

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第3期 Vol.32 No.3 **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 3 期

2012 年 2 月 (半月刊)

目 次

夏季可可西里雌性藏原羚行为时间分配及活动节律	连新明, 李晓晓, 颜培实, 等 (663)
热带印度洋黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系	杨胜龙, 张禹, 张衡, 等 (671)
洪湖水体藻类藻相特征及其对生境的响应	卢碧林, 严平川, 田小海, 等 (680)
广西西端海岸四种红树植物天然种群生境高程	刘亮, 范航清, 李春千 (690)
高浓度 CO ₂ 引起的海水酸化对小珊瑚藻光合作用和钙化作用的影响	徐智广, 李美真, 霍传林, 等 (699)
盖度与冠层水深对沉水植物水盾草光谱特性的影响	邹维娜, 袁琳, 张利权, 等 (706)
基于 C-Plan 规划软件的生物多样性就地保护优先区规划——以中国东北地区为例	栾晓峰, 孙工棋, 曲艺, 等 (715)
城市化对本土植物多样性的影响——以廊坊市为例	彭羽, 刘雪华, 薛达元, 等 (723)
利用红外相机调查北京松山国家级自然保护区的野生动物物种	刘芳, 李迪强, 吴记贵 (730)
基于树木起源、立地分级和龄组的单木生物量模型	李海奎, 宁金魁 (740)
千岛湖社鼠种群遗传现状及与生境面积的关系	刘军, 鲍毅新, 张旭, 等 (758)
气候变化对内蒙古草原典型植物物候的影响	顾润源, 周伟灿, 白美兰, 等 (767)
中国西北典型冰川区大气氮素沉降量的估算——以天山乌鲁木齐河源 1 号冰川为例	王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等 (777)
植被类型对盐沼湿地空气生境节肢动物功能群的影响	童春富 (786)
黔西北铅锌矿区植物群落分布及其对重金属的迁移特征	邢丹, 刘鸿雁, 于萍萍, 等 (796)
云南中南部季风常绿阔叶林恢复生态系统萌生特征	苏建荣, 刘万德, 张志钧, 等 (805)
筑坝扩容下高原湿地拉市海植物群落分布格局及其变化	肖德荣, 袁华, 田昆, 等 (815)
三峡库区马尾松根系生物量的空间分布	程瑞梅, 王瑞丽, 肖文发, 等 (823)
兴安落叶松林生物量、地表枯落物量及土壤有机碳储量随林分生长的变化差异	王洪岩, 王文杰, 邱岭, 等 (833)
内蒙古放牧草地土壤碳固持速率和潜力	何念鹏, 韩兴国, 于贵瑞 (844)
不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系	葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 等 (852)
不同丛枝菌根真菌侵染对土壤结构的影响	彭思利, 申鸿, 张宇亭, 等 (863)
不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程	刘目兴, 聂艳, 于婧 (871)
不同耕作措施的温室气体排放日变化及最佳观测时间	田慎重, 宁堂原, 迟淑筠, 等 (879)
外源铅、铜胁迫对不同基因型谷子幼苗生理生态特性的影响	肖志华, 张义贤, 张喜文, 等 (889)
温度和盐度对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼鳃 Na ⁺ -K ⁺ -ATPase 活力的联合效应	王海贞, 王辉, 强俊, 等 (898)
基于元胞自动机的喀斯特石漠化格局模拟研究	王晓学, 李叙勇, 吴秀芹 (907)
边缘细胞对荞麦根尖铝毒的防护效应和对细胞壁多糖的影响	蔡妙珍, 王宁, 王志颖, 等 (915)
川中丘陵区人工柏木防护林适宜林分结构及水文效应	龚固堂, 黎燕琼, 朱志芳, 等 (923)
基于 AHP 与 Rough Set 的农业节水技术综合评价	翟治芬, 王兰英, 孙敏章, 等 (931)
基于 DMSP/OLS 影像的我国主要城市群空间扩张特征分析	王翠平, 王豪伟, 李春明, 等 (942)
生态旅游资源非使用价值评估——以达赉湖自然保护区为例	王朋薇, 贾竞波 (955)
专论与综述	
基于有害干扰的森林生态系统健康评价指标体系的构建	袁菲, 张星耀, 梁军 (964)
硅对植物抗虫性的影响及其机制	韩永强, 魏春光, 侯茂林 (974)
研究简报	
光照条件、植株冠层结构和枝条寿命的关系——以桂花和水杉为例	占峰, 杨冬梅 (984)
Bt 玉米秸秆还田对小麦幼苗生长发育的影响	陈小文, 祁鑫, 王海永, 等 (993)
汶川大地震灾后不同滑坡体上柏木体内非结构性碳水化合物特性	陈博, 李志华, 何茜, 等 (999)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-02



封面图说: 难得的湿地乔木——池杉池杉为落叶乔木, 高达 25 米, 主干挺直, 树冠尖塔。树干基部膨大, 常有屈膝状吐吸根, 池杉为速生树, 强阳性, 耐寒性较强, 耐干旱, 更极耐水淹, 多植于湖泊周围及河流两岸, 是能在在水里生长的极少数的大乔木之一, 故有湿地乔木之称。池杉原产美国弗吉尼亚沼泽地, 中国于本世纪初引种到江苏等地, 之后大量引种南方各省, 尤其是长江南北水网地区作为重要造树和园林树种而大量栽种。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201104210528

葛晓改, 肖文发, 曾立雄, 黄志霖, 付甜, 封晓辉. 不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系. 生态学报, 2012, 32(3): 852-862.

Ge X G, Xiao W F, Zeng L X, Huang Z L, Fu T, Feng X H. Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged *Pinus massoniana* stands. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 852-862.

不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的关系

葛晓改, 肖文发*, 曾立雄, 黄志霖, 付甜, 封晓辉

(中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091)

摘要:凋落物的质量、数量及分解速率在一定程度上代表了土壤的营养状况。为了精确估算凋落物分解对土壤碳库的年净归还量及凋落物-土壤生物化学连续体的深层理解,从凋落物基质质量的角度分析了三峡库区不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分的作用关系,结果表明:中龄林、近熟林、成熟林马尾松凋落物基质质量中的 C、C/N 比、C/P 比、木质素/N 比、木质素/P 比差异显著,其中近熟林凋落物叶木质素/N 分别比中龄林和成熟林的高 33.65%、39.24%, N、P、K、木质素含量差异不显著;但各组织器官的 N、P、K 含量差异显著,均是皮<枝<叶<杂物, C/N 比、C/P 比的变化则相反。不同林龄马尾松 0—20 cm (0—5 cm、5—10 cm、10—20 cm) 土壤有机质、总氮、有效磷含量均表现出近熟林<中龄林<成熟林, 0—5 cm 最大, 10—20 cm 最小,且随着土壤深度的增加而明显降低,总磷则是中龄林最低,成熟林最大, pH 值则各土层均表现为中龄林<成熟林<近熟林, 平均 pH 值为 4.55—5.51。凋落物基质质量指标与土壤养分之间冗余分析(RDA)表明:马尾松凋落物基质质量和土壤养分之间关系紧密, N、P、纤维素、半纤维素、木质素、木质素/N 比、C/N 比对土壤养分影响比较大;凋落物中木质素/N 比、C/N 比与土壤有机质呈显著负相关,其含量越高越不利于土壤有机质的形成,土壤养分积累的越慢;凋落物基质质量氮含量与土壤氮含量呈显著正相关;土壤 pH 值、容重与 N 含量呈显著负相关,与凋落物 C/N 比、木质素/N 比呈显著正相关。马尾松土壤表面有机质、N、P 养分含量与凋落物基质质量对应养分含量变化规律一致,土壤养分高,凋落物基质质量相对较高,土壤贫瘠,凋落物基质质量相对较低。

关键词:三峡库区;凋落物;基质质量;土壤养分

Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged *Pinus massoniana* stands

GE Xiaogai, XIAO Wenfa*, ZENG Lixiong, HUANG Zhilin, FU Tian, FENG Xiaohui

Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, the State Forestry Administration; Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract: The quality and quantity of litter and its decomposition rate represent, to some extent, the nutritional status of the soil. In order to accurately estimate the contribution of litter decomposition to the annual net return of soil carbon pool and understand the biochemistry of litter-soil continuum, the relationships between litter substrate quality and soil nutrients were studied for different-aged *Pinus massoniana* stands. The results showed that C, C/N ratio, C/P ratio, lignin/N ratio, lignin/P ratio of litter substrate collected from three different-aged *P. massoniana* stands were significantly different. The lignin/N ratio of leaf litter in nearly-mature *P. massoniana* stand was 33.65% and 39.24% higher than that in middle-aged and mature stands, respectively. However, N, P, K and lignin contents of litter substrate did not differ among the different-aged stands. The contents of N, P, and K varied with tissue types showing bark<branches<leaf<debris, but the contents of C/N ratio and C/P ratio followed an opposite trend showing bark>branches>leaf>debris. The contents of organic

基金项目:林业公益性行业科研专项(201104008)

收稿日期:2011-04-21; 修订日期:2011-11-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaowenf@caf.ac.cn

matter, total nitrogen, available phosphorus in 0—20 cm soil layer tended to increase from the nearly-mature, to the middle-aged, and mature stands and to decrease from 0—5 cm soil layer, to 5—10 cm, and 10—20 cm soil layer. The total phosphorus was lowest in the middle-aged stands and largest in the mature stand. The soil pH value varied from 4.55—5.55 showing middle-aged stand < mature stand < nearly-mature stand. Redundancy analysis (RDA) between litter substrate quality and soil nutrients indicated that the leaf litter substrate quality was significantly correlated with soil nutrients. The effects of litter nitrogen, phosphorus, cellulose, hemicellulose, lignin, lignin/N ratio, and C/N ratio on soil nutrients in different-aged *P. massoniana* stands were significant. Litter nitrogen content was significantly correlated with total soil nitrogen content. Soil pH, bulk density, and N content were significantly negatively correlated with litter C/N ratio, but positively correlated with lignin/N ratio. Soil surface organic matter, N and P contents were found to depend on nutrients contents in litter substrate. High litter substrate quality resulted in great soil nutrient contents.

Key Words: Three Gorges Reservoir Area; litter; substrate quality; soil nutrients

森林凋落物是森林生产力的重要组成部分,是物质循环和能量流动的主要途径^[1];土壤是凋落物的载体,凋落物影响其营养状况、生物活性以及物理稳定性。凋落物分解速率的提高,可促进土壤的营养循环,改善土壤质量,凋落物数量及分解快慢在一定程度上代表了土壤的营养状况^[2]。凋落物的化学属性称之为“基质质量”,被定义为凋落物的相对可分解性,影响凋落物分解的整个阶段;凋落物基质质量中的 C/N 比是衡量森林凋落物质量的重要指标,对土壤碳分解、稳定和 N 矿化过程有重要研究意义^[3-4]。

凋落物养分的归还速度与凋落物基质质量有很大的关系,与凋落物的分解速率紧密相关,受土壤立地条件、养分含量等调节。Moore 等^[5]研究表明土壤表层的 N、P 等养分含量影响凋落物基质质量养分的释放模式,土壤养分含量高的地区凋落物基质质量 N、P 易于富集,土壤表层养分的 C/N 比、C/P 比越高,正分解凋落物中起始 N、P 剩余比例越小(与 C 含量有关)^[6];Berg 等^[7]研究表明基质质量含量高的凋落物在前 12—18 个月中分解相对较快,3—4 a 后累计失重率相对较低;说明凋落物基质质量与土壤养分归还快慢紧密相关;对凋落物基质质量与土壤养分作用关系分析,有利于精确估算凋落物分解对土壤碳库的年净归还量。三峡库区地处长江中上游,是我国生态环境保护的重点地区,森林生态系统如何适应和响应这些变化将会是研究者非常关心的问题^[8]。2010 年 10 月三峡大坝蓄水为 175 m,长江大坝蓄水面积增加,蒸发量也必然大幅增加,降水量很可能改变库区气候环境,进而改变库区范围内凋落物的分解及养分归还等生态系统养分循环。马尾松(*Pinus massoniana*)主要分布在我国亚热带地区,适应性强、耐干旱与瘠薄,主要分布在南方 15 个省区,也是三峡库区典型造林树种之一^[9]。本研究对三峡库区不同林龄马尾松凋落物基质质量与土壤养分关系进行分析,为凋落物分解对土壤碳库年动态影响研究奠定基础,为进一步探讨三峡库区气候变化对土壤碳储量及养分循环的可能性影响和适应性措施提供科学依据,对凋落物-土壤生物化学连续体的更深层理解有重要意义。

1 研究区域概况

长江三峡库区总面积为 5.8 万 km²,地处亚热带的北缘,具亚热带湿润性气候特征。库区雨量充足,降水集中在 4—9 月,年均气温 17—19 ℃,极端最高温可达 44 ℃,极端最低气温 -2.5 ℃,无霜期 300—340 d。年降水量 1000—1250 mm,空气相对湿度较大,可达 60%—80%^[10]。三峡库区具有我国东西与南北生物界过渡的特点,亚热带至温带物种极为丰富,植被类型多样,以马尾松(*P. massoniana*)、柏木(*Cupressus funebris*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)和华山松(*Pinus armandi*)为主^[11-12]。本研究以秭归县内中龄林、近熟林、成熟林马尾松为研究对象,林下灌木多为油茶(*Camellia oleifera*)、檵木(*Loropetalum chinensis*)和毛黄栌(*Cotinus coggygria*)等,草本多为稗(*Echinochloa crusgalli*)、腹水草(*Veronicastrum villosulum*)等,样地概况如下(表 1)。

表 1 研究样地概况 (平均值±标准差, $n=10$)
Table 1 General situation of experimental sample sites (means±SD, $n=10$)

林分 Stands	中龄林 Middle-aged stand	近熟林 Nearly-mature stand	成熟林 Mature stand
海拔 Elevation/m	964	357	987
年龄 Age/a	20	30	46
胸径 DBH/cm	16.1	25.3	33.1
坡度 Slope/(°)	20	25	15
坡向 Aspect	阳坡	半阴坡	阳坡
郁闭度 Canopy density	0.60	0.95	0.85
土壤厚度 Soil depth/cm	70—100	60—80	70—100
现存量 Standing crop/($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	9.35±5.14	9.26±2.97	14.05±6.40
凋落物年产量 Litter biomass/($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	3.38±0.72	4.69±0.20	5.60±0.23
凋落物层厚度 Litter layer depth/cm	4.03±1.59	5.77±0.85	6.34±1.99

2 研究方法

2.1 凋落物样品采集及养分测定

2010 年 6 月底在不同林龄马尾松林中分别随机放置孔径为 1 mm、大小为 1 m×1 m 的尼龙网收集器各 10 个,放置于林下离地面 50 cm 高处,固定在支架上。每月收集 1 次,将收集到的凋落物分类(分为叶、枝、皮和杂物),70 °C 下烘干后称重。7—8 月、9—10 月、10—11 月凋落物同类器官分别合并,3 个样地共 36 个样品,每样地各器官主要养分 3 次重复。凋落物用粉碎机粉碎后进行化学分析:C 含量用重铬酸钾氧化-外加热法测定;N 含量用凯氏定氮法测定(仪器名称及型号:UK 152 Distillation & Titration Unit, DK20 Heating Digester);P、K 含量用等离子发射光谱法测定(仪器名称:IRIS Intrepid II XSP);木质素和纤维素采用改进的中性洗涤纤维(NDF)及酸性洗涤纤维(ADF)方法测定^[13-14]。

2.2 土壤样品的采集及测定

2010 年 11 月,分别在不同林龄马尾松林下选取具有代表性大小为 1 m×1 m 的小样方各 6 个,每样方分别用直径为 5 cm 的土钻沿对角线采深度为 0—5 cm、5—10 cm、10—20 cm 3 个层次各 4 钻,并随机将 2 个样方的同层土壤充分混合为 1 个土样,每种林龄共 9 个样品。风干后过 1 mm 和 0.25 mm 筛,4 °C 冰箱中保存备用。

土样采用中华人民共和国林业行业标准方法进行测定^[15]。用重铬酸钾氧化-外加热法测有机质;用重铬酸钾-硫酸消化法测全氮;用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法测总磷;用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测速效磷;用酸度计法测 pH 值;用环刀法测容重。

2.3 凋落物养分年归还量、周转系数的计算

$$La = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^4 L_{ij} C_{ij} / 100$$

式中, La 为凋落物年归还量, L_{ij} 为 i 月第 j 组的凋落物量 (kg/hm^2), C_{ij} 为第 i 月第 j 组分凋落物的养分含量(%)。

周转系数 K 为:

$$K = \text{凋落物年产量} / \text{凋落物现存量}$$

2.4 数据处理

利用 Canoco 4.5 和 SPSS 16.0 软件对数据进行统计分析和作图。凋落物基质质量和土壤各变量间的显著性检验采用单因子方差分析(ANOVA)的最小显著差异法(LSD),显著性水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

3 结果与分析

3.1 凋落物各器官基质质量特征

如图 1 所示,中龄林、近熟林、成熟林凋落物叶、枝、皮、杂物的 C 含量差异显著;N、P、K 含量均是皮<枝<

叶<杂物,杂物与叶、枝、皮含量差异极显著($P<0.01$),枝与皮的 N、P、K 含量差异不显著;C/N 比、C/P 比在各器官中变化均是杂物<叶<枝<皮。不同林龄马尾松凋落物皮的 C 含量差异较大,成熟林凋落物皮中的 C 分别比中龄林、近熟林多 17.82% 和 12.63%;叶和杂物中 N 的变化趋势是近熟林<成熟林<中龄林,皮的 N 含量差异不显著;不同器官 P 含量年龄差异不显著;不同林龄马尾松凋落物叶、枝、杂物中的 C/N 比随着林龄的增大均是先增加后降低,皮中的 C/N 比则随着年龄的增大而逐渐增大,变化较明显,近熟林和成熟林皮中的 C/N 比分别比中龄林增加 26.85%、37.71%;成熟林皮中 C/P 比分别比近熟林、中龄林增加 34.41%、30.11%。

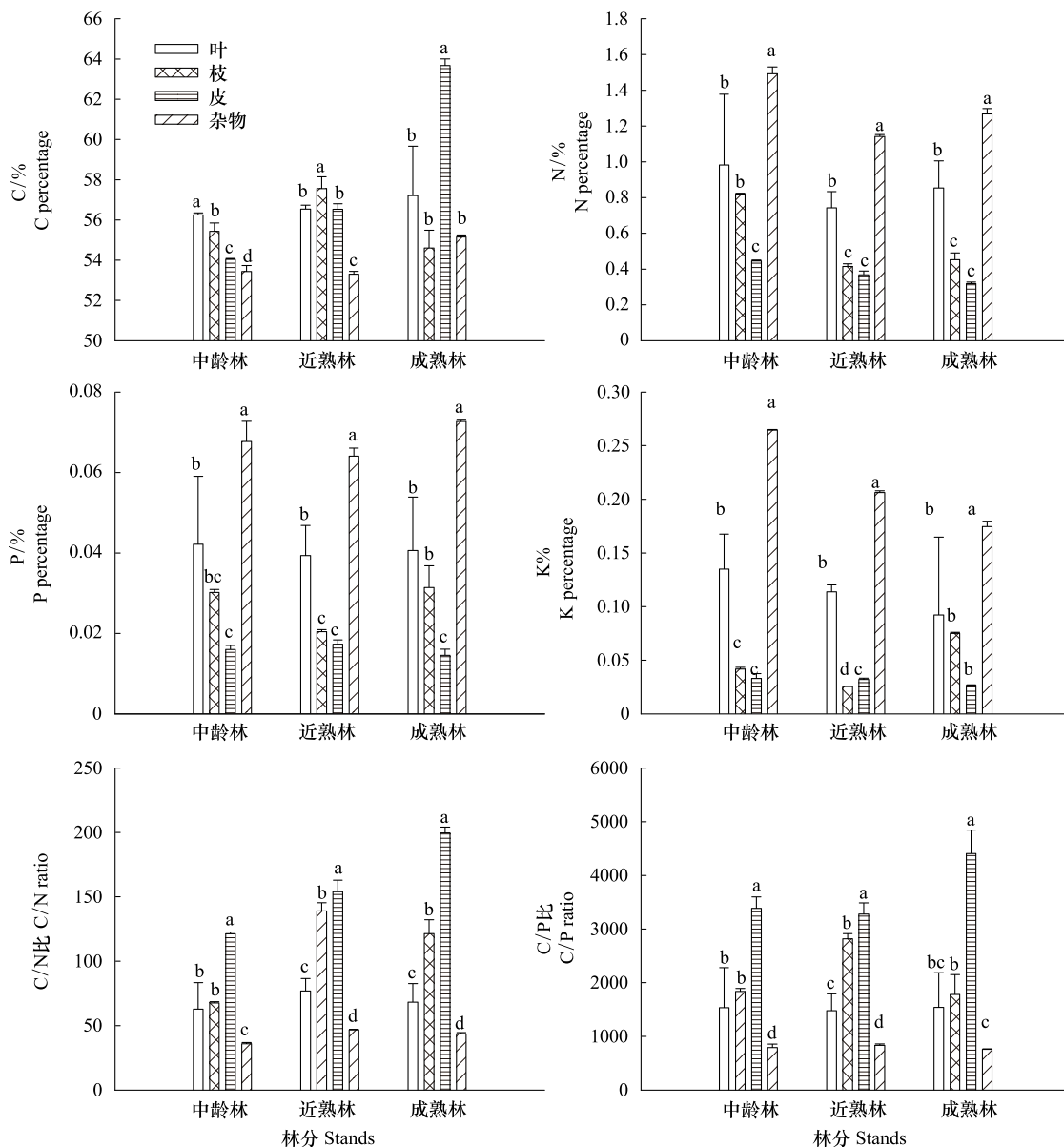


图 1 不同林龄马尾松林凋落物各器官基质质量 (平均值±标准差, $n=3$)

Fig. 1 Litter substrate quality of different-aged *P. massoniana* stands organs (means±SD, $n=3$)

不同字母表示在 0.05 水平上差异显著

凋落物质量因凋落物叶的比重较大(图 2A,不同林龄马尾松各器官比重均是皮<枝<杂物<叶),通常以凋落物叶基质质量高低来衡量,并以各种含碳化合物含量(如木质素、纤维素等)与养分元素含量(N、P、K 等)的比来表示,也可以直接以养分含量表示^[16]。由表 2 可见,凋落物分解的后期决定因子木质素含量是近熟林最高,成熟林最低,三者差异不显著($P>0.05$)。木质素/N 比 3 个年龄差异较显著,近熟林分别比中龄林和成

熟林高 33.65%、39.24%。木质素/P 比则是中龄林最大,与近熟林和成熟林差异显著。凋落物各组织器官按比例混合后,中龄林和近熟林 C 含量差异显著,C/N 比是近熟林最大,成熟林次之,中龄林最小,差异显著;N、P、K 含量差异不显著($P>0.05$)(图 2B)。

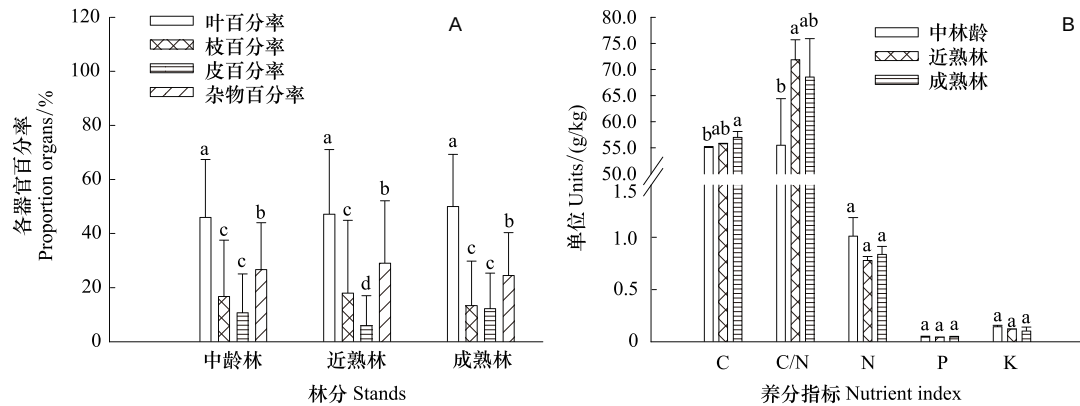


图2 不同林龄马尾松各器官在凋落物年产量中的比重(A),按比例混合后凋落物基质质量(B)

Fig. 2 The proportion of annual litter on substrate quality of different-aged *P. massoniana* stands organs (A), mixed in proportion of litter substrate quality (B)

表2 不同林龄马尾松凋落物叶基质质量指标

Table 2 Indicators of leaf litter substrate quality in different-aged *P. massoniana* stands

变量 Variable	林分 Stands		
	中龄林 Middle-aged stand	近熟林 Nearly-mature stand	成熟林 Mature stand
木质素 Lignin/%	34.27±1.31a	34.31±0.42a	34.24±0.16a
纤维素 Cellulose/%	8.68±0.12a	8.17±1.65a	6.70±0.51b
半纤维素 Hemicellulose/%	23.18±1.06b	24.20±0.39a	23.19±0.75b
木质素/N 比 Lignin/N ratio	34.89±3.19b	46.63±5.23a	33.49±9.96c
木质素/P 比 Lignin/P ratio	1038.15±115.03c	936.54±51.01ab	978.55±86.32a

3.2 土壤理化性质特征

森林凋落物在森林中对土壤的影响起着主导作用,凋落物的类型、化学组成、矿质化速率以及腐殖化条件等在某种程度上制约着森林土壤的主要化学性质(包括酸碱反应或酸化状况)^[17]。

3.2.1 土壤有机质和总氮

由图3可见,不同林龄马尾松土壤有机质和总氮变化趋势一致:均是近熟林<中龄林<成熟林,0—5 cm 最大,10—20 cm 最小,即随着土壤深度的增加而明显降低。除近熟林外有机质各层变化较明显,差异显著($P<0.05$)。马尾松中龄林、成熟林 0—5 cm、5—10 cm、10—20 cm 层的土壤有机质分别是近熟林同层的 3.19、1.83、2.06 倍,3.95、2.95、2.78 倍,随着土壤深度的增加,其影响力逐渐减弱。土壤氮素含量与土壤有机质的积累密切相关,一般情况下,土壤有机质越高,含氮量也越高。

3.2.2 土壤总磷和有效磷

磷在土壤中主要以有机和无机两种形态存在,其含量与土壤母质、成土作用和耕作施肥等有关^[18]。总磷是衡量土壤中各种形态磷素总和的一个指标,而有效磷说明了土壤的供磷水平,可以作为判断是否必要施肥的依据,在实际生产中有重大意义。从图4可见,总磷则是随着年龄及土层深度的增加逐渐减小,每层各年龄差异不大。有效磷的变化是各年龄变化规律不一致,随着土壤深度的增加成熟林是先增加后降低,中龄林和近熟林则是先降低后增加,但各层均是近熟林<中龄林<成熟林。

3.2.3 土壤 pH 值和容重

土壤 pH 值是土壤的重要化学性质,直接影响作物的生长和微生物的活动以及土壤的其他性质与肥力状

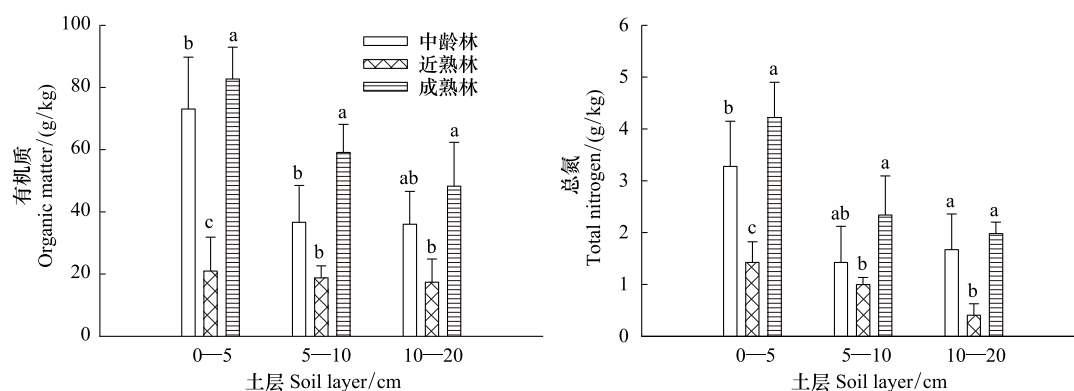


图3 不同林龄马尾松土壤(0—20 cm)有机质含量和总氮含量

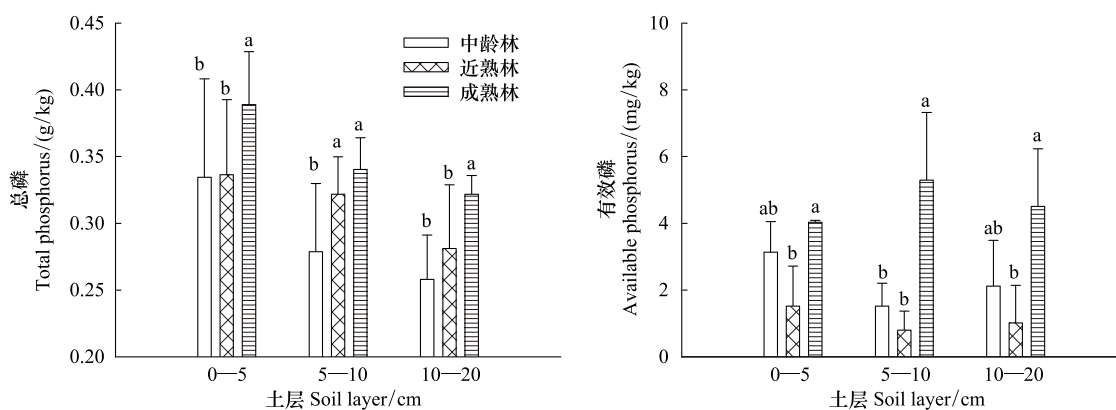
Fig. 3 Organic matter and Total nitrogen in 0—20 cm soil layer of different-aged *P. massoniana* stands

图4 不同林龄马尾松土壤(0—20 cm)总磷和有效磷含量

Fig. 4 Total phosphorus and available phosphorus in 0—20 cm soil layer of different-aged *P. massoniana* stands

况^[18],马尾松土壤 pH 值各层均是近熟林最大,成熟林最低。土壤容重大小反应土壤透水、通气性能、松紧程度及林木根系伸展的难易^[18-19]。不同林龄马尾松土壤容重各层都是近熟林最大,与有机质含量分布规律刚好相反,随着土壤深度的增加近熟林和成熟林的容重是先降低后略微增加,中龄林则是一直降低,这可能是因为土壤有机质含量越高,团粒结构越多,土壤单粒排列疏松,孔隙度越大,通气性越好,土壤容重越低。

3.3 凋落物基质质量和土壤养分之间 RDA 分析

RDA 二维排序图从整体上反映了不同林龄马尾松凋落物基质质量和土壤养分关系显著(图 6),中龄林、近熟林、成熟林马尾松凋落物基质质量中 N、P、纤维素、半纤维素、木质素、木质素/N、C/N 比等对土壤养分影响较大,即箭头越长、离其距离越远关系越紧密,对土壤养分影响越大,可能因为 N、P 是土壤主要养分,木质素、C/N 比、木质素/N 比等则决定凋落物分解快慢,木质素、C/N 比越高越不利于土壤有机质的形成,土壤养分积累的越慢。马尾松林土壤理化性质与凋落物基质质量相关系数见表 3。土壤有机质与凋落物基质质量中的 C/N 比、木质素/N 比、半纤维素呈显著负相关,和 N 含量呈正相关,在分解早期, N 含量越高,有机物质淋失的越快,越利于养分的积累。凋落物氮含量与土壤氮含量呈显著正相关;土壤 pH、容重与 N 含量呈显著负相关,与凋落物 C/N 比、木质素/N 比呈显著正相关。

4 讨论与结论

4.1 凋落物基质质量与土壤养分

中龄林、近熟林、成熟林马尾松凋落物基质质量研究显示,中龄林、近熟林、成熟林各组织器官的 N、P、K 含量差异显著,均是皮<枝<叶<杂物,这可能是因为杂物中包括虫鸟粪便、林下灌木及草本的各种器官和碎屑,养分

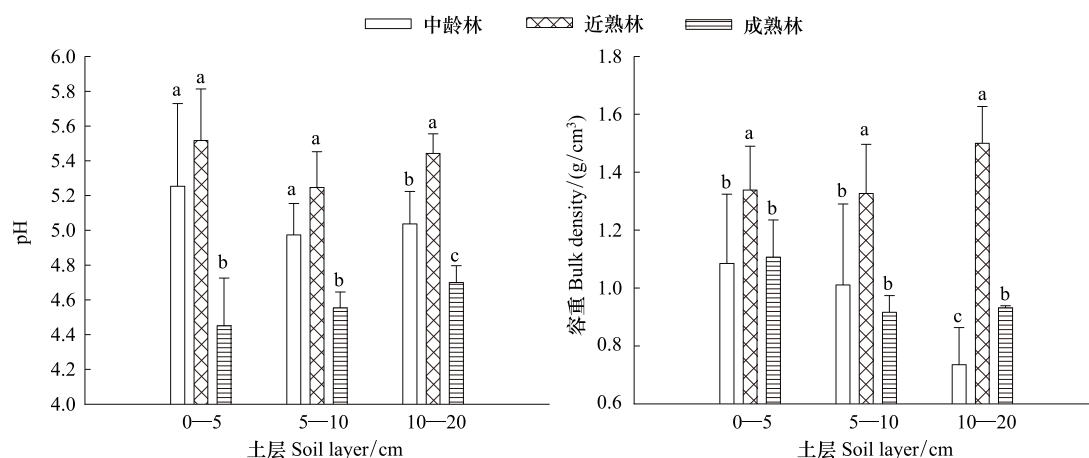


图5 不同林龄马尾松土壤(0—20 cm) pH 值和容重

Fig. 5 Bulk density and pH in 0—20 cm soil layer of different-aged *P. massoniana* stands

表3 马尾松凋落物基质质量和土壤理化性质的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between litter substrate quality and soil nutrients contents in *P. massoniana* stands

变量 Variable	有机质 Organic matter	总氮 Total nitrogen	总磷 Total phosphorus	容重 Bulk density	pH
C Carbon	0.329	0.290	0.112	-0.311	-0.296
N Nitrogen	0.392 *	0.430 *	0.025	-0.594 **	-0.382 *
P Phosphorus	0.234	0.179	0.270	0.137	-0.248
木质素 Lignin	0.073	0.174	0.434 *	0.305	-0.221
纤维素 Cellulose	-0.359	-0.362	-0.351	0.164	0.494 **
半纤维素 Hemicellulose	-0.472 *	-0.565 **	-0.375	0.329	0.533 **
C/N 比 C/N ratio	-0.393 *	-0.341	-0.027	0.643 **	0.414 *
木质素/N 比 Lignin/N ratio	-0.404 *	-0.335	0.015	0.677 **	0.397 *
木质素/P 比 Lignin/P ratio	-0.202	-0.133	-0.178	-0.107	0.183

* 表示显著相关($P<0.05$), ** 表示极显著相关($P<0.01$)

含量相对较高;马尾松凋落物组织器官尤其是皮基质质量的差异很大程度上由自身的遗传特性和组成结构决定。Mendonca 等^[20]研究表明凋落物基质质量中养分释放快慢与内源 N、P、K 含量呈正相关,与 C/N 比、木质素/N 比、C/P 比等呈负相关。Jensen 等^[21]研究表明凋落物基质质量高养分释放快,而基质质量低养分释放慢。马尾松凋落物按比例混合后基质质量中的 C、C/N 比、C/P 比、木质素/N、木质素/P 比差异显著,因此不同林龄马尾松凋落物养分释放快慢与 C、C/N 比、C/P 比、木质素/N、木质素/P 比紧密相关,即近熟林<成熟林<中龄林,一定程度上决定土壤养分积累的快慢,这与项文化等^[22]随着林龄的增加因更多消耗养分使其养分归还速率变慢的观点基本一致。凋落物基质质量还受林地土壤肥力和有机养分的数量和质量决定^[23],土壤表层养分中 C/N 比、C/P 比越高,正分解凋落物中起始 N、P 剩余比例越小^[5-6]。不同林龄马尾松土壤表层养分 C/N 比是中龄林最大(13.53),近熟林最低(12.69);C/P 比是成熟林最大(104.26),近熟林最低(37.95),说明近熟林土壤养分可能不利于凋落物基质质量中 N、P 的释放,这与近熟林土壤 N、P 养分是三者中最低一致;Aert 等^[24]对圆锥藁草(*Carex diandra*)、灰株藁草(*Carex rostrata*)、毛藁草(*Carex lasiocarpa*)、皱果藁草(*Carex acutiformis*)的研究表明生长在贫瘠土壤的藁草凋落物叶比生长在土壤养分丰富藁草凋落物叶养分释放的快。土壤养分对凋落物基质质量养分释放和长期周转的影响关系还需进一步的研究。

Ohruji 等^[25]研究表明凋落物基质质量的 C/N 与土壤氮矿化呈负相关,即 C/N 低,氮释放快;凋落物基质

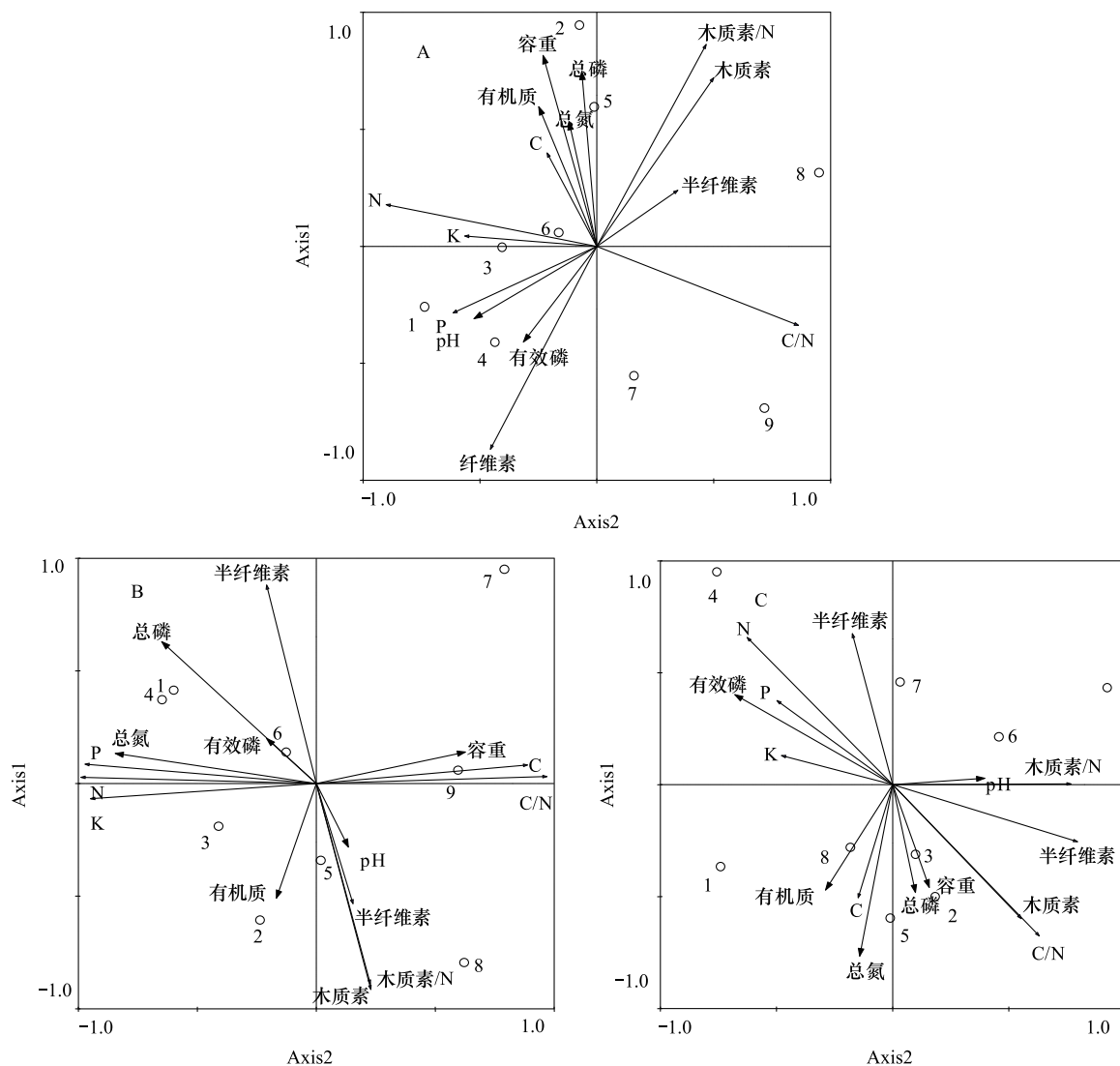


图6 马尾松中龄林(A)、近熟林(B)和成熟林(C)凋落物基质质量与土壤养分的 RDA 二维排序图

Fig. 6 Two-dimensional diagram of RDA between litter substrate quality and soil nutrients in Middle-aged (A) and nearly-mature (B) and mature (C) *P. massoniana* stands

质量氮含量影响氮矿化速率和土壤氮的输入^[26],与本研究马尾松凋落物基质质量 N 含量与土壤总氮呈显著正相关一致;但凋落物基质质量中的碳和土壤有机质相关但不显著,而基质质量中的半纤维素含量、C/N 比、木质素/N 比和土壤有机质显著相关,可能因为凋落物基质质量中的有机碳通过分解释放后大部分对土壤有基质积累的贡献较小,碳库周转时间长,对土壤惰性有机碳库贡献比较大。

4.2 凋落物年产量、养分年归还量、周转系数与土壤养分

凋落物是森林生态系统内维持土壤养分的重要物质来源,其所含的营养元素经分解释放后归还给土壤,显著地提高了土壤肥力,是土壤养分的重要归还库^[27-28];Aert 等^[24]研究表明土壤养分供应和养分循环的正反馈作用是通过凋落物产量的增加而加强。不同林龄马尾松凋落物年产量随着林龄的增加而增加,近熟林、成熟林分别是中龄林的 1.39、1.66 倍(表 1),中龄林、近熟林凋落物产量比田大伦等^[29]研究结果偏低,与杨会侠等^[9]研究结果相当。马尾松 N、K 养分归还量均是近熟林最低,成熟林最高,P 则是随着年龄的增加而增加(表 4),与土壤养分中 P 的含量变化规律相反,这是因为凋落物养分年净归还量还受养分周转率、温度、水分等因素影响,这与 Boerner 等^[30]在美国俄亥俄州对矮栎(*Quercus prinus*)等落叶树种生长在贫瘠土壤中叶氮浓度低,生长在贫瘠土壤中植物叶磷比生长在肥沃林地中高的结论一致。

凋落物基质质量释放快慢主要通过分解实现,而凋落物分解速率与土壤水分、地表温度和土壤 pH 值呈指数正相关,与相对湿度呈线性正相关^[31],所以土壤的理化性质间接地调节凋落物基质质量的动态变化。土壤疏松、pH 值适宜利于植物从土壤中吸收养分。近熟林容重大于成熟林和中龄林,pH 值微酸,马尾松适宜生长偏酸的土壤,可能不利于近熟林吸收养分,因此无论从肥力还是和土壤适应性方面,中龄林和成熟林林分立地条件稍优于近熟林。近熟林年产量比中龄林高,凋落物层厚度比中龄林大,但现存量低,周转系数(0.51)大于中龄林(0.36),土壤有机质、总氮、总磷、有效磷含量比中龄林低,可能因为近熟林密度大于成熟林,竞争比较激烈,养分利用率比较高;坡度比中龄林大,夏季炎热多雨,凋落物周转比中龄林快,归还的养分流失严重,不利于养分积累。在不同的立地条件下,马尾松林长期积累的结果是土壤养分高,凋落物基质质量相对较高,土壤贫瘠,凋落物基质质量相对较低。

表 4 不同林龄马尾松凋落物主要养分年归还量及周转系数

Table 4 Mainly nutrient return per year through litterfall and turnover coefficient in different-aged *P. massoniana* stands

林分 Stand	主要养分年归还量/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹) Mainly nutrient return			周转系数 <i>K</i> Turnover coefficient
	N	P	K	
中龄林 Middle-aged stand	36.09±6.09b	1.54±0.29b	4.95±0.50a	0.36b
近熟林 Nearly-mature stand	32.42±1.79b	1.72±0.17b	4.58±0.13a	0.51a
成熟林 Mature stand	47.12±3.99a	2.53±0.32a	5.90±2.04a	0.40b

4.3 结论

本文研究结果显示马尾松凋落物叶、枝、皮、杂物的 C 含量差异显著,N、P、K 含量均是皮<枝<叶<杂物,C/N 比、C/P 比在各器官中变化均是杂物<叶<枝<皮,各器官基质质量差异由自身的遗传特性和组成结构决定;按比例混合后凋落物基质质量中的 C、C/N 比、C/P 比、木质素/N、木质素/P 比差异显著,N、P、K、木质素含量差异不显著;因此,不同林龄马尾松凋落物养分释放快慢与 C、C/N 比、C/P 比、木质素/N、木质素/P 比相关,一定程度上说明了土壤养分积累的快慢。

凋落物基质质量与土壤养分冗余分析(RDA)表明:不同林龄马尾松凋落物基质质量和土壤养分相互作用显著,马尾松凋落物基质质量中 N、P、纤维素、半纤维素、木质素、木质素/N、C/N 比等对土壤养分影响比较大,木质素、C/N 比越高越不利于土壤有机质的形成,土壤养分积累的越慢。土壤养分受基质质量、凋落物产量、养分年归还量、养分周转率等因素影响,但不同林龄马尾松凋落物基质质量变化和土壤养分关系紧密且变化规律保持一致,即土壤养分高,基质质量养分含量相对较高,土壤养分贫瘠,基质质量含量相对较低。总之,凋落物-土壤生物地化循环相辅相成,相互作用较为复杂,凋落物对生境的改变幅度除了与其自身特点外,凋落物自身在组成、积累、分布等方面的复杂性使得凋落物改变生境的作用效应变得复杂^[27]。

References:

- [1] Berg B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *Forest Ecology and Management*, 2000, 133(1/2): 13-22.
- [2] Wang G G, Klinka K. White spruce foliar nutrient concentrations in relation to tree growth and soil nutrient amount. *Forest Ecology Management*, 1997, 98(1): 89-99.
- [3] Nave L E, Vance E D, Swanston C W, Curtis P S. Impacts of elevated N inputs on north temperate forest soil C storage, C/N, and net N-mineralization. *Geoderma*, 2009, 153(1/2): 231-240.
- [4] Szanser M, Ilieva-Makulec K, Kajak A, Górka E, Kusińska A, Kisiel M, Olejniczak I, Russel S, Sieminiak D, Wojewoda D. Impact of litter species diversity on decomposition processes and communities of soil organisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(1): 9-19.
- [5] Moore T R, Trofymow J A, Prescott C E, Fyles J, Titus B D, Cidet Working Group. Patterns of carbon, nitrogen and phosphorus dynamics in decomposing foliar litter in Canadian forests. *Ecosystems*, 2006, 9(1): 46-62.
- [6] Moore T R, Trofymow J A, Prescott C E, Titus B D, Cidet Working Group. Nature and nurture in the dynamics of C, N and P during litter decomposition in Canadian forests. *Plant Soil*, 2011, 339(1/2): 163-175.

- [7] Berg B, Ekbohm G. Litter mass-loss rates and decomposition patterns in some needle and leaf litter types. Long-term decomposition in a Scots pine forest. VII. Canadian Journal of Botany, 1991, 69(7): 1449-1456.
- [8] Zeng L X, Wang P C, Xiao W F, Wan R, Huang Z L, Pan L. Estimating vegetation biomass and productivity and their distribution patterns in the Three Gorges Reservoir region. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3808-3816.
- [9] Yang H X, Wang S L, Fan B, Zhang W D. Dynamics of annual litter mass and nutrient return of different age Masson pine plantations. Chinese Journal of Ecology, 2010, 29(12): 2334-2340.
- [10] Chen X Y, Zhang Q, Ye D X, Liao Y M, Zhu C H, Zou X K. Regional climate change over Three Gorges Reservoir Area. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18(1): 47-51.
- [11] Wang P C, Yao J, Xiao W F, Zhang S G, Huang Z L, Zeng L X, Pan L. Topography differentiation characteristics of forest vegetation distribution in the three gorges reservoir area. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2009, 18(6): 528-534.
- [12] Cheng R M, Xiao W F. Quantitative classification and ordination of the forest communities in Three Gorges Reservoir Area. Scientia Silvae Sinicae, 2008, 44(4): 20-27.
- [13] Rowland A P, Roberts J D. Lignin and cellulose fractionation in decomposition studies using acid-detergent fibre methods. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1994, 25(3/4): 269-277.
- [14] Du F Y, Zhang X Y, Wang H X. Studies on quantitative assay and degradation law of lignocellulose. Biotechnology, 2004, 14(5): 46-48.
- [15] State Forestry Administration. Analysis method of forest soil in the People's Republic of China forestry industry standards. Beijing: China Standard Press, 2000.
- [16] Melillo J M, Aber J D, Muratore J F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. Ecology, 1982, 63(3): 621-626.
- [17] Wang S L, Chen C Y. Preliminary studies on the buffering effects of forest litter on soil acidification. Environmental Science, 1992, 13(5): 25-30.
- [18] Lin D Y. Experimental guidance on pedology. Beijing: China Forestry Press, 2004.
- [19] Kang B, Liu S R, Cai D X, Lu L H, He R M, Gao Y X, Di W Z. Soil physical and chemical characteristics under different vegetation restoration patterns in China south subtropical area. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(10): 2479-2486.
- [20] Mendonça E S, Stott D E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. Agroforestry Systems, 2003, 57(2): 117-125.
- [21] Jensen L S, Salo T, Plmason F, Breland T A, Henriksen T M, Stenberg B, Pedersen A, Lundström C, Esala M. Influence of biochemical quality on C and N mineralization from a broad variety of plant materials in soil. Plant and Soil, 2005, 273(1/2): 307-326.
- [22] Xiang W H, Tian D L. Nutrient cycling in *Pinus Massoniana* stands of different age classes. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(1): 89-95.
- [23] Nikolaidou A E, Pavlatou-Ve A K, Kostopoulou S K, Mamolos A P, Kalburtji K L. Litter quality and decomposition of *Vitis vinifera* L. residues under organic and conventional farming systems. European Journal of Soil Biology, 2010, 46(3/4): 208-217.
- [24] Aerts R, Caluwe H D. Nutritional and plant-mediated controls on leaf litter decomposition of *Carex* species. Ecology, 1997, 78(1): 244-260.
- [25] Ohrui K, Mitchell M J, Bischoff J M. Effect of landscape position on N mineralization and nitrification in a forested watershed in the Adirondack Mountains of New York. Canadian Journal of Forest Research, 1999, 29(4): 497-508.
- [26] Chen Y P, Zhao L H, Wu Y H, Wu N, Luo P, Wang J C, Pan K W. Interaction effect and mechanism between litter and soil quality. World Sci-Tech R and D, 2005, 27(4): 88-94.
- [27] Pan K W, He J, Wu N. Effect of forest litter on microenvironment conditions of forestland. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(1): 153-158.
- [28] Maisto G, De Marco A, Meola A, Sessa L, De Santo A V. Nutrient dynamics in litter mixtures of four Mediterranean maquis species decomposing in situ. Soil Biology and Biochemistry, 2011, 43(3): 520-530.
- [29] Tian D L, Lin X B. Studies of the amount of litter and nutrient restitution in different age of classes *Pinus massoniana* plantation. Journal of Central-South Forestry University, 1995, 15(2): 163-169.
- [30] Boerner R E J. Foliar nutrient dynamics and nutrient use efficiency of four deciduous tree species in relation to site fertility. Journal of Applied Ecology, 1984, 21(3): 1029-1040.
- [31] Daubenmire R, Prusso D C. Studies of the decomposition rates of tree litter. Ecology, 1963, 44(3): 589-592.

参考文献:

- [8] 曾立雄, 王鹏程, 肖文发, 万睿, 黄志霖, 潘磊. 三峡库区植被生物量和生产力的估算及分布格局. 生态学报, 2008, 28(8): 3808-3816.
- [9] 杨会侠, 汪思龙, 范冰, 张伟东. 不同林龄马尾松人工林年凋落量与养分归还动态. 生态学杂志, 2010, 29(12): 2334-2340.
- [10] 陈鲜艳, 张强, 叶殿秀, 廖要明, 祝昌汉, 邹旭恺. 三峡库区局地气候变化. 长江流域资源与环境, 2009, 18(1): 47-51.
- [11] 王鹏程, 姚婧, 肖文发, 张守攻, 黄志霖, 曾立雄, 潘磊. 三峡库区森林植被分布的地形分异特征. 长江流域资源与环境, 2009, 18(6): 528-534.
- [12] 程瑞梅, 肖文发. 三峡库区森林植物群落数量分类与排序. 林业科学, 2008, 44(4): 20-27.
- [15] 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准-森林土壤分析方法. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- [17] 汪思龙, 陈楚莹. 森林凋落物对土壤酸化缓冲作用的初步研究. 环境科学, 1992, 13(5): 25-30.
- [18] 林大仪. 土壤学实验指导. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [19] 康冰, 刘世荣, 蔡道雄, 卢立华, 何日明, 高妍夏, 迪玮峙. 南亚热带不同植被恢复模式下土壤理化性质. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2479-2486.
- [22] 项文化, 田大伦. 不同年龄阶段马尾松人工林养分循环的研究. 植物生态学报, 2002, 26(1): 89-95.
- [26] 陈印平, 赵丽华, 吴越华, 吴宁, 罗鹏, 王进闯, 潘开文. 森林凋落物与土壤质量的互作效应研究. 世界科技研究与发展, 2005, 27(4): 88-94.
- [27] 潘开文, 何静, 吴宁. 森林凋落物对林地微生境的影响. 应用生态学报, 2004, 15(1): 153-158.
- [29] 田大伦, 宁晓波. 不同龄组马尾松林凋落物量及养分归还量研究. 中南林学院学报, 1995, 15(2): 163-169.

CONTENTS

Behavioural time budgets and diurnal rhythms of the female Tibetan gazelles in the Kekexili National Nature Reserve	LIAN Xinming, LI Xiaoxiao, YAN Peishi, et al (663)
The relationship between the temporal-spatial distribution of fishing ground of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) and thermocline characteristics in the tropic Indian Ocean	YANG Shenglong, ZHANG Yu, ZHANG Heng, et al (671)
Characteristics of algous facies of planktonic algae in lake honghu and its response to habitat	LU Bilin, YAN Pingchuan, TIAN Xiaohai, et al (680)
Tide elevations for four mangrove species along western coast of Guangxi, China	LIU Liang, FAN Hangqing, LI Chungan (690)
Effects of CO ₂ -induced seawater acidification on photosynthesis and calcification in the coralline alga <i>Corallina pilulifera</i>	XU Zhiguang, LI Meizhen, HUO Chuanlin, et al (699)
Impacts of coverage and canopy water depth on the spectral characteristics for a submerged plant <i>Cabomba caroliniana</i>	ZOU Weina, YUAN Lin, ZHANG Liquan, et al (706)
Prioritizing biodiversity in conservation planning based on C-Plan: a case study from northeast China	LUAN Xiaofeng, SUN Gongqi, QU Yi, et al (715)
Effects of urbanization on indigenous plant diversity: a case study of Langfang City, China	PENG Yu, LIU Xuehua, XUE Dayuan, et al (723)
Using infra-red cameras to survey wildlife in Beijing Songshan National Nature Reserve	LIU Fang, LI Diqiang, WU Jigui (730)
Individual tree biomass model by tree origin, site classes and age groups	LI Haikui, NING Jinkui (740)
Population genetics of <i>Niviventer confucianus</i> and its relationships with habitat area in Thousand Island Lake region	LIU Jun, BAO Yixin, ZHANG Xu, et al (758)
Impacts of climate change on phenological phase of herb in the main grassland in Inner Mongolia	GU RunYuan, ZHOU Weican, BAI Meilan, et al (767)
Atmospheric nitrogen deposition in the glacier regions of Northwest China: a case study of Glacier No. 1 at the headwaters of Urumqi River, Tianshan Mountains	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (777)
Effects of vegetation type on arthropod functional groups in the aerial habitat of salt marsh	TONG Chunfu (786)
The plant community distribution and migration characteristics of heavy metals in tolerance dominant species in lead/zinc mine areas in Northwestern Guizhou Province	XING Dan, LIU Hongyan, YU Pingping, et al (796)
Sprouting characteristic in restoration ecosystems of monsoon evergreen broad-leaved forest in south-central of Yunnan Province	SU Jianrong, LIU Wande, ZHANG Zhijun, et al (805)
Distribution patterns and changes of aquatic communities in Lashihai Plateau Wetland after impoundment by damming	XIAO Derong, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (815)
Spatial distribution of root biomass of <i>Pinus massoniana</i> plantation in Three Gorges Reservoir area, China	CHENG Ruimei, WANG Ruili, XIAO Wenfa, et al (823)
Differences in biomass, litter layer mass and SOC storage changing with tree growth in <i>Larix gmelinii</i> plantations in Northeast China	WANG Hongyan, WANG Wenjie, QIU Ling, et al (833)
Soil carbon sequestration rates and potential in the grazing grasslands of Inner Mongolia	HE Nianpeng, HAN Xingguo, YU Guirui (844)
Relationships between litter substrate quality and soil nutrients in different-aged <i>Pinus massoniana</i> stands	GE Xiaogai, XIAO Wenfa, ZENG Lixiong, et al (852)
Compare different effect of arbuscular mycorrhizal colonization on soil structure	PENG Sili, SHEN Hong, ZHANG Yuting, et al (863)
The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents	LIU Muxing, NIE Yan, YU Jing (871)
Diurnal variations of the greenhouse gases emission and their optimal observation duration under different tillage systems	TIAN Shenzhong, NING Tangyuan, CHI Shuyun, et al (879)
Effects of exogenous pb and cu stress on eco-physiological characteristics on foxtail millet seedlings of different genotypes	XIAO Zhihua, ZHANG Yixian, ZHANG Xiwen, et al (889)
Combined effect of temperature and salinity on the Na ⁺ -K ⁺ -ATPase activity from the gill of GIFT tilapia juveniles (<i>Oreochromis niloticus</i>)	WANG Haizhen, WANG Hui, QIANG Jun, et al (898)
Pattern simulation of karst rocky desertification based on cellular automata	WANG Xiaoxue, LI Xuyong, WU Xiuqin (907)
The role of root border cells in protecting buckwheat root apices from aluminum toxicity and their effect on polysaccharide contents of root tip cell walls	CAI Miaozen, WANG Ning, WANG Zhiying, et al (915)
The suitable stand structure and hydrological effects of the cypress protection forests in the central Sichuan hilly region	GONG Gutang, LI Yanqiong, ZHU Zhifang, et al (923)
Comprehensive evaluation of agricultural water-saving technology based on AHP and Rough Set method	ZHAI Zhifen, WANG Lanying, SUN Minzhang, et al (931)
Analysis of the spatial expansion characteristics of major urban agglomerations in China using DMSP/OLS images	WANG Cuiping, WANG Haowei, LI Chunming, et al (942)
Evaluation of non-use value of ecotourism resources: a case study in Dalai Lake protected area of China	WANG Pengwei, JIA Jingbo (955)
Review and Monograph	
Assessment indicators system of forest ecosystem health based on the harmful disturbance	YUAN Fei, ZHANG Xinyao, LIANG Jun (964)
Role of silicon in regulating plant resistance to insect herbivores	HAN Yongqiang, WEI Chunguang, HOU Maolin (974)
Scientific Note	
Relationships among light conditions, crown structure and branch longevity: a case study in <i>Osmanthus fragrans</i> and <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	ZHAN Feng, YANG Dongmei (984)
Effects of maize straw with Bt gene return to field on growth of wheat seedlings	CHEN Xiaowen, QI Xin, WANG Haiyong, et al (993)
Studies of non-structural carbohydrates of <i>Cupressus funebris</i> in different landslides after Wenchuan Earthquake	CHEN Bo, LI Zhihua, HE Qian, et al (999)

《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 3 期 (2012 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 3 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: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 70.00 元