

海岸沙地木麻黄人工林凋落物归还量 及其热值动态研究

张清海¹, 叶功富^{2*}, 林益明³

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 福建林业科学研究院, 福建 福州 350012

3. 厦门大学生命科学院, 福建 厦门 361005)

摘要: 2002年 11月至 2003年 10月在福建沿海中部惠安县崇武镇赤湖林场用收集筐法收集木麻黄凋落物, 分析了凋落物各组分的归还量; 应用 GR-3500型氧弹式热值仪测定木麻黄凋落物的热值, 并测定分析了凋落物各组分的灰分含量。结果表明: 木麻黄人工林的凋落物归还量为 $14.18 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其中小枝占 72.21%, 枝条占 23.41%, 球果占 2.68%, 其余部分占 1.69%。归还分布情况是: 4-9月为归还高峰期, 占总归还量的 68.48%, 其它月份占总归还量的 31.52%。凋落物各组分灰分含量平均值顺序为: 花 (5.32%) > 小枝 (4.90%) > 枝 (4.69%) > 球果 (3.20%); 凋落物干物质热值平均值顺序为: 小枝 ($21.11 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > 花 ($20.96 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > 球果 ($19.91 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > 枝条 ($19.89 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$); 凋落物去灰分热值的顺序为: 小枝 ($22.19 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > 花 ($22.18 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > 枝条 ($20.87 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > 球果 ($20.63 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)。整个林分的能量归还量为 $294.55 \text{ GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其中小枝占主体, 归还量为 $215.79 \text{ GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其次是枝条 $66.07 \text{ GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 再次是果 $7.66 \text{ GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 花最小 $5.02 \text{ GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$; 各月的能流变化与凋落物生物量相似。

关键词: 木麻黄; 凋落物; 热值

中图分类号: S792.93

文献标识码: A

Study on Dynamic of *Casuarina equisetifolia* Plantation Litter and Its Caloric Value on Coastal Sands

ZHANG Qing-hai¹, YE Gong-fu^{2*}, LIN Yi-ming³

(1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou 510520 Guangdong China; 2. Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012

Fujian China; 3. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005 Fujian China)

Abstract By burning samples in a GR-3500 Oxygen Bomb Calorimeter, the caloric value of *Casuarina equisetifolia* litter collected by traps from Nov. 2002 to Oct. 2003 at Chihu forestry centre in Huian county in the middle of Fujian coast was analyzed, and the ash content and ash free caloric value of every components were tested. Result showed that *Casuarina equisetifolia* plantation litter was $14.18 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, foliage twig occupied 72.21% of total branch, cone flower were 23.41%, 2.68%, 1.69%, respectively. The monthly dynamic variance was that the fastigium was from April to September occupied 68.48% of total litter and that in the other months occupied 31.52%. The average ash content order of components were flower (5.32%) > foliage twig (4.90%) > twig (4.69%) > cone (3.20%). The average gross caloric value order of components were foliage twig ($21.11 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > flower ($20.96 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > cone ($19.91 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > twig ($19.89 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$). The average ash free caloric val

收稿日期: 2005-06-21 修回日期: 2006-05-30

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目: “海岸带防护林优化配置模式和可持续经营技术研究” (2002BA516A1615)

作者简介: 张清海 (1975-), 男, 福建宁化人, 研究实习员, 硕士

*通信作者

the order were foliage twig ($22.19 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > flower ($22.18 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > twig ($20.87 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > cone ($20.63 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$). The *C. equisetifolia* plantation had high returning energy in a year, the amount of total plant was $294.55 \text{ GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. The distribution among the components are as follows: foliage twig was $215.79 \text{ GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ while twig, cone, flower were $66.07 \text{ GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, $7.66 \text{ GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, $5.02 \text{ GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, respectively, with same dynamic tendency as the litter biomass variance.

Key words *Casuarina equisetifolia*; litter; carbon value

木麻黄 (*Casuarina equisetifolia* L.) 防护林生态系统是东南沿海沙地重要的生态屏障, 对于改善和保护沿海生态环境起着重要作用。由于多代经营, 沿海木麻黄防护林出现衰退, 2代或 3代更新极为困难。海岸沙地本属极度退化立地, 生境十分恶劣, 土壤养分和水分含量低, 保持水肥的能力差, 同时还伴随着不同程度的盐碱化, 自然和人工生态恢复难度较大。在沿海沙地上构建一个复合可持续经营人工生态系统, 成为现在沿海防护林的重大难题。在生态系统中凋落物对林木生长, 养分循环, 改善土壤结构, 调节土壤酸碱度等具有重要作用, 同时也是土壤微生物主要养分和能量来源。凋落物是植被与环境之间进行物质和能量交换的主要途径, Berg等^[1]认为凋落物对林地养分和水分的作用十分重要。滨海沙地木麻黄凋落物是海岸木麻黄养分的主要来源, 也是木麻黄人工林实现可持续生长的重要保障。对于极度退化海岸沙地, 凋落物对木麻黄生长有着更为重要的作用。叶功富等^[2]对木麻黄凋落物动态及其分解动态进行了研究, 结果表明: 木麻黄年凋落物增长速率从速生阶段开始提高至干材阶段达到最大。国内对木麻黄凋落物热值研究较少, 张清海等^[3]对木麻黄凋落物分解过程热值动态变化进行了研究, 揭示了木麻黄凋落物分解过程的热值变化规律。目前, 对木麻黄生态系统整个能流的研究不够全面, 应加强木麻黄生态系统对太阳能的吸收到凋落物能量释放的整个过程进行系统研究。本文从凋落物归还量及其热值和能量流角度探讨沿海木麻黄防护人工林凋落物能流特征, 为沿海防护林可持续经营提供科学依据。

1 试验地概况

试验地设在福建省沿海中部惠安县崇武镇赤湖防护林场 ($118^{\circ}55' \text{E}$ $23^{\circ}45' \text{N}$), 属亚热带海洋性季风气候, 年平均气温 19.8°C ; 年均降水量 $1\,029 \text{ mm}$, 年均蒸发量 $2\,000 \text{ mm}$; 夏季 (7—9月) 多台风和暴雨天气, 秋冬东北风强盛, 8级以上的大风天达

105 d 年平均风速 $7.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 干湿季明显。土壤为均一性风积沙土, 沙土层厚度 $80 \sim 100 \text{ cm}$ 。

试验林分 1989 年造, 初始密度 $2\,500 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 现存密度为 $1\,648 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 平均胸径 10.77 cm , 平均树高 12.97 m , 郁闭度大于 0.90 现存生物量为 $152.60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。林地内凋落物厚度 $3 \sim 5 \text{ cm}$, 且分解良好; 林下灌木、草本稀少。1998 年建立了固定的生态定位观察点, 试验地不受人为干扰, 是进行木麻黄防护林凋落物归还研究的良好试验地。

2 材料与方 法

凋落物采用收集框法收集。2002 年 10 月底在林下随机设置 9 个收集框 (框深 15 cm , 口径 $0.5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, 孔径 $0.5 \text{ mm} \times 0.05 \text{ mm}$ 的玻璃纤维网), 离地面 20 cm , 每月 15 号收集 1 次, 月底收集 1 次, 测定鲜质量后, 分出小枝、枝、果、花, 及时在 80°C 下进行 $48 \sim 72 \text{ h}$ 烘干备用, 每月汇总。归还量大的组分每月 (量少组分则 1 季度或半年 1 次) 另取少量 (不同的组分取不同的量, 小枝取 50 g 花取 2 g) 在 105°C 下烘至恒质量, 求含水率, 求算每月凋落物的总量, 每月累加得全年总量^[4]。

所有测定样品测定前在 80°C 下烘干去除水分, 磨粉后全部过 6 号筛贮存备用, 而后用长沙仪器厂生产的 GR-3500 型微电脑氧弹式热量计测定热值。样品热值以干物质热值 (每克干物质在完全燃烧条件下所释放的热量, 简称 GCV) 和去灰分热值 (AFCV) 表示。测定环境在空调控制 20°C 左右, 每样品重复多次, 误差控制在 $\pm 0.20 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 每次实验时用苯甲酸标定仪器^[4, 5]。

灰分含量采用干灰化法测定: 样品在马福炉中 550°C 下灰化 5 h 后测定其灰分含量。

去灰分热值 = 干物质热值 / (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。

各月各组分能流的计算方法: 根据木麻黄人工林各月凋落物各组分物质质量和各组分的热值推算各

月的能量归还量。

3 结果与分析

3.1 凋落物归还量

凋落物是森林生态系统向环境归还物质和能量的主要形式,也是生命系统与环境进行物质、能量、

信息交换的主要途径,是土壤有机质的主要来源;同时,凋落物还是碎屑食物网的能量来源,对木麻黄林养分良性循环有重要的作用,对整个滨海沙地生态系统起着重要的调节作用。木麻黄人工林凋落物各月归还量见表 1。

表 1 滨海沙地木麻黄人工林凋落物各月归还量

项目	2002年-月		2003年-月										合计
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
小枝	0.72	0.46	0.16	0.15	0.40	0.68	1.35	1.32	1.58	1.21	1.13	1.08	10.24
枝	0.40	0.04	0.30	0.10	0.50	0.70	0.30	0.14	0.30	0.11	0.39	0.04	3.32
果	0.03	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.05	0.09	0.08	0.02	0.38
花	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.24
合计	1.15	0.54	0.47	0.26	0.91	1.39	1.89	1.47	1.95	1.41	1.60	1.14	14.18

从表 1 可知:滨海沙地木麻黄人工林的凋落物归还量为 $14.18 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,而 10 年前惠安崇武镇 15 年生木麻黄的凋落物归还量为 $2.17 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1[2]}$,印度喜马拉雅山中部贫瘠地上 15 年生印度黄檀 (*Dalbergia sissoo* Roxb.) 的凋落物归还量为 $4.37 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1[6]}$;西双版纳 30 年生季雨林的凋落物归还量为 $8.42 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1[7]}$;南亚热带鹤山 15 年生马占相思林 (*Acacia mangium* Willd.) 的凋落物归还量为 $4.90 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1[8]}$,鼎湖山 40 年生黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna* Hance)、鼎湖钓樟 (*Lindera chunii* Merr.) 群落的凋落物归还量为 $6.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1[9]}$,鼎湖山亚热带 20 年生常绿阔叶林年平均凋落物归还量为 $8.45 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1[10]}$;针阔混交林为 $8.50 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,其中乔木层主要树种有马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.)、荷木 (*Schinus superba* Gardn. et Champ.)、锥栗 (*Castanopsis chinensis* Hance) 和 黧蒴 (*Castanopsis fissu* (Champ. ex Benth.) Rehd. et Wils.) 等;针叶林——马尾松林的凋落物归还量为 $3.31 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1[11]}$;与中亚热带森林群落相比,高于福建中部 33 年生福建柏 (*Fokienia hodginsii* (Dunn) Henry et Thomas) 林 ($7.32 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 和 33 年生杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 人工林 ($5.47 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$) 及 33 年生格氏栲 (*Castanopsis kawakamii* Hayata) 天然林 ($11.01 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[12]。由上可知,滨海沙地木麻黄人工林与季雨林、亚热带森林及中亚热带森林生态系统相比,具有较高的凋落物归还量;而从树种或气候类型上比较,木麻黄林的凋落物归还量较高。高的凋落物归

还量为木麻黄在贫瘠沙地上的快速生长、养分的良性循环、改良土壤方面起着重要作用。

木麻黄在福建沿海生长规律为:3—4 月为生长初期,5—9 月为生长旺季,10—12 月为生长后期^[13]。由表 1 看出:滨海沙地木麻黄人工林凋落物归还量的高峰在 4—9 月,这期间归还的凋落物占总量的 68.48%,与 Srivastava A K^[14] 的研究结果相近,与南亚热带鼎湖山黄果厚壳桂群落凋落物归还高峰期出现的时间(3—7 月)相似(归还量 1990 年占总量的 66.9%,1991 年占总量的 55.6%^[9]);但比西双版纳季雨林高峰期(3—4 月)出现的迟^[12],这主要是两地气候差异所致。4—9 月是台风多发的季节,雨量较大,木麻黄生长旺盛,代谢强,同时台风造成了大量的凋落物,降雨的冲击力和雨水加重了小枝的受力,加速老小枝脱落,下雨时风力的作用进一步加速了小枝脱落^[15]。木麻黄凋落物归还量年初最小,因年初福建省沿海地区气温低,又是旱季,木麻黄生长缓慢,代谢作用少;7 月份最大,占总量的 13.76%,2 月份最小,占总量的 1.83%。木麻黄凋落物各月归还量由大到小为:7 月 (13.76%) > 5 月 (13.34%) > 9 月 (11.29%) > 6 月 (10.37%) > 8 月 (9.95%) > 4 月 (9.81%) > 11 月 (8.12%) > 10 月 (8.05%) > 3 月 (6.42%) > 12 月 (3.81%) > 1 月 (3.25%) > 2 月 (1.83%)。

木麻黄凋落物的主要成分是小枝(木麻黄小枝和叶是一个整体),归还量为 $10.24 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,占总归还量的 72.21%,较 Srivastava A K^[14] 的研究结果 87%~95% 低,小枝归还高峰期出现在其生长旺盛期的 5—9 月,其中 7 月最大 ($1.58 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$);其

次是枝条, 归还量为 $3.32 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占总归还量的 23.41%; 次之果 $0.38 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占总归还量的 2.68%; 其余部分 $0.24 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 占总归还量的 1.69%。根据 1 周年内各月凋落物数据建立各月凋落物归还量的回归方程 (表 2), 从表 2 可知: 所建立的回归预测模型达到极显著相关和显著相关, 相关系数分别为 0.93 和 0.87。

表 2 木麻黄人工林凋落物归还量 (Y) 与时间 (x) 的回归方程

项目	回归方程	相关系数	F 检验值
小枝	$Y = -0.037x^2 + 0.537x - 0.623$	0.93**	0.000 1
总量	$Y = -0.348x^2 + 0.518x - 0.233$	0.87*	0.000 4

注: ** 极显著相关; * 显著相关; 时间指月份, 下同。

3.2 木麻黄凋落物各组分灰分含量

植物体灰分含量是植物体元素聚集度的度量^[13], 反映植物体生长生理变化情况。测定凋落物各组分灰分含量则可以知道林分在不同月份元素的归还和代谢规律。

通过对各组分灰分含量间差异性 *t* 检验, 结果表明: 小枝与球果间存在显著差异 ($t=10.97$, $f=11$, $p=0.001$), 与其它组分不存在显著差异; 枝与球果间存在显著差异 ($t=7.67$, $f=11$, $p=0.002$), 与其它组分不存在显著差异; 其它组分间差异不显著。

各组分灰分含量各月变化情况:

(1) 小枝灰分含量为 4.39% ~ 5.65%, 10 月最大 5.65%, 12 月最小 4.39%, 平均为 4.90%。各月大小顺序为: 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%)。由此可见, 7—11 月是木麻黄凋落

物——小枝灰分含量的高期, 即元素归还的高峰期。这时在福建东南沿海, 气温高, 降雨量大, 是木麻黄生长、代谢旺季, 大量凋落物为养分归还提供了物质基础, 同时也为木麻黄下一年的生长提供了养分保障。

(2) 枝条灰分含量为 3.52% ~ 5.65%, 10 月最小 3.52%, 5 月最大 5.65%, 平均为 4.69%。各月大小顺序为: 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%)。枝条灰分含量各月差异不大, 主要变化在 4.60% ~ 5.00% 间, 差异不明显。枝条主要由木质素组成, 无机元素含量低, 所以其灰分含量不高。

(3) 球果灰分含量为 2.27% ~ 4.23%, 2 月最小 2.27%, 9 月最大 4.23%, 平均为 3.20%。各月大小顺序为: 9 月 (4.23%) > 8 月 (3.70%) > 11 月 (3.49%) > 1 月 (3.40%) > 4 月 (3.35%) > 6 月 (3.28%) > 8 月 (3.27%) > 3 月 (3.04%) > 5 月 (3.00%) > 12 月 (2.79%) > 10 月 (2.63%) > 2 月 (2.27%)。

(4) 花灰分含量: 5 月为 5.19%, 7 月为 5.45%, 平均为 5.32%。花是植物体进行物种繁衍的重要器官, 各种元素含量较大, 所以比其它组分有更高的平均灰分含量。

3.3 木麻黄凋落物各组分干物质热值

植物体组分热值能够反映植物体对太阳能量的利用情况, 王良睦等^[13] 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。木麻黄凋落物各组分的干物质热值见表 3。

表 3 木麻黄人工林凋落物各组分干物质热值和去灰分热值

$\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$

时间 (年 - 月)	各组分干物质热值				各组分去灰分热值			
	小枝	枝	果	花	小枝	枝	果	花
2002-11	20.85 ± 0.06	20.14 ± 0.07	19.55 ± 0.05		21.98 ± 0.07	21.14 ± 0.06	20.26 ± 0.06	
2002-12	20.96 ± 0.01	20.19 ± 0.01	20.63 ± 0.13		21.92 ± 0.13	21.17 ± 0.08	21.22 ± 0.08	
2003-01	21.68 ± 0.05	19.63 ± 0.12	18.27 ± 0.02		22.69 ± 0.09	20.63 ± 0.02	18.91 ± 0.06	
2003-02	20.51 ± 0.05	19.64 ± 0.03	19.06 ± 0.07		21.48 ± 0.07	20.64 ± 0.04	19.50 ± 0.08	
2003-03	21.38 ± 0.03	19.65 ± 0.04	19.95 ± 0.14		22.44 ± 0.06	20.52 ± 0.06	20.58 ± 0.07	
2003-04	21.40 ± 0.15	20.08 ± 0.16	19.98 ± 0.06		22.50 ± 0.04	21.12 ± 0.08	20.67 ± 0.05	
2003-05	21.52 ± 0.10	19.79 ± 0.04	20.56 ± 0.01	20.89 ± 0.04	22.65 ± 0.12	20.98 ± 0.09	21.20 ± 0.12	22.01 ± 0.08
2003-06	21.48 ± 0.14	19.86 ± 0.07	20.40 ± 0.03		22.61 ± 0.02	20.73 ± 0.05	21.09 ± 0.06	
2003-07	20.89 ± 0.06	20.21 ± 0.16	20.19 ± 0.11	21.13 ± 0.05	22.11 ± 0.08	21.28 ± 0.13	20.97 ± 0.05	22.35 ± 0.09
2003-08	20.77 ± 0.07	19.91 ± 0.10	20.56 ± 0.12		21.97 ± 0.07	21.02 ± 0.05	21.26 ± 0.07	
2003-09	20.72 ± 0.07	19.75 ± 0.09	20.28 ± 0.05		21.83 ± 0.05	20.70 ± 0.06	21.49 ± 0.06	
2003-10	20.87 ± 0.13	19.77 ± 0.07	19.53 ± 0.04		22.12 ± 0.09	20.49 ± 0.08	20.45 ± 0.08	
平均	21.11 ± 0.42	19.89 ± 0.22	19.91 ± 0.70	20.96 ± 0.14	22.19 ± 0.38	20.87 ± 0.28	20.63 ± 0.77	22.18 ± 0.24

由表 3 可知:小枝的干物质热值为 21.68 ~ 20.51 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均为 21.11 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$; 枝条干物质热值为 19.63 ~ 20.21 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均为 19.89 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 其中, 1 月最小, 7 月最大, 其余各月干物质热值变化不大。枝条生理周期 5 年, 1 年内测定值变化小, 所以枝条干物质热值年变化不大; 球果干物质热值为 18.27 ~ 20.63 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均为 19.91 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 其中, 1 月最小 (18.27 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$), 12 月最大 (20.63 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$); 花的干物质热值, 5 月为 20.89 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 7 月为 21.13 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均为 20.96 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 花有较高平均干物质热值。

通过对各组分热值间差异性 t 检验, 结果表明: 小枝与枝 ($t=8.80$ $f=11$ $p=0.0005$), 小枝与球果 ($t=4.85$ $f=11$ $p=0.001$) 存在显著差异, 而其它组分间差异不显著。凋落物各组分平均热值大小顺序为: 小枝 (21.11 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > 花 (20.96 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > 球果 (19.91 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$) > 枝条 (19.89 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$)。由此可知, 小枝和花的热值较高, 因为小枝是木麻黄进行光合作用的重要器官, 其内含物中有较高的蛋白质; 花序是木麻黄进行物种延续的重要器官, 其内含物中也有较高的蛋白质和脂肪, 而蛋白质和脂肪是高热量的物质, 故小枝和花是热值较高的组分。球果则是失去了种子的果壳, 蛋白质和脂肪没有花序和小枝高, 热值也不如花序和小枝的高; 枝条主要由木质纤维组成, 蛋白质和脂肪含量少, 故热值较低。

3.4 木麻黄凋落物各组分去灰分热值

去灰分热值是去除金属元素含量不同而形成的热值。从表 3 可知: 小枝各月的去灰分热值为 21.48 ~ 22.69 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均为 22.19 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 1 月最大 22.69 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 2 月最小 21.48 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$; 枝条各月的去灰分热值为 20.49 ~ 21.28 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均为 20.87 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 7 月最大 21.28 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 10 月最小 20.49 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$; 球果各月的去灰分热值为 18.91 ~ 21.49 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均为 20.63 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 9 月最大 21.49 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 1 月最小 18.91 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$; 花的平均去灰分热值为 22.18 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

对各组分去灰分热值进行了差异性检验, 结果表明: 小枝与枝 ($t=9.28$ $f=10$ $p=0.0003$), 小枝与球果 ($t=5.70$ $f=10$ $p=0.0005$) 间存在显著差异, 而其它组分间差异不显著。各组分去灰分热值平均大小顺序为: 小枝 > 花 > 枝 > 球果, 变化趋势与干物质热值基本相似。

3.5 木麻黄凋落物各组分能量归还量的月变化

能流是生态系统实现生态功能的动力, 平衡的

高能流可以加速森林生态系统的可持续快速发展, 滨海沙地恶劣的生境, 需要有合理的高速能流来维持木麻黄防护林的可持续发展。木麻黄凋落物各组的能量归还量见表 4。

表 4 木麻黄凋落物各组分的能量归还量

时间	GJ hm^{-2}					各月占总量的比例 %
	小枝	枝	球果	花	合计	
2002 11	15.01	8.06	0.59		23.66	8.03
2002 12	9.64	0.81	0.83		11.27	3.83
2003 01	3.47	5.89	0.18		9.54	3.24
2003 02	3.08	1.96	0.19		5.23	1.78
2003 03	8.55	9.83	0.20		18.58	6.31
2003 04	14.55	14.06	0.20		28.81	9.78
2003 05	29.05	5.94	0.41	4.60	40.00	13.58
2003 06	28.35	2.78	0.20		31.34	10.64
2003 07	33.01	6.06	1.00	0.42	40.49	13.75
2003 08	25.13	2.19	1.85		29.17	9.90
2003 09	23.41	7.70	1.62		32.74	11.11
2003 10	22.54	0.79	0.39		23.72	8.05
平均	17.98	5.51	0.64	2.51	24.55	8.33
总量	215.79	66.07	7.66	5.02	294.55	100.00

从表 4 可知: 整个林分的能量归还量为 294.55 $\text{GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 能量归还量较高。各组分的能量归还分布为: 小枝占主体, 归还量为 215.78 $\text{GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其次是枝条 66.07 $\text{GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 再次是果 7.66 $\text{GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 花最小 5.02 $\text{GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。木麻黄凋落物各月能量归还的大小顺序为: 7 月 (13.75%) > 5 月 (13.58%) > 9 月 (11.11%) > 6 月 (10.64%) > 8 月 (9.90%) > 4 月 (9.78%) > 10 月 (8.05%) > 11 月 (8.03%) > 3 月 (6.31%) > 12 月 (3.83%) > 1 月 (3.24%) > 2 月 (1.78%)。整个林分的能量归还量高峰期在 5—9 月, 与前人研究结果一致, 表明木麻黄的生长旺盛期也是代谢旺盛期, 能量归还量大。

4 小结

(1) 木麻黄的凋落物归还量为 14.18 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其中小枝为 10.24 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 枝条为 3.32 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 果为 0.38 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其它部分为 0.24 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。小枝的归还量最大, 占总量的 72.21%, 其它组分占 27.79%, 可见小枝是凋落物的主体, 具有决定性作用。1 年中凋落物归还的高峰期在 4—9 月, 这期间归还的凋落物占总量的

68.48%, 表明木麻黄生长旺盛的同时代谢也旺盛, 产生高的凋落物归还量

(2) 木麻黄凋落物中, 小枝的灰分含量为 4.39%~5.65%, 平均为 4.90%, 7—11 月为小枝灰分含量的高峰期, 即元素归还的高峰期; 枝条的灰分含量为 3.52%~5.65%, 平均为 4.69%; 果的灰分含量为 2.27%~4.23%, 平均 3.20%; 花的灰分平均含量为 5.32%。木麻黄凋落物各组分的灰分含量变化规律与木麻黄的生长规律一致, 特别是元素归还的峰期与木麻黄的生长旺期一致, 体现了木麻黄的生理代谢规律, 反映了 1 年中木麻黄的生长规律。

(3) 凋落物小枝的干物质热值为 20.51~21.68 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 平均为 21.11 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 表现出较高的热值, 3—7 月干物质热值较高, 其余各月的变化不大, 高热值期表明植物体内含能物质多, 代谢物也具有较高的热值, 这说明木麻黄的太阳能利用率高。去灰分热值与干物质热值相似, 小枝的去灰分热值为 21.48~22.69 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 枝条 20.49~21.28 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 球果 18.91~21.49 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$, 花平均去灰分热值 22.18 $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

(4) 整个林分的能量归还量为 294.55 $\text{GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 小枝占主体, 归还量为 215.79 $\text{GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 其次是枝条 66.07 $\text{GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 再次是果 7.66 $\text{GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 花最小 5.02 $\text{GJ} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。能量归还量的高峰期为 5—9 月, 与木麻黄生长旺盛期一致, 体现了木麻黄生长规律。

参考文献:

[1] Berg B, Tanm C O. Decomposition and nutrient dynamics of litter in

long term optimum nutrition experiments II. Nutrient concentrations in decomposing *Picea abies* needle litter [J]. Scand J For Res 1994, 9: 99~105

- [2] 叶功富, 隆学武, 潘惠忠, 等. 木麻黄林的凋落物动态及其分解 [J]. 防护林科技, 1996(专刊): 30~34
- [3] 张清海, 叶功富, 林益明. 滨海沙地木麻黄凋落物分解过程热值动态变化 [J]. 林业科学研究, 2005, 18(4): 455~459
- [4] 林益明, 杨志伟, 李振基. 武夷山常绿林研究 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2001: 42~48, 58~63, 124~127
- [5] 祖元刚. 能量生态学 [M]. 长春: 吉林科技出版社, 1990
- [6] Lodhiyal N, Lodhiyal L S. Biomass and net primary productivity of Bhabar shisham forests in central himalaya India [J]. Forest Ecology and Management 2003, 176: 217~235
- [7] 任泳红, 曹敏, 唐建伟, 等. 西双版纳季雨林与橡胶多层林凋落物动态的比较研究 [J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 418~425
- [8] 彭少麟. 热带亚热带恢复生态系统研究与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 2003
- [9] 蚁伟民, 丁明懋, 张祝平, 等. 鼎湖山黄果厚壳桂群落的凋落物及其氮素动态 [J]. 植物生态学报, 1994, 18(3): 228~235
- [10] 官丽莉, 周国逸, 张德强, 等. 鼎湖山南亚热带常绿阔叶林凋落物量 20 年动态研究 [J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 449~456
- [11] 张德强, 叶万辉, 余清发, 等. 鼎湖山演替系列中代表性森林凋落物研究 [J]. 生态学报, 2000, 20(6): 938~944
- [12] 杨玉盛, 林鹏, 郭剑芬, 等. 格氏栲天然林与人工林凋落物数量、养分归还及凋落叶分解 [J]. 生态学报, 2003, 23(7): 1279~1289
- [13] 叶功富, 张水松, 徐俊森, 等. 木麻黄防护林生长发展发育规律的研究 [J]. 防护林科技, 1996(专刊): 13~16
- [14] Srivastava A K. Biomass and energy production in *Casuarina equisetifolia* plantation stands in the degraded dry tropic of the Vindhyan Plateau India [J]. Biomass and Bioenergy 1995, 9(6): 465~471
- [15] 王良睦, 邵成, 郑文教, 等. 福建和溪亚热带雨林凋落物及残留物研究 [J]. 厦门大学学报自然科学版, 1996, 35(5): 795~800