

文章编号: 1008 - 2786 - (2014)4 - 401 - 06

藏北典型高寒草原土壤微气候对增温的响应

陈有超^{1,2}, 鲁旭阳¹, 李卫朋^{1,2,3}, 沙玉坤^{1,2}, 程根伟^{1*}

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 山地表生过程与生态调控重点实验室, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 西华师范大学国土资源学院, 四川 南充 637002)

摘 要: 土壤微气候的改变会影响到一系列的生态系统过程, 研究增温条件下土壤微气候变化特征将有助于了解气候变暖对草地生态系统水热条件的影响。利用开顶箱(open-top chamber, OTC)方法研究增温条件下藏北典型高寒草原土壤微气候变化特征。结果表明: 藏北典型高寒草原土壤温度和土壤湿度存在明显的日变异和季节变异; 增温使得空气年均温增加 3.2℃, 土壤年均温增加 5.2℃, 增温效果显著; 增温可以显著提高土壤温度, 值得注意的是现象是非生长季的增加幅度大于生长季的增加幅度; 增温对土壤湿度的影响具有明显的季节性, 冬季增温会显著增加土壤湿度, 而夏季增温会显著降低土壤湿度。研究结果可为变化气候条件下高寒地区水热状况研究提供依据。

关键词: 土壤微气候; 开顶箱; 增温; 青藏高原

中图分类号: Q948

文献标志码: A

全球气候变暖对陆地生态系统的影响已成为当今国内外生态学家研究的热点问题之一。大量监测和模拟研究表明, 由上个世纪开始的全球温室效应正在继续和扩大, 全球表面平均温度在过去一个世纪中已上升了 0.6℃, 高纬度和高海拔生态系统对温度升高的响应可能更为敏感而迅速^[1]。青藏高原平均海拔 >4 000 m, 面积约 $2.5 \times 10^6 \text{ km}^2$, 被称为世界的第三极, 对全球气候变暖极为敏感, 是研究陆地生态系统对气候变化响应机制的理想场所^[2]。

野外自然条件下的生态系统增温实验是研究全球变暖与陆地生态系统关系的主要方法之一, 其研究结果为陆地生态系统结构与功能的中长期动态模型预测和验证提供关键的参数估计^[3-4]。现在被广泛应用的温度控制装置包括: 1. 温室(greenhouse)和开顶箱(open top chamber, OTC), 2. 土壤加热管道/电缆(soil-heating pipe/wire), 3. 红外线反射器(infrared reflector), 4. 红外线辐射器(infrared heat-

er)^[4-5]。其中, OTC 作为一种最简单和最普遍的被动增温方式, 因其具有不受地域和电力限制的优点, 已被应用在一些高纬度和高海拔地区, 包括北极和南极冻原、亚高山草地和青藏高原等^[6-7]。如, 徐振锋等^[8]利用 OTC 研究了青藏高原东缘林线交错带糙皮桦幼苗光合特性对模拟增温的短期响应; 李娜等^[9]研究了短期增温对青藏高原高寒草甸植物群落结构和生物量的影响。然而, 系统分析青藏高原地区土壤微气候对 OTC 增温响应的相关研究依然缺乏。

在陆地生态系统中, 土壤是地球表层系统的重要组成部分, 对陆面与大气间的动量、热量及多种物质(水汽、CO₂ 等)的交换有极为重要的影响。土壤微气候(土壤温度和土壤湿度)的改变会影响到一系列的生态系统过程, 如元素循环、初级生产力、植被演替、土壤呼吸等^[10-13]。因此, 要弄清气候变暖对陆地生态系统的影响, 就需要系统的研究增温条件下土壤微气候的变化特征。历史观测数据已表

收稿日期(Received date): 2014-01-11; 改回日期(Accepted): 2014-05-05。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金项目(41371267)资助。[Supported by National Natural Science Foundation of China, No. 41371267.]

作者简介(Biography): 陈有超(1988-), 男, 汉族, 安徽滁州人, 在读博士生, 研究方向为生态学。[Chen, Youchao, male, Ph. D candidate, major in Ecology.] Tel: 18782109121, E-mail: whchenyouchao@163.com

* 通信作者(Author for correspondence): 程根伟, 研究员。[Cheng, Genwei, Professor.] E-mail: gwcheng@imde.ac.cn

明,气候变暖对土壤微气候的影响包括:1. 冬季增温幅度大于夏季,2. 降低中低纬度地区夏季的土壤湿度^[14]。那么,在青藏高原地区,气候变暖是否会对土壤微气候产生相似的影响? 本研究依托青藏高原藏北那曲地区申扎高寒草原与湿地生态系统观测试验站,利用2012年试验站永久样地中OTC内外微气候观测数据,分析增温后藏北典型高寒草原土壤微气候变化特征,研究土壤微气候对气候变暖的响应模式,以期研究气候变暖对高寒地区的影响提供依据。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

研究观测点位于青藏高原藏北那曲地区申扎高寒草原与湿地生态系统观测试验站(30°57'N, 88°42'E, 海拔4 675 m)的永久样地内。气候属于高原亚寒带半干旱季风气候,空气稀薄,气候寒冷干燥,年平均气温为0.4℃,一天中8:00左右气温最低,17:00左右气温最高,1月的平均气温为-10.1℃,7月的平均气温为9.6℃,年降水量为300 mm,降水主要发生在5—9月,霜期持续天数为279.1 d,年日照时数为2 915.5 h,年平均风速为3.8 m/s,八级以上大风达104.3 d。研究点2012年的气温与降水变化见图1。样地内植被类型属于高寒草原,优势种为紫花针茅(*Stipa purpurea* Griseb.)和苔草(*Carex moorcroftii* Falc. ex Boott),伴生种为火绒草(*Stellera chamaejasme* Linn.)、茵陈蒿(*Artemisia capillaris* Thunb.)和棘豆(*Oxytropis microphylla* (Pall.) DC.),植被覆盖率约为20%^[15]。

1.2 研究方法

于2010年在申扎站永久样地内随机布置3个OTC,OTC之间的水平距离约为20 m,以保证其下垫面均一。OTC为六边形,高160 cm,底部面积为2.6 m²,顶部面积为0.94 m²(图2)。每个箱内均设置一个自动气象观测系统,箱内空气温湿度(相对湿度)通过温湿度传感器(Decagon, Washington, DC, USA)测得,OTC内外地下10 cm土壤温度和土壤湿度(体积含水量)均通过5TM土壤温度/水分传感器(Decagon, Washington, DC, USA)测得。上述要素的采集频率为每1小时一次,本研究采用2012年全年的监测数据。箱外的空气温度、空气湿度、降水量以及风速数据采用申扎县气象观测站的监测数

据。文中所用统计分析采用R 3.01 统计分析软件包(R Development Core Team, 2013)。

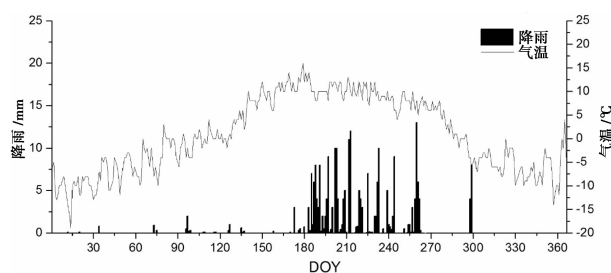


图1 研究点2012年降雨和气温变化情况

Fig. 1 Precipitation and air temperature in 2012 in study site



图2 布设在申扎高寒草原与湿地生态系统观测试验站的开顶箱(OTC)

Fig. 2 Open-top chamber (OTC) in Xainza Alpine Steppe and Wetland Ecosystem Observation and Experiment Station

2 结果与分析

2.1 土壤微气候日变化

本研究选择1月和7月分别作为非生长季和生长季的典型代表月,分析土壤微气候日变化特征。为消除随机天气过程的影响,对各开顶箱内外土壤温湿度的处理为:将当月同一时刻不同日期的土壤温湿度求平均,即为消除随机天气过程(如云等)后该时刻的平均值。三个开顶箱即为三个重复,最后用三个开顶箱所测得数据的平均值来分析藏北典型高寒草原土壤微气候日变化特征,结果如图3所示。

由图3的A1和A2可以看出,1月开顶箱内外10 cm土壤温度和湿度均呈现正弦曲线变化。装置内外的土壤温度变化基本同步,最大值均出现在18:00,最小值均出现在10:00(图3,A1),土壤温度的日振幅分别为10.6℃(内)和9.65℃(外);装置

内外土壤湿度的最大值也均出现在 18:00,装置内土壤湿度的最小值出现在 12:00,装置外土壤湿度最小值则出现在 11:00(图 3,A2),土壤湿度的日振幅分别为 0.34%(内)和 0.73%(外)。

7 月开顶箱内外 10 cm 土壤温度和湿度也基本呈正弦曲线变化(图 3,B1 和 B2)。装置内外土壤温度的最大值均出现在 17:00,最小值均出现在 8:00(图 3,B1),振幅分别为 12.1℃(内)和 10.5℃(外);装置内土壤湿度的最大值和最小值分别出现在 18:00 和 4:00,装置外土壤湿度的最大值和最小值分别出现在 16:00 和 8:00(图 3,B2),7 月土壤湿度的日振幅分别为 0.73%(内)和 0.41%(外)。

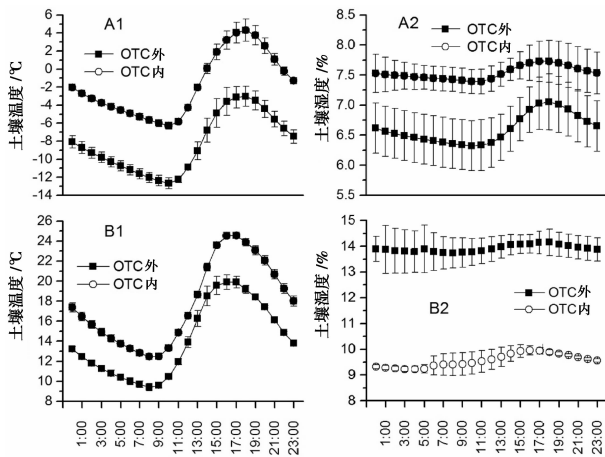


图3 1月(A1,A2)和7月(B1,B2)开顶箱(OTC)内外土壤微环境日变化

Fig. 3 Diurnal dynamics of soil microclimate inside and outside open-top chamber (OTC) in January (A1, A2) and July (B1, B2)

2.2 土壤微气候季节变化

OTC 内外微气候季节变化特征如图 4 所示。由图 4C 可以看出,OTC 内外土壤温度均存在明显的季节变异。OTC 内外土壤温度月均值最大值和最小值均分别出现在 6 月和 1 月,OTC 外土壤温度月均值最大值为 18.3℃,最小值为 -8.3℃,经过增温后,月均温最大值、最小值分别提升至 23.1℃和 -1.7℃(表 1)。OTC 内年平均土壤温度为 9.7℃,比 OTC 外的土壤平均温度高 5.2℃,增温效果显著($p < 0.05$)。土壤温度的变异模式与空气温度的变异模式类似(图 4,A 和 C),但土壤温度的增幅(+5.2℃)大于空气温度的增幅(+3.2℃)。

OTC 内外土壤湿度也存在明显的季节变异(图 4D)。OTC 外土壤湿度月均值最大出现在 8 月,为 14.7%,最小出现在 1 月,为 6.6%;OTC 内土壤湿

度月均值 9 月最大,为 11.8%,6 月最小,为 6.6%。OTC 内土壤湿度的年均值为 8.4%,显著低于 OTC 外的土壤湿度($p < 0.05$)。OTC 内外土壤湿度的季节变异模式与空气湿度的变异模式不同(表 1),同时由图 4 B 和 D 可以看出,增温显著增加了 OTC 内的空气湿度($p < 0.05$),但显著降低了土壤湿度($p < 0.05$)。

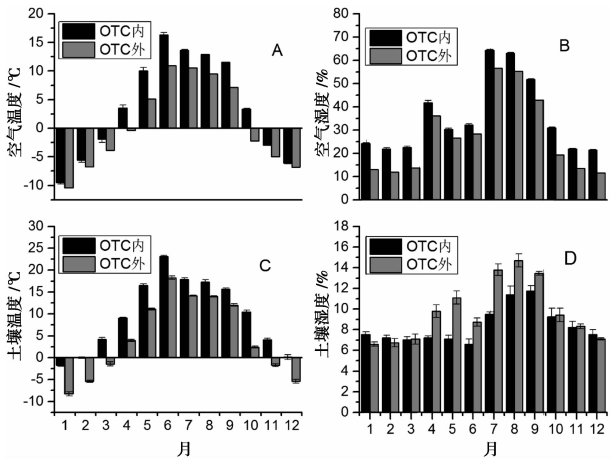


图4 开顶箱内外微气候季节变化 (A:空气温度;B:空气湿度;C:土壤温度;D:土壤湿度)

Fig. 4 Seasonal dynamics of microclimate inside and outside open-top chamber (A, air temperature; B, air moisture; C, soil temperature; D, soil moisture)

表1 开顶箱(OTC)内外微气候最大月均值、最小月均值和年均值

微气候		最大月均值		最小月均值		年均值
		值	月份	值	月份	
土壤温度/℃	内	23.1	6	-1.7	1	9.7
	外	18.3	6	-8.3	1	4.5
土壤湿度/%	内	11.8	9	6.6	6	8.4
	外	14.7	8	6.6	1	9.7
空气温度/℃	内	16.3	6	-9.5	1	3.8
	外	10.9	6	-10.5	1	0.6
空气湿度/%	内	64.3	7	21.5	12	35.5
	外	55.3	8	11.5	12	27.4

2.3 土壤微气候对增温的响应

如图 5 A1 和 A2 所示,在 1 月,增温显著提高了 OTC 内的 10 cm 土壤温度($p < 0.05$)和土壤湿度($p < 0.05$)。一天当中,OTC 对土壤温度的增温幅度为 6.0℃~7.3℃,最高增温出现在 18:00(此时的气

温也相对较高),最低增温出现在 1:00;土壤湿度的增加幅度为 0.67% ~ 1.07%,增幅最高出现在 9:00,增幅最低出现在 18:00。在 1 月,一天之中土壤湿度的增幅大致遵循着气温越高增幅越小的规律(图 5, A2),这可能是因为 1 月气温越高,OTC 对土壤湿度的增温越大,会加快土壤水分的蒸发,进而降低土壤湿度的增幅。

在 7 月,土壤温湿度对增温的响应与 1 月相比有明显的不同(图 5, B1 和 B2)。增温可以显著增加土壤温度($p < 0.05$),但增加幅度为 2.4℃ (13:00) ~ 4.7℃ (19:00),显著低于 1 月的增温幅度($p < 0.05$);增温显著降低了 OTC 内 10 cm 土壤湿度($p < 0.05$),降低的幅度为 -4.6% (5:00) ~ -4.1% (16:00)。

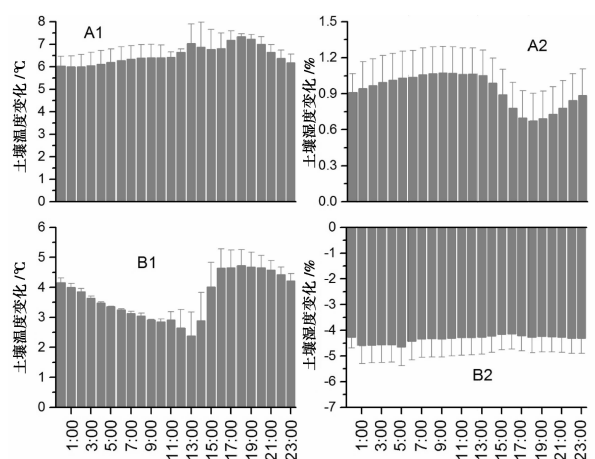


图 5 土壤微气候对增温的日响应
(1 月: A1, A2; 7 月: B1, B2)

Fig. 5 Diurnal response of soil microclimate to warming
(January: A1, A2; July: B1, B2)

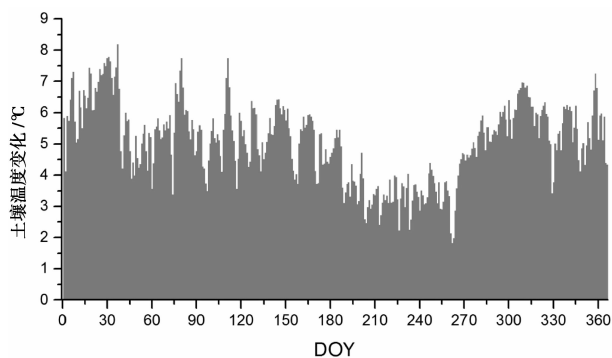


图 6 土壤温度对增温的季节响应(土壤温度
变化 = OTC 内土壤温度 - OTC 外土壤温度)

Fig. 6 Seasonal response of soil temperature (ST) to warming
experiment (Change of ST = ST inside OTC - ST outside OTC)

就全年而言(图 6),土壤温度的年均增幅为 +5.1℃,且生长季(5—10 月)的平均增幅(4.4℃)显著低于非生长季的平均增幅(5.7℃)。增温使得年均土壤湿度下降 -1.4%,生长季的平均降幅(降低 2.8%)显著高于非生长季的平均降幅(降低 2.2%),其中,由图 7 可知,在 1—2 月以及 11—12 月,增温会使 10 cm 土壤湿度显著增加($p < 0.05$)。

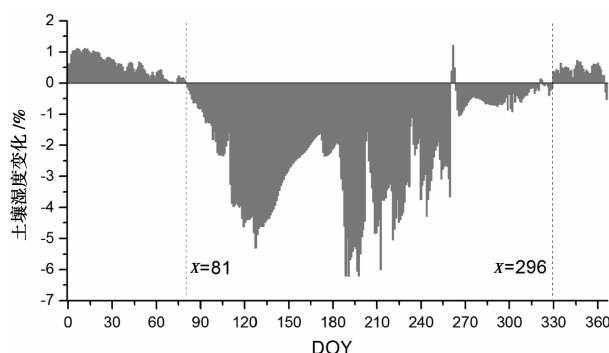


图 7 土壤湿度对增温的季节响应(土壤湿度
变化 = OTC 内土壤湿度 - OTC 外土壤湿度)

Fig. 7 Seasonal response of soil moisture (SM) to warming
(change of SM = SM inside OTC - SM outside OTC)

3 讨论

OTC 是一种经济、简单易行的增温装置,具有不受地域和电力限制的优点,适合用于偏远地区进行长期的监测实验,但也有温度升高的幅度和特征不能被很好控制的缺点^[4, 16]。关于 OTC 增温的效果,已有研究表明,OTC 可使空气温度增加 2 ~ 6℃^[4, 17]。本研究利用 OTC 在藏北典型高寒草原进行试验,发现 OTC 使得空气年均温增加 3.2℃,土壤年均温增加 5.2℃,增温效果显著。

3.1 增温对土壤温度的影响

温度是调节和控制许多生态学过程的关键因素,土壤温度的变化可能引起诸多地下生态过程(如植物根系生长^[18]、土壤呼吸等^[19-20])的变化。研究土壤温度对增温的响应对弄清很多生物地球化学过程与气候变化之间的关系尤为重要。由图 3、图 4 和表 1 可知,OTC 内外土壤温度均有明显的日变化和季节变化。1 月 OTC 内外土壤温度日振幅为 10.6℃ 和 9.6℃,7 月 OTC 内外土壤温度日振幅为 12.1℃ 和 10.5℃。已有研究表明,在冻土地带,OTC 增温可以增加土壤温度的日振幅^[16, 21]。本研究中,增温可使土壤温度的日最高值和最低值均得

到显著增加,但日最高值的增加幅度大于最低值的增加幅度,进而使得1月和7月土壤温度的日振幅分别增加1℃和1.6℃。就全年来看,OTC内外土壤温度月均值都在6月最大,1月最小,土壤温度的变异模式与空气温度的变异类似。

土壤温度对增温的响应在生长季和非生长季有明显的不同,生长季土壤温度的平均增幅显著低于非生长季的平均增幅,冬季土壤温度增幅最大,夏季增幅最小。进一步分析土壤温度变化与大气温度($r = -0.37, p < 0.05$)和降水($r = -0.41, p < 0.05$)的相关性也可以得出,大气温度越高,降水越多,土壤温度增加的幅度就越小,这也印证了前文分析的土壤温度在生长季对增温的响应要弱于非生长季。此结果与由历史观测数据得出的结果类似,说明本试验采用的OTC方法可以较好的模拟土壤温度在气候变暖背景下的变化模式。

3.2 增温对土壤湿度的影响

土壤湿度也是对气候变化较敏感的环境因子之一。在青藏高原地区,土壤湿度不仅是植物生长和植被恢复的主要限制因子,而且对高原地区的天气和气候变化有重要作用^[22-25]。对于藏北亚寒带半干旱地区,全球变暖将可能引起土壤/植被系统的蒸散增加,造成土壤含水量的进一步短缺,进而影响到一系列生态系统过程。关于增温对青藏高原土壤湿度的影响,相关研究不多,且研究结果存在很大不确定性。Klein等^[17]研究表明OTC增温对青藏高原土壤湿度没有显著地影响,并分析这可能是由于降水等因素的影响。潘新丽等^[20]研究发现OTC增温可以降低青藏高原东缘亚高山人工林的土壤含水量,但是降低程度不显著。本研究发现增温对土壤湿度有很明显的影响,且影响呈现季节性规律。就日变化来看,在1月增温可以显著增加全天的土壤湿度,而在7月增温显著减少土壤湿度;就季节变化而言,增温会在1~81 d和296~366 d增加的土壤湿度,而在82~295 d减少土壤湿度。试验所用传感器测得的土壤湿度是土壤中液态水的体积含水量,不包括固态水,冬季土壤湿度反映的只是未冻水的情况。本试验中,冬季增温使得空气温度和土壤温度都得到显著提升,部分OTC内地表土壤冻结水消融,消融量大于地表水分蒸发量,故使得OTC内土壤湿度高于OTC外的土壤湿度;在夏季,试验所在的藏北高寒草原地表土壤水(0~10 cm)均为液态水,增温令地表水分蒸发量加大,故使得OTC内

土壤湿度显著低于OTC外土壤湿度。

4 结论

本文采用青藏高原藏北那曲地区申扎高寒草原与湿地生态系统观测试验站永久样地2012年OTC内外微气候观测数据,分析增温后藏北典型高寒草原土壤微气候变化特征。结果表明藏北典型高寒草原OTC增温效果显著,OTC内外土壤微气候均存在明显的日变异和季节变异,土壤微气候对增温的响应存在明显的季节性:土壤温度在非生长季的增加幅度要大于生长季的增加幅度;冬季增温可以显著增加土壤湿度,而夏季增温会显著降低土壤湿度。研究结果可为研究气候变暖对高寒地区的影响提供依据。

参考文献(References)

- [1] Wang Futang. Advances in climate warming impact research in China in recent ten years [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology, 2002, 13(6): 755-766 [王馥棠. 近十年来我国气候变暖影响研究的若干进展[J]. 应用气象学报, 2002, 13(6): 755-766]
- [2] Wu Shaohong, Yin Yunhe, Zheng Du, et al. Climate changes in the Tibetan Plateau during the last three decades [J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(1): 3-11 [吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 等. 青藏高原近30年气候变化趋势[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 3-11]
- [3] Shen Karin P, Harte John. Methods in Ecosystem Science [M]. New York: Springer, 2000: 353-369
- [4] Niu Shuli, Han Xingguo, Ma Keping, et al. Field facilities in global warming and terrestrial ecosystem research [J]. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(2): 262-271 [牛书丽, 韩兴国, 马克平, 等. 全球变暖与陆地生态系统研究中的野外增温装置[J]. 植物生态学报, 2007, 31(2): 262-271]
- [5] Wan S, Luo Y, Wallace LI. Changes in microclimate induced by experimental warming and clipping in tallgrass prairie [J]. Global Change Biology, 2002, 8(8): 754-768
- [6] Richardson Sarah J, Hartley Susan E, Press Malcolm C. Climate warming experiments: are tents a potential barrier to interpretation? [J]. Ecological Entomology, 2000, 25(3): 367-370
- [7] Shi Fusun, Wu Ning, Wu Yan, et al. Effect of simulated temperature enhancement on growth and photosynthesis of *Deschampsia caespitosa* and *Thlaspi arvense* in northwestern Sichuan, China [J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2009, 15(6): 750-755 [石福孙, 吴宁, 吴彦, 等. 模拟增温对川西北高寒草甸两种典型植物生长和光合特征的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2009, 15(6): 750-755]
- [8] Xu Zhenfeng, Hu Tingxing, Zhang Li, et al. Short-term gas exchange responses of *Betula utilis* to simulated global warming in a timberline ecotone, eastern Tibetan Plateau, China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(3): 263-270 [徐振锋, 胡庭兴, 张力, 等. 青藏高原东缘林线交错带糙皮桦幼苗光合特性对模拟增温的短期响应[J]. 植物生态学报, 2010, 34(3): 263-270]

- [9] Li Na, Wang Genxu, Yang Yan, et al. Short-term effects of temperature enhancement on community structure and biomass of alpine meadow in the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, **31**(4): 895-905 [李娜, 王根绪, 杨燕, 等. 短期增温对青藏高原高寒草甸植物群落结构和生物量的影响 [J]. *生态学报*, 2011, **31**(4): 895-905]
- [10] Cahoon Sean Mp, Sullivan Patrick F, Shaver Gaius R, et al. Interactions among shrub cover and the soil microclimate may determine future Arctic carbon budgets [J]. *Ecology Letters*, 2012, **15**(12): 1415-1422
- [11] Harte John, Torn Margaret S, Chang Fang-Ru, et al. Global warming and soil microclimate: results from a meadow-warming experiment [J]. *Ecological Applications*, 1995, **5**(1): 132-150
- [12] Luo Ji, Chen Youchao, Wu Yanhong, et al. Temporal-spatial variation and controls of soil respiration in different primary succession stages on glacier foreland in Gongga Mountain, China [J]. *PloS one*, 2012, **7**(8): e42354
- [13] Yang Meixue, Yao Tandong, Koike Toshio. Variation features of soil temperature in Northern Tibetan Plateau [J]. *Journal of Mountain Science*, 2000, **18**(1): 13-17
- [14] Solomon Susan. Climate change 2007 - the physical science basis; Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007
- [15] Lu Xuyang, Fan Jihui, Yan Yan, et al. Responses of soil CO₂ Fluxes to short-term experimental warming in Alpine Steppe Ecosystem, northern Tibet [J]. *PloS one*, 2013, **8**(3): 59054
- [16] Marion Gm, Henry Ghr, Freckman Dw, et al. Open-top designs for manipulating field temperature in high-latitude ecosystems [J]. *Global Change Biology*, 1997, **3**(Suppl. 1): 20-32
- [17] Klein Julia A, Harte John, Zhao XinQuan. Dynamic and complex microclimate responses to warming and grazing manipulations [J]. *Global Change Biology*, 2005, **11**(9): 1440-1451
- [18] Nagel Kerstin A, Kastenholz Bernd, Jahnke Siegfried, et al. Temperature responses of roots; impact on growth, root system architecture and implications for phenotyping [J]. *Functional Plant Biology*, 2009, **36**(11): 947-959
- [19] Chen Quansheng, Li Linghao, Han Xingguo, et al. Acclimatization of soil respiration to warming [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **24**(11): 2649-2655 [陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 等. 土壤呼吸对温度升高的适应 [J]. *生态学报*, 2004, **24**(11): 2649-2655]
- [20] Pan Xinli, Lin Bo, Liu Qing. Effects of elevated temperature on soil organic carbon and soil respiration under subalpine coniferous forest in western Sichuan Province, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, **19**(8): 1637-1643 [潘新丽, 林波, 刘庆. 模拟增温对川西亚高山人工林土壤有机碳含量和土壤呼吸的影响 [J]. *应用生态学报*, 2008, **19**(8): 1637-1643]
- [21] Robinson Ch, Wookey Pa, Lee Ja, et al. Plant community responses to simulated environmental change at a high arctic polar semi-desert [J]. *Ecology*, 1998, **79**(3): 856-866
- [22] Li Yuanshou, Wang Genxu, Ding Yonglan, et al. Spatial heterogeneity of soil moisture in alpine meadow area of the Qinghai-Xizang Plateau [J]. *Advances in Water Science*, 2008, **19**(1): 61
- [23] Wang Genxu, Shen Yongping, Qian Ju, et al. Study on the influence of vegetation change on soil moisture cycle in alpine meadow [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, **25**(6): 653-659 [王根绪, 沈永平, 钱鞠, 等. 高寒草地植被覆盖变化对土壤水分循环影响研究 [J]. *冰川冻土*, 2003, **25**(6): 653-659]
- [24] Wang Kaicun, Wang Pucai, Liu Jingmiao, et al. Variation of surface albedo and soil thermal parameters with soil moisture content at a semi-desert site on the western Tibetan Plateau [J]. *Boundary-Layer Meteorology*, 2005, **116**(1): 117-129
- [25] Yang Jian, Ma Yaoming. Soil Temperature and Moisture Features of Typical Underlying Surface in the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, **34**(4): 813-820 [杨健, 马耀明. 青藏高原典型下垫面的土壤温湿特征 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, **34**(4): 653-659]

Response of Soil Microclimate to Warming in Alpine Steppe, Northern Tibetan Plateau

CHEN Youchao^{1,2}, LU Xuyang¹, LI Weipeng^{1,2,3}, SHA Yukun^{1,2}, CHENG Gengwei¹

(1. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Land and Resource College, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637002, China)

Abstract: The change in soil microclimate could affect many ecosystem processes, and study on soil microclimate's response to warming will be helpful in climate change project. In this study, open-top chamber (OTC) was employed to investigate the response of soil microclimate to warming in a alpine steppe in Northern Tibetan Plateau. The results showed that: there was apparent diurnal and seasonal variation in soil microclimate in the alpine steppe; OTC elevated annual average air temperature by 3.2°C, soil temperature by 5.2°C; OTC could significantly elevate soil temperature, more increase in non-growing season than in growing season; OTC could significantly elevate soil moisture in winter, while reduce the soil moisture in summer. This paper analyzed the response of soil microclimate to warming, and the results are helpful in studying the effect of climate change on hydrothermal regime in alpine region.

Key words: soil microclimate, open-top chamber (OTC), warming experiment, Tibetan Plateau