

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

石福孙, 吴 宁*, 罗 鹏

(中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

摘要:采用 OTC 模拟增温实验,研究了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。由于开顶式生长室 (OTC) 的增温作用,在整个生长季内,地温 (15cm)、地表温度和气温 (30cm) 的平均值在 OTC 内比对照样地分别高 0.28、0.46℃ 和 1.4℃,OTC 内土壤相对含水量也明显减少,低于对照样地 5.49%。受增温及土壤含水量减少的影响,1 年后,植物群落结构及生物量生产发生了显著的改变。植物群落优势种和组成结构发生改变。OTC 内禾草的盖度 (19.21%) 及生物量 (44.07g/m²),均显著大于对照样地 (8.04% 和 18.1g/m²),而杂类草的盖度 (72.8%) 及生物量 (210.54g/m²) 均显著小于对照样地 (83.5% 和 244.9g/m²)。OTC 内的地上鲜体生物量 (265.17g/m²) 和地下 0~30cm 的根系生物量 (1603.84g/m²) 与对照样地 (分别为 272.63g/m² 和 1826.77g/m²) 相比较,都出现了不同程度的减少。根系在土壤不同层中的分配比例明显改变,OTC 内 0~10cm 土层的生物量分配比例增加,而 20~30cm 土层的生物量分配比例则明显减少。

关键词:川西北;亚高山草甸;开顶式生长室;增温;群落结构;生物量

文章编号:1000-0933(2008)11-5286-08 中图分类号:Q948 文献标识码:A

Effect of temperature enhancement on community structure and biomass of subalpine meadow in Northwestern Sichuan

SHI Fu-Sun, WU Ning*, LUO Peng

Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5286 ~ 5293.

Abstract: From 2006 to 2007, a total number of 5 open top chamber (OTC) experiments were carried out in the subalpine meadow of northwestern Sichuan province, and the effects of the OTCs on temperature, soil water content, and plant biomass and community structure were examined. In the growing season, the mean soil temperatures at depth of 15cm and of ground surface and the air temperature at 30cm above ground were enhanced by 0.28℃, 0.46℃ and 1.4℃ by the OTC facility, respectively. However, soil water content in OTC was 5.49% lower than that in the control ones. With the warming and drying effect, plant biomass and community structure of the subalpine meadow changed significantly. The grass coverage (19.21%) and biomass (44.07g/m²) in the OTC were significantly higher than those in the control (8.04% and 18.1g/m², respectively), while the forbs coverage (72.8%) and biomass (210.54g/m²) in OTC were significantly

基金项目:国家自然科学基金资助项目 (40671181, 90511008); 国家“十一五”科技支撑计划资助项目 (2006BAC01A11, 2006BAC01A15); 四川省青年基金资助项目 (03ZQ026-043)

收稿日期:2007-12-17; **修订日期:**2008-04-22

作者简介:石福孙 (1977~), 男, 四川茂县人, 博士, 主要从事高山、亚高山植物生态学研究。E-mail: shifs@cib.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wuning@cib.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40671181, 90511008), Chinese Science & Technology Ministry (No. 2006BAC01A15, 2006BAC01A11), and Sichuan Science & Technology Bureau (No. 03ZQ026-043)

Received date:2007-12-17; **Accepted date:**2008-04-22

Biography: SHI Fu-Sun, Ph. D., mainly engaged in alpine and sub-alpine plant ecology. E-mail: shifs@cib.ac.cn

lower than those in the control (83.5% and 244.9 g/m², respectively). Above- and below-ground plant fresh biomass were 265.17 g/m² and 1603.84 g/m² in OTC, respectively, significantly lower than those in the control (272.63 g/m² and 1826.77 g/m², respectively). The distribution pattern of root biomass was also significantly changed by the OTCs. The proportion of root biomass increased at the depth of 0—10 cm soil layer but decreased at the depth of 20—30 cm soil layer, relative to those of the control.

Key Words: Northwestern Sichuan; sub-alpine meadow; open top chamber; temperature enhancement; community structure; biomass

大量监测和模拟研究已表明,由上个世纪开始的全球温室效应在新的世纪正在继续和扩大。由于温室气体排放的增加,在未来 50~100a 间,地球表面温度可能升高 1.4~5.8℃^[1],在高纬度和高海拔地区温度升幅将会更大^[2]。温度控制着生态系统中许多生物和化学反应速率,并起到调节生态系统能量、水和养分流的作用,因此,受低温限制的高寒地区植被系统对气候变暖最为敏感^[3,4]。目前就生长于高寒地区的植物对增温的响应已有大量的研究。Sandvik 等^[5]和 Welker 等^[6]的研究表明,增温能促进植物的生长。Kudo 等^[7]认为,增温对植物生长的影响并不显著。Saavedra 等^[8]则认为增温不利于植物的生长。

增温对植物的影响可分为直接和间接两种作用^[9,10]。首先,增温将直接改变高寒植物的光合能力和生长速率^[11],从而改变植物的物候^[12],并延长植物的生长期^[13]。间接的影响主要包括改变土壤含水量和对营养物质的利用,因此高寒地区植物的生长^[14,15],生物量生产及分配^[16,18],群落演替方向及速度^[19]都将随之发生相应的改变。

青藏高原植被对增温的影响十分敏感^[20]。我国对青藏高原生态系统在全球变暖方面的研究始于 20 世纪 90 年代初期^[21],但研究结论各不相同。王谋等^[22]和李英年^[23]的研究结果表明,气候暖干化导致植被明显的退化,并由此造成高寒草甸生物总量和牧草产量不同程度的减少。张新时^[20]的模拟研究表明,无论是高寒草甸还是高寒草原,其潜在净第一性生产力在增温条件下均呈现不同程度的增加。而 Zhang 等^[24]和周华坤等^[21]在海北对矮嵩草草甸的模拟研究表明,在短期的增温条件下群落的总生物量变化不明显,但增温导致禾草生物量显著增加,而杂草生物量显著减少。本研究采用开顶式生长室(OTC)模拟增温的方法,研究了川西北高寒草甸植物群落的结构、生物量生产及分配对模拟增温的响应,并就增温对高寒草甸影响的直接和间接原因进行了探讨。

1 材料与方法

1.1 研究区域

由于近几十年来人类不合理的开发利用,川西北的草地已呈现出明显的退化趋势。为了从草地管理和社会经济发展角度建立综合而系统的措施,自 2000 年以来,在川西北地区采用围栏措施使大面积的草地处于封育禁牧状态。

本研究地点位于四川省松潘县卡卡沟(32°51'N,103°33'E,海拔 3400m)。区域气候主要受高原大地形影响,冬半年主要受来自北方和高原的冷高压控制,夏半年主要受来自低纬度的西南和东南暖湿气流控制。气温变化快,昼夜温差大。年平均气温为 2.8℃,1 月均温 -7.6℃,7 月均温 11.7℃,无绝对无霜期,年≥10℃积温 428.6℃;年平均降水量 717.7mm,80% 集中在 5~10 月份。植被类型以禾草类植物为主,混生大量杂类草。土壤层较厚,主要是山地暗棕壤,呈酸性,pH 值为 6.2。

1.2 样地设置

在卡卡沟试验基地的围栏草地内(2002 年围栏),选取地势平坦,植被分布相对均一的高寒草甸草地 30m×30m 作为试验样地。2006 年 3 月,在试验样地内随机布设增温样方和对照样方各 5 个(1.5m×1.5m)。开顶式生长室(OTC)使用材料为美国产玻璃纤维,为了减小对降水的影响,同时为了保证足够面积的取样次数,

开顶式生长室为直体结构,底面积和顶面积均为 2.25m^2 ,由于川西北高寒草甸植物个体较高,开顶式生长室的高度为 1.5m 。

采用 AR5 数据采集器,通过在 OTC 内与对照样地设置传感器,以测定 OTC 内与对照样地地下 15cm 的地温、地表温度、地上 30cm 的气温和地下 15cm 土壤相对含水量。在整个生长季内,每隔 30min 测定 1 次。

1.3 取样方法

2007 年 8 月中旬,分别在每个 OTC 内和对照样地内,取 $50 \times 50\text{cm}^2$ 的样方,记录每个样方内的植物种类,然后借助样方框(由 25 个面积为 $10 \times 10\text{cm}^2$ 的方格网组成),目测各物种的频度、盖度,群落的总盖度及禾本科牧草和“双子叶草本植物(以下简称“杂草”)”的分盖度,最后测定样方内各物种的个体数和高度(禾草按株统计分蘖数,高度按 30 次重复的均值计算,如不到 30 次,以全部计算),并收割不同物种的地上活体生物量,同时收集地上立枯和凋落物,地下生物量用直径 10cm 的土钻取 $0 \sim 10\text{cm}$ 、 $10 \sim 20\text{cm}$ 、 $20 \sim 30\text{cm}$ 的土层,每个样方重复 1 次,并立即用网孔为 1mm 的滤网洗尽土壤。将地上和地下样品带回实验室,在 65°C 下烘干至恒重并称量。

2 实验结果

2.1 OTC 内及对照样地温度及湿度的变化

在整个生长季内,地温、地表温度和气温的平均值在 OTC 内分别高出对照样地 0.28 、 0.46°C 和 1.4°C ,这说明本研究所采用的开顶式生长室(OTC)起到了增温的作用。同时,土壤相对含水量在 OTC 内低于对照样地 5.49% (表 1)。

表 1 OTC 内外温度及土壤湿度月间动态

Table 1 Mean soil temperature at 15 cm belowground, soil surface temperature, air temperature and soil relative water content between May and October 2007 in the OTC and the control plot

月份 Month		土壤温度 $T_{\text{soil}}(^{\circ}\text{C})$	地表温度 $T_{\text{surface}}(^{\circ}\text{C})$	气温 $T_{\text{air}}(^{\circ}\text{C})$	土壤相对含水量 Relative water content of soil (%)
5 月 May	温室内 OTC	7.01	7.72	2.83	49.57
	对照 Control	6.82	7.13	1.78	55.76
	温差 Difference	0.19	0.59	1.05	-6.19
6 月 June	温室内 OTC	12.36	12.67	11.02	55.07
	对照 Control	12.04	12.04	7.44	59.51
	温差 Difference	0.32	0.63	3.58	-4.44
7 月 July	温室内 OTC	15.61	15.87	13.96	53.57
	对照 Control	15.32	15.56	12.5	59.65
	温差 Difference	0.29	0.31	1.46	-6.08
8 月 August	温室内 OTC	14.83	15.42	12.84	36.42
	对照 Control	14.65	14.99	12.2	42.93
	温差 Difference	0.18	0.43	0.64	-6.51
9 月 September	温室内 OTC	11.72	12.52	8.48	51.32
	对照 Control	11.43	11.98	7.58	55.65
	温差 Difference	0.29	0.54	0.9	-4.33
10 月 October	温室内 OTC	7.29	7.96	3.27	54.22
	对照 Control	6.9	7.68	2.48	59.62
	温差 Difference	0.39	0.28	0.79	-5.4
平均温度 Average	温室内 OTC	11.47	12.03	8.73	50.03
	对照 Control	11.19	11.56	7.33	55.52
	温差 Difference	0.28	0.46	1.4	-5.49

2.2 OTC 内及对照样地群落种类组成及数量特征变化

经过 1 年多的增温处理后,群落物种组成在 OTC 内部及对照样地并未发生变化,共有 25 个物种,但由于增温及由增温引起土壤含水量减少等因素共同作用的结果,各物种在群落中的地位发生了相应的变化。根据王启基等^[25]重要值 = (相对频度 + 相对盖度 + 相对密度 + 相对株高 + 相对生物量) × 100/5 的划分,增温后,在 OTC 内部有 12 个物种的重要值出现了不同程度的上升,而有 13 个物种则出现了不同程度的下降。其中,鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、遏蓝菜(*Thlaspi arvense*)和微孔草(*Microula sikkimensis*)的重要值下降最为明显,而小米草(*Euphrasia tatarica*)、垂穗披肩草(*Elymus nutans*)、发草(*Deschampsia caespitosa*)和羊茅(*Festuca ovina*)的重要值则出现了明显上升。在对照样地,由鹅绒委陵菜、甘青老鹳草(*Geranium pylzowianum*)、遏蓝菜和蚤缀(*Arenaria serpyllifolia*)占绝对优势的群落物种组成,经增温处理后,演变为由鹅绒委陵菜、蚤缀、甘青老鹳草、小米草、酸模(*Rumex acetosa*)、垂穗披肩草、发草、遏蓝菜和羊茅共同占优的群落物种组成(表 2)。

表 2 OTC 内外高寒草甸植物群落种类组成及特征值

Table 2 The responses of plant species to temperature enhancement in the OTC plot and the control plot

植物种类 Species	相对频度 Relative coverage		相对盖度 Relative frequency		相对密度 Relative density		相对生物量 Relative biomass		相对株高 Relative height		重要值 Importance value	
	温室 OTC	对照 Con.	温室 OTC	对照 Con.	温室 OTC	对照 Con.	温室 OTC	对照 Con.	温室 OTC	对照 Con.	温室 OTC	对照 Con.
增温后,重要值与对照样地相比在 OTC 内增加的物种 The importance value of plant species which increased after temperature enhancement in OTC plot compared to the control plot												
1. <i>Arenaria serpyllifolia</i>	16.21	13.21	11.85	8.94	13.42	11.54	15.42	10.85	4.13	4.05	12.21	9.72
2. <i>Euphrasia tatarica</i>	12.09	3.40	14.34	7.06	13.25	6.85	9.12	2.65	2.46	2.58	10.25	4.51
3. <i>Rumex acetosa</i>	6.29	4.15	4.97	3.76	1.78	2.34	15.70	5.68	8.68	10.20	7.48	5.23
4. <i>Elymus nutans</i>	8.71	3.59	6.12	4.71	7.13	6.04	7.27	2.53	5.70	5.44	6.98	4.46
5. <i>Deschampsia caespitosa</i>	3.99	1.89	2.87	2.12	5.48	4.78	5.06	3.97	8.59	4.36	5.20	3.42
6. <i>Festuca ovina</i>	3.27	1.13	2.49	1.18	2.17	0.72	4.67	0.39	6.88	5.50	3.89	1.78
7. <i>Ranunculus nephelogenes</i>	4.48	0.66	4.59	2.12	5.77	2.80	3.86	1.23	2.13	2.42	4.17	1.84
8. <i>Oxytropis ochrocephala</i>	2.18	0.79	6.50	3.06	5.25	1.89	2.51	0.59	2.06	2.20	3.70	1.71
9. <i>Gentiana rhodantha</i>	0.97	0.19	2.29	0.71	0.87	0.45	0.20	0.05	2.11	2.03	1.29	0.69
10. <i>Artemisia mattfeldii</i>	0.48	0.57	0.19	0.24	0.10	0.27	5.18	3.43	12.50	6.53	3.69	2.21
11. <i>Carum carvi</i>	0.97	0.19	1.72	0.24	0.26	0.09	0.71	0.26	3.67	5.71	1.47	1.30
12. <i>Halenia elliptica</i>	0.97	0.38	1.72	0.71	0.52	0.27	0.40	0.13	2.95	3.84	1.31	1.06
增温后,重要值与对照样地相比在 OTC 内减少的物种 The importance value of plant species which decreased after temperature enhancement in OTC plot compared to the control plot												
13. <i>Potentilla anserina</i>	18.14	37.00	13.19	19.29	15.00	20.56	13.14	23.40	2.13	2.12	12.32	20.47
14. <i>Thlaspi arvense</i>	3.14	10.57	3.63	7.53	1.04	5.32	8.04	23.01	4.61	5.00	4.09	10.29
15. <i>Microula sikkimensis</i>	2.30	2.83	0.96	1.88	0.42	1.44	0.57	9.93	4.45	6.48	1.74	4.51
16. <i>Vicia cracca</i>	2.30	3.02	2.68	5.18	1.98	4.06	1.42	3.07	1.36	2.84	1.95	3.63
17. <i>Leontopodium leontopodioides</i>	0.16	1.15	0.57	1.18	0.16	0.81	0.12	0.19	2.80	3.50	0.76	1.37
18. <i>Elsholtzia densa</i>	0.67	0.94	0.57	0.94	0.13	0.54	1.62	1.99	4.17	5.11	1.43	1.91
19. <i>Pedicularis armata</i>	0.36	0.76	0.76	0.71	0.13	0.81	0.21	0.90	2.47	3.28	0.79	1.29
20. <i>Koenigia islandica</i>	0.96	3.96	0.39	2.82	0.13	3.70	1.33	3.15	0.83	2.74	0.83	3.27
21. <i>Polygonum aviculare</i>	0.12	0.57	0.38	1.88	0.19	1.35	0.13	0.98	0.97	2.54	0.36	1.46
22. <i>Taraxacum mongolicum</i>	0.85	2.45	0.76	1.18	0.16	0.54	0.63	0.41	3.27	4.14	1.14	1.75
23. <i>Geranium pylzowianum</i>	9.43	5.85	15.11	21.65	24.47	22.45	2.71	3.42	1.92	1.40	10.73	10.95
24. <i>Silene jensisensis</i>	0.24	0.38	0.38	0.47	0.10	0.45	0.15	0.25	4.98	6.50	1.17	1.61
25. <i>Mazus japonicus</i>	0.60	0.76	0.76	0.94	0.23	0.54	0.61	0.66	2.62	2.71	0.97	1.12

1. 蚤缀 2. 小米草 3. 酸模 4. 垂穗披肩草 5. 发草 6. 羊茅 7. 云生毛茛 8. 黄花棘豆 9. 红花龙胆 10. 粘毛蒿 11. 葛缕子 12. 椭圆叶花锚 13. 鹅绒委陵菜 14. 遏蓝菜 15. 微孔草 16. 广布野豌豆 17. 火绒草 18. 密花香薷 19. 刺齿马先蒿 20. 冰岛蓼 21. 扁蓄 22. 蒲公英 23. 甘青老鹳草 24. 麦瓶草 25. 通泉草

2.3 OTC 内及对照样地群落结构变化

根据表 3 所示,群落的总盖度经 OTC 的增温处理后,与对照样地相比略有下降,但统计检验不显著($P < 0.05$)。禾草和杂草的分盖度却因 OTC 的增温作用产生了显著差异($P < 0.05$),与对照样地相比较,禾草的分盖度在 OTC 内明显增加,而杂草的分盖度却明显下降。同时,由于 OTC 的增温作用,垂穗披肩草、发草和羊茅的平均高度与对照样地相比,在 OTC 内均显著增高($P < 0.05$),如图 1 所示,其增值分别为 16.91%、120.32% 和 39.72%。

表 3 OTC 内外禾草和杂草盖度及生物量

Table 3 The coverage and biomass of grasses and forbs in the OTC plot and the control plot

样地类型 Type of Sampling	盖度 Coverage (%)			生物量 Biomass (g/m^2)	
	裸地 Bare ground	禾草 Grasses	杂草 Forbs	禾草 Grasses	杂草 Forbs
温室内 OTC	12.2 \pm 4.6a	19.21 \pm 3.5a	72.8 \pm 5.3a	44.07 \pm 6.2	210.54 \pm 10.7
对照 Control	8.3 \pm 3.4a	8.04 \pm 3.6b	83.5 \pm 4.8 b	18.1 \pm 2.5	244.9 \pm 14.1
LSD	NS	*	*	*	*

平均值 \pm SD, $P < 0.05$, $n = 15$

2.4 OTC 内及对照样地地上和地下生物量生长和分配的变化

由于温室的增温作用,OTC 内禾草的地上生物量要大于对照样地的地上生物量,而杂草的地上生物量要小于对照样地的地上生物量,根据统计检验差异均为显著($P < 0.05$)。

增温后,OTC 内的地上鲜体生物量和地下 0~30cm 的根系生物量与对照样地相比较,都出现了不同程度的减少,尽管统计检验并不显著,地上鲜体生物量相对减少了 2.57%,而地下 0~30cm 的根系生物量则相对减少了 12.21% (图 2、图 3)。在本研究取样的 8 月份,OTC 内和对照样地凋落物生物量都较小,对照样地的凋落物生物量略大于 OTC 内部,但统计检验差异并不显著。

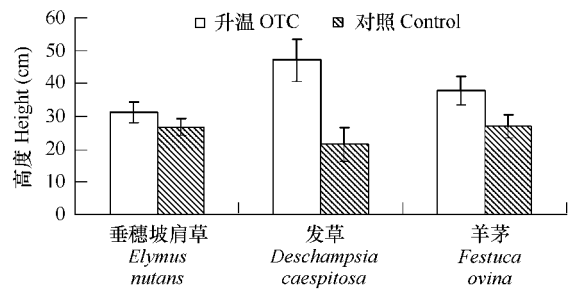


图 1 增温对垂穗披肩草、发草和羊茅高度的影响

Fig. 1 Effect of temperature enhancement on the height of *Elymus nutans*, *Deschampsia caespitosa*, and *Festuca ovina*

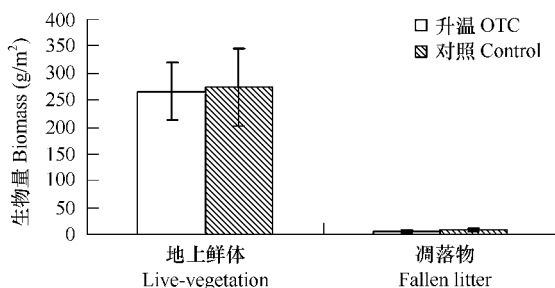


图 2 增温对地上鲜体及凋落物的影响

Fig. 2 Effect of temperature enhancement on the live-vegetation biomass and the fallen litter biomass

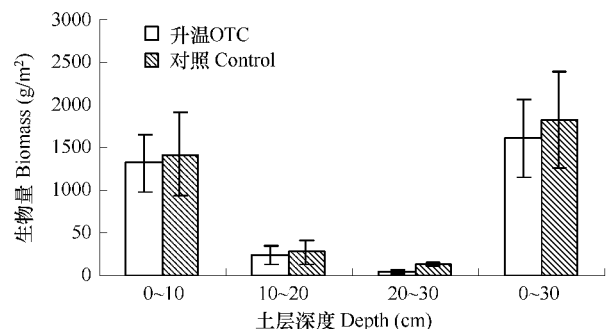


图 3 增温对地下生物量及分配的影响

Fig. 3 Effect of temperature enhancement on the belowground biomass and its distribution

从 0~10cm、10~20cm、20~30cm 土层的地下生物量分布来看,OTC 内的地下生物量均小于对照样地的地下生物量,但统计检验均不显著。就分配比例而言,OTC 内 0~10cm 土层的地下生物量占总地下生物量的

82.05%,其比例大于对照样地的 77.89%,OTC 内与对照样地的地下生物量在 10~20cm 土层分配比例相当,分别为 15.17%和 15.06%,但在 20~30cm 的分配比例中,OTC 内 2.78%的分配比例要小于对照样地的 7.04%。

3 讨论

在本研究中,开顶式生长室(OTC)起到了增温的作用。根据周华坤等^[21]的增温控制试验,增温的原因主要是由于温室的阻挡作用,室内风速降低,空气湍流减弱,使热量不易散失,起了聚热作用。由于温室内与温室外接受的降水量相同,温室内由于热量条件的改善,土壤蒸发和植被的蒸腾作用增强,必然导致土壤含水量的减少^[26~31]。在本研究中,由于开顶式生长室(OTC)的增温作用,直接导致了 OTC 内土壤相对含水量的减少。这与王谋等^[22]的研究结论相一致,即随着全球变暖,青藏高原气候将呈现出暖干化的趋势,气候因素的变异,将成为诱发生态变异的动力。

鹅绒委陵菜、甘青老鹳草、遏蓝菜和蚤缀是对照样地中占绝对优势的物种,在增温处理后,小米草、酸模、垂穗披肩草、发草和羊茅在 OTC 内的重要性显著增加。这是由于开顶式生长室(OTC)的增温作用,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,植物的生长发育受到一定的影响缘故。Alward 等^[32]和 Pauli 等^[33]的研究结果也表明,在全球变暖背景下,对于任一植物群落来说,总有一些物种对增温的响应更为敏感,从而破坏种间竞争关系,引起群落优势种和组成发生改变。

增温后,禾草的盖度及生物量都显著增加,而杂草的盖度和生物量则显著下降。这与 Zhang 等^[24]在北海的研究和 Harte 等^[34]在美国落基山的研究具有相似的结论。这是由于垂穗披肩草、发草和羊茅等物种具有从生理上调控资源分配模式的能力,加之较大的叶面积存在,并分布于不同的高度层^[24,35],在增温条件下,有利于光合速率的增加^[36]和分蘖能力的增强^[37]的缘故。而鹅绒委陵菜、遏蓝菜和微孔草等杂类草为了适应增温和水分胁迫的环境,通常以减少生物量生产为代价。Grime^[38]的研究结果也表明,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。

在本研究中,OTC 内的地上鲜体生物量和地下 0~30cm 的根系生物量与对照样地相比较,都出现了不同程度的减少,这与张新时^[20]的模拟研究具有相反的结论。究其原因,主要与土壤增温后相对含水量明显下降有密切的关系。Melillo 等^[39]认为,增温后土壤含水量的减少或植物呼吸作用的增强,都能导致植物净初级生产力的下降。Dubrovsky 等^[40]的研究表明,土壤表土的干旱,将阻碍表层根系的生长。Edwards 等^[41]则认为,土壤增温会导致根系死亡率的增加,从而减少根系的数量和聚集。Boeck 等^[31]的研究结果也显示,由于增温导致土壤含水量的减少,地上和地下生物量都明显下降,其中,地上生物量下降了 18%,地下根系生物量下降了 23%。

由于 OTC 的增温作用,根系在土壤中的分配也发生了明显的改变。这与 Asseng 等^[18]的论断一致。OTC 内 0~10cm 土层的生物量分配比例增加,究其原因,可能是因为禾草等须根系单子叶植物大量繁殖所致,而 20~30cm 土层生物量分配比例的减少,可能是因为杂草等直根系双子叶植物因增温导致生物量减少所致。

4 结论

通过以上的分析和讨论,可以得出以下主要结论:增温对川西北高寒草甸植物群落结构及生物量生产有显著影响。增温后,直接导致了 OTC 内土壤相对含水量的减少。植物种间竞争关系被破坏,从而引起群落优势种和组成发生改变。OTC 内禾草的地上生物量与对照样地相比显著增加,而杂草的生物量则显著减少。OTC 内地上鲜体生物量和地下 0~30cm 的根系生物量与对照样地相比较,则出现了不同程度的减少。根系在土壤不同层中的分配比例明显改变,OTC 内 0~10cm 土层的生物量分配比例增加,而 20~30cm 土层的生物量分配比例则明显减少。

References:

- [1] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel

- on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [2] Thomas C D, Cameron A, Green R E, Bakkenes M, Beaumont L J, Collingham Y C, Erasmus B F N, de Siqueira M F, Grainger A, Hannah L, Hughes L, Huntley B, van Jaarsveld A S, Midgley G F, Miles L, Ortega-Huerta M A, Peterson A T, Phillips O L, Williams S E. Extinction risk from climate change. *Nature*, 2004, 427: 145 — 148.
- [3] Theurillat J P, Guisan A. Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: A review. *Climatic Change*, 2001, 50: 77 — 109.
- [4] Körner. *Alpine plant life* (1st ed). Berlin, Heidelberg: Springer, 1999.
- [5] Sandvik S M, Heegaard E, Elven R, Vandvik V. Responses of alpine snowbed vegetation to longterm experimental warming. *Ecoscience*, 2004, 11: 150 — 159.
- [6] Welker J M, Molau U, Parsons A N, Robinson C H, Wookey P A. Responses of *dryas octopetala* to ITEx environmental manipulations: A synthesis with circumpolar comparisons. *Global Change Biology*, 1997, 3: 61 — 73.
- [7] Kudo G, Suzuki S. Warming effects on growth, production, and vegetation structure of alpine shrubs: A five-year experiment in northern Japan. *Oecologia*, 2003, 135: 280 — 287.
- [8] Saavedra F, Inouye D W, Price M V, Harte J. Changes in flowering and abundance of *Delphinium nuttallianum* (Ranunculaceae) in response to a subalpine climate warming experiment. *Global Change Biology*, 2003, 9: 885 — 894.
- [9] Jonasson S, Michelsen A, Schmidt I K, Nielsen E V. Responses in microbes and plants to changed temperature, nutrient, and light regimes in the arctic. *Ecology*, 1999, 80: 1828 — 1843.
- [10] Rustad L E, Campbell J L, Marion G M, Norby R J, Mitchell M J, Hartley A E. A metaanalysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. *Oecologia*, 2001, 126: 543 — 562.
- [11] Klanderud K, Totland O. Simulated climate change altered dominance hierarchies and diversity of an alpine biodiversity hotspot. *Ecology*, 2005, 86: 2047 — 2054.
- [12] Walther G R, Beissner S, Burga C A. Trends in the upward shift of alpine plants. *Journal of Vegetation Science*, 2005, 16: 541 — 548.
- [13] Hillier S H, Sutton F, Grime J P. A new technique for experimental manipulation of temperature in plant communities. *Functional Ecology*, 1994, 8: 755 — 762.
- [14] Arft A M, Walker M D, Gurevitch J, Alatalo J M, Bret-Harte M S, Dale M. Responses of tundra plants to experimental warming: Meta-analysis of the international tundra experiment. *Ecological Monographs*, 1999, 69: 491 — 511.
- [15] Henry G H R, Molau U. Tundra plants and climate change: the international tundra experiment (ITEx). *Global Change Biology*, 1997, 3: 1 — 9.
- [16] Spring G M, Priestman G H, Grime J P. A new field technique for elevating carbon dioxide levels in climate change experiments. *Functional Ecology*, 1996, 10: 541 — 545.
- [17] Larcher W. *Physiological Plant Ecology*, fourth eds. Springer-Verlag, Berlin, 2003.
- [18] Asseng S, Ritchie J T, Smucker A J M, Robertson M J. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. *Plant Soil*, 1998, 201: 265 — 273.
- [19] Couteaux M M, Bottner P, Berg B. Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends Ecology Evolution*, 1995, 10(2): 63 — 66.
- [20] Zhang X S. The classified system of vegetation-climate on global change. *Fourth Research*, 2000, 24(5): 547 — 553.
- [21] Zhou H K, Zhou X M, Zhao X Q. A preliminary study of the influence of simulated greenhouse effect on a *Kobresia Humilis* meadow. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 547 — 553.
- [22] Wang M, Li Y, Bai X Z, Huang R Q. The effect of global warming on the grassland resources of inner Tibet Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(3): 331 — 335.
- [23] Li Y N. Simulation of forage yield and stocking rate on alpine grassland in response to warming trend of climate. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 6: 77 — 82.
- [24] Zhang Y Q, Welker J M. Tibetan alpine tundra response to simulated changes in climate: aboveground biomass and community responses. *Arctic and Alpine Research*, 1996, 28(2): 203 — 209.
- [25] Wang Q J, Zhou X M, Zhang Y Q, Shen Z X. Community structure and biomass dynamic of the *Kobresia Pygmaea* steppe meadow. *Acta Phytocologica Sinica*, 1995, 19(3): 225 — 235.
- [26] Shah N H, Paulsen G M. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. *Plant Soil*, 2003, 257: 219 — 226.
- [27] Jamieson N, Barraclough D, Unkovich M, Monaghan R. Soil N dynamics in a natural calcareous grassland under a changing climate. *Biology and Fertility Soils*, 1998, 27: 267 — 273.
- [28] Mitchell J F B, Manabe S, Meleshko V, Tokioka T. Climate change. The IPCC scientific assessment. In: Houghton, J. T, Jenkins, G. J. &

Ephraums, J. J. eds. Cambridge: Cambridge University Press, 1990, 131—172.

- [29] Campbell B D, Stafford Smith D M, McKeon G M. Elevated CO₂ and water supply interactions in grasslands: a pastures and rangelands management perspective. *Global Change Biology*, 1997, 3: 177—188.
- [30] Lemmens C H, Boeck H J, Gielen B, Bossuyt H, Malchair S, Carnol M, Merckx R, Nijs I, Ceulemans R. End-of-season effects of elevated temperature on ecophysiological processes of grassland species at different species richness levels. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 56: 245—254.
- [31] Boeck H J, Lemmens C H, Gielen H, Malchair S, Carnol M, Merckx R, Ceulemans R, Nijs I. Combined effects of climate warming and plant diversity loss on above- and below-ground grassland productivity. *Environmental and Experimental Botany*, 2006, 60: 95—104.
- [32] Alward R D, Detling J K, Milchunas D G. Grassland vegetation changes and nocturnal global warming. *Science*, 1999, 283: 229—231.
- [33] Pauli H, Gottfried M, Grabherr G. High summits of the Alps in a changing climate. 'Fingerprints' of Climate Change-Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges. In: G-R Walther, CA Burga & PJ Edwards, eds. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2001, 139—149.
- [34] Harte J, Shaw R. Shifting dominance within a montane vegetation community: results of a climate-warming experiment. *Science*, 1995, 267: 876—880.
- [35] Walker J M, Brlake D D. Clonal biogogy of the temperature caespitose graminoid *Schizachyrium scoparium*: a synthesis with reference to climate change. *Oikos*, 1992, 56: 357—365.
- [36] Campbell B D, Laing W A, Greer D H, Crush J R, Clark H, Williamson D Y, Given M D J. Variation in grassland populations and species and the implications for community responses to elevated CO₂. *Journal of Biogeography*, 1995, 22: 315—322.
- [37] Briske D D, Bulter J L. Density dependent regulation of ramet populations within the bunchgrass *Schizachyrium scoparium*: interclonal versus interclonal interference. *Journal of Ecology*, 1989, 77: 963—974.
- [38] Grime J P. *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*, second ed. New York: John Wiley and Sons, Ltd., 2001.
- [39] Melillo J M, McGuire A D, Kicklighter D W, Moore B, Vorosmarty C V, Schloss A L. Global climate change and terrestrial net primary production. *Nature*, 1993, 363: 234—240.
- [40] Dubrovsky J G, North G B, Nobel P S. Root growth, developmental changes in the apex, and hydraulic conductivity for *Opuntia ficus-indica* during drought. *New Phytologist*, 1998, 138: 75—82.
- [41] Edwards E J, Benham D G, Marland L A, Fitter A H. Root production is determined by radiation flux in a temperate grassland community. *Global Change Biology*, 2004, 10: 209—227.

参考文献:

- [20] 张新时. 研究全球变化的植被-气候分类系统. *第四纪研究*, 1993, 2: 157~169.
- [21] 周华坤, 周兴民, 赵新全. 模拟增温效应对矮嵩草草甸影响的初步研究. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 547~553.
- [22] 王谋, 李勇, 白宪洲, 黄润秋. 全球变暖对青藏高原腹地草地资源的影响. *自然资源学报*, 2004, 19(3): 331~335.
- [23] 李英年. 高寒草甸牧草产量和草场载畜量模拟研究及对气候变暖的响应. *草业学报*, 2000, 6: 77~82.
- [25] 王启基, 周兴民, 张堰青, 沈振西. 高寒小嵩草草原化草甸植物群落结构特征及其生物量. *植物生态学报*, 1995, 19(3): 225~235.