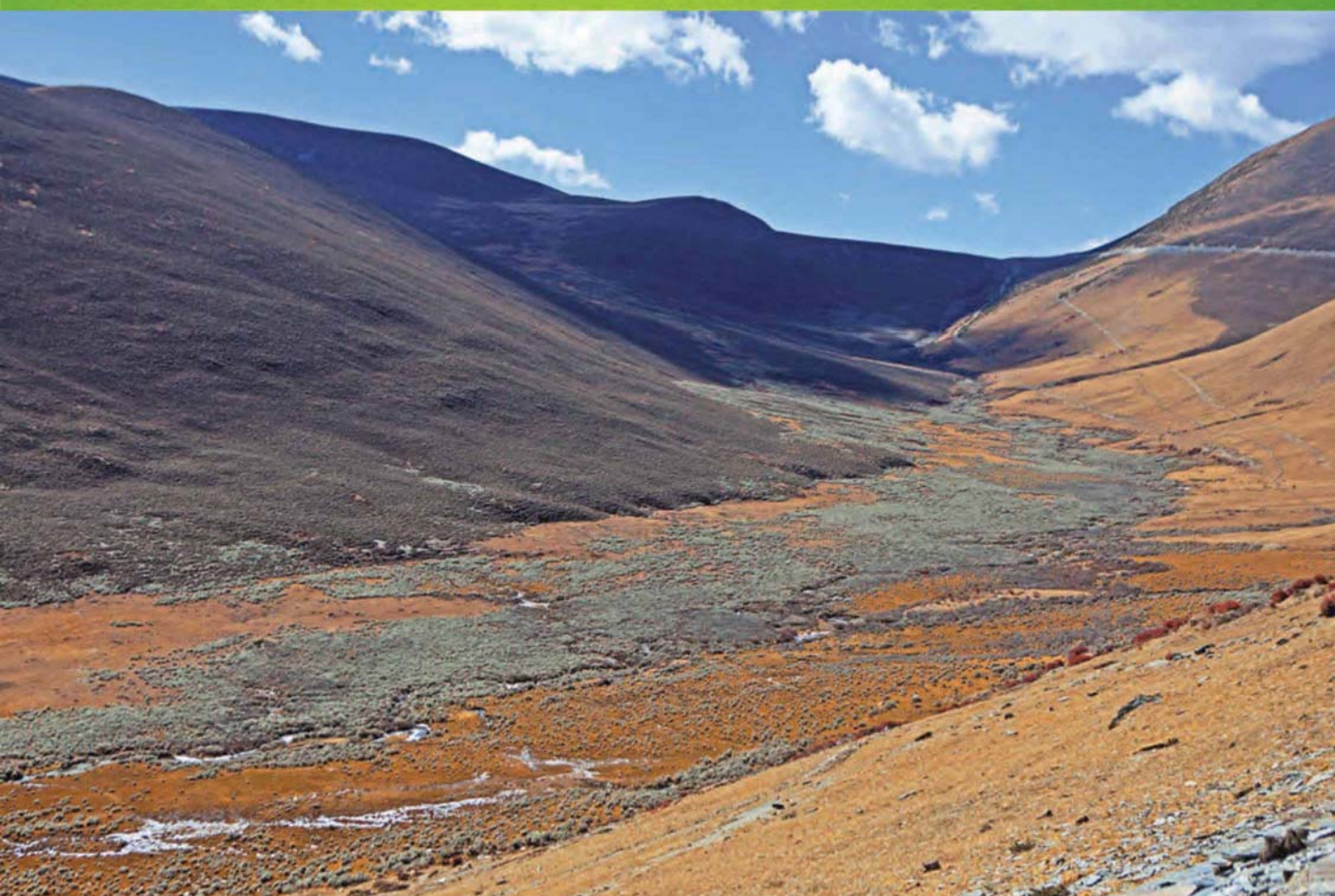


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 **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 18 期 2013 年 9 月 (半月刊)

目 次

中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

- 美国农业生态学发展综述 黄国勤, Patrick E. McCullough (5449)
- 水足迹研究进展 马 晶, 彭 建 (5458)
- 江西省主要作物(稻、棉、油)生态经济系统综合分析评价 孙卫民, 欧一智, 黄国勤 (5467)
- 植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 董 蕾, 李吉跃 (5477)
- 生态化学计量学特征及其应用研究进展 曾冬萍, 蒋利玲, 曾从盛, 等 (5484)
- 三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 王轶浩, 耿养会, 黄仲华 (5493)
- 城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 付芝红, 呼延佼奇, 李 锋, 等 (5500)
- 华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 王宇涛, 李春妹, 李韶山 (5509)
- 沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 施 翔, 刘会良, 张道远, 等 (5516)
- 水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 申时才, 徐高峰, 张付斗, 等 (5523)
- 珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 吴明开, 刘 海, 沈志君, 等 (5531)
- 不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 杨雨玲, 李 伟, 陈伟洲, 等 (5538)
- 土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 秦晓波, 李玉娥, 万运帆, 等 (5546)
- 免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 马玉华, 刘 兵, 张枝盛, 等 (5556)
- 香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 孙桂丽, 徐 敏, 李 疆, 等 (5565)
- 沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 赵哈林, 曲 浩, 周瑞莲, 等 (5574)
- 半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 王红丽, 宋尚有, 张绪成, 等 (5580)
- 基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 汪三树, 黄先智, 史东梅, 等 (5589)
- 不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 陈裴裴, 吴家森, 郑小龙, 等 (5599)
- 黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 邢肖毅, 黄懿梅, 安韶山, 等 (5608)
- 黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 赵 彤, 闫 浩, 蒋跃利, 等 (5615)
- 林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 郭子武, 俞文仙, 陈双林, 等 (5623)
- 降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 王 旭, 闫玉春, 闫瑞瑞, 等 (5631)
- 基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 黄超超, 黄锦学, 熊德成, 等 (5636)
- 4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 何春霞, 李吉跃, 孟 平, 等 (5644)
- 干旱荒漠区银白杨树干液流动态 张 俊, 李晓飞, 李建贵, 等 (5655)
- 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 等 (5661)
- 金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 闫帮国, 纪中华, 何光熊, 等 (5668)
- 温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 张海燕, 王传宽, 王兴昌 (5675)
- 断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 吴彦辉, 薛立新, 许自成, 等 (5686)
- 光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 高文荣, 朱万龙, 孟丽华, 等 (5696)
- 绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 王 芸, 李 正, 李 健, 等 (5704)

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应	张雪妮, 吕光辉, 杨晓东, 等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征	温远光, 雷丽群, 朱宏光, 等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联	刘金福, 朱德煌, 兰思仁, 等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系	王文君, 杨万勤, 谭 波, 等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态	范跃新, 杨玉盛, 杨智杰, 等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征	戴年华, 邵明勤, 蒋丽红, 等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响	陈 纯, 李思嘉, 肖利娟, 等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构	刘沙沙, 贾沁贤, 刘喜方, 等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律	潘 影, 徐增让, 余成群, 等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征	姚 昕, 朱广伟, 高 光, 等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究	王传辉, 吴 立, 王心源, 等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应	李正国, 杨 鹏, 唐华俊, 等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应	谢冬明, 金国花, 周杨明, 等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征	王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力	贾宝全, 王 成, 邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化	秦纪洪 王 琴 孙 辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例	周 健, 肖荣波, 庄长伟, 等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究	范敬龙, 刘海龙, 雷加强, 等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析	夏富强, 唐 宏, 杨德刚, 等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例	魏 超, 叶属峰, 过仲阳, 等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性	梁 君, 徐汉祥, 王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化	江志兵, 刘晶晶, 李宏亮, 等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例	刘耕源, 杨志峰, 陈 彬, 等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例	徐 飞, 蔡体久, 琚存勇, 等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿	李惠梅, 张安录, 王 珊, 等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应	李春林, 刘 淼, 胡远满, 等 (5952)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 59 * 2013-09	



封面图说: 川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地, 沟谷地带由于低平且水分较充足, 生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线, 以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统, 高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明, 易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关, 显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而, 这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

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

DOI: 10.5846/stxb201304140704

刘瑞鹏, 毛子军, 李兴欢, 孙涛, 李娜, 吕海亮, 刘传照. 模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响. 生态学报, 2013, 33(18): 5661-5667.
Liu R P, Mao Z J, Li X H, Sun T, Li N, Lü H L, Liu C Z. Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(18): 5661-5667.

模拟增温和不同凋落物基质质量对 凋落物分解速率的影响

刘瑞鹏¹, 毛子军^{1,*}, 李兴欢¹, 孙涛¹, 李娜¹, 吕海亮¹, 刘传照²

(1. 东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨 150040;

2. 东北林业大学凉水国家级自然保护区, 伊春 153000)

摘要: 采用凋落物分解袋法, 研究了在土壤、水分相当条件下模拟增温对红松 (*Pinus koraiensis*)、蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 及其混合凋落物分解的影响, 以及在不同温度水平下, 不同凋落物质量 (两种单一凋落物和混合凋落物) 的分解特性。利用碱式吸收法测量了凋落物分解累积释放 CO₂ 动态。将 N 浓度和 C/N 率作为凋落物质量参数, 用呼吸产生 CO₂ 的积累值和凋落物质量损失率确定凋落物分解率。结果表明温度升高对单一凋落物和混合凋落物分解均有促进作用, 在不同温度水平上, 不同质量凋落物的分解特性有所差别, 25 °C 和 29 °C 条件下混合凋落物分解速率 > 蒙古栎单一凋落物 > 红松单一凋落物分解速率。然而, 在 31 °C 条件下混合凋落物与蒙古栎单一凋落物分解速率相差不大, 二者均大于红松单一凋落物分解速率。

关键词: 红松; 蒙古栎; 凋落物分解; 温度; 二氧化碳累计产量

Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition

LIU Ruipeng¹, MAO Zijun^{1,*}, LI Xinghuan¹, SUN Tao¹, LI Na¹, LÜ Hailiang¹, LIU Chuanzhao²

1 Key Laboratory of Forest Plant Ecology, Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 Liangshui National Nature Reserve, Northeast Forestry University, Yichun 153000, China

Abstract: Litter decomposition is a fundamental process to ecosystem functioning being responsible of carbon and nutrient cycling. The decomposition of dead leaves depends on both biotic and abiotic factors. The combination of climate (e.g. mean annual temperature (MAT), mean annual precipitation (MAP), actual evapotranspiration, etc) and litter quality (N content, C/N ratio and lignin content) appeared to be the primary controllers of little decomposition. This is particularly true for temperature, which is inextricably linked to other environment parameters as a mutually confounding factor in terrestrial systems. Global average surface air temperature is predicted to increase 1.1—6.4 °C over this century. Climate warming is expected to cause species movements and extinctions, change the composition of communities and alter ecosystem functioning. As decomposition depends strongly on temperature, it is expected to be particularly sensitive to climate warming. However, it is still unclear how climate changes influence little decomposition. As global climate changes, it will become warmer and somewhat drier in forest ecosystems, in northeastern China. Changes in global warming and drying could affect forest distribution. The areas of tropical forests and subfrigid forests might increase and that of temperate forests and boreal coniferous forests might decrease, which might affect little quality by altering the structure and species of the original forest communities. The primary temperate forest in northeastern China is dominated by Korean pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) mixed with deciduous species. Many studies showed that *Quercus mongolica* will become a main associated tree species in broadleaved *Pinus koraiensis* forest, because it is more conducive to survival under the

基金项目: 国家“973”重点基础研究项目发展计划项目 (2010CB951301); 国家自然科学基金项目 (31270494, 31070350)

收稿日期: 2013-04-14; 修订日期: 2013-07-01

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

environment change in future. Therefore, the process of litter decomposition will be affected by climate warming and composition of little species change. Given that decomposition of dead plant tissues in forest ecosystems regulates the transfer of carbon and nutrients to soil, and represents an important source of CO₂ to the atmosphere. It is necessary to carry out research about litter decomposition of the two species under climate change in future. This study used litter bag methods, the whole process use an alkali absorption in a closed chamber method to measured cumulative CO₂ production. We recognized N concentration and C/N ratio as the litter quality parameters, and calculated decomposition rates as cumulative CO₂ production and initial mass remaining. Microcosm experiments under controlled laboratory conditions have proven useful for investigating the various factors that influence litter decomposition. Thus, this study was carried out through a microcosm experiment, in order to: (i) determine the effect of imitate increase temperature on *Pinus koraiensis*, *Quercus mongolica* pure and their mix litter decomposition rate and (ii) the effect of litter with different physicochemical properties on litter decomposition rate at the same temperature level under constant moisture condition, during a time period of 151 days incubation in laboratory. Our results suggest that increased temperature accelerated leaf little decomposition rates within both mixed-species litterbags and single-species litterbags. However, its response may vary depending on the level of increased temperature. When the temperature in closed chamber was at 25 °C and 29 °C, decomposition rates within litterbags decreased in the order of mixed-species > single-*Quercus mongolica* > single-*Pinus koraiensis*. When the temperature in closed chamber increased to 31 °C, decomposition rates was faster within mixed-species litterbags and single-*Quercus mongolica* litterbags than single-*Pinus koraiensis*, but the variation between mixed-species litterbags and single-*Quercus mongolica* litterbags decomposition rates was not statistically significant. This study has great significance on understanding of forest ecosystem carbon and nutrient cycle.

Key Words: *Pinus koraiensis*; *Quercus mongolica*; litter decomposition; temperature; cumulative CO₂ production

凋落物作为森林生态系统生产力构成的一部分,其分解是生物地球化学循环中的重要环节之一,凋落物分解速率还是森林地表层生物量和养分含量的主要决定因素,同时对土壤的理化性质有显著影响^[1]。凋落物分解主要受气候^[2-3]、凋落物质量和土壤生物群落的综合控制^[4],有研究认为气候是凋落物失重速率最强的决定因素^[5],其中温度和湿度是对凋落物分解影响较大的气候因子。政府间气候变化专门委员会 IPCC 预测,到 2050 年全球变暖会增加大气温度^[6]。气候模型(包括那些涉及温室气体和二氧化硫)预测北方大陆地区在春季和冬季将大幅升温(4—8 °C),而 IPCC 第四次评估报告预测,到 21 世纪末全球平均温度将升高 1.1—6.4 °C^[7]。以温度升高为代表的全球变暖对凋落物分解的影响是多方面的,在非生物环境影响方面,全球变暖将改变森林生态系统的水热条件,而气温上升会导致地面蒸散作用增加,土壤含水量减少,引起植物的生理缺水,抑制植物生长,而更有利于耐旱、耐贫瘠的树种生长,进而改变森林群落的结构和种类组成。因此,地面凋落物层由于混入新树种的凋落物,使整体的凋落物质量发生改变,凋落物的分解速率必然也会相应变化^[5]。

红松(*Pinus koraiensis*)是我国温带地区针阔混交林的主要优势种和建群种^[8],而作为针阔混交林的主要伴生树种之一的蒙古栎(*Quercus mongolica*),对土壤、湿度等生存条件有着较其他大多数森林树种更大的生态耐性和更宽的生态幅度,所以能在极端或贫瘠的土壤上保持其地位^[9-10]。周晓峰等^[11]对东北森林在气候变化背景下的模拟研究表明,落叶阔叶树将取代目前小兴安岭、长白山的红松和大兴安岭的兴安落叶松成为东北森林主要树种,而针叶林将在地带性森林中占很小的比重,阔叶树中蒙古栎将可能成为最主要的树种。然而,在这种森林演替过程中,温度升高对本地区森林生态系统物质循环,如碳循环的影响尚不明确,基于控制试验的温度梯度升高对凋落物分解的影响研究更未见报道。结合《哥本哈根协议(The Copenhagen Accord)》提出的 2 °C 阈值,在植物凋落物水平上,采用环境控制生长箱法,开展温带阔叶红松林生态系统的主要建群种和优势种红松及蒙古栎对不同增温(+4.0 °C、+6.0 °C)下调落物分解的生长箱模拟试验研究,旨在阐明:(1)在同一温度水平下,不同凋落物质量(两种单一凋落物和混合凋落物)对凋落物分解的影响。(2)温带森林生态系统优势植物种红松和蒙古栎凋落物分解速率对温度升高的响应。研究结果可为预测未来气候变暖条件下,两树种凋落物可能的分解变化对针阔混交林生态系统养分循环及碳循环的影响提供实验室基础数据和理论参考。

1 材料与方法

1.1 凋落物和土壤取样及处理

用于室内试验的红松凋落物收集于凉水自然保护区山脊部椴树阔叶红松林,该区域土壤相对较薄、干旱、蒙古栎凋落物收集于带岭区蒙古栎林,该区域为典型蒙古栎次生林类型,土壤稀薄、贫瘠、以石砾为主。土壤取自凉水自然保护区中海拔地段,为典型暗棕壤。黑龙江凉水国家级自然保护区(47°10'50" N, 128°53'20" E)位于小兴安岭南坡达里带岭支脉东坡,隶属于黑龙

省伊春市带岭区,海拔高度在 280—707 m。该地区属温带大陆性季风气候,夏短冬长。年平均气温 $-0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均最高气温 $7.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均最低气温 $-6.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,年平均降水量 676 mm,6—8 月降雨占全年降水量的 60%以上;无霜期 100—120 d,积雪期 130—150 d。地带性土壤为暗棕壤^[12]。土壤在去除凋落物、植物根、大型动物及可见的植物残体后,过 2 mm 筛,为了防止土壤团聚成块,增加土壤的透气性和渗水性,掺入一定比例砂子,作为调节,放置于阴凉通风处备用。在 2011 年 10 月,从地表收集足量的当年新凋落的红松和蒙古栎凋落叶,放置通风处阴干,红松剪成 2 cm 长一段,蒙古栎剪成 2 cm×2 cm 方形,各自混匀,分成两份,第 1 份用于试验,第 2 份用于测量初始质量含水率和化学成分,其中称取第 2 份样品每 10 g 一份,共 3 份放置于 65 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱,48 h 烘干至恒重,再次称重,计算初始质量含水率,粉碎,过 100 目分样筛,用于测量 C、N 浓度,全碳用重铬酸钾-硫酸氧化法^[13]测定,全氮用半微量凯氏定氮法测定。

1.2 凋落物分解试验设计

凋落物样品共 3 种:(1)单独红松凋落叶;(2)单独蒙古栎凋落叶;(3)混合凋落叶-红松和蒙古栎按照 3:1 比例。3 种样品均在 3 个温度水平下(昼/夜:(25/15,29/19,31/21) $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$)分解,其中,以小兴安岭地区月平均气温最高温度 25 $^{\circ}\text{C}$ 为对照温度),总共 9 个处理,一组只包含土壤的处理作为空白对照,每个处理 3 个重复,总计在 36 个塑料微缩孵化器中进行。

1.3 凋落物分解及其释放 CO_2 的测定方法

温度对不同种类凋落物室内分解试验使用的方法是参照 Yasin M.S. Salah 和 Robinson 等以及毛培等试验方法^[14-16]。通过凋落物分解积累释放 CO_2 和质量损失率决定凋落物分解率。自制 10 cm×12 cm 60 目尼龙分解袋,每袋放入凋落物共 6 g。装袋完毕将分解袋置于事先计算出的一定体积的蒸馏水中浸泡 24 h,以模拟自然淋溶,空干到没有水滴为止。凋落物分解基质(新鲜的土壤)在试验开始前阴干 1 周,充分混匀,测量其初始含水率,取出 300 g 放入 1 L 的塑料微缩孵化器中,将空干的分解袋放入塑料杯内新鲜土壤表面,接近自然状态,加入浸泡水使得初始含水量达到 60%^[17]。将一个装有 25 mL,1 mol/L NaOH 溶液的 50 mL 烧杯,放入塑料微缩孵化器内,用于吸收凋落物分解呼吸释放的 CO_2 ,记录下整个微缩孵化器的质量,包括塑料杯,土壤,分解袋和小烧杯,用塑料膜密封,分别放入上述 3 个温度梯度的植物气候培养箱中,黑暗条件下培养 151 d,即接近于一个生长季的长度。在试验的第 3,8,13,33,38,58,88,111,151 天分别取出放入的 NaOH 小烧杯,加入 1 mol/L 的 BaCl_2 ,用 1 mol/L 的 HCl 将剩余 NaOH 滴出,在取出装 NaOH 的小烧杯后,将塑料杯敞开放置 4—5 h,使塑料杯内空气与外界空气一致,期间更换新的 NaOH 溶液。为了在培养期间保持恒定的含水率,每次更换溶液完毕后进行称重,适当补充水分。经过 151 d,将凋落物分解袋从塑料杯中取出,整理干净,放在 65 $^{\circ}\text{C}$ 烘箱中,烘干 48 h 至恒重,并称量。对于每个处理积累 CO_2 的计算,是处理积累值(土壤带有凋落物)和空白积累(土壤不含有凋落物)值的差值,表示为 $\text{mg CO}_2\text{-C g}^{-1}$ 凋落物。质量损失计算为初始值和最终剩余质量的差值,表示为质量损失率。

1.3 数据分析

数据统计用 SPSS(v.17.0)和 Microsoft Excel 2003 完成所有数据分析,并用绘图软件 Origin8.0 进行绘图,限制水平为 $\alpha=0.05$ 。标准差是通过单因素方差分析计算(ANOVA),二因素方差分析用于检测温度和类型对凋落物呼吸积累 CO_2 和质量损失的影响,多元分析是用 Tukey's HSD 完成且所有数据符合正态分布。

2 结果

2.1 两树种凋落物初始化学成分

两树种凋落物的初始主要化学成分 C、N 浓度和 C/N 比差异显著。蒙古栎凋落物碳浓度比红松碳浓度低 12.6%,而氮浓度比红松凋落物高 35.4%,蒙古栎凋落物和红松凋落物的 C/N 比分别 68.2 和 120.7,红松凋落物含有较高的 C/N 比(表 1)。

表 1 初始凋落物样品 C、N 含量及 C/N 比
Table 1 Initial C, N and C/N ratio of litter samples

凋落物类型 Litter type	全碳 Total organic C/(mg/g)	全氮 Total N/(mg/g)	C/N 比 C/N ratio
蒙古栎 <i>Q. mongolica</i>	443±8a	6.5±0.11a	68.2±0.2a
红松 <i>P. koraiensis</i>	507±12b	4.2±0.16b	120.7±0.6b

字母不同表示差异显著($P<0.05$, $\alpha=0.05$)

2.2 温度和凋落物基质质量对凋落物分解的影响

经过 151d 的试验室培养结果表明,温度和凋落物基质质量及二者的交互作用对于凋落物分解呼吸产生的 CO_2 积累量和质量损失有显著影响(表 2)。

温度对凋落物分解的影响:在整个培养过程中,单一蒙古栎凋落物在前 40 d 的培养中分解缓慢,各温度水平分解速率相差不大,从第 40 天开始,31 $^{\circ}\text{C}$ 分解速率明显高于 29 $^{\circ}\text{C}$ 和 25 $^{\circ}\text{C}$ 。在 40—80 d 期间,29 $^{\circ}\text{C}$ 和 25 $^{\circ}\text{C}$ 分解速率相差不大。从第 80 天开始 29 $^{\circ}\text{C}$ 分解速率明显高于 25 $^{\circ}\text{C}$ (图 1)。在试验的最后(151d),随着温度的升高,单一蒙古栎凋落物分解呼吸产生 CO_2 积

表2 两因素方差分析温度和凋落物类型及二者的交互作用对凋落物分解累积释放 CO₂ 量的影响Table 2 Results (*P*-values) of two-way ANOVAs on the effects of litter type (*P*), different temperature level (*T*) and their interactions on cumulative CO₂ production and mass loss during fresh litter decomposition

变异来源 Sources of variation	培养时间 Incubation period/d								质量损失 Mass loss
	3	8	13	33	38	58	81	111	151
<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
<i>T</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
<i>P</i> × <i>T</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.008

累量和质量损失呈 31>29>25 °C, 31 °C 条件下单一蒙古栎凋落物呼吸产生 CO₂ 积累量 (310 mg CO₂-C/g 凋落物) 和质量损失 (52.1%) 比 29 °C 单一蒙古栎凋落物呼吸产生 CO₂ 积累量和质量损失高 18.3% 和 6%, 比 25 °C 单一蒙古栎凋落物呼吸产生 CO₂ 积累量和质量损失高 38.4% 和 15% (表 3); 在整个培养过程中单一红松凋落物分解情况与单一蒙古栎凋落物分解基本相似, 但也略有不同, 前 20 d 分解速率要高于蒙古栎分解速率, 在 0—40 d 期间, 25 °C 和 31 °C 条件下分解速率相差不大且大于 29 °C。从第 40 天开始, 31 °C 和 29 °C 条件下分解速率明显加快, 25 °C 条件下分解速率增速下降 (图 1)。在试验结束前 (151 d), 31 °C 条件下单一红松凋落物呼吸产生 CO₂ 积累量 (283 mg CO₂-C/g 凋落物) 和质量损失 (47%), 比 29 °C 单一红松凋落物呼吸产生 CO₂ 积累量和质量损失高 17.9% 和 2.4%, 比 25 °C 单一红松凋落物呼吸产生 CO₂ 积累量和质量损失高 47.4% 和 27.4% (表 3), 单一红松凋落物分解速率低于单一蒙古栎凋落物分解速率; 然而, 混合凋落物分解和单一树种凋落物分解结果不尽相同, 在整个培养过程中, 混合凋落物在前 40 d, 3 个温度水平分解均较缓慢。从第 40 d 开始, 29 °C 和 31 °C 分解速率明显加快, 且 29 °C 略高于 31 °C, 但最后一次取样在 31 °C 条件下分解速率有明显下降, 二者明显高于 25 °C 条件下的分解速率, 且 25 °C 条件下从第 60 天开始分解速率明显加快 (图 1)。在试验的最后 (151 d), 混合凋落物分解呼吸产生 CO₂ 积累量和质量损失依次为 29>31>25 °C。29 °C 混合凋落物呼吸产生 CO₂ 积累量 (343 mg CO₂-C/g 凋落物) 和质量损失 (49.1%), 比 31 °C 条件下混合凋落物呼吸产生 CO₂ 积累量和质量损失高 14.3% 和 4.2%, 比 25 °C 混合凋落物呼吸产生 CO₂ 积累量和质量损失高 36.1% 和 7.2% (表 3)。

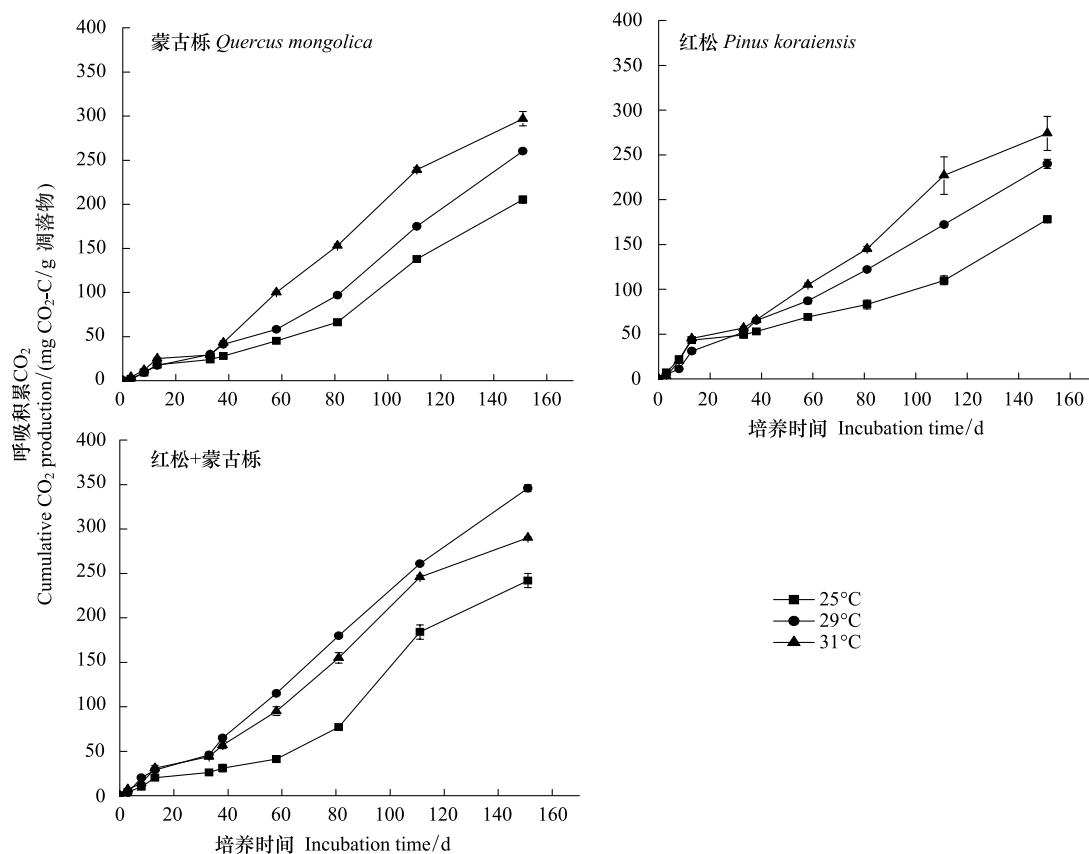
图1 单一蒙古栎、红松凋落物及其二者的混合凋落物在不同温度水平下 (25, 29 and 31 °C) 分解释放 CO₂ 的积累动态Fig.1 Cumulative CO₂ production during the decomposition of litter with three litter species *Quercus mongolica*, *Pinus koraiensis* and mix litter under different temperature levels (25, 29 and 31 °C) in a microcosm study. Error bars represent \pm SE ($n=3$)

表 3 不同温度条件下凋落物经 151 d 分解呼吸释放 CO₂ 累积量和质量损失Table 3 Effects of different temperature on cumulative CO₂ production (C₁₅₁) and mass loss at the end of litter decomposition

凋落物类型 Litter type	温度水平 Temperature level/℃	C ₁₅₁ (mg CO ₂ -C/g 凋落物)	质量损失 Mass loss/%
蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	25	224(6) c	45.3(0.9) b
	29	262(2) b	49.1(1.1) ab
	31	310(7) a	52.1(0.8) a
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	25	192(6) c	36.9(0.9) bc
	29	240(5) b	45.9(0.5) a
	31	283(16) a	47.0(0.4) a
蒙古栎+红松	25	252(9) c	45.8(1.6) a
	29	343(5) a	49.1(2.9) a
	31	300(3) b	47.1(1.5) a

括号内为标准差 ($n=3$), 字母相同的表示差异不显著 ($P>0.05$, $\alpha=0.05$), 字母不同表示差异显著 ($P<0.05$, $\alpha=0.05$)

不同基质质量对凋落物分解的影响:在试验的最后(151 d),在同一温度水平下,25℃和29℃混合凋落物分解速率高于单一凋落物分解速率,31℃混合凋落物分解速率略低于蒙古栎单一凋落物,蒙古栎单一凋落物分解速率大于红松单一凋落物分解速率(表3)。对于25℃,混合凋落物分解呼吸产生CO₂累积量(252 mg CO₂-C/g 凋落物)分别比蒙古栎单一凋落物和红松单一凋落物高12.5%和31.3%,红松单一凋落物质量损失(36.9%)分别比蒙古栎单一凋落物和混合凋落物低18.5%和19.4%(表3)。类似的,29℃混合凋落物分解呼吸产生CO₂累积量(343 mg CO₂-C/g 凋落物)分别比蒙古栎单一凋落物和红松单一凋落物高30.9%和42.9%,质量损失差别不大(表3)。然而,31℃混合凋落物分解呼吸产生CO₂累积量(300 mg CO₂-C/g 凋落物)略低于蒙古栎单一凋落物(310 mg CO₂-C/g 凋落物),比红松单一凋落物高6%,蒙古栎单一凋落物质量损失略高于红松单一凋落物和混合凋落物(表3)。

3 结论和讨论

研究温度升高和不同基质质量对凋落物分解的影响,对于揭示凋落物的分解与温度和基质质量的关系,预测未来以全球变暖为代表的气候变化对凋落物分解的影响有着重要意义。本试验结果显示,温度和不同基质质量及二者的交互作用对凋落物分解均有显著影响。在其他条件一致或基本稳定的情况下,随着温度升高蒙古栎和红松单一凋落物分解速率增加,温度是影响凋落物分解的重要因子,温度升高可以提高凋落物分解速率。这与 Moore 和 Taylor 和 Parkinson^[18-20]对杨树(*Populus tremula*)、针叶树如花旗松(*Pseudotsuga menziesii*)的研究,孟庆涛等^[21]对马唐(*Digitaria sanguinalis*)和狗尾草(*Serariaviridis*)叶凋落物的研究以及 Hobbie^[22]利用缩微研究方法,研究温度从4℃升高到10℃时对阿拉斯加苔原凋落物分解速率的影响的研究结果一致。有研究认为,温度升高可能直接提高了森林土壤和凋落物的微生物活性,从而加速了凋落物的分解,进而促进了生物元素循环。徐振锋^[4]认为,植物凋落物分解过程基本上是由土壤中的相关酶来驱动的,因此理论上一般认为,当其他环境因子和分解者群落不变时,凋落物分解速率对温度升高的响应应该表现为正效应。总之,温度升高可能直接或间接地影响凋落物分解过程^[23]。

凋落物的“基质质量”是影响凋落物分解的内在因素^[24],本试验结果显示,基质质量越高分解速率越快,混合凋落物分解速率大于单一凋落物分解速率。经过151 d的培养,单一蒙古栎凋落物分解速率高于单一红松凋落物的分解速率,是由于相对于红松凋落物,蒙古栎凋落物含有较高的N浓度,和较低的C/N比,也就是说蒙古栎凋落物含有较高的基质质量。N含量高的凋落物分解快于N含量低的凋落物,是由于凋落物中的N含量越高,则C/N越低,耐分解化合物的含量越少,凋落物分解越快^[25]。本试验在25℃和29℃条件下,混合凋落物分解速率要高于单一凋落物分解速率,这与林开敏^[26]对杉木与楠木混合凋落物分解的研究以及李艳红等^[27]对桉-栎不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态研究结果一致。对于本试验混合凋落物分解速率大于单一凋落物分解速率可能的原因:养分含量高的凋落物为养分含量低的凋落物分解过程中的有机体提供所需养分,相对单独分解中的凋落物而言,混合凋落物的水分吸附特征得到改善,从而改善了混合凋落物的湿度环境,从而加速其分解速率^[26]。然而本研究中,在31℃条件下,混合凋落物和蒙古栎单一凋落物分解速率相差不大,而大于红松单一凋落物分解速率。这可能与凋落物不同基质质量和温度升高对凋落物分解的交互影响有关,刘强等^[28]对热带亚热带森林叶凋落物交互分解的研究认为,气温越高,凋落叶种类(即基质质量)引起分解的差异有减小的趋势。可以理解为,温度对分解速率的影响比凋落物基质质量对分解速率的影响更强,温度对凋落物的分解速率起主导作用。本试验结果可能是由于温度升高导致了混合凋落物和蒙古栎单一凋落物分解速率相差不大。

全球变暖可能改变植被的分布格局和森林群落的树种组成和结构^[29],落叶阔叶树将取代目前小兴安岭、长白山的红松和大兴安岭的兴安落叶松成为东北森林主要树种,而针叶林将在地带性森林中占很小的比重,阔叶树中蒙古栎将可能成为最主要

的树种^[11]。尽管已有的研究结果仍存在很多不确定性,但阔叶树种比重将逐渐增加已为很多研究者所认同。本研究结果表明,在温度升高 4℃ 情境下,一个生长季的时间尺度上单一蒙古栎凋落叶和混合凋落叶分解速率加快,累计释放 CO₂ 总量增加,凋落物质量损失率提高,意味着未来气候变化影响下东北地区蒙古栎林的增加和针叶林的减少将促使本区森林生态系统物质循环和碳循环加快。

微缩实验是简化的近自然生态系统,是一种研究凋落物分解的简单易控制的技术。这种技术能较好地模拟自然环境,相对独立地控制影响凋落物分解速率共变的环境因子(如温度、湿度和土壤生物)^[30]。这种方法一般通过快速准确地测定凋落物分解过程中的质量损失和 CO₂ 排放量来衡量凋落物分解与控制环境因子间的关系。但是微缩实验在控制土壤动物和控制相对湿度方面还不够理想,加之自然界控制凋落物分解环境因子的复杂性,因此将微缩实验的结论外推到野外环境条件中还需谨慎。但微缩实验的可控性很强,同时能较好地阐明无机环境对凋落物分解影响的作用机理,因此能对野外试验提供一定的深层次机理上的补充和解释^[4]。

在本试验中,混合凋落物比例只设置了一种,可能不能全面反映混合凋落物的分解特性,在进一步的研究中,将用二者不同比例的混合来详细研究二者混合的交互作用,以更加清楚的揭示在以温度升高为主导的全球变化背景下,混合凋落物分解的过程。本试验只进行了凋落物快速分解阶段(分解的一个生长季)的分解特性,进一步的研究还应加长试验时间。另外,同时开展野外条件下的相关研究,将室内试验和野外试验相结合,可更为真实地反映多种生态因子共同作用下森林生态系统的物质循环特征,提高预测气候变化下森林生态系统物质循环特点的准确性。

References:

- [1] Zhou C Y. Litter's roles in forest ecosystem and its research progress. *Journal of Hubei Agricultural College*, 2003, 23(2): 140-145.
- [2] Berg B, Berg M P, Bottner P, Box E, Breymeyer A, Ca de Anta R, Couteaux M, Escudero A, Gallardo A, Kratz W, Madeira M, Mäkönen E, Mcclaugherty C, Meentemeyer V, Muñoz F, Piussi P, Remacle J, Vi de Santo A. Litter mass loss rates in pine forests of Europe and eastern United States: some relationships with climate and litter quality. *Biogeochemistry*, 1993, 20(3): 127-159.
- [3] Dorrepaal E, Cornelissen J H C, Aerts R, Wallén B, Van Logtestijn R S P. Are growth forms consistent predictors of leaf litter quality and decomposability across peatlands along a latitudinal gradient? *Journal of Ecology*, 2005, 93(4): 817-828.
- [4] Xu Z F, Yin H J, Zhao C Z, Cao G, Wan M L, Liu Q. A review of responses of litter decomposition in terrestrial ecosystems to global warming. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(6): 1208-1219.
- [5] Peng S L, Liu Q. The dynamics of forest litter and its responses to global warming. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1534-1544.
- [6] IPCC. Climate Change in 2001: Working Group I: the Scientific Basis. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001: 4-4.
- [7] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Paris, 2007: 18-18.
- [8] Wang Y J. Korean Pine Forest. Harbin: Northeast Forestry University Press, 1994: 1-5.
- [9] Gao Z T, Wu X C. Research geography distribution law of *Quercus mongolica*. *Protection Forest Science and Technology*, 2005, (2): 83-84.
- [10] Zhao J, Song Y, Sun T, Mao Z J, Liu C Z, Liu L X, Liu R P, Hou L L, Li X H. Response of seed germination and seedling growth of *Pinus koraiensis* and *Quercus mongolica* to comprehensive action of warming and precipitation. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(24): 7791-7800.
- [11] Zhou X F, Zhang Y D, Sun H Z, Chai Y X, Wang Y H. The effect on climate change on population dynamics of *Quercus mongolica* in North Greater Xing'an Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1035-1040.
- [12] Chen J L, Jin G Z, Zhao F X. Litter decomposition and nutrient dynamics at different succession stages of typical mixed Broadleaved-Korean pine forest in Xiaoxing'an Mountains, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(9): 2209-2216.
- [13] Walkley A, Black I A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 1934, 37(1): 29-38.
- [14] Salah Y M S, Scholes M C. Effect of temperature and litter quality on decomposition rate of *Pinus patula* needle litter. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, 6: 180-193.
- [15] Robinson C H, Kirkham J B, Littlewood R. Decomposition of root mixtures from high arctic plants: a microcosm study. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(8): 1101-1108.
- [16] Mao R, Zeng D H, Li L J. Fresh root decomposition pattern of two contrasting tree species from temperate agroforestry systems: effects of root diameter and nitrogen enrichment of soil. *Plant and Soil*, 2011, 347(1/2): 115-124.
- [17] Wilke B M. Determination of chemical and physical soil properties // Margeson R, Schinner F, eds. *Manual for Soil Analysis: Monitoring and Assessing Soil Bioremediation*. Berlin: Springer, 2005: 47-96.
- [18] Moore A E. Temperature and moisture dependence of decomposition rates of hardwood and coniferous leaf litter. *Soil Biology and Biochemistry*, 1986, 18(4): 427-435.
- [19] Taylor B R, Parkinson D. Aspen and pine leaf litter decomposition in laboratory microcosms. II. Interactions of temperature and moisture level.

- Canadian Journal of Botany, 1988, 66: 1966-1973.
- [20] Taylor B R, Parkinson D. Respiration and mass loss rates of aspen and pine leaf litter decomposing in laboratory microcosms. Canadian Journal of Botany, 1988, 66: 1948-1959.
- [21] Meng Q T, Li Y L, Zhao X Y, Zhao Y P, Luo Y Y. Study on CO₂ release of leaf litters in different environment conditions in the Horqin Sandy Land. Arid Zone Research, 2008, 25(4): 519-524.
- [22] Hobbie S E. Temperature and plant species control over litter decomposition in Alaskan tundra. Ecological Monographs, 1996, 66(4): 503-522.
- [23] Cotrufo M F, Ineson P, Rowland A P. Decomposition of tree leaf litters grown under elevated CO₂: Effect of litter quality. Plant and Soil, 1994, 163(1): 121-130.
- [24] Berg B, Johansson M B, Meentemeyer V. Litter decomposition in a transect of Norway spruce forests: substrate quality and climate control. Canadian Journal of Forest Research, 2000, 30(7): 1136-1147.
- [25] Sariyildiz T, Anderson J M. Interactions between litter quality, decomposition and soil fertility: A laboratory study. Soil Biology and Biochemistry, 2003, 35(3): 391-399.
- [26] Lin K M, Zhang Z Q, Cao G Q, He Z M, Ma X Q. Decomposition characteristics and its nutrient dynamics of leaf litter mixtures of both Chinese fir and phoebe bournei. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(8): 2732-2738.
- [27] 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): 159-167.
- [28] Liu Q, Peng S L, Bi H, Zhang H Y, Ma W H, Li N Y. The reciprocal decomposition of foliar litter in tropical and subtropical forests. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2004, 43(4): 86-89.
- [29] 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.
- [30] Taylor B R, Parkinson D. A new microcosm approach to litter decomposition studies. Canadian Journal of Botany, 1988, 66: 1933-1939.

参考文献:

- [1] 周存宇. 凋落物在森林生态系统中的作用及其研究进展. 湖北农学院学报, 2003, 23(2): 140-145.
- [4] 徐振锋, 尹华军, 赵春章, 曹刚, 万名利, 刘庆. 陆地生态系统凋落物分解对全球气候变暖的响应. 植物生态学报, 2009, 33(6): 1208-1209.
- [5] 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.
- [8] 王业蓬. 阔叶红松林. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1994: 1-5.
- [9] 高志涛, 吴晓春. 蒙古栎地理分布规律的探讨. 防护林科技, 2005, (2): 73-84.
- [10] 赵娟, 宋媛, 孙涛, 毛子军, 刘传照, 刘林馨, 刘瑞鹏, 侯玲玲, 李兴欢. 红松和蒙古栎种子萌发及幼苗生长对升温与降水综合作用的响应. 生态学报, 2012, 32(24): 7791-7800.
- [11] 周晓峰, 张远东, 孙慧珍, 柴一新, 王义弘. 气候变化对大兴安岭北部蒙古栎种群动态的影响. 生态学报, 2002, 22(7): 1036-1040.
- [12] 陈金玲, 金光泽, 赵凤霞. 小兴安岭典型阔叶红松林不同演替阶段凋落物分解及养分变化. 应用生态学报, 2010, 21(9): 2209-2216.
- [21] 孟庆涛, 李玉霖, 赵学勇, 赵玉萍, 罗亚勇. 科尔沁沙地不同环境条件下植物叶凋落物 CO₂ 释放研究. 干旱研究, 2008, 25(4): 519-524.
- [26] 林开敏, 章志琴, 曹光球, 何宗明, 马祥庆. 杉木与楠木叶凋落物混合分解及其养分动态. 生态学报, 2006, 26(8): 2732-2738.
- [27] 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): 159-167.
- [28] 刘强, 彭少麟, 毕华, 张洪溢, 马文辉, 李妮亚. 热带亚热带森林叶凋落物交互分解的研究. 中山大学学报: 自然科学版, 2004, 43(4): 86-89.
- [29] 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.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.18 Sep. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA	HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint	MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China	SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality	DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications	ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region	WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas	FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China	WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower syndrome and pollination adaptation of desert rare species <i>Eremosparton songoricum</i> (litv.) Vass.(Fabaceae)	SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of <i>Pistia stratiotes</i> to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients	SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants <i>Bletilla striata</i>	WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of <i>Gracilaria lemaneiformis</i> cultured under different temperatures and CO ₂ concentrations	YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field	QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH ₃ volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields	MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear	SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of <i>Agriophyllum squarrosum</i> seedlings	ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China	WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method	WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under <i>Phyllostachy praecox</i> stands	CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China	XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area	ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in <i>Phyllostachys praecox</i> stand	GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe	WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method	HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species	HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of <i>Populus alba</i> L.× <i>P.talassica</i> plantation in arid desert area	ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition	LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiometric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China	YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species	ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco	WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female <i>Apodemus chevrieri</i>	GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of <i>Litopenaeus vannamei</i>	WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

- Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
- Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi WEN Yuanguang, LEI Liquan, ZHU Hongguang, et al (5723)
- Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
- The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
- Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
- The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
- A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
- Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
- The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
- Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
- Spatial distribution of dissolved amino acids in Lake Taihu, China YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
- RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
- Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huaqun, et al (5818)
- Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
- Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
- Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
- Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
- The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
- Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
- Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
- Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
- Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
- Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
- Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
- Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example XU Fei, CAI Tijiu, JU Cunyong, et al (5935)
- Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
- Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《生态学报》2013 年征订启事

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

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

本期责任副主编 陈利顶

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 18 期 (2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 18 (September, 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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元