

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第1期 Vol.33 No.1 **2013**

中国生态学会
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 33 卷 第 1 期 2013 年 1 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 生态整合与文明发展..... 王如松 (1)
- 干旱半干旱区坡面覆被格局的水土流失效应研究进展 高光耀,傅伯杰,吕一河,等 (12)
- 城市林木树冠覆盖研究进展 贾宝全,王 成,邱尔发,等 (23)
- 环境质量评价中的生物指示与生物监测 Bernd Markert,王美娥,Simone Wünschmann,等 (33)
- 水溶性有机物电子转移能力及其生态效应 毕 冉,周顺桂,袁 田,等 (45)

个体与基础生态

- 凋落物和增温联合作用对峨眉冷杉幼苗抗氧化特征的影响 杨 阳,杨 燕,王根绪,等 (53)
- 不同浓度 5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响
..... 赵艳艳,胡晓辉,邹志荣,等 (62)
- 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐,彭良志,王男麒,等 (71)
- 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征..... 宋彦涛,周道玮,王 平,等 (79)
- 花蜜中酚类物质对群落中同花期植物传粉的影响..... 赵广印,李建军,高 洁 (89)
- 桉树枝瘿姬小蜂连续世代种群生命表..... 朱方丽,邱宝利,任顺祥 (97)

种群、群落和生态系统

- 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值 殷晓洁,周广胜,隋兴华,等 (103)
- 河静黑叶猴果实性食物组成、选择及其对种子的扩散作用..... 阮海河,白 冰,李 宁,等 (110)
- 2010 秋季东海今生颗石藻的空间分布 靳少非,孙 军,刘志亮 (120)
- OPRK1 基因 SNP 与梅花鹿日间行为性状的相关性 吕慎金,杨 燕,魏万红 (132)
- 鄱阳湖流域非繁殖期鸟类多样性 邵明勤,曾宾宾,徐贤柱,等 (140)
- 人工巢箱条件下两种山雀鸟类的同域共存机制 李 乐,张 雷,殷江霞,等 (150)
- 桉-栎不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态 李艳红,杨万勤,罗承德,等 (159)
- 三峡库区生态系统服务功能重要性评价 李月臣,刘春霞,闵 婕,等 (168)

景观、区域和全球生态

- 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征 李林海,郜二虎,梦 梦,等 (179)
- 海岸带地理特征对沉水植被丰度的影响..... 吴明丽,李叙勇,陈年来 (188)
- 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质 曹国栋,陈接华,夏 军,等 (195)

资源与产业生态

- 农田开垦对三江平原湿地土壤种子库影响及湿地恢复潜力 王国栋,Beth A Middleton,吕宪国,等 (205)
- 漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响 安红燕,徐海量,叶 茂,等 (214)
- 黑龙江流域夏玉米产量提升限制因素 徐丽娜,陶洪斌,黄收兵,等 (222)
- 黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性 慕东艳,吕国忠,孙晓东,等 (229)

桑沟湾养殖生态系统健康综合评价 傅明珠,蒲新明,王宗灵,等 (238)

城乡与社会生态

基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价 吴海燕,吴耀建,陈克亮,等 (249)

四十里湾营养状况与浮游植物生态特征 李 斌,白艳艳,邢红艳,等 (260)

生态足迹深度和广度:构建三维模型的新指标 方 恺 (267)

中国东西部中小城市景观格局及其驱动力 齐 杨,邬建国,李建龙,等 (275)

研究简报

南海陆坡沉积物细菌丰度预测 李 涛,王 鹏 (286)

浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局 刘 振,董 智,李红丽,等 (294)

光 and 不同打破种子休眠方法对紫茎泽兰种子萌发及幼苗状态的影响 姜 勇,李艳红,王文杰,等 (302)

学术争鸣

关于植物群丛划分的探讨 邢韶华,于梦凡,杨立娟,等 (310)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-01



封面图说: 外来入侵物种紫茎泽兰——紫茎泽兰约于 20 世纪 40 年代由缅甸传入中国云南南部后迅速蔓延,现已在云南、贵州、四川、广西、重庆、湖北、西藏等省区广泛分布和危害,并仍以每年大约 30 km 的速度扩散。紫茎泽兰为多年生草本或亚灌木,号称“植物界杀手”。其对环境的适应性极强,疯长蔓延,能极大耗损土壤肥力。它的植株能释放多种化感物质,排挤其他植物生长而形成单优种群,它破坏生物多样性,威胁到农作物、畜牧草甚至林木,且花粉能引起人类过敏性疾病等,目前尚无有效治理对策。

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

DOI: 10.5846/stxb201111051671

李艳红, 杨万勤, 罗承德, 吴福忠, 胡杰. 桉-栎不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态. 生态学报, 2013, 33(1): 0159-0167.

Li Y H, Yang W Q, Luo C D, Wu F Z, Hu J. Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 0159-0167.

桉-栎不同混合比例凋落物分解过程中 土壤动物群落动态

李艳红^{1,2}, 杨万勤^{1,*}, 罗承德¹, 吴福忠¹, 胡杰²

(1. 四川农业大学生态林业研究所, 生态林业工程重点实验室, 成都 611130;

2. 西华师范大学西南野生动植物资源保护教育部重点实验室, 南充 637009)

摘要: 采用凋落物分解袋法研究了 10:0 (T I)、7:3 (T II)、5:5 (T III)、3:7 (T IV) 和 0:10 (T V) 巨桉 (*Eucalyptus grandis*) 和台湾栎木 (*Alnus formosana*) 混合凋落物分解过程中的土壤动物群落特征。从 5 种类型、3 种规格的 810 只凋落袋中共收集土壤动物 75651 只, 隶属 2 门 10 纲 20 目, 其中弹尾目 (Collembola) 和蜱螨目 (Acarina) 为优势类群。土壤动物个体数最高是 7—8 月, 大型土壤动物个体数最高是 7 月, 中小型土壤动物个体数最高是 7—8 月。大型、中小型土壤动物类群数各月间均波动较小。与 30 目和 6 目相比, 260 目网袋中弹尾目和蜱螨目等中小型土壤动物数量更高。相对台湾栎木 (TV) 而言, 巨桉 (TI) 凋落物中弹尾目数量更多。啮虫目 (Psocoptera) 在台湾栎木 (TV) 凋落物中的数量远远高于其它凋落物, 后孔寡毛目 (Opisthopora) 在混合凋落物中数量较高。不同比例的凋落物混合可改变凋落物中土壤动物的数量和组成。栎木、混合凋落物中大型土壤动物的个体数高于巨桉凋落物, 而且上述凋落物的分解速率亦明显快于巨桉凋落物, 这意味着大型土壤动物的活动可加速凋落物的分解。因此, 在巨桉人工纯林中混栽台湾栎木, 可显著提高大型土壤动物的数量, 促进凋落物的分解。

关键词: 巨桉; 台湾栎木; 土壤动物群落结构; 凋落物分解; 混合凋落物

Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters

LI Yanhong^{1,2}, YANG Wanqin^{1,*}, LUO Chengde¹, WU Fuzhong¹, HU Jie²

1 Key Laboratory of Ecological Forestry Engineering, Institute of Ecology & Forestry, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China

2 Ministry of Education Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, China West Normal University, Nanchong 637009, China

Abstract: Eucalypt (*Eucalyptus grandis*) is widely used to develop the short-term rotation industrial plantation in south China due to the characteristics of fast growth, higher yield, higher cellulose content, and straight trunk. However, extensive eucalypt pure plantation gives rise to a series of ecological problems such as native biodiversity loss, soil fertility decline, “green desert”, and plant disease outbreak. In order to avoid or lower the ecological and economic risks of pure plantation, therefore, forest managers and researchers begin to plant the mixture of eucalypt tree with native trees. Alder (*Alnus formosana*) is a nitrogen-fixing tree species, which can increase soil fertility and accelerate the decay of lower-quality litter and nutrient cycling, implying that the alder may become the accompanying tree species in the eucalypt plantation. Meanwhile, soil faunal community plays important roles in maintaining soil fertility, decomposing plant residues and other soil processes. In order to evaluate the effect of mixed eucalypt and alder plantation on soil ecological process in

基金项目: 国家科技支撑计划课题 (2011BAC09B05); 国家自然科学基金项目 (31170423); 四川省科技支撑计划项目 (2010NZ0051); 四川省教育厅重点项目 (09ZA127); 教育厅创新团队项目 (11TD006)

收稿日期: 2011-11-05; 修订日期: 2012-06-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: scyangwq@163.com

the hilly region of Southwestern Sichuan, therefore, 10-g litters with the ratios of eucalypt to alder 10:0 (TI), 7:3 (TII), 5:5 (TIII), 3:7 (TIV) and 0:10 (TV) were kept in nylon bags with the sizes of 260-mesh, 30-mesh and 6-mesh, and were placed on the forest floor in the plantations with different ratios of eucalypt and alder trees, respectively. Consequently, the structure and composition of soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters were investigated from May 2009 to April 2010. Soil macrofauna in litters was picked up by hand in the fields. Mesofauna and microfauna were collected and separated from the soil samples by Tullgren methods. 75651 specimens, which belong to 2 phyla, 10 classes and 20 orders, were found in five mixed leaf litters and three sizes of litterbags. Acarina and Collembola were the dominant groups, accounting for 97.24% of the total. The litters had the maximum peak of soil faunal quantity from July to August. Similarly, the maximum peak of soil macrofaunal quantity was observed in July, and that of meso- and micro-fauna in July and August, respectively. No obvious difference on the faunal groups was found among months. More meso- and microfaunal individuals existed in 260-mesh litterbags than in 30-mesh and 6-mesh litterbags. Eucalypt litter had higher amount of Collembola in comparison with the alder litter. TV litter had more Psocoptera compared with the others. Mixed litter had more Opisthoptera. The structure of soil faunal community in litters varied with the mixed ratios of eucalypt to alder litters. These results implied that the soil macrofauna prefers to live in the alder litter and mixed litters rather than the eucalypt litter, and accelerates the rate of leaf litter breakdown. Therefore, alder litter and mixed litters had higher decomposition rates compared with the eucalypt litter. These results demonstrated that the alder was an accompanying tree species in the eucalypt plantation, and alder trees planted in the pure eucalypt plantation will be of benefit to accelerating the decay of eucalypt leaf litters and to maintaining the soil fertility. The results provide with scientific basis for reasonable mixed eucalypt plantation.

Key Words: *Eucalyptus grandis*; *Alnus formosana*; soil faunal community structure; litter decomposition; mixed litters

森林凋落物分解是地力维持的基础^[1],但受到各种生物与非生物因素的综合影响^[2-4]。土壤动物是凋落物分解的积极参与者^[5-9],并受到凋落物种类和质量的影响,而且不同体径的土壤动物对凋落物分解的贡献也不相同^[10-12]。同时,参与凋落物分解的土壤动物类群和数量也受到凋落物质量等生物与非生物因素的影响^[13-14]。在凋落物分解的不同阶段,凋落物的分解程度差异为不同土壤动物提供食物来源,因而土壤动物群落结构可能发生相应变化^[15-16]。不同凋落物混合提高了生境异质性,与单一凋落物相比土壤动物更丰富^[17]。因此,研究不同质量的凋落物混合分解过程中,不同体径的土壤动物群落变化对于探讨混交林凋落物的分解机制有着重要的意义,也可能为人工混交林的构建提供一定的科学依据。

巨桉(*Eucalyptus grandis*)是南方工业原料林的主要造林树种之一,但单一的桉树人工林可能导致生物多样性降低和地力衰退等生态问题^[18]。台湾桉木(*Alnus formosana*)是非豆科固氮的常绿速生树种,能加速低品质树种凋落物分解和养分循环^[19],可能成为降低巨桉生态风险的伴生树种。伴生树种的栽植是否改变凋落物分解过程中土壤动物群落的结构和功能,加速凋落物的分解,从而影响人工林生态系统的物质循环,亟待深入研究。因此,本文研究了不同比例的巨桉与台湾桉木混合凋落物分解过程中的土壤动物群落动态,以期为人工林的可持续经营提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域与样地概况

研究区域位于四川省乐山市苏稽镇(N29°36′—29°37′, E103°36′—103°37′),属中亚热带气候带,四季分明,雨量丰沛,年平均降水量多数在 1000 mm 以上,水热同季,年平均气温在 16.5—18.0 °C,大于或者等于 0 °C 积温为 6100—6500 °C,大于或者等于 10 °C 积温 5269—5662 °C,大于或者等于 20 °C 积温 2930—3376 °C,年平均无霜期长达 300 d 以上。研究区域主要木本植物有多花野牡丹(*Melastoma affine*)、乌泡子(*Rubus parkeri*)、岗桉(*Eurya groffii*)、菝葜(*Smilax china*)等;主要草本植物有芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、芒

(*Miscanthus sinensis*)、十字苔草(*Carex cruciata*)等。

1.2 试验方法

2009年4月,收取巨桉纯林、台湾桉木纯林的自然凋落叶,自然状态下风干,按照10:0(TI)、7:3(TH)、5:5(TIH)、3:7(TIV)和0:10(TV)等5个巨桉(*Eucalyptus grandis*)和台湾桉木(*Alnus formosana*)凋落物混合比例,将不同混合比例的凋落物10g分别放入3种不同孔径^[20](6目、30目和260目)尼龙袋(20 cm×20 cm)中。其中,6目网袋允许各种土壤动物的作用;30目网袋则基本排除了大型土壤动物的影响,允许中小型土壤动物自由出入;260目(对照)网袋则尽可能排除土壤动物的作用。每种比例、每种规格的凋落物各54袋,共计810袋,4月底放置于相应比例桉-栎混交人工林下,其上覆盖少许土壤,以固定凋落物袋。当年5月至翌年4月取样。根据凋落物分解规律,前半年每半个月采集一次样品,后半年每月采集一次样品。每次采集不同孔径不同混合比例的凋落物袋各3袋,采用干漏斗法(Tullgren)和手捡法分离凋落物中的土壤动物,镜检计数分类,参照《中国土壤动物检索图鉴》^[21]鉴定捕获的土壤动物。分离结束后清除叶片表面土壤颗粒和混入的杂物,65℃烘干后称量,计算质量损失率^[12]。

1.3 数据处理与统计分析

土壤动物各类群数量等级划分:以个体数占总数10%以上者为优势类群,占总数1%—10%者为常见类群,占总数0.1%—1%为稀有类群,占总数0.1%以下为极稀有类群。

数据统计分析均采用SPSS16.0和Excel软件完成。经球形检验(Mauchly's Test of Sphericity), $P<0.05$,故采用一般线性模型(General Linear Model)的Repeated Measures对5种混合比例凋落物间土壤动物个体数、类群数进行重复测量方差分析,并用Multivariate过程实现对5种混合比例凋落物的两两比较。采用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较3种网孔凋落物袋(260目、30目和6目)中凋落物分解速率差异及不同月份6目与30目中中小型土壤动物个体数和类群数差异。采用Pearson法检验质量损失率与土壤动物类群数和个体数的相关性,以及6目凋落物袋中大型土壤动物与中小型土壤动物的相关性。

2 结果与分析

2.1 土壤动物群落组成

在桉-栎5种不同混合比例、3种规格的810只凋落袋中共收集土壤动物75651只,隶属2门10纲20目(表1)。

其中大型土壤动物17类,占77.27%,中小型土壤动物5类,占22.73%。优势类群主要为中小型土壤动物中的弹尾目和蜉蝣目,占97.24%;常见类群为大型土壤动物中的后孔寡毛目;稀有类群有蠋线纲、双尾目、啮虫目、鞘翅目(隐翅虫科)、鞘翅目幼虫、双翅目幼虫、膜翅目(蚁科)等7类;极稀有类群有蜘蛛目、裂盾目、倍足纲、地蜈蚣目、石蜈蚣目、综合纲、原尾纲、等翅目、同翅目、缨翅目、双翅目、鳞翅目幼虫等12类。5种不同混合比例的凋落物中,大型土壤动物的分布是TV最多,TI最少,混合凋落物介于二者之间,且随桉木比例的增加呈增多的趋势;而中小型土壤动物在TI中最多,而TV最少。大型土壤动物优势类群因凋落物的组成不同而有所变化,TI主要有后孔寡毛目(37.09%)、鞘翅目成虫(18.31%)、啮虫目(12.68%),THI主要为后孔寡毛目(40.17%)、双翅目幼虫(14.64%),THI和TIV主要为后孔寡毛目,分别占58.39%和71.26%,TV主要为啮虫目(37.12%)、后孔寡毛目(33.04%)。啮虫目在TV中的数量远远高于其它四种凋落物,后孔寡毛目在混合凋落物中数量较高。中小型土壤动物的优势类群都是弹尾目和蜉蝣目,在不同的凋落物中蜉蝣目的个体数量在THI和TIV凋落物中较为丰富,弹尾目的数量是TI>TH>THI>TIV>TV,蠋线纲亦喜生活在TI凋落物中。凋落物土壤动物中,杂食性所占比例最大(50%),其次是捕食性(18.18%),植食性和腐食性各占13.64%,菌食性最少,占4.54%。杂食性动物在凋落物分解过程中自始至终存在,腐食性动物(后孔寡毛目)在6月中旬出现,7—8月最高,随后降低。

2.2 土壤动物数量变化

五种不同比例混合凋落物中的土壤动物个体数在260目凋落物袋中($P=0.033$, $F=4.071$)差异显著,在

表 1 凋落物中土壤动物群落结构

Table 1 The community structure of soil fauna in litter

名称 Name	TI	TII	TIH	TIV	TV	合计 Total	频度 Frequency	体型大小 Body size	功能群 Functional group
环节动物门 Annelida									
寡毛纲 Oligochaeta	79	96	282	300	186	943	1.25	大	S
节肢动物门 Arthropoda									
蛛形纲 Arachnida	1	3	4	2	2	12	0.02	大	Pr
蜱螨目 Acarina	2194	2190	3616	3946	2030	13976	18.47	中小	O
裂盾目 Schizomida		1			1	2	0	大	Pr
倍足纲 Diplopoda		1				1	0	大	Ph
唇足纲 Chilopoda									
地蜈蚣目 Geophilomorpha	1		3		2	6	0.01	大	Pr
石蜈蚣目 Lithobiomorpha	7	14	15	15	10	61	0.08	大	Pr
蠋线纲 Pauropoda	35	36	24	16	8	119	0.16	中小	O
综合纲 Symphyla	3	6	11	12	8	40	0.05	中小	S
原尾纲 Protura		3		2		5	0.01	中小	F
双尾纲	3	13	32	9	26	83	0.1	大	O
弹尾纲 Collembola	17192	15545	11087	9662	6106	59592	78.77	中小	O
昆虫纲 Insecta									
等翅目 Isoptera					1	1	0	大	O
同翅目 Homoptera	8	3	6	1	6	24	0.03	大	Ph
啮虫目 Psocoptera	27	17	30	33	209	316	0.42	大	O
缨翅目 Thysanoptera		1	6		1	8	0.01	大	Ph
鞘翅目 Coleoptera	39	14	9	12	34	108	0.14	大	O
鞘翅目(幼虫) Coleoptera(larva)	21	19	43	17	25	125	0.17	大	O
双翅目 Diptera	9	7	5	1	2	24	0.03	大	O
双翅目(幼虫) Diptera(larva)	6	35	17	15	16	89	0.12	大	S
鳞翅目(幼虫) Lepidoptera(larva)	2				4	6	0.01	大	O
膜翅目 Hymenoptera	10	15	31	16	38	110	0.15	大	O
类群数	17	19	17	16	20	22			
合计	19637	18019	15221	14059	8715	75651			

Ph:Phytophaga 植食性,F:Fungivorous forms 菌食性,Pr:Predators 捕食性,S:Saprozoic 腐食性,O:Omnivores 杂食性^[13]

30 目($P=0.003, F=8.763$)和 6 目($P=0.002, F=9.709$)差异中极其显著。从图 1 可以看出,中小型土壤动物个体数量是 260 目>30 目>6 目,5—11 月,中小型土壤动物个体数在 30 目与 6 目中差异显著($P<0.05$)。中小型土壤动物个体数量随时间变化呈现上升、下降的动态(图 1),个体数量在 7—8 月较高,最高可达到 909 只(图 1)。2009 年 5 月至 8 月,30 目 TV 凋落物中的中小型土壤动物个体数量呈上升趋势(图 1)。5 月和 7 月,30 目中 5 种不同混合比例的凋落物中中小型土壤动物个体数差异显著($P<0.05$)。中小型土壤动物在 TV 凋落物中最少(图 1)。6 目中中小型土壤动物的个体数远高于大型土壤动物(图 1),但二者相关性不显著($P=0.257, r=0.121$)。大型土壤动物个体数在各月间波动较大(图 1),7 月初,TV 凋落物中大型土壤动物个体数最高,为 9 只,与其它凋落物存在显著差异($P<0.05$)。大型土壤动物的个体数量在 TI 中较少,低于混合凋落物。

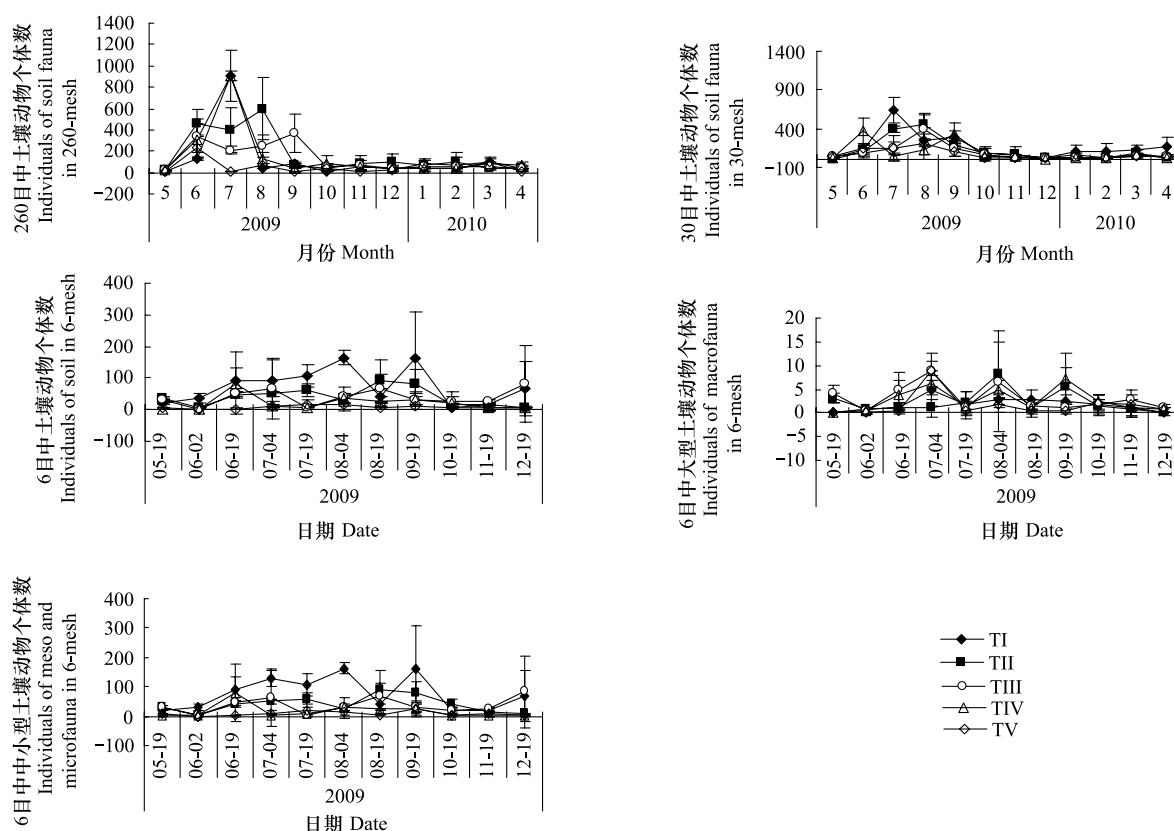


图 1 不同网孔中 5 种不同混合比例的凋落物分解过程中土壤动物个体数量动态(平均值±标准差)

Fig. 1 Individuals dynamics of soil fauna in different mesh litterbags and mixing ratio litter during the decomposition of litter (mean±s. d)

2.3 土壤动物类群变化

5 种不同比例混合凋落物中的土壤动物类群数在 260 目凋落物袋中差异不显著($P=0.380, F=1.172$),在 30 目中差异显著($P=0.020, F=9.932$),在 6 目中差异极其显著($P=0.000, F=13.450$)。土壤动物类群数是 30 目>6 目>260 目,中小型土壤动物类群数在 30 目中最多,6 目与 30 目凋落物袋中中小型土壤动物类群数仅在 7 月存在显著差异($P=0.017, F=6.472$)。10 月,中小型土壤动物类群数在 TI 凋落物中最高,达 7 类。TV 中中小型土壤动物类群数较混合凋落物中少。6 目中土壤动物类群数 TV 最低。TV 中大型土壤动物类群数在 8 月初达到最高,为 3 类。6 目中大型土壤动物与中小型土壤动物的类群数呈极其显著正相关($P=0, r=0.363$)(图 2)。

2.4 凋落物分解速率与土壤动物的关系

5—9 月,260 目、30 目凋落物袋中 5 种不同混合比例的凋落物分解缓慢,10 月份以后呈明显上升趋势(图

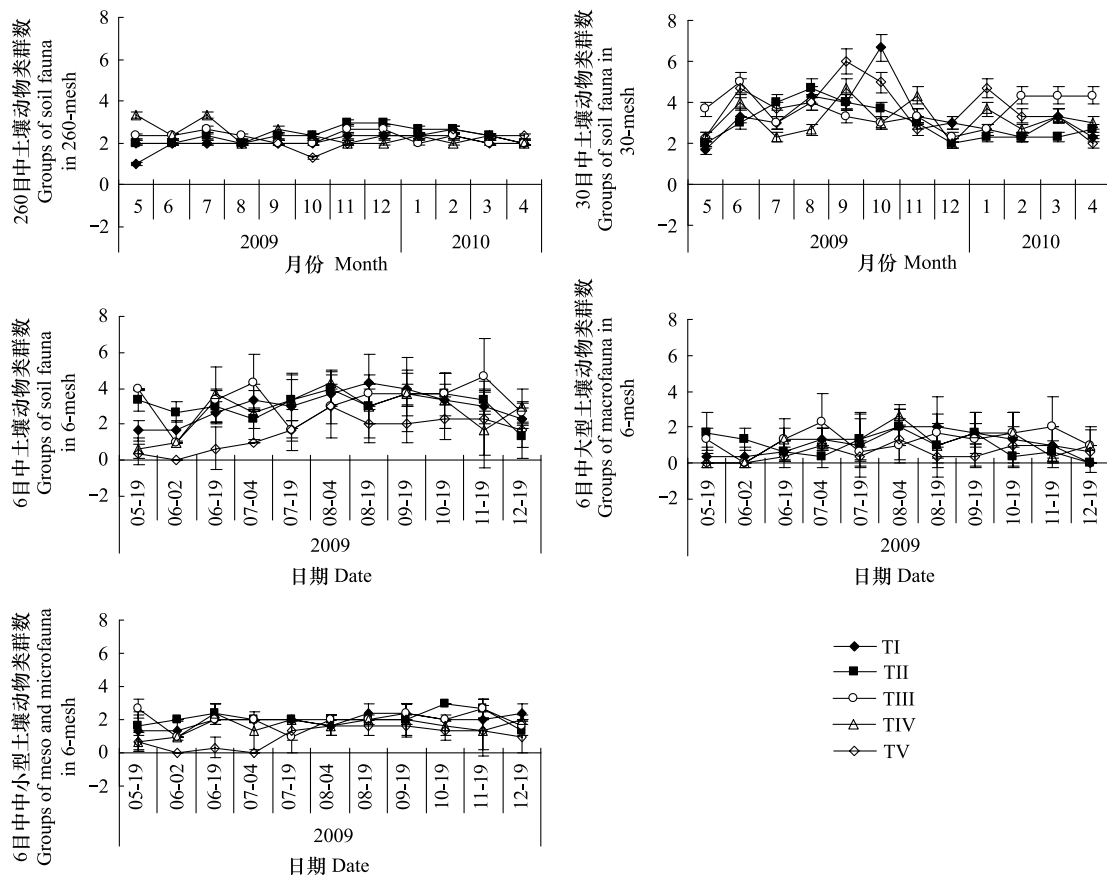


图2 不同网孔中5种不同混合比例的凋落物分解过程中土壤动物类群动态(平均值 $\pm$ 标准差)

Fig. 2 Groups dynamics of soil fauna in different mesh litterbags and mixing ratio litter during the decomposition of litter (mean $\pm$ s. d)

3)。5种不同混合比例的凋落物在6目中的分解速率呈现TV>TIV>TIII>TII>TI(图3,c),且在6、7月分解速率差异显著($P<0.05$)。TV和TIV迅速分解期在5月下旬至6月初,TIII和TII迅速分解期5月下旬至6月中旬,TI的迅速分解期分别在8月上旬,截至10月中旬,6目中凋落物基本分解完毕。6—8月,5种不同混合比例的凋落物的分解速率在6目与30目中存在显著差异($P<0.05$)。

Pearson相关性检验表明,在260目凋落物袋中,质量损失率与类群数在TI($P=0.031$, $r=0.620$)、TII($P=0.034$, $r=0.614$)中相关性显著,在TV($P=0.003$, $r=0.785$)中相关性极其显著。30目凋落物袋中,质量损失率与个体数在TII($P=0.001$, $r=0.828$)中相关性极其显著,质量损失率与类群数在TV($P=0.022$, $r=0.649$)中相关性显著。研究还发现,6目中质量损失率与大型土壤动物的个体数和类群数相关性均不显著。

3 结论和讨论

研究不同混合比例桉-栉凋落物的土壤动物群落组成及群落动态对于揭示凋落物的分解与土壤动物的关系,构建综合效应较高的人工林有着重要意义。本项研究显示,5种混合比例凋落物中的土壤动物个体数在3种网孔中(260目,30目和6目)均差异显著,类群数在30目和6目中差异显著,表明不同比例的凋落物混合可改变凋落物中土壤动物的数量和组成。中小型土壤动物弹尾目更喜生活在TI凋落物中,混合凋落物次之;TV凋落物中中小型土壤动物的个体数和类群数均较少;大型土壤动物的个体数是混合凋落物高于TI凋落物。综上表明在巨桉凋落物中混交台湾栉木虽降低了弹尾目等中小型土壤动物的数量,但在一定程度上可提高大型土壤动物的数量。凋落物分解过程中,杂食性土壤动物自始至终存在,腐食性土壤动物在凋落物分解的后期和末期最丰富,表明伴随凋落物的分解,土壤动物的组成和功能发生相应的改变。

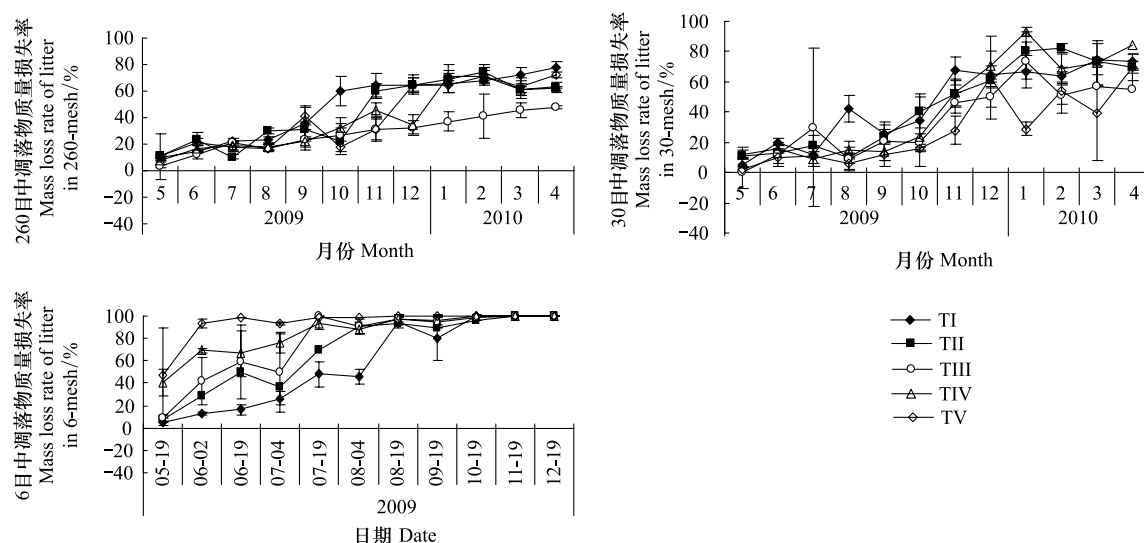


图3 不同网孔中5种不同混合比例的凋落物的质量损失率(平均值±标准差)

Fig. 3 Mass loss rate of litter in 260-, 30-, and 6-mesh (mean±s. d)

土壤动物个体数最高峰在7—8月份,类群数最高值在10月份。在大多数情况下,温度的升高可使微小型节肢动物密度增加^[22-23],雨热同季可提高微生物的活动,为土壤动物的生存和繁衍提供了良好的微环境^[24],因此高温潮湿环境中土壤动物数量丰富^[25]。在凋落物分解早期,凋落物中含土壤动物所需的营养物质,土壤动物大量聚集和繁衍^[26]。随着分解的持续进行,营养元素含量随凋落物失重量的增高而降低,难以分解的物质相对增多^[27],土壤动物所需的养分骤减,土壤动物数量和类群呈下降趋势,同时在凋落物分解过程中,凋落物中的大型动物类群亦发生相应变化,杂食性土壤动物自始至终存在,腐食性动物分解后期和末期迅速增加,土壤动物在凋落物分解过程中的出现时序取决于其食性和凋落物的分解程度^[12]。

大型土壤动物个体数和类群数在6—8月较高,这也是6目中凋落物分解最迅速的时期。6—8月,5种不同混合比例的凋落物的分解速率在6目与30目中存在显著差异($P<0.05$),且6目快于30目^[12]。6目允许所有土壤动物自由出入,而30目限制了大型土壤动物的活动,由此可推测,6目中活动的大型土壤动物加速了凋落物的分解。此外,TV中大型土壤动物数量高于TI凋落物,混合凋落物介于二者之间,而6目凋落物袋中,凋落物的分解速率亦是TV>混合凋落物>TI。再者,30目和6目中,TI凋落物中中小型土壤动物的数量均比TV丰富,但TI的分解速率仍慢于TV,同时,6目中的中小型土壤动物个体数远低于30目,但6目的分解速率却快于30目,由此可知,大型土壤动物对凋落物分解的贡献大于中小型土壤动物,因此,当巨桉纯林混栽台湾桉木,可提高凋落物中大型土壤动物的个体数,而大型土壤动物的活动可促进凋落物分解^[16,28-29],养分的循环,这与Pozo等^[19]的研究结果相一致,而Wise^[5]认为大型土壤动物对新鲜凋落叶的分解作用不明显,仅加速陈旧凋落叶的分解,Garcia-Pausas等^[30]则认为土壤微环境对凋落物分解的贡献远大于土壤动物的活动。在凋落物分解过程中,分解前期土壤动物贡献最大,分解后期则主要由微生物完成^[31]。

研究表明,在巨桉纯林中混栽台湾桉木,可提高凋落物中大型土壤动物的个体数量,而大型土壤动物的活动可加速凋落物的分解和养分的循环。在研究中却发现6目中质量损失率与大型土壤动物的个体数和类群数相关性均不显著,原因在于部分大型土壤动物活动能力强、在凋落袋中停滞时间短,即摄食完毕则迅速离开,因而不被采集和统计。另外,在260目仍采集到中小型土壤动物且数量较高^[12]。

References:

- [1] Yang W Q, Deng R J, Zhang J. Forest litter decomposition and its responses to global climate change. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(12): 2889-2895.

- [2] Tu M Z, Yao W H, Weng H, Li Z A. Characteristics of litter in evergreen broadleaved forest of the Dinghu mountain. *Acta Pedologica Sinica*, 1993, 30(1): 34-42.
- [3] Smith V C, Bradford M A. Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time. *Applied Soil Ecology*, 2003, 24(2): 197-203.
- [4] Vossbrinck C R, Coleman D C, Woolley T A. Abiotic and biotic factors in litter decomposition in a semiarid grassland. *Ecology*, 1979, 60(2): 265-271.
- [5] Wise D H, Schaefer M. Decomposition of leaf litter in a mull beech forest: comparison between canopy and herbaceous species. *Pedobiologia*, 1994, 38: 269-288.
- [6] Ekschmitt K, Liu M Q, Vetter S, Fox O, Wolters V. Strategies used by soil biota to overcome soil organic matter stability-Why is dead organic matter left over in the soil? *Geoderma*, 2005, 128(1/2): 167-176.
- [7] Maraun M, Scheu S. Changes in microbial biomass, respiration and nutrient status of beech (*Fagus sylvatica*) leaf litter processed by millipedes (*Glomeris marginata*). *Oecologia*, 1996, 107(1): 131-140.
- [8] Seastedt T R. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual Review of Entomology*, 1984, 29: 25-46.
- [9] Wang S J, Ruan H H, Wang B. Effects of soil microarthropods on plant litter decomposition across an elevation gradient in the Wuyi Mountains. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(5): 891-897.
- [10] Zhong W Y, Yin X Q, Chen P. Relationship of litter decomposition and consumption with soil animals in Maoer Mountain forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(4): 511-512.
- [11] Lin Y H, Zhang F D, Liu H D, Su H L. Fluctuation of soil fauna community in Baiwangshen during paper Mulberry leaf litter decomposition. *Chinese Journal of Zoology*, 2005, 40(3): 60-66.
- [12] Li Y H, Luo C D, Yang W Q, Hu J, Wu F Z. Decomposition of eucalyptus-alder mixed litters and dynamics of soil faunal community. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(4): 851-856.
- [13] Lin Y H, Yang D F, Zhang F D, Wang J X, Bai X L, Wang B. Structure of soil animal community of oakery litter and fluctuation during leaf litter decomposition. *Forest Research*, 2006, 19(3): 331-336.
- [14] Li X F, Han S J, Guo Z L, Zheng X B, Song G Z, Li K X. Decomposition of pine needles and twigs on and under the litter layer in the natural Korean pine broadleaved forests. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28(3): 8-13.
- [15] Ke X, Zhao L J, Yin W Y. Succession in communities of soil animals during leaf litter decomposition in *Cyclobalanopsis glauca* forest. *Zoological Research*, 1999, 20(3): 207-213.
- [16] Irmiler U. Changes in the fauna and its contribution to mass loss and N release during leaf litter decomposition in two deciduous forests. *Pedobiologia*, 2000, 44(2): 105-118.
- [17] Wu P F, Zhu B. Comparison of soil animal community characteristics between alder and cypress mixed plantation and cypress pure plantation. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2008, 14(4): 488-493.
- [18] Zhang J, Yang W Q. *Ecosystem Researches on Eucalypt (*Eucalyptus grandis*) Short-Term Rotation Plantation*. Chengdu: Sichuan Scientific and Technical Press, 2008. 4
- [19] Pozo J, Basaguren A, Elósegui A, Molinero J, Fabre E, Chauvet E. Afforestation with *Eucalyptus globulus* and leaf litter decomposition in streams of northern Spain. *Hydrobiologia*, 1998, 373-374: 101-110.
- [20] Zhang X P, Zhang Y, Hou W L, Yin X Q. Decomposition of coniferous litter and the function of soil animal in the Xiao Hinggan Mountains. *Scientia Geographica Sinica*, 2000, 20(6): 552-556.
- [21] Yin W Y. *Pictorial Keys to Soil Animals of China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [22] Kennedy A D. Simulated climate change: a field manipulation study of polar microarthropod community response to global warming. *Ecography*, 1994, 17(2): 131-140.
- [23] Harte J, Rawa A, Price V. Effects of manipulated soil microclimate on mesofaunal biomass and diversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 1996, 28(3): 313-322.
- [24] Miao Y J, Yin X Q. Study on soil animals community of *Pinus koraiensis* broad-leaved mixed forest in Xiaoxing'an mountain. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(2): 204-209.
- [25] González G, Seastedt T R. Comparison of the abundance and composition of litter fauna in tropical and subalpine forests. *Pedobiologia*, 2000, 44(5): 545-555.
- [26] Wang S J, Ruan H H, Wang J S, Xu Z K, Wu Y Y. Dynamic Change of soil fauna community structure in the course of litter decomposition on the Wuyi Mountains. *Journal of Southwest Forestry University*, 2010, 30(6): 43-47.
- [27] Shao Y Q, Zhao J, Yang J. Studies on decomposing of litters and characteristic of nutritious elements in inner Mongolia huangfuchuan watershed.

Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(3): 81-84.

- [28] Hättenschwiler S, Gasser P. Soil animals alter plant litter diversity effects on decomposition. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, USA, 2005, 102(5): 1519-1524.
- [29] Bradford M A, Tordoff G M, Eggers T, Jones T H, Newington J E. Microbiota, fauna, and mesh size interactions in litter decomposition. Oikos, 2002, 99(2): 317-323.
- [30] Garcia-Pausas J, Casals P, Romanyà J. Litter decomposition and faunal activity in Mediterranean forest soils: effects of N content and the moss layer. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(6): 989-997.
- [31] Li Z A, Zou B, Ding Y Z, Cao Y S. Key factors of forest litter decomposition and research progress. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(6): 77-83.

参考文献:

- [1] 杨万勤, 邓仁菊, 张健. 森林凋落物分解及其对全球气候变化的响应. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2889-2895.
- [2] 屠梦照, 姚文华, 翁轰, 李志安. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林凋落物的特征. 土壤学报, 1993, 30(1): 34-42.
- [10] 仲伟彦, 殷秀琴, 陈鹏. 帽儿山森林落叶分解消耗与土壤动物关系的研究. 应用生态学报, 1999, 10(4): 511-512.
- [11] 林英华, 张夫道, 刘海东, 苏化龙. 百望山土壤动物群落结构在栎树落叶分解中的变化. 动物学杂志, 2005, 40(3): 60-66.
- [12] 李艳红, 罗承德, 杨万勤, 胡杰, 吴福忠. 桉-栎混合凋落物分解及其土壤动物群落动态. 应用生态学报, 2011, 22(4): 851-856.
- [13] 林英华, 杨德付, 张夫道, 王建修, 白秀兰, 王兵. 栎林凋落层土壤动物群落结构及其在凋落物分解中的变化. 林业科学研究, 2006, 19(3): 331-336.
- [14] 李雪峰, 韩士杰, 郭忠玲, 郑兴波, 宋国正, 李考学. 红松阔叶林内凋落物表层与底层红松枝叶的分解动态. 北京林业大学学报, 2006, 28(3): 8-13.
- [15] 柯欣, 赵立军, 尹文英. 青冈林土壤动物群落结构在落叶分解过程中的演替变化. 动物学研究, 1999, 20(3): 207-213.
- [17] 吴鹏飞, 朱波. 桉柏混交林与纯柏林土壤动物群落特征的比较. 应用与环境生物学报, 2008, 14(4): 488-493.
- [18] 张健, 杨万勤. 短轮伐期巨桉人工林生态系统. 成都: 四川科学技术出版社, 2008. 4
- [20] 张雪萍, 张毅, 侯威岭, 殷秀琴. 小兴安岭针叶凋落物的分解与土壤动物的作用. 地理科学, 2000, 20(6): 552-556.
- [21] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.
- [24] 苗雅杰, 殷秀琴. 小兴安岭红松阔叶混交林土壤动物群落研究. 林业科学, 2005, 41(2): 204-209.
- [26] 王邵军, 阮宏华, 汪家社, 徐自坤, 吴焰玉. 武夷山土壤动物群落结构在凋落物分解过程中的变化. 西南林学院学报, 2010, 30(6): 43-47.
- [27] 邵玉琴, 赵吉, 杨劼. 内蒙古皇甫川流域凋落物分解过程中营养元素的变化特征. 水土保持学报, 2004, 18(3): 81-84.
- [31] 李志安, 邹碧, 丁永祯, 曹裕松. 森林凋落物分解重要影响因素及其研究进展. 生态学杂志, 2004, 23(6): 77-83.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.1 January ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Integrating ecological civilization into social-economic development WANG Rusong (1)
- The effect of land cover pattern on hillslope soil and water loss in the arid and semi-arid region: a review
..... GAO Guangyao, FU Bojie, LÜ Yihe, et al (12)
- The status and trend on the urban tree canopy research JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa, et al (23)
- Bioindicators and Biomonitoring in Environmental Quality Assessment
..... Bernd Markert, WANG Mei'e, Simone Wünschmann, et al (33)
- Electron transfer capacities of dissolved organic matter and its ecological effects ... BI Ran, ZHOU Shungui, YUAN Tian, et al (45)

Autecology & Fundamentals

- Antioxidative responses of *Abies fabri* seedlings to litter addition and temperature elevation
..... YANG Yang, YANG Yan, WANG Genxu, et al (53)
- Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*)
seeds under NaCl stress ZHAO Yanyan, HU Xiaohui, ZOU Zhirong, et al (62)
- Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange
..... LING Lili, PENG Liangzhi, WANG Nanqi, et al (71)
- Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China
..... SONG Yantao, ZHOU Daowei, WANG Ping, et al (79)
- Effects of nectar secondary compounds on pollination of co-flowering species in a natural community
..... ZHAO Guangyin, LI Jianjun, GAO Jie (89)
- The continuous life-table of *Leptocybe invasa* ZHU Fangli, QIU Baoli, REN Shunxiang (97)

Population, Community and Ecosystem

- Dominant climatic factors of *Quercus mongolica* geographical distribution and their thresholds
..... YIN Xiaojie, ZHOU Guangsheng, SUI Xinghua, et al (103)
- Fruit diet, Selectivity and Seed dispersal of Hatinh langur (*Trachypithecus francoisi hatinhensis*)
..... Nguyen Haiha, BAI Bing, LI Ning, et al (110)
- The distribution of living coccolithophore in East China Sea in autumn, 2010 JIN Shaofei, SUN Jun, LIU Zhiliang (120)
- The association of OPRK1 gene SNP with sika deer (*Cervus nippon*) diurnal behavior traits
..... LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (132)
- Preliminary study on bird composition and diversity in Poyang Lake watershed during non-breeding period
..... SHAO Mingqin, ZENG Binbin, XU Xianzhu, et al (140)
- Coexistence mechanism of two species passerines in man-made nest boxes LI Le, ZHANG Lei, YIN Jiangxia, et al (150)
- Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters
..... LI Yanhong, YANG Wanqin, LUO Chengde, et al (159)
- RS/GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir area (Chongqing section)
..... LI Yuechen, LIU Chunxia, MIN Jie, et al (168)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau
..... LI Linhai, GAO Erhu, MENG Meng, et al (179)
- Effects of coastal geographical characteristics on the abundance of submerged aquatic vegetation
..... WU Mingli, LI Xuyong, CHEN Nianlai (188)
- Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed
..... CAO Guodong, CHEN Jiehua, XIA Jun, et al (195)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of farming on wetland soil seed banks in the Sanjing Plain and wetland restoration potential
..... WANG Guodong, Beth A Middleton, LÜ Xianguo, et al (205)

Effects of the microhabitats on the seedling emergence during the flooding disturbance	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (214)
Analysis on the limiting factors to further improve yield of summer maize in Heilonggang River Valley	XU Lina, TAO Hongbin, HUANG Shoubing, et al (222)
Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province	MU Dongyan, LÜ Guozhong, SUN Xiaodong, et al (229)
Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay	FU Mingzhu, PU Xinming, WANG Zongling, et al (238)
Urban, Rural and Social Ecology	
The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on ‘OOAO principle’	WU Haiyan, WU Yaojian, CHEN Keliang, et al (249)
Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay	LI Bin, BAI Yanyan, XING Hongyan, et al (260)
Ecological footprint depth and size: new indicators for a 3D model	FANG Kai (267)
Landscape dynamics of medium- and small-sized cities in eastern and western China: a comparative study of pattern and driving forces	QI Yang, WU Jianguo, LI Jianlong, et al (275)
Research Notes	
Prediction of bacterial species richness in the South China Sea slope sediments	LI Tao, WANG Peng (286)
Spatial pattern of seedling regeneration of <i>Ulmus pumila</i> woodland in the Otindag Sandland	LIU Zhen, DONG Zhi, LI Hongli, et al (294)
Impacts on seed germination features of <i>Eupatorium adenophorum</i> from variable light stimulation and traditional dormancy-broken methods	JIANG Yong, LI Yanhong, WANG Wenjie, et al (302)
Opinions	
Discus for classification of plant association	XING Shaohua, YU Mengfan, YANG Lijuan, et al (310)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 1 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 1 (January, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元