

王春学,马振峰,张顺谦,等. 2014. 华西秋雨逐日监测指数的建立及其分析. 气象, 40(8):957-964.

华西秋雨逐日监测指数的建立及其分析^{* 1}

王春学¹ 马振峰¹ 张顺谦¹ 王劲廷¹ 房一禾²

1 四川省气候中心,成都 610072

2 辽宁省气候中心,沈阳 110001

提 要: 使用 1972—2011 年气象站逐日降水量和日照时数资料,建立了新的华西秋雨逐日监测指数,并对新指数的空间、时间适用性进行分析,进而研究华西秋雨的季节内变化特征。利用实际气象灾害记录确定了华西秋雨区主要发生省份的秋雨偏强年,与新华西秋雨监测指数进行对比验证,发现大多数年份两者是一致的。另外也有不一致的情况,有的年份监测指数显示秋雨偏强,但是并不在灾害记录确定的偏强年里,通过进一步查找文献和对比实际降水资料,发现监测指数符合实际情况。还有一些通过灾害记录确定的偏强年,秋雨监测指数不强,进一步研究指出这些异常年份的秋雨灾害往往发生在较短的几天里,其余大部分时间内华西秋雨正常或偏弱,所以并没有在全年的监测指数中得以体现。气候平均状况下华西秋雨强度 9—10 月随时间在波动中减弱,包含 3 个偏强时段,其中 9 月 6—16 日为最强的一个时段。9—10 月华西秋雨的季节内变化存在较大的年代际差异,其中 20 世纪 70 年代华西秋雨有 2 个显著时段(9 月 13—22 日和 10 月 4—8 日),80 年代华西秋雨有 3 个显著时段(9 月 3—17 日、9 月 25 至 10 月 8 日和 10 月 13—25 日),90 年代华西秋雨有 3 个显著时段(9 月 12—22 日、10 月 3—7 日和 12—20 日),21 世纪初有 3 个显著时段(9 月 1—10 日、9 月 21 至 10 月 7 日和 10 月 11—16 日)。个例应用表明,监测指数能直观清晰地表现出华西秋雨发生、发展和消失的整个演变过程。

关键词: 华西秋雨, 监测, 适用性

中图分类号: P468

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.08.006

Establishment and Analysis of the Daily Monitoring Index
for Huaxi Autumn Rain

WANG Chunxue¹ MA Zhenfeng¹ ZHANG Shunqian¹ WANG Jinteng¹ FANG Yihe²

1 Sichuan Climate Centre, Chengdu 610072

2 Liaoning Climate Centre, Shenyang 110001

Abstract: Based on the daily precipitation and daily sunshine hour data from 1972 to 2011 at meteorological observation stations, a new monitoring index (Daily Autumn Rain Index, DARI) of Huaxi autumn rain is defined. The temporal-spatial applicability of DARI is analyzed and the intraseasonal variability is researched too. Based on the actual meteorological disaster records the strong years when more autumn rains occurred in the related provinces are indentified. Compared with the new monitoring index (DARI) it is found the DARI and the strong years are consistent in most cases. Of course, there exist some inconsistencies as well. In some years the monitoring indicators show the strong side, but there are no disaster records. Some literatures and the actual rainfall data indicate that the monitoring index matches with the actual situation. In some years there are disaster records, but little autumn monitoring index. Further research indicates that the disasters tend to occur only in a few days, in most of the remaining time it is normal or weak, so there is no reflection in the year index. In climatic mean status, the intensity of Huaxi

^{*} 国家自然科学基金项目(41275097)、川气课题(2014-青年-10)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306022)共同资助
2013 年 8 月 19 日收稿; 2013 年 12 月 12 日收修定稿
第一作者:王春学,主要从事短期气候诊断与预测研究. Email:w. chunxue@gmail. com

autumn rain weakens with fluctuation. The period from 6 to 16 September is the strongest period of the three. There is obvious interdecadal variation for the interseasonal variation of DARI. There are two significant periods in 1970s, three in 1980s, three in 1990s and three at the beginning of the 21st century. The application case shows that *DARI* can demonstrate the whole variation process of occurrence, development and disappearance of Huaxi autumn rain.

Key words: Huaxi autumn rain, monitoring, applicability

引 言

华西秋雨是我国西部地区秋季多雨的特殊天气现象,主要出现在四川、重庆、贵州、云南、甘肃东部和南部、陕西关中和陕南、湖南西部及湖北西部一带。持续的阴雨寡照导致气温下降,对于秋粮的成熟以及收割都会带来一定的不利影响。华西地区秋季的降水量一般多于春季,虽然以绵绵细雨为主,但是也容易引发秋汛,对人民的生命财产安全造成威胁。所以对华西秋雨监测、预测的研究具有十分重要的现实意义。

早在 1958 年,高由禧等(1958)就对我国的秋雨起止日期进行了初步研究。冯丽文等(1983)指出华西秋雨的多年变化具有阶段性和周期性。由于华西秋雨具有阴雨寡照的特点,单纯用降水量不容易反映其真实特征,所以一些气象工作者开始建立华西秋雨的分区及监测指数。何敏(1984)利用降水量和降水日数将我国秋雨分为长江中下游一般秋雨区、华西一般秋雨区、江浙秋雨明显区、华西秋雨明显区和黄淮一般秋雨区。梁健洪(1989)为了更客观地确定华西秋雨的区域,使用了秋季降水量与多年平均年雨量的比值、秋季降水日数与多年平均年降水日数的比值将华西秋雨分为典型区、标准区和一般秋雨区。徐桂玉等(1994)利用 EOF 分析方法把华西秋雨期间的降水空间分布分为纬向型、经向型和准全区型。孙冷等(2000)则定义了持续雨日 7~9 d 为一次一般秋雨,持续雨日 ≥ 10 d 为一次严重秋雨,并根据发生秋雨的范围定义了秋雨显著年和不显著年。

从夏季转入秋季时,亚洲上空大气环流有一次很明显的转变,对流层上层副热带急流强度很快增加,下层出现冬季形式的流场,两湖盆地出现秋高气爽的天气(陈受钧,1960);而与之对应的华西地区则呈现秋雨绵绵的状况。鲍媛媛等(2003)对 2001 年华西秋雨的研究表明从准稳定的巴尔喀什湖低压槽

分裂出的短波槽携带冷空气从高原东移,与强大的西北太平洋副热带高压(以下简称副高)西南侧的东南暖湿气流和来自孟加拉湾沿高原东南侧北上的西南暖湿气流交汇于四川盆地、陇南、陕南一带,从而造成了该地区持续的阴雨天气。这与白虎志等(2004)的研究较为一致,西太平洋副高、印缅低槽、贝加尔湖—巴尔喀什湖低槽是华西秋雨的主要影响系统。一些研究指出西风带短波槽以及西南涡的东移与西太平洋副高西侧东南暖湿气流交汇是造成华西秋雨形成的原因(孙娴等,2010;方建刚等,2005;陈娇娜等,2009;熊秋芬等,2006;任炳潭等,1987;薛春芳等,2012;宗志平等,2013)。还有一些研究表明,地形的动力作用也是华西秋雨产生的重要因素(刘冀彦等,2013)。

通过气象工作者的大量研究,人们对华西秋雨的监测、预测以及成因都有了较为深入的认识,但是对华西秋雨逐日监测的研究还比较少。然而进入 21 世纪以来华西秋雨明显增强,严重影响到人民的正常生产生活,而华西秋雨往往发生在连续的几天内,现有的华西秋雨逐年监测指数无法对其进行监测与评价,所以迫切需要建立有效的华西秋雨逐日监测指数。

1 资料和方法

本文使用的原始资料为全国 743 个气象站逐日资料,考虑到时间连续性、分布均匀性以及缺测值等问题,从中挑选了 550 个站。使用了 1972—2011 年 9—10 月逐日降水量和日照时数资料。对个别缺测值的插补方法为:首先用有缺测值的站点和其最近且无缺测的 10 个站点求相关,然后确定与其相关系数最大的站点,用该站点和有缺测值的站点建立一元线性回归关系,从而对缺测值进行插补。

本文定义了华西秋雨 5 d 滑动逐日监测指数(Daily Autumn Rain Index, DARI),另外在分析过程中还使用了经验正交函数分解(EOF)等方法。

2 华西秋雨逐日监测指数的建立

蒋竹将等(2013)在分析了已有几种华西秋雨监测指数的优缺点后,结合华西秋雨的天气气候特征引入日照时数因子,提出了一种改进的华西秋雨逐年监测指数(Modified Autumn Rain Index, MARI)。通过对比分析不同指数反映秋雨日数、秋雨空间分布以及其年际、年代际变化的性能,发现改进的华西秋雨指数能够相对更好地反映华西秋雨易发地区的地理分布及其强度变化,更准确地表征华西秋雨的年际、年代际变化特征。

MARI = (R_{aut}/R_{year}) × L

式中,R_{aut}是 9—10 月秋雨期内降水量,R_{year}为年降水量,L 为华西秋雨日数。MARI 单位为 d。若某一天气象站出现有效降水(日降水量≥0.1 mm)且日照时数<0.1 h,则算为一个雨日,否则为一个非雨日。

MARI 计算公式为秋季降水占年降水百分率与秋雨日数的乘积,其中秋季降水占年降水百分率能体现出华西地区秋季降水量仅次于夏季的地理分布特点;多数华西秋雨过程持续时间较长且无日照,而雨日的定义中考虑日照时数要素则更能体现华西秋雨阴雨寡照的特点。以往的华西秋雨指数都没有考虑日照要素,这些指数表现出的华西秋雨出现三个大值中心,一个是典型华西秋雨区(陕南到川北及其附近地区),另外还出现两个异常大值中心(川西高原和云南西北部);而加入日照要素的 MARI 所表现出的华西秋雨大值中心只有一个,即典型华西秋雨区(陕南到川北及其附近地区),所以 MARI 在表征华西秋雨特征上具有更清晰的物理意义。

鉴于 MARI 的优越性,本文在定义华西秋雨逐日监测指数时,采用了 MARI 的基本理念。同时考虑到华西秋雨的阶段性的特点(即华西秋雨往往发生在连续的几天里),并将时间尺度确定为候(5 d),又考虑到监测的连续性,采用了 5 d 滑动算法,得到华西秋雨逐日监测指数(DARI)。

DARI_i = 72 × (RF_i/ R_y) × L_i i = 1, ..., n

式中,RF_i为截止到第 i d 的最近 5 d 总降水量,R_y气候平均年降水量(逐日监测中无当年总雨量,另外用气候平均值可以加强单站指数的时间可比性),L_i为截止到第 i d 的最近 5 d 华西秋雨日数(日降水量≥0.1 mm 且日照时数<0.1 h 为一个雨日)。所以

某天的 DARI_i 的含义为截止到第 i d 的最近 5 d 华西秋雨强度情况。

为了方便进行监测评估,表 1 给出了单站华西秋雨强度等级划分标准,适用于单站的 DARI。

表 1 华西秋雨强度等级划分
Table 1 The strength grade division of Huaxi autumn rain

级别	划分标准(标准差:σ)
特强	2σ≤距平
偏强	σ≤距平<2σ
正常	0≤距平<σ
不明显	距平<0

3 华西监测指数的适用性分析

首先计算 1972—2011 年全国 550 个站点逐年的 MARI,将全国 550 个站点(不包括海南)1972—2011 年 40 年间的 MARI 气候态值进行顺序排序,提取前 10%的台站作为华西秋雨区代表站点,得到图 1 所示的 55 个华西秋雨站点分布,然后计算各站逐日华西秋雨 DARI。

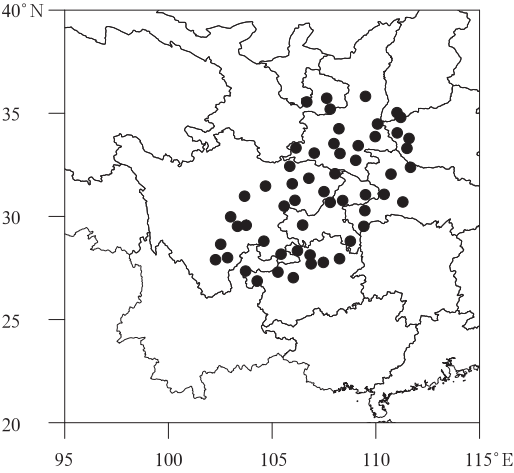


图 1 55 个华西秋雨监测站点分布图
Fig. 1 Distribution of the 55 observing stations

为了说明监测指数 DARI 的适用性,本文使用实际的气象灾害记录来进行对比验证。为了验证的统一性和可比性,使用的实际气象灾害记录(即有暴雨、连阴雨或秋绵雨等引发严重华西秋雨灾害事件)来源于《中国气象灾害大典》(2005a;2005b;2006;2008),验证时间范围是 1972—2000 年(记录截止于 2000 年),主要选择了四川省、陕西省、重庆市和贵州省。

逐年计算单站 9—10 月 *DARI* 偏强和特强级别出现的日数,然后相同省份的站点对应相加并计算距平,该序列表示用 *DARI* 确定的强华西秋雨逐年变化。

图 2 给出了各省用 *DARI* 确定的强华西秋雨

逐年变化和实际秋雨灾害记录的对应关系。对比分析发现两者的对应关系陕西最好,在验证的 29 年中有 26 年两者一致,一致率达到 89.7%;四川和重庆次之,有 20 年两者一致,一致率达到 69.0%;贵州相对较差,有 17 年两者一致,一致率为 58.6%。

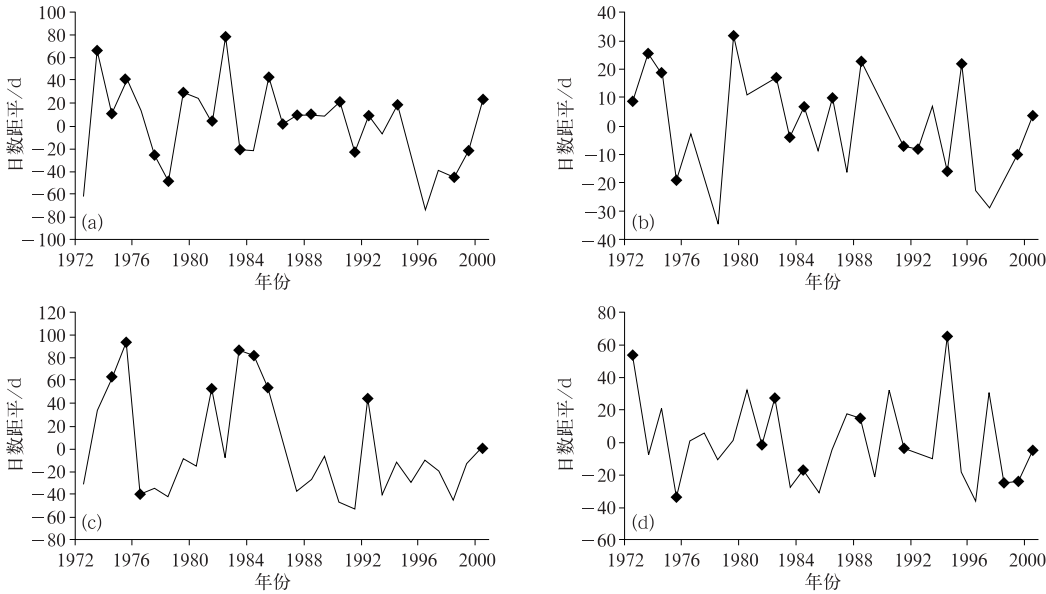


图 2 1972—2000 年各个省份强华西秋雨日数距平(实线)及对应有华西秋雨灾害记录的年份(黑点)
(a) 四川, (b) 重庆, (c) 陕西, (d) 贵州

Fig. 2 Strong Huaxi autumn rain days anomaly of different provinces from 1972 to 2000 (solid line) and the years with autumn rain disaster
(a) Sichuan, (b) Chongqing, (c) Shaanxi, (d) Guizhou

两者不一致的年份有两种情况,一种为 *DARI* 显示的强华西秋雨年没有对应的灾害记录,另一种是 *DARI* 显示的弱华西秋雨年有灾害记录。其中第一种情况很少,主要出现在贵州;第二种情况出现的较多(四川的 1977、1978、1983、1991 和 1998 年,重庆的 1975、1991、1992 和 1994 年,陕西的 1976 年,贵州的 1975、1984、1991、1998 和 1999 年)。对这些异常年份的 *DARI* 进行逐日验证,发现 *DARI* 与相应《中国气象灾害大典》中记录的秋雨灾害时段大致吻合,进一步研究指出这些异常年份的秋雨灾害往往发生在较短的几天里,9—10 月的其余大部分时间内华西秋雨正常或偏弱。通过与实际灾害记录的对比分析发现,加入了日照时数的华西秋雨监测指数 *DARI* 能够较真实地表现出华西秋雨的年和季节内变化,可以用于华西秋雨的监测与评估。

4 华西秋雨季节内变化特征

为了考察华西秋雨在 9—10 月的逐日变化特征,对多年平均 *DARI* 进行 EOF 分析,前两个特征向量累积解释方差达到 70%(分别为 52.6% 和 17.4%),并都通过了取样误差检验。从图 3 中可以看到,第一模态空间型为全区一致型,大值中心集中在四川中东部到陕西南部地区。从时间系数随着时间的变化可以发现,9—10 月华西秋雨强度在波动中减弱,其中包含 3 个偏强时段,9 月 6—16 日为华西秋雨最强时段,9 月 27 至 10 月 6 日为次强时段,10 月 12—16 日为最弱的偏强时段。

从图 4 上可以看到,第二模态空间型为西北和东南反向变化型,从对应的时间系数可以发现 9 月上旬华西秋雨区出现在四川盆地中北部和陕西西南

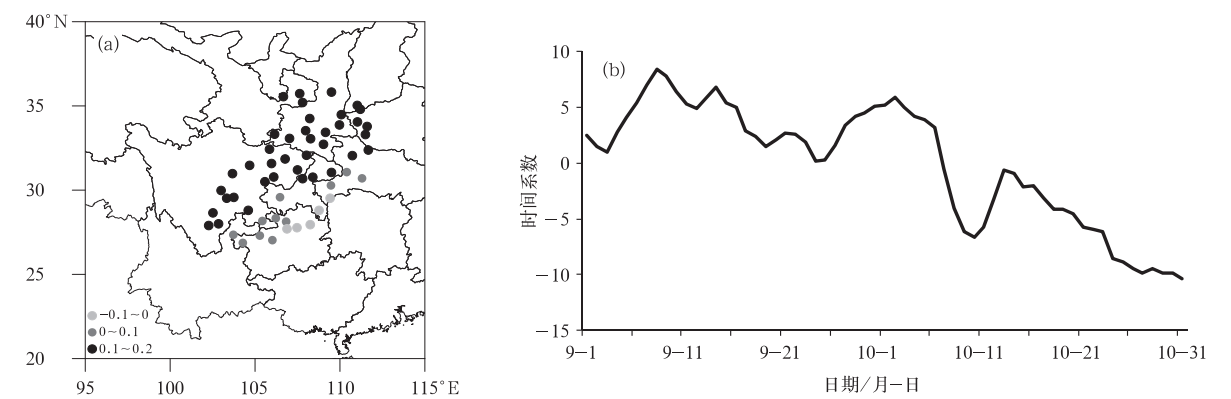


图 3 *DARI* 标准化距平场 EOF 展开第一模态空间型(a)及其时间系数(b)
Fig. 3 The first modal of EOF analysis with standardized anomaly
DARI (a) and the time coefficient (b)

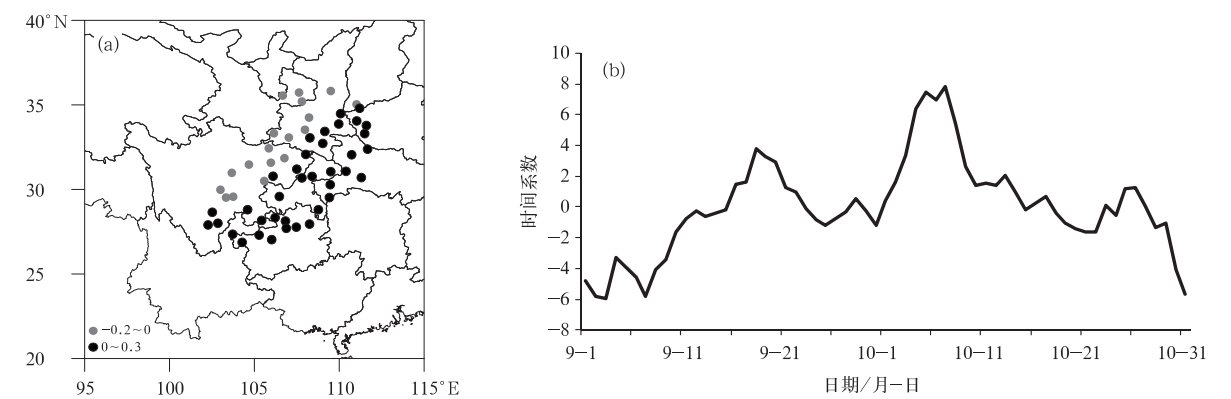


图 4 *DARI* 标准化距平场 EOF 展开第二模态空间型(a)及其时间系数(b)
Fig. 4 The second modal of EOF analysis with standardized anomaly
DARI (a) and the time coefficient (b)

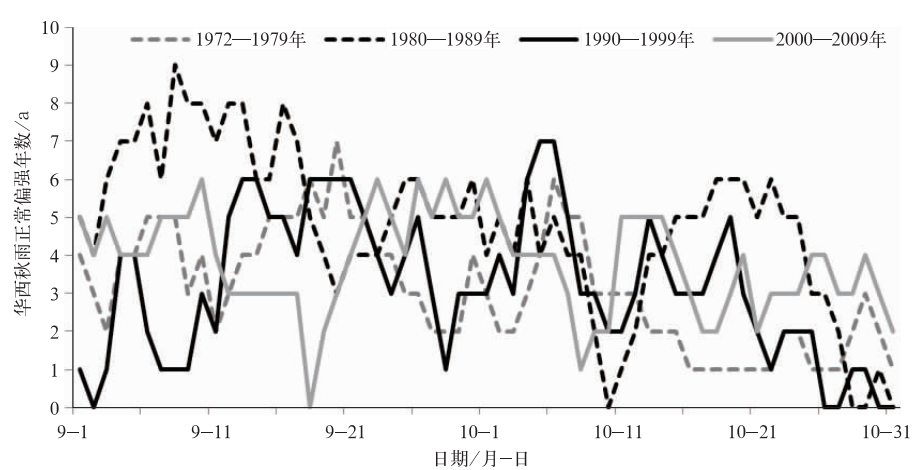


图 5 不同年代际,显著华西秋雨年数的逐日变化特征
Fig. 5 Daily variation characteristics of the years with significant
Huaxi autumn rain in different decades

部,9月中旬和10月初华西秋雨区出现在重庆和贵州北部,10月下旬华西秋雨区再次出现在四川盆地中北部和陕西西南部。

当华西秋雨正常及以上强度级别站点数超过总监测站点数的三分之一时,则认为该日有显著的花西秋雨。为了研究 *DARI* 逐日变化特征的年代际变化特征,分别统计了 1972—1979、1980—1989、1990—1999 和 2000—2009 年的 9 月 1 日至 10 月 31 日出现明显华西秋雨的年数(图 5),可以发现 20 世纪 70 年代华西秋雨有 2 个显著时段(9 月 13—22 日和 10 月 4—8 日),80 年代华西秋雨有 3 个显著时段(9 月 3—17 日、9 月 25 日至 10 月 8 日和 10 月 13—25 日),90 年代华西秋雨有 3 个显著时段(9 月 12—22 日、10 月 3—7 日和 10 月 12—20 日),21 世纪初有 3 个显著时段(9 月 1—10 日、9 月 21 日至 10 月 7 日及 10 月 11—16 日)。

5 华西秋雨逐日监测指数个例应用

通过个例分析来检验 *DARI* 在实际华西秋雨过程中的监测适用情况。2011 年夏秋季中国气候异常事件频发,夏季西南干旱、热带气旋活动少,进入秋季后副高脊线偏北、中高纬度冷空气活动阶段性活跃,导致华西地区秋雨异常偏多(王遵娅等, 2012;孙冷等,2012;王朋岭等,2012)。2011 年华西秋雨强度大、范围广,四川、陕西、重庆及湖北等地遭受洪涝、滑坡等灾害,造成重大人员伤亡和财产损失(柳艳菊等,2012;蔡芩宁等,2012)。

本文以 2011 年为例检验 *DARI* 的实际适用情况,从图 6 中可以发现 2011 年华西秋雨偏强期主要有 3 个时段,其中持续时间最长时段为 9 月 5—23 日;另外两个偏强时段持续时间较短,分别为 10 月 1—5 日和 11—16 日。图 7 给出了 2011 年 9—10 月各站的强华西秋雨日数的分布,可以看到陕西大部分站点在 14 d 以上,四川东北部和湖北西部站点在 10 d 左右,另外贵州北部个别站点达到 10 d,其余站点基本都在 10 d 以下。通过分析可知 2011 年华西秋雨灾害发生时间应在 9 月 5—23 日,地点应该在陕西南部到四川东北部地区,这与实际的灾情记录也是相符的。

图 8 给出了 2011 年华西秋雨最强时段 *DARI*

的演变过程,可以发现 9 月 4 日华西秋雨整体不明显,从 9 月 5 日开始陕西出现偏强和特强站点,之后一直到 9 月 8 日华西秋雨强度不断加强、范围逐渐向南北扩展。9 月 9—12 日华西秋雨范围继续向南扩展,但是强度逐渐减弱。9 月 13 日开始陕西南部到四川东北部华西秋雨第二次开始迅速加强,之后一直到 9 月 19 日华西秋雨范围稳定在陕西南部、四川东北部和湖北西部,并且强度越来越强。9 月 20—21 日华西秋雨范围基本不变,但强度有所减弱。9 月 22—23 日,陕南、四川东北和湖北西部的华西秋雨强度迅速减弱,同时四川东南和贵州西部华西秋雨强度开始逐渐加强。

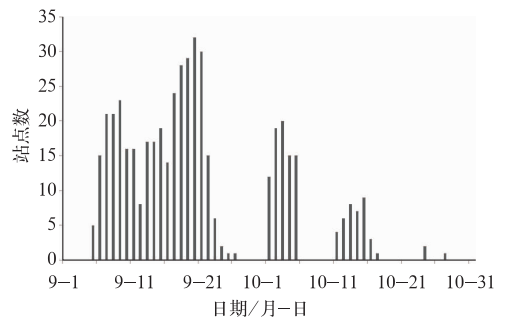


图 6 2011 年 9—10 月强华西秋雨(偏强和特强之和)站点数随时间的变化
Fig. 6 Temporal variation of station numbers of strong Huaxi autumn rain in September to October 2011

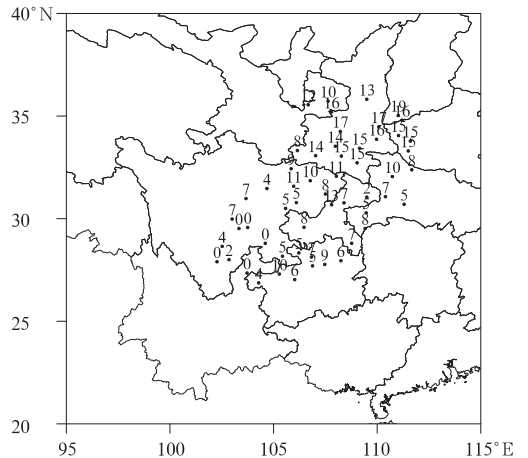


图 7 2011 年 9—10 月各站点强华西秋雨(偏强和特强之和)日数空间分布(单位: d)
Fig. 7 Distribution of strong Huaxi autumn rain days in September to October 2011 (unit: d)

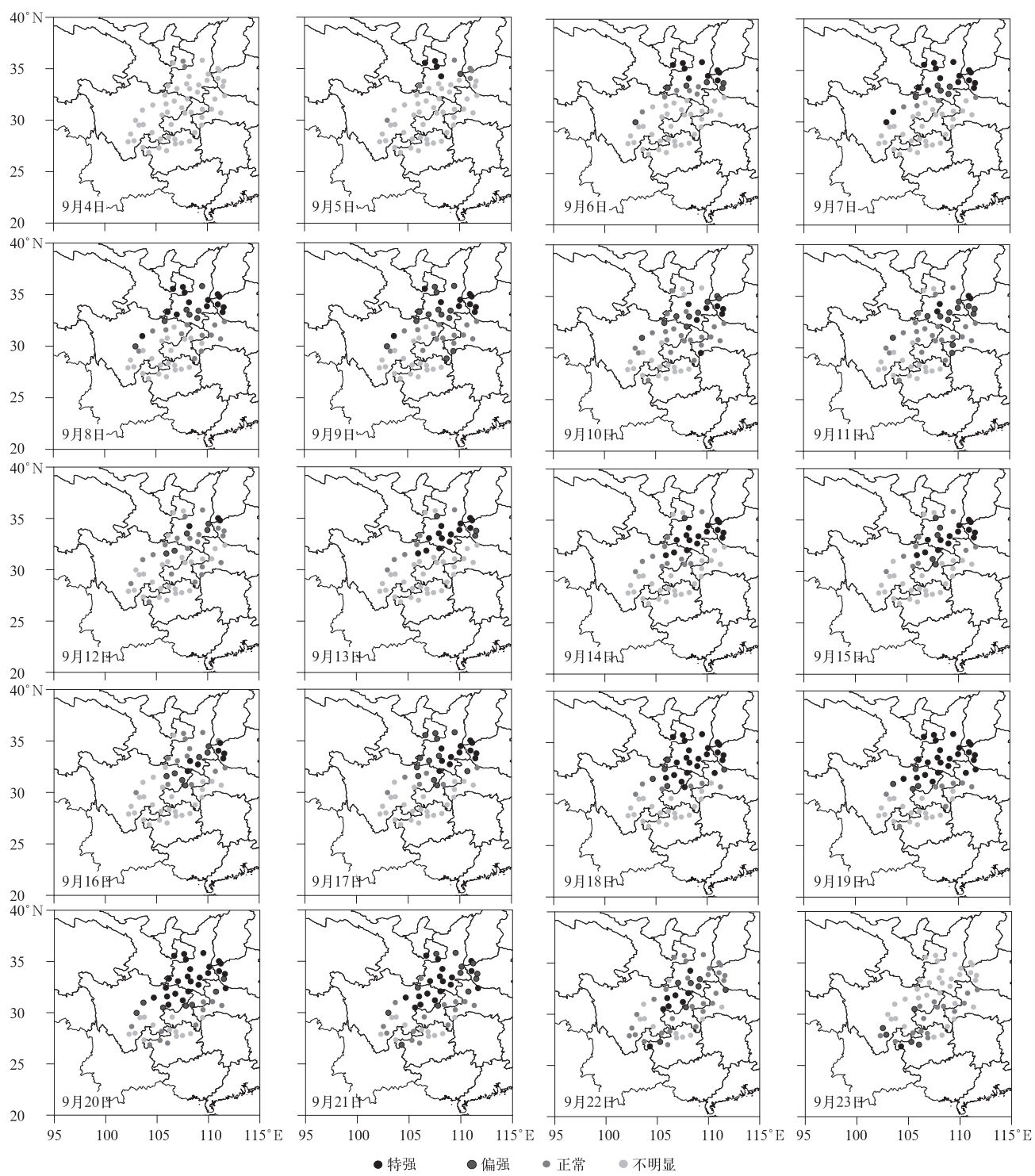


图 8 2011 年华西秋雨偏强时段(9 月 4—23 日)DARI 强度等级分布

Fig. 8 Distribution of the DARI strength grade in the strongest period in 2011

6 结论与讨论

(1) 通过与实际华西秋雨灾害的对比,验证了

华西秋雨 DARI 在表现华西秋雨时空特征的合理性。

(2) 气候平均状况下 9—10 月华西秋雨强度在波动中减弱,其中包含 3 个偏强时段,9 月 6—16 日

为华西秋雨最强时段,9月27日至10月6日为次强时段,10月12—16日为最弱的偏强时段。

(3) 9—10月华西秋雨的季节内变化存在较大的年代际差异,其中20世纪70年代华西秋雨有2个显著时段(9月13—22日和10月4—8日),80年代华西秋雨有3个显著时段(9月3—17日、9月25日至10月8日和10月13—25日),90年代华西秋雨有3个显著时段(9月12—22日、10月3—7日和10月12—20日),21世纪初有3个显著时段(9月1—10日、9月21日至10月7日及10月11—16日)。

(4) 对2011年华西秋雨逐日变化的分析表明,华西秋雨DARI的建立,为监测华西秋雨的发生、发展和消失的演变过程提供了一个有效的手段,对气象防灾减灾具有重要的实际应用价值。

(5) 本文定义的华西秋雨指标主要考虑了两种秋雨形式,一种是雨量不大的持续阴雨(即绵雨),在指标中由雨日体现;另一种是强降水(如暴雨),在指标中由降水量百分比体现。前者主要表现在连续雨日多,对农业危害尤为严重,后者主要表现在突发性强降水,容易引发秋汛。通过对四川省秋雨的实际监测,发现该指标对降水量的变化更为敏感(尤其是强降水),对绵绵细雨的表现能力稍差,所以如何更好地反映绵绵细雨过程是以后对其逐步改进的方向。

参考文献

- 白虎志,董文杰. 2004. 华西秋雨的气候特征及成因分析. 高原气象, 23(6):884-889.
- 鲍媛媛,阿布力米提,李峰,等. 2003. 2001年华西秋雨时空分布特点及其成因分析. 应用气象学报, 14(2):215-222.
- 蔡芎宁,康志明,牛若芸,等. 2012. 2011年9月华西秋雨特征及成因分析. 气象, 38(7):828-833.
- 陈娇娜,李国平,黄文诗,等. 2009. 华西秋雨天气过程中GPS遥感水汽总量演变特征. 应用气象学报, 20(6):753-760.
- 陈受钧. 1960. 从夏季到秋季亚洲上空大气环流的转变. 北京大学学

- 报(自然科学版), 1:85-91.
- 方建刚,白爱娟,陶建玲,等. 2005. 2003年陕西秋季连阴雨降水特点及环流条件分析. 应用气象学报, 16(4):509-517.
- 冯丽文,郭其蕴. 1983. 华西秋雨的多年变化. 地理研究, 2(1):74-84.
- 高由禧,郭其蕴. 1958. 我国的秋雨现象. 气象学报, 29(4):264-273.
- 何敏. 1984. 我国主要秋雨区的分布及长期预报. 气象, 10(9):10-13.
- 蒋竹将,马振峰,刘佳,等. 2014. 一种改进的华西秋雨指数及其气候特征. 大气科学, 38(1):32-44.
- 梁健洪. 1989. 华西秋雨的时空分布. 地理科学, 9(1):51-59.
- 刘冀彦,毛龙江,牛涛,等. 2013. 地形对2011年9月华西致灾暴雨强迫作用的数值模拟研究. 气象, 39(8):975-987.
- 柳艳菊,孙冷,孙丞虎,等. 2012. 2011年秋季华西秋雨异常及成因分析. 气象, 38(4):456-463.
- 任炳潭,李惠颖. 1987. 两千年华西秋雨的初步研究. 气象, 13(9):21-24.
- 孙冷,黄朝迎. 2000. 三峡库区秋雨的气候演变规律. 地理学报, 67(S1):20-25.
- 孙冷,任福民,王遵娅,等. 2012. 2011年8月气候异常及成因分析. 气象, 38(5):615-622.
- 孙娟,魏娜,肖科丽. 2010. 陕西秋季降水变化特征. 应用气象学报, 21(3):360-365.
- 王朋岭,周兵,韩荣青,等. 2012. 2011年海洋和大气环流异常及对对中国气候的影响. 气象, 38(4):472-479.
- 王遵娅,任福民,孙冷,等. 2012. 2011年夏季气候异常及主要异常事件成因分析. 气象, 38(4):448-455.
- 薛春芳,董文杰,李青,等. 2012. 近50年渭河流域秋雨的特征与成因分析. 高原气象, 3(2):409-417.
- 徐桂玉,林春育. 1994. 华西秋雨特征及成因探讨. 气象科学, 12(4):149-154.
- 熊秋芬,马学款. 2006. 北部西部气温偏高、华西地区秋雨绵绵——2006年9月. 气象, 32(12):120-125.
- 宗志平,陈涛,徐琨,等. 2013. 2012年初秋四川盆地两次西南涡暴雨过程的对比分析与预报检验. 气象, 39(5):567-576.
- 《中国气象灾害大典》编委会. 2005a. 中国气象灾害大典:陕西卷. 北京:气象出版社,71-87.
- 《中国气象灾害大典》编委会. 2005b. 中国气象灾害大典:四川卷. 北京:气象出版社,89-207,551-564.
- 《中国气象灾害大典》编委会. 2006. 中国气象灾害大典:贵州卷. 北京:气象出版社,110-148,221-228.
- 《中国气象灾害大典》编委会. 2008. 中国气象灾害大典:重庆卷. 北京:气象出版社,134-161,258-269.