

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

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
2011



中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苧麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响

王 丹¹, 王 兵¹, 戴 伟^{2,*}, 李 萍³

(1. 中国林科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;

2. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 3. 北京市土肥工作站, 北京 100029)

摘要:在江西大岗山生态站选择不同发育阶段杉木人工林, 研究土壤呼吸速率、土壤性质和年凋落物量的变化特征以及它们之间的相互关系。结果表明: 杉木人工林随林分发育过程中林龄增加, 林分年凋落物量和土壤纤维素酶活性逐渐增加; 蔗糖酶活性呈现出先增加后降低的变化趋势, 而淀粉酶活性无明显变化规律。土壤理化性质表现为幼龄林阶段较好, 中龄林最差、近熟林—过熟林又逐渐恢复的变化特征; 但不同指标恢复速度不同。土壤呼吸速率从幼龄林到近熟林呈明显先降低后增加的变化规律; 从近熟林到成熟林略有增加, 但增加不显著; 过熟林时又显著降低, 达到中龄林水平。通径分析表明, 不同土壤性质对土壤呼吸速率表现出不同程度的影响; 在被研究的土壤性质中, 年凋落物量、土壤有机碳含量和纤维素酶活性对土壤呼吸速率表现出更强烈的直接影响和间接影响作用。

关键词:杉木人工林; 发育阶段; 土壤性质; 土壤呼吸速率; 通径分析

Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations

WANG Dan¹, WANG Bing¹, DAI Wei^{2,*}, LI Ping³

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

2 School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

3 Beijing Soil and Fertilizer Working Station, Beijing 100029, China

Abstract: As an important component of carbon cycle in forest ecosystem, soil respiration characteristics and its affecting factors in Chinese fir plantations have gradually become the focus. Tree growth and soil properties definitely affect soil respiration rate in the entire developmental stages of Chinese fir plantations from juvenile, medium, near mature, mature, to over mature. In this paper, the Chinese fir plantations at different developmental stages in Dagang Mountain of Jiangxi Province were selected to investigate the effects of tree growth on soil respiration rate, and the relationship between soil respiration rate and soil properties was further studied with path analysis. The results showed that soil respiration rate ranged from $0.51 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ to $1.14 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, and it decreased first and then increased from juvenile to near-mature, slightly increased from near-mature to mature, and significantly decreased in the over-mature forest soil. With increasing stand age, annual litterfall amount and soil cellulase activity increased gradually, invertase activity decreased first and then increased, and amylase activity had no significant change. Soil physico-chemical properties were found better in the juvenile forest, worst in the medium forest, and they recovered gradually from near-mature to over-mature with different recovery speed. The direct path coefficients of soil properties to soil respiration rate were in the descending order of annual litterfall amount, soil organic carbon content, soil cellulase activity, field capacity, non-capillary porosity, bulk density, total nitrogen content, invertase activity, capillary porosity, capillary water-holding capacity, amylase activity, and total

基金项目:国家 973 计划项目(2011CB403201); 国家自然科学基金项目(30590381-06); 林业公益性行业科研专项(200804022)

收稿日期:2010-01-20; **修订日期:**2010-04-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: daiw163@163.com

porosity. The direct path coefficients of annual litterfall amount, soil organic carbon content and soil cellulase activity to soil respiration rate were 1.069, 0.736, 0.518, respectively, indicating the most intense direct effects. Their high indirect path coefficients further indicated the profound influence of their interaction on soil respiration rate. With intense direct and indirect effects, annual litterfall amount, soil organic carbon content and soil cellulase activity were the dominant factors for the variation of soil respiration rate.

Key Words: Chinese fir plantation; developmental stages; soil respiration; soil properties; path analysis

土壤呼吸是土壤碳输出的主要途径,也是陆地生态系统碳收支的重要环节,对大气 CO_2 浓度有很大的影响^[1-2]。作为一个复杂的生物学过程,土壤呼吸受到多种因素的影响,确定土壤呼吸强度及其主要影响因子成为碳循环研究的重要科学问题^[3-4]。鉴于森林生态系统在全球碳平衡中的重要地位,国内外学者已经从土壤呼吸与环境因子的关系、全年土壤呼吸量的估算、土地利用方式对土壤呼吸的影响以及土壤呼吸对全球变化的响应等方面对中纬度温带森林系统中土壤呼吸特征开展了研究^[5-13]。迄今为止,针对杉木人工林土壤呼吸的研究还较少^[14-20],田大伦等通过对郁闭杉木人工林林地土壤 CO_2 释放量的测定,分析了温度、水分和土壤 C/N 比对林地土壤 CO_2 释放量的影响,探讨了杉木林生态系统 CO_2 的释放和固定规律^[15-16]。杨玉盛等研究了杉木人工林土壤呼吸速率季节变化特点和 5 cm 处土壤温度的变化对土壤呼吸 Q_{10} 值的影响^[19-20]。但已有报道都只集中在杉木生长的某一阶段,缺乏对不同发育阶段下土壤呼吸特征及其变化特点的深入探讨。为此,本文以江西大岗山不同发育阶段杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 人工林为研究对象,在对各阶段下土壤呼吸速率和其他土壤性质变化规律的分析基础上,运用通径分析方法探讨了土壤呼吸速率与土壤各性质之间的关系,以期增进对土壤性质与土壤呼吸相互作用的理解,为把握土壤中的关键控制因子,揭示土壤呼吸的变化机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于江西省分宜县中国林科院大岗山国家级森林生态定位站所辖范围,地处 $27^{\circ}30'N$, $114^{\circ}30'E$, 属中亚热带季风气候,年均温度 17.5°C , 年降水量 1593.7 mm, 且降雨多集中在 4—6 月份,无霜期为 268 d。整个地形是西北偏高,以低山丘陵地貌为主。母岩以页岩为主,土壤类型为红壤。森林覆盖率 76.4%, 植被类型多样,其中杉木人工林主要分布在海拔 800 m 以下,林下植被主要有狗脊(*Woodwardia japonica*)、五节芒(*Misecanthus floridulus*)、芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)、欏木(*Loropetalum chinense*)、悬钩子(*Rubus trianthus*)、飞蓬(*Erigeron acris*)、大青(*Clerodendrum cyrtophyllum*)、金星蕨(*Parathelypteris glanduligera*)、毛药红淡(*Adinandra millettii*)、杜茎山(*Maesa japonica*)、土茯苓(*Smilax glabra*)、木荷(*Schima superba*)等。

1.2 研究样地的选择

按《中国森林》^[21]杉木林龄结构划分标准,在大岗山森林生态站所辖林区,选择不同林龄(幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林和过熟林)、相同母质(页岩坡积)、相同海拔(海拔高度差小于 50m)、前期植被均为天然次生阔叶林的杉木人工林作为研究对象。各林地自然概况见表 1。

1.3 样品采集与分析

1.3.1 土壤呼吸速率测定方法

各杉木人工林样地内分别设置 2 个面积为 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 标准地。每个标准地随机布设 5 个测定点,每个测定点安置 1 个土壤呼吸测定环(直径 20cm,高 10cm 的 PVC 环),安置时尽量降低土壤表层破坏带来的干扰,基座内绿色植物齐地剪掉,尽可能不扰动地表凋落物。在 2008 年 3—10 月间,每月选择晴朗无风的稳定天气利用红外气体分析仪(IRGA; LI-8100; Li-cor Inc., Lincoln, NE)^[22]在各测定点进行 2 次土壤呼吸速率测定,测定时间为 9:00—12:00^[23]。

表 1 样地基本概况

Table 1 General situation of different forest stands

林分类型 Forest stands	林龄 Stand age/a	海拔 Altitude /m	土壤类型 Soil types	坡向 Slope direction	坡度 Slope / (°)	林分密度 stand density / (株/hm ²)	郁闭度 Closure	林下植被盖度 Vegetation Coverage/%
幼龄林 Juvenile	7	260	红壤	东	30	2955	0.6	66
中龄林 Medium	16	290	红壤	东	25	3275	0.7	21
近熟林 Near mature	23	298	红壤	东北	22	1385	0.5	70
成熟林 Mature	29	280	红壤	东北	30	1155	0.5	85
过熟林 Over mature	49	300	红壤	东	26	1050	0.5	90

1.3.2 土壤样品采集与分析

(1) 2008 年 3 月、6 月和 9 月利用 S 型取样法(共 5 点)3 次采集各标准地 0—20 cm 土层土壤样品,根据《森林土壤分析方法》^[24]进行风干过筛处理,供土壤化学性质测定。同时采集环刀样品测定土壤容重和孔隙度等土壤物理性质。另外留取部分新鲜土壤样品置于 4℃ 下存放,用于土壤酶活性的测定。

(2) 土壤物理性质测定方法^[24] 利用环刀法测定土壤容重、田间持水量、毛管持水量、毛管孔隙度、非毛管孔隙度以及总孔隙度。

(3) 土壤化学性质测定方法^[24] 土壤有机碳采用 K₂Cr₂O₇ 外加热法测定;土壤全氮采用 K₂Cr₂O₇ 凯氏定氮仪测定。

(4) 土壤酶测定方法^[25] 蔗糖酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,结果以培养 24 h 每克风干土壤葡萄糖的毫克数表示;纤维素酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,结果以培养 72 h 每克风干土壤葡萄糖的毫克数表示;淀粉酶采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定,结果以培养 5 h 每克风干土壤葡萄糖的毫克数表示。

1.3.3 凋落物的收集

在每个标准地对角线的 4 个角和中心位置分别放置面积为 1 m × 1 m、框口离地面 1 m 的尼龙网凋落物收集器,在 2008 年的 3 月、6 月和 9 月定期收集凋落物,烘干后计算凋落物量。

1.4 数据分析

1.4.1 通径分析原理和方法

以往很多研究经常采用简单相关分析方法探讨原因和结果间的关系,但数学理论认为,在多变量简单相关分析过程中,任意两个变量的线性相关系数,都会受到其它变量的影响,并不能反映一个变量(原因)对另一个变量(结果)的直接作用,往往不能正确地说明这两个变量之间的真正关系,甚至常常会得出错误的结论^[26-30]。通径分析不仅能够反映两变量间的相互关系,得出原因对结果的重要性,同时还可在直接通径系数和间接通径系数计算结果的基础上,更加深入了解各个因素对结果的相对重要性。

对于一个相互关联的系统,如果一个因变量 y 与 n 个自变量 x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 间存在线性关系,则两者间的回归方程可以表示为:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (1)$$

将实际观测值代入(1)式,通过数学变换,可建立如下正规矩阵方程:

$$\begin{bmatrix} 1 & r_{x_1x_2} & \dots & r_{x_1x_n} \\ r_{x_1x_2} & 1 & \dots & r_{x_2x_n} \\ & & \ddots & \\ r_{x_nx_1} & r_{x_nx_2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{yx_1} \\ P_{yx_2} \\ \vdots \\ P_{yx_n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{x_1y} \\ r_{x_2y} \\ \vdots \\ r_{x_ny} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, $r_{x_ix_j}$ 为 x_i 和 x_j 的简单相关系数; r_{x_iy} 为 x_i 和 y 的简单相关系数; P_{yxi} 为 x_i 对 y 的直接通径系数,该值可以通过最小二乘法原理解方程组求得,即:

$$P_{yxi} = b_i(\sigma_{x_i}/\sigma_y) \quad (3)$$

式中, b_i 为 y 对 x_i 的偏回归系数, σ_{x_i} 、 σ_y 分别为 x_i 、 y 的标准差。

并进一步计算得出 x_i 通过 x_j 对 y 的间接通径系数 $r_{xij}P_{yxi}$ 。

1.4.2 数据处理

所得数据采用 Excel 图表和 SPSS13.0 软件处理。数据统计采用单因素方差分析和回归分析, 差异显著性检验的 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同发育阶段杉木人工林土壤呼吸速率变化特征

土壤呼吸释放 CO_2 量主要来源于土壤微生物、土壤动物和植物根系的呼吸作用及土壤生化反应等方面^[31], 其释放量的多少是土壤生物活性强弱的综合指标^[32]。图 1 表明, 杉木在从幼龄林到过熟林的整个发育过程中, 其土壤呼吸速率平均在 $0.51\text{—}1.14\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间, 其中, 幼龄林最高, 中龄林显著降低; 在近熟林—成熟林阶段, 土壤呼吸速率与中龄林相比虽然出现显著增加, 但仍未恢复到幼龄林水平; 进入过熟林阶段后, 土壤呼吸速率又显著降低, 平均呼吸速率和中龄林水平基本一致。这种变化特征反映出杉木生长过程对土壤呼吸速率的强烈影响。

2.2 不同发育阶段杉木人工林年凋落物量和土壤性质的变化特征

2.2.1 年凋落物量

不同发育阶段下调落物的年平均量为 $1.03\text{—}5.19\text{ t/hm}^2$, 呈现出随林龄的增长而增加的变化规律(图 2), 这与盛炜彤等的研究结果一致^[33]。但不同发育阶段增加程度不同。从幼龄林到近熟林阶段, 年凋落物量增加幅度较大, 各阶段间均达到显著差异水平; 从近熟林到过熟林阶段, 年凋落物量虽也表现出增加趋势, 但阶段间差异不显著。

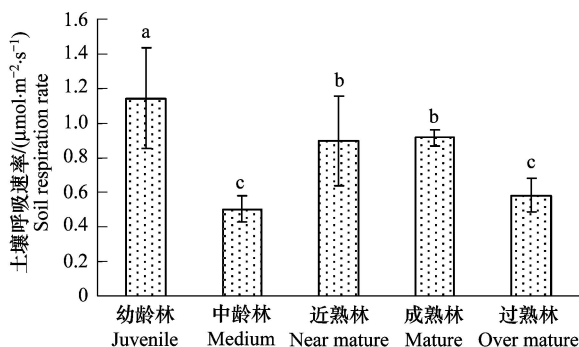


图 1 不同发育阶段土壤呼吸速率的变化

Fig. 1 The variation of soil respiration rate in different developmental stages

注: 不同字母表示不同发育阶段各指标间的差异显著 ($P < 0.05$)

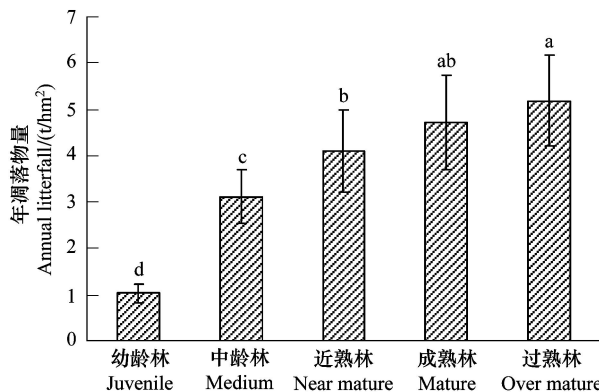


图 2 不同发育阶段年凋落物量的变化

Fig. 2 The variation of annual litterfall in different developmental stages

2.2.2 土壤物理性状

表 2 显示, 在杉木的整个发育过程中, 土壤容重、田间持水量、毛管持水量、毛管孔隙度、非毛管孔隙度以及总孔隙度均显示出明显的规律性变化特征。与幼龄林土壤相比, 中龄林阶段呈现出土壤田间持水量、毛管持水量以及各项孔隙指标降低, 而土壤容重增加的变化特征。除非毛管孔隙度外, 各项指标都达到显著差异, 显示出明显的土壤物理性质恶化的现象, 并一直持续到近熟林阶段; 进入成熟林阶段后, 土壤物理状况明显恢复, 多数指标与中龄林相比达到显著差异水平; 在过熟林阶段, 部分土壤物理性质恢复到较高水平, 甚至超过幼龄林阶段。

2.2.3 土壤有机碳含量和全氮量

不同发育阶段杉木林地土壤有机碳含量和全氮量的变化范围分别为 $12.19\text{—}29.11\text{ g/kg}$ 与 $1.23\text{—}2.49$

g/kg,呈现出明显的幼龄林较高、中龄林最低、近熟林—过熟林又逐渐升高的变化特征(图2)。但与土壤物理性质变化特征不同的是,两者的含量在近熟林阶段就出现显著的增加,迅速恢复到幼龄林水平,并在过熟林阶段达到整个生长发育阶段的最大值。

表2 不同发育阶段土壤物理性质的变化

Table 2 The variation of soil physical properties in different developmental stages

林型 Forest stands	土壤容重 Bulk density /(g/cm ³)	田间持水量 Field capacity /(g/kg)	毛管持水量 Capillary capacity /(g/kg)	毛管孔隙度 Capillary porosity /%	非毛管孔隙度 Non-capillary porosity/%	总孔隙度 Total porosity /%
幼龄林 Juvenile	0.95 ± 0.08bc	581.15 ± 30.9a	601.87 ± 36.8a	57.83 ± 2.34a	4.17 ± 0.57c	62.01 ± 3.09ab
中龄林 Medium	1.24 ± 0.21a	338.06 ± 22.5c	346.46 ± 25.9c	42.05 ± 1.09b	3.32 ± 0.34c	45.37 ± 4.31c
近熟林 Near mature	1.15 ± 0.13ab	365.80 ± 24.3bc	372.51 ± 31.2c	43.24 ± 2.01ab	6.33 ± 0.62c	49.57 ± 4.19bc
成熟林 Mature	1.01 ± 0.05bc	461.66 ± 31.2b	464.99 ± 26.4b	45.46 ± 1.36ab	11.45 ± 1.22b	56.92 ± 2.87b
过熟林 Over mature	0.86 ± 0.06d	566.89 ± 28.9a	572.40 ± 32.5a	48.98 ± 1.69ab	19.76 ± 1.78a	68.75 ± 3.55a

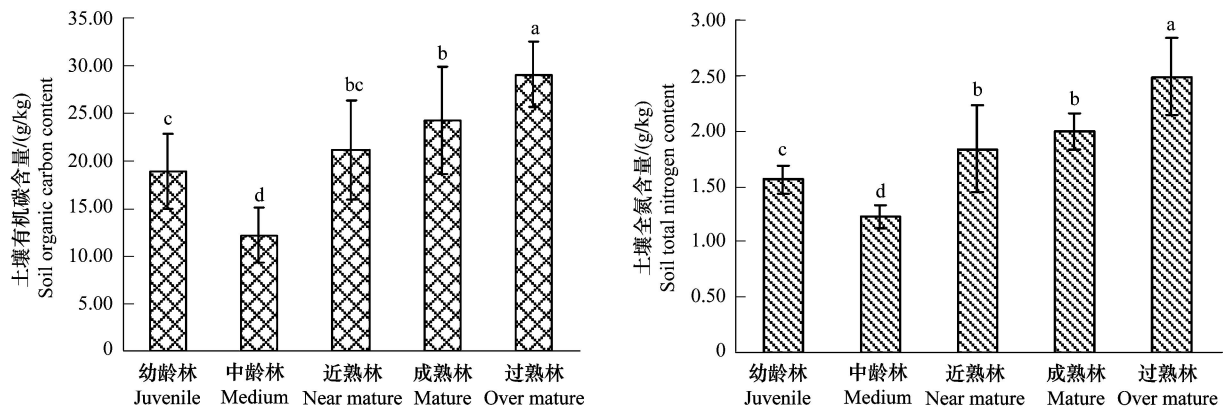


图3 不同发育阶段土壤有机碳和全氮的变化

Fig. 3 The variation of soil organic carbon and total nitrogen content in different developmental stages

2.2.4 土壤酶活性

由表3可知,随着杉木不同发育阶段的变化,各项土壤酶活性表现出不同的变化特征。土壤纤维素酶活性随林龄增加逐渐增大,与凋落物量的变化规律一致;蔗糖酶活性则出现先增加后减低的变化趋势,具体表现为近熟林阶段最大,为0.28 mg/g,过熟林阶段最小,仅为0.16 mg/g;淀粉酶活性与纤维素酶活性相同,最低点也出现幼龄林阶段,但在杉木的整个发育阶段中没有呈现出明显的变化规律。

表3 不同发育阶段土壤酶活性的变化

Table 3 The variation of soil enzyme activity in different developmental stages

林型 Forest stands	纤维素酶 Cellulase activity/(mg/g)	蔗糖酶 Invertase activity/(mg/g)	淀粉酶 Amylase activity/(mg/g)
幼龄林 Juvenile	0.10 ± 0.05c	0.22 ± 0.04a	2.37 ± 1.98b
中龄林 Medium	0.12 ± 0.04bc	0.26 ± 0.05a	4.70 ± 2.33a
近熟林 Near mature	0.21 ± 0.18b	0.28 ± 0.08a	3.17 ± 1.24ab
成熟林 Mature	0.32 ± 0.10a	0.21 ± 0.06ab	4.60 ± 1.57a
过熟林 Over mature	0.34 ± 0.12a	0.16 ± 0.08b	4.32 ± 2.17a

2.3 土壤呼吸速率与土壤性质和年凋落物量间的相互关系

通径分析结果表明(表4),不同土壤性质对土壤呼吸速率的直接通径系数依次为:年凋落物量

(-1.069) > 土壤有机碳含量(0.736) > 纤维素酶活性(0.518) > 田间持水量(-0.339) > 非毛管孔隙度(-0.332) > 土壤容重(0.295) > 全氮量(0.250) > 蔗糖酶活性(0.178) > 毛管孔隙度(0.155) > 毛管持水量(0.154) > 淀粉酶活性(-0.142) > 总孔隙度(-0.027)。这表明在直接影响土壤呼吸速率的各项因素中,凋落物量的作用最大,其次是土壤有机碳含量和纤维素酶活性。

表4还显示,土壤各性质和凋落物量对土壤呼吸速率的影响,不仅表现在本身具有的直接作用,同时还表现在通过其他性质体现出的间接影响。但不同的土壤性质对土壤呼吸速率的间接影响程度不同。其中,年凋落物量、土壤有机碳含量、纤维素酶活性三者间的间接通径系数较大,仅次于各自的直接通径系数,表明三者间的共同作用也深刻影响着土壤呼吸速率。

综合分析得出,不同土壤性质对土壤呼吸速率的影响程度不同。在所选定的土壤因素中,年凋落物量对土壤呼吸速率的影响作用最大,其次是土壤有机碳含量和纤维素酶活性。

表4 土壤性质对土壤呼吸速率的通径系数

Table 4 Path coefficients of soil respiration rate to soil properties

	$X_1 \rightarrow Y$	$X_2 \rightarrow Y$	$X_3 \rightarrow Y$	$X_4 \rightarrow Y$	$X_5 \rightarrow Y$	$X_6 \rightarrow Y$	$X_7 \rightarrow Y$	$X_8 \rightarrow Y$	$X_9 \rightarrow Y$	$X_{10} \rightarrow Y$	$X_{11} \rightarrow Y$	$X_{12} \rightarrow Y$
X_1	-1.069	0.078	-0.056	0.007	0.021	-0.242	-0.010	0.506	0.187	0.429	0.025	-0.097
X_2	-0.284	0.295	-0.079	0.010	0.086	-0.023	-0.010	0.066	-0.004	0.145	0.149	-0.010
X_3	-0.205	0.068	-0.339	0.137	0.135	-0.196	-0.025	0.534	0.155	0.294	0.042	-0.070
X_4	-0.048	0.02	-0.302	0.154	0.115	-0.157	-0.022	0.435	0.133	0.21	0.016	-0.049
X_5	-0.144	0.164	-0.295	0.114	0.155	-0.135	-0.025	0.398	0.100	0.254	0.100	-0.089
X_6	-0.802	0.021	-0.206	0.075	0.065	-0.322	-0.019	0.603	0.222	0.416	-0.004	-0.081
X_7	-0.406	0.114	-0.317	0.127	0.142	-0.224	-0.027	0.562	0.172	0.354	0.060	-0.092
X_8	-0.735	0.027	-0.246	0.091	0.084	-0.264	-0.021	0.736	0.232	0.438	0.020	-0.066
X_9	-0.801	-0.004	-0.211	0.082	0.062	-0.286	-0.019	0.683	0.250	0.451	-0.004	-0.056
X_{10}	-0.885	0.083	-0.192	0.063	0.076	-0.259	-0.018	0.623	0.218	0.518	0.048	-0.090
X_{11}	-0.152	0.247	-0.080	0.014	0.087	-0.007	-0.009	0.082	0.005	0.14	0.178	-0.080
X_{12}	-0.727	0.208	-0.166	0.053	0.096	-0.184	-0.017	0.343	0.099	0.329	0.100	-0.142

Y:土壤呼吸速率; X_1 :凋落物量; X_2 :土壤密度; X_3 :田间持水量; X_4 :毛管持水量; X_5 :毛管孔隙度; X_6 :非毛管孔隙度; X_7 :总孔隙度; X_8 :土壤有机碳含量; X_9 :全氮量; X_{10} :纤维素酶活性; X_{11} :蔗糖酶活性; X_{12} :淀粉酶活性;表中黑体为直接通径系数,其余为间接通径系数

3 结论与讨论

(1)随杉木生长发育,土壤呼吸速率从幼龄林到近熟林呈明显先降低后增加的变化规律。这种变化应该和不同发育阶段下林下植被盖度、林分密度及郁闭度不同密切相关。在幼龄林阶段,由于种植前的整地措施,加之良好的光照和水热条件等原因,促进了土壤各生物学过程的进展,使得土壤呼吸速率处于较高水平;进入中龄林阶段,林分高度郁闭,重叠度可达50%左右,林分平均透光率只有1%—14%,原生长在幼龄林中的杂草灌木逐渐淘汰,有的林分几乎无林下植被,同时这种环境条件也十分不利于土壤微生物等的生长^[33-34],导致土壤总呼吸速率出现明显降低,达到最低点;此后,随着林分自然整枝,自然稀疏,林分透光度又逐渐提高,林下植被开始复苏,微生物活动增强,土壤呼吸速率也逐渐开始增加,并在成熟林阶段重又恢复到幼龄林阶段水平;但进入过熟林阶段后,由于林下环境条件阴湿、土壤温度较低,导致土壤呼吸速率又出现明显的下降。

(2)受杉木生长发育的影响,年凋落物量和多数土壤理化性质指标都出现明显的规律性变化。随林龄的增加,年凋落物量和土壤纤维素酶活性逐渐增加;蔗糖酶活性呈现出先增加后减低的变化趋势,土壤物理状况、土壤有机碳含量和全氮量均表现为幼龄林阶段较好,中龄林最差、近熟林-过熟林又逐渐恢复的变化特征,但不同指标恢复速度不同,多数土壤物理指标在成熟林阶段才恢复到幼龄林水平,而土壤有机碳含量和全氮量在近熟林阶段就已经达到。

(3)不同土壤性质对土壤呼吸速率具有着不同程度的影响。其中,年凋落物量、土壤有机碳含量和纤维素酶活性对土壤呼吸速率表现出最为强烈的直接影响作用和间接影响作用。这无疑与凋落物和土壤有机碳

分解转化过程对 CO_2 释放量的影响以及纤维素酶在纤维素类物质分解转化中的作用密切相关。Raich 等^[35-36]发现,土壤呼吸总量受凋落物量的强烈影响。其次,在温度和土壤水分相对稳定的情况下,土壤有机碳含量也是决定土壤 CO_2 释放通量变化的重要因素^[37-38]。土壤表面 CO_2 年通量与土壤一定深度土层有机碳含量有显著正相关关系^[39-41]。甚至曾有研究者试图用土壤有机质含量来预测土壤呼吸的速度^[42]。这些研究均显示出凋落物和土壤有机质含量对土壤呼吸强度的直接影响。此外,杉木凋落物中 50% 以上是由落叶组成,落叶中纤维素和木质素的含量明显高于其他易分解物质(水溶性物、半纤维素和粗蛋白)含量^[33,43]。纤维素酶在土壤中的主要作用是分解纤维素类物质,其活性直接影响着该类物质的分解转化强度,因而成为土壤呼吸的又一主控因素。

(4) 鉴于土壤呼吸作用的复杂性,今后还应在本项研究的基础上,从杉木不同发育阶段下土壤呼吸速率的日变化和季节变化特点、温度和水分等环境因子对土壤呼吸速率的影响以及土壤微生物、根系和土壤动物呼吸特征等多角度进行深入的研究和探讨,为更加清晰和准确了解杉木人工林生态系统碳循环提供科学依据。

References:

- [1] Jenkison D S, Adams D E, Wild A. Model estimates of CO_2 emissions from soil in response to global warming. *Nature*, 1991, 351: 304-306.
- [2] Huang C C, Ge Y, Chang J, Lu R, Xu Q S. Studies on the soil respiration of three woody plant communities in the East Mid-sub-tropical Zone, China. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(3): 324-328.
- [3] Lundegardh H. Carbon dioxide evolution and crop growth. *Soil Science*, 1927, 23: 417-453.
- [4] Zhang D Q, Shi P L, Zhang X Z. Some advance in the main factors controlling soil respiration. *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(7): 778-785.
- [5] Chagas C L, Santanatoglia O J, Castiglioni M G, Marelli H J. Tillage and cropping effects on selected properties of an argiudolt in Argentina. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1995, 26(5/6): 643-655.
- [6] Badia D V, Alcaniz J M. Basal and specific microbial respiration in semiarid agricultural soils: Organic amendment and irrigation management effects. *Geomicrobiology Journal*, 1998, 11(3): 261-274.
- [7] Raich J W, Schelesinger W H. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. *Tellus*, 1992, 44B: 81-99.
- [8] Buyanovsky G A, Wagner G H, Gantzer C J. Soil respiration in a winter wheat ecosystem. *Soil Science Society America Journal*, 1986, 50: 338-344.
- [9] Chen Q S, Li L H, Han X G, Yan Z D. Effects of water contention soil respiration and the mechanisms. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 972-978.
- [10] Mu S G. Respiration of soils under temperate deciduous, coniferous and mixed forests. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(4): 564-570.
- [11] Bond L B, Wang C, Cower S T. A global relationship between the heterotrophic and autotrophic components of soil respiration. *Global Change Biology*, 2004, 10: 1756-1766.
- [12] Burton A J, Pregitzer K S, Ruess R W, Hendrik R L, Allen M F. Root respiration in North American forests: effects of nitrogen concentration and temperature across biomes. *Oecologia*, 2002, 131: 559-568.
- [13] Guo J F, Yang Y S, Liu L Z, Zhao Y C, Chen Z W, Mao Y L. Effect of temperature on soil respiration in a Chinese fir forest. *Journal of Forestry Research*, 2009, 20(1): 49-53.
- [14] Fang X, Tian D L. A study of soil CO_2 release rate in Chinese fir plantation. *Scientia Silvae Sinicae*, 1997, 33(2): 94-100.
- [15] Fang X, Tian D L, Xiang W H, Yan W D, Kang W X. Soil CO_2 release rate and its effect factors in Chinese fir plantation. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(2): 1-7.
- [16] Fang X, Tian D L, Xiang W H, Yan W D, Kang W X. Carbon dynamics and balance in the ecosystem of the young and middle-aged second-generation Chinese fir plantation. *Journal of Central South Forestry University*, 2002, 22(1): 1-6.
- [17] Yang Y S, Chen G S, Wang X G. Effects of slash burning on soil organic carbon and black carbon in Chinese fir plantation. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(4): 584-590.
- [18] Hu Y L, Wang S L, Yan S K. Effects of replacing natural secondary broad-leaved forest with *Cunninghamia lanceolata* plantation on soil biological activities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(8): 1411-1416.

- [19] Gao R, Tang Y P, Yang Y S, Yi Y F, Chen G S, Li Y J, Qiu J. Q10 values of soil respiration and its affecting factors for Chinese fir plantation and paddy field. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2007, 2(4): 11-14.
- [20] Liu L Z, Yang Y S, Guo J F, Yuan Y D. Soil respiration of Chinese fir plantation subjected to clear-cutting and burning in the mid-subtropical zone, China. *Journal of Subtropical Resources and Environment*, 2008, 3(1): 8-14.
- [21] Chinese Forest Editing Committee. *Chinese Forest*, Volume One. Beijing: China Forestry Publishing House, 1997, 132-134.
- [22] Zhao G D, Wang B, Yang J, Zhang Z J. L I-8100 automated soil CO₂ flux system and its application. *Meteorological Science and Technology*, 2005, 33(4): 364-366.
- [23] Edwards N T. Root and soil respiration responses to ozone in *Pinus taeda* L seedlings. *New Phytologist*, 1991, 118: 315-321.
- [24] State Forestry Administration. *Analytical methods of forest soil*. Beijing: China Standard Publishing House, 1999.
- [25] Guan S Y. *Soil Enzyme and Study Methods*. Beijing: Agricultural Press, 1986.
- [26] Basta N T, Pantone D J, Tabarabai M A. Path analysis of heavy metal adsorption by soil. *Agronomy Journal*, 1993, 85: 1054-1057.
- [27] Krishnasamy R, Mathan K K. Path coefficient analysis of zinc and boron adsorption in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2001, 32: 465-475.
- [28] Zhang H, Schroder J L, Fuhrman J K, Basta N T, Storm D E, Payton M E. Path and multiple regression analyses of phosphorus sorption capacity. *Soil Science Society America Journal*, 2005, 69: 96-106.
- [29] Ming D X. Principle and method of path analysis. *Herald of Agricultural Sciences*. 1986, 1(1): 39-43.
- [30] Hu X P, Wang C F. *Basis of SAS and Statistic Examples*. Xian: Xian Map Publishing House, 2001.
- [31] Yi Z G, Yi W M. Proceeding of studies on soil respiration of forest ecosystem. *Ecology and Environment*, 2003, 12(3): 361-365.
- [32] Pascual J A, Garcia C, Hernandez T, Moreno J L, Ros Muñoz M M. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(13): 1877-1883.
- [33] Sheng W T, Fan S H. *Long Term Productivity of Chinese Fir Plantations*. Beijing: Science Press, 2005.
- [34] Jiao R Z, Yang C D, Tu X N, Sheng W T. The change of undergrowth, soil microorganism, enzyme activity and nutrient in different developing stage of the Chinese fir plantation. *Scientia Silvae Sinicae*, 1997, 10(4): 373-379.
- [35] Raich J W, Nadelhoffer K J. Belowground carbon allocation in forest ecosystems: Global trends. *Ecology*, 1989, 70: 1346-1354.
- [36] Buchmann N. Biotic and abiotic factors controlling soil respiration rates in *Picea abies* stands. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32: 1625-1635.
- [37] Fang C, Moncrieff J B. A model for soil CO₂ production and transport: model development. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1999, 95: 225-236.
- [38] Priess J A, Koning G H, Veldkam A. Assessment of interactions between land use change and carbon and nutrient fluxes in Ecuador. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2001, 85: 269-276.
- [39] Geng Y B, Zhang S, Dong Y S, Meng W Q, Qi Y C, Chen Z Z, Wang Y F. The content of soil organic carbon and total nitrogen and correlation activity between their content and fluxes of CO₂, N₂O and CH₄ in Xilin River Basin Steppe. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(1): 44-53.
- [40] Yang J Y, Wang C K. Soil carbon storage and flux of temperate forest ecosystems in northeastern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 2875-2882.
- [41] Bazzaz F A, Williams W E. Atmospheric CO₂ concentrations within a mixed forest: Implications for seedling growth. *Ecology*, 1991, 72(1): 12-16.
- [42] Sikora L J, McCoy J L. Attempts to determine available carbon in soils. *Biology and Fertility of Soils*, 1990, 9: 19-24.
- [43] Yang Y S, Chen Y X, He Z M, Guo J F, Liu C H. Comparatively study on litter decomposition and nutrient dynamics between plantations of *Fokienia hodginsii* and *Cunninghamia lanceolata*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(1): 2-10.

参考文献:

- [2] 黄承才, 葛滢, 常杰, 卢蓉, 徐青山. 中亚热带东部三种主要木本群落土壤呼吸的研究. *生态学报*, 1999, 19(3): 324-328.
- [4] 张东秋, 石培礼, 张宪洲. 土壤呼吸主要影响因素的研究进展. *地球科学进展*, 2005, 20(7): 778-785.
- [9] 陈全胜, 李凌浩, 韩兴国, 阎志丹. 水分对土壤呼吸的影响及机理. *生态学报*, 2003, 23(5): 972-978.
- [10] 牟守国. 温带阔叶林、针叶林和针阔混交林土壤呼吸的比较研究. *土壤学报*, 2004, 41(4): 564-570.
- [14] 方晰, 田大伦. 杉木人工林林地 CO₂ 释放量的研究. *林业科学*, 1997, 33(2): 94-100.
- [15] 方晰, 田大伦, 项文化, 闫文德, 康文星. 杉木人工林林地土壤 CO₂ 释放量及其影响因素的研究. *林业科学*, 2005, 41(2): 1-7.
- [16] 方晰, 田大伦, 项文化, 闫文德, 康文星. 第二代杉木中幼林生态系统碳动态与平衡. *中南林学院学报*, 2002, 22(1): 1-6.
- [17] 杨玉盛, 陈光水, 王小国. 皆伐对杉木人工林土壤呼吸的影响. *土壤学报*, 2005, 42(4): 584-590.

- [18] 胡亚林, 汪思龙, 颜绍堃, 等. 杉木人工林取代天然次生阔叶林对土壤生物活性的影响. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1411-1416.
- [19] 高人, 唐英平, 杨玉盛, 尹云锋, 陈光水, 李又芳, 邱敬. 杉木人工林和水稻田土壤呼吸 Q_{10} 值的影响因素初探. 亚热带资源与环境学报, 2007, 2(4): 11-14.
- [20] 刘乐中, 杨玉盛, 郭剑芬, 袁一丁. 杉木人工林皆伐火烧后土壤呼吸研究. 亚热带资源与环境学报, 2008, 3(1): 8-14.
- [21] 《中国森林》编辑委员会. 中国森林, 第一卷. 北京: 中国林业出版社, 1997: 132-134.
- [22] 赵广东, 王兵, 杨晶, 张志坚. LI-8100 开放式土壤碳通量测量系统及其应用. 气象科技, 2005, 33(4): 364-366.
- [24] 国家林业局. 森林土壤分析方法. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [25] 关松荫. 土壤酶及其研究方法. 北京: 农业出版社, 1986.
- [29] 明道绪. 通径分析的原理与方法. 农业科学导报, 1986a, 1(1): 39-43.
- [30] 胡小平, 王长发. SAS 基础及统计实例教程. 陕西: 西安地图出版社, 2001.
- [31] 易志刚, 蚁伟民. 森林生态系统中土壤呼吸研究进展. 生态环境, 2003, 12(3): 361-365.
- [33] 盛伟彤, 范少辉. 杉木人工林长期生产力保持机制研究. 北京: 科学出版社, 2005: 126-135.
- [34] 焦如珍, 杨承栋, 屠星南, 盛伟彤. 杉木人工林不同发育阶段林下植被、土壤微生物、酶活性及养分的变化. 林业科学研究, 1997, 10(4): 373-379.
- [39] 耿波远, 章申, 董云社, 孟维奇, 齐玉春, 陈佐忠, 王艳芬. 草原土壤的碳氮含量及其与温室气体通量的相关性. 地理学报, 2001, 56(1): 44-53.
- [40] 杨金艳, 王川宽. 东北东部森林生态系统土壤碳贮量和碳通量. 生态学报, 2005, 25(11): 2875-2882.
- [43] 杨玉盛, 陈银秀, 何宗明, 郭剑芬, 刘春华. 福建柏和杉木人工林凋落物性质的比较. 林业科学, 2004, 40(1): 2-10.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN Huajun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任: 孔红梅

执行编辑: 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	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		

