

文章编号: 1007-0435(2004)03-0236-04

# 5年模拟增温后矮嵩草草甸群落结构及生产量的变化

李英年, 赵亮, 赵新全, 周华坤

(中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001)

**摘要:** 5年模拟增温后观察表明, 植物生长期4~9月暖室内10 cm、20 cm 地下土壤平均增温1.86, 10 cm、20 cm 地上空气平均增温1.15, 地表0 cm 平均增温1.87, 且增温在植物生长初期大于生长末期及枯黄期。在模拟增温初期年生物量比对照高, 增温5年后生物量反而有所下降。增温使禾草类植物种增加, 杂草减少。从表面来看, 增温可使植物生长期延长, 利于增大生物量, 实际受热效应作用, 植物发育生长速率加快, 植物成熟过程提早, 生长期反而缩短, 加之玻璃纤维的存在使暖室内外温度交换减缓, 减少了温度日变化, 限制干物质积累, 终久导致生物量减少。这说明小气候的作用, 环境条件诱发土壤结构变化, 植被的种群结构也随之改变, 甚至出现演替的过程, 全球变暖不仅对植物的生物生产力影响较大, 而且对植被类型的演替有着不可忽视的作用。

**关键词:** 草原学; 模拟增温; 矮嵩草草甸; 暖室; 群落结构

中图分类号: S812; Q 948

文献标识码: A

## Effects of a 5-years m i n i c Temperature Increase to the structure and productivity of kobresia hum ilis meadow

LI Ying-nian, ZHAO Liang, ZHAO Xin-quan, ZHOU Hua-kun

(Institute of Biology of Northw estern Plateau, Chinese A cademy of Science, Xining, Qinghai Province 810001, China)

**Abstract:** A m i n i c 5-year temperature increased in a greenhouse raised the soil temperature of 10 and 20 cm depth 1.86 higher than that in the open, the 10 and 20 cm above ground air temperature 1.15 higher, and the soil surface temperature 1.87 higher than that in the open respectively. The extent of temperature increase was generally greater in the early plant grow ing season than in the later stage and the plant w ithering period. The result showed that in the first few years of the 5-year experiment, the yearly biomass from the greenhouse is weightier than that of the control in the open. However, after the 5-year period, the yearly biomass from the greenhouse decreased and became less than of the control. Though higher temperature increased the number of grass species, prevented weeds from teen ing the land, and apparently extended the plant grow ing period, and raised the biomass, the heat accelerated the growth and maturing of plants, thus shortening the grow ing period actually. Moreover, the glass of the greenhouse retarded the fluctuation of temperature of day-time and the night time, and restricted the accumulation of dry matter. all this leads to the decrease of biomass in the greenhouse. The micro-clim atic change of soil structure which also changes the structure of the plant species and leads to the species succession process. Consequently, globalw am ing not only affects the plant productivity, but the succession of plant types as well.

**Key words:** Grassland science; M i n i c air temperature increase; Kobresia hum ilis meadow; Greenhouse; Com-munity structure

随全球气候变暖, 从不同角度探讨因此而引起的植物群落结构变化已成为重要的研究课题<sup>[1-4]</sup>。国内外学者在模拟降水控制试验及模拟增温效应试验等方

面进行了较多研究<sup>[5-8]</sup>, 同时, 通过用大气环流的综合模式(GCMs 模式)等的模拟, 探讨了温室效应对陆地生态系统的影响<sup>[2,9]</sup>, 包括植被演替与植被带迁

收稿日期: 2003-05-22; 修回日期: 2004-03-10

基金项目: 中科院知识创新工程项目(KSCX2-1-07, KZCX1-SW-01-01A); 中科院海北高寒草甸生态系统开放站基金

作者简介: 李英年(1962-), 男, 副研究员, 主要从事生物气象研究。 E-mail: ynli@mail.nwipb.ac.cn

移、植物物种数量变化以及群落结构的分异等。

作为青藏高原较为典型的植被类型, 高寒草甸是适应高原隆起与长期低温环境形成的特殊产物, 具有典型的地带性分布特征, 其生态系统功能极其脆弱, 一旦遭受破坏很难在短期内得到恢复。为此, 研究高寒草甸植被在全球变化中的反应与适应等过程也就成为诸多科学家所关注的问题。

本文对在模拟增温条件下, 高寒草甸生态系统植被群落结构及生产力形成的变化加以探讨。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区自然概况

海北地处青藏高原东北隅的青海海北藏族自治州门源回族自治县境内, 祁连山北支冷龙岭东段南麓坡地的大通河河谷西段, 位于 $37^{\circ}29' \sim 37^{\circ}45' N$ ,  $101^{\circ}12' \sim 101^{\circ}23' E$ , 站区地形开阔, 海拔 $3\ 200 \sim 3\ 600\ m$ 。居亚洲大陆腹地, 具明显的高原大陆性气候, 夏季风影响微弱。受高海拔条件的制约, 仅有冷暖二季之别, 干湿季分明; 年平均气温 $-1.7^{\circ}C$ , 最热月7月平均气温为 $9.8^{\circ}C$ , 最冷月1月平均气温为 $-15.1^{\circ}C$ 。年降水量约 $580\ mm$ , 植物生长季5~9月降水占年降水量的 $80\%$ , 冷季10月~翌年4月长达7个月时间的降水仅占年降水量的 $20\%$ 。日照充足, 在植物生长期日平均达 $6.5\ h$ , 基本满足植物生长所发育要求的光照时间。无绝对无霜期, 相对无霜期 $20\ d$ 左右, 冷季寒冷、干燥和漫长, 暖季凉爽、湿润和短暂<sup>[11]</sup>。

特殊的自然环境及青藏高原的隆起过程, 造就了适应寒冷湿生中的多年生草本植物群落, 形成了以矮蒿草(*Kobresia humilis*)草甸、金露梅灌丛(*Fomatia Dasiphora fruticosa*)草甸、小蒿草(*Kobresia pygmaea*)草甸、藏蒿草(*Kobresia tibetica*)沼泽草甸等植被类型, 牧草生长低矮, 初级生产力低<sup>[12]</sup>。本研究在矮蒿草甸进行。土壤发育年轻, 土层浅薄, 有机质含量丰富<sup>[13]</sup>。

### 1.2 样地概况

研究在中科院海北站综合试验样地进行, 1997年建造开顶式小暖室, 设在用网围栏封育的试验样地内, 禁止放牧。暖室设计采用国际冻原计划(ITEEX)模拟增温效应对植被影响的方法, 采用美国产玻璃纤维, 加工成圆台形开顶式小室, 基部面积 $1.66\ m^2$ , 顶部面积 $0.77\ m^2$ , 高 $0.4\ m$ 。

### 1.3 测定内容与方 法

#### 1.3.1 气温与地温的测定

2002年4~9月中旬进行系统观测。温度观测采用国产曲管温度计(年初进行标定)。观测项目有暖室内地表 $0\ cm$ 、地下 $10\ cm$ 和 $20\ cm$ 地温, 地面上方 $10\ cm$ 和 $20\ cm$ 的气温。同时, 在暖室外 $4\ m$ 处的对照区设立相同层次的地温和气温的观测。每日观测08:00、14:00、20:00的数据, 02:00的数值按(前日20:00+本日08:00)/2统计而得<sup>[14]</sup>。每日4次测定值统计日平均值。在试验区东侧 $50\ m$ 处设有小气候气象观测站, 观测 $50$ 、 $100$ 、 $200$ 和 $400\ cm$ 的气温, 地下 $5$ 、 $10$ 、 $15$ 、 $20$ 、 $40$ 、 $60$ 和 $100\ cm$ 的地温, 以及气象站的其它常规气象要素。

#### 1.3.2 植物测定

4~9月的每月15日和最后一日观测, 包括株高、群落盖度、部分植物种的叶宽等。地上生物量测定随机选择6个 $50\ cm \times 50\ cm$ 的样方, 齐地面刈割, 装入统一的纸袋, 烘干至恒重后称重, 单位为 $g/m^2$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 暖室内外温度变化

4~9月, 棚内 $10\ cm$ 和 $20\ cm$ 气温比棚外对照增加 $1.19$ 和 $1.11$ (表1), 即近地层 $10 \sim 20\ cm$ 气温平均增加 $1.15$ ,  $10\ cm$ 和 $20\ cm$ 地温则增加 $1.87$ 和 $1.84$ , 即近表层 $10 \sim 20\ cm$ 地温增加了 $1.86$ , 地温的增幅比气温的增幅高 $0.69$ , 与1998年的测定结果有一定差异<sup>[5]</sup>。主要与数据采集方式不同有关。本次观测采用了数据式的温度采集仪, 按中央气象局的地面观测规范进行数据采集和统计, 避免了对植被的干扰破坏和人为误差, 操作更规范, 从而可与国家常规气象站的资料作比较, 更具科学性。所以认为这次对温度的观测具有一定的代表性和准确性。

比较发现, 模拟增温在植物生长季的4~9月均达明显的效果, 暖室内土壤 $20\ cm$ 以上, 到空气 $20\ cm$ 以下的5层次平均温度 $10.98$ , 比对照( $9.40$ )偏高 $1.58$ 左右。但在棚内不同层次的土温或气温垂直方向上所表现的增温幅度有所不同, 受设计棚高度的影响, 接近地表增温较明显, 更高或更深处增温幅度逐渐降低。

### 2.2 暖室内外植物群落结构及生物量

#### 2.2.1 植物群落结构

5年的温暖化效应导致暖室内的植物种类明显变少(表2)。

表1 暖室内外不同层次气温和地温的月变化

Table 1 Variation of air and soil temperature within and outside chamber during plant growing season

月份 Month		4月 Apr.	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sep.	各月平均 Average
10 cm 气温 Air temp. of 10 cm above ground	棚内 within chamber 对照 Outside chamber 差值 Difference	6.52 5.17 1.35	7.29 6.07 1.22	12.23 10.84 1.39	14.61 13.60 1.01	13.36 12.18 1.18	10.63 9.52 1.11	10.7 9.58 1.19
20 cm 气温 Air temp. of 20 cm above ground	棚内 within chamber 棚外 Outside chamber 差值 Difference	5.87 4.81 1.06	7.32 6.20 1.12	12.40 11.20 1.20	14.25 13.20 1.05	12.81 11.57 1.24	10.25 9.25 1.00	10.50 9.39 1.11
0 cm 地温 Soil temp. of 0 cm above ground	棚内 within chamber 棚外 Outside chamber 差值 Difference	10.89 9.10 1.79	11.60 9.80 1.80	14.32 12.94 1.38	16.82 14.32 2.50	14.98 13.13 1.85	12.47 10.65 1.82	13.55 11.68 1.87
10 cm 地温 Soil temp. of 10 cm above ground	棚内 within chamber 棚外 Outside chamber 差值 Difference	6.12 3.85 2.27	6.16 3.74 2.42	11.14 9.07 2.07	14.50 12.76 1.74	13.79 12.52 1.27	11.83 10.37 1.46	10.58 8.71 1.87
20 cm 地温 Soil temp. of 20 cm above ground	棚内 within chamber 棚外 Outside chamber 差值 Difference	3.76 1.30 2.46	4.96 2.63 2.33	10.23 8.10 2.13	13.48 11.96 1.52	13.16 11.94 1.22	11.50 10.16 1.34	9.50 7.66 1.84

表2 暖室内外植物种类

Table 2 Plant species within and outside chamber

植物种类 Species of plant	暖室 Inner chamber	对照 Outside chamber
矮蒿草 <i>Kobresia humilis</i>	++	+++
二柱头草 <i>Scirpus distigmaticus</i>	+	++
垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	+	+++
异荩茅 <i>Stipa aliena</i>	++	+
紫羊茅 <i>Festuca rubra</i>	++	+
草地早熟禾 <i>Poa alpigena</i>	++	++
落草 <i>Koeleria cristata</i>	+	+
美丽风毛菊 <i>Saussurea superba</i>	+	+++
柔软紫菀 <i>Aster flaccidus</i>		++
细柄茅 <i>Ptilagrostis concinna</i>	+	++
矮火绒草 <i>Leontopodium nanum</i>		+
乳白香青 <i>Anaphalis lacteal</i>		+
蒙古蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	+	+
异叶米口袋 <i>Gueldenstaedtia diversifolia</i>	+	++
多枝黄芪 <i>Astragalus polycladus</i>		+
兰花棘豆 <i>Oxytropis coeruled</i>		++
兰石草 <i>Lancea tibetica</i>	+	++
甘肃马先蒿 <i>Pedicularis kansuensis</i>		+
雪白委陵菜 <i>Potentilla nivea</i>	+	+++
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserine</i>	+	++
二裂委陵菜 <i>Potentilla bifurca</i>		+
高山唐松草 <i>Thalictrum alpinum</i>	+	++
亚毛茛 <i>Ranunculus pulchellus</i>	+	+++
线叶龙胆 <i>Gentiana farreri</i>	+	+
麻花苣 <i>Gentiana straminea</i>	+	+++
湿生扁蕾 <i>Gentianopsis paludosa</i>		+
摩荂草 <i>Morina chinensis</i>		+
宽叶羌活 <i>Notopterygium forbesii</i>		+
紫花地丁 <i>Viola philippica</i>		+
花苜蓿 <i>Trigonella ruthenica</i>	++	+++
珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i>		+
西伯利亚蓼 <i>Polygonum sibiricum</i>		+
三脉梅花草 <i>Parnassia trinervis</i>		+
小米草 <i>Euphrasia tatarica</i>	+	
青藏苔草 <i>Carex moerckovii</i>		+
老芒麦 <i>Elymus sibiricus</i>		+
喜马拉雅蒿草 <i>Kobresia royleana</i>		+
海乳草 <i>Glaux maritima</i>		+
高原鸢尾 <i>Iris goniocarpa</i>	+	++
物种数 Species	21	39

注 Note: +++ 很多 a great lot; ++ 多 a lot; + 较多 much; 少 some few; 很少 rare; + 极少 very rare

对照植物种类为39种, 暖室内仅21种, 比对照少46%。植被组成也有所改变, 暖室内耐旱的禾草类比例明显增大, 杂草比例下降。说明温暖化效应对植物种演替的影响是重要的, 物种多样性比原生植被的物种有所减少, 植物种群优势度发生倾斜, 原生适应寒冷、湿中生境的矮蒿草为主的草甸植被类型逐渐退化, 有些物种甚至消失, 被以旱生为主的植被类型所替代。

这些变化是极为复杂的过程, 与植物种对环境条件竞争有很大的关系, 禾本类植物一般对温度的反应较为敏感, 当温度增加时生长迅速, 在短时间内盖度增大, 而杂草类受禾草类郁蔽作用的抑制, 难以旺盛生长, 甚至消失。

当然这其中水分的作用也不可忽视。暖室内地表蒸散(土壤的蒸发和植被的蒸腾)较对照高, 这样可导致棚内地表至植物层内出现暂时的、相对干燥的低湿度环境, 形成了禾草类植物生长发育需要的温湿度条件。更具体的原因有待进一步观察和研究。

### 2.2.2 地上生物量变化

结果表明, 2002年暖室内地上年生产量为443.74 g/m<sup>2</sup>, 比对照(486.24 g/m<sup>2</sup>)减少9.8%, 与1998年测定结果不同(图1), 由于暖棚面积小, 同时为了便于比较, 故在进行年生产量测定时暖棚内外均采用了25 cm × 25 cm 的样方取样测定, 多年观测表明, 在25 cm × 25 cm 的样方所收集的生物量, 由于取样的面积缩小, 比50 cm × 50 cm 的样方高些。

多年研究证实, 高寒草甸植被一般在日均温稳定通过 0 的初期, 植物开始生长发育。若将日均温稳定通过 0 的初期到日均温稳定通过 5 的末期视为植物生长期, 则海北站植物生长期为4月22日~ 9月12日, 约为134 d。相对应地上20 cm 的日均温为稳定通过2 开始~ 稳定通过6 结束, 暖室内地上20 cm

气温比气象站150 cm 处的气温约高1~ 2 , 其植物的生长期将会拉长到156 d, 比正常年景的植物生长期增长22 d。

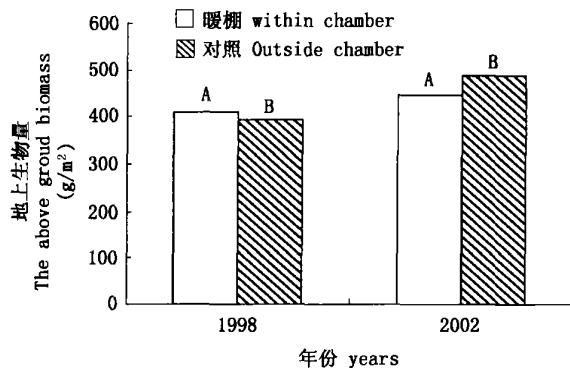


图1 1998年与2002年暖棚内外地上生物量的比较

Fig. 1 Above-ground biomass within and outside chamber in 1998 and 2002

### 3 讨论

#### 3.1 暖室环境对植物的影响

适应是生物赖以生存的基本特征, 植物种群数量、种类组成及层片结构会发生变化来适应环境的变化。

暖室限制了在水平方向的空气流动, 一定程度上也降低了垂直方向的对流过程, 同时玻璃纤维具有明显的“花房效应”, 室内空气的湍流作用明显减弱, 最终导致了暖室特定范围内(一定高度内和一定深度以上)的温度增高, 室内植物生长蒸腾加强, 以致植物生理过程发生改变, 同时也会使棚内的季节冻土层发生消融与融冻等过程, 以及其它土壤的物理条件发生改变, 结果必然对植物的生长和演替产生影响。

#### 3.2 生长期延长与植物生长的关系

增温将导致各物候期的始期提前, 而末期推迟, 室内植物种群生长期平均延长4.95 d。表面看来, 植物生长期增长, 对植物生长有利, 同时也可增大生物量, 其实不然, 这主要表现在:

**3.2.1** 如不考虑水分增加状况(或说水分仍维持目前的状况)的影响, 植物将不能充分利用由于暖棚热效应所产生的热量资源, 造成水分效应的胁迫作用水分生理生化调节功能下降, 温度的升高使植物发育速率加快, 导致高寒植物的成熟过程提早, 其实际生长期反而缩短, 导致生物量的减少。

**3.2.2** 由于玻璃纤维使热量散失较少, 导致暖棚内的

温度日变化降低, 对高寒草甸植物的干物质积累带来不利的影响, 进而导致植物群落的演替与变化, 也是植物生物量降低的原因之一。

**3.2.3** 封育未进行温暖化处理的样地内禾草类也明显增多, 杂草类减少, 毒草减少甚至消失。长期禁牧的作用, 枯草堆积量加大, 地表的透气性能降低, 在植物冠层下部腐殖质明显, 土壤表面纤维素量增多, 使杂草生活环境恶化, 根茎腐烂, 种子繁殖减弱。同时, 由于禾草类具有较强的生命力, 对阳光的竞争性强, 适应环境, 最终导致植物群落的演替与变化。

处理后的暖室其微气象特征均会发生变化, 本文仅讨论了温度的变化情况, 更多的微气象因素包括光照、CO<sub>2</sub>通量、水分等有待进一步观测和分析。

#### 参考文献

- [1] IPCC, RW GII Climate Change 2001: Impact, Adaptation, and Vulnerability[J]. Cambridge University Press, 2001, 12~ 28
- [2] 齐晔 北半球高纬度地区气候变化对植被的影响途径与机制[J]. 生态学报, 1999, 19(4): 474~ 478
- [3] 陈隆勋, 朱文琴, 王文, 等 中国近45年来气候变化的研究[J]. 气象学报, 1998, 56(3): 257~ 271
- [4] Grulke N E, G H Rieschers, Oeche W C. Carbon balance in tussock tundra under ambient and elevated atmospheric CO<sub>2</sub>[J]. Oecologia, 1990, 83: 485~ 494
- [5] 周华坤, 周兴民, 赵新全 模拟增温效应对矮嵩草甸影响的初步研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 547~ 553
- [6] 沈振西, 周兴民, 陈佐忠, 等 高寒矮嵩草甸植物类群对模拟降水和施氮的响应[J]. 植物生态学报, 2002, 26(5): 288~ 294
- [7] Drake B G, Leadly P W, Arp W J. An open chamber for field studies of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on salt marsh vegetation[J]. Functional Ecology, 1989, 3: 363~ 371
- [8] 李晓兵, 陈云浩, 张云霞, 等 气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响[J]. 地球科学进展, 2002, 17(2): 254~ 261
- [9] 沈永平, 王根绪, 吴青柏, 等 长江-黄河源区未来气候情景下的生态环境变化[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 308~ 314
- [10] 汤懋苍, 程国栋, 林振耀 青藏高原近代气候变化及对环境的影响[M]. 广东科技出版社, 1998 121~ 144
- [11] 李英年, 王勤学, 古松, 等 高寒植被类型及其植物生产力的监测[J]. 地理学报, 2004, 59(1): 40~ 48
- [12] 周兴民, 李建华 海北高寒草甸生态系统定位站的主要植被类型及地理分布规律[A]. 见: 高寒草甸生态系统[C]. 北京: 科学出版社, 1982 9~ 18
- [13] 乐炎舟, 左克成, 张金霞, 等 海北高寒草甸生态系统定位站的土壤类型及其基本特点[A]. 见: 高寒草甸生态系统[C]. 北京: 科学出版社, 1982 19~ 33
- [14] 中央气象局 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 1982 95~ 107