

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 14 期 Vol.32 No.14 **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 14 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

海滨沙地砂引草对沙埋的生长和生理适应对策.....	王 进,周瑞莲,赵哈林,等 (4291)
外源 K ⁺ 和水杨酸在缓解融雪剂对油松幼苗生长抑制中的效应与机理 ...	张 莹,李法云,严 霞,等 (4300)
钱塘江中游流域不同空间尺度环境因子对底栖动物群落的影响.....	张 勇,刘朔孺,于海燕,等 (4309)
贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局.....	吴永杰,杨奇森,夏 霖,等 (4318)
基于斑块的红树林空间演变机理分析方法.....	李春干,刘素青,范航清,等 (4329)
亚热带六种天然林树种细根养分异质性.....	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (4343)
浙江省植被 NDVI 动态及其对气候的响应	何 月,樊高峰,张小伟,等 (4352)
亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性.....	郑金兴,熊德成,黄锦学,等 (4363)
亚高山/高山森林土壤有机层氨氧化细菌和氨氧化古菌丰度特征	王 奥,吴福忠,何振华,等 (4371)
耕作方式对紫色水稻土轻组有机碳的影响.....	张军科,江长胜,郝庆菊,等 (4379)
火烧对长期封育草地土壤碳固持效应的影响.....	何念鹏,韩兴国,于贵瑞,等 (4388)
闽江河口潮汐湿地二氧化碳和甲烷排放化学计量比.....	王维奇,曾从盛,仝 川,等 (4396)
2010 年夏季珠江口海域颗粒有机碳的分布特征及其来源	刘庆霞,黄小平,张 霞,等 (4403)
新疆冷泉沉积物葡萄糖利用细菌群落多样性的稳定同位素标记分析.....	楚 敏,王 芸,曾 军,等 (4413)
土壤微生物群落多样性解析法:从培养到非培养.....	刘国华,叶正芳,吴为中 (4421)
伊洛河河岸带生态系统草本植物功能群划分	郭屹立,卢训令,丁圣彦 (4434)
濒危植物蒙古扁桃不同地理种群遗传多样性的 ISSR 分析	张 杰,王 佳,李浩宇,等 (4443)
强潮区较高纬度移植红树植物秋茄的生理生态特性.....	郑春芳,仇建标,刘伟成,等 (4453)
冬季高温对白三叶越冬和适应春季“倒春寒”的影响	周瑞莲,赵 梅,王 进,等 (4462)
中亚热带细柄阿丁枫和米槠群落细根的生产和死亡动态.....	黄锦学,凌 华,杨智杰,等 (4472)
欧美杨水分利用效率相关基因 <i>PdEPF1</i> 的克隆及表达	郭 鹏,金 华,尹伟伦,等 (4481)
再力花地下部水浸提液对几种水生植物幼苗的化感作用.....	缪丽华,王 媛,高 岩,等 (4488)
无致病力青枯雷尔氏菌对烟草根系土壤微生物脂肪酸生态学特性的影响.....	郑雪芳,刘 波,蓝江林,等 (4496)
基于更新和同化策略相结合的遥感信息与水稻生长模型耦合技术的研究.....	王 航,朱 艳,马孟莉,等 (4505)
温度和体重对克氏双锯鱼仔鱼代谢率的影响.....	叶 乐,杨圣云,刘 敏,等 (4516)
夏季西南印度洋叶绿素 a 分布特征.....	洪丽莎,王春生,周亚东,等 (4525)
大沽排污河生态修复河道水质综合评价及生物毒性影响.....	王 敏,唐景春,朱文英,等 (4535)
李肖叶甲成虫数量及三维空间格局动态.....	汪文俊,林雪飞,邹运鼎,等 (4544)
专论与综述	
基于景观格局的城市热岛研究进展	陈爱莲,孙然好,陈利顶 (4553)
沉积物质量评价“三元法”及其在近海中的应用	吴 斌,宋金明,李学刚,等 (4566)
问题讨论	
中国餐厨垃圾处理的现状、问题和对策	胡新军,张 敏,余俊锋,等 (4575)
研究简报	
稻秸蓝藻混合厌氧发酵沼液及其化学物质对尖孢镰刀菌西瓜专化型生长的影响.....	刘爱民,徐双锁,蔡 欣,等 (4585)
佛山市农田生态系统的生态损益.....	叶延琼,章家恩,秦 钟,等 (4593)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 33 * 2012-07



封面图说: 噶龙山南坡的高山湖泊——喜马拉雅山南坡的噶龙山光照强烈、雨量充沛,尽管是海拔 4500 多米的高寒地区,山上的草甸依然泛着诱人的翠绿色,冰川和雪山的融水汇集在山梁的低洼处形成了一个又一个的高山湖泊,由于基底的差别和水深的不同,使得纯净清澈的冰雪融水在湖里呈现出不同的颜色,湖面或兰或绿,颜色或深或浅,犹如一块块通透透明的翡翠镶嵌在绿色的绒布之中。兰天下面,白云落在山间,通往墨脱的公路像丝带一样随随便便地缠绕着,一幅美丽的自然生态画卷就这样呈现在你的面前。

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

DOI: 10.5846/stxb201106210907

郑金兴,熊德成,黄锦学,杨智杰,卢正立,陈光水,杨玉盛,谢锦升. 亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性. 生态学报, 2012, 32(14): 4363-4370.
Zheng J X, Xiong D C, Huang J X, Yang Z J, Lu Z L, Chen G S, Yang Y S, Xie J S. Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(14): 4363-4370.

亚热带 6 种天然林树种细根呼吸异质性

郑金兴¹, 熊德成^{2,3}, 黄锦学^{2,3}, 杨智杰^{2,3}, 卢正立^{2,3}, 陈光水^{2,3,*}, 杨玉盛^{2,3}, 谢锦升^{2,3}

(1. 福建林业职业技术学院, 南平 353000; 2. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007;

3. 福建师范大学地理研究所, 福州 350007)

摘要:以福建省建瓯市万木林自然保护区 6 个优势树种为研究对象,使用 Li-6400 便携式光合测定仪离体测定 6 个树种 1—5 级细根呼吸速率。单因素和双因素方差分析表明:树种、序级及其交互作用对 6 种树种细根比根呼吸均有极显著影响 ($P < 0.01$); 6 种树种细根比根呼吸均随序级的升高呈极显著下降 ($P < 0.01$), 这种变化可分别用二次函数、三次函数、指数函数或幂函数来拟合。相关性分析表明比根长和氮浓度可以很好地表征同一树种不同序级细根的比根呼吸,但两者不能有效表征不同树种同一序级的比根呼吸。协方差分析表明:细根比根呼吸与比根长的相关性在不同树种间具有显著差异,但在不同序级间则表现一致;细根比根呼吸与氮浓度的相关性则在不同树种和序级间均表现不一致。结果表明细根内部存在明显的功能异质性,而比根长可反映特定树种细根的这种功能异质性。

关键词:亚热带; 天然林; 细根呼吸; 异质性

Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species

ZHENG Jinxing¹, XIONG Decheng^{2,3}, HUANG Jinxue^{2,3}, YANG Zhijie^{2,3}, LU Zhengli^{2,3}, CHEN Guangshui^{2,3,*}, YANG Yusheng^{2,3}, XIE Jinsheng^{2,3}

1 Fujian Forestry Vocationan Technical College, Nanping 353000, China

2 State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China

3 Institute of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

Abstract: It is increasingly recognized that tree fine roots (<2mm in diameter) are not composed of homogenous units as traditionally assumed. Instead, they include groups of individuals that differ markedly both in structure and function. Fine root respiration is a significant component of carbon cycling in forest ecosystems, however, it is commonly measured according to arbitrary diameter class. To date, few studies have focused on fine root respiration and its relationship with fine root morphology and nutrients across of different root orders, because of the numerous difficulties associated with its measurements, especially in subtropical evergreen broad-leaf forest. So in this study, intact fine root segments of six dominant tree species (*Cinnamomum micranthum*; *Tsoongiodendron odorum* Chun; *Cinnamomum chekiangense*; *Castanopsis fabri*; *Altingia gracilipes*; and *Castanopsis carlesii*) in an evergreen broadleaved forest located at the Wanmulin Nature Reserve, Jian'ou, Fujian province, were collected by excavation, separated into different root orders, and then measured for respiration rate by an Li-6400 portable photosynthesis system. We here aimed to examine the following three questions: (1) the relationship between specific root respiration (*SRR*) and root order; (2) the effect of root order and tree species on *SRR*; and (3) the relationship of *SRR* with specific root length (*SRL*) and tissue N concentration. The one-way and two-

基金项目:福建省海西杰出青年人才基金项目(2010J06009);福建省高校杰出青年科研人才培育计划项目(JA10057);福建省自然科学基金项目(2009J01122)

收稿日期:2011-06-21; 修订日期:2011-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gshuichen@163.com

way ANOVA revealed that: tree species, root order and tree species \times root order all had significant effects on *SRR* ($P < 0.01$ for all cases). *SRR* ranged from 0.625 to 1.79 $\mu\text{gC} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ for the lowest root order, and significantly declined with increasing root order, which was consistent for the six tree species ($P < 0.01$). This decline, however, differed among species, with *SRR* decreased most sharply for *Cinnamomum chekiangense*. The regression analysis showed that *SRR* changed systematically with root order, which could be represented by quadratic, cubic, exponential or power functions. Across all the root orders, *SRR* was positively correlated both with *SRL* and nitrogen concentration for each tree species ($P < 0.01$). Across all the six species, *SRR* was positively correlated ($P < 0.01$) with *SRL* only in the third order, and there was no correlation between *SRR* and nitrogen concentration in all the five root orders. When pooled by all the tree species and root orders, *SRR* was positively correlated both with *SRL* and nitrogen concentration ($P < 0.01$). These means that both *SRL* and nitrogen concentration could only reflect the intra-species but not the inter-species variations of *SRR*. The analysis of covariance demonstrated that: tree species had significant effected on ($P < 0.01$) the slope of the regression straight line which between *SRR* and *SRL*, but root order had no significant effected on slope and intercept of the regression straight line, these means the correlation between *SRR* and *SRL* was significantly affected by tree species but not by root orders, and the correlation between *SRR* and nitrogen concentration was significantly affected both by tree species and root orders. It is concluded that there existed evident functional heterogeneity among fine roots of different branch orders, and *SRL* could reflect this heterogeneity only in specific tree species.

Key Words: subtropical; natural forest; fine root respiration; heterogeneity

根系作为树木提供养分和水分的“源”和消耗 C 的“汇”,在陆地生态系统 C 平衡研究中具有重要的理论意义^[1]。根系呼吸速率是反映根系活力的一个重要生理指标,其所消耗的碳主要用于为新根生长,维持生命活动以及吸收养分提供能量,因此,根系呼吸对森林生产力有重要的影响^[2]。其约占总的土壤呼吸的 33%—65%^[3],而光合作用所固定的 CO_2 有 8%—52% 通过根系呼吸又释放到大气中^[4]。根系呼吸中的细根(一般定义直径 $< 2 \text{ mm}$)呼吸是细根生理功能的重要表现,是植物吸收水分和养分的主要途径,对于树木诸如维持,生长,以及营养吸收等生理功能非常关键^[5],而且细根呼吸从全球水平来看,来源于细根呼吸的二氧化碳通量比来源于人类的二氧化碳还要大一个量级^[6]。根在长期进化过程中形成了复杂的分支系统^[7],最近的研究表明,不同的分枝等级(即根序)的细根具有高度的形态异质性^[8]和功能异质性^[9],深入理解细根的异质性对于科学估算根系的周转以及森林生态系统碳和养分预算十分重要。而通过测定不同根序细根呼吸速率可以直接了解细根的生理功能异质性。但目前有关不同序级细根呼吸的直接测定很少,大多是以某一直径(如 $< 2 \text{ mm}$ 或 $< 1 \text{ mm}$)大小为单位进行测定和研究的,从而无法反映细根的功能异质性。已有研究表明细根形态特征对细根呼吸具有显著影响,其中比根长由于和营养的吸收和同化密切相关,因此可以用来很好的反应根呼吸和碳的维持消耗^[9]。另外氮素是林木生长所需的重要的营养元素,众多的研究也表明林木根呼吸与根系氮含量密切相关。假如比根长和根系氮含量与细根生理功能(如细根呼吸)的相关性在不同细根分支等级以及不同树种中表现一致,则通过比根长和氮含量的测定就可以直接反映细根功能的异质性以及不同树种的差异,而无需对不同树种细根进行繁琐的细根分级工作,将极大方便森林细根结构、功能及其与生态系统过程之间联系的研究。然而,目前这种假设尚未得到验证。

我国亚热带森林带无论在森林结构还是森林生态系统过程等方面都有别于其它森林类型的独特性质,其典型植被主要为常绿阔叶林,其具有较高的生物量和生产力,对全球陆地生态系统 C 贮存发挥着重要贡献。目前对亚热带常绿阔叶林不同树种细根生理功能(细根呼吸)异质性及其差异的研究尚未见报道。为此,本实验在福建万木林自然保护区选取 6 片天然林群落采集完整根系样品,采用离体根法分级测定细根不同序级的呼吸速率,探讨细根序级及树种对细根呼吸的影响,并着重探讨细根序级及树种对细根呼吸与细根比根长、氮含量相关性的影响,以期为我国森林细根结构与功能研究提供一定参考。

1 试验地概况

研究地万木林自然保护区位于福建省北部建瓯市房道镇境内,处于武夷山东南侧,地理位置在 $27^{\circ}03' N$, $118^{\circ}09' E$,最高峰海拔 556 m,相对高差 322 m,面积 189 hm^2 。区域气候属东亚的亚热带湿润季风气候,年平均温度 $18.7^{\circ}C$,年均降雨量 1663.8 cm,年蒸发量 1466 mm,相对湿度 81%,无霜期长达 277 d。地貌为典型的东南低山丘陵地貌,区域地带性土壤为红壤和黄壤,区内植被为典型的中亚热带常绿阔叶林,以喜暖的樟科 (*Lauraceae*)、木兰科 (*Magnoliaceae*)、壳斗科 (*Fagaceae*)、杜英科 (*Elaeocarpaceae*)、山茶科 (*Theaceae*)、冬青科 (*Aquifoliaceae*)、山矾科 (*Symplocaceae*) 和金缕梅科 (*Hamamelidaceae*) 等为主,区中的优势种主要有米槠 (*Castanopsis carlesii*)、罗浮栲 (*Castanopsis fabri*)、浙江桂 (*Cinnamomum chekiangense*)、细柄阿丁枫 (*Altingia gracilipes*) 等。

2 研究方法

2.1 根系采样与处理

细根样品主要是在沉水樟,观光木,浙江桂,罗浮栲,细柄阿丁枫,米槠 6 片天然林样地进行选取,每片样地对相应树种的细根进行采集。树种采样集中在 2010 年 7 月份,采样时在每种树种中选取胸径大小相近的 3 棵成年树,根据 Guo 等^[10]中的完整土块法在每棵树树干基部 1—1.5 m 范围用铁铲挖取 1 个 20 cm×20 cm×20 cm 大小的土块,共挖取 3 个土块,然后将各土块中包含在里面的所有完整根段全部取出,用湿纱布包好后置入装有冰块的自制冷藏箱中,并立即带回实验室,用低温去离子水分别清理掉根表面上的土壤和杂质,装进贴有标签的自封袋中并置入 $4^{\circ}C$ 冰柜而后立即进行细根分级处理。分级时根据 Pregitzer 等^[9]的分级方法,将各个树种各土块中完整根段分成 5 级,最远端的根尖定为 1 级根,两 1 级根交汇处为 2 级根,依次类推到 5 级根。不同等级的根经处理后分别装入已标记好的玻璃皿中,并放入冷藏箱保存。

2.2 细根呼吸、比根长和氮含量测定

细根呼吸测定时将分离好的每种树种的各个土块的各级细根分别选取约 0.5 g 放入 Li-6400 便携式光合测定仪的叶室中,1、2 级根由于体积和直径较小可直接放进叶室测定,此时较高级保存在 $4^{\circ}C$ 的冰柜中,待低级根测定完成后立即进行较高级根的测定。测定过程中均是在大约 5—10 min 后待气体流动稳定后开始测定根系释放的 CO_2 浓度,主要是进行手动读数,每次测定读取 5 个数值,每个土块的各级细根均进行 3 次重复测定,共测得 15 个数值,然后取其平均值,各个序级 3 个土块共得到 3 组平均值,然后用这 3 组平均值进行比根呼吸的计算最后求得平均比根呼吸。整个实验都是在有空调控温的室内进行测定 ($25^{\circ}C$),由根系释放的水汽通过 Li-6400 便携式光合测定仪的干燥剂吸收,使叶室中的空气湿度保持稳定。实验前用一体积较大的塑料瓶与 Li-6400 出气口相连接以作为气流的缓冲装置,细根呼吸测定控制在细根取出后 2 h 内完成。测定完成后将各个序级细根用数字化扫描仪 Espo scanner 进行扫描,然后用 Win RHIZO (Pro 2005b) 根系图像分析软件对扫描后的图片进行分析以得到各级细根的总长度,而后将扫描后的细根分别放入 $65^{\circ}C$ 烘箱烘至恒重,计算出各级细根的总干重,然后计算出各级细根比根长,最后将各序级的细根通过研磨过筛后选取适量样品使用 C-N 元素分析仪对细根 N 含量进行测定。根系呼吸速率的计算以根系干重为基础计算每克根系干物质在每秒钟释放的 CO_2 ,也就是比根呼吸速率,本研究中比根呼吸计算公式为:比根呼吸 ($\mu gC \cdot g^{-1} \cdot s^{-1}$) = 细根呼吸 ($\mu gC/s$) / 干重 (g) $\times 0.006 \times 12$;比根长计算公式为:比根长 (m/g) = 细根总长度 (m) / 干重 (g)。

2.3 数据分析

利用 SPSS 软件对各个树种比根呼吸与序级之间进行回归分析,采用单因素方差分析的方法分析树种,序级对比根呼吸的影响,采用双因素方差分析的方法分析树种和序级的交互作用对比根呼吸的影响;采用 Pearson 相关分析方法对细根比根长、氮浓度与比根呼吸之间的关系进行分析;采用协方差分析的方法对比根长和氮浓度结合树种和序级对比根呼吸的影响进行分析。相关图表采用 Excel 完成。

3 研究结果

3.1 树种和序级对细根呼吸的影响

研究发现 6 种树种细根比根呼吸随序级变化表现出一致的变化规律,均随序级的升高呈极显著下降 ($P <$

0.01)。沉水樟变化幅度为 0.108—1.192 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 观光木为 0.339—1.205 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 浙江桂为 0.284—0.625 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 罗浮栲为 0.407—1.654 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 细柄阿丁枫为 0.171—1.359 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 米槎为 0.224—1.79 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。6 种树种 1 级根比根呼吸除浙江桂低于 1 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 外, 其余 5 种均在 1 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上, 米槎最大达到 1.79 $\mu\text{gC}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, 而且浙江桂前 3 级根的比根呼吸在 6 种树种中均最小(图 1)。6 种树种比根呼吸最大值与最小值比值沉水樟最大, 达到 11.037 倍, 细柄阿丁枫和米槎约 7 倍左右; 其余 3 种比较接近, 约 2 倍左右。

通过对 6 种树种细根比根呼吸与序级的回归分析发现: 6 种树种比根呼吸均随序级变化呈现出系统性的变化, 其中沉水樟和观光木比根呼吸随序级升高呈三次函数变化, 罗浮栲和米槎比根呼吸呈现出幂函数变化, 而浙江桂比根呼吸可用二次函数表征, 细柄阿丁枫比根呼吸可用指数函数进行表征(表 1)。单因素方差分析: 发现树种对细根比根呼吸具有极显著影响($P<0.01$), 序级对 6 种树种细根比根呼吸的影响均达到极显著水平($P<0.01$); 双因素方差分析发现树种及其与序级的交互作用均对比根呼吸具有极显著影响($P<0.01$) (表 2)。

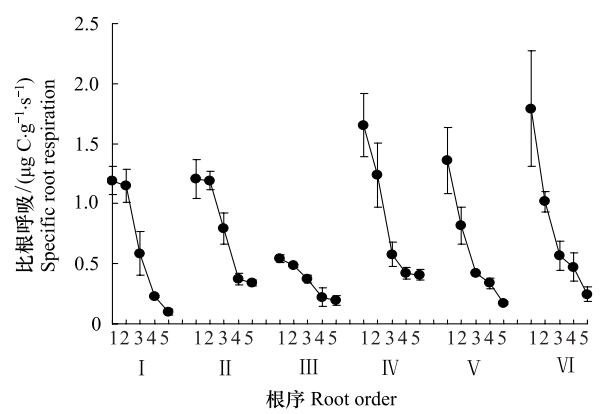


图 1 6 种树种细根比根呼吸随序级变化情况
Fig. 1 Specific root respiration of the first five root branch orders for the six tree species

I. 沉水樟 *Cinnamomum micranthum*; II. 观光木 *Tsoongiodendron odorum* Chun; III. 浙江桂 *Cinnamomum chekiangense*; IV. 罗浮栲 *Castanopsis fabri*; V 细柄阿丁枫 *Altingia gracilipes*; VI. 米槎 *Castanopsis carlesii*

表 1 6 种树种细根比根呼吸与序级之间的回归分析 ($n=15$)

Table 1 Relationships of specific respiration with branch order by means of regression for the six tree species ($n=15$)			
树种 Tree species	回归模型 Regression model	R^2	P
沉水樟 <i>Cinnamomum micranthum</i>	$Y=0.552+1.146x-0.558x^2+0.062x^3$	0.878	<0.0001
观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i> Chun	$Y=0.435+1.287x-0.582x^2+0.064x^3$	0.876	<0.0001
浙江桂 <i>Cinnamomum chekiangense</i>	$Y=0.843-0.234x+0.025x^2$	0.800	<0.0001
罗浮栲 <i>Castanopsis fabri</i>	$Y=1.772 x^{-0.961}$	0.793	<0.0001
细柄阿丁枫 <i>Altingia gracilipes</i>	$Y=2.082 \exp^{-0.484x}$	0.901	<0.0001
米槎 <i>Castanopsis carlesii</i>	$Y=2.392 x^{-1.348}$	0.808	<0.0001

3.2 细根呼吸与比根长、氮含量的相关性

通过对每种树种所有序级比根呼吸与比根长和氮浓度(图 2)的相关性分析发现: 各树种细根比根呼吸与比根长均呈极显著正相关性($P<0.01$), 与氮浓度之间也均呈极显著的正相关性($P<0.01$)。而同时对 6 种树种细根同一序级比根呼吸和比根长和氮浓度的相关性分析发现: 除细根 3 级比根呼吸与比根长之间呈显著正相关外($P<0.05$), 其余序级之间相关性均不显著($P>0.05$); 同一序级氮含量与比根呼吸之间相关性均不显著($P>0.05$); 所有树种和所有序级比根长和比根呼吸、氮浓度之间均呈极显著的正相关性($P<0.01$) (表 3)。以上结果表明: 同一树种细

表 2 树种、序级及其交互作用对细根比根呼吸影响的方差分析

Table 2 The effect of tree species, root order, the interaction between tree species and root order on the specific root respiration

树种 Tree species	变异来源 Source of variation	df	比根呼吸 specific root respiration
	树种	5	0.001
	树种×序级	20	0.009
沉水樟	序级	4	<0.0001
观光木	序级	4	<0.0001
浙江桂	序级	4	0.002
罗浮栲	序级	4	0.002
细柄阿丁枫	序级	4	0.001
米槎	序级	4	0.010

根的比根长和氮浓度可以很好地表征不同序级的比根呼吸,但两者不能有效表征不同树种同一序级的比根呼吸。

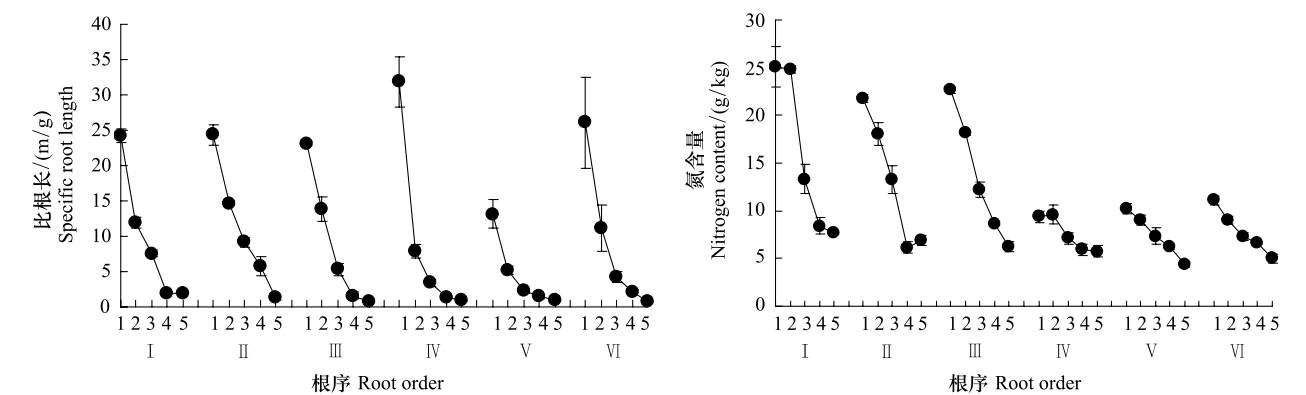


图 2 6 种树种细根比根长和氮浓度随序级变化情况

Fig. 2 Specific root length and nitrogen content of the first five root branch orders for the six tree species

I 沉水樟 *Cinnamomum micranthum*; II 观光木 *Tsoongiodendron odorum* Chun; III 浙江桂 *Cinnamomum chekiangense*; IV 罗浮栲 *Castanopsis fabri*; V 细柄阿丁枫 *Altingia gracilipes*; VI 米槠 *Castanopsis carlesii*

表 3 同一树种,同一序级及所有树种所有序级比根呼吸与比根长及氮浓度的相关性分析

Table 3 The correlation between specific root respiration and specific root length, nitrogen density in the same tree species, the same root order and all the tree species, all the root order

树种 Tree species	比根长 Specific root length	氮浓度 Nitrogen density	树种 Tree species	比根长 Specific root length	氮浓度 Nitrogen density
沉水樟	0.825 **	0.913 **	1 级	0.474	-0.444
观光木	0.820 **	0.907 **	2 级	0.031	-0.052
浙江桂	0.917 **	0.882 **	3 级	0.543 *	0.176
罗浮栲	0.808 **	0.876 **	4 级	0.151	-0.291
细柄阿丁枫	0.849 **	0.802 **	5 级	-0.388	0.043
米槠	0.965 **	0.847 **	所有树种所有序级	0.764 **	0.368 **

* 表示相关性达到显著水平($P<0.05$); ** 表示相关性达到极显著水平($P<0.01$)

协方差分析表明,树种对比根呼吸与比根长回归直线的斜率有极显著影响($P<0.01$),而序级对回归直线的截距和斜率均无显著影响($P>0.05$)(表 4),表明比根呼吸与比根长的相关性在不同树种间具有差异,但在不同序级间表现一致。树种对比根呼吸与氮浓度回归直线的截距有极显著影响($P<0.01$),而序级对截距和斜率均有极显著的影响($P<0.01$)(表 4),表明比根呼吸与氮浓度的相关性在不同树种和序级间均表现不一致。

表 4 树种,序级与比根长和氮浓度对细根比根呼吸影响的协方差分析

Table 4 The analysis of covariance of the effect of tree species, root order and specific root length, nitrogen density on specific root respiration

变异来源 Source of variation	df	比根呼吸 Specific root respiration	变异来源 Source of variation	df	比根呼吸 Specific root respiration
树种	5	0.069	树种	5	0.005
序级	4	0.149	序级	4	0.007
比根长	1	0.958	氮浓度	1	0.124
树种×比根长	5	<0.0001	树种×氮浓度	5	<0.0001
序级×比根长	4	0.547	序级×氮浓度	4	0.173

4 讨论

到目前为止,有关细根内部异质性的研究大多是从形态特征和化学组成等方面进行揭示,而直接通过测

定不同序级细根呼吸研究细根功能异质性的研究很少。本研究中,不同树种细根比根呼吸均随序级增大而降低,从而直接证实了细根功能异质性的存在。这与贾淑霞等^[11]对落叶松和水曲柳的研究结果相似。比根呼吸随序级增大而降低的机理,可能与比根呼吸随径级增大而降低的机理类似,即随序级或径级变化,细根的代谢组织减少,导致代谢活动减弱,呼吸作用降低。Bhaskar 和 Berlyn^[12]认为可能是因为根中分生组织和非分生组织所占比例不同,代谢活动较高的根毛区是专门的呼吸器官,造成根尖呼吸速率比其它部分高,细根比粗根的高。同时,本研究中 6 种树种比根呼吸均可通过与序级的二次函数、三次函数、指数函数或幂函数来很好地表达,从而说明细根序级结构可以有效表征细根的功能异质性。

细根比根长表示单位生物量上的细根长度,比根长高是植物高效吸收水分、养分的重要标志,已有研究表明细根形态特征对细根呼吸具有显著影响,而比根长由于和营养的吸收和同化密切相关,因此可以用来很好的反应根呼吸和碳的维持消耗^[9]。本研究分析发现在同一树种不同序级间细根比根长与比根呼吸均有极显著的相关性。这与一些关于比根长与比根呼吸相关性的研究结果类似,如 Makita 等^[13]对桉树细根呼吸的研究发现比根长与细根呼吸具有强烈的相关性,且比根长较直径与呼吸速率的相关性更强;Reich 等^[14]对美国 9 种树种的研究也发现比根长和呼吸速率也具有较好的正相关关系;Sun 等^[15]对红松和椴树的研究也发现比根长与细根呼吸有显著的相关性。且比根长相比于直径和氮浓度能解释椴树细根呼吸变化的 84%。氮素是林木生长所需的重要营养元素,由于植物组织中近 90% 的氮以蛋白质形式存在,而各种蛋白质均具有生物活性,需要能量不断地进行更新或修复,所以,氮与植物呼吸(尤其是维持呼吸)存在着密切的关系^[16]。本研究中同一树种不同序级间细根氮浓度与比根呼吸具有极显著正相关性,这与较多研究发现林木根呼吸与根系氮含量相关的结果相似。如 Makita 等^[13]、Desrochers 等^[17]的研究也发现根呼吸速率和氮浓度具有较好的正相关关系,Ryan 等^[18-19]亦发现根维持呼吸与根组织 N 浓度呈良好正相关,Burton 等^[20]对北美 10 个森林研究地的研究发现在所有的测定温度下根呼吸与根氮浓度具有高度的相关性,Pregitzer 等^[21]发现糖槭林根 N 浓度可解释不同立地、根径级大小和深度间根呼吸变化的 70%,Amthor^[22]研究也发现,同一植物靠近根系尖端的细根呼吸比大根的高,这是由于新生根系中高的氮浓度造成的,Sun 等^[15]对红松和椴树的研究也发现细根 N 浓度与细根呼吸有显著的正相关性,且相比于直径和比根长能解释红松细根呼吸变化的 79%。另外贾淑霞等^[11]研究也发现随着根系组织氮浓度的增加,细根呼吸速率加快,两者呈明显的正相关关系。

然而,本研究发现比根长、氮浓度与比根呼吸的相关性在不同树种和(或)序级中表现并不一致。比根长与比根呼吸回归直线的斜率受到树种的影响,这表明不同树种间具有相同比根长的细根其比根呼吸有较大差异,这可能与不同树种细根化学组成和代谢活性差异有关。但比根长与比根呼吸的回归直线并不受序级的影响,表明比根长可以很好地表征不同序级细根的生理活性差异。同时,本研究发现,比根呼吸与氮浓度回归直线的截距均受树种和序级的影响,而斜率则受树种的影响。这种原因可能与不同树种、不同序级细根中氮素在其代谢活性组分和非代谢活性组分之间的分配差异有关。虽然酶是植物体内 N 的主要组分,但 N 的分配也涉及结构组分和贮存组分,后两者与代谢活性并不相关。因而具有相同 N 浓度的细根并不一定具有相同的比根呼吸。实际上,也有一些研究发现了根系呼吸与氮浓度关系的复杂性,如 Pregitzer 等^[21]发现不同土层、不同直径糖枫根系呼吸的变化不能完全由氮浓度来解释,还和诸如其它养分有效性、根系年龄、根对营养和碳库的利用以及和菌根真菌共生的程度这些因素有关;Burton 等^[23]在三个生长季节对 4 片糖枫林的研究发现在并不干旱的时期在不同的温度下氮浓度和根呼吸都具有一定的关系;而在干旱条件下氮浓度和根呼吸只是偶尔相关。而且其通过对北美森林的研究发现氮浓度对根呼吸的影响还受到不同实验地的土温以及土壤周围环境的制约,而且土温可能只是众多交互作用于氮浓度的因素之一^[20]。与 N 浓度相比,比根长与比根呼吸的相关性仅受树种影响,而不受序级的影响,因而其在表征细根功能异质性和预测细根呼吸上具有更重要的作用。

原位测定细根呼吸特别是不同序级的细根呼吸一直以来没有得到有效的解决。为了研究不同序级细根的呼吸速率,从已有的根呼吸测定方法看,不采用离体测定方法几乎是不可能的。但由于离体测定方法存在

的问题,如根系离体后引起的创伤呼吸^[24],根系周围环境特别是 CO₂ 浓度和温度的变化^[25],离体后由于根内碳水化合物、水分的损耗导致离体后不同时间测定结果存在差异等^[21,25-26],离体根法测定结果与原位根呼吸结果存在一定偏差。因而,本研究所测定的结果只能是不同序级根系原位呼吸的一个相对衡量值,本研究从以下几个方面对测定进程进行控制,可以尽量保证不同测定结果间的可比性:(1)尽量缩短从离体至呼吸测定的时间,全部控制在离体后 2h 内测定;同时保证根系在测定之前均置于湿纱布中 4℃ 温度下保存,以尽量降低根内碳水化合物和水分的损耗;在根系分级和呼吸测定过程中采取即分离即测定原则。(2)实验在有空调控温的实验室内进行,并保持室内湿度相对稳定。然而,寻求原位细根呼吸测定方法以及探讨离体根呼吸更合理的测定方法仍然是今后应该重点努力的方向。

References:

- [1] Yu S Q, Wang Z Q, Shi J W, Mei L, Yu L Z. Research review on the pattern of carbon allocation to roots and environmental factors in forest ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2663-2669.
- [2] Ren J, Xu C Y, Lin Y M, Duan Y H, Zhou R Z. Seasonal dynamics of root respiration of *Fraxinus mandshurica* Rupr seedlings with different nitrogen rates. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4169-4178.
- [3] Höglberg P, Nordgren A, Buchmann N, Taylor A F S, Ekblad A, Höglberg M N, Nyberg G, Ottosson-Lofvenius M, Read D J. Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration. *Nature*, 2001, 411: 789-792.
- [4] Lambers H, Atkin O K, Scheurwater I. Respiratory patterns in roots in relation to their functioning// Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U. eds. *Plant roots. The hidden half* (2nd). New York, USA: Marcel Dekker, 1996, 323-362.
- [5] George K, Norby R J, Hamilton J G and DeLucia E H. Fine-root respiration in a loblolly pine and sweetgum forest growing in elevated CO₂. *New Phytologist*, 2003, 160(3): 511-522.
- [6] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 1992, 44(2): 81-89.
- [7] Kenrich P. The origin of roots. In: Waisel Y, Eshel A, Kafkafi U, eds. *Plant Root: the Hidden Half*, 3rd edition revised and expanded. New York: Dekker. 2002, 1-15.
- [8] Liang Q, Liao H, Yan X L. Quantitative analysis of plant root architecture. *Bulletin of Botany*, 2007, 24(6): 695-702.
- [9] Pregitzer K S, DeForest J L, Burton A J, Allen M F, Ruess R W, Hendrick R. Fine root architecture of nine North American trees. *Ecological Monographs*, 2002, 72(2): 293-309.
- [10] Guo D L, Mitchell R J, Hendricks J J. Fine root branch orders respond differentially to carbon source-sink manipulations in a longleaf pine forest. *Oecologia*, 2004, 140(3): 450-457.
- [11] Jia S X, Zhao Y L, Ding G Q, Sun Y, Xu Y, Wang Z Q. Relationship among fine-root morphology, anatomy, tissue nitrogen concentration and respiration in different branch root orders in *larix gmelinii* and *fraxinus mandshurica*. *Bulletin of Botany*, 2010, 45(2): 174-181.
- [12] Bhaskar V, Berlyn G P, Connolly J H. Root hairs as specialized respiratory cells: a new hypothesis. *Journal of Sustainable Forestry*, 1993, 1(2): 107-125.
- [13] Makita N, Hirano Y, Dannoura M, Kominami Y, Mizoguchi T, Ishii H, Kanazawa Y. Fine root morphological traits determine variation in root respiration of *Quercus serrata*. *Tree Physiology*, 2009, 29(4): 579-585.
- [14] Reich P B, Walters M B, Tjoelker M G, Vanderklein D, Buschena C. Photosynthesis and respiration rates depend on leaf and root morphology and nitrogen concentration in nine boreal tree species differing in relative growth rate. *Functional Ecology*, 1998, 12(3): 395-405.
- [15] Sun T, Mao Z J. Functional relationships between morphology and respiration of fine roots in two Chinese temperate tree species. *Plant and soil*, 2011, 346(1/2): 375-384.
- [16] Olsthoorn F M, Keltjens W G, Barenb V, Hopman M C G. Influence of ammonium on fine root development and rhizosphere pH of Douglas-fir seedling in sand. *Plant and Soil*, 1991, 133(1): 75-81.
- [17] Desrochers A, Landhausser and Lieffers V J. Coarse and fine root respiration in aspen (*Populus tremuloides*). *Tree Physiology*, 2002, 22(10): 725-732.
- [18] Ryan M G. Effects of climate change on plant respiration. *Ecological Applications*, 1991, 1(2): 157-167.
- [19] Ryan M G, Hubbard R M, Pongracic S, Raison R J, McMurtrie R E. Foliage, fine-root, woody-tissue and stand respiration in *Pinus radiata* in relation to nitrogen status. *Tree Physiology*, 1996, 16(3): 333-343.
- [20] Burton A J, Pregitzer K S, Ruess R W, Hendrick R L, Allen M F. Root respiration in North American forests: effects of nitrogen concentration

and temperature across biomes. *Oecologia*, 2002, 131:559-568.

- [21] Pregitzer K S, Laskowski M J, Burton A J, Lessard V C, Zak D. Variation in sugar maple root respiration with root diameter and soil depth. *Tree Physiology*, 1998, 18(10): 665-670.
- [22] Amthor J S. The McCree-de Wit-Penning de Vries-Thornley respiration paradigms; 30 years later. *Annals of Botany*, 2000, 86(1): 1-20.
- [23] Burton A J, Pregitzer K S, Zogg G P, Zak D R. Drought reduces root respiration in sugar maple forests. *Ecological Application*, 1998, 8(3): 771-778.
- [24] Yang Y S, Dong B, Xie J S, Chen G S, Li L, Liu D X, LI Z. A review of tree root respiration: significance and methodologies. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28(3): 426-434.
- [25] Yi Z G. Study on excised root respiration and its application to in situ measurement of root respiration. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2008, 28(3): 212-215.
- [26] Rakonczay Z, Seiler J R, Kelting D L. Carbon efflux rates of fine root of three tree species decline shortly after excision. *Experimental Botany*, 1997b, 38(3): 243-249.

参考文献:

- [1] 于水强, 王政权, 史建伟, 梅莉, 于立忠. 树木根系碳分配格局及其影响因子. *生态学报*, 2006, 26(8): 2663-2669.
- [2] 任军, 徐程扬, 林玉梅, 段永宏, 周睿智. 不同供氮水平下水曲柳幼苗根系呼吸季节动态. *生态学报*, 2009, 29(8): 4169-4178.
- [8] 梁泉, 廖红, 严小龙. 植物根构型的定量分析. *植物学通报*, 2007, 24(6): 695-702.
- [11] 贾淑霞, 赵妍丽, 丁国泉, 孙玥, 许旻, 王政权. 落叶松和水曲柳不同根序细根形态结构、组织氮浓度. *植物学报*, 2010, 45(2): 174-181.
- [24] 杨玉盛, 董彬, 谢锦升, 陈光水, 李灵, 刘东霞, 李震. 林木根呼吸及测定方法进展. *植物生态学报*, 2004, 28(3): 426-434.
- [25] 易志刚. 离体根呼吸研究及其在原位根呼吸测量中的应用. *福建林学院学报*, 2008, 28(3): 212-215.

CONTENTS

Growth and physiological adaptation of <i>Messerschmidia sibirica</i> to sand burial on coastal sandy	WANG Jin, ZHOU Ruilian, ZHAO Halin, et al (4291)
Alleviation effect and mechanism of exogenous potassium nitrate and salicylic acid on the growth inhibition of <i>Pinus tabulaeformis</i> seedlings induced by deicing salts	ZHANG Ying, LI Fayun, YAN Xia, et al (4300)
Influence of different spatial-scale factors on stream macroinvertebrate assemblages in the middle section of Qiantang River Basin	ZHANG Yong, LIU Shuoru, YU Haiyan, et al (4309)
Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain	WU Yongjie, YANG Qisen, XIA Lin, et al (4318)
A patch-based method for mechanism analysis on spatial dynamics of mangrove distribution	LI Chungan, LIU Suqing, FAN Huangqing, et al (4329)
Nutrient heterogeneity in fine roots of six subtropical natural tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (4343)
Variation of vegetation NDVI and its response to climate change in Zhejiang Province	HE Yue, FAN Gaofeng, ZHANG Xiaowei, et al (4352)
Heterogeneity in fine root respiration of six subtropical tree species	ZHENG Jinxing, XIONG Decheng, HUANG Jinxue, et al (4363)
Characteristics of ammonia-oxidizing bacteria and ammonia-oxidizing archaea abundance in soil organic layer under the subalpine/alpine forest	WANG Ao, WU Fuzhong, HE Zhenhua, et al (4371)
Effect of tillage systems on light fraction carbon in a purple paddy soil	ZHANG Junke, JIANG Changsheng, HAO Qingju, et al (4379)
Effects of prescribed fire on carbon sequestration of long-term grazing-excluded grasslands in Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui, et al (4388)
Stoichiometry of carbon dioxide and methane emissions in Minjiang River estuarine tidal wetland	WANG Weiqi, ZENG Congsheng, TONG Chuan, et al (4396)
Distribution and sources of particulate organic carbon in the Pearl River Estuary in summer 2010	LIU Qingxia, HUANG Xiaoping, ZHANG Xia, et al (4403)
The glucose-utilizing bacterial diversity in the cold spring sediment of Shawan, Xinjiang, based on stable isotope probing	CHU Min, WANG Yun, ZENG Jun, et al (4413)
Culture-dependent and culture-independent approaches to studying soil microbial diversity	LIU Guohua, YE Zhengfang, WU Weizhong (4421)
The classification of plant functional types based on the dominant herbaceous species in the riparian zone ecosystems in the Yiluo River	GUO Yili, LU Xunling, DING Shengyan (4434)
Genetic diversity of different eco-geographical populations in endangered plant <i>Prunus mongolica</i> by ISSR Markers	ZHANG Jie, WANG Jia, LI Haoyu, ZHANG Huirong, et al (4443)
Ecophysiological characteristics of higher-latitude transplanted mangrove <i>Kandelia candel</i> in strong tidal range area	ZHENG Chunfang, QIU Jianbiao, LIU Weicheng, et al (4453)
The effect of artificial warming during winter on white clover (<i>Trifolium repens</i> Linn): overwintering and adaptation to coldness in late spring	ZHOU Ruilian, ZHAO Mei, WANG Jin, et al (4462)
Estimating fine root production and mortality in subtropical <i>Altingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (4472)
The cloning and expression of WUE-related gene (<i>PdEPF1</i>) in <i>Populus deltoides</i> × <i>Populus nigra</i>	GUO Peng, JIN Hua, YIN Weilun, et al (4481)
The allelopathy of aquatic rhizome and root extract of <i>Thalia dealbata</i> to seedling of several aquatic plants	MIAO Lihua, WANG Yuan, GAO Yan, et al (4488)
Effect of the avirulent strain of <i>Ralstonia solanacearum</i> on the ecological characteristics of microorganism fatty acids in the rhizosphere of tobacco	ZHENG Xuefang, LIU Bo, LAN Jianglin, et al (4496)
Coupling remotely sensed information with a rice growth model by combining updating and assimilation strategies	WANG Hang, ZHU Yan, MA Mengli, et al (4505)
Effects of water temperature and body weight on metabolic rates of Yellowtail clownfish <i>Amphiprion clarkii</i> (Pisces: Perciformes) during larval development	YE Le, YANG Shengyun, LIU Min, et al (4516)
The distribution of chlorophyll a in the Southwestern Indian Ocean in summer	HONG Lisha, WANG Chunsheng, ZHOU Yadong, et al (4525)
Evaluation of the effects of ecological remediation on the water quality and biological toxicity of Dagou Drainage River in Tianjin	WANG Min, TANG Jingchun, ZHU Wenyong, et al (4535)
Quantitative dynamics of adult population and 3-D spatial pattern of <i>Ceoporus variabilis</i> (Baly)	WANG Wenjun, LIN Xuefei, ZOU Yunding, et al (4544)
Review and Monograph	
Studies on urban heat island from a landscape pattern view: a review	CHEN Ailian, SUN Ranhao, CHEN Liding (4553)
Sediment quality triad and its application in coastal ecosystems in recent years	WU Bin, SONG Jinming, LI Xuegang, et al (4566)
Discussion	
Food waste management in China: status, problems and solutions	HU Xinjun, ZHANG Min, YU Junfeng, et al (4575)
Scientific Note	
Effects of microchemical substances in anaerobic fermented liquid from rice straw and cyanobacteria on <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i> growth	LIU Aimin, XU Shuangsoo, CAI Xin, et al (4585)
Ecological benefit-loss analysis of agricultural ecosystem in Foshan City, China	YE Yanqiong, ZHANG Jiaen, QIN Zhong, et al (4593)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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 14 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 14 (July, 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:100071	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