

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

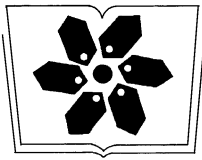
Acta Ecologica Sinica



第31卷 第17期 Vol.31 No.17 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 17 期

2011 年 9 月 (半月刊)

目 次

海洋生态资本理论框架下海洋生物资源的存量评估·····	任大川,陈 尚,夏 涛,等 (4805)
内生真菌对羽茅生长及光合特性的影响·····	贾 彤,任安芝,王 帅,等 (4811)
基于遥感图像处理技术胡杨叶气孔密度的估算及其生态意义·····	蒋圣淇,赵传燕,赵 阳,等 (4818)
水文变异下的黄河流域生态流量·····	张 强,李剑锋,陈晓宏,等 (4826)
黄河三角洲重度退化滨海湿地盐地碱蓬的生态修复效果·····	管 博,于君宝,陆兆华,等 (4835)
浙江省某 PCBs 废物储存点对其邻近滩涂生态系统的毒性风险·····	何闪英,陈昆柏 (4841)
鄱阳湖苔草湿地甲烷释放特征·····	胡启武,朱丽丽,幸瑞新,等 (4851)
三峡库区银鱼生长特点及资源分析·····	邵晓阳,黎道峰,谭 路,等 (4858)
低温应激对吉富罗非鱼血清生化指标及肝脏 HSP70 基因表达的影响 ···	刘 波,王美珏,谢 骏,等 (4866)
Cd ²⁺ 对角突臂尾轮虫和曲腿龟甲轮虫的急性毒性和生命表统计学参数的影响 ·····	许丹丹,席貽龙,马 杰,等 (4874)
圈养梅花鹿 BDNF 基因多态性与日常行为性状的关联分析 ·····	吕慎金,杨 燕,魏万红 (4881)
华北平原玉米田生态系统光合作用特征及影响因素 ·····	同小娟,李 俊,刘 渡 (4889)
长期施肥对麦田大型土壤动物群落结构的影响 ·····	谷艳芳,张 莉,丁圣彦,等 (4900)
蚯蚓对湿地植物光合特性及净化污水能力的影响·····	徐德福,李映雪,王让会,等 (4907)
三种农药对红裸须摇蚊毒力和羧酸酯酶活性的影响 ·····	方国飞 (4914)
六星黑点豹蠹蛾成虫生殖行为特征与性趋向·····	刘金龙,宗世祥,张金桐,等 (4919)
除草剂胁迫对空心莲子草叶甲种群的影响及应对策略·····	刘雨芳,彭梅芳,王成超,等 (4928)
荒漠植物准噶尔无叶豆结实、结籽格局及其生态适应意义 ·····	施 翔,王建成,张道远,等 (4935)
限水灌溉冬小麦冠层氮分布与转运特征及其对供氮的响应·····	蒿宝珍,姜丽娜,方保停,等 (4941)
准噶尔盆地梭梭、白梭梭植物构型特征 ·····	王丽娟,孙栋元,赵成义,等 (4952)
基于地表温度-植被指数关系的地表温度降尺度方法研究 ·····	聂建亮,武建军,杨 曦,等 (4961)
岩溶区不同植被类型下的土壤氮同位素分异特征 ·····	汪智军,梁 轩,贺秋芳,等 (4970)
施氮量对麻疯树幼苗生长及叶片光合特性的影响 ·····	尹 丽,胡庭兴,刘永安,等 (4977)
黄土丘陵区羔沟流域典型植物叶片 C、N、P 化学计量特征季节变化 ·····	王凯博,上官周平 (4985)
克隆整合提高淹水胁迫下狗牙根根部的活性氧清除能力·····	李兆佳,喻 杰,樊大勇,等 (4992)
低覆盖度固沙林的乔木分布格局与防风效果·····	杨文斌,董慧龙,卢 琦,等 (5000)
东灵山林区不同森林植被水源涵养功能评价·····	莫 菲,李叙勇,贺淑霞,等 (5009)
11 种温带树种粗木质残体分解初期结构性成分和呼吸速率的变化 ·····	张利敏,王传宽,唐 艳 (5017)
连栽第 1 和第 2 代杉木人工林养分循环的比较·····	田大伦,沈 燕,康文星,等 (5025)
最优化设计连续的自然保护区·····	王宜成 (5033)
基于自然地理特征的长江口水域分区·····	刘录三,郑丙辉,孟 伟,等 (5042)
煤电一体化开发对锡林郭勒盟环境经济的影响·····	吴 迪,代方舟,严 岩,等 (5055)
专论与综述	
生态条件的多样性变化对蜜蜂生存的影响·····	侯春生,张学锋 (5061)
研究简报	
胶州湾潮间带大型底栖动物次级生产力的时空变化·····	张崇良,徐宾铎,任一平,等 (5071)
湿地公园研究体系构建·····	王立龙,陆 林 (5081)
基于生态足迹的半干旱草原区生态承载力与可持续发展研究——以内蒙古锡林郭勒盟为例·····	杨 艳,牛建明,张 庆,等 (5096)
学术信息与动态	
恢复与重建自然与文化的和谐——2011 生态恢复学会国际会议简介 ···	彭少麟,陈蕾伊,侯玉平,等 (5105)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2011-09	



封面图说: 相当数量的降雪与低温严寒是冰川发育的主要因素,地球上的冰川除南北两极外,只有在高海拔的寒冷山地才能存在。喜马拉雅山造山运动使中国成为了世界上中低纬度冰川最为发育的国家,喜马拉雅山地区雪峰连绵、冰川四溢,共有现代冰川 17000 多条,是世界冰川发育的中心之一。

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

张利敏, 王传宽, 唐艳. 11 种温带树种粗木质残体分解初期结构性成分和呼吸速率的变化. 生态学报, 2011, 31(17): 5017-5024.

Zhang L M, Wang C K, Tang Y. Changes in structural components and respiration rates of coarse woody debris at the initial decomposition stage for 11 temperate tree species. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(17): 5017-5024.

11 种温带树种粗木质残体分解初期结构性 成分和呼吸速率的变化

张利敏^{1,2}, 王传宽^{1,*}, 唐 艳¹

(1. 东北林业大学生态研究中心, 哈尔滨 150040; 2. 哈尔滨师范大学, 黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室, 哈尔滨 150025)

摘要: 采用长期定位跟踪实测方法, 比较分析我国东北温带森林 11 个主要树种粗木质残体(CWD)分解初期 3a 中结构性成分的差异、变化以及与其呼吸速率(R_{CWD})的关系。测定树种包括: 软阔叶树种(白桦、山杨、紫椴)、硬阔叶树种(胡桃楸、蒙古栎、色木槭、春榆、黄檗、水曲柳)和针叶树种(兴安落叶松、红松)。结果表明: 11 个树种 CWD 木质素含量(L_c , %)和综纤维素含量(H_c , %)差异显著($P < 0.001$), 其中软阔叶树种的 L_c 最低。木质素含量与 N 含量的比值(L_c/N)依次为: 针叶树种 > 硬阔叶树种 > 软阔叶树种。经过 3a 的分解, 大部分树种(除了紫椴和春榆)的 L_c 略有增加, 但变化不显著($P > 0.05$); 而其木质素密度(L_d , g/cm^3)和综纤维素密度(H_d , g/cm^3)都有不同程度的减小($P < 0.05$), 软阔叶树种损失最多, 针叶树种损失最少。所有树种 L_c/N 值均增大。将 R_{CWD} 标准化成温度为 15 °C 时(R_{15})比较发现, 在 CWD 形成初期(2005 年)不同树种的 R_{15} 有所差异; 阔叶树种的 R_{15} 及其温度系数(Q_{10})均高于针叶树种。经过 3a 的分解, 除兴安落叶松、色木槭和水曲柳外, 其它树种的 R_{15} 出现了不同程度减小。总体看来, 软阔叶树种 R_{15} 减少了 32.0%, 而针叶树种 R_{15} 则增加了 23.1%。另外, 针叶树种的 Q_{10} 增大, 而阔叶树种的 Q_{10} 则基本保持不变。 R_{15} 与 H_c 呈正相关, 与 L_c 和 L_c/N 呈负相关。CWD 分解初期 3a R_{15} 的变化率与 H_c 的变化率之间呈正相关关系, 表明结构性成分的变化是导致 CWD 分解初期 R_{CWD} 变化的主要因素之一。

关键词: 倒木; 木质素; 纤维素; 呼吸; 温度系数

Changes in structural components and respiration rates of coarse woody debris at the initial decomposition stage for 11 temperate tree species

ZHANG Limin^{1,2}, WANG Chuankuan^{1,*}, TANG Yan¹

1 Center for Ecological Research, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring Of Geographic Environment, College of Heilongjiang Province, Harbin Normal University, Harbin 150025, China

Abstract: A long-term tracking experiment on coarse woody debris (CWD) decomposition of 11 temperate tree species was established in northeastern China in 2004. The objectives of this study were to (1) compare differences and changes in structural components of the CWD and CO_2 flux released from CWD decomposition (R_{CWD}) during the initial three years; and (2) examine relationships between the structural compositions and R_{CWD} during this period. The experimental design was completely randomized blocking design with 11 species $\times$ 6 blocks $\times$ 4 sites. The tree species investigated included softwood species (*Betula platyphylla*, *Populus davidiana*, and *Tilia amurensis*), hardwood species (*Juglans mandshurica*, *Phellodendron amurense*, *Quercus mongolica*, *Acer mono*, *Fraxinus mandshurica*, and *Ulmus japonica*) and coniferous species (*Pinus koraiensis*, *Larix gmelinii*). The four sites were a dry oak forest, a wet hardwood forest, a medium moist

基金项目: 国家“十二五”科技支撑项目(2011BAD37B01); 林业公益性行业科研专项(200804001); 国家自然科学基金(30625010); 国家林业局重点项目(2006-77)

收稿日期: 2010-06-28; **修订日期:** 2010-10-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangck-cf@nefu.edu.cn

pine plantation, and an open field. The R_{CWD} was measured with an infrared gas exchange analyzer (LI-6400 IRGA) from May to October in 2005 and 2008. Three 5 cm thick discs of CWD samples for each tree species were randomly sampled in October 2005, and six samples in October 2008 at each site for determining lignin concentration (L_c , %), lignin density (L_d , g/cm³), holocellulose concentration (H_c , %), and holocellulose density (H_d , g/cm³). The results indicated that the L_c and H_c differed significantly among the species ($P < 0.001$), with the softwood tree species being the least L_c . The ratio of lignin to nitrogen concentration (L_c/N) ranked as: coniferous species > hardwood tree species > softwood tree species. The L_c during the initial three years of decomposition increased for all species except for *T. amurensis* and *U. japonica*, but the changes were insignificant ($P > 0.05$). The H_d and L_d decreased to some degrees ($P < 0.05$), with the minimum loss in the coniferous species and the maximum loss in the softwood species. The L_c/N increased during the decomposition for all species. The normalized R_{CWD} to 15 °C of the CWD temperature (R_{15}) differed significantly among the tree species. The R_{15} for the broad-leaved species was higher than that for the coniferous species. The temperature coefficient of R_{CWD} (Q_{10}) showed a similar trend among the tree species as the R_{15} , fluctuating between 2.41 (coniferous species) and 2.71 (broad-leaved species). After the three years decomposition, the R_{15} decreased for all species except for the *L. gmelinii*, *A. mono*, and *F. mandshurica*. Overall, the R_{15} of the softwood species decreased by 32.0%, and that of coniferous species increased by 23.1%. Additionally, the Q_{10} increased for the coniferous species, and remained relatively stable for the broad-leaved species. The R_{15} was positively correlated with the H_c , but negatively correlated with the L_c and L_c/N . The changing rates of R_{15} during the initial three years were positively correlated with those of H_c , suggesting the major contribution of structural compositions to the changes of R_{CWD} .

Key Words: downed log; lignin; cellulose; respiration; temperature coefficient

粗木质残体(CWD)分解是森林生态系统重要的生态学过程之一^[1],对其水、碳、养分循环以及生物多样性等都有重要的长期影响^[2]。CWD呼吸释放出的CO₂通量(R_{CWD})是其碳损失的主要途径,约占CWD碳储量的70%^[3],同时也是森林生态系统向大气排放CO₂的重要来源之一^[1,4]。例如:俄罗斯被风干扰过的北方森林的 R_{CWD} 占整个生态系统呼吸量的40%以上^[5];加拿大黑皮云杉(*Picea mariana*)北方森林火后3—151a的年龄序列 R_{CWD} 波动在2—192 gC·m⁻²·a⁻¹之间^[6],占该生态系统土壤呼吸量的1%—54%^[7];日本温带天然次生林的 R_{CWD} 占整个生态系统总呼吸量的10%—16%^[8]。尽管如此,由于CWD分解速度较慢,分解时间较长,因此在森林生态系统的碳氮循环研究中经常被忽略^[2,9-12]。

CWD分解是一个复杂的生态学过程, R_{CWD} 受众多因素的综合影响^[2,13-14]。以往对我国东北温带森林的11个主要树种CWD的分解动态及影响因素的研究表明,温度和含水率是影响 R_{CWD} 的主要环境因子^[15-17]。然而,近期研究发现,即使在同一环境条件下, R_{CWD} 仍然有很大的变异^[18]。究其原因可能与CWD本身的结构和化学特性差异有关^[2,19]。例如:Ganjegunte等报道,新西兰的辐射松(*Pinus radiata*)CWD树皮的分解速率慢于树干,主要原因是木材的糖类浓度较高,而树皮的酚类以及木质素含量较高^[20]。Müller-Using和Bartsch研究德国中部的山毛榉(*Fagus sylvatica* L.)CWD时却得出了相反的结果^[21]。

木材的结构性成分主要分为细胞壁成分、养分元素以及抽提物^[2]。木材抽提物是用乙醇、苯、乙醚、丙酮或二氯甲烷等有机溶剂以及水抽提出来的物质的总称,存在于细胞壁间和细胞腔内,属非细胞壁物质。它主要由低分子量化合物组成,一般含有单宁、树脂、树胶、精油、色素、生物碱、脂肪、蜡、糖和淀粉等700多种化合物^[22]。它的组成十分复杂,既含有大量抑制分解的物质,还含有蛋白质、糖等促进分解的物质,因此用抽提物的整体含量来解释分解过程不够准确^[2]。木质素是具有芳香族特性、非结晶性和三度空间结构的高聚物,约占木材干重的20%—35%。木质素结构的复杂性使其很难为微生物利用,因此常被用作衡量CWD分解速率的指标。综纤维素由纤维素和半纤维素组成。纤维素是一种具有均一链结构的葡萄糖聚糖化酶,线性的高分子

聚合物,占木材干重的 50% 左右。半纤维素是一种分子量较低的非纤维素碳水化合物。它不是一种糖基组成的聚糖,而是不同量的几种糖基组成的共聚物,因此与纤维素相比需要更多种类的酶对其进行分解^[2]。

为了深入理解 CWD 分解过程的控制机理,本文着重探索 11 个温带树种 CWD 分解初期 3a 中的结构性成分的差异及其变化以及与 R_{CWD} 的关系。采用长期定位跟踪实测方法,尽量克服以往多数研究采用空间代时间的方法或者其他间接手段研究 CWD 分解时可能产生的不确定性^[9, 23]。

1 研究方法

1.1 研究区自然概况和实验设计

研究地设在黑龙江帽儿山森林生态站(45°24' N, 127°40' E)。该地区具有典型的大陆性温带季风气候,冬寒冷干燥,夏短促湿热,平均年降水量 629 mm、年蒸发量 864 mm、年均气温 3.1 °C、年均日照时数 1860 h、无霜期 120—140 d。平均海拔 400 m,地带性土壤为暗棕色森林土壤。现有植被是东北东部山区典型的天然次生林^[15]。

本研究所用的 CWD 是 2004 年 7 月采伐的伐倒木(其中春榆是在 2005 年 7 月采伐的),包括了该地区典型天然次生林的 11 个主要组成树种,即:软阔叶树种白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、硬阔叶树种胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、色木槭(*Acer mono*)、春榆(*Ulmus japonica*)、黄檗(*Phellodendron amurense*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)、针叶树种红松(*Pinus koraiensis*)、兴安落叶松(*Larix gmelinii*)。实验采用了完全随机区组设计。4 个区组为水热条件不同的 4 块样地——蒙古栎林(干旱的山脊)、红松人工林(湿度中等的山坡)、硬阔叶林(潮湿的沟谷)及空旷地(开阔的林外空地)。每个区组(样地)包括了 11 个树种;每个树种有 6 组 CWD 重复;组间距离 1 m,组内 CWD 间距 0.3 m^[15]。

1.2 粗木质残体呼吸测定

在每根 CWD 的中央直径处安装一个直径 10 cm 的 PVC 环,用中性硅酮防水胶固定密封。为避免 PVC 环内积水,将 PVC 环安装在 CWD 的侧面^[15]。2005 年 9 月—2006 年 8 月期间,采用 LI-6400 便携式 CO₂/H₂O 分析系统(Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA)测定 R_{CWD} ,生长季期间每两周测定 1 次,每次 3 个循环,共测定 10 次^[15];2008 年 5—10 月期间,每月测定 1 次,每次 3 个循环,共测 6 次。在 R_{CWD} 测定的同时,在每个 PVC 环附近用数字式瞬时温度计测定 10cm 处的温度(T_{CWD})。

1.3 粗木质残体结构性成分测定

分别于 2005 年 8 月在每块样地上对每个树种的 CWD 随机取样 3 根、2008 年 10 月在每块样地每个树种 CWD 取样 6 根,在其一端截取一个 5 cm 厚的圆盘。将圆盘磨碎后,选取其中能通过 40 目筛但不能通过 60 目筛的细末,作样品分析。由于实验限制,本研究中未能将纤维素与半纤维素分开测定。具体分析方法如下:

(1)木质素含量(L_c ,%) 参考“GB/T 10337—1989 造纸原料和纸浆中酸不溶木质素的测定法”,用 72% 硫酸水解已用苯-乙醇抽提过的原料试样,定量地测定其残余物(木质素)量。

(2)综纤维素含量(H_c ,%) 参考“GB/T 2677.10—1995 造纸原料综纤维素含量的测定”,用亚氯酸钠处理已抽出树脂的试样以除去其中所含木质素,定量地测定残留物(综纤维素)的量。

(3)木质素密度(L_d ,g/cm³)和综纤维素密度(H_d ,g/cm³) 分别由 L_c 和 H_c 乘以 CWD 体积密度获得。

文中所用 N 含量和 CWD 体积密度均引自参考文献^[17]。

1.4 数据分析

所有数据分析均采用 SPSS 统计软件完成。采用方差分析(ANOVA)和 LSD 检验树种对 2005 年和 2008 年 L_c 、 H_c 、 L_d 、 H_d 、 L_c /N 值及分解 3a 后各成分变化率((2005—2008)/2005)的影响。

采用指数模型拟合 R_{CWD} ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)与 T_{CWD} (°C)之间的关系^[24],即:

$$R_{\text{CWD}} = \alpha e^{\beta T_{\text{CWD}}} \quad (1)$$

式中, α 是温度为 0°C 时的 R_{CWD} ; β 为温度反应系数。

R_{CWD} 的温度系数(Q_{10})表示温度每升高 10 °C, R_{CWD} 增加的倍数,通过下式确定^[24]:

$$Q_{10} = e^{10\beta} \tag{2}$$

因受测定时间的限制,不可能在同一时间内对 R_{CWD} 进行同步测定,而且 T_{CWD} 也存在差异,因此不能用每次的实测数据直接作比较,而是将 R_{CWD} 标准化成 T_{CWD} 为 15℃ (R_{15}) 后进行比较。2005 年 R_{15} 及 Q_{10} 根据孙秀云和王传宽^[15] 数据计算获得。采用相关分析法建立 L_c 、 H_c 、 L_d 、 H_d 、 L_c/N 值与 R_{15} 及 Q_{10} 之间的相关关系。

2 结果

2.1 粗木质残体结构性成分的变化

在 CWD 刚形成时(2005 年),11 个树种的 L_c 、 H_c 、 L_d 和 H_d 均存在显著差异(表 1)。木材的木质素和综纤维素占其干重的 90% 以上,是木材的主要组成部分(图 1)。 L_c 平均值为 26.5%,其中水曲柳最大(39.3%),白桦最小(18.2%),前者是后者的 2.15 倍。 L_d 仍然以水曲柳最大(0.25 g/cm³),但最小值则为紫椴(0.09 g/cm³),平均值为 0.14 g/cm³。总体看来,软阔叶树种 L_c 和 L_d 最低。 H_c 波动在 53.6% (水曲柳) 和 74.5% (白桦) 之间,平均为 65.8%;而 H_d 则表现为蒙古栎最高(0.46 g/cm³),红松最低(0.26 g/cm³)。 L_c/N 呈现出: 针叶树种(191)>硬阔叶树种(170)>软阔叶树种(80) 的趋势(图 1)。

表 1 树种对 CWD 的结构性成分影响的方差分析

Table 1 ANOVA table of the effect of tree species on CWD structural components

结构性成分 Structural component	2005 年			2008 年			(2005—2008 年)/2005 年		
	自由度 df	F	P	自由度 df	F	P	自由度 df	F	P
$L_c/\%$	10/103	9.0	<0.001	10/251	4.3	<0.001	10/103	0.5	0.848
$H_c/\%$	10/103	8.2	<0.001	10/251	3.5	<0.001	10/103	2.2	0.027
$L_d/(g/cm^3)$	10/102	12.8	<0.001	10/251	16.2	<0.001	10/102	2.4	0.018
$H_d/(g/cm^3)$	10/102	18.8	<0.001	10/251	20.1	<0.001	10/102	4.6	<0.001
L_c/N	10/103	9.5	<0.001	10/251	44.7	<0.001	10/102	2.5	0.013

L_c 、 H_c 、 L_d 、 H_d 和 L_c/N 分别表示木质素含量、综纤维素含量、木质素密度、综纤维素密度、木质素含量和 N 含量比值

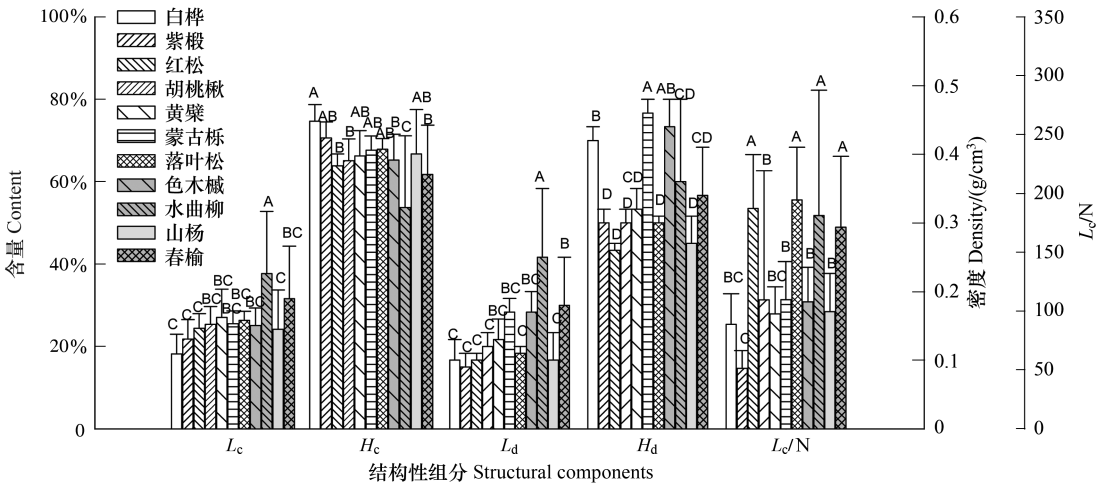


图 1 2005 年 11 个树种 CWD 的结构性成分含量

Fig. 1 CWD structural components contents for the 11 tree species in 2005

BH,CY,HB,HS,HTQ,LYS,MGL,SMQ,SQL,SY,ZD 分别表示白桦、春榆、黄檗、红松、胡桃楸、落叶松、蒙古栎、色木槭、水曲柳、山杨、紫椴; A—D 表示显著性差异组别($\alpha = 0.05$)

经过 3a 分解,2008 年不同树种间 L_c 、 H_c 、 L_d 、 H_d 和 L_c/N 值仍然差异显著(表 1)。在分解过程中,大部分树种(除了紫椴,水曲柳和春榆春榆) L_c 略有增加,但变化幅度不大(图 2),不同树种间 L_c 变化率没有显著性差异($P = 0.848$)(表 1)。 H_c 值虽表现为有升有降,但变化幅度仍然不大,从平均值来看,阔叶树种略有增加,针叶树种略有下降(图 2)。所有树种 L_d 和 H_d 都不同程度的减小,胡桃楸 L_d 损失最少(8.1%),紫椴 L_d 减小最多

(61.9%)。 H_d 变化率波动在 18.1% (兴安落叶松) 和 63.6% (白桦) 之间。不同树种间 L_d 和 H_d 变化率差异显著(表 1), 总体看来, 软阔叶树种 L_d 和 H_d 损失最多, 针叶树种损失最少, 且 H_d 损失的速率快于 L_d 。所有树种 L_c/N 值均增大, 兴安落叶松增长最多(130.1%), 春榆增长最少(16.8%)(图 2)。

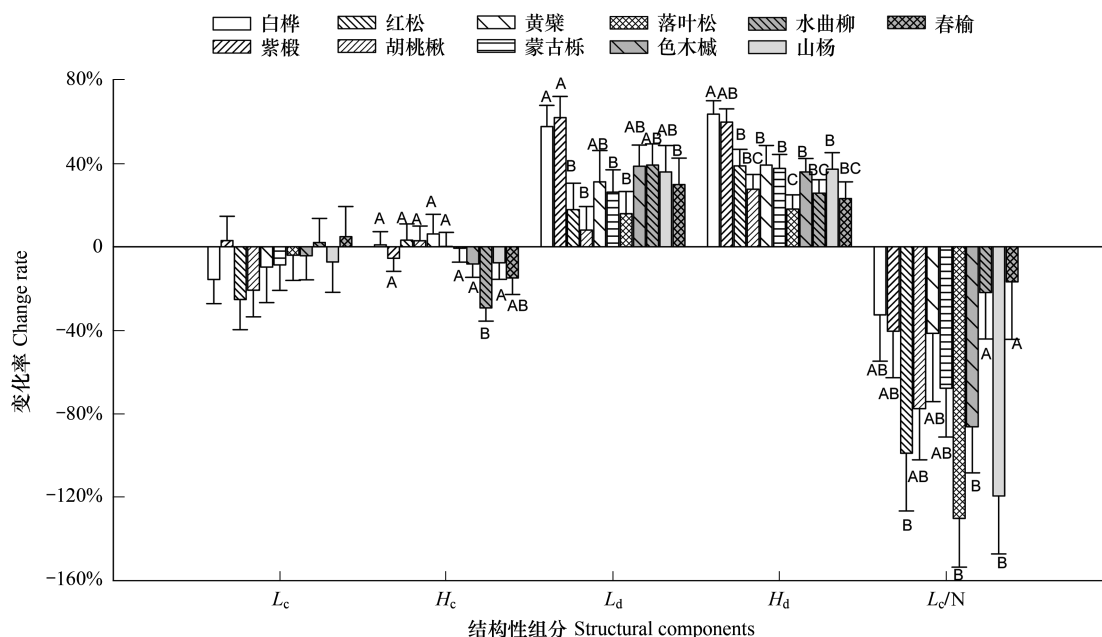


图 2 分解 3 年后 11 个树种 CWD 结构性成分变化率

Fig. 2 Changing rate of CWD structural components for the 11 tree species after 3-year decomposition

11 个树种 CWD 结构性成分的变化率为:(2005—2008) / 2005

2.2 粗木质残体呼吸速率的变化

不同树种的 R_{15} 差异显著, 其中白桦的 R_{15} 始终最高(2005 年为 $8.60 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 2008 年为 $7.88 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$); 而 2005 年以兴安落叶松的 R_{15} ($1.63 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 最低, 2008 年则以黄檗的 R_{15} 最低($1.47 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 前者分别是后者的 5.29 倍和 4.88 倍(图 3)。总体上看, 软阔叶树种的平均 R_{15} ($7.31 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (2005 年), $4.87 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (2008 年)) 最高, 针叶树种 ($2.07 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (2005

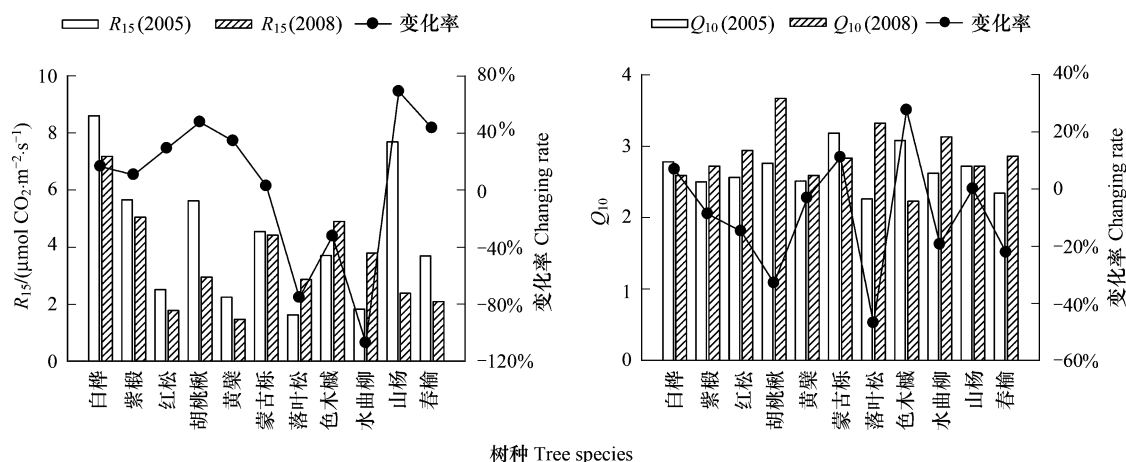


图 3 2005 年和 2008 年 11 个树种 R_{15} 和 Q_{10} 的变化

Fig. 3 Changes in R_{15} and Q_{10} for the 11 tree species from 2005 to 2008

11 个树种 R_{15} 和 Q_{10} 的变化率为:(2005—2008) / 2005

年), $2.32 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (2008 年)) 最低。经过 3a 的分解, 除兴安落叶松, 色木槭和水曲柳外, 各树种 R_{15} 出现了不同程度减小, 其中山杨减少的最多, 达 69.0%。总体看来, 软阔叶树种 R_{15} 减少了 32.0%, 而针叶树种 R_{15} 增加了 23.1% (图 3)。

2005 年 Q_{10} 波动在 2.25 (兴安落叶松)—3.18 (蒙古栎) 之间; 而 2008 年则波动在 2.22 (色木槭)—3.67 (胡桃楸) 之间。经过 3a 的分解, 针叶树种的 Q_{10} 总体增强 30.9%, 阔叶树种则基本保持不变 (图 3)。

2.3 粗木质残体呼吸速率与结构性成分的关系

2005 年 R_{15} 与 H_c 呈显著正相关, 与 L_c 和 L_c/N 呈显著负相关, 而与 L_d 和 H_d 之间的关系不显著; Q_{10} 仅与 H_d 呈现正相关关系 (表 2)。2008 年 R_{15} 与 H_c 呈显著正相关, 而与 L_c 呈显著负相关; Q_{10} 与所测定的 CWD 结构性成分均无显著的相关关系。3a 期间 R_{15} 变化率仅与 H_c 变化率呈显著的正相关关系, 而 Q_{10} 的变化率与结构性成分的变化率均无显著的相关关系 (表 2)。

3 讨论

3.1 树种间粗木质残体分解过程中结构性成分动态差异

粗木质残体的组成成分及其比例会显著地影响其分解速率。Weedon 等综合了 36 篇文献发现裸子植物的分解速率低于被子植物, 其中前者的木质素含量高是影响其分解的重要因素^[25]。本研究中, 软阔叶树种 CWD 的木质素含量明显低于硬阔叶树种和针叶树种 (图 1), 这可能是导致软阔叶树种 CWD 的呼吸速率较高 (图 3)、分解初期 3a 的质量损失量较大^[17]的重要原因。

表 2 2005 年和 2008 年 R_{15} 和 Q_{10} 与 CWD 结构性成分的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between R_{15} or Q_{10} and CWD structural components in 2005 and 2008

年度 Year	变量 Variable	$L_c/\%$	$H_c/\%$	L_c/N	$L_d/(g/cm^3)$	$H_d/(g/cm^3)$
2005	$R_{15}/(\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	-0.663 *	0.623 *	-0.682 *	-0.473	0.135
	Q_{10}	-0.247	0.143	-0.427	0.199	0.721 *
2008	$R_{15}/(\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	-0.724 *	0.801 **	-0.490	-0.342	-0.107
	Q_{10}	0.462	-0.434	0.392	0.212	-0.001
3a 的变化率	$R_{15}/(\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	-0.414	0.613 *	-0.184	0.021	0.275
	Q_{10}	-0.001	-0.012	0.071	0.468	0.439

* * 极显著 ($\alpha = 0.01$); * 显著 ($\alpha = 0.05$); 3a 的变化率为: (2005—2008)/2005

2005 年和 2008 年不同树种 CWD 的 L_c 和 H_c 差异显著, 但分解 3a 中 L_c 变化率在各树种间没有显著差异 (表 1、图 2)。这主要是由于 CWD 分解过程中木质素和综纤维素的降解伴随着干重损失的缘故。因此, 用百分含量并不能真实地反应 CWD 分解中化学成分的变化。然而不同树种 L_d 和 H_d 减少速率差异显著 (表 1), 其中软阔叶树种 L_d 和 H_d 消耗的速率均高于硬阔叶树种和针叶树 (图 2), 这与陈华等^[26]对长白山的 CWD 研究结果一致。这种差异与树种间 N 含量的差异密切相关^[2], 软阔叶树种的 N 含量显著高于硬阔叶树种和针叶树种^[17]。

此外, 本研究中没有测定 CWD 分解过程中微生物群落, 但是微生物是 CWD 分解的主要动力, 不同的微生物类群对 CWD 分解会产生重要的影响。例如: 霉菌、变色真菌主要分解木材软组织以及边材中的单糖等非结构性碳水化合物, 这部分化合物在木材中所占的比重非常低, 所以这些微生物的分解造成 CWD 的直接重量损失很少, 但这些微生物的活动破坏细胞壁, 增强内部与外界水气交换, 甚至一些细菌能够固定大气中的 N, 为分解细胞壁的软腐菌、白腐菌、褐腐菌等的分解活动创造有利的条件。软腐菌和褐腐菌只能分解纤维素, 而不能分解木质素; 白腐菌对纤维素和木质素均能分解^[2]。所以 CWD 中微生物群落结构不同, 其产生的分解速率也会有所差异。金重为等^[27]对 6 种树种 CWD 植入白腐菌发现, 其木质素和综纤维素同时下降, 但前者下降的速度明显快于后者; 而植入褐腐菌后, 其综纤维素降解要比木质素严重得多。

3.2 粗木质残体呼吸速率的树种间差异及其与结构性成分的关系

不同树种 R_{15} 存在显著差异, 针叶树种明显低于阔叶树种 (图 3)。这与用体积密度变化来衡量分解速率

的结果一致^[17]。分解初期 3a 中, R_{15} 总平均值减少, 但各树种的变化却不同: 水曲柳, 色木槭和落叶松增加; 其余树种不同程度减少。这主要是因为 CWD 的分解速率随时间和树种不断变化的缘故^[16]。进一步的相关分析发现, R_{15} 与 L_c 和 L_c/N 呈负相关(图 3)。木质素是 CWD 中不易分解的成分^[2], 而 N 则是促进分解的重要因子^[10, 17, 25], 因此 L_c/N 是衡量 CWD 分解的重要指标^[28]。经过 3a 分解 L_c/N 的比值显著增加(图 2), 而 R_{CWD} 则显著降低; 但 R_{CWD} 的变化率与 L_c/N 的变化率没有显著的相关关系, 而与 H_c 的变化率呈正相关关系(表 2)。这说明在分解初期, 微生物主要利用的是相对更易分解的综纤维素作为其代谢底物。另外, H_d 减少快于 L_d (图 2)也证明了这一结论。

不同树种 R_{CWD} 对温度的响应程度不同。在 CWD 初形成时(2005 年), 针叶树种的 Q_{10} (2.41) 低于阔叶树种(2.71)。经过 3a 的分解, 针叶树种的温度敏感性增强($Q_{10}=3.13$), 阔叶树种则基本保持不变($Q_{10}=2.78$)(图 3)。相关分析表明, Q_{10} 的变化与结构性成分的变化没有显著的相关关系(表 2)。不同树种对温度响应程度不同的原因尚不清楚, 但以往的研究表明测量所采取的时间步长对 Q_{10} 影响显著。张利敏等^[16]对同样的 11 种树种 R_{CWD} 的测定发现, 以日为时间步长的 Q_{10} 值波动在 1.74(白桦)和 4.20(蒙古栎)之间, 与本研究结果(图 3)差异较大。可见, 时间步长是研究 Q_{10} 变化时应予考虑的。

4 结论

11 种温带树种 CWD 的结构性成分差异明显, 其中软阔叶树种木质素含量低于硬阔叶树种和针叶树种, 而综纤维素含量则正好相反, 从而表现出前者更易分解。分解的早期(前 3a)所有树种 CWD 木质素含量和纤维素含量没有明显变化, 但其木质素密度和纤维素密度均随分解进程而减小, 而木质素含量与氮含量之比则增大, 而且树种间差异显著。CWD 呼吸速率的树种间差异显著, 其中针叶树种显著低于阔叶树种。这主要与 CWD 的代谢底物的相关, 尤其是与 CWD 分解初期的综纤维素含量呈正相关。CWD 的分解过程相对缓慢, 其结构性成分的时空变化还需要更长期的测定。

References:

- [1] 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.
- [2] Harmon M E, Franklin J F, Swanson F J, Sollins P, Gregory S V, Lattin J D, Anderson N H, Cline S P, Aumen N G, Sedell J R, Lienkaemper G W, Cromack K Jr, Cummins K W. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research*, 1986, 15: 133-302.
- [3] Chambers J Q, Schimel J P, Nobre A D. Respiration from coarse wood litter in central Amazon forests. *Biogeochemistry*, 2001, 52(2): 115-131.
- [4] Liu W H, Bryant D M, Huttyra 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 mid-latitude forests. *Oecologia*, 2006, 148(1): 108-117.
- [5] Knohl A, Kolle O, Minayeva T Y, Milyukova I M, Vygotskaya 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.
- [6] Bond-Lamberty B, Wang C, Gower S T. Annual carbon flux from woody debris for a boreal black spruce fire chronosequence. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 108: 8220-8229
- [7] Wang C, Bond-Lamberty B, Gower S T. Carbon distribution of a well-and poorly-drained black spruce fire chronosequence. *Global Change Biology*, 2003, 9(7): 1066-1079.
- [8] Jomura M, Kominami Y, Tamai K, Miyama T, Goto Y, Dannoura M, Kanazawa Y. The carbon budget of coarse woody debris in a temperate broad-leaved secondary forest in Japan. *Tellus*, 2007, 59B: 211-222.
- [9] Hart S C. Nitrogen transformations in fallen tree boles and mineral soil of an old-growth forest. *Ecology*, 1999, 80(4): 1385-1394.
- [10] Laiho R, Prescott C E. Decay and nutrient dynamics of coarse woody debris in northern coniferous forests; a synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*, 2004, 34(4): 763-777.
- [11] Metzger K L, Smithwick E A H, Tinker D B, Romme W H, Balser T C, Turner M G. Influence of coarse wood and pine saplings on nitrogen mineralization and microbial communities in young post-fire *Pinus contorta*. *Forest Ecology and Management*, 2008, 256(1/2): 59-67.
- [12] Kim R H, Son Y, Lim J H, Lee I K, Seo K W, Koo J W, Noh N J, Ryu S R, Hong S K, Ihm B S. Coarse woody debris mass and nutrients in forest ecosystems of Korea. *Ecological Research*, 2006, 21(6): 819-827.

- [13] Wu J B, Guan D X, Han S J, Zhang M, Jin C J. Ecological functions of coarse woody debris in forest ecosystem. *Journal of Forestry Research*, 2005, 16(3): 247-252.
- [14] Mackensen J, Bauhus J. The decay of coarse woody debris. National Carbon Accounting System Technical Report, No 6. Canberra: Australian Greenhouse Office, 1999: 1-51.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Zhang L M, Wang C K. Carbon and nitrogen release during decomposition of coarse woody debris for eleven temperate tree species in the eastern mountain region of northeast China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(4): 368-374.
- [18] 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.
- [19] Chapin F S III, Matson P A, Mooney H A. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. New York: Springer-Verlag, 2002: 151-175.
- [20] Ganjegunte G K, Condon L M, Clinton P W, Davis M R, Mahieu N. Decomposition and nutrient release from radiata pine (*Pinus radiata*) coarse woody debris. *Forest Ecology and Management*, 2004, 187(2/3): 197-211.
- [21] Müller-Using S, Bartsch N. Decay dynamic of coarse and fine woody debris of a beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in Central Germany. *European Journal of Forest Research*, 2009, 128(3): 287-296.
- [22] Peng W X, Zhu T L, Zheng Z Z, Fan Z C, Li K F, Li N C. Present situation and developing tendency of extracts from wood. *China Forestry Science and Technology*, 2004, 18(5): 6-9.
- [23] Laiho R, Prescott C E. The contribution of coarse woody debris to carbon, nitrogen, and phosphorus cycles in three Rocky Mountain coniferous forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, 29(10): 1592-1603.
- [24] Luo Y Q, Wan S Q, Hui D F, Wallace L L. Acclimatization of soil respiration to warming in a tall grass prairie. *Nature*, 2001, 413(6856): 622-625.
- [25] Weedon J T, Cornwell W K, Cornelissen J H C, Zanne A E, Wirth C, Coomes D A. Global meta-analysis of wood decomposition rates: a role for trait variation among tree species?. *Ecology Letters*, 2009, 12(1): 45-56.
- [26] 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.
- [27] Jin Z W, Tai D S, You J X. Decay resistance of natural durable species and the changes in amounts of major components during decay of wood by *coriolus versicolor* and *gloeophyllum trabeum*. *Scientia Silvae Sinicae*, 1989, 25(5): 447-451.
- [28] Idol T W, Figler R A, Pope P E, Ponder F Jr. Characterization of coarse woody debris across a 100 year chronosequence of upland oak-hickory forests. *Forest Ecology and Management*, 2001, 149(1/3): 153-161.

参考文献:

- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 张利敏, 王传宽. 东北东部山区 11 种温带树种粗木质残体分解与碳氮释放. *植物生态学报*, 2010, 34(4): 368-374.
- [22] 彭万喜, 朱同林, 郑真真, 范智才, 李凯夫, 李年存. 木材抽提物的研究现状与趋势. *林业科技开发*, 2004, 18(5): 6-9.
- [26] 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.
- [27] 金重为, 郜颢生, 尤纪雪. 天然耐腐木材的抗腐力及其在腐朽过程中化学成分的变化. *林业科学*, 1989, 25(5): 447-451.

CONTENTS

Marine ecological capital: valuation of standing stock of marine living resources	REN Dachuan, CHEN Shang, XIA Tao, et al (4805)
Effect of Endophytic fungi on growth and photosynthetic characteristics of <i>Achnatherum sibiricum</i>	JIA Tong, REN Anzhi, WANG Shuai, et al (4811)
Based on image processing technology estimating leaves stomatal density of <i>Populus euphratica</i> and analysis of its ecological significance	JIAN Shengqi, ZHAO Chuanyan, ZHAO Yang, et al (4818)
Evaluation of the ecological instream flow in the Yellow River basin with hydrological alterations	ZHANG Qiang, LI Jianfeng, CHEN Xiaohong, et al (4826)
The ecological effects of <i>Suaeda salsa</i> on repairing heavily degraded coastal saline-alkaline wetlands in the Yellow River Delta	GUAN Bo, YU Junbao, LU Zhaohua, et al (4835)
Toxicity risks to the closed tidal flat ecosystem of a PCBs waste savepoint at the coast of Zhejiang	HE Shanying, CHEN Kunbai (4841)
Methane emission from a <i>Carex</i> -dominated wetland in Poyang Lake	HU Qiwei, ZHU Lili, XING Ruixin, et al (4851)
The study on Ice-fish Resources in the Three Gorges Reservoir	SHAO Xiaoyang, LI Daofeng, TAN Lu, et al (4858)
Effects of acute cold stress on serum biochemical and immune parameters and liver HSP70 gene expression in GIFT strain of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	LIU Bo, WANG Meiyao, XIE Jun, et al (4866)
Acute toxicity and effect of Cd ²⁺ on life table demography of <i>Brachionus angularis</i> and <i>Keratella valga</i>	XU Dandan, XI Yilong, MA Jie, et al (4874)
The association of BDNF gene polymorphisms with normal behavior traits in house-hold sika deer (<i>Cervus nippon</i>)	LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (4881)
Characteristics and controlling factors of photosynthesis in a maize ecosystem on the North China Plain	TONG Xiaojuan, LI Jun, LIU Du (4889)
The soil macrofaunal community structure under a long-term fertilization in wheat field	GU Yanfang, ZHANG Li, DING Shengyan, et al (4900)
Effect of earthworms on the photosynthetic characteristics of wetland plants and their capacity to purify wastewater	XU Defu, LI Yingxue, WANG Ranghui, et al (4907)
Toxicity of three pesticides and their effects on carboxylesterase activity of <i>Propiloscerus akamusi</i>	FANG Guofei (4914)
Reproductive behavior character and sexual tendency of the adult <i>Zeuzera leuconotum</i> Butler (Lepidoptera: Cossidae)	LIU Jinlong, ZONG Shixiang, ZHANG Jintong, et al (4919)
Effects of herbicides stress on the population of alligator weed flea beetles, <i>Agasicles hygrophila</i> (Col.: Chrysomelidae) and corresponding strategies	LIU Yufang, PENG Meifang, WANG Chengchao, et al (4928)
Patterns of fruit and seed production and ecological significance in desert species <i>Eremosparton songoricum</i> (FABACEAE)	SHI Xiang, WANG Jiancheng, ZHANG Daoyuan, et al (4935)
Effect of different nitrogen supply on the temporal and spatial distribution and remobilization of canopy nitrogen in winter wheat under limited irrigation condition	HAO Baozhen, JIANG Lina, FANG Baoting, et al (4941)
Plant architecture characteristics of <i>Haloxylon ammodendron</i> and <i>Haloxylon persicum</i> in Zhungar Basin	WANG Lijuan, SUN Dongyuan, ZHAO Chengyi, et al (4952)
Downscaling land surface temperature based on relationship between surface temperature and vegetation index	NIE Jianliang, WU Jianjun, YANG Xi, et al (4961)
Differential characteristics of soil δ ¹⁵ N under varying vegetation in karst areas	WANG Zhijun, LIANG Xuan, HE Qiufang, et al (4970)
Effect of nitrogen application rate on growth and leaf photosynthetic characteristics of <i>Jatropha curcas</i> L. seedlings	YIN Li, HU Tingxing, LIU Yongan, et al (4977)
Seasonal variations in leaf C, N, and P stoichiometry of typical plants in the Yangou watershed in the loess hilly gully region	WANG Kaibo, SHANGGUAN Zhouping (4985)
Clonal integration enhances the ability to scavenge reactive oxygen species in root of <i>Cynodon dactylon</i> subjected to submergence	LI Zhaojia, YU Jie, FAN Dayong, et al (4992)
Pattern of flow-covered sand-fixing woodland and its windbreak effect	YANG Wenbin, DONG Huilong, LU Qi, et al (5000)
Evaluation of soil and water conservation capacity of different forest types in Dongling Mountain	MO Fei, LI Xuyong, HE Shuxia, et al (5009)
Changes in structural components and respiration rates of coarse woody debris at the initial decomposition stage for 11 temperate tree species	ZHANG Limin, WANG Chuankuan, TANG Yan (5009)
Characteristics of nutrient cycling in first and second rotations of Chinese fir plantations	TIAN Dalun, SHEN Yan, KANG Wenxing, et al (5025)
The optimal design of a connected nature reserve network	WANG Yicheng (5033)
Sub-areas compartmentalization of Changjiang Estuary based on the natural geographical characteristics	LIU Lusan, ZHENG Binghui, MENG Wei, et al (5042)
The environmental and economic influence of coal-electricity integration exploitation in the Xilingol League	WU Di, DAI Fangzhou, YAN Yan, et al (5055)
Review and Monograph	
The influence of diversity changes of ecological conditions on the survival of honey bees	HOU Chunsheng, ZHANG Xuefeng (5061)
Scientific Note	
The spatio-temporal change in the secondary production of macrozoobenthos in the intertidal zone of Jiaozhou Bay	ZHANG Chongliang, XU Binduo, REN Yiping, et al (5071)
The studying system construction of wetland parks	WANG Lilong, LU Lin (5081)
Ecological footprint analysis of a semi-arid grassland region facilitates assessment of its ecological carrying capacity: a case study of Xilinguole League	YANG Yan, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (5096)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 17 期 (2011 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 17 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@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