

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

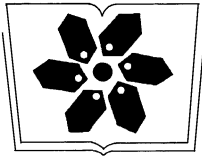
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 13 期 Vol.31 No.13 **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 13 期 2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

我国东部北亚热带植物群落季相的时空变化	陈效速, 亓孝然, 阿 杉, 等 (3559)
华北低丘山地人工林蒸散的季节变化及环境影响要素	黄 辉, 孟 平, 张劲松, 等 (3569)
东北东部 14 个温带树种树干呼吸的种内种间变异	许 飞, 王传宽, 王兴昌 (3581)
RS 和 GIS 支持的洪河地区湿地生态健康评价	王一涵, 周德民, 孙永华 (3590)
应用光合色素研究广西钦州湾丰水期浮游植物群落结构	蓝文陆, 王晓辉, 黎明民 (3601)
基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究	曲 艺, 王秀磊, 栾晓峰, 等 (3609)
融雪时间对大卫马先蒿生长和繁殖特性的影响	陈文年, 吴 彦, 吴 宁, 等 (3621)
巴郎山刺叶高山栎叶片 $\delta^{13}\text{C}$ 对海拔高度的响应	冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (3629)
宁南半干旱与半干旱偏旱区苜蓿草地土壤水分与养分特征	任晶晶, 李 军, 王学春, 等 (3638)
南岭小坑藜蒴栲栢群落地上部分生物量分配规律	李 根, 周光益, 王 旭, 等 (3650)
放牧对五台山高山、亚高山草甸牧草品质的影响	章异平, 江 源, 刘全儒, 等 (3659)
短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响	 羊留冬, 杨 燕, 王根绪, 等 (3668)
锰胁迫对垂序商陆叶片形态结构及叶绿体超微结构的影响	梁文斌, 薛生国, 沈吉红, 等 (3677)
土荆芥挥发油对蚕豆根尖细胞的化感潜力	胡琬君, 马丹炜, 王亚男, 等 (3684)
喀斯特城市杨树人工林微量元素的生物循环	王新凯, 田大伦, 闫文德, 等 (3691)
大兴安岭林区多孔菌的区系组成与种群结构	崔宝凯, 余长军 (3700)
铜绿微囊藻和斜生栅藻非稳态营养盐限制条件下的生长竞争特性	赵晓东, 潘 江, 李金页, 等 (3710)
陆地棉萌发至三叶期不同生育阶段耐盐特性	王俊娟, 王德龙, 樊伟莉, 等 (3720)
基于模式生物秀丽隐杆线虫的三丁基锡生态毒性评价	王 云, 杨亚楠, 简风雷, 等 (3728)
大庆油田石油开采对土壤线虫群落的影响	肖能文, 谢德燕, 王学霞, 等 (3736)
若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响	吴鹏飞, 杨大星 (3745)
洞庭湖湿地土壤环境及其对退田还湖方式的响应	刘 娜, 王克林, 谢永宏, 等 (3758)
渭北旱塬苹果园地产量和深层土壤水分效应模拟	张社红, 李 军, 王学春, 等 (3767)
黄土丘陵区不同土地利用下土壤释放 N_2O 潜力的影响因素	祁金花, 黄懿梅, 张 宏, 等 (3778)
东北中部地区水稻不同生育时期低温处理下生理变化及耐冷性比较	宋广树, 孙忠富, 孙 蕾, 等 (3788)
硫对成熟期烤烟叶绿素荧光参数的影响	朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等 (3796)
高温强光对温州蜜柑叶绿素荧光、D1 蛋白和 Deg1 蛋白酶的影响及 SA 效应	 邱翠花, 计玮玮, 郭延平 (3802)
覆膜对土壤-莴苣体系氮素分布和植物吸收的影响	李丽丽, 李非里, 刘秋亚, 等 (3811)
基于空间分带的崇明东滩水鸟适宜生境的时空动态分析	范学忠, 张利权, 袁 琳, 等 (3820)
驯鹿对苔藓植物的选择食用及其生境的物种多样性	冯 超, 白学良 (3830)
北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估	张 彪, 谢高地, 薛 康, 等 (3839)
专论与综述	
冻土甲烷循环微生物群落及其对全球变化的响应	倪永清, 史学伟, 郑晓吉, 等 (3846)
哺乳动物毛被传热性能及其影响因素	郑 雷, 张 伟, 华 彦 (3856)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说: 滇金丝猴是我国特有的世界珍稀动物之一, 属国家一级重点保护物种。仅生活在滇藏交界处的高寒云冷杉林中, 是我国川、滇、黔三种金丝猴中唯一具有和人类一样美丽红唇的金丝猴。手中的松萝是它最喜爱的食物之一。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

羊留冬, 杨燕, 王根绪, 郭剑英, 杨阳. 短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响. 生态学报, 2011, 31 (13): 3668-3676.

Yang L D, Yang Y, Wang G X, Guo J Y, Yang Y. Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of *Abies fabiri* (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (13): 3668-3676.

短期增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长及其 CNP 化学计量学特征的影响

羊留冬^{1,2}, 杨 燕^{1,*}, 王根绪¹, 郭剑英^{1,2,3}, 杨 阳^{1,2}

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

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 乐山师范学院旅游与经济管理学院, 四川乐山 614004)

摘要: 2009 年 5 月至 10 月, 在中国科学院贡嘎山高山森林生态系统观测站附近, 采用红外灯加热人工模拟气候变暖研究了增温对峨眉冷杉 (*Abies fabiri* (Mast.) Craib) 幼苗生长和养分及其化学计量特征的影响。由于红外灯的增温作用, 在幼苗的整个生长季节, 增温样地地表下 5、10、20 cm 处土温平均高于对照样地 5.04、4.81、4.35 °C, 而土壤含水量则分别降低了 7.03%、6.10%、6.40%; 地表 20 cm 处空气温度相比对照样地上升了 1.12 °C, 而空气相对湿度则降低了 6.30%。除茎重比外, 增温处理降低了峨眉冷杉幼苗的根长、基径、株高、总生物量、根重比、叶重比、根冠比和比叶面积。经方差分析发现, 增温处理后幼苗根、茎和叶的 C 平均含量与对照差异性均不显著 ($P>0.05$), 其中除茎的提高 2.76% 外, 根和叶分别降低了 7.15% 和 2.29%; N 平均含量除茎显著降低之外 ($P<0.05$), 根、叶分别提高了 9.78% 和 5.70%; 幼苗根、茎、叶的 P 平均含量均低于对照 11.97%、10.69% 和 2.99%, 并且根和茎与对照存在显著性差异 ($P<0.05$)。增温处理后幼苗根、茎、叶各器官的 C:N、C:P、N:P 与对照均不存在显著性差异 ($P>0.05$), 其中 C:P 均大于对照, 而 C:N 和 N:P 与对照相比, 均有不同程度的减小; C:N、N:P 和 C:P 的平均值 ($\pm$ 标准差) 大小顺序依次为茎 (92.59 $\pm$ 4.92) > 根 (61.89 $\pm$ 1.65) > 叶 (60.81 $\pm$ 3.23)、叶 (4.99 $\pm$ 0.22) > 根 (4.44 $\pm$ 0.58) > 茎 (3.64 $\pm$ 0.10) 和茎 (336.35 $\pm$ 8.70) > 叶 (302.85 $\pm$ 4.49) > 根 (274.86 $\pm$ 5.27)。实验结果表明: 增温对幼苗生长和生物量积累具有明显的限制作用, 对叶片生长的阻碍作用尤为突出; 增温改变了幼苗根茎叶的 CNP 含量及其化学计量比格局; 在养分供应上, 增温和对照处理下幼苗生长均受 N 素限制。

关键词: 气候变暖; 幼苗生长; CNP 化学计量比; 峨眉冷杉; 贡嘎山

Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of *Abies fabiri* (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain

YANG Liudong^{1,2}, YANG Yan^{1,*}, WANG Genxu¹, GUO Jianying^{1,2,3}, YANG Yang^{1,2}

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

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

3 School of Tourism and Economic Management, Leshan Normal University, Leshan 614004, China

Abstract: Global warming as a result of greenhouse gas emissions is predicted to increase air temperature during this century. Forests are important terrestrial ecosystems, and are particularly sensitive to climate change. Increasing temperatures could have a number of serious consequences for forests such as prolonging the growth season of plants; changing the structure and dynamics of plant communities; changing the geographic distribution of communities (extending into the alpine region); blocking photosynthesis, and affecting biodiversity. These impacts, in turn, can be expected to

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX2-YW-331-2); 中国科学院“西部之光”博士资助项目

收稿日期: 2010-12-07; **修订日期:** 2011-03-07

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

have consequences for the structure and function of forest ecosystems, especially in high latitude and altitude regions. Gongga Mountain is in the subalpine zone of the eastern area of Qing-Tibet Plateau, and is thought to be a fragile zone sensitive to climate change. The terrestrial ecosystems in this region are predicted to experience climate change.

Abies fabiri (Mast.) Craib is one of the dominant conifers in the subalpine area of the western Sichuan Province of China. This species is very important for the ecosystem in this region as the main constructive species of the subalpine dark coniferous forests. Temperature and N nutrient supply have been recognized as the two limiting growth factors of *Abies fabiri*. The present study investigated the effects of a short-term warming on growth, nutrients and stoichiometric traits of *Abies fabiri* seedlings. We artificially simulated global warming using an infrared heater at the nearby Gongga Alpine Forest Ecosystem Observation Station, Chinese Academy of Sciences. In the growing season, the average monthly temperatures of soil at depths of 5, 10 and 20 cm were increased by 5.04°C, 4.81°C and 4.35°C, respectively, air temperature was increased 1.12°C also; however, soil water content at depths of 5, 10 and 20 cm were decreased by 7.03%, 6.10% and 6.40%, respectively, and air relative humidity was decreased by 6.30% as well. Total biomass was decreased by short-term warming compared with the biomass of the control seedlings. Root length, basal diameter, plant height, root shoot ratio, leaf mass ratio, root mass ratio and specific leaf area (SLA) also decreased, while stem mass ratio increased with short-term warming. These findings indicated that seedling growth was impeded by short-term warming. Additional data showed that C concentrations in stems and leaves were decreased by 7.75% and 2.29%, while concentrations increased by 2.76% in roots. However, there were no significant effects of short-term warming on C concentrations in root, stems or leaves ($P > 0.05$). N concentration in stems was significantly decreased by 14.49% ($P < 0.05$) while concentrations in roots and leaves increased by 19.78% and 5.70% but these were not significant ($P > 0.05$). There were no effects of short-term warming on the P concentration in roots, stems or leaves compared with the control seedlings. Short-term warming also affected the stoichiometric characteristics of *Abies fabiri* in root, stem and leaves but these differences were not significant. The ratios of C:N and N:P in seedlings exposed to short-term warming were lower than in the control seedlings. In contrast, the C:P ratio was higher than in the controls. The order of mean ratios were: stem (92.59 ± 4.92) > root (61.89 ± 1.65) > leaf (60.81 ± 3.23) for C:N ratios, leaf (4.99 ± 0.22) > root (4.44 ± 0.58) > stem (3.64 ± 0.10) for N:P ratios, and stem (336.35 ± 8.70) > leaf (302.85 ± 4.49) > root (274.86 ± 5.27) for C:P ratios. In summary, this study suggests that short-term warming decreased seedling growth, altered biomass allocation and C:N:P stoichiometry pattern. A shortage in N nutrient supply is suggested to have caused the decreased growth of seedlings in the warming and control treatments.

Key Words: climate warming; growth of seedling; C, N and P stoichiometry; *Abies fabiri* Craib; Gongga mountain

目前,大量监测与模拟结果已表明,全球温室效应仍在继续和扩大,并由此导致的气候变暖已经成为不争的事实。预计到本世纪末,全球平均气温因气候变暖将升高约 1.8—4.0 °C^[1],届时在新的气候和环境条件下,全球陆地生态系统将发生巨大变化。其中,绿色植物作为陆地生态系统维持其正常运转所需能量的提供者,对大气和土壤温度具有高度的敏感性,其发生微小的变化都将有可能对植物的整个生长过程和生理特征产生强烈影响。有研究显示,气候变暖将给植物个体和植物群落带来的影响包括:生长期延长^[2-3],群落结构和动态变化,群落地理分布格局向高寒地区扩展^[4],光合作用受阻^[5],多样性变化^[6],生产力提高或降低^[7],个体形态特征发生变化^[8],群落内部种间关系出现错位^[9]等严重后果。作为关系到森林顺利更新、物种组成以及植物群落成功演替的关键环节,幼苗定居与生长的早期阶段受到气候的强烈支配,气候变暖的变化将通过影响此环节诱发植物群落偏离正常的演替轨道,进而对森林生态系统的结构与功能产生负面效应^[10]。此外,生态化学计量学中的动态平衡理论认为有机体能够控制自身的许多特性包括营养平衡和 pH 值稳定等,使得内部环境不随外部环境的波动而发生剧烈变化。生物个体元素组成维持在一个狭窄的范围内^[11],而碳

(C)、氮(N)和磷(P)作为植物生长所必需的养分元素,虽然其含量在特定植物种的特定生长阶段具有一定的变异性,但 C、N、P 三者之间的化学计量比却是相对稳定的,但这种相对稳定状态也容易受到气候变暖的强烈作用而被破坏,从而改变植物的 C 积累动态和 N、P 养分限制格局^[12],并将成为植物生长受阻、生理过程发生紊乱的内在驱动因素之一。这一系列变化与影响在高纬度、高海拔地区体现得尤为明显。

欧亚大陆山地暗针叶林分布高度从北向南逐渐增高,在 30°N 附近达到最高。贡嘎山主峰海拔 7556 m,正好位于 30°N 附近,处于川西与青藏东部森林的过度地带^[13],海拔梯度层次分明,物种丰富,山地暗针叶林分布高度在该山体经度位置上达到最大值,并且未受到人类活动的强烈干扰,因特殊的生态环境特征,对研究亚高山森林生态系统具有重大科研价值。峨眉冷杉(*Abies fabri* Craib)是四川盆地西北边缘山区一种常见的地方性树种,在贡嘎山东坡分布于海拔 2800—3600 m^[13],与云杉属、冷杉属的其他树种作为主要建群种共同组成川西亚高山暗针叶林森林类型,其森林更新的早期阶段是关系到这一地区针叶林物种结构与群落成功演替的关键环节,并对全球气候变化的响应十分敏感。因此,研究气候变暖对亚高山暗针叶林更新的影响,特别是对生长在贡嘎山地区的峨眉冷杉幼苗生长早期过程的影响显得十分必要。同时,目前有关气候变暖对森林植物影响的研究主要集中于植物生长方面^[14-15],而关于气候变暖对植物体内营养元素特别是 C、N、P 化学计量比的影响鲜有报道。因此,通过人工模拟气候变暖,研究了增温对贡嘎山峨眉冷杉幼苗生长和营养元素化学计量特征的影响,揭示了针叶林幼苗早期生长对气候变化的化学内在机制,并为我国生态化学计量学的区域性研究与生物地球化学循环的模型整合提供基础数据。

1 研究材料与方法

1.1 研究区域概况

研究地点位于贡嘎山东坡海螺沟中国科学院贡嘎山高山森林生态系统观测站(简称贡嘎山站,下同)附近(29°20′—30°20′N, 101°30′—102°15′E;海拔 3000 m),地处中国东部湿润季风区与青藏高原寒冷气候的过渡带。该区域多年平均气温 3.8 °C,最冷月(1 月)和最热月(7 月)的平均温度分别为-4.3 °C 和 11.9 °C;年平均降水量 1940.0 mm,年际变化不显著,季节分布集中,60.6%集中在 6—12 月;年平均蒸发量 1578.6 mm,年空气相对湿度 90.2%,气候和植被景观呈寒温带特点;土壤层较厚,主要是含沙量高、渗透性强的山地暗棕壤;植被类型以峨眉冷杉、麦吊杉(*Picea brachytyla*)、云杉(*Picea likiangensis* var. *balfouriana*)为主,混生冬瓜杨(*Populus purdomii*)、大叶柳(*Salix magnifica* Hemsl.)、杜鹃(*Rhododendron* spp.)等阔叶树种^[13]。

1.2 研究材料和样地设置

实验材料为采自峨眉山苗圃(29°36′N, 103°29′E, 海拔 3099 m) 3 年生、长势良好且均匀的峨眉冷杉幼苗,株高、茎径和根长分别为(14.8±1.1) cm、(3.1±0.2) mm 和(10.6±1.3) cm,于 2008 年 11 月以 10 株/m² 的密度移植实验地。

2009 年 4 月,完成增温装置的安装,开始对空气和土壤增温。本实验设对照(CK)和增温(T)2 个处理,每个处理各设置 3 个重复,全部共 6 个样方,规格为 2 m × 2 m,样方之间间隔 2 m。本实验样地位于贡嘎山站附近,该样地的日常维护和管理由站上专人负责,实行常规管理。在整个实验的 6 个月中,除采用红外线辐射装置对增温样地进行增温外,对照和增温样地的其他环境因子如光照、水分、土壤养分等均为自然状态。同时,采用 EC-TM 温湿度传感仪(Decagon Decices Inc., Pullman, WA)对增温和对照处理样地地表下 5、10、20 cm 处的土壤温度和土壤含水量以及地表 20 cm 处的空气温度和相对空气湿度进行监测,并利用 EmECH₂O 数据记录仪(Decagon Decices Inc., Pullman, WA)每隔 10 min 记录 1 次。

1.4 样品处理与化学分析方法

经过 1 个生长季的实验后,于 2009 年 10 月在对照和增温处理样地中随机选取长势良好的幼苗 15 株,进行生长参数和养分状况的测定。测定的指标参数包括:株高、根长、基径、总生物量,以及幼苗根、茎、叶各器官的全碳(C)、全氮(N)和全磷(P)含量。

具体测定方法:在实验样地中,将采集到的全部健康幼苗用清水洗净,测量幼苗株高、基径和主根长度之

后,将全部幼苗的根、茎剪成 1.5 cm 左右的小段与叶片分别装入牛皮信封袋内,在 65 ℃ 烘箱中烘干至恒重后称得干重,据此计算出植株总生物量及其分配(根、茎、叶等各部分重量占植株总生物量的比例)和根冠比(植株地下生物量/地上生物量)。另外在样地中各选取 3 株健康幼苗,利用 Image Tool 画图软件计算叶片面积,最后将叶片置于 65 ℃ 烘箱中烘干至恒重并称得干重,计算幼苗比叶面积(叶片面积/叶片干重)。

幼苗根、茎、叶样品经烘干、粉碎,测定其 C、N、P 含量。其中 C 含量利用重铬酸钾($K_2Cr_2O_7$)容量法,N 含量采用凯式定氮法,P 含量采取钼锑抗比色法,测定结果均用单位质量的养分含量表示^[11],并以此计算幼苗根、茎、叶各器官的 C:N、C:P、N:P。

1.5 数据处理

采用 SPSS statistics16.0 统计软件对幼苗的根长、株高、基径、生物量及其分配、比叶面积、根冠比,以及幼苗根、茎、叶各器官的 C、N、P 含量及其化学计量比等数据进行单因素分析(One-Way ANOVA),并利用 LSD-t 检验法检验数据之间的显著性,并用字母法标记,显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 实验结果

2.1 土壤和空气温度变化

2009 年 5 至 10 月,通过对增温样地土壤温度的测定(表 1),增温样地中的土壤增温效果明显,地下 5、10、20 cm 处的土壤平均温度与对照相比,分别升高了 5.04、4.81、4.35 ℃;并且地下 5 cm 处各月的平均温度增幅均大于地下 10 cm 和 20 cm 处。同时,增温处理样地地表 20 cm 处的空气平均温度与对照相比升高了 1.12 ℃,10 月份的温度升高幅度最为明显。

表 1 2009 年 5 至 10 月对照和增温样地土壤和空气温度/℃^[16]

月份 Month	对照 CK				增温 T			
	Ts1	Ts2	Ts3	Ta	Ts1	Ts2	Ts3	Ta
5	10.78	10.61	10.23	8.28	13.98	13.73	12.89	8.67
6	11.83	11.61	11.15	10.66	17.01	16.65	15.76	11.58
7	14.23	14.12	13.77	13.07	19.98	19.56	18.81	14.23
8	14.04	14.05	13.93	12.87	19.82	19.76	18.88	14.11
9	14.42	14.46	14.39	9.20	19.81	19.44	19.09	10.34
10	10.14	10.35	10.63	5.09	15.03	14.93	14.76	6.93
平均值 Average	12.57	12.53	12.35	9.86	17.61	17.34	16.70	10.98

Ts1: 土壤温度(-5 cm);Ts2: 土壤温度(-10 cm);Ts3: 土壤温度(-20 cm);Ta: 空气温度(20 cm)

2.2 土壤含水量和空气相对湿度变化

与对照相比,增温样地地下 5、10、20 cm 处的土壤含水量分别降低了 7.03%、6.10% 和 6.40%;与土壤温度变化一致,地下 5 cm 处各月的平均土壤水分含量降低幅度均大于地下 10 cm 和 20 cm 处。同时,增温还降低了空气相对湿度,与对照相比降低了 6.30%(表 2)。

表 2 2009 年 5 至 10 月对照和增温样地土壤水分与空气平均相对湿度/%^[16]

月份 Month	对照 CK				增温 T			
	SW1	SW2	SW3	RH	SW1	SW2	SW3	RH
5	36.70	35.18	34.02	93.12	28.70	27.95	29.49	88.81
6	32.02	31.89	31.68	92.25	25.93	26.15	26.93	87.59
7	33.75	31.44	31.40	94.14	25.48	26.11	26.36	87.87
8	33.02	32.17	32.21	93.54	26.75	27.37	26.94	86.90
9	30.73	29.07	29.00	92.75	23.40	24.86	24.76	85.53
10	29.09	28.76	28.43	97.02	22.62	22.47	22.06	88.32
平均值 Average	32.55	31.42	31.12	93.80	25.52	25.32	24.72	87.50

SW1: 土壤含水量(-5cm);SW2: 土壤含水量(-10cm);SW3: 土壤含水量(-20cm);RH: 空气相对湿度

2.3 生物量及分配

幼苗总生物量在增温处理后降低了 22.02% (图 1)。与对照相比,增温处理后幼苗茎重比提高 11.25%, 而根重比和叶重比分别降低了 1.35% 和 8.39%, 并且叶重比与对照存在显著性差异 ($P < 0.05$) (图 1)。增温对幼苗根冠比的影响不明显 ($P > 0.05$) (图 1), 但显著降低了幼苗的比叶面积, 降低了 6.44%, 为 $0.32 \text{ m}^2/\text{kg}$ (图 1)。

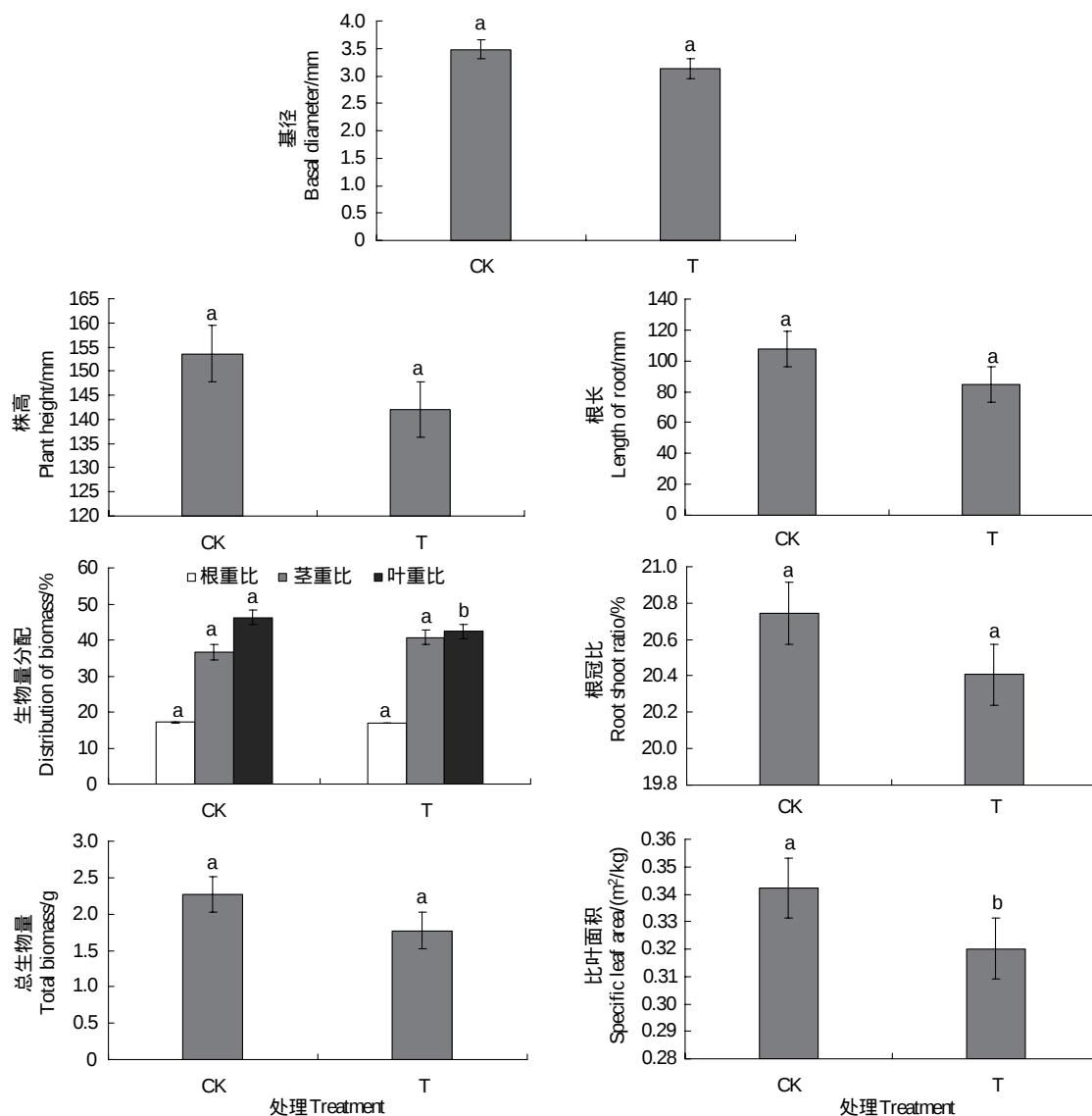


图 1 增温对峨眉冷杉幼苗生长的影响

Fig. 1 Effect warming on seedling growth of *Abies fabri*

不同字母表示处理间显著性差异, $P < 0.05$; 图中数据为平均值 $\pm$ 标准差, $n = 15$

2.4 幼苗的基径、根长和株高

增温处理下幼苗的基径、根长和株高的平均值与对照 (图 1) 相比分别降低 10.06%、21.28% 和 7.55%, 并且与对照不存在显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.5 幼苗 C、N、P 含量及其化学计量特征

经过 6 个月的增温实验, 幼苗根、茎、叶的 C 的平均含量与对照均不存在显著性差异 ($P > 0.05$), 其中除幼苗茎 [$(393.43 \pm 11.20) \text{ mg/g}$] 高出对照 2.76% 外, 根 [$(344.63 \pm 5.47) \text{ mg/g}$] 与叶 [$(394.20 \pm 5.30) \text{ mg/g}$] 均低于对照, 分别下降了 7.15% 和 2.29%; 幼苗根和叶的 N 的平均含量 [分别为 $(5.57 \pm 0.06) \text{ mg/g}$ 和 $(6.49$

± 0.25) mg/g] 分别高出对照 19.67% 和 5.70%, 而茎 $[(4.25 \pm 0.11)$ mg/g] 降低了 14.49%, 并且根与对照差异性显著 ($P < 0.05$); 幼苗根、茎和叶的 P 的平均含量 [分别为 (1.25 ± 0.10) mg/g、 (1.17 ± 0.07) mg/g 和 (1.30 ± 0.05) mg/g] 与对照相比, 分别降低了 11.97%、10.69% 和 2.99%, 并且根和茎与对照差异性显著 ($P < 0.05$) (表 3)。增温处理后幼苗根、茎和叶的 C:N、C:P 以及 N:P 的平均值与对照差异均不显著 ($P > 0.05$)。增温处理后: 幼苗的根、茎和叶的 C:N [分别为 (61.89 ± 1.65) 、 (92.59 ± 4.92) 和 (60.81 ± 3.23)] 与对照相比, 分别下降了 22.41%、4.04% 和 7.10%; C:P [分别为 (274.86 ± 5.27) 、 (336.35 ± 8.70) 和 (302.85 ± 4.49)] 均大于对照, 分别提高了 4.78%、15.31% 和 0.78%; N:P [分别为 (4.44 ± 0.58) 、 (3.64 ± 0.10) 和 (4.99 ± 0.22)] 与 C:P 具有较好的一致性, 与对照相比分别提高了 11.97%、10.69% 和 2.99% (表 4)。

表 3 增温和对照处理下峨眉冷杉幼苗根、茎、叶各器官的 C、N、P 含量

Table 3 The content total carbon, nitrogen and phosphorus of root, stem and leaf of *Abies fabiri* seedling in temperature and control treatment

器官 Organs	C/(mg/g)		N/(mg/g)		P/(mg/g)	
	对照 CK	增温 T	对照 CK	增温 T	对照 CK	增温 T
根 Root	371.17 $\pm$ 13.40a	344.63 $\pm$ 5.47a	4.65 $\pm$ 0.02a	5.57 $\pm$ 0.06b	1.42 $\pm$ 0.04a	1.25 $\pm$ 0.10b
茎 Stem	382.87 $\pm$ 9.42a	393.43 $\pm$ 11.20a	4.97 $\pm$ 0.23a	4.25 $\pm$ 0.11a	1.31 $\pm$ 0.10a	1.17 $\pm$ 0.07b
叶 Leaf	403.43 $\pm$ 8.40a	394.20 $\pm$ 5.30a	6.14 $\pm$ 0.11a	6.49 $\pm$ 0.25a	1.34 $\pm$ 0.04a	1.30 $\pm$ 0.05a

同行对照与增温之间不同小写字母表示显著差异, $P < 0.05$; 图中数据为平均值 $\pm$ 标准差

表 4 增温和对照处理下峨眉冷杉幼苗根、茎、叶各器官的 C、N、P 化学计量比

Table 4 The carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in root, stem, and leaf *Abies fabiri* seedling in temperature and control treatment

器官 Organs	C:N		C:P		N:P	
	对照 CK	增温 T	对照 CK	增温 T	对照 CK	增温 T
根 Root	79.74 $\pm$ 2.56a	61.89 $\pm$ 1.65a	262.30 $\pm$ 9.40a	274.86 $\pm$ 5.27a	3.29 $\pm$ 0.01a	4.44 $\pm$ 0.58a
茎 Stem	96.63 $\pm$ 6.46a	92.59 $\pm$ 4.92a	291.77 $\pm$ 10.09a	336.35 $\pm$ 8.70a	3.03 $\pm$ 0.19a	3.64 $\pm$ 0.10a
叶 Leaf	65.67 $\pm$ 1.75a	60.81 $\pm$ 3.23a	300.48 $\pm$ 4.48a	302.85 $\pm$ 4.49a	4.58 $\pm$ 0.09a	4.99 $\pm$ 0.22a

同行对照与增温之间相同小写字母表示差异不显著, $P < 0.05$; 图中数据为平均值 $\pm$ 标准差

3 结论与讨论

增温对植物生长和生物量积累的影响已有大量研究^[17-18], 却并没有得到一致的结论。Reich 和 Oleksyn^[19]在欧洲北部的研究结果显示, 北纬 57° 以北增温对植物生长主要是促进作用, 而在北纬 54° 以南则主要是限制作用; Prieto 等^[20]在西班牙东北部进行的长达 5 a 的增温实验表明, 增温促进了 *Erica multiflora*、*Globularia alypum* 以及 *Pinus halepensis* 的生长, 利于 3 种植物生物量的积累; 而 Bokhorst 等^[21]在斯堪的纳维亚北部冬季连续两个冬季的增温实验表明, *Empetrum hermaphroditum* 在增温处理下幼苗死亡率提高了 21 倍, 同时地上生物量降低了 47%。导致这些研究结论不一致与所研究的区域气候条件、所采用的增温装置以及植物种等密切相关。在本实验中, 与对照相比, 增温降低了峨眉冷杉幼苗的根长、基径、株高、总生物量、根重比、叶重比、根冠比以及比叶面积, 只有茎重比提高了 11.25%。增温后茎干重显著降低 ($P < 0.05$), 但茎重比不降反而上升, 这是因为茎干重降低的幅度 (13.25%) 小于总生物量降低的幅度 (18.97%)。有研究表明土壤水分含量降低导致的土壤干旱对根的伸长产生强烈的机械阻碍作用^[22]。在本实验中, 增温导致土壤含水量降低, 增温处理后幼苗的根长、根冠比、根重比和幼苗总生物量与土壤含水量之间保持一致性, 与对照相比均有所降低, 这表明幼苗的根受到增温明显的限制作用, 这与 Edwards 等^[23]研究结果一致。同时, 植物生长和发育受到根温的强烈影响, 早在 1969 年 Walker^[24]就发现, 温度变化会通过改变植物根温来影响植物的生长和发育, 地温变化 1 °C 就能引起植物生长发生明显变化。在本实验中, 增温样地里地表下 5、10、20 cm 处的土壤温度与对照相比均有明显升高, 最大升高幅度达 5.78 °C, 这足以引起根温发生剧烈变化, 并且叶片生长对根温最为敏感^[25], 因此, 温度升高将对植物叶片生长产生巨大影响, 实验中增温处理的幼苗叶干重和叶重比的降低幅度均大于根和茎。

除此之外,在实验中幼苗根、茎、叶的 C 含量除对照处理的幼苗叶片 $[(403.43 \pm 8.40) \text{ mg/g}]$ 外,其余均低于 400 mg/g ,这与程根伟和逻辑^[26]以及郑维捷等^[27]得到的针叶树种各营养器官 C 含量均大于 400 mg/g 的研究结果差异较大。导致这种现象的可能原因:一是这些文献的研究对象均为成株并非幼苗,以致结果对比有出入;二是与幼苗的呼吸作用密切相关,幼苗时期大部分通过光合作用合成的碳水化合物被呼吸作用消耗为蛋白质合成过程提供能量,致使幼苗体内 C 贮存减少。因此,增温处理的幼苗各营养器官 C 含量普遍低于对照处理,这与温度升高诱发的土壤温度升高、土壤水分含量和空气相对湿度降低以及幼苗呼吸作用增强有关。

温度的变化导致植物生长环境发生变化,从而改变植物对养分和水分的吸收,间接地影响植物生长和生物量的积累^[28-29]。Havström 在南极地区研究发现,在低温地区植物生长主要受温度的限制,而在温度较高地区,营养元素成为主要限制因子^[8]。作为植物最重要的营养元素,C、N 和 P 含量以及三者之间较为稳定的化学计量比是植物维持其生长和生理过程井然有序的基本前提^[12, 30]。植物的 C:N 和 C:P 实际上隐含了 C(生物量)与养分的比值关系,比值越大意味着 C 充裕而 N、P 相对过少,反之,比值越小意味着 N、P 充裕而 C 相对不足^[12]。在本实验中,增温处理降低了幼苗根、茎和叶的 C:N,这与增温处理下幼苗生物量降低是相符的。但是,增温后幼苗生物量降低意味着幼苗根、茎、叶的 C:P 也应该相应降低,但实际上 C:P 并无降低反而升高(根、茎和叶分别增加了 4.79%、15.28% 和 0.79%),这是由于根、茎、和叶的 P 的降低幅度远大于 C 的降低幅度(茎除外,但升高幅度极其微小)。

植物叶片的 C:N 和 C:P 预示着植物吸收营养所能同化 C 的能力,在一定程度上反映了植物的养分利用效率,因而具有重要的生态学意义^[31]。表 4 中,增温处理的幼苗叶片 C:N 与对照相比减小了 22.61%,而 C:P 增加了 4.78%,增温处理幼苗的生物量却降低了 18.97%。C:P 增加似乎与增温处理下幼苗生物量减低相矛盾? 仔细分析发现,增温处理的幼苗生物量降低(图 1),意味着幼苗同化的 C 减少了,与 C:N 是相一致的,因此,我们认为这是由于 C:P 增加所带来的正面效应抵消掉了 C:N 减小所带来的负面效应。增温在一定程度降低了峨眉冷杉幼苗对养分的利用效率。

此外,叶片 N、P 含量可以在一定程度上表征特定环境 N、P 养分条件^[32]。在本实验中,增温处理的幼苗的叶片的 N 含量和 N:P 与对照相比有所提高,但均低于中国东部南北样带针叶林叶片 N 含量(12.72 mg/g)和 N:P(11.97)的平均水平;虽然增温处理的幼苗叶片的 P 含量略低于对照,但仍高于中国东部南北样带针叶林的平均水平(1.12 mg/g)^[33]。同时,根据贡嘎山站的观测数据,本实验地区土壤的 P 含量为 1.02 mg/g 。这是因为植物叶片营养格局与生长节律有密切关系^[11],在植物生长旺盛季节,植物体内要保持较高的 P 素含量以满足足够多的 rRNA 合成植物快速生长所需的蛋白质。有研究证实,合成蛋白质的 rRNA 是植物的重要 P 库之一,在植物旺盛生长季节,体内的 P 含量增加,进而导致较低的 N:P^[34]。而实验中幼苗叶片的 P 含量在增温处理后下降了 2.99%,N:P 也增大了 11.97%,说明幼苗体内的 rRNA 与对照相比数量有所下降,这意味着幼苗体内蛋白质合成速度减缓,幼苗生长速率和生物量相应降低,实验中生物量的测定结果也证实了这一点。此外,在自然陆地生态系统中,N 和 P 也是限制植物生长和发育的主要养分元素^[12],N:P 不仅是决定群落结构和功能的关键性指标,也可以作为对生产力起限制性作用的营养元素的指示剂^[35-37],N:P 比值越大意味着 N 充裕而 P 相对不足,比值越小意味着 P 充裕而 N 相对不足。研究显示,当植被叶片的 $N:P < 14$ 时,植被的生长主要受到 N 素的限制作用,而 $N:P > 16$ 时,则反映植被生长受 P 的限制更为强烈,而介于两者中间表明受到 N、P 的共同限制作用^[34, 38-39]。依据上述判断限制性因子的 N:P 阈值,幼苗的根、茎和叶的 N:P 数据来看(表 4),对照和增温处理的幼苗根、茎和叶的 N:P 差异不大,介于 3.64—4.99 之间,虽然增温处理后幼苗体内 N 含量略有增加而 P 含量有所减少,提高了 N:P,但这依然小于植物生长受到 N 限制的 N:P 阈值,这表明增温处理后的幼苗的生长仍然受到 N 的限制。因此,相对 P 而言,N 是限制幼苗生长的主要限制因子。这与 Vitousek 和 Farrington^[40]以及 Herbert 等^[41]得到的温带森林更新早期阶段主要受 N 限制的结论是一致的。但高三平^[42]认为这一判别阈值适合于水生生态系统和湿地生态系统,很少被应用陆地生态系统,若采用 Güsewell 提出的判别阈值更能真实地反映陆地植被生长对养分的响应,即:当 $N:P < 10$ 时,植被的生长主

要受到 N 素的限制作用,而 N:P>20 时,映植被生长受 P 的限制,而介于两者中间表明受到 N、P 的共同限制作用。无论采用哪一种判别阈值,实验中增温处理后的幼苗生长仍受 N 限制。

不同树种生长对增温的响应差异可能与多种因素有关,如树龄、实验处理的时间、树种生长的环境特征、全球气候变化、人为干扰、种源及树种本身的环境与遗传差异等^[40],因此,对温度升高后亚高山地区植物生长受到抑制的原因进行更加深入地研究与探讨显得十分必要。由于本研究所用的材料仅为 3 年生峨眉冷杉幼苗,幼苗无论在生理、生长还是形态上都与成株存在很大差异。因此,本研究结果仅代表贡嘎山区峨眉冷杉生长的早期阶段对增温的响应,在解释和外推亚高山暗针叶林对全球气候变化的时候需格外谨慎;在本研究中增温处理仅持续了一年的时间,还不能确定所观察到的结果是短期响应还是长期的持续响应,需要深入开展增温对森林树木整个生长过程即:种子萌发—幼苗定居—幼树—成株等不同阶段的影响的长期野外实验和监测,以便全面真实地揭示亚高山针叶林生态系统对气候变暖的响应机制。

References:

- [1] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change//Metz B, Davidson O R, Bosch P R, Dave R, Meyer L A, eds. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007: 416-416.
- [2] Beaubien E G, Freeland H J. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. International Journal of Biometeorology, 2000, 44(2): 53-59.
- [3] Shaver G R, Canadell J, Chapin F S III, Gurevitch J, Harte J, Henry G, Ineson P, Jonasson S, Melillo J, Pitelka L, Rustad L. Global warming and terrestrial ecosystems: a conceptual framework for analysis. Bio Science, 2000, 50(10): 871-882.
- [4] Grabherr G, Gottfried M, Pauli H. Climate effects on mountain plants. Nature, 1994, 369(6480): 448-450.
- [5] Jarvis A J, Stauch V J, Schulz K, Young P C. The seasonal temperature dependency of photosynthesis and respiration in two deciduous forests. Global Change Biology, 2004, 10(6): 939-950.
- [6] Zhou H K, Zhou X M, Zhao X Q. A preliminary study of the influence of simulated effect on a *Kobresia humilis* meadow. Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24(5): 547-553.
- [7] Körner C. Response of alpine vegetation to global climate change//International community conference on landscape ecological impact change. Lunteren, The Netherlands: Catena Verlag, 1992, 22: 85-96.
- [8] Havström M, Callaghan T V, Jonasson S. Differential growth responses of *Cassiope tetragona*, an arctic dwarf-shrub, to environmental perturbations among three contrasting high and subarctic sites. Oikos, 1993, 66(3): 389-402.
- [9] Masters G J, Brown V K, Clarke I P, Whittaker J B, Hollier J A. Direct and indirect effects of climate change on insect herbivores: Auchenorrhyncha (Homoptera). Ecological Entomology, 1998, 23(1): 45-52.
- [10] Yang L D, Yang Y, Wang G X, Guo J Y. Review on the effects of forest litter on seed germination and seedling growth. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(9): 1820-1826.
- [11] Wu T G, Wu M, Liu L, Xiao J H. Seasonal variations of leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry of three herbaceous species in Hangzhou Bay coastal wetlands, China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 23-28.
- [12] Wu T G, Chen B F, Xiao Y H, Pan Y J, Chen Y, Xiao J H. Leaf stoichiometry of trees in three forest types in Pearl River Delta, South China. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34(1): 58-63.
- [13] Zhong X H, Zhang W J, Luo J. The characteristics of the mountain ecosystem and environment in the Gongga mountain region. AMBIO, 1999, 28(8): 648-654.
- [14] Aerts R, Cornelissen J H C, Dorrepaal E. Plant performance in a warmer world: general responses of plants from cold, northern biomes and the importance of winter and spring events. Plant Ecology, 2006, 182(1/2): 65-77.
- [15] Saxe H, Ellsworth D S, Heath J. Tree and forest functioning in an enriched CO₂ atmosphere. New Phytologist, 1998, 139(3): 395-436.
- [16] Guo J Y, Yang Y, Wang G X, Yang L D, Sun X Y. Ecophysiological responses of *Abies fabri* seedlings to drought stress and nitrogen supply. Physiologia Plantarum, 2010, 139(4): 335-347.
- [17] Day T A, Ruhland C T, Xiong F S. Warming increases aboveground plant biomass and C stocks in vascular-plant-dominated Antarctic tundra. Global Change Biology, 2008, 14(8): 1827-1843.
- [18] Hovenden M J, Wills K E, Chaplin R E, Schoor J K V, Williams A L, Osanai Y, Newton P C D. Warming and elevated CO₂ affect the relationship between seed mass, germinability and seedling growth in *Austrodanthonia caespitosa*, a dominant Australian grass. Global Change Biology, 2008, 14(7): 1633-1641.
- [19] Reich P B, Oleksyn J. Climate warming will reduce growth and survival of Scots pine except in the far north. Ecology Letters, 2008, 11(6): 588-597.
- [20] Prieto P, Peñuelas J, Llusà J, Asensio D, Estiarte M. Effects of experimental warming and drought on biomass accumulation in a Mediterranean shrubland. Plant Ecology, 2009, 205(2): 179-191.
- [21] Bokhorst S F, Bjerke J W, Tømmervik H, Callaghan T V, Phoenix G K. Winter warming event damage sub-Arctic vegetation: consistent evidence from an experimental manipulation and a natural event. Journal of Ecology, 2009, 97(6): 1408-1415.
- [22] Dubrovsky J G, North G B, Nobel P S. Root growth, developmental changes in the apex, and hydraulia conductivity for *Opuntia ficus-indica* during

- drought. *New Phytologist*, 1998, 138(1): 75-82.
- [23] Edwards E J, Benham D G, Marland L A, Fitter A H. Root production is determined by radiation flux in a temperate grassland community. *Global Change Biology*, 2004, 10(2): 209-227.
- [24] Walker J M. One-degree increments in soil temperatures affect maize seeding behavior. *Soil Science Society of America Proceedings*, 1969, 33(5): 729-736.
- [25] Feng Y L, Liu E J, Sun G B. Influence of temperature of root system on plant (I) — influence of root temperature on plant growth and photosynthesis. *Journal of Northeast Forestry University*, 1995, 23(3): 63-69.
- [26] Cheng G W, Luo J. The carbon accumulation and dissipation feature of sub — alpine woodland in Mt. Gongga. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(2): 179-185.
- [27] Zheng W J, Bao W K, Gu B, He X, Leng L. Carbon concentration and its characteristics in terrestrial higher plants. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(3): 307-313.
- [28] de Valpine P, Harte J. Plant responses to experimental warming in a montane meadow. *Ecology*, 2001, 82(3): 637-648.
- [29] Saleska S R, Harte J, Torn M S. The effect of experimental ecosystem warming on CO₂ fluxes in a montane meadow. *Global Change Biology*, 1999, 5(2): 125-141.
- [30] Schimel D S. All life is chemical. *BioScience*, 2003, 53(5): 521-524.
- [31] Huang J J, Wang X H. Leaf nutrient and structural characteristics of 32 evergreen broad-leaved species. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2003(1): 92-97.
- [32] Yan E R, Wang X H, Guo M, Zhong Q, Zhou W. C:N:P stoichiometry across evergreen broad-leaved forests, evergreen coniferous forests and deciduous broad-leaved forests in the Tiantong region, Zhejiang Province, eastern china. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(1): 48-57.
- [33] Ren S J, Yu G R, Tao B, Wang S Q. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry across 654 terrestrial plant species in NSTEC. *Environmental Science*, 2007, 28(12): 2665-2673.
- [34] Gorokhova E, Kyle M. Analysis of nucleic acids in *Daphnia*: development of methods and ontogenetic variations in RNA-DNA content. *Journal of Plankton Research*, 2002, 24(5): 511-522.
- [35] Koerselman W, Meuleman A F M. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology*, 1996, 33(6): 1441-1450.
- [36] Zhang L X, Bai Y F, Han X G. Application of N:P stoichiometry to ecology studies. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(9): 1009-1018.
- [37] Zhang L X, Bai Y F, Han X G. Differential responses of N:P stoichiometry of *Leymus chinensis* and *Carex korshinskyi* to N additions in a steppe ecosystem in Nei Mongol. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46(3): 259-270.
- [38] Güsewell S, Koerselman W, Verhoeven J T A. Biomass N:P ratios as indicators of nutrient limitation for plant populations in wetlands. *Ecological Monographs*, 2003, 73(2): 372-384.
- [39] Drenovsky R E, Richards J H. Critical N:P values: predicting nutrient deficiencies in desert shrublands. *Plant and Soil*, 2004, 259(1/2): 59-69.
- [40] Vitousek P M, Farrington H. Nutrient limitation and soil development: experimental test of a biogeochemical theory. *Biogeochemistry*, 1997, 37(1): 63-75.
- [41] Herbert D A, Williams M, Rastetter E B. A model analysis of N and P limitation on carbon accumulation in Amazonian secondary forest after alternate land-use abandonment. *Biogeochemistry*, 2003, 65(1): 121-150.
- [42] Gao S P, Li J X, Xu M C, Chen X, Dai J. Leaf N and P Stoichiometry of common species in successional stages of the evergreen broad-leaved forest in Tiantong National Forest Park, Zhejiang Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 947-952.

参考文献:

- [6] 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. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 547-553.
- [10] 羊留冬, 杨燕, 王根绪, 郭剑英. 森林凋落物对种子萌发与幼苗生长的影响. *生态学杂志*, 2010, 29(9): 1820-1826.
- [11] 吴统贵, 吴明, 刘丽, 萧江华. 杭州湾滨海湿地 3 种草本植物叶片 N、P 化学计量学的季节变化. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 23-28.
- [12] 吴统贵, 陈步峰, 肖以华, 潘勇军, 陈勇, 萧江华. 珠江三角洲 3 种典型森林类型乔木叶片生态化学计量学. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 58-63.
- [13] 钟祥浩, 张文敬, 罗辑. 贡嘎山地区山地生态系统与环境特征. *AMBIO-人类环境杂志*, 1999, 28(8): 648-654.
- [25] 冯玉龙, 刘恩举, 孙国斌. 根系温度对植物的影响 (I) ——根温对植物生长及光合作用的影响. *东北林业大学学报*, 1995, 23(3): 63-69.
- [26] 程根伟, 罗辑. 贡嘎山亚高山林地碳的积累与耗散特征. *地理学报*, 2003, 58(2): 179-185.
- [27] 郑帷捷, 包维楷, 辜彬, 何晓, 冷俐. 陆生高等植物碳含量及其特点. *生态学杂志*, 2007, 26(3): 307-313.
- [31] 黄建军, 王希华. 浙江天童 32 种常绿阔叶树叶片的营养及结构特征. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2003(1): 92-97.
- [32] 阎恩荣, 王希华, 郭明, 仲强, 周武. 浙江天童常绿阔叶林、常绿针叶林与落叶阔叶林的 C:N:P 化学计量特征. *植物生态学报*, 2010, 34(1): 48-57.
- [33] 任书杰, 于贵瑞, 陶波, 王绍强. 中国东部南北样带 654 种植物叶片氮和磷的化学计量学特征研究. *环境科学*, 2007, 28(12): 2665-2673.
- [42] 高三平, 李俊祥, 徐明策, 陈熙, 戴洁. 天童常绿阔叶林不同演替阶段常见种叶片 N、P 化学计量学特征. *生态学报*, 2007, 27(3): 947-952.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 13 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Spatiotemporal variation of plant community aspections in the north-subtropical zone of eastern China	CHEN Xiaoqiu, QI Xiaoran, A Shan, et al (3559)
Seasonal variations and environmental control impacts of evapotranspiration in a hilly plantation in the mountain areas of North China	HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3569)
Intra- and inter-specific variations in stem respiration for 14 temperate tree species in northeastern China	XU Fei, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (3581)
Assessment of the ecological health of wetlands in Honghe supported by RS and GIS techniques	WANG Yihan, ZHOU Demin, SUN Yonghua (3590)
Phytoplankton community structure in Qinzhou Bay during flood season by analysis of HPLC photosynthetic pigment signatures	LAN Wenlu, WANG Xiaohui, LI Mingmin (3601)
Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province	QU Yi, WANG Xiulei, LUAN Xiaofeng, et al (3609)
Effects of snowmelt timing on individual growth and reproduction of <i>Pedicularis davidii</i> var. <i>pentodon</i> on the eastern Tibetan Plateau	CHEN Wennian, WU Yan, WU Ning, et al (3621)
Response of foliar $\delta^{13}\text{C}$ of <i>Quercus spinosa</i> to altitudinal gradients	FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (3629)
Soil water and nutrient characteristics of alfalfa grasslands at semi-arid and semi-arid prone to drought areas in southern Ningxia	REN Jingjing, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3638)
Aboveground biomass of natural <i>Castanopsis fissa</i> community at the Xiaokeng of NanLing Mountain, Southern China	LI Gen, ZHOU Guangyi, WANG Xu, et al (3650)
Impacts of grazing on herbage quality of the alpine and subalpine meadows within Wutai Mountain	ZHANG Yiping, JIANG Yuan, LIU Quanru, et al (3659)
Short-term effects of warming on growth and stoichiometrical characteristics of <i>Abies fabii</i> (Mast.) Craib seedling in Gongga mountain	YANG Liudong, YANG Yan, WANG Genxu, et al (3668)
Manganese stress on morphological structures of leaf and ultrastructures of chloroplast of a manganese hyperaccumulator, <i>Phytolacca americana</i>	LIANG Wenbin, XUE Shengguo, SHEN Jihong, et al (3677)
Allelopathic potential of volatile oil from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L. on root tip cells of <i>Vicia faba</i>	HU WanJun, MA Danwei, WANG Yanan, et al (3684)
Contents and cycling of microelements in Karst urban poplar plantations	WANG Xinkai, TIAN Dalun, YAN Wende, et al (3691)
Fungal flora and population structure of polypores in the Great Xingan Mountains	CUI Baokai, YU Changjun (3700)
Growth competition characteristics of <i>Microcystis aeruginosa</i> Kutz and <i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz under non-steady-state nutrient limitation	ZHAO Xiaodong, PAN Jiang, LI Jinye, et al (3710)
The characters of salt-tolerance at different growth stages in cotton	WANG Junjuan, WANG Delong, FAN Weili, et al (3720)
Assessment of tributyltin ecotoxicity using a model animal nematode <i>Caenorhabditis elegans</i>	WANG Yun, YANG Yanan, JIAN Fenglei, et al (3728)
Effect of oil exploitation on soil nematode communities in Daqing Oilfield	XIAO Nengwen, XIE Deyan, WANG Xuexia, et al (3736)
Effect of habitat degradation on soil meso- and microfaunal communities in the Zoigê Alpine Meadow, Qinghai-Tibetan Plateau	WU Pengfei, YANG Daxing (3745)
Characteristics of the soil environment of Dongting Lake wetlands and its response to the converting farmland to lake project	LIU Na, WANG Kelin, XIE Yonghong, et al (3758)
Modeling the changes of yield and deep soil water in apple orchards in Weibei rainfed highland	ZHANG Shehong, LI Jun, WANG Xuechun, et al (3767)
Potential soil N_2O emissions and its controlling factors under different land use patterns on hilly-gully loess plateau	QI Jinhua, HUANG Yimei, ZHANG Hong, et al (3778)
Comparison between physiological properties and cold tolerance under low temperature treatment during different growing stages of rice in northeast central region of China	SONG Guangshu, SUN Zhongfu, SUN Lei, et al (3788)
Effect of sulfur on chlorophyll fluorescence of flue-cured tobacco at maturation stage	ZHU Yinghua, TU Naimei, XIAO Hanqian, et al (3796)
Effects of high temperature and strong light on chlorophyll fluorescence, the D1 protein, and Deg1 protease in Satsuma mandarin, and the protective role of salicylic acid	QIU Cuihua, JI Weiwei, GUO Yanping (3802)
Effect of plastic film mulching on the distribution and translocation of nitrogen in soil-lettuce system	LI Lili, LI Feili, LIU Qiuya, et al (3811)
An analysis on spatio-temporal dynamics of suitable habitats for waterbirds based on spatial zonation at Chongming Dongtan, Shanghai	FAN Xuezhong, ZHANG Liqun, YUAN Lin, et al (3820)
The bryophyte consumed by reindeers and species diversity of bryophyte in reindeer habitats	FENG Chao, BAI Xueliang (3830)
Evaluation of rainwater runoff storage by urban green spaces in Beijing	ZHANG Biao, XIE Gaodi, XUE Kang, et al (3839)
Review and Monograph	
Advances in methane-cycling microbial communities of permafrost and their response to global change	NI Yongqing, SHI Xuwei, ZHENG Xiaoji, et al (3846)
Heat transfer property of mammal pelage and its influencing factors	ZHENG Lei, ZHANG Wei, HUA Yan (3856)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 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 13 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 13 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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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		



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