

# 近 10 a 来祁连山地区气候及水资源研究现状

王 胜<sup>1</sup>, 王亚明<sup>2</sup>, 王润元<sup>1</sup>, 张 苹<sup>3</sup>, 王劲松<sup>1</sup>, 王鹤龄<sup>1</sup>

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 96351 部队 56 分队, 青海 西宁 810007; 3. 甘肃省气象信息与技术装备保障中心, 甘肃 兰州 730020)

**摘 要:** 回顾了近 10 a 来对祁连山气候及其相关研究的主要成果, 发现以前研究主要集中在气候变化及水资源方面。气候变化研究主要是古气候及近代气候的年际变化; 水资源研究, 则在陆地水资源方面的成果最多。近几年空中水资源开发利用的研究逐渐受到重视, 成果日益增多, 这将为西北干旱半干旱区解决水资源紧缺的状况提供一条可能的途径。

**关键词:** 祁连山; 气候变化; 水资源

中图分类号: P468.0<sup>+</sup>24

文献标识码: A

## 引 言

祁连山东起乌鞘岭的松山, 西到当金山口, 东西长 800 km, 北临河西走廊, 南靠柴达木盆地, 南北宽 200~400 km。祁连山是一个庞大的生态系统, 海拔在 3 000~6 000 m 间, 山腰多冰川, 被誉为“冰源水库”。在海拔 2 500~3 500 m 之间的坡地为原始森林与大片草地, 构成祁连山独特的水源涵养林。这些森林山峰处于“冰源水库”和河川水系之间, 起着调蓄、涵养水源、保持水土、增加水量、调节气候的作用。因此, 河西走廊的生态状况与祁连山的生态状况有着千丝万缕的联系。甘肃省的 3 大内陆河——黑河、石羊河、疏勒河都发源于此。从祁连山流出的水养育着甘肃省众多人口, 对甘肃省生态环境和社会经济发展起到巨大支撑作用。

因为祁连山如此重要, 国内外科学工作者对祁连山进行了大量的研究。以下主要从大气科学和地理科学角度进行简要的回顾。

## 1 气候变化研究现状

### 1.1 古气候研究

在祁连山的气候研究中, 古气候的研究占有相当大的比重, 重建气候序列是非常重要的工作, 张志

华等<sup>[1-2]</sup>用树木年轮资料重建了祁连山中部地区 5~7 月份自公元 1310 年以来的湿润指数序列, 发现祁连山地区的湿润指数及其年际变幅存在明显的突变年份, 并指出近 700 a 来, 干期共持续有 81 a, 偏干期持续 106 a, 湿期持续 72 a, 偏湿期持续 179 a, 干湿正常年持续 244 a, 其中近代 1923~1941 年的干期和 1942~1959 年的湿期, 与我国西北、华北和长江流域 20 世纪 20 年代出现的升温少雨和 40 年代以后的降温多雨, 非常吻合。而康兴成等<sup>[3]</sup>则利用同一地区更多的树木年轮样本和该地区 3 个站点的降水资料, 重建了祁连山中部地区的降水量。他们研究认为: 自公元 904 年以来, 该地区历经了 31 次相对干期和 30 次相对湿润期, 其中, 连续 2 个 10 a 以上的干期有 17 次, 湿润期 12 次, 最长的干期在 1540~1590 年间, 长达 60 a, 最长的湿润期是 1240~1270 年、1860~1890 年, 各有 40 a。上述 2 个研究结果不同的原因, 主要是因为二者的旱涝标准不同。邬光剑等<sup>[4]</sup>通过对祁连山东段北麓哈溪黄土剖面研究发现气候适宜期与其它记录有不同之处。在距今 7.8~7.2 ka 和距今 1.5~0.8 ka 出现了“冷湿”气候组合, 与传统的气候组合不同。将祁连山古气候时间序列又进一步延长。

在降水及其对树木影响的研究中, 勾晓华

收稿日期: 2007 - 06 - 17; 改回日期: 2007 - 09 - 04

基金项目: 国家科技攻关计划 (2004BA901A16) 及兰州干旱所干旱基金资助

作者简介: 王胜 (1973 -), 男, 新疆奎屯人, 主要从事陆气相互作用研究。E-mail: totump@sina.com

等<sup>[5-6]</sup>重建了近 280 a 来该地区的春季降水变化,发现祁连山东部地区春季降水对 100 a 来全球变暖出现明显的响应,春季降水有明显的减少趋势。而她们另一个研究中<sup>[7]</sup>的分析表明,树轮年表的敏感性随海拔高度降低主要是由于该区域树木生长的限制因子是春季降水,而降水随海拔高度的升高而增加,从而使得春季降水对树木生长的限制作用随海拔升高而逐步减弱。刘晓宏等<sup>[8]</sup>的研究表明,在森林上限,树木生长主要受温度变化的影响,对树轮生长影响最大的气候因子为前一年 12 月至当年 4 月平均温度。祁连圆柏轮宽标准指数序列反映的温度变化很好地表现了小冰期降温特征及 20 世纪的全局气温持续变暖趋势。他们的结果与祁连山敦德冰芯<sup>18</sup>O<sup>[9]</sup>所反映温度变化比较,说明冰芯和树轮所记录的温度变化趋势基本一致,轮宽序列表现出的冷暖特征与北半球温度变化存在比较好的一致性,表明祁连山地区气候变化不仅受区域条件的影响,而且对全球变化作出了响应。

## 1.2 近期气候变化研究

太阳辐射是地球能量的最终来源,但在近期气候变化的研究中,关于祁连山地区大气辐射的研究并不多。李英年等<sup>[10-12]</sup>分析了祁连山海北高寒草甸地区植物生长期内光合有效辐射(PAR)的日、季节变化特征和该地区太阳紫外辐射,在植物生长期内的日、季节变化特征,以及在太阳总辐射中所占的比例。并指出 PAR 日变化与太阳总辐射日变化趋势一致,表现为单峰型变化过程,日总量最大可达 11.7 MJ/m<sup>2</sup> 左右。海北高寒草甸地区植物群落对 PAR 的光能利用率为 0.58% 左右。同时研究发现该地区太阳紫外辐射较强,植物生长期内的 4 月至 10 月总量达 218.651 MJ·m<sup>-2</sup>。太阳紫外辐射有明显的日、季节变化规律。

王金叶等<sup>[13]</sup>研究了青海云杉林的辐射平衡,表明青海云杉林林冠辐射平衡各分量在总辐射中所占的比例为:反射辐射 12.07%,净长波辐射 29.46%,净全辐射 58.47%,辐射平衡各分量与总辐射线性回归相关紧密。青海云杉林林内总辐射比林外减少 71.02%,林内净辐射变幅小于林冠层。以上辐射研究是针对祁连山区的为数不多的大气辐射工作。

和其他地区类似,在祁连山近期气候变化研究中也更多的关注降水和温度的变化。李栋梁等<sup>[14-15]</sup>分析了 1944~2000 年期间黑河流量与祁连山区自然气候的年代际变化。祁连山区气候演变存

在非常明显的季节变化、年际变化和年代际变化。自 20 世纪 70 年代以来,除夏季降水量呈上升趋势外,秋、冬、春 3 季均表现出明显的变干。20 世纪 80 年代以来,祁连山区气候明显变暖,各季气温显著升高,尤以秋、冬 2 季升温最快。并认为黑河流量的增加取决于 2 个方面:一是夏季降水量的增加,二是冬季气候的明显变暖。

丁永健<sup>[16]</sup>等对 40 a 来黑河流域降水的时空变化特征进行了分析。发现在空间上,降水由西北向东南呈现出明显的增加趋势,但平原区和山区、东部和西部之间存在着差异。在东、西部地区,降水随高度的变化有所不同,西部呈线性增加,而东部为非线性增加,且在海拔 2 400~3 000 m 之间出现最大降水高度带。对全流域而言,无论是山区还是平原区,东部还是西部,在过去 40 a 中降水的变化趋于一致,在缓慢增加的背景下,以 20 世纪 80 年代初为界,在此之前和之后降水变化的趋势明显不同。

蓝永超<sup>[17]</sup>等对甘肃河西内陆河流域出山径流变化过程与趋势的研究表明,从 20 世纪 80 年代中后期开始,受西风环流降水的影响,祁连山区中、西部的黑河、疏勒河流域的气候环境发出了由增温变干转为变湿的讯号,但受季风影响的祁连山东部的石羊河流域则尚未出现这种转变,其气候环境仍向增温变干的方向发展。

李英年<sup>[18]</sup>等分析了近 40 a 海北高寒湿地区区域气候变化特征,发现祁连山海北地区自 1957 年以来年平均气温以 0.157 °C·10 a<sup>-1</sup> 的倾向率升高,年降水量约以 18.59 mm·10 a<sup>-1</sup> 的倾向率递减,年平均地温比同期气温的增加更为迅速,表明海北地区气候及土壤现状均向干暖化趋势发展,特别是土壤干暖化程度尤为明显。这些研究为更加细致的研究祁连山区的气候变化提供了基础和背景。

## 2 水资源及其它相关研究现状

### 2.1 水资源研究现状

作为甘肃省 3 大内陆河的发源地,祁连山的水文水资源状况无疑对河西地区的水资源有重要的影响。因此地理工作者对祁连山水资源的研究做了大量的工作。王亚军等<sup>[19]</sup>重建了黑河 230 a 来春季至夏初的径流变化,发现 230 a 来黑河 3~6 月径流的变化振幅在各时段强弱不同,19 世纪初之前丰枯变化振幅强,19 世纪中后期至 20 世纪初变化幅度减弱,20 世纪 20 年代以来,丰枯变化幅度又趋于增

强。在过去的 230 a,黑河 3~6月径流以丰水为主,目前正处于相对枯水阶段。

冰川是气候的产物,冰川的变化与气候变化密切相关,冰川的积累和消融强度受降水和气温的控制,是对气候变化的一种直接响应,从目前已有的研究中也反映了这一点。关于祁连山冰川的变化原来的观点认为祁连山冰川东段在退缩,而西段则在增加<sup>[20]</sup>。沈永平等<sup>[21]</sup>人的研究结果也与之一致,他们发现近 40 a来,东段石羊河流域冰川物质平衡呈较大负平衡,西段的讨赖河、疏勒河和党河流域冰川具正物质平衡,黑河流域的冰川处于过渡区;而他们关于在全球变暖背景下冰川未来变化的结论,似乎缺乏说服力。但从最近的研究来看祁连山西段的冰川也是呈总体退缩状态。刘时银等<sup>[22]</sup>利用历史资料及遥感资料分析了祁连山西段自小冰期至 1990年的冰川变化,得出该地区在小冰期至 1956年间冰川面积减小幅度为 1619%,冰川储量减少了 1411%;1956~1990年间冰川仍以退缩为主,分析认为冰川退缩主要与 1956—1966年时段气温偏高、降水偏少有关。程瑛等<sup>[23]</sup>则从另一个角度分析了高空(600 hPa)气温与冰舌末端温度的关系,发现冰舌末端气温与消融量关系密切,气温升高 1℃,可使消融量增加约 4.8 mm。

冰川的积累与消融同发源于祁连山的河流径流量有密切关系。这也直接影响河西地区水资源的利用。据计算河西走廊每年获得的祁连山区的出山径流总量约为  $69.96 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,河西走廊各县市境内河流实有年径流量为  $1.12 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。各县市绿洲实际水资源达 285~770 mm,为其年降水量的 1.3~18.5倍。这也充分体现了祁连山天然水库的作用。

正因为祁连山径流对河西走廊的巨大支撑作用,因此对祁连山流域的径流有大量的研究。李栋梁等<sup>[14]</sup>认为 20世纪 80年代的黑河流量是过去 57 a中最大的 10 a,90年代有所减小,但主要表现在夏、秋季,而冬、春季仍然保持高流量。张学成<sup>[24]</sup>等对祁连山冰沟流域水量平衡进行了研究。发现冰沟流域水文活动主要发生在 4~10月,流域流出大小主要受气温、降水因素影响,融雪(冰)补给占径流组成的 30%左右。杨志怀<sup>[25]</sup>等对冰沟流域的径流进行了估算,结果表明降水对地面径流、表层径流和地下径流的补给比例,春季分别为 0.45,0.55和 0,夏秋季分别为 0.08,0.65,0.28。以上 2个研究中都认为冻土活动层对径流量有明显的影响。

陈昌毓<sup>[26]</sup>根据甘肃省河西地区石羊河、黑河和疏勒河 3大内陆水系的祁连山区流域水资源和出山径流量,详细计算了河西走廊各县市绿洲的实际年水资源。从生态平衡角度出发,确定了各县市绿洲和农田的生态需水量。据此,计算出基本能保持各县市自然生态平衡的绿洲和农田的适宜面积。

河西走廊各县市绿洲和农田年生态需水量分别约为 400~500 mm和 450~650 mm,农田生态需水量比绿洲高 12.5%~33.3%。

另外用模型来估算径流的研究也不少,如丁永建<sup>[27]</sup>等采用多元线性回归月径流模型,通过矩阵元素的方向和大小来判断各参变量对径流的影响程度,确定出影响径流的主要因子。康尔泗等<sup>[28]</sup>建立了西北干旱区内陆河出山径流概念性水文模型。应用该模型对河西走廊黑河祁连山北坡的山区流域水量平衡进行了模拟计算。赵军等<sup>[29]</sup>通过一个祁连山地区山地生态稳定性综合评价模型,对祁连山区内不同生态环境或开发利用单元进行生态系统稳定性定量评估。

## 2.2 空中云水资源研究

虽然目前对祁连山区陆地水资源的研究非常多,但是这些研究不能改变祁连山区水资源的总量。一方面,祁连山区生态环境恶化,山水下泄量减少,必然造成其周围广大的绿洲萎缩或沙化,另一方面随着经济的发展和人口的增加进一步加剧了水资源的短缺。水资源已经成为西北很多地区经济发展的制约因素。面对这样的现实,目前人们对节约用水,提高水资源的利用率方面研究较多,但是仅仅依靠这单一手段依然不能完全满足经济日益发展的需求。因此如何有效增加可利用水资源的总量是目前人们关心的一个问题。而空中云水资源的开发利用研究则是目前实现这一目标的唯一途径。许多科研工作者已经意识到这一问题的重要性,近几年在这方面的研究工作日益增多。

对于祁连山这样一个复杂下垫面,研究空中水资源显然要对云进行分析研究,陈少勇等<sup>[30]</sup>分析了祁连山地区云的影响因子。而对降水有重要影响的地形云研究上,刘卫国等<sup>[31-32]</sup>对祁连山地形云研究中发现地形云各微物理过程的发展受地形影响较大,地形的抬升作用以及云发展过程中的下沉出流与山地气流之间的相互作用对云中冰相微物理过程起到了明显的增强作用。

而对空中水资源特征及开发研究上,王宝鉴

等<sup>[33]</sup>分析了祁连山云和空中水汽资源的季节分布与演变。李国昌<sup>[34]</sup>等研究了祁连山东北侧夏季零度气温层高度变化。张良等<sup>[35]</sup>则研究了祁连山区空中水资源状况。李宗义等<sup>[36]</sup>分析了祁连山中段人工增雨(雪)的有利天气条件。陈乾等<sup>[37]</sup>利用卫星资料分析了祁连山区地形云人工增雨潜力,认为在祁连山进行人工增雨,条件得天独厚,基本上可以全年开展。郭良才等<sup>[38]</sup>则利用祁连山及其周边地区探空资料计算和分析了祁连山区 4 季的平均水汽输送、辐散辐合以及区域内的空中含水量。他们发现祁连山区大气中的水汽年输入总量达  $9\ 392\ 5 \times 10^8\ \text{t}$ ,其中 85.5%的水汽为潜在可开发的水资源,这一结论也表明祁连山区域内非常有利于水汽的堆积,存在很大的人工增雨(雪)潜力。这和陈乾等人的研究结果相一致。而在目前的难点问题——人工增雨的效果评估和检验方面,也有相应的研究<sup>[39]</sup>,这实属难能可贵。这些研究为开展人工增雨提供了理论依据。

### 2.3 其它相关研究

#### 2.3.1 降水截留

森林、灌木及落叶可能对降水产生截留,从而可以起蓄水、保水、抑制地表水分蒸发、增加土壤水分入渗、减少地表径流等作用。

祁连山树木、植被覆盖率较大,因此植被对降水的截留也成为关注的问题之一。常学向等<sup>[40]</sup>研究了祁连山树林与灌木对降水的截留率,青海云杉林与祁连圆柏林林冠对大气降水的平均截留率分别为 37.5%、31.7%,灌木林的截留率平均高达 66.5%。胡建忠等<sup>[41]</sup>则研究了祁连山南麓退耕地主要植物群落植冠层的截留性能。闫文德等<sup>[42]</sup>研究了枯落层的蓄水防蚀效能,认为祁连山主要森林类型年凋落物层最大持水量相当于 7.0~10.6 mm 的降雨,该层对 10 mm 以上的雨强的降水截留率明显下降。

#### 2.3.2 土壤水分特征

张学龙等<sup>[43]</sup>通过对祁连山寺大隆林区云杉林、圆柏林、灌丛林、放牧草地等 4 种主要植被类型土壤水分动态的长期定位研究,揭示出生长季节内各植被类型的土壤水分动态变化规律。陈桂琛<sup>[44]</sup>分析和讨论了祁连山地区主要植被类型及其分布特征。认为祁连山地区植被具有明显的生态地理边缘效应特征和高原地带性规律。党宏忠<sup>[45]</sup>通过对祁连山青海云杉林地土壤水分含量及主要影响因子的测定,发现青海云杉林地土壤具有容重低、入渗率高、

土壤水分含量垂向分布受降水影响明显等特征。

## 3 结语和讨论

综上所述,到目前为止对祁连山的研究主要集中在气候及水资源方面,研究内容主要集中在古气候信息、气候变化特征、(出山)径流及一些相关研究。这些工作对于我们了解祁连山地区气候、水资源状况及对祁连山区未来气候和水资源变化的预测提供了很多理论依据。对进一步研究祁连山区气候和水资源有很大的帮助。

但是就目前的研究来看,对祁连山的研究依然有一些问题等待解决。

(1)目前祁连山有一些观测站,也有一些加密观测,但是由于祁连山区地形复杂,面积广大,这些资料的观测密度相对整个祁连山区而言依然远远不够。因为观测密度不够,导致不能对祁连山的冰川及水资源情况有一个全面整体的认识。同时,由于站点较稀少,也使大气模式、遥感反演等工作在该地区的应用受到限制。因此提高观测密度是进一步研究祁连山地区气候及水资源变化的一项最基础的工作。

(2)空中云水资源的开发利用应该受到更加广泛的重视。众所周知,在西北干旱区,水可以说是整个河西地区生命之源,在工农业发展的今天,水资源缺乏已成为制约河西地区进一步发展的重要瓶颈,如何高效利用水资源是一个重要而艰巨的任务,以前的研究都是从如何合理分配水资源的角度出发,而对如何增加水资源束手无策;而祁连山空中水资源的开发利用无疑是目前实现增加河西地区水资源的最具前景的途径。

(3)一些机理性研究工作需要加强。比如,目前对祁连山区的降水特征的分析研究比较多,而对于祁连山地形对降水的影响机理并不是完全清楚。在水资源研究方面,目前的水文模型虽然能对径流预测,但是观测效果并不十分令人满意,从根本上说也是一些机理方面的问题不清楚。总之,在这方面还有很多工作要做。

### 参考文献:

- [1] 张志华,吴祥定.利用树木年轮资料恢复祁连山地区近 700 年来气候变化[J].科学通报,1997,42(8):849-851.
- [2] 张志华,吴祥定.祁连山地区 1310 年以来湿润指数及其年际变幅的变化与突变分析[J].第四纪研究,1996(4):368-378.
- [3] 康兴成,程国栋,陈发虎,等.祁连山中部公元 904 年以来树木年

- 轮记录的旱涝变化 [J]. 冰川冻土, 2003, 25 (5): 517 - 525.
- [4] 郭光剑, 潘保田, 管清玉, 等. 祁连山东段北麓近 10ka 来的气候变化初步研究 [J]. 中国沙漠, 1998, 18 (3): 193 - 200.
- [5] 勾晓华, 陈发虎, 李金豹, 等. 祁连山东部地区高分辨率气候记录研究 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 2002, 38 (1): 105 - 110.
- [6] 勾晓华, 陈发虎. 利用树轮宽度重建近 280a 来祁连山东部地区的春季降水 [J]. 冰川冻土, 2001, 23 (3): 292 - 296.
- [7] 勾晓华, 陈发虎, 杨梅学, 等. 祁连山中部地区树轮宽度年表特征随海拔高度的变化 [J]. 生态学报, 2004, 24, (1): 172 - 176.
- [8] 刘晓宏, 秦大河, 邵雪梅, 等. 祁连山中部过去近千年温度变化的树轮记录 [J]. 中国科学 (D 辑), 2004, 34 (1): 89 - 95.
- [9] 姚檀栋, 谢自楚, 武筱玲. 敦德冰帽中的小冰期气候记录 [J]. 中国科学 (B 辑), 1990, 11: 1196 - 1201.
- [10] 李英年, 周华坤. 祁连山海拔高寒草甸地区植物生长期的光合有效辐射特征 [J]. 高原气象, 2002, 21 (1): 90 - 95.
- [11] 李英年, 王文英, 赵亮, 等. 祁连山海拔高寒草甸地区紫外辐射特征及其对植物生理作用的探讨 [J]. 高原气象, 2002, 21 (6): 615 - 621.
- [12] 李英年, 赵亮, 张张伟, 等. 植物生长季海拔高寒湿地辐射收支特征 [J]. 冰川冻土, 2006, 28 (4): 548 - 555.
- [13] 王金叶, 张虎, 车克钧, 等. 祁连山青海云杉林辐射平衡研究 [J]. 气象, 1997, 23 (11): 32 - 35.
- [14] 李栋梁, 冯建英, 陈雷, 等. 黑河流量和祁连山气候的年代际变化 [J]. 高原气象, 2003, 22 (2): 104 - 110.
- [15] 李栋梁, 刘洪兰. 黑河流量对祁连山气候年代际变化的响应 [J]. 中国沙漠, 2004, 24 (4): 385 - 391.
- [16] 丁永健, 叶佰生, 周文娟. 黑河流域过去 40a 来降水时空分布特征 [J]. 冰川冻土, 1999, 21 (1): 42 - 48.
- [17] 蓝永超, 丁永健, 沈永平, 等. 河西内陆河流域出山径流对气候转型的响应 [J]. 冰川冻土, 2003, 25 (2): 188 - 192.
- [18] 李英年, 赵新全, 赵亮, 等. 祁连山海拔高寒湿地气候变化及植被演替分析 [J]. 冰川冻土, 2003, 25 (3): 243 - 249.
- [19] 王亚军, 陈发虎, 勾晓华. 黑河 230 a 以来 3 ~ 6 月径流的变化 [J]. 冰川冻土, 2004, 26 (6): 202 - 206.
- [20] 苏珍. 祁连山冰川、气候及径流变化监测与寒区水文研究评价 [J]. 冰川冻土, 1993, 15 (3): 515 - 516.
- [21] 沈永平, 刘时银, 甄丽丽, 等. 祁连山北坡流域冰川物质平衡波动及其对河西水资源的影响 [J]. 冰川冻土, 2001, 23 (3): 244 - 250.
- [22] 刘时银, 沈永平, 孙文新, 等. 祁连山西段小冰期以来的冰川变化研究 [J]. 冰川冻土, 2002, 24 (3): 227 - 233.
- [23] 程瑛, 李栋梁, 胡文超, 等. 祁连山冰川消融与高空气温变化的关系 [J]. 高原气象, 2002, 21 (2): 217 - 221.
- [24] 张学成, 杨针娘. 祁连山冰沟流域水量平衡初析 [J]. 冰川冻土, 1991, 13 (1): 35 - 42.
- [25] 杨志怀, 杨针娘, 王强. 祁连山冰沟流域径流分析与估算 [J]. 冰川冻土, 1992, 14 (3): 251 - 257.
- [26] 陈昌毓. 祁连山区水资源及其对河西走廊生态环境的影响 [J]. 自然资源学报, 1995, 10 (2): 104 - 114.
- [27] 丁永建, 叶柏生, 刘时银. 祁连山区流域径流影响因子分析 [J]. 地理学报, 1999, 54 (5): 432 - 437.
- [28] 康尔泗, 程国栋, 蓝永超, 等. 概念性水文模型在出山径流预报中的应用 [J]. 地球科学进展, 2002, 17 (1): 18 - 26.
- [29] 赵军, 朱璠馨, 曹静. 祁连山山地生态系统稳定性评估模型研究 [J]. 西北师范大学学报 (自然科学版), 2007, 38 (4): 73 - 76.
- [30] 陈少勇, 董安祥, 贺红梅. 祁连山地区云量的影响因子分析 [J]. 气象科技, 2007, 35 (1): 77 - 81.
- [31] 刘卫国, 刘奇俊. 祁连山夏季地形云结构和云微物理过程的模拟研究 (I): 模式云物理方案和地形云结构 [J]. 高原气象, 2007, 26 (1): 1 - 15.
- [32] 刘卫国, 刘奇俊. 祁连山夏季地形云结构和云微物理过程的模拟研究 (II): 云微物理过程和地形影响 [J]. 高原气象, 2007, 26 (1): 16 - 29.
- [33] 王宝鉴, 黄玉霞, 王劲松, 等. 祁连山云和空中水汽资源的季节分布与演变 [J]. 地球科学进展, 2006, 21 (9): 948 - 955.
- [34] 李国昌, 刘世祥, 张存杰, 等. 祁连山东北侧夏季零度气温层高度变化研究 [J]. 干旱气象, 2006, 24 (3): 31 - 41.
- [35] 张良, 王式功, 尚可政, 等. 祁连山区空中水资源研究 [J]. 干旱气象, 2007, 25 (1): 14 - 20.
- [36] 李宗义, 杨建才, 李荣庆, 等. 祁连山中段人工增雨雪的气候分析及其有利天气 [J]. 干旱气象, 2006, 24 (1): 23 - 27.
- [37] 陈乾, 陈添宇, 张鸿. 用 Aqua/CERES 反演的云参量估算西北区降水效率和人工增雨潜力 [J]. 干旱气象, 2006, 24 (4): 1 - 8.
- [38] 郭良才, 白虎志, 岳虎, 等. 祁连山区空中水汽资源的分布特征及其开发潜力 [J]. 资源科学, 2007, 29 (2): 68 - 73.
- [39] 钱莉, 王文, 张峰, 等. 河西走廊东部冬春季人工增雪试验效果评估 [J]. 干旱区研究, 2006, 23 (2): 349 - 354.
- [40] 常学向, 赵爱芬, 王金叶, 等. 祁连山林区大气降水特征与森林对降水的截留作用 [J]. 高原气象, 2002, 21 (3): 275 - 271.
- [41] 胡建忠, 李文忠, 郑佳丽, 等. 祁连山南麓退耕地主要植物群落植冠层的截留性能 [J]. 山地学报, 2004, 22 (4): 492 - 501.
- [42] 闫文德, 张学龙, 王金叶, 等. 祁连山森林枯落物水文作用的研究 [J]. 西北林学院学报, 1997, 12 (2): 7 - 14.
- [43] 张学龙, 车克钧, 王金叶, 等. 祁连山寺大隆林区土壤水分动态研究 [J]. 西北林学院学报, 1998, 13 (1): 1 - 9.
- [44] 陈桂琛, 彭敏, 黄荣福, 等. 祁连山地区植被特征及其分布规律 [J]. 植物学报, 1994, 36 (1): 63 - 72.
- [45] 党宏忠, 赵雨森, 陈祥伟, 等. 祁连山青海云杉林地土壤水分特征研究 [J]. 应用生态学报, 2004, 15 (7): 1148 - 1152.

## Review of Climate Change and Water Resource Research in Qilian Mountain Region in Recent Ten Years

WANG Sheng<sup>1</sup>, WANG Yaning<sup>2</sup>, WANG Runyuan<sup>1</sup>, ZHANG Ping<sup>3</sup>, WANG Jingsong<sup>1</sup>, WANG Heling<sup>1</sup>

(1. Institute of Arid Meteorology, CMA; Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province; Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of CMA, Lanzhou 730020, China; 2. 56 Element of 96351 Army, Xi'ning 810007, China; 3. Center of Meteorological Information and Technology Equip of Gansu Province, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** The mainly research development over Qilian Mountain region in recent ten years is reviewed in this paper. The most research work focused on climate change and water resource. There are a lot of results about the paleoclimate and the interannual variability of neoteric climate and water resource over the Qilian Mountain region. The exploitation and utilization of air water resource over Qilian Mountain has been focused in recent years, which should be a way to mitigate water shortage in arid and semi-arid region in northwest China.

**Key words:** Qilian Mountain; climate change; water resource

---

(上接第 47 页)

## Evolution Characteristic of Airflow for Local Thunderstorm

ZHANG Jiulin<sup>1</sup>, LI Weihong<sup>2</sup>, ZHANG Kejian<sup>2</sup>

(1. Gansu Weather Modification Office, Lanzhou 730020, China; 2. Gansu Service Center of Meteorological Science and Technology, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** Based on aerological observations at the hail suppression experimental stations of Yongdeng and Minxian counties of Gansu Province during 1979 - 1987, as well as surface meteorological observations at the same time, the upper winds under the six different weather conditions of strong hailstorm, weak hailstorm, thunderstorm, shower, overcast and sunshine were analyzed. Results show that significant difference presented in low air wind direction shear, middle air wind velocity shear and jet in upper air before hail falling under the strong hailstorm weather condition compared with those of other weather conditions, which is useful to forecast hailstorm and study its formation mechanism.

**Key words:** hailstorm; environment flow; evolution

---

(上接第 65 页)

## Analysis on New Generation Weather Radar Echoes of a Strong Rainstorm in Qingyang

ZHANG Tianfeng<sup>1</sup>, WANG Weitai<sup>1</sup>, WU Amin<sup>1</sup>, YANG Min<sup>2</sup>

(1. Qingyang Meteorological Bureau of Gansu Province, Qingyang 745000, China; 2. Gansu Provincial Meteorological Bureau, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** The new generation weather radar echoes data of the strong rainstorm weather occurred on July 8, 2006 in Qingyang city was analyzed. Results show that upper shearline resulted in this weather event, and the difference in intensity, velocity echoes and physical quantity production between the rainstorm and hail weather was not so obvious, but the damage was more severe. So for weather forecast, weather events like this should be focused, and the same way as hail suppression should be adopted to reduce precipitation intensity and decrease damages.

**Key words:** new generation weather radar; rainstorm; echo characteristic