

长江中下游地区水汽输送的气候特征*

谢安¹⁾ 毛江玉²⁾ 宋焱云¹⁾ 叶谦²⁾

1)(北京大学地球物理系,暴雨监测和预测国家实验室,北京 100871)

2)(中国科学院大气物理研究所,北京 100029)

提 要

通过分析 1973~1998 年(共 26 年)4 月到 8 月 NCEP/NCAR 再分析资料,研究了夏季风期间长江中下游地区水汽输送的气候特征。分析了旱涝年水汽输送差异,特别考察了 1998 年长江流域洪涝期间水汽输送的一些特点,发现长江中下游地区水汽水平输送特征在各月有很大差异。来自孟加拉湾经中南半岛和来自华南的水汽输入是长江中下游地区水汽的主要来源。长江中下游的旱涝与南海夏季风爆发的早晚有密切关系。孟加拉湾地区及南海地区对长江中下游地区水汽输送的长时间维持是造成 1998 年长江流域洪涝的主要原因。关键词:长江中下游 水汽输送 南海季风

引 言

有关我国大陆降水的水汽来源问题人们已经做了很多的讨论。谢义炳等^[1]、Mura kami. T 等^[2]早就指出中国夏季降水的两个水汽来源:一是从太平洋高压南沿以南风及东南风的形式进入我国内陆,二是印度低压的东南方以西南风的形式进入我国西南部。沈如桂^[3]发现长江中下游的水汽大多数起源于西太平洋和南海,少数起源于孟加拉湾。朱乾根^[4]指出盛夏中南半岛与南海地区热带季风槽断裂后,低层西南季风加强北进与大陆副热带季风相连,大量季风云团向北涌进与梅雨锋系云带相叠加,从而使梅雨雨量加大。

长江中下游地区是我国经济比较发达的地区,旱涝所造成的损失也就更为严重。1998 年长江流域的洪涝灾害给我国造成了巨大的经济损失,所以,对长江流域降水问题做更深入的研究,具有重要的现实意义。以往的研究所使用的资料时段较短,本文使用长时期的气候资料,考察长江中下游地区水汽来源和水汽输送的气候特征,讨论南海夏季风对长江中下游旱涝年水汽输送的影响,长江中下游旱涝年水汽输送的差异以及 1998 年洪涝期间的水汽输送形势。

1 资料及其处理

本文用 ①NCEP/NCAR 再分析 1973~1998 年 4~8 月 1000~300 hPa 共 8 层日平均

* 本文得到国家自然科学基金(编号:49825504)和(编号:49975023)共同资助。

2000-08-18 收到,2000-11-02 收到修改稿。

的比湿及风场资料;②1975~1998年(缺1978年)候平均射出长波辐射(OLR)资料。以上资料的空间分辨率均为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度。

根据各个月每层水汽输送形势与1000~300 hPa整层积分水汽输送形势的相关计算,发现每月850 hPa层同整层积分的水汽输送相关系数最大^[5](表略),故我们以850 hPa水汽输送形势为代表,讨论1000~300 hPa整层积分水汽输送特征。

本文选取 $110^{\circ} \sim 122.5^{\circ} \text{E}$, $27.5^{\circ} \sim 32.5^{\circ} \text{N}$ 作为长江中下游地区。南海夏季风爆发的定义见文献[6],即南海区域平均的候平均OLR值下降至 235 W/m^2 ,同时区域平均纬向风候平均值由东风转为西风。

2 夏季长江中下游地区水汽输送与收支特征

2.1 长江中下游夏季水汽输送气候特征

4月副高脊线在 15°N 附近。华南地区有一西南风水汽输送活跃中心,它可能与华南前汛期有关。4月中国大陆的水汽输送主要同南海和孟加拉湾相联系。5月最大水汽输送中心位于赤道地区 $80^{\circ} \sim 90^{\circ} \text{E}$ 附近,华南沿海仍维持较大的西南风水汽输送。另外, 105°E 的越赤道气流也将部分南太平洋的水汽带入南海。南海地区的向北水汽输送不断加强(图略)。

图1给出6~8月850 hPa月平均水汽水平输送图。6月从孟加拉湾经中南半岛向南海中、南部地区及中国长江以南省份的水汽输送显著加强,使得长江中下游地区出现了较强水汽通量梯度,长江中下游地区进入梅雨期。虽然 105°E 越赤道气流对南海的水汽输送相对不重要,但南海向北的水汽输送对中国南方省份的降水却非常重要。7月在西南季风的作用下,中国西部内陆上空的水汽通量增加,出现了水汽输送大值中心。东亚大陆上的西南风水汽输送轴北移,长江中下游地区及华北南部地区出现水汽通量的辐合。7月中国大陆降水的水汽来源于孟加拉湾及南海。8月副高脊线到达 30°N 附近,来自西太平洋的东南季风成为我国东部降水的水汽输送者,它同中高纬度系统相互作用,使中国北方进入雨季。此时从孟加拉湾经过中南半岛进入南海地区的水汽输送有所加强。

由以上分析,可以发现东亚上空水汽水平输送特征在各月有很大差异。这种差异是同夏季风环流系统密切相关的。长江中下游的水汽输送会受到季风强度的影响。

6、7月份是长江中下游的梅雨期。长江中下游地区的水汽来源及收支的变化同长江流域的旱涝有密切联系。根据叶笃正,黄荣辉等^[7]对长江流域旱涝的研究,确定偏旱年为1978、1981、1985、1986、1988、1990和1992年,涝年为1979、1980、1982、1983、1984、1987、1989、1991和1998年。

2.2 夏季长江中下游地区的水汽收支

长江中下游地区($110^{\circ} \sim 122.5^{\circ} \text{E}$, $27.5^{\circ} \sim 32.5^{\circ} \text{N}$)各边界在4~8月逐候水汽收支(图2),用1000~300 hPa的各边界水汽总输送量表示。大于0的值表示在该边界输入水汽,小于0的值表示在该边界输出水汽。

南边界的水汽输入是长江中下游地区水汽的最主要来源。4月到5月水汽输入的变化不明显,5月末6月初迅速增加,这同西南季风的显著增强和南海季风爆发相对应,说

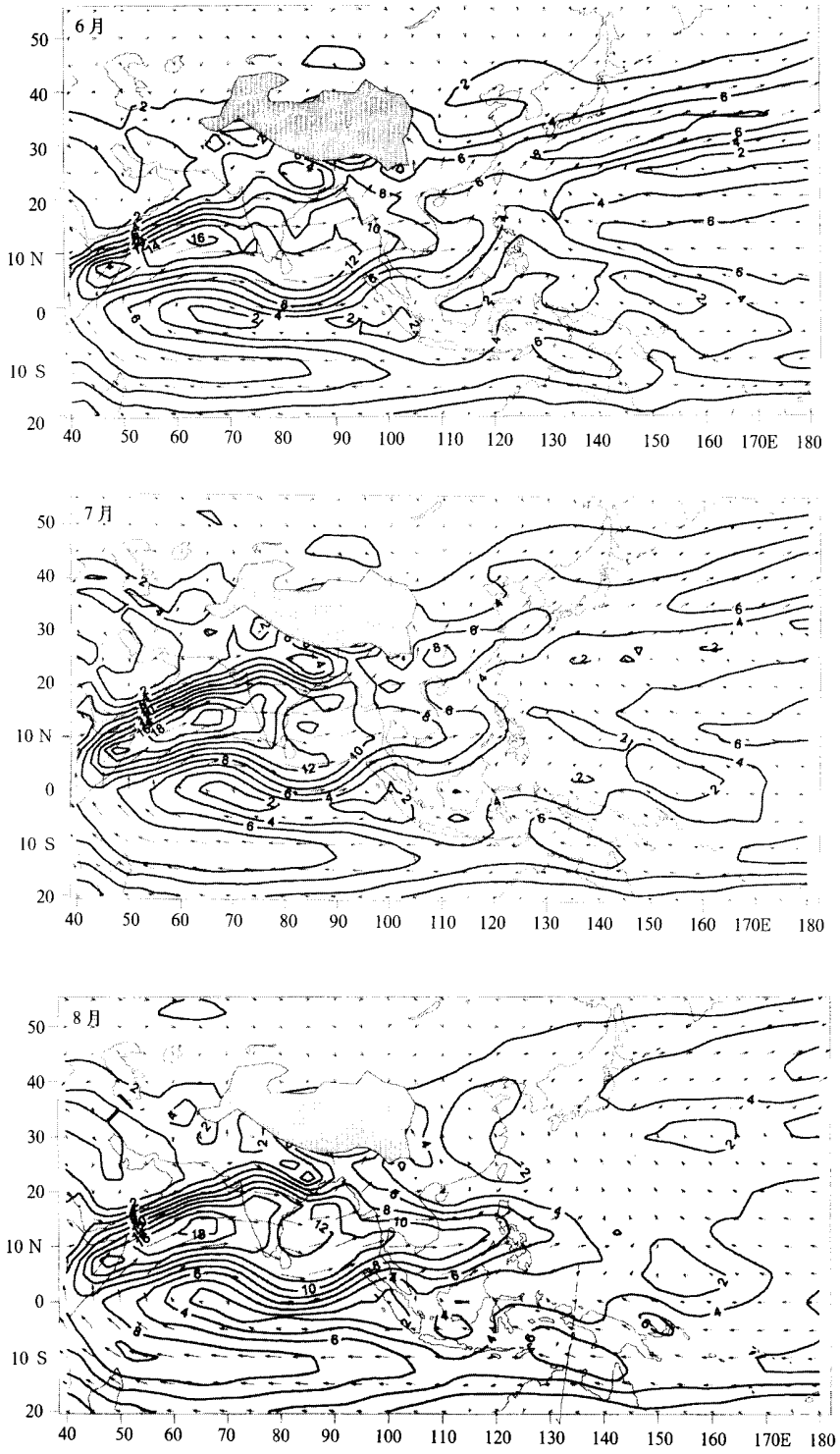


图 1 6~8月 850 hPa 月平均水汽水平输送图(单位: $g \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$)

明随着南海季风的爆发,东亚季风环流的建立,在对流层低层,夏季风向北推进,将孟加拉湾和南海上空大量的水汽带入到长江中下游地区,其中,前者更为重要。6月6候到7月2候输入达到最大,此时江淮切变线稳定在长江流域,南边界的水汽输入对梅雨期降水的维持有重要作用。7月中旬以后随东亚热带季风的减弱,南边界的输入逐渐减小。

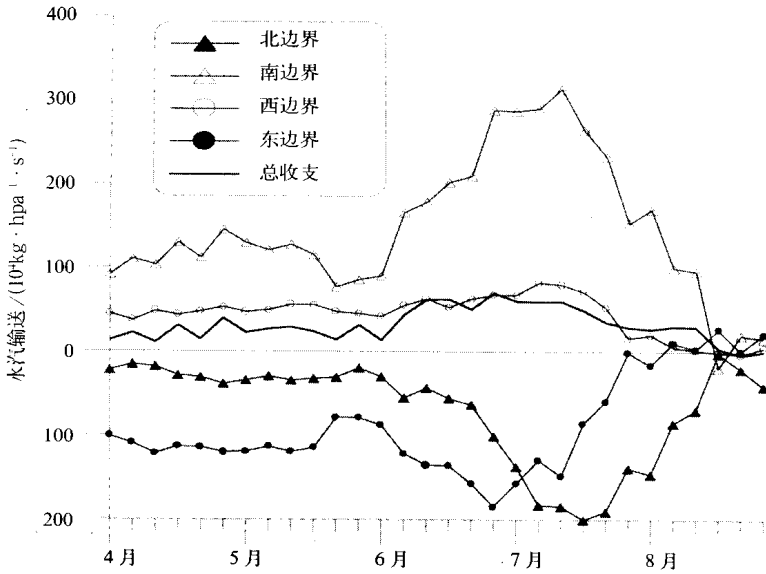


图2 长江中下游地区4~8月逐候水汽收支
(正值为输入水汽,负值为输出水汽,单位: $10^4 \text{ kg} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

西边界的水汽输送在7月3候以前很稳定,8月以后,随着西南季风的显著减弱,西边界的输入已不重要。

东边界的水汽输出,在7月以前受副高北侧西南气流及孟加拉湾西南气流的影响,是长江中下游地区水汽输出的主要途径。随着副高的北移,7月以后输出逐渐减小,8月份副高脊线北跳到 30°N 附近时,从东边界进入且来自西太平洋的水汽成为长江中下游地区最主要的水汽来源。8月后半月,从南边界的水汽输入已不是前期的西南季风形成的,而是东南季风造成的。

北边界的水汽输出同南边界的输入相对应。北边界的输出在7、8月占输出水汽的绝大部分,它对华北地区的降水会产生影响。

总的说来,夏季长江中下游地区是水汽汇区。6月开始,总水汽输入(辐合)增加,7月下旬之后逐渐减小。

孟加拉湾西南季风的强弱,南海地区向内陆的水汽输送以及副热带高压的位置和强弱均会影响到长江中下游地区的水汽收支。长江流域的梅雨是热带季风同副热带季风共同作用的结果。

2.3 与水汽输送有关的物理量演变

图3是4~8月850 hPa $110^\circ \sim 122.5^\circ \text{E}$ 多年候平均(a) 经向水汽输送, (b) 涝年与早年年经向水汽输送之差的时间-纬度变化图。经向风场、水汽场(图略)和水汽输送的演变同

图 2 一样体现了东亚夏季风的北推和雨带的北移,这里不再详细讨论。涝年与旱年经向水汽输送的最显著差别在 $20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{N}$, 5 月 5 候到 6 月末以及 7 月 5 候之后,这段时间涝年向北输送要强于旱年,但在 6 月末到 7 月初涝年的向北输送不及旱年。在 6~7 月的中纬度地区,长江中下游旱涝年经向水汽输送的差异同南海季风爆发早晚年的差异基本一致,说明旱年南海季风较强,但南海地区向北的水汽输送较弱,且维持时间较短;涝年则相反。由此可见,夏季风向北输送水汽持续时间长短对长江中下游地区的降水有重要影响,持续时间长则涝,短则旱。

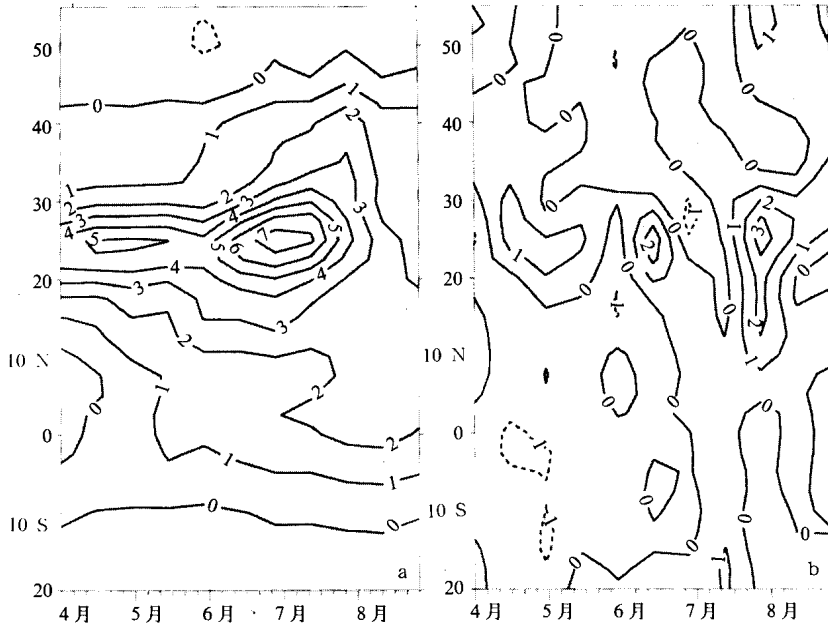


图 3 长江中下游地区 850 hPa 多年候平均
(a) 经向水汽输送 (b) 涝年与旱年经向水汽输送之差的时间-纬度图
(单位: $\text{g} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

关于纬向水汽输送特征(图略),涝年与旱年纬向输送的最大差值在 6 月份长江下游地区到西太平洋 140°E 附近,以及 7 月中到 8 月的 110°E 以东地区,涝年的向东输送强于旱年,说明涝年副高西北侧的西南气流在这一地区维持的时间较长。6 月末 7 月初长江中下游地区的旱涝年纬向输送区别不明显。旱涝年纬向输送的根本差别在于西风输送在该地区维持时间的长短。

综上所述,孟加拉湾槽前西南风以及西风经过南海季风槽向北的水汽输送在江南地区持续的时间,副热带高压北侧的西南气流的水汽输送在 $27.5^{\circ} \sim 32.5^{\circ} \text{N}$ 纬带的维持时间,对长江中下游地区的旱涝有重要影响。

3 长江中下游地区水汽输送的年际振荡

图 4 是 850 hPa 长江中下游地区(a) 纬向水汽输送、(b) 经向水汽输送 1973 年到 1998

年墨西哥帽小波变换分布图。每年的资料只有3~8月(6个月为一年周期)。纬向水汽输送的一年周期远没有经向输送清楚,说明夏季经向输送的逐渐增强是很有规律的。纬向输送变换的负值表示向东的输送弱,正值则表示向东的输送强;经向输送变换的负值表示向北的输送弱,正值表示向北的输送强。1975~1977年,1980~1983年,及1990年以后,纬向输送的3年周期很明显;1978~1982年,1985~1990年的5年周期也很清楚。经向输送也存在明显的5年周期,在1980~1983年,1989~1992年及1995~1997年期间,经向输送的3年周期也很清楚。可见,长江中下游地区水汽输送的主要周期为5年和3年。在90年代以前,水汽输送的5年振荡在长江中下游旱涝中有很重要的作用。1978年,1985年两个严重的旱年,经、纬向的水汽输送均具有强的变换负值;在1980、1983、1991年这些严重的涝年,它们均具有较强的变换正值。进入90年代,纬向水汽输送的3年周期显得相当重要。从图4还可看出,周期长于10年的年代际变化也相当显著,这有待于用更长时段的数据来讨论。

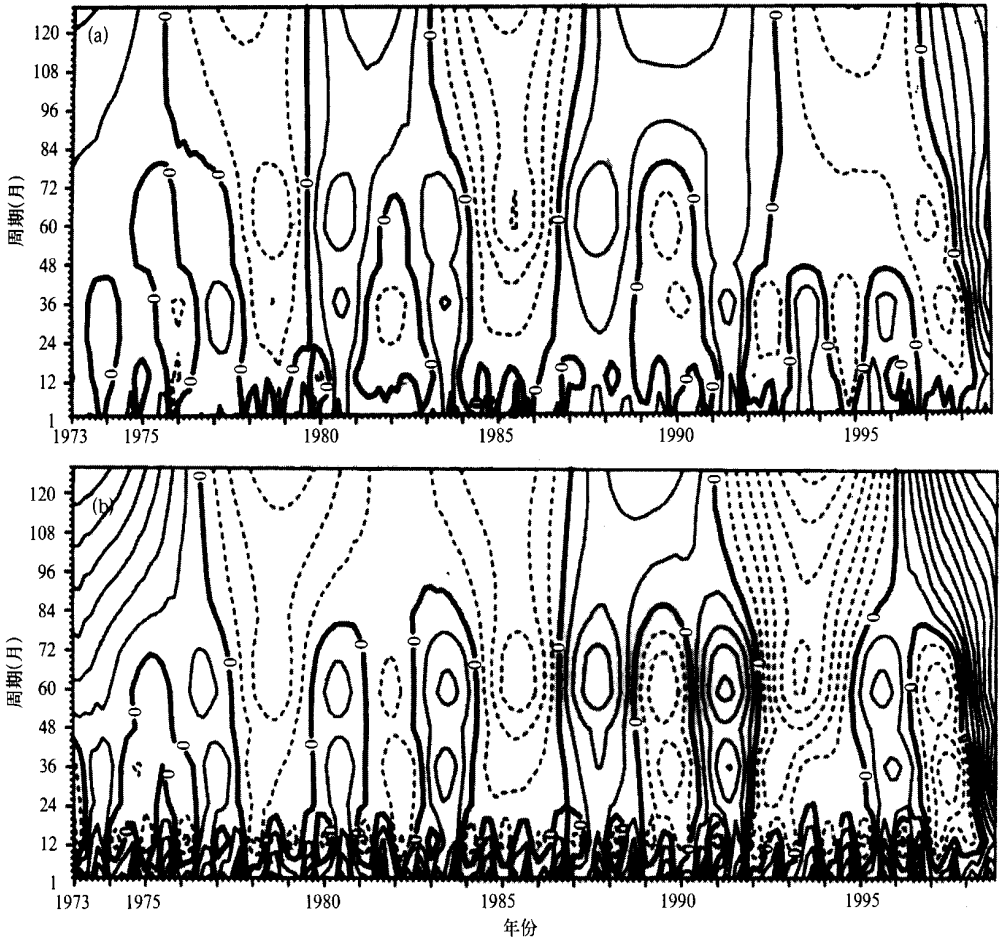


图4 850 hPa 长江中下游地区

(a) 纬向水汽输送 (b) 经向水汽输送小波变换的时间-频率图
(实线:正值,虚线:负值)

旱、涝年水汽输送的差异是非常显著的。5 月份旱、涝年水汽输送的主要差异出现在阿拉伯海,涝年的前期输送明显偏弱,而在中南半岛以东地区两者的差异很小(图略)。图 5 给出旱、涝年 850 hPa 6~7 月月平均水汽输送差值图(涝年减旱年)。此时,旱、涝年水汽

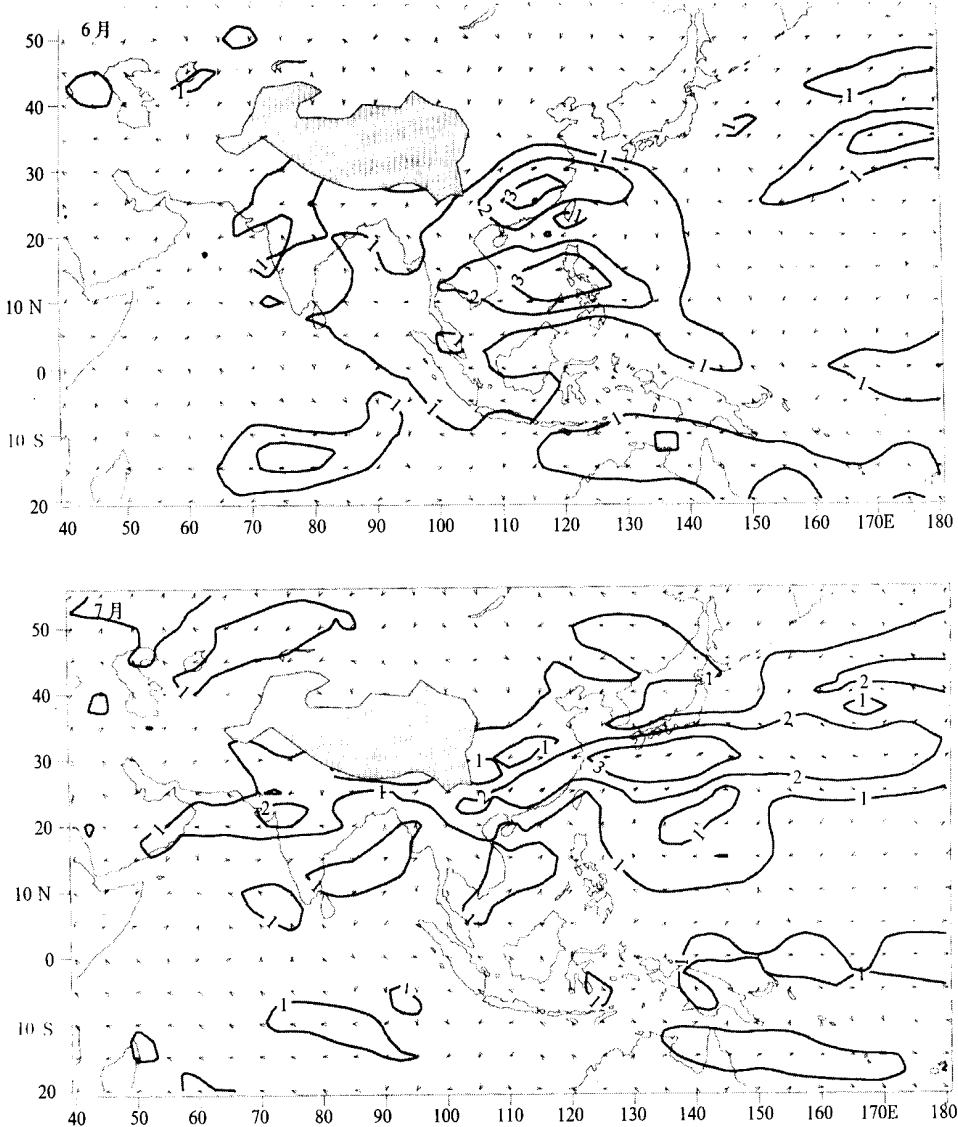


图 5 旱、涝年 850 hPa 6~7 月月平均水汽输送差值图
(涝年减去旱年,单位: $g \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$)

输送的差异位于中南半岛以东地区,主要集中在南海中部和华南地区,而在上游地区几乎没有什么差别。在偏涝的年份,6 月从中南半岛到长江中下游地区的西南部湿急流明显强于旱年。而从中南半岛到南海中部的输送则显著的弱于旱年。因而在长江以南及南海地区形成反气旋式的水汽输送差值环流,环流中心位于南海北部。这意味着,在涝年有更多的暖湿空气由孟加拉湾经中南半岛输送到长江中下游地区,而输送到南海的水汽则偏

少;南海北部向内陆的输送也强于早年。这表明,长江中下游地区的旱涝与南海夏季风活动在水汽输送方面有密切联系。7月从孟加拉湾向华南的水汽输送和南海北部向内陆的输送仍然是涝年强于早年。差值反气旋式水汽输送环流位于西太平洋。8月差值反气旋式水汽输送环流形势与6月的类似,但其范围更向东扩展(图略)。

根据上面的分析及文献[5],发现长江中下游旱涝年的水汽输送与南海季风爆发早晚年有一定联系。图6是这种关系的示意图^[5]。孟加拉湾南部地区是我国长江中下游和南海地区重要的水汽源地,从此源地出发的水汽输送有两条主要的轴线,一是向东进入南海,另一条是向东北经中南半岛进入华南和长江中下游地区。当南海季风爆发偏早时,南海及其上游地区向东水汽输送通道建立早且维持时间长,强度大,该年长江中下游往往降水偏少。反之,长江中下游为多雨年。顺便指出,南海北部向华南地区水汽输送的年际变化,比上述两支主要水汽通道的年际变化要小得多。

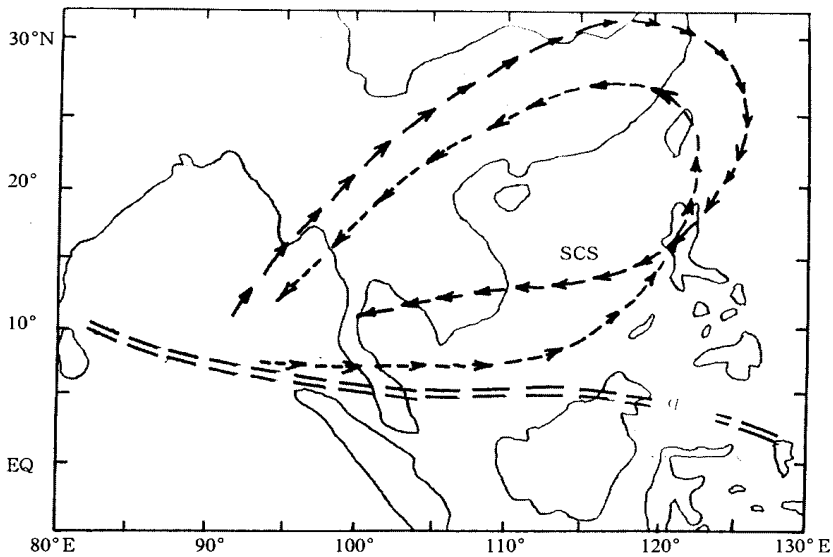


图6 长江中下游旱涝的水汽输送特征与南海季风爆发早晚示意图
(双虚线表示气候平均最大水汽轴,实、虚箭头分别为长江中下游涝、旱年和南海季风爆发早、晚年的水汽输送之差)

4 1998年长江流域洪涝期间的水汽输送特征

1998年长江流域经历了自1954年以来最严重的一次洪涝灾害。6月下旬到7月上旬江淮流域出现持续的梅雨天气;7月下旬到8月上旬,随着北方冷涡的发展,冷空气加强南下,副高南退,同时南海季风经历了一个不活跃时期,致使雨带从黄河以北地区向南移回长江地区,长江流域与江南地区出现了持续2周的“二度梅”,形成了强烈的暴雨和严重的大洪水。同时,8月上旬北方冷涡加深,在东北嫩江流域形成百年不遇的大洪水。

根据1998年旬平均水汽输送形势图(图略),5月下旬,南海上游的西风加强西伸,副

高东退,南海季风爆发,此时南海北部向江南有弱输送。6月下旬至7月上旬,从阿拉伯海到南海的水汽输送加强东伸,副高南侧的水汽输送也很强,自西太平洋到南海有相当明显的输送。从阿拉伯海经印度半岛、孟加拉湾、中南半岛向东的水汽输送与副高南侧来自西太平洋的水汽输送在南海汇合,向北输送在长江中下游地区出现极强的辐合,为这一地区的降水提供了丰富的水汽。7月下旬到8月上旬是长江中下游地区又一次降水集中过程。季风槽仍然位于南海,来自孟加拉湾地区的西南季风在南方形成的西南-东北向水汽输送使得长江中下游地区辐合再一次增强。特别在8月上旬,副高西南侧的东南风水汽输送与西南季风水汽输送在渤海湾汇合后,经朝鲜半岛向我国东北内陆输送。在北方冷涡的作用下,在高纬内陆地区形成一个气旋型水汽输送,使得我国东北北部大量的水汽辐合,造成嫩江流域的特大洪涝灾害。

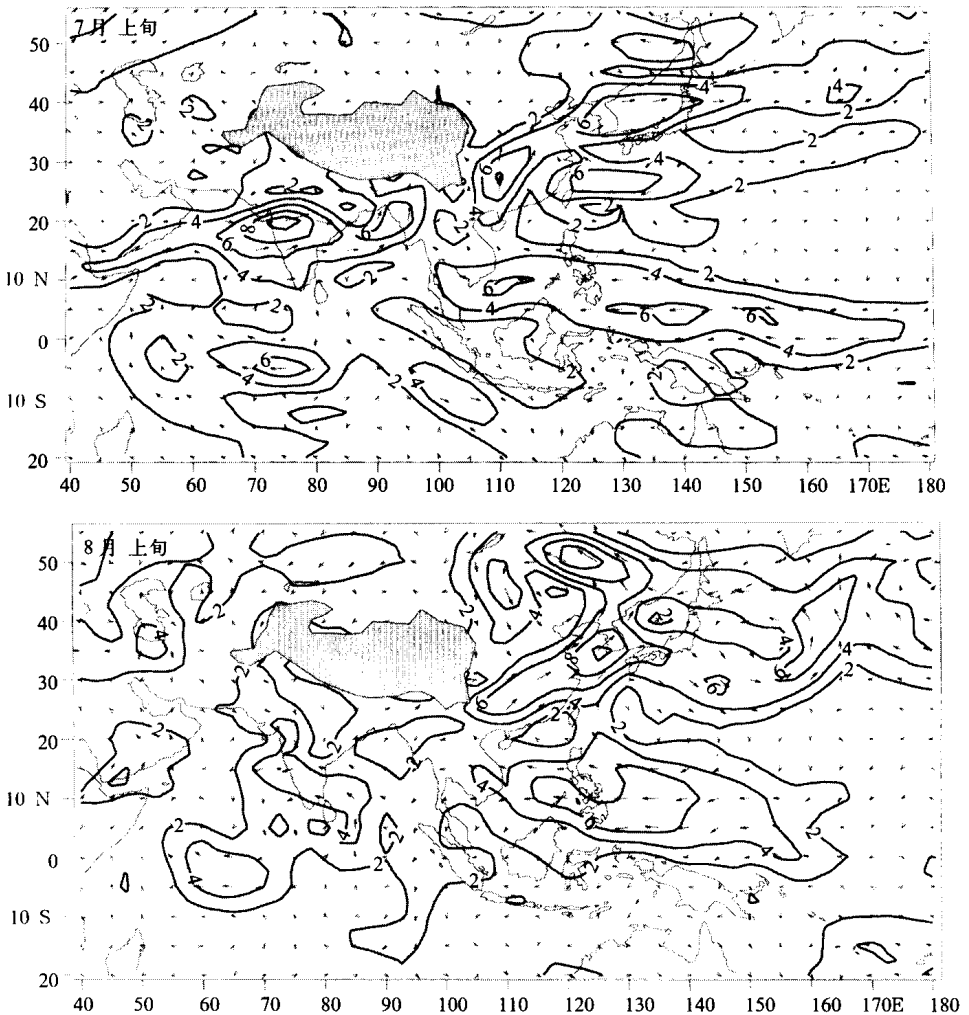


图 7 1998 年 7 月上旬和 8 月上旬水汽输送旬距平图

(单位: $g \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$)

图7给出1998年7月上旬和8月上旬水汽输送旬距平图。6月下旬(图略)及7月上旬,由于副高南侧的东风输送非常强和南海季风偏弱,南海季风槽的向北输送强于常年,南方大陆上的西南水汽输送较强。中高纬西太平洋上有一以日本半岛东南洋面为中心的水汽输送距平反气旋型分布。这有利于水汽输送在长江中下游地区的辐合,为长江中下游地区的降水提供丰富水汽。7月下旬(图略),从阿拉伯海到南海的向东输送明显弱于常年,中国南方的水汽西南输送中心很强,有利于水汽在长江中下游地区的辐合。8月上旬,南海地区的向东输送弱于常年,南海北部出现一反气旋性输送距平,更多的水汽被输送到大陆上。同时,在东北地区出现一强气旋性距平分布,东北内陆水汽输送辐合大大强于往年,结果造成东北北部地区罕见的洪涝。

综上所述,1998年南海季风明显偏弱。长江中下游梅雨期间的水汽输送形势同一般涝年6、7月份基本一致,从赤道印度洋向南海的向东水汽输送通道较弱,而从孟加拉湾经中南半岛到长江中下游的水汽输送较强。东北北部8月上旬降水的水汽来源于朝鲜半岛以南的洋面,主要受副热带季风的影响。

5 结 论

(1) 长江中下游地区水汽水平输送特征在各月有很大差异。这种差异同夏季风环流系统有密切联系。来自孟加拉湾经中南半岛的水汽输送是长江中下游地区水汽的主要来源。

(2) 长江中下游旱涝年同水汽输送的5年和3年振荡周期有很重要联系。在涝年从孟加拉湾通过中国南部大陆到西太平洋上空的水汽输送通道强且稳定,从孟加拉湾经中南半岛到南海的水汽输送相对较弱,旱年则相反。旱年和涝年,南海地区向北的水汽输送没有显著的差别。

(3) 长江中下游的旱涝同南海夏季风爆发的时间和季风的强弱有密切关系。孟加拉湾南部地区是我国长江中下游和南海地区重要的水汽源地。从此源地出发的水汽输送有两条主要的轴线,一是向东进入南海,另一条是向东北经中南半岛进入华南和长江中下游地区。当南海季风爆发偏早时,南海及其上游地区向东水汽输送通道建立早且维持时间长,强度大,该年长江中下游降水往往偏少。反之,长江中下游为多雨年。

(4) 1998年来自孟加拉湾的西南气流及副高北侧的西南风引起的向东输送长时间维持在长江流域和太平洋上空。华南的经向水汽输送在夏季风爆发后出现两次加强北进过程。1998年南海季风明显偏弱。在降水集中时段,孟加拉湾及南海地区对长江中下游地区的水汽输送偏强。东北北部8月上旬降水的水汽来源于朝鲜半岛以南的洋面,主要受副热带季风的影响。

参 考 文 献

- 1 谢义炳,戴武杰. 中国东部地区夏季水汽输送个例计算. 气象学报, 1959, 30(2): 171~185.
- 2 Murakami T, et al. The general circulation and water vapor balance over the far East during the rainy season. *Geophys*

Magazine, 1959, 29(2): 137 - 171.

- 3 沈如桂, 罗绍华, 陈隆勋. 盛夏季风环流与我国降水的关系. 热带天气会议文集, 北京: 科学出版社, 1980. 102 ~ 111.
- 4 朱乾根, 吴洪, 谢立安. 夏季亚洲季风槽的断裂过程及其特征. 热带气象, 1987, 3(1): 1 ~ 8.
- 5 谢安, 宋焱云, 毛江玉, 叶谦. 南海夏季风期间的水汽输送气候特征. 气候与环境研究, 2001, 6(4): 425 ~ 434.
- 6 谢安, 刘霞, 叶谦. 南海夏季风爆发的气候特征. 见: 何金海主编. 亚洲季风研究的新进展. 北京: 气象出版社, 1996. 132 ~ 141.
- 7 叶笃正, 黄荣辉. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究. 济南: 山东科学技术出版社, 1996. 26 ~ 28.

CLIMATOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MOISTURE TRANSPORT OVER YANGTZE RIVER BASIN

Xie An¹⁾ Mao Jiangyu²⁾ Song Yanyun¹⁾ Ye Qian²⁾

¹⁾ (Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

²⁾ (Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract

Climatological characteristics of moisture transport over the Yangtze River basin during summer monsoon are investigated based on NCEP/NCAR reanalysis data for the period of 1973 - 1998. The differences between drought and flood years, and especially some features of moisture transport over the Yangtze River basin in the course of flood in 1998 are examined. The results show that the characteristics of horizontal moisture transport over the Yangtze River are different from month to month. Moisture transport from the Bay of Bengal and South China is main sources of the Yangtze River basin precipitation. Droughts or floods over the Yangtze River are closely related with the onset time of summer monsoon over the South China Sea. Yangtze River basin floods chiefly resulted from the long-term maintenance of moisture transport from the South China Sea and the Bay of Bengal to the Yangtze River basin in 1998.

Key words: Yangtze basin Moisture transport South China Sea monsoon