

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

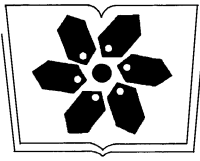
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 21 期  
Vol.30 No.21  
**2010**



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30卷第21期 2010年11月 (半月刊)

## 目次

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应.....	李为争,付国需,王英慧,等 (5709)
西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势.....	李海东,沈渭寿,邹长新,等 (5716)
新疆沙湾冷泉沉积物的细菌系统发育多样性.....	曾军,杨红梅,徐建华,等 (5728)
应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康.....	裴雪姣,牛翠娟,高欣,等 (5736)
不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系.....	张慧文,马剑英,孙伟,等 (5747)
滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果.....	徐华山,赵同谦,贺玉晓,等 (5759)
内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子.....	阳伏林,周广胜 (5769)
南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应.....	冯秋红,史作民,董莉莉,等 (5781)
伏牛山自然保护区物种多样性分布格局.....	卢训令,胡楠,丁圣彦,等 (5790)
减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响.....	陈宗瑜,钟楚,王毅,等 (5799)
川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化.....	刘彦春,张远东,刘世荣,等 (5810)
三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系.....	王晓荣,程瑞梅,肖文发,等 (5821)
洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征.....	柏方敏,田大伦,方晰,等 (5832)
择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响.....	蒋子涵,金光泽 (5843)
野鸭湖典型湿地植物光谱特征.....	刘克,赵文吉,郭逍宇,等 (5853)
三种线性模型在杉木与马尾松地位指数相关关系研究中的比较.....	朱光玉,吕勇,林辉,等 (5862)
不同干扰类型下羊草种群的空间格局.....	陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等 (5868)
基于 SWAT 模型的祁连山区最佳水源涵养植被模式研究——以石羊河上游杂木河流域为例.....	王军德,李元红,李赞堂,等 (5875)
2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析.....	张志明,罗亲普,王文礼,等 (5886)
基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价.....	高杨,黄华梅,吴志峰 (5894)
海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较.....	张小飞,王如松,李锋,等 (5904)
同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估.....	王萱,陈伟琪,张璐平,等 (5914)
太阳辐射对玉米农田土壤呼吸作用的影响.....	孙敬松,周广胜,韩广轩 (5925)
水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响.....	郭辉娟,贺学礼 (5933)
宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较.....	路海东,贾志宽,杨宝平,等 (5941)
节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响.....	李影,陈明林 (5949)
自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化.....	安宗胜,詹婧,孙庆业 (5958)
硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响.....	韩永强,刘川,侯茂林 (5967)
饥饿对转基因鲤与野生鲤生长竞争和性腺发育的影响.....	刘春雷,常玉梅,梁利群,等 (5975)
<b>专论与综述</b>	
河流水质的景观组分阈值研究进展.....	刘珍环,李猷,彭建 (5983)
<b>研究简报</b>	
长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响.....	杨兵,王进闯,张远彬 (5994)
环境因素对长额斗蟋翅型分化的影响.....	曾杨,朱道弘,赵吕权 (6001)

# 长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与 生物量分配的影响

杨 兵<sup>1</sup>, 王进闯<sup>2</sup>, 张远彬<sup>2,\*</sup>

(1. 乐山职业技术学院, 乐山 614000; 2. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

**摘要:**川西亚高山针叶林是青藏高原东部高寒林区的重要组成部分,也是研究全球变化对森林生态系统影响的重要组成。长期模拟增温对川西亚高山森林树木的生长、物质积累及其分配格局的影响至今鲜有报道。以川西亚高山针叶林优势种岷江冷杉(*Abies faxoniana*)幼苗为研究对象,采用控制环境生长室模拟增温的方法,研究了模拟增温对岷江冷杉幼苗生长、物质积累及其分配格局的影响。结果表明,模拟增温( $2.2 \pm 0.2$ )℃处理 65 个月后,岷江冷杉幼苗基径、株高、单株叶面积和比叶面积(SLA)均显著增加,比叶重(LMA)显著下降。增温对岷江冷杉幼苗的茎、侧枝、叶和总生物量具有显著的促进作用,对根生物量没有显著影响。岷江冷杉幼苗的叶重比(LMR)下降、枝重比(SMR)增加、根重比(RMR)无显著变化。长期增温能显著促进岷江冷杉幼苗的生长和物质积累,改变生物量分配格局,促使叶片物质向茎转移,降低光合物质投入。

**关键词:**增温;岷江冷杉;比叶面积;生长;生物量分配

## Effect of long-term warming on growth and biomass allocation of *Abies faxoniana* seedlings

YANG Bing<sup>1</sup>, WANG Jinchuang<sup>2</sup>, ZHANG Yuanbin<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Leshan Vocational & Technical College, Leshan 614000, China

<sup>2</sup> Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

**Abstract:** The global climate is predicted to become significantly warmer over the next century. This will affect ecosystem processes and functioning of natural ecosystems in many parts of the world. It is well known that responses of ecosystem to climate warming may be more sensitive and rapid in high latitude regions and high altitude regions. The subalpine zone in eastern Qinghai-Tibet Plateau is a sensitive area of climate change and ecological fragile zone and this region is predicted to experience much greater increase in surface temperatures in the future. Thus, it is an ideal region to study the response mechanism of terrestrial ecosystems to climate change.

Previous studies have illustrated that warming directly influenced the plant phenology, physiological performance and species composition and increase growth and dry mass production. However, these studies have often focused on effects of short-term warming. Whereas short-term warming invariably increases the biomass of tree seedlings, it is far from clear whether elevated temperature will increase forest productivity in the long term. Thus, it is essential that the responses of subalpine tree species to long-term warming are studied.

*Abies faxoniana* is a typical important plant species in the subalpine coniferous forest. Although *A. faxoniana* is an important forest tree species in China, its responses to elevated temperature remain largely unknown. Thus, our objective was to study the biomass responses of seedlings of *A. faxoniana*, to long-term experimental warming to provide insights into the growth of *A. faxoniana* seedlings under a future warmer climate.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(30871999);中国科学院“西部之光”人才培养计划资助项目(09C2031100);国家“十一五”科技攻关资助项目(2008BAK51B01-7-3)

收稿日期:2010-02-10; 修订日期:2010-09-13

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

We use growth chamber to determine long-term effects of elevated temperature ( $(2.2 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ ) on growth, biomass and its allocation in *A. faxoniana* seedlings for 65 months. These results showed that warming significantly increased growth in the basal diameter, height, whole-plant biomass, total leaf area of seedlings and specific leaf area (SLA) by 40.02%, 33.97%, 24.24%, 35.38% and 19.02%, respectively. But there was no significant effect on leaf mass per area (LAM). Moreover, the leaf-weight ratio (LMR) of seedlings was inhibited by warming, implying that long-term warming had negatively affected on the foliage. The branch-and-stem weight ratio of seedlings (SMR) was significantly improved by 25.84%, indicating that a larger biomass allocated to branch and stems under warming. However, warming had no significant effect on the root-weight ratio of seedlings (RMR), demonstrating that the ratio of biomass allocated to roots kept constant. The Root-and-leaf weight ratio (RLR) was not affected by treatment while the Root-and-shoot weight ratio (RSR) was decreased by 6.34%. In summary, the presents study suggests that long-term air warming enhanced seedling growth and altered biomass allocation pattern. Moreover, warming drive plant reallocate biomass from leaves to shoots, thus, reduced the photosynthesis resources. We concluded that *A. faxoniana* could adapt to climate change through biomass reallocation.

**Key Words:** warming; *Abies faxoniana*; specific leaf area; growth; biomass allocation

根据 IPCC 第 4 次评估报告,到 2100 年,全球平均气温将升高 1.8—4.0 $^\circ\text{C}$ ,特别是在高纬度和高海拔地区的增温幅度更大<sup>[1]</sup>。气候变暖导致气温和土壤温度升高,将对陆地植被的生长、存活和繁殖产生重要而深远的影响。近年来,气候变暖对陆地植被及生态系统的影响已成为国内外生态学家最为关注的热点问题之一<sup>[2]</sup>。

增温通过多种方式对树木产生直接或间接的影响。首先,增温直接影响树木的同化、光合和呼吸等生理过程,改变树木的生长和生物量<sup>[3-6]</sup>。其次,增温还能通过影响土壤有机质的分解速率和养分的可利用性间接地影响树木生长<sup>[7]</sup>。增温也可以改变树木生物量分配模式,其分配模式与树种有关<sup>[4-5,8]</sup>。以上的研究虽然提高了对增温效应的理解,但是大多数研究都仅仅是在 1 个生长季内完成,很少有超过 2a 的增温实验。这就给研究结果带来很大不确定性,仍然不清楚增温是否能长期持续地增加树木的生长,进而促进森林生产力。Chapin 等研究发现在增温下,植物光合能力的增加常随增温时间的延长而降低<sup>[9]</sup>,因此,长期增温将限制植物对碳的可利用性。另外,增温又能延长植物的生长季<sup>[10]</sup>,在一个较长的生长季内植物能固定更多的碳,降低大气中的 CO<sub>2</sub> 浓度<sup>[11]</sup>。可见,长期增温不仅影响植物的发育,而且可能改变由短期增温引起的生物量分配模式,进而改变森林的源-汇关系。因此,开展长期增温对树木生长和生物量分配格局的影响研究对准确预测树木生长及森林生产力对气候变暖的响应是十分重要的。

川西亚高山针叶林是青藏高原东缘高寒林区的重要组成部分,具有相对长期的巨大冷冻碳库,气候变暖将对土壤碳库的分解和矿化产生重要的影响,以至于对亚高山针叶林整个系统乃至全球碳平衡产生强烈的反馈作用<sup>[12]</sup>。更好地理解森林优势种对气候变化的响应是预测森林生态系统对气候变化的关键。本研究以川西亚高山针叶林主要优势种岷江冷杉幼苗为研究对象,采用控制环境生长室模拟气候变暖,研究长期增温对岷江冷杉幼苗的生长、干物质积累及其分配格局的影响,为提高预测未来气候变化条件下亚高山自然森林群落的生产力和碳固持能力提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验设计

#### 1.1.1 实验点与控制环境生长室系统概述

用于模拟增温的控制环境生长室系统位于中国科学院成都生物研究所茂县山地生态系统定位研究站,该站点的地理坐标为 31 $^\circ$ 41'07"N、103 $^\circ$ 53'58"E,海拔 1820m。该区域年均温 8.6 $^\circ\text{C}$ ,年均降水量 919.5 mm,年均蒸发量 795.8 mm,年均日照时数 1139.8 h,年无霜期 200 d 左右。

控制环境生长室系统由8个独立的生长室组成,每个生长室的底面积约 $9.35\text{m}^2$ ,总体积约 $24.5\text{m}^3$ 。生长室的主体骨架为不锈钢矩管,周边用浮华玻璃、顶部用阳光板封闭,这样生长室内某些环境因子与外界环境因子存在一定的差异。根据自动化系统监测的半小时数据分析表明,生长室内的太阳辐射和 PAR 减少强度随太阳高度角变化而变化,一般减少20%—40%;生长室内 $\text{CO}_2$ 浓度增加25— $50\mu\text{mol}/\text{mol}$ ;生长室密闭后,生长室内空气湿度增加1%—4%。详细的生长室系统控制原理、自动化系统性能、密闭对生长室内主要环境因子的影响等参见文献<sup>[13]</sup>。

### 1.1.2 研究对象与培植土壤

本实验以7a生岷江冷杉幼苗为研究对象,幼苗来自四川平武县海拔在1920m的苗圃。在用于本实验的岷江冷杉幼苗中,随机测定了30株幼苗基径和高度;根据测定数据分析得知,幼苗平均高度和基径分别为 $(29.63 \pm 2.41)\text{cm}$ 和 $(4.76 \pm 0.49)\text{mm}$ 。根据野外调查数据分析得知,川西北原始岷江冷杉林下自然更新幼苗(高度 $\leq 1.2\text{m}$ )多成团聚分布,幼苗间距20—30cm,独立分布的幼苗较少,平均密度为 $(16 \pm 4)\text{株}/\text{m}^2$ 。因此,本实验将4株大小和高度相对均匀的岷江冷杉幼苗栽植于 $50\text{cm} \times 50\text{cm} \times 40\text{cm}$ 的木质栽植箱内,幼苗在栽植箱内呈棋盘状均匀分布,间距为30cm,以便本实验的幼苗生长密度与自然更新的种群密度基本一致。

幼苗栽植箱内的土壤来自茂县生态站附近海拔约1900m的冷杉林,取回的表层土壤(0—20cm)过孔径为1cm的筛,以去除大于1cm的石粒和杂物,然后把过筛的土壤混合均匀,用于岷江冷杉的栽培实验。

### 1.1.3 实验处理

本实验设增温和非增温2个处理。本实验的生长室内温度不是恒温处理,而是控制生长室内的实时温度与外界环境的实时温度差值恒定,也就是随时保持生长室内外的温差恒定。根据65个月(2004年4月—2009年9月)的半小时自动环境因子监测数据分析得知,非增温处理生长室与外界环境温度的平均温差值为 $(0.3 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ ,表明非增温生长室与外界环境的温度没有明显差异;增温处理生长室的温度与外界环境温度的差值为 $(2.2 \pm 0.2)^\circ\text{C}$ 。每个处理重复3次,共计处理48株岷江冷杉幼苗(2处理 $\times$ 3重复 $\times$ 2箱 $\times$ 4株/箱)。

2004年3月底,将栽植有岷江冷杉幼苗的栽植箱移入生长室内进行连续增温和非增温处理。由于本实验的控制环境生长室系统位于中国科学院成都生物研究所茂县山地生态系统定位研究站,该系统的日常维护和管理由专人负责。在整个处理的65个月中,不向栽植箱的土壤添加任何养分,实行常规管理。根据自动化土壤水分监测数据来确定浇水时间和浇水量,以维持土壤体积百分比湿度在28%左右。

## 1.2 测定指标和方法

2009年9月底,从每个处理的24株岷江冷杉幼苗中随机选出6株,分别测其株高和地径。采用全收获法,将幼苗分成根、茎、叶和侧枝,然后将各部分样品带回室内,于 $80^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重(101-3A电热鼓风恒温干燥箱,北京永光明医疗仪器厂),称重记录( $500\text{g}/0.01\text{g}$ ,常熟市金羊天平仪器厂),并计算以下指标:

根重比(Root mass ratio, RMR) = 根生物量/总生物量

茎重比(Stem mass ratio, SMR) = 茎生物量/总生物量

叶重比(Leaf mass ratio, LMR) = 叶生物量/总生物量

根叶比(Root / leaf ratio, RLR) = 根生物量/叶生物量

根冠比(Root/shoot ratio, R/S) = 地下(根)生物量/地上生物量

利用扫描仪,并结合Mapinfo软件计算获得比叶面积(Specific Leaf area, SLA,  $\text{cm}^2/\text{g}$ )。其中,扫描样品于 $80^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重(101-3A电热鼓风恒温干燥箱,北京永光明医疗仪器厂),称重记录(日本岛津AW120型, $120\text{g}/0.1\text{mg}$ ),以计算比叶面积。通过单株叶生物量和SLA计算单株总叶面积和比叶重,其计算公式如下:

单株叶面积(Total Leaf Area, TLA) = 总叶生物量 $\times$ SLA

比叶重(Leaf Mass per Area, LMA) =  $1/\text{SLA}$

### 1.3 数统计分析

所有的数据和统计分析均在 Excel 2003 和 SPSS 11.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 统计软件上完成。采用 *t*-test 比较不同处理间各参数的差异显著性。

## 2 结果与分析

### 2.1 增温对岷江冷杉生长的影响

经过 65 个月的模拟增温处理后,岷江冷杉幼苗生长显著提高。从图 1 可知,幼苗的基径和高度分别为 29.84mm 和 159.47cm,分别比对照增加了 40.02% 和 33.97%,差异显著 ( $P < 0.05$ ) (图 1 A,B)。增温对岷江冷杉幼苗的单株总叶面积和比叶面积也具有明显的促进作用,分别比对照增加了 35.38% 和 19.02%,差异显著 ( $P < 0.05$ ) (图 1 C,D)。但是,比叶重减少了 15.99%,差异显著 ( $P < 0.05$ ) (图 1 E)。

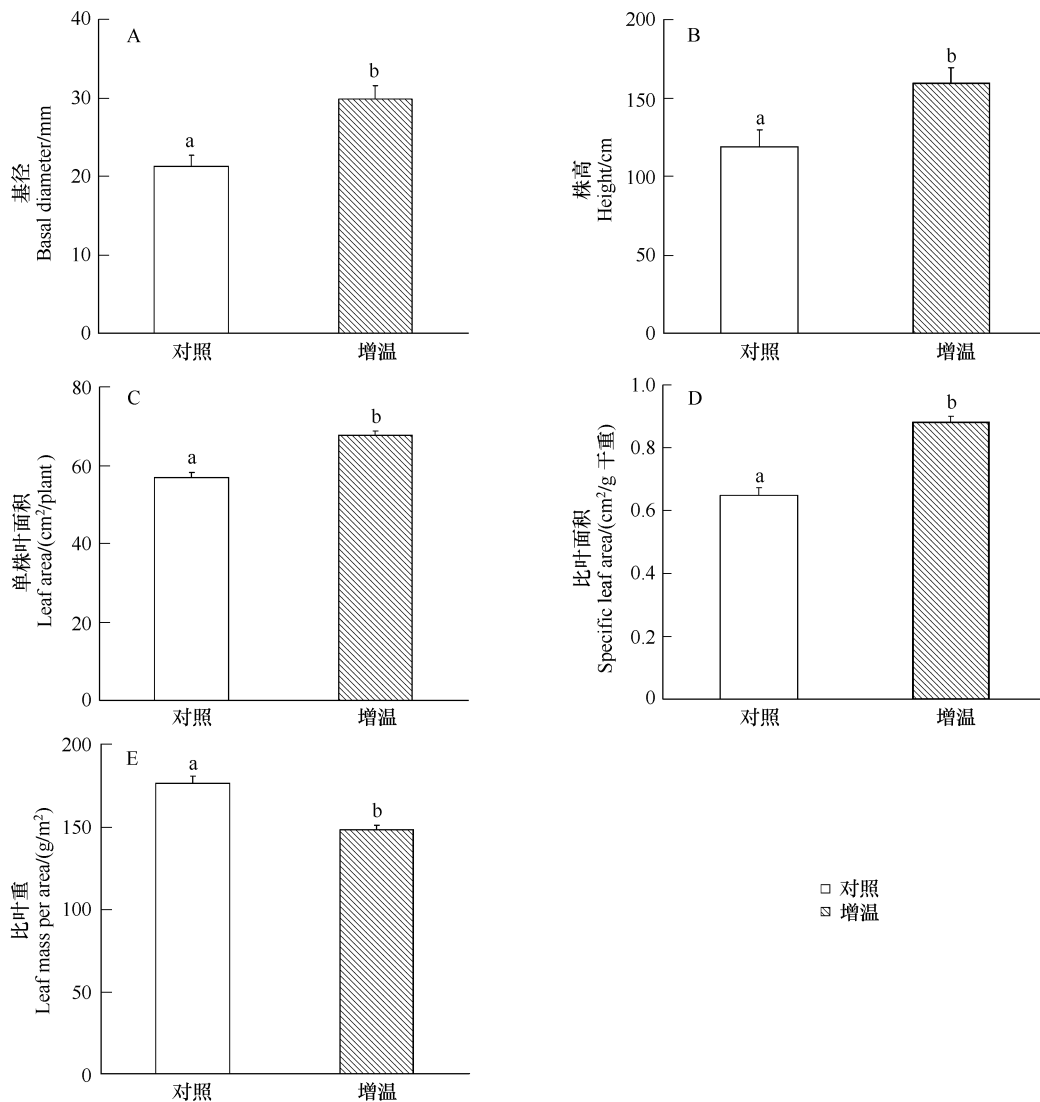


图 1 岷江冷杉幼苗的形态特征对长期增温的响应

Fig. 1 Morphological characteristics of *A. faxoniana* seedlings responses to long-term warming

注:不同的字母表示处理间显著性差异,通过 *t* 检验获得;图中数据为平均值  $\pm$  标准差,样本数为 6

### 2.2 增温对岷江冷杉幼苗物质积累的影响

从表 1 可以看出,增温促进了岷江冷杉幼苗的生物量积累。除根生物量外,增温对岷江冷杉幼苗生物量具有显著的促进作用 ( $P < 0.05$ )。增温下,岷江冷杉幼苗总生物量为 410.14 g/株,高出对照 24.24%。另外,

叶生物量、茎生物量和侧枝生物量分别为 129.89 g/株、177.11 g/株和 70.02 g/株,分别比对照增加了 13.28%、38.43% 和 58.61% (表 1)。

表 1 长期增温对岷江冷杉幼苗生物量的影响 g

Table 1 Effect of long-term warming on biomasses of *A. faxoniana* seedlings/g

	总生物量 Total biomass	根生物量 Root biomass	叶生物量 Leaf biomass	茎生物量 Shoot biomass	侧枝生物量 Branch biomass
对照 Control	330.65 ± 21.87a	88.04 ± 10.53a	114.66 ± 5.93a	127.94 ± 7.43a	44.26 ± 2.54a
增温 Warming	410.14 ± 13.83b	103.04 ± 4.87a	129.89 ± 2.26b	177.11 ± 5.42b	70.02 ± 2.62b

不同的字母表示处理间显著性差异,通过 *t* 检验获得;表中数据为平均值 ± 标准差,样本数为 6

### 2.3 增温对岷江冷杉幼苗生物量分配格局的影响

叶重比、枝重比和根重比反映了生物量在叶、枝和根 3 种器官之间分配的比例。经过 65 个月的模拟增温处理后,岷江冷杉生物量分配格局发生了明显的变化。在增温条件下,岷江冷杉幼苗的生物量大部分分配于茎,占总生物量的 49% (SMR),比对照增加了 10%,但岷江冷杉生物量向叶分配数量有所降低。叶重比 (LMR) 仅为 32%,比对照明显减少了 3% ( $P < 0.05$ )。增温处理的岷江冷杉的生物量分配于根的数量最少,根重比 (RMR) 仅为 25%,与对照相比,增温使生物量向根的分配减少了 4.14%,但差异不显著 ( $P > 0.05$ )。就根叶比 (RLR) 和根冠比 (RSR) 而言,增温处理的岷江冷杉幼苗的根叶比变化不显著,根冠比比对照降低了 6.3%,差异显著 ( $P < 0.05$ ) (表 2)。

表 2 长期增温对岷江冷杉幼苗生物分配格局的影响

Table 2 Effect of long-term warming on biomass allocation of *A. faxoniana* seedlings

	根重比 RMR Root mass ratio	叶重比 LMR Leaf mass ratio	茎重比 SMR Shoot mass ratio	根叶比 RLR Root/leaf ratio	根冠比 RSR Root/shoot ratio
对照 Control	0.27 ± 0.01a	0.35 ± 0.00a	0.39 ± 0.02a	0.77 ± 0.05a	0.36 ± 0.01a
增温 Warming	0.25 ± 0.01a	0.32 ± 0.01b	0.49 ± 0.01b	0.79 ± 0.05a	0.34 ± 0.00b

不同的字母表示处理间显著性差异,通过 *t* 检验获得;表中数据为平均值 ± 标准差,样本数为 6

## 3 讨论

已有的研究表明,增温通常能促进植物的生长和生物量累积。本研究的结果与已有的研究结果基本一致<sup>[3-4,8]</sup>。就其它生长参数而言,65 个月的增温处理减少了岷江冷杉幼苗的比叶重 (LMA),增加了单株叶面积和比叶面积 (SLA)。比叶重 (LMA) 的减少可能是由于增温促进了细胞扩展,使单位面积上细胞数量减少,进而细胞壁变薄,细胞层数也降低,说明增温能减少叶的密度和厚度,将降低幼苗对冻害和病虫害的抵抗能力<sup>[14]</sup>。增温对叶的扩展具有促进作用,单叶面积的增加是导致单株总叶面积增加原因之一。增加单株叶面积能增加植物的光合作用,固定更多的 CO<sub>2</sub>。本研究中,增温增加了岷江冷杉幼苗的比叶面积 (SLA),这主要是由于单株叶面积增加引起的,比叶面积 (SLA) 增加表明幼苗捕获光能的能力增强,这与以前的研究结果一致<sup>[4,15]</sup>。

在外界环境变化或植物遭受胁迫的条件下,研究植物体内光合碳分配格局变化比单纯研究光合产物在植物体内的积累更有意义<sup>[16]</sup>。从本研究结果来看,65 个月的增温引起了岷江冷杉幼苗生物量分配模式的变化。增温增加了茎重比 (SMR),减少了叶重比 (LMR),但对根重比 (RMR) 影响不显著 (表 2),说明增温使幼苗将更多的生物量分配到茎中,而不是叶。这个研究结果与短期增温的结果不同。Yin 等发现在全光条件下,增温促使岷江冷杉幼苗将更多的生物量分配到根,低光情况下,增温使生物量主要分配到叶<sup>[4]</sup>。这可能是由于短期增温和长期增温效应不同所致<sup>[10,17]</sup>。

65 个月的增温处理后,由于幼苗向叶分配的生物量减少,导致了叶比重 (LMR) 减少和根叶比 (RLR) 没有显著变化 (表 2)。这说明幼苗的碳固定和养分吸收的平衡发生变化。从叶重比和根叶比可以推断出增温可能减少了源/汇的比例。这一结果与 Peng 等<sup>[18]</sup>的研究结果一致。另外,根叶比 (RLR) 是反映植物水分吸收

和水损失之间平衡的重要指标。由于增温减少了生物量向根的分配,导致水分吸收可能减少,因此,为避免生理干旱带来的不利影响,岷江冷杉幼苗可能通过减少叶的生长控制水分损失,以达到植物体水分平衡,适应未来的气候变暖。

由于增加了碳同化和碳水化合物的积累,气候变暖经常被认为增加了新的碳库,导致林冠结构的改变<sup>[17]</sup>。本研究发现,65 个月的增温处理增加了幼苗的茎重比(SMR)和侧枝的生物量。增温通过延长生长季<sup>[19-20]</sup>,加速有机质的分解和土壤矿化,增加土壤 N 的可利用性,促进秆和侧枝的生长<sup>[17, 21]</sup>。一些研究还认为增温向茎分配更多的生物量,是因为增加了细根的周转,将细根的生物量转移到新的侧枝<sup>[17]</sup>。可是这个解释可能不适合本文的结论,本研究发现增温并没有改变根生物量和根重比(RMR)。其可能的原因是在长期的增温条件下,岷江冷杉可能通过将叶的生物量转移到茎和侧枝。这既能减少水分损失又可以增加光的捕获能力,有利于幼苗生长。因此,未来气候变暖可能将增加森林郁闭速度。

过去的研究发现,增温能增加幼苗 R/S<sup>[4]</sup>,但也有研究证实,增温也能降低 R/S<sup>[22-23]</sup>。本研究中,增温虽然没有明显改变根重比(RMR),但明显降低了 R/S(表 2)。这个可能是由于岷江冷杉的根和茎对增温的响应程度不同引起。例如低温抑制植物茎生长的同时,可能使根的生长停止<sup>[18,24]</sup>。根重比保持不变将保证幼苗对水分和养分的吸收能力。

**致谢:**中国科学院成都生物研究所茂县山地生态系统定位研究站李桂全和唐宗平对本实验给予支持和帮助。

#### References:

- [ 1 ] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change// Metz B, Davidson O R, Bosch P R, Dave R, Meyer L A eds. Climate Change in 2007: Mitigation. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [ 2 ] Biasi C, Meyer H, Rusalimova O, Hämmerle R, Kaiser C, Baranyi C, Daims H, Lashchinsky N, Barsukov P, Richter A. Initial effects of experimental warming on carbon exchange rates, plant growth and microbial dynamics of a lichen-rich dwarf shrub tundra in Siberia. *Plant and Soil*, 2008, 307: 191-205.
- [ 3 ] Saxe H, Ellsworth D S, Heath J. Tree and forest functioning in an enriched CO<sub>2</sub> atmosphere. *New Phytologist*, 1998, 139: 395-436.
- [ 4 ] Yin H J, Liu Q, Lai T. Warming effects on growth and physiology in the seedlings of the two conifers *Picea asperata* and *Abies faxoniana* under two contrasting light conditions. *Ecological Research*, 2008, 23: 459-469.
- [ 5 ] Zhao C Z, Liu Q. Growth and physiological responses of *Picea asperata* seedlings to elevated temperature and to nitrogen fertilization. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2009, 31: 163-173.
- [ 6 ] Xu Z F, Hu T X, Zhang Y B, Xian J R, Wang K Y. Responses of phenology and growth of *Betula Utilis* and *Abies Faxoniana* in subalpine timberline ecotone to stimulated global warming western Sichuan, China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(5): 1061-1071.
- [ 7 ] Cai T B, Dang Q L. Effects of soil temperature on parameters of a coupled photosynthesis stomatal conductance model. *Tree Physiology*, 2002, 22: 819-827.
- [ 8 ] Yin H J, Lai T, Cheng X Y, Jiang X M, Liu Q. Warming effects of growth and physiology of seedlings of *Betula Albo-Sinensis* and *Abies Faxoniana* under two contrasting light conditions in subalpine coniferous forest of western Sichuan, China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(5): 1072-1083.
- [ 9 ] Chapin III F S, Shaver G R. Physiological and growth responses of arctic plants to a field experiment simulating climatic change. *Ecology*, 1996, 77: 822-840.
- [ 10 ] van Breemen N, Jenkins A, Wright R F. Impacts of elevated carbon dioxide and temperature on a boreal forest ecosystem (CLIMEX Project). *Ecosystems*, 1998, 1: 345-351.
- [ 11 ] Keyser A R, Kimball J S, Nemani R R, Running S W. Simulating the effects of climate change on the carbon balance of North American high-latitude forests. *Global Change Biology*, 2000, 6: 185-195.
- [ 12 ] Wang K Y. Processes of Subalpine Forest Ecosystem in the West of Sichuan. Chengdu: Sichuan University Press, 2004.
- [ 13 ] Zhang Y B, Wang K Y, Qiao Y Z. Enclosed-top chambers system for investigating responses of plant growth process to global climate change under high-frigid conditions in southwestern China. *Chinese Journal of Applied Environment Biology*, 2007, 13(5): 601-608.



- [14] Poorter H, Niinemets ü, Poorter L, Wright I J, Villar R. Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. *New Phytologist*, 2009, 182:565-588.
- [15] Loveys B R, Scheurwater I, Pons T L, Fitter A H, Atkin O K. Growth temperature influences the underlying components of relative growth rate: an investigation using inherently fast- and slow-growing plant species. *Plant Cell Environment*, 2002, 25: 975-988.
- [16] Domisch T, Finr L, Lehto T. Growth, carbohydrate and nutrient allocation of Scots pine seedlings after exposure to simulated low soil temperature in spring. *Plant and Soil*, 2002, 246: 75-86.
- [17] Bronson D, Gower S T, Myron T, Van Herk I. Effect of ecosystem warming on boreal black spruce bud burst and shoot growth. *Global Change Biology*, 2009, 15: 1534-1543.
- [18] Peng Y Y, Dang Q L. Effects of soil temperature on biomass production and allocation in seedlings of four boreal tree species. *Forest Ecology and Management*, 2003, 180:1-9.
- [19] Str mgren M, Linder S. Effects of nutrition and soil warming on stemwood production in a boreal Norway spruce stand. *Global Change Biology*, 2002, 8: 1194-1204.
- [20] Slaney M, Wallin G, Medhurst J, Linder S. Impact of elevated carbon dioxide concentration and temperature on bud burst and shoot growth of boreal Norway spruce. *Tree Physiology*, 2007, 27: 301-312.
- [21] Gower S T, Isebrands J G, Sheriff D. Factors influencing carbon assimilation and allocation in conifer forests // Smith W K, Hinckley T M eds. *Resource Physiology of Conifers*, New York: Academic Press, 1995: 217-254.
- [22] Larigauderie A, Ellis B A, Mills J N, Kummerow J. The effect of root and shoot temperatures on growth of *Ceanothus greggii* seedlings. *Annals of Botany*, 1991, 67: 97-101.
- [23] Landhausser S M, Wein R W, Lange P. Gas exchange and growth of three arctic tree-line tree species under different soil temperature and drought preconditioning regimes. *Canadian Journal of Botany*, 1996, 74: 686-693.
- [24] Lopushinsky W, Kaufmann M R. Effects of cold soil on water relations and spring growth of Douglas-fir seedlings. *Forest Science*, 1984, 3:628-634.

#### 参考文献:

- [6] 徐振锋, 胡庭兴, 张远彬, 鲜骏仁, 王开运. 川西亚高山林线交错带糙皮桦和岷江冷杉幼苗物候与生长对模拟增温的响应. *植物生态学报*, 2008, 32 (5):1061-1071.
- [8] 尹华军, 赖挺, 程新颖, 蒋先敏, 刘庆. 增温对川西亚高山针叶林内不同光环境下红桦和岷江冷杉幼苗生长和生理的影响. *植物生态学*, 2008, 32 (5):1072-1083.
- [12] 王开运. 川西亚高山森林群落生态系统过程. 成都: 四川科技出版社, 2004.
- [13] 张远彬, 王开运, 乔云周. 研究高寒区植物生长过程对气候变化响应的封顶式生长室系统. *应用与环境生物学报*, 2007, 13 (5): 601-608.

# 2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2009 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	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 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 30 卷 第 21 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 30 No. 21 2010

**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

**主 编** 冯宗炜  
**主 管** 中国科学技术协会  
**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

**出 版** 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

**印 刷** 北京北林印刷厂  
**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

**订 购** 全国各地邮局  
**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

**广告经营** 京海工商广字第 8013 号  
**许 可 证**

**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

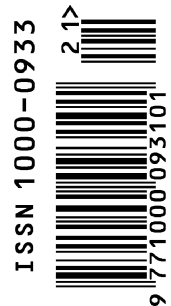
**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**Published** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@cspg.net

**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading  
Corporation  
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元