

陈冬冬, 戴永久. 2009. 近五十年我国西北地区降水强度变化特征 [J]. 大气科学, 33 (5): 923–935. Chen Dongdong, Dai Yongjiu. 2009. Characteristics of Northwest China rainfall intensity in recent 50 years [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (5): 923–935.

近五十年我国西北地区降水强度变化特征

陈冬冬^{1, 2} 戴永久^{1*}

1 北京师范大学地理学与遥感科学学院/地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875

2 中国气象局气象探测中心, 北京 100081

摘 要 鉴于近五十年来我国西北东部降水减少、西部降水增多的现象, 本文根据中国气象局信息中心提供的西北及内蒙古自治区日降水资料集, 利用筛选后的西北 186 个测站 1958~2005 年的数据, 对四季西北东、西部不同强度降水的降水量、降水日数、降水强度变化进行了分析。结果表明: 近五十年来, 中国西北地区降水以强降水为主, 较强以上强度降水占总降水日数的 5%, 但其降水量占总降水量 75%; 西北东部不同强度的降水都减少, 而西部只有弱降水减少, 其他强度的降水都增加, 且西北西部中等以上强度的降水增加较显著; 弱降水的总量减少, 弱降水的强度却加大, 强降水强度增强, 而极强降水强度却减弱; 降水的日数变化是降水量变化的主要原因。

关键词 中国西北地区 降水强度划分 降水强度变化

文章编号 1006-9895 (2009) 05-0923-13

中图分类号 P426

文献标识码 A

Characteristics of Northwest China Rainfall Intensity in Recent 50 Years

CHEN Dongdong^{1, 2} and DAI Yongjiu^{1*}

1 School of Geography/State Key Laboratory of Earth Surface Process and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875

2 Meteorological Observation Centre of China Meteorological Administration, Beijing 100081

Abstract Northwest China is being wetter recently, and the precipitation shows different trend in the eastern and western regions. The latest daily rainfall data, which is provide by the Chinese Meteorological Administration Data Center, are used to analyze characteristics of the rainfall amount, rainfall days and rain intensity. In recent 50 years in Northwest China, the total rainfall is mainly contributed by the stronger rain, which contributes 75% rainfall in 5% rainfall days; the rainfall trend is greatly different in different regions, in eastern Northwest China, the rainfall has been in decrease trend, however, in the western region, it has been in increase trend. The rainfall in weak intensity decreases, but the intensity increases. The rainfall in stronger intensity increases, and the intensity also increases except the intensity of the extreme rain storm. For all seasons, the rainfall days play an important role in contributing the rainfall amount.

Key words Northwest China, classification of rainfall, variability of rain intensity

1 引言

我国西北地区位于亚洲内陆, 横跨青藏高原北

部、内蒙古高原和黄土高原, 内有南疆盆地、河西走廊、帕米尔高原等山脉, 其地形复杂, 气候多样, 主要特征表现为干旱少雨, 降水时空分布不均。近

收稿日期 2008-06-17, 2008-11-13 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40225013

作者简介 陈冬冬, 女, 1982 年出生, 博士研究生, 主要从事西北干旱区气候特征分析。E-mail: chendd.bnu@gmail.com

* 通讯作者 E-mail: yongjiudai@bnu.edu.cn

几十年来,北半球地表大气温度总体呈上升趋势,这种全球性的气候变化加快了水循环,导致蒸发加大和降水增加。在全球气候变暖的背景下,我国西北地区降水特征也发生了显著变化。

由于在 1951 年前有关西北地区的降水量观测资料比较缺乏,因此,对近百年西北地区气候的研究较少。随着气象资料积累,对我国西北地区降水的研究也越来越多。许多研究都指出西北降水地域性强,且西北东、西部反相变化。田荣湘等(1995)对我国西部 68 个站 30 年年降水量分析指出,西北降水区域差异大。李栋梁等(2003)利用建站至 2000 年常规气象观测站点资料和 NCEP 再分析资料,对未来几十年气候变化趋势做了初步评估。研究结果表明,中国西北地区气候正经历由暖干向暖湿的变化,这一转变在西北西部包括新疆、河西走廊西部、祁连山区和青海部分地区表现最为显著,而西北东部尽管温度在升高,但降水量却没有增加。宋连春等(2003)也指出,西北西部的西风带影响区域和部分季风影响地区降水量增加显著;西北东部的季风边缘区,降水量呈减少趋势。特别是秋季降水减少尤其显著。张存杰等(2003)曾针对秋季降水减少做过分析,结果表明西北秋季降水量均值的突变在四个季节中最为明显,西北东、西部秋季降水在年代际尺度上具有相反的变化趋势。

对西北地区降水趋势的研究也很多。王宝灵等(1997)指出西北大部分地区四季降水量趋于增加,6 月份增加最为显著。翟盘茂等(1999)指出新疆是降水增多最显著的地区,而且年降水极端偏多的范围也越来越大,这种变化可能与强降水增加有关。对于降水的年代际变化,张存杰等(2003)指出,自 20 世纪 80 年代初来,西北地区增湿幅度明显高于全国平均水平。施雅风等(2003)也指出,20 世纪 80 年代和 90 年代全球中高纬度大陆的大部分地区降水量明显增加,中国西北地区降水增加相当显著。宋连春等(2003)研究表明 20 世纪 80 年代西北西部降水明显增多,降水偏多主要在冬夏季。韦志刚等(2000)指出,西北地区降水在 20 世纪 60 年代初多雨,70 年代初演变为少雨,随后在 80 年代多雨而 90 年代少雨。该趋势在陇南和陕西中南部最为显著,天山北麓也是相对显著区。

对西北地区的降水研究充分表明,近半个世纪

来该地区降水发生了显著变化。但以往研究多反映总降水量的特征。杨晓丹(2005)曾将西北降水分五个强度进行过讨论,结果表明总降水主要是强降水变化引起,并且在大多数强度降水中,降水量变化主要是降水强度变化引起。由于西北地处于干旱半干旱地区,降水相对稀少,某月的几次相对强降水过程常会被干旱背景所掩盖。另外,尽管强降水过程的降水量大,但西北降水类型仍以弱降水过程为主。因此,考察近五十年西北降水显著增加背景下各种强度降水的变化,对了解干旱区气候变化和有效利用水资源具有重要意义。

本文旨在讨论近五十年来西北增湿背景下,我国西北不同地区、不同强度降水的变化特征。本文结合站点降雨趋势对西北进行分区,并根据站点日降水概率来对降雨进行强度划分。这种划分更多考虑了该地区自身降水的特征,有一定参考价值。最后,还定量讨论了不同强度降水的降水日数和降水强度对降水量的影响。

2 资料与方法

本文所用资料来自中国气象局信息中心提供的西北地区地面日气候资料集。资料时段为 1951~2005 年,记录了西北及内蒙古自治区 224 个测站资料信息。本文主要讨论 110°E 以西的变化特征。

由于早期气象资料缺测较多,对数据进行以下条件的筛选:(1)剔除明显错误的记录(如降水低于零);(2)所统计站点的资料长度不少于 30 年;(3)所统计年的缺测站点数不超过站点总数 1/3。最终选取 1958~2005 年 186 个测站资料来讨论西北地区不同强度等级的降水的变化。

为确保资料不受异常值影响,这里进一步统计了测站月降水量,并按如下条件筛选:

$$x_{ij} - \bar{x}_i < 4\sigma_i,$$

其中, x_{ij} ($i=1, 2, \dots, 12; j=1, 2, \dots, 48$) 为第 j 年第 i 月测站月降水量, $\bar{x}_i$ 和 σ_i 为 1958~2003 年间月降雨量在第 i 月的均值和方差。如果站点月降水量与该月平均降雨量相差大于四倍方差,则核对测站第 j 年第 i 月的日降水资料,剔除某天降雨明显偏离平均值的记录。选择四倍方差是考虑西北降水波动范围广的特征;用月平均资料进行验证,是因为月均值降水稳定性较好。用上述标准有一定合理性。

2.1 降水强度的划分

我国常用的降水强度分级标准如表 1 所示 (Zhang et al, 1992)。这种降水分级对研究我国大范围降水特征, 比较全国不同区域的降水强度比较有效。但对于降水稀少的西北地区来说, 这种以雨量为阈值的划分范围太大且过于死板, 并且雨量划分法也没有考虑降水时域差异大的特征, 不能准确反映西北降水状况。

Bonsal et al. (2001) 曾用以下方法对气象要素进行强度分级, 他指出如果某个气象要素有 n 个值, 将这 n 个值按升序排列 $X_1, X_2, \dots, X_m, \dots, X_n$, 某个小于或等于 X_m 的概率 P 为:

$$P = (m - 0.31)/(n + 0.38),$$

式中, m 为 X_m 的序号。Bonsal 等 (2001) 指出该公式估计的百分位值不用对序列分布进行任何假设。杨晓丹 (2005) 曾用该方法对西北地区日降水量进行强度分级, 并讨论各强度降水的特征。将该法与以降水等百分位点为阈值 (即用降水序列的 20%、

40%、60%、80% 分位数雨量大小为阈值) 的分级方法进行对比, 发现两种计算所得降水强度划分阈值相差并不大, 因此, 杨晓丹 (2005) 对西北地区日降水量的强度分类与以等百分位点为阈值的强度分类结果比较类似。

西北降水地域差异大, 用分位数来对降雨强度进行划分, 可避免不同地区降雨量的差异, 比固定雨量为阈值的划分更适合当地特征。但等分位数的划分方法更适用于均匀分布的序列。由于干旱区降水量主要为发生频率小的强降水事件, 日降水并非均匀分布 (如图 1 所示), 因此等分位方法会有一定偏差。

本文将根据西北测站自身日降水概率分布图, 通过测站日降水量的分布来寻找合理的分位点。西北 186 个测站日降水概率分布非常类似 (图略), 这里仅选取西北西部的乌鲁木齐 (43.47°N, 87.37°E) 和西北东部的西安 (108.56°N, 34.18°E) 两个站点进行说明。

图 1 为乌鲁木齐和西安两站点的日降水量概率图, 图中横坐标为有序样本, 即在 1958~2005 年所统计的日降水事件中, 日降水量 (单位: mm) 从小到大的有序排列; 纵坐标为样本分位数, 数值反映了当发生横坐标所示降水的降水事件占有降水事件的比例; “+”表示降水量样本, 图中黑色实线是日降水量第一四分位数与第三四分位数间的连线。如果数据来自一个正态分布的样本, 那么样本数据线为直线, 否则为曲线。

从两台站日降水量概率图可以看出, 西北地区降水以小雨为主, 大约 85% 降水事件的雨量较小且

表 1 我国常用降水强度分级标准

Table 1 The China standard on the classification of rainfall intensity

24 h 降水量/mm	等级
<0.1	微量
0.1~10	小雨
10~25	中雨
25~50	大雨
50~100	暴雨
100~200	大暴雨
≥200	特大暴雨

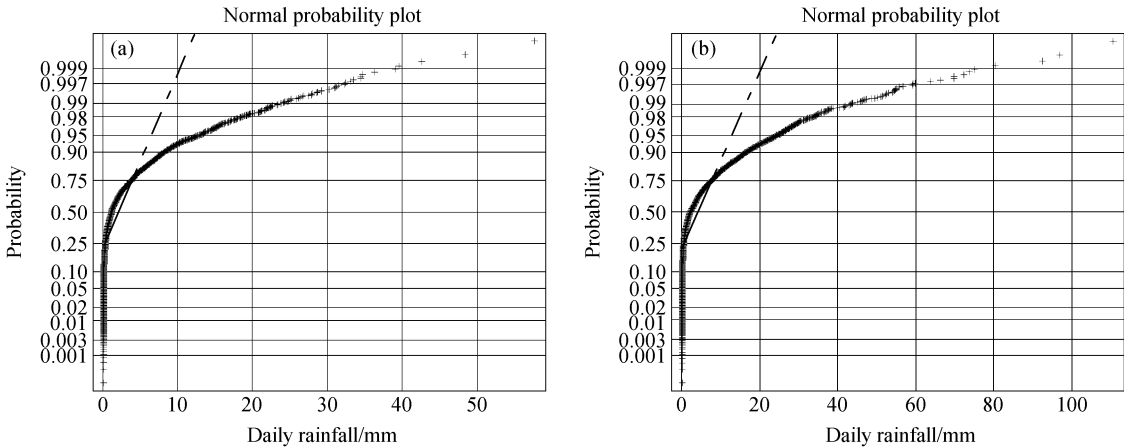


图 1 (a) 乌鲁木齐和 (b) 西安日降水的概率图
Fig. 1 Probability graphs of daily rainfall in (a) Ürümqi and (b) Xi'an

波动不明显。强降水虽然发生频率小但雨量丰富,并且强降水之间存在显著的降水量差异。这里参考日降水概率图的样本分位数和有序样本序列特征,突出对强降水事件的描述,对弱降水分位点选择范围相对较宽。最后,选取标准为:

$$\begin{cases} R_i \leq R_{25\%} & \text{弱降水} \\ R_{25\%} < R_i \leq R_{50\%} & \text{较弱降水} \\ R_{50\%} < R_i \leq R_{75\%} & \text{中等降水} \\ R_{75\%} < R_i \leq R_{85\%} & \text{较强降水} \\ R_{85\%} < R_i \leq R_{95\%} & \text{强降水} \\ R_i > R_{95\%} & \text{极强降水} \end{cases}$$

其中, R_i 表示一次降水事件所对应降水量, $R_{25\%}$ 表示台站日降水第 25 百分位数所对应的降水量, $R_{50\%}$ 表示台站日降水第 50 百分位数对应的降水量, 其余以此类推。

以往学者们的研究表明, 近几十年来西北东、西部降水反相变化, 且不同季节呈现不同的变化特征。为详细描述西北地区降水特征, 这里也分地区、分季节进行讨论。

这里参考西北 187 个测站 1958~2005 年降水量的变化趋势(图 2)来进行区域划分, 图中空心圆表明近几十年测站降水量增加, 实心圆表明降水量减少。圆面积越大反映降水变化趋势越显著(见图例所示)。由于西北东、西部降水差异大, 这里采用相对趋势来描述测站雨量的变化, 即测站每十年增加量相对于当地平均雨量的百分率。

从图 2 可以看出, 近五十年来西北地区基本以 100°E 经线为界, 东部降水减少而西部降水增加。后文对东西部的讨论就以此为标准。在选用的 187 个

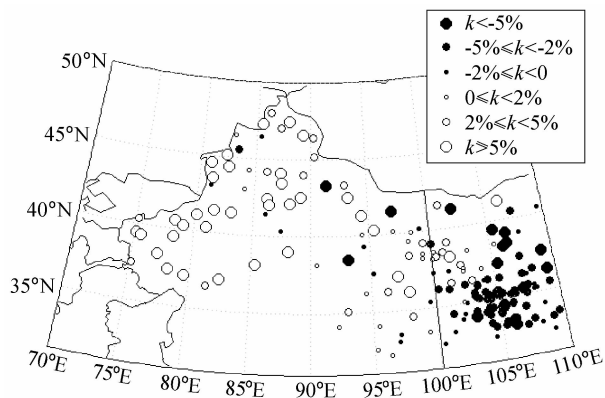


图 2 西北地区测站年降水量变化趋势 k [单位: $(10\text{ a})^{-1}$]

Fig. 2 Precipitation trends (k) at the Northwest China stations. Units: $(10\text{ a})^{-1}$

西北测站中, 西部站点有 78 个、东部有 109 个。

2.2 降水日数和降水强度对降水量贡献的定量计算

Karl et al. (1998) 曾指出, 通过计算降水事件的平均降水量 ($\overline{p_e}$) 和降水日数的趋势值 (b_f), 可以得到由降水日数变化引起的降水量的趋势值 b_e , 计算公式为

$$b_e = \overline{p_e}(b_f),$$

则降水强度变化引起的趋势分量 b_i 可由降水总趋势与降水日数引起的降水量趋势之差得到,

$$b_i = b - b_e.$$

杨晓丹 (2005) 曾用该方法对西北地区降水量变化进行过讨论, 并得出降水强度变化对西北地区降水量贡献较大。研究中杨晓丹使用 1954~2003 年 120 个西北测站资料, 并以 99°E 为界对西北东西部进行了划分。

本文不仅与杨晓丹 (2005) 在选用的资料和东、西部划分上有所差异, 另外在降水强度的划分上也有较大不同。前面曾提到, 杨晓丹 (2005) 在研究中使用了 Bonsal et al. (2001) 的分类方法, 这种划分结果与等分位点划分结果比较类似。本文考虑到西北降水量主要以强降水组成的特点, 基于测站日降水概率图, 加大了对强度大降水的分类, 最终分弱、较弱、中等、较强、强、极强六个强度对西北近五十年四个季节降水状况进行了讨论。

3 结果与分析

3.1 不同强度的降水占总降水量的比例

为定量了解干旱区降水特征, 在分析序列变化前, 我们首先考察不同强度降水的比例状况(图 3)。结果表明, 中等强度以上降水(较强降水、强降水、极强降水)在总降水日数 5% 的时间内所产生的降水量是总降水量的 75%。其中, 强降水日数占总降水日数 2%, 降水量为总降水量 28%, 而极强降水日数仅为总降水日数的 1%, 降水量却达总降水量的 31%。西北东、西部不同强度的降水日数和雨量比例(图略)与西北全区相似, 这反映了我国西北地区降水在时间上较为集中, 也说明对西北降水分强度描述的必要性。

3.2 不同强度等级降水的年总量特征

根据 2.1 节的分类方法, 这里统计了西北东、西部不同强度的降水的年均量。东部弱降水 5.8 mm、较弱降水 24 mm、中等降水 78.8 mm、较强降水

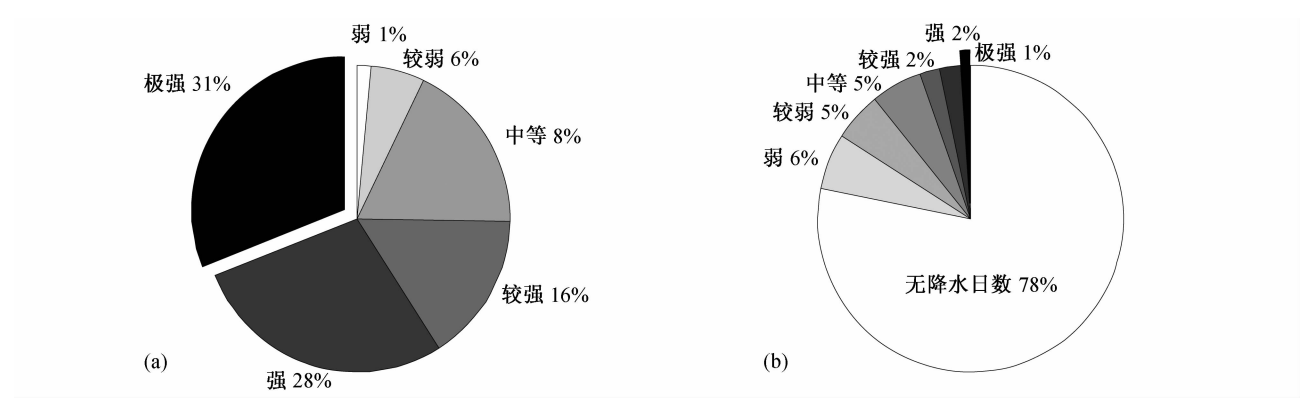


图 3 不同强度等级降水的 (a) 降水量和 (b) 降水日数比例
Fig. 3 Proportion of different rain types for (a) rainfall amount and (b) rainfall days

68.7 mm、强降水 123.8 mm、极强降水 138.4 mm；西部分别为 3.4 mm、10.5 mm、31.1 mm、26 mm、45.5 mm、49.2 mm。西北东、西部不同强度等级降水的年际波动及其变化趋势分别如图 4、5 所示。

参考图 4a 西北东部不同强度降水序列特征可知，西北东部不同强度降水之间相关性好，降水量同时涨落。20 世纪 70 年代前，不同强度降水年际波动较大，在随后的二十多年中相对稳定，80 年代后期不同强度降水开始波动下降，其中小强度降水下降最为显著。图 4b 西部不同强度降水序列表明西北西部不同强度降水之间相关性小，近几年西部弱降水有明显下降趋势，中等降水、较强降水、极强降水量有显著提高。

由于不同强度降水的降水量差别较大，再加上西北东、西部降水量也有很大差异，这里在描述不同强度降水变化（图 5）时采用了相对变化趋势。即每十年某强度降水量增加值相对于当地该强度降水均值的百分率。

图 5a 反映了近五十年西北地区极强降水增加，其他强度降水下降，其中弱降水下降比较显著。图 5b 不同地区弱降水变化趋势表明，西北东、西部弱降水减少都比较显著，其中东部减少最为突出，其减少趋势接近于 $-5\%/10a$ 。图 5b 还反映了较弱以上强度降水在西北东、西部的反相变化。表现为较弱以上强度降水在西部增加而东部减小。另外，从极强降水变化看，西北地区极强降水量增加主要是西部极强降水增加引起。从图 5b 还可以看出近五十年西北东部不同强度降水都有所下降。

从西北四季不同强度降水比例（图 6）看，春秋两季不同强度降水比例较类似，表现为中等以上

不同强度降水量基本为总降水量的 20%，弱降水量不超过 4%，较弱降水量接近总降水的 10%。夏季，以强降水和极强降水为主，两者降水总量占到夏季总降水量 60% 以上；弱降水比例较小，不足该季总降水的 2%；冬季，以中等以下强度降水为主，其中弱降水约为 15%，较弱降水和中等降水分别占到 36%，中等以上降水总量只有总降水量 10% 左右。

四季不同强度降水的变化趋势如图 7 所示，同样这里也采用相对趋势。图 7 中冬季不同强度降水增加和秋季不同强度降水减少较为突出。冬季降水增加以中等以上强度降水为主，其中极强降水增幅超过 30%/10a，较强降水和强降水增幅也超过 10%/10a。秋季不同强度降水量下降以弱降水下降最为突出，下降幅度达 10%/10a。秋季不同强度降水量的普遍减少必然导致秋季降水量的显著减少。春、夏两季不同强度的降水变化不显著，变幅不超过 5%/10a。夏季弱降水减少相对较突出。

3.3 不同强度等级降水的年降水日数特征

降水日数是描述降水特征的主要统计量之一。图 8 反映了西北东、西部六个强度降水的降水日数变化状况。可以看出，近年来弱降水日数减少比较显著。西北东部在 20 世纪 60、70 年代弱降水日数接近 30 天，但 2000 年后弱降水日数减少到 23 天。西北西部弱降水日数减少也非常显著。降水日数减少主要集中在最近几年。西北东、西部弱降水日数减少是近些年来西北弱降水量减少的主要原因。西北西部较强降水的降水量在近几年增加，但降水日数却减少，反映了西北西部降水强度变化对当地降水量多少也有很重要的作用。

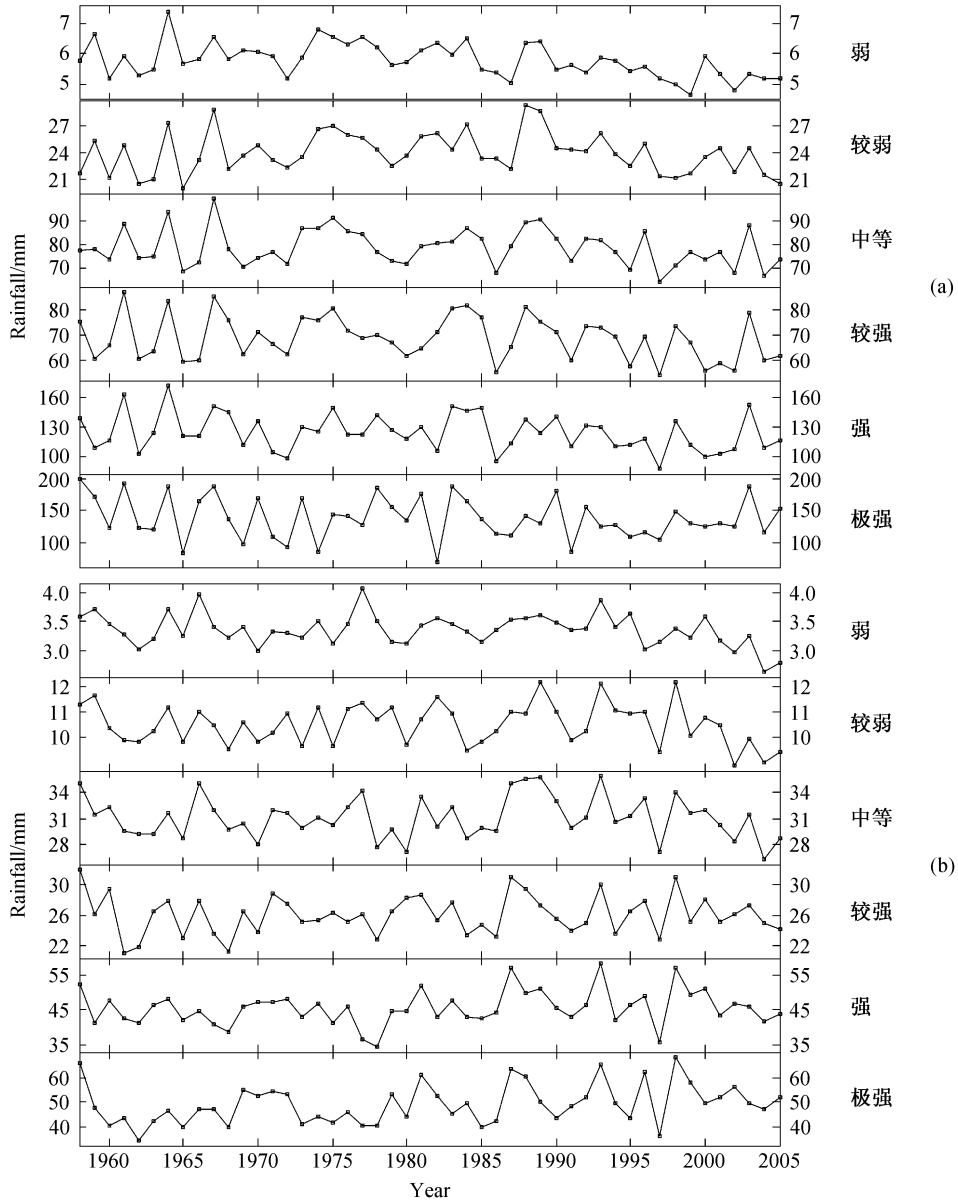


图 4 西北 (a) 东、(b) 西部六个强度等级降水的降水量 (单位: mm) 变化序列
Fig. 4 Time series of rainfall amount for the six rain types in (a) eastern and (b) western Northwest China

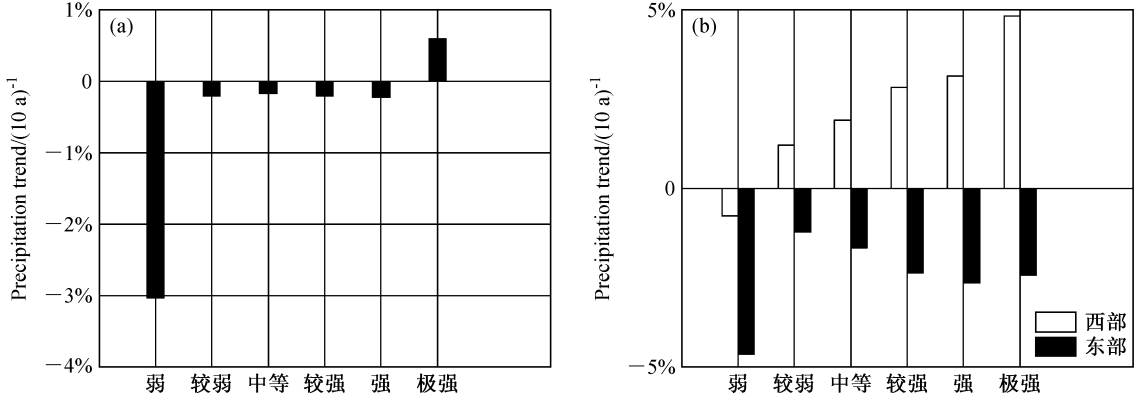


图 5 (a) 西北不同强度等级的降水变化趋势; (b) 西北东西部不同强度等级的降水变化趋势
Fig. 5 Precipitation trends for the six rain types in (a) Northwest China and (b) its western and eastern parts

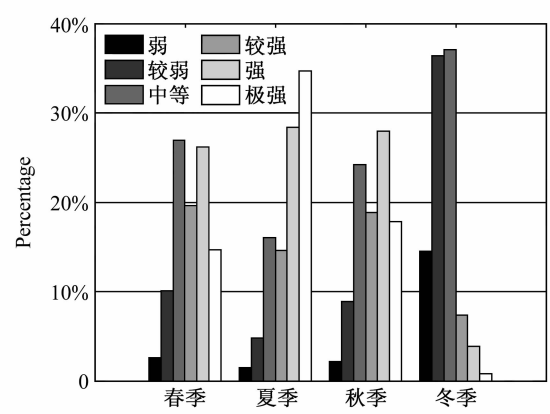


图 6 四季不同强度降水占该季总降水比例
Fig. 6 Percentage of rainfall amount for the six rain types to total rainfall in the four seasons

统计表明，不同强度平均降水日数：西北东部为弱降水 26 天、较弱降水 23 天、中等降水 23 天、较强降水 9 天、强降水 10 天、极强降水 5 天；西北西部为弱降水 18 天、较弱降水 15 天、中等降水 15 天、较强降水 6 天、强降水 6 天、极强降水 3 天。

西北东、西部不同强度降水的降水日数（图 8）反映了西北地区六个强度降水日数年际波动比较一致。即大强度降水较多的年份，小强度降水也较多。但东、西部之间的降水日数序列相关性小，说明西北东、西部降水受不同气候系统影响，很有必要分区进行讨论。

对比不同强度降水的降水日数（图 8）和降水量变化（图 4），发现西北东部降水日数与降水量变化一致而西部则较为复杂，这反映了西北东部降水量主要由当地降水日数多少决定，而西北西部降水不仅受日数影响，还受强度的影响。从西部强降水变化看，强降水日数略有下降，但强降水量却增加，揭示了西北西部强降水增加是由西北西部强降水强度增加引起。在 3.5 节，我们将定量讨论不同强度降水的降水日数和降水强度对降水量的贡献。

图 9 采用相对趋势描述了不同强度降水日数的变化。可以看出近五十年来西北不同强度降水日数变化（图 9a）与降水量变化趋势（图 5a）一致，充分说明在我国西北地区，降水多少主要取决于当地降水日数多少。图 9 还反映了近五十年西北地区弱降水日数减少和极强降水日数增加比较显著。平均来说，弱降水日数减幅约为 4.3%/10a，极强降水日数增幅约为 1.2%/10a。

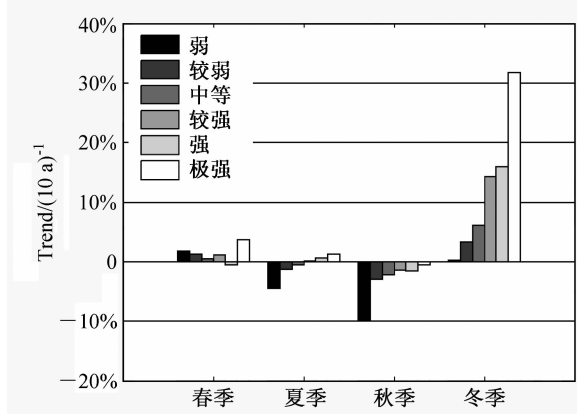


图 7 四季不同强度降水的变化趋势
Fig. 7 Secular trends for the six rain types in the four seasons

同样，在西北东、西部降水日数变化（图 9b）中也呈现出与西北东、西部降水量类似的变化（图 5b）。表现为西北东部不同强度降水的降水日数都减少，其中弱降水日数减少最为突出。而西北西部仅弱降水的降水日数减少，其他强度降水日数都增加，极强降水日数增加最显著。极强降水日数每十年增加量接近该强度平均降水日数 5%，较强降水和强降水日数增加量约为 3%/10a。

四季六个强度降水的降水日数比例和变化趋势如图 10 和图 11 所示。可以看出，西北降水以中等以下强度降水为主，降水日数占当季总降水日数的 70%以上。春秋季降水日数分布比较类似，中等以下不同强度降水都在 5 天左右，较强以上降水总共约 5 天。夏季弱、较弱降水日数每季在 6 天以上，中等强度降水接近 8 天，较强、强降水日数约 4 天，极强降水日数接近 3 天。冬季降水日数小于其他季节，降水日数随强度增大而减小，弱降水天数与其他季节相差不大，约为 5 天。

图 11 为 1958~2005 年四季不同强度降水的降水日数变化趋势。可以看出四季弱降水日数均减少，夏秋两季减少最为突出。另外，冬季降水日数增加和秋季降水日数减少也比较显著。冬季较强和强降水日数增幅接近 15%/10a，极强降水日数增幅高达 27%/10a；而秋季不同强度降水的日数都减少，弱降水减少比较显著，减幅为 10%/10a。春夏季降水日数变化不大。另外，极强降水除在秋季减少，在其他季节都增加，冬季增加尤为显著。对比降水日数变化（图 11）与近五十年降水量的变化（图 7），同样可以看出四季不同强度降水的日数多

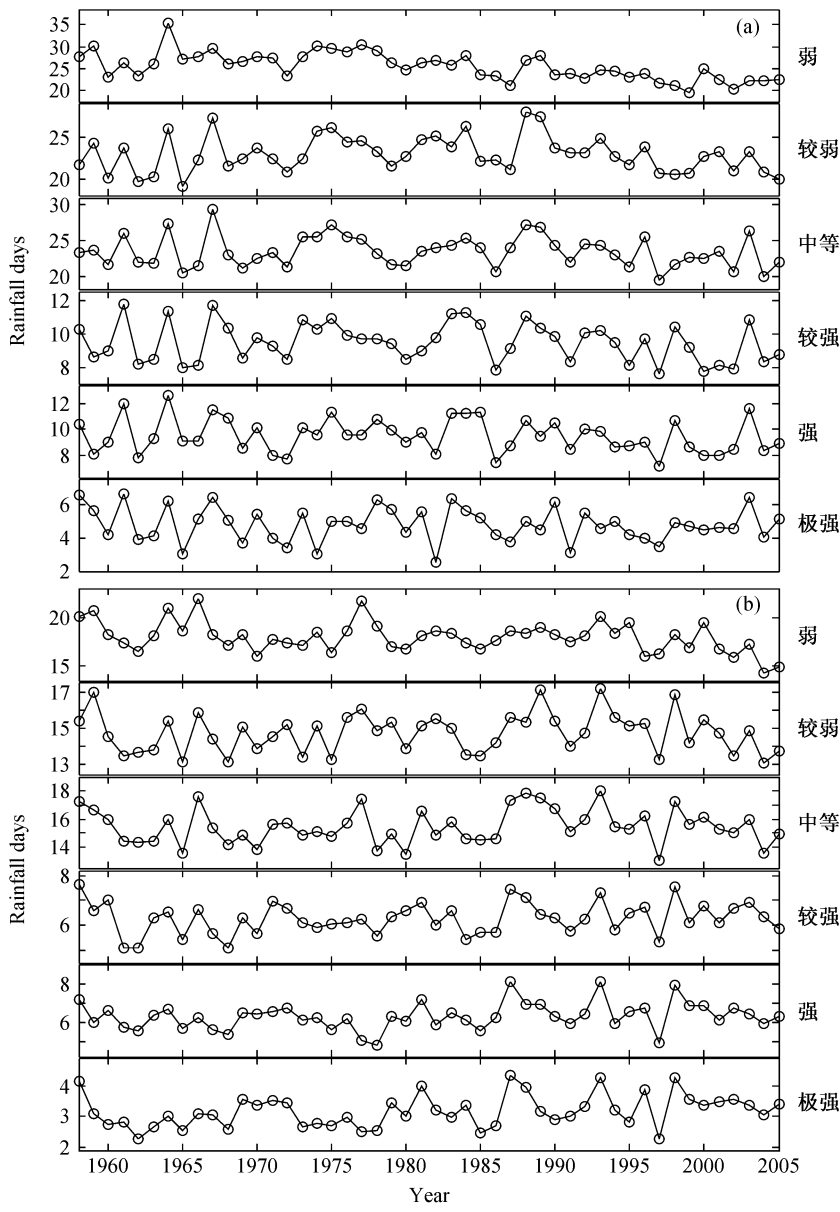


图 8 西北东 (a)、西部 (b) 不同强度的降水日数变化序列

Fig. 8 Time series of rainfall days for the six rain types in (a) eastern and (b) western Northwest China

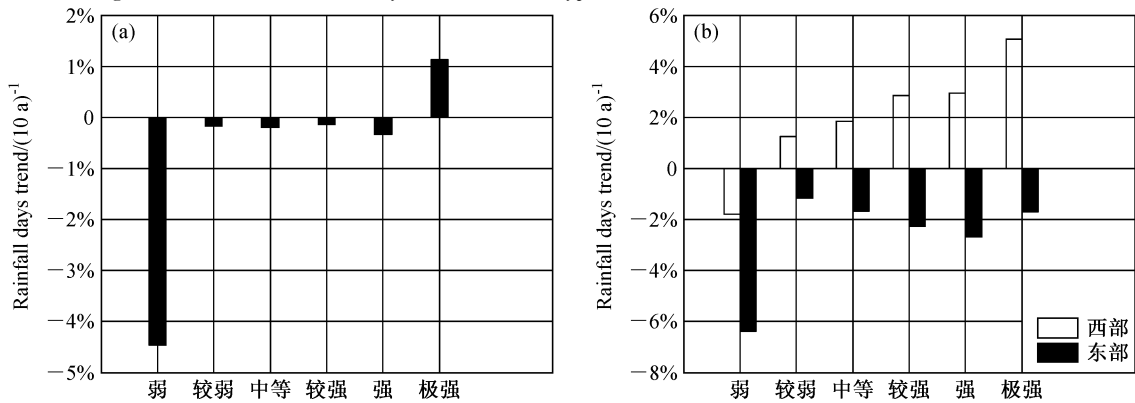


图 9 (a) 西北不同强度的降水日数变化趋势; (b) 西北东、西部不同强度的降水日数变化趋势

Fig. 9 Rain days trends for the six rain types in (a) Northwest China and (b) its western and eastern parts

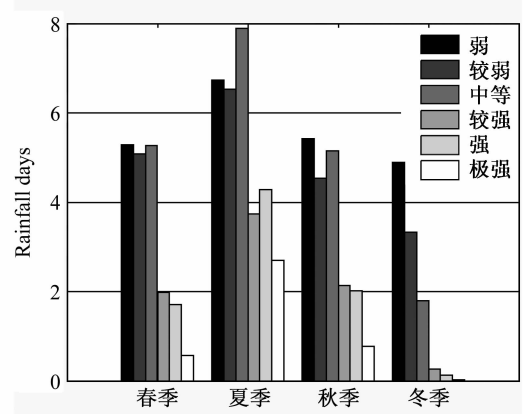


图 10 四季不同强度降水的降水日数
Fig. 10 Rainfall days for the six rain types in the four seasons

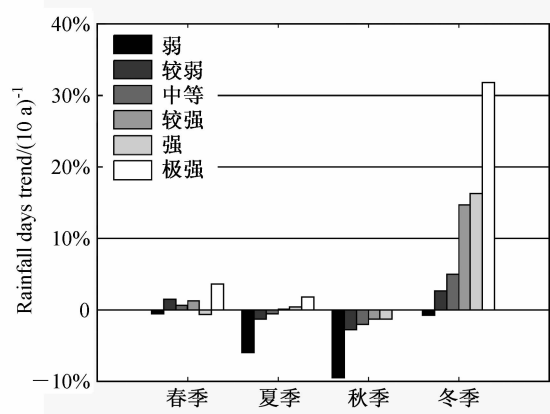


图 11 四季不同强度的降水日数变化趋势
Fig. 11 Secular trends of rainfall days for the six rain types in the four seasons

少是各季降水量多寡的主要原因。

3.4 不同强度等级降水的降水强度特征

降水量是由降水强度和降水日数共同决定的。尽管前面分析说明西北降水主要由降水日数长短决定，但降水强度对雨量的影响也不容忽视，尤其在西北西部地区。这部分将定量讨论西北六个强度降水的强度变化，并统计分析了近五十年不同强度降水的强度变化和东西部差异。这里用当月不同强度总降水量与不同强度总降水日数之比来描述不同强度降水的强度。

图 12 为西北东、西部不同强度降水的强度变化曲线。可以看出弱降水强度增加比较显著，其他不同强度降水的强度变化不大。不同强度降水的强度均值：东部为弱降水 0.2 mm/d、较弱降水 1 mm/d、中等降水 3.2 mm/d、较强降水 7 mm/d、强降水强度 12.6 mm/d、极强降水强度 28.3 mm/d；西部为 0.2 mm/d、0.6 mm/d、1.7 mm/d、3.7 mm/d、6.7 mm/d、15.1 mm/d。

从图 13a 降水强度变化趋势看，弱降水强度加大和极强降水强度减少比较显著，这与降水量趋势恰好反相。极强降水强度的减少有利于有效利用水资源，但弱降水日数的减少却会加剧某些地区的干旱程度，尤其在降水稀少的沙漠戈壁地区。从东西部降水强度变化看（图 13b），弱降水强度增加和极强降水强度减少较突出。弱降水强度增加在东部尤其突出，增幅约为 1.5%/10 a。其他强度降水的强度变化不显著。尽管极强降水强度减少，但西北西部极强降水日数是增加的，西北西部极强降水日数增加对西北西部降水量增加起了很重要的作用。

四季不同强度降水的降水强度除冬季较小外，其他季节差别不大（图 14）。不同强度降水的雨强（图 15）在秋冬季几乎反相，秋季六个强度降水强度都下降，弱降水和极强降水强度下降最显著，冬季不同强度降水的雨强基本都在增加。另外，极强降水除在冬季显著增加外，其余三季均减小；弱强度降水则在春、夏、冬三季强度加大，秋季强度减小。

3.5 各级降水日数和降水强度对总降水量的贡献

降水日数和降水强度的变化影响了当地降雨量的多少。这部分将根据 2.2 节的方法定量分析四季西北东、西部降水日数和降水强度对降水量的贡献。首先，我们先看四季西北东、西部不同强度降水的降水量的特征，然后在此基础上考察降水日数和降水强度的贡献。

可以看出，西北西部不同强度等级降水在近几十年基本都在增加，只有夏、秋两季弱降水有所下降。这与近几十年来西北西部向“暖湿”转变的结论一致。从变化大小看，西部强降水和极强降水量增加最为显著。而西北东部则相反，只有冬季降水量有所增加，其他季节不同强度降水量均减小，夏、秋两季减小量最大。下面，我们将利用 Karl et al. (1998) 的方法，分别来讨论各个季节造成上述降水量变化的降水日数和降水强度贡献。

以春季为例，可以看出西北东、西部降水量（图 16a）主要由当地降水日数决定。西北西部弱降水量增加是日数和强度增加的共同结果。图 17a 中的数值表明，西北西部弱降水量的增加 70% 是弱降水强度增加导致。西部其他不同强度降水的雨量变

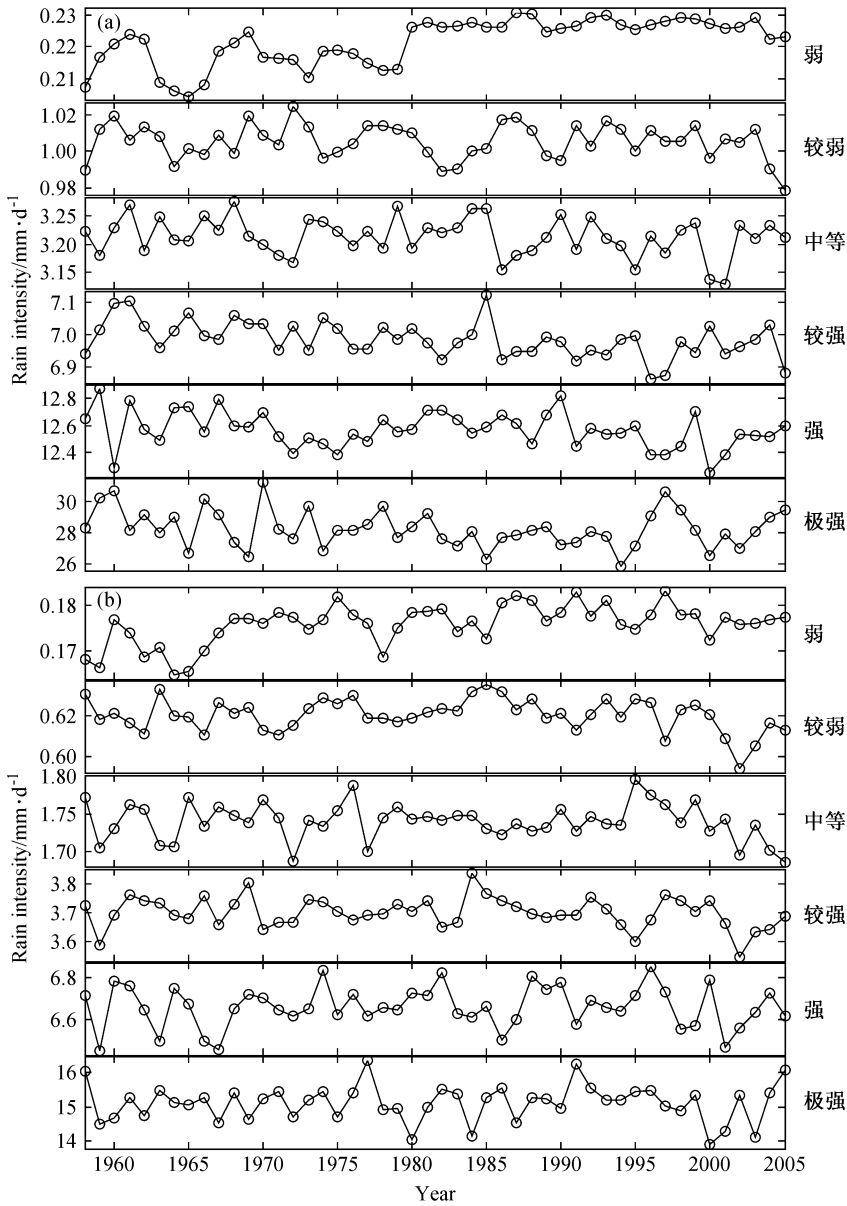


图 12 西北 (a) 东、(b) 西部不同强度降水的降水强度 (单位: mm/d) 变化序列

Fig. 12 Time series of rain intensity for the six rain types in (a) eastern and (b) western Northwest China

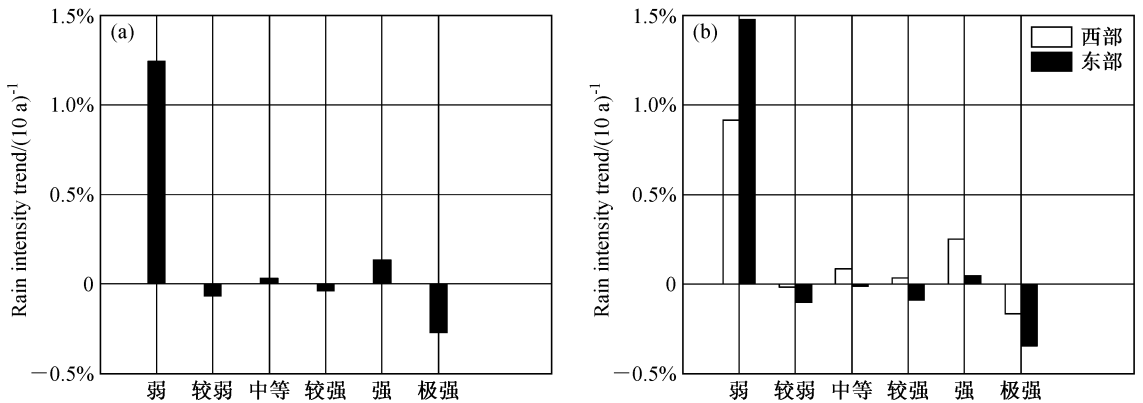


图 13 (a) 西北和 (b) 西北东西部不同强度降水的雨强变化趋势

Fig. 13 Rain intensity trends for the six rain types in (a) Northwest China and (b) its western and eastern parts

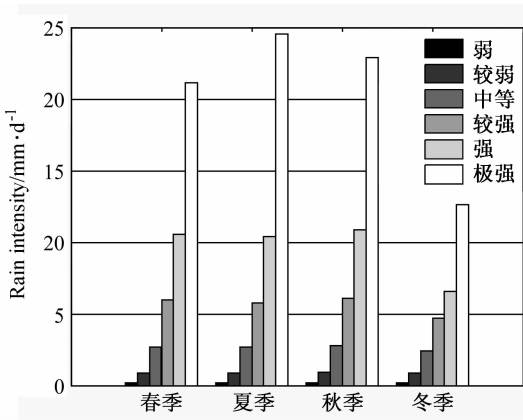


图 14 四季各级的降水强度
Fig. 14 Rain intensities for the six rain types in the four seasons

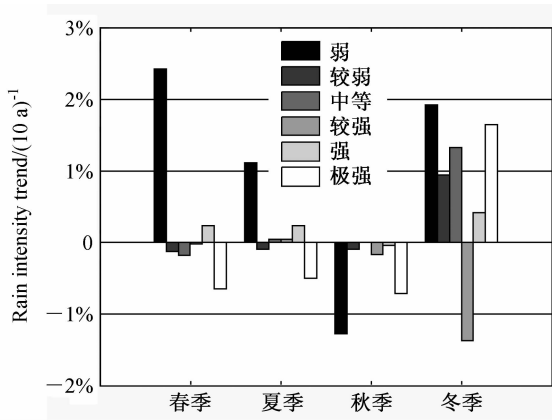


图 15 四季各级的降水强度变化趋势
Fig. 15 Secular trends of rain intensities for the six rain types in the four seasons

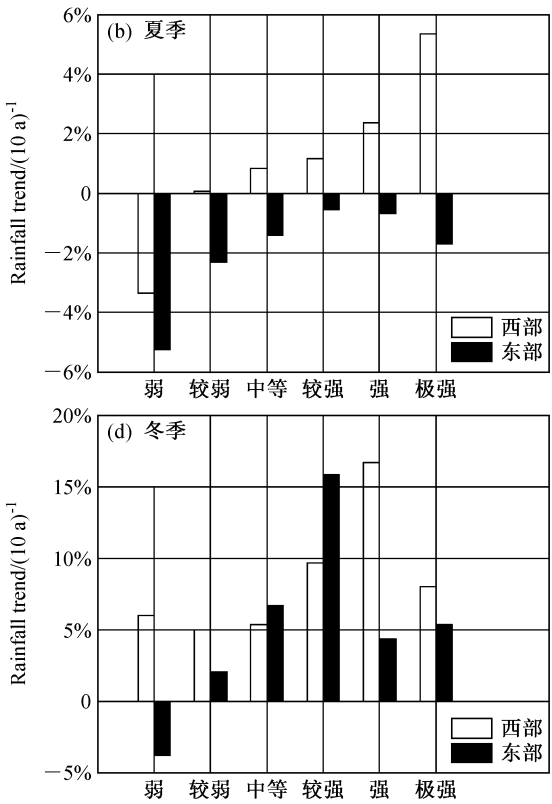
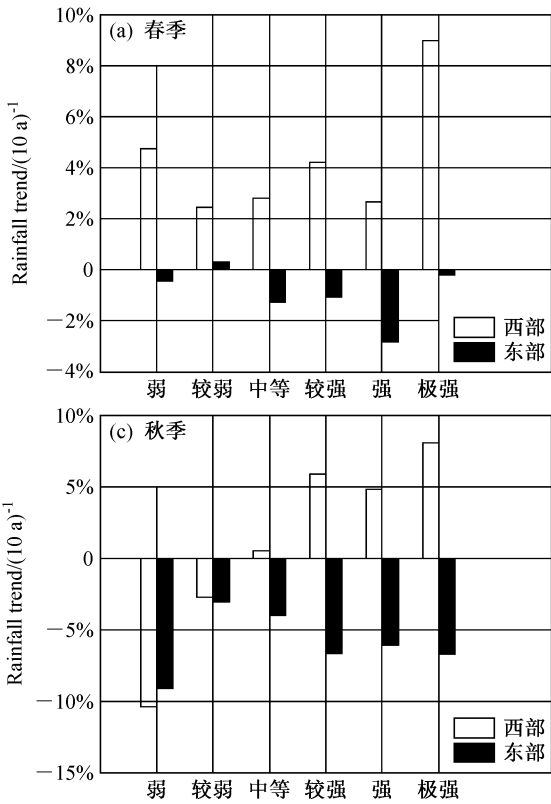


图 16 四季西北东、西部不同强度降水的降水量变化趋势
Fig. 16 Rainfall trends for the six rain types in Northwest China

化中，80%以上由降水日数变化引起。对西北东部来说，不同强度降水的日数变化所引起的雨量变化远远大于降水强度所引起的雨量变化。春季，西北东部不同强度降水量的减少，70%是由东部降水日数减少所致。

同样，其他三季的图形也表明，降水日数的多少是引起当地降水量变化的主要原因。这一现象在

秋、冬季尤其突出。

4 结论

基于站点日降水概率分布所建立的降水强度分级方法，充分考虑了西北降水地域差异大、分布不均匀的特征，这种分类方法可以有效反映当地不同强度等级降水的变化特征。近五十年来，

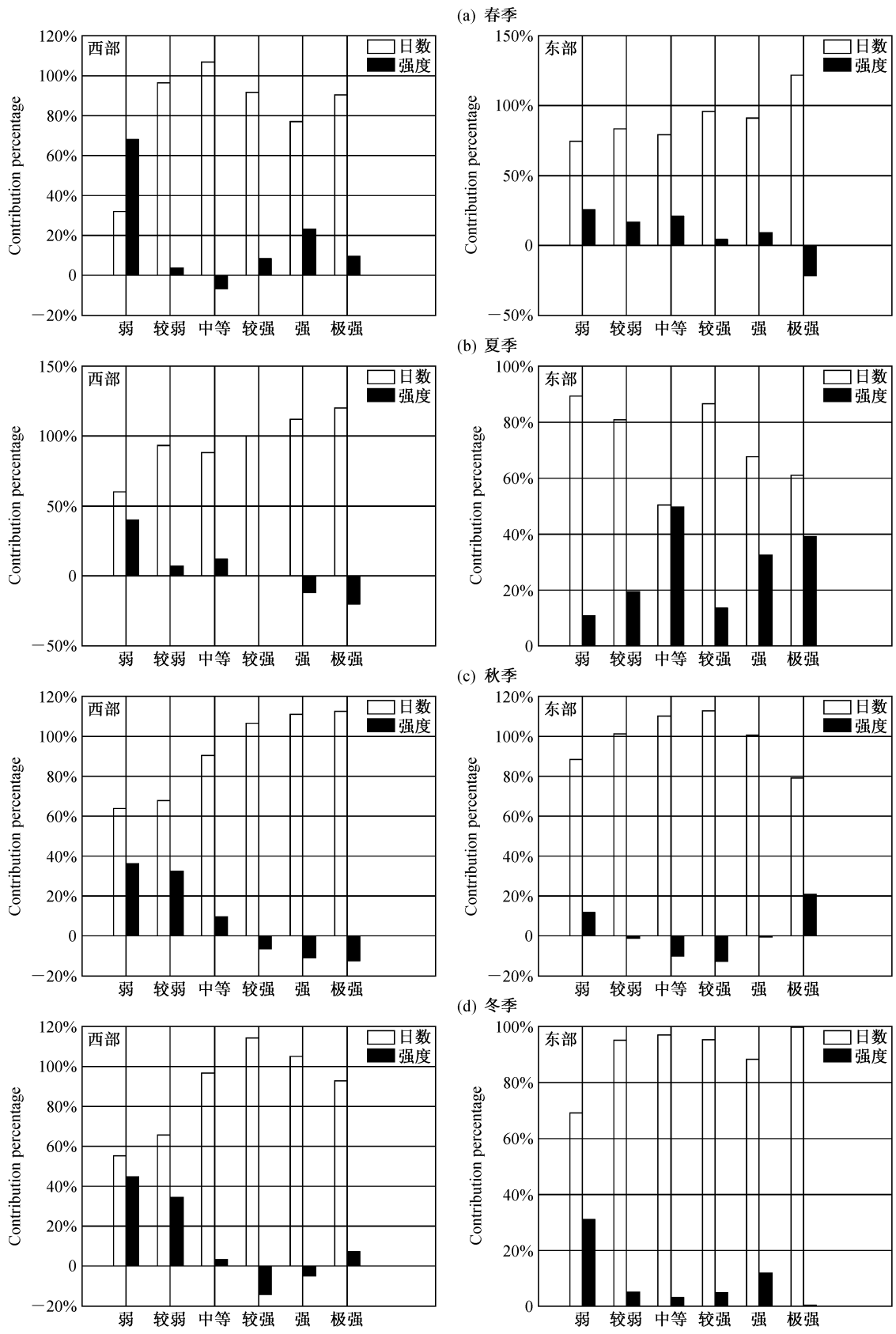


图 17 四季西北地区降水日数和降水强度对总降水变化趋势的贡献

Fig. 17 Contributions of rainfall days and rain intensities to total rainfall trend in the four seasons

(1) 西北地区以强降水为主,并且近年来强降水比重加大。较强以上强度降水占总降水日数的 5%,但其降水量占总降水量 75%。弱强度降水占总降水日数的 6%,但其降水量仅占总降水量的 1%。强降水在四季降水总量中都占有很大比重,近年来其比例有所增加。

(2) 西北东部不同强度降水都减少,弱强度降水减少尤其显著。而西北西部除弱强度降水减少外,其他强度降水都增加,中等以上强度降水增加量最大。

(3) 西北地区降水日数显著减少,主要表现为弱强度降水的日数减少。秋季不同强度降水日数减少都非常显著,这是西北秋季降水量减少的主要原因。冬季较强以上强度降水的日数增加较显著。

(4) 西北弱强度降水的强度加大,东部雨强增量比西部显著。极强降水的雨强在东西部都减弱,东部强度减弱比西部显著。其他不同强度降水基本都在西部加强而东部减弱,但变化都不大。

(5) 西北东、西部四季不同强度降水量的变化主要由当地降水日数的多寡引起。这一现象在秋冬季尤其突出。

参考文献 (References)

Bonsal B R, Zhang X, Vincent L A, et al. 2001. Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada[J]. *J. Climate*, 14: 1959–1976.

Karl T R, Knight R W. 1998. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79: 1107–1119.

李栋梁, 魏丽, 蔡英, 等. 2003. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望 [J]. *冰川冻土*, 25 (2): 135–142. Li Dongliang, Wei Li, Cai Ying, et al. 2003. The present facts and the future tendency of the climate change in Northwest China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology (in Chinese)*, 25 (2): 135–142.

宋连春, 张存杰. 2003. 20 世纪西北地区降水量变化特征 [J]. *冰川冻土*, 25 (2): 143–148. Song Lianchun, Zhang Cunjie. 2003. Changing features of precipitation over Northwest China

during the 20th century [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology (in Chinese)*, 25 (2): 143–148.

施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 2003. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估 [M]. 北京: 气象出版社. Shi Yafeng, Shen Yongping, Li Dongliang, et al. 2003. An Assessment of the Issues of Climatic Shift from Warm-Dry to Warm-Wet in Northwest China (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press.

田荣湘, 高玲, 高由禧. 1995. 中国西北干旱区年降雨量的时空变化 [J]. *高原气象*, 14 (1): 90–95. Tian Rongxiang, Gao Ling, Gao Youxi. 1995. Spatial and temporal variation of annual rainfall in the northwest arid areas of China [J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 14 (1): 90–95.

王宝灵, 孙国武, 张焕儒, 等. 1997. 中国西北地区月降水量的年际变化和分区研究 [M]//孙国武. 中国西北干旱气候研究. 北京: 气象出版社, 52–57. Wang Baoling, Sun Guowu, Zhang Huanru, et al. 1997. Analysis on the subarea and interannul change of monthly precipitation in northwest China [M]//Sun Guowu. Analysis on Aridity Climate in Northwest China (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 52–57.

韦志刚, 董文杰, 惠小英. 2000. 中国西北地区降水的演变趋势和年际变化 [J]. *气象学报*, 58 (2): 234–243. Wei Zhigang, Dong Wenjie, Hui Xiaoying. 2000. Evolution of trend and interannual oscillatory variabilities of precipitation over the Northwest China [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 58 (2): 234–243.

杨晓丹. 2005. 中国西北地区降水变化及其可能原因的诊断分析 [D]. 中国气象科学研究院硕士论文. Yang Xiaodan. 2005. The characteristics and possible causes of change in precipitation in Northwest China during the recent 50 years [D]. M. S. thesis (in Chinese), Chinese Academy of Meteorological Science.

翟盘茂, 任福民, 张强. 1999. 中国降水极值变化趋势检测 [J]. *气象学报*, 57 (2): 208–216. Zhai Panmao, Ren Fumin, Zhang Qiang. 1999. Detection of trends in China's precipitation extremes [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 57 (2): 208–216.

张存杰, 高学杰, 赵红岩. 2003. 全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响 [J]. *冰川冻土*, 25 (2): 157–164. Zhang Cunjie, Gao Xuejie, Zhao Hongyan. 2003. Impact of global warming on autumn precipitation in Northwest China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology (in Chinese)*, 25 (2): 157–164.

Zhang J C, Lin Z G. 1992. *Climate of China* [M]. New York: Wiley and Shanghai Scientific and Technical Publishers, 376pp.