

# 模拟增温效应对矮嵩草草甸影响的初步研究

周华坤 周兴民 赵新全

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

**摘要** 通过采用国际冻原计划(ITEEX)模拟增温效应对植被影响的方法,研究了矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸的物候、群落结构和地上生物量对温度升高的响应,结果表明:温室内气温、地表温度、土壤表层温度可分别提高1.47℃、1.54℃、1.00℃。组成植物群落的种群物候期可以提前和延迟,植物生长期延长。组成植物群落主要种群的高度、盖度、重要值均有提高,种群结构发生一定变化。地上生物量发生变化,其中禾草增加12.3%,莎草增加1.18%,杂草减少21.13%,总量增加3.53%。

**关键词** 矮嵩草草甸 增温效应 物候 群落结构 地上生物量

## A PRELIMINARY STUDY OF THE INFLUENCE OF SIMULATED GREENHOUSE EFFECT ON A *KOBRESIA HUMILIS* MEADOW

ZHOU Hua-Kun, ZHOU Xing-Min and ZHAO Xin-Quan

(Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining 810001)

**Abstract** The International Tundra Experiment (ITEEX) method was used to examine the influence of simulating greenhouse effect on vegetation. The response of community phenology, community structure and the above-ground biomass to increased temperature was analyzed in a *Kobresia humilis* meadow, with the following results: air temperature, soil surface temperature and the soil temperature in house increased by 1.47℃, 1.54℃ and 1.00℃ respectively over the control plots. Phenological patterns of each plant population commenced earlier and was relatively delayed in the treatment. Additionally, the growing season of plants in the treated community was prolonged and height, coverage and importance value of dominant plant populations also increased. Some changes in the community structure were observed. The above-ground biomass of grass, sedge and forb species increased by 12.3%, 1.18% and -21.13%, respectively, with a total increase of 3.53% over the control plots.

**Key words** *Kobresia humilis* meadow, Greenhouse effect, Phenology, Community structure, Above-ground biomass

当今,全球变化(Global change)、生物多样性(Biodiversity)和可持续发展(Sustainable development)等全球性环境问题为世人瞩目,被称为世界三大环境热点,而其中温室效应和全球气候变化及其对陆地生态系统的影响关系到人类社会经济生活、农林牧业生产、资源和生存环境等重大问题,成为众多科学工作者、各国政府及普通民众共同关注的焦点问题。按大气综合环流模型(GCMs)的预测,下一世纪全球温度将升高1.5~4.5℃(IPCC, 1994),这必将影响植物的生理生态特性,进而对植物的种群、群落、生态系统乃至整个生物圈产生巨大

影响(刘建国,1992)。温室效应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主要问题之一(钟章成,1991;王辉民等,1995;Jackdon & Sala, 1994; Vitousek, 1994)。高海拔、高纬度地带的生态系统对气候变化最敏感(Chapin *et al.*, 1992; Körner, 1992; Grabherr, 1994),成为生态学家研究的热点,John 和 Rebecca(1995)在落基山脉用远红外照射控制环境温度,研究其对生态系统中植物群落结构、生物量、土壤有机质分解等的影响。杨永辉等(1997)利用海拔高度不同造成的温差模拟全球变暖研究了植物群落结构和生物量的影响。Grulke 等

收稿日期:1999-03-17 修订日期:2000-01-13

基金项目:中国科学院“九·五”重大项目(KZ951-A1-204-04-01与KZ95T-04-03)

本论文在完成过程中得到王启基研究员、李英年、赵亮、周党卫、易现峰、姜文波、姜永进等同志和 Julia Klein 博士的帮助,特此致谢。

(1990)和 Drake 等(1992)利用开顶式增温小室(Open-top chambers, OTC)法控制 CO<sub>2</sub>浓度,并使之与温度的变化同步研究了对盐生草甸和冻原地带植被的影响。

高寒草甸(Alpine meadow)是青藏高原和高山寒冷中湿气候的产物,是典型的高原地带性和山地垂直地带性植被(周兴民等,1987)。在高原和高山极端环境影响下所形成的高寒草甸生态系统极其脆弱,对人类干扰和由于温室效应引起的全球气候变化极其敏感,对这些干扰和变化的响应具超前性。我国对青藏高原生态系统在全球变暖方面的研究始于90年代初期,大部分研究是利用 GIS 系统或数学模拟的方法来模拟全球变暖对生态系统所带来的可能影响(张新时,1993;周广胜等,1995;李英年等,1999),而缺乏实验证据。本项研究以广泛分布于青藏高原的矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸为对象,采用国际冻原计划(ITEEX)模拟增温效应对植被影响的方法(Welker *et al.*, 1995),研究了矮嵩草草甸主要植物种群的物候、群落结构和地上生物量的变化规律,以探讨高寒草甸对增温效应的反应,为预测全球气候变化对高寒草甸植被的影响提供科学依据。

## 1 材料与观测方法

### 1.1 样地的设置

研究样地设在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站站区地势平坦、植被分布均匀的矮嵩草草甸上。有关该区的自然条件和植被已有大量报道(周兴民,1982;杨福国,1982),在此不再赘述。样地面积 30 m×30 m,以铁丝网围栏做保护。样地内随机设置 2×4 个样圆,分 2 种处理:温室(罩开顶式增温小室)和对照,4 次重复。使用材料为美国产玻璃纤维,制成圆台形开顶式小室,基面积 1.66 m<sup>2</sup>,顶面积 0.77 m<sup>2</sup>,高度 0.4 m。

1997 年 8~9 月选择样地并设置小型温室,1998 年 4~10 月植物生长季进行野外观察和有关参数的测定。

### 1.2 温度和其他微气候因子的测定

每月上、中、下旬各选择 3 个晴天,10:00~18:00 每 2 h 时测 1 次温度。在距地表 5 cm、10 cm、20 cm 处分别架设温度计,遮阳伞遮挡阳光照射,获取气温;用地表温度计测地表温度;用曲管地温计测定 5 cm、10 cm、15 cm 和 20 cm 的地温。上述仪器在温室、对照样圆内分别设置,同时测定。近地表层(0~40 cm)

的湿度(用阿斯曼通风干湿表)、风速(用 DEM6 型三杯风向风速表)、太阳辐射(用 Li-188B 型光辐射仪)也一并测定。

### 1.3 物候观测

在增温小室内外各选择矮嵩草草甸的建群种和主要伴生种 19 种,每种植物定株标记 20 株,自 4 月初开始,3~5 d 观测 1 次。以 10% 的该种植物样株的物候变化比率划分每一物候期的始期,统计出每种植物各物候期的延续天数。

### 1.4 群落结构

在植物生长盛期(8 月)分别统计增温小室内外各种群的盖度、密度、高度和频度,各选随机样方 16 个(25 cm×25 cm),其中分盖度用目测法,禾草、莎草按株统计分蘖枝,高度按 20 次重复的均值计。

### 1.5 地上生物量

在植物生长末期(9 月下旬)齐地面剪草,样方大小 25 cm×25 cm,温室、对照各重复 8 次,按不同种分开,80 °C 的恒温箱中烘干至恒重,并称重、归类。

## 2 结果分析与讨论

### 2.1 温度变化

增温小室内的气温、地表温度与地温比对照平均提高 1 °C 以上(表 1),而月间增温幅度不一致,呈现一定的季节性变化规律,如 5~20 cm 的地温温差在 5、6 月小,8 月最大,4~5 月间,土壤处在冻结状态,解冻需吸收大量热量,因而温差较小。5~20 cm 的气温温差在春季较大,以后随时间进程而减小。温差不仅有季节性变化,而且在不同高度(或不同深度)也有所不同,从地表到一定深度,温差逐渐降低;从地表到一定高度,温差较不规则,但总的来讲是逐渐降低的。本模拟试验导致的增温量在高海拔的西欧过去 15 年内报道的温度升高的范围内(Rozanski, 1992),并在苔原生境下未来 50 年大气 CO<sub>2</sub>浓度倍增所预测的温度升高的范围内(Maxwell, 1992),并达到显著水平( $p < 0.05, n = 18$ ),说明模拟增温效应比较理想。其他微气候因子测定结果表明增温小室内外的空气湿度、太阳水平总辐射差异不显著( $p > 0.05, n = 18$ ),而小室外的风速明显高于其内部( $p < 0.001, n = 18$ ),正因为温室的阻挡作用,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,加之玻璃纤维被太阳辐射中红外线穿透的能力较好(Edward & Stephen., 1993),所以温室内温度提高成为了必然。

表1 温室内外温度月间动态  
Table 1 The variation of temperature monthly in growing season (°C)

		地温 Soil temperature				气温 Air temperature				地表温度 Soil surface temperature	
		5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	平均值 Average value	5 cm	10 cm	20 cm	平均值 Average value	0 cm
4月 April	对照 Control	4.28	2.85	1.97	1.35	2.61	11.01	10.81	11.18	11.00	10.04
	温室 Green house	5.13	3.80	2.27	1.66	3.22	12.24	12.75	12.93	12.64	13.75
	温差 Difference in temperature	0.85	0.95	0.30	0.31	0.61	1.23	1.94	1.75	1.64	3.71
5月 May	对照 Control	8.28	7.44	6.84	6.37	7.23	10.40	10.18	10.30	10.29	11.65
	温室 Green house	8.99	7.92	6.84	6.24	7.50	12.34	12.25	12.17	12.25	13.51
	温差 Difference in temperature	0.71	0.48	0.00	-0.13	0.27	1.94	2.07	1.87	1.96	1.86
6月 June	对照 Control	11.41	10.46	9.95	9.47	10.32	13.62	13.40	13.45	13.49	13.41
	温室 Green house	12.36	11.02	9.98	9.45	10.70	15.09	15.55	14.83	15.16	15.43
	温差 Difference in temperature	0.95	0.56	0.03	-0.02	0.38	1.47	2.15	1.38	1.67	2.02
7月 July	对照 Control	13.13	12.34	12.66	11.79	12.48	20.41	19.94	19.59	19.98	21.93
	温室 Green house	14.26	13.74	12.97	12.36	13.33	23.16	21.01	20.84	21.67	22.20
	温差 Difference in temperature	1.13	1.40	0.21	0.57	0.85	2.75	1.07	1.25	1.69	0.27
8月 August	对照 Control	12.35	11.19	11.93	11.90	12.04	17.30	16.98	16.54	16.94	17.89
	温室 Green house	14.88	14.64	13.96	13.33	14.20	18.44	18.04	17.87	18.12	18.62
	温差 Difference in temperature	2.53	2.65	1.93	1.43	2.18	1.14	1.06	1.33	1.18	0.93
9月 September	对照 Control	9.84	9.70	9.78	9.91	9.81	12.58	12.50	12.73	12.60	12.59
	温室 Green house	12.64	11.59	11.09	10.76	11.52	13.21	13.12	13.48	13.27	13.17
	温差 Difference in temperature	2.80	1.89	1.21	0.85	1.71	0.63	0.62	0.75	0.67	0.58
平均值±标准差 Average value ± standard division	对照 Control	9.88	9.13	8.86	8.47	9.08	14.22	13.97	13.97	14.05	14.58
	温室 Green house	11.38	10.45	9.52	8.97	10.08	15.75	15.45	15.35	15.52	16.12
	温差 Difference in temperature	1.50	1.50	0.66	0.50	1.00	1.53	1.48	1.38	1.47	1.54
T 检验	T-test	n=18	n=18	n=18	n=18	n=18	n=18	n=18	n=18	n=18	n=18
		t=4.576	t=5.382	t=2.722	t=2.766	t=4.302	t=3.776	t=5.124	t=4.217	t=4.633	t=2.534
		p<0.01	p<0.01	p<0.05	p<0.05	p<0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.01	p<0.05

温差=温室-对照 The difference in temperature is the one that the temperature of green house minus that of control plots

## 2.2 对物候的影响

增温效应对矮嵩草草甸建群种和主要伴生种的生长发育具有明显的影响(表2),由表2看出,温室内植物种群生长期平均延长4.95 d。各物候期的始期提前,而末期推迟,其中结果期、始期提前最多,达2.84 d。果后营养末期延迟最多,达5.74 d。花蕾期的始期、末期均延迟,但延迟天数甚少。花期的始期

延迟,末期提前,这与植物在孕蕾开花阶段生理方面的光周期反应(Hillmann, 1976; Zeewart, 1976)有关。增温小室的设置或多或少影响了日照时数及牧草对光能的获取。

## 2.3 对群落结构的影响

增温小室改善了植物群落的小气候环境,一定程度上满足了植物对热量的需求,有利于植物的生

表2 矮嵩草草甸物候期始期、末期的变化

Table 2 The variation of the beginning time and the ending time of phenological phase in *Kobresia humilis* meadow

物候期 Phenological phase	始期 The beginning time	末期 The ending time
营养期 Vegetative phase	+0.37	-2.42**
花蕾期 Preflowering bud phase	-0.84*	-0.16*
花期 Florescence phase	-1.47**	+1.26**
结果期 Fruit-bearing phase	+2.84**	-0.42
果后营养期 Vegetative phase after fruit bearing	+0.37	-5.74**
枯黄期 Withering phase	+0.89*	-3.00*
生长期 Growing phase	+0.37*	-4.58**

上述数据为矮嵩草草甸19个植物种群的统计平均值,单位为天。都是温室处理对对照而言,“+”表示提前天数,“-”表示延迟天数。“\*”表示差异显著( $p < 0.05$ ),“\*\*”表示差异极显著( $p < 0.01$ )。The data discussed above is the statistical average value of 19 plant populations in *Kobresia humilis* meadow, unit: day, and all is green house plots compared with control ones. “+” means to be earlier, and “-” means to be delayed. “\*” means to be significant difference ( $p < 0.05$ ), and “\*\*” means to be the most significant difference ( $p < 0.01$ )

长和发育,对群落结构产生一定的影响(表3)。由表3可以看出,种群的高度整体上有所增加( $p < 0.05$ ,  $n = 16$ ),密度大多数种有增加,而苔草(*Carex* sp.)、双叉细柄茅(*Ptilagrostis dichotoma*)、雪白萎陵菜(*Potentilla nivea*)等的密度有所减小,这与3种植物的生态特征有关,苔草和雪白萎陵菜属阳性植物,当其他植物高度与密度增加,他们处在群落下层,阴湿环境影响了他们的生长与发育,而双叉细柄茅属疏丛性植物,当其他植物密度增加时,他的分蘖受到抑制,数量便相对减少。建群种及其主要伴生种如矮嵩草、早熟禾(*Poa* sp.)、紫羊茅(*Festuca rubra*)、甘肃棘豆(*Oxytropis kansuensis*)、异叶米口袋(*Gueldendstaedtia diversifolia*)等的盖度均有所增加,而其他伴生种的盖度则减少。

物种重要值和综合优势比是度量群落水平反应的综合数量指标(姜恕等,1986),采用如下公式:

$$IV = (RC + RF + RH + RD) \times 100/4 \quad (1)$$

其中  $IV$  为重要值,  $RC$  为相对盖度,  $RF$  为相对频度,  $RH$  为相对高度,  $RD$  为相对密度。

$$SDR4 = (\text{高度比} + \text{盖度比} + \text{频度比} + \text{密度比}) /$$

$$4 \times 100\%$$

(2)

$SDR4$ 为四因素的综合优势比。

由表3看出,苔草、落草(*Koeleria cristata*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)、麻花苳(*Gentiana straminea*)、美丽风毛菊(*Saussurea superba*)等16种植物的重要值和综合优势比下降,其他种则上升,这些变化对群落结构发生了一定的影响,而温室与对照间差异不显著( $p > 0.05$ ,  $n = 16$ )。总的看来,矮嵩草草甸的成层结构未发生太大变化,仍为两层,上层以禾草为主,高25~50 cm,下层以莎草科植物和杂类草为主,高5~20 cm,增温效应使群落上下层结构的高度较对照有所提高,建群种和主要伴生种在群落内的作用增强。

#### 2.4 对地上生物量的影响

如前所述,增温小室可提高温度1.00℃以上,使组成群落的物种高度、密度和重要值有所提高,从而影响到矮嵩草草甸群落的地上生物量(表4、表5)。

由表4看出,增温效应下,莎草中苔草生物量降低,二柱头藨草(*Scirpus distigmaticus*)和矮嵩草的生物量有所提高,差异不显著( $p > 0.05$ ,  $n = 8$ );禾草中除了垂穗披碱草有所降低外,其他均有所上升,差异大多显著( $p < 0.05$ ,  $n = 8$ );杂草中棘豆(*Oxytropis* sp.)、异叶米口袋、花苜蓿(*Trigonella ruthenica*)等的生物量有所上升,其他杂草生物量大多降低,除矮火绒草(*Leontopodium nanum*)、兰石草(*Lancea tibetica*)、藤苓草(*Morina chinensis*)、花苜蓿、银莲花(*Anemone obtusiloba*)的生物量变化差异不显著( $p > 0.05$ ,  $n = 8$ )外,其他杂类草的生物量变化差异均达显著水平( $p < 0.05$ ,  $n = 8$ )。矮嵩草草甸主要种群地上生物量的这种变化状况(表4)决定了表5中各类草地上生物量的增减趋势。

增温条件下,矮嵩草草甸植物的生长期被延长(表2),植物群落的衰退期亦被延迟,这有助于矮嵩草草甸获得更高的生物量,其中,禾草地上生物量增加了12.30%,莎草增加了1.18%,杂草减少了21.13%,总量增加了3.53%(表5),各类草的增减趋势与Zhang和Welker(1996)的试验结果一致。禾草是青藏高原东部高寒草甸的建群种(周兴民等,1987),在增温和保护条件下,其分蘖能力的增强(Briske & Bulter, 1989)和资源分配模式的改变(Welker & Briske, 1992)延长了对土壤元素的获得时期,其地上生物量增加较多;而莎草科的嵩草及其苔草较禾草耐阴,当禾草植物占据群落上层时,形成

表 3 矮嵩草草甸群落的种群数量特征  
Table 3 Population's quantitative characters of *Kobresia humilis* meadow

种名 Species name	高度 Height(cm)		盖度 Coverage(%)		密度 Density (unit·625cm <sup>-2</sup> )		频度 Frequency		重要值 Importance value		综合优势比(%) Summed dominated rate	
	对照 Control	温室 Green house	对照 Control	温室 Green house	对照 Control	温室 Green house	对照 Control	温室 Green house	对照 Control	温室 Green house	对照 Control	温室 Green house
1. <i>Kobresia humilis</i>	10.9	11.7	6.69	8.69	25.13	38.63	1.00	1.00	5.10	6.42	53.68	61.65
2. <i>Scirpus distigmaticus</i>	11.5	14.3	3.68	3.86	66.63	68.63	1.00	1.00	6.87	7.01	60.21	61.30
3. <i>Carex</i> sp.	28.5	31.7	1.20	0.74	4.00	2.00	0.88	0.75	2.99	2.50	44.10	38.55
4. <i>Koeleria cristata</i>	30.1	31.0	0.03	0.04	0.13	0.13	0.13	0.13	1.63	1.45	22.76	20.47
5. <i>Ptilagrostis concinna</i>	27.7	35.6	0.01	0.11	0.25	0.69	0.13	0.13	1.52	1.84	21.21	26.47
6. <i>Elymus mutans</i>	38.5	45.0	7.44	5.33	45.13	29.00	1.00	1.00	7.89	6.28	79.18	70.04
7. <i>Festuca ovina</i>	22.2	28.0	6.85	6.55	44.5	47.50	0.88	0.88	6.75	6.91	64.04	65.50
8. <i>Poa</i> sp.	28.5	35.1	7.80	8.60	43.38	50.50	1.00	1.00	7.40	8.10	72.92	77.91
9. <i>Stipa aliena</i>	27.3	32.0	11.9	11.48	83.25	86.00	1.00	1.00	10.34	10.36	92.73	92.78
10. <i>Festuca rubra</i>	35.0	42.5	3.58	3.95	10.5	11.50	1.00	1.00	4.51	4.71	58.40	60.56
11. <i>Ptilagrostis dichotoma</i>	25.0	33.8	0.2	0.11	0.75	0.31	0.13	0.13	1.47	1.60	20.00	22.23
12. <i>Gentiana straminea</i>	14.7	13.5	3.23	3.63	3.13	3.25	1.00	0.88	4.66	2.99	54.28	41.11
13. <i>Saussurea superba</i>	4.7	4.8	6.04	4.18	5.25	4.38	1.00	1.00	3.39	2.75	42.32	37.88
14. <i>Leontopodium nanum</i>	1.6	1.6	0.44	0.41	2.13	2.00	0.63	0.63	1.06	1.00	18.23	17.99
15. <i>Ranunculus pulchellus</i>	9.5	11.2	0.16	0.14	0.75	0.63	0.50	0.50	1.14	1.10	19.23	19.20
16. <i>Thalictrum alpinum</i>	4.4	5.7	2.64	2.15	11.75	8.50	0.75	0.75	2.54	2.20	30.68	29.07
17. <i>Lancea tibetica</i>	2.2	2.5	2.03	1.88	4.38	4.00	0.88	0.88	1.96	1.86	28.88	28.52
18. <i>Oxytropis kansuensis</i>	13.4	17.5	1.51	3.59	1.75	2.88	0.63	1.00	1.91	3.04	28.02	43.38
19. <i>Oxytropis ochrantha</i>	12.5	17.7	1.94	1.91	3.88	3.38	0.88	0.75	2.40	2.32	35.23	33.73
20. <i>Gentiana farreri</i>	9.5	11.5	0.89	1.05	2.50	2.50	0.50	0.50	1.45	1.49	21.29	21.90
21. <i>Gentiana aristata</i>	7.8	7.5	0.3	0.30	1.13	0.88	0.25	0.25	0.82	0.73	12.28	11.33
22. <i>Gueldenstaedtia diversifolia</i>	6.4	8.5	4.8	6.78	6.88	10.63	0.88	1.00	3.08	4.04	38.18	47.58
23. <i>Morina chinensis</i>	10.1	12.3	1.00	0.98	1.00	1.38	0.13	0.13	0.98	1.02	12.08	12.49
24. <i>Anemone obtusiloba</i>	5.7	6.5	0.2	0.60	0.25	0.63	0.25	0.38	0.64	0.90	10.45	14.48
25. <i>Taraxacum</i> sp.	12.1	12.5	1.16	1.55	2.13	2.75	0.88	0.88	2.06	2.11	32.81	33.00
26. <i>Potentilla bifurca</i>	7.8	6.8	0.09	0.40	0.13	0.88	0.13	0.63	0.56	1.15	8.41	20.53
27. <i>Potentilla anserina</i>	8.5	8.8	0.41	0.61	0.38	0.38	0.25	0.25	0.84	0.84	12.74	12.58
28. <i>Potentilla nivea</i>	7.1	7.5	2.04	1.61	2.88	2.00	0.88	0.88	2.11	1.87	31.64	30.13
29. <i>Pedicularis kansuensis</i>	8.0	8.7	0.06	0.03	0.25	0.13	0.13	0.13	0.57	0.52	8.53	8.05
30. <i>Geranium pylzowianum</i>	2.3	2.4	0.18	0.08	0.75	0.50	0.50	0.38	0.79	0.57	14.60	11.02
31. <i>Trigonella ruthenica</i>	8.5	10.0	5.99	5.69	21.75	18.50	1.00	1.00	4.58	4.27	49.64	48.32
32. <i>Aster</i> sp.	7.2	9.8	0.11	0.19	0.13	0.25	0.13	0.13	0.54	0.62	8.08	9.05
33. <i>Swertia tetraptera</i>	7.0	7.5	0.14	0.05	0.38	0.13	0.25	0.13	0.69	0.48	11.20	7.44
34. <i>Galium aparine</i>	3.6	3.7	0.13	0.50	1.00	2.25	0.50	0.63	0.85	1.13	15.40	19.42
35. <i>Thalictrum alpinum</i> L. var. <i>elatum</i>	13.0	16.2	0.15	0.13	0.50	0.38	0.13	0.13	0.85	0.88	12.03	12.51
平均值 Average value	13.48	15.72	2.38	2.33	10.63	10.74	0.57	0.59	2.63	2.65	31.08	31.77
统计检验 Statistic test	$p < 0.05, n=16$		$p > 0.05, n=16$		$p > 0.05, n=16$		$p > 0.05, n=16$		$p > 0.05, n=16$		$p > 0.05, n=16$	

1. 矮嵩草 2. 二柱头蕪草 3. 苔草 4. 落草 5. 致细柄茅 6. 垂穗披碱草 7. 羊茅 8. 早熟禾 9. 异针茅 10. 紫羊茅 11. 双叉细柄茅 12. 麻花苻 13. 美丽风毛菊 14. 矮火绒草 15. 雅毛茛 16. 高山唐松草 17. 兰石草 18. 甘肃棘豆 19. 黄花棘豆 20. 线叶龙胆 21. 尖叶龙胆 22. 异叶米口袋 23. 藤苓草 24. 银莲花 25. 薄公英 26. 二裂萎陵菜 27. 鹅绒萎陵菜 28. 雪白萎陵菜 29. 甘肃马先蒿 30. 甘肃老鹳草 31. 花苜蓿 32. 紫菀 33. 獐牙菜 34. 回叶葎 35. 直立梗高山唐松草

表 4 矮嵩草草甸主要植物种群的地上生物量

Table 4 The above-ground biomass of main plant populations in *Kobresia humilis* meadow(g/(0.25 m×0.25 m))

	矮嵩草 <sup>1)</sup>	二柱头 藜草 <sup>2)</sup>	苔草 <sup>3)</sup>	垂穗披 碱草 <sup>6)</sup>	羊茅 <sup>7)</sup>	早熟禾 <sup>8)</sup>	针茅 <sup>36)</sup>	紫羊茅 <sup>10)</sup>	麻花苻 <sup>12)</sup>	美丽风 毛菊 <sup>13)</sup>	矮火 绒草 <sup>14)</sup>
对照 Control	1.64	1.06	0.35	3.21	4.25	0.81	7.75	0.10	2.11	0.52	0.040
温室 Green house	1.77	1.21	0.10	1.79	6.14	0.91	8.67	0.57	1.98	0.12	0.028
统计检验	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$
Statistic test	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$
	高山唐 松草 <sup>16)</sup>	兰石草 <sup>17)</sup>	棘豆 <sup>37)</sup>	线叶 龙胆 <sup>20)</sup>	异叶米 口袋 <sup>22)</sup>	蔞苓草 <sup>23)</sup>	银莲花 <sup>24)</sup>	蒲公英 <sup>25)</sup>	二裂萎 陵菜 <sup>26)</sup>	雪白萎 陵菜 <sup>28)</sup>	花苜蓿 <sup>31)</sup>
对照 Control	0.15	0.059	0.51	0.52	0.40	0.13	0.020	0.10	0.023	0.098	0.35
温室 Green house	0.06	0.053	0.66	0.015	0.56	0.084	0.014	0.072	0.006	0.059	0.40
统计检验	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$p > 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p < 0.05$	$p > 0.05$
Statistic test	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$

1)、2)、3)、6)、7)、8)、10)、12)、13)、14)、16)、17)、20)、22)、23)、24)、25)、26)、28)、31) : 同表3 See Table 3 36) : *Stipa* spp. 37) *Oxytropis* sp.

表 5 生长季末的地上生物量

Table 5 The biomass of above-ground at the end of growing season(g/(0.25 m×0.25 m))

	禾草 Grass	莎草 Sedge	杂草 Forb	总量 Total yield
对照 Control	16.13	3.047	5.452	24.63
温室 Green house	18.12	3.083	4.300	25.50
(温室-对照)/对照 (Green house-Control) /Control	12.30%	1.18%	-21.13%	3.53%
统计检验	$p < 0.05$	$p > 0.05$	$P < 0.05$	$p > 0.05$
Statistic test	$n=8$	$n=8$	$n=8$	$n=8$

郁闭的环境,他们成为群落下层,同时,莎草一般为短根茎地下芽植物,与禾草竞争吸收氮素的能力不高(Black *et al.*, 1994),所以莎草地上生物量增加较少。杂类草则由于禾草和莎草与之过分竞争了光照和养分,生长受抑制,使生物量减少。禾草量增加,杂草量减少,莎草量增加很少,正是这种缓冲作用,使群落地上生物量增加仅3.53%。引起禾草、莎草和杂类草地上生物量分化的主要原因是各类牧草的生物学特性及其对资源利用的差异,当然,除主要受温度影响以外,其他环境因子或多或少的改变对其也有影响(Stuart & Shaver, 1985),其影响程度到底如何,还需要进一步研究加以揭示。

最后应强调说明:由于本研究仅为1年的数据,很难作出长期预测,但仍可以看出温度升高对矮嵩草草甸的物候、群落结构和地上生物量的变化产生了一定的影响。

## 参 考 文 献

- Black, R. A., J. R. Richard & J. H. Manwaring. 1994. Nutrient uptake from enriched microsites by three great basin perennials. *Ecology*, **75**:110~122.
- Briske, D. D. & J. L. Bulter. 1989. Density dependent regulation of ramet populations within the bunchgrass *Schizachyrium scoparium*: interclonal versus interclonal interference. *Journal of Ecology*, **77**:963~974.
- Chapin, F. S., R. L. Jefferies, J. F. Reynolds & J. Svoboda. 1992. Arctic plant physiological ecology in an ecosystem context. In: Chapin, F. S., R. L. Jefferies, J. F. Reynolds, G. R. Shaver & J. Svoboda eds. Arctic ecosystems in a changing climate: an ecophysiological perspective. San Diego: Academic Press. 441~452.
- Drake, B. G., P. W. Leadly & W. J. Arp. 1989. An open chamber for field studies of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on salt marsh vegetation. *Functional Ecology*, **3**:363~371.
- Edward, M. D. & F. M. Stephen. 1993. Design of greenhouse for the manipulation of temperature in tundra plant communities. *Arctic and Alpine Research*, **25**:56~62.
- Grabherr, G., M. Gottfried & H. Pauli. 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature*, **369**:448~450.
- Grulke, N. E., G. H. Riechers & W. C. Oechel. 1990. Carbon balance in tussock tundra under ambient and elevated atmospheric CO<sub>2</sub>. *Oecologia*, **83**:485~494.
- Hillmann, W. S. 1976. Biological rhythms and physiological timing. *Annual Review of Plant Physiology*, **27**:159~179.
- IPCC. 1994. Climate change 1994: radiative forcing of climate change intergovernment panel on climate change. London: Cambridge University Press.
- Jackdon, R. B. & O. E. Sala. 1994. CO<sub>2</sub> alters water use, carbon gain, and yield for the dominant species in a natural grassland. *Oecologia*, **98**:257~262.
- Jiang, S. (姜想), B. Li (李博) & Q. J. Wang (王启基). 1986. The

- researching method of grassland ecology. Beijing: China Agriculture Press. 15~22. (in Chinese)
- John, H. & S. Rebecca. 1995. Shifting dominance within a montane vegetation community: results of a climate warming experiment. *Science*, **27**: 876~880.
- Korner, Ch. 1992. Response of alpine vegetation to global climate change. In: International conference on landscape ecological impact of climate change. Lunteren, The Netherlands; Catena Verlag. **22**: 85~96.
- Liu, J. G. (刘建国). 1992. Impacts of the rising CO<sub>2</sub> concentration and global warming on six biological levels; a review. In: Liu, J. G. (刘建国) & R. S. Wang (王如松) eds. Advance in modern ecology. Beijing: Chinese Science and Technology Press. 369~380. (in Chinese)
- Li, Y. N. (李英年) & Q. J. Wang (王启基). 1999. The influence of climate warming to Qinghai agriculture productive patterns. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica* (西北农业学报), **8**: 102~107. (in Chinese)
- Maxwell, B. 1992. Arctic climate: potential for change under global warming. In: Chapin, F. S., R. L. Jefferies, J. F. Reynolds, G. R. Shaver & J. Svoboda eds. Arctic ecosystem in a changing climate; an ecophysiological perspective. San Diego: Academic Press. 11~14.
- Rozanski, K. 1992. Relation between long-term trends of oxygen-18 isotope composition of precipitation and climate. *Science*, **258**: 981~985.
- Stuart, F. C. III. & G. R. Shaver. 1985. Individualistic growth response of tundra plant species to environmental manipulations in the field. *Ecology*, **66**: 564~576.
- Vitousek, P. M. 1994. Beyond global warming; ecology and global change. *Ecology*, **75**: 1861~1876.
- Wang, H. M. (王辉民), G. S. Zhou (周广胜) & X. R. Xing (邢雪荣). 1995. The net primary productivity and its response to climate change of China pine forestry. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), **12**: 102~108. (in Chinese)
- Welker, J. M. & D. D. Briske. 1992. Clonal biology of the temperate caespitose graminoid *Schizachyrium scoparium*: a synthesis with reference to climate change. *Oikos*, **56**: 357~365.
- Welker, J. M., J. Svoboda, G. Henry, U. Molau, A. N. Parsons, & P. A. Wooley. 1995. Response of two *Dryas* species to ITEX environmental manipulations; a synthesis with circumpolar comparisons. In: Proceedings from the sixth international tundra experiment (ITEX). Abstract. Ottawa, Canada. April 1995.
- Yang, F. T. (杨福圃). 1982. A general view of the natural geography in the region of the research station of alpine meadow ecosystem; a review. In: Xia, W. P. (夏武平) ed. Alpine meadow ecosystem (Fasc. 1). Lanzhou: Gansu People's Press. 1~8. (in Chinese)
- Yang, Y. H. (杨永辉), A. F. Harrison & P. Ineson. 1997. Biomass response to a simulated global warming by changing of elevation and fertilizer addition in upland grassland. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **21**: 234~241. (in Chinese)
- Zeewart, J. A. D. 1976. Physiology of flower formation. *Annual Review of Plant Physiology*, **27**: 321~348.
- Zhang, X. S. (张新时). 1993. The classified system of vegetation-climate on global change. Fourth. Research (第四纪研究), **2**: 157~169. (in Chinese)
- Zhang, Y. Q. & J. M. Welker. 1996. Tibetan alpine tundra response to simulated changes in climate; aboveground biomass and community responses. *Arctic and Alpine Research*, **28**: 203~209.
- Zhong, Z. C. (钟章成). 1991. Forestry vegetation and greenhouse effect. The advance of ecological research. Beijing: Chinese Science and Technology Press. 20~22. (in Chinese)
- Zhou, G. S. (周广胜) & X. S. Zhang (张新时). 1995. A NPP model of natural vegetation. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **19**: 193~200. (in Chinese)
- Zhou, X. M. (周兴民). 1982. The principal vegetation types and their geographical distribution at the Haibei Research Station of Alpine Meadow Ecosystem; a review. In: Xia, W. P. (夏武平) ed. Alpine meadow ecosystem (Fasc. 1). Lanzhou: Gansu People's Press. 9~18. (in Chinese)
- Zhou, X. M. (周兴民), Z. B. Wang (王质彬) & Q. Du (杜庆). 1987. Qinghai vegetation. Xining: Qinghai People's Press. (in Chinese)

责任编辑:孙冬花