

# 青海湖芨芨草干草原植被退化对土壤温湿特征的影响

张法伟<sup>1</sup>, 郭竹筠<sup>2</sup>, 李以康<sup>1</sup>, 林丽<sup>1</sup>, 周国英<sup>1</sup>, 曹广民<sup>1</sup>

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 河南省义马市实验中学, 河南 三门峡 472300)

**摘要:** 芨芨草(*Achnatherum splendens*)干草原目前退化严重,但对土壤温湿特征的驱动机理仍不清楚。利用2011年连续观测资料分析环青海湖区域的芨芨草干草原原生植被和典型退化区域的0 cm、5 cm、10 cm、20 cm、40 cm和80 cm土壤温度和5 cm、10 cm、20 cm、40 cm和80 cm土壤容积含水量。结果表明:植被退化直接导致0 cm和5 cm表层土壤温度日极大值显著升高了39.04%和13.91%,温度日极小值显著降低,温度日较差升高;而10 cm以下温度日特征无显著响应。原生植被区0 cm逐日土壤温度在植物生长季(5—9月)极显著降低,非生长季5 cm和10 cm则略高。芨芨草植被改变了土壤年均温度垂向扩散特征。植被退化间接导致土壤5 cm土壤容积含水量升高了35.20%,10 cm无差别,20 cm以下显著降低,同时降低了系统土壤含水量的时间稳定性。特征聚类分析结果表明,芨芨草干草原土壤温湿特征对植被退化的综合响应主要表现在7—8月。

**关键词:** 芨芨草(*Achnatherum splendens*); 干草原; 土壤含水量; 土壤温度; 原生植被; 植被退化; 聚类分析; 青海湖

芨芨草(*Achnatherum splendens*)干草原是环青海湖地区温性草原的代表群落,分布于海拔2 900~3 400 m的开阔湖积平原、河谷阶地和山前缓坡,约占环湖区域面积的1/3<sup>[1]</sup>。它不仅生态地位重要,而且是地方畜牧业发展的基础<sup>[2]</sup>。近年来,在气候变化和人类活动的双重压力下,芨芨草草原生态系统大面积退化,系统稳定性遭到严重破坏,生态屏障功能削弱<sup>[3-5]</sup>。

土壤是草地生态系统的重要组成部分,土壤理化性状的改变必然会影响到系统生态功能和生产效益的发挥<sup>[6]</sup>。土壤退化表现为理化性状的时空异质性增强<sup>[7]</sup>,是草地生态系统退化最为明显的标志<sup>[8]</sup>。草地退化导致水土流失,土壤贫瘠化,而后者加速了植被群落不可逆的转变<sup>[9]</sup>。浅层土壤湿度随植被盖度增加呈负二次曲线过程,而深层土壤湿度则变化复杂<sup>[10]</sup>。中尺度数值模式模拟表明草地退化导致地表温度明显升高,土壤湿度下降<sup>[11]</sup>。土壤退化越严重,浅层水分含量急剧降低,土壤越贫瘠<sup>[12]</sup>。土壤水分含量及其时空分布直接影响着草地的恢复进度<sup>[13]</sup>。

生态系统退化过程与恢复机理的研究已成为生态学界的热点问题之一<sup>[14]</sup>,加之青海湖芨芨草干草

原处于生态脆弱区,其退化过程和恢复治理已成为世界性难题<sup>[10]</sup>。土壤性状的恢复是生态系统稳定性的重要前提<sup>[15]</sup>但恢复速度远远滞后于植被恢复的速度<sup>[16]</sup>。土壤温湿特征影响着土壤酶活性、植物根系和土壤微生物的生理强度及植物种子的发芽,调控着土壤能量流动和物质交换规律,对植被恢复和系统演化具有重要意义<sup>[17-18]</sup>。芨芨草干草原土壤温湿特征对植被退化的响应方式如何,又具有如何的潜在生态学机制,对退化草地的恢复治理具有如何的启示作用却少有研究<sup>[19]</sup>。本研究试图揭示土壤温湿特征随植被退化演替的变化规律,为退化系统的人工恢复和重建提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验区(37°15'N,100°20'E,海拔3 260 m)位于青海湖北岸三角城种羊场的典型芨芨草干草原。该区属高原大陆性气候,干旱少雨,年均气温和降水量分别为-0.6℃和370.3 mm,降水集中,且雨热同季,≥0℃的年积温1 299℃·d<sup>-1</sup>,年蒸发量607.4 mm,最大冻土深度2.88 m。土壤为栗钙土,土壤容

收稿日期:2012-04-13; 修订日期:2012-06-13

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2007BAC30B04)

作者简介:张法伟(1981-),工程师,硕士,主要从事高寒地区物质和能量交换过程研究。E-mail: flingzhang@gmail.com

重和pH分别为 $1.21\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 和9.08。土壤黏粒含量 $34.8\% \sim 45.3\%$ ,浅层土壤田间持水量 $29.7\% \sim 32.0\%$  [20]。

### 1.2 样地设置和土壤温湿度观测

芨芨草多为集群分布 [21],因此选择芨芨草单种盖度大于80%、植株高度大于1 m、生长良好的区域作为原生草地试验区。为了降低空间异质性对土壤微环境的影响,在原生植被附近 (>5 m),选择无芨芨草的开阔区域,通过翻耕消除地表植被和植物根系,以代表该区域的植被退化类型 [22]。土壤分层温湿特征由HOBO Weather Station (Onset Computer Corporation, USA) 监测。土壤温度探头 (S-TMB-

M002, USA) 和土壤湿度探头 (S-SMA-M005, USA) 的分辨率分别为 $0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $0.0004\text{ cm}^3\cdot\text{cm}^{-3}$ ,观测层次分别为0 cm、5 cm、10 cm、20 cm、40 cm、80 cm和5 cm、10 cm、20 cm、40 cm、80 cm。工作站采样频率为1 min,并自动计算、记录30 min的平均值。试验开始于2010年5月,本文选取2011年全年的数据集,解析芨芨草干草原土壤温湿特征对植被退化的响应机制。

### 1.3 数据处理

采用一般线性模型 (general linear model),以土壤深度(6水平)、植被退化(2水平)为两个固定因素,比较原生植被和典型退化区域的土壤温湿特征。

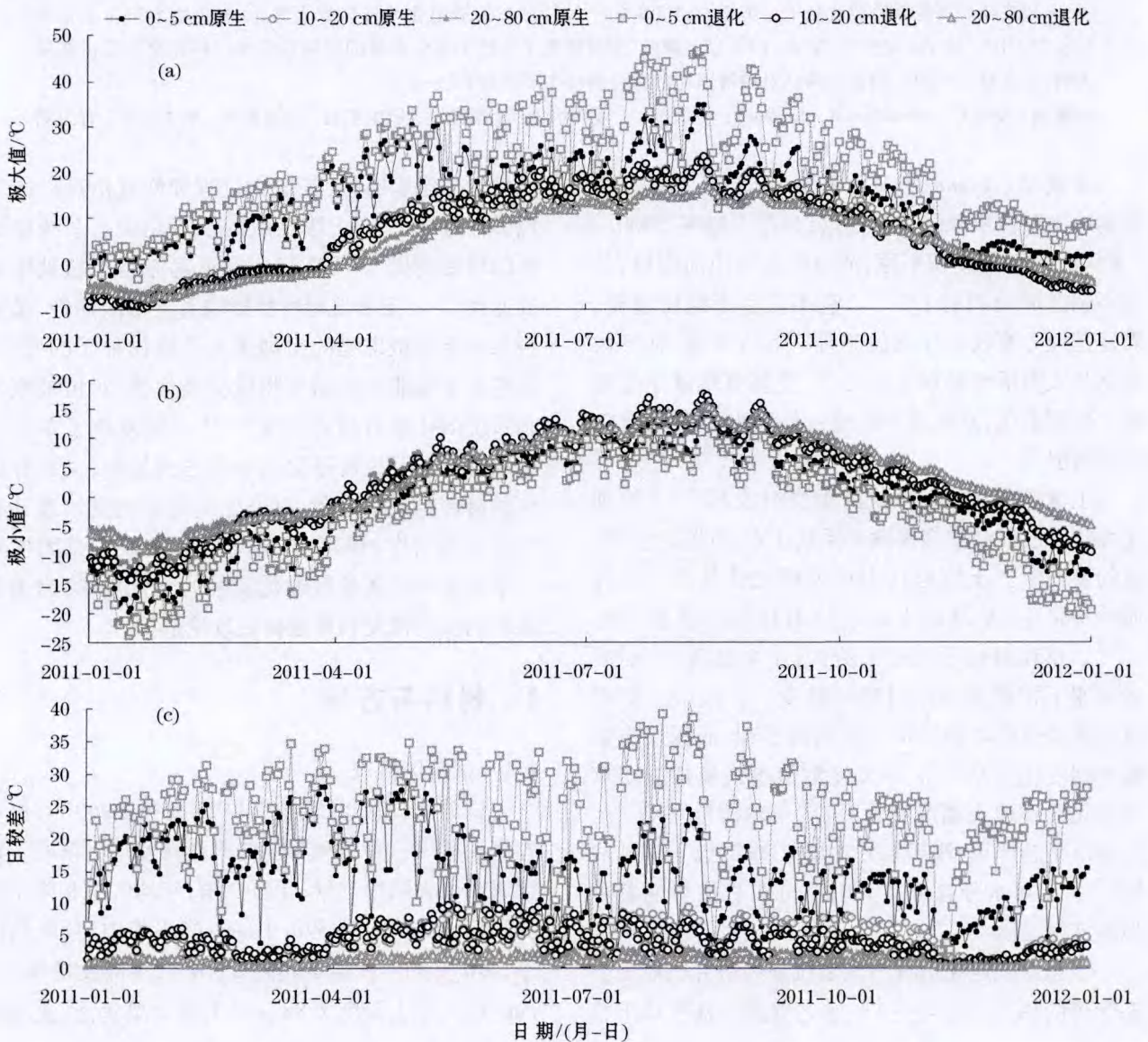


图1 各层土壤温度日极大值(a)、日极小值(b)和日较差(c)对植被退化的响应特征

Fig. 1 Response of daily maximum (a), daily minimum (b) and daily range (c) of soil temperature in different layers to vegetation degeneration

层次之间的多重比较采用 LSD(least significant difference)法。为了综合分析植被退化对土壤温湿特征的影响,以各层月均数据为基础,采用聚类分析(cluster analysis)探讨土壤微环境的综合响应特征。所有数据分析均在 SPSS 17.0(SPSS Inc, USA)中进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤温度日极值和日较差的响应

原生植被区 0 cm 和 5 cm 层土壤温度日均极大值分别为 17.63 °C 和 8.88 °C,比典型退化区降低了 39.04% ( $P < 0.001$ ) 和 13.91% ( $P < 0.05$ )。典型退化区 10 cm、20 cm、40 cm 和 80 cm 土壤温度日均极大值分别为 7.50 °C、5.56 °C、4.31 °C 和 4.18 °C,略低于原生植被区,但无显著差异 ( $P > 0.12$ )。和

日均极大值相似,原生植被区 0 cm 和 5 cm 日均极小值分别为 -2.71 °C 和 1.39 °C,显著高于退化区域的 -6.44 °C ( $P < 0.001$ ) 和 0.08 °C ( $P < 0.05$ );原生区域 10 ~ 80 cm 土壤温度极小值略低,但与退化区域无显著差异 ( $P > 0.40$ )。原生植被区 0 cm 和 5 cm 地温平均日较差 ( $T_{max} - T_{min}$ ) 分别为 20.34 °C 和 7.49 °C,比退化区域极显著降低了 42.48% 和 26.73% ( $P < 0.001$ ),其余 4 层有所升高,但差异不显著(图 1)。温度日极值的响应方式表明,芨芨草干草原植被退化增大了 0 cm 和 5 cm 层土壤温度日极大值,降低了表层温度日极小值,但对 10 cm 以下土层的影响较小。土壤表层日温度特征的主要调控因子为:土壤层次的主效应 > 植被退化主效应 > 交互效应,而深层特征主要受控于土壤层次。

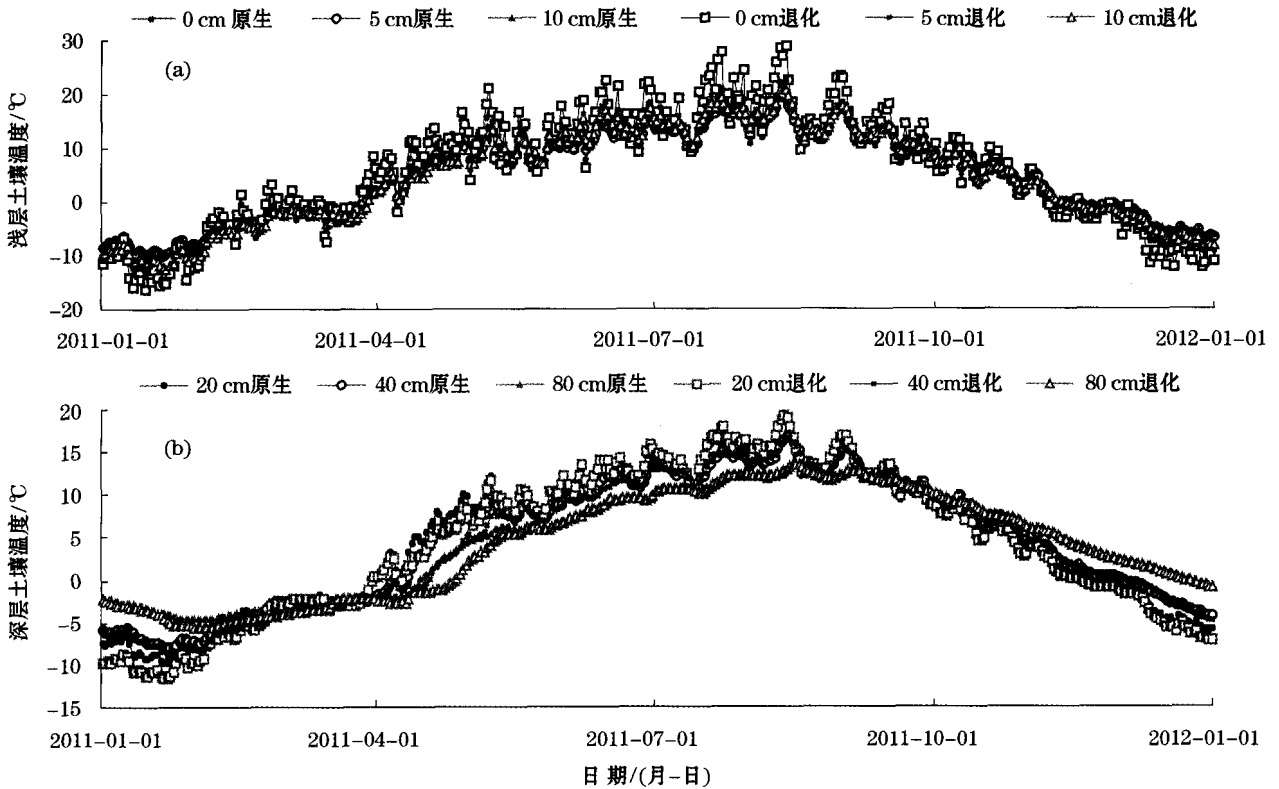


图 2 浅层(a)和深层(b)土壤逐日温度对植被退化的响应

Fig. 2 Response of daily shallow (a) and deep soil temperature (b) to vegetation degeneration

### 2.2 逐日土壤温度的响应

原生植被区 0 cm、5 cm、10 cm、20 cm、40 cm 和 80 cm 土壤年均温度分别为 4.57 °C、4.82 °C、4.87 °C、4.75 °C、4.58 °C 和 4.34 °C,仅 0 cm 土壤温度显著低于典型退化区域 18.27% ( $P = 0.09$ ),其他层次均略高,但两者差异不显著 ( $P > 0.45$ )。一般

线性模型的结果表明植被退化和土壤层次对土壤逐日温度无显著主效应 ( $P = 0.52$ ) 和交互作用 ( $P = 0.17$ )。但植物生长季(5—9 月)原生植被区 0 cm 土壤温度极显著低于典型退化区 ( $P < 0.001$ ),而非生长季原生植被区的 5 cm ( $P < 0.05$ ) 和 10 cm ( $P = 0.08$ ) 的土壤温度则略高。原生植被区土壤年均温度

随深度( $x$ , cm)增加,表现为开口向下的抛物线关系( $-0.059x^2 + 0.35x + 4.30$ ,  $R^2 = 0.97$ ),而退化区域则表现为对数饱和型( $-0.79\ln x + 5.39$ ,  $R^2 = 0.88$ )(图2)。表明芨芨草植被及其凋落物对土壤温度垂向扩散具有明显的调控作用,对生长季的地表具有降温作用,在非生长季中则具有一定的保温作用。

### 2.3 逐日土壤容积含水量的响应

原生植被 5 cm、10 cm、20 cm、40 cm 和 80 cm 土壤容积含水量分别为  $0.08 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 $0.10 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 $0.23 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 $0.25 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$  和  $0.22 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ,其中 5 cm 比退化区域低 35.20%,而其他 4 层均较高,但仅有 10 cm 差异不显著( $P = 0.12$ )。0 ~ 5 cm 土壤容积含水量与植被退化( $0.039$ ,  $P < 0.001$ )

和土壤层次( $-0.035$ ,  $P < 0.001$ )的主效应相关,但两者的交互作用( $-0.090$ ,  $P < 0.001$ )更强。原生植被区域各层土壤容积含水量的标准差比退化区域低,仅 20 cm 除外(芨芨草活根主要集中于此,水分消耗时间异质性较强),表明芨芨草原生区域土壤含水量的稳定性较高。植物生长季脉冲式降雨对 0 ~ 20 cm 土壤容积含水量的影响较大(图3),其中典型退化区域由于表层土壤结构松软,缺乏植物根系层对水分的拦截阻滞,表层水分下渗量和速度明显增高,由于没有植物呼吸和蒸腾作用,短时间内表层土壤水分快速增加。但地表裸露,强烈的太阳辐射和高原风力,土壤表面的蒸发剧烈,加剧了表层土壤水分的波动程度。

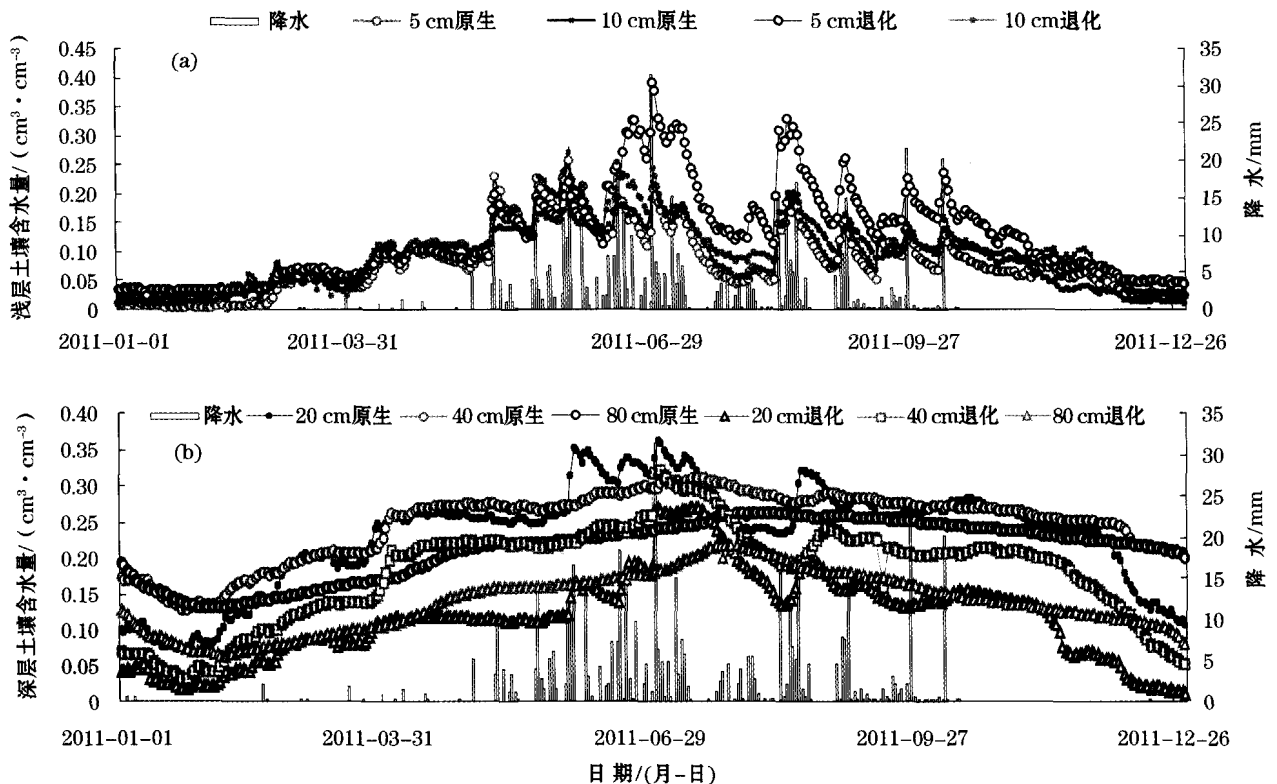


图3 浅层(a)和深层(b)逐日土壤容积含水量对植被退化的响应

Fig. 3 Response of daily shallow (a) and deep soil volumetric moisture content (b) to vegetation degeneration

### 2.4 土壤温湿特征对植被退化的综合响应

土壤分层温湿综合特征被聚为两类,1—3月和11—12月为类型I,处于典型的非生长季。类型II可分为亚类型II-I和亚类型II-II(图4)。亚类型II-I包含植被萌动期(4月)和枯黄期(10月),而亚类型II-II则代表植物生长季(5—9月)的特征。其中,5月、9月的聚类依据为月份特征,7—8月的聚类依据则为植被特征。另外1—4月和10—

12月的聚类依据为气候特征,表明芨芨草干草原植被退化的表现期为植物生长旺盛期的7—8月,而其余月份的差别较小。

## 3 讨论

太阳辐射是地表温度变化的主要驱动力,典型退化区土壤热吸收和耗散能力均大于原生植被区,



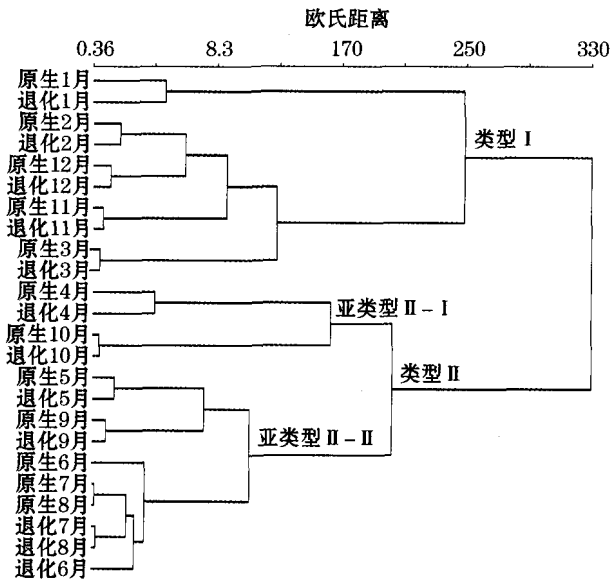


图4 土壤温湿特征对植被退化的聚类分析

Fig. 4 Cluster analysis on the response of soil temperature and volumetric moisture content to vegetation degeneration

升温、降温速率较高,因此(0~5 cm)表层土壤温度日极大值和日较差均显著较高,而温度日极小值降低,表明植被和凋落物的覆盖增加了土壤表层温度的稳定性,有利于植物的生长<sup>[15, 23]</sup>。原生植被区年均土壤温度随深度增加呈现出二次曲线关系,印证良好生长的植被的保温作用<sup>[13]</sup>。在太阳辐射、土壤结构(粒度组成,孔隙度在固体热量传输中作用较小)基本相同,植被灌层不仅调控了地气热量耗散特征,而且植物根系和凋落物也改变了表层土壤的导热率和导温率等热力学特性<sup>[15]</sup>,因此植被特征是表层土壤温度差异显著的主要驱动因素。

水分因子对于草地生产力的发挥具有重要作用<sup>[24]</sup>。降水是土壤表层水分空间变异的决定因素,植物根系是引起浅层水分空间变异的重要因素<sup>[25]</sup>。在植物生长季中,植被退化区5 cm土壤容积含水量显著高于原生植被区,这与植被退化导致土壤含水量随深度降低有所差异<sup>[15]</sup>,但印证了放牧强度正相关于浅层土壤含水量<sup>[24]</sup>。这主要由于一方面退化土壤浅层通气透水性能较差,降水多集中在表层不能下渗所致<sup>[25]</sup>;另一方面原生芨芨草植被盖度约为90%,远大于其对浅层土壤水分含量增加强度的分界点60%<sup>[10]</sup>,系统蒸散的损失效应大于植被的增加效应。但芨芨草草原表层土壤含水量属于速变层,对植物生长的作用不大<sup>[26]</sup>。由于原生植被区土壤团聚体和毛管孔隙度较高,土壤的饱和水力传导

度较强,提高了深层土壤含水量。典型退化区域土壤含水量主要集中在表层,但植被盖度较低,系统蒸发和地表径流强烈,水分稳定性较低<sup>[23]</sup>,系统的水分利用效率降低<sup>[27]</sup>。在降水相同时土壤毛管孔隙度是水分入渗和蒸发的主要因素,是土壤系统表层土壤水分特征的驱动力。而植被特征通过调节土壤系统孔隙度的结构和系统蒸散的时间稳定性,是土壤水分特征波动的间接因素。

芨芨草原原生植被区和典型退化区的土壤温湿特征的差别,主要表现在生长旺盛的7—8月(图4),而青海湖草地生态系统的CO<sub>2</sub>吸收也主要发生在此时段<sup>[28]</sup>,放牧退化导致系统光合碳吸收强度明显下降。而典型退化区域0~10 cm土壤温度和容积含水量为5.04℃和0.11 cm<sup>3</sup>·cm<sup>-3</sup>,比原生区域分别高7.51%和21.02%,退化草地系统呼吸和温度、含水量均呈正相关<sup>[29]</sup>,表明典型退化区系统呼吸强度较大。即草地退化致使芨芨草干草原在6—9月系统碳汇功能下降。

## 4 结 论

芨芨草干草原典型退化区0 cm和5 cm层土壤温度日极大值显著升高,日极小值显著降低,温度日较差升高;而植被特征对10 cm以下土壤日均温度特征的影响较小。原生植被区土壤0 cm逐日温度仅在植物生长季(5—9月)极显著降低,5 cm和10 cm在非生长季则略高。芨芨草植被及其凋落物改变了土壤年均温度垂向扩散特征,使之由对数衰减型变为二次曲线型。植被特征的差异是地表温度的主要驱动因素。植被退化导致土壤孔隙度降低,进而间接导致5 cm土壤容积含水量极显著升高,10 cm土壤容积含水量差异不显著,20 cm以下显著降低。原生植被区分层土壤容积含水量的标准差降低,系统土壤含水量的稳定性升高,0~20 cm土壤水分特征对脉冲降水敏感性降低。芨芨草干草原土壤温湿特征对植被退化的响应主要表现在植物旺盛生长期的7—8月,暗示植被退化削弱了系统碳汇功能。

## 参考文献(References):

- [1] 陈珪琛,彭敏.青海省芨芨草草原的群落特征及其分布规律[J].西北植物学报,1993,13(2):154-162. [Chen Guichen, Peng Min. Community characteristics and distribution law of Ach-

- natherum steppe in Qinghai Province[J]. Acta Botany of Boreal-Occident Sinica, 1993, 13(2): 154-162.]
- [2] 周兴民, 王质彬, 杜庆. 青海植被[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1987. [Zhou Xingmin, Wang Zhibing, Du Qing. Qinghai Vegetation[M]. Xining: Qinghai People Press, 1987.]
- [3] Han J G, Zhang Y J, Wang C J, et al. Rangeland degradation and restoration management in China[J]. The Rangeland Journal, 2008, 30(2): 233-239.
- [4] Wang G X, Qian J, Cheng G D, et al. Eco-environmental degradation and causal analysis in the source region of the Yellow River[J]. Environmental Geology, 2001, 40: 884-890.
- [5] 赵哈林, 周瑞莲, 王进, 等. 呼伦贝尔沙质草地植被的沙漠化演变规律及其机制[J]. 干旱区研究, 2011, 28(4): 565-571. [Zhao Halin, Zhou Ruilian, Wang Jin, et al. Desertification process and its mechanism of steppe vegetation in the Hulunbeir sandy steppe, Inner Mongolia[J]. Arid Zone Research, 2011, 28(4): 565-571.]
- [6] 郭忠升, 邵明安. 半干旱区人工林草地土壤旱化与土壤水分植被承载力[J]. 生态学报, 2003, 23(8): 1 640-1 647. [Guo Zhongsheng, Shao Ming'an, Soil water carrying capacity of vegetation and soil desiccation in artificial forestry and grassland in semi-arid regions of the Loess Plateau[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(8): 1 640-1 647.]
- [7] Schilesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, et al. Biological feedbacks in global desertification[J]. Science, 1990, 247(4 946): 1 043-1 048.
- [8] 龚子同, 陈鸿昭, 骆国保. 人为作用对土壤环境质量的影响及对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 7-10. [Gong Zidong, Chen Hongzhao, Luo Guobao. Effects of anthropogenic processes on soil environment quality and its controls[J]. Soil and Environmental Sciences, 2000, 9(1): 7-10.]
- [9] van de Koppel J, Rietkerk M, Weissing F J. Catastrophic vegetation shifts and soil degradation in terrestrial grazing systems[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1997, 12(9): 352-356.
- [10] 王根绪, 程国栋, 沈永平, 等. 土壤覆盖变化对高寒草甸土壤特性的影响[J]. 科学通报, 2002, 47(23): 1 771-1 777. [Wang Genxu, Cheng Guodong, Shen Yongping, et al. The influence of soil cover on soil characteristics in alpine meadow[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(23): 1 771-1 777.]
- [11] 柳媛普, 吕世华, 李锁锁, 等. 黄河源区草地退化对局地气候环境影响的数值模拟[J]. 高原气象, 2009, 28(2): 327-334. [Liu Yuanpu, Lv Shihua, Li Suosuo, et al. Numerical simulation of impact of land surface changes on regional climatic environment in source regions of Yellow River[J]. Plateau Meteorology, 2009, 28(2): 327-334.]
- [12] 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. [Zhou Huakun, Zhao Xinquan, Zhou Li, et al. A study on correlations between vegetation degradation and soil degradation in the Alpine meadow of the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2005, 14(3): 31-40.]
- [13] 张伟华, 关世英, 李跃进, 等. 不同恢复措施对退化草地土壤水分和养分的影响[J]. 内蒙古农业大学学报, 2000, 21(4): 31-35. [Zhang Weihua, Guan Shiyong, Li Yuejin, et al. Effect of different restoration measure on the moisture and nutrient of soil of degraded grassland[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University, 2000, 21(4): 31-35.]
- [14] Richards J H. The future of restoration ecology: Challenges and opportunities[J]. Restoration Ecology, 2005, 13(2): 239-241.
- [15] Snyman H A, du Preez C C. Rangeland degradation in a semi-arid South Africa II. Influence on soil quality[J]. Journal of Arid Environments, 2005, 60: 483-507.
- [16] Su Y Z, Li Y L, Cui J Y, et al. Influence of continuous grazing and livestock exclusion on soil properties in a degraded sandy grassland, Inner Mongolia, northern China[J]. Catena, 2005, 59: 267-278.
- [17] 张淑琴, 陈晓德, 李艳霞, 等. 缙云山植被群落对土壤温度变化的影响研究[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(5): 162-167. [Zhang Shuqin, Chen Xiaode, Li Yanxia, et al. Effect of plant communities on the change of soil temperature in Jinyun Mountain[J]. Journal of Southwest University: Natural Sciences Edition, 2007, 29(5): 162-167.]
- [18] Zhou H, Zhao X, Tang Y, et al. Alpine grassland degradation and its control in the source region of the Yangtze and Yellow Rivers, China[J]. Grassland Science, 2005, 51(3): 191-203.
- [19] 张法伟, 郭竹筠, 林丽, 等. 青海湖芨芨草干草原浅层土壤温度和导温率的基本特征[J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 66-70. [Zhang Fawei, Guo Zhujun, Lin Li, et al. Soil shallow layer temperature and thermal diffusivity of *Achnatherum splendens* arid grassland around Qinghai Lake Area[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2012, 33(1): 66-70.]
- [20] 朱宝文, 陈晓光, 郑有飞, 等. 青海湖北岸天然草地小尺度地表径流与降水关系[J]. 冰川冻土, 2009, 31(6): 1 074-1 079. [Zhu Baowen, Chen Xiaoguang, Zheng Youfei, et al. Correlation analysis between small-scale surface runoff and precipitation of the grassland near the north shore of Qinghai Lake[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(6): 1 047-1 079.]
- [21] 周国英, 陈桂琛, 徐文华, 等. 围栏封育对青海湖地区芨芨草草原生物量的影响[J]. 干旱区地理, 2010, 33(3): 434-441. [Zhou Guoying, Chen Guichen, Xu Wenhua, et al. Influence of enclosure to *Achnatherum splendens* steppes biomass in the Qinghai Lake Area[J]. Arid Land Geography, 2010, 33(3): 434-441.]
- [22] 贺欢, 田长彦, 王林霞. 不同覆盖方式对新疆棉田土壤温度和水分的影 响[J]. 干旱区研究, 2009, 26(6): 826-831. [He Huan, Tian Changyan, Wang Linxia. Effect of different coverings on soil temperature and soil moisture content in cotton field in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2009, 26(6): 826-831.]
- [23] 杨智明, 王琴, 王秀娟, 等. 放牧强度对草地牧草物候期生活力和土壤含水量的影响[J]. 农业科学研究, 2005, 26(3): 1-3. [Yang Zhiming, Wang Qin, Wang Xiujuan, et al. Effects of the different grazing intensity on the phenophase viability of plants and water content in soil[J]. Journal of Agricultural Sciences, 2005, 26(3): 1-3.]
- [24] 潘颜霞, 王新平, 苏颜桂, 等. 荒漠人工固沙植被区浅层土壤水分动态的时间稳定性特征[J]. 中国沙漠, 2009, 29(1): 81-86. [Pan Yanxia, Wang Xinping, Su Yangui, et al. Temporal stability of surface soil moisture in artificially revegetated desert area[J]. Journal of Desert Research, 2009, 29(1): 81-86.]

- [25] 王一博,王根绪,张春敏,等.高寒植被生态系统变化对土壤物理化学性状的影响[J].冰川冻土,2007,29(6):921-927. [Wang Yibo, Wang Genxu, Zhang Chunmin, et al. Response of soil physicochemical properties to the changes of the vegetation ecosystem on the Tibetan Plateau[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(6):921-927.]
- [26] 王静,程积民,万惠娥,等.黄土高原芨草土壤水分特征及水分利用效率研究[J].干旱气象,2004,22(4):51-55. [Wang Jing, Chen Jimin, Wang Huie, et al. Study on soil moisture characteristics and water use efficiency of *Achnatherum splendens* grassland in Loess Plateau[J]. Arid Meteorology, 2004, 22(4):51-55.]
- [27] Snyman H A. Rangeland degradation in a semi-arid South Africa I. Influence on seasonal root distribution, root/shoot ratios and water-use efficiency[J]. Journal of Arid Environments, 2005, 60:457-481.
- [28] 张法伟,李英年,曹广民,等.青海湖北岸高寒草甸草原生态系统 CO<sub>2</sub> 通量特征及其驱动因子[J].植物生态学报,2012,32(3):187-198. [Zhang Fawei, Li Yingnian, Cao Guangmin, et al. CO<sub>2</sub> fluxes and their driving factors over alpine meadow grassland ecosystems in the northern shore of Qinghai Lake, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 32(3):187-198.]
- [29] 王凤玉,周广胜,贾丙瑞,等.水热因子对退化草原羊草恢复演替群落土壤呼吸的影响[J].植物生态学报,2003,27(5):644-649. [Wang Fengyu, Zhou Guangsheng, Jia Bingrui, et al. Effects of heat and water factors on soil respiration of restoring *Leymus chinensis* steppe in degraded land[J]. Acta Phytocologia Sinica, 2003, 27(5):644-649.]

## Effect of Soil Temperature and Volumetric Moisture Content on Vegetation Degeneration over the *Achnatherum splendens* Steppe around the Qinghai Lake, China

ZHANG Fa-wei<sup>1</sup>, GUO Zhu-jun<sup>2</sup>, LI Yi-kang<sup>1</sup>, LIN Li<sup>1</sup>, ZHOU Guo-ying<sup>1</sup>, CAO Guang-min<sup>1</sup>

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, Qinghai, China;

2. Yima Experimental Middle School, Sanmenxia 472300, Henan, China)

**Abstract:** *Achnatherum splendens* steppe is one of the dominated vegetation types around the Qinghai Lake in Qinghai Province, China, but it has been degenerated seriously. However, its driving effect on soil temperature and moisture content is still unclear. The continuously-measured data were used to analyze the soil temperature and volumetric moisture content in soil layers at 0, 5, 10, 20, 40 cm and 80 cm and 5, 10, 20, 40 cm and 80 cm in depth over the native vegetation area and the typical degenerated area of the steppe in whole 2011. The results showed that the vegetation degeneration resulted directly in a significant increase of topsoil maximum temperature at 0 and 5 cm in depth (39.04% and 13.91% respectively), the daily minimum temperature was significantly decreased, the daily range of soil temperature was increased, but there was no significant response of daily temperature of soil deeper than 10 cm to vegetation degeneration. Daily topsoil temperature was decreased obviously in plant growing season from May to September, but that at soil layers of 5 cm and 10 cm in depth was slightly increased in non-growing season. There was a vertical diffusion of annual soil temperature under the *A. splendens* canopy and litters as well as in rhizosphere. Vegetation degeneration resulted indirectly in an increase of soil volumetric moisture content (35.20%) at 5 cm but a significantly decrease at 20 cm. Moreover, the temporal stability of soil moisture content was reduced. The cluster analysis revealed that the comprehensive response of soil temperature and moisture content to the degeneration of *A. splendens* steppe occurred mainly during the period from July to August.

**Key words:** *Achnatherum splendens*; steppe; soil moisture content; soil temperature; native vegetation; vegetation degeneration; cluster analysis; Qinghai Lake