

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

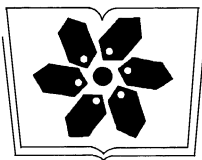
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 10 期 Vol.32 No.10 **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 10 期

2012 年 5 月 (半月刊)

目次

基于系统动力学的城市住区形态变迁对城市代谢效率的影响.....	李旋旗,花利忠 (2965)
居住-就业距离对交通碳排放的影响	童抗抗,马克明 (2975)
经济学视角下的流域生态补偿制度——基于一个污染赔偿的算例	刘涛,吴钢,付晓 (2985)
旅游开发对上海滨海湿地植被的影响.....	刘世栋,高峻 (2992)
汶川地震对大熊猫主食竹——拐棍竹竹笋生长发育的影响.....	廖丽欢,徐雨,冉江洪,等 (3001)
江西省森林碳蓄积过程及碳源/汇的时空格局.....	黄麟,邵全琴,刘纪远 (3010)
伊洛河流域草本植物群落物种多样性.....	陈杰,郭屹立,卢训令,等 (3021)
新疆绿洲农田不同连作年限棉花根际土壤微生物群落多样性.....	顾美英,徐万里,茆军,等 (3031)
荒漠柠条锦鸡儿 AM 真菌多样性.....	贺学礼,陈杰,郭辉娟,等 (3041)
彰武松、樟子松光合生产与蒸腾耗水特性	孟鹏,李玉灵,尤国春,等 (3050)
中亚热带常绿阔叶林粗木质残体呼吸季节动态及影响因素.....	刘强,杨智杰,贺旭东,等 (3061)
盐土和沙土对新疆常见一年生盐生植物生长和体内矿质组成的影响	张科,田长彦,李春俭 (3069)
长白山北坡林线灌木草本植物与岳桦的动态关系.....	王晓东,刘惠清 (3077)
不同生态条件对烤烟形态及相关生理指标的影响.....	颜侃,陈宗瑜 (3087)
基于因子分析的首蓿叶片叶绿素高光谱反演研究	肖艳芳,官辉力,周德民 (3098)
三峡库区消落带水淹初期土壤种子库月份动态.....	王晓荣,程瑞梅,唐万鹏,等 (3107)
三种利用方式对羊草草原土壤氨氧化细菌群落结构的影响.....	邹雨坤,张静妮,陈秀蓉,等 (3118)
西洋参根残体对自身生长的双重作用	焦晓林,杜静,高微微 (3128)
不同程度南方菟丝子寄生对入侵植物三叶鬼针草生长的影响	张静,闫明,李钧敏 (3136)
山东省部分水岸带土壤重金属含量及污染评价.....	张菊,陈诗越,邓焕广,等 (3144)
太湖蓝藻死亡腐烂产物对狐尾藻和水质的影响.....	刘丽贞,秦伯强,朱广伟,等 (3154)
不同生态恢复阶段无瓣海桑人工林湿地中大型底栖动物群落的演替.....	唐以杰,方展强,钟燕婷,等 (3160)
江西鄱阳湖流域中华秋沙鸭越冬期间的集群特征.....	邵明勤,曾宾宾,尚小龙,等 (3170)
秦岭森林鼠类对华山松种子捕食及其扩散的影响	常罡,王开锋,王智 (3177)
内蒙古草原小毛足鼠的活动性、代谢特征和体温的似昼夜节律	王鲁平,周顺,孙国强 (3182)
温度和紫外辐射胁迫对西藏飞蝗抗氧化系统的影响.....	李庆,吴蕾,杨刚,等 (3189)
“双季稻-鸭”共生生态系统 C 循环	张帆,高旺盛,隋鹏,等 (3198)
水稻籽粒灌浆过程中蛋白质表达特性及其对氮肥运筹的响应.....	张志兴,陈军,李忠,等 (3209)
专论与综述	
海水富营养化对海洋细菌影响的研究进展	张瑜斌,章洁香,孙省利 (3225)
海洋酸化效应对海水鱼类的综合影响评述.....	刘洪军,张振东,官曙光,等 (3233)
入侵种薇甘菊防治措施及策略评估.....	李鸣光,鲁尔贝,郭强,等 (3240)
研究简报	
渭干河-库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究	孙倩,塔西甫拉提·特依拜,张飞,等 (3252)
2009 年冬季东海浮游植物群集	郭术津,孙军,戴民汉,等 (3266)
新疆野生多伞阿魏生境土壤理化性质和土壤微生物.....	付勇,庄丽,王仲科,等 (3279)
塔里木盆地塔里木沙拐枣群落特征	古丽努尔·沙比尔哈孜,潘伯荣,段士民 (3288)
矿区生态产业共生系统的稳定性.....	孙博,王广成 (3296)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-05	

封面图说: 哈巴雪山和金沙江——“三江并流”自然景观位于青藏高原南延部分的横断山脉纵谷地区,由怒江、澜沧江、金沙江及其流域内的山脉组成。它地处东亚、南亚和青藏高原三大地理区域的交汇处,是世界上罕见的高山地貌及其演化的代表地区,也是世界上生物物种最丰富的地区之一。哈巴雪山在金沙江左岸,与玉龙雪山隔江相望。图片反映的是金沙江的云南香格里拉段,远处为哈巴雪山。哈巴雪山主峰海拔 5396 m,而最低江面海拔仅为 1550 m,山脚与山顶的气温差达 22.8℃,巨大的海拔差异形成了明显的高山垂直性气候。

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

DOI: 10.5846/stxb201104250543

刘强, 杨智杰, 贺旭东, 陈光水, 郑群瑞. 中亚热带常绿阔叶林粗木质残体呼吸季节动态及影响因素. 生态学报, 2012, 32(10): 3061-3068.

Liu Q, Yang Z J, He X D, Chen G S, Zheng Q R. Seasonal dynamic and influencing factors of coarse woody debris respiration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(10): 3061-3068.

中亚热带常绿阔叶林粗木质残体 呼吸季节动态及影响因素

刘 强^{1,2}, 杨智杰^{1,3,*}, 贺旭东^{1,2}, 陈光水^{1,3}, 郑群瑞⁴

(1. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007; 2. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007;

3. 福建师范大学地理研究所, 福州 350007; 4. 建瓯万木林自然保护区管理处, 建瓯 353105)

摘要:粗木质残体呼吸(R_{CWD})释放的 CO_2 是生态系统碳收支中的一个重要组成部分。采用红外气体分析法(Li-Cor8100 土壤碳通量系统连接自制腔室)对中亚热带常绿阔叶林不同分解等级粗木质残体呼吸进行测量,探讨分解等级、温度(T_{CWD})和含水量(W_{CWD})对 R_{CWD} 的影响机制。结果表明:不同分解等级粗木质残体呼吸季节变化曲线均呈明显的单峰型,最大值($9.69 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)出现在 8 月,最小值($0.60 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)出现在 2 月;不同分解等级粗木质残体呼吸存在着明显差异,Ⅲ级和Ⅳ级粗木质残体呼吸显著高于Ⅰ级($P < 0.05$);粗木质残体呼吸与 T_{CWD} 呈显著的正相关关系($P < 0.01$), T_{CWD} 可以解释 R_{CWD} 变化的 70.2%—85.6%; R_{CWD} 与 W_{CWD} 相关性不显著($P > 0.05$);不同分解等级粗木质残体呼吸的 Q_{10} 值变化范围为 2.46—2.83, 平均值为 2.64, Q_{10} 值随分解等级升高而增大。

关键词:粗木质残体;呼吸;季节动态;影响因素

Seasonal dynamic and influencing factors of coarse woody debris respiration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest

LIU Qiang^{1,2}, YANG Zhijie^{1,3,*}, HE Xudong^{1,2}, CHEN Guangshui^{1,3}, ZHENG Qunrui⁴

1 Cultivation Base of State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China

2 School of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

3 Institute of Geography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

4 Administrative Office of Wanmulin Nature Reserve, Jianou 353105, China

Abstract: Carbon dioxide released from the respiration of coarse woody debris (R_{CWD}) is an important component of carbon budget in forest ecosystem with moderate to large amount of CWD. Accurately estimating the fluxes of R_{CWD} may thus be important for assessing the current and long-term C balance of forest ecosystems. Though CWD pool has been quantified in many forest ecosystems, direct measurement of R_{CWD} is limited, especially in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest. Thus, the importance of R_{CWD} in most forest ecosystems is unknown. Accurate R_{CWD} measurements are challenging because the decomposer communities may be highly sensitive to change in temperature and water content, and to natural or anthropogenic disturbances. In early studies, R_{CWD} was measured by soda lime traps, in which the physical disturbance to CWD can be avoided during measurement process. However, the traps are well known to underestimate respiration rates and measure efflux only at the surface though decomposability of CWD varies over the cross-section of a log. The infrared gas analysis (IRGA) method provides a precise measurement on respiration from the entire cross-section of the CWD, but may

基金项目:教育部创新团队项目(IRT0960);福建省教育厅科技项目(JB08059)

收稿日期:2011-04-25; 修订日期:2011-11-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: daoyang9@163.com

involve physical disturbances such as removing it from its environment and cutting a sample. In this study, the IRGA method with LI-8100 automated soil CO_2 flux system was used to measure R_{CWD} and its seasonal dynamic. The objectives were to determine how environmental factors (mainly substrate temperature and water content) and decay class influence rate of R_{CWD} , which may provide valuable information for greenhouse gas inventories of CWD and construction of forest carbon cycle models. The results show that: substrate temperature is commonly the most important environmental factor influencing R_{CWD} , but substrate water content (W_{CWD}) interacted with substrate temperature (T_{CWD}) on R_{CWD} across a broad W_{CWD} gradient (from 13.65% to 153.86%). R_{CWD} generally increased with increase in substrate temperature and water content until to a certain level, and then tended to decline. Differences in R_{CWD} among decay classes were due to variations in substrate water content and the sensitivity of R_{CWD} to environmental conditions. Rates of R_{CWD} of all decay classes showed distinct seasonal variation with a single peak, with the maximum rate of $9.69 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ in August and the minimum rates of $0.60 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ in February. There were significant differences in R_{CWD} rates among different decay classes. The comparisons indicated that the R_{CWD} for Class I was significantly lower than that for Class III and Class IV ($P < 0.05$), and the R_{CWD} for Class III and IV did not differ. Rates of R_{CWD} were significantly positively correlated with substrate temperature ($P < 0.01$), which can explain 70.2%—85.6% of seasonal variations in R_{CWD} . The correlation between R_{CWD} and substrate water content was not significant ($P > 0.05$). The sensitivity of R_{CWD} to seasonal substrate temperature, evaluated as Q_{10} , ranged from 2.46 to 2.83 and increased with decay classes.

Key Words: coarse woody debris; respiration; seasonal dynamic; influencing factors

粗木质残体 (Coarse Woody Debris, 简称 CWD) 是森林生态系统碳储量的重要组成部分, 研究表明: 全球森林生态系统粗木质残体碳储量为 2.0×10^{13} — $16.0 \times 10^{13} \text{ kg}$ ^[1], 占到了全球森林生态系统碳储量 (1146 Pg C) 的 1.75%—13.96%; 此外, 由于粗木质残体碳库易受外界影响, 因而比地下土壤碳库更为活跃^[2]。CWD 碳贮量中约 70% 的碳以 CO_2 的形式排放到大气中^[3], 是生态系统释放 CO_2 的一个重要来源。粗木质残体呼吸 (R_{CWD}) 释放的 CO_2 几乎可以占到整个森林生态系统 CO_2 释放量的 40%^[4]。因此, 量化 CWD 的碳动态对于评估森林生态系统当前和长期的碳平衡具有重要作用^[5]。

由于 CWD 呼吸通量数据极少, 致使大多数森林生态系统 CWD 的 CO_2 通量未知^[6], 但是 R_{CWD} 在 CWD 贮量较大的森林生态系统中不容忽视。中亚热带常绿阔叶林是我国亚热带地区最典型的植被类型, 最新的研究结果表明, 福建万木林自然保护区中亚热带常绿阔叶林 CWD 碳库贮量为 10.31 t/hm^2 ^[7], 占到了生态系统碳贮量的 1.84%—4.63%^[8]。因此, 选择中亚热带常绿阔叶林中的 R_{CWD} 进行研究, 这对于准确评估中亚热带森林的碳源/汇作用具有重要意义。

R_{CWD} 对分解等级、温度 (T_{CWD}) 和含水量 (W_{CWD}) 的变化具有高敏感性^[9], 所以精确测量粗木质残体呼吸有一定难度^[10]。早期研究 R_{CWD} 多采用碱吸收法^[11], 其优点是避免了测量过程中的物理干扰, 但引起的粗木质残体 CO_2 扩散率下降会导致 R_{CWD} 被低估。红外气体分析法 (IRGA)^[6,9,12] 是一种更准确的 R_{CWD} 测定方法, 虽然切割孔隙排放 CO_2 和人为干扰对观测有潜在影响, 但是它可以去除由于破坏和移动产生的干扰。 R_{CWD} 受到一系列环境因子、基质特征和微生物群落特征的影响, 其中 T_{CWD} 和 W_{CWD} 是影响 R_{CWD} 最重要的因子; 此外, 由于 CWD 的理化性质因分解等级而异且 T_{CWD} 和 W_{CWD} 对 CWD 的分解存在强烈的交互作用, 从而会引起 R_{CWD} 的变化^[6,9,13]。目前关于 R_{CWD} 的研究主要集中在寒带森林^[6]、温带针叶林和热带森林^[12], 国内仅见对东北部分树种倒木呼吸和鼎湖山常绿阔叶林 R_{CWD} 的少量研究^[14-16], 对中亚热带森林 R_{CWD} 的分析较少^[5], 有关 T_{CWD} 和 W_{CWD} 如何影响中亚热带森林 R_{CWD} 尚不清楚。因此本文采用红外气体分析法观测中亚热带常绿阔叶林不同分解等级粗木质残体呼吸及其相关环境因子, 揭示 T_{CWD} 和 W_{CWD} 对 R_{CWD} 的影响, 为评价和预测中亚热带森林生态系统碳循环提供基础数据和科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

试验地位于福建省建瓯市万木林自然保护区(27°03'N, 118°09'E), 面积 189 hm², 海拔 234—556 m; 其地貌类型为典型的东南低山丘陵地貌。土壤为花岗岩发育的红壤, 呈酸性。本地属中亚热带季风气候, 多年平均气温 19.4 ℃, 年均降水量 1731 mm, 降水主要集中在春夏两季, 年均蒸发量 1466 mm, 相对湿度 81%。万木林保护区由原人工杉木林逐渐演替为中亚热带常绿阔叶林地带性植被, 并逐渐形成以米槎、浙江桂、观光木和细柄阿丁峰等树种为主的植物群落^[17]。植物种类以樟科、木兰科、壳斗科、杜英科、山茶科、冬青科、山矾科和金缕梅科等为主。主要树种有沉水樟(*Cinnamomum micranthum*)、观光木(*Tsoongiodendron odorum*)、米槎(*Castanopsis carlesii*)、浙江桂(*Cinnamomum chekiangense*)、木荷(*Schima superba*)、细柄阿丁枫(*Altingia gracilipes*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 实验设计

2008 年 12 月, 在万木林自然保护区内选择典型的亚热带常绿阔叶林群落(阿丁枫群落、米槎群落、观光木群落和浙江桂群落)作为研究对象, 随机布设 10 块面积为 20 m×20 m 的样地, 并将样地内的粗木质残体分为 5 级^[18-19]。在每个样地内, 不同分解等级的粗木质残体分别选择 3—5 个重复, 在每个粗木质残体上布设 2—3 个 PVC 环, PVC 环用中性硅酮防水胶固定密封(因 V 级 CWD 极度腐烂, 无法布设 PVC 环, 所以实验未对 V 级 R_{CWD} 进行测定)。为避免 PVC 环内积水, 将其安装在粗木质残体的侧面。

1.2.2 R_{CWD} 的测定

实验采用红外气体分析法(IRGA)对 R_{CWD} 进行原位测定。2009 年 1—12 月期间, 用 LI-8100 碳通量测定系统(LI-8100, LI-COR 公司, USA)与特制的树干呼吸观测气室(专利号: 200810070739.4)相连测定 R_{CWD} , 观测频率为每月 1 次, 时间选择在每月下旬进行观测。测量时, 将气室与 PVC 环相接, 每次测定时间为 2 min, 气体流速为 1.5 L/min。

1.2.3 粗木质残体温度(T_{CWD})和粗木质残体含水量(W_{CWD})的测定

T_{CWD} 测定 在每个 PVC 环附近钻取约 2 cm 深的小孔, 在测量粗木质残体呼吸时用手持电子温度计(SK-250WP, Sato Keiryoki 公司, 日本)测定 T_{CWD} , 测定完毕将小孔密封。由于不同分解等级间 T_{CWD} 差异小且与气温拟合性好($R^2=0.993$), 所以取其平均值做为每月的 T_{CWD} 。

W_{CWD} 测定 测定 R_{CWD} 时, 在每个样地内不同分解等级的粗木质残体上取 3—5 个样品(在其一端截取厚约 3 cm 的圆盘), 用排水法测其体积并称鲜重, 后将样品置于 70 ℃ 的干燥箱内烘干至恒重, 并称重, 由此得出其质量含水量。

1.2.4 数据的处理与分析

R_{CWD} 与 T_{CWD} 之间的关系采用指数模型:

$$R = ae^{bT} \quad (1)$$

$$Q_{10} = e^{10b} \quad (2)$$

式中, R 为粗木质残体呼吸速率, T 为粗木质残体温度, a 、 b 为模型中的参数, Q_{10} 为 R 对温度的敏感性。

数据的处理在 SPSS 13.0 和 Microsoft Excel 2003 中进行, 图表制作采用 Microsoft Excel 2003。数据间差异性比较采用单因素方差法(One-way ANOVA)进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同分解等级粗木质残体呼吸的季节动态

研究结果表明, 不同分解等级 R_{CWD} 的季节变化曲线均呈现明显的单峰型(图 1), 与 T_{CWD} 的季节变化格局基本一致(图 2)。不同分解等级 R_{CWD} 的低峰值均出现在温度最低的 2 月, 高峰值出现在温度最高的 8 月份; 不同分解等级 R_{CWD} 在 3 月出现 1 个小峰值(图 2)。4—8 月, 随温度(T_{CWD})的不断升高, 不同分解等级

R_{CWD} 逐渐升高,至 8 月达到最大值;之后,不同分解等级 R_{CWD} 开始下降,并在 2 月达到一年中的最低值。I 级、II 级、III 级和 IV 级粗木质残体呼吸速率的变化范围分别在 $0.60\text{--}5.75$ 、 $0.71\text{--}7.37$ 、 $0.78\text{--}9.49$ $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $0.82\text{--}9.69$ $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间。不同分解等级 R_{CWD} 存在差异, I 级 R_{CWD} 和 III 级、IV 级间存在显著差异 ($P < 0.05$), 但 III 级、IV 级粗木质残体呼吸之间无明显差异。IV 级粗木质残体平均呼吸速率 (4.26 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 分别为 I 级、II 级和 III 级 (2.64 、 3.63 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 4.19 $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 的 1.61 、 1.17 倍和 1.01 倍。

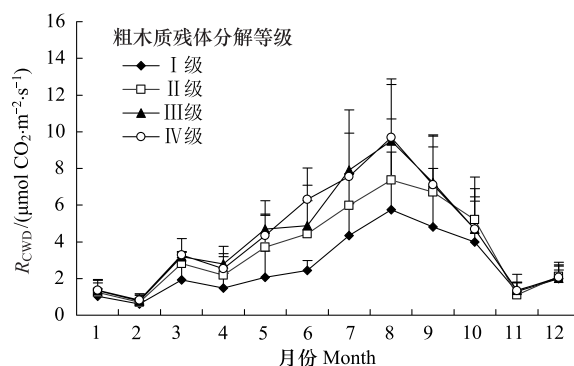


图 1 不同分解等级 R_{CWD} 的季节动态

Fig. 1 Seasonal dynamic of CWD respiration rate in four decay classes

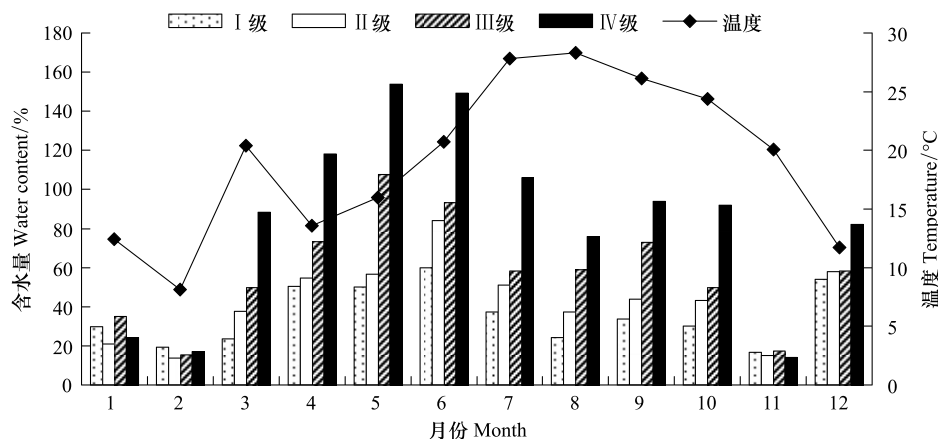


图 2 粗木质残体含水量和温度的季节动态

Fig. 2 Seasonal dynamic of water content and temperature of CWD

2.2 粗木质残体呼吸对温度 (T_{CWD}) 的响应

将不同分解等级粗木质残体呼吸与 T_{CWD} 进行回归分析。结果表明,不同分解等级粗木质残体呼吸与 T_{CWD} 之间均存在显著的指数正相关关系 ($P < 0.01$),但是不同分解等级 R_{CWD} 对 T_{CWD} 响应程度却不一致(图 3)。从两者的拟合曲线(图 3)可以看出:呼吸速率随温度的升高呈指数增加, T_{CWD} 对粗木质残体的呼吸变化有很好的预测作用。 T_{CWD} 解释了不同分解等级 R_{CWD} 动态变化的 $70.2\%\text{--}85.6\%$ 。

Q_{10} 值在不同分解等级粗木质残体间存在差异,其变化范围为 $2.46\text{--}2.83$,平均值 2.64 。总体来看, Q_{10} 值随分解等级的升高而变大(表 1)。

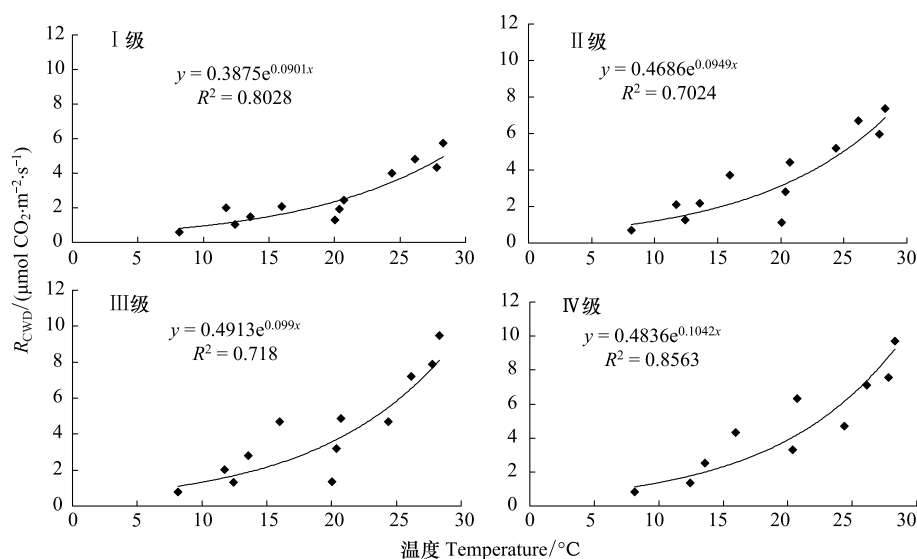
表 1 不同分解等级粗木质残体呼吸 Q_{10} 值

Table 1 The Q_{10} values of R_{CWD} in four decay classes

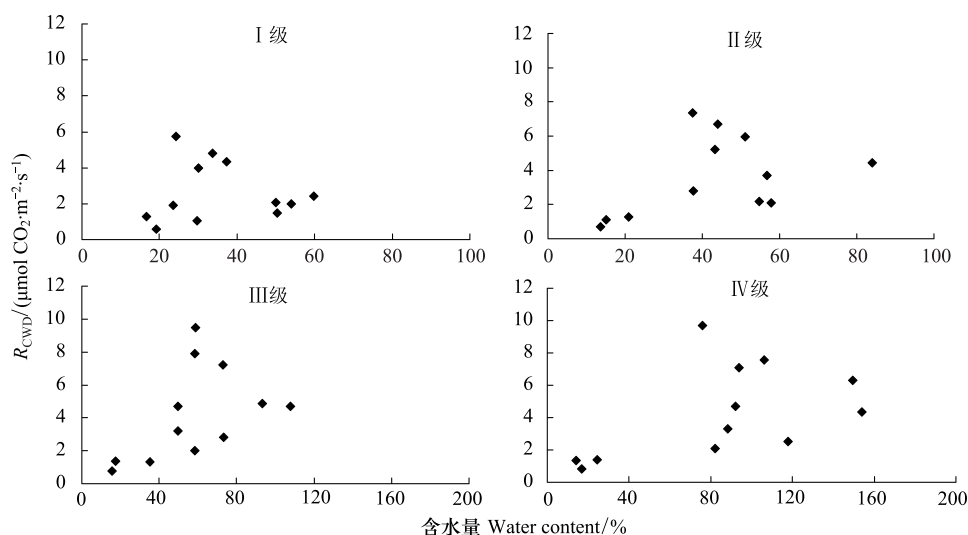
	分解等级 Decay classes				平均值 Mean
	I 级	II 级	III 级	IV 级	
Q_{10}	2.46	2.58	2.69	2.83	2.64

2.3 粗木质残体呼吸对含水量 (W_{CWD}) 的响应

对不同分解等级的粗木质残体含水量测定显示,粗木质残体的含水量随分解等级的升高而增加(图 2),其中 IV 级 CWD 的最高含水量接近 1.6 (质量含水量, kg/kg 干物质),而 I 级 CWD 最高含水量仅为 0.6 。含水量对 R_{CWD} 的影响较为复杂,在一定范围(含水量小于 1)内含水量升高,会提高微生物活性, R_{CWD} 随着含水量

图3 不同分解等级 R_{CWD} 与温度 (T_{CWD}) 的关系Fig. 3 Relation between CWD respiration and T_{CWD} in four decay classes

的增加而升高,在超过一定范围后,呼吸增加变慢,甚至有下降的趋势。全年来看:粗木质残体呼吸与含水量相关性未达到显著水平 ($P > 0.05$);但是在部分分解等级(I 级、II 级和 III 级)含水量超过 0.6 (图 4) 后, R_{CWD} 受到抑制,主要是因为含水量增加,降低了粗木质残体的孔隙度、透气性和微生物活性。

图4 不同分解等级 R_{CWD} 与含水量 (W_{CWD}) 的关系Fig. 4 Relation between CWD respiration and W_{CWD} in four decay classes

3 讨论

3.1 R_{CWD} 的季节动态

研究发现,大多数粗木质残体呼吸的季节动态变化均呈现单峰曲线格局,高峰值出现在 7—8 月份^[3,14-15]。孙秀云等^[14]报道东北主要树种粗木质残体呼吸季节变化曲线均呈单峰型,所有树种的 R_{CWD} 低峰值均出现在低温的非生长季,高峰值除几个树种外都出现在温度最高的 7 月份;Tang 等^[13]报道的美国五大湖区域老龄森林 R_{CWD} 在 7—8 月达到最大值,在 1—3 月达到最低值;吴家兵等^[15]也得出,全年长白山红松和紫椴倒木的呼吸排放呈单峰型,随温度升高而迅速增加,在呼吸释放高峰(7、8 月)碳排放量可以占到全年的

30%。不同地区 R_{CWD} 的高/低峰值出现的时间不同,可能与树种和当地的气候有关。本研究结果表明:不同分解等级 R_{CWD} 的季节变化曲线呈单峰型,最高值($9.69 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)出现在8月,最低值($0.60 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)出现在2月(图2),与他人得出的结果相一致;在5—10月,不同分解等级粗木质残体的呼吸速率均较高,这与该时期 T_{CWD} 较高、降水丰沛、微生物活动旺盛有关;而冬季不同分解等级粗木质残体呼吸速率较低,则与呼吸受到低温和较低 W_{CWD} 的限制有关。

3.2 不同分解等级对 R_{CWD} 的影响

R_{CWD} 一般会随着 CWD 密度的降低而增加^[5],分解等级可能通过影响 CWD 的微生物种类、数量、含水量及透气性等因素间接影响 R_{CWD} 。本研究中不同分解等级 R_{CWD} 存在着差异,Ⅳ级粗木质残体的呼吸速率显著高于Ⅰ级($P < 0.05$); R_{CWD} 最低值出现在Ⅰ级 CWD,最高值出现在Ⅳ级,表现出随分解等级的升高呼吸升高的趋势。这与吴家兵等^[15]得出的倒木腐烂程度越高,其呼吸速率越高的结果相一致。多数研究表明,Ⅰ级 R_{CWD} 最低,而随着分解的进行,呼吸速率升高,在不同的地区最高值出现的等级有所差异^[5-6]。如 Wang 等^[6]通过对美国黑云杉倒木呼吸的研究得出,Ⅱ、Ⅲ级倒木呼吸速率显著高于Ⅰ级倒木($P < 0.001$);Gough 等^[5]对美国北部温带落叶林中 CWD 进行研究发现,分解等级对 R_{CWD} 有显著影响,其中呼吸速率以Ⅲ级最高;孙秀云等^[14]也得出不同分解等级间倒木呼吸速率差异显著($P < 0.01$)。一般来说,以中等分解程度(Ⅲ级或Ⅳ级)的 R_{CWD} 最高,可以占到总 R_{CWD} 的 60%^[5];Ⅰ级和Ⅱ级粗木质残体处在分解的早期阶段,还未发生较多的微生物入侵,并且不稳定的碳和其他营养物质相对富集,限制了 CWD 的分解^[9];在分解阶段后期,由于剩下的是难以分解的木质素等,使得分解变慢,呼吸速率降低^[20]。

3.3 温度(T_{CWD})对 R_{CWD} 的影响

在影响 R_{CWD} 的环境因子中, T_{CWD} 起着主导作用,驱动着 R_{CWD} 的季节动态变化。多数研究表明:在一定的温度范围内, R_{CWD} 随着温度升高而升高^[6,13,15,21]。温度主要通过微生物活动直接影响分解作用,加速有机碳的矿化作用和 CO_2 释放^[14],也会通过促进水分和代谢底物的变化影响呼吸作用^[3]。虽然不同分解等级的 R_{CWD} 与 T_{CWD} 呈正相关关系,但是不同分解等级的 R_{CWD} 对 T_{CWD} 的响应不一致^[12]。本研究中, T_{CWD} 可以解释 R_{CWD} 季节变化的 70.2%—85.6%,这表明 T_{CWD} 对 R_{CWD} 具有重要影响。

Q_{10} 值可以描述 R_{CWD} 对温度响应的敏感性。大量研究表明: R_{CWD} 的 Q_{10} 值在 1.7—4.1 之间,不同分解等级间存在差异^[5,6,22];不同分解等级粗木质残体 Q_{10} 值发生变化的原因比较复杂,不仅与温度、水分状况有关,植被类型、微生物种类和数量也会对其产生影响^[3]。在本研究中, Q_{10} 值随分解等级的升高而增大,这与吴家兵等^[15]报道的倒木腐烂等级越高, Q_{10} 值越小的结论不同,这可能是由于树种或选择的温度区间不同造成的。本研究中不同分解等级粗木质残体呼吸的 Q_{10} 值(2.46—2.83)均落入已报道的范围内,与吴家兵等^[15]报道的长白山地区红松和紫椴倒木呼吸的 Q_{10} 值(2.41—2.95)相近,高于张树斌和郑征^[22]报道的哀牢山亚热带中山湿性常绿阔叶林 CWD 的 Q_{10} 值(1.73—2.08)。这可能与不同树种粗木质残体之间的养分状况、分解基质以及所寄生微生物种类等有关,体现了不同森林类型和分解等级 R_{CWD} 对温度响应的差异性。

3.4 含水量(W_{CWD})对 R_{CWD} 的影响

研究结果显示:不同分解等级粗木质残体含水量(W_{CWD})与 R_{CWD} 的关系没有明显差异,其相关性未达到显著水平($P > 0.05$),这与孙秀云等^[14]报道的 W_{CWD} 与山杨、春榆和红松等树种的倒木呼吸没有显著影响的结果相近;Jomura 等^[22]对日本温带次生阔叶林中日本红松枯立木和倒木呼吸速率研究发现,枯立木和倒木呼吸速率随含水量增加而升高;Chambers 等^[12]和 Wang 等^[6]得出呼吸速率与 W_{CWD} 成显著正相关关系。 W_{CWD} 对 R_{CWD} 的影响机制可能是:当含水量超过一定的阈值,就会限制氧气的扩散速率,影响微生物的活动,从而抑制粗木质残体的呼吸作用^[23]。本研究中,由于试验地处于亚热带地区,除少数月份(11、2月)(图2)外,各月降水均较丰富,含水量未成为微生物活动的限制因子。但是,在含水量明显偏低的 11 月份(部分分解等级含水量低于 0.2), R_{CWD} 显著降低,表现出在极低的含水量条件下, R_{CWD} 受到了严重抑制。因此在亚热带地区,除

少数月份外水分不是 R_{CWD} 的限制因子。

References:

- [1] Chen H, Harmon M E. Dynamic study of coarse woody debris in temperate forest ecosystems. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1992, 3(2): 99-104.
- [2] Yang Y S, Guo J F, Lin P, He Z M, Chen G S. Carbon and nutrient pools of coarse woody debris in a natural forest and plantation in subtropical China. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(3): 7-11.
- [3] Zhang L M, Wang C K, Tang Y. Temporal dynamics of coarse woody debris respiration for 11 temperate tree species. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(12): 3126-3134.
- [4] Knohl A, Kolle O, Minayeva T Y, Milyukova I M, Vygodskaya N N, Foken T, Schulze E D. Carbon dioxide exchange of a Russian boreal forest after disturbance by wind throw. *Global Change Biology*, 2002, 8(3): 231-246.
- [5] Gough C M, Vogel C S, Kazanski C, Nagel L, Flower C E, Curtis P S. Coarse woody debris and the carbon balance of a north temperate forest. *Forest Ecology and Management*, 2007, 244(1/3): 60-67.
- [6] Wang C K, Bond-Lamberty B, Gower S T. Environmental controls on carbon dioxide flux from black spruce coarse woody debris. *Oecologia*, 2002, 132(3): 374-381.
- [7] He X D, Yang Z J, Guo J F, Chen G S, Ma S G, Zhang B. Composition and storage of woody debris in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest in Wanmulin Nature Reserve. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2010, 5(2): 46-52.
- [8] Sheng H. Carbon Pools and Belowground Carbon Balance of Mid-Subtropical Evergreen Broad-Leaved Forest [D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2007.
- [9] Liu W H, Bryant D M, Hutrya L R, Saleska S R, Hammond-Pyle E, Curran D, Wofsy S C. Woody debris contribution to the carbon budget of selectively logged and maturing min-latitude forests. *Oecologia*, 2006, 148(1): 108-117.
- [10] Yang F F, Li Y L, Zhou G Y, Wenigmann K O, Zhang D Q, Wenigmann M, Liu S Z, Zhang Q M. Dynamics of coarse woody debris and decomposition rates in an old-growth forest in lower tropical China. *Forest Ecology and Management*, 2010, 259(8): 1666-1672.
- [11] Bekku Y, Koizumi H, Oikawa T, Iwaki H. Examination of four methods for measuring soil respiration. *Applied Soil Ecology*, 1997, 5(3): 247-254.
- [12] Chambers J Q, Schimel J P, Nobre A D. Respiration from coarse wood litter in central Amazon forests. *Biogeochemistry*, 2001, 52(2): 115-131.
- [13] Tang J W, Bolstad P V, Desai A R, Martin J G, Cook B D, Davis K J, Carey E V. Ecosystem respiration and its components in an old-growth forest in the Great Lakes region of the United States. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148(2): 171-185.
- [14] Sun X Y, Wang C K. Carbon dioxide fluxes from downed log decomposition of major tree species in northeastern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5130-5137.
- [15] Wu J B, Guan D X, Han S J, Pei T F, Shi T T, Zhang M. Respiration of fallen trees of *Pinus koraiensis* and *Tilia amurensis* in Changbaishan Mountains, northeastern China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(2): 14-19.
- [16] Yang F F, Li Y L. Characteristics of respiration of coarse woody debris of *Castanopsis chinensis* in the wet season, Dinghushan natural reserve. *Journal of Central South University of Forestry and Technology*, 2010, 30(10): 18-23.
- [17] Zheng Q R. A preliminary study on the ancient tree and famous tree resources in Wanmulin nature reserve, Fujian province. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2001, 28(2): 77-80.
- [18] Sollins P. Input and decay of coarse woody debris in coniferous stands in western Oregon and Washington. *Canadian Journal of Forest Research*, 1982, 12(1): 18-28.
- [19] Fan Y X, Yang Z J, Guo J F, Chen G S, He X D, Zheng Q R. The temperature sensitivity of coarse woody debris (CWD) respiration in different decay classes at Wanmulin Nature Reserve. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2010, 5(3): 36-42.
- [20] Hicks W T, Harmon M E, Myrold D D. Substrate controls on nitrogen fixation and respiration in woody debris from the Pacific Northwest, USA. *Forest Ecology and Management*, 2003, 176(1/3): 25-35.
- [21] Jomura M, Kominami Y, Dannoura M, Kanazawa Y. Spatial variation in respiration from coarse woody debris in a temperate secondary broad-leaved forest in Japan. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(1): 149-155.
- [22] Zhang S B, Zheng Z. A preliminary research on respiration of woody debris of hollow-bearing tree in the montane moist evergreen broad-leaved forest of Ailao Mountains, Yunnan China. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(3): 300-307.

- [23] Progar R A, Schowalter T D, Freitag C M, Morrell J J. Respiration from coarse woody debris as affected by moisture and saprotroph functional diversity in western Oregon. *Oecologia*, 2000, 124(3): 426-431.

参考文献:

- [1] 陈华, Harmon M E. 温带森林生态系统粗死木质物动态研究——以中美两个温带天然林生态系统为例. *应用生态学报*, 1992, 3(2): 99-104.
- [3] 张利敏, 王传宽, 唐艳. 11 种温带树种粗木质残体呼吸的时间动态. *生态学报*, 2010, 30(12): 3126-3134.
- [7] 贺旭东, 杨智杰, 郭剑芬, 陈光水, 马书国, 张彪. 万木林自然保护区常绿阔叶林木质残体贮量及其组成. *亚热带资源与环境学报*, 2010, 5(2): 46-52.
- [8] 盛浩. 中亚热带常绿阔叶林碳储量和地下碳平衡 [D]. 福州: 福建师范大学, 2007.
- [14] 孙秀云, 王传宽. 东北主要树种倒木分解释放的 CO₂ 通量. *生态学报*, 2007, 27(12): 5130-5137.
- [15] 吴家兵, 关德新, 韩士杰, 裴铁璠, 施婷婷, 张弥. 长白山地区红松和紫椴倒木呼吸研究. *北京林业大学学报*, 2008, 30(2): 14-19.
- [16] 杨方方, 李跃林. 鼎湖山锥栗粗死木质残体雨季呼吸特征研究. *中南林业科技大学学报*, 2010, 30(10): 18-23.
- [17] 郑群瑞. 福建万木林自然保护区古树名木资源初步研究. *福建林业科技*, 2001, 28(2): 77-80.
- [19] 范跃新, 杨智杰, 郭剑芬, 陈光水, 贺旭东, 郑群瑞. 万木林自然保护区不同分解等级粗木质残体呼吸的温度敏感性. *亚热带资源与环境学报*, 2010, 5(3): 36-42.
- [22] 张树斌, 郑征. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林空心树木木质残体呼吸作用初步研究. *山地学报*, 2008, 26(3): 300-307.

CONTENTS

Landscape aesthetic assessment based on experiential paradigm assessment technology	LI Xuanqi, HUA Lizhong (2965)
Significant impact of job-housing distance on carbon emissions from transport: a scenario analysis	TONG Kangkang, MA Keming (2975)
The watershed eco-compensation system from the perspective of economics: the cases of pollution compensation	LIU Tao, WU Gang, FU Xiao (2985)
The tourism development impact on Shanghai coastal wetland vegetation	LIU Shidong, GAO Jun (2992)
Effects of the Wenchuan Earthquake on shoot growth and development of the umbrella bamboo (<i>Fargesia robusta</i>), one of the giant panda's staple bamboos	LIAO Lihuan, XU Yu, RAN Jianghong, et al (3001)
Forest carbon sequestration and carbon sink/source in Jiangxi Province	HUANG Lin, SHAO Quanqin, LIU Jiyuan (3010)
Species diversity of herbaceous communities in the Yiluo River Basin	CHEN Jie, GUO Yili, LU Xunling, et al (3021)
Microbial community diversity of rhizosphere soil in continuous cotton cropping system in Xinjiang	GU Meiying, XU Wanli, MAO Jun, et al (3031)
Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of <i>Caragana korshinskii</i> Kom. in desert zone	HE Xueli, CHEN Zheng, GUO Huijuan, et al (3041)
Characteristics of photosynthetic productivity and water-consumption for transpiration in <i>Pinus densiflora</i> var. <i>zhangwuensis</i> and <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	MENG Peng, LI Yuling, YOU Guochun, et al (3050)
Seasonal dynamic and influencing factors of coarse woody debris respiration in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest	LIU Qiang, YANG Zhijie, HE Xudong, et al (3061)
Influence of saline soil and sandy soil on growth and mineral constituents of common annual halophytes in Xinjiang	ZHANG Ke, TIAN Changyan, LI Chunjian (3069)
Dynamics change of <i>Betula ermanii</i> population related to shrub and grass on treeline of northern slope of Changbai Mountains	WANG Xiaodong, LIU Huiqing (3077)
Effects of ecological conditions on morphological and physiological characters of tobacco	YAN Kan, CHEN Zongyu (3087)
A study on the hyperspectral inversion for estimating leaf chlorophyll content of clover based on factor analysis	XIAO Yanfang, GONG Huili, ZHOU Demin (3098)
Monthly dynamic variation of soil seed bank in water-level-fluctuating zone of Three Gorges Reservoir at the beginning after charging water	WANG Xiaorong, CHENG Ruimei, TANG Wanpeng, et al (3107)
Effects of three land use patterns on diversity and community structure of soil ammonia-oxidizing bacteria in <i>Leymus chinensis</i> steppe	ZOU Yukun, ZHANG Jingni, CHEN Xiurong, et al (3118)
Autotoxicity and promoting: dual effects of root litter on American ginseng growth	JIAO Xiaolin, DU Jing, GAO Weiwei (3128)
Effect of differing levels parasitism from native <i>Cuscuta australis</i> on invasive <i>Bidens pilosa</i> growth	ZHANG Jing, YAN Ming, LI Junmin (3136)
Heavy metal concentrations and pollution assessment of riparian soils in Shandong Province	ZHANG Ju, CHEN Shiyue, DENG Huanguang, et al (3144)
Effect of decomposition products of cyanobacteria on <i>Myriophyllum spicatum</i> and water quality in Lake Taihu, China	LIU Lizhen, QIN Boqiang, ZHU Guangwei, et al (3154)
Succession of macrofauna communities in wetlands of <i>Sonneratia apetala</i> artificial mangroves during different ecological restoration stages	TANG Yijie, FANG Zhanqiang, ZHONG Yanting, et al (3160)
Group characteristics of Chinese Merganser (<i>Mergus squamatus</i>) during the wintering period in Poyang Lake watershed, Jiangxi Province	SHAO Mingqin, ZENG Binbin, SHANG Xiaolong, et al (3170)
Effect of forest rodents on predation and dispersal of <i>Pinus armandii</i> seeds in Qinling Mountains	CHANG Gang, WANG Kaifeng, WANG Zhi (3177)
Circadian rhythms of activity, metabolic rate and body temperature in desert hamsters (<i>Phodopus roborovskii</i>)	WANG Luping, ZHOU Shun, SUN Guoqiang (3182)
Effects of temperature stress and ultraviolet radiation stress on antioxidant systems of <i>Locusta migratoria tibetensis</i> Chen	LI Qing, WU Lei, YANG Gang, et al (3189)
Carbon cycling from rice-duck mutual ecosystem during double cropping rice growth season	ZHANG Fan, GAO Wangsheng, SUI Peng, et al (3198)
Protein expression characteristics and their response to nitrogen application during grain-filling stage of rice (<i>Oryza Sativa</i> L.)	ZHANG Zhixing, CHENG Jun, LI Zhong, et al (3209)
Review and Monograph	
Advances in influence of seawater eutrophication on marine bacteria	ZHANG Yubin, ZHANG Jiexiang, SUN Xingli (3225)
A review of comprehensive effect of ocean acidification on marine fishes	LIU Hongjun, ZHANG Zhendong, GUAN Shuguang, et al (3233)
Evaluation of the controlling methods and strategies for <i>Mikania micrantha</i> H. B. K.	LI Mingguang, LU Erbei, GUO Qiang, et al (3240)
Scientific Note	
Dynamics of land use/cover changes in the Weigan and Kuqa rivers delta oasis based on Remote Sensing	SUN Qian, TASHPOLAT. Tiyp, ZHANG Fei, et al (3252)
Phytoplankton assemblages in East China Sea in winter 2009	GUO Shujin, SUN Jun, DAI Minhan, et al (3266)
On the physical chemical and soil microbial properties of soils in the habitat of wild Ferula in Xinjiang	FU Yong, ZHUANG Li, WANG Zhongke, et al (3279)
The community characteristics of <i>Calligonum roborowskii</i> A. Los in Tarim Basin	Gulnur Sabirhazi, PAN Borong, DAUN Shimin (3288)
Stability analysis of mine ecological industrial symbiotic system	SUN Bo, WANG Guangcheng (3296)

《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 10 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 10 (May, 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@csbg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csbg.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