

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.04.011

伍恩华, 刘强. 海南岛北部木麻黄林凋落物与土壤养分、细根生物量的关系[J]. 广西植物, 2013, 33(4): 488-495

Wu EH, Liu Q. Relations among litters, soil nutrients and fine root biomass of *Casuarina equisetifolia* in the north of Hainan Island[J]. *Guihaia*, 2013, 33(4): 488-495

海南岛北部木麻黄林凋落物与土壤 养分、细根生物量的关系

伍恩华^{1 2 3}, 刘强^{1 2*}

(1. 热带动植物生态学省部共建教育部重点实验室, 海口 571158; 2. 海南师范大学 生命科学学院, 海口 571158; 3. 中核陕西铀浓缩有限公司, 陕西 汉中, 723312)

摘要: 通过对海口市桂林洋海岸木麻黄防护林地地表凋落物进行持续清除处理, 与保留凋落物层的对照样地进行比较实验, 研究防护林凋落物-土壤养分-细根生物量三者之间的关系。结果表明: (1) 处理样地与对照样地的年凋落物量分别是 6.0162 和 5.9505 t·hm⁻², 但无显著性差异。两种样地一年内凋落物量变化的时间格局较一致。凋落物组成均为小枝占比例最高, 且小枝凋落物量月动态与凋落物总量月动态相似, 杂物占比例次之, 皮+枝占的比例最小; (2) N、P、K 元素归还量的月动态变化在两样地中均较一致。两样地中小枝养分归还量的大小顺序为 N>K>P; (3) 处理样地在短时间无新鲜凋落物输入情况下, 两样地的土壤养分含量无显著性差异; (4) 两样地的细根生物量季节动态均呈现“单峰”特征, 细根生物量在实验期间无显著性差异, 但处理样地的细根生物量有随时间延长低于对照样地的趋势, 清除凋落物的处理可能会引起细根生物量的减少。

关键词: 木麻黄; 凋落物; 土壤养分; 细根生物量

中图分类号: Q945 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2013)04-0488-08

Relations among litters, soil nutrients and fine root biomass of *Casuarina equisetifolia* in the north of Hainan Island

WU En-Hua^{1 2 3}, LIU Qiang^{1 2*}

(1. Key Laboratory for Tropical Animal and Plant Ecology Co-established by Hainan Province and the Ministry of Education, Haikou 571158, China; 2. College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158, China; 3. CNNC Shaanxi Uranium Enrichment Limited Company, Hanzhong 723312, China)

Abstract: The relations among litters, soil nutrients and fine root biomass of *Casuarina equisetifolia* plantation as wind-break were studied by comparing treatment (litters removed) and control (litters preserved) sites on the coast of Gui Linyang, Haikou City. The main results were as follows: (1) Annual litters in the sites of treatment and control were 6.0162 t·hm⁻² and 5.9505 t·hm⁻² respectively. According to the statistic analysis, there was no significant difference between the two sites. It seemed that the temporal patterns of litters were similar in the two sites. In the components of litters, the leaf litters took up the largest percentage and their monthly dynamics were similar with the total litters. The miscellaneous litters took the second place. Bark and branches litters took the least percentage; (2) It seemed that there

收稿日期: 2012-10-18 修回日期: 2013-03-31

基金项目: 教育部科技研究重点项目(205126); 英国皇家学会资助(LJC/China/2005R1/Liu); 国家科技支撑计划课题(2012BAC18B04)

作者简介: 伍恩华(1985-), 女, 重庆荣昌人, 硕士, 助理工程师, 主要从事恢复生态学研究 (E-mail) enhua_wu@163.com。

通讯作者: 刘强, 博士, 教授, 主要从事恢复生态学、生物地球化学和生态系统功能动态研究 (E-mail) hnsylq@163.com。

was a same monthly pattern of N, P and K return from the litters in the two sites respectively. The order of quantity about the nutrients returned from the leaves was $N > K > P$; (3) If there was no fresh litter in the treatment site in a short time, the soil nutrients had no significant between the two sites; (4) The seasonal dynamics of fine root biomass had a "single apex" respectively and no significant difference between the two sites during the experiment, but with the time's increase, the treatment site's fine root biomass had a lower trend than the control site. Maybe one of the reasons on reducing the fine root biomass was litter clearing.

Key words: *Casuarina equisetifolia*; litter; soil nutrients; fine root biomass

木麻黄(*Casuarina equisetifolia*)属木麻黄科木麻黄属常绿乔木,为我国东南沿海营造防护林的主要树种,在防御沿海自然灾害、改善生态环境等方面发挥了巨大作用。木麻黄主要生长在土壤养分贫瘠的海岸沙地上,林地养分状况是决定其生长状况的主要因素之一,而养分的主要来源是凋落物、大气干湿沉降及土壤母质的风化。不同森林群落的凋落量、贮量、养分归还量及凋落物分解速率,对林下土壤肥力状况的影响不尽相同(林波等,2003)。杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)凋落物分解造成土壤pH值下降,杉木凋落物的分解还使土壤水解氮和有效磷缺乏,而檫树(*Sassafras tzumu*)和马尾松处理则能提供比对照更多的有效养分(徐秋芳等,1998)。腐殖土层和土壤层中营养元素含量的变化和凋落物分解的元素释放有密切关系,特别是腐殖土层中的营养元素含量直接与凋落物的分解相关(殷秀琴等,2007)。土壤氮库含量与凋落物凋落量之间存在显著线性正相关关系,土壤磷库含量也与凋落物凋落量间存在显著正相关关系(阎恩荣等,2008)。继续对土壤养分含量与凋落物养分含量和养分归还量进行线性相关分析,结果表明,土壤养分含量与凋落物养分归还量的关系更为密切。

细根(fine root)通常指直径小于2.00 mm的根,包括菌根,在森林生态系统能量流动和物质循环中起关键性作用(Usman *et al.*, 2000)。细根生长受土壤养分、水分、pH值、温度以及二氧化碳浓度等因素的影响(张小全,2001),而土壤水分、养分对细根生长影响最明显(Aerts *et al.*, 1999)。其中土壤养分直接影响细根活力和碳水化合物的分配,从而影响树木细根的生产 and 周转。汪思龙等(1992)的研究表明:凋落物对根系生长有一定的改善效果。本文通过研究木麻黄防护林中地表凋落物—土壤养分—细根生物量之间的关系来探讨木麻黄防护林的养分动态,有助于检验木麻黄对贫瘠养分生境的适应能力是否与凋落物有关,使人们更清楚地了解提

高木麻黄林的生产力和产生良好生态效益的机制,为木麻黄防护林的营林措施提供理论依据。

1 研究地概况

研究地位于海南岛北部海口市的桂林洋海岸木麻黄林(20°01.032' N, 110°31.317' E),其林龄约为30 a。桂林洋海滨距离海口市约15 km,海岸线长约6.8 km,属于热带海洋季风气候。年均气温23.8℃,夏季长冬季短,季节特征不明显,日照时间长,热量丰富,终年无霜雪,雨量充沛。年均降雨量1500~2000 mm,有明显的多雨季和少雨季。多雨季为5~10月,雨量占年总量的75%~91%,9月为降雨高峰期,平均雨量为300.7 mm,少雨季为11月至次年4月,降雨量占全年降雨量的10%~20%。每年4~10月是热带风暴、台风活跃季节,以8~9月为最多。一年之中7、8月气温最高,月平均29℃左右,1月最低,月平均17.2℃左右。研究地土壤为滨海沙土。

2 研究方法

2.1 实验设计

在海岸木麻黄林中随机设置3个处理样地(清除凋落物)和3个对照样地(保留凋落物),各样地内均设1个10 m×10 m的样方,即处理样地和对照样地中均为3个样方,共6个。各样方在土壤、海拔、坡度、坡向等环境条件方面基本一致。自试验之日(2008年9月6日)起,处理样地每隔半月对地表凋落物进行1次清除,对照样地则保留凋落物。

2.2 样品采集及测定

2.2.1 木麻黄凋落物量的测定 2008年9月6日在各样方中随机放置3个大小为1 m×1 m的凋落物收集网,网的孔径为1 mm,收集网用木棍支起离地面约0.5 m。从2008年12月6日~2009年12月6日每月6日一次收集凋落物,带回实验室分成叶

(实为小枝,木麻黄的叶极度退化成细小透明鳞片状,小枝绿色或灰绿色,替代叶具光合作用功能)、皮+枝和杂物(花和种子,还有花粉、芽鳞、虫粪、虫瘿及昆虫尸体等)3个组分,60℃下烘至恒重后称重。按样地(2个)、样方(3个)、收集网数(3个)和取样次数(每月1次,共12次)计,共216个样。

2.2.2 土壤养分含量的测定 2008年9月~2009年12月每3个月在多样地的每个样方中随机选取3个样点进行土壤取样,采集0~20cm处的土壤,供实验室内分析N、P含量。按样地(2个)、样方(3个)、取样点数(3个)和取样次数(2008年9月进行1次初始取样,此后隔3个月取样1次,至2009年12月取样5次,共6次)计,共108个样。处理样地中,在清除掉凋落物前,先测定土壤养分含量初始值。

2.2.3 细根生物量的测定 2008年9月~2009年12月每3个月在多样地的每个样方中随机选取3个样点,每个样点用内径为8.45cm的土钻钻取长度为40cm的土芯,使土芯保存完整,带回实验室。过筛,捡出直径小于2mm的细根,用清水冲洗干净。根系风干后在60℃下烘至恒重后称重,按公式(单位面积细根现存量=平均每根土芯根干质量/土芯面积)计算细根生物量。按样地(2个)、样方(3个)、取样点数(3个)和取样次数(2008年9月进行1次初始取样,此后隔3个月取样1次,至2009年12月取样5次,共6次)计,共108个样。

2.3 样品分析

凋落物和土壤全氮含量采用凯氏定氮法,使用KDN-2C型定氮仪(上海纤检仪器有限公司)测定;全磷含量采用钼锑抗比色法,使用722N可见分光光度计(上海精密科学仪器有限公司)测定;凋落物全钾含量采用火焰光度法,使用AA7003原子吸收光谱仪(北京东西分析仪器有限公司)测定。其中凋落物养分归还量是凋落物量与其养分浓度的乘积。计算公式:凋落物养分归还量=凋落物量×凋落物养分浓度。数据处理部分,对照样地与处理样地凋落物总量、小枝凋落物量、皮+枝凋落物量、杂物凋落物量、凋落物养分归还量、土壤养分含量、细根生物量的差异性分析均采用SPSS16.0中重复测量数据的方差分析,当 $P>0.05$ 时差异不显著, $P<0.05$ 时差异显著, $P<0.01$ 时差异极显著。用Origin 8.0作图。

3 结果与分析

3.1 凋落物量及其月动态

对木麻黄林处理和对照两样地共6个10m×10m的样方进行每木调查,结果林地现存密度每株为1750hm²,郁闭度0.5,平均树高每株14.19m,平均胸径11.19m。凋落物组成见图1:b,c,d。从凋落物组成来看,无论是处理样地还是对照样地,木麻黄小枝的量总是最大的,其凋落物量在年凋落物量中占最大比例,分别为90.68%和87.19%,其次为杂物,分别占5.45%和7.90%,最小为皮+枝,分别占3.86%和4.91%。

两样地的木麻黄凋落物总量、小枝凋落物量均不存在较大的月变化,在2008年12月至2009年3月之间波动下降,3~11月则缓慢上升,分别见图1:a,b。且小枝凋落物量的月变化格局与凋落物总量十分相似,反映了小枝在凋落物总量组成中的重要性。在两样地中,凋落物总量和小枝凋落物量的高峰期都出现在2008年12月,而在2009年3月处于较低水平。处理和对照样地的年凋落物量大小为处理样地(6.0162t·hm⁻²)>对照样地(5.9505t·hm⁻²)。凋落物总量、小枝凋落物量、杂物凋落物量随时间变化的趋势显著,而皮+枝凋落物量随时间变化的趋势不显著($P=0.331$);时间与分组的交互作用对杂物凋落物量的影响显著,而对凋落物总量、小枝凋落物量、皮+枝凋落物量的影响不显著(P 分别为0.346、0.659和0.140)。处理和对照样地的凋落物总量、小枝凋落物量、皮+枝凋落物量、杂物凋落物量差异性均不显著(P 分别为0.902、0.561、0.346和0.144)。凋落物总量在2009年3月具有显著性差异($P=0.017$);小枝、皮+枝凋落物量均无显著性差异;杂物凋落物量在2009年3月具有极显著性差异($P=0.006$),2009年4月具有显著性差异($P=0.034$)。

3.2 凋落物元素浓度

两样地小枝全N含量的月动态极其相似,均呈比较平缓的变化(图2:a)。处理和对照样地的最大值均出现在2009年1月,分别为1.68%和1.70%;最小值均出现在2009年11月,分别为1.22%和1.19%。小枝N浓度随时间变化的趋势显著,时间与分组的交互作用对小枝N浓度的影响不显著($P=0.547$);处理和对照样地的小枝N浓度具有极显著性差异。N浓度在2009年3月和7月均具有显著性差异(P 分别为0.031和0.026)。

两样地小枝全P含量的月动态也比较一致(图2:

b)。处理样地小枝全 P 含量的最大值出现在 2009 年 2 月,为 0.061%,最小值出现在 2009 年 11 月,为 0.025%。对照样地的最大值出现在 2009 年 1 月,为 0.061%,最小值出现在 2009 年 7 月,为 0.025%。

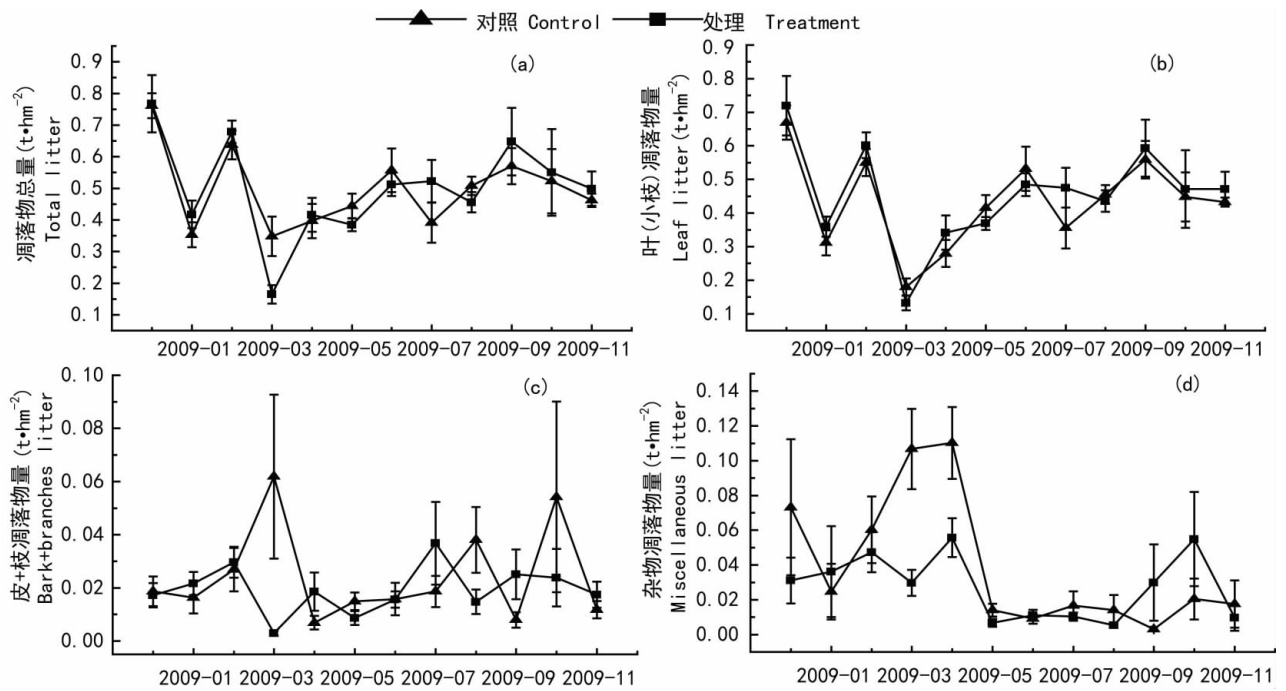


图 1 凋落物量月动态 图中误差线为标准误。下同。
Fig. 1 Monthly dynamics of litters The error bars are standard errors in the figure. The same below.

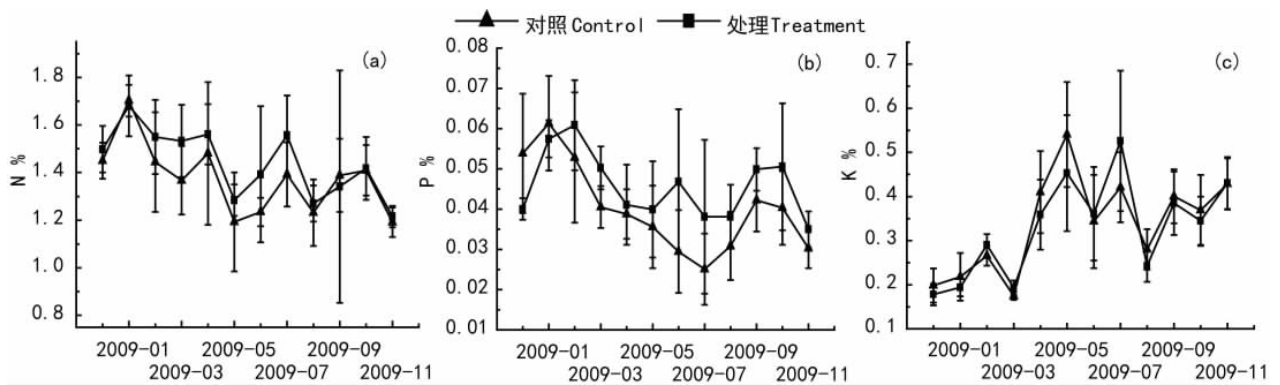


图 2 小枝元素浓度月动态
Fig. 2 Monthly dynamics of nitrogen phosphorus and kalium contents in leaves

小枝 P 浓度随时间变化的趋势显著,时间与分组的交互作用对 P 浓度的影响极显著;处理和对照样地的小枝 P 浓度具有极显著性差异。P 浓度在 2009 年 3 月具有极显著性差异 ($P=0.001$),2008 年 12 月、2009 年 6 月、9 月、11 月均具有显著性差异 (P 分别为 0.010、0.023、0.024 和 0.043)。

两样地小枝全 K 含量的月动态均呈“单峰”特征(图 2: c)。处理样地小枝全 K 含量的最大值出现

在 2009 年 7 月,为 0.526%,最小值出现在 2008 年 12 月,为 0.178%;而对照样地的最大值出现在 2009 年 5 月,为 0.541%,最小值出现在 2009 年 3 月,为 0.175%。小枝 K 浓度随时间变化的趋势显著,时间与分组的交互作用对 K 浓度的影响显著;处理和对照样地的小枝 K 浓度差异性不显著 ($P=0.846$)。K 浓度在 2009 年 3 月和 7 月均具有极显著性差异 (P 分别为 0.007 和 0.002),2009 年 2 月

具有显著性差异 ($P=0.038$)。

3.3 凋落物养分归还量

凋落物养分归还量亦根据月份和元素不同而

异。两样地一年时间里凋落物中各元素的归还量情况见表1。

可见,在两样地中3种元素年归还量的大小顺

表1 凋落物养分归还量
Table 1 Nutrients returned from the leaves

样地类型 Sites	N		P		K	
	归还量 Returned nutrients ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	%	归还量 Returned nutrients ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	%	归还量 Returned nutrients ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	%
处理样地 Treatment	78.01 ± 9.99	78.86 ± 0.17	2.53 ± 0.47	2.56 ± 0.14	18.38 ± 1.99	18.58 ± 0.31
对照样地 Control	70.67 ± 1.57	78.27 ± 0.06	2.08 ± 0.08	2.31 ± 0.06	17.54 ± 0.30	19.42 ± 0.09

序均为 $N>K>P$ 。

两样地小枝 N 元素归还量的月动态大体上相似 (图 3: a)。其中 2008 年 12 月~2009 年 3 月波动较大,从 2009 年 4 月开始无太大变化。处理和对照样地的 N 归还量均在 2008 年 12 月最大,分别为 10.64 和 $9.70 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,占当年总归还量 (78.01 和 $70.67 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 的 13.61% 和 13.68% ; 2009 年 3 月均出现最小值,分别为 1.99 和 $2.44 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。小枝 N 元素归还量随时间变化的趋势显著,时间与分组的交互作用对小枝 N 元素归还量的影响不显著 ($P=0.688$); 处理和对照样地的小枝 N 元素归还量差异性不显著 ($P=0.302$)。N 元素归还量在 2009 年 2 月具有显著性差异 ($P=0.042$)。

两样地小枝 P 元素归还量月动态曲线的变化

趋势大体上一致 (图 3: b)。其中处理样地小枝 P 元素归还量在 2009 年 2 月最大,为 $0.36 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,占当年总归还量 ($2.53 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 的 14.38% ; 最小值出现在 2009 年 3 月,为 $0.07 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。对照样地在 2008 年 12 月最大,为 $0.36 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,占当年总归还量 ($2.08 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 的 17.04% ; 最小值也出现在 2009 年 3 月,为 $0.07 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。小枝 P 元素归还量随时间变化的趋势显著,时间与分组的交互作用对小枝 P 元素归还量的影响不显著 ($P=0.237$); 处理和对照样地的小枝 P 元素归还量差异性不显著 ($P=0.118$)。P 元素归还量在 2009 年 2 月具有极显著性差异 ($P=0.007$), 2009 年 6 月具有显著性差异 ($P=0.016$)。

两样地小枝 K 元素归还量除在 2009 年 5 月和

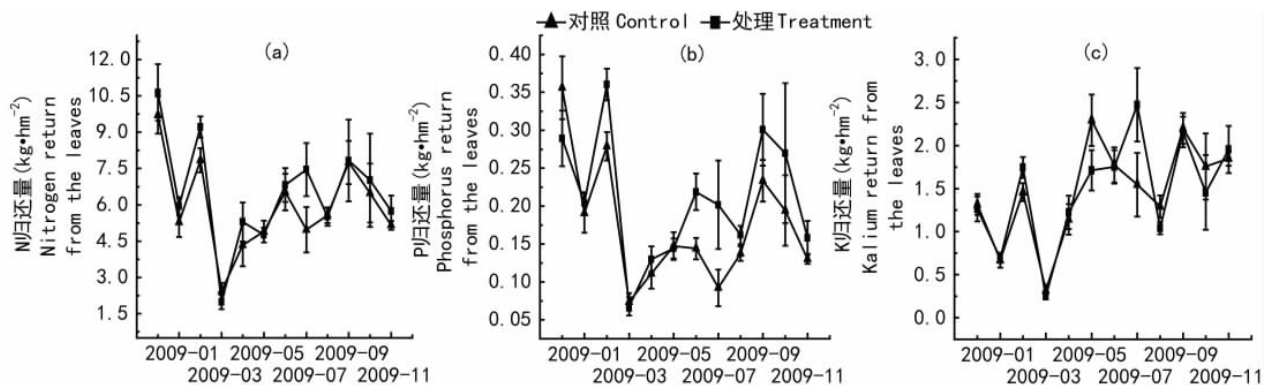


图3 小枝养分归还量月动态

Fig. 3 Monthly dynamics of nutrients returned from leaves

7月有一定的波动外,其他各月的变化基本一致,见图 3: c。处理样地小枝 K 元素归还量在 2009 年 7 月最大,为 $2.47 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,占当年总归还量 ($18.38 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 的 13.96% ; 最小值出现在 2009 年 3

月,为 $0.25 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。对照样地在 2009 年 5 月最大,为 $2.29 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,占当年总归还量 ($17.54 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 的 13.03% ; 最小值也出现在 2009 年 3 月,为 $0.32 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。小枝 K 元素归还量随时间变化的趋势显著,时间与分组的交互作用对小枝 K 元

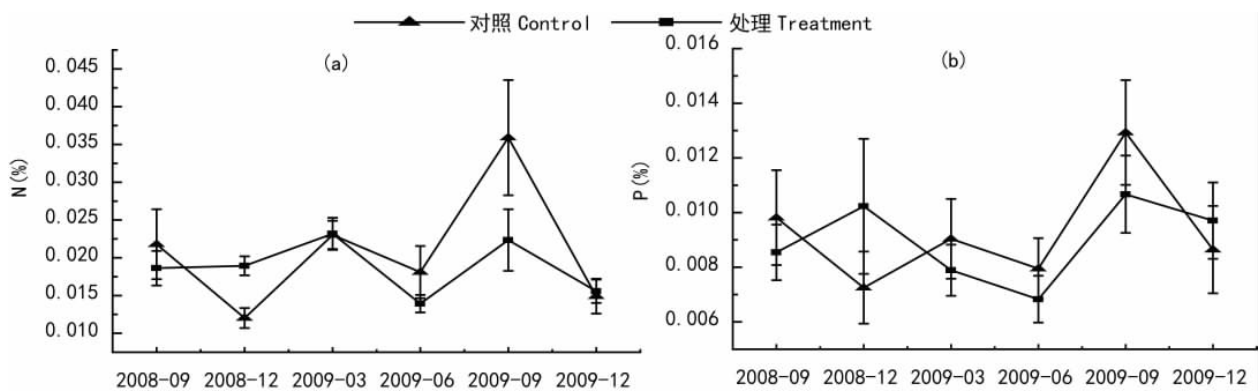


图4 土壤全氮、全磷含量

Fig. 4 Contents of total nitrogen and total phosphorus in soil

素归还量的影响不显著 ($P=0.103$); 处理和对照样地的小枝 K 元素归还量差异性不显著 ($P=0.772$)。K 元素归还量在 2009 年 7 月具有显著性差异 ($P=0.029$)。

3.4 两样地的土壤养分含量

两样地土壤全 N、全 P 含量动态分别见图 4 中 (a) 和 (b)。土壤全 N、全 P 含量均随时间变化的趋势显著, 时间与分组的交互作用对土壤全 N、全 P 含量的影响均不显著 (P 分别为 0.150 和 0.215); 处理和对照样地的土壤全 N、全 P 含量差异性均不显著 (P 分别为 0.247 和 0.847)。土壤全 N 含量在 2008 年 12 月具有极显著性差异 ($P=0.001$); 土壤全 P 含量在各月之间无显著性差异。

3.5 两样地的细根生物量及其与土壤养分的关系

两样地的细根生物量季节动态见图 5, 均呈“单峰”型, 经检验无显著性差异 ($P=0.640$)。处理和对照样地的细根生物量都在 2009 年 3 月出现一年中的最大值, 分别为 9.57 和 $7.97 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 2009 年 12 月最小, 分别为 5.00 和 $5.90 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。细根生物量随时间变化的趋势显著, 时间与分组的交互作用对细根生物量的影响不显著 ($P=0.453$); 处理和对照样地的细根生物量差异性不显著 ($P=0.524$)。细根生物量在各月之间无显著性差异。

处理和对照样地的细根生物量与土壤 N 含量均呈正相关, 相关系数分别为 0.007 和 0.082, 相关性都不显著。在处理样地中细根生物量与土壤 P 含量相关性不显著, 但在对照样地中, 细根生物量与土壤 P 含量呈极显著正相关 ($r=0.349$)。

4 结论与讨论

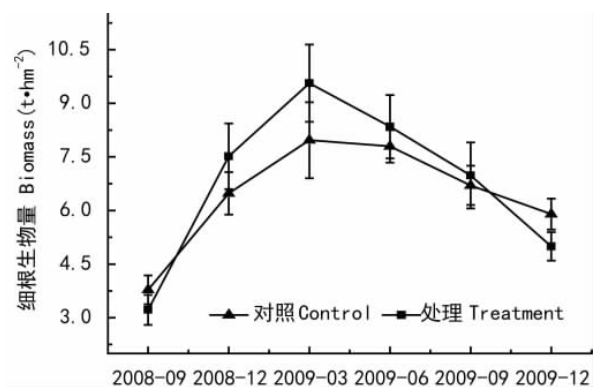


图5 细根生物量季节动态

Fig. 5 Seasonal dynamics of fine root biomass

4.1 土壤养分含量变化

不同植物通过对遮荫状况、生物固氮以及凋落物产量和质量等方式来影响土壤的养分循环过程 (Chapin *et al.* 2002; Hättenschwiler *et al.* 2005; Zak *et al.* 2003)。凋落物分解过程极大地影响着森林群落的养分循环过程和群落的动态、稳定性等, 是群落内氮素形态转化的载体和纽带 (Chapin *et al.*, 2002; Hättenschwiler *et al.* 2005)。不同森林群落的凋落量、贮量、养分归还量及凋落物分解速率, 对林下土壤肥力状况的影响不尽相同。

本研究中, 处理样地和对照样地的土壤全 N 含量相差不大, 且含量均比较低, 平均值分别为 0.019% 和 0.021%。其原因是木麻黄的根部有根瘤菌, 所以林下土壤氮素都受到固氮菌的影响。经检验, 两样地之间的土壤全 N 含量仅在 2008 年 12 月具有显著性差异。推测这可能与前 3 个月对处理样地的凋落物进行清除时, 剧烈的环境变化对

其土壤动物造成了极大的干扰,导致了全 N 含量的剧增。在研究期内,移除凋落物的处理没有显著影响到土壤中的全 N 含量。但处理样地与对照样地相比,土壤全 N 含量有降低的趋势(图 4: a 中曲线在 2008 年 12 月~2009 年 9 月期间的走势)。由于本研究时间较短,移除凋落物的处理还不足以产生达到显著性的影响,但在更长的处理时间上,可能使土壤 N 含量下降。

全磷反映了土壤中磷含量的供应情况,主要受到土壤母质、成土作用和耕作施肥的影响,也和土壤质地及土壤有机质有关。在本研究中,处理样地和对照样地的土壤全 P 含量相差不大,且含量非常低,平均值分别为 0.0091% 和 0.0092%。其原因是磷素主要来自于土壤母质,而木麻黄林生长的滨海沙土本身的构造不易形成腐殖质,且研究地大环境风力较强,雨水丰富,容易造成土壤中的磷素淋失。经检验,两样地之间的土壤全 P 含量无显著性差异。说明在 15 个月的研究期内,移除凋落物的处理没有显著影响到土壤中的全 P 含量。处理样地与对照样地相比,土壤全 P 含量也有降低的趋势(图 4: b 中曲线在 2008 年 12 月~2009 年 9 月期间的走势)。

土壤有机碳不仅能促进土壤的保肥能力与供肥能力提高,而且可增强团粒结构的形成,改善土壤的透水性、蓄水能力及通气性,提高土壤的缓冲性等(张平究等,2012)。伴随着林龄的增加,森林土壤碳含量和碳储量呈现增加的趋势,且不同人工林之间的土壤有机碳储量的差异主要归因于细根输入而不是凋落物叶的输入(Wang *et al.*, 2010)。

总之,凋落物-土壤生物地化循环相辅相成,相互作用较为复杂,凋落物对生境的改变幅度除与其自身特点外,凋落物自身在组成、积累、分布等方面的复杂性使凋落物改变生境的作用效应变得复杂。

4.2 细根生物量变化

林木细根生物量与其所在气候带、土壤类型、群落结构、树龄及干扰程度等有关(Vogt *et al.*, 1996; Idol *et al.*, 2000)。本研究中处理样地和对照样地木麻黄防护林的细根生物量分别为 $6.78 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $6.44 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 均在世界亚热带森林细根生物量范围内($1.1 \sim 10.6 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) (Vogt *et al.*, 1996)。两样地之间的细根生物量无显著性差异,表明在 15 个月的研究期内,移除凋落物的处理没有显著影响到细根生物量。但从 2009 年 12 月起,处理样地的

细根生物量有低于对照样地的趋势(图 5)。如果延长实验时间,这种趋势可能会加大,这可能意味着清除凋落物的处理会引起细根生物量的减少。

处理样地中细根生物量与土壤 N 含量呈正相关、与土壤 P 含量呈负相关,但相关系数不高(分别为 $r=0.007$, $r=-0.147$),且相关性均未达到显著水平。这可能是土壤的缓冲作用使凋落物短期的缺失还不足以引起细根生物量的显著变化。土壤养分的空间异质性分布会使植物根系在生长的过程中,遭遇到各种不同的养分斑块(张小朋等,2010),而土壤养分的空间异质性对根系的影响主要表现在生物量密度的增加(Einsmann *et al.*, 1999)。本研究中,对照样地中细根生物量与土壤 P 含量呈极显著正相关,与处理样地研究结果不一致,其原因可能是细根对 P 的响应与土壤环境中 P 养分分布的空间异质性以及其他因素如水分、温度、土壤有机碳、土壤质地等相关。

两样地中细根生物量峰值均出现在 3 月,处于本区林木地上部分旺盛生长期(4 月或 5 月)之前,这与地上部分快速生长时,其地下部分根系生长特别慢的研究结果相一致(Eissenstat *et al.*, 1994; Law *et al.*, 1999)。推测早春细根的旺盛生长可能与土壤温度回升、含水量升高(雨季开始)和碳水化合物供应充足(由于地上部分尚未进入旺盛生长期,而前一个生长季节所储存的碳水化合物首先供给地下部分生长)有关。本研究中 2009 年 3 月之后,细根生物量开始慢慢下降,原因是气温较高,土壤常因强度蒸发及林木强烈蒸腾作用而使土壤含水量下降,从而导致林木细根生物量下降。

5 结论

清除地表凋落物的处理,在较短的研究期内(15 个月),没有对土壤全 N、全 P 含量、木麻黄细根生物量产生显著的影响,但有使土壤全 N、全 P 含量、细根生物量降低的趋势,延长监测时间可能产生更为明晰的结果。在对照样地中细根生物量与土壤 P 含量呈极显著正相关,与处理样地研究结果不一致,其影响机制值得深入研究。

参考文献:

- Aerts R, Chapin FS III. 1999. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns[J]. *Adv Ecol Res*, 30: 1-67

- Chapin FS III, Matson PA, Mooney HA. 2002. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology [M]. New York: Springer-Verlag, Inc: 298
- Einsmann JC, Jones RH, Mou P, et al. 1999. Nutrient foraging traits in 10 co-occurring plant species of contrasting life forms [J]. *J Ecol* **87** (4): 609-619
- Eissenstat DM, Van Rees KCJ. 1994. The growth and function of pine roots [J]. *Ecol Bull* **43**: 76-91
- Hättenschwiler S, Tiunov AV, Scheu S. 2005. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems [J]. *Ann Rev Ecol Evol Syst* **36**: 191-218
- Idol TW, Pope PE, Ponder JF. 2000. Fine root dynamics across a chronosequence of upland temperate deciduous forests [J]. *For Ecol Manag* **127**(1-3): 153-167
- Law BE, Ryan MG, Anthoni PM. 1999. Seasonal and annual respiration of a ponderosa pine ecosystem [J]. *Glob Change Biol* **5** (2): 169-182
- Lin B(林波), Liu Q(刘庆), Wu Y(吴彦) et al. 2003. Effect of forest litters on soil physical and chemical properties in subalpine coniferous forests of western Sichuan(川西亚高山针叶林凋落物对土壤理化性质的影响) [J]. *Chin J Appl Environ Biol(应用与环境生物学报)* **9**(4): 346-351
- Usman S, Singh SP, Rawat YS et al. 2000. Fine root decomposition and nitrogen mineralisation patterns in *Quercus leucotrichophora* and *Pinus roxburghii* forests in central Himalaya [J]. *For Ecol Manag* **131**(1-3): 191-199
- Vogt KA, Vogt DJ, Palmiotto PA, et al. 1996. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species [J]. *Plant & Soil* **187**(2): 159-219
- Wang H, Liu SR, Mo JM et al. 2010. Soil organic carbon stock and chemical composition in four plantations of indigenous tree species in subtropical China [J]. *Ecol Res* **25**(6): 1 071-1 079
- Wang SL(汪思龙), Chen CY(陈楚莹). 1992. Buffering of forest litter to soil acidification and its effect on root growth(凋落物对土壤酸化的缓冲及其对根系生长的影响) [J]. *Chin J Ecol(生态学杂志)* **11**(4): 11-17
- Xu QF(徐秋芳), Qian XB(钱新标), Gui ZY(桂祖云). 1998. Effects of litter decomposition of different stands on soil properties(不同林木凋落物分解对土壤理化性质的影响) [J]. *J Zhejiang For Coll(浙江林学院学报)* **15**(1): 27-31
- Yan ER(阎恩荣), Wang XH(王希华), Zhou W(周武). 2008. Characteristics of litterfall in relation to soil nutrients in mature and degraded evergreen broad-leaved forests of Tiantong, east China(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) [J]. *J Plant Ecol(植物生态学报)* **32**(1): 1-12
- Yin XQ(殷秀琴), Song B(宋博), Qiu LL(邱丽丽). 2007. Dynamic characteristics of N, P, K in the litter-soil fauna-soil system of mixed *Pinus koraiensis* and broad-leaved forest(红松阔叶混交林凋落物-土壤动物-土壤系统中N、P、K的动态特征) [J]. *Acta Ecol Sin(生态学报)* **27**(1): 128-134
- Zak DR, Holmes WE, White DC et al. 2003. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? [J]. *Ecology* **84**(8): 2 042-2 050
- Zhang PJ(张平究), Pan GX(潘根兴). 2012. Characteristics of soil nutrients and biochemical properties under different vegetation communities in karst area(不同植被群落下喀斯特土壤养分及生物化学性质特征) [J]. *J Soil & Water Cons(水土保持学报)* **26**(1): 77-80
- Zhang XP(张小朋), Yin Y(殷有), Yu LZ(于立志) et al. 2010. Influence of water and soil nutrients on biomass and productivity of fine tree roots: a review(土壤水分与养分对树木细根生物量及生产力的影响) [J]. *J Zhejiang For Coll(浙江林学院学报)* **27**(4): 606-613
- Zhang XQ(张小全). 2001. Fine-root biomass, production and turnover of trees in relations to environmental conditions(环境因子对树木细根生物量、生产与周转的影响) [J]. *For Res(林业科学研究)* **14**(5): 566-573

(上接第 474 页 Continue from page 474)

- Piao SL, Li LH. 2001. The actuality of produce and exploitation of *Fagopyrum* in China [J]. *Adv Buckwh Res* **8**: 571-576
- Shi Z(时政), Huang KF(黄凯丰), Chen QF(陈庆富). 2011. Preliminary analysis on the yields of tartary buckwheat of different ecological regions in Guizhou Province(贵州不同生态区苦荞产量性状形成的初步分析) [J]. *J Sichuan Univ(四川大学学报)* **48**(5): 1 221-1 226
- Wu YS(吴渝生). 1996. Genetic correlation of main agronomic character on buckwheat(荞麦主要农艺性状的遗传相关分析) [J]. *J Yunnan Agric Univ(云南农业大学学报)* **11**(4): 258-262
- Xiao YD(肖彦德), Zhang YW(张艳伟), Gao JX(高景秀) et al. 1998. The path analysis of seven traits of buckwheat output(荞麦性状对产量影响的通径分析) [J]. *J Zhelimu Anim Husb Coll(哲里木畜牧学院学报)* **8**(3): 28-31
- Yu WL(于万利), Wang SY(王思远), Li DS(李殿申) et al. 1992. Analysis on correlativity of setting properties on buckwheat(甜荞产量性状相关性分析) [J]. *J Jilin Agric Univ(吉林农业大学学报)* **14**(3): 20-24
- Zhao JD(赵建东). 2002. A study on ecological characters to temperature of sweet buckwheat varieties(甜荞品种温度生态特性的研究) [J]. *Rain Fed Crops(杂粮作物)* **22**(4): 208-209
- Zhang CM(张春明), Zhang YW(张耀文), Zhao XY(赵雪英) et al. 2011. Yield relating factors analysis of common buckwheat lines(甜荞品系的产量相关因素分析) [J]. *J Shanxi Agric Sci(山西农业科学)* **39**(2): 109-112