

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

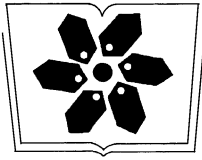
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第6期 Vol.33 No.6 **2013**

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 33 卷 第 6 期

2013 年 3 月 (半月刊)

目 次

专论与综述

- 基于遥感技术的森林健康研究综述..... 高广磊,信忠保,丁国栋,等 (1675)
Agent 农业土地变化模型研究进展..... 余强毅,吴文斌,杨 鹏,等 (1690)

个体与基础生态

- 辽东湾北部近海沙蜃的动态分布..... 王 彬,秦宇博,董 婧,等 (1701)
口虾蛄 proPO 基因全长 cDNA 的克隆与组织表达..... 刘海映,刘连为,姜玉声,等 (1713)
中缅树鼯头骨及下臼齿几何形态与环境的关系..... 朱万龙,贾 婷,黄春梅,等 (1721)
亚热带 3 种树种凋落叶厚度对其分解速率及酶活性的影响..... 季晓燕,江 洪,洪江华,等 (1731)
浙北地区常见绿化树种光合固碳特征..... 张 娇,施拥军,朱月清,等 (1740)
两种高质牧草不同生育期光合生理日变化及光响应特征..... 郭春燕,李晋川,岳建英,等 (1751)
基于 WOFOST 作物生长模型的冬小麦干旱影响评估技术..... 张建平,赵艳霞,王春乙,等 (1762)
基于线粒体 DNA 控制区的斑翅草螽不同地理种群遗传分化研究..... 周志军,尚 娜,刘 静,等 (1770)
圈养尖吻蝾螈雌体大小、窝卵数和卵大小之间的关系..... 胡明行,谭群英,杨道德 (1778)
应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇..... 郑思宁,黄居昌,叶光禄,等 (1784)
青蒿素对外生菌根真菌化感效应..... 李 倩,袁 玲,王明霞,等 (1791)

种群、群落和生态系统

- 海湾生态系统健康评价方法构建及在大亚湾的应用..... 李纯厚,林 琳,徐姗姗,等 (1798)
上升流和水团对浙江中部近海浮游动物生态类群分布的影响..... 孙鲁峰,柯 昶,徐兆礼,等 (1811)
半干旱区生态恢复关键生态系统识别——以内蒙古自治区和林县为例.....
..... 彭 羽,高 英,冯金朝,等 (1822)
太岳山油松人工林土壤呼吸对强降雨的响应..... 金冠一,赵秀海,康峰峰,等 (1832)
重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应..... 王轶浩,王彦辉,于澎湃,等 (1842)

景观、区域和全球生态

- 城市典型水域景观的热环境效应..... 岳文泽,徐丽华 (1852)
外来树种桉树引种的景观生态安全格局..... 赵筱青,和春兰 (1860)
基于耕地生态足迹的重庆市耕地生态承载力供需平衡研究..... 施开放,刁承泰,孙秀峰,等 (1872)
大气 CO₂ 浓度升高对稻田根际土壤甲烷氧化细菌丰度的影响..... 严 陈,许 静,钟文辉,等 (1881)

资源与产业生态

- 基于可变模糊识别模型的海水环境质量评价..... 柯丽娜,王权明,孙新国,等 (1889)
亚热带养殖海湾皱瘤海鞘生物沉积的现场研究..... 闫家国,齐占会,田梓杨,等 (1900)
黄土高原典型苹果园地深层土壤氮磷钾养分含量与分布特征..... 张丽娜,李 军,范 鹏,等 (1907)

旱作农田不同耕作土壤呼吸及其对水热因子的响应..... 张丁辰,蔡典雄,代 快,等 (1916)

商洛低山丘陵区农林复合生态系统中大豆与丹参的光合生理特性..... 彭晓邦,张硕新 (1926)

外源油菜素内酯对镉胁迫下菊芋幼苗光合作用及镉富集的调控效应..... 高会玲,刘金隆,郑青松,等 (1935)

基于侧柏液流的测定对 Granier 原始公式系数进行校正 刘庆新,孟 平,张劲松,等 (1944)

研究简报

湿地自然保护区保护价值评价方法..... 孙 锐,崔国发,雷 霆,等 (1952)

干热河谷印楝和大叶相思人工林根系生物量及其分布特征..... 高成杰,唐国勇,李 昆,等 (1964)

海滨沙滩单叶蔓荆对沙埋的生理响应特征..... 周瑞莲,王 进,杨淑琴,等 (1973)

宁夏贺兰山、六盘山典型森林类型土壤主要肥力特征 姜 林,耿增超,张 雯,等 (1982)

学术争鸣

小兴安岭十种典型森林群落凋落物生物量及其动态变化..... 侯玲玲,毛子军,孙 涛,等 (1994)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2002)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说: 亭亭玉立的白桦树——白桦为落叶乔木,可高达 25m,胸径 50cm。其树冠呈卵圆形,树皮白色,纸状分层剥离;叶三角状、卵形或菱状卵形;花单性,雌雄同株。白桦树喜光,耐严寒,对土壤适应性强,喜酸性土,沼泽地、干燥阳坡及湿润阴坡都能生长。常与红松、落叶松、山杨、蒙古栎混生。白桦的天然更新好,生长较快,萌芽强,在人为的采伐迹地或火灾、风灾等自然损毁的迹地里,往往由白桦首先进入,为先锋树种,而形成白桦次生林。白桦分布甚广,我国大、小兴安岭及长白山均有成片纯林,在华北平原和黄土高原山区、西南山地亦为阔叶落叶林及针叶阔叶混交林中的常见树种。

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/stxb201108301270

王轶浩, 王彦辉, 于澎涛, 熊伟, 李振华, 郝佳, 段健. 重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应. 生态学报, 2013, 33(6): 1842-1851.

Wang Y H, Wang Y H, Yu P T, Xiong W, Li Z H, Hao J, Duan J. The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing, China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 1842-1851.

重庆酸雨区马尾松林凋落物特征及对干旱胁迫的响应

王轶浩^{1,2}, 王彦辉^{1,*}, 于澎涛¹, 熊伟¹, 李振华¹, 郝佳¹, 段健³

(1. 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;

2. 重庆市林业科学研究院, 重庆市三峡库区森林生态保护与恢复市级重点实验室, 重庆 400036;

3. 重庆市铁山坪林场, 重庆 400026)

摘要: 气候变化导致干旱等极端气象事件增多, 这将和酸雨等环境胁迫一起影响森林健康。在重庆铁山坪于 2010 年监测了酸雨区受害马尾松林的凋落物数量和组分特征及其对土壤水分的响应。结果表明: 马尾松林月凋落物量呈“双峰”模式, 第 1 高峰出现在 8—9 月份伏旱期, 第 2 高峰出现在冬季休眠的 12 月份; 枯死针叶占年凋落物总量的 48.42%, 凋落物组分比例为针叶>树枝>阔叶>有机碎屑>树皮及球果; 除阔叶凋落物外, 其它组分凋落物在伏旱期均明显增加, 与土壤湿度显著负相关, 特别是 30—40 cm 和 40—50 cm 土层; 此外, 马尾松林凋落物量还与表征气象干旱的气象指标显著相关。和健康森林相比, 酸雨区受害林木的细根数量变少和分布变浅导致马尾松林针叶的年形成量与凋落量减少, 但枝凋落量及其占总凋落量的比例增大; 凋落发生对干旱胁迫更加敏感, 年凋落物量的时间分布更集中在伏旱期; 酸雨和干旱的双重胁迫将进一步恶化研究地区的森林健康状况。

关键词: 酸雨; 干旱胁迫; 马尾松林; 凋落物; 森林健康

The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing, China

WANG Yihao^{1,2}, WANG Yanhui^{1,*}, YU Pengtao¹, XIONG Wei¹, LI Zhenhua¹, HAO Jia¹, DUAN Jian³

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

2 Chongqing Key Laboratory of Forest Ecology, Protection and Restoration in Three Gorges Reservoir Region, the Forestry Academy of Chongqing, Chongqing 400036, China

3 Tieshanping Forest Farm of Chongqing, Chongqing 400026, China

Abstract: The health condition of forests especially those already damaged in the acid rain region will be increasingly influenced by the increasing extreme drought events caused by climate change. Understanding the forest health response to multiple stresses is a new challenge. The characteristics of litter-fall can be used as an important indicator to reflect forest health condition and its response to environmental stresses. The aim of this study is to detect how drought stress affect the litter-fall characteristics of forests for a better understanding and more precise prediction of the forest health decline in the acid rain region of south China. Masson pine (*Pinus massoniana*) is a native and widely distributed tree species in south China. it is also one of the most important tree species used for forestation and widely damaged by acid rain. The litter-fall quantity and its components (dead needles, green needles, twigs, debris, bark and cones, and broad leaves of other tree

基金项目: 中挪合作项目 (193725/S30); 林业公益性行业科研专项 (200904005, 200904056, 201104005-02); 国家林业局森林生态环境重点实验室和重庆市三峡库区森林生态保护与恢复市级重点实验室联合资助

收稿日期: 2011-08-30; **修订日期:** 2012-02-02

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

species) in the Masson pine forest stands were monitored at Tieshanping of Chongqing in 2010, and their responses to soil moisture was analyzed through Pearson correlation. The results showed that the monthly variation of litter-fall presented a “two-peak” pattern. The highest peak appeared in the dry-summer period of August-September with the lowest soil moisture and amounted to 2.30 t/hm^2 ; the second peak appeared during the dormancy period of December and was only 0.65 t/hm^2 ; the amount of litter-fall in the two peak periods accounted for 49.56% of the annual total (5.96 t/hm^2) in 2010. The annual dead needle was 2.89 t/hm^2 ; it accounted for 48.42% of the annual total of litter-fall. The order of weight percentage of the litter-fall components was: needles > twigs > broad leaves > debris > bark and cones. The variation of monthly dead needle amount well presented the variation of total litter-fall amount. The monthly proportion of dead needle to total litter-fall was almost the highest in the whole year and fluctuated from 32.8% to 95.7%. The monthly variation of broad leaves also presented a “two-peak” pattern, but the highest peak appeared in the period of April-May and the period of November-December respectively. The monthly proportion of the litter-fall components of green needles, bark and cones were always the lowest and reached maximum in August. The monthly proportion of debris reached to maximum in the period of April-May and during the dry-summer period of August respectively. The monthly proportion of twigs presented only one peak in September. On the whole, the amount of all components of litter-fall, but except the broad leaves, presented an obvious increase during the dry-summer period and significantly negatively related with soil moisture, especially in the soil layers of 30—40 cm and 40—50cm. In addition, the litter-fall amount presented a significantly positive relation with air temperature, potential evaporation and solar radiation ($P < 0.05$), but a significantly negative relation with air humidity ($P < 0.05$). All these relation with weather parameters reflected the dependence of litter-fall to drought stress. Compared with healthy forests, the fine roots of the studied Masson pine stands were decreased and shallower-distributed as the results of long-term acid rain impact, and the quantity of newly grown needles and their litter-fall was reduced, but the quantity of dead branches and their proportion in total litter-fall was increased. The variation of litter-fall of Masson pine forests in the acid rain region of Chongqing became quite sensitive to drought stress, and the litter-fall more distributed in the dry-summer period; this means that the double stresses of acidification and drought will further worsen the forest health condition in the studied region.

Key Words: acid rain; drought stress; Masson pine forest; litter-fall; forest health

森林凋落物对维持生态系统营养平衡^[1]及其生态服务功能具有重要意义^[2-3]。同时,凋落物动态特征还是反映林木生物节律、健康程度和环境胁迫影响的重要指标^[4],因此一直是森林生态学、森林水文学和森林土壤学等的重要研究内容^[5-8]。但目前关于酸雨区森林凋落物特征及所受环境影响的研究还较少。

我国南方是世界三大酸雨区之一,其中重庆又是老酸雨区,虽经多年治理,酸雨频率依然很高^[9],造成对森林的持续危害。马尾松(*Pinus massoniana*)是重庆地区的主要乡土造林树种,对酸沉降很敏感^[10],例如重庆铁山坪的马尾松林,由于多年酸沉降危害,普遍生长不良,根系减少和变浅、树冠稀疏、落叶率和死亡率^[11],严重影响到其生产和生态功能,尤其伏旱季节死亡率可高达 6.1%^[12]。酸雨区受害马尾松林的结构特征变化,特别是根系变少和变浅,将可能改变其吸收、利用土壤水分的能力,从而使干旱极可能成为继酸沉降之后的又一森林健康重要胁迫。在全球气候变化背景下,干旱频率增加,它将对酸雨区森林凋落物特征将产生怎样的影响?是揭示未来酸雨区森林健康变化规律的需要。

本文拟通过 2010 年重庆铁山坪马尾松林凋落物特征季节变化的监测和其与土壤水分、气象因子的关系分析,深入理解酸雨区受害马尾松林的健康衰退机制,为酸雨区森林可持续经营提供理论依据。

1 研究地点

研究地点位于重庆市铁山坪林场(N29°38', E106°41'),在市中心东北方向约 25km 处,属四川盆周低山丘陵区,海拔变化在 242—579 m,坡度变化在 5—30°。该地为亚热带湿润气候,年降水量 1100 mm,年均气温

18℃。土壤以砂岩上发育的山地黄壤为主,厚度 50—80 cm,土壤密度 1.25—1.64 g/cm³,土壤酸化严重(pH 值 3.0—3.8;盐基饱和度 4.47%—18.63%)。铁山坪林场现有森林 1200 hm²,以 20 世纪 60 年代破坏后天然更新形成的马尾松次生林为主,林分分层较明显,上层主要为马尾松,伴生有少量的香樟(*Cinnamomum camphora*)、楠木(*Phoebe zhennan*)等,下木层主要有木荷(*Schima superba*)、杜英(*Elaeocarpus sylvestris*)、毛竹(*Phyllostachys heterocycla*)、杉木(*Cunihama lanceolata*)、毛桐(*Mallotus barbatus*)、白栎(*Quercus fabric*)等;草本层以姬蕨(*Hypolepis punctata*)为主。

2 研究方法

2.1 样地设置

在铁山坪林场林中园附近设置了 12 个马尾松林样地,其植被特征和地形条件详见表 1,其中,30 m×30 m 的固定样地 4 个;20 m×20 m 的临时样地 8 个。

表 1 马尾松林典型样地基本概况

Table 1 Characteristics of Masson pine forest plots

样地编号 * Plot number	植被特征 Vegetation characteristics					土层厚度 Soil thickness /cm	土壤密度 Soil density/ (g/cm ³)	地形特征 Topographic characteristics			
	现存密度 Density /(株/hm ²)	郁闭度 Canopy density /%	平均树高 Tree height /m	平均胸径 DBH/cm	落叶率 Defoliation /%			海拔 Altitude /m	坡度 Slope gradient /(°)	坡位 Slope position	坡向 Slope aspect
G1	900	85	15.37	16.61	55	80—120	1.56	532	10	上坡	西南坡
G2	700	76	17.63	19.76	50	30—60	1.51	556	10	坡顶	南坡
G3	675	65	13.61	16.44	60	40—60	1.54	540	15	中坡	西北坡
G4	400	60	18.07	24.39	55	40—80	1.58	553	6	中坡	北坡
L1	1200	55	16.46	19.22	70	20—40	1.40	520	20	坡脚	西北坡
L2	800	75	15.03	19.19	55	40—60	1.35	548	5	下坡	西北坡
L3	760	75	17.93	23.38	60	50—80	1.51	553	5	中坡	西北坡
L4	990	80	16.54	18.85	55	80—100	1.56	560	3	中上坡	西北坡
L5	1100	50	17.66	19.50	60	40—60	1.54	570	6	上坡	西北坡
L6	1280	70	15.21	15.78	65	20—30	1.41	581	0	上坡	无坡向
L7	800	85	17.88	20.45	50	60—90	1.57	565	3	坡顶	西南坡
L8	1100	50	16.98	20.16	55	50—70	1.52	559	5	坡顶	南坡

G 固定样地 G stands for permanent plots; L 临时样地 L stands for temporary plots

2.2 数据采集

用收集网法监测凋落物量。在每个样地随机布设 5—10 个用孔径 1 mm 的尼龙网做成的 1 m×1 m 收集网,离地面 50 cm 高。每月收集 2—3 次,并及时带回实验室,按枯死针叶、青黄针叶、阔叶、树皮(及球果)、树枝和有机碎屑(包括花朵、虫尸、粪等有机体)区分组分,然后装入信封在 85℃ 烘箱中烘干至恒重,得到各类组分及总的凋落量。

用烘干法测定土壤水分。在各样地选择两处取样点,每月用土钻按 0—5、5—10、10—20、20—30、30—40、40—50、50—60、60—70 和 70—80 cm 深度分层取样 2—3 次,每层 2—3 个重复;若土层厚度未达 80 cm,则取至基岩。将土样带回实验室,在 105℃ 烘箱内烘干至恒重,测定土壤重量含水量。

用美国生产的自动气象站(WeatherHawk 232)监测林外气象,包括降雨量(mm)、潜在蒸发(mm)、太阳辐射强度(kJ/m²)、空气温度(℃)、空气相对湿度(%)、风速(m/s)和风向等,每 5 min 记录 1 次数据。

2.3 数据处理

试验数据用 Excel 2003 绘图,用 SPSS13.0 进行所有马尾松林样地平均的月凋落物量与月土壤含水量、每一测定期内凋落物量与对应时期的日均气象因子的 Pearson 相关分析。

3 结果分析

3.1 气象因子月变化

2010 年降水量 1118 mm(图 1),接近多年平均值,其中以 4、6 和 7 月份最多,分别为 182、165 和 143 mm。蒸发皿测定的年蒸发量 1176 mm,以 7、8 月份最高,分别为 170 和 221 mm,且 7—9 月份的蒸发量明显高于降水量,出现了伏旱。年均气温 18.5 °C,月均温度和月均太阳辐射总量的变化都呈“单峰”型,在 7、8 月份达到最大。年均空气相对湿度 55.3%,月均相对湿度波动较小,一般在 50% 左右,但 7、8 月份偏低,这和此间降水少、蒸发多、温度高、辐射强有关。

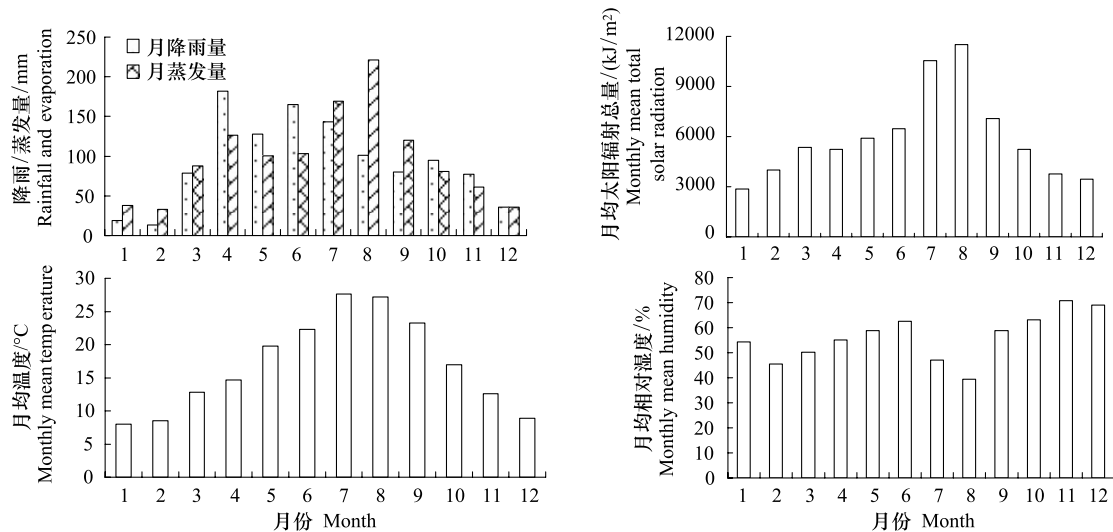


图 1 气象因子在 2010 年内各月的分布

Fig. 1 The distribution of monthly average of meteorological factors in 2010

3.2 土壤水分动态变化

马尾松林 0—80 cm 土层的水分含量在 2010 年内变化较大(图 2),其中,6 月份之前波动在 22.5%—24.5%,说明土壤湿度较高且稳定。但 7 月份后,土壤湿度急剧下降,并在 8 月中下旬降到最低,一直到 10 月中旬才恢复到 6 月底水平,这是因 7—9 月份降雨偏少,蒸发较大。进入 10 月份后,土壤水分随蒸发减少而不断恢复,直至 11 月上中旬恢复到接近 4 月份最大值的水平,然后因降水量减少又开始缓慢下降,但由于蒸发少,所以土壤水分依然较高。可见,7—10 月份存在土壤水分亏缺,以 8—9 月份的干旱胁迫最严重。

3.3 凋落物总量月动态

森林凋落物季节变化不仅可反映林木自身生物节律,还可体现环境胁迫影响。由图 2 看出,马尾松林凋落量年内变化呈“双峰”型。月凋落量在 1—7 月份间差别不大,整体维持在较低水平($< 0.40 \text{ t/hm}^2$),其中,2 月份为全年最低,仅 0.15 t/hm^2 。但 8 月份凋落量急剧上升,一跃达到全年最高,为 1.37 t/hm^2 ;并在 9 月份依然处于较高水平,为 0.93 t/hm^2 ;8—9 月份构成了凋落物年内分布的最“高峰”。在 10—11 月份,月凋落物量又降低到谷底,但高于 1—7 月份。在 12 月份,月凋落量达到第 2 高峰,但比第 1 峰值低很多,为 0.65 t/hm^2 。两个高峰所覆盖的 8、9、12 月份的凋落量占年凋落量的 49.56%,接近一半,说明酸雨区受害马尾松林凋落物的形成以此 3 个月份为主。

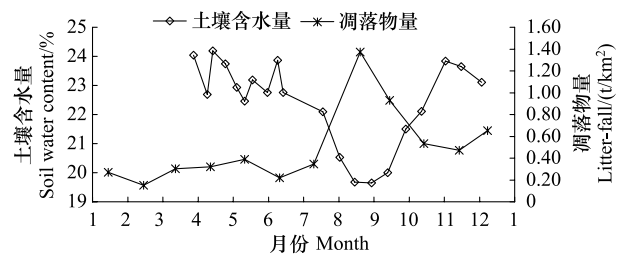


图 2 马尾松林 0—80cm 土层的土壤水分和月凋落物量 2010 年内动态变化

Fig. 2 Variation of soil moisture in the layer 0—80 cm of sample plots and monthly litter-fall amount for Masson pine forests in 2010

3.4 凋落物组分特征

马尾松林 2010 年凋落物总量为 5.96 t/hm^2 (表 2), 其中枯死针叶最多 (2.89 t/hm^2 , 占 48.42%); 其次是树枝 (1.77 t/hm^2 , 29.72%); 有机碎屑、树皮 (及球果) 和阔叶分别占 11.86%、4.13% 和 3.79%; 青黄针叶最少 (0.12 t/hm^2 , 2.07%)。马尾松林凋落物各组分比例顺序为针叶>树枝>有机碎屑>树皮 (球果)>阔叶, 说明针叶是其最重要的凋落物组分。

表 2 马尾松林 2010 年凋落物组分特征

Table 2 The composition of litter-fall of Masson pine forest in 2010

项目 Items	枯死针叶 Dead needles	阔叶 Dead broad-leaves	树皮、球果 Bark and cones	青黄针叶 Green needles	有机碎屑 Debris	树枝 Twigs	合计 Total
凋落物量 Litter-fall/(t/hm^2)	2.89	0.23	0.25	0.12	0.71	1.77	5.96
比例 Proportion/%	48.42	3.79	4.13	2.07	11.86	29.72	100.00

3.5 凋落物组分的月动态

各月凋落物量及其组分比例差异较大 (表 3)。首先, 枯死针叶的月凋落量以 8、11—12 月份最多, 3 个月份占年凋落枯死针叶量的 48.04%; 4—6 月份最少, 与凋落物总量年内变化基本一致; 各月凋落枯死针叶量占当月凋落物总量的比例却以 1—3 月份和 11—12 月份最高, 均 75% 以上, 说明此间的凋落物以枯死针叶为主。总体来看, 各月凋落枯死针叶占当月凋落物量的比例除 9 月份较小 (18.40%) 外, 其余月份均较大, 在 32.8%—95.7%。

表 3 不同月份马尾松林凋落物的组分特征

Table 3 Litter-fall characteristics in different months for Masson pine forest

月份 Months	枯死针叶 Dead needles		阔叶 Dead broad-leaves		树皮、球果 Bark and cones		青黄针叶 Green needles		有机碎屑 Debris		树枝 Twigs	
	重量	比例	重量	比例	重量	比例	重量	比例	重量	比例	重量	比例
	/(t/hm^2)	/%	/(t/hm^2)	/%	/(t/hm^2)	/%	/(t/hm^2)	/%	/(t/hm^2)	/%	/(t/hm^2)	/%
1	0.2223	81.84	0.0043	1.58	0.0049	1.79	0.0008	0.29	0.0049	1.79	0.0345	12.69
2	0.1465	95.69	0.0002	0.13	0.0000	0.00	0.0011	0.72	0.0053	3.46	0.0000	0.00
3	0.2673	88.35	0.0011	0.35	0.0069	2.29	0.0009	0.30	0.0114	3.77	0.0150	4.95
4	0.1132	35.38	0.0298	9.32	0.0132	4.11	0.0110	3.42	0.1388	43.39	0.0140	4.38
5	0.1281	32.82	0.0516	13.21	0.0235	6.02	0.0126	3.23	0.1027	26.31	0.0718	18.40
6	0.0950	42.96	0.0225	10.16	0.0174	7.88	0.0058	2.63	0.0350	15.82	0.0454	20.54
7	0.1632	47.31	0.0129	3.74	0.0319	9.24	0.0108	3.14	0.0829	24.03	0.0433	12.54
8	0.4903	35.75	0.0212	1.54	0.0996	7.26	0.0442	3.22	0.2643	19.28	0.4517	32.94
9	0.1712	18.40	0.0131	1.41	0.0214	2.30	0.0081	0.88	0.0293	3.15	0.6872	73.86
10	0.1940	36.32	0.0139	2.60	0.0107	2.00	0.0091	1.71	0.0131	2.46	0.2932	54.91
11	0.4019	85.30	0.0296	6.28	0.0108	2.29	0.0140	2.98	0.0129	2.74	0.0020	0.42
12	0.4952	75.72	0.0262	4.01	0.0060	0.92	0.0051	0.78	0.0068	1.04	0.1147	17.54
1—12	2.8881	—	0.2262	—	0.2462	—	0.1236	—	0.7074	—	1.7728	—
变异系数 Coefficient of variation	0.60		0.77		1.29		1.13		1.33		1.48	

阔叶凋落物主要来自林分下木层的常绿阔叶树种, 其月变化基本也呈“双峰型”, 但峰值时间与凋落物总量有所不同, 第 1 高峰发生在 4—6 月份, 5 月份达到全年最高, 为 0.0516 t/hm^2 (占当月凋落物量的 13.21% 及年凋落阔叶量的 22.80%), 这是因此地常绿阔叶树种全年都在换叶, 但在 4、5 月份降雨较多、气温回升的季节存在一个较短的集中换叶期, 这与鼎湖山的常绿阔叶林凋落物量动态研究结果^[6]一致。在 11—12 月份, 由于温度下降, 降雨减少, 阔叶落叶较多, 形成了第 2 个凋落高峰 (占年凋落阔叶量的 24.65%)。

树皮(及球果)和青黄针叶的各月凋落量和占当月凋落物量的比例都较小,前者在 0—9.24%,后者在 0.29%—3.42%,各月青黄针叶的凋落量多在 0.01 t/hm² 以下。8 月份的树皮(及球果)和青黄针叶的凋落量最多,分别达 0.0996 t/hm² 和 0.0442 t/hm²,占其年凋落物量的 40.44% 和 30.76%。青黄针叶凋落大都是外界环境胁迫(干旱、冰雹、狂风等)的结果,可见 8 月份环境胁迫(尤其干旱,见图 2)最明显。

有机碎屑凋落物以 4—5 月份和 8 月份最多,4—8 月份占当月凋落物量的比例为 15.82%—43.39%。其中 4—5 月份马尾松雄花大量产生并集中凋落,松毛虫(*Dendrolimus punctatus*)爆发产生较多虫粪;8 月份则可能与干旱胁迫有关。树枝凋落物以 8—10 月份最多,9 月份达到最大,为 0.6872 t/hm²,占当月凋落物总量的 73.86%,这可能是 7—9 月份持续干旱引起的。

各月枯死针叶和阔叶的凋落量的变异系数为 0.60 和 0.77,属中等变异性;而其它凋落物组分的变异系数均大于 1,属强变异性。

3.6 凋落物与土壤水分的相关分析

马尾松林月凋落物量和各土层月土壤含水量的样地平均值的相关分析(表 4)表明,除阔叶凋落物外,马尾松林的其它凋落物组分均不同程度受到土壤含水量影响,且影响土层不同。其中,枯死针叶凋落物与 40—50 cm 土壤含水量呈极显著负相关;树皮(及球果)凋落物与 30—40 cm 和 40—50 cm 土壤含水量分别呈极显著、显著负相关;青黄针叶凋落物与 30—40 cm 和 40—50 cm 土壤含水量均呈显著负相关,而与其它土层不相关;有机碎屑凋落物受 30—40 cm 土壤水分显著影响;树枝凋落物则除与 40—50 cm 土壤水分不相关外,与其它各层土壤水分均显著或极显著负相关;凋落物总量除与 0—10 cm 和 20—30 cm 土壤水分不相关外,与其它各土层均显著或极显著负相关,说明凋落量随土壤水分减少而增加,干旱胁迫影响很大;而阔叶凋落物与各层土壤水分均不显著相关,说明其对土壤水分亏缺响应不敏感,现在的凋落物特征更多反映着生物节律的影响。

整体上看,马尾松林的凋落物主要受 30—40 cm 和 40—50 cm 土层的水分含量影响,这与马尾松根系受土壤酸化影响分布较浅、主要集中在 30—50 cm 土层^[11]有关。

表 4 马尾松林月凋落物量及其组分与不同土层月土壤含水量的相关系数

Table 4 Correlative coefficient between monthly litter-fall of Masson pine forest and soil moisture at different soil layers

土层深度 Soil layer /cm	样本数 Sample number	枯死针叶 Dead needles	阔叶 Dead broad-leaves	树皮、球果 Bark and cones	青黄针叶 Green needles	有机碎屑 Debris	树枝 Twigs	总凋落物 Total litter-fall
0—10	10	0.068	0.051	-0.566	-0.408	-0.413	-0.726 *	-0.598
10—20	10	0.041	0.034	-0.472	-0.385	-0.389	-0.851 **	-0.677 *
20—30	10	-0.067	0.307	-0.641	-0.465	-0.539	-0.690 *	-0.650
30—40	10	-0.469	0.023	-0.833 **	-0.782 *	-0.672 *	-0.840 **	-0.962 **
40—50	10	-0.809 **	0.290	-0.784 *	-0.723 *	-0.468	-0.504	-0.805 **
50—60	10	-0.324	0.315	-0.533	-0.466	-0.204	-0.927 **	-0.816 **
60—70	10	-0.055	-0.011	-0.442	-0.390	-0.226	-0.918 **	-0.720 *
70—80	10	-0.216	0.212	-0.412	-0.391	-0.170	-0.962 **	-0.784 *
0—80	10	-0.235	0.175	-0.637	-0.544	-0.402	-0.932 **	-0.848 **

* 表示相关显著($P<0.05$); ** 表示相关极显著($P<0.01$)

3.7 凋落物与气象因子相关分析

各次测定的马尾松林凋落物量与同期气象因子也密切相关(表 5),其中与日最高气温平均值、日均潜在蒸发、日均太阳辐射总量、日最大太阳辐射强度平均值显著正相关,相关系数均在 0.75 以上;但与日均空气相对湿度显著负相关。引起凋落物量增大的气温升高、湿度降低、辐射增强、蒸发加大,都是气候干旱的表征,都会加快土壤水分蒸发和林木蒸腾,从而引起或加重土壤水分亏缺。因此,气象因子对马尾松凋落量的影响很大部分仍可归为水分胁迫影响。

表5 马尾松林凋落物量与日均气象因子的相关系数

Table 5 Correlative coefficient between litter-fall of Masson pine forest and the daily mean meteorological factors

项目 Items	样本数 Sample number	日最高气温 Air temperature max	空气相对湿度 Air humidity	潜在蒸发 Potential evaporation	太阳辐射总量 Total solar radiation	日最大太阳辐射强度 Maximum of solar radiation intensity max
凋落物量 Litter-fall	12	0.787 *	-0.777 *	0.755 *	0.841 *	0.799 *

* 表示相关显著 ($P < 0.05$)

4 结论和讨论

4.1 酸害马尾松林的凋落时间更集中在伏早期

森林凋落物年内分布规律会因环境条件和森林特征而异,可以是“单峰”或“U”型^[13-14],也可是“双峰”型或不规则类型^[6,15]。本文调查林分中混生的香樟、木荷等常绿阔叶树对酸化土壤的抵抗性好于马尾松^[16],其第1凋落高峰在4—6月份,第2高峰在冬眠时节,与他人研究一致^[6],说明还可维持正常凋落节律。

据研究,亚高山人工云杉林^[17]、亚热带常绿阔叶林^[6]和茂兰喀斯特森林^[7]的凋落物年内变化呈“双峰”分布。本文研究的马尾松林虽也为“双峰”型,但“峰-谷”出现时间不同,月凋落物量第一高峰出现在伏早期(8—9月份)且很高,不属于正常生物节律,表明受到干旱胁迫影响;第二高峰出现在林木冬眠的12月份,与上述几种森林表现一致,属正常生物节律。可见,酸害马尾松林的月凋落物变化对干旱胁迫更敏感,其影响超过了生物节律。

马尾松林凋落物中的枯死针叶和青黄针叶的数量和所占比例能直接指示森林健康,它们都在伏早的8月份出现高峰,尤其青黄针叶的8月份凋落量占全年的1/3以上,这进一步表明酸害马尾松林的凋落量分布格局发生了重大变化,更集中在夏季干旱胁迫时期。

4.2 酸害马尾松林的年针叶凋落量减少但枝凋落量增加

本文研究的马尾松林凋落物组分比例为针叶>树枝>有机碎屑>树皮及球果,与其它地区马尾松凋落物组分比例基本相同^[8,18];但其年凋落物量为5.96 t/hm²,低于同一气候带的常绿阔叶林、次生常绿阔叶林和针阔混交林,高于喀斯特原生乔木林、次生林和灌木林(表6)。考虑到森林凋落量同时受气象条件^[6]、森林类型、林分年龄等影响^[7-8,17],因而与亚热带同龄马尾松林进行比较(表6),表明铁山坪马尾松林的凋落物量高于广西武宣、浙江天童、浙江泰顺、福建三明和广东鼎湖山,这可能因该地多年严重土壤酸化已影响到马尾松林的生长和凋落特征,其树冠针叶脱落率一直在40%—50%之间^[12],2、3年生针叶多已凋落,当年生针叶占叶总生物量的93.25%^[19];更可能因其枝凋落量明显增加,铁山坪马尾松林的枝年凋落量为1.77 t/hm²,明显高于其它地区。而该地马尾松林枝凋落物明显增加的原因可能是受长期的严重酸化危害的影响,其对外界环境影响的抵抗力较弱,一旦遇到突发的自然环境胁迫(干旱)将加速其凋落。本研究发现,在干旱的8—10月份,马尾松林枝凋落物急剧增多,达1.43 t/hm²,占枝年凋落物量的80.79%,可见,枝凋落物的增多受到干旱胁迫的影响;枝凋落物与土壤水分的相关分析也表明(表4),它们之间呈极显著负相关(-0.932),进一步说明酸雨区马尾松林枝凋落物对土壤水分的变化很敏感。

但就针叶年凋落量而言,铁山坪马尾松林为3.01 t/hm²,同酸化较重的浙江天童、福建三明和广东鼎湖山一样,均低于酸化较轻的浙江泰顺及广西武宣(表6)。这可能是由于长期的酸沉降导致土壤盐基饱和度下降、铝离子活化,土壤营养元素匮乏^[16],同时,马尾松细根变少及其空间分布范围缩小,进一步影响到马尾松吸收、利用土壤水分、养分的能力,从而直接抑制到马尾松营养元素的积累和叶生物量等干物质的形成^[20]。

4.3 酸害马尾松林的凋落物更易受干旱胁迫影响

不同地区的温度和降水季节格局差异很大,这对凋落物年内分配有重要影响。在重庆铁山坪,高温和干旱同步发生,蒸散提高和降水减少的叠加作用容易形成极端干旱胁迫。相比之下,贵州茂兰、广西里骆的高温 and 干旱时间不一致,高温时期降水较充沛,土壤水分亏缺不明显,直至秋冬季降水减少才形成干旱。因此,贵州茂兰喀斯特森林的凋落量^[7]以5月份和11—12月份为主,与温度相关不明显,主要与降水量负相关;广西

里骆的杉木人工林凋落量^[14]以 11—2 月份和 3—4 月份为主,6—9 月份最少,低温干旱期是其主要凋落季节。

表 6 不同地点和类型森林的年凋落物量比较

Table 6 Comparison of annual litter-fall amount between forest types at different areas

研究地点 Study area	气候带 Climate zones	森林类型 Forest types	土壤 pH 值 Soil pH	林龄 Ages/a	年凋落物量 Annual litter-fall/ (t · hm ⁻² · a ⁻¹)		
					总量 Total	树枝 Twigs	针叶 Needles
重庆铁山坪	中亚热带	马尾松林	3.0—3.8	40—60	5.96	1.77	3.01
浙江天童 ^[18]	中亚热带	常绿阔叶林	—	150	13.03	—	—
		次生常绿阔叶林	—	90	11.70	—	—
		针阔混交林	—	70	8.39	—	—
		马尾松林	4.0	50	3.09	0.25	1.67
浙江天童 ^[21-22]	中亚热带	马尾松林	4.0	50	3.09	0.25	1.67
贵州荔波 ^[7]	中亚热带	喀斯特原生乔木林	—	—	4.50	—	—
		喀斯特次生林	—	—	3.51	—	—
		喀斯特灌木林	—	—	2.91	—	—
浙江泰顺 ^[23]	中亚热带	马尾松林	5.0	41	3.71	0.03	3.49
福建三明 ^[24]	中亚热带	马尾松林	4.4	41	3.43	1.00	1.71
广西武宣 ^[8]	南亚热带	马尾松林	—	38	4.39	0.44	3.58
广东鼎湖山 ^[25-26]	南亚热带	马尾松林	4.2—5.0	60	3.31	0.14	2.58

—:无数据

由于长期土壤酸化危害,酸雨区马尾松林的细根减少和分布表层化^[12],这必然降低其吸收、利用水分的能力,从而更易造成干旱胁迫。铁山坪马尾松林的落叶率一直很高,干旱年份林木死亡率达 6.1%^[11-12],表明酸雨区马尾松林衰退是气候干旱、土壤干旱和根系造成的土壤水分可利用性降低导致的生理干旱以及土壤酸化等多方面的综合作用结果。

本研究中 7—9 月份的潜在蒸发量明显高于降水量,属伏旱期(图 1),此时土壤水分达到全年最低,马尾松林凋落物量对应出现高峰(图 2),这个吻合说明酸雨区马尾松林凋落量对土壤湿度很敏感,凋落量与气象指标的相关分析也表明(表 5),高温和干旱与凋落量增加密切相关,即酸雨区受害马尾松林的凋落物更易受干旱胁迫影响。

然而,本研究历时较短,且仅选择凋落物量作为环境胁迫响应指标,对酸雨区森林因气候变化(干旱胁迫)而发生衰退的机理认识还存在局限性,今后需对酸雨区马尾松的针叶形成、根系活力、蒸腾耗水等开展进一步的机理与过程研究,加强对土壤水分和植被生长特征的长期定位监测,从而为酸雨区森林生态修复和管理提供科技支持。

References:

- [1] Li Z A, Lin Y B, Peng S L. Nutrient content in litterfall and its translocation in plantation forests in south China. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(3): 321-326.
- [2] Liu G Q, Wang H, Qin D Y, Ni W J. Hydrological and ecological functions of litter layers for main forest-types in Qinling Mts. of Yellow River. Journal of Natural Resources, 2002, 17(1): 55-62.
- [3] Luo Y C, Han D H, Wang H C, Liu J M, Wei J, Wu G. Water conservation functions of several artificial forest ecosystems in semiarid region of western Liaoning Province. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(6): 919-923.
- [4] Xiao D M, Wang M, Ji L Z. Influence of water stress on growth and biomass allocation of dominant tree species in mixed forest of broad-leaved and Korean pine at Changbai Mountain. Chinese Journal of Ecology, 2004, 23(5): 93-97.
- [5] Chang Y J, Chen Q, Cao J, Lu H Y, Wang W. Litter amount and its nutrient storage and water holding characteristics under different coniferous forest types in Xiaolong Mountain, Gansu Province. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(9): 2392-2400.
- [6] Guan L L, Zhou G Y, Zhang D Q, Liu J X, Zhang Q M. Twenty years of litter fall dynamics in subtropical evergreen broad-leaved forests at the Dinghushan forest ecosystem research station. Acta Phytocologica Sinica, 2004, 28(4): 449-456.

- [7] Yu G S, Wang S J, Rong L, Ran J C. Litter dynamics of major successional communities in Maolan karst forest of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(10): 1-10.
- [8] 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.
- [9] He Z N, Tan B Q, Gao Y H, Tang X P. Distribution features of acid rain in Chongqing. *Meteorological Science and Technology*, 2008, 36(6): 706-711.
- [10] Liu H T, Li Y C. Atmospheric SO₂ pollution and decline of Masson pine (*Pinus massoniana*) forest in Nanshan, Chongqing. *Acta Ecologica Sinica*, 1990, 10(4): 305-310.
- [11] Wang Y H, Sollberg S, Yu P T, Myking T, Vogt R D, Du S C. Assessments of tree crown condition of two Masson pine forests in the acid rain region in south China. *Forest Ecology and Management*, 2007, 242(2/3): 530-540.
- [12] Zhang Z J, Wang Y H, Yu P T, Yuan Y X, Li Z Y, Zhang G Z, Liu Y G. Characteristics of biomass and root distribution of *Pinus massoniana* with different dominance. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 2008, 32(4): 71-75.
- [13] Liao J, Wang X G. Researches on forest litter production. *Jiangxi Forestry Science and Technology*, 2000, (1): 31-34.
- [14] Wen Y G, Wei S Z, Qin W M. Analysis on the litter-fall dynamics of Chinese Fir Plantation and its correlation to climatic factors in north Guangxi. *Acta Ecologica Sinica*, 1990, 10(4): 367-372.
- [15] Wang F Y. Review on the study of forest litterfall. *Advances in Ecology*, 1989, 6(2): 82-89.
- [16] Li Z Y, Wang Y H, Yu P T, Zhang Z J, Du S C, He P, Wang X, Duan J, Li Z H. Soil chemical properties and growth characteristics of mixed plantation of *Pinus massoniana* and *Cinnamomum camphora* in the acid rain region of Chongqing, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2010, 34(4): 387-395.
- [17] Lin B, Liu Q, Wu Y, He H, Qiao Y K. Dynamics of litters in artificial restoration process of subalpine coniferous forest. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(9): 1491-1496.
- [18] Yan E R, Wang X H, Zhou W. Characteristics of litterfall in relation to soil nutrients in mature and degraded evergreen broad-leaved forests of Tiantong, East China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(1): 1-12.
- [19] Zhang Z J, Wang Y H, Yuan Y X, Li Z Y, Cao L, Zhang G Z, Yu P T, Wang Y. Study on the biomass structure and distribution of natural secondary forest of *Pinus massoniana*. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2006, 29(5): 37-43.
- [20] Huang Y Z, Li Z X, Li X D, Yang W M, Liang Z Y, Li H F, Liu D C, Lu B S. Effects of acid deposition and atmospheric pollution on forest ecosystem biomass in southern China. *Ecology and Environment*, 2007, 16(1): 60-65.
- [21] Zhang Q F, Song Y C, Wu H Q, You W H. Dynamics of litter amount and its decomposition in different successional stages of evergreen broad leaved forest in Tiantong, Zhejiang province. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(3): 250-255.
- [22] Zhang Q F, You W H, Song Y C. Effect of plant community succession on soil chemical properties in Tiantong, Zhejiang Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(1): 19-22.
- [23] Huang C C, Ge Y, Zhu J R, Yuan W G, Qi L Z, Jiang B, Shen Q, Chang J. The litter of *pinus massoniana* ecological public-welfare forest in Zhejiang Province and its relationship with the community characters. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2507-2513.
- [24] Fan H B, Lin D X, Su B Q, Liu C H, Jiang Z K, Shen B G. Forest litter ecology in *pinus massoniana* stand and its mixed forests formed by interplanting with hardwood tree species. I. litterfall and its seasonal dynamics. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2002, 22(3): 209-212.
- [25] Zhang D Q, Ye W H, Yu Q F, Kong G H, Zhang Y C. The litter-fall of representative forests of successional series in Dinghushan. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(6): 938-944.
- [26] Hou A H, Peng S L, Zhou G Y. Tree-ring chemical changes and possible impacts of acid precipitation in Dinghushan, South China. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1552-1559.

参考文献

- [1] 李志安, 林永标, 彭少麟. 华南人工林凋落物养分及其转移. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 321-326.
- [2] 刘广全, 王浩, 秦大庸, 倪文进. 黄河流域秦岭主要林分凋落物的水文生态功能. *自然资源学报*, 2002, 17(1): 55-62.
- [3] 罗跃初, 韩单恒, 王宏昌, 刘建民, 魏晶, 吴钢. 辽西半干旱区几种人工林生态系统涵养水源功能研究. *应用生态学报*, 2004, 15(6): 919-923.
- [4] 肖冬梅, 王森, 姬兰柱. 水分胁迫对长白山阔叶红松林主要树种生长及生物量分配的影响. *生态学杂志*, 2004, 23(5): 93-97.
- [5] 常雅军, 陈琦, 曹靖, 鲁海燕, 王威. 甘肃小陇山不同针叶林凋落物量、养分储量及持水特性. *生态学报*, 2011, 31(9): 2392-2400.
- [6] 官丽莉, 周国逸, 张德强, 刘菊秀, 张倩媚. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物量 20 年动态研究. *植物生态学报*, 2004, 28(4): 449-456.

- [7] 俞国松, 王世杰, 容丽, 冉景丞. 茂兰喀斯特森林主要演替群落的凋落物动态. 植物生态学报, 2011, 35(10): 1-10.
- [8] 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.
- [9] 何泽能, 谭炳全, 高阳华, 唐晓萍. 重庆市酸雨分布特征. 气象科技, 2008, 36(6): 706-711.
- [10] 刘厚田, 李一川. 重庆南山大气 SO_2 污染与马尾松衰亡的关系. 生态学报, 1990, 10(4): 305-310.
- [12] 张治军, 王彦辉, 于澎涛, 袁玉欣, 李志勇, 张国增, 刘英亘. 不同优势度马尾松的生物量及根系分布特征. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 32(4): 71-75.
- [13] 廖军, 王新根. 森林凋落量研究概述. 江西林业科技, 2000, (1): 31-34.
- [14] 温远光, 韦盛章, 秦武明. 杉木人工林凋落物动态及其与气候因素的相关分析. 生态学报, 1990, 10(4): 367-372.
- [15] 王凤友. 森林凋落量研究综述. 生态学进展, 1989, 6(2): 82-89.
- [16] 李志勇, 王彦辉, 于澎涛, 张治军, 杜士才, 何萍, 王祥, 段健, 李振华. 重庆酸雨区马尾松香樟混交林的土壤化学性质和林木生长特征. 植物生态学报, 2010, 34(4): 387-395.
- [17] 林波, 刘庆, 吴彦, 何海, 乔永康. 亚高山针叶林人工恢复过程中凋落物动态分析. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1491-1496.
- [18] 阎恩荣, 王希华, 周武. 天童常绿阔叶林不同退化群落的凋落物特征及与土壤养分动态的关系. 植物生态学报, 2008, 32(1): 1-12.
- [19] 张治军, 王彦辉, 袁玉欣, 李志勇, 曹磊, 张国增, 于澎涛, 王颖. 马尾松天然次生林生物量的结构与分布. 河南农业大学学报, 2006, 29(5): 37-43.
- [20] 黄益宗, 李志先, 黎向东, 阳文苗, 梁肇永, 李华凤, 刘定朗, 陆必升. 酸沉降和大气污染对华南典型森林生态系统生物量的影响. 生态环境, 2007, 16(1): 60-65.
- [21] 张庆费, 宋永昌, 吴化前, 由文辉. 浙江天童常绿阔叶林演替过程凋落物数量及分解动态. 植物生态学报, 1999, 23(3): 250-255.
- [22] 张庆费, 由文辉, 宋永昌. 浙江天童植物群落演替对土壤化学性质的影响. 应用生态学报, 1999, 10(1): 19-22.
- [23] 黄承才, 葛滢, 朱锦茹, 袁位高, 戚连忠, 江波, 沈琪, 常杰. 浙江省马尾松生态公益林凋落物及与群落特征关系. 生态学报, 2005, 25(10): 2507-2513.
- [24] 樊后保, 林德喜, 苏兵强, 刘春华, 蒋宗垲, 沈宝贵. 林下套种阔叶树的马尾松林凋落物生态学研究. I 凋落物量及其动态. 福建林学院学报, 2002, 22(3): 209-212.
- [25] 张德强, 叶万辉, 余清发, 孔国辉, 张佑倡. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究. 生态学报, 2000, 20(6): 938-944.
- [26] 侯爱敏, 彭少麟, 周国逸. 鼎湖山地区马尾松年轮元素含量与酸雨的关系. 生态学报, 2002, 22(9): 1552-1559.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 6 March, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Review and Monograph

- Forest health studies based on remote sensing: a review GAO Guanglei, XIN Zhongbao, DING Guodong, et al (1675)
- Progress of agent-based agricultural land change modeling: a review YU Qiangyi, WU Wenbin, YANG Peng, et al (1690)

Autecology & Fundamentals

- Dynamic distribution of *Nemopilema nomurai* in inshore waters of the northern Liaodong Bay, Bohai Sea WANG Bin, QIN Yubo, DONG Jing, et al (1701)
- Full length cDNA cloning and tissue expression of prophenoloxidase from *Oratosquilla oratoria* LIU Haiying, LIU Lianwei, JIANG Yusheng, et al (1713)
- Morphometrics investigation of the skulls, mandibles and molar in *Tupaia belangeri* from Yunnan, Guizhou, Guangxi ZHU Wanlong, JIA Ting, HUANG Chunmei, et al (1721)
- Effects of litter thickness on leaf litter decomposition and enzyme activity of three trees in the subtropical forests JI Xiaoyan, JIANG Hong, HONG Jianghua, et al (1731)
- The photosynthetic carbon fixation characteristics of common tree species in northern Zhejiang ZHANG Jiao, SHI Yongjun, ZHU Yueqing, et al (1740)
- Diurnal changes in the photosynthetic characteristics of two high yield and high quality grasses during different stages of growth and their response to changes in light intensity GUO Chunyan, LI Jinchuan, YUE Jianying, et al (1751)
- Evaluation technology on drought disaster to yields of winter wheat based on WOFOST crop growth model ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al (1762)
- Genetic diversity of *Conocephalus maculatus* of different geographic populations based on mitochondrial DNA control region analysis ZHOU Zhijun, SHANG Na, LIU Jing, et al (1770)
- Relationships among female body size, clutch size, and egg size in captive *Deinagkistrodon acutus* HU Minghang, TAN Qunying, YANG Daode (1778)
- The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male ZHENG Sining, HUANG Juchang, YE Guanglu, et al (1784)
- Allelopathic effects of artemisinin on ectomycorrhizal fungi LI Qian, YUAN Ling, WANG Mingxia, et al (1791)

Population, Community and Ecosystem

- Establishment of integrated methodology for bay ecosystem health assessment and its application in Daya Bay LI Chunhou, LIN Lin, XU Shannan, et al (1798)
- The influence of upwelling and water mass on the ecological group distribution of zooplankton in Zhejiang coastal waters SUN Lufeng, KE Chang, XU Zhaoli, et al (1811)
- Identification of key ecosystem for ecological restoration in semi-arid areas: a case study in Helin County, Inner Mongolia PENG Yu, GAO Ying, FENG Jinzhao, et al (1822)
- The great rainfall effect on soil respiration of *Pinus tabulaeformis* plantation in Taiyue Mountain JIN Guanyi, ZHAO Xiuhai, KANG Fengfeng, et al (1832)
- The litter-fall characteristics and their response to drought stress in the Masson pins forests damaged by acid rain at Chongqing, China WANG Yihao, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1842)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Thermal environment effect of urban water landscape YUE Wenzhe, XU Lihua (1852)
- Landscape ecological security pattern associated with the introduction of exotic tree species *Eucalyptus* ZHAO Xiaoqing, HE Chunlan (1860)
- Ecological balance between supply and demand in Chongqing City based on cultivated land ecological footprint method SHI Kaifang, DIAO Chengtai, SUN Xiufeng, et al (1872)
- Effect of elevated CO₂ on methanotrophs in the rhizosphere of rice plant YAN Chen, XU Jing, ZHONG Wenhui, et al (1881)

Resource and Industrial Ecology

- The seawater environment quality evaluation research base on variable fuzzy pattern recognition model KE Lina, WANG Quanming, SUN Xinguo, et al (1889)
- An *in situ* study on biodeposition of ascidian (*Styela plicata*) in a subtropical aquaculture bay, southern China YAN Jiaguo, QI Zhanhui, TIAN Ziyang, et al (1900)
- Distribution of soil NPK nutrient content in deep soil profile of typical apple orchards on the Loess Plateau ZHANG Lina, LI Jun, FAN Peng, et al (1907)
- Soil respiration and its responses to soil moisture and temperature under different tillage systems in dryland maize fields ZHANG Dingchen, CAI Dianxiong, DAI Kuai, et al (1916)
- Photosynthetic characteristics of soybean and salvia in an agroforestry system in the Hilly Region, Shangluo, China PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (1926)
- Regulation of exogenous brassinosteroid on growth and photosynthesis of *Helianthus tuberosus* seedlings and cadmium biological enrichment under cadmium stress GAO Huiling, LIU Jinlong, ZHENG Qingsong, et al (1935)
- Calibration coefficients of Granier original formula based on sap flow of *Platycladus orientalis* LIU Qingxin, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (1944)

Research Notes

- An evaluation index system classifying the conservation value of wetland nature reserves based on AHP SUN Rui, CUI Guofa, LEI Ting, et al (1952)
- Root biomass and its distribution of *Azadirachta indica* and *Acacia auriculiformis* plantations in the Dry-hot Valley GAO Chengjie, TANG Guoyong, LI Kun, et al (1964)
- Physiological response of *Vitex trifolia* to sand burial in the sand coast ... ZHOU Ruilian, WANG Jin, YANG Shuqin, et al (1973)
- Soil fertility under different forest types in the Helan and Liupan Mountain ranges of Ningxia Province JIANG Lin, GENG Zengchao, ZHANG Wen, et al (1982)

Opinions

- Dynamic of litterfall in ten typical community types of Xiaoxing'an Mountain, China HOU Lingling, MAO Zijun, SUN Tao, et al (1994)

《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,探索自然奥秘,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

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 6 期 (2013 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 6 (March, 2013)

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



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元