

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

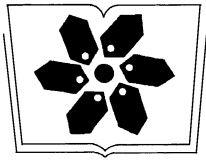
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 4 期
Vol.31 No.4
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 4 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

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	李 娜,王根绪,杨 燕,等 (895)
三峡库区 9 种植物种子萌发特性及其在植被恢复中的意义	陶 敏,鲍大川,江明喜 (906)
白蜡虫及其 3 种优势寄生蜂的时空生态位	王自力,陈 勇,陈晓鸣,等 (914)
宁夏盐池荒漠草原步甲物种多样性	贺 奇,王新谱,杨贵军 (923)
脂肪酸对中华哲水蚤摄食两种海洋微藻的指示作用	刘梦坛,李超伦,孙 松 (933)
安徽菜子湖大型底栖动物的群落结构特征	徐小雨,周立志,朱文中,等 (943)
乐清湾潮间带大型底栖动物群落分布格局及其对人类活动的响应	彭 欣,谢起浪,陈少波,等 (954)
海蜇养殖对池塘底泥营养盐和大型底栖动物群落结构的影响	冯建祥,董双林,高勤峰,等 (964)
竹巴笼矮岩羊 (<i>Pseudois schaeferi</i>) 昼间行为节律和时间分配	刘国库,周材权,杨志松,等 (972)
干热河谷植物叶片,树高和种子功能性状比较	郑志兴,孙振华,张志明,等 (982)
石羊河中游沙漠化逆转过程土壤种子库的动态变化	马全林,张德魁,刘有军,等 (989)
基于 TM 影像、森林资源清查数据和人工神经网络的森林碳空间分布模拟	汪少华,张茂震,赵平安,等 (998)
山地视觉景观的 GIS 评价——以广东南昆山国家森林公园为例	裴亦书,高 峻,詹起林 (1009)
基于功能分类的城市湿地公园景观格局——以西溪湿地公园为例	李玉凤,刘红玉,郑 因,等 (1021)
水分胁迫下丛枝菌根 AM 真菌对民勤绢蒿生长与抗旱性的影响	贺学礼,高 露,赵丽莉 (1029)
农田灌溉对印度区域气候的影响模拟	毛慧琴,延晓冬,熊 喆,等 (1038)
高大气 CO ₂ 浓度下小麦旗叶光合能量利用对氮素和光强的响应	张绪成,于显枫,马一凡,等 (1046)
豌豆过氧化氢酶在烟草叶绿体中的过量表达提高了植物的抗逆性	王凤德,衣艳君,王海庆,等 (1058)
不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价	王树刚,王振林,王 平,等 (1064)
基于遥感与模型耦合的冬小麦生长预测	黄 彦,朱 艳,王 航,等 (1073)
喷施 ABA 对两个穗型不同小麦穗颈节伤流、穗部性状及产量的影响	崔志青,尹燕枰,田奇卓,等 (1085)
“稻鸭共生”生态系统稻季 N、P 循环	张 帆,隋 鹏,陈源泉,等 (1093)
红壤丘陵区粮食生产的生态成本	李 晓,谢永生,张应龙,等 (1101)
甘南牧区草畜平衡优化方案与管理决策	梁天刚,冯琦胜,夏文韬,等 (1111)
黄龙钙化滩流地物种-面积关系	黄宝强,罗毅波,安德军,等 (1124)
杉木人工林细根寿命的影响因素	凌 华,袁一丁,杨智杰,等 (1130)
长白落叶松林龄序列上的生物量及碳储量分配规律	巨文珍,王新杰,孙玉军 (1139)
生物肥与甲壳素和恶霉灵配施对香蕉枯萎病的防治效果	张志红,彭桂香,李华兴,等 (1149)
北京城区不同水质水体可培养细菌数量的季节动态变化	高 程,黄满荣,陶 爽,等 (1157)
专论与综述	
整树水力导度协同冠层气孔导度调节森林蒸腾	赵 平 (1164)
植物寄生对生态系统结构和功能的影响	李钧敏,董 鸣 (1174)
加拿大一枝黄花的入侵机理研究进展	杨如意,咎树婷,唐建军,等 (1185)

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

李娜^{1,2}, 王根绪^{1,*}, 杨燕¹, 高永恒¹, 柳林安^{1,2}, 刘光生^{1,2}

(1. 山地环境演变与调控重点实验室, 中国科学院成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 采用增温棚模拟增温的方法, 对比研究了青藏高原腹地典型高寒草甸和沼泽草甸在两种增温梯度条件下植物群落结构及植物生长对温度升高的初期响应。由于开顶式生长室(OTC)的增温作用, 在整个生长季内, 沼泽草甸月平均气温分别较对照提高 2.98℃(OTC1)和 5.52℃(OTC2), 20cm 处土壤水分分别减少了 2.45%(OTC1)和 3.44%(OTC2); 高寒草甸月平均气温分别比对照升高了 2.59℃(OTC1)和 5.16℃(OTC2)。20cm 处土壤水分分别减少了 1.83%(OTC1)和 7.71%(OTC2)。受温度升高及土壤含水量减少的影响, 模拟增温 2 个生长季后, 与对照样地相比, 群落种群高度、密度、盖度、频度和重要值发生变化, 群落结构也发生一定变化。增温处理使高寒草甸禾草和莎草盖度减少, 杂草盖度增加, 而使沼泽草甸中禾草和莎草盖度增加, 杂草盖度减少。增温后, 两种草甸总生物量均增加, 但大幅度的增温条件抑制了高寒草甸的这种促进作用, 而促进了沼泽草甸的这种促进作用。两种草甸的地下生物量主要分布在土壤表层, 模拟增温使得高寒草甸的生物量分配格局向深层转移, 但不明显; 而使沼泽草甸生物量明显的趋向深层土壤中转移。

关键词: 高寒草甸; 开顶式生长室; 温度升高; 群落结构; 分配格局; 青藏高原

Short-term effects of temperature enhancement on community structure and biomass of alpine meadow in the Qinghai-Tibet Plateau

LI Na^{1,2}, WANG Genxu^{1,*}, YANG Yan¹, GAO Yongheng¹, LIU Linan^{1,2}, LIU Guangsheng^{1,2}

1 Key Laboratory of Mountain Environment Evolution and Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chengdu, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The aim of this study was to assess the initial effects of warming on the community structure and biomass allocation of alpine swamp meadow and alpine meadow, two most widespread ecosystem types in the Qinghai-Tibet Plateau. The air and upper layer soil temperatures were passively enhanced by using open-top chambers (OTCs) with two heights. The air temperature was clearly increased by 2.98℃ in 40cm high OTCs (OTC1) and 5.52℃ in 80cm high OTCs (OTC2) in alpine swamp meadow, and the soil water content decreased by 2.45% (OTC1) and 3.44% (OTC2), respectively. While the air temperature was increased by 2.59℃ (OTC1) and 5.16℃ (OTC2) in alpine meadow, and the soil water content decreased by 1.83% (OTC1) and 7.71% (OTC2), respectively. With the warming and drying effects, some changes in the vegetation community structure were observed. The population height, density, coverage, relativity, and important value of each plant community responded differently to warming. In alpine meadow, important values of three species in OTC1 were increased, and five species decreased. The importance values of *Saussurea eopygmaea* and *Primula forbesii* decreased significantly, while the values of *Kobresia pygmaea* and *Littledalea racemose* increased significantly. The warming effects in OTC2 accelerate the development of singularity, the important values of *Kobresia pygmaea* and *Primula*

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2007CB411504)

收稿日期: 2010-01-06; 修订日期: 2010-03-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wanggx@imde.ac.cn

forbesii decreased significantly, while the values of *Halerpestes tricuspis* and *Carex atrofusca* increased significantly. In alpine swamp meadow, important values of *Kobresia tibetica* and *Kobresia humilis* in OTC1 were increased, while the values of *Ranunculus* decreased significantly. The warming effects in OTC2 accelerate the dominances of *Kobresia tibetica* and *Kobresia humilis*, and the important value of *Ranunculus* also increased. Compared to each control plots, warming in alpine meadow caused the coverage of graminoid and sedge decreased, coverage of forbs increased; while in alpine swamp meadow were the reverse. Warming caused the biomass of standing dead and litter in the OTCs were lower than that in the control plots, this means that the warming delayed the senescence and death of plants, and biomass of standing dead and litter in higher warming conditions in OTC2 plots were even less than that in OTC1 plots. The coverage of alpine graminoid and sedge in alpine meadow significantly decreased, while the coverage of forbs increased. In alpine swamp meadow, the coverage of graminoid and sedge increased, while the coverage of forbs decreased. Warming increased the total biomass of both meadows, and higher warming in OTC2 accelerated and prohibited this trend in swamp meadow and alpine meadow, respectively. Warming made the biomass allocation in two meadows transferred to the deeper soil layer to adjust the warming and drying conditions. The four typical species in two meadows further illustrated the community structure and plant growth in response to artificial warming.

Key Words: alpine meadow; open-top chamber; artificial warming; community structure; allocation pattern; Qinghai-Tibet Plateau

以全球变暖和大气 CO₂ 浓度升高为主要特征的全球变化正在改变着陆地生态系统的结构和功能,威胁着人类的生存与健康,因而倍受世界各国政府和科学家的普遍关注^[1-2]。大量监测和模型模拟研究表明,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。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第4次评估报告预测,从现在开始到2100年,全球平均气温将升高1.8—4.0℃^[3],目前全球气候变化已经成为不容置疑的事实。

温度升高对植物的影响可分为直接和间接两种作用^[4-5]。首先,温度直接影响植物光合、呼吸等诸多植物生理过程,而光合作用和呼吸作用所需要的各种酶、次级代谢产物的合成及同化物的运输等又都与温度有关^[6]。增温将直接改变高寒植物的光合能力和生长速率^[7],从而改变植物的物候^[8],并延长植物的生长期^[9]。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^[10-11],生物量生产及分配^[12-14],群落演替方向及速度^[15]都将随之发生相应的改变。

温度是影响植物生长的关键因素之一。对于许多高山和高海拔地区来说,目前植物所处的环境温度普遍低于植物生长的最优温度,因而从总体来说温度升高将影响植物的生长和发育。而植物也能通过调整自身不同组分的生物量分配,以此来适应增温等环境条件的改变^[16]。由于不同物种适宜生长的最佳温度各不相同,因此每个物种对不同程度的增温也具有不同的生长和生物量分配方式。然而,到目前为止,有关温度升高对青藏高原腹地高寒草甸植物物种生长和生物量分配的研究报道还相对较少。作为全球气候变化的敏感区,青藏高原陆地生态系统脆弱的生态环境与频繁的人类活动使之较其他陆地生态系统对全球气候与环境变化的响应更为迅速。本研究利用开顶式生长室,模拟不同的温度升高梯度下两种高寒草甸生态系统植物群落结构变化和生物量分配格局对温度升高的响应,并通过对典型物种的生长状况和生物量及分配格局的变化来揭示。

1 材料与方法

1.1 研究区域

本文所选的研究区域位于青藏高原腹地长江源多年冻土和高寒草甸均较典型的风火山地区,海拔4600—4800m,气候属青藏高原干旱气候区,年平均气温-5.3℃,年平均降雨量270mm,且80%的降水发生在植物生长季(5—9月),年平均蒸发量1478mm。主要植被类型为高寒草甸和沼泽草甸。研究区域的详细介绍见

文献^[17]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

选择分布在风火山实验站上具有典型性和代表性的植被覆盖度均在 70% 以上的高寒草甸和沼泽草甸作为对比实验研究对象,采用国际冻原计划(International Tundra Experiment, ITEX)所采用的被动式增温法——即开顶式气室法(OTC),建造开顶式小暖室,温室内用 6mm 厚的有机玻璃纤维建造,为了减少降水的影响,同时为了保证足够面积的取样次数,加工成正六边形圆台状开顶式小室,小室的高度分别为 40cm 和 80cm,并保证圆台的上开口均为 60cm,圆台的斜边与地面的夹角均为 60°。2008 年 7 月初,分别在高寒草甸和沼泽草甸样地内选择植被分布相对均匀一致的样地,随机布设 3 组模拟增温样方和对照样方,以保证足够的取样次数和统计重复,同组处理间的间距为 6—8m,而组内增温和对照样方的间距为 3—4m。采用 TDR 和 FDR 数据采集器,通过在 OTC 内和对照样地内设置传感器,以测定 OTC 内与对照样地上气温和地下 20cm 土壤相对含水量,每隔 30min 测定一次。试验地周围用网围栏封育,禁止放牧。

本研究在两个样地内分别设 3 组处理沼泽草甸区(N34°43'43.9",E92°53'34.1",海拔 4763m):(1)对照,自然样地;(2)OTC1,高度 40cm,升温(2.0 ± 1.0)℃;(3)OTC2,高度 80cm,升温(4.0 ± 1.0)℃;高寒草甸区(N34°43'35.7",E92°53'45.3",海拔 4754m):(4)对照,自然样地;(5)OTC1,高度 40cm,升温(2.0 ± 1.0)℃;(6)OTC2,高度 80cm,升温(4.0 ± 1)℃。

1.2.2 取样方法

在模拟增温一年后,于 2009 年 8 月中旬,分别在对照样地和每个 OTC 内随机选取样方 9 个(25cm × 25cm),对各群落中各物种的高度、密度、盖度和频度进行统计调查,然后借助样方框(由 25 个面积为 5cm × 5cm 的方格网组成),目测群落的总盖度、禾草和莎草、“双子叶草本植物(以下简称“杂草”)”的分盖度。物种的重要值采用如下公式:重要值 = (相对盖度 + 相对频度 + 相对高度 + 相对密度) × 100/4^[18]。同年 9 月份齐地面剪草,收割地上生物量,将活体、立枯和凋落物分开保存,地下生物量用直径 5cm 的土钻分两层取样(0—5cm,5—20cm),每个样地重复 5 次,并立即用网孔为 1mm 的滤网洗净土壤。将地上和地下样品带回实验室,在 65℃ 下烘干至恒重并称重。同时,为了避免 OTC 的边缘效应,只在 OTC 的中心区域内取样。同时,从每组 OTC 与对照样方内,采用挂牌的方式随机选择 5 株比较典型的植物,测定株高、基径和叶片长度。并分别按根、茎、叶 3 部分收获生物量。然后将采集的鲜叶片放在烧杯中加入足量的蒸馏水,暗中放置 24h 后称饱和重,之后于鼓风烘箱中在 65℃ 恒温下烘干 48h,称干重,计算相对含水量。5 次重复,取平均值为该次取样植物叶片的相对含水量。同时,也将收获的各物种根、茎和余下的叶,在室内 65℃ 下烘干至恒重,称重记录,计算以下指标:根重比(R/T,根重/总生物量)、茎重比(S/T,茎重/总生物量),叶重比(L/T,叶重/总生物量),地下生物量/地上生物量(B/A)。

相对含水量计算公式:RWC(%) = (鲜重 - 干重)/(饱和重 - 干重) × 100%

1.3 数据分析

所有数据均用 SPSS 13.0 统计软件进行分析,采用 Microsoft Excel 2003 绘图。

2 结果与分析

2.1 OTC 的增温效应

增温棚增温的原理是,由于温室的阻挡作用,增温棚室内风速降低,空气湍流减弱,使热量不易散失,加之玻璃纤维被太阳辐射中红外线穿透的能力较好^[19],所以室内温度升高。由表 1 可以看出,在植物生长季节内,沼泽草甸内的月平均气温分别比对照提高了 2.98℃ (OTC1)和 5.52℃ (OTC2),高寒草甸内的月平均气温分别比对照升高了 2.59℃ (OTC1)和 5.16℃ (OTC2)。沼泽草甸内的 20cm 土壤水分分别降低了 2.45% (OTC1)和 3.44% (OTC2),高寒草甸内的 20cm 处水分分别减少了 1.83% (OTC1)和 7.71% (OTC2)。说明增温使温室内小气候趋于暖干化发展,与实际的观测结果相一致^[20]。

表 1 高寒草甸和沼泽草甸 OTC 内外的月平均气温及 20cm 土层含水量

Table 1 Monthly mean air temperature and soil water content inside and outside the OTCs in two meadows

样地 Plots	月份 Month	空气温度 Air temperature/℃			土壤 20cm 含水量 Soil water content at 20 cm depth/%		
		对照	OTC1	OTC2	对照	OTC1	OTC2
高寒草甸 Alpine meadow	5 月	3.73	5.83	1.27	25.47	25.96	20.17
	6 月	5.30	7.80	3.16	52.58	47.32	42.89
	7 月	8.28	10.92	5.08	56.72	52.72	47.31
	8 月	6.54	9.99	4.04	50.21	48.32	42.81
	9 月	4.35	6.52	1.69	47.60	49.10	40.83
	平均值	3.05	5.64	8.21	46.52	44.69	38.80
沼泽草甸 Swamp meadow	5 月	1.27	4.33	6.13	50.27	47.6	46.87
	6 月	3.16	5.64	8.24	52.76	50.11	48.20
	7 月	5.08	8.77	11.36	54.54	51.51	50.78
	8 月	4.04	7.10	10.60	52.93	49.89	48.18
	9 月	1.69	4.30	6.53	49.71	48.06	47.24
	平均值	3.05	6.03	8.57	51.58	49.13	48.04

2.2 温度升高对植物群落组成和特征值的影响

由于受到实验样地自然条件和物种分布差异大的限制,在本研究中,选择的样地并没有将高寒草甸和沼泽草甸内的所有物种包括进去,这也就导致后继样方调查中没有包含群落中的全部物种。如表 2 和表 3 所示,经过 2a 的短期增温实验处理,高寒草甸和沼泽草甸群落物种组成在 OTC 内及对照样地内并未发现较大变化。在高寒草甸中,共出现 10 个物种,OTC1 内增温使温室内 3 个物种重要值上升,5 个物种重要值下降。其中,风毛菊(*Saussurea eopygmaea*)、小报春(*Primula forbesii*)的重要值下降最为显著,而小嵩草(*Kobresia pygmaea*)、扇穗茅(*Littledalea racemose*)的重要值显著增加。在 OTC2 内,过度增温使温室内物种更趋于单一化发展,小嵩草和小报春的重要值显著下降,而三裂碱毛茛(*Halerpestes tricuspis*)、黑褐苔草(*Carex atrofusca*)的重要值显著升高。在对照样地内,由小嵩草、黑褐苔草、小报春占据绝对优势的群落物种组成,经 OTC1 增温后,演变为由小嵩草、黑褐苔草占据绝对优势的群落物种组成。经过 OTC2 的过度增温处理,演变为由小嵩草、三裂碱毛茛、黑褐苔草和小报春共同占优势的群落物种组成。在沼泽草甸中,共出现 6 个物种,OTC1 的小幅增温使藏嵩草(*Kobresia tibetica*)、矮嵩草(*Kobresia humilis*)重要值显著上升,毛茛重要值显著下降。在 OTC2 内,由于温度升高幅度增大,温室内物种重要值的变化情况与 OTC1 内有所差别,藏嵩草的重要值增加更明显,矮嵩草的增加趋势减弱,毛茛(*Ranunculus*)的重要值也开始上升。在对照样地内,由藏嵩草、矮嵩草、毛茛占优势的群落物种组成,经 OTC1 增温后,演变为由藏嵩草和矮嵩草占绝对优势的群落物种组成。经过 OTC2 的过度增温处理后,又演变为由藏嵩草、矮嵩草和毛茛共同占优势的群落物种组成。

由表 2 和表 3 可以看出,温度升高使群落的高度整体有所增加,大多数物种密度有所增加,处于群落上层的建群种及主要伴生种的盖度有所增加,如高寒草甸中的小嵩草、黑褐苔草,沼泽草甸中的藏嵩草和矮嵩草。其他处于群落下层的植物,阴冷的环境影响了它们的生长和发育,盖度和密度会相应减少。当然,除主要受温度条件影响外,其他环境因子(如水分条件)或多或少的改变对群落结构也有影响^[21],其影响程度到底如何,还需要进一步长期观测研究加以揭示。

2.3 温度升高对植物群落结构的影响

如表 4 所示,与对照样地相比,两种草甸的群落总盖度经 OTC 增温处理后植物总盖度均略有增加,且沼泽草甸统计检验显著($P < 0.05$)。与对照样地相比,在高寒草甸中,OTC1 内的小幅度增温使禾草和莎草的分盖度显著降低,杂草的分盖度显著增加($P < 0.05$),但 OTC2 内的大幅度增温使这种减少或增加的程度有所降低,统计检验不显著。相反,在沼泽草甸中,OTC1 内的小幅度增温使禾草和莎草的分盖度明显增加,而杂草的分盖度显著降低($P < 0.05$),OTC2 中的大幅度增温处理反而促进了这种增加或减少的趋势,且统计检验显著($P < 0.05$)。

表 2 模拟增温对高寒草甸群落主要物种组成和特征值的影响

植物种类 Species	相对频度 Relative frequency			相对盖度 Relative coverage			相对密度 Relative density			相对株高 Relative height			重要值 Importance value		
	相对频度		对照	相对盖度		对照	相对密度		对照	相对株高		对照	重要值		对照
	OTC1	OTC2		OTC1	OTC2		OTC1	OTC2		OTC1	OTC2		OTC1	OTC2	
小嵩草 <i>Kobresia pygmaea</i>	29.07	82.92	29.94	74.76	66.82	41.24	58.01	46.93	60.64	19.85	29.52	23.03	45.42	56.55	38.71
火绒草 <i>Leontopodium calocephalum</i>	5.81	11.61	—	0.87	3.90	—	1.54	2.49	—	7.49	9.19	—	3.93	6.80	0.00
垫地梅 <i>Androsace tapete</i>	2.33	1.66	—	1.94	0.33	—	0.08	0.12	—	1.46	1.44	—	1.45	0.89	0.00
三裂碱毛茛 <i>Halerpestes triauspis</i>	4.65	0.43	29.94	3.11	4.23	17.18	0.32	10.93	27.80	5.33	6.14	5.22	3.35	5.43	20.03
黑褐苔草 <i>Carex atrofusca</i>	20.93	1.31	26.95	13.98	12.81	10.31	2.35	12.50	8.21	12.26	23.78	28.19	12.38	12.60	18.41
矮丛风毛菊 <i>Saussurea eopygmaea</i>	2.33	0.35	—	0.39	2.23	—	0.24	1.86	—	8.47	3.06	—	2.86	1.87	0.00
小报春 <i>Primula forbesii</i>	29.07	1.69	11.38	0.87	7.46	26.12	36.99	23.28	3.16	9.36	7.65	14.12	19.07	10.02	13.69
扇穗茅 <i>Littledalea racemose</i>	1.16	0.03	1.80	0.39	2.23	5.15	0.08	1.88	0.19	17.72	19.23	29.44	4.84	5.84	9.15
马先蒿 <i>Pedicularis</i> spp	3.49	—	—	1.46	—	—	0.24	—	—	14.60	—	—	4.95	0.00	0.00
红景天 <i>Rhodiola</i> spp	1.16	—	—	2.23	—	—	0.14	—	—	3.47	—	—	1.75	0.00	0.00

每个处理 3 个重复,每个样地内 4—5 个重复

表 3 模拟增温对沼泽草甸群落主要物种组成和特征值的影响

植物种类 Species	相对频度 Relative frequency			相对盖度 Relative coverage			相对密度 Relative density			相对株高 Relative height			重要值 Importance value		
	相对频度		对照	相对盖度		对照	相对密度		对照	相对株高		对照	重要值		对照
	OTC1	OTC2		OTC1	OTC2		OTC1	OTC2		OTC1	OTC2		OTC1	OTC2	
藏嵩草 <i>Kobresia tibetica</i>	48.00	47.00	45.45	85.77	83.44	83.50	76.03	75.42	78.14	47.38	57.69	59.91	64.29	65.89	66.75
矮嵩草 <i>Kobresia humilis</i>	28.00	41.00	30.00	8.16	13.02	6.58	16.50	22.62	21.26	21.74	25.13	23.36	18.60	25.43	20.30
矮火绒草 <i>Leontopodium nanum</i>	3.00	—	—	1.53	—	—	0.42	—	—	16.09	—	—	5.26	—	—
毛茛 <i>Ranunculus</i>	17.00	2.00	20.00	1.02	1.05	8.60	5.82	0.49	0.37	14.54	11.69	12.25	9.60	3.81	10.31
黄芪 <i>Raidx Astragali</i>	—	7.00	4.55	—	0.31	1.32	—	0.11	0.23	—	5.26	4.48	—	3.17	2.64
垫状点地梅 <i>Androsace tapete</i>	4.00	3.00	—	3.52	2.18	—	1.23	1.36	—	0.25	0.24	—	2.25	1.70	—

每个处理 3 个重复,每个样地内 4—5 个重复

表 4 温度升高对 OTC 内外禾草和莎草、杂草盖度的影响
Table 4 Effects of warming on coverage of alpine grasses and forbs in control plots and in the OTCs

样地类型 Type of sampling		盖度 Coverage/%		
		裸地	禾草和莎草	杂草
高寒草甸 Alpine meadow	对照	21.7 ± 3.2a	79.6 ± 4.2b	13.2 ± 2.2a
	OTC1	19.2 ± 2.6a	68.2 ± 3.3a	19.3 ± 3.1b
	OTC2	18.5 ± 2.8a	70.1 ± 4.2a	17.9 ± 2.9b
沼泽草甸 Swamp meadow	对照	7.9 ± 2.1a	82.5 ± 5.2a	11.6 ± 2.1b
	OTC1	5.8 ± 2.8b	90.6 ± 4.5b	7.3 ± 2.6a
	OTC2	5.0 ± 1.9b	93.2 ± 5.5b	5.6 ± 1.3a

平均值 ± 标准差, 每个处理 3 个重复, 每个样地内 5 个重复, 同一列中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.4 温度升高对生物量及分配的影响

从表 5 可以看出, 不论是高寒草甸还是沼泽草甸, 增温均使立枯和凋落物的生物量在生长季节末(9 月下旬)都要小于相应的对照样地内的立枯和凋落物生物量, 且统计检验差异均为显著 ($P < 0.05$)。

表 5 温度升高对 OTC 内外立枯和凋落物的生物量的影响/(g/m²)
Table 5 Effects of warming on the biomass of standing dead and litter in control plots and in the OTCs

样地类型 Type of sampling		立枯 Standing dead	凋落物 Litter
高寒草甸 Alpine meadow	对照	23.5 ± 3.6b	17.6 ± 2.1b
	OTC1	19.1 ± 3.3a	13.2 ± 2.4a
	OTC2	16.6 ± 3.1a	10.5 ± 2.8a
沼泽草甸 Swamp meadow	对照	85.2 ± 12.8c	39.6 ± 11.2c
	OTC1	72.0 ± 13.8b	27.1 ± 9.6b
	OTC2	63.5 ± 14.7a	22.2 ± 7.5a

平均值 ± 标准差, 每个处理 3 个重复, 每个样地内 5 个重复, 同一列中不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

模拟增温加速了植物的生长发育, 与对照样地相比, 模拟温度升高对两种草甸 OTCs 内的地上和地下 0—20cm 根部的生物量影响不一致(图 1)。在高寒草甸中, OTC1 内地上和 5—20cm 土层的生物量分别增加了 26.7% 和 39.5%, 而 0—5cm 的土壤表层根系生物量减少了 30.0%; 在 OTC2 中, 地上生物量的变化不明显, 但地下两个土层的生物量都出现了显著的减少趋势 ($P < 0.05$), 分别较对照样地减少了 70.0% 和 22.9% (图 1), 由于高寒草甸较干旱的土壤环境, 在增温后同时受到土壤温度和水分条件的限制, 生物量的分配格局在增温后发生改变。在沼泽草甸中(图 1), 与对照样地相比, OTC1 和 OTC2 内地上和地下生物量都出现了较明显的增加趋势, OTC1 内的地上、0—5cm 和 5—20cm 土层的生物量分别增加了 28.7%、47.0% 和 118.3%, OTC2 内的地上、0—5cm 和 5—20cm 土层的生物量分别增加了 93.2%、21.9% 和 147.9%, 说明模拟增温显著促进了沼泽草甸植物的生长, 但 OTC2 内大幅度增温抑制了这种促进作用。

就生物量分配比例来看(图 2), 无论是 OTC 内还是对照样地内, 两种草甸内地下生物量在总生物量中均占有绝对大的比例, 而在地下生物量的分配中, 0—5cm 土壤表层的地下生物量所占比例又最大。与对照样地相比, 两种草甸经过增温处理后地上、地下生物量分配格局变化不一致。在高寒草甸中(图 2), 小幅度的增温使 OTC1 内 0—5cm 根系层的生物量增加, 地上和地下 5—20cm 根系层生物量分配比例减少, 变化均不显著。大幅度的增温处理后, 由于受到水分条件的限制更明显, OTC2 内地上生物量分配比例减小, 地下生物量开始向着深层土壤的根系层转移, 但统计检验不显著。沼泽草甸中(图 2), 受到温度升高的影响, OTC1 内的地上和地下的生物量分配均显著减少 ($P < 0.05$), 5—20cm 的根系层生物量分配显著增加 ($P < 0.05$)。OTC2 的大幅度增温促进了根系层生物量的分配格局进一步向深层土壤中转移 ($P < 0.05$), 地上生物量的分配比例有所增加。

2.5 温度升高对典型物种个体生长指标和生物量分配的影响

根据模拟增温后群落 OTC 内外物种的重要值变化差异, 本研究在高寒草甸中选择小嵩草(莎草)和风毛

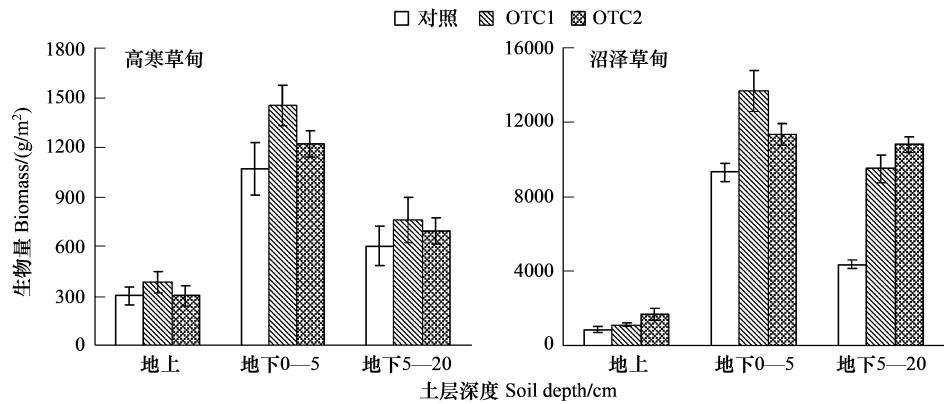


图1 温度升高对两种草甸 OTCs 内外地上、地下生物量的影响

Fig.1 Effects of warming on above- and below-ground biomass in alpine meadow and in swamp meadow

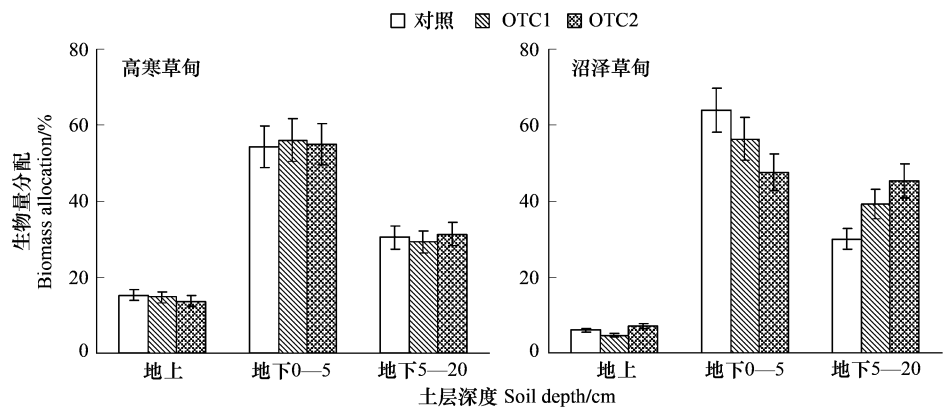


图2 温度升高对高寒草甸和沼泽草甸生物量分配的影响

Fig.2 Effects of warming on biomass allocation in alpine meadow and swamp meadow

菊(杂草),沼泽草甸中选择藏嵩草(莎草)和矮嵩草(伴生种)为典型物种供实验分析。

从总体来说,温度升高对几种主要植物的形态和生长产生了显著的影响,影响的效果与植物种类密切相关(表6)。对于高寒草甸的典型物种,小幅度的增温处理使OTC1内的小嵩草和风毛菊的株高、基径、叶长和

表6 温度升高对高寒草甸内两种典型物种生长和形态的影响

Table 6 Effects of warming on growth patterns of typical species in alpine meadow

生长参数 Growth Parameters			株高 Plant height/cm	基径 Basal diameter/cm	叶长 Leaf length/cm	相对含水量 RWC/%
高寒草甸 Alpine meadow	小嵩草	对照	5.57 ± 0.39a	0.134 ± 0.013a	3.62 ± 0.22a	69.23 ± 4.06a
		OTC1	6.57 ± 0.42b	0.147 ± 0.022a	5.05 ± 0.32b	78.03 ± 4.28b
		OTC2	5.95 ± 0.34a	0.147 ± 0.024a	5.17 ± 0.38b	87.70 ± 5.19c
	风毛菊	对照	2.61 ± 0.21a	0.223 ± 0.016a	2.44 ± 0.20a	76.36 ± 4.57a
		OTC1	3.86 ± 0.30b	0.306 ± 0.009b	3.66 ± 0.25b	79.78 ± 5.29a
		OTC2	5.37 ± 0.01c	0.211 ± 0.015a	3.81 ± 0.22b	81.59 ± 6.66b
沼泽草甸 Swamp meadow	藏嵩草	对照	12.10 ± 1.14a	0.201 ± 0.011a	7.75 ± 0.61a	74.44 ± 5.06b
		OTC1	11.99 ± 1.43a	0.223 ± 0.016a	8.96 ± 0.84b	69.30 ± 2.16a
		OTC2	12.23 ± 0.90a	0.197 ± 0.014a	14.13 ± 1.72b	66.11 ± 3.69a
	矮嵩草	对照	7.37 ± 0.61a	0.197 ± 0.009a	6.50 ± 0.85a	75.14 ± 3.19b
		OTC1	7.17 ± 0.88a	0.233 ± 0.008b	5.64 ± 1.09a	70.67 ± 4.20b
		OTC2	14.49 ± 1.92b	0.200 ± 0.012a	13.12 ± 1.42b	35.85 ± 4.92a

平均值 ± 标准差,每个处理3个重复,每个样地内5个重复,同一列中不同字母表示差异显著(P < 0.05)

相对含水量都增加,且除小嵩草的基径外,统计检验均显著($P < 0.05$)。大幅度增温处理使 OTC2 内的不同物种响应不一致,小嵩草的株高增加显著,但低于 OTC1 内的株高,叶长和相对含水量继续显著增加($P < 0.05$),且高于 OTC1 内。OTC2 内风毛菊的株高、叶长和相对含水量高于 OTC1 内的,统计检验显著($P < 0.05$),但基径小于对照样地的,统计检验不显著。

对于沼泽草甸的典型物种,OTC1 的小幅度增温处理使藏嵩草的株高和相对含水量减少,基径和叶长增加,统计检验均不显著;OTC2 的大幅度增温处理更加促进了藏嵩草的生长发育,株高和叶长均高于对照样地,基径和相对含水量低于对照样地,且统计检验近显著($P < 0.05$)。对于矮嵩草,OTC1 内的小幅度增温使株高、叶长和相对含水量均减少,统计检验均不显著,但基径增加,统计检验显著($P < 0.05$);OTC2 的大幅度增温实验使株高,叶长显著增加,相对含水量显著减少,而基径增加的程度不明显。

温度升高促进了植物群落的生长和发育(图 1),同时对群落中的典型物种的生物量在各组分中的分配格局也产生了显著的影响(图 3)。高寒草甸中,OTC1 内的小幅度增温均使小嵩草和风毛菊的根/总生物量比(R/T)增加,叶/总生物量(L/T)和茎/总生物量(S/T)在增温后降低,由于根部生物量分配比例的显著增加和叶茎生物量分配比例的减少,才导致了地下部分/地上部分生物量比值(B/A)在 OTC1 样方内显著高于对照样方内的 B/A 值。OTC2 的大幅度增温作用促进了小嵩草根茎叶分配格局的进一步向根系层中转移,且 B/A 统计检验显著($P < 0.05$);而对于风毛菊,OTC2 的大幅度增温,叶/总生物量(L/T)显著增加,而茎/总生物量(S/T)和根/总生物量(S/T)在增温后降低,导致地下部分/地上部分生物量之比相比对照样地降低,且统计检验显著($P < 0.05$)。在沼泽草甸内,增温条件下藏嵩草和矮嵩草生物量分配格局的变化基本一致。温度升高增加了两种物种的叶/总生物量比(L/T)和茎/总生物量比(S/T),而根/总生物量比(R/T)减少,从而导致了地下生物量/地上生物量(B/A)显著降低,同时,大幅度的增温处理促进了植物体根系层生物量向地上部分的转移,B/A 比值显著降低($P < 0.05$)。这些结果与群落生物量分配格局基本上相一致(图 2)。

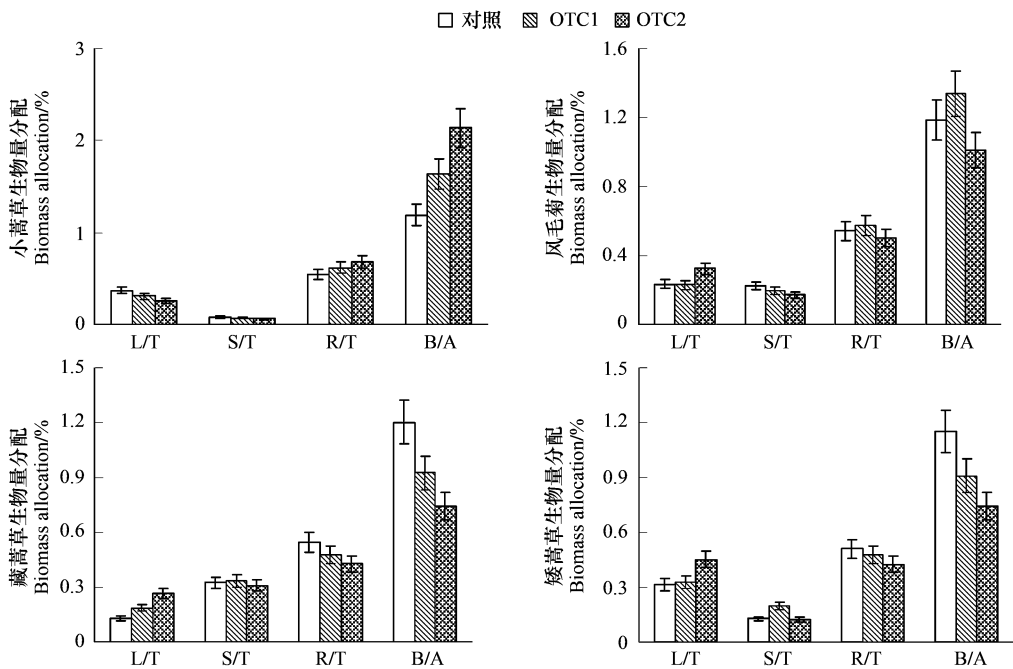


图 3 温度升高对 4 种典型物种生物量分配的影响

Fig. 3 Effects of warming on biomass allocation of four typical plants

L/T, 叶/总生物量比, S/T, 茎/总生物量比, R/T, 根/总生物量比, B/A, 地下生物量/地上生物量

3 讨论

在本研究中,开顶式生长室(OTCs)起到了增温的作用。开顶式增温棚的设计,允许棚内外空气的自由交

换流通,并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、CO₂浓度聚集及湿度的影响等^[22]。增温棚增温的原理如同温室效应,增温棚降低了风速,减弱了空气湍流的强度,使得温室内热量不容易散失,同时,由于太阳辐射很容易透过玻璃纤维,使得室内温度升高^[23-24]。本研究中,发现增温棚内土壤的相对含水量低于控制样地内的,这与当前大多数实验结果相一致^[25-26]。相对含水量的降低主要是由于增温棚内温度的升高导致^[23]。这与王谋^[27]等的研究结论相一致,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。

开顶式生长室(OTC)的增温效果引起植物群落变化。低温是限制高寒草地植物生长的关键因素之一^[28],而对于青藏高原腹地的高寒植物来说,植物所处的环境温度普遍低于植物生长所需的最适温度,OTC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,有利于植物的生长和发育,对群落结构产生一定的影响。与此同时,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^[24,29-30]。

Alward 等^[31]和 Pauli 等^[32]的研究结果也表明,在全球变暖背景下,对于任何一个植物群落来说,总有一些物种比另一些物种对温度升高的响应更为敏感,从而破坏种间竞争关系,引起群落的优势种和组成改变。本研究中,增温后,高寒草甸 OTC 内的禾草和莎草盖度显著减少,而杂草的盖度显著增加^[24]。这是由于高寒草甸增温后土壤含水量显著减少,其中广泛分布的矮嵩草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,Grime^[33]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。而对于沼泽草甸,沼泽草甸 OTC 内的禾草和莎草盖度增加,而杂草的盖度减少。因为沼泽草甸本身就充足的水分条件,增温处理后藏嵩草自身较大的叶面积,并分布于群落的上层,有利于光合速率的增加和分蘖能力的增强^[34],而使沼泽草甸中禾草和莎草盖度增加,这与 Zhang 等^[35]在海北的研究和 Harte 等^[36]在美国落基山的研究具有相似的结论。同时也表明温度升高对建群种上层(主要指藏嵩草)影响更为敏感而迅速,这一物种在未来气候变暖的条件下可能具有更强的竞争力。

增温使得高寒草甸和沼泽草甸 OTCs 内立枯和凋落物在生长季节末(9月下旬)都要小于相应的对照样地内的立枯和凋落物生物量。同时发现,OTCs 内的模拟增温增加了高寒草甸和沼泽草甸内的总生物量,这与一些学者的研究结论相似^[24,37]。但与李英年等^[38]5a 的研究结果相反。OTC 内的地上生物量和地下 0—20cm 的根系生物量与对照样地相比较,两种草甸表现不一致。在高寒草甸中,OTC 内地上和 5—20cm 土层的生物量增加,而 0—5cm 的土壤表层生物量减少,OTC2 的过度增温处理使得生物量都出现不同程度的减少。但在沼泽草甸中,OTC1 和 OTC2 内地上和地下生物量都出现了较明显的增加趋势,这与张新时^[39]等的模拟研究结果相一致。这应该从模拟增温改变了土壤的含水量来解释。Melillo^[40]等认为,气候变暖通过新陈代谢增强了植物的光合能力或通过较高的分解作用增强了植物对矿物营养的吸收,来增加草地生态系统的生物量生产。同时,增温后土壤含水量的减少或植物呼吸作用的增强,也能导致植物净初级生产力的下降。Boeck^[41]等的研究结果也显示,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%。在本研究中,由于高寒草甸和沼泽草甸生态系统的自然条件和土壤水热状况不一样,增温后高寒草甸土壤水分的减少限制了高寒草甸植物的生长,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,必须以减少生物量为代价,同时将生物量尽可能的向更深的土层转移。但对于沼泽草甸,原本就充足的水分条件在增温后变得更适合植物生长,使得生物量不断增加,使得禾草和莎草类等须根系植物大量繁殖,根系层的生物量分配比例相应的增加^[42]。

为了更好的说明增温后对高寒植物群落结构和生物量分配的影响,在每个草甸中分别选取两种典型物种来研究。增温使 OTC 内的矮嵩草、凤茅菊的株高、基径、叶长、相对含水量都高于对照样地,藏嵩草和矮嵩草的株高和相对含水量均低于对照样地。一般来说,相对含水量常被作为鉴定植物抗旱性的指标。在水分胁迫下,叶片含水量减少得越多,则草所受的干旱伤害越大,该草种的抗旱能力就越弱^[43]。研究发现矮嵩草的叶片相对含水量显著降低(表 6),说明矮嵩草的抗旱能力很差,如果增温的作用持续,干旱胁迫严重可能会威胁

该物种。从典型物种的生物量分配来看,温度升高使高寒草甸中优势物种小嵩草的地下生物量分配比例增加,沼泽草甸中以藏嵩草为优势物种的地下生物量分配比例减少。此现象也更好的说明了上文中提到的两种草甸生物量分配格局的改变。

4 结论

通过以上的分析和讨论,得出以下主要结论:增温对青藏高原腹地的高寒草甸和沼泽草甸物群落结构、生物量及其分配格局产生了显著影响。增温后,直接导致了 OTC 内土壤相对含水量的减少,继而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,由于两种草甸的土壤条件和水热条件不同,两种草甸对增温的响应也表现出不一致。增温后,高寒草甸禾草和莎草的盖度减少,杂草的盖度增加;而沼泽草甸中禾草和莎草的盖度增加,杂草盖度减少,且大幅度的增温促进了这种趋势。高寒草甸内的生物量增加的同时更趋于向地下深层的根系层中转移,而沼泽草甸在增温后变得更适合植物生长,地上地下生物量显著增加,的同时,莎草类等须根系植物大量繁殖,根系层的生物量分配比例增加。选择的四个典型物种的生长形态指标和生物量生产及分配格局更加有力的说明了高寒草甸和沼泽草甸植物生长、生物量对模拟增温的响应。

综上所述,青藏高原腹地两种分布广泛的草甸植物群落的生长和结构对短期模拟增温(2 个生长季)的响应是敏感而迅速的。本研究只揭示了模拟增温对这两种群落的短期影响。

References:

- [1] Chen P Q, Huang Y, Yu G R. Carbon Cycle of Earth System. Beijing: Science Press, 2004.
- [2] Oreskes N. The scientific consensus on climate change. Science, 2004, 306: 1686.
- [3] IPCC. Climate Change 2007: The Physical science basis. The Fourth Assessment Report of Working Group. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [4] 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.
- [5] Rustad L E, Campbell J L, Marion G M, Norby R J, Mitchell M J, Hartley A E, Cornelissen J H C, Gurevitch J, GCTE-NEWS. A meta-analysis of the response of soil respiration, net nitrogen mineralization, and aboveground plant growth to experimental ecosystem warming. Oecologia, 2001, 126: 543-562.
- [6] Hou Y, Wang K Y, Zhang C. Effects of elevated CO₂ concentration and temperature on nutrient accumulation and allocation in *Betula albo-sinensis* seedlings. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(1): 13-19.
- [7] Klanderud K, Totland O. Simulated climate change altered dominance hierarchies and diversity of an alpine biodiversity hotspot. Ecology, 2005, 86: 2047-2054.
- [8] Walther G R, Beissner S, Burga C A. Trends in the upward shift of alpine plants. Journal of Vegetation Science, 2005, 16: 541-548.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Henry G H R, Molau U. Tundra plants and climate change: the international tundra experiment (ITEX). Global Change Biology, 1997, 3: 1-19.
- [12] 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.
- [13] Lareher W. Physiological Plant Ecology, fourth eds. Berlin: Springer-Verlag, 2003.
- [14] 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.
- [15] Couteaux M M, Bottner P, Berg B. Litter decomposition, climate and litter quality. Trends Ecology Evolution, 1995, 10(2): 63-66.
- [16] Gunn S, Farrar J F. Effects of a 4°C increase in temperature on partitioning of leaf area and dry mass, root respiration and carbohydrates. Functional Ecology, 1999, 13(Suppl. 1): 12-20.
- [17] Li N, Wang G X, Gao Y H, Wang J F, Liu L A. Effects of simulated warming on soil nutrients and biological characteristics of alpine meadow soil in the headwaters region of the Yangtze River. Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(6): 193-203.
- [18] 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.
- [19] Debevec E M, MacLean S F. Design of greenhouses for the manipulation of temperature in tundra plant communities. Arctic and Alpine Research, 1993, 25: 56-62.
- [20] Wang G X, Li N, Hu H C. Hydrologic effect of ecosystem responses to climatic change in the source regions of Yangtze River and Yellow River. Advances in Climatic Change Research, 2009, 5(4): 1673-1719.

- [21] Chapin FS III, Shaver G R. Individualistic growth response of tundra plant species to manipulation of light, temperature, and nutrients in a field experiment. *Ecology*, 1985, 66: 564-576.
- [22] Hollister R D, Webber P J. Biotic validation of small open-top chambers in a tundra ecosystem. *Global Change Biology*, 2000, 6: 835-842.
- [23] Pan X L, Lin B, Liu Q. Effects of elevated temperature on soil organic carbon and soil respiration under subalpine coniferous forest in western Sichuan Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 2008, 19(8): 1637-1643.
- [24] Zhou H K, Zhou X M, Zhao X Q. A preliminary study of influence of simulated greenhouse effect on a *Kobresia humilis* meadow. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 547-553.
- [25] Marion G M, Henry G H R, Freckman D W, Johnstone J, Jones G, Jones M H, Lévesque E, Molau U, Mølgaard P, Parsons A N, Svoboda J, Virginia R A. Open-top designs for manipulating field temperature in high latitude ecosystems. *Global Change Biology*, 1997, 3 (Suppl 1): 20-32.
- [26] Shi F S, Wu N, Luo P. Effect of temperature enhancement on community structure and biomass of subalpine meadow in Northwestern Sichuan. *Acta Ecologica Sinica* 2008, 28(11): 5286-5293.
- [27] Wang M, Li Y, Bai X Z, Huang R Q. The impact of global warming on vegetation resources in the hinterland of the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(3): 331-335.
- [28] Gugerli F, Bauert M R. Growth and production of *Polygonum viviparum* show weak responses to experimentally increased temperature at a Swiss alpine site. *Botanica Helvetica*, 2001, 111: 169-180.
- [29] Eatherall A. Modeling climate change impacts on ecosystems using linked models and a GIS. *Climatic Change*, 1997, 35: 17-34.
- [30] Saleska S R, Harte J, Torn M S. The effect of experimental ecosystem warming on CO₂ fluxes in a mountain meadow. *Global Change Biology*, 1999, 5: 125-141.
- [31] Alward R D, Detling J K, Milehunas D G. Grassland vegetation changes and nocturnal global warming. *Science*, 1999, 283: 229-231.
- [32] 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//Walther G R, Burga C A, Edwards P J, eds. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2001: 139-149.
- [33] Grime J P. *Plant Strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*. second ed. New York: John Wiley and Sons, Ltd., 2001.
- [34] Wang C T, Long R J, Wang Q L, Liu W, Jing Z C, Zhang L. Fertilization and litter effects on the functional group biomass, species diversity of plants, microbial biomass, and enzyme activity of two alpine meadow communities, *Plant Soil*, 2009, DOI 10.1007/s11104-009-0259-8.
- [35] 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.
- [36] Harte J, Shaw R. Shifting dominance within a montane vegetation community: results of fl climate-warming experiment. *Science*, 1995, 267: 876-880.
- [37] Zhao J Z, Liu W, Zhou H K, Zhang Y, Yu L, Xu Q M. Effects of simulated greenhouse effect on growth characteristics of *Kobresia humilis*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(12): 2533-2539.
- [38] Li Y N, Zhao L, Zhao X Q, Zhou H K. Effects of a 5-years mimic temperature increase to the structure and productivity of *Kobresia humilis* meadow. *Acta Agrestia Sinica*, 2004, 12(3): 236-239.
- [39] Zhang X S. The classified system of vegetation-climate on global change. *Fourth Research*, 1993, 2: 157-169.
- [40] 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.
- [41] Boeck H J, Lemmens C H, Gielen H, Malehair 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.
- [42] 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.
- [43] Gu Y R, Zhang G F, Meng L. Drought resistance of four forage species at seedling stage under water stress. *Journal of Sichuan Grassland*, 2005, 4: 4-7.

参考文献:

- [1] 陈泮勤, 黄耀, 于贵瑞. 地球系统的碳循环. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] 侯颖 王开运, 张超. 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. *应用生态学报*, 2008, 19(1): 13-19.
- [17] 李娜, 王根绪, 高永恒, 王俊峰, 柳林安. 模拟增温对长江源区高寒草甸土壤养分状况和生物学特性的影响研究. *土壤学报*, 2010, 47(6): 193-203.
- [18] 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.
- [20] 王根绪, 李娜, 胡宏昌. 气候变化对长江黄河源区生态系统的影响及其水文效应. *气候变化研究进展*, 2009, 5(4): 1673-1719.
- [23] 潘新丽, 林波, 刘庆. 模拟增温对川西亚高山人工林土壤有机碳含量和土壤呼吸的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(8): 1637-1643.
- [24] 周华坤, 周若民, 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.
- [26] 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. *生态学报*, 2008, 28(11): 5285-5293.
- [27] 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.
- [37] 赵建中, 刘伟, 周华坤, 张毓, 于龙, 许庆民. 模拟增温效应对矮嵩草生长特征的影响. *西北植物学报*, 2006, 26(12): 2533-2539.
- [38] 李英年, 赵亮, 赵新全, 周华坤. 5年模拟增温后矮嵩草草甸群落结构及生产量的变化. *草地学报*, 2004, 12(3): 236-239.
- [39] 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.
- [43] 谷燕蓉, 张国芳, 孟林. 四种牧草幼苗对水分胁迫的相应及其抗旱性. *四川草原*, 2005, 4: 4-7.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 4 February, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Short-term effects of temperature enhancement on community structure and biomass of alpine meadow in the Qinghai-Tibet Plateau	LI Na, WANG Genxu, YANG Yan, et al (895)
Effects of submergence on seed germination of nine annual plant species in the Three Gorges Reservoir region and their implication to vegetation restoration	TAO Min, BAO Dachuan, JIANG Mingxi (906)
Temporal-spatial niches of Chinese White Wax Scale insect (<i>Ericerus pela</i>) and its three dominant parasitoid wasps	WANG Zili, CHEN Yong, CHEN Xiaoming, et al (914)
Species diversity of carabid beetles in desert-steppe in Yanchi of Ningxia, China	HE Qi, WANG Xinpu, YANG Guijun (923)
Identification of trophic relationships between marine algae and the copepod <i>Calanus sinicus</i> in a fatty acid approach	LIU Mengtan, LI Chaolun, SUN Song (933)
Community structure of macrozoobenthos in Caizi Lake, China	XU Xiaoyu, ZHOU Lizhi, ZHU Wenzhong, et al (943)
The community distribution pattern of intertidal macrozoobenthos and the responses to human activities in Yueqing Bay	PENG Xin, XIE Qilang, CHEN Shaobo, et al (954)
The effects of jellyfish (<i>Rhopilema esculentum</i> Kishinouye) farming on the sediment nutrients and macrobenthic community	FENG Jianxiang, DONG Shuanglin, GAO Qinfeng, et al (964)
Diurnal activity rhythm and time budgets of the Dwarf Blue Sheep (<i>Pseudois schaeferi</i>) in Zhubalong Nature Reserve	LIU Guoku, ZHOU Caiquan, YANG Zhisong, et al (972)
Comparison of leaf, height and seed functional traits of species in dry-hot valleys	ZHENG Zhixing, SUN Zhenhua, ZHANG Zhiming, et al (982)
Dynamics of soil seed banks in the reversion process of desertification in the middle reaches of the Shiyang River	MA Quanlin, ZHANG Dekui, LIU Youjun, et al (989)
Modelling the spatial distribution of forest carbon stocks with artificial neural network based on TM images and forest inventory data	WANG Shaohua, ZHANG Maozhen, ZHAO Pingan, et al (998)
The GIS-based visual landscape evaluation in mountain area: a case study of Mount Nan-kun National Forest Park, Guangdong Province	QIU Yishu, GAO Jun, ZHAN Qilin (1009)
A functional classification method for examining landscape pattern of urban wetland park: a case study on Xixi Wetland Park, China	LI Yufeng, LIU Hongyu, ZHENG Nan, et al (1021)
Effects of AM fungi on the growth and drought resistance of <i>Seriphidium minchinense</i> under water stress	HE Xueli, GAO Lu, ZHAO Lili (1029)
Modeled impact of irrigation on regional climate in India	MAO Huiqin, YAN Xiaodong, XIONG Zhe, et al (1038)
The responses of photosynthetic energy use in wheat flag leaves to nitrogen application rates and light density under elevated atmospheric CO ₂ concentration	ZHANG Xucheng, YU Xianfeng, MA Yifan, et al (1046)
Enhanced drought and photooxidation tolerance of transgenic tobacco plants overexpressing pea catalase in chloroplasts	WANG Fengde, YI Yanjun, WANG Haiqing, et al (1058)
Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress	WANG Shugang, WANG Zhenlin, WANG Ping, et al (1064)
Predicting winter wheat growth based on integrating remote sensing and crop growth modeling techniques	HUANG Yan, ZHU Yan, WANG Hang, et al (1073)
Effects of spraying ABA on bleeding intensity in neck-panicle node, spike traits and grain yields of two different panicle-type winter wheat	CUI Zhiqing, YIN Yanping, TIAN Qizhuo, et al (1085)
Nitrogen and phosphorus cycling from rice-duck mutual ecosystem during late rice growth season	ZHANG Fan, SUI Peng, CHEN Yuanquan, et al (1093)
Initial exploration of the ecological costs of food production in the hilly red soil region of Southern China	LI Xiao, XIE Yongsheng, ZHANG Yinglong, et al (1101)
Optimization strategy and management decision-making in balancing forage and livestock in Gannan pastoral area	LIANG Tiangang, FENG Qisheng, XIA Wentao, et al (1111)
Species-area relationship in travertine area in Huanglong valley, Sichuan	HUANG Baoqiang, LUO Yibo, AN Dejun, et al (1124)
Influencing factors of fine root lifespans in two Chinese fir plantations in subtropical China	LING Hua, YUAN Yiding, YANG Zhijie, et al (1130)
Age structure effects on stand biomass and carbon storage distribution of <i>Larix olgensis</i> plantation	JU Wenzhen, WANG Xinjie, WANG Xinjie (1139)
Effects on controlling banana Fusarium wilt by bio-fertilizer, chitosan, hymexazol and their combinations	ZHANG Zhihong, PENG Guixiang, LI Huaxing, et al (1149)
Seasonal dynamics of culturable bacterium numbers in freshwater bodies of different water quality in Beijing	GAO Cheng, HUANG Manrong, TAO Shuang, et al (1157)
Review and Monograph	
On the coordinated regulation of forest transpiration by hydraulic conductance and canopy stomatal conductance	ZHAO Ping (1164)
Impacts of plant parasitism on structure and function of ecosystems	LI Junmin, DONG Ming (1174)
Invasion mechanisms of <i>Solidago canadensis</i> L.: a review	YANG Ruyi, ZAN Shuting, TANG Jianjun, et al (1185)

2009 年度生物学科总被引频次和影响力因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响力因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响力因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生态学报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 4 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 4 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许可证	京海工商广字第 8013 号		

