

增温对荒漠草原植物群落组成及物种多样性的影响

王晨晨¹, 王珍^{1,2}, 张新杰¹, 李寅龙¹, 刘军利¹, 韩国栋^{1*}

1. 内蒙古农业大学生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 中国农业科学院草原研究所, 内蒙古 呼和浩特 010018

摘要:以短花针茅荒漠草原为研究对象,通过采用远红外线辐射器模拟增温的方法,探讨了增温对荒漠草原植物群落结构及生物量和物种多样性的影响。结果表明:由于远红外线辐射器的增温作用,在2012年整个生长季内,增温样地10、20、30 cm土壤平均温度与对照样地相比,平均增加了0.39、0.38、0.31 °C;各土层土壤含水量较对照平均减少0.76%、0.73%、0.60%。受温度升高及土壤含水量减少的影响,模拟增温6个生长季后,与对照样地相比,群落的高度整体增加,密度、盖度、频度表现为部分物种增加和部分物种减少的趋势,冷蒿(*Artemisia frigida*)等物种的重要值下降,阿氏旋花(*Convolvulus ammanii*)等物种的重要值上升,但是增温没有明显改变植物群落的组成。同时,增温处理使荒漠草原禾草的盖度减少,杂类草的盖度增加,半灌木和一两年生植物分盖度未发生明显变化;增温使地上地下生物量出现了不同程度的减少,在0~30 cm土壤深度地下生物量分配中,增温样地0~10 cm分配比例(81.23%)小于对照(86.07%),10~20 cm分配比例(11.55%)大于对照(9.16%);20~30 cm分配比例(7.22%)大于对照(4.77%),增温使得地下生物量分配格局向深层转移。增温后,增温样地植物Shannon-Winener指数降低,Pielou均匀度指数升高,温度升高使荒漠草原植物群落的均匀度增加,但并没有提高草地植物的物种多样性。

关键词: 增温; 荒漠草原; 植物群落组成; 物种多样性

中图分类号: S812; Q948

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906(2014)01-0043-07

引用格式: 王晨晨, 王珍, 张新杰, 李寅龙, 刘军利, 韩国栋. 增温对荒漠草原植物群落组成及物种多样性的影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23(1): 43-49.

WANG Chenchen, WANG Zhen, ZHANG Xinjie, LI Yinlong, LIU Junli, HAN Guodong. Effect of warming on plant community composition and plant species diversity in the desert steppe [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(1): 43-49.

IPCC的第4次报告得出一个结论,气候变暖的这个客观事实已经不容置疑,在过去百年间人类的活动可能是导致全球变暖的主要原因。从1850年以来,地表的平均温度升高了0.76 °C,到下个世纪初,全球平均气温将升高达1.8~4.0 °C(IPCC, 2007)。目前,全球气候变化对人类生产活动和生态系统产生的影响已经成为世界各国关注和研究的重大环境问题之一(Herik, 2001; Carter, 1996)。而研究植被对气候变化的响应能够很好的反映和标志气候变化的效应。

气候变化决定着地球上物种的分布以及植被类型,而温度是气候条件中最重要的因素,温度的升高对植物群落组成及物种多样性产生重要的影响。增温直接改变植物的光合能力(Klanderud和Totland, 2005),影响植物在光合作用中各种酶的活性(侯颖等, 2008),进而影响植物的生长速率(Walther et al, 2005),改变植物的物候和生长期(Hillier et al, 1994)。同时,温度的增加会改

变土壤含水量和土壤呼吸,导致植被的生长(Henry和Molau, 1997)、生物量的生产和分配(周广胜和张新时, 1995; White et al, 2000; Myneni et al, 1997; 李英年等, 2000; Asseng et al, 1998)、植物群落演替方向和速度(Couteaux et al, 1995)都随之发生改变。

荒漠草原地带年均降雨量少,季节温差和日温差十分显著,植物种类相对贫乏,植被结构较为简单(王珍等, 2012)。严酷的生态环境使得荒漠草原的生态系统十分脆弱。具有发生荒漠化的潜质,一旦遭到破坏,非常难以恢复(中华人民共和国农业部畜牧兽医司, 1996; 韩芳等, 2010)。因此,研究气候变暖对荒漠草原的生物多样性和生态系统功能可能产生的影响,以及草地生物多样性与生态系统功能对温度增加的响应和适应,对保护荒漠草原都具有重要意义。本文通过室外红外线模拟增温的方法,研究了内蒙古四子王旗短花针茅荒漠草原植物群落结构和物种多样性等

基金项目: 国家自然科学基金(31360113); 国家科技部科技支撑项目(2008BAD95B03)

作者简介: 王晨晨(1988年生),女,硕士研究生,主要研究方向为草地生态学。E-mail: chen_880809@126.com

*通信作者: 韩国栋(1964年生),男,教授,博士生导师,主要研究方向为草地生态学。E-mail: hanguodong@imau.edu.cn

收稿日期: 2013-11-08

对模拟增温的响应,探讨增温对荒漠草原影响的原因。旨在揭示气候变暖对荒漠草原的影响,从而为荒漠草原的利用和生态系统的可持续管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验区位于内蒙古自治区乌兰察布市四子王旗王府一队的内蒙古农牧科学院实验基地内,地理坐标 N 41°47'17", E 111°53'46", 海拔高度 1456 m, 气候属于中温带大陆性气候, 多年平均气温 3.4 °C, 月平均温度最高月为 6、7 和 8 三个月, 年均气温分别为 21.5、24.0 和 23.5 °C, ≥ 10 °C 的年积温为 2200~2500 °C。多年的平均降雨量 248 mm, 年均蒸发量 2947 mm, 降水量主要集中在 6—9 月, 占全年降水总量的 70% 以上。

实验区主要由旱生型的禾草组成, 属于短花针茅建群的荒漠草原地带性植被, 草地类型为短花针茅 (*Stipa breviflora*) + 冷蒿 + 无芒隐子草 (*Cleistogenes songorica*), 植被高度低矮, 平均高度为 8 cm, 且植被较稀疏, 盖度为 17%~20%, 种类组成贫乏, 植物群落主要由 20 多种植物物种组成。建群种为短花针茅, 优势种为无芒隐子草和冷蒿。主要伴生种有阿氏旋花、栉叶蒿 (*Neopallasia pectinata*)、木地肤 (*Kochia prostrata*)、细叶葱 (*Allium tenuissimum*)、蒙古葱 (*Allium mongolicum*)、狭叶锦鸡儿 (*Caragana stenophylla*)、猪毛菜 (*Salsola collina*) 和小叶锦鸡儿 (*Caragana microphylla*) 等。

1.2 样地设置

实验设计为自然条件下进行生态系统控制性增温实验。采取两种温度处理 (对照、增温), 每种处理 6 次重复, 共 12 个小区, 每个小区 (对照区和增温区) 设计面积大小为 12 m² 即: 3 m×4 m。6 个增温区内各安装一个远红外线辐射器进行加热, 该装置是通过悬挂在样地中央上方、可以散发远红外线辐射的灯管来实现模拟气候变暖, 是目前国际上公认的增温措施。远红外线辐射器由美国伯利恒 Kalglo 电子公司生产, 型号 MSR-2420, 规格 165 cm×15 cm, 辐射器距地面 2.25 m, 安放于 3 m×4 m 小区的中间部位, 灯的最大功率是 2000 W, 使用时调至 8 档, 从 2006 年 3 月实验开始加热, 全年 365 d 不间断。每个对照区的中间部位, 距地面 2.25 m 也安装了与远红外线辐射器大小、形状相同的“假灯”以降低或消除辐射器遮荫或其他因素造成的实验误差。在每个处理小区内随机安装一组测定土壤温度的探头, 同时采用 Omega 公司生产的型号为 HH-25TC

Sensors 手持温度计与之连接测定 10、20 和 30 cm 不同土层的土壤温度。同时采用 ONSET 电脑公司生产的其型号为 S-SMA-M003 的土壤湿度探头对 0~30 cm 土层中每 10 cm 土壤湿度进行测定。测定数据采用 HOBO 软件进行记录数据, 每隔 30 min 采集 1 次。

1.3 取样方法

1) 植物密度和盖度。利用 1 m×1 m 网格样方法进行, 生长季节, 每月测定各种植物高度、盖度和密度, 用于统计植物的种类组成和重要值。

2) 地上部生物量。由于实验样地面积有限, 同时为保障今后几年实验的延续性, 在不破坏样地内植物正常生长的情况下, 采用间接法测定地上部分生物量。植末期 (9 月上旬) 分别在与试验区植被类型相似的地段任意选取 40 个 1 m×1 m 样方, 估算样方内的各物种盖度, 然后分种齐地面刈割, 收集枯落物, 样品在 65 °C 恒温下经 48 h 烘至恒质量, 称其干质量 (即物种生物量)。利用样地内的植物盖度来估测地上植物生物量。

3) 根系生物量。根系生物量的测定用根系生长芯法进行, 每个处理样地选取 1 个点, 用土钻将土取出, 去除根系后将净土装入网袋, 在植物生长初期把网袋置入样地内的土钻空洞中 (深度为 30 cm), 到生长季末期将网袋取出, 分 3 层 (0~10、10~20、20~30 cm) 取出其中根系, 带回室内过筛清洗。用镊子将根系从筛子中挑出, 不区分死根和活根, 分层装入纸袋, 80 °C 恒温下经 24 h 烘至恒质量, 称其干质量。根据网袋规格 (直径 10 cm, 长 40 cm) 计算出的根系生物量。

1.4 数据处理

物种种群的相关系数采用如下公式计算, 采用 Excel 2003 进行数据统计和图表构建, 采用 SAS 9.1 软件包对相关数据进行方差分析。

(1) 重要值=(相对密度+相对高度+相对盖度+相对频度)/4

(2) Margalef 丰富度指数

$$D = (S - 1) / \ln N$$

(3) Shannon-Wiener 指数

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i / N, P_i = n_i / N$$

(4) Simpson 指数

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$$

(5) Pielou 指数

$$E = H' / \ln S$$

式中： S 为物种总数； P_i 为第 i 个物种的相对重要值； n_i 为第 i 个物种的重要值； N 为群落中所有物种的重要值之和。

2 结果与分析

2.1 增温对土壤温度和湿度的影响

在野外自然条件下采用远红外线加热的方法，能够客观模拟气候变暖。由表 1 可以看出，在整个生长季，增温样地 10、20、30 cm 土壤平均温度与对照相比，平均增加了 0.39、0.38、0.31 °C，且统计结果显示差异显著 ($p < 0.05$)。增温的幅度呈现出随深度的增加而减小的趋势。同时，增温样地各土层土壤含水量较对照平均减少 0.76%、0.73%、0.60% ($p < 0.05$)。这说明，荒漠草原增温试验显著改变了土壤不同层次的温度与土壤含水量。

2.2 增温对植物群落组成及特征值的影响

经过增温处理后，增温样地和对照样地群落

物种组成基本相同，增温样地共有 10 个物种，对照样地共有 13 个物种（表 2）。与对照样地相比，增温样地出现了小叶锦鸡儿这一物种，而少了细叶鸢尾(*Iris bungei*)、狭叶锦鸡儿、达乌里苾芭(*Lespedeza davurica*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)4 个物种。但是增温样地较对照样地增加和减少的这些物种多为偶见种和伴生种，这些物种在群落中的数量不大，有些仅为一二株，所占比例不大。因此，偶见种和一二年生植物出现的差异不会明显的影响植物群落的组成和结构。这也说明增温作用没有明显的改变试验样地内植物群落组成。但是增温改变了各物种的重要值，在增温样地内有 8 个物种重要值上升，2 个物种重要值下降，其中无芒隐子草、阿氏璇花、蒙古葱和细叶葱的重要值增加，冷蒿和短花针茅的重要值下降，其中冷蒿的重要值较对照下降了 80%左右。在对照样地，由短花针茅、阿氏璇花、无芒隐子草、冷

表 1 增温与对照样地不同土层月平均温度和土壤含水量
Table 1 Monthly mean temperature and soil moisture of different soil in warming and control plots

样地	月份	土壤温度/°C			土壤含水量/%		
		10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
增温	5	16.92a	15.98a	14.51a	5.01a	4.74a	5.12a
对照		16.42b	15.41b	14.23b	4.65b	4.54b	4.99a
增温	6	20.02a	19.07a	17.75a	8.11a	6.84a	5.36a
对照		19.59b	18.55b	17.53b	7.55b	6.47b	5.05b
增温	7	22.60a	22.09a	21.29a	13.55a	11.23a	9.89a
对照		22.20b	21.59b	20.96b	12.99b	10.91b	9.59b
增温	8	20.87a	20.42a	19.96a	11.18a	9.73a	9.06a
对照		20.57b	20.24a	19.85a	10.19b	8.37b	7.98a
增温	9	13.82a	14.33a	15.37a	7.97a	4.88a	5.22a
对照		13.54a	14.26a	14.77b	6.62b	3.49b	4.04b
增温	平均值	18.85a	18.38a	17.78a	9.16a	7.48a	6.93a
对照		18.46b	18.01b	17.47b	8.40b	6.75b	6.33b

表中 a、b 代表各月份和所有月份平均值增温和对照两个处理之间的比较；显著水平 ($p < 0.05$)

表 2 增温对荒漠草原物种组成及各特征值的影响
Table 2 Effects of warming on species composition and their characters in desert steppe

植物种类	相对频度		相对盖度		相对密度		相对高度		重要值	
	增温	对照								
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	6.15	8.95	5.9	9.86	2.83	6.86	5.06	11.33	4.99	9.25
木地肤 <i>Kochia prostrata</i>	1.94	2.15	8.34	6.51	4.82	6.51	10.15	6.04	6.31	5.30
短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	29.1	25.18	19.38	22.58	16.16	18.58	20.41	22.67	21.26	22.25
无芒隐子草 <i>Cleistogenes songorica</i>	15.07	13.08	13.92	15.45	15.26	10.45	9.27	7.14	13.38	11.53
阿氏璇花 <i>Convolvulus ammanii</i>	22.99	18.05	15.66	8.23	19.27	17.23	4.32	3.93	15.56	11.86
细叶葱 <i>Allium tenuissimum</i>	8.03	9.55	6.3	7.31	10.82	8.31	12	10.21	9.29	8.85
蒙古葱 <i>Allium mongolicum</i>	4.93	4.88	9.58	8.82	11.24	8.82	13.72	12.56	9.87	8.77
小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i>	0.75		0.28		0.06		1.1		0.55	
细叶鸢尾 <i>Iris bungei Maxim</i>		0.39		0.91		0.91		5.22		1.86
栉叶蒿 <i>Neopallasia pectinata</i>	1.04	0.98	0.48	0.28	0.77	0.28	3.43	1.35	1.43	0.72
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	10	16.02	20.15	18.78	18.77	20.78	20.54	13.73	17.37	17.33
狭叶锦鸡儿 <i>Caragana stenophylla</i>		0.39		0.98		0.98		2		1.09
达乌里苾芭 <i>Lespedeza davurica</i>		0.2		0.07		0.07		1.41		0.44
猪毛蒿 <i>Artemisia scoparia</i>		0.2		0.21		0.21		2.41		0.76

蒿占绝对优势的群落物种组成, 经增温处理后, 演变为由短花针茅、阿氏旋花、无芒隐子草、细叶葱和猪毛菜共同占优势的群落物种组成。

由表 2 可以看出, 温度升高使群落的高度整体有所增加, 盖度、频度和密度则表现为阿氏旋花、蒙古葱等部分物种上升, 短花针茅、冷蒿等部分物种下降的趋势。增温的处理改变了物种的密度、高度、盖度和频度, 进而改变了物种的重要值, 冷蒿在增温的作用下, 其重要值下降明显, 而且, 在试验的过程中, 增温样地冷蒿在 9 月初(9 月 3 日)就出现了枯黄的现象, 相同的自然环境条件下, 与其他物种相比, 冷蒿是否对温度的变化反应更敏感, 或者是其他因素导致了冷蒿这些明显改变, 以及部分物种重要值的增加和减少是否会使植物群落结构发生变化, 这些问题有待于进一步研究。

2.3 增温对群落结构的影响

从 2006 年到 2008 年对试验样地内的植物功能群进行了研究分析。依据植物群落的生活型组成, 样地中 18 个发现物种被划分进入 4 个功能群: 杂类草, 禾草, 半灌木, 一二年生植物。由表 3 可以看出, 群落的总盖度经过增温处理后, 与对照相比略有增加, 但统计检验不显著。禾草和杂类草的分盖度却因为增温发生了显著差异 ($p < 0.05$), 与对照相比, 禾草的分盖度在增温样地内明显减少, 杂类草的分盖度却明显增加。半灌木分盖度与对照相比有减少, 但统计检验显示差异不显著。一二年生植物分盖度未发生明显的变化。

表 3 增温对荒漠草原禾草、杂类草、半灌木、一二年生植物盖度的影响

Table 3 Effects of warming on coverage of grasses, forbs, semi-shrub and a biennial plant in desert steppe

样地类型	盖度/%			
	禾草	杂类草	半灌木	一二年生植物
增温	18.30±0.22a	48.55±0.73a	15.52±0.33a	23.63±0.81a
对照	28.75±0.25b	34.90±0.47b	19.35±0.58a	22.34±0.92a

平均值±标准差, $n=12$, 同一列中不同字母表示差异显著($P<0.05$)

2.4 增温对生物量及分配的影响

增温后, 增温样地内的地上生物量和凋落物均小于对照样地, 与对照样地相比, 地上生物量减少了 5.26%, 凋落物减少了 7.71% (图 1)。但是统计结果显示均不显著。从 0~30 cm 地下生物量分析, 对照样地地下生物量大于增温样地, 增温试验使样地内地下生物量减少了 3.75%。从 0~10、10~20、20~30 cm 土层的地下生物量分布来看 (图 2), 增温样地和对照样地的地下生物量主要分布在 0~10 cm 土层中, 这一土层地下生物

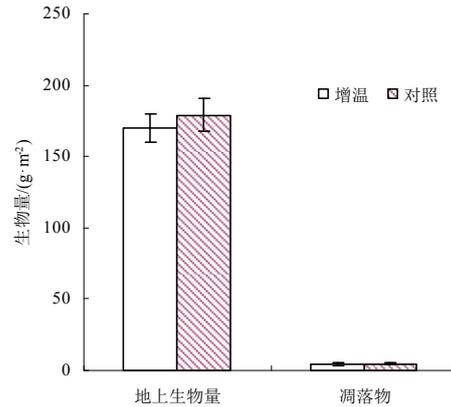


图 1 增温对地上鲜体及凋落物的影响

Fig.1 Effect of warming on the live-vegetation biomass and the fallen litter biomass

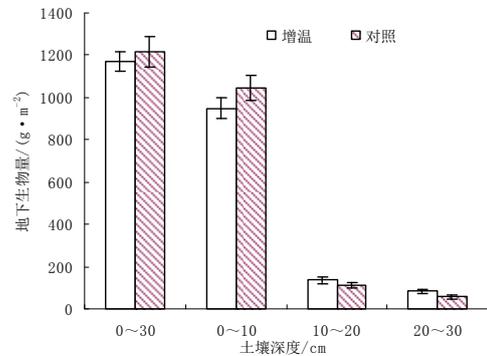


图 2 增温对地下生物量及其分配的影响

Fig.2 Effect of warming on the belowground biomass and its distribution

量在增温和对照样地内均达到 80%以上。但从增温和对照样地内的分配比例上分析, 各对应土层的分配比例存在差异。增温样地 0~10 cm 土层地下生物量分配比例为 81.23%, 小于对照样地的 86.07%; 增温样地内 10~20 cm 土层地下生物量分配比例略大于对照样地, 二者分别为 11.55%和 9.16%; 20~30 cm 增温样地的分配比例 7.22%大于对照样地的 4.77%, 且统计检验显著 ($p < 0.05$)。

2.5 增温对植物群落物种多样性和相似性的影响

由表 4 可以看出, 增温样地内 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数均小于对照样地, 而 Pielou 指数大于对照。物种丰富

表 4 增温对荒漠草原物种多样性的影响

Table 4 Effects of warming on species diversity in Desert steppe

样地	Margalef 丰富度指数	Shannon-Wiener 指数	Simpson 指数	Pielou 指数
增温	1.310a	1.95a	0.842a	0.85a
对照	1.455a	2.15b	0.86a	0.84a

同一列中不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)

度指数与特定群落的物种总数呈正比, 说明增温使物种的数量减少明显。Shannon-Wiener 指数差异显著 ($p < 0.05$), Margalef 丰富度指数、Simpson 指数和 Pielou 指数差异不显著 ($p > 0.05$)。在试验进行前, 通过对样地的调查显示, 样地的本底相同。本底相同的样地在经过增温处理后, 相似性指数下降, 物种替代和消失的现象比较明显, 对温度优势的物种逐渐变得优势更大, 而对温度劣势的物种逐渐被淘汰, 物种趋向于单一化。

3 讨论

在全球气候变暖的大环境下, 为研究生态系统与气候变暖的作用机理, 电阻加热、远红外线照射、开顶式和封顶式田间温室、互交移植等多种模拟气候变暖的试验被采用(牛书丽等, 2007)。在本研究中, 采用野外自然条件下红外线增温的实验设计, 通过试验发现, 增温使土壤温度升高, 土壤湿度下降, 这与李娜等的研究结果一致。同时也说明增温试验起到了增温作用。但是本研究的增温效果和幅度小于石福松等(2008)、周华坤等(2000)、王谋等(2004)采用开顶式增温室研究后的增温效果。这主要是由于增温方法不同引起的, 远红外线增温让样地自然气流、风速、降雨、温湿度等气候因子与荒漠草原自然气候条件基本一致, 最大限度地减少了短期控制气流聚集热量增温方法带来的人为因素, 真实客观地反映和模拟了气候变暖对荒漠草原的影响。6 年的增温试验让不同层次土壤温度上升了 $0.3 \sim 0.4$ °C 左右, 根据珊丹等(2009)和 Beier 等(2004)认为的增温在 $0.3 \sim 1.2$ °C 左右就能较好的模拟全球气候变化规律的试验结果, 说明研究中的温度变化符合全球变暖的规律。

远红外线增温试验效果未引起植物群落的变化, 但是引起了群落内优势种和组成的改变。在增温后, 样地中冷蒿和短花针茅等物种的重要值显著下降, 阿氏璇花和猪毛菜等物种的重要值增加明显, 且二者在植物群落中的优势更加明显。这可能是由于远红外线增温作用, 一定程度上满足了植物对热量的需求, 从而改变了植物群落的小气候环境, 进而使植物的生长发育受到一定程度的影响。而且增温也改变了土壤中水分的含量, 使植物对水分的吸收受到影响, 其生长和生物量也不同程度受到影响 (Eatherall, 1997; Saleska et al, 1999; 李娜等, 2011)。据 Alward 等(1999)研究结果表明, 在全球变暖的环境下, 对于任何一种植物群落而言, 总有一些物种对温度升高的响应更为敏感, 从而破坏种间的竞争关系, 引起群落优势种和组成发生改变。在本研究

中, 冷蒿的重要值下降的尤为明显, 随着实验的继续进行, 增温作用的持续深入, 冷蒿等少数敏感植物会不会伴随着物种间的竞争出现消失有待于进一步研究。

增温后, 增温样地的总盖度和对照样地相比略有增加, 禾草的分盖度显著减少, 而杂类草的分盖度增加。这是在对荒漠草原增温后, 土壤含水量显著下降, 短花针茅和无芒隐子草等禾草类植物为了适应增温和水分胁迫的环境, 通常以减少生物量作为代价。据 Grime (2001) 研究结果表明, 在增温和在增温和水分胁迫的环境中, 植物通常以减少生物量生产, 提高水分利用效率来适应环境。而半灌木分盖度的减少可能是由于冷蒿这一物种分盖度的显著减少引起的。

在本研究中, 增温样地内的地上生物量和 $0 \sim 30$ cm 地下生物量均小于对照样地。但是, 统计结果显示均不显著。这与石福松等(2008)川西北高山草甸的研究结果一致, 而与张新时(1993)的研究结果相反。据有关专家研究, 增温导致的土壤含水量降低能够阻碍表层根系的生长 (Dubrovsky et al, 1998)、增加根系死亡率 (Edwards et al, 2004)、增强植物呼吸作用 (Melillo et al, 1993), 从而使植物净初级生产力的下降。增温改变了地下生物量的分配, 与对照样地相比, 增温样地 $0 \sim 10$ cm 土层地下生物量下降, $10 \sim 20$ cm 土层地下生物量略有上升, $20 \sim 30$ cm 地下生物量显著增加。这也与增温导致的土壤含水量降低有关, 由于增温降低了土壤含水量, 使得水分成为限制植物生长的最关键因子, 植物为了更好的适应环境, 根系向更深的层次延伸寻求水分, 地下生物量在向深层土壤转移。

白永飞等(2002)研究表明, 物种丰富度、多样性与年平均气温和干燥度呈负相关, 即随着热量和干燥度的增加, 草原群落的物种丰富度、多样性会逐渐降低。本研究中, 本底相同的植物群落, 在经过增温处理后, 样地内丰富度指数、Shannon-Wiener 指数均显著下降, 增温使得物种多样性下降, 对温度优势的物种逐渐变得优势更大, 而对温度劣势的物种则可能逐渐被淘汰, 物种趋向于单一化。

4 结论

通过以上的分析和讨论, 可以得出以下主要结论: 增温对荒漠草原植物群落结构、生物量及分配、物种多样性产生了显著影响。增温后导致土壤相对含水量的减少, 破坏了物种原有的竞争关系, 从而引起群落优势种和组成发生改变。增温后, 荒漠草原禾草的盖度减少, 杂草的盖度增

加;地上地下生物量出现了不同程度的减少,且地下生物量在土壤不同层中的分配比例明显改变,0~10 cm 土层地下生物量下降,10~30 cm 土层地下生物量显著增加。地下生物量更加趋于向地下深层的根系层中转移。增温后,增温样地 Shnnon-Winener 指数降低, Pielou 均匀度指数升高,温度升高使荒漠草原植物群落的均匀度增加,但并没有提高草地植物的物种多样性。

参考文献:

- ALWARD R D, DETLING J K, MILEHUNAS D G. 1999. Grassland vegetation changes and nocturnal global warming[J]. *Science*, 283: 229-231.
- ASSENG S, RITCHIE J T, SMUCKER A J M, et al. 1998. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat[J]. *Plant Soil*, 201: 265-273.
- BEIER C, EMMETT B, GUNDERSEN P, et al. 2004. Novel approaches to study climate change effects on terrestrial ecosystems in the field: Drought and passive night in warming[J]. *Ecosystems*, 7: 583-597.
- CARTER K K. 1996. Provenance tests as indicators of growth response to climate change in 10 north temperate tree species [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 26: 1089-1095.
- COUTEAUX M M, BOTTNER P, BERG B. 1995. Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends*[J]. *Ecology Evolution*, 10(2): 63-66.
- DUBROVSKY J G, NORTH G B, NOBEL P S. 1998. Root growth, developmental changes in the apex, and hydraulic conductivity for *Opuntia ficus-indica* during drought[J]. *New Phytologist*, 138: 75-82.
- EATHERALL A. 1997. Modeling climate change impacts on ecosystems using linked models and a GIS[J]. *Climatic Change*, 35: 17-34.
- EDWARDS E J, BENHAM D G, MARLAND L A. 2004. Root production is determined by radiation flux in a temperate grassland community[J]. *Global Change Biology*, 10: 209-227.
- GRIME J P. 2001. *Plant Strategies Vegetation Processes and Ecosystem Properties*[M]. 2nd edition. New York: John Wiley and Sons Ltd.
- HENRY G H R, MOLAU U. 1997. Tundra plants and climate change: the international tundra experiment (ITEX)[J]. *Global Change Biology*, 3: 1-19.
- HERIK S. 2001. Tree and forest functioning in response to global warming [J]. *New Phytologist*, 149: 369-400.
- HILLIER S H, SUTTON F, GRIME J P. 1994. A new technique for experimental manipulation of temperature in plant communities[J]. *Functional Ecology*, 8: 755-766.
- IPCC. 2007. IPCC WGI Fourth Assessment Report. *Climatic Change 2007: The Physical Science Basis*[M]. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- KLANDERUD K, TOTLAND O. 2005. Simulated climate change altered dominance hierarchies and diversity of an alpine biodiversity hotspot [J]. *Ecology*, 86: 2047-2054.
- MELILLO J M, MCGUIRE A D, KICKLIGHTER D W, et al. 1993. Global climate change and terrestrial net primary production[J]. *Nature*, 363: 234-240.
- MYNENI R B, KEELING C D, TUCKER C J, et al. 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991[J]. *Nature*, 386: 698-702.
- SALESKA S R, HARTE J, TORN M S. 1999. The effect of experimental ecosystem warming on CO₂ fluxes in a mountain meadow[J]. *Global Change Biology*, 5: 125-141.
- WALTHER G R, BEISSNER S, BURGA C A. 2005. Trends in the upward shift of alpine plants[J]. *Journal of Vegetation Science*, 16: 541-548.
- WHITE T A, CAMPBELL B D, KEMP P D, et al. 2000. Sensitivity of three grassland communities to simulated extreme temperature and rainfall events[J]. *Global Change Biology*, 6: 671-684.
- 白永飞, 张丽霞, 张焱, 等. 2002. 内蒙古锡林河流域草原群落植物功能群组成沿水热梯度变化的样带研究[J]. *植物生态学报*, 26(3): 308-316.
- 韩芳, 牛建明, 刘朋涛, 等. 2010. 气候变化对内蒙古荒漠草原牧草气候生产力的影响[J]. *中国草地学报*, 32(5): 57-64.
- 侯颖, 王开运, 张超. 2008. 大气二氧化碳浓度与温度升高对红桦幼苗养分积累和分配的影响[J]. *应用生态学报*, 19(1): 13-19.
- 李娜, 王根绪, 杨燕, 等. 2011. 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*, 31(4): 0895-0905.
- 李英年, 王启基, 赵新全, 等. 2000. 气候变暖对高寒草甸气候生产潜力的影响[J]. *草地学报*, 8(1): 23-29.
- 牛书丽, 韩兴国, 马克平, 等. 2007. 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*, 31(2): 262-271.
- 珊丹, 韩国栋, 赵萌莉, 等. 2009. 控制性增温和施氮对荒漠草原土壤呼吸的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 23(9): 106-112.
- 石福孙, 吴宁, 罗鹏. 2008. 川西北亚高山草甸植物群落结构及生物量对温度升高的响应[J]. *生态学报*, 28(11): 5286-5293.
- 王谋, 李勇, 白宪洲, 等. 2004. 全球变暖对青藏高原腹地草地资源的影响[J]. *自然资源学报*, 19(3): 331-335.
- 王珍, 赵萌莉, 韩国栋, 等. 2012. 模拟增温及施氮对荒漠草原土壤呼吸的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 26(9): 98-103.
- 张新时. 1993. 研究全球变化的植被——气候分类系统[J]. *第四纪研究*, 2: 157-169.
- 中华人民共和国农业部畜牧兽医司. 1996. *中国草地资源*[M]. 北京: 中国科学技术出版社: 205-217.
- 周广胜, 张新时. 1995. 自然植被净第一生产力模型初探[J]. *植物生态学报*, 19(3): 193-200.
- 周华坤, 周兴民, 赵新全. 2000. 模拟增温效应对矮嵩草草甸影响的初步研究[J]. *植物生态学报*, 24(5): 547-553.

Effect of warming on plant community composition and plant species diversity in the desert steppe

WANG Chenchen¹, WANG Zhen^{1,2}, ZHANG Xinjie¹, LI Yinlong¹, LIU Junli¹, HAN Guodong^{1*}

1. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. Grassland Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010010, China

Abstract: The effect of warming on plant community structure and species diversity was studied in the *Stipa breviflora* desert steppe

by using infrared radiation method to simulate global warming. The results showed as follows: Compared with control (CK), the soil temperatures increased by 0.39, 0.38 and 0.31 °C at depths of 10, 20 and 30 cm, respectively, under the warmed plots in the whole plant growing season of 2012, whereas soil water content was decreased 0.76%、0.73%、0.60% in different soil depth, respectively; The change of plant community height, density, frequentness and diversity was found due to the elevated soil temperature and the decreasing soil water content. The structure of plant community has also been changed by warming. The warming significantly decreased the important value of *Artemisia frigida*, but it significantly increased the important value of *Convolvulus ammannii*. In addition, warming significant increased the coverage of grasses, whereas it significantly increased the coverage of forbs. No change was detected for semi-shrub and annual-biennial. Warming significantly decreased plant community above- and below-ground biomass allocation pattern transferred to deep soil layers. The below-ground biomass of 0-10 cm soil layers was lower in warming than in control, but below-ground biomass of 10-20 cm was higher in warming (11.55%) than in control (9.16%) and 20-30 cm was higher in warming (7.22%) than in control (4.77%). Warming led to the transfer of below-ground biomass from upper layer to lower layer. Warming significantly decreased Shnnon-Winener index, but significant increased Pielou index by elevated temperature. Warming significantly increased evenness of desert steppe, whereas no change on plant species diversity.

Key words: warming; desert steppe; plant community structure; species diversity