ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第31卷 第8期 Vol.31 No.8 2011

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 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 8 期　　2011 年 4 月　（半月刊）

目　　次

塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系…… 安红燕，徐海量，叶　茂，等（2053）
冲积平原区高程因子对土壤剖面质地构型的影响——以封丘县为例…… 檀满枝，密术晓，李开丽，等（2060）
臭氧胁迫对大豆叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响 …… 王俊力，王　岩，赵天宏，等（2068）
重要理化因子对小球藻生长和油脂产量的影响…… 张桂艳，温小斌，梁　芳，等（2076）
北亚热带马尾松净生产力对气候变化的响应…… 程瑞梅，封晓辉，肖文发，等（2086）
亚热带沟叶结缕草草坪土壤呼吸…… 李熙波，杨玉盛，曾宏达，等（2096）
UV-B 辐射对马尾松凋落叶分解和养分释放的影响 …… 宋新章，张慧玲，江　洪，等（2106）
干旱胁迫下内生真菌感染对羽茅的生理生态影响…… 韩　荣，李　夏，任安芝，等（2115）
蜜环菌对锌的耐性和富集特性…… 朱　林，程显好，李维焕，等（2124）
干旱荒漠区狭叶锦鸡儿灌丛扩展对策…… 张建华，马成仓，刘志宏，等（2132）
黄土高原区不同植物凋落物搭配对土壤微生物量碳、氮的影响 …… 王春阳，周建斌，夏志敏，等（2139）
内蒙古典型草原克氏针茅与冰草的生存策略 …… 孙　建，刘　苗，李胜功，等（2148）
荒漠沙柳根围 AM 真菌的空间分布 …… 贺学礼，杨　静，赵丽莉（2159）
开放式昼夜不同增温对单季稻影响的试验研究…… 董文军，邓艾兴，张　彬，等（2169）
醉马草免培养内生细菌的多样性…… 张雪兵，史应武，曾　军，等（2178）
河南生态足迹驱动因素的 Hi_PLS 分析及其发展对策 …… 贾俊松（2188）
禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析 …… 杨奇勇，杨劲松，余世鹏（2196）
旋覆花提取物对朱砂叶螨的生物活性及酶活性的影响…… 段丹丹，王有年，成　军，等（2203）
白洋淀湖滨湿地岸边带氨氧化古菌与氨氧化细菌的分布特性…… 叶　磊，祝贵兵，王　雨，等（2209）
干旱胁迫条件下 6 种喀斯特主要造林树种苗木叶片水势及吸水潜能变化……
…… 王　丁，姚　健，杨　雪，等（2216）
桉树人工林物种多样性变化特征…… 刘　平，秦　晶，刘建昌，等（2227）
海河流域湿地生态系统服务功能价值评价…… 江　波，欧阳志云，苗　鸿，等（2236）
芦苇在微咸水河口湿地甲烷排放中的作用…… 马安娜，陆健健（2245）
云南不同土壤铅背景值下大叶茶种群对铅的吸收积累特征及其遗传分化……
…… 刘声传，段昌群，李振华，等（2253）
长江口和杭州湾凤鲚胃含物与海洋浮游动物的种类组成比较…… 刘守海，徐兆礼（2263）
江西大岗山地区 7—9 月降水量的重建与分析 …… 乔　磊，王　兵，郭　浩，等（2272）
山核桃免耕经营的经济效益和生态效益…… 王正加，黄兴召，唐小华，等（2281）
基于 GIS 的广州市中心城区城市森林可达性分析…… 朱耀军，王　成，贾宝全，等（2290）

专论与综述

土壤呼吸温度敏感性的影响因素和不确定性…… 杨庆朋，徐　明，刘洪升，等（2301）
植物代谢速率与个体生物量关系研究进展…… 程栋梁，钟全林，林茂兹，等（2312）
耕地生态补偿实践与研究进展 …… 马爱慧，蔡银莺，张安录（2321）

问题讨论

元谋干热河谷三种植被恢复模式土壤贮水及入渗特性…… 刘　洁，李贤伟，纪中华，等（2331）

研究简报

中微量元素和有益元素对水稻生长和吸收镉的影响…… 胡　坤，喻　华，冯文强，等（2341）

期刊基本参数：CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ￥70.00 * 1510 * 33 * 2011-04

封面图说：巴西热带雨林——美丽的巴西北部玛瑙斯热带雨林景观。位于南美洲的亚马逊河是世界上流域最广、流量最大的河流，孕育了世界面积最大的热带雨林，雨林中蕴藏着极丰富的生物资源。

彩图提供：中国科学院生态环境研究中心徐卫华博士　E-mail：xuweihua@rcees.ac.cn

生 态 学 报 2011,31(8):2106—2114
Acta Ecologica Sinica

UV-B 辐射对马尾松凋落叶分解和养分释放的影响

宋新章[1,2,*], 张慧玲[2], 江　洪[1,2], 余树全[1,2], 张智婷[3]
(1. 浙江省森林生态系统碳循环与固碳减排重点实验室,浙江农林大学,浙江临安　311300;
2. 浙江农林大学国际生态研究中心,浙江临安　311300; 3. 河北北方学院, 河北张家口　075000)

摘要:由大气臭氧层减薄导致的 UV-B 辐射变化将直接影响到凋落物的分解。目前,有关 UV-B 辐射影响木本植物凋落物分解的研究还很少,在国内还没有开展。采用分解袋法开展了马尾松凋落叶在自然环境和 UV-B 辐射滤减两种辐射环境下的分解试验。结果表明:在 UV-B 辐射滤减环境下的马尾松凋落叶年分解速率比对照环境减慢了 47.74%。UV-B 辐射极显著($P<0.01$)地加快了马尾松凋落叶的分解速率,促进了凋落叶中碳、磷、钾的释放和木质素的降解,对氮的释放无明显影响。研究结果意味着 UV-B 辐射将加快马尾松林的营养循环速度,降低马尾松林凋落物层的碳储量。

关键词:凋落叶分解;UV-B 辐射;马尾松;营养循环

Effect of UV-B radiation on the leaf litter decomposition and nutrient release of *Pinus massoniana*

SONG Xinzhang[1,2,*], ZHANG Huiling[2], JIANG Hong[1,2], YU Shuquan[1,2], ZHANG Zhiting[3]
1 *Zhejiang Provincial Key Laboratory of Carbon Cycling in Forest Ecosystems and Carbon Sequestration, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an* 311300, *China*
2 *International Ecology Research Center, Zhejiang Agriculture and Forestry University, Lin'an* 311300, *China*
3 *Hebei North University, Zhangjiakou* 075000, *China*

Abstract: Ultraviolet-B radiation (UV-B, 280 — 315 nm) reaching the earth's surface has been increasing due to stratospheric ozone depletion during the last several decades. Elevated UV-B radiation influenced ecosystem properties and functional processes such as plant litter decomposition and the subsequent nutrient release. As a key process in nutrient and carbon cycling of terrestrial ecosystems, plant litter decomposition converts the products of photosynthesis to inorganic compounds, representing one of the primary sources of nutrients for plants, and both nutrients and energy for microbes. At the same time, stable soil organic matter is formed as part of the litter decomposition processes. Therefore, UV-B induced changes in litter decomposition could profoundly influence primary production, carbon storage, and carbon and nutrient fluxes between the soil and atmosphere.

UV-B radiation has direct and indirect effects on plant litter decomposition. Direct effects of UV-B radiation result from UV-B exposure during litter decomposition while indirect effects are caused by UV-B exposure during plant growth that changes the litter quality and the subsequent decomposition of the litter. Elevated UV-B radiation may directly increase litter decomposition via enhanced lignin photodegradation or decrease litter decomposition through reducing the abundance and altering the community composition of decomposers, as well as indirectly accelerate or slow the rate of decomposition through changing the litter chemistry during plant growth, even though some studies have found no pronounced indirect effects. Currently, the majority of decomposition studies on the effect of elevated UV-B radiation focused on the indirect effects on the chemical composition and decomposition of herbaceous plant leaf litter. In contrast, the direct effect of UV-B

基金项目:国家自然科学基金项目(30800152, 31070440, 40671132); 浙江省自然科学基金项目(Y5090007); 科技部"973"项目(2005CB422208); 浙江农林大学科研启动基金(2007FR075)
收稿日期:2010-03-29;　　**修订日期**:2010-08-24
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xzsong@126.com

radiation on the decomposition of and nutrient release from leaf litter of woody plants has been less studied.

Providing supplemental UV-B radiation with UV-B lamps and removing most of the solar UV-B reaching sample through the mylar filters are the two most common approaches when attempting to simulate and test the effects of enhanced UV-B levels associated with ozone depletion. Most of the studies were conducted in the Northern Hemisphere using UV-B lamps systems to stimulate enhanced UV-B conditions. But an unrealistic balance between UV-B, UV-A (315 −400 nm), and visible (400 −700 nm) radiation may exaggerate the effects of UV-B. Exclusion of solar UV-B through the use of mylar filters that absorb most of the incident solar UV-B provides a relatively simple mean to compare the influences of the current enhanced UV-B level vs. lower levels in the past.

The ozone change is also taking place in subtropical China with an average annual depletion of 0.27%. The effect of UV-B radiation on litter decomposition of woody plant was poorly understood especially in China. The leaf litter decomposition of *Pinus massoniana*, which is a common coniferous species in subtropical China, under ambient and reduced (by 22% under ambient) UV-B radiation conditions by filtering existing solar radiation with mylar filters was investigated with litterbag method during 12 months experiment in this study. The aim of our study is to assess the effect of the changes in UV-B radiation on leaf litter decomposition, lignin degradation, and nutrient (N, P and K) release from *P. massoniana*. The results showed that the leaf litter decomposition rate slowed 47.74% under reduced UV-B radiation than that under ambient UV-B. UV-B radiation is very significantly accelerated the leaf litter decomposition of *P. massoniana* ($p<0.01$), and promoted the release of P, K, C and lignin degradation, but had no obvious effect on release of N. The results indicated that UV-B radiation would speed up the nutrient cycle in *P. massoniana* forest and decrease the carbon store in litter layer of *P. massoniana* forest.

Key Words: leaf litter decomposition; UV-B radiation; *Pinus massoniana*; nutrient cycle

由大气臭氧层变薄引起的紫外线-B(UV-B)辐射变化是全球环境变化中十分引人注目的热点问题之一,其对陆地生态系统的影响已引起了科学家们的广泛关注[1-3]。UV-B 辐射胁迫人工模拟是目前国内外有关 UV-B 辐射生物效应研究的主要方法,其中模拟 UV-B 辐射增加或滤减是最常用的 2 种研究手段[4]。UV-B 辐射增强用于模拟未来 UV-B 辐射增强情况下潜在的生物学效应,多采用方波模型和太阳追踪模型方法。方波模型主要通过紫外灯管来增加 UV-B 辐射,用特殊的滤膜(醋酸纤维素膜等)过滤掉 UV-C,并通过改变紫外灯管照射时间的长短和到试验对象的距离来调节 UV-B 辐射强度。其缺点是不能准确模拟由天文因素而导致的自然日光中 UV-B 辐射强度的日变化和季节变化,以及受到云量和气溶胶因子影响的 UV-B 辐射强度的日间波动和季节波动,结果往往夸大了 UV-B 的影响。但因其操作简便,试验成本低,成为目前该类研究中常用的方法[5-8]。太阳追踪模型则是通过探头连续监测太阳 UV-B 辐射变化,同时通过系统控制软件保持连续比例附加 UV-B 辐射。其优点是能较准确地按照设定比例增加 UV-B 辐射,但因设备昂贵,对紫外灯管的要求高而没有被普遍应用[9-11]。UV-B 辐射滤减方法是用聚酯薄膜滤减掉部分 UV-B,造成低于周围环境 UV-B 辐射的环境,用于评估已经发生的(以前较低的 UV-B 辐射水平)和目前正在发生的(由臭氧层减薄引起的当前较高的 UV-B 辐射水平)UV-B 生物效应[4,12]。其优点是各处理间的 UV-B 辐射较均匀,随日光的日变化和季节变化而变化,避免了 UV-B 增强处理中灯管的遮荫作用,且操作简便,成本较低,因此也受到广泛应用[1,4,12-14]。

森林凋落物分解是陆地生态系统物质循环和能量转换的主要途径,对森林生态系统的碳预算和氮周转具有重要的科学意义[1,15-16]。在全球环境变化的大背景下,凋落物分解过程也不可避免地受到 UV-B 辐射变化的影响。研究 UV-B 辐射对凋落物分解的影响,对于阐述生态系统中凋落物的关键作用、生物地球化学循环和土壤营养动态是极其重要的,也是当前生态系统对全球环境变化响应的研究中必不可少的一个重要组成部分[17]。凋落物分解过程受到分解时照射的 UV-B 的直接影响和植物生长时照射的 UV-B 的间接影响。UV-B 辐射对凋落物分解过程直接的非生物影响是通过增加对凋落物木质素的光降解作用而促进分解[8,12,18-19];直

接的生物影响是通过改变生物分解者的群落组成和数量而直接降低了凋落物的分解速率[4,8,20]。间接影响是指植物在生长过程中接受的 UV-B 辐射能够引起植物各部分次生化学组成和形态特征的改变,进而间接地影响到其凋落后的分解过程[4,6,13,21]。已有的研究结果显示,凋落物分解对 UV-B 辐射的响应随树种、生态系统和研究方法的不同而变化,没有统一的响应模式[2,4,22]。目前,有关 UV-B 辐射对木本植物凋落物分解的影响研究的还很少,在我国还没有开展[17,22]。本文应用分解袋法和 UV-B 辐射滤减模拟技术,研究了 UV-B 辐射对中国亚热带主要树种马尾松(*Pinus massoniana*)凋落叶分解快慢和养分元素释放的影响,以验证两个假设:(1)UV-B 辐射对马尾松凋落叶的分解无影响,(2)UV-B 辐射对马尾松凋落叶养分元素的释放和木质素的光降解无影响,为深入认识和理解 UV-B 辐射变化对陆地生态系统的影响提供基础数据和科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验地概况

研究地点位于浙江省临安市平山村浙江林学院野外科研试验基地内,地理坐标为 119°42′E,30°14′N。该区地处中亚热带季风气候区的北缘,四季分明,温和湿润,热量丰富,雨量充沛,年均降水量在 1420 mm 左右,年均气温 15.6 ℃,有效积温为 2696.2 ℃,无霜期 230d 左右。土壤为黄红壤。

1.2 UV-B 辐射环境模拟

参照国际上同类研究的通用方法,UV-B 辐射模拟环境设置滤减和自然光照(对照)共两个处理。UV-B 辐射滤减环境模拟采用国内外通用的聚酯薄膜法[4,12-14]。在分解试验地上方铺设 125 μm 厚的聚酯薄膜,以滤除 UV-C 和部分 UV-B 但透过 UV\A。2 个月更换 1 次薄膜以防老化。用北京师范大学生产的双通道 UV-B 辐照计测定聚酯薄膜下的 UV-B 辐射强度,经 Caldwell 公式[23]转换为生物有效辐射。经测定,UV-B 滤减环境比自然环境滤减了 22.1%。同时根据每次降雨的降雨量,往 UV-B 滤减样地内喷施等量的自来水。

1.3 凋落叶收集与分解

在 2008 年 10 月份在天目山国家级自然保护区马尾松林内收集地面新近凋落的衰老针叶,带回实验室自然风干。凋落叶分解试验采用分解袋法[24]。将风干后的凋落叶装入由尼龙网制成的孔径为 1.0 mm×1.5 mm,大小为 15 cm×15 cm 的分解袋中,每袋约 10 g,并在袋内放入刻有编码的标签,做好记录。同时分析测定凋落叶的含水率和初始 C、N、P、K 和木质素含量。在 12 月份将凋落叶分解袋分别放入 2 个辐射模拟环境的样地内,放置时贴近地表模拟凋落物分解的自然状况。在放置分解袋前先对分解样地进行整地,以保证样地土壤基质的一致性。从 2 月份起每 2 个月收回 1 次分解袋,每次每个处理取回 3 袋(即 3 个重复),带回实验室,清除凋落物表面附着的泥沙和其他杂质,在 80℃烘箱中烘干至恒重,测定剩余凋落物的质量。然后粉碎,进行 C、N、P、K 和木质素含量的分析测定。

1.4 化学元素分析方法

木质素含量用 Van Soest 中性洗涤纤维(NDF)及酸性洗涤纤维(ADF)方法测定;碳含量用重铬酸钾容量法-外加热(油浴加热)法测定;氮含量用 H_2SO_4-H_2O_2 消煮后,半微量凯氏法测定;磷含量用 H_2SO_4-H_2O_2 消煮后,钼锑抗比色法测定;钾含量用 H_2SO_4-H_2O_2 消煮后,火焰光度计法测定。

1.5 数据分析

用常用的 Olson[25]指数模型计算凋落物的分解速率:$X_t/X_0=e^{-kt}$,式中,X_t表示时间 t 时的干重,X_0表示凋落物的初始干重,k 表示凋落物的年分解速率($g\cdot g^{-1}\cdot a^{-1}$)。养分净释放率用公式 $E=[(M_0\times C_0-M_t\times C_t)/(M_0\times C_0)]\times 100\%$[26]表示,式中,$E$ 为养分元素的净释放率(%),M_0为放置分解袋时袋内凋落叶样品的初始干重(g),C_0为初始养分含量(g/kg),M_t为 t 时刻分解袋内凋落叶的干重(g),C_t为 t 时刻凋落叶的养分含量(g/kg)。当 E 值为正时表明养分元素为净释放,当 E 值为负时表明养分元素为净富集。

采用单因素方差分析(One-Way ANOVA)和最小显著差异法(LSD)比较凋落叶分解速率在两种 UV-B 辐射模拟环境下的差异,统计分析用 SPSS 13.0 实现。

2　结果与分析

2.1　干重剩余率的变化

由图 1 可见,在 1a 分解过程中,马尾松凋落叶在 UV-B 辐射滤减环境下的干重剩余率始终高于自然环境,特别是分解 6 个月后,自然环境下的失重速度明显加快,与 UV-B 辐射滤减环境的差距进一步加大。在 1a 分解的末期,马尾松凋落叶在自然环境下的干重剩余率为 64.53%,在 UV-B 辐射滤减环境下为 77.92%,比自然环境慢了 13.39%。

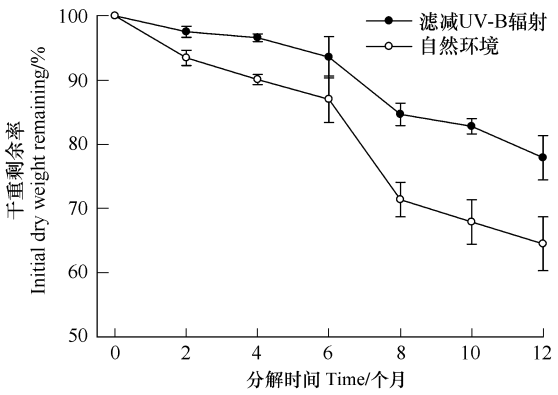

图 1　马尾松凋落叶分解过程中干重剩余率的变化

Fig. 1　Percentage of remaining mass to initial mass during litter decomposition of *P. massoniana* from January 2009 to December 2009

2.2　年分解速率

由表 1 可见,凋落叶分解模型的相关系数很高,说明 Olson 指数衰减模型对分解过程的拟合效果很好。马尾松凋落叶在两种 UV-B 辐射环境下的年分解速率存在极显著差异($P<0.01$)。与图 1 显示的干重剩余率变化相对应,年分解速率在对照环境下较大,为 0.44;在 UV-B 辐射滤减环境下较小,为 0.23,比对照环境减慢了 47.74%。在 UV-B 辐射滤减环境下 50% 和 95% 分解所需时间也分别比对照环境多了 1.5a 和 6.49a。可见,UV-B 辐射滤减极显著地降低了马尾松凋落叶的分解速率。

表 1　马尾松凋落叶分解速率、相关系数、半分解和 95% 分解时间

Table 1　Litter decomposition rate of *P. massoniana*, correlation efficiency, time of half and 95% decomposition

	分解速率 Decomposition rate (k)	相关系数 Correlation efficiency (R^2)	半分解时间 Time of half decomposition/a	95% 所需时间 Time of 95% decomposition/a
UV-B-	0.23(0.02)a	0.91	3.09	13.37
CK	0.44(0.06)b	0.94	1.59	6.88

UV-B-:滤减 UV-B 辐射;CK:对照; 括号内为 3 次重复的标准差;同列不同字母表示差异极显著 $P<0.01$

2.3　化学成分含量的变化

由表 2 可见,在 1 年的分解过程中,马尾松凋落叶中的氮、磷和木质素含量在 UV-B 滤减和对照两种辐射环境下均呈增加趋势,至分解 12 个月时氮含量分别增加了 150% 和 169.44%,磷含量分别增加了 60% 和 30%,木质素含量分别增加了 41.94% 和 29.80%。钾、碳含量和 C/N 比在 UV-B 滤减和对照两种辐射环境下均呈下降趋势,至分解 12 个月时钾含量分别下降了 38.10% 和 66.67%,碳含量分别下降了 5.41% 和 21.95%,C/N 比分别下降了 62.26% 和 71.05%。木质素/N 比波动较大,没有表现出明显的规律性。可见,在马尾松凋落叶分解过程中,UV-B 辐射滤减促进了磷和木质素含量的上升,而延缓了氮含量的上升和碳、钾含量及 C/N 比的下降。

2.4　化学元素的释放动态

图 2 表明,在马尾松凋落叶分解过程中,在 2 种辐射环境下,氮元素经历了释放-富集-再释放-再富集的过程,相对于滤减环境,自然 UV-B 辐射对氮的释放和富集过程作用不明显。在前 6 个月的分解过程中,磷元素在两种辐射环境下经历了同样的释放-富集-再释放过程,但在分解 6 个月后,磷在自然环境下的释放明显快于 UV-B 辐射滤减环境。钾和碳均表现为净释放,且在自然 UV-B 辐射环境下的释放率均始终高于滤减环境,表明 UV-B 辐射加快了钾和碳的释放。木质素在在自然环境下经历了最初 8 个月的富集后开始净释放,在 UV-B 辐射滤减环境下一直表现为富集,可见 UV-B 辐射也促进了木质素的降解释放。

表 2 分解过程中化学成分含量(%)的变化

Table 2 The change of leaf litter chemistry parameters during decomposition

化学成分 Chemistry parameters	处理 Treatment	分解时间 Decomposition time (个月)						
		0	2	4	6	8	10	12
N	UV-B-	0.72(0.03)	0.40(0.02)	1.13(0.03)	0.82(0.02)	0.98(0.03)	0.72(0.01)	1.80(0.09)
	CK	0.72(0.03)	0.39(0.01)	0.78(0.09)	1.34(0.06)	0.86(0.03)	1.40(0.07)	1.94(0.07)
P	UV-B-	0.10(0.005)	0.10(0.003)	0.11(0.002)	0.09(0.002)	0.10(0.004)	0.10(0.000)	0.16(0.003)
	CK	0.10(0.005)	0.10(0.003)	0.11(0.002)	0.09(0.004)	0.10(0.005)	0.11(0.003)	0.13(0.004)
K	UV-B-	0.42(0.005)	0.40(0.005)	0.36(0.015)	0.33(0.006)	0.27(0.004)	0.27(0.013)	0.26(0.010)
	CK	0.42(0.005)	0.28(0.003)	0.06(0.002)	0.11(0.002)	0.19(0.006)	0.11(0.006)	0.14(0.004)
C	UV-B-	46.20(0.93)	48.13(1.36)	48.50(2.08)	44.91(1.36)	38.91(0.61)	43.62(0.20)	43.70(2.04)
	CK	46.20(0.93)	50.68(1.53)	42.13(1.26)	37.13(1.20)	35.19(0.03)	35.87(1.24)	36.06(1.30)
Lignin	UV-B-	27.85(1.09)	29.50(0.17)	33.78(0.49)	34.22(0.33)	37.62(0.52)	38.05(0.53)	39.53(0.22)
	CK	27.85(1.09)	35.05(0.48)	34.52(1.06)	36.40(0.13)	40.23(0.54)	38.92(0.06)	36.15(0.40)
C/N	UV-B-	64.21(1.29)	120.21(3.39)	43.04(1.85)	54.78(1.66)	39.68(0.62)	60.94(0.28)	24.23(1.13)
	CK	64.21(1.29)	131.18(3.95)	54.13(1.61)	27.73(0.90)	41.00(0.04)	25.62(0.89)	18.59(0.67)
Lignin/N	UV-B-	38.71(1.51)	73.68(0.43)	29.98(0.44)	41.74(0.40)	38.37(0.53)	53.16(0.74)	21.92(0.12)
	CK	38.71(1.51)	90.72(1.24)	44.35(1.36)	27.19(0.10)	46.87(0.63)	27.80(0.04)	18.64(0.21)
C/P	UV-B-	479.37(9.65)	501.57(14.13)	457.38(19.65)	504.42(15.30)	396.63(6.21)	436.79(2.01)	270.32(12.62)
	CK	479.37(9.65)	525.78(15.83)	375.41(11.19)	414.51(13.44)	338.81(3.14)	334.86(11.57)	277.10(9.98)

括号内为 3 次重复的标准差

3 讨论与结语

UV-B 辐射对凋落物分解的直接影响表现在光降解作用和对生物分解者的限制作用。Austin 等[1]对半干旱生态系统凋落物分解的研究发现,UV-B 辐射的减弱导致凋落物分解降低了 33%,并认为光降解对凋落物的分解起着主要的控制作用。Smith 等[8]研究发现,在湿度受限的情况下,UV-B 辐射可能通过光降解作用而加快了凋落物的分解;在没有湿度限制的情况下,UV-B 辐射可能由于抑制了微生物分解者的活性而降低了凋落物的分解速率。可见,UV-B 辐射直接影响凋落物分解过程的这两种机制的作用效果可能是相反的,因为 UV-B 辐射加大了光降解作用但却削弱了分解者的生物活性。同时,这两种机制作用的大小还受到凋落物质量的调节,低品质的凋落物限制了微生物的活性,使得分解过程主要由非生物因子来驱动[4]。本研究发现,相对于滤减环境,自然 UV-B 辐射极显著地加快了马尾松凋落叶的分解速率,这同 UV-B 辐射促进了木质素的降解释放相对应(图 2)。因此,可以初步推断,对木质素的光降解作用在 UV-B 辐射对马尾松凋落叶分解的影响中占主导地位。因限于条件未对分解过程中生物分解者的特征做分析测定,因此分解过程中生物分解者的作用机理尚待进一步深入研究。

在生态系统中,UV-B 辐射影响分解过程的生态学意义在于它与营养周转、土壤库中营养贮量和土壤肥力有密切的联系。植物吸收的氮和磷超过 90% 来源于养分的循环[27]。UV-B 辐射通过对凋落物分解的直接作用和间接作用而影响到生态系统的营养循环、初级生产力、碳储量以及土壤与大气间的碳通量[14,28]。凋落物在分解过程中营养元素的释放主要有 3 种模式:(1) 淋溶—富集—释放;(2) 富集—释放;(3) 直接释放[29-30]。森林凋落物在分解过程中并不总是释放出养分,养分元素的固定与释放的阶段性特征非常明显,它与凋落物的类型和分解阶段有关,也与养分本身特性有关。低品质凋落物在分解前期(可达 2—3 a)会从环境中固定养分,特别是氮磷养分[31-32],而且到达养分释放的时间较长。如马尾松[33]、非洲圆柏(*Juniperus procera*)[34]等凋落叶在分解过程中,氮浓度呈现出先富集后释放的趋势。而高品质凋落物则可在较短时间内释放出养分。一个在全球 7 个生物群系 21 个地点进行的长达 10a 的凋落物分解试验表明,N 的净释放主要由凋落物中 N 的初始含量和凋落物分解的剩余量来驱动,其机理在于凋落物中 N 的初始含量能否满足微生物分解者对 N 的需求。高 N 含量的凋落物能满足分解者对 N 的需求从而较快释放出 N;低 N 含量的凋落物

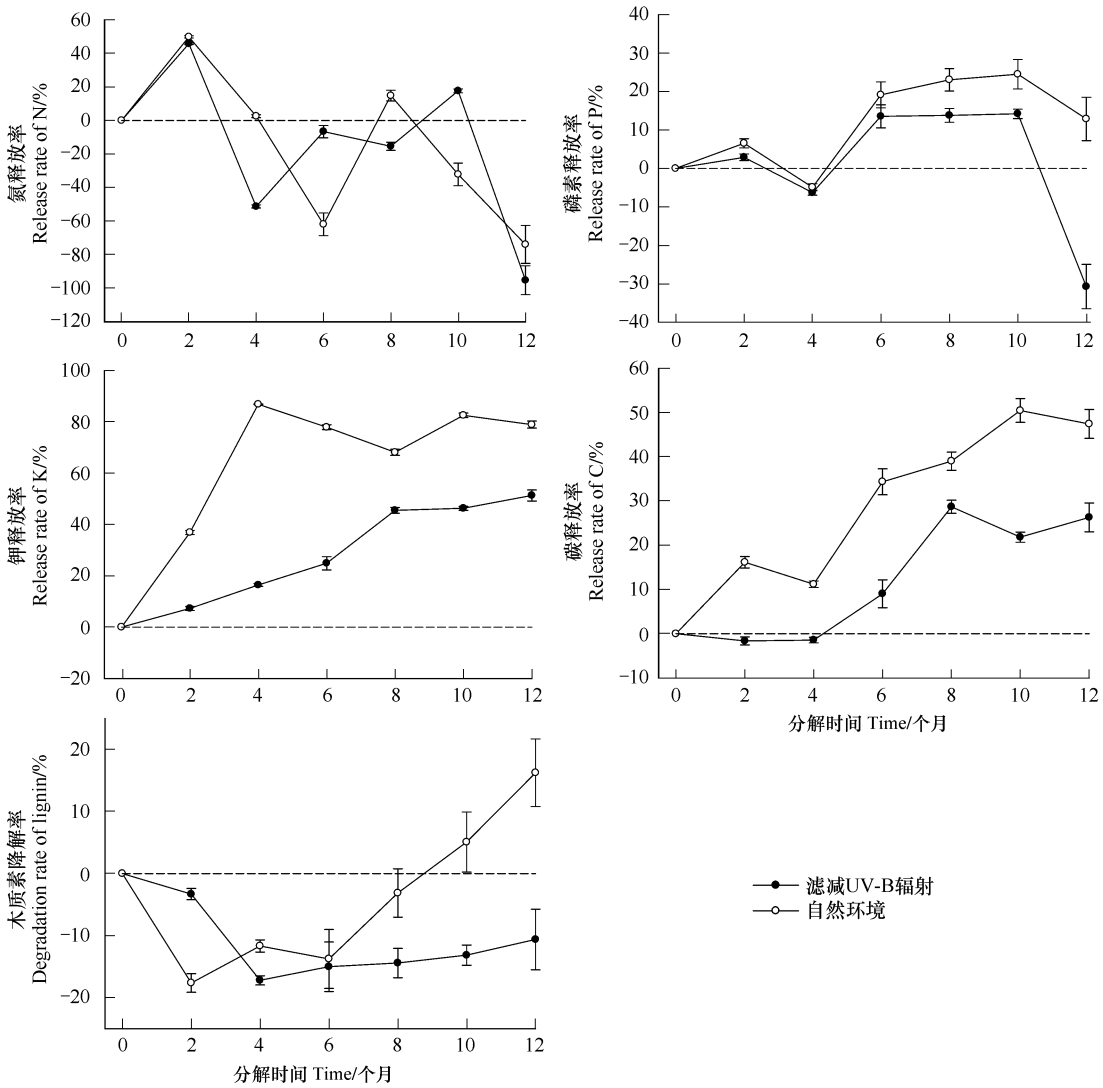

图 2　马尾松凋落叶分解过程中 N、P、K、C 和木质素的释放率(%)

Fig. 2　Release rate of N, P, K, C, and lignin in leaf litter decomposition of *P. massoniana* during January 2009 to December 2009

不能满足分解者对 N 的需求,分解者必须从环境中固定外源 N,因而环境中 N 的有效性将影响凋落物 N 的释放[15]。Berg[35]提出各种凋落物在含氮量大约在 0.3%—1.4% 范围内出现氮的固定,而含氮量在 0.6%—2.8% 范围内则有氮的释放,两者之间有较大的交叉,说明还可能与其它因素有关。耿晓源[36]列出 6 种叶子从氮素的固定与释放间的转化临界值,范围在 0.96%—2.38% 之间。本研究中,氮元素在两种辐射环境下均经历了类似的先释放后富集过程,但没有表现出明显的富集与释放间的转化临界值,UV-B 辐射对氮的释放也没有表现出明显的作用(表 2,图 2)。凋落物的 C/N 比值和 lignin/N 比值也是控制氮元素释放的重要因子[15,37-38]。本研究中统计分析显示在两种 UV-B 辐射环境下氮的释放均与分解过程中 C/N 比值呈显著相关($P<0.05$),与 lignin/N 比值呈极显著相关($P<0.01$)。

磷元素在两种辐射环境下也经历了类似的先释放后富集再释放过程,但在分解 6 个月后,磷在自然环境下的释放明显快于 UV-B 辐射滤减环境(图 2),表明 UV-B 辐射加快了凋落物 P 元素的释放。Pancotto 等[13]也发现自然环境下大麦叶的磷释放要高于 UV-B 辐射滤减环境。磷的释放同 C/P 比值密切相关。C/P 的关键值在 200—480 之间[39-40],Gosz 等[39]发现当 C/P 低于 480 时,磷开始表现为净释放。试验数据也基本符合这一规律(表 3),但在 UV-B 滤减情况下分解到第 10 个月时,磷表现出突然的富集趋势,其中具体原因尚需

进一步开展研究。

钾以可溶性盐基形式存在于植物体内,易于渗滤释放。已有研究结果表明,在凋落物分解过程中,钾元素表现为直接释放,在分解早期很快就被淋洗掉,因此浓度始终呈下降趋势[41-43]。在本研究中,钾在分解过程中一直表现为净释放,且自然环境下钾元素的释放一直高于 UV-B 滤减环境,表明 UV-B 辐射促进了马尾松凋落叶钾元素的净释放。

碳是构成凋落物的主要元素。林地凋落物层的碳储量是森林生态系统碳库的一个重要组成部分。凋落物中碳的释放速度将影响到生态系统的碳格局和碳平衡。UV-B 辐射将通过影响凋落物的分解而作用于地表凋落物层的碳含量。新鲜的凋落物分解过程中只有 20% 的碳留存在土壤有机质中,而 80% 的碳将损失掉[44]。Raich 等[45]估计,全球每年因凋落物分解(包括枯死根)释放的碳为 68 Pg ($Pg=10^{15}$ g),约占全球年碳通量的 70%。因此,凋落物的分解是碳循环的一个关键过程。一般情况下,随着分解的进行,凋落物的残留量会逐步减少,凋落物中的碳素含量会逐渐降低,碳释放率会逐渐增加。李海涛等[26]对亚热带红壤丘陵区内的人工林类型马尾松、湿地松(*Pinus elliottii*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、木荷(*Schima superba*)+马尾松混交林的凋落物的分解及其碳素释放动态进行了研究,结果表明碳在各林分凋落物中始终表现为净释放。方晰等[46]研究了亚热带杉木人工林凋落物量及其分解过程中碳素的释放率,结果表明,杉木针叶、枯枝的碳素含量均随时间的推移而下降,碳释放率均随时间的推移而增大,但凋落物中碳素的释放规律与总干物质的分解速度并不完全一致。本研究发现,碳素在两种 UV-B 辐射环境下均表现为净释放,释放动态与凋落物的失重基本一致,且在自然 UV-B 辐射环境下释放显著快于 UV-B 辐射滤减环境,这意味着 UV-B 辐射降低了马尾松林凋落物层的碳储量。

References:

[1] Austin A T, Vivanco L. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. Nature, 2006, 442(7102): 555-558.

[2] Flint S D, Ryel R J, Caldwell M M. Ecosystem UV-B experiments in terrestrial communities: a review of recent findings and methodologies. Agricultural and Forest Meteorology, 2003, 120(1/4): 177-189.

[3] Brandt L A, King J Y, Milchunas D G. Effects of ultraviolet radiation on litter decomposition depend on precipitation and litter chemistry in a shortgrass steppe ecosystem. Global Change Biology, 2007, 13(10): 2193-2205.

[4] Pancotto V A, Sala O E, Cabello M, López N I, Robson T M, Ballaré C L, Caldwell M M, Scopel A L. Solar UV-B decreases decomposition in herbaceous plant litter in Tierra del Fuego, Argentina: potential role of an altered decomposer community. Global Change Biology, 2003, 9(10): 1465-1474.

[5] Johnson D, Campbell C D, Lee J A, Callaghan T V, Gwynn-Jones D. Arctic microorganisms respond more to elevated UV-B radiation than CO_2. Nature, 2002, 416(6876): 82-83.

[6] Hoorens B, Aerts R, Stroetenga M. Elevated UV-B radiation has no effect on litter quality and decomposition of two dune grassland species: evidence from a long-term field experiment. Global Change Biology, 2004, 10(2): 200-208.

[7] Gallo M E, Sinsabaugh R L, Cabaniss S E. The role of ultraviolet radiation in litter decomposition in arid ecosystems. Applied Soil Ecology, 2006, 34(1): 82-91.

[8] Smith W K, Gao W, Steltzer H, Wallenstein M D, Tree R. Moisture availability influences the effect of ultraviolet-B radiation on leaf litter decomposition. Global Change Biology, 2010, 16(1): 484-495.

[9] Newsham K K, Anderson J M, Sparks T H, Splatt P, Woods C, Mcleod A R. UV-B effect on *Quercus robur* leaf litter decomposition persists over four years. Global Change Biology, 2001, 7(4): 479-483.

[10] Tegelberg R, Julkunen-Tiitto R, Aphalo P J. The effects of long-term elevated UV-B on the growth and phenolics of field-grown silver birch(*Betula pendula*). Global Change Biology, 2001, 7(7): 839-848.

[11] McLeod A R, Newsham K K, Fry S C. Elevated UV-B radiation modifies the extractability of carbohydrates from leaf litter of *Quercus robur*. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(1): 116-126.

[12] Day T A, Zhang E T, Ruhland C T. Exposure to solar UV-B radiation accelerates mass and lignin loss of *Larrea tridentata* litter in the Sonoran Desert. Plant Ecology, 2007, 193(2): 185-194.

[13] Pancotto V A, Sala O E, Robson T M, Caldwell M M, Scopel A L. Direct and indirect effects of solar ultraviolet-B radiation on long-term

decomposition. Global Change Biology, 2005, 11(11): 1982-1989.

[14] Robson T M, Pancotto V A, Scopel A L, Flint S D, Caldwell M M. Solar UV-B influences microfaunal community composition in a Tierra del Fuego peatland. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(12): 2205-2215.

[15] Parton W, Silver W L, Burke I C, Grassens L, Harmon M E, Currie W S, King J Y, Adair E C, Brandt L A, Hart S C, Fasth B. Global-scale similarities in nitrogen release patterns during long-term decomposition. Science, 2007, 315(5810): 361-364.

[16] Aerts R. The freezer defrosting: global warming and litter decomposition rates in cold biomes. Journal of Ecology, 2006, 94(4): 713-724.

[17] 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 Ecologica Sinica, 2008, 28(9): 4414-4423.

[18] Henry H A L, Brizgys K, Field C B. Litter decomposition in a California annual grassland: interactions between photodegradation and litter layer thickness. Ecosystems, 2008, 11(4): 545-554.

[19] Rozema J, Tosserams M, Nelissen H J M, van Heerwaarden L, Broekman R A, Flierman N. Stratospheric ozone reduction and ecosystem processes: enhanced UV-B radiation affects chemical quality and decomposition of leaves of the dune grassland species *Calamagrostis epigeios*. Plant Ecology,1997, 128(1/2): 285-294.

[20] Moody S A, Paul N D, Björn L O, Callaghan T V, Lee J A, Manetas Y, Rozema J, Gwynn-Jones D, Johanson U, Kyparissis A, Oudejans A M C. The direct effects of UV-B radiation on *Betula pubescens* litter decomposing at four European field sites. Plant Ecology, 2001, 154(1/2): 27-36.

[21] Newsham K K, Geissler P A, Nicolson M J, Peat H J, Lewis-Smith R I. Sequential reduction of UV-B radiation in the field alters the pigmentation of an Antarctic leafy liverwort. Environmental and Experimental Botany, 2005, 54(1): 22-32.

[22] Zhang H L, Song X Z, Ai J G, Jiang H, Yu S Q. A review of UV-B radiation and its influence on litter decomposition. Journal of Zhejiang Forestry College, 2010, 27(1): 134-142.

[23] Caldwell M M. Solar UV irradiation and the growth and development of higher plant // Giese A C, ed. Photophysiology. New York: Academic Press, 1971: 131-177.

[24] Moore T R, Trofymow J A, Taylor B, Prescott C, Camiré C, Duschene L, Fyles J, Kozak L, Kranabetter M, Morrison I, Siltanen M, Smith S, Titus B, Visser S, Wein R, Zoltai S. Litter decomposition rates in Canadian forests. Global Change Biology, 1999, 5(1): 75-82.

[25] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposition in ecological system. Ecology, 1963, 44(2): 322-331.

[26] Li H T, Yu G R, Li JY, Chen Y R, Liang T. Decomposition dynamics and nutrient release of litters for four artificial forests in the red soil and hilly region of subtropical China. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(3): 898-908.

[27] Chapin F S Ⅲ, Matson P A, Mooney H A. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. New York: Springer-Verlag, 2002: 129-144.

[28] Niemi R, Martikainen P J, Silvola J, Wulff A, Turtola S, Holopainen T. Elevated UV-B radiation alters fluxes of methane and carbon dioxide in peatlands microcosms. Global Change Biology, 2002, 8(4): 361-371.

[29] Peng S L, Liu Q. The dynamics of forest litter and its responses to global warming. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(9): 1534-1544.

[30] Guo J F, Yang Y S, Chen G S, Lin P, Xie J S. A review on litter decomposition in forest ecosystem. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(4): 93-100.

[31] Gallardo A, Merino J. Nitrogen immobilization in leaf litter at two Mediterranean ecosystems of SW Spain. Biogeochemistry, 1992, 15(3): 213-228.

[32] McClaugherty C A, Pastor J, Aber J D, Melillo J M. Forest litter decomposition in relation to soil nitrogen dynamics and litter quality. Ecology, 1985, 66(1): 266-275.

[33] Mo J M, Brown S, Kong G H, Lenart M, Zhang Y C. Litter decomposition and its nutrient dynamics of a pine forest in Dinghushan biosphere reserve. Acta Phytoecologica Sinica, 1996, 20(6): 534-542.

[34] Lisanework N, Michelsen A. Litterfall and nutrient release by decomposition in three plantations compared with a natural forest in the Ethiopian highland. Forest Ecology and Management. 1994, 65(2/3): 149-164.

[35] Berg B, Staaf H. Leaching, accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter. Ecology Bull, 1981, 33: 163-173.

[36] Geng X Y, Pastor J, Dewey B. Studies on leaves decompostion of some tree species in Changbai mountain. Acta Phytoecologica Sinica, 1993, 17(1): 90-96.

[37] Frey S D, Elliott E T, Paustian K, Peterson G A. Fungal translocation as a mechanismfor soil nitrogen inputs to surface residue decomposition in a no-tillage agroecosystem. Soil Biology and Biochemistry, 2000, 32(5): 689-698.

[38] Prescott C E, Vesterdal L, Pratt J, Venner K H, de Montigny L M, Trofymow J A. Nutrient concentrations and nitrogen mineralization in forest floors of single species conifer plantations in coastal British Columbia. Canada Journal of Forest Research, 2000, 30(9): 1341-1352.

[39] Gosz J R, Likens G E, Bormann F H. Nutrient release from decomposing leaf and branch litter in the Hubbard Brook Forest, New Hampshire.

Ecological Monographs, 1973, 43(2): 173-191.

[40] Dziadowiec H. The decomposition of plant litterfall in a oak-linden-hornbeam forest and an oak-pine mixed forest of the Bialoweza national Park. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 1987, 56: 169-185.

[41] Yang Y S, Guo J F, Chen Y X, Chen G S, Zheng Y M. Comparatively study on litter decomposition and nutrient dynamics between plantations of Fokienia hodginsii and Cunninghamia lanceolata. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(3): 19-25.

[42] Xiao C Y, Huang Q C, Ruan H H. Characteristics of decomposition of litter from pine, oak and pine-oak mixed forests. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(5): 763-767.

[43] Bubb K A, Xu Z H, Simpson J A, Saffigna P G. Some nutrient dynamics associated with litterfall and litter decomposition in hoop pine plantations of southeast Queensland, Australia. Forest Ecology and Management, 1998, 110(1/3): 343-352.

[44] Ngao J, Epron D, Brechet C, Granier A. Estimating the contribution of leaf litter decomposition to soil CO_2 efflux in a beech forest using ^{13}C-depleted litter. Global Change Biology, 2005, 11(10): 1768-1776.

[45] Raich J W, Schlesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. Tellus, 1992, 44B(2):81-99.

[46] Fang X, Tian D L, Xiang W H, Lei P F. Carbon release ratios in the decomposition process of litter. Journal of Central South Forestry University, 2005, 25(6): 12-16.

参考文献:

[17] 宋新章, 江洪, 张慧玲, 余树全, 周国模, 马元丹, Chang S X. 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.

[22] 张慧玲, 宋新章, 哀建国, 江洪, 余树全. 增强紫外线-B 辐射对凋落物分解的影响研究综述. 浙江林学院学报, 2010, 27(1): 134-142.

[26] 李海涛, 于贵瑞, 李家永, 陈永瑞, 梁涛. 亚热带红壤丘陵区四种人工林凋落物分解动态及养分释放. 生态学报, 2007, 27(3): 898-908.

[30] 郭剑芬, 杨玉盛, 陈光水, 林鹏, 谢锦升. 森林凋落物分解研究进展. 林业科学, 2006, 42(4): 93-100.

[33] 莫江明, 布朗, 孔国辉, 兰娜玛丽尼, 张佑昌. 鼎湖山生物圈保护区马尾松林凋落物的分解及其营养动态研究. 植物生态学报, 1996, 20(6): 534-542.

[36] 耿晓源, Pastor J, Dewey B. 长白山某些树种叶子的分解动态研究. 植物生态学与地植物学学报, 1993, 17(1): 90-96.

[41] 杨玉盛, 郭剑芬, 陈银秀, 陈光水, 郑燕明. 福建柏和杉木人工林凋落物分解及养分动态的比较. 林业科学, 2004, 40(3): 19-25.

[42] 肖慈英, 黄青春, 阮宏华. 松、栎纯林及混交林凋落物分解特性研究. 土壤学报, 2002, 39(5): 763-767.

[46] 方晰, 田大伦, 项文化, 雷丕峰. 杉木人工林凋落物量及其分解过程中碳的释放率. 中南林学院学报, 2005, 25(6): 12-16.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 8 April, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The relationship between *Populus euphratica*'s radial increment and groundwater level at the lower reach of Tarim River ····· AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (2053)
Influence of elevation factor on soil profile texture configuration: a case study of the alluvial plain of Fengqiu County ····· TAN Manzhi, MI Shuxiao, LI Kaili, et al (2060)
Effects of ozone on AsA-GSH cycle in soybean leaves ····· WANG Junli, WANG Yan, ZHAO Tianhong, et al (2068)
The effects of physical and chemical factors on the growth and lipid production of *Chlorella* ····· ZHANG Guiyan, WEN Xiaobin, LIANG Fang, et al (2076)
Response of net productivity of masson pine plantation to climate change in North Subtropical Region ····· CHENG Ruimei, FENG Xiaohui, XIAO Wenfa, et al (2086)
Soil respiration of *Zoysia matrella* turfgrass in subtropics ····· LI Xibo, YANG Yusheng, ZENG Hongda, et al (2096)
Effect of UV-B radiation on the leaf litter decomposition and nutrient release of *Pinus massoniana* ····· SONG Xinzhang, ZHANG Huiling, JIANG Hong, et al (2106)
Physiological ecological effect of endophyte infection on *Achnatherum sibiricum* under drought stress ····· HAN Rong, LI Xia, REN Anzhi, et al (2115)
Zinc Tolerance and Accumulation Characteristics of *Armillara mellea* ····· ZHU Lin, CHENG Xianhao, LI Weihuan, et al (2124)
Expansion strategies of *Caragana stenophylla* in the arid desert region ····· ZHANG Jianhua, MA Chengcang, LIU Zhihong, et al (2132)
Effects of mixed plant residues from the Loess Plateau on microbial biomass carbon and nitrogen in soil ····· WANG Chunyang, ZHOU Jianbin, XIA Zhimin, et al (2139)
Survival strategy of *Stipa krylovii* and *Agropyron cristatum* in typical steppe of Inner Mongolia ····· SUN Jian, LIU Miao, LI Shenggong, et al (2148)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in *Salix psammophila* root-zone soil in Inner Mongolia desert ····· HE Xueli, YANG Jing, ZHAO Lili (2159)
An experimental study on the the effects of different diurnal warming regimes on single cropping rice with Free Air Temperature Increased (FATI) facility ····· DONG Wenjun, DENG Aixing, ZHANG Bin, et al (2169)
Endophytic bacterial diversity in *Achnatherum inebrians* by culture-independent approach ····· ZHANG Xuebing, SHI Yingwu, ZENG Jun, et al (2178)
Hierarchical Partial Least Squares (Hi_PLS) model analysis of the driving factors of Henan's Ecological Footprint (EF) and its development strategy ····· JIA Junsong (2188)
Evaluation on spatial distribution of soil salinity and soil organic matter by indicator Kriging in Yucheng City ····· YANG Qiyong, YANG Jinsong, YU Shipeng (2196)
The toxicity of lupeol of *Inula britanica* on *Tetranychus cinnabarinus* and its effects on mite enzyme activity ····· DUAN Dandan, WANG Younian, CHENG Jun, et al (2203)
Abundance and biodiversity of ammonia-oxidizing archaea and bacteria in littoral wetland of Baiyangdian Lake, North China ····· YE Lei, ZHU Guibing, WANG Yu, et al (2209)
Changes of leaf water potential and water absorption potential capacities of six kinds of seedlings in Karst mount area under different drought stress intensities: Taking six forestation seedlings in karst Mountainous region for example ····· WANG Ding, YAO Jian, YANG Xue, et al (2216)
Comparison of structure and species diversity of *Eucalyptus* community ····· LIU Ping, QIN Jing, LIU Jianchang, et al (2227)
Ecosystem services valuation of the Haihe River basin wetlands ····· JIANG Bo, OUYANG Zhiyun, MIAO Hong, et al (2236)
Effects of *Phragmites australis* on methane emission from a brackish estuarine wetland ····· MA Anna, LU Jianjian (2245)
Genetic differentiation and the characteristics of uptake and accumulation of lead among *Camellia sinensis* populations under different background lead concentrations of soils in Yunnan, China ····· LIU Shengchuan, DUAN Changqun, LI Zhenhua, et al (2253)
Comparison of zooplankton lists between *Coilia mystus* food contents and collections from the Yangtze River Estuary & Hangzhou Bay ····· LIU Shouhai, XU Zhaoli (2263)
Reconstruction and analysis of July-September precipitation in Mt. Dagangshan, China ····· QIAO Lei, WANG Bing, GUO Hao, et al (2272)
Analysis on economic and ecological benefits of no-tillage management of *Carya cathayensis* ····· WANG Zhengjia, HUANG Xingzhao, TANG Xiaohua, et al (2281)
GIS-based analysis of the accessibility of urban forests in the central city of Guangzhou, China ····· ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (2290)

Review and Monograph

Impact factors and uncertainties of the temperature sensitivity of soil respiration ····· YANG Qingpeng, XU Ming, LIU Hongsheng, et al (2301)
The advance of allometric studies on plant metabolic rates and biomass ····· CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2312)
Practice and the research progress on eco-compensation for cultivated land ····· MA Aihui, CAI Yinying, ZHANG Anlu (2321)

Discussion

Soil water holding capacities and infiltration characteristics of three vegetation restoration models in dry-hot valley of Yuanmou ····· LIU Jie, LI Xianwei, JI Zhonghua, et al (2331)

Scientific Note

Effects of secondary, micro- and beneficial elements on rice growth and cadmium uptake ····· HU Kun, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (2341)

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 8 期　（2011 年 4 月）

ACTA ECOLOGICA SINICA
（Semimonthly，Started in 1981）
Vol. 31　No. 8　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
主　　编　冯宗炜
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
广告经营许可证　京海工商广字第 8013 号

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 FENG Zong-Wei
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

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