

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

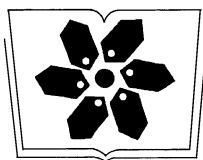
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 8 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应.....	王 荣, 胡海清 (2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因素.....	李粉莲, 吴雪海, 王佩玲, 等 (2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布.....	刘双娜, 周 涛, 舒 阳, 等 (2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析.....	赵 鹏, 夏北成, 秦建桥, 等 (2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析.....	张洪海, 李成涛, 窦华山, 等 (2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价.....	徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等 (2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响.....	翟天庆, 李欣海 (2361)
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析	张 丽, 张云慧, 曾 娟, 等 (2371)
基于细胞色素 b 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析.....	李楠楠, 刘振生, 王正寰, 等 (2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性.....	鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征.....	方显瑞, 张志强, 查同刚, 等 (2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测.....	刘 克, 赵文吉, 郭逍宇, 等 (2410)
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析	陈 玲, 汪桂玲, 李家乐 (2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例	李崇巍, 胡 婕, 王 飒, 等 (2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应.....	张伟东, 吕 莹, 肖 莹, 等 (2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响.....	汪金松, 范秀华, 范 娟, 等 (2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征.....	王 芸, 郑 华, 陈法霖, 等 (2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应	卢钰茜, 王振兴, 郑怀舟, 等 (2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征.....	高艳红, 刘立超, 贾荣亮, 等 (2474)
豫西刺槐能源林的热值动态.....	谭晓红, 刘诗琦, 马履一, 等 (2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发	吴慧凤, 宋希强, 刘红霞 (2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响	杨再强, 张继波, 李永秀, 等 (2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响.....	温银元, 郭平毅, 尹美强, 等 (2506)
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响	郑有飞, 徐卫民, 吴荣军, 等 (2515)
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递	何跃军, 钟章成, 董 鸣 (2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态.....	葛菁萍, 柴洋洋, 陈 丽, 等 (2532)
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响.....	孙倩倩, 王正银, 赵 欢, 等 (2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准.....	庞爱萍, 孙 涛 (2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用.....	芦蔚叶, 姜志德, 张应龙, 等 (2561)
专论与综述	
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力.....	黄华梅, 高 杨, 王银霞, 等 (2571)
问题讨论	
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究.....	丁 爽, 郑 平, 张 萌, 等 (2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价.....	帅 红, 李景保, 夏北成, 等 (2588)
研究简报	
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应.....	刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 等 (2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异.....	马少杰, 李正才, 王 斌, 等 (2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响	欧立军, 陈 波, 邹学校 (2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响	陈 伟, 蔡昆争, 陈基宁 (2620)



封面图说: 红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊,红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根,红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面,以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气,故称呼吸根。在中国,红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海,它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带,往往潮差越大,红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201103110298

刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 祝振华, 袁娜, 时腾飞. 黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应. 生态学报, 2012, 32(8): 2596-2602.

Liu Z W, Du L Z, Zhang X X, Zhu Z H, Yuan N, Shi T F. Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2596-2602.

黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应

刘增文^{1,2,*}, 杜良贞³, 张晓曦¹, 祝振华¹, 袁娜¹, 时腾飞¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院; 2. 农业部黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室; 3. 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100)

摘要:混交林中不同树种枯落物混合分解是否产生促进或抑制作用是评价种间关系和混交适宜性的重要依据之一。以黄土高原主要树种为对象,通过室内枯落叶混合分解模拟试验,结果表明:(1)沙棘、白榆、柠条和小叶杨枯落叶分解最快(周转期 1 a 左右),其次为旱柳、侧柏和白桦枯落叶(周转期略大于 1 a),紫穗槐、辽东栎和刺槐枯落叶分解稍慢(周转期 1.5 a 左右),而樟子松、落叶松和油松枯落叶分解最慢(周转期略大于 2 a)。(2)对于针叶树,与油松枯落叶混合,存在明显促进分解作用的是侧柏、落叶松,其次是白桦、沙棘和刺槐;与樟子松枯落叶混合,存在明显促进分解作用的是落叶松、侧柏、沙棘、白榆,其次是柠条、紫穗槐和小叶杨,而存在明显抑制分解作用的是刺槐,其次是白桦和辽东栎;与落叶松枯落叶混合,存在较明显促进分解作用的是白榆、白桦和辽东栎,存在较明显抑制作用的是刺槐;紫穗槐与侧柏枯落叶混合存在较明显的抑制分解作用。(3)对于阔叶树,与小叶杨枯落叶混合,存在较明显促进分解作用的是紫穗槐,其次是辽东栎和刺槐;与刺槐枯落叶混合,存在较明显促进分解作用的是白榆和沙棘,存在明显抑制分解作用的是柠条,其次是辽东栎和白桦;与白桦枯落叶混合,存在较明显促进分解作用的是辽东栎和紫穗槐,存在较明显抑制分解作用的是柠条;白榆与辽东栎、旱柳枯落叶混合均存在较明显的促进分解作用,而白榆与柠条枯落叶混合存在较明显的抑制分解作用;紫穗槐与旱柳、沙棘枯落叶混合均存在较明显的促进分解作用,而紫穗槐与柠条枯落叶混合有较明显的抑制作用。

关键词:混交林;枯落叶分解;种间关系

Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau

LIU Zengwen^{1,2,*}, DU Liangzhen³, ZHANG Xiaoxi¹, ZHU Zhenhua¹, YUAN Na¹, SHI Tengfei¹

1 College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

2 Key Laboratory for Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of Agriculture Ministry of China, Yangling 712100, China

3 College of Forestry, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

Abstract: Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees are important bases of evaluating interspecific relationship and mix-foresting suitability of trees. Experiments of mix-leaf litter decomposition between main tree species in the Loess Plateau have been carried out in laboratory and the results show that: (1) Leaf litter of *Hippophae rhamnoides*, *Ulmus pumila*, *Caragana microphylla* and *Populus simonii* decompose the most quickly (Turnover periods T_s are 1a around), leaf litter of *Salix matsudana*, *Platycladus orientalis* and *Betula platyphylla* decompose the second quickly (T_s are a little longer than 1 a), leaf litter of *Amorpha fruticosa*, *Quercus liaotungensis* and *Robinia pseudoacacia* decompose a little slowly (T_s are 1.5 a around), leaf litter of *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, *Larix principis-rupprechtii* and *Pinus tabulaeformis* decompose the most slowly (T_s are a little longer than 2 a). (2) For needle-leaved trees, mixed with litter of *P. tabulaeformis*, the trees most obviously promoting decomposition are *P. orientalis* and *L. principis-rupprechtii*, followed by *B. platyphylla*, *H. rhamnoides* and *R. pseudoacacia*, and no trees obviously restraining decomposition. Mixed with litter of

基金项目:国家自然科学基金项目(31070630);西北农林科技大学大学生创新实验计划资助项目(2010 年)

收稿日期:2011-03-11; **修订日期:**2011-06-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zengwenliu2003@yahoo.com.cn

P. sylvestris var. *mongolica*, the trees most obviously promoting decomposition are *L. principis-rupprechtii*, *P. orientalis*, *H. rhamnoides* and *U. pumila*, followed by *C. microphylla*, *A. fruticosa* and *P. simonii*, but the trees most obviously restraining decomposition are *R. pseudoacacia* followed by *B. platyphylla* and *Q. liaotungensis*. Mixed with litter of *L. principis-rupprechtii*, the trees most obviously promoting decomposition are *U. pumila*, *B. platyphylla* and *Q. liaotungensis*, but the tree obviously restraining decomposition is *R. pseudoacacia*. *A. fruticosa* would obviously restraining decomposition mixed with litter of *P. orientalis*. (3) For broad-leaved trees, mixed with litter of *P. simonii*, the trees most obviously promoting decomposition are *A. fruticosa* followed by *Q. liaotungensis* and *R. pseudoacacia*. Mixed with litter of *R. pseudoacacia*, the trees most obviously promoting decomposition are *U. pumila* and *H. rhamnoides*, the trees obviously restraining decomposition are *C. microphylla* followed by *Q. liaotungensis* and *B. platyphylla*. Mixed with litter of *B. platyphylla*, the trees most promoting decomposition are *Q. liaotungensis* and *A. fruticosa*, the tree obviously restraining decomposition is *C. microphylla*. *U. pumila* would obviously promote decomposition mixed with litter of *Q. liaotungensis* or *S. matsudana*, but *U. pumila* would restrain decomposition mixed with litter of *C. microphylla*. *A. fruticosa* would promote decomposition mixed with litter of *S. matsudana* or *H. rhamnoides*, but restrain decomposition mixed with litter of *C. microphylla*.

Key Words: mixed forest; leaf litter decomposition; interspecific relationship

在黄土高原植被建设中,人工纯林由于造林和管理技术简单而被广泛地应用。但是,调查发现,许多树龄偏大或者多代连栽的人工纯林由于树种组成简单已经出现生长发育不良、土壤退化和更新困难等连生(连续生长)或连栽障碍现象^[1-3],解决的根本的途径是对现有人工纯林进行混交改造,即引进更新树种组成针阔或乔灌混交林^[4]。但是,树种混交的关键问题是混交后是否有利于林地的可持续发展,为此,迫切需要对不同树种之间的种间关系进行深入研究。

种间关系是树种间通过复杂相互作用而对彼此产生利害作用的最终结果^[5],混交林种间关系的发生集中体现在森林枯落物是由多个树种混合组成并混合分解。由于森林枯落物的分解过程反映了森林养分归还土壤的基本特征,对土壤有机质的形成和养分的释放有着十分重要的意义,因此,探讨混交林不同树种枯落物混合分解是否产生促进或抑制作用,以此作为判断种间关系是否协调的依据之一,对指导选择最佳混交树种具有重要的参考价值^[6]。以往关于森林枯落物分解的研究大多集中于单一树种组成的纯林,而目前对于多个树种组成的混交林的研究越来越受到重视,尤其是国外这方面的研究已向混合分解机理及其过程模拟的方向不断深化。相对而言,国内的相关研究较为薄弱,廖利平、林开敏等曾经对南方杉木与其他树种枯落叶混合分解做过一些研究^[7-8],而针对黄土高原树种的研究尚未见报道。所以,为了促进黄土高原人工纯林的混交改造和混交林植被的建设,本研究选择黄土高原主要拟混交树种为对象,通过室内控制条件下的枯落叶混合分解试验,初步检测这些枯落叶分解过程中是否存在相互作用,为进一步深入研究枯落叶混合分解对土壤的影响效应及混交林的养分循环奠定基础,同时为混交树种选择提供指导。

1 材料与方法

1.1 树木枯落叶及土壤样品采集

在黄土高原3个不同生物气候区(由北向南包括半干旱荒漠风沙区、半干旱黄土丘陵区 and 半湿润黄土残塬沟壑区),针对主要乔木树种(包括油松 *Pinus tabulaeformis*、侧柏 *Platycladus orientalis*、落叶松 *Larix principis-rupprechtii*、樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica*、小叶杨 *Populus simonii*、辽东栎 *Quercus liaotungensis*、白桦 *Betula platyphylla*、刺槐 *Robinia pseudoacacia*、白榆 *Ulmus pumila*、旱柳 *Salix matsudana* 等)和灌木树种(包括沙棘 *Hippophae rhamnoides*、柠条 *Caragana microphylla*、紫穗槐 *Amorpha fruticosa* 等)组成的人工或天然纯林,于秋末冬初采集当年枯落叶,经过仔细挑拣(剔除病虫害叶、腐烂叶)、漂洗、晾干,统一剪成 $\varphi=1\text{cm}$ 大小的碎片或短针叶(为了试验时能够充分混合)备用。

同时,以半湿润黄土残塬沟壑区无林荒草地腐殖质层(0—20cm)土壤为分解介质(属黄土母质上发育的黄善土,土壤容重 1.261 g/cm³,水稳性团粒(1—5mm)含量 42.80%,有机质 21.9 g/kg, pH 值 7.8,全 N 1.22 g/kg,全 P 0.87 g/kg,全 K 18.11 g/kg,CEC 18.82 cmol/kg),具体选取具有代表性的无林荒草地,设置 5 个 1 m×1 m 的小样方,全部收集 0—20 cm 腐殖质层土壤,剔除根系、石砾、动物残骸等杂物,充分混合后取足量土壤运回实验室,以鲜土粉碎过 5 mm 筛,装入密封袋内备用。

1.2 枯落叶混合分解试验

首先将不同树种枯落叶碎片或短针叶,在 60℃ 下烘干至恒重,按照表 1 的枯落叶类型和混合质量和比例(混合比例确定的原则是让更多树种枯落叶能够充分接触。由于油松、樟子松和侧柏枯落叶的比重明显大于其他树种,所以,与其他树种枯落叶混合质量和比例采用 15g=2:1,其他混合质量和比例均为 7.5=1:1),用感量 0.01g 的电子天平准确称取后两两充分混合,装入网眼直径 0.5mm,大小为 14 cm×20 cm 的尼龙网袋中,每种枯落叶混合类型称装 5 袋(即每种处理 5 个重复,并以单种枯落叶为对照)。合计 81 个分解类型,每类型 5 个重复,共 405 个分解袋。其次分别称取 4.0 kg 经充分混合的鲜土样,以蒸馏水调节土壤湿度为田间持水量的 50%(预先测定土壤的田间持水量,通过计算确定应加水量),再经充分混合后装入 20 cm × 40 cm × 30 cm 的箱式不透水塑料培养钵中,共 81 个培养钵。然后,再将每类装有枯落叶的 5 个尼龙分解袋斜状间隔排列,埋入装有土壤的培养钵中(保证每个分解袋四周均与土壤充分接触,分解袋之间间隔一定距离),用塑料薄膜覆盖钵口(保湿),并在薄膜上留 4 个直径 1.5 cm 的通气孔,放在室内常温下(20—25 ℃)进行分解试验培养。每隔 1 周称量培养钵重量,根据失水情况,揭开钵口用喷雾器均匀补充水分,始终调节土壤湿度不变(培养钵重量保持恒定),连续培养 345 d 终止。

表 1 不同树种枯落叶混合质量和比例
Table 1 Weight and ratio of mixed leaf litter of different trees

树种 Trees	混合质量和比例 Mixed weight and ratio	树种 Trees	混合质量和比例 Mixed weight and ratio	树种 Trees	混合质量和比例 Mixed weight and ratio
油松 <i>Pinus tabulaeformis</i>	15g=2:1	小叶杨 <i>Populus simonii</i>	7.5g=1:1	白榆 <i>Ulmus pumila</i>	7.5g=1:1
樟子松 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	15g=2:1	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	7.5g=1:1	旱柳 <i>Salix matsudana</i>	7.5g=1:1
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	15g=2:1	白桦 <i>Betula platyphylla</i>	7.5g=1:1	沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i>	7.5g=1:1
落叶松 <i>Larix</i> <i>principis-rupprechtii</i>	7.5g=1:1	辽东栎 <i>Quercus liaotungensis</i>	7.5g=1:1	柠条 <i>Caragana microphylla</i>	7.5g=1:1
				紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i>	7.5g

油松 (15g=2:1) 指油松单独或与其它树种枯落叶混合总量为 15g, 混合质量比例为 2:1

1.3 测定与数据处理

待分解试验结束后取出分解袋,置于网眼直径 0.25mm 的土壤筛中进行漂洗,将残留物在 60℃ 下烘干,用电子天平测定枯落叶分解后的残留量。根据分解前后枯落叶质量的变化,首先应用 Excel 2003 进行数据处理和 LSD 进行不同枯落叶混合类型间分解结果的差异显著性检验,结果表明,不同混合类型之间的分解速率差异均达到显著水平以上。然后根据 Olson 模型 $R = X / X_0 = e^{-kt}$ 对分解过程进行拟合^[9],式中, R 为枯落叶残留率; X_0 、 X 分别为初始和分解 t (a) 后的枯落叶量; k 为模型参数; t 为时间。当 t 取 1 a 时,得平均年分解率 $d = 1 - e^{-k}$ 和周转期 $T = 1/d$ 。

关于枯落叶混合分解效应的分析原理如下:假定不同树种枯落叶混合分解过程中不存在相互作用的前提下,混合分解速率的理论预测值可用公式表示为: $Pd_{AB} = a Td_A + b Td_B$,式中 A、B 代表不同树种; Td_A 、 Td_B 分别表示纯树种 A 和树种 B 的枯落叶年分解率实测值; Pd_{AB} 为混合后年分解率的理论预测值; a 、 b 分别表示混

合枯落叶中 A、B 树种所占的比例。根据对枯落叶混合分解速率的实测值 Td_{AB} 与理论预测值 Pd_{AB} , 按公式 $\Delta\% = 100 \times (Td_{AB} - Pd_{AB}) / Pd_{AB}$ 可以计算出枯落叶混合对分解速率的提高率 ($\Delta\%$), 当 $\Delta\%$ 为正值时, 表明 A 与 B 混合有促进分解作用; 相反, 当 $\Delta\%$ 为负值, 则表明 A 与 B 混合存在抑制分解的作用。按照 $\Delta\%$ 的绝对值将相互作用强度划分为: N 不明显 (0—5%), LL 微弱 (5%—10%), L 较弱 (10%—15%), S 较强 (15%—20%), SS 强烈 (20%—25%), VS 极强 (25%—30%), SM 超强 (>30%)。

2 结果与分析

2.1 不同树种枯落叶单独分解速率比较

根据分解试验结果 (表 2), 在完全相同的环境条件下, 黄土高原不同树种枯落叶分解速率大小顺序为: 沙棘 > 白榆 > 柠条 > 小叶杨 > 旱柳 > 侧柏 > 白桦 > 紫穗槐 > 辽东栎 > 刺槐 > 樟子松 > 落叶松 > 油松。其中, 沙棘、白榆、柠条和小叶杨枯落叶分解速度最快 (年分解率 0.9454—0.9668, 周转期 1 a 左右), 其次为旱柳、侧柏和白桦枯落叶分解速度也较快 (年分解率 0.8396—0.9014, 周转期略大于 1 a), 紫穗槐、辽东栎和刺槐枯落叶分解速度稍慢 (年分解率 0.5872—0.7031, 周转期 1.5 a 左右), 而樟子松、落叶松和油松枯落叶分解最慢 (年分解率 0.4524—0.4898, 周转期略大于 2 a)。

表 2 黄土高原不同树种枯落叶单独分解速率

Table 2 Leaf litter decay rates of different trees in the Loess Plateau

树种 Trees	分解模型 $\ln R = -kt$ Decay model	年分解率 $d = 1 - e^{-k}$ Annual decay rate	周转期 $T = 1/d$ (a) Turnover period
油松 <i>P. tabulaeformis</i>	$\ln R = -0.6022t$	0.4524	2.2106
樟子松 <i>P. sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	$\ln R = -0.6730t$	0.4898	2.0415
落叶松 <i>L. principis-rupprechtii</i>	$\ln R = -0.6415t$	0.4735	2.1119
侧柏 <i>P. orientalis</i>	$\ln R = -2.2315t$	0.8926	1.1203
小叶杨 <i>P. simonii</i>	$\ln R = -2.9082t$	0.9454	1.0577
刺槐 <i>R. pseudoacacia</i>	$\ln R = -0.8847t$	0.5872	1.7031
白桦 <i>B. platyphylla</i>	$\ln R = -1.8300t$	0.8396	1.1911
辽东栎 <i>Q. liaotungensis</i>	$\ln R = -1.0576t$	0.6527	1.5320
白榆 <i>U. pumila</i>	$\ln R = -3.0246t$	0.9514	1.0511
旱柳 <i>S. matsudana</i>	$\ln R = -2.3162t$	0.9014	1.1094
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	$\ln R = -3.4055t$	0.9668	1.0343
柠条 <i>C. microphylla</i>	$\ln R = -2.9765t$	0.9490	1.0537
紫穗槐 <i>A. fruticosa</i>	$\ln R = -1.2143t$	0.7031	1.4223

R 为枯落叶残留率; k 为模型参数; t 为时间

2.2 针叶树种与其它树种枯落叶混合分解效应

不同针叶树种与其它树种枯落叶混合后对分解速率的提高率 ($\Delta\%$) 和相互作用分析结果分析见表 3。由表 3 可见, 与油松枯落叶混合, 存在明显促进分解作用的是侧柏、落叶松, 其次是白桦、沙棘和刺槐, 而其它树种均无明显作用。与樟子松枯落叶混合, 存在明显促进分解作用的是落叶松、侧柏、沙棘、白榆, 其次是柠条、紫穗槐和小叶杨, 而存在明显抑制分解作用的是刺槐, 其次是白桦和辽东栎。与落叶松枯落叶混合, 存在较明显促进分解作用的是白榆、白桦和辽东栎, 存在较明显抑制作用的是刺槐, 而其他树种均无明显作用。与侧柏枯落叶混合, 除了紫穗槐存在较明显的抑制分解作用外, 其它树种均无明显作用。

2.3 阔叶树种之间枯落叶混合分解效应

不同阔叶树种之间枯落叶混合后对分解速率的提高率 ($\Delta\%$) 和相互作用分析结果分析见表 4。由表 4 可见, 与小叶杨枯落叶混合, 存在较明显促进分解作用的是紫穗槐, 其次是辽东栎和刺槐, 而与其他树种均无明显作用。与刺槐枯落叶混合, 存在较明显促进分解作用的是白榆和沙棘, 存在明显抑制分解作用的是柠条, 其次是辽东栎和白桦。与白桦枯落叶混合, 存在较明显促进分解作用的是辽东栎和紫穗槐, 存在较明显抑制分

表3 黄土高原针叶树种与其它树种枯落叶混合分解效应

Table 3 Effects of mix-leaf litter decay of needle-leaved trees with others in the Loess Plateau

枯落叶混合树种 Trees of mixed litter	混合比例 Mixed ratio	分解模型 $\ln R = -kt$ Decay model	年分解率 $d = 1 - e^{-k}$ Annual decay rate			相互作用 Effects of mixture	
			实测值 Td_{AB}	理论值 Pd_{AB}	$\Delta/\%$	促进 Promote	抑制 Inhibit
			True value	Predict value			
油松×落叶松	2:1	$\ln R = -0.8231t$	0.5609	0.4594	22.09	SS	
油松×侧柏	1:1	$\ln R = -1.4388t$	0.7628	0.5991	27.32	VS	
油松×小叶杨	2:1	$\ln R = -0.9589t$	0.6167	0.6167	0.00	N	
油松×刺槐	2:1	$\ln R = -0.7634t$	0.5339	0.4973	7.36	LL	
油松×白桦	2:1	$\ln R = -1.1027t$	0.6680	0.5815	14.88	L	
油松×辽东栎	2:1	$\ln R = -0.7663t$	0.5353	0.5192	3.10	N	
油松×白榆	2:1	$\ln R = -1.0255t$	0.6414	0.6187	3.67	N	
油松×沙棘	2:1	$\ln R = -1.1858t$	0.6945	0.6239	11.32	L	
油松×柠条	2:1	$\ln R = -0.9399t$	0.6093	0.6179	-1.39		N
油松×紫穗槐	2:1	$\ln R = -0.7736t$	0.5386	0.5360	0.49	N	
樟子松×落叶松	2:1	$\ln R = -1.4388t$	0.7628	0.4844	57.47	SM	
樟子松×侧柏	1:1	$\ln R = -2.0309t$	0.8688	0.6241	39.21	SM	
樟子松×小叶杨	2:1	$\ln R = -1.1581t$	0.6859	0.6417	6.89	LL	
樟子松×刺槐	2:1	$\ln R = -0.4460t$	0.3598	0.5223	-31.11		SM
樟子松×白桦	2:1	$\ln R = -0.7418t$	0.5238	0.6064	-13.62		L
樟子松×辽东栎	2:1	$\ln R = -0.7207t$	0.5136	0.5441	-5.61		LL
樟子松×白榆	2:1	$\ln R = -1.4252t$	0.7595	0.6437	17.99	S	
樟子松×沙棘	2:1	$\ln R = -1.9885t$	0.8631	0.6488	33.03	SM	
樟子松×柠条	2:1	$\ln R = -1.2738t$	0.7202	0.6429	12.02	L	
樟子松×紫穗槐	2:1	$\ln R = -0.9330t$	0.6066	0.5609	8.15	LL	
落叶松×侧柏	1:2	$\ln R = -1.5247t$	0.7823	0.7529	3.90	N	
落叶松×小叶杨	1:1	$\ln R = -1.2414t$	0.7110	0.7095	0.21	N	
落叶松×刺槐	1:1	$\ln R = -0.6837t$	0.4953	0.5304	-6.62		LL
落叶松×白桦	1:1	$\ln R = -1.2598t$	0.7163	0.6566	9.09	LL	
落叶松×辽东栎	1:1	$\ln R = -0.9347t$	0.6073	0.5631	7.85	LL	
落叶松×白榆	1:1	$\ln R = -1.5217t$	0.7817	0.7125	9.71	LL	
落叶松×沙棘	1:1	$\ln R = -1.3072t$	0.7294	0.7202	1.28	N	
落叶松×柠条	1:1	$\ln R = -1.1924t$	0.6965	0.7113	-2.08		N
落叶松×紫穗槐	1:1	$\ln R = -0.8277t$	0.5629	0.5883	-4.32		N
侧柏×小叶杨	2:1	$\ln R = -2.6547t$	0.9297	0.9102	2.14	N	
侧柏×刺槐	2:1	$\ln R = -1.5427t$	0.7862	0.7908	-0.58		N
侧柏×白桦	2:1	$\ln R = -1.9656t$	0.8599	0.8749	-1.71		N
侧柏×辽东栎	2:1	$\ln R = -1.6545t$	0.8088	0.8126	-0.47		N
侧柏×白榆	2:1	$\ln R = -3.0124t$	0.9508	0.9122	4.23	N	
侧柏×沙棘	2:1	$\ln R = -2.2975t$	0.8995	0.9173	-1.94		N
侧柏×柠条	2:1	$\ln R = -2.6375t$	0.9285	0.9114	1.88	N	
侧柏×紫穗槐	2:1	$\ln R = -1.2761t$	0.7209	0.8294	-13.08		L

Td_{AB} 、 Pd_{AB} 分别为混合后年分解率的实测值和理论预测值; $Pd_{AB} = a Td_A + b Td_B$; A、B 代表不同树种; Td_A 、 Td_B 分别表示纯树种 A 和树种 B 的枯落叶年分解率实测值; a、b 分别表示混合枯落叶中 A、B 树种所占的比例。 $\Delta\% = 100 \times (Td_{AB} - Pd_{AB}) / Pd_{AB}$; 按照 $\Delta\%$ 的绝对值将相互作用强度划分为: N (0—5%), LL (5%—10%), L (10%—15%), S (15%—20%), SS (20%—25%), VS (25%—30%), SM (>30%)

解作用的是柠条,而白榆和沙棘作用不明显。与辽东栎枯落叶混合,存在较明显促进作用的是白榆,而沙棘、柠条和紫穗槐作用均不明显。与白榆枯落叶混合,存在较明显促进分解作用的是旱柳,存在较明显抑制分解作用的是柠条,而沙棘和紫穗槐作用不明显。与旱柳枯落叶混合,存在较明显促进分解作用的是紫穗槐,而沙

棘和柠条作用不明显。与沙棘枯落叶混合,紫穗槐有较明显的促进分解作用,柠条作用不明显。与柠条枯落叶混合,紫穗槐有较明显的抑制作用。

表 4 黄土高原阔叶树种之间枯落叶混合分解效应
Table 4 Effects of mix-leaf litter decay between broad-leaved trees in the Loess Plateau

枯落叶混合树种 Trees of mixed litter	混合比例 Mixed ratio	分解模型 $\ln R = -kt$ Decay model	年分解率 $d = 1 - e^{-k}$ Annual decay rate			相互作用 Effects of mixture	
			实测值 Td_{AB}	理论值 Pd_{AB}	$\Delta/\%$	促进 Promote	抑制 Inhibit
			True value	Predict value			
小叶杨×刺槐	1:1	$\ln R = -1.6411t$	0.8062	0.7663	5.21	LL	
小叶杨×白桦	1:1	$\ln R = -2.1860t$	0.8876	0.8925	-0.55		N
小叶杨×辽东栎	1:1	$\ln R = -2.0503t$	0.8713	0.7991	9.04	LL	
小叶杨×白榆	1:1	$\ln R = -3.0003t$	0.9502	0.9484	0.19	N	
小叶杨×沙棘	1:1	$\ln R = -3.6866t$	0.9749	0.9561	1.97	N	
小叶杨×柠条	1:1	$\ln R = -2.8651t$	0.9430	0.9472	-0.44		N
小叶杨×紫穗槐	1:1	$\ln R = -2.4082t$	0.9100	0.8243	10.40	L	
刺槐×白桦	1:1	$\ln R = -1.1127t$	0.6713	0.7134	-5.90		LL
刺槐×辽东栎	1:1	$\ln R = -0.7824t$	0.5427	0.6200	-12.47		L
刺槐×白榆	1:1	$\ln R = -1.6957t$	0.8165	0.7693	6.14	LL	
刺槐×沙棘	1:1	$\ln R = -1.8064t$	0.8358	0.7770	7.57	LL	
刺槐×柠条	1:1	$\ln R = -1.0576t$	0.6527	0.7681	-15.02		S
白桦×辽东栎	1:1	$\ln R = -1.7459t$	0.8255	0.7462	10.63	L	
白桦×白榆	1:1	$\ln R = -2.2670t$	0.8964	0.8955	0.10	N	
白桦×沙棘	1:1	$\ln R = -2.6375t$	0.9285	0.9032	2.80	N	
白桦×柠条	1:1	$\ln R = -1.8064t$	0.8358	0.8943	-6.54		LL
白桦×紫穗槐	1:1	$\ln R = -1.9041t$	0.8510	0.7714	10.32	L	
辽东栎×白榆	1:1	$\ln R = -2.0701t$	0.8738	0.8021	8.94	LL	
辽东栎×沙棘	1:1	$\ln R = -1.6345t$	0.8049	0.8098	-0.61		N
辽东栎×柠条	1:1	$\ln R = -1.8300t$	0.8396	0.8009	4.83	N	
辽东栎×紫穗槐	1:1	$\ln R = -1.0576t$	0.6527	0.6779	-3.72		N
白榆×旱柳	1:1	$\ln R = -4.3749t$	0.9874	0.9264	6.58	LL	
白榆×沙棘	1:1	$\ln R = -4.1388t$	0.9841	0.9591	2.61	N	
白榆×柠条	1:1	$\ln R = -1.9388t$	0.8561	0.9502	-9.90		LL
白榆×紫穗槐	1:1	$\ln R = -1.7533t$	0.8268	0.8273	-0.06		N
旱柳×沙棘	1:1	$\ln R = -2.9305t$	0.9466	0.9341	1.34	N	
旱柳×柠条	1:1	$\ln R = -2.8236t$	0.9406	0.9252	1.66	N	
旱柳×紫穗槐	1:1	$\ln R = -2.0601t$	0.8726	0.8023	8.76	LL	
沙棘×柠条	1:1	$\ln R = -2.7836t$	0.9382	0.9579	-2.06		N
沙棘×紫穗槐	1:1	$\ln R = -2.5713t$	0.9236	0.8350	10.61	L	
柠条×紫穗槐	1:1	$\ln R = -1.3367t$	0.7373	0.8261	-10.75		L

3 讨论

目前,随着人类对生物多样性和生态系统可持续发展的重视,枯落物组成的多样性及其对生态系统的影响也开始成为研究的热点之一,有越来越多的研究关注不同树种枯落叶混合分解问题,且开始从单纯研究混合分解过程中是否存在促进或抑制作用^[10]逐渐向研究不同生境条件^[11]、枯落叶基质组成^[12]对枯落叶混合分解过程的影响以及枯落物混合分解后对土壤生物化学性质的影响等更深层次的问题发展^[13]。

根据 Gartner 对现有研究结果统计表明,由于枯落物组成多样性的增加分解速率呈现“非加性”变化,且 67% 总体表现为促进作用^[14]。如 Kominoski 等人针对北美植被中的优势树种红枫 (*Acer rubrum*)、鹅掌楸 (*Liriodendron tulipifera*)、栗栎 (*Quercus prinus*) 和山杜鹃 (*Rhododendron maximum*) 等,通过 15 种枯落叶混合组合类型(不同物种丰富度和组成比例)的分解试验,研究了枯落物物种多样性对分解速率、分解过程中的化学组成、微生物和无脊椎动物生物量等的变化的影响^[15]。

关于混合分解效应的研究方法方面, Ostrofsky 认为^[16], 由于目前应用 Olson 模型 $R = X/X_0 = e^{-kt}$ 对分解过程拟合出的曲线斜率会受到试验历时的影响, 所以会使得研究结果因试验历时不同而产生差异。此外, Hui Dafeng 等对按照公式 $Pd_{AB} = a Td_A + b Td_B$ 计算混合分解速率的理论预测值提出质疑^[17], 认为枯落叶分解属于指数衰减曲线关系, 而不能以线性关系的方法简单处理, 并提出了如何区分枯落叶混合分解中各个树种的贡献大小和判断混合分解为“加性”还是“非加性”效应的改进方法。

可见, 不同树种枯落叶混合分解是一个非常复杂的问题, 本试验只是就黄土高原主要树种两两之间枯落叶混合分解的总体效应进行了简单地检测。至于在混合分解过程中为何存在促进或抑制分解效应的机理, 混合比例是否对检测结果有影响, 以及是否存在对某一树种枯落叶分解表现为促进而对另一树种枯落叶分解表现为抑制的现象, 有待今后更深入细致的研究予以完善和补充。同时需要指出, 只从枯落叶混合分解效应还不能全面反映不同树种的种间关系, 尚须通过补充其他种间关系研究才能对不同树种混交适宜性做出全面客观的评价。但是, 本研究结果为后续关于种间生物化学关系研究奠定了良好的基础。

References:

- [1] Li Y Y, Zheng J Y, Shao M A. Comparison of the attributes of natural forests and plantations in Ziwoiling mountain. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(12): 2447-2456.
- [2] Qin J, Wang K B, Shangguan Z P. Change of plant diversity of *Populus davidiana*, *Quercus liaotungensis* and their mixed forest in Ziwoiling area of Loess Plateau. *Journal of Northwest Agriculture and Forestry University: Natural Science Edition*, 2007, 35(5): 131-140.
- [3] Liu Z W, Duan E J, Fu G, Cui F F, Gao W J. A new concept: soil polarization in planted pure forest. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(6): 1119-1126.
- [4] Liu Z W, Duan E J, Liu Z M, Feng S Y. Soil polarization under pure stands of planted forests in the semi-arid, windblown sand region of northern Shaanxi Province, northwestern China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, 31(2): 1-9.
- [5] Jiang S N, Zhai M P, Jia L M. Advances on the research of interspecific nutrient interaction in mixed forest ecosystems. *Journal of Beijing Forestry University*, 2001, 23(2): 72-77.
- [6] Peng S L, Liu Q. The dynamics of forest litter and its responses to global warming. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1534-1544.
- [7] Liao L P, Ma Y Q, Wang S L, Gao H, Yu X J. Decompositions of leaf litter of Chinese fir in mixture with major associated broad-leaved plantation species. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(1): 27-33.
- [8] Lin K M, Hong W, Yu X T, Huang B L. Decomposition interaction of mixed litter between Chinese fir and various accompanying plant species. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(3): 321-325.
- [9] Olson J S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 1963, 44(2): 322-331.
- [10] Qinglin L, Daryl L M, Jared L D. Mixed litter decomposition in a managed Missouri Ozark forest ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257(12): 688-694.
- [11] Tracy B G, Zoe G C. Site of leaf origin affects how mixed litter decomposes. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006(38): 2307-2317.
- [12] Song F Q, Fan X X, Song R Q. Review of mixed forest litter decomposition researches. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 221-225.
- [13] Eric F S, Nobuhiro K, Shigeo K. Effects of leaf litter mixtures on the decomposition of *Quercus serrata* and *Pinus densiflora* using field and laboratory microcosm methods. *Ecological Engineering*, 1998(10): 53-73.
- [14] Gartner T B, Cardon Z G. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. *Oikos*, 2004, 104: 230-246.
- [15] Kominoski J S, Pringle C M, Ball B A, Bradford M A, Coleman D C, Hall D B, Hunter M D. No additive effects of leaf litter species diversity on breakdown dynamics in a detritus-based stream. *Ecology*, 2007, 88: 1167-1176.
- [16] Ostrofsky M L. A comment on the use of exponential decay models to test non-additive processing hypotheses in multi-species mixtures of litter. *J North Am Benthol Soc*, 2007, 23: 23-27.
- [17] Hui D, Jackson R B. Assessing interactive responses in litter decomposition in mixed species litter. *Plant Soil*, 2009, 314: 263-271.

参考文献:

- [1] 李裕元, 郑纪勇, 邵明安. 子午岭天然林与人工林群落特征比较研究. *西北植物学报*, 2005, 25(12): 2447-2456.
- [2] 秦娟, 王凯博, 上官周平. 子午岭林区山杨林、辽东栎林及其混交林植物多样性的变化. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2007, 35(5): 131-140.
- [3] 刘增文, 段而军, 付刚, 崔芳芳, 高文俊. 一个新概念: 人工纯林土壤性质的极化. *土壤学报*, 2007, 44(6): 1119-1126.
- [4] 刘增文, 段而军, 刘卓玛姐, 冯顺煜. 陕北半干旱风沙区人工纯林土壤性质极化研究. *北京林业大学学报*, 2009, 31(2): 1-9.
- [5] 蒋三乃, 翟明普, 贾黎明. 混交林种间养分关系研究进展. *北京林业大学学报*, 2001, 23(2): 72-77.
- [6] 彭少麟, 刘强. 森林凋落物动态及其对全球变暖的响应. *生态学报*, 2002, 22(9): 1534-1544.
- [7] 廖利平, 马越强, 汪思龙, 高洪, 于小军. 杉木与主要造林阔叶树种叶凋落物的混合分解. *植物生态学报*, 2000, 24(1): 27-33.
- [8] 林开敏, 洪伟, 俞新妥, 黄宝龙. 杉木与伴生植物凋落物混合分解的相互作用研究. *应用生态学报*, 2001, 12(3): 321-325.

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula lei</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and its application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元