

文章编号: 1007-7588(2013)01-0148-09

2001年至2010年昆马力克河流域积雪 时空变化特性分析

穆振侠, 姜卉芳

(新疆农业大学水利与土木工程学院, 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为对水资源重要组成部分和极端水文事件频发诱因之一的积雪融水有较好的认识, 本文基于2001年-2010年昆马力克河流域8d MODIS积雪合成数据, 从整个区域、不同坡度、不同坡向和不同海拔高度对其积雪时空变化规律进行研究。结果表明: 昆马力克河流域最大积雪覆盖面积出现在1月, 最小积雪覆盖面积出现在8月, 冬季积雪所占比例最大; 从坡向看, 四季中最大积雪覆盖率出现在冬季坡向为22.5~67.5°的东北坡, 为77.9%, 最小积雪覆盖率出现在夏季坡向为157.5~202.5°的南坡, 为28.3%; 从坡度看, 四季中最大积雪覆盖率出现在坡度>60°的区域, 最大值出现在春季, 为82.2%, 最小积雪覆盖出现在坡度为0~10°区域, 以夏季最小, 为29.9%; 从高程带看, 最小积雪覆盖率出现在海拔高度小于2000m的区域, 最大积雪覆盖率出现在海拔高度大于5000m的区域, 在多年平均情况下, 年平均积雪覆盖率随着海拔高度的增加呈现“慢-快-慢”的增大趋势。

关键词: 积雪; 时空变化; MODIS; 昆马力克河流域

1 引言

高寒山区作为高大冰川的赋存区、多年积雪的续存区域、大部分河流的发源地, 对区域水资源的形成、当地社会经济的快速发展起积极的作用, 但其又是冰川堰塞湖、溃坝性洪水、冰雪洪水、雪灾、雪崩和泥石流等极端自然灾害的多发区域, 给人类带来了巨大的灾难, 造成了重大的直接和间接经济损失。积雪作为陆地冰雪圈的重要组成部分及气候系统的变量, 不仅是气候变化的产物, 也是气候变化的敏感指示器, 其在地-气之间的物理隔绝作用, 影响着地表辐射平衡与能量交换。

融雪所形成的径流在水资源利用中扮演着极其重要的角色, 尤其是在中国西部的一些高海拔山区, 山区是大多数河流的径流形成区, 山区融冰融雪水是大多数河流的重要补给源之一, 是控制水库调蓄、合理安排工农业生产和生活用水的重要组成

部分, 对当地社会经济的发展、生态环境的保护及防洪抗旱决策等方面起着举足轻重的作用^[1]。近年来, 随着全球气候的变化, 积雪的消融规律已或多或少地受到影响, 以其为主要诱因的极端突发性水文事件频现, 已严重影响到了区域应急测报预案及处置机制的制定。为科学合理的对融雪径流进行预报, 需对区域积雪时空变化特性进行分析。

目前, 关于积雪时空变化特性方面的研究主要借助两种手段: 一是气象站点积雪监测数据, 由于受地形、气候、海拔高度及交通等因素的制约, 气象站点一般布设在平原区及城镇, 其所监测数据为点数据, 不能较好的反应山区积雪的时空变化特性及面分布规律; 二是卫星雪盖制图, 鉴于遥感数据具有获取空间范围广、观测频次高、成本低、实时性强、方便获取等诸多优点, 已经成为进行积雪监测与消融规律、雪灾预警等研究的最理想的数据源,

收稿日期: 2012-06-09; 修订日期: 2012-10-17

基金项目: 新疆农业大学校前期课题项目(编号: XJAU201005); 水利部公益项目(编号: 201001065); 国家自然科学基金项目(编号: 51209181); 新疆农业大学水利工程博士后经费资助项目; 新疆水文学及水资源重点学科基金项目(编号: xjswszzydxk20101202)。

作者简介: 穆振侠, 男, 山东莒县人, 副教授, 主要从事水文水资源研究。E-mail: muzhenxia@126.com

通讯作者: 姜卉芳, E-mail: xjaujh@163.com

2013年1月

卫星遥感已经成为当前冰雪相关方面研究的最主要的手段之一,近年来已经得到快速的发展与广泛的应用,并且随着高分辨率遥感卫星的相继发射,丰富了数据源,不同的学者借助不同数据源遥感数据(MODIS、TM、ETM、ASTER及其它微波遥感数据等)在相关方面作了大量研究,取得了较大进展^[2-7],为科学分析积雪消融规律奠定了基础。关于区域积雪相关方面的研究主要集中在融雪径流方面,如傅华等借助EOS/MODIS卫星资料和气象水文台站观测资料对阿克苏地区昆马力克河流域融雪洪水分型及成因进行分析^[8];徐长春等基于气象台站长时期气温、降水和积雪监测数据对塔里木河流域气温、降水变化及其对积雪面积的影响进行分析^[9];徐兴奎基于NOAA-NESDIS北半球积雪覆盖数据分析了1970年-2000年中国降雪量变化和区域性分布特征^[10]。而针对昆马力克河流域积雪时空变化特性方面的分析鲜见报道,且时空变化规律的研究只局限在海拔高度与时间上的变化。因此,本文借助MODIS数据以昆马力克河流域为研究区,对其积雪时空变化特性进行分析,以便人们对变化环境下的积雪消融规律及过程有较好的理解与认识,对提高融雪径流预报的精度、区域水资源管理水平、生态环境修复及治理等方面提供一定的参考依据。

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区概况

昆马力克河流域地处欧亚大陆腹地的天山南

坡,为阿克苏河的主要支流之一,流经吉尔吉斯斯坦共和国和哈萨克斯坦共和国进入我国新疆温宿县境内,其中在国内部分介于东经79°10'44"-80°07'29",北纬41°09'59"-41°54'16"之间,流域地形由北向南倾斜,形状呈扇状。至出山口协合拉水文站流域全长约203km,集水面积为13113.8km²,高程在7400~1388m之间,其中在吉尔吉斯斯坦境内集水面积占85%,中国境内集水面积15%(图1)。区域内终年积雪,山谷冰川十分发育,流域降水的年内分配很不均匀,主要集中在夏季(6月-8月)的降水量约占全年降水总量的55%~60%,春季(3月-5月)约占24%左右,温差变化大。河流主要以融雪融冰补给为主。

2.2 资料来源

本研究用到的资料主要包括:

(1)MODIS数据。研究中所用到的积雪数据来源美国EOS/MODIS数据中心提供的MODIS/Terra积雪8d合成数据(MOD10A2),选取时间序列为2001年-2010年,空间分辨率为500m×500m。经处理后进行重采样,使其与DEM分辨率一致。

(2)ASTER DEM数据。研究中所用到的地形起伏变化分析的DEM数据来源于美国EOS/MODIS数据中心提供的ASTER GDEM数据,水平分辨率为30m×30m。

2.3 研究方法

(1)基于2001年-2010年8d合成积雪数据

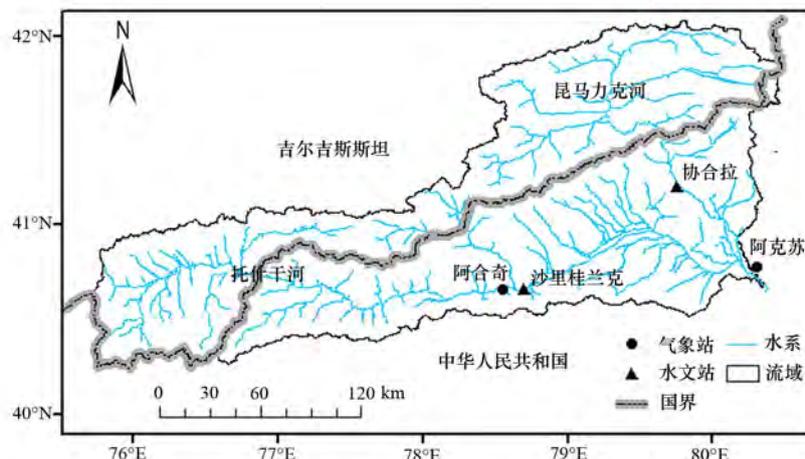


图1 研究区地理位置及河流水系

Fig.1 The location and drainage net

MOD10A2 按月序列进行整理分析,并按春季(3月-5月)、夏季(6月-8月)、秋季(9月-11月)和冬季(12月-次年2月)分别对研究区积雪的逐月及季节分布规律进行分析,年积雪面积采用逐月积雪面积累加方法获得,四季积雪面积也采用相同方法获得。

(2)不同区域积雪的消融与太阳辐射有关,因此,按一定的原则对坡向、坡度和海拔高度进行划分,并对其积雪时空变化特性进行分析。

3 昆马力克河流域积雪时空变化特性分析

3.1 昆马力克河流域积雪分布特征

基于研究区 2001 年-2010 年 8d 合成积雪数据 MOD10A2 整理出各月积雪覆盖数据,并求得多年平均下的逐月、春季(3月-5月)、夏季(6月-8月)、秋季(9月-11月)和冬季(12月-次年2月)不同时段下平均积雪覆盖面积,并累加求得全年积雪面积。

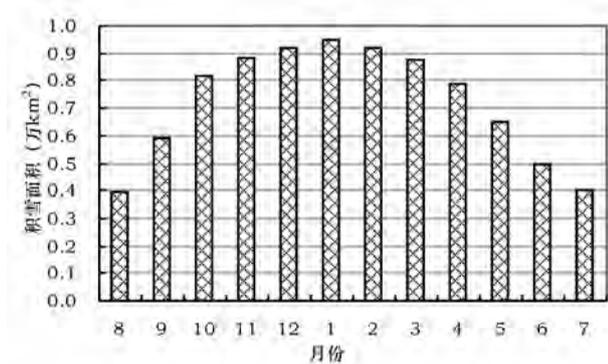


图2 研究区逐月积雪覆盖面积
Fig.2 The monthly snow cover area

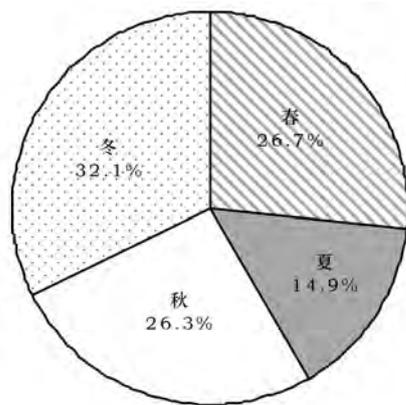


图3 研究区四季积雪覆盖面积比例
Fig.3 The seasonal proportions of snow cover area

多年平均情况下逐月平均积雪覆盖面积如图2所示。可以看出,昆马力克河流域最大积雪覆盖面积出现在1月,积雪面积为9494.12km²,全流域积雪覆盖率为72.4%;最小积雪覆盖面积出现在8月,积雪面积为3954.31km²,全流域积雪覆盖率为30.2%;12月和2月、11月和3月积雪覆盖面积相当,分别为9165.57km²和9211.81km²、8828.46 km²和8754.08 km²;7月份积雪覆盖面积与8月份接近,为4012.56km²,占全年积雪的4.6%。从四季积雪覆盖面积比例来看(图3),昆马力克河流域冬季积雪所占比例最大,为32.1%,其次依次为春季、秋季和夏季,分别占全年积雪覆盖面积的26.7%、26.3%和14.9%,这就是研究区春季由于气温升高,易发生春洪的主要诱因。

3.2 不同坡向积雪变化特性

(1)坡向划分。积雪的分布受地形、风速、风向等因素的影响不同区域存在一定的差异性,并且风吹雪的存在,增加了与积雪相关方面研究的复杂性。积雪消融量的多少受地面接受太阳辐射量的影响较大,而辐射又随着太阳高度的变化而变化,加之山区地形起伏较大,不同区域接受的太阳辐射量有一定的差异,因此造成了积雪消融规律的差异性和复杂性。为更好的研究不同区域接受太阳辐射量的差异性造成的积雪分布与消融规律的差异性,根据方位角把整个研究区分为9个坡向(表1),进行积雪覆盖时空分布规律分析。

(2)不同坡向积雪变化特性。基于整理出的研究区 2001 年-2010 年逐月积雪覆盖数据,统计出多年平均情况下四季各坡向积雪所占的比例及覆盖

表1 坡向划分信息

Table 1 The aspect information

序号	坡向	范围(°)	面积(km ²)	所占比例(%)
1	北坡1	0~22.5	914.9	7.0
2	东北坡	22.5~67.5	1536.4	11.7
3	东坡	67.5~112.5	1472.8	11.2
4	东南坡	112.5~157.5	1573.3	12.0
5	南坡	157.5~202.5	1853.3	14.1
6	西南坡	202.5~247.5	1583.9	12.1
7	西坡	247.5~292.5	1576.6	12.0
8	西北坡	292.5~337.5	1678.0	12.8
9	北坡2	337.5~360	924.6	7.1

2013年1月

率,如表2所示。可以看出,各坡向不同季节积雪所占的比例大至相当,浮动不大,而积雪覆盖率有一定的差异,其中:春季东坡积雪所占比例最大,为27.2%,北坡2最小,为26.1%,而多年平均积雪覆盖率,以东坡最大,为64%,南坡最小,为51%;夏季西南坡积雪所占比例最大,为15.5%,北坡1最小,为14.1%,而多年平均积雪覆盖率,以西坡最大,为35.4%,南坡最小,为28.3%;秋季北坡1、西北坡和北坡2积雪所占比例最大,均为26.6%,东南坡最小,为25.9%,而多年平均积雪覆盖率,以北坡1和东北坡最大,为63.1%,南坡最小,为49.3%;冬季北坡2积雪所占比例最大,为32.8%,西坡最小,为31.4%,而多年平均积雪覆盖率,以东北坡最大,为77.9%,南坡最小,为60.9%。从表2还可以看出,东南坡接受的太阳辐射较多,积雪覆盖率较小,积雪消融较快;夏季由于气温较高,积雪可完全消融。若积雪覆盖率仍较大,则存在永久性积雪和冰川,

西坡为永久性积雪和冰川的主要赋存区。

建立不同坡向多年平均积雪覆盖率与逐月积雪覆盖率的变化关系,如图4和图5所示。从图4可看出,多年平均情况下,以坡向为112.5~157.5°的东南坡积雪覆盖率最小,为42.4%;以坡向为22.5~67.5°的东北坡积雪覆盖率最大,为59.9%;北坡1和东坡积雪覆盖率较接近,分别为59.3%和58.9%;西坡、西北坡和北坡2积雪覆盖率较接近,分别为57.7%、58.2%和58.1%。从图5可以看出,各坡向最大积雪覆盖率出现在1月份,其中,东北坡积雪覆盖率最大,为78.6%,东南坡积雪覆盖率最小,为56.5%;从全年时段分析,最小积雪覆盖率出现在8月份,东南坡积雪覆盖率最小为22.9%;东南坡积雪消融最快,东北坡积雪消融最慢;8月-10月为积雪

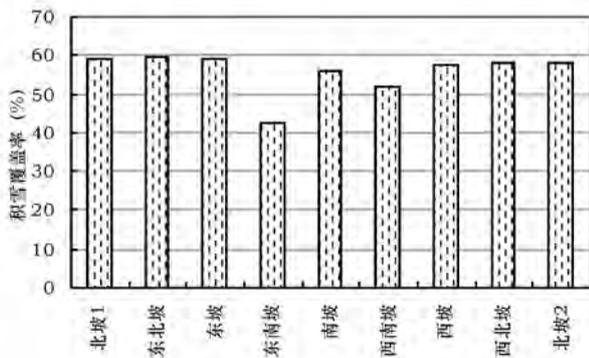


图4 不同坡向多年平均积雪覆盖率

Fig.4 The different aspect average annual snow cover

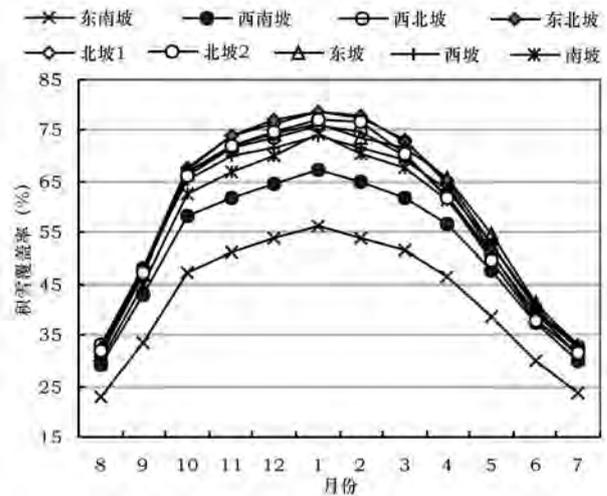


图5 不同坡向逐月积雪覆盖率变化

Fig.5 The different aspect monthly snow cover

表2 不同坡向不同季节积雪面积所占比例及覆盖率

Table 2 The snow proportion and coverage in different aspect and different season (%)

坡向	春		夏		秋		冬	
	所占比例	覆盖率	所占比例	覆盖率	所占比例	覆盖率	所占比例	覆盖率
北坡1	26.6	63.0	14.1	33.4	26.6	63.1	32.7	77.5
东北坡	26.5	63.5	14.6	34.9	26.4	63.1	32.5	77.9
东坡	27.2	64.0	14.8	34.9	26.3	62.0	31.7	74.8
东南坡	26.8	53.5	15.1	30.1	25.9	51.8	32.3	64.5
南坡	26.9	51.0	15.0	28.3	26.0	49.3	32.1	60.9
西南坡	26.7	55.3	15.5	32.2	26.2	54.3	31.6	65.6
西坡	26.8	61.7	15.4	35.4	26.5	61.3	31.4	72.4
西北坡	26.2	61.0	15.0	34.9	26.6	61.9	32.2	74.8
北坡2	26.1	60.7	14.5	33.7	26.6	61.8	32.8	76.2

快速累积期,主要这一时期降水较多,11月-次年1月累积速率减缓,随着气温的升高,2月-4月为缓慢消融期,5月-7月为加速消融期。

3.3 不同坡度积雪变化特性

(1)坡度划分。考虑到积雪的累积、再分布和消融在一定程度上受坡度的影响,因此,结合研究区的地形特征和DEM数据,按10°间隔对研究区坡度进行划分,鉴于坡度大于60°区域面积较小,因此没有再细分,最终整个研究区被划分为7个坡度范围进行积雪变化特性分析(表3)。

(2)不同坡度积雪变化特性。基于按一定规则划分的坡度及整理出的研究区2001年-2010年逐月积雪覆盖数据,统计出四季不同坡度区间积雪所占的比例及覆盖率,如表4所示。可以看出,不同坡度范围四季积雪所占的比例中,除夏季和坡度大于60°区间外,相差不太明显,而积雪覆盖率以平均高程较高、坡度大于60°区间最大,其中:春季积雪主要分布在坡度在20~30°区间,所占的比例为27.0%,此时的积雪覆盖率为57.7%,以坡度大于60°区间所

占比例最小,为25.9%,而此时的积雪覆盖率为最大,为82.2%;夏季积雪所占比例以坡度大于60°区间最大,为22.8%,以坡度在0~10°范围最小,为13.6%,而积雪覆盖率同样也为此两区间所在范围最高和最低,分别为72.4%和29.9%;秋季积雪所占比例以坡度为30~40°范围最大,为26.7%,以坡度大于60°区间最小,为25.5%,而积雪覆盖率以坡度大于60°区间最大,为81.0%,以0~10°范围最小,为56.6%;冬季积雪所占比例以坡度0~10°范围最大,为34.3%,以坡度大于60°区间最小,为25.8%,而积雪覆盖率以坡度大于60°区间最大,为81.8%,以坡度在40~50°范围最小,为67.2%。从表4也可以看出,四季中,以坡度在0~10°范围积雪消融最快,而以坡度大于60°区间积雪消融速度最慢,并且永久性积雪与冰川主要分布在坡度大于50°范围,主要是由于这一区间平均高程较高,气温较低,使得冰川与积雪能够长期累积存在。全年中,以冬季坡度大于60°区间积雪覆盖率最大,为81.8%,以夏季坡度在0~10°范围最小,为13.6%。

为合理分析不同坡度多年平均情况下与逐月积雪消融规律,建立不同坡度多年平均积雪覆盖率与逐月积雪覆盖率的变化关系,如图6和图7所示。从图6可以看出,在多年平均情况下坡度小于50°范围积雪消融速率相差不大,但以坡度在20~30°范围积雪消融最快,平均积雪覆盖率为53.5%,而以坡度大于60°区间积雪消融最慢。从图7可以看出,坡度为40~50°、50~60°和大于60°三个区间范围逐月积雪覆盖率变化趋势相同,呈双峰变化,而其他坡度区间范围变化趋势相同,呈单峰变化,坡

表3 坡度划分信息

Table 3 The slope information

序号	坡度(°)	面积(km ²)	平均高程(m)	所占比例(%)
1	0~10	2507.9	3547	19.1
2	10~20	2946.8	3662	22.5
3	20~30	2925.6	3746	22.3
4	30~40	2749.4	3813	21.0
5	40~50	1445.8	3909	11.0
6	50~60	428.8	4185	3.3
7	60~87	109.6	4526	0.8

表4 不同坡度不同季节积雪面积所占比例及覆盖率

Table 4 The snow proportion and coverage in different slope and different season

(%)

坡度(°)	春		夏		秋		冬	
	所占比例	覆盖率	所占比例	覆盖率	所占比例	覆盖率	所占比例	覆盖率
0~10	26.2	57.4	13.6	29.9	25.8	56.6	34.3	75.2
10~20	26.6	58.5	13.8	30.2	26.2	57.5	33.4	73.3
20~30	27.0	57.7	14.2	30.4	26.6	56.9	32.3	69.1
30~40	26.9	58.1	15.2	32.8	26.7	57.7	31.2	67.5
40~50	26.6	60.8	17.4	39.8	26.6	60.8	29.4	67.2
50~60	26.3	69.2	20.6	54.3	26.0	68.5	27.1	71.5
>60	25.9	82.2	22.8	72.4	25.5	81.0	25.8	81.8

2013年1月

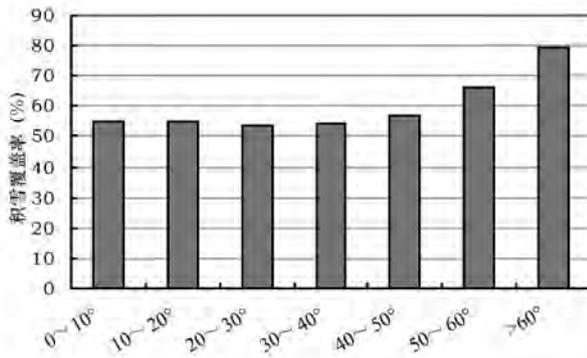


图6 不同坡度多年平均积雪覆盖率

Fig.6 The different slope average annual snow cover

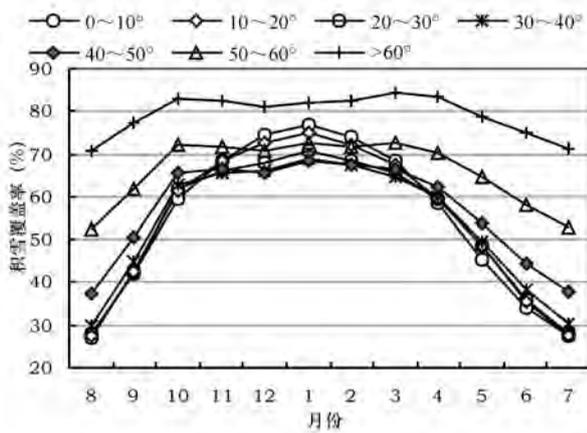


图7 不同坡度月均积雪覆盖率变化

Fig.7 The different slope monthly snow cover

度为40~50°区间峰值出现在11月和1月,最大积雪覆盖率为66.4%和68.6%,坡度在50~60°和大于60°区间峰值均出现在10月和3月,其最大积雪覆盖大小分别为72.1%和72.8%、83.1%和84.5%,出现这种情况的可能原因为坡度大于40°范围平均海拔较高,降水主要表现为降雪,且在这一范围风速较大易形成风吹雪,因此,在降水与风的共同作用下造成这一范围积雪覆盖率呈双峰变化趋势;坡度小于40°区间最大积雪覆盖率出现在1月,坡度区间由小到大,其最大积雪覆盖率为76.9%、74.9%、70.8和69.0%;最小积雪覆盖率除坡度为0~10°范围出现在7月份外,其他坡度范围均出现在8月份;从消融速率上看,坡度小于40°范围先消融,总体上以坡度为30~40°范围最快,其次依次为坡度为20~30°、10~20°和0~10°范围;全年以坡度大于60°范围积雪消

融最慢,积雪覆盖率始终大于70%,其次为坡度为50~60°范围,积雪覆盖率始终大于52%,说明坡度大于50°范围为永久性积雪与冰川的主要赋存区。

3.4 不同高程带积雪变化特性

(1)高程带划分。由于气温垂直分带的差异性造成了不同高程区域降水表现形式的差异性,这种现象对于位于高寒山区发源于高山冰川及多年积雪区的河流尤为明显,即使在夏季,山上仍有降雪现象。不同的高程区域由于温度的不同,同一场降水,可能在较低的地方以液态水的形式出现,即降雨,而在较高的地方可能表现为固态降水形式,即为降雪。因此,为了更好的研究气温垂直分布的差异性造成的积雪变化特性的差异性,结合研究区DEM数据,按500m间格对研究区高程带进行划分,鉴于高程大于5000m区域面积较小,因此没有再细分,最终整个研究区被划分为8个高程带范围进行积雪变化特性分析(表5)。

(2)不同高程带积雪变化特性。不同高程带不同季节积雪所占的比例与覆盖率如表6所示。从表6可以看出不同季节随着海拔高度的升高积雪所占的比例及覆盖率有较大的差异,其中春季不同高程带积雪所占的比例表现为随着海拔高度的升高快速增大,最大比例出现在3500~4000m高程带区域,最大积雪比例为28.5%,随着海拔高度的继续升高积雪所占的比例表现为弱的波动减少的趋势,而积雪覆盖率随着海拔高度的升高表现为在海拔高度低于3000m和高于4500m区域为波动增大趋势,而在3000~4500m之间积雪覆盖率表现为快速增大的趋势,最大积雪覆盖率出现在海拔高于5000m的区域,最大积雪覆盖率为98.3%;夏季不同高程带积雪

表5 高程带划分信息

Table 5 The elevation information

序号	高程(m)	平均高程(m)	面积(km ²)	所占比例(%)
1	<2000	1767	203.2	1.5
2	2000~2500	2298	3999.5	3.0
3	2500~3000	2786	1055.5	8.0
4	3000~3500	3276	2639.9	20.1
5	3500~4000	3752	4210.8	32.1
6	4000~4500	4222	3195.3	24.4
7	4500~5000	4691	992.7	7.6
8	>5000	5417	417.1	3.2

表 6 不同高程带不同季节积雪面积所占比例及覆盖率

Table 6 The snow proportion and coverage in different elevation and different season (%)

高程(m)	春		夏		秋		冬	
	所占比例	覆盖率	所占比例	覆盖率	所占比例	覆盖率	所占比例	覆盖率
<2000	9.5	2.4	1.8	0.5	6.2	1.6	82.5	20.9
2000~2500	14.1	4.4	4.5	1.4	18.9	5.9	62.5	19.6
2500~3000	15.9	8.8	2.7	1.5	24.1	13.4	57.3	31.7
3000~3500	24.1	29.5	3.4	4.2	27.7	33.8	44.8	54.9
3500~4000	28.5	61.6	8.8	19.1	27.3	58.8	35.4	76.4
4000~4500	27.3	89.4	19.4	63.7	26.0	85.3	27.2	89.3
4500~5000	25.4	96.8	24.7	94.2	25.3	96.2	24.6	93.8
>5000	25.5	98.3	25.4	98.3	25.2	97.4	23.9	92.3

所占的比例及覆盖率随着海拔高度的升高的变化趋势一致,表现为海拔高度低于 3500m 和高于 4500m 区域为缓慢波动增大趋势,而在 3500~4500m 之间积雪所占的比例及覆盖率表现为快速增大的趋势,最大积雪所占的比例及最大积雪覆盖率均出现在海拔大于 5000m 的区域,最大积雪所占的比例为 25.4%,最大积雪覆盖率为 98.3%;秋季随着海拔高度的升高积雪所占的比例及积雪覆盖率的变化趋势与春季的变化趋势一致,最大积雪所占比例出现在 3000~3500m 高程带区域,最大积雪所占比例为 27.7%,最大积雪覆盖率出现在海拔高于 5000m 的区域,最大积雪覆盖率为 97.4%;冬季不同高程带积雪所占比例及覆盖率表现为相反的变化趋势,积雪所占比例随着海拔高度的升高表现为波动减小的趋势,而积雪覆盖率表现为波动增加的趋势,最大积雪所占比例出现在海拔小于 2000m 的高程区域,最大积雪所占比例为 82.5%,最大积雪覆盖率出现在海拔在 4500~5000m 的区域,最大积雪覆盖率

为 93.8%。

为对研究区不同海拔高度积雪的时空变化规律有一定的认识,分别建立不同高程带多年平均情况下年平均积雪覆盖率和逐月积雪覆盖率变化关系,如图 8 和图 9 所示。从图 8 可以看出,在多年平均情况下年平均积雪覆盖率随着海拔高度的增加呈现“慢-快-慢”的增大趋势,主要原因是随着海拔的增加气温逐渐降低,降水逐渐由液态降雨的形式转变为固态降雪的形式。海拔高度高于 4500m 的区域,积雪覆盖率在 95% 以上,最大积雪覆盖率出现在海拔高于 5000m 的区域,为 96.6%,说明海拔高于 4500m 的区域以冰川和永久性积雪为主;海拔越低,气温相对较高,积雪覆盖率就小。从图 9 可以看出,海拔在 4500m 以下的区域,积雪的消融规律相近,随着气温的升高,积雪消融,积雪覆盖率减小,随着气温的降低,积雪消融速率减小,并加之固态

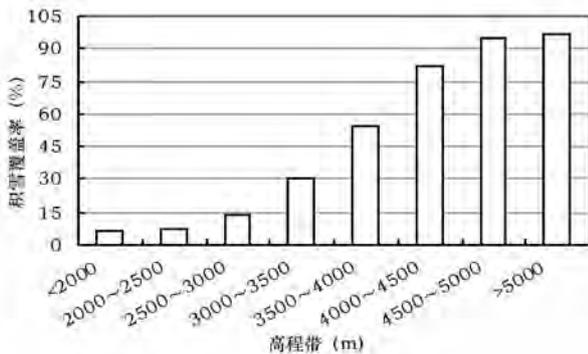


图 8 不同高程带多年平均积雪覆盖率

Fig.8 The different elevation average annual snow cover

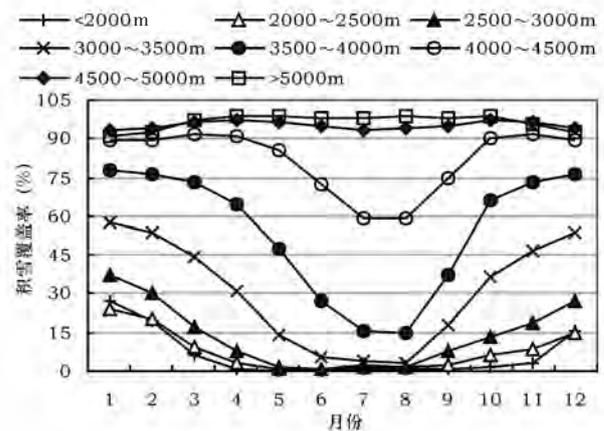


图 9 不同高程带逐月积雪覆盖率变化

Fig.9 The different elevation monthly snow cover

2013年1月

降雪的出现,不同区域积雪覆盖率逐渐增大;海拔在4500m以下的区域,各高程带积雪覆盖率达到最小的时间不一致,海拔低于3000m的区域,最小积雪覆盖率出现在6月;海拔在3000~4500m之间的区域,最小积雪覆盖率出现在8月;海拔高度高于4500m的区域,积雪覆盖率变化趋势一致,表现为弱的波动变化的趋势,积雪覆盖率均高于91%,最小积雪覆盖率出现在1月,最大积雪覆盖率出现在4月,为99.0%,出现这种情况的主要原因是这一区域降水的主要表现形式为固态降雪,1月-4月随着降水量的增加,积雪覆盖率逐渐增加到最大,而4月份后随着气温的升高,这一区域极少部分积雪及冰川消融,造成积雪覆盖率弱的减小。

4 结论

积雪融水作为水资源的重要组成部分,对社会经济的发展有极其重要的作用,但其也是高寒山区极端水文事件频发的诱因之一,因此对积雪时空变化规律的研究显得十分有意义,有助于提高人们对其消融规律认识,提高预报预测精度。本研究从整个研究区、不同坡向、不同坡度和高程带对积雪时空变化特性进行分析,初步得到以下结论:

(1) 从整个研究区来看,昆马力克河流域最大积雪覆盖面积出现在1月,积雪面积为9494.12km²;最小积雪覆盖面积出现在8月,积雪面积为3954.31 km²;从四季来看,昆马力克河流域冬季积雪所占比例最大,其次依次为春季、秋季和夏季,由于冬春季积雪所占比例较大,春季随着气温的升高,成为形成春洪的主要诱因。

(2) 从不同坡向来看,各坡向不同季节积雪所占的比例大至相当,浮动不大,而积雪覆盖率有一定的差异。逐月、四季和多年平均情况下不同坡向最大、最小积雪覆盖率出现的时间存在一定差异。

(3) 从不同坡度来看,四季最大积雪覆盖率出现在坡度>60°的区域,最小积雪覆盖率除冬季出现在40~50°区域外,其他季节出现在坡度在0~10°区域;多年平均情况下,坡度小于50°范围积雪消融速率相差不大,而坡度大于60°区间积雪消融最慢;逐

月平均情况下,坡度大于60°区域逐月积雪覆盖率变化趋势呈双峰变化,而其他坡度范围则呈单峰趋势变化。

(4) 从不同高程带来看,四季中最小积雪覆盖率除冬季出现在2000~2500m的区域外,其他季节出现在海拔高度小于2000m的区域;而最大积雪覆盖率则出现在海拔高度大于4500m的区域;在多年平均情况下,积雪覆盖率随着海拔高度的增加呈现“慢-快-慢”的增大趋势,最大积雪覆盖率出现在海拔高于5000m的区域;逐月平均情况下不同区域积雪消融规律相近。

积雪消融规律除在不同坡向、坡度和高程带存在一定差异外,还与不同区域植被覆盖情况相关,不同类型植被覆盖对积雪可起加速或延缓消融的作用。因此,还有待于进一步的研究。

参考文献(References):

- [1] 穆振侠. 高寒山区降水垂直分布规律及融雪径流模拟研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2010.
- [2] 穆振侠, 姜卉芳, 刘丰. 2001-2008年天山西部山区积雪覆盖及NDVI的时空变化特性[J]. 冰川冻土, 2010, 32(5): 875-882.
- [3] 李金亚, 杨秀春, 徐斌, 等. 基于MODIS与AMSR-E数据的中国6大牧区草原积雪遥感监测研究[J]. 地理科学, 2011, 31(9): 1097-1104.
- [4] 刘俊峰, 陈仁升. 东北-内蒙古地区基于MODIS单、双卫星积雪数据及常规积雪观测结合的积雪日数研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(4): 450-456.
- [5] 陈效速, 王恒. 1982-2003年内蒙古植被带和植被覆盖度的时空变化[J]. 地理学报, 2009, 24(1): 84-94.
- [6] 车涛, 李新, 高峰. 青藏高原积雪深度和雪水当量的被动微波遥感反演[J]. 冰川冻土, 2004, 26(3): 363-368.
- [7] Miao L, Yuanman H, Wei Z, et al. Application of land-use change model in guiding regional planning: A case study in Hun Taizi River Watershed, Northeast China[J]. Chinese Geographical Science, 2011, 21(5): 609-618.
- [8] 傅华, 贾丽红, 肖继东, 等. 阿克苏地区昆马力克河流域融雪洪水分型及成因[J]. 干旱区研究, 2011, 28(3): 433-437.
- [9] 徐长春, 陈亚宁, 李卫红, 等. 45 a来塔里木河流域气温、降水变化及其对积雪面积的影响[J]. 冰川冻土, 2007, 29(2): 183-190.
- [10] 徐兴奎. 1970-2000年中国降雪量变化和区域性分布特征[J]. 冰川冻土, 2011, 33(3): 497-503.

Spatial and Temporal Characteristics of Snow Cover in the Kunmalike River Basin

MU Zhenxia, JIANG Huifang

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Snow cover plays an important role in alpine mountain rivers. Because of a low population density, expensive access, and limited human activity, alpine regions have a sparse and extremely unevenly distributed hydrometeorological network. The investigation of snowmelt hydrological processes, especially runoff generation, are now highly important and urgent. We used MODIS 8d snow cover data from 2001 to 2010 to analyze spatial and temporal variation in snow cover for the Kunmalike River basin. We looked at the entire territory, slope, aspect and different altitudes. We found that maximum snow cover is in January and minimum snow cover is in August. The snow coverage rate in January is 72.4% and in August is 30.2%. Winter snow cover occupied the highest proportion (ratio is 32.1%), and spring, fall and summer followed with ratios of 26.7%, 26.3% and 14.9%, respectively. The maximum snow cover rate occurred in winter and over the northeast slope where the aspect is $22.5\sim 67.5^\circ$, the proportion is 77.9%. Minimum snow cover occurred in summer and over the southern slope where the aspect is $157.5\sim 202.5^\circ$; the proportion is 28.3%. While there are some differences in snow cover, the maximum snow cover rate occurred in areas with a slope $>60^\circ$ and the maximum value occurred in spring; the proportion is 82.2%. Minimum snow cover occurred on slopes from $0\sim 10^\circ$, and the minimum value was in summer; the proportion is 29.9%. Minimum snow cover occurred in areas less than 2000 m a.s.l. and maximum snow cover occurred 5000 m a.s.l.

Key words: Snow cover; Spatial and temporal change; MODIS; Kunmalike river basin; Snowmelt