

# 近 23 年来青藏高原东北部香日德地区高寒草甸上界变化及其与气候变化关系研究

王鑫, 曾彪, 仝莉棉, 杨太保

(兰州大学 资源环境学院, 兰州 730000)

**摘要:**利用 1990 年、1999 年、2013 年的 Landsat 卫星遥感影像数据,通过遥感和 GIS 技术,运用非监督分类和目视解译相结合的方法,提取香日德地区的高寒草甸上界,分析其变化特征及其与该地区气候变化的关系。结果显示:(1) 1990—1999 年升温趋势显著,降水量基本保持不变;1999—2013 年气温基本不变而降水呈显著增加的趋势。(2) 香日德地区高寒草甸上界呈现向更高海拔即原高寒荒漠的范围扩张的趋势,其上界的扩张受气温和降水变化的共同作用。其中以气温变化为主导的 1990—1999 年期间,高寒草甸面积扩张迅速;以降水变化为主导的 1999—2013 年期间,高寒草甸上界扩张减慢。并且海拔越高的地区高寒草甸面积增加越迅速。(3) 高寒草甸上界在不同坡向上均有扩张。其中,以升温为主导的 1990—1999 年主要集中在北坡与西坡;以降水量增加为主导的 1999—2013 年期间则主要集中在南向坡。(4) 从坡度分布来看,1990—1999 年高寒草甸上界的扩张主要发生在  $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ ,而 1999—2013 年为  $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 。

**关键词:**Landsat; 高寒草甸上界; 非监督分类; 目视解译; 气候变化

中图分类号:Q948; TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0294-06

## Research on the Upper Boundary Change of Alpine Meadow and Its Relationship with Climate Change During the Past 23 Years in Xiangride, in Northeast Tibetan Plateau

WANG Xin, ZENG Biao, TONG Limian, YANG Taibao

(College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** We adopted the unsupervised classification and visual interpretation to extract upper boundary of alpine meadow in Xiangride by using remote sensing images of 1990, 1999 and 2013 to summarize the change characteristics and analyze its relationship with climate change. The results showed that: (1) the temperature had a significant increasing trend and the precipitation remained unchanged from 1990 to 1999; the temperature remained unchanged and the precipitation increased significantly from 1999 to 2013. (2) the upper boundary change of alpine meadow was controlled by both temperature and precipitation, the alpine meadow expanded in higher region in the past 23 years, the area increased fast from 1990 to 1999 which was controlled by temperature change, the area increased slowly from 1999 to 2013 which was controlled by precipitation change. (3) the upper boundary of alpine meadow increased in all slope aspects, alpine meadow increased mainly in north and west from 1990 to 1999 which was controlled by temperature, and it increased in southern slope aspect from 1999 to 2013 which was controlled by precipitation. (4) according to the distribution of slope gradient changes, the expansion of the upper boundary of the alpine meadow in 1990 to 1999 mainly occurred in steepness of  $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ , and the expansion in 1999—2013 mainly occurred in gradients of  $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$ .

**Keywords:** Landsat; the upper boundary of alpine meadow; unsupervised classification; visual interpretation; climate change;

草地生态系统是陆地生态系统的重要组成部分。  
高寒草甸作为分布在高山、高原寒冷环境下的一种草

地类型,广泛分布在青藏高原中东部地区,是青藏高原主要的植被类型之一,对维持青藏高原生态平衡

和畜牧业的发展有重要的生态价值<sup>[1-3]</sup>。青藏高原作为气候变化敏感区,其植被变化不仅影响其环境的变化,而且关系着北半球甚至全球气候环境系统<sup>[4-5]</sup>。近几十年来,气候变化导致的环境问题日益明显,随着青藏高原大部分地区气温上升并由干向湿发展的趋势<sup>[6]</sup>,其生态环境亦发生了明显变化<sup>[7]</sup>,高寒草地面临严重的生态胁迫<sup>[8-9]</sup>。

对青藏高原高寒草地变化已进行了大量的研究。部分研究认为随着青藏高原气候的暖湿化和人类活动对环境的干扰,一些地区的高寒草地退化明显<sup>[10-11]</sup>。同时也存在一些不同的结论,丁明军等<sup>[12]</sup>利用遥感数据得出1982—2009年青藏高原大部分地区草原盖度呈增加的态势。杨元合等<sup>[13]</sup>利用青藏高原NDVI数据分析发现青藏高原草地植被的生长季NDVI增加。徐兴奎等<sup>[14]</sup>利用NOAA-AVHRR数据,得到1980—2000年高原植被覆盖呈总体增加的趋势。以上说明高寒草地的变化存在明显的区域化特点。而与高寒荒漠相邻的高寒草甸上界区域,由于人类活动对其产生的直接影响较小,影响其变化的主要是自然因素,并且目前对高寒草甸上界的变化研究甚少。

柴达木盆地是青藏高原气候变化的敏感区<sup>[15]</sup>,其气候变化明显,使得其周围的生态环境发生了巨大变化<sup>[16-17]</sup>。本文利用遥感技术对柴达木盆地东南缘的香日德地区高寒草甸上界进行提取,并结合气候数据与DEM数据探讨高寒草甸上界变化与气候变化及地形的关系,以期高寒草甸保护提供参考。

## 1 研究区概况

研究区位于青藏高原东北部,柴达木盆地东南缘,香日德镇西南巴隆乡的部分区域(97°28′—97°56′E, 35°38′—35°52′N)。该区域海拔为3 900~5 400 m,气候类型为典型的大陆性荒漠气候。主要植被类型为高寒荒漠与高寒蒿草草甸,优势种为小蒿草(*Kobresia pygmaea*)和紫花针茅草甸(*Stipa purpurea* meadow),伴生种为紫花针茅草原(*Stipa purpurea* stepp)、凤毛菊 [*Saussurea japonica* (Thunb.) DC.]、红景天 (*Rhodiola rosea* L.)、垂头菊 [*Cremanthodium reni forme* (DC.) Benth.]等稀疏植被。

## 2 数据介绍

### 2.1 遥感影像数据

本文所选的遥感数据来自美国地质调查局空间分辨率为30 m的Landsat-5TM, Landsat-7ETM+, Landsat-8OLI。该数据经过系统辐射校正和地面控制点几何校正,并通过DEM进行了地形校正。此产

品的大地测量校正依赖于精确的地面控制点和高精度的DEM数据。遥感影像选取标准为:(1)尽量选取夏季7月、8月份植被生长最好时期的影像;(2)云覆盖度低的影像;(3)为了减少不同时期植被分布变化所造成的误差,选取影像时间间隔为10 a左右。本文选取1990年8月、1999年7月、2013年8月的影像为代表对香日德地区的高寒草甸近23年来上界的变化情况进行对比分析。

### 2.2 气候数据

气温和降水数据来自中国气象局气象科学数据共享服务网提供的中国地面气候资料月值数据集,选择距离香日德地区较近的且记录连续的都兰、诺木洪、玛多3个气象站点的气温、降水量数据(其中都兰站位于研究区北部,距研究区约60 km;诺木洪站位于研究区西北部,距研究区约120 km;玛多站位于研究区南部,距研究区约110 km),经计算得到年值数据,并计算3个站点的平均值,与高寒草甸上界变化情况进行分析。

### 2.3 DEM数据

DEM数据选取美国国家航空和航天局NASA空间分辨率为30 m的ASTER GDEM V2数据。该数据是对GDEM数据的修正,其清晰度高且水平和垂直方向的准确度较高。

### 2.4 研究方法

首先对三景Landsat遥感影像分别进行监督分类、非监督分类、NDVI阈值提取处理,得到高寒草甸分布边界并进行对比研究。本文最终选择简单易行的ISODATA法进行非监督分类,然后将影像进行近红外、红、绿波段组合得到标准假彩色影像并对非监督分类结果进行分类合并,然后通过目视解译修正非监督分类结果,确定高寒草甸分布边界。通过与DEM数据结合提取海拔在4 200 m以上的区域(该区域的植被类型只有高寒草甸与高寒荒漠)作为高寒草甸上界范围并进行误差检验。人工目视解译可能造成像元水平位移的误差。

结合过去研究的结果,一般认为小于半个像元的位移误差是能够被接受的<sup>[18]</sup>,因此我们利用Grashaw<sup>[19]</sup>提出的缓冲区分析方法建立了一个7.5 m的缓冲区来评估目视解译的结果,进行误差检验。经过计算三景影像的误差分别为4.29%, 3.46%, 4.94%。对提取的高寒草甸上界范围进行对比,得到23年来高寒草甸发生变化的区域,最后统计高寒草甸面积变化与气候变化的关系,并结合该区域的DEM数据进行地形分析,统计高寒草甸上界的海拔高度、坡度、坡向分布特征。

### 3 结果与分析

#### 3.1 气候变化特征

由图 1 可以看出,1990—1999 年,都兰、诺木洪、玛多 3 个站点的年平均气温均呈升高的趋势,分别为 1.1、1.1、0.79℃/10 a;1999—2013 年,都兰的年

均气温呈降低的趋势,而诺木洪与玛多呈上升趋势,但上升趋势明显低于 1990—1999 年,分别为-0.38、0.21、0.45℃/10 a。

从 3 个站的平均值来看,1990—1999 年气温呈明显上升趋势,为 0.99℃/10 a,1999—2013 年则微弱上升。

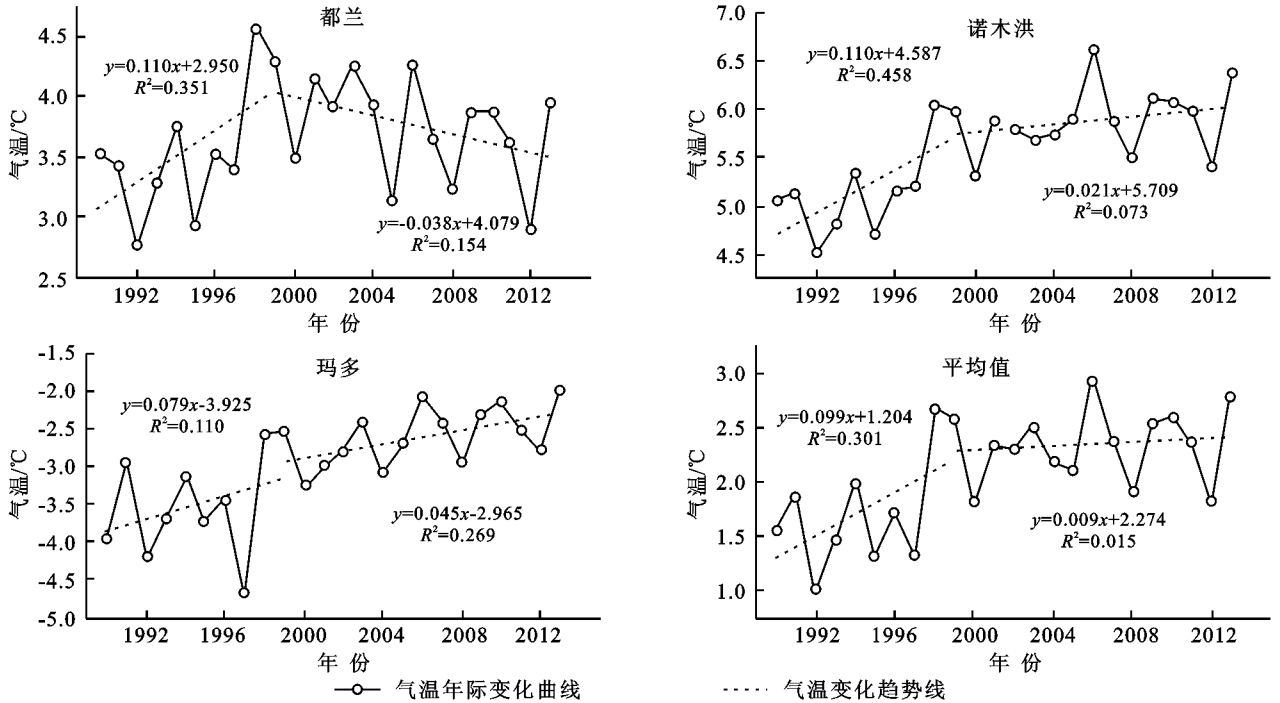


图 1 1982—2013 年 3 个站点年平均气温变化及平均变化

由图 2 可以看出,1990—1999 年都兰和玛多的年降水量呈微弱上升趋势,而诺木洪的年降水量呈现比较明显的增加趋势,都兰、诺木洪、玛多降水变化分

别为 8.9、31.47、3.21 mm/10 a。1999—2013 年都兰、诺木洪、玛多均表现为降水量增加的趋势,分别为 37.88、20.81、56.27 mm/10 a。

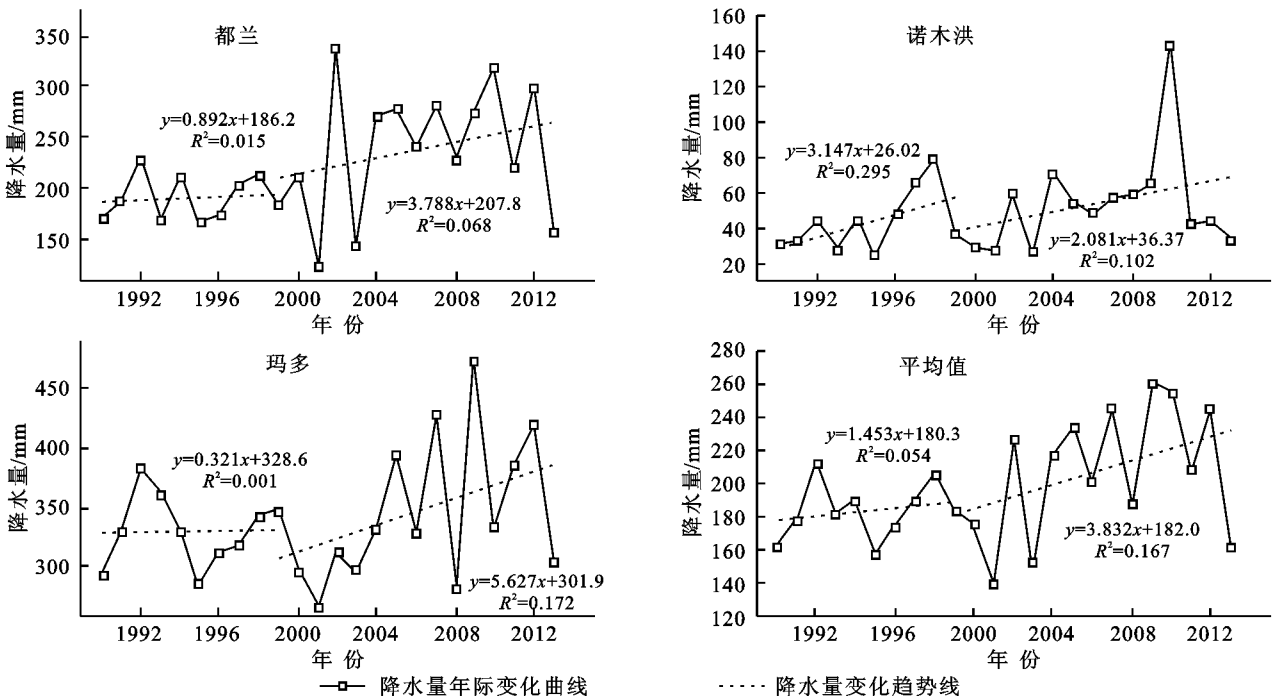


图 2 1982—2013 年 3 个站点年降水量变化及平均变化

从 3 个站的平均值来看,1990—1999 年研究区降水量呈微弱上升的趋势,平均每 10 a 增加降水量 14.53 mm;1999—2013 年研究区降水量显著增加,平均每 10 a 增加 38.32 mm。气温变化特征表现为 1990—1999 年升温趋势显著;1999—2013 年微弱上升。

3.2 高寒草甸上界变化特征

由图 3 可以看出,23 年来高寒草甸上界呈现向高寒荒漠扩张的趋势。本文利用分布在更高海拔的高寒荒漠面积的变化来解释高寒草甸上界的分

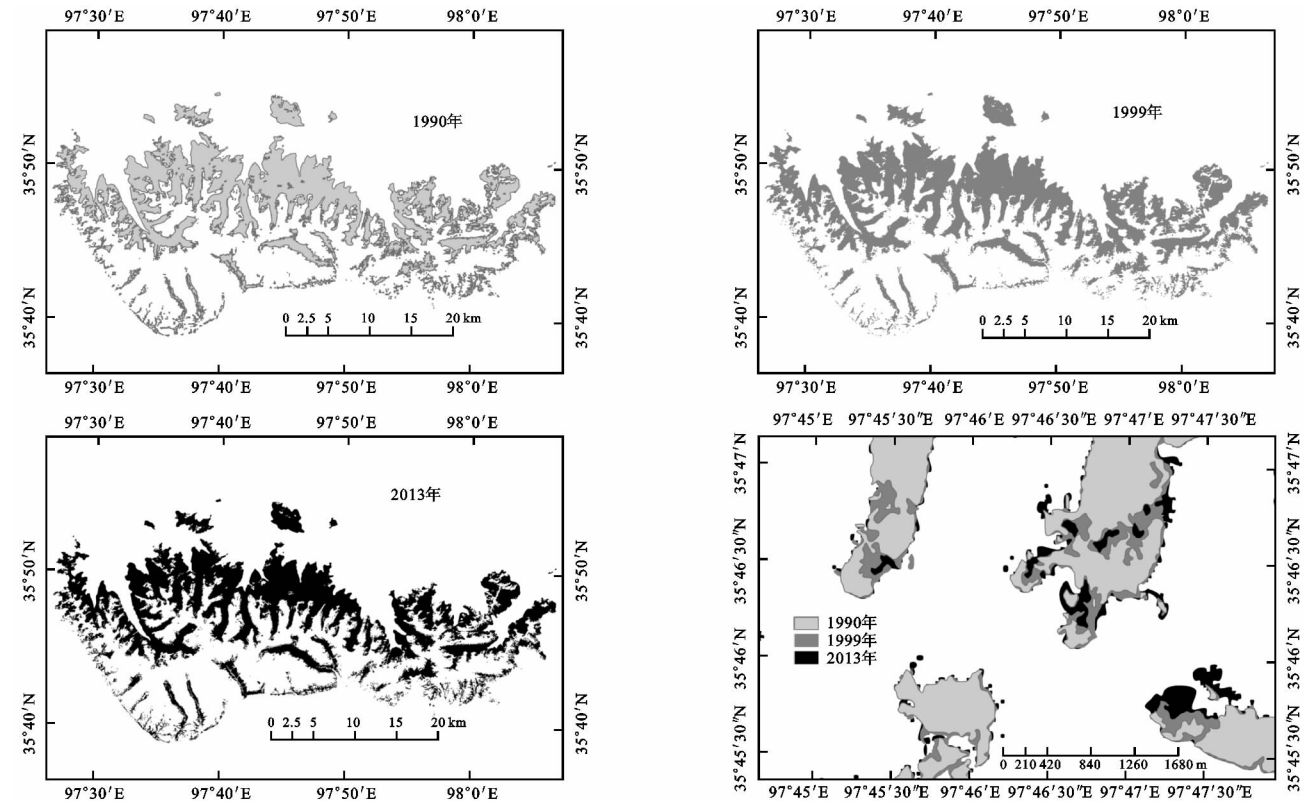


图 3 不同年份提取的高寒草甸上界范围及高寒草甸上界变化示例

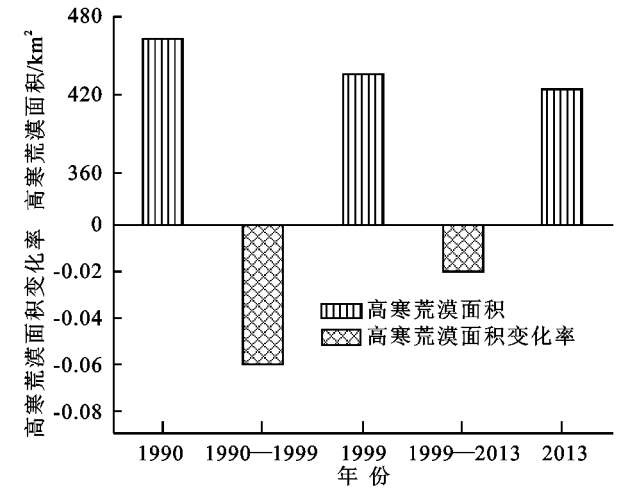
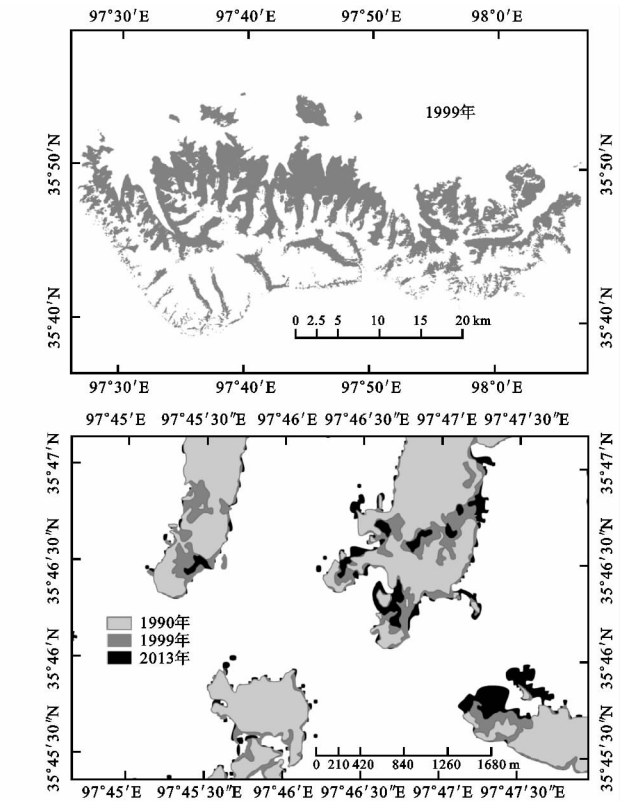


图 4 不同时期高寒荒漠面积与面积变化率

由图 5 可以看出,高寒草甸上界主要分布在 4 200~4 600 m 范围内,该海拔范围内的高寒草甸面

积的增长率在两个时期比较接近,均在 0.1 左右;而在高于 4 600 m 的高海拔地区,高寒草甸面积亦呈现持续增加,面积增长率也明显高于低海拔地区,说明高寒草甸上界向更高海拔的原高寒荒漠地区分布。与吴建国等<sup>[20]</sup>得到的在气候变化下高寒草甸将主要朝高寒草原和高寒荒漠分布区范围扩展的结论一致。



积的增长率在两个时期比较接近,均在 0.1 左右;而在高于 4 600 m 的高海拔地区,高寒草甸面积亦呈现持续增加,面积增长率也明显高于低海拔地区,说明高寒草甸上界向更高海拔的原高寒荒漠地区分布。与吴建国等<sup>[20]</sup>得到的在气候变化下高寒草甸将主要朝高寒草原和高寒荒漠分布区范围扩展的结论一致。

3.3 不同坡度和坡向高寒草甸上界变化情况

分别统计不同坡度、坡向高寒草甸上界的面积变化(图 6—7)可知:1990—1999 年高寒草甸上界的扩张主要集中在 15°~25°,1999—2013 年扩张主要集中在 20°~35°。两个时期均是在坡度大于 25°的地区高寒草甸上界的增长率较大。从坡向统计来看,1990—1999 年高寒草甸上界的扩张主要集中在北坡、西北坡和西坡;1999—2013 年扩张则集中在南坡。

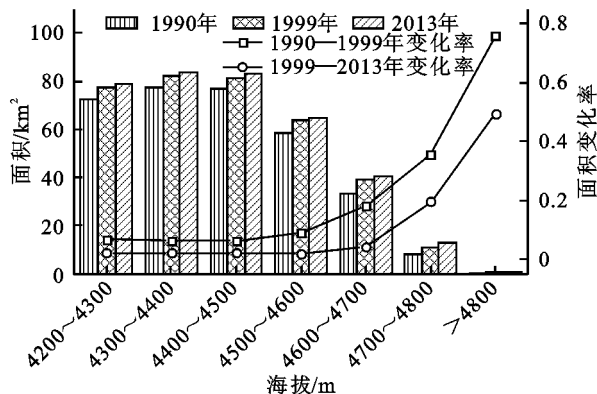


图5 不同海拔高寒草甸面积变化

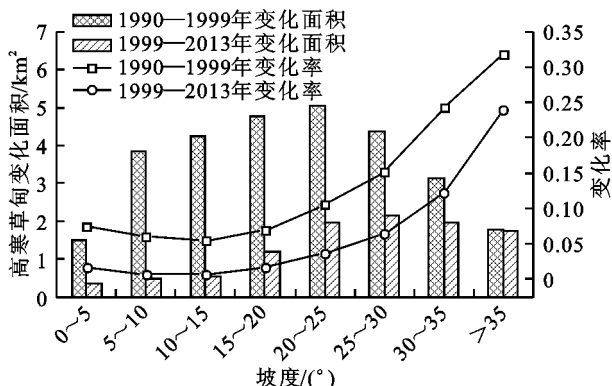


图6 不同坡度高寒草甸面积变化

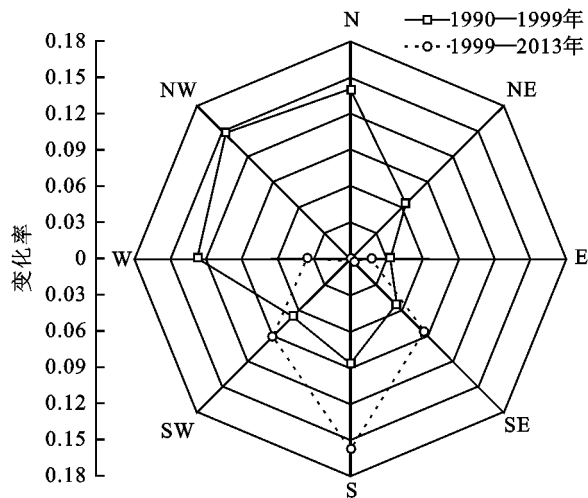


图7 不同坡向高寒草甸面积变化率

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

(1) 高寒草甸上界变化与气候变化的关系。过去23年香日德地区高寒草甸上界呈向高寒荒漠扩张的趋势。其中,1990—1999年呈快速增加的趋势,面积增长 $28.5 \text{ km}^2$ ,平均每年扩张 $3.16 \text{ km}^2$ 。同时期该地区年平均气温呈明显上升趋势,降水量呈现微弱增加,说明该时期的高寒草甸上界的扩张主要是气温上升导致的;而1999—2013年气温呈微弱上升,年降水量则呈显著的波动上升趋势,同时期高寒草甸上界

面积增长速度趋缓,年增长 $0.77 \text{ km}^2$ ,说明该时期高寒草甸上界的扩张主要是降水量变化主导的。可知,整个研究区高寒草甸上界扩张受气温和降水变化的共同作用,高寒草甸上界在以气温变化为主导时期的扩张速度要快于降水量变化为主导时期的扩张速度。这与王秀红<sup>[21]</sup>认为的影响高寒草甸上限分布的主导因素是温度条件基本一致,与吴建国等<sup>[20]</sup>得到的高寒草甸变化受年平均气温变化和年降水量变化影响的结论相一致。

(2) 高寒草甸上界变化与地形因子的关系。地形可以通过改变光照、气温、降水、土壤水分等因子对植被生长产生重要影响。其中,坡度、坡向均是重要的地形指标。坡向能够通过改变光照、气温和水分条件等气象要素对植被的变化产生影响,一般情况下,北坡(西坡)较南坡(东坡)的土壤水分条件好;坡度则能够通过影响土壤水分对植被生长产生影响,一般情况下坡度与水分含量呈负相关<sup>[22-23]</sup>。

由于高寒草甸主要分布在海拔高、相对湿度较大的高寒地区。在气候变暖、降水量增加的条件下,高寒草甸会优先选择生长在温度适宜、坡度平缓、水分条件相对较好的草谷地区。当高寒草甸在草谷地区分布到一定程度无法继续在该区域扩张时,将向坡度更大的地区扩张,这些区域的水分条件较差,土层变浅;当坡度增大到土层浅薄、水分条件差等不利于植被生长的情况下,高寒草甸向高寒荒漠的扩张就会受到限制。由图6可以看出,以升温为主导因素的高寒草甸扩张主要集中在 $15^\circ \sim 25^\circ$ 坡度的地区,这些地区水分条件相对较好,随着气温的升高,高寒草甸大量扩张;在降水量增加为主导因素的高寒草甸扩张主要集中在坡度为 $20^\circ \sim 35^\circ$ 的地区,这可能是由于降水量的增加导致该坡度范围内的土壤湿度增加,从而有利于高寒草甸的扩张。总体来看,高寒草甸上界在1999—2013年增加的坡度要大于1990—1999年的。而在坡度大于 $25^\circ$ 的地区高寒草甸增长率明显快于低坡度地区,这可能是大坡度地区的高寒草甸面积较小导致的。

由图7可以看出,在以升温为主导因素的高寒草甸上界在各个坡向上均有增加,其中增加较快的区域主要集中在西北坡、北坡,而在南坡与东南坡增加较慢。这可能是由于在相同气候条件下北坡的热量要少于南坡,随着气温的显著升高,在热量不足的北坡、西北坡地区植被会得到补偿性生长扩张;并且北坡的水分条件相对较好,会促进植被在该地区的生长,这使得高海拔地区的北坡、西北坡与西坡有大量的高寒草甸开始生长;而在降水量增加为主导因素的高寒草

甸上界在西北坡、北坡和东北坡基本保持不变,在南坡、西南坡和东南坡等水分条件差的地区扩张。这可能是由于该时期的气温微弱上升,但降水量明显增加,坡向导致的水分条件差异缩小,使得在过去水分条件相对较差的南坡、东南坡和西南坡的南向坡区域高寒草甸大量补偿性扩张。

## 4.2 结论

近23年来香日德地区的高寒草甸上界呈向高寒荒漠扩张的趋势,其扩张受气温和降水变化的共同作用。其中以升温主导的1990—1999年期间,高寒草甸上界向高海拔地区扩张迅速;以降水增加为主导的1999—2013年期间,高寒草甸上界扩张减慢;并且海拔越高的地区高寒草甸面积增加越迅速。

1990—2013年高寒草甸上界在不同坡向上均有增长,其中以升温为主导因素的高寒草甸上界扩张主要集中在北坡与西坡;以降水量增加为主导因素的扩张则主要集中在南向坡增长。从坡度分布来看,1990—1999年高寒草甸上界的扩张主要发生在 $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$ ,而1999—2013年为 $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 。

## 参考文献:

- [1] Zhang X, Yang D, Zhou G, et al. Model expectation of impacts of global climate change on biomes of the Tibetan Plateau[M]//Omasa K, Kai K, Taoda H, et al. Climate change and plants in East Asia. Japan: Springer, 1996.
- [2] 赵新全,张耀生,周兴民. 高寒草甸畜牧业可持续发展:理论与实践[J]. 资源科学, 2000, 22(4): 50-61.
- [3] 谢高地,鲁春霞,肖玉,等. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估[J]. 山地学报, 2003, 21(1): 50-55.
- [4] 姚檀栋,朱立平. 青藏高原环境变化对全球变化的响应及其适应对策[J]. 地球科学进展, 2006, 21(5): 459-464.
- [5] Bollasina M, Benedict S. The role of the Himalayas and the Tibetan Plateau within the Asian monsoon system[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2004, 85(7): 1001-1004.
- [6] 吴绍洪,尹云鹤,郑度,等. 青藏高原近30 a气候变化趋势[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 3-11.
- [7] 牛亚菲. 青藏高原生态环境问题研究[J]. 地理科学进

展, 1999, 18(2): 163-171.

- [8] 吕新苗,郑度. 气候变化对长江源地区高寒草甸生态系统的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(5): 603-607.
- [9] 王谋,李勇,黄润秋,等. 气候变暖对青藏高原腹地高寒植被的影响. 生态学报, 2005, 25(6): 1275-1281.
- [10] 王根绪,丁永建,王建,等. 近15年来长江黄河源区的土地覆被变化[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 163-173.
- [11] 周华坤,赵新全,周立,等. 青藏高原高寒草甸的植被退化与土壤退化特征研究[J]. 草业学报, 2005, 14(3): 31-40.
- [12] 丁明军,张德铨,刘林山,等. 1982—2009年青藏高原草地覆盖度时空变化特征[J]. 自然资源学报, 2010, 25(12): 2114-2122.
- [13] 杨元合,朴世龙. 青藏高原草地植被覆盖变化及其与气候因子的关系[J]. 植物生态学报, 2006, 30(1): 1-8.
- [14] 徐兴奎,陈红. 气候变暖背景下青藏高原植被覆盖特征的时空变化及其成因分析[J]. 科学通报, 2008, 53(4): 456-462.
- [15] 李林,陈晓光,王振宇,等. 青藏高原区域气候变化及其差异性研究[J]. 气候变化研究进展, 2010(3): 181-186.
- [16] 高维,曾彪. 2000—2011年柴达木盆地尕斯库勒湖流域MODIS-NDVI变化的空间差异[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2013(1): 7-12.
- [17] 徐浩杰,杨太保. 1981—2010年柴达木盆地气候要素变化特征及湖泊和植被响应[J]. 地理科学进展, 2013, 32(6): 868-879.
- [18] Bolch T, Yao T, Kang S, et al. A glacier inventory for the western Nyainqentanglha Range and the Nam Co Basin, Tibet, and glacier changes 1976—2009[J]. The Cryosphere, 2010, 4(3): 419-433.
- [19] Granshaw F D, Fountain A G. Glacier change (1958—1998) in the North Cascades National Park Complex, Washington, USA[J]. Journal of Glaciology, 2006, 52(177): 251-256.
- [20] 吴建国,吕佳佳. 气候变化对青藏高原高寒草甸适宜气候分布范围的潜在影响[J]. 草地学报, 2009, 17(6): 699-705.
- [21] 王秀红. 青藏高原高寒草甸的时空变化特征[J]. 地理科学进展, 1997, 16(4): 54-60.
- [22] 何其华,何永华,包维楷. 干旱半干旱区山地土壤水分动态变化, 山地学报, 2003, 21(2): 149-156.
- [23] 王礼先. 水土保持学[M]北京:中国林业出版社, 1995.