\circ\text{N}$)空中水汽含量、分布等特征进行分析, 且风矢量资料是研究水汽源地和输送模式的重要依据。

2.2. 方法

水汽输送通量指的是单位时间内流经某一单位面积的水汽总量。计算表明, 单靠当地已有的水分, 是无法形成暴雨天气过程的。因此, 必须要有来自周围的水汽源源不断地输入, 才能为暴雨的形成提供有利条件。可见水汽输送的问题是在作暴雨分析和预报时必须考虑的。而至于暴雨究竟出现在哪里, 雨量会有达到多少等, 则与水汽通量散度这一特征量的关系更为紧密。对水汽通量及其散度的数据处理主要涉及到比湿、地面气压、经向及纬向风(水汽通量散度由 1000 hPa 积分到 300 hPa 高度层)。

水汽通量公式:

$$a = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (1)$$

$$f = a \times q / g \quad (2)$$

水汽通量散度公式:

$$uq = q \times u / g \quad (3)$$

$$vq = q \times v / g \quad (4)$$

$$aa = \frac{\partial uq}{\partial x} + \frac{\partial vq}{\partial y} \quad (5)$$

$$ans = \int_{pres}^{300} aa \quad (6)$$

其中 f 代表水汽通量, ans 表示水汽通量散度($\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$), q 表示比湿(g/kg), g 表示重力加速度, 取 9.8 m/s^2 , u 表示纬向风速(m/s), v 表示经向风速(m/s)。

3. 水汽特征分析

3.1. 水汽通量

要研究地区的水汽来源和输送, 需要周围较大范围的风矢量和水汽资料, 便于观察整体的环流形势, 计算出 1961 年 $100^\circ\text{E}\sim 135^\circ\text{E}$, $10^\circ\text{N}\sim 55^\circ\text{N}$ 经纬度范围内 850 hPa 高度上的水汽通量并结合风场资料, 可以得到图 1, 其中再圈定 $114^\circ\text{E}\sim 122^\circ\text{E}$, $28^\circ\text{N}\sim 34^\circ\text{N}$ (江淮地区), 关注该区域内的风矢量方向, 可以明显看出春季水汽的输送方向为西南至东北, 夏季为由南向北, 秋季为东北向西南, 冬季大致为西北向东南, 产生这一结果的原因中最明显的解释在于东亚季风, 江淮地区也是季风的覆盖区, 夏季风从东南海面吹向大陆, 冬季则相反, 由大陆吹向海洋, 且由图中的风矢量箭头也可判断出夏、冬两季的风速大小明显高于春秋。而随季节转向的风一方面将冷暖空气进行海陆间的交换, 另一方面将附近海域丰沛的水汽输送至陆地上空。与此同时, 夏季地表所受的太阳辐射又将大陆的水域进行加热, 从而形成水汽进一步向空中垂直输送, 使得空中的可降水量再度增加, 及水汽的输送源自海洋与陆地的横向大循环以及地表至空中的垂直小循环。综合比较四张图的水汽色标, 可以见得江淮区域内春季的水汽通量维持在 $0.5\sim 7.0 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$ 左右, 夏季约 $5.0\sim 11.5 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$, 秋季为 $1.0\sim 5.0 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$, 冬季仅为 $0.5\sim 1.5 \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{s})$, 季节差异明

显,且江淮地区1月份水汽分布较均匀,4月份的水汽最大值位于江苏上海附近,7月最大值移动到安徽北部,10月份以安徽、江苏北方大部的水汽最为充沛。按时间顺序依次观察1961年1月、4月、7月、10月四张图,则发现水汽通量的最大值区由菲律宾以东洋面移动到我国广西一带,夏季进入河北、山西,最后再往西南方向移至贵州地区。根据7月份水汽通量最大值出现的地域明显高于常年的纬度来看,1961年的整体降水特征较显著,雨带一度北抬进入我国北方腹地,对应期间的江淮地区上空水汽必然充足。除此以外,可以明显看出4月份的水汽来源主要为南海地区,7月份来自孟湾,且江淮地区主要充当水汽的输送通道。

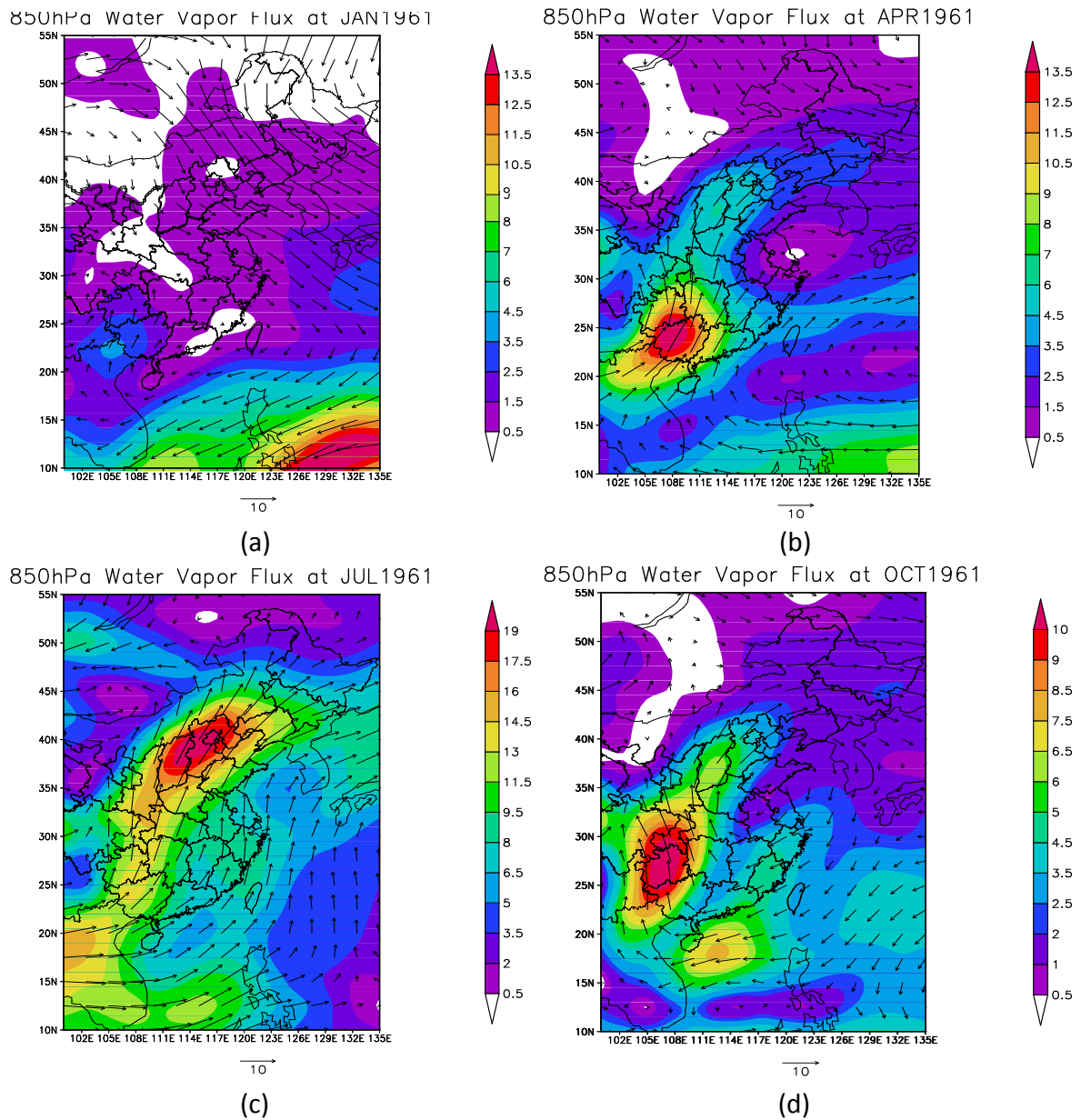


Figure 1. 1961 100°E - 135°E, 10°N - 55°N area 850 hPa height layer water vapor flux superimposed with wind field (a) January; (b) April; (c) July; (d) October

图 1. 1961 年 100°E~135°E, 10°N~55°N 区域 850 hPa 高度层水汽通量与风场叠加 (a) 1 月; (b) 4 月; (c) 7 月; (d) 10 月

2004年为水汽相对最为匮乏的年份,通过计算2004年100°E~135°E, 10°N~55°N经纬度范围内850 hPa高度上的水汽通量并结合风场资料,可以得到图2,由该年850 hPa的四张水汽通量图中呈现的江淮地区风矢量方向,可以明显看出春季水汽的输送方向为西南、西北向东,夏季为由西南向东北,秋季为东北向西南,冬季大致为西北向东南,整体风向与1961年大同小异。1月对应的水汽通量最大值位于ITCZ一线。4月有两个大值中心,分别为菲律宾以东洋面和我国两广地区。7月的两个峰值出现在云贵地区和朝鲜半岛。10月则以南海海域的水汽通量最大。江淮经纬范围内,春季的水汽通量维持在0.5~3.0 g/(cm·s)左右,夏季约4.5~6.0 g/(cm·s),秋季为0.5~4.5 g/(cm·s),冬季仅为0.5~1.5 g/(cm·s),最大值均出现在江淮地区南边界,即浙赣大部。整体的数值大小较1961年以春夏两季的下跌幅度最为明显,风速也略有减小。

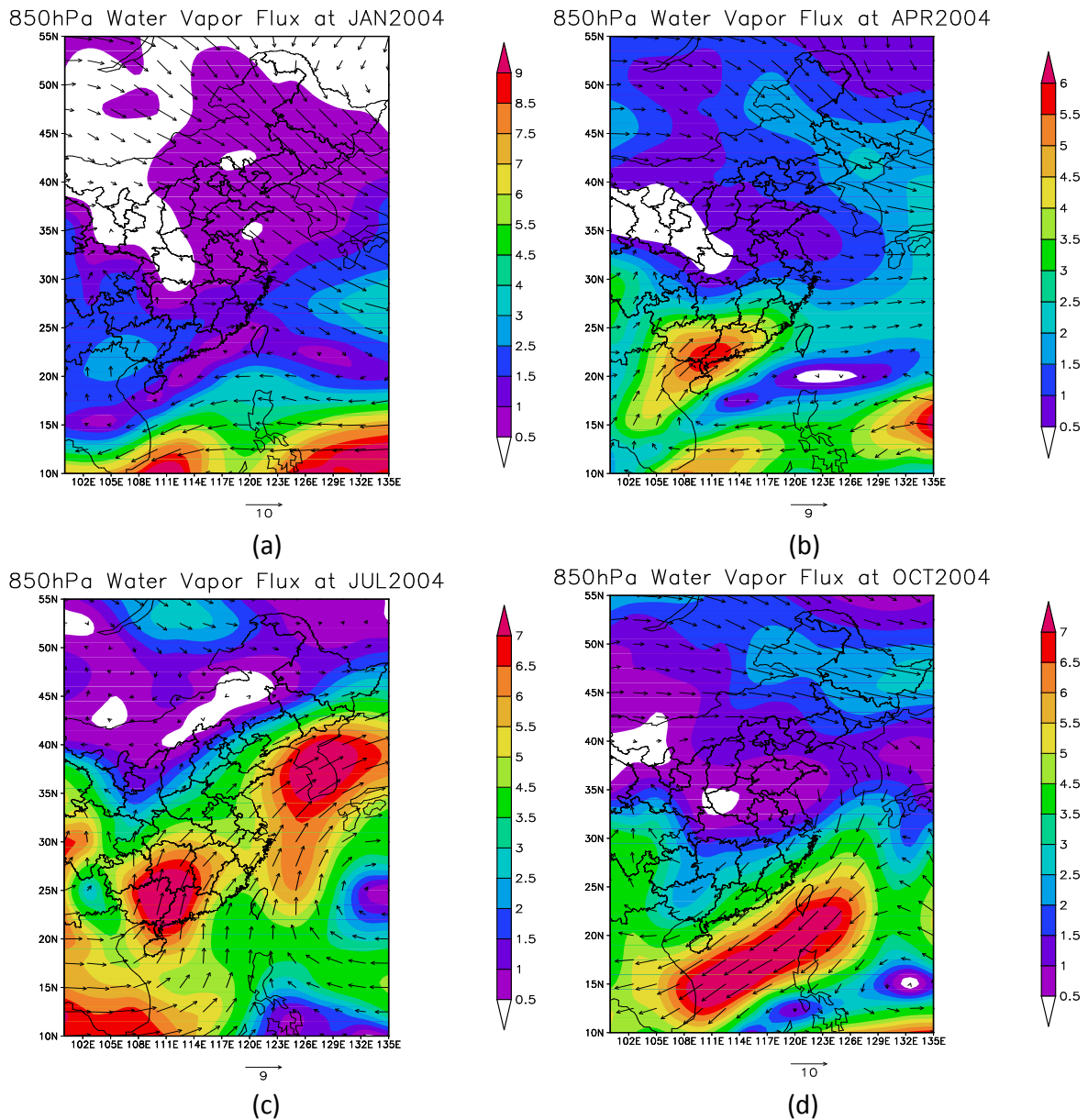


Figure 2. In 2004, 100°E - 135°E, 10°N - 55°N area, 850 hPa level water vapor flux and wind field superposition (a) January; (b) April; (c) July; (d) October

图 2. 2004 年 100°E~135°E, 10°N~55°N 区域 850 hPa 高度层水汽通量与风场叠加 (a) 1 月; (b) 4 月; (c) 7 月; (d) 10 月

综合分析 1961 和 2004 四季的水汽通量，可以看出江淮地区乃至华东大部上空的水汽主要来自南海和孟湾，且水汽含量受东亚季风影响，季节差异明显，尤以冬夏两季的增减幅度最为显著。

3.2. 水汽通量散度

通过计算 1961 年 $100^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$, $10^{\circ}\text{N}\sim 55^{\circ}\text{N}$ 经纬度范围内整层的水汽通量散度，可以得到图 3，分别为 1961 年四个月的 1000 hPa~300 hPa 的水汽通量散度(数值已扩大十倍)，1 月份的图可见江淮地区水汽通量的值基本上大于零，即冬季江浙沪皖赣地区为水汽的汇，最大值覆盖安徽全境、浙赣交界，约为 $0.1 \text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。水汽最为积聚的地区为东海至太平洋以及南海洋面，水汽源则位于四川盆地东南部。4 月份，江淮地区水汽表现为北部集中，南部轻度辐散，辐合最强的地区为上海、江苏东部，整体形势依然为水汽汇，且正好位于两个水汽汇集最显著的地区之间，较 1 月份的水汽通量散度情况，水汽的辐合形

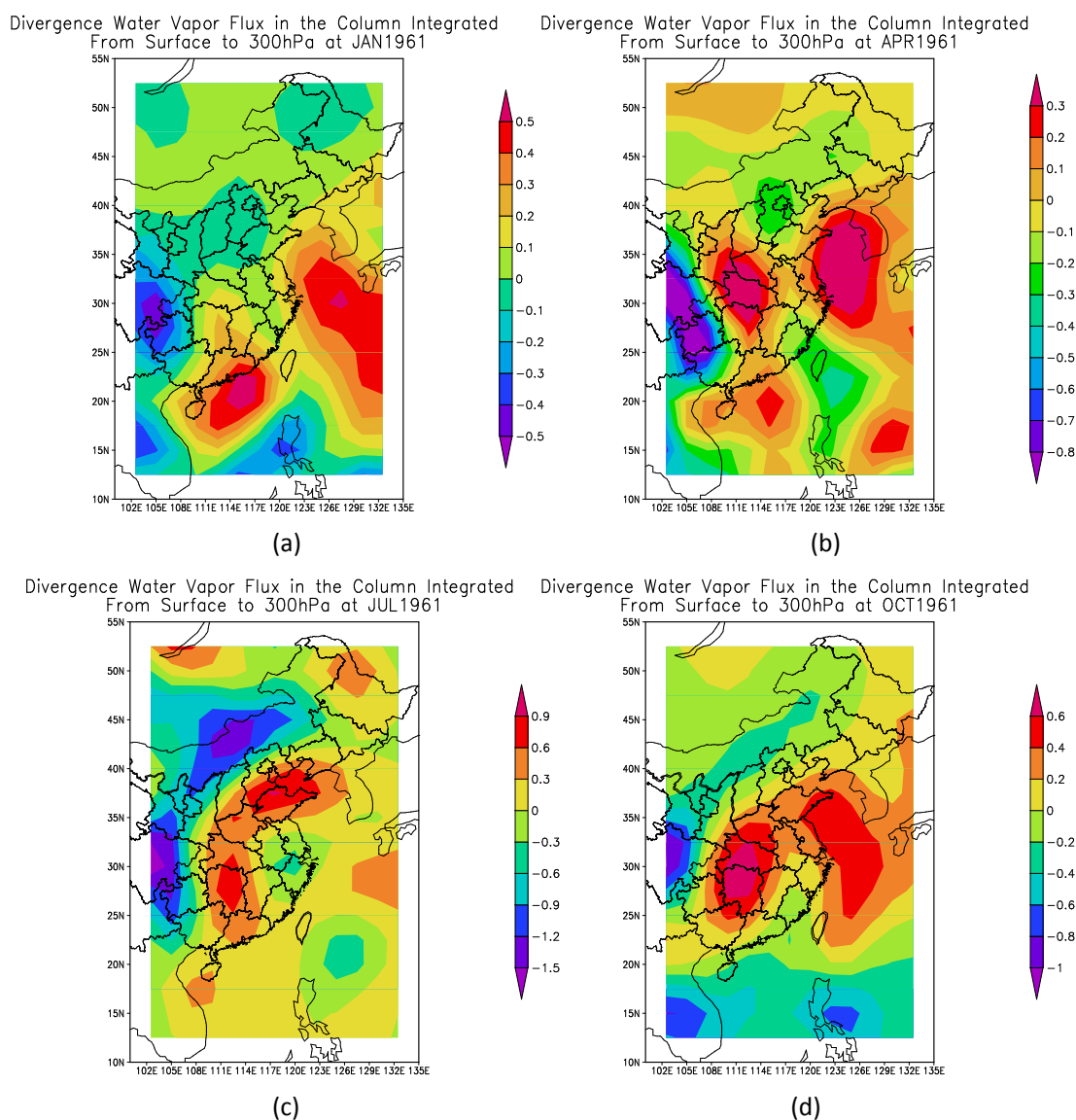


Figure 3. 1961 $100^{\circ}\text{E} - 135^{\circ}\text{E}$, $10^{\circ}\text{N} - 55^{\circ}\text{N}$ area full-scale water vapor flux divergence (a) January; (b) April; (c) July; (d) October

图 3. 1961 年 $100^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$, $10^{\circ}\text{N}\sim 55^{\circ}\text{N}$ 区域整层水汽通量散度 (a) 1 月; (b) 4 月; (c) 7 月; (d) 10 月

势有所减弱，辐散略有增强。7月，江淮地区中心，即浙江西北部、安徽东南部为 $-0.9\sim-0.6\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。山东北部、两湖交界存在水汽的辐散中心，最大值为 $0.6\sim0.9\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ，说明水汽是从山东北部、两湖交界向华东地区输送。且整体的辐合辐散形势较前两幅图大幅增强。10月的水汽通量散度形势大体与4月类似，只是在数值上略高于4月，即水汽辐合辐散的程度相对较大

通过程序可以计算 2004 年 $100^{\circ}\text{E}\sim135^{\circ}\text{E}$ ， $10^{\circ}\text{N}\sim55^{\circ}\text{N}$ 经纬度范围内整层的水汽通量散度，从而得到图 4，图 4(a)~(d)分别为 2004 年四个月的 $1000\text{ hPa}\sim300\text{ hPa}$ 的水汽通量散度(数值已扩大十倍)，1 月份水汽最为集中的地区为菲律宾东北面的太平洋，与水汽流出最为显著的地区紧靠，江淮地区总体为辐合，但较弱，安徽最北部还有轻度的辐散。4 月，图中所给大区域的水汽辐合中心分别在菲律宾以西和我国湖北西侧，最强的辐散中心在我国西南侧的四川、贵州及广西。江淮地区北侧呈现弱的水汽辐合，南侧

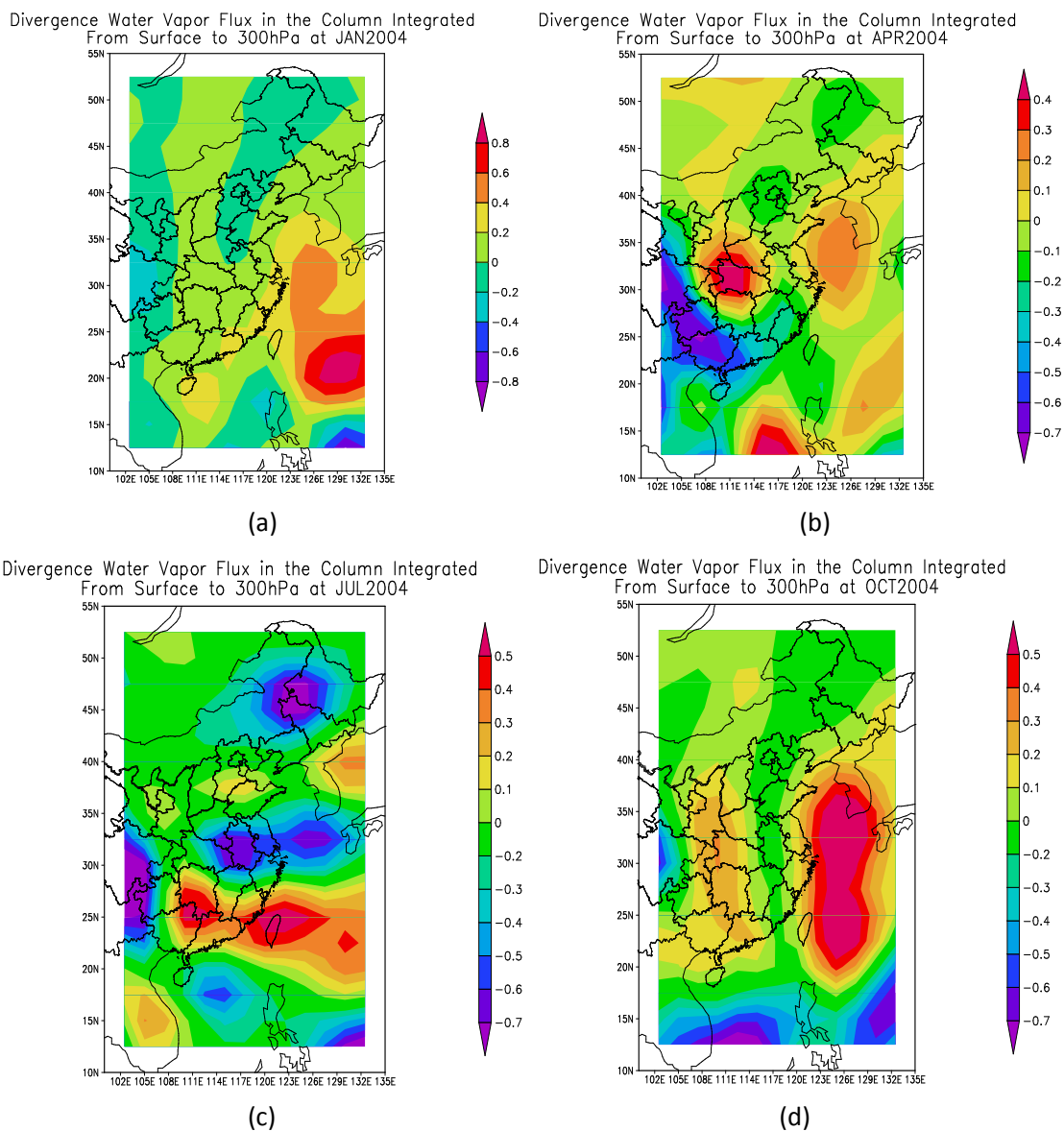


Figure 4. In 2004, $100^{\circ}\text{E} - 135^{\circ}\text{E}$, $10^{\circ}\text{N} - 55^{\circ}\text{N}$, the whole layer of water vapor flux divergence (a) January; (b) April; (c) July; (d) October

图 4. 2004 年 $100^{\circ}\text{E}\sim135^{\circ}\text{E}$ ， $10^{\circ}\text{N}\sim55^{\circ}\text{N}$ 区域整层水汽通量散度 (a) 1 月；(b) 4 月；(c) 7 月；(d) 10 月

为略强的辐散状态,散度值为 $-0.4 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。7月,整片区域出现多个水汽的辐合辐散中心,江淮地区散度值大部小于零,安徽中南部水汽离散程度最大,约为 $-0.7 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 即为水汽源,而水汽主要两广与湖南交界及台湾岛周边向江淮地区输送。10月,水汽最大的汇位于黄海和东海洋面,将水汽向内陆输送,江淮地区由西向东为弱辐合、弱辐散再到弱辐合,安徽和江西东北部的的水汽通量散度约为 $-0.2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

综合比较1961年和2004年对应月份的水汽通量散度图,讨论代表夏季的7月份,1961年(梅雨盛) $100^\circ\text{E}\sim 135^\circ\text{E}$, $10^\circ\text{N}\sim 55^\circ\text{N}$ 区域内水汽通量散度的值(已扩大十倍)为 $-1.5\sim 0.9 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,江淮地区为 $-0.9\sim 0.3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。2004年(梅雨衰)对应的散度值大小分别为 $-0.7\sim 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $-0.7\sim 0.2 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,可见梅雨期旺盛的年份,夏季水汽的辐合辐散强度更大,且江淮地区夏季的散度值基本小于零,以辐散为主。再关注代表冬季的1月份,1961年(梅雨盛) $100^\circ\text{E}\sim 135^\circ\text{E}$, $10^\circ\text{N}\sim 55^\circ\text{N}$ 区域内水汽通量散度的值(已扩大十倍)为 $-0.5\sim 0.5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,江淮地区为 $0\sim 0.3 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。2004年(梅雨衰)对应的散度值大小分别为 $-0.8\sim 0.8 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和 $-0.2\sim 0.4 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,说明梅雨期衰减的年份,冬季水汽的辐合辐散强度更大,且江淮地区冬季的散度值基本大于零,以辐合为主。

4. 结论

1) 江淮地区空中水汽含量的垂直结构稳定,90%的水汽集中在600 hPa以下,300 hPa以上水汽接近为零;水平的纬向分布特征是自南向北持续递减;水汽分布的季节特征表现为夏季最大,秋季次之,春季再次,冬季最小,由春末进入夏初的梅雨期的过渡段,空中水汽条件增幅明显,且夏季和冬季的最大值之差可达3倍,苏、皖地区的水汽一年四季都较为丰沛;

2) 江淮地区1948~2015年梅雨季(6~7月)的平均比湿走势整体较为平缓,空中水汽含量充沛,最大值和最小值对应的年份分别为1961年和2004年;

3) 江淮地区水汽通量值整体较大,其上空的水汽主要来自南海和孟湾,且受东亚季风影响,冬夏两季差异明显;

4) 水汽通量散度绝对值越大说明水汽的辐合辐散越强,梅雨期旺盛的年份,且江淮地区夏季的散度值基本小于零,水汽以强辐散为主;梅雨期衰减的年份,且江淮地区冬季的散度值基本大于零,水汽以强辐合为主。

基金项目

成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013, BKJX2019042, BKJX2019056, BKJX2019062, BKJX2019081, BKJX2019089, BKJX2019120 和 JY2018012)支持。

参考文献

- [1] 靳立亚,符娇兰,陈发虎. 西北地区空中水汽输送时变特征及其与降水的关系[J]. 兰州大学学报, 2006, 42(1): 1-6.
- [2] 刘艳华,李铁林,马鑫鑫,等. 河南省空中水汽资源的来源、分布及收支[J]. 气象与环境科学, 2011, 34(1): 42-48.
- [3] 范广洲,吕世华,程国栋. 华北地区夏季水资源特征分析及其对气候变化的响应(I): 近40年华北地区夏季水资源特征分析[J]. 高原气象, 2001(4): 421-428.
- [4] 胡娅敏,丁一汇,廖菲. 江淮地区梅雨的新定义及其气候特征[J]. 大气科学, 2008, 32(1): 101-112.
- [5] 杨茜,李轲,高阳华. 重庆地区空中水资源的时空分布特征[J]. 气象, 2010, 36(8): 100-105.
- [6] 俞亚勋,王劲松,李青燕. 西北地区空中水汽时空分布及变化趋势分析[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 149-156.
- [7] Murakami, T., et al. (1959) The General Circulation and Water Vapor Balance over the Far East during the Rainy Season. *Geophys Magazine*, 29, 137-171.

- [8] 谢义炳, 戴武杰. 中国东部地区夏季水汽输送个例计算[J]. 气象学报, 1959(2): 173-185.
- [9] 康志明. 2003年淮河流域持续性大暴雨的水汽输送分析[J]. 气象, 2004, 30(2): 20-24.
- [10] 徐祥德, 陶诗言, 王继志, 等. 青藏高原-季风水汽输送“大三角扇型”影响域特征与中国区域旱涝异常的关系[J]. 气象学报, 2002, 60(3): 257-266+385.
- [11] 胡文超, 白虎志, 董安祥. 中国西部空中水汽分布结构特征[J]. 南京气象学院学报, 2005, 28(6): 808-814.
- [12] 马京津, 高晓清. 华北地区夏季平均水汽输送通量和轨迹的分析[J]. 高原气象, 2006, 25(5): 893-899.
- [13] Bian, X.Q., Du, Z.M. and Tang, Y. (2011) Experimental Determination and Prediction of the Compressibility Factor of High CO₂ Content Natural Gas with and without Water Vapor. *Journal of Natural Gas Chemistry*, **20**, 364-371. [https://doi.org/10.1016/S1003-9953\(10\)60210-1](https://doi.org/10.1016/S1003-9953(10)60210-1)
- [14] 宾振, 蔡定军, 彭亮. 2000-2009年江西空中水汽资源变化特征[J]. 气象与减灾研究, 2010, 33(4): 38-42.
- [15] 刘世祥, 杨建才, 陈学君, 等. 甘肃省空中水汽含量、水汽输送的时空分布特征[J]. 气象, 2005, 31(1): 50-54.