

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第6期 Vol.33 No.6 2013

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 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第6期 2013年3月 (半月刊)

目 次

专论与综述

基于遥感技术的森林健康研究综述 高广磊,信忠保,丁国栋,等 (1675)

Agent 农业土地变化模型研究进展 余强毅,吴文斌,杨鹏,等 (1690)

个体与基础生态

辽东湾北部近海沙蚕的动态分布 王彬,秦宇博,董婧,等 (1701)

口虾蛄 proPO 基因全长 cDNA 的克隆与组织表达 刘海映,刘连为,姜玉声,等 (1713)

中缅树鼩头骨及下白齿几何形态与环境的关系 朱万龙,贾婷,黄春梅,等 (1721)

亚热带 3 种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响 季晓燕,江洪,洪江华,等 (1731)

浙北地区常见绿化树种光合固碳特征 张娇,施拥军,朱月清,等 (1740)

两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征 郭春燕,李晋川,岳建英,等 (1751)

基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术 张建平,赵艳霞,王春乙,等 (1762)

基于线粒体 DNA 控制区的斑翅草螽不同地理种群遗传分化研究 周志军,尚娜,刘静,等 (1770)

圈养尖吻蝮雌体大小、窝卵数和卵大小之间的关系 胡明行,谭群英,杨道德 (1778)

应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇 郑思宁,黄居昌,叶光禄,等 (1784)

青蒿素对外生菌根真菌化感效应 李倩,袁玲,王明霞,等 (1791)

种群、群落和生态系统

海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用 李纯厚,林琳,徐珊楠,等 (1798)

上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响 孙鲁峰,柯昶,徐兆礼,等 (1811)

半干旱区生态恢复关键生态系统识别——以内蒙古自治区和林县为例
彭羽,高英,冯金朝,等 (1822)

太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应 金冠一,赵秀海,康峰峰,等 (1832)

重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应 王轶浩,王彦辉,于澎涛,等 (1842)

景观、区域和全球生态

城市典型水域景观的热环境效应 岳文泽,徐丽华 (1852)

外来树种桉树引种的景观生态安全格局 赵筱青,和春兰 (1860)

基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究 施开放,刁承泰,孙秀锋,等 (1872)

大气 CO₂ 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响 严陈,许静,钟文辉,等 (1881)

资源与产业生态

基于可变模糊识别模型的海水环境质量评价 柯丽娜,王权明,孙新国,等 (1889)

亚热带养殖海湾皱纹海鞘生物沉积的现场研究 闫家国,齐占会,田梓杨,等 (1900)

黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征 张丽娜,李军,范鹏,等 (1907)

- 旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应 张丁辰,蔡典雄,代 快,等 (1916)
商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性 彭晓邦,张硕新 (1926)
外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应 高会玲,刘金隆,郑青松,等 (1935)
基于侧柏液流的测定对 Granier 原始公式系数进行校正 刘庆新,孟 平,张劲松,等 (1944)

研究简报

- 湿地自然保护区保护价值评价方法 孙 锐,崔国发,雷 霆,等 (1952)
干热河谷印楝和大叶相思人工林根系生物量及其分布特征 高成杰,唐国勇,李 昆,等 (1964)
海滨沙滩单叶蔓荆对沙埋的生理响应特征 周瑞莲,王 进,杨淑琴,等 (1973)
宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征 姜 林,耿增超,张 雯,等 (1982)

学术争鸣

- 小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化 侯玲玲,毛子军,孙 涛,等 (1994)
中国生态学学会 2013 年学术年会征稿通知 (2002)
第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)
中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说:亭亭玉立的白桦树——白桦为落叶乔木,可高达 25m,胸径 50cm。其树冠呈卵圆形,树皮白色,纸状分层剥离;叶三角状、卵形或菱状卵形;花单性,雌雄同株。白桦树喜光,耐严寒,对土壤适应性强,喜酸性土,沼泽地、干燥阳坡及湿润阴坡都能生长。常与红松、落叶松、山杨、蒙古栎混生。白桦的天然更新好,生长较快,萌芽强,在人为的采伐迹地或火灾、风灾等自然损毁的迹地里,往往由白桦首先进入,为先锋树种,而形成白桦次生林。白桦分布甚广,我国大、小兴安岭及长白山均有成片纯林,在华北平原和黄土高原山区、西南山地亦为阔叶落叶林及针叶阔叶混交林中的常见树种。

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

DOI: 10.5846/stxb201209131290

季晓燕,江洪,洪江华,马元丹.亚热带3种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响.生态学报,2013,33(6):1731-1739.
Ji X Y, Jiang H, Hong J H, Ma Y D. Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1731-1739.

亚热带3种树种凋落叶厚度对其分解速率 及酶活性的影响

季晓燕¹,江洪^{1,2,3,*},洪江华¹,马元丹²

(1. 西南大学生命科学学院三峡库区生态环境教育部重点实验室,重庆 400715;

2. 浙江农林大学浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室,杭州 311300;

3. 南京大学国际地球系统科学研究所,南京 210093)

摘要:对中国亚热带树种杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、银杏(*Ginkgo biloba*)3个树种在不同凋落物厚度下凋落物分解速率和分解酶活性进行了探究。利用分解网袋法,根据浙江省的平均酸雨水平,在酸雨(pH4.0)条件下设置了凋落物40g、凋落物20g、凋落物10g3个梯度。结果表明:凋落物分解速率随厚度的增加呈加快的趋势,杉木凋落物10、20、40g的年分解系数K分别为0.24、0.27、0.34,香樟凋落物10、20、40g的年分解系数K分别为0.25、0.3、0.32,银杏凋落物10、20、40g的年分解系数K分别为0.42、0.5、0.58;脲酶活性表现为:凋落物40g>凋落物20g>凋落物10g,纤维素酶活性表现为:凋落物40g>凋落物20g>凋落物10g,蔗糖酶活性表现为:后期凋落物40g>凋落物20g>凋落物10g,凋落物分解过程是多种酶共同作用的结果。

关键词:凋落叶厚度;凋落物分解;酶活性;亚热带

Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests

JI Xiaoyan¹, JIANG Hong^{1,2,3,*}, HONG Jianghua¹, MA Yuandan²

1 Key Laboratory of Eco-environments of Three-Gorges Reservoir Region; Ministry of Education; Southwest University, Chongqing 400715, China

2 Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Hangzhou 311300, China

3 International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Abstract: The effect of leaf litter thickness on its decomposition and enzyme activity of *Cunninghamia lanceolata*, *Cinnamomum camphora* and *Ginkgo biloba* were investigated through the experiments. Based on the Zhejiang province average level of acid rain, set up the pH 4.0 values, because the pH4.0 is common distribution in this region and affected the litter decomposition by changes of critical value. Three kinds of litter thickness were set up for the experiments through up the litter weight in same size bag as one indicator, including 40g, 20g and 10g. To simulate nature decomposition conditions, we enclosed leaf litters in the net bags and laid them on the ground follow up the popular method. The results showed litter thickness increased can promote leaf litter decomposition of the three species, and with the thickness increase, the litter decomposition is more quickly. Litter decomposition rate of *C. lanceolata* in weight 10g, 20g and 40g were 0.24,

基金项目:科技国家重点基础研究发展规划项目(2011CB302705, 2010CB950702, 2010CB428503); 科技部重大国际合作项目(20073819); 国家高技术研究发展计划项目(2009AA122001, 2009AA122005); 国家自然科学基金项目(41171324, 40671132 &30590383); 科技部重大基础性项目(2007FY110300-04, 08); 浙江省自然科学基金(Y5110210); 浙江省重大科技专项(2008C13G2100010)

收稿日期:2012-09-13; 修订日期:2013-01-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jianghong_china@hotmail.com

0.27 and ,0.34, specifically 40g is much higher than 10g and 20g, but 10g and 20g were no significant difference. *C. camphora* was 0.25, 0.3 and 0.32, specifically 10g is much lower than 20g and 40g, 20g and 40g were no significant difference. *G. biloba* was 0.42, 0.5 and 0.58, there are significant differences. While between different species, have different mode in the decomposition rate. For the three kinds of tree species, decomposition rate of *G. biloba* is the fastest, *C. lanceolata* is the second, *C. camphora* is the slowest, they were associate with tree species properties. Also, the effect of litter thickness on urease activity was expressed as: 40g>20g>10g, in early stage, urease activity increased slowly, then fell slowly. As to urease activity of *C. lanceolata*, had significant differences among the three, *C. camphora* had no significant differences at the preliminary stage, over time, among the three species have significant differences in early stage. *G. biloba* leaf litter thickness 40g and 20g significantly above 10g. Cellulose activity was expressed as: 40g, 20g>10g, specifically 10g is much lower than 20g and 40g, this kind of situation in three tree species can exist, litter thickness 20g of *C. camphora* even above 40g, *G. biloba* 20g and 40g had no difference. Sucrose activity at the last stage was expressed as: 40g>20g>10g, *C. lanceolata* in early stage had no marked differences between three kinds of litter thickness, in the later period, gradually showed 40g>20g>10g, *C. camphora* and *G. biloba* in the early stage performance for 10g>20g>40g results, in the later stage gradually evolved into 40g>20g>10g. Enzyme activity of litter decomposition was greatly influenced by season temperature, with the high temperature, the higher the enzyme activity. A single enzyme activity changes can't accurate indicator litter decomposition specific conditions, litter decomposition is a complicate process, and it is the result of many kinds of enzymes integrated action.

Key Words: leaf litter thickness; litter decomposition; enzyme activity; subtropical regions

凋落物分解是森林生态系统物质循环和能量流动的重要环节^[1-4],其过程受到多种因素的影响^[5-6]。近年来由人类活动引起的全球变化对凋落物分解的影响成为又一研究的热点^[7-8]。已有研究表明,气候变化将对凋落物储存量有一定的影响^[5,9-10],随着气候带水热条件的升高,物质循环加快,森林凋落物的现存量越低^[11],在不考虑树种组成发生较大变化的情况下,凋落物层的厚度将有逐渐变薄的趋势,同时砍伐树木、收取林下凋落物层等人类活动,进一步减少了凋落物层的现存量^[12]。

酸雨,人称“空中死神”,是目前人类遇到的全球性区域灾难之一,对生态循环的平衡和人类健康造成了不可估量的影响^[9-12],其出现的频率和强度也日益增加。中国成为继欧洲和北美之后的世界第三大酸雨区^[13]。酸雨对凋落物分解的影响与养分还原、生态系统碳循环和碳平衡、退化生态系统的恢复、生态系统对酸雨的临界负荷等方面具有密切的联系。凋落物对土壤和环境胁迫有一定的保护和缓冲作用,凋落物分解速率及酶活性可作为土壤活动的敏感指示物^[14-16]。

本试验以中国亚热带3种树种杉木、香樟、银杏作为研究对象,通过模拟试验方法研究不同凋落物厚度对凋落物分解速率及酶活性的影响,试图为更好的预测凋落物分解过程对全球变化的响应提供科学参考,为我国森林资源保护与环境管理等提供参考。特别是敏感区凋落物对酸雨的反应模式,可以为分析酸雨危害下生态系统的缓冲能力和可修复性等问题提供重要依据。

1 实验方法

1.1 实验树种的特性

杉木(*Cunninghamia lanceolata*),杉科,常绿乔木,是我国亚热带地区分布较广、资源较多的针叶林类型,是我国特有树种,也是我国最重要的用材树种,喜温暖湿润气候、深厚肥沃土壤。香樟(*Cinnamomum camphora*),樟科,常绿大乔木,为亚热带常绿阔叶林的代表树种,是亚热带地区重要的材用和特种经济树种,喜温暖湿润气候和肥沃深厚的酸性和中性沙壤土。银杏(*Ginkgo biloba*);银杏科,落叶乔木,是珍稀名贵树种,是现存种子植物中最珍贵的孑遗植物,又是特种经济果树,具有很高的经济价值。喜温暖湿润气候,耐酸,银杏对周围生态环境的改善和研究生物多样性、确保银杏遗传资源的持续利用,具有重要作用。

1.2 实验设计

1.2.1 模拟酸雨的配置

浙江省的酸雨污染尤为严重,根据浙江省环境监测中心站统计,近年来浙江省降水pH为4.0—4.5,平均酸雨率为82.8%,且分布面积还呈现逐渐扩大的趋势^[17-18]。因此选取pH4.0酸雨的原因有两个:一是符合当地实际酸雨水平^[18];二是在许多有关酸雨的研究报道中,pH4.0通常是凋落物分解所受影响变化的临界值^[19]。

根据相关模拟酸雨实验中所采用的配比,并按照当地自然降水的监测结果和酸性降水中平均离子组成^[18],以分析纯硫酸和硝酸按摩尔浓度SO₄²⁻:NO₃⁻按照8:1的比例配置母液,最后校准,用蒸馏水稀释,配置成pH4.0的酸性水溶液,每周对凋落物喷施3—4次,每周每袋凋落物喷淋约400mL的酸性溶液,喷洒的酸雨总量相当于1407.7mm/a的当地年降水量。

1.2.2 实验设计和样地处理

实验地设在浙江省临安市浙江农林大学东湖校区(119°42'E,30°14'N),属于中纬度北亚热带季风气候,温暖湿润,四季分明,年平均降雨量1400mm,年平均气温为15.8℃^[18]。土壤为黄红壤,土壤pH值5.18。

实验采用目前对凋落物研究应用较多的分解袋法。分解袋为15cm×15cm,由尼龙网制成,本实验中采用的是孔径为1.0mm×1.5mm的分解袋。为避免外界自然降水对实验的影响,实验布置在塑料大棚之内。

2008年秋季在浙江天目山、浙江农林大学等地采集银杏树种落叶,2009年初,采集杉木和香樟树种即将脱落的衰老叶片或地面刚落的叶片,在自然条件下风干。风干样留取一部分于80℃烘干至恒重,测定其含水率,同时进行化学分析获得初始凋落物化学组分含量数据。将凋落叶称量装袋后,于2009年5—7月将凋落物分解袋放入实验样地,凋落物分解网袋放置时贴近地表模拟凋落物分解的自然状况。

模拟酸雨和凋落物厚度试验 在pH4.0酸雨梯度下,设置3个不同的凋落物重量梯度,分别是分解网袋中装有10、20、40g凋落物,由于凋落物袋的规格大小相同,使3种不同重量的凋落物袋呈现3种不同的厚度,10g的厚度约为0.4—1.1cm,20g的厚度约为1.4—1.9cm,40g的厚度约为2.1—3.0cm(均去除凋落物袋厚度),在实验过程中由于厚度测量的精准度低,且随凋落物分解过程的进行,凋落物袋厚度和重量同时减少,因此选用称重表示厚度变化(将凋落叶重量值写在区组简写的后面,如SH1代表pH4.0酸雨下,凋落叶10g,以此类推)。

1.2.3 样品的回收及处理

每两月按期取回凋落物分解袋,每次取分解袋时,每类凋落物每处理类型取4袋。凋落物分解袋取回后,用清水快速洗净其上附着的泥沙,剔除长入分解袋内的根系。每个条件下的同一物种有4袋重复,3袋于80℃烘箱中烘干至恒重,测定其干重剩余率,另一袋保留新鲜样品,剪碎后过2mm筛,于4℃冰箱内保存,用于凋落物分解过程中酶活性的测定,1个月内完成分析测试。

凋落物中分解酶活性的测定:依据土壤酶测定方法^[20],脲酶活性的测定采用苯酚-次氯酸钠比色法,在紫外分光光度计上578nm处进行比色。蔗糖酶和纤维素酶的测定均采用3,5-二硝基水杨酸比色法,分别在紫外分光光度计508、540nm处进行比色。土壤酶和凋落物酶的活力有一定差异,因此在实验前要在土壤酶测定方法的基础上通过预实验选定适宜的凋落物称重范围。

1.2.4 数据处理

凋落叶的分解速率,采用负指数衰减模型: $y=ae^{-kt}$ 进行计算,式中y为重量残留率(%),t为时间,通常用年来表示,a为拟合参数,k为年分解系数(g·g⁻¹·a⁻¹)^[21]。

干重剩余率: $x_t/x_0 \times 100\%$,式中 x_0 为凋落物初始重量(g), x_t 为经t时间后残留量(g)。

分解时间:由分解模型可以得到凋落物分解的半衰期(50%分解)计算式, $t_{0.05} = \ln 0.5 / (-k)$;完全分解时间(95%分解),计算式为: $t_{0.95} = \ln 0.05 / (-k)$ 。

脲酶活性测定:1个酶活性单位(EU)以1g凋落物在37℃条件下,经过24h反应后水解生成的NH₃-N的

毫克数表示。

蔗糖酶活性测定:1个酶活力单位(EU)以1g凋落物在37℃条件下,24h后分解产生葡萄糖的毫克数表示。

纤维素酶活性:1个酶活力单位(EU)以1g凋落物在37℃条件下,72h后分解产生葡萄糖的毫克数表示,以上测试均为3个重复(图1)。

数据通过Excel进行整理,用SPSS17.0统计分析软件进行数据的处理和分析,Sigmaplot10.0软件辅助作图。并利用One-Way ANOVA方差分析和LSD多重比较法检验凋落物厚度影响下不同处理间的差异显著性。

2 结果

2.1 凋落叶厚度对亚热带树种凋落叶干重剩余率的影响

凋落叶从树体脱落后,分解过程大致可以分为淋溶过程、自然粉碎过程和代谢过程3个阶段,包括物理、化学和生物学过程,3个同时发生的过程使得凋落物的重量不断地减少^[22]。随分解的进行,3树种凋落叶的干重剩余率总体均呈现逐渐下降的趋势,且分解前期下降的较快,逐渐呈缓慢下降。凋落叶厚度影响下,3树种的干重剩余率的排列顺序均为:凋落叶10g>凋落叶20g>凋落叶40g,这一结果说明随着凋落叶厚度的增加,凋落叶的分解速率随之加快,呈现正相关性。但不同树种之间,凋落叶3个厚度的差异性不同,首先3个树种的干重剩余率排列为:凋落叶10g和40g时呈现香樟>杉木>银杏,凋落叶20g时呈现杉木>香樟>银杏;其次杉木凋落叶10、20g与凋落叶40g之间有显著的差异;香樟凋落叶10g与凋落叶20、40g之间有显著地差异;银杏则表现为凋落叶10、20、40g之间均有显著的差异。这一结果说明,不同的树种,所受到的凋落叶厚度的影响不同,这与树种本身的基质性质有关(图1)。

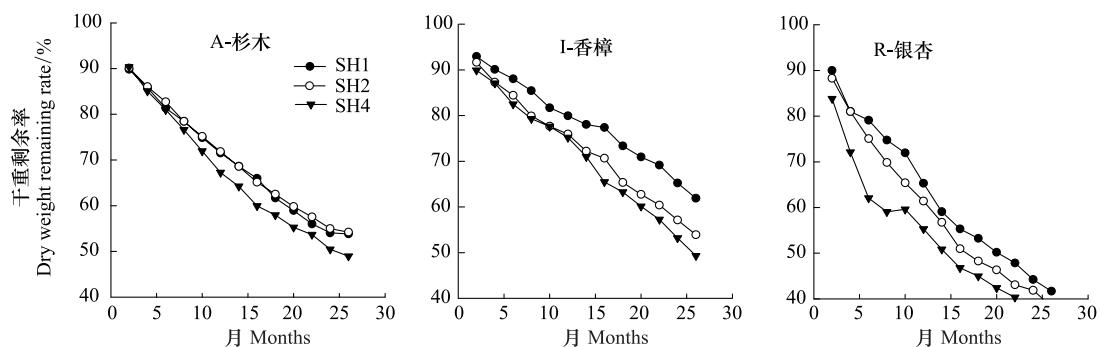


图1 杉木、香樟、银杏3个物种凋落叶干重剩余率分解动态

Fig.1 The changes in dry weight remaining of leaf litter decomposition of *Cunninghamia lanceolata*, *Cinnamomum camphora* and *Ginkgo biloba*

SH1:凋落叶10g,SH2:凋落叶20g,SH4:凋落叶40g

2.2 凋落叶厚度对亚热带树种凋落叶分解系数K的影响

分解系数K是表征凋落物分解的常用指标,K值越大,凋落物分解速度越快。从表1可以看出,经过26个月的分解后,在相同处理下,3个树种的分解系数K的顺序为:凋落叶40g时银杏>杉木>香樟,凋落叶10g和20g时银杏>香樟>杉木;3个树种不同凋落叶厚度,分解系数K均为凋落叶40g>凋落叶20g>凋落叶10g,证明了凋落叶厚度的增加,会促进凋落叶的分解;一般以95%的凋落叶被分解所需的时间来表示凋落物的周转期。同样的处理下,3个树种的周转期情况除凋落叶40g是杉木>香樟>银杏,其他时间均为香樟>杉木>银杏,在不同凋落叶厚度下,周转期情况为凋落叶10g>凋落叶20g>凋落叶40g,且杉木凋落叶10g比20g和40g周转期分别长10.9%、29.3%,香樟凋落叶10g比20g和40g分别长16.8%、22%,银杏凋落叶10g比20g和40g分别长16.0%、27.5%。用指数函数方程对各时期凋落物分解的残留率进行拟合,结果显示,指数函数方程拟合达到显著性相关, R^2 的变化从0.711到0.915(表1)。

表1 凋落叶干重剩余率随时间和处理条件的指数回归方程

Table 1 Equation of litter decomposition remains with the development time and treatment conditions

种类 Species	分解系数 K Decomposition rate	相关系数 R ² Correlation efficiency	半分解时间 Time of half decomposition/a	分解 95% 的时间 Time of 95% decomposition/a
杉木 (<i>Cunninghamia lanceolata</i>)				
SH1	0.24	0.915	2.88	12.46
SH2	0.27	0.879	2.57	11.10
SH4	0.34	0.805	2.04	8.81
香樟 (<i>Cinnamomum camphora</i>)				
SH1	0.25	0.882	2.77	11.98
SH2	0.3	0.891	2.30	9.97
SH4	0.32	0.791	2.16	9.34
银杏 (<i>Ginkgo biloba</i>)				
SH1	0.42	0.711	1.67	7.14
SH2	0.5	0.769	1.40	6.00
SH4	0.58	0.851	1.21	5.18

y: 干重剩余率 Dry weight remaining(%) ; x: 分解时间 Decomposition time (a) ; SH1: 凋落叶 10g, SH2: 凋落叶 20g, SH4: 凋落叶 40g

2.3 凋落叶厚度对亚热带树种凋落叶脲酶、纤维素酶、蔗糖酶活性的影响

图2、图3、图4分别展示了3个树种在凋落叶厚度影响下的脲酶、纤维素酶、蔗糖酶活性在26个月(每两个月测1次值)中的变化情况。首先,在凋落叶厚度影响下,脲酶活性的变化表现为:杉木凋落叶40g>凋落叶20g>凋落叶10g,且三者之间有显著的差异;香樟不同处理间的差异依据分解时间不同而异,前期3个区组无差别,后期逐渐呈现出凋落叶40g>凋落叶20g>凋落叶10g,三者之间差异显著;银杏凋落叶40g>凋落叶20g>凋落叶10g,且凋落叶40g、20g与凋落叶10g之间有显著的差异;3个树种的脲酶活性均小于0.10mg/g,但变化趋势略有不同,除杉木10g直接呈下降趋势外,其他处理均是先下降再上升再下降,但变化幅度不同,杉木变化范围为0.0447—0.0723mg/g,呈渐减趋势,而香樟和银杏具有相似的月变化规律,在2—6月有短暂的下降,7—14月快速上升,15月之后再缓慢下降;3个树种随季节变化有一定的波动,温度高,脲酶活性也较高,但因树种不同,敏感性也不同,杉木相对香樟、银杏来说,对季节变化表现的较稳定;就3个树种的脲酶活性进行比较,表现为杉木>银杏>香樟,与树种的分解速率之间有一定的差异。

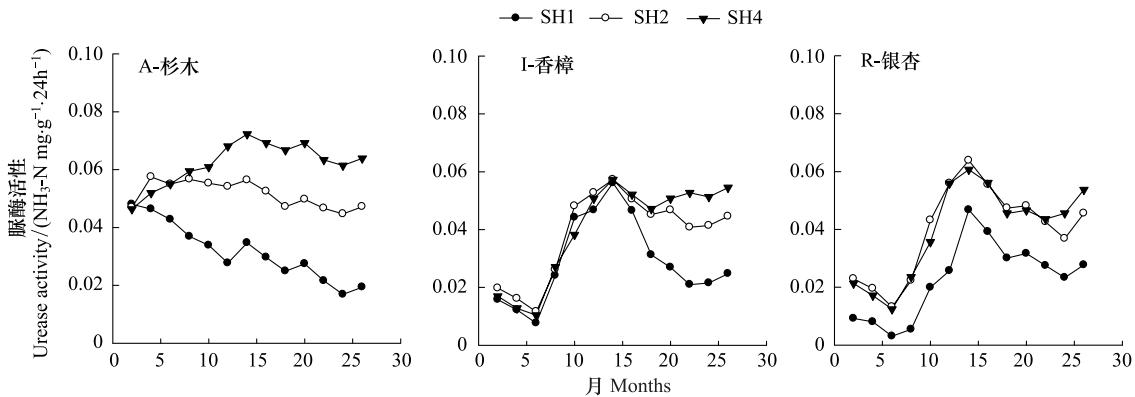


图2 凋落叶脲酶活性动态变化

Fig. 2 The changes in urease activity of leaf litter decomposition

其次,在凋落叶厚度的影响下,纤维素酶的活性表现为:3个树种的纤维素酶活性均小于10mg/g,且总体变化规律相似,杉木凋落叶40g>凋落叶20g>凋落叶10g,且凋落叶40、20g与凋落叶10g之间有极其显著的差异;香樟凋落叶20g>凋落叶40g>凋落叶10g,且凋落叶20、40g与凋落叶10g之间有显著的差异;银杏凋落叶

40、20g 显著高于凋落叶 10g; 总体来看, 凋落叶纤维素酶随时间的推移, 有逐渐下降的趋势, 3 个树种的凋落叶 20g 和 40g 酶活性均显著高于 10g, 说明凋落物厚度的增加促进了纤维素的分解; 纤维素酶活性同样受到季节波动的影响, 温度高时, 酶活性较高, 反之较低; 3 个树种纤维素酶活性的比较结果是香樟>杉木>银杏, 香樟与杉木之间的差异较小, 这个趋势与凋落物干重剩余率的趋势相吻合。

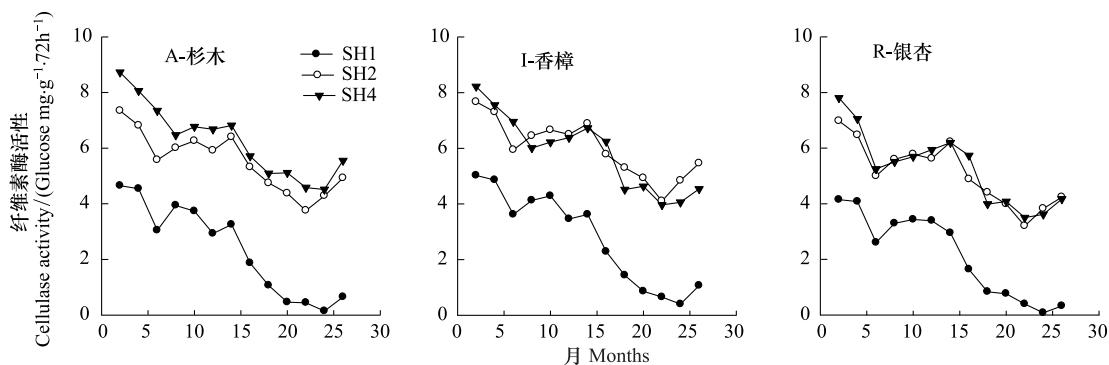


图 3 凋落叶纤维素酶活性动态变化

Fig. 3 The changes in cellulose activity of leaf litter decomposition

再次, 在凋落物厚度的影响下, 蔗糖酶的活性表现为: 杉木 10 月前表现为凋落叶 10g>凋落叶 20g>凋落叶 40g, 其后逐渐转变为凋落叶 40g>凋落叶 20g>凋落叶 10g; 香樟 10 月前表现为凋落叶 10g>凋落叶 20g>凋落叶 40g, 中期有短时间内凋落叶 20g 最高, 最终变化为凋落叶 40g>凋落叶 20g>凋落叶 10g; 银杏 10 月前凋落叶 10g>凋落叶 20g>凋落叶 40g, 10—18 月期间凋落叶 20g>凋落叶 40g>凋落叶 10g, 18 月之后呈现凋落叶 40g>凋落叶 20g>凋落叶 10g 的趋势; 3 个树种蔗糖酶的活性早期均显著下降, 而后杉木呈先上升后下降的趋势, 香樟则表现为缓慢下降, 银杏表现的比较稳定; 3 个树种的蔗糖酶活性也受到季节波动的变化, 但没有脲酶和纤维素酶敏感; 3 个树种的蔗糖酶活性对比排列为: 银杏>香樟>杉木, 这与 3 树种的分解系数 K 排列有一定的相关性。

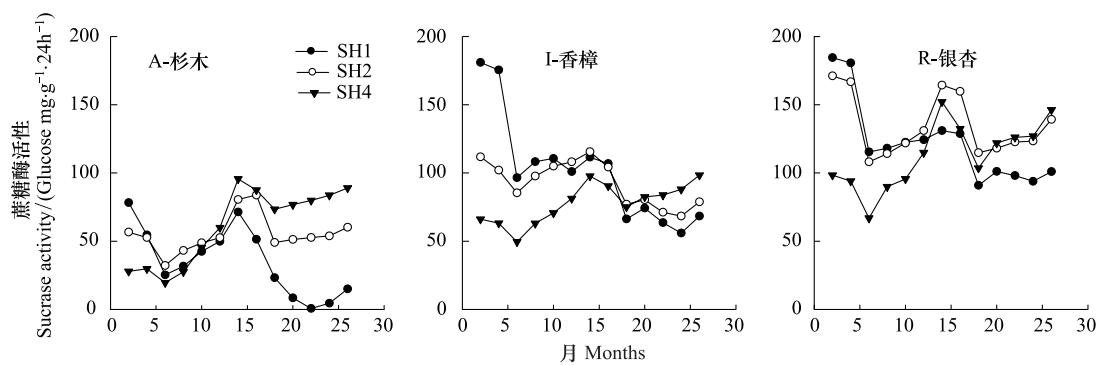


图 4 凋落叶蔗糖酶活性动态变化

Fig. 4 The changes in sucrase activity of leaf litter decomposition

综合以上 3 种酶对凋落物厚度影响的变化, 可总结出以下规律: 3 种酶活性表现为蔗糖酶(200mg/g 以下)>纤维素酶(10mg/g 以下)>脲酶(0.10mg/g 以下); 在一定范围内, 凋落物分解酶活性随凋落物厚度的增加而增加; 在凋落物分解的过程中, 随时间的推移, 脲酶、纤维素酶、蔗糖酶活性都有下降的趋势, 但下降的幅度据凋落物厚度和树种有一定的差异; 凋落物分解酶活性受季节变化影响较大, 温度升高, 活性增大, 反之减小; 就 3 个树种酶活性分析, 与分解系数 K 排列有一定的差异, 说明凋落物分解是多种酶共同作用产生的结果。

3 结论与讨论

3.1 不同凋落物基质质量对分解速率和分解酶活性的影响

凋落物基质质量是制约凋落物分解的内在因素^[23],因此不同的树种,分解速率有较大的差异,这与凋落叶本身的理化性质和养分含量有关^[24],通常把凋落物中的N、P、木质素含量、木质素/N和C/N比值作为常见的反映凋落物分解速率的指标^[25]。有研究表明,杉木等针叶树种的叶片多为厚革质,角质层发达,含有较多木质素、纤维素、单宁等物质,阻碍了微生物的分解,也不利于淋溶作用和土壤动物的机械破坏,而阔叶树种凋落物的木质素、纤维素含量相对较低,且比表面积更大,有利于微生物定居其上进行分解,因此一般针叶树种分解速率低于阔叶树种^[26]。本试验中银杏分解速率最快,而杉木分解速率较慢,验证了前人的研究结果,但杉木的分解速率在40g时却稍快于香樟,这与前人的研究结果有出入。相较于香樟,凋落叶40g厚度更适宜杉木的分解,以及香樟对酸雨影响较敏感都是其分解较慢的原因。此外,马川等的研究表明,马尾松等是林地先锋树种,其生理机制能够更好的适应实验样地的养分状况,阔叶树种的环境适应能力相对较弱,因而有可能参加分解的土壤微生物更有利于马尾松的分解^[27],在本实验中同理。

3.2 凋落叶厚度对凋落物分解速率和分解酶活性的影响

本试验中凋落物分解速率呈现先快后慢的趋势。这是因为随着凋落物的不断分解,容易被微生物利用的有机物(糖类、蛋白质等)逐渐减少,难分解的大分子有机质(纤维素、木质素等)比例增加,且只有少数微生物能产生分解它所需的酶,而这些微生物又只有当得不到其他更易分解的底物时才产生这些酶^[28]。另一方面,初始淋溶阶段凋落物损失率的增加,可能是因为在试验中凋落物是烘干的,细胞壁的损伤加剧了分解初期可溶性成分的损失^[29],经过淋溶阶段的凋落物结构更加松散和团粒化,可使得细菌、真菌、放线菌等微生物更适宜定居^[30]。此外,凋落叶分解速率和分解酶活性随时间推移逐渐下降的原因还有由于凋落叶的逐步分解,凋落叶量逐渐减少,使得土壤微生物量减少^[31],凋落叶分解速率随之下降。

本研究结果显示,凋落物厚度的增加会促进凋落物的分解,这与Sayer、陆耀东、王光军等的研究结果相符^[30-33],这一结果可能与以下几方面原因有关:(1)凋落物输入改变了森林地被层的环境。地被层对土壤有一定的保护作用,使土壤温度和湿度更有利于微生物的活动^[34];(2)凋落物的输入为微生物的生长增加了碳源,增加了土壤微生物量,从而促进了微生物的生长^[35-36];(3)凋落物的输入使土壤有机质增加,构成团聚体的能力增强,土壤透气性和透水性增强,土壤对抗外界胁迫的能力增强;可见,凋落物厚度增加导致的凋落物分解速率加快的原因是地表微环境的改变、地表微生物群落的改变和营养元素供应的差异等综合作用的结果。凋落叶层较厚,对应的分解酶活性也相对较高,反之酶活性较低,这是因为凋落叶层较厚时,微生物可利用的物质能源越丰富,故微生物的数量和种类相对较多,而微生物又决定了酶活性,所以酶活性相对较高。土壤酶活性的高低能反映土壤生物活性和土壤生化反应强度,一切能够影响土壤微生物量的因素,如土壤pH值、凋落物厚度、温度、水分等,均能影响土壤酶活性,而酶活性的改变反过来又影响凋落物的分解,脲酶、蔗糖酶等水解酶活性能够表征土壤C、N、P的养分循环状况,实验结果表明随凋落叶厚度的增加,酶活性明显升高,这说明凋落物的增加使土壤碳氮元素循环加快,土壤质量明显改善^[27,34]。纤维素酶对难分解物质木质素、纤维素的分解有重要的作用,实验结果中纤维素酶活性随凋落物厚度的增加而增强,主要是因为可分解物质的增加导致微生物量的增加,产生的酶数量也显著增加。单个分解酶不能完全指示凋落物的分解状况,凋落叶分解是多种分解酶共同作用的结果。

研究得出:首先,在酸雨覆盖面积较大的亚热带地区,凋落物对酸雨可起到明显的缓冲作用,以防止土壤酸化的进一步产生,且在一定范围内凋落物层越厚,其对应的缓冲能力越强;其次,土壤碳库是陆地生态系统中最大的碳库^[35],因此土壤碳库的动态对全球变化研究有着重要的意义,凋落物量的增加,会将更多的碳输入到土壤中,会对土壤碳量有一定影响^[34-35];最后,一定厚度的凋落物,促进了凋落物分解酶的活性,加速了凋落物的分解速率,可为生态系统提供更丰富的营养元素,有利于生态系统的能量流动和物质循环,为林地树木的生长发育提供了保障。因此在受酸雨胁迫的敏感地区,建议保留适量凋落物在地表,逐步恢复林间养

分元素的积累量,抑制生态系统的进一步恶化。

凋落叶分解是一个复杂的生态过程,其分解速率不仅与树叶种类、土壤中的微生物等生物因素有关,而且还受到N沉降、UVB辐射、旱涝、CO₂升高等环境因素的影响^[36]。本文研究了浙江省在中度酸雨(pH4.0)下,凋落叶厚度对凋落物分解的影响,以及凋落物分解酶与凋落物分解速率之间的关系。在未来还需要对土壤呼吸、凋落物养分释放情况等数据进行同步监测,以使研究结果能够更好的说明凋落物厚度对凋落物分解速率带来的综合反应和作用。

References:

- [1] Dou R P, Jiang H, Yu S Q, Ma Y D, Guo P P, Song X Z. Leaf litter decomposition of six trees in mid-subtropical and tropical China. *Acta Ecologia Sinica*, 2010, 30(16):4521-4528.
- [2] Ma Y D, Jiang H, Yu S Q, Dou R P, Guo P P, Wang B. Leaf litter decomposition of plants with different origin time in the mid-subtropical China. *Acta Ecologia Sinica*, 2009, 29(10):5237-5245.
- [3] Ma Y D, Jiang H, Yu S Q, Zhou G M, Dou R P, Guo P P, Wang B, Song X Z. Effects of simulated acid rain on the decomposition of *Phyllostachys pubescens*. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2010, 49(2):95-99.
- [4] Zimmermann S, Braun S, Conedera M, Blaser P. Macronutrient inputs by opposed to atmospheric deposition into two contrasting chestnut forest stands in southern Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 2002, 161:289-302.
- [5] Berg B, Berg M P, Bottner P. Litter mass loss rates in pine forests of Europe and eastern United States: some relationships with climate and litter quality. *Biogeochemistry*, 1993, 20:127-159.
- [6] Pausas J G, Casals P, Romanya J. Litter decomposition and faunal activity in Mediterranean forest soils: effects of N content and the moss layer. *Soil Biol Biochem*, 2004, 36:989-997.
- [7] Tu L H, Dai H Z, Hu T X, Zhang J, Luo S H, Cheng Y. Effect of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in a *Bambusa pvervariabilis* × *Dendrocalamus mopsi* plantation, Rainy Area of West China. *Acta Ecologia Sinica*, 2011, 31(5):1277-1284.
- [8] Song X Z, Jiang H, Zhang H L, Yu S Q, Zhou G M, Ma Y D, Chang S X. A review on the effects of global environment change on litter decomposition. *Acta Ecologia Sinica*, 2008, 28(9):4414-4423.
- [9] Liski J, Nissinen A, Erhard M, Taskinen O. Climate effects on litter decomposition from arctic tundra to tropical rainforest. *Global Change Biology*, 2003, 9:575-584.
- [10] Trofymow J A, Moore T R, Titus B, Prescott C, Morrison I, Siltanen M, Smith S, Fyles J, Wein R, Camiré C, Duschene L, Kozak L, Kranabetter M, Visser S. Rates of litter decomposition over 6 years in Canadian forests: influence of litter quality and climate. *Canadian Journal of Forest Research*, 2002, 32:789-803.
- [11] Song X Z, Jiang H, Ma Y D, Yu S Q, Zhou G M, Peng S L, Dou R P, Guo P P. Litter decomposition across climate zone in Eastern China: the integrated influence of climate and litter quality. *Acta Ecologia Sinica*, 2009, 29(10):5219-5226.
- [12] Mo J M, Brown S, Lenart M. Nutrient dynamics of a human-impacted pine forest in a MAB reserve of subtropical China. *Biotropica*, 1995, 27(3):290-304.
- [13] Smith W H. Air pollution and forests-interactions between air contaminants and forest ecosystems. New York: Springer-Verlag, 1981, 178-191.
- [14] Bruce A Caldwell. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: a review. *Pedobiologia*, 2005, 49(6):637-644.
- [15] Manzoni S, Jackson R B, Trofymow J A, Porporato A. The global stoichiometry of litter nitrogen mineralization. *Science*, 2008, 321(5889):684-686.
- [16] Bragazza L, Sifì C, Iacumin P, Gerdol R. Mass loss and nutrient release during litter decay in peatland: the role of microbial adaptability to litter chemistry. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 39(1):257-267.
- [17] Li Z G. The temporal and spatial distribution, causes and trends of acid rain in Zhejiang Province. *Environment Pollution & Control*, 1988, 4:10-15.
- [18] Zhejiang provence environment protection bureau. *Zhejiang Provincial Environmental Quality Report 2011*. Hangzhou, 2011.
- [19] Wu J M, Fu L S. The effect of acid rain on activity of soil enzymes by a longtime leaching study. *Journal of Agro-environment science*, 1993, 12(3):108-113.
- [20] Guan S Y. Soil enzyme and research method. Beijing: Agricultural press, 1986:274-320.
- [21] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposition in ecological systems. *Ecology*, 1963, 44:332-341.
- [22] Sulkava P, Huhta V. Effects of hard frost and freeze-thaw cycles on decomposer communities and N mineralization in boreal forest soil. *Applied Soil Ecology*, 2003, 22:225-239.
- [23] He X B, Song F Q, Zhang P, Lin Y H, Tian X J, Ren L L, Chen C, Li X N, Tan H X. Variation in litter decomposition temperature relationship

- between coniferous and broadleaf forests in Huangshan Mountain, China. *Journal of Forestry Research*, 2007, 18(4): 291-297.
- [24] Berg B. Nutrient release from litter and humans in coniferous soils a mini review. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1986, 1: 359-369.
- [25] Zhang D Q, Hui D F, Luo Y Q, Zhou G Y. Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: Global patterns and controlling factors. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 1: 85-93.
- [26] Guo P P, Jiang H, Yu S Q, Ma Y D, Dou R P, Song X Z. Comparison of litter decomposition of six species of coniferous and broad-leaved trees in subtropical China. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2009, 15(5): 655-659.
- [27] Ma C, Dong S F, Mo J M. Response of litter decomposition to changes of litter input in a pine forest of Dinghushan. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(4): 647-653.
- [28] Lopez E S, Pardo I, Felpeto N. Seasonal differences in green leaf breakdown and nutrient content of deciduous and evergreen tree species and grass in a granitic head-water stream. *Hydrobiologia*, 2001, 464: 51-61.
- [29] Li H T, Yu G R, Li J Y, Liang T, Chen Y R. Dynamics of litter decomposition and phosphorus and potassium release in Jinggang Mountain region of Jiangxi Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(2): 233-240.
- [30] Sayer E J, Tanner V J, Lacey A L. Effects of litter manipulation on early-stage decomposition and meso-arthropod abundance in a tropical moist forest. *Forest Ecology and Management*, 2006, 229(1/3): 285-293.
- [31] Wang G J, Tian D L, Yan W D, Zhu F, Li S Z. Impact of litter addition and exclusion on soil respiration in a *Liquidambar formosana* forest and a nearby *Cinnamomum camphora* forest of central southern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 643-652.
- [32] Liu L, Gundersen P, Zhang T, Mo J M. Effects of phosphorous addition on soil microbial biomass and community composition in three forest types in tropical China. *Soil Biology & Biochemistry*, 2012, 44: 31-38.
- [33] Lu Y D, Xue L, Cao H, Xie T F, Wang X E. Impacts of litter removal on soil characteristics in a *Pinus caribaea* stand. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3205-3211.
- [34] Hu Y L, Wang S L, Huang Y, Yu X J. Effects of litter chemistry on soil biological property and enzymatic activity. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2662-2668.
- [35] Carney K M, Hungate B A, Drake B G, Megonigal J P. Altered soil microbial community at elevated CO₂ leads to loss of soil carbon. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 2007, 104: 4990-4995.
- [36] Ribeiro C, Madeira M, Araujo M C. Decomposition and nutrient release from leaf litter of Eucalyptus globules under different water and nutrient regimes. *Forest ecology and management*, 2002, 171(122): 31-41.

参考文献:

- [1] 窦荣鹏,江洪,余树全,马元丹,郭培培,宋新章.热带尖峰岭和亚热带千岛湖六种凋落叶的分解特征. *生态学报*, 2010, 30(16): 4521-4528.
- [2] 马元丹,江洪,余树全,窦荣鹏,郭培培,王彬.不同起源时间的植物叶凋落物在中亚热带的分解特性. *生态学报*, 2009, 29(10): 5237-5245.
- [3] 马元丹,江洪,余树全,周国模,窦荣鹏,郭培培,王彬,宋新章.模拟酸雨对毛竹凋落物分解的影响. *中山大学学报(自然科学版)*, 2010, 49(2): 95-99.
- [7] 涂利华,戴洪忠,胡庭兴,张建,雒守华,成姚.模拟氮沉降对华西西屏区撑绿杂交竹凋落物分解的影响. *生态学报*, 2011, 31(5): 1277-1284.
- [8] 宋新章,江洪,张慧玲,余树全,周国模,马元丹,Scott X. Chang. 全球环境变化对森林凋落物分解的影响. *生态学报*, 2008, 28(9): 4414-4423.
- [11] 宋新章,江洪,马元丹,余树全,周国模,彭少麟,窦荣鹏,郭培培. 中国东部气候带凋落物分解特征——气候和基质质量的综合影响. *生态学报*, 2009, 29(10): 5219-5226.
- [17] 李柱国. 浙江省酸雨的时空分布、成因和发展趋势. *环境污染和防治*, 1988(4): 10-15.
- [18] 浙江省环境保护局. 浙江省环境质量报告书 2011. 杭州:浙江省环境监测中心, 2011.
- [19] 吴杰民,傅柳松. 酸雨长期淋溶对土壤酶活性的影响. *农业环境保护*, 1993, 12(3): 108-113.
- [20] 关松荫. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京:农业出版社, 1986: 274-320.
- [26] 郭培培,江洪,余树全,马元丹,窦荣鹏,宋新章. 亚热带6种针叶和阔叶树种凋落叶分解比较. *应用与环境生物学报*, 2009, 15(5): 655-659.
- [27] 马川,董少锋,莫江明. 鼎湖山马尾松林凋落物分解对凋落物输入变化的响应. *生态环境学报*, 2012, 21(4): 647-653.
- [29] 李海涛,于贵瑞,李家勇,梁涛,陈永瑞. 井冈山森林凋落物分解动态及磷、钾释放动态. *应用生态学报*, 2007, 18(2): 233-240.
- [31] 王光军,田大伦,闫文德,朱凡,李树战. 去除和添加凋落物对枫香和樟树林土壤呼吸的影响. *生态学报*, 2009, 29(2): 643-652.
- [33] 陆耀东,薛立,曹鹤,谢腾芳,王相娥. 去除地面枯落物对加勒比松林土壤特性的影响. *生态学报*, 2008, 28(7): 3205-3211.
- [34] 胡亚林,汪思龙,黄宇,于小军. 凋落物化学组成对土壤微生物学性状及土壤酶活性的影响. *生态学报*, 2005, 25(10): 2662-2668.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 6 March ,2013(Semimonthly)
CONTENTS

Review and Monograph

- Forest health studies based on remote sensing: a review GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al (1675)
Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, et al (1690)

Autecology & Fundamentals

- Dynamic distribution of *Nemopilema nomurai* in inshore waters of the northern Liaodong Bay, Bohai Sea
..... WANG Bin, QIN Yubo, DONG Jing, et al (1701)
Full length cDNA cloning and tissue expression of prophenoloxidase from *Oratosquilla oratoria*
..... LIU Haiying, LIU Lianwei, JIANG Yusheng, et al (1713)
Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi
..... ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, et al (1721)
Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests
..... JI Xiaoyan, JIANG Hong, HONG Jianghua, et al (1731)
The photosynthetic carbon fixation characteristics of common tree species in northern Zhejiang
..... ZHANG Jiao, SHI Yongjun, ZHU Yueqing, et al (1740)
Diurnal changes in the photosynthetic characteristics of two high yield and high quality grasses during different stages of growth
and their response to changes in light intensity GUO Chunyan, LI Jinchuan, YUE Jianying, et al (1751)
Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model
..... ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al (1762)
Genetic diversity of *Conocephalus maculatus* of different geographic populations based on mitochondrial DNA control region analysis
..... ZHOU Zhijun, SHANG Na, LIU Jing, et al (1770)
Relationships among female body size, clutch size, and egg size in captive *Deinagkistrodon acutus*
..... HU Minghang, TAN Qunying, YANG Daode (1778)
The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male
..... ZHENG Sining, HUANG Juchang, YE Guanglu, et al (1784)
Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, et al (1791)

Population, Community and Ecosystem

- Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay
..... LI Chunhou, LIN Lin, XU Shannan, et al (1798)
The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters
..... SUN Lufeng, KE Chang, XU Zhaoli, et al (1811)
Identification of key ecosystem for ecological restoration in semi-arid areas: a case study in Helin County, Inner Mongolia
..... PENG Yu, GAO Ying, FENG Jinzhao, et al (1822)
The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain
..... JIN Guanyi, ZHAO Xiuhai, KANG Fengfeng, et al (1832)
The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing,
China WANG Yihao, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1842)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Thermal environment effect of urban water landscape YUE Wenze, XU Lihua (1852)
Landscape ecological security pattern associated with the introduction of exotic tree species *Eucalyptus*
..... ZHAO Xiaoqing, HE Chunlan (1860)
Ecological balance between supply and demand in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method
..... SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1872)
Effect of elevated CO₂ on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant YAN Chen, XU Jing, ZHONG Wenhui, et al (1881)

Resource and Industrial Ecology

- The seawater environment quality evaluation research base on variable fuzzy pattern recognition model KE Lina, WANG Quanming, SUN Xinguo, et al (1889)
- An *in situ* study on biodeposition of ascidian (*Styela plicata*) in a subtropical aquaculture bay, southern China YAN Jiaguo, QI Zanhui, TIAN Ziyang, et al (1900)
- Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau ZHANG Lina, LI Jun, FAN Peng, et al (1907)
- Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields ZHANG Dingchen, CAI Dianxiong, DAI Kuai, et al (1916)
- Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (1926)
- Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress GAO Huiling, LIU Jinlong, ZHENG Qingsong, et al (1935)
- Calibration coefficients of Granier original formula based on sap flow of *Platycladus orientalis* LIU Qingxin, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (1944)

Research Notes

- An evaluation index system classifying the conservation value of wetland nature reserves based on AHP SUN Rui, CUI Guofa, LEI Ting, et al (1952)
- Root biomass and its distribution of *Azadirachta indica* and *Acacia auriculiformis* plantations in the Dry-hot Valley GAO Chengjie, TANG Guoyong, LI Kun, et al (1964)
- Physiological response of *Vitex trifolia* to sand burial in the sand coast ZHOU Ruilian, WANG Jin, YANG Shuqin, et al (1973)
- Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province JIANG Lin, GENG Zengchao, ZHANG Wen, et al (1982)

Opinions

- Dynamic of litterfall in ten typical community types of Xiaoxing'an Mountain, China HOU Lingling, MAO Zijun, SUN Tao, et al (1994)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于1981年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第6期 (2013年3月)

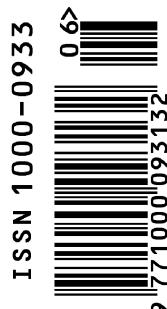
ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 6 (March, 2013)

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
主 编	王如松
主 管	中国科学技术协会
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
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717
印 刷	北京北林印刷厂
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
订 购	全国各地邮局
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
广 告 经 营	京海工商广字第8013号
许 可 证	

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
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
Domestic	All Local Post Offices in China
Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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 90.00 元