

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

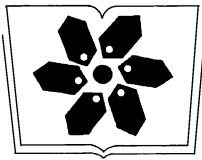
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 24 期 Vol.32 No.24 **2012**

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 32 卷 第 24 期

2012 年 12 月 (半月刊)

目 次

从文献计量角度分析中国生物多样性研究现状.....	刘爱原,郭玉清,李世颖,等 (7635)
CO ₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响.....	周先容,汪建华,张 红,等 (7644)
陕西中部黄土高原地区空气花粉组成及其与气候因子的关系——以洛川县下黑木沟村为例.....	吕素青,李月从,许清海,等 (7654)
长三角地区 1995—2007 年生态资产时空变化.....	徐昔保,陈 爽,杨桂山 (7667)
基于智能体模型的青岛市林地生态格局评价与优化.....	傅 强,毛 锋,王天青,等 (7676)
青藏高原高寒草地生态系统服务功能的互作机制.....	刘兴元,龙瑞军,尚占环 (7688)
北京城市绿地的蒸腾降温功能及其经济价值评估.....	张 彪,高吉喜,谢高地,等 (7698)
武汉市造纸行业资源代谢分析.....	施晓清,李笑诺,赵吝加,等 (7706)
丽江市家庭能耗碳排放特征及影响因素.....	王丹寅,唐明方,任 引,等 (7716)
基于分布式水文模型和福利成本法的生态补偿空间选择研究.....	宋晓谕,刘玉卿,邓晓红,等 (7722)
设施塑料大棚风洞试验及风压分布规律.....	杨再强,张 波,薛晓萍,等 (7730)
湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态.....	刘海洋,金晓玲,沈守云,等 (7738)
云南岩陀及其近缘种质资源群体表型多样性.....	李萍萍,孟衡玲,陈军文,等 (7747)
沙埋和种子大小对柠条锦鸡儿种子萌发、出苗和幼苗生长的影响.....	杨慧玲,梁振雷,朱选伟,等 (7757)
栗山天牛天敌花绒寄甲在栎林中的种群保持机制.....	杨忠岐,唐艳龙,姜 静,等 (7764)
基于相邻木排列关系的混交度研究.....	娄明华,汤孟平,仇建习,等 (7774)
三种回归分析方法在 Hyperion 影像 LAI 反演中的比较.....	孙 华,鞠洪波,张怀清,等 (7781)
红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应.....	赵 娟,宋 媛,孙 涛,等 (7791)
新疆杨边材贮存水分对单株液流通量的影响.....	党宏忠,李 卫,张友焱,等 (7801)
火干扰对小兴安岭毛赤杨沼泽温室气体排放动态影响及其影响因素.....	顾 韩,牟长城,张博文 (7808)
不同潮汐和盐度下红树植物幼苗秋茄的化学计量特征.....	刘滨尔,廖宝文,方展强 (7818)
腾格里沙漠东南缘沙质草地灌丛化对地表径流及氮流失的影响.....	李小军,高永平 (7828)
西双版纳人工雨林群落结构及其林下降雨侵蚀力特征.....	邓 云,唐炎林,曹 敏,等 (7836)
西南高山地区净生态系统生产力时空动态.....	庞 瑞,顾峰雪,张远东,等 (7844)
南北样带温带区栎属树种种子化学组成与气候因子的关系.....	李东胜,史作民,刘世荣,等 (7857)
模拟酸雨对龙眼叶片 PS II 反应中心和自由基代谢的影响.....	李永裕,潘腾飞,余 东,等 (7866)
沈阳市城郊表层土壤有机污染评价.....	崔 健,都基众,马宏伟,等 (7874)
降雨对旱作春玉米农田土壤呼吸动态的影响.....	高 翔,郝卫平,顾峰雪,等 (7883)
冬季作物种植对双季稻根系酶活性及形态指标的影响.....	于天一,逢焕成,任天志,等 (7894)
施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响.....	杨蕊菊,柴守玺,马忠明 (7905)
微山湖鸟类多样性特征及其影响因素.....	杨月伟,李久恩 (7913)
新疆北部棉区作物景观多样性对棉铃虫种群的影响.....	吕昭智,潘卫林,张 鑫,等 (7925)
杭州西湖北里湖沉积物氮磷内源静态释放的季节变化及通量估算.....	刘静静,董春颖,宋英琦,等 (7932)
基于实码遗传算法的湖泊水质模型参数优化.....	郭 静,陈求稳,张晓晴,等 (7940)
气候环境因子和捕捞压力对南海北部带鱼渔获量变动的影响.....	王跃中,孙典荣,陈作志,等 (7948)
象山港南沙岛不同养殖类型沉积物酸可挥发性硫化物的时空分布.....	颜婷茹,焦海峰,毛玉泽,等 (7958)
专论与综述	
提高植物抗寒性的机理研究进展.....	徐呈祥 (7966)
植被对多年冻土的影响研究进展.....	常晓丽,金会军,王永平,等 (7981)
凋落物分解主场效应及其土壤生物驱动.....	查同刚,张志强,孙 阁,等 (7991)
街尘与城市降雨径流污染的关系综述.....	赵洪涛,李叙勇,尹澄清 (8001)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 374 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 40 * 2012-12	

封面图说: 永兴岛海滩植被——永兴岛是中国西沙群岛的主岛,也是西沙群岛及南海诸岛中最大的岛屿。国务院 2012 年 6 月批准设立的地级三沙市,管辖西沙群岛、中沙群岛、南沙群岛的岛礁及其海域,三沙市人民政府就驻西沙永兴岛。永兴岛岛上自然植被密布,野生植物有 148 种,占西沙野生植物总数的 89%,主要树种有草海桐(羊角树)、麻枫桐、野枇杷、海棠树和椰树等。其中草海桐也称为羊角树,是多年生常绿亚灌木植物,它们总是喜欢倚在珊瑚礁岸或是与其他滨海植物聚生于海岸沙滩,为典型的滨海植物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201205240772

周先容, 汪建华, 张红, 王进闯, 张远彬. CO₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶营养质量的影响. 生态学报, 2012, 32(24): 7644-7653.

Zhou X R, Wang J H, Zhang H, Wang J C, Zhang Y B. Effects of elevated CO₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of *Fargesia rufa* Yi. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(24): 7644-7653.

CO₂ 浓度升高和模拟氮沉降对 青川箭竹叶营养质量的影响

周先容¹, 汪建华¹, 张红², 王进闯³, 张远彬^{3,*}

(1. 长江师范学院生命科学与技术学院, 涪陵 408100; 2. 乐山职业技术学院, 乐山 614000;

3. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041)

摘要:通过研究大熊猫主食竹之一的青川箭竹(*Fargesia rufa* Yi)叶营养质量对 CO₂ 浓度升高和模拟氮沉降的响应, 预测在气候变化下箭竹和大熊猫之间的取食关系, 以期为大熊猫的长久保护提供科学参考。利用人工环境控制生长室对青川箭竹幼苗进行了 1 个生长季节的大气 CO₂ 浓度和施氮处理: (1) CON(对照, 不添加 N 和环境 CO₂ 浓度), (2) EC(环境 CO₂ 浓度+350 μmol/mol, 不添加 N), (3) EN(添加 5 g N m⁻² a⁻¹, 环境 CO₂ 浓度), (4) ECN(环境 CO₂ 浓度+350 μmol/mol, 添加 5 g N m⁻² a⁻¹)。结果表明: EC 处理对青川箭竹叶片的 C 含量无显著影响, 但降低了叶片中 N 和 P 含量, 从而导致 C:N 增加, 而 N:P 没显著变化。另外, EC 处理增加了叶片中可溶性蛋白、可溶性糖、淀粉、蔗糖和果糖的含量, 但降低了木质素和纤维素含量。同时, EC 也明显增加了叶片中防御物质单宁的含量。另一方面, EN 处理显著降低了叶片中 C 的含量, 并增加了 N 的含量, 但没有改变 P 的含量, 从而 C:N 减小, 而 N:P 增加。EN 显著提高了箭竹叶片的可溶性蛋白、可溶性糖和木质素含量, 减少了淀粉和纤维素, 但对单宁无明显影响。ECN 减少了箭竹叶片的单宁和 N、P 的含量, 但显著增加了叶的可溶性蛋白、可溶性糖、果糖、蔗糖和淀粉含量。大气 CO₂ 浓度升高和氮沉降对叶的 N、单宁、可溶性糖和淀粉含量具有显著的交互作用。在未来气候变化情景下, 箭竹叶营养质量提高将可能影响叶的生物化学过程以及箭竹-大熊猫之间的取食关系。

关键词:碳水化合物; 化学元素; 气候变化; 青川箭竹; 单宁

Effects of elevated CO₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of *Fargesia rufa* Yi

ZHOU Xianrong¹, WANG Jianhua¹, ZHANG Hong², WANG Jinchuang³, ZHANG Yuanbin^{3,*}

1 College of Life Science and Technology, Yangtze Normal University, Fuling 408100, China

2 Leshan Vocational & Technical College, Leshan 614000, China

3 Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

Abstract: Rising atmospheric carbon dioxide (CO₂) levels and increasing nitrogen deposition resulting from human activities have the potential to alter leaf nutrient quality and consequently alter plant/herbivore interactions. *Fargesia rufa* (Poaceae: Bambusoideae) is an important dietary bamboo for endangered giant pandas and is very vulnerable to climate change because it is one of the most widely distributed understory plants in subalpine coniferous forests in the southeastern Qinghai-Tibetan Plateau of China. Elevated CO₂ and nitrogen deposition will lead to change in the nutrient quality of *F. rufa* leaves, which could influence the growth and fecundity of giant pandas. Thus, understanding how elevated CO₂ and nitrogen deposition might change the nutritional quality and chemical defenses of *F. rufa* is an essential first step in

基金项目:中国科学院“西部之光”人才培养计划之西部博士项目(09C2031100); 国家自然科学基金项目(30871999); 重庆市自然科学基金项目(cstc2012jjA00006)

收稿日期: 2012-05-24; 修订日期: 2012-09-25

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

predicting how giant pandas will respond to this component of climate change. However, there have been no studies on this aspect of *F. rufa* biology. The objects of this study were to (1) determine the effects of elevated CO₂ on the nutritive quality of *F. rufa*; (2) examine the effects of nitrogen on the quality of *F. rufa*; and (3) determine whether nitrogen alters the effects of elevated CO₂ on the foliar quality of bamboo. For this purpose, 30 seedlings were grown in each of six environmentally-controlled chambers for one growing season under the following conditions: control (CON; ambient CO₂ concentration and N level), elevated CO₂ (EC; ambient CO₂ concentration + 350 μmol/mol, ambient N), extra N (EN; 5 g N m⁻² a⁻¹, ambient CO₂ concentration), and a combined treatment with both elevated CO₂ and extra N (ECN; ambient CO₂ concentration + 350 μmol/mol, 5 g N m⁻² a⁻¹). Leaves were analyzed for concentrations of carbon (C), nitrogen (N), phosphorus (P), soluble sugars, fructose, sucrose, lignin, cellulose, and C-based defensive compounds (tannins). Compared with CON, the EC treatment did not affect C concentration in leaves but led to a decline in N, P, and C:N ratio, as well as lower cellulose and lignin levels in leaves. Also, EC induced an increase in the contents of soluble sugars, fructose, sucrose, soluble protein, and tannin. On the other hand, the addition of N tended to reduce C, C:N ratio, starch, and cellulose contents in leaves. Leaf N, soluble sugar, soluble protein, and lignin contents were lower in treatments to which N was added than in treatments without additional N. Tannin and P in leaves tended not to change with the addition of N. The combined effects of elevated CO₂ and N on C, tannin, soluble sugars, and starch contents were significant. Although negative effects of elevated CO₂ on leaf nutrient quality in *F. rufa* were observed, the interaction of elevated CO₂ and N appeared to be sufficient to actually improve leaf nutrient quality, indicating that climate change will likely impact not only the biochemical processes of *F. rufa* leaves but also the plant-giant panda interaction.

Key Words: carbohydrates; chemical elements; climate change; *Fargesia rufa* Yi; tannin

据政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)报道,未来 100 年内二氧化碳浓度将达到 700 μmol/mol,同时,全球大气氮沉降量将在未来 25 年内翻倍^[1]。这些变化将对陆地植被的生长、存活和繁殖产生重要而深远的影响。植物的营养质量对气候变化的响应也能影响到植食性动物的生长和繁育,很大程度上改变植物-啃食之间的相互关系,甚至群落结构^[2]。因此,理解气候变化如何改变植物的营养质量和防御物质是预测植食性动物如何响应气候变化的第一步。

青川箭竹(*Fargesia rufa* Yi)是国宝大熊猫的主食竹之一,也是大熊猫生存和繁衍的基础。竹株中营养成分最好的部位是竹叶;竹叶中含有的粗蛋白、糖类和矿物质含量均高于竹枝和竹秆^[3]。在非产笋季节,大熊猫幼体、成体和亚成体以及雌性大熊猫妊娠产仔哺乳期,均喜爱采食竹叶^[3]。可见,研究竹叶的营养质量对气候变化的响应关系到将来大熊猫的生长和繁育。

叶的营养质量主要包括质量适口性和营养水平。其中,单宁具有收敛、味涩、略带酸性等特点,是质量适口性指标之一。粗蛋白、粗纤维、营养元素和非结构性碳水化合物是营养水平指标^[4-5]。叶蛋白和次生代谢物质的含量是影响植物能否作为植食性动物食物的重要因素^[4]。许多研究发现,升高 CO₂ 将使叶氮浓度减少 15%—30%,并且增加碳氮比(C/N)^[4,6-7]。由于植食性动物的生长往往受到蛋白质的限制,为了满足生长需要,植食性动物将通过增大摄入量来弥补叶中氮含量的不足。大气 CO₂ 浓度升高往往能提高植物的光合能力,因此导致叶片中蔗糖、果糖和淀粉等碳水化合物含量的增加^[6-7]。在 CO₂ 浓度升高的情况下,叶片中的防御物质如酚酸和单宁含量将增加^[8-9],说明在生长过程中,过多的碳向防御物质分配。因此,大气 CO₂ 浓度升高通过影响植物中养分和次生代谢物质改变了植物作为食物的适口性。大气 CO₂ 浓度升高对植物的生长和叶化学特性的影响,往往取决于 N 素的可利用性^[10-11]。在施 N 后,土壤可利用 N 增加,植物将同化的碳更多地用于生长,减少叶片 C 含量,而叶氮含量增加,以至于碳水化合物和防御物质含量减少^[2]。少数研究发现,CO₂ 和氮同时升高能打破叶片中养分的平衡^[12],增加植物叶片中非结构碳水化合物^[7]。可是,目前 CO₂

升高和氮沉降对箭竹叶营养质量的研究鲜有报道。在将来大气 CO₂ 升高和氮沉降情况下,箭竹叶片质量如何变化及其对大熊猫取食的影响,都是亟待解决的问题。

本文以青川箭竹为实验材料,通过研究 CO₂ 浓度升高和模拟氮沉降对青川箭竹叶片中碳(C)、氮(N)、磷(P)、可溶性蛋白以及单宁和碳水化合物的影响,以期为大熊猫的长久保护提供理论依据。本文主要验证以下两个假设:(1)CO₂ 浓度的升高将增加青川箭竹叶碳水化合物和单宁的含量,减少氮的含量,对青川箭竹作为大熊猫的主食竹产生负面影响;(2)氮沉降可能在一定程度上缓解了 CO₂ 升高所造成的负面效应。

1 材料与方法

1.1 控制环境生长室

本实验的控制环境生长室位于中国科学院成都生物研究所茂县生态站(31°41'07" N、103°53'58" E,海拔 1820 m)。该站点区域年均气温 8.6 °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。用于本实验的单个控制环境生长室的底面积约 9.35 m²,总体积约 24.5 m³。生长室的主体骨架为不锈钢矩管,周边用浮华玻璃、顶部用阳光板全封闭。根据自动化环境要素监测和控制系统每半小时的数据分析表明:生长室内的太阳总辐射和 PAR 减少强度随太阳高度角变化而变化,一般减少 20%—40%;非 CO₂ 浓度控制生长室内的 CO₂ 浓度增加 25—50 μmol/mol、空气湿度增加 1%—4%。控制环境生长室的环境要素控制原理以及控制环境变量精度等详细信息见文献^[13-14]。

1.2 研究对象与培植土壤

本实验以克隆分株数(4—5 克隆分株/丛)及其平均高度((40±3) cm)相对一致的青川箭竹(种子繁殖,母株年龄为 5 a)为研究对象。在实验开始前,将青川箭竹移栽在直径 35 cm、体积约 20 L 的塑料花盆中,每个花盆中心栽植 1 丛。花盆内土壤来自于茂县生态站附近海拔 1 850 m 的次生杂灌林下表层土(0—20 cm)。为了避免每个花盆内土壤养分的差异,将取回的表层土通过孔径为 1 cm 的筛(去除大于 1 cm 的石粒和杂物),并混合均匀。

1.3 实验处理

本实验采用 6 个生长室。其中,3 个生长室为对照处理(不升高 CO₂ 浓度),3 个生长室为 CO₂ 浓度加倍处理。氮沉降通过施用 NH₄NO₃(纯度 99.5%)来实现。根据试验点的降雨状况,在整个生长季(4—8 月份)内添加 5 次,共 5 g N m⁻² a⁻¹,而对照添加等量去离子水。因此,本实验设 CON(对照,不添加 N 和环境 CO₂ 浓度)、EC(环境 CO₂ 浓度+350 μmol/mol、不添加 N)、EN(添加 5 g N m⁻² a⁻¹、环境 CO₂ 浓度)、ECN(环境 CO₂ 浓度+350 μmol/mol、添加 5 g N m⁻² a⁻¹)4 种处理。在 4 种处理中,每种处理的生长室重复 3 次,每个生长室内放置 10 个栽植花盆,故每种处理 30 盆青川箭竹。

青川箭竹于 2010 年 10 月初栽植于花盆内,并将花盆置于生长室外以保证成活。2011 年 4 月初,将栽植花盆移入控制环境生长室内进行生长季的连续 CO₂ 升高和氮沉降处理。另外,根据控制环境生长室的自动控制主机和土壤湿度传感器(每个生长室放置 2 只, AQUA-TEL-TDR, AUTOMATA, INC. USA)以及自动浇灌系统来控制土壤体积百分比湿度在 28% 左右。

1.4 测定指标与方法

2011 年 9 月初,分别从不同处理选取 30 株克隆分株的完全展开的成熟叶片(顶端下部第 3—5 片叶)作为叶样品采集对象。

测定指标及其方法^[15-16]如下:

(1)总可溶性糖含量 采用 3,5-二硝基水杨酸法测定。

(2)淀粉含量 用 3% 的盐酸水解材料中的淀粉,然后用 3,5-二硝基水杨酸方法测单糖含量,再换算成淀粉含量。

(3)纤维素和木质素含量 采用 72% 的硫酸水解纤维素,然后用 3,5-二硝基水杨酸方法测单糖含量,再换算成纤维素的含量。将经 72% 硫酸消化后的残渣灰化,留下的灰分即为硅酸盐的含量。在灰化中逸失的

部分即为酸性洗涤木质素(acid detergent lignin, ADL)。

(4)C 含量 用重铬酸钾容量法测定。

(5)N 含量 用凯氏蒸馏定氮法。

(6)P 含量 用钼蓝比色法测定。

(7)单宁含量 用福林酚法测定。

(8)蔗糖和果糖含量 采用蒽酮法测定。

(9)可溶性蛋白含量 采用考马斯亮蓝 G-250 法。

1.5 数据统计分析

各测定指标采用 SPSS10.0 软件进行 t 检验的多重比较分析($P < 0.05$),处理间差异采用双因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 叶片化学元素

与对照(CON)相比,EC 对叶片 C 和 P 含量以及 N:P 无显著影响,但减少了 N 含量,从而增加了 C:N。在环境 CO₂ 浓度下,添加 N 显著减少了青川箭竹叶片 C 含量,但增加了 N 含量,而对 P 含量无显著影响。另外,添加 N 也降低了 C:N,而增加了 N:P。ECN 没改变叶的 C 含量,但减低了 N 和 P 的含量,而叶 C:N 和 N:P 都没有发生显著改变(图 1)。CO₂ 和 N 的交互作用仅明显影响了 C 和 N:P(表 1)。

表 1 CO₂ 和施氮处理对青川箭竹叶片化学养分的双因素方差分析

Table 1 Results of two-way analysis of variance of leaf C, N, P, C:N and N:P of *F. rufa* seedlings in the experiment with CO₂ and N treatment

因素 Factor	碳 C	氮 N	磷 P	碳氮比 C:N	氮磷比 N:P
CO ₂	0.423	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
N	0.164	<0.001	0.701	0.002	<0.001
CO ₂ ×N	0.049	0.053	0.439	0.179	0.022

表中数值为 P 检验值, $P < 0.05$ 表示处理因素显著性差异

2.2 非结构性碳水化合物

在环境 CO₂ 浓度下,施 N 增加了青川箭竹叶片可溶性糖浓度,但是对蔗糖和果糖无影响(图 2)。在大气 CO₂ 升高下,施 N 不仅提高了叶片中可溶性糖含量,而且增加了蔗糖和果糖的浓度。无论是施 N 或者不施 N,CO₂ 浓度升高均增加了可溶性糖、蔗糖和果糖的含量(图 2)。相比之下,在两种施 N 情况下,CO₂ 增加了淀粉含量,但是在两种 CO₂ 浓度下,添加氮降低了淀粉含量(图 2)。CO₂ 和 N 之间的相互作用对可溶性糖和淀粉均具有明显交互作用,而对蔗糖和果糖没有交互作用(表 2)。

表 2 CO₂ 和施氮处理对青川箭竹叶片单宁、可溶性蛋白和碳水化合物的双因素方差分析

Table 2 Results of two-way analysis of variance of *F. rufa* tannin, soluble protein and carbohydrate concentrations in the experiment with CO₂ and N treatment

因素 Factor	单宁 Tannin	可溶性蛋白 Soluble protein	可溶性糖 Soluble sugar	淀粉 Starch	果糖 Fructose	蔗糖 Sucrose	纤维素 Cellulose	木质素 Lignin
CO ₂	0.698	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
N	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.005	0.007	0.053	0.326
CO ₂ ×N	0.011	0.377	0.004	0.009	0.467	0.493	0.621	0.122

表中数值为 P 检验值, $P < 0.05$ 表示处理因素显著性差异

2.3 结构性碳水化合物

与对照相比,单独升高 CO₂ 使青川箭竹叶片中纤维素和木质素含量都有显著降低。单独施 N 处理减少了纤维素含量,但增加了木质素含量。在 CO₂ 升高和施氮的联合作用下,叶片中纤维素含量显著低于对照处

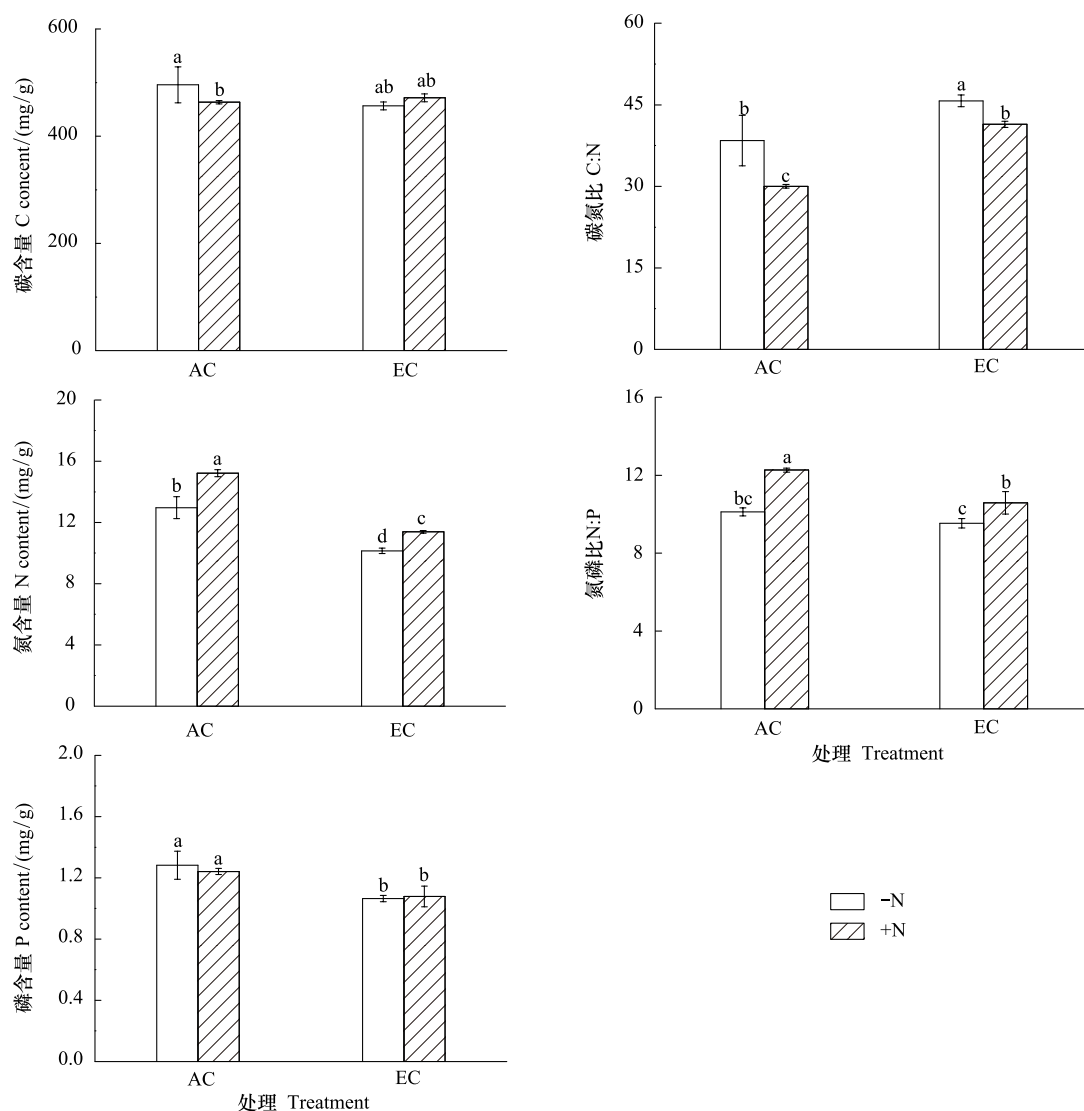


图1 CO_2 浓度升高和氮沉降对青川箭竹幼苗叶片碳、氮、磷、碳氮比和氮磷比的影响

Fig. 1 Effects of elevated CO_2 and nitrogen deposition on carbon, nitrogen, phosphorus, carbon/nitrogen ratio (C:N) and nitrogen/phosphorus ratio (N:P) of *F. rufa* seedlings

图中数据为平均值±标准误,样本数为3;不同的字母表示处理间有差异显著,通过 t 检验获得;AC: 环境 CO_2 浓度 Ambient CO_2 ;EC: 升高 CO_2 浓度 Elevated CO_2

理,而木质素含量明显增加(图3)。 CO_2 和施 N 对纤维素和木质素均无明显的交互作用。

2.4 单宁和可溶性蛋白

与对照相比,单独施 N 对叶片中单宁的浓度不产生显著影响,而在 CO_2 浓度升高的情况下,施 N 明显降低了单宁浓度。另外,在不添加 N 下,升高 CO_2 使叶片中单宁的含量显著增加了 6.6%,而在添加 N 下, CO_2 浓度倍增反而没有改变叶片中单宁的浓度(图4)。 CO_2 和 N 对单宁含量存在明显的交互作用(表2)。相比之下,单独施 N 使箭竹叶片中的可溶性蛋白质的浓度明显增加。相反地,在 CO_2 升高下,施 N 使箭竹叶片中可溶性蛋白质浓度显著降低。不添加 N 时, CO_2 升高增加了可溶性蛋白浓度,而在添加 N 的情况下, CO_2 没改变可溶性蛋白质含量(图4)。 CO_2 和 N 对可溶性蛋白质不存在交互作用(表2)。

3 讨论

3.1 CO_2 的效应

已有研究表明, CO_2 升高通过提高植物的光合能力,使叶片中 C 的含量升高,N 含量降低,导致 C/N 增

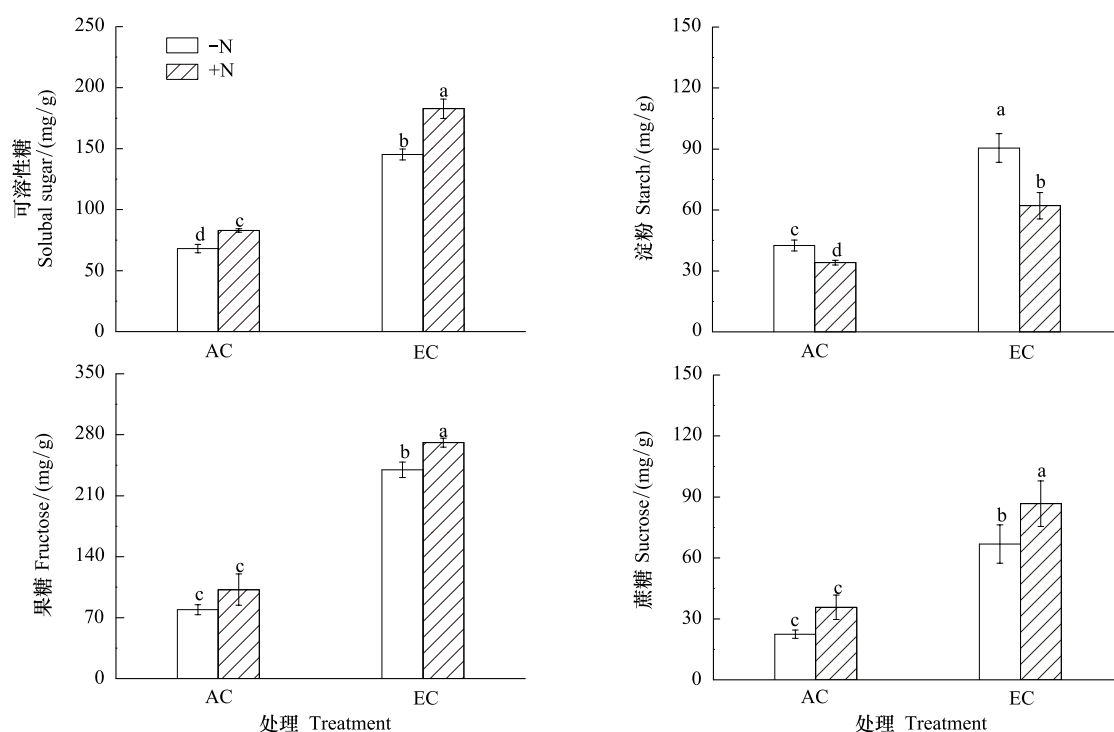


图2 CO₂ 浓度升高和氮沉降对青川箭竹幼苗叶片可溶性糖、淀粉、果糖和蔗糖浓度的影响

Fig. 2 Effects of elevated CO₂ and nitrogen deposition on soluble sugar, starch, fructose, and sucrose concentrations of *F. rufa* seedlings

图中数据为平均值±标准误,样本数为3;不同的字母表示处理间差异显著,通过 *t* 检验获得;AC: 环境 CO₂ 浓度 Ambient CO₂;EC: 升高 CO₂ 浓度 Elevated CO₂

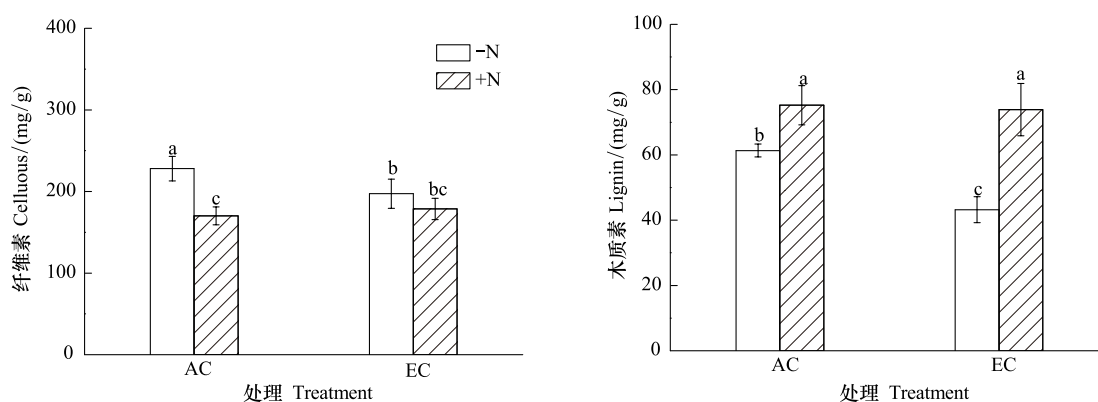


图3 CO₂ 浓度升高和氮沉降对青川箭竹幼苗叶片纤维素和木质素影响

Fig. 3 Effects of elevated CO₂ and nitrogen deposition on cellulose, and lignin concentrations of *F. rufa* seedlings

图中数据为平均值±标准误,样本数为3;不同的字母表示处理间差异显著,通过 *t* 检验获得;AC: 环境 CO₂ 浓度;EC: 升高 CO₂ 浓度

加^[17]。在本研究中,虽然 CO₂ 浓度升高也降低了 N 的含量,并使 C/N 增加,但是并没有改变叶片中 C 的含量。这可能是由于过多的 C 分配到根中以吸收更多的水分和养分,或者是由于箭竹本身的生物学特性引起。因为箭竹是克隆植物,可能将碳分配到竹鞭进行克隆繁殖。一般认为,叶氮含量的减少与养分吸收减少、氮的重新分配或者生长引起的稀释相关^[18-19]。可是,在本研究中,叶 C 含量不变,而比叶面积 (SLA) 减小。以前的研究表明,比叶面积与叶 N 含量具有正相关关系^[20]。因此,这些研究结果说明叶片的生长稀释可能与箭竹的叶氮减少无关,而主要是由于箭竹吸收 N 减少或者将 N 分配竹鞭进行繁殖。叶 C:N 的增加显示了提高 CO₂ 浓度导致了生理代谢水平的变化,并增加了箭竹叶长期的氮利用效率 (Nitrogen utilization efficiency,

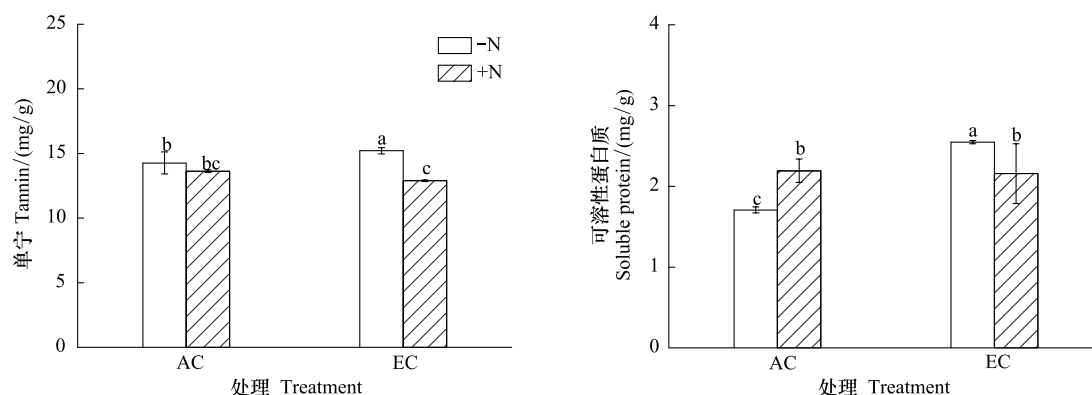


图4 CO_2 浓度升高和氮沉降对青川箭竹幼苗叶片单宁和可溶性蛋白质的影响

Fig. 4 Effects of elevated CO_2 and nitrogen deposition on tannin and soluble protein concentrations of *F. rufa* seedlings

图中数据为平均值 $\pm$ 标准误,样本数为3;不同的字母表示处理间差异显著,通过 t 检验获得;AC: 环境 CO_2 浓度 Ambient CO_2 ;EC: 升高 CO_2 浓度 Elevated CO_2

NUE)^[21],在某种程度上说明箭竹能适应 CO_2 的升高。另外,提高 CO_2 使菌根的侵染和分泌物的增加,可能增加 P 吸收^[22]。但在本研究中,升高 CO_2 导致了更低的叶 P 浓度。这可能与光合能力下调有关,因为在 CO_2 升高的情况下,P 的缺失降低了 1,5-二磷酸核酮糖羧化酶/加氧酶(Rubisco)浓度和叶绿素含量^[23]。 CO_2 浓度升高增加 C/N 不仅影响着生物化学过程^[24],而且也影响着叶的可食性和基本的生态系统过程如凋落物分解^[25]。

碳水化合物是大多数植物生理过程如呼吸和细胞生长的能源物质。糖对于植物的生长、发育和代谢非常重要^[26]。在 CO_2 升高情况下,植物组织中碳水化合物含量的增加抑制着 Rubisco 和其它化合蛋白质的表达^[27]。 CO_2 升高导致箭竹叶片中果糖、蔗糖和可溶性糖等碳水化合物含量增加。这与以前的结果一致^[5]。然而,Walter 等发现 4 年的 CO_2 处理并没有影响美洲黑杨叶片中蔗糖浓度^[28]。这些差异可能由于实验处理时间不同造成的。在 CO_2 升高时,叶片中蔗糖的浓度控制着碳水化合物向淀粉的转变,叶片中蔗糖的含量越高,则淀粉的合成越多^[29]。本研究结果与此相似,提高 CO_2 增加了箭竹叶片蔗糖浓度的同时,也增加了淀粉的含量。碳水化合物的聚集说明在 CO_2 升高情况下,光合产物超过了生长需求,或者是韧皮部向叶外输送营养的能力受到限制^[30]。 CO_2 升高导致结构性成分纤维素和木质素的含量降低,说明箭竹将 C 从结构成分纤维素和木质素更多地向活性代谢物质糖类分配。

CO_2 升高使单宁浓度增加的一个可能的解释是碳素/营养平衡(Carbon/Nutrient Balance, CNB)假说。这个假说提出过多的碳水化合物直接决定以碳为基础的防御物质合成^[2]。虽然这个假说不是适合所有的防御物质特别是萜类^[31],但它似乎适合于单宁。Goverde 等也发现提高 CO_2 增加了百脉根(*Lotus corniculatus*)叶片中单宁的含量^[32]。可是,也有一些研究发现 CO_2 不会影响灌木的单宁浓度^[33],甚至降低^[9]。以前的研究发现, CO_2 浓度升高不会改变百脉根叶片中蛋白质的含量^[32]。而本研究发现提高 CO_2 增加了叶片的可溶性蛋白含量。虽然目前的机制仍然不清楚,但可能与箭竹的生物学特性有关,因为箭竹叶片中通常会聚集较高的粗蛋白^[3]。

3.2 氮素效应

施 N 减少了箭竹叶片 C 含量,但增加了 N 含量。含氮量丰富的土壤往往能促使植株积累较高的叶氮含量^[34]。可是,N 肥对叶片中的 P 无影响,从而导致 N:P 增加,说明植物增加 N 吸收的同时,对于 P 的需求并不会增加。相似地,Marinari 等研究发现在两个生长季的施 N 后,杨树叶片中 N 的含量虽然增加,但是其它养分并没有发生明显变化^[34]。另外,箭竹叶片可溶性糖含量增加,而淀粉含量减少。说明在施氮情况下,箭竹将同化的 C 主要用于生长和呼吸,而不是贮存,箭竹的代谢活性较高。CNB 假设认为养分肥料能影响资源向

以碳为基础的防御成分分配^[2]。N 肥使植物同化的碳用于生长,从而降低碳水化合物和防御成分^[2]。本研究发现,箭竹叶片中单宁的含量也有轻微的降低($P=0.056$)。这可能因为在氮充足的情况下,单宁的合成可能受到其它因素的影响,如光等^[2]或者是由于快速增长引起了单宁向其它部位分配,这还需要进一步验证。另外,Lemus 等发现施用 N 肥增加了柳枝稷(*Panicum virgatum*)叶片中纤维素和木质素^[35]。也有研究表明,N 肥对杨树体内的纤维素和木质素无影响^[36]。可是本研究发现,施 N 减少了箭竹叶片中的纤维素,但增加了木质素。推测这可能与植物的种类相关。这些结果说明箭竹的 C 在生长和木质素形成分配上维持着平衡。

在正常 CO₂ 浓度下,施 N 使叶片的碳含量减少,而 CO₂ 和施 N 处理虽然增加了 C 含量,但不显著(图 1),说明施 N 对 C 的抑制效应能够被 CO₂ 升高部分抵消。这主要是由于 ECN 处理的箭竹幼苗比 EN 处理的幼苗具有较高碳水化合物引起^[37]。同时,CO₂ 和施 N 处理对单宁、淀粉和可溶性糖也具有明显的交互作用。这些结果说明在养分可利用增加的情况下,植物同化的碳将被更多的用于生长,而减少碳水化合物和防御物质的积累,这符合 CNB 假说^[2]。

4 结论

与 CON 处理相比,提高 CO₂ 明显增加了箭竹叶片的单宁含量。单宁的增加可能对于箭竹的可食性有着负面的影响,因为单宁的增加将使植食性动物致死或减少成年个体的大小和繁育能力^[2]。C:N 的增加也说明 CO₂ 使箭竹叶片质量变差,虽然叶片糖类的增加以及纤维素和木质素含量减少,增加了箭竹的适口性。食草动物经常受限于食物中养分的含量,特别是 N^[2]。箭竹叶片 N 含量减少,大熊猫就会采食更多竹子来满足营养需求,伴随着摄取的单宁含量也会增加。可是,也有研究表明,食草动物往往对这些有害的次生代谢物具有一定的适应性^[5,28]。因此,从目前的研究来看,很难预测升高 CO₂ 对熊猫的生长会产生负面效应,这还需要进一步研究。CO₂ 和施 N 的联合作用使单宁含量减少,因此可能对箭竹的可食性有着正面的影响。另外,在 CO₂ 升高和施 N 的联合作用下,箭竹叶片糖类和可溶性蛋白增加而纤维素含量减少,说明增加了叶片的营养质量和适口性,对大熊猫取食有利。但从另一方面考虑,由于箭竹叶片营养质量提高和防御物质单宁含量的下降,箭竹可能更容易遭受病虫害侵袭,青川箭竹群落的稳定性和健康发展受到威胁。因此,在 CO₂ 浓度升高和氮沉降下,青川箭竹群落如何减少病虫害,使其保持健康持续发展应该引起关注。另外,本研究仅做了一个生长季的实验观测,而长期的 CO₂ 浓度升高和氮沉降对箭竹克隆生长和叶片营养质量以及竹笋的营养质量的影响还需要进一步深入研究。总之,本研究在一定程度上验证了提出的两个假设。CO₂ 浓度升高降低了叶片中 N 含量,并增加了单宁含量,改变了青川箭竹的叶片质量,而氮沉降则在一定程度上缓解了 CO₂ 升高所造成的负面效应,提高了箭竹叶片的营养质量。因此,CO₂ 浓度升高和氮沉降将对箭竹和大熊猫之间的取食关系产生重要的影响。

References:

- [1] Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, Bernsten T, Betts R, Fahey D W, Haywood J, Lean J, Lowe D C, Myhre G, Nganga J, Prinn R, Raga G, Schulz M, Van Dorland R, Bodeker G, Boucher O, Collins W D, Conway T J, Dlugokencky E, Elkins J W, Etheridge D, Foukal P, Fraser P, Geller M, Joos F, Keeling C D, Kinne S, Lassey K, Lohmann U, Manning A C, Montzka S, Oram D, O'Shaughnessy K, Piper S, Plattner G K, Ponater M, Ramankutty N, Reid G, Rind D, Rosenlof K, Sausen R, Schwarzkopf D, Solanki S K, Stenchikov G, Stuber N, Takemura T, Textor C, Wang R, Weiss R, Whorf T. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing // Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Avery K B, Tignor M, Miller H L, eds. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007: 129-234.
- [2] Coley P D, Massa M, Lovelock C E, Winter K. Effects of elevated CO₂ on foliar chemistry of saplings of nine species of tropical tree. *Oecologia*, 2002, 133(1): 62-69.
- [3] Wang A M, Zou X H, Wei G Q. The dual effect of the giant panda edible bamboo and prevention countermeasures. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(5): 94-97.
- [4] Slansky F Jr. Nutritional ecology: the fundamental quest for nutrients // Stamp N E, Casey T M, eds. *Caterpillars: Ecological and Evolutionary Constraints of Foraging*. New York: Chapman and Hall, 1993: 29-91.

- [5] Lincoln D E, Fajer E D, Johnson R H. Plant-insect herbivore interactions in elevated CO₂ environments. *Trends in Ecology and Evolution*, 1993, 8(2): 64-68.
- [6] Zha T S, Ryppö A, Wang K Y, Kellomäki S. Effects of elevated carbon dioxide concentration and temperature on needle growth, respiration and carbohydrate status in field-grown Scots pines during the needle expansion period. *Tree Physiology*, 2001, 21(17): 1279-1287.
- [7] Mao Z J, Jia G M, Liu L X, Zhao M. Combined effects of elevated temperature, elevated [CO₂] and nitrogen supply on non-structural carbohydrate accumulation and allocation in *Quercus mongolica* seedlings. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(10): 1174-1184.
- [8] Koricheva J, Larsson S, Haukioja E, Keinänen M. Regulation of woody plant secondary metabolism by resource availability: hypothesis testing by means of meta-analysis. *Oikos*, 1998, 83(2): 212-226.
- [9] Peñuelas J, Estiarte M. Can elevated CO₂ affect secondary metabolism and ecosystem function? *Trends in Ecology and Evolution*, 1998, 13(1): 20-24.
- [10] Martínez-Carrasco R, Pérez P, Morcuende R. Interactive effects of elevated CO₂, temperature and nitrogen on photosynthesis of wheat grown under temperature gradient tunnels. *Environmental and Experimental Botany*, 2005, 54(1): 49-59.
- [11] Esmeijer-Liu A J, Aerts R, Kürschner W M, Bobbink R, Lotter A F, Verhoeven J T A. Nitrogen enrichment lowers *Betula pendula* green and yellow leaf stoichiometry irrespective of effects of elevated carbon dioxide. *Plant and Soil*, 2009, 316(1/2): 311-322.
- [12] Marinari S, Calfapietra C, De Angelis P, Mugnozza G S, Grego S. Impact of elevated CO₂ and nitrogen fertilization on foliar elemental composition in a short rotation poplar plantation. *Environmental Pollution*, 2007, 147(3): 507-515.
- [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] Yang B, Wang J C, Zhang Y B. Effect of long-term warming on growth and biomass allocation of *Abies faxoniana* seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5994-6000.
- [15] Shanghai Society for Plant Physiology. The Experimental Guide for Plant Physiology. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1985: 134-138.
- [16] Lu R K. Methods of Soil Agricultural Chemistry Analysis. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1999: 318-379.
- [17] Olszyk D M, Johnson M G, Tingey D T, Rygielwicz P T, Wise C, VanEss E, Benson A, Storm M J, King R. Whole-seedling biomass allocation, leaf area, and tissue chemistry for Douglas-fir exposed to elevated CO₂ and temperature for 4 years. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, 33(2): 269-278.
- [18] Kilpeläinen A, Peltola H, Ryppö A, Kellomäki S. Scots pine responses to elevated temperature and carbon dioxide concentration: growth and wood properties. *Tree Physiology*, 2005, 25(1): 75-83.
- [19] Luomala E M, Laitinen K, Sutinen S, Kellomäki S, Vapaavuori E. Stomatal density, anatomy and nutrient concentrations of Scots pine needles are affected by elevated CO₂ and temperature. *Plant, Cell and Environment*, 2005, 28(6): 733-749.
- [20] Hoffmann W A, Franco A C, Moreira M Z, Haridasan M. Specific leaf area explains differences in leaf traits between congeneric savanna and forest trees. *Functional Ecology*, 2005, 19(6): 932-940.
- [21] Livingston N J, Guy R D, Sun Z J, Ethier G J. The effects of nitrogen stress on the stable carbon isotope composition, productivity and water use efficiency of white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) seedlings. *Plant, Cell and Environment*, 1999, 22(3): 281-289.
- [22] Delucia E H, Callaway R M, Thomas E M, Schlesinger W H. Mechanisms of phosphorus acquisition for ponderosa pine seedlings under high CO₂ and temperature. *Annals of Botany*, 1997, 79(2): 111-120.
- [23] Reich P B, Oleksyn J. Global patterns of plant leaf N and P in relation to temperature and latitude. *The Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2004, 101(30): 11001-11006.
- [24] Curtis P S. A meta-analysis of leaf gas exchange and nitrogen in trees grown under elevated carbon dioxide. *Plant, Cell and Environment*, 1996, 19(2): 127-137.
- [25] Lindroth R L, Arteel G E, Kinney K K. Responses of three saturniid species to paper birch grown under enriched CO₂ atmospheres. *Functional Ecology*, 1995, 9(2): 306-311.
- [26] Rolland F, Moore B, Sheen J. Sugar sensing and signaling in plants. *Plant Cell*, 2002, 14(Suppl 1): S185-S205.
- [27] Moore B D, Cheng S H, Sims D, Seemann J R. The biochemical and molecular basis for photosynthetic acclimation to elevated atmospheric CO₂. *Plant, Cell and Environment*, 1999, 22(6): 567-582.
- [28] Walter A, Christ M M, Barron-Gafford G A, Grieve K A, Murthy R, Rascher U. The effect of elevated CO₂ on diel leaf growth cycle, leaf carbohydrate content and canopy growth performance of *Populus deltoids*. *Global Change Biology*, 2005, 11(8): 1207-1219.
- [29] Grimmer C, Bachfischer T, Komor E. Carbohydrate partitioning into starch in leaves of *Ricinus communis* L. grown under elevated CO₂ is controlled by sucrose. *Plant, Cell and Environment*, 1999, 22(10): 1275-1280.

- [30] Körner C, Pellaen-Riedl S, Van Bel A J E. CO₂ responsiveness of plants; a possible link to phloem loading. *Plant, Cell and Environment*, 1995, 18(5): 595-600.
- [31] Kanowski J. Effects of elevated CO₂ on the foliar chemistry of seedlings of two rainforest trees from north-east Australia; implications for folivorous marsupials. *Austral Ecology*, 2001, 26(2): 165-172.
- [32] Goverde M, Bazin A, Shykoff J A, Erhardt A. Influence of leaf chemistry of *Lotus corniculatus* (Fabaceae) on larval development of *Polyommatus icarus* (Lepidoptera, Lycaenidae): effects of elevated CO₂ and plant genotype. *Functional Ecology*, 1999, 13(6): 801-810.
- [33] Poorter H, Van Berkel Y, Baxter R, Den Hertog J, Dijkstra P, Gifford R M, Griffin K L, Roumet C, Roy J, Wong S C. The effect of elevated CO₂ on the chemical composition and construction costs of leaves of 27 C₃ species. *Plant, Cell and Environment*, 1997, 20(4): 472-482.
- [34] Fajer E D, Bowers M D, Bazzaz F A. The effects of enriched carbon dioxide atmospheres on plant-insect herbivore interactions. *Science*, 1989, 243(4895): 1198-1200.
- [35] Lemus R, Brummer C E, Burras L C, Moore K J, Barker M F, Molstad N E. Effects of nitrogen fertilization on biomass yield and quality in large fields of established switchgrass in southern Iowa, USA. *Biomass and Bioenergy*, 2008, 32(12): 1187-1194.
- [36] Luo Z B, Calfapietra C, Scarascia-Mugnozza G, Liberloo M, Polle A. Carbon-based secondary metabolites and internal nitrogen pools in *Populus nigra* under Free Air CO₂ Enrichment (FACE) and nitrogen fertilisation. *Plant and Soil*, 2008, 304(1/2): 45-57.
- [37] Norby R J, Wullschlegel S D, Gunderson C A, Johnson D W, Ceulemans R. Tree responses to rising CO₂ in field experiments; implications for the future forest. *Plant, Cell and Environment*, 1999, 22(6): 683-714.

参考文献:

- [3] 王爱民, 邹兴淮, 魏广强. 大熊猫常食竹类的“双效作用”及保护对策. *林业科学*, 2006, 42(5): 94-97.
- [7] 毛子军, 贾桂梅, 刘林馨, 赵薏. 温度增高、CO₂ 浓度升高、施氮对蒙古栎幼苗非结构碳水化合物积累及其分配的综合影响. *植物生态学报*, 2010, 34(10): 1174-1184.
- [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.
- [14] 杨兵, 王进闯, 张远彬. 长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响. *生态学报*, 2010, 30(21): 5994-6000.
- [15] 上海植物生理学会. 植物生理学实验手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 134-138.
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 318-379.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 24 December, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

A bibliometric study of biodiversity research in China	LIU Aiyuan, GUO Yuqing, LI Shiyong, et al (7635)
Effects of elevated CO ₂ and nitrogen deposition on leaf nutrient quality of <i>Fargesia rufa</i> Yi	 ZHOU Xianrong, WANG Jianhua, ZHANG Hong, et al (7644)
Airborne pollen assemblages and their relationships with climate factors in the central Shaanxi Province of the Loess Plateau: a case in Xiaheimugou, Luochuan County	LÜ Suqing, LI Yuecong, XU Qinghai, et al (7654)
Spatial and temporal change in ecological assets in the Yangtze River Delta of China 1995—2007	 XU Xibao, CHEN Shuang, YANG Guishan (7667)
Evaluation and optimization of woodland ecological patterns for Qingdao based on the agent-based model	 FU Qiang, MAO Feng, WANG Tianqing, et al (7676)
Interactive mechanism of service function of alpine rangeland ecosystems in Qinghai-Tibetan Plateau	 LIU Xingyuan, LONG Ruijun, SHANG Zhanhuan (7688)
Preliminary evaluation of air temperature reduction of urban green spaces in Beijing	 ZHANG Biao, GAO Jixi, XIE Gaodi, et al (7698)
Resources metabolism analysis for the pulp and paper industry in Wuhan, China	 SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, ZHAO Linjia, et al (7706)
The characteristics and influential factors of direct carbon emissions from residential energy consumption: a case study of Lijiang City, China	WANG Danyin, TANG Mingfang, REN Yin, et al (7716)
Spatial targeting of payments for ecosystem services Based on SWAT Model and cost-benefit analysis	 SONG Xiaoyu, LIU Yuqing, DENG Xiaohong, et al (7722)
The wind tunnel test of plastic greenhouse and its surface wind pressure patterns	 YANG Zaiqiang, ZHANG Bo, XUE Xiaoping, et al (7730)
Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered plant <i>Davidia involucrata</i> in Hunan Province	 LIU Haiyang, JIN Xiaoling, SHEN Shouyun, et al (7738)
Phenotypic diversity in populations of germplasm resources of <i>Rodgersia sambucifolia</i> and related species	 LI Pingping, MENG Hengling, CHEN Junwen, et al (7747)
Effects of sand burial and seed size on seed germination, seedling emergence and growth of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. (Fabaceae) ...	 YANG Huiling, LIANG Zhenlei, ZHU Xuanwei, et al (7757)
Population-keeping mechanism of the parasitoid <i>Dastarcus helophoroides</i> (Coleoptera: Bothrideridae) of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) in oak forest	YANG Zhongqi, TANG Yanlong, JIANG Jing, et al (7764)
Study of mingling based on neighborhood spatial permutation	LOU Minghua, TANG Mengping, QIU Jianxi, et al (7774)
Comparison of three regression analysis methods for application to LAI inversion using Hyperion data	 SUN Hua, JU Hongbo, ZHANG Huaiqing, et al (7781)
Response of seed germination and seedling growth of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Quercus mongolica</i> to comprehensive action of warming and precipitation	ZHAO Juan, SONG Yuan, SUN Tao, et al (7791)
Impacts of water stored in sapwood <i>Populus bolleana</i> on its sap flux	DANG Hongzhong, LI Wei, ZHANG Youyan, et al (7801)
Dynamics of greenhouse gases emission and its impact factors by fire disturbance from <i>Alnus sibirica</i> forested wetland in Xiaoxing'an Mountains, Northeast China	GU Han, MU Changcheng, ZHANG Bowen (7808)
Different tide status and salinity alter stoichiometry characteristics of mangrove <i>Kandelia candel</i> seedlings	 LIU Biner, LIAO Baowen, FANG Zhanqiang (7818)
Effects of shrub encroachment in desert grassland on runoff and the induced nitrogen loss in southeast fringe of Tengger Desert	 LI Xiaojun, GAO Yongping (7828)
Community structure and throughfall erosivity characters of artificial rainforest in Xishuangbanna	 DENG Yun, [TANG Yanlin], CAO Min, et al (7836)
Temporal-spatial variations of net ecosystem productivity in alpine area of southwestern China	 PANG Rui, GU Fengxue, ZHANG Yuandong, et al (7844)

Relationships between chemical compositions of <i>Quercus</i> species seeds and climatic factors in temperate zone of NSTEC	LI Dongsheng, SHI Zuomin, LIU Shirong, et al (7857)
Effects of simulated acid rain stress on the PS II reaction center and free radical metabolism in leaves of longan	LI Yongyu, PAN Tengfei, YU Dong, et al (7866)
Assessment of organic pollution for surface soil in Shenyang suburbs	CUI Jian, DU Jizhong, MA Hongwei, et al (7874)
The impact of rainfall on soil respiration in a rain-fed maize cropland	GAO Xiang, HAO Weiping, GU Fengxue, et al (7883)
Effects of winter crops on enzyme activity and morphological characteristics of root in subsequent rice crops	YU Tianyi, PANG Huancheng, REN Tianzhi, et al (7894)
Dynamic changes of soil moisture and nitrate nitrogen in wheat and maize intercropping field under different nitrogen supply	YANG Ruiju, CHAI Shouxi, MA Zhongming (7905)
Characteristics of the bird diversity and the impact factors in Weishan Lake	YANG Yuewei, LI Jiuen (7913)
The effect of cropping landscapes on the population dynamics of the cotton bollworm <i>Helicoverpa armigera</i> (Lepidoptera, Noctuidae) in the northern Xinjiang	LU Zhaozhi, PAN Weilin, ZHANG Xin, et al (7925)
The seasonal variations of nitrogen and phosphorus release and its fluxes from the sediments of the Beili Lake in the Hangzhou West Lake	LIU Jingjing, DONG Chunying, SONG Yingqi, et al (7932)
Optimization of lake model salmo based on real-coded genetic algorithm	GUO Jing, CHEN Qiuwen, ZHANG Xiaoqing, et al (7940)
The influence of climatic environmental factors and fishing pressure on changes of hairtail catches in the northern South China Sea	WANG Yuezhong, SUN Dianrong, CHEN Zuozhi, et al (7948)
Seasonal and spatial distribution of acid volatile sulfide in sediment under different mariculture types in Nansha Bay, China	YAN Tingru, JIAO Haifeng, MAO Yuze, et al (7958)
Review and Monograph	
Research progress on the mechanism of improving plant cold hardiness	XU Chengxiang (7966)
Influences of vegetation on permafrost: a review	CHANG Xiaoli, JIN Huijun, WANG Yongping, et al (7981)
Home-field advantage of litter decomposition and its soil biological driving mechanism: a review	ZHA Tonggang, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (7991)
Research progress on the relationship of pollutants between road-deposited sediments and its washoff	ZHAO Hongtao, LI Xuyong, YIN Chengqing (8001)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 24 期 (2012 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 24 (December, 2012)

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		



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