

海岸青皮林与木麻黄林养分动态及凋落物分解的比较

王敏英^{1,2}, 刘 强^{1,2}, 丁亚凤¹, 符素贞¹, 叶照丽¹, 冯太生¹

(1. 海南师范大学 生物系, 海南海口 571158; 2. 海南省热带动物植物生态学重点实验室, 海南海口 571158)

摘要: 对海南岛东南部海岸生境相似天然青皮 *Vatica mangachapoi* 林和人工木麻黄 *Casuarina equisetifolia* 林养分动态及凋落物分解(采用网袋法)进行比较研究,为营造青皮-木麻黄混交林,并逐渐过渡到天然青皮林的实施提供科学依据。结果表明:青皮林土壤-植物系统各分室氮、磷、钾元素的质量分数均高于木麻黄林对应各分室(氮: $P_{\text{叶}} = 0.008$, $P_{\text{枝}} < 0.001$ 。磷: $P_{\text{叶}} = 0.030$, $P_{\text{枝}} < 0.001$, $P_{\text{根}} < 0.021$ 。钾: $P_{\text{叶}} < 0.001$, $P_{\text{枝}} < 0.001$, $P_{\text{根}} < 0.001$)。2种林型土壤分室之间,氮和钾的质量分数呈现显著差异($P_{\text{氮}} < 0.001$, $P_{\text{钾}} = 0.028$),磷的质量分数无显著性差异。2种林型各分室中,除氮和磷元素在土壤分室随季节变化不明显外,其余均随季节变化而变化。青皮和木麻黄凋落物分解周转期在青皮林下分别为 3.53 a 和 1.83 a,在木麻黄林下分别为 3.53 a 和 3.45 a,因而青皮林林下环境较木麻黄林利于凋落物的分解。可见青皮林比木麻黄林对氮、磷、钾元素有更高的积累能力,且青皮林林下环境更有利于凋落物的分解。图 2 表 2 参 33

关键词: 森林生态学; 青皮林; 木麻黄林; 养分元素; 凋落物; 分解

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2008)05-0597-07

Nutrients and litter decomposition in *Vatica mangachapoi* forest versus *Casuarina equisetifolia* plantation

WANG Min-ying^{1,2}, LIU Qiang^{1,2}, DING Ya-feng¹, FU Su-zhen¹, YE Zhao-li¹, FENG Tai-sheng¹

(1. Department of Biology, Hainan Normal University, Haikou 571158, Hainan, China; 2. The Key Laboratory of Tropical Animal and Plant Ecology of Hainan Province, Haikou 571158, Hainan, China)

Abstract: The aim of this study was to provide a scientific basis for constructing a mixed forest of *Vatica mangachapoi* and *Casuarina equisetifolia*. Comparative biogeochemical and litter decomposition studies were conducted in similar environmental conditions on Shimeiwan Coast in Wanning City, Hainan Island. Results showed that (1) the concentration of N in leaf and branch compartments of *V. mangachapoi* forest was significantly higher ($P_{\text{leaf}} = 0.008$, $P_{\text{branch}} < 0.001$) than that of *C. equisetifolia* plantation; the concentration of phosphorus in leaf, branch and root compartments of *V. mangachapoi* forest was significantly higher ($P_{\text{leaf}} = 0.030$, $P_{\text{branch}} < 0.001$, $P_{\text{root}} = 0.021$) than that of *C. equisetifolia* plantation; the concentration of K in leaf, branch and root compartments of *V. mangachapoi* forest was significantly higher ($P_{\text{leaf}} < 0.001$, $P_{\text{branch}} < 0.001$, $P_{\text{root}} < 0.001$) than that of *C. equisetifolia* plantation. (2) In the soil, N and K of the *V. mangachapoi* forest was significantly higher ($P_{\text{N}} < 0.001$, $P_{\text{K}} = 0.028$) than that of the *C. equisetifolia* plantation, but phosphorus was not significantly different. (3) Concentrations of N, P, and K in all compartments of both forest and plantation changed with the season, except for the concentration of N and P in soil compartments. Finally, (4) the turnovers of *V. mangachapoi* litter and *C. equisetifolia* litter were 3.52 and 1.83 years respectively under *V. mangachapoi* forest, whereas they were 3.53 and 3.45 years respectively under

收稿日期: 2007-11-26; 修回日期: 2008-04-08

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KZC2-407); 海南省教育厅资助项目(Hjkj200217)

作者简介: 王敏英, 硕士, 从事恢复生态学研究。E-mail: greentea.2005@163.com。通信作者: 刘强, 教授, 博士, 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@sohu.com

C. equisetifolia plantation. Thus, the *V. mangachapoi* forests had a stronger N, P, and K accumulation capability than the *C. equisetifolia* plantation, and the microenvironment under *V. mangachapoi* was more conducive to litter decomposition. [Ch, 2 fig, 2 tab, 33 ref.]

Key words: forest ecology; *Vatica mangachapoi* forest; *Casuarina equisetifolia* plantation; nutrient elements; litter; decomposition

木麻黄 *Casuarina equisetifolia* 喜光和炎热气候, 瘦瘠土壤, 耐干旱潮湿。在年平均气温为 21.0 ~ 28.0 , 最冷月平均温度 8.0 以上, 年积温 7 000 以上, 绝对最低温度 0 以上的地区均可栽培, 在碱性或中性的滨海潮积沙土上生长最好。木麻黄根系具有根瘤, 能固定大气中的氮素, 因此, 能在瘦瘠沙土生长迅速。木麻黄抗风力强, 不怕沙埋, 能耐盐碱。我国自 20 世纪 50 年代以来广泛引种栽培于东南沿海。现存的木麻黄海防林以纯林为主, 呈现林分衰老, 更新困难, 病虫害严重等问题, 致使防护效能低下。因此, 一些学者尝试利用其他树种^[1-3]等与木麻黄混交, 其中以厚荚相思 *Acacia crassicarpa* 与木麻黄混交较为理想。但游月娥^[4]指出厚荚相思凋落物中含较多不易分解物质如单宁和松脂等, 对土壤的改良作用有限, 只能在沿海小面积造林, 不宜大范围推广。邓义等^[5]曾提到使用青皮 *Vatica mangachapoi* 与木麻黄混交, 但未做实验。青皮又叫青梅, 属龙脑香科 *Dipterocarpaceae* 青皮属, 是海南岛特有的本土植物, 属国家二级保护植物^[6]。青皮林喜光耐旱、耐贫瘠, 对土壤要求不严, 能适应从沙地到黏土的各种土壤类型, 是一种深根树种, 耐干旱瘠薄和盐碱^[7]。目前在海南岛石梅湾离潮汐线仅 50 m 处有面积约 12 km² 的青皮单优群落^[8], 像道天然绿色屏障, 起着抗风, 固海堤, 保护和绿化海岸等重要的作用, 更重要的是它的存在为我们指出了未来防护林建设的方向——朝本土植被发展。据胡玉佳^[9]的研究, 青皮幼苗生长需要庇荫条件, 具有演替后期物种的特点, 故考虑首先通过与木麻黄混交, 再逐渐过渡到天然青皮林。本文对海南万宁石梅湾海岸, 生长于相似环境条件下天然青皮林和人工木麻黄林进行生物地球化学和凋落物分解的比较研究, 旨在为下一步营造木麻黄青皮混交林, 并逐渐过渡到天然青皮林的实施提供科学依据。

1 研究区自然概况

研究区位于海南省东南海岸万宁石梅湾滨海地带, 地理坐标为 18°11' N, 110°09' E, 海拔 10 ~ 15 m, 属于热带季风气候区。年均气温为 24.0 , 年均降水量 2 032.6 mm, 雨量集中分布在 5 - 10 月, 占全年总雨量的 80.2%, 干季从 11 月至翌年 3 月, 湿季从 4 月至 10 月。林下土壤为滨海沙土。实验样地设在该海岸具有相似生境的青皮林和木麻黄林中(2 种林型相距约 100 m), 因而有相似的光照、温度、降水量和土壤等环境条件。杨小波和胡荣佳^[10]对青皮林多样性调查显示, Simpson 指数、Shannon-Weiner 指数分别为 2.34 和 2.19, 且林下层出现了要求湿度较大的、阴生的蕨类植物, 如单叶羽裂星蕨 *Microsorium dilatatum* 和崖姜蕨 *Pseudorynaria coronans* 等。木麻黄林林分单一, 树龄 6 a, 为同龄林木, 树高约 6 ~ 7 m, 内仅见零星低矮灌木和少数草本植物。

2 研究方法

2.1 野外样品采集

植物和土壤取样: 在青皮林和木麻黄林下各设置 1 块样地, 面积为 400 m², 分别对青皮和木麻黄的枝、叶、根进行取样。具体方法为: 在每个样地中随机选取 6 个样点, 在每个样点周围的 3 株个体上取样后混合为一个样, 枝样为取自不同高度和粗细的枝条的混合样, 叶样为取自树冠不同高度和不同方位上叶的混合样, 根样为细于 5 mm 以下的细根的混合样。土样取自样地内“S”型路线的 6 个样点, 0 ~ 20 cm 的土壤。植物样去土后置于 70 烘箱烘干, 用粉碎机磨成粉末, 以备分析用。土样经自然风干后, 研磨, 过 100 目筛备用。取样时间为 2002 年 5 月、8 月、11 月和 2003 年 2 月。各样品在每一取样时间均重复 6 次。

凋落物样的收集和分解回收: 2002 年秋在样地收集青皮和木麻黄新鲜枯落叶, 自然风干后分别

装入凋落物袋。凋落物袋为尼龙网袋, 大小 20 cm × 15 cm, 孔径 1.0 mm。每个凋落物袋装入 10 g 风干凋落物。在每个样地随机选取 6 个样点, 每个样点以浅埋方式(恰好被表层土掩盖)同时放置 2 种类型凋落物的样袋, 2 种类型之间间隔 80 cm。在分解的 0, 30, 120, 210 d 共 4 次回收凋落物袋, 清除泥土等杂物, 在 75 °C 下烘干至恒量。

2.2 样品分析

土壤和植物样均采用半微量凯氏定氮法测定全氮的质量分数, 酸溶-钼锑抗比色法测定全磷的质量分数, 火焰光度法测定全钾的质量分数。具体操作参考《土壤农业化学常规分析方法》^[11]。

数据采用 SPSS 10.0 统计软件处理, 用 Origin 6.0 作图。

3 结果与分析

3.1 青皮林、木麻黄林土壤-植物系统各分室氮、磷、钾的质量分数

青皮林和木麻黄林各分室养分元素的质量分数见表 1, 其中以磷的质量分数较低, 钾的质量分数较高。各养分元素在青皮林各分室的质量分数均高于木麻黄林对应各分室。氮、磷、钾的质量分数变异程度, 在青皮林分别为: 11.61% ~ 34.92%, 23.08% ~ 42.81%和 31.00% ~ 41.48%, 在木麻黄林分别为 14.36% ~ 41.38%, 19.33% ~ 40.81%和 15.76% ~ 45.06%。各元素的质量分数在青皮林各分室变异程度较木麻黄林小。

氮的质量分数在青皮林下土壤分室(1.017 2 g·kg⁻¹)为木麻黄林的(0.158 5 g·kg⁻¹)6 倍多。郑达贤等^[12]对福建滨海木麻黄林下土壤性质的变化研究指出, 随着木麻黄的生长, 贫瘠的沙地中的植物营养元素也逐步集中到木麻黄植物有机体中, 这可能是导致土壤氮含量低的原因之一。另外, 刘强等^[13]的研究表明, 土壤中氮含量高不利于木麻黄根瘤的固氮作用, 这可能是原因之二。统计表明, 2 种林型间仅根分室间差异不显著(P = 0.284), 而叶分室(P = 0.008)、枝分室(P < 0.001)及土壤分室(P < 0.001)之间存在极显著差异。

磷为不可再生矿质资源, 在土壤-植物-动物系统中, 磷起着其他元素不可替代的作用^[14], 一般磷被认为是热带亚热带生态系统的限制因子^[15]。本实验中青皮林和木麻黄林土壤分室磷的质量分数在统计上无显著差异, 但对应叶分室(P = 0.030), 枝分室(P < 0.001)及根分室(P = 0.021)之间存在显著差异, 表明青皮林对磷有较好的积累能力, 是对当地土壤磷有效性低的一种适应方式, 这种适应被称为热带亚热带地区低磷条件下的“养分保护机制”^[16]。

钾的质量分数在 2 种林型中以土壤分室最高, 可能因为本研究地降水量充沛, 土壤是易于淋溶的沙土, 钾受降雨影响较大; 也可能与本研究地靠近海边, 海水飞沫携带氯化钾等物质散布、淋溶至土壤有关。钾的质量分数在 2 种林型各对应分室均达到显著或极显著差异(土壤: P = 0.028, 根、枝、叶: P < 0.001)。

3.2 青皮林、木麻黄林土壤-植物系统各分室氮、磷、钾元素分布格局

植物中营养元素的分布特征一方面反映了植物自身的生理特征, 另一方面受所处生境条件的影响^[17]。由于不同器官的生理机能不同, 不同营养元素在植物体内的功能不同, 营养元素在植物不同器官及不同营养元素在同一器官中的分布也有差异^[18], 不同树种对营养元素的吸收和分配也不同^[19]。本研究 2 种林型土壤-植物系统中, 氮、磷元素的分布格局, 除氮元素在木麻黄林中为叶 >

表 1 青皮林和木麻黄林各分室氮、磷、钾的质量分数 (平均值 ± 标准差)

Table 1 Concentration of N, P and K in different compartments of *Vatica mangachapoi* forest and *Casuarina equisetifolia* plantation (mean ± SD)

林型	分室	氮/(g·kg ⁻¹)	磷/(g·kg ⁻¹)	钾/(g·kg ⁻¹)
青皮林	叶	19.732 7 ± 2.290 2	0.567 8 ± 0.151 2	10.495 5 ± 4.154 3
	枝	10.031 1 ± 1.834 5	0.501 3 ± 0.079 4	6.650 0 ± 2.758 7
	根	8.800 8 ± 2.308 2	0.340 8 ± 0.076 1	4.115 0 ± 1.507 6
	土壤	1.017 2 ± 0.355 2	0.217 3 ± 0.032 9	12.214 3 ± 3.786 9
木麻黄林	叶	17.702 2 ± 3.484 9	0.427 8 ± 0.242 5	3.795 0 ± 0.879 2
	枝	5.604 5 ± 0.981 3	0.316 0 ± 0.095 6	1.743 8 ± 0.523 0
	根	8.683 9 ± 3.593 2	0.299 0 ± 0.087 1	1.254 0 ± 0.565 0
	土壤	0.158 5 ± 0.022 8	0.199 8 ± 0.050 3	10.281 3 ± 1.620 8

说明: 表中数据为 6 个样品的平均值。

根 > 枝 > 土外, 其他均为叶 > 枝 > 根 > 土(表 1)。而钾元素在 2 种林型中都为土 > 叶 > 枝 > 根(表 1)。在植物系统各分室中, 各营养元素均以叶分室含量最高。这与氮、磷、钾元素是植物体所需的常量元素, 与代谢反应、光合作用密切相关有关^[20,21]。

2 种林型中, 叶、根分室氮、磷、钾元素的质量分数大小为氮 > 钾 > 磷, 土壤分室为钾 > 氮 > 磷。各分室养分元素的质量分数大小关系未因林型不同而异, 反映了对相似生境的一种趋同适应。

3.3 青皮林、木麻黄林土壤-植物系统各分室氮、磷、钾质量分数的季节动态

2 种林型各分室氮、磷、钾质量分数季节动态见图 1。各养分元素在各分室的质量分数除氮、磷元素在木麻黄林林下土壤随季节变化不明显外, 其余均随季节变化而变化。

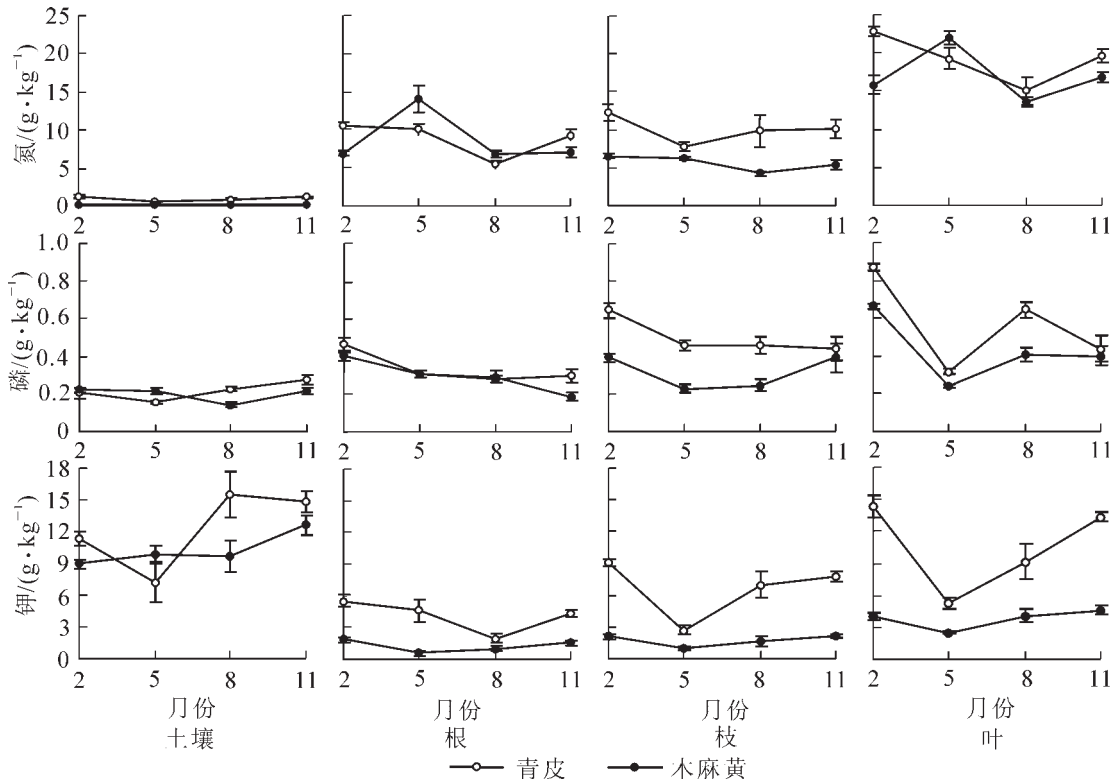


图 1 青皮林和木麻黄林不同分室中氮、磷和钾的质量分数

Figure 1 Contration of N, P and K in different compartments of *Vatica mangachapoi* forest and *Casuarina equisetifolia* plantation

氮元素在 2 种林型植物系统各分室季节变化相似, 在干季(11月至翌年3月)其质量分数较低, 进入湿季(4月至10月)质量分数升高, 但木麻黄林根、叶分室氮的质量分数略有下降趋势, 积累现象不明显。在8月叶分室氮的质量分数出现回落, 这可能与夏季因光和呼吸作用均较强而引起的氮的供应不足有关。在一些光合作用的研究中, 也有这样的结果^[22]。

磷元素在青皮林和木麻黄林根、叶分室季节动态相似。在湿季(4-10月), 根分室磷元素源源不断输送到光合作用旺盛的叶分室而质量分数不断下降; 叶分室则因光合作用在8月最高, 进入干季(11月至翌年3月)磷经过回收作用而质量分数下降。青皮林和木麻黄林土壤和枝分室磷的质量分数季节动态存在差异。湿季青皮林土壤磷的质量分数不断上升, 为植物体生长提供保证, 而木麻黄林土壤磷的质量分数在光合作用旺盛的8月的质量分数却最低。

钾元素质量分数的季节动态在 2 种林型植物系统各分室趋势相似, 土壤分室趋势相反。各分室中湿季的质量分数低于干季, 同时木麻黄林各分室波动较青皮林平缓。在湿季钾元素的质量分数低, 可能是因为钾元素的淋溶性很强, 大量降水通过林冠时钾离子被淋溶出来。土壤分室钾的质量分数, 青皮林以5月最低, 8月最高。可能因为青皮5-6月开花, 因此, 植物体从土壤中吸收了较多钾用于旺盛的代谢活动, 而木麻黄林从2-8月变化较平缓, 8-10月因降水对林冠层的淋溶而略有上升。

3.4 凋落物分解

3.4.1 青皮和木麻黄凋落物分解的时间动态 对青皮和木麻黄凋落物进行 210 d 的分解研究(图 2)。凋落物最终残留率从小到大依次是在青皮林中分解的木麻黄凋落物(42.40%)和青皮凋落物(46.40%)及在木麻黄林中分解的木麻黄凋落物(51.00%)和青皮凋落物(47.69%)。由于青皮和木麻黄凋落物均在 2 种林型中进行了分解试验,那么青皮或木麻黄凋落物分解残留率在青皮林与在木麻黄林中差异的主要原因与分解的环境条件有关,表明青皮林下环境更有利于凋落物分解,促进养分循环。同样,青皮林或木麻黄林中青皮、木麻黄凋落物分解残留率差异的主要原因与凋落物的物理和化学特征有关。本实验中分解残留率在青皮林时青皮凋落物高于木麻黄凋落物,而在木麻黄林时青皮凋落物低于木麻黄凋落物,因此,对这种差异原因还需进一步实验的证实,考虑青皮与木麻黄之间的交互作用。

一般来说,凋落物的分解失重可分为 2 个阶段:前期的快速失重阶段主要是非生物作用过程,为可溶成分的淋溶。在分解开始的 30 d,木麻黄林中凋落物干质量损失较青皮林中凋落物多,反映了木麻黄林层次简单,雨水的直接冲刷作用较强,使易溶易分解的物质迅速分解。后期的裂解阶段主要是生物作用过程,为分解者的活动。在 210 d,青皮林中凋落物失重率上升,且较木麻黄林中凋落物失重率高,这主要与青皮林林下环境有关。

3.4.2 凋落物分解过程的数学模型拟合及分解速率估算 根据 Olson 提出的指数衰减模型估算凋落物的分解速率^[23]。模型如下: $X_t / X_0 = e^{-kt}$, 式中: X_0 为凋落物初始质量; X_t 为分解后 t 时间的凋落物剩余质量; k 为凋落物平均分解速率。利用此衰减模型对青皮和木麻黄凋落物分解进程进行拟合,并估算分解速率(表 2)。拟合方程的决定系数 R 均达到显著或极显著水平。从凋落物分解速率看,以木麻黄凋落物在木麻黄林中分解率最低 $0.004\ 210\ g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$,木麻黄凋落物在青皮林中最高 $0.007\ 917\ g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$ 。

表 2 青皮、木麻黄凋落物分解回归方程和分解速率

Table 2 Equations, decomposition rates of remaining rate of litters of *V. mangachapoi* and *C. equisetifolia*

处理	分解方程	分解速率/($g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$)	决定系数	50%分解所需天数/d	95%分解所需天数/d
木麻黄凋落物在木麻黄林	$y = e^{-0.004\ 210t}$	0.004 210	0.737 93	712	1 259
木麻黄凋落物在青皮林	$y = e^{-0.007\ 917t}$	0.007 917	0.440 06	378	669
青皮凋落物在青皮林	$y = e^{-0.004\ 128t}$	0.004 128	0.697 02	726	1 284
青皮凋落物在木麻黄林	$y = e^{-0.004\ 116t}$	0.004 116	0.734 31	728	1 287

若以 95%的干物质被分解后所需的时间表示凋落物的周转期,木麻黄凋落物放置在木麻黄林下周转期为 3.45 a,放置在青皮林下周转期为 1.83 a,缩短了约 1.62 a,而青皮凋落物放置在青皮林下周转期为 3.52 a,在木麻黄林中周转期均为 3.53 a,略有增加。两者结合起来看,凋落物在青皮林下的分解周转期明显短于在木麻黄林,导致这种结果的原因与青皮林和木麻黄林林下环境条件不同有关,环境条件包括:温度、湿度和微生物性状等。陈金林等^[24]研究指出,较高的温度和湿度,有利于微生物的活动,促进凋落物分解。

4 讨论与结论

青皮林氮、磷、钾元素在土壤分室的的质量分数分别为 1.017 2, 0.217 3, 12.214 3 $g \cdot kg^{-1}$,与

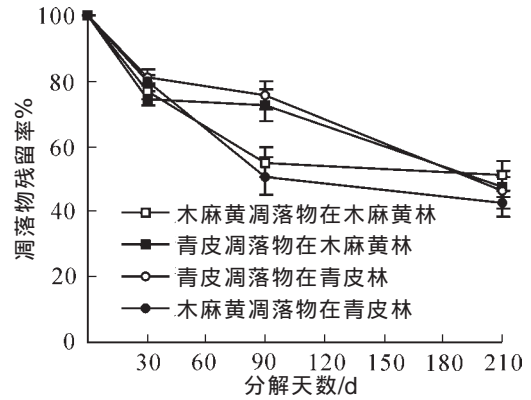


图 2 凋落物残留率曲线

Figure 2 Mass remaining rates of litter of *Vatica mangachapoi* and *Casuarina equisetifolia*

1991年胡玉佳^[25]对该样地青皮林土壤氮($0.93\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 磷($0.15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)和钾($0.04\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$)的质量分数的测定结果相比, 均有上升, 表明10a中青皮林对土壤养分有一定积累作用, 其中以钾的幅度最大。氮、磷、钾元素在青皮林和木麻黄林植物系统的分布格局, 除氮元素在木麻黄林为叶>根>枝外, 其余均与胡玉佳^[25]对该研究地青皮林的研究结果和叶功富^[26]对福建省惠安县赤湖林场木麻黄林的研究结果一致, 为叶>枝>根, 出现这种差异的具体原因还需进一步实验证实。

相似环境下, 青皮林各分室氮、磷、钾的质量分数高于木麻黄林各分室的质量分数, 表明青皮林相对木麻黄林有较高的营养元素积累能力, 在养分贫瘠的海岸沙土上, 更有利于植物自身生长和土壤改良。据叶功富等^[27]研究, 木麻黄生长衰退较早, 30~40a即进入衰退期, 需要人工更新; 而万宁石梅湾的青皮林已有上百年历史, 且目前生长状况良好, 因此, 若能人工引导木麻黄林过渡到天然青皮林, 将推动海防林建设向更经济的方向发展。目前, 笔者正在海南进行青皮-木麻黄混交林的野外种植研究。

青皮林和木麻黄林除氮元素在木麻黄林土壤分室季节变化不明显外, 其余各分室均有明显季节变化, 但变化趋势不同。干季(11月至翌年3月), 青皮对氮、磷、钾元素有一定的积累, 与常绿阔叶林树种青冈^[28-30]在冬季有积累现象相似。木麻黄林氮、钾元素在干季相比雨季略有下降趋势, 可能与木麻黄果实成熟在8-9月和11-12月, 需要消耗大量营养元素有关。

青皮凋落物在青皮林和木麻黄林的分解速率分别为 $0.004\ 128$ 和 $0.004\ 116\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, 均低于在尖峰岭的 $0.004\ 4\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ^[31]; 木麻黄凋落物在青皮林的分解速率 $0.008\ 4\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$, 高于在木麻黄林的分解速率 $0.004\ 1\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 和福建省惠安县赤湖林场木麻黄林的分解速率 $0.001\ 9\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ ^[32], 表明青皮林林下环境有助于木麻黄凋落物的分解。张瑞清等^[33]指出, 在凋落物的分解过程中非生物因子的贡献率为14.1%, 生物因子的贡献率为85.9%, 因此凋落物的后期分解速率对凋落物的周转速率有重大影响, 那么青皮林和木麻黄林下凋落物生物分解者群落结构如何, 还需要进一步研究探讨。

通过实验, 可以发现青皮林无论是在营养元素积累, 还是在促进凋落物分解方面, 相比于木麻黄林都有明显的优势, 但本实验中, 没有涉及到凋落物交互分解实验, 所以还不明确青皮和木麻黄凋落物混合分解状况, 因此, 需要在进行青皮-木麻黄混交实验时补充此内容。

参考文献:

- [1] 陈德旺. 木麻黄大叶相思混交林生长效果、防护功能和土壤肥力研究[J]. 防护林科技, 2003 (3): 13 - 15.
- [2] 叶功富. 滨海沙地湿地松与木麻黄混交林构建和调控技术研究[J]. 林业科学研究, 2002, 15 (4): 463 - 468.
- [3] 林传凤. 海岸带木麻黄防护林更新造林技术研究[J]. 技术咨询, 2006 (3): 37 - 40.
- [4] 游月娥. 木麻黄混交林防护效能和改土效果研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20 (4): 36 - 38.
- [5] 邓义, 陈树培, 梁志贤. 广东滨海沙滩沙生植被的改造利用[J]. 热带地理, 1988, 8 (4): 309 - 313.
- [6] 国家环保局, 中国科学院植物研究所. 中国植物红皮书——稀有珍惜濒危植物: 第1册[M]. 北京: 科学出版社, 1992: 1 - 735.
- [7] 陈伟, 兰国玉, 陈秋波, 等. 海南岛青皮林生态系统服务功能及保护对策[J]. 西北林学院学报, 2007, 22 (5): 207 - 210.
- [8] 胡玉佳, 李玉杏. 海南岛热带雨林[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1992.
- [9] 胡玉佳. 海南岛天然青梅生长过程的研究[J]. 海南大学学报: 自然科学版, 1988, 6 (2): 47 - 53.
- [10] 杨小波, 胡荣佳. 热带滨海沙滩上森林植被的组成成分与土壤性质的研究[J]. 生态学杂志, 2000, 19 (4): 6 - 11.
- [11] 李酉开. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 79 - 278.
- [12] 郑达贤, 沙济琴. 福建滨海木麻黄林下土壤性质的变化及其对林带更新的影响[J]. 地理学报, 1994, 49 (4): 345 - 352.
- [13] 刘强, 张亚辉. 海口地区木麻黄林根瘤调查及影响结瘤的因子探讨[J]. 林业科学, 2002, 38 (5): 175 - 180.
- [14] 聂艳丽, 郑毅, 林克惠. 根分泌物对土壤中磷活化的影响[J]. 云南农业大学学报, 2002, 17 (3): 281 - 285.
- [15] VITOUSEK P M. Nutrient cycling and nutrient use efficiency[J]. Amer Nat, 1982, 119 (4): 553 - 572.
- [16] RAWAT Y S, SINGH J S. Structure and function of oak forest in central Himalaya (II) nutrient dynamics[J]. J Bot, 1988, 62: 413 - 427.

- [17] 聂道平. 森林生态系统营养元素的生物循环[J]. 林业科学研究, 1991, 4 (4): 435 - 440.
- [18] 陈启瑞. 青冈林生产力研究[M]. 杭州: 杭州大学出版社, 1993: 164 - 167.
- [19] 陈爱玲, 陈光水, 谢锦升, 等. 杉枫轮栽生物量及营养元素分布的研究[J]. 浙江林学院学报, 2000, 17 (4): 369 - 372.
- [20] ETHERINGTON J R. 环境和植物生态学[M]. 2 版. 曲仲湘, 译. 北京: 科学出版社, 1989.
- [21] LARCHER W. 植物生理生态学[M]. 李博, 译. 北京: 科学出版社, 1980.
- [22] 常杰, 葛滢, 陈增鸿, 等. 青冈常绿阔叶林主要植物种叶片的光合特性及其群落学意义[J]. 植物生态学报, 1999, 23 (5): 293 - 400.
- [23] OLSON J S. Energy storage and the balance of production and decomposition in ecological systems[J]. Ecology, 1963, 44: 322 - 331.
- [24] 陈金林, 吴春林, 姜志林, 等. 栎林生态系统凋落物分解及磷素释放规律[J]. 浙江林学院学报, 2002, 19 (4): 367 - 371.
- [25] 胡玉佳. 海南岛青梅种群结构的研究[J]. 中山大学学报:自然科学版, 1991, 30 (2): 91 - 97.
- [26] 叶功富. 木麻黄人工林营养元素含量的时间变异[J]. 防护林科技, 1996 (1): 15 - 18.
- [27] 叶功富, 俞新妥. 木麻黄营林研究综述[J]. 福建林学院学报, 2000, 18 (3): 273 - 277.
- [28] 于明坚, 徐学红, 李铭红, 等. 青冈常绿阔叶林氮的生物循环[J]. 生态学报, 2005, 25 (4): 740 - 748.
- [29] 于明坚, 陈启瑞. 青冈常绿阔叶林磷的积累和循环[J]. 东北林业大学学报, 1998, 26 (4): 17 - 23.
- [30] 于明坚, 陈启瑞. 青冈常绿阔叶林钾的生物循环研究[J]. 植物研究, 1999, 19 (4): 461 - 468.
- [31] 刘强, 彭少麟, 毕华, 等. 热带亚热带森林叶凋落物交互分解的研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2004, 43 (4): 86 - 89.
- [32] 谭芳林. 木麻黄防护林生态系统凋落物及养分释放研究[J]. 林业科学, 2003, 39 (1): 21 - 26.
- [33] 张瑞清, 孙振钧, 王冲, 等. 西双版纳热带雨林凋落叶分解的生态过程(I) 凋落叶分解动态[J]. 植物生态学报, 2006, 30 (5): 780 - 790.