

董丽娜,郭品文,张福颖.初夏至盛夏东亚副热带西风急流变化与江淮出梅的关系[J].大气科学学报,2010,33(1):74-81.
Dong Li-na, Guo Pin-wen, Zhang Fu-ying. Relationship between variations of East Asian subtropical westerly jet from early summer to midsummer and withdrawal of Mei-Yu from Jianghuai region[J]. Trans Atmos Sci, 2010, 33(1): 74-81.

初夏至盛夏东亚副热带西风急流变化与江淮出梅的关系

董丽娜^{1,2}, 郭品文^{1,2}, 张福颖²

(南京信息工程大学 1. 气象灾害省部共建教育部重点实验室; 2 大气科学学院, 江苏 南京 210044)

摘要:利用 1961—2005 年逐候资料对东亚副热带西风急流初夏至盛夏变化与江淮出梅的关系进行了分析。结果表明,多年平均 7 月初夏至盛夏急流中心由西太平洋地区西跳至青藏高原的同时我国东部地区急流北跳至 37.5°N 以北,比梅雨结束早 1 候;急流北跳使得我国东部高空辐散中心北移至华北地区,江淮地区上空辐散显著减弱,上升运动减弱,从而使得江淮梅雨结束,雨带北移;而急流中心的西跳仅使得我国东部地区高空辐散中心减弱,降水减弱,有利于雨带北移。我国东部急流北跳与江淮地区梅雨结束时间显著正相关,在北跳偏早(晚)年份梅雨结束早(晚),长江中下游地区降水偏少(多),而急流中心西跳早晚对我国华北北部地区和淮河附近地区降水有较大影响。可见,我国东部急流北跳与梅雨结束关系密切,可作为梅雨结束的先期信号。

关键词:东亚副热带西风急流;初夏至盛夏变化特征;江淮出梅

中图分类号: P422 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097(2010)01-0074-08

Relationship between Variations of East Asian Subtropical Westerly Jet from Early Summer to Midsummer and Withdrawal of Mei-Yu from Jianghuai Region

DONG Li-na^{1,2}, GUO Pin-wen^{1,2}, ZHANG Fu-ying²

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education;

2. School of Atmospheric Sciences, NU IST, Nanjing 210044, China)

Abstract: Based on the pentadly averaged datasets from 1961 to 2005 year, the relationship between the variations of the East Asian subtropical westerly jet (EASWJ) from early summer to midsummer and the withdrawal of Mei-Yu from the Jianghuai region are studied, with the results as follows: (1) during the transforming process of the EASWJ from early summer to midsummer, the westward jump of the jet core from the western Pacific to the Qinghai-Tibet Plateau, and the northward jump of the jet to the area north of 37.5°N over eastern China took place simultaneously at early July on the multi-year average condition; and the jump time is usually one pentad earlier than the date of the withdrawal of Mei-Yu from the Jianghuai region (2) the northward jump of the jet led to the northward movement of strong divergence center at upper level to North China, meanwhile to the weakening of the upper level divergence and surface precipitation over the Changjiang-Huaihe River Basin, thus the end of Mei-Yu and the northward shift of the rain belt; whereas the westward jump of the jet core is conducive to the northward movement of the rain belt (3) the date of the northward jump of the jet over eastern China is remarkably positively correlated with the date of the withdrawal of Mei-Yu, viz the withdrawal took place earlier

收稿日期: 2009-01-15; 改回日期: 2009-07-10

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目 (40675041)

作者简介: 董丽娜 (1980—), 女, 黑龙江齐齐哈尔人, 博士, 讲师, 研究方向为天气、气候变化诊断, dlina@nuist.edu.cn

(later), the Mei-Yu ended earlier (later) and the precipitation of July in the middle-lower reaches of the Yangtze River was less (more); the date of the westward jump of the jet core is remarkably related to July anomalous precipitation in the northern of North China and the Huaihe River Basin. So the relationship between the northward jump of the jet over eastern China and the withdrawal of Mei-Yu is closer, and the former can be used as a precursor for the end of Mei-Yu.

Key words: East Asian subtropical westerly jet; variations of EASWJ from early summer to midsummer; withdrawal of Mei-Yu from the Jianghuai region

0 引言

东亚副热带西风急流具有明显的季节变化特征,春末夏初东亚副热带西风急流发生两次北跳,第一次北跳与南海夏季风的建立密切相关^[1-2],第二次北跳与我国江淮流域梅雨的开始以及夏季风在印度地区的全面爆发有显著的关系^[3-8],是大气环流春夏季节转换的标志^[4]。

在初夏结束盛夏开始时期,东亚副热带西风急流也存在着北跳特征^[5,9-11],急流中心还存在显著的西跳特征,且均与东亚梅雨的结束密切相关。陈隆勋^[10]指出东亚上空自初夏至盛夏的环流转变常常是从急流的突然北撤开始,与此同时梅雨进入末期。陶诗言等^[5]也指出东亚梅雨的结束与7月亚洲上空南支急流的北跳过程密切相关。郑成均^[11]的分析则表明125°E西风急流在6月下旬和7月下旬发生两次北跳。Zhang等^[12]指出,东亚副热带西风急流中心在35~39候之间迅速从140°E移动到90°E附近,和梅雨结束有着密切的关系。况雪源^[13]指出,东亚副热带西风急流轴在7月初从35°N左右北跳至38°N以北;急流中心在夏季也有明显的西移特征,当西太平洋上空急流核减弱消失,青藏高原上空急流核占据主导地位时,江淮梅雨季节结束。

以上研究表明,初夏至盛夏东亚副热带西风急流也存在着显著的变化。但以往研究多是对某一经度或某段经度平均的西风急流的分析,对于初夏至盛夏东亚副热带西风急流的变化特征还没有一个整体的认识,且在研究对江淮梅雨结束的影响时没有将急流的北跳与急流中心的西跳有机地联系起来。因此本文根据对多年平均东亚副热带西风急流初夏至盛夏变化特征的分析确定了1961—2005年初夏至盛夏急流北跳和急流中心西跳时间,在此基础上分析了急流北跳和急流中心西跳与我国江淮地区梅雨结束的关系,以期进一步认识东亚副热带西风急流北跳和急流中心西跳对我国天气气候的影响,对于预测梅雨结束有重要意义。

1 资料和方法

由于无论冬夏季及不同类型下垫面的上空,一年中西风最大值均位于200 hPa高度^[14],所以本文研究的东亚副热带西风急流即指200 hPa高度上西风大值区域。本文所用资料为1961—2005年的NCEP/NCAR再分析逐日资料,候平均资料是逐日资料每5 d的平均值,每月共6候(每月最后一候为每月26日至最后一日的平均),一年共72候。

文中首先确定了1961—2005年各年第33—48候东亚副热带西风急流轴所在纬度,再按经度读取急流轴上风速,最后对急流轴所在纬度和急流轴上风速进行多年平均以分析东亚副热带西风急流初夏至盛夏的变化特征。

周曾奎^[15]指出就江淮地区而言,由于区域性降水的终止日期不同,出梅日期有所差异,但整个地区出梅环流调整日期是一致的,所以本文中用江淮梅雨结束日期选取为出梅环流调整日。出梅环流调整日定义为入梅后持续3 d同时出现如下两种情况的第一天:

- (1) 120°E副高脊线位置 27°N (或 115°E, 120°E和 125°E 588线平均位置 31°N);
- (2) 120°E, -8°等温线位置 40°N。

2 东亚副热带西风急流初夏至盛夏的变化特征

为了更详细的认识东亚副热带西风急流初夏至盛夏的变化特征,对多年平均第33—48候(6月第3候至8月第6候)东亚副热带西风急流轴所在纬度(图1)及急流轴所在纬度风速的经度—时间分布(图2)进行了分析。

如图1所示,33—36候东亚副热带西风急流逐渐北移,变化缓慢,直至37候我国东部地区上空(110~125°E)急流突然加速北跳至37.5°N以北,与况雪源^[13]的分析结果相一致。38—40候急流继续缓慢北移。41候急流北跳,显著变化发生在125~150°E的西太平洋上空,急流由40°N附近北跳至

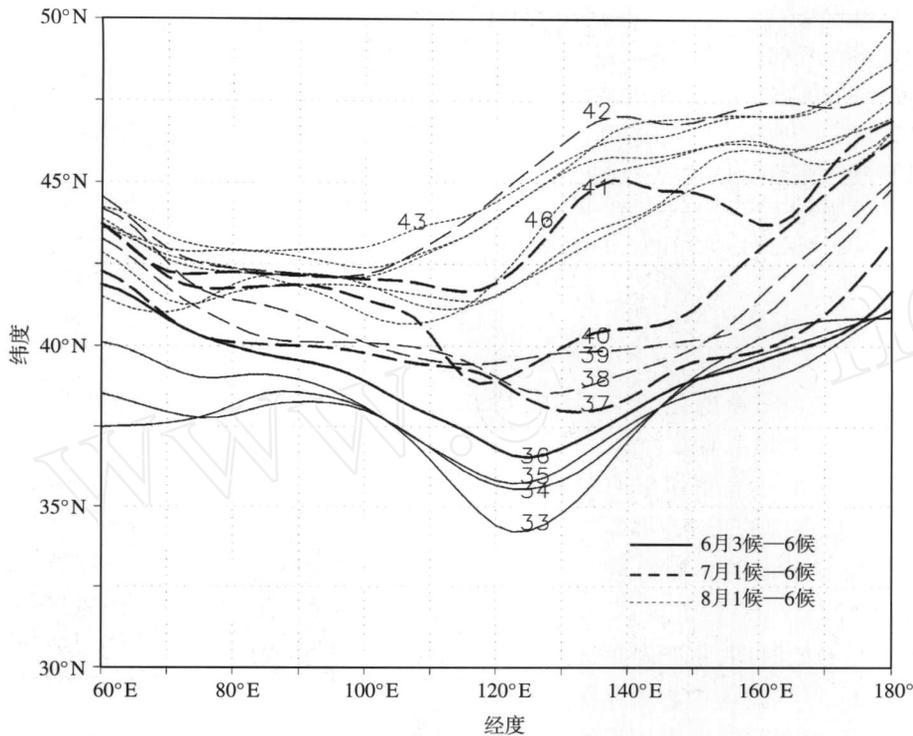


图 1 多年平均 33—48 候东亚副热带西风急流轴位置分布 (单位: N)

Fig 1 Multi-year average locations of the EASWJ axis of the 33th to 48th pentad over 1961—2005 (units: N) (the solid lines are the third to sixth pentad in June, and the dashed (dotted) lines are respectively the first to sixth pentad in July (August), respectively)

45°N 附近, 42 候急流继续北移, 急流至一年中最北的位置。44 候开始急流逐渐南撤。可见, 东亚副热带西风急流初夏至盛夏不同地区北跳时间不同, 7 月初我国东部地区上空急流北跳北跳至 37.5°N 以北, 7 月末西太平洋上空急流显著北跳。7 月末西太平洋急流北跳就是 20 世纪 70 年代前研究所指出的 7 月急流北跳, 林中达^[16]对西太平洋急流北跳进行了详细研究, 与日本梅雨的结束密切相关^[5, 9-10, 16]。

如图 2 所示, 34—36 候多年平均急流中心位于西太平洋地区, 34—37 候位于 130~170°E 西太平洋急流核迅速减弱, 而位于 70~110°E 青藏高原地区急流核在 35—37 候略增强, 37 候西太平洋急流中心消失, 130~170°E 平均西风小于 70~110°E 平均西风, 急流中心西跳至青藏高原北侧, 与我国东部地区急流北跳时间相一致, 急流变化显著。此后急流中心稳定位于青藏高原地区。

以上分析表明, 7 月初急流中心由西太平洋地区西跳至青藏高原的同时我国东部地区急流北跳至 37.5°N 以北, 初夏至盛夏东亚副热带急流变化显著。

3 我国东部上空急流北跳和急流中心西跳与江淮梅雨结束的关系

第 2 节分析表明, 在 7 月初中国东部上空急流北跳与急流中心西跳同时发生, 那么在年际变化上二者又是否同时发生呢? 若二者不是同时发生, 那么在 45 a 中西跳和北跳哪一个过程与梅雨的结束关系更密切呢?

3.1 急流北跳和急流中心西跳时间的年际变化

根据多年平均急流变化特征, 定义急流北跳为我国东部地区 (110~125°E 平均) 急流轴稳定位于 37.5°N 以北, 急流中心西跳为 70~110°E 平均西风最大值稳定大于 130~170°E 平均西风最大值。1961—2005 年我国东部上空急流北跳时间和急流中心西跳时间分别如图 3 中空心和实心点所示, 出梅环流调整日期则如图 3 中柱状所示。由图 3 可知, 急流北跳和急流中心西跳最早均为 33 候, 急流北跳最晚为 42 候, 急流中心西跳最晚为 47 候, 最早与最晚相差达 10 候以上, 急流北跳时间和急流中心西跳时间均具有明显的年际变化。多年平均我国东

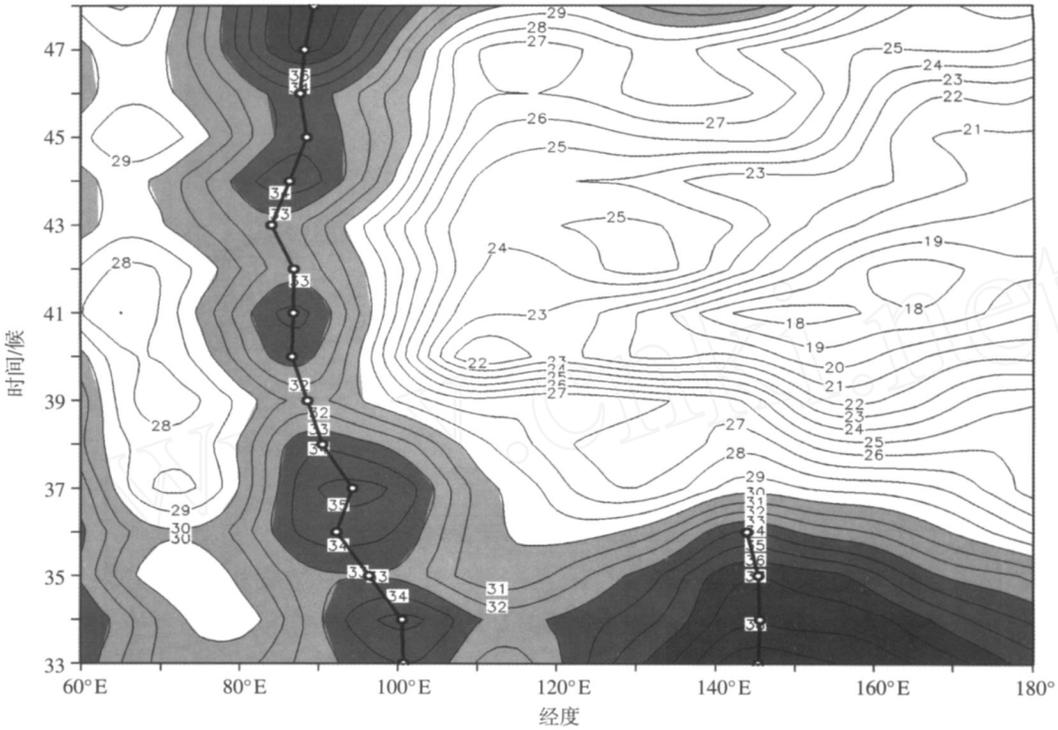


图 2 多年平均 33—48 候急流轴风速的经度—时间剖面 (单位: m/s, 阴影区风速大于 30 m/s)

Fig 2 Longitude-time (pentad) section of the zonal wind velocity (m/s) of the EASWJ axis from the 33th to 48th pentad averaged over 1961–2005 (the zonal wind velocity greater than 30 m/s is shaded)

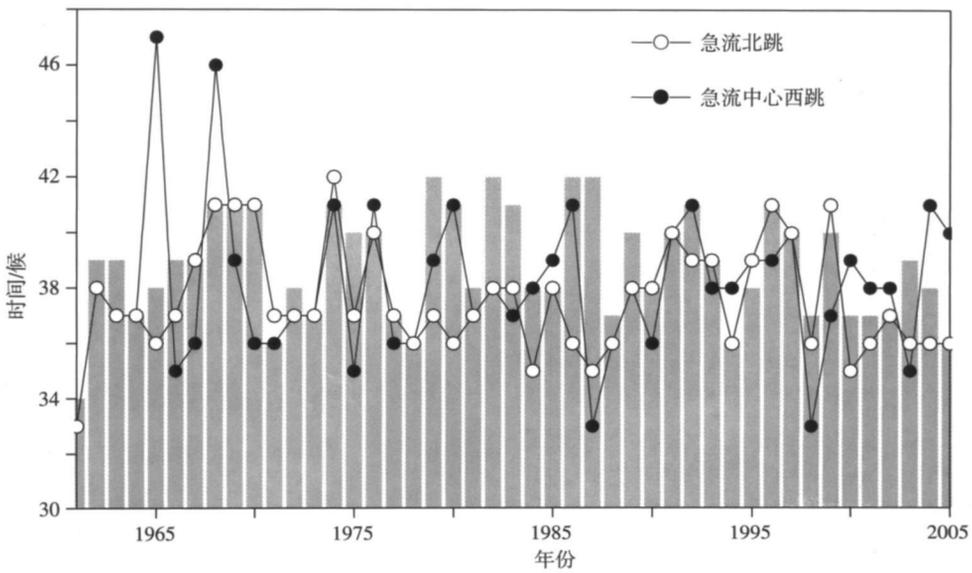


图 3 1961—2005 年我国东部急流北跳 (○)、急流中心西跳 (●) 和江淮出梅环流调整 (柱状) 随时间的变化 (单位: 候)

Fig 3 Yearly time (pentad) evolution of the northward jump of the EASWJ over eastern China (○), the westward jump of the EASWJ core (●), and the circulation adjustment of the withdrawal of Meiyu (column) from 1961 to 2005

部上空急流北跳时间为 37.6 候, 多年平均急流中心西跳时间为 38 候, 可视为同时发生, 但在 1961—2005 年我国东部地区急流北跳与急流中心西跳同时发生的仅有 14 a, 北跳比西跳早的有 15 a, 西跳比北跳早的有 16 a, 各占 1/3。可见, 1961—2005 年急流中心西跳与急流北跳不同时发生年份偏多。

出梅环流调整多年平均值为 39 候, 急流中心西跳和急流北跳比出梅环流调整偏早 1 候, 从时间上来看急流中心西跳和急流北跳均可作为出梅环流调整的先期信号。在 1961—2005 这 45 a 中, 急流中心西跳晚于出梅环流调整共有 10 a, 急流北跳晚于出梅环流调整仅有 4 a, 急流北跳晚于出梅环流调整的年份很少, 急流北跳作为预测出梅环流调整的先期信号更合适。且急流北跳时间与出梅环流调整时间的相关系数高达 0.554, 超过 99.9% 置信度检验, 急流中心西跳时间与出梅环流调整时间的相关系数为 0.296, 仅达到 95% 置信度检验, 说明急流北跳与出梅环流调整时间正相关更显著。

综上所述, 从时间变化上来看, 急流北跳与出梅环流调整关系更密切, 一般我国东部急流北跳比出梅环流调整偏早 1~3 候。

3.2 急流北跳和急流中心西跳前后高层辐散场变化特征

丁一汇^[17]指出急流入口区北侧产生高空辐合, 急流南侧产生高空辐散, 进而北侧出现下沉气流, 南侧出现上升气流。低层大气会随之发生质量调整, 产生与高层相反的辐合区和气流, 从而形成垂直环流。急流出口区则相反。那么急流北跳和急流中心

的西跳必会引起急流南侧高层辐散场发生变化。

为了进一步对比分析急流中心西跳和急流北跳与江淮梅雨结束的关系, 将 45 a 按急流北跳与急流中心西跳同时发生年份、急流北跳比急流中心西跳早发生年份、急流中心西跳比急流北跳早发生年份 3 种情况, 分别对急流北跳与急流中心西跳前后 200 hPa 散度场变化情况进行了合成分析。

如图 4 所示, 在急流北跳与急流中心西跳同时发生年份, 前一候 (-1 候) 在 30°N 附近的江淮地区存在一强辐散中心, 青藏高原上空为较小的辐散区, 日本本州上空为一强辐散中心; 急流北跳和急流中心西跳候 (0 候), 我国东部地区上空的强辐散中心北移至 35°N 附近的河南北部与河北地区上空, 江淮上空辐散显著减弱, 将使得上升运动减弱, 江淮地区降水较少, 江淮梅雨结束, 同时还发现青藏高原西部地区辐散增强, 而青藏高原东部地区辐散减弱, 日本本州上空辐散中心减弱, 与急流中心西跳密切相关。夏季青藏高原东部地区为上升运动区, 其东侧 105°E 附近为下沉运动区, 低层 105°E 附近气流东移向我国东部地区辐合上升 (图略), 西跳候青藏高原东部地区辐散减弱使得青藏高原地区上升运动减弱, 导致 105°E 附近的下沉气流减弱, 使得低层向我国东部地区辐合的气流减弱, 从而江淮地区上升运动减弱, 导致高层辐散减弱, 也使得我国江淮地区降水减少。

在急流北跳比急流中心西跳早发生年份, 急流北跳前一候 (图 5a) 我国东部地区强辐散中心位于 30°N 附近江淮地区, 急流北跳候 (图 5b) 强辐散中

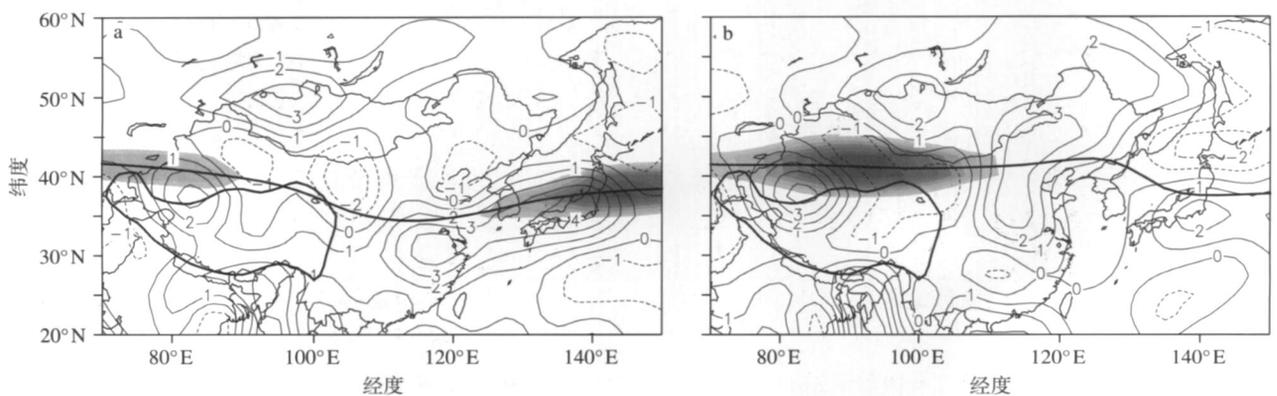


图 4 我国东部急流北跳与急流中心西跳同时发生年份北跳/西跳前一候 (a) 与北跳/西跳候 (b) 200 hPa 散度合成 (单位: 10^{-6} s^{-1} ; 阴影区风速大于 30 m/s, 粗实线为急流轴)

Fig 4 Composites of 200 hPa divergence (10^{-6} s^{-1}) for (a) the pentad previous the co-occurrence of northward jump and westward jump and (b) the pentad of the co-occurrence over the years when the northward jump of the EASWJ over eastern China and the westward jump of the EASWJ core concurrently took place (the shaded area: the zonal wind velocity greater than 30 m/s; the thick solid line: the jet axis)

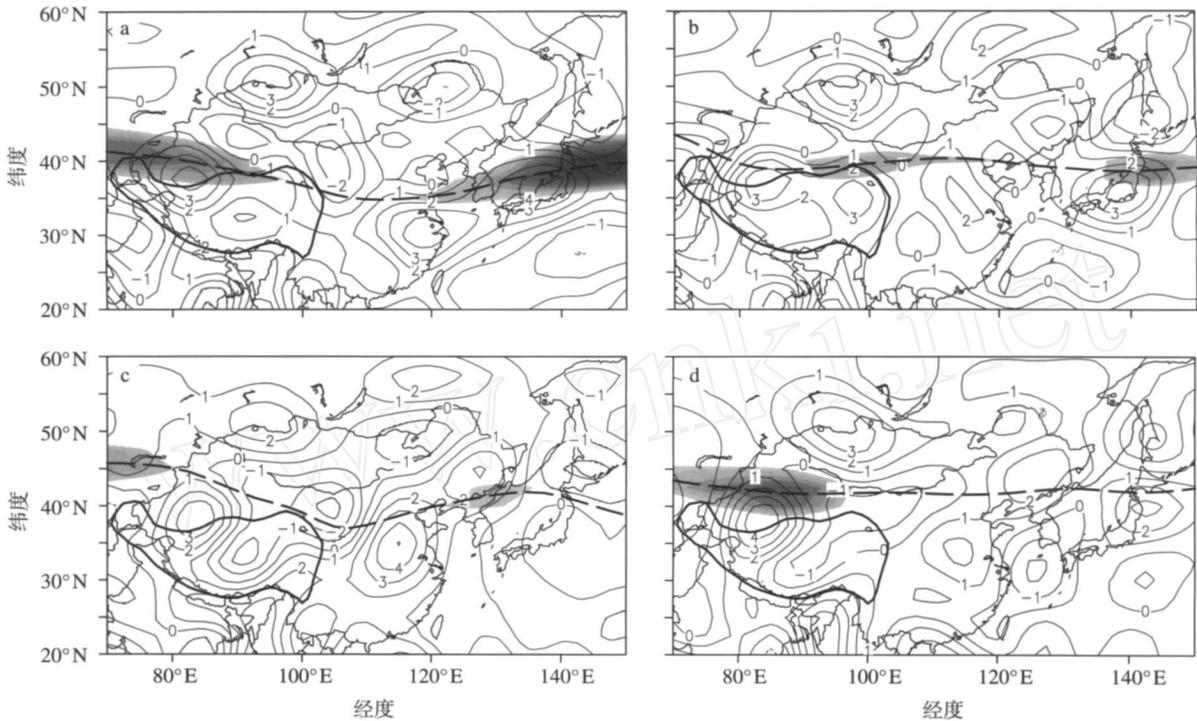


图 5 我国东部急流北跳比急流中心西跳早发生年份急流北跳前一候 (a)与北跳候 (b)、急流中心西跳前一候 (c)与西跳候 (d) 200 hPa散度合成 (单位: $10^{-6} s^{-1}$;阴影区风速大于 30 m/s,粗虚线为急流轴)

Fig 5 Composites of 200 hPa divergence ($10^{-6} s^{-1}$) for (a) the pentad previous the occurrence of northward jump, (b) the pentad of the occurrence of northward jump, (c) the pentad previous the occurrence of westward jump, and (d) the pentad of the occurrence of westward jump over the years when the time of the northward jump of the EASWJ over eastern China was earlier than that of the westward jump of the EASWJ core (the shaded area: the zonal wind velocity greater than 30 m/s; the thick solid line: the jet axis)

心减弱北移至 35°N 附近山东省西部至河北南部地区上空,黄淮地区上空辐散增强,江淮地区辐散减弱,江淮梅雨进入末期。而急流中心西跳前一候 (图 5c)我国东部地区上空强辐散中心已经位于 35°N 附近的黄淮流域,江淮流域上空为较弱的辐散区,梅雨已经进入末期。在急流中心西跳候 (图 5d),青藏高原地区东南部地区辐散减弱,使得低层向我国东部地区辐合的气流减弱,从而黄淮地区上升运动减弱,导致高层辐散减弱,使得我国黄淮地区降水减少。

在急流中心西跳比急流北跳早发生年份,伴随急流中心西跳 (图 6a b),位于 30°N 附近的江淮地区上空强辐散中心减弱,位置仅向北少移,虽使得长江中下游地区降水减少,但仍处于梅雨期。急流北跳前一候 (图 6c)我国东部地区强辐散中心位于位于江淮地区,急流北跳候 (图 6d)强辐散中心减弱北移至 35°N 附近山东省西部至河北地区上空,江淮地区辐散显著减弱,梅雨进入末期。

以上分析表明,我国东部地区急流北跳引起我

国东部高空强辐散中心北移至华北地区,江淮地区上空辐散显著减弱,引起上升运动减弱,从而降水减少,江淮梅雨结束,而急流中心的西跳引起青藏高原东部上空辐散减弱,使得青藏高原地区上升运动减弱,导致 105°E 附近的下沉气流减弱,使得低层向我国东部地区辐合的气流减弱,降水中心上空上升运动和高层辐散减弱,从而使得我国东部降水中心降水减少,有利于雨带北移。可见,我国东部地区上空急流北跳与江淮梅雨结束密切相关,与时间变化分析结果相一致。

3.3 急流北跳和急流中心西跳时间与我国东部 7 月降水的多元线性回归分析

急流北跳和急流中心西跳一般发生在 7 月初,若与我国江淮梅雨结束相关,则其突变早晚必然引起我国 7 月江淮流域降水异常。以我国东部 (110°E 以东)各站 7 月降水量为因变量,以急流北跳时间和急流中心西跳时间作为两个自变量,进行了多元线性回归分析,以明确急流北跳、急流中心西跳早晚引起我国东部 7 月降水异常的分布结构。

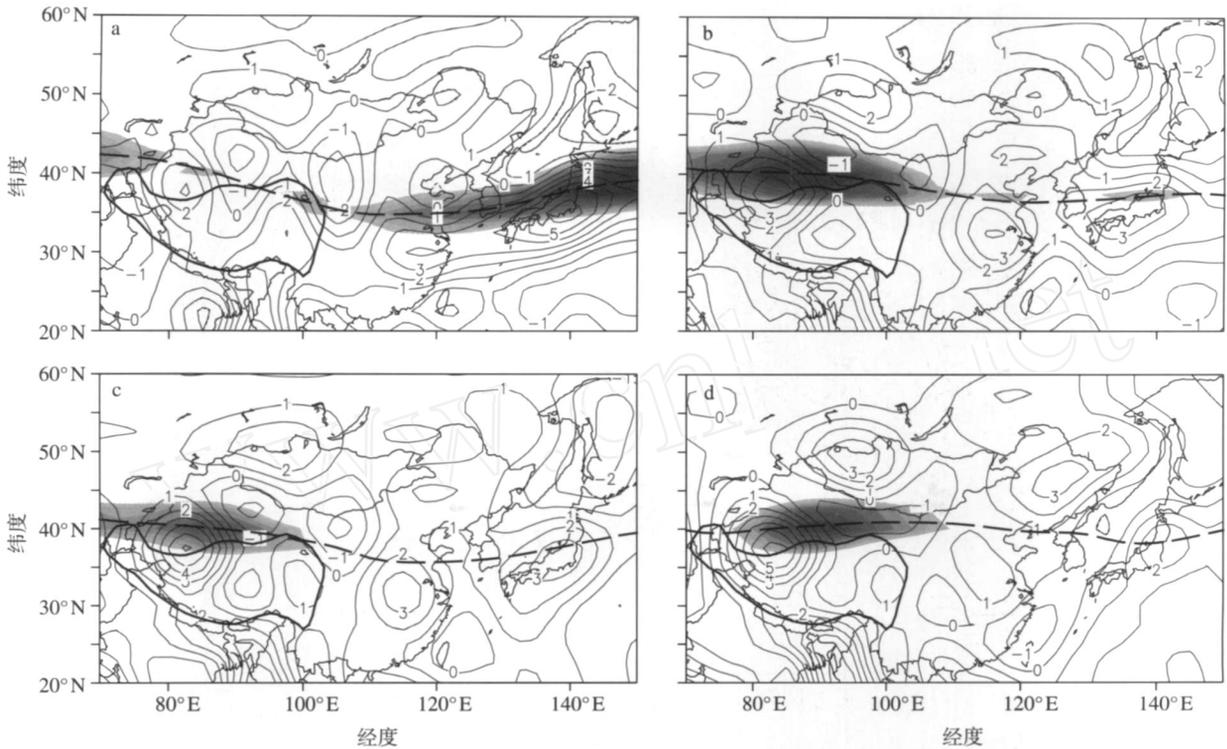


图 6 急流中心西跳比我国东部急流北跳早发生年份急流中心西跳前一候 (a) 与西跳候 (b)、急流北跳前一候 (c) 与北跳候 (d) 200 hPa 散度合成 (单位: 10^{-6} s^{-1} ; 阴影区风速大于 30 m/s , 粗虚线为急流轴)

Fig 6 Composites of 200 hPa divergence (10^{-6} s^{-1}) for (a) the pentad previous the occurrence of westward jump, (b) the pentad of the occurrence of westward jump, (c) the pentad previous the occurrence of northward jump, and (d) the pentad of the occurrence of northward jump over the years when the time of the westward jump of the EASWJ core was earlier than that of the northward jump of the EASWJ over eastern China (the shaded area: the zonal wind velocity greater than 30 m/s ; the thick solid line: the jet axis)

如图 7 所示,急流北跳时间与我国 7 月长江中下游地区降水显著正相关,急流北跳时间每偏晚一候时,长江中下游地区 7 月降水增加 20 mm 以上,而急流北跳每偏早 1 候时,长江中下游地区 7 月降水减少 20 mm 以上;而急流中心西跳时间与我国东部 7 月降水量的显著正中心位于淮河流域,负中心位于黄河以北的华北地区,每偏早或偏晚 1 候降水变化达 10 mm 以上。以上分析进一步证明我国东部急流北跳早晚与江淮地区梅雨结束密切相关,在北跳偏早年份梅雨结束早,长江中下游地区降水偏少,北跳偏晚年份则梅雨结束迟,长江中下游地区降水偏多。

4 结论

(1) 初夏至盛夏东亚副热带西风急流在 7 月初变化显著,急流中心由西太平洋地区西跳至青藏高原的同时我国东部地区急流北跳至 37.5 N 以北,但 1961—2005 年急流中心西跳与急流北跳不同时

发生情况较多。

(2) 对我国东部急流北跳和急流中心西跳的逐年时间变化分析表明,急流北跳与出梅环流调整日期为显著的正相关关系,急流北跳比出梅环流调整早 1~3 候。

(3) 我国东部地区急流北跳使得我国东部高空强辐散中心北移,江淮地区上空辐散显著减弱,引起上升运动减弱,江淮地区降水减少,使得江淮梅雨结束,雨带北移;而急流中心的西跳主要引起青藏高原东部辐散减弱,青藏高原地区上升运动减弱,导致 105 E 附近的下沉气流减弱,低层向我国东部地区辐合的气流减弱,降水中心上空上升运动和高层辐散减弱,从而使得我国东部降水中心降水减少,有利于雨带北移。

(4) 我国东部急流北跳早晚与江淮地区梅雨结束密切相关,在北跳偏早年份梅雨结束早,长江中下游地区降水偏少,北跳偏晚年份则梅雨结束迟,长江中下游地区降水偏多;而急流中心西跳早晚对我国

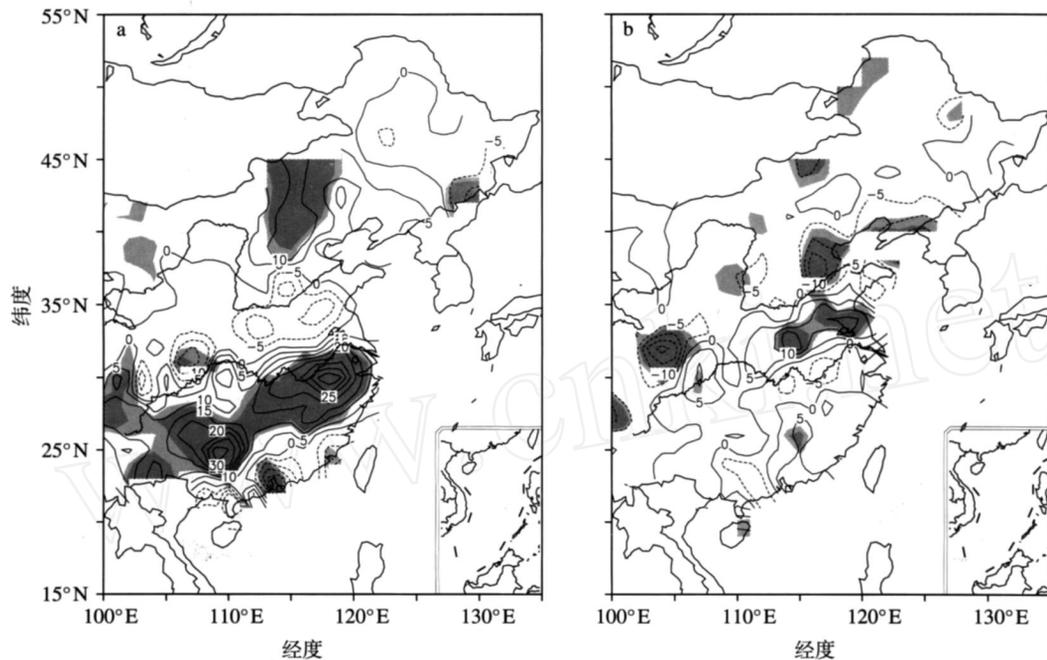


图 7 我国东部急流北跳 (a)和急流中心西跳 (b)时间与我国东部 7 月降水的回归系数 (浅、深阴影分别通过 90%和 95%置信水平的 F 检验)

Fig 7 Regression coefficients between July precipitation over eastern China, and (a) the time of the northward jump of the EASWJ over eastern China and (b) the time of the westward jump of the EASWJ core (Regression coefficients in light and dark shaded areas are significant at the 0.1 and 0.05 confidence levels in the F -test, respectively)

华北北部地区和淮河附近地区降水有较大影响。

参考文献:

- [1] 李崇银,王作台,林士哲,等. 东亚夏季风活动与东亚高空西风急流位置北跳关系的研究 [J]. 大气科学, 2004, 28 (5): 641-658.
- [2] Li Chongyin, Wu Jingbo. On the onset of the South China Sea summer monsoon in 1998 [J]. Adv Atmos Sci, 2000, 17 (2): 193-204.
- [3] 陶诗言,陈隆勋. 夏季亚洲大陆上空大气环流的结构 [J]. 气象学报, 1957, 28 (3): 234-247.
- [4] 叶笃正,陶诗言,李麦村. 在 6 月和 10 月大气环流的突变现象 [J]. 气象学报, 1958, 29 (4): 250-263.
- [5] 陶诗言,赵煜佳,陈晓敏. 东亚的梅雨期与亚洲上空大气环流季节变化的关系 [J]. 气象学报, 1958, 29 (2): 119-134.
- [6] Lau KM, Li M. The monsoon of East Asia and its global associations: A survey [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1984, 65: 114-125.
- [7] He H, McGinnis W, Song Z, et al. Onset of the Asian summer monsoon in 1979 and the effect of the Tibetan Plateau [J]. Mon Wea Rev, 1987, 115: 1966-1994.
- [8] Lau KM. East Asian summer monsoon rainfall variability and climate teleconnection [J]. J Meteor Soc Japan, 1992, 70, 211-242.
- [9] 刘匡南, 邬鸿勋. 近五年东亚夏季自然天气季节的划分及夏季特征的初步探讨 [J]. 气象学报, 1956, 27 (3): 219-242.
- [10] 陈隆勋. 梅雨结束时期沿东经 140 度上风场的变化 [J]. 气象学报, 1957, 28 (4): 294-302.
- [11] 郑成均. 副热带急流在西藏高原上的结构和季节性的活动 [J]. 气象学报, 1963, 33 (4): 459-471.
- [12] Zhang Yaocun, Kuang Xueyuan, Guo Weidong, et al. Seasonal evolution of the upper-tropospheric westerly jet core over East Asia [J]. Geophys Res Lett, 2006, 33, L11708, doi: 10.1029/2006GL026377.
- [13] 况雪源. 东亚副热带西风急流季节、年际变化特征及其热力机制和气候效应研究 [D]. 南京: 南京大学大气科学系, 2006: 44-64.
- [14] 况雪源, 张耀存. 东亚副热带西风急流季节变化特征及其热力影响机制探讨 [J]. 气象学报, 2006, 64 (5): 564-575.
- [15] 周曾奎. 江淮梅雨的分析 and 预报 [M]. 北京: 气象出版社, 2006: 26-28.
- [16] 林中达. 东亚夏季高空西风急流变异及其机理 [D]. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 2007: 69.
- [17] 丁一汇. 高等天气学 [M]. 北京: 气象出版社, 1991: 792.

(责任编辑:倪东鸿)