林业科学研究 2006, 19(4): 416～422
Forest Research

文章编号: 1001-1498(2006)04-0416-07

祁连山林草复合流域降水规律的研究

王金叶[1,3], 王彦辉[2*], 王顺利[3], 于澎涛[2], 张学龙[3], 葛双兰[3]

(1. 桂林工学院旅游学院,广西 桂林 541004; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境研究所,北京 100091;
3. 甘肃省祁连山水源涵养林研究院,甘肃 张掖 734000)

摘要:在祁连山西水试验区排露沟林草复合流域分坡向和海拔设置 26个雨量观测点,观测研究了降水变化规律,结果表明: (1)流域内降水具有明显的季节变化,夏秋季降水充沛,冬春季降水稀少; (2)降水变化是大气环流和小气候及环境因子综合作用的结果,月降水量 (R, mm)与月水汽压 (P, Pha)、气温 (T, ℃)、空气湿度 (W, %)和水面蒸发 (E, mm)之间存在显著的线性相关关系: $R = -98.2063 + 11.7353P + 1.1350W + 0.0861E - 2.2946T$,相关系数为 0.948 6; (3)降水量随海拔升高而递增, 2 600～3 300 m百米平均递增率为 4.95%,当海拔超过 3 300 m及接近山顶时,降水出现随海拔升高而下降的趋势;降水空间分布差异除受海拔影响外,还受坡向的影响,阴坡比阳坡降水多 7%左右,处在相同海拔和坡向的植被类型差异对降水量的影响不显著; (4)模型 II能够较准确模拟流域降水动态变化,可以利用流域附近气象站降水观测值进行流域降水量估算。

关键词:祁连山;复合流域;降水规律;环境因素
中图分类号: S715 **文献标识码**: A

A Preliminary Study on the Precipitation Variation of Complex Watershed on Forestry and Grasses of Qilian Mountains

WANG Jin-ye[1,3], *WANG Yan-hui*[2], *WANG Shun-li*[3], *YU Peng-tao*[2], *ZHANG Xue-long*[3], *GE Shuang-lan*[3]

(1. Tourism College, Guilin University of Technology, Guilin 541004, Guangxi, China;
2. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, Chian;
3. Academy of Water Resource Conservation Forests in Qilian Mountains of Gansu Province, Zhangye 734000, Gansu, China)

Abstract: In this paper, the precipitation variation was preliminarily studied in the Pailugou complex watershed on forest and grasses, which located in the Xishui research areas of Qilianshan Mountains. The results showed: (1) The precipitation in watershed had obvious seasonal change, plentiful in summer and autumn and rare in winter and spring; (2) The variation of precipitation was a result of comprehensive effects of atmospheric circulation and local micro-climatic and environmental factors. The local micro-climatic and environmental factors could probably more or less influence the precipitation. A markedly correlated linear regression relationship existed among the monthly precipitation (R, mm), vapor pressure (P, Pha), air temperature (T, ℃), air humidity (W, %) and evaporation (E, mm): $R = -98.2063 + 11.7353P + 1.1350W + 0.0861E - 2.2946T$, the correlation coefficient is 0.948 6; (3) The point precipitation increased with elevation in certain range. In the elevation of 2 600～3 300 m the precipitation increase rate per 100 meter in elevation was 4.95% in average. The annual precipitation declined with elevation hoisting when the elevation was over 3 300 m or clos-

收稿日期: 2005-03-11
基金项目: 国家自然科学基金重点项目"干旱半干旱区森林与资源相互影响及合理调控机理"(30230290)、科技部国家重点野外科学观测试验站建设项目联合资助
作者简介: 王金叶(1965—),男,甘肃民乐人,研究员,博士,主要从事生态水文研究与教学工作,原工作单位甘肃省祁连山水源涵养林研究院。E-mail: wangjy66@sohu.com
* 通讯作者:王彦辉,研究员,博士生导师

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

ing the peak. Precipitation varied dependent on slope direction (or vegetation type) besides altitude, and the precipitation in shady slopes was about 7% higher than that in sunny slopes in the studied watershed. Difference vegetation type with same elevation and slope direction would not arouse precipitation discrepancy; (4)The watershed average time or annual precipitation could be comparatively accurately calculated from the measured time or annual precipitation in the climate station located near the watershed outlet with the mode Ⅱ.

Key word: Qilian Mountains; complex watershed; precipitation variation; environment factors

处于干旱半干旱区的山地森林是山前平原及发源于山地林区各河流的重要水源地,山地森林通过调节降水分配和高寒山区冰川积雪消融,成为影响山地森林生态系统和山前平原绿洲生态系统平衡与稳定的关键,林区降水是山地和山前平原主要的水分来源。祁连山水源涵养林是西北干旱半干旱区典型的山地森林,处在"冰源水库"和河川水系之间,很多学者对其水文生态作用进行了研究[1~7],但在流域水平上对降水规律研究还很少,特别是流域降水量的计算大多采用以"点"代"面"的办法来简单地处理,导致流域水量平衡和森林水文研究有很大的不确定性[8~10],所估算的径流系数往往偏高。本文旨在通过典型流域内"点"降水变化规律的研究,为准确估计流域的"面"降水量、进一步深入评价森林的水文影响及基于各河流发源地降水规律合理安排工农业生产和生态建设用水提供参考依据。

1　研究区域概况

1.1　祁连山概况

祁连山地处青藏、黄土高原和蒙新荒漠的交汇处(97°24′~103°46′E, 36°43′~39°42′N),属高山深谷地貌,海拔 2 000~4 000 m,最高峰 5 826.8 m,山势西高东低;具有大陆性气候和青藏高原气候综合影响的特点,气温变化剧烈,雨量分配不均,温度、降水随海拔呈明显的垂直梯度,降水总趋势是从东到西、从南到北减少,雪线由东向西增高。土壤和植被因地势和气候的差异形成明显的垂直分布带,土壤类型随海拔递增依次为山地灰钙土、山地栗钙土、山地森林灰褐土、亚高山灌丛草甸土和高山寒漠土,其中山地森林灰褐土和亚高山灌丛草甸土是适宜森林生长的土壤。山地森林灰褐土分布在海拔 2 500~3 300 m地带,是乔木林的主要分布带,亚高山灌丛草甸土分布在海拔 3 300~3 600 m地带,是湿性灌木林的主要分布带。森林、草地、高山冰川、积雪共同构成了祁连山巨大的天然复合水库,涵源吐放出石羊河、黑河、疏勒河三大水系的 56条内陆河流。

1.2　排露沟流域概况

排露沟流域位于国家野外重点科学观测试验站祁连山森林生态站的西水试验区(100°17′E、38°24′N),流域面积 2.59 km^2,海拔 2 600~3 800 m,属高寒山地森林草原气候。流域出口(2 650 m)附近地面气象站 1994—2003年观测的年平均气温 0.5 ℃,年降水量 368 mm,年蒸发量 1 051.7 mm,空气相对湿度 60%。流域内的主要森林类型为青海云杉林(*Picea crassifolia* Kom.),呈片状分布于阴坡、半阴坡;阳坡、半阳坡主要为山地草原,伴生有金露梅(*Dasiphora fruticosa* L.)、箭叶锦鸡儿(*Caragana jubata* pall)等灌木。

2　研究方法

2.1　观测点布设与降水观测

2000—2003年在排露沟流域内,沿海拔梯度在草地、乔木林(青海云杉)和灌木林的空地中布设雨量观测点,雨量点布设的海拔从 2 600 m开始,每升高 100 m布设 1个,3 500~3 800 m每 50 m布设 1个,共布设标准雨量筒 26个(表 1)。在每次降水后,

表 1　排露沟流域降水观测点概况

地点	降水量观测点基本情况			标准雨量筒/个
	海拔高度/m	坡向	植被类型	
气象站	2 600	N	草地	1
气象哨	2 700	NW	草地	1
林冠上	2 700	N	云杉林	1
草地	2 900	S	阳坡草地	2
林空(树高 2倍)	2 900	NW	云杉林	2
草地	3 000	SW	草地	1
林空(树高 2倍)	3 000	N	灌丛林	2
林空(树高 2倍)	3 100	N	云杉林	2
草地	3 200	SW	草地	2
林空(冠高 2倍)	3 300	NE	灌丛林	4
林空(树高 2倍)	3 300	NE	云杉林	3
林空(冠高 2倍)	3 400	NE	灌丛林	1
林空(冠高 2倍)	3 500	E	灌丛林	1
林空(冠高 2倍)	3 550	NE	灌丛林	1
林空(冠高 2倍)	3 600	N	灌丛林	1
林空(冠高 2倍)	3 650	NW	灌丛林	1

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

用雨量杯及时测定每个雨量筒内的降雨量。对于降雪,先用称量准确的热水融化,然后测定其总量,扣除加入的热水后得到降雪量,单位为降水深度(mm)。

2.2 地面气象因子观测

在排露沟流域出口附近(2 570 m),按照国家气象局统一要求建立国家三级标准地面气象站(观测场地 10 m ×20 m),并在试验流域青海云杉林内、林外 2 700 m处各建立一个气象哨。按照《国家地面气象观测规范》要求进行仪器布设和定时观测;在青海云杉林内建立 30 m高的林内小气候垂直梯度观测塔,开展气象因子梯度观测,塔顶布设雨量筒测定森林上空的降水量。

2.3 数据整理与分析

根据常规经验剔除个别明显不符合规律的次降水量观测数据,剔除高海拔有 2次以上降水累积情况的数据和降水后没有及时观测而后补测的数据;同时,根据分析需要,剔除由于雨量筒损坏造成个别观测点没有收集到数据的同次降水的其它观测点的数据。在 2003年,共收集到次降水观测数据 492个,经分析后保留有效数据 426个,然后建立相关数据库,用 Excel进行数据统计分析。

3 结果与分析

3.1 流域降水变化规律

3.1.1 降水的季节变化 统计试验流域出口附近地面气象站 1994—2003年降水观测数据,结果显示年降水量为 290.2～467.8 mm,平均为 368 mm。年内降水具有明显的季节变化(图 1),把一年分为雨季和旱季 2个季节,夏秋季(5—10月份)降水充沛,占年降水量的 87.2%左右,为雨季;冬春季(11—4月份)降水稀少,仅占年降水量的 12.8%左右,为旱季。降水一般每年出现 2次高峰,1次在 9月份,1次在 7月份;通常最大降水出现在 6—8月份,出现频率占 80%,但个别年份中 5月份(春季)由于降雪造成的降水高峰可能大于夏秋季的降雨高峰(如 2002年),有时秋季 9月出现最大降水(如 2001年)。降水集中的高峰能够使河川径流增加,这对增加处于干旱区的祁连山山前平原的农业生产供水有积极作用。

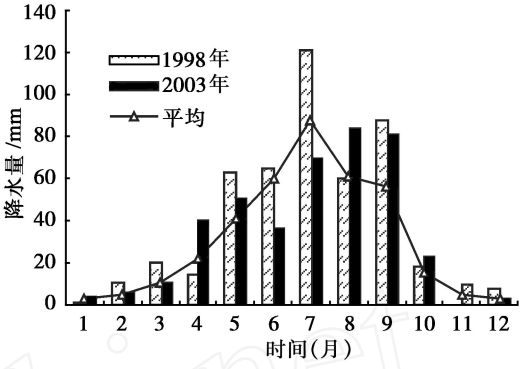

图 1 祁连山西水试验区降水年动态曲线

祁连山西水试验区降水主要集中在 6—9月,平均占全年降水的 72.09%,特别是 7—8月的降水高峰(占 40.59%)往往形成“夏汛”;进入秋季后气温下降,蒸发量降低,加之夏季的集中降水已使土壤含水量较高,秋季降水能够很快形成径流,河川径流系数往往较高;降水年际差异较大,最大年降水量比最小年降水量高 61.19%,年内降水分布差异比较明显,如在 2002年,排露沟流域的年降水量为 411 mm,与 2003年的 416.4 mm无明显的数量差异,但年内分配有较大不同,降水高峰比 2003年提前约 2个月。

3.1.2 降水变化与气象因子的相关性 降水变化是大气环流、小气候与环境综合作用的产物,其总体趋势主要受大气环流影响,而细小差异可能是由于小气候和局部环境影响所致。从图 2看出,月降水量的变化趋势与气温、湿度、水汽压、水面蒸发(蒸发皿)等因子之间存在关系。相关性分析表明(表 2),除湿度与蒸发、风速的相关系数低于 0.5以外,其它相关系数都在 0.5以上,尤其是月降水量与各因子的相关系数为 0.928 7～0.623 6,相关性较强,可能存在着显著的相互影响。

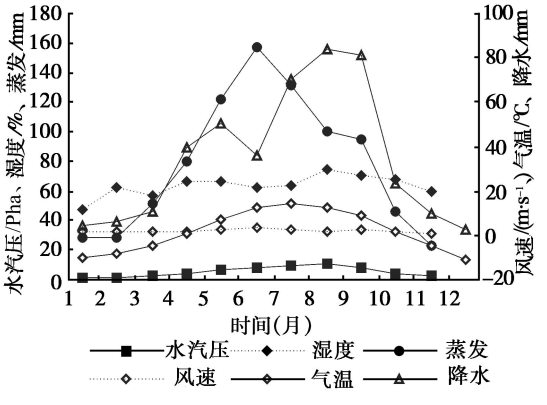

图 2 2003年祁连山西水试验区气象因子年动态曲线

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　月降水量与其它气象因子的相关性分析

因子	水汽压	湿度	蒸发	风速	气温	降水
水汽压	1.000 0	—	—	—	—	—
湿度	0.709 1	1.000 0	—	—	—	—
蒸发	0.835 1	0.446 2	1.000 0	—	—	—
风速	0.758 3	0.431 2	0.964 6	1.000 0	—	—
气温	0.972 4	0.688 0	0.912 7	0.859 8	1.000 0	—
降水	0.928 7	0.772 5	0.709 3	0.623 6	0.879 5	1.000 0

3.1.3　降水量与相关气象因子的数量关系　月降水与风速的相关性较小 (表 2),在剔除风速后对月降水量 (R,mm)与水汽压 (P, Pha)、气温 (T, ℃)、湿度 (W, %)、蒸发量 (E,mm)等因子进行回归分析和相关显著性 F检验,结果表明 $F > F_{0.05}$,相关系数为 0.948 6,这说明水汽压、气温、湿度和蒸发量与月降水量的线性回归相关关系极显著,其回归方程为:

$$R = -98.206\,3 + 11.735\,3P + 1.135\,0W + 0.086\,1E - 2.294\,6T \qquad r = 0.948\,6 \qquad (1)$$

在月降水量数据缺失的情况下,利用此回归方程仅能根据各月的气象因子特征计算各月的降水量,但是,如何区分或计算月内降水量的时间分布和场次变化,还需要进一步深入研究。

3.2　不同坡向和不同植被类型的降水量差异

3.2.1　不同坡向的降水量差异　在同一气候条件下,降水的地域分布差异主要受小地形 (坡向、海拔)的影响。表 3表明:祁连山区同一流域内同一海拔高度处不同坡向的降水量有一定差异,阴坡降水量明显高于阳坡,而且这个差别随海拔升高而变化。阳坡与阴坡的降水量比值在海拔 2 900、3 000、3 200 m处分别为 0.946、0.880、0.963。阴坡比阳坡降水量平均多 7%左右。

表 3　不同坡向不同植被类型的降水量

海拔/m	坡向	植被类型	次降水量/mm 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	合计	阳坡/阴坡
2 900	阴坡	云杉林	10.8	8.9	17.4	5.3	1.8	4.2	2.8	13.0	7.8	6.7	7.0	3.5	8.6	16.1	12.4	7.2	24.1	157.6	0.946
	阳坡	草地	13.1	8.0	17.3	5.5	3.5	6.2	2.3	9.5	6.4	6.5	5.3	2.7	11.2	14.4	10.8	6.4	20.0	149.1	
3 000	阴坡	灌木林	11.1	9.4	16.9	8.8	2.7	6.5	3.1	14.3	7.5	8.7	6.8	3.8	8.7	15.0	12.6	7.3	24.3	167.5	0.880
	阳坡	草地	12.9	7.9	17.1	5.5	3.4	6.1	2.3	9.4	6.3	4.3	3.0	3.6	11.1	14.8	11.1	6.4	22.2	147.4	
3 200	阴坡	灌木云杉林	11.5	11.1	18.3	7.0	2.0	6.0	3.6	14.4	8.1	9.8	8.3	4.5	9.7	16.6	14.6	7.8	26.0	179.3	0.963
	阳坡	草地	15.1	9.3	20.0	6.4	4.0	7.1	2.7	11.0	7.4	8.7	7.6	4.1	9.0	16.2	13.2	6.7	24.1	172.6	

注:表内所用次降水数据来源于 2003年 5—9月份。

3.2.2　不同植被类型的降水量差异　祁连山的植被类型分布受水分条件的影响,在水分条件较好的阴坡分布森林,在水分条件差的阳坡分布草地,在沟谷则是林草交错分布,形成了犬牙交错的植被类型镶嵌分布格局。植被类型和坡向对降水量的影响是相互交织在一起的,很难区分开来,但从表 4、5看出,2种植被类型的降水量差异不显著,表明同一海拔和坡向的植被类型差异对降水量的影响不显著;因此,在祁连山区按海拔梯度计算流域内降水输入时,只区分出阳坡和阴坡即可。

表 4　2003年相同海拔阴坡不同植被类型的降水量

海拔/m	植被类型	次降水量/mm 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
3 300	云杉林	12.5	12.1	21.9	7.3	1.9	6.3	3.3	13.6	8.3	9.6	9.1	4.7	10.0	16.5	15.0	7.5	27.0
	灌木林	10.6	12.1	18.4	7.1	2.0	6.2	3.4	14.4	8.4	10.1	8.4	4.4	10.2	16.4	15.2	7.8	26.2

3.2.3　坡向引起降水差异的原因　祁连山林区阴坡比阳坡降水多的主要原因是风向的作用,当地的主风向为西北风,占全年的 30%～65%,阴坡为主迎风面,阳坡为背风面,降水水汽在阴坡抬升的过程中形成降水的机会多于阳坡,导致阴坡比阳坡降水平均多 7%左右 (表 3);同时,阴坡生长的乔木林进一步增加了地面粗糙度,具有更强的拦截云中水滴增加水平降水的作用,加上较强的蒸腾作用使林地上空空气湿度大于阳坡草地[3],形成了适宜降水的小气候环境,可能具有增加降水的作用,进一步加强了阴阳坡的降水差距。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 5 灌木林和乔木林降水量的方差分析

变差来源	自由度	离差平方和	均方比	F	$F_{0.05}$
组间	1	0.852 361	0.852 361		
组内	32	1 266.771	39.586 6	0.021 532	4.15
总计	33	1 267.624			

3.3 降水量的海拔变化及其数量分析

3.3.1 年降水量的海拔变化规律 图 3表明,海拔 2 600～3 300 m的年降水量呈递增趋势,2 600～2 900 m的降水量递增较快;2 900～3 300 m递增缓慢;当海拔超过 3 300 m及接近山顶时,年降水量出现随海拔升高而下降的趋势;降水递增率在海拔 2 800 m出现一个高峰。排露沟流域年降水量开始下降的海拔高度比寺大隆试验区[11]低 300 m,主要是因为山顶的高度和高海拔面积不同所致。排露沟流域海拔 2 600～3 300 m,百米降水平均递增率为 4.95%,其中乔木林分布带中间 (2 700～2 900 m) 降水递增率最高,为 11.09%;高海拔灌木林分布带内年降水量呈缓慢下降的趋势,百米降水递减率 8.3%,但灌木林分布带全年总降水量仍比乔木林分布带高 13.71%,加上灌木林分布带气温低、蒸散少,使林地土壤含水量较高,在流域产生径流方面发挥着重要作用。降水沿海拔梯度的递增率比常学向等人[11]的研究略高,与陈昌毓[12]、车克钧等人[13,14]研究结果相同。

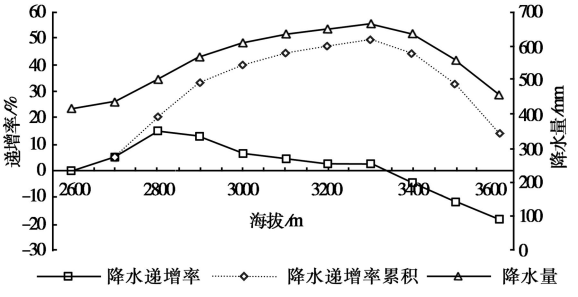

图 3 祁连山排露沟流域降水沿海拔梯度变化曲线

3.3.2 年降水量随海拔高度变化的数量分析 为了准确计算流域内的降水输入或基于数量有限的气象站降水观测资料计算整个流域的降水量,对 2003年沿海拔梯度布设的阴坡观测点的年降水量观测资料进行了回归分析:

$$R_i = 0.120\,16H_i + 185.075\,7 \qquad r = 0.441\,2 \qquad (2)$$

$$R_i = -7\,680.61 + 5.248\,15H_i - 0.000\,827\,09H_i^2$$
$$r = 0.997\,7 \qquad (3)$$

式中:R_i为海拔点 i处的年降水量 (mm);H_i为海拔点 i处的海拔高度 (m)。方程 (3)很高的相关系数说明,用方程 (3)计算排露沟流域降水量随海拔高度的变化是可行的,方程中海拔高度取值范围限定在 2 600～3 800 m之间,对于范围以外的降水量计算需要进一步验证,对此方程积分可以计算出流域平均降水量。

对 2003年沿海拔梯度布设的阴坡观测点的降水累积递增 (减)率进行回归分析:

$$r_i = -1\,533.39 + 0.991\,92H_i - 0.000\,155\,66H_i^2$$
$$r = 0.953\,6 \qquad (4)$$

式中:r_i为海拔点 i处的降水累积递增率 (%);H_i为海拔点 i处的海拔高度 (m)。方程 (4)相关系数很高,说明用方程 (4)计算排露沟流域降水累积递增率随海拔高度的变化是可行的,可根据方程 (4)计算各观测点降水累积递增率,并在此基础上根据地面气象站观测的降水量资料计算各观测点次或年降水量。方程 (4)的海拔高度取值范围限定在 2 600～3 800 m之间。

用流域出口附近气象站 (海拔 2 570 m)和不同海拔各观测点次降水实测值,逐一进行线性回归分析,得到不同海拔各测点降水量与气象站降水量的回归方程 (表 6),相关系数均在 0.91以上;因此,可以根据气象站的每次降水观测数据和表 6中的方程,估算排露沟流域不同海拔处的次降水量。

表 6 气象站与不同海拔观测点的次降水量回归方程

海拔 /m	方 程	相关系数
2 700	$R = 1.605\,5 + 0.815\,5\,R_0$	0.972 8
2 800	$R = 1.614\,6 + 0.971\,5\,R_0$	0.964 5
2 900	$R = 1.623\,6 + 1.127\,6\,R_0$	0.938 1
3 000	$R = 2.753\,1 + 1.050\,5\,R_0$	0.933 3
3 100	$R = 2.924\,5 + 1.088\,3\,R_0$	0.917 6
3 200	$R = 2.810\,8 + 1.145\,4\,R_0$	0.931 1
3 300	$R = 2.734\,8 + 1.217\,9\,R_0$	0.941 8
3 400	$R = 2.603\,2 + 1.159\,3\,R_0$	0.941 8
3 500	$R = 2.292\,4 + 1.020\,9\,R_0$	0.941 8
3 600	$R = 1.879\,2 + 0.836\,9\,R_0$	0.941 8

注:R为相应海拔高度处的降水量 (mm),R_0为气象站观测的降水量 (mm)。

3.4 流域降水量不同估测方法评价

流域年降水输入的准确估测,是流域水量平衡和森林水文研究的基础,为此用几种方法进行了排露沟流域年降水量的估算及估算结果的对比分析 (表 7)。结果表明:5种方法计算的流域 2003年降水量平均为 530.9 mm,如果除去方法 1的计算结果

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(最不可取的流域降水量估算方法),流域 2003年降水量平均为 559.6 mm,后 4种方法的计算结果比较接近,且远高于方法 1的估算值。方法 4选用模型的相关系数最大,为 0.997 7,根据气象站观测值估测流域降水比较准确,但实际上该模型是在流域阴坡降水观测点资料的基础上建立的,计算的降水量只能代表流域阴坡,估算值较高,且不能反映不同年份的降水差异。根据阳坡降水比阴坡少 7%左右,可以计算得到流域 2003年实际降水量为 554.3 mm左右,与方法 2计算结果相近。方法 2、3和 5及予以修正的方法 4都是比较理想的流域降水统计方法,但从预测计算的简单实用角度来看,方法 5最理想,模型 II建立在实际观测值的基础上,又能根据地面气象站降水量观测值计算整个流域的降水量,由于是经验模型,它只适合于排露沟流域,在应用到其它流域时可能需要进行流域降水的海拔递增率的调整。

表 7　2003年流域年降水量的不同估计方法的对比分析

	方　法	公　式	公式参数	年降水量/mm	分析
1	以点代面:用流域附近地面气象站降水观测值代表整个流域平均降水量。	$R = R_i$	R为流域降水量(mm);S为流域总面积(m^2);R_i为观测点 i的降水量(mm);S_i为观测点 i代表的植被类型(或立地类型)面积;n为观测点数。	416.4	简单,但精确度不高。
2	数学平均:用流域内多个观测点降水值经数学平均后代表整个流域平均降水量。	$R = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} R_i$		557.6	需要广泛设点观测,只能统计,无法预测。
3	加权平均:用流域内多个观测点降水值,结合各观测点代表的植被类型(或立地类型)面积,经加权平均估测整个流域平均降水量。	$R = \left(\sum_{i=1}^{n} S_i \times R_i\right) / S$		561.1	不仅需要广泛设点观测降水量,还需对各点所代表的植被类型面积进行测量,野外工作量大,且无法预测。
4	模型 I:用流域内的多个观测点降水量随海拔变化的抛物线模型计算流域平均降水量。考虑某海拔范围对应的面积,进行面积加权平均。	$R = \frac{1}{s}\sum\left[\frac{1}{b-a}\int_a^b (7\,680.61 + 5.248\,15H - 0.000\,827\,09H^2)\,dH\right] S_i$	a流域海拔下限(2 600 m)、b流域海拔上限(3 800 m);R流域平均降水深(mm);H海拔高度(m);R_i气象站降水量(mm)。S_i为流域内某海拔范围对应的面积(m^2)。	574.4	计算的流域降水量年际间为定值,但不需要再设立新的观测点进行观测。
5	模型 II:用流域降水量海拔梯度线性回归模型,计算降水平均递增率,然后根据气象站测定值计算流域平均降水量。考虑某海拔范围对应的面积,进行面积加权平均。	$R = \frac{1}{s}\sum\left[\left(1 + \frac{1}{100(b-a)}\int_a^b (1\,533.39 + 0.991\,92H_i - 0.000\,155\,66H_i^2)\,dh\right) R_i\right] S_i$		545.1	在观测的基础上计算,流域降水量随着气象站观测数据而变化,可以是总量,也可以是单次降水量。

4　结论与讨论

祁连山林草复合流域降水具有明显的季节变化,一年分为雨季和旱季 2个季节。夏秋季(5—10月份)降水充沛,占年降水量的 87.2%左右,为雨季;冬春季(11—4月份)降水稀少,仅占年降水量的 12.8%左右,为旱季。流域降水变化是大气环流、小气候及环境因子综合作用的产物,月降水量(R)与月水汽压(P)、气温(T)、湿度(W)和蒸发量(E)具有相关显著的线性关系,$R = -98.206\,3 + 11.735\,3P + 1.135\,0W + 0.086\,1E - 2.294\,6T$,相关系数为 0.948 6。流域降水随海拔升高而递增,2 600～3 300 m百米平均递增率为 4.95%,当海拔超过 3 300 m及接近山顶时,降水出现随海拔升高而下降的趋势。降水空间分布差异除受海拔影响外,还受坡向的影响,阴坡比阳坡降水多 7%左右,同一海

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

拔和坡向的植被类型差异对降水量的影响不显著。

对流域降水的准确估算是流域水分研究的基础,通过回归建立的经验模型 II能够根据附近气象站降水观测值比较准确估算排露沟流域降水动态,但在应用到其它流域时需要进行流域降水海拔递增率的调整。

参考文献:

[1] 王礼先,张志强. 干旱地区森林对流域径流的影响 [J]. 自然资源学报, 2001, 16(5): 439～444

[2] 朱金兆,刘建军,朱清科,等. 森林凋落物层水文生态功能研究 [J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(5/6): 30～34

[3] 王金叶,车克钧,王艺林,等. 干旱半干旱区山地森林的水分调节功能 [J]. 林业科学, 2001, 35(5): 29～38

[4] 车克钧,傅辉恩,贺红元. 祁连山北坡森林涵养水源机理研究 [A]. 见:周晓峰. 中国森林生态系统定位研究 [C]. 哈尔滨:东北林业大学出版社, 1994: 280～284

[5] 车克钧,傅辉恩,王金叶. 祁连山水源林生态系统结构与功能研究 [J]. 林业科学, 1998, 34(5): 29～38

[6] 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): 7～15

[7] 车克钧,傅辉恩,贺红元. 祁连山水源涵养林效益的研究 [J]. 林业科学, 1992, 28(6): 544～548

[8] 蓝永超. 河西内陆干旱区主要河流出山径流特征及变化趋势分析 [J]. 冰川冻土, 2000, 22(6): 78～82

[9] 王金叶,车克钧. 祁连山森林复合流域径流规律研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 4(1): 22～28

[10] 王金叶,车克钧,闫克林,等. 祁连山森林覆盖区河川径流组成与时空变化分析 [J]. 冰川冻土, 1999a, 21(1): 59～64

[11] 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): 274～280

[12] 陈昌毓. 祁连山北坡的气候与植被分布 [A]. 甘肃祁连山国家级自然保护区建设发展研讨会专集 [C]. 兰州:甘肃省林业厅, 1989: 70～80

[13] 丁永建,叶陌生,周文娟. 黑河流域过去 40年来降水时空分布特征 [J]. 冰川冻土, 1999, 1(21): 42～48

[14] 车克钧,张虎,贺红元,等. 祁连山森林草原大气降水特性的研究 [J]. 甘肃林业科技, 1993, 18(1): 17～21

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net