

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

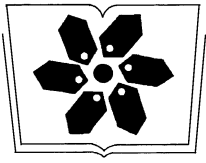
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 5 期
Vol.31 No.5
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 5 期 2011 年 3 月 (半月刊)

目 次

盐胁迫下 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布·····	弋良朋,王祖伟 (1195)
蕙兰病株根部内生细菌种群变化·····	杨 娜,杨 波 (1203)
森林不同土壤层全氮空间变异特征·····	张振明,余新晓,王友生,等 (1213)
基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测·····	罗 翀,徐卫华,周志翔,等 (1221)
黑河胜山自然保护区红松和红皮云杉生长释放判定及解释·····	王晓春,赵玉芳 (1230)
两种大型真菌菌丝体对重金属的耐受和富集特性·····	李维焕,于兰兰,程显好,等 (1240)
2005—2009 年浙江省不同土地类型上空对流层 NO ₂ 变化特征 ·····	程苗苗,江 洪,陈 健,等 (1249)
关帝山天然次生针叶林林隙径高比 ·····	符利勇,唐守正,刘应安 (1260)
鄱阳湖湿地水位变化的景观响应·····	谢冬明,郑 鹏,邓红兵,等 (1269)
模拟氮沉降对华西雨屏区撑绿杂交竹凋落物分解的影响·····	涂利华,戴洪忠,胡庭兴,等 (1277)
喷施芳香植物源营养液对梨树生长、果实品质及病害的影响 ·····	耿 健,崔楠楠,张 杰,等 (1285)
不同覆膜方式对旱砂田土壤水热效应及西瓜生长的影响 ·····	马忠明,杜少平,薛 亮 (1295)
干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响 ·····	张仁和,郑友军,马国胜,等 (1303)
不同供水条件下冬小麦叶与非叶绿色器官光合日变化特征 ·····	张永平,张英华,王志敏 (1312)
水分亏缺下紫花苜蓿和高粱根系水力学导度与水分利用效率的关系 ···	李文娆,李小利,张岁岐,等 (1323)
美洲森林群落 Beta 多样性的纬度梯度性 ·····	陈圣宾,欧阳志云,郑 华,等 (1334)
水体泥沙对菖蒲和石菖蒲生长发育的影响·····	李 强,朱启红,丁武泉,等 (1341)
蚯蚓在植物修复芫污染土壤中的作用·····	潘声旺,魏世强,袁 馨,等 (1349)
石榴园西花蓟马种群动态及其与气象因素的关系·····	刘 凌,陈 斌,李正跃,等 (1356)
黄山短尾猴食土行为·····	尹华宝,韩德民,谢继峰,等 (1364)
扎龙湿地昆虫群落结构及动态·····	马 玲,顾 伟,丁新华,等 (1371)
浙江双栉蝠蛾发生与土壤关系的层次递进判别分析·····	杜瑞卿,陈顺立,张征田,等 (1378)
低温导致中华蜜蜂后翅翅脉的新变异 ·····	周冰峰,朱翔杰,李 月 (1387)
双壳纲贝类 18S rRNA 基因序列变异及系统发生 ·····	孟学平,申 欣,程汉良,等 (1393)
基于物理模型实验的光倒刺鲃生态行为学研究 ·····	李卫明,陈求稳,黄应平 (1404)
中国铁路机车牵引能耗的生态足迹变化 ·····	何吉成 (1412)
城市承载力空间差异分析方法——以常州市为例·····	王 丹,陈 爽,高 群,等 (1419)
水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例 ·····	程怀文,李玉文,徐中民 (1430)
寄主植物叶片物理性状对潜叶昆虫的影响·····	戴小华,朱朝东,徐家生,等 (1440)

专论与综述

C ₄ 作物 FACE (free-air CO ₂ enrichment) 研究进展 ·····	王云霞,杨连新,Remy Manderscheid,等 (1450)
---	------------------------------------

研究简报

石灰石粉施用剂量对重庆酸雨区受害马尾松林细根生长的影响·····	李志勇,王彦辉,于澎涛,等 (1460)
女贞和珊瑚树叶片表面特征的 AFM 观察 ·····	石 辉,王会霞,李秧秧,刘 肖 (1471)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 284 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2011-03

模拟氮沉降对华西雨屏区撑绿杂交竹凋落物分解的影响

涂利华¹, 戴洪忠¹, 胡庭兴^{1,*}, 张健¹, 雒守华¹, 成姚²

(1. 四川农业大学林学院林业生态工程省级重点实验室, 四川雅安 625014; 2. 重庆市万盛区林业局, 重庆万盛 400800)

摘要:从2008年1月至2010年1月,对华西雨屏区撑绿杂交竹(*Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsi*)人工林进行了模拟氮沉降试验,氮沉降水平分别为对照(CK, 0 g·m⁻²·a⁻¹)、低氮(5 g·m⁻²·a⁻¹)、中氮(15 g·m⁻²·a⁻¹)和高氮(30 g·m⁻²·a⁻¹)。利用凋落袋法对杂交竹凋落叶和凋落箨进行原位分解试验,并在每月下旬定量地对各处理施氮(NH₄NO₃)。结果表明,自然状态下杂交竹凋落叶和凋落箨分解95%所需时间分别为2.9、1.5 a;氮沉降显著抑制了凋落叶的分解,在分解后期3个氮沉降处理凋落叶无灰分质量残留率均显著大于对照,氮沉降对凋落箨分解无明显影响;氮沉降显著抑制了凋落叶中木质素和纤维素的分解。杂交竹凋落叶在分解后期质量损失缓慢,处于较稳定状态,氮沉降的增加使得凋落物的残留率稳定在一个更高的水平,表明氮沉降的增加可能会使更多的凋落物残体和稳定有机质留存于杂交竹林土壤中,从而增加杂交竹林土壤碳贮存。

关键词:氮沉降;凋落物分解;撑绿杂交竹;华西雨屏区

Effect of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in a *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsi* plantation, Rainy Area of West China

TU Lihua¹, DAI Hongzhong¹, HU Tingxing^{1,*}, ZHANG Jian¹, LUO Shouhua¹, CHENG Yao²

1 Key Laboratory of Ecological Engineering of Sichuan Province, College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China

2 Wansheng District Forestry Bureau, Wansheng, Chongqing 400800, China

Abstract: The human activities have substantially altered the nitrogen (N) cycle, and have greatly accelerated the formation and deposition of reactive N. The N cycle alteration has strongly affected the cycles of many other elements, especially the carbon (C) as well. The response of plant growth to N deposition is generally positive in forest ecosystems. However, total C storage of ecosystem depends on the balance between production and decomposition, both of which are affected by projected increase of N deposition. Thus the uncertainty regarding the decomposition response of litter to N deposition has often limited the evaluation of C balance response in ecosystem. Most studies regarding the effects of N deposition on litter decomposition have been conducted in coniferous forests. Bamboo forests are an important forest in the world, but to our knowledge, there has not yet been a study of the effect of N deposition on litter decomposition in bamboo ecosystems. Furthermore, bamboo forests/ plantations are mainly distributed in the southern provinces of China where there is considerable atmospheric N deposition. Therefore, understanding the effect of increasing N deposition on litter decomposition is critical for predicting how the carbon status of bamboo ecosystems will respond to human activities.

From January 2008, a two year field experiment of simulated nitrogen deposition has been conducted in a *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsi* plantation, Rainy Area of West China. The levels of simulated N deposition were control (CK, 0 g·m⁻²·a⁻¹), low N (5 g·m⁻²·a⁻¹), medium N (15 g·m⁻²·a⁻¹) and high N (30 g·m⁻²·a⁻¹). A field experiment using the litterbag method was conducted on the decomposition of leaf litter and sheath litter of *B. pervariabilis* × *D. mopsi*. In the end of each month, NH₄NO₃ was added into N-treated plots. The $T_{95\%}$ (the time of 95% mass loss) of leaf litter and

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAC01A11); 四川农业大学“211”工程创新团队项目资助

收稿日期:2010-09-04; **修订日期:**2011-01-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hutx001@yahoo.com.cn

sheath litter were 2.9 and 1.5 years, respectively. Simulated nitrogen deposition significantly slowed the decomposition of leaf litter through inhibiting the decomposition of lignin and cellulose. In the later stages of decomposition of leaf litter, the ash-free mass remaining in control was significantly lower than those in the three nitrogen treatments. However, there was no significant effect of different N application on decomposition of sheath litter. This study suggests that continuous nitrogen deposition may increase the soil carbon storage through inhibiting the decomposition of leaf litter, and conserving more stable organic matter in the soil in the bamboo plantation ecosystem.

Key Words: nitrogen deposition; litter decomposition; *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsis*; Rainy Area of West China

从工业革命开始,人类活动制造了大量活性氮,使得大气氮沉降极大地增加^[1]。由于全球工农业的持续发展,这一现象将在未来 40a 进一步加剧^[1]。受全球变化研究的推动,陆地生态系统碳平衡对氮沉降的响应备受关注。一系列长期的模拟氮沉降试验或大范围调查研究表明,氮沉降在过去几十年通过增加土壤碳和植被碳的方式,显著增加了欧洲和北美北方森林和温带森林净碳吸存^[2-5]。作为三大氮沉降区之一的中国,虽然目前氮沉降研究处于起步阶段,但近期仍取得了一些成果^[6-8]。

总体来说,氮沉降研究主要集中于北美和欧洲的温带和北方森林生态系统,而热带亚热带森林生态系统对氮沉降的响应仍存在很大的不确定性。并且,早期氮沉降研究所涉及的森林生态系统绝大多数为针叶林生态系统,氮沉降对阔叶林生态系统的影响在 21 世纪才开始引起学术界的重视。即便如此,氮沉降研究所涉及的森林类型仍十分有限。竹林是世界最重要的森林类型之一,在世界分布广泛。中国是竹林面积最广的国家,竹林占整个森林面积的 3%,并且竹林生物量蓄积占全国森林总生物量蓄积的 10%^[9],竹林生态系统碳储量占我国森林碳储量的 5.1%^[10]。因此,竹林生态系统在中国乃至全球碳循环过程中具有举足轻重的作用。但目前,氮沉降对竹林生态系统碳循环关键过程的影响的研究十分缺乏^[11-12]。竹林生态系统碳循环对氮沉降响应的不确定性,将会制约对陆地生态系统碳平衡对氮沉降响应的准确评估。我国竹林主要分布在南方各省^[9],同时这些地区也是氮沉降十分严重的地区,这也突显了研究竹林生态系统对氮沉降响应的紧迫性。

森林凋落物分解作为森林生态系统碳循环中最关键的过程之一,是将光合作用产物转变为无机化合物和稳定的土壤有机物的主要过程^[13]。在生物周期尺度上,这一过程是植物的主要营养源,也是微生物的主要能量源和营养源^[14]。目前研究结果表明,由于生态系统环境因子的差异和凋落物不同的生物化学特性,氮沉降对各种生态系统凋落物分解有抑制或促进作用^[15-17],进而通过改变稳定有机质的留存量^[18]增加或减少土壤碳贮存^[19]。

华西雨屏区是受邛崃山脉地形的影响而形成的四川盆地西部一个多雨的狭长地带,该地区氮沉降形式主要为湿沉降。撑绿杂交竹(*Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsis*) (以下简称杂交竹)是我国退耕还林的重要树种之一,也是我国西南地区重要的经济植物资源。本研究拟通过两年的模拟氮沉降和原位分解试验,探索杂交竹林 2 种凋落物组分(凋落叶和凋落箨)分解对氮沉降的响应方向和程度,预测在氮沉降增加的背景下该地区竹林生态系统土壤碳状态的发展趋势,以期为人工竹林生态系统的科学管理提供基础数据和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在四川省洪雅县柳江镇(29°95' N, 103°38' E)。该地区属于中亚热带湿润性山地气候,年平均气温 14—16 °C, 1 月平均气温 6.6 °C, 7 月平均气温 25.7 °C。20a (1980—2000 年)平均降水量为 1 489.8 mm,年内降水分配不均,主要集中于 6—8 月,年平均相对空气湿度为 82%。2008 年氮湿沉降量为 8.241 g/m²^[11]。试验地为 2000 年退耕还林工程建成的杂交竹林,土壤为紫色土,样地林分结构和土壤特征见表 1。

1.2 试验设计

2007年9月,收集新鲜凋落叶和凋落箨,风干后剪成小方块(宽度约3 cm),称重(凋落叶10.0 g,凋落箨15.0 g)后装入20 cm×20 cm的尼龙网袋(上下表面孔径均为1 mm)。分别取2种凋落袋各9袋测定初始化学性质(表2)及其含水量。2007年11月,在撑绿杂交竹林内选择具有代表性的林地作为氮沉降试验样地。在样地中建立12个3 m×3 m的样方,每个样方之间设>3 m的缓冲带。用NH₄NO₃进行氮沉降处理,共设4个氮水平:对照(CK, 0 g·m⁻²·a⁻¹)、低氮(5 g·m⁻²·a⁻¹)、中氮(15 g·m⁻²·a⁻¹)和高氮(30 g·m⁻²·a⁻¹),每个水平3个重复。将年施用量平均分成12等份,从2008年1月开始,每月下旬对各样方进行定量模拟氮沉降处理,具体方法是将各水平所需NH₄NO₃溶解至1 L水中,用喷雾器在该水平样方中来回均匀喷洒,对照只喷洒清水。2008年1月21日,将准备好的凋落袋置于各样方地表,使其自然分解,每样方放置凋落叶和凋落箨数目分别为27和21袋。

表1 撑绿杂交竹林样地林分结构和土壤特征

林分结构 Stand structure					土壤特征 Soil characteristics				
郁闭度 Canopy density	株数密度 Plant density /(株/hm ²)	平均竹高 Mean tree height/m	平均胸径 Mean DBH /cm	凋落物蓄积 Litter floor accumulation /(t/hm ²)	pH	总碳 Total C /(mg/g)	总氮 Total N /(mg/g)	有效磷 Available P /(mg/g)	土壤深度 Soil depth /cm
0.9	13 320	10	6.0	1.2	4.2 ± 0.4	13.4 ± 0.2	1.58 ± 0.02	97.85 ± 1.70	80

土壤养分和 pH 值测定土层为 0—10 cm

表2 两种凋落物组分初始化学特性

凋落物组分 Litter fraction	C /(g/kg)	N /(g/kg)	P /(g/kg)	木质素 Lignin (L) /(g/kg)	纤维素 Cellulose /(g/kg)	C/N	N/P	L/N
凋落叶 Leaf litter	374.1 (2.0)	13.1 (0.03)	1.06 (0.01)	111.0 (1.9)	245.4 (2.0)	28.6 (0.2)	12.3 (0.0)	8.5 (0.2)
凋落箨 Sheath litter	447.2 (8.7)	8.38 (0.02)	0.84 (0.01)	277.2 (7.5)	255.2 (5.0)	53.3 (1.0)	9.9 (0.1)	33.1 (0.9)

表中数值为平均值,括号中数值为标准差(N=9)

1.3 凋落物样品收集、处理和分析

从2008年3月开始,以2至3个月间隔将凋落叶和凋落箨样品收回,每次每样方每种凋落袋取3袋(即每水平取9袋)。凋落叶分9次取回,凋落箨分7次取回,两种凋落物组分的分解总时间均为2 a。凋落袋取回后,风干,除去侵入根系和泥土,于65℃烘干至恒重,称重并记录。将凋落物样品粉碎过1 mm筛后装袋,供化学分析所用。凋落物木质素、纤维素和灰分含量用酸性洗涤纤维法(acid detergent fiber method)^[20]测定。所有化学分析均作3个重复。

1.4 数据处理

每阶段凋落物无灰分质量残留率(remaining ash-free mass MR)计算方法为:% MR = (X₁/X₀) × 100,式中X₁为该阶段无灰分质量(g),X₀为初始凋落物无灰分质量(g)。

每阶段凋落物木质素残留率(LR)计算方法为:% LR = (C₁ × M₁) / (C₀ × M₀) × 100,式中C₁为该阶段木质素含量(mg/g),M₁为该阶段凋落物总干质量(g),C₀为初始木质素含量(mg/g),M₀为初始凋落物总干质量(g)。纤维素残留率计算方法同木质素。

利用SPSS15.0软件(SPSS Inc., USA)对凋落物的质量损失进行Olson负指数衰减模型拟合^[21]:y = ae^{-kt}。式中y为质量残留率(%);a为拟合参数;k为年分解系数(kg·kg⁻¹·a⁻¹);t为时间(a)。凋落物分解50%(T_{50%})和95%(T_{95%})所需时间(a)的计算方法为:T_{50%} = -ln(1-0.50)/k;T_{95%} = -ln(1-0.95)/k^[21]。

利用SPSS15.0中One-way ANOVA过程对每次取样无灰分质量残留率、木质素残留率和纤维素残留率进

行方差分析,采用 Fisher's LSD 法进行多重比较。用 SigmaPlot10.0 (Systat Software Inc., USA) 软件绘图。统计显著水平均为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 氮沉降对撑绿杂交竹凋落物分解的影响

各处理样方中杂交竹两种凋落物组分的分解过程均具有明显的阶段性(图 1)。凋落叶在分解第 1 年时质量损失较快,进入第 2 年分解后,分解速率变得十分缓慢。而凋落箨分解过程的阶段性则更为明显,各处理凋落箨在前 18 个月分解过程中质量损失均达 90%,18 个月后,各处理凋落箨分解基本处于停滞状态。

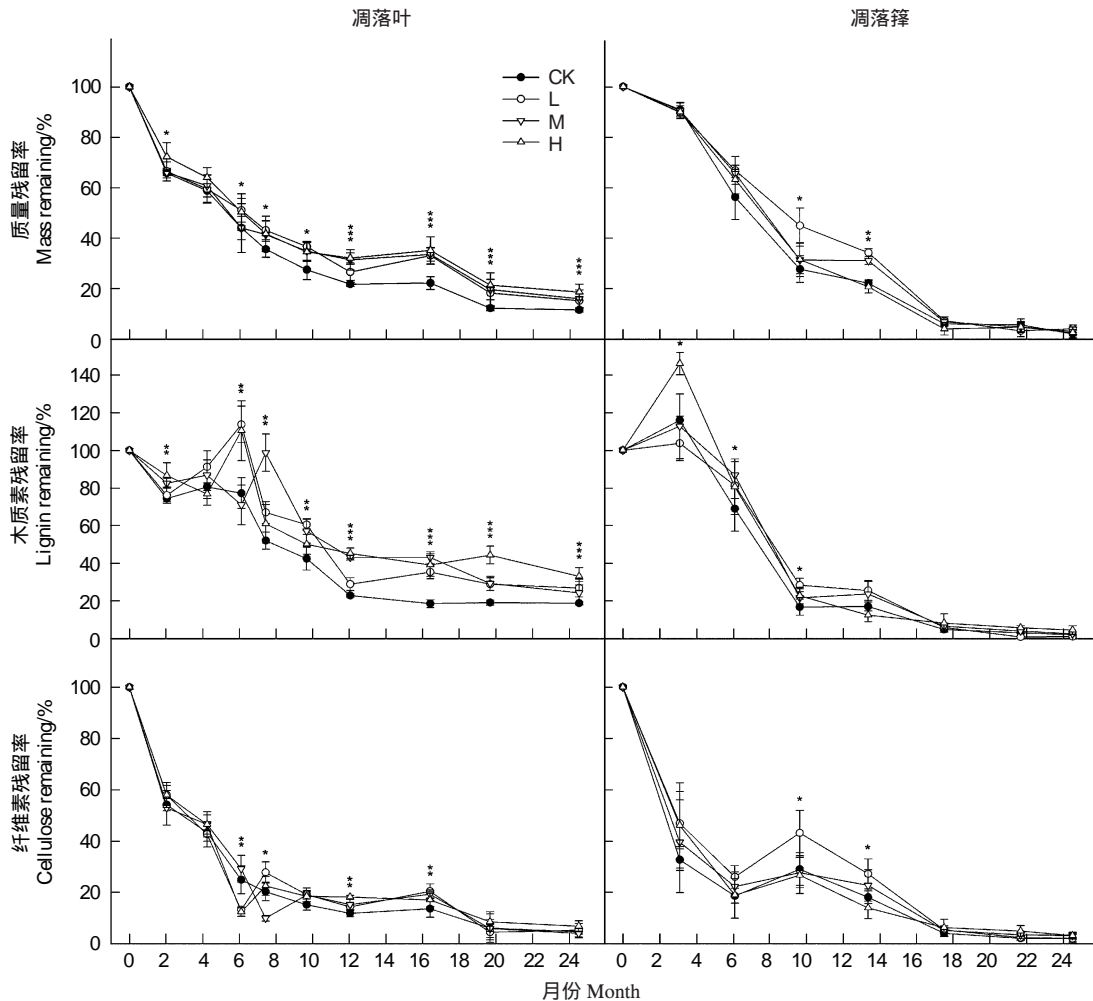


图 1 两种凋落物组分分解过程无灰分质量、木质素和纤维素残留率

Fig. 1 The remaining rate of mass (ash-free dry weight basis), lignin and cellulose in different N treatments for each decomposing litter fractions

1 个、2 个或 3 个星号表示有 1 个、2 个或 3 个氮处理与对照之间差异达到显著水平

氮沉降在杂交竹凋落叶分解中后期具有显著抑制作用。从分解第 12 个月开始,以后各次取样均表明,3 个氮沉降处理凋落叶无灰分质量残留率均显著大于对照 ($P < 0.05$),并且对照 < 低氮 < 中氮 < 高氮。对照、低氮、中氮和高氮样方中凋落叶分解 95% 所需时间分别为 2.88、3.50、3.65、3.94 a (表 2)。氮沉降对凋落箨分解的影响不明显,只在个别取样点发现氮处理作用达到显著水平,并且在分解后期,各处理凋落箨无灰分质量残留率基本一致,各凋落箨分解 95% 所需时间为 1.5 a 左右。

杂交竹两种凋落物组分在分解过程中,木质素残留率在初期有一定波动,随后基本为释放过程。在分解

后期,2种组分木质素残留率变化很小,处于较稳定状态。氮沉降对木质素的影响与其对凋落物质量损失的影响较为一致;氮沉降对凋落叶整个分解过程中木质素的分解造成了抑制;氮沉降抑制了凋落箨前期木质素分解,然而分解后期由于木质素残留率过低,各处理之间差异不显著。

两种凋落物组分纤维素分解与质量损失模式类似,均为分解初期快速损失,而分解后期变化较小。总体上来说,两种凋落物纤维素与木质素对氮沉降的响应方向是一致的,但在分解后期,由于纤维素残留率过低,各处理之间差异并未达到显著水平。

表 2 杂交竹两凋落物组分质量残留率与时间的指数回归方程

Table 2 Models for the relationship between mass remaining ($y, %$) of litter fractions and time (a)

凋落物组分 Litter fraction	处理 Treatment	a	k	R^2	P	N	$T_{50\%}$	$T_{95\%}$
模型: $y = ae^{-kt}$								
凋落叶 LL	CK	77.50	1.04	0.92	< 0.001	90	0.73	2.88
	L	80.03	0.86	0.90	< 0.001	90	0.54	3.50
	M	77.89	0.82	0.89	< 0.001	90	0.49	3.65
	H	78.74	0.76	0.87	< 0.001	90	0.42	3.94
凋落箨 SL	CK	136.91	1.99	0.92	< 0.001	72	1.38	1.51
	L	152.10	1.92	0.87	< 0.001	72	1.35	1.56
	M	143.41	1.92	0.91	< 0.001	72	1.35	1.56
	H	140.43	2.06	0.90	< 0.001	72	1.42	1.45

$T_{50\%}$ 和 $T_{95\%}$ 分别表示凋落物分解 50% 和 95% 所需时间

3 讨论

本研究发现,杂交竹 2 凋落物组分在分解过程中具有两个阶段,分解初期质量损失快速,而后期分解较为缓慢,这一现象在许多凋落物研究中均有发现^[22]。从全球尺度上来说,凋落物分解速率主要决定于气候和凋落物基质^[13, 22-25]。凋落物分解过程是生物和非生物因素影响的结果,前期的分解与凋落物易分解成分含量和当地的气候条件相关^[18],而后期分解受气候影响较小,在更大程度上受控于难分解成分如木质素含量以及分解这些成分的微生物和酶活性^[26]。自然状态下,杂交竹 2 种凋落物组分分解速率均较快,凋落叶和凋落箨分解 95% 所需时间分别为 2.9、1.5 a,比亚热带常绿阔叶林凋落叶分解速率快^[27]($T_{95\%}$ 为 4.7 a)。竹林是地球上最速生的植被之一^[9],植被的快速生长要以养分的快速利用与周转为前提。本研究结果表明快速的养分周转与速生树种组成的生态系统有密切的联系。类似的快速分解过程在桉树凋落叶分解研究中也发现^[28]。虽然杂交竹凋落箨木质素含量和 C/N 均高于凋落叶,也即凋落箨化学质量更差,但凋落箨分解速率反而较凋落叶更快。由于凋落箨物理组织结构较为疏松,凋落箨内部有许多孔隙,这样的结构可能有利于土壤动物的破碎作用以及微生物的生物降解作用,同时箨的孔隙能贮存大量水分,加之华西雨屏区降雨频繁,林地表面阴湿,因此加速了凋落箨的分解。虽然木质素含量、C/N、N 含量等为评价同类凋落物基质质量的主要指标^[17],但在比较不同凋落物种类甚至不同树种的同类凋落物(如凋落叶)时,除化学性质外的物理性质也值得考虑。例如, Gallardo 与 Merino^[29]研究了两种地中海生态系统中 9 种灌木和乔木凋落叶的分解,结果表明叶片硬度是预测这两种生态系统凋落叶分解速率的最佳指标。Lindedam 等^[30]的研究表明根系的分解主要受控于组织结构和土壤肥力。

杂交竹不同凋落物组分的分解对氮沉降的响应具有差异,氮沉降抑制了杂交竹凋落叶分解,而对凋落箨分解无影响。虽然凋落箨在分解 8 至 14 个月时,受到氮沉降抑制作用,但由于其分解速率过快,各处理之间质量残留率并未表现出显著差异。Knorr 等^[16]发现凋落物分解对氮沉降的响应方向决定于基质质量和氮输入量(包括背景氮输入和试验性氮输入),氮沉降通常会抑制基质质量较差的凋落物的分解。本研究中凋落箨的木质素含量较凋落叶高,但氮沉降抑制了凋落叶的分解而对凋落箨无影响,与 Knorr 等^[16]研究结果不一

致。说明凋落物分解对氮沉降的响应方向和程度不单决定于基质质量,可能还受其它具体因素如生物群落状况等的影响。一般来说,由单一树种组成的森林生态系统,其凋落物通常也由许多组分组成,如凋落叶、凋落箨、凋落枝、繁殖体等。非凋落叶组分占据了总凋落量 20%^[31-32] 至 40%^[33-34]。因此非凋落叶组分是凋落物的重要组成部分,然而以往凋落物分解研究中常常忽略了这一部分研究内容。有研究表明,各凋落物组分之间往往存在较大的质量差异^[34],而基质质量的差异将会导致分解的差异以及分解过程对氮沉降的不同响应。本研究中,杂交竹林凋落箨约占总凋落量的 10% 左右,并且凋落叶与凋落箨对氮沉降的响应存在差异,说明只有完整地研究生态系统中所有主要凋落物组分分解对氮沉降的响应,才能准确评估氮沉降增加对生态系统过程的影响。

本研究发现,氮沉降对杂交竹凋落叶分解的抑制作用主要源于外源氮对凋落叶木质素与纤维素分解的抑制,这与以往许多研究结果相一致^[15, 35-36]。木质素和纤维素作为凋落物中最重要的两种组成成分,在凋落物分解过程中起着关键作用,特别是在凋落物分解后期,两者相对含量较高时,它们的分解状况决定了整个凋落物的分解进程。通常来说,凋落物中纤维素由木质素聚合物所包裹保护着^[37],因此当木质素分解受阻时,纤维素的分解也受抑制。杂交竹凋落叶分解后期,外源氮的增加对木质素分解产生了抑制作用,主要有以下两种机理。首先,增加的氮和木质素降解过程中的次生物质以及其它多酚化合物之间会发生一系列非生物反应,并形成抗分解物质进而降低分解速率^[15, 33]。其次,增加的氮会抑制木质素降解相关的微生物胞外酶活性,这使得高木质素含量凋落物的降解受氮沉降的抑制会更强烈^[19, 26, 36]。氮对凋落物分解后期的抑制作用将会使凋落物分解趋于停止,并使剩余凋落物呈现接近于稳定土壤有机质(SOM, soil organic matter)的状态^[18],进而增加系统碳贮存。本研究中,杂交竹凋落叶在分解第二年质量损失微弱,特别是第 20—24 个月时质量损失几乎停止,凋落叶分解至此处于较稳定状态。而氮沉降的增加使得凋落物的残留率稳定在一个更高的水平,可以预测氮沉降的增加将会使更多的凋落物残体或稳定有机质留存于杂交竹林土壤中。因此,氮沉降可能通过抑制凋落叶分解增加杂交竹林生态系统土壤碳贮存。

氮沉降除了直接影响凋落物分解过程外,还可以通过改变新鲜凋落物中关键成分(如氮、木质素)含量间接影响分解过程。通常来说,氮沉降会增加树木对氮元素的吸收量,进而提高新鲜凋落物中的氮含量,这一现象已被许多学者所观察到^[38]。氮含量与凋落物可分解性的关系已有众多较为一致的论述,氮含量与分解初期阶段的分解速率正相关^[39]。因此,氮沉降可通过增加新鲜凋落物基质氮含量促进凋落物初期分解速率。但相反,凋落物初始氮含量的增加在凋落物分解后期则会阻碍凋落物的分解^[15]。因此,长期氮沉降对杂交竹凋落物基质的影响也可能影响其后续分解进程,甚至改变凋落物分解对氮沉降的响应方向。

对华西雨屏区的两种竹林生态系统(慈竹人工林和本研究中的杂交竹人工林)主要凋落物的分解对氮沉降的响应进行了研究,得到了不同的结果,氮沉降抑制了杂交竹林凋落叶分解,但促进了慈竹林凋落物分解^[12]。杂交竹林由于具有农业背景(2000 年由农耕地退耕还林),表土层氮含量也较高,同时由于该林分尚处于森林初期发育阶段,林下凋落物蓄积量低(仅为 1.2 t/hm²),因此由凋落物分解回归到土壤中的碳较少,这使得表层土 C/N 很低(8.48)。而慈竹林多年未利用,并且少有扰动,枯落物蓄积量大,多年分解和贮存的结果导致表层土碳含量高(C/N=20.91)。这表明凋落物分解对氮沉降的响应方向不仅取决于凋落物自身特性,也可能与土壤碳氮状态有关。这与 Mo 等^[40]对中国华南 3 种森林的研究结果类似,他们发现,土壤氮可得性更高的生态系统凋落物分解更易对氮沉降呈现负响应。

综上所述,2 a 的模拟氮沉降显著抑制了杂交竹凋落叶的分解,对凋落箨分解无影响;氮沉降主要通过抑制木质素和纤维素分解而对凋落叶分解产生抑制作用,并可能通过这一机制增加土壤碳贮存。从新鲜凋落物到腐殖质的转变是一个长期而复杂的过程,氮沉降可通过直接和间接作用影响这一过程,因此,在持续氮沉降的背景下,竹林生态系统凋落物分解以及土壤碳贮存是如何变化的,仍需长期的观测研究。

References:

- [1] Galloway J N, Dentener F J, Capone D G, Boyer E W, Howarth R W, Seitzinger S P, Asner G P, Cleveland C C, Green P A, Holland E A, Karl

- D M, Michaels A F, Porter J H, Townsend A R, Vörösmarty C J. Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry*, 2004, 70(2): 153-226.
- [2] Magnani F, Mencuccini M, Borghetti M, Berbigier P, Berninger F, Delzon S, Grelle A, Hari P, Jarvis P G, Kolari P, Kowalski A S, Lankreijer H, Law B E, Lindroth A, Loustau D, Manca G, Moncrieff J B, Rayment M, Tedeschi V, Valentini R, Grace J. The human footprint in the carbon cycle of temperate and boreal forests. *Nature*, 2007, 447(7146): 849-851.
- [3] Hyvönen R, Persson T, Andersson S, Olsson B, Ågren G I, Linder S. Impact of long-term nitrogen addition on carbon stocks in trees and soils in northern Europe. *Biogeochemistry*, 2008, 89(1): 121-137.
- [4] Pregitzer K S, Burton A J, Zak D R, Talhelm A F. Simulated chronic nitrogen deposition increases carbon storage in Northern Temperate forests. *Global Change Biology*, 2008, 14(1): 142-153.
- [5] de Vries W, Solberg S, Dobbertin M, Sterba H, Laubhann D, van Oijen M, Evans C, Gundersen P, Kros J, Wamelink G W W, Reinds G J, Sutton M A. The impact of nitrogen deposition on carbon sequestration by European forests and heathlands. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(8): 1814-1823.
- [6] Fang H, Mo J M, Peng S L, Li Z A, Wang H. Cumulative effects of nitrogen additions on litter decomposition in three tropical forests in southern China. *Plant and Soil*, 2007, 297(1/2): 233-242.
- [7] Mo J M, Zhang W, Zhu W X, Gundersen P, Fang Y T, Li D J, Wang H. Nitrogen addition reduces soil respiration in a mature tropical forest in southern China. *Global Change Biology*, 2008, 14(2): 403-412.
- [8] Xia J Y, Niu S L, Wan S Q. Response of ecosystem carbon exchange to warming and nitrogen addition during two hydrologically contrasting growing seasons in a temperate steppe. *Global Change Biology*, 2009, 15(6): 1544-1559.
- [9] Chen X G, Zhang X Q, Zhang Y P, Booth T, He X H. Changes of carbon stocks in bamboo stands in China during 100 years. *Forest Ecology and Management*, 2009, 258(7): 1489-1496.
- [10] Guo Q R, Yang G Y, Du T Z, Shi J M. Carbon character of Chinese bamboo forest. *World Bamboo and Rotten*, 2005, 3(3): 25-28.
- [11] Tu L H, Hu T X, Huang L H, Li R H, Dai H Z, Luo S H, Xiang Y B. Response of soil respiration to simulated nitrogen deposition in *Pleuroblastus amarus* forest, Rainy Area of West China. *Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(4): 728-738.
- [12] Li R H, Hu T X, Tu L H, Luo S H, Xiang Y B, Dai H Z, Huang L H. Effects of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in *Neosinocalamus affinis* stands in rainy area of West China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(11): 2588-2593.
- [13] Aerts R. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, 1997, 79: 439-449.
- [14] Currie W S. Relationships between carbon turnover and bioavailable energy fluxes in two temperate forest soils. *Global Change Biology*, 2003, 9(6): 919-929.
- [15] Berg B, Matzner E. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems. *Environmental Reviews*, 1997, 5(1): 1-25.
- [16] Knorr M, Frey S D, Curtis P S. Nitrogen additions and litter decomposition: a meta-analysis. *Ecology*, 2005, 86: 3252-3257.
- [17] Prescott C E. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils?. *Biogeochemistry*, 2010, 101(1/3): 133-149. doi: 10. 1007 / s10533-010-9439-0.
- [18] Berg B, Meentemeyer V. Litter quality in a north European transect versus carbon storage potential. *Plant and Soil*, 2002, 242(1): 83-92.
- [19] Waldrop M P, Zak D R, Sinsabaugh R L, Gallo M, Lauber C. Nitrogen deposition modifies soil carbon storage through changes in microbial enzymatic activity. *Ecological Applications*, 2004, 14(4): 1172-1177.
- [20] Rowland A P, Roberts J D. Lignin and cellulose fractionation in decomposition studies using acid-detergent fibre methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1994, 25(3/4): 269-277.
- [21] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 1963, 44(2): 322-331.
- [22] 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(5180): 361-364.
- [23] Cornwell W K, Cornelissen J H C, Amatangelo K, Dorrepaal E, Eviner V T, Godoy O, Hobbie S E, Hoorens B, Kurokawa H, Pérez-Harguindeguy N, Quedstedt H M, Santiago L S, Wardle D A, Wright I J, Aerts R, Allison S D, van Bodegom P, Brovkin V, Chatain A, Callaghan T V, Díaz S, Garnier E, Gurvich D E, Kazakou E, Klein J A, Read J, Reich P B, Soudzilovskaia N A, Vaieretti M V, Westoby M. Plant species traits are the predominant control on litter decomposition rates within biomes worldwide. *Ecology Letters*, 2008, 11(10): 1065-1071.
- [24] 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(2): 85-93.
- [25] Wardle D A, Bardgett R D, Walker L R, Bonner K I. Among-and within-species variation in plant litter decomposition in contrasting long-term chronosequences. *Functional Ecology*, 2009, 23(2): 442-453.

- [26] Sinsabaugh R L. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, 42(3): 391-404.
- [27] Song X G, Hu T X, Xian J R, Xiao C L, Li W, Wu W G. Responses of litter decomposition and nutrient release to simulated nitrogen deposition in an evergreen broad-leaved forest in southwestern Sichuan. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(10): 2167-2172.
- [28] Ngao J, Bernhard-Reversat F, Loumeto J J. Changes in eucalypt litter quality during the first three months of field decomposition in a Congolese plantation. *Applied Soil Ecology*, 2009, 42(3): 191-199.
- [29] Gallardo A, Merino J. Leaf decomposition in two Mediterranean ecosystems of southwest Spain; influence of substrate quality. *Ecology*, 1993, 74: 152-161.
- [30] Lindedam J, Magid J, Poulsen P, Luxhøi J. Tissue architecture and soil fertility controls on decomposer communities and decomposition of roots. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(6): 1040-1049.
- [31] Tateno R, Tokuchi N, Yamanaka N, Du S, Otsuki K, Shimamura T, Xue Z D, Wang S Q, Hou Q C. Comparison of litterfall production and leaf litter decomposition between an exotic black locust plantation and an indigenous oak forest near Yan'an on the Loess Plateau, China. *Forest Ecology and Management*, 2007, 241(1/3): 84-90.
- [32] Hansen K, Vesterdal L, Schmidt I K, Gunderson P, Sevel L, Bastrup-Birk A, Pedersen L B, Bille-Hansen J. Litterfall and nutrient return in five tree species in a common garden experiment. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257(10): 2133-2144.
- [33] Wang Q K, Wang S L, Huang Y. Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(3/4): 1210-1218.
- [34] Astel A, Parzych A, Trojanowski J. Comparison of litterfall and nutrient in a *Vaccinio uliginosi-Beuletum pubescentis* and an *Empetro nigri-Pinetum* forest ecosystem in northern Poland. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257(12): 2331-2341.
- [35] Fog K. The effect of added nitrogen on the rate of decomposition of organic matter. *Biological Reviews*, 1988, 63(3): 433-462.
- [36] Magill A H, Aber J D. Long-term effects of experimental nitrogen additions on foliar litter decay and humus formation in forest ecosystems. *Plant and Soil*, 1998, 203(2): 301-311.
- [37] Berg B, Laskowski R. *Litter Decomposition: A Guide to Carbon and Nutrient Turnover*. Burlington, USA: Elsevier Ltd, 2006.
- [38] Bergkvist B, Folkeson L. Soil Acidification and Element Fluxes of a *Fagus Sylvatica* Forest as Influenced by Simulated Nitrogen Deposition. *Water Air and Soil Pollution*, 1992, 65(1/2): 111-133.
- [39] Hobbie S E. Contrasting effects of substrate and fertilizer nitrogen on the early stages of litter decomposition. *Ecosystems*, 2005, 8(6): 644-656.
- [40] Mo J M, Brown S, Xue J H, Fang Y T, Li Z A. Response of litter decomposition to simulated N deposition in disturbed, rehabilitated and mature forests in subtropical China. *Plant and Soil*, 2006, 282(1/2): 135-151.

参考文献:

- [10] 郭起荣, 杨光耀, 杜天真, 施建敏. 中国竹林的碳素特征. *世界竹藤通讯*, 2005, 3(3): 25-28.
- [11] 涂利华, 胡庭兴, 黄立华, 李仁洪, 戴洪忠, 雒守华, 向元彬. 华西雨屏区苦竹林土壤呼吸对模拟氮沉降的响应. *植物生态学报*, 2009, 33(4): 728-738.
- [12] 李仁洪, 胡庭兴, 涂利华, 雒守华, 向元彬, 戴洪忠, 黄立华. 模拟氮沉降对华西雨屏区慈竹林凋落物分解的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(11): 2588-2593.
- [27] 宋学贵, 胡庭兴, 鲜骏仁, 肖春莲, 李伟, 武卫国. 川西南常绿阔叶林凋落物分解及养分释放对模拟氮沉降的响应. *应用生态学报*, 2007, 18(10): 2167-2172.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 5 March, 2011 (Semimonthly)
CONTENTS

Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes YI Liangpeng, WANG Zuwei (1195)

Population dynamics of endophytic bacteria isolated from the roots of infected *Cymbidium faberi* YANG Na, YANG Bo (1203)

Spatial variability of forest soil total nitrogen of different soil layers ZHANG Zhenming, YU Xinxiao, WANG Yousheng, et al (1213)

Habitat prediction for forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Qinling mountain range based on niche model LUO Chong, XU Weihua, ZHOU Zhixiang, et al (1221)

Growth release determination and interpretation of Korean pine and Koyama spruce in Shengshan National Nature Reserve, Heilongjiang Province, China WANG Xiaochun, ZHAO Yufang (1230)

Growth tolerance and accumulation characteristics of the mycelia of two macrofungi species to heavy metals LI Weihuan, YU Lanlan, CHENG Xianhao, et al (1240)

Characters of the OMI NO₂ column densities over different ecosystems in Zhejiang Province during 2005—2009 CHENG Miaomiao, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (1249)

The forest gap diameter height ratio in a secondary coniferous forest of Guan Di Mountain FU Liyong, TANG Shouzheng, LIU Yingan (1260)

Landscape responses to changes in water levels at Poyang Lake wetlands XIE Dongming, ZHENG Peng, DENG Hongbing, et al (1269)

Effect of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in a *Bambusa pervariabilis* × *Dendrocala mopsi* plantation, Rainy Area of West China TU Lihua, DAI Hongzhong, HU Tingxing, et al (1277)

Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth, fruit quality and disease prevention of pear trees GENG Jian, CUI Nannan, ZHANG Jie, et al (1285)

Influences of different plastic film mulches on temperature and moisture of soil and growth of watermelon in gravel-mulched land MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang (1295)

Effects of drought stress on photosynthetic traits and protective enzyme activity in maize seedling ZHANG Renhe, ZHENG Youjun, MA Guosheng, et al (1303)

Photosynthetic diurnal variation characteristics of leaf and non-leaf organs in winter wheat under different irrigation regimes ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, WANG Zhimin (1312)

The root system hydraulic conductivity and water use efficiency of alfalfa and sorghum under water deficit LI Wenrao, LI Xiaoli, ZHANG Suiqi, et al (1323)

Latitudinal gradient in beta diversity of forest communities in America CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1334)

Influence of silts on growth and development of *Acorus calamus* and *Acorus tatarinowii* in turbid water LI Qiang, ZHU Qihong, DING Wuquan, et al (1341)

Roles of earthworm in phytoremediation of pyrene contaminated soil PAN Shengwang, WEI Shiqiang, YUAN Xin, et al (1349)

Population dynamics of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) along with analysis on the meteorological factors influencing the population in pomegranate orchards LIU Ling, CHEN Bin, LI Zhengyue, et al (1356)

Geophagy of *Macaca Thibetana* at Mt. Huangshan, China YIN Huabao, HAN Demin, XIE Jifeng, et al (1364)

The structure and dynamic of insect community in Zhalong Wetland MA Ling, GU Wei, DING Xinhua, et al (1371)

Analysis of layer progressive discriminant relations between the occurrence of *Bipectilus zhejiangensis* and soil DU Ruiqing, CHEN Shunli, ZHANG Zhengtian, et al (1378)

New mutations in hind wing vein of *Apis cerana cerana* (Hymenoptera: Apidae) induced by lower developmental temperature ZHOU Bingfeng, ZHU Xiangjie, LI Yue (1387)

18S rRNA gene variation and phylogenetic analysis among 6 orders of Bivalvia class MENG Xueping, SHEN Xin, CHENG Hanliang, et al (1393)

Laboratory study on ethology of *Spinibarbus hollandi* LI Weiming, CHEN Qiuwen, HUANG Yingping (1404)

Dynamic change in ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China HE Jicheng (1412)

Approach to spatial differences analysis of urban carrying capacity: a case study of Changzhou City WANG Dan, CHEN Shuang, GAO Qun, et al (1419)

Social adaptive capacity for water resource scarcity in human systems and case study on its measuring CHENG Huaiwen, LI Yuwen, XU Zhongmin (1430)

Effects of physical leaf features of host plants on leaf-mining insects DAI Xiaohua, ZHU Chaodong, XU Jiasheng, et al (1440)

Review and Monograph

Progresses of free-air CO₂ enrichment (FACE) researches on C₄ crops: a review WANG Yunxia, YANG Lianxin, Remy Manderscheid, et al (1450)

Scientific Note

Influence of limestone powder doses on fine root growth of seriously damaged forests of *Pinus massoniana* in the acid rain region of Chongqing, China LI Zhiyong, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1460)

Leaf surface microstructure of *Ligustrum lucidum* and *Viburnum odoratissimum* observed by Atomic force microscopy (AFM) SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang, LIU Xiao (1471)

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 5 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 5 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

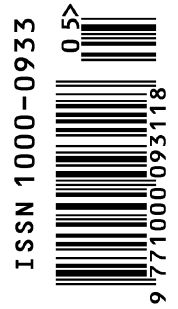
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

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
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