

2000—2017 年西藏佩枯错流域积雪变化及其对湖泊的影响

丁 炜, 高子恒 (南京信息工程大学自动化学院, 江苏南京 210044)

摘要 利用 Google earth engine 云平台, 根据 DEM 高程图以及 2000—2017 年 MOD09A1、Landsat 7 和 Landsat 8 卫星数据、气象站数据资料, 对佩枯错流域的积雪变化及特性进行分析, 并就其对湖泊的影响进行相关性分析。结果表明, 18 年流域平均积雪面积为 351.93 km², 积雪年际波动很大, 未见明显增加或减少趋势; 季节特征明显, 冬春季积雪面积明显高于秋夏季, 降雪主要集中在冬春两季, 秋季偶有大范围降雪, 积雪面积波动较大。海拔 6 569 m 以上为常年积雪区, 积雪日数常年保持在 300 d 以上, 6 569 m 以下主要为季节性积雪, 积雪日数波动很大。积雪日数自南向北减小, 因季风携流域水汽至西南侧希夏邦马峰希处, 导致该处降雪频率高, 积雪日数明显高于其他区域, 东北侧有一高海拔区域积雪日数较周围较久但远低于西南侧。18 年降水量呈波动变化, 对湖泊面积影响并不显著 ($P=0.051$); 积雪与湖泊面积相关性系数为 0.529, $P=0.024$, 积雪成为影响湖泊的主要因素。

关键词 积雪变化; 遥感; 时空特征; 湖泊; 西藏佩枯错流域

中图分类号 TV 121 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)08-0060-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.08.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Snow Cover Change in Peiku Tso Basin and Its Impact on Lakes from 2000 to 2017

DING Wei, GAO Zi-heng (School of Automation, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044)

Abstract Using the Google earth engine cloud platform, according to DEM elevation maps, MOD09A1, Landsat 7 and Landsat 8 satellite data during 2000–2017 and meteorological station data, the change and characteristics of snow cover in Peiku Tso Basin were analyzed, and the correlation analysis was made on its impact on the lake. The results showed that the average snow cover area of the river basin in 18 years was 351.93 km², and the snow cover fluctuated greatly from year to year, and there was no obvious increase or decrease trend. The seasonal characteristics were obvious. The snow area in winter and spring was significantly higher than that in autumn and summer. Snowfall was mainly concentrated in winter and spring. There was occasional large-scale snowfall in autumn, and the snow area fluctuated greatly. The area where elevation was above 6 569 m was the perennial snow cover area, snow cover days were more than 300 d. The area where elevation was less than 6 569 m was mainly seasonal snow, the snow cover days fluctuated greatly. The snow covered days decrease from south to north. The probability of snowfall was high and the snow covered days of southwest basin was much longer than other areas because water vapor was taken by monsoon to Shishapangma. The snow covered days of northeast basin was shorter than that in southwest basin. The precipitation in basin of the examined period was fluctuation and the impact on lake area was not significant ($P = 0.051$). The correlation coefficient between snow cover and lake area was 0.529, $P = 0.024$. Snow cover had become the main factor affecting lakes.

Key words Changes of snow cover area; Remote sensing; Spatiotemporal characteristics; Lakes; Peiku Tso Basin of Tibet

积雪广泛存在于冰冻圈并且是地球表面的重要组成部分^[1], 对以积雪和冰川融水为主要水资源补给区域的水文循环有重要影响^[2]; 对保持高寒地区水平衡和能量平衡有着重要意义, 融雪径流也是山区除降水和冰川融水之外重要的水资源^[3]; 例如洛基山脉高海拔地区积雪融水对径流贡献率高达 90%^[4]; 青藏高原是众多河流的发源地, 印度河、恒河、雅鲁藏布江、长江流域源头冰雪储备对于维持季节性水资源供应很重要, 流域气候变化将影响 14 亿人口水资源使用^[5]。青藏高原积雪变化对我国水资源存在一定影响^[6], 通过对青藏高原东部积雪和西南地区降水数据发现, 东部积雪对西南地区降水有一定指示意义^[7]。因此国内外众多学者对积雪分布以及随时间变化的研究不断深入, 除多等^[8]分析认为青藏高原地区春季积雪日数占全年的 45%, 冬季占 28%, 秋季占 22%, 夏季占 5%。

针对西藏雅鲁藏布江流域, 拉巴卓玛等^[9]研究发现该流域积雪面积呈减小趋势, 受降水量影响较小, 地表温度与积雪相关性显著, 流域积雪面积减少的主要因素是气温升高; 蔡迪花等^[10]针对祁连山区积雪空间分布状况、年内变化特征进行分析, 发现积雪分布在一定程度上受地形的影响; 姜

梦筠等^[11]对于新疆积雪年内、年际以及空间分布特征进行了研究; 林金堂等^[12]采用 MOD10A2 和 DEM 数据, 计算研究积雪频率和积雪覆盖率, 分析了新疆玛纳斯河山区雪盖时空分布特征和高程对积雪分布的影响; 杨志刚等^[13]利用 MOD10A2 积雪产品分析了 2000—2014 年青藏高原积雪面积和覆盖率的时空分布和变化特点; 田柳茜等^[14]利用雪深被动微波遥感数据产品, 对青藏高原 1979—2007 年积雪变化进行了分析, 发现青藏高原积雪日数、积雪深度和海拔三者之间在空间上具有显著正相关; 唐小萍等^[15]分析了近 40 年青藏高原积雪的时空分布特征, 表明西部和东南部积雪日数呈减少的趋势, 积雪日数与冬季平均气温有明显的负相关; 对于天山山区, 秦艳等^[16]研究认为积雪覆盖频率整体与年均温度呈负相关, 与降水呈低度正相关; 新疆阿克苏流域山区积雪融水是阿克苏河的主要补给源之一^[17]。

佩枯错流域地处西藏南部, 三面环山, 人烟稀少, 较为封闭。佩枯错作为青藏高原内陆湖泊, 仅受该地区气候因素影响, 主要补给来源是降水和融水径流。现今关于积雪对湖泊影响的研究很少, 大多关注与降水、气温等因素, 如德吉央宗等^[18]根据 1975—2013 年 19 期 10—12 月 Landsat 图像, 分析认为影响湖泊的主要因素为降水; 尽管因目前无法直接量化永久冰川融水和积雪融水在径流的贡献率^[19], 但可以尝试通过研究流域积雪面积 (snow cover area, SCA) 和积雪日数

作者简介 丁炜 (1992—), 男, 江苏泰州人, 硕士研究生, 研究方向: 遥感信息处理。

收稿日期 2019-11-19

(snow cover days,SCD)^[20]探究积雪对湖泊变化可能存在的影
响,该研究采用 MODIS 数据以及气象站数据进行研究。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 佩枯湖(28°83'N,85°59'E)位于西藏自治
区南部吉隆县内(图 1),海拔 4 580 m,紧邻中尼公路西线,湖
泊流域面积约 2 151 km²,是日喀则地区最大的湖泊;距希夏
邦马峰北麓约 60 km,三面环山,该流域构成一个相对封闭的
区域:水汽向南输送,被喜马拉雅山脉阻隔后形成降雪和降
水,再通过径流补给湖泊。佩枯错流域年降水量为 300~
600 mm,干湿季分明,年平均气温为 2℃,属于温带半干旱高

原河谷季风气候区。正因如此,通过研究佩枯错流域气候变
化既可以了解青藏高原南部地区的气候趋势,也可以监测和
保障中尼公路西线的安全与畅通。吉隆县位于西藏自治区
日喀则市西南部,南面和西南面与尼泊尔王国相邻,东面与
聂拉木县搭界,因吉隆县没有气象站点,因此选择临近的聂
拉木气象站资料。聂拉木县处于喜马拉雅山区,自南至北可
分为喜马拉雅山南麓高山峡谷区、喜马拉雅高山区佩枯错高
原湖盆区、琐断陷谷区和拉轨岗日高山区;县内中尼公路樟
木口岸是国家一类陆路通商口岸,是中国和尼泊尔之间进行
政治、经济、文化交流的主要通道。

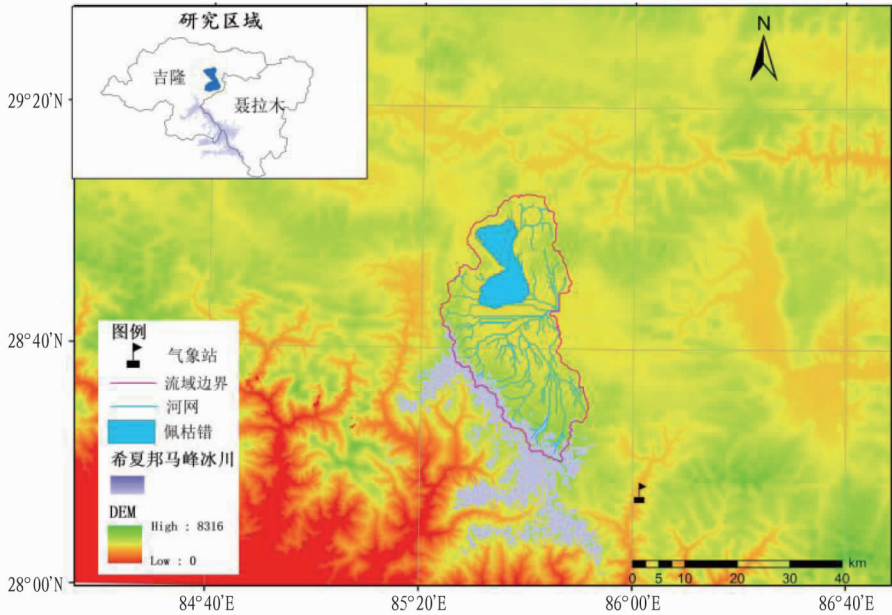


图 1 佩枯错流域位置
Fig.1 Location of Peiku Tso Basin

1.2 数据源 SRTM 是美国奋进号航天飞机雷达地形测绘
数据,获取 60°N~56°S 超过 1.19 亿 km² 雷达影像数据,覆盖
陆地表面 80%,其精度与 SRTMX DEM 相当,优于 ASTER
GDEM v2、SRTM v4.1 等,数据来源以及精度如表 1 所示。

为了能够研究长时间序列积雪动态和湖泊变化,选用地
球观测系统(EOS)Terra 卫星中分辨率成像光谱仪(MODIS)

数据。MOD09A1 数据已对大气条件进行过校正,图像中的
每个像素都是基于高观察覆盖率、低视角、没有云或云阴影
以及气溶胶负载,并且从 8 d 观察数据中选择值。因佩枯错
周边未设气象站点,因此选用临近聂拉木气象站数据资料进
行分析,数据来源以及精度如表 1 所示。

表 1 数据源
Table 1 Data sources

数据年份 Data year	数据名称 Data name	分辨率 Resolution ratio//m	数据来源 Data sources
2000—2018	MOD09A1	500	https://developers.google.com/earth-engine/datasets/
2000—2018	MOD09GA	500	https://developers.google.com/earth-engine/datasets/
2000—2018	Landsat 7	30	https://developers.google.com/earth-engine/datasets/
2013—2018	Landsat 8	30	https://developers.google.com/earth-engine/datasets/
2000	SRTM	30	https://developers.google.com/earth-engine/datasets/

1.3 研究方法 研究平台选择 Google earth engine, Google
earth engine 是 Google 研发的对巨量全球尺度地球科学资料
进行可视化计算和分析处理的云平台,相比于传统 ENVI 等
软件,GEE 无须下载卫星数据到本地,处理速度快、可在线可
视化且拥有 200 多个公共数据集。

湖泊面积采用 NDWI 进行提取,通过不同波长对水体与
其他地物的敏感程度不同,突出水体的特征,从而将水体提
取出来,公式为:

$$NDWI=\frac{B_{Green}-B_{NIR}}{B_{Green}+B_{NIR}}$$

(1)

其中, B_{Green} 对应的是绿波段, B_{NIR} 对应的是近红外波段。

由于积雪对绿波段反射特性强, 对短红外波段吸收特性强, 因此希夏邦马峰积雪面积采用 NDSI 进行提取, 公式为:

$$NDSI = \frac{B_{Green} - B_{SWIR}}{B_{Green} + B_{SWIR}} \quad (2)$$

其中, B_{Green} 对应的是绿波段, B_{SWIR} 对应的是短红外波段。

为了更好地研究积雪时空变化, 采用积雪日数 (snow cover days, SCD) 表征积雪变化特性, 计算方法如下:

$$SCD = m \times \sum_i^f (S_i) \quad (3)$$

其中, m 为积雪数据时间跨度, $m=8$; f 为年内总积雪数据期数, $f=46$; i 则为 1, 即是从第一期数据开始计数, 即若为积雪像元, 则该积雪日数加 1。

积雪面积 (snow cover area, SCA) 计算方式如下:

$$SCA = A \times \sum_i^k (p_i) \quad (4)$$

其中, A 为每个像素的面积, 即 $A=0.25 \text{ km}^2$; k 为年内总积雪期数, $k=46$; t 则为 1, 即从第一期数据开始计数。并定义一个水文年为当年 9 月 1 日至第 2 年 8 月 31 日, 如 HY2000 为 2000 年 9 月 1 日至 2001 年 8 月 31 日。

2 结果与分析

2.1 2000—2017 年佩枯错流域积雪面积时间变化

2.1.1 年际变化。从图 2 可以看出, 18 年佩枯错流域积雪平均面积为 351.93 km^2 , 占整个流域面积的 16.36%; 多雪年 2001、2005 年积雪面积分别为 372.59 和 491.99 km^2 , 分别占流域面积的 17.32% 和 22.87%, 2011—2014 年积雪面积分别为 419.27 、 620.85 、 407.982 和 847.80 km^2 , 分别占流域面积的 19.49%、28.86%、18.96% 和 39.41%; 少雪年 2000、2008 年积雪面积分别为 206.30 、 189.36 km^2 , 分别占整个流域面积的 9.59% 和 8.80%。佩枯错流域积雪面积总体呈周期性变化, 偶有剧烈波动; 2003—2005、2008—2012 年积雪面积呈连续增长态势, 2005—2008 年积雪面积连续减小; 2008 年是 18 年积雪面积最小的年份, 2014 年是积雪面积最大的年份。

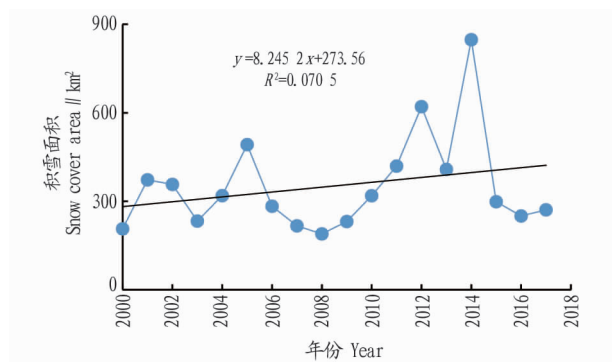


图 2 2000—2017 年佩枯错流域积雪面积年变化

Fig.2 Annual change of snow cover area in Peiku Tso Basin from 2000 to 2017

2.1.2 年内变化。从 2000—2017 年佩枯错流域逐月分布 (图 3) 来看, 积雪面积在 3 月份达到最大值, 为 790.80 km^2 , 占流域面积的 36.77%; 而 2 月积雪面积与 3 月积雪面积相差不多, 为 774.66 km^2 , 2 和 3 月是积雪面积较大的 2 个月。流域积雪面积 9—11 月缓慢增长, 12 月较 11 月有所减小, 次年

1—3 月持续增大, 并在 3 月份达到最大值; 4 月份开始减小并持续减小到 8 月。通过分析发现, 结合图 3~4 可以看出, 在 10、11 月份会出现降雪, 12 月份几乎没有降雪; 随后 3 月积雪面积处于峰值, 4 和 5 月积雪面积略大于 1 和 2 月积雪面积, 说明在 3—5 月积雪并没有开始融化; 从季节来看 (图 4), 秋季 9—11 月, 积雪面积从 156.81 km^2 增长至 348.68 km^2 , 而冬季和春季积雪面积分别为 503.76 和 524.63 km^2 , 远高于秋季和夏季, 结合以上分析可以看出在早春时节流域仍会出现降雪。

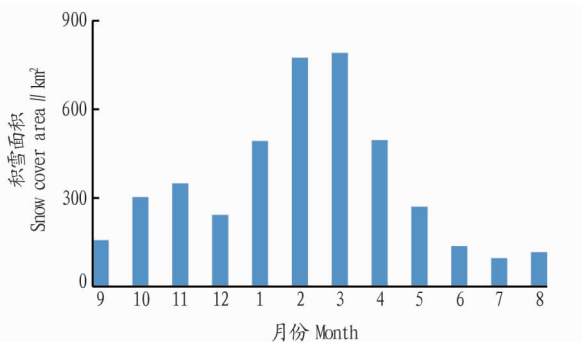


图 3 2000—2017 年佩枯错流域积雪面积月变化

Fig.3 Monthly change of snow cover area in Peiku Tso Basin from 2000 to 2017

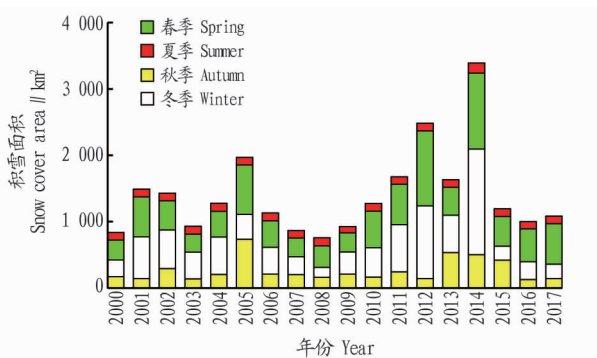


图 4 2000—2017 年佩枯错流域积雪面积季变化

Fig.4 Seasonal change of snow cover area in Peiku Tso Basin from 2000 to 2017

2.2 2000—2017 年佩枯错流域积雪空间变化特征

2.2.1 积雪日数空间分布特征。整个流域除西南侧外积雪日数普遍较低, 自南向北积雪日数减小; 流域越往西南侧积雪日数越高, 最西南侧为终年积雪区 (希夏邦马峰处), 18 年终年积雪区变化不大, 但湖泊南侧和永久积雪区之间的区域积雪日数年际波动很大, 结合图 5 发现秋季降雪多则该区域积雪日数长, 如 HY2002、HY2013 等。夏季空气中水汽含量高, 季风将水汽向南输送, 而南侧希夏邦马峰海拔高达 8027 m , 水汽无法越过希夏邦马峰, 加之希夏邦马峰温度低, 饱和的水汽遇到低温, 因此该处易在秋季出现降雪。

流域东北侧有一积雪日数较周边有差异的区域, HY2012、HY2014 尤其明显, 综合 18 年积雪日数空间分布来看, 该处在流域积雪少的年份较周围出现短暂积雪, 如 HY2006、HY2007、HY2008、HY2013。

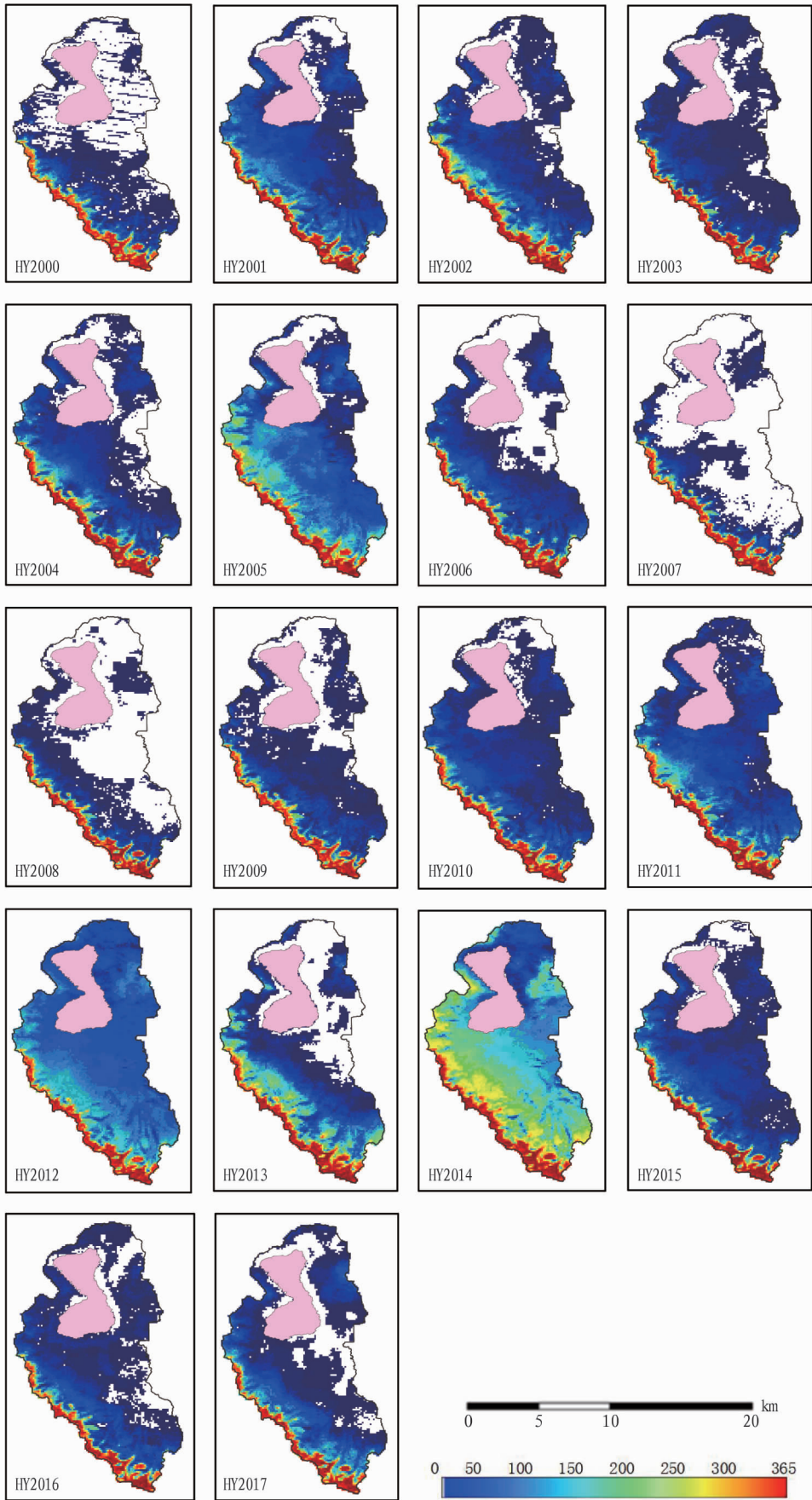


图 5 2000—2017 年佩枯错流域积雪日数空间变化(单位:d)

Fig.5 Spatial variation of snow cover days in Peiku Tso Basin from 2000 to 2017

2.2.2 不同海拔积雪日数变化特征。海拔与积雪的分布密切相关,根据佩枯错流域高程 DEM 数据,每 500 m 为一间隔,将流域分为 6 个海拔带(图 6)。整个佩枯错流域均处于高海拔地区,最低海拔为 4 569 m;流域积雪日数在海拔 4 500~6 500 m 波动很大,其中 4 569~5 069、5 069~5 569、5 569~6 069 m 平均积雪日数分别为 33、60、149 d。每当年内积雪面积增多时(图 3~4),积雪日数明显增多,因此这一海拔带主要为季节性积雪,其中 4 569~5 069 m 比 5 069~5 569 m 平均积雪日数少 27 d,而海拔 5 569~6 069 m 比 5 069~5 569 m 多 89 d,表明这一海拔带气温相较于 5 069~5 569 m 低,积雪在融雪季节初期不易融化;6 069~6 569 m 这一海拔带平均积雪日数为 282 d,尽管在年内积雪面积变化时随之变化,但变化幅度明显减小,表明这一海拔带仍受

季节性积雪的影响,但影响不大且积雪日数较为稳定;以海拔 6 569 m 为界,6 569 m 以上均是常年积雪区,6 569 m 以上的海拔带不论年内、季节积雪面积增多或减少,积雪日数都常年保持在 300 d 以上,基本不受季节的影响。

2.3 流域积雪对湖泊面积的影响 因要探究积雪对湖泊的影响,所以在此对春季积雪面积进行统计,并从 MODIS 图像中提取流域湖泊信息,通过分析可以发现,2000—2017 年融雪季节(即春季)佩枯错湖泊面积变化波动较大,增加或减少趋势并不明显,并未通过信度检验。2000—2002、2003—2005、2009—2011 年湖泊面积均在增加,分别增加 6.98、5.24、8.73 km²;2007—2009、2011—2013、2014—2017 年湖泊面积有所减小,分别减小了 6.90、6.98、11.34 km²。湖泊面积变化受气温、蒸发、降水、冰川融水等因素的共同作用,而降水是最直接的补给湖泊的方式,统计 18 年气象站降水数据发现,2000—2007 年降水量波动较大,2008—2016 年降水量呈减小趋势,并且 4—6 月份降水量与湖泊面积呈正相关关系(图 7b),相关系数为 0.481,但 $P=0.051$,未通过 0.05 的显著性检验,表明降水与湖泊面积变化存在联系但并不强烈;选取融雪期积雪面积进行分析(图 7a),发现春季积雪呈波动变化,2001—2003、2005—2007 年春季积雪面积减小,2002—2005、2009—2012 年积雪面积持续增加,2012 年较 2009 年增加近 40%;春季积雪面积与湖泊面积呈正相关关系,相关系数达 0.529, $P=0.024$,通过了 0.05 的显著性检验。佩枯错处于流域低海拔处,这表明希夏邦马峰处积雪融化后有一部分对佩枯错进行了补给。18 年佩枯错流域平均气温为 5.19 ℃,总体

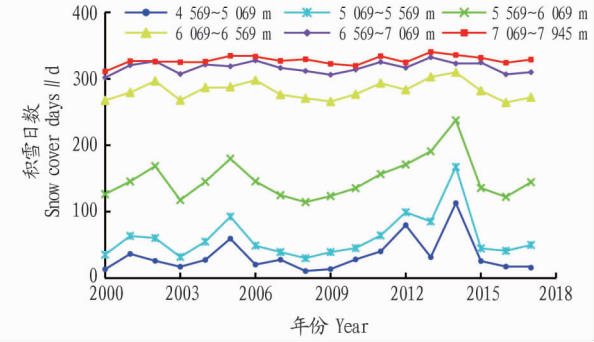


图 6 2000—2017 年佩枯错流域不同海拔积雪日数分布
Fig.6 Distribution of snow cover days at different altitudes in Peiku Tso Basin from 2000 to 2017

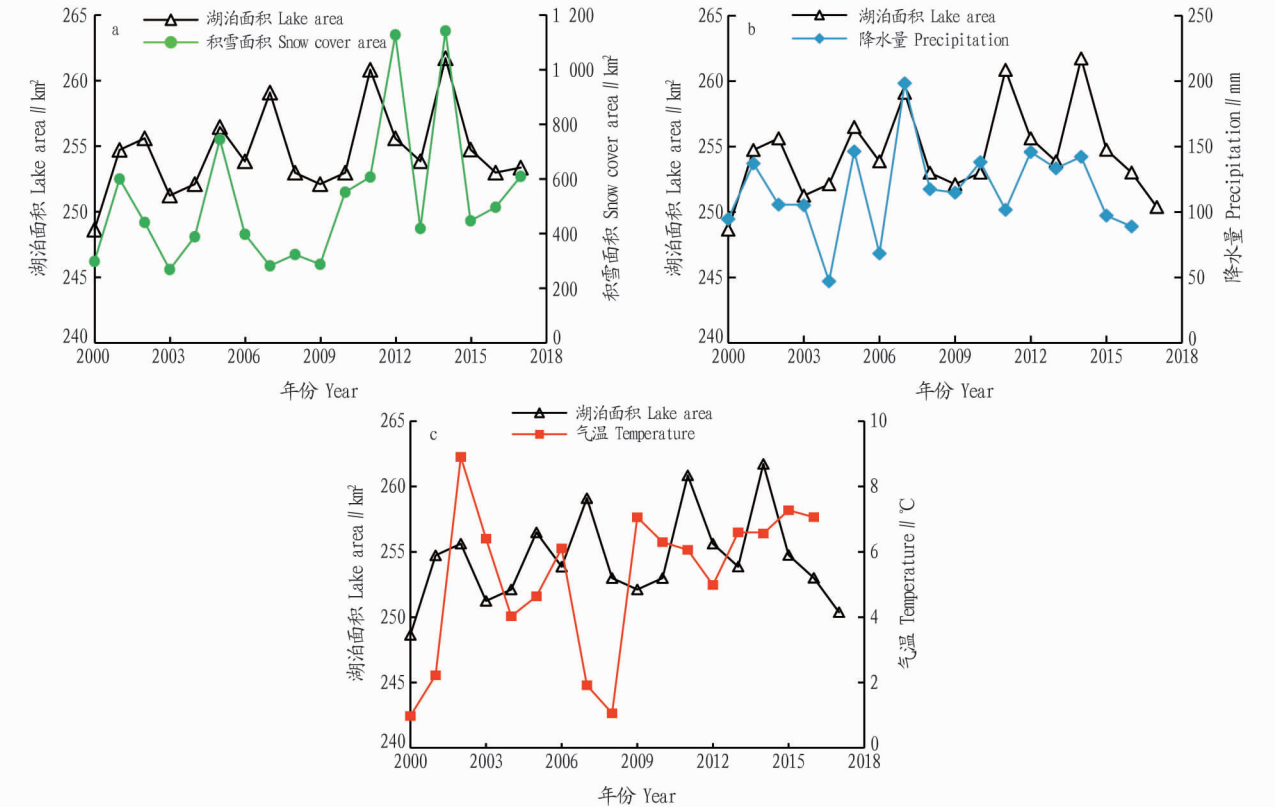


图 7 积雪、降水量、气温对湖泊的影响
Fig.7 Impact of snow, precipitation and temperature on lakes

呈上升趋势(图 7c),在 2000—2008 年,尽管出现了 18 年的最高气温(8.90 ℃),但总体处于气温低值区间,平均温度为 4.03 ℃;而 2009—2017 年平均气温为 6.49 ℃,相较于前 9 年有明显的升高。但气温与湖泊面积的相关系数为 0.175,说明气温与湖泊面积几乎没有线性关系,仅呈极弱的正相关关系,说明气温升高使得积雪融化速度加快,积雪融化更多,湖泊得到了更多积雪融水的补给。

3 结论

(1)年内 2 月和 3 月是流域积雪面积较大的月份;积雪增长从 10 月开始,一直持续到 3 月,4 月积雪面积仍略高于 1 月份,这表明 3—5 月的积雪并没有融化;就季节来看,冬春两季积雪面积最大,春季 3 月是全年积雪面积最大的月份。

(2)海拔 6 569 m 以上为常年积雪区,不受季节影响;海拔 6 069~6 569 m 积雪日数保持在 282 d 左右,受季节影响较小;海拔 6 069 m 以下积雪日数受季节影响很大,5 069~6 069 m 每隔 500 m 积雪日数差异明显,分别减小至 149、60 d;而 5 069 m 以下积雪日数相差不大。

(3)佩枯错地处低洼,周围三面环山,尽管降水量补给湖泊更为直接,但流域降水量较少,在融雪期间降水量对湖泊的补给作用并不显著,未通过 0.05 的显著性检验;而积雪对湖泊的影响显著,积雪融水对湖泊的补给起到了重要的作用,青藏高原逐渐升高的气温对积雪的融化也起到了促进作用。

参考文献

- [1] 汪方,丁一汇.不同排放情景下模拟的 21 世纪东亚积雪面积变化趋势[J].高原气象,2011,30(4):869-877.
- [2] BARNETT T P, ADAM J C, LETTENMAIER D P. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions[J]. Nature, 2005, 438: 303-309.
- [3] GRIBAUDO I, RUFFA P, CUOZZO D, et al. Attempts to eliminate phytoplasmas from grapevine clones by tissue culture techniques[J]. Bulletin of insectology, 2007, 60(2): 315-316.
- [4] 王玉安,郝燕,张坤.T 形架栽培下贵妃玫瑰葡萄的品质及生长一致性初探[J].甘肃农业科技,2018(10):41-44.
- [5] DAI Z W, MEDDAR M, RENAUD C, et al. Long-term *in vitro* culture of grape berries and its application to assess the effects of sugar supply on anthocyanin accumulation[J]. Journal of experimental botany, 2014, 65(16): 4665-4677.
- [6] 戴彩虹.山葡萄组织培养与离体嫁接亲和性研究[D].兰州:甘肃农业大学,2014.
- [7] 莫银屏,徐丰,石雪晖,等.湘酿 1 号刺葡萄离体快繁技术试验[J].中外葡萄与葡萄酒,2015(2):26-28.
- [8] 胡文斌,张少飞,孙娜.陇南红提葡萄茎段组织培养研究[J].陕西林业科技,2018,46(1):6-9.
- [9] 陶阿丽,曹殿洁,芳芳,等.植物组织培养技术研究进展[J].长江大学学报(自科版),2018,15(18):31-35.
- [10] SANTNER A, CALDERON-VILLALOBOS L I A, ESTELLE M. Plant hor-

- [3] STEPPHUN H. Snow and agriculture[M]//GRAY D, MALE D. Handbook of snow: Principles, processes, management and use. Toronto, Canada: Pergamon Press, 1981: 60-125.
- [4] SCHMUGGE T J, KUSTAS W P, RITCHIE J C, et al. Remote sensing in hydrology[J]. Adv Water Resour, 2002, 25: 1367-1385.
- [5] IMMERZEEL W W, VAN BEEK L P H, BIERKENS M F P. Climate change will affect the Asian water towers[J]. Science, 2010, 328: 1382-1385.
- [6] 王顺久.青藏高原积雪变化及其对中国水资源系统影响研究进展[J].高原气象,2017,36(5):1153-1164.
- [7] 胡豪然.青藏高原东部积雪异常与西南地区春季降水的关系[J].干旱气象,2016,34(3):423-430,493.
- [8] 除多,洛桑曲珍,杨志刚,等.1981—2010 年青藏高原降雪日数时空变化特征[J].应用气象学报,2017,28(3):292-305.
- [9] 拉巴卓玛,次珍,普布次仁,等.2002—2015 年西藏雅鲁藏布江流域积雪变化及影响因子分析研究[J].遥感技术与应用,2018,33(3):508-519.
- [10] 蔡迪花,郭锐,王兴,等.基于 MODIS 的祁连山区积雪时空变化特征[J].冰川冻土,2009,31(6):1028-1036.
- [11] 姜梦筠,刘志红,姜少明,等.2002—2011 年新疆积雪时空分布特征研究[J].冰川冻土,2013,35(5):1095-1102.
- [12] 林金堂,冯学智,肖鹏峰,等.基于 MODIS 数据的玛纳斯河山区雪盖年内变化特征研究[J].遥感信息,2012(2):20-24,80.
- [13] 杨志刚,达娃,除多.近 15 a 青藏高原积雪覆盖时空变化分析[J].遥感技术与应用,2017,32(1):27-36.
- [14] 田柳茜,李卫忠,张尧,等.青藏高原 1979—2007 年间的积雪变化[J].生态学报,2014,34(20):5974-5983.
- [15] 唐小萍,闫小利,尼玛吉,等.西藏高原近 40 年积雪日数变化特征分析[J].地理学报,2012,67(7):951-959.
- [16] 秦艳,丁建丽,赵求东,等.2001—2015 年天山山区积雪时空变化及其与温度和降水的关系[J].冰川冻土,2018,40(2):249-260.
- [17] 陈敏,高璐,曹永强.2001—2014 年阿克苏河流域山区积雪时空变化分析[J].水力发电学报,2016,35(9):28-37.
- [18] 德吉央宗,拉巴卓玛,拉巴,等.1975—2013 年西藏佩枯错湖面变化及分析[J].湖泊科学,2016,28(6):1338-1347.
- [19] XU C C, CHEN Y N, LI W H, et al. Potential impact of climate change on snow cover area in the Tarim River basin[J]. Environmental geology, 2007, 53(7):1465-1474.
- [20] ZHANG G Q, XIE H J, YAO T D, et al. Snow cover dynamics of four lake basins over Tibetan Plateau using time series MODIS data (2001—2010)[J]. Water Resour Res, 2012, 48(10):1-22.

(上接第 53 页)

- [5] mones are versatile chemical regulators of plant growth[J]. Nature chemical biology, 2009, 5(5):301-307.
- [13] MIRANSARI M, SMITH D L. Plant hormones and seed germination[J]. Environmental and experimental botany, 2014, 99:110-121.
- [14] MCSTEEN P, ZHAO Y D. Plant hormones and signaling: Common themes and new developments[J]. Developmental cell, 2008, 14(4):467-473.
- [15] BARBA-ESPIN G, DIAZ-VIVANCOS P, CLEMENTE-MORENO M J, et al. Interaction between hydrogen peroxide and plant hormones during germination and the early growth of pea seedlings[J]. Plant, cell & environment, 2010, 33(6):981-994.
- [16] ZAVATTIERI M A, FREDERICO A M, LIMA M, et al. Induction of somatic embryogenesis as an example of stress-related plant reactions[J]. Electronic journal of biotechnology, 2010, 13(1):1-9.
- [17] 白瑞兴,温豁然,李学峰,等.葡萄组织培养一次成苗技术[J].北方果树,2009(2):15-16.
- [18] 齐永顺,张志华,王同坤,等.同源四倍体玫瑰香葡萄嫩枝扦插不定根发生过程中内源激素的变化[J].园艺学报,2009,36(4):565-570.
- [19] 马海燕,王美丽,张振文.葡萄新梢生长过程中内源激素含量的动态变化[J].西北农业学报,2007,16(4):177-179,190.