

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 14 期 Vol.31 No.14 **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 14 期

2011 年 7 月 (半月刊)

目 次

厦门市三个产业土地利用变化的敏感性·····	黄 静,崔胜辉,李方一,等 (3863)
黄河源区沙漠化及其景观格局的变化·····	胡光印,董治宝,逯军峰,等 (3872)
岩溶山区景观多样性变化的生态学意义对比——以贵州四个典型地区为例·····	罗光杰,李阳兵,王世杰,等 (3882)
基于城市地表参数变化的城市热岛效应分析·····	徐涵秋 (3890)
北京市土地利用生态分类方法·····	唐秀美,陈百明,路庆斌,等 (3902)
长白山红松臭冷杉光谱反射随海拔的变化·····	范秀华,刘伟国,卢文敏,等 (3910)
臭冷杉生物量分配格局及异速生长模型·····	汪金松,张春雨,范秀华,等 (3918)
渔山岛岩礁基质潮间带大型底栖动物优势种生态位·····	焦海峰,施慧雄,尤仲杰,等 (3928)
食物质量差异对树麻雀能量预算和消化道形态特征的影响·····	杨志宏,邵淑丽 (3937)
桂西北典型喀斯特区生态服务价值的环境响应及其空间尺度特征·····	张明阳,王克林,刘会玉,等 (3947)
隔沟交替灌溉条件下玉米根系形态性状及结构分布·····	李彩霞,孙景生,周新国,等 (3956)
不同抗病性茄子根系分泌物对黄萎菌的化感作用·····	周宝利,陈志霞,杜 亮,等 (3964)
镧在草-菇-土系统中的循环与生物富集效应·····	翁伯琦,姜照伟,王义祥,等 (3973)
鄱阳湖流域泥沙流失及吸附态氮磷输出负荷评估·····	余进祥,郑博福,刘娅菲,等 (3980)
柠条细根的分布和动态及其与土壤资源有效性的关系·····	史建伟,王孟本,陈建文,等 (3990)
土壤盐渍化对尿素与磷酸脲氮挥发的影响·····	梁 飞,田长彦 (3999)
象山港海域细菌的分布特征及其环境影响因素·····	杨季芳,王海丽,陈福生,等 (4007)
近地层臭氧对小麦抗氧化酶活性变化动态的影响·····	吴芳芳,郑有飞,吴荣军,等 (4019)
抑制剂和安全剂对高羊茅根中酶活性和菲代谢的影响·····	龚帅帅,韩 进,高彦征,等 (4027)
南苜蓿高效共生根瘤菌土壤的筛选·····	刘晓云,郭振国,李乔仙,等 (4034)
汉江上游金水河流域土壤常量元素迁移模式·····	何文鸣,周 杰,张昌盛,等 (4042)
基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法·····	刘 勤,严昌荣,梅旭荣,等 (4056)
日光温室切花郁金香花期与外观品质预测模型·····	李 刚,陈亚茹,戴剑锋,等 (4062)
冀西北坝上旱干区南瓜油葵间作的水分效应·····	黄 伟,张俊花,李文红,等 (4072)
专论与综述	
鸟类分子系统地理学研究进展·····	董 路,张雁云 (4082)
自然保护区空间特征和地块最优选择方法·····	王宜成 (4094)
人类活动是导致生物均质化的主要因素·····	陈国奇,强 胜 (4107)
冬虫夏草发生的影响因子·····	张古忍,余俊锋,吴光国,等 (4117)
自然湿地土壤产甲烷菌和甲烷氧化菌多样性的分子检测·····	余晨兴,全 川 (4126)
研究简报	
塔里木河上游典型绿洲不同连作年限棉田土壤质量评价·····	贡 璐,张海峰,吕光辉,等 (4136)
高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态·····	周晓庆,吴福忠,杨万勤,等 (4144)
生物结皮粗糙特征——以古尔班通古特沙漠为例·····	王雪芹,张元明,张伟民,等 (4153)
不同海拔茶园害虫、天敌种群及其群落结构差异·····	柯胜兵,党凤花,毕守东,等 (4161)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-07



封面图说:内地多呈灌木状的沙棘,在青藏高原就表现为高大的乔木,在拉萨河以及雅鲁藏布江沿岸常常可以看到高大的沙棘林和沼泽塔头湿地相映成趣的美丽景观。

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

周晓庆, 吴福忠, 杨万勤, 朱剑霄. 高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态. 生态学报, 2011, 31(14): 4144-4152.

Zhou X Q, Wu F Z, Yang W Q, Zhu J X. Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(14): 4144-4152.

高山森林凋落物分解过程中的微生物生物量动态

周晓庆, 吴福忠, 杨万勤*, 朱剑霄

(四川农业大学生态林业研究所, 林业生态工程重点实验室, 四川雅安 625014)

摘要:凋落物分解过程中的微生物生物量动态对于深入了解森林凋落物分解机理具有重要意义。为了解高山森林典型树种凋落物分解过程中的微生物生物量特征,采用凋落物分解袋法,研究了土壤冻结期(3月)、融冻期(4—5月)、生长季节(5—10月)和冻结初期(11月)红桦(*Betula albosinensis*)、岷江冷杉(*Abies faxoniana*)和粗枝云杉(*Picea asperata*)凋落物分解过程的微生物生物量 C(MBC)、微生物生物量 N(MBN)和微生物生物量 P(MBP)动态。4个关键时期,凋落物的 MBC、MBN 以生长季节最高,但非生长季节的3个关键时期也检测出较高的 MBC、MBN。在融冻期结束后,3类凋落物分解过程中 MBC 和 MBN 均出现爆发性增长。然而,MBP 在生长季节中期(8月)、完全冻结期(3月)和冻结初期(11月)均相对较低,但在融冻期和生长季节后期(9月)相对较高。另外,红桦凋落物的 MBC、MBN 和 MBP 含量均高于岷江冷杉和粗枝云杉凋落物(除4月粗枝云杉凋落物 MBP 异常升高外)。这些结果为更加清晰地认识高寒森林凋落物分解过程及机理,以及进一步理解陆地生态系统结构和功能提供了一定基础数据。

关键词:高山森林;凋落物分解;微生物生物量;冬季生态过程

Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest

ZHOU Xiaoping, WU Fuzhong, YANG Wanqin*, ZHU Jianxiao

Institute of Ecological Forestry, Sichuan Provincial Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China

Abstract: Microorganism plays an irreplaceable role in litter decomposition, and the dynamics of microbial activity in litters is of ecological significance in understanding the mechanism of litter decomposition. Microbial biomass serves their important statuses as a sensitive bio indicator of microbial activity in respond to environmental change. Seasonal freezing and thawing is one of the most significant environmental changes in many high latitude/altitude areas such as in alpine regions. The significant temperature fluctuations with related freezing, thawing and freeze thaw cycles could exhibit a strong effect on microbial biomass during litter decomposition in the cold season. As yet, more attentions have been given to the growing season, only a few studies have focused on litter decomposition and the related microbial activities in winter. Moreover, far less information has been available on the dynamics of microbial biomass in litter decomposition at different critical ecological stages as the growing period, the freezing period, completely frozen period as well as the thawing period. Therefore, litters of fir (*Abies faxoniana*), birch (*Betula albosinensis*) and spruce (*Picea asperata*), which are three dominant tree species in the alpine and subalpine forest of Western China, were put into the nylon bag and placed on the forest floor of a primary fir alpine forest in November, 2008. Litterbags were sampled in March (completely frozen period), April and May (thawing period), June, August, September and October (growing period), and November (freezing period, one-year decomposition), 2009, according to the monitored soil temperatures. Microbial biomass carbon (MBC),

基金项目:国家自然科学基金项目(30771702, 31000213);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-07-0592);国家“十二五”科技支撑计划课题(2011BAC09B05);四川省杰出青年学科带头人培养基金(07ZQ026-022)

收稿日期:2010-04-29; 修订日期:2010-11-05

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

microbial biomass nitrogen (MBN) and microbial biomass phosphorus (MBP) in litters were measured to characterize the dynamics of microbial biomass during litter decomposition in an alpine forest, and explore the microbial processes during litter decomposition in winter time. Similar to the general view, the highest MBC and MBN during litter decomposition were detected in growing period (June and August). Meanwhile, relative higher MBC and MBN during litter decomposition were also observed in the freeze-thaw season (March, April, May and November) compared with that in September. Just after the thawing period, significantly sharp increase of MBC and MBN were found in June during the decomposition of all three sampled litter. However, in disagreement with the dynamics of MBC and MBN, MBP showed the lower values in the mid-growing period (August), completely frozen period (March) and early freezing period (November) compared with the other periods. The higher MBP was detected in the thawing period (April and May) and later growing period (September) compared with other periods. In addition, MBC, MBN and MBP during birch litter decomposition were higher than those during fir and spruce litter decomposition in the whole first year decomposition process, except for the abnormal increase of MBP during spruce litter decomposition in April. The results provided efficient data to understand the process and mechanism of litter decomposition in the high-frigid forest ecosystem, and further understand the structure and function of terrestrial ecosystems. Moreover, the results suggested more attention should be paid to the ecological processes in winter time, especially for alpine and subalpine forest.

Key Words: alpine forest; litter decomposition; microbial biomass; wintertime ecological process

微生物是影响凋落物分解过程最为关键的因子之一^[1]。已有研究认为,冬季低温引起微生物休眠甚至死亡,表现出相对停滞的微生物活动,凋落物分解可以忽略不计^[2],这种认识使长期的研究更加关注生长季节的凋落物分解过程^[3-5],而非生长季节的凋落物分解过程及相关微生物活性的研究明显不足。近年来大量的研究表明,受季节性雪被和冻融循环影响明显的高纬度或高海拔地区,土壤和凋落物中仍然存在微生物活性,并影响土壤有机物质和凋落物分解^[6-7]。同时,冬季雪被和冻融循环对凋落物质量的影响将改变下一阶段的微生物底物特性,从而调控生长季节内凋落物分解过程中的微生物活性^[8]。此外,冻融循环对土壤理化性质的影响和对微生物的扰动作用,也将影响凋落物随后分解阶段的微生物活性。微生物生物量不仅可以在一定程度上代表参与凋落物分解过程中的微生物数量和活性,而且是活性有机碳和有效养分库的重要组成部分^[2]。但迄今为止,已有的研究很少从土壤冻结期、土壤融冻期、生长季节和土壤冻融期等4个关键时期来研究凋落物分解过程中的微生物生物量动态,这不利于深入理解凋落物分解过程以及生长季节与非生长季节之间的生态联系。

川西亚高山/高山森林是我国第2大林区(西南林区)的主体,地处长江上游和青藏高原东缘地区,在区域气候调节、水土保持、水源涵养和生物多样性保育等方面具有十分重要且不可替代的作用和地位^[9-11]。相对于低纬度森林和同纬度低海拔森林而言,川西高山森林受季节性雪被和冻融循环作用明显,凋落物分解在维持生态系统结构和功能方面具有更加重要的作用和功能^[12-14]。为更加深入地了解亚高山/高山森林生态系统过程,作者所在的研究团队自2008年以来,从土壤冻结期、土壤融冻期、生长季节和土壤冻融期等4个关键时期,开展了亚高山/高山森林生长和非生长季节的凋落物分解过程及相关的酶活性研究^[10-13],但尚未报道凋落物分解过程中的微生物生物量动态。为此,以川西高山森林分布最为广泛的岷江冷杉(*Abies faxoniana*)、红桦(*Betula albosinensi*)和粗枝云杉(*Picea asperata*)的凋落物为研究材料,采用凋落物袋法将凋落物置于岷江冷杉原始森林内,研究了四川关键时期凋落物分解过程中的微生物生物量动态,以期为更加清晰地了解凋落物的自然分解过程,揭示高山森林生态系统物质循环与能量流动过程提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域及样地概况

研究区域位于四川省理县毕棚沟(E102°53'—102°57', N31°14'—31°19'),地处青藏高原东缘与四川盆地

的过渡带。年降雨量约 850mm,年平均气温 2—4℃,最高气温 23℃,最低温度为-18℃。季节性冻融期长达 5—6 个月,冻融作用明显。研究区域的主要森林植被为岷江冷杉原始林,乔木层主要由岷江冷杉、红桦和粗枝云杉组成^[12-13]。林下灌木主要有箭竹(*Fargesia spathacea*)、高山杜鹃(*Rhododendron delavayi*)、三颗针(*Berberis sargentiana*)、花楸(*Sorbus rufopilosa*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、扁刺蔷薇(*Rosa weginzowii*)等;草本主要有蟹甲草(*Cacalia*. spp)、冷蕨(*Cystopteris montana*.)、苔草科和莎草科多属等。本研究选择具代表性的岷江冷杉原始林作为实验样地(海拔 3582m,坡向 NE45°,坡度 34°)。土壤为雏形土,土层浅薄,土体为 A-C 结构。有机层厚(15±2)cm,pH6.2^[12-13, 15]。

1.2 实验设计

采用凋落物分解袋的方法^[12]。2008 年 10 月秋季凋落物高峰期收集研究区域原始林下新鲜岷江冷杉、红桦和粗枝云杉凋落物,充分混匀后带回实验室风干。将不同物种的风干凋落物按岷江冷杉 15g、粗枝云杉 15g 和红桦 10g 分别装入孔径为 0.5mm、大小为 20cm×20cm 的封口凋落物分解袋,每一样品各 120 袋。于 2008 年 11 月中旬,去除样地表面凋落物层,将凋落物样袋按种类分别放置于样地土壤表层,让凋落物自然分解。凋落物初始特征如表 1 所示。

表 1 凋落物基本特征

Table 1 Initial characteristics of fir, birch and spruce litter (mean±SD, Level=0.05)

	岷江冷杉 <i>Abies faxoniana</i>	红桦 <i>Betula albosinensi</i>	粗枝云杉 <i>Picea asperata</i>
C/(g/kg)	545.80±6.20 A	526.00±6.70B	527.30±6.97 B
N/(g/kg)	13.80±0.50 A	14.5±0.40 A	12.08±0.21 B
P/(g/kg)	1.32±0.05 A	1.51±0.02 B	1.41±0.03 C
C/N	39.55 A	36.28 B	43.65 C
C/P	413.48 A	348.34 B	373.97 C
木质素/N	25.26 A	22.23 B	23.44 C

表中不同的上标代表不同凋落物种类(大写字母)之间的差异是否显著(T 检验, $P<0.05$)

根据基础调查和历年当地气象资料^[15],分土壤融冻期(4—5 月)、生长季节(5—9 月)、土壤冻融期(9—11 月)和土壤冻结期(11 月—翌年 3 月)采集放置的凋落物分解袋 5 袋。将样品装入已灭菌的封口聚乙烯袋,并标记,迅速放入冰盒中带回实验室。除去样品中的土壤、根系等杂质后,剪碎过 2mm 筛,一部分装入已灭菌的封口聚乙烯袋于 4℃ 保存,另一部分烘干测定凋落物干重。2 周内完成分析。

1.3 测定方法

称取 4℃ 保存的凋落物样品 1g 分析微生物生物量。凋落物微生物生物量 C(MBC)和 N(MBN)采用氯仿熏蒸-K₂SO₄浸提法制取待测液^[16-17],将待测组与空白对照组同时放入真空干燥箱中用去乙醇氯仿于 25℃ 熏蒸 24h 后抽除残留氯仿,加入 40 mL 0.5 mol/L K₂SO₄,振荡 20 min 后过滤,分别采用 K₂Cr₂O₇氧化-FeSO₄滴定法和半微量凯氏定 N 法测定 MBC 和 MBN 含量,MBC 和 MBN 的转换系数分别为 E_c (0.38)^[18], E_N (0.45)^[19]。氯仿熏蒸-碳酸氢钠浸提法测定微生物生物量(MBP)^[20],同时用外加无机 P 以确定 P 的提取回收率。以熏蒸与不熏蒸土样提取的 P 差值并校正提取回收率后,乘以转换系数 E_p (0.4)^[21]计算 MBP。分析结果以凋落物每单位干重的含量表示。

1.4 数据处理

所有数据均用 SPSS13.0 进行统计分析,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著性差异法(LSD)检验月份或物种间的差异。

2 结果与分析

2.1 微生物生物量碳(MBC)

3 个物种凋落物的 MBC 含量均表现出明显的季节变化规律(图 1)。总体而言,生长季节凋落物中的 MBC 均显著($P<0.05$)高于非生长季节(9 月除外),并在与生长季节过渡时 MBC 含量出现明显转折。岷江

冷杉和粗枝云杉凋落物的 MBC 表现出相似的变化规律, MBC 含量以 7 月最高, 而红桦凋落物的 MBC 含量以 8 月最高。4 个关键时期中, 土壤冻结期间(3 月)、土壤融冻期、生长季节和土壤冻融期间的红桦凋落物 MBC 显著高于岷江冷杉和粗枝云杉凋落物($P<0.05$), 但第 2 次土壤冻结期间(11 月), 红桦凋落物的 MBC 显著低于岷江冷杉和粗枝云杉凋落物($P<0.05$)。

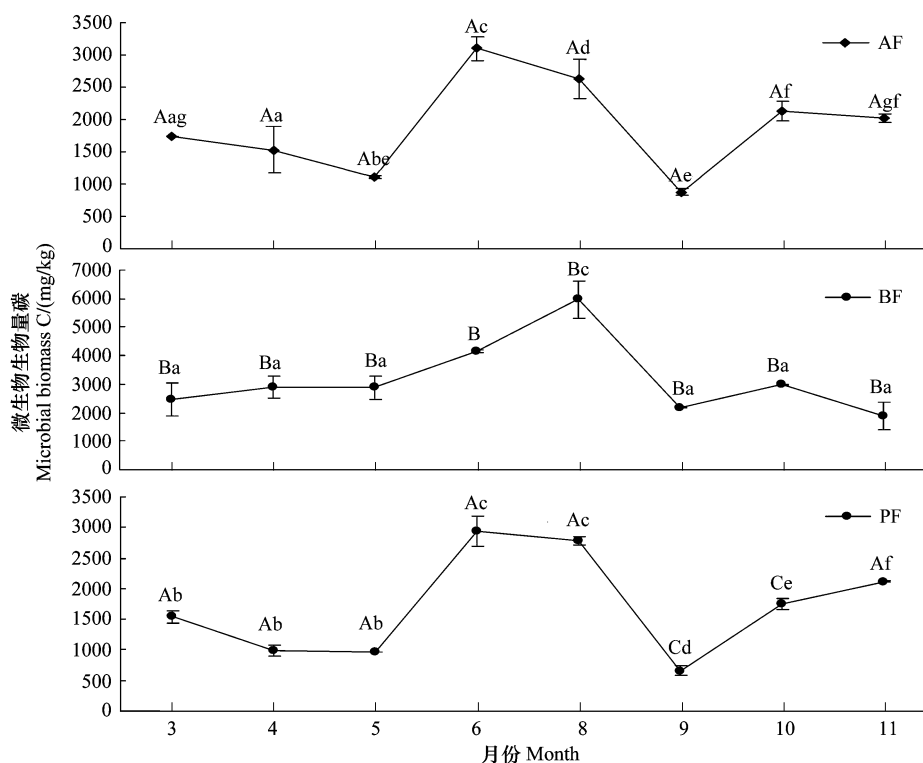


图 1 岷江冷杉(*Abies faxoniana*, AF)、红桦(*Betula albosinensis*, BF)和粗枝云杉(*Picea asperata*, PF). 凋落物分解过程中微生物生物量碳(MBC)动态

Fig. 1 Dynamics of microbial biomass carbon (MBC) during the decomposition of fir (*Abies faxoniana*, AF), birch (*Betula albosinensis*, BF) and (*Picea asperata*, PF) litters

图中不同的上标代表不同的取样时间(小写字母)之间、物种(大写字母)之间的差异是否显著(T 检验, $P<0.05$, $n=5$)

2.2 微生物生物量氮(MBN)

与 MBC 相似, 云杉和红桦凋落物的 MBN 均以生长季节显著($P<0.05$) 高于非生长季节(图 2)。红桦凋落物的 MBN 以 8 月显著($P<0.05$) 高于其他月份, 云杉凋落物的 MBN 以 7 月最高。4 个关键时期, 除土壤冻结初期(11 月)外, 红桦凋落物的 MBN 显著高于云杉凋落物, 冷杉凋落物的 MBN 最低, 但土壤冻结初期(11 月), 岷江冷杉凋落物的 MBN 显著高于红桦和粗枝云杉凋落物($P<0.05$)。

2.3 微生物生物量磷(MBP)

整个研究期间, 除 4 月粗枝云杉凋落物 MBP 异常升高外, 红桦凋落物 MBP 均大于其他两种凋落物 MBP (图 3)。与凋落物 MBC 和 MBN 不同, 3 种凋落物的 MBP 含量并未表现出一致的动态规律。红桦凋落物 MBP 在生长季节初期(5 月)和生长季节末期(9 月)明显高于其它时期($P<0.05$), 冻结期(3 月和 11 月)最低。岷江冷杉凋落物 MBP 表现出在 4 月、6 月和 10 月明显高于其他月份, 3 月、5 月和 8 月相对较低的趋势。而粗枝云杉凋落物 MBP 在土壤融冻期间(4 月)异常高于其他月份, 生长季节无明显差异($P>0.05$), 冻融期呈明显下降的趋势($P<0.05$)。

2.4 微生物生物量比

3 个物种凋落物 MBC/N、MBC/P 和 MBN/P 在 4 月和 9 月均相对较低, 而在 8 月相对较高(表 2)。在整

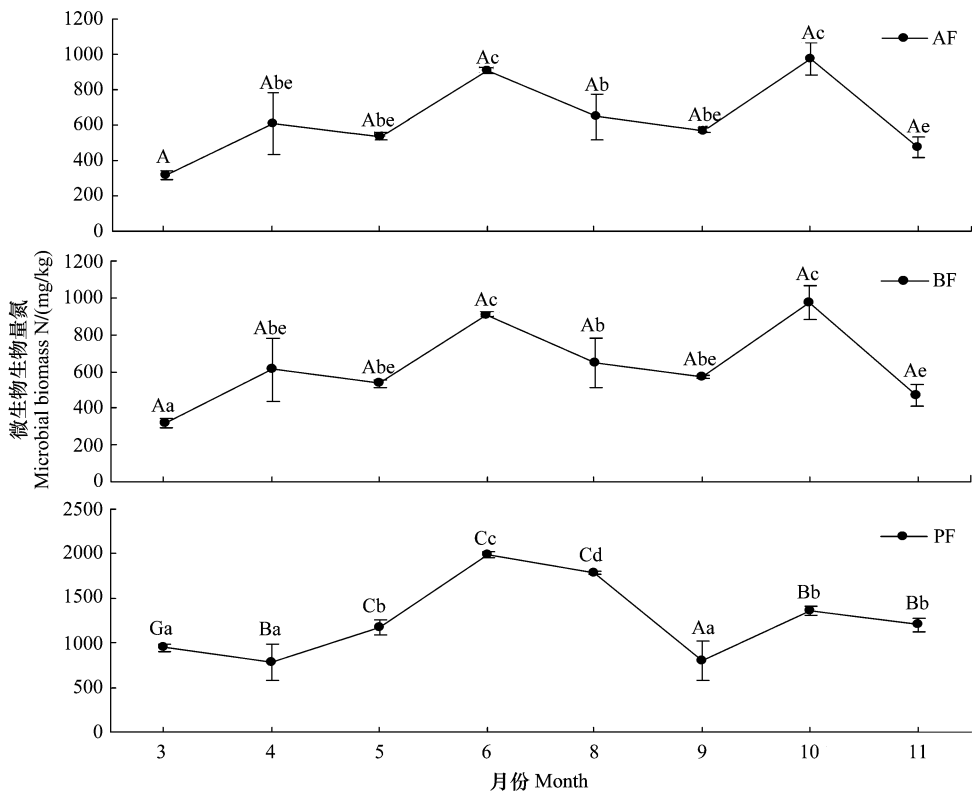


图2 岷江冷杉(*Abies faxoniana*, AF)、红桦(*Betula albosinensis*, BF)和粗枝云杉(*Picea asperata*, PF)凋落物分解过程中微生物生物量氮(MBN)动态

Fig. 2 Dynamics of microbial biomass nitrogen (MBN) during the decomposition of fir (*Abies faxoniana*, AF), birch (*Betula albosinensis*, BF) and (*Picea asperata*, PF) litters

个研究期间,相对于其他2个树种,岷江冷杉凋落物均表现出相对较高的MBC/N和MBC/P。除3月和4月外,粗枝云杉凋落物MBN/P在整个研究期间均相对较高($P<0.05$),且受冻融作用影响最为显著,在融冻末期小幅下降后即迅速上升到达峰值,而冻融期开始则迅速下降,然后快速回升到研究期间的最大峰值。红桦凋落物各微生物生物量比值在研究期间波动最小。

表2 高山森林岷江冷杉(*Abies faxoniana*, AF)、红桦(*Betula albosinensis*, BF)和粗枝云杉(*Picea asperata*, PF)凋落物分解过程中微生物生物量碳氮比(MBC/N)、碳磷比(MBC/P)和氮磷比(MBN/P)

Table 2 The rates (mean $\pm$ SD) of MBC/N, MBC/P and MBN/P during the decomposition of fir (*Abies faxoniana*, AF), birch (*Betula albosinensis*, BF) and (*Picea asperata*, PF) litters in alpine forest

月份 Month	微生物生物量 C/N (MBC/N)			微生物生物量 C/P (MBC/P)			微生物生物量 N/P (MBN/P)		
	岷江冷杉 AF	红桦 BF	粗枝云杉 PF	岷江冷杉 AF	红桦 BF	粗枝云杉 PF	岷江冷杉 AF	红桦 BF	粗枝云杉 PF
3	5.47 $\pm$ 0.44 Aa	4.29 $\pm$ 0.19 Bad	1.63 $\pm$ 0.03Cad	278.54 $\pm$ 19.93Aa	83.07 $\pm$ 21.38 Ba	51.15 $\pm$ 6.71 Bab	51.01 $\pm$ 3.82Aa	19.23 $\pm$ 4.15Ba	31.30 $\pm$ 3.52 Cab
4	2.53 $\pm$ 0.15 Ab	2.82 $\pm$ 0.18 Ab	1.32 $\pm$ 0.25 Bb	53.78 $\pm$ 16.08 Ab	56.73 $\pm$ 6.43 Ab	5.85 $\pm$ 0.48 Ba	21.56 $\pm$ 7.56 Abe	20.05 $\pm$ 1.03 Aa	4.59 $\pm$ 1.20Ba
5	2.07 $\pm$ 0.11 Ab	3.39 $\pm$ 0.31Bab	0.82 $\pm$ 0.06 Cc	93.71 $\pm$ 31.63 Ac	29.77 $\pm$ 1.82 Bc	52.37 $\pm$ 11.78 Bab	44.81 $\pm$ 12.79 Aac	8.86 $\pm$ 1.37 Bb	63.11 $\pm$ 9.74 Abc
6	3.41 $\pm$ 0.26 Ac	3.55 $\pm$ 0.07 Aab	1.47 $\pm$ 0.15 Bab	83.97 $\pm$ 3.95 Ac	54.98 $\pm$ 10.02 Bb	120.36 $\pm$ 5.55 Cbc	24.65 $\pm$ 0.70Abe	15.52 $\pm$ 3.13 Bad	82.06 $\pm$ 4.60 Ccd
8	4.12 $\pm$ 0.37 Ad	1.35 $\pm$ 0.07 Bc	1.55 $\pm$ 0.02Bad	159.68 $\pm$ 21.36 Ad	81.67 $\pm$ 7.68 Ba	169.82 $\pm$ 55.00 Ac	39.26 $\pm$ 8.61 Acd	60.48 $\pm$ 2.76 Ac	109.80 $\pm$ 36.87 Bd
9	1.54 $\pm$ 0.11 Ae	1.55 $\pm$ 0.06 Ac	0.84 $\pm$ 0.14 Bc	44.16 $\pm$ 9.48 Ab	23.46 $\pm$ 3.12 Bc	29.67 $\pm$ 3.99 Bad	28.64 $\pm$ 5.15 Abde	15.10 $\pm$ 1.63 Bad	35.79 $\pm$ 5.99Aabe
10	2.18 $\pm$ 0.05Ab	2.42 $\pm$ 0.14 Bbc	1.29 $\pm$ 0.11 Cb	65.29 $\pm$ 9.43 Abe	48.64 $\pm$ 9.31 Bb	93.70 $\pm$ 5.45 Cbd	29.99 $\pm$ 5.02 Abd	20.25 $\pm$ 4.59 Ba	72.74 $\pm$ 4.87 Ccde
11	4.30 $\pm$ 0.41 Ad	5.44 $\pm$ 2.02Ad	1.76 $\pm$ 0.10 Bd	73.06 $\pm$ 3.12 Abc	53.55 $\pm$ 12.24 Ab	473.06 $\pm$ 104.84 Be	17.06 $\pm$ 1.42 Ae	10.65 $\pm$ 4.28Abd	268.50 $\pm$ 50.79 Bf

图中不同的上标代表不同的取样时间(小写字母)之间、物种(大写字母)之间的差异是否显著(T 检验, $P<0.05$, $n=5$)

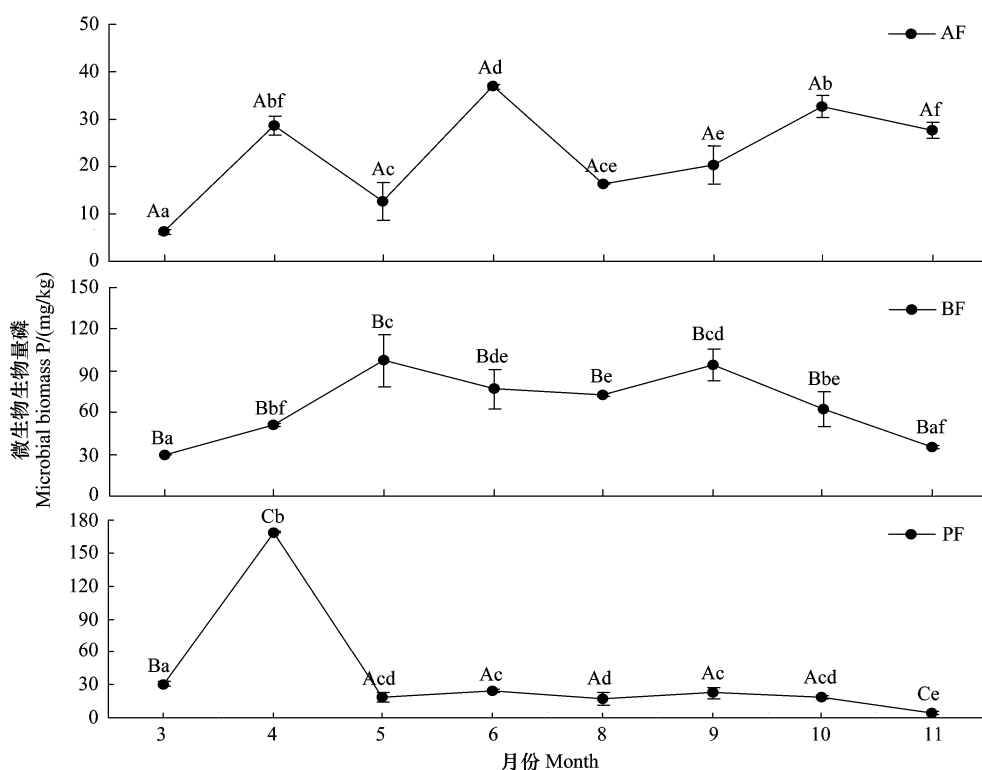


图3 岷江冷杉(*Abies faxoniana*, AF)、红桦(*Betula albosinensis*, BF)和粗枝云杉(*Picea asperata*, PF)凋落物分解过程中微生物生物量磷(MBP)动态

Fig. 3 Dynamics of microbial biomass phosphorus (MBP) during the decomposition of fir (*Abies faxoniana*, AF), birch (*Betula albosinensis*, BF) and (*Picea asperata*, PF) litters

3 讨论与结论

森林凋落物分解过程中的微生物生物量含量动态可以指示凋落物分解过程中微生物数量和活性,对于描述微生物在凋落物分解过程中的作用具有重要意义^[20]。由于调查方法的限制和对冬季土壤生态过程的理解不够,过去常常认为冬季凋落物分解过程基本可以忽略,微生物活动基本停滞^[14, 22]。但最近对寒冷地区冬季土壤微生物多样性的研究表明,即使在土壤完全冻结条件下仍然检测到较高的微生物多样性^[4, 23]。本项研究结果发现,尽管4个关键时期以生长季节的凋落物具有最高的MBC、MBN和MBP(除4月粗枝云杉凋落物MBP异常升高外),但在非生长季节仍然检测到较高的MBC、MBN和MBP,即使在土壤冻结期也检测到一定的微生物生物量。这一方面说明冬季低温限制了凋落物分解过程中微生物活动,另一方面也表明完全冻结条件下凋落物分解过程中仍然存在相对活跃的微生物活动。

MBC主要表征凋落物分解过程中活体微生物的生物量,是活体微生物数量的直接体现^[4]。已有研究发现在季节性冻融区凋落物在季节性冻融期间其木质素和纤维素的降解率为全年降解的70%—75%^[24],尽管存在养分淋溶,但在季节性冻融期间可能更多的养分被微生物利用,因此本研究中各凋落物在季节性冻融期间均检测到了一定的微生物生物量。而本项研究中凋落物分解过程中MBC含量在2种针叶凋落物和红桦凋落物间表现出明显差异。由于相对于阔叶凋落物,针叶林的C/N、木质素/N以及萜类物质和酚类物质含量较高^[25-26],微生物底物有效性较差,所能支持的微生物类群及数量相对较少^[25],因而两类针叶凋落物分解过程中MBC含量均相对较低。这也可能是阔叶与针叶凋落物分解过程中MBC动态规律不一致的重要原因。由于阔叶凋落物分解过程中具有相对丰富的微生物类群且冬季冻结作用及冻融循环进一步提高了微生物底物有效性^[27],因此本研究中红桦凋落物分解过程中MBC含量在融冻期(3—5月)并未明显下降,而在生长季节(5—8月)随着温度和湿度的提高急剧上升。生长季节易分解物质的大量丧失^[28],很大程度地降低了凋落物

质量,使得微生物底物有效性下降,表现为 MBC 含量在生长季节后期(9 月)快速下降,而微生物持续活动的累积作用导致生长季节末期 MBC 略有增加,而冻融初期温度的变化和频繁冻融作用的影响直接降低了 MBC。3 类凋落物分解过程中 MBC/N、MBC/P 和 MBN/P 在 9 月均相对较低的结果也充分证明了这一点。相反,针叶凋落物分解过程中微生物类群和数量相对较小^[29],受环境变化的影响相对较大,因而在融冻期(3 月—5 月)明显下降。虽然冬季冻融作用提高了微生物底物有效性,刺激了生长季节初期(5—6 月)MBC 的快速提高,但是由于针叶凋落物特征的限制,MBC 在生长季节中期(6—8 月)相对稳定。

MBN 和 MBP 不仅是凋落物分解过程中微生物利用 N 和 P 特征的重要指标,而且也是 N 和 P 活性成分的重要组成部分^[25],是凋落物 N 和 P 的释放以及转化的重要环节^[26]。相对于两种针叶凋落物,红桦凋落物在分解过程中具有较高的 MBN 和 MBP 含量,这主要与凋落物自身 N 含量和凋落物质量有关(表 1)。Cotrufo^[30]认为在分解初期 N 含量是一个主要分解控制因素,在后期则由木质素主导;P 相关的各种质量因素(如 P 浓度、C/P 比等)也是制约分解的重要因子^[31-32]在许多生态系统中,由于人类活动造成氮沉降的显著增加,氮不再是生态系统各种过程的制约因素,而 P 可能成为主要限制元素。Aerts^[33]发现,磷及与磷有关的各种质量参数(如酚/P 比,木质素/P 比,C/P 比,N/P 比)在落叶分解的初期(3 个月内)与分解速率显著相关,而较长期的分解(>1a)主要受酚/N 比、酚/P 比、木质素/N 比和 C/N 比支配。因此 4 月粗枝云杉凋落物分解过程中 MBP 显著升高。由于 N 和 P 的元素特征以及微生物利用机制的差异^[4,6],MBN 和 MBP 在凋落物分解过程中的动态规律并不一致。3 类凋落物分解过程中 MBN 的动态规律与 MBC 基本一致,这主要与微生物底物有效性的动态变化以及凋落物自身的特性密切相关。然而,红桦凋落物 MBP 在 5 月和 9 月较高,而 3 月、8 月和 11 月相对较低。可能的原因是 P 是限制红桦凋落物分解的重要元素。从前面的分析可知,凋落物分解过程中微生物数量在融冻末期和生长季节后期可能相对较低,由于 P 可以被微生物固定再利用^[34],有限的 P 在较少微生物利用条件下表现出相对较高的 MBP 含量。相反,生长季节中期相对较高的微生物丰度可能导致 P 吸收的竞争,表现出相对较低的 MBP 含量,而 3 月和 11 月低温直接导致了微生物的衰减。同样地,两类针叶凋落物由于微生物底物有效性的动态差异及其与环境变化的综合作用,使得微生物利用有限 P 元素的格局存在明显差异。

综上所述,高山森林 3 类典型树种凋落物分解过程中 MBC、MBN 和 MBP 均表现出明显的季节变化特征。尽管生长季节具有相对较高的微生物生物量,3 类凋落物在完全冻结期仍然具有一定含量的微生物生物量,且冬季冻结作用和融冻过程中的冻融循环可能提高了微生物底物有效性,促进了微生物生长,增加了微生物生物量。相对于针叶凋落物,阔叶凋落物在分解过程中具有相对较高的 MBC、MBN 和 MBP,且对环境变化引起的微生物底物有效性动态的响应更加明显。尽管本项研究所发现的凋落物分解过程中微生物生物量变化的具体作用机制还存在很大的不确定性,亟待进一步深入的研究,但这些研究结果在一定程度上为更加清晰地了解凋落物分解过程以及冻融循环对森林生态系统物质循环和能量流动的影响提供了一定的基础依据和研究思路。

References:

- [1] Taylor J P, Wilson B, Mills M S, Burns R G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(3): 387-401.
- [2] Lavelle P. Ecological challenges for soil science. *Soil Science*, 2000, 165(1): 73-86.
- [3] Yang W Q, Feng R F, Zhang J, Wang K Y. Carbon stock and biochemical properties in the organic layer and mineral soil under three subalpine forests in Western China. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(10): 4157-4165.
- [4] Larsen K S, Jonasson S, Michelsen A. Repeated freeze-thaw cycles and their effects on biological processes in two arctic ecosystem types. *Applied Soil Ecology*, 2002, 21(3): 187-195.
- [5] Wu F Z, Wang K Y, Yang W Q, Lu Y J, Qiao Y Z. Effects of *Fargesia denudata* density on seasonal changes in litter nutrient concentrations and their potential retranslocation. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(4): 537-542.
- [6] Sulkava P, Huhta V. Effects of hard frost and freeze-thaw cycles on decomposer communities and N mineralization in boreal forest soil. *Applied Soil*

- Ecology, 2003, 22(3): 225-239.
- [7] Withington C L, Sanford R L Jr. Decomposition rates of buried substrates increase with altitude in the forest-alpine tundra ecotone. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(1): 68-75.
- [8] Christenson L M, Mitchell M J, Groffman P M, Lovett G M. Winter climate change implications for decomposition in northeastern forests: comparisons of sugar maple litter with herbivore fecal inputs. Global Change Biology, 2010, 16(9): 2589-2601.
- [9] Yang W Q, Wang K Y, Kellomäki S, Zhang J. Annual and monthly variations in litter macronutrients of three subalpine forests in western China. Pedosphere, 2006, 16(6): 788-798.
- [10] Deng R J, Yang W Q, Wu F Z. Effects of seasonal freeze-thaw on the enzyme activities in *Abies faxoniana* and *Betula platyphylla* litters. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(5): 1026-1031.
- [11] Yang W Q, Wang K Y, Kellomäki S, Gong H D. Litter dynamics of three subalpine forests in western Sichuan. Pedosphere, 2005, 15(5): 653-659.
- [12] Wu F Z, Yang W Q, Zhang J, Deng R J. Litter decomposition in two subalpine forests during the freeze-thaw season. Acta Oecologica, 2010, 36(1): 135-140.
- [13] Wu F Z, Yang W Q, Zhang J, Deng R J. Fine root decomposition in two subalpine forests during the freeze-thaw season. Canadian Journal of Forest Research, 2010, 40(2): 298-307.
- [14] Yang W Q, Wu F Z, Zhang J. Advances in wintertime ecological process of seasonal frozen soil region// Dong M, Werger M J A, eds. Ecological Spectrum. Chongqing: Southwest China Normal University Press, 2009: 268-274.
- [15] Tan B, Wu F Z, Yang W Q, Liu L, Yu S. Characteristics of soil animal community in the subalpine/alpine forests of western Sichuan during onset of freezing. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(2): 93-99.
- [16] Ran H, Liu Q B. Effects of seasonal freezing-thawing on microbial count and biomass in *Abies faxoniana* and *Betula platyphylla* litters. Journal of Sichuan Agricultural University, 2009, 27(4): 450-454.
- [17] Wu J S, Xiao H A, Chen G Q, Huang M. Measurement of microbial biomass-P in upland soils in China. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(1): 70-78.
- [18] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19(6): 703-707.
- [19] Brookes P C, Landman A, Pruden G, Jenkinson D S. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. Soil Biology and Biochemistry, 1985, 17(6): 837-842.
- [20] Yang W Q, Deng R J, Zhang J. Forest litter decomposition and its responses to global climate change. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(12): 2889-2895.
- [21] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. Soil Biology and Biochemistry, 1982, 14(4): 319-329.
- [22] Yang S Z, Jing H J. Physiological and ecological effects of freezing and thawing processes on microorganisms in seasonally-frozen ground and in permafrost. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5065-074.
- [23] Liu L, Wu F Z, Yang W Q, Wang A, Tan B, Yu S. Soil bacterial diversity in the subalpine/alpine forests of western Sichuan at the early stage of freeze-thaw season. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(20): 5687-5694.
- [24] Deng R J, Yang W Q, Zhang J, Wu F Z. Changes in litter quality of subalpine forests during one freeze-thaw season. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(3): 830-835.
- [25] Taylor B R, Parkinson D, Parsons W F J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. Ecology, 1989, 70(1): 97-104.
- [26] Guan Z Y, Zhao Y, Tong X L. Effect of polyphenol of leaf litter on the leaf breakdown in a subtropical Stream. Ecological Science, 2008, 27(5): 436-439.
- [27] Berg B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. Forest Ecology and Management, 2000, 133(1/2): 13-22.
- [28] Garcia-Pausas J, Casals P, Romanyà J. Litter decomposition and faunal activity in Mediterranean forest soils: effect of N content and the moss layer. Soil Biology and Biochemistry, 2004, 36(6): 989-997.
- [29] Tian X J, Takahiro T. Relative roles of microorganisms and soil animals on needle litter decomposition in a subalpine coniferous forest. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(3): 257-263.
- [30] Cotrufo M F, Ineson P. Effects of enhanced atmosphere CO₂ and nutrient supply on the quality and subsequent decomposition of fine roots of *Betula pendula* Roth. and *Picea sitchensis* (Bong.) Carr.. Plant and Soil, 1995, 170(2): 267-277.
- [31] Berg B, Müller M, Wessén B. Decomposition of red clover (*Trifolium pratense*) roots. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19(5): 589-593.

- [32] Melin E. Biological decomposition of some types of litter from North American forests. *Ecology*, 1930, 11(1): 72-101.
- [33] Aerts R, de Caluwe H. Nutritional and plant-mediated controls on leaf litter decomposition of *Carex* species. *Ecology*, 1997, 78(1): 244-260.
- [34] Chen J H, Zou X M, Yang X D. Retention of plant available P in acid soils of tropical and subtropical evergreen broad-leaved forests. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2294-2300.

参考文献:

- [5] 吴福忠, 王开运, 杨万勤, 鲁叶江, 乔匀周. 密度对缺苞箭竹凋落物生物元素动态及其潜在转移能力的影响. *植物生态学报*, 2005, 29(4): 537-542.
- [10] 邓仁菊, 杨万勤, 吴福忠. 季节性冻融对岷江冷杉和白桦凋落物分解过程中的酶活性的影响. *应用生态学报*, 2009, 20(5): 1026-1031.
- [14] 杨万勤, 吴福忠, 张健. 季节性冻土区冬季生态过程研究进展 // 董鸣, Werger M J A eds. *生态学文集*. 重庆: 西南师范大学出版社, 2009: 268-274.
- [16] 冉华, 刘泉波. 季节性冻融对岷江冷杉和白桦凋落物微生物数量及生物量的影响. *四川农业大学学报*, 2009, 27(4): 450-454.
- [17] 吴金水, 肖和艾, 陈桂秋, 黄敏. 旱地土壤微生物磷测定方法研究. *土壤学报*, 2003, 40(1): 70-78.
- [20] 杨万勤, 邓仁菊, 张健. 森林凋落物分解及其对全球气候变化的响应. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2889-2895.
- [22] 杨思忠, 金会军. 冻融作用对冻土区微生物生理和生态的影响. *生态学报*, 2008, 28(10): 5065-5074.
- [23] 刘利, 吴福忠, 杨万勤, 王奥, 谭波, 余胜. 季节性冻结初期川西亚高山/高山森林土壤细菌多样性. *生态学报*, 2010, 30(20): 5687-5694.
- [24] 邓仁菊, 杨万勤, 张健, 吴福忠. 季节性冻融期间亚高山森林凋落物的质量变化. *生态学报*, 2010, 30(3): 830-835.
- [26] 官昭璞, 赵颖, 童晓立. 亚热带溪流中树叶凋落物多酚含量对树叶分解过程的影响. *生态科学*, 2008, 27(5): 436-439.
- [34] 陈建会, 邹晓明, 杨效东. 热带亚热带常绿阔叶林维持酸性土壤有效磷水平的磷转化过程. *生态学报*, 2006, 26(7): 2294-2300.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 14 July, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

The sensitivity of Xiamen's three industrial sectors to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (3863)
Desertification and change of landscape pattern in the Source Region of Yellow River	 HU Guangyin, DONG Zhibao, LU Junfeng, et al (3872)
Comparison of ecological significance of landscape diversity changes in karst mountains: a case study of 4 typical karst area in Guizhou Province	 LUO Guangjie, LI Yangbing, WANG Shijie, et al (3882)
Analysis on urban heat island effect based on the dynamics of urban surface biophysical descriptors	 XU Hanqiu (3890)
Primary exploration on the ecological land use classification in Beijing	TANG Xiumei, CHEN Baiming, LU Qingbin, et al (3902)
Changes of spectral reflectance of <i>Pinus koraiensis</i> and <i>Abies nephrolepis</i> along altitudinal gradients in Changbai Mountain	 FAN Xiuhua, LIU Weiguo, LU Wenmin, et al (3910)
Biomass allocation patterns and allometric models of <i>Abies nephrolepis</i> Maxim	 WANG Jinsong, ZHANG Chunyu, FAN Xiuhua, et al (3918)
Niche analysis of dominant species of macrobenthic community at a tidal flat of Yushan Island	 JIAO Haifeng, SHI Huixiong, YOU Zhongjie, et al (3928)
The influence of different food qualities on the energy budget and digestive tract morphology of Tree Sparrows <i>passer montanus</i>	 YANG Zhihong, SHAO Shuli (3937)
The response of ecosystem service values to ambient environment and its spatial scales in typical karst areas of northwest Guangxi, China	 ZHANG Mingyang, WANG Kelin, LIU Huiyu, et al (3947)
Root morphology characteristics under alternate furrow irrigation	LI Caixia, SUN Jingsheng, ZHOU Xinguo, et al (3956)
Allelopathy of the root exudates from different resistant eggplants to verticillium wilt (<i>Verticillium dahliae</i> Kleb.)	 ZHOU Baoli, CHEN Zhixia, DU Liang, et al (3964)
Biological cycle and accumulation of lanthanum in the forage-mushroom-soil system	 WENG Boqi, JIANG Zhaowei, WANG Yixiang, et al (3973)
Evaluation of soil loss and transportation load of adsorption N and P in Poyang Lake watershed	 YU Jinxiang, ZHENG Bofu, LIU Yafei, et al (3980)
Effects of soil resource availabilities on vertical distribution and dynamics of fine roots in a <i>Caragana korshinskii</i> plantation	 SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (3990)
Effects of soil salinization on ammonia volatilization characteristics of urea and urea phosphate	 LIANG Fei, TIAN Changyan (3999)
Distribution of marine bacteria and their environmental factors in Xiangshan Bay	 YANG Jifang, WANG Haili, CHEN Fusheng, et al (4007)
Concentration of O ₃ at the atmospheric surface affects the changes characters of antioxidant enzyme activities in <i>Triticum aestivum</i>	 WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (4019)
Effects of inhibitor and safener on enzyme activity and phenanthrene metabolism in root of tall fescue	 GONG Shuaishuai, HAN Jin, GAO Yanzheng, et al (4027)
Screening of highly-effective rhizobial strains on Alfalfa (<i>Medicago polymorpha</i>) in soil	 LIU Xiaoyun, GUO Zhenguo, LI Qiaoxian, et al (4034)
Geochemical evolution processes of soil major elements in the forest-dominated Jinshui River Basin, the upper Hanjiang River	 HE Wenming, ZHOU Jie, ZHANG Changsheng, et al (4042)
Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages	 LIU Qin, YAN Changrong, MEI Xurong, et al (4056)
A model for predicting flowering date and external quality of cut tulip in solar greenhouse	 LI Gang, CHEN Yaru, DAI Jianfeng, et al (4062)
Moisture effect analysis of pumpkin and oil sunflower intercropping in semi-arid area of northwest Hebei Province	 HUANG Wei, ZHANG Junhua, LI Wenhong, et al (4072)
Review and Monograph	
Theoretical backgrounds and recent advances in avian molecular phylogeography	DONG Lu, ZHANG Yanyun (4082)
A review on spatial attributes of nature reserves and optimal site-selection methods	WANG Yicheng (4094)
Human activities are the principle cause of biotic homogenization	CHEN Guoqi, QIANG Sheng (4107)
Factors influencing the occurrence of <i>Ophiocordyceps sinensis</i>	ZHANG Guren, YU Junfeng, WU Guangguo, et al (4117)
Molecular detection of diversity of methanogens and methanotrophs in natural wetland soil	SHE Chenxing, TONG Chuan (4126)
Scientific Note	
Soil quality assessment of continuous cropping cotton fields for different years in a typical oasis in the upper reaches of the Tarim River	GONG Lu, ZHANG Haifeng, LÜ Guanghui, et al (4136)
Dynamics of microbial biomass during litter decomposition in the alpine forest	 ZHOU Xiaoping, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4144)
The aerodynamic roughness length of biological soil crusts: a case study of Gurbantungut Desert	 WANG Xueqin, ZHANG Yuanming, ZHANG Weimin, et al (4153)
Differences among population quantities and community structures of pests and their natural enemies in tea gardens of different altitudes	KE Shengbing, DANG Fenghua, BI Shoudong, et al (4161)

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 14 期 (2011 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 14 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		



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