

# 滨海沙地木麻黄凋落物分解过程中热值的动态变化

张清海<sup>1</sup>, 叶功富<sup>2</sup>, 林益明<sup>3</sup>

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

3. 厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 360005)

**摘要:** 采用氧弹式热值仪测定福建惠安滨海沙地木麻黄凋落物分解过程中的热值, 揭示凋落物分解过程中干物质热值、去灰分热值、灰分含量的变化规律, 结果表明: 凋落物起始干物质热值为  $21.67 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , 经过 3 个月平缓下降后其值为  $21.40 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , 到第 10 个月干物质热值为  $20.48 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , 达到最低点, 与起始值相差  $1.19 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , 随后干物质热值开始回升, 第 12 个月的干物质热值为  $20.83 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , 年平均每月降低  $0.07 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ; 去灰分热值与干物质热值有相同的变化趋势, 从开始的  $22.78 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , 到第 9 个月的最小值  $21.89 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , 与起始值相差  $0.89 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , 随后的回升速度较干物质热值快, 到第 12 个月时达  $22.41 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , 但是 12 个月总体平均每月降低  $0.03 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ; 凋落物灰分含量的变化与热值呈相反的变化趋势, 随着时间的延长灰分含量增加, 但和热值一样反映了凋落物分解的规律, 开始的灰分含量为  $4.88\%$ , 到 3 个月时为  $4.90\%$ , 随后进入线性增长的趋势, 到第 12 个月时达  $7.09\%$ , 平均每月增加  $0.184$  个百分点。不论热值还是灰分含量与气温和不同层次土壤温度都显著相关, 温度, 特别是气温是影响凋落物分解的重要因素。

**关键词:** 木麻黄; 热值; 凋落物; 分解

**中图分类号:** S792.93      **文献标识码:** A

## Dynamic Caloric Value of *Casuarina equisetifolia* Litter Fall During Decomposition on Coast Sandy Land

ZHANG Qing-hai<sup>1</sup>, YE Gong-fu<sup>2</sup>, LIN Yi-ming<sup>3</sup>

(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 360005, Fujian, China)

**Abstract:** The *Casuarina equisetifolia* litter decomposition experiment site locates at Huian county in Fujian province, south of China. Caloric value were tested by oxygenic bomb calorimeter. The aim was to expose the law of gross caloric value, ash free caloric value and ash content of litter during decomposition. The result showed the dynamic of the gross caloric value, ash free caloric value and ash content of *Casuarina equisetifolia* litter during decomposing. The decomposition lasted for three months with the caloric  $21.40 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , to which decreased from the beginning gross caloric  $21.67 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ . At the tenth month, the gross caloric value was decreased to rock bottom,  $20.48 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , with the range  $1.19 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  to the begin value. After ten months of decomposition, the gross caloric value began to increase, then gross caloric value increased to  $20.83 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  at the twelfth month, while with average decreasing ratio  $0.07 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  per month; As to ash free caloric value, which the beginning ash free caloric  $22.78 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ , decreased to nadir,  $21.89 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  at the ninth month, with the range  $0.89 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  to the begin value. Then it increased faster than gross caloric did, up to  $22.41 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  at the twelfth month. While it had average decreasing ratio  $0.03 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$  per month; The ash content, which had the contrary tendency to caloric, increased with time go by. But as the gross caloric, they all reflected the law of litter decomposition. It increased slowly from  $4.88\%$  to  $4.90\%$  in the beginning three months,

收稿日期: 2005-03-10

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”(2002BA516A16-15)

作者简介: 张清海(1975—),男,福建宁化人,研究实习员,硕士, [zqhseasongz@yahoo.com.cn](mailto:zqhseasongz@yahoo.com.cn)

then increased sharply. At the twelfth month, the ash content was up to 7.09%, and with average increasing ratio 0.184 point of percentage per month, in twelve months. While both caloric and ash content related obviously with temperature and soil temperature, especial the air temperature, so temperature was an important factor effecting the litter decomposition.

**Key word:** *Casuarina equisetifolia*; caloric value; litter; decomposition

凋落物是植被生态系统向环境归还物质的主体,也是归还的主要方式。凋落物分解是生态系统有机物降解——从有机物变成无机物的主要过程,是生态系统与环境进行物质、能量和信息交换的重要环节,它可反映一个生态系统与环境之间相互作用的强度。凋落物分解过程中热值的动态变化可反映其有机物降解速度和能量释放速度。能量是生态系统实现生态功能的动力,凋落物分解过程中的热值可反映凋落物分解能流特征,同时也反映凋落物降解过程生态功能特征。Ebermayer<sup>[1]</sup>论述了森林凋落物的重要作用后,国外学者对不同森林生态系统的凋落物从不同生态作用进行了研究<sup>[2~5]</sup>。20世纪90年代我国许多学者对凋落物的不同作用进行了研究<sup>[6~8]</sup>,对植物热值的研究较多<sup>[9~13]</sup>,而对林木凋落物分解过程中热值动态的研究较少;有学者对木麻黄(*Casuarina equisetifolia* L.)凋落物分解过程进行了研究<sup>[14,15]</sup>,但对木麻黄凋落物分解过程中热值动态的研究未见报道。滨海木麻黄防护林,其立地条件差,土壤瘠薄,保持水肥能力差。木麻黄凋落物是木麻黄防护林主要的养分来源,是土壤微生物生态系统物质和能量源基础。凋落物是改善和提高海岸沙地土壤持水肥能力的主要物质,是实现木麻黄防护林在海岸沙地可持续经营的重要物质。凋落物在滨海沙地木麻黄人工林生态系统中具有比其它生态系统更重要的作用。本文通过对福建惠安滨海沙地木麻黄人工林凋落物分解过程中热值的测定,研究木麻黄人工林生态系统能量流动规律,为木麻黄防护林可持续经营提供科学依据。

## 1 试验地概况

实验地设在福建省沿海中部惠安县崇武赤湖国有防护林场,位于118°55'E,23°45'N,属南亚热带海洋性季风气候;年平均气温19.8℃,绝对最高气温37℃,绝对最低气温2.2℃;7—9月多台风和暴雨天,秋冬东北风强盛,8级以上的大风年达105d,年平均风速7.0 m·s<sup>-1</sup>,全年无霜期320d;年均降水1029 mm,年均蒸发2000 mm,蒸发量大于降水量;干湿季明显,夏季最大风速32.6 m·s<sup>-1</sup>,干旱频率

高<sup>[16]</sup>;土壤以滨海沙土为主,本试验地土壤为均一性风积沙土,沙土层厚度80~100 cm。

木麻黄人工林生态系统凋落物分解试验林分1989年造,造林密度2 m×2 m,初始密度2500株·hm<sup>-2</sup>,现有密度1648株·hm<sup>-2</sup>,平均胸径10.77 cm,平均树高12.97 m,郁闭度大于0.90,林下灌木、草本稀少。林地内的凋落物厚度3~5 cm,分解良好。1998年建立了固定的生态定位观察点,试验地不受人为干扰和破坏。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验材料

2002年1月开始在同一试验地内利用收集筐进行凋落物收集,每半个月收集1次,及时风干,为期6个月,不足部分收集林内现有新鲜凋落物(手捡),带回试验室风干。将风干后的凋落物混合均匀,称50 g装入玻璃丝网袋(规格20 cm×20 cm,孔径0.5 mm×0.5 mm),共40袋。另取样5袋(50 g袋<sup>-1</sup>),洗去样品表面泥沙,80℃烘48~72 h至恒质量,测定含水率,推算生物量。2002年10月31号把40袋样品随机布置于试验样地,样品底面与地表面相接触(样品周围现有凋落物不动),每月底随机取3袋带回实验室<sup>[14,17,18]</sup>,用清水洗去泥沙和微生物,过蒸馏水,在80℃下烘至恒质量,磨粉处理后过6号筛贮存备用,进行室内热值测定。

### 2.2 热值测定

处理后的待测样品,用热量计法测定其热值,仪器采用长沙仪器厂生产的GR-3500型微电脑氧弹式热量计。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总热量,简称GCV)和去灰分热值(AFCV)表示。测定环境为空调控制20℃左右,每样品重复多次(>2次),误差控制在±0.20 kJ·g<sup>-1</sup>,每次实验对仪器用苯甲酸标定<sup>[19,19]</sup>。

灰分含量测定采用干灰化法:样品在马福炉中550℃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,更能反映植物体各组分热值情况<sup>[19]</sup>。

### 2.3 气象数据的采集

依据《地面气象观测规范》,在林内1.5 m高处

设置百叶箱,安装有干湿气温表、最高温度表、最低温度表,每天 8:00、14:00、20:00 观测记录数据;林地内还设置一系列土壤温度计,距离地表 0、5、10、15、20 cm 的曲管温度表,每天同时观测<sup>[20,21]</sup>,观测结果见表 1(湿度对凋落物分解的影响在其它论文中另做讨论,故表 1 未列湿度数据)。

表 1 惠安样地气象数据(平均温度)

观测时间	气温	最高气温	最低气温	地表温度	地下温度			
					5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
2002-11	19.02	20.76	15.18	19.68	19.26	19.36	19.40	19.57
2002-12	15.58	17.75	12.15	16.30	16.21	16.28	16.37	16.52
2003-01	12.44	14.94	7.46	13.06	12.76	12.97	13.11	13.25
2003-02	13.86	15.63	9.97	14.14	13.79	13.87	13.84	13.85
2003-03	15.25	17.70	10.65	15.62	14.79	14.77	14.74	14.73
2003-04	20.17	22.69	15.90	20.24	18.61	18.04	18.22	18.06
2003-05	23.92	25.28	19.78	23.85	22.74	22.17	21.85	21.59
2003-06	26.28	27.81	22.00	26.33	25.09	24.63	24.49	24.28
2003-07	30.21	31.98	25.94	30.57	28.54	27.91	27.66	27.29
2003-08	29.19	31.16	25.00	29.65	28.21	27.51	27.35	27.12
2003-09	28.42	30.62	23.78	28.48	26.96	26.47	26.32	26.29
2003-10	24.65	26.77	20.60	25.15	23.91	23.61	23.57	23.90
平均	21.58	23.59	17.37	21.92	20.91	20.63	20.59	20.54

### 3 结果与分析

#### 3.1 热值的动态

采用 SPSS10.0 对试验数据进行分析与作图,12 个月内,凋落物分解过程中干物质热值和去灰分热值的变化趋势见图 1。由图 1 知:凋落物的起始干物质热值为 21.67  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ,第 3 个月时为 21.40  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ,与起始值相差 0.27  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ;到第 10 个月时为 20.48  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ,与起始值相差 1.19  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ;其后干物质热值开始回升,第 12 个月时为 20.83  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ,与起始值相差 0.84  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ;凋落物从植株体脱落后 3~8 个月干物质热值降低速率较高,到 9~10 个月达最低值。木麻黄凋落物分解过程中前 3 个月干物质热值变化不大,主要由于刚凋落的植物器官表面存在一层蜡质表皮,这层蜡质表皮较好地阻止了凋落物内可溶性有机物质的流失;其后,由于气温升高及微生物活性增强,保护层遭到破坏,凋落物进入快速分解期,其体内的可燃性物质快速减少,造成干物质热值呈直线下降趋势。经过 4 个月的快速分解后,凋落物中易分解的有机物质减少,其分解速率降低,所以从 7~10 个月凋落物的分解速度减慢,故干物质热值降低的速度减慢;10 个月后,凋落物单位质量难分解的物质如脂肪等高热量物质含量增高,所以干物质热值开始上升。一年内,凋落物分解过程中干物质

热值平均每月降低 0.07  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

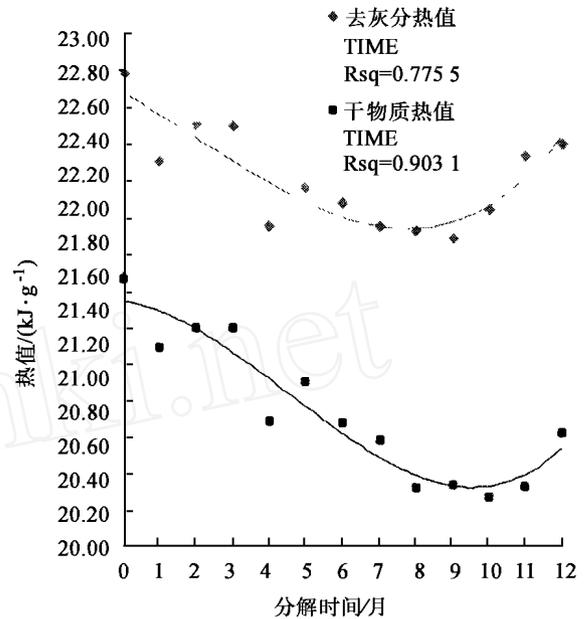


图 1 凋落物分解过程中干物质热值与去灰分热值的变化规律

凋落物分解过程中去灰分热值与干物质热值有相似的变化趋势:起始去灰分热值为 22.78  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ,第 9 个月为 21.89  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ,与起始值相差 0.89  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ,随后开始回升,到第 12 个月时达 22.41  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ,与第 9 月相比升高了 0.52  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。在前 9 个月,凋落物的去灰分热值呈下降趋势,其中,前 7 个月下降较快,其后平缓下降,8~9 个月后达最低值,但达最低值的时间比干物质热值早,随后快速回升,上升的速率较下降的快。在 12 个月内,去灰分热值总体平均每月降低 0.03  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ,主要是在后期灰分含量增长速率快于热值的降低速度,使得去灰分热值的增长速率增大。

#### 3.2 灰分含量变化规律

从图 2 可知,凋落物在 12 个月的分解过程中灰分含量变化为:起始灰分含量为 4.88%,3 个月时为 4.90%,随后呈线性增长,到第 12 个月时为 7.09%,比灰分含量最低(4.58%)的第 1 个月增加了 2.51%。凋落物在 12 个月内灰分含量增加了 2.21 个百分点,年平均每月增加 0.184 个百分点。在前 3 个月中,凋落物表层的保护组织完整性较好,对其体内的碳水化合物起到很好的保护作用,不利于有机物质的流失,所以在此期间凋落物的分解速度较慢,灰分含量变化不大;第 4 个月开始凋落物保护层基本失去,此时可溶性物质开始大量减少,而难溶性物质相对增加,单位质量内金属元素或硅元素含量相

对增加,所以其灰分含量呈直线上升。

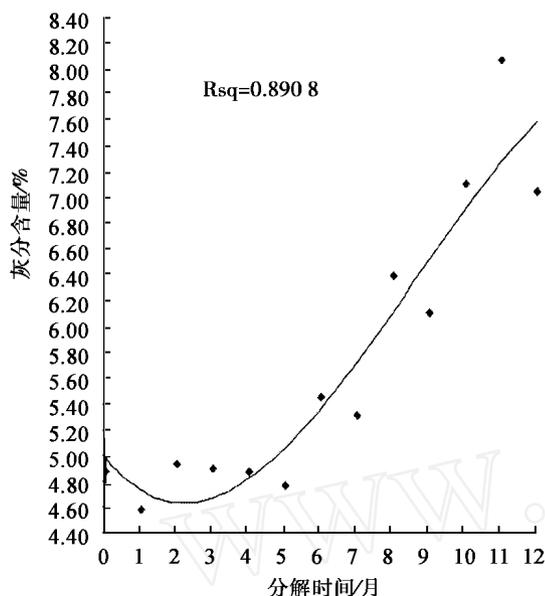


图2 凋落物分解过程中灰分含量的变化规律

### 3.3 干物质热值、去灰分热值、灰分含量之间及其与各层气温的相关性和它们的预测模型

干物质热值、去灰分热值、灰分含量之间及其与各气温(表1)进行相关分析,结果(表2)表明:干物质热值与灰分含量呈负相关,相关系数为 $-0.75$  ( $p=0.001 < 0.01$ );干物质热值与最高气温的相关系数为 $-0.71$  ( $p=0.04 < 0.05$ ),与最低气温的相关系数为 $-0.71$ ,而与平均气温的相关系数为 $-0.72$  ( $p=0.003 < 0.01$ )。表2还表明:气温对凋落物分解的影响极显著,这与刘强等<sup>[21]</sup>的研究一致,但极端气温对凋落物分解的影响不如平均气温,主要是由于福建惠安地处沿海,年均气温较高,昼夜温差小。从地表到地下20 cm的地温对凋落物分解的影响是:地表温度与干物质热值的相关系数为 $-0.70$  ( $p=0.03 < 0.05$ ),地下20 cm处地温的相关系数为 $-0.67$  ( $p=0.03 < 0.05$ ),从上往下呈降低趋势。地表温度其实就是凋落物的温度,而凋落物是大气生态系统与土壤生态系统的交界层,因而凋落物层有着非常活跃的生态现象。凋落物温度(地表温)对其分解的影响没有气温显著,主要因为地表温度由气温调节,但高于土壤各层温度对其分解的影响。不论是大气生态系统的温度,还是土壤生态系统的温度,对凋落物的分解都显著相关,具体表现于各层温度与凋落物干物质热值呈显著负相关,与灰分含量极显著相关。温度是生态系统能量归还的重要影响因素,气温越高凋落物的分解速率越大,其干物质热

值降低速度越快,表明生态系统向环境释放能量的速率也就越大,也就意味着高的物质流。

表2 凋落物分解过程中干物质热值、灰分含量和去灰分热值之间及其与各气象因子之间的相关系数

项目	干物质热值	灰分含量	去灰分热值
干物质热值	1.00	$-0.75^{**}$	$0.75^{**}$
灰分含量	$-0.75^{**}$	1.00	$-0.12$
去灰分热值	$0.75^{**}$	$-0.12$	1.00
气温	$-0.72^{**}$	$0.81^{**}$	$-0.13$
最高气温	$-0.71^*$	$0.83^{**}$	$-0.11$
最低气温	$-0.71^*$	$0.80^{**}$	$-0.13$
地表温	$-0.70^*$	$0.81^{**}$	$-0.10$
地下5 cm 温度	$-0.69^*$	$0.81^{**}$	$-0.09$
地下10 cm 温度	$-0.68^*$	$0.81^{**}$	$-0.08$
地下15 cm 温度	$-0.68^*$	$0.81^{**}$	$-0.07$
地下20 cm 温度	$-0.67^*$	$0.82^{**}$	$-0.05$

注: \*\*表示极显著相关; \*表示显著相关(下同)。

灰分含量与各层温度之间达到极显著相关,其与最高气温相关性最大,相关系数为 $0.83$  ( $p=0.001 < 0.01$ ),与最低气温相关性最小,相关系数为 $0.80$  ( $p=0.004 < 0.01$ ),可见木麻黄凋落物分解的灰分含量与各气象因子极显著相关。灰分含量与各温度间的相关系数大多数在 $0.81$ ,全体达到极显著相关的水平。总体上温度对灰分含量的影响度要大于对干物质热值的影响。

在1 a内,不论热值呈下降规律,还是灰分含量出现增加规律都反映出木麻黄凋落物在滨海沙地上的分解特征。它们的变化与气温和土壤温度之间呈显著相关,因而表明温度是影响凋落分解的重要因素。

根据凋落物分解过程的特点,建立干物质热值、去灰分热值、灰分含量的预测模型,采用SPSS10.0进行曲线拟合,结果见表3。从表3可知,灰分含量与时间变量成多项式变化,灰分含量与时间变量和气温变量成线性变化,都呈极显著相关,这与国外Edwards<sup>[23]</sup>的研究结果相似,与国内莫江明等<sup>[24]</sup>研究结果相同;干物质热值和去灰分热值也表现出相似的趋势,反映了时间和气温对凋落物分解的影响程度。各拟合方程都具有很好的可靠性,可用于计算相关项目的干物质热值、灰分含量和去灰分热值。

## 4 小结

木麻黄凋落物在滨海沙地上分解过程中热值和灰分含量的变化情况:

(1)木麻黄凋落物在分解过程中热值呈现3个阶段:1~3个月的平缓下降过程,4~10个月的快速分解过程,11~12个月的回升过程。凋落物的起

表3 凋落物分解过程中干物质热值、灰分含量和去灰分热值的计算模型

项目	变量	模型	R
灰分含量	时间(x)	$Y = 0.025x^2 - 0.047x + 4.752$	0.94 <sup>**</sup>
	时间(x <sub>1</sub> );气温(x <sub>2</sub> )	$Y = 0.234x_1 + 0.037x_2 + 3.493$	0.92 <sup>**</sup>
干物质热值	时间	$Y = 0.007x^2 - 0.167x + 21.63$	0.85 <sup>*</sup>
	灰分含量	$Y = -0.231x + 22.232$	0.77 <sup>*</sup>
	时间(x <sub>1</sub> );气温(x <sub>2</sub> )	$Y = -0.038x_1 - 0.029x_2 + 21.763$	0.90 <sup>*</sup>
	时间(x <sub>1</sub> );气温(x <sub>2</sub> );灰分含量(x <sub>3</sub> )	$Y = -0.050x_1 - 0.031x_2 + 0.051x_3 + 21.584$	0.90 <sup>**</sup>
去灰分热值	时间(x)	$Y = 0.014x^2 - 0.193x + 22.72$	0.78 <sup>*</sup>

始干物质热值为 21.67 kJ·g<sup>-1</sup>,3 个月的慢速分解后为 21.40 kJ·g<sup>-1</sup>,快速分解后为 20.48 kJ·g<sup>-1</sup>,随后开始回升,到第 12 个月时为 20.83 kJ·g<sup>-1</sup>。1 a 内,平均每月降低 0.07 kJ·g<sup>-1</sup>。

(3) 灰分含量的变化规律与热值相反,这与前人研究的热值与灰分含量负相关一致。木麻黄凋落物分解过程中灰分含量的变化情况为:起始灰分含量为 4.88%,3 个月时为 4.90%,12 个月时为 7.09%,平均每月灰分含量增加 0.184%。灰分含量的时间变化节律与干物质热值对时间变化相一致。

不论是干物质热值还是灰分含量的变化规律都反映出木麻黄在滨海沙地上分解过程的特征,根据前人的研究,温度是影响凋落物分解的重要因素之一。本研究中木麻黄凋落物在滨海沙地上的分解规律表明:干物质热值和灰分含量与气温和土壤温度显著相关,也表明气温和土壤温度对木麻黄凋落物分解的影响显著,同样证明了温度是影响凋落物分解速度的重要因素。

#### 参考文献:

- [1] Ebermayer E. Die gesamete lehre der woldstreu mit Ruchsicht auf die chemische statik woldbause[M]. Berlin: Julius Springer,1876:116
- [2] Berg B. Nutrient release from litter and humus in coniferous forest soils-a mini review[J]. Scand J For Res,1986,1:359~369
- [3] Berg B. Decomposition of needle litter in pinus contorta and pinus sylvestris monocultures-a comparison Scan[J]. J For Res,1987,2:8~12
- [4] McClaugherty C A, Pastor J, Aber J D, et al. Forest litter decomposition in relation to soil nitrogen dynamics and litter quality[J]. Ecology, 1985,66:266~275
- [5] Berg B, McClaugherty C. Plant litter, decomposition, humus formation, Carbon sequestration[M]. Springer, Berlin Heidelberg New York, 2003
- [6] 天大伦, 谌小勇. 不同年龄组马尾松林凋落物量及养分归还研究[J]. 中南林学院学报,1995,15(2):163~169
- [7] 黄建辉, 陈灵芝, 韩兴国. 辽东栋枝条分解过程中几种主要营养元素的变化. 植物生态学报,1998,22(5):398~402
- [8] 李志安, 林永标, 彭少麟. 华南人工林凋落物养分及其转移[J]. 应用生态学报,2000,11(3):321~326

(2) 去灰分热值与干物质热值有着相似的变化趋势,从起始的 22.78 kJ·g<sup>-1</sup>,到 9 个月时的 21.89 kJ·g<sup>-1</sup>,再到 12 个月后的 22.41 kJ·g<sup>-1</sup>。1 a 内,平均每月降低 0.03 kJ·g<sup>-1</sup>。

- [9] 祖元刚. 能量生态学[M]. 长春: 吉林科技出版社, 1990
- [10] 林鹏, 邵成, 郑文教. 福建和溪亚热带雨林优势植物叶的热值研究[J]. 植物生态学报,1996,20(4):303~309
- [11] 侯庸, 王伯荪, 张宏达, 等. 广东黑石顶自然保护区南亚热带常绿阔叶林 5 种优势植物的热值研究[J]. 生态学报,1998,18(3):263~268
- [12] 林益明, 王湛昌, 柯莉娜, 等. 四种灌木状与四种乔木状棕榈植物热值的月变化[J]. 生态学报,2003,23(6):1117~1124
- [13] 徐永荣, 冯宗炜, 朱敬恩. 武汉和天津园林植物叶片热值比较研究[J]. 生态学杂志,2004,23(6):11~14
- [14] 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 1):30~34
- [15] 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(专刊 1):21~26
- [16] 叶功富, 高美灵, 徐俊森, 等. 滨海沙地木麻黄低效防护林生长特性的研究[J]. 防护林科技,2000(专刊 1):24~28
- [17] Moretto A S, Distel R A, Didon é N G. Decomposition and nutrient dynamic of leaf litter and roots from palatable and unpalatable grasses in a semi-arid grassland [J]. Applied Soil Ecology, 2001, 18: 31~37
- [18] Koukoura Z, Mampos A P, Kalburtji K L. Decomposition of dominant plant species litter in a semi-arid grassland [J]. Applied Soil Ecology, 2003, 23: 13~23
- [19] 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
- [20] 中央气象局: 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 1979
- [21] 谭芳林, 叶功富, 张水松, 等. 木麻黄基干林带小气候效应及梯度变化的研究[J]. 防护林科技,2000(专刊 1):108~110
- [22] 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
- [23] Edwards P J. Studies of mineral cycling in a montane rainforest in New Guinea. The production and disappearance of litter [J]. Journal of Ecology, 1977, 65: 971~992
- [24] 莫江明, 布朗, 孔国辉, 等. 鼎湖山生物圈保护区马尾松林凋落物的分解及其营养动态研究[J]. 植物生态学报,1996,20(6):534~542