

文章编号: 1008 - 2786 - (2017) 4 - 000 - 07

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000240

1961 - 2013 年气候变化对祁连山草地生产力影响评价

罗永忠¹ 郭小芹^{2*} 刘绪珍²

(1. 甘肃农业大学 林学院, 兰州 730070; 2. 武威市气象局, 甘肃 武威 733000)

摘 要: 气候生产潜力反映了植被群落在自然条件下的最高生物学产量,可作为草地生产力评价依据。本文依托 1961 - 2013 年祁连山区 17 个气象站数据,利用 Thornthwaite Memorial 模型以及 MK 检验、EOF 分析方法,对研究区域夏季(5 - 9 月)草地生产力进行了评价。结果显示祁连山降水倾向率为 $1.0552 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$,温度倾向率 $0.0357 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$,气候变化呈暖湿型特征,其中降水是影响祁连山草地生产力的主要因素。第一特征量以托勒一野牛沟一肃南为高值区,草地生产力显著优于其他区域,应该作为祁连山草地重要保护区域。在气候驱动上,降水对祁连山草地生产力的影响要远远大于温度,尤其在沿沙区和戈壁荒漠区;而温度的影响显著体现在湿润地带即祁连山高地一带。该研究为祁连山草地保护与发展提出了参考依据。

关键词: 祁连山; 草地生产力; 气候变化

中图分类号: S812.1

文献标志码: A

作为气候变化脆弱区以及敏感区,祁连山对全球气候变化响应非常积极且表现出显著的超前性^[1-2]。随着气候变暖,祁连山草地生态环境发生了巨大变化,尤其是冰雪消融、草原退化、种群数量减少、水土流失、荒漠化加剧以及极端天气现象频发,使得祁连山生态环境保护与综合治理问题日益凸显,也使祁连山生态变化研究成为热门话题^[3-5]。祁连山草地属于自然状态,地上部分生长季节为 5 - 9 月,其余时段基本为休眠状态,伴随退耕还林还草以及禁牧休牧轮牧等一系列政策的实施,对天然草地植被的生长评价将具有重要意义。

气候变化必然引起植被群落结构、组成、生物量,进而影响自然植被生产力^[6-8]。本文所涉草地生产力是指在气候资源条件下草地所具备的潜在生产力,即当生长品种、土壤结构、周边环境、管理水平

等相对稳定时,在当年光、热、水等气候条件综合影响下单位面积草地上可能达到的生物学产量最高值,即以气候生产潜力作为草地生产力评价指标。事实上,草地不论从其生长数量还是草种品质上,都很大程度地受制于天然降水和温度的影响,国内学者对此有一些研究成果^[9-11],比如借用粗蛋白粗纤维与气象要素变化对青海湖草地营养进行评价^[12],采用植被指数变化分析青藏高原生态的脆弱性^[13],还有对高原草地植被时空变化进行探讨^[14-15],这些研究为青藏高原气候变化响应奠定了一定的基础,但迄今为止对祁连山草地生长条件的探讨还比较少见,本文利用 Thornthwaite Memorial 模型^[16]对祁连山草地生产力进行分析,以科学评价研究区域气候变化下草地资源的可利用性,为更好地保护、利用、开发草地资源提供了理论依据。

收稿日期(Received date): 2016 - 08 - 14; 改回日期(Accepted date): 2017 - 02 - 13

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(31560238) [National Natural Science Foundation of China(31560238)]

作者简介(Biography): 罗永忠(1970 -),女(汉),甘肃酒泉人,博士,副教授,主要研究方向:水土保持与荒漠化[Luo Yongzhong(1970 -), female, born in Jiuquan, Gansu province, Ph. D., associate professor, research on water and soil conservation and desertification] E-mail: luoyzhong@sina.com

* 通讯作者(Corresponding author): 郭小芹(1965 -),女,甘肃陇南人,高级工程师,主要从事应用气象研究[Guo Xiaolin(1965 -), female, born in longnan, senior engineer, research on applied meteorology]

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

祁连山地处甘肃与青海两省交界处,东起乌鞘岭,西至当金山口,北临河西走廊,南靠柴达木盆地,总面积 1972.5 km²,海拔 3000 ~ 5000 m,4000 m 以上山峰终年积雪,其冰川地带不仅是石羊河、黑河、疏勒河三大内陆河流源头,也是祁连山草地赖以存活的天然屏障(见图 1)。自北而南看整个山区属褶皱断块山,依次分布着大雪山、托来山、托来南山、野马南山、疏勒南山、党河南山、土尔根达坂山、柴达木山、宗务隆山,最高峰处于疏勒南山之团结峰(5808 m)。祁连山地属于大陆性气候特征,因地理环境差异分布着不同特征的草地类型,其中海拔低于 2000 m 区域多属荒漠草地型,年平均温度约 6℃,年降水量约 150 mm;2000 ~ 2800 m 属半山地草地型,年平均温度 2℃ ~ 5℃,年降水量 250 ~ 300 mm;2800 ~ 3500 m 为森林草地型,年平均温度 0℃ ~ 1℃,年降水量 400 ~ 500 mm;海拔超过 3500 m 为灌丛草甸区域,年平均温度约 -5℃,年降水量约 800 mm 以上。

1.2 数据来源

文中所取站点依祁连山南北两侧自东向西均匀分布,基本能代表研究区域气候特征,选取站点依次为大通、刚察、互助、海晏、门源、祁连、托勒、野牛沟、

乌鞘岭、古浪、武威、永昌、肃南、民乐、张掖、酒泉、肃北共计 17 个气象站 1961 - 2013 年逐日温度、逐日降水资料,其中选取 5 - 9 月作为祁连山草地植被生产力研究与评价时段。

1.3 草地生产力模型

基于温度、降水与气候生产力之间的关系,构造 Thornthwaite Memorial 模型:

$$Y_e = 3000(1 - e^{-0.0009695(V-20)}) \quad (1)$$

其中 Y_e 为由蒸散量决定的气候生产潜力, V 是年平均实际蒸散量,可用下式计算:

$$V = 1.05 R / [1 + (1.05 R/L)^2]^{1/2} \quad (2)$$

其中 R 为年平均降水量, L 为年平均最大蒸散量, L 是年平均温度 T 的函数:

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3 \quad (3)$$

按照模型所需参数计算草地生产力(Y_e),数据处理工具为 SPSS13.0。

1.4 EOF 分析

经验正交函数(Empirical Orthogonal Functions, 简称 EOF)是衡量变量场空间结构或多变量综合信息的特征分析方法,其基本原理是对变量场上 m 个空间点 n 次观测值构成的多维变量即 $X_{m \times n}$ 通过降维过程分解为相互独立的 p 个空间函数和时间函数,从而实现将多个变量信息最大限度地集中在少数变量上,以尽可能解释变量场典型特征的目的。即: $X_{m \times n} = V_{m \times p} \times T_{p \times n}$, 其中 V 为空间特征向量, T 为时间系数。

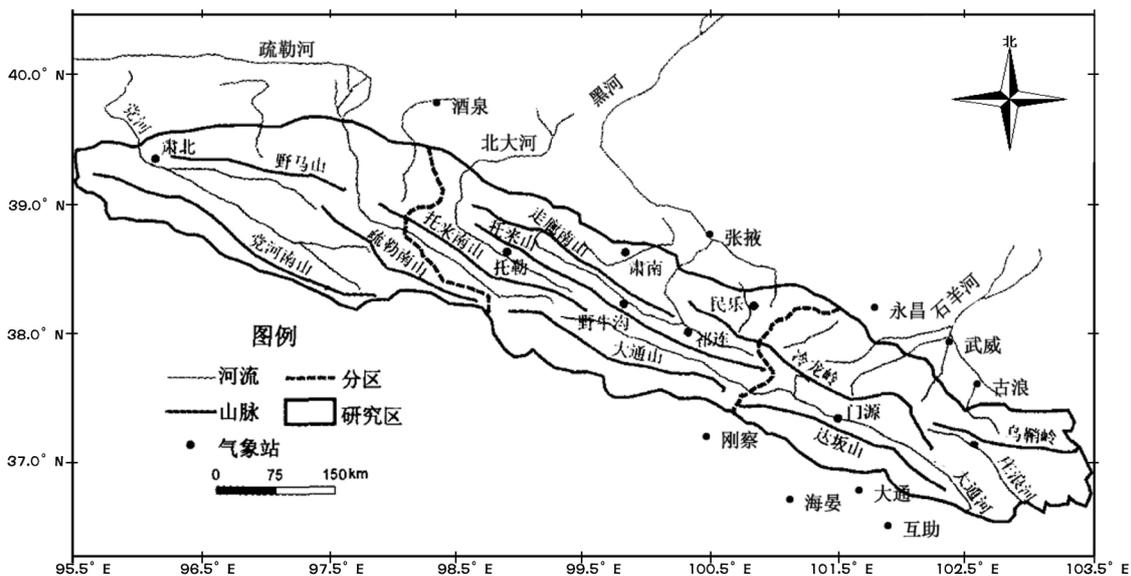


图 1 祁连山脉走向与气象站点分布

Fig. 1 The distribution of meteorological stations in Qilian Mountains

计算步骤: 首先将原数据距平化处理, 计算协方差矩阵 $C_{m \times m} = X \times X^T$; 然后求得特征根 ($\lambda_1 \cdots \lambda_m$) 与特征向量, $C_{m \times m} \times V_{m \times m} = V_{m \times m} \times \Lambda_{m \times m}$, 式中 Λ 是 $m \times m$ 维对角阵(见式 4), 特征根 $\lambda_1 > \lambda_2 > \cdots > \lambda_p, \geq 0$ 特征向量 $EOF_k = V(:, k)$; 再将 EOF 投影到原始矩阵 $X_{m \times n}$ 上得到 $PC_{m \times m} = V_{m \times m}^T \times X_{m \times n}$, 第一行 $PC(1, :)$ 即为第一时间系数, 依此类推。在 EOF 分析中满足 $V^T A V = \Lambda, T \cdot T^T = \Lambda$, 即 $T = V^T \times X$, 具体展开形式见文献^[17]。由于 EOF 收敛速度快, 故可用前几个特征值所对应的特征向量来充分描述要素场主要特征, 特征值越大, 其典型意义越为重要。

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \Lambda & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \Lambda & 0 \\ M & M & \Lambda & M \\ 0 & 0 & \Lambda & \lambda_p \end{pmatrix} \quad (4)$$

2 结果与分析

2.1 气候变化以及草地生产力年际特征

研究区域多年平均温度 12.7℃, 最高温度 14.1℃(2010 年), 最低温度 11.5℃(1976 年), 1961 - 2013 年温度倾向率为 0.0357(图 2), 即每 10 年温度攀升 0.357℃, 升温现象通过 99% 信度检验 ($R^2 = 0.6217$), 在此基础上进行 Mann-Kendall 非参数统计检验, 结果显示 1997 年为温度突变时段, 1997 - 2013 年平均温度比 1961 - 1996 年高 1.26℃, 这与我国西北地区气温显著升高的时间基本一致, 表明祁连山对全球变暖响应非常积极。

在祁连山夏季温度显著变化的同时, 降水也表现出显著特征(图 2)。在研究时段内年降水量为 271.2 mm, 最大降水 327.5 mm(2007 年), 最小降水 182.6 mm(1962 年), 1961 - 2013 年降水倾向率

1.0552, 即每 10 年降水增加 10.6 mm, 夏季湿润程度显著 ($R^2 = 0.2338$), 尤其从 1981 年以来夏季降水比 1961 - 1980 年平均增加 30 mm。祁连山气候变暖、降水显著增多, 这一特征与施雅风等人提出的结论^[18]相吻合, 也使祁连山成为气候暖湿型的典型区域之一。

伴随温度与降水的显著变化, 研究区域草地生产力也表现出典型特征。从图 3 可以看出, 1961 - 2013 年平均气候生产潜力为 631.3 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 单位下同), 最大值为 744.1(2007 年), 最小值 443.6(1962 年), 年际倾向率 2.2913, 即每 10 年气候生产潜力增加 22.9 ($R^2 = 0.2783$), 其中 1981 - 2013 年比 1961 - 1980 年平均增加 64.6; 分析还显示, 气候生产潜力与温度、降水呈正相关 ($R_t = 0.2678, R_r = 0.9215$), 说明二者是影响祁连山植被变化的主导因素, 其中降水是影响祁连山草地生产力的主要因素, 降水增多将有益于祁连山草地生产力的显著提升。

2.2 草地生产力 EOF 空间分布特征

以 1961 ~ 2013 年气象资料为依据对草地生产力进行 EOF 变量场特征分析。在方差贡献值中前三个特征向量占比依次为 42.16%、21.15%、10.89%, 累计达到 73.18%, 尽管特征向量并不直接代表草地生长能力, 但足以反映草地变化场的基本结构(图 4)。作为最重要的分析参量, 可以看出第一特征量 (V_1) 全场为正值, 这不仅反映了祁连山草地生长一致性的特点, 还表现出草地变化的主要空间特征。最大值分布在研究区域西侧即以托勒—野牛沟—肃南为中心而成为草地生产力布局的高值区, 托勒作为祁连山区气象站的最高点(海拔 3368 m), 其温度与降水变化特别适合草地生长, 该地区应该作为祁连山生态保护重要区域。而沿沙区

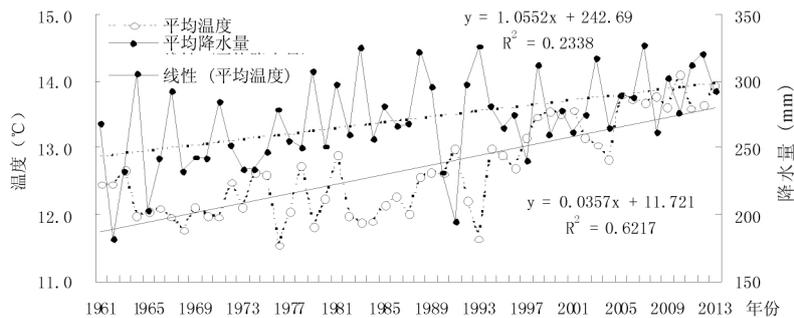


图 2 祁连山区 1961 ~ 2013 气候变化趋势

Fig. 2 Climate change of Qilian Mountains from 1961 to 2013

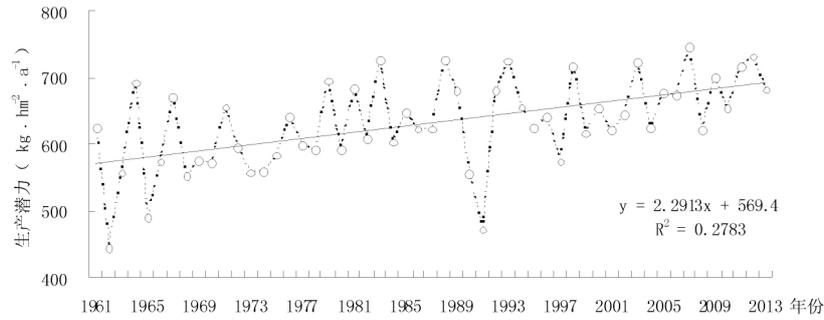


图3 祁连山区 1961~2013 年草地生产力变化趋势

Fig. 3 Productive potential of grassland in Qilian Mountains from 1961 to 2013

与戈壁区域因降水偏少、温度偏高、生产力水平低而不适宜草地存活。作为参照量,可以看出,第二特征向量(V_2)最大值与第一特征向量空间布局接近,高值区依然分布在以托勒—野牛沟—肃南地带,整个区域自东向西呈准南北向而渐次分布,低值区出现在古浪—武威。此外,第三特征向量(V_3)分布基本呈纬向分布,最大值出现在研究区域北侧,最小值则分布在祁连山区东部。按照特征向量方差贡献值占比,祁连山草地生长空间分布规律可以将 V_1 作为主要特征, V_2 、 V_3 可视为局部因素叠加考虑。

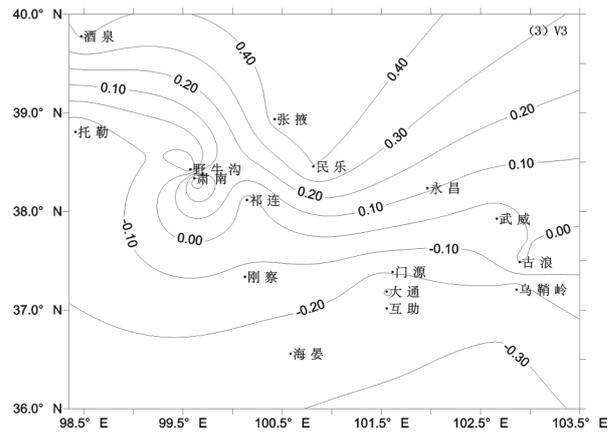
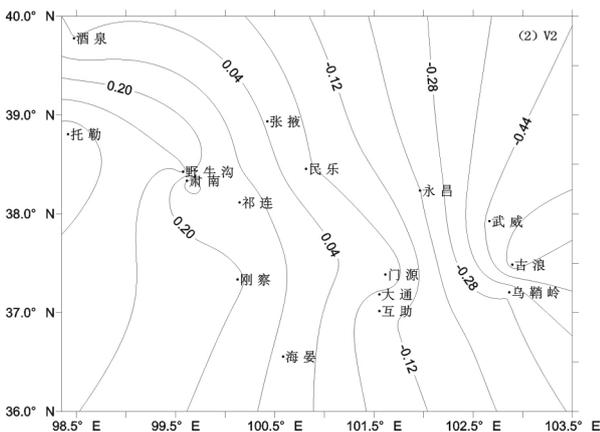
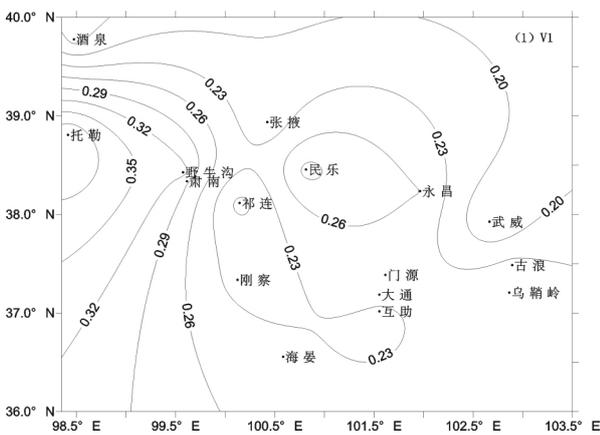


图4 祁连山区草地生产力 EOF 特征向量 V_1 、 V_2 、 V_3 空间分布特征

Fig. 4 Spatial distribution of EOF feature vector (V_1 : first, V_2 : second, V_3 : third) for productive potential of grassland in Qilian Mountains



2.3 草地生产力 EOF 时间变化特征

对第一特征向量对应的时间系数(T_1)进行分析(图5)结果显示最高值为 2727.1(2007 年),最低值 1598.6(1962 年),年际波动特征明显,其中 1983 年出现了次高值(2639.4),1991 年出现了次低值(1904.9),草地生产力以 $9.7381 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 速度增长($R^2 = 0.3719$); Mann-Kendall 分析认为 1981 年为第一时间系数突变开始阶段,尽管还存在波动性,但 1981-2013 年要比 1961-1980 年偏高 12.6%,说明气候变化有利于草地生产力增长。

第二时间系数呈正负波动型(图略),草地生产力增长量为 $4.1404 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 且通过显著性检验($R^2 = 0.3617$),其中最大值为 2013 年(129.97),最小值为 1961(-531.72);第三时间系数均为负值(图略),草地生产力变化量为 $-2.5273 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 且通过显著性检验($R^2 = 0.3081$),其中最大值为 1979 年(-103.59),最小值为 1985(-794.05)。按照特

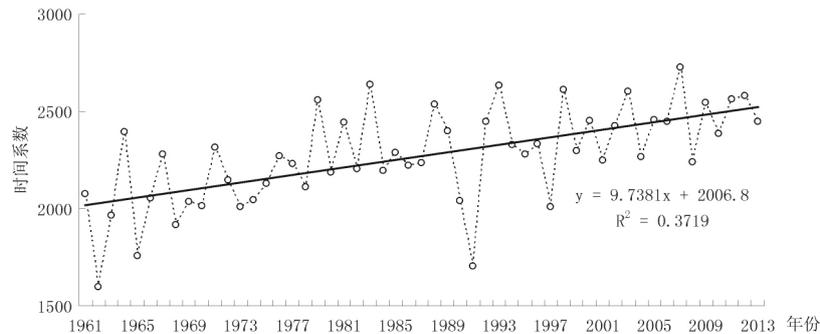


图5 祁连山区草地生产潜力 EOF 第一时间系数分布特征

Fig. 5 Distribution characteristics of the first time coefficient for productive potential of grassland in Qilian Mountains

征向量方差贡献值占比,祁连山草地生长时间变化规律可以将第一时间系数作为主要特征,第二第三时间系数可视为局部因素叠加考虑。

2.4 草地生产力的气候影响特征

气候变化给草地保护与发展带来严峻挑战,为了定量描述其变化特征,假定气候条件可以不同变幅进行变化,依据 Thornthwaite Memorial 模型推算草地生产力变化。结果显示:(1)假定温度变化 1°C 、 2°C 、 3°C ,即草地生产力在升温状态下将依次增加 7.8 、 14.9 、 21.4 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,草地生产力单位下同),降温时依次减少 8.4 、 17.4 、 27.1 ,草地生产力水平敏感区为门源、大通、互助、野牛沟;(2)假定降水变化 10 mm 、 20 mm 、 30 mm ,草地生产力在增湿条件下分别增加 18.6 、 36.7 、 54.5 ,减湿条件下分别减少 19.0 、 38.4 、 58.2 ,草地生产力水平变化敏感区为酒泉、张掖、武威、肃北;(3)假定温度/降水同步变化,在 $1^{\circ}\text{C}/10\text{ mm}$ 、 $2^{\circ}\text{C}/20\text{ mm}$ 、 $3^{\circ}\text{C}/30\text{ mm}$ 时草地生产力依次增加 26.8 、 53.4 、 80.0 ,在 $-1^{\circ}\text{C}/-10\text{ mm}$ 、 $-2^{\circ}\text{C}/-20\text{ mm}$ 、 $-3^{\circ}\text{C}/-30\text{ mm}$ 时则分别减少 26.9 、 53.8 、 80.8 ,整个研究区域草地生产力水平变化幅度在数量上基本呈平均状况。

气候影响特征揭示了气候变化对草地生产力的影响效益。分析显示,降水的影响要远远大于温度,温度的影响显著体现在湿润地带,而降水的影响则偏向于干燥地带。换一句话说,在全球气候变暖的背景下祁连山高地夏季温度的变化非常有利于草地植被生长,而对沿沙地带和戈壁荒漠区而言,降水增多则有益于生态环境的改变。

3 结论与讨论

1961-2013年祁连山5-9月温度倾向率 0.0357 ,即每10年温度攀升 0.357°C ,1997年以来

升温显著;同期降水倾向率 1.0552 ,即每10年降水增加 10.6 mm ,1981年以来增湿明显;祁连山气候变化表现出典型的暖湿型特征,其中降水是影响草地生产力的主要因素;EOF第一特征量以托勒一野牛沟—肃南为生产力水平高值区,应该作为祁连山草地主要保护地;在第一时间系数上草地生产力以 $9.7381\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 速度增长,尤其是1981年以来显著增加;气候影响效益显示降水的影响要远远大于温度,尤其在干燥地带即沿沙区和戈壁荒漠区,而温度的影响则显著体现在湿润地带即祁连山高地一带,气候变暖非常有利于草地生产力水平的提升。

本研究基于5-9月气候条件对祁连山草地生产力进行评估,分析过程中假定10月到翌年4月为草地冬眠或休整期并且忽略了该时段气候变化对草地生产力水平的影响。事实上伴随升温增湿过程,植被春季返青提前,枯草期滞后,草地生长周期、鲜草产量、植被覆盖率都会有所变化,因此在精深研究上还应尽量延长评价时段。

草地生长是一个系统工程,涉及到生态保护、草地品质、管理水平,即便在圈封禁牧状态下气象条件也只是其中的一个环节,本研究仅从气象因素着手理论分析了草地生产力水平,但在草地保护与生态建设中还应该因地制宜而区别对待。

参考文献(References)

- [1] 蓝永超,胡兴林,丁宏伟,等.河西内陆河流域山区近50余年来气温变化的多尺度特征和突变分析[J].山地学报,2014,32(2):163-170 [LAN Yongchao, HU Xinglin, DING Hongwei, et al. Multiple time scales analysis of jump and variation of air temperature in mountain area of Hexi inland river basin in the past more than 50 years[J]. Mountain Research, 2014, 32(2): 163-170]
- [2] 李洪权,范广洲,周定文,等.青藏高原春季植被变化特征及其对夏季气温的影响[J].地理科学,2008,28(02):259-265 [LI

- Hongquan, FAN Guangzhou, ZHOU Dingwen, et al. Character of spring vegetation change in the Qinghai Tibet Plateau and its influence on summer air temperature [J]. *Scientia Geographica Sinica* 2008 **28**(02): 259 – 265
- [3] 武正丽, 贾文雄, 赵珍, 等. 2000 – 2012 年祁连山植被覆盖变化及其与气候因子的相关性 [J]. *干旱区地理*, 2015, **38**(6): 1241 – 1252 [WU Zhengli, JIA Wenxiong, ZHAO Zhen, et al. Spatial-temporal variations of vegetation and its correlation with climatic factors in Qilian Mountains from 2000 to 2012 [J]. 2015, **38**(6): 1241 – 1252]
- [4] 李霞, 李晓兵, 王宏, 等. 气候变化对中国北方温带草原植被的影响 [J]. *北京师范大学学报 (自然科学版)*, 2006, **42**(6): 618 – 623 [LI Xia, LI Xiaobing, WANG Hong, et al. Impact of climate change on temperate grassland in northern China [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2006, **42**(6): 618 – 623]
- [5] 牛赞, 刘贤德, 敬文茂, 等. 祁连山北坡土壤特性与植被垂直分布的关系 [J]. *山地学报*, 2013, **31**(5): 527 – 533 [NIU Yun, LIU Xiande, JING Wenmao, et al. Relationship between characteristics of soil and vertical distribution of vegetation on the northern slope of Qilian Mountains [J]. *Journal of Mountain Science* 2013 **31**(5): 527 – 533]
- [6] 陶波, 李克让, 邵雪梅, 等. 中国陆地净初级生产力时空特征模拟 [J]. *地理学报* 2003, **58**(3): 372 – 380 [TAO Bo, LI Kerang, SHAO Xuemei, et al. Temporal and spatial pattern of net primary production of terrestrial ecosystems in China [J]. *Scientia Geographica Sinica* 2003 **58**(3): 372 – 380]
- [7] 郭小芹, 刘明春. 河西走廊近 40a 气候生产潜力特征研究 [J]. *中国沙漠*, 2011, **31**(5): 1324 – 1329 [GUO Xiaoqin, LIU Mingchun. Spatiotemporal characteristics of climate productivity potential during last 40 years in the Hexi corridor [J]. *Journal of Desert Research*, 2011 **31**(5): 1324 – 1329]
- [8] 陆魁东, 屈右铭, 张超, 等. 湖南气候变化对农作物生产潜力的响应 [J]. *湖南农业大学学报 (自然科学版)*, 2013, **33**(1): 9 – 13 [LU Kuidong, QU Youming, ZHANG Chao, et al. Responses of crops productive potential to climatic change in Hunan Province [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2013 **33**(1): 9 – 13]
- [9] 李英年, 赵新全, 周华坤, 等. 长江黄河源区气候变化及植被生产力特征 [J]. *山地学报* 2008, **26**(6): 678 – 683 [LI Yingnian, ZHAO Xinquan, ZHOU Huakun, et al. The dynamic features of ecosystem environment and plant productivity in the source regions of the Changjiang River and Yellow River [J]. *Journal of Mountain Science* 2008 **26**(6): 678 – 683]
- [10] 闫淑君, 洪伟, 吴承祯, 等. 福建近 41 年气候变化对自然植被净第一性生产力的影响 [J]. *山地学报* 2001, **19**(6): 522 – 526 [YAN Shujun, HONG Wei, WU Chengzhen, et al. Impact of climatic variation on net primary productivity of natural vegetation in Fujian in recent 41 Years [J]. *Journal of Mountain Science*, 2001 **19**(6): 522 – 526]
- [11] 张戈丽, 徐兴良, 周才平, 等. 近 30 年来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应 [J]. *地理学报* 2011, **66**(01): 47 – 58 [ZHANG Geli, XU Xingliang, ZHOU Caiping, et al. Responses of vegetation changes to climatic variations in Hulun Buir Grassland in past 30 Years [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011 **66**(01): 47 – 58]
- [12] 张宝成, 曹军骥, 白艳芬, 等. 气候变化对青海湖天然高寒草原草场优势牧草群营养成分的影响 [J]. *干旱区资源与环境*, 2011, **25**(3): 127 – 130 [ZHANG Baocheng, CAO Junji, BAI Yanfen, et al. Climate impact to nutrient change in dominant forage nature grassland in Qinghai Lake [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011 **25**(3): 127 – 130]
- [13] 于伯华, 吕昌河, 吕婷婷, 等. 青藏高原植被覆盖变化的地域分异特征 [J]. *地理科学进展*, 2009, **28**(03): 391 – 397 [YU Bohua, LV Changhe, LV Tingting, et al. Regional differentiation of vegetation change in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Progress in Geography*, 2009 **28**(03): 391 – 397]
- [14] 神祥金, 周道玮, 李飞, 等. 中国草原区植被变化及其对气候变化的响应 [J]. *地理科学*, 2015, **35**(05): 622 – 629 [SHEN Xiangjin, ZHOU Daowei, LI Fei, et al. Vegetation change and its response to climate change in grassland region of China [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2015 **35**(05): 622 – 629]
- [15] 李文, 曹文侠, 徐长林, 等. 不同休牧模式对东祁连山高寒草甸草原植被特征变化的影响 [J]. *西北植物学报* 2014, **34**(11): 2339 – 2345 [LI Wen, CAO Wenxia, XU Changlin, et al. Changes of vegetation characteristics in alpine meadow-steppe of eastern Qilian Mountains after different grazing rest modes [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* 2014 **34**(11): 2339 – 2345]
- [16] 赵安, 赵小敏. FAO-AEZ 法计算气候生产潜力的模型及应用分析 [J]. *江西农业大学学报*, 1998, **20**(4): 528 – 533 [ZHAO An, ZHAO Xiaomin. Analysis on the modeling and application of calculation of potential net biomass and potential yield through FAO-AEZ methodology [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1998 **20**(4): 528 – 533]
- [17] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社 2007, 106 – 111 [WEI Fengying. Modern climatic statistical diagnosis and prediction technology [M]. Beijing: Meteorological Press, 2007, 106 – 111]
- [18] 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号影响和前景初步探讨 [J]. *冰川冻土* 2002, **24**(3): 219 – 226 [SHI Yafeng, SHEN Yongping, HU Ruji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002 **24**(3): 219 – 226]

Impact of Climate Change on Grassland Productivity of Qilian Mountains in 1961 – 2013

LUO Yongzhong¹, GUO Xiaoqin², LIU Xuzhen²

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Wuwei Meteorological Bureau, Gansu 733000, China)

Abstract: Climate productive potential reflects the highest biological yield of vegetation community under natural environment, which can be used to evaluate grassland productivity. Based on data of 17 meteorological stations in Qilian Mountains from 1961 to 2013, this paper evaluated the productivity of grassland in summer (May to September) by using Thornthwaite Memorial model, Mann-Kendall mutation test as well as empirical orthogonal function (EOF) analysis method. The results showed that the tendency rate was $1.0552 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ for precipitation, while $0.0357 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{a}^{-1}$ for temperature. The climate change was warm and humid in Qilian Mountains, and the precipitation was the main impact factor for grassland productivity. With high value of first feature, the grassland productivity of Tuole-Yeniugou-Sunan area was significantly better than that of other regions, which should be regarded as the most important protected areas for the grasslands in Qilian Mountains. Under climate change the impact of precipitation on grassland productivity was much greater than that of temperature, especially in sandy area and the Gobi desert area, whereas the temperature was significantly affected grassland productivity in humid area, i. e. highland. This study provides reference for the protection and development of grasslands in Qilian Mountains.

Key words: Qilian Mountains; grassland productivity; climate change