

# 模拟增温对青海湖鸟岛高寒草原群落结构影响初步研究\*

陈骥<sup>1,2</sup>, 曹军骥<sup>1,3</sup>, 金钊<sup>1</sup>, 时伟宇<sup>1</sup>, 张宝成<sup>1,2</sup>, 张思毅<sup>4</sup>

(1. 中国科学院地球环境研究所,黄土与第四纪地质国家重点实验室,西安 710075; 2. 中国科学院研究生院,北京 100039;  
3. 西安交通大学全球环境变化研究院,西安 710075; 4. 北京师范大学资源学院,北京 100875)

**提 要:** 采用国际冻原计划(ITEEX)开顶箱(OTC)模拟增温实验方法,研究了青海湖鸟岛高寒草原群落结构、典型物种生长特征、地上生物量及繁殖分配对温度升高的响应。模拟增温使生长季20 cm土壤温度白天平均增温1.08℃;夜晚平均增温0.55℃。短期模拟增温没有影响到群落的物种组成,但改变了物种的重要值。增温使得原有群落逐步演替为以禾本科假茅为主的群落,使群落趋于单一化发展。增温显著地增加了该区域主要禾本科植物的地上生物量及其有性繁殖株个体的高度以及穗子的长度,同时也增加了有性繁殖植株的比例。这说明由于小气候作用,环境条件诱发导致的土壤温度的改变,会使得植被的种群结构、典型物种生长特征、地上生物量及繁殖分配发生改变。

**关键词:** 模拟增温; 群落结构; 生长特征; 繁殖分配; 高寒草原; 青海湖鸟岛

中图分类号: S812; Q948

文献标识码: A

根据政府间气候变化专门委员会(IPCC)在2007年2月发布的第四次评估报告的预测,未来20年的气温将以每10年0.2℃左右的速度递增,在21世纪末全球平均地表气温可能升高1.1~6.4℃<sup>[1]</sup>,并且在高纬度高海拔地区这种增温效应会更加明显。草地占陆地总面积的40%以上,对全球气候变化极其敏感。全球变暖将影响到草原生态系统的结构及其功能,一方面温度升高改变了高寒植物的光合能力、生长速率以及呼吸等生理过程<sup>[2,3]</sup>,从而改变了植物的物候<sup>[4]</sup>、生长期等<sup>[5]</sup>;另一方面温度升高引起的土壤含水率和营养物质利用效率的改变,会导致植物的生长、生物量生产及分配、群落演替的改变<sup>[6]</sup>。

温度升高植物同时也会调节自身的生物量分配来适应新的环境<sup>[7]</sup>。植物的繁殖分配是指植物一年中所同化的资源中用于生殖的比例<sup>[8]</sup>。植物穗籽是其重要的繁殖器官。植物无性繁殖和有性繁殖的比例是对环境适应的结果。有性繁殖可以提高或维持种群的遗传多样性,使植物种群可以经受自然选择而生存,从而逃避捕食、竞争、病害等环境压力,对种群的进化十分必要<sup>[9]</sup>。草地生物量的测定所采用的方法绝大多数是全收割法,仅有少量的研究采用公式和模型估测灌木生物量。全收割法简单易行,但费时费工,对植被具有一定的破坏性,且数据无法进行外推,而通过数理统计中的回归建模方法建立生物量与易测因子之间对应关系,可以为草地生物量估测提供一种简单、方便、迅速、准确及非破坏性的方法,同时使生物量的跟踪调查研究成为可能。目前国内外探讨较多的是采用基径单一变量或基径与植株高度复合变量对生物量进行研究<sup>[10]</sup>。实际上,基径、冠幅和植株高度能够很好地体现植物的形态特征,从而可建立更直观的地上部分生物量估测模型<sup>[11]</sup>。

青藏高原以其独特的地形成为全球变化的敏感区域,因而倍受世界各国政府和科学家的普遍关注。作为青海湖流域较为典型的植被类型,高寒沙地生态系统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,研究高寒沙地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。然而,到目前为止,有关温度升高对青藏高原高寒沙地植物生长和生物量分配的研究还相对较少。文中采用国际冻原计划所采用的被动式增温法即开顶式气室法

\* 收稿日期: 2013-3-19。

基金项目: 国家十一五科技支撑计划项目“流域生态和环境综合监测与评估技术”(2007BAC30B01); 国家十二五科技支撑计划项目青海湖流域天空地生态环境监测平台与示范(2012BAH31B03)资助。

作者简介: 陈骥(1988-),男,陕西商洛人,博士研究生,主要从事全球变化碳循环研究。E-mail: chenji@ieecas.cn

通讯作者: 曹军骥 E-mail: cao@loess.llqg.ac.cn

(OTC)对青海湖鸟岛地区的高寒草原进行模拟增温。研究了青海湖鸟岛地区高寒草原植物群落的结构、典型物种生长特征及繁殖分配及生物量对模拟增温的响应,并初步探讨了这些响应的直接和间接原因。

## 1 材料与研究方法

### 1.1 研究区概况

青海湖鸟岛地区位于青海湖国家级自然保护区的西部,地理范围为 $36^{\circ}57' \sim 37^{\circ}04'N$ , $99^{\circ}44' \sim 99^{\circ}54'E$ ,海拔3194~3226m,地势西北高而东南低。处于我国东部季风区和西北部干旱区的交汇地带,干旱、少雨、多风、太阳辐射强烈、气温日较差大,属高原半干旱高寒气候区。具有明显的大陆性气候特点,年平均气温为 $-0.7^{\circ}C$ ,最热月7月平均气温为 $12.4^{\circ}C$ ,最冷月1月平均气温为 $-12.7^{\circ}C$ ,极端最高气温 $28^{\circ}C$ ,极端最低气温 $-31^{\circ}C$ ,年均降水量为322.7mm,集中于6~8月份,年蒸发量约为年降水量的3.8倍,年大风日数在48d以上,最长达78d,年日照时数3040h,植物生长期只有90~100d。土层较薄石砾含量较高是由三叠或二叠纪的片麻岩滨湖沉积物分化形成,土壤为砂壤土。草地植被以假苇拂子茅(*Calamagrostis pseudophragmites*)、直立黄芪(*Astragalus adsurgens*)、碱韭(*Allium polyrhizum*)、镰荚棘豆(*Oxytropis falcata*)、西伯利亚蓼(*Polygonum sibiricum*)、赖草(*Leymus secalinus*)、草地早熟禾(*Poa alpigena*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、细叶苔草(*Carex moorcroftii*)、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)为主。研究区域地形平坦,植被分布均匀,冠层高度约为30~40cm。

### 1.2 研究样地与方法

选择分布于青海湖鸟岛地区的高寒草原为研究对象,建造开顶式小暖室。温室用6mm厚有机玻璃纤维做成,将开顶室加工成圆台状开顶式小室,小室底面积为 $2.05m^2$ ,顶面积为 $1.07m^2$ ,高度为40cm,圆台小室与地面的夹角均为 $60^{\circ}$ 。2010年初,选择植被分布相对均匀一致的样地,随机布设6组模拟增温样方和对照样方。同组处理间距为6~8m,组内增温和对照样方间距为3~4m。试验地周围用网围栏封育,禁止放牧。

在模拟增温二年后,于2011年8月中下旬,分别在每个对照样地和每个OTC内各随机选取1个(50cm×50cm)样方,共12个样方。对所选样方中各物种的高度、盖度、频度、基径和冠幅进行统计调查,并统计群落总盖度。植被盖度以50cm×50cm样方框(100交叉点)采用针刺法获取,物种盖度采用绝对盖度表示(样方框内某物种针刺数/100)。频度测定方法是将OTC内选取的50cm×50cm样方分解为4个小样方(25cm×25cm),目测法统计每个小样方内各物种出现的频次。对个体指标测定的结果选取达到统计意义的指标(一般在10株以上)进行统计比较。在各样方内,根据实验的可行性选取几种容易被测量的物种,观测其繁殖分配,即模拟增温对株高及穗长的影响,以及模拟增温后样方内有性繁殖植株和无性繁殖植株比例的变化,本实验选取禾本科的假苇拂子茅、赖草和早熟禾为研究对象。为了避免OTC的边缘效应,只在OTC的中心区域内取样测量。

文中采用株高或者株高与基径、冠幅复合因子作为指标,建立数理统计中的回归模型,通过模型计算增温对生物量的影响。具体操作方法为:于2011年8月中下旬,对对照区进行分种选择20株左右高度上差异的植株,并测其高度、基径、冠幅、生物量鲜重和干重,通过回归方程计算OTC内部小样方内地上生物量。

### 1.3 土壤温度的测定

测定土壤温度的探头由ONSET电脑公司生产,采用HOBO软件记录数据,土壤温度测定仪器尽量放置在样地周边,以免人为踩踏影响植物的正常生长。

### 1.4 数据处理方法与作图

所有统计分析均利用Excel 2003和SPSS13.0完成,应用最小显著性差异(LSD)方法检验差异性,应用origin 8.0作图。各物种重要值采用如下公式计算:

$$\text{重要值} = (\text{相对盖度} + \text{相对频度} + \text{相对多度} + \text{相对高度}) \times 100/4$$

## 2 研究结果与分析

### 2.1 模拟增温对土壤温度的影响

由于温室OTC的阻挡作用,OTC内风速降低,空气湍流减弱,使热量不易散失,加之玻璃纤维对太阳

辐射中红外线穿透的能力较好,所以 OTC 内温度升高。如图 1 所示,生长季 20 cm 土壤温度白天平均增温 1.08℃;夜晚平均增温 0.55℃。在植物生长旺季 6 月、7 月白天温度升高得更为明显。

### 2.2 模拟增温对个体生长指标的影响

OTC 模拟增温对不同物种的生长都产生了影响。由表 1 可知,除豆科直立黄芪和镰形棘豆外,增温都显著地改变了各物种的株高,其中除蔷薇科鹅绒委陵菜外,增温都显著地增加不同物种的株高。增温虽然降低了蔷薇科鹅绒委陵菜的株高但却显著地增加了其冠幅,同时模拟增温也增加了百合科碱韭的冠幅。对所调查的物种来说模拟增温增加了各物种的基径,但只在禾本科早熟禾和蔷薇科鹅绒委陵菜之间达到显著水平。

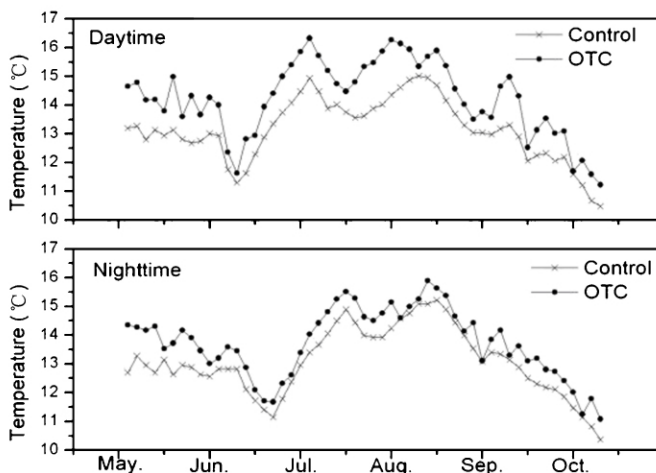


图 1 OTC 内外生长季土壤 20cm 温度变化  
Fig. 1 20cm - soil temperature inside and outside OTCs during growing season

表 1 OTC 模拟增温对个体生长指标的影响

Tab. 1 Effects of warmig on growth patterns of different species in control plots and OTCs

物种	株高( cm)		基径( cm)		冠幅( cm)	
	增温	对照	增温	对照	增温	对照
假苇佛子	38.5 ± 22.5 A	29.6 ± 15.9 B	-	-	-	-
直立黄芪	54.0 ± 30.5 A	45.8 ± 22.9 B	-	-	-	-
碱韭	39.4 ± 9.3 A	30.8 ± 5.9 B	4.3 ± 1.6 A	2.6 ± 0.9 B	-	-
镰荚棘豆	12.1 ± 9.2 A	9.7 ± 7.1 B	-	-	-	-
西伯利亚蓼	7.9 ± 3.3 A	6.3 ± 3.8 B	0.3 ± 0.1	0.3 ± 0.1	-	-
赖草	5.7 ± 4.5 A	8.4 ± 3.9 B	-	-	10 ± 3.6 A	7.6 ± 6.1 B
草地早熟禾	7.2 ± 2.3	7.3 ± 5.5	-	-	7.5 ± 7.0	8.2 ± 7.8
冷蒿	28.3 ± 2.08 A	19.3 ± 9.4 B	-	-	10.0 ± 6.4 A	4.1 ± 1.4 B
细叶苔草	13.0 ± 2.0	11.4 ± 4.7	1.9 ± 1.6	0.8 ± 0.7	-	-
鹅绒委陵菜	16.9 ± 4.9 A	8.9 ± 3.5 B	-	-	-	-

注: 不同大写字母表示在对照和 OTC 内差异显著。

### 2.3 模拟增温对主要物种生物量影响

为了减少对 OTC 内部的破坏,同时又得到 OTC 内部的地上生物量,文中通过数理统计中的回归建模方法建立生物量与株高、基径和冠幅之间的数学关系,通过这一数学方程来估算地上生物量。但由于工作量的原因,根据各物种的重要值,选择了在 OTC 内和对照样方占大部分的典型物种进行研究。各物种的数学方程及其相关评价(表 2)。

表 2 各物种的回归模型、R<sup>2</sup> 值、SEE 值、F 值和 p 值

Tab. 2 Regression models and its R<sup>2</sup> value, SEE value, F value and p value of each species

物种	生物量拟合方程	R <sup>2</sup>	SEE	F	p
假苇佛子茅	y = 0.18x - 0.623	0.880	0.066	117.530	<0.001
赖草	y = 0.03x - 1.482	0.884	0.134	107.023	<0.001
草地早熟禾	y = 0.054x + 0.841z - 2.001	0.817	0.696	26.774	<0.001
冷蒿	y = 0.008x - 0.001	0.670	0.062	54.585	<0.001
细叶苔草	y = 0.008x - 0.024	0.914	0.009	33.318	<0.001
鹅绒委陵菜	y = 0.102w - 0.383	0.728	0.181	48.065	<0.001

注: y 代表单株地上生物量、x 代表株高、z 代表基径、w 代表冠幅。

根据生物量拟合方程计算得到的 OTC 内外单位面积各物种地上生物量(图 2)。OTC 模拟增温显著地增加了禾本科假苇佛子茅、赖草和草地早熟禾的地上生物量(p < 0.01),增加比例分别为 81.8%、55.9% 和 221.4%。同时 OTC 模拟增温也增加了冷蒿、细叶苔草的地上生物量,降低了鹅绒委陵菜但未达显著水平。

### 2.4 模拟增温对禾本科植物繁殖分配影响

由表 3 可知,OTC 模拟变暖对该群落中 3 种禾本科牧草的影响是相一致的。即模拟增温增加了假苇拂子茅、赖草和早熟禾的有性繁殖株(有穗)植物个体的高度和繁殖器官穗子的长度,其中除早熟禾的穗子长度外,模拟增温的这种增加作用都达到了显著水平,但同时模拟增温也显著降低了无穗拂子茅和无穗赖草的株高。OTC 模拟变暖后,假苇拂子茅的有穗植株高度比对照增加了 15.86%,穗长比对照增加了 5.22%;有穗赖草的高度比对照增加了 10.80%,穗长比对照增加了 42.01%;早熟禾株高比对照增加了 38.35%,穗长比对照增加了 4.27%。无穗拂子茅和无穗赖草的株高分别比对照降低了 7.56% 和 5.78%。

OTC 模拟增温后增加了群落中有性繁殖植株比例。如图 3 所示,变暖后假苇拂子茅的有性繁殖比例是对照的 2.66 倍,赖草有性繁殖比例是对照的 1.08 倍。

表 3 模拟变暖对群落中 3 种禾本科牧草高度和穗长的影响

Tab.3 Effects of warming on the plant height and ear length in control plots and OTCs

物种		对照	OTC	F 值	p 值
有穗拂子茅	株高	57.20 ± 10.22	66.27 ± 7.39	53.66	p < 0.001
	穗长	9.19 ± 1.53	9.67 ± 1.35	5.18	p < 0.05
无穗拂子茅	株高	23.93 ± 9.71	22.12 ± 6.68	6.8	p < 0.001
	株高	85.07 ± 11.52	94.26 ± 12.57	7.55	p < 0.01
有穗赖草	株高	85.07 ± 11.52	94.26 ± 12.57	7.55	p < 0.01
	穗长	8.14 ± 0.90	11.56 ± 1.24	43.59	p < 0.001
无穗赖草	株高	30.10 ± 6.11	28.36 ± 4.70	24.75	p < 0.001
	株高	28.50 ± 3.42	39.43 ± 9.25	32.99	p < 0.001
早熟禾	株高	28.50 ± 3.42	39.43 ± 9.25	32.99	p < 0.001
	穗长	5.62 ± 0.88	5.86 ± 1.54	0.21	p = 0.67

2.5 模拟增温对群落组成、及群落结构影响

实验样地群落物种组成和特征值(表 4)。短期模拟增温没影响到群落的物种组成,但改变了物种的相对盖度、相对频度、相对多度、相对高度和重要值。总体上,模拟增温提高了禾本科假苇拂子茅和降低了豆科镰形棘豆的相对盖度、相对频度、相对多度、相对高度和重要值。OTC 模拟增温使得 OTC 内部物种更趋于单一化发展,增温使得以禾本科假苇拂子茅、禾本科赖草和莎草科细叶苔草为主的群落逐步演替为以禾本科假苇拂子茅为主的群落。

模拟增温使群落上层的建群种及主要伴生种的相对盖度有所增加,如禾本科假苇拂子茅和菊科冷蒿,但却降低了其他处于群落下层植物的相对盖度;同时模拟增温增加了禾本科假苇拂子茅和早熟禾的相对高度,降低了其他物种的相对高度。此外,除禾本科假苇拂子茅、禾本科早熟禾、豆科直立黄芪、百合科碱韭、蓼科西伯利亚蓼外模拟增温降低其他物种的相对多度;除豆科直立黄芪、镰形棘豆、禾本科早熟禾外模拟增温增加了其他物种的相对频度。

如图 4 所示,与对照样地相比模拟增温增加了群落总盖度,同时也增加了群落中其他物种的盖度。除

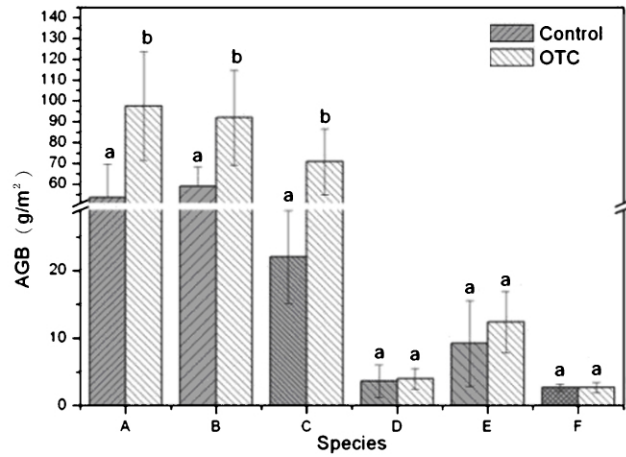


图 2 OTC 模拟增温对主要物种地上生物量影响

Fig.2 Effects of OTC on the aboveground biomass of major species

注: A、B、C、D、E、F 分别表示假苇拂子茅、赖草、草地早熟禾、冷蒿、细叶苔草、鹅绒委陵菜。不同小写字母表示在对照和 OTC 内差异显著。

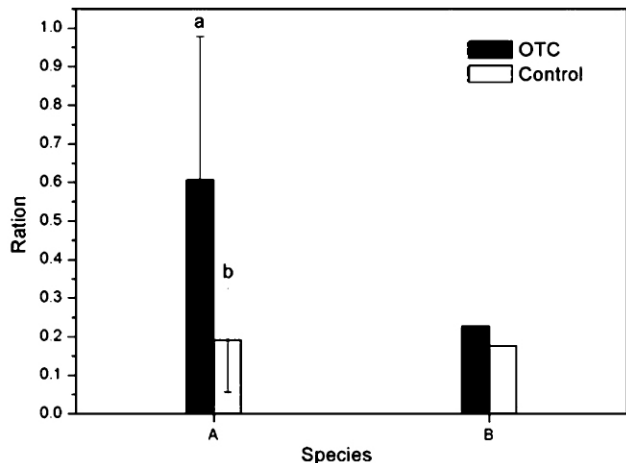


图 3 OTC 模拟增温对物种有性繁殖植株比例影响

Fig.3 Effects of OTC on the ratio of sexual production and the total plant  
注: A、B 分别表示假苇拂子茅和赖草。

豆科植物外,模拟增温显著增加了禾草科、莎草科和杂草科的盖度 ( $p < 0.05$ )。其中使禾草科、豆科、莎草科和杂草的盖度分别增加了 90.8%、91.5%、118.6%、184.6%,使群落总盖度增加了 84.5%。

表 4 OTC 模拟变暖对群落物种组成和特征值的影响

Tab. 4 Effects of simulated warming on species composition and their characteristics

物种	相对盖度		相对频度		相对多度		相对高度		重要值	
	OTC	对照	OTC	对照	OTC	对照	OTC	对照	OTC	对照
假芨芨草	67.23	61.59	18.18	13.89	41.21	32.04	75.41	63.72	50.51	42.81
直立黄	5.59	6.15	3.03	8.33	6.85	1.47	2.69	6.35	4.54	5.58
碱韭	0.54	1.87	12.12	11.11	1.93	0.37	0.26	0.42	3.71	3.44
镰荚棘豆	0.33	1.28	12.12	16.67	0.26	1.10	0.17	2.70	3.22	5.44
西伯利亚蓼	0.24	0.30	18.18	16.67	0.79	0.46	0.66	3.02	4.97	5.11
赖草	16.00	14.91	15.15	13.89	3.78	7.83	2.93	4.79	9.46	10.35
草地早熟禾	2.12	4.96	9.09	11.11	2.72	0.46	4.40	0.83	4.58	4.34
冷蒿	3.56	3.08	6.06	2.78	5.18	9.21	3.04	5.10	4.46	5.04
细叶苔草	3.32	4.36	3.03	2.78	36.56	46.04	10.35	12.57	13.31	16.44
鹅绒委陵菜	1.07	1.49	3.03	2.78	0.70	1.01	0.10	0.50	1.23	1.44

### 3 讨论

OTC 内部空气风速降低,尤其是水平方向空气流动减弱,使热量不易扩散,加之玻璃纤维对太阳辐射中红外线穿透的能力较好,能够起到明显的“温室效应”,最终导致 OTC 内一定土壤深度的温度升高。同时开顶箱加热尽可能减少不利的生态影响,如:低光照条件、温度极值、非自然降水、CO<sub>2</sub> 浓度聚集及湿度等的影响,能很好的模拟全球变暖的情况。本实验模拟增温效果与他在青藏高原的研究相一致,表明在全球变暖的背景下,青藏高原的气候将呈现出暖干化的趋势,气候因素的变异可能会成为生态系统变异的驱动力<sup>[12,13]</sup>。

个体的株高、基径、冠幅不仅受遗传基因决定,也受环境因素影响,而且环境因素对它们的影响更大,同时它们也是影响产量的重要因素<sup>[14]</sup>。模拟增温增加了群落中禾草科的地上生物量,相关的其他研究表明,温度升高的情况下,植物的生长期被延长,这有助于草地植物获得更高的生物量<sup>[12]</sup>。这与之前一些学者的研究结果相似<sup>[15]</sup>。禾草是青藏高原东部的建群种,在增温和围栏封育条件下其分蘖能力的增强和资源分配模式的改变有助于其获得更多的养分使其地上生物量增加<sup>[16]</sup>。当然除温度因子外其他环境因子也对草地生物量有影响,例如温度的变化也将影响植物对水分和养分的吸收,间接影响植物的生长和生物量的积累<sup>[17]</sup>等,这还需要进一步的观察与研究。

OTC 模拟增温后,有利于优势植物禾本科的假芨芨草、赖草和早熟禾的有性繁殖生殖枝高度和穗长增加。这与先前的研究结果相一致,禾草更容易适应增温的环境,从而占据群落上层形成郁闭的环境<sup>[14]</sup>,其分蘖能力和资源分配模式会发生变化;相关的研究还证明,随海拔梯度的变化低海拔的植物由于所受温度较高有性繁殖投入会增加,并且还证明了气候变化对高寒植物生长性状的影响比生殖策略快速<sup>[18]</sup>。

温度是青藏高原绝大多数物种生长的限制因子,OTC 通过增加温度改善了植物群落生长的小气候环境,在某种程度上促进了植物的生长和发育,从而影响了群落结构及其演替方向<sup>[12,19]</sup>;温度升高同时也改变了植物对水分利用和蒸腾作用等生理过程,这必然也会对植物生长和演替产生影响<sup>[17]</sup>。不同物种对增温的响应是不一样的,温度升高会打破群落中原有的种间竞争关系,从而引起群落组成和优势种的变化。OTC 内以假芨芨草为代表的耐旱型禾草类比例有所增加,以镰形棘豆为代表的毒杂草比例有所下降。

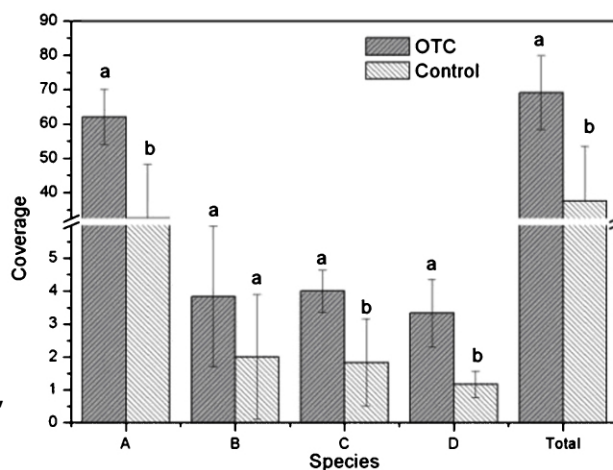


图 4 OTC 模拟变暖对禾本科、豆科、莎草科和杂草盖度的影响

Fig. 4 Effects of warming on coverage of alpine grasses, Leguminosae, Cyperaceae and weeds in control plots and in OTCs

注:大写字母 A、B、C、D 分别代表禾草科、豆科、莎草科和杂草。不同的小写字母 a、b 表示差异显著。

其他研究也证明模拟增温会导致禾草类植物种增加, 杂草减少<sup>[15-20]</sup>。首先, 禾本科植物对温度的响应较为敏感, 短时间内温度增加会促进禾本科植物的迅速生长, 同时由于在竞争中禾本科植物取得了优势, 尤其是对光照利用的竞争性较强, 相对盖度和相对高度都有所增加, 抑制了杂草类的生长<sup>[21]</sup>; 其次, OTC 内部相对干燥的低湿度环境也抑制了毒杂草的生长<sup>[22]</sup>。

增温增加了不同物种的盖度和群落的总盖度。相关的研究也证明, 增温有利于增加禾本科和豆科植物以及群落的总盖度<sup>[23]</sup>。但和其他研究不同的是, 其他在青藏高原高寒草甸的研究证明, 增温增加了禾本科和豆科植物的盖度但却降低了莎草科和杂草科的盖度。不同的原因可能是: 1) 实验地条件不同, 本文的实验地是恢复过程中的高寒沙地, 在增温之前实验地群落盖度较低, 增温后由于增温效应对生长繁殖条件的改变促进了物种的生长, 有研究证明使用同样的 OTC 在高寒草甸和沼泽草甸中增温, 其对不同物种的盖度影响是相反的<sup>[15]</sup>; 2) 增温效果不同, 本文的增温效果要低于张法伟等<sup>[23]</sup>的增温效果, 有研究证明在沼泽草甸中大幅度的增温有利于群落盖度的快速变化<sup>[15]</sup>; 3) 本实验增温年限较短, 且实验地处于恢复过程中, 群落盖度较低, 所以短期的增温缓解了低温对植物生长的限制, 导致了群落各物种盖度的增加, 但长期增温可能也会由于对营养物质、光照、水分等环境因子的竞争而出现禾本科和豆科植物在群落中占绝对优势限制其他低矮的莎草科和杂草的生长。

## 4 结论

(1) 短期 OTC 模拟增温增加了大部分物种的株高、基径和冠幅。同时也显著地增加了该区域主要禾本科植物(假茅拂子茅、赖草和早熟禾)的地上生物量和其有性繁殖株(有穗)植物个体的高度、繁殖器官穗子的长度以及有性繁殖植株的比例。表明在未来增温的背景下会使群落物种繁殖方式向有性繁殖方向发展, 并且物种生长特征也会发生相应改变。

(2) 短期 OTC 模拟增温没有影响到群落的物种组成, 但改变了物种的相对盖度、相对频度、相对多度、相对高度和重要值; 表明在未来增温的背景下会使物种更趋于单一化发展。

### 参考文献

- [1] Pachauri R K. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. IPCC, 2007: 446.
- [2] Klanderud K, Totland O. Simulated climate change altered dominance hierarchies and diversity of an alpine biodiversity hotspot [J]. *Ecology*, 2005, 86(8): 2047-2054.
- [3] 珊丹, 韩国栋, 赵萌莉, 王珍, 韩雄, 高福光. 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*, 2009, 23(9): 106-112.
- [4] 徐满厚, 薛娴. 气候变暖对高寒地区植物生长与物候影响分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(3): 137-141.
- [5] Walther G R, Beissner S, Burga C A. Trends in the upward shift of alpine plants [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2005, 16(5): 541-548.
- [6] Henry G H R, Molau U. Tundra plants and climate change: the International Tundra Experiment (ITEX) [J]. *Global Change Biology*, 1997, 3(1): 1-9.
- [7] Gunn S, Farrar J F. Effects of a 4 degrees C increase in temperature on partitioning of leaf area and dry mass, root respiration and carbohydrates [J]. *Functional Ecology*, 1999, 13(1): 12-20.
- [8] 牛克昌, 赵志刚, 罗燕江, 杜国祯. 施肥对高寒草甸植物群落组种繁殖分配的影响 [J]. *植物生态学报*, 2006, 30(5): 817-826.
- [9] 刘文辉, 周青平, 颜红波. 根茎型禾草繁殖途径的研究进展 [J]. *青海畜牧兽医杂志*, 2007, 37(2): 46-49.
- [10] Sah J P, Ross M S, Koptur S, Snyder J S. Estimating aboveground biomass of broadleaved woody plants in the understory of Florida Keys pine forests [J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 203(1-3): 319-329.
- [11] 孙红叶, 张希明, 李利, 马建兵. 塔里木盆地南缘不同生境盐生草种群分布特征及地上生物量初步估测 [J]. *干旱区资源与环境*, 2008, 22(4): 193-197.
- [12] 周华坤, 周兴民, 赵新全. 模拟增温效应对矮高草草甸影响的初步研究 [J]. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 547-553.
- [13] 石福孙, 吴宁, 罗鹏. 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*, 2008, 28(11): 5286-5293.
- [14] Peng T, Zhong B Q, Ling Y H, Yang Z I, Zha R M, Xie R, Liu C Y, He G H. Developmental genetic analysis for plant height in indica hybrid rice across environments [J]. *Rice Science*, 2009, 16(2): 111-118.
- [15] 李娜, 王根绪, 杨燕, 高永恒, 柳林安, 光生. 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.
- [16] 周兴民, 王启基, 张堰青, 赵新全, 林亚平. 不同放牧强度下高寒草甸植被演替规律的数量分析 [J]. *植物生态学与地植物学学报*, 1987, 11(4): 276-285.
- [17] Saleska S R, Harte J, Torn M S. The effect of experimental ecosystem warming on CO<sub>2</sub> fluxes in a montane meadow [J]. *Global Change Biology*,

1999, 5(2): 125 – 141.

- [18] 李英年, 薛晓娟, 王建雷, 朱志红, 张法伟, 李婧梅, 汪诗平, 周华坤. 典型高寒植物生长繁殖特征对模拟气候变化的短期响应[J]. 生态学杂志, 2010, 29(4): 624 – 629.
- [19] 赵建中, 刘伟, 周华坤, 张毓, 于龙, 许庆民. 模拟增温效应对矮蒿草生长特征的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(12): 2533 – 2539.
- [20] 李英年, 赵亮, 赵新全, 周华坤. 5年模拟增温后矮蒿草草甸群落结构及生产量的变化[J]. 草地学报, 2004, 12(3): 236 – 239.
- [21] Harte J, Shaw R. Shifting dominance within a montane vegetation community – results of a climate – warming experiment[J]. Science, 1995, 267(5199): 876 – 880.
- [22] Black R A, Richards J H, Manwaring J H. Nutrient – uptake from enriched soil microsites by 3 great – basin perennials[J]. Ecology, 1994, 75(1): 110 – 122.
- [23] 张法伟, 李跃清, 李英年, 李以康, 林丽, 曹广民, 杜明远, 王勤学. 高寒草甸不同功能群植被盖度对模拟气候变化的短期响应[J]. 草业学报, 2010, 19(6): 72 – 78.

## The influence of short – term experimental warming on alpine steppe of bird island, Qinghai Lake

Chen Ji<sup>1 2</sup>, Cao Junji<sup>1 3</sup>, JIN Zhao<sup>1</sup>, SHI Weiyu<sup>1</sup>, ZHANG Baocheng<sup>1 2</sup>, ZHANG Siyi<sup>4</sup>

(1. Institute of Earth Environment, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710075, P. R. China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, P. R. China;

3. Institute of Global Environment Change, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710075, P. R. China;

4. College of Resource Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, P. R. China)

**Abstract:** Open Top Chamber (OTC) was used to study the response of community structure, typical species growth characteristics and reproduce allocation in the alpine meadow of bird island, Qinghai Lake. During the growing season, the mean day and night soil temperature at depth of 20cm were increased by 1.08°C and 0.55°C, respectively. Short term experimental warming did not influence community species composition, but changed importance values. Experimental warming made the community gradually succeeded into the individualized community of *Calamagrostis pseudophragmites*. OTC experimental warming not only significantly increase sexual production species' aboveground height, ear length, and aboveground biomass, but also enhanced the ratio of sexual production. The microclimate change of soil can change community structure, typical species growth characteristics, aboveground biomass and reproduction allocation and even lead to species succession process.

**Key words:** experimental warming; community structure; growth characteristics; reproduction allocation; alpine meadow; bird island of Qinghai Lake