

文章编号: 2096-1618(2017)05-0532-05

# 西藏地区降雪降水天数比率(SD/PD)变化特征分析

王超<sup>1</sup>, 肖天贵<sup>1</sup>, 假拉<sup>2</sup>, 裴玥<sup>1</sup> 陈丁<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 西藏自治区气象台, 西藏 拉萨, 830000)

**摘要:**为研究高原地区降水相态变化特征, 利用西藏自治区 39 个气象站点降水和温度等观测资料, 分析了该区域 1979–2013 年的降雪/降水天数比例特征, 结果表明: 西藏地区(9 月–次年 5 月)平均雪水天水比为 19.29 %, 其比值空间分布不均, 西藏东部及腹地偏小, 北、西、南 3 面各站偏大; 指数关系可以较好的拟合西藏地区雪水比率与温度、海拔的关系, 可对缺少观测资料的高原地区雪水比天数特征进行初步估算; 近 35 年西藏地区雪水天数比总体呈现显著下降趋势, 其倾向率为  $-1.27\%/10a$ , 除西藏南部小部分区域站点呈增加趋势外, 其余站点雪水比率均呈减小趋势, 其春、秋季下降最为显著, 高海拔地区(海拔  $>4500\text{ m}$ )雪水比率下降最为显著。

**关键词:** 大气科学; 气候变化; 降雪; 降水; 比率

**中图分类号:** P467

**文献标志码:** A

**doi:** 10.16836/j.cnki.jcuit.2017.05.011

## 0 引言

降雪是空气中的水汽凝结而成的固态降水, 是地球表面最为活跃的自然过程之一。降雪引起的积雪, 能够短时间内改变地表物理属性, 以其高反射率, 低热传导, 低地表粗糙度等属性影响陆–气之间热力、动力作用, 从而对天气气候变化产生重要影响<sup>[1]</sup>。积雪储存的水资源, 是高纬度和高山地区形成冰川的物质基础, 冰川融水不仅是干旱区、牧区水补给的重要资源, 也是中国大江大河河源处径流的重要补充, 与生活、生产息息相关<sup>[2]</sup>。降雪/降水天数比率(SD/PD)表明一个地区的液体、固态降水的分布情况, 当比率数值较大时, 表明站点降水多以固态降水形式; 当比率数值较小时, 多以液体降水形式<sup>[3]</sup>。在气候变化大背景下, 许多研究学者利用观测资料对雪水比的变化进行了讨论, Feng<sup>[3]</sup>利用美国北部站点 1949–2005 年的观测资料, 讨论了雪水比的变化趋势, 结果表明雪水比呈明显下降趋势, 比值的下降与降雪、降水减少的同时, 降雪减少的更为明显; 同时也讨论了增温对降雪的影响; Thomas<sup>[4]</sup>利用美国东北部新英格兰州 1949–2000 年的观测资料, 讨论了该州的雪水比的变化趋势, 结果表明雪水比有下降趋势; Gaelle<sup>[5]</sup>利用 1961–2008 年瑞士的观测资料, 发现瑞士地区雪水比的下降趋势, 并讨论了不同海拔下, 各站点的变化情况。雪水比能很好

地反映该区域的降雪、降水变化特征, 但中国对雪水比率的研究相对较少。

在中国西部, 特别是青藏高原积雪对东亚气候的影响一直为科学家所瞩目<sup>[6–12]</sup>。研究青藏高原积雪变化已成为探测全球变暖, 诊断气候与积雪相互作用的重要手段。韦志刚等<sup>[13]</sup>对青藏高原积雪分布作了比较系统的研究, 指出高原东部是高原积雪年际变化最显著的地区。钱永甫等<sup>[14]</sup>指出, 青藏高原冬春季的积雪增多会使亚洲夏季风的强度减弱, 造成江淮流域的降水显著增加, 华南地区和孟加拉湾的降水减少; 王澄海等<sup>[15]</sup>通过分析青藏高原的积雪观测资料和西北地区的降水资料发现, 高原积雪对高原东北部和河西西部的春季降水有显著影响, 其中高原多雪年和少雪年时期, 春季降水差异尤为显著。总的来看, 已有相关研究主要集中在高原降水、气温、积雪等时空演变, 影响因子与机制等方面, 而对降水相态, 以及雪水比率的研究结论相对较少, 而西藏地区又是青藏高原的重要组成部分, 因此对西藏地区雪水比研究十分必要。

利用西藏气象台站观测资料, 对 1979–2013 年西藏降雪/降水天数比率的变化情况进行研究分析, 从而可进一步了解高原降雪的变化情况及其特征。

## 1 数据介绍

使用的资料来源于西藏自治区气象局整编的 39 个站 1979–2013 年逐日降水量和平均气温资料。选取春(3–5 月)、秋(9–11 月)和冬季(12–次年 1 月)的观测资

收稿日期: 2017-03-08

基金项目: 气象科研专项资助项目(GYHY201406015、GYHY201306009)、国家自然科学基金资助项目(91337215)、国家科技支撑计划资助项目(2015BAC03B05)、国家重点基础研究发展计划资助项目(2013CB733206)

料。降雪天数是根据逐日降水量和日平均气温 2 个参数统计的,即当某日发生降水,并且当日平均气温低于 0℃以下,则认为当天的降水类型为降雪,降雪天数增加 1;当某日有降水量而对应的气温缺测时,则认为当天的降雪量为缺测,对 39 个站点进行统计分析后,发现泽当(91.77°E, 29.25°N, 3553.2 m. a. s. l)、琼结(91.68°E, 29.03°N, 3741.0 m. a. s. l)2 个站点缺测率较高。为使研究更准确可靠,故去掉这两站,只对余下 37 个站点进行分析讨论,各站点的分布见图 1。

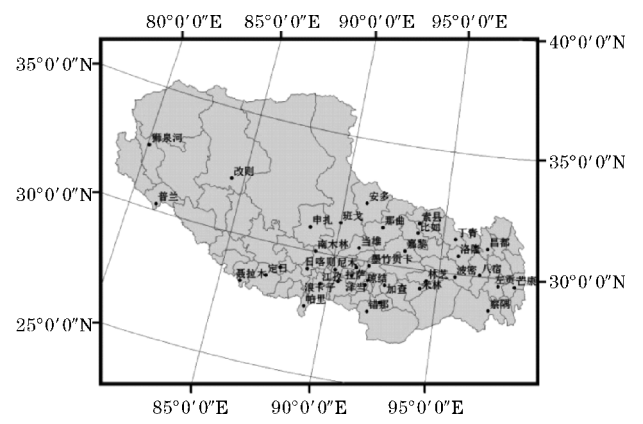


图1 站点分布

表1 1979–2013 平均雪水天数比								
统计区间/%	<7	7–14	14–21	21–28	28–35	35–42	42–49	49–56
测站数目	8	9	5	5	3	5	1	1
雪水天数比/%	21.62	24.32	13.51	13.51	8.11	13.51	2.70	2.70

结合表 1 可以看到,雪水天数比在 7%~14% 范围内的站点数目多于其他范围段,共 9 个站点,占总测站数目的 24.32%,站点数目随着雪水天数比的增加而递减,雪水比大于 42% 的站点数减至仅为 2 个,分别为错那站(91.95°E, 27.98°N, 4281.0 m. a. s. l),其雪水比为 42.31%;嘉黎站(93.28°E, 30.67°N, 4489.8 m. a. s. l),其雪水天数比达 54.79%。相较其

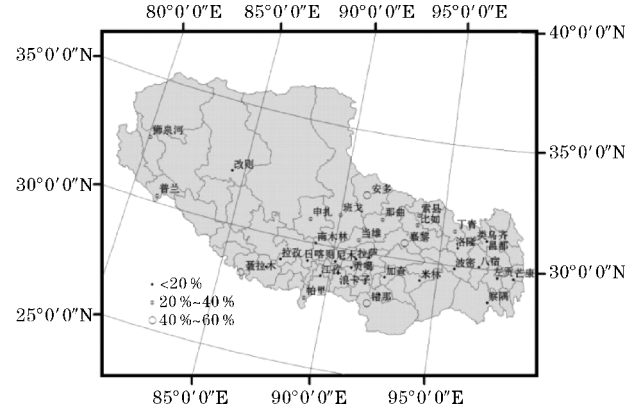


图3 西藏地区 1979–2013 年平均雪水天数比空间分布

2 讨论

2.1 雪水天数分布特征

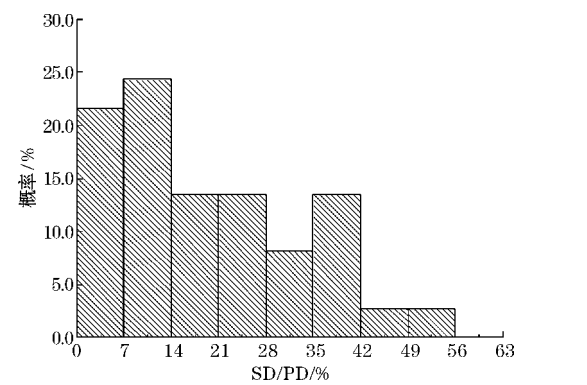


图2 雪水天数比直方图

通过对西藏多年平均雪水天数比率的统计分析可知,37 个站点的雪水天数比率平均值为 19.29%,即平均每个站点(9 月–次年 5 月)100 个降水日中有接近 20 天为降雪日。将雪水天数比从 0%~56% 均分为 8 个区间,则得到各区间雪水天数比对应站点数目以及其所占总测站数的比例,详见表 1。

他站点而言,嘉黎站的降水天数并不多,但降水事件多出现在 10 月之后,由于该站海拔较高,造成了该站雪水天数比为研究区域最大。

图 3 为西藏地区各站的雪深天水比率的分布图,可以看出西藏地区雪水天数比分布不均,总体呈现东部及腹地小,而北、西、南 3 面大的特点。除嘉黎(93.28°E, 30.67°N, 4489.8 m. a. l. s)外,南部也有 2 个比值较高的地区,分别为聂拉木(85.97°E, 28.18°N, 3811 m. a. l. s)、错那(91.95°E, 27.98°N, 4281 m. a. l. s)两地;而低值区主要集中在西藏东部的北纬 29°N~30°N,其值最低的地区为拉孜(87.63°E, 29.08°N, 4001.1 m. a. l. s),其多年平均雪水天数比仅为 3.41%。

利用观测资料,计算了各站的平均温度,并考察不同平均温度和海拔下,各站的雪水比特征(如图 4)。图 4(a)中,随着平均温度的增高,雪水比下降的非常迅速,到了 4℃后,雪水比下降变得很平缓,利用指数公式对其进行拟合,其方程为:  $Y = 20.200e^{-0.180X}$ ;利用观测资料检验了其拟合效果,利用平均温度估算出

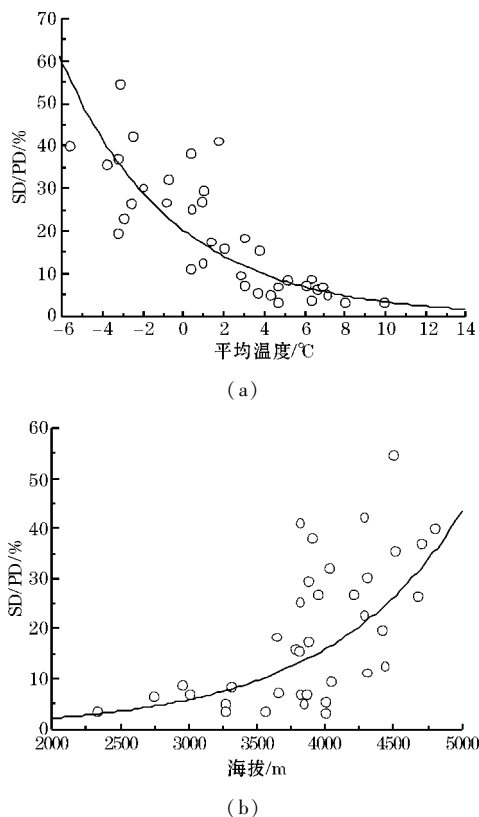


图 4 各站点平均温度、海拔下的雪水比率特征

的雪水比与观测资料相关系数达到0.78,并通过了0.01的显著性检验,拟合效果较好。图4(b)为海拔高度与雪水比之间的关系,随着海拔的增加,与此同时,站点的平均温度往往也随之下降,所以雪水比开始上升,并随着海拔的增加,比率上升速度明显增加,类似的也利用指数公式进行了拟合,其方程为: $Y=0.292e^{0.001X}$ ;利用观测资料也检验了其拟合效果,拟合的雪水比与观测资料相关系数达到0.64,并通过了0.01的显著性检验,也有较好的拟合效果。这两组方程对雪水比与温度、海拔均有较好的拟合效果,在相对缺乏观测资料的西藏地区,该组拟合方程可对某地区的雪水天水比率特征进行初步拟合估计。

2.2 雪水天数比年际变化特征

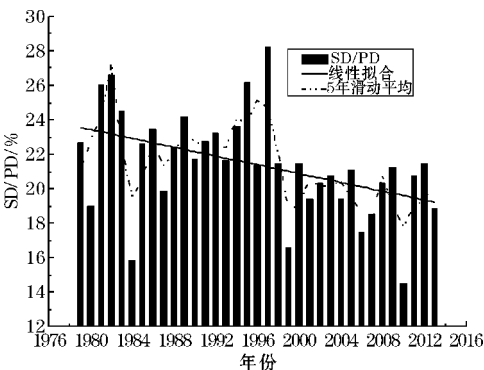


图 5 西藏地区 1979–2013 年雪水天数比的年际变化特征

图 5 为西藏地区 1979–2013 年雪水天数比的年际变化特征,其中虚线为 5 年平滑曲线,直线为线性拟合趋势线。由图 5 可以看出,雪水天数比近 35 年的变化呈波动状,变化范围在14.48 % ~ 28.20 %,最低值与最高值分别出现在 2010 年与 1997 年。通过线性拟合可以看出,近 35 年西藏地区雪水天数比总体呈现明显下降趋势,其倾向率为-1.27 %/10a,且通过了99 %的显著性检验。通过分析后发现,西藏地区降水天数和降雪天数均在减少,但降雪天数减少速度快于降水天数的减少,于是导致雪水天水比呈下降趋势。



图 6 各站点雪水天数比变化趋势

图 6 为西藏地区 1979–2013 年雪水天数比倾向率的空间分布,就西藏各站点雪水天数比变化趋势而言,其年际变化空间分布不均。西藏大部分地区(27 个站点)雪水天数比呈减小趋势,主要发生在西藏中部和北部区域,而呈增大趋势的 10 个站点主要分布在西藏南部和东部小部分区域,且除去浪卡子(90.4 °E, 28.97 °N, 4433 m. a. l. s)、芒康(98.6 °E, 29.68 °N, 3871.0 m. a. l. s)两站,其余站点雪水天数比率增大趋势较弱,可见各站点的雪水天数比变化情况大体符合西藏地区雪水天数比率总体下降的趋势。雪水天数比率减小最快的站点为普兰站(81.25 °E, 30.28 °N, 3901.1 m. a. l. s),其倾向率为-4.97 %/10a,而增加最快的站点为浪卡子(90.4 °E, 28.97 °N, 4433.0 m. a. l. s),其倾向率为1.87 %/10a。

2.3 雪水天水比季节变化趋势

表 2 春、秋、冬季雪水天数比倾向率	
季节	倾向率
春季	-0.86 %/10a *
秋季	-0.82 %/10a *
冬季	-0.05 %/10a

注: \* 表示通过了90 %的显著性检验



虽然西藏地区雪水比呈现下降趋势,但各季节的变化并不一致,分季节讨论了雪水天数比率的年际变化趋势(见表 2)。结果表明春、秋、冬 3 季均呈下降趋势,其雪水比倾向率分别为  $-0.86\%/10a$ 、 $-0.82\%/10a$ 、 $-0.05\%/10a$ 。春秋季下降趋势较为一致,均通过了 90 % 的显著性检验,而冬季有较小的

下降趋势,但未通过显著性检验,下降趋势不显著,这是由于西藏地区在冬季,几乎所有站点都呈现固态降水,所以在冬季变化并不明显。

2.4 不同海拔雪水天水比变化特征

表 3 西藏地区不同海拔的站点数目分布

海拔/m	<3000	3000 ~ 3500	3500 ~ 4000	4000 ~ 4500	≥4500
站点数目	3 个	4 个	14 个	12 个	4 个
站点	察隅、波密、米林	林芝、加查、八宿、昌都	贡噶、洛隆、拉萨、左贡、墨竹贡卡、尼木、类乌齐、聂拉木、日喀则、隆子、芒康、丁青、普兰、比如	拉孜、南木林、索县、江孜、当雄、狮泉河、错那、帕里、定日、改则、浪卡子、嘉黎	那曲、申扎、班戈、安多

为讨论不同海拔的雪水天数比变化特征,现将 37 个站点按其所在海拔划分为 5 个区间,具体划分如表 3 所示,进行不同海拔区间进行分类讨论。

表 4 不同海拔高度的雪水天数比倾向率

海拔/m	雪水天数比倾向率
<3000	$-0.88\%/10a^*$
3000 ~ 3500	$-1.16\%/10a^*$
3500 ~ 4000	$-1.42\%/10a^*$
4000 ~ 4500	$-0.30\%/10a$
≥4500	$-2.68\%/10a^*$

用该组方程可对缺乏观测高原区域讨论雪水比率进行初步估计;近 35 年西藏地区雪水天数比总体呈现显著下降趋势,其倾向率为  $-1.27\%/10a$ ,其春、秋季下降显著,冬季有下降趋势,但不显著;西藏大部分地区雪水天数比呈减小趋势,在西藏南部和东部小部分地区站点呈增加趋势,但增加趋势较小;各海拔区间均出现雪水比下降的趋势,其中高海拔的 4 个站点(海拔 > 4500m)雪水比率下降的最快。

致谢:感谢成都信息工程大学科研基金(CRF201606)对本文的资助

参考文献:

注: \* 表示通过了 90 % 的显著性检验

比较各海拔高度站点的雪水天数比倾向率(表 4)可知,各海拔高度的雪水天数比都呈减少趋势。除了 4000 ~ 4500 m 高度区间的倾向率绝对值偏小外,雪水天数比趋势随着高度的增加而呈增长趋势。雪水天数比率增加的站点多在 4000 ~ 4500 m 这个区间中,导致了该区间雪水天数比率偏小。总的来说,随着海拔高度增加,雪水天数比减少越快。各海拔区间中,4000 ~ 4500 m 高度区间未通过显著性检验,其余各海拔高度的雪水天数比下降趋势均通过 90 % 的显著性检验。

3 结论

利用西藏 39 个站点气象观测资料,研究 1979 - 2013 年的降雪/降水天数比例(SD/PD)的变化特征分析,其结论表明:西藏地区平均雪水天水比为 19.29 %,该区域各站差异较大,其中嘉黎站高达 54.79 %,而拉孜站仅为 3.41 %;雪水天数比率在西藏地区分布不均匀,表现为东部及腹地偏小,北、西、南 3 面各站偏大;各站雪水比特征与该站温度和海拔密切相关,利用指数关系对两者与雪水比率进行拟合,利

[1] 孙秀忠,罗勇,张霞,等. 近 46 年来我国降雪变化特征分析[J]. 高原气象,2010,29(6):1594-1601.

[2] 王建,李硕. 气候变化对中国内陆干旱区山区融雪径流的影响[J]. 中国科学(D 辑),2005,35(7):664-670.

[3] Feng S,Q Hu. Changes in winter snowfall/precipitation ratio in the contiguous United States[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2007,112(D15).

[4] Huntington T G,G A Hodgkins,B D Keim,et. al. Changes in the proportion of precipitation occurring as snow in New England (1949-2000)[J]. Journal of Climate,2004,17(13):2626-2636.

[5] Serquet G, C Marty,J P Dulex,et al. Seasonal trends and temperature dependence of the snowfall/precipitation-day ratio in Switzerland[J]. Geophysical research letters,2011,38(7).

[6] 康尔泗. 寒区和干旱区水文研究的回顾和展望[J]. 冰川冻土,1998,20(3):238-244.

- [7] 马耀明,姚檀栋,胡泽勇,等. 青藏高原能量与水循环国际合作研究的进展与展望[J]. 地球科学进展,2009,24(11):1280-1284.
- [8] 马耀明,胡泽勇,田立德,等. 青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响与机制研究进展[J]. 地球科学进展,2014,29(2): p. 207-215.
- [9] 张人禾,苏凤阁,江志红,等. 青藏高原 21 世纪气候和环境变化预估研究进展[J]. 科学通报,2015,32:004.
- [10] 假拉,周顺武. 印度洋海温异常对印度季风,高原夏季降水的影响[J]. 高原气象,2003,22(B10):132-137.
- [11] Xiaoge X,Zhou T,Yu R. Increased Tibetan Plateau snow depth:An indicator of the connection between enhanced winter NAO and late-spring tropospheric cooling over East Asia[J]. Advances in Atmospheric Sciences,2010,27(4):788-794.
- [12] Duan A,Li F,Wang M,et al. Persistent weakening trend in the spring sensible heat source over the Tibetan Plateau and its impact on the Asian summer monsoon[J]. Journal of Climate,2011,24(21):5671-5682.
- [13] 韦志刚,黄荣辉,陈文,等. 青藏高原地面站积雪的空间分布和年代际变化特征[J]. 大气科学,2002,26(4):496-508.
- [14] 钱永甫,张艳,郑益群. 青藏高原冬春季积雪异常对中国春夏季降水的影响[J]. 干旱气象,2003,21(3):1-7.
- [15] 王澄海,董安祥,王式功,等. 青藏高原积雪与西北春季降水的相关特征[J]. 冰川冻土,2000,22(4):340-346.

## Changes in Days of Snowfall/Precipitation Ratio in Tibet

WANG Chao<sup>1</sup>, XIAO Tian-gui<sup>1</sup>, JIA La<sup>2</sup>, PEI Yue<sup>1</sup>, CHEN Ding<sup>1</sup>

(1. Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610226, China; 2. Meteorological Observatory of Tibet Autonomous Region, Lhasa 850000, China)

**Abstract:** In order to study the characteristics of precipitation phase in plateau area, the observation data from 39 stations in Tibet during 1929-2013 were used, and the changes of snowfall/precipitation (SD/PD) ratio studied. The main conclusions obtained are as follows: the average of SD/PD ratio in Tibet is 19.29%, and its spatial distribution is uneven. The value of SD/PD is low at east and hinterland of Tibet, while at north/west/south boundary of Tibet is high; the relationship between SD/PD and temperature and latitude is described accurately by exponential functions, and it will benefit places in Tibet which is lack of observational data. SD/PD ratio in Tibet has decreased distinctly during the recent 35 years, and the tendency rate is -1.27%/10a. Except for few stations in south of Tibet, the SD/PD ratio is decreasing, and it is more significant in spring and autumn. The ratio of high latitude stations (>4500 m) has faster decline than others.

**Keywords:** atmospheric science; climate change; snow; precipitation; ratio