

文章编号: 1008 - 2786 - (2016) 6 - 780 - 08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000186

提孜那甫河流域冰 - 草生态交错带 MODIS 动态特征

庄宇娇^{1 2} 贾翔^{1 2*} 陈孟禹³ 陈蜀江^{1 2} 黄铁成^{1 2}

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 乌鲁木齐空间遥感应用研究所 新疆 乌鲁木齐 830054;

3. 苏州科技大学外国语学院 江苏 苏州 215009)

摘 要: 冰 - 草生态交错带是陆地生态交错带的重要组成部分,在全球气候变暖背景下,研究其环境特征对于保护该带脆弱的生态环境具有重要意义。以提孜那甫河流域山区特有的冰 - 草生态交错带为研究对象,利用 MODIS 产品,基于遥感技术对其环境特征进行定性、定量分析。结果表明:交错带常年低温,年平均温度为 -4.79°C ,5—9 月气温 $>0^{\circ}\text{C}$,是主要的融雪期,融雪水量为 $5.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,占提孜那甫河总径流量的 70.03%,是叶尔羌绿洲重要的水源补给来源,当年 9 月到次年 5 月气温均在 0°C 以下为主要的积雪期;处在发育初级阶段的寒冻土和寒漠土广泛分布于交错带内,冻融荒漠化普遍且严重,植被分布极为稀疏;交错带主要包含高山流石坡、高山倒石堆、高山稀疏垫状植被等三种极干旱的内陆高原荒漠景观类型。

关键词: 提孜那甫河流域;冰 - 草生态交错带;环境特征;MODIS;遥感

中图分类号: K903

文献标志码: A

提孜那甫河流域高山区永久积雪带附近的积雪融水是下游绿洲的主要补给水源,对于维持地区的生态平衡具有重要意义,在气候调节、生物多样性保护、水体涵养等方面发挥着重要作用。据文献显示,在临近地区,周华坤、杨兆平等^[1-2]学者对青藏高原高寒草甸生态系统的空间格局、生物多样性、草地类型等方面进行了相关研究,王根绪、陈生云等^[3-4]对青藏高原冻土区的植被格局及其物候期进行了相关研究,陈蜀江等^[5]针对提孜那甫河流域山区由荒漠植被直接与冰雪相接的罕见自然景观,明确提出了以终年积雪区的下边缘为上限、以高寒草甸的上边缘为下限的“冰 - 草生态交错带”这一概念,对其空间格局和动态变化进行了研究,但是缺乏对该区域的地理环境特征的研究。

本文以提孜那甫河流域山区“冰 - 草生态交错带”为研究区,选取 MODIS10A1 积雪覆盖产品、MO-

DIS11A1 温度产品和 MODIS13Q1 植被指数产品,分析其环境特征,拟为该流域的社会经济可持续发展、生态环境保护和环境灾害预报提供科学依据和决策参考。

1 研究区概况

研究区位于 $36^{\circ}31' \sim 38^{\circ}54' \text{N}$ 、 $76^{\circ}27' \sim 79^{\circ}04' \text{E}$ 的叶尔羌河流域支流—提孜那甫河流域,西接叶尔羌河,北临棋盘河,南依昆仑山,呈西北 - 东南走向的条带状分布,平均海拔为 4 051 m,山势起伏大,永久积雪区和冰川规模也很大(图 1),距叶城县城 85 km,截止到 2015 年,人口约 11 828 人,总面积 $15 199 \text{ km}^2$,常年积雪面积可达 $1 500 \text{ km}^2$,可利用土地 $1 093.2 \text{ km}^2$ 。其中:耕地 6.53 km^2 ,自然草场 $1 086.67 \text{ km}^2$ 。提孜那甫河年径流量为 7.71×10^8

收稿日期(Received date): 2015 - 03 - 03; 改回日期(Accepted): 2016 - 05 - 01。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金(31460167) [Founded by National Science Foundation of China(No., 31460167)]

作者简介(Biography): 庄宇娇(1986 -),女,硕士研究生,主要从事遥感和地理信息系统研究 [Zhuang Yujiao(1986 -),female, master degree candidate, major in RS and GIS] E-mail: 13079917323@163.com

* 通信作者(Corresponding author): 贾翔(1989 -),男,硕士,主要从事遥感和地理信息系统方面研究 [Jia Xiang(1989 -),male, M. Sc, major in RS and GIS] E-mail: jiaxiang19891204@126.com

m^3 年均流量 $24.4 \text{ m}^3/\text{s}$, 最大流量曾达 $519 \text{ m}^3/\text{s}$, 最小流量曾达 $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$ 。每年 5—9 月为洪水期, 12 月至次年 2 月为枯水期。当地产业以畜牧业为主, 矿产开发为辅, 过度放牧现象较为严重, 对研究区较为脆弱的生态环境造成了极为不利的影响。

2 材料与方 法

2.1 数据来源及预处理

2.1.1 数据来源

所用数据包括积雪、温度、植被指数、地形、土壤等。积雪产品来源于 NSIDC 的 2004—2013 年空间分辨率为 500 m 、时间分辨率为 1 d 的 MOD10A1 (Terra) 和 MYD10A1 (Aqua) 积雪产品, 共计 7304 幅; 温度数据来源于 NASA 的 2004—2013 年分辨率为 1 km 的 MOD11A1 地表温度产品; 地形数据来源于地理空间数据云的空间分辨率为 90 m 的 SRTM3 V4.1 版本 DEM 产品, 土壤类型数据来源于实地采样。根据交错带分布特征, 按照代表性原则, 将采样点布设于沿不同海拔 ($4\,200 \sim 5\,400 \text{ m}$ 范围内以 100 m 为间隔, 分为 12 个高度带)、不同坡向 (阳坡/阴坡) 分别采样, 采用不锈钢螺旋土钻, 土壤采样点数目为 24 个, 每个土样分为 4 层, 采样深度分别为: $0 \sim 3 \text{ cm}$ 、 $3 \sim 15 \text{ cm}$ 、 $15 \sim 30 \text{ cm}$ 和 $30 \sim 50 \text{ cm}$, 样品总数 80 个 (个别土壤采集了 3 层), 采样时用 GPS

记录采样点的经纬度坐标及高程, 并详细记录采样点周围的景观信息; 植被指数数据为来源于 LP DAAC 的 2004—2013 年 MOD13Q1 产品 (选用其第 1 波段, 共计 230 幅); 植被现地调查采用样条法, 即按照代表性原则, 将样线布设于沿不同海拔 ($4\,200 \sim 5\,400 \text{ m}$ 范围内以 100 m 为间隔, 分为 12 个高度带)、不同坡向 (阳坡/阴坡) 分别布设样线, 每条样线长 50 m , 样线数目不少于 24 条, 沿样线两侧各 1 m 范围内记录植被种类及其分布情况。

2.1.2 数据预处理

结合 MOD10A1 和 MYD10A1 两种积雪产品的特点, 参考张文博针对 MODIS10A1 产品的去云方法^[6], 进行最大值合成, 并进行空间滤波, 能够有效降低云的干扰, 数据精度能够满足研究区的积雪研究; 将 MOD11A1 温度产品在 ENVI/IDL 环境下进行坏值替换、回归分析 (与气象台站观测数据建立回归模型, 进行回归分析)、格式转换、叠加、镶嵌等预处理操作, 得到 2004—2013 年的年均温度; 将 MOD13Q1 植被指数产品进行波段提取、格式转换、叠加、镶嵌、子区裁剪等预处理操作; 利用研究区的矢量边界对处理后的遥感数据进行批量裁剪, 数据输出的格式为 Geotiff, 地图投影均为 UTM, 空间分辨率统一为 500 m ; 土壤样品经自然风干后, 剔除石块、植物根茎、人为侵入物等, 测定土壤总盐及 8 大离子、pH 含量。

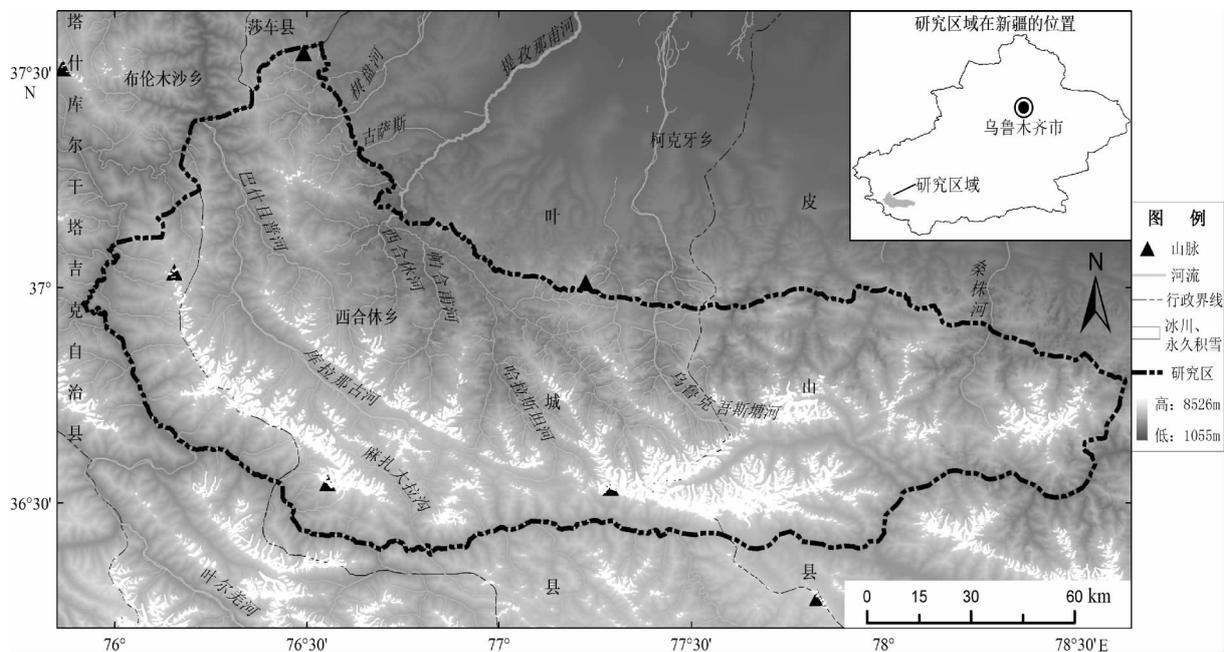


图 1 提孜那甫河流域山区示意图

Fig. 1 Mountain region of Tizinafu River Basin

2.2 冰-草生态交错带范围划定

冰-草生态交错带即终年积雪区下边缘与高寒草甸上边缘之间的区域,本文利用 MODIS10A1 产品和 DEM 数据分别提取高寒草甸区的上限和终年积雪区的下限,通过上下限的裁剪得到研究区 2004—2013 年年均交错带的分布范围(表 1)。

3 结果与分析

3.1 温度变化

根据 MODIS11A1 温度产品提取的研究区温度表明(图 2 表 1) 2004—2013 年冰-草生态交错带平均气温呈波动式上升状态。这 10 a 来年平均气温线性变化倾向率为 $0.14^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 平均气温为 $-4.79^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 最高平均气温 $-4.11^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 最低平均气温 $-6.02^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 极端最低温度 $-32.25^{\circ}\text{C}/\text{a}$, 极端最高温度 $23.07^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。从月气温变化趋势来看(图 2), 交错带常年低温, 最热月(7 月)平均气温 7.67°C , 最冷月(1 月)平均气温 -22.11°C , 5—9 月气温在 0°C 以上, 其他月份均在 0°C 以下(表 3), 各种生物活动微弱。

3.2 降水和积雪变化

受大西洋水汽和西风带的影响,交错带降水自西向东减少,且地区和时间分布差异显著,降水多集中于春末到夏季,约占全年降水量的 $60\% \sim 80\%$ 。交错带内降水量为 $11.89 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 3);地表径流量为 $6.39 \times 10^8 \text{ m}^3$ (图 4)。根据 MODIS10A1 产品提取的积雪覆盖(表 3)发现,交错带内积雪最大覆盖面积为 5749 km^2 ,积雪平均深度 9.2 cm ,雪水当量约为 $10.65 \times 10^8 \text{ m}^3$,积雪最小覆盖面积为 1321 km^2 ,积雪平均深度 3.1 cm ,雪水当量约为 $5.25 \times 10^8 \text{ m}^3$,因此交错带内径流补给主要由积雪融水贡

献。受该地区独特的气温和降水特征影响,研究区年内积雪呈现“M”型(双峰型)特征^[7],积雪过程主要集中在 9 月到次年 5 月(图 5),这与新疆其他地区的积雪年内变化“U”型特征^[8]有明显区别。积雪面积和积雪日数都随着海拔的上升而逐渐增加, $4200 \sim 4800 \text{ m}$ 高度带的积雪日数在 $240 \sim 280 \text{ d}$, $4800 \sim 5200 \text{ m}$ 高度带的积雪日数在 $280 \sim 320 \text{ d}$ 。

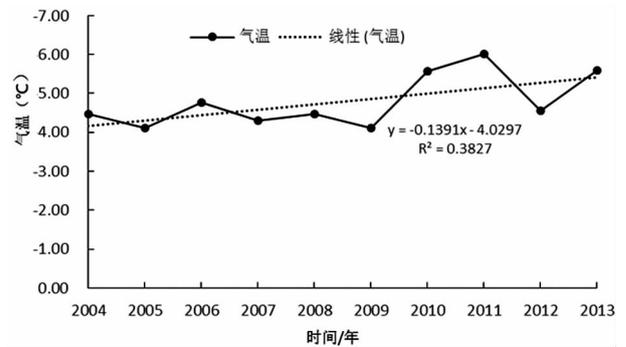


图 2 冰-草生态交错带温度年变化曲线

Fig. 2 Ice-grass ecotone interannual variation of temperature curve

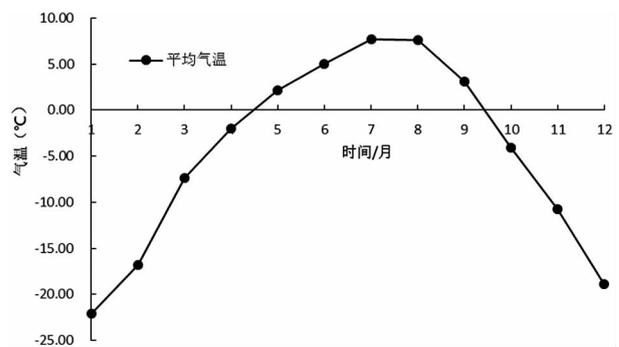


图 3 冰-草生态交错带温度月变化曲线

Fig. 3 Ice-grass ecotone monthly temperature curve

表 1 2004—2013 年冰-草生态交错带面积及年均气温统计表

Tab. 1 Ice-grass ecotone area and annual average temperature statistics table from 2004—2013

年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
交错带面积(km^2)	5759	5630	5740	5926	5786	5652	5786	5819	5818	5860
气温($^{\circ}\text{C}$)	-4.47	-4.11	-4.76	-4.29	-4.46	-4.12	-5.57	-6.02	-4.56	-5.59

表 2 冰-草生态交错带 2004—2013 年月均气温统计表

Tab. 2 Ice-grass ecotone monthly average temperature statistics table from 2004—2013

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
气温($^{\circ}\text{C}$)	-22.11	-16.78	-7.39	-2.04	2.17	5.03	7.67	7.60	3.10	-4.07	-10.71	-18.89

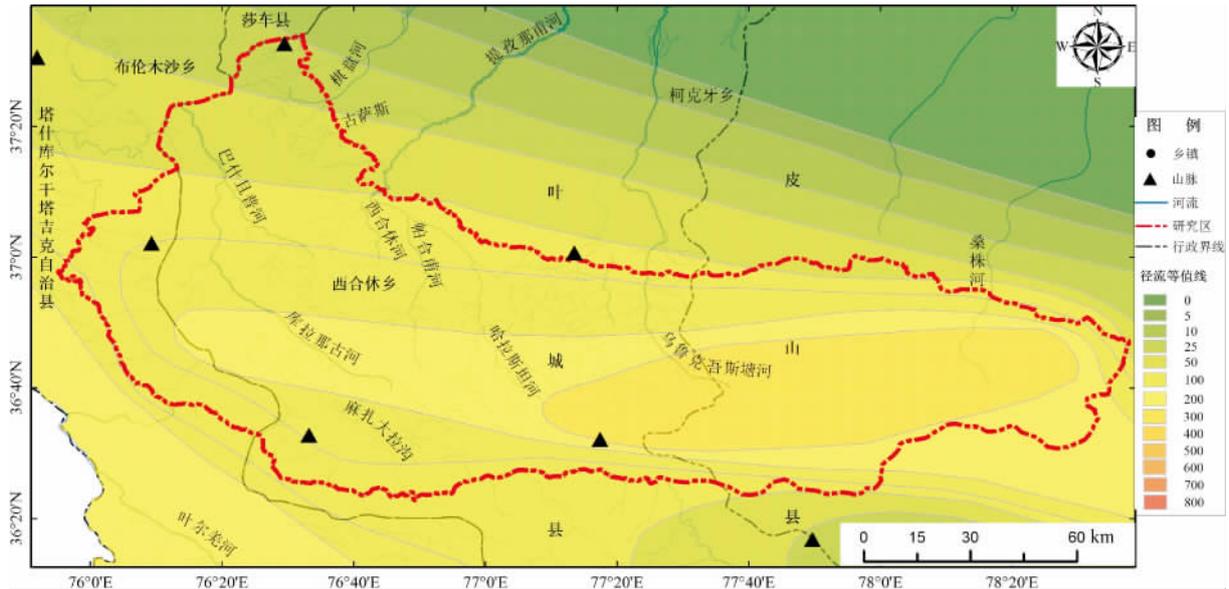


图 4 研究区降水等值线示意图

Fig. 4 Schematic diagram of precipitation contours in the study area

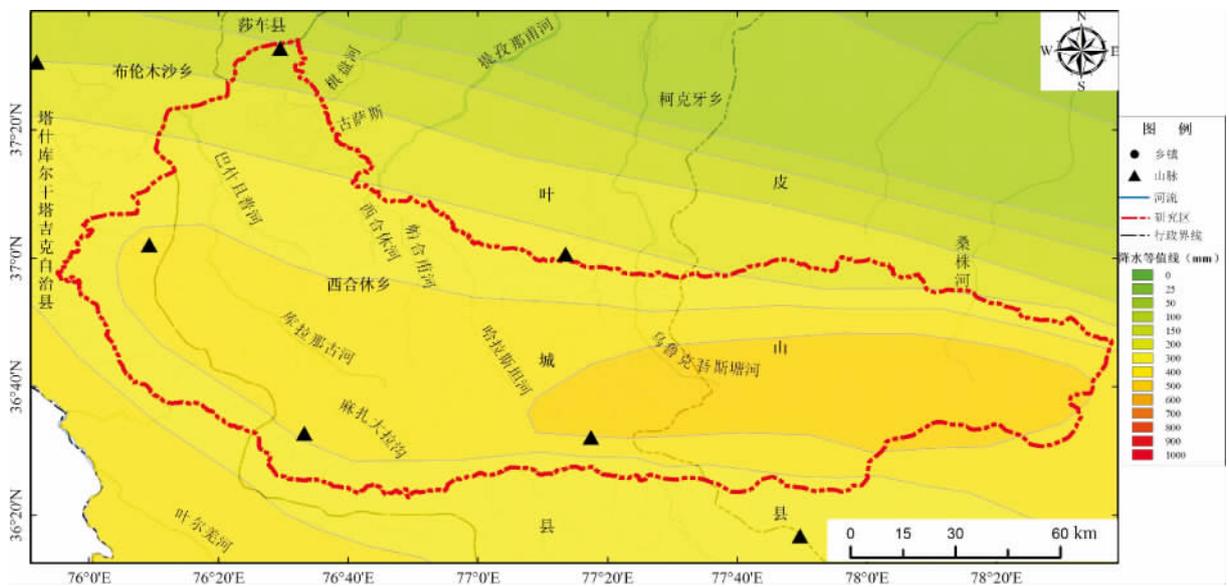


图 5 研究区径流等值线示意图

Fig. 5 Schematic diagram of run-off contours in the study area

表 3 研究区积雪覆盖面积年内变化表

Tab. 3 Interannual variation table of snow cover area in the study area

面积	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
最大(km ²)	0.8491	0.9173	1.1225	1.1764	0.9601	0.7337	0.5085	0.4902	0.7129	0.9235	0.9703	1.0258
最小(km ²)	0.1646	0.1274	0.2987	0.5197	0.4549	0.3389	0.1593	0.1549	0.2591	0.3877	0.3634	0.2093
平均(km ²)	0.5370	0.5052	0.6656	0.8234	0.6690	0.5261	0.3451	0.2957	0.4775	0.6345	0.5800	0.5483

3.3 土壤理化性质

根据实地调查采样和实验室分析,交错带的土

壤类型主要有两类,即寒冻土和寒漠土。寒冻土居于雪线之下高山草甸土或高山草原土之上,其海拔

高度各地不一,大致由北而南,由西而东渐升,其中西部分布高度为 4 400~4 600 m,东南部升至 5 300 m 以上。通体含大量砾石,剖面分化不明显,化学风化和淋溶作用弱,土层厚度小于 1 m,富含碳酸钙,含量自上而下增加,有机质含量为 0.22%~0.61%,从表层向下逐步增长,土壤呈弱碱性反应,pH 值 8.5~8.8;寒漠土分布在海拔 4 200~5 300 m 之间,表层呈暗灰棕色,风化作用和成土过程微弱,土层浅,一般不到 50 cm,富含碳酸钙,且剖面自上而下增强,有向下淋溶的趋向,地表覆砾,石砾(>2 mm)含量高达 400~600 g/kg,有机质含量为 0.08%~0.3%,从表层向下逐步减少,土壤呈碱性反应,pH 值 8.8~9.7(表 4)。综上所述,由于交错带寒冻土与寒漠土成土环境不同,导致其理化性质也大相径庭,二者除 pH 值变化趋势一致外,其他均表现出相反趋势,同时,因寒漠土具有向下淋溶趋势,所以部分理化性质呈不规则变化,如全氮、CaCO₃、代换量以及粘粒含量等,而寒冻土淋溶作用于较弱,不对理化性质分布产生影响。

3.4 植被分布及种类

实地调查发现,研究区冰-草生态交错带植物种类属于高山适冰雪成分,其中包含了中旱生的双子叶植物和禾草,也存在中生的高山荒原草甸成分,同时也混生有座垫植物。岩石上分布有不同种类的地衣。交错带范围内植物群主要有银穗草(*Leucopoa albida* (Turcz. ex Trin.) Krecz. et Bobr.)、葱(*Allium fistulosum* L.)、垫状点地梅(*Androsace tapete*)、高山火绒草(*Leontopodium alpinum*)、对叶虎耳草(*Saxifraga oppositifolia* L.)、蚤缀(*Arenaria serpyllifolia* L.)、高山菊(*Chrysanthemum leucanthemum* Linn.)、

岩黄芪(*Hedysarum scoparium* Fisch. et Mey.)、网脉大黄(*Rheum reticulatum*)、冷红景天(*Rhodiola algida*)、垫状驼绒藜(*Ceratoides compacta* (Losinsk) Tsien et C.)、艾菊(*Tanacetum vulgare* L.)、刺矶松(*Plumbagella micrantha* (Lebeb.) Spach)、风毛菊(*Saussurea japonica* (Thunb.) DC.)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum* L)等,大部分区域覆盖度不足 5%,不少地方甚至寸草不生。

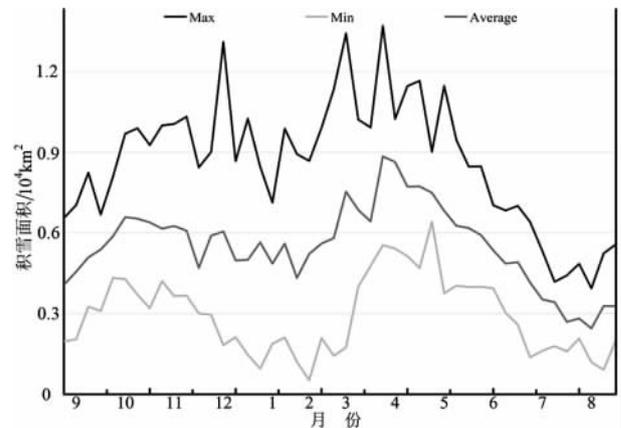


图 6 研究区积雪覆盖面积年内变化示意图

Fig. 6 Interannual variation schematic diagram of snow cover area in the study area

研究区植被指数为 0~0.48,且北部高于南部,西部大于东部(图 7)。其中交错带内植被指数范围在 0~0.21,平均仅为 0.04。

由于交错带可供植物生长的季节十分短促,植物生长发育的生境极为恶劣,分布极为稀疏,主要分布于碎石堆、坡麓积石锥和现代漂石堆上,植物聚合还不具备群落特征,植被都表现出先锋的特性,植物

表 4 冰-草生态交错带寒冻土与寒漠土理化性质描述统计值

Tab. 4 Describing and statistical values of cold frozen soil and cold desert soil physicochemical properties of the Ice-grass ecotone

土壤类型	深度 (cm)	pH	有机质 全氮 C/N			CaCO ₃	石膏 (g/kg)	代换量 [cmol(+) /kg]	石砾 >2mm 粘粒 <0.002mm		活性铁 Fe ₂ O ₃ (g/kg)
			(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)				(g/kg)	(g/kg)	
寒冻土	0~3	8.6	2.2	0.25	6.08	126.9	-	8.24	465	326	-
	3~15	8.5	2.3	0.24	5.36	137.2	-	8.89	353	378	-
	15~30	8.8	4.8	0.31	8.87	136.7	-	10.87	252	467	-
	30~50	8.8	6.1	0.35	12.84	161.9	-	10.59	417	446	-
寒漠土	0~3	8.8	3	0.19	9.16	165.3	53.2	3.57	-	143	1.23
	3~15	9.1	2.7	0.16	9.79	180.2	40.2	4.98	-	135	1.36
	15~30	9.6	1.6	0.19	9.79	175.8	27.7	4.25	-	134	1.04
	30~50	9.7	0.8	0.12	4.04	169.6	34.2	2.26	-	70	0.57

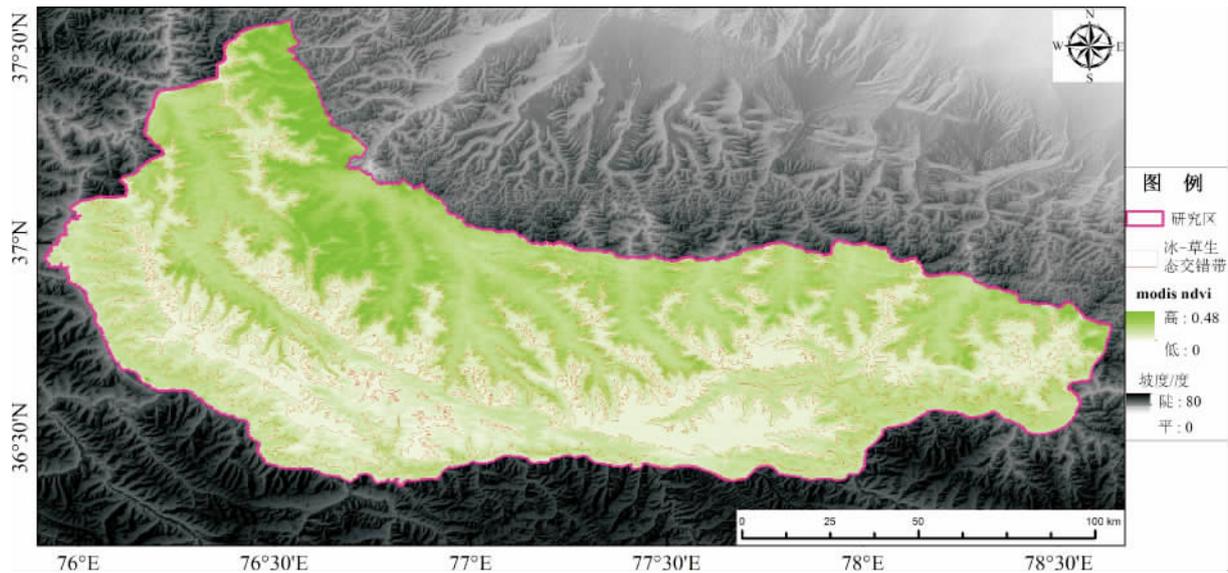


图7 冰-草生态交错带 NDVI 均值统计图

Fig. 7 Average NDVI of the Ice-grass ecotone

个体依地貌特点而生长,层次分化不明显,不具备植物群落内部密切制约的关系,但种群结构与具体小生境相适应,水湿条件的不同导致部分生活型相同的某些种类也层片构成。冷红景天、岩黄芪、高山火绒草等珍贵药材和稀有物种,极具药用价值和科学意义。

3.5 景观特征

冰-草生态交错带景观是昆仑山山地垂直带中最高景观生态带,分布于高寒草甸以上、冰川和永久积雪带以下的区域。随着海拔高度、山势和基质的不同,主要有3种景观类型。

3.5.1 高山流石坡

由于近邻冰川和永久雪线,降水多、湿度大,冰川雪线以上年降水量估计可达1000 mm,雪线以下的窄地带年降水量400~600 mm,陡坡峭壁,崩滑频发,生境恶劣。植被主要为低等植物和苔藓植物所组成的群落,是高山冰蚀裸地的拓荒者。零星散生的植物有冷红景天、垫状点地梅、对叶虎耳草、风毛菊和网脉大黄等,虽盖度不到1%,但形成独特的地衣苔藓景观。

3.5.2 高山倒石堆

交错带范围的倒石堆是由大小不等、零乱无序的岩块(土块)呈锥状堆积在坡脚,碎石堆、坡麓积石堆和现代漂石堆广泛发育,规模很大,而且分布极为普遍,长达数百米。倒石堆的坡度也很陡,由山脊到山足布满碎岩物质,成覆盖基部的岩屑锥裙^[9],表面常附着有苔藓。

3.5.3 高山稀疏垫状植被

这一地带生境略好,在山势转缓岩屑下滑减弱,流石逐渐固定,开始出现较大面积的原始土壤聚积。着生的植物增多,盖度增大,群落结构零散,垫状植物常呈密实的片状分布,盖度可达6%以上。

4 结论与讨论

1. 完整的垂直带谱一般包含荒漠带-草原带-森林带-草甸带-苔原带-冰雪带,新疆特殊的干旱气候条件下,对于该带谱,《新疆地貌》^[9]、《新疆植被极其利用》^[10]、《新疆草地资源极其利用》^[11]、《新疆山地森林土壤》^[12]等均有相关表述,但都局限于专题性的研究,且未明确界定其上下限。研究发现,只有阿尔泰山仍然保存着相对完整的垂直带谱,而到了天山山脉苔原带即告缺失,至昆仑山西段垂直带谱分异则极其不显著,草甸带和苔原带均消失,仅在局部湿润山坡出现座垫植被和在寒谷中出现高寒荒漠草原,向上直接过渡为零星镶嵌分布有耐寒高等植物的高山裸岩和冰川恒雪带。这种由荒漠植被直接与冰雪带相接触的现象,在世界其他地区十分罕见。其中,在以高山裸岩为主体,向下延伸至部分草原带,向上涵盖局部冰雪带的地带内,冰雪和草随季节变化交替覆盖地表,形成了独有的冰-草生态交错景观,为昆仑山区垂直带谱中特有的地理现象,面积为5749 km²,作为固体水库,其在垂直带谱中生态地位极其显著,虽然海拔较高,仍存

在一定程度的人为扰动,亟待加强保护。

2. 高吉喜^[13]将全国生态交错带划分为北方森林草原交错带、北方农牧交错带、西北荒漠绿洲交错带、西南川滇农牧交错带、东部海陆交错带,其所划分的五类生态交错带是以水平地带性为基础,而本文所研究的冰-草生态交错带是昆仑山垂直带谱中不可或缺的组成部分,与其并无交叉,补充和丰富了交错带的类型。新疆地区目前研究的交错带类型主要为荒漠绿洲交错带^[14-16],是地带性荒漠向隐域性绿洲延伸的一种过渡地域,而本文所探讨的冰-草生态交错带是地带性荒漠草原向地带性永久冰雪的过渡地带,在这里本应成为地带性植被的高寒草甸、苔原在昆仑山特殊的干旱荒漠气候环境中退化成为隐域性地带现象,呈斑块状镶嵌分布于过渡带内,致使过渡状况变得极其复杂,理应作为一种特殊的交错带类型加以研究。

3. 冰-草生态交错带内平均气温为 -4.79°C ,最热月(7月)平均气温 7.67°C ,最冷月(1月)平均气温 -22.11°C ,5—9月气温在 0°C 以上,其他月份均在 0°C 以下,具有明显的寒带气候特征,只有冷热两季,没有明显的四季,冷季漫长,热季短促,可供植物生长的季节十分短促,一般仅2—3个月,因而植物种类较少,分布极其稀疏,生态环境极为脆弱,亟需引起人们高度重视,适时采取有效措施保护其生物多样性。

4. 提孜那甫河年径流量为 $7.71 \times 10^8 \text{ m}^3$,年均流量 $24.4 \text{ m}^3/\text{s}$,其中冰-草生态交错带融雪水为 $5.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,占总径流量的70.03%,成为叶尔羌绿洲重要的水源补给来源,其生态环境的状况直接决定下游绿洲发展状况和趋势;据罗晓琴^[17]提供的分布式融雪径流模型计算,提孜那甫河径流量1—3月较小,从4月开始逐渐的增加,5、6、7、8月的径流量较大,容易发生洪水,而这一时期气温均在 0°C 以上,两者变化趋势高度吻合,从9月开始流量逐渐变小。

5. 冰-草生态交错带气候寒旱,由于温度变化而引起的冰冻和霜冻机械风化作用剧烈,冰川前缘的雪蚀作用也较为强烈,但生物化学风化作用非常微弱。岩石遭受到强烈的剥蚀,同时,由于冻结与解冻的相互作用以及含水细粒土体积的增大,而使松散堆积物表层中碎石与细土物质分开,造成地表覆砾或者岩石裸露,土壤均为处于发育初级阶段的寒冻土和寒漠土,植被稀疏且以垫状植被为主,虽地处

寒带,但苔藓分布极为零散,无法形成苔原。因此,冻融荒漠化比较严重,表征着这里具有极干旱的内陆高原荒漠景观,生态环境极为脆弱。随着自然地带的更迭和干旱程度的加重,冻融荒漠化由零星分布、带状分布向片状分布过度、发展,程度也随之加重,进而造成植被衰退、土壤退化、地表裸露化、破碎化,因此,应采取牧民定居、封禁保护等措施减少人为扰动,以维持交错带生态平衡。

参考文献(References)

- [1] 杨兆平, 欧阳华, 宋明华, 等. 青藏高原多年冻土区高寒植物物种多样性和地上生物量[J]. 生态学杂志, 2010, 29(4): 617-623 [Yang Zhaoping, Ou YangHua, Song Minghua, et al. Species diversity and above-ground biomass of alpine vegetation in permafrost region of Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(4): 617-623]
- [2] 周华坤, 周立, 赵新全, 等. 青藏高原高寒草甸生态系统稳定性研究[J]. 科学通报, 2006, 51(1): 63-69 [Zhou Huakun, Zhou Li, Zhao Xinquan, et al. Study of alpine meadow ecosystem stability [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(1): 63-69]
- [3] 陈生云, 刘文杰, 孙志忠, 等. 青藏高原多年冻土区高寒草甸植物种群物候学定量研究[J]. 冰川冻土, 2012, 34(5): 1142-1148 [Chen Shengyun, Liu Wenjie, Sun Zhizhong, et al. A Quantitative Study on the Plant Population Phenology of Alpine Meadow in the Permafrost Regions of Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(5): 1142-1148]
- [4] 王根绪, 李元首, 吴青柏, 等. 青藏高原冻土区冻土与植被的关系及其对高寒生态系统的影响[J]. 中国科学. D 辑: 地球科学, 2006, 36(8): 743-754 [Wang Genxu, Li Yuanshou, Wu Qingbai, et al. Permafrost relationship between vegetation and its impact on the Alpine ecosystem [J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2006, 36(8): 743-754]
- [5] 陈蜀江, 贾翔, 黄铁成, 等. 新疆提孜那甫河流域山区冰-草生态交错带的空间格局及其动态变化研究[J]. 冰川冻土, 2015, 37(6): 222-231 [Chen Shujiang, Jia Xiang, Huang Tiecheng, et al. The study of spatial pattern and dynamic changes of the ice-grass ecotone in the mountain region of the Xinjiang Tizinafu River basin [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015, 37(6): 1650-1659]
- [6] 张文博, 肖鹏峰, 冯学智. 基于 MODIS 数据的我国天山典型区积雪特征研究[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(5): 746-753 [Zhang Wenbo, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhi. A Study on Snow Cover Variability Using MODIS in the Typical Area of Tianshan Mountains, China [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(5): 746-753]
- [7] 贾翔, 陈蜀江, 黄铁成, 等. 基于 MODIS 数据的新疆叶尔羌河流域山区积雪特征分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36(2): 296-303 [Jia Xiang, Chen Shujiang, Huang Tiecheng, et al. Variability of snow cover in the mountain region of the Yarkant River basin analyzed with MODIS data [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(2): 296-303]
- [8] 娄梦筠, 刘志红, 娄少明, 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 [Lou Mengjun, Liu Zhirong, Lou Shaoming, et al. 2002-2011 New Xinjiang snow cover spatial-temporal distribution characteristics [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(5): 1095-1102]

- Mengyun ,Liu Zhihong , Lou Shaoming ,et al. Temporal and spatial distribution of snow cover in Xinjiang from 2002 to 2011 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology ,2013 ,35(5) : 1095 – 1102]
- [9] 中国科学院新疆综合考察队. 新疆地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 25 – 33 [Xinjiang Comprehensive Academy of Sciences expedition. Xinjiang geomorphology [M]. Beijing: Science Press , 1978: 25 – 33]
- [10] 中国科学院新疆综合考察队. 新疆植被及其利用[M]. 北京: 科学出版社, 1978: 81 – 218 [Xinjiang Comprehensive Academy of Sciences expedition. Vegetation and its use in Xinjiang [M]. Beijing: Science Press , 1978: 81 – 218]
- [11] 新疆维吾尔自治区畜牧厅. 新疆草地资源及其利用[M]. 新疆乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1993: 11 [Xinjiang Animal Husbandry Department. Xinjiang grassland resources and their use [M]. Xinjiang Urumqi: Xinjiang Science and Technology Health Press , 1993: 11]
- [12] 新疆维吾尔自治区林业厅. 新疆山地森林土壤[M]. 新疆乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1995: 20 [Xinjiang Uygur Autonomous Region Forestry Department. Xinjiang mountain forest soil [M]. Xinjiang Urumqi: Xinjiang Science and Technology Health Press , 1995: 20]
- [13] 高吉喜, 吕世海, 刘军会, 等. 中国生态交错带[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2009: 1 – 10 [Gao Jixi , Lv Shihai , Liu Junhui , et al. Typical Ecotones in China [M]. Beijing: China Environmental Science Press 2009: 1 – 10]
- [14] 丁俊祥, 邹杰, 唐立松, 等. 克里雅河流域荒漠-绿洲交错带3种不同生活型植物的光合特性[J]. 生态学报, 2015 ,35(3) : 733 – 741 [Ding J unxiang Zou Jie ,Tang Lisong ,et al. Photosynthetic characteristics of three different life-form plants in the desert-oasis ecotone of Keriya River Basin. ActaEcologica Sinica ,2015 , 35(3) : 733 – 741]
- [15] 栾福明, 熊黑钢, 王芳, 等. 荒漠-绿洲交错带土壤N、P、K含量的高光谱反演模型[J]. 中国沙漠, 2014 ,34(5) : 1320 – 1328 [Luan Fuming ,Xiong Heigang ,Wang Fang ,et al. Hyperspectral reflectance inversion models on content of N ,P ,K of soil in oasis-desert ecotone [J]. Journal of Desert Research ,2014 ,34(5) : 1320 – 1328]
- [16] 木卡热木·阿吉木, 吾玛尔·阿布力孜, 阿布都如苏力·吐逊, 等. 准噶尔盆地东南缘绿洲-荒漠交错带土壤甲螨群落结构[J]. 干旱区资源与环境, 2013 ,37(8) : 164 – 170 [Mukaram · HAJI ,Omar · ABLIZ ,Abudurusul · TURSUN ,WU Songlin ,et al. The structure of soil oribatida communities in the oasis-desert ecotone insoutheastern edge of Junggar Basin ,Xinjiang [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment 2013 ,37(8) : 164 – 170]
- [17] 罗晓琴. 昆仑圆柏自然保护区无资料河流水文模型的构建和应用—基于“3S”技术[D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2012. [Luo Xiaojin. The Construction and Application of Without Material River Hydrological Model in Kunlun Sabina Chinensis Nature Reserve—Based on The“3S”Technology [D]. Urumqi: Xinjiang Normal University , 2012.]

Dynamic Features of the Ice-Grass Ecotone in Tizinafu River Basin based on MODIS Data

ZHUANG Yujiao^{1 2} , JIA Xiang^{1 2} , CHEN Mengyu³ , CHEN Shujiang^{1 2} , HUANG Tiecheng^{1 2}

(1. College of Geography Science and Tourism ,Xinjiang Normal University ,Urumqi 830054 ,China;

2. Urumqi Institute of Spatial Remote Sensing Applications ,Urumqi 830054 ,China;

3. School of Foreign Languages ,Suzhou University of Science and Technology ,Suzhou 215009 ,China)

Abstract: The Ice-grass ecotone is an important part of Ecotone. Analyzing the environmental features of the Ice-grass ecotone has great significance for protecting the fragile ecological environment under the background of global warming. Take the Tizinafu River Basin mountainous unique Ice-grass ecotone as the research subject , based on MODIS products , using remote sensing techniques for qualitative and quantitative analysis of its environmental characteristics. The results showed that: In the Ice-grass Ecotone year-round low temperature , the annual average temperature was -4.79°C from May to September temperatures above 0°C , which was the main snowmelt period , the total amount of snowmelt was $5.4 \times 10^8 \text{ m}^3$, which accounted for 70.03% of Tizinafu River water runoff. The water is an important water supply of Yerqiang Oasis , in September of that year to the following May with temperatures below 0°C , this period was mainly of snow; In the development of the primary stage of cold-frozen soil and cold-desert soil is widely distributed within the Ice-grass ecotone , freeze-thaw desertification widespread and serious , vegetation is extremely sparse; The Ice-grass Ecotone included stream rock slope , pour rubble , sparsely-vegetated of the high mountain , three extremely arid landlocked plateau desert landscape types.

Key words: Tizinafu River basin; Ice-grass Ecotone; environmental features; MODIS; Remote Sensing