

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

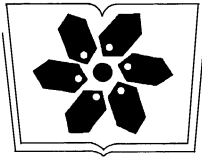
## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

中国生态学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 7 期

2012 年 4 月 (半月刊)

## 目 次

|                                                              |                                   |
|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 城市生态景观研究的基础理论框架与技术构架 .....                                   | 孙然好, 许忠良, 陈利顶, 等 (1979)           |
| 拟南芥芥子酸酯对 UV-B 辐射的响应 .....                                    | 李 敏, 王 垠, 牟晓飞, 等 (1987)           |
| 蛋白核小球藻对 Pb( II ) 和 Cd( II ) 的生物吸附及其影响因素 .....                | 姜 晶, 李 亮, 李海鹏, 等 (1995)           |
| 梨枣在果实生长期对土壤水势的响应 .....                                       | 韩立新, 汪有科, 张琳琳 (2004)              |
| 产业生态系统资源代谢分析方法 .....                                         | 施晓清, 杨建新, 王如松, 等 (2012)           |
| 基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例 .....                      | ..... 赵卉卉, 王 远, 谷学明, 等 (2025)     |
| 河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价 .....                                   | 白琳红, 王 卫, 张 玉 (2033)              |
| 温郁金内生真菌 <i>Chaetomium globosum</i> L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理 ..... | ..... 王艳红, 吴晓民, 朱艳萍, 等 (2040)     |
| 基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统种间水分利用研究 .....                     | ..... 何春霞, 孟 平, 张劲松, 等 (2047)     |
| 云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布 .....                            | 张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2056)           |
| 水稻根系通气组织与根系泌氧及根际硝化作用的关系 .....                                | 李奕林 (2066)                        |
| 苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响 .....                                | 王西存, 于 毅, 周洪旭, 等 (2075)           |
| 磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响 .....                                    | 金凌波, 周 峰, 姚 涓, 等 (2082)           |
| 基于 MODIS-EVI 数据和 Symlet11 小波识别东北地区水稻主要物候期 .....              | ..... 徐岩岩, 张佳华, YANG Limin (2091) |
| 基于降水利用比较分析的四川省种植制度优化 .....                                   | 王明田, 曲辉辉, 杨晓光, 等 (2099)           |
| 气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响 .....                                   | 高晓容, 王春乙, 张继权 (2110)              |
| 施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响 .....                                      | 朱小红, 马中文, 马友华, 等 (2119)           |
| 丛枝菌根真菌对枳根净离子流及锌污染下枳苗矿质营养的影响 .....                            | 肖家欣, 杨 慧, 张绍铃 (2127)              |
| 不同 R:FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响 .....                             | 杨再强, 张 静, 江晓东, 等 (2135)           |
| 神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态 .....                         | 刘 蕾, 申国珍, 陈芳清, 等 (2142)           |
| 黄土高原刺槐人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献 .....                                 | 周小刚, 郭胜利, 车升国, 等 (2150)           |
| 贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局 .....                                  | 陈志阳, 杨 宁, 姚先铭, 等 (2158)           |
| LAS 测算森林冠层上方温度结构参数的可行性 .....                                 | 郑 宁, 张劲松, 孟 平, 等 (2166)           |
| 基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究 .....                    | ..... 徐少君, 曾 波, 苏晓磊, 等 (2174)     |

模拟氮沉降增加对寒温带针叶林土壤 CO<sub>2</sub> 排放的初期影响 ..... 温都如娜,方华军,于贵瑞,等 (2185)

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素..... 邓培雁,雷远达,刘 威,等 (2196)

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫..... 孙麓垠,白音包力皋,牛翠娟,等 (2204)

上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究 ..... 唐克勇,杨正勇,杨怀宇,等 (2212)

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 ..... 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

农林复合系统中灌木篱墙对异色瓢虫种群分布的影响..... 严 飞,周在豹,王 朔,等 (2230)

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....

..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展..... 王 宁,张利权,袁 琳,等 (2248)

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 ..... 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

城市污泥生物好氧发酵对有机污染物的降解及其影响因素..... 余 杰,郑国砥,高 定,等 (2271)

4 种绿化树种盆栽土壤微生物对柴油污染响应及对 PAHs 的修复 ..... 闫文德,梁小翠,郑 威,等 (2279)

研究简报

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性..... 李东伟,徐红梅,梅 涛,等 (2288)

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响 ..... 梁 朋,陈振德,罗庆熙 (2294)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 322 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 37 \* 2012-04



**封面图说:** 站立的仓鼠——仓鼠为小型啮齿类动物,栖息于荒漠、荒漠草原等地带的洞穴之中。白天他们往往会躲在洞穴中睡觉和休息,以避开天敌的攻击,偶尔也会出来走动,站立起来警惕地四处张望。喜欢把食物藏在腮的两边,然后再走到安全的地方吐出来,由此得仓鼠之名。它们的门齿会不停的生长,所以它们的上下门齿必须不断啃食硬东西来磨牙,一方面避免门齿长得太长,妨碍咀嚼,一方面保持门牙的锐利。仓鼠以杂草种子、昆虫等为食。

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



DOI: 10.5846/stxb201111291822

刘蕾, 申国珍, 陈芳清, 罗璐, 谢宗强, 喻杰. 神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态. 生态学报, 2012, 32(7): 2142-2149.  
Liu L, Shen G Z, Chen F Q, Luo L, Xie Z Q, Yu J. Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2142-2149.

## 神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量 及其养分循环动态

刘 蕾<sup>1</sup>, 申国珍<sup>2</sup>, 陈芳清<sup>1</sup>, 罗 璐<sup>2</sup>, 谢宗强<sup>2,\*</sup>, 喻 杰<sup>3</sup>

(1. 三峡大学化学与生命科学学院, 宜昌 443002; 2. 中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093;  
3. 湖北神农架国家级自然保护区, 木鱼 442421)

**摘要:** 研究神农架地区典型森林凋落物现存量及其养分动态对认识我国北亚热带森林生态系统养分循环过程及森林碳循环的机理具有重要的参考价值。通过对神农架海拔梯度上 4 种典型森林常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林及亚高山针叶林凋落物年凋落量及其养分归还量的研究, 发现: 森林凋落物量随海拔增加呈现先上升后降低的趋势, 由低海拔到高海拔, 凋落物年凋落量分别为 6807.97、7118.14、6975.2 和 4250.67 kg/hm<sup>2</sup>。各森林类型凋落物量年变化呈双峰型, 高峰期出现在 4—5 月份、11 月份。凋落物养分归还以 N 最高 (132.06、162.29、157.12 和 185.77 kg/hm<sup>2</sup>), 以 P 最少 (4.62、4.39、8.24 和 4.15 kg/hm<sup>2</sup>), 养分归还总量随海拔高度增加而减少。

**关键词:** 海拔梯度; 常绿阔叶林; 常绿落叶阔叶混交林; 落叶阔叶林; 亚高山针叶林; 凋落物现存量; 养分归还

## Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China

LIU Lei<sup>1</sup>, SHEN Guozhen<sup>2</sup>, CHEN Fangqing<sup>1</sup>, LUO Lu<sup>2</sup>, XIE Zhongqiang<sup>2,\*</sup>, YU Jie<sup>3</sup>

1 College of chemistry and life science, China Three Gorges University, Yichang 443002, China

2 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China

3 Shennongjia National Nature Reserve, Muyu 443700, China

**Abstract:** To explore the litterfall and their seasonal dynamics of the four typical forests along the altitudinal gradient in Mt. Shennongjia, Hubei. We measured litterfall of Evergreen broad-leaved forest (EBF), Mixed evergreen and deciduous broad-leaved forest (MF), Deciduous broad-leaved forest (DBF), and sub-alpine coniferous forest (CF) in Shennongjia. Litterfall collection was conducted monthly from September 2009 to January 2011. The result showed that the total annual litterfall of the four typical forests along the altitudinal gradient in Mt. Shennongjia was increased and then decreased along the altitude. The annual amounts of EBF was 6 807.97 kg/hm<sup>2</sup>, MF 7 118.14 kg/hm<sup>2</sup>, DBF 6 975.2 kg/hm<sup>2</sup> and CF 4 250.67 kg/hm<sup>2</sup>. The seasonal dynamics of litterfall occurred two peaks during the periods from April to May and November annually. The returns of N from the litterfall of four forests along the elevation gradients were 132.06, 162.29, 157.12 and 185.77 kg/hm<sup>2</sup>, and that of P was 4.62, 4.39, 8.24 and 4.15 kg/hm<sup>2</sup>.

**Key Words:** elevation gradient; evergreen broad-leaved forest (EBF); mixed evergreen and deciduous broad-leaved forest (MF); deciduous broad-leaved forest (DBF); sub-alpine coniferous forest (CF); litterfall; nutrient return

基金项目: 国家自然科学基金 (30870416); 国家 973 课题 (2010CB951301); 中国科学院战略性先导科技专项资助 (XDA050203)

收稿日期: 2011-11-29; 修订日期: 2012-02-21

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xie@ibcas.ac.cn

森林凋落物,是指森林生态系统内由生物组分产生并归还到林地表面,作为分解者物质和能量的来源,借以维持生态系统功能的所有有机物质总称<sup>[1]</sup>。森林凋落物是森林生态系统养分循环的重要组成部分,凋落物通过养分循环将植物体营养物质输送到土壤<sup>[2]</sup>,对土壤肥力、土壤理化性质、植物生产力及森林生态系统碳循环方面具有重要作用,同时凋落物在涵养水源、水土保持等具有决定性作用<sup>[3-4]</sup>。目前,我国已开展了从寒温带、温带、暖温带、中亚热带及南亚热带乃至西北地区主要森林类型凋落物的凋落量动态、凋落物分解及其影响因素、凋落物养分元素归还特征、凋落物的水文效应等方面的研究,如寒温带小兴安岭<sup>[5]</sup>、温带长白山<sup>[6]</sup>、暖温带太行山<sup>[7]</sup>、中亚热带天童山、井冈山<sup>[8-9]</sup>、南亚热带鼎湖山<sup>[10]</sup>以及西北甘肃的兴隆山<sup>[11]</sup>、宁夏的贺兰山<sup>[12]</sup>,这些揭示了我国不同温度带主要森林类型凋落物量、分解和养分归还动态及其可能影响因素等方面的规律和机制。而有关北亚热带典型森林凋落物现存量及其养分动态研究,到目前还未见报道。

神农架地处我国秦巴山地常绿-落叶阔叶林生态区,具有明显的北亚热带森林生态系统的地带性特征。受东南季风及海拔高度的影响,神农架呈现了我国中东部最完整的植被垂直分带,从山麓的常绿阔叶林向上依次发育了常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林和亚高山针叶林,在我国森林生态系统由南到北的梯度分布大格局中具有不可替代的作用。研究神农架地区主要森林类型凋落物现存量及其养分动态,可为揭示我国北亚热带主要森林类型凋落物现存量及其养分动态提供进一步的研究基础,并可进一步完善我国不同温度带上典型森林凋落物养分动态的研究。

本研究以神农架海拔梯度上 4 种典型森林常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林及亚高山针叶林为研究对象,研究其凋落物现存量月、季节动态及其养分分解动态,以期揭示北亚热带主要森林类型凋落物的养分动态及其可能影响机制。研究结果对于深入了解神农架地区乃至我国北亚热带森林生态系统养分循环过程及森林碳循环的机理有重要的参考价值。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区自然概况

研究地点位于湖北神农架森林生态系统国家野外科学观测研究站(以下简称“神农架站”),地处我国鄂西地区,属大巴山脉东延之余脉,地理位置为 109°56′—110°58′E,31°15′—31°57′N。该地区为北亚热带,气候主要受东南季风影响。年平均气温 10.6℃,年降水量 1306.2—1722.0 mm,降水多集中于夏季。随海拔升高依次分布着常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林和亚高山针叶林。土壤类型为山地黄壤、山地黄棕壤、山地暗棕壤。

### 1.2 凋落物收集与处理

本研究以神农架海拔梯度上依次分布的 4 种典型森林,即常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林和亚高山针叶林为研究对象。各森林类型的立地状况见表 1。神农架站于 2001 年对这 4 种典型森林已分别建立了 1 hm<sup>2</sup> 的固定样地及破坏性样地。本研究在每个典型森林的固定样地内,沿坡度随机设置 1 个 20m×25m 的样方。样方按照 5m×5m 的小样方设置成网格状,共计 20 个 5m×5m 的小样方。于每个 20m×25m 的样方内,随机选取 12 个 5m×5m 小样方,每个小样方上方设置凋落物筐,共计 12 个。凋落物筐的面积为 1m×1m,凋落物框收集网为孔径 0.5 mm 的尼龙网,距地面 40—45 cm 水平置放。2009 年 9 月—2011 年 1 月期间,每月上旬收集凋落物筐中的所有凋落物,每个森林类型共收集 16 次。分别将收集的各森林类型的凋落物混合均匀,置于 70℃烘箱中烘干 48 h 至恒重,称量其总干重(精确到 0.01 g),换算成单位面积每公顷凋落量,为月凋落物量。落叶的养分年归还量占总归还量的 76.5%—81.2%<sup>[13]</sup>,是养分归还的主体部分,取烘干的凋落物叶,磨碎,过 60 目筛后贮存于广口瓶,待实验室分析所用。

### 1.3 凋落物养分的测定

采用 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消煮法将样品进行消煮,分别吸取少量消煮后定容液制备成 N、P、K 的待测液,用凯氏定氮仪测定凋落物样品中全 N 含量,钼锑抗比色法测定全 P 含量,火焰光度计法测定全 K 含量。采用 HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> 消煮法制备 Ca、Mg 待测液,用火焰光度计法测定凋落物中 Ca 和 Mg 含量<sup>[14]</sup>。

1.4 数据分析

应用 SPSS16.0 及 origin8.0 分别进行数据统计分析和作图。土壤温度采用 HOBO 数采每分钟 1 次记录, 全天 24h 自动监测。养分月归还量=月凋落物量×单位质量凋落物养分含量。

表 1 神农架海拔梯度上 4 种典型森林的立地状况

Table 1 Site characteristics of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, Hubei

| 森林类型<br>Forest type                                            | 位置<br>Location        | 海拔<br>Elevation/m | 坡度<br>Slope | 密度<br>Density<br>/(株/hm <sup>2</sup> ) | 平均胸径<br>Mean DBH<br>/cm | 建群种<br>Constructive species                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|-------------|----------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 常绿阔叶林<br>Evergreen broad-leaved forest                         | 31°21'N<br>110°30'E   | 780               | 41.5°       | 987                                    | 7.5                     | 宜昌楠 <i>Phoebe Zhennan yichang</i><br>青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i><br>川钓樟 <i>Lindera strychnifolia</i> var. <i>hemsleyana</i> |
| 常绿落叶阔叶混交林<br>Mixed evergreen and Deciduous broad-leaved forest | 31°19' N<br>110°29' E | 1670              | 21°         | 731                                    | 13.34                   | 米心水青冈 <i>Fagus engler-iana</i><br>青冈 <i>Cyclobalanopsis gla-uca</i>                                                              |
| 落叶阔叶林<br>Deciduous broad-leaved forest                         | 31°18' N<br>110°30' E | 1970              | 19°         | 530                                    | 17.59                   | 锐齿槲栎<br><i>Quercus aliena</i> var. <i>acutiserrata</i><br>四照花 <i>Cronus japonica</i> var. <i>chinensis</i>                       |
| 亚高山针叶林<br>Sub-alpine coniferous forest                         | 31°28' N<br>110°18' E | 2570              | 22°         | 430                                    | 24.82                   | 巴山冷杉 <i>Abies fargesii</i><br>杜鹃 <i>Rhododendron simsii</i>                                                                      |

2 研究结果

2.1 四种典型森林类型凋落物的年归还量及其月动态

研究结果表明,神农架海拔梯度上 4 种典型森林年凋落物量随海拔升高,呈现先升高后降低的趋势。其中,海拔 1670m 的常绿落叶阔叶混交林的年凋落物量最高,为 7 118.14 kg/hm<sup>2</sup>,其次为 1970m 的落叶阔叶林,年凋落物量为 6 975.2 kg/hm<sup>2</sup>,常绿阔叶林(780m)的年凋落物量低于常绿落叶阔叶混交林和落叶阔叶林,为 6 807.97 kg/hm<sup>2</sup>,巴山冷杉针叶林(2570m)年凋落物量最低,为 4 250.67 kg/hm<sup>2</sup>(图 1)。4 种森林类型凋落物量 1a 之内出现两个高峰,即 4—5 月和 10—12 月。高峰期的凋落物量分别占其年凋落物量的 57.67%、64.83%、71.04%和 57.93%(图 2)。

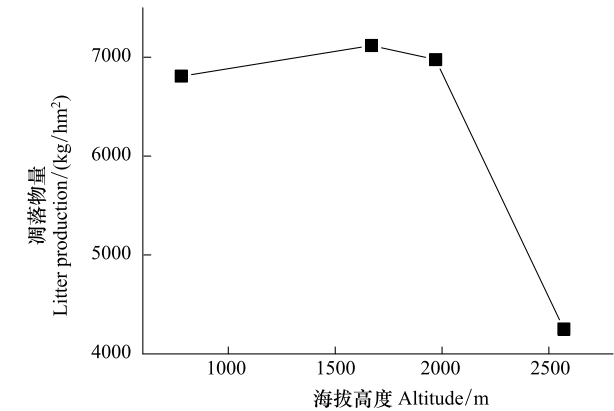


图 1 4 种森林类型年凋落物量随海拔高度的变化

Fig. 1 The annual litterfall of four typical forests along the altitudinal gradient in Mt. Shennongjia, Hubei

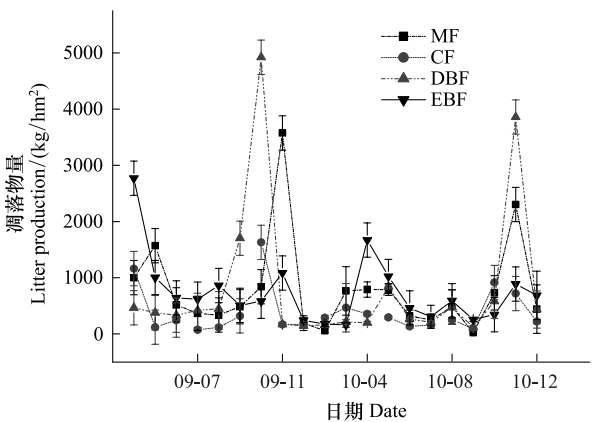


图 2 4 种森林凋落物归还量月动态。

Fig. 2 Monthly litter production of four typical forests along the elevational gradient in Mt. Shennongjia, Hubei

2.2 凋落物养分含量月变化动态

研究结果表明,4 种森林类型凋落物 P、Ca 养分含量年变化呈单峰趋势,高峰值出现在秋季 11 月(图 3);

K 养分含量月变化呈双峰趋势, 高峰值出现在夏秋两季; N、Mg 养分含量月变化没有呈现出明显的规律性 (图 3)。

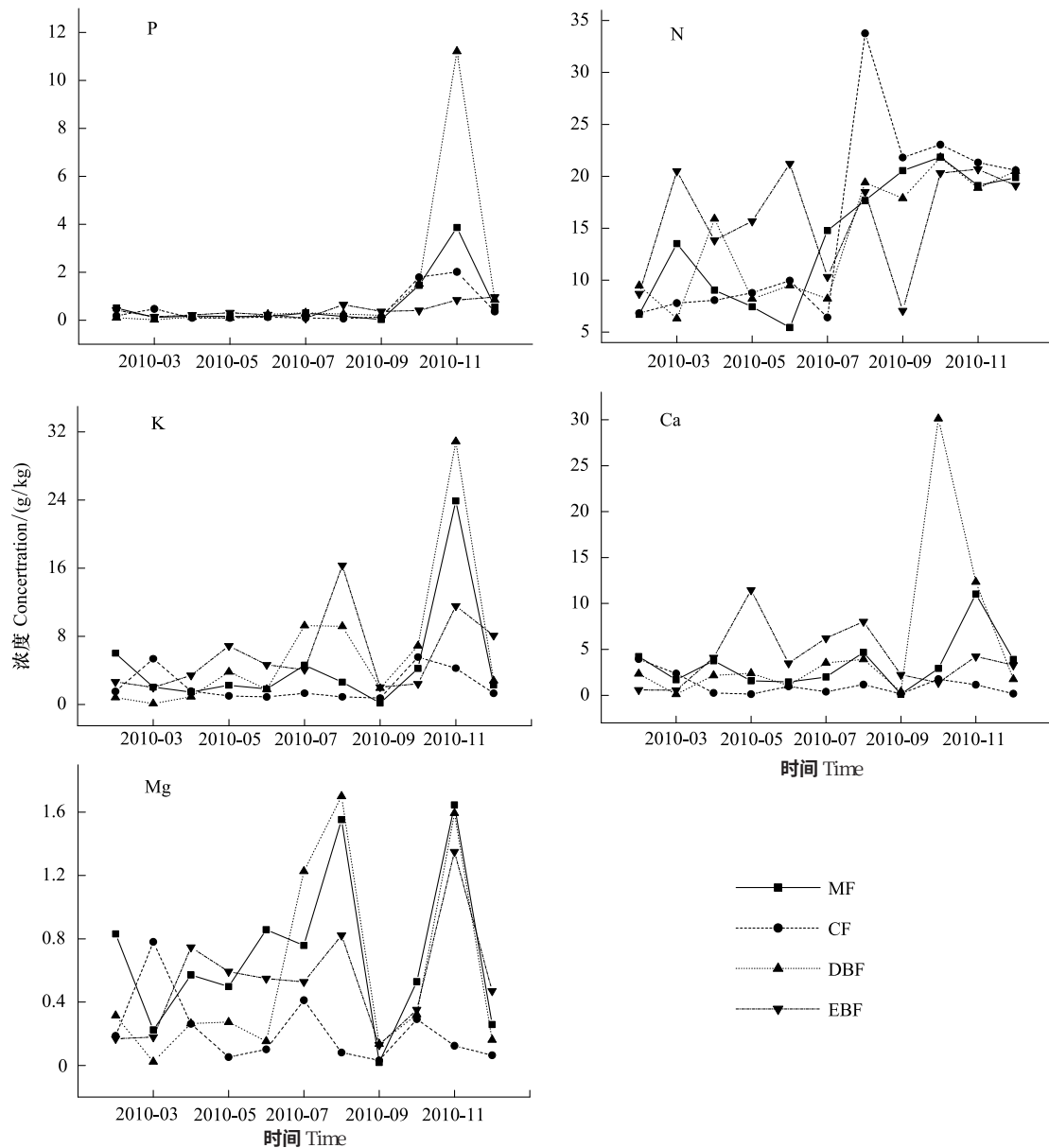


图 3 海拔梯度上 4 种森林类型凋落物 N、P、K、Ca、Mg 含量的月变化动态

Fig. 3 Monthly concentrations of N、P、K、Ca、Mg in the litterfall of four typical forests along the altitudinal gradient in Mt Shennongjia, Hubei

CF: 亚高山针叶林 Sub-alpine coniferous forest; DBF: 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest; EBF 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest; MF 常绿落叶阔叶混交林 Mixed evergreen and deciduous broad-leaved

### 2.3 养分归还特征及年归还量

研究结果表明, 神农架海拔梯度上 4 种典型森林养分归还总量随海拔高度的增加而减少 (表 2)。其中, 常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林及落叶阔叶林凋落物各个养分年归还量大小顺序均为  $N > Ca > K > Mg > P$ 。由低海拔到高海拔, N 的归还量分别为 132.06、162.29、157.12  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , Ca 的归还量分别为 89.47、97.05 和 75.64  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , P 的归还量分别为 4.62、4.39 和 8.24  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。而海拔最高的亚高山针叶林, 其养分元素年归还量大小顺序为  $N > K > Ca > Mg > P$ , 其中 N 的归还量最高, 为 185.77  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , K 的归还量为 33.65

$\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ , P 的归还量最低为  $4.15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。

表2 海拔梯度上4种典型森林凋落物 N、P、K、Ca、Mg 的年归还量

|     | N<br>$/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$ | P<br>$/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$ | K<br>$/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$ | Ca<br>$/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$ | Mg<br>$/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$ | Total<br>$/(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1})$ |
|-----|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| MF  | 132.06                                                       | 4.62                                                         | 81.86                                                        | 89.47                                                         | 15.76                                                         | 323.77                                                           |
| EBF | 162.29                                                       | 4.39                                                         | 70.29                                                        | 97.05                                                         | 18.82                                                         | 352.84                                                           |
| DBF | 157.12                                                       | 8.24                                                         | 38.1                                                         | 75.64                                                         | 24.23                                                         | 303.33                                                           |
| CF  | 185.77                                                       | 4.15                                                         | 33.65                                                        | 14.29                                                         | 6.12                                                          | 243.98                                                           |

CF: 亚高山针叶林 Sub-alpine coniferous forest; DBF: 落叶阔叶林 Deciduous broad-leaved forest; EBF 常绿阔叶林 Evergreen broad-leaved forest; MF 常绿落叶阔叶混交林 Mixed evergreen and deciduous broad-leaved

## 2.4 海拔梯度上4种典型森林凋落物养分含量的差异性

研究结果发现: 神农架海拔梯度上4种典型森林中, 同一森林类型不同月份间凋落物的 N ( $P=0.000$ )、P ( $P=0.006$ )、K ( $P=0.001$ )、Mg ( $P=0.002$ ) 养分含量差异显著, Ca ( $P=0.418$ ) 含量各月份间差异不显著 (表3)。不同森林类型相同月份间凋落物养分含量 N ( $P=0.767$ )、P ( $P=0.457$ )、K ( $P=0.176$ )、Ca ( $P=0.244$ ) 没有显著差异 (表3)。

表3 海拔梯度上4种典型森林凋落物养分含量方差分析

Table 3 Analysis of variance for the litter nutrient concentrations of four typical forests along the altitudinal gradient in Mt. Shennongjia, Hubei

| 养分<br>Nutrient | 因素<br>Factors | 平方和 $\sum_{i=1}^n x_i^2$ | 自由度<br>df | 均方 $\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}$ | F     | Sig   |
|----------------|---------------|--------------------------|-----------|-----------------------------------|-------|-------|
| N              | 月份间**         | 1139.981                 | 10        | 113.991                           | 4.981 | 0.000 |
|                | 样地间           | 26.34                    | 3         | 8.734                             | 0.386 | 0.767 |
|                | Error         | 687.225                  | 30        | 22.917                            |       |       |
|                | Total         | 11641.04                 | 44        |                                   |       |       |
| P              | 月份间**         | 66.891                   | 10        | 6.642                             | 3.271 | 0.006 |
|                | 样地间           | 6.022                    | 3         | 2.005                             | 0.991 | 0.457 |
|                | Error         | 60.891                   | 30        | 2.235                             |       |       |
|                | Total         | 157.356                  | 44        |                                   |       |       |
| K              | 月份间**         | 848.862                  | 10        | 25.866                            | 1.064 | 0.418 |
|                | 样地间           | 106.174                  | 3         | 36.263                            | 1.493 | 0.244 |
|                | Error         | 606.452                  | 30        | 24.333                            |       |       |
|                | Total         | 2547.468                 | 44        |                                   |       |       |
| Ca             | 月份间**         | 258.663                  | 10        | 25.866                            | 1.064 | 0.418 |
|                | 样地间           | 108.772                  | 3         | 36.263                            | 1.493 | 0.244 |
|                | Error         | 729.771                  | 30        | 24.333                            |       |       |
|                | Total         | 1645.562                 | 44        |                                   |       |       |
| Mg             | 月份间**         | 4.602                    | 10        | 0.46                              | 3.752 | 0.002 |
|                | 样地间           | 1.391                    | 3         | 0.462                             | 3.781 | 0.021 |
|                | Error         | 3.679                    | 30        | 0.123                             |       |       |
|                | Total         | 20.861                   | 44        |                                   |       |       |

\*  $P<0.05$  \*\*  $P<0.01$

## 3 结论与讨论

### 3.1 凋落物数量及其动态

森林凋落物是森林生态系统物质循环和能量流动的一个重要环节<sup>[15]</sup>。森林凋落量是森林凋落物研究的



一个重要内容,凋落物产量反映了森林生态系统的生产力,是生物与非生物因素综合作用的结果<sup>[16]</sup>。神农架海拔梯度上四种典型森林的年凋落量分别为 6 807.97、7 118.14、6 975.2 和 4 250.67 kg/hm<sup>2</sup>,与其他研究人员对亚热带森林年均凋落量的研究结果 3 000—114 40kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup> 相一致<sup>[17]</sup>。神农架巴山冷杉林的年凋落物量为 4 250.67kg/hm<sup>2</sup>,远远低于阔叶林的凋落物量。刘文耀、翁轰等对亚热带秀山、鼎湖山等地针叶林、常绿落叶林的研究结果显示,针叶林的凋落物量为 2600—3600 kg/hm<sup>2</sup>,显著低于常绿落叶林的凋落物量(5500—9056 kg/hm<sup>2</sup>)<sup>[18-19]</sup>。神农架海拔梯度上森林凋落物量随海拔升高而不同,是森林的生物学特性、气候因素及环境因素等多种因素共同作用的结果。森林凋落量是由纬度和海拔因子共同决定的结果,同时,森林类型及森林树种本身的遗传特性等对凋落物量具有显著的影响<sup>[1]</sup>。

本研究发现,神农架常绿落叶阔叶混交林(1670m)的凋落物量大于常绿阔叶林(780m),原因在于,同一气候区内凋落物量的大小不仅要受到温度、光照、水分等外界条件影响,林分本身的生物学特性也是重要的影响因素。本研究常绿阔叶林林分平均胸径为 7.5 cm,远远小于平均胸径为 13.34 cm 常绿落叶阔叶混交林,说明常绿落叶阔叶混交林林分的发育状况、成熟林的比重较常绿落叶林均要高,这些可能是引起凋落物量差异的主要原因之一。廖旭祥等<sup>[20]</sup>通过研究认为混交林的凋落物量一般大于纯林凋落物量。

神农架落叶阔叶林(1970m)的凋落物量大于常绿阔叶林(780 m)。落叶阔叶林一年内受季节影响较大,秋冬两季,落叶较多,而常绿阔叶林生长的环境,四季气候变化小,落叶少。受树种生物学特性和气候因子的综合影响,不同林分同一年份及同一林分不同月份的凋落物量存在一定的规律<sup>[21]</sup>。神农架不同海拔梯度上 4 种典型森林的年凋落量呈现出双峰型,受植物换芽换叶节律的影响,凋落物量高峰值集中于 4—5 月份和 11—12 月份,低谷期主要集中于植物处于休眠期的 2 月和生长基本结束的 9 月,这与大多数的研究结果一致<sup>[22]</sup>。同时,本研究中,落叶阔叶林林分的平均胸径 17.59cm 明显大于常绿阔叶林的平均胸径 7.5cm,落叶阔叶林林分的发育状况较好,成熟林比重高,这种林分发育程度的不同也可能是落叶阔叶林凋落物量较高的原因之一。因此,森林凋落物量是受气候包括温度、降雨量、风力等<sup>[23-24]</sup>诸多外在因素和森林树种本身的遗传特性、发育状况、林龄、林冠特征等内部因素综合作用的结果。

### 3.2 养分归还特征

神农架常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林 3 种森林类型养分年归还量大小顺序均为 N>Ca>K>Mg>P,与川西亚高山林线交错带植被养分归还量顺序大体一致<sup>[25]</sup>;而巴山冷杉针叶林的养分年归还量大小顺序为 N>K>Ca>Mg>P,与春敏莉<sup>[26]</sup>等对巴山冷杉天然林养分归还量的研究结果大体相同。从研究结果发现,冷杉林养分归还量大于阔叶林养分归还量。王强<sup>[27]</sup>等比较研究小兴安岭地区阔叶林和杉木林养分归还时,也得出类似的结论。产生这种差异的原因可能为冷杉林分布海拔高、气温温度低,养分循环速度低于阔叶林。4 种典型森林类型凋落物各元素养分年归还量均高于已报道的亚热带典型森林养分的归还范围 56—289.61 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup><sup>[28-29]</sup>,主要原因可能为本研究中凋落物养分以落叶为分析对象,落叶中的养分元素含量明显高于枝、花、果、杂物等中所含养分元素的量<sup>[22]</sup>。

神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物养分归还量均以 N、Ca、K 归还较多,以 P 的归还量最少,主要原因在于落叶中的 N、Ca 和 K 的含量较高,P 含量较少<sup>[25]</sup>。比较神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物养分含量月份间差异,发现同一种森林类型各月份间凋落物中 N、P、K、Mg 的含量存在着明显差异。这可能是植物保存自身养分的一种机制,与气候变化、植物生长期存在着一定的相关关系<sup>[30]</sup>。气温变化时,植物增加或减少落叶,使得养分的内转移率加大或缩小,以保持植株内适当的养分含量<sup>[31]</sup>。而 Ca 则随季节变化不大,这主要是因为 N、P、K、Mg 是可移动的元素,而 Ca 是移动性相对较低的元素,其在成熟叶片积累较多,不容易随着季节变化而变化<sup>[32]</sup>。神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物养分含量比较研究发现,只有 Mg 元素含量在各森林类型间存在着显著差异,其余各养分含量差异不显著。说明海拔对森林各养分的利用影响不显著。4 种森林类型之间 Mg 元素含量的差异,可能在于不同海拔梯度上植物对光能的利用能力不同,植物通过自身调节 Mg 的含量来适应光照差异<sup>[33]</sup>。

综上所述,受树种生物学和生态学特性等内部因素及海拔梯度引起的气候变化等外部因素共同作用的影响,神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物年产量随海拔梯度增加呈现先升高后降低趋势,养分归还量则随海拔梯度的升高而降低。

#### References:

- [ 1 ] Wang F Y. Review on the study of forest litterfall. *Advances in Ecology*, 1989, 6(2): 95-102.
- [ 2 ] Passarinho J, Lamosa P, Baeta J P, Santos H, Candido P. Annual changes in the concentration of minerals and organic compounds of *Quercus suber* leaves. *Physiology Plant*, 2006, 127:100-110.
- [ 3 ] Hoorens B, Aerts R, Stroetenga M. Does initial litter chemistry explain litter mixture effects on decomposition. *Oecologia*, 2003, 137: 578-586.
- [ 4 ] Fife D N, Nambiar E K S, Saur E. Retranslocation of foliar nutrients in evergreen tree species planted in a Mediterranean environment. *Tree Physiology*, 2008, 28: 187-196.
- [ 5 ] Chen J L, Jin G Z, Zhao F X. Litter decomposition and nutrient dynamics at different succession stages of typical mixed broadleaved-Korean pine forest in Xiaoxing'an mountains, China. *Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(9):2209-2216.
- [ 6 ] Liu Y, Han S J, Lin L. Dynamic characteristics of litterfalls in four forest types of Changbai Mountains, China. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(1):7-11.
- [ 7 ] Zhao Y, Wu M Z, Fan W, Guo X R. Comparison of nutrient return and litter decomposition between coniferous and broad-leaved forests in hilly region of Taihang Mountains. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(9):2616-2624.
- [ 8 ] Shen H T, You W H, Jiang Y. Eco-hydrological function of the evergreen broad-leaved forest litter and soil at different succession stages in Tiantong, Zhejiang. *Journal of East China Normal University*, 2010, 6:35-44.
- [ 9 ] Li H T, Yu G R, Li J Y, Liang T, Chen Y R. Dynamics of litter decomposition and phosphorus and potassium release in Jinggang Mountain region of Jiangxi Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(2):233-240.
- [ 10 ] Dou R P, Jiang H, Yu S Q, Ma Y D, Guo P P. Decomposition of *Cryptomeria fortunei* leaf litter in subtropical and tropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7):1758-1763.
- [ 11 ] Wei Q, Ling L, Zhang G Z, Yan P B, Tao J X, Chai C S, Xue R. Water-holding characteristics and accumulation amount of the litters under main forest types in Xinglong Mountain of Gansu, Northwest China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(10): 2589-2598.
- [ 12 ] Zhao X C, Liu J J, Ren J H, Liu B, Mu J J. Study on water-holding capacity of litter in four forest types of Helan mountain. *Research of soil and water conservation*, 2011, 18(2):107-111.
- [ 13 ] Liu Y, Zhang J, Feng M S. Dynamics of litter production, nutrient return and decomposition of four *Eucalyptus grandis* plantation. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(7):135-145.
- [ 14 ] Dong M, Wang Y F, Kong F Z, Jiang G M, Zhang Z B. Survey, observation and analysis of terrestrial biocommunities. Standards Press of China, Beijing, 1996: 232-256.
- [ 15 ] Spain A V. Litterfall and the standing crop of litter in three tropical Australian rain forests. *Journal of Ecology*, 1984, 72: 947-961.
- [ 16 ] Bray J R, Gorham E. Litter production in forests of the world. *Advances in Ecological Research*, 1964, 2: 102-157.
- [ 17 ] Sundarapandian S M, Swamy P S. Litter production and leaf litter decomposition of selected tree species in tropical forests at Kodayar in the Western Ghats. *Forest Ecology and Management*, 1999, 123(2): 231-244.
- [ 18 ] Liu W Y, Jing G F, Zheng Z. Study on the litter of evergreen broad-leaved forest and *Pinus yunnanensis* forest in the middle of Yunnan. *Guihaia*, 1989, 9: 347-355.
- [ 19 ] Weng H, Li Z A, Tu M Z, Yao W H. Study on the forest litter production and its nutrient concentration in Dinghu Mountains. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 1984, 17: 299-304.
- [ 20 ] Liao X X. Litter production dynamics of *Phyllostachys pubescens* pure forest and *Phyllostachys pubescens* and broad-leaved mixed forests in Wuyi Mountains. *Forestry survey design (Fujian)*, 2010, 1:61-63.
- [ 21 ] Pan H, Huang S D, Hong W, Zhao K. Litterfalls amounts and seasonal dynamics of carbon returns in three *Acacia* plantations. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2010, 30(2):104-108.
- [ 22 ] Lin Y M, He J Y, Yang Z W. Litter production and its dynamics of *Castanopsis eyrei* community in Wuyi Mountains. *Journal of Xiamen University (Natural Science Edition)*, 1999, 38: 280-285.
- [ 23 ] Lin B, Liu Q, Wu Y. Advances in the studies of forest litter. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(1): 60-65.
- [ 24 ] Enrique A, Manuel F. Nutrients return from leaves and litterfall in a Mediterranean cork oak *quercus suber* forest in southwestern Spain. *European Journal of Forest Research*, 2010, 129: 5-12.

- [25] Qi Z M, Wang K Y. Litter production and nutrient return of vegetations in subalpine timberline ecotone of west Sichuan, China. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(3): 434-438.
- [26] Chun M L, Xie Z Q, Zhao C M, Fan D Y. Litter production and nutrient characteristics of *Abies fargesii* natural forest in Shennongjia nature reserve, HuBei, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(3): 492-498.
- [27] Wang Q, Zhang Y F, Wang X C. The forest litter production and nutrient concentration of main forest ecological system in Xiaoxing'an Mountains, China. *Journal of Heilongjiang Vocational Institute of Ecological Engineering*, 2011, 24(5): 7-8.
- [28] Lisanework N, Michelsen A. Litterfall and nutrient release by decomposition in three plantations compared with a natural forest in the Ethiopian highland. *Forest Ecology and Management*, 1994, 65: 149-164.
- [29] Cuevas E, Lugo A E. Dynamics of organic matter and nutrient return from litterfall instands of ten tropical tree plantation species. *Forest Ecology and Management*, 1998, 112: 263-279.
- [30] Emma J S, Edmund V J T. Experimental investigation of the importance of litterfall in lowland semievergreen tropical forest nutrient cycling. *Journal of Ecology*, 2010, 98: 1052-1062.
- [31] Pramod J, Kamal P M. Leaf litterfall, fine root production and turnover in four major tree species of the semiarid region of India. *Plant and Soil*, 2010, 326: 481-491.
- [32] Ramesh R, Devar K V. Litter production and nutrient return in plantations of four tree species in Karnataka State. *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 2004, 17(1): 68-71.
- [33] Zimmermann S, Braun S, Conedera M. Macronutrient inputs by litterfall as opposed to atmospheric deposition into two contrasting chestnut forest stands in southern Switzerland. *Forest Ecology and Management*, 2002, 161: 289-302.

#### 参考文献:

- [1] 王凤友. 森林凋落量研究综述. *生态学进展*, 1989, 6(2): 82-89.
- [5] 陈金玲, 金光泽, 赵凤霞. 小兴安岭典型阔叶红松林不同演替阶段凋落物分解及养分变化. *应用生态学报*, 2010, 21(9): 2209-2216.
- [6] 刘颖, 韩士杰, 林鹿. 长白山四种森林类型凋落物动态特征. *生态学杂志*, 2009, 28(1): 7-11.
- [7] 赵勇, 吴明作, 樊巍, 高喜荣. 太行山针、阔叶森林凋落物分解及养分归还比较. *自然资源学报*, 2009, 24(9): 2616-2624.
- [8] 沈会涛, 由文辉, 蒋跃. 天童常绿阔叶林不同演替阶段枯落物和土壤水文特征. *华东师范大学学报*, 2010, 6: 35-44.
- [9] 李海涛, 于贵瑞, 李家永, 梁涛, 陈永瑞. 井冈山森林凋落物分解动态及磷、钾释放速率. *应用生态学报*, 2007, 18(2): 233-240.
- [10] 窦荣鹏, 江洪, 余树全, 马元丹, 郭培培. 柳杉凋落物在中国亚热带和热带的分解. *生态学报*, 2010, 3(7): 1758-1763.
- [11] 魏强, 凌雷, 张广忠, 闫沛斌, 陶继新, 柴春山, 薛睿. 甘肃兴隆山主要森林类型凋落物累积量及持水特性. *应用生态学报*, 2011, 22(10): 2589-2598.
- [12] 赵晓春, 刘建军, 任军辉, 刘斌, 母吉君. 贺兰山 4 种典型森林类型凋落物持水性能研究. *水土保持研究*, 2011, 18(2): 107-111.
- [13] 刘洋, 张健, 冯茂松. 巨桉人工林凋落物数、养分归还量及分解动态. *林业科学*, 2006, 42(7): 135-145.
- [14] 董鸣, 王义凤, 孔繁志, 蒋高明, 张知彬. 陆地生物群落调查观测与分析. 中国标准出版社, 1996: 232-256.
- [18] 刘文耀, 荆贵芬, 郑征. 滇中常绿阔叶林及云南松林枯落物的初步研究. *广西植物*, 1989, 9(4): 347-355.
- [19] 翁轰, 李志安, 屠梦照等. 鼎湖山森林凋落物量及营养元素含量研究. *植物生态学与地植物学报*, 1993, 17(4): 299-304.
- [20] 廖旭祥. 武夷山毛竹纯林和竹阔混交林凋落物动态. *林业勘测设计(福建)*, 2010, 1: 61-63.
- [21] 潘辉, 黄石德, 洪伟, 赵凯, 张志鸿. 3 种相思人工林凋落物量及其碳归还动态. *福建林业学院学报*, 2010, 30(2): 104-108.
- [22] 林益明, 何建源, 杨志伟等. 武夷山甜槠群落凋落物的产量及其动态. *厦门大学学报(自然科学版)*, 1999, 38(2): 280-285.
- [23] 林波, 刘庆, 吴彦等. 森林凋落物研究进展. *生态学杂志*, 2004, 23(1): 60-64.
- [25] 齐泽民, 王开运. 川西高山林线交错带植被凋落物量及养分归还动态. *生态学杂志*, 2010, 29(3): 433-438.
- [26] 春敏莉, 谢宗强, 赵常明, 樊大勇, 徐新武, 平亮. 神农架巴山冷杉天然林凋落量及养分特征. *植物生态学报*, 2009, 33(3): 492-498.
- [27] 王强, 张玉峰, 王希臣. 小兴安岭主要森林生态系统的凋落物量及养分含量. *黑龙江生态工程职业学院*, 2011, 24(5): 7-8.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 7 April, 2012 (Semimonthly)

## CONTENTS

|                                                                                                                                                                                               |                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Theoretical framework and key techniques of urban ecological landscape research .....                                                                                                         | SUN Ranhao, XU Zhongliang, CHEN Liding, et al (1979)    |
| Response of sinapate esters in <i>Arabidopsis thaliana</i> to UV-B radiation .....                                                                                                            | LI Min, WANG Yin, MU Xiaofei, et al (1987)              |
| Biosorption of lead ( II ) and cadmium ( II ) from aqueous solution by <i>Chlorella pyrenoidsa</i> and its influential factors .....                                                          | JIANG Jing, LI Liang, LI Haipeng, et al (1995)          |
| Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels .....                                                                                      | HAN Lixin, WANG Youke, ZHANG Linlin (2004)              |
| An approach for analyzing resources metabolism of industrial ecosystems .....                                                                                                                 | SHI Xiaoqing, YANG Jianxin, WANG Rusong, et al (2012)   |
| Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province .....                            | ZHAO Huihui, WANG Yuan, GU Xueming, et al (2025)        |
| Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province .....                                                                                              | BAI Linhong, WANG Wei, ZHANG Yu (2033)                  |
| Inhibition effects and mechanisms of the endophytic fungus <i>Chaetomium globosum</i> L18 from <i>Curcuma wenyujin</i> .....                                                                  | WANG Yanhong, WU Xiaomin, ZHU Yanping, et al (2040)     |
| Water use of walnut-wheat intercropping system based on stable carbon isotope technique in the low hilly area of North China .....                                                            | HE Chunxia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (2047)      |
| Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau .....                                    | ZHANG Liqing, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2056)  |
| Relationship among rice root aerenchyma, root radial oxygen loss and rhizosphere nitrification .....                                                                                          | LI Yilin (2066)                                         |
| Effects of <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars .....                                                                                   | WANG Xicun, YU Yi, ZHOU Hongxu, et al (2075)            |
| Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community .....                                                                                                            | JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, et al (2082)           |
| Detecting major phenological stages of rice using MODIS-EVI data and Symlet11 wavelet in Northeast China .....                                                                                | XU Yanyan, ZHANG Jiahua, YANG Limin (2091)              |
| Cropping system optimization based on the comparative analysis of precipitation utilization in Sichuan Province .....                                                                         | WANG Mingtian, QU Huihui, YANG Xiaoguang, et al (2099)  |
| The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China .....                                                                                      | GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan (2110)          |
| Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin .....                                                                                                  | ZHU Xiaohong, MA Zhongwen, MA Youhua, et al (2119)      |
| Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on net ion fluxes in the roots of trifoliate orange ( <i>Poncirus trifoliata</i> ) and mineral nutrition in seedlings under zinc contamination ..... | XIAO Jiaxin, YANG Hui, ZHANG Shaoling (2127)            |
| The effect of red:far red ratio on the stomata characters and stomata conductance of <i>Chrysanthemum</i> leaves .....                                                                        | YANG Zaiqiang, ZHANG Jing, JIANG Xiaodong, et al (2135) |
| Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China .....                                             | LIU Lei, SHEN Guozhen, CHEN Fangqing, et al (2142)      |
| Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau .....                                                                                   | ZHOU Xiaogang, GUO Shenli, CHE Shengguo, et al (2150)   |
| Life history and spatial distribution of a <i>Taiwania flousiana</i> population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China .....                                                            | CHEN Zhiyang, YANG Ning, YAO Xianming, et al (2158)     |
| The feasibility of using LAS measurements of the turbulence structure parameters of temperature above a forest canopy .....                                                                   | ZHENG Ning, ZHANG Jinsong, MENG Ping, et al (2166)      |
| Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS .....                                                                                 | XU Shaojun, ZENG Bo, SU Xiaolei, et al (2174)           |
| Early nitrogen deposition effects on CO <sub>2</sub> efflux from a cold-temperate coniferous forest soil .....                                                                                | WENDU Runa, FANG Huajun, YU Guirui, et al (2185)        |
| Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors .....                                                                       | DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (2196)          |
| Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp ( <i>Cyprinus carpio</i> ) in Xiaolangdi Reservoir .....                                                                         | SUN Luyin, Baiyinbaoligao, NIU Cuijuan, et al (2204)    |
| Environmental cost of pond aquaculture in Shanghai: an empirical analysis based on double-bounded dichotomous CVM method .....                                                                | TANG Keyong, YANG Zhengyong, YANG Huaiyu, et al (2212)  |
| Host searching behaviour of <i>Apanteles cypris</i> Nixon (Hymenoptera: Braconidae) ...                                                                                                       | ZHOU Hui, ZHANG Yang, WU Weijian (2223)                 |
| The effect of hedgerows on the distribution of <i>Harmonia axyridis</i> Pallas in agroforestry systems .....                                                                                  | YAN Fei, ZHOU Zaibao, WANG Shuo, et al (2230)           |
| Induction of early resistance response to <i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>mali</i> in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth ...                                       | WANG Rongjuan, YAO Yuncong, QI Yaping, et al (2239)     |
| <b>Review and Monograph</b>                                                                                                                                                                   |                                                         |
| Research into vulnerability assessment for coastal zones in the context of climate change .....                                                                                               | WANG Ning, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (2248)         |
| Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species <i>Sonneratia apetala</i> .....                                                                                             | PENG Yougui, XU Zhengchun, LIU Minchao (2259)           |
| <b>Discussion</b>                                                                                                                                                                             |                                                         |
| Degradation of organic contaminants with biological aerobic fermentation in sewage sludge dewatering and its influencing factors .....                                                        | YU Jie, ZHENG Guodi, GAO Ding, et al (2271)             |
| Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using four greening tree species .....                                                                         | YAN Wende, LIANG Xiaocui, ZHENG Wei, et al (2279)       |
| <b>Scientific Note</b>                                                                                                                                                                        |                                                         |
| Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China .....                                                                                        | LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, et al (2288)           |
| Effects of <i>Meloidogyne incognita</i> on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks ...                                             | LIANG Peng, CHEN Zhende, LUO Qingxi (2294)              |



# 《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 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 2012

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>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<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                        | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                 |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100071                                                                       | Published by    | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                        |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail:journal@cspg.net                          | Distributed by  | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel:(010)64034563<br>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<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China                                                                                      |
| 广告经营<br>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