

中国东北区域盛夏雨季的客观识别*

房一禾¹⁾ 龚志强^{2)†} 赵连伟¹⁾ 赵春雨¹⁾ 李清泉²⁾

1) (沈阳区域气候中心, 沈阳 110166)

2) (中国气象局国家气候中心开放实验室和监测室, 北京 100081)

(2014年4月6日收到; 2014年6月6日收到修改稿)

鉴于我国东北三省雨季客观识别方法不尽相同, 且无东北区域统一的雨季监测指标. 为了更好地开展区域关键天气过程的客观化识别和监测, 本文从区域角度出发, 采用东北三省102站逐日降水量资料, 通过对东北区域多年平均5点平滑处理的4月1日—10月31日逐日降水量序列的综合分析, 及对历年逐日滑动平均雨量的对比试验, 确定了东北盛夏雨季判别的阈值参数及通过阈值后的持续时间参数, 进而研发了适合东北区域盛夏雨季开始和结束日期的客观识别方法. 并采用美国环境预报中心和国家大气研究中心逐日再分析的风场、位势高度场资料, 通过对盛夏雨季前、中、后期不同高度层大气环流场的对比分析, 验证了该客观识别方法的合理性. 结果表明, 东北区域1981—2010年气候态平均的盛夏雨季的起止日期分别为每年的6月26日和8月30日.

关键词: 东北地区, 盛夏雨季, 起止日期, 客观识别

PACS: 92.60.Wc

DOI: 10.7498/aps.63.209202

1 引言

中国处于东亚季风区, 受东亚季风影响, 各地大范围、集中降水开始和结束的时间有较大差别, 例如江南春雨、华南前汛期、梅雨、东北华北雨季、华西秋雨等天气气候现象都表明了中国不同区域降水变化的独特性. 东北三省各自的雨季监测指标也不尽相同, 目前东北地区雨季起止日期尚没有一个统一的、定量的划分标准, 通常只是按一年中雨带的大致变化粗略划分雨季的大概时间. 然而精确的雨季开始和结束日期的监测是气象服务的重要内容, 对于农业生产和政府决策等均有十分重要的作用. 因此, 开展东北雨季尤其是盛夏雨季的客观识别研究有着重要的现实意义.

20世纪30至40年代, 竺可桢^[1]、涂长望和黄士松^[2]就曾指出: 5到8月自南海夏季风爆发后, 雨带的进退形成华南前汛期、江淮梅雨和东北华北雨

季, 该结论可作为各地区雨季研究工作的总体参考. 目前, 对华南前汛期和梅雨雨季起止日期划分标准的研究相对较多^[3-6], 而对于其他地区雨季客观识别的研究相对少. 赵汉光^[7]最早采用旬降水量定义华北雨季, 结果表明, 华北雨季开始期主要集中在7月中旬左右, 结束期主要集中在8月中旬左右. 采用旬雨量研究雨季起止日期的还包括林之光^[8]和张家诚^[9]. 强学民等^[10]指出: 雨季开始和结束与大气环流的季节转换相联系, 因此用候作为划定标准的时间单位最为合适. 此后, 晏红明等^[11]也采用候雨量为单位对中国西南区域雨季开始和结束日期划分标准进行了研究. 东北雨季方面, 王学忠等^[12]采用9个测站的旬降水量资料, 研究了东北雨季的划分, 结果表明, 东北雨季平均在7月中上旬开始, 8月中上旬结束. 孙欣等^[13]曾对辽宁雨季和多雨季标准的划分进行过研究, 指出以副热带高压脊线位置作为多雨季划分标准, 可得出辽宁

* 国家自然科学基金(批准号: 41205040, 41375078)、国家重点基础研究发展计划(批准号: 2012CB955903)和公益性行业专项(批准号: GYHY201306021)资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: gongzq@cma.gov.cn

各地雨季、多雨季常年起止时间。东北地区盛夏降水主要受东亚夏季风影响^[14], 前人在东亚夏季风及夏季降水方面研究较多^[15-19]。施能等^[20]指出东亚夏季风强度是造成我国夏季气温、降水异常的主要原因。廉毅等^[21]进一步分析了东亚夏季风在中国东北地区建立的标准、日期及其主要特征。此外, 其他学者也在相关领域进行过研究^[22-26], 并得到了有意义的结论。

沈柏竹等^[14]指出东北雨季一般分为东北冷涡雨季和盛夏雨季, 初夏(5月和6月)东北地区降水主要受东北冷涡的影响。随着西太平洋副热带高压的北进, 东北冷涡的影响逐渐减弱, 东亚夏季风在盛夏(7月和8月)开始对东北地区降水产生影响。因此, 东北雨季应包括冷涡雨季和季风雨季。本研究主要讨论季风雨季(或称盛夏雨季)的客观识别方法, 冷涡雨季的内容会在另文中分析。以往对于东北雨季的研究很少, 国家气候监测业务中尚无统一的雨季监测指标。而且以往对于雨季起止日期的研究多采用旬雨量或候雨量, 这两个时间尺度相对日雨量来讲, 不够精确。因此, 本研究采用1961—2011年的逐日降水量资料, 基于1981—2010年平均的东北区域平均5点平滑后的逐日降水量序列研究东北雨季的客观识别方法, 并通过对比试验和环流分析来验证其可靠性, 以期为国家气候监测业务提供技术支撑。

2 资料和方法

2.1 资料

站点资料方面: 采用由国家气候中心提供的全国2400站高分辨率逐日降水量资料, 经过质量控制得到1961—2011年东北三省102站逐日降水量资料, 站点分布如图1所示。格点资料方面: 采用美国环境预报中心和国家大气研究中心再分析的逐日位势高度场和风场资料(分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$)。

2.2 方法

2.2.1 统计分析方法

本文主要采用5天滑动平均方法对东北区域多年平均的3月30日—11月2日的逐日降水量序列进行平滑, 从而研究东北盛夏雨季的客观识别方法。其中, 平滑后序列的第一天为4月1日, 最后一天为10月31日。并采用合成分析及差值t检验方

法分析东北盛夏雨季前、中、后期的环流差异。文中提到的多年平均均指1981—2010年的气候平均值。

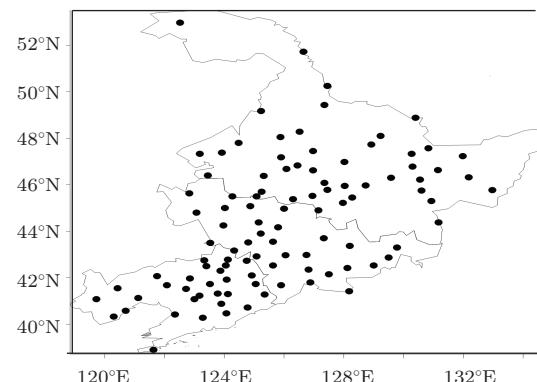


图1 东北区域站点分布图

2.2.2 东北区域多年平均盛夏雨季的客观识别方法

分析东北区域多年平均盛夏雨季客观识别方法是研发东北区域历年盛夏雨季客观识别方法的基础。设定当 r_i 稳定通过某阈值 (yz) 的第一天所在日期为东北区域多年平均盛夏雨季的开始日期 (ks) 或结束日期 (js) , 即:

$$\begin{aligned} &\text{当 } 4 \text{月 } 1 \text{日} < i < 7 \text{月 } 31 \text{日时, 若 } r_i > yz, \\ &\text{且 } r_{i+1} > yz, \text{ 则 } ks = \min(i); \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &\text{当 } 8 \text{月 } 1 \text{日} < i < 10 \text{月 } 31 \text{日时, 若 } r_i < yz, \\ &\text{且 } r_{i+1} < yz, \text{ 则 } js = \min(i), \end{aligned} \quad (2)$$

其中, r_i 为东北区域多年平均的逐日5天滑动平均雨量序列(i 为日期, 范围是4月1日—10月31日); 阈值 (yz) 选取方法有多种^[27], 需要后文对 r_i 进行综合分析来确定。

2.2.3 东北区域历年盛夏雨季客观识别的对比试验方案

历年东北区域盛夏雨季的客观识别方法是在多年平均盛夏雨季识别方法的基础上, 进一步通过对比试验确定通过阈值后, 连续超过阈值天数 n , 从而最终得到的客观识别方法。连续通过阈值天数 n 需要进行不同标准的对比试验来确定。对于历年雨季开始日期的识别采用以下4组试验。

从6月1日开始, 当某年某日的 $r_{yi} > 2R$, 且东北区域内有50%以上站点的 $r_s > 2\bar{r}$, 则将该日作为盛夏雨季开始的待定日, 如果之后连续 n 天都满足 $r_{yi} > 2R$, 则将待定日确定为盛夏雨季开始日 $(ks1)$ 。其中, $n = 0$ 为试验一, $n = 3$ 为试验二, $n = 4$ 为试验三, $n = 5$ 为试验四。

对于雨季结束日期的识别也采用4组试验. 从7月1日开始, 当某年某日的 $r_{yi} < 2R$, 且东北区域内有50%以上站点的 $r_s < 2\bar{r}$, 则将该日作为盛夏雨季结束的待定日, 如果之后连续 n 天都满足 $r_{yi} < 2R$, 则将待定日确定为盛夏雨季结束日(j_{s1}). 其中, $n = 5$ 为试验一, $n = 6$ 为试验二, $n = 7$ 为试验三, $n = 8$ 为试验四.

其中, r_{yi} 为东北区域平均的某年逐日5天滑动平均雨量序列(y 为年份, 范围是1961—2011年; i 为日期, 范围是4月1日—10月31日); $2R$ 为东北盛夏雨季阈值, 是东北区域多年平均的逐日5天滑动平均雨量(共365天, 剔除闰年2月29日)平均值的2倍; r_s 为 r_{yi} 对应日期的某日单站逐日5天滑动平均雨量, 下标 s 代表不同站点; $2\bar{r}$ 为 r_{yi} 对应年份的单站逐日5天滑动平均雨量365天平均值的2倍; n 为 r_{yi} 第一天通过阈值以后连续通过阈值的天数, 在后文的对比试验中确定.

3 东北地区月降水量的分布和演变的气候态特征

应用东北区域盛夏雨季客观识别方法, 确定盛夏雨季开始和结束日期的同时, 有必要分析多年平均雨季可能开始和结束月份(5—10月)的逐月降水量变化和分布特征.

东北地区降水变化的区域差异比较明显. 降水量呈现东南部多于西北部, 即沿海大于内陆的分布特征. 5月东北地区没有出现100 mm以上降水量的站点, 辽宁东部和吉林东部降水量较大, 黑龙江西部、北部及吉林西部降水量较少; 6月降水量较5月整体增加, 辽宁东部和吉林东部降水量最先超过了100 mm, 吉林西部和黑龙江西部、北部降水量较少; 7月和8月东北地区降水量超过100 mm的范围明显扩大, 是降水量最多的两个月. 9月和10月全区降水量较8月整体减少. 从5—10月东北地区逐月降水量的变化来看, 降水量的增加首先出现在东北地区东南部(即辽宁东部和吉林东部), 然后逐渐向西北扩展, 这一特征在一定程度上反映了东北地区雨季首先从东南沿海开始, 然后逐渐向西北内陆推进的过程. 其中, 6月和7月的降水量分别较上个月有明显的增加, 9月降水量较8月有明显减少, 说明雨季开始日期更倾向于出现在6月底或7月, 结束日期则更倾向于出现在8月底或9月, 盛夏雨季应主要集中在7月和8月.

尽管东北地区东南部和西北部月降水量有一定差异, 但全区域5—10月逐月降水量变化在空间上却有明显的一致性特征. 除7月份第一模态方差贡献率约为30%以外, 其余月份的方差贡献率均在40%左右. 各月降水量经验正交函数(EOF)第一模态的空间向量均体现了东北全区域一致的异常变化特征. 说明从整个东北区域的角度来研究东北地区雨季开始和结束日期的划分标准在一定程度上是合理的.

4 东北区域多年平均盛夏雨季的客观识别方法

在研究雨季客观识别方法、划分雨季起止日期时, 需要对雨季开始或结束日期的雨量标准进行分析和界定. 到目前为止, 有关雨季起止日期标准的研究多采用日雨量和候雨量的变化来定义^[5,6]. 显然, 日雨量相对候雨量来说更加精确, 但日尺度降水的波动较大. 因此, 本研究主要分析逐日雨量5天滑动平均序列的演变特征.

以往的雨季划分研究中^[11,13], 通常有两种阈值进行分析: 阈值一(以下简记为 $2R$): 采用东北区域多年平均的365日雨量5天滑动平均值的2倍; 阈值二(简记为 R): 采用东北区域多年平均的365日5天滑动平均雨量的平均值.

图2(a)给出东北区域多年平均的4月1日—10月31日逐日5天滑动平均雨量变化曲线(即 r_i). 可见, 4月1日—5月21日, r_i 在波动中缓慢上升; 5月22日—6月30日, r_i 有两次陡升, 第一次陡升与 R 出现交点, 交点出现在5月26日, 时值初夏, 这次陡升应该与初夏东北冷涡系统对东北地区降水量的影响有关^[14]. 第二次陡升与 $2R$ 出现交点(对应第一个阴影区域), 第二次陡升较第一次更为明显, 且第二次陡升与 $2R$ 相交的时间在6月26日, 与前述分析的雨季开始日期可能发生在6月底或7月符合. 由于7月和8月属于盛夏^[14], 因此该日期可认为是东北盛夏雨季(为与冷涡雨季对应, 这里称为盛夏雨季)的开始日期. 第二次陡升以后, r_i 仍在上升, 并在7月下旬到8月初达到峰值. 8月8日—10月31日, r_i 出现两次陡降和一次缓降, 其中前两次为陡降. 第一次陡降后, 降水量仍较大(大于 $2R$), 不适合作为盛夏雨季结束日期的标准. 而第二次陡降(对应第二个阴影区域)过程中, 降水量明显减少, 且 r_i 与 $2R$ 出现两个交点, 稳定小于 $2R$ 的

交点出现在8月30日. 第三次缓降过程应属于雨季结束后降水量的缓慢减少过程.

综上所述, 东北盛夏雨季开始日期应该出现在 r_i 的第二次陡升过程中, 结束日期应该出现在第二次陡降过程中. 结合对 r_i 和阈值的比较分析, 初步把盛夏雨季开始日期定义为第二次陡升过程中, 逐日5天滑动平均雨量稳定超过 $2R$ 的日期, 结束日期定义为第二次陡降过程中, 逐日5天滑动平均雨量稳定小于 $2R$ 的日期. 即东北区域多年平均盛夏雨季开始日期为6月26日, 结束日期为8月30日.

定义一个区域的雨季开始和结束日期, 除考虑降水量的变化外, 很大程度上还要考虑降水范围的大小. 图2(b)给出东北区域102站单站降水量超过 $2R$ 的站点数占东北区域总站数的百分比. 由图2(b)可见, 百分比稳定超过(低于)50%的日期出现在6月26日(8月30日), 该日期与图2(a)中 r_i 稳定超过或低于阈值 $2R$ 的日期完全一致. 这进一步证明了之前对于东北盛夏雨季起止日期定义的合理性.

此外, EOF分析的多年平均逐日时间系数变化可以在很大程度上反映季节变化特征. 图3给出东北区域1981—2010年平均的逐日(365天)滑

动平均雨量EOF第一模态分布及相应多年平均逐日滑动平均雨量时间系数的变化. 可见, EOF第一模态空间向量反映了全区一致的变化特征. 多年平均的逐日标准化时间系数的变化曲线与图2(a)给出的东北区域多年平均逐日雨量的变化几乎是-致的. 气候分析中常把标准化时间系数大于1或小于-1的情况认为是异常情况. 逐日滑动平均雨量的标准化时间系数大于1的情况可以认为是一年中雨量较多的日期, 标准化时间系数大于1和小于1的情况同样可以理解为雨季和非雨季的差别. 由图3(b)可见, 标准化时间系数在6月26日稳定大于1, 在8月30日稳定小于1, 这与之前定义的东北雨季开始和结束日期完全一致. 因此, 逐日雨量EOF第一模态分布及相应多年平均逐日标准化时间系数的变化进一步表明了东北区域降水变化的一致性特征及季节变化特征, 同时也进一步说明之前以 $2R$ 作为阈值确定的东北区域多年平均盛夏雨季开始和结束日期的合理性.

通过以上分析, 将 $2R$ 作为判断东北盛夏雨季的阈值, 以 r_i 稳定大于(小于) $2R$ 的日期来定义东北区域多年平均盛夏雨季的起(止)日期. 东北区域多年平均盛夏雨季 ks 的客观识别方法可概括为: 当

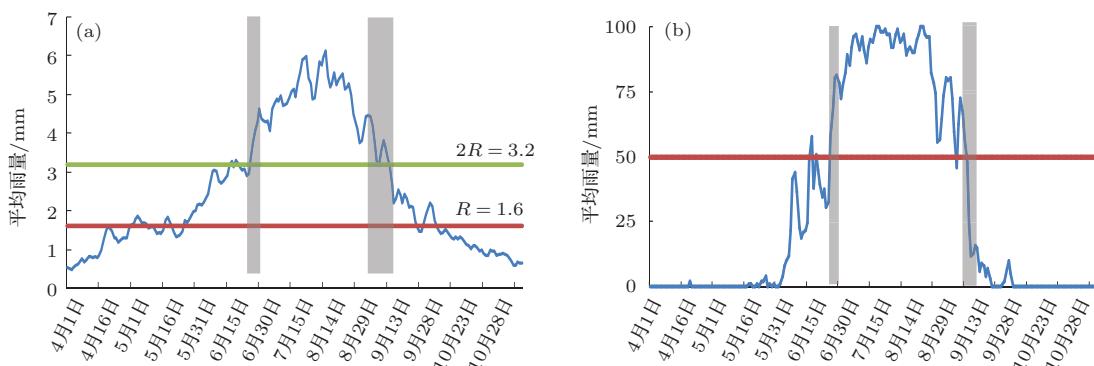


图2 4月1日—10月31日东北区域多年平均 (a) 逐日5天滑动平均雨量曲线(单位为mm); (b) 单站逐日5天滑动平均雨量超过 $2R$ 的站数占总站数的百分比(单位为%)

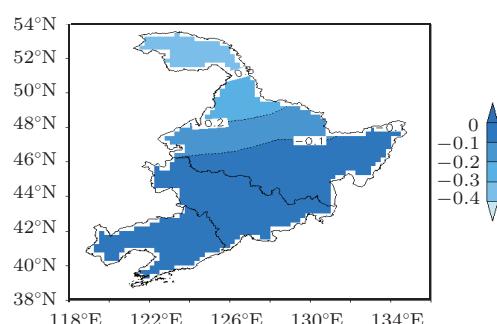


图3 (网刊彩色) 多年平均逐日滑动平均雨量EOF第一模态空间向量及对应的时间系数

4月1日 $< i < 7$ 月31日时, 若 $r_i > 2R$, 且 $r_{i+1} > 2R$, 则 $ks = \min(i)$. 东北区域多年平均盛夏雨季js的客观识别方法为: 当8月1日 $< i < 10$ 月31日时, 若 $r_i < 2R$, 且 $r_{i+1} < 2R$, 则 $js = \min(i)$.

基于该客观识别方法, 对东北区域多年平均逐日5天滑动平均雨量曲线进行识别, 可将东北区域多年平均盛夏雨季开始日期定义为6月26日, 结束日期定义为8月30日.

5 历年东北区域盛夏雨季的客观识别

由于以上分析的 r_i 经过了区域平均之后再做30年平均, 多次平均之后的结果实际上平滑掉了降水量变化的区域差异和年际波动的信息. 从图2(a)中 r_i 的变化就可看出, 在6月26日超过 $2R$ 之后一直稳定地大于 $2R$, 至8月30日下降至低于 $2R$ 之后也比较稳定, 即波动比较小. 而实际业务中发现, 东北区域历年逐日5天滑动平均雨量围绕 $2R$ 的上下波动是比较明显的. 因此, 在确定逐年雨季开始和结束时间的划分标准时, 逐日滑动平均雨量超过

$2R$ 和低于 $2R$ 的持续时间是必须考虑的重要方面. 那么究竟持续多少日比较合适? 定义的标准太高或太低所得到的结果都会有一定的差异. 这里我们根据日滑动平均雨量连续超过 $2R$ 的日数准备了不同的试验, 通过对比试验来进一步研究合适于东北区域盛夏雨季开始和结束日期的判定标准.

5.1 开始日期

根据2.2.3中给出的对比试验方案对盛夏雨季的开始日期进行客观识别. 表1给出采用前述四个对比试验对1961—2011年东北盛夏雨季开始(结束)日期的划分结果, 其中日期序号为盛夏雨季开始(结束)日期距离4月1日的天数加1. 东北区域多年平均盛夏雨季开始日期为6月26日, 日期序号为87. 由1961—2011这51年的平均日期序号可见, 87介于试验三和试验四之间; 从1981—2010这30年的平均日期序号可见, 87介于试验二和试验三之间. 初步认为, 试验三更适合作为判断盛夏雨季开始日期的标准.

表1 不同标准对1961—2011年东北盛夏雨季开始(结束)日期的划分结果

年份	试验一	试验二	试验三	试验四
	日期序号	日期序号	日期序号	日期序号
1961	67* (137)	67* (148)	67* (160)	91 (160)
1962	66* (156)	97 (156)	97 (156)	97 (156)
1963	81 (139)	81 (139)	81 (139)	81 (139)
1964	72 (158)	72 (158)	72 (158)	72 (158)
1965	89 (142)	89 (142)	89 (142)	99 (142)
1966	65* (156)	65* (156)	65* (156)	65* (156)
1967	68* (134*)	68* (134*)	68* (134*)	68* (134*)
1968	70* (133*)	70* (150)	95 (150)	95 (150)
1969	64* (125*)	89 (125*)	89 (125*)	106** (161)
1970	85 (136*)	85 (136*)	107** (136*)	107** (136*)
1971	71* (183*)	71* (183**)	71* (183*)	71* (183*)
1972	78 (144)	90 (155)	90 (155)	113** (155)
1973	80 (155)	80 (155)	80 (155)	80 (155)
1974	65* (139)	80 (139)	80 (139)	80 (139)
1975	69* (131*)	69* (140)	86 (140)	94 (140)
1976	71* (148)	71* (148)	71* (148)	71* (148)
1977	66* (139)	74 (139)	74 (139)	84 (139)

表 1 不同标准对 1961—2011 年东北盛夏雨季开始(结束)日期的划分结果(续)

年份	试验一	试验二	试验三	试验四
	日期序号	日期序号	日期序号	日期序号
1978	73 (162)	73 (162)	73 (162)	73 (162)
1979	73 (132*)	89 (132*)	89 (145)	89 (145)
1980	67* (128*)	67* (128*)	75 (128*)	75 (128*)
1981	85 (151)	85 (151)	85 (151)	85 (151)
1982	107** (158)	107** (166)	107** (166)	107** (166)
1983	69* (136*)	69* (136*)	69* (136*)	69* (136*)
1984	70* (156)	70* (156)	70* (156)	70* (156)
1985	75 (165)	75 (165)	101 (165)	101 (165)
1986	82 (178**)	82 (178**)	82 (178**)	92 (178**)
1987	71* (166)	95 (166)	95 (166)	95 (166)
1988	69* (130*)	82 (130*)	98 (130*)	98 (130*)
1989	80 (130*)	80 (130*)	80 (130*)	80 (130*)
1990	75 (132*)	75 (161)	75 (161)	75 (161)
1991	77 (140)	77 (148)	77 (148)	77 (148)
1992	73 (145)	73 (145)	73 (145)	73 (145)
1993	73 (157)	76 (157)	76 (157)	76 (157)
1994	93 (155)	93 (155)	93 (155)	93 (184**)
1995	88 (166)	88 (166)	88 (166)	88 (166)
1996	82 (145)	82 (145)	97 (145)	97 (145)
1997	71* (165)	105** (165)	130** (165)	130** (165)
1998	79 (157)	79 (157)	79 (157)	79 (157)
1999	91 (144)	91 (163)	91 (163)	91 (163)
2000	117** (133*)	117** (164)	117** (164)	117** (164)
2001	88 (141)	88 (141)	103** (141)	127** (141)
2002	79 (142)	79 (142)	79 (142)	79 (142)
2003	81 (142)	81 (142)	81 (142)	93 (142)
2004	101 (144)	101 (144)	101 (144)	101 (144)
2005	73 (153)	73 (153)	80 (162)	80 (162)
2006	79 (148)	79 (148)	84 (148)	84 (148)
2007	99 (153)	99 (153)	99 (153)	99 (153)
2008	89 (138)	89 (155)	89 (155)	89 (155)
2009	80 (135*)	80 (135*)	80 (135*)	80 (135*)
2010	103** (166)	103** (166)	103** (166)	103** (166)
2011	74 (152)	74 (152)	74 (152)	109** (152)
51 年平均	78.7 (147.1)	82.2 (150.2)	85.8 (150.9)	89.2 (152.1)
30 年平均	83 (149.0)	85.4 (152.7)	88.9 (153.0)	91.5 (154.0)

注: “*”代表偏早年; “**”代表偏晚年。

由表 1 可见, 东北盛夏雨季开始日期的序号的逐年波动较大, 这里把开始日期序号小于 72 (相对多年平均雨季开始日期偏早 15 天以上) 的年份认为是雨季开始日期偏早年, 把开始日期序号大于 102 (相对多年平均雨季开始日期偏晚 15 天以上) 的年份认为是雨季开始日期偏晚年. 按照该方法, 试验一中有 17 年属开始日期偏早年, 3 年属偏晚年; 试验二中有 9 年属开始日期偏早年, 4 年属偏晚年; 试验三中有 7 年属开始日期偏早年, 6 年属偏晚年; 试验四中有 6 年属开始日期偏早年, 9 年属偏晚年. 其中试验二和试验三偏早年和偏晚年总数最少, 为 13 年. 但试验三中偏早年和偏晚年数更为接近, 说明试验三规定的开始日期更为适中. 因此, 选取试验三作为判断东北盛夏雨季开始的标准相对更为合适.

5.2 结束日期

同样根据 2.2.3 中给出的对比试验方案对盛夏雨季结束日期进行客观识别. 由于东北区域多年平均盛夏雨季结束日期为 8 月 30 日, 日期序号为 152. 从 1961—2011 年的平均日期序号可见, 152 介于试验三和试验四之间; 从 1981—2010 年的平均日期序号可见, 152 介于试验一和试验二之间. 由表 1 可见, 各种试验的平均结束日期序号相差很小, 这与开始日期的情况有一定差别.

把结束日期序号小于 137 (相对多年平均雨季结束日期偏早 15 天以上) 的年份认为是雨季结束日期偏早年, 把结束日期序号大于 167 (相对多年平均雨季结束日期偏晚 15 天以上) 的年份认为是雨季结束日期偏晚年. 按照该方法, 试验一中有 13 年属结束日期偏早年, 2 年属偏晚年; 试验二中有 9 年属结束日期偏早年, 2 年属偏晚年; 试验三中有 8 年属结束日期偏早年, 2 年属偏晚年; 试验四中有 7 年属结束日期偏早年, 3 年属偏晚年. 其中试验二、试验三和试验四偏早年和偏晚年比较一致, 说明虽然标准不断提高, 但确定的盛夏雨季结束日期已逐渐趋于稳定. 之前分析认为, 试验二或试验三更适合, 而试验三的偏早和偏晚年数总和相对试验二更少. 因此, 选取试验三作为判断东北盛夏雨季结束的标准相对更为合适.

综上所述, 东北盛夏雨季开始 ($ks1$) 和结束 ($js1$) 日期的划分标准分别为:

当 $6 \text{月} 1 \text{日} < i < 10 \text{月} 31 \text{日}$ 时, 若 $r_{yi} > 2R$,
且至少 50% 站点的 $r_s > 2\bar{r}$, 且 $r_{yi+n} > 2R$

$$(n = 1 - 4), \text{ 则 } ks1 = \min(i); \quad (3)$$

当 7 月 1 日 $< i < 10$ 月 31 日时, 若 $r_{yi} < 2R$,
且至少 50% 站点的 $r_s < 2\bar{r}$, 且 $r_{yi+n} < 2R$
($n = 1 - 7$), 则 $js1 = \min(i)$. (4)

6 盛夏雨季前、中、后期的环流场对比分析

6.1 500 hPa 位势高度场对比

图 4 分别给出盛夏雨季开始之前一个月 (6 月 1 日—6 月 25 日), 盛夏雨季期间的两个时段 (6 月 26 日—7 月 31 日及 8 月 1 日—8 月 31 日), 和盛夏雨季结束后一个月 (9 月 1—9 月 30 日) 的多年平均 500 hPa 位势高度场分布图. 由图 4(a) 可见, 6 月 1 日—6 月 25 日 500 hPa 位势高度场的多年平均情况是: 西太平洋副热带高压位脊线位于 20°N 附近, 西伸脊点位于 125°E 附近. 由图 4(b) 可见, 6 月 26 日—7 月 31 日, 副高脊线北跳至 25°N 附近, 且略有西伸, 西伸脊点位于 122°E 附近. 根据孙欣等 [13] 的研究, 副高第二次北跳 (通过 25°N) 后, 雨带位置开始北推至华北和东北南部. 本文的盛夏雨季开始日期与该结论一致. 由图 4(c) 可见, 8 月 1 日—8 月 31 日, 副高脊线进一步北跳至 30°N 附近, 更有利于东北地区降水增多. 由图 4(d) 可见, 9 月 1—9 月 30 日, 副高脊线已南撤至 26°N 附近, 并有明显的东退, 西伸脊点位于 135°N 附近. 即副高的两次北进恰好对应在盛夏雨季期间, 而盛夏雨季之前副高脊线偏南, 盛夏雨季之后副高开始南撤. 可以证明本研究对东北盛夏雨季起止日期的客观识别是合理的.

6.2 850 hPa 风场对比

图 5 分别给出盛夏雨季开始之前一个月 盛夏雨季期间的两个时段 和 盛夏雨季结束后一个月 的多年平均 850 hPa 风场分布图. 由图 5(a) 可见, 6 月 1 日—6 月 25 日, 东北地区主要受来自上游中高纬内陆地区的偏西风控制. 由于副高位置偏南, 来自西太平洋绕副高西侧北上的暖湿气流影响日本地区, 东北区域没有充分的水汽输送条件. 东北北

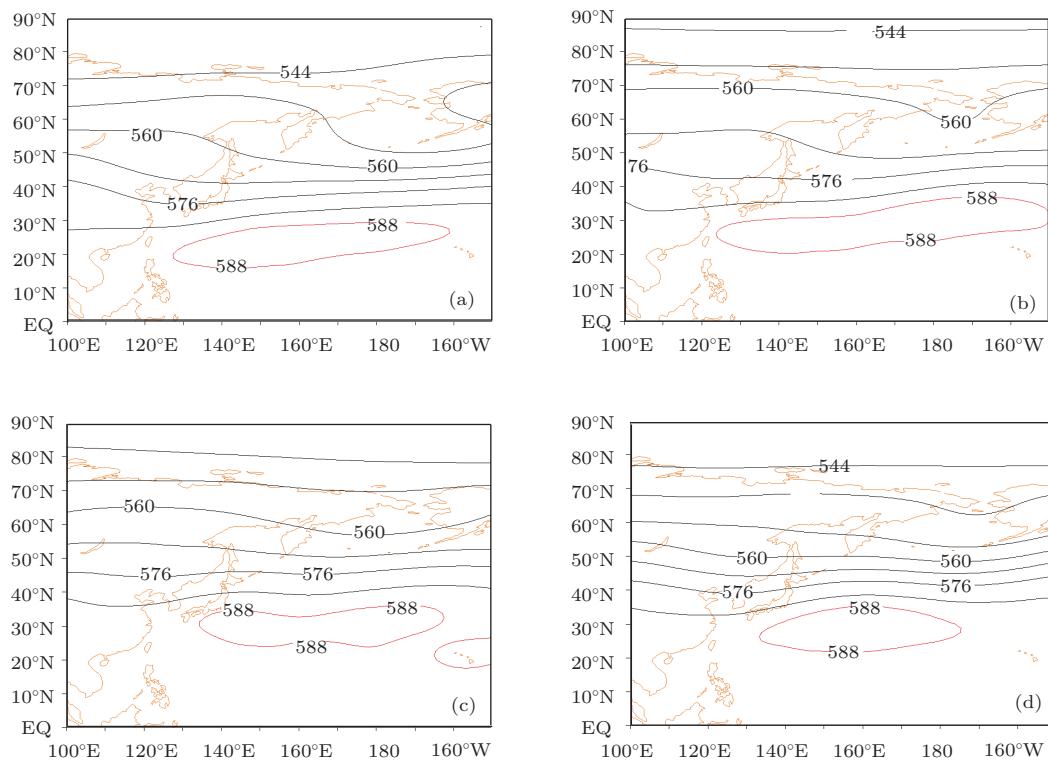


图4 (a) 6月1日—6月25日, (b) 6月26日—7月31日, (c) 8月1日—8月31日, (d) 9月1—9月30日的500 hPa多年气候平均位势高度场(单位为hPa)

部上空为一气旋式环流, 该气旋式环流可能是东北冷涡的作用. 这与沈柏竹等^[14]的结论: “东北地区初夏(5月和6月)降水异常以冷涡活动的影响为主.” 一致. 由图5(b)可见, 6月26日—7月31日, 东北地区开始受西南暖湿气流的控制(盛夏雨季开始), 此时西南气流主要影响东北地区南部和东部, 而西北部受弱的气旋式环流控制, 可能还受残留东北冷涡的影响. 影响东北地区的西南气流主要来自印度洋, 这主要是受印度季风影响. 而副高西北侧的西南气流对东北地区的影响相对较小. 由图5(c)可见, 8月1日—8月31日, 随着副高进一步北跳, 副高西侧的偏南气流与来自印度洋的西南气流汇合后, 共同影响东北地区中部和南部, 西北部的偏西气流主要是来自印度洋的暖湿气流, 说明雨带进一步到达东北地区西北部. 由图5(d)可见, 9月1—9月30日, 控制东北地区上空的西南气流消失, 东北地区重新受到由上游内陆中高纬地区吹来的干冷的偏西气流控制, 盛夏雨季结束.

总体来看, 雨带是呈东北-西南向, 由东北地区东南部向西北部推进, 盛夏雨季期间, 东北地区主要受来自印度洋和副高西北侧的西南气流控制. 而盛夏雨季开始之前和结束之后的一个月, 东北地区主要受来自上游中高纬内陆地区的偏西风控制.

由图5(e)可见, 盛夏雨季前半段的850 hPa风场与盛夏雨季前一个月的差值在中国东部为偏南风分量, 由印度洋和太平洋北上到达东北南部的偏南风差值通过了0.01信度的显著性检验. 由图5(f)可见, 盛夏雨季结束后一个月与盛夏雨季后半段的850 hPa风场差值在中国东部为偏北风分量, 且东北地区上空的西北风差值通过了0.01信度的显著性检验. 差值图说明盛夏雨季影响东北地区的偏南风分量要显著强于非雨季. 又因雨季和非雨季时间段均是基于之前定义的盛夏雨季起止日期来选取的, 故也表明东北盛夏雨季起止日期的客观识别是合理的.

6.3 200 hPa纬向风场对比

图6分别给出盛夏雨季开始之前一个月盛夏雨季期间的两个时段和盛夏雨季结束后一个月的多年平均200 hPa风场分布. 由图6(a)可见, 6月1日—6月25日, 副热带西风急流轴位于38° N附近, 处于东北地区南侧, 急流轴强度相对较强, 中心风速大于30 m/s. 由图6(b)可见, 6月26日—7月31日, 副热带西风急流轴略有北移, 位于40° N附近, 急流轴强度相对较弱, 中心风速为20—30 m/s. 由图6(c)可见, 8月1日—8月31日, 副热带西风急

流轴的南北位置与图8(b)的情况相比只有略微北移, 急流轴强度相对较弱, 中心风速为20—30 m/s。由图6(d)可见, 9月1—9月30日, 副热带西风急流轴仍位于40°N附近, 急流轴强度较盛夏雨季期间加强, 中心风速大于30 m/s。

综上分析, 急流轴强度是影响东北地区降水的主要因素。非雨季急流轴相对较强, 雨季急流轴相对较弱。图6(e)为东风差值, 急流核入口区北侧高空为辐散气流, 导致急流核北侧为上升运动, 有利于降水偏多; 图6(f)为西风差值, 西风急流核入口

区北侧高空为辐合气流, 导致急流核北侧为下沉运动, 有利于降水偏少^[27]。

在30°N附近(东北地区南部), 盛夏雨季前半段与盛夏雨季之前一个月200 hPa纬向风场差值为负, 且通过了显著性检验(图6(e)), 说明盛夏雨季期间, 西风急流轴要显著弱于非雨季。图6(f)与(e)的情况基本相反, 虽然差值的显著区位置略有北移, 但仍位于东北地区南部。差值图说明, 雨季的副热带西风急流轴显著弱于非雨季。同样证明对东北盛夏雨季起止日期客观识别的合理性。

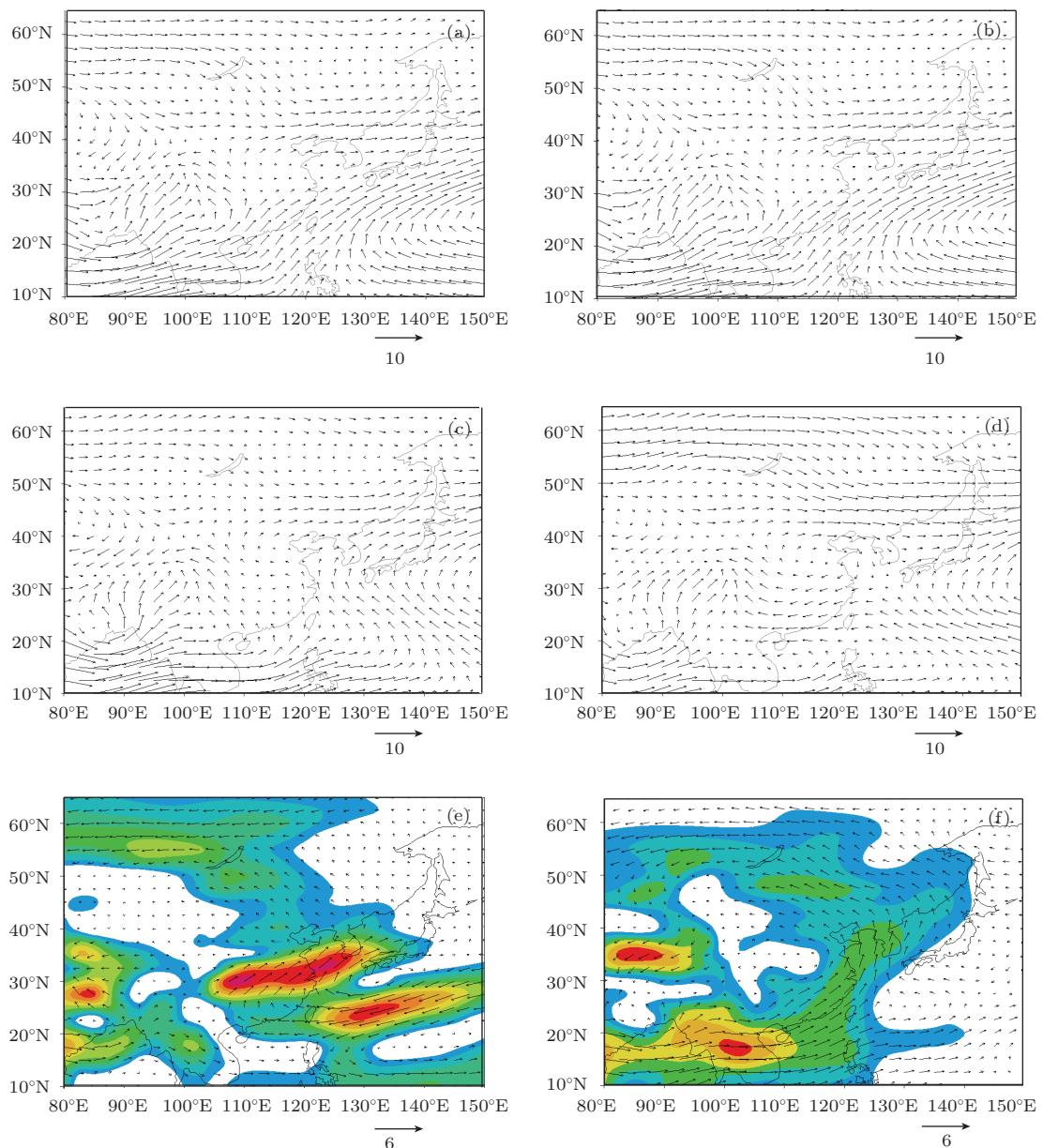


图5 (网刊彩色) (a) 6月1日—6月25日, (b) 6月26日—7月31日, (c) 8月1日—8月31日, (d) 9月1—9月30日的850 hPa多年气候平均风场及(b)−(a)的差值检验(e), (d)−(c)的差值检验(f) (单位为m/s)

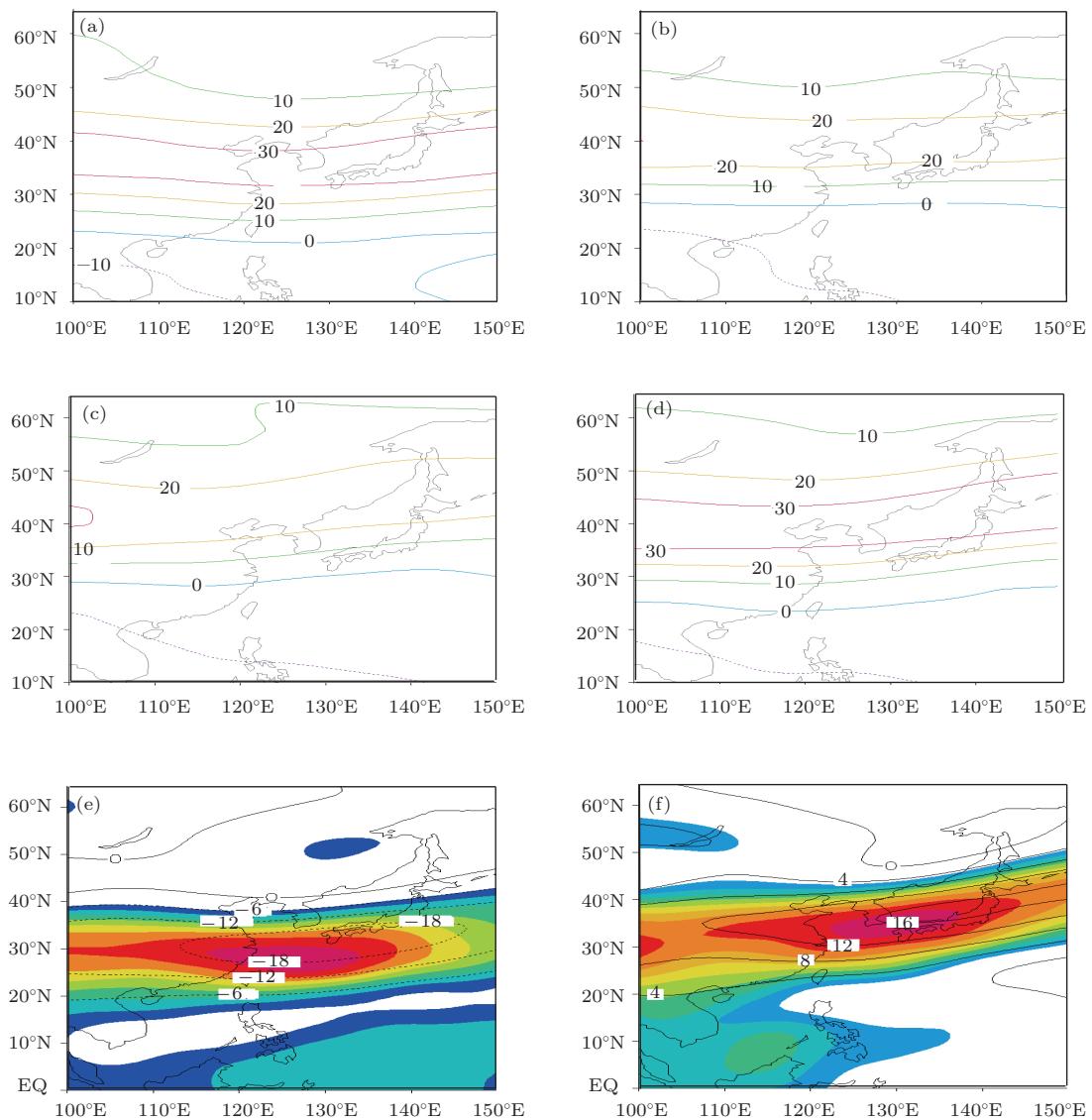


图6 (网刊彩色) (a) 6月1日—6月25日, (b) 6月26日—7月31日, (c) 8月1日—8月31日, (d) 9月1—9月30日的200 hPa多年气候平均纬向风场及(b)–(a)的差值检验(e), (d)–(c)的差值检验(f) (单位为m/s)

7 结 论

通过对东北区域5—10月降水量的分布和演变特征和逐日5天滑动平均雨量变化的分析, 对东北盛夏雨季前、中、后期各层环流场的对比研究, 以及多种标准的对比试验, 得到以下结论.

1) 综合考虑东北地区降水的逐月分布和演变特征, 并结合对历年东北区域逐日5天滑动平均雨量的综合分析, 研发了东北区域历年盛夏雨季开始和结束日期的客观识别方法. 东北区域历年盛夏雨季开始日期的客观识别: 当 $6月1日 < i < 10月31日$ 时, 若 $r_{yi} > 2R$, 且至少50% 站点的 $r_s > 2\bar{r}$, 且 $r_{yi+n} > 2R$ ($n = 1—4$), 则 $ks1 = \min(i)$. 结束日期的客观识别: 当 $7月1日 < i < 10月31日$

时, 若 $r_{yi} < 2R$, 且至少50% 站点的 $r_s < 2\bar{r}$, 且 $r_{yi+n} < 2R$ ($n = 1—7$), 则 $js1 = \min(i)$. 同时, 基于对1981—2010年东北区域逐日降水气候态的分析, 确定了东北区域多年平均盛夏雨季的开始日期为6月26日, 结束日期为8月30日.

2) 500 hPa位势高度场上, 副高的两次北进恰好对应在东北盛夏雨季期间, 而雨季之前副高脊线偏南, 雨季之后副高开始南撤; 850 hPa风场上, 东北盛夏雨季期间, 影响东北地区的偏南风分量要显著强于非雨季期间; 200 hPa纬向风场上, 东北盛夏雨季期间的副热带西风急流轴显著弱于非雨季. 这进一步证明了对东北区域多年平均盛夏雨季起止日期定义的合理性.

基于本文的客观识别方法得到的东北区域多年平均盛夏雨季的开始和结束日期与王遵娅和丁

一汇^[28]在采用候雨量研究全国雨季的气候学特征时,对于东北地区得出的结论:“东北雨季开始于第38候(7月上旬),结束于第46候(8月中下旬)”大体一致。区别在于采用日滑动平均雨量,根据本文的方法得到的东北盛夏雨季开始日期略早于上述结论,说明采用1981—2010年作为气候平均态较1971—2000年作为气候平均态,东北盛夏雨季开始日期有所提前。同时该方法是基于一系列确定参数阈值基础上的客观识别,因此对于科研和气候预报业务均有一定的参考价值。

参考文献

- [1] Zhu K Z 1934 *Acta Geogr. Sin.* **1** 1 (in Chinese) [竺可桢 1934 地理学报 **1** 1]
- [2] Tu C W, Huang S S 1944 *Acta Meteorol. Sin.* **18** 1 (in Chinese) [涂长望, 黄士松 1944 气象学报 **18** 1]
- [3] Zheng B, Liang J Y, Lin A L, Li C H, Gu D J 2006 *Chin. J. Atmosph. Sci.* **30** 1207 (in Chinese) [郑彬, 梁建茵, 林爱兰, 李春晖, 谷德军 2006 大气科学 **30** 1207]
- [4] Ding Y H, Liu J J, Sun Y, Liu Y J, He J H, Song Y F 2007 *Chin. J. Atmosph. Sci.* **31** 1082 (in Chinese) [丁一汇, 柳俊杰, 孙颖, 柳艳菊, 何金海, 宋亚芳 2007 大气科学 **31** 1082]
- [5] Qiang X M, Yang X Q 2008 *Chin. J. Geophys.* **51** 1333 (in Chinese) [强学民, 杨修群 2008 地球物理学报 **51** 1333]
- [6] Liang P, Ding Y H, He J H, Chen B M, Lei X T 2010 *Chin. J. Atmosph. Sci.* **34** 418 (in Chinese) [梁萍, 丁一汇, 何金海, 陈伯民, 雷小途 2010 大气科学 **34** 418]
- [7] Zhao H G 1994 *Meteorologica* **20** 3 (in Chinese) [赵汉光 1994 气象 **20** 3]
- [8] Lin Z G 1985 *Chinese Climate* (Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers) p76 (in Chinese) [林之光 1985 中国气候 (上海: 上海科学技术出版社) 第 76 页]
- [9] Zhang J C 1991 *Climate of China* (Beijing: Meteorologica Press) p140 (in Chinese) [张家诚 1991 (北京: 气象出版社) 第 140 页]
- [10] Qiang X M, Yang X Q, Sun C Y 2008 *Meteorologica* **34** 10 (in Chinese) [强学民, 杨修群, 孙成艺 2008 气象 **34** 10]
- [11] Yan H M, Li Q Q, Sun C H, Yuan Y, Li D 2013 *Chin. J. Atmosph. Sci.* **37** 1111 (in Chinese) [晏红明, 李清泉, 孙丞虎, 袁媛, 李多 2013 大气科学 **37** 1111]
- [12] Wang X Z, Sun Z B, Tan Y K, Hu B H 2006 *Trans. Atmos. Sci.* **29** 203 (in Chinese) [王学忠, 孙照渤, 谭言科, 胡邦辉 2006 大气科学学报 **29** 203]
- [13] Sun X, Chen C L, Lu J 2007 *J. Meteor. Environ.* **23** 62 (in Chinese) [孙欣, 陈传雷, 卢娟 2007 气象与环境学报 **23** 62]
- [14] Shen B Z, Lin Z D, Lu R Y, Lian Y 2011 *Sci. China: Earth Sci.* **41** 402 (in Chinese) [沈柏竹, 林中达, 陆日宇, 廉毅 2011 中国科学: 地球科学 **41** 402]
- [15] Feng G L, Cao H X, Gao X Q, Dong W J, Chou J F 2001 *Adv. Atmos. Sci.* **18** 701
- [16] Ye T S, Zhi R, Zhao J H, Gong Z Q 2014 *Chin. Phys. B* **23** 069203
- [17] Shen B Z, Zhang S X, Yang H W, Wang K, Feng G L 2012 *Acta Phys. Sin.* **61** 109202 (in Chinese) [沈柏竹, 张世轩, 杨涵洧, 王阔, 封国林 2012 物理学报 **61** 109202]
- [18] Yao S X, Huang Q, Zhang Y C, Kuang X Y 2012 *J. Trop. Meteor.* **18** 503
- [19] Gong Z Q, Zhao J H, Feng G L 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 099205 (in Chinese) [龚志强, 赵俊虎, 封国林 2013 物理学报 **62** 099205]
- [20] Shi N, Zhu Q G, Wu B G 1996 *Chin. J. Atmosph. Sci.* **20** 575 (in Chinese) [施能, 朱乾根, 吴彬贵 1996 大气科学 **20** 575]
- [21] Lian Y, Shen B Z, Gao C T, An G, Tang X L 2003 *Acta Meteorol. Sin.* **61** 548 (in Chinese) [廉毅, 沈柏竹, 高枫亭, 安刚, 唐晓玲 2003 气象学报 **61** 548]
- [22] He S H, Feng T C, Gong Y C, Hung Y H, Wu C H, Gong Z Q 2014 *Chin. Phys. B* **23** 059202
- [23] He W P, Deng B S, Wu Q, Zhang W, Cheng H Y 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 8264 (in Chinese) [何文平, 邓北胜, 吴琼, 张文, 成海英 2010 物理学报 **59** 8264]
- [24] Wang X J, Zhi R, He W P, Gong Z Q 2012 *Chin. Phys. B* **21** 029201
- [25] Wang Z Y, Ding Y H, Zhang Q, Song Y F 2012 *Acta Meteorol. Sin.* **26** 399
- [26] Zheng Z H, Ren H L, Huang J P 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 7359 (in Chinese) [郑志海, 任宏利, 黄建平 2009 物理学报 **58** 7359]
- [27] Zhu Q G, Lin J R, Shou S W, Tang D S 2007 *Principle and Methodology of Synoptic Meteorology* (Beijing: Meteorologica Press) p193 (in Chinese) [朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 唐东昇 2007 天气学原理与方法 (北京: 气象出版社) 第 193 页]
- [28] Wang Z Y, Ding Y H 2008 *Chin. J. Atmosph. Sci.* **32** 1 (in Chinese) [王遵娅, 丁一汇 2008 大气科学 **32** 1]

Objective identification study of midsummer rainy season in the northeast China^{*}

Fang Yi-He¹⁾ Gong Zhi-Qiang^{2)†} Zhao Lian-Wei¹⁾ Zhao Chun-Yu¹⁾ Li Qing-Quan²⁾

1) (Regional Climate Center of Shenyang, Shenyang 110166, China)

2) (Laboratory for Climate Studies and Climate Monitoring and Diagnose, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

(Received 6 April 2014; revised manuscript received 6 June 2014)

Abstract

Owing to the fact that the objective identification methods of rainy season are not totally identical in the three provinces of Northeast China, no unified monitoring criterion of rainy season is available in this area. In order to implement the regional key climate monitoring and to meet the needs of the national weather service, from the angle of the whole region, based on the daily precipitation data of 102 observational stations, by comprehensively analyzing the daily precipitation series disposed by 5-point moving average, the objective identification method of midsummer rainy season in the northeast China is presented in this paper. Then based on the daily reanalysis data of wind field and geopotential height field provided by NCEP/NCAR, the atmospheric circulation fields of different levels before, during and after the midsummer rainy season are contrastively analyzed, and the rationality of the objective identification method is validated. Finally, the partition criterion of the beginning and ending dates are determined. Results show that: the average beginning and ending dates of midsummer rainy season in the northeast China respectively are June 26th and August 30th. The partition criterion of midsummer rainy season in the northeast China by using the objective identification method is reasonable.

Keywords: northeast China, midsummer rainy season, beginning and ending dates, objective identification

PACS: 92.60.Wc

DOI: 10.7498/aps.63.209202

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 41205040, 41375078), the National Basic Research Program of China (Grant No. 2012CB955203), and the Special Scientific Research Project for Public Interest, China (Grant No. GYHY201006021).

† Corresponding author. E-mail: gongzq@cma.gov.cn