

滨海沙地木麻黄林生态系统的凋落物及其热值研究^{*}

叶功富^{1, 3* * *} 张清海² 卢昌义¹ 林益明¹

(¹厦门大学海洋与环境学院 福建厦门 361005)

(²中国林科院热带林业研究所 广州 510520)

(³福建省林业科学研究院 福州 350012)

摘要 采用定位研究的方法,在福建惠安赤湖防护林场定期收集木麻黄林分的凋落物,开展凋落物的归还量和热值的研究.结果表明,木麻黄林凋落物年归还量为 $14.17 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$,小枝占总归还量的 72.19%,其他各组分占 27.81%.凋落物灰分含量:小枝 4.39%~5.65%,枝条 3.52%~5.65%,球果 2.63%~4.23%;凋落物干重热值为:小枝 20.51~21.68 kJ/g,枝条 19.63~20.21 kJ/g,球果 18.27~20.63 kJ/g;凋落物去灰分热值为:小枝 21.48~22.69 kJ/g,枝条 21.48~22.69 kJ/g,球果 18.91~21.49 kJ/g 图 1 表 8 参 26

关键词 木麻黄;凋落物;归还量;热值

CLC S718.55

Litter and Caloric Value of *Casuarina equisetifolia* Plantation in Coastal Sandy Area^{*}

YE Gongfu^{1, 3* * *}, ZHANG Qinghai^{2* * *}, LU Changyi¹ & LIN Yiming¹

(¹College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China)

(²Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

(³Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012, China)

Abstract The litter of *Casuarina equisetifolia* plantation in Hui an County, Fujian was regularly collected, and its return amount and caloric value were studied. Result showed that the return amount of litter was $14.17 \text{ t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$, with leaf accounting for 72.19% and the others for 27.81%. The litter ash contents of leaf, branch and cone ranged between 4.39%~5.65%, 3.52%~5.65% and 2.63%~4.23%, respectively. The litter gross caloric values of leaf, branch and cone were 20.51~21.68 kJ/g, 19.63~20.21 kJ/g and 18.27~20.63 kJ/g, and the ash free caloric values of them were 21.48~22.69 kJ/g, 21.48~22.69 kJ/g and 18.91~21.49 kJ/g, respectively. Fig 1, Tab 8, Ref 26

Keywords *Casuarina equisetifolia*; litter; return amount; caloric value

CLC S718.55

森林凋落物是森林生态系统内生物组分产生并归还林地表面的有机物质的总称,是森林在生长发育过程中的新陈代谢产物,也是森林植被与环境之间进行物质和能量交换的主要途径.森林从土壤中吸收的养分,每年又通过凋落物分解作用归还给土壤,逐渐向土壤中释放营养元素,这对于维护土壤肥力,保持森林生态系统物质的养分循环和能量流动起着重要作用.自德国学者 Ebermayer (1876)阐述了凋落物在养分循环中的重要性以来,国外许多学者先后对世界范围内的森林凋落物进行了大量研究^[1~7].我国森林凋落物研究始于 20 世纪 60 年代,先后开展了多种森林类型凋落物的归还量、化学成分及分解速率的观测,以探索森林生态系统的物质循环规律、森林与土壤的关系及森林的自肥机制等^[8~12].滨海沙地多属退化土地,生境条件较为恶劣,生态恢复难度较大,对于构建一个可持

续的复合生态系统,凋落物发挥着更为重要的功能.为了解木麻黄海岸林的凋落物动态及其能量变化,从 2002 年开始,我们在福建沿海中部的惠安赤湖防护林场,利用沿海木麻黄防护林定位观测站,对滨海沙地木麻黄林凋落物及其热值进行了观测研究.

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在福建省沿海中部惠安县赤湖防护林场,位于 (E) 118°55', (N) 23°45'.属南亚热带海洋性季风气候,年均气温 19.8℃,绝对最高气温 37℃,绝对最低气温 2.2℃,全年无霜期 320 d,年均降水 1 029 mm,年均蒸发 2 000 mm,蒸发量大于降雨量,全年干湿季节明显,夏季(7~9月)多台风和暴雨天,秋冬东北风强盛,8级以上的大风天达 105 d,年平均风速 7.0 m/s,最大风速 32.6 m/s,干湿季明显,干旱的频率高.土壤为均一性风积沙土,沙土层厚度 80~100 cm.

1.2 试验材料

木麻黄人工林生态系统的能量动态试验林造于 1989 年,

收稿日期: 2005-09-28 接受日期: 2006-02-21

* 国家“十一五”科技支撑计划“沿海防护林体系构建技术”项目以及福建省森林培育与林产品加工利用重点实验室和国家林业局南方山地用材林培育重点实验室资助 Supported by the National “11th Five-Year-Plan” Science and Technology Program of China (2004BA516A13-15)

* * 通讯作者 Corresponding author (E-mail: yegongfu@126.com)

造林密度 2 m × 2 m, 初始密度 2 500 株 / hm², 现有密度为 1 648 株 / hm², 平均胸径为 10.77 cm, 平均树高为 12.97 m, 郁闭度大于 0.90. 林地内的凋落物厚度 3 ~ 5 cm, 且分解良好. 林下灌木、草本稀少, “十五”期间建立了固定的生态定位观察点, 试验地内不受人为的干扰.

1.3 试验方法

1.3.1 凋落物收集 凋落物的收集采用收集框法, 林下随机设置 9 个收集框, 框深 15 cm, 口径为 0.5 m × 1 m, 孔径为 0.5 mm 的玻璃纤维网, 离地面 20 cm. 2002 年 11 月开始每月收集一次, 及时烘干, 每月收集 2 次, 再进行汇总, 并分出叶(小枝)、枝、果、花. 测定鲜重, 在 80 °C 下烘干, 各组分另取少量在 105 °C 下烘干到恒重, 量少的组分则在 80 °C 进行 48 ~ 72 h 烘干到恒重, 求算每月凋落物的总量, 汇总得全年总量 [13-14].

1.3.2 热值测定 所有采集样品在 80 °C 烘干, 磨粉处理后过 6 号筛贮存备用, 而后用热量计法, 采用长沙仪器厂生产的 GR-3500 型微机氧弹式热量计测定热值. 样品热值以干重热值(每克干物质在完全燃烧条件下所释放的总热量, 简称 GCV 和去灰分热值(AFCV)表示. 测定环境利用空调控制 20 °C 左右, 每样品重复多次, 误差控制在 ±0.20 kJ, 每次实验对仪器用苯甲酸标定 [13, 15].

1.3.3 灰分测定 灰分测量采用干灰化法, 样品在马福炉中 550 °C 下灰化 5 h 后测定灰分含量. 去灰分热值 = 干重热值 / (1 - 灰分含量). 去灰分热值除去灰分含量不同的干扰, 更能够反映植物体各组分热值情况.

1.3.4 气象因子观测 依据《地面气象观测规范》在林内设置 1.5 m 百叶箱, 安装有干湿温表、最高温度表、最低温度表, 每天 8 时、14 时、20 时观测记录数据, 林内地温设置有地面温度表和 5 cm、10 cm、15 cm、20 cm 的曲管温度表, 每天同时观测 [16].

2 结果与分析

2.1 木麻黄人工林的凋落物归还量

凋落物在生命系统中实现物质、能量和信息的传递过程中起着重要的作用 [17], 对木麻黄林生态系统的养生物循环具有重要的作用. 2002 年 11 月至 2003 年 10 月间人工林各分组的凋落物量见图 1, 可见木麻黄林凋落物的归还量较高, 达 14.17 t hm⁻² a⁻¹, 高于惠安 15 a 生木麻黄的 2.17 t hm⁻² a⁻¹ [18], 印度喜马拉雅山中部 Bhabar 贫瘠地上 15 a 生 *Shisham* 林的 4.37 t hm⁻² a⁻¹ [19] 以及南亚热带鹤山马占相思林的 4.90 t hm⁻² a⁻¹ [20]. 凋落物归还的高峰期出现在 5 ~ 9 月, 在此期间归还的凋落物占总量的 55.69%, 与 Alock K. Srivastava (1995) 研究显示的 5 月份凋落物归还量最大的结果相似 [21]. 这个期间是台风多发季节, 雨量较高, 木麻黄生长旺盛, 代谢也强, 同时台风造成了大量的凋落物. 年初凋落物量最小, 这主要是在福建省沿海地区气温较高, 春季来得比较早, 又属旱季, 木麻黄生长较慢, 代谢也慢.

根据各月份的凋落物数据, 建立凋落物量与月份的回归方程见表 1. 通过对样地长期的气温观测, 林内各气象因子的数据见表 2, 1 月份最低温度为 7.46 °C, 7 月份最高温度为 31.98 °C. 在凋落物中主要成分是小枝, 年归还量为 10.23 t

hm⁻² a⁻¹, 占总归还量的 72.19%, 要低于 Alock K. Srivastava (1995) 研究结果 (87% ~ 95%) [21]. 各月份小枝归还主要集中在 5 ~ 9 月份, 其中 7 月份最大 (1.58 t/hm²), 二月份最小 (0.15 t/hm²), 这与凋落物总量变化规律相似. 其次是枝条, 年归还量 3.32 t hm⁻² a⁻¹, 占总凋落物量的 22.22%, 归还高峰期出现在林木生长旺盛时期的 5 ~ 9 月份. 次之为果 (0.64 t hm⁻² a⁻¹), 占总量的 4.28%, 其余部分 0.75 t hm⁻² a⁻¹, 占总量的 5.13%.

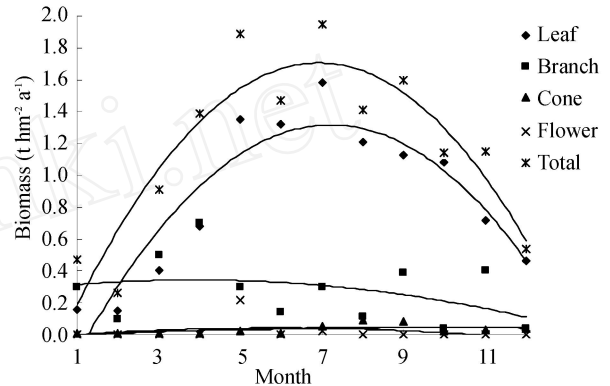


图 1 凋落物年动态变化
Fig 1 Annual dynamic variation of litter

表 1 木麻黄人工林凋落物 (Y) 与时间 (X, 指月份数) 的回归方程

Table 1 Regression equation of litter (Y) to time (X, month) in *C. equisetifolia* plantation

项目 Item	回归方程 Regression equation	相关系数 Coefficient
小枝 Leaf	$Y = -0.037X^2 + 0.537X - 0.623$	0.93**
总量 Total	$Y = -0.348X^2 + 0.518X - 0.233$	0.87*

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$. 下同 The same below

林内凋落物的归还量与树种的生长周期相关, 也与气温、湿度、风速等气候条件相关. 一般认为, 高温、干燥、大风是森林凋落物增加的 3 个主要因素 [21]. 5 ~ 9 月为木麻黄生长盛期, 气温较高, 也是沿海台风频繁发生的时节, 高温和台风产生大量的枯枝落叶. 通过对凋落物数据与林内气温数据的统计分析, 采用 SPSS 软件进行 Pearson 相关分析, 分析结果见表 3. 从分析结果表明, 小枝的归还量与各气象因子在极显著相关, 其中与地下 20 cm 处地温相关性最大为 0.784, 与地下 5 cm 处地温相关性最小为 0.703, 具体顺序为: 地下 20 cm (0.784) > 地下 15 cm (0.779) > 地下 10 cm (0.771) > 地表 (0.760) > 最高温 (0.757) > 最低温 (0.754) > 气温 (0.745) > 地下 5 cm (0.703). 地下 20 cm 处地温对木麻黄小枝凋落的影响最大, 因为木麻黄属浅根系树种, 主根不发达, 侧根发达. 在生物量测定过程中, 从土壤剖面中发现 10 ~ 40 cm 是根系密集分布区, 10 ~ 20 cm 处的地温对木麻黄根系的生长影响较大, 在 0 ~ 5 cm 主要为凋落物, 根系分布较少, 地表与地下 5 cm 处温度对木麻黄小枝的凋落影响较小. 各气象极限因子 (最高温、最低温) 对小枝的归还影响大于平均气温, 因为极限条件对木麻黄影响的生长更为明显. 枝和果的归还量与各气象因子呈负相关, 且相关性小. 枝的生长生命周期大于小枝, 在一个周年生长过程中气象因子对枝的凋落归还表现不明显. 果归还量与花期的天气、结果率、成果率等相关因素相关. 花归还量与各气象

因子相关性不大,植物的开花情况与土壤、降雨和病虫害等因素相关。

表 2 惠安样地气象数据 (2002-11 ~ 2003-10, / /)
Table 2 Weather data of experimental sites in Hui an in Nov. 2002 ~ Oct. 2003 (/ /)

时间 Time	气温 Temp.	最高温 Highest temp.	最低温 Lowest temp.	地表温度 Surface temp.	地下 5 cm TU 5 cm	地下 10 cm TU 10cm	地下 15 cm TU 15cm	地下 20 cm TU 20cm
Nov. 2002	19.02	20.76	15.18	19.68	19.26	19.36	19.40	19.57
Dec. 2002	15.58	17.75	12.15	16.30	16.21	16.28	16.37	16.52
Jan. 2003	12.44	14.94	7.46	13.06	12.76	12.97	13.11	13.25
Feb. 2003	13.86	15.63	9.97	14.14	13.79	13.87	13.84	13.85
Mar. 2003	15.25	17.70	10.65	15.62	14.79	14.77	14.74	14.73
Apr. 2003	20.17	22.69	15.90	20.24	18.61	18.04	18.22	18.06
May 2003	23.92	25.28	19.78	23.85	22.74	22.17	21.85	21.59
Jun. 2003	26.28	27.81	22.00	26.33	25.09	24.63	24.49	24.28
Jul. 2003	30.21	31.98	25.94	30.57	28.54	27.91	27.66	27.29
Aug. 2003	29.19	31.16	25.00	29.65	28.21	27.51	27.35	27.12
Sep. 2003	28.42	30.62	23.78	28.48	26.96	26.47	26.32	26.29
Oct. 2003	24.65	26.77	20.60	25.15	23.91	23.61	23.57	23.90
年平均 Annual average	21.58	23.59	17.37	21.92	20.91	20.63	20.59	20.54

TU: 地下温度 Temperature under ground 下同 The same below

表 3 凋落物与气象因子的相关系数 (R)
Table 3 Coefficient of correlation between litter and weather factors (R)

项目 Item	气温 Temp.	最高温 Highest temp.	最低温 Lowest temp.	地表温度 Ground temp.	地下 5 cm TU 5 cm	地下 10 cm TU 10 cm	地下 15 cm TU 15 cm	地下 20 cm TU 20 cm
小枝 Leaf	0.745**	0.757**	0.754**	0.760	0.703**	0.771**	0.779**	0.784**
枝条 Branch	-0.300	-0.276	-0.304	-0.307	-0.332	-0.343	-0.337	-0.346
果 Cone	-0.119	-0.127	-0.077	-0.096	-0.057	-0.04	-0.034	-0.025
花 Flower	0.155	0.125	0.159	0.137	0.139	0.127	0.113	0.10
总量 Total	0.596*	0.611*	0.613*	0.611*	0.613*	0.618*	0.628*	0.631*

2.2 木麻黄人工林凋落物的各组分灰分含量

植物体灰分含量是植物体元素聚集度的度量^[22],反映植物体生长过程中的生理变化情况.测定凋落物各组分灰分含量,则可知林分在不同月份灰分元素的归还代谢规律.

由表 4 可见,凋落物小枝灰分含量在 4.39% ~ 5.65% 之间,10 月份最大(为 5.65%),12 月份最小(为 4.39%),总体平均为 4.90%.具体顺序为 10 月(5.65%) > 7 月(5.53%) > 8 月(5.45%) > 11 月(5.13%) > 9 月(5.07%) > 6 月(4.99%) > 5 月(4.98%) > 4 月(4.89%) > 3 月(4.72%) > 2 月(4.51%) > 1 月(4.47%) > 12 月(4.39%).其中 7、8、10 月是木麻黄凋落物小枝的高灰分含量时期,也就是元素归还的高峰期.

根据凋落物小枝灰分含量与各因子间的相关性建立计算模型,对灰分与气温、地表温度、地下 20 cm 处温以及时间和气温分别进行拟合,结果见表 5.从表可知,各模型的相关性在 0.05 水平上达到显著,都具有较好的实用性和准确性.

表 4 木麻黄林凋落物各组分灰分含量 (w / %) 的月变化
Table 4 Monthly changes in ash contents (w / %) of litter in *C. equisetifolia* plantation

时间 Time	凋落物 Litter			
	小枝 Leaf	枝 Branch	果 Cone	花 Flower
Nov. 2002	5.13 ± 0.05	4.72 ± 0.04	3.49 ± 0.03	
Dec. 2002	4.39 ± 0.04	4.64 ± 0.03	2.79 ± 0.02	
Jan. 2003	4.47 ± 0.02	4.83 ± 0.02	3.40 ± 0.02	
Feb. 2003	4.51 ± 0.02	4.84 ± 0.04	2.27 ± 0.01	
Mar. 2003	4.72 ± 0.05	4.28 ± 0.03	3.04 ± 0.02	
Apr. 2003	4.89 ± 0.03	4.93 ± 0.04	3.35 ± 0.03	
May 2003	4.98 ± 0.04	5.65 ± 0.04	3.00 ± 0.02	5.19 ± 0.03
Jun. 2003	4.99 ± 0.02	4.19 ± 0.03	3.28 ± 0.02	
Jul. 2003	5.53 ± 0.09	5.02 ± 0.04	3.70 ± 0.03	5.45 ± 0.04
Aug. 2003	5.45 ± 0.06	5.26 ± 0.03	3.27 ± 0.02	
Sep. 2003	5.07 ± 0.04	4.58 ± 0.04	4.23 ± 0.03	
Oct. 2003	5.65 ± 0.04	3.52 ± 0.03	2.63 ± 0.01	
Total	4.90 ± 0.41	4.70 ± 0.72	3.20 ± 0.54	5.32 ± 0.13

表 5 凋落物小枝灰分含量 (Y) 拟合模型

Table 5 Computing model for ash content (Y) of leaf litter

模型 Model	变量 Variable	方程式 Equation	R
1	气温 Temperature (X)	$Y = 0.05X + 3.80$	0.83*
2	地表温度 Ground temperature (X)	$Y = 0.056X + 3.75$	0.84*
3	地下 20 cm Temperature underground 20 cm (X)	$Y = 0.067X + 3.598$	0.85*
4	时间 Time (X)	$Y = -0.005X^2 + 0.079X^2 - 0.185X + 4.624$	0.89*
5	时间 Time (X ₁), 气温 Temperature (X ₂)	$Y = 0.011X_1 + 0.052X_2 + 3.786$	0.84*

凋落物枝条灰分含量在 3.52% ~ 5.65% 之间,10 月份最小(3.52%),5 月份最大(5.65%),总体平均为 4.69%.具体

顺序为 5月 (5.65%) > 8月 (5.26%) > 7月 (5.02%) > 4月 (4.93%) > 2月 (4.84%) > 1月 (4.83%) > 11月 (4.72%) > 12月 (4.64%) > 9月 (4.58%) > 3月 (4.28%) > 6月 (4.19%) > 10月 (3.52%)。从表 5 可知,凋落物枝条的灰分含量各月份间的变化不大,主要集中在 4.60%~5.00%之间,而且变化不明显。枝条主要是木质素组成,木质素的无机元素含量不高,所以其灰分含量不高,高峰出现在 5、6、8月份,这与木麻黄的生长期相适应。

凋落物球果灰分含量在 2.63%~4.23%之间,2月份最小 (2.63%),9月份最大 (4.23%),总体平均为 3.20%,具体顺序为 9月 (5.65%) > 7月 (5.26%) > 11月 (5.02%) > 1月 (4.93%) > 4月 (4.84%) > 6月 (4.83%) > 8月 (4.72%) > 3月 (4.64%) > 5月 (4.58%) > 12月 (4.28%) > 2月 (4.19%) > 10月 (3.52%)。

花絮灰分含量在 5月份为 5.19%,7月份 5.45%,总体平均为 5.32%。花絮是植物体进行种的繁衍的重要器官,含有大量的各种元素。

2.3 木麻黄林中凋落物各组分的干重热值

植物体组分热值能够反映植物体对太阳能量的利用情况^[23]。孙国夫等对水稻叶片热值研究表明,热值能够反映植物组织的各种生理变化和生长情况及各种环境因子对植物体生长的影响^[24]。

木麻黄林凋落物小枝干重热值的年变化情况为:1月份最大 (21.68 kJ/g),2月份最小 (20.51 kJ/g),其他各月份的变化情况见表 7,其中 5~6月高干重热值月份,其余各月份波动不大。小枝热值的年变化与林木的物候节律及对环境因子变化的反应有关。在林木恢复生长期 (4~6月),有机物的不断积累使小枝热值大幅度提高。根据表 3 的气象数据,2002年 12月平均最低温 12.15,2003年 1月平均最低温 7.46,两个月份间温差最大为 4.59,2003年 2月平均最低温 9.97,1月和 2月的低温影响木麻黄的生长。木麻黄为热带树种,1、2月份的低温使得木麻黄小枝生长减慢,对太阳能的利用率降低,环境因子的变化加速小枝的衰老,但衰老也有一定的限度,所以凋落物小枝干重热值最低的月份没有出现在 1月份,而是出现在 2月份,产生了对气象因子反应的滞后性。

表 6 木麻黄林凋落物各组分干重热值 ($Q/kJ g^{-1}$)月变化
Table 6 Monthly changes in gross caloric values ($Q/kJ g^{-1}$) of litter in *C. equisetifolia* plantation

时间 Time	凋落物 Litter			
	小枝 Leaf	枝 Branch	果 Cone	花 Flower
Nov 2002	20.85 ± 0.06	20.14 ± 0.07	19.55 ± 0.05	
Dec 2002	20.96 ± 0.01	20.19 ± 0.01	20.63 ± 0.13	
Jan 2003	21.68 ± 0.05	19.63 ± 0.12	18.27 ± 0.02	
Feb 2003	20.51 ± 0.05	19.64 ± 0.03	19.06 ± 0.07	
Mar 2003	21.38 ± 0.03	19.65 ± 0.04	19.95 ± 0.14	
Apr 2003	21.40 ± 0.15	20.08 ± 0.16	19.98 ± 0.06	
May 2003	21.52 ± 0.10	19.79 ± 0.04	20.56 ± 0.01	20.89 ± 0.04
Jun 2003	21.48 ± 0.14	19.86 ± 0.07	20.40 ± 0.03	
Jul 2003	20.89 ± 0.06	20.21 ± 0.16	20.19 ± 0.11	21.13 ± 0.05
Aug 2003	20.77 ± 0.07	19.91 ± 0.10	20.56 ± 0.12	
Sep 2003	20.72 ± 0.07	19.75 ± 0.09	20.28 ± 0.05	
Oct 2003	20.87 ± 0.13	19.77 ± 0.07	19.53 ± 0.04	
均值 Average	21.11 ± 0.42	19.89 ± 0.22	19.91 ± 0.70	20.96 ± 0.14

对凋落物小枝干重热值与各气象因子之间进行相关分析,分析结果见表 7,由表可知,凋落物小枝的干重热值与各气象因子呈负相关,但相关性不大。这主要是木麻黄小枝的生命周期在 1.5~3 a之间,凋落物的小枝热值变化存在一定的滞后性。

表 7 凋落物各组分干重热值与各气象因子的相关系数 (R)
Table 7 Correlation coefficient of gross caloric value to weather factors (R)

项目 Item	凋落物 Litter		
	小枝 Leaf	枝 Branch	果 Cone
气温 Temp.	-0.237	0.287	0.671*
最高温 Highest temp.	-0.237	0.284	0.667*
最低温 Lowest temp.	-0.233	0.323	0.694*
地表温 Surface temp.	-0.268	0.302	0.667*
地下 5 cm TU 5 cm	-0.251	0.306	0.672*
地下 10 cm TU 10 cm	-0.270	0.308	0.666*
地下 15 cm TU 15 cm	-0.283	0.316	0.664*
地下 20 cm TU 20 cm	-0.284	0.313	0.659*

凋落物枝条干重热值在 19.63~20.21 kJ/g,1月份最小,7月份最大,其余各月份干重热值变化不大。枝条热值的变化与各气象因子之间相关性小,但与林木的生长节律有关,5~9月为木麻黄生长盛期,随着有机物的不断积累使热值在 7月达到峰值。枝条的生命长,组成成分主要为纤维,故其热值不高,且年变化不大。

凋落物中球果干重热值年变化为:干重热值在 18.27~20.63 kJ/g之间,其中 1月份最小 (18.27 kJ/g),12月份最大 (20.63 kJ/g),具体顺序为:12月 (20.63 kJ/g) > 5月 (20.56 kJ/g) = 8月 (20.56 kJ/g) > 6月 (20.40 kJ/g) > 9月 (20.28 kJ/g) > 7月 (20.19 kJ/g) > 4月 (19.98 kJ/g) > 3月 (19.95 kJ/g) > 11月 (19.55 kJ/g) > 10月 (19.53 kJ/g) > 2月 (19.06 kJ/g) > 1月 (18.27 kJ/g)。对各月份球果干重热值与气象因子做 Pearson相关分析,分析结果见表 7。可见气象因子对木麻黄球果的干重热值影响大,明显高于其它各组分。从上可知,不同组分的干重热值大小与组分的生长周期相关^[25]。木麻黄球果生命周期在一年之内,所以它与各月份气象因子的相关性要大于其它组分。

凋落物花絮干重热值为:5月 20.89 kJ/g,7月 21.13 kJ/g,总体平均为 20.96 kJ/g可见花絮具有较高的干重热值。

2.4 林分中凋落物各组分的去灰分热值

去灰分热值是在去除元素含量不同而造成的热值的差异,通过一周年的试验与测定,结果见表 8。凋落物小枝各月份去灰分热值在 21.48~22.69 kJ/g之间,1月份最大 (22.69 kJ/g),2月份最小 (21.48 kJ/g),总体平均为 22.19 kJ/g。具体顺序为:1月 (22.69 kJ/g) > 5月 (22.65 kJ/g) > 6月 (22.61 kJ/g) > 4月 (22.40 kJ/g) > 3月 (22.44 kJ/g) > 10月 (22.12 kJ/g) > 7月 (22.11 kJ/g) > 11月 (21.98 kJ/g) > 8月 (21.97 kJ/g) > 12月 (21.92 kJ/g) > 9月 (21.83 kJ/g) > 2月 (21.48 kJ/g)。

枝条各月份去灰分热值在 20.49~21.28 kJ/g之间,7月份最大 (21.28 kJ/g),10月份最小 (20.49 kJ/g),总体平均为 20.87 kJ/g。各月份具体顺序为:7月 (21.28 kJ/g) > 12月 (21.17 kJ/g) > 11月 (21.14 kJ/g) > 4月 (21.12 kJ/g) > 7月 (21.02 kJ/g) > 5月 (20.98 kJ/g) > 6月 (20.73 kJ/g)。

> 9月 (20.70 kJ/g) > 2月 (20.64 kJ/g) > 1月 (20.63 kJ/g) > 3月 (20.52 kJ/g) > 10月 (20.49 kJ/g).

表 8 木麻黄人工林凋落物各组分去灰分热值年变化 ($Q/kJ g^{-1}$)

Table 8 Monthly changes in ash free caloric value of litter in *C. equisetifolia* plantation ($Q/kJ g^{-1}$)

时间 Time	凋落物 Litter			
	小枝 Leaf	枝 Branch	果 Cone	花 Flowe
Nov 2002	21.98 ± 0.07	21.14 ± 0.06	20.26 ± 0.06	
Dec 2002	21.92 ± 0.13	21.17 ± 0.08	21.22 ± 0.08	
Jan 2003	22.69 ± 0.09	20.63 ± 0.02	18.91 ± 0.06	
Feb 2003	21.48 ± 0.07	20.64 ± 0.04	19.50 ± 0.08	
Mar 2003	22.44 ± 0.06	20.52 ± 0.06	20.58 ± 0.07	
Apr 2003	22.50 ± 0.04	21.12 ± 0.08	20.67 ± 0.05	
May 2003	22.65 ± 0.12	20.98 ± 0.09	21.20 ± 0.12	22.01 ± 0.08
Jun 2003	22.61 ± 0.02	20.73 ± 0.05	21.09 ± 0.06	
Jul 2003	22.11 ± 0.08	21.28 ± 0.13	20.97 ± 0.05	22.35 ± 0.09
Aug 2003	21.97 ± 0.07	21.02 ± 0.05	21.26 ± 0.07	
Sep 2003	21.83 ± 0.05	20.70 ± 0.06	21.49 ± 0.06	
Oct 2003	22.12 ± 0.09	20.49 ± 0.08	20.45 ± 0.08	
Total	22.19 ± 0.38	20.87 ± 0.28	20.63 ± 0.77	22.18 ± 0.24

球果各月份去灰分热值在 18.91 ~ 21.49 kJ/g 之间, 9月份最大 (21.49 kJ/g), 1月份最小 (18.91 kJ/g), 总体平均为 20.63 kJ/g 各月份具体顺序为: 9月 (21.49 kJ/g) > 8月 (21.26 kJ/g) > 12月 (21.22 kJ/g) > 5月 (21.20 kJ/g) > 6月 (21.09 kJ/g) > 7月 (20.98 kJ/g) > 4月 (20.67 kJ/g) > 3月 (20.58 kJ/g) > 10月 (20.45 kJ/g) > 11月 (20.26 kJ/g) > 2月 (19.50 kJ/g) > 1月 (18.91 kJ/g).

3 结论

木麻黄凋落物归还量为 $14.17 t hm^{-2} a^{-1}$, 其中小枝归还量为 $10.23 t hm^{-2} a^{-1}$, 枝条为 $3.32 t hm^{-2} a^{-1}$, 果为 $0.64 t hm^{-2} a^{-1}$, 其他部分为 $0.75 t hm^{-2} a^{-1}$. 在一年中凋落物归还的高峰期出现在 5 ~ 9月, 在此期间归还的凋落物占总量的 55.69%, 与木麻黄的生长旺期相适应, 说明生长旺盛, 代谢也旺盛, 从而产生了较高的凋落物归还量.

小枝灰分含量总体平均为 4.90%, 一年中 5 ~ 8月份为凋落小枝灰分含量的高峰期, 也就是小枝元素归还的高峰期. 凋落枝条的灰分含量总体平均为 4.69%, 与小枝有相同的高峰期, 元素归还的高峰期与木麻黄的生长旺期相似, 体现出与木麻黄生长节律相适应的特点.

凋落物小枝干重热值总体平均为 21.11 kJ/g, 体现出较高的热值, 其中 5 ~ 6月是高干重热值月份, 其余各月份波动不大. 高热值期间植物体内含能物质多, 具有较高的太阳能利用率. 去灰分热值的变化情况与此相似.

References

- Berg B. Decomposition of needle litter in *Pinus contorta* and *Pinus sylvestris* monocultures—a comparison. *Scand J For Res*, 1987 (2): 8 ~ 12
- Berg B, Tamm CO. Decomposition and nutrient dynamics of litter in long-term optimum nutrition experiments II Nutrient concentrations in decomposing *Picea abies* needle litter. *Scand J For Res*, 1994 (9): 99 ~ 105
- Boemer RJ. Foliar nutrient dynamics and nutrient use efficient of four deciduous tree species in relation to site fertility. *Appl Ecol*, 1984, 21: 1029 ~ 1040
- Bray JR, Gorham E. Litter production in forests of the world. *Adv Res*, 1964 (2): 101 ~ 157
- Chapin FS, Kedrowski RA. Seasonal changes in nitrogen and phosphorus fractions and autumn retranslocation in evergreen and deciduous *Tai* trees. *Ecol*, 1983, 64: 376 ~ 391
- Edwards PJ. Studies of mineral cycling in montane rain forest in New Guinea. *J Ecol*, 1982, 70 (3): 807 ~ 827
- Robin IE. Production and mineral cycling in terrestrial vegetation. *Transl. Scripta Technical*. London: Oliver and Boyd, 1967
- Chen YP (陈印平), Pang KW (潘开文), Wu N (吴宁), Luo P (罗鹏), Wang JC (王进闯), Xian JS (鲜纪坤). Effect of litter quality and decomposition on N mineralization in soil of *Castanopsis platyacantha* - *Schima sinensis* forest. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2005, 11 (2): 146 ~ 151
- Jia LM (贾黎明), Fang LM (方陆明), Hu YJ (胡延杰). Decomposition of leaf litter in pure and mixed stands of poplar and black locust. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 1998, 9 (5): 463 ~ 467
- Li ZA (李志安), Lin YB (林永标), Peng SL (彭少麟). Nutrient content in litterfall and its translocation in plantation forest in south China. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 2000, 11 (3): 321 ~ 326
- Wang SL (汪思龙), Liao LP (廖利平), Ma YQ (马跃强). Nutrient return and productivity of mixed *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* plantation. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 1997, 8 (4): 347 ~ 352
- Yu WT (宇万太), Chen X (陈欣), Zhang L (张璐). Comparative study on internal and external cyclings of poplar tree under different fertilizations: Effect of fertilization on biomass of poplar tree and its internal and external cyclings of N before and after leaf fallen. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 1995, 6 (4): 341 ~ 345
- Lin YM (林益明), Yang ZW (杨志伟), Li ZJ (李振基). Research on evergreen forests in the Wuyi Mountains. Xiamen (厦门): Xiamen University Press (厦门大学出版社), 2001
- Wu SD (吴寿德), Ye GF (叶功富), Pang HZ (潘惠忠), Xu JS (徐俊森), Long XW (隆学武). Characters of *Casuarina equisetifolia* plantation production. *Prot For Sci & Technol* (防护林科技), 1996 (Suppl): 21 ~ 24
- Zu YG (祖元刚). Introduction to Energy Ecology. Changchun (长春): Jilin Science and Technology Press (吉林科学技术出版社), 1990
- Tan FL (谭芳林), Ye GF (叶功富), Zhang SS (张水松), Zheng TH (郑天汉), Wu SD (吴寿德). Studies on microclimate effects of *Casuarina equisetifolia* trunk shelterbelt and gradient change. *Prot For Sci & Technol* (防护林科技), 2000 (Suppl): 108 ~ 110
- McClougherty CA, Pastor J, Aber JD. Forest litter decomposition in relation to soil nitrogen dynamics and litter quality. *Ecology*, 1985, 66: 266 ~ 275
- Ye GF (叶功富), Lin YS (林银森), Wu SD (吴寿德), Xu JS (徐俊森), Pang HZ (潘惠忠). Study on dynamic productivity of *Casuarina equisetifolia* plantation. *Prot For Sci & Technol* (防护林科技), 1996 (Suppl): 17 ~ 20
- Neeln L, Lodhiyal LS. Biomass and net primary productivity of Bhabar shisham forests in central Himalaya, India. *For Ecol & Manag*, 2003, 176: 217 ~ 235

- 21 Peng SL (彭少麟). Study and Application of Restoration Ecology in Tropic and Subtropic China. Beijing (北京): Science Press (科学出版社), 2003
- 22 Alok KS. Biomass and energy production in *Casuarina equisetifolia* plantation stands in the degraded dry tropic of the Vindhyan Plateau, India. *Biomass & Bioenergy*, 1995, **9** (6): 465 ~ 471
- 23 Wahi P. Pattern of energy accumulation in *Andropogon paniculata* as influenced by various levels of light intensity. *Indian J Ecol*, 1980, **7** (1): 105 ~ 113
- 24 Lin P (林鹏), Lin GH (林光辉). Study on the caloric value and ash content of some mangrove species in China. *Acta Phytocol et Geobot Sin* (植物生态学与地植物学报), 1991, **15** (2): 114 ~ 120
- 25 Sun GF (孙国夫), Zheng ZM (郑志明), Wang ZQ (王兆骞). Dynamics of caloric values of rice. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 1993, **12** (1): 1 ~ 4
- 26 Yang YS (杨玉盛), Chen GS (陈光水), Lin RY (林瑞余), Cai LP (蔡丽平), Chen YX (陈银秀). Energy for mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Tsoongiodendron odonm*. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), 2001, **7** (6): 536 ~ 542

www.cnki.net