

张杰, 钱维宏, 丁婷. 东北地区 5—9 月降水特征和趋势分析[J]. 气象, 2010, 36(8): 1-7.

东北地区 5—9 月降水特征和趋势分析^{* 1}

张 杰^{1,2} 钱维宏¹ 丁 婷¹

1 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871

2 黑龙江省气象台, 哈尔滨 150030

提 要: 利用国家气象信息中心整编的 1956—2008 年站点逐日降水量、温度和 NCEP/NCAR 的月平均再分析资料, 从逐年 5—9 月季节降水量和分级(痕量、微量、小雨、中雨、大雨和暴雨)降水事件两方面分析了东北地区的气候特征, 并探讨了其可能原因。结果表明: 5—9 月份东北地区降水中心位于长白山脉的迎风坡, 该区域同时是大雨和暴雨事件的多发区, 这与地形和东亚夏季风气流北推有关; 东北地区痕量降水事件东西方向呈“多—少—多”分布, 其他级别的降水事件为西少东多; 南北方向上, 中雨以下量级为北多南少, 大雨和暴雨事件则为北少南多; 由于西风和南风气流水汽输送作用的减弱导致了 1956—2008 年东北地区 5—9 月降水量的线性递减; 小雨及以下量级降水事件线性减少的趋势显著, 但随着量级加大, 各级别降水事件线性递减的趋势逐渐不明显, 暴雨事件在 1956—1976 年、1976—1994 年和 1994—2008 年三个时段内有明显的“减少—增多—减少”的变化过程。

关键词: 季节降水量, 分级降水事件, 趋势, 中国东北

Characteristics and Trends of Rainfall Events in Northeast China from May to September During 1956—2008

ZHANG Jie^{1,2} QIAN Weihong¹ DING Ting¹

1 Department of Atmospheric Sciences, Peking University, Beijing 100871

2 Heilongjiang Meteorological Observatory, Harbin 150030

Abstract: The daily stationnal rainfall and temperature dataset from National Meteorological Information Center of China Meteorological Administration as well as the NCEP/NCAR monthly reanalysis data are used to analyze the characteristics and trends of climate rainfall events in Northeast China for the period 1956—2008. The center of precipitation is located in the windward direction of Changbai Mountains. The large and heavy rain events also happen in the same area frequently. This is in association with the terrain and the push of the northward flow of the East Asia summer monsoon. Secondly, the trace rain events are observed as more-less-more in the zonal direction, and the other rainfall events occur more in east than that of west. In the meridional direction, more trace, light and small rainfall events occur in north whereas fewer large and heavy rain events in north. Thirdly, the decreasing of water vapor transport crossing the west and south boundary causes the decreasing of seasonal rainfall during May to September in Northeast China. Finally, the decreasing trends of trace, light and small rainfall events are significant. As the increasing of rainfall grades, the decreasing trends get less obviously. Decreasing-increasing-decreasing trends of heavy rain events are evidently shown in the periods 1956—1976, 1976—1994 and 1994—2008 respectively.

Key words: seasonal rainfall, graded rain events, linear trend, Northeast China

* 国家自然科学基金(40975039)和国家科技支撑计划(2009BAC51B04)资助

2010 年 1 月 5 日收稿; 2010 年 2 月 21 日收修定稿

第一作者: 张杰, 主要从事天气和气候变化研究. Email: wyzhj0920@163.com

引言

东北地区地处中高纬度欧亚大陆的东岸,属东亚季风气候区,气候变率较大,气候灾害频发。它是中国最大的商品粮基地和农业生产最有发展潜力的地区,也是中国重要的工业和能源基地。近些年来,已经有越来越多的学者对中国降水的气候特征进行了分析。翟盘茂等^[1-2]对中国极端降水事件的变化进行了研究,讨论了中国年平均降水量的变化趋势。Qian 等^[3-4]从平均气候和极值气候的角度概述了中国近 40 年的降水状况,分析了中国夏季痕量降水事件对气候变暖事件的响应。符娇兰等^[5-6]采用降水分级的描述方法,对中国降水事件进行了细致的分析。以上研究尽管涉及到中国不同区域降水事件的变化情况,但对于东北地区降水时空分布、变化趋势的论述不够详尽。目前有关东北降水的研究,主要是围绕季节降水量,采用经验正交函数展开(EOF)和旋转 EOF 等方法对东北降水异常进行区划,并讨论了降水的可能趋势^[7-10]。这些研究在降水异常区划分析上得出了类似的结论,但对于东北降水在不同时段内的气候变化趋势还存在分歧。考虑东北地区在地理位置和气候特点上的独特性,5—9 月又恰是东北地区作物的主要生长期,降水多少直接影响粮食的产量。同时该时期东北已经由降雪转为降雨,固态降水与液态降水的分级又有本质的区别,因此有必要从季节降水量和分级降水事件两方面对东北地区的降水做详细的分析,找出降水的时空分布特点和气候变化趋势,并从机理上加以讨论,从而为农业防灾、减灾提供参考。

1 资料和方法

利用国家气象信息中心资料室整编的全国站点逐日降水量(日降水量指当日 20 时至次日 20 时的 24 小时累积雨量)、温度等资料和 NCEP/NCAR 的月平均再分析资料(网格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$)。针对东北地区,选取辽宁、吉林、黑龙江三省和内蒙古自治区东部区域的站点作为分析站点。考虑站点分布的均匀性和资料的完整性,对上述省份的站点进行剔除后最终选取 68 个测站,资料的时间范围为 1956—2008 年 5—9 月。

为了获得 5—9 月东北地区降水的时空分布特

点,对降水事件进行分级。分级采用与文献[6]相类似的标准。由于东北地区发生 ≥ 100 mm 大暴雨事件的概率很小,文中不再单独对大暴雨事件进行统计。站点日降水量分为 6 级,即痕量(有观测但无降水记录)、微量($R < 1$ mm)、小雨($1 \text{ mm} \leq R < 10$ mm)、中雨($10 \text{ mm} \leq R < 25$ mm)、大雨($25 \text{ mm} \leq R < 50$ mm)和暴雨($R \geq 50$ mm)。季节降水量指 5 月 1 日至 9 月 30 日的测站逐日雨量累加。对于区域各级别降水事件,采用累计站次数(逐日发生某级别降水事件的站点数累加)进行标识。采用线性趋势估计的方法获取各个级别降水事件和季节降水量的气候变化趋势,线性趋势的显著性检验利用了 t 检验的方法。

2 季节降水量时空特征

选取定测站 1956—2008 年 5—9 月降水量进行多年平均来描述该时段内东北地区降水量的气候分布(图 1a)。东北地区的降水中心位于辽宁省的东北部和吉林省的东南部,多年平均降水量在 620 mm 以上,部分地区超过 800 mm。降水的次大值区域呈狭长的带状分布,从辽宁省南端向北延伸至黑龙江省中北部,多年平均降水量在 480~620 mm。内蒙古东部大部区域、吉林省西部和黑龙江省的西南部区域是降水最少区域,多年平均降水量一般在 400 mm 以下,个别区域不足 300 mm。降水的次小值区域分布于次大值雨带的东西两侧,即黑龙江省偏东区域、西部大部区域和内蒙古东部部分区域,多年平均降水量在 400~480 mm。东北地区的这种降水分布特征与东亚夏季风气流的北推及地形分布有关。东亚夏季风对于东北地区降水起着重要作用^[11-13],突出表现在对水汽和热量的北向输送。东北地区的降水中心既是季风气流相对容易到达的区域,又位于长白山脉的迎风坡;次大值雨带的南半部分主要是季风气流的贡献,而北半部分则是季风气流北界与小兴安岭山脉和张广才岭地形抬升的共同作用;大兴安岭和张广才岭的背风坡由于气流下沉增温,降水量相对较少。

5—9 月东北地区降水量气候趋势表现为一致性减少(图 1b)。减少最明显的是降水中心区域中辽宁省的部分站点,达到了 $-(30 \sim 45)$ mm/10a;降水次大值雨带的北端和最少值区域中吉林、内蒙古交界处的部分测站减少趋势也较为明显;减少趋势

最不明显的站点位于黑龙江省西南部、吉林省中东部和内蒙古的东部区域。整个东北地区所有站点的平均降水量也呈线性递减趋势(图 1c), 递减值达到了 $-13.95 \text{ mm}/10\text{a}$, 通过 0.05 的显著性检验。全

区季节降水多年平均为 483 mm, 两个最少的时段分别出现在 1976—1982 年和最近的 1999—2007 年, 其中 1999 年达到历史最低值 354.4 mm。

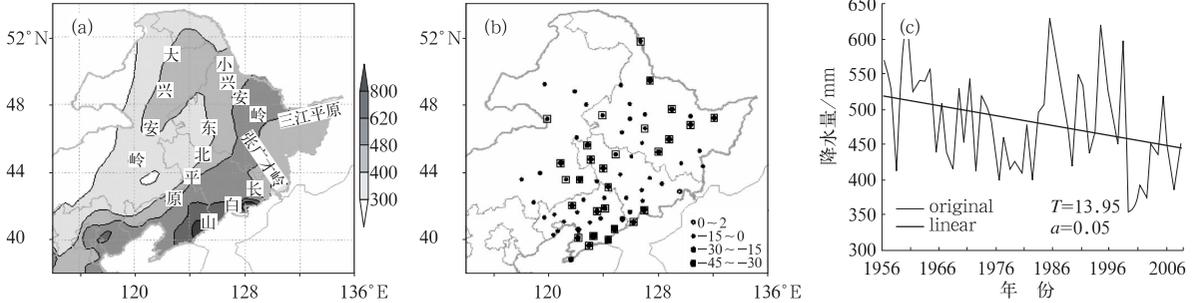


图 1 1956—2008 年东北地区 5—9 月季节降水量

(a) 季节降水量多年平均(mm); (b) 测站季节降水量趋势(mm/10a)分布, 正方形表示线性趋势达到 $\alpha=0.2$ 显著性水平; (c) 全区平均降水量多年序列(mm)和线性趋势($T=-13.95 \text{ mm}/10\text{a}$)

Fig. 1 The seasonal rainfall from May to September during 1956—2008

(a) The mean seasonal rainfall (mm). (b) The trends (mm/10a) of stations. Squares indicate significant trends at the 0.2 confidence level. (c) The series (mm) and trends ($T=-13.95 \text{ mm}/10\text{a}$) of mean rainfall in Northeast China

为了查找东北地区降水减少的原因, 计算了 1956—2008 年 5—9 月地面到 300 hPa 的水汽收支(图 2a)。气候平均上, 东北地区在该时段内存在净的水汽收入, 水汽主要由西边界和南边界进入, 而后由东边界和北边界流出。在长期趋势分析上, 东北地区西边界(图略)和南边界(图 2b)的水汽输入呈明显的线性递减, 东边界(图略)和北边界(图略)的水汽流出也在减少, 总的区域水汽收入也表现为显著的线性减少(图 2c)。这与该时段内东北地区站点平均降水量线性减少是一致的。上述计算说明了

5—9 月东北地区降水量的减少是由于西风和南风气流水汽输送作用减弱所导致。近年来国内外学者研究表明, 在最近的几十年, 东亚夏季风显示出了减弱趋势^[14-17]。东北地区南风气流的贡献很大一部分来源于东亚夏季风的北向推进。虽然 5—9 月份南边界的水汽流入不是夏季风对东北水汽输送的最好表征, 但这种水汽输送的减少也从侧面反映了近几十年来东亚夏季风减弱的事实。东亚夏季风气流的减弱导致东北地区净水汽收入的减少, 是该地区降水量减少的一个重要原因。

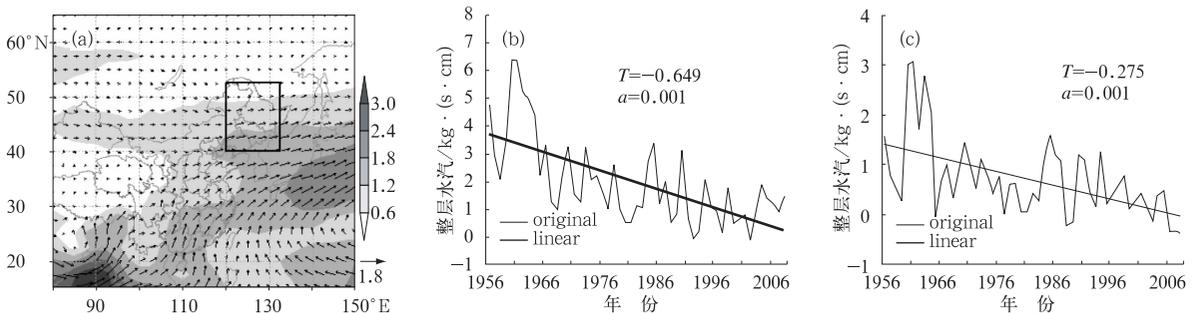


图 2 1956—2008 年 5—9 月平均地面到 300 hPa 水汽积分

(a) 水汽输送多年平均($\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{cm})$), 矩形区域的 4 条边界对应了东北地区水汽流入和流出的边界; (b) 和 (c) 为东北地区南边界水汽流入和全区水汽收入的多年序列($\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{cm})$)和线性趋势($\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{cm} \cdot 10\text{a})$)

Fig. 2 The mean water vapor integrated from the surface to 300 hPa for May to September during 1956—2008

(a) The mean water vapor transport ($\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{cm})$). The frames of box represent the boundaries of Northeast China for water vapor transport. (b) and (c) indicate the series ($\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{cm})$) and trends ($\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{cm} \cdot 10\text{a})$) of water vapor transport crossing south boundary and the sum of water vapor transport crossing all boundaries in the box of Northeast China

3 分级降水事件的气候特征

气候上,东北地区 5—9 月的痕量降水事件发生的日数一般在 14~25 天之间(图 3a)。在降水的中心区域和次大值雨带的南端,该类事件发生最少;而降水较少的内蒙古东部、黑龙江偏西和偏东区域,痕量降水事件发生较为集中,多数在 20 天以上。总体来看,发生日数由西向东表现出“多—少—多”的特点,南北方向上则为北多南少。上述这种分布主要是由于北部气温较南部偏低,同时东西方向海拔呈高、低、高分布,即偏北区域和山区气温更易于降至露点温度,发生痕量降水事件的频率更高。

东北地区 5—9 月发生微量降水事件的天数普遍达 12~25 天(图 3b)。分布趋势与痕量降水事件在南北方向一致,但在东西方向有较大差异,自西向东逐渐增加。发生频率最高的区域在吉林省东北部和黑龙江省的东部区域,基本都在 21 天以上。5—9 月发生小雨事件的天数在 17~37 天之间(图 3c),是各类降水事件发生频率最高的。小雨事件在空间分布上几乎与微量降水事件相同,在吉林省东北部和黑龙江省东部发生最频繁可达 33~37 天,发生次数最少的区域在环渤海区域。同一时段的中雨事件(图 3d),呈现明显的由西向东增加的趋势,这与微

量降水和小雨事件东西向的分布趋势相同但更显著,有所区别的在于同一经度上中雨事件发生日数几乎相同,没有表现出大的南北差异。东北地区的降水主要受西风带波动与季风气流共同作用,中雨及以下降水事件更多的是西风带波动所致。北部区域频繁的受西风带波动影响,导致了小雨及以下量级降水事件的北多南少。伴随西风带冷槽的东移,在偏东区域,通常能够更好地与南支气流相结合;此外这种波动的东移叠加了东部区域地形抬升作用后,使得东部区域更容易发生中等以下量级的降水事件。

东北地区的大雨和暴雨事件的发生概率较其他降水事件要小很多。在地域分布上由西向东逐渐增多;而南北方向上与微量降水和小雨事件分布相反,表现为北少南多。对于大雨事件(图 3e),5—9 月各测站发生日数在 1.5~7 天之间,5 天以上的站点集中在辽宁省东部和吉林省东南部,与东北地区的降水中心区域相重合。3~5 天的站点主要分布在次大值雨带的南端即环渤海区域,其他区域发生该类事件的日数基本都在 3d 以下。暴雨事件(图 3f)与此类似,发生日数更少,只有吉林省的南部和辽宁省在 1 天以上,发生频率最高的测站位于辽宁省的东北部即降水中心区域的南端,发生日数在 3~5 天之间。

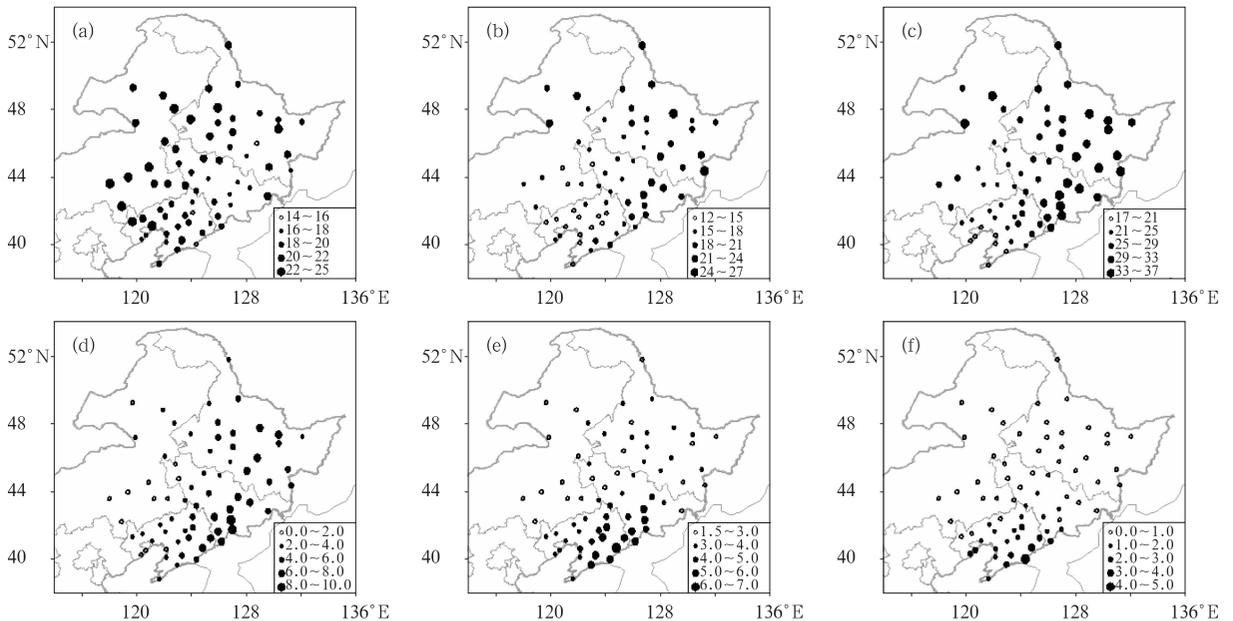


图 3 1956—2008 年东北地区 5—9 月各级别降水事件平均日数(天)

(a) 痕量降水; (b) 微量降水; (c) 小雨; (d) 中雨; (e) 大雨; (f) 暴雨

Fig. 3 The mean days of each graded rain event from May to September during 1956—2008 in Northeast China (unit: d)

(a) trace, (b) light, (c) small, (d) medium, (e) large and (f) heavy rain

对东北地区 5—9 月份各个级别降水量统计表明,中雨事件的降水量对于该时期降水量的贡献最大,一般在 30%~35%之间;小雨及以下量级事件和大雨事件的贡献率几乎相同,一般在 22%~30%;暴雨事件的贡献最小,但暴雨在各年份的贡献率起伏较大,通常有 10%~20%,也有一些特殊年份超过 20%(如 1994 年达 28%)或低于 10%(如 1976 年仅为 5.5%)。因此如果某一年暴雨事件异常,将直接导致降水量异常。东北地区大雨、暴雨事件中心位于长白山脉的迎风坡,与降水中心有很好的一致性,这说明该区域成为降水中心,主要是大的降水事件要明显多于其他区域。

4 分级降水事件趋势分析

4.1 总体趋势

在趋势分析上,伴随雨量的增加,各级别降水事件线性减少的趋势逐渐减弱。痕量降水(图 4a)和微量降水事件(图略)减少的趋势最为明显,递减速率分别达到了 111.47 和 115.38 站次/10a。小雨事件(图略)和中雨事件(图 4b)递减的趋势逐渐减弱,显著性水平也由 0.001 降为 0.05。大雨事件线性减弱的趋势越发不明显,而暴雨事件的减少趋势最为不显著(图 4c)。另一方面,伴随雨量的加大,降

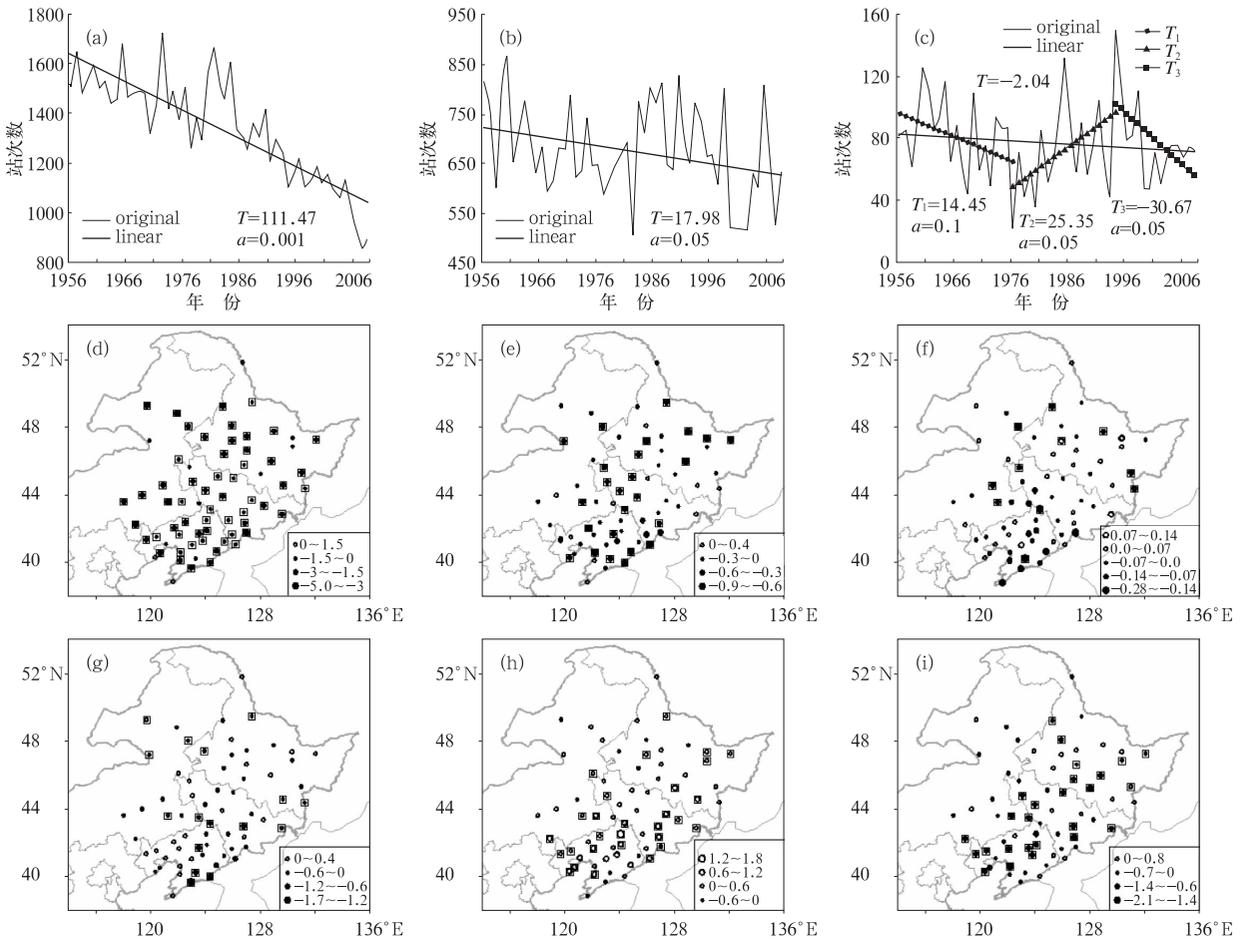


图 4 1956—2008 年东北地区 5—9 月各级别降水事件趋势

(a)、(b)和(c)分别为痕量降水、中雨和暴雨事件的多年序列(站次)及线性趋势(站次/10a)。(d)、(e)和(f)分别为测站痕量降水、中雨和暴雨事件的趋势(d/10a)分布;(g)、(h)和(i)分别为 1956—1976 年、1976—1994 年和 1994—2008 年暴雨事件的趋势(d/10a)分布;(d)中正方形表示线性趋势显著性水平达到 $\alpha=0.1$, (e)、(f)、(g)、(h)和(i)中达到显著性水平 $\alpha=0.2$

Fig. 4 The trends of each graded rain event from May to September during 1956—2008

(a), (b) and (c) represent the series (stations) and trends (stations/10a) of trace, medium and heavy rain events for the area. (d), (e) and (f) indicate the trends (d/10a) of stations for trace, medium and heavy rain events. (g), (h) and (i) are same as (f) except for the periods 1956—1976, 1976—1994 and 1994—2008, respectively.

Squares indicate significant trends at the 0.2 confidence level except that (d) is at 0.1

水事件在相邻时间段内表现出了相反的变化趋势,暴雨事件的这种特征最明显。在 1976 年前后发生了由线性递减转为线性递增,1994 年前后则经历了线性递增转为线性递减。对 1956—1976 年、1976—1994 年和 1994—2008 年三个时段的暴雨事件分别做线性趋势估计,各时段递减或递增的线性趋势都较为显著,显著性水平分别为 0.10 和 0.05。

4.2 站点降水事件趋势

对于痕量降水(图 4d),5—9 月东北地区选定测站表现出一致递减的趋势,且大部分显著性水平达到 0.10。递减最明显的站点集中在北部和西部区域,吉林省东部和辽宁省东部的个别测站也较为明显,都达到了 3~5 d/10a,中南部区域的递减趋势相对缓慢。而环渤海的个别站发生了增加趋势,但没有通过显著性检验。其原因在于东北地区最近 40 年出现了显著增温现象,且高纬地区增温比低纬地区明显,最低气温比最高气温升高明显^[18-21]。这会导导致降水云团的凝结高度升高,小的雨滴还没有降落就已经挥发。另一方面,东北地区水汽净收入的减少和最低气温的升高,也使得大气达到饱和的难度增大。

东北地区的微量降水事件(图略)也呈线性递减趋势,且大部分测站显著性水平达到 0.10。东部区域递减速度达到了 3~4.5 d/10a,普遍快于西部区域。除个别测站外,小雨事件(图略)在东北地区总体也呈减少趋势,递减明显的站点主要分布在山区,为 0.8~2.4 d/10a。尽管东北地区大部分测站的中雨事件(图 4e)表现出了减少趋势,但显著性相对较低,大部分显著性水平仅达 0.2。部分站点甚至表现出了线性增加的趋势。随着雨量增大,大雨事件(图略)和暴雨事件(图 4f)递减的趋势更不明显。尤其是暴雨事件,既有线性减少的站点,也有线性增加的站点,但无论是递增还是递减能够通过 0.2 显著性水平检验的测站并不多。暴雨事件中递减明显的站点集中在辽宁省东部,而黑龙江省中南部和辽宁省西部则表现出了线性增加的趋势。

类似前文,把各测站大雨和暴雨事件的序列以 1976 和 1994 年为界限分为三个时段,然后进行趋势分析。结果表明:1956—1976 年,大部分测站表现了线性减少趋势;1976—1994 年表现为线性增加趋势;1994—2008 年又表现为线性递减趋势。暴雨事件这种“减少—增加—减少”的阶段性变化趋势在

大部分测站上都能很好地体现出来(图 4g,h 和 i),相对而言,大雨事件(图略)三个时段的变化趋势表现稍弱。

5 结 论

本文所使用的资料已由国家气象信息中心进行了严格质量控制,2007 年全国开始统一上报自动站观测资料,已有的文献分析表明^[22-23],尽管自动站与人工观测降水有所差异,但差值都在允许范围之内,准确度能够满足日常业务使用;同时自动站降水资料只占资料序列的很少一部分,因此观测方式的变更不会对降水趋势分析带来大的影响。通过对东北地区 5—9 月季节降水量和不同级别降水事件时空分布特点和线性趋势的分析可以得出以下结论:

(1) 降水量的平均气候分布与东北地区地形特征和东亚夏季风气流的北推密切相关,降水中心位于长白山脉的迎风坡,该区域同时是东北地区夏季风气流容易到达的位置,降水中心的季节雨量超过了 800 mm。

(2) 1956—2008 年东北地区季节降水总量无论从测站分布还是区域平均的角度都表现出线性减少的趋势。这主要是由于东亚夏季风减弱引起南风气流对东北水汽输送减少,同时叠加西风气流水汽输送的减弱作用,导致东北水汽总收入在减少。

(3) 痕量降水事件的气候分布受地形和南北温度分布影响,在东西方向上呈“多—少—多”分布,其他降水事件为西少东多;南北方向上,中雨以下量级降水事件为北多南少,大雨和暴雨事件则为北少南多。小雨事件是东北地区发生最频繁的降水事件;大雨以上级别降水事件的集中区域即为东北地区的降水中心区域。

(4) 随着雨量增大,东北地区各级别降水事件线性递减的趋势逐渐减弱,在相邻时间段内表现出相反趋势的特征越来越明显。暴雨事件在 1956—1976 年、1976—1994 年和 1994—2008 年三个时段内有明显的“减少—增多—减少”的变化过程。东北地区中等以下降水事件的变化与温度升高和水汽收入减少有关,但大雨和暴雨事件相邻时段内相反趋势变化的原因需要做更深入的分析。

参考文献

[1] 翟盘茂,王萃萃,李威. 极端降水事件变化的观测研究[J]. 气

- 候变化研究进展,2007,3(3):144-148.
- [2] Zhai P M., Zhang X B, Wan H, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China[J]. *Journal of Climate*, 2005, 18(7):1096-1108.
- [3] Qian Weihong, Fu Jiaolan, Yan Zhongwei. Decrease of light rain events in summer associated with a warming environment in China during 1961—2005[J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34:L11705. 1-L11705. 5.
- [4] 钱维宏,符娇兰,张玮玮,等. 近 40 年中国平均气候与极值气候变化的概述[J]. *地球科学进展*, 2007, 22(7):673-684.
- [5] 符娇兰,林祥,钱维宏. 中国夏季分级雨日的时空特征[J]. *热带气象学报*, 2008, 24(4):367-373.
- [6] Fu Jiaolan, Qian Weihong, Lin Xiang, et al. Trends in graded precipitation in China from 1961 to 2000[J]. *Adv Atmos Sci*, 2008, 25(2):267-278.
- [7] 杨素英,孙风华,陈岩. 近 45a 东北地区春季降水异常的气候特征[J]. *南京气象学院学报*, 2005, 28(2):197-204.
- [8] 孙力,安刚,丁立,等. 中国东北地区夏季降水异常的气候分析[J]. *气象学报*, 2000, 58(1):70-82.
- [9] 汪宏宇,龚强. 东北地区作物生长期降水异常特征分析[J]. *气象科技*, 2005, 33(4):345-354.
- [10] 汪秀清,陈长胜,石大明,等. 东北区夏季多雨年水汽异常输送特征[J]. *气象*, 2005, 31(9):44-47.
- [11] 孙力,安刚,唐晓玲. 东北亚地区夏季 850hPa 南风异常与东北旱涝的关系[J]. *大气科学*, 2003, 27(3):425-434.
- [12] 赵汉光,张先恭. 东亚季风和我国夏季雨带的关系[J]. *气象*, 1996, 22(1):8-12.
- [13] 胡景高,周兵,陶丽. 南亚高压特征参数与我国夏季降水的关系分析[J]. *气象*, 2010, 36(4):51-56.
- [14] Guo Q Y, Cai J N, Shao X M, et al. Interdecadal variability of East-Asian summer monsoon and its impact on the climate of China (in Chinese), *Acta Geogr Sin*, 2003, (4): 569-576.
- [15] Kripalani R H, Kulkarni A. Monsoon rainfall variations and teleconnections over South and East Asia[J]. *Int J Climatol*, 2001, 21:603-616.
- [16] Kumar J R, Dash S K. Interdecadal variations of characteristics of monsoon disturbances and their epochal relations with rainfall and other triopical features[J]. *Int J Climatol*, 2001, 21: 759-771.
- [17] 陈桦,丁一汇,何金海. 亚洲夏季风指数的重新评估与季风的长期变化[J]. *气象学报*, 2006, 64(6):770-779.
- [18] 刘晓英,林而达. 东北地区农作物生长期温度变化的时空特征[J]. *中国农业气象*, 2003, 24(1):11-15.
- [19] 孙风华,杨修群,陆爽,等. 东北地区平均、最高、最低气温时空变化特征及对比分析[J]. *气象科学*, 2006, 26(2):157-162.
- [20] 向辽元,陈星. 近 55 年中国大陆气温突变的区域特征和季节特征[J]. *气象*, 2006, 32(2):44-47.
- [21] 郭家林,王永波. 近 40 年哈尔滨的气温变化与城市化影响[J]. *气象*, 2005, 31(8):44-47.
- [22] 连志鸾. 自动站与人工站观测记录的差异分析[J]. *气象*, 2005, 31(3):48-52.
- [23] 李芸,王新堂,车宝华,等. 自动气象站数据易误和疑难点处理[J]. *气象*, 2005, 31(11):83-86.